

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ &
ΔΙΚΤΥΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

του

ΛΑΡΙΣΗ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

Βόλος, Ιούλιος 2011

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

Καθ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Καθ. ΚΙΚΙΡΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Σύστημα διαχείρισης στάθμευσης με χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε πραγματικό περιβάλλον

Λαρίσης Νικόλαος

Εκπονήθηκε στα πλαίσια εκπλήρωσης των απαραίτητων προϋποθέσεων για την απόκτηση του διπλώματος του

**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΠΟΥΔΩΝ,
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ**

του

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Ιούλιος 2011**

Επιβλέπων : Σταμούλης Γεώργιος
Καθηγητής ΤΜΗΥΤΔ

Εγκρίθηκε από την διμελή εξεταστική επιτροπή την 7^η Ιουλίου 2011.

(Υπογραφή)

.....

Σταμούλης Γεώργιος
Καθηγητής ΤΜΗΥΤΔ

(Υπογραφή)

.....

Κίκιρας Παναγιώτης
Συμβασιούχος ΠΔ 407/80

(Υπογραφή)

.....
Λαρίσης Νικόλαος

© 2011 – All rights reserved

Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Περίληψη

Οι ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα των τεχνολογιών κατασκευής κυκλωμάτων επέτρεψαν την αναγωγή των Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων (WSN) ως μια από τις πλέον φιλόδοξες και αναδυόμενες τεχνολογίες. Αυτή η πολλά υποσχόμενη έκρηξη συντέλεσε στην παροχή μιας σειράς προηγμένων υπηρεσιών σε διάφορους τομείς εφαρμογών.

Αντικειμενικός σκοπός της εργασίας είναι η ενδεδειγμένη μελέτη και υλοποίηση ενός WSN στα πλαίσια ενός συστήματος διαχείρισης και υποβοήθησης στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα προσομοιώνει τις πραγματικές συνθήκες ενός πολεοδομικού συγκροτήματος και παρέχει στους χρήστες την δυνατότητα να εντοπίσουν και να περιηγηθούν εύκολα προς μια ελεύθερη θέση στάθμευσης. Αρχικά παρατίθεται μια εισαγωγή στις τεχνολογίες WSN, τα θεωρητικά τους χαρακτηριστικά, αρχές και πρότυπα λειτουργίας. Το σύστημα που αναπτύχθηκε κατά τα στάδια εκπόνησης της εργασίας συνίσταται από ένα WSN βασισμένο σε δύο τεχνολογίες αισθητήρων. Χρησιμοποιήθηκαν μαγνητικοί αισθητήρες Crossbow Mica2/MTS310 και υπέρυθροι Sentilla TmoteSky/WiEye συνεπικουρούμενοι από μια γεγονοστραφή εφαρμογή αναπτυγμένη σε Java και ένα γραφικό περιβάλλον διαδικτυακής διεπαφής (web GUI) βασισμένο σε διάφορες τεχνολογίες web.

Ο αλγόριθμος επεξεργάζεται τα υπό συλλογή δεδομένα από τους αισθητήρες –καθένας από τους οποίους έχει ανατεθεί ανά διακριτή θέση στάθμευσης– και υποδεικνύει εάν είναι ελεύθερη η θέση ή όχι. Τα δεδομένα ακολούθως συγκεντρώνονται στο σταθμό βάσης προκειμένου να εκτιμηθούν και να αποτυπωθούν κατάλληλα στις βάσεις δεδομένων και εν τέλει σε ένα φιλικό προς το χρήστη web GUI. Η αξιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε μέσω της διεξαγωγής εντατικών πειραμάτων επαλήθευσης.

Abstract

Advancements in circuit manufacturing technology enabled us to entitle Wireless sensor networks (WSN) as one of the most challenging and emerging technologies. This promising outburst came along with the provision of enhanced services to miscellaneous application domains.

The objective of this thesis is to assiduously examine and implement a WSN in terms of a real-time parking management and assistance system. This system will emulate the actual conditions of a contemporary city infrastructure in an urban environment and eventually provide to users the ability to find and navigate easily to a free parking spot. Firstly, it introduces with the WSN technology, its theoretical characteristics and standards. The system that has been under development throughout the various stages of this thesis, is comprised of a deployed WSN based on two different technologies. There were utilized magnetic sensors by Crossbow Mica2/MTS310 and infrared sensors by Sentilla Tmote Sky/WiEye accompanied with an event-driven application in Java and a web interface built on various technologies.

The algorithm process the data returned from the sensors, each appointed to a distinct parking spot, indicating whether if it is occupied or not. The data then congregate in the base station in order to be evaluated and depicted appropriately to data bases and then uploaded to a user-friendly web GUI. The evaluation of the system is performed by conducting a number of strenuous experiments.

Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Εισαγωγή	17
Α. Ορισμός ερευνητικού προβλήματος	17
Β. Αντικείμενο εργασίας	18
Γ. Ερευνητικές ερωτήσεις.....	18
Δ. Μεθοδολογία	19
Ε. Διάρθρωση εργασίας.....	20
Μέρος Ι – Θεωρητικό και Τεχνολογικό υπόβαθρο	22
Α. Ερευνητικό αντικείμενο και ώθηση.....	22
1. Διαχείριση κυκλοφορίας και στάθμευση	22
2. Σχετικές προσεγγίσεις-εργασίες.....	24
3. Αξιοποίηση της τεχνολογίας των WSN.....	25
Β. Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.....	26
1. Ορισμός, προορισμός και εξέλιξη	26
2. Απαιτήσεις και προκλήσεις.....	29
3. Εφαρμογές	30
Γ. Τεχνολογία υλοποίησης.....	32
1. Λειτουργικά χαρακτηριστικά (software)	32
2. Τεχνικά χαρακτηριστικά υλικού (hardware).....	36
Μέρος ΙΙ – Διαδικασία Σχεδίασης	48
Α. Στάδια εξέλιξης	48
Μοντέλο συστήματος 1 – Μηχανολογικός αισθητήρας	48
Μοντέλο συστήματος 2 – Υπέρυθρος αισθητήρας	49
Μοντέλο συστήματος 3 – Σύνθεση τεχνολογιών αισθητηρίων οργάνων	53
Τελικό μοντέλο συστήματος – Σημεία ειδικού ερευνητικού ενδιαφέροντος.....	54
Ανασκόπηση των λειτουργικών συστημάτων που απαντήθηκαν.....	57
Β. Υποθέσεις εργασίας	59
Γ. Αρχιτεκτονική συστήματος	61
1. Υποσυστήματα	61
2. Διάγραμμα ροής δεδομένων.....	64
Μέρος ΙΙΙ – Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας	67
Α. Απαιτήσεις	67
1. Συμβατικές.....	67
2. Υλικού	68
3. Τελικής εφαρμογής	68
Β. Περιβάλλον εργασίας.....	69
Γ. Σενάρια προσομοίωσης	72

Δ. Εκκίνηση συστήματος.....	76
Μέρος IV – Περιγραφή υπολογιστικής διαδικασίας.....	83
A. Υλοποίηση συστήματος.....	83
1. Υποσυστήματα	83
2. Διάγραμμα ροής χρήσης	94
B. Ανάλυση ακατέργαστων δεδομένων.....	95
1. Επεξεργασία των μαγνητικής φύσεως δεδομένων.....	95
2. Επεξεργασία των υπέρυθρης φύσεως δεδομένων	99
Γ. Αλγόριθμος διαχείρισης συστήματος.....	101
Ανάλυση των περιπτώσεων.....	101
Μέρος V – Επίλογος.....	104
A. Μελέτη κόστους συστήματος.....	104
B. Συμπεράσματα.....	106
Γ. Προοπτικές μελλοντικής επέκτασης	107
Βελτιστοποίηση υλοποίησης	107
Επέκταση συστήματος	107
Αναβάθμιση λειτουργίας	109
Παράρτημα	113
A. Λεξιλόγιο	113
B. TinyOS Installation manual.....	115
Γ. Εντολές λειτουργίας και χρήσης του TinyOS.....	115
1. Εγκατάσταση nesC εφαρμογών στου κόμβους ανά περίπτωση έκδοσης.....	115
2. Οπτικοποιώντας τους γράφους των συνιστωσών.....	116
3. Χρήσιμες εντολές του λειτουργικού TinyOS.....	116
Δ. Κώδικας υποβοηθητικών προγραμμάτων	117
1. Γραφική αναπαράσταση των υπέρυθρων δεδομένων	117
2. Προσομοίωση των πειραματικών αποτελεσμάτων του HMC1002.....	118
E. Επιπλέον ερευνητικό υλικό	119
1. PL-2303 USB-to-Serial Adapter User Installation Manual	119
2. Συγκριτική απόδοση τεχνολογιών αισθητηρίων οργάνων	120
3. Επιπλέον τεχνικά χαρακτηριστικά του σένσορα Mica2	121
4. Το SET/RESET κύκλωμα και το φαινόμενο κορεσμού του HMC1002	121
5. Ο υπέρυθρος αισθητήρας “NaPiOn” με μια πιο διεισδυτική ματιά	122
6. Αποτελέσματα πειραματικής διαδικασίας	123
Βιβλιογραφία.....	126

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 – Αριθμός επιβατικών οχημάτων ανά κάτοικο.....	22
Εικόνα 2 – Αποτελέσματα ερευνών σχετικά με αναζήτηση θέσης στάθμευσης.....	24
Εικόνα 3 – Τα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς Ανοικτής Διασύνδεσης Συστημάτων.....	27
Εικόνα 4 – Χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων.....	28
Εικόνα 5 – Τρεις γενιές κόμβων αισθητήρων.....	28
Εικόνα 6 – Τοπολογία και εφαρμογές δικτύων αισθητήρων σε τομείς υψηλού κινδύνου.....	30
Εικόνα 7 – Λογότυπο του λογισμικού TinyOS.....	32
Εικόνα 8 – Σχηματική απόδοση της αρχιτεκτονικής του TinyOS.....	33
Εικόνα 9 – Η δομή (components και wiring) της απλούστερης εφαρμογής, Blink.....	35
Εικόνα 10 – Επεξήγηση του γράφου συνιστωσών.....	35
Εικόνα 11 – Τυπική δομή αρχιτεκτονικής ενός WSN.....	36
Εικόνα 12 – Συνοπτική απόδοση των βασικών υποσυστημάτων από σκοπιάς υλικού.....	37
Εικόνα 13 – Σχηματική απεικόνιση του MPR400CB.....	38
Εικόνα 14 – Διάγραμμα πλατφόρμας κόμβου.....	38
Εικόνα 15 – Η βαθμίδα διεπαφής και προγραμματισμού για την κλάση MicaX, MIB510CA.....	39
Εικόνα 16 – Μπροσ και πίσω όψη του σένσορα Tmote Sky.....	40
Εικόνα 17 – Άποψη του MTS310 sensor board.....	41
Εικόνα 18 – Κάτοψη του WiEye sensor board.....	42
Εικόνα 19 – Απεικόνιση, κυκλωματική και μικροηλεκτρονική απόδοση του HMC1002.....	43
Εικόνα 20 – Αρχή ενεργοποίησης του AMR.....	44
Εικόνα 21 – Επίδραση στο μαγνητικό πεδίο παρουσία φέροντος αντικειμένου.....	44
Εικόνα 22 – Απεικόνιση, κυκλωματική και μικροηλεκτρονική απόδοση του AMN44121.....	45
Εικόνα 23 – Αρχή λειτουργίας ανίχνευσης ενός υπέρυθρου αισθητήρα.....	45
Εικόνα 24 – Ζώνες ανίχνευσης και τρόπος αποτύπωσης ερεθίσματος του AMN44121.....	46
Εικόνα 25 – Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος με μηχανολογικό αισθητήρα.....	49
Εικόνα 26 – Κάτοψη με την ελάχιστη απόσταση κόμβων ώστε μη επικάλυψη.....	50
Εικόνα 27 – Μελέτη βέλτιστης απόστασης κόμβων.....	51
Εικόνα 28 – Κυματομορφή εξόδου NaPiOn εγκατεστημένου κάτω από δέντρο.....	52
Εικόνα 29 – Περιορισμός πεδίου εντοπισμού του NaPiOn.....	52
Εικόνα 30 – Ιδιόχειρη κατασκευή περιορισμού του εύρους του κώνου του NaPiOn.....	52
Εικόνα 31 – Κυματομορφή εξόδου ακουστικού αισθητήρα.....	53
Εικόνα 32 – Απόκριση των μαγνητικών ροών παρουσία οχήματος.....	55
Εικόνα 33 – Απόκριση εξόδου HMC1002 με εγκατεστημένο κώδικα έκδοσης [2.1.1].....	56
Εικόνα 34 – Μεταβολές στην κυματομορφή εξόδου του HMC1002 καθώς τον μετακινούμε στο χώρο.....	57
Εικόνα 35 – Η πλατφόρμα Moteworks και η εκεί απόκριση του μαγνητικού αισθητήρα.....	58
Εικόνα 36 – Μοντέλο συστήματος 2β. Χρήση δύο αισθητήρων ανά θέση για την ανίχνευση κακόβουλων οδηγών.....	60
Εικόνα 37 – Αρχιτεκτονική του συστήματος.....	61
Εικόνα 38 – Αναπαράσταση του υποσυστήματος συλλογής δεδομένων.....	62
Εικόνα 39 – Η ιστοσελίδα εισόδου της διαδικτυακής πλατφόρμας της υπηρεσίας.....	64

Εικόνα 40 – Περιβάλλον προσομοίωσης οδού	69
Εικόνα 41 – Συνολική απεικόνιση του περιβάλλοντος πειραμάτων	70
Εικόνα 42 – Κωδικοποίηση των πειραμάτων προσομοίωσης	73
Εικόνα 43 – Ενδεικτική κυματομορφή πειράματος 1	74
Εικόνα 44 – Ενδεικτική κυματομορφή πειράματος 2	74
Εικόνα 45 – Ενδεικτική κυματομορφή πειράματος 3	75
Εικόνα 46 – Ενδεικτική κυματομορφή πειράματος 4	75
Εικόνα 47 – Εκκίνηση του προγράμματος U_PARK	79
Εικόνα 48 – Το πρόγραμμα U_PARK μετά την επανεκκίνηση ως επιλογή χρήστη	79
Εικόνα 49 – Στιγμιότυπο εκτέλεσης του προγράμματος, init_DB	80
Εικόνα 50 – Στιγμιότυπο εκτέλεσης του προγράμματος, update_clks	80
Εικόνα 51 – Το περιβάλλον προγραμματισμού NetBeans IDE 6.9.1	81
Εικόνα 52 – Η εφαρμογή Oscilloscope μέσα από το ομώνυμο αρχείο .nc	84
Εικόνα 53 – Το “νέο” component Magg, η τροποποιημένη εκδοχή του DemoSensorC, και το MagSetting	85
Εικόνα 54 – Δομή του πακέτου επικοινωνίας για τις εκδόσεις του TinyOS λειτουργικού	86
Εικόνα 55 – Η εσωτερική δομή του πίνακα <i>sensor_state</i>	88
Εικόνα 56 – Η εσωτερική δομή του πίνακα <i>nodes</i>	88
Εικόνα 57 – Μοντέλο διαχωρισμού του πολεοδομικού ιστού της πόλης του Βόλου σε ζώνες αναφοράς	89
Εικόνα 58 – Στιγμιότυπο χρήσης της διαδικτυακής διεπαφής χρήστη-πελάτη	92
Εικόνα 59 – Στιγμιότυπο χρήσης της διαδικτυακής διεπαφής χρήστη-διαχειριστή	92
Εικόνα 60 – Η ιστοσελίδα εξόδου της διαδικτυακής πλατφόρμας της υπηρεσίας	93
Εικόνα 61 – Οι περιοχές λειτουργίας του συστήματος	96
Εικόνα 62 – Ενδεικτική κυματομορφή επεξήγησης των καταστάσεων του συστήματος	97
Εικόνα 63 – Εντοπισμός στάθμευσης κακόβουλου χρήστη. Η αξία χρήσης του NaPiOn	99
Εικόνα 64 – Απόκριση του NaPiOn σε στιγμιαίο ερέθισμα	100
Εικόνα 65 – Απεικόνιση της συλλογιστικής του αλγορίθμου διαχείρισης του συστήματος	102
Εικόνα 66 – Σκαρίφημα του προστατευτικού κελύφους	105
Εικόνα 67 – Παράδειγμα χρήσης διεπαφής χρήστη μέσω αποστολής τηλεφωνικών μηνυμάτων	110
Εικόνα 68 – Η δομή (components και wiring) της απλούστερης εφαρμογής, Blink	116
Εικόνα 69 – Κώδικας γραφικής αποτίμησης των υπέρυθρων δεδομένων και δύο σενάρια ανίχνευσης	117
Εικόνα 70 – Πρόγραμμα σε Mathematica για την προσομοίωση σεναρίου ανίχνευσης του HMC1002	119
Εικόνα 71 – Συγκριτικός πίνακας διαφόρων τεχνολογιών αισθητηρίων οργάνων	120
Εικόνα 72 – Τεχνικά χαρακτηριστικά Mica2	121
Εικόνα 73 – Η διάταξη των στοιχείων του HMC1002 πριν και μετά την εφαρμογή του κυκλώματος Set/Reset	122
Εικόνα 74 – Η αρχή λειτουργίας των ζωνών εντοπισμού του NaPiOn	122
Εικόνα 75 – Κυματομορφή εξόδου πειράματος: MG-D2-CAR-PARK-VRT-F	123
Εικόνα 76 – Κυματομορφή εξόδου πειράματος: MG-D3-CAR-PARK-CLR-DIR-B	124
Εικόνα 77 – Κυματομορφή εξόδου πειράματος: MG-D2-CAR-PRL-NCL-B-0	124

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ ΚΑΙ ΑΚΡΟΝΥΜΙΩΝ

API	Application Programming Interface
JDBC	Java Database Connectivity
API	Application Programming Interface
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
FET	Field Effect Transistor
FIFO	First-in-First-out
FSK	Frequency Shift Keying
GIS	Geographic Information System
I/O	Input/Output
IDE	Integrated Development Environment
ITS	Intelligent Transport Systems
JTAG	Joint Test Action Group
Kbps	Kilobits per second
MEMS	Microelectromechanical Systems
OS	Operating System
OSI	Open Systems Interconnection
PDA	Personal Digital Assistants
PMMA	Poly(methyl methacrylate)
RAM	Random Access Memory
RDBMS	Relational Database Management System
RF	Radio Frequency
SMS	Short Message Service
SQL	Structured Query Language
TOSSIM	TinyOS SIMulation environment
UCLA	University of California, Los Angeles

USB	Universal Serial Bus
WSN	Wireless Sensor Networks
Ε.Ε.	Ευρωπαϊκή Επιτροπή
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής
ΙΤΕ	Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας
ΣΕΣ	Σύστημα Ελεγχόμενης Στάθμευσης

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου που μου παρείχε τη δυνατότητα να ανακαλύψω τις πραγματικές μου δυνάμεις και να αξιοποιήσω στο μέγιστο βαθμό την εκπαίδευση που αποκόμισα από τα πρώτα μαθητικά μου χρόνια μέχρι και τις πανεπιστημιακές αίθουσες. Ευχαριστώ δε θερμά τον καθηγητή κ. Γεώργιο Σταμούλη ως επιβλέπων της εργασίας, και τον καθηγητή κ. Παναγιώτη Κίκιρα που με καθοδήγησε σωστά μακριά από σκοπέλους στο ταξίδι μου στα άγνωστα νερά των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Συμπαραστάτης και άξιος βοηθός ο διδακτορικός φοιτητής Λεωνίδα Περλεπές, παρών σε οποιοδήποτε κέλευσμα για υποστήριξη.

Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Εισαγωγή

A. Ορισμός ερευνητικού προβλήματος

Η χάραξη μιας ορθά στοχευόμενης πολιτικής στα πλαίσια του πολεοδομικού σχεδιασμού ενός σύγχρονου αστικού περιβάλλοντος, προϋποθέτει την αναγωγή της διαχείρισης κυκλοφορίας εντός του πολεοδομικού ιστού, ως ένα μείζον και επιτακτικό ζήτημα προς επίλυση. Η ίδια η βιώσιμος και αειφόρος ανάπτυξη του αστικού τοπίου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το πρόβλημα αυτό που οφείλεται μεταξύ άλλων, στην πληθυσμιακή αύξηση των οχημάτων και στο συνεχώς διογκούμενο κύμα αστυφιλίας.

Βασική συνιστώσα του προβλήματος της κυκλοφοριακής συμφόρησης και συνακόλουθα σημαντικός παράγων καθορισμού της ποιότητας ζωής ενός αστικού περιβάλλοντος, είναι αναντίρρητα η διαδικασία στάθμευσης κατά τη χρήση ενός οχήματος. Αναμφίβολα, σημείο εκκίνησης και τερματισμού της πορείας ενός οχήματος είναι μια θέση στάθμευσης. Αναλογικά, η διαδικασία εύρεσης θέσης είναι ένα χρονοβόρο και δαπανηρό στάδιο των αστικών μεταφορών, καθημερινός πονοκέφαλος για χιλιάδες οδηγούς και διευθύνσεις πολεοδομίας σε μια σύγχρονη πόλη. Η αναζήτηση παρόδιας ελεύθερης θέσης στάθμευσης σε πυκνοκατοικημένες περιοχές καταλήγει συχνά εφάμιλλη με την αναζήτηση του “Αγίου Δισκοπότηρου” και η επίλυση του προβλήματος αυτού απαιτεί τον καθορισμό σωστά κατευθυνόμενων και αποδοτικών πολιτικών στάθμευσης.

Η συστηματική μελέτη του προβλήματος αυτού είναι αντικείμενο έρευνας τα τελευταία μόλις χρόνια και σίγουρα αναντίστοιχη της επιτακτικότητας επίλυσής του. Οι έως τώρα υιοθετημένες και εφαρμοσμένες λύσεις –ειδικά στον Ελλαδικό αστικό χώρο– μοιάζουν να μη συμβαδίζουν με τις δυνατότητες που παρέχει η σύγχρονη τεχνογνωσία στον τομέα των λεγομένων “έξυπνων τεχνολογιών”. Αυτή η αδυναμία και ολιγωρία οφείλεται σε μια σειρά παραγόντων όπου ειδικά στην εγχώρια περίπτωση, δεν είναι άσχετη από την απουσία χάραξης πολιτικής σε κεντρικό επίπεδο και μια παθογενή προσκόλληση σε λύσεις που έχουν αποδειχτεί αναποτελεσματικές, μη αποδοτικές, χωρίς όραμα, και αναμφίβολα μακριά από μια προσπάθεια να κερδηθεί το πολυδιαφημισμένο στοίχημα περί –καθυστερημένης έστω– μετάβασης σε μια ψηφιακή εποχή.

Η καινοτόμος λύση που προτείνεται, βασίζεται στην αναδυόμενη τεχνολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και έρχεται να αξιοποιήσει τα πολλαπλά οφέλη που έχουν να προσφέρουν αυτές οι πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες, αλλάζοντας άρδην τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε το σύγχρονο αστικό τοπίο. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks – WSN) έρχονται να προσδώσουν πληροφορίες πραγματικού χρόνου σε τομείς όπου φαντάζονταν μέχρι πρότινος ως ανέφικτη η αξιοποίηση υποδομών τεχνολογιών πληροφόρησης. Η δυναμική χρήσης μιας τέτοιας τεχνογνωσίας είναι ικανή να επιφέρει ολικές ανατροπές στον τρόπο χάραξης του γενικότερου πολεοδομικού σχεδιασμού, κάτι το οποίο διαφαίνεται κάνοντας μια απλή αναγωγή των έως τώρα επιτυχών αποτελεσμάτων της διείδυσης των τεχνολογιών αυτών σε μια σειρά από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες.

B. Αντικείμενο εργασίας

Στο πνεύμα των όσων αναφέρθηκαν ανωτέρω, οι λύσεις οι οποίες θα πρέπει να προτείνονται οφείλουν να διαπνέονται από μακρόπνοο σχεδιασμό προκειμένου να ανταποκριθούν αποτελεσματικά στην άμεση αποσυμφόρηση του κυκλοφοριακού ιστού αλλά και μακροσκοπικά, στην τάση συνεχούς διεύρυνσης των αστικών κέντρων σε μητροπολιτικές δομές αποκαλούμενες ως “*megacities*”^{[1][2]}. Κρίνεται λοιπόν έτσι ως επιτακτική η ανάγκη διερεύνησης κατά πόσον πράγματι μπορούν να υιοθετηθούν τέτοιες πρακτικές προσέγγισης στο δυσεπίλυτο πρόβλημα της αναζήτησης παρόδιας ελεύθερης θέσης στάθμευσης.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ενδεδειγμένη μελέτη και εφαρμογή ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων στα πλαίσια κατασκευής ενός συστήματος διαχείρισης και υποβοήθησης στάθμευσης σε μικροκλίμακα, που θα προσομοιώνει τις πραγματικές συνθήκες ενός χώρου σε αστικό περιβάλλον. Στόχος αποτελεί η υλοποίηση και η πειραματική επαλήθευση του συστήματος που συνίσταται από τις εξής τρεις ιεραρχημένες δομές. Ένα κατάλληλα επιλεγμένο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων υπεύθυνο για την αποδοτική συλλογή δεδομένων –αναφορικά με την παρουσία ή μη οχημάτων στον υπό εποπτεία χώρο-θέση-, ένα σύστημα επεξεργασίας των υπό συλλογή δεδομένων και αποθήκευσής των σε βάσεις δεδομένων και τέλος, μια πλήρη και ολοκληρωμένη διαδικτυακή διεπαφή χρήστη της υπηρεσίας όπου θα παρέχεται η δυνατότητα απεικόνισης της κατάστασης του συστήματος, δηλαδή των ελεύθερων ή/και κατειλημμένων θέσεων στάθμευσης καθώς και πλήθος άλλων διαχειριστικών εργαλείων-υπηρεσιών που θα καθιστούν το σύστημα ως μια πραγματικά βιώσιμη και αξιόπιστη λύση.

Η προσομοίωση της ορθής λειτουργίας του συστήματος θα πραγματοποιηθεί σε ελεγχόμενο περιβάλλον ώστε να εξαχθούν τα απαραίτητα και ασφαλή συμπεράσματα και να προκύψει ένα κατάλληλο θεωρητικό υπόβαθρο που θα αποτελέσει τη βάση για την περαιτέρω βελτιστοποίηση του συστήματος και την τελική αναγωγή του σε επιχειρηματικό προϊόν.

Γ. Ερευνητικές ερωτήσεις

Πρωταρχικός σκοπός της εργασίας είναι η υλοποίηση ενός συστήματος που θα δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να εντοπίζει μια ελεύθερη θέση στάθμευσης και να κατευθύνεται προς αυτή. Καθόλα τα στάδια υλοποίησης της εργασίας κρίθηκε αναγκαία η απάντηση ορισμένων κρίσιμων ερωτημάτων με σκοπό να κατευθυνθεί σωστά η διαδικασία προς ένα βέλτιστο δυνατόν αποτέλεσμα.

- ✓ **Θεμελιώδες ερώτημα** : Πως μπορούμε να παρέχουμε τη δυνατότητα στους οδηγούς οχημάτων να εντοπίζουν και να κατευθύνονται εύκολα προς μια ελεύθερη θέση στάθμευσης πλησίον του προορισμού τους?

- ✓ Με τι είδους τεχνολογία θα διαπιστώνουμε την ύπαρξη ή μη ενός οχήματος πάνω από μια οριοθετημένη θέση στάθμευσης?
- ✓ Πως θα επιλέξουμε εκείνο το σύστημα που θα μεταφέρει αυτή την πληροφορία αξιόπιστα, αποδοτικά και με το ελάχιστο κόστος?
- ✓ Ποια τεχνολογία WSN είναι η ενδεδειγμένη κατά το στάδιο συλλογής των δεδομένων?
- ✓ Πως θα αποτιμούμε σωστά την πληροφορία αυτή ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμη και διαχειρίσιμη?
- ✓ Πως μπορούμε να αποτυπώσουμε την πληροφορία αυτή με χρήση κάποιου εργαλείου [GIS](#)?
- ✓ Ποια εργαλεία θα επιλέξουμε ώστε να μοντελοποιήσουμε το σύστημα στο σύνολό του και να του προσδώσουμε μορφή παρεχόμενης υπηρεσίας σε ένα εν δυνάμει καταναλωτικό κοινό?

Δ. Μεθοδολογία

Η περιοχή μελέτης της εργασίας είναι διαρθρωμένη σε διακριτά στάδια. Αρχικά, θα έπρεπε να επιλεγεί ένα σύστημα συλλογής δεδομένων που θα ανίχνευε αποδοτικά την παρουσία ή μη ενός οχήματος στον υπό εποπτεία χώρο. Μετά από έρευνα κρίθηκαν ως προτιμητέα επιλογή αισθητήρες που παρέχουν δυνατότητα συλλογής δεδομένων μαγνητικής φύσεως. Σε δευτερεύον και επικουρικό επίπεδο χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες που επιτρέπουν την ανίχνευση κίνησης στο υπέρυθρο φάσμα.

Ακολούθως, η διαδικασία επικεντρώθηκε στην αποτίμηση των δεδομένων σε γεγονότα ανίχνευσης μέσω της αλγοριθμικής επεξεργασίας τους και στην υπό κατάλληλη μορφή αποθήκευσή τους σε βάση δεδομένων στο σταθμό βάσης.

Ως επόμενο στάδιο υλοποιήθηκαν προγράμματα σε γλώσσα Java που έχουν επωμιστεί την ευθύνη εποπτείας του συστήματος από την στιγμή ενεργοποίησής του.

Αναπτύχθηκε αλγόριθμος που αναλύει τα καταγεγραμμένα συμβάντα και ανάλογα με τους δυνατούς συνδυασμούς κατάστασης των αισθητήρων ανίχνευσης, καθορίζει εάν η αντίστοιχη θέση στάθμευσης είναι κατειλημμένη ή όχι, εγγράφοντας το αποτέλεσμα σε δεύτερη βάση δεδομένων.

Τελικό στάδιο αποτέλεσε η υλοποίηση μιας διαδικτυακής διεπαφής χρήστη όπου πραγματοποιείται η αποτίμηση και η απεικόνιση της συλλεγείσας πληροφορίας μετά την εξόρυξή της από τη βάση δεδομένων. Η αξιολόγηση της εύρυθμης και εύρωστης λειτουργίας του συστήματος περιελάμβανε πειράματα επαλήθευσης σε εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον καθώς και σενάρια λειτουργίας με διαφορετικά αντικείμενα προς ανίχνευση (πεζοί, ποδήλατα, αυτοκίνητα, κτλ).

Συμπεριλαμβάνεται επίσης ένας αριθμός από υποβοηθητικά προγράμματα και χειρίδια χρήσης του TinyOS λειτουργικού συστήματος που αναπτύχθηκαν καθόλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας, αναδεικνύοντας έτσι συνολικά μια κατανεμημένη προσέγγιση και αντιμετώπιση του πολυδιάστατου αυτού ερευνητικού προβλήματος.

E. Διάρθρωση εργασίας

Στο πρώτο μέρος της εργασίας γίνεται μια εκτενής αναφορά στο θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο του αντικείμενου μελέτης. Ξεκινώντας από τον πυρήνα του προβλήματος και παρόμοιες ερευνητικές προσεγγίσεις, ακολουθεί μια περιεκτική εισαγωγή στις τεχνολογίες WSN, τα θεωρητικά τους χαρακτηριστικά, απαιτήσεις και εφαρμογές χρήσης. Καταληκτικά, γίνεται αναφορά στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν στα διάφορα στάδια εκπόνησης της εργασίας, τόσο σε επίπεδο hardware όσο και σε επίπεδο software.

Στο δεύτερο μέρος περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία σχεδίασης του συστήματος, τα διάφορα στάδια από τα οποία διήλθε μέχρι την τελική του μορφή, καθώς και η προβληματική που αναπτύχθηκε μέσα από τις υποθέσεις εργασίας που τέθηκαν. Αναλύεται δε, διεξοδικά η αρχιτεκτονική του συστήματος με τα διάφορα επιμέρους υποσυστήματα που το απαρτίζουν, ενώ στα πλαίσια μιας πληρέστερης απόδοσης και επεξήγησης του συστήματος, παρατίθενται επεξηγηματικά διαγράμματα ροής των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ των υποσυστημάτων αυτών.

Στο τρίτο μέρος δίδεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την επαλήθευση λειτουργίας του συστήματος, οι ιδιαίτερες απαιτήσεις που θα έπρεπε να διέπουν το σύστημα αλλά και εν τέλει τα πειράματα αυτά, τα σενάρια όπως αυτά αναπτύχθηκαν σε πραγματικό χρόνο, και συνολικά η μεθοδολογία που επέτρεψε την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων ως προς την αξιολόγηση του συστήματος σε κανονικές επιχειρησιακές συνθήκες.

Στο τέταρτο μέρος παρουσιάζεται η υπολογιστική διαδικασία της υλοποίησης του συστήματος, ήτοι ο τρόπος και η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκαν και συνιστούν τα επιμέρους υποσυστήματα, καθώς και η μεθοδολογία που επιλέχθηκε για να αναλύονται τα υπό συλλογή δεδομένα. Γίνεται μια πλήρης ανάλυση της συλλογιστικής του αλγορίθμου που αποτελεί την καρδιά του συστήματος με τα δυο διακριτά στάδια, αυτό της ανάλυσης των ακατέργαστων δεδομένων και αυτό του κυρίως υποσυστήματος διαχείρισης.

Στο πέμπτο και τελευταίο μέρος, εν ιδει επιλόγου, παρουσιάζεται μια εκτίμηση του κόστους πιθανής ανάπτυξης του συστήματος, τα συμπεράσματα που αποκομίστηκαν καθόλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας αυτής και κλείνοντας, γίνονται αναφορές στον τρόπο που αυτή θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί στο μέλλον για μια ακόμη πιο πληρέστερη αντιμετώπιση του προβλήματος και την τελική αναγωγή του σε επιχειρηματικό προϊόν.

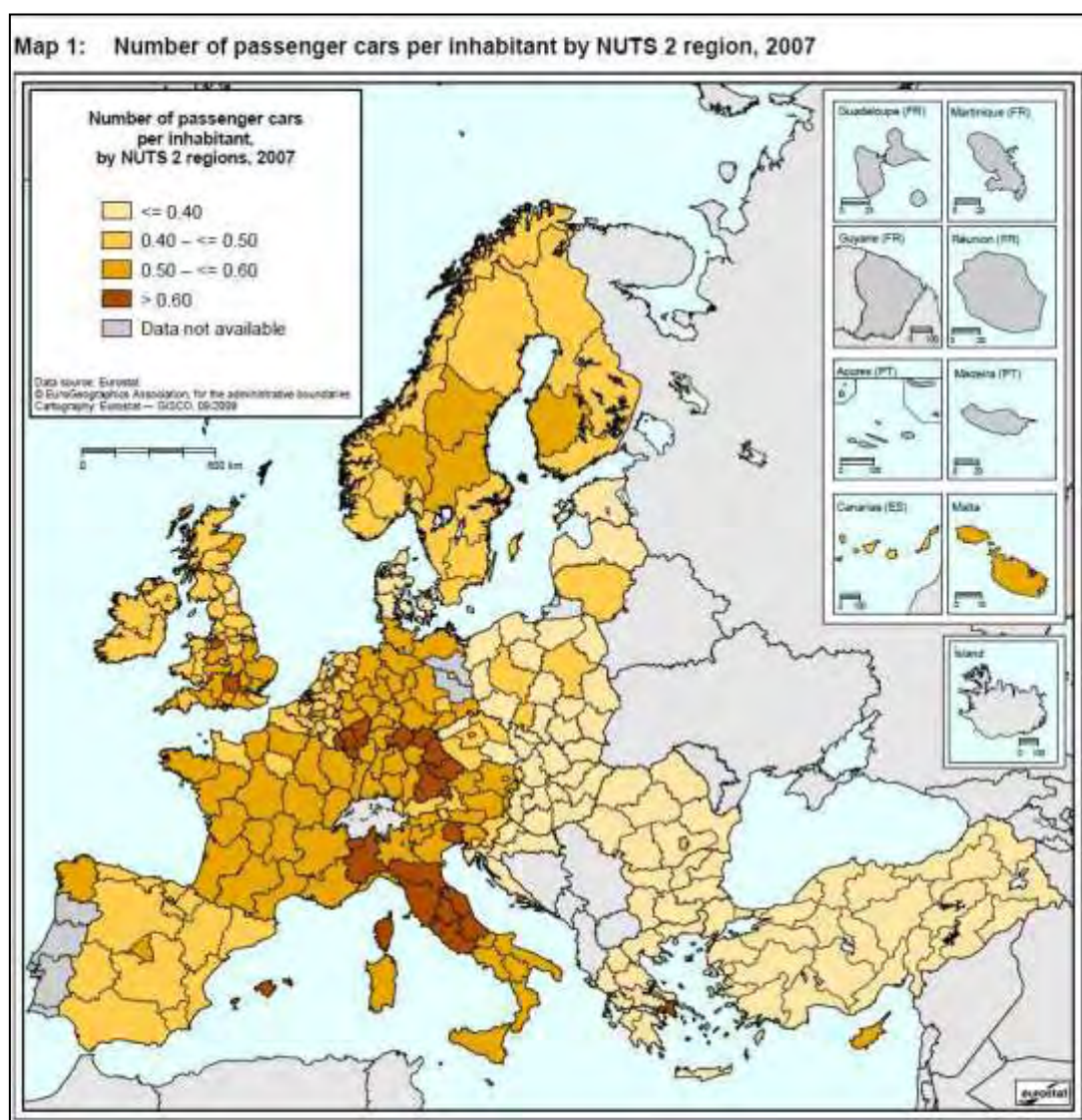
Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Μέρος Ι – Θεωρητικό και Τεχνολογικό υπόβαθρο

Α. Ερευνητικό αντικείμενο και όθηση

1. Διαχείριση κυκλοφορίας και στάθμευση

Η δεδομένη και συνεχιζόμενη αύξηση του αριθμού των οχημάτων που κυκλοφορούν στα σύγχρονα αστικά κέντρα έχει αναντίρρητα εγείρει προβληματισμούς αναφορικά με το ποσοστό και τον τρόπο χρήσης τους στα πλαίσια των αστικών μετακινήσεων. Είναι πρόδηλες πλέον οι δυσμενείς επιπτώσεις με την μορφή κυκλοφοριακής συμφόρησης και την συνακόλουθη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας, και επιτακτική έτσι η ανάγκη για την αποτελέματωση ενός φαινομένου που δικαίως έχει χαρακτηριστεί ως το μείζον πρόβλημα της εποχής.^[3]



Εικόνα 1 – Αριθμός επιβατικών οχημάτων ανά κάτοικο

Η κρισιμότητα του προβλήματος στον τομέα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποδεικνύεται και από μελέτες που εκπονούνται κατά καιρούς από τις αρμόδιες αρχές

στα πλαίσια ανάλυσής του και σωστής στόχευσης κατά τη διαδικασία εύρεσης πολιτικών λύσης. Σε τοπικό επίπεδο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης του Γραφείου Δοξιάδη^[4] κατά παραγγελία της υπ' αρ. 434/2005 απόφασης της Δ.Ε. του Δήμου Βόλου, προκύπτει ότι συνολικά η κυκλοφορία οχημάτων (κυρίως τα πετρελαιοκίνητα οχήματα αλλά και τα βενζινοκίνητα και η επαναιώρηση της σκόνης του οδοστρώματος) έχει το σημαντικότερο ποσοστό συμμετοχής στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις **PM10** που καταγράφονται στο κέντρο του πολεοδομικού ιστού κατά ένα ποσοστό της τάξης του 57.7%. Στο ίδιο πνεύμα κινείται και η έρευνα υπό τον Σουηδό καθηγητή Höglund^[14] βάση της οποίας προέκυψε ότι η περιήγηση για αναζήτηση κλειστού χώρου στάθμευσης προκαλεί 40% λιγότερη εκπομπή αερίων σε σύγκριση με την αναζήτηση παρόδιας θέσης. Συνεπώς η ατμοσφαιρική επιβάρυνση θα μπορούσε να ελαττωθεί κατά το ίδιο ποσοστό εάν και εφόσον θα μπορούσε να βρεθεί λύση στο πρόβλημα της αναζήτησης παρόδιας ελεύθερης θέσης.

Ως προς τη διάσταση του προβλήματος υπό την μορφή του φαινομένου της κυκλοφοριακής δυσχέρειας, θα παρατηρήσουμε γενικά πως στο οδικό σύστημα μεταφορών η χρησιμότητα και ο βαθμός εξυπηρέτησης που προσφέρει ένα όχημα εξαρτώνται ιδιαίτερα από την εξασφάλιση κατάλληλων χώρων στάθμευσης στα άκρα των διαδρομών που πραγματοποιεί. Σύμφωνα με τη σχετική θεωρία του κλάδου των συγκοινωνιών, η ιδιαίτερη σημασία της στάθμευσης ως αναπόσπαστης διαδικασίας των αστικών μετακινήσεων εδράζεται τόσο στην αξία του χρόνου που δαπανάται κατά τη διάρκεια αυτής, όσο και στην αξία του χώρου που διατίθεται γι' αυτήν. Σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στα αντίστοιχα εγχειρίδια,^[5] η επιφάνεια στάθμευσης που αναλογεί σε ένα άτομο που χρησιμοποιεί επιβατικό αυτοκίνητο από και προς το χώρο εργασίας, είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των επιφανειών που αναλογούν για κατοικία και εργασία. Η διαδικασία εύρεσης ελεύθερης θέσης δεν είναι εύκολο να μοντελοποιηθεί διότι είναι δύσκολο πρακτικά να μετρηθεί ο απαιτούμενος χρόνος, καθόσον εξαρτάται από εγγενώς τυχαίους παράγοντες. Μετά από πολύχρονες μελέτες έχει αποδειχθεί ότι αυτή η χρονική διάρκεια δεν είναι αμελητέα και συγκεκριμένα^[6] ο χρόνος περιήγησης σε πυκνοκατοικημένες περιοχές μπορεί προσεγγιστεί και να αποδοθεί σε ένα εύρος μεταξύ 3,5 και 14 λεπτών, και επιπροσθέτως, συνολικά 8 έως 74% της κυκλοφορίας αφορά τη διαδικασία αναζήτησης θέσης. Στα παραπάνω έρχεται να προστεθεί και το γεγονός ότι προσεγγιστικά το όχημα παραμένει αδρανές και σταθμευμένο πλέον του 95% του ετήσιου συνολικού χρόνου χρήσης για επιβατικά και 85% για βαρέα οχήματα.^[9]

Η αναζήτηση παρόδιας ελεύθερης θέσης στάθμευσης αξιώνει την σπατάλη χρόνου μέχρι την επίτευξη του ενίοτε ανέφικτου, επιδρά στην αύξηση του κόστους των αστικών μετακινήσεων, και συνακόλουθα επιβαρύνει το περιβάλλον όχι μόνο με τα αέρια κατάλοιπα αυτής (όπως αναλύθηκε ανωτέρω) αλλά και με την ανατροφοδότηση του αδηφάγου κύτους της εξάντλησης του πεπερασμένου ορυκτού πλούτου. Κρίνεται λοιπόν επιτακτική όσο ποτέ η υιοθέτηση ρηξικέλευθων προτάσεων διαχείρισης του προβλήματος που θα εναρμονίζονται και θα αξιοποιούν στο έπακρο τη διαθέσιμη σύγχρονη “έξυπνη” τεχνολογία.

2. Σχετικές προσεγγίσεις-εργασίες

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, η αντιμετώπιση του προβλήματος της αναζήτησης στάθμευσης σε ένα πολεοδομικό συγκρότημα ως διακριτό αντικείμενο μελέτης και έρευνας δεν είναι παρά προσπάθεια των τελευταίων μόλις ετών.

Ξεχωριστή θέση στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν οι μελέτες υπό τον καθηγητή του [UCLA](#), Donald C. Shoup ο οποίος μετά από εκτεταμένες έρευνες δεκαετιών κατέληξε μέσα από μια ολιστική αντιμετώπιση του ζητήματος σε μια σειρά από ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Αποτύπωσε τις συνήθειες των οδηγών οχημάτων μοντελοποιώντας τη συμπεριφορά τους συναρτήσει του κόστους των διαθέσιμων παρόδιων και κλειστών θέσεων στάθμευσης,^[6] αποδόμησε την έννοια της “ελεύθερης” θέσης μαθηματικοποιώντας το κόστος αναζήτησής της^[7] και αξιολόγησε τις πολιτικές στάθμευσης αναφορικά με το επιβαλλόμενο ανταποδοτικό τέλος χρήσης των παρόδιων θέσεων.^[8]

Ο καθηγητής και διευθυντής του Κέντρου Συγκοινωνιακής Πολιτικής των [ΗΠΑ](#), Kenneth Button, εξέτασε τις επιδράσεις των διοικητικού χαρακτήρα εφαρμόσιμων πολιτικών στάθμευσης.^[9] Κατόπιν έρευνας υποστήριξε πως η υιοθέτηση πολιτικών στάθμευσης είναι η δεύτερη καλύτερη λύση στην καταπολέμηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και αυτό οφείλεται στην αδυναμία των αρμοδίων αρχών να χειριστούν την κατανομημένη αντήχηση της επιβολής ανταποδοτικών τελών χρήσης επί των παρόδιων χώρων στάθμευσης.

Year	City	Share of traffic cruising (percent)	Average search time (min)
1927	Detroit (1)	19%	
1927	Detroit (2)	34%	
1933	Washington		8.0
1960	New Haven	17%	
1965	London (1)		6.1
1965	London (2)		3.5
1965	London (3)		3.6
1977	Freiburg	74%	6.0
1984	Jerusalem		9.0
1985	Cambridge	30%	11.5
1993	Cape Town		12.2
1993	New York (1)	8%	7.9
1993	New York (2)		10.2
1993	New York (3)		13.9
1997	San Francisco		6.5
2001	Sydney		6.5
Average		30	8.1

Note: The numbers after Detroit, London, and New York refer to different locations within the same city.

Εικόνα 2 – Αποτελέσματα ερευνών σχετικά με αναζήτηση θέσης στάθμευσης. Πηγή: [6]

Πέραν αυτής της θεωρητικής ανάλυσης του ζητήματος –αντικείμενο μελέτης κυρίως για άλλους πολυτεχνικούς κλάδους– είναι αναγκαίο να αναφερθούμε σε πιο πρακτικές προσεγγίσεις με σαφείς στόχους να επιλύσουν το ίδιο πρόβλημα, από διαφορετική όμως σκοπιά σε σχέση με αυτήν της παρούσας εργασίας. Πρόκειται για ερευνητικές δραστηριότητες που κατά βάση αξιοποιούν τεχνολογίες [ITS](#) και επέτρεψαν την υλοποίηση συστημάτων κατάδειξης ελεύθερων θέσεων στάθμευσης. Ενδεικτικά αναφέρουμε το “Σύστημα Ελεγχόμενης Στάθμευσης mobiPARK”^[10] που εφαρμόζεται ήδη στην πόλη των Τρικάλων και αλλού, καθώς και παρόμοιας λογικής εγχειρήματα όπως το “i-Park”.^[11] Τέλος στο ίδιο μοτίβο αξιοποίησης και χρήσης εφαρμογών ITS αξίζει να σημειωθεί και η λειτουργία από τα Πανεπιστήμια NYU-Poly και Rutgers του New Jersey ενός συστήματος που βασίζεται σε τεχνολογία 4G.^[12] Μέσα από μια προηγμένη πραγματικού χρόνου πολυμεσικής ροής εφαρμογή (*multimedia stream application*) δίνεται η δυνατότητα εντοπισμού ελεύθερης θέσης στάθμευσης στο πολύβουο περιβάλλον μιας πραγματικής [μεγάπολης](#).

3. Αξιοποίηση της τεχνογνωσίας των WSN

Η εκπόνηση στρατηγικών για την αστική κινητικότητα οφείλει να χαράσσεται πάνω στην βάση ήπιων μορφών βιώσιμης κυκλοφορίας. Στα πλαίσια αυτής της φιλοσοφίας και με μακρόπνοο σχεδιασμό η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ([E.E.](#)) το 2007 συνέταξε το επονομαζόμενο “Πράσινο Βιβλίο” με κυρίαρχο στόχο τη διαμόρφωση ενός νέου πολιτισμού για την αστική κινητικότητα.^[10] Η ενέργεια αυτή σηματοδοτεί τη θέση της E.E. ότι τα ζητήματα της αστικής κινητικότητας αποτελούν μία από τις βασικές παραμέτρους για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης των πόλεων. Μεταξύ άλλων προσκαλείται η χάραξη μιας πολιτικής στην κατεύθυνση διαμόρφωσης “έξυπνων” αστικών μετακινήσεων, υποδεικνύοντας την αξιοποίηση τεχνολογιών και εφαρμογών ITS οι οποίες μοιάζουν στην παρούσα φάση αναξιοποίητες ή χωρίς εστίαση στη διαλειτουργικότητα.

Στην αντίπερα όχθη του Ατλαντικού, ήδη από το 1991 όπως καταδεικνύεται στην επισκόπηση που χρηματοδοτήθηκε από το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Μεταφορών^[15] υπήρξε μια στροφή για επένδυση σε τεχνολογίες ITS προκειμένου να ανταποκριθούν στη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για χρήση του συγκοινωνιακού τους δικτύου. Στην ίδια μελέτη επιχειρείται να συνοψιστούν τα συμπεράσματα από την εφαρμογή τεχνογνωσίας όπως αισθητήρες, τηλεπικοινωνίες και έτερες τεχνικές διαχείρισης κυκλοφορίας, και να επιλέγουν εν τέλει οι βέλτιστες τεχνολογίες ως προς τον εντοπισμό και την εποπτεία των οχημάτων κατά την κυκλοφορία.

Μεταξύ των διάφορων τεχνολογιών ITS, αυτή που μοιάζει η πλέον υποσχόμενη και δημοφιλής ανά την επιστημονική κοινότητα είναι αναμφίβολα η τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Απόδειξη αποτελεί τα τελευταία ειδικά χρόνια ο αυξανόμενος ρυθμός εκπόνησης εργασιών και εκδήλωσης ενδιαφέροντος για τις πιθανές χρήσεις της τεχνολογίας αυτής στον τομέα των συγκοινωνιών. Οι πιθανές περιοχές εφαρμογής εκτείνονται από τεχνικές ρύθμισης κυκλοφορίας (δημόσιου διαχειριστικού ενδιαφέροντος), σε τεχνικές εντοπισμού, αναγνώρισης ή/και

κατόπτευσης οχημάτων (στρατιωτικού κυρίως ενδιαφέροντος), μέχρι τεχνικές διαχείρισης στάθμευσης οχημάτων σε παρόδιες ή κλειστές θέσεις (δημόσιου ή/και εμπορικού ενδιαφέροντος).

Ειδικά ως προς το τελευταίο, που αποτελεί συνάμα και αντικείμενο της παρούσας εργασίας, υπάρχουν αρκετές παρόμοιες προσεγγίσεις στην προσπάθεια μελέτης του προβλήματος ή/και υλοποίησης συστήματος επίλυσής του. Οι σχετικές εργασίες –είτε θεωρητικής είτε πρακτικής φύσης– που εντοπίστηκαν στη διεθνή επιστημονική κοινότητα κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας, διαφέρουν ενδεχομένως σε αρκετά σημεία ή άλλες μοιάζουν να προσεγγίζουν το θέμα με ακριβώς τον ίδιο τρόπο. Οι διαφορές ενίοτε αφορούν τον τρόπο εντοπισμού ενός σταθμευμένου οχήματος χρησιμοποιώντας διαφορετική τεχνική ανίχνευσης από το συνδυασμό μαγνητικών και υπέρυθρων αισθητήρων που υιοθετήθηκε εδώ, ^[16] ή ακόμη και τον ίδιο τον αλγόριθμο εντοπισμού με διαφορετική φιλοσοφία ως προς τη σχεδίαση. ^{[17][18]} Διαφορές πάλι εντοπίζονται στην περιοχή εφαρμογής του συστήματος υλοποίησης, καθόσον ενδεχομένως να πρόκειται για συστήματα προορισμένα για κλειστές θέσεις στάθμευσης εν αντιθέσει με την εδώ ανάπτυξη σε πλήρη κλίμακα και αναφορικά με την περίπτωση παρόδιων θέσεων. ^{[19][20]}

Καταληκτικά, αξίζει να σημειωθεί πως η σχετική αυτή βιβλιογραφία δεν είχε εντοπιστεί σε πρωταρχικό στάδιο της εργασίας λόγω του διαφορετικού σημείου εκκίνησης ως προς τη φιλοσοφία του συστήματος εντοπισμού (βλ. [Μέρος II - Α](#)). Η σταδιακή εμβάθυνση στην ουσία του ερευνητικού προβλήματος επέτρεψε την αναζήτηση παρόμοιων προσεγγίσεων και ειδικά κατά το στάδιο όπου ανέκυψαν τεχνικές δυσκολίες με τη χρήση των μαγνητικών αισθητήρων. Παρόλο αυτά η αξία της παρούσας εργασίας δε δύναται να υποβαθμιστεί, ένεκα της πολύπλευρης αντιμετώπισης και πολυδιάστατης προσέγγισης του προβλήματος, της καινοτόμου πιθανολογούμενης υλοποίησης για τα εγχώρια δεδομένα, και της προσπάθειας του γράφοντος να πραγματώσει αυτόνομα μια ιδέα, απόσταγμα προσωπικής αναζήτησης ενός κλάδου μελέτης μακριά από την πεπατημένη οδό ενός προπτυχιακού προγράμματος.

B. Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

1. Ορισμός, προορισμός και εξέλιξη

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι ένα σύνολο μικροηλεκτρονικών συσκευών με δυνατότητες κατόπτευσης και συλλογής πληροφοριών περί των συνθηκών του κείμενου περιβάλλοντος. Διαθέτουν ικανότητες επεξεργασίας, αποθήκευσης και ανταλλαγής δεδομένων, διαμέσου της διασύνδεσής τους σε δίκτυο αισθητήρων με αυτόνομο, καταναεμημένο και κλιμακούμενο τρόπο, πάνω από ένα ασύρματο κανάλι επικοινωνίας.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ως φιλοσοφία τεχνολογίας απαντώνται σε όλο το φάσμα των επιπέδων του [OSI](#). Το εύρος ανάπτυξής τους καλύπτει ένα μεγάλο εύρος ανθρώπινων δραστηριοτήτων με πολλά υποσχόμενες προοπτικές περαιτέρω

διείσδυσης στα πλαίσια εφαρμογών ITS. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στο συγκριτικό πλεονέκτημά τους ότι η εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου είναι *ad hoc*, ήτοι δεν απαιτεί την εκ των προτέρων γνώση της τοπολογίας του. Η κλίμακα ανάπτυξης ενός δικτύου κυμαίνεται έως και χιλιάδες κόμβους στην περιοχή λειτουργίας και η διασύνδεση και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας τους ποικίλουν και βασίζονται στη θεωρία των ασυρμάτων επικοινωνιών.



Εικόνα 3 –Τα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς Ανοικτής Διασύνδεσης Συστημάτων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν εξειδίκευση των ασύρματων [ad-hoc mesh δικτύων](#), κληρονομώντας έτσι μια σειρά από χαρακτηριστικά που φαίνονται συγκεντρωτικά στην εικόνα 4. Εκτός αυτών των οπτικών αναφοράς, χαρακτηρίζονται γενικά ως σύστημα από:

- ✓ αυτοργάνωση,
- ✓ αυτοιασιμότητα,
- ✓ χαμηλό κόστος και
- ✓ χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης λειτουργία.

Προορισμός τους αποτελεί η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων από το περιβάλλον, ο καθορισμός υπό συγκεκριμένες συνθήκες ενός γεγονότος ανίχνευσης, και τέλος η προώθηση της πληροφορίας για την αξιοποίησή της σε έναν τελικό προορισμό.

Η ανάπτυξη των δικτύων αισθητήρων απαίτησε τη χρήση τεχνογνωσίας από τρεις διαφορετικούς τομείς έρευνας: ανίχνευσης (*sensing*), τηλεπικοινωνιών (*communication*), και υπολογισμού (*computing*). Ωστόσο η έρευνα στον τομέα των δικτύων αισθητήρων εδράζει την προέλευσή της σε στρατιωτικής φύσεως προγράμματα που εκπονήθηκαν κυρίως από το [DARPA](#) κατά το Ψυχρό Πόλεμο.

Sensors	<i>Size:</i> small (e.g., micro-electro mechanical systems (MEMS)), large (e.g., radars, satellites) <i>Number:</i> small, large <i>Type:</i> passive (e.g., acoustic, seismic, video, IR, magnetic), active (e.g., radar, ladar) <i>Composition or mix:</i> homogeneous (same types of sensors), heterogeneous (different types of sensors) <i>Spatial coverage:</i> dense, sparse <i>Deployment:</i> fixed and planned (e.g., factory networks), ad hoc (e.g., air-dropped) <i>Dynamics:</i> stationary (e.g., seismic sensors), mobile (e.g., on robot vehicles)
Sensing entities of interest	<i>Extent:</i> distributed (e.g., environmental monitoring), localized (e.g., target tracking) <i>Mobility:</i> static, dynamic <i>Nature:</i> cooperative (e.g., air traffic control), non-cooperative (e.g., military targets)
Operating environment	Benign (factory floor), adverse (battlefield)
Communication	<i>Networking:</i> wired, wireless <i>Bandwidth:</i> high, low
Processing architecture	Centralized (all data sent to central site), distributed (located at sensor or other sites), hybrid
Energy availability	Constrained (e.g., in small sensors), unconstrained (e.g., in large sensors)

Εικόνα 4 – Χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων. Πηγή, [21]

Έκτοτε, ο συνδυασμός ξεχωριστών ερευνών πάνω στους τομείς αυτούς συνετέλεσε στην εξέλιξη και στη μορφή που έχουν λάβει σήμερα. Η χαρακτηριστική αυτή διαδρομή που ακολούθησε αυτός ο ερευνητικός τομέας φαίνεται και στην εικόνα 5.

	Yesterday (1980's – 1990's)	Today (2000 – 2003)	Tomorrow (2010)
Manufacturer	Custom contractors, e.g., for TRSS	Commercial: Crossbow Technology, Inc. Sensoria Corp., Ember Corp.	Dust, Inc. and others to be formed
Size	Large shoe box and up	Pack of cards to small shoe box	Dust particle
Weight	Kilograms	Grams	Negligible
Node architecture	Separate sensing, processing and communication	Integrated sensing, processing and communication	Integrated sensing, processing and communication
Topology	Point-to-point, star	Client server, peer to peer	Peer to peer
Power supply lifetime	Large batteries; hours, days and longer	AA batteries; days to weeks	Solar; months to years
Deployment	Vehicle-placed or air-drop single sensors	Hand-emplaced	Embedded, "sprinkled" left-behind

Εικόνα 5 – Τρεις γενιές κόμβων αισθητήρων. Πηγή, [21]

Τα σενάρια για την επόμενη ημέρα δεν μπορεί να είναι παρά ευοίωνα, βασισμένα στις διαρκώς βελτιούμενες αποδόσεις κατά την παραγωγή επεξεργαστών και μικροηλεκτρονικών συσκευών καθημερινής χρήσης (PDAs, Smartphones κ.ά.). Αναλογιζόμενοι το ποσοστό απήχησης των συσκευών αυτών, ειδικά στο νεότερο ηλικιακά καταναλωτικό κοινό, μπορούμε να διαβλέψουμε ότι στο εγγύς μέλλον MEMS συσκευές και [σένσορες](#) θα συναποτελέσουν τη νέα έκφανση του διαδικτύου.^[21] Σύμφωνα δε με παραπομπές από σχετικές εργασίες που εντοπίστηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία^[22] κατά τους Zhao και Guibas (*Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach*.2004) “τα δίκτυα αισθητήρων θα επεκτείνουν το υπάρχον διαδίκτυο βαθιά μέσα στο φυσικό περιβάλλον. Το δίκτυο το οποίο θα ανακλύψει θα έχει προοπτικές για περαιτέρω διεύρυνση και δυναμική φύση σε σχέση με το τρέχον TCP/IP δίκτυο”.

2. Απαιτήσεις και προκλήσεις

Στην υποενότητα [B.1](#) αναφερθήκαμε σε ορισμένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της τεχνολογίας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Η πολυδιάστατη φύση του πεδίου εφαρμογής τους απαιτεί την κατά το ελάχιστο ικανοποίηση κάποιων βασικών απαιτήσεων. Η κατανόηση και η εξασφάλισή τους είναι η πλέον σημαντική πρόκληση για τη μελλοντική εξέλιξη του επιστημονικού αυτού κλάδου. ^{[21][23]}

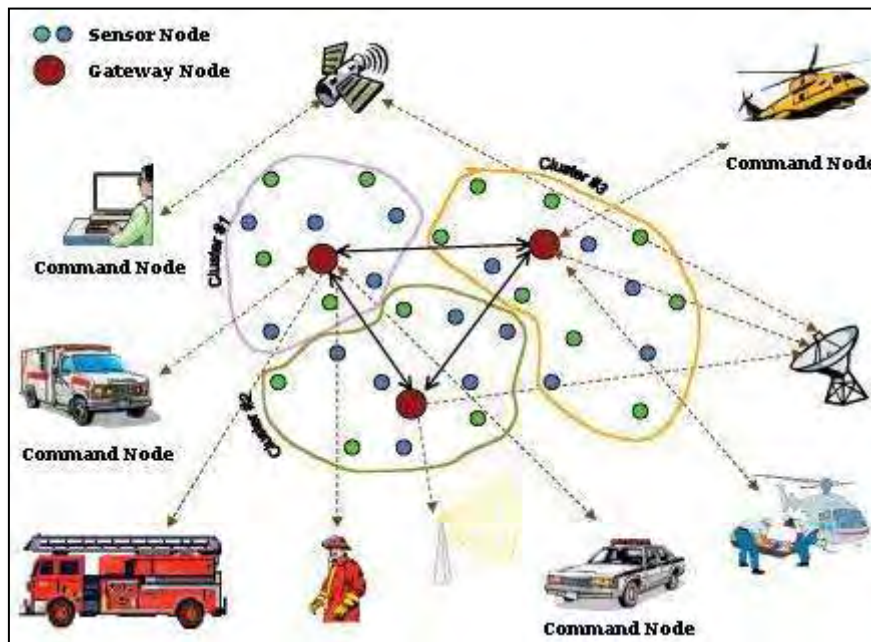
Θα παραθέσουμε ενδεικτικά κάποιες από τις απαιτήσεις που αποτελούν και συνάμα δείκτες της απόδοσης ενός σένσορα εάν και εφόσον ικανοποιηθούν επαρκώς.

- **Quality of Service.** Αν και όρος που προέρχεται από τον τομέα των πολυμεσικών εφαρμογών, ένα σύστημα δικτύων αισθητήρων είναι απαραίτητο να διέπεται από ανεκτικότητα σε σφάλματα και διατηρησιμότητα σε επίπεδο λειτουργίας, προκειμένου οι παρεχόμενες υπηρεσίες να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του χρήστη. Λόγω της ευμετάβλητης κατάστασης του συστήματος (πτώση απόδοσης κόμβων ή/και παύση λειτουργίας, υψηλή εντροπία της πληροφορίας στο σύστημα, διακοπή επικοινωνίας στο ασύρματο κανάλι) θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα αυτορύθμισης και εν γένει προσαρμοστικότητα στα νέα κάθε φορά δεδομένα που ορίζουν την κατάσταση του συστήματος.
- **Ασφάλεια.** Λόγω της φύσης του πεδίου ανάπτυξης ενός WSN κάθε κόμβος θα πρέπει να διαθέτει μηχανισμούς για την αποτροπή παρεμβολών λειτουργίας του. Αυτές οι παρεμβολές-επιθέσεις μπορεί να εμφανιστούν σε διάφορα επίπεδα όπως στο φυσικό (καταστροφή ή αλλοίωση της συσκευής), στο μέσο μετάδοσης (παρεμβολές στο φάσμα [RF](#) που χρησιμοποιεί το κανάλι), ή/και στο επίπεδο ζεύξης και δικτύου ([DoS attacks](#), [spoofing](#)). Απαιτείται λοιπόν η ανά επίπεδο ανάπτυξη διάφορων αντιμέτρων προκειμένου να εξασφαλιστεί απρόσκοπτα η ομαλή λειτουργία. Αντιστοίχως λοιπόν, παραλλαγή, κέλυφος προστασίας, τεχνικές διαμόρφωσης σήματος, κρυπτασφάλιση, και αυθεντικοποίηση είναι μεταξύ άλλων τα αντίμετρα που θα αποτρέψουν τις όποιες επιθέσεις επιχειρηθούν.
- **Επαναπρογραμματισμός.** Πέραν της αναγκαιότητας για επεξεργασία δεδομένων εκ μέρους των κόμβων, απαιτείται στα πλαίσια του QoS η δυνατότητα οι αλγόριθμοι που τρέχουν οι κόμβοι να μπορούν να τροποποιηθούν ή να αντικατασταθούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Επιπροσθέτως, είναι ύψιστης σημασίας να εξασφαλιστεί ο σωστός χρονισμός τους καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας μέσα από άμεσες ή έμμεσες μεθοδολογίες, διότι σε αντίθετη περίπτωση η πληροφορία που διακινείται στο σύστημα ενδέχεται να είναι αναντίστοιχη και παρωχημένη μεταξύ των κόμβων, πλήττοντας έτσι ανεπανόρθωτα τη συνολική αξιοπιστία του.
- **Επεκτασιμότητα.** Από τη στιγμή που ένα WSN ενδεχομένως να συνίσταται από ένα μεγάλο πλήθος κόμβων, θα πρέπει και οι αρχιτεκτονικές και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται να μπορούν να ανταποκριθούν κλιμακώνοντας στα ανάλογα μεγέθη. Συνακόλουθα και επιπροσθέτως, θα πρέπει να υπάρξει πρόβλεψη ώστε η

πυκνότητα του συστήματος να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η συνοχή του και να υπάρχει ομοιογένεια στον τρόπο που αλληλεπιδρούν και επικοινωνούν μεταξύ τους οι κόμβοι.

3. Εφαρμογές

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στις προηγούμενες δύο ενότητες κατέδειξε τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και τις απαιτήσεις της τεχνολογίας των WSN. Αυτή η ποικιλομορφία στα χαρακτηριστικά του τρόπου λειτουργίας και η ευκαμψία στον τρόπο υλοποίησης ενός τέτοιου συστήματος, συνετέλεσαν και συντελούν στη δυνατότητα ανάπτυξης πολυάριθμων εφαρμογών σε τομείς ενδιαφέροντος από ασφάλεια εγκαταστάσεων έως και παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών. (ενδεικτικά βλ. Εικόνα 6). [\[21\]\[23\]](#)



Εικόνα 6 – Τοπολογία και εφαρμογές δικτύων αισθητήρων σε τομείς υψηλού κινδύνου

α. Ασφάλεια εγκαταστάσεων και βιομηχανικός έλεγχος

Κτήρια και εγκαταστάσεις κρίσιμου ενδιαφέροντος (δημόσιου και μη) απαιτούνσαν πάντοτε η λειτουργία τους να γίνεται κάτω από την επιτήρηση ενός συστήματος ασφαλείας. Παρωχημένα συστήματα βασιζόμενα κυρίως στην επάνδρωση από ανθρώπινο δυναμικό αντικαθίστανται σταδιακά από αυτοματοποιημένα, μειώνοντας έτσι αισθητά το κόστος λειτουργίας και αυξάνοντας την απόδοσή τους με χρήση WSN, ειδικά σε ακραίες συνθήκες όπου η φυσική παρουσία ανθρώπων είναι ανέφικτη. Στον τομέα της βιομηχανικής παραγωγής πέραν της απαιτούμενης ασφαλείας, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν εφαρμογές σε υπηρεσίες λογιστικής υποστήριξης, επιτρέποντας τον εντοπισμό αγαθών κατά τη μεταφορά ή την αποθήκευσή τους, αλλά και κατά τη διάρκεια της ίδιας της παραγωγικής διαδικασίας, παρέχοντας δυνατότητες

μακροσκοπικού και εξατομικευμένου ελέγχου ανά στάδιο παραγωγής (κατάσταση συστήματος, εποπτεία λειτουργίας μηχανών, κ.ά.).

β. Επίβλεψη περιβαλλόντων ειδικού ενδιαφέροντος

Ως περιβάλλον ειδικού ενδιαφέροντος θα μπορούσαμε να ορίσουμε ένα περιβάλλον στο οποίο είναι απαραίτητη η συνεχής επίβλεψη των συνθηκών κατάστασής του, προκειμένου να αποφευχθεί η οποιαδήποτε μεταβολή που θα μπορούσε να διαταράξει την εύθραυστη ισορροπία του, με καταστροφικές συνέπειες για τη βιωσιμότητά του. Έτσι ενδείκνυται η ανάπτυξη WSN σε περιπτώσεις εποπτείας επαπειλούμενων περιβαλλοντικών οικοσυστημάτων για ανίχνευση, εντοπισμό και καταμέτρηση σπάνιας χλωρίδας και πανίδας, ειδικά στην περίπτωση όπου πάλι οι κλιματικές συνθήκες είναι αποτρεπτικές για την παρουσία ανθρώπων. Με την ίδια συλλογιστική, μπορούν να αναπτυχθούν συστήματα WSN ακόμη και για την αποτροπή φυσικών καταστροφών καθώς και μπορεί να επιτευχθεί έγκαιρη προειδοποίηση για όποιον τυχόν αποσταθεροποιητικό κίνδυνο. Ο τομέας υγείας συγκαταλέγεται στα περιβάλλοντα ειδικού ενδιαφέροντος όπου πιθανές εφαρμογές αφορούν την ανάπτυξη δικτύων αισθητήρων τα οποία θα καταγράφουν τη μετεγχειρητική κατάσταση του ασθενή και θα ενημερώνουν συνεχώς το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό κατά το στάδιο της ανάρρωσης, αλλά και συστήματα εντοπισμού και αλληλεπίδρασης ασθενών και ιατρών από απόσταση.

γ. Παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών

Οι περιοχές εφαρμογής των WSN ως προς την παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών είναι αναρίθμητες. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφερθούμε στη λεγόμενη “γεωργία ακρίβειας”, στην διοίκηση πόρων, σε αυτοματισμούς για το οικιστικό περιβάλλον (έξυπνα σπίτια), στις καταναλωτικές συσκευές μέχρι σε και ειδικευμένες στρατιωτικές εφαρμογές, πηγή και έμπνευση άλλωστε τα WSN της βιομηχανίας αυτής.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον και παράλληλα αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι και οι εφαρμογές στον τομέα της διαχείρισης κυκλοφορίας. Δίκτυα αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν για την εποπτεία και ρύθμιση της κυκλοφορίας ειδικά σε αρτηρίες με συχνές συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η δυναμική χρήση τους και οι συνεχείς βελτιώσεις ως προς το κόστος παραγωγής και τις επιδόσεις, έχουν τροφοδοτήσει σενάρια για χρήση τους σε ευρεία κλίμακα. Συστήματα όπου μπορεί να αποδοθεί το κυκλοφοριακό αποτύπωμα ενός πολεοδομικού συγκροτήματος και να ρυθμιστεί εξωγενώς και αλγοριθμικά ο τρόπος διαχείρισης της κυκλοφορίας, μέχρι και συστήματα όπου αισθητήρες θα είναι ενσωματωμένοι στα οχήματα που θα κυκλοφορούν και με την ικανότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους ειδοποιώντας τους οδηγούς για την κατάσταση της κυκλοφορίας έγκαιρα και καιρία. Στο ίδιο μοτίβο θα εξετάσουμε στην εδώ εργασία εφαρμογές των WSN στον τομέα παροχής υπηρεσιών εντοπισμού και υποβοήθησης στάθμευσης καθώς κανείς κινείται με όχημα εντός ενός πολεοδομικού ιστού.

Γ. Τεχνολογία υλοποίησης

1. Λειτουργικά χαρακτηριστικά (software)

α. Το λειτουργικό σύστημα TinyOS

Το TinyOS είναι το ελεύθερο, ανοικτού κώδικα και ειδικά σχεδιασμένο λειτουργικό σύστημα για χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Προορισμένο για τη λειτουργία των χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης WSN διαφέρει από τα υπόλοιπα λειτουργικά συστήματα στη βάση ότι ο σχεδιασμός του εστιάστηκε στην εκτέλεση ελάχιστα δυνατών ενεργοβόρων λειτουργιών.^[25]



Εικόνα 7 – Λογότυπο του λογισμικού. Πηγή, [24]

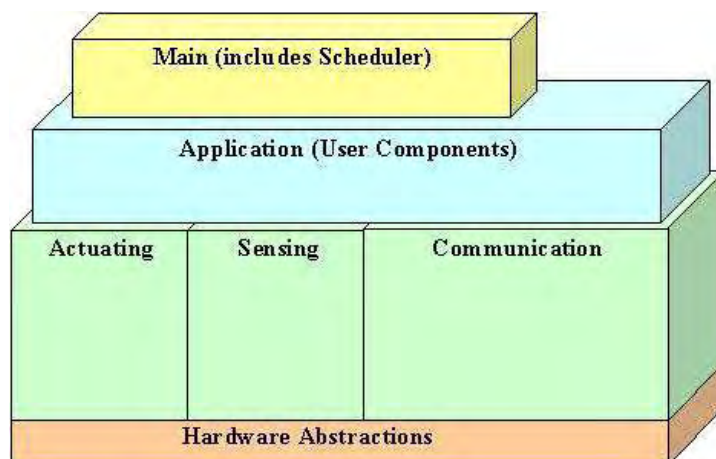
Ξεκίνησε ως έργο στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας Berkeley το 1999 σαν τμήμα του DARPA NEST προγράμματος και έκτοτε επεκτάθηκε λαμβάνοντας τη μορφή διεθνούς κονσόρτσιουμ (*TinyOS Alliance*) με επικαιροποιημένες συνεχώς εκδόσεις (τρέχουσα είναι η 2.1.1 – Απρίλιος 2010).^[26] Αυτή τη στιγμή χρησιμοποιείται από χιλιάδες προγραμματιστές ως η δημοφιλέστερη πλατφόρμα για τη διεξαγωγή έρευνας στην περιοχή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Το TinyOS είναι ένα ενσωματωμένο λειτουργικό σύστημα γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού [nesC](#) ως ένα σύνολο από συνεργαζόμενες διεργασίες (*processes*) και έργα (*tasks*). Έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει τις εντατικές και συγχρονισμένες λειτουργίες που απαιτεί ένα WSN με τις ελάχιστες απαιτήσεις σε υλικό. Το ίδιο το λειτουργικό είναι σε συνεχή διαδικασία εξέλιξης καθώς ενθαρρύνονται επιστημονικές ομάδες ανά τον κόσμο να συνεισφέρουν σε τεχνογνωσία.^[27] Ως σύστημα έχει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία επηρέασαν τη σχεδίαση της ίδιας της γλώσσας στην οποία συντάχθηκε.^{[25][28]}

- **Αρχιτεκτονική βασισμένη στην έννοια των component.** Τα προγράμματα που απαρτίζουν το λειτουργικό είναι κατασκευασμένα από μικρές αφαιρετικές δομές κώδικα των διαφόρων υποσυστημάτων του υλικού που αποκαλούνται *components*. Τα στοιχεία αυτά συνενώνονται μεταξύ τους (*wiring*) διαμέσου διεπαφών (*interfaces*) σε μεγαλύτερες δομές, με κώδικα ανεξάρτητο από την εκάστοτε υλοποίησή τους (*implementation*). Ο κώδικας αυτός μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και ως πρωταρχικό βήμα του δηλώνει εντός του τις μεταξύ των υποτημάτων εξαρτήσεις και αλληλοσυσχετίσεις. Κατά αυτόν τον τρόπο

επιτρέπεται να αποκλείονται από τις εκάστοτε εφαρμογές οι μη χρησιμοποιούμενες λειτουργίες και έτσι να ελαχιστοποιείται το συνολικό μέγεθος του κώδικα και ο χρόνος ανάπτυξης της εφαρμογής που κατασκευάζουμε.

- **Σύγχρονο μοντέλο εκτέλεσης.** Ο τρόπος συγχρονισμού στο TinyOS επιτυγχάνεται διαμέσου των έργων (*tasks*), των γεγονότων (*events*) και ενός μοντέλου εκτέλεσης εναλλασσόμενων φάσεων (*split-phase*). Το τελευταίο πρακτικά σημαίνει ότι μια διεργασία *I/O* αντί να μπλοκάρει μέχρι την ολοκλήρωσή της, ένα αίτημα θα της επιστρέφεται κατά την κλήση της και ο καλών τη διεργασία θα πάρει το επιστρεφόμενο αποτέλεσμα άμα την ολοκλήρωσή της (*callback*). Το λειτουργικό συνδέει μετά τους ενδιαφερομένους μέσω των δομών που αναφέραμε ως γεγονότα. Έτσι συνολικά αποδεσμεύεται η όποια στοίβα για την επιστροφή των *I/O* αποτελεσμάτων και χρειάζεται πλέον μόνο μια για τις λειτουργίες, ενώ επιπροσθέτως δεν υποστηρίζεται η τεχνική των νημάτων. Για να διασφαλιστεί η εκτέλεση πολυπλοκότερων υπολογισμών παρέχεται από το TinyOS η δυνατότητα στα components να εκτελούν (*post*) έργα σε επόμενο χρόνο, χωρίς προεκχωρητική φιλοσοφία και με λογική *FIFO*. Επιτυγχάνεται εν τέλει η ταυτόχρονη υποστήριξη πολλών component σε λειτουργία με τη λιγότερη δυνατή απαιτούμενη χρήση μνήμης *RAM*.
- **Διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (*API*).** Το TinyOS παρέχει *APIs*, υπηρεσίες, βιβλιοθήκες και μια συνολική αρχιτεκτονική αποτελούμενη από component (βλ. Εικόνα 8) για τη διευκόλυνση κατά τη συγγραφή νέου κώδικα εφαρμογών και υπηρεσιών. Στα ανωτέρω εντάσσονται οι αφαιρετικές δομές μιας ευρείας γκάμας απαραίτητων λειτουργιών για ένα σύστημα WSN όπως: δειγματοληψίας δεδομένων, τηλεπικοινωνίας μεταξύ κόμβων, αποθήκευσης δεδομένων και τεχνικών χρονισμού. Το ίδιο το TinyOS λειτουργεί βασιζόμενο σε μια πλειάδα εγγενών (*generic*) component που παρέχονται από εκκίνησή του, αλλά το σημαντικότερο είναι η μη στατική φύση του με το να συνιστάται η μετατροπή, προσθήκη και δημιουργία οτιδήποτε κρίνει ο προγραμματιστής ως αναγκαίο συστατικό για το υπό ανάπτυξη σύστημά του.



Εικόνα 8 – Σχηματική απόδοση της αρχιτεκτονικής του TinyOS. Πηγή, [29]

β. Η γλώσσα προγραμματισμού nesC

Η nesC (*network embedded system C*) είναι μια επέκταση της γλώσσας προγραμματισμού C σχεδιασμένη κατάλληλα για να ενσωματώνει την κατασκευαστική φιλοσοφία και το μοντέλο εκτέλεσης του TinyOS.^[31] Είναι βελτιστοποιημένη ως προς την απαίτηση για ελάχιστη χρήση μνήμης των δικτύων αισθητήρων και διαθέτει μηχανισμούς για την κατασκευή, ονοματοδοσία και διασύνδεση των component σε ένα εύρωστο WSN κατάλληλα σχεδιασμένο για εξατομικευμένη ανά περίπτωση χρήση.

Τα συμπληρωματικά της εργαλεία είναι υλοποιημένα κυρίως σε γλώσσα Java ή/και shell scripts, ενώ ο μεταγλωττιστής και τα εργαλεία χρήσης των μικροεπεξεργαστών [Atmel AVR](#) σε C. Το σημείο στο οποίο διαφέρει τα μέγιστα από τη C είναι το μοντέλο διασύνδεσης.^[32] Τα component ως διακριτές μονάδες λειτουργικότητας προσιδιάζουν την έννοια των αντικειμένων άλλων αντικειμενοστραφών γλωσσών στη βάση ότι χαρακτηρίζονται από κατάσταση (*state*) και συνδυάζουν την κατάσταση αυτή με τη λειτουργικότητα τους. Παρόλο αυτά η εμβέλεια αναφοράς μεταβλητών (*naming scope*) είναι τοπικού επιπέδου.

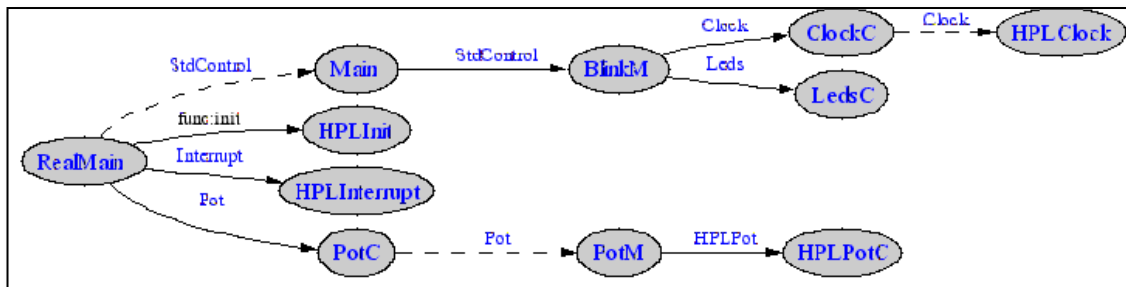
Η nesC χρησιμοποιείται ως το επίσημο προγραμματιστικό πρότυπο κώδικα για το TinyOS από την έκδοση [1.0] του λειτουργικού και έκτοτε. Μάλιστα, η έκδοση [1.0] γράφτηκε εξολοκλήρου και εκ του μηδενός σε nesC. Σε μερικές από τις αρχές που διέπουν τη σχεδίαση της nesC έχει γίνει έμμεση αναφορά στην προηγούμενη υποενότητα. Θέλοντας να αποδώσουμε κάποιες επιπλέον θα παραθέταμε τις εξής μέσα και από το εγχειρίδιο εισαγωγής που ανέπτυξε ο γράφων κατά τα πρώτα στάδια εγκλιματισμού με το περιβάλλον TinyOS και τη nesC:^[33]

- **Διάκριση κατασκευής και σύνθεσης.** Μια nesC εφαρμογή (*nesC application*) συνίσταται από ένα ή περισσότερα εξαρτήματα ή συνιστώσες (*components*) συναρμολογημένα μεταξύ τους –ή καλωδιωμένα (*wired*)– ώστε να σχηματίζουν το εκτελέσιμο της εφαρμογής. Τα components αποτελούνται από δυο πεδία: ένα με τις προδιαγραφές του (*specification*) το οποίο και περιέχει τα ονόματα από τις διεπαφές του (*interfaces*), και ένα με την υλοποίηση του (*implementation*). Επειδή η διασύνδεση πραγματοποιείται την ώρα της μεταγλώττισης δεν απαιτείται η διατήρηση δεικτών προς συναρτήσεις ή η κατανομή μνήμης RAM.
- **Προσδιορισμός της συμπεριφοράς των component με όρους συσχετισμένων interfaces.** Μια συνιστώσα παρέχει (*provides*) και χρησιμοποιεί (*uses*) διεπαφές. Οι παρεχόμενες διεπαφές προορίζονται για την αναπαράσταση της λειτουργικότητας που παρέχει η συνιστώσα διαμέσου των προδιαγραφών της προς τους χρήστες της. Οι προς χρήση διεπαφές αναπαριστούν τη λειτουργικότητα που χρειάζεται η συνιστώσα για να επιτελέσει το έργο που ορίζει η υλοποίηση της.
- **Διεπαφές διπλής κατεύθυνσης:** Καθορίζουν ένα σύνολο εντολών (*commands*) οι οποίες είναι λειτουργίες που θα πρέπει να υλοποιηθούν (*implemented*) από τον

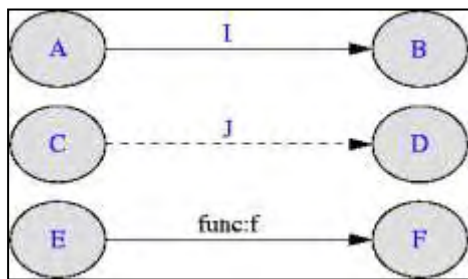
πάροχο της διεπαφής (*interface's provider*) και ένα σύνολο από γεγονότα (*events*), οι οποίες είναι λειτουργίες που θα πρέπει να υλοποιηθούν από το χρήστη της διεπαφής (*interface's user*).

Κάποια επιπλέον στοιχεία άξια αναφοράς ώστε να αποκτήσουμε μια πρώτη και ολοκληρωμένη εικόνα για το νέο και θαυμαστό κόσμο της nesC, είναι το προσδιοριστικό ότι το σύνολο από τα interfaces τα οποία ένα component παρέχει μαζί με το σύνολο από τα interfaces τα οποία χρησιμοποιεί, θεωρούνται ως η υπογραφή του (*signature*).

Επίσης να σημειώσουμε πως υπάρχουν δυο τύποι component στη nesC: ενότητες (*modules*) και διαμορφώσεις (*configurations*). Τα modules περιέχουν τις υλοποιήσεις (*implementations*) για ένα ή περισσότερα interfaces ενώ τα configurations χρησιμοποιούνται στη διασύνδεση μεταξύ των components, συνδέοντας interfaces που χρησιμοποιούνται από components με interfaces που παρέχονται από άλλα. Ενδεικτικά παρατίθεται η σχηματική απεικόνιση των όσων περιγράψαμε ανωτέρω στην εικόνα 9.



Εικόνα 9 – Η δομή (components και wiring) της απλούστερης εφαρμογής, Blink. Πηγή, [30]



Εικόνα 10 – Επεξήγηση του γράφου συνιστωσών

Το component A χρησιμοποιεί το interface I, το component B παρέχει το I, και τα A και B είναι καλωδιωμένα μεταξύ τους.

Τα C και D παρέχουν και τα δυο το J. Η κατεύθυνση του βέλους υποδηλώνει τη σχέση "C = D".

Το E υλοποιεί την συνάρτηση f και το component F την παρέχει.

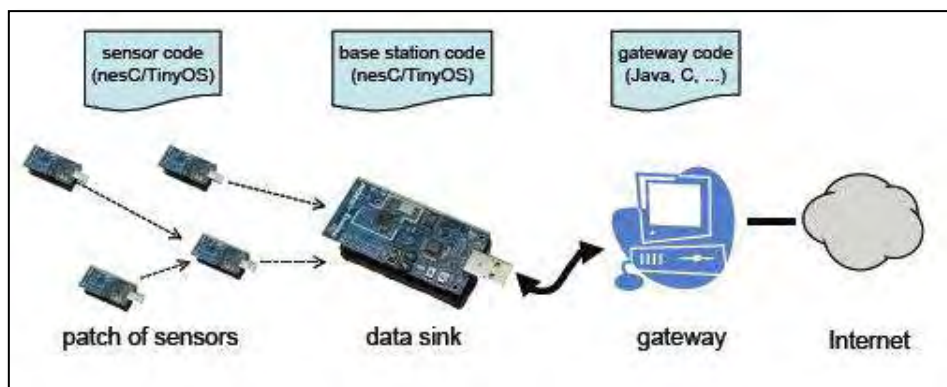
Τέλος, να σημειώσουμε πως στο [παράρτημα](#) μπορούν να απαντηθούν υποβοηθητικές διαδικασίες-εντολές κώδικα για να παραγάγουμε τον παραπάνω γράφο συνιστωσών (*component graph*) καθώς και ένα σύνολο από κείμενα εισαγωγής και εγκατάστασης των εκδόσεων του λειτουργικού TinyOS [1.1.14 και 2.1.1] που απασχόλησαν την εργασία αυτή. Τελικός σκοπός είναι η συγκέντρωσή τους σε ένα ιστότοπο κατά τα πρότυπα του [29].

2. Τεχνικά χαρακτηριστικά υλικού (hardware)

α. Τεχνολογίες αισθητήρων

Η αρχιτεκτονική ενός WSN σε φυσικό επίπεδο συνίσταται προφανώς από τους σένσορες που έχουν αναπτυχθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος και τον τελικό σταθμό βάσης (*data sink*). Για να καταστεί δυνατή η κατασκευή του δικτύου προαπαιτείται η κατάλληλη επιλογή της σωστής τεχνολογίας αισθητήρων και η αντίστοιχη διαθεσιμότητά τους σε πλήθος.

Η λειτουργία του δικτύου περιλαμβάνει την ανάπτυξη των κόμβων με την επιθυμητή πυκνότητα, τη δειγματοληψία εκ μέρους τους κάποιων ειδικών περιβαλλοντικών συνθηκών, την επεξεργασία των δεδομένων αυτών σε κάθε κόμβο και την μεταφορά της αποτιμημένης πληροφορίας πάνω από το ασύρματο κανάλι με τελικό προορισμό το σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης (ένας ίδιος συνήθως σένσορας με επιπλέον δυνατότητες) θα επεξεργαστεί όλα τα δεδομένα που συνέλεξε και θα τους προσδώσει μέσα από κάποια αλγοριθμική διαδικασία ένα αξιοποιήσιμο πρότυπο χρήσης για τον τελικό χρήστη ή κάποιο άλλο ιεραρχικά ανώτερο σύστημα.

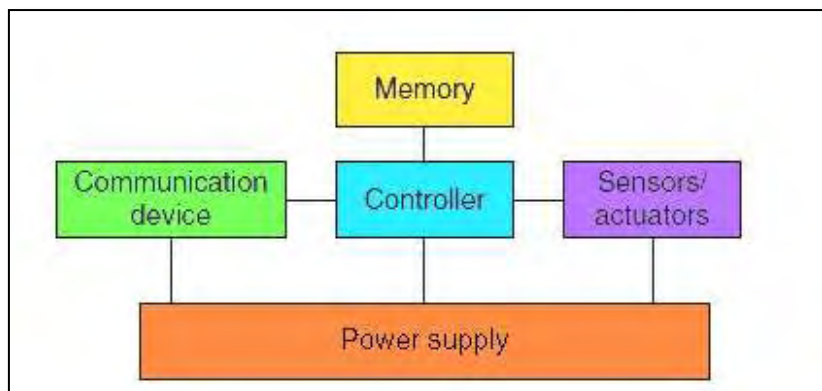


Εικόνα 11 – Τυπική δομή αρχιτεκτονικής ενός WSN. Πηγή, [25]

Για καθένα από τα παραπάνω στάδια φιλοσοφίας λειτουργίας ενός WSN μέχρι και το σταθμό βάσης (βλ. Εικόνα 11) είναι αρμόδιο ένα συγκεκριμένο υποσύστημα του σένσορα, τα οποία στο σύνολο τους αποτελούν αυτό το ιδιόμορφο MEMS. Τα κύρια υποσυστήματα ενός σένσορα είναι τα ακόλουθα^[23] (βλ. Εικόνα 12) :

- **Μικροελεγκτής (Controller).** Είναι το αντίστοιχο της CPU ενός συμβατικού υπολογιστικού συστήματος και κατ' αυτόν τον τρόπο αρμόδιο για την επεξεργασία όλων των δεδομένων που συλλέγονται, τον συντονισμό των υποσυστημάτων και την υλοποίηση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας.
- **Μνήμη (Memory).** Απαραίτητη για την αποθήκευση του κώδικα που έχει εγκατασταθεί στον κόμβο και των δεδομένων που αυτός συλλέγει. Διαφορετικοί τύποι μνήμης (RAM, [flash](#)) προορίζονται αντιστοίχως για προγράμματα και δεδομένα.

- **Αισθητήρες ή Αισθητήρια όργανα και Ενεργοποιητές (Sensors/actuators).** Η εμπράγματη διεπαφή με το κείμενο περιβάλλον: συσκευές οι οποίες παρατηρούν, επιτηρούν και καταγράφουν παραμέτρους του φυσικού κόσμου μετατρέποντας το αναλογικό ερέθισμα σε ψηφιακό σήμα. [*/]
- **Τηλεπικοινωνία (Communication).** Η διασύνδεση των κόμβων σε ένα WSN απαιτεί ένα υποσύστημα που θα αναλάβει την αποστολή και λήψη πληροφορίας πάνω από το ασύρματο κανάλι.
- **Παροχή ενέργειας (Power supply).** Κρίσιμο συστατικό στοιχείο καθορίζοντας μεταξύ άλλων το προσδόκιμο ζωής, τις αλγοριθμικές ικανότητες, το δίκτυο λειτουργίας, κ.ά. Πηγή ενέργειας μπορεί να είναι είτε συμβατική (μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου κτλ.) ή μη συμβατική, εκμεταλλευόμενος το γύρω περιβάλλον (ηλιακή ακτινοβολία, δονήσεις, διαφορά θερμοκρασίας, κ.ά.)



Εικόνα 12 – Συνοπτική απόδοση των βασικών υποσυστημάτων από σκοπιάς υλικού. Πηγή, [23]

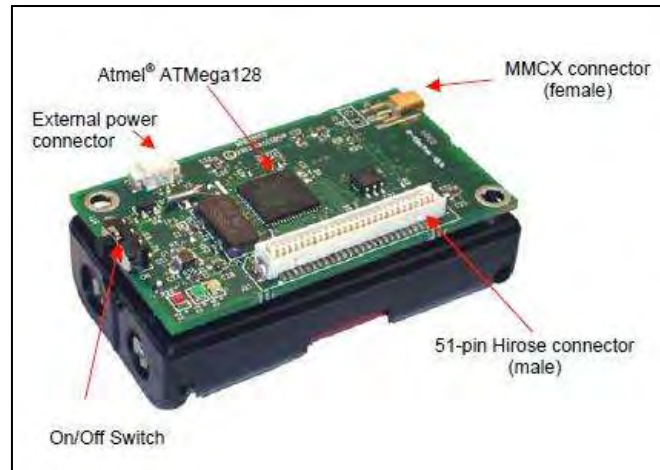
Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της υποενότητας, οι σένσορες θα πρέπει να ικανοποιούν τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της δεδομένης εφαρμογής προς υλοποίηση. Κατά την επιλογή λοιπόν της τεχνολογίας αισθητήρων που θα χρησιμοποιηθεί στο υπό ανάπτυξη σύστημα, πρέπει να εξασφαλιστεί η χρήση της βέλτιστης δυνατής τεχνολογίας μεταξύ ενός ευρέος φάσματος από σένσορες διάφορων εταιριών κατασκευής.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν οι εξής δύο διαθέσιμες τεχνολογίες από το [Εργαστήριο Ασύρματων Συστημάτων Αισθητήρων](#). Πρόκειται για τους σένσορες Mica2 της [Crossbow Technology Inc.](#) (και τη συνακόλουθη βαθμίδα προγραμματισμού MIB510CA) και για τους σένσορες Tmote Sky της εταιρίας [Sentilla Corporation](#) (πρώην Moteiv). Θα ακολουθήσει μια συνοπτική παρουσίαση αυτών, καθώς και των αντίστοιχων αισθητηρίων οργάνων τους. Το μεν μαγνητικό αισθητήρα HMC1002 της πλατφόρμας MTS310 για τον Mica2 σένσορα, και τον υπέρυθρο αισθητήρα MP Motion Sensor NaPiOn της πλατφόρμας WiEye για τον Tmote Sky.

[*/] Παρατήρηση : Εδώ φαίνεται ξεκάθαρα και η διάκριση που επιχειρείται με τη χρήση του αδόκιμου όρου σένσορας κατά το αγγλικό *sensor* και σε αντιπαράβολή με τη λέξη αισθητήρας.

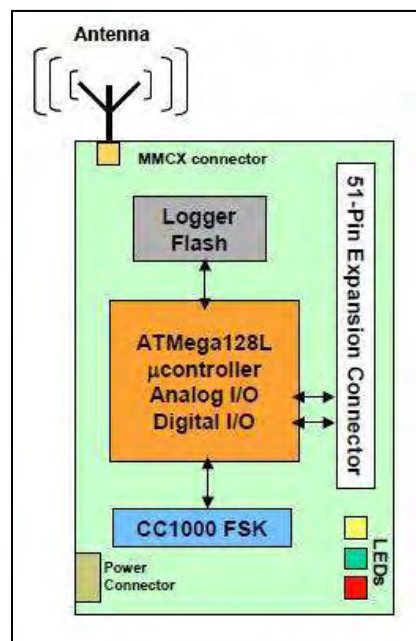
Mica2 (MPR400CB) mote

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήστη της Crossbow^[34] η κλάση Mica2 διαχωρίζεται σε τρία μοντέλα ανάλογα με την RF μπάντα συχνοτήτων: το MPR400 (915 MHz), το MPR410 (433 MHz) και το MPR420 (315 MHz). Στο Εργαστήριο Ασύρματων Συστημάτων Αισθητήρων ήταν διαθέσιμο το μοντέλο MPR400CB μαζί με την αντίστοιχη βαθμίδα προγραμματισμού (*programming board*) [MIB510](#).



Εικόνα 13 – Σχηματική απεικόνιση του MPR400CB. Πηγή, [\[34\]](#)

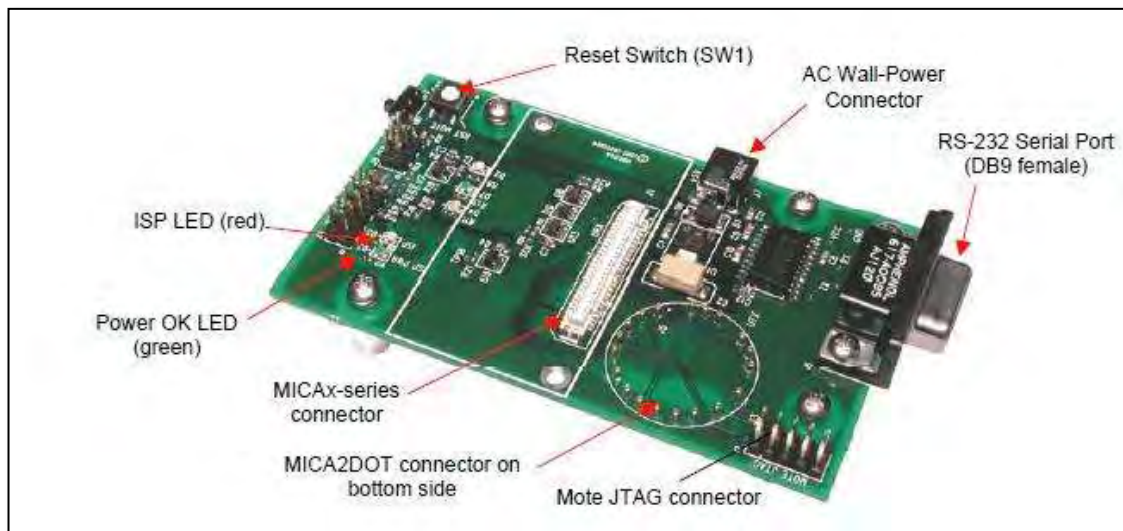
Οι κόμβοι Mica2 είναι τρίτης γενιάς βασιζόμενοι στον μικροελεγκτή Atmega128L και το σύστημα επικοινωνίας της Chipcon Group ASA, CC1000 με [FSK](#) διαμόρφωση και ρυθμό λειτουργίας στα 19.2 [kbps](#). Στα πλαίσια της εργασίας έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί η έκδοση TinyOS-1.1.14 σε κάθε Mica2 καθώς μετά από πειράματα αποδείχθηκε ως η πλέον αξιόπιστη για τις ανάγκες του υπό υλοποίηση συστήματος. Στο [παράρτημα](#) παρατίθεται σχήμα με τα επιπλέον τεχνικά χαρακτηριστικά της κλάσης Mica2.



Εικόνα 14 – Διάγραμμα πλατφόρμας κόμβου. Πηγή, [\[34\]](#)

MIB510CA interface and programming board

Η κλάση MicaX απαιτεί την χρήση της προγραμματιστικής βαθμίδας (πλακέτας- ***Mote Interface Board***) MIB510CA της ίδιας κατασκευάστριας εταιρίας Crossbow Technology Inc. Η πλακέτα αυτή επιτρέπει τον προγραμματισμό με την επιθυμητή nesC application των MicaX μέσω της σύνδεσής τους στην κατάλληλη υποδοχή και λειτουργεί και ως διεπαφή για τον ίδιου τύπου κόμβο που θα αποτελεί τον σταθμό βάσης (**ΣΒ**) στο δίκτυο. Η διασύνδεση του ΣΒ με τον τερματικό υπολογιστή γίνεται μέσω της σειριακής διεπαφής RS-232 (και ενδεχομένως ενός [PL-2303 USB-to-Serial adapter](#)) τόσο για προγραμματισμό όσο και για επικοινωνία δεδομένων.



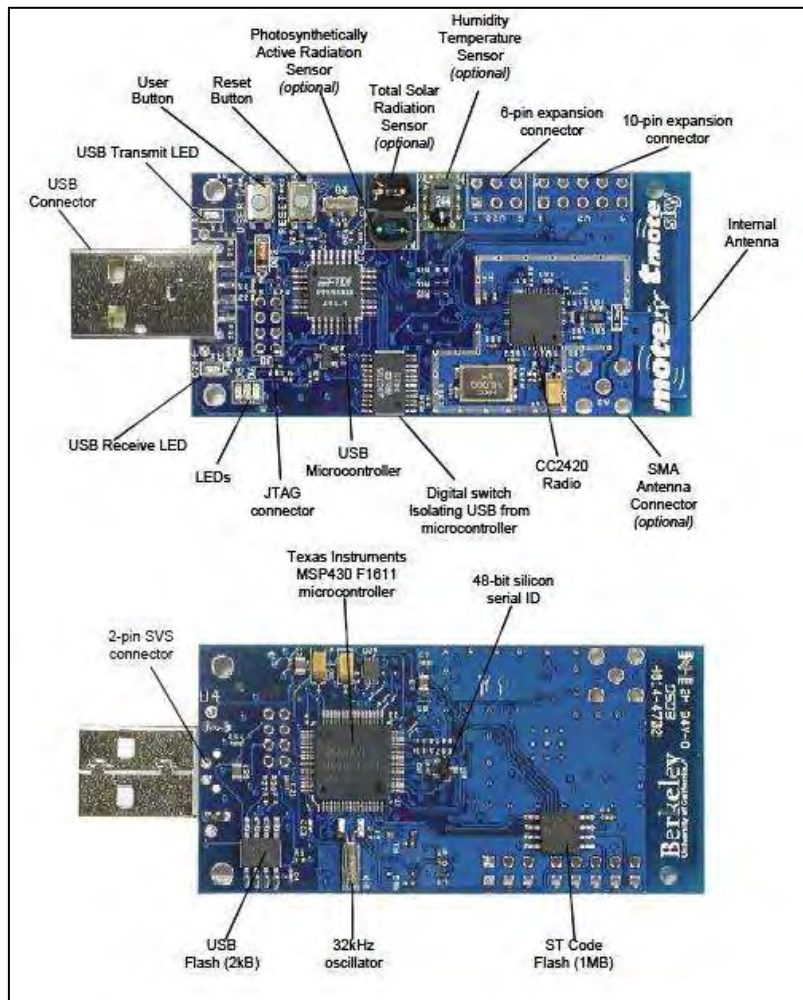
Εικόνα 15 – Η βαθμίδα διεπαφής και προγραμματισμού για την κλάση MicaX, MIB510CA. Πηγή, [34]

Στην εικόνα 15 καταδεικνύονται ενδεικτικά κάποια βασικά σημεία της άνω όψης της βαθμίδας. Έχει έναν ενσωματωμένο (*on-board*) ενδογενή επεξεργαστή (*in-system processor – ISP*) Atmega16L που συγχρονίζεται σταθερά στα 115.2 kbaud για την εγκατάσταση των nesC εφαρμογών στους κόμβους με την εξής συλλογιστική. Ο κώδικας της εφαρμογής εγκαθίσταται στον κόμβο από τον ISP και μέσω κατάλληλων εντολών του περιβάλλοντος cygwin (βλ. [παράρτημα](#)) διαμέσου επικοινωνίας με τη RS232 θύρα. Αντίστοιχα κατά τη διαδικασία επικοινωνίας ο ΣΒ λαμβάνει τα πακέτα από το ασύρματο κανάλι μέσω της υποδοχής που έχει προσδεθεί και ο ISP τα προωθεί στο σειριακό κανάλι, όπου μέσω της RS232 θύρας καταλήγουν στον τερματικό υπολογιστή.

Τέλος, να σημειώσουμε πως εκτός των άλλων η βαθμίδα παρέχει ρεύμα λειτουργίας στον προσδεμένο κόμβο για τον οποίο θα πρέπει να επιδεικνύεται ιδιαίτερη μέριμνα και προσοχή ώστε ο διακόπτης λειτουργίας του να είναι στη θέση OFF ενόσω είναι συνδεδεμένος με την πλακέτα, ενώ επιπροσθέτως η βαθμίδα είναι συμβατή μέσω ακίδων διασύνδεσης και με το Atmel [JTAG](#) σύστημα αποσφαλμάτωσης κώδικα.

Tmote Sky

Σχεδιάστηκε το 2005 στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας, Berkeley από τους δημιουργούς του TinyOS λειτουργικού ως η επόμενη γενιά σενσόρων που θα παρείχε τη δυνατότητα για χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και υψηλού ρυθμού δειγματοληψίας δεδομένα. Ήταν η πρώτη πλατφόρμα με αρκετά ευμεγέθη χωρητικότητα on-chip RAM της τάξης των 10kB και επικοινωνία στα πρότυπα του πρωτοκόλλου [IEEE 802.15.4](#)



Εικόνα 16 – Μπροσ και πίσω όψη του σένσορα Tmote Sky. Πηγή, [37]

Στα πλαίσια της εργασίας έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί η έκδοση TinyOS-2.1.1 σε κάθε Tmote, ενώ ως επιπλέον αξιοσημείωτα τεχνικά χαρακτηριστικά αναφέρονται:

- ✓ Ενσωματωμένα αισθητήρια όργανα για μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας και επιπέδων φωτεινότητας
- ✓ Ενσωματωμένη κεραία εμβέλειας 50m(εσωτερικά) και 125m(εξωτερικά)
- ✓ Μικροελεγκτής 8MHz της Texas Instruments, MSP430 (10k RAM, 48k Flash)
- ✓ Προγραμματισμός και συλλογή δεδομένων διαμέσου θύρας [USB](#)
- ✓ Εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ρεύματος
- ✓ Ταχεία αφύπνιση (<6μs)
- ✓ Εξωτερική μνήμη flash 1MB

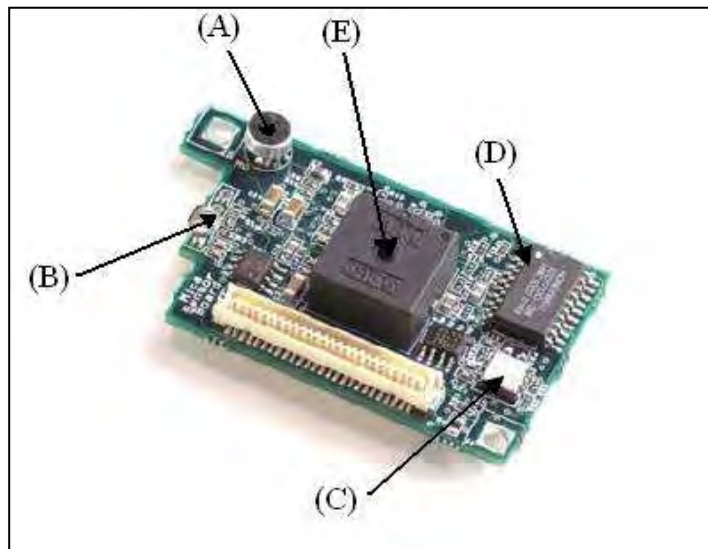
β. Τεχνολογίες αισθητήριων οργάνων

Βασικό σημείο εστίασης και εν γένει προστιθέμενη αξία κατά τη χρήση ενός σένσορα είναι τα (ενσωματωμένα ή συνδεδεμένα) αισθητήρια όργανα με τα οποία είναι εξοπλισμένοι. Ένα αισθητήριο όργανο είναι ένας μετατροπέας ενός αναλογικού φυσικού σήματος (υγρασία, θερμοκρασία, φωτεινότητα (βλ. [I-Γ.2.β](#)), δονήσεις, επιτάχυνση, μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο ή το υπέρυθρο φάσμα) σε ηλεκτρικό το οποίο μπορεί να μετρηθεί από έναν ψηφιακό επεξεργαστή. Χάρη στις προόδους στον τομέα των τεχνολογιών MEMS είναι πλέον εφικτό να εγκολπωθούν πολλά τέτοια όργανα σε μια μόνο βαθμίδα οργάνων (*sensor board*). Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε τις εξής δυο περιπτώσεις πλατφόρμας, MTS310 και WiEye που εμπεριέχουν τους μαγνητικούς και υπέρυθρους αισθητήρες αντίστοιχα που απαιτεί η υλοποίηση του συστήματος μας.

Βαθμίδες αισθητήριων οργάνων (Sensor boards)

MTS310

Με κατασκευάστρια εταιρία την Crossbow Technology Inc. η πλατφόρμα συνίσταται από τα εξής έξι συνολικά αισθητήρια όργανα :



Εικόνα 17 – Άποψη του MTS310 sensor board. Πηγή, [\[38\]](#)

- A. Ακουστικός αισθητήρας - Μικρόφωνο (National Semiconductor – LM567)**
Χρησιμοποιείται για ηχο-εντοπισμό, καταγραφή και μέτρηση ηχητικών σημάτων. Αποτελείται από έναν προενισχυτή και ένα ενισχυτή – ψηφιακό ποτενσιόμετρο ([digital-pot control](#)) σε δεύτερο επίπεδο.
- B. Αισθητήρας φωτεινότητας & θερμοκρασίας (Panasonic – ERT/J1VR103J)**
Βασίζεται σε φωτοκυψέλη καδμοσεληνίτη (*CdSe*) με μέγιστη ευαισθησία για μήκη κύματος της τάξης των 690 nm και θερμομέτρο Panasonic.
- C. Επιταχυνσιόμετρο δύο αξόνων (ADI – ADXL202)**
Μια MEMS συσκευή για ανίχνευση κίνησης ή δόνησης μέσω μέτρησης μεταβολή της επιτάχυνσης της βαρύτητας (*g*) κατά ένα εύρος $\pm 2g$ και με ακρίβεια της τάξης των 2 mg.

D. Μαγνητόμετρο δύο αξόνων (Honeywell – HMC1002)

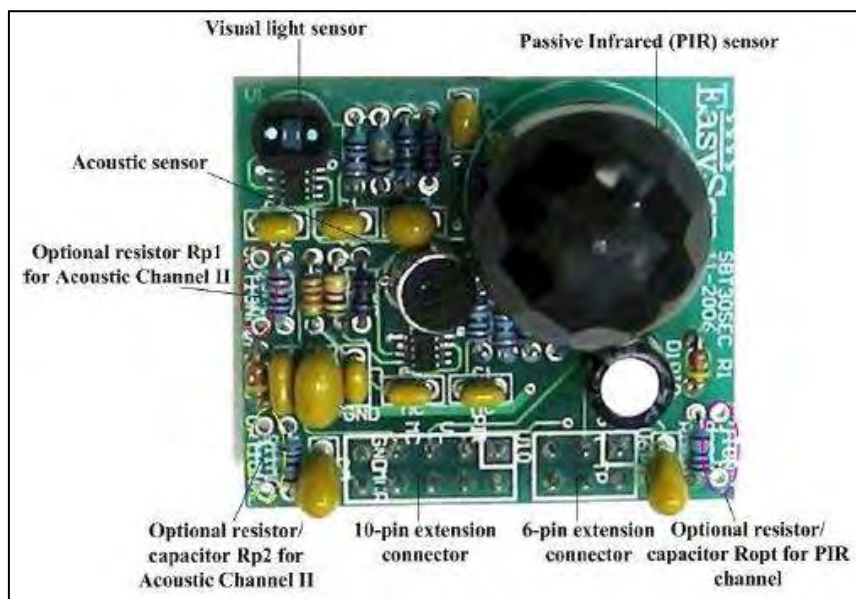
Αισθητήρας πυριτίου που συνίσταται από υπερευαίσθητες στρώσεις σιδηρονικελίου (*NiFe*) με δυνατότητα ανίχνευσης της μαγνητικής απόκλισης.

E. Ηχοπομπός (Ario – S14T40A)

Πιεζοηλεκτρικό αντηχείο (*piezoelectric resonator*) συχνοτήτων 4 kHz.

WiEye

Με κατασκευαστή την εταιρία EasySen LLC, η πλατφόρμα προορίζεται για χρήση από την κλάση TelosB, συνοδεύεται από δικό της κώδικα nesC ο οποίος πρέπει να εγκατασταθεί στον κόμβο και κώδικα Java για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και παρέχει ένα ευρύ φάσμα από αισθητήρια όργανα:



Εικόνα 18 – Κάτοψη του WiEye sensor board. Πηγή, [39]

A. Αισθητήρας απόκλισης υπέρυθρου (Panasonic – AMN44121)

Χρησιμοποιείται για ανίχνευση κίνησης με βάση μεταβολή στο υπέρυθρο φάσμα εντός της υπό εποπτείας περιοχής.

B. Οπτικός αισθητήρας φωτεινότητας (Optoelectronics – VTB9412B)

Μικρή επίπεδη φωτοδίοδος πυριτίου τοποθετημένη εντός κεραμικού περιβλήματος. Εμπεριέχει φίλτρο ανάκλασης υπέρυθρου.

C. Ακουστικός αισθητήρας – Μικρόφωνο (Horn Industrial Co LTD – EM6050P-423)

Υψηλής ευαισθησίας παγκατευθυντικό (*omni-directional*) πυκνωτικό μικρόφωνο. Αποτελείται από μια υψηλής τάσης εσωτερική μεμβράνη, ένα μεταλλικό ηλεκτρόδιο και ένα FET τρανζίστορ.

Παρατήρηση : Στην παρουσίαση και των δύο sensor boards χάρη πληρότητας δίπλα από κάθε αισθητήριο όργανο παρατίθεται εντός παρενθέσεως η κατασκευάστρια εταιρία και ο κωδικός του μοντέλου.

Αισθητήρια όργανα – Αισθητήρες (Sensors)

Οι αισθητήρες μπορούν να διακριθούν στις εξής τρεις κατηγορίες: [\[23\]](#)

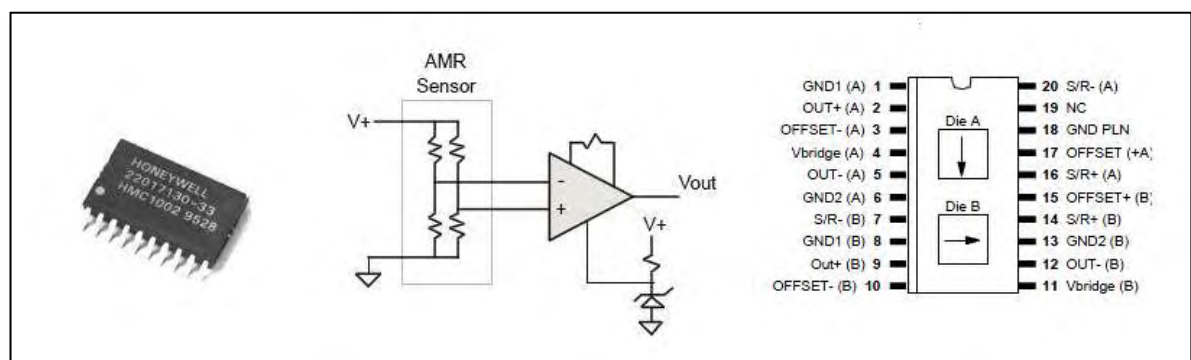
- **Παθητικοί, παγκατευθυντικοί.** Η έννοια της παθητικής μέτρησης εδράζεται στο γεγονός ότι οι αισθητήρες δεν επενεργούν στο περιβάλλον κατά τη διαδικασία της μέτρησης και προκειμένου να την εκμαιεύσουν. Πχ. θερμόμετρο, μικρόφωνο, κτλ.
- **Παθητικοί, κατευθυντικοί.** Παθητικοί στην ίδια φιλοσοφία με τους ανωτέρω αλλά έχοντας ένα σαφώς ορισμένο πεδίο ανίχνευσης. Πχ. μια κάμερα.
- **Ενεργητικοί.** Οι αισθητήρες αυτοί συλλέγουν τα προς μέτρηση δεδομένα μέσω της εκούσιας πρόκλησης διαταραχής στο περιβάλλον. Πχ. σόναρ.

Στο [Μέρος II – Α της παρούσης](#) εξηγείται αναλυτικά η φιλοσοφία βάση της οποίας έγινε η επιλογή των συγκεκριμένης φύσεως αισθητήρων για τις ανάγκες υλοποίησης του συστήματος εντοπισμού και υποβοήθησης στάθμευσης. Στη συνέχεια, θα παραθέσουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά των τελικώς επιλεγέντων αισθητήρων καθώς και την αρχή λειτουργίας τους.

HMC1002 Magnetic Sensor

Ο μαγνητικός αισθητήρας με τον οποίο είναι εξοπλισμένο το MTS310 sensor board είναι ο HMC1002, δύο αξόνων ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης (*anisotropic magneto-resistive – AMR*) της κατασκευάστριας εταιρίας Honeywell International Inc.

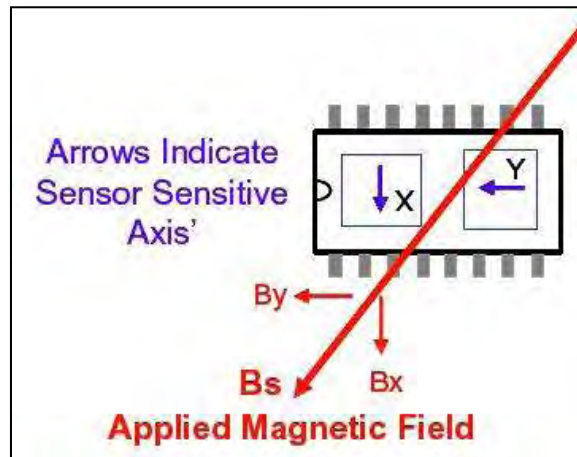
Βάση της θεωρίας της μαγνητοαντίστασης [\[42\]](#) το 1856 ο Lord Kelvin παρατήρησε μία αύξηση κατά 0,2% της αντίστασης R του σιδήρου όταν σ' αυτόν επιβαλλόταν μαγνητικό πεδίο κατά την διεύθυνση του ρεύματος, και μία μείωση κατά 0,4% όταν το μαγνητικό πεδίο επιβαλλόταν κάθετα στην διεύθυνση του ρεύματος. Αυτή η μεταβολή στην αντίσταση ενός φερομαγνητικού μετάλλου παρουσία μαγνητικού πεδίου οφείλεται στη [δύναμη Λόρεντζ](#).



Εικόνα 19 – Απεικόνιση, κυκλωματική και μικροηλεκτρονική απόδοση του HMC1002. Πηγές, [\[41\]](#)[\[40\]](#)

Πρακτικά, ο AMR μαγνητικός αισθητήρας (βλ. εικόνα 19 αριστερά) είναι μια γέφυρα Wheatstone (βλ. εικόνα 19 μέσον) κατασκευασμένη από λεπτή στρώση [σιδηρονικελίου](#) διαμορφωμένη σαν μια ταινία αντίστασης και εναποτεθειμένη πάνω σε ένα δισκίο πυριτίου. Παρουσία μαγνητικού πεδίου η μεταβολή των αντιστάσεων

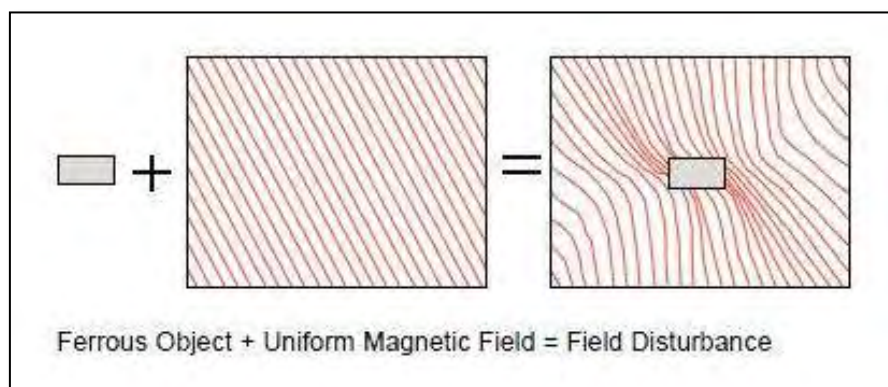
της γέφυρας θα προκαλέσει μια συνακόλουθη μεταβολή στην τάση της διάταξης. Καθόσον η διάταξη διαρρέεται από ρεύμα θα μετατρέπει την όποια παρουσία και απόκλιση μαγνητικού πεδίου κατά τη διεύθυνση των αξόνων X και Y (βλ. εικόνα 20) σε διαφορική τάση εξόδου, αποτιμώντας έτσι την κείμενη μεταβολή στο μαγνητικό πεδίο της γης.



Εικόνα 20 – Αρχή ενεργοποίησης του AMR. Πηγή, [18]

Με βάση αυτή τη συλλογιστική οι αισθητήρες AMR μπορούν να ανιχνεύουν συνεχή στατικά πεδία τόσο ως προς την ένταση όσο και ως προς τη διεύθυνσή τους, κατά μια ποσοστιαία μεταβολή στην τιμή της διάταξης 2-3% και εύρος ± 6 gauss, παρουσία μαγνητικού πεδίου κατά την ελάχιστη ανάλυση της τάξης των 30 μgauss (το μαγνητικό πεδίο της γης είναι 0.5 gauss).

Το πεδίο της γης παρέχει ένα ομοιόμορφο κατανεμημένο μαγνητικό πεδίο σε μια ευρύτερη περιοχή αρκετών χιλιομέτρων. Ένα φέρον αντικείμενο (πχ. αυτοκίνητο) προκαλεί τοπικές διαταραχές στο πεδίο αυτό καθώς κινείται ή/και παραμένει ακίνητο (βλ. Εικόνα 21). Οι AMR μπορούν να εντοπίσουν την μεταβολή αυτή λόγω της παρουσίας φερομαγνητικού αντικειμένου και να αξιοποιήσουμε εν τέλει την πληροφορία αυτή σε μια πλειάδα δυνατών εφαρμογών, όπως αυτή του συστήματος που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της εδώ εργασίας (λεπτομέρειες βλ. [Μέρος II – Α](#)).

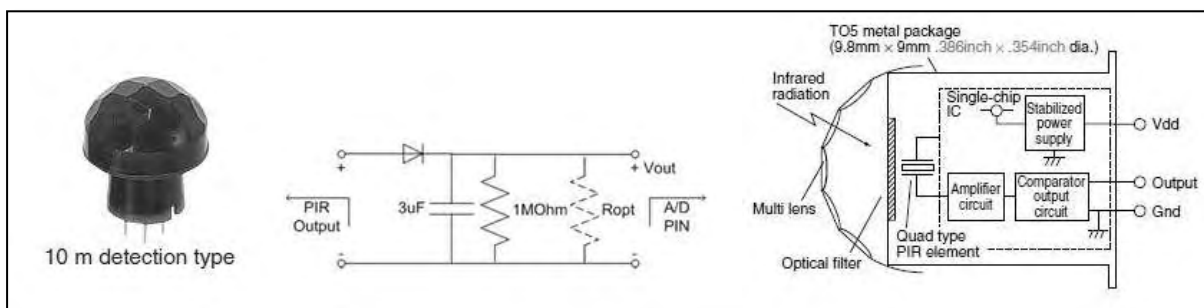


Εικόνα 21 – Επίδραση στο μαγνητικό πεδίο παρουσία φέροντος αντικειμένου. Πηγή, [40]

Passive Infrared MP Motion Sensor “NaPiOn”

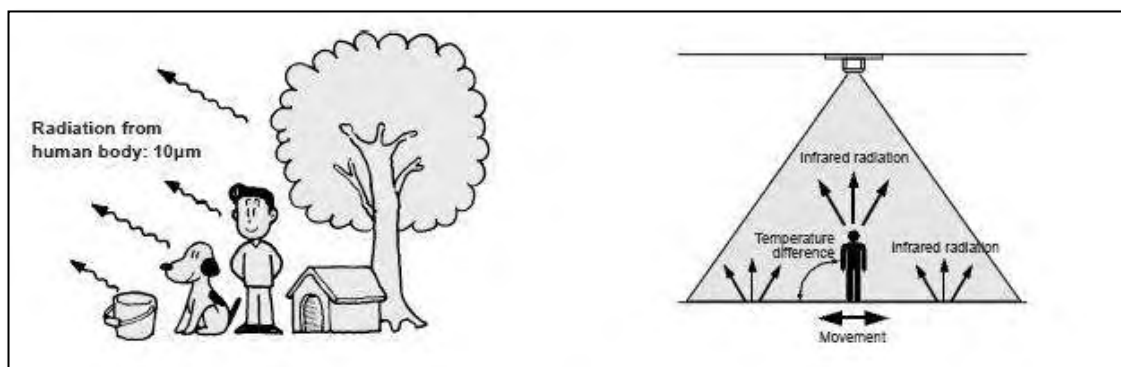
Ο παθητικός αισθητήρας υπέρυθρου με τον οποίο είναι εξοπλισμένο το WiEye sensor board είναι ο AMN44121 (κωδική ονομασία, *MP Motion Sensor “NaPiOn”*), της κατασκευάστριας εταιρίας Panasonic Electric Works Co.

Βάση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας,^[43] όλα τα αντικείμενα εκπέμπουν ακτινοβολία στο φάσμα του υπέρυθρου συναρτήσει της θερμοκρασίας τους (για το ανθρώπινο σώμα το μήκος κύματος είναι της τάξης των 10 μ m, βλ εικόνα 23). Όταν ένα αντικείμενο εισέρχεται στην ελεγχόμενη περιοχή το μέγεθος της προσπίπτουσας υπέρυθρης ακτινοβολίας στον αισθητήρα ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος της διαφοράς της θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχομένου αντικειμένου και του κείμενου περιβάλλοντος.



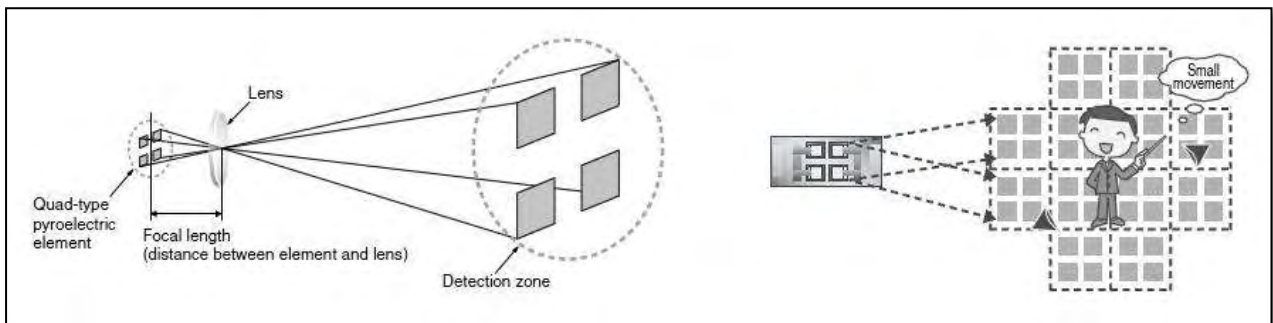
Εικόνα 22 – Απεικόνιση, κυκλωματική και μικροηλεκτρονική απόδοση του AMN44121. Πηγή, [\[43\]](#)/[\[39\]](#)

Η διαδικασία της ανίχνευσης βασίζεται σε τετράδες πυροηλεκτρικών στοιχείων με τα οποία είναι εφοδιασμένος ο NaPiOn εντός ενός TO5 μεταλλικού περιβλήματος, αδιαπέραστου από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Σύμφωνα με το επονομαζόμενο πυροηλεκτρικό φαινόμενο,^[44] ένα κρυσταλλικό στοιχείο έχει την ιδιότητα να παράγει ηλεκτρικό φορτίο καθώς το διαρρέει θερμική ενέργεια. Η συνακόλουθη θερμική διαστολή επάγει ηλεκτρικό ρεύμα. Μία μεταβαλλόμενη λοιπόν ροή ακτινοβολίας στο υπέρυθρο φάσμα θα προκαλέσει ένα μεταβαλλόμενο ρεύμα μέσω του κυκλώματος μέτρησης, του οποίου το πλάτος εξόδου θα είναι ανάλογο με το πλάτος της μεταβαλλόμενης ροής.



Εικόνα 23 – Αρχή λειτουργίας ανίχνευσης ενός υπέρυθρου αισθητήρα. Πηγή, [\[43\]](#)

Ο αισθητήρας είναι προσανατολισμένος προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση και με έναν κώνο ανίχνευσης (βλ. [παράρτημα](#)) ανοίγματος 110° στον οριζόντιο άξονα, 93° στον κατακόρυφο και ακτίνας 10m και εντοπίζει διαφορές θερμοκρασίας σε ένα πλήθος 80 ζωνών ανίχνευσης. Η “παθητικότητά” του εδράζεται στο ότι αναμένει να συλλάβει το γεγονός ανίχνευσης, το οποίο θα αποτυπωθεί πάνω στα πυροηλεκτρικά του στοιχεία μέσα από τους φακούς του εξωτερικού περιβλήματος (βλ. εικόνα 24). Η διαδικασία ανίχνευσης ολοκληρώνεται με βάση την ανάλυση που έγινε ανωτέρω.



Εικόνα 24 – Ζώνες ανίχνευσης και τρόπος αποτύπωσης ερεθίσματος του AMN44121. Πηγή, [\[45\]](#)

Από τεχνικής άποψης ο AMN44121 έχει τα εξής επιπλέον χαρακτηριστικά: [\[45\]](#)

- ✓ Εμβέλεια εντοπισμού ανθρώπινης παρουσίας στα 20-30 πόδια (**1ft.=0.38m**)
- ✓ Εμβέλεια εντοπισμού οχημάτων στα 50-150ft. ανάλογα με το μέγεθος
- ✓ Βέλτιστη απόδοση εντοπισμού κίνησης σε απόσταση 2m
- ✓ Ανεκτές και μετρήσιμες ταχύτητες εισερχόμενου αντικειμένου, 0.3 - 1.0 m/s
- ✓ Ελάχιστη ανιχνεύσιμη διαφορά θερμοκρασίας στόχου και περιβάλλοντος 4°C
- ✓ Η έξοδος του κυκλώματος της διάταξης κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών (0 – ηρεμία έως 4095 – ανίχνευση) και μετά τον εντοπισμό το σήμα εξόδου σβήνει εκθετικά κατά ένα ελεγχόμενο ρυθμό
- ✓ Ο τυπικός ρυθμός απόσβεσης δίνεται από μια σταθερά χρόνου στα περίπου 3sec. Η σταθερά αυτή μπορεί να αυξηθεί με τη συγκόλληση πυκνωτή στην ειδική υποδοχή πάνω στην πλακέτα WiEye και μπορεί να μειωθεί αντίστοιχα με συγκόλληση αντίστασης (βλ. εικόνα 18)
- ✓ Χρόνος ισοροπίας κυκλώματος από εκκίνηση: 7sec τυπικά, 30sec το μέγιστο
- ✓ Η κατανάλωση ρεύματος είναι στα 46 μA , 30% χαμηλότερη σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο

Στο [παράρτημα](#) εκτός της σχηματικής απεικόνισης του κώνου ανίχνευσης, παρατίθενται η αρχή λειτουργίας των ζωνών εντοπισμού που φαίνονται στην εικόνα 24, καθώς και διάφορα σημεία τα οποία χρίζουν προσοχής κατά τη χρήση του ευαίσθητου αυτού αισθητήρα.

Ολοκληρώθηκε έτσι λοιπόν η συνοπτική αυτή περιήγηση στα θεωρητικής και τεχνικής φύσεως ζητήματα που άπτονται των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Θα ακολουθήσει το κυρίως μέρος με πρώτη την περιγραφή της διαδικασίας και της φιλοσοφίας σχεδίασης που ακολουθήθηκε από τον γράφων.

Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Μέρος II – Διαδικασία Σχεδίασης

Στο δεύτερο αυτό μέρος περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία σχεδίασης του συστήματος, τα διάφορα στάδια από τα οποία διήλθε αυτή και τα αντίστοιχα συμπεράσματα που αποκομίστηκαν, καθώς και η προβληματική που αναπτύχθηκε μέσα από τις υποθέσεις εργασίας που τέθηκαν. Αναλύεται δε, διεξοδικά η αρχιτεκτονική του συστήματος με τα διάφορα επιμέρους υποσυστήματα που το απαρτίζουν, ενώ στα πλαίσια μιας πληρέστερης απόδοσης και περιγραφής του συστήματος παρατίθενται επεξηγηματικά διαγράμματα ροής για τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ των υποσυστημάτων αυτών.

A. Στάδια εξέλιξης

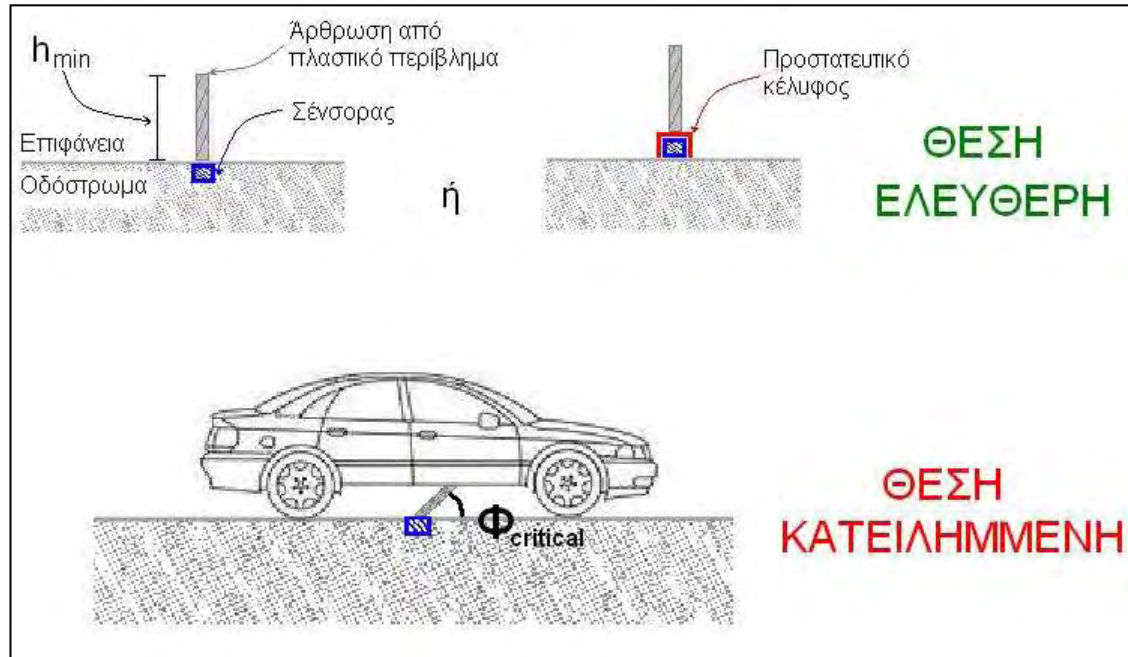
Αναμφίβολα, η επίλυση ενός σύνθετου προβλήματος όπως αυτό του εντοπισμού παρόδιας ελεύθερης θέσης στάθμευσης είναι συνακόλουθο αποτέλεσμα πολύπλευρης έρευνας με διαφορετικά εκάστοτε σημεία εκκίνησης. Η πολυπλοκότητα του ζητήματος επιβάλλει και επιτυγχάνει την προσέγγισή του από μια ευρεία οπτική γωνία, με αποτέλεσμα το πλήθος των προτεινόμενων λύσεων να είναι αντίστοιχο με τη διαθεσιμότητα κατάλληλης ενόρασης και ανάλογης απαιτούμενης τεχνολογίας. Αυτός ο πλουραλισμός των δυνατών προσεγγίσεων είναι πρόδηλος μέσα από την εξελικτική διαδικασία που ακολούθησε και η παρούσα εργασία στην προσπάθεια να βρεθεί η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα.

Μοντέλο συστήματος 1 – Μηχανολογικός αισθητήρας

Ξεκινώντας από το στάδιο σύλληψης του ίδιου του προβλήματος ως αντικειμένου έρευνας, θα σημειώναμε πως η ιδέα προέκυψε όταν εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στο κέντρο του πολεοδομικού ιστού της πόλης του Βόλου, το μέτρο των “κορυνών” ως έσχατη λύση για την αποσυμφόρηση των κεντρικών οδικών αρτηριών. Οι αντιδράσεις της τοπικής κοινωνίας ήταν πάρα πολλές και ενίοτε ακραίες, με την μορφή της υπερπήδησης των κορυνών και της φυσικής αποξήλωσής τους. Η τάση αυτή των οδηγών να καταπατούν τις κορύνες αποτέλεσε την αφορμή για την ενόραση ενός διαφορετικού τρόπου αντιμετώπισης του προβλήματος.

Έχοντας από την μια μεριά να επιλύσουμε το πρόβλημα της αναζήτησης θέσης στάθμευσης και από την άλλη ένα ενδεχόμενο αξιοποίησης των κορυνών, ανέκυψε η ιδέα υλοποίησης ενός συστήματος όπου θα τοποθετούνταν μια κορύνη ανά θέση στάθμευσης. Ο οδηγός κατά τη διαδικασία στάθμευσης θα συμπαρέσυρε την άρθρωση αυτή κάτω από το αμάξωμα του αυτοκινήτου. Στην απόληξη της άρθρωσης θα υπήρχε μηχανολογικός εξοπλισμός, ο οποίος θα αναγνώριζε την μετάπτωση στην κλίση της κάτω από μια κρίσιμη γωνία-στάθμη (*Φcritical*) και υπό αυτήν τη συνθήκη θα εξέπεμπε σήμα προς ένα σταθμό βάσης. Στο σταθμό βάσης θα συγκεντρώνονταν όλα τα σήματα και θα γινόταν επεξεργασία για το εάν οι αντίστοιχες καταχωρημένες θέσεις είναι κατειλημμένες ή όχι. Ακολούθως το αποτέλεσμα της επεξεργασίας θα αποτυπωνόταν σε διεπαφή χρήστη, όπου σε αρχικό στάδιο υπήρχε η ιδέα της

ενσωμάτωσης της πληροφορίας αυτής σε κάποιο σύστημα πλοήγησης (*GPS/Navigation*). Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η σχηματική αναπαράσταση του ανωτέρου συστήματος, με δυο διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς τη θέση εγκατάστασης του μηχανισμού.



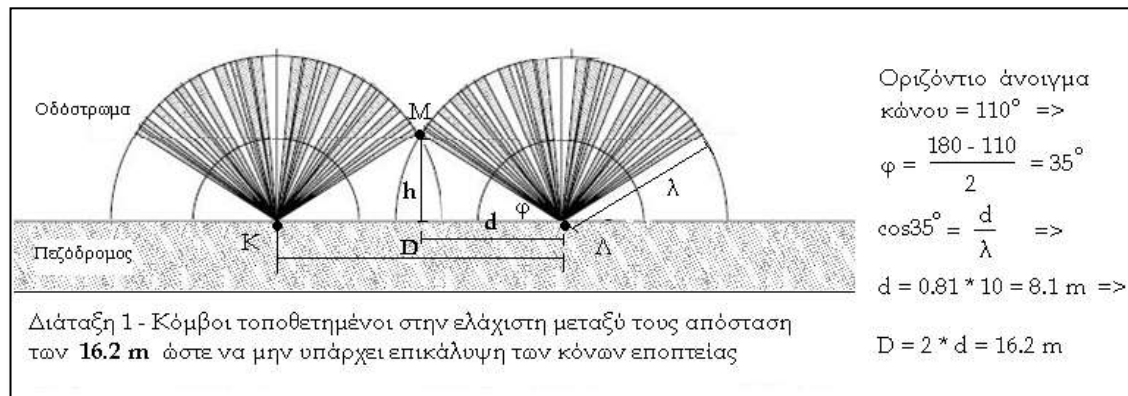
Εικόνα 25 – Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος με μηχανολογικό αισθητήρα.

Μετά από μια αρχική μελέτη σχετικά με το υλοποιήσιμο και τη βιωσιμότητα μιας τέτοιας προσέγγισης λύσης αποδείχθηκαν τα εξής. Αφενός οι κορύνες ως αυτές είναι εγκατεστημένες εντός του οδικού δικτύου δεν αποτελούν αξιόπιστη λύση (απόδειξη, η μη ανεκτικότητα τους σε συχνή καταπόνηση κατά την υπερπήδηση) και συνεπώς θα έπρεπε να αναζητηθεί άλλη τεχνολογία για το σύστημα της άρθρωσης. Αφετέρου η αναζήτηση εναλλακτικού υλικού αλλά και κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού απέβη άκαρπη. Σε αυτό ήρθε να προστεθεί και το ανέφικτο του εγχειρήματος να ενσωματωθεί η διεπαφή χρήστη σε κάποιο σύστημα πλοήγησης, ένεκα της πολιτικής των κατασκευαστριών εταιριών να μην διαθέτουν τα συστήματα αυτά για ελεύθερη χρήση. Όλα συνέκλιναν λοιπόν στην απόρριψη του μοντέλου αυτού και την αναζήτηση εναλλακτικής προσέγγισης.

Μοντέλο συστήματος 2 - Υπέρυθρος αισθητήρας

Η επόμενη προσέγγιση προήλθε από μια προσπάθεια να αντικατασταθεί η άρθρωση από άλλης φύσεως υλικό, ικανό να επιδέχεται συχνές καταπονήσεις, να μην προκαλεί φθορές στα σταθμευμένα οχήματα και ιδανικά να συνοδεύεται από μηχανισμό ειδοποίησης περί ενός υπερκείμενου οχήματος. Η γνωριμία με το παρεχόμενο υλικό του Εργαστηρίου Ασυρμάτων Συστημάτων Αισθητήρων προέκρινε με βάση τις παραπάνω προδιαγραφές ως ιδανική λύση τη χρήση ενός υπέρυθρου αισθητήρα και του αντίστοιχου υποστηρικτικού υλικού του, στα πλαίσια ενός υπό ανάπτυξη WSN (βλ. [αντίστοιχο κεφάλαιο](#)).

Προκειμένου να επιτευχθεί ο βέλτιστος τρόπος χρήσης του αισθητήρα και παράλληλα το χαμηλότερο δυνατό κόστος υλοποίησης του συνολικού συστήματος πραγματοποιήθηκαν μια σειρά πειραμάτων και μελετών με πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικά, για να αξιοποιηθεί όλος ο κώνος-περιοχή εποπτείας του NaPiOn (βλ. [παράρτημα](#)) προτάθηκε να τοποθετηθεί ο σένσορας επί του ρείθρου του πεζοδρομίου και με προσανατολισμό προς την οδό. Ακολούθως στην προσπάθεια αποτροπής επικάλυψης του εντοπισμού μεταξύ παρακείμενων αισθητήρων, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη βέλτιστης τοποθέτησης των κόμβων ως προς την μεταξύ τους απόσταση.



Εικόνα 26 – Κάτοψη με την ελάχιστη απόσταση κόμβων ώστε μη επικάλυψη

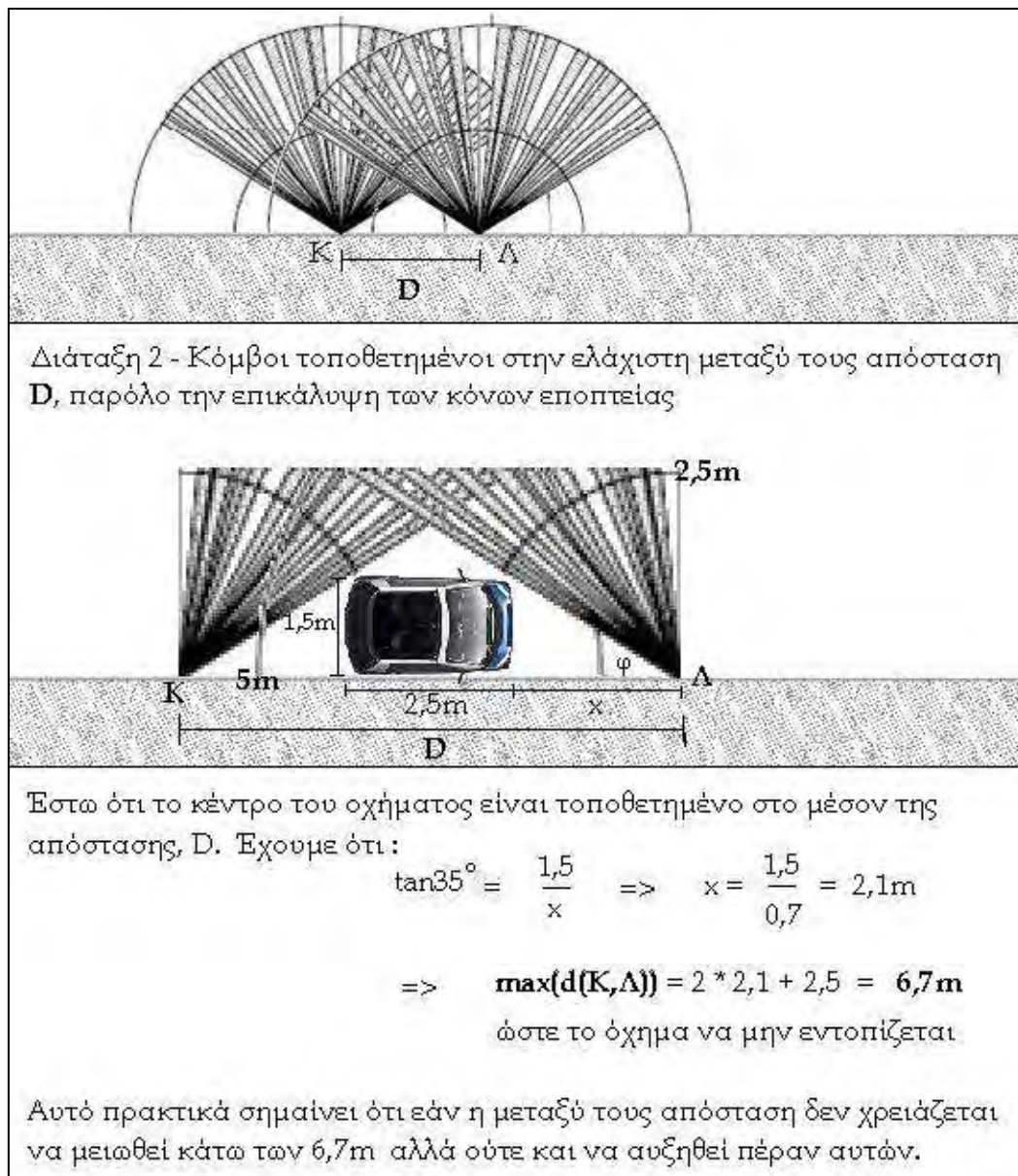
Στο ανωτέρω σχήμα φαίνεται ποια είναι η βέλτιστη απόσταση μεταξύ δύο κόμβων K και Λ, ώστε να μην επικαλύπτονται οι λειτουργίες τους κατά τη διαδικασία ανίχνευσης. Αυτομάτως γεννήθηκε το ερώτημα: “Τι συμβαίνει στην περίπτωση που ένα όχημα σταθμεύει στον ενδιάμεσο χώρο, δηλαδή εντός του τριγώνου ΚΛΜ?” Αν υποθέσουμε λοιπόν ότι ένα τυπικό επιβατικό αυτοκίνητο έχει διαστάσεις ~ 4,5m μήκος και ~1,7m πλάτος, τότε δοθέντος:

$$\sin 35^\circ = h/\lambda \Rightarrow h = 0,57 * 10 = 5,7 \text{ m}$$

με σχετική άνεση μπορεί ο οδηγός να κατευθυνθεί εντός του ΚΛΜ τριγώνου χωρίς να εντοπιστεί. Το πρόβλημα αυτό επαναπροσδιόρισε ως κύριο μέλημα το να διερευνηθεί “ποια θα πρέπει να είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κόμβων ώστε να αποτραπεί το ενδεχόμενο ο οδηγός να σταθμεύει ενδιάμεσα των κόμβων και απαρατήρητος”. Προς αυτόν το σκοπό, θεωρήθηκε ως χειρότερη περίπτωση αυτή ενός οχήματος με τις μικρότερες δυνατές διαστάσεις (Smart: ~2,5m * 1,5m) και αγνοώντας την όποια επικάλυψη μεταξύ των κώνων εποπτείας.

Η μελέτη βέλτιστης τοποθέτησης των κόμβων ως προς την μεταξύ τους απόσταση (D) και με βάση τη νέα αυτή συλλογιστική (βλ. εικόνα 27), απέδειξε ότι συνολικά θα πρέπει να ισχύει:

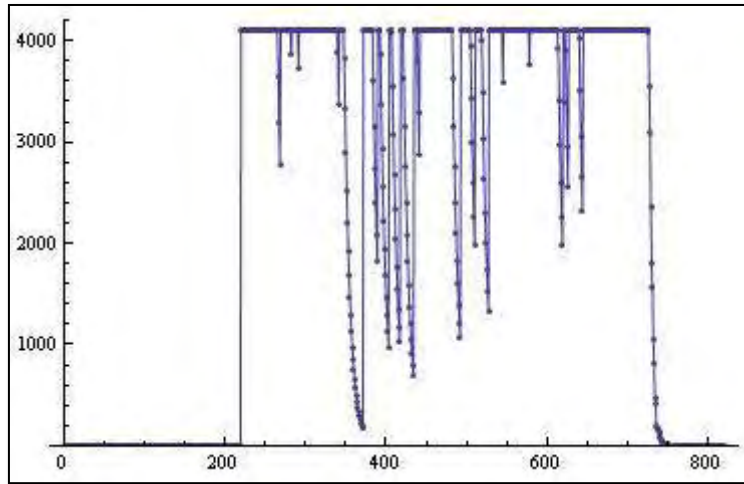
$$5,7 \text{ m} \leq D \leq 6,7 \text{ m}$$



Εικόνα 27 – Μελέτη βέλτιστης απόστασης κόμβων

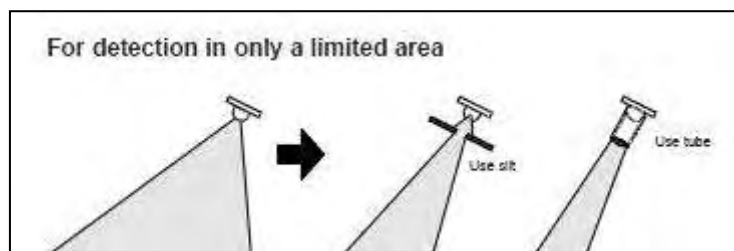
Ανεξαρτήτως της θεωρητικής βελτιστοποίησης ως προς την μεταξύ των κόμβων απόσταση, η πειραματική επαλήθευση του συστήματος επιφύλαξε δυσάρεστα αποτελέσματα. Ο NaPiOn απεδείχθη πολύ ευαίσθητος στις μεταβολές του περιβάλλοντος και ο κώνος-περιοχή εποπτείας πολύ ευρεία σε έκταση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μετά την επιτυχή ανίχνευση του οχήματος, εάν κάποιος οδοιπόρος ή άλλο όχημα μεγάλου μεγέθους κινούνταν πίσω από το σταθμευμένο όχημα και υπήρχε οπτική επαφή με τον αισθητήρα, τότε αυτός ενεργοποιούνταν.

Δυστυχώς τόσο η εμβέλεια δράσης του NaPiOn όσο και ο βαθμός ευαισθησίας του είναι παράμετροι που ρυθμίζονται εκ κατασκευής σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του [\[45\]](#), ενώ πειράματα σε πραγματικό περιβάλλον απέδειξαν το ρηθέν ότι ο αισθητήρας είναι ευαίσθητος ακόμη και σε ανεπαίσθητες κινήσεις όπως αυτές των φυλλωμάτων υπερκειμένων δέντρων ακόμη και σε συνθήκες άπνοιας! (βλ. εικόνα 28)



Εικόνα 28 – Κυματομορφή εξόδου NaPiO9 εγκατεστημένου κάτω από δέντρο. Περισσότερα, [εδώ](#)

Ακολούθησαν διάφορες προσπάθειες να περιοριστεί το εύρος του κώνου εποπτείας, μέσω του εγκλεισμού του σένσορα σε ειδική συσκευασία (βλ. εικόνα 29 και 30) και αναπτύχθηκε κώδικας προκειμένου να γίνεται άμεση αποτίμηση του σήματος εξόδου του σε κυματομορφή μέσω του εργαλείου Mathematica (βλ. [παράρτημα](#)). Παρόλο αυτά, όλα συνηγόρησαν στο να κριθεί ατελέσφορη η χρήση υπέρυθρων αισθητήρων στα πλαίσια του συστήματος και αναζητήθηκαν άλλες προσεγγίσεις με χρήση διαφορετικής φιλοσοφίας αισθητήριων οργάνων. Παράλληλα, το συμπέρασμα που αποκομίστηκε είναι ότι εάν και εφόσον θα κρίνονταν ως αναγκαία η χρήση υπέρυθρου αισθητήρα, τότε οπωσδήποτε ο σένσορας θα τοποθετηθεί εντός ειδικής συσκευασίας και στο οδόστρωμα αντί του ρείθρου, με προσανατολισμό προς τα επάνω.



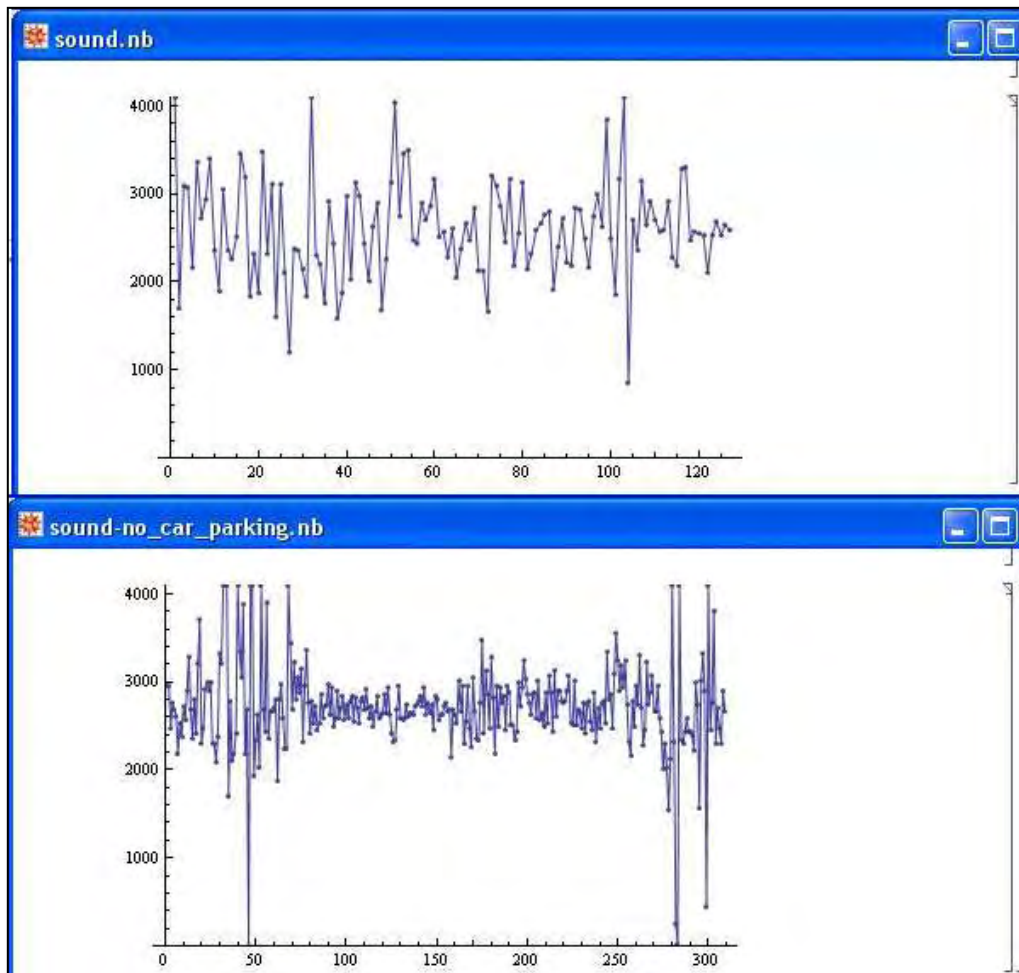
Εικόνα 29 – Περιορισμός πεδίου εντοπισμού του NaPiO9. Πηγή, [\[45\]](#)



Εικόνα 30 – Ιδίόχειρη κατασκευή περιορισμού του εύρους του κώνου του NaPiO9

Μοντέλο συστήματος 3 – Σύνθεση τεχνολογιών αισθητηρίων οργάνων

Έχοντας εγκαταλείψει το σενάριο εντοπισμού των οχημάτων με αποκλειστική χρήση υπέρυθρης τεχνολογίας, επιχειρήθηκε να συνδυαστεί ο NaPiOn με τους υπόλοιπους αισθητήρες με τους οποίους είναι εξοπλισμένο το WiEye sensor board (βλ. [αντίστοιχο κεφάλαιο](#)). Πραγματοποιήθηκαν πειράματα όπου εκτός του υπέρυθρου συλλέγονταν δεδομένα και από τον ακουστικό αισθητήρα.



Εικόνα 31 – Κυματομορφή εξόδου ακουστικού αισθητήρα

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται στο πάνω μέρος της η απόκριση του EM6050P-423 παρουσία υπερκείμενου οχήματος που πραγματοποιεί διαδικασία στάθμευσης, ενώ στο κάτω μέρος φαίνεται η απόκρισή του απουσία οχήματος, με τις εξάρσεις να αντιστοιχούν σε διερχόμενα οχήματα σε απόσταση ~2m. Τα πειράματα αυτά συνδυασμένης χρήσης υπέρυθρου και ακουστικού αισθητήρα επαναλήφθηκαν χωρίς ωστόσο να εξαχθεί κάποιο χρήσιμο συμπέρασμα σχετικά με μια μελλοντική υλοποίηση βασιζόμενη σ' αυτές τις δύο τεχνολογίες. Αναζητήθηκαν τότε διαφορετικές λύσεις και μέσα από μια συγκριτική μελέτη όλων των δυνατών περιπτώσεων καταλήξαμε στη βέλτιστη επιλογή.

Η έως τότε αναζήτηση κατέστησε επιτακτική την ανάγκη να μελετηθεί το ζήτημα της επιλογής τεχνολογίας αισθητήρα με μια πιο ολιστική προσέγγιση. Με βάση το παρεχόμενο υλικό του Εργαστηρίου τέθηκαν στη βάση της διαλογής όλες οι διαθέσιμες κατηγορίες αισθητηρίων οργάνων: υπέρυθροι, ακουστικοί, θερμικοί, φωτεινότητας, μαγνητικοί, κ.ά. Η τελική επιλογή κατέδειξε ως βέλτιστη λύση τον συνδυασμό χρήσης μαγνητικών και υπέρυθρων αισθητήρων. Οι λόγοι που συνηγόρησαν σε μια τέτοια απόφαση εδράζονται στα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα αυτών των δύο τεχνολογιών έναντι όλων των υπολοίπων.

Θα αναφέρουμε ενδεικτικά κάποια από τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα ενώ για μια πιο συνολική θεώρηση παραπέμπουμε στο [παράρτημα](#), όπου παρατίθεται πίνακας συγκριτικής απόδοσης διαφόρων τεχνολογιών αισθητηρίων οργάνων με βάση παραμέτρους όπως: η απόδοση σε ακραίες καιρικές συνθήκες, καταλληλότητα για ασύρματη λειτουργία, προδιαγραφές εγκατάστασης, κ.ά. Για περισσότερες λεπτομέρειες ως προς τις προδιαγραφές και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος βλ. [αντίστοιχο κεφάλαιο](#).

Τελικό μοντέλο συστήματος – Σημεία ειδικού ερευνητικού ενδιαφέροντος

Πλεονεκτήματα επιλογείσας τεχνολογίας

Η επιλογή χρήσης μαγνητικού αισθητήρα είναι αναμφίβολα επιβεβλημένη από τη στιγμή που ο προορισμός κατασκευής του είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με το αντικείμενο του προβλήματός μας. Από τη στιγμή λοιπόν που ένα όχημα είναι κατ' ουσίαν μια ευμεγέθης μεταλλική μάζα, η διαταραχή που προξενεί αυτό στο μαγνητικό πεδίο της γης μπορεί εύκολα να εντοπιστεί από ένα μαγνητικό αισθητήρα, καθιστώντας τον ως την ιδανική λύση στο πρόβλημα εντοπισμού υπερκείμενων οχημάτων ανά θέση στάθμευσης (με τη διαδικασία και φιλοσοφία ανίχνευσης που αναλύθηκε σε [προηγούμενο κεφάλαιο](#)).

Μετά από προβληματική που ανέκυψε σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης (*deployment*) του συστήματος (βλ. [Μέρος II - Β](#)) προκρίθηκε ως αναγκαία η συνεπικουρική λειτουργία του μαγνητικού από υπέρυθρο αισθητήρα. Ο υπέρυθρος αισθητήρας σύμφωνα με μελέτες πάνω στη χρήση του σε συστήματα ασφαλείας^{[43][46]} έχει τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της παθητικής ανίχνευσης (βλ. [αντίστοιχη ενότητα](#)), της λειτουργίας με βάση τις μεταβολές στο υπέρυθρο φάσμα (άρα ανεξαρτησία από καιρικές συνθήκες και φωτεινότητα περιβάλλοντος) και το κυριότερο, είναι φθηνός σε κόστος και εύκολος στη χρήση του.

Μειονεκτήματα επιλογείσας τεχνολογίας

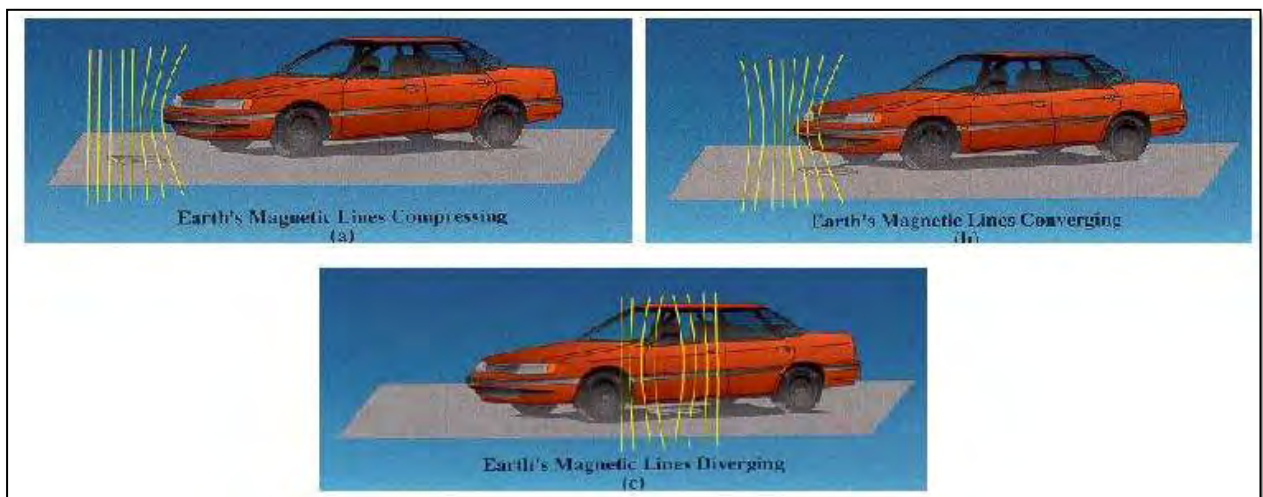
Η θέση η οποία επιλέχθηκε για την εγκατάσταση των αισθητήρων είναι το [βαρύκεντρο](#) μιας οριοθετημένης θέσης στάθμευσης. Σύμφωνα με τα όσα περιγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα για τον κώνο εποπτείας του NaPiOn, θα πρέπει η τοποθέτηση των αισθητήρων να γίνει υπογείως ή μέσα σε κάποιο κέλυφος. Όσο μεγαλύτερο σε ύψος το κέλυφος τόσο προφανώς μικρότερο το άνοιγμα του κώνου και άρα μικρότερη ευαισθησία δειγματοληψίας. Το ύψος όμως αυτό δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10cm

κατά μέσο όρο λαμβάνοντας υπόψη το ύψος της ανάρτησης των οχημάτων. Άρα λοιπόν συνιστάται η διάτρηση του οδοστρώματος και η τοποθέτηση του κέλυφους κάτω από το επίπεδο αυτό. Επιπλέον, θα εξασφαλίσουμε έτσι καλύτερη ανοχή σε καταπονήσεις (αφού το προστατευτικό κέλυφος που θα περιέχει τους αισθητήρες δεν θα είναι στο επίπεδο του οδοστρώματος και άρα έκθετο σε συχνές και βίαιες υπερπηδήσεις) και μεγαλύτερη ασφάλεια από πιθανές κλοπές υλικού.

Πέραν της αύξησης του κόστους υλοποίησης του συστήματος λόγω των εργασιών εγκατάστασης, θα πρέπει να προσθέσουμε τη δυσκολία ορθής λειτουργίας και ανίχνευσης εκ μέρους του υπέρυθρου αισθητήρα υπό ακραίες καιρικές συνθήκες (δριμύ ψύχος, μεγάλο ύψος βροχοπτώσεων, απευθείας έκθεσης στις ηλιακές ακτίνες) και τη μεγάλη ακτίνα δράσης και υψηλή ευαισθησία του (βλ. [αντίστοιχο κεφάλαιο](#) και [παράρτημα](#)), αλλά και τις εγγενείς δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε κατά τη διαδικασία ρύθμισης της χρήσης του μαγνητικού αισθητήρα.

Οι ιδιομορφίες χρήσης του μαγνητικού αισθητήρα

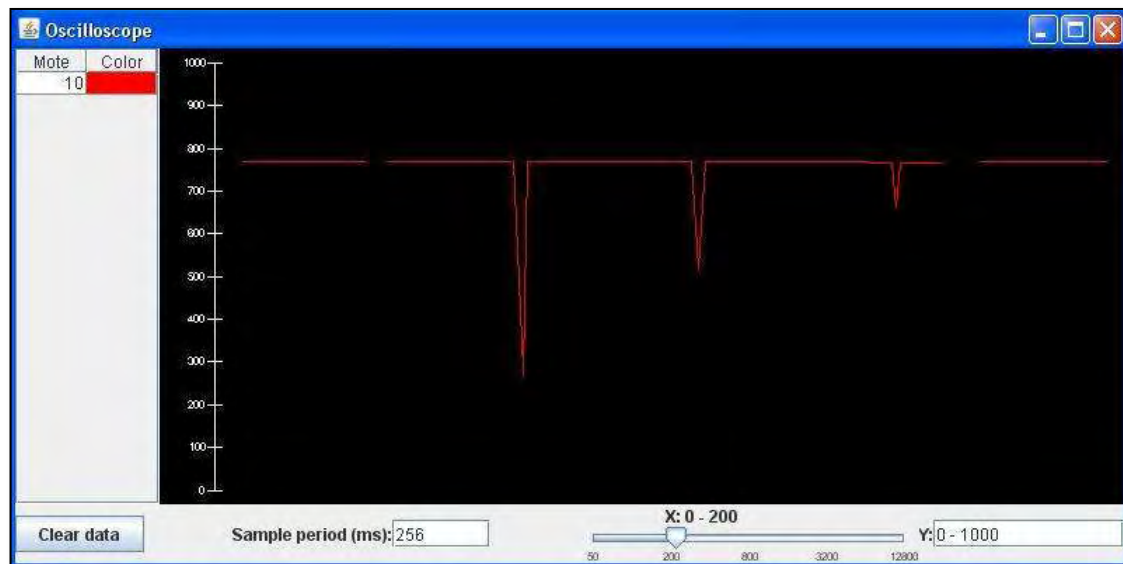
Μέσα από ένα πλήθος πειραμάτων που πραγματοποιήσαμε (βλ. [αντίστοιχη ενότητα](#)), διαπιστώθηκε ότι οι διαταραχές στο μαγνητικό πεδίο είναι πιο εμφανείς στο εμπρός μέρος του οχήματος (μηχανή) και προς τους τροχούς και άξονες κίνησης, αλλά επίσης ποικίλουν και με βάση τι φέροντα αντικείμενα ενδεχομένως να υπάρχουν στο εσωτερικό του οχήματος ή στο χώρο αποσκευών. Το αποτέλεσμα της παρουσίας ενός φερομαγνητικού αντικειμένου στις μαγνητικές ροές του πεδίου της γης είναι μοναδικό για κάθε αντικείμενο και υπό ιδανικές συνθήκες μπορεί να θεωρηθεί ότι η μαγνητική διαπερατότητά του είναι το μαγνητικό “αποτύπωμά” του, χρήσιμο στοιχείο σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών ITS σχετικά με εντοπισμό και ανίχνευση οχημάτων. ^[15]



Εικόνα 32 – Απόκριση των μαγνητικών ροών παρουσία οχήματος. Πηγή, [\[40\]](#)

Σημείο καμπής κατά την εξέλιξη της εργασίας αποτέλεσε η ενεργοποίηση του μαγνητικού αισθητήρα και η συλλογή των πρώτων έγκυρων μετρήσεων αυτού. Το στάδιο αυτό μαζί με το στάδιο κατασκευής της διεπαφής χρήστη υπήρξαν τα πλέον χρονοβόρα αλλά παρόλο αυτά αποτέλεσε την αφορμή ώστε ο γράφων να αποκτήσει

εξοικείωση με όλες τις εκδόσεις του λειτουργικού συστήματος TinyOS, στην προσπάθεια να αναζητηθεί η σωστή εκδοχή κώδικα ενεργοποίησης του HMC1002. Παρόλο που είχε από την αρχή εντοπιστεί και δημιουργηθεί κώδικας της έκδοσης [2.1.1] για τη δειγματοληψία του μαγνητικού αισθητήρα, το σήμα εξόδου που συλλέγονταν είχε την ιδιομορφία να μένει σταθερά αμετάβλητο σε μια μέγιστη τιμή ~780 (βλ. εικόνα 33).



Εικόνα 33 – Απόκριση εξόδου HMC1002 με εγκατεστημένο κώδικα έκδοσης [2.1.1]

Με την ενεργοποίηση του συστήματος η κυματομορφή εξόδου καθηλωνόταν στο μέγιστο και δεν αποκρινόταν στην παρουσία ή όχι, μεταλλικών αντικειμένων. Η συμπεριφορά αυτή άλλαζε μόνο όταν η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού που προσεγγίζαμε ήταν πάρα πολύ μεγάλη και η απόσταση από τον HMC1002 μικρότερη των 2cm! Συγκεκριμένα, τα όποια ακρότατα εμφανίζονται στην παραπάνω εικόνα προκλήθηκαν όταν και μόνο όταν φέραμε σε στενή επαφή έναν επιτραπέζιο μαγνήτη και μετά από αρκετή και επίμονη παλινδρομική κίνησή του πλησίον του αισθητήρα.

Η συγκεκριμένη αυτή συμπεριφορά γέμισε με ερωτηματικά κατά πόσον θα μπορούσαμε να εντάξουμε τον αισθητήρα στην τελική υλοποίηση. Αναφορές στη διεθνή βιβλιογραφία ενέτειναν τους προβληματισμούς αυτούς, καθώς εντοπίστηκε σε πηγές ^{[38][41]} η εξής συμπεριφορά του HMC1002. “Ο πυρήνας σιδηρονικελίου είναι εξαιρετικά ευαίσθητος. Παρόλο αυτά, είναι επίσης επιρρεπής σε κορεσμό. Ο κορεσμός προκαλείται όταν ο αισθητήρας έρθει σε επαφή με μεγάλο μαγνητικό πεδίο. Δυστυχώς η κυκλωμάτωση του MTS310 δεν περιλαμβάνει ένα αυτόματο σύστημα επαναφοράς από κορεσμό (set/reset)”.

Επιχειρήθηκε ακολούθως να διερευνηθεί κατά πόσον ένα τέτοιο φαινόμενο θα μπορούσε να ίσχυε στην εδώ περίπτωση και αν και εφόσον θα έπρεπε να προβούμε στην κατασκευή ενός τέτοιου κυκλώματος set/reset. Το σενάριο αυτό αποκλείστηκε αφενός λόγω του δύσκολου εγχειρήματος κατασκευής ενός τέτοιου κυκλώματος και αφετέρου λόγω της μη αναγκαιότητάς του εν τέλει, αφού μετά από επικοινωνία με την

κατασκευάστρια εταιρία Honeywell επιβεβαιώθηκε ότι ένα φαινόμενο κορεσμού δεν θα μπορούσε να επέλθει υπό τις παρούσες συνθήκες των πειραμάτων μας. (Περισσότερες λεπτομέρειες στο [παράρτημα](#)).

Μετά από διερεύνηση όλων των πιθανών συνδυασμών κώδικα διαφορετικών εκδόσεων TinyOS και μέχρι και την εγκατάσταση της πλατφόρμας Moteview χωρίς κάτι να αλλάζει στη συμπεριφορά της κυματομορφής εξόδου, εντοπίστηκε ότι η ευαισθησία του αισθητήρα είναι δυνατόν να ρυθμιστεί μέσω κλήσης κατάλληλης συνάρτησης. Εν τέλει, μετά από πειράματα διαπιστώθηκε ότι ο μαγνητικός αισθητήρας λειτουργεί με την εξής ιδιομορφία. Εκκινούμενη η κυματομορφή από το μέγιστο και ανάλογα με το ποσοστό ευαισθησίας (βλ. [λεπτομέρειες παρακάτω](#)), καθώς μετακινούμε τον αισθητήρα στο χώρο ανάλογα με τις μαγνητικές ροές του πεδίου της γης, η κυματομορφή παρουσιάζει μεταπτώσεις έχοντας απεμπλακεί από το μέγιστο (βλ. εικόνα 34). Κατά αυτόν τον τρόπο, μπορούμε ανάλογα με το τελικό σημείο τοποθέτησης του αισθητήρα να υπολογίσουμε το ακριβές ποσοστό ευαισθησίας που θα εισάγουμε ως παράμετρο στη συνάρτηση και μετά από μια υπομονετική διαδικασία να καταφέρουμε να ισορροπήσουμε την έξοδο σε ένα επιθυμητό εύρος τιμών [400,500]. Ο αισθητήρας πλέον είναι έτοιμος προς χρήση!



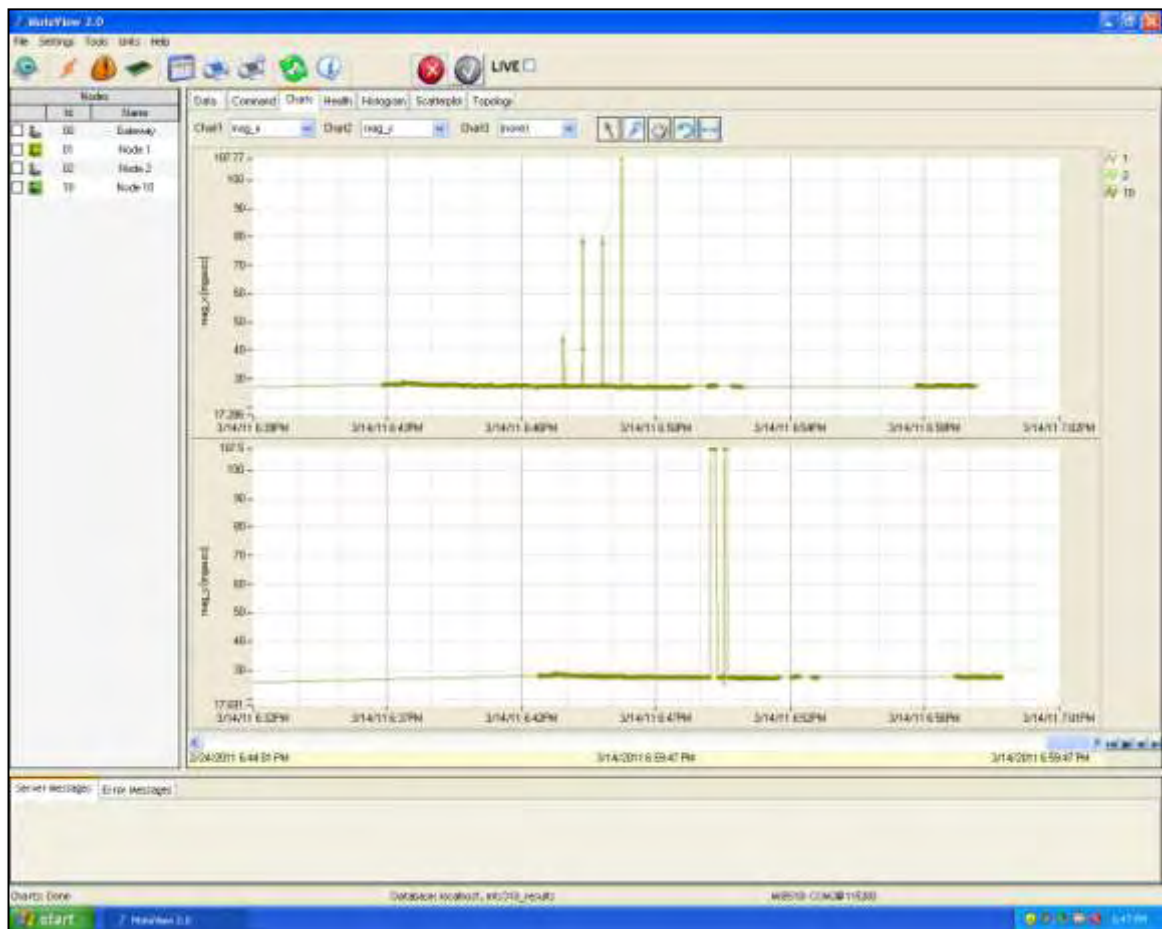
Εικόνα 34 – Μεταβολές στην κυματομορφή εξόδου του HMC1002 καθώς τον μετακινούμε στο χώρο.

Ανασκόπηση των λειτουργικών συστημάτων που απαντήθηκαν

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, στα πλαίσια της εργασίας αυτής μελετήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν διάφορες εκδόσεις του λειτουργικού συστήματος TinyOS. Πρώτο και απαραίτητο στάδιο της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η γνωριμία με το λειτουργικό. Κρίθηκε σκόπιμο να ακολουθηθεί μια σταδιακή μετάβαση μελέτης από την [1.0.0] και προς την [2.1.1] έκδοση, διότι μέσω της χρονοβόρας κατά τα άλλα αυτής διαδικασίας ο ενδιαφερόμενος μπορεί να γνωρίσει καλύτερα και σε βάθος το υπό εξέταση λειτουργικό, να εντρυφήσει στη φιλοσοφία κατασκευής του, να μάθει τα στάδια εξέλιξής του και να κατανοήσει έτσι το πως και γιατί επιλέχθηκε εν τέλει η κάθε υλοποίηση των υποσυστημάτων που το απαρτίζουν.

Ξεκινώντας λοιπόν ο γράφων με μια πρώτη γεύση του λειτουργικού και την έκδοση [1.0.0], ακολούθησε η [1.1.14] στην οποία και μελετήθηκαν τα συνοδευτικά της tutorial.^[48] Όλο το υλικό μελέτης συγκεντρώθηκε με την μορφή εγχειριδίου εισαγωγής και είναι άμεσα διαθέσιμο στο διαδίκτυο.^[47] Προφανώς και όλο το υλικό είναι προϊόν προσωπικής έρευνας και θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με τη δέουσα προσοχή. Εκτός αυτών, το υλικό περιλαμβάνει εγχειρίδια χρήσης και της [2.1.1] έκδοσης καθώς και υποβοηθητικούς [οδηγούς εγκατάστασης](#) των [1.1.14] και [2.1.1]. Εκτός αυτής της αναγκαιότητας για μια ολιστική προσέγγιση του λειτουργικού συστήματος TinyOS, τεχνικοί λόγοι έκριναν απαραίτητη τη χρήση των [1.1.14] και [2.1.1] εκδόσεων. Όπως προαναφέρθηκε, η απόπειρα να δειγματοληπτηθεί ο HMC1002 στην [2.1.1] απέβη άκαρπη και αναγκαστικά αναζητήθηκε λύση στην [1.1.14] έκδοση, ενώ ο δε NaPiOn λειτουργεί μόνο σε περιβάλλον [2.1.1].

Στο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα επιχειρήθηκε και η χρήση της πλατφόρμας Moteworks^[49], χωρίς ωστόσο να βρεθεί και εκεί λύση στο πρόβλημα. Ο μαγνητικός αισθητήρας εξακολουθούσε να αποκρίνεται με παρόμοιο τρόπο, με μόνη διαφορά ότι η κυματομορφή εξόδου δεν αποτιμούταν στο ίδιο πεδίο τιμών. Το αξιοσημείωτο είναι ότι για πρώτη φορά επιτεύχθηκε η ανίχνευση οχήματος, καθώς τα ακρότατα στην ακόλουθη εικόνα δεν αντιστοιχούν σε υπερκείμενο επιτραπέζιο μαγνήτη. Ήταν ένα ελπιδοφόρο γεγονός που επιβεβαίωνε την ανυπαρξία φαινομένου κορεσμού.



Εικόνα 35 – Η πλατφόρμα Moteworks και η εκεί απόκριση του μαγνητικού αισθητήρα

B. Υποθέσεις εργασίας

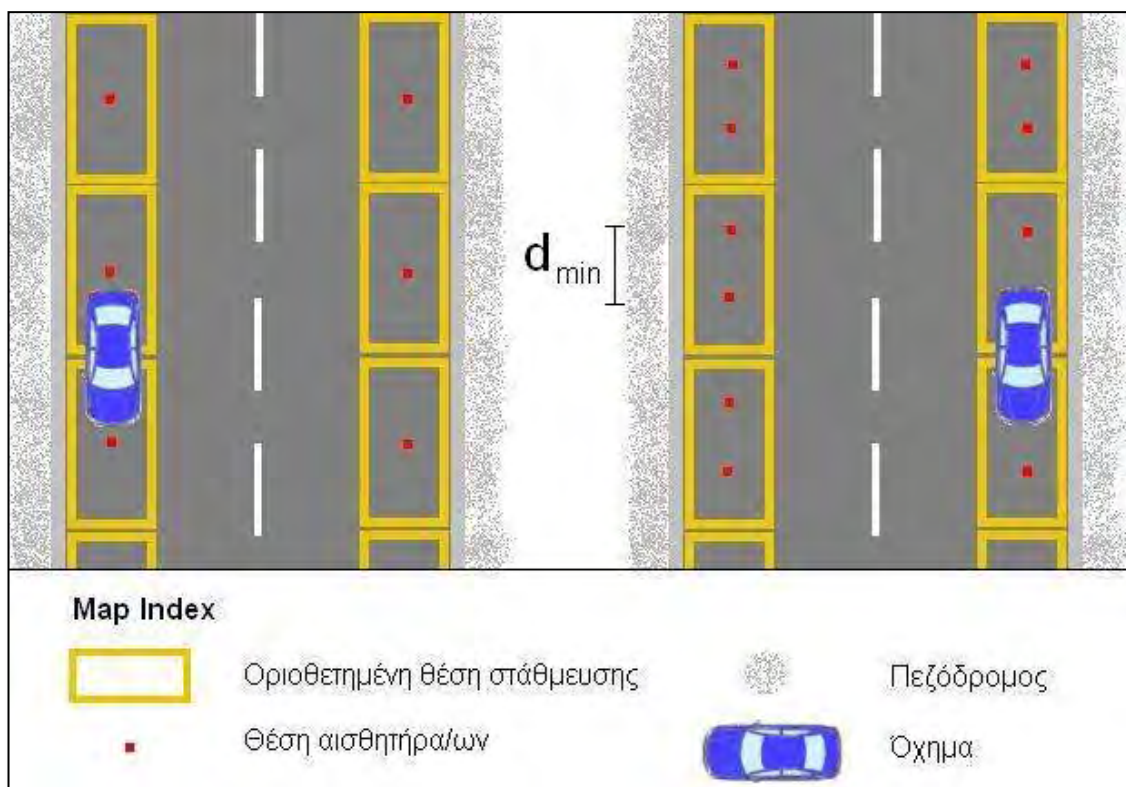
Απότοκο της εξελικτικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε (και περιγράφηκε ανωτέρω) κατά την εκπόνηση της εργασίας, ήταν μια σειρά υποθέσεων που τέθηκαν καθόλα τα στάδια εξέλιξης και αφορούν το περιβάλλον του συστήματος προς υλοποίηση. Πρόκειται για μια σειρά βασικών προτάσεων τις οποίες αποδεχόμαστε ως αρχή για να μπορέσουμε να παραγάγουμε ένα εν τέλει ορθά δομημένο σύστημα, ανεξάρτητα από το εάν αυτές είναι αληθείς ή εσφαλμένες.

Προκειμένου λοιπόν να παραχθούν επακριβώς οι απαιτούμενες έξοδοι υπό τη μορφή διατμηματικών του συστήματος δεδομένων, προκρίνουμε τις ακόλουθες θέσεις :

- 1. Ο συνολικός αριθμός των υπό εποπτεία θέσεων στάθμευσης είναι σαφώς ορισμένος.** Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο πολεοδομικός ιστός έχει χωροθετηθεί κατά έναν τέτοιο τρόπο ώστε αφενός να υπάρχουν σαφώς οριοθετημένες θέσεις στάθμευσης και αφετέρου να καλύπτουν το σύνολο της επιθυμητής περιοχής. Αποκλείεται έτσι η περίπτωση να υπάρχουν κενές θέσεις στην περιοχή για τις οποίες να μην έχει γνώση το σύστημα.
- 2. Το σύστημα απευθύνεται στο σύνολο των οδηγών οχημάτων.** Υποθέτουμε πως όλοι οι οδηγοί έχουν ή δύναται να έχουν πρόσβαση προς τη διεπαφή χρήστη. Η τρέχουσα υλοποίηση του συστήματος επιτάσσει τη χρήση μιας διαδικτυακής πλατφόρμας και παρόλο που προβλέπεται ταυτοποίηση χρήστη, δεν είναι επί του παρόντος κλειστό ως σύστημα. Μελλοντικές επεκτάσεις διευρύνουν το ενδιαφερόμενο κοινό (*target group*) μέσω της χρήσης και άλλων εργαλείων διεπαφής πέραν των συσκευών με ικανότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο (βλ. [Μέρος V - Γ](#))
- 3. Ο ενδιαφερόμενος χρήστης δεν είναι κακόβουλος.** Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι, αφενός εάν ζητήσει την υπηρεσία κατάδειξης διαδρομής θα εισάγει έγκυρα στοιχεία, αφετέρου θα ακολουθήσει πράγματι την προτεινόμενη διαδρομή. Επίσης θα σταθμεύσει εντός της οριοθετημένης θέσης και όχι εκτός αυτής, ούτε προς το κέντρο της οδού, ούτε ανάμεσα από τα βαρύκεντρα δυο παρακείμενων θέσεων. Παρόλο την υπόθεση αυτή, υπάρχει αλγοριθμική πρόνοια για εντοπισμό και επισήμανση τέτοιων ανεπιθύμητων καταστάσεων.
- 4. Κάθε θέση στάθμευσης έχει οριοθετηθεί στο μέγεθος ενός συμβατικού αυτοκινήτου.** Δεν προβλέπεται η περίπτωση να επιτρέπεται η στάθμευση εμπορευματικών αυτοκινήτων, και το μικρότερο ανεκτό μέγεθος είναι αυτό ενός [μικραυτοκινήτου](#) (Daimler AG - Smart, Toyota - iQ κτλ).
- 5. Τα δίκυκλα οχήματα μεγάλου κυβισμού αποκρίνονται ομοίως.** Πειράματα απέδειξαν ότι ο μεταλλικός όγκος μιας μηχανής σταθμευμένης πάνω από το κέλυφος με τους αισθητήρες, έχει παρόμοια απόκριση στο σύστημα με αυτή των επιβατικών αυτοκινήτων και ανάλογη του τρόπου κατανομής των μεταλλικών μερών πάνω στον σκελετό της μηχανής, διαφέροντας αισθητά για μηχανές αγωνιστικών προδιαγραφών (με χαμηλό κέντρο βάρους) και μηχανές τουρισμού ή χωμάτινων διαδρομών (με σαφώς υψηλότερο).

6. **Η περιοχή εποπτείας δεν περιλαμβάνει υπερκείμενη των αισθητήρων βλάστηση.** Έχει γίνει ξανά αναφορά στο γεγονός ότι ο υπέρυθρος αισθητήρας είναι ευαίσθητος ακόμη και σε ανεπαίσθητες κινήσεις των φύλλων κάποιου δέντρου πάνω από τους σένσορες. Προς αποφυγή συνεχών ενεργοποιήσεων του θα πρέπει να υπάρχει σχετική πρόβλεψη απομάκρυνσης οποιουδήποτε τέτοιου πιθανού ερεθίσματος.
7. **Αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των υποσυστημάτων.** Το σύστημα έτσι όπως έχει υλοποιηθεί αποτελείται από συνεργαζόμενα μέρη, με την αστοχία κάποιου κατά την παραγωγή εξόδου του να πλήττει ανεπανόρθωτα τα εξαρτώμενα υποσυστήματα και έτσι τη συνολική απόδοση. Η διεπαφή χρήστη βασίζεται στο ότι οι βάσεις δεδομένων που εγγράφονται εμπεριέχουν αληθή και ακριβή δεδομένα. Αντίστοιχα ο αλγόριθμος διαχείρισης θεωρεί πως λαμβάνει ακριβή στίγματα ενεργοποίησης των αισθητήρων και τελικώς οι αισθητήρες υποθέτουμε πως λειτουργούν κανονικά δειγματοληπτώντας με τον καθορισμένο ρυθμό και τα καθορισμένα ερεθίσματα του περιβάλλοντος.

Να σημειώσουμε πως ειδικά για τις υποθέσεις 3 και 4, στο αριστερό μέρος του παρακάτω σχήματος φαίνεται ένα υποθετικό σενάριο όπου κακόβουλος οδηγός σταθμεύει στο ενδιάμεσο δυο κόμβων. Στα αρχικά στάδια μελέτης της εργασίας και υπό το [μοντέλο συστήματος 2](#), είχε κριθεί αναγκαία η αναβάθμισή του με χρήση δυο αισθητήρων ανά θέση στάθμευσης και σε απόσταση d_{min} (ίση με αυτή του μήκους ενός μικραυτοκινήτου). Κατόπιν της επιλογής άλλης τεχνολογίας ανίχνευσης δεν υπήρχε λόγος για μια τέτοια σχετική πρόβλεψη μιας και όπως θα δούμε παρακάτω το ίδιο πρόβλημα επιλύεται και με τη χρήση ενός μόνο αισθητήρα ανά θέση στάθμευσης.



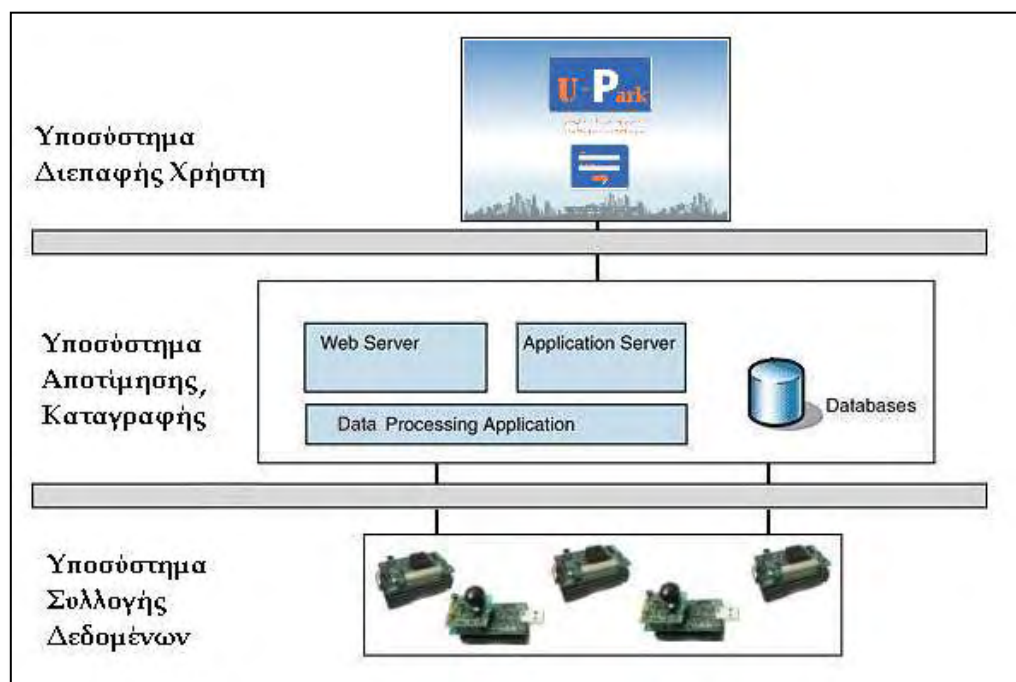
Εικόνα 36 – Μοντέλο συστήματος 2β. Χρήση δύο αισθητήρων ανά θέση για την ανίχνευση κακόβουλων οδηγών.

Γ. Αρχιτεκτονική συστήματος

Το σύστημα διαχείρισης και υποβοήθησης στάθμευσης που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής είναι ένα σαφώς δομημένο και ιεραρχημένο σύστημα που συνίσταται από ένα πλήθος συνεργαζόμενων υποστημάτων, βάση μιας κατάλληλα διαμορφωμένης αρχιτεκτονικής σχεδίασης τριών επιπέδων (βλ. εικόνα 37). Η τελική του μορφή προέκυψε μέσα από την ανωτέρω περιγραφόμενη εξελικτική διαδικασία και τα συστήματα που το απαρτίζουν επενεργούν μεταξύ τους διαμέσου μιας σειράς λειτουργιών που θα αποδοθούν παραστατικά μέσα από την συνοπτική παρουσίαση των υποσυστημάτων και τα συνακόλουθα διαγράμματα ροής.

1. Υποσυστήματα

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε απαρτίζεται από τα εξής διακριτά υποσυστήματα: συλλογής δεδομένων, αποτίμησης και καταγραφής, και διεπαφής χρήστη. Καθένα από αυτά είναι δομημένο πάνω διαφορετική λειτουργική πλατφόρμα και συνήθως αποτελείται και αυτό με τη σειρά του από επιμέρους υποσυστήματα.



Εικόνα 37 – Αρχιτεκτονική του συστήματος

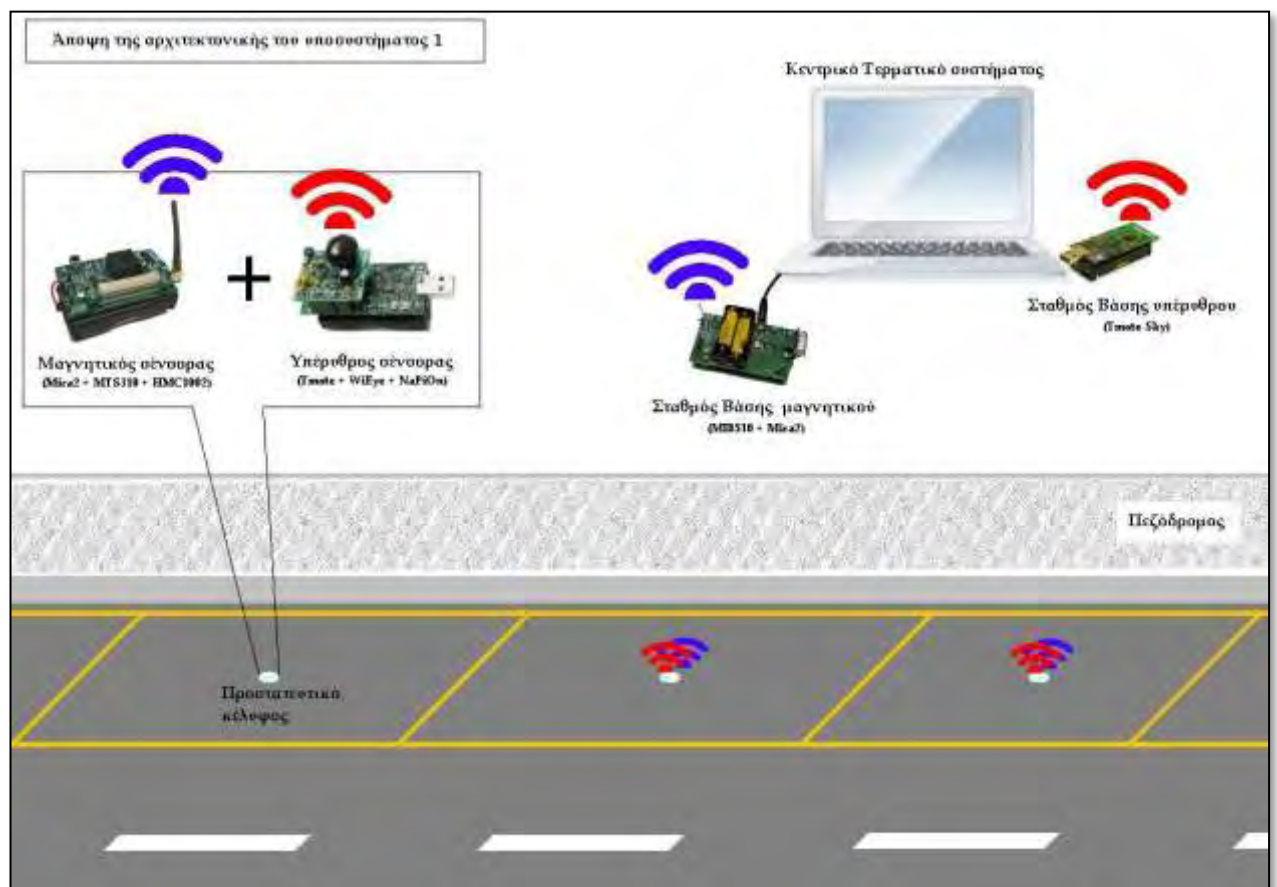
i. Υποσύστημα συλλογής δεδομένων

Βάση του συστήματος αποτελεί το υποσύστημα συλλογής δεδομένων. Είναι ο θεμέλιος λίθος του και το πρώτο εκ των τριών επιπέδων της αρχιτεκτονικής του. Αποτελείται από το ανεπτυγμένο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που είναι επιφορτισμένο με την καταγραφή των δεδομένων του περιβάλλοντος και τη διάχυσή τους προς τους σταθμούς βάσης, βασιζόμενο στο λειτουργικό TinyOS-1.x και 2-x.

Αναλυτικότερα, το WSN συγκροτείται από τις εξής δυο διακριτές τεχνολογίες αισθητήρων. Ως κυρίως μέρος, τους μαγνητικούς αισθητήρες HMC1002 που είναι

ενσωματωμένοι μέσω του MTS310 sensor board πάνω στους σένσορες Mica2 καθώς και έναν Mica2 προσαρτώμενο πάνω στην MIB510 mote interface board ως σταθμό βάσης (έκδοση TinyOS-1.1.14). Η άλλη κατηγορία με επικουρικές αρμοδιότητες είναι οι υπέρυθροι αισθητήρες NaPiOn ενσωματωμένοι μέσω του WiEye sensor board πάνω στους σένσορες Tmote Sky καθώς και ένας Tmote σε ρόλο σταθμού βάσης (έκδοση TinyOS-2.1.1). Οι έννοιες κύριο και επικουρικό μέρος θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Το υποσύστημα αυτό, η σχηματική απεικόνιση του οποίου δίδεται παρακάτω, εποπτεύει την κατάσταση του περιβάλλοντος με βάση τις αρχές λειτουργίας των αισθητήρων, όπως αυτές αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Ως είσοδο δέχεται κάποιο ερέθισμα στον υπερκείμενο χώρο κάθε θέσης στάθμευσης και παράγει ως έξοδο ένα σήμα-πακέτο με δομή ανάλογα με την τεχνολογία του αντίστοιχου αισθητήρα (σχηματικά αποδόθηκε με διαφορετικό χρώμα. Για περισσότερες λεπτομέρειες, [Μέρος IV - Α](#)). Το σήμα αυτό στέλνεται πάνω από το ασύρματο κανάλι με βάση κάποιο υιοθετημένο πρωτόκολλο ζεύξης (στην παρούσα εργασία το μέγεθος του δικτύου ήταν 1-1, ένας αισθητήρας και ένας σταθμός βάσης για κάθε τεχνολογία, συνεπώς δεν απαιτήθηκε να εφαρμοστεί κάποιο τέτοιο πρωτόκολλο) και προς τους αντίστοιχους σταθμούς βάσης όπου και λαμβάνει χώρα η επεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων (*raw data*).



Εικόνα 38 – Αναπαράσταση του υποσυστήματος συλλογής δεδομένων

ii. Υποσύστημα αποτίμησης και καταγραφής

Το υποσύστημα αυτό αποτελεί την καρδιά της εφαρμογής που υλοποιήθηκε. Αποτελείται από προγράμματα που αναπτύχθηκαν στα διάφορα λειτουργικά περιβάλλοντα που ενυπάρχουν στο σύστημα, καθώς και τις απαραίτητες βάσεις δεδομένων όπου και γίνεται η αποθήκευση της πληροφορίας κατάστασης των υποσυστημάτων.

Data processing applications. Σε πρώτο στάδιο υπάρχουν προγράμματα (*Listen.java*) τα οποία τρέχουν στο κεντρικό τερματικό-υπολογιστή –και στην αντίστοιχη έκδοση του λειτουργικού TinyOS– και είναι επιφορτισμένα με την επεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων που συλλέγουν οι δύο σταθμοί βάσης μέσω της σειριακής θύρας. Ως έξοδο παράγουν υπό συνθήκη εντολές καταγραφής πεδίων της βάσης δεδομένων (*sensor_state.db*) που αντιστοιχεί στην κατάσταση του κάθε κόμβου.

Application server. Ως πρωτεύον επίπεδο της λειτουργίας του συστήματος είναι προγράμματα σε γλώσσα Java, αρμόδια για την εκκίνηση του συστήματος (*init_db.java*), την εκτέλεση του αλγορίθμου εποπτείας (*U_PARK.java*) και την ενημέρωση των εγγραφών (*update-clks.java*) της έτερης βάσης δεδομένων (*nodes.db*). Ο ακριβής τρόπος λειτουργίας και υλοποίησής τους θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Στην παρούσα φάση αρκεί να επισημάνουμε ότι ως είσοδο δέχονται την κατάσταση των βάσεων δεδομένων και ως έξοδο ανανεώνουν υπό κατάλληλες συνθήκες την κατάσταση αυτή.

Web server. Ένα τελικό στάδιο είναι αυτό της διατήρησης ενός προγράμματος διαχείρισης εξυπηρετητή υπεύθυνο για την ανάρτηση και διατήρηση στο διαδίκτυο της διεπαφής χρήστη. Οφείλει και είναι συνεχώς σε λειτουργία απαντώντας στα αιτήματα που θέτουν οι δυο κατηγορίες χρηστών του συστήματος **πελάτης-οδηγός** και **διαχειριστής**, μέσω επερωτήσεων (*queries*) προς τη δεύτερη βάση δεδομένων (*nodes.db*). Τέλος, θα εμφανίζει το αποτέλεσμα αυτό σε κατάλληλα σχεδιασμένη και φιλική προς το χρήστη διεπαφή.

Συνολικά, το υποσύστημα αυτό φροντίζει για τη διατήρηση της συνοχής της πληροφορίας μεταξύ των υποσυστημάτων, είναι αρμόδιο για την επεξεργασία, διαχείριση και αποθήκευση της πληροφορίας που συλλέγεται από το WSN και εξασφαλίζει για το ορθό και αληθές της κατάστασης του συστήματος συντονίζοντας τα επιμέρους υποσυστήματα, καθιστώντας έτσι δυνατή την εκμετάλλευση της επιθυμητής πληροφορίας μέσω της αποτύπωσής της στη διαδικτυακή διεπαφή χρήστη.

iii. Υποσύστημα διεπαφής χρήστη

Αν το προηγούμενο υποσύστημα ήταν η καρδιά του συστήματος, το υποσύστημα διεπαφής χρήστη είναι το πρόσωπό του. Είναι το μέσο δια του οποίου είναι δυνατή η επικοινωνία και αλληλεπίδραση με το σύστημα μετά την εκκίνησή του.

Είναι κατασκευασμένο με διάφορες τεχνικές διαδικτυακού προγραμματισμού και φροντίζει να προωθούνται τα αιτήματα που θέτει ο χρήστης του συστήματος προς τον Web server. Ακολουθώντας, αναμένει την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των αιτημάτων αυτών και αποτυπώνει το αποτέλεσμα στην αντίστοιχη διεπαφή του κάθε χρήστη.

Έχουν υλοποιηθεί δύο ξεχωριστές διεπαφές με ίδιο μεν στιλιστικό μοτίβο αλλά προφανώς διαφορετικές παρεχόμενες υπηρεσίες για τον πελάτη-οδηγό και το διαχειριστή του συστήματος. Η υπηρεσία που υλοποιήσαμε αξίζει να αναφέρουμε στο σημείο αυτό ότι έχει προβλεφθεί να είναι διαθέσιμη σε ένα κλειστό σύνολο πελατών. Ο χρήστης μόνο μετά από κατάλληλη αναγνώρισή του κατά το αρχικό στάδιο της εισόδου του στο GUI και αφού γίνει έτσι ταυτοποίησή του με τη λίστα καταχωρημένων χρηστών αποκτά πρόσβαση στην υπηρεσία (βλ. εικόνα 39).

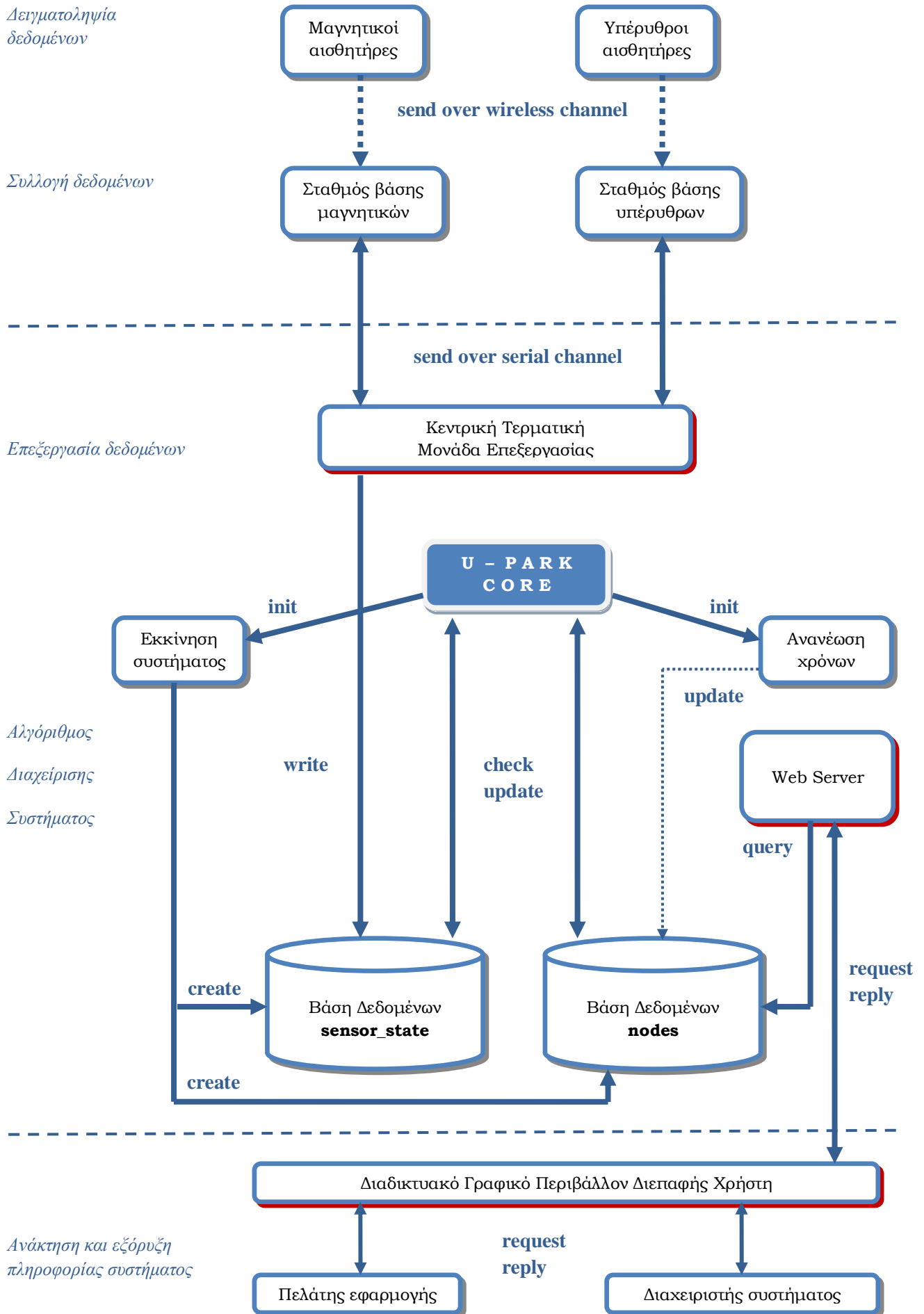


Εικόνα 39 – Η ιστοσελίδα εισόδου της διαδικτυακής πλατφόρμας της υπηρεσίας.

Προβλέπεται και επιβάλλεται δηλαδή η πιστοποίηση του εκάστοτε χρήστη που εισέρχεται στην υπηρεσία-διεπαφή καθιστώντας την έτσι “κλειστή εφαρμογή”. Παρόλο αυτά είναι εύκολο να μετατραπεί σε “γενικής χρήσης” και δομήθηκε με την ιδιαιτερότητα αυτή αναγνωρίζοντας ο γράφων και κατασκευαστής τα σημαντικά επωφελούμενα προτερήματα από τυχόν μελλοντικές επεκτάσεις. Περισσότερες λεπτομέρειες απαντώνται στο [Μέρος IV – Α](#) και στο [Μέρος V – Γ](#).

2. Διάγραμμα ροής δεδομένων

Προκειμένου ο αναγνώστης να αποκτήσει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του συστήματος παρατίθεται το ακόλουθο διάγραμμα ροής δεδομένων σε συνοπτική μορφή. Είναι μια κατατοπιστική απόδοση της ανωτέρω περιγραφής των υποσυστημάτων εστιασμένη στον τρόπο που ανταλλάσσονται τα δεδομένα μεταξύ αυτών. Θα υπάρξει αναλυτική επεξήγηση και αντίστοιχα διαγράμματα ροής δεδομένων σε επόμενα κεφάλαια, αναφορικά με το κάθε επιμέρους στάδιο επεξεργασίας και λειτουργίας του συστήματος.



Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Μέρος III – Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την επαλήθευση της λειτουργίας του συστήματος. Αρχής γενομένης από τις ιδιαίτερες απαιτήσεις που θα έπρεπε να διέπουν το σύστημα αλλά και εν γένει τα πειράματα αυτά, προχωρούμε με την παρουσίαση του περιβάλλοντος όπου πραγματοποιήθηκε η πειραματική επαλήθευση με τα ιδιαίτερα του γνωρίσματα, καθώς και τα σενάρια όπως αυτά αναπτύχθηκαν σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, θα περιγραφεί η διαδικασία εκκίνησης του συστήματος σε πραγματικές επιχειρησιακές συνθήκες στα πλαίσια προσομοίωσης της τελικής του λειτουργίας.

A. Απαιτήσεις

Κατά τη διαδικασία σχεδίασης και υλοποίησης της εφαρμογής διαχείρισης και υποβοήθησης στάθμευσης έπρεπε να τεθούν σε πρώτο χρόνο μια σειρά απαιτήσεων ως προς τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε καθόλα τα στάδια. Αυτό το πλήθος επιτακτικών παραγόντων προς ικανοποίηση επηρέασε εν τέλει όλη τη φιλοσοφία του συστήματος και συνέβαλε ώστε το τελικό παραγόμενο αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται επαρκώς στη στοχοθεσία που τέθηκε από τα πρώτα κιόλας στάδια της εργασίας.

Θα ακολουθήσει η απαρίθμηση ενός συνόλου απαιτήσεων μέσα από μια ολιστική προσέγγιση του προβλήματος αναζήτησης παρόδιας ελεύθερης θέσης στάθμευσης εντός ενός πολεοδομικού ιστού και σε πραγματικό χρόνο. Οι απαιτήσεις αυτές ομαδοποιήθηκαν στις εξής διακριτές κατηγορίες: συμβατικές, υλικού και τελικής εφαρμογής.

1. Συμβατικές

Είναι οι απαιτήσεις που διέπουν τη σχεδίαση και κατασκευή ενός οποιουδήποτε συστήματος διαχείρισης στάθμευσης ανεξαρτήτως της τεχνολογικής πλατφόρμας πάνω στην οποία θα βασίζεται. Στόχος ενός τέτοιου συστήματος (παρόδιων ή μη θέσεων) είναι η διευκόλυνση των οδηγών κατά την αναζήτηση θέσης με ένα τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η αξία χρήσης του. Προς αυτό το σκοπό θα πρέπει:

- I. να υποδεικνύονται με άμεσο και εύχρηστο τρόπο στον οδηγό οι διαθέσιμες ελεύθερες θέσεις,
- II. να επιβάλλονται πολιτικές χρέωσης που θα κινητροδοτούν τον οδηγό να χρησιμοποιήσει την υπηρεσία,
- III. να παρέχεται ευκολία στον τρόπο καταβολής του ανταποδοτικού τέλους,
- IV. να ανταποκρίνεται επαρκώς στη μεταβαλλόμενη ζήτηση για ελεύθερες θέσεις στάθμευσης,
- V. να εξασφαλίζεται ότι κάθε ενδιαφερόμενος χρήστης θα απολαμβάνει της υπηρεσίας εντός εύλογου χρονικού διαστήματος και
- VI. να λειτουργεί απρόσκοπτα και διαρκώς, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στην αποσυμφόρηση των οδικών αρτηριών.

2. Υλικού

Συγκεκριμένες απαιτήσεις αφορούν το υλικό και τη λειτουργική πλατφόρμα της υπηρεσίας, απαιτήσεις οι οποίες έχουν την ύψιστη προτεραιότητα έναντι των υπολοίπων καθώς σ' αυτές στηρίζεται η βιωσιμότητα και η ευρυθμία της ίδιας της εφαρμογής. Θα σημειώσουμε μεταξύ άλλων τις εξής προϋποθέσεις:

- I. το προστατευτικό κέλυφος εντός του οποίου εναποτίθενται οι σένσορες να είναι εγκατεστημένο σε τέτοιο βάθος εντός του οδοστρώματος ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη δειγματοληψία εκ μέρους του υπέρυθρου αισθητήρα,
- II. το προστατευτικό κέλυφος επίσης να είναι κατασκευασμένο από ένα τέτοιο υλικό ώστε να προστατεύει από τις καιρικές συνθήκες, να αποτρέπει ενδεχόμενη κλοπή υλικού, και παράλληλα να μην παρεμποδίζει την ασύρματη επικοινωνία,
- III. η αλγοριθμική επεξεργασία να λαμβάνει χώρα στους σταθμούς βάσης και το τερματικό του συστήματος,
- IV. η λειτουργία των αισθητήρων να είναι σε όσο το δυνατόν χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη ή δυνατόν οι κόμβοι να καταστούν ενεργειακά αυτόνομοι,
- V. και εν τέλει το σύστημα στο σύνολο του και δη η διεπαφή χρήστη να διέπονται από σχεδιαστική απλότητα και λειτουργικότητα στον τρόπο διαχείρισης και χρήσης, ώστε να προσδίδεται υπεραξία στην εφαρμογή.

3. Τελικής εφαρμογής

Από τις απαιτήσεις που αναφέρθηκαν ως συμβατικές προφανώς και τα περισσότερα συστήματα αποτυγχάνουν ή χωλαίνουν κατά την ικανοποίηση ενός μέρους ή/και όλων αυτών, ειδάλλως δε θα παρίστατο η ανάγκη για την μελέτη και εκπόνηση νέων προσεγγίσεων στο δυσεπίλυτο αυτό πρόβλημα. Η προτεινόμενη υπηρεσία παρέχει διευκόλυνση και αυτοματισμό εκεί όπου τα συμβατικά συστήματα αποτυγχάνουν. Προς αυτό τον σκοπό θα πρέπει συνολικά:

- I. η εφαρμογή να ανταποκρίνεται επαρκώς στο σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκε και η πειραματική της επαλήθευση να επιβεβαιώνει τη σωστή χάραξη που ακολουθήθηκε κατά τη σχεδιάσή της,
- II. το κόστος εργασιών εγκατάστασης να μην είναι απαγορευτικό για μια πιθανή εφαρμογή στην πράξη της υπηρεσίας,
- III. να υπάρχει πλήρης και διαρκής γνώση για την κατάσταση των κόμβων του συστήματος, τόσο προς τον πελάτη όσο και προς το διαχειριστή,
- IV. να προσομοιώνονται επαρκώς οι συνθήκες ενός σύγχρονου αστικού περιβάλλοντος και να παρέχονται λειτουργίες σε πραγματικό χρόνο,
- V. να επιτυγχάνεται υψηλή ακρίβεια, ασφάλεια, ευρωστία, και ελαστικότητα στις παρεχόμενες υπηρεσίες προς τους καταναλωτές,
- VI. και εν τέλει να ελαχιστοποιείται το κόστος διατήρησης και λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος διαχείρισης και υποβοήθησης στάθμευσης (μειωμένες απαιτήσεις σε ανθρώπινο δυναμικό, αποδοτικότερη εποπτεία του συστήματος).

B. Περιβάλλον εργασίας

Οι παραπάνω απαιτήσεις που τέθηκαν προκρίνουν ως ζητούμενο να υπάρχει μια διαρκής παραπομπή και σύμπλευση με το εννοιολογικό τους στίγμα καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης των πειραμάτων. Μια πειραματική διαδικασία που έχει δομηθεί πάνω στον άξονα κίνησης που όρισαν οι απαιτήσεις του συστήματος είναι βέβαιο πως θα συγκλίνει σε μια ρεαλιστική απόδοσή του, επιτρέποντας έτσι την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για το υλοποιήσιμο και εφικτό του εγχειρήματος.

Το περιβάλλον όπου πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα είναι αυτό της πυλωτής και του ακάλυπτου χώρου της πολυκατοικίας όπου διαμένει ο γράφων. Το πρόβλημα αναζήτησης ελεύθερης θέσης στάθμευσης είναι εντονότατο στις περιοχές του κέντρου της πόλης του Βόλου με αποτέλεσμα να μην ήταν εφικτή η πραγματοποίηση των πειραμάτων αυτών στον παρακείμενο δρόμο λόγω των διαρκώς κατειλημμένων θέσεων. Παρόλο αυτά εξασφαλίστηκαν οι απαιτήσεις για την απρόσκοπτη τέλεση των πειραμάτων όπως ακριβώς αυτές ορίστηκαν ανωτέρω.

Συγκεκριμένα, οι σένσορες τοποθετήθηκαν εντός ειδικής ιδιόχειρης κατασκευής (βλ. [εικόνα 30](#)) που επαληθεύτηκε στην πράξη ότι ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές λειτουργίας και πρωτίστως, προσομοιώθηκαν οι πραγματικές συνθήκες ενός σύγχρονου αστικού τοπίου. Το τελευταίο επετεύχθη αφενός με την κατάλληλη διαμόρφωση του ακάλυπτου με τέτοιον τρόπο ώστε να προσιδιάζει σε κανονική οδό, με σταθμευμένα οχήματα και κενές θέσεις ενδιάμεσα (βλ. [εικόνα 40](#)) και αφετέρου με μια ενδεδειγμένη και πολυδιάστατη πειραματική διαδικασία.



Εικόνα 40 – Περιβάλλον προσομοίωσης οδού.

Στην εικόνα 40 παρατηρούμε ένα ασημί όχημα μάρκας Fiat-Seicento (**όχημα Α**) και ένα μπλε μάρκας Kia-Picanto (**όχημα Β**) τα οποία είναι τα δύο οχήματα –κατηγορίας αυτοκινήτων πόλης– που χρησιμοποιήσαμε για τις ανάγκες των πειραμάτων (ως επί το πλείστον χρησιμοποιήθηκε το όχημα Α). Με πράσινο κύκλο καταδεικνύεται η θέση του μαγνητικού αισθητήρα ενώ τα οχήματα έχουν σταθμεύσει παράλληλα με το τοίχιο σαν να επρόκειτο για στάθμευση κατά μήκος μιας κανονικής οδού.

Η πειραματική διαδικασία εξελίχθηκε κατά τα εξής στάδια. Αρχικά, μετρήθηκε η απόκριση καθενός ξεχωριστά αισθητήρα σε περιβάλλον και συνθήκες δωματίου. Ήταν μια απαραίτητη διαδικασία προκειμένου να αποκτηθεί μια πρώτη εξοικείωση με τον τρόπο λειτουργίας των αισθητήρων και να κατευθυνθεί προς ένα ασφαλές πεδίο η κατασκευή του αλγόριθμου εντοπισμού. Σε επόμενη φάση επαναλήφθηκαν τα πειράματα αυτά απλής διέγερσης σε εξωτερικό χώρο στο περιβάλλον της εικόνας 40 και 41. Αξίζει να υπενθυμίσουμε την όλη προβληματική που ανέκυψε μέχρι να επιτευχθεί η ορθή δειγματοληψία του HMC1002 (βλ. [αντίστοιχο κεφάλαιο](#)).



Εικόνα 41 – Συνολική απεικόνιση του περιβάλλοντος πειραμάτων.

Τα μεν πειράματα του υπέρυθρου αισθητήρα σε ανοιχτό χώρο επαλήθευσαν τα πρωταρχικά πειράματα μελέτης που πραγματοποιήσαμε στο χώρο του εργαστηρίου. Ο αισθητήρας αντιδρά με τον ίδιο τρόπο ανεξαρτήτως της φύσης του αντικειμένου προς ανίχνευση και ανεξάρτητα από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, κάτι άλλωστε το οποίο αναμέναμε με βάση τις τεχνικές του προδιαγραφές. Τα δε πειράματα του μαγνητικού αισθητήρα –και αφότου επετεύχθη η ομαλή δειγματοληψία εκ μέρους

του– όφειλαν να είναι πιο διεξοδικά στον τρόπο ανάλυσης της λειτουργίας του καθώς η ενδελεχής κατανόηση της φιλοσοφίας ανίχνευσης του HMC1002 είναι θεμελιώδης για τη διαδικασία σχεδίασης του αλγορίθμου της εφαρμογής που υλοποιήθηκε.

Προκειμένου λοιπόν να εξαχθούν όσο το δυνατόν ασφαλέστερα συμπεράσματα, θεωρήθηκε απαραίτητο τα πειράματα –ειδικά του μαγνητικού αισθητήρα– να επαναληφθούν αρκετές φορές και υπό διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος και στα πλαίσια εκπόνησης συγκεκριμένων σεναρίων προσομοίωσης (βλ. επόμενη ενότητα). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία των συνθηκών εκτέλεσης των συγκεκριμένων αυτών πειραμάτων:

Ημερομηνία	09-04-11	13-04-11	16-04-11	17-04-11	18-04-11
Ευαισθησία	50 & 100	50	50-n1 & 45-n2	50-n1 & 45-n2	50
Ωρα	17:00 – 19:00	18:23– 20:10	17:30 – 21:00	20:30 – 21:30	17:30 – 19:30
Θερμοκρασία	17 °C	23 °C	16 °C - 13 °C	9 °C - 8 °C	10 °C
Υγρασία	~60%	~50%	~55%	~92%	~77%

Παρατηρούμε ότι πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε διαφορετικές ημερομηνίες και ώρες ώστε να επικρατούν διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες και με διαφορετικό ποσοστό ευαισθησίας τόσο για τον έναν μαγνητικό όσο και στα σενάρια που επιβάλλονταν η χρήση δύο τέτοιων αισθητήρων. Χάρη επιπλέον ερμηνείας των παραπάνω στοιχείων να σημειώσουμε πως στις 13/04 επικρατούσε ηλιοφάνεια και μέγιστη θερμοκρασία περιόδου στους 23 °C, στις 17/04 τα πειράματα έγιναν σε συνθήκες νύκτας και έντονης βροχόπτωσης και στις 18/04 σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας, πριν τη δύση του ηλίου αλλά υπό πυκνή νέφωση.

Εκτός των ανωτέρω πειραμάτων πραγματοποιήθηκαν και άλλα, τόσο σε εργαστηριακό περιβάλλον και που αφορούσαν την επαλήθευση ορθής λειτουργίας του αλγορίθμου καθόλα τα στάδια κατασκευής του όσο και σε εξωτερικό χώρο για την επαλήθευση της ορθής λειτουργίας του συστήματος στο σύνολό του και σε πραγματικές επιχειρησιακές συνθήκες. Το τελευταίο περιελάμβανε μια πλήρη προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος από το στάδιο εκκίνησης των αισθητήρων μέχρι και το τελικό στάδιο της αποτίμησης στη διεπαφή χρήστη της εξορυγμένης πληροφορίας περί της “κατελιημμένης” πυλωτής.

Η πραγματοποίηση των πειραμάτων υπό αυτό το ευρύ φάσμα συνθηκών απέδειξε και επαλήθευσε την προσδοκώμενη συμπεριφορά του μαγνητικού αισθητήρα. Συνεπικουρούμενα τα πειράματα αυτά από μια σαφώς ορισμένη διαδικασία σεναρίων προσομοίωσης επέτυχαν την αύξηση της ευρωστίας του συστήματος, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση του αλγόριθμου εντοπισμού και τη διόρθωση των όποιων συγκεχυμένων και προβληματικών σημείων κώδικά του.

Γ. Σενάρια προσομοίωσης

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, η διαδικασία της επαλήθευσης και αξιολόγησης του συστήματος περιελάμβανε την τέλεση πειραμάτων σύμφωνα με διαφορετικά σενάρια προσομοίωσης. Είναι απαραίτητη η μελέτη και υιοθέτηση συγκεκριμένων συνθηκών εξομοίωσης των περιστατικών ενδιαφέροντος που απαντώνται μια κανονική ημέρα σε μια πολυσύχναστη μεγάπολη. Προς αυτό το σκοπό επιλέχθηκε συνολικά μια μεθοδολογία που επέτρεψε εν τέλει την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων ως προς την αξιολόγηση του συστήματος σε κανονικές επιχειρησιακές συνθήκες.

Βάση αυτής της μεθοδολογίας αποτέλεσε η όσο το δυνατόν πληρέστερη απόδοση όλων των πιθανών σεναρίων ανίχνευσης διαφορετικών αντικειμένων. Έτσι στα παρακάτω σενάρια που εκπονήθηκαν περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων:

- ✓ η ανίχνευση υπερκείμενου και διερχόμενου ποδηλάτου, και επιβατικών οχημάτων δυο διαφορετικών αυτοκινητοβιομηχανιών,
- ✓ η πραγματοποίηση μετρήσεων αναφορικά με τη διέλευση αυτοκινήτων πλησίον του αισθητήρα σε διαφορετικές αποστάσεις, και υπό διαφορετικές συνθήκες,
- ✓ η προσομοίωση της διαδικασίας στάθμευσης με διάφορες προσεγγίσεις-ελιγμούς της θέσης,
- ✓ η πραγματοποίηση πειράματος στάθμευσης εντός οριοθετημένης θέσης οριζόμενης από ήδη παρακείμενα σταθμευμένα οχήματα,
- ✓ η χρησιμοποίηση σε πείραμα δυο το πλήθος μαγνητικών αισθητήρων ώστε να διαπιστωθεί η απόκριση του συστήματος σε περίπτωση κακόβουλου οδηγού,
- ✓ και τέλος η μελέτη της απόκρισης του συστήματος σε πραγματικές επιχειρησιακές συνθήκες.

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των πειραμάτων κρίθηκε σκόπιμο να διατηρηθεί ένα λεπτομερές αρχείο σχετικά με το κάθε πείραμα το οποίο κωδικοποιήθηκε επιμελώς και σύμφωνα με τις συνθήκες και το σκοπό τέλεσής του. Στην εικόνα 42 παρατίθεται ένα σχεδιάγραμμα με όλες τις δυνατές κωδικές ονομασίες. Είναι ιεραρχημένο σε επίπεδα χωρίς όμως να εμφανίζονται σε αυτό ειδικές περιπτώσεις πειραμάτων. Αυτές έχουν αποδοθεί με τις κωδικές ονομασίες "**picked@mid**", "**picked@min**" και "**NOT picked**" και αφορούν τις περιπτώσεις όπου η κυματομορφή εξόδου παρόλο την παρουσία υπερκείμενου οχήματος δεν παραμένει σταθερή στο μέγιστο, καθώς και οι κωδικές ονομασίες "**sen(50)**" και "**sen(100)**" οι οποίες αφορούν το ποσοστό ευαισθησίας.

Θα ακολουθήσει μια συνοπτική παρουσίαση της κυματομορφής εξόδου ορισμένων πειραμάτων. Για τα υπόλοιπα παραπέμπετε στο [παράρτημα](#). Σε κάθε εικόνα παρατίθεται από κάτω η κωδική ονομασία του πειράματος ενώ συνήθως θα υπάρχουν εντυπωμένες και επιπλέον υποβοηθητικές σημειώσεις με κόκκινο χρώμα. Κάθε τέτοια εικόνα είναι απεικόνιση του εργαλείου Oscilloscope βάση του οποίου ο άξονας των X αντιστοιχεί στο πλήθος των πακέτων και των Y στην τιμή της εξόδου του αισθητήρα. Με πράσινο χρώμα αποδίδεται η κυματομορφή εξόδου ενώ με μπλε παριστάνεται μια υποτιθεμένη θέση στάθμευσης.

MG - magnetic
Di - day i
BK - bike
CAR - αυτοκίνητο
PRL - κίνηση οχήματος παράλληλα με τη θέση στάθμευσης με τον αισθητήρα στο βαρύνκτρο αυτής
CL - καθαρό πεδίο == απουσία παρεμβολών στον περιβάλλοντα χώρο
0 - απόσταση από τον αισθητήρα
1 - σε μέτρο
5 - και κειτό προσέγγιση
NCL - παρουσία υπερκείμενου οχήματος
B - αισθητήρας κάτω από όχημα ΑΛΛΑ όχι στο κέντρο (η ακριβής θέση θα δίνεται στα σχεδιογράμματα)
O - αισθητήρας κέτω ακριβώς από το κέντρο του οχήματος
VRT - κίνηση οχήματος κέτω στη θέση στάθμευσης
R - προσέγγιση με το πίσω μέρος του οχήματος
F - προσέγγιση με το εμπρός
0 - απόσταση από τον αισθητήρα
1 - σε μέτρο
5 - και κειτό προσέγγιση
PARK - σενάρια παρκάριαματος
CLR - καθαρό πεδίο
DIR - απευθείας παρκάριαμα
G - αισθητήρας κάτω από το κέντρο του αμαξώ
B - αισθητήρας σε κέτω από τις άκρες του οχήματος
NDIR(1) - παρκάριαμα σε 1 κίνηση. Θα δίνεται σχεδιογράμμα
NDIR(N) - παρκάριαμα με αρκετούς αλμούς
ORG - παρκάριαμα σε "κεντρική" θέση στάθμευσης.
1σ - Χρήση ενός αισθητήρα
2σ - Χρήση 2 αισθητήρων

Εικόνα 42 – Κωδικοποίηση των πειραμάτων προσομοίωσης.

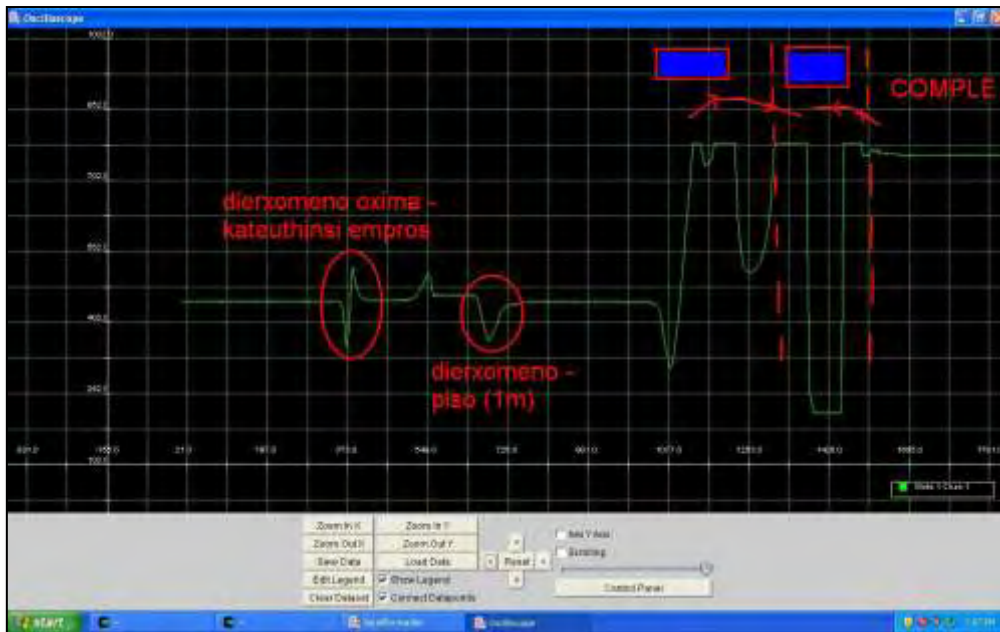
Παράδειγμα κωδικοποίησης:

MG-D3-CAR-PARK-CLR-DIR-B && CAR-PRL-NCL-B-0&1 --- NOT picked

Πείραμα επαλήθευσης λειτουργίας του μαγνητικού αισθητήρα (**MG**) – ημέρα 3 (**D3**) – αντικείμενο ανίχνευσης αυτοκίνητο (**CAR**) – να πραγματοποιεί σενάριο στάθμευσης (**PARK**) – απουσία άλλων φέροντων αντικειμένων στο χώρο (**CL**) – και τον οδηγό να ολοκληρώνει τη διαδικασία στάθμευσης σε μια μόνο κίνηση (**DIR**) – χωρίς ωστόσο το κέντρο του αμαξώματος να τοποθετηθεί ακριβώς πάνω από τον αισθητήρα (**B**), **ΚΑΙ** δεύτερο όχημα (**CAR**) – διέρχεται ακολούθως παράλληλα από τη θέση στάθμευσης (**PRL**) – ενόσω υπάρχει (προφανώς) το άλλο όχημα πάνω από τον αισθητήρα (**NCL**) – σταθμευμένο όχι ακριβώς πάνω από τον αισθητήρα – και σε διερχόμενη απόσταση 0 και 1 μέτρο -- και με την κυματομορφή εξόδου λόγω του πρώτου οχήματος να μην έχει οδηγηθεί στην προβλεπόμενη μέγιστη τιμή.

Παρατηρήσεις:

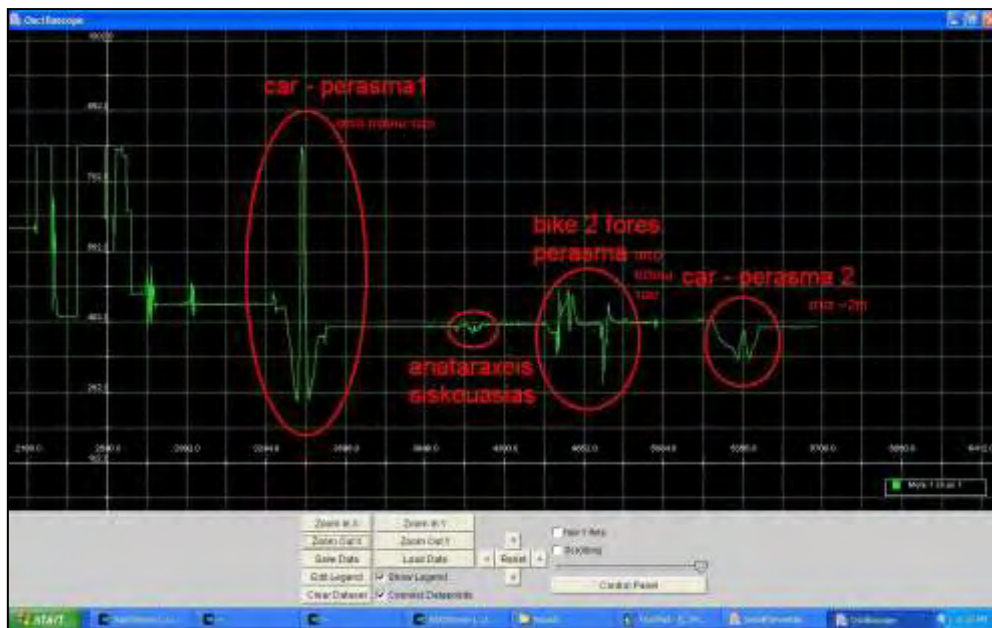
- i. ο πρώτος όρος που αναφέρεται περί μαγνητικού δεν έχει ιδιαίτερη πρακτική σημασία καθώς χρησιμοποιήθηκε για να γίνει εύκολη σταχυολόγηση,
- ii. ο δεύτερος όρος που αναφέρεται στην ημέρα έχει ιδιαίτερη αξία σε συνδυασμό με τον πίνακα των στοιχείων συνθηκών των πειραμάτων ως παρατέθηκε άνω,
- iii. ενδεχομένως ορισμένοι κωδικοί πειραμάτων να μην επεξηγούνται πλήρως αλλά θα εξάγονται με βάση παρόμοια συλλογιστική με αυτή των υπόλοιπων.



Εικόνα 43 – Ενδεικτική κυματομορφή πειράματος 1

Κωδικός πειράματος : MG-D1-PARK-CLR-NDIR(N) --- sen(50)

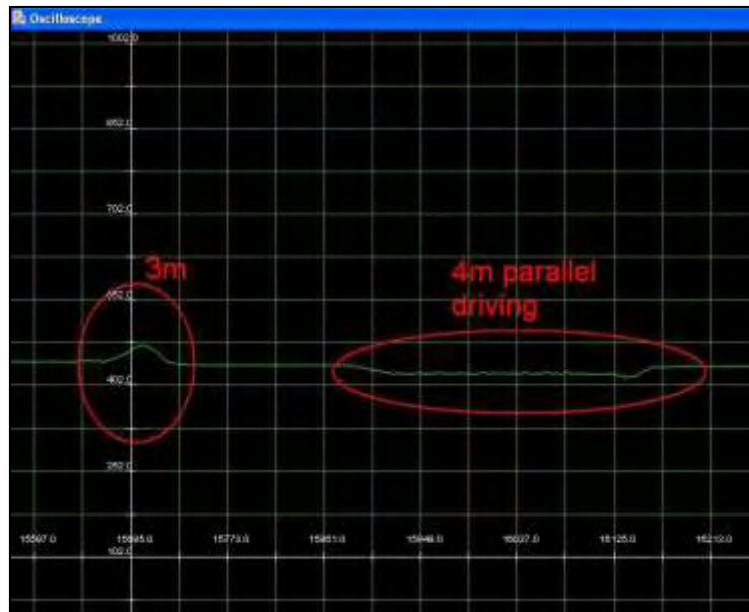
Περιγραφή : Το όχημα Α κινείται παράλληλα με τον αισθητήρα σε απόσταση ~1m με κατεύθυνση προς τα εμπρός και μετά με όπισθεν επανέρχεται σε ασφαλή αρχική απόσταση. Ακολούθως ξεκινά η διαδικασία στάθμευσης που υποδεικνύεται σύμφωνα με τη φορά των βελών στο σχήμα.



Εικόνα 44 – Ενδεικτική κυματομορφή πειράματος 2

Κωδικός πειράματος : MG-D1-BK-CL-0 && CAR-VRT-0 && CAR-PRL-CL-2

Περιγραφή : Στο αριστερό μέρος φαίνονται οι διαταραχές μέχρι να εγκαθιδρυθεί η στάθμη ισορροπίας. Ακολούθως διέρχεται επάνω από τον αισθητήρα για απειροελάχιστο χρόνο το όχημα Β, ένα ποδήλατο έπειτα περιφέρεται γύρω και από πάνω του, και τέλος διέρχεται παράλληλα με αυτόν και σε απόσταση ~2m το όχημα Β.



Εικόνα 45 – Ενδεικτική κυματομορφή πειράματος 3

Κωδικός πειράματος : MG-D2-CAR-PRL-CL-5

Περιγραφή : Πείραμα που πραγματοποιήθηκε τη δεύτερη ημέρα με σκοπό να διαπιστωθεί η απόκριση της κυματομορφής εξόδου καθώς ένα όχημα κινείται παράλληλα με τον αισθητήρα και σε απόσταση 3m και 4m αντίστοιχα.



Εικόνα 46 – Ενδεικτική κυματομορφή πειράματος 4

Κωδικός πειράματος : MG-D5-CAR-PARK-ORG-1s(2)-park --- picked@mid

Περιγραφή : Το όχημα Α σταθμεύει σε “κανονική” θέση (βλ. εικόνα 40) με ένα μόνο ελιγμό (κόκκινα βέλη) ενώ το όχημα έχει αποδοθεί με μπλε περίγραμμα. Το σύμβολο “F” υποδεικνύει το εμπρός μέρος του οχήματος ενώ το κόκκινο στίγμα, τη θέση του αισθητήρα ως προς το αμάξωμα. Παρόλο την ολοκλήρωση της στάθμευσης η κυματομορφή του αισθητήρα σταθεροποιείται σε μια ενδιάμεση στάθμη. Αποτέλεσμα να αποτυπώνεται η διέλευση έτερου οχήματος Β που διέρχεται στα ~1m.

Δ. Εκκίνηση συστήματος

Στην υποενότητα αυτή θα επιχειρηθεί να αποδοθούν σε στάδια τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την πλήρη εκκίνηση του συστήματος από μηδενικό σημείο και έως την επιτυχή προσομοίωσή του σε πραγματικές επιχειρησιακές συνθήκες. Τα βήματα αυτά αφορούν το τι λειτουργικά συστήματα και πλατφόρμες είναι απαραίτητο να εγκατασταθούν και το τι εντολές πρέπει να εκτελέσει κανείς ώστε να φέρει σε κατάσταση ετοιμότητας το σύστημα ανίχνευσης και υποβοήθησης στάθμευσης.

1. Εγκατάσταση λειτουργικού

Όπως προαναφέραμε οι μαγνητικοί αισθητήρες επιχειρούν σε περιβάλλον λειτουργικού συστήματος TinyOS-[1.1.14] ενώ οι υπέρυθροι σε αυτό της έκδοσης [2.1.1]. Επειδή λόγω συγκρούσεων είναι ανέφικτο και δεν προβλέπεται η ταυτόχρονη ύπαρξη δυο εκδόσεων του TinyOS στο ίδιο μηχάνημα, προκρίθηκε ως βέλτιστη λύση η χρήση μιας ιδεατής μηχανής. Η έκδοση [2.1.1] εγκαταστάθηκε στο λειτουργικό σύστημα ξενιστή (*host OS*) –λόγω του ότι χρονικά μελετήθηκε πρώτη η έκδοση αυτή έναντι της [1.1.14]– και η έκδοση [1.1.14] εγκαταστάθηκε σε περιβάλλον (*guest OS*) Windows-XP εντός της [ιδεατής μηχανής VMware Player](#).^[50] Μετά την εγκατάσταση της ιδεατής μηχανής και του guest OS, τόσο στο host όσο και στο guest OS ακολουθήθηκε μια διαδικασία εγκατάστασης των αντίστοιχων εκδόσεων του λειτουργικού TinyOS ως αυτή είναι ορισμένη μέσα από τα εγχειρίδια χρήσης που ανέπτυξε ο γράφων. Περισσότερες λεπτομέρειες για τη διαδικασία και τις εντολές εγκατάστασης μπορούν να απαντηθούν στο [παράρτημα](#).

Άλλο ένα απαραίτητο προς εγκατάσταση λογισμικό είναι αυτό του περιβάλλοντος ανάπτυξης κώδικα **NetBeans IDE**.^[51] Είναι ένα ελεύθερο, ανοιχτού κώδικα Ενσωματωμένο Περιβάλλον Ανάπτυξης (IDE) που παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για τη δημιουργία επιτραπέζιων, επαγγελματικών, διαδικτυακών και άλλων εφαρμογών υλοποιημένων σε Java, JavaScript, PHP, Python κ.ά. Στα πλαίσια της υπηρεσίας που υλοποιήσαμε ήταν απαραίτητη η χρήση του κατά το στάδιο κατασκευής της διαδικτυακής πλατφόρμας και προφανώς κατά το στάδιο λειτουργίας της διεπαφής χρήστη, αρμόδιο αυτό για τη διατήρηση και συντήρηση του εξυπηρετητή ιστού της εφαρμογής, μιας και κατά την εγκατάστασή του προβλέπεται και η εγκατάσταση του Apache server προορισμένου γι' αυτήν ακριβώς τη λειτουργία.

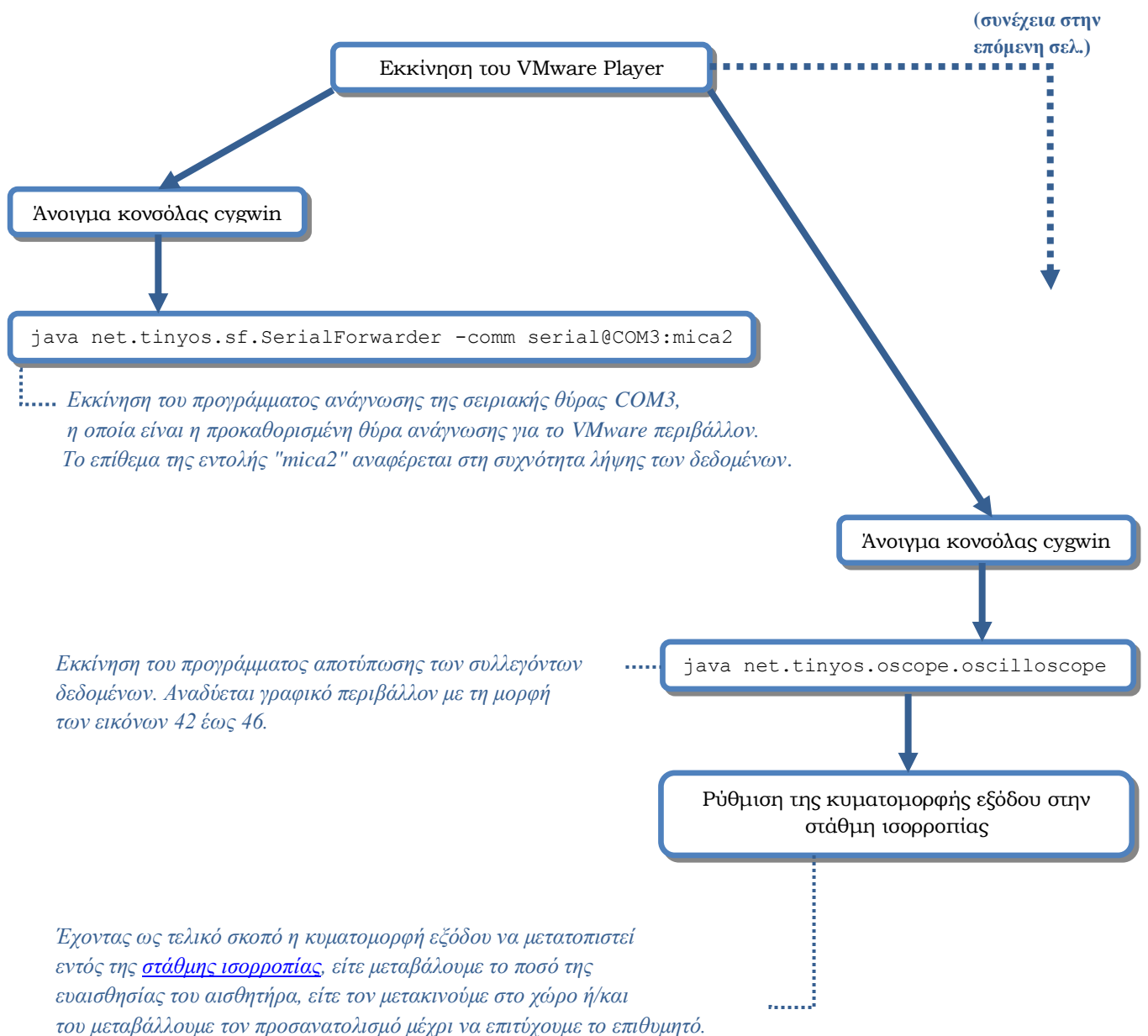
2. Εγκατάσταση nesC εφαρμογών

Επόμενο στάδιο για την εκκίνηση του συστήματος αποτέλεσε η εγκατάσταση του κώδικα nesC σε κάθε κόμβο που θα επιχειρούσε στο σύστημα και σύμφωνα με την αντίστοιχη έκδοση του TinyOS. Στην περίπτωση των μαγνητικών αισθητήρων κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία κώδικα δειγματοληψίας της διεπαφής που είναι υπεύθυνη για τον αισθητήρα ενώ στην περίπτωση του υπέρυθρου αυτός συνοδεύονταν από κώδικα που παρείχε η ίδια η κατασκευάστρια εταιρία. Λεπτομέρειες για τη φύση του κώδικα που αναπτύχθηκε εντοπίζονται στην υποενότητα [Μέρος IV – Α](#). Προκειμένου να μεταφορτωθεί ο κώδικας των nesC εφαρμογών στους κόμβους απαιτείται συγκεκριμένη διαδικασία για την εκάστοτε πλατφόρμα η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο [παράρτημα](#).

Χάρη πληρότητας και σύνδεσης με το επόμενο μέρος της εργασίας αρκεί να αναφέρουμε ενδεικτικά τα εξής. Στον μεν Mica2 με τον μαγνητικό αισθητήρα έχει μεταφορτωθεί η εφαρμογή **OscilloscopeRF** για την οποία έχει τροποποιηθεί ο πυρήνας του κώδικα ώστε να γίνεται κλήση μιας νέας διεπαφής, **Magg.nc**. Στο δε Mica2 με ρόλο σταθμού βάσης έχει μεταφορτωθεί η εφαρμογή **TOSBase**. Αντιστοίχως στον Tmote Sky με τον υπέρυθρο αισθητήρα έχει μεταφορτωθεί η εφαρμογή **SenseToRadio** ενώ στον Tmote με ρόλο σταθμού βάσης η εφαρμογή **BaseStation**.

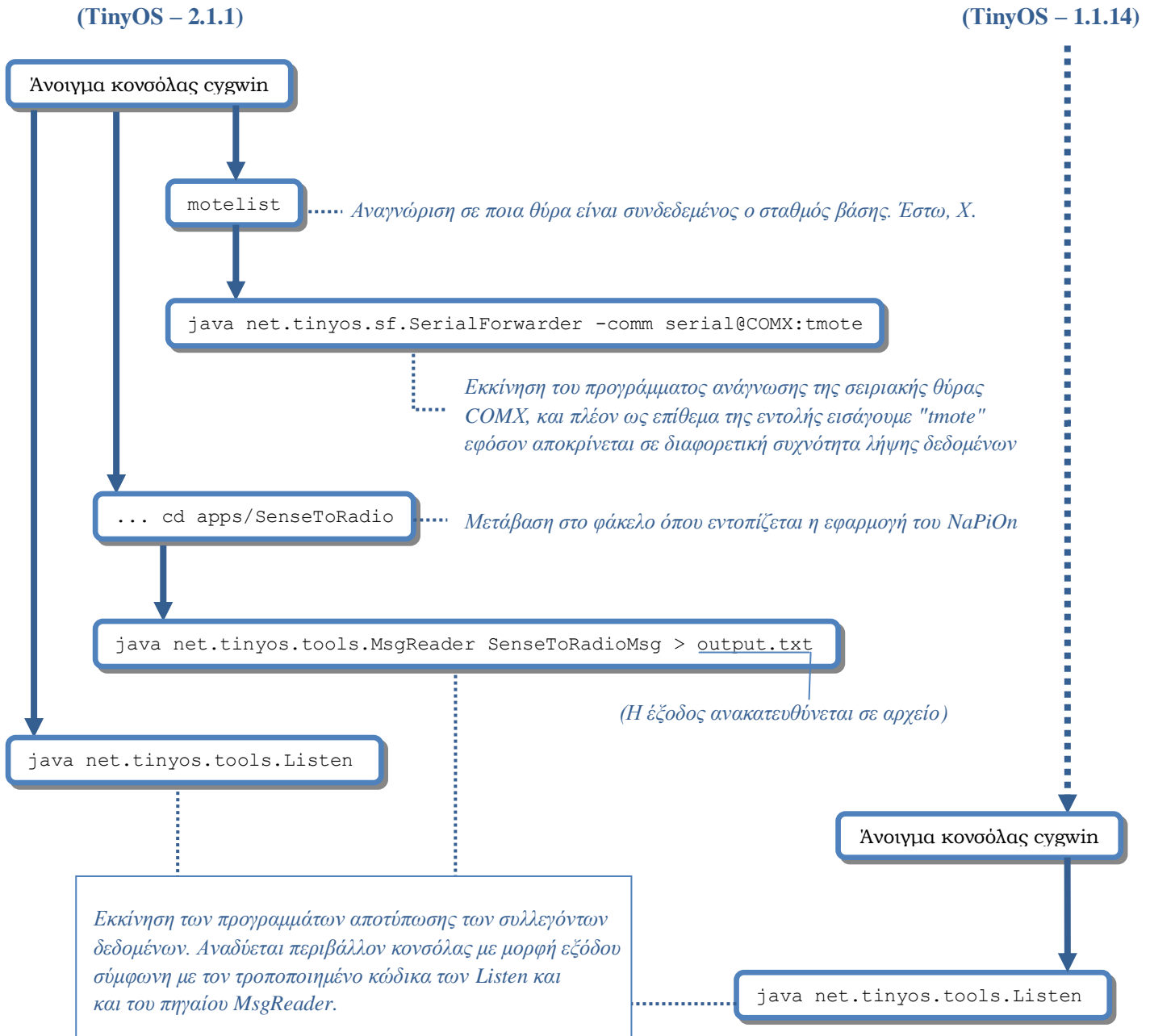
3. Ρύθμιση λειτουργίας μαγνητικού αισθητήρα

Ακόλουθο βήμα είναι η προσαρμογή των μαγνητικών αισθητήρων ώστε να καταστούν έτοιμοι προς λειτουργία και χρήση. Θα παρατεθούν στη συνέχεια οι απαραίτητες εντολές με τη μορφή διαγράμματος ροής μέχρι την ολοκλήρωση της εκκίνησης του υποσυστήματος αυτού.



4. Εκκίνηση λειτουργίας αισθητήρων

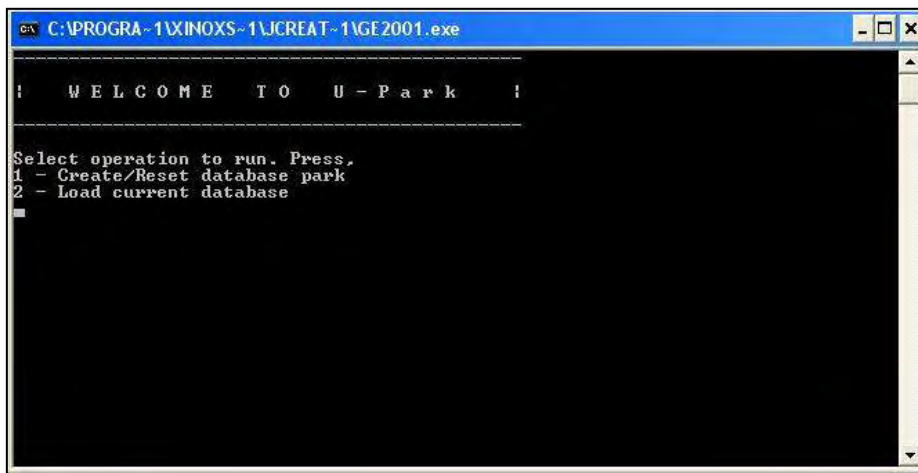
Απαραίτητη διαδικασία μετά το πέρας της οποίας οι αισθητήρες είναι έτοιμοι προς χρήση και λειτουργούν κανονικά δειγματοληπτώντας τα ερεθίσματα που δέχονται από το περιβάλλον, και τα οποία αποστέλλουν προς τους σταθμούς βάσης όπου και τα αντίστοιχα προγράμματα ανάγνωσης ακατέργαστων δεδομένων αναλαμβάνουν τις απαραίτητες και συνακόλουθες επεξεργασίες τους. Να σημειώσουμε πως ως τέτοια προγράμματα ανάγνωσης των δεδομένων που διαβιβάζονται διαμέσου της σειριακής θύρας επιλέχθηκαν τα **Listen.java** της εκάστοτε έκδοσης TinyOS με κατάλληλες τροποποιήσεις και προσθήκες. Λεπτομέρειες στο επόμενο μέρος.



5. Εκκίνηση αλγορίθμου εποπτείας

Από τη στιγμή που οι αισθητήρες έχουν εγκατασταθεί στις προκαθορισμένες θέσεις και λειτουργούν πλήρως είμαστε έτοιμοι να βάλουμε σε θέση εκκίνησης τον αλγόριθμο εποπτείας (ή ως έχει απαντηθεί και αλλού – *CORE ALGORITHM*). Ο αλγόριθμός αποτελείται από τρία αρχεία γραμμένα σε γλώσσα Java για τα οποία έχει γίνει ήδη λόγος στην υποενότητα [Μέρος II-Γ-1-ii](#). Στην παρούσα υποενότητα θα δώσουμε μια απεικόνιση της συσχέτισής των μέσω ενός στιγμιότυπου εκτέλεσης.

Σημείο εκκίνησης του αλγορίθμου και ταυτόχρονα μοναδικός τρόπος ενεργοποίησης των υπολοίπων αρχείων είναι το *U_PARK.java*. Η εκκίνηση (μετά προφανώς από την επιτυχή μεταγλώττιση εάν επρόκειτο για εγκατάσταση πρώτη φορά σε νέο λειτουργικό) θα δώσει ως αποτέλεσμα την παρακάτω κονσόλα εξόδου,



```
C:\PROGRA~1\XINOX~1\JCREAT~1\GE2001.exe

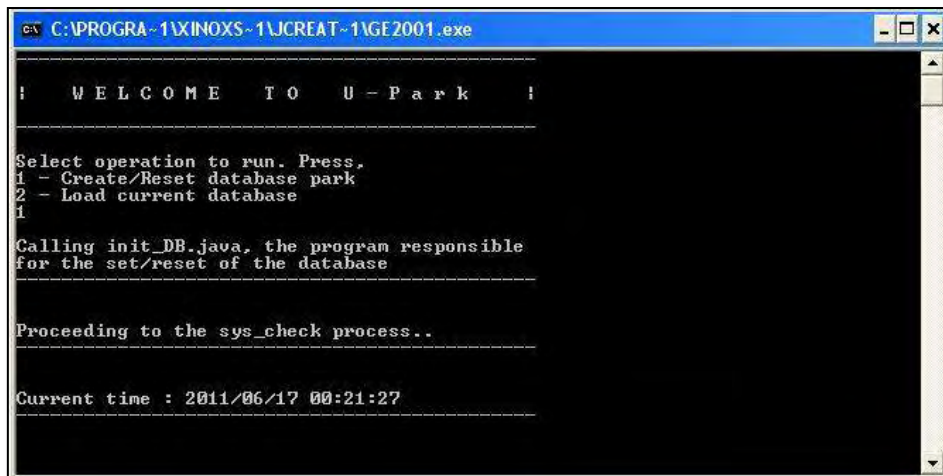
!  W E L C O M E   T O   U - P a r k   !

-----
Select operation to run. Press.
1 - Create/Reset database park
2 - Load current database

```

Εικόνα 47 – Εκκίνηση του προγράμματος *U_PARK*

Ο χρήστης-διαχειριστής καλείται στη συνέχεια να εισάγει τον αριθμό 1 εάν επιθυμεί επανεκκίνηση των βάσεων δεδομένων ή τον αριθμό 2 εάν επιθυμεί να συνεχίσει με την προηγούμενη αποθηκευμένη κατάσταση. Εάν επιλέξει την επαναδημιουργία τότε (όπως μαρτυρά και η εικόνα 48) γίνεται κλήση του προγράμματος *init_DB.java*, μετά του *update_clks.java* και τέλος το *U_PARK* προχωρά στο κυρίο μέρος του κώδικα.



```
C:\PROGRA~1\XINOX~1\JCREAT~1\GE2001.exe

!  W E L C O M E   T O   U - P a r k   !

-----
Select operation to run. Press.
1 - Create/Reset database park
2 - Load current database
1

-----
Calling init_DB.java, the program responsible
for the set/reset of the database

-----
Proceeding to the sys_check process..

-----
Current time : 2011/06/17 00:21:27

```

Εικόνα 48 – Το πρόγραμμα *U_PARK* μετά την επανεκκίνηση ως επιλογή χρήστη

Η κλήση των έτερων δύο προγραμμάτων συνοδεύεται από αντίστοιχα αναδυόμενα παράθυρα εξόδου (βλ. εικόνες 49 και 50). Στην μεν πρώτη περίπτωση εκκινείται η διαδικασία ανακατασκευής των βάσεων δεδομένων από αρχής και ο αλγόριθμος είναι προγραμματισμένος να τερματίζει μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας.



```
C:\Program Files\Java\jdk1.6.0_10\bin\java.exe
!  INITIATING THE DATABASE  !
-----
The database 'park' exists...
Now resetting...
-----
P H A S E  1
Creating table 'nodes'...
Inserting data into 'nodes' ...
P H A S E  2
Creating table 'sensor_state'...
Inserting data into 'sensor_state' ...
Initialization complete!
-----
System will exit automatically after 15''
```

Εικόνα 49 – Στιγμιότυπο εκτέλεσης του προγράμματος, *init_DB*

Στη δεύτερη περίπτωση εκκινείται ο αλγόριθμος ανανέωσης των εγγραφών της *nodes.db* που αναφέρονται στο χρόνο, και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ανά λεπτό και χωρίς να επηρεάζεται από την κατάσταση του υπολοίπου συστήματος. Είναι σαν ένα ξεχωριστό νήμα ενισχύοντας έτσι την ευρωστία του συστήματος.



```
C:\Program Files\Java\jdk1.6.0_10\bin\java.exe
!  UPDATING CLOCKS PROCESS  !
-----
Information about the 'park.nodes' that will be updated...
-----
Current time : 2011/06/17 00:21:28
```

Εικόνα 50 – Στιγμιότυπο εκτέλεσης του προγράμματος, *update_clks*

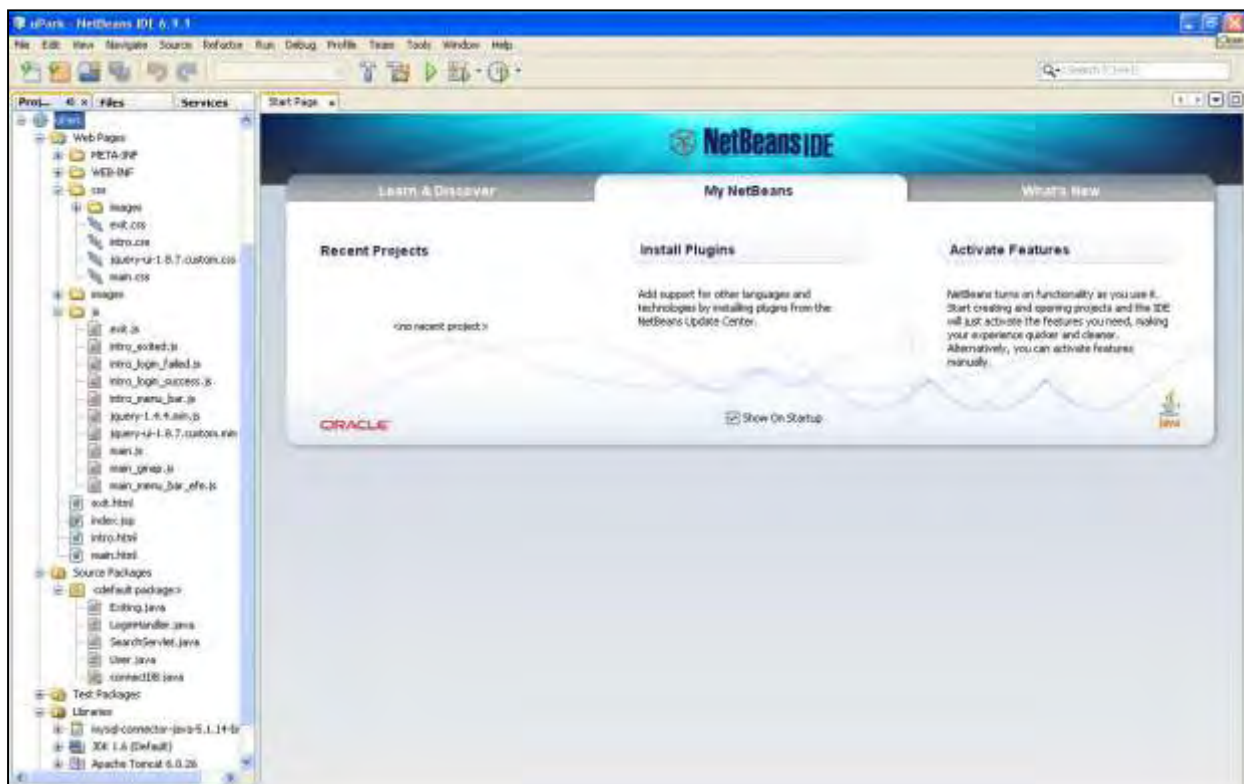
Τα παραπάνω στιγμιότυπα αναφέρονται στην περίπτωση όπου ο διαχειριστής εισάγει την μονάδα-“1” κατά το πρώτο στάδιο. Εάν για κάποιο λόγο δεν επιθυμεί την επανεκκίνηση των βάσεων και εισάγει “2” τότε απλά δεν θα ενεργοποιηθεί το *init_DB.java* πρόγραμμα και δεν θα εμφανιστεί προφανώς και η εικόνα 49. Τέλος, να σημειώσουμε πως ο τρόπος με τον οποίο έχουν υλοποιηθεί τα παραπάνω προγράμματα και η ανάλυση της φιλοσοφίας τους δεν είναι της παρούσης αλλά αντικείμενο όπως έχουμε αναφέρει της επόμενης ενότητας και συνεπώς αρκούμαστε στην σχηματική αναπαράσταση ενός στιγμιότυπου εκτέλεσής τους.

6. Εκκίνηση της διαδικτυακής πλατφόρμας

Τα μέχρι τώρα στάδια αποτελούν τον πυρήνα της υπηρεσίας που υλοποιήθηκε. Στα πλαίσια όμως αξιοποίησης της πληροφορίας και της τελικής αναγωγής της σε επιχειρηματικό προϊόν είναι απαραίτητη η δημιουργία μιας κατάλληλα σχεδιασμένης διεπαφής χρήστη. Στην παρούσα μορφή του συστήματος επιλέχθηκε η υλοποίηση μιας διαδικτυακής διεπαφής (στο [Μέρος V – Γ](#) γίνεται αναφορά και σε επιπλέον προσεγγίσεις επί του θέματος αυτού). Στην εδώ υποενότητα θα γίνει μια παρουσίαση του τρόπου εκκίνησης της διεπαφής πρωταρχικό και απαραίτητο βήμα της οποίας είναι η εκκίνηση του εξυπηρετητή ιστού.



Με την παραπάνω αλληλουχία εντολών, εκκαθαρίζουμε το περιβάλλον λειτουργίας και μεταγωγτίζουμε από την αρχή το έργο (*project*) *uPark* το οποίο και αποτελείται από όλον τον απαραίτητο κώδικα για την εκκίνηση του έργου και του Apache server, και θα μας ανακατευθύνει σε τελική φάση στην κεντρική ιστοσελίδα της διεπαφής. Στην κάτωθι εικόνα παρουσιάζεται το περιβάλλον του NetBeans IDE με αναπτυγμένο στο αριστερό μέρος το σύνολο των προγραμμάτων που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια της διαδικτυακής αυτής πλατφόρμας.



Εικόνα 51 – Το περιβάλλον προγραμματισμού NetBeans IDE 6.9.1

Το σύστημα μας είναι πλέον επιχειρησιακά έτοιμο για μια πλήρη και υπό πραγματικές συνθήκες προσομοίωση. Απομένει η είσοδος του χρήστη από την κεντρική σελίδα (εικόνα 39) και η χρήση των εκάστοτε παρεχόμενων λειτουργιών της διεπαφής, αντικείμενο που θα αναλυθεί διεξοδικά στην ακόλουθη ενότητα.

Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Μέρος IV – Περιγραφή υπολογιστικής διαδικασίας

Η ενότητα αυτή έχει ως αντικείμενό της την παρουσίαση του αλγόριθμου διαχείρισης και υποβοήθησης στάθμευσης, ο κύριος στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας. Η εφαρμογή αυτή είναι ένας συνδυασμός υλοποιήσεων αλγορίθμων σε διάφορα περιβάλλοντα από το στάδιο συλλογής των δεδομένων έως και την αποτύπωση της πληροφορίας στη διεπαφή χρήστη. Στηριζόμενοι στο θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο που αναλύθηκε στο Μέρος I και με βάση την εξελικτική διαδικασία όπως αυτή διατυπώθηκε στο Μέρος II–Α, θα διεισδύσουμε εδώ στα ενδότερα των διαφόρων υποσυστημάτων της εφαρμογής που παρουσιάστηκαν στο Μέρος II–Γ και θα αναλύσουμε την αλγοριθμική συλλογιστική κατά τη διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων. Θα αποδώσουμε γραφικώς τον αλγόριθμο διαχείρισης στο σύνολό του και κλείνοντας θα παραθέσουμε μια συνολική εικόνα αποτίμησης του συστήματος.

A. Υλοποίηση συστήματος

Στο Μέρος II–Γ της εργασίας προσεγγίσαμε το σύστημα από μακροσκοπική σκοπιά και αναλύσαμε διεξοδικά τον τρόπο της αρχιτεκτονικής σχεδίασής του. Στην παρούσα υποενότητα θα δοθούν λεπτομέρειες για τη φύση του κώδικα των υποσυστημάτων που αναπτύχθηκαν και θα αναλυθεί η αλγοριθμική τους σχεδίαση τόσο για τον πηγαίο κώδικα που τροποποιήσαμε όσο και για ότι τμήμα κώδικα κρίθηκε αναγκαίο να υλοποιηθεί εκ του μηδενός. Τέλος, μέσω διαγραμματικής απόδοσης θα αποσαφηνιστεί ο τρόπος χρήσης του υποσυστήματος διεπαφής χρήστη για το οποίο θα παρακαμφθεί εν μέρει όμως η διεξοδική ανάλυση του τρόπου λειτουργίας του.

1. Υποσυστήματα

Όπως προαναφέραμε επιλέχθηκε διαστρωμάτωση του συστήματος τριών επίπεδων. Υποσύστημα συλλογής δεδομένων, αποτίμησης και καταγραφής, και διεπαφής χρήστη. Καθένα από αυτά είναι δομημένο πάνω διαφορετική λειτουργική πλατφόρμα και συνήθως αποτελείται και αυτό με τη σειρά του από επιμέρους υποσυστήματα για τα οποία θα γίνει μνεία για τη σύστασή τους σε επίπεδο κώδικα.

i. Υποσύστημα συλλογής δεδομένων

Στις υποενότητες [Μέρος II–Γ–1–i](#) και [Μέρος III–Δ–2](#) είχαμε μια πρώτη επαφή σχετικά με τα υλικά και λειτουργικά μέρη του υποσυστήματος και την ονομασία του κώδικα που έχει μεταφορτωθεί σε κάθε αισθητήρα. Θα δούμε τώρα αναλυτικά τη φύση του κώδικα αυτού, το λόγο για τον οποίο επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος, και τον τρόπο λειτουργίας του.

Στον Mica2 σένσορα που είναι εξοπλισμένος με τον μαγνητικό αισθητήρα HMC1002 έχει μεταφορτωθεί η εφαρμογή **OscilloscopeRF**. Όπως ορίζεται και στο πηγαίο αρχείο της εφαρμογής **Oscilloscope.nc** η εφαρμογή λαμβάνει περιοδικά τις μετρήσεις του αισθητήρα και τις αποστέλλει ομαδικά πάνω από το ασύρματο κανάλι. Έχει οριστεί εκ κατασκευής από το ίδιο το λειτουργικό TinyOS η δειγματοληψία να

λαμβάνει χώρα μέσω της **DemoSensorC** συνιστώσας (εφεξής **component**) όπως προκύπτει και από την παρακάτω εικόνα και τα όσα μπορούμε να εντοπίσουμε στα εγχειρίδια χρήσης του TinyOS λειτουργικού. ^[52]

```
Includes OscScopeMag:

/**
 * This configuration describes the Oscilloscope application,
 * a simple TinyOS app that periodically takes sensor readings
 * and sends a group of readings over the radio. The default
 * sensor used is the Photo component. This application uses
 * the AM_OSCOPENSG AM handler.
 */
configuration Oscilloscope {
  implementation
  {
    components Main, OscilloscopeM
    , TimerC
    , ledsC
    , DemoSensorC as Sensor
    , GenericComm as Comm;
  }
}
```

Εικόνα 52 – Η εφαρμογή Oscilloscope μέσα από το ομώνυμο αρχείο .nc

Σύμφωνα λοιπόν με τις κατασκευαστικές προδιαγραφές κάθε πλατφόρμα που επιθυμεί να τρέξει εφαρμογές συλλογής δεδομένων όπως οι **Oscilloscope**, **Sense** ή **RadioSenseToLeds** πρέπει να παρέχει τη δική της εκδοχή του **DemoSensorC**. Επειδή η κλάση των αισθητήρων Mica δεν έχει (όπως έχουμε αναφέρει ξανά) εκ κατασκευής ενσωματωμένα αισθητήρια όργανα, το **DemoSensorC** χρησιμοποιεί component από τις βιβλιοθήκες του συστήματος όπως **ConstantSensorC** ή **SineSensorC** τα οποία επιστρέφουν “ψεύτικα” δεδομένα. Για να γίνει δειγματοληψία κάποιου επιθυμητού αισθητήρα (πχ. HMC1002) τροποποιούμε τον κώδικα του **DemoSensorC** το οποίο component εντοπίζουμε στη διαδρομή,

```
...cygwin\opt\tinyos-1.x\tos\sensorboards\micasb
```

Στην ίδια διαδρομή θα βρούμε και εκείνα τα απαραίτητα component για τη δειγματοληψία όλων των διαθέσιμων αισθητηρίων οργάνων της κλάσης Mica και μεταξύ αυτών τα **Mag.nc** και **MagM.nc** τα οποία όπως υποδηλώνει και η ονομασία τους είναι υπεύθυνα για τη δειγματοληψία του μαγνητικού αισθητήρα.

Μετά από διάφορες απόπειρες κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή ενός νέου component με την ονομασία **Magg.nc** (βλ. εικόνα 53 αριστερό πάνω μέρος) για να επιτύχουμε εν τέλει το επιθυμητό, δηλαδή να συνδέσουμε το **DemoSensorC** με το **Magg** και να λάβουμε δεδομένα από το HMC1002, το οποίο **Magg** δημιουργήσαμε κατά τα πρότυπα του **Photo.nc** και συνδέσαμε ακολούθως με το **MagY.nc** (βλ. εικόνα 53 αριστερό κάτω μέρος).

Όπως αναφέραμε και στην υποενότητα “[Οι ιδιομορφίες χρήσης του μαγνητικού αισθητήρα](#)” ήταν μια επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία μέχρι να επιτύχουμε εν τέλει να δούμε τα δεδομένα που μας επιστρέφονται από το HMC1002. Προς αυτό τον σκοπό αρχικά προστέθηκαν μηνύματα αποσφαλμάτωσης στο **MagM.nc** αρχείο. Μετά από αρκετή αναζήτηση κάποια πιθανής λύσης, εντοπίστηκε η **MagSetting** διεπαφή

στη διαδρομή,

```
...cygwin\opt\tinyos-1.x\tos\interfaces
```

βάση της οποίας μπορούμε να ρυθμίσουμε την ευαισθησία του μαγνητικού αισθητήρα.

Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της προσθήκης μέσα στην εντολή (*command*)

StdControl.start() κλήσης της κατάλληλης συνάρτησης της διεπαφής η οποία θα δέχεται ως όρισμα τιμή σε εύρος [0,255].

```
call MagSetting.gainAdjustY(50);
```

Αυτό γίνεται προκειμένου τα δεδομένα που συλλέγονται να μην καθλώνονται στην μέγιστη (~785) ή στην ελάχιστη δυνατή τιμή (~240), αλλά με κατάλληλη ρύθμιση της θέσης και του προσανατολισμού του αισθητήρα να μετατοπίζονται προς την επιθυμητή στάθμη ισορροπίας. Μετά από πειράματα που πραγματοποιήσαμε ως βέλτιστη τιμή επιλέχθηκε κέρδος (*gain*) της τάξης των 50.

```
/*
 * Author:      Nikolaos Larisis
 * Date last modified: 6/16/11
 */

includes sensorboard;
configuration Magg
{
    provides interface ADC as MagADC;
    provides interface StdControl;
}
implementation
{
    components Mag;

    StdControl = Mag.StdControl;
    MagADC = Mag.MagY;
}

/**
 * DemoSensorC is a wrapper that exports one sensor
 * from each sensorboard used in tutorial and
 * demo applications.
 * @author Joe Polastre
 */
configuration DemoSensorC
{
    provides interface ADC;
    provides interface StdControl;
}
implementation
{
    //components Photo as Sensor;
    components Magg as Sensor;

    StdControl = Sensor;
    ADC = Sensor;
}

/*
 * The MagSetting interface provides an asynchronous mechanism for
 * setting the gain offset for the Magnetometer on the mica sensorboard.
 * This is particularly useful in calibrating the offset of the Magnetometer
 * such that X and Y axis can stay in the center for idle signals.
 * If not calibrated, the data you get may rail. (railing means
 * the data either stays at the maximum (~785) or minimum (~240)).
 *
 * The gain adjust has 256 steps ranging from 0 to 255.
 */
/**
 * @author Alec Woo
 */
interface MagSetting {
    /* Effects: adjust pot setting on the X axis of the magnetometer.
     * Returns: return SUCCESS or FAILED.
     */
    command result_t gainAdjustX(uint8_t val);

    /* Effects: adjust pot setting on the Y axis of the magnetometer.
     * Returns: return SUCCESS or FAILED.
     */
    command result_t gainAdjustY(uint8_t val);

    /* Pot adjustment on the X axis of the magnetometer is finished.
     * Returns: return SUCCESS.
     */
    event result_t gainAdjustXDone(bool result);

    /* Pot adjustment on the Y axis of the magnetometer is finished.
     * Returns: return SUCCESS.
     */
    event result_t gainAdjustYDone(bool result);
}
```

Εικόνα 53 – Το “νέο” component Magg, η τροποποιημένη εκδοχή του DemoSensorC, και το MagSetting.

Πλέον ο μαγνητικός αισθητήρας είναι έτοιμος προς χρήση και μένει απλά να μεταφορτώσουμε τον κώδικα της εφαρμογής **OscilloscopeRF** με χρήση των κατάλληλων εντολών (βλ. [παράρτημα](#)) πάνω στον Mica2 σένσορα.

Ο κώδικας που έχουμε μεταφορτώσει στους υπόλοιπους σένσορες δε χρήζει ιδιαίτερης ανάλυσης μιας και είναι κώδικας που παρέχεται από το ίδιο το λειτουργικό στην περίπτωση των κόμβων που θα αποτελέσουν τους σταθμούς βάσης, καθώς και η

εφαρμογή **SenseToRadio** που παρέχει η ίδια η κατασκευάστρια εταιρία EasySen για τη χρήση του υπέρυθρου αισθητήρα. Έτσι για τον Mica2 με ρόλο σταθμού βάσης έχει μεταφορτωθεί η εφαρμογή **TOSBase** και για τον αντίστοιχο Tmote Sky η εφαρμογή **BaseStation** που είναι απλά η βελτιωμένη έκδοσή της πρώτης σε περιβάλλον TinyOS-2.x.

Παρατηρήσεις:

- i. Η εφαρμογή **SenseToRadio** παρέχει τη δυνατότητα χρήσης όλων των αισθητήριων οργάνων με τα οποία είναι εξοπλισμένο το WiEye sensor board. Στην τελική μορφή του συστήματος δεν υπάρχει λόγος να δειγματολογούμε όλα τα όργανα αυτά, συνεπώς ελαφρύνθηκε ο κώδικας της εφαρμογής και πλέον έχουν παραμείνει εκείνες οι γραμμές που σχετίζονται και αφορούν τη λειτουργία μόνο του υπέρυθρου αισθητήρα.
- ii. Απαραίτητο στάδιο κατά τη διαδικασία ενεργοποίησης του μαγνητικού αισθητήρα ήταν η χρήση μηνυμάτων αποσφαλμάτωσης προκειμένου να διαλευκανθεί η ροή εκτέλεσης του κώδικα. Οδηγίες για τη σύνταξη των μηνυμάτων αυτών εντοπίζονται στο εγχειρίδιο χρήσης του TOSSIM.^[53]
- iii. Σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στο εγχειρίδιο εξοικείωσης της έκδοσης [1.1.14] που ανέπτυξε ο γράφων,^[54] οι αισθητήρες κλάσης Mica επειδή χρησιμοποιούν άλλη συχνότητα επικοινωνίας (900MHz) από τη default πρέπει να δηλώσουμε στο μεταγλωττιστή ποια ακριβώς συχνότητα είναι η ορθή. Αυτό επιτυγχάνεται τροποποιώντας το περιεχόμενο του **MakeLocal** αρχείου στο φάκελο της εφαρμογής προς μεταφόρτωση προσθέτοντας τις κάτωθι γραμμές κώδικα,


```
CFLAGS += -DCC1K_DEF_FREQ=916700000
CFLAGS += -DRADIO_XMIT_POWER=0xFF
```
- iv. Εκτός αυτής της διαφοράς στη συχνότητα επικοινωνίας μεταξύ Mica2 και Tmote υπάρχουν και διαφορές μεταξύ των αντίστοιχων εκδόσεων [1.1.14] και [2.1.1] στην μορφή του πακέτου του ίδιου του ασύρματου καναλιού. Στην παρακάτω εικόνα χάρη πληρότητας εμφανίζεται η δομή του πακέτου κάθε έκδοσης (στην εικόνα 38 είχαν αποδοθεί με διαφορετικό χρωματισμό),

Μορφή του πακέτου του ασύρματου καναλιού της TinyOS-1.x έκδοσης (Mica2)							
dest addr	handlerID	groupID	msg len	source addr	counter	channel	readings
7e 00	0a	7d	1a	01 00	14 00	01 00	96 03 97 03 97 03 98 03 97 03 96 03 97 03 96 03 96 03

Μορφή του πακέτου του ασύρματου καναλιού της TinyOS-2.x έκδοσης (Tmote)							
dest addr	link source addr	msg len	groupID	handlerID	source addr	counter	
ff ff	00 00	04	22	06	00 02	00 0B	

Εικόνα 54 – Δομή του πακέτου επικοινωνίας για τις εκδόσεις του TinyOS λειτουργικό. Πηγή [55],[56].

ii. Υποσύστημα αποτίμησης και καταγραφής

Στις υποενότητες [Μέρος II-Γ-1-ii](#) γνωρίσαμε τα προγράμματα τα οποία συνιστούν το βασικό αυτό τμήμα της αλγοριθμικής επεξεργασίας, και μέσα από το διάγραμμα ροής δεδομένων αποκτήσαμε μια πληρέστερη εικόνα για τον τρόπο συσχέτισής τους. Στα [Μέρος III-Δ-4](#) και [5](#) είδαμε την αλληλουχία των εντολών ώστε να εκκινήσουμε τη διαδικασία ανάλυσης των ακατέργαστων δεδομένων, και αντιστοίχως μέσα από μια σχηματική απεικόνιση ενός στιγμιότυπου εκτέλεσης πήραμε μια πρώτη γεύση για τον πυρήνα του αλγορίθμου της εφαρμογής μας.

Σε αυτήν την υποενότητα κατ' εξαίρεση δε θα αναλύσουμε τον τρόπο λειτουργίας της αλγοριθμικής επεξεργασίας του υποσυστήματος αυτού, διότι λόγω της βαρύνουσας σημασίας του θα αφιερώσουμε ξεχωριστές τις επόμενες δύο υποενότητες. Αντ' αυτού θα αρκεστούμε στην περιγραφή πιο περιφερειακών ζητημάτων όπως η δομή των βάσεων δεδομένων, το μέσο διασύνδεσής τους με το υπόλοιπο σύστημα, το λόγο για τον οποίο επιλέξαμε τα συγκεκριμένα προγράμματα ανάγνωσης της σειριακής θύρας, και τυχόν προγραμματιστικά προβλήματα και ιδιαιτερότητες που ανέκυψαν κατά το στάδιο σχεδίασης του υποσυστήματος αυτού.

1. Δομή των βάσεων δεδομένων.

- Αρχικά θα πρέπει να σημειώσουμε πως στις έως τώρα σελίδες αναφερόμασταν στην ύπαρξη δύο διακριτών βάσεων δεδομένων: ***nodes.db*** και ***sensor_state.db***. Η χρήση του όρου “βάση δεδομένων” είναι αδόκιμη διότι στην πράξη οι ανωτέρω αυτές “βάσεις” αποτελούν στην ουσία πίνακες (***tables***) της “πραγματικής” βάσης δεδομένων ***park.db***
- Η βάση δεδομένων όπου γίνεται η αποθήκευση της πληροφορίας κατάστασης των υποσυστημάτων είναι υλοποιημένη με βάση την τεχνολογία ενός σχεσιακού συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων (RDBMS) με την ονομασία MySQL.^{[\[57\]](#)}
- Η βάση δεδομένων δημιουργείται αυτόματα μέσω του αρχείου ***init_db.java*** και συνίσταται από τους εξής δύο πίνακες. Τον ***nodes*** ο οποίος παρέχει πληροφορίες για κάθε κόμβο του συστήματος που αντιστοιχεί σε μια οριοθετημένη θέση στάθμευσης και τον ***sensor_state*** στον οποίο αποθηκεύεται η πληροφορία για την κατάσταση του κάθε αισθητήρα ενός κόμβου. Στις εικόνες 55 και 56 φαίνεται η εσωτερική δομή των πινάκων αυτών σε μια πρώτη πρόχειρη απόδοση και με χρήση κατάλληλων εντολών του περιβάλλοντος NetBeans. Ειδικότερα για την εικόνα 56 ο πίνακας ***nodes*** έχει έρθει σε αυτή τη μορφή μέσα από κατάλληλες εντολές [SQL](#) και προκειμένου να αναδειχθούν οι δυνατότητες της διεπαφής χρήστη. Κατά την αρχικοποίηση, ο μεν ***sensor_state*** έχει τη μορφή της εικόνας 55 ενώ ο δε ***nodes*** έχει όλες τις εγγραφές του πεδίου ***status*** με τιμή ***green***, τις εγγραφές του πεδίου ***telaps*** με τιμή ***120*** και τις εγγραφές του πεδίου ***trem*** με τιμή ***0***.

#	id	MG_id	MG_state	MG_time	IR_id	IR_state	IR_time	time_activated
1	1	1	<input type="checkbox"/>	<NULL>	2	<input type="checkbox"/>	<NULL>	<NULL>
2	2	3	<input type="checkbox"/>	<NULL>	4	<input type="checkbox"/>	<NULL>	<NULL>
3	3	5	<input type="checkbox"/>	<NULL>	6	<input type="checkbox"/>	<NULL>	<NULL>

Εικόνα 55 – Η εσωτερική δομή του πίνακα *sensor_state*

- Ο πρώτος αυτός πίνακας αποτελείται από τα εξής πεδία:
 - **id** – Κωδικός κόμβου-θέσης στάθμευσης. Υποθέτουμε αριθμοδότηση βάση κριτηρίων του κατασκευαστή.
 - **MG_id** – αύξων αριθμός μαγνητικού αισθητήρα όπως αυτός αποδόθηκε κατά την μεταφόρτωση του κώδικα στον συγκεκριμένο σένσορα.
 - **MG_time** – Χρόνος όπου παρατηρήθηκε γεγονός (ενεργοποίησης και μη) του αισθητήρα.
 - **IR_id** – όμοια με MG_id
 - **IR_time** – όμοια με MG_time
 - **time_activated** – χρόνος όπου θεωρήθηκε ότι έλαβε χώρα γεγονός, ο μεταγενέστερος εκ των IR_time και MG_time.

Να σημειώσουμε πως όπως παρατηρείται και στην εικόνα, επιλέχθηκε για ευκολότερη παραπομπή οι μαγνητικοί αισθητήρες να είναι μονοί αριθμοί ενώ οι δε υπέρυθροι οι επόμενοι ζυγοί. Αυτό διευκόλυνε τα μέγιστα στην αλγοριθμική σχεδίαση και επιτρέπει να γνωρίζει κανείς άμεσα ποιοι είναι οι δύο κωδικοί αριθμοί των αισθητήρων ενός κόμβου. Αν ο κόμβος έχει,

$$id = N \Rightarrow MG_id = 2*N - 1 \quad \&\& \quad IR_id = 2*N$$

#	id	status	addr	area	telaps	trem
1		1 green	Iasonos,34	CNT	0	120
2		2 red	Iasonos,33	CNT	114	6
3		3 green	Iasonos,35	CNT	0	120
4		4 green	Iasonos,36	CNT	0	120
5		5 black	Iasonos,37	CNT	145	0
6		6 green	Gazi,54	MTF	0	120
7		7 green	Gazi,56	MTF	0	120
8		8 green	Gazi,74	MTF	0	120
9		9 red	Konstanta,60	MTF	110	10
10		10 red	Konstanta,79	MTF	100	20
11		11 green	Gamveta,4	AGK	0	120
12		12 red	Gamveta,14	CNT	100	20
13		13 red	Gamveta,24	CNT	110	10
14		14 red	Gamveta,34	CNT	115	5
15		15 red	Gamveta,64	CNT	119	1
16		16 green	Vyronos,134	ANL	0	120
17		17 red	Vyronos,44	ANL	110	10
18		18 red	Vyronos,124	ANL	115	5
19		19 black	Kritski,34	ANL	179	0
20		20 black	Vyronos,34	ANL	205	0

Εικόνα 56 – Η εσωτερική δομή του πίνακα *nodes*

- Ο δεύτερος πίνακας αποτελείται από τα εξής πεδία:
 - **id** – Κωδικός κόμβου-θέσης στάθμευσης. Όπως και πριν είναι το πρωτεύον κλειδί (*primary key*) του πίνακα και τα δύο κλειδιά των δύο πινάκων προφανώς και έχουν μεταξύ τους 1-1 σχέση.
 - **status** – Η κατάσταση κάθε κόμβου-θέσης στάθμευσης. Αυτή θα είναι **ελεύθερη (green)**, **κατειλημμένη (red)**, ή σε **κατάσταση σφάλματος (black)**.
 - **addr** – Η διεύθυνση όπου είναι εγκατεστημένος ο κόμβος. Η διευθυνσιοδότηση έχει γίνει με λατινικούς χαρακτήρες ώστε να αποφευχθούν συγκρούσεις με το λογισμικό χάρτη της διεπαφής χρήστη και να έχει συντακτικό ανάλογο με τις εκεί απαιτήσεις.
 - **area** – Κωδικός περιοχής όπου εντοπίζεται ο κόμβος. Ο πολεοδομικός ιστός του κέντρου της πόλης του Βόλου έχει χωριστεί σε ζώνες ελέγχου σύμφωνα με την εικόνα 57. Οι κωδικοί περιοχών έχουν τις εξής ερμηνείες: Οξυγόνο (**OXG**), Μεταμόρφωση (**MTF**), Παλαιά-Λιμάνι (**OLH**), Κέντρο (**CNT**), Ανάληψη (**ANL**) και Αγ. Κωνσταντίνος (**AGK**).
 - **telaps** – Χρονικό διάστημα με τη θέση κατειλημμένη.
 - **trem** – Εναπομείνας χρόνος μέχρι τη λήξη της επιτρεπόμενης διάρκειας στάθμευσης. Έχει υιοθετεί πολιτική στάθμευσης βάση της οποίας κάθε θέση μπορεί να παραμένει κατειλημμένη για διάρκεια 120sec (2 ώρες) μετά το πέρας των οποίων η θέση τίθεται σε κατάσταση σφάλματος και με τον μετρητή telaps να συνεχίζει να αυξάνεται κανονικά (βλ. [Μέρος V-Γ](#)).



Εικόνα 57 – Μοντέλο διαχωρισμού του πολεοδομικού ιστού της πόλης του Βόλου σε ζώνες αναφοράς

2. Τρόπος διασύνδεσης.

Η τεχνολογία MySQL χρησιμοποιεί εντολές της γλώσσας SQL προκειμένου να έχει πρόσβαση και να επεξεργάζεται τα δεδομένα που εμπεριέχονται σε μια βάση δεδομένων αλλά όντας σύστημα RDBMS δεν εσωκλείει εργαλεία διεπαφής χρήστη. Για την κατασκευή πολυπλοκότερων συνθέσεων κώδικα είθισται να χρησιμοποιούνται γλώσσες προγραμματισμού υψηλότερων επιπέδων συνοδευόμενες από κατάλληλες διεπαφές προγραμματισμού (*API*).

Στα πλαίσια της εργασία αυτής επιλέχθηκε η αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού Java λόγω των ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων της ίδιας αλλά κυρίως λόγω της εμπειρίας του γράφοντος σε αυτή. Απαραίτητο στάδιο είναι η εγκατάσταση της διεπαφής *JDBC API* η οποία επιτρέπει τη συνέργια κώδικα μεταξύ του περιβάλλοντος της MySQL και της Java, μέσω του MySQL Connector/J,^[58] του JDBC driver για τη MySQL.

Τελικό βήμα αποτέλεσε η σύνδεση του περιβάλλοντος Netbeans με τη MySQL ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου χρήσης^[59] ώστε να επιτύχουμε μια πιο εύχρηστη διαχείριση των εγγραφών της βάσης δεδομένων ειδικά κατά τα πρώτα στάδια σχεδίασης του αλγορίθμου.

3. Σημεία ιδιαίτερου προγραμματιστικού ενδιαφέροντος

Αξίζει να σημειώσουμε ορισμένες πτυχές της διαδικασίας σχεδίασης του αλγορίθμου που χρίζουν αναφοράς.

Αρχικά, το γεγονός ότι προτιμήθηκε η χρήση του προγράμματος *Listen* αντί του παρεχόμενου από την εταιρία *SenseToRadio*. Τα χαμηλού επιπέδου προγράμματα αυτά είναι γραμμένα σε Java και παρέχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας με τους κόμβους μέσω της σειριακής θύρας. Προτιμήθηκε το πρώτο λόγω της απλής δομής του και διότι λόγω των παρεμβάσεων ελάφρυνσης του κώδικα του δεύτερου δεν κατέστη πλέον δυνατή η κλήση ορισμένων συναρτήσεων που παρέχει. Έτσι επιλέχθηκε το πρώτο ώστε να αποτελέσει το όχημα για τη συγγραφή του αλγορίθμου και το δεύτερο περιορίστηκε σε επιτελικό ρόλο εκτύπωσης των δεδομένων που συλλέγονται μέσω και ειδικά κατασκευασμένου προγράμματος σε Mathematica^[63] (βλ. [παράρτημα](#)).

Τέλος, να σημειώσουμε τη χρήση του εργαλείου *Cygwin*^[60] το οποίο συνοδεύει τη διαδικασία εγκατάστασης των διαφόρων εκδόσεων του TinyOS λειτουργικού συστήματος και παρέχει ένα περιβάλλον εξομοίωσης του λειτουργικού Linux σε περιβάλλον Windows. Προκειμένου δε να γίνει πιο εύκολη η χρήση του κρίθηκε απαραίτητο οι συχνές εντολές, και δη όσες αποτελούνταν από πολλές παραμέτρους, να αυτοματοποιηθούν κατά την κλήση. Όπως ορίζεται και στο εγχειρίδιο^[54] χρησιμοποιούμε την εντολή *alias* την οποία ορίζουμε στο αρχείο `cygwin\home\όνομα συστήματος\BASHRC`, με βάση την παρακάτω σύνταξη :

```
alias σύντμηση = ' εντολή_προς_σύντμηση '
```

εισάγοντας το συντετμημένο όνομα εκτελούμε εύκολα και γρήγορα την εντολή.

iii. Υποσύστημα διεπαφής χρήστη

Η ανάπτυξη της συγκεκριμένης διαδικτυακής πλατφόρμας έχει ως αποστολή της την αποτύπωση και εν τέλει αξιοποίηση της πληροφορίας του συστήματος. Στην υποενότητα [Μέρος II-Γ-1-iii](#) γνωρίσαμε τη φιλοσοφία χρήσης της υπηρεσίας και στην υποενότητα [Μέρος III-Δ-6](#) είδαμε τον τρόπο εκκίνησης της λειτουργίας της. Στην εδώ υποενότητα θα αναλύσουμε πιο τεχνικά ζητήματα που αφορούν τον κώδικα και τη φιλοσοφία της υλοποίησης της διαδικτυακής αυτής διεπαφής. Η εφαρμογή αποτελείται από 3 διακριτά στάδια.

1. Εισαγωγή στο σύστημα -- (**intro.html**)
2. Ανάκτηση πληροφορίας -- (**main.html**)
3. Αποσύνδεση -- (**exit.html**)

Καθόλα τα στάδια παρέχονται υποβοηθητικές διεπαφές όπου ο χρήστης μπορεί να αποταθεί αν και εφόσον αντιμετωπίζει δυσκολία με ένα κατά άλλα φιλικό και ειδικά σχεδιασμένο για τον σκοπό αυτό περιβάλλον. Σχεδιαστικά η όλη εφαρμογή υλοποιήθηκε ώστε να έχει ενιαίο χαρακτήρα με κατάλληλους χρωματισμούς και τεχνοτροπίες πλαισίων.

Τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη

- ✓ HTML
- ✓ CSS/CSS3
- ✓ JavaServlet
- ✓ MySQL-JDBC Connector
- ✓ AJAX
- ✓ Javascript
- ✓ JQuery/JQueryui-ThemeRoller
- ✓ Google Maps Javascript API

1.Εισαγωγή στο σύστημα

Με την εκκίνηση της εφαρμογής τοποθετούμαστε στην αρχική ιστοσελίδα (**intro.html**) όπου καλείται ο χρήστης να εισάγει τα στοιχεία του (βλ. εικόνα 39). Η διαπίστευση αφορά έναν συγκεκριμένο αριθμό κάθε φορά χρηστών τα στοιχεία των οποίων είναι καταχωρημένα σε ένα αρχείο. Τα στοιχεία αυτά με την υποβολή τους (μέσω κλήσης **LoginHandler** - **javaservlet**) ταυτοποιούνται με χρήση κατάλληλης κλάσης (**User.java**). Ταυτόχρονα με την εκκίνηση αρχίζουν να τρέχουν script τα οποία διαβάζουν κατάλληλα κάθε φορά αρχεία κειμένου και που εκτελούν διάφορες λειτουργίες (αναδυόμενα παράθυρα σε περίπτωση ανεπιτυχούς login, νέος χρήστης, αποσύνδεση χρήστη, μενού βοήθειας κ.ά).

2.Ανάκτηση πληροφορίας

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται αντίστοιχα η διεπαφή για κάθε κατηγορία χρήστη, για τον συνδρομητή της υπηρεσίας (**client**) και για τον διαχειριστή (**admin**). Ο τρόπος ανάκτησης της πληροφορίας είναι όμοιος επιλέγοντας μια από τις (αμοιβαία αποκλειόμενες μέσω **main.js**) δυνατές λειτουργίες και έπειτα το πλήκτρο "**Submit**". Με την επιλογή του πλήκτρου γίνεται κλήση του **SearchServlet** το οποίο είναι

συνδεδεμένο με τη βάση δεδομένων “park”. Σύμφωνα με το τι “είδους” είναι ο χρήστης εκτελούνται μια σειρά από ερωτήσεις SQL και ανάλογα με το ποια εντολή-λειτουργία επέλεξε ο χρήστης στο αντίστοιχο interface του. Το αποτέλεσμα της ερωτήσης αποθηκεύεται σε ένα αρχείο με όνομα `map.xml` και ένα script αρχείο που τρέχει σε `client-side` το `main_gmap.js` είναι επιφορτισμένο με την αποτύπωση σε google map των αποτελεσμάτων αυτών στο σωστό σημείο του χάρτη κάθε φορά.



Εικόνα 58 – Στιγμιότυπο χρήσης της διαδικτυακής διεπαφής χρήστη-πελάτη



Εικόνα 59 – Στιγμιότυπο χρήσης της διαδικτυακής διεπαφής χρήστη-διαχειριστή

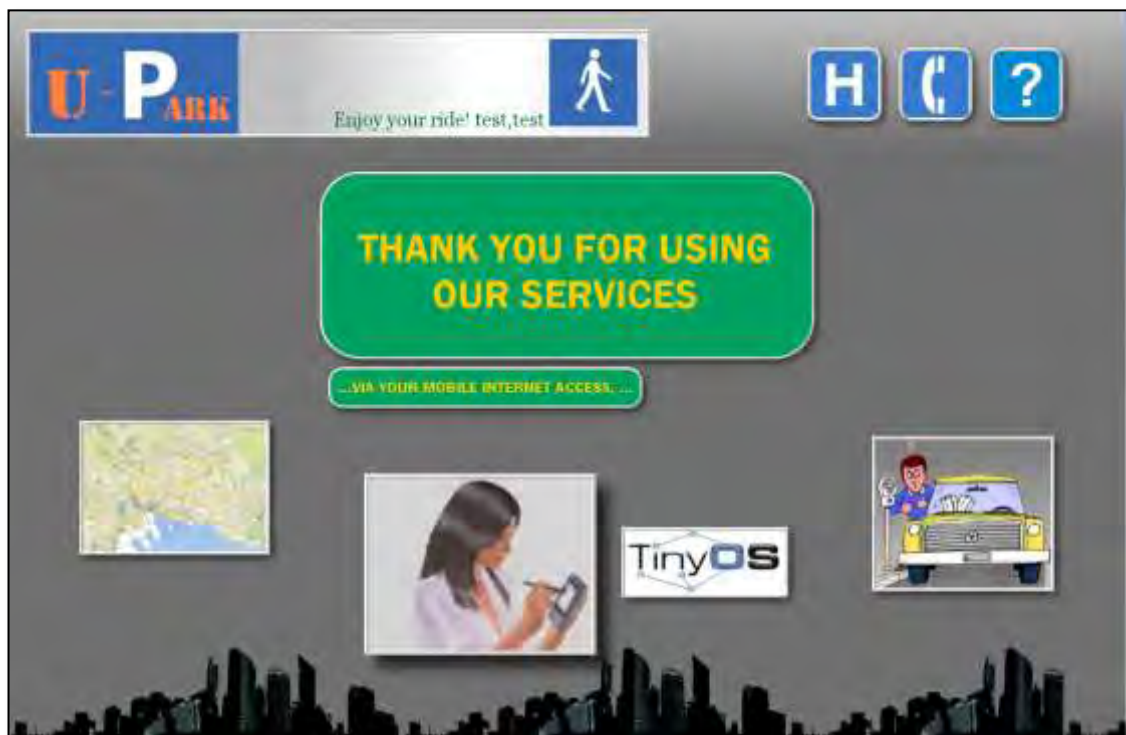
Η κεντρική ιστοσελίδα αποτελείται από 3 διακριτά χωρία.

- ✓ Το μενού με τα κουμπιά λειτουργίας
 - “**H**” – Home – Επιστροφή στο `intro.html` (μέσω `main.js`)
 - “**C**” – Contact – Στοιχεία επικοινωνίας
 - “**?**” – Help – Κείμενο βοήθειας με λεπτομέρειες για τον τρόπο χρήσης της υπηρεσίας (ανάδυση παραθύρου μέσω `main_menu_bar_efe.js`)
 - “**Exit**” – Ανακατεύθυνση στο `exit.html` (μέσω `main.js`)
- ✓ Το google map, με το map index και το κουμπί εμφάνισης των αποτελεσμάτων αναζήτησης
- ✓ Την περιοχή αλληλεπίδρασης του χρήστη με την υπηρεσία

3.Αποσύνδεση

Από την κεντρική σελίδα `main.html` με το πάτημα το κουμπιού “**EXIT**”, “ακολουθούμε την έξοδο” από την υπηρεσία και οδηγούμαστε στην σελίδα `exit.html`. Η προσθήκη αυτού του τελικού σταδίου έγινε ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία του ελέγχου της συνεδρίας και να δοθεί κατ’ αυτόν τον τρόπο η δυνατότητα στο συνδρομητή να επαναχρησιμοποιήσει την υπηρεσία μόνο εάν και εφόσον αποσυνδεθεί πλήρως και πιστοποιηθούν από την αρχή τα στοιχεία του.

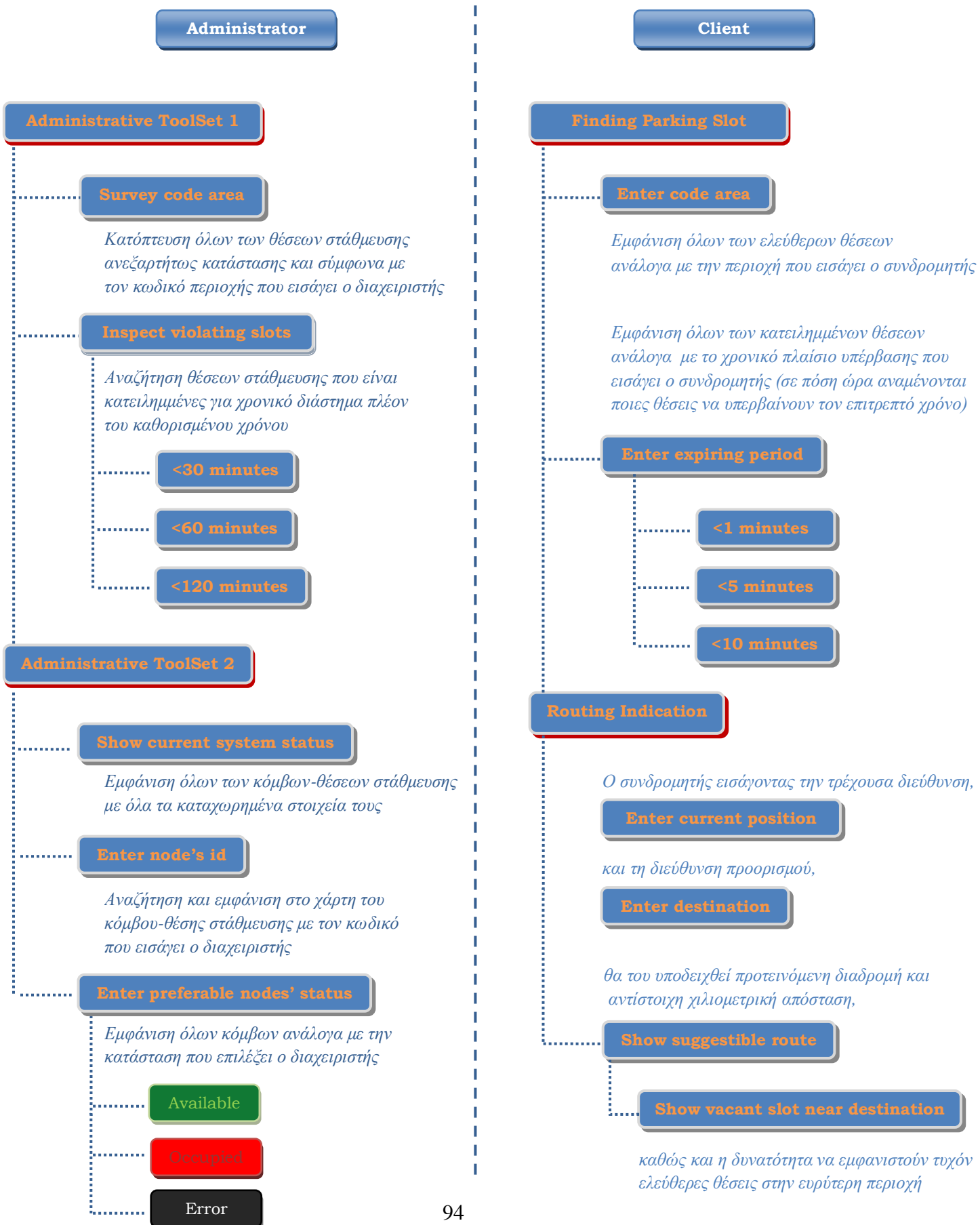
Με την επιλογή του “**H**” καλείται το `Exiting` – `javaservlet` το οποίο λύει τη συνεδρία και αυτό με τη σειρά του καλεί το `SearchServlet` το οποίο θα μας ανακατευθύνει εν τέλει στην αρχική σελίδα, ολοκληρώνοντας έτσι την αποσύνδεση του χρήστη. Πλέον είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε την όλη διαδικασία από την αρχή!



Εικόνα 60 – Η ιστοσελίδα εξόδου της διαδικτυακής πλατφόρμας της υπηρεσίας

2. Διάγραμμα ροής χρήσης

Για καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της διαδικτυακής διεπαφής παραθέτουμε το κάτωθι οργανόγραμμα χρήσης ανά περίπτωση χρήστη.



B. Ανάλυση ακατέργαστων δεδομένων

Στην υποενότητα αυτή θα αναλύσουμε τον τρόπο σχεδίασης του αλγόριθμου επεξεργασίας των ακατέργαστων δεδομένων όπως αυτά συλλέγονται από το ανεπτυγμένο δίκτυο αισθητήρων, ξεχωριστά για το μαγνητικό και το υπέρυθρο τμήμα. Έχοντας γνωρίσει το υποσύστημα αυτό σε προηγούμενες υποενότητες, τα μέρη από τα οποία συνίσταται (από σκοπιά υλικού και λογισμικού) και πως τα θέτουμε σε κατάσταση ετοιμότητας, θα δούμε πλέον τη συλλογιστική που επιτρέπει να μορφοποιούμε τα δεδομένα-γεγονότα αυτά ως πληροφορία κατάλληλη για αξιοποίηση.

1. Επεξεργασία των μαγνητικής φύσεως δεδομένων

Ένας ορθά σχεδιασμένος αλγόριθμος επεξεργασίας των μαγνητικών δεδομένων είναι ο ακρογωνιαίος λίθος ενός επιτυχούς σχήματος εντοπισμού παρουσίας οχημάτων. Όπως περιγράφηκε και στο [Μέρος II-Γ-1-ii](#) η ανάλυση των δεδομένων βασίζεται σε μια τροποποιημένη εκδοχή του αρχείου *Listen.java*. Τα πρώτα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με τη λειτουργία του HMC1002 κατέδειξαν ότι ο αλγόριθμος εντοπισμού μπορεί είναι σχετικά απλός στη σύλληψη, βασιζόμενος σε δυο θεμελιώδεις έννοιες της Στατιστικής, τον αριθμητικό μέσο όρο:

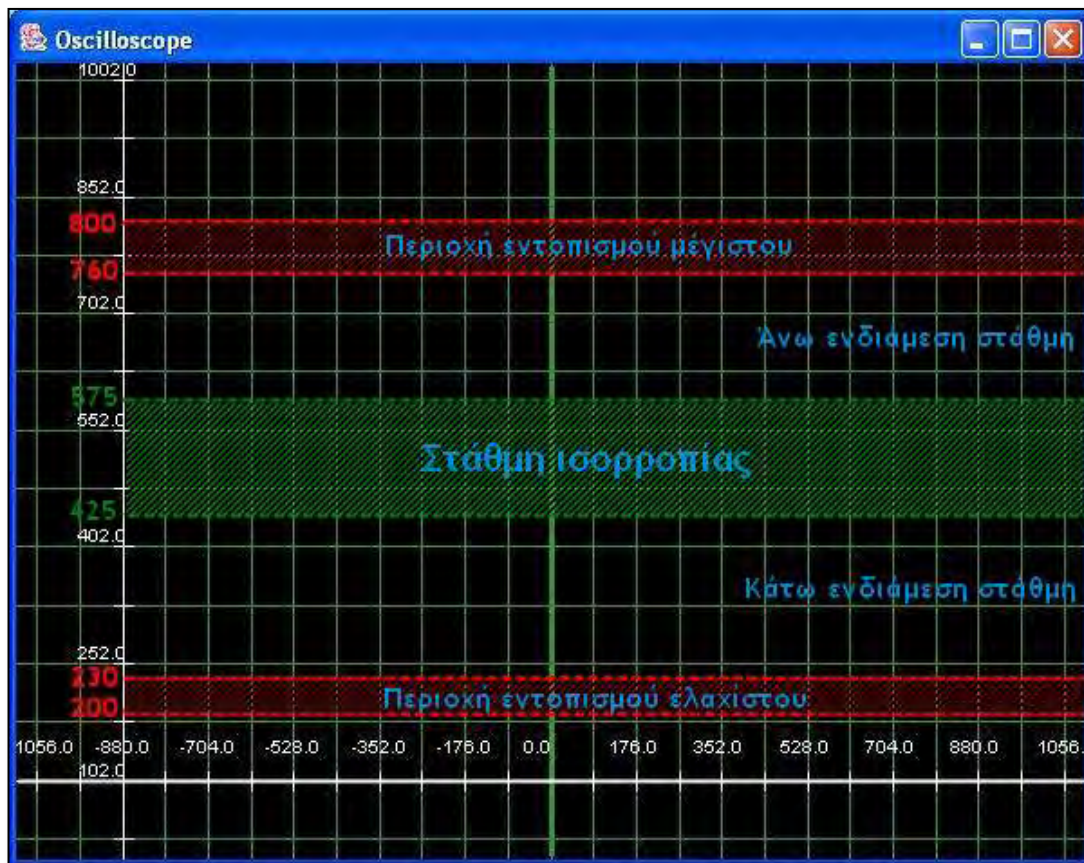
$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

και την μεταβλητότητα ενός πληθυσμού N δειγμάτων X_i :

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2$$

Παρατηρήθηκε και επιβεβαιώθηκε πως σε κατάσταση ηρεμίας του συστήματος τα δεδομένα που επιστρέφονται έχουν μέση τιμή εντός της στάθμης ισορροπίας και μεταβλητότητα κοντά στο μηδέν. Με την έλευση ενός φέροντος αντικειμένου παρουσιάζεται μια απότομη μεταβολή στη γραφική παράσταση των επιστρεφόμενων αποτελεσμάτων η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλη μεταβλητότητα τιμών. Όσο υπάρχει μεταβολή στο μαγνητικό πεδίο του περιβάλλοντος το αποτέλεσμα της μεταβολής αυτής θα αντικατοπτρίζεται κατάλληλα στην μεταβλητότητα και την μέση τιμή των δεδομένων. Διαρκής παρουσία οχήματος θα συνοδεύεται από σταθεροποίηση του σήματος εξόδου (μεταβλητότητα τείνει μηδέν) σε κάποια δεδομένη στάθμη-μέση τιμή.

Άρα η συνδυασμένη ερμηνεία των μεγεθών αυτών θα αποτελέσει τη βάση ώστε να συμπεραίνουμε ποια η κατάσταση του συστήματος. Δεν έχουμε παρά να ορίσουμε συγκεκριμένες στάθμες λειτουργίας ως προς τη μέση τιμή των επιστρεφόμενων δεδομένων, εντός των οποίων αυτά θα ερμηνεύονται αναλόγως (βλ. εικόνα 61). Οι στάθμες αυτές σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες τιμές μεταβλητότητας θα αποτελέσουν τον οδηγό για τη δημιουργία του γράφου μεταβάσεων των καταστάσεων του συστήματός μας.



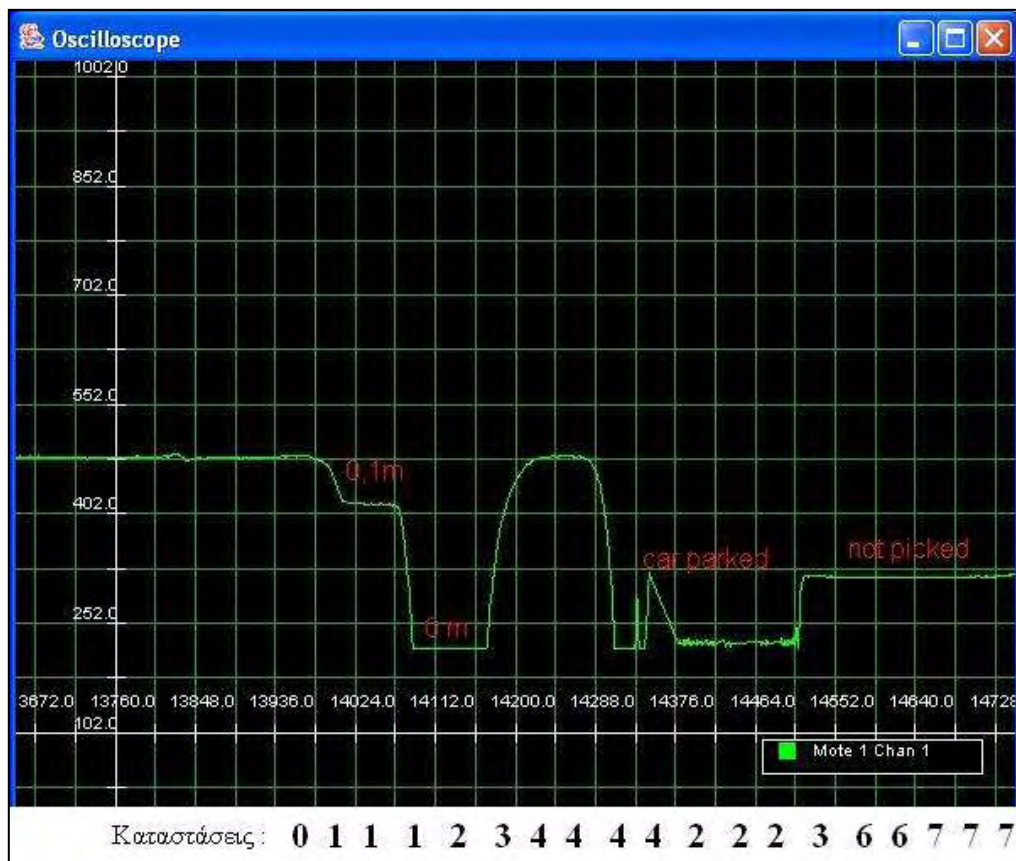
Εικόνα 61 – Οι περιοχές λειτουργίας του συστήματος

Η επιλογή των ορίων των περιοχών λειτουργίας βασίστηκε στην κατ' αντιπαράθεση εξέταση των γραφικών παραστάσεων των πειραμάτων. Στην περίπτωση των ορίων της μεταβλητότητας αναπτύχθηκαν προγράμματα με το εργαλείο Mathematica βασιζόμενα στα αποθηκευμένα δεδομένα των πειραμάτων τα οποία κατέδειξαν ως βέλτιστες οριακές τιμές μεταβλητότητας αυτές άνω των 30 για ένα σήμα μεταβολής και κάτω των 10 για ένα σήμα ηρεμίας. Πάνω στο συνδυασμό αυτών των τιμών βασίστηκε ο ορισμός των ακόλουθων καταστάσεων (*STATE i*) του υποσυστήματος και του τελικού γράφου μετάβασης της λειτουργίας.

STATE	Κατάσταση συστήματος	Ερμηνεία
0	System Idle	Κανένα μαγνητικό ερέθισμα στο περιβάλλον
1	Detecting	Ανίχνευση μεταβολής
2	Parking slot - Busy	Υπερκείμενο φέρον αντικείμενο
3	Car unparking	Εκκίνηση απομάκρυνσης του αντικειμένου
4	Car withdrawing	Απεμπλοκή. Τελικό στάδιο απομάκρυνσης
5	Parking slot - Clear	Αρχικό στάδιο ηρεμίας
6	B U S Y@MID - checking	Έλεγχος για ιδιάζουσα περίπτωση στάθμευσης
7	B U S Y@MID - PICKED	Επιβεβαίωση ιδιάζουσας περίπτωσης

Κατά τη διαδικασία της στάθμευσης όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα μέρη της εργασίας, παρουσία ενός φέροντος αντικειμένου η γραφική παράσταση του σήματος εξόδου καθιλώνεται στην **περιοχή εντοπισμού μεγίστου**. Αυτή η συμπεριφορά παρουσιάστηκε στην πλειονότητα των πειραμάτων. Υπήρξαν όμως περιπτώσεις όπου η έξοδος καθιλώνόταν στην **περιοχή εντοπισμού ελαχίστου** ή ακόμα χειρότερα (από αλγοριθμικής άποψης) στις ενδιάμεσες στάθμες (βλ. εικόνα 61).

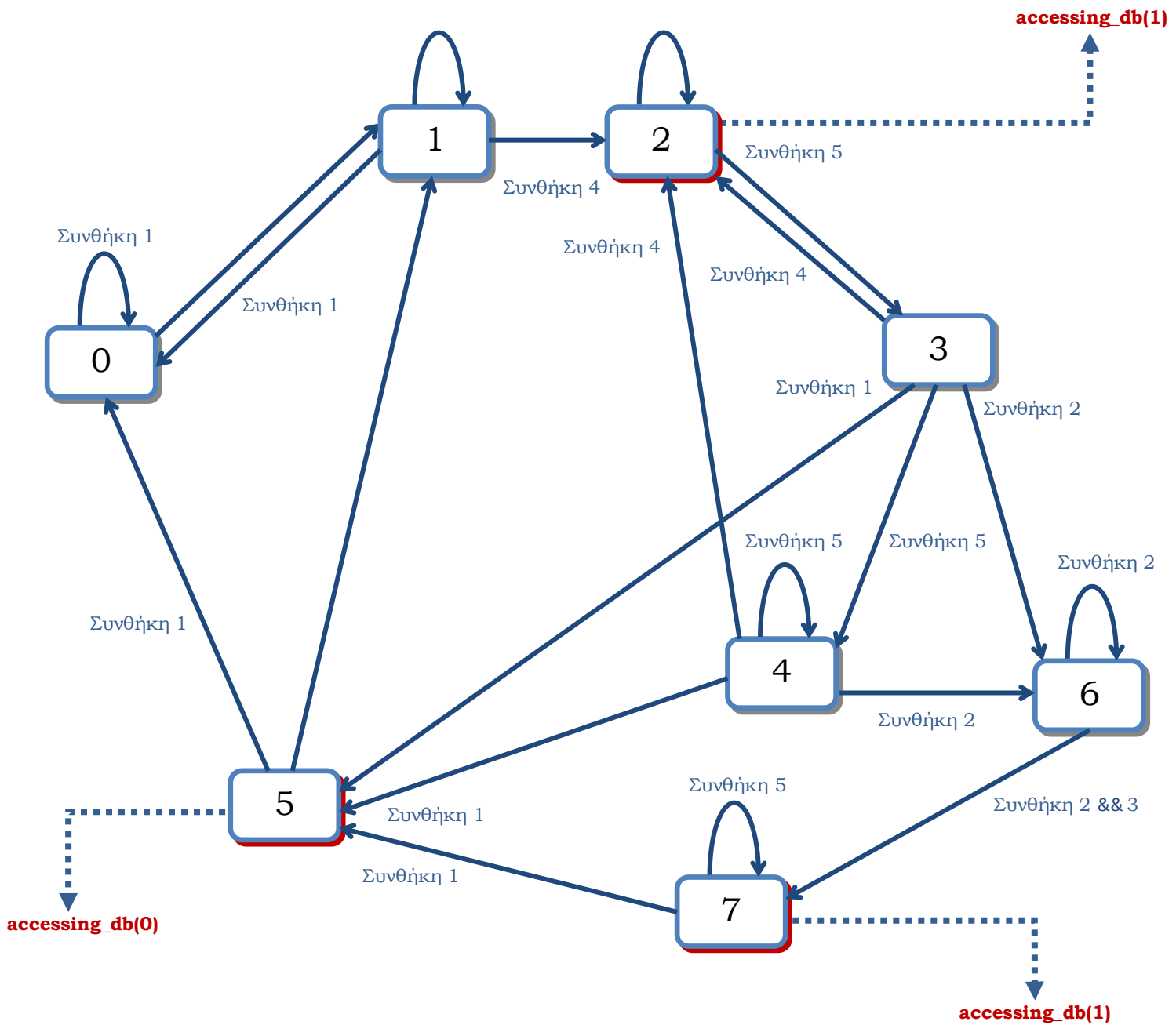
Αυτό το τελευταίο, οφείλεται όπως αποδείχθηκε στον προσανατολισμό και τη θέση του HMC1002 σε σχέση με το κέντρο του αμαξώματος του οχήματος. Συνακόλουθα σε κανονικές συνθήκες σε μια διαδικασία στάθμευσης όχι εντός των ορίων της θέσης, δηλαδή ένα κάπως “άτσαλο” παρκάρισμα. Για να προβλεφθούν και τέτοιες περιπτώσεις κρίθηκε αναγκαίος ο ορισμός αυτών των “ειδικών” καταστάσεων 6 και 7. Για να αποσαφηνίσουμε τα προαναφερόμενα ας μελετήσουμε την εικόνα 62 στην οποία κάθε αύξων αριθμός κατάστασης αντιστοιχεί σε ένα μέγεθος παραθύρου.



Εικόνα 62 – Ενδεικτική κυματομορφή επεξήγησης των καταστάσεων του συστήματος

Τέλος, να σημειώσουμε πως υπήρξε ειδική μέριμνα ώστε να μην επηρεάζεται ο τρόπος μετάβασης μεταξύ των καταστάσεων του συστήματος εάν μεταξύ δύο παραθύρων (**frames**) υπήρχε απότομη μεταβολή μεταξύ του τελευταίου πακέτου του ενός και του πρώτου του επόμενου. Η παρουσίαση του αλγορίθμου θα ολοκληρωθεί με την παράθεση του ακόλουθου γράφου μεταβάσεων βοηθώντας έτσι στο να κατανοήσουμε πλήρως τη φιλοσοφία του σχήματος εντοπισμού παρουσίας ή μη οχημάτων ανά θέση στάθμευσης.

ΜΗΧΑΝΗ ΚΑΤΑΣΤΕΩΝ

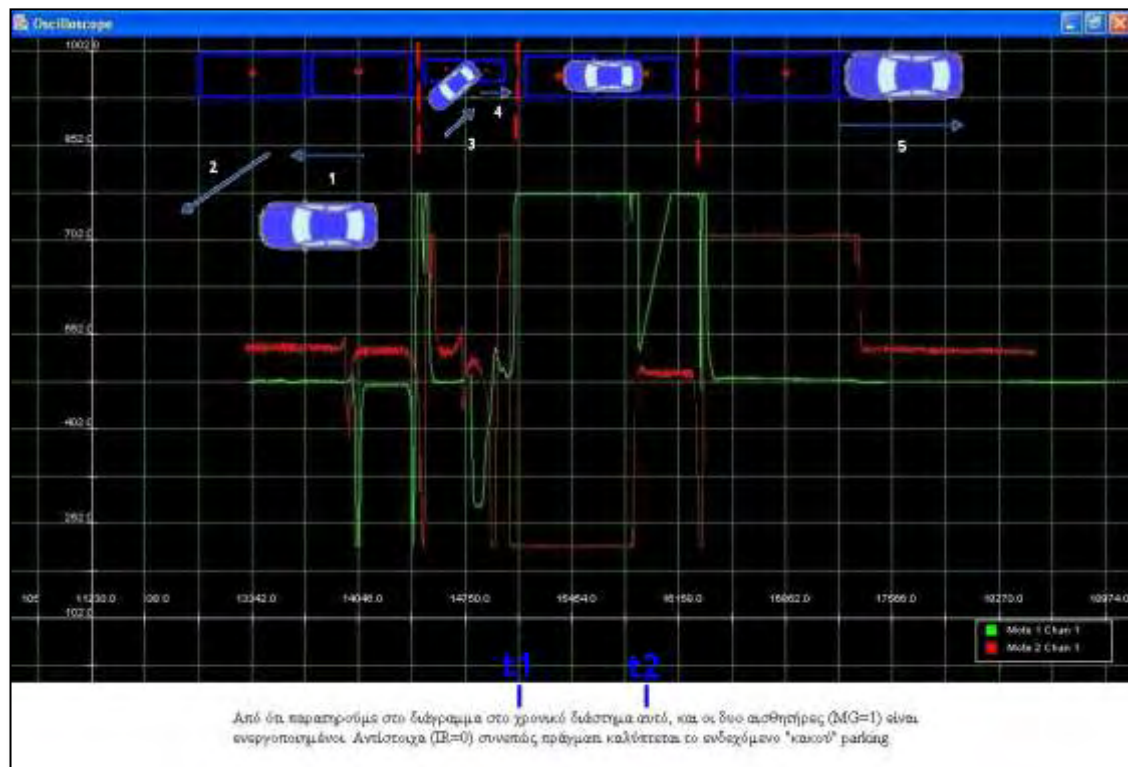


Index	
Συνθήκη 1	$\mu \in [425, 575] \ \&\& \ \sigma^2 < 30$
Συνθήκη 2	$\mu \in [231, 424] \cup [576, 757] \ \&\& \ \sigma^2 < 10$
Συνθήκη 3	$STATE = 6 \ \&\& \ mid_picked_frames > 1$
Συνθήκη 4	$\mu \in [200, 230] \cup [758, 799] \ \&\& \ \sigma^2 < 10$
Συνθήκη 5	$\sigma^2 > 30$
accessing_db(1)	UPDATE park.sensor_state MG_state = "ON", MG_time = "get_time()"
accessing_db(0)	UPDATE park.sensor_state MG_state = "OFF", MG_time = "get_time()"

2. Επεξεργασία των υπέρυθρης φύσεως δεδομένων

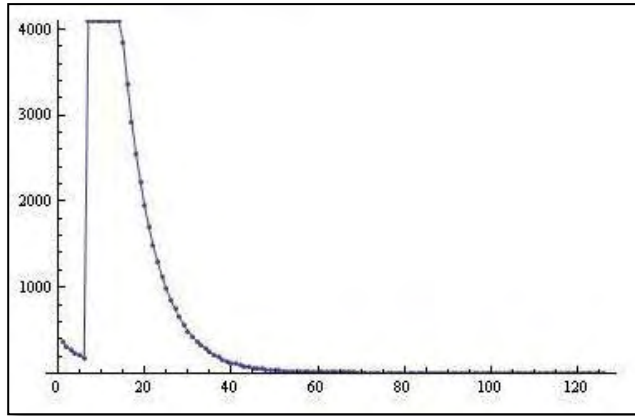
Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες υποενότητες, ο αλγόριθμος επεξεργασίας των υπέρυθρων δεδομένων έχει επικουρικό ρόλο κατά τη διαδικασία ανίχνευσης ενός υπερκείμενου οχήματος. Αυτή η “υποβάθμιση” του ρόλου του NaPiOn επήλθε μετά από διάφορα πειράματα τα οποία κατέδειξαν ότι είναι ανέφικτη η παράλληλη χρήση των δυο αισθητήρων. Ο υπέρυθρος ενεργοποιούμενος σε κάθε μεταβολή του περιβάλλοντος θα εναλλάσσονταν διαρκώς μεταξύ ενεργής και μη κατάστασης με αποτέλεσμα να μη μπορεί να εξαχθεί ένα σωστό τελικό συμπέρασμα.

Αυτό το οποίο εφαρμόστηκε εν τέλει στην πράξη είναι ο NaPiOn να επιβεβαιώνει την παρουσία οχήματος και να τίθεται σε κατάσταση ισορροπίας όταν πραγματικά δεν υπάρχει φέρον αντικείμενο στην περιοχή, δηλαδή συμβουλευόμενος την κατάσταση του μαγνητικού αισθητήρα. Η χρήση του αποφασίστηκε να μην αποσιωπηθεί τελείως διότι επιτελεί ένα πολύ καίριο ρόλο κατά τη διαδικασία ανίχνευσης ενός οχήματος.



Εικόνα 63 – Εντοπισμός στάθμευσης κακόβουλου χρήστη. Η αξία χρήσης του NaPiOn

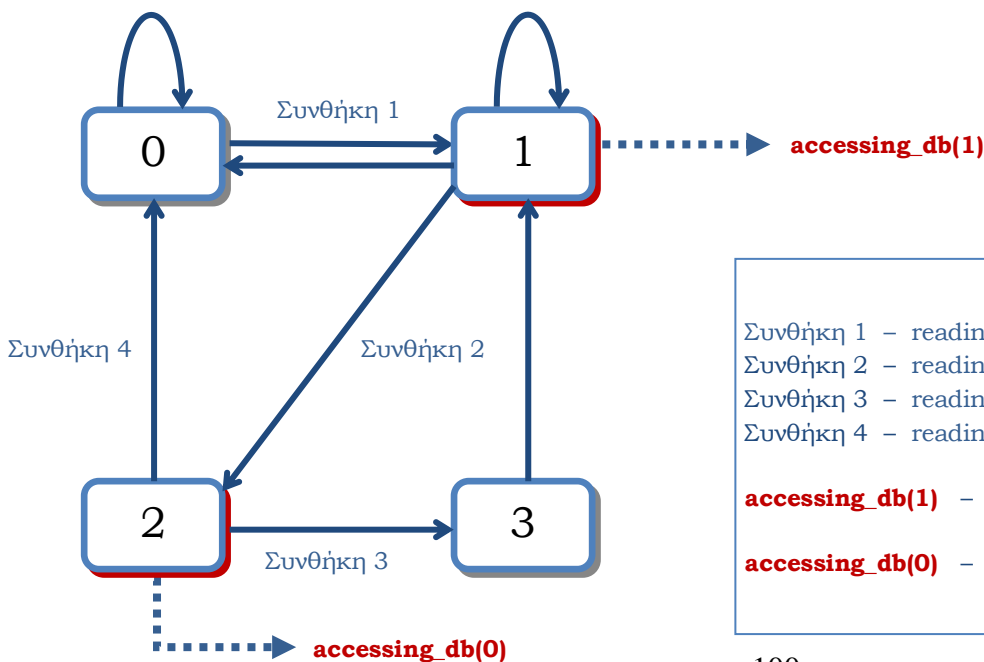
Όπως φαίνεται και στην εικόνα 64 ο υπέρυθρος αισθητήρας μόλις ενεργοποιηθεί από κάποια μεταβολή στο υπέρυθρο φάσμα εντός του χώρου εποπτείας, δίνει έξοδο ~4095 και μετά αρχίζει να αποσβένει εκθετικά. Έτσι πολύ απλά όταν η έξοδος αγγίζει τη μέγιστη τιμή (και για την πρώτη μόνο φορά) θεωρούμε ότι ο αισθητήρας ενεργοποιείται και όταν η μέτρηση πέσει κάτω από ένα κατώφλι της τάξης του 10 θεωρούμε πως έχει απενεργοποιηθεί. Το εάν θα τεθεί σε κατάσταση ηρεμίας αυτό θα εξαρτηθεί από την κατάσταση του μαγνητικού αισθητήρα και μετά την πάροδο 24sec (χρόνος μετάβασης από μέτρηση=4095 → μέτρηση=10).



Εικόνα 64 – Απόκριση του NaPiOn σε στιγμιαίο ερέθισμα

Με αντίστοιχη φιλοσοφία όπως στην περίπτωση του HMC1002 ορίζουμε τις ακόλουθες καταστάσεις του υποσυστήματος αυτού και τον αντίστοιχο γράφο μετάβασης. Έχει υπάρξει πρόβλεψη ώστε συνεχείς μεταβολές χρονικής διάρκειας λίγων δευτερολέπτων να μην λαμβάνονται υπόψη. Έτσι αποτρέπουμε την ενεργοποίηση του αισθητήρα στην περίπτωση όπου η μεταβολή στο υπέρυθρο φάσμα οφείλεται σε μια πρόσκαιρη υπερπήδηση του προστατευτικού κελύφους από έναν διερχόμενο άνθρωπο, ζώο ή άλλο αντικείμενο.

STATE	Κατάσταση συστήματος	Ερμηνεία
0	System Idle	Κανένα υπέρυθρο ερέθισμα στο περιβάλλον
1	Detecting	Ανίχνευση μεταβολής
2	End of trigger event	Χρονικό πέρας μεταβολής
3	Parking slot - Busy	Υπερκεείμενο φέρον αντικείμενο



Index	
Συνθήκη 1	- reading == 4095
Συνθήκη 2	- reading < 10 && duration < 35"
Συνθήκη 3	- reading < 10 && duration > 35" && MG == ON
Συνθήκη 4	- reading < 10 && duration > 35" && MG == OFF
accessing_db(1)	- UPDATE park.sensor_state IR_state = "ON", IR_time = "get_time()"
accessing_db(0)	- UPDATE park.sensor_state IR_state = "OFF", IR_time = "get_time()"

Γ. Αλγόριθμος διαχείρισης συστήματος

Όπως αναφέραμε και στην υποενότητα [Μέρος IV–Α–1–ii](#) δεν αναλύσαμε εκεί ως θα έπρεπε το υποσύστημα αποτίμησης και καταγραφής διότι λόγω της βαρύνουσας σημασίας του αφιερώσαμε ξεχωριστές την προηγούμενη και την παρούσα υποενότητα. Θα εμβαθύνουμε πλέον στον τρόπο λειτουργίας του αλγορίθμου εποπτείας με μια παρόμοια προσέγγιση με αυτήν της προηγούμενης υποενότητας.

Ο πυρήνας του αλγορίθμου διαχείρισης του συστήματος (**U-PARK CORE**) αποτελείται κατά βάση από έναν ατέρμονα βρόχο στον οποίο γίνεται εξόρυξη των καταστάσεων των αισθητήρων από τον πίνακα *sensor_state* και με βάση το συνδυασμό των δυνατών περιπτώσεων αυτών ορίζονται διαδικασίες ενημέρωσης της συνολικής κατάστασης του συστήματος, όπως αυτή αποτυπώνεται στον πίνακα *nodes* και συνακόλουθα στη διεπαφή χρήστη. Έχοντας δυο καταστάσεις λειτουργίας για έναν αισθητήρα (ενεργοποιημένος-**ON** και απενεργοποιημένος-**OFF**) θα υπάρχουν τέσσερις δυνατοί συνδυασμοί.

Μαγνητικός	Υπέρυθρος	Ερμηνεία
ON	ON	CASE 1 - CAR DETECTED
OFF	ON	CASE 2 - ERROR : MG = OFF && IR = ON
ON	OFF	CASE 3 - ERROR : MG = ON && IR = OFF
OFF	OFF	CASE 4 - NODE REINSTATED
		CASE 5 - CAR WITHDRAWING

Ανάλυση των περιπτώσεων

Case 1 - CAR DETECTED

Στην περίπτωση αυτή η θέση θεωρείται ότι είναι **κατειλημμένη**, και θα μεταβεί σε **κατάσταση σφάλματος** εάν και εφόσον το όχημα παραμένει σταθμευμένο μετά το πέρας της προκαθορισμένης επιτρεπτής διάρκειας των δύο ωρών.

Case 2 - ERROR : MG = OFF && IR = ON

Πρόκειται για περίπτωση σφάλματος καθώς ενεργοποιήθηκε ένας μόνο εκ των δύο αισθητήρων. Μπορεί να λάβει χώρα στην περίπτωση όπου αντικείμενο με χαμηλή μαγνητική διαπερατότητα περιφέρεται πλησίον ή/και πάνω από το προστατευτικό κέλυφος, ή στη χειρότερη περίπτωση όταν έχουμε διακοπή λειτουργίας του μαγνητικού αισθητήρα λόγω κάποιας αστοχίας υλικού. Τέτοια περίπτωση παρατηρήθηκε στο περιβάλλον πειράματος της [εικόνας 28](#). Τόσο σ' αυτήν όσο και στην επόμενη περίπτωση ο κόμβος θα τεθεί σε **κατάσταση σφάλματος**.

Case 3 - ERROR : MG = ON && IR = OFF

Περίπτωση πάλι σφάλματος η οποία απαντάται όταν το όχημα είναι σταθμευμένο εκτός των ορίων της θέσης (βλ. [εικόνα 63](#) και [65](#)) και σε απόσταση όχι τόσο πλησίον

του υπέρυθρου αισθητήρα ώστε αυτός να ενεργοποιηθεί, αλλά ταυτόχρονα σε ανεκτή απόσταση από το μαγνητικό ώστε αυτός να εντοπίσει την παρουσία του. Τα όρια που αναφέρονται στην παρακάτω σχέση έχουν προκύψει μετά από την πειραματική επαλήθευση της υπόθεσης.

$$d(\text{IR}) \sim 20\text{cm} < \text{Απόσταση} < d(\text{MG}) \sim 2\text{m}$$

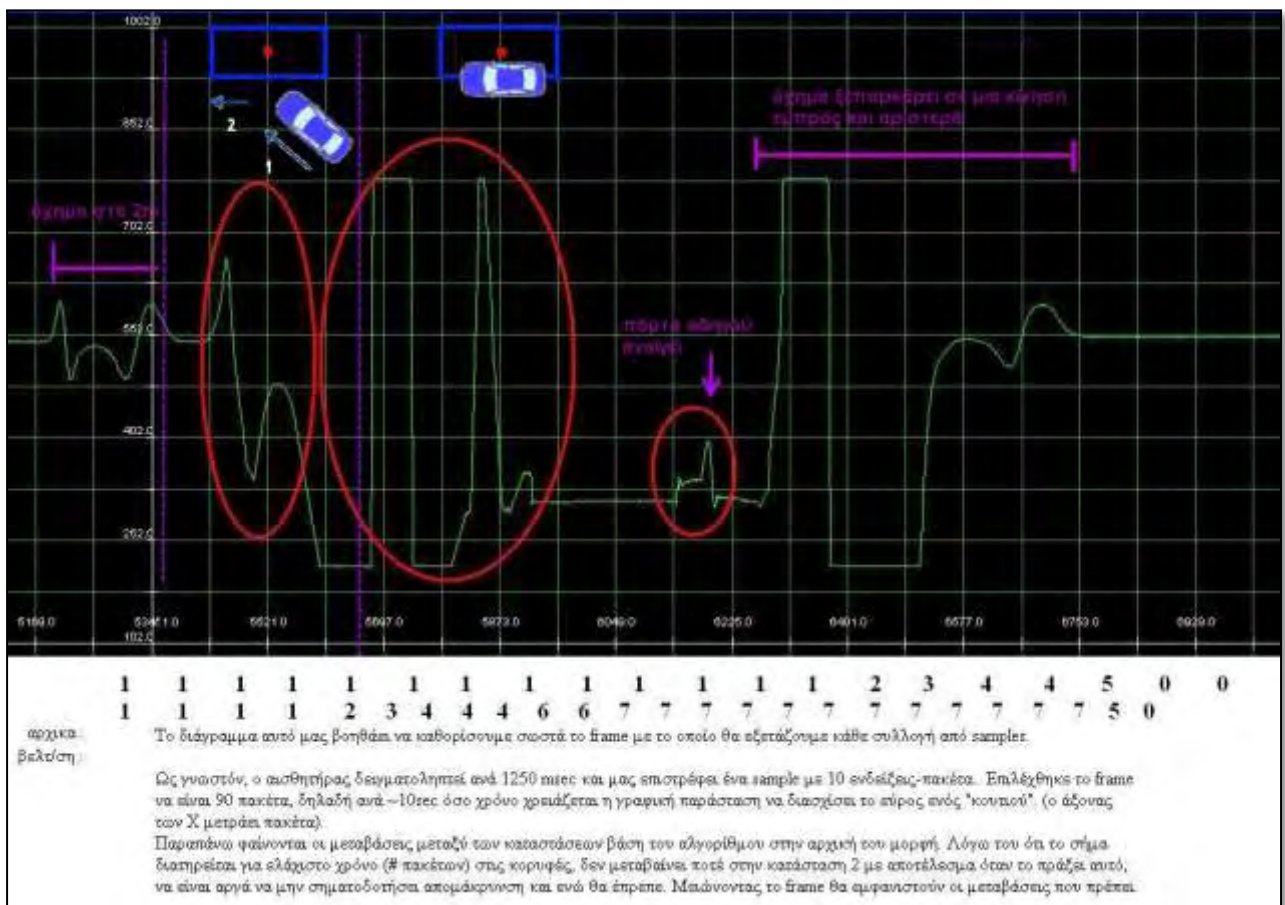
Case 4 - NODE REINSTATED

Ο τέταρτος συνδυασμός κατάστασης των αισθητήρων προκύπτει όταν και οι δύο είναι απενεργοποιημένοι. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν ο κόμβος είχε μεταβεί σε κατάσταση σφάλματος το οποίο αποκατεστάθη (αστοχία υλικού μαγνητικού ή/και διαρκής ενεργοποίηση του υπέρυθρου) είτε,

Case 5 - CAR WITHDRAWING

η θέση στάθμευσης είναι πλέον διαθέσιμη καθώς το όχημα ολοκλήρωσε τη διαδικασία απομάκρυνσης. Και στις δυο περιπτώσεις η θέση είναι πλέον **ελεύθερη** και ο κόμβος επανεκκινείται στην αρχική κατάσταση με τους μετρητές θέσης στις αρχικοποιημένες τους τιμές.

Το σύστημα εναλλάσσεται μεταξύ αυτών των περιπτώσεων-καταστάσεων σε μια αέναη διαδικασία όπου ο πυρήνας του αλγορίθμου αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει τις συναλλαγές πληροφορίας μεταξύ των υποσυστημάτων εξασφαλίζοντας έτσι ευρωστία και λειτουργικότητα για την εφαρμογή που υλοποιήσαμε.



Εικόνα 65 – Απεικόνιση της συλλογιστικής του αλγορίθμου διαχείρισης του συστήματος

Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Μέρος V – Επίλογος

A. Μελέτη κόστους συστήματος

Για τη βιώσιμο και αειφόρο ανάπτυξη των σύγχρονων πόλεων είναι αναγκαία η χάραξη μιας πολιτικής στην κατεύθυνση διαμόρφωσης “έξυπνων” αστικών μετακινήσεων και προς αυτόν τον σκοπό η προτεινόμενη υπηρεσία έρχεται να υποδείξει την αξιοποίηση τεχνολογιών και εφαρμογών ITS προς όφελος του κοινωνικού συνόλου. Η παρούσα δημοσιονομική συγκυρία μπορεί μεν να καθιστά απαγορευτική την ανάληψη πρωτοβουλίας εκ μέρους δημοσίων φορέων αλλά σε κάθε περίπτωση η εκπόνηση μελέτης κόστους της υπηρεσίας μας δύναται να αποτελέσει τον οδηγό για μελλοντικές προοπτικές υλοποίησής της, ανεξάρτητα της κεφαλαιακής σύνθεσης του αναδόχου του έργου.

Είτε θα αφορά δημόσια επένδυση, είτε σύμπραξη δημοσίου και ιδιωτικού τομέα, είτε καθαρά ιδιωτική επένδυση, σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητη μια πρώτη προσέγγιση της κοστολόγησης της εφαρμογής της υπηρεσίας. Τα παρακάτω οικονομικά μεγέθη αφορούν το κεφάλαιο κίνησης από άποψη αγοράς εξοπλισμού και εγκατάστασής του. Η ανάλυση του όποιου λειτουργικού κόστους διατήρησης του συστήματος παραλείπεται καθώς ξεφεύγει από το αντικείμενο της εδώ εργασίας.

Είδος εξοπλισμού	Μονάδες	Κόστος μονάδας
Crossbow MIB510 programming board	1	95 \$
Crossbow Mica2 mote	N+1	115 \$
Crossbow MTS310 sensor board	N	210 \$
Sentilla Tmote Sky	N+1	130 \$
EasySen WiEye sensor board	N	270 \$ ^[62]
		406.238 €
AA batteries	2*2N	~0,50 €
Web + Database server ^[1]	1	1000 €
Domain name ^[2]	-	10 €
Εκσκαφή-Διαμόρφωση οδοστρώματος ^[3]	N	100 €
Προστατευτικό κέλυφος ^[4]	-	5354,24 €
(1\$=0,7€ @ 28-06-11)	Συνολικό κόστος	494.202,24 €

Στην παρούσα φάση στο κέντρο του πολεοδομικού ιστού του Βόλου είναι οριοθετημένες 757 θέσεις σύμφωνα με το [ΣΕΣ](#). Υποθέτουμε μια υλοποίηση του συστήματός μας στη βάση αυτού του πλήθους, με **N=800** ως τελικό πλήθος κόμβων.

Παρατηρήσεις :

Όλες οι αναφερόμενες τιμές κόστους μονάδας έχουν διαμορφωθεί κατόπιν έρευνας αγοράς. Παρόλο αυτά είναι προφανές ότι οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές και σε περίπτωση πραγματικής μελέτης κόστους τα μεγέθη ενδέχεται να αναπροσαρμοστούν προς τα πάνω ή/και κάτω. Ειδικότερα για τα είδη εξοπλισμού με τις υποσημειώσεις [1] έως [5] η έρευνα πραγματοποιήθηκε στις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην τοπική αγορά του Δήμου Βόλου και αφορούν τη χρονική περίοδο του Ιουλίου 2011.

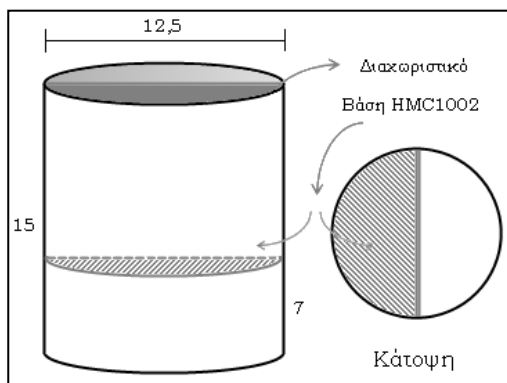
[1] Σχετικά με το μηχάνημα στο οποίο θα λειτουργεί ο εξυπηρετητής ιστού και βάσεων δεδομένων, ως βέλτιστη οικονομικά λύση προκρίθηκε η αγορά ενός μεσαίων προδιαγραφών υπολογιστή ο οποίος θα μετασκευαστεί ώστε να λειτουργεί αποκλειστικά και μόνο ως εξυπηρετητής, μαζί με τα απαραίτητα για την ειδική αυτή αποστολή εξαρτήματα και πρόσθετα. Στην παρούσα αποτίμηση του κόστους δεν μας απασχολεί το όποιο κόστος συντήρησης ή/και φύλαξης των μηχανημάτων σε κάποιο φυσικό χώρο, ούτε τα όποια λειτουργικά έξοδα σύνδεσης με κοινωφελή δίκτυα κτλ.

[2] Ως όνομα πεδίου της ιστοσελίδας (*domain name*) προκρίνεται η ονομασία u-Park.gr το κόστος κατοχύρωσης της οποίας προέκυψε σύμφωνα με πληροφορίες που αντλήθηκαν από το Ινστιτούτο Πληροφορικής του [ΙΤΕ](http://ite.iitd.ac.in).^[61]

[3] Για τις εργασίες διάτρησης και διαμόρφωσης του οδοστρώματος ήρθαμε σε επικοινωνία με κατασκευαστικές εταιρίες της περιοχής. Ενδεικτικό μέσο κόστος διάνοιξης οπής επί του οδοστρώματος με *καροτιέρα* προέκυψε περίπου 100€/οπή στην οποία τιμή συμπεριλαμβάνονται και οι διορθωτικές εργασίες αποκατάστασης της περι της οπής ασφάλτου.

[4] Οι σένσορες ως γνωστόν θα βρίσκονται εντός προστατευτικού κελύφους πολυαιθυλενίου (*PVC*) με διαστάσεις σύμφωνα με το παρακάτω σκαρίφημα, καθένα από αυτά στεγανό, άτεγκτο, και με άθραυστο και διάφανο (*plexiglass*) το άνω μέρος του. Μετά από έρευνα αγοράς προκρίθηκε η αγορά σωλήνων PVC-φ125 συνολικού μήκους 48m (3,38€/m), και Ν το πλήθος σπυρωτές βάσεις (1,24€/τεμάχιο). Το άνω μέρος διαστάσεων 13,5cm x 13,5cm x 0,5cm θα είναι από [PMMA](http://www.pmma.com) και κοστολογήθηκε στα 3,5€/τεμάχιο. Συνεπώς συνολικό κόστος για το προστατευτικό κέλυφος:

$$48\text{m} * 3,38\text{€/m} + 800 * 1,24\text{€} + 1200 * 3,5\text{€} = \underline{5.354,24}$$



Εικόνα 66 – Σκαρίφημα του προστατευτικού κελύφους

B. Συμπεράσματα

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε έχοντας ως άξονα κίνησής της την αναζήτηση λύσης για ένα εξέχον πρόβλημα της καθημερινότητας του ανθρώπου σε μια σύγχρονη μεγαλούπολη. Η αναζήτηση παρόδιας ελεύθερης θέσης στάθμευσης συμβάλει τα μέγιστα στην ατμοσφαιρική επιβάρυνση του αστικού περιβάλλοντος μέσω της διόγκωσης της κυκλοφοριακής συμφόρησης, φαινόμενα τα οποία μπορούν να ελαττωθούν ή μη να εκλείψουν στο ιδανικό σενάριο όπου η υπηρεσία που προκρίνεται από την εργασία αυτή λάβει σάρκα και οστά. Σκοπός της εργασίας αποτέλεσε η ενδεδειγμένη μελέτη και εφαρμογή σε μικροκλίμακα ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων στα πλαίσια κατασκευής ενός συστήματος διαχείρισης και υποβοήθησης στάθμευσης.

Διαρθρωτικά διδόμενη, στο πρώτο μέρος της τέθηκαν οι βάσεις σχετικά με το θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο του αντικείμενου μελέτης. Ακολούθως περιγράφηκε αναλυτικά η διαδικασία και τα στάδια σχεδίασης του συστήματος, η προβληματική που αναπτύχθηκε μέσα από τις υποθέσεις εργασίας που τέθηκαν και η αρχιτεκτονική του συστήματος με τα διάφορα επιμέρους υποσυστήματα που το απαρτίζουν. Στο τρίτο μέρος δόθηκε η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την επαλήθευση λειτουργίας του συστήματος, και στο τέταρτο μέρος παρουσιάστηκε η υπολογιστική διαδικασία της υλοποίησής του, ήτοι ο τρόπος και η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκαν.

Κινούμενοι πάνω σε αυτό το πλαίσιο απεδείχθησαν τα κρίσιμα ερωτήματα τα οποία τέθηκαν καθόλα τα στάδια υλοποίησης της εργασίας. Συμπερασματικά λοιπόν,

- ✓ εντοπίσαμε τη βέλτιστη τεχνολογία WSN για να διαπιστώνουμε την παρουσία υπερκείμενου οχήματος ανά θέση στάθμευσης,
- ✓ τροποποιήσαμε κατά το δοκούν το σύστημα συλλογής των δεδομένων αυτών, εξατομικεύοντας τη διαδικασία αυτή στις ιδιαίτερες συνθήκες και ανάγκες του προβλήματός μας,
- ✓ υλοποιήσαμε έναν αποδοτικό τρόπο επεξεργασίας και αποθήκευσης της πληροφορίας αυτής,
- ✓ σχεδιάσαμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποτίμησης και αξιοποίησης της πληροφορίας εν ιδεί ενός εν δυνάμει επιχειρηματικού προϊόντος,
- ✓ και προσομοιώσαμε επαληθεύοντας στην πράξη το σύστημα αυτό, μέσα και από μια ενδεδειγμένη πειραματική διαδικασία, αποδεικνύοντας έτσι το ορθόν της προσέγγισης σχεδίασής του.

Συνολικά, οι στόχοι οι οποίοι τέθηκαν ικανοποιήθηκαν απαρέγκλιτα και στο έπακρο, απαντώντας έτσι καίρια στο θεμελιώδες ερώτημα της εργασίας μας,

Πως μπορούμε να παρέχουμε τη δυνατότητα στους οδηγούς οχημάτων να εντοπίζουν και να κατευθύνονται εύκολα προς μια ελεύθερη θέση στάθμευσης πλησίον του προορισμού τους?

με μια απάντηση που συνοψίζεται στην επιγραφή, u-Park.gr

Γ. Προοπτικές μελλοντικής επέκτασης

Η αξία της παρούσας εργασίας πέραν των προφανών και προαναφερθέντων συμπερασμάτων, εδράζεται στην πολυδιάστατη προσέγγιση του προβλήματος με καινοτόμο μάλιστα υφή, και στην προσπάθεια του γράφοντος να ενασχοληθεί με έναν κλάδο μελέτης μακριά από την πεπατημένη οδό ενός προπτυχιακού προγράμματος. Πάνω σε αυτήν τη λογική προφανώς η υλοποιούμενη εκδοχή της υπηρεσίας έχει περιοριστεί σε σχέση με τις πραγματικές αξιώσεις που εγείρει ένα τέτοιο σύστημα εάν ειδωθεί από μια πιο ολιστική σκοπιά. Προς αυτόν το σκοπό αξίζει να αναφερθούμε στις όποιες προοπτικές μελλοντικής επέκτασής του ανά κατηγορία παρεχόμενης υπηρεσίας ή/και αναβάθμισης της λειτουργίας κάποιου υποσυστήματος.

Βελτιστοποίηση υλοποίησης

- 1. Βελτιστοποίηση κώδικα.** Έχουν γίνει σχετικές ενέργειες ειδικά στην περίπτωση του κώδικα λειτουργίας του υπέρθυρου αισθητήρα. Βέβαια αυτό δε σημαίνει ότι δεν επιδέχεται βελτιώσεων τόσο αυτός όσο και ο συνολικός κώδικας του υποσυστήματος συλλογής δεδομένων. Η ίδια λογική μπορεί να εφαρμοστεί και στα υπόλοιπα υποσυστήματα, ιδίως σε επίπεδο αλγοριθμικής σχεδίασης των τμημάτων που δημιουργήθηκαν εκ του μηδενός, αλλά και της διεπαφής χρήστη.
- 2. Κλιμάκωση συστήματος.** Η τρέχουσα υλοποίηση προβλέπει την ανάπτυξη αρχιτεκτονικής συστήματος ενός επιπέδου (*I hope*). Η επέκταση της δεν ήταν εφικτή στην παρούσα φάση καθώς δεν παρέχονταν επιπλέον υπέρθυροι αισθητήρες, και επιπροσθέτως θα αυξάνονταν δραματικά η πολυπλοκότητα του συστήματος ενώ δεν θα είχε ακόμη κατανοηθεί σε βάθος η φύση του προβλήματος. Παρόλο αυτά εάν και εφόσον τεθεί η υπηρεσία αυτή σε φάση ευρείας κλίμακας υλοποίησης, προφανώς και είναι επιτακτική η πρότερη επαλήθευσή της σε δίκτυο πραγματικών διαστάσεων.
- 3. Εναλλακτικό σύστημα ανίχνευσης.** Στην υποενότητα όπου παρατέθηκαν τα στάδια εξέλιξης του συστήματος έγινε μια εκτενής αναφορά στη συλλογιστική του πως και γιατί επιλέχθηκε η συγκεκριμένη τεχνολογία αισθητηρίων οργάνων. Η επιλογή αυτή αποτέλεσε μονόδρομο υπό τις παρούσες συνθήκες και συνεπώς δεν αποκλείεται η χρήση διαφορετικής τεχνολογίας η οποία μάλιστα ενδέχεται να έχει (ή να αποκτήσει μελλοντικά) το συγκριτικό πλεονέκτημα του συνδυασμού μαγνητικών και υπέρυθρων αισθητήρων σε μια μόνο βαθμίδα και άρα σε έναν συνολικά σένσορα, ελαττώνοντας έτσι δραματικά και κατά το ήμισυ το κόστος υλοποίησης του συστήματος.

Επέκταση συστήματος

- 1. Εντοπισμός θέσης χρήστη.** Η τρέχουσα υλοποίηση της διεπαφής χρήστη γνωρίζει για τη θέση του πελάτη της υπηρεσίας ανακτώντας τη διεύθυνση που αυτός θα εισάγει στην αντίστοιχη φόρμα. Σε μια μελλοντική επέκταση του συστήματος ενδεχομένως να γίνεται ανάκτηση της πληροφορίας αυτής με

χρήση τεχνολογίας εντοπισμού χρήστη σε πραγματικό χρόνο (*real-time*). Ήδη κάποιες τηλεφωνικές συσκευές νέας γενιάς διαθέτουν ενσωματωμένα τέτοια συστήματα επισήμανσης θέσης. Επίσης παρέχεται από το λογισμικό χάρτη (*Google map*) της διεπαφής μας η δυνατότητα προσδιορισμού της γεωγραφικής θέσης από όπου έγινε η αίτηση προς την υπηρεσία, μια δυνατότητα η οποία όμως δεν ενσωματώθηκε εν τέλει στην εφαρμογή.

2. **Προφίλ χρήστη.** Μια επιπλέον επέκταση θα μπορούσε να συμπεριλάβει τη δυνατότητα δημιουργίας προφίλ χρήστη ώστε να παρέχονται εξατομικευμένες υπηρεσίες ανάλογα με το πρότυπο χρήσης της εφαρμογής ή/και την κατηγορία χρήστη. Έτσι για παράδειγμα μπορεί να εμφανίζονται δημοφιλείς διαδρομές, να αποθηκεύονται συχνοί προορισμοί (χώρος κατοικίας, εργασίας) και να εμφανίζονται οι επιπλέον θέσεις στάθμευσης προς διάθεση ή να προδεδεσμένονται για έναν προνομιούχο χρήστη (*premium account*) έναντι ενός κανονικού (*regular user*). Κατηγοριοποιημένες παροχές υπηρεσιών σημαίνει διαφορετικές τιμολογιακές πολιτικές και άρα επιπλέον έσοδα.
3. **Στατιστικά χρήσης.** Στα πλαίσια διαχείρισης του συστήματος μπορούν να αναπτυχθούν διάφορα εργαλεία στατιστικής εκτίμησης της χρήσης του. Η πληροφορία που είναι αποτυπωμένη στη βάση δεδομένων του συστήματος μπορεί να αξιοποιηθεί ποικιλοτρόπως, είτε ως προς τον τομέα μάρκετινγκ της υπηρεσίας είτε για τη διεξαγωγή ερευνών επί κυκλοφορικών ζητημάτων ιδιωτικού ή δημόσιου ενδιαφέροντος.
4. **Ενδιάμεσοι κόμβοι - Κυρωτικά μηχανήματα.** Μια ακόμα επέκταση της υλοποίησης του συστήματος θα αφορούσε την ενσωμάτωση των παρκόμετρων στις παραμέτρους του συστήματος. Καθένα θα έχει υπό την εποπτεία του ένα πλήθος θέσεων της ευρύτερης περιοχής (έστω σε επίπεδο διασταύρωσης όντας τοποθετημένο στη συμβολή των οδών, βλ. εικόνα 67) έχοντας ενδείξεις σε μια οθόνη με τους κωδικούς των επιβλεπόντων θέσεων και την αντίστοιχη κατάστασή τους. Αυτό θα επιτρέψει αφενός το να υπάρξει εναλλακτικός τρόπος ενημέρωσης για την κατάσταση του συστήματος και αφετέρου ο οδηγός με βάση τον κωδικό που θα αντιστοιχεί σε κάθε οριοθετημένη θέση (θα εντοπίζεται στο ρείθρο του πεζοδρομίου) να κατευθύνεται προς το κυρωτικό μηχανήμα όπου και θα επιβεβαιώνει σε αυτό για την κατάληψη της θέσης. Πατώντας έτσι το αντίστοιχο πλήκτρο θέσης και εκκινώντας τη διαδικασία χρέωσης θα λάβει ένα απόκομμα για την πληρωμή μετά την απομάκρυνση.

Το όλο σκεπτικό αποτελεί δικλείδα ασφαλείας στην περίπτωση που το σύστημα “αποτύχει” να κυρώσει την κατάληψη της θέσης από το όχημα και με βάση μια πιθανή προδέσμευση που έγινε εκ μέρους ενός προνομιούχου χρήστη. Τέλος, θα υπάρχει δυνατότητα αποστολής μηνύματος σφάλματος προς το κέντρο βάσης όταν χρήστες αντιληφθούν “παρατυπίες” στον τρόπο στάθμευσης ή κάποιο πρόβλημα γενικής φύσης συγκεκριμένου κόμβου-θέσης.

Αναβάθμιση λειτουργίας

1. **Επιπρόσθετες διεπαφές χρήστη.** Μελλοντικές επεκτάσεις μπορούν να διευρύνουν το ενδιαφερόμενο κοινό (*target group*) μέσω της χρήσης και άλλων εργαλείων διεπαφής πέραν της χρήσης συσκευών με ικανότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο. Εκτός της διεπαφής με χρήση του διαδικτύου (με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται πρόσβαση στην υπηρεσία όπου υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης με το διαδίκτυο και το ανάλογο μέσο, netbook, κινητό τηλέφωνο με WiFi ή 3G, iPhone ή άλλης μορφής PDA) θα υπάρχει δυνατότητα επικοινωνία του χρήστη με το κέντρο βάσης μέσω ενός τηλεφωνικού κέντρου με χρήση ενός απλού [SMS](#) και με βάση ένα ειδικά ορισμένο τρόπο επικοινωνίας (βλ. εικόνα 67). Ο χρήστης θα αποστέλλει ένα μήνυμα της μορφής,

“Κωδικός περιοχής προορισμού”

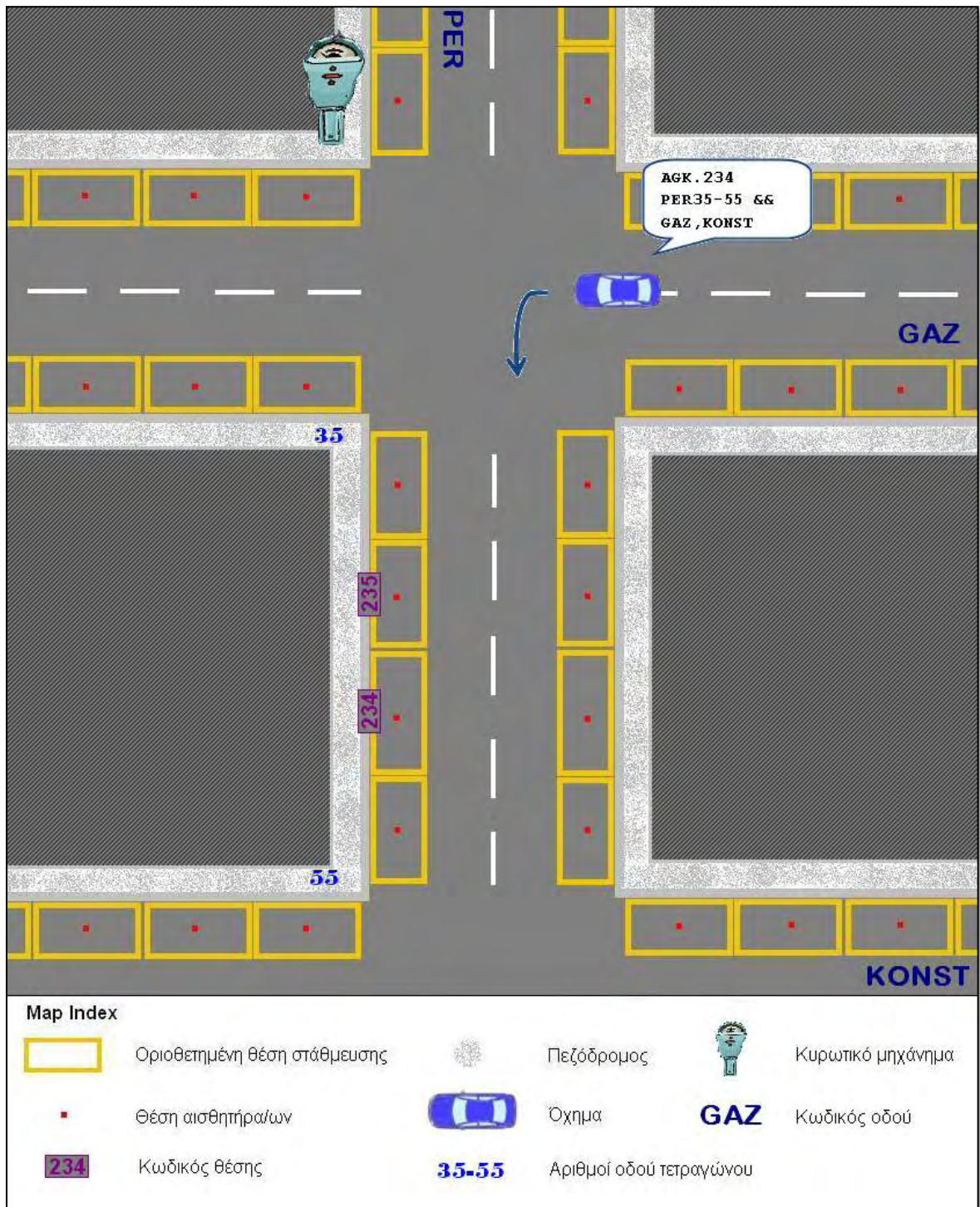
πχ. **AGK** και το σύστημα θα του απαντά με μια λίστα από τις διαθέσιμες θέσεις στην περιοχή, με την εξής σύνταξη:

“Κωδικός περιοχής”. “Κωδικός θέσης” “Οδός, μαζί με εύρος των διευθύνσεων του τετραγώνου” && “Οδός A που ορίζει από τη μία πλευρά το τετράγωνο” , “Οδός B που το ορίζει από την άλλη”

πχ. **AGK.234 PER35-55 && GAZ ,KONST**

2. **Κατηγοριοποίηση θέσεων στάθμευσης.** Προφανώς η ανωτέρω διαδικασία δεν δεσμεύεται για την πραγματική διαθεσιμότητα των θέσεων στη λίστα που επιστρέφεται. Έχουμε υποθέσει πως το σύστημα διαχείρισης και υποβοήθησης στάθμευσης έχει υλοποιηθεί εντός ενός αστικού ιστού με τις οριοθετημένες θέσεις να είναι γενικής χρήσεως. Στην παρούσα υλοποίηση δεν προβλέπονται κατηγορίες χρηστών ως αυτές αποδόθηκαν ανωτέρω και απλά έχει γίνει πρόβλεψη στον τρόπο υλοποίησης της διεπαφής χρήστη για την μελλοντική ύπαρξη διακριτών κατηγοριών χρηστών. Μια τέτοια υλοποίηση μπορεί να προχωρήσει ένα ακόμη βήμα με το να ορίσει θέσεις για προνομιούχους και μη χρήστες. Παρόμοιες λογικές στάθμευσης ακολουθούνται ήδη σε αρκετές μεγαλουπόλεις στην προσπάθεια εξυπηρέτησης των μόνιμων κατοίκων, ορίζοντας για αυτούς θέσεις αποκλειστικής χρήσης. Μια τέτοια τελική απόφαση είναι καθαρά πολιτικής φύσεως και αφορά την εκάστοτε διαδημοτική αρχή.
3. **Διαχείριση κυκλοφορίας.** Μέσω της υπηρεσίας κατάδειξης προτεινομένης διαδρομής το σύστημα μπορεί να επεκταθεί στη βάση διαμόρφωσης συνθηκών τηλεματικής διαχείρισης της κυκλοφορίας. Γνωρίζοντας τις προθέσεις σημαντικής μερίδας των οδηγών οχημάτων που κινούνται εντός των οδικών

αρτηριών μπορούμε να εξασφαλίσουμε την ισοκατανομή του φόρτου που αυτές απολαμβάνουν. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι ανά πάσα στιγμή γνωρίζουμε τις περιοχές όπου υπάρχουν ελεύθερες θέσεις και έτσι μπορούμε να κατευθύνουμε ανάλογα τα οχήματα, είτε μέσω του ίδιου του συστήματος (όχημα X πήγαινε στη Y θέση μέσω της προτεινόμενης πορείας) είτε ακόμη μέσω ειδικών πινακίδων στις εισόδου του ιστού κατευθύνοντας έτσι μεγάλο όγκο οχημάτων (ελεύθερες θέσεις θα βρείτε στις περιοχές X,Y,Z).



Εικόνα 67 – Παράδειγμα χρήσης διεπαφής χρήστη μέσω αποστολής τηλεφωνικών μηνυμάτων

4. **Πολιτική χρέωσης.** Έχει υιοθετεί πολιτική στάθμευσης βάση της οποίας κάθε θέση μπορεί να παραμένει κατειλημμένη για διάρκεια 120sec μετά το πέρας των οποίων η θέση τίθεται σε κατάσταση σφάλματος και με τον μετρητή telaps να συνεχίζει να αυξάνεται κανονικά. Μπορούμε να καθορίσουμε διάφορες πολιτικές στάθμευσης επιτυγχάνοντας έτσι πολλαπλά οφέλη. Βελτιστοποίηση του τρόπου αστυνόμευσης των παραβατικών οχημάτων καθώς γνωρίζουμε πλέον τις ακριβείς τους θέσεις, πολιτικές χρονοχρέωσης που λειτουργούν αποτρεπτικά για την παραμονή του οχήματος μετά το πέρας της επιτρεπτής χρονικής διάρκειας, αποδοτικότερη χρήση των θέσεων στάθμευσης, ελάφρυνση της ατμοσφαιρικής επιβάρυνσης κ.ά.
5. **Nearest Spot Allocating System – Σύστημα Εύρεσης Πλησιέστερης Θέσης.** Στην παρούσα υλοποίηση προβλέπεται όπως έχουμε γνωρίσει, ο χρήστης αφού θα ενημερώνει το κέντρο βάσης για τον κωδικό της περιοχής προορισμού το σύστημα θα του υποδεικνύει με τον αντίστοιχο τρόπο τις παρεχόμενες επιλογές στάθμευσης. Θέλοντας να αυξήσουμε την πολυπλοκότητα του συστήματός μας μπορούμε να σχεδιάσουμε έναν αλγόριθμο ο οποίος θα μας υποδεικνύει την πλησιέστερη θέση και με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν συγκρούσεις.

Παράδειγμα

Έστω ότι 2 οχήματα έχουν προορισμό την περιοχή του Αγ. Κωνσταντίνου (AGK κωδικός συστήματος). Το μεν πρώτο όχημα εισέρχεται στην ιστοσελίδα και επιλέγοντας να του εμφανίσει τις ελεύθερες θέσεις αυτές είναι, οι AGK234 και AGK235. Το δε δεύτερο στέλνει τηλεφωνικό μήνυμα (SMS) με την πιο πάνω μορφή και του επιστρέφονται οι ίδιοι κωδικοί. Το ερώτημα είναι,

μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε το σύστημα ώστε να εμφανίζεται στον καθένα η πραγματικά πλησιέστερη θέση και δίχως συγκρούσεις?

Μια σκέψη θα ήταν να γνωρίζει το σύστημα την ακριβή θέση του χρήστη και με βάση κάποιες παραδοχές (κυκλοφοριακός φόρτος πιθανά επιλεγμένων αρτηριών προς τον προορισμό) να δείχνει στο μεν πρώτο τη μια και στο μεν δεύτερο την άλλη.

Επίσης, η γνώση της ακριβούς θέσης του χρήστη μπορεί να χρησιμεύσει και σε μια ιεραρχική εμφάνιση των ελεύθερων θέσεων με βάση την εγγύτητα. Αυτή καθώς και άλλες λεπτομέρειες για την άνω υλοποίηση αποδεικνύουν ότι το σύστημά μας δεν διατείνεται από άνω όριο στις πιθανολογούμενες δυνατότητες επέκτασης του.

Divum est terminus

Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Παράρτημα

A. Λεξιλόγιο

PM10 (particulate matter) – αναφέρονται και ως ΑΣ (αιωρούμενα σωματίδια) και συγκεκριμένα ως ΑΣ10 ή ΑΣ2,5. Ο αριθμός δίπλα δεν υποδηλώνει διαφορετικό ρύπο αλλά μικρότερο μέγεθος. Τα σωματίδια αυτά είναι πολύ μικρά και έχουν ομαδοποιηθεί σε μια γενική κατηγορία «Αιρούμενων Σωματιδίων» που η διάμετρός τους είναι κάτω των 10 μm.

Μεγάπολη (megacity) – βλ. [\[1\]](#)

Ad-hoc Mesh Networks – Αποκεντρωμένος τύπος δικτύου ο οποίος δε βασίζεται σε πρότερη καθορισμένη αρχιτεκτονική δομή και στον οποίο υπό μορφή πλέγματος, κάθε κόμβος συλλέγει τα δικά του δεδομένα και διαχέει τόσο αυτά όσο και των υπολοίπων ενεργώντας ως ενδιάμεσος (*relay*).

Σένσορας – Αδόκιμος όρος που χρησιμοποιείται κατά κόρον στα πλαίσια της παρούσης. Αναφέρεται στην συσκευή-αισθητήρα στην προσπάθεια απόδοσης ενός πιο συνοπτικού και εύχρηστου όρου. Θέλοντας να αναφερθούμε κάθε φορά στον αισθητήρα αποφεύγουμε να χρησιμοποιούμε τη λέξη *ασύρματος αισθητήρας* στα πλαίσια του γενικότερου, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Αποφεύγουμε επίσης να αναφερθούμε στην ίδια τη βασική λειτουργικότητα της συσκευής, αυτή της συλλογής δεδομένων με κάποιο αισθητήριο όργανο. Έτσι, συνοπτικά όταν θα αναφερόμαστε στη λέξη σένσορας θα εννοούμε τη συσκευή, κατά το *mote*. Όταν πάλι αναφέρουμε τη λέξη αισθητήρας θα εννοείται κάποιο συγκεκριμένο αισθητήριο όργανο. Το πρόβλημα ανακύπτει λόγω του ότι το αισθητήριο όργανο είθισται να χαρακτηρίζει ολόκληρη τη συσκευή και εν τέλει να την προσδιορίζει αναφορικά.

Spoofing – Αντιποίηση κόμβου όπου ο εισβολέας συμπεριφέρεται ως κανονικός κόμβος του δικτύου ενώ στην πραγματικότητα έχει τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να υπερκεράσει την ασφάλεια του συστήματος και να προβεί σε διάφορες κακόβουλες ενέργειες ([black hole attacks](#), [grey hole attacks](#) κ.ά.).

Flash memory – Μη πτητική κατηγορία μνήμης, δηλαδή χωρίς την απαίτηση να τροφοδοτείται συνεχώς με ρεύμα για να διατηρεί τα αποθηκευμένα δεδομένα. Είναι ειδική κατηγορία μνημών EEPROM (*electrically erasable programmable read-only memory*) που μπορεί να εκκαθαριστεί και να επαναπρογραμματιστεί ηλεκτρικά. Έχει ταχύτερο χρόνο προσπέλασης και μεγαλύτερη ανοχή σε κραδασμούς από άλλες κατηγορίες, και λόγω των χαρακτηριστικών αυτών είναι ιδιαίτερα δημοφιλής για χρήση σε εφαρμογές MEMS.

IEEE 802.15.4 – Πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που καθορίζει τις προδιαγραφές σε φυσικό επίπεδο (*physical layer*) και επίπεδο ελέγχου πρόσβασης

μέσου (*medium access control – MAC*) για χαμηλού ρυθμού ασύρματα ατομικής περιοχής δίκτυα (*low-rate wireless personal area networks – LR-WPANS*).

Digital-pot control (Ψηφιακό ποτενσιόμετρο) – εξάρτημα, που χρησιμοποιείται στα κυκλώματα ως μεταβλητή αντίσταση. Χρησιμοποιείται συνήθως σε ηχητικές διατάξεις για τον έλεγχο της έντασης του ήχου, του τόνου κλπ. ενός ηχητικού σήματος εξόδου.

Πηγή, <http://el.wikipedia.org/wiki/Ποτενσιόμετρο>

Πιεζοηλεκτρισμός – Ο ηλεκτρισμός που παράγεται από τη μηχανική πίεση των επιφανειών ορισμένων κρυστάλλων.

Δύναμη Λόρεντζ (Lorentz force) – Είναι η δύναμη η οποία προκαλεί τα ηλεκτρόνια να κινούνται σε κυκλικές τροχιές μεταξύ των συγκρούσεων. Η δύναμη Λόρεντζ, F , ενός κινούμενου σωματίου φορτίου q , εντός ηλεκτρικού πεδίου εντάσεως E , και μαγνητικού εντάσεως B , και ταχύτητας U δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$F = qE + qU \times B$$

Σιδηρονικέλιο – Κράμα μετάλλων με την κωδική ονομασία NiFe (*nickel-Ni – iron-Fe*). Στην εδώ περίπτωση του HMC1002 μαγνητικού αισθητήρα η αναλογία είναι 80/20, νικέλιο/σίδηρο και η μίξη αυτή απαντάται στη διεθνή βιβλιογραφία ως *permalloy*.

Βαρύκεντρο – Το σημείο τομής των διαγωνίων ενός τετραπλεύρου.

Μικραυτοκίνητο (microcar) – Η μικρότερη κατηγορία αυτοκινήτων οχημάτων από άποψη μήκους αμαξώματος. Ο ακριβής ορισμός ποικίλει ανάλογα με τις διευθύνσεις μεταφορών της εκάστοτε χώρας στην οποία κυκλοφορούν. Ως βασικό τους χαρακτηριστικό και διακριτικό έναντι της επόμενης κατηγορίας, αυτής των “αυτοκινήτων πόλης”, είναι ότι διαθέτουν μήκη αμαξώματος μικρότερα των 3m.

Ιδεατή μηχανή (virtual machine) – Η ιδεατή μηχανή είναι ένα πρόγραμμα εύκολο στην εγκατάσταση και χρήση, που προσφέρει στα ανώτερα επίπεδα λειτουργικού την εικόνα ενός αντιγράφου του “γυμνού” υλικού, εγκαθίσταται πάνω του λειτουργικό σύστημα (ίδιο ή και διαφορετικό από το λειτουργικό-ξενιστή) και πάνω από το λειτουργικό αυτό μπορούν να εκτελούνται διάφορες εφαρμογές.

Στάθμη ισορροπίας – Όρος που αναφέρεται σε πεδίο τιμών [425,575]. Όταν η κυματομορφή εξόδου του μαγνητικού αισθητήρα παραμένει σταθερή εντός του πεδίου αυτού, τότε σύμφωνα με τη συλλογιστική του αλγόριθμου που υλοποιήθηκε, δεν υπάρχει φέρον αντικείμενο στον περιβάλλοντα χώρο. Η εγκαθίδρυση στάθμης ισορροπίας ως εννοιολογικό περιεχόμενο αναφέρεται στη διαδικασία αρχικής ρύθμισης του αισθητήρα (βλ. [αντίστοιχη υποενότητα](#)) και είναι διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί απαρέγκλιτα.

SQL – Είναι μια δηλωτική γλώσσα προγραμματισμού προορισμένη για τη διαχείριση των βάσεων δεδομένων σε ένα σύστημα RDBMS, με εντολές εισαγωγής, εξόρυξης, ανανέωσης, διαγραφής, κ.ά.

B. TinyOS Installation manual

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο σημείο της εργασίας, μετά την εγκατάσταση της ιδεατής μηχανής και του guest OS, ακολουθήθηκε μια διαδικασία εγκατάστασης των αντίστοιχων εκδόσεων του TinyOS ως αυτή είναι ορισμένη μέσα από τα εγχειρίδια χρήσης που ανέπτυξε ο γράφων, τόσο στο host όσο και στο guest OS.

Προφανώς και όλο το υλικό των εγχειριδίων είναι προϊόν προσωπικής έρευνας και θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με τη δέουσα προσοχή, συμπεριλαμβάνοντας μεταξύ άλλων:

1. Εγχειρίδιο εισαγωγής χρήσης της [1.1.14] έκδοσης – [54]
2. [Εγχειρίδιο εισαγωγής χρήσης της \[2.1.1\] έκδοσης](#)
3. [Οδηγό εγκατάστασης της έκδοσης \[2.0.0\]](#)

Ο οδηγός εγκατάστασης περιέχει τα απαραίτητα βήματα και εντολές για να εγκαταστήσουμε στο περιβάλλον εργασίας μας την έκδοση [2.0.0] του TinyOS λειτουργικού συστήματος, μέσω αναβάθμισης προηγούμενης έκδοσης [1.1.14]. Τα εγχειρίδια εισαγωγής χρήσης περιγράφουν την όλη απαραίτητη διαδικασία από την εγκατάσταση έως και τη διαμόρφωση του λειτουργικού συστήματος σε σημείο έτοιμο προς χρήση πολύπλοκων εφαρμογών nesC. Επιλέγοντας τον εκάστοτε σύνδεσμο αποκτούμε πρόσβαση στα αντίστοιχα αρχεία κειμένου.

Γ. Εντολές λειτουργίας και χρήσης του TinyOS

1. Εγκατάσταση nesC εφαρμογών στους κόμβους ανά περίπτωση έκδοσης

Έχουμε αναφέρει ότι προκειμένου να μεταφορτωθεί ο κώδικας των nesC εφαρμογών στους κόμβους απαιτείται συγκεκριμένη διαδικασία για την εκάστοτε πλατφόρμα.

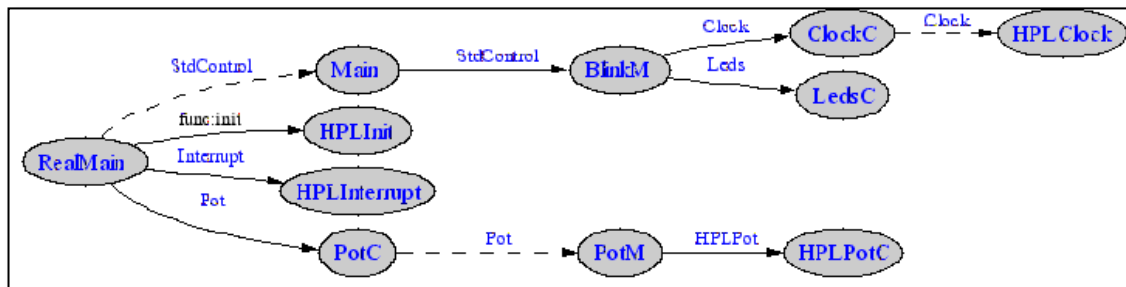
Τα βήματα ανά περίπτωση έκδοσης TinyOS δίδονται στον ακόλουθο πίνακα:

Βήμα	TinyOS – 1.1.14 / Mica / Magnetic	TinyOS – 2.1.1 / Tmote / PIR
1	Ενεργοποίηση του MIB510 sensor board	Πρόσδεση του Tmote στη θύρα USB
2	Πρόσδεση του Mica2 πάνω στο MIB510 και σβήσιμο διακόπτη	Μετάβαση στη διαδρομή της εφαρμογής προς μεταφόρτωση
3	Μετάβαση στη διαδρομή της εφαρμογής προς μεταφόρτωση	make tmote install,N
4	motelist	Απομάκρυνση του Tmote από θύρα USB
5	make mica2 install,N mib510./dev/ttySX [1]	-
6	Απομάκρυνση του Mica2 από MIB510	-
7	Πρόσδεση του MTS310CA και άνοιγμα του διακόπτη	-

[1] Έστω ότι η εντολή *motelist* επιστρέφει ότι ο σένσορας έχει συνδεθεί με τη θύρα COMy. Τότε όπου X στην εντολή *make install X=y-1*. Επίσης, τόσο στην περίπτωση του *mica2* όσο και του *tmote*, όπου N θα εισάγουμε τον επιθυμητό αριθμό που θα ανατεθεί στον κόμβο, **node_id**.

2. Οπτικοποιώντας τους γράφους των συνιστωσών

Προσεκτικά σχεδιασμένα TinyOS συστήματα έχουν συχνά πολλά επίπεδα από configurations δημιουργώντας αρκετά περίπλοκες δομές διασύνδεσης μεταξύ των interfaces των οποίων αδυνατούμε να παρακολουθήσουμε τη συλλογιστική. Προς αυτόν το σκοπό τα TinyOS και nesC παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας υποβοηθητικών εγγράφων μέσω της λειτουργίας με όνομα `nesdoc`. Η λειτουργία αυτή που πηγάζει απευθείας μέσω του πηγαίου κώδικα, εκτός των σχολίων, εμφανίζει τη δομή και τη σύνθεση των configurations.



Εικόνα 68 – Η δομή (components και wiring) της απλούστερης εφαρμογής, Blink. Πηγή, [30]

Για να παράγουμε τη δομή αυτή για μια εφαρμογή (πχ. εδώ Blink), μεταβαίνουμε στο path της στο TinyOS tree, και εισάγουμε στο cygwin την εντολή

```
make platform docs
```

Ακολούθως μεταβαίνουμε στο `tinycos-2.x/doc/nesdoc` ή σε άλλο target directory για την πλατφόρμα μας και ανοίγουμε το `index.html`. Πηγή, [33]

3. Χρήσιμες εντολές του λειτουργικού TinyOS

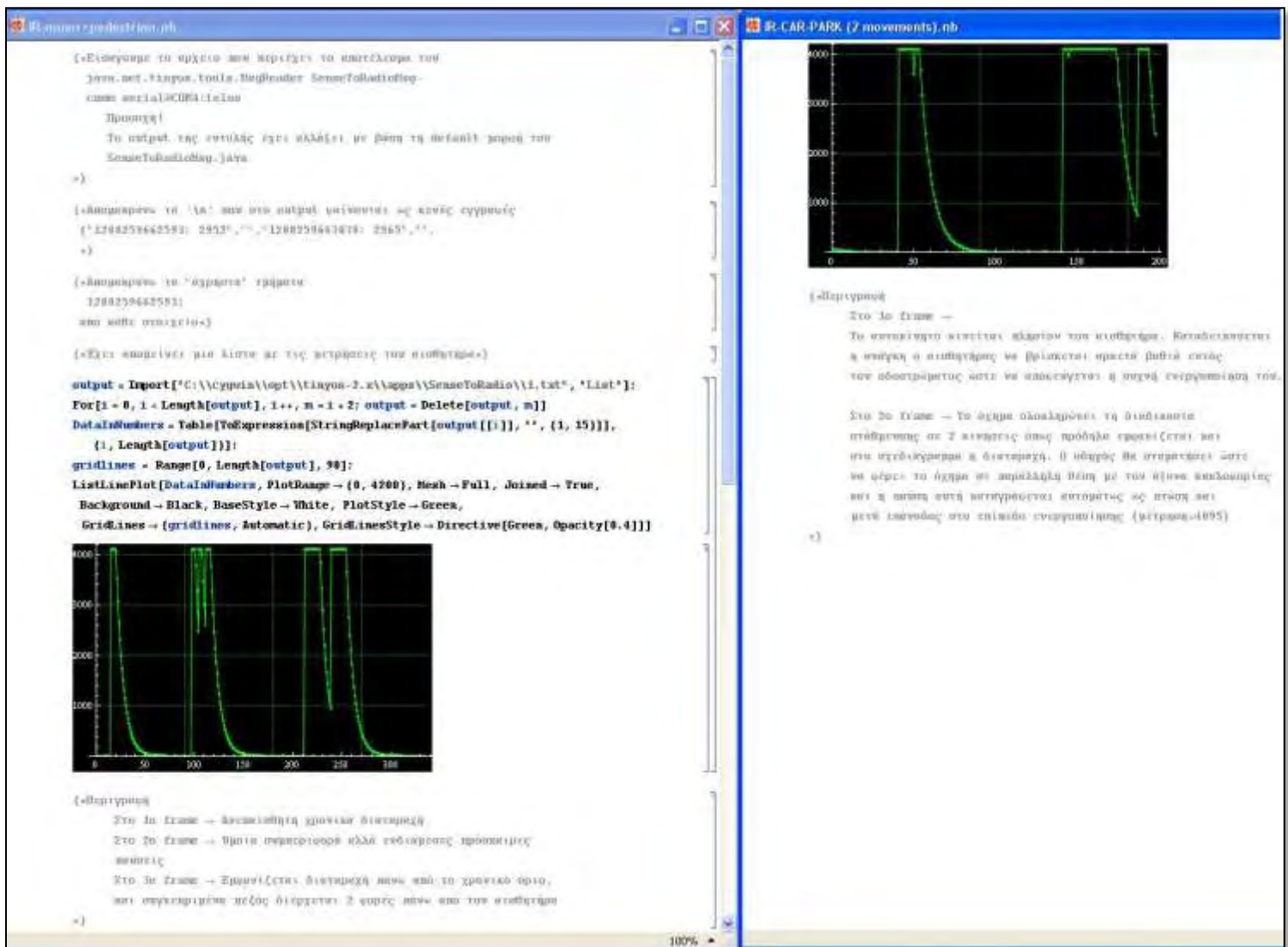
Εντολή	Ερμηνεία
<code>make <platform> reinstall.<addr></code>	Η επιλογή <code>reinstall</code> είναι σαφώς ταχύτερη, χωρίς μεταγλώττιση του κώδικα από την αρχή
<code>make clean</code>	Διαγραφή των δυαδικών αρχείων από τη διαδρομή εργασίας
<code>which nesc</code>	Επιστρέφεται η διαδρομή όπου εντοπίζεται η nesC
<code>ncc --version</code>	Επιστρέφεται η έκδοση της nesC
<code>cygcheck -c</code>	Επιστρέφεται η έκδοση του cygwin

Δ. Κώδικας υποβοηθητικών προγραμμάτων

Καθόλα τα στάδια σχεδίασης του αλγορίθμου διαχείρισης του συστήματος κρίθηκε απαραίτητο να κατασκευαστούν υποβοηθητικά προγράμματα με χρήση του εργαλείου Mathematica. Τα προγράμματα αυτά συνέβαλαν σε μια ταχύτερη εξοικείωση με τον τρόπο λειτουργίας τόσο του μαγνητικού όσο και του υπέρυθρου αισθητήρα.

1. Γραφική αναπαράσταση των υπέρυθρων δεδομένων

Αναπτύχθηκε κώδικας προκειμένου να γίνεται αποτίμηση σε κυματομορφή του σήματος εξόδου του αισθητήρα, καθότι η τροποποίηση του κώδικα της εφαρμογής **SenseToRadio** απέτρεψε τη χρήση των υποβοηθητικών της συναρτήσεων για γραφική απεικόνιση των δεδομένων που συλλέγονται. Στην εικόνα 69 βλέπουμε τον κώδικα που αναπτύχθηκε προκειμένου να αναγνωστεί η ανακατευθυνόμενη έξοδος του προγράμματος λήψης των υπέρυθρων δεδομένων. Το αρχείο κειμένου που περιέχει τα δεδομένα αυτά (βλ. σελ.78) διαμέσου του εργαλείου Mathematica και με κατάλληλη αλγοριθμική επεξεργασία θα μετουσιωθεί σε γραφική παράσταση.



Εικόνα 69 – Κώδικας γραφικής αποτίμησης των υπέρυθρων δεδομένων και δύο σενάρια ανίχνευσης

Στη συγκεκριμένη εικόνα παρατίθενται οι κυματομορφές εξόδου δύο διακριτών σεναρίων ανίχνευσης. Στην μεν πρώτη περίπτωση (αριστερό μέρος εικόνας) παρατίθεται η απόκριση του υπέρυθρου αισθητήρα καθώς πεζός διέρχεται πάνω από τον αισθητήρα με πρότυπο που δίδεται στο κάτω μέρος της εικόνας. Στη δεύτερη περίπτωση δίδεται η κυματομορφή εξόδου καθώς όχημα διέρχεται πάνω από τον αισθητήρα κατά το πρότυπο που ορίζεται πάλι στην υποσημείωση της εικόνας.

2. Προσομοίωση των πειραματικών αποτελεσμάτων του HMC1002

Στην περίπτωση του HMC1002 ο τρόπος αξιοποίησης του Mathematica ήταν διαφορετικός. Γνωρίζουμε ότι τα μαγνητικά δεδομένα που συλλέγονται, βάση των προδιαγραφών του συστήματος δειγματοληπτούνται και αποστέλλονται στο σειριακό κανάλι ανά 10, στο μέγεθος ενός (1) πακέτου (*frame*). Ο αριθμός αυτός είναι κατασκευαστική προδιαγραφή του περιβάλλοντος λειτουργίας των μαγνητικών αισθητήρων (TinyOS-1.1.14) και αποδείχθηκε κατά τη σχεδίαση ακατάλληλος για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Με δεδομένο ρυθμό δειγματοληψίας ορισμένο στη συνάρτηση `StdControl.start` στο αρχείο `apps/oscilloscopeRF/OscilloscopeM.nc` τα `125msec`, για να αποσταλούν 180 δεδομένα (ήτοι, 10 δεδομένα/πάκετο * 18 πακέτα) χρειάζονται κατά μέσο όρο 21sec αν συνυπολογίσουμε και τυχόν απώλειες. Ο χρόνος αυτός αγγίζει τα όρια της ασημαντότητας κατά τη διαδικασία στάθμευσης, πόσο μάλλον εάν εξετάζαμε τα δεδομένα με μέγεθος παραθύρου ενός πακέτου, ήτοι 125msec.

Επιλέχθηκε λοιπόν η όποια επεξεργασία να αφορά ένα τέτοιο μέγεθος παραθύρου που να περιλαμβάνει ικανό πλήθος πακέτων ώστε να μπορεί να καταγραφεί εντός του μια πρόδηλη μεταβολή στις συνθήκες του συστήματος, αλλά παράλληλα όχι τόσο μεγάλο ώστε να λαμβάνουν εντός του πολλές τέτοιες συναπτές μεταβολές. Ως ιδανική τιμή θεωρήθηκε ένα παράθυρο της τάξης των 9 πακέτων η οποία επιλογή βασίστηκε στην κατ' αντιπαράθεση εξέταση των γραφικών παραστάσεων των πειραμάτων, με κάθε ευθεία παράλληλη στον κατακόρυφο άξονα να ισαπέχει κατά ένα μέγεθος παραθύρου.

Ως επόμενο βήμα, λόγω του ότι δεν αποθηκεύτηκαν τα ακατέργαστα δεδομένα σε όλα τα σενάρια της πειραματικής επαλήθευσης, έπρεπε κάπως να προσομοιώσουμε τα δεδομένα αυτά ώστε να διαμορφώσουμε έναν ορθά δομημένο αλγόριθμο εντοπισμού. Το εργαλείο Mathematica εκτός του ότι συνέβαλε στο να εξακριβωθεί το ακριβές μέγεθος παραθύρου, αποτέλεσε τη βάση ώστε να ελεγχθούν όλες οι δυνατές διαπεράσεις μεταξύ των καταστάσεων που ορίζει ο γράφος μετάβασης.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 70, μετά από μια χρονοβόρα και υπομονετική διαδικασία δημιουργήθηκαν πίνακες με τιμές οι οποίες δύναται να απαντηθούν κατά τη λειτουργία ανίχνευσης του μαγνητικού αισθητήρα. Οι τιμές αυτές αποδίδονταν γραφικώς και αποτιμούνταν ανά μέγεθος παραθύρου (*frame*) ως προς τη μέση τιμή και τη μεταβλητότητά τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορούσε να πραγματοποιούμε άπειρους συνδυασμούς μεταβάσεων μεταξύ καταστάσεων που υπό άλλες συνθήκες θα χρειαζόταν επίμονα πειράματα μέχρι να επιτευχθεί ίδιας απόκρισης κυματομορφή

2. Συγκριτική απόδοση τεχνολογιών αισθητηρίων οργάνων

Παρατίθεται πίνακας συγκριτικής απόδοσης διαφόρων τεχνολογιών αισθητηρίων οργάνων με βάση παραμέτρους όπως: η απόδοση σε ακραίες καιρικές συνθήκες, καταλληλότητα για ασύρματη λειτουργία, προδιαγραφές εγκατάστασης, κ.ά.

Technology	Strengths	Weaknesses
Inductive Loop	<ul style="list-style-type: none"> Flexible design to satisfy large variety of applications. Mature, well understood technology. Provides basic traffic parameters (e.g., volume, presence, occupancy, speed, headway, and gap). High frequency excitation models provide classification data. 	<ul style="list-style-type: none"> Installation requires pavement cut. Decreases pavement life. Installation and maintenance require lane closure. Wire loops subject to stresses of traffic and temperature. Multiple detectors usually required to instrument a location.
Magnetometer (Two-axis fluxgate magnetometer)	<ul style="list-style-type: none"> Less susceptible than loops to stresses of traffic. Some models transmit data over wireless RF link. 	<ul style="list-style-type: none"> Installation requires pavement cut. Decreases pavement life. Installation and maintenance require lane closure. Some models have small detection zones.
Magnetic (Induction or search coil magnetometer)	<ul style="list-style-type: none"> Can be used where loops are not feasible (e.g., bridge decks). Some models installed under roadway without need for pavement cuts. Less susceptible than loops to stresses of traffic. 	<ul style="list-style-type: none"> Installation requires pavement cut or tunneling under roadway. Cannot detect stopped vehicles.
Microwave Radar	<ul style="list-style-type: none"> Generally insensitive to inclement weather. Direct measurement of speed. Multiple lane operation available. 	<ul style="list-style-type: none"> Antenna beamwidth and transmitted waveform must be suitable for the application. Doppler sensors cannot detect stopped vehicles.
Infrared	<ul style="list-style-type: none"> Active sensor transmits multiple beams for accurate measurement of vehicle position, speed, and class. Multizone passive sensors measure speed. Multiple lane operation available. 	<ul style="list-style-type: none"> Operation of active sensor may be affected by fog when visibility is less than ≈ 20 ft or blowing snow is present. Passive sensor may have reduced sensitivity to vehicles in its field of view in rain and fog.
Ultrasonic	<ul style="list-style-type: none"> Multiple lane operation available. 	<ul style="list-style-type: none"> Some environmental conditions such as temperature change and extreme air turbulence can affect performance. Temperature compensation is built into some models. Large pulse repetition periods may degrade occupancy measurement on freeways with vehicles traveling at moderate to high speeds.
Acoustic	<ul style="list-style-type: none"> Passive detection. Insensitive to precipitation. Multiple lane operation available. 	<ul style="list-style-type: none"> Cold temperatures have been reported as affecting data accuracy. Specific models are not recommended with slow moving vehicles in stop and go traffic.
Video Image Processor	<ul style="list-style-type: none"> Monitors multiple lanes and multiple zones/lane. Easy to add and modify detection zones. Rich array of data available. Provides wide-area detection when information gathered at one camera location can be linked to another. 	<ul style="list-style-type: none"> Inclement weather, shadows, vehicle projection into adjacent lanes, occlusion, day-to-night transition, vehicle/road contrast, and water, salt grime, icicles, and cobwebs on camera lens can affect performance. Requires 50- to 60-ft camera mounting height (in a side-mounting configuration) for optimum presence detection and speed measurement. Some models susceptible to camera motion caused by strong winds. Generally cost-effective only if many detection zones are required within the field of view of the camera.

Εικόνα 71 – Συγκριτικός πίνακας διαφόρων τεχνολογιών αισθητηρίων οργάνων. Πηγή, [15]

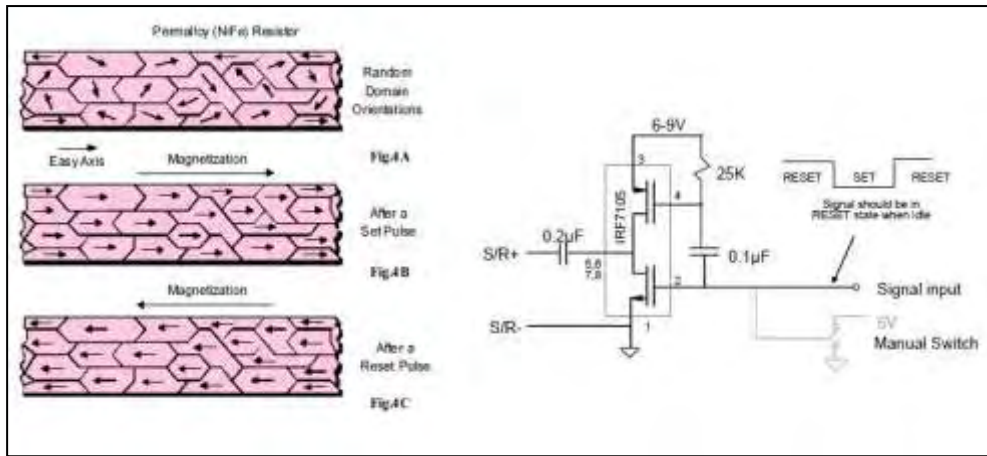
3. Επιπλέον τεχνικά χαρακτηριστικά του σένσορα Mica2

Processor/Radio Board	MPR400CB	Remarks
Processor Performance		
Program Flash Memory	128K bytes	
Measurement (Serial) Flash	512K bytes	>100,000 Measurements
Configuration EEPROM	4K bytes	
Serial Communications	UART	0-3V transmission levels
Analog to Digital Converter	10 bit ADC	8 channel, 0-3V input
Other Interfaces	DIO,I2C,SPI	
Current Draw	8 mA	Active mode
	< 15 μ A	Sleep mode
Multi-Channel Radio		
Center Frequency	868/916 MHz	ISM bands
Number of Channels	4/ 50	Programmable, country specific
Data Rate	38.4 Kbaud	Manchester encoded
RF Power	-20 to +5 dBm	Programmable, typical
Receive Sensitivity	-98 dBm	Typical, analog RSSI at AD Ch. 0
Outdoor Range	500 ft	1/4 Wave dipole, line of sight
Current Draw	27 mA	Transmit with maximum power
	10 mA	Receive
	< 1 μ A	Sleep
Electromechanical		
Battery	2X AA batteries	Attached pack
External Power	2.7 - 3.3 V	Connector provided
User Interface	3 LEDs	User programmable
Size (in)	2.25 x 1.25 x 0.25	Excluding battery pack
	(mm)	58 x 32 x 7
Weight (oz)	0.7	Excluding batteries
	(grams)	18
Expansion Connector	51-pin	All major I/O signals

Εικόνα 72 – Τεχνικά χαρακτηριστικά Mica2. Πηγή, [35]

4. Το SET/RESET κύκλωμα και το φαινόμενο κορεσμού του HMC1002

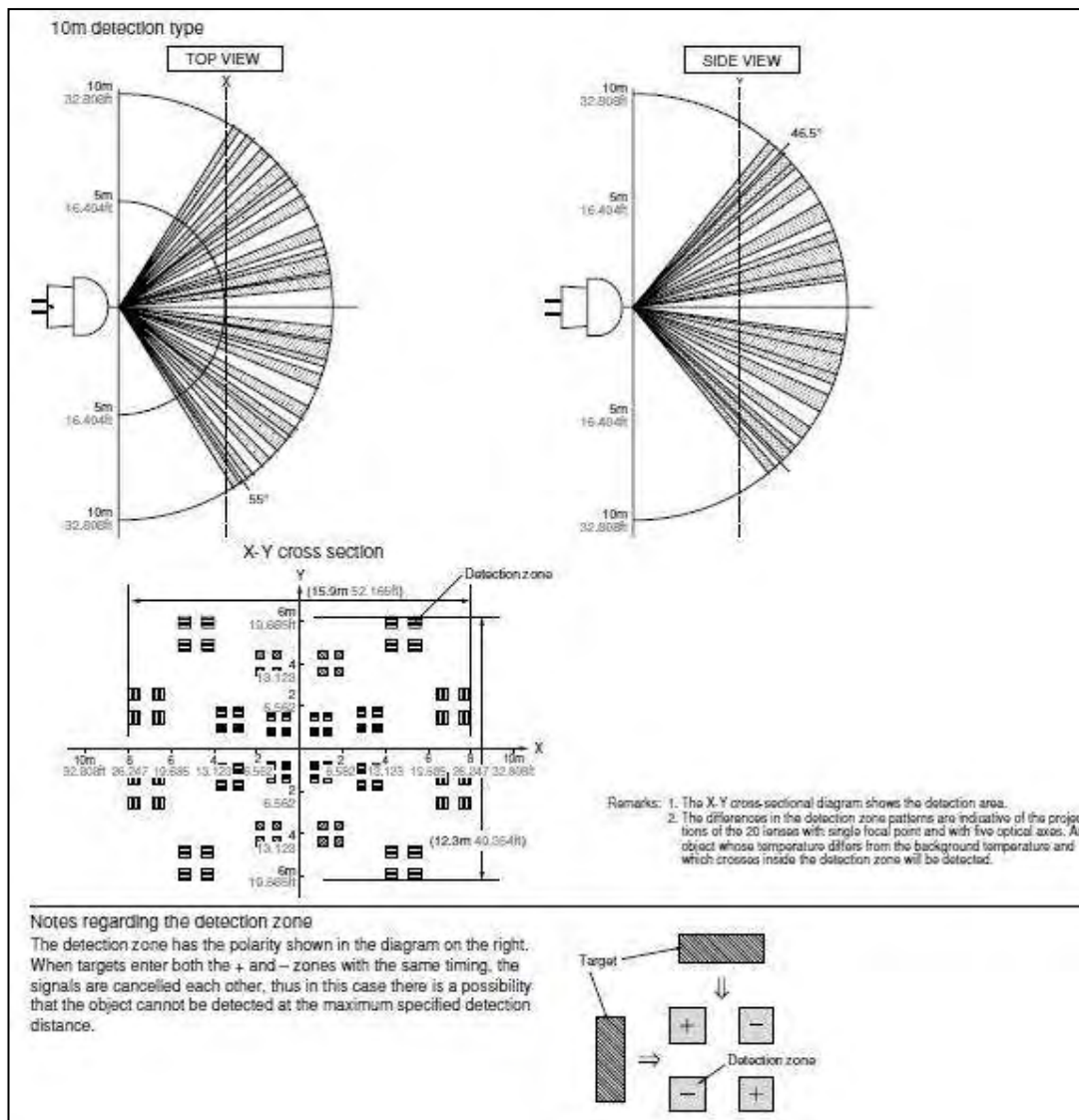
Όπως αναλύθηκε στην υποενότητα περί των [ιδιομορφιών του μαγνητικού αισθητήρα](#), υπάρχει το ενδεχόμενο να επέλθει φαινόμενο κορεσμού του, εάν και εφόσον έρθει σε επαφή με μεγάλο μαγνητικό πεδίο. Σκοπός ενός κυκλώματος Set/Reset είναι να επαναφέρει τον HMC1002 σε κατάσταση υψηλής ευαισθησίας. Στην ακόλουθη εικόνα διακρίνεται στο δεξιό μέρος η κυκλωματική απόδοση της διάταξης αυτής. Στο αριστερό μέρος καταδεικνύεται η απόκριση του HMC1002 αρχικά (Fig. 4A) σε μεγάλο μαγνητικό πεδίο με τα μαγνητικά στοιχεία του υλικού που τον απαρτίζουν να κατανέμονται ανισομερώς εντός του, και ακολούθως (Fig. 4B) η αναδιάταξή τους με την εφαρμογή θετικού παλμού ρεύματος και ομοίως αρνητικού (Fig. 4C). Ο αισθητήρας έτσι έχει επανέλθει στην αρχική φυσιολογική του ευαισθησία.



Εικόνα 73 – Η διάταξη των στοιχείων του HMC1002 πριν και μετά την εφαρμογή του κυκλώματος Set/Reset. Πηγή, [41]

5. Ο υπέρυθρος αισθητήρας “NaPiOn” με μια πιο διεισδυτική ματιά

Παρατίθενται η αρχή λειτουργίας των ζωνών εντοπισμού του αισθητήρα καθώς και διάφορα σημεία τα οποία χρίζουν προσοχής κατά τη χρήση του.



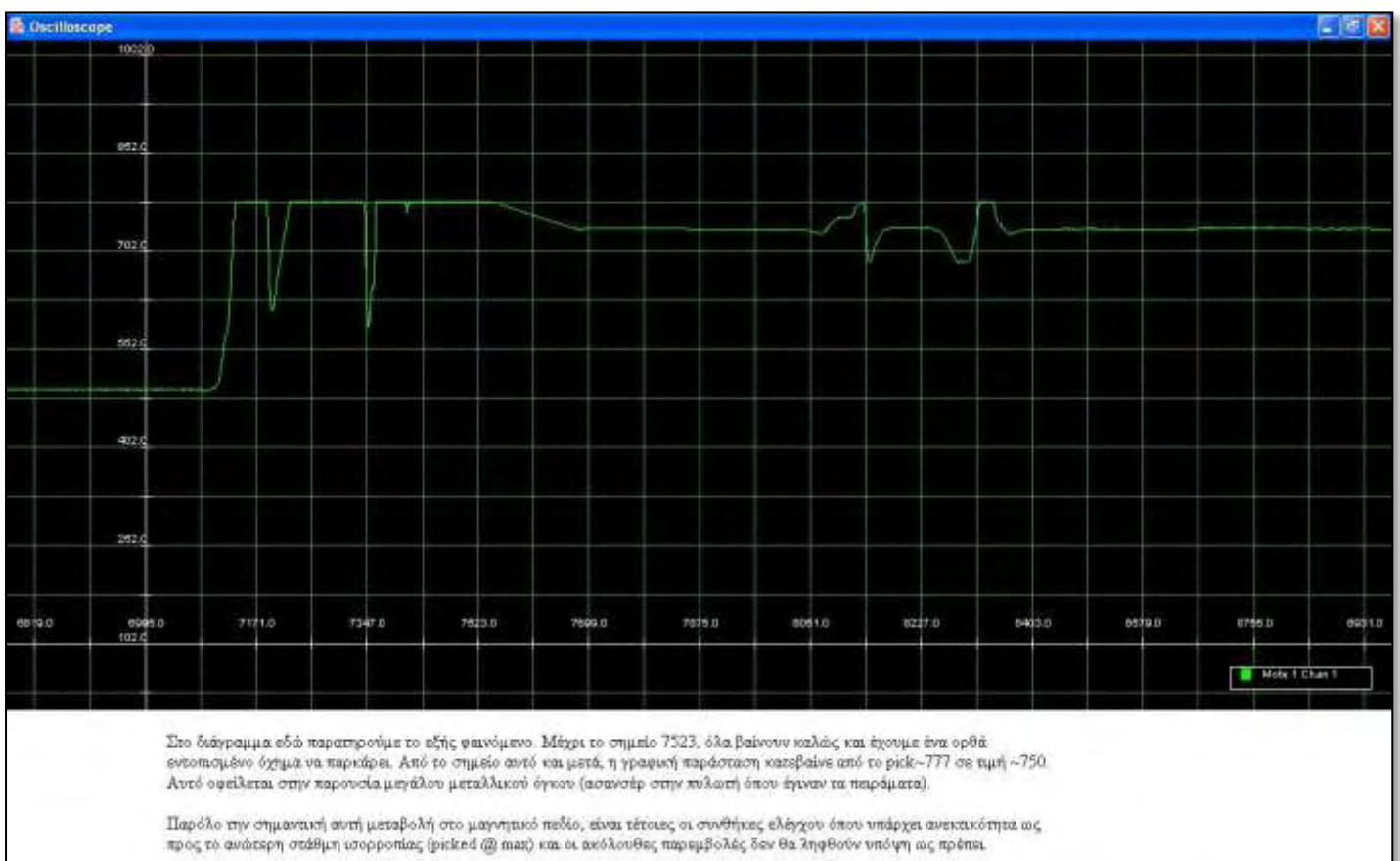
Εικόνα 74 – Η αρχή λειτουργίας των ζωνών εντοπισμού του NaPiOn. Πηγή, [45]

Σημεία προσοχής κατά τη χρήση [43]

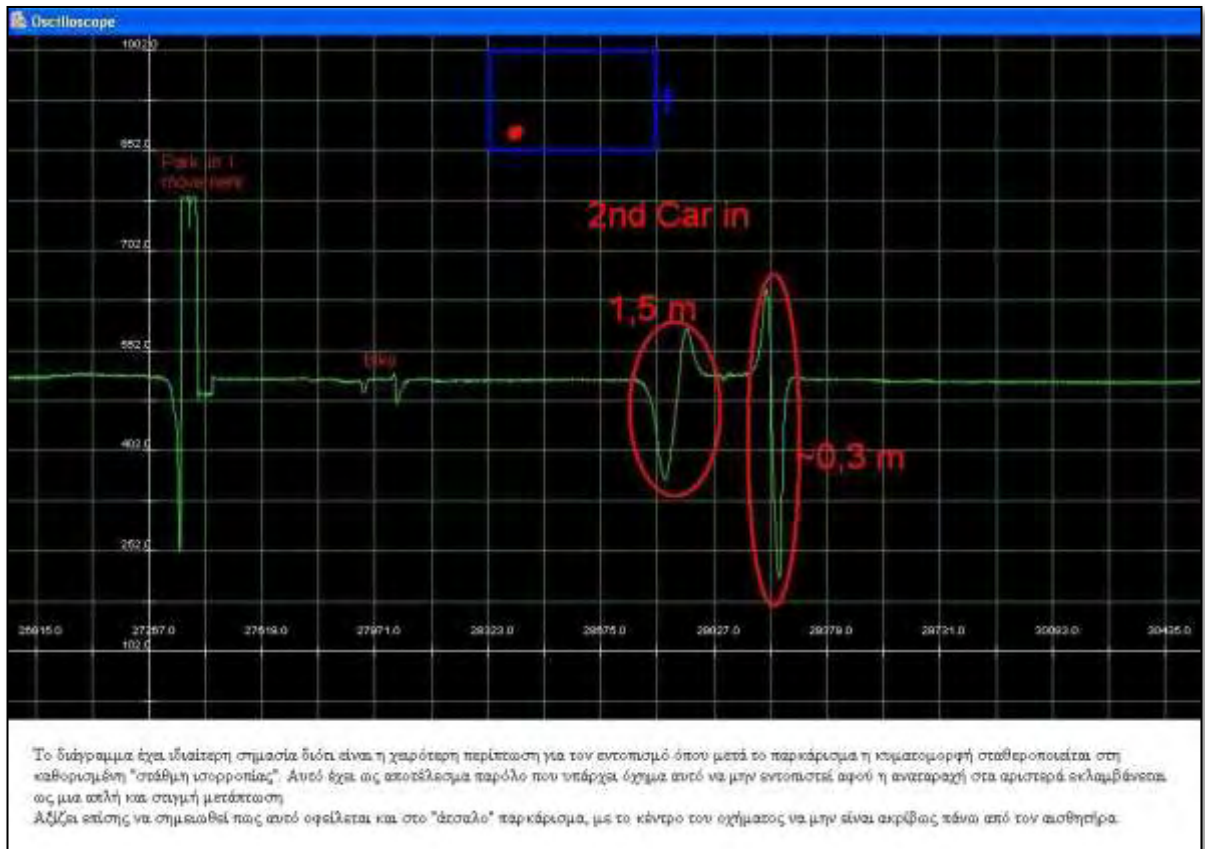
1. Αδυναμία εντοπισμού όταν το υπό ανίχνευση αντικείμενο κινείται με πολύ χαμηλές ταχύτητες ή πάρα πολύ υψηλές
2. Όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του υπό ανίχνευση αντικειμένου και του κείμενου περιβάλλοντος είναι άνω των 20°C τότε ενδέχεται να σημειωθεί γεγονός ανίχνευσης σε μεμονωμένες περιοχές εκτός της περιοχής ανίχνευσης.
3. Ο αισθητήρας μπορεί να καταστραφεί εάν εκτεθεί σε στατικό ηλεκτρισμό με τάση να υπερβαίνει τα $\pm 200V$. Συνεπώς δεν αγγίζουμε τους ακροδέκτες του.
4. Η ανίχνευση εμποδίζεται εάν μεταξύ του αντικειμένου και του αισθητήρα παρεμβάλλεται αντικείμενο από γυαλί, ακρυλικό ή άλλο υλικό το οποίο δεν είναι διαπερατό από υπέρυθη ακτινοβολία.
5. Η ευαισθησία ανίχνευσης επηρεάζεται σημαντικά εάν ο αισθητήρας εκτίθεται άμεσα σε ηλιακό φως ή στο φως των προβολέων οχημάτων μεγάλης φωτεινότητας.

6. Αποτελέσματα πειραματικής διαδικασίας

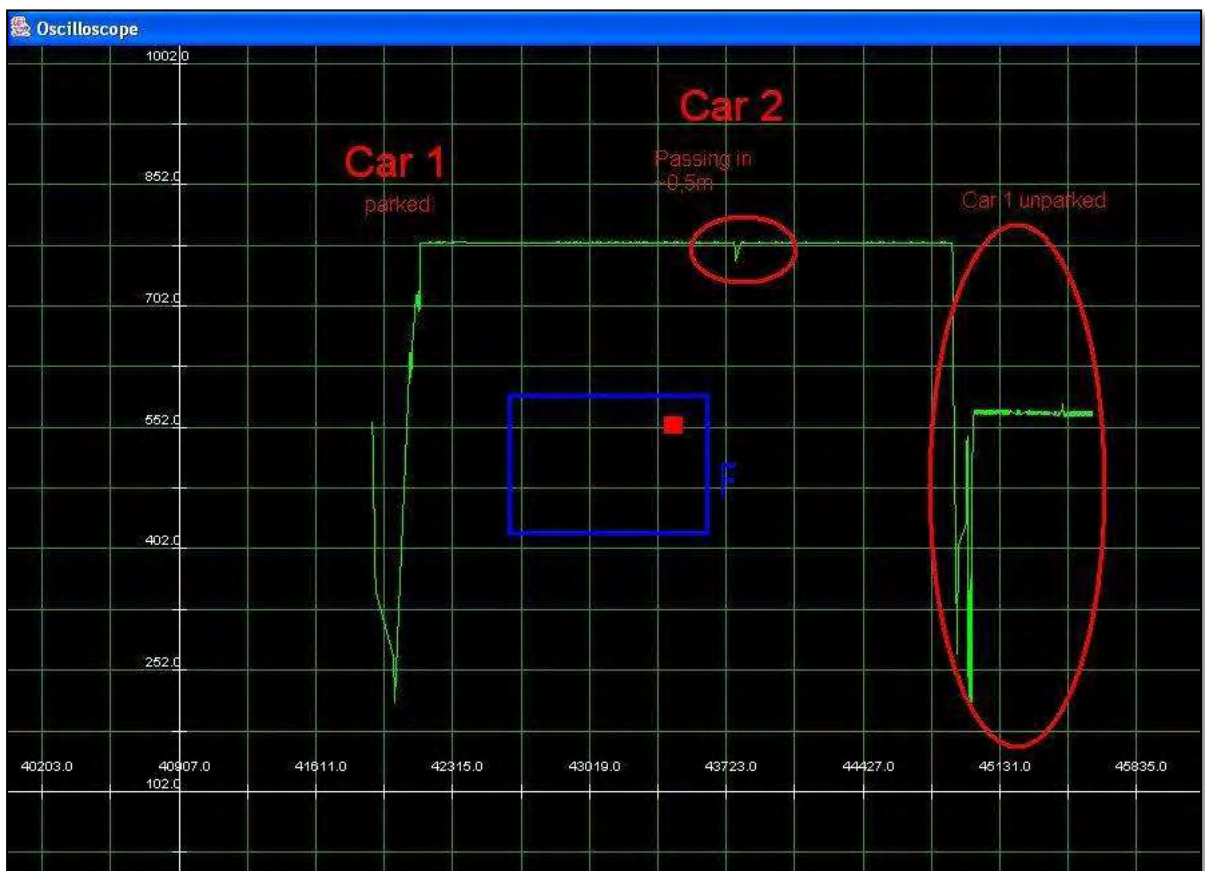
Θα ακολουθήσει μια συνοπτική παρουσίαση της κυματομορφής εξόδου ορισμένων πειραμάτων τα οποία δεν απαντήθηκαν σε προηγούμενα μέρη της παρούσας εργασίας και αξιώνουν αναφοράς. Κάθε εικόνα συνοδεύεται από τον αντίστοιχο κωδικό πειράματος.



Εικόνα 75 – Κυματομορφή εξόδου πειράματος: MG-D2-CAR-PARK-VRT-F



Εικόνα 76 – Κυματομορφή εξόδου πειράματος: MG-D3-CAR-PARK-CLR-DIR-B



Εικόνα 77 – Κυματομορφή εξόδου πειράματος: MG-D2-CAR-PRL-NCL-B-0

Η ΣΕΛΙΔΑ ΑΥΤΗ ΔΙΕΘΝΩΣ ΑΠΟΜΕΝΕΙ ΛΕΥΚΗ

Βιβλιογραφία

Εισαγωγή

[1] Munich Re Group. 2004. “*Megacities – Megarisks: Trends and challenges for insurance and risk management*”. p.10-19

[2] David Whitehouse, Science editor BBC News website. 2005. “*Half of humanity set to go urban*” - <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4561183.stm>

Μέρος Ι

Α. Ερευνητικό αντικείμενο και ώθηση

[3] Διεύθυνση Πολεοδομίας Δήμου Βόλου. 2011. “*Διάλογος για το κυκλοφοριακό*”.

[4] Γραφείο Δοξιάδη. 2005. “*Αναθεώρηση - Επέκταση Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου Πολεοδομικού Συγκροτήματος Βόλου*”. Κεφ.Α3 – σελ. 40.

[5] Ι.Μ. Φρατζεσκάκης, Μ.Χ. Πιτσιάβα, Δ.Α. Τσαμπούλας. 2002. “*Στάθμευση*”. Κεφ.1 – σελ. 1-10.

[6] Donald C. Shoup. 2006. “*Cruising for parking*”.

[7] Donald C. Shoup. 1997. “*The High Cost of Free Parking*”.

[8] Donald C. Shoup. 1999. “*The Trouble With Minimum Parking Requirements*”.

[9] Kenneth Button. 2006. “*The political economy of parking charges in “first” and “second-best” worlds*”.

[10] <http://www.mobipark.gr>

[11] <http://www.cashlessparking.com.au>

[12] <http://www.poly.edu/press-release/2010/11/05/free-4g-and-freed-parking-spot-nyc>

[13] Commission of European Communities. 2007. “*GREEN PAPER – Towards a new culture for urban mobility*”. p.11.

[14] Paul G. Höglund. 2004. “*Parking, energy consumption and air pollution*”.

[15] Vehicle Detector Clearinghouse. 2000. “*A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems*”. Funded by the Federal Highway Administration’s Intelligent Transportation Systems Joint Program Office.

- [16] M.Eissa, M.Elhag. 2004. “*Thesis: Park Finder*”. University of Illinois.
- [17] Sangwon Lee, Dukhee Yoon, Amitabha Ghosh. 2008. “*Intelligent Parking Lot Application Using Wireless Sensor Networks*”. University of South California.
- [18] Vamsee K. Boda, Asis Nasipuri, Ivan Howitt. 2007. “*Design Considerations for a WSN for Locating Parking Spaces*”. University of North Carolina at Charlotte.
- [19] Vanessa W.S. Tang, Yuan Zheng, Jiannong Cao. 2006. “*An Intelligent Car Park Management System based on WSN*”. The Hong Kong Polytechnic University.
- [20] J. P. Benson, et. al. 2006. “*Car-Park Management using WSN*”. University of Cork, Ireland.

B. Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

- [21] Chee-yee Chong, Srikanta P. Kumar. 2003. “*Sensor Networks: Evolution, Opportunities and Challenges*”. Proceedings of IEEE.
- [22] Vlasios Salatas. 2005. “*Thesis: Object tracking using WSN*”. Naval Postgraduate School. p.10.
- [23] Holger Karl, Andreas Willig. 2005. “*Protocols and Architectures for WSN*”. John Wiley & Sons, Ltd. p. 7-10,31-32.

Γ. Τεχνολογία υλοποίησης

- [24] <http://www.tinyos.net/>
- [25] Philip Levis, David Gay. 2009. “*TinyOS Programming*”.
- [26] <http://en.wikipedia.org/wiki/TinyOS>
- [27] <http://docs.tinyos.net>
- [28] Philip Levis, David Gay, Robert von Behren. 2003. “*The nesC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems*”.
- [29] <http://www.ceid.upatras.gr/courses/katanemhmena/wiki>
- [30] <http://nesc.sourceforge.net>
- [31] David Gay, Philip Levis, David Culler, Eric Brewer. 2005. “*nesC 1.2 Language Reference Manual*”.
- [32] Philip Levis. 2006. “*TinyOS/nesC Programming Reference Manual*”.
- [33] http://inf-server.inf.uth.gr/~nilarisi/Thesis/TinyOS_Tutorial/Lesson1.pdf
- [34] Crossbow Technology Inc. Revision B, June 2006. “*MPR-MIB Users Manual*”.
- [35] [Memsic Inc. “Mica2 Datasheet.pdf”](#)

- [36] [Memsic Inc. "MIB510CA Datasheet.pdf"](#)
- [37] [Moteiv Corporation. 2006. "Tmote Sky Datasheet.pdf"](#)
- [38] Crossbow Technology Inc. Revision A, June 2007. "*MTS/MDA Sensor Board Users Manual*".
- [39] [EasySen LLC. 2008. "WiEye Datasheet.pdf"](#)
- [40] Michael J. Caruso, Lucky S. Withanawasam. 1999. "*Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors*". Honeywell International Inc.
- [41] [Honeywell International Inc. "HMC1001/1002/1021/1022 1- and 2-Axis Magnetic Sensors Datasheet.pdf"](#)
- [42] [ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών. "Θεωρεία της μαγνητοαντίστασης.pdf"](#)
- [43] [Panasonic Electric Works Co. "AMN Motion Sensors Design Manual Datasheet.pdf"](#)
- [44] [ΑΠΘ, Τμήμα Φυσικής, Επικ. Καθ. Ευάγγελος Δ. Βανίδης. "Ανίχνευση του φωτός.pdf"](#)
- [45] [Panasonic Electric Works Co. "NaPiOn \(AMN\) Catalog.pdf"](#)

Μέρος II

- [46] Byunghun Song, Haksoo Choi, Hyung Su Lee. 2008. "*Surveillance Tracking System Using Passive Infrared Motion Sensors in Wireless Sensor Network*". Korea Electronics and Technology Institute.
- [47] http://inf-server.inf.uth.gr/~nilarisi/Thesis/TinyOS_Tutorial.html
- [48] <http://webs.cs.berkeley.edu/tos/tinyos-1.x/doc>
- [49] Crossbow Technology Inc. Revision A, May 2007. "*MoteView Users Manual*".

Μέρος III

- [50] <http://www.vmware.com/products/player/>
- [51] <http://netbeans.org/>

Μέρος IV

- [52] http://inf-server.inf.uth.gr/~nilarisi/Thesis/TinyOS_Tutorial/Lesson5.pdf

[53] Philip Levis, Nelson Lee. 2003. "*TOSSIM: A simulator for TinyOS Networks*"

[54] <http://inf-server.inf.uth.gr/~nilarisi/Thesis/Quick Start Guide to TinyOS-1.1.14.pdf>

[55] <http://inf-server.inf.uth.gr/~nilarisi/Thesis/TinyOS Tutorial/Lesson4.pdf>

[56] <http://webs.cs.berkeley.edu/tos/tinyos-1.x/doc/tutorial/lesson6.html>

[57] <http://www.mysql.com/>

[58] <http://www.mysql.com/downloads/connector/j/>

[59] <http://netbeans.org/kb/docs/ide/mysql.html/>

[60] <http://www.cygwin.com/>

Μέρος V

[61] <https://grweb.ics.forth.gr/>

[62] <http://www.easysen.com/WiEye.htm>

[63] <http://www.wolfram.com/mathematica>