

Τ.Ε.Ι. ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών (έδρα:Σπάρτη)
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής

Μελέτη του λογισμικού πλοήγησης μη επανδρωμένων οχημάτων

Πτυχιακή Εργασία

Λαλιώτης Νικόλαος, Α.Μ. 2010284

Επιβλέπων καθηγητής: Νόκας Γεώργιος

Σπάρτη, Νοέμβριος 2016

*‘Η επιστήμη είναι ο πιο ειλικρινής φίλος του
ανθρώπου κι ο πιο ευγενικός του βοηθός’*
Χάρβεϋ

Σύμφωνα με απόφαση της Συνέλευσης του ΤΕΙ Πελοποννήσου οι φοιτητές που εκπονούν την πτυχιακή τους εργασία υποχρεούνται να συμπεριλαμβάνουν στις προκαταρκτικές σελίδες της εργασίας τους το παρακάτω κείμενο, υπογεγραμμένο από τους ίδιους.

«

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάση επιστημονικής παράφρασης.

Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δε μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Όνομα και Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία):

.....

Υπογραφή (Ολογράφως, χωρίς μονογραφή):

.....

Ημερομηνία (Ημέρα – Μήνας – Έτος):

.....

»

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας χρειάστηκε η υποστήριξη και η συμπαράσταση πολλών ανθρώπων, τους οποίους αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω από καρδιάς.

Πρώτα απ' όλα, επιθυμώ να εκφράσω την ευγνωμοσύνη και εκτίμησή μου στον επιβλέπων καθηγητή μου Γεώργιο Νόκα, επιστημονικός συνεργάτης του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής του ΤΕΙ Πελοποννήσου Παράρτημα Σπάρτης. Ειδικότερα το ειλικρινές ενδιαφέρον, η συνεχής καθοδήγηση, μέσα από τις συμβουλές και τις διορθώσεις, καθώς και την υποστήριξή του, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αγάπη τους και την αμέριστη συμπαράσταση τους κατά την διάρκεια όλων αυτών των χρόνων.

Τέλος ,τους φίλους μου Λαζαρίδη Φωτεινή και Κερτίκα Θωμά, τους ευχαριστώ θερμά για την υπομονή, την κατανόηση και τη συμπαράστασή τους σε ευχάριστες και δυσάρεστες στιγμές.

Πίνακας περιεχομένων

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Πίνακας περιεχομένων	5
Περίληψη	7
Abstract.....	8
1.Εισαγωγή	9
1.1 Ορισμός	9
1.2 Τύποι Μη επανδρωμένων οχημάτων.....	9
1.3 Ιστορική αναδρομή.....	9
2. Μη επανδρωμένα οχήματα Εδάφους (UGV)	11
2.1 Ορισμός	11
2.2 Η δομή των UGV.....	12
2.3 Αρχιτεκτονικές στα UGV	13
2.3.1 Μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους με σκέλη.....	13
2.3.2 Τροχοφόρα μη επανδρωμένα οχήματα.....	14
3. Πλοήγηση	15
3.1 Ορισμός	15
3.2 Μέσα Πλοήγησης	16
3.3 Global Positioning System(GPS)	16
3.4 Γυροσκόπιο.....	18
3.5 Πυξίδες	19
3.5.1Μαγνητικές πυξίδες.....	19
3.5.2 Γυροσκοπικές πυξίδες	20
3.6 Μέθοδοι Πλοήγησης.....	21
3.7 Οδομετρία.....	21
3.8 Ακολουθία Γραμμής.....	22
3.8.1 Ελεγκτής PID.....	23
4. Εντοπισμός	26
4.1 Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης.....	26
4.2 Τοπικός εντοπισμός θέσης.....	27
4.3 Pathplanning	28
4.3.1 Αλγόριθμος ελέγχου διαδρομής	30
4.3.2 Αλγόριθμος επιλογής διαδρομής.....	31
4.4 Απόλυτος εντοπισμός θέσης.....	32
4.4.1 Ενεργητικοί και παθητικοί φάροι.....	32

4.4.2 Ορόσημα.....	33
5. Αισθητήρες	34
5.1 Ταξινόμηση των αισθητήρων	34
6. Αλγόριθμοι και Λογισμικό	36
6.1 Τι είναι αλγόριθμος	36
6.2 Κατασκευή λογισμικών	36
6.3 Φίλτρο Kalman	37
6.4 Το φίλτρο σωματιδίων (PF).....	38
6.5 Deadreckoning.....	40
7. Κατασκευή μη επανδρωμένων οχημάτων με Arduino	42
7.1 Arduino	42
7.2 Arduino Uno με γυροσκόπιο κ επιταχυνσιόμετρο	43
7.2 Arduino Uno με Gps.....	44
8.Υλοποίηση.....	47
8.1GPS	47
8.2Αισθητήρας γυροσκοπίου.....	48
8.3Αισθητήρας απόστασης υπερήχων	49
8.4 Επεξεργασία δεδομένων αισθητήρα υπερήχων με φίλτρα Kalman.	52
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	54
9. Παράρτημα	55
Βιβλιογραφία	67

Περίληψη

Τα μη επανδρωμένα οχήματα φαίνεται να κερδίζουν συνεχώς έδαφος στον τεχνολογικό και πληροφοριακό κόσμο. Η ανάπτυξη, η υλοποίηση και η χρήση τους, παράλληλα με την ταχύτατη ανάπτυξη της τεχνολογίας, προχωρά με αλματώδης ρυθμούς ιδίως την τελευταία δεκαετία. Τα μη επανδρωμένα οχήματα δημιουργήθηκαν κυρίως από τεχνολογικές υπηρεσίες των στρατιωτικών δυνάμεων για ειρηνικούς σκοπούς, ώστε να υπάρχει ένα σύστημα άμεσης μετάβασης. Οι μηχανές αυτές δημιουργήθηκαν για την ολοκλήρωση στρατιωτικών κυρίως αποστολών με σκοπό την άμεση εξυπηρέτηση του πολίτη με βάση τις ανάγκες του.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των μη επανδρωμένων οχημάτων, με σκοπό την μελέτη των λογισμικών που απαιτούνται για την υλοποίηση αλγορίθμων σε θέματα ελέγχου. Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να βοηθήσει τον εκάστοτε αναγνώστη να κατανοήσει το ιστορικό υπόβαθρο των μη επανδρωμένων οχημάτων, την πορεία τους μέχρι σήμερα στον τεχνολογικό κόσμο, αλλά κυρίως την ανάπτυξη λογισμικών ελέγχου που αποσκοπούν στην αυτονομία των μη επανδρωμένων οχημάτων. Αναλυτικότερα, πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στις δυσκολίες ανάπτυξης των απαραίτητων αλγορίθμων των χρησιμοποιούμενων λογισμικών, καθώς και τη σημασία τους για την υλοποίηση και τη λειτουργία των οχημάτων αυτών.

Η παρούσα ανάλυση θα ξεκινήσει με μια σύντομη εισαγωγή στην ιστορία των μη επανδρωμένων οχημάτων, και μια βασική ανάλυση των τύπων και της δομής του πιο σημαντικού ίσως τύπου μη επανδρωμένου οχήματος, του UGV (Μη επανδρωμένο όχημα εδάφους).

Λέξεις-Κλειδιά: Μη επανδρωμένα οχήματα Εδάφους, Αισθητήρες μη επανδρωμένων οχημάτων, Γυροσκόπιο, Μαγνητικές πυξίδες, Γυροσκοπική πυξίδα, Φίλτρο Kalman, Οδομετρία, Arduino

Abstract

The first unmanned vehicles have been steadily gaining ground in both computer science and the world of technology. Their development, implementation and usage, alongside the advance development of technology, have been in fast progress especially during the last decade. The unmanned ground vehicles were mainly created by the technological services of the military forces for peaceful purposes so that there would be an instant transport system. These machines were made for the accomplishment of several military missions and with the view to contributing to a citizen's needs and service. In this thesis, there is a short presentation of the unmanned ground vehicles aiming at the study of the software needed for the implementation of algorithms on control issues. The purpose of the present thesis is to help any reader understand the historical background of the unmanned ground vehicles, their progress until today in the technological world and mostly the development of software control which aims at the autonomy of the unmanned vehicles. In more detail, there is an extensive reference to the difficulties of the development of the most important algorithms of the softwares in use, as well as to their importance for the implementation and function of these vehicles.

The present analysis starts with a short introduction to the history of the non-manned vehicles and with a basic analysis on the kinds and structure of -perhaps the most important type of unmanned vehicle, the UGV (unmanned ground vehicle).

Keywords: Unmanned ground vehicle (UGV), Unmanned ground vehicle compass, Global Positioning System (GPS), Gyroscope, Gyrocompass, filter Kalman, Odometry, Arduino

1.Εισαγωγή

1.1 Ορισμός

«Uncrewed όχημα» ή «μη επανδρωμένο όχημα» είναι ένα όχημα χωρίς πρόσωπο επί του σκάφους. Τα Uncrewed οχήματα μπορεί είτε να ελέγχονται εξ αποστάσεως και να καθοδηγούνται από κάποια απομακρυσμένη περιοχή, είτε να είναι αυτόνομα οχήματα ικανά ανίχνευσης του περιβάλλοντός τους και ικανά αυτόνομης πλοήγησης.¹ Ο όρος «Μη Επανδρωμένα Οχήματα» χρησιμοποιείται σε κάθε τύπο οχήματος που κινείται στον αέρα, στην επιφάνεια και υπό τη θάλασσα, χωρίς να είναι επανδρωμένα, να είναι δηλαδή αυτόνομα λειτουργώντας με προθύστερο προγραμματισμό ή και τηλεκατευθυνόμενα.

1.2 Τύποι Μη επανδρωμένων οχημάτων

Τα μη επανδρωμένα οχήματα διακρίνονται σε πέντε διακριτές κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής:

- **Unmanned ground vehicle (UGV)**, μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους, (με τα οποία θα ασχοληθεί η παρούσα εργασία)
- **Unmanned aerial vehicle (UAV)**, μη επανδρωμένα αεροσκάφη,
- **Unmanned surface vehicle (USV)**, μη επανδρωμένα οχήματα που λειτουργούν στην επιφάνεια του νερού,
- **Autonomous underwater vehicle (AUV)** μη επανδρωμένα υποθαλάσσια οχήματα,
- **Unmanned spacecraft**, ("roboticspacecraft" ή "spaceprobe") μη επανδρωμένα διαστημόπλοια για διαστημικές αποστολές, είτε αυτόνομα είτε με τηλεχειρισμό (ρομποτικά διαστημικά σκάφη ή διαστημόπλοια).²

1.3 Ιστορική αναδρομή

Το πρώτο μη επανδρωμένο όχημα, ήταν όχημα εδάφους, και αναφέρετε για πρώτη φορά στην βιβλιογραφία, τον Οκτώβριο του 1921(Wikipedia, 2016). Το συγκεκριμένο όχημα ελεγχόταν μέσω ραδιοφώνου (Εικόνα 1). Στη συνέχεια, και περί τη δεκαετία του 1930, η Σοβιετική ένωση κατασκεύασε τα λεγόμενα «Teletanks», άρματα μάχης που ελεγχόταν με ραδιόφωνο εξ αποστάσεως από διαφορετικό άρμα μάχης. Αρχικά, τα άρματα αυτά

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Uncrewed_vehicle

² https://en.wikipedia.org/wiki/Uncrewed_vehicle

χρησιμοποιήθηκαν στο Χειμερινό πόλεμο (1939-1940) εναντίον της Φιλανδίας και στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν κατά την έναρξη του ανατολικού μετώπου και την εισβολή της Γερμανίας στην Σοβιετική Ένωση. Έκτοτε, έχουν γίνει αναφορές για την δημιουργία και χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων για στρατιωτικούς σκοπούς, όπως το 1942 από την Γερμανία η οποία κατασκεύασε ένα άρμα μάχης με το όνομα «το Γολιάθ».

Εν συνεχεία παρατηρείται η πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης κινητού ρομπότ («Shakey») κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1960 με σκοπό την μελέτη λειτουργίας αυτόνομου ή μη- αυτόνομου μη επανδρωμένου οχήματος για έλεγχο της συμπεριφοράς του, δεχόμενο εντολές.

Με το πέρασμα των ετών, και με τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των μη επανδρωμένων οχημάτων να είναι ραγδαίες, οι Colomina και Molina, (2014) αναφέρουν ότι ο συνολικός τζίρος για την ανάπτυξη πολυάριθμων εφαρμογών (Εικόνα 2) για στρατιωτικές εμπορικές εφαρμογές ανέρχεται στα 5400 εκατομμύρια ευρώ το 2013, με εκτίμηση αύξησης στα 6350 εκατομμύρια ευρώ το 2018.



Εικόνα 1: RCA radio controlled car. Dayton, Ohio 1921
https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_ground_vehicle#cite_note-2

Precision Agriculture	Cinematography	Entomology	Medical Supply Deliver	Urban Planning	Biological Agent Det.	Soil Volumetrics	Taco Copter
Cell Tower Inspect	Pollution Monitoring	Forest Inspection	Chimney Inspection	Culture Preservation	Change Detection	Change Detection	Burnts Bomber
Airborne Wind Turbine	Hydrologic Modeling	Fisheries Management	Air Pollution Reduction	Petroglyph Preservation	Port Security	Defibrillator Delivery	Beer Delivery
Cloud Seeding	Geographic Model	Wildlife Conservation	Motion Pictures	Oil Discovery	Pirating	UAV Tracking	Flower Delivery
Plant Water Content	Flood Risk Assess	Wildlife Inventory	Audio Drones	Quake Fault Discovery	Aviation Rescue	Environment Assessment	Hunting
Plant Disease Detect	Law Enforcement	Mineral Exploration	Aerial Photography	Traffic Flow Analysis	Customs & Border	Gas Plant Inspection	Load Transportation
Weed Mapping	Pollution Monitor	Aerial Survey	Flotation Aid Drop	Prevent Graffiti	Atmospheric Profile	Pressure Tanks	Conflict Monitor
Invasive Plants	Photogrammetry	Forest Fire Surveillance	Count Sheep	Journalism	Hurricane Genesis	Grass Dry Matter Measure	Play Music
Insect Attack Warning	Tidal Zone Modeling	Volcano Monitoring	Kobong Monitoring	Crop Pests Detection	Seismology	Bank Erosion	Whale Watching
Vegetation Identification	Solar Panel Inspect	Aerial Mapping	Real Estate Marketing	Roof Inspection	Pharmacy Delivery	Volcanic Ash Measure	Code of Conduct
Selective Harvesting	Anti-Piracy	Oil Spill Tracking	Crop Dusting	Wind Turbine Gearbox Insp	Arizona Pathogen	Ship Smuggling	Tornado Prediction
Telecommunications	Algae Proliferation	Avalanche Prevention	Water Trough Leakage	Cartography	Ecology Research	Explosives Detection	Weather Modification
Canopy Management	Rail Track Bed Inspect	Ocean Research	Surveillance	Defibrillator Delivery	Tourist Guide	Weather Monitoring	Invisible UAV
Hand Tracking	Substrate Infiltration	Landmark Inspection	Earthquake Prediction	Power Line Inspect	Lighting Area	Emergency Response Team	Airborne Internet
Media	Illegal Ship Bligs Venting	Public Safety	Wildlife Research	Postal Service	Radiation Cleanup	Terrorist Attack	Aerial Sports
High Altitude Imagery	Emergency Com	Firefighting	Archaeology	Tsunami Detection	Fire Investigation	Heat Loss	Three D Printed
Maritime Surveillance	Terrain Mapping	Golf Resort Market	Food Delivery	Locust Monitoring	UAV Sensor Research	Cooling Tower Inspect	Pseudo-Satellite
Traffic Monitoring	Sand Bank Shift	Search and Rescue	Gunshot Triangulation	Drone Leasing	Water Tower Inspect	Human Trafficking Control	Power by the Hour
Disaster Management	Hydrographic Mapping	Training	Strip Mining	Irrigation Mapping	Antenna Pattern	Airborne WiFi	Multi-Modal UAV
Real Estate Photography	Traffic Accident Analysis	Cloud Seeding	Oil Rig Inspection	Radiation Monitoring	Magnetic Field Survey	Planetary Radiation	Dronestagram
Meteorology	Highway Design	Stadium Events	Sinkhole Forecast	Sea Level Change	Crime Forensics	Forest Fire Retardant	Fired King/TCOL
Cryospheric Research	Parking Utilization	Power Restoration	Anti-Looting Control	Water Tower Inspect	Power Plant Emission	Coast Guard	Simulated Weather
Bridge Inspection	Fuel's Unmanned Cargo	Newspaper Delivery	Landslide Prediction	Antenna Pattern Measure	Cell Tower LOS	Railroad Monitor	Drones Act
Transmission Line Inspect	Instant Consumer Grat	Fire Prevention	Glacier Drones	Aeromagnetic Survey	River Re-naturalization	Follow Kid to Bus Stop	Pocket Drone
HAZMAT Inspection	Advertising	River Discharge	Criminal Car Tracking	Tsunami Debris	Smoke Sampling	Civil Air Patrol	Location Scouting
Emergency Medical Supply	Coastline Surveillance	Wind Turbine Blade	Forest Management	GIS Data Capture	Direction Finding	Army Corps of Engineers	Protection
Aerial Surveying	Investment Roughness	Maritime Mammals	Cloud Properties	Tour Guide	Crime Forensics	Dept. of Transportation	Audio Surveillance
Damage Assessment	Animal Rights Groups	River Discharge	Coastal Water Quality	Cell Tower LOS	Forest Fire Retardant	Environmental Protection	Find Parking
Insurance Claim Appraisal	Prevent Extinction	Ship Collision	Maritime Surveillance	Tornado Measure	Coast Guard	National Guard	Weather Measurement
Concert Security	Anti-Walking	Wild Turbine Blade	Construction Document	Poverty Mapping	Railroad Monitor	State Department	One Step Processing
Sports Video	Aerial Biology	Train Crash	Geophysical Survey	Tree Growth	Merchant Marine	FBI	Autonomous Soaring
Runway Inspection	Flood Warning	Alligator Patrol	Plant Phenotyping	Crowd Control	Civil Air Patrol	NASA	Wing Flapping
Virtual Tours	Coffee Harvest	Flying Spotlights	Biostemetry	VIP Security	Department of Energy	Paparazzi Drones	Tethered Power
Shark Watch	Mosquito Breed Detect	Crane Ship Com	Climate Monitoring	Topographic Maps	Soil Moisture Level	Classroom Drone	Nuclear Inspection
Shark Warning	Crime Scene Photography	Climate Monitoring	Dam Inspection	Athletic Perf Improve			
Shark Repelling	Feral Hog Fighting			Predictor Control			

Εικόνα 2 : 300 εμπορικές εφαρμογές των μη επανδρωμένων οχημάτων(<http://www.uxvuniversity.com/wp-content/uploads/2014/05/comads.png>)

2. Μη επανδρωμένα οχήματα Εδάφους (UGV)

2.1 Ορισμός

Όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία από τον Gage (1995, σ.1) μη επανδρωμένο οχήμα εδάφους (UGV) ορίζεται *«ένα τηλεκατευθυνόμενο επίγειο όχημα (UGV) που αφορά οποιοδήποτε κομμάτι του μηχανοποιημένου εξοπλισμού που κινείται σε όλη την επιφάνεια του εδάφους και χρησιμεύει ως ένα μέσο μεταφοράς ή να μεταφέρει κάτι, αλλά ρητά δεν μεταφέρει ένα ανθρώπινο ον»*. Ωστόσο οι Nguyen-Huu et.al. (2009, σ.5), αναφέρουν ότι, ένα UGV *«μπορεί να οριστεί ως μια επίγεια μηχανική συσκευή που μπορεί να αισθανθεί και να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον»*.

Βέβαια, σε ένα τόσο μεγάλο εύρος πιθανών συστημάτων μη επανδρωμένων οχημάτων, απαιτείται και μια γενική οργανωτική αρχή. Η αρχή αυτή, για τον χαρακτηρισμό ενός οχήματος ως μη επανδρωμένου, μπορεί να βασιστεί σε οποιοδήποτε χαρακτηριστικό για την δημιουργία του οχήματος, συμπεριλαμβάνοντας πάντα ως βασικές αρχές της δομής του, τα ακόλουθα:

- Τον σκοπό της αναπτυξιακής προσπάθειας.
- Τους συγκεκριμένους λόγους για την επιλογή ενός UGV, όσον αφορά την εφαρμογή του (π.χ. το περιβάλλον που δραστηριοποιείται, τη δύναμη ή την αντοχή του, οι λειτουργικές του απαιτήσεις, ο περιορισμός του μεγέθους του).
- Τις τεχνολογικές προκλήσεις, όσον αφορά στη λειτουργικότητα, στην απόδοση ή στο κόστος, που τίθενται από την εφαρμογή του λογισμικού που απαιτείται για την λειτουργία του μη επανδρωμένου οχήματος.
- Την προβλεπόμενη ζώνη λειτουργίας του συστήματος (π.χ. εσωτερικά περιβάλλοντα, ή οπουδήποτε σε εσωτερικούς χώρους, εξωτερικούς χώρους ή τους υπαίθριους δρόμους, σε ανώμαλο έδαφος, στο βαθύ θαλάσσιο πυθμένα, κλπ).
- Την λειτουργία του οχήματος μετακίνησης (π.χ.οι τροχοί, τα κομμάτια, ή τα πόδια του)
- Τον τρόπο με τον οποίο καθορίζεται η πορεία του οχήματος, οι έλεγχοι πλοήγησης και οι τεχνικές που απαιτούνται (Gage, 1995, σ.1).

Στο σημείο αυτό η ανάλυση της βασικής δομής των μη επανδρωμένων οχημάτων θα βοηθήσει τον αναγνώστη στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας τους.

2.2 Η δομή των UGV

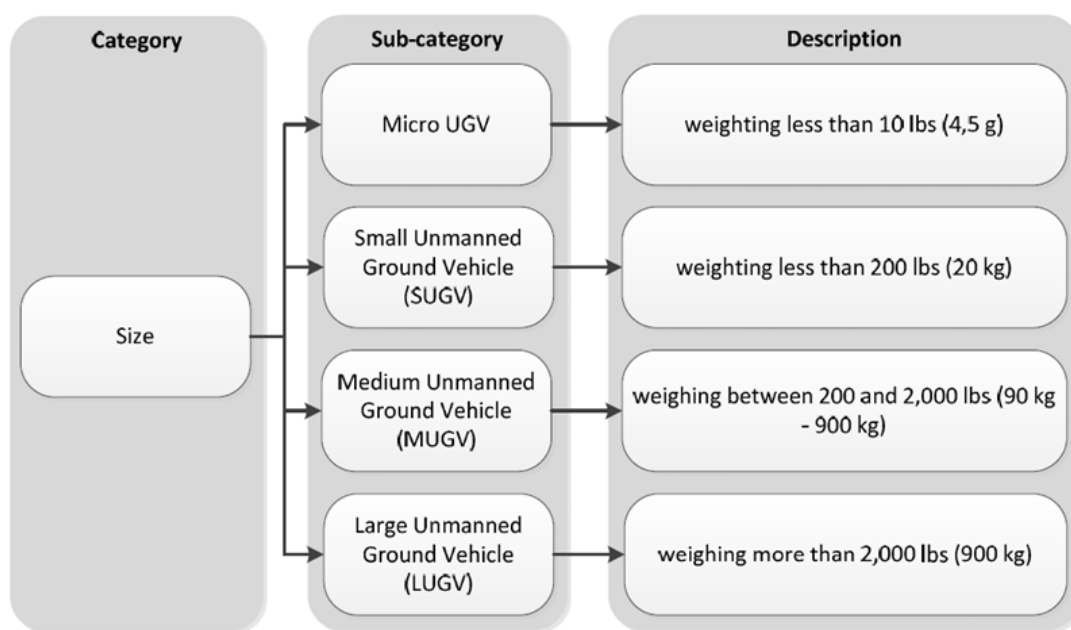
Σύμφωνα με τους Khurshid και Bing-Rong (2004) οι δόμες μεταξύ των UGV διαφέρουν από σύστημα σε σύστημα αλλά ο συνήθης βασικός κορμός τους αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

- **Αισθητήρες:** Ένα ρομπότ εδάφους πρέπει να έχει έναν ή περισσότερους αισθητήρες για να αντιληφθεί το περιβάλλον. Διαμέσου των αισθητήρων αυτών, επιτρέπεται και η ελεγχόμενη κίνησή του. Η ακρίβεια των αισθητήρων είναι εξαιρετικά σημαντική για ένα ρομπότ που δραστηριοποιείται σε εξαιρετικά απρόβλεπτα περιβάλλοντα, όπως σε πεδίο μάχης ή σε περίπτωση πυρκαγιών.
- **Πλατφόρμα:** Η πλατφόρμα παρέχει την μετακίνηση στο όχημα. Επιπροσθέτως αποτελεί και ένα βοηθητικό πρόγραμμα υποδομών και ενέργειας για το ρομποτικό σύστημα. Η ρύθμιση των παραμέτρων της πλατφόρμας, επιφέρει ισχυρή επίδραση σχετικά με το επίπεδο της αυτονομίας του μη επανδρωμένου οχήματος και την αλληλεπίδραση του συστήματος σε ένα μη δομημένο περιβάλλον. Η πλατφόρμα είναι ιδιαίτερα διαμορφώσιμη και συνήθως οι κινητές πλατφόρμες είναι το καλύτερο για την αδόμητη έκταση.
- **Έλεγχος:** Το επίπεδο της αυτονομίας και η νοημοσύνη του ρομπότ εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα συστήματα ελέγχου, τα οποία κυμαίνονται από κλασικούς αλγόριθμικούς ελέγχους σε πιο εξελιγμένες μεθόδους, όπως η ιεραρχική μάθηση, ο προσαρμοστικός έλεγχος, η λειτουργία με ουδέτερα δίκτυα και οι πολλαπλές ρομποτικές συνεργασίες.
- **Διεπαφή ανθρώπου-μηχανής:** Η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής εξαρτάται από το πώς ελέγχεται το ρομπότ. Η διεπαφή θα μπορούσε να είναι ένα joystick και ένας πίνακας ελέγχου (στην περίπτωση των teleoperation), ή πιο προηγμένη, όπως μέσω φωνητικών εντολών από τον χειριστή.
- **Επικοινωνία:** Η επικοινωνία είναι απαραίτητη κυρίως στην περίπτωση στρατιωτικών ρομπότ, όπου η ακρίβεια και το απόρρητο της ανταλλαγής πληροφοριών είναι ζωτικής σημασίας. Η επικοινωνία γίνεται μεταξύ ανθρώπων και ρομπότ και ενδεχομένως, μεταξύ των ρομπότ. Τα πιο εξελιγμένα ρομπότ εδάφους περιλαμβάνουν και τον άνθρωπο στην

απόφαση κάνοντας κύκλο, ενώ το ρομπότ είναι σε λειτουργία. Αυτό απαιτεί μια σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ του ανθρώπου και του οχήματος.

2.3 Αρχιτεκτονικές στα UGV

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει μια συνοπτική αναφορά στις αρχιτεκτονικές τεχνικές για την σχεδίαση και την κατασκευή μη επανδρωμένων οχημάτων εδάφους, α) με σκέλη και β) με τροχοφόρα οχήματα, (εναλλακτικά μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το μέγεθος τους (Εικόνα 3)).



Εικόνα 3: Ταξινόμηση των UGV

2.3.1 Μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους με σκέλη

Η μετακίνηση ενός ρομπότ με σκέλη χαρακτηρίζεται από μια σειρά σημείων επαφής μεταξύ του ρομπότ και του εδάφους. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα αυτών των οχημάτων, είναι η προσαρμοστικότητα και η ικανότητα ελιγμών πάνω σε ανώμαλα εδάφη. Εξαιτίας των σημείων που απαιτούνται για την μετακίνηση του συγκεκριμένου τύπου οχήματος, η ποιότητα του εδάφους μεταξύ αυτών των σημείων δεν επηρεάζει την κίνηση του ρομπότ, εφόσον πάντα αυτό μπορεί να διατηρεί επαφή με ομαλό σχετικά έδαφος. Τέλος, τα ρομπότ με σκέλη κατέχουν την ικανότητά να χειρίζονται αντικείμενα του περιβάλλοντός τους με αρκετά μεγάλη επιδεξιότητα. Το βασικό μειονέκτημα των συγκεκριμένων ρομπότ είναι η

ενέργεια που χρειάζονται για την εκτέλεση των εντολών τους, και η μηχανική τους πολυπλοκότητα (Αθανασάκη, 2015, σ.58-65).

2.3.2 Τροχοφόρα μη επανδρωμένα οχήματα

Ο τροχός είναι ο πιο δημοφιλής μηχανισμός κίνησης στην κινητή ρομποτική και γενικά στα τεχνητά οχήματα. Με τον τροχό επιτυγχάνονται πολύ καλές αποδόσεις, ενώ η λειτουργία του απαιτεί μια σχετικά απλή μηχανική εφαρμογή. Επιπλέον, συνήθως τα τροχοφόρα ρομπότ δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα ισορροπίας αφού είναι σχεδόν πάντα σχεδιασμένα έτσι ώστε όλοι οι τροχοί να βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος. Έτσι, τρεις τροχοί είναι επαρκής ώστε να εξασφαλίζεται η ισορροπία του οχήματος. Το ζήτημα της ισορροπίας όντας λυμένο, η έρευνα για τα τροχοφόρα ρομπότ τείνει να επικεντρωθεί στα προβλήματα της πρόσφυσης, της ευστάθειας και της ευελιξίας τους. Το βασικό άλυτο μέχρι τώρα ερώτημα αναφορικά με τα συγκεκριμένα οχήματα, είναι εάν μπορούν οι τροχοί να παρέχουν επαρκή πρόσφυση και ευστάθεια ώστε το ρομπότ να μπορεί να καλύψει τα δυσκολότερα είδη εδάφους και να ελέγχει ταυτόχρονα και την ταχύτητά του (Αθανασάκη, 2015, σ.58-65).

Η περιγραφή των μη επανδρωμένων οχημάτων που προηγήθηκε, θέτει το υπόβαθρο για την ανάλυση του λογισμικού και των αλγορίθμων που τα οχήματα αυτά χρησιμοποιούν, προκειμένου να επιτύχουν την λειτουργία τους.

3. Πλοήγηση

3.1 Ορισμός

Για ένα κινούμενο ρομπότ, η ικανότητα της πλοήγησης είναι από τις σημαντικότερες λειτουργίες του. Η λειτουργικότητα του ρομπότ, η ικανότητα δηλαδή να αποφεύγει επικίνδυνες καταστάσεις, όπως για παράδειγμα συγκρούσεις με αντικείμενα που βρίσκονται ενός του χώρου εκτέλεσης της λειτουργίας του, και να παραμένει σε ασφαλείς συνθήκες (π.χ. θερμοκρασιακά, ακτινοβολία, έκθεση σε καιρικές συνθήκες κτλ) είναι πρωταρχικό ζήτημα (αλλά και για οποιαδήποτε εργασία που θα πρέπει να πραγματοποιηθεί και σχετίζεται με συγκεκριμένα μέρη στο περιβάλλον του ρομπότ η πλοήγηση είναι απαραίτητη).

Πλοήγηση ενός συστήματος θεωρείται ο συνδυασμός των τριών κατωτέρω υπολειτουργιών:

- Προσδιορισμός της θέσης του (ατομική πλοήγηση)
- Σχεδιασμός τροχιάς – τοπική αποφυγή εμποδίων (τοπική πλοήγηση)
- Σχεδιασμός και ερμηνεία χάρτη (γενική πλοήγηση).

Ο χάρτης με αυτήν την έννοια αποτελεί μια ένα-προς-ένα απεικόνιση του χώρου σε μια εσωτερική αναπαράσταση. Ο προσδιορισμός θέσης αποτελεί την δεξιότητα του ρομπότ να εκτιμάει τη διάταξή του ως προς ένα γενικό πλαίσιο αναφοράς. Ο σχεδιασμός της τροχιάς την οποία θα ακολουθήσει το όχημα αποτελεί μια επέκταση της διαδικασίας προσδιορισμού θέσης και απαιτεί τον προσδιορισμό της τρέχουσας θέσης και της θέσης που επιθυμούμε να οδηγηθεί το όχημα, ενώ και οι δύο θέσεις θα συνυπάρχουν σε ένα κοινό πλαίσιο αναφοράς. Έτσι η κατασκευή του χάρτη (της τροχιάς) δεν περιλαμβάνει μόνο τα στοιχεία που βάσει εμπειρίας περιέχει κάθε χάρτης (μερικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος), αλλά και κάθε άλλο σημάδι που υποδηλώνει τοποθεσία μέσα στο πλαίσιο αναφοράς που έχει τεθεί για την κίνηση του οχήματος (Ρωσσίδης, 2012, σσ. 33-34).

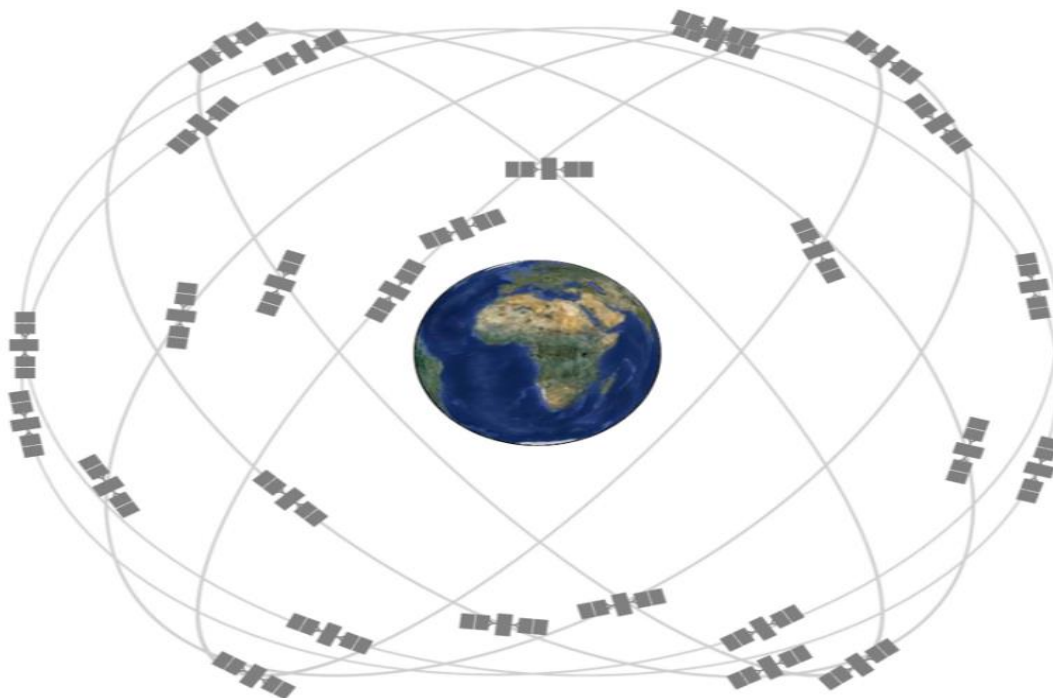
Στην ενότητα που ακολουθεί, θα γίνει εκτενής αναφορά στα σημαντικότερα μέσα πλοήγησης.

3.2 Μέσα Πλοήγησης

Τα σημαντικότερα μέσα που χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση, και θα αναλυθούν αμέσως παρακάτω, είναι το GPS, το γυροσκόπιο, και οι πυξίδες.

3.3 Global Positioning System(GPS)

Το GPS είναι ένα δορυφορικό σύστημα πλοήγησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή στοιχείων για τον χρόνο και την τοποθεσία με βάση στοιχεία της ταχύτητας. Το GPS βασίζεται σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από τουλάχιστον 24 δορυφόρους (Iqbal et al., 2012) που εκπέμπουν κωδικοποιημένα ραδιοκύματα. Επίγειοι δέκτες GPS υπολογίζουν το εύρος τουλάχιστον τέσσερων δορυφόρων και βάσει της αρχής του τριπλευρισμού, υπολογίζουν τη θέση (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και υψόμετρο) και την ταχύτητα του προς παρατήρηση αντικειμένου. Θεωρητικά, μόνο τρεις δορυφόροι απαιτούνται για τον τριπλευρισμό, αλλά το σήμα του τέταρτου δορυφόρου χρησιμοποιείται για να αφαιρούνται τυχόν σφάλματα του δέκτη. Ένα κύριο σημείο ελέγχου αποτελεί ο σταθμός στο Κολοράντο Σπρινγκς των ΗΠΑ, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος, βάσει των πληροφοριών που παρέχονται από διάφορους σταθμούς παρακολούθησης και έχουν τοποθετηθεί σε ολόκληρη την υδρόγειο, εξασφαλίζοντας παράλληλα και την ακρίβεια της διαβίβασης δεδομένων και σημάτων ελέγχου στους δορυφόρους (Iqbal, 2012, σ. 32).



Εικόνα 3: Δίκτυο δορυφόρων

3.3.1 Έλεγχος Gps

Το τμήμα ελέγχου του GPS αποτελείται από ένα δίκτυο σταθμών παρακολούθησης που τοποθετούνται σε όλη τη Γη, (όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3), και ένα σταθμό ελέγχου (MCS) που βρίσκεται στο Κολοράντο Σπρινγκς, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Αυτός ο σταθμός ελέγχου MCS είναι επανδρωμένος ανά πάσα στιγμή (Groves, 2013, σ.440). Υπάρχουν δεκαέξι (16) σταθμοί παρακολούθησης που βρίσκονται σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων έξι (6) από την Πολεμική Αεροπορία και δέκα (10) από την Εθνική Υπηρεσία Geospatial-Intelligence (NGA) που βρίσκονται γύρω από τη Γη, των οποίων οι θέσεις είναι γνωστές με μεγάλη ακρίβεια. Οι σταθμοί αυτοί είναι εξοπλισμένοι με υψηλής ποιότητας δέκτες GPS και ένα ταλαντωτή καισίου για την παρακολούθηση όλων των δορυφόρων ορατότητάς τους. Ο MCS λειτουργεί και ελέγχει εξ αποστάσεως αυτούς τους σταθμούς ελέγχου, επί του εδάφους (Iqbal, 2012, σ. 19).

Τα κύρια καθήκοντα του συγκεκριμένου τμήματος επιχειρησιακού ελέγχου είναι:

(Α) η παρακολούθηση και η συντήρηση των τροχιών, και της καλής κατάστασης των δορυφόρων μέσω ελιγμών και μετεγκαταστάσεων.

(Β) η διατήρηση της ώρας του GPS.

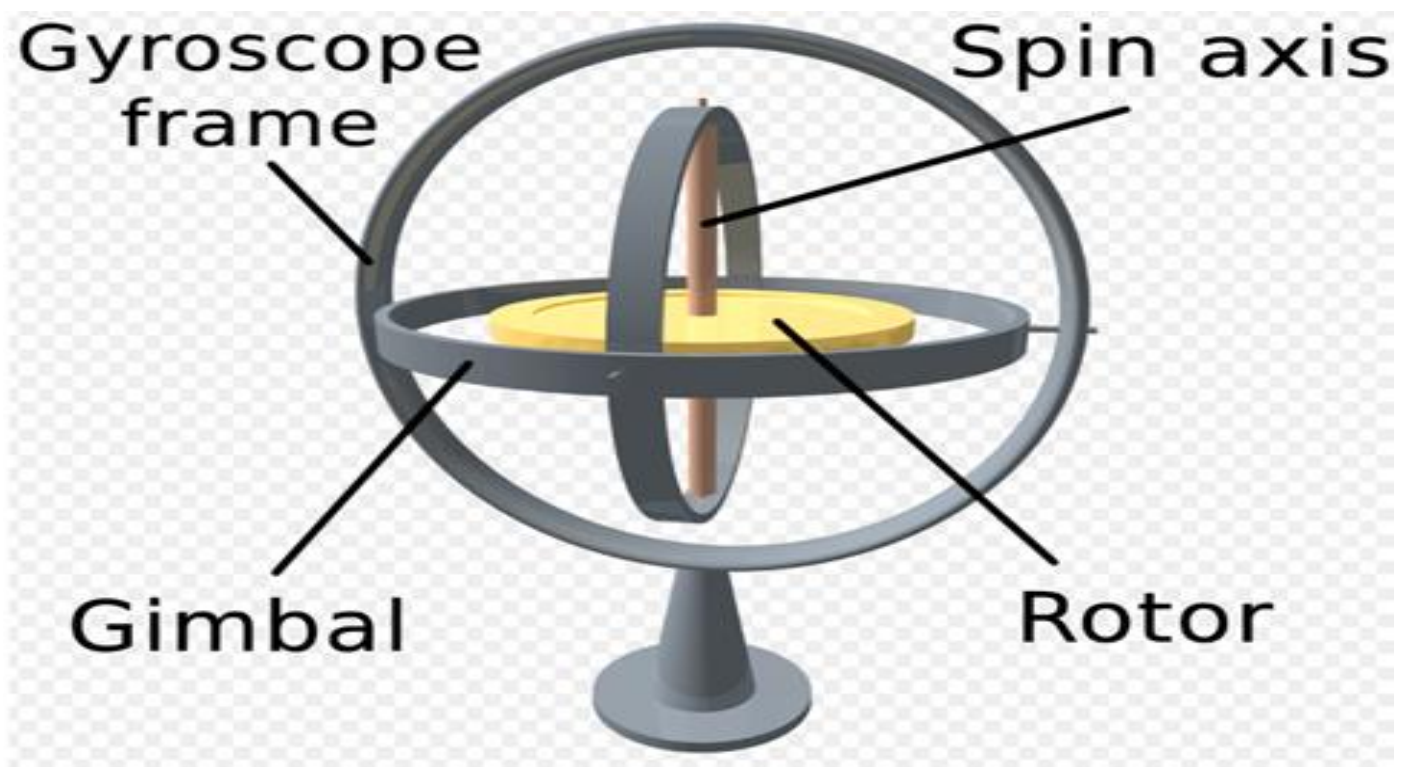
(Γ) η πρόβλεψη της ευημερίας των δορυφόρων και των ορολογιακών παραμέτρων

(Δ) η ενημέρωση των μηνυμάτων πλοήγησης μέσω δορυφόρου σε τακτά χρονικά διαστήματα (τουλάχιστον μία φορά την ημέρα). Αυτό το τμήμα αποτελείται από χρήστες με ραδιοφωνικούς δέκτες, οι οποίοι λαμβάνουν σήματα από τους δορυφόρους GPS, τα οποία εν συνεχεία υπολογίζουν τη θέση τους, την ταχύτητα και το χρόνο.

Οι χρήστες του GPS μπορούν να ταξινομηθούν σε πολιτικούς και στρατιωτικούς. Το τμήμα «χρήστης» βιώνει εκθετική αύξηση από την αρχή, λόγω της μείωσης των τιμών του δέκτη και την αυξανόμενη εφαρμογή του GPS στην καθημερινή ζωή. Όταν ένας δέκτης GPS είναι ενεργοποιημένος, αποκτά τα δορυφορικά σήματα GPS. Το σήμα υφίσταται επεξεργασία, και η θέση του δέκτη καθορίζεται από την τομή των σφαιρών που δημιουργούνται από τις δορυφορικές ψευδοαποστάσεις. Απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερις δορυφόροι με καλή γεωμετρία. Οι τρεις δορυφόροι χρησιμοποιούνται για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης, ενώ ο τέταρτος βοηθά στην ρύθμιση αστάθμητων παραγόντων (Iqbal, 2012, σ. 20-21).

3.4 Γυροσκόπιο

Τα Γυροσκόπια (επίσης γνωστά για συντομία και ως "γύρος") έχουν ιδιαίτερη σημασία για την θέση των κινητών ρομπότ, επειδή δίνουν την δυνατότητα να αντισταθμιστεί η κύρια αδυναμία της μέτρησης των χιλιομετρικών αποστάσεων: σε μια μέθοδο εντοπισμού θέσης και μέτρησης χιλιομετρικών αποστάσεων, που τροποποιείται με κάθε μικρό λάθος με οποιονδήποτε στιγμιαίο προσανατολισμό, το οποίο μπορεί να προκαλέσει μια συνεχώς αυξανόμενη, εσφαλμένη θέση. Για το λόγο αυτό θα είναι μεγάλο το όφελος εαν σφάλματα που αφορούν στον προσανατολισμό, ανιχνεύονται και διορθώνονται αμέσως. Μέχρι πρόσφατα, τα γυροσκόπια ήταν εξαιρετικά δαπανηρά για εφαρμογές κινητών ρομπότ. Ωστόσο, στα πρόσφατα γυροσκόπια οπτικών ινών (ονομάζονται επίσης και "γυροσκόπια λέιζερ"), που είναι γνωστά για την ακρίβειά τους, έχει παρατηρηθεί σημαντική μείωση της τιμής γεγονός που τα μετατρέπει σε μια πολύ ελκυστική λύση για την κινητική πλοήγηση ρομπότ (Borenstein et al.,1997, σ.6).



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope#/media/File:3D_Gyroscope.png

3.5 Πυξίδες

Η πυξίδα είναι μια συνάρτηση μεταξύ του χρόνου και του ρομπότ. Με τον όρο πυξίδα ορίζεται «η λειτουργία εξόδου μιας βόρειας κατεύθυνσης για μερικά ρομπότ r τη χρονική στιγμή t » (Souissi et al., 2009, σ.9-10). Πιο αναλυτικά, με πυξίδα (t) , σημειώνουμε την κατεύθυνση του Βορρά στην πυξίδα του ρομπότ r , τη χρονική στιγμή t . Με άλλα λόγια, δίνεται ένα καθολικό σύστημα συντεταγμένων που δεν είναι γνωστό για τα ρομπότ. Ενώ τα βασικά είδη πυξίδας που χρησιμοποιούνται για πλοήγηση είναι οι μαγνητικές πυξίδες, και οι γυροσκοπικές πυξίδες, η ανάλυση των οποίων ακολουθεί αμέσως παρακάτω.

3.5.1 Μαγνητικές πυξίδες

Η κατηγορία αυτή είναι η πιο σημαντική για το όχημα από τις παραμέτρους πλοήγησης (x , y ,) όπου ασκεί μεγάλη επιρροή σχετικά με τα συσσωρευμένα καταγεγραμμένα σφάλματα. Για το λόγο αυτό, οι αισθητήρες παρέχουν ένα μέτρο της απόλυτης κίνησης, αποτελεί προϋπόθεση για την επίλυση των αναγκών πλοήγησης των αυτόνομων πλατφόρμων. Η μαγνητική πυξίδα κατά βάση, είναι ένας τέτοιος αισθητήρας. Ένα μειονέκτημα της μαγνητικής πυξίδας, ωστόσο, είναι ότι το γήινο μαγνητικό πεδίο είναι συχνά παραμορφωμένο κοντά σε γραμμές μεταφοράς ενέργειας ή χάλυβα με αποτέλεσμα η πλοήγηση να μην είναι ακριβής (Byrne et al., 1992 όπως αναφέρετε στον Borenstein et al., 1997, σ.7). Αποτέλεσμα αυτών να καθιστάται δύσκολη την απλή χρήση τους, από τους γεωμαγνητικούς αισθητήρες για εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους.

Οι πυξίδες είναι βασισμένες σε μια ποικιλία από φυσικές συνέπειες που σχετίζονται με το γήινο μαγνητικό πεδίο, όπου διαφορετικοί τύποι αισθητήρων είναι διαθέσιμοι:

- Μηχανικές μαγνητικές πυξίδες.
- Πυξίδες Fluxgate.
- Πυξίδες φαινομένου Hall.
- Magnetoresistive πυξίδες.
- Μαγνητοελαστικές Πυξίδες.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, μια πυξίδα fluxgate είναι ίσως η πλέον καταλληλότερη για χρήση από κινητά ρομπότ. Η πυξίδα αυτή όταν διατηρείται σε ένα σταθερό επίπεδο, μετρά την οριζόντια συνιστώσα της καθώς και το μαγνητικό πεδίο της γης. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της είναι η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος, ενώ ένα σημαντικό της

μειονέκτημα αποτελεί η μη αντοχή αυτής σε κραδασμούς και δονήσεις. Είναι πυξίδα ταχείας εκκίνησης, ενώ έχει σχετικά χαμηλό κόστος. (Borenstein et al ., 1997, σ.7).

3.5.2 Γυροσκοπικές πυξίδες

Γυροσκοπική πυξίδα, ή *γυροπυξίδα*, (εκ του αγγλικού όρου Gyrocompass), ονομάζεται η πυξίδα της οποίας η λειτουργία βασίζεται στην κίνηση του γυροσκοπίου αντί της μαγνητικής βελόνας που φέρουν οι μαγνητικές πυξίδες. Κύριο και βασικό πλεονέκτημα των γυροσκοπικών πυξίδων έναντι των μαγνητικών, είναι ακριβώς ότι ο άξονας περιστροφής του γυροσκοπίου τους στρέφεται προς την κατεύθυνση του αληθιού Βορρά – Νότου και παραμένει σταθερά εκεί. Μπορεί να αναφερθεί ως μειονέκτημα, ότι δεν επηρεάζεται από την μαγνητική απόκλιση ή να παρεκτρέπεται από αυτήν (Wikipedia, 2016).

Επιπρόσθετα μειονεκτήματα, συναντώνται στις μαγνητικές πυξίδες τα οποία προέρχονται αφενός από το γήινο μαγνητικό πεδίο και αφετέρου από την επίδραση του περίξ μαγνητικού πεδίου (εξ αιτίας φορτίου και διερχομένων ηλεκτροφόρων καλωδίων). Συνέπεια αυτών, να θεωρούνται αμφιβόλου ακριβείας αφού δεν υφίσταται δυνατότητα έγκαιρου ελέγχου των ενδείξεών τους με την παρατήρηση. Με τα ανωτέρω μπορεί κανείς εύκολα να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι όλες οι ενδείξεις των γυροσκοπικών πυξίδων είναι πάντα αληθείς και συνεπώς δεν χρήζουν διορθώσεων (Wikipedia, 2016).

Το κύριο ερώτημα για τις πυξίδες αυτές είναι τι γίνεται αν σημειωθεί διακοπή ηλεκτρικής παροχής. Η πραγματική απάντηση θα είναι πως η πορεία του οχήματος δεν θα επηρεαστεί, αφού μια διακοπή θα διακόψει την λειτουργία του ρομποτ μέχρι να μπορέσει να επανεκκινήσει τις μηχανές του. Παρά τα ανωτέρω εκτεθέντα προβλήματα και μειονεκτήματα των μαγνητικών πυξίδων, εικάζεται ότι οι μαγνητικές πυξίδες θα εξακολουθούν να παραμένουν κύρια όργανα πλοήγησης - κατεύθυνσης και προσανατολισμού των διαφόρων τύπων οχημάτων ως υποκείμενα σε μηχανικές βλάβες, υπό οποιεσδήποτε συνθήκες (Wikipedia, 2016).

Αντίθετα οι γυροσκοπικές πυξίδες αποτελούν περίπλοκους ηλεκτρικούς μηχανισμούς που υπόκεινται, όπως είναι φυσικό, σε ειδική διαδικασία, κατά τύπο, συντήρηση και ποικιλία βλαβών. Σε συνέχεια της ανάλυσης των μέσων πλοήγησης, ακολουθεί η περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση (Wikipedia, 2016).

3.6 Μέθοδοι Πλοήγησης

Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθούν οι σημαντικότερες μέθοδοι πλοήγησης για έναν ερευνητή, ήτοι η οδομετρία και η λεγόμενη ακολουθία γραμμής.

3.7 Οδομετρία

«Η οδομετρία χρησιμοποιεί τα δεδομένα από τους αισθητήρες κίνησης για να εκτιμήσει την αλλαγή της θέσης κατά την πάροδο του χρόνου από οχήματα με κινητά μέλη ή τροχοφόρα ρομπότ για να εκτιμηθεί η θέση τους σε σχέση με μια θέση εκκίνησης. Αυτή η μέθοδος είναι ευαίσθητη σε σφάλματα λόγω της ενσωμάτωσης των μετρήσεων της ταχύτητας συναρτήσει του χρόνου για να αποδοθεί η εκτίμηση για τη θέση του» (Wikipedia, 2016).

Οδομετρία είναι η πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος πλοήγησης για κινητά ρομπότ. Παρέχει ικανοποιητική βραχυπρόθεσμη ακρίβεια, είναι μια οικονομική λύση, και επιτρέπει πολύ υψηλά ποσοστά δειγματοληψίας. Ωστόσο, η θεμελιώδης ιδέα της μέτρησης χιλιομετρικών αποστάσεων είναι η ενσωμάτωση των στοιχειωδών πληροφοριών κίνησης στην πάροδο του χρόνου, η οποία οδηγεί αναπόφευκτα στην απεριόριστη συσσώρευση των λαθών. Πιο συγκεκριμένα, τα σφάλματα προσανατολισμού θα προκαλέσουν μεγάλα λάθη στην πλευρική θέση του οχήματος, τα οποία αυξάνουν αναλογικά με τη διανυόμενη απόσταση από το ρομπότ.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν ότι η μέθοδος της οδομετρίας είναι ένα σημαντικό μέρος ενός συστήματος πλοήγησης ρομπότ και ότι οι εργασίες πλοήγησης θα απλουστευθούν αν η ακρίβεια της οδομετρικής μεθόδου μπορέσει να βελτιωθεί.

Για παράδειγμα ο Cox (1991), Byrne et al. (1992), και Chenavier & Crowley (1992), προτείνουν μεθόδους για τη σύντηξη των οδομετρικών δεδομένων, με μετρήσεις απόλυτης θέσης ώστε να αποκτήσουν μια πιο αξιόπιστη εκτίμηση θέσης. Η μέθοδος της Οδομετρίας βασίζεται σε απλές εξισώσεις, το οποίο θα συλλέγει στοιχεία της κίνησης ενός κινητήριου τροχού, όπου μπορεί να μεταφραστεί με ακρίβεια σε μια γραμμική μετατόπιση σε σχέση με το έδαφος. Ωστόσο, σε μια περίπτωση ολίσθησης των τροχών ή κάποιων άλλων πιο λεπτών αιτιών, οι περιστροφές των τροχών μπορεί να μην μεταφράστούν αναλογικά σε μια γραμμική κίνηση.

Τα προκύπτοντα σφάλματα μπορούν να ταξινομηθούν σε μία από τις κατωτέρω δύο ομάδες: τα συστηματικά σφάλματα και τα μη συστηματικά σφάλματα (Borenstein & Feng, 1996, σ.3). Συστηματικά είναι τα σφάλματα που προκύπτουν από κινηματικές ατέλειες του ρομπότ, για παράδειγμα, η άνιση διάμετρος μεταξύ των τροχών ή η αβεβαιότητα σχετικά με τον άξονα. Μη συστηματικά σφάλματα είναι τυχόν σφάλματα που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση του δαπέδου με τους τροχούς, π.χ., την ολίσθηση των τροχών ή προσκρούσεις και ρωγμές. Συνήθως, όταν σε ένα κινητό σύστημα έχει εγκατασταθεί ένα υβριδικό σύστημα οδομετρικής πλοήγησης με ορόσημα, η πυκνότητα στην οποία τα ορόσημα πρέπει να τοποθετηθούν στο περιβάλλον προσδιορίζεται εμπειρικά και βασίζεται στις χειρότερες περιπτώσεις των συστηματικών λάθων. Τέτοια συστήματα είναι πιθανό να αποτύχουν όταν συμβαίνουν ένα ή περισσότερα μεγάλα μη συστηματικά σφάλματα (Borenstein et al., 1997, σ.3).

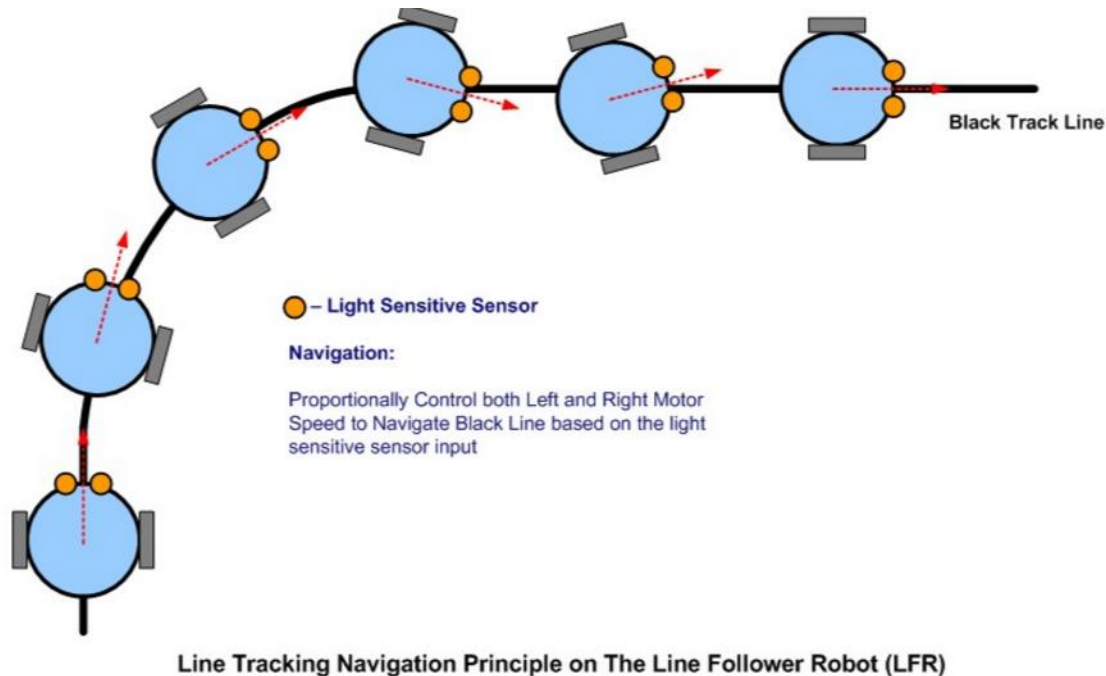
3.8 Ακολουθία Γραμμής

Η ακολουθία γραμμής είναι μια ευρέως διαδομένη τεχνική πλοήγησης ενός κινητού ρομπότ και αποτελεί συνήθως την πρώτη μέθοδο την οποία εξερευνά ο κάθε ερευνητής που θέλει να ασχοληθεί με τον τομέα αυτό. Η κεντρική ιδέα αναφέρεται στην ακολουθία μια γνώστης επίπεδης γραμμής. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί διάφορους αισθητήρες για την συλλογή πληροφοριών για το περιβάλλον και αναδιατυπώνει την συμπεριφορά του ρομπότ, σύμφωνα με τις πληροφορίες αυτές.

Για την υλοποίηση μιας τέτοιας μεθόδου απαιτείται ένας αισθητήρας φωτός τοποθετημένος στο εμπρός τμήμα του ρομπότ όπου κοιτά στο περιβάλλον μπροστά και κάτω από το ρομπότ. Αφενός όμως, στην μέθοδο αυτή, υφίσταται η δυνατότητα για την χρήση περισσότερων τέτοιων αισθητήρων, και αφετέρου όσοι περισσότεροι αισθητήρες χρησιμοποιηθούν τόσο πιο ορθά δεδομένα με βάση την γραμμή θα μεταφέρονται στο ρομπότ (Χριστοφόρου, 2011, σ.35-36).

Πιο αναλυτικά, για την ανάπτυξη μιας τέτοιας μεθόδου, χρησιμοποιείται ο πιο ευρέως διαδεδομένος ελεγκτής, ο ελεγκτής PID. Ο PID ουσιαστικά προσπαθεί να μειώσει το σφάλμα το οποίο προκύπτει μεταξύ της διαφοράς της τιμής του επιπέδου φωτεινότητας που διαβάζεται από τον αισθητήρα φωτός και της επιθυμητής τιμής φωτεινότητας όταν ο αισθητήρας κοιτά στην μέση μεταξύ της γραμμής και του επιπέδου.

Με γνώμονα τα παραπάνω, ο ελεγκτής προσαρμόζει τις τιμές που λαμβάνει από τους αισθητήρες κινώντας το ρομπότ είτε αριστερά είτε δεξιά της γραμμής, δίνοντας διαφορετική επιτάχυνση σε κάθε τροχό (Εικόνα 5).



Εικόνα5: Path following method

https://www.google.gr/search?q=line+following&espv=2&biw=1745&bih=854&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjmbL7nLzQAUCUHQKHUOCBWkQ_AUIBigB#imgrc=8C8pRqsnLz9ccM%3A

Για την ρύθμιση ενός τέτοιου ελεγκτή υπάρχουν διάφορες μέθοδοι. Οι ευρέως διαδομένοι είναι οι Cohen-Coon, Manual Tuning και Ziegler-Nichol (Χριστοφόρου, 2011, σ.35-36)

3.8.1 Ελεγκτής PID

Κατά το πέρασμα των δεκαετιών, η θεωρία ελέγχου πραγματοποιεί σημαντικά βήματα προόδου. Αναπτύχθηκαν έξυπνοι αλγόριθμοι και σύνθετοι μη-γραμμικοί νόμοι ελέγχου. Ωστόσο ένας ελεγκτής PID εξακολουθεί να είναι ο δημοφιλέστερος στον τομέα της βιομηχανίας. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ελεγκτών που χρησιμοποιούνται είναι ελεγκτές PID. Ο ελεγκτής αυτός κρίνεται κατάλληλος για την εφαρμογή σε μεγάλο ευρος πιθανών συστημάτων για τον έλεγχο όπως για παράδειγμα, διεργασίες βιομηχανιών, κινητήρια

συστήματα, υποσυστημάτων σε αυτοκίνητα και πλοία μέχρι έλεγχο μηχανισμών σε κέντρα αποθήκευσης δεδομένων (Θάνου, 2011, σ.38). Οι μορφές που μπορεί να πάρει ένας τέτοιος ελεγκτής ποικίλλουν ανάλογα με την χρήση τους. Μπορεί να αποτελούν αυτόνομες συσκευές ή να βρίσκονται ενσωματωμένοι πάνω σε συσκευές ενός καταναλωτή.

Ο όρος PID, πιο συγκεκριμένα ονομάζεται Proportional-αναλογικός, Integral-ολοκληρωτικός, Derivative-διαφορικός. Ένας ελεγκτής PID λειτουργία του αποσκοπεί στον υπολογισμό της συνεχούς τιμής τους σφάλματος ως η διαφορά ανάμεσα σε ένα επιθυμητό σημείο και μια μετρούμενη μεταβλητή με γνώμονα την λειτουργία του ελέγκτη. Επιπρόσθετα εφαρμόζει μια διόρθωση με βάση την αναλογική, την ολοκληρωματική, καθώς και τα παράγωγα του όρου. Πιο αναλυτικά από κάθε όρο του ελεγκτη PID λαμβάνουμε τα εξής δεδομένα για κάθε έναν όρο.

- **Την αναλογική (Proportional Feedback).** Με την αναλογική ανάδραση το σήμα ελέγχου είναι ανάλογο του σφάλματος δηλαδή η διαφορά του σήματος της εισόδου με το σήματος της εξόδου.

$$u = K_p e \quad \text{ή} \quad D(s) = K_p$$

Στην πλειοψηφία των συστημάτων υπάρχει ένα τυπικά ανώτερο σημείο της απολαβής της αναλογικής ανάδρασης κατά το οποίο πετυχαίνουμε μία σταθερή, χωρίς ταλάντωση απόκριση και ταχύτερος μηδενισμός της ταλάντωσης σημαίνει, ταχύτερη απόκριση. Η αναλογική ανάδραση αυξάνει την ταχύτητα του μηδενισμού του σφάλματος και σε μερικές περιπτώσεις ασυναίσθητα το εκμηδενίζει (Στάμκος, 2015, σ.14).

- **Την ολοκληρωτική (Integral Feedback).** Σε αυτή την ανάδραση ένα σημαντικό πλεονέκτημα της είναι ότι μπορεί να παρέχει μία τετελεσμένη τιμή ενός σήματος ελέγχου u όπου έχει σαν είσοδο μηδενικό σήμα σφάλματος.

$$u(t) = \frac{K_p}{T_I} \int_0^t e dt \quad \text{ή} \quad D(s) = \frac{K_p}{T_I s}$$

Όπου T_I είναι ο χρόνος ολοκλήρωσης και $1/T_I$ ο ρυθμός της ολοκλήρωσης

Αυτό πραγματοποιείται καθώς ο ελεγκτης χρησιμοποιεί τιμές ενός προγενέστερου σφάλματος αντί ενός χρονικά νεότερου, όπως στην περίπτωση της αναλογικής ανάδρασης. Αυτό μας εξάγει το συμπέρασμα ότι μια τιμή από προηγούμενο σφάλμα θα παραμείνει στον ολοκληρωτή ακόμα και αν το σφάλμα μηδενισθεί. Με αυτή τη δυνατότητα μπορεί μία

διαταραχή να εξομαλυνθεί γιατί δεν είναι πλέον απαραίτητο το σφάλμα να μην είναι μηδενικό για να παράγει ένα έλεγχο ο οποίος θα αναιρέσει τη διαταραχή. Ο πρωταρχικός στόχος του ολοκληρωτικού ελέγχου είναι να εξομαλύνει ή να εκμηδενίσει το σφάλμα σταθερής κατάστασης. Βέβαια το πλεονέκτημα αυτο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της σταθερότητας του συστήματος (Στάμκος, 2015, σ.14).

- **Την Διαφορική (Derivative Feedback).** Τυπικά χρησιμοποιείται με την ύπαρξη της αναλογική ή την ολοκληρωτική ανάδρασης με σκοπό την καλυτέρευση της σταθερότητας ενός συστήματος. Ωστόσο αν ένα σύστημα έχει ένα φυσικό αναλογικό όρο, ή κάποιο ισοδύναμο σε καμία περίπτωση δεν μπορεί από μόνος του να μηδενίσει το σφάλμα. Με την κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων του PID ελεγκτή μπορούν να πραγματοποιηθούν οι PI και PD ελεγκτές οι οποίοι βοηθούν στη μελέτη, αναλυτικότερα, του PID ελεγκτή (Στάμκος, 2015, σ.15).

4. Εντοπισμός

4.1 Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης

Το βασικό πρόβλημα εντοπισμού της θέσης ενός ρομποτικού συστήματος, είναι ο καθορισμός της ακριβούς θέσης του. Αυτό σημαίνει ότι το ρομπότ πρέπει να ξέρει την θέση του σε σχέση με το περιβάλλον. Όταν γίνεται λόγος για την θέση (location), του οχήματος, εννοούνται οι συντεταγμένες x και y , καθώς επίσης και η γωνία κατεύθυνσης ενός ρομπότ ως προς ένα σύστημα αναφοράς (Ρωσσίδης, 2012, σ.34).

Η διαδικασία εντοπισμού θέσης είναι αντικείμενο εντατικής έρευνας την τελευταία δεκαετία και υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι οι οποίες ισχύουν υπό διαφορετικές προϋποθέσεις και σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Οι σχετικές τεχνικές εντοπισμού βασίζονται στον προσδιορισμό της θέσης και τον προσανατολισμό του ρομπότ γνωρίζοντας ένα αρχικό σημείο. Η πιο συνηθισμένη τεχνική σχετικού εντοπισμού είναι η οδομετρία (odometry) που αναλύθηκε παραπάνω, η οποία και εφαρμόζεται σε ρομπότ με τροχούς, χρησιμοποιώντας αισθητήρες περιστροφών (συνήθως κωδικοποιητές encoders) για την μέτρηση της απόστασης που διανύει κάθε τροχός. Η οδομετρία απασχολεί απλές γεωμετρικές εξισώσεις (κινηματική του κινητού ρομπότ), με την ενσωμάτωση των οποίων υπολογίζεται η θέση και ο προσανατολισμός του οχήματος. Η οδομετρία είναι ικανοποιητική για μικρές αποστάσεις αλλά δεν παρέχει αξιόπιστες πληροφορίες για μεγαλύτερες αποστάσεις (Ρωσσίδης, 2012, σ.34).

Οι τεχνικές του απόλυτου εντοπισμού καθορίζουν τη θέση του ρομπότ σε σχέση με ένα παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς, για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας φάρους ή ορόσημα. Η πιο δημοφιλής τεχνική είναι το GPS (Global Positioning System), όπως αναλύθηκε παραπάνω, η οποία χρησιμοποιώντας δορυφορικά σήματα μπορεί να προσδιορίσει την απόλυτη θέση (γεωγραφικό μήκος, πλάτος και ύψος) ενός αντικειμένου στη Γη. Στην περίπτωση του απόλυτου εντοπισμού η εμφάνιση σφαλμάτων μειώνεται όταν οι μετρήσεις είναι διαθέσιμες και η θέση του ρομπότ δεν εξαρτάται από το χρόνο και την αρχική του θέση.

Τα κύρια προβλήματα των τεχνικών που βασίζονται στα ορόσημα (landmarks) είναι:

- Αξιόνετε μια δαπανηρή εγκατάσταση σχετικά με την περιοχή στην οποία δραστηριοποιείται το ρομπότ.
- Το κινητό ρομπότ δραστηριοποιείτε μόνο στην περιοχή όπου είναι τοποθετημένα τα ορόσημα
- Ανάμεσα στα ορόσημα το όχημα δεν μπορεί να προσδιορίσει τον εντοπισμό του.

Εάν μπορούσε να προσαρμοστεί ένας ακριβής αισθητήρας GPS σε ένα κινούμενο ρομπότ, το μεγαλύτερο μέρος του ανωτέρω προβλήματος θα παρακάμπτονταν. Το GPS θα ενημέρωνε το ρομπότ για την ακριβή του θέση, εντός και εκτός κτιρίων, επομένως το ζήτημα της εκτίμησης θέσης του συστήματος θα λυνόταν άμεσα. Δυστυχώς, ένας τέτοιος αισθητήρας δεν είναι προς το παρόν πρακτικός. Το υπάρχον δίκτυο GPS παρέχει ακρίβεια κάποιων μέτρων, το οποίο είναι μη αποδεκτό για κινούμενα ρομπότ μικρού μεγέθους, και κυρίως για ρομπότ τα οποία είναι κατασκευασμένα με σκοπό την κάλυψη μικρών αποστάσεων (στα οποία απαιτείται ακρίβεια εκατοστών). Επιπλέον, οι τεχνολογίες GPS δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε εσωτερικούς χώρους ή σε αποκλεισμένες περιοχές και επομένως έχουν περιορισμένο χώρο εργασίας (Ρωσσίδης, 2012, σ.35).

Πιο συγκεκριμένα, ο εντοπισμός θέσης μπορεί να ταξινομηθεί σε 2 κατηγορίες:

- Τοπικός (σχετικός) εντοπισμός θέσης
- Απόλυτος εντοπισμός θέσης

όπου κάθε κατηγορία χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνικές και αισθητήρες για την επίτευξη του εντοπισμού της θέσης, όπως θα αναλυθεί αμέσως παρακάτω.

4.2 Τοπικός εντοπισμός θέσης

Ένας τοπικός εντοπισμός θέσης ή σχετικός εντοπισμός, πραγματοποιείται με βάση την αξιολόγηση της θέσης και του προσανατολισμού χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που παρέχονται από τους αισθητήρες που βρίσκονται τοποθετημένοι πάνω στο όχημα. Παραδείγματος χάρη, τέτοιοι αισθητήρες είναι: κωδικοποιητές, γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα. Αυτή η τεχνική θέσης μπορεί να υλοποιηθεί με δύο μεθόδους την οδομετρία και την αδρανειακή πλοήγηση.

Η οδομετρία όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι η μελέτη της εκτίμησης θέσης κατά την διάρκεια της πλοήγησης τροχωφόρων μη επανδρωμένων οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί κωδικοποιητές για την μέτρηση της απόστασης που διανύεται από κάθε ρομπότ. Επιπροσθέτως, κάνει χρήση των δεδομένων από την περιστροφή των τροχών για να εκτιμηθεί η αλλαγή της θέσης πάνω στον χρόνο. Η οδομετρία είναι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την πλοήγηση ενός ρομπότ καθώς παρέχει καλή βραχυπρόθεσμη ακρίβεια, επιτρέπει υψηλά ποσοστά δειγματοληψίας- και είναι οικονομικότερη (Borenstein, et al., 1997, σ.16).

Από άλλη σκοπιά, η αδρανειακή πλοήγηση είναι η μέθοδος με την οποία ο εντοπισμός γίνεται μέσω της κινητικής κατάστασης αξιολόγησης του ρομπότ (ταχύτητες και επιταχύνσεις). Πιο συγκριμένα μια χρήση αδρανειακής πλοήγησης με γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα, μετρά τον ρυθμό της περιστροφής των τροχών και την επιτάχυνση αντίστοιχα. Μετρήσεις, όπου δηλαδή ενσωματώνονται όλα τα στοιχεία τους προκειμένου να δοθεί η θέση του ρομπότ. Τα συστήματα αδρανειακής πλοήγησης έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι «selfcontained», δηλαδή, δεν χρειάζονται εξωτερικές αναφορές. Είναι γεγονός ότι, τα δεδομένα ενός αδρανειακού αισθητήρα επηρεάζονται από τον χρόνο, λόγω της ανάγκης τους για την ενσωμάτωση δεδομένων ρυθμού για να δώσουν τη θέση ενός ρομπότ (Demetriou, 2006, σ. 659).

4.3 Pathplanning

Το πρόβλημα για τον σχεδιασμό του μονοπατιού από ένα όχημα γενικά τυποποιείται ως εξής:

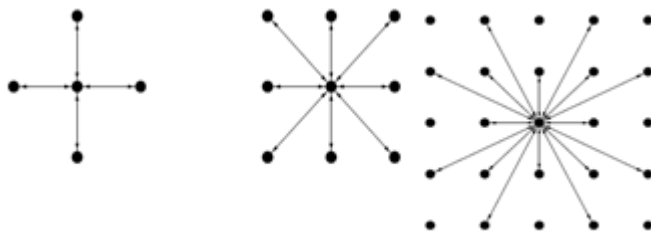
Σύμφωνα με τους (Sedighi, et al.,2004) αποδίδεται στο κινητό ρομπότ μια περιγραφή του περιβάλλοντος, ο ερευνητής πρέπει να σχεδιάζει μια διαδρομή ανάμεσα σε δύο συγκεκριμένες τοποθεσίες, δηλαδή ένα σημείο έναρξης και λήξης. Η διαδρομή πρέπει να μην εμπεριέρχει εμπόδια ώστε να αποφευχθεί η σύγκρουση και να ικανοποιεί ορισμένα κριτήρια βελτιστοποίησης (δηλαδή, το μικρότερο μονοπάτι).

Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, το πρόβλημα του σχεδιασμού της διαδρομής έχει κατηγοριοποιηθεί ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Οι ερευνητές διακρίνουν μεταξύ των διαφόρων μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος του σχεδιασμού της κατεύθυνσης ενός ρομπότ σύμφωνα με δύο παράγοντες. Τον τύπο του περιβάλλοντος δηλαδή, στατικό ή δυναμικό περιβάλλον (Ramirez-Serrano,et al., 2008, σ.

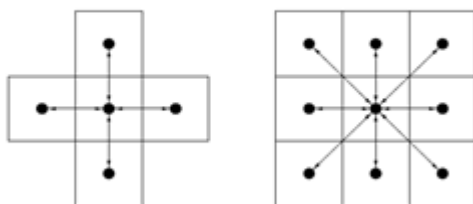
247). Όπως αναφέρουν οι Sedighi, et al. (2004) αναπτύσσονται δύο (2) αλγόριθμοι σχεδιασμού διαδρομής. Το στατικό περιβάλλον το οποίο ορίζεται ως το περιβάλλον το οποίο δεν περιέχει κανένα κινούμενο αντικείμενο εκτός από την πλοήγηση του ρομπότ, και το δυναμικό, το οποίο σύμφωνα με τους Ismail et al. (2008) είναι το περιβάλλον που έχει δυναμικά κινούμενα αντικείμενα.

Οι Sedighi et al. (2004) αναφέρουν ότι η πορεία με βάση τον παγκόσμιο προγραμματισμό αλγορίθμων απαιτεί πλήρη γνώση για το περιβάλλον αναζήτησης καθώς και όλα τα εδάφη θα πρέπει να είναι στατικά. Από την άλλη πλευρά, ο τοπικός σχεδιασμός ενός μονοπατιού σημαίνει ότι ο σχεδιασμός διαδρομής εφαρμόζεται, ενώ το ρομπότ κινείται, με άλλα λόγια, ο αλγόριθμος είναι ικανός να παράγει μια νέα διαδρομή ανταποκρινόμενος με αυτόν τον τρόπο στις περιβαλλοντικές αλλαγές.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6, το έδαφος περιγράφεται από κόμβους που συνδέονται με τόξα. Κάθε τόξο έχει ένα συγκεκριμένο κόστος για τη μετακίνηση του προς αυτό. Παράλληλα, άλλη μια προσέγγιση μπορεί να είναι ένα περιβάλλον που χωρίζεται σε τετράγωνα / ορθογώνια ίσου μεγέθους (Εικόνα 7). Στη συνέχεια, εκχωρείται ένα κόστος στο καθένα, για τη μετάβαση μεταξύ δύο γειτονικών τετραγώνων (Αθανασάκη, 2015, σ.102).



Εικόνα 6: Περιγραφή του περιβάλλοντος με κόμβους



Εικόνα 7: Διαχωρισμός του περιβάλλοντος σε τετράγωνα

Σε αυτό το στάδιο η εξεύρεση μιας διαδρομής μεταξύ των δύο σημείων γίνεται λαμβάνοντας υπόψη το αρχικό σημείο στον χάρτη. Η συντομότερη διαδρομή μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας ένα από τα πρότυπα γραφήματος αλγορίθμων αναζήτησης, όπως

του Dijkstra, A* ή οι αλγόριθμοι του BellmanFord (Kortenkamp, Bonasso, & Murphy, 1998). Στην περίπτωση αυτή, ένας A* αλγόριθμος, όπου εισάγεται από τον Nilsson (1992) είναι ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος με ευρετική βελτίωση του αλγόριθμου του Dijkstra. Ουσιαστικά, δίνεται μια καλύτερη μέση απόδοση όταν κάποιος χρειάζεται μόνο τη βέλτιστη διαδρομή μεταξύ δύο πλεγμάτων σε ένα κατευθυνόμενο γράφημα με μη-αρνητικό μέγεθος. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες οποιοδήποτε οχήματος. Χωρίζει το έδαφος σε δύο διαστάσεις με βάση τα τετράγωνα και τα πλέγματα που εμφανίζονται στην (Εικόνα 7). Ο αριθμός των μετακινήσεων από κάθε δίκτυο περιορίζεται σε οκτώ ακμές (ή στο λιγότερο κόστος των γειτονικών κόμβων), τα οποία χωρίζονται σε δύο διαφορετικές ομάδες απόστασης: α και $\sqrt{2}\alpha$. (Hao & Agrawal, 2005, σ.104).

4.3.1 Αλγόριθμος ελέγχου διαδρομής

- Επιλέξτε τον πρώτο και το τελευταίο κόμβο διαδρομής ως την έναρξη καθώς και τον κόμβο προορισμού. Καταγράψτε τον πρώτο κόμβο της διαδρομής ως το νέο σημείο.
- Συνδέστε την αρχή και τον κόμβο προορισμού με μια ευθεία γραμμή.
- Ελέγξτε αν υπάρχει σύγκρουση μεταξύ της ευθείας γραμμής και των εμποδίων.
- Εάν υπάρχει σύγκρουση, επιλέξτε το μέσο κόμβο διαδρομής μεταξύ της αρχής και τον κόμβο προορισμού ως το νέο τελευταίο κόμβο. Πηγαίνετε στο βήμα 2.
- Αν δεν υπάρχει σύγκρουση, ο τρέχων ακριανός κόμβος είναι ένα νέο δρομο-σημείο. Καταγράψτε αυτό.
- Επιλέξτε τον τρέχοντα κόμβο τέλους ως τον κόμβο εκκίνησης,
- Επιλέξτε τον τελευταίο κόμβο διαδρομής ως τον κόμβο προορισμού. Πάτε στο βήμα 2.
- Επαναλάβετε τα βήματα 1-6 έως ότου να μην μπορούν να μειωθούν τα σημεία πια. (Hao & Agrawal, 2005, σ.105).

Ο A* και ο αλγόριθμος 1 δημιουργούν ένα σύνολο από σημεία για το μη επανδρωμένο όχημα για να παράγει μία ομαλή τροχιά. Όλα τα σημεία σε μία τροχιά συνδέονται με ευθείες γραμμές και πολυώνυμα ώστε να καθοριστεί η τροχιά που θα ακολουθηθεί από το όχημα.

4.32 Αλγόριθμός επιλογής διαδρομής

- Για κάθε δρόμο-σημείο (κόμβος) i μεταξύ της έναρξης και τον κόμβο προορισμού, ορίσετε τον τρόπο σημείο $i - 1$ ως το αριστερό σημείο και σημείο αναφοράς $i + 1$ ως το σωστό σημείο.
- Υπολογίστε την αριστερή απόσταση μεταξύ i και του αριστερού επιλεγμένου σημείου, και την δεξιά απόσταση μεταξύ i και δεξιού σημείου.
- Επιλέξτε την ελάχιστη απόσταση μεταξύ της αριστερής και δεξιάς απόστασης. Βρείτε το νέο αριστερό σημείο $[x_l]$ και το δεξιό σημείο $[x_r, y_r]$ γύρω του. Η απόσταση μεταξύ του νέου αριστερού σημείου θα ισούται με την απόσταση μεταξύ του δεξιού σημείου. Είναι το μισό της ελάχιστης απόστασης. Επιλέξτε τι όπως ο χρόνος που απαιτείται για την ανάλογη απόσταση που συνδέει το αριστερό σημείο i και το διαδοχικό δεξιό σημείο.
- Επιλέξτε τις αριστερές και δεξιές ταχύτητες για την κατεύθυνση ως σταθερό σημείο με δεδομένες τις οριακές συνθήκες $[X_l, \dot{x}_l, X_r, \dot{x}_r]$ και $[Y_l, \dot{y}_l, Y_r, \dot{y}_r]$, το πολυώνυμο της τροχιάς γύρω από το όχημα μπορεί να υπολογιστεί με τον ακόλουθο τύπο:

$$x = x_l + \dot{x}_l t + \frac{3x_r - 3x_l - 2\dot{x}_l t_i - \dot{x}_r t_i}{t_i^2} t^2 + \frac{2x_l - 2x_r + \dot{x}_l t_i + \dot{x}_r t_i}{t_i^3} t^3$$
$$y = y_l + \dot{y}_l t + \frac{3y_r - 3y_l - 2\dot{y}_l t_i - \dot{y}_r t_i}{t_i^2} t^2 + \frac{2y_l - 2y_r + \dot{y}_l t_i + \dot{y}_r t_i}{t_i^3} t^3$$

Εικόνα 8: Υπολογισμός Πολυωνύμου Τροχιάς.

- Ελέγξτε αν υπάρχουν συγκρούσεις μεταξύ της κατεύθυνσης με τα εμπόδια.
- Αν υπάρχει μια σύγκρουση, να επιλέξετε το μέσο κόμβο μεταξύ του αριστερού σημείου και ορίστε το ως νέο αριστερό σημείο. Ομοίως για το δεξί σημείο. Πηγαίνετε στο βήμα 2.
- Ελέγξτε αν οι περιορισμοί εισόδου του συστήματος είναι ικανοποιημένοι. Αν όχι, να αυξηθεί τι έως ότου οι περιορισμοί εισόδου είναι ικανοποιημένοι.

- Επαναλάβετε τα βήματα 1-7 για όλους τους κόμβους μεταξύ της έναρξης και του κόμβου προορισμού.
- Συνδέστε όλα τα πολυώνυμα με ευθείες γραμμές (Hao & Agrawal, 2005, σ.106).

4.4 Απόλυτος εντοπισμός θέσης

Ακριβέστερα για την απόκτηση της απόλυτης θέσης γίνεται με τη χρήση φάρων, οροσήμων ή δορυφορικών σημάτων (π.χ. GPS). Ο απόλυτος εντοπισμός μπορεί να επιτευχθεί με οποιαδήποτε από τις ακόλουθες τεχνικές: ενεργούς ραδιοφάρους πλοήγηση, ορόσημα πλοήγησης.

4.4.1 Ενεργητικοί και παθητικοί φάροι

Τα Ενεργητικά και παθητικά συστήματα πλοήγησης με φάρους είναι οι πιο κοινές τεχνικές που χρησιμοποιούνται από την πλοήγηση με κινητά συστήματα ρομπότ. Αυτή η μέθοδος υπολογίζει την απόλυτη τοποθεσία μετρώντας την κατεύθυνση της συχνότητας ή την απόσταση τριών ή περισσότερων σημαντήρων. Φυσικά ένας φάρος εντοπισμού μπορεί να επιτευχθεί με μεγαλύτερη αξιοπιστία και παρέχει ακριβείς πληροφορίες για την θέση με ελάχιστη επεξεργασία δεδομένων.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης είναι ότι επιτρέπει υψηλά ποσοστά δειγματοληψίας, το κυριότερο όμως είναι ότι αποδίδει αποτελέσματα με υψηλή αξιοπιστία. Παράλληλα, ένα σημαντικό μειονέκτημα όμως είναι ότι έχει υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης αλλά και συντήρησης. Ο εντοπισμός με φάρους έχει αντιμετωπίσει πολλές δυσκολίες όταν χρησιμοποιείται σε εσωτερικούς χώρους και συνήθως αποφεύγεται (Demetriou, 2006, σ 661).

Δύο δημοφιλείς μέθοδοι που ακολουθούν τα συστήματα με φάρους είναι ο τριπλευρισμός και οι τριγωνισμός.

Συμφωνα με τους Borenstein et al. (1997) «ο τριπλευρισμός είναι ο προσδιορισμός ενός οχήματος με την θέση του να βασίζεται σε μετρήσεις αποστάσεων με βάση γνωστές πηγές φάρων. Λαμβάνοντας πληροφορίες από αυτές τις μετρήσεις, το σύστημα υπολογίζει την απόσταση μεταξύ των σταθερών πομπών και δεκτών». Ένα παράδειγμα ενός τριπλευρισμού είναι το Global Positioning System (GPS). Ο τριπλευρισμός μπορεί να ρυθμιστεί τοποθετώντας τρεις ή περισσότερους πομπούς σε συγκεκριμένες τοποθεσίες στο περιβάλλον και έναν δέκτη εγκατεστημένο στο μη επανδρωμένο όχημα. Διαφορετικά

μπορεί να διαμορφωθεί με την τοποθέτηση ενός πομπού επί του οχήματος και οι δέκτες να βρίσκονται τοποθετημένοι στο περιβάλλον (Demetriou, 2006, σ.661). Στην μέθοδο του τριπλευρισμού, υπάρχει ένας περιστρεφόμενος αισθητήρας, τον οποίο συμβουλευεται το ρομπότ ώστε να καταγράφονται οι τρεις γωνίες του. Χρειάζεται επίσης να σημειωθεί, ότι οι γωνίες αυτές αποτελούν σημεία τα οποία βλέπουν οι πομποφάροι σε σχέση με το ρομπότ κατά τον διαμήκη του άξονα. Από αυτές τις τρεις μετρήσεις, τον άγνωστο x και τις συντεταγμένες y , το όχημα μπορεί να υπολογίζει την κατεύθυνση του. Ένα πρόβλημα με αυτή την διαμόρφωση είναι ότι, προκειμένου να εξεταστεί σε αποστάσεις μεγαλύτερες από είκοσι (20) μέτρα, για παράδειγμα, οι φάροι πρέπει να εστιάζονται σε ένα μοτόβο σχήματος κώνου μετάδοσης. Ως αποτέλεσμα, οι φάροι δεν είναι ορατοί από πολλούς τομείς. Αυτό είναι ένα μεγάλο πρόβλημα επειδή τουλάχιστον τρία προειδοποιητικά σήματα πρέπει να είναι ορατά στον τριγωνισμό (Demetriou, 2006, σ.661).

4.4.2 Ορόσημα

Τα ορόσημα είναι ένα συγκεκριμένο περιβάλλον με χαρακτηριστικά που ένα ρομπότ μπορεί να αναγνωρίσει με τους αισθητήρες του. Τα ορόσημα έχουν ένα σταθερό σχήμα και μέγεθος (π.χ. ορθογώνια, κύκλοι, γράμματα, γραμμωτών κωδικών, κλπ), καθώς και μία σταθερά και γνωστή θέση, όπου ένα ρομπότ μπορεί να την εντοπίσει. Τα ορόσημα πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά ώστε να είναι εύκολο να αναγνωρίζονται. Για παράδειγμα, θα πρέπει να είναι εύκολα διακριτά σε αντίθεση με το υπόλοιπο περιβάλλον. Το κύριο καθήκον του ρομπότ είναι να αναγνωρίσει τα ορόσημα και, στη συνέχεια, να υπολογίσει τη θέση του σε σχέση με αυτά (Demetriou, 2006, σ.661). Εν τούτοις, σύμφωνα με τους Atiya & Hager (1993) «ένα ορόσημο μπορεί να χαρακτηριστεί ως τεχνητό ή φυσικό». Στην ανίχνευση τα τεχνητά ορόσημα είναι πιο διακριτά στον εντοπισμό τους από ό, τι φυσικά ορόσημα.

Στην συνέχεια της παρούσης, ακολουθεί η ανάλυση των αισθητήρων που χρησιμοποιούν τα UGV, για την καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντα χώρου τους.

5. Αισθητήρες

5.1 Ταξινόμηση των αισθητήρων

Οι αισθητήρες για ένα UGV είναι συχνά μικροί σε χωρητικότητα και ελαφρύ σε βάρος, με μικρό κόστος. «Ωστόσο η αυτονομία ενός μη επανδρωμένου οχήματος είναι ένας συνδυασμός των αναγνώσεων από τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται συνήθως από UGVs για τη μετάφραση». Μερικά σημαντικά πλεονεκτήματα της σύνθεσης πολλαπλών αισθητήρων είναι (Demetriou, 2006, σ.662):

- **Αφαίρεση:** είναι περιττές πληροφορίες που συσσωρεύονται από μια ομάδα αισθητήρων ή από έναν μεμονωμένο αισθητήρα στην πάροδο του χρόνου, από κάθε αισθητήρα (ενδεχομένως με διαφορετική αξιοπιστία) με τα ίδια χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενδιαφέροντος.
- **Συνοδευτικότητα:** Αφορά τις συμπληρωματικές πληροφορίες από πολλαπλούς αισθητήρες που επιτρέπουν την αντίληψη χαρακτηριστικών γνωρισμάτων που είναι αδύνατο να παρατηρηθούν χρησιμοποιώντας μόνο τις πληροφορίες από έναν χειριστή. Οι αισθητήρες λειτουργούν ξεχωριστά. Για παράδειγμα, ένα αυτόνομο κινητό ρομπότ ενδέχεται να χρησιμοποιεί μια κάμερα για την ανίχνευση εμποδίων και έναν διαφορετικό αισθητήρα με λέιζερ για την εύρεση της περιοχής
- **Πληροφορία:** Η πιο επίκαιρη πληροφορία μπορεί να είναι αυτή που παρέχεται από πολλαπλούς αισθητήρες λόγω της πραγματικής ταχύτητας της λειτουργίας του κάθε αισθητήρα, ή η δυνατότητα να την επεξεργάζεται ταυτόχρονα, που είναι δυνατόν να επιτευχθεί ως μέρος της διαδικασίας ολοκλήρωσης.
- **Κόστος:** Η ενσωμάτωση πολλών αισθητήρων σε ένα σύστημα, καθιστά το κόστος σχετικά μικρό για την παροχή των δεδομένων πληροφοριών, όπου πολλές φορές τα δεδομένα είναι ίδια, ή ακόμα και καλύτερα σε ποιότητα σε σύγκριση με δεδομένα από μια πολύ πιο ακριβή και λιγότερο εύρωστη συσκευή.

Ένα UGV έχει την δυνατότητα να αντιλαμβάνεται, να αναλύει και να ερμηνεύει την κατάσταση του περιβάλλοντα χώρου που δραστηριοποιείται. Μπορεί να πραγματοποιεί μετρήσεις σε ένα πραγματικό παγκόσμιο περιβάλλον, να αλλάζει δυναμικά, ωστόσο είναι επιρρεπές σε σφάλματα. Ο αισθητήρας αναγνωρίζει τα σφαλμάτα που μπορούν να προκληθούν από αλλαγή σε φωτισμούς, απο κατοπτρικές αντανάκλασεις του φωτός ή η σχετική ευαισθησία που μπορεί να προκύψει από τον αισθητήρα του ρομπότ σε

επεξεργασία της θέσης του σε δυναμικά περιβάλλοντα. Οι αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες σύμφωνα με το σκοπό τους: ιδιοδεκτικοί και εξωδεκτικοί αισθητήρες (Demetriou, 2006, σ.661).

Οι ιδιοδεκτικοί αισθητήρες λαμβάνουν μετρήσεις από εσωτερικές παραμέτρους του ρομπότ (π.χ. ταχύτητα, τροχοί, την διαδρομή του ρομπότ, την κατάσταση όπου βρίσκεται η μπαταρία, κλπ).

Οι εξωδεκτικοί αισθητήρες συγκεντρώνουν πληροφορίες από τον περιβάλλοντα χώρο του ρομπότ. Παραδείγματα περιλαμβάνουν μετρήσεις για την απόσταση και την ένταση του φωτός. Πιο συγκεκριμένα οι Siegwart & Nourbakhsh (2004) αναφέρουν ότι οι εξωδεκτικοί αισθητήρες μετρήσεων χρησιμοποιούνται από ένα κινητό ρομπότ για την εξαγωγή ουσιαστικών περιβαλλοντικών πληροφοριών για την λειτουργία του ρομπότ.

Υπάρχουν δύο τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται από ρομπότ: οι ενεργοί και παθητικοί αισθητήρες. «οι παθητικοί αισθητήρες αφορούν τις μετρήσεις που λαμβάνει το UGV από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον ενέργειας και μεταδίδει την πληροφορία διαμέσου του αισθητήρα». Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν κάμερες CCD και CMOS.

Οι ενεργοί αισθητήρες εκπέμπουν σήματα προς το περιβάλλον όπου αντακλούνται από αυτό και επιστρέφουν ενδείξεις για το περιβάλλον προς το ρομπότ. Ένα από τα μεγάλα προβλήματα των ενεργών αισθητήρων είναι οι παρεμβολές μεταξύ του σήματος και το περιβάλλοντος. Σαν παράδειγμα αναφέρετε από τους Siegwart & Nourbakhsh (2004) πως τα σήματα που εκπέμπονται από άλλα κοντινά ρομπότ, ή από παρόμοιους αισθητήρες, μπορεί να επηρεάσουν τις μετρήσεις που προκύπτουν για το ρομπότ. Στο παράδειγμα αυτό περιλαμβάνονται τα τηλέμετρα λέιζερ και οι αισθητήρες υπερήχων.

Ένας καλός αισθητήρας πρέπει να είναι ευαίσθητος ως προς αυτό που μετράει, και ταυτόχρονα, θα πρέπει να μην επηρεάζεται από το περιβάλλον γύρω του.

Κλείνοντας την παρούσα ανάλυση θα μελετήσουμε το σημαντικότερο ίσως κομμάτι αυτής, αλλά και το σημαντικότερο τμήμα των μη επανδρωμένων οχημάτων το λογισμικό τους.

6. Αλγόριθμοι και Λογισμικό

6.1 Τι είναι αλγόριθμος

Ο όρος αλγόριθμός ο οποίος αποδίδεται από τους Cormen et al. (2006) «αναφέρεται σε οποιαδήποτε καλά ορισμένη υπολογιστική διαδικασία που δέχεται κάποια τιμή ή κάποιο σύνολο τιμών ως είσοδο και δίνει κάποια τιμή ή κάποιο σύνολο τιμών ως έξοδο. Συνεπώς, ένας αλγόριθμος είναι μια ακολουθία υπολογιστικών βημάτων που μετασχηματίζει την είσοδο στην έξοδο. Ο αλγόριθμος μπορεί ακόμη να αντιμετωπιστεί ως ένα εργαλείο για την επίλυση ενός καλά καθορισμένου υπολογιστικού προβλήματος. Η διατύπωση του προβλήματος καθορίζει σε γενικές γραμμές την επιθυμητή σχέση εισόδου-εξόδου ενώ ο αλγόριθμος περιγράφει μια συγκεκριμένη υπολογιστική διαδικασία για την επίτευξη αυτής της σχέσης «εισόδου-εξόδου».

Τα βασικά στοιχεία των αλγορίθμων που απαιτούνται για την επιτυχή λειτουργία των μη επανδρωμένων οχημάτων, θα αναλυθούν αμέσως παρακάτω.

6.2 Κατασκευή λογισμικών

Έχει αναφερθεί από τους (Yoon, Park, & Kim, 2006, σ.3621) ότι η αρχιτεκτονική του λογισμικού ενός μη επανδρωμένου οχήματος χωρίζεται σε πέντε (5) κατηγορίες ανάπτυξης:

- **Έλεγχος συστήματος:** Το κύριως κομμάτι για την κατασκευή ενός UGV το οποίο αποσκοπεί στον έλεγχο του οχήματος.
- **Σύστημα τηλεχειρισμού:** Το σύστημα τηλεχειρισμού του οχήματος αφορά στην κατεύθυνση που λαμβάνει το όχημα και την οδήγηση του, καθώς επίσης και στην παρακολούθηση του απομακρυσμένα.
- **Ανίχνευτης εμποδίων:** Το σύστημα ανίχνευσης εμποδίων, δηλαδή το σύστημα το οποίο αντιλαμβάνεται τα εμπόδια στο περιβάλλον.
- **Οπτικό σύστημα:** το οπτικό σύστημα αποφέρει πληροφορίες στο σύστημα για το που βρίσκονται τα εμπόδια στο εξωτερικό περιβάλλον. Επιπροσθέτως, μεταφέρει πληροφορίες

στον χειριστή για την ρύθμιση των παραμέτρων του οχήματος με βάση το έδαφος στο οποίο δραστηριοποιείται το όχημα.

- **Σύστημα πλοήγησης:** η συγκέντρωση πληροφοριών για την θέση του οχήματος για την διαδρομή που θα ακολουθηθεί από το όχημα.

Ουσιαστικά η κατασκευή ενός λογισμικού απαιτεί την σύμπτυξη αυτών των κατηγοριών για την κατασκευή ενός συστήματος το οποίο θα δίνει στο χειριστή εικόνα από το εξωτερικό περιβάλλον στο οποίο κινείται το όχημα. Εν συνεχεία την θέση στην οποία βρίσκεται στο χάρτη το όχημα, και την πλοήγηση του με στόχο την εκπλήρωση του σκοπού που καλείται να εκπληρώσει ένα επανδρωμένο όχημα.

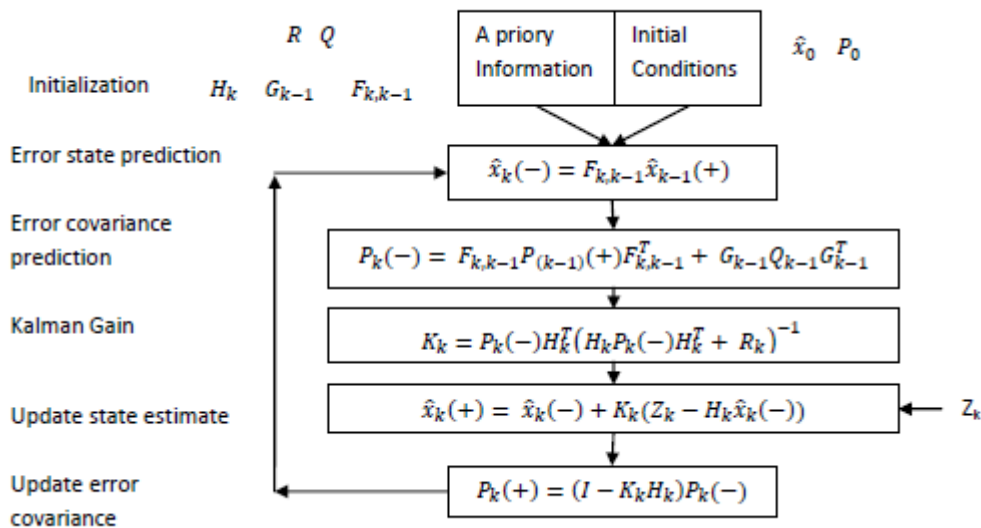
Για την πλοήγηση έχουν δημιουργηθεί διάφορα λογισμικά, όπως ένα σύστημα με έναν δέκτη GPS και μαγνητική πύξίδα, όπως αναφέρεται από τους (Yoon, Park & Kim, 2006, σ.3622- 3623) όπου με βάση του αλγόριθμους που αναπτύχθηκαν στην έρευνα τους, φανερώνεται ότι το όχημα λαμβάνει την ορθή κατεύθυνση του με βάση τα δεδομένα που λαμβάνει, αλλά παρατηρήθηκε ότι συσσωρεύονται στο όχημα σοβάρια σφάλματα από το GPS κατά την εκκίνηση του συστήματος, και εν συνεχεία την αδρανειακή πλοήγηση του οχήματος «Inertial Navigation System». Εν τούτοις για την βελτίωση της κατασκευής της διαδρομής «pathplanning» ορίζεται μια λύση μέσω φιλταρίσματος όπως το kalman filtering ή το φίλτρο σωματιδίων (Particlefilter).

6.3 Φίλτρο Kalman

Αρχικά με το φίλτρο Kalman, γίνεται μια πρώτη φορά αναφορά για την δημιουργία του στα τέλη του 1958 από τον Rudolf Emil Kalman, ο οποίος εφάρμοσε μια έννοια από μεταβλητές σε συνδιασμό με το φίλτρο Wiener. Το φίλτρο αυτό είναι ένας εκτιμητής που χρησιμοποιείται για να προβλέπει την στιγμιαία κατάσταση από ένα γραμμικό δυναμικό σύστημα, το οποίο δέχεται αρκετό ασύνδετο θόρυβο ή λευκό θόρυβο. Το Φίλτρο Kalman χρησιμοποιεί τις πιθανότητες των μεταβλητών κατάστασης για την παροχή στατιστικών χαρακτηρισμών για την εκτίμηση του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα το φίλτρο, χρησιμοποιεί ένα μοντέλο εκτίμησης που διακρίνει μεταξύ των φαινομένων (στατιστική σημασία των αποτελεσμάτων), «noumena» (γνωστό μέλος) και τις γνώσεις σχετικά με το

αγνωστό μέλος της εξίσωσης που μπορούν να συναχθούν από τα φαινόμενα (Rahman, A. T. I. F. 2013, σ.32).

Ενώ, τα δεδομένα ενός σήματος GPS είναι διαθέσιμα για επεξεργασία από το όχημα, το φίλτρο Kalman αναπτύσσει ένα μοντέλο σφάλματος του GPS σε συσχέτιση της θέσης και της ταχύτητας, με βάσει την πλοήγηση INS. Κατά τη διάρκεια των παρεμβολών του GPS, ή όταν ο αριθμός των ορατών δορυφόρων είναι λιγότερος από τέσσερεις (τρεις-δυο), η ενσωμάτωση των ελλειπών δεδομένων, προστίθενται στο σύστημα με την χρήση ενός μοντέλου σφάλματος που λαμβάνονται μέσω του φίλτρου Kalman για να εκτιμήσει τη θέση, την ταχύτητα και τον προσανατολισμό των μη αυτόνομων οχημάτων (Iqbal, 2012, σ.58-59). Αυτό το μοντέλο σφαλμάτων που υλοποιείται από το εν λόγω φίλτρο, όπως και στα μη γραμμικά συστήματα σφαλμάτων, πραγματώνεται από το επιταχυνσίμετρο, το γυροσκόπιο και τους αισθητήρες, που είναι αυτά που οδηγούν στον υπολογισμό της θέσης, της ταχύτητας και της τάσης του οχήματος όταν καθόσο κυλά ο χρόνος. Χρησιμοποιώντας πίνακες συνδιασποράς R για την μέτρηση του θορύβου, Q για το σύστημα του θορύβου και P το διάνυσμα σφάλματος, καθώς και τα μοντέλα του συστήματος και της μέτρηση (x και z), και η μεταβατική κατάσταση και τον σχεδιασμό στις μήτρες (F και H), το φίλτρο Kalman μπορεί να προβλέψει τις καταστάσεις σφάλματος. (Εικόνα 9) (Rahman, 2013, σ.32-33).



Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής KalmanFilter. (Rahman, 2013, σ.33).

6.4 Το φίλτρο σωματιδίων (PF)

Βέβαια, στην αδρανειακή πλοήγηση «INP» μια άλλη τεχνική εκτίμησης θέσης για την διαγραφή μολυσμένων σφαλμάτων που λαμβάνονται από το σύστημα, είναι το φίλτρο σωματιδίων (PF). Σε μια τέτοια περίπτωση, όπου σε αντίθεση με το Kalman filter, εισήγαγε την εξίσωση της μη γραμμικοποιημένης εξίσωσης για την κίνηση και την αντιμετώπιση της χρήσης ανερκών μοντέλων σε σφάλματα ενός αδρανειακού αισθητήρα (Iqbal, U. 2012, σ.63). Το φίλτρο αυτό τείνει να παίρνει μια αριθμητική επίλυση κατά προσέγγιση σε σωστό μη γραμμικό σύστημα, και όχι να εξάγει το βέλτιστο, όπως το φίλτρο Kalman.

Αυτή η μέθοδος εκτιμά μια συνάρτηση πυκνότητας της πιθανότητας όπου εξαρτάται από το σύνολο των δειγμάτων. Αντίθετα από μια ενιαία καλύτερη εκτίμηση μόνο το KF προϋποθέτει ένα Gaussian system όπου το προσανατολίζει σε μια παραμετρική μορφή διαμέσου μιας συνδιακύμανσης. Το UKF και το PF τείνουν στην προσέγγιση της συχνότητας της πιθανότητας, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δειγμάτων. Σύμφωνα με τον Shin (2006) το KF χρησιμοποιεί ένα σταθερό αριθμό σημείων δειγματοληψίας με αξιοκρατικό τρόπο επιλογής, όπου τα σημεία σίγμα (S Points) προσεγγίζουν μια Γκαουσιανή κατανομή αντί για μια προσέγγιση ενός μη γραμμικού μοντέλου, όπως το Linearized KF ή ένα παρατεταμένο KF. Επιπρόσθετα όπως αναφέρετε στον Shin, E. H. (2006), όταν τα SPs διαδίδονται διαμέσου πραγματικών μη-γραμμικών συστημάτων, συλλαμβάνουν το μετασχηματισμένο σήμα με ακρίβεια μέχρι την δεύτερη σειρά της μη γραμμικότητας. Σε αντίθεση, μια παραλαγή ενός kalmanfilter υπολογίζει τον μέσο συνδιακύμανσης με όλους τους όρους εξάγοντας τον βέλτιστο. Όπως αναφέρετε από τον (Shin, 2006) υφίστανται διάφορα παραδείγματα από τη χρήση παραλαγών ενός kalmanfilter για την χρήση INS/GPS.

Ωστόσο ένα φίλτρο σωματιδίων προσεγγίζει την πυκνότητα της πιθανότητας χρησιμοποιώντας ένα σύνολο τυχαίων δειγμάτων ή σωματιδίων. Πρόκειται για μια καθολική πυκνότητα approximator, αφαιρώντας τις περιοριστικές παραδοχές σχετικά με το σχήμα που αποδίδεται από την πυκνότητα της πιθανότητας. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με όλες τις παραλλαγές ενός Kalmanfilter που εκτιμούν μια γκαουσιανή πυκνότητα. Εξαιτίας αυτού, το φίλτρο σωματιδίων έχει δείξει μια ανώτερη αριθμητική ακρίβεια πάνω από άλλες μεθόδους φιλτραρίσματος (Iqbal, 2012, σ. 63).

Επιπροσθέτως, σε άλλες έρευνες που αναπτύχθηκαν σύμφωνα με την βιβλιογραφία, για την κατασκευή λογισμικού ενός μη επανδρωμένου οχήματος εδάφους ενσωματώνεται και

η οδομετρία, λόγω της αναμενόμενης ανεπάρκειας ενός ολοκληρωμένου δέκτη GPS, η ανάπτυξη μιας μεθόδου ονόματι Dead-reckoning.

6.5 Deadreckoning

Στην πλοήγηση, το dead reckoning ή dead-reckoning (επίσης ded για deduced reckoning ή DR) είναι η διαδικασία υπολογισμού της τρέχουσας θέσης ενός ατόμου, χρησιμοποιώντας μια καθορισμένη θέση, ή η διόρθωση και βελτίωση αυτής της θέσης με βάση γνωστές ή εκτιμώμενες ταχύτητες στο διαρρέυσαντα χρόνο και πορεία. Ο αντίστοιχος όρος στη βιολογία, χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις διαδικασίες με τις οποίες τα ζώα προσαρμόζονται ώστε να εκτιμήσουν τη θέση τους για την ολοκλήρωση μιας διαδρομής (Αθανασάκη, 2015., σ.172).

Ακολουθούν δύο περιπτώσεις dead reckoning:

Περίπτωση Σε αυτήν την περίπτωση αναφέρεται σε ένα κωδικοποιητή δεδομένων όπου λαμβάνει δεδομένα με βάση την οδομετρία, με βάση την κίνηση των τροχών ενός μη επανδρωμένου οχήματος κατά την διάρκεια την ακολουθίας μια διαδρομής. Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται στο σύστημα έλεγχου του UGV σειριακά και κατεπέκταση στον χειριστή ελέγχου. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιήθηκε για να παρακάμπτει διάφορους τύπους κωδικοποιημένων μηνυμάτων για την επεξεργασία των δεδομένων που αποστέλλονται στον απομακρυσμένο χειριστή. Με την ανάπτυξη μιας τέτοιας λειτουργίας διαχείρισης ενός μη επανδρωμένου οχήματος, τα δεδομένα να μεταφέρονται αθριστοικά στον χειριστή. Προκειμένου να αναπτυχθεί πλήρως αυτή η λειτουργία πρέπει να καλείται μια αριθμητική ολοκλήρωση για την επαναφορά των τελευταίων δεδομένων και να υπολογιστούν διαφορετικές αποστάσεις ή αλλαγές κατεύθυνσης (Harding & Whitty 2015, σ2)..

- **Περίπτωση 2:** Αναπτύχθηκε ένα σύστημα ρύθμισης σημείων με βάση την αδρανειακή μονάδα μέτρησης(IMU) και την υποβοηθούμενη οδομετρία. Αυτή η περίπτωση χτίστηκε πάνω σε αυτόνομο σύστημα ManagerIMU για να λαμβάνει μετρήσεις από το γυροσκόπιο και το επιταχυνσιόμετρο σε υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας. Ο σκοπός αυτού, είναι να ενημερωθεί το κινητό όχημα για την εκτίμηση της τοπικής θέσης του. Χρησιμοποιώντας μετρήσεις από τον υπάρχων αζυμούθιο και την τελευταία καταγεγραμμένη ταχύτητα που

στάλθηκε από το όχημα. Αυτή η περίπτωση κατέχει και υποπεριπτώσεις για την μέτρηση – εξαγωγή δεδομένων αλλά και την μέτρηση τους.

Πρώτη υποπερίπτωση είναι η ταχύτητα να εξάγεται από την πιο πρόσφατη ονομαστική τιμή που στάλθηκε, ή κατά την επιτάχυνση, ενώ η δεύτερη υποπερίπτωση είναι διαμέσου τριγωνομετρικών εξισώσεων που χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση και την εκτίμηση της θέσης, χρησιμοποιώντας την τρέχουσα στιγμιαία ταχύτητα του συστήματος, και την θέση προορισμού (Harding & Whitty 2015, σ.2).

7. Κατασκευή μη επανδρωμένων οχημάτων με Arduino

7.1 Arduino

Όπως περιγράφεται από τον δημιουργό του, το Arduino είναι μία open-source (ανοικτού κώδικα) πλατφόρμα «πρωτοτυποποίησης» ηλεκτρονικών κυκλωμάτων βασισμένη σε ευέλικτο και εύκολο στη χρήση «hardware» και «software» που προορίζεται για οποιονδήποτε έχει ακόμη και την ελάχιστη προγραμματιστική εμπειρία, στοιχειώδεις γνώσεις ηλεκτρονικών υπολογιστών και ενδιαφέρεται να δημιουργήσει διαδραστικά αντικείμενα ή περιβάλλοντα. (Δήμας, 2016, σ.30-31)

Το Arduino αποτελείται από δύο κύρια μέρη, την υπολογιστική πλατφόρμα Arduino, η οποία είναι το κομμάτι του hardware πάνω στο οποίο εργάζεται ο κατασκευαστής όταν πραγματοποιεί μία κατασκευή. Ενώ το δεύτερο τμήμα είναι το Arduino IDE, το κομμάτι του λογισμικού που τρέχει στον υπολογιστή. Το IDE χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί ένα «sketch» (ένα μικρό πρόγραμμα στον υπολογιστή) που φορτώνεται στον μικροελεγκτή της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino.

Το Arduino βέβαια, δεν είναι ούτε ο μοναδικός, ούτε και ο καλύτερος δυνατός τρόπος για την δημιουργία μιας οποιασδήποτε διαδραστικής ηλεκτρονικής συσκευής. Όμως το κύριο πλεονέκτημά του είναι η τεράστια κοινότητα που το υποστηρίζει και η οποία έχει δημιουργήσει, συντηρεί και επεκτείνει μια ανάλογοι μεγέθους online γνωσιακή βάση, καθώς και το χαμηλό κόστος αγοράς του. Έτσι, παρότι ένας έμπειρος ηλεκτρονικός μπορεί να προτιμήσει διαφορετική πλατφόρμα ή εξαρτήματα ανάλογα με την εφαρμογή που έχει στον νου του να δημιουργήσει, το Arduino, με το εκτενές documentation, καταφέρνει να κερδίσει όλους αυτούς των οποίων οι γνώσεις στα ηλεκτρονικά περιορίζονται σε πολύ βασικά αρχάρια επίπεδα (Αθανασάκη, 2015, σ.111).

Στην ουσία, πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega της Atmel και του οποίου όλα τα σχέδια, καθώς και το software που χρειάζεται για την λειτουργία του, διανέμονται ελεύθερα και δωρεάν ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί από τον καθένα (απ' όπου και ο περίεργος για hardware χαρακτηρισμός «ανοικτού κώδικα»). Αφού κατασκευαστεί, μπορεί να συμπεριφερθεί σαν ένας μικροσκοπικός υπολογιστής, αφού ο χρήστης μπορεί να συνδέσει επάνω του πολλαπλές μονάδες εισόδου/εξόδου και να προγραμματίσει τον μικροελεγκτή να δέχεται δεδομένα

από τις μονάδες εισόδου, να τα επεξεργάζεται και να στέλνει κατάλληλες εντολές στις μονάδες εξόδου (Δήμας, 2016, σ.31).

7.2 Arduino Uno με γυροσκόπιο κ επιταχυνσιόμετρο

Ένας InvenSense MPU-6050 αισθητήρας περιέχει ένα επιταχυνσιόμετρο MEMS και ένα γυροσκόπιο MEMS σε ένα μόνο chip. Είναι πολύ ακριβής, δεδομένου ότι περιέχει 16-bits αναλογικό προς ψηφιακό υλικό μετατροπής για κάθε κανάλι, και την δυνατότητα να αιχμαλωτίζει το x, y, z και το κανάλι ταυτόχρονα. Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί το I2C δίαυλο για τη διασύνδεση με το Arduino. Πιο αναλυτικά ένας I2C, είναι ένας σειριακός διάυλος που δημιουργήθηκε από τη Philips και χρησιμοποιείται για την σύνδεση περιφερειακών μικρής ταχύτητας σε motherboard, embedded systems, κινητά τηλέφωνα ή άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Ο δίαυλος I2C δεν χρησιμοποιείται μόνο για την επικοινωνία συσκευών που βρίσκονται πάνω σε ένα τυπωμένο κύκλωμα, αλλά και για την επικοινωνία συσκευών που συνδέονται με καλώδια. Οι MPU-6050 δεν είναι ακριβοί, ιδίως αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι συνδυάζουν τόσο ένα επιταχυνσιόμετρο όσο και ένα γυροσκόπιο. Οι τιμές που αποδίδει το επιταχυνσιόμετρο και το γυροσκόπιο ονομάζονται "ακατέργαστες" τιμές.

Η διαδικασία με την οποία διαβάζουν τις πρώτες τιμές το επιταχυνσιόμετρο και το γυροσκόπιο είναι εύκολη και απλή. Η λειτουργία του ύπνου πρέπει να απενεργοποιηθεί, και στη συνέχεια μπορούν να διαβαστούν τα μητρώα για τις ανωτέρω συσκευές. Αλλά ο αισθητήρας περιέχει επίσης έναν 1024 byte FIFO buffer. Οι τιμές των αισθητήρων μπορεί να προγραμματιστούν ώστε να τοποθετούνται στον ενταμιευτή FIFO. Το ρυθμιστικό FIFO χρησιμοποιείται μαζί με το σήμα διακοπής. Τα δεδομένα μέρη MPU-6050 στο ρυθμιστικό FIFO, σηματοδοτούν το Arduino με τη διακοπή του σήματος έτσι ώστε το Arduino να γνωρίζει ότι υπάρχουν δεδομένα στην προσωρινή μνήμη του FIFO που περιμένουν να διαβάσουν. Μια λίγο πιο περίπλοκη είναι η ικανότητα να ελέγχει έναν δεύτερο I2C δίαυλο. Το MPU-6050 πάντα ενεργεί ως βοηθός εκπλήρωσης στο Arduino με το SDA και SCL, τα οποία συνεδέονται με τον δίαυλο I2C. Αλλά εκτός από τον κανονικό I2C, έχει και το δικό του ελεγκτή I2C όπου είναι ένας master, σε ένα δεύτερο υπο-δίαυλο -I2C. Χρησιμοποιεί τις ακίδες AUX_DA και AUX_CL για τον δεύτερο υπο-δίαυλο I2C. Οποίος μπορεί να ελέγξει, για παράδειγμα, ένα μαγνητόμετρο. Οι τιμές του μαγνητόμετρου μπορεί να μετακυλίσουν στον Arduino. Τα πράγματα γίνονται πραγματικά πολύπλοκα με την εισαγωγή ενός Digital Motion Processing. Ο αισθητήρας αυτός έχει ένα «Ψηφιακό

Επεξεργαστή Κίνησης» (DMP), που ονομάζεται επίσης «Ψηφιακή Μονάδα Επεξεργασίας Κίνησης». Αυτός ο DMP μπορεί να προγραμματιστεί με το firmware και είναι σε θέση να κάνει πολύπλοκους υπολογισμούς με τις τιμές του αισθητήρα. Γι' αυτό ο DMP, έχει μια πολιτική αποθάρρυνσης, μη παρέχοντας αρκετές πληροφορίες για το πώς να προγραμματίζετε το DMP. Ωστόσο, μερικοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει αντίστροφη μηχανική για να συλληφθεί το firmware. Ο DMP «Ψηφιακός Επεξεργαστής Motion» μπορεί να κάνει γρήγορα υπολογισμούς κατευθείαν πάνω στο τσιπ. Αυτό μειώνει το φορτίο για τον μικροελεγκτή (όπως το Arduino). Ο DMP είναι ακόμη σε θέση να κάνει υπολογισμούς με τις τιμές του αισθητήρα άλλου chip, για παράδειγμα, όταν ένα μαγνητόμετρο συνδέεται με το δεύτερο υπο-διάλυτο I2C. Το κόστος αγοράς του ανέρχεται περίπου στα 30 ευρώ (Arduino, 2016).

7.2 Arduino Uno με Gps

Η μονάδα συνδέεται με το Arduino μέσω ενός interface 4800 bps TTL-επίπεδο (8 bits δεδομένων, ισότιμη με 1 stop bit, μη-ανεστραμμένη). Μόνο τέσσερα καλώδια απαιτούνται για την ανάγνωση των δεδομένων GPS του module. Σημείωση: εάν ο ερευνητής χρησιμοποιεί μια Arduino Uno, θα πρέπει να έχει κατά νου ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μονάδα GPS κατά την ίδια στιγμή που ο υπολογιστής θα είναι συνδεδεμένος στη θύρα USB. Συνδέοντας έναν δέκτη Gps Parallax, οι ακόλουθες συμβολοσειρές διαβιβάζονται αυτόματα όταν η ακίδα "/ RAW" βρίσκεται χαμηλά, όπου προκείμεν τα εξής (Arduino, 2016):

\$GPGGA: Global Positioning System Fix Data

\$GPGSV: GPS satellites in view

\$GPGSA: GPS DOP and active satellites

\$GPRMC: Recommended minimum specific GPS/Transit data

Κάθε μία από αυτές τις φράσεις περιέχει ένα πλούτο δεδομένων. Για παράδειγμα, εδώ είναι μερικά παραδείγματα του string \$ GPRMC, γνωστός και ως ο "συγκεκριμένα προτείνετε η ελάχιστη μεταφορά δεδομένων GPS:

```
$GPRMC,081836,A,3751.65,S,14507.36,E,000.0,360.0,130998,011.3,E*62
```

```
eg2. $GPRMC,225446,A,4916.45,N,12311.12,W,000.5,054.7,191194,020.3,E*68
```

225446 Time of fix 22:54:46 UTC
 A Navigation receiver warning A = Valid position, V = Warning
 4916.45,N Latitude 49 deg. 16.45 min. North
 12311.12,W Longitude 123 deg. 11.12 min. West
 000.5 Speed over ground, Knots
 054.7 Course Made Good, degrees true
 191194 UTC Date of fix, 19 November 1994
 020.3,E Magnetic variation, 20.3 deg. East
 *68 mandatory checksum

\$GPRMC,220516,A,5133.82,N,00042.24,W,173.8,231.8,130694,004.2,W*70

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	220516											
2	A											
3	5133.82											
4	N											
5	00042.24											
6	W											
7	173.8											
8	231.8											
9	130694											
10	004.2											
11	W											
12	*70											

for NMEA 0183 version 3.00 active the Mode indicator field is added

\$GPRMC,hhmmss.ss,A,llll.ll,a,yyyy.yy,a,x.x,x.x,ddmmyy,x.x,a,m*hh

Field #

- 1 = UTC time of fix
- 2 = Data status (A=Valid position, V=navigation receiver warning)
- 3 = Latitude of fix
- 4 = N or S of longitude
- 5 = Longitude of fix
- 6 = E or W of longitude
- 7 = Speed over ground in knots
- 8 = Track made good in degrees True

- 9 = UTC date of fix
- 10 = Magnetic variation degrees (Easterly var. subtracts from true course)
- 11 = E or W of magnetic variation
- 12 = Mode indicator, (A=Autonomous, D=Differential, E=Estimated, N=Data not valid)
- 13 = Checksum

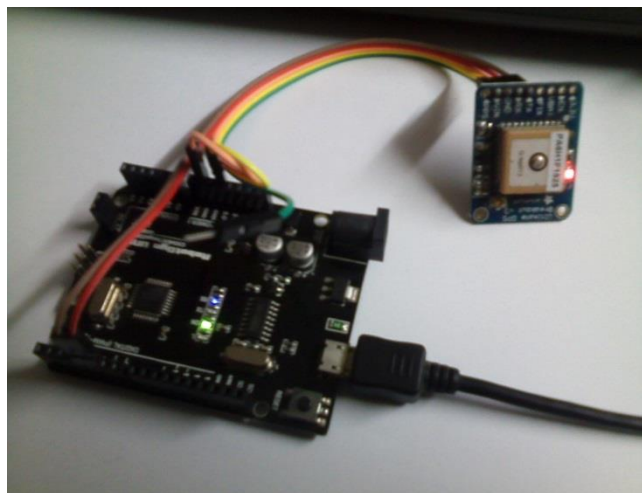
Η υλοποίηση αυτή προέρχεται σύμφωνα με τους (Pham et.al., 2013) οι οποίοι κατασκεύασαν ένα κινητό όχημα με την χρήση ενός microcontroller Arduino Uno. Πιο αναλυτικά, η πλακέτα αυτή διαθέτει σύστημα σύνδεσης τελευταίας γενιάς Arduino Usb, για την μεταφορά των δεδομένων στον χειριστή. Επίσης, συμπεριλαμβάνεται ένας μικροελεγκτής ATmega328 8-bit ως πυρήνας της πλακέτας. Ωστόσο, ένα Arduino Uno διαθέτει 14 ψηφιακά pins 6 αναλογικές ακίδες, και ο κώδικας τους αναπτύχθηκε σε C/C++. Εντούτοις οι ερευνητες, συνέδεσαν έναν αισθητήρα gps με το Arduino με Usb σύνδεση ώστε να μεταφέρονται τα δεδομένα για την θέση του οχήματος από το περιβάλλον που δραστηριοποιείται το ρομποτ στον επιβλέποντα χειριστή, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η παρακολούθηση της πορείας ενός τέτοιου οχήματος, μπορεί να μεταδώσει την θέση σε πραγματικό χρόνο. Επιλογικά, μια τέτοια κατασκευή μπορεί να υλοποιηθεί με πολύ μικρό χαμηλό κόστος συγκριτικά με άλλες περίπλοκες κατασκευές, καθώς επίσης, ένα τέτοιο σύστημα, μέσω δοκιμών αποδείχθηκε ότι παρέχει με χαρακτηριστική ευκολία την δυνατότητα προσαρμογής στο περιβάλλον.

8.Υλοποίηση

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας υλοποιήθηκαν πειραματικά διατάξεις του προαναφερθέντος (software/hardware) όπου αναφέρθηκαν σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές αναφορές. Εξετάστηκαν αισθητήρες τέτοιοι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μη επανδρωμένα οχήματα. Πιο αναλυτικά, αναπτύχθηκε ένα σενάριο λήψης δεδομένων οι οποίοι συνδέθηκαν στον μικροελεγκτή arduino και τα δεδομένα καταγράφηκαν σε υπολογιστή μέσω θύρας USB. Οι αισθητήρες που εξετάστηκαν είναι το γυροσκόπιο MPU 6050, το GPS Adafruit Ultimate v3 και ο αισθητήρας απόστασης υπερήχων HC SR04.

8.1GPS

Για τον εντοπισμό γεωγραφικής θέσης εξετάστηκε το GPS Adafruit Ultimate V3 . Η συνδεσμολογία με το arduino απεικονίζεται στην Εικόνα 10. Για τη λήψη δεδομένων για τον εντοπισμό της θέσης ενός οχήματος εξεταστάθηκε ο αισθητήρας GPS Adafruit Ultimate V. Ο αισθητήρας αυτός έχει ως σκοπό να μεταδώσει με ακριβεία την θέση του οχήματος πάνω στον γεωγραφικό χάρτη.



Εικόνα 10: Σύνδεση Arduino - GPS

Μέσα από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν η απόδοση του συγκεκριμένου GPS ήταν αρκετά ικανοποιητική. Σε ανοικτό χώρο ή εύρεση δορυφόρων και η έναρξη μετάδοσης δεδομένων απαιτεί 2-3 λεπτά. Όσο διαρκεί η εύρεση δορυφόρων ένα κόκκινο led αναβοσβήνει με ρυθμό 1 Hz. Πιο αναλυτικά, με την έναρξη μετάδοσης δεδομένων το led

σβήνει. Τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά και μπορούν να επαληθευθούν εύκολα με την εφαρμογή Google Maps. Όπως ήταν αναμενόμενο η ακρίβεια είναι της τάξης μερικών μέτρων. Η δυνατότητα εντοπισμού απαιτεί ανοικτό χώρο ενώ για κλειστό υπάρχει η δυνατότητα χρήσης μιας εξωτερικής κεραίας.

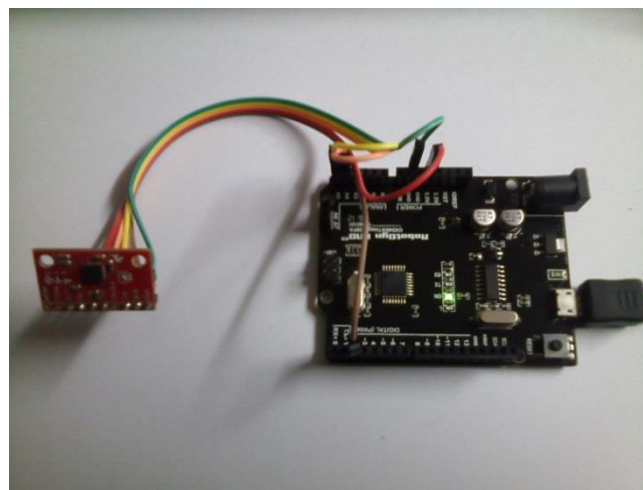
```
• /dev/ttyUSB0
$GPRMC,124244.000,A,3701.5870,N,02206.3164,E,0.50,77.46,141116,,A*57
$GPVTG,77.46,T,,M,0.50,N,0.93,K,A*00
```

Εικόνα 11 : Δεδομένα από το Gps

Σύμφωνα με την εικόνα 11 απεικονίζεται η έξοδος των δεδομένων που λήφθηκαν από το σειριακό τερματικό. Τα δεδομένα δίνονται σε μορφή NMEA. Στην συγκεκριμένη θέση το GPS μας δίνει πλάτος 3701.5870 N και μήκος 2206.3164 E τα οποία μετατρέπονται σε $37+1,5870/60 = 37,0266$ N και σε $22 + 6,3164/60 = 22,1052$ E όπου είναι οι συντεταγμένες του Google Maps.

8.2 Αισθητήρας γυροσκοπίου

Για δεδομένα γυροσκοπίου χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας MPU6050 του οποίου η συνδεσμολογία με το arduino απεικονίζεται στην εικόνα 12.



Εικόνα 12: Σύνδεση MPU 6050

Σύμφωνα με την εικόνα 13, απεικονίζονται τα δεδομένα που λήφθηκαν από σειριακό τερματικό. Τα δεδομένα που εξάγονται είναι 3 τιμές επιτάχυνσης για τους 3 άξονες x,y,z 3 τιμές θέσης του γυροσκοπίου x,y,z και μια τιμή θερμοκρασίας.

```
• /dev/ttyUSB0  
  
AcX = 388 | AcY = -112 | AcZ = 15280 | Tmp = 29.00 | GyX = -271 | GyY = 205 | GyZ = -158  
AcX = 468 | AcY = 64 | AcZ = 15432 | Tmp = 28.91 | GyX = -280 | GyY = 199 | GyZ = -162  
AcX = 532 | AcY = 36 | AcZ = 15388 | Tmp = 29.00 | GyX = -267 | GyY = 169 | GyZ = -167  
AcX = 520 | AcY = 36 | AcZ = 15224 | Tmp = 29.00 | GyX = -287 | GyY = 231 | GyZ = -170  
AcX = 440 | AcY = 32 | AcZ = 15364 | Tmp = 28.95 | GyX = -273 | GyY = 172 | GyZ = -163  
AcX = 552 | AcY = 100 | AcZ = 15284 | Tmp = 28.95 | GyX = -316 | GyY = 219 | GyZ = -166
```

Εικόνα 13: Δεδομένα γυροσκοπίου

8.3 Αισθητήρας απόστασης υπερήχων

Η αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου αισθητήρα βασίζεται σε έναν πομπό και ένα δέκτη υπερήχων. Ο πομπός εκπέμπει ένα παλμό στο φάσμα των υπερήχων ενώ στον δέκτη γίνεται λήψη του ανακλώμενου σήματος (Εικόνα 14). Η απόσταση υπολογίζεται από την χρονική διάρκεια μεταξύ της εκπομπής και της λήψης του παλμού.

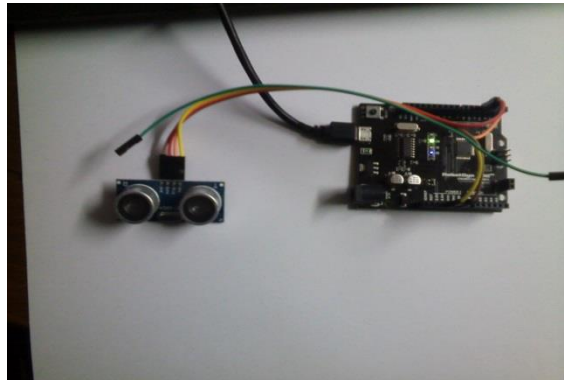


Εικόνα 14: Αισθητήρας Υπερήχων HC-SR04

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι ο HC-SR04 διαθέτει τέσσερα pins. σύμφωνα με την συνδεσμολογία που αποτειπόμεται στην Εικόνα 15, των οποίων τα ονόματα και οι λειτουργίες του είναι οι εξής:

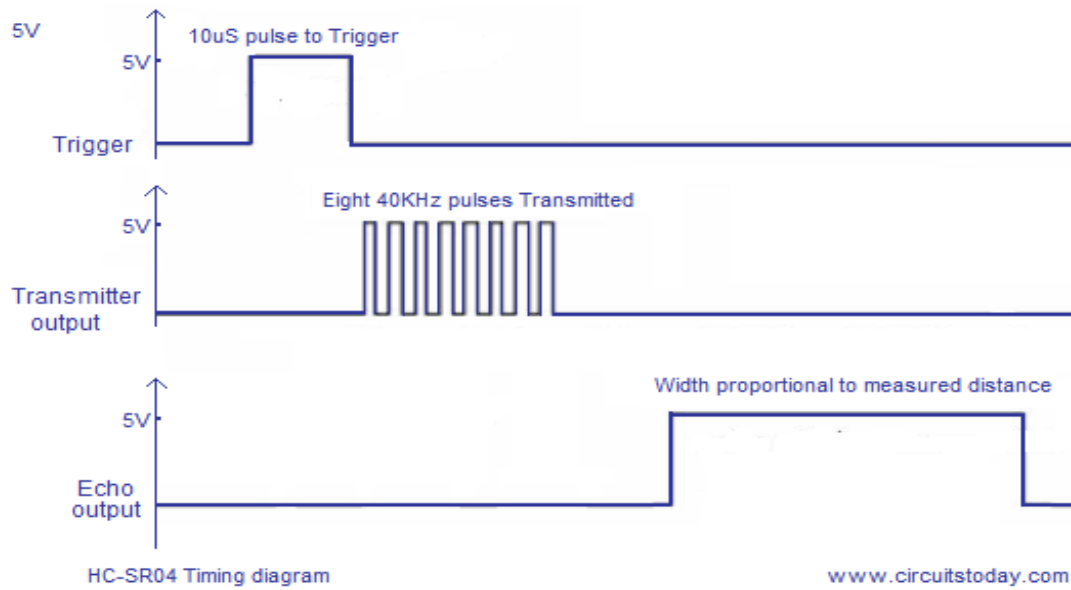
- **VCC:** Τάση τροφοδοσίας 5V δίνεται από αυτό το pin.

- **Trigger:** Έναν μακροχρόνιος παλμος 10uS δίνεται αυτό το pin για την ενεργοποίηση της μετάδοσης. Σε συνέχεια, το HC-SR04 εκδίδει οκτώ παλμούς των 40KHz. Ο χρόνος που λαμβάνεται από τους αντανακλώμενους παλμούς μετριέται και υπολογίζεται η απόσταση από αυτό.
- **ECHO:** Σε αυτό το pin το HC-SR04 εξάγει ένα σήμα του οποίου ο χρόνος είναι ανάλογος με την εύρος.
- **Ground:** Το pin συνδέεται απευθείας με το Arduino



Εικόνα 15: Σύνδεση HC SR04 με το Arduino

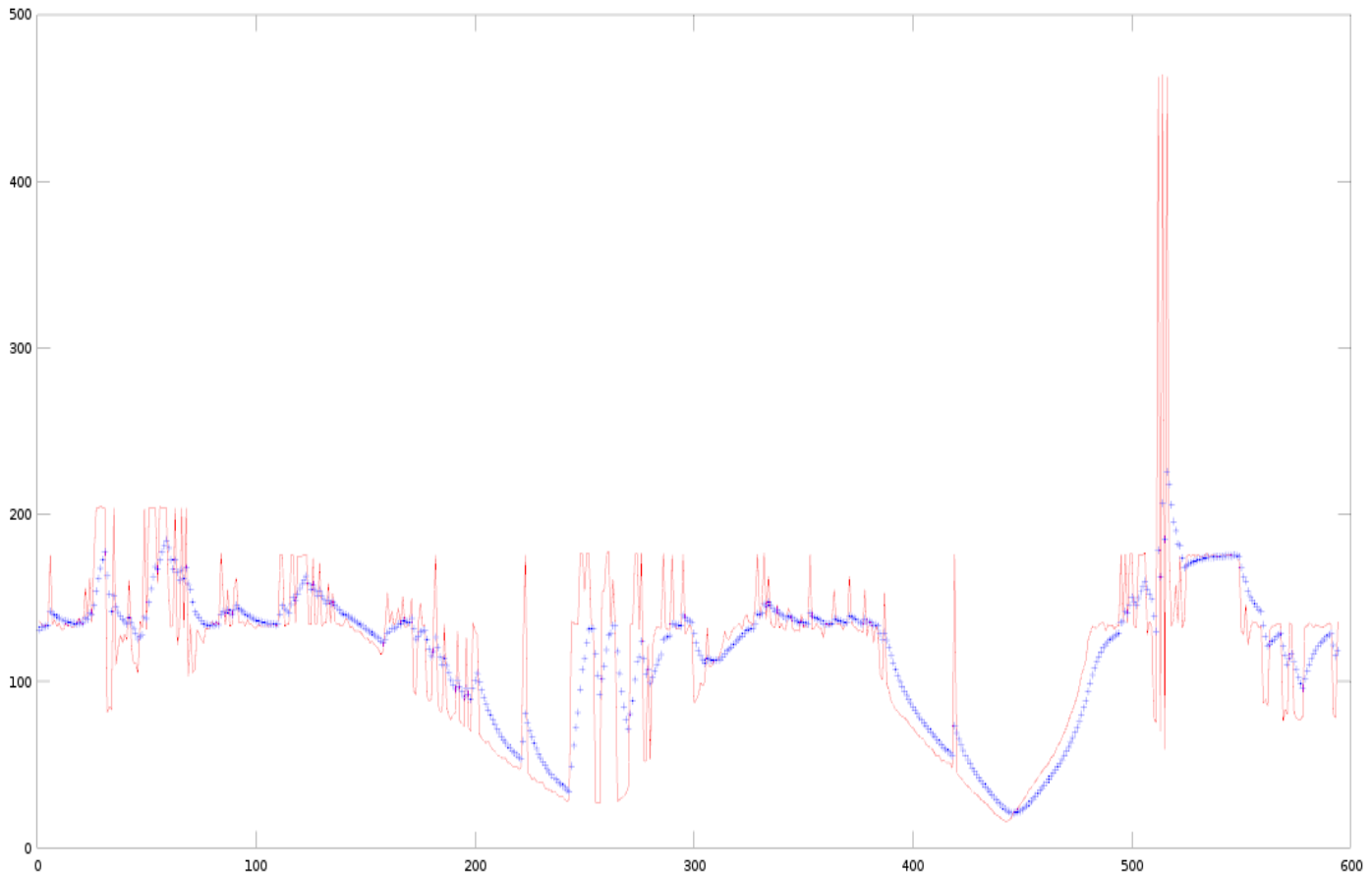
Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας HC-SR04 οποίος είναι μια υπερηχητικής μονάδα ανεύρεσης φασματικού εύρους, με ακρίβεια 0,3 εκατοστών. Το εύρος της ανίχνευσης αυτής κυμαίνεται από 2 εκατοστά έως 5 μέτρα. Το ρεύμα αυτού του αισθητήρα είναι 15mA και η γωνία μέτρησης είναι 15. Στην Εικόνα 16 αποτυπώνεται το διάγραμμα χρονισμού αυτού του αισθητήρα.



Εικόνα 16 : Διάγραμμα Χρονισμού του HC-SR04.

Η συμπεριφορά του αισθητήρα είναι αρκετά ικανοποιητική όταν η επιφάνεια του αντικειμένου που πλησιάζει τον αισθητήρα είναι αρκετά μεγάλη και επίπεδη ώστε να δημιουργείται ανακλώμενο σήμα. Ωστόσο στα μικρότερα αντικείμενα το ανακλώμενο σήμα δεν είναι συνεχές και δημιουργούνται μεγάλες μεταβολές στην έξοδο του αισθητήρα. Στην περίπτωση της Εικόνας 17 έχουμε ένα αντικείμενο 30 cm x 10 cm που πλησιάζει 2 φορές (κόκκινη γραμμή). Τα δεδομένα απόστασης εκφράζουν εκατοστά και έχουν δειγματοληψία 2 Hz.

Παρατηρούμε μια αστάθεια στις μετρήσεις που ενδεχομένως να παρουσιάσουν πρόβλημα στον έλεγχο της πλοήγησης.



Εικόνα 17: Δεδομένα αισθητήρα απόστασης πριν και μετά το φίλτρο Kalman

8.4 Επεξεργασία δεδομένων αισθητήρα υπερήχων με φίλτρο Kalman.

Όπως ήδη αναφέραμε τα φίλτρα kalman είναι κατάλληλη λύση για ασταθείς μετρήσεις. Για το παραπάνω παράδειγμα, υλοποιήθηκε ένα απλό φίλτρο kalman μίας κατάστασης στην matlab.

Στην περίπτωση αυτή, σε κάθε βήμα γίνεται εκτίμηση της τιμής του αισθητήρα και επαναυπολογισμός (update) των μετρήσεων (έξοδος του φίλτρου). Επειδή δεν έχουμε στοιχεία για τον μηχανισμό εκτίμησης θέτουμε σαν εκτιμώμενη τιμή x της μέτρησης ίδια με την τρέχουσα δηλαδή $x=x$.

Ως εκτίμηση του σφάλματος p θέτουμε την προηγούμενη τιμή συν τον θόρυβο της διαδικασίας q . Δηλαδή, $x=x$ και $p=p+q$.

Στην συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής κέρδους του φίλτρου (Kalman gain) σύμφωνα με την σχέση $k=p/(p+r)$ όπου r είναι ο θόρυβος των μετρήσεων.

Στην συνέχεια γίνεται ο επανυπολογισμός της εξόδου σύμφωνα με την σχέση:

$$x = x + k * (measurement - x)$$

Οπου measurment είναι η τρέχουσα μέτρηση.

Τέλος επανυπολογίζεται το σφάλμα σύμφωνα με τη σχέση:

$$p = (1 - k) * p$$

Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται για όλες τις τιμές μέτρησης.

Ο κώδικας του παραπάνω φίλτρου σε matlab δίνεται στο παράρτημα. Οι τιμές για το q και το r προσδιορίστηκαν εμπειρικά.

Τα αποτελέσματα του φίλτρου είναι ενθαρρυντικά και απεικονίζονται στην εικόνα 17. Παρατηρούμε ότι το φίλτρο ελαττώνει την αστάθεια των μετρήσεων χωρίς να επηρεάζει την πληροφορία.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ανακεφαλαιώνοντας την παρούσα εργασία, αναλύθηκε η αρχή και η εισαγωγή των οχημάτων αυτών στον σύγχρονο κόσμο, η βασική τους δομή, αλλά και τα γενικά χαρακτηριστικά τους. Ο αναγνώστης έρχετε σε επαφή με όλο το φάσμα σχεδιασμού και της λειτουργίας ενός μη επανδρωμένου οχήματος. Για να γίνει πιο σαφές, αναλύθηκε μια παρουσίαση των αλγορίθμων και του λογισμικού που χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση των ανωτέρω οχημάτων, καθώς και ο τρόπος λειτουργίας, και οι χρησιμοποιούμενοι μέθοδοι και τα μέσα πλοήγησης, με εκτενή αναφορά στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μέρους, και με κάποιες ίσως προτεινόμενες λύσεις για την καλύτερη και πιο αποτελεσματική λειτουργία αυτών.

Με γνώμονα τα ανωτέρω, ο αναγνώστης έχει τις απαραίτητες υποδομές για να προχωρήσει στην ανάλυση και εξήγηση της κατασκευής των λογισμικών των μη επανδρωμένων οχημάτων, που αποτελεί και το κύριο μέρος της παρούσης. Παρουσιάστηκαν σε θεωρητικό επίπεδο, αλλά και με αναφορές που ένας έμπειρος προγραμματιστής μπορεί εύκολα να φέρει σε πρακτικό επίπεδο. Ειδικότερα, τα βασικά συστήματα που συνδέονται και δημιουργούν ένα μη επανδρωμένο όχημα.

Επομένως, μετά από την περιγραφή των μεθόδων, των λογισμικών, της αρχιτεκτονικής τους αλλά και με παραδείγματα και βήματα για την χρήση αυτών στην κατασκευή μη επανδρωμένων οχημάτων, κλείνει η παρούσα ανάλυση.

9. Παράρτημα

1. Κώδικας σε octave/matlab φίλτρου Kalman

```
%Άνοιγμα αρχείου δεδομένων  
data=textread('distance2');
```

```
p=50;  
q=0.05;  
r=2;  
x=1;
```

```
plot(data,'r');
```

```
for i=1:length(data)
```

```
    x = x;  
    p = p + q;  
    k = p / (p + r);
```

```
    if(data(i)>500)  
        data(i)=100;  
    end
```

```
    x = x + k * (data(i) - x);  
    y(i)=x;  
    p = (1 - k) * p;  
end
```

```
hold on;  
plot(y,'+', 'markersize',5);
```

2. Κώδικας αισθητήρα υπερήχων σε wirec για τον μικροελεγκτή arduino

```
#define trigPin 3 //Η ακίδα trigger του αισθητήρα συνδέεται στην ψηφιακή έξοδο D3
#define echoPin 4 //Η ακίδα echo του αισθητήρα συνδέεται στην ψηφιακή είσοδο D4
```

```
void setup() {
  //Distance
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  Serial.begin(9600);}

void loop() {
  long duration;
  int distance;
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = (duration/2) / 29.1;

  Serial.println(distance);
  delay(500);
}
```

3. Κώδικας αισθητήρα γυροσκοπίου MPU 6050 σε wirec για τον μικροελεγκτή arduino

```
#include "I2Cdev.h"
```

```
#include "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h"
```



```

#if I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
    #include "Wire.h"
#endif

MPU6050 mpu;
#define OUTPUT_READABLE_EULER

// MPU control/status vars
bool dmpReady = false; // set true if DMP init was successful
uint8_t mpuIntStatus; // holds actual interrupt status byte from MPU
uint8_t devStatus; // return status after each device operation (0 = success, !=0 = error)
uint16_t packetSize; // expected DMP packet size (default is 42 bytes)
uint16_t fifoCount; // count of all bytes currently in FIFO
uint8_t fifoBuffer[64]; // FIFO storage buffer

// orientation/motion vars
Quaternion q; // [w, x, y, z] quaternion container
VectorInt16 aa; // [x, y, z] accel sensor measurements
VectorInt16 aaReal; // [x, y, z] gravity-free accel sensor measurements
VectorInt16 aaWorld; // [x, y, z] world-frame accel sensor measurements
VectorFloat gravity; // [x, y, z] gravity vector
float euler[3]; // [psi, theta, phi] Euler angle container
float ypr[3]; // [yaw, pitch, roll] yaw/pitch/roll container and gravity vector

// packet structure for InvenSense teapot demo
uint8_t teapotPacket[14] = { '$', 0x02, 0,0, 0,0, 0,0, 0,0, 0x00, 0x00, '\r', '\n' };

char buf[100]; //string for raspberry

```

```

//
=====
// ===          INTERRUPT DETECTION ROUTINE          ===
//
=====

volatile bool mpuInterrupt = false; // indicates whether MPU interrupt pin has gone high
void dmpDataReady() {
    mpuInterrupt = true;
}

}

void useInterrupt(boolean v) {
    if (v) {
        // Timer0 is already used for millis() - we'll just interrupt somewhere
        // in the middle and call the "Compare A" function above
        OCR0A = 0xAF;
        TIMSK0 |= _BV(OCIE0A);
        usingInterrupt = true;
    } else {
        // do not call the interrupt function COMPA anymore
        TIMSK0 &= ~_BV(OCIE0A);
        usingInterrupt = false;
    }
}

//
=====
// ===          INITIAL SETUP          ===
//
=====

```

```

void setup() {

// join I2C bus (I2Cdev library doesn't do this automatically)
#ifdef I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
    Wire.begin();
    TWBR = 24; // 400kHz I2C clock (200kHz if CPU is 8MHz)
#elif I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_BUILTIN_FASTWIRE
    Fastwire::setup(400, true);
#endif

// initialize serial communication
// (115200 chosen because it is required for Teapot Demo output, but it's
// really up to you depending on your project)

devStatus = mpu.dmpInitialize();

// supply your own gyro offsets here, scaled for min sensitivity
mpu.setXGyroOffset(220);
mpu.setYGyroOffset(76);
mpu.setZGyroOffset(-85);
mpu.setZAccelOffset(1788); // 1688 factory default for my test chip

// make sure it worked (returns 0 if so)
if (devStatus == 0) {
    // turn on the DMP, now that it's ready
    mpu.setDMPEnabled(true);

    // enable Arduino interrupt detection
    attachInterrupt(0, dmpDataReady, RISING);
    mpuIntStatus = mpu.getIntStatus();
}
}

```

```

// set our DMP Ready flag so the main loop() function knows it's okay to use it
dmpReady = true;

// get expected DMP packet size for later comparison
packetSize = mpu.dmpGetFIFOPacketSize();
} else {
// ERROR!
// 1 = initial memory load failed
// 2 = DMP configuration updates failed
// (if it's going to break, usually the code will be 1)
}

//
=====
// ===          MAIN PROGRAM LOOP          ===
//
=====

void loop() {

    if (!dmpReady) return;

    // reset interrupt flag and get INT_STATUS byte
    mpuInterrupt = false;
    mpuIntStatus = mpu.getIntStatus();

    // get current FIFO count
    fifoCount = mpu.getFIFOCount();

    // check for overflow (this should never happen unless our code is too inefficient)
    if ((mpuIntStatus & 0x10) || fifoCount == 1024) {
        // reset so we can continue cleanly

```

```

mpu.resetFIFO();
//Serial.println(F("FIFO overflow!"));

// otherwise, check for DMP data ready interrupt (this should happen frequently)
} else if (mpuIntStatus & 0x02) {
    // wait for correct available data length, should be a VERY short wait
    while (fifoCount < packetSize) fifoCount = mpu.getFIFOCount();

    // read a packet from FIFO
    mpu.getFIFOBytes(fifoBuffer, packetSize);

    // track FIFO count here in case there is > 1 packet available
    // (this lets us immediately read more without waiting for an interrupt)
    fifoCount -= packetSize;

#ifdef OUTPUT_READABLE_QUATERNION
    // display quaternion values in easy matrix form: w x y z
    mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
/*    Serial.print("quat\t");
    Serial.print(q.w);
    Serial.print("\t");
    Serial.print(q.x);
    Serial.print("\t");
    Serial.print(q.y);
    Serial.print("\t");
    Serial.println(q.z);*/
#endif

#ifdef OUTPUT_READABLE_EULER
    // display Euler angles in degrees
    mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
    mpu.dmpGetEuler(euler, &q);
/*
    Serial.print("euler\t");

```

```

Serial.print(euler[0] * 180/M_PI);
Serial.print("\t");
Serial.print(euler[1] * 180/M_PI);
Serial.print("\t");
Serial.println(euler[2] * 180/M_PI);*/
#endif

#ifdef OUTPUT_READABLE_YAWPITCHROLL
// display Euler angles in degrees
mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
mpu.dmpGetGravity(&gravity, &q);
mpu.dmpGetYawPitchRoll(ypr, &q, &gravity);
/*
Serial.print("ypr\t");
Serial.print(ypr[0] * 180/M_PI);
Serial.print("\t");
Serial.print(ypr[1] * 180/M_PI);
Serial.print("\t");
Serial.println(ypr[2] * 180/M_PI);*/
#endif

#ifdef OUTPUT_READABLE_REALACCEL
// display real acceleration, adjusted to remove gravity
mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
mpu.dmpGetAccel(&aa, fifoBuffer);
mpu.dmpGetGravity(&gravity, &q);
mpu.dmpGetLinearAccel(&aaReal, &aa, &gravity);
/*Serial.print("areal\t");
Serial.print(aaReal.x);
Serial.print("\t");
Serial.print(aaReal.y);
Serial.print("\t");
Serial.println(aaReal.z);*/
#endif

```

```

#ifdef OUTPUT_READABLE_WORLDACCEL
    // display initial world-frame acceleration, adjusted to remove gravity
    // and rotated based on known orientation from quaternion
    mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
    mpu.dmpGetAccel(&aa, fifoBuffer);
    mpu.dmpGetGravity(&gravity, &q);
    mpu.dmpGetLinearAccel(&aaReal, &aa, &gravity);
    mpu.dmpGetLinearAccelInWorld(&aaWorld, &aaReal, &q);
    /*Serial.print("aworld\t");
    Serial.print(aaWorld.x);
    Serial.print("\t");
    Serial.print(aaWorld.y);
    Serial.print("\t");
    Serial.println(aaWorld.z);*/
#endif

#ifdef OUTPUT_TEAPOT
    // display quaternion values in InvenSense Teapot demo format:
    teapotPacket[2] = fifoBuffer[0];
    teapotPacket[3] = fifoBuffer[1];
    teapotPacket[4] = fifoBuffer[4];
    teapotPacket[5] = fifoBuffer[5];
    teapotPacket[6] = fifoBuffer[8];
    teapotPacket[7] = fifoBuffer[9];
    teapotPacket[8] = fifoBuffer[12];
    teapotPacket[9] = fifoBuffer[13];
    // Serial.write(teapotPacket, 14);
    teapotPacket[11]++; // packetCount, loops at 0xFF on purpose
#endif
}

```

4. Κώδικας GPS σε wirec για τον μικροελεγκτή arduino

```
#include <Adafruit_GPS.h>
#if ARDUINO >= 100
#include <SoftwareSerial.h>
#else
    // Older Arduino IDE requires NewSoftSerial, download from:
    // http://arduinoiana.org/libraries/newsoftserial/
    // #include <NewSoftSerial.h>
    // DO NOT install NewSoftSerial if using Arduino 1.0 or later!
#endif

// Connect the GPS Power pin to 5V
// Connect the GPS Ground pin to ground
// If using software serial (sketch example default):
// Connect the GPS TX (transmit) pin to Digital 3 4
// Connect the GPS RX (receive) pin to Digital 2 5

// If using software serial, keep these lines enabled
// (you can change the pin numbers to match your wiring):
#if ARDUINO >= 100
    SoftwareSerial mySerial(4, 5);
#else
    NewSoftSerial mySerial(4, 5);
#endif

Adafruit_GPS GPS(&mySerial);

#define GPSECHO true
boolean usingInterrupt = false;
void useInterrupt(boolean); // Func prototype keeps Arduino 0023 happy

void setup()
{
```



```

Serial.begin(115200);
Serial.println("Adafruit GPS library basic test!");

// 9600 NMEA is the default baud rate for MTK - some use 4800
GPS.begin(9600);

// uncomment this line to turn on RMC (recommended minimum) and GGA (fix data)
including altitude
GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_OUTPUT_RMCGGA);

// 5 Hz update rate- for 9600 baud you'll have to set the output to RMC or RMCGGA only
(see above)
GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_UPDATE_5HZ);
GPS.sendCommand(PMTK_API_SET_FIX_CTL_5HZ);
// Request updates on antenna status, comment out to keep quiet
GPS.sendCommand(PGCMD_ANTENNA);

useInterrupt(true);

delay(1000);
}

// Interrupt is called once a millisecond, looks for any new GPS data, and stores it
SIGNAL(TIMER0_COMPA_vect) {
  char c = GPS.read();

  if (GPSECHO)
    if (c) UDR0 = c;
}

void useInterrupt(boolean v) {
  if (v) {
    // Timer0 is already used for millis() - we'll just interrupt somewhere
    // in the middle and call the "Compare A" function above

```

```

OCR0A = 0xAF;
TIMSK0 |= _BV(OCIE0A);
usingInterrupt = true;
} else {
    // do not call the interrupt function COMPA anymore
    TIMSK0 &= ~_BV(OCIE0A);
    usingInterrupt = false;
}
}

void loop()           // run over and over again
{
    // do nothing! all reading and printing is done in the interrupt
}

```

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Αθανασάκη, Δ. (2015). *Κατασκευή ρομποτικού οχήματος με δυνατότητα αποφυγής εμποδίων*. Κρήτη: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής. Πτυχιακή Εργασία. Διαθέσιμο στο: <https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/3700/AthanasakiDespoina2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>[Ημ. πρόσβασης: 24/9/2016].

Δήμας, Σ (2016). *Ασύρματη απομακρυσμένη διαχείριση κινητού μικροελεγκτή και εφαρμογή εντοπισμού μέσω τεχνικών υπολογιστικής όραση*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής. Διαθέσιμο στο: <http://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/43579> [Ημ. πρόσβασης: [10/11/2016].

Ρωσσίδης, Δ. (2012). *Κατασκευή και πλοήγηση ρομπότ ακουστικών μετρήσεων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής & Συστημάτων Πληροφορικής. Διπλωματική Εργασία. Διαθέσιμο στο: <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/6429/1/DT2012-0200.pdf>[Ημ. πρόσβασης: [24/9/2016].

Χριστοφόρου, Κ. (2011). *Robot using Mindstorms NXT*. Κύπρος: Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πληροφορικής. Διπλωματική Εργασία. Διαθέσιμο στο: https://ktree.cs.ucy.ac.cy/action.php?kt_path_info=ktcore.actions.document.view&fDocumentId=6812 [Ημ.πρόσβασης:08/11/2016]

Θάνου, Μ. (2011). *PID έλεγχος για Quadrotor (Doctoral dissertation)*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων και Αυτόματου Έλεγχου. Διπλωματική Εργασία. Διαθέσιμο:http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4705/3/Nimertis_Thanou%28e%29.pdf [Ημ.πρόσβασης:16/11/2016]

Στάμκος, Α. (2015). *PID έλεγχος με τη χρήση του LABVIEW*. Καβάλα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας. Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών , Τμήμα

Ηλεκτρολογίας. Πτυχιακή Εργασία. Διαθέσιμο στο:
<http://digilib.teiimt.gr/jspui/handle/123456789/5069> [Ημ.πρόσβασης:16/11/2016]

Αγγλική

Arduino 2016, *MPU-6050 Accelerometer + Gyro*. [σε απευθείας σύνδεση] Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>[Ημ.πρόσβασης:08/11/2016].

Arduino 2016, *Connecting a Parallax GPS module to the Arduino*. [σε απευθείας σύνδεση] Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://playground.arduino.cc/Tutorials/GPS> [Ημ.πρόσβασης:08/11/2016].

Atiya, S., & Hager, G. D. (1993). "Real-time vision-based robot localization".*IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 9(6): 785-800.

Borenstein, J., Everett, H. R., Feng, L., & Wehe, D. (1997). "Mobile robot positioning-sensors and techniques".*Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots*, 14(4): 231-249.

Capezio, F., Sgorbissa, A., & Zaccaria, R. (2005). GPS-based localization for a surveillance UGV in outdoor areas. *Proceedings of the Fifth International Workshop on Robot Motion and Control*,23-25 June, 2005, pp. 157-162.

Czapla, T., & Wrona, J. (2013). "Technology development of military applications of unmanned ground vehicles". *Vision Based Systems for UAV Applications*, Springer International Publishing. 481: 293-309.

Colomina, I., & Molina, P. (2014). "Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92: 79-97.

Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2006). *Εισαγωγή στους αλγόριθμους*. Διαθέσιμο στο: <http://www.cup.gr/Previews/978-960-524-225-1-Preview.pdf> [Ημ. Πρόσβασης: 13/10/2016].

Demetriou, G.A. (2006). A survey of sensors for localization of unmanned ground vehicles (UGVs). *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)* vol. 2, Las Vegas, NV, USA, June 26-29, 2006, pp. 659-668.

Harding, R. J., & Whitty, M. A. (2015). Employing Android devices for autonomous control of a UGV. *Proceedings of the 7th European Conference on Mobile Robots (ECMR)*, United Kingdom, September 2-4, 2015, pp. 1-6.

Gage, D. W. (1995). "UGV HISTORY 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts". *Unmanned Systems Magazine*, 13(3): 1-9.

Groves, P. D. (2013). *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems*. 2^η Έκδοση. Boston/London: Artech house.

Khurshid, J., & Bing-Rong, H. (2004). Military robots-a glimpse from today and tomorrow. *Proceedings of the Control, Automation, Robotics and Vision Conference, 2004 (ICARCV)* vol. 1, US & Canada, December 6-9, 2004, pp. 771-777.

Kortenkamp, D., Bonasso, R. P., & Murphy, R. (1998). *Artificial intelligence and mobile robots: case studies of successful robot systems*. London: MIT Press.

Nguyen-Huu, P. N., Titus, J., Tilbury, D., & Ulsoy, G. (2009). *Reliability and failure in Unmanned Ground Vehicle (UGV)*. United States: University of Michigan. Technical Report. Διαθέσιμο στο: http://arc.engin.umich.edu/grrc/techreports/200901_ReliabilityUGV.pdf [Ημ. πρόσβασης: 24/9/2016].

Nilsson, N. J. (1980). *Principles of Artificial Intelligence*. Palo Alto: Springer Verlag.

Iqbal, U. (2012). *Multi-sensor data fusion for vehicular navigation applications*. Canada: Queen's University, Department of Electrical and Computer Engineering. Doctoral Thesis. Διαθέσιμο στο: <http://qspace.library.queensu.ca/handle/1974/7348> [Ημ. πρόσβασης: 24/9/2016].

Iqbal, U., Georgy, J., Abdelfatah, W., Tamazin, M., Korenberg, M., & Noureldin, A. (2012). "Non-Linear Modeling of Pseudorange Errors for Centralized Non-Linear Multi-Sensor System Integration". *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*, Nashville TN, September 17-21, 2012, pp. 494-502.

Ismail, A. T., Sheta, A., & Al-Weshah, M. (2008). "A mobile robot path planning using genetic algorithm in static environment". *Journal of Computer Science*, 4 (4): 341-344.

Pham, H. D., Driberg, M., & Nguyen, C. C. (2013, December). Development of vehicle tracking system using GPS and GSM modem. In *Open Systems (ICOS), 2013 IEEE Conference on* (pp. 89-94). IEEE.

Playground Arduino (2016). MPU-6050 Accelerometer + Gyro. Διαθέσιμο στο: <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050> [Ημ. πρόσβασης: 10/11/2016].

Ramirez-Serrano, A., Liu, H., & Pettinaro, G. C. (2008). "Mobile robot localization in quasi-dynamic environments". *Industrial Robot: An International Journal*, 35 (3): 246-258.

Richter, S., Helmert, M., & Westphal, M. (2008). "Landmarks Revisited". *Proceedings of the Twenty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Chicago, IL, USA, July 13-17, 2008, pp. 975-982.

Rahman, A. T. I. F. (2013). *Navigation in wheeled mobile robots using Kalman filter augmented with parallel cascade identification to model Azimuth error*. Canada: Queen's University, Department of Electrical and Computer Engineering. Master Thesis. Διαθέσιμο στο: http://qspace.library.queensu.ca/dspace/bitstream/1974/8077/1/Rahman_Atif_M_201306_MASc.pdf [Ημ. πρόσβασης: 24/9/2016].

Sedighi, K. H., Ashenayi, K., Manikas, T. W., Wainwright, R. L., & Tai, H. M. (2004). "Autonomous local path planning for a mobile robot using a genetic algorithm". *Evolutionary Computation*, US & Canada: IEEE, pp. 1338-1345.

Siegwart, R., & Nourbakhsh, I. R. (2004). *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. London: MIT Press.

Souissi, S., Défago, X., & Yamashita, M. (2009). "Using eventually consistent compasses to gather memory-less mobile robots with limited visibility". *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)*, 4 (1): 9-27.

Shin, E. H. (2006). *Estimation techniques for low-cost inertial navigation*. Alberta: University of Calgary, Department of engineering. Doctoral Dissertation. Διαθέσιμο στο: http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/NES/05.20219.EHShin.pdf [Ημ. πρόσβασης: 24/9/2016].

Hao, Y., & Agrawal, S. K. (2005). "Planning and control of UGV formations in a dynamic environment: A practical framework with experiments". *Robotics and Autonomous systems*, 51(2): 101-110.

Wikipedia (2016). Uncrewed vehicle. Διαθέσιμο στο: https://en.wikipedia.org/wiki/Uncrewed_vehicle [Ημ. πρόσβασης: 24/9/2016].

Wikipedia (2016). Uncrewed vehicle. Διαθέσιμο στο: http://www.elesme.gr/elesmegr/periodika/t41/t41_04.html [Ημ. πρόσβασης: [24/9/2016].

Wikipedia (2016). Arduino. Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino> [Ημ. πρόσβασης: 10/11/2016]

Wikipedia (2016). Γυροσκοπική πυξίδα. Διαθέσιμο στο: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CF%85%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%80%CF%85%CE%BE%CE%AF%CE%B4%CE%B1 [Ημ. πρόσβασης: 24/9/2016].

Wikipedia (2016). Odometry. Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Odometry> [Ημ. πρόσβασης: 20/11/2016].