



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ιχνηλασία Πολλαπλών Αισθητήρων σε
Αυτόνομα και Συνεργατικά Συστήματα
Αντίληψης Οδικού Περιβάλλοντος

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ, Π. ΘΩΜΑΪΔΗ

Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Η/Υ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Ν. ΟΥΖΟΥΝΟΓΛΟΥ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ιχνηλασία Πολλαπλών Αισθητήρων σε Αυτόνομα και Συνεργατικά Συστήματα Αντίληψης Οδικού Περιβάλλοντος

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ, Π. ΘΩΜΑΪΔΗ

Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Η/Υ Ε.Μ.Π

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

1. Ν. ΟΥΖΟΥΝΟΓΛΟΥ, Καθηγητής Ε.Μ.Π
2. Δ.- Θ. ΚΑΚΛΑΜΑΝΗ, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π
3. Α. ΑΜΔΙΤΗΣ, Ερευνήτης Α' ΕΠΙΣΕΥ

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Ν. ΟΥΖΟΥΝΟΓΛΟΥ, Καθηγητής Ε.Μ.Π
2. Δ.- Θ. ΚΑΚΛΑΜΑΝΗ, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π
3. Α. ΑΜΔΙΤΗΣ, Ερευνήτης Α' ΕΠΙΣΕΥ
4. Ι. ΒΕΝΙΕΡΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π
5. Σ. ΚΟΛΛΙΑΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π
6. Γ. ΜΑΤΣΟΠΟΥΛΟΣ, Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π
7. Α. ΚΑΝΑΤΑΣ, Αν. Καθηγητής Πα. Πει.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011

.....

Γεώργιος, Π. Θωμαΐδης

Υπ. Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος, Π. Θωμαΐδης, 2011.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τροχαία ατυχήματα αποτελούν παγκοσμίως την 11^η αιτία θανάτου, με την κυριότερη αιτία να παραμένει ο ανθρώπινος παράγοντας. Στις αρχές της δεκαετίας του 90' οι τεχνολογίες της πληροφορικής, των υπολογιστών και των αισθητήρων άρχισαν να εφαρμόζονται στις μεταφορές, γενώντας έτσι τον κλάδο των Ευφών Συστημάτων Μεταφορών. Στο τέλος της δεκαετίας τα πρώτα συστήματα όπως το Προσαρμοστικό Σύστημα Ελέγχου Ταξιδιού (ACC-Adaptive Cruise Control) έκαναν την εμφάνισή τους στα αυτοκίνητα παραγωγής.

Στη παρούσα πρόταση διδακτορικής διατριβής αρχικά περιλαμβάνεται μια εισαγωγή στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται από τα Προηγμένα Συστήματα Υποβοήθησης του Οδηγού. Επίσης περιλαμβάνεται μία περιγραφή των βασικών αρχών της επιστήμης σύντηξης δεδομένων ενώ ακόμα γίνεται αναφορά στην βασική θεωρία εκτίμησης κατάστασης, το φίλτρο Kalman και την ιχνηλασία αντικειμένων. Τέλος γίνεται μία σύντομη περιγραφή των τεχνικών θεσιθεσίας και των δεκτών GPS.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρητική περιγραφή καθώς και η υλοποίηση ενός συστήματος αντίληψης οδικού περιβάλλοντος καθώς η εφαρμογή του σε ένα αυτοματοποιημένο όχημα. Τα θέματα που εξετάζονται μεταξύ άλλων είναι η ιχνηλασία επιπέδου και η ιχνηλασία κεντρικού επιπέδου. Αναλύεται η εκτίμηση κατάστασης του ίδιου οχήματος όπως επίσης και η εκτίμηση της γεωμετρίας των λωρίδων με τη χρήση πολλαπλών αισθητήρων.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την μελέτη και εφαρμογή του αλγορίθμου ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων προσανατολισμένου σε μετρήσεις σε ένα σύστημα ιχνηλασίας επιπέδου αισθητήρα. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει τη θεωρητική περιγραφή του αλγορίθμου και την παρουσίαση της υλοποίησης σε ένα σύστημα ιχνηλασίας σαρωτή laser. Επίσης γίνεται μελέτη των τεχνικών βελτίωσης της αποδοτικότητας του αλγορίθμου με τη χρήση τεχνικών όπως η ομαδοποίηση και η συγχώνευση υποθέσεων.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την μελέτη ενός συστήματος ιχνηλασίας οχήματος που ταυτόχρονα λαμβάνει πληροφορίες από ένα ασύρματο δίκτυο αυτοκινήτων. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται χρήση του αλγορίθμου ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων προσανατολισμένου σε ίχνη, ενώ ταυτόχρονα εξετάζονται τα προβλήματα που προκύπτουν στην ιχνηλασία αντικειμένων από τη χρήση πληροφοριών που προέρχονται από απομακρυσμένους κόμβους. Αρχικά στο κεφάλαιο γίνεται μελέτη του προβλήματος κεντρικής ιχνηλασίας δύο απομακρυσμένων χωρικά αισθητήρων (ραδιοεντοπιστής και ασύρματο δίκτυο). Ακολούθως παρουσιάζεται η εφαρμογή του ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων προσανατολισμένου σε ίχνη για την συσχέτιση των δεδομένων που προέρχονται από τον ραδιοεντοπιστή με εκείνα που λαμβάνονται από το ασύρματο δίκτυο.

Λέξεις κλειδιά: ιχνηλασία πολλαπλών στόχων - πολλαπλών αισθητήρων, σύντηξη δεδομένων, συσχέτιση δεδομένων, ιχνηλασία πολλαπλών υποθέσεων, συνεργατικά συστήματα, αυτό-οργανούμενα δίκτυα αυτοκινήτων, ασύρματη επικοινωνία, φιλτράρισμα δεδομένων,

ABSTRACT

Traffic accidents are the 11th most common cause of death, while human factor remains the main responsible. In the beginning of 90's information, sensor and computer technologies were first applied in the transport domain, creating the sector of the Intelligent Transportation System. In the end of the decade systems like Adaptive Cruise Control (ACC) were first introduced in commercial cars.

The first chapter of the current thesis contains a presentation of the technologies that are used in Advanced Driver Assistance Systems. Additionally, the basic theory of data fusion, estimation, Kalman filtering and tracking is explained. Finally, there is a reference to techniques regarding localization and use of GPS devices.

In the next chapter, the theoretical analysis and implementation of a road environment perception system with application to automated vehicle is presented. Topics that are discussed include sensor and global level tracking. Moreover, ego vehicle state estimation and road geometry estimation using multiple sensors are examined and implemented.

The third chapter is dedicated to a Measurement Oriented Multiple Hypotheses Tracker applied in a sensor level tracking. A theoretical analysis and the practical implementation into a laser scanner tracking system are presented. Additionally, optimization techniques like clustering and hypotheses merging are investigated and applied to improve algorithm performance.

Fourth chapter analyzes the use of tracking system that receives also data from a vehicular network. In this case the Track Oriented Multiple Hypotheses Tracking (TOMHT) algorithm is used, while the issues that stem from using in tracking information from remote nodes are examined. The first sections of the chapter are devoted to the challenge of centralized tracking using remote sensor measurements (radar and vehicular network). The application of TOMHT for data association of radar and vehicular network information is presented in the remaining sections.

The author would like to thank Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) and Volvo Technologies (VTEC) for the provision of data from their vehicle demonstrators. Special thanks to Dr. Henning Mosebach, Gerald Temme and Jan Schomerus from DLR and Grant Grubb, Malte Ahrholdt from VTEC.

Keywords: multi sensor – multi target tracking, data fusion, data association, Multiple Hypotheses Tracking, cooperative systems, ad hoc vehicular networks, wireless communications, filtering,

ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τροχαία ατυχήματα αποτελούν μια καιρία πληγή στην παγκόσμια υγεία. Η μείωση των τροχαίων ατυχημάτων αποτελεί μία χρόνια προσπάθεια των ευρωπαϊών κεφαλαιούχων στον τομέα των μεταφορών και αρκετά ευρωπαϊκά προγράμματα έχουν χρηματοδοτηθεί για την πραγματοποίηση αυτού του στόχου. Η κύρια αιτία των τροχαίων ατυχημάτων παραμένει ο ανθρώπινος παράγοντας. Το ανθρώπινο λάθος, η έλλειψη συγκέντρωσης και η ελλιπής εκτίμηση της κατάστασης, οδηγούν στην πρόκληση ενός ατυχήματος. Τα συστήματα ADAS υποστηρίζουν τον οδηγό παρέχοντας πληροφορίες, προειδοποιήσεις αλλά και επεμβαίνοντας, επηρεάζοντας την συμπεριφορά των οδηγών, του ιδίου αλλά και των γειτονικών οχημάτων. Στις μέρες μας, η χρήση των συστημάτων γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη καθώς η έλευση νέων τεχνολογιών (αισθητήρες, υπολογιστές, ασύρματες επικοινωνίες) κάνει την χρήση τους προσιτή σε ένα ευρύτερο κοινό. Η κύρια ιδέα των ADAS είναι η αντίληψη και πρόβλεψη επικίνδυνων καταστάσεων μέσω της εκτίμησης της κατάστασης του οχήματος και του οδηγού καθώς και του περιβάλλοντος στο οποίο κινείται το όχημα. Μοναδικό μέσο για την κατανόηση του περιβάλλοντός του είναι η χρήση αισθητήρων για τη λήψη σημάτων και η «μετάφρασή» τους μέσω κατάλληλου υλικού (hardware) και λογισμικού (software). Οι αισθητήρες που εξοπλίζουν ένα σύστημα ADAS, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει εκείνους που μετρούν μεγέθη σχετικά με την κατάσταση του οχήματος (όπως οι αδρανειακοί αισθητήρες, οι αισθητήρες γωνίας του τιμονιού κ.ά.). Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από αισθητήρες οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες σχετικές με το περιβάλλον που κινείται το όχημα, για παράδειγμα οι αισθητήρες ραντάρ και οι κάμερες αναγνώρισης λωρίδας. Οι κυριότερες κατηγορίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα ADAS είναι οι αισθητήρες radar και οι κάμερες, με τους σαρωτές laser να έχουν πολύ μικρότερη διείσδυση στα εμπορικά συστήματα έξυπνων οχημάτων.

Ο ανθρώπινος παράγον είναι υπεύθυνος για την πρόκληση του 95% των τροχαίων ατυχημάτων. Η εισαγωγή υψηλής αυτοματοποίησης στα αυτοκίνητα θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα του οδηγού. Σκοπός ενός συστήματος αυτοματοποιημένης οδήγησης είναι η υποβοήθηση του οδηγού σε στιγμές όπου η οδήγηση είναι είτε μονότονη είτε απαιτεί την εκτέλεση πολλών δράσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση μιας προτεινόμενης αρχιτεκτονικής ενός συστήματος αντίληψης οδικού περιβάλλοντος σε εφαρμογές αυτοματοποιημένης οδήγησης.

Το σύστημα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος που παρουσιάζεται στο δεύτερο κεφάλαιο, ενσωματώθηκε σε ένα αυτοματοποιημένο όχημα για την υποβοήθηση του οδηγού σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Το σύστημα ιχνηλασίας του οχήματος σχεδιάστηκε με βάση την υβριδική αρχιτεκτονική. Κάθε αισθητήρας ανίχνευσης αντικειμένων παραδίδει στην έξοδο τη λίστα των αντικειμένων που εντοπίστηκαν στην τρέχουσα σάρωση. Η λίστα αυτή των στόχων αποτελεί την είσοδο της τοπικής μονάδας ιχνηλασίας (μονάδα ιχνηλασίας επιπέδου αισθητήρα). Συνεπώς σε κάθε αισθητήρα αντιστοιχεί και μία μονάδα ιχνηλασίας η οποία σε κάθε κύκλο επεξεργασίας παραδίδει στην έξοδο μία λίστα επιβεβαιωμένων ιχνών. Στο παρόν σύστημα οι πέντε μονάδες ιχνηλασίας μεταδίδουν αντίστοιχο αριθμό από λίστες επιβεβαιωμένων ιχνών στην κεντρική μονάδα ιχνηλασίας. Κάθε ίχνος περιγράφεται από ένα διάνυσμα κατάστασης, τον πίνακα συνδιακύμανσης καθώς και ένα διάνυσμα ιδιοτήτων. Η κεντρική μονάδα ιχνηλασίας με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων πραγματοποιεί τη σύντηξη των ιχνών και στην έξοδο της μεταδίδει την συντηγμένη λίστα ιχνών.

Στην τοπική μονάδα ιχνηλασίας οι εισερχόμενες παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση των ιχνών. Ο έλεγχος μέσω πύλης καθορίζει εκείνα τα ζεύγη παρατήρησης-διαδρομής που είναι λογικά, ενώ ένας πιο ακριβής αλγόριθμος καθορίζει τα τελικά ζεύγη. Οι παρατηρήσεις που δεν συνδυάστηκαν με κάποια διαδρομή είναι δυνατόν να οδηγήσουν στην αρχικοποίηση νέων ιχνών. Για να επιβεβαιωθεί ένα ίχνος θα πρέπει οι παρατηρήσεις να ικανοποιούν κάποια κριτήρια επιβεβαίωσης. Αντίστοιχα κριτήρια υπάρχουν και για τη διαγραφή ιχνών. Τέλος, στα ίχνη που συσχετίστηκαν με κάποια παρατήρηση στην τρέχουσα σάρωση, ανανεώνονται τα αντίστοιχα διανύσματα κατάστασης και οι πίνακες συνδιακύμανσης. Ο αλγόριθμος ιχνηλασίας κεντρικού επιπέδου αποτελείται από δύο κύριες υπομονάδες. Η συσχέτιση και σύντηξη ιχνών συσχετίζει τις λίστες ιχνών που προέρχονται από τις τοπικές μονάδες ιχνηλασίας. Η κεντρική μονάδα ιχνηλασίας εκτελεί την ίδια λειτουργία με μία τοπική μονάδα ιχνηλασίας, με τη βασική διαφορά να βρίσκεται στο ότι η είσοδος είναι η συντηγμένη λίστα ιχνών και όχι η λίστα παρατηρήσεων ενός αισθητήρα.

Η εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου στηρίζεται σε 3 ανεξάρτητους αλγόριθμους. Οι δύο αφορούν την εκτίμηση της γεωμετρίας των λωρίδων με βάση τις μετρήσεις του οπτικού αισθητήρα και των σαρωτών laser αντίστοιχα. Οι μετρήσεις του κάθε αισθητήρα φιλτράρονται με τη χρήση φίλτρου Kalman και η εκτίμηση της γεωμετρίας εκτελείται με τη χρήση του κλοθοϊδούς μοντέλου. Ο τρίτος αλγόριθμος χρησιμοποιεί την δυναμική κατάσταση του οχήματος προκειμένου να εκτιμήσει την καμπυλότητα του δρόμου ώστε να είναι δυνατή η ανάθεση των ιχνών σε λωρίδες. Για τον υπολογισμό της εκτίμησης της κατάστασης του ίδιου οχήματος χρησιμοποιούνται δύο παράλληλα φίλτρα Kalman, ένα για την εγκάρσια και ένα για την κυκλική κίνηση. Στο αυτοματοποιημένο σύστημα του οχήματος εκτελείται ένας αλγόριθμος σχεδιασμού τροχιάς ο οποίος υπολογίζει την επιθυμητή πορεία του οχήματος για το επόμενο χρονικό διάστημα. Για τον υπολογισμό της σχετικής θέσης χρησιμοποιείται το μοντέλο CTRA.

Η επίδοση των αλγορίθμων εξετάστηκε σε προσομοιωμένα και πραγματικά σενάρια. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διάφορων παραμέτρων όπως η ανοχή στο θόρυβο μέτρησης, το σφάλμα εκτίμησης και η διατήρηση ιχνών. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν το πλεονέκτημα που προσφέρει η συγκεκριμένη τοπολογία αισθητήρων καθώς και η προτεινόμενη αρχιτεκτονική σύντηξης δεδομένων στην αξιοπιστία και την ακρίβεια εκτίμησης. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος αυτού του κεφαλαίου ανέδειξε τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στην αντίληψη του οδικού περιβάλλοντος μία τοπολογία πολλαπλών αισθητήρων. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν ως πρωταρχικό σκοπό την αξιοπιστία, την εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο καθώς και την εύκολη παραμετροποίησή τους.

Η τεχνική MHT αποτελεί μία διαφορετική λογική στην οποία δημιουργούνται υποθέσεις για διαφορετικές συσχετίσεις παρατηρήσεων με ίχνη όποτε υπάρχει αβεβαιότητα. Τότε, αντί να επιλέγει την καλύτερη υπόθεση ή να συνδυάζει τις υποθέσεις, όπως συμβαίνει στη μέθοδο JPDA, οι υποθέσεις διαδίδονται σε μελλοντικές σαρώσεις (χρονικές στιγμές) αναμένοντας οι επόμενες παρατηρήσεις να επιλύσουν την αβεβαιότητα της συσχέτισης. Η ιχνηλάτηση χρησιμοποιεί μία λογική βάσει της οποίας σχηματίζονται εναλλακτικές υποθέσεις συσχετισμού δεδομένων, όταν υπάρχουν καταστάσεις συγκρούσεων παρατηρήσεων-ιχνών.

Στο τρίτο το κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων σε ένα σύστημα ιχνηλασίας επιπέδου αισθητήρα. Η βασική τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η δημιουργία ενός συνόλου υποθέσεων που λαμβάνει υπ' όψη όλες τις πιθανές πηγές μιας μέτρησης. Το φίλτρο δημιουργεί υποθέσεις κατευθυνόμενες από τις μετρήσεις. Σε αυτή την τεχνική όλα τα ίχνη θεωρούνται υποψήφια για την παραγωγή της τρέχουσα μέτρησης. Η μέθοδος προϋποθέτει την ύπαρξη ενός διαρκώς αυξανόμενου μεγέθους μνήμης και υπολογιστικής ικανότητας όσο λαμβάνονται επιπλέον δεδομένα. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η δημιουργία τεχνικών μείωσης των υποθέσεων ώστε η παραπάνω τεχνική να είναι πρακτικά υλοποιήσιμη. Στόχος, είναι η δημιουργία ενός αλγορίθμου με τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις σε μνήμη και υπολογιστική ικανότητα χωρίς μείωση της ακρίβειας που περιγράφεται από την ιδανική περίπτωση πραγματοποίησης όλων των υπολογισμών. Αν θεωρηθεί το σύνολο των υποθέσεων ως ένα δέντρο, οι τεχνικές μείωσης υποθέσεων οδηγούν είτε στο «ψαλίδισμα» κάποιων διακλαδώσεων του δέντρου ή στο συνδυασμό τους σε μια κοινή διακλάδωση. Η διαγραφή υποθέσεων πραγματοποιείται κάθε φορά που δημιουργείται ο τελικός πίνακας υποθέσεων για τις τρεις διαδοχικές σαρώσεις με βάση την τεχνική ψαλιδισμού (pruning). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, διαγράφονται όλες οι υποθέσεις που δεν ξεπερνούν ένα όριο πιθανότητας το οποίο τίθεται σε μία υψηλή σταθερή τιμή για όλη τη διαδικασία ιχνηλάτησης και μόνο οι υποθέσεις που παραμένουν χρησιμοποιούνται ως προηγούμενες υποθέσεις για την επόμενη σάρωση. Για τη διατήρηση του μεγέθους του πίνακα υποθέσεων στα όρια των τριών σαρώσεων, μόνο οι στήλες των δύο τελευταίων σαρώσεων του πίνακα υποθέσεων παραμένουν για τις επόμενες σαρώσεις. Οι στήλες πρώτης σάρωσης εξάγονται και χρησιμοποιούνται για την επιβεβαίωση των πιο πιθανών ιχνών.

Σε ένα σύστημα MHT μπορεί να παράγει μια έγχρηξη συνδυασμών όσον αφορά των αριθμό των υποθέσεων (και των ιχνών μέσα από τις υποθέσεις αυτές). Για αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί κάποιες τεχνικές, όπως η ομαδοποίηση υποθέσεων, ώστε να διατηρείται υπό έλεγχο η αύξηση αυτή. Αν το σύνολο των στόχων και των μετρήσεων μπορεί να διακριθεί σε διαφορετικές ομάδες, ο αλγόριθμος ιχνηλάτησης μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά. Αντί της επίλυσης ενός μεγάλου προβλήματος ιχνηλάτησης στόχων, μπορούν να επιλυθούν πολλά μικρότερα προβλήματα ιχνηλάτησης ταυτόχρονα. Μάλιστα, επειδή οι υπολογιστικές απαιτήσεις αυξάνονται εκθετικά με την αύξηση του πλήθους των στόχων, η μέθοδος ομαδοποίησης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική

μείωση των υπολογιστικών απαιτήσεων. Η διαχείριση ομάδων αποτελείται από τις υπορουτίνες αρχικοποίησης ομάδων (cluster initiation), διαχωρισμού ομάδων (cluster splitting), συνένωσης ομάδων (cluster merging), διανομής παρατηρήσεων (observation allocation), και διαχείρισης ομάδων (cluster management).

Για την εξέταση της λειτουργίας του αλγορίθμου ΜΗΤ που υλοποιήθηκε εξετάζονται ορισμένα σενάρια προσομοιωμένων δεδομένων εισόδου ώστε να είναι δυνατός ο καλύτερος δυνατός έλεγχος των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται και με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που δίνει η μέθοδος GNN ώστε να αποδειχθεί η υπεροχή του ΜΗΤ. Εξετάζονται τέσσερα σενάρια αυξανόμενης δυσκολίας με διαφορετική κίνηση των στόχων καθώς και με διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και πλήθους εσφαλμένων μετρήσεων (clutter). Τα σενάρια μοντελοποιούν συνηθισμένες καταστάσεις οδήγησης, όπως κίνηση οχημάτων σε λωρίδες κυκλοφορίας ή προσπεράσεις. Από την πειραματική ανάλυση που ακολούθησε προκύπτει ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος λειτουργεί πολύ πιο αποτελεσματικά σε σχέση με απλούστερες τεχνικές ιχνηλασίας όπως η GNN σε σημαντικές παραμέτρους της ιχνηλασίας όπως η διατήρηση του ID των ιχνών, η συσχέτιση ιχνών με τη σωστή παρατήρηση, το ποσοστό ψευδών συναγερωμένων και το σφάλμα εκτίμησης. Από τις παραπάνω δοκιμές γίνεται φανερό ότι ο αλγόριθμος με ομαδοποίηση υπερτερεί κατά πολύ σε σχέση με έναν αλγόριθμο χωρίς ομαδοποίηση. Ειδικά σε περιπτώσεις που εμφανίζονται πολλές μετρήσεις ανά σάρωση (Σενάριο 2), η αποφυγή δημιουργίας μεγάλων πινακίων υποθέσεων μειώνει την ταχύτητα εκτέλεσης μέχρι και στο 1/10. Σε γενικές γραμμές η τεχνική της ομαδοποίησης μπορεί να επιταχύνει την διαδικασία της ιχνηλάτησης από 66-92%. Το ποσοστό εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του σεναρίου. Ο συνδυασμός της τεχνικής της Ομαδοποίησης με την παράλληλη επεξεργασία των ομάδων οδηγεί σε μια επιπλέον μείωση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης. Συγκεκριμένα σε περιπτώσεις που οι προς επεξεργασία ομάδες είναι σημαντικές τον αριθμό (4 ή παραπάνω), ο αλγόριθμος μπορεί να επιταχυνθεί μέχρι και 25%.

Στο τελευταίο κεφάλαιο προτείνεται η χρήση του αλγορίθμου ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων (ΠΥ - Multiple Hypothesis Tracking (MHT)) για την επίλυση του προβλήματος της συσχέτισης των τοπικών ιχνών με τη θέση που μεταδίδουν τα αυτοκίνητα που απαρτίζουν ένα ασύρματο δίκτυο οχημάτων. Ο αλγόριθμος ΠΥ χρησιμοποιείται για τη συσχέτιση ιχνών/μετρήσεων και κάνει χρήση εναλλακτικών υποθέσεων συσχέτισης οι οποίες διαδίδονται στο χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, αμφίροπες περιπτώσεις συσχέτισης του παρελθόντος επιλύονται σε μελλοντική χρονική στιγμή. Αυτή η τεχνική θεωρείται ανώτερη από τις τεχνικές μίας υπόθεσης (όπως του καθολικά κοντινότερου γείτονα) και παρουσιάζει υψηλότερη ανθεκτικότητα στο θόρυβο μέτρησης και τους ψευδείς συναγερωμούς.

Σε ένα δίκτυο οχημάτων για να είναι εφικτή η συσχέτιση δεδομένων, κάθε μήνυμα που μεταδίδεται πρέπει να περιέχει κατ' ελάχιστο την θέση του κόμβου που μεταδίδει καθώς και την χρονική στιγμή μετάδοσης. Για την συσχέτιση των θέσεων που προέρχονται από ένα δέκτη GPS με τα τοπικά ίχνη που αναφέρονται στο τοπικό σύστημα αναφοράς του οχήματος, απαιτείται η μετατροπή σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων. Η μετατροπή αυτή περιλαμβάνει κάποιους μετασχηματισμούς καθώς και περιστροφή του συστήματος αναφοράς, Επειδή οι δέκτες GPS παρέχουν συγκεκριμένη ακρίβεια θέσης και πορείας, η διαδικασία μετασχηματισμού εισάγει σφάλματα στις μετρήσεις που ιχνηλατούνται.

Η ΠΥ προσανατολισμένη που χρησιμοποιείται σε αυτή την εφαρμογή, σε αντίθεση με την ΠΥ προσανατολισμένη σε μετρήσεις, δεν διατηρεί υποθέσεις μεταξύ διαδοχικών σαρώσεων. Όταν λαμβάνεται ένα νέο σύνολο μετρήσεων, το τρέχον σύνολο ιχνών επεκτείνεται σε ένα νέο σύνολο λαμβάνοντας υπόψη όλους τους πιθανούς συνδυασμούς συσχετίσεων. Τα ίχνη που σχηματίζονται δεν είναι απαραίτητα συμβατά μεταξύ τους, για παράδειγμα δύο ίχνη μπορούν να έχουν ανατεθεί σε μία κοινή μέτρηση. Οι ασυμβατότητες αυτές επιλύονται κατά τη διαδικασία σχηματισμού των υποθέσεων όπου κάθε υπόθεση περιέχει ένα σύνολο συμβατών μεταξύ τους ιχνών. Κάθε ίχνος έχει μια πιθανότητα και μια τιμή σκορ που υπολογίζεται από την πιθανότητα αυτή. Η πιθανότητα αυτή συγκρίνεται με μία τιμή κατωφλίου και τα ίχνη χαμηλής πιθανότητας διαγράφονται. Μια υπόθεση περιλαμβάνει μία συλλογή συμβατών ιχνών, δηλαδή ίχνη που δεν έχουν ανατεθεί στην ίδια μέτρηση. Συνεπώς απαιτείται μία ρουτίνα σχηματισμού των υποθέσεων από μία λίστα ιχνών. Η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι ο σχηματισμός της υπόθεσης με το πιθανότερο ίχνος. Ακολούθως σε αυτή την υπόθεση προστίθενται και άλλα συμβατά ίχνη. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου δεν υπάρχουν άλλα συμβατά ίχνη ή τα εναπομείναντα ίχνη είναι χαμηλής πιθανότητας και δεν δικαιολογούν την επέκταση της υπόθεσης. Κάθε ίχνος έχει πιθανότητα ίση με το άθροισμα των

πιθανοτήτων των υποθέσεων στις οποίες ανήκει. Στην κεντρική διαγραφή ιχνών, τα ιχνη που δεν ανήκουν σε καμία υπόθεση ή έχουν πιθανότητα μικρότερη ενός εκατοφλίου διαγράφονται.

Στον αλγόριθμο που προτείνεται χρησιμοποιείται ένα κυλιόμενο παράθυρο 4 σαρώσεων. Γενικά σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται Ν λίστες ιχνών από τις τελευταίες σαρώσεις. Στην περίπτωση της προτεινόμενης μεθόδου χρησιμοποιούνται διαδοχικά 5 λίστες ιχνών του ραδιοεντοπιστή και του ασύρματου δικτύου. Για την εύρεση των 5-άδων των ιχνών που ελαχιστοποιούν το κόστος ανάθεσης χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος πολυδιάστατης ανάθεσης που εφαρμόζει την τεχνική χαλάρωσης του Lagrange.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε δύο οχήματα σε μια ποικιλία σεναρίων. Επιπρόσθετα παρουσιάστηκαν άλλοι δύο αλγόριθμοι για τη σύγκριση με τον προτεινόμενο αλγόριθμο. Ο πρώτος αλγόριθμος έκανε χρήση της μεθόδου του κοντινότερου γείτονα (GNN) για τη συσχέτιση των λαμβανόμενων θέσεων GPS και των ιχνών του ραντάρ. Ο δεύτερος αλγόριθμος έκανε μόνο χρήση του εγκατεστημένου ραντάρ για την ανίχνευση των αντικειμένων. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μεθόδων GNN και MHT συμπεραίνεται ότι ο αλγόριθμος ΠΥΠΠ κάνει της σωστή συσχέτιση μεταξύ της λαμβανόμενης θέσης GPS και των ιχνών του ραντάρ στις περισσότερες σαρώσεις. Σε όλα τα σενάρια ο αλγόριθμος πολλαπλών υποθέσεων αντιμετωπίζει αποτελεσματικότερα το πρόβλημα της θορυβώδους θέσης του GPS και τα σφάλματα χρονισμού. Αυτό δε συμβαίνει μόνο λόγω της διάδοσης περισσότερων υποθέσεων στο χρόνο αλλά και λόγω των επιπρόσθετων λειτουργιών του προτεινόμενου αλγόριθμου ιχνηλασίας. Τέλος το συνεργατικό σύστημα εντοπίζει για πολύ περισσότερες σαρώσεις το στόχο απ' ότι ένα απλό σύστημα με ραδιοεντοπιστή

Η συνεισφορά της παρούσης διδακτορικής διατριβής συνοψίζεται στα ακόλουθα:

- Την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος αντίληψης οδικού περιβάλλοντος πραγματικού χρόνου πολλαπλών ετερογενών αισθητήρων και η εφαρμογή του σε ένα υψηλά αυτοματοποιημένο όχημα.

- Την ανάπτυξη ενός συστήματος ιχνηλασίας πραγματικού χρόνου με τη χρήση του αλγορίθμου πολλαπλών υποθέσεων προσανατολισμένου σε μετρήσεις για την ιχνηλασία αντικειμένων εντός του οδικού περιβάλλοντος. Η τεχνική αυτή ιχνηλασίας θεωρείται από τις πλέον υπολογιστικά απαιτητικές αλλά και ανώτερη σε επιδόσεις από αντίστοιχα συστήματα ιχνηλασίας μίας υπόθεσης.

- Την ανάπτυξη ενός συστήματος ιχνηλασίας με τη χρήση δεδομένων που προέρχονται από ασύρματο δίκτυο αυτοκινήτων και η χρήση του αλγορίθμου πολλαπλών υποθέσεων προσανατολισμένου σε ιχνη για την επίλυση του προβλήματος σύνδεσης δεδομένων μεταξύ των αισθητήρων που βρίσκονται εγκατεστημένοι στο όχημα και της θέσης των οχημάτων που προέρχονται από το ασύρματο δίκτυο.

EXTENDED ABSTRACT

Traffic accidents represent a critical factor in world health. The reduction of road accidents is an effort taken up by European capitalists in the transport sector and several European projects have been funded to achieve this goal. The main cause of road accidents remains the human factor. Human error, lack of concentration and poor assessment of the situation, are the most common causes of an accident. ADAS systems support the driver by providing information, warnings and interfering, influencing the behavior of the driver and vehicle. Nowadays, the use of systems is growing as the advent of new technologies (sensors, computers, wireless communications) makes their use accessible to a wider audience. The main idea of ADAS is the perception and anticipation of dangerous situations by assessing the condition of the vehicle and the driver and the environment in which they are moving. Unique tool for understanding the environment is the use of sensors for receiving signals and the "translation" through appropriate equipment (hardware) and software (software). The sensors that equip an ADAS, can be divided into two categories. The first includes those who provide information regarding the state of the vehicle (such as inertial sensors, the steering angle sensors, etc.). The second category consists of sensors which provide information about the environment in which the vehicle is moving, for example, radar sensors and lane detection cameras. The main types of sensors used by ADAS systems are radar sensors and cameras, laser scanners have much lower penetration in the commercial systems of intelligent vehicles. The human factors are responsible for causing 95% of traffic accidents. The introduction of automation in cars will increase the efficiency of the driver. The purpose of an automated driving system is to assist the driver in the moments where the driving task is either monotonous or requires performing many actions in a short time. The second chapter presents a proposed architecture for road environment perception in highly automated driving applications.

The road environment perception system presented in the second chapter was incorporated in a highly automated vehicle to assist the driver in traffic congestion. The tracking system of the vehicle was designed based on the hybrid architecture. Each sensor delivers to its output the list of objects that were detected in the current scan. This list of objects is the input of local tracking unit (local-level tracking). Thus, in each sensor corresponds a local tracking unit which in each processing cycle delivers at the output a list of confirmed tracks. In this system the five tracking units transmit a corresponding number of lists of confirmed tracks to the central tracking module. Each track is described by a state vector, a covariance matrix and a vector of properties. The central tracking module performs the fusion of tracks by using appropriate algorithms.

The local tracking unit uses the incoming observations to update existing tracks. Gate computation defines the tentative track – observation pairs while a more detailed algorithm defines the final pairs. The observations that have not been assigned to a track are used to initialize new tentative tracks. In order to confirm a tentative track, some confirmation criteria have to be satisfied. Similarly, there are deletion criteria for deleting a track. The tracks that have been associated with a track in the current scan have their state vector and covariance updated. The central tracking algorithm consists of two major sub-modules. The track fusion sub-module associates and fuses the tracks that come from the local tracking modules. The central tracking sub-module performs the same task as a local tracking module, but instead of measurements, its input is the list of fused tracks.

Lane geometry estimation is performed by three separate algorithms. Two of them, make use of the camera and laser scanner sensors in order to estimate the lane geometry. Each sensor output is filtered by a Kalman filter and lane geometry is estimated with the use of the clothoid model. The third algorithm uses vehicle dynamics in order to perform the lane curvature estimation so that object to lane assignment is possible. Ego vehicle state estimation is achieved with the use of two parallel Kalman filters, one for the tangential and one for the yaw motion. In this automated system a path planning algorithm is executed in order to calculate the vehicles future trajectory. For the calculation of the relative position to this trajectory the CTRA motion model is used.

Algorithms' performance was examined in simulated and real scenarios. Parameters like robustness to noise measurement, estimation error and track maintenance were examined.

Results have revealed the advantages of the proposed architecture and sensor topology to the reliability and accuracy of the estimate. The proposed algorithm of this chapter designated the advantages in road environment perception when a multi- sensor topology is used. The used algorithms were developed by setting as main goals the reliability, real time performance and easy parameterization.

Multiple Hypotheses Tracking (MHT) methods present a differential logic which form alternative association hypotheses in case of observation to track conflict situations. Instead of choosing the best assignment hypothesis or combine alternative hypothesis, like in JPDA method, the assignment hypotheses are propagated in time with the anticipation that future observations will resolve assignment ambiguities. This tracking method forms alternative assignment hypotheses in cases of conflicting measurement to track assignments.

The third chapter presents the application of Multiple Hypotheses Tracking in a sensor level tracking system. The basic technique used is the generation of a hypothesis set by accounting for all the possible origins of a measurement. The filter generates hypotheses driven by measurements. In this technique all the tracks are accounted as candidates for the generation of the current measurement. This method requires memory and processing power of a growing size while new data are received. For this reason the application of hypotheses reduction techniques is necessary so that MHT is computationally feasible. The aim is to create an algorithm with minimal memory requirements and computing capacity without loss of accuracy described by the ideal case of carrying out all calculations. If the set of hypotheses is considered as a tree, the hypotheses reduction techniques results in removing or merging branches of the tree. The hypotheses reduction is applied when the hypotheses matrix is formed and by applying a track pruning technique. This technique deletes all the hypotheses that have a probability below a certain threshold and only the surviving hypotheses are propagated in the next scan. In order to limit the size of the hypotheses matrix, the hypotheses are propagated only for three scans and consequently the columns that represent these scans are maintained. The columns of the oldest scan are used to extract the list of confirmed tracks.

An MHT tracking algorithm can result in an explosion of assignment combinations and consequently hypotheses. For this reason a number of techniques are used to keep the number of hypotheses under control. Clustering is not a direct way of reducing hypotheses number in HOMHT. However it presents a way of dividing a large tracking problem into smaller tracking sub-problems. Each cluster consists of a separate hypothesis tree, so the number of hypotheses that are managed in each cluster is smaller than it would be in the case that the tracking problem was handled in one hypothesis tree. For example, it is not necessary to gate a measurement with all the tracks, but only to those tracks that belong to a particular cluster. In addition, with the use of multi core processors, it is possible to process each cluster separately. A cluster management algorithm for MHT mainly consists of three sub-routines: cluster initialization, cluster merging and cluster splitting.

In order to test the performance of the HOMHT algorithm and identify the benefits over the conventional GNN, a series of simulations of four typical driving scenarios were performed. In simulated measurements that represented different target motion in each scenario, a variable random Gaussian noise and random clutter were added. Experimental analysis showed that the proposed MHT performs much better than simpler tracking techniques as GNN in important parameters of tracking such as ID maintenance, correct measurement – track associations, false alarm ratio and estimation error. The aforementioned tests made obvious that the clustering algorithm has much less processing requirements than an MHT without clustering. In cases that a larger number of measurements per scan, the generation of large hypothesis matrix is avoided, resulting in reduction of computation time to 1/10/ In general, the clustering techniques can improve calculation time up to 92%. Of course, this improvement heavily depends on the sensor used and also by the scenario. The combination of clustering and parallel processing can further reduce processing times. In cases of a large number of clusters (greater than 4), calculation times were further improved by 25%.

The last chapter presents the approach of track oriented multiple hypothesis tracking (MHT) is proposed to solve the problem of associating tracks from onboard sensors with the GPS information coming from a wireless vehicular network MHT algorithm is used for track to measurement/track association and makes use of multiple association hypotheses that are

propagated in time, so that ambiguous associations can be resolved in the future. In order to make data association possible, all the vehicles in the wireless network transmit at least a timestamp and the transmitting vehicles position. The transformation of the received positions and the local tracks into a common space frame is required in order to perform the data association. This transformation involves a number of coordinate system transformation and rotation. Since a standard GPS is not accurate enough compared to the accuracy of onboard sensors such as radars, this transformation is the greatest source of errors in the whole tracking and fusion process. Also the heading accuracy is affected by the quality of the GPS position.

Track oriented MHT approach in contrary to the hypothesis oriented approach, it does not maintain hypothesis from scan to scan. When a new measurement set is received, the existing track set is formed into an expanded new track set using all the possible assignments. Formed tracks are not compatible, for example two tracks can be assigned to the same measurement. These incompatibilities are solved during the hypothesis formation step, where a hypothesis contains a set of compatible tracks. Each track is assigned with a probability and a score that is calculated from this probability. The probabilities are compared to a threshold value, and low probability tracks are deleted. A hypothesis contains a set of compatible tracks, so the tracks within the hypothesis are not updated with the same observation. A hypotheses formation routine is required. In order to form the most probable hypothesis that contains a set of compatible tracks, the tracks are arranged into descending probability order. The most probable track is added to the hypothesis. Then, the next most probable track is added. This track should be compatible with the rest of the track in the hypothesis. This procedure is continued until there are no more compatible tracks that can be added to the hypothesis. A track probability is the sum of hypotheses probabilities that contain it. Low probability tracks are deleted from the hypotheses that contain them

In the proposed algorithm a 4-Scan sliding window is used. In general, in this method the track lists from the last N scans are used. In the proposed algorithm the last consecutive 5 lists of the radar and VANET are used. In order to find the track 5-tuples that minimize the assignment cost, a multidimensional assignment algorithm that applies Lagrangian relaxation is used.

The algorithm was tested with two test vehicles using defined test routes and scenarios. Additionally, two other algorithmic approaches are presented for comparison. The first one uses a simple single hypothesis GNN method for association of VANET and radar tracks. The second architecture uses only targets tracked from the onboard radar. Real time tests showed that multiple hypotheses algorithm has much better performance in estimation accuracy and track availability compared to the single hypothesis one. The TOMHT during the tests makes the correct association between the GPS position and the LRR measurement set in the majority of the scans. In all scenarios the multiple hypothesis tracker manages more efficiently the problems of hopping GPS positions and alignment-timing errors. This is not only due to the propagation of more hypotheses, but also due to the additional functionalities of the tracker. Additionally, the use of VANET data provided enhanced situation awareness from a radar based system in forward and intersection collision warning applications

The contribution of this doctoral thesis can be summarized as follows:

- The development of an integrated real time perception system that incorporates a number of heterogeneous sensors and its application in a highly automated vehicle.
- The development of a real time tracking system which uses the Hypothesis Oriented Multiple Hypothesis Tracking algorithm and its application for tracking road environment object. This technique is considered as very computationally demanding but with superior performance when compared to single hypotheses techniques.
- The development of a tracking system which incorporates data received from a wireless vehicular network and the use of Track Oriented Multiple Hypothesis Tracking for solving the problem of associating data between sensors that are installed in a vehicle and received positions of other vehicles by means of a wireless network.

ΠΕΡΙΕΓΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Εκτεταμένη Περίληψη.....	7
Extended Abstract.....	11
ΠΕΡΙΕΓΧΟΜΕΝΑ.....	14
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	17
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	21
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	23
1 Εισαγωγή.....	24
1.1 Οδική Ασφάλεια.....	24
1.2 Αισθητήρες.....	25
1.2.1 Ραντάρ.....	26
1.2.2 Κάμερες.....	26
1.2.3 Σαρωτές Laser.....	26
1.3 Αυτοματοποιημένη Οδήγηση.....	27
1.4 Ασύρματη Επικοινωνία Οχημάτων και Υποδομών.....	28
1.4.1 Ασύρματα Δίκτυα για Εφαρμογές Ασφάλειας.....	29
1.4.2 Στρώματα Αρχιτεκτονικής.....	30
1.5 Σύντηξη Δεδομένων.....	31
1.6 JDL Μοντέλο.....	32
1.7 Αρχιτεκτονική Συστημάτων Σύντηξης.....	33
1.7.1 Κεντρική.....	34
1.7.2 Κατανεμημένη.....	34
1.7.3 Υβριδική.....	35
1.8 Εκτίμηση Κατάστασης.....	36
1.8.1 Γραμμικά Συστήματα Διακριτού Χρόνου.....	36
1.8.2 Συστήματα Διακριτής Εισόδου.....	36
1.8.3 Συστήματα Συνεχούς Χρόνου.....	37
1.8.4 Φίλτρο Kalman.....	38
1.9 Ιχνηλασία.....	39
1.10 Θεσιθεσία.....	41
1.10.1 GPS.....	41
1.10.2 Βελτίωση Εκτίμησης Θέσης.....	43
1.11 Συμπεράσματα.....	44
1.12 Δομή και Συνεισφορά Διατριβής.....	44
2 Ολοκληρωμένο Σύστημα Αντίληψης Οδικού Περιβάλλοντος Αυτοματοποιημένου Οχήματος.....	48
2.1 Εισαγωγή.....	48
2.2 Αρχιτεκτονική.....	48

2.2.1	Γενικά.....	48
2.2.2	Σύστημα Αυτοματοποιημένης Οδήγησης σε Συνθήκες Κυκλοφοριακής Συμφόρησης	50
2.3	Σύστημα Ιχνηλασίας.....	53
2.3.1	Ιχνηλασία Επιπέδου Αισθητήρα.....	53
2.3.2	Ιχνηλασία Κεντρικού Επιπέδου.....	58
2.4	Εκτίμηση Γεωμετρίας Λωρίδων.....	60
2.5	Εκτίμηση Κατάστασης Ίδιου Οχήματος.....	61
2.6	Εκτίμηση Θέσης.....	62
2.7	Αποτελέσματα	63
2.7.1	Ιχνηλασία Επιπέδου Αισθητήρα.....	64
2.7.2	Ιχνηλασία Κεντρικού Αισθητήρα	67
2.7.3	Εκτίμηση Σχετικής Θέσης.....	73
2.7.4	Εκτίμηση Λωρίδων	75
2.7.5	Ανάθεση Ιχνών σε Λωρίδες.....	75
2.7.6	Χρόνος Εκτέλεσης-Σύστημα Πραγματικού Χρόνου.....	77
2.8	Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα.....	78
3	Ιχνηλάτηση Πολλαπλών Υποθέσεων (Multiple Hypothesis Tracking –MHT).....	81
3.1	Περιγραφή Αλγορίθμου ΜΗΤ Προσανατολισμένου στις Μετρήσεις.....	82
3.1.1	Τεχνική Δημιουργίας Υποθέσεων	83
3.1.2	Πιθανότητα Υπόθεσης	86
3.1.3	Τεχνικές Μείωσης Υποθέσεων	89
3.1.4	Ομαδοποίηση Υποθέσεων.....	89
3.2	Υλοποίηση Αλγορίθμου	94
3.2.1	Διαδικασία Αρχικοποίησης.....	94
3.2.2	Συσχέτιση Δεδομένων – Πρόβλεψη	94
3.2.3	Δημιουργία Πίνακα Υποθέσεων.....	95
3.2.4	Διαγραφή Ιχνών	95
3.2.5	Ανανέωση Εκτίμησης Κατάστασης.....	97
3.2.6	Υπολογισμός Πιθανοτήτων	97
3.2.7	Διαγραφή Υποθέσεων - Επιβεβαίωση ιχνών.....	98
3.2.8	Ομαδοποίηση	100
3.2.9	Διαχείριση Ιχνών	104
3.3	Αποτελέσματα ΜΗΤ.....	104
3.3.1	Σενάριο 1.....	105
3.3.2	Σενάριο 2.....	109
3.3.3	Σενάριο 3.....	119
3.3.4	Σενάριο 4.....	126
3.3.5	Διαγράμματα και Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	136
3.4	Αποτελέσματα Προσομοιώσεων με τη Χρήση Τεχνικών Ομαδοποίησης.....	147

3.4.1	Περιβάλλον Matlab.....	147
3.4.2	Περιβάλλον C.....	150
3.4.3	Συμπεράσματα από την Εφαρμογή Τεχνικών Ομαδοποίησης.....	153
3.5	Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα.....	153
4	Ιχνηλασία Αντικειμένων σε Δίκτυα Αυτοκινητών	155
4.1	Εισαγωγή	155
4.2	Συσχέτιση Δεδομένων σε Δίκτυα Οχημάτων.....	156
4.3	Αλγόριθμοι Συσχέτισης Δεδομένων.....	158
4.4	Αλγόριθμος Ιχνηλασίας Πολλαπλών Υποθέσεων για τη Συσχέτιση Δεδομένων σε Δίκτυα Οχημάτων.....	160
4.4.1	Χωρική και Χρονική Ευθυγράμμιση Δεδομένων.....	160
4.4.2	Χρήση Κυλιόμενου Παραθύρου N-Σαρώσεων.....	162
4.4.3	Αλγόριθμος Συσχέτισης με Χρήση ΠΠΥ Προσανατολισμένου στα Έχνη.....	164
4.5	Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	168
4.5.1	Αρχιτεκτονική Οχημάτων.....	168
4.5.2	Αρχιτεκτονική Αλγορίθμων.....	169
4.6	Σενάρια και Αποτελέσματα	171
4.6.1	Σενάριο Συνεργατικού ACC.....	172
4.6.2	Συνεργατικές Εφαρμογές.....	174
4.7	Συμπεράσματα	175
4.8	Μελλοντική Έρευνα.....	176
	Δημοσιεύσεις.....	179
	Βιογραφικό σημείωμα Europass.....	181

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1-1 ΣΥΜΦΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 1-2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΑΡΩΤΗ LASER. 1-ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ, 2-ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗ ΔΕΣΜΗ,3-ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΔΕΣΜΗ, 4-ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΣΑΡΩΤΗ LASER	27
ΕΙΚΟΝΑ 1-3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΤΗ LASER ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΙΧΝΩΝ.....	27
ΕΙΚΟΝΑ 1-4 ΙΔΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 1-5 ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΓΙΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ	30
ΕΙΚΟΝΑ 1-6 ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗ	31
ΕΙΚΟΝΑ 1-7 ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ	31
ΕΙΚΟΝΑ 1-8 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ JDL.....	33
ΕΙΚΟΝΑ 1-9 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΟΜΒΟΥ ΣΥΝΤΗΞΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	33
ΕΙΚΟΝΑ 1-10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΗΞΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	34
ΕΙΚΟΝΑ 1-11 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΗΞΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	35
ΕΙΚΟΝΑ 1-12 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΗΞΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ ΤΗΝ ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ. ΚΑΘΕ ΚΟΜΒΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΖΕΤΑΙ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΝΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ, ΕΝΩ Ο ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΣ ΣΥΝΤΗΞΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΖΕΤΑΙ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΣΥΝΤΗΞΗΣ.	35
ΕΙΚΟΝΑ 1-13 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΩΝ ΡΑΝΤΑΡ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 30 ΛΕΠΤΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ 160000 ΚΜ ²	40
ΕΙΚΟΝΑ 1-14 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΨΕΥΔΟΑΠΟΣΤΑΣΗΣ	41
ΕΙΚΟΝΑ 1-15 (Α) ΚΑΛΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ, (Β) ΚΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 1-16 ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΜΕΤΑΔΟΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕΤΑΕΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 2-1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΛΗΡΩΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	49
ΕΙΚΟΝΑ 2-2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΘΗΚΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 2-3 ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ	51
ΕΙΚΟΝΑ 2-4 ΟΠΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 2-5 ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΑΡΩΤΗ LASER (LASER-SCANNER).....	51
ΕΙΚΟΝΑ 2-6 ΠΕΔΙΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER.	52
ΕΙΚΟΝΑ 2-7 ΠΕΔΙΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΤΗ	52
ΕΙΚΟΝΑ 2-8 ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΤΗ	52
ΕΙΚΟΝΑ 2-9 ΣΥΣΚΕΥΗ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΤΗ	53
ΕΙΚΟΝΑ 2-10 ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ.	54
ΕΙΚΟΝΑ 2-11 ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΙΧΝΩΝ	56
ΕΙΚΟΝΑ 2-12 ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟΧΟΥ	58
ΕΙΚΟΝΑ 2-13 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΞΗΣ ΙΧΝΩΝ.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 2-14 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ.....	60
ΕΙΚΟΝΑ 2-15 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΛΩΡΙΔΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΦΙΛΤΡΑ ΤΟΥ ΟΠΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ, ΣΑΡΩΤΗ LASER ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	61
ΕΙΚΟΝΑ 2-16 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	62
ΕΙΚΟΝΑ 2-17 Η ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΤΡΟΧΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΤΑΙ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ T3 ΚΑΙ Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΘΕΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΙ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ (X1,Y1).....	63
ΕΙΚΟΝΑ 2-18 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΧΝΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΛΩΡΙΔΑ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 2-19 ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΔΕΞΙΑΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 2-20 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΧΝΟΥΣ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΠΡΟΣΠΕΡΝΑΤΑΙ ΑΠΟ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	65
ΕΙΚΟΝΑ 2-21 ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ	65
ΕΙΚΟΝΑ 2-22 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΧΝΟΥΣ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΛΩΡΙΔΑ	66

ΕΙΚΟΝΑ 2-23 ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΕΥΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ	66
ΕΙΚΟΝΑ 2-24 ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΈΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ	67
ΕΙΚΟΝΑ 2-25 ΙΣΤΟΡΙΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 2-26 ΣΥΝΤΗΞΗ ΙΧΝΩΝ ΣΑΡΩΤΗ LASER ΚΑΙ ΚΑΜΕΡΑ	68
ΕΙΚΟΝΑ 2-27 ΣΥΝΤΗΞΗ ΙΧΝΩΝ ΣΑΡΩΤΗ LASER ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΤΗ	68
ΕΙΚΟΝΑ 2-28 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1	70
ΕΙΚΟΝΑ 2-29 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2	70
ΕΙΚΟΝΑ 2-30 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3	71
ΕΙΚΟΝΑ 2-31 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟ ΔΕΚΤΗ GPS ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ	74
ΕΙΚΟΝΑ 2-32 ΣΦΑΛΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ	74
ΕΙΚΟΝΑ 2-33 ΣΦΑΛΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΛΩΡΙΔΑ	75
ΕΙΚΟΝΑ 2-34 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ ΣΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΟΠΟΥ ΤΟ ΙΔΙΟ ΟΧΗΜΑ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΕΝΑ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ.....	76
ΕΙΚΟΝΑ 2-35 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ ΣΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΟΠΟΥ ΤΟ ΙΔΙΟ ΟΧΗΜΑ ΑΛΛΑΖΕΙ ΛΩΡΙΔΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΠΕΡΝΑ ΕΝΑ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	76
ΕΙΚΟΝΑ 2-36 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ ΣΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΟΠΟΥ ΤΟ ΙΔΙΟ ΟΧΗΜΑ ΠΡΟΣΠΕΡΝΑ ΕΝΑ ΑΛΛΟ ΟΧΗΜΑ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗ ΔΕΞΙΑ ΛΩΡΙΔΑ.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 2-37 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ ΣΕ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΞΙΑ.	77
ΕΙΚΟΝΑ 3-1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΜΗΤ.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 3-2 ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΗΤ	83
ΕΙΚΟΝΑ 3-3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ 2 ΙΧΝΩΝ ΚΑΙ 3 ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.	84
ΕΙΚΟΝΑ 3-4 ΔΈΝΤΡΟ ΥΠΟΘΈΣΕΩΝ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 3-5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗΣ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ 4 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	93
ΕΙΚΟΝΑ 3-6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΙΝΑΚΑ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ	96
ΕΙΚΟΝΑ 3-7 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΕΡΗΣ ΥΠΟΘΕΣΗΣ	99
ΕΙΚΟΝΑ 3-8 ΔΟΜΗ ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 3-9 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΟΜΑΔΩΝ.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 3-10 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ ΟΜΑΔΩΝ	102
ΕΙΚΟΝΑ 3-11 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΠΙΝΑΚΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ.....	103
ΕΙΚΟΝΑ 3-12, ΑΝΑΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 1.	105
ΕΙΚΟΝΑ 3-13 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).	106
ΕΙΚΟΝΑ 3-14 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (CLUTTER) 20% ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	110
ΕΙΚΟΝΑ 3-15, ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (CLUTTER) 40% ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	111
ΕΙΚΟΝΑ 3-16 , ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (CLUTTER) 60% ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	112
ΕΙΚΟΝΑ 3-17 ΑΝΑΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 3.	119
ΕΙΚΟΝΑ 3-18 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (CLUTTER) 20% ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	120
ΕΙΚΟΝΑ 3-19 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (CLUTTER) 40% ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	121
ΕΙΚΟΝΑ 3-20 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (CLUTTER) 60% ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	122
ΕΙΚΟΝΑ 3-21 ΑΝΑΦΟΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 4.	126
ΕΙΚΟΝΑ 3-22 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 4 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (CLUTTER) 20% ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	127

ΕΙΚΟΝΑ 3-23 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 4 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (CLUTTER) 40% ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	128
ΕΙΚΟΝΑ 3-24 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (CLUTTER) 60% ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ-GNN)	129
ΕΙΚΟΝΑ 3-25 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ 2 ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1 ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΟ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN)	137
ΕΙΚΟΝΑ 3-26, ΑΛΛΑΓΕΣ ΙΔ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.	139
ΕΙΚΟΝΑ 3-27 ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΩΣΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 ΜΕ ΣΩΣΤΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.....	139
ΕΙΚΟΝΑ 3-28 ΠΟΣΟΣΤΟ ΨΕΥΔΩΝ ΣΥΝΑΓΕΡΜΩΝ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.	139
ΕΙΚΟΝΑ 3-29 ΣΦΑΛΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.	140
ΕΙΚΟΝΑ 3-30 ΑΛΛΑΓΕΣ ΙΔ ΓΙΑ ΤΟ ΣΤΟΧΟ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.	141
ΕΙΚΟΝΑ 3-31 ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΩΣΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 ΜΕ ΣΩΣΤΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.....	141
ΕΙΚΟΝΑ 3-32 ΠΟΣΟΣΤΟ ΨΕΥΔΩΝ ΣΥΝΑΓΕΡΜΩΝ ΓΙΑ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.	141
ΕΙΚΟΝΑ 3-33 ΣΦΑΛΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΤΟΧΟ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.	142
ΕΙΚΟΝΑ 3-34 ΑΛΛΑΓΕΣ ΙΔ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 4 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.	143
ΕΙΚΟΝΑ 3-35 ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΩΣΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 4 ΜΕ ΣΩΣΤΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.....	143
ΕΙΚΟΝΑ 3-36 ΠΟΣΟΣΤΟ ΨΕΥΔΩΝ ΣΥΝΑΓΕΡΜΩΝ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 4 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.	143
ΕΙΚΟΝΑ 3-37 ΣΦΑΛΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 4 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΙΘΑΝΑ ΠΟΣΟΣΤΑ CLUTTER.	144
ΕΙΚΟΝΑ 3-38 ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (MATLAB).....	149
ΕΙΚΟΝΑ 3-39 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΡΟΝΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ - ΠΛΑΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	152
ΕΙΚΟΝΑ 4-1 ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΕΙ ΚΑΛΥΤΕΡΑ ΤΟΠΙΚΑ ΣΤΟ ΓΕΩΕΙΔΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ Ρ.....	156
ΕΙΚΟΝΑ 4-2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ WGS84	157
ΕΙΚΟΝΑ 4-3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΙΧΝΩΝ ΣΤΗΝ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΊΧΝΗ.....	159
ΕΙΚΟΝΑ 4-4 ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΊΧΝΗ	160
ΕΙΚΟΝΑ 4-5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΟΥΣ.....	161
ΕΙΚΟΝΑ 4-6 ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΙΧΝΩΝ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΤΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	162
ΕΙΚΟΝΑ 4-7 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΥΝΑΤΗΣ ΚΑΙ ΔΥΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ	164
ΕΙΚΟΝΑ 4-8 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΙΠΥ	165
ΕΙΚΟΝΑ 4-9 Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΥ ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ 4 ΣΑΡΩΣΕΩΝ. Η ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ 4 ΣΑΡΩΣΕΙΣ ΠΡΙΝ ΕΙΝΑΙ ΠΑΓΙΩΜΕΝΕΣ. ΣΤΗ ΣΑΡΩΣΗ Ν, ΟΙ ΑΝΑΘΕΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΑΡΩΣΗ Ν-4 ΚΑΙ ΠΡΙΝ ΔΕΝ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΙ	165
ΕΙΚΟΝΑ 4-10 ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΥΛΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΙΧΝΩΝ ΜΕ ΤΑ ΙΧΝΗ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ Ν-1.....	166
ΕΙΚΟΝΑ 4-11 ΟΙ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΔΕΝΤΡΟΥ.	166
ΕΙΚΟΝΑ 4-12 ΚΛΑΔΕΜΑ ΙΧΝΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ. ΔΙΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΤΑ ΙΧΝΗ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΧΟΥΝ ΤΟΝ ΙΔΙΟ ΠΑΤΕΡΑ 3 ΣΑΡΩΣΕΙΣ ΠΡΙΝ ΜΕ ΤΑ ΙΧΝΗ ΠΟΥ ΑΝΑΤΕΘΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΟΛΥΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΘΕΣΗ	167
ΕΙΚΟΝΑ 4-13 ΔΥΟ ΤΟΠΙΚΑ ΙΧΝΗ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΥΛΗ ΕΝΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΙΧΝΟΥΣ.	167
ΕΙΚΟΝΑ 4-14 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ «ΙΔΙΟΥ» ΟΧΗΜΑΤΟΣ	169
ΕΙΚΟΝΑ 4-15 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΦΟΡΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	169
ΕΙΚΟΝΑ 4-16 ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΦΟΡΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	169

ΕΙΚΟΝΑ 4-17 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	170
ΕΙΚΟΝΑ 4-18 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΙΑΣ ΥΠΟΘΕΣΗΣ	171
ΕΙΚΟΝΑ 4-19 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ.	172
ΕΙΚΟΝΑ 4-20 ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΡΙΓΩΝΟ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΕΛΕΙΑ. ΤΑ ΙΧΝΗ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΜΟΝΟ ΑΠΟ ΤΟ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΑΣΤΕΡΙΣΚΟ ΕΝΩ ΤΑ ΙΧΝΗ ΠΟΥ ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΜΙΑ ΘΕΣΗ ΑΠΟ ΜΗΝΥΜΑ VANET ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΣΤΑΥΡΟ. ΣΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΕΥΘΕΙΕΣ ΤΟ ΡΑΝΤΑΡ ΕΝΤΟΠΙΖΕΙ ΤΟ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ. ΣΤΗ ΣΤΡΟΦΗ Ο ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΤΗΣ ΧΑΝΕΙ ΤΟ ΟΧΗΜΑ ΚΑΙ Η ΙΧΝΗΛΑΣΙΑ ΣΥΝΕΧΙΖΕΤΑΙ ΜΟΝΟ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	173

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΝΤΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΜΗΤ	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2 ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ.....	85
Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΜΑΔΑ.....	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΙΝΑΚΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ ΠΡΟΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ.....	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-6, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 1 – ΣΤΟΧΟΣ 1) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-7 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 1 – ΣΤΟΧΟΣ 2) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN	108
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-8, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 2 – ΣΤΟΧΟΣ 1 – CLUTTER 20%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	113
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-9, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 2 – ΣΤΟΧΟΣ 2 – CLUTTER 20%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-10, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 2 – ΣΤΟΧΟΣ 1 – CLUTTER 40%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-11, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 2 – ΣΤΟΧΟΣ 2 – CLUTTER 40%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-12, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 2 – ΣΤΟΧΟΣ 1 – CLUTTER 60%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-13, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 2 – ΣΤΟΧΟΣ 2 – CLUTTER 60%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-14 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 3 – ΣΤΟΧΟΣ 1 – CLUTTER 20%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	123
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-15 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 3 – ΣΤΟΧΟΣ 1 – CLUTTER 40%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-16 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 3 – ΣΤΟΧΟΣ 1 – CLUTTER 60%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	125
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-17, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 4 – ΣΤΟΧΟΣ 1 – CLUTTER 20%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-18,ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 4 – ΣΤΟΧΟΣ 2 – CLUTTER 20%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-19, , ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 4 – ΣΤΟΧΟΣ 1 – CLUTTER 40%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-20, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 4 – ΣΤΟΧΟΣ 2 – CLUTTER 40%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-21, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 4 – ΣΤΟΧΟΣ 1 – CLUTTER 60%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-22, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΣΕΝΑΡΙΟ 4 – ΣΤΟΧΟΣ 2 – CLUTTER 60%) ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ (ΜΗΤ – GNN).....	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-23 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ (MATLAB).....	148
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-24 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΣΑΡΩΣΕΩΝ (MATLAB)	149
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-25 ΣΥΝΟΛΙΚΟΙ ΧΡΟΝΟΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΣΑΡΩΣΕΩΝ (MATLAB)...	150
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-26 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ (MATLAB)	150
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-27 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ (C) .	151
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-28 ΧΡΟΝΟΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (C).....	152

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-29 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ MULTITHREADING (C)	153
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ.....	161
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2 ΟΙ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΠΙΝΑΚΑ.....	166
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3 Ο ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ ΟΠΩΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΟΤΑΝ ΔΥΟ ΤΟΠΙΚΑ ΙΧΝΗ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΥΛΗ ΕΝΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΙΧΝΟΥΣ.....	167
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4 ΈΝΑΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ ΕΧΕΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΕΙ ΜΕ ΔΥΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΕΝΤΟΠΙΣΤΗ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΣΑΡΩΣΗ. ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΥ ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΤΙΚΟΥ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΟΤΙ ΤΑ ΙΧΝΗ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟΝ ΙΔΙΟ ΣΤΟΧΟ.....	168
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΟΥ ACC.....	172
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΙΠΥΠΙ ΚΑΙ GNN	173
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-7 ΔΥΟ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΕ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ, ΤΟ ΙΔΙΟΝ ΟΧΗΜΑ ΕΙΝΑΙ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΕΝΩ ΤΟ ΑΛΛΟ ΔΙΑΣΧΙΖΕΙ ΤΟ ΔΡΟΜΟ	174
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-8 ΤΑ ΔΥΟ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΙΝΟΥΝΤΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΚΑΙ ΣΤΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ ΠΡΟΣΠΕΡΝΑ ΤΟ ΙΔΙΟΝ ΟΧΗΜΑ.....	175
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-9 ΤΟ ΙΔΙΟΝ ΟΧΗΜΑ ΠΛΗΣΙΑΖΕΙ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΟΧΗΜΑ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ	175

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ένα σύγχρονο όχημα απαρτίζεται από δεκάδες υπολογιστές και αισθητήρες καθιστώντας το ένα αρκετά πολύπλοκο σύστημα. Η διαχείριση πολλαπλών ετερογενών πληροφοριών αποτελεί αντικείμενο της επιστήμης της σύντηξης δεδομένων(Data Fusion). Η παρούσα διατριβή εξετάζει το πρόβλημα της ιχνηλασίας αντικειμένων σε δίκτυα πολλαπλών αισθητήρων. Ένα δίκτυο αισθητήρων εξαλείφει ή περιορίζει τα προβλήματα και τους περιορισμούς όπως η εμβέλεια, το πεδίο παρατήρησης και η αξιοπιστία μεμονωμένων αισθητήρων.

Σκοπός της παρούσης ενδιάμεσης πρότασης διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη και ανάπτυξη αλγορίθμων ιχνηλασίας λαμβάνοντας υπόψη τόσο δεδομένα από τους αισθητήρες του αυτοκινήτου όπως οι ραδιοεντοπιστές, οι οπτικοί αισθητήρες και οι σαρωτές laser όσο και πληροφορίες που προέρχονται από την επικοινωνία των αυτοκινήτων. Στα πλαίσια της διατριβής πραγματοποιήθηκε η θεωρητική μελέτη διαφορετικών τεχνικών ιχνηλασίας καθώς και η υλοποίηση και εφαρμογή των αλγορίθμων αυτών σε συστήματα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος πραγματικού χρόνου.

Η συνεισφορά της παρούσης διδακτορικής διατριβής είναι (α) Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος αντίληψης οδικού περιβάλλοντος πραγματικού χρόνου πολλαπλών ετερογενών αισθητήρων και η εφαρμογή του σε ένα υψηλά αυτοματοποιημένο όχημα. (β) Η ανάπτυξη ενός συστήματος ιχνηλασίας πραγματικού χρόνου με τη χρήση του αλγορίθμου πολλαπλών υποθέσεων προσανατολισμένου σε μετρήσεις για την ιχνηλασία αντικειμένων εντός του οδικού περιβάλλοντος. Η τεχνική αυτή ιχνηλασίας θεωρείται από τις πλέον υπολογιστικά απαιτητικές αλλά και ανώτερη σε επιδόσεις από αντίστοιχα συστήματα ιχνηλασίας μίας υπόθεσης. (γ) Η ανάπτυξη ενός συστήματος ιχνηλασίας με τη χρήση δεδομένων που προέρχονται από ασύρματο δίκτυο αυτοκινήτων και η χρήση του αλγορίθμου πολλαπλών υποθέσεων προσανατολισμένου σε ίχνη για την επίλυση του προβλήματος σύνδεσης δεδομένων μεταξύ των αισθητήρων που βρίσκονται εγκατεστημένοι στο όχημα και της θέσης των οχημάτων που προέρχονται από το ασύρματο δίκτυο.

Σημαντικό κομμάτι της εργασίας αφορά στην υλοποίηση και έλεγχο των αλγορίθμων αυτών σε πραγματικά συστήματα οδικής ασφάλειας που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων της ομάδας I-SENSE που υπάρχει στο εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών (EMOI) της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ.

Η εκπόνηση και συγγραφή της παρούσας διατριβής θα ήταν αδύνατη χωρίς τη συνεισφορά των ανθρώπων που με βοήθησαν και τους οποίους αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα για την μέχρι τώρα συνεργασία, στήριξη και καθοδήγηση τον διευθυντή του εργαστηρίου και επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Ουζούνoglou ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να εκπονήσω την παρούσα διατριβή στο Εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών του ΕΜΠ. Ευχαριστώ θερμά τον υπεύθυνο της ομάδας ερευνητή Α' ΕΠΙΣΕΥ Δρ. Άγγελο Αμδίτη, οποίος ήταν υπεύθυνος της ομάδας ISENSE του ΕΠΙΣΕΥ στην οποία εργάστηκα τα τελευταία 4 χρόνια, για τη βοήθεια και τη στήριξη του κατά την ερευνητική και επαγγελματική μου πορεία στην ομάδα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στους συνεργάτες μου Δρ. Παναγιώτη Λυτρίβη, Δρ. Ιωάννη Καρασειτανίδη, Δρ. Μανόλη Τσόγκα, Χριστίνα Κοτσιούρου, Βασίλη Καφφέ και Κάτια Παγιάλι για την ενεργή συνεισφορά τους και υποστήριξη κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της διατριβής. Ευχαριστώ επίσης τα μέλη του εργαστηρίου εικονικής πραγματικότητας για τη φιλοξενία και το ευχάριστο κλίμα κατά την παραμονή μου. Ήταν μεγάλη μου τιμή που συνεργάστηκα με όλα τα μέλη της ομάδας και μια μοναδική εμπειρία που δε θα ξεχάσω ποτέ. Ευχαριστώ ακόμα τους Ηλ/γους Μηχ/κούς Λεωνίδα Σπινούλα και Παντελή Μαρούδη των οποίων τη διπλωματική εργασία είχα τη χαρά να επιβλέψω.

Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους μου Γιαννάκη Βαρθάρα, Γιάννη Μπήτρο, Φώτη Αίσωπο, Χρήστο Λύκο, Γιάννη Ταρμανώφ και Ελένη Δημητροπούλου για την αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση που μου παρείχαν στις δύσκολες στιγμές που αντιμετώπισα, για την δύναμη και το κουράγιο που μου έδωσαν ώστε να συνεχίζω σε κάθε εμπόδιο.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στη Σταματία για την ανεκτίμητη βοήθεια και στήριξή της.

Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω τη διδακτορική μου διατριβή στους γονείς μου. Όταν τους χρειάζομαι ήταν πάντα δίπλα μου και με βοήθησαν να καταφέρω ό,τι έχω πετύχει.

1 Εισαγωγή

1.1 Οδική Ασφάλεια

Τα τροχαία ατυχήματα αποτελούν μια καιρία πληγή στην παγκόσμια υγεία. Στις 53 χώρες της Ευρώπης που υπάγονται στον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, 129.000 άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους κάθε χρόνο σε τροχαία ατυχήματα[1]. Επιπρόσθετα, τα τροχαία ατυχήματα προκαλούν 2.4 εκατομμύρια τραυματίες κάθε χρόνο [2], ενώ αποτελούν την κυριότερη αιτία θανάτου στα άτομα ηλικίας 5-29 ετών. Το κόστος περίθαλψης και αποκατάστασης υπολογίζεται επίσης στο 3% του ΑΕΠ της κάθε χώρας([3],[4]). Τέλος ανυπολόγιστες είναι οι επιπτώσεις στους ανθρώπους που απέκτησαν μόνιμη αναπηρία λόγω κάποιου τροχαίου ατυχήματος ή έχασαν κάποιο αγαπημένο τους πρόσωπο.

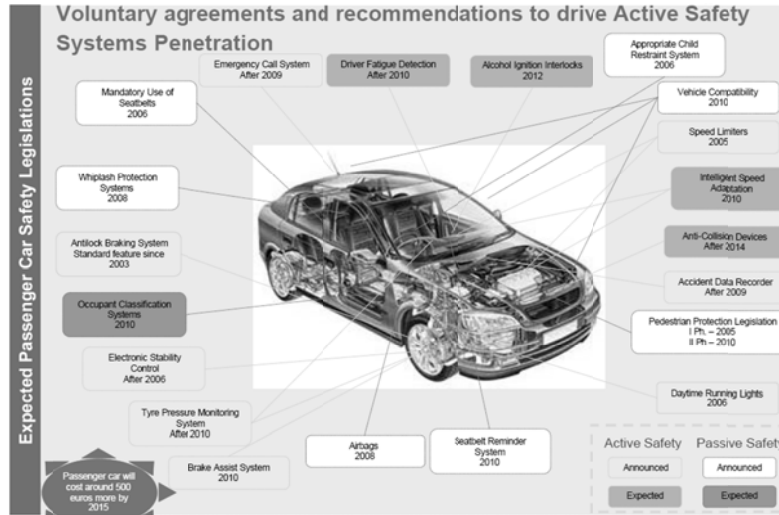
Η μείωση των τροχαίων ατυχημάτων αποτελεί μία χρόνια προσπάθεια των ευρωπαϊών κεφαλαιούχων στον τομέα των μεταφορών και αρκετά ευρωπαϊκά προγράμματα έχουν χρηματοδοτηθεί για την πραγματοποίηση αυτού του στόχου. Το «The White Paper, European Transport Policy for 2010: Time to Decide»[5], έθεσε ως στόχο τη μείωση των ατυχημάτων στο 50% το έτος 2010 (ξεκινώντας από το 2001). Ωστόσο, ο στόχος αυτός επετεύχθη μόνο σε λίγες χώρες, όπως η Γαλλία και η Ιταλία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μείωση επετεύχθη είτε με την αύξηση της αστυνόμευσης (Γαλλία) είτε με την αύξηση των προστίμων (Ιταλία). Ο νέος στόχος που έχει τεθεί είναι τα μηδενικά ατυχήματα το έτος 2030. Αναμένεται ότι με την περαιτέρω εξέλιξη και ωρίμανση των τεχνολογιών που θα έχουν αναπτυχθεί για 40 χρόνια ένας τέτοιος στόχος θα είναι εφικτός[6].

Η κύρια αιτία των τροχαίων ατυχημάτων παραμένει ο ανθρώπινος παράγοντας. Το ανθρώπινο λάθος, η έλλειψη συγκέντρωσης και η ελλιπής εκτίμηση της κατάστασης, οδηγούν στην πρόκληση ενός ατυχήματος. Συνεπώς, ο εξοπλισμός των οχημάτων με (προηγμένα) συστήματα παροχής βοήθειας οδηγού ((A)DAS(Advanced) Driver Assistance Systems), θα συνεισφέρει στην ελάττωση τη συχνότητας αλλά και των επιπτώσεων των τροχαίων ατυχημάτων [7].Τα συστήματα ADAS υποστηρίζουν τον οδηγό παρέχοντας πληροφορίες, προειδοποιήσεις αλλά και επεμβαίνοντας, επηρεάζοντας την συμπεριφορά των οδηγών, του ίδιου αλλά και των γειτονικών οχημάτων[8].Στις μέρες μας, η χρήση των συστημάτων γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη καθώς η έλευση νέων τεχνολογιών (αισθητήρες, υπολογιστές, ασύρματες επικοινωνίες) κάνει την χρήση τους προσιτή σε ένα ευρύτερο κοινό. Η οδική ασφάλεια έχει πλέον συσχετιστεί με τις τεχνολογικές καινοτομίες που εισάγονται στο χώρο των οδικών μεταφορών.

Τα συστήματα ADAS μπορούν να κατηγοριοποιηθούν χρησιμοποιώντας διάφορα κριτήρια. Πολύ συχνά ο διαχωρισμός γίνεται με βάση τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται (Τεχνολογία της πληροφορίας, ασύρματη επικοινωνία, κ.ά.) [9], τον τύπο του οχήματος (επιβατηγό αυτοκίνητο, φορτηγό, λεωφορείο) ή τον τύπο του οδικού δικτύου (αυτοκινητόδρομος, επαρχιακό, αστικό). Όταν εξετάζεται η οδική ασφάλεια, οι διακριτές φάσεις του ατυχήματος (πριν, κατά τη διάρκεια και μετά) χρησιμοποιούνται συχνά για την κατηγοριοποίηση ADAS συστημάτων[10]. Η κατηγοριοποίηση με κριτήριο τη λειτουργία γίνεται σύμφωνα με τα οδηγικά καθήκοντα που υποστηρίζουν, χωρίζονται δε, σε στρατηγικά (επιλογή διαδρομής, κ.ά.), τακτικά (ελιγμός οχήματος) και επιχειρησιακά (χειρισμός τιμονιού ή έλεγχος επιτάχυνσης). Μια επιπρόσθετη κατηγοριοποίηση στις υποκατηγορίες των οδηγικών καθηκόντων, διαίρει τα παραπάνω συστήματα σε : αντίληψης (όραση, ακοή, αίσθηση), απόφασης (για διάφορες ενέργειες) και δράσης (εκτέλεση). Η κατηγοριοποίηση με βάση την λειτουργία είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί παρακάτω.

Εξετάζοντας τρέχουσα χρήση των συστημάτων παροχής βοήθειας οδηγού και τη συνεισφορά τους στην μείωση των ατυχημάτων, η ευρεία χρήση περιορίζεται σε μια ομάδα συστημάτων όπως το Ηλεκτρονικό Σύστημα Ευστάθειας (ESP), το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών(ABS) και οι αερόσακοι(ASR). Αντίθετα, περισσότερο εξελιγμένα και παρεμβατικά συστήματα όπως τα συστήματα Προσαρμοστικού Ελέγχου Πορείας (ACC-(Adaptive Cruise Control)), Υποβοήθησης Διατήρησης Λωρίδας (Lane Departure Warning/ Lane Keeping Assist), Έκτακτου Φρεναρίσματος (Emergency Braking), έχουν χαμηλή διείσδυση στην αγορά αυτοκινήτου κυρίως λόγω κόστους και μειωμένης διαθεσιμότητας σε προσιτές κατηγορίες αυτοκινήτων. Είναι γενικά παραδεκτό ότι τα παθητικά συστήματα ασφάλειας έχουν φτάσει στο απόγειο των δυνατοτήτων τους και δεν είναι

πιθανό να υπάρξουν επιπρόσθετες καινοτομίες που να έχουν σημαντική συνεισφορά στην ασφάλεια των οχημάτων [12]. Αντίθετα τα ενεργά συστήματα, δηλαδή αυτά που επηρεάζουν ενεργά την κατάσταση του οχήματος ή ειδοποιούν τον οδηγό να αναλάβει δράση, είναι εκείνα που αναμένεται να μειώσουν περεταίρω τα ατυχήματα. Επίσης η θέσπιση ως υποχρεωτικών ορισμένων εξ αυτών των συστημάτων (Εικόνα 1-1), μέσω της νομοθεσίας ή αμοιβαίων συμφωνιών στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας, εξασφαλίζει την ταχύτερη διείσδυση των συστημάτων στην αγορά.



Εικόνα 1-1 Συμφωνίες και Συστάσεις Εφαρμογής Ενεργών και Παθητικών Συστημάτων ασφαλείας

1.2 Αισθητήρες

Η κύρια ιδέα των ADAS είναι η αντίληψη και πρόβλεψη επικίνδυνων καταστάσεων μέσω της εκτίμησης της κατάστασης του οχήματος και του οδηγού καθώς και του περιβάλλοντος στο οποίο κινείται το όχημα. Μοναδικό μέσο για την κατανόηση του περιβάλλοντός του είναι η χρήση αισθητήρων για τη λήψη σημάτων και η «μετάφρασή» τους μέσω κατάλληλου υλικού (hardware) και λογισμικού (software). Οι αισθητήρες που εξοπλίζουν ένα σύστημα ADAS, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει εκείνους που μετρούν μεγέθη σχετικά με την κατάσταση του οχήματος (όπως οι αδρανειακοί αισθητήρες, οι αισθητήρες γωνίας του τιμονιού κ.ά.). Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από αισθητήρες οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες σχετικές με το περιβάλλον που κινείται το όχημα, για παράδειγμα οι αισθητήρες ραντάρ και οι κάμερες αναγνώρισης λωρίδας. Τα βασικά συστήματα όπως το ABS ή το ESP παρεμβαίνουν στη δυναμική του οχήματος χωρίς να λαμβάνουν υπόψη το εξωτερικό περιβάλλον ή να κάνουν πρόβλεψη μελλοντικών κινδύνων. Η νέα γενιά συστημάτων που χαρακτηρίζουν τα “έξυπνα αυτοκίνητα”, «αντιλαμβάνονται» το οδικό περιβάλλον και είναι ενεργά, δηλαδή επεμβαίνουν άμεσα στη διεύθυνση του οχήματος ή ελέγχουν την επιτάχυνση. Η οδήγηση ενός οχήματος βασίζεται σε τέσσερις πρωταρχικές λειτουργίες: παρακολούθηση, αντίληψη, κρίση και δράση. Αν και η σύγχρονη τεχνολογία αισθητήρων μπορεί να παρακολουθήσει αποτελεσματικά τα αντικείμενα ενδιαφέροντος γύρω από το όχημα, όπως για παράδειγμα γειτονικά οχήματα ή τις λωρίδες κυκλοφορίας, η αντίληψη και εκτίμηση της κατάστασης αποτελεί το κύριο πλεονέκτημα του οδηγού έναντι ενός αυτοματοποιημένου συστήματος. Στον τομέα του ελέγχου του οχήματος, ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου μπορεί να ελέγξει τη δυναμική του οχήματος και να αντιδράσει σε ανεπιθύμητες καταστάσεις πολύ πιο άμεσα από τα ανθρώπινα αντανακλαστικά.

Οι κυριότερες κατηγορίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα ADAS είναι οι αισθητήρες radar και οι κάμερες, με τους σαρωτές laser να έχουν πολύ μικρότερη διείσδυση στα εμπορικά συστήματα έξυπνων οχημάτων.

1.2.1 Ραντάρ

Οι αισθητήρες ραντάρ χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, τα ραντάρ μεγάλης εμβέλειας (Long Range Radars) και μέσης/μικρής εμβέλειας. Τα πρώτα λειτουργούν συνήθως στη θερμοθετημένη ζώνη των 76 GHz και τα δεύτερα στη ζώνη των 24GHz.

Οι πρώτες γενιές ραντάρ μεγάλης εμβέλειας χρησιμοποιούσαν μία ευρεία δέσμη εκπομπής και ένα αριθμό επικαλυπτόμενων δεσμών λήψης, προσφέροντας έτσι ένα διαθέσιμο εύρος εντοπισμού ως προς αξιμότητα της τάξης των $\pm 10^\circ$ [13]. Μια εναλλακτική λύση που χρησιμοποιείται είναι η χρήση μηχανικής κεραίας για την κατεύθυνση της δέσμης. Αντίθετα, τα ραντάρ μέσης εμβέλειας παρέχουν μόνο πληροφορία για την απόσταση του στόχου, έχοντας όμως πολύ μεγαλύτερο εύρος εντοπισμού ως προς το αξιμότητα. Η νέα γενιά αυτοκινητιστικών ραντάρ, χρησιμοποιεί κεραίες ηλεκτρονικής αάρωσης, οι οποίες καταργούν την ανάγκη για πολλαπλές δέσμες και προσφέρουν την απαιτούμενη γωνιακή ανάλυση σε μεγάλη εμβέλεια αλλά και ευρεία κάλυψη σε μέση εμβέλεια[14].

1.2.2 Κάμερες

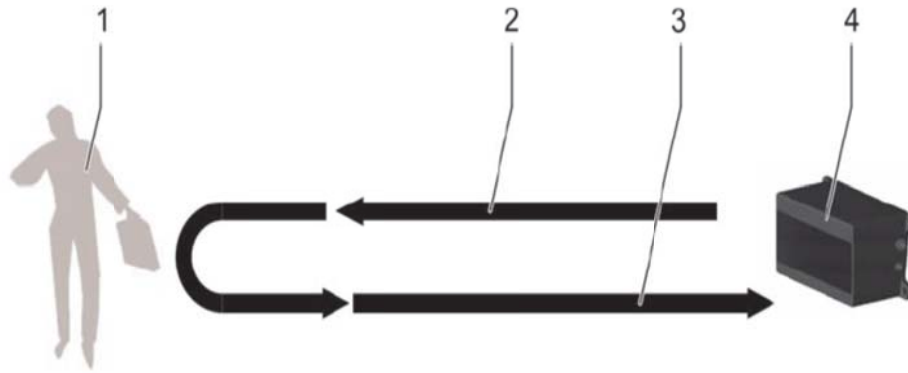
Αντίθετα με τους αισθητήρες ραντάρ που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση οχημάτων, οι κάμερες χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία εφαρμογών ADAS. Η κυριότερη τεχνολογία στα συστήματα παθητικής ανίχνευσης είναι οι αισθητήρες CMOS με τους CCD και IR να ακολουθούν,

Η κυριότερη εφαρμογή είναι η ανίχνευση των λωρίδων σε συστήματα Προειδοποίησης Αποχώρησης Λωρίδας (Lane Departure - Warning LDW) και Υποβοήθησης Διατήρησης Λωρίδας (Lane Keeping Assist System – LKAS), στην οποία επικρατούν οι μονοχρωματικές κάμερες. Κατάλληλοι αλγόριθμοι εξάγουν την γεωμετρία της ίδιας ή και των γειτονικών λωρίδων, καθώς και τον τύπο αυτών (διακεκομμένη, συνεχής). Μικρότερη χρήση παρουσιάζουν οι υπέρυθρες κάμερες, οι οποίες έχουν το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης ανοχής στις καιρικές συνθήκες και την κατάσταση του οδοστρώματος αλλά ανιχνεύουν το συμβάν της εκτροπής από τη λωρίδα μόνο κατά τη στιγμή που συμβαίνει.

Η δεύτερη κυριότερη χρήση αυτή της οικογένειας αισθητήρων είναι η ανίχνευση αντικειμένων. Αν και το κόστος ενός αισθητήρα CMOS είναι κατά πολύ μικρότερο από ενός ραντάρ, ένα σύστημα παθητικού εντοπισμού αντικειμένων παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς στην εμβέλεια ανίχνευσης. Ως αποτέλεσμα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που συσχετίζονται με ανίχνευση πεζών σε αστικό περιβάλλον ή σε ανίχνευση αντικειμένων στα τυφλά σημεία του οδηγού.

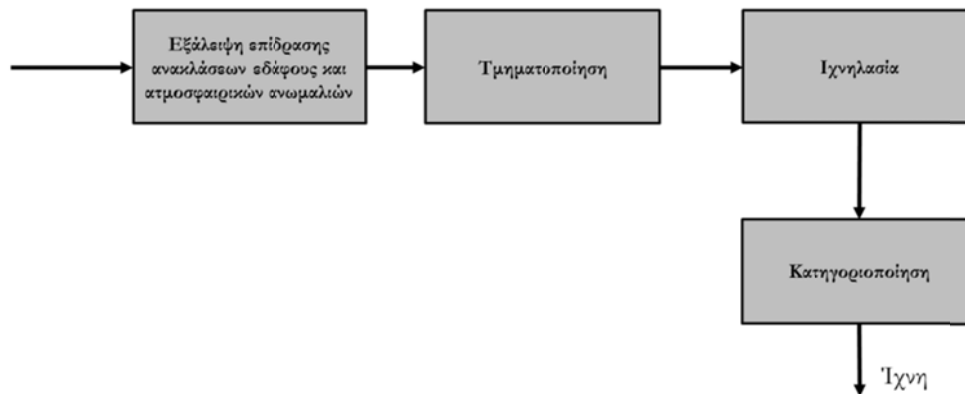
1.2.3 Σαρωτές Laser

Ο σαρωτής laser είναι ένας αισθητήρας που βασίζεται στην τεχνολογία ανίχνευσης φωτός και αποστασιομέτρησης (Light Detection And Ranging (LIDAR)) [26]. Μία ή περισσότερες δέσμες εκπέμπονται από ένα περιστρεφόμενο καθρέφτη και ανακλώνται από τα αντικείμενα του περιβάλλοντος. Η απόσταση του αντικειμένου υπολογίζεται μέσω της ταχύτητας της δέσμης και το χρόνο που διανύει η δέσμη έως ότου επιστρέψει στο δέκτη (Εικόνα 1-2), ενώ η γωνία του κατόπτρου υποδεικνύει την κατεύθυνση του αντικειμένου στο χώρο. Με βάσει αυτές τις δύο πληροφορίες είναι δυνατή η απεικόνιση της περιοχής γύρω από τον αισθητήρα. Αντίθετα με ένα συμβατικό radar, ο αισθητήρας LIDAR παρέχει περισσότερες από μία μετρήσεις για κάθε στόχο. Αυτό απαιτεί μία επιπρόσθετη αλγοριθμική επεξεργασία προκειμένου να ομαδοποιηθούν οι μετρήσεις σε πιθανούς στόχους (Εικόνα 1-3).



Εικόνα 1-2 Διαδικασία μέτρησης σαρωτή laser. 1-Αντικείμενο, 2-Εκπεμπόμενη δέσμη, 3-Ανακλώμενη δέσμη, 4-Αισθητήρας σαρωτή laser

Εξοδος Αισθητήρα



Εικόνα 1-3 Διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων σαρωτή laser για την εξαγωγή ιχνών.

1.3 Αυτοματοποιημένη Οδήγηση

Ο ανθρώπινος παράγον είναι υπεύθυνος για την πρόκληση του 95% των τροχαίων ατυχημάτων [15]. Η εισαγωγή υψηλής αυτοματοποίησης στα αυτοκίνητα θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα του οδηγού μέσω:

- της παρακολούθησης των εντολών που αυτός δίνει (επιτάχυνση, επιβράδυνση, γωνία τιμονιού) και την παροχή προειδοποιήσεων για την ορθότητα αυτών ή με απευθείας παρέμβαση σε αυτές .
- την δυνατότητα για υποκατάσταση του οδηγού για «μέση» -«μεγάλη» διάρκεια, σε αντίθεση με την υποκατάσταση για μικρή διάρκεια που συμβαίνει για παράδειγμα σε ένα σύστημα αποφυγής σύγκρουσης.

Σκοπός ενός συστήματος αυτοματοποιημένης οδήγησης είναι η υποβοήθηση του οδηγού σε στιγμές όπου η οδήγηση είναι είτε μονότονη είτε απαιτεί την εκτέλεση πολλών δράσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η εισαγωγή των αυτοματισμών ξεκίνησε από την αεροπλοΐα, αλλά έχει εφαρμοστεί και σε οχήματα που λειτουργούν σε κλειστό και ελεγχόμενο περιβάλλον (όπως αυτοματοποιημένα φορτηγά σε ορυχεία ή οχήματα μεταφοράς φορτίου σε λιμάνι) . Στον τομέα της αεροπλοΐας, έχουν κατασκευαστεί ήδη ισχυρά αυτοματοποιημένα αεροπλάνα, με fly-by-wire συστήματα, σύγχρονους θαλάμους διακυβέρνησης με αυτοματοποιημένη διαχείριση των πτήσεων και συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες παρέχοντας εξαιρετικά υψηλά ποσοστά ασφάλειας. Ωστόσο η μεταφορά των συστημάτων αυτοματισμού ενός αεροσκάφους σε ένα καθημερινό όχημα δεν είναι δυνατή [16]. Ένα αεροσκάφος ελέγχεται από ένα εκπαιδευμένο διμελές πλήρωμα, ενώ το περιβάλλον στο οποίο κινείται το ίδιο το αεροσκάφος είναι λιγότερο δυναμικό από

έναν αυτοκινητόδρομο. Από τις αερομεταφορές είναι επίσης γνωστό ότι μπορεί να υπάρχουν παρενέργειες, ιδίως όσον αφορά την αλληλεπίδραση μεταξύ του αυτοματισμού και του ανθρώπινου παράγοντα, δηλαδή του πιλότου. Δεν είναι τυχαίο ότι τα περισσότερα ατυχήματα έχουν συμβεί όχι μόνο λόγω μηχανικής βλάβης ή λάθος χειρισμού, αλλά από το συνδυασμό των παραπάνω γεγονότων. Συνεπώς ένα αυτοκινητιστικό σύστημα αυτοματισμού πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλούστερο ώστε ένας οδηγός με ελάχιστη εξοικείωση να μπορεί να οδηγήσει ένα αυτοματοποιημένο όχημα. Ένα από τα σημαντικότερα τμήματα της οδικής αυτοματοποίησης και ασφάλειας είναι η κατανόηση του περιβάλλοντος του οχήματος από το ίδιο το όχημα. Ένα υψηλό επίπεδο αυτοματισμού απαιτεί και ένα προηγμένο σύστημα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος. Ο οδηγός ενός αυτοματοποιημένου οχήματος δεν μπορεί να αναλάβει πάντα άμεσα το έλεγχο όταν το σύστημα δε μπορεί πλέον να ανταπεξέλθει, καθώς έχει εμπιστευτεί ένα μέρος ή και ολόκληρο το έργο της οδήγησης στο σύστημα αυτοματισμού. Απαιτείται ορισμένος χρόνος για τη μετάβαση από ένα επίπεδο αυτοματισμού στην «χειροκίνητη» οδήγηση, καθώς ο οδηγός σε ένα τέτοιο σύστημα δεν είναι απαραίτητο ότι παρακολουθεί συνεχώς το οδικό περιβάλλον και άρα δεν έχει γνώση της τρέχουσας «τακτικής κατάστασης». Συνεπώς οι απαιτήσεις για αξιοπιστία, αντοχή σε σφάλματα, ψευδείς συναγερούς είναι πολύ υψηλότερη απ' ό,τι σε μία εφαρμογή ADAS.

1.4 Ασύρματη Επικοινωνία Οχημάτων και Υποδομών

Μία από τις μεγαλύτερες εξελίξεις την τελευταία δεκαετία στον τομέα των έξυπνων συστημάτων μεταφορών υπήρξε η εισαγωγή τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας. Ο αναπτυσσόμενος αυτός τομέας των δικτύων αυτοκινήτων με τη μορφή της επικοινωνίας V2V (Vehicle-to-Vehicle (V2V), αυτοκινήτου με αυτοκίνητο) και V2I (Vehicle-to-Infrastructure (V2I) αυτοκινήτου με υποδομή), προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ποικιλίας εφαρμογών ασφάλειας, διασκέδασης/πληροφόρησης (Infotainment), μείωσης ρύπων και διαχείρισης κυκλοφορίας. Επίσης τα ήδη υπάρχοντα συστήματα ADAS μπορούν να επωφεληθούν από την χρήση της ασύρματης πληροφορίας, επεκτείνοντας έτσι το εύρος εφαρμογής τους.

Όλα τα σύγχρονα συστήματα ADAS στηρίζονται σε πληροφορίες που προέρχονται από αισθητήρες εγκατεστημένους στο ίδιο όχημα (πχ radar, ή αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας), ή σε στατικές βάσεις δεδομένων (πχ ψηφιακοί χάρτες). Συνεπώς, ένα τέτοιο σύστημα περιορίζεται από τις δυνατότητες των αισθητήρων που το αποτελούν, όπως είναι η εμβέλεια και η γωνία αποκάλυψης στόχων του αισθητήρα radar ή η ικανότητα εντοπισμού των λωρίδων σε αντίξοες καιρικές συνθήκες από την κάμερα ανίχνευσης λωρίδων. Για παράδειγμα, ένα αυτόνομο σύστημα δεν μπορεί να εντοπίσει ένα αργά κινούμενο ή σταματημένο όχημα πίσω από μια στροφή ή ένα τυφλό σημείο. Επίσης σε μια διασταύρωση ένα απλό radar δεν είναι ικανό να εντοπίσει όλα τα αυτοκίνητα που διέρχονται απ' αυτή. Η χρήση ασύρματης επικοινωνίας προσφέρει μια εκτεταμένη εικόνα του οδικού περιβάλλοντος χωρίς τους περιορισμούς των εγκατεστημένων αισθητήρων εντός του οχήματος. Η πληροφορία που παρέχεται στο όχημα μπορεί είτε να προέρχεται από μια ομάδα αυτοκινήτων που σχηματίζουν ένα κινητό δίκτυο οχημάτων (VANET – Vehicular Ad Hoc Network), είτε από μια υποδομή εγκατεστημένη στο δρόμο. Εκτός του εκτεταμένου ορίζοντα πληροφόρησης, τα ασύρματα δίκτυα συνεισφέρουν και στην ακρίβεια των πληροφοριών που είναι διαθέσιμα στον οδηγό αλλά και τα συστήματα ADAS ([17]-[19]). Η ιδέα του συνεργαζόμενου προτύπου στα συστήματα ADAS ενισχύεται από την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων, καθώς και από την διεύθυνση του GPS σε ολόένα και μεγαλύτερο αριθμό αυτοκινήτων. Ένα απλό GPS είναι σημαντικά φθηνότερο από ένα δίκτυο αισθητήρων με 360 μοίρες κάλυψη, κάνοντας έτσι ελκυστικό το ενδεχόμενο ενός φθηνού συστήματος προειδοποίησης. Στην περίπτωση για παράδειγμα ενός αυτόνομου συστήματος ACC, κατάλληλοι αλγόριθμοι θα πρέπει να εκτιμήσουν την ταχύτητα αλλά και την λωρίδα στην οποία βρίσκονται τα προπορευόμενα οχήματα. Αντίθετα στην περίπτωση ενός συνεργατικού ACC, τα προπορευόμενα οχήματα μεταδίδουν την ταχύτητά τους αλλά και την λωρίδα στην οποία βρίσκονται. Επίσης η χρήση υποδομών παρέχει στο όχημα πληροφορίες πραγματικού χρόνου σχετικά με ατυχήματα ή κυκλοφοριακή συμφόρηση, κάτι που είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί με ένα αυτόνομο δίκτυο αισθητήρων.

1.4.1 Ασύρματα Δίκτυα για Εφαρμογές Ασφάλειας

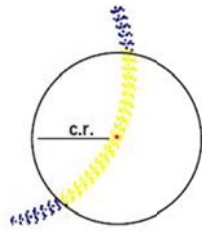
Αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο επικοινωνίας που να καθορίζει με σαφή τρόπο την οργάνωση ενός ασύρματου δικτύου οχημάτων, γίνονται αρκετές έρευνες πάνω στο αντικείμενο και έχουν προταθεί αρκετές αρχιτεκτονικές. Ωστόσο υπάρχουν κάποιες βασικές αρχές και παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν.

Η εφαρμογή ενός ασύρματου δικτύου αποκλειστικά βασισμένου σε δρομολογητές απορρίπτεται για ορισμένους βασικούς λόγους:

- Εφαρμογές βασισμένες σε δρομολογητές είναι διαθέσιμες μόνο όταν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση σε αυτούς.
- Η μη διαθεσιμότητα ενός πρωτοκόλλου παρόμοιο με το TCP που να μπορεί να διαχειρίζεται δυσμενείς καταστάσεις απώλειας και καθυστέρησης δεδομένων.
- Ένας δρομολογητής δεν είναι δυνατό να μπορεί να διαθέσει τέτοιο εύρος ζώνης ώστε κάθε όχημα να μπορεί να μεταδώσει πληροφορίες πραγματικού χρόνου. Ακόμα και αν ήταν δυνατό, θα επιβάρυνε το δίκτυο με σοβαρά μεγάλο φορτίο.
- Θα οδηγούσε στην απώλεια του τοπικού χαρακτήρα των πληροφοριών (τα οχήματα ενδιαφέρονται για πληροφορίες που αφορούν την περιοχή που κινούνται). Σε μια τέτοια περίπτωση οι τερματικοί δρομολογητές θα έπρεπε να προωθούν πακέτα και να διαχειρίζονται και δεδομένα που αφορούν τα αυτοκίνητα, κάτι που θα οδηγούσε στον στραγγαλισμό του καναλιού επικοινωνίας.

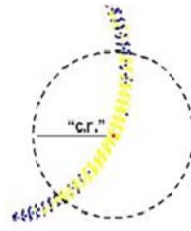
Η λύση στα παραπάνω προβλήματα είναι η δημιουργία κινητών Ad-Hoc δικτύων μεταξύ των οχημάτων, τα οποία θα ανταλλάσουν πληροφορίες μέσα από μικρής εμβέλειας ασύρματες συνδέσεις. Ad-Hoc είναι μια μέθοδος σύνδεσης δικτύου η οποία συχνότερα εμφανίζεται στα ασύρματα δίκτυα. Η σύνδεση δημιουργείται μόνο για τη διάρκεια μιας συνεδρίας και δεν απαιτεί σταθμό βάσης. Αντίθετα, οι συσκευές ανακαλύπτουν άλλες που βρίσκονται εντός της εμβέλειάς τους και σχηματίζουν ένα δίκτυο. Οι συσκευές μπορούν να αναζητούν και εκτός εμβέλειας συσκευές διοχετεύοντας μηνύματα τα οποία προωθούνται από άλλους κόμβους. Οι συνδέσεις είναι δυνατές μέσα από πολλαπλούς κόμβους (multihop ad hoc network). Κατάλληλα πρωτόκολλα δρομολόγησης παρέχουν σταθερή σύνδεση ακόμα και αν οι κόμβοι κινούνται. Η βασική πρόκληση στο σχεδιασμό ενός Ad-Hoc δικτύου είναι η επίδραση κάθε κόμβου στη μετάδοση της πληροφορίας. Σε μια multihop VANET σύνδεση το τερματικό σημείο της σύνδεσης είναι πρακτικά κάθε αυτοκίνητο. Ενώ στο internet ένα πακέτο μεταδίδεται χωρίς αλλαγές μεταξύ των ενδιάμεσων κόμβων, στο VANET αντίθετα, κάθε κόμβος μπορεί να μεταβάλει το περιεχόμενο της πληροφορίας ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση πλεοναζόντων πληροφοριών. Για παράδειγμα ένα αυτοκίνητο αντιλαμβάνεται παγωμένο οδόστρωμα, το επικοινωνιακό σύστημα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ώστε να μεταδώσει την πληροφορία ώστε να ληφθούν προφυλάξεις. Το επικοινωνιακό σύστημα αναλαμβάνει την αποστολή να μεταδώσει αξιόπιστα την πληροφορία σε μια ορισμένη περιοχή. Ωστόσο είναι πιθανό ότι πολλά οχήματα θα αντιληφθούν τον ίδιο κίνδυνο από τους αισθητήρες περιβάλλοντος και θα σπεύσουν και αυτά να μεταδώσουν την πληροφορία, με αποτέλεσμα μεγάλο αριθμό περιττών μηνυμάτων. Συνεπώς αυτές οι περιττές πληροφορίες θα κατακλύσουν το δίκτυο εάν δεν χρησιμοποιηθεί ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης.

Επίσης στο σχεδιασμό ενός Ad-Hoc με τις ιδιαιτερότητες που αναφέρθηκαν απαιτούνται πολύ αποτελεσματικοί αλγόριθμοι αξιοποίησης των πόρων δεδομένου ότι δεν υπάρχουν κεντρικοί σταθμοί διαχείρισης (server). Η υψηλή κινητικότητα των αυτοκινήτων-κόμβων, δημιουργούν την ανάγκη για ισχυρούς αλγορίθμους αναζήτησης βέλτιστης διαδρομής των πακέτων ανάμεσα στους κόμβους. Όταν ένας κόμβος αναλαμβάνει να στείλει μια πληροφορία σε γειτονικούς του που βρίσκονται σε μια καθορισμένη ακτίνα, δεν υπάρχει απόλυτη βεβαιότητα ότι θα λάβουν όλοι οι κόμβοι την πληροφορία (Εικόνα 1-4).



Ιδανική κατάσταση χωρίς παρεμβολές

- Αυτοκίνητα εντός της ακτίνας επικοινωνίας(c.r)θα λάβουν το πακέτο
- Αυτοκίνητα εντός της ακτίνας επικοινωνίας(c.r) ΔΕΝ θα λάβουν το πακέτο



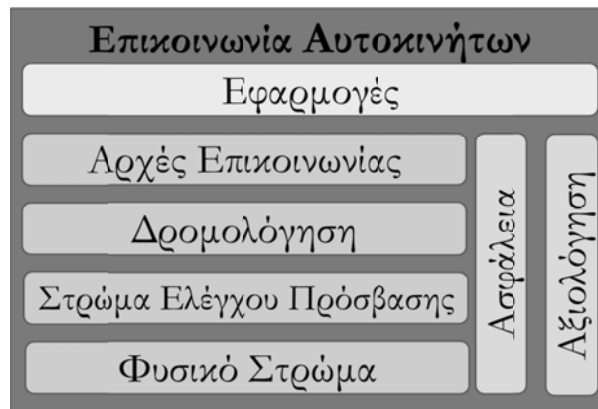
Πραγματικότητα Χωρίς Παρεμβολές Πιθανότητα λήψης P(d)

- Αυτοκίνητα εντός της ακτίνας επικοινωνίας ΜΠΟΡΟΥΝ να λάβουν το πακέτο
- Αυτοκίνητα εκτός της ακτίνας επικοινωνίας ΊΩΣ να λάβουν το πακέτο

Εικόνα 1-4 Ιδανικές και πραγματικές συνθήκες ασύρματης μετάδοσης σε ένα ασύρματο δίκτυο.

1.4.2 Στρώματα Αρχιτεκτονικής

Στην Εικόνα 1-5 παρουσιάζεται μία σύνοψη της αρχιτεκτονικής των επικοινωνιών για αυτοκίνητα. Στην κορυφή βρίσκονται οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν την ασύρματη τεχνολογία μετάδοσης πληροφορίας. Ακολουθούν οι αρχές επικοινωνίας, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, το στρώμα του ελέγχου πρόσβασης και τέλος το φυσικό στρώμα.



Εικόνα 1-5 Στρώματα αρχιτεκτονικής των επικοινωνιών για αυτοκίνητα

Η μετάδοση της πληροφορίας σε ένα δίκτυο αυτοκινήτων γίνεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους : αμφίδρομα, με μία αναμετάδοση (singlehop-Εικόνα 1-6) και πολλαπλές αναμεταδόσεις (multihop - Εικόνα 1-7).

Η αμφίδρομη μετάδοση πληροφορίας, επιτρέπει την σύνδεση δύο οχημάτων ή ενός οχήματος και μίας υποδομής με σκοπό την ανταλλαγή πληροφορίας. Σε κάθε μετάδοση μηνύματος, αποστέλλεται από τον κόμβο λήψης ένα πακέτο επιβεβαίωσης ώστε να εξασφαλίζεται η μη-απωλεστική μετάδοση της πληροφορίας. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται μεγαλύτερη αξιοπιστία κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας αλλά ταυτόχρονα επηρεάζεται η ταχύτητα της μετάδοσης λόγω των πακέτων επιβεβαίωσης. Στην ασύρματη επικοινωνία με μία αναμετάδοση, η πληροφορία διαδίδεται μόνο σε μία ομάδα αυτοκινήτων που βρίσκονται σε μία δεδομένη γεωγραφική περιοχή, τεχνική η οποία είναι γνωστή στη βιβλιογραφία ως geocasting .Η τεχνική υλοποιείται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση της ανακάλυψης (discovery), ένα όχημα ή μια υποδομή δρόμου ενημερώνεται για

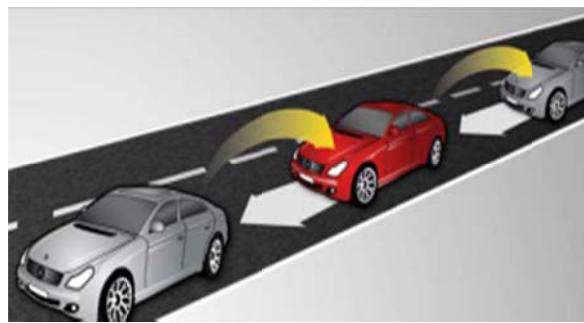
την παρουσία γειτονικών κόμβων και την ανανεώνει τις θέσεις όπου αυτοί βρίσκονται. Στη φάση του διαμοιρασμού (Flooding), ένας κόμβος αποστέλλει ένα μήνυμα στο οποίο επισυνάπτει μία ετικέτα με την επιθυμητή γεωγραφική θέση του μηνύματος. Ο κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα ελέγχει την ετικέτα και αναλόγως διατηρεί ή απορρίπτει το μήνυμα. Στη περίπτωση που το μήνυμα πρέπει να μεταδοθεί μέσω πολλαπλών κόμβων, απαιτείται ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης ώστε κατά τη διάρκεια της μετάδοσης να υπολογίζεται ο επόμενος ενδιάμεσος κόμβος στον οποίο πρέπει να προωθηθεί το μήνυμα.

Για την ομαλή πρόσβαση στο μέσο διάδοσης απαιτείται ένας αλγόριθμος διαχείρισης μηνυμάτων για την αποφυγή συγκρούσεων κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Αυτό είναι το στρώμα του ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC-Medium Access Control). Το φυσικό στρώμα ορίζει το εύρος ζώνης, κανάλια, διαμόρφωση των μεταδιδόμενων σημάτων και γενικότερα ό,τι έχει σχέση με τη μετάδοση των σημάτων στο μέσο διάδοσης.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή την περίοδο παρατηρείται σημαντική δραστηριότητα για την καθιέρωση, προώθηση και τη διαλειτουργικότητα των απαραίτητων προτύπων που θα εφαρμοστούν στα δίκτυα αυτοκινητών.



Εικόνα 1-6 Αποστολή μηνύματος με μία μετάδοση



Εικόνα 1-7 Αποστολή μηνύματος με πολλαπλές μεταδόσεις

1.5 Σύντηξη Δεδομένων

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός αποτελεί έως το 30% της αξίας ενός πολυτελούς αυτοκινήτου. Τα περισσότερα σύγχρονα οικγενειακά αυτοκίνητα διαθέτουν μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ από το πρώτο διαστημόπλοιο Apollo, ενώ ένα πολυτελές αυτοκίνητο μπορεί να έχει έως και 70 υπολογιστές και πολλαπλάσιους αισθητήρες ανάλογα με τον επιπρόσθετο εξοπλισμό[20]. Συνεπώς τίθεται το πρόβλημα της διαχείρισης όλων των ετερογενών πηγών πληροφορίας και η βέλτιστη διαχείριση τους ώστε να επιτευχθεί το μέγιστο όφελος για την εκάστοτε εφαρμογή.

Η επιστήμη της σύντηξης πληροφορίας (Data Fusion), επικεντρώνεται στο πρόβλημα της διαχείρισης πολλαπλών αισθητήρων και άλλων πηγών πληροφορίας για την εκτίμηση και πρόβλεψη της κατάστασης οντοτήτων[21]. Η έννοια της σύντηξης πληροφορίας δεν είναι καινούρια. Τα ζώα και οι πρώτοι άνθρωποι χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό αισθήσεων, όπως η όραση, η ακοή και η όσφρηση για την επιβίωσή τους. Η επιστήμη της σύντηξης πληροφορίας έχει γνωρίσει ιδιαίτερη ανάπτυξη με την έλευση νέων αισθητήρων, ισχυρών υπολογιστών, εξελιγμένων τεχνικών και τεχνικών μετάδοσης ευρείας ζώνης.

Το βασικό κίνητρο για τη χρήση της σύντηξης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων είναι η βελτίωση της πληροφορίας μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας. Η σύντηξη δεδομένων δεν είναι απαραίτητο ότι κάνει χρήση περισσότερων του ενός αισθητήρα. Η επεξεργασία μπορεί να γίνεται στη χρονοσειρά των μετρήσεων που συλλέχθηκαν από ένα μοναδικό αισθητήρα. Η χρήση πολλαπλών αισθητήρων βελτιώνει ωστόσο την χωρική και χρονική αντίληψη του συστήματος, την αξιοπιστία σε σφάλματα αισθητήρων και αλγορίθμων, την βελτιωμένη καταπίεση θορύβου και την ακρίβεια της εκτίμησης.

Η σύντηξη δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε ένα σύστημα[33]:

- Βεβαιότητα: Εάν θεωρήσουμε V δεδομένα αισθητήρα και $p(V)$ η πιθανότητα των δεδομένων, τότε μετά τη σύντηξη αναμένουμε αύξηση της βεβαιότητας. Εάν VF είναι τα δεδομένα μετά τη σύντηξη τότε $p(VF) > p(V)$
- Ακρίβεια: Η τυπική απόκλιση των δεδομένων μετά την σύντηξη πρέπει να είναι μικρότερη από εκείνη των δεδομένων του κάθε αισθητήρα ανεξάρτητα. Επίσης εάν τα δεδομένα περιέχουν θόρυβο ή σφάλματα, τότε η διαδικασία της σύντηξης επιχειρεί να τα αφαιρέσει. Γενικότερα η βεβαιότητα και η ακρίβεια είναι έννοιες που συνδέονται.
- Πληρότητα (Completeness): Η χρήση πλεοναζόντων ή συμπληρωματικών αισθητήρων προσφέρει μια πληρέστερη αντίληψη του περιβάλλοντος και αύξηση της ακρίβειας

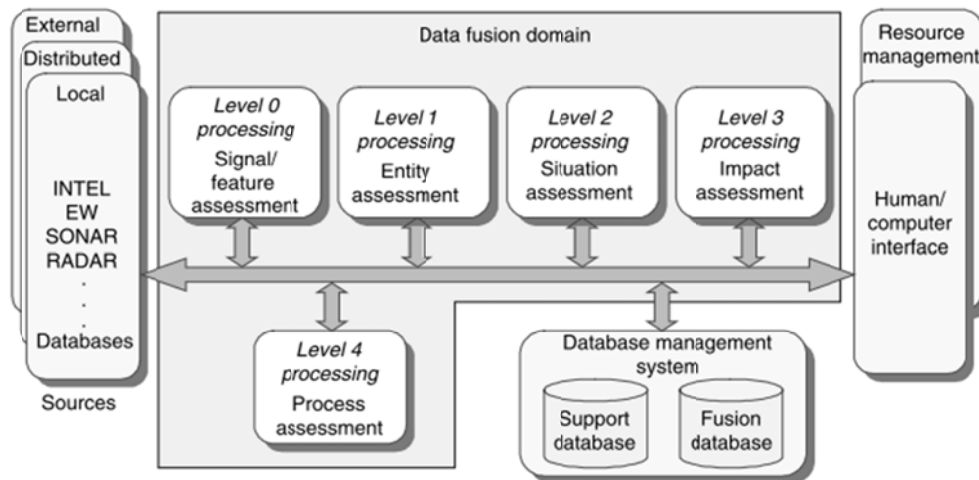
Σε ένα σύστημα σύντηξης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η επιλογή αλλά και διάταξη των αισθητήρων. Γενικά οι τοπολογίες αισθητήρων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 3 κατηγορίες[33]:

- Συμπληρωματική: Σε αυτή τη τοπολογία οι αισθητήρες δεν είναι εξαρτώμενοι αλλά ο συνδυασμός των πληροφοριών που παρέχει μία βελτιωμένη αντίληψη και εκτίμηση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελούμενο από ένα αισθητήρα ταχύτητας και ένα επιταχυνσιόμετρο.
- Ανταγωνιστική: Σε αυτή την τοπολογία οι αισθητήρες παρέχουν ανεξάρτητες μετρήσεις για την ίδια ιδιότητα. Σκοπός αυτής της τοπολογίας είναι η μείωση των επιπτώσεων από εσφαλμένες ή θορυβώδεις μετρήσεις.
- Συνεργατική: Σε αυτή την τοπολογία χρησιμοποιούνται πολλαπλοί αισθητήρες για την εξαγωγή πληροφοριών που θα ήταν αδύνατο να εκτιμηθούν με την ανεξάρτητη χρήση των αισθητήρων.

Οι εφαρμογές της σύντηξης δεδομένων είναι ποικίλες. Αναμφισβήτητα, οι τεχνικές σύντηξης δεδομένων έχουν την ευρύτερη χρήση σε στρατιωτικές εφαρμογές όπως : η αυτοματοποιημένη αναγνώριση στόχων, η ναυτιλία και καθοδήγηση, η παρακολούθηση και αξιολόγηση απειλών. Στις μη στρατιωτικές εφαρμογές περιλαμβάνεται η αεροπλοΐα και ναυσιπλοΐα, η ιατρική, η ρομποτική και ο αυτόματος έλεγχος.

1.6 JDL Μοντέλο

Το λειτουργικό μοντέλο για τη σύντηξη δεδομένων αναπτύχθηκε το 1985 από την ομάδα “Data fusion group” του οργανισμού “Joint Directors of Laboratories (JDL)” των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, με τις αναθεωρήσεις που αιχλούθησαν αποτελεί το ευρύτερα διαδεδομένο σύστημα για την κατηγοριοποίηση των λειτουργιών που αφορούν τη σύντηξη δεδομένων. Σκοπός του είναι να διευκολύνει την κατανόηση και επικοινωνία ανάμεσα σε διαχειριστές, θεωρητικούς, σχεδιαστές, αξιολογητές και χρήστες τεχνολογιών σύντηξης πληροφορίας για την αποτελεσματική σχεδίαση, υλοποίηση και λειτουργία σχετικών συστημάτων ([23]-[24]). Το JDL μοντέλο αποτελεί ένα λειτουργικό μοντέλο και όχι μοντέλο υλοποίησης ή αρχιτεκτονικής. Το JDLμοντέλο χωρίζει τη διαδικασία της σύντηξης πληροφορίας σε πέντε επίπεδα[25]:

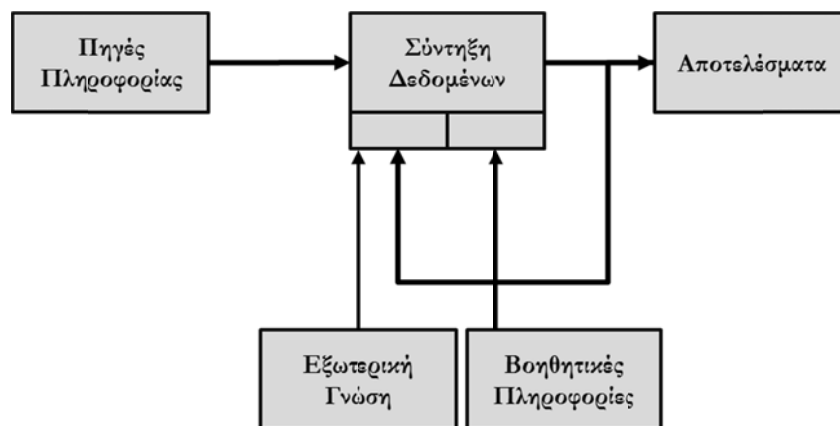


Εικόνα 1-8 Σχηματική Απεικόνιση του μοντέλου JDL

- Επίπεδο 0: Εκτίμηση σημάτων χαρακτηριστικών: Ως σήματα και χαρακτηριστικά μπορούν να θεωρηθούν ως τα πρότυπα που εξάγονται από παρατηρήσεις ή μετρήσεις. Για παράδειγμα η επιστροφή ενός στόχου στο ραντάρ ή ένα pixel σε μία εικόνα.
- Επίπεδο 1: Εκτίμηση οντοτήτων: Εκτίμηση παραμέτρων και ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν μία οντότητα.
- Επίπεδο 2: Εκτίμηση κατάστασης: Εκτίμηση των σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων και οι επιπτώσεις αυτών των σχέσεων για τις συναφείς οντότητες
- Επίπεδο 3: Αξιολόγηση επιπτώσεων: Εκτίμηση της χρησιμότητας/κόστους ενός σήματος, οντότητας ή κατάστασης, συμπεριλαμβανόμενης της πρόβλεψης χρησιμότητας/κόστους σε περίπτωση διαφοροποίησης δράσης του συστήματος
- Επίπεδο 4: Αξιολόγηση διαδικασίας: Αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος σε σχέση με τα επιθυμητά επίπεδα αποτελεσματικότητας,

1.7 Αρχιτεκτονική Συστημάτων Σύντηξης

Δομική μονάδα ενός συστήματος δεδομένων είναι ο κόμβος σύντηξης. Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός συστήματος επικοινωνιών. Στην Εικόνα 1-9 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική ενός κόμβου σύντηξης([35]-[36]).



Εικόνα 1-9 Αρχιτεκτονική κόμβου σύντηξης δεδομένων

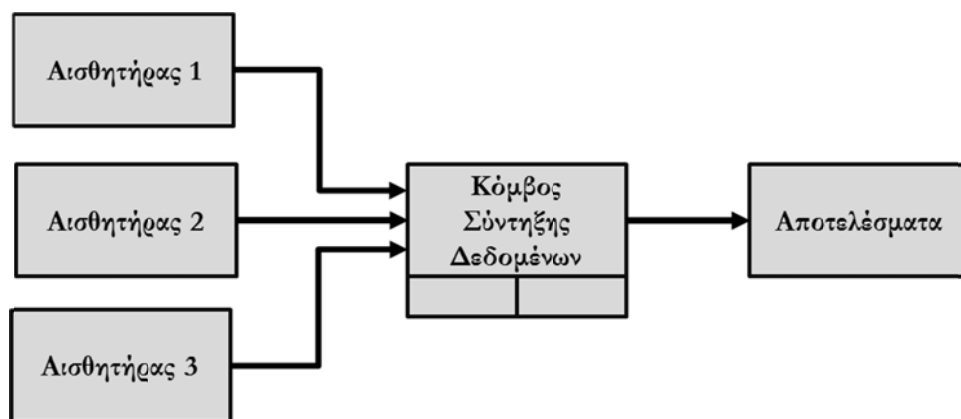
Οι εισοδοί ενός κόμβου σύντηξης είναι οι ακόλουθες:

- Πληροφορίες αισθητήρων: Περιλαμβάνονται τα δεδομένα που προέρχονται από ένα σύνολο αισθητήρων S_m , $m \in \{1,2, \dots, M\}$, καθώς και πληροφορίες που προέρχονται από άλλους κόμβους σύντηξης
- Βοηθητικές πληροφορίες: Πληροφορίες που ανακτώνται από συγκεκριμένη επεξεργασία των δεδομένων των αισθητήρων
- Εξωτερική γνώση: Επιπρόσθετα δεδομένα που είναι γνωστά εκ των προτέρων ή είναι αποθηκευμένα σε κάποια εξωτερική πηγή (π.χ. βάση δεδομένων).

Οι τοπολογίες αρχιτεκτονικής ενός συστήματος σύντηξης δεδομένων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: κεντρική, κατανεμημένη και υβριδική.

1.7.1 Κεντρική

Σε ένα σύστημα κεντρικής αρχιτεκτονικής, ο κόμβος σύντηξης αντιπροσωπεύει ένα κεντρικό επεξεργαστή ή ένα κόμβο που συλλέγει όλα τα δεδομένα από διαφορετικούς αισθητήρες. Το σύνολο της επεξεργασίας λαμβάνει χώρα στον κεντρικό κόμβο σύντηξης (Εικόνα 1-10). Θεωρητικά μια τέτοια αρχιτεκτονική έχει τη βέλτιστη απόδοση εάν θεωρηθεί ότι ο χωρικός και χρονικός συγχρονισμός των δεδομένων δεν εισάγει σφάλματα[37].



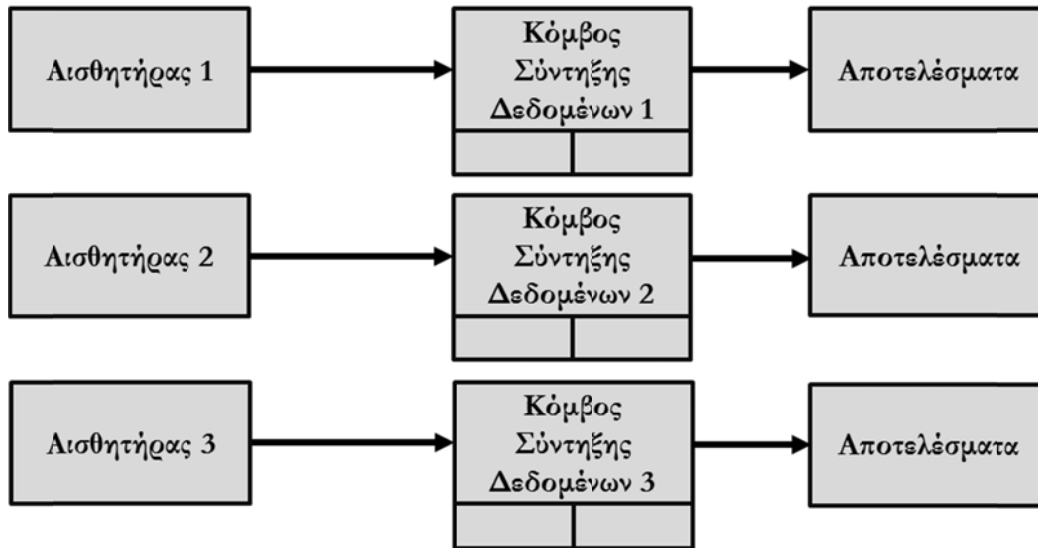
Εικόνα 1-10 Σύστημα σύντηξης δεδομένων με κεντρική αρχιτεκτονική

Ωστόσο, η εν λόγω αρχιτεκτονική έχει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- Απαιτήσεις σε εύρος επικοινωνιών: Όλοι οι αισθητήρες επικοινωνούν με ένα μοναδικό κόμβο, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση του καναλιού επικοινωνίας.
- Έλλειψη ευελιξίας: Εάν πραγματοποιηθεί κάποια αλλαγή στην εφαρμογή, το κεντρικό σύστημα επεξεργασίας μπορεί να μην είναι εύκολο να προσαρμοστεί στις νέες απαιτήσεις
- Μη σπονδυλωτή αρχιτεκτονική: Σε περίπτωση προσθήκης ενός ή περισσότερων αισθητήρων απαιτείται τροποποίηση του αλγορίθμου στον κεντρικό κόμβο σύντηξης, ενώ επίσης απαιτείται αύξηση του εύρους ζώνης επικοινωνίας.
- Μη αντοχή σε σφάλματα/βλάβες: Σε περίπτωση αστοχίας του κεντρικού κόμβου ή του καναλιού επικοινωνίας, ολόκληρο το σύστημα τίθεται εκτός λειτουργίας.

1.7.2 Κατανεμημένη

Στην κατανεμημένη αρχιτεκτονική, οι πληροφορίες και οι μετρήσεις κάθε αισθητήρα επεξεργάζονται από ένα τοπικό κόμβο σύντηξης (Εικόνα 1-11).

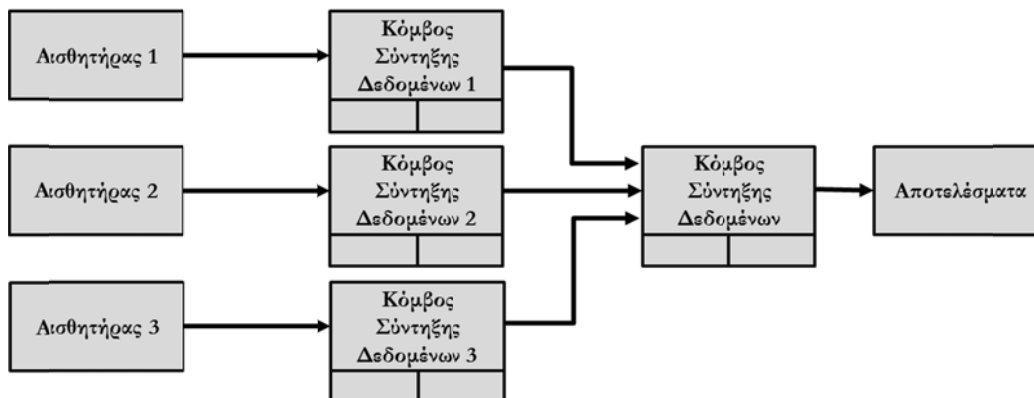


Εικόνα 1-11 Σύστημα σύντηξης δεδομένων με κατακεντρωμένη αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική αυτή δεν πάσχει από τα μειονεκτήματα στις κεντρικής αρχιτεκτονικής καθώς είναι επεκτάσιμη, λιγότερο ευάλωτη σε δυσλειτουργίες και βλάβες, είναι σπονδυλωτή και έχει μικρότερες απαιτήσεις σε εύρος επικοινωνιών. Το βασικό πρόβλημα της αρχιτεκτονικής είναι η χρήση πλεονάζουσας πληροφορίας. Αν υποθέσουμε ότι δύο κόμβοι (F1 και F2 στην Εικόνα 1-11) παρέχουν στον κόμβο F πληροφορίες για τη θέση κάποιου στόχου, ο κόμβος F πρέπει να λάβει υπόψη ότι οι δύο αυτές πληροφορίες δεν είναι ανεξάρτητες αλλά τα σφάλματα και η αβεβαιότητα των πληροφοριών συσχετίζεται.

1.7.3 Υβριδική

Η υβριδική αρχιτεκτονική συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της κεντρικής και κατακεντρωμένης αρχιτεκτονικής. Δεν είναι τόσο ευάλωτη σε σφάλματα ή βλάβες κόμβων, αλλά ενδέχεται να παρουσιαστεί χρήση πλεονάζουσας πληροφορίας όπως σε ένα κατακεντρωμένο σύστημα. Η υβριδική αρχιτεκτονική περιέχει ιεραρχικά επίπεδα επεξεργασίας, όπου στα πρώτα επίπεδα κάθε κόμβος τροφοδοτείται από ένα πλήθος αισθητήρων και το σύνολο των τοπικών κόμβων σύντηξης αποστέλλουν την έξοδό τους σε ένα κεντρικό κόμβο επεξεργασίας.



Εικόνα 1-12 Σύστημα σύντηξης δεδομένων που χρησιμοποιεί την υβριδική αρχιτεκτονική. Κάθε κόμβος επεξεργάζεται τα δεδομένα ενός αισθητήρα, ενώ ο κεντρικός κόμβος σύντηξης επεξεργάζεται τα δεδομένα των τοπικών κόμβων σύντηξης.

1.8 Εκτίμηση Κατάστασης

Με τον όρο κατάσταση εννοούμε το σύνολο των μεταβλητών που παρέχουν μία πλήρη περιγραφή της εσωτερικής κατάστασης ενός συστήματος μία δεδομένη χρονική στιγμή. Η εκτίμηση κατάστασης έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην μηχανική και την επιστήμη ήδη από τη δεκαετία του '50. Το πρόβλημα συνίσταται στην εκτίμηση της κατάστασης ενός δυναμικού συστήματος ακολουθιακά, χρησιμοποιώντας μια σειρά θορυβωδών μετρήσεων επί του συστήματος.

Η εκτίμησης κατάστασης αποτελεί ένα σημαντικό κεφάλαιο στα συστήματα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος. Η αποτελεσματική εκτίμηση της κατάστασης των οντοτήτων όπως οι λωρίδες, οι πεζοί, άλλα οχήματα κλπ, καθορίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα ενός προηγμένου συστήματος υποβοήθησης οδηγού.

1.8.1 Γραμμικά Συστήματα Διακριτού Χρόνου

Εάν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα γραμμικό σύστημα διακριτού χρόνου :

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{G}_{k-1}\mathbf{u}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \quad (1.8.1)$$

Όπου \mathbf{u}_k είναι γνωστή είσοδος και \mathbf{w}_k είναι γκαουσιανός λευκός θόρυβος μηδενικής μέσης τιμής και με συνδιακύμανση \mathbf{Q}_k . Η μέση τιμή της κατάστασης \mathbf{x}_k θα μεταβάλλεται στο χρόνο ως εξής:

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{x}}_k &= E(\mathbf{x}_k) \\ \bar{\mathbf{x}}_k &= \mathbf{F}_{k-1}\bar{\mathbf{x}}_{k-1} + \mathbf{G}_{k-1}\mathbf{u}_{k-1} \end{aligned} \quad (1.8.2)$$

Αποδεικνύεται ότι η συνδιακύμανση της μέσης τιμής (1.8.2) είναι :

$$\mathbf{P}_k = \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{P}_{k-1}\mathbf{F}_{k-1}^T + \mathbf{Q}_{k-1} \quad (1.8.3)$$

Αυτή είναι γνωστή και ως εξίσωση Lyapunov διακριτού χρόνου ή εξίσωση Stein.

Ο πίνακας \mathbf{F}_k ονομάζεται πίνακας μετάβασης και ορίζεται ως ακολούθως:

$$\mathbf{F}_{k,i} \begin{cases} \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{F}_{k-2}\dots\mathbf{F}_i & k > i \\ \mathbf{I} & k = i \\ \mathbf{0} & k < i \end{cases} \quad (1.8.4)$$

Από την (1.8.1) φαίνεται ότι η \mathbf{x}_k είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των \mathbf{x}_0 , \mathbf{w}_k και \mathbf{u}_k . Εάν η αλληλουχία εισόδου \mathbf{u}_k είναι γνωστή, τότε είναι σταθερή και μπορεί να θεωρηθεί ως μία αλληλουχία γκαουσιανών τυχαίων μεταβλητών με μηδενική συνδιακύμανση. Εάν τα \mathbf{x}_0 και \mathbf{w}_k είναι άγνωστα αλλά γκαουσιανές τυχαίες μεταβλητές, τότε η \mathbf{x}_k είναι ένας γραμμικός συνδυασμός γκαουσιανών τυχαίων μεταβλητών. Συνεπώς η \mathbf{x}_k είναι μία γκαουσιανή τυχαία μεταβλητή. Μια τέτοια μεταβλητή ορίζεται πλήρως από τη μέση τιμή και τη συνδιακύμανση οι οποίες ορίστηκαν στις εξισώσεις (1.8.2) και (1.8.3):

$$\mathbf{x}_k = N(\bar{\mathbf{x}}_k, \mathbf{P}_k) \quad (1.8.5)$$

1.8.2 Συστήματα Διακριτής Εισόδου

Τα συστήματα διακριτής εισόδου αποτελούν τα πιο συνήθη συστήματα. Είναι ένα σύστημα του οποίου η κατάσταση περιγράφεται από μία διαφορική εξίσωση συνεχούς χρόνου, αλλά η είσοδος αλλάζει μόνο σε διακριτές χρονικές στιγμές. Σε ένα τέτοιο σύστημα ενδιαφέρει μόνο η εκτίμηση της κατάστασης σε διακριτές χρονικές στιγμές. Το σύστημα περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{w} \quad (1.8.6)$$

Η λύση $\mathbf{x}(t)$ για μία τυχαία χρονική στιγμή είναι:

$$\mathbf{x}(t_k) = e^{\mathbf{A}(t_k - t_{k-1})}\mathbf{x}(t_{k-1}) + \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{\mathbf{A}(t_k - \tau)} [\mathbf{B}(\tau)\mathbf{u}(\tau) + \mathbf{w}(\tau)] d\tau \quad (1.8.7)$$

Εάν $\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}_k$ για $t \in [t_k, t_{k+1}]$, δηλαδή εάν η είσοδος είναι διακριτή, τότε:

$$\begin{aligned}\Delta t &= t_k - t_{k-1} \\ x_k &= x(t_k) \\ u_k &= u(t_k)\end{aligned}\tag{1.8.8}$$

Η εξίσωση (1.8.7) γίνεται:

$$x(t_k) = e^{A\Delta t} x_{k-1} + \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{A(t_k-\tau)} B(\tau) d\tau u_{k-1} + \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{A(t_k-\tau)} w(\tau) d\tau\tag{1.8.9}$$

Εάν ορίσουμε τα F_k και G_k

$$\begin{aligned}F_k &= e^{A\Delta t} \\ G_k &= \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{A(t_k-\tau)} B(\tau) d\tau\end{aligned}\tag{1.8.10}$$

Τότε η (1.8.9) θα είναι:

$$x(t_k) = F_{k-1} x_{k-1} + G_{k-1} u_{k-1} + \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{A(t_k-\tau)} w(\tau) d\tau\tag{1.8.11}$$

Ο $e^{A(t_k-\tau)}$ είναι ο πίνακας μετάβασης του συστήματος από τη χρονική στιγμή τ έως τη στιγμή t_k . Η μέση τιμή της προηγούμενης εξίσωσης λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο θόρυβος είναι μηδενικής μέσης τιμής:

$$\bar{x}_k = F_{k-1} \bar{x}_{k-1} + G_{k-1} u_{k-1}\tag{1.8.12}$$

Η συνδιακύμανση της κατάστασης είναι:

$$\begin{aligned}P_k &= E\left[(x_k - \bar{x}_k)(x_k - \bar{x}_k)^T\right] \\ &= F_{k-1} x_{k-1} F_{k-1}^T + \int_{t_{k-1}}^{t_k} \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{A(t_k-\tau)} E[w(\tau)w^T(a)] e^{A(t_k-a)} d\tau da\end{aligned}\tag{1.8.13}$$

Εάν $w(t)$ είναι λευκός θόρυβος με συνδιακύμανση $Q_C(t)$, τότε:

$$E[w(\tau)w^T(a)] = Q_C(t) \delta(\tau - a)\tag{1.8.14}$$

Η εξίσωση (1.8.13) θα είναι:

$$\begin{aligned}P_k &= F_{k-1} x_{k-1} F_{k-1}^T + \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{A(t_k-\tau)} Q_C(\tau) e^{A(t_k-a)} d\tau \\ &= F_{k-1} x_{k-1} F_{k-1}^T + Q_{k-1}\end{aligned}\tag{1.8.15}$$

Όπου το Q_{k-1} ορίζεται ως:

$$Q_{k-1} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{A(t_k-\tau)} Q_C(\tau) e^{A(t_k-a)} d\tau\tag{1.8.16}$$

1.8.3 Συστήματα Συνεχούς Χρόνου

Εάν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα σύστημα συνεχούς χρόνου:

$$\dot{x} = Ax + Bu + w$$

Εάν u είναι μία γνωστή είσοδος και w είναι μια τυχαία μεταβλητή μηδενικής μέσης τιμής με συνδιακύμανση:

$$E(w(t)w(t)^T) = Q_C \delta(t - \tau),$$

η παράγωγος της μέσης τιμής της κατάστασης θα είναι:

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + Bu$$

Ο πίνακας μετάβασης μπορεί να οριστεί ως

$$\begin{aligned}
F &= e^{A\Delta t} \\
&= I + A\Delta t + \frac{(\Delta t)^2}{2!} + \dots
\end{aligned} \tag{1.8.17}$$

Όπου για μικρές τιμές του Δt :

$$F \approx I + A\Delta t \tag{1.8.18}$$

Από την εξίσωση (1.8.15) του συστήματος διακριτής εισόδου για μικρές τιμές του Δt θα έχουμε :

$$\begin{aligned}
P_k &\approx (I + A\Delta t)P_{k-1}(I + A\Delta t)^T + Q_{k-1} \\
&= P_{k-1} + AP_{k-1}\Delta t + P_{k-1}A^T\Delta t + AP_{k-1}A^T(\Delta t)^2 + Q_{k-1}
\end{aligned} \tag{1.8.19}$$

Αφαιρώντας από τα δύο μέλη P_{k-1} , διαιρώντας με Δt και για $\Delta t \rightarrow 0$

$$P = AP + PA + Q_C \tag{1.8.20}$$

Αυτή είναι γνωστή ως εξίσωση Lyapunov συνεχούς χρόνου και εκφράζει την εξέλιξη της συνδιακύμανσης στο χρόνο.

1.8.4 Φίλτρο Kalman

Στο πρόβλημα της εκτίμησης του διανύσματος κατάστασης, υποθέτουμε ότι οι μετρήσεις έρχονται σε μια χρονική περίοδο που ο στόχος δε μεταβάλλει το διάνυσμα κατάστασής του, καθώς επίσης ότι ισχύει γραμμική σχέση ανάμεσα στο άγνωστο διάνυσμα κατάστασης και το διάνυσμα μετρήσεων. Προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ του πραγματικού και του εκτιμώμενου διανύσματος κατάστασης. Βασική γραμμική εκτιμήτρια είναι η γνωστή εκτιμήτρια Ελαχίστων τετραγώνων. Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος εκτίμησης κατάστασης, πάνω στον οποίο βασίζεται η πλειοψηφία των φίλτρων εκτίμησης, είναι το φίλτρο Kalman[39]. Το φίλτρο Kalman είναι μια βασική επέκταση στην αναδρομική εκτίμηση ελαχίστων τετραγώνων, το οποίο επιπλέον επιτρέπει την ύπαρξη στοχαστικού μοντέλου κίνησης του στόχου. Εκτός από την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, το φίλτρο Kalman μπορεί με μικρές αλλαγές κάποιων παραμέτρων του να προσαρμοστεί για την παρακολούθηση στόχων με διαφορετικά μοντέλα κίνησης, μπορεί να υποστηρίξει την περίπτωση μεταβλητού διαστήματος δειγματοληψίας, και παρέχει μέτρα ακρίβειας της εκτίμησης, ενώ παραμένει απλό στην εφαρμογή του, καταδεικνύοντας έτσι τα πολλά πλεονεκτήματά του. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε λοιπόν την πιο απλή εκτιμήτρια του διανύσματος κατάστασης, το γραμμικό φίλτρο Kalman.

Για την εκτίμηση ενός δυναμικού συστήματος γενικά χρησιμοποιούνται 2 μοντέλα :

- Ένα μοντέλο που περιγράφει την εξέλιξη της κατάστασης στο χρόνο (κίνηματικό μοντέλο)
- Ένα μοντέλο που σχετίζεται με τις θορυβώδεις μετρήσεις (μοντέλο μέτρησης)

Έστω $\mathbf{x} \in \mathfrak{R}^n$ $\mathbf{x} \in \mathfrak{R}^n$ το διάνυσμα κατάστασης ενός στόχου, του οποίου η δυναμική διαδικασία περιγράφεται από την γραμμική εξίσωση διαφορών :

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{v}_{k-1} \tag{1.8.21}$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}_k\mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \tag{1.8.22}$$

όπου η \mathbf{F}_{k-1} (διαστάσεων $n_x \times n_x$) και η \mathbf{H}_k (διαστάσεων $n_z \times n_x$) είναι γνωστές μήτρες, που ορίζουν τις γραμμικές συναρτήσεις. Οι τυχαίες ακολουθίες \mathbf{v}_{k-1} και \mathbf{w}_k είναι αμοιβαίως ανεξάρτητες, μηδενικού μέσου όρου, λευκές γκαουσιανές, με μήτρες συνδιακύμανσης \mathbf{Q}_{k-1} και \mathbf{R}_k αντίστοιχα. Σημειώνουμε ότι τόσο η μήτρα συστήματος, ή μήτρα μετάβασης, \mathbf{F}_{k-1} και η μήτρα μέτρησης \mathbf{H}_k , όσο και οι μήτρες συνδιακύμανσης θορύβου \mathbf{Q}_{k-1} και \mathbf{R}_k , μπορούν να μεταβάλλονται με το χρόνο. Η εξίσωση (3.8) είναι μια διαφορική εξίσωση, η οποία περιγράφει τη δυναμική κατάσταση του στόχου σαν μια διαδικασία Markov. Η διακριτού χρόνου διαδικασία Markov μπορεί να οριστεί σαν μια διαδικασία, στην οποία η στατιστική αναπαράσταση της διαδικασίας στο μέλλον (σάρωση k) είναι ολοκληρωτικά καθορισμένη από την παρούσα κατάσταση

(σάρωση $k-1$). Οι δυναμικές σχέσεις παράγονται συνήθως από εξισώσεις κατάστασης συνεχούς χρόνου, και έπειτα μετατρέπονται σε διακριτές, της μορφής.

Το Φίλτρο Kalman αποτελεί έναν αναδρομικό αλγόριθμο εκτίμησης της κατάστασης ενός συστήματος (*recursive state-estimation*). Ο αλγόριθμος του φίλτρου πραγματοποιεί την εκτίμηση, χρησιμοποιώντας μια μορφή ελέγχου ανάδρασης (*feedback control*). Αρχικά το φίλτρο εκτιμά την κατάσταση του συστήματος για κάποια στιγμή και στην συνέχεια αποκτά ανάδραση από τις μετρήσεις. Επομένως οι εξισώσεις του φίλτρου Kalman διακρίνονται σε δύο ομάδες, στις εξισώσεις ενημέρωσης χρόνου (*time update*) και στις εξισώσεις ενημέρωσης μέτρησης (*measurement update*). Οι εξισώσεις της πρώτης ομάδας είναι υπεύθυνες για την χρονική προώθηση της εκτίμησης της παρούσας κατάστασης και την *a priori* εκτίμηση της συνδιακύμανσης σφάλματος για το επόμενο βήμα. Οι εξισώσεις της άλλης ομάδας είναι υπεύθυνες για την ανάδραση, όπως για παράδειγμα την εισαγωγή νέων μετρήσεων στην *a priori* εκτίμηση, ώστε να παραχθεί βελτιωμένη *a posteriori* εκτίμηση.

Συνοπτικά μπορεί να ειπωθεί ότι οι εξισώσεις ενημέρωσης χρόνου είναι οι εξισώσεις πρόβλεψης (*predictor equations*), ενώ οι εξισώσεις ενημέρωσης μέτρησης είναι οι εξισώσεις διόρθωσης (*corrector equations*). Επομένως το φίλτρο Kalman μπορεί να θεωρηθεί ως ένας αλγόριθμος πρόβλεψης – διόρθωσης

Στην εφαρμογή ενός συστήματος ιχνηλασίας, οι μήτρες F και H θεωρούνται ανεξάρτητες του χρόνου, οπότε δε θα είναι πλέον συναρτήσεις του k . Δεδομένης της δυναμικής κατάστασης του στόχου (1.8.21) και του μοντέλου μέτρησης (1.8.22) η ακολουθία των εξισώσεων του γραμμικού φίλτρου Kalman είναι:

$$\hat{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{F} \cdot \hat{\mathbf{x}}(k|k) \quad (1.8.23)$$

$$\mathbf{P}(k|k) = [\mathbf{I} - \mathbf{K}(k) \cdot \mathbf{H}] \cdot \mathbf{P}(k|k-1) \quad (1.8.24)$$

$$\mathbf{K}(k) = \mathbf{P}(k|k-1) \cdot \mathbf{H}^T \cdot [\mathbf{H} \cdot \mathbf{P}(k|k-1) \cdot \mathbf{H}^T + \mathbf{R}]^{-1} \quad (1.8.25)$$

$$\hat{\mathbf{x}}(k|k) = \hat{\mathbf{x}}(k|k-1) + \mathbf{K}(k) \cdot [\mathbf{z}(k) - \mathbf{H} \cdot \hat{\mathbf{x}}(k|k-1)] \quad (1.8.26)$$

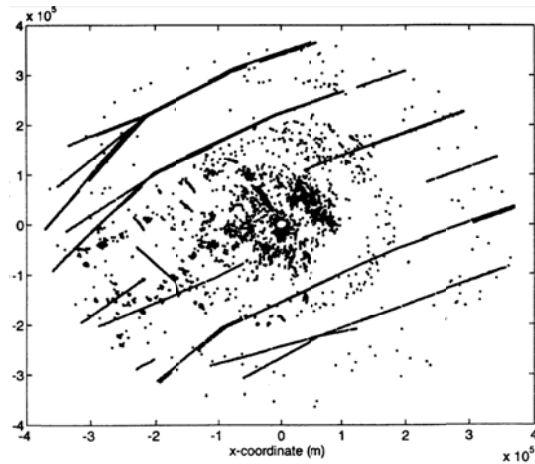
$$\hat{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{F} \cdot \hat{\mathbf{x}}(k|k) \quad (1.8.27)$$

$$\mathbf{P}(k+1|k) = \mathbf{F} \cdot \mathbf{P}(k|k) \cdot \mathbf{F}^T + \mathbf{Q} \quad (1.8.28)$$

Αρχικά υπολογίζεται η *a priori* εκτίμηση της κατάστασης, με βάση την *a posteriori* εκτίμηση της προηγούμενης σάρωσης, όπως φαίνεται στην σχέση (1.8.23). Αντίστοιχα υπολογίζεται και η *a priori* εκτίμηση του πίνακα συνδιακύμανσης σφάλματος από την *a posteriori* εκτίμηση του προηγούμενου βήματος (1.8.24). Αυτό είναι το στάδιο της πρόβλεψης. Στη συνέχεια ακολουθεί η φάση της διόρθωσης των μεγεθών αυτών, με χρήση των νέων μετρήσεων. Υπολογίζεται η νέα τιμή του κέρδους \mathbf{K} και πραγματοποιείται η *a posteriori* εκτίμηση της κατάστασης με βάση την προβλεπόμενη τιμή, το κέρδος και το υπόλοιπο μέτρησης (1.8.27). Τέλος λαμβάνει χώρα η εκτίμηση της *a posteriori* τιμής του πίνακα συνδιακύμανσης σφάλματος (1.8.28). Οι *a posteriori* τιμές χρησιμοποιούνται στο επόμενο βήμα εκ νέου για ενημέρωση των προβλέψεων.

1.9 Ιχνηλασία

Ένα ίχνος αντιπροσωπεύει την πεποίθηση ότι υπάρχει ένα φυσικό αντικείμενο ή «στόχος» και έχει εντοπιστεί από τον αισθητήρα. Ένα σύστημα ιχνηλασίας σχηματίζει ένα ίχνος όταν υπάρχουν «αριετές» μετρήσεις με μία αληθοφανή πορεία που υποδεικνύουν ότι υπάρχει ένας στόχος. Το σύστημα ιχνηλασίας επίσης πρέπει να είναι σε θέση να εκτιμήσει την κινηματική κατάσταση του στόχου που ιχνηλατεί. Σκοπός ενός συστήματος ιχνηλασίας είναι μετατροπή της εικόνας των επιστροφών των ραντάρ η οποία περιέχει επιστροφές στόχων, ψευδείς συναγερούς και θόρυβο σε μία εικόνα των επιβεβαιωμένων ιχνών (Εικόνα 1-13, [38]).



Εικόνα 1-13 Συγκεντρωτική εικόνα επιστροφών ραντάρ διάρκειας 30 λεπτών σε μια περιοχή 160000 km²

Η ανάγκη για σύγχρονα συστήματα ιχνηλασίας ξεκίνησε με την ανάπτυξη των πρώτων radar κατά τη διάρκεια του Β' παγκόσμιου πολέμου. Στο τέλος της δεκαετίας του 50', το radar ήταν ήδη μία ώριμη τεχνολογία. Συστήματα τηλεπισκόπησης είχαν εγκατασταθεί σε πλοία, αεροσκάφη και αεροδρόμια. Ωστόσο, η ιχνηλασία των στόχων εκτελούνταν χειροκίνητα με τη χάραξη γραμμών πάνω στην οθόνη των επιστροφών του radar. Οι πρώτοι αλγόριθμοι ιχνηλασίας εκτελούσαν την λειτουργία που πραγματοποιούσε ο ελεγκτής του συστήματος. Για την περίπτωση ενός στόχου, ο υπολογιστής συγκέντρωνε μία σειρά μετρήσεων και υπολόγιζε την ταχύτητα του ίχνους προκειμένου να προβλέψει την μελλοντική του θέση. Ακόμη και το πρόβλημα της ιχνηλασίας ενός στόχου εμπριέχει αρκετές δυσκολίες που συσχετίζονται με τη διαχείριση της αβεβαιότητας που περιέχουν οι μετρήσεις του αισθητήρα. Αρχικά, το πρόβλημα σχετίζεται με την αναπαράσταση της αβεβαιότητας. Μία πρώτη προσέγγιση είναι ο καθορισμός μίας ακτίνας γύρω από την εκτίμηση της θέσης του στόχου, αφού πρακτικά η πιθανότητα εντοπισμού του στόχου είναι κατανομημένη ομοιόμορφα υπό τη μορφή μίας τρισδιάστατης σφαίρας γύρω από την εκτιμώμενη θέση. Αυτή είναι μία απλή προσέγγιση η οποία απέχει από την ιδανική απεικόνιση της αβεβαιότητας της εκτίμησης. Η περιοχή του σφάλματος εκτίμησης είναι μη γραμμική, για παράδειγμα το radar έχει υψηλότερη ακρίβεια στη μέτρηση της ακτίνας από την μέτρηση της γωνίας. Επίσης η πιθανότητα να είναι ο στόχος εγγύτερα στην μέση τιμή της εκτίμησης είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι να βρίσκεται στα όρια της περιοχής του σφάλματος. Η παραπάνω διαπίστωση σημαίνει ότι η πιθανότητα της θέσης του στόχου δεν είναι γραμμική κατά μήκος της περιοχής του σφάλματος. Μία ακόμη δυσκολία είναι ο καθορισμός της πραγματικής τροχιάς του στόχου από πολλαπλές μετρήσεις, κάθε μία από τις οποίες περιέχει διαφορετικό σφάλμα. Επίσης η αποθήκευση όλης της ιστορίας των μετρήσεων ενός στόχου για την εκτίμηση της κατάστασής του είναι μη πρακτική για προβλήματα παρακολούθησης πολλαπλών στόχων σε μεγάλη χρονική διάρκεια.

Μια σχεδόν βέλτιστη μέθοδος για την επίλυση μίας σειράς προβλημάτων εκτίμησης κατάστασης αναπτύχθηκε κατά την δεκαετία του '60 από τον Kalman[39]. Η προσέγγισή του, γνωστή ως φίλτρο Kalman, περιλαμβάνει την αναδρομική σύντηξη θορυβωδών μετρήσεων για την ακριβή εκτίμηση της κατάστασης ενός συστήματος. Βασικό χαρακτηριστικό του αλγορίθμου είναι η αναπαράσταση της εκτίμησης κατάστασης υπό τη μορφή διανυσμάτων μέσης τιμής και πινάκων διακύμανσης. Ο πίνακας διακύμανσης αποτελεί μια εκτίμηση της ροπής 2^{ης} τάξης της κατανομής του σφάλματος της εκτίμησης μέσης τιμής. Εάν οι μετρήσεις είναι στατιστικά ανεξάρτητες, τότε η εκτίμηση του φίλτρο Kalman θα έχει μειούμενη διακύμανση του σφάλματος.

Η εργασία του Kalman είναι μεγάλο απόηχο στην επιστήμη της ιχνηλασίας αλλά και της σύντηξης δεδομένων γενικότερα. Έχει πλέον καθιερωθεί ως η τυπική μέθοδος φιλτραρίσματος και χρησιμοποιείται κατά κόρον στα συστήματα ιχνηλασίας. Ωστόσο αντιμετωπίζει μόνο ένα σύνολο γραμμικών προβλημάτων.

1.10 Θεσιθεσία

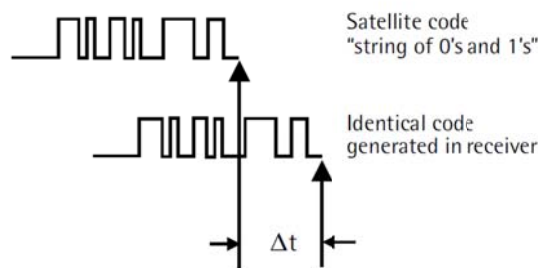
Ένα πλήθος εφαρμογών ADAS και κυρίως αυτές που βασίζονται σε ασύρματα δίκτυα προϋποθέτουν ότι είναι γνωστή η θέση του ίδιου οχήματος ή και των γειτονικών οχημάτων. Στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων η γνώση της θέσης των γειτονικών οχημάτων είναι απαραίτητη όχι μόνο στο επίπεδο της εφαρμογής αλλά απαιτείται και για την αποτελεσματική λειτουργία του πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Το πιο γνωστό σύστημα εντοπισμού θέσης είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας (GPS) το οποίο βασίζεται σε ένα "πλέγμα" εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης. Ειδικές συσκευές, οι οποίες ονομάζονται "δέκτες GPS", παρέχουν πληροφορίες για τη θέση το υψόμετρο, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης.

1.10.1 GPS

Η βασική ιδέα του GPS στηρίζεται στην αρχή του τριγωνισμού, εάν είναι γνωστή η απόσταση ενός σημείου στη γη από τρεις σταθερούς δορυφόρους, τότε είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης του σημείου αυτού. Ωστόσο, η παραπάνω διατύπωση αποτελεί μια υπεραπλούστευση του τρόπου λειτουργίας του GPS αλλά και της δυσκολίας κατά τη διαδικασία υπολογισμού της θέσης από ένα δέκτη GPS.

Κάθε δορυφόρος του συστήματος GPS εκπέμπει ένα μικροκυματικό σήμα που αποτελείται από δύο φέρουσες συχνότητες διαμορφωμένες από δύο ψηφιακές κωδικοποιήσεις και ένα μήνυμα ναυτιλίας. Οι δύο ψηφιακές κωδικοποιήσεις ονομάζονται "απλουστευμένη ανάκτηση" (coarse acquisition ή C/A code) και "ακριβείας" (Precision ή P-code). Η P-code κωδικοποίηση είναι διαθέσιμη μόνο σε στρατιωτικές εφαρμογές. Κάθε κωδικοποίηση αποτελείται από μια σειρά δυαδικών ψηφίων που παράγονται από ένα μαθηματικό αλγόριθμο. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει με διαφορετικές κωδικοποιήσεις ώστε έτσι οι δέκτες GPS να αναγνωρίζουν μέσω του σήματος που λαμβάνουν τον δορυφόρο από τον οποίο προέρχεται. Το μήνυμα ναυτιλίας περιέχει πληροφορίες σχετικές με τις θέσεις των δορυφόρων, την διόρθωση του ρολογιού, ατμοσφαιρικά δεδομένα κ.α.

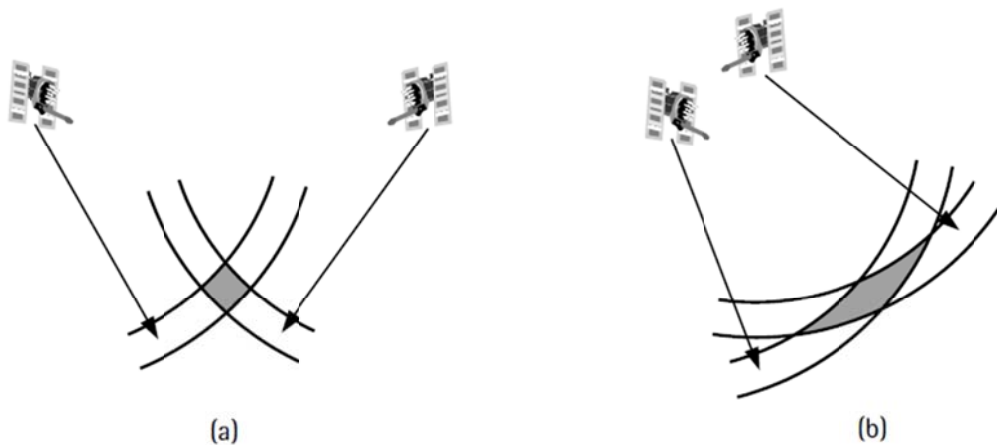
Η διαδικασία προσδιορισμού της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη έχει ως ακολούθως. Αρχικά, ως υποθέσουμε ότι ο δέκτης και ο δορυφόρος έχουν απόλυτα μεταξύ τους συγχρονισμένα ρολόγια. Όταν ο δορυφόρος μεταδίδει ένα κωδικοποιημένο σήμα, ο δέκτης δημιουργεί ένα ακριβές αντίγραφο αυτού [27]. Στην επόμενη εκπομπή του σήματος, ο δέκτης συγκρίνει το ληφθέν σήμα με το αντίγραφο του (Εικόνα 1-14). Η διαφορά του χρόνου λήψης του σήματος και του αντιγράφου ισοδυναμεί με το χρόνο που απαιτήθηκε να φτάσει το σήμα στο δέκτη. Ο πολλαπλασιασμός του χρόνου με την ταχύτητα του φωτός μας δίνει την απόσταση δέκτη δορυφόρου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ψευδοαποστασιομέτρηση (pseudorange), λόγω του ότι αυτή η διαδικασία δεν είναι απόλυτα ακριβής εξαιτίας των σφαλμάτων που προκαλούνται από τη μετάδοση του σήματος αλλά και λόγω του ότι τα ρολόγια του δέκτη και του δορυφόρου δεν είναι απόλυτα συγχρονισμένα [28].



Εικόνα 1-14 Μετρήσεις ψευδοαπόστασης

Ο υπολογισμός της απόστασης από ένα δορυφόρο επηρεάζεται από διάφορες πηγές σφαλμάτων, συστηματικών ή τυχαίων. Τα σφάλματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε αυτά που προέρχονται από τον δορυφόρο, το δέκτη και το μέσο διάδοσης. Εκτός από αυτές τις πηγές σφαλμάτων, η ακριβεία του υπολογισμού θέσης επηρεάζεται από την σχετική θέση των δορυφόρων ως προς το δέκτη. Οι κυριότερες πηγές σφαλμάτων που υπεισέρχονται υπολογισμό θέσης είναι οι ακόλουθες:

- Εφήμερα σφάλματα : Το σφάλμα αυτό οφείλεται στο λάθος υπολογισμό της θέσης του δορυφόρου. Συνεπώς το σφάλμα αυτό είναι κοινό για όλους τους δέκτες GPS που υπολογίζουν την απόστασή τους από ένα δεδομένο δορυφόρο.
- Επιλεκτική διαθεσιμότητα: Το σφάλμα αυτό εισάγεται εσκεμμένα για τον περιορισμό της ακρίβειας των δεκτών που προορίζονται για πολιτική χρήση. Συγκεκριμένα εισάγεται ένα σφάλμα στον χρονισμό του ρολογιού και στη θέση του δορυφόρου. Το σφάλμα αυτό αφαιρέθηκε ύστερα από απόφαση της κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Ωστόσο, η κωδικοποίηση C/A παρέχει μικρότερη ακρίβεια από τη στρατιωτική P-Code, λόγω του χαμηλότερου ρυθμού αναμετάδοσης του εκπεμπόμενου σήματος.
- Σφάλματα ρολογιού δορυφόρου και δέκτη: Οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με 4 ατομικά ρολόγια τα οποία είναι ιδιαίτερα ακριβή. Ωστόσο, το σφάλμα των ρολογιών κυμαίνεται στο 1 έως 2 μέρη στα 1013, κάτι που μεταφράζεται σε 8.64 έως 17.28 νανοδευτερόλεπτα τη μέρα. Αυτό σημαίνει σφάλμα στον υπολογισμό της ακτίνας από 2.59 έως 5.18 μέτρα. Οι δέκτες GPS αντίθετα, χρησιμοποιούν κρυστάλλους οι οποίοι έχουν πολύ μεγαλύτερο σφάλμα. Η αναίρεση του σφάλματος στο ρολόι του δέκτη μπορεί να αφαιρεθεί μέσω του διαφορικού υπολογισμού από πολλαπλούς δορυφόρους ή να προστεθεί το σφάλμα ως μία επιπρόσθετη παράμετρος κατά τη διάρκεια του υπολογισμού.
- Σφάλματα λόγω πολλαπλών λήψεων (multipath errors): Το σφάλμα αυτό προκύπτει όταν το σήμα του δορυφόρου φτάνει στην κεραία του δέκτη μέσω πολλαπλών διαδρομών.
- Σφάλμα λόγω διαφοράς κέντρου φάσης της κεραίας.: Όταν λαμβάνεται το κύμα από ένα δορυφόρο στη κεραία του δέκτη, αυτό μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα προκειμένου να επεξεργαστεί από το δέκτη[29]. Το κέντρο φάσης της κεραίας δε συμπίπτει με το γεωμετρικό της κέντρο, κάτι που προκαλεί επιπρόσθετα σφάλματα στον υπολογισμό της απόστασης.
- Σφάλμα λόγω θορύβου στα ηλεκτρονικά του δέκτη: Ο δέκτης αποτελεί ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο εισάγει θόρυβο σε διάφορα στάδια της επεξεργασίας.
- Σφάλμα λόγω τροπόσφαιρας-ιονόσφαιρας. Όπως αναλύθηκε, ο υπολογισμός της απόστασης βασίζεται στην γνώση της ταχύτητας του εκπεμπόμενου σήματος. Όμως αυτό αποτελεί μια ιδεατή περίπτωση, καθώς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας προκαλούν τη μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης του κύματος.
- Σφάλμα λόγω σχετικής θέσης δορυφόρων: Η σχετική θέση του δέκτη ως προς τους δορυφόρους επηρεάζει την αβεβαιότητα του υπολογισμού θέσης. Εάν οι δορυφόροι είναι αρκετά απομακρυσμένοι μεταξύ τους η περιοχή αβεβαιότητας της θέσης είναι πολύ μικρότερη απ' ό τι στην περίπτωση που βρίσκονται σε κοντινότερη απόσταση (Εικόνα 1-15) .



Εικόνα 1-15 (a) Καλή γεωμετρία δορυφόρων, (b) κακή γεωμετρία δορυφόρων

- Σφάλμα λόγω αστερισμού θέσης δορυφόρων : Σε ορισμένες τοποθεσίες ενδέχεται να είναι ορατοί μόνο τέσσερις δορυφόροι λόγω του αστερισμού των δορυφόρων, κάτι που μπορεί να προξενήσει μειωμένη ακρίβεια στην εκτίμηση θέσης.

1.10.2 Βελτίωση Εκτίμησης Θέσης

Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η εκτίμησης θέσης μέσω του GPS υπόκειται σε αρκετά σφάλματα. Αρκετές εφαρμογές ADAS απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια και αυξημένη αξιοπιστία. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι που βελτιώνουν την εκτίμηση θέσης.

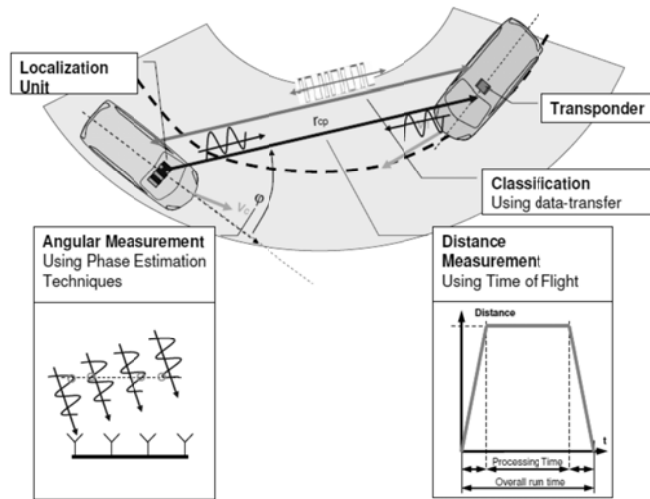
Η ολοκλήρωση αδρανειακών αισθητήρων σε ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης μπορεί να βελτιώσει την εκτίμηση θέσης σε περίπτωση που είτε δεν είναι διαθέσιμη η θέση για ορισμένο χρονικό διάστημα είτε έχει μειωμένη ακρίβεια. Ωστόσο, η ακρίβεια της εκτίμησης μειώνεται με το πέρασμα το χρόνου και εξαρτάται σημαντικά από την ποιότητα των αισθητήρων. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι αδρανειακοί αισθητήρες τεχνολογίας MEMS που χρησιμοποιούνται σε ένα επιβατηγό όχημα κοστίζουν μερικά ευρώ ενώ τα αδρανειακά γυροσκόπια laser που χρησιμοποιούνται σε αεροπορικές και στρατιωτικές εφαρμογές έχουν κόστος δεκάδων ή και εκατοντάδων χιλιάδων ευρώ.

Μια άλλη τεχνική βελτίωσης θέσης είναι η χρήση σημείων αναφοράς (landmarks). Η τεχνική αυτή απαιτεί τη χρήση μιας γεωγραφικής βάσης δεδομένων και ενός συνόλου αισθητήρων. Τα σημεία αναφοράς που μπορούν να αναγνωριστούν αισθητήρες όπως η κάμερα ή ο σαρωτής laser είναι οι λωρίδες κυκλοφορίας, τα προστατευτικά όρια του δρόμου, πινακίδες κ.ά. Εάν είναι γνωστή η σχετική θέση οχήματος και σημείου αναφοράς, είναι δυνατή η τοποθέτηση του οχήματος στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς αφού η θέση του σημείου αναφοράς είναι γνωστή από τη γεωγραφική βάση δεδομένων. Μία παραλλαγή της τεχνικής αυτής είναι η χρήση των υποδομών του οδικού δικτύου οι οποίες θα παρέχουν πληροφορίες θέσης.

Τα κυψελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της θέσης. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές για αυτή την εφαρμογή. Η πιο γνωστή μέθοδος είναι ο δείκτης ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (Received Signal Strength Indicator (RSSI)). Η απόσταση από ένα σταθμό βάσης μπορεί να υπολογιστεί από την ισχύ του σήματος λήψης. Εάν είναι γνωστή η απόσταση από τρεις σταθμούς βάσης είναι δυνατός ο υπολογισμός της θέσης.

Η επιστήμη της ρομποτικής έχει επίσης αναπτύξει τεχνικές για την εκτίμηση θέσης αυτόνομων οχημάτων[30]. Η πιο γνωστή τεχνική είναι η ταυτόχρονη θεσιθεσία και χαρτογράφηση (Simultaneous Localization and Mapping). Η βασική αρχή αυτής της τεχνικής είναι ότι δημιουργείται ένας χάρτης του προσπελάσιμου χώρου και σε κάθε επανάληψη του αλγόριθμου γίνεται ανανέωση του χάρτη με τις καινούριες μετρήσεις που προέκυψαν λόγω της κίνησης του οχήματος στο χώρο.

Τέλος, στα πλαίσια των δικτύων αυτοκινήτων έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές συνεργατικού προσδιορισμού της θέσης. Τα οχήματα μπορούν να προσδιορίσουν την σχετική μεταξύ του θέση με τεχνικές όπως η RSSI ([31][32]) ή η χρήση αναμεταδοτών (Εικόνα 1-16) .



Εικόνα 1-16 Χρήση αναμεταδοτών για τον προσδιορισμό της σχετικής θέσης μεταξύ οχημάτων

1.11 Συμπεράσματα

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι βασικές έννοιες που απασχολούν τα αντικείμενα που πραγματεύεται η παρούσα διατριβή. Αρχικά παρουσιάστηκαν οι τρέχουσες εξελίξεις σε πολιτικό και τεχνολογικό επίπεδο στον τομέα των ευφρών συστημάτων μεταφορών και των προηγμένων συστημάτων υποβοήθησης του οδηγού. Ακολούθως έγινε παρουσίαση των κυριότερων τεχνολογιών αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος. Επίσης αναλύθηκε σύντομα η εισαγωγή του αυτοματισμού στα οχήματα καθώς και η χρήση ασύρματης επικοινωνίας στις οδικές μεταφορές. Στη συνέχεια έγινε αναφορά στην επιστήμη της σύντηξης πληροφορίας και στην αρχιτεκτονική των συστημάτων που τη χρησιμοποιούν. Στην επόμενη παράγραφο έγινε αναφορά στη βασική θεωρία εκτίμησης κατάστασης και ακολούθησε η παρουσίαση της έννοιας της ιχνηλασίας σε συστήματα εντοπισμού αντικειμένων. Έπειτα έγινε αναφορά στο πρόβλημα της θειθεσίας με την παρουσίαση της λειτουργίας του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης καθώς και εναλλακτικών τεχνικών βελτίωσης της εκτιμώμενης θέσης.

1.12 Δομή και Συνεισφορά Διατριβής

Η υπόλοιπη διατριβή διαρθρώνεται σε 3 κεφάλαια. Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση μίας προτεινόμενης αρχιτεκτονικής αλγορίθμων ενός συστήματος αντίληψης οδικού περιβάλλοντος σε εφαρμογές αυτοματοποιημένης οδήγησης. Στο κεφάλαιο αυτό προτείνεται ένας αλγόριθμος σύντηξης δεδομένων για την αντίληψη του οδικού περιβάλλοντος, κατάλληλος για ένα αυτοματοποιημένο όχημα. Σκοπός ήταν η υλοποίηση ενός συστήματος το οποίο να ανταποκρίνεται στις υψηλές απαιτήσεις της αυτοματοποιημένης οδήγησης. Σε αντίθεση με ένα σύστημα υποβοήθησης οδηγού το οποίο λειτουργεί παρεμβατικά, ένα αυτοματοποιημένο όχημα αναλαμβάνει εξ' ολοκλήρου το έργο της οδήγησης για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Βασικοί στόχοι είναι:

- Η μέγιστη αξιοπιστία σε περίπτωση που ένας αισθητήρας δυσλειτουργήσει ή δεν εντοπίσει επιτυχώς ένα αντικείμενο ή τις λωρίδες του οδοστρώματος. Η εξάλειψη των ψευδών συναγερωμών και η καταπίεση του θορύβου μέτρησης.
- Η μέγιστη ακρίβεια στην εκτίμηση της κατάστασης των οντοτήτων του οδικού περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, η εκτίμηση της θέσης ενός προπορευόμενου οχήματος ή της σχετικής θέσης του ίδιου οχήματος σε σχέση με τη λωρίδα είναι κρίσιμες παράμετροι όταν ένα αυτοματοποιημένο όχημα εκτελεί μία προσέλαση.
- Ο χρόνος εκτέλεσης των αλγορίθμων πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός. Σε ένα δυναμικό περιβάλλον όπως ένας αυτοκινητόδρομος, το σύστημα ελέγχου το οχήματος πρέπει να έχει όσο το δυνατόν πιο «πρόσφατη» εικόνα του περιβάλλοντος στο οποίο κινείται το όχημα.

- Σε αντίθεση με τα τρέχοντα αυτοματοποιημένα οχήματα τα οποία εξοπλίζονται με συστήματα αρκετών εκατομμυρίων ευρώ, πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη χρήση συστημάτων που βρίσκονται σε παραγωγή, ενώ το κόστος πρέπει να παραμένει σε λογικά επίπεδα.

Το κεφάλαιο υλοποιεί μία αρχιτεκτονική σύντηξης δεδομένων η οποία κάνει χρήση πλεοναζόντων αισθητήρων και εκτελεί την επεξεργασία των δεδομένων σε δύο επίπεδα. Όπως φανερώνουν τα αποτελέσματα και οι δοκιμές που διήρκησαν πάνω από δύο χρόνια σε τρία οχήματα, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική αλγορίθμων ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ενός αυτοματοποιημένου οχήματος για ένα μεγάλο εύρος σεναρίων.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναλύεται η εφαρμογή της μεθόδου ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων προσανατολισμένης σε υποθέσεις, σε ένα σύστημα ιχνηλασίας επιπέδου αισθητήρα. Η μέθοδος αυτή αν και μετρά αρκετές δεκαετίες έχει εφαρμοστεί ελάχιστα σε αυτοκινητιστικά συστήματα ιχνηλασίας, κυρίως λόγω της πολυπλοκότητάς της αλλά και των απαιτήσεών της σε υπολογιστικούς πόρους. Οι δοκιμές σε πραγματικά δεδομένα έδειξαν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος πολλαπλών υποθέσεων παρουσιάζει ανώτερες επιδόσεις από τη μέθοδο σύνδεσης δεδομένων μίας υπόθεσης. Επίσης παρουσιάζεται η μελέτη και εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης της μεθόδου με τη χρήση τεχνικών ομαδοποίησης και συγχώνευσης υποθέσεων, οι οποίες επιτυγχάνουν σημαντικότερη μείωση του χρόνου εκτέλεσης.

Το 4^ο κεφάλαιο αυτό ασχολείται με το πρόβλημα της συσχέτισης των ιχνών που προέρχονται από ένα αισθητήρα ραντάρ με τις θέσεις που μεταδίδουν άλλα οχήματα μέσω ενός ασύρματου δικτύου. Το μεγαλύτερο πρόβλημα παρουσιάζεται στη χωρική και χρονική συσχέτιση της πληροφορίας που προέρχεται από το ασύρματο δίκτυο. Προτείνεται ένας τροποποιημένος αλγόριθμος πολλαπλών υποθέσεων προσανατολισμένου σε ίχνη προκειμένου να γίνει χρήση των επιπρόσθετων πληροφοριών που προέρχονται από το ασύρματο δίκτυο. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε δύο οχήματα σε μια ποικιλία σεναρίων. Οι δοκιμές σε πραγματικά δεδομένα έδειξαν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος πολλαπλών υποθέσεων παρουσιάζει ανώτερες επιδόσεις από τον αλγόριθμο του κοντινότερου γείτονα ενώ παράλληλα αναδείχθηκε η αυξημένη αντίληψη που προσφέρει ένα συνεργατικό σύστημα αποφυγής σύγκρουσης σε διάφορα σενάρια.

- [1] Peden M. et al., eds. "World report on road traffic injury prevention". Geneva, World Health Organization, 2004
(http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/en/index.html, accessed 23 July 2009).
- [2] "World population prospects: the 2006 revision. Highlights". New York, United Nations Population Division, 2007.
- [3] "The global burden of disease: 2004 update". Geneva, World Health Organization, 2008
(http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update/en/index.html, accessed 23 July 2009)
- [4] Mathers C. D. et al. "Counting the dead and what they died from: an assessment of the global status of cause of death data". *Bulletin of the World Health Organization*, 2005, 83:171–177.
- [5] European Commission, COM(2001)370, 12/09/2001
- [6] Strategic Research Agenda, ICT for Intelligent Mobility, Working Group RTD, Update 2010
- [7] Sala, G., Mussone, L., 2000, "The potential impact on traffic safety of lateral support systems". In *Proceedings of the 7th World Congress on ITS*, Turin, Italy.
- [8] Naniopoulos, A., 2000, "Advanced driver-assistance systems and traffic safety". *Proceedings of Workshop on 'The role of Advanced Driver Assistance Systems on traffic safety and efficiency'*, organized by NTUA and AUTh, Athens, 18 October.
- [9] European Commission, 1997, "Community Strategy and Framework for the Deployment of Road Transport Telematics in Europe". Brussels: EC.
- [10] Heijer, T., et. al., 2000, "Problem identification, user needs and inventory of ADAS", ADVISORS project deliverable D1/2.1
- [11] Sternberg, S., 1969, "The discovery of processing stages". W. C. Koster (ed.), "Attention and Performance", vol. 2, Amsterdam: North Holland.
- [12] Njord, J., et al, "Safety Applications of Intelligent Transportation Systems in Europe and Japan", January 2006
- [13] Schneider, M., "Automotive Radar – Status and Trends", Microwave Conference-GeMiC, University of Ulm, Germany, April 5-7, 2005
- [14] Relph, P.M., Griffiths, H.D., "An electronically scanning antenna for automotive radar systems", IEE Colloquium on Automotive Radar and Navigation Techniques, 9 Feb 1998
- [15] *Automobil Technische Zeitschrift, ATZ*, 01/2007, year 109, p. 58-62
- [16] Kienle, M., Damböck, D., Kelsch, J., Flemisch, F., Bengler, K., "Towards an H-Mode for highly automated vehicles: Driving with side sticks", *Proceedings of the First International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (Automotive UI 2009)*, Sep 21-22 2009, Essen, Germany
- [17] Schneider, M., "Automotive Radar – Status and Trends", Microwave Conference-GeMiC, University of Ulm, Germany, April 5-7, 2005
- [18] Andreone, L., Provera, M., "Inter-vehicle communication and cooperative systems: local dynamic safety information distributed among the infrastructure and the vehicles as "virtualseensors" to enhance road safety", <http://www.car-to-car.org/>
- [19] van Arem, B., van Driel, C.J.G., and Visser, R., "The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics"
- [20] Heffernan, D., & Leen, G., "ICT based research at Limerick contributes to automotive 'drive-by-wire' technology". Retrieved September 2, 2008, from <http://www.irishscientist.ie/2002/contents.asp?contentxml=02p237b.xml&contentxsl=is02pages.xsl>
- [21] Steinberg, A.N., C.L. Bowman, and F.E. White, "Revisions to the JDL Model", *Joint NATO/IRIS Conference Proceedings*, Quebec, October, 1998 and in *Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications*, *Proceedings of the SPIE*, Vol. 3719, 1999.
- [22] Lyons, J.B., Swindler, S.D., White, J.A., "Network centric warfare: Organizational collaboration as a key enabler". In *Proc. International Symposium on Collaborative Technologies and Systems*, Irvine, CA, 2008.

- [23] Linas, J., Bowman, C.L., Rogova, G., Steinberg, A.N., Waltz, E., White, F., “Revisiting the JDL data fusion model II”, Proceedings of Seventh International Conference on Information Fusion, Stockholm, 2004.
- [24] White, F.E., Jr., “A model for data fusion”, Proceedings of the First National Symposium on Sensor Fusion, 1988.
- [25] Bowman, C.L., “The Dual Node Network (DNN) Data Fusion & Resource Management (DF&RM) Architecture”, AIAA Intelligent Systems Conference, Chicago, September 20–22, 2004.
- [26] “Operating Manual ibeo LUX® Laser scanner”, ibeo Automobile Sensor GmbH, Merkurring 20, D - 22143 Hamburg
- [27] Wells, D.E. et al., “Guide to GPS positioning”, Fredericton, New Brunswick: Canadian GPS Associates, 1987
- [28] Langley, R.B., “The GPS Observables”, GPS World, Vol. 4, No. 4, April 1993, pp. 52-59.
- [29] Hoffman-Wellenhof B., et al., “Global Positioning System: Theory and Practice”, 3rd ed., New York: Springer-Verlag, 1994
- [30] “Probabilistic Robotics”, MIT Press
- [31] Capkun, S., Hamdi, M., and Hubaux, J.P., “GPS-free positioning in mobile ad hoc networks”, Cluster Computing, 5(2), 157–167, 2002.
- [32] Savvides, A., Han, C.C., and Strivastava, M.B., “Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors”, 01: Proceedings of the 7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Communications
- [33] Bellot D., Boyer A., Charpillat F., “A new definition of qualified gain in a data fusion process: application to telemedicine”, Proceedings Fifth International Conference on Information Fusion, Annapolis, Maryland, July 2002
- [34] Durrant-Whyte H. F., “Sensor models and multisensor integration”, International Journal of Robotics Research 7: pp. 97–11, 1998
- [35] Houzelle S., Giraudon G., “Contribution to multisensor fusion formalization”, Robotics and Autonomous Systems 13: pp. 69–75,
- [36] Wald L., “Data Fusion: Definitions and Architectures”, Published by Les Presses de l’Ecole des Mines, 60 Boulevard Saint Michel, 75006 Paris, France, 2002
- [37] D’Agostini G., “Skeptical combinations of experimental results: General considerations and applications to” ,European Organization for Nuclear Research CERN-EP/99-139, 1999
- [38] Leung, H., Zhijian Hu, Blanchette, M., “Evaluation of multiple radar target trackers in stressful environments”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, , Apr 1999 Vol. 35, Issue 2, pp. 663 – 674
- [39] Kalman, R.E., “A new approach to linear filtering and prediction problems”, ASME, Basic Engineering, 82: 34–45, 1960.

2 Ολοκληρωμένο Σύστημα Αντίληψης Οδικού Περιβάλλοντος Αυτοματοποιημένου Οχήματος

2.1 Εισαγωγή

Η έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα των αυτοματοποιημένων οχημάτων γίνεται σε δύο κύριες κατευθύνσεις, τα πλήρως αυτοματοποιημένα οχήματα και τα υψηλά αυτοματοποιημένα οχήματα. Η κύρια διαφορά των δύο αυτών προσεγγίσεων είναι ότι στη πρώτη κατηγορία ο οδηγός είναι ένας απλός επιβάτης του οχήματος ενώ στη δεύτερη κατηγορία συστημάτων λαμβάνει μέρος ενεργά στα οδηγικά καθήκοντα [1].

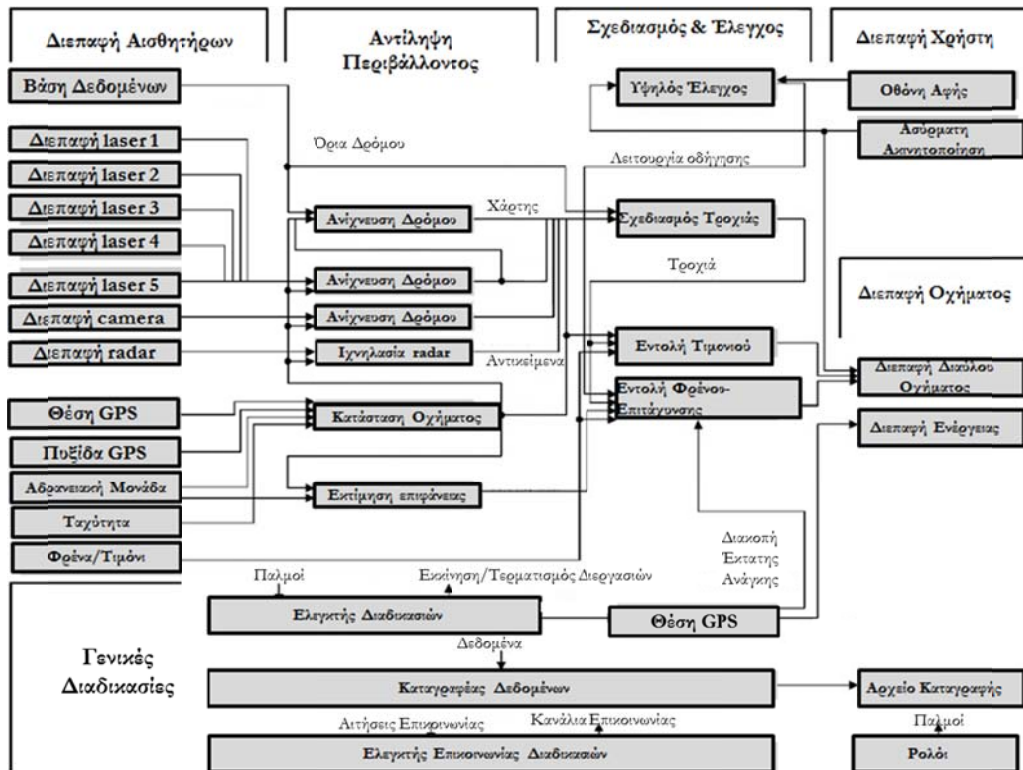
Η συνθήκη της Βιέννης για την οδική ασφάλεια [2] υπογράφηκε στα πλαίσια του οικονομικού και κοινωνικού συμβουλίου των Ηνωμένων εθνών, με σκοπό την βελτίωση της οδικής ασφάλειας αλλά και την προτυποποίηση των κανόνων οδικής κυκλοφορίας. Σε αυτήν ορίζεται ότι ο οδηγός πρέπει κάθε στιγμή να έχει τον έλεγχο του οχήματος, κάτι που δεν ισχύει στην πλήρως αυτοματοποιημένη οδήγηση. Ωστόσο ακόμα και στην υψηλά αυτοματοποιημένη οδήγηση όσο και σε ορισμένα προηγμένα συστήματα υποστήριξης του οδηγού (ADAS) όπως ο προσαρμοστικός έλεγχος πορείας (ACC), ο οδηγός αν και μπορεί να λάβει τον έλεγχο του οχήματος οποιαδήποτε στιγμή, έχει μειωμένη αντίληψη της κατάστασης λόγω του ότι επαφίεται στο αυτόματο σύστημα και ασχολείται με δευτερεύοντα καθήκοντα όπως ο χειρισμός της συσκευής πολυμέσων[3].

Ένα αυτοματοποιημένο όχημα που κινείται σε δρόμο έχει να αντιμετωπίσει ένα πιο πολύπλοκο και δυναμικότερο περιβάλλον από ένα αεροσιάφος. Συνεπώς βασικό ρόλο διαδραματίζει το σύστημα αντίληψης του περιβάλλοντος (Perception System), το οποίο μεταφέρει στα υπόλοιπα υποσυστήματα του αυτοματισμού την “εικόνα” του οδικού περιβάλλοντος.

2.2 Αρχιτεκτονική

2.2.1 Γενικά

Η γενική αρχιτεκτονική ενός αυτοματοποιημένου οχήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 2-1 .



Εικόνα 2-1 Αρχιτεκτονική πλήρως αυτοματοποιημένου οχήματος

Γενικά, ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από τα ακόλουθα υποσυστήματα:

- Συγκρότημα δικτύου αισθητήρων: Το σύστημα αισθητήρων περιλαμβάνει την ολοκλήρωση των ανεξάρτητων αισθητήρων σε ένα ενιαίο δίκτυο. Η διασύνδεση πραγματοποιείται μέσω των κατάλληλων πρωτοκόλλων επικοινωνίας όπως είναι το CAN (Controller Area Network) ή το Ethernet. Μέσω αυτής της διασύνδεσης το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων των αισθητήρων είναι διαθέσιμο στις μονάδες επεξεργασίας του συστήματος αντίληψης περιβάλλοντος.
- Συστήματος Αντίληψης Περιβάλλοντος: Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί όλα τα διαθέσιμα δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες και χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μεθόδους επεξεργασίας ερμηνεύει τις πληροφορίες που προέρχονται από το σύνολο των ετερογενών αισθητήρων και παρέχει μια ενοποιημένη εικόνα της κατάστασης του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται το όχημα αλλά και της κατάστασης του ίδιου του οχήματος.
- Σχεδιασμού πορείας και ελέγχου: Το σύστημα εκτελεί πολλά από τα καθήκοντα που πραγματοποιεί ένας πραγματικός οδηγός. Οι λειτουργίες του συστήματος αυτού περιλαμβάνουν τον καθορισμό του βέλτιστου ελιγμού (διατήρηση/αλλαγή λωρίδας), τον σχεδιασμό της μελλοντικής πορείας του οχήματος (path planning) και τέλος την εκτέλεση της σχεδιασμένης τροχιάς μέσω της αποστολής των καταλλήλων εντολών στο σύστημα ελέγχου του οχήματος (επιτάχυνση, επιβράδυνση, γωνία τροχών). Επίσης το σύστημα πρέπει να σέβεται τους κανόνες οδικής κυκλοφορίας αλλά και να λαμβάνει υπ' όψιν του καταστάσεις όπως δυσλειτουργία του συστήματος αντίληψης περιβάλλοντος ή η αδυναμία του οδηγού να αναλάβει τον έλεγχο του οχήματος.
- Σύστημα διεπαφής: Η διεπαφή ανθρώπου μηχανής είναι ένα βασικό στοιχείο για την αποτελεσματικότητα ενός αυτοματοποιημένου οχήματος. Ο οδηγός πρέπει με απλό και άμεσο τρόπο να ενημερώνεται για τα επίπεδα αυτοματισμού που είναι διαθέσιμα και την κατάσταση λειτουργίας του συστήματος (ενεργό ή όχι). Επίσης το σύστημα πρέπει να τίθεται σε λειτουργία/απενεργοποίηση με ευκολία, όπως για παράδειγμα μία

αυτοματοποιημένη αλλαγή λωρίδας να ενεργοποιείται με μία μετακίνηση του τιμονιού ή την ενεργοποίηση των δεικτών αλλαγής πορείας. Ακόμα το σύστημα πρέπει να ειδοποιεί ξεκάθαρα τον οδηγό στις περιπτώσεις που ο αυτοματισμός δεν μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί και ο οδηγός πρέπει να αναλάβει τον έλεγχο του οχήματος.

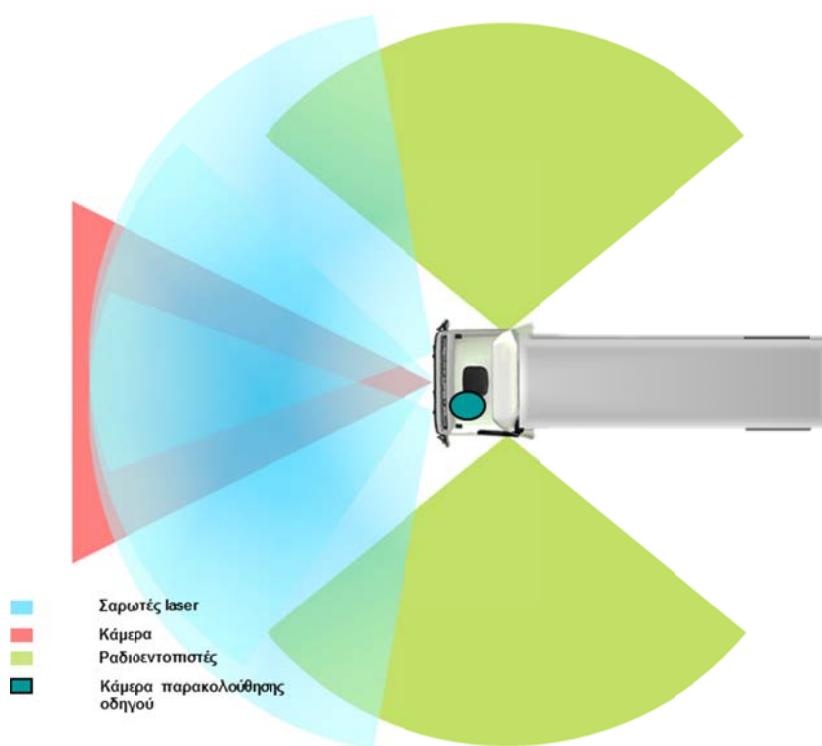
2.2.2 Σύστημα Αυτοματοποιημένης Οδήγησης σε Συνθήκες Κυκλοφοριακής Συμφόρησης

Το σύστημα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο, ενσωματώθηκε σε ένα αυτοματοποιημένο όχημα για την υποβοήθηση του οδηγού σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι προσαρμοσμένη για οχήματα βαρέων μεταφορών και χρήση από επαγγελματίες οδηγούς. Το σύστημα βοηθά τον οδηγό προσφέροντάς του υποβοήθηση σε μονότονες καταστάσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης όπου υπάρχουν συχνές εκινήσεις και ακινητοποιήσεις του οχήματος. Η ανάληψη του εγκάρσιου και διαμήκους ελέγχου του οχήματος πραγματοποιείται ύστερα από την ικανοποίηση ορισμένων προαπαιτήσεων από το σύστημα, όπως για παράδειγμα η ορθή λειτουργία των αισθητήρων ή η ταχύτητα του οχήματος. Το συγκεκριμένο όχημα είναι ένα φορτηγό τύπου VOLVO FH12 και χρησιμοποιείται από την εταιρεία VOLVO TECHNOLOGIES ως πλατφόρμα επίδειξης τεχνολογιών αυτοματοποιημένης οδήγησης.

Οι αισθητήρες που περιλαμβάνει το όχημα είναι:

- Μία εμπρόσθια κάμερα CCD αναγνώρισης αντικειμένων και ανίχνευσης λωρίδων
- Τρεις εμπρόσθιους σαρωτές laser (laser scanners).
- Δύο πλευρικούς ραδιοεντοπιστές μικρής εμβέλειας
- Ένα εμπρόσθιο ραδιοεντοπιστή μεγάλης εμβέλειας

Η τοπολογία των αισθητήρων φαίνεται στην Εικόνα 2-2. Εκτός των πληροφοριών που προέρχονται από τους αισθητήρες που αναφέρθηκαν παραπάνω, στο σύστημα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος είναι διαθέσιμες πληροφορίες που προέρχονται από τον δίαυλο CAN του αυτοκινήτου. Αυτές περιλαμβάνουν την ταχύτητα, την επιτάχυνση, την γωνιακή ταχύτητα κλπ.



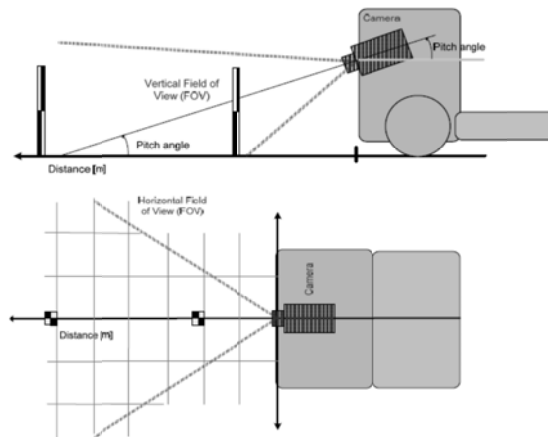
Εικόνα 2-2 Τοπολογία αισθητήρων οχήματος που ενσωματώθηκε το σύστημα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος.

2.2.2.1 Εμπρόσθιος Οπτικός Αισθητήρας

Η εμπρόσθια κάμερα καταγράφει πληροφορίες του περιβάλλοντος στην περιοχή μπροστά από το όχημα. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται επιτρέπει στην κάμερα να αναγνωρίζει τη θέση και τη διαγράμμιση των λωρίδων κυκλοφορίας (lane markings) καθώς οχήματα που βρίσκονται στο πεδίο θέασης του αισθητήρα.



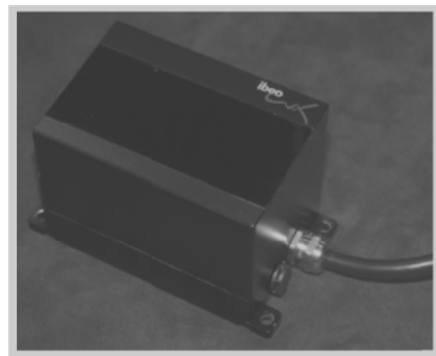
Εικόνα 2-3 Συσκευή εμπρόσθιας κάμερας



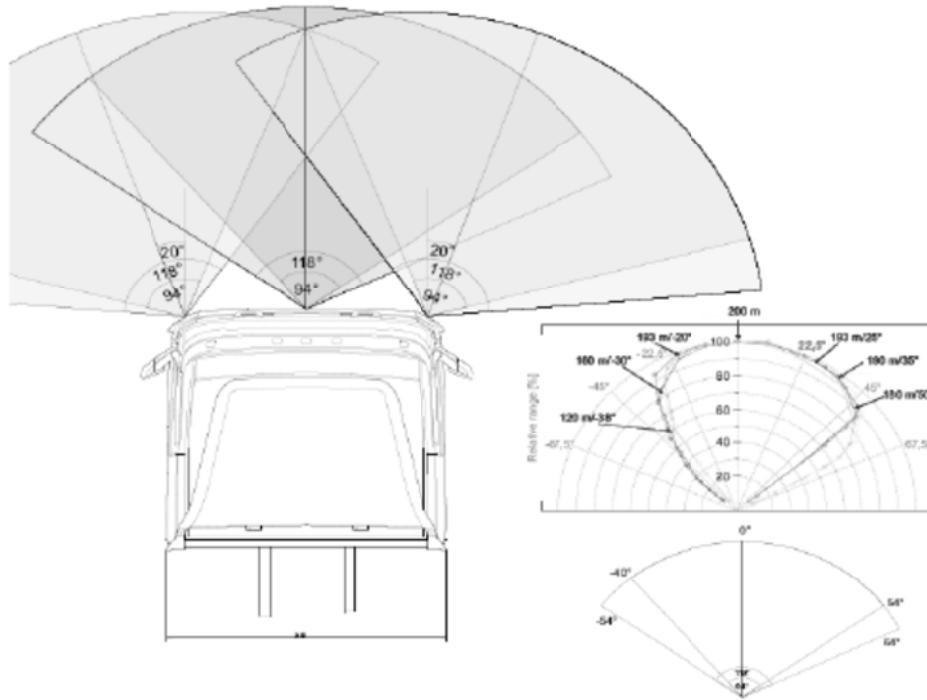
Εικόνα 2-4 Οπτικό πεδίο εμπρόσθιας κάμερας.

2.2.2.2 Σαρωτές Laser

Στο όχημα υπάρχουν τρεις σαρωτές laser, από την εταιρεία SICK και μία υπολογιστική μονάδα ελέγχου για την σύντηξη των δεδομένων και από τους τρεις σαρωτές. Στόχος του συστήματος των σαρωτών laser είναι η ανίχνευση και κατάταξη των αντικειμένων που αναγνωρίζονται μπροστά από το όχημα σε κατηγορίες, συμπεριλαμβανομένων προπορευόμενων οχημάτων καθώς και στοιχείων του δρόμου όπως είναι οι λωρίδες και τα προστατευτικά κιγκλιδώματα. Στην Εικόνα 2-5 και Εικόνα 2-6 φαίνονται η συσκευή του σαρωτή laser καθώς και το πεδίο παρατήρησης των αισθητήρων:



Εικόνα 2-5 Συσκευή σαρωτή laser (laser-scanner).

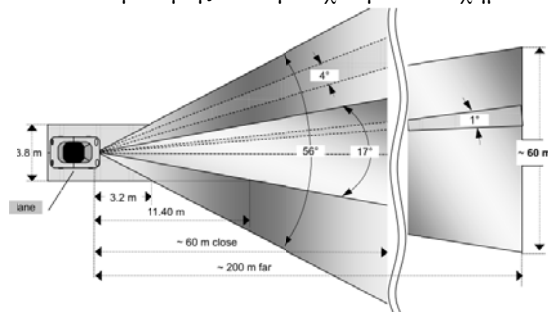


Εικόνα 2-6 Πεδίο παρατήρησης σαρωτών laser.

Στην Εικόνα 2-6 φαίνεται ο τρόπος τοποθέτησης των σαρωτών laser στο εμπρόσθιο τμήμα του οχήματος. Οι σαρωτές έχουν γωνία ανίχνευσης 168° μοιρών, ενώ κάθε αισθητήρας αποστέλλει τέσσερις δέσμες σε διαφορετικές γωνίες (επίπεδα) ως προς τον εγκάρσιο άξονα. Οι διαφορετικές αποχρώσεις του σχήματος για κάθε έναν σαρωτή laser υποδηλώνουν τα διαφορετικά επίπεδα παρατήρησης του κάθε αισθητήρα. Το διάγραμμα στα δεξιά δείχνει αποτελέσματα μετρήσεων για τα τέσσερα επίπεδα του ενός αισθητήρα τόσο για στο κοντινό όσο και στο μακρινό οπτικό πεδίο του αισθητήρα.

2.2.2.3 Εμπρόσθιος Ραδιοεντοπιστής

Ο ραδιοεντοπιστής που χρησιμοποιείται είναι τύπου ARS300 της εταιρείας Continental, και λειτουργεί στα 77GHz. Ανιχνεύει τη θέση και την ταχύτητα των στόχων (αρχή Doppler), χρησιμοποιώντας διαμόρφωση συχνότητας συνεχούς χρόνου. Επιπλέον, περιλαμβάνουν ειδικό λογισμικό ώστε να μεταβάλλουν την διακριτική τους ικανότητα από 0,25m μέχρι 1m ανάλογα με την κατάσταση κίνησης και την ταχύτητα των οχημάτων.



Εικόνα 2-7 Πεδίο παρατήρησης εμπρόσθιου ραδιοεντοπιστή



Εικόνα 2-8 Συσκευή εμπρόσθιου ραδιοεντοπιστή

2.2.2.4 Πλευρικός Ραδιοεντοπιστής (radar)

Για τον εντοπισμό και την ιχνηλάτηση στόχων στην παράπλευρη περιοχή του οχήματος χρησιμοποιούνται ραδιοεντοπιστές μικρής εμβέλειας που λειτουργούν στα 24GHz (Εικόνα 2-9). Είναι και αυτοί κατασκευασμένοι από την εταιρεία Continental και σαρώνουν διαρκώς την περιοχή παρατήρησής τους χρησιμοποιώντας παλμούς πολύ μεγάλου εύρους (ultra wide band – UWB).



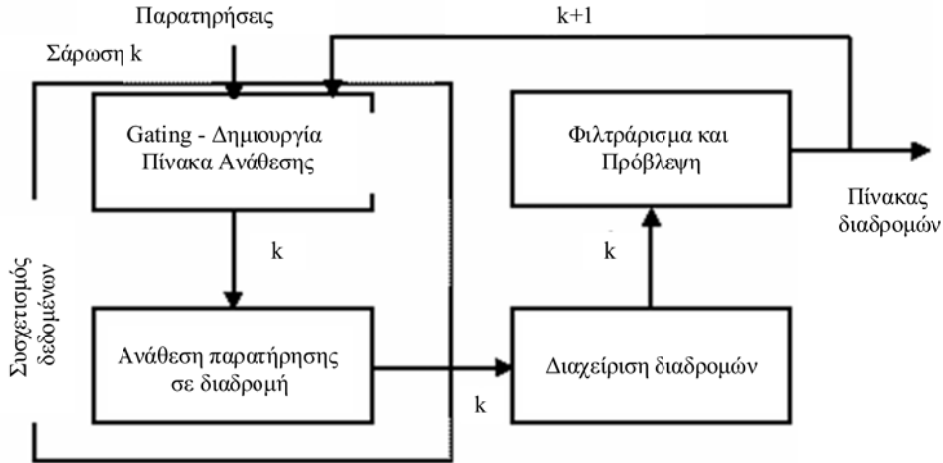
Εικόνα 2-9 Συσσκευή πλευρικού ραδιοεντοπιστή

2.3 Σύστημα Ιχνηλασίας

Το σύστημα ιχνηλασίας του οχήματος σχεδιάστηκε με βάση την υβριδική αρχιτεκτονική (1.7.3). Κάθε αισθητήρας ανίχνευσης αντικειμένων παραδίδει στην έξοδο τη λίστα των αντικειμένων που εντοπίστηκαν στην τρέχουσα σάρωση. Η λίστα αυτή των στόχων αποτελεί την είσοδο της τοπικής μονάδας ιχνηλασίας (μονάδα ιχνηλασίας επιπέδου αισθητήρα). Συνεπώς σε κάθε αισθητήρα αντιστοιχεί και μία μονάδα ιχνηλασίας η οποία σε κάθε κύκλο επεξεργασίας παραδίδει στην έξοδο μία λίστα επιβεβαιωμένων ιχνών. Στο παρόν σύστημα οι πέντε μονάδες ιχνηλασίας μεταδίδουν αντίστοιχο αριθμό από λίστες επιβεβαιωμένων ιχνών στην κεντρική μονάδα ιχνηλασίας. Κάθε ίχνος περιγράφεται από ένα διάνυσμα κατάστασης, τον πίνακα συνδιακύμανσης καθώς και ένα διάνυσμα ιδιοτήτων. Η κεντρική μονάδα ιχνηλασίας με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων πραγματοποιεί τη σύντηξη των ιχνών και στην έξοδό της μεταδίδει την συντηγμένη λίστα ιχνών.

2.3.1 Ιχνηλασία Επιπέδου Αισθητήρα

Στην Εικόνα 2-10 παρουσιάζεται το διάγραμμα του αλγορίθμου ιχνηλασίας. Οι εισερχόμενες παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση των ιχνών. Ο έλεγχος μέσω πύλης καθορίζει εκείνα τα ζεύγη παρατήρησης-διαδρομής που είναι λογικά, ενώ ένας πιο ακριβής αλγόριθμος καθορίζει τα τελικά ζεύγη. Οι παρατηρήσεις που δεν συνδυάστηκαν με κάποια διαδρομή είναι δυνατόν να οδηγήσουν στην αρχικοποίηση νέων ιχνών. Για να επιβεβαιωθεί ένα ίχνος θα πρέπει οι παρατηρήσεις να ικανοποιούν κάποια κριτήρια επιβεβαίωσης. Αντίστοιχα κριτήρια υπάρχουν και για τη διαγραφή ιχνών. Τέλος, στα ίχνη που συσχετίστηκαν με κάποια παρατήρηση στην τρέχουσα σάρωση, ανανεώνονται τα αντίστοιχα διανύσματα κατάστασης και οι πίνακες συνδιακύμανσης.



Εικόνα 2-10 Λογικό διάγραμμα συστήματος ιχνηλασίας.

2.3.1.1 Συσχέτιση Δεδομένων

Ο αισθητήρας σε πεπερασμένες χρονικές στιγμές $\{t_k\}_{k=0}^n$, όπου $t_0 < t_1 < \dots < t_n$, μεταδίδει ένα σύνολο μετρήσεων $Z(k) = \{Z_{i_k}\}_{i_k=1}^{M_k}$, όπου Z_{i_k} είναι το διάνυσμα μέτρησης. Το διάνυσμα μέτρησης εξαρτάται από τον αισθητήρα και μπορεί μεταξύ άλλων να περιέχει πληροφορίες θέσης και ταχύτητας σε πολικές ή καρτεσιανές συντεταγμένες. Κάποιες μετρήσεις ενδέχεται να είναι ψευδείς, ενώ δεν είναι γνωστό ποιά μέτρηση αντιστοιχεί σε κάθε στόχο. Ο αλγόριθμος συσχέτισης δεδομένων καλείται να επιλύσει το πρόβλημα της ανάθεσης, δηλαδή την αντιστοίχιση των μετρήσεων της τρέχουσας σάρωσης σε υπάρχοντα ίχνη.

Ο έλεγχος μέσω πύλης είναι μια τεχνική που καθορίζει τα απίθανα ζεύγη παρατήρησης-ιχνών. Η πύλη σχηματίζεται γύρω από μια προβλεφθείσα μέτρηση και οι παρατηρήσεις που ικανοποιούν την πύλη (βρίσκονται δηλαδή μέσα στην πύλη) λαμβάνονται υπόψη ως υποψήφιες παρατηρήσεις για την ενημέρωση των ιχνών. Ο τρόπος με τον οποίο επιλέγονται οι παρατηρήσεις για την ενημέρωση της διαδρομής εξαρτάται από τη μέθοδο συσχέτισης δεδομένων που χρησιμοποιείται, αλλά η πλειοψηφία των μεθόδων χρησιμοποιούν τον έλεγχο μέσω πύλης για να μειώσουν τους υπολογισμούς που απαιτούνται. Ορίζεται το διάνυσμα \tilde{y} υπολοίπου, που χρησιμοποιήθηκε και στην παρουσίαση των φίλτρων Kalman, ως η διαφορά μεταξύ των διανυσμάτων πραγματικού y και αναμενόμενου \hat{y} . Γενικά στη σάρωση k το διάνυσμα \tilde{y} ορίζεται ως:

$$\tilde{y} = y(k) - h \left(\hat{x}(k|k-1) \right) \quad (2.3.1)$$

$$y(k) = hx(k) + v(k) \quad (2.3.2)$$

, όπου ο πίνακας μέτρησης $h(k)$ είναι μία μη γραμμική συνάρτηση της κατάστασης x του στόχου και v ο μηδενικής μέσης τιμής λευκός θόρυβος Gauss με μήτρα συν-διακύμανσης R . Στην περίπτωση γραμμικής μέτρησης ισχύει:

$$y(k) = Hx(k) + v(k) \quad (2.3.3)$$

Και στις δύο περιπτώσεις η μήτρα διακύμανσης υπολοίπου ορίζεται ως $S = HPH^T$, όπου P η μήτρα διακύμανσης του ίχνους. Στη συνέχεια, ο χρονικός δείκτης k θα παραλείπεται για διευκόλυνση. Έστω ότι οι μετρήσεις είναι διάστασης M . Τότε, ορίζοντας ως d^2 τη νόρμα του διανύσματος υπολοίπου $d^2 = \tilde{y}^T S^{-1} \tilde{y}$. Ορίζεται η πύλη G έτσι ώστε να επιτρέπεται ο συσχετισμός δεδομένων, αν η νόρμα d^2 του διανύσματος υπολοίπου ικανοποιεί τη σχέση:

$$d^2 = \tilde{y}^T S^{-1} \tilde{y} \leq G \quad (2.3.4)$$

Μια γενική μέθοδος για το πρόβλημα της σύνδεσης μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας την προσέγγιση της συνάρτησης κόστους. Με αυτή την μέθοδο η βέλτιστη ανάθεση μπορεί να μην μεγιστοποιεί τον πιθανό αριθμό αναθέσεων παρατήρησης-διαδρομής. Για παράδειγμα, μια καλή ανάθεση μπορεί να είναι προτιμότερη από δύο αναθέσεις χαμηλότερης ποιότητας, στις οποίες ικανοποιείται οριακά ο έλεγχος πύλης. Στην περίπτωση που δεν μετράται κάποιο σήμα ή κάποιο χαρακτηριστικό μέγεθος του στόχου, τα στοιχεία του γενικευμένου πίνακα ανάθεσης καθορίζονται από μια διαβάθμιση κέρδους και δίνονται από τον τύπο:

$$a_{ij} = G - d_{ij}^2 \quad (2.3.5)$$

Ο όρος a_{ij} είναι το περιθώριο κατά το οποίο η στατιστική απόσταση d_{ij}^2 περνά από τον έλεγχο της πύλης, G , το οποίο δίνεται από τον τύπο (2.3.4). Τα στοιχεία που αντιστοιχούν σε ανάθεση μιας παρατήρησης σε καινούργια διαδρομή είναι μηδενικά. Η βέλτιστη λύση θα είναι εκείνο το σύνολο αναθέσεων το οποίο θα δίνει τη μέγιστη διαβάθμιση κέρδους. Ορίζοντας τη δυαδική μεταβλητή c_{ij} ως ακολούθως:

$$c_{ij} \begin{cases} 1, \text{η μέτρηση } j \text{ αντιστοιχεί στο ίχνος } i \\ 0, \text{διαφορετική περίπτωση} \end{cases} \quad (2.3.6)$$

Το γενικευμένο πρόβλημα ανάθεσης δύο διαστάσεων είναι το ακόλουθο:

$$\max \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij} c_{ij} \quad (2.3.7)$$

$$\sum_i c_{ij} = 1, \forall j \quad (2.3.8)$$

$$\sum_j c_{ij} = 1, \forall i \quad (2.3.9)$$

Οι εξισώσεις (2.3.8) και (2.3.9) θέτουν τον περιορισμό ότι κάθε παρατήρηση μπορεί να ανατεθεί σε ένα μόνο ίχνος και κάθε ίχνος μπορεί να ανατεθεί σε μόνο μία παρατήρηση. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος του πλειστηριασμού [4].

2.3.1.2 Διαχείριση Ιχνών

Μετά την διαδικασία ανάθεσης μετρήσεων σε ίχνη, απαιτείται ένας αλγόριθμος διαχείρισης ιχνών. Τα ίχνη που πλέον δεν αναπαριστούν στόχο διαγράφονται, ενώ οι παρατηρήσεις που δεν ανατέθηκαν σε κάποιο ίχνος αρχικοποιούν νέα ίχνη. Οι τεχνικές διαχείρισης ιχνών χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Η πρώτη χρησιμοποιεί απλούς κανόνες που καθορίζουν την αρχικοποίηση, διαγραφή και επιβεβαίωση ενός ίχνους. Η δεύτερη κατηγορία [5], χρησιμοποιεί πιθανοτικές εκφράσεις για τον υπολογισμό της πιθανοφάνειας ενός ίχνους να αναπαριστά έναν πραγματικό στόχο.

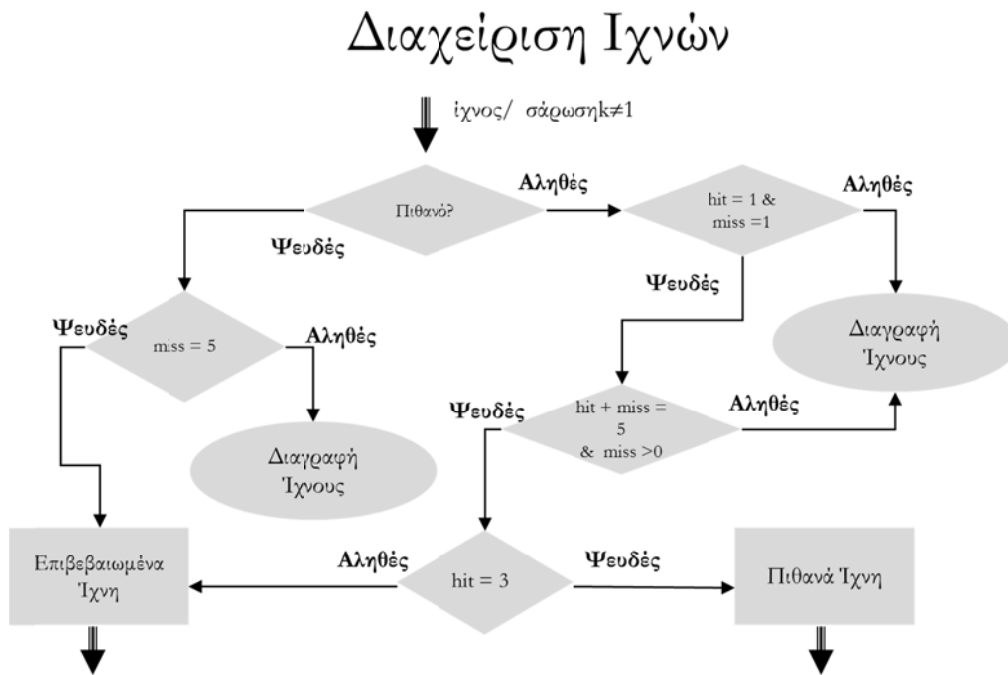
Στο σύστημα που παρουσιάζεται στο παρών κεφάλαιο, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα διαχείρισης ιχνών βασισμένο σε κανόνες. Στα επόμενα κεφάλαια θα χρησιμοποιηθούν πιο σύνθετες μέθοδοι διαχείρισης ιχνών. Αυτή η προσέγγιση βασισμένη σε κανόνες, αν και απλοϊκή, παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις πιθανοτικές μεθόδους διαχείρισης ιχνών. Το βασικό πλεονέκτημα είναι η ευκολία παραμετροποίησης του αλγορίθμου. Σε ένα σύστημα διαχείρισης ιχνών ο σχεδιαστής καλείται να επιλέξει τον ιδανικότερο συνδυασμό μεταξύ ψευδών συναγεργμών και πιθανότητας εντοπισμού ενός στόχου. Οι πιθανοτικές μέθοδοι απαιτούν την γνώση αρκετών παραμέτρων όπως η πιθανότητα εντοπισμού στόχου και ψευδών συναγεργμών του αισθητήρα. Συνεπώς η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στον υπολογισμό των πιθανοτήτων τις καθιστά πιο δύσκολες στον καθορισμό της συμπεριφοράς του συστήματος διαχείρισης ιχνών.

Κάθε ίχνος χαρακτηρίζεται από 4 πεδία :

- ID: Ο αριθμός αυτός αποτελεί την “ταυτότητα” του ίχνους, δηλαδή σε κάθε ίχνος έχει ανατεθεί ένας αριθμός που είναι μοναδικός και χαρακτηρίζει το ίχνος καθ’ όλη τη διάρκεια της “ζωής” του.
- conf: Αποτελεί μια δυαδική μεταβλητή. Η τιμή 1 υποδηλώνει ότι το ίχνος είναι επιβεβαιωμένο, δηλαδή την πεποίθηση ότι το ίχνος αναπαριστά ένα πραγματικό στόχο. Η τιμή 0 δηλώνει ότι το ίχνος ίσως αναπαριστά ένα πραγματικό στόχο, αλλά απαιτούνται

περισσότερες σαρώσεις προκειμένου να καθοριστεί εάν το ίχνος θα επιβεβαιωθεί ή θα διαγραφεί.

- miss: Κατά τη διάρκεια υπολογισμού πύλης σε κάθε σάρωση, εάν καμία παρατήρηση δεν συσχετίστηκε με το ίχνος, η τιμή miss αυξάνεται κατά ένα. Η τιμή miss δηλώνει τον αριθμό των διαδοχικών σαρώσεων για τις οποίες το ίχνος δε συσχετίστηκε με καμία παρατήρηση.
- hit: Κατά τη διάρκεια υπολογισμού πύλης σε κάθε σάρωση, εάν κάποια παρατήρηση συσχετίστηκε με το ίχνος, η τιμή hit αυξάνεται κατά ένα. Η τιμή hit δηλώνει τον αριθμό των διαδοχικών σαρώσεων για τις οποίες το ίχνος συσχετίστηκε με κάποια παρατήρηση.



Εικόνα 2-11 Λογικό διάγραμμα αλγορίθμου διαχείρισης ίχνών

Στην Εικόνα 2-11 παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα του αλγορίθμου διαχείρισης ίχνών. Οι κανόνες για την επιβεβαίωση και διαγραφή των ίχνών βασίζονται στον έλεγχο των πεδίων *hit* και *miss* κάθε ίχνους. Όσο αναφορά την αρχικοποίηση νέων ίχνών, οι παρατηρήσεις κάθε σάρωσης που δε συσχετίστηκαν με κάποιο ίχνος αρχικοποιούν ένα νέο πιθανό ίχνος με μια νέα τιμή ID.

2.3.1.3 Φιλτράρισμα και Εκτίμηση Κατάστασης

Όπως έχει αναφερθεί στο εισαγωγικό κεφάλαιο, τα μοντέλα κίνησης χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της δυναμικής κατάστασης των αντικειμένων που ανιχνεύονται κατά την ιχνηλάτηση στόχων. Στη γενική περίπτωση η δυναμική κατάσταση του αντικειμένου προσδιορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$x_{k+1} = \Phi x_k + Bv \quad (2.3.10)$$

, όπου x_{k+1} και x_k είναι τα διανύσματα κατάστασης στη σάρωση $k + 1$ και k αντίστοιχα. Ο πίνακας Φ είναι ο πίνακας μετάβασης. Θεωρείται ότι η μετάβαση από την κατάσταση k στην κατάσταση $k + 1$ γίνεται σε χρόνο T sec. Το διάνυσμα Bv στην εξίσωση 3-2 είναι ο θόρυβος διαδικασίας. Ο πίνακας συν-διακύμανσης για το θόρυβο διαδικασίας προκύπτει από τη σχέση:

$$Q = E \{ Bv v^T B^T \} \quad (2.3.11)$$

Η κίνηση των ιχνηλατούμενων στόχων προσομοιώνεται με το μοντέλο σταθερής επιτάχυνσης ([12]) (Constant Acceleration – CA). Θεωρείται ότι η κίνηση γίνεται με σταθερή επιτάχυνση τόσο στον άξονα x όσο και στον άξονα y . Το διάνυσμα κατάστασης είναι:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x \\ u_x \\ a_x \\ y \\ u_y \\ a_y \end{bmatrix} \quad (2.3.12)$$

όπου εκτιμάται η θέση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση του στόχου και για τις δύο καρτεσιανές συντεταγμένες

Ο πίνακας μετάβασης είναι:

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & T & T^2/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3.13)$$

Ο πίνακας B είναι:

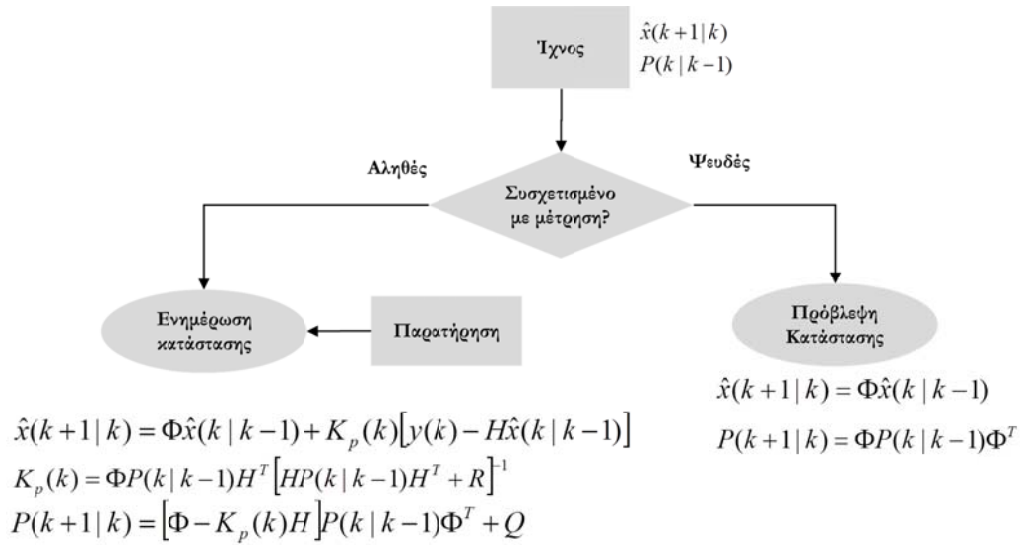
$$B = \begin{bmatrix} T^2/2 & T & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & T^2/2 & T & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3.14)$$

Το διάνυσμα v έχει την παρακάτω μορφή:

$$v = \begin{bmatrix} an_x \\ an_y \end{bmatrix} \quad (2.3.15)$$

όπου οι τιμές an_x και an_y είναι τυχαίες μεταβλητές και αποτελούν το θόρυβο επιτάχυνσης στους άξονες x και y αντίστοιχα. Και οι δύο τυχαίες μεταβλητές έχουν κατανομή Gauss με μηδενική μέση τιμή και τυπικές αποκλίσεις σ_x και σ_y σε m/sec^2 . Ο πίνακας συν-διακύμανσης για το θόρυβο διαδικασίας είναι:

$$Q = \begin{bmatrix} \frac{1}{4}T^4\sigma_x^2 & \frac{1}{2}T^3\sigma_x^2 & \frac{1}{2}T^2\sigma_x^2 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2}T^3\sigma_x^2 & T^2\sigma_x^2 & T\sigma_x^2 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2}T^2\sigma_x^2 & T\sigma_x^2 & \sigma_x^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4}T^4\sigma_y^2 & \frac{1}{2}T^3\sigma_y^2 & \frac{1}{2}T^2\sigma_y^2 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}T^3\sigma_y^2 & T^2\sigma_y^2 & T\sigma_y^2 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}T^2\sigma_y^2 & T\sigma_y^2 & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad (2.3.16)$$



Εικόνα 2-12 Λογικό Διάγραμμα ανανέωσης κατάστασης στόχου

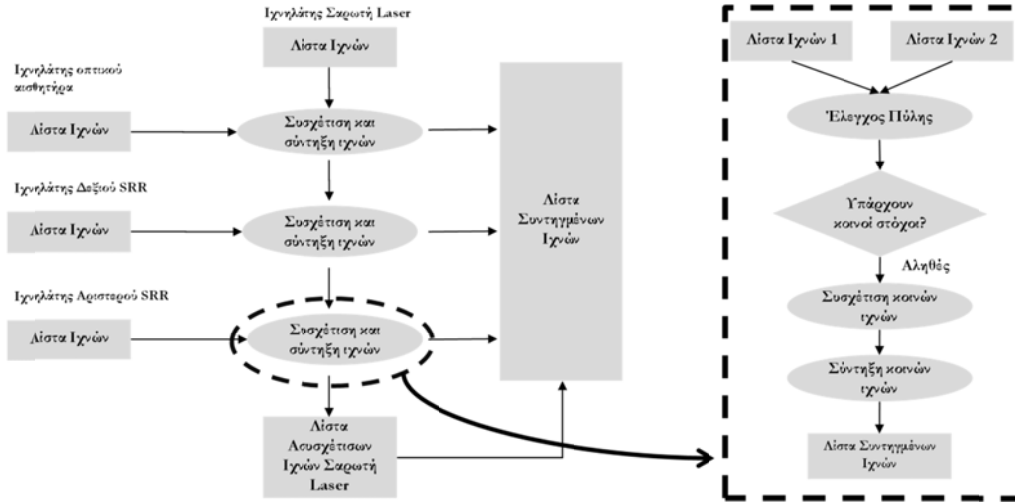
Στην Εικόνα 2-12 παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα της υπομονάδας φίλτραρίσματος. Σε περίπτωση που το ίχνος έχει συσχετιστεί με κάποια παρατήρηση γίνεται ενημέρωση της κατάστασης και πρόβλεψη για την επόμενη σάρωση. Σε περίπτωση που το ίχνος δεν έχει συσχετιστεί με κάποια παρατήρηση, η πρόβλεψη της κατάστασης για την επόμενη μέτρηση γίνεται χωρίς την ενημέρωση με κάποια παρατήρηση.

2.3.2 Ιχνηλασία Κεντρικού Επιπέδου

Ο αλγόριθμος ιχνηλασίας κεντρικού επιπέδου αποτελείται από δύο κύριες υπομονάδες. Η συσχέτιση και σύντηξη ιχνών συσχετίζει τις λίστες ιχνών που προέρχονται από τις τοπικές μονάδες ιχνηλασίας. Η κεντρική μονάδα ιχνηλασίας εκτελεί την ίδια λειτουργία με μία τοπική μονάδα ιχνηλασίας, με τη βασική διαφορά να βρίσκεται στο ότι η είσοδος είναι η συντηγμένη λίστα ιχνών και όχι η λίστα παρατηρήσεων ενός αισθητήρα.

2.3.2.1 Συσχέτιση και Σύντηξη Ιχνών

Από την Εικόνα 2-2 όπου απεικονίζονται τα πεδία εντοπισμού των αισθητήρων, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν ζώνες όπου δύο αισθητήρες εντοπίζουν αντικείμενα σε κοινές περιοχές. Συγκεκριμένα ο οπτικός αισθητήρας επικαλύπτεται με μέρος του πεδίου εντοπισμού των σαρωτών laser. Επίσης, οι πλευρικοί ραδιοεντοπιστές και οι σαρωτές laser έχουν κοινά πεδία εντοπισμού.



Εικόνα 2-13 Αλγόριθμος συσχέτισης και σύντηξης ιχνών

Στο παρόν πρόβλημα συσχέτισης έχουμε 4 λίστες ιχνών, και κάθε λίστα αποτελείται από n_S ιχνη, όπου $S = 1 \dots 4$. Κάθε εκτίμηση x_{Si} , $i_S = 1 \dots n_S$ αναφέρεται στην τελευταία σάρωση του κάθε αισθητήρα που πραγματοποιήθηκε τη χρονική στιγμή T_S . Αρχικά τα ιχνη ευθυγραμμίζονται χρονικά, ώστε οι εκτιμήσεις να αναφέρονται στην ίδια χρονική στιγμή, χρησιμοποιώντας το μοντέλο κίνησης CA και τις γνωστές εξισώσεις του φίλτρου Kalman. Επίσης, καθώς η ιχνηλασία πραγματοποιείται στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων του αισθητήρα, οι εκτιμήσεις των ιχνών μετατρέπονται ως προς το κεντρικό σύστημα αναφοράς. Μετά από τις μετατροπές αυτές όλα τα ιχνη θα έχουν ένα κοινό σύστημα αναφοράς και οι εκτιμήσεις θα αναφέρονται σε μία κοινή χρονική στιγμή T .

Όπως και στην ιχνηλασία επιπέδου αισθητήρα, εκτελείται αρχικά ο έλεγχος πύλης προκειμένου να αναγνωριστούν πιθανά ζεύγη ιχνών. Η στατιστική απόσταση μεταξύ δύο ιχνών ορίζεται ως ακολούθως [6]:

$$d_{ij}^2 = \tilde{x}'_{ij} (P_i + P_j - P_{ij} - P'_{ij})^{-1} \tilde{x}_{ij} = \tilde{x}'_{ij} S_{ij}^{-1} \tilde{x}_{ij} \quad (2.3.17)$$

Σε περίπτωση που αναγνωριστούν ιχνη που πιθανώς να αναπαριστούν τον ίδιο στόχο, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος του πλειστηριασμού για επίλυση του προβλήματος της ανάθεσης ιχνους σε ιχνος (track-to-track association). Το διάγραμμα κατάστασης και ο πίνακας συνδιακύμανσης του συντηγμένου ιχνους προέρχεται από δύο ανεξάρτητες εκτιμήσεις ιχνών i και j , θα είναι [7]:

$$\tilde{x} = \tilde{x}_i + (P_i - P_{ij})(P_i + P_j - P_{ij} - P_{ji})^{-1} (\tilde{x}_j - \tilde{x}_i) = \tilde{x}'_{ij} S_{ij}^{-1} \tilde{x}_{ij} \quad (2.3.18)$$

$$P = P_i + (P_i - P_{ij})(P_i + P_j - P_{ij} - P_{ji})^{-1} (P_j - P_{ji}) \quad (2.3.19)$$

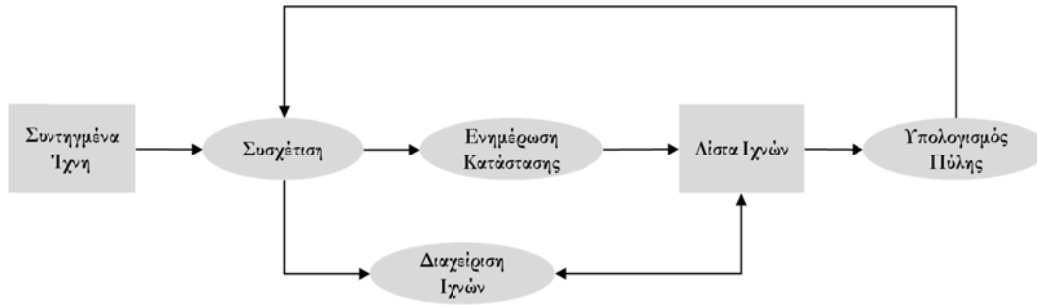
,όπου P_{ij} είναι ο πίνακας δια-συνδιακύμανσης των δύο εκτιμήσεων και εισέρχεται λόγω του γεγονότος ότι οι δύο εκτιμήσεις δεν είναι ανεξάρτητες αλλά έχουν κοινό θόρυβο διαδικασίας. Ο πίνακας P_{ij} ορίζεται ως ακολούθως[8]:

$$P_{ij}(t_k) = [I - K_i(t_k)H] \Phi P_{ij}(t_{k-1}) \Phi^T [I - K_j(t_k)H]^T + [I - K_i(t_k)H] Q [I - K_j(t_k)H]^T \quad (2.3.20)$$

Στο τέλος της εκτέλεσης του αλγορίθμου σχηματίζεται η λίστα συντηγμένων ιχνών που αποτελείται από τα συντηγμένα ιχνη καθώς και από τα ιχνη που δεν σχετίστηκαν μεταξύ τους.

2.3.2.2 Ιχνηλασία

Στην ιχνηλασία κεντρικού επιπέδου η διαδικασία είναι όμοια με εκείνη στην ιχνηλασία επιπέδου αισθητήρα. Η λίστα συντηγμένων ιχνών συσχετίζεται με την κεντρική λίστα ιχνών. Το λογικό διάγραμμα του αλγορίθμου φαίνεται στην Εικόνα 2-14. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ιχνη στην κεντρική λίστα έχουν διαφορετικά πεδία ID, hit, miss και conf. Με αυτό τον τρόπο ένα ιχνος που γίνεται ορατό από διαφορετικούς αισθητήρες κατά τη μετάβαση σε διαφορετικά πεδία εντοπισμού είναι δυνατό να διατηρεί το αναγνωριστικό ID.



Εικόνα 2-14 Σχηματικό διάγραμμα αλγόριθμου ιχνηλασίας κεντρικού επιπέδου

2.4 Εκτίμηση Γεωμετρίας Λωρίδων

Η εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου στηρίζεται σε 3 ανεξάρτητους αλγόριθμους. Οι δύο αφορούν την εκτίμηση της γεωμετρίας των λωρίδων με βάση τις μετρήσεις του οπτικού αισθητήρα και των σαρωτών laser αντίστοιχα. Ο τρίτος αλγόριθμος χρησιμοποιεί την δυναμική κατάσταση του οχήματος προκειμένου να εκτιμήσει την καμπυλότητα του δρόμου ώστε να είναι δυνατή η ανάθεση των ιχνών σε λωρίδες.

Στην κατασκευή των δρόμων συνήθως χρησιμοποιείται το κλοθοϊδές μοντέλο καμπύλης[9]. Η βασική ιδιότητα των κλοθοϊδών είναι η γραμμική μεταβολή της καμπυλότητας κατά μήκος της καμπύλης. Με αυτό τον τρόπο οι μεταβολές στην γωνία του τιμονιού κατά τη διάρκεια της στροφής του οχήματος είναι ομαλές. Η καμπυλότητα μεταβάλλεται ως προς το μήκος σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$c(l) = c_0 + c_1 l \quad (2.4.1)$$

Οι παράμετροι ενός κλοθοϊδούς είναι η καμπυλότητα στο αρχικό σημείο c_0 , ο ρυθμός μεταβολής της καμπυλότητας c_1 και το μήκος της καμπύλης l_s . Ο υπολογισμός μιας λύσης κλειστής μορφής για μια κλοθοϊδή καμπύλη δεν είναι δυνατός, γι' αυτό προσεγγίζονται με ένα πολώνυμο [10]:

$$y = y_0 + \tan(\theta) \cdot l + \frac{1}{2} \cdot c_0 \cdot l^2 + \frac{1}{6} \cdot c_1 \cdot l^3 \quad (2.4.2)$$

Το διάνυσμα κατάστασης που περιγράφει την θέση του οχήματος σε σχέση με τη λωρίδα είναι:

$$x = [\psi_{offs} \quad \theta \quad c_0 \quad c_1 \quad \dot{\omega}]^T \quad (2.4.3)$$

Ο πίνακας μετάβασης του φίλτρου Kalman είναι:

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & dx & dx^2/2 & dx^3/6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 1 & \sqrt{dx^2 + dy^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4.4)$$

όπου (dx, dy) είναι η μετατόπιση του υποκείμενου οχήματος και στους δυο άξονες και δίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$dx = U \cdot dt + 0.5 \cdot A \cdot dt^2 \quad (2.4.5)$$

$$dy = (\dot{\omega} \cdot U) \cdot dt \quad (2.4.6)$$

Ο αισθητήρας αναγνώρισης λωρίδων παρέχει μετρήσεις για την πλευρική απόσταση την γωνία ως προς το κέντρο της λωρίδας καθώς και την καμπυλότητα. Το διάνυσμα μέτρησης είναι

$$y_{cam} = [\psi_{offs} \quad c_0 \quad \theta]^T \quad (2.4.7)$$

Οι μετρήσεις του αισθητήρα φιλτράρονται με τη χρήση φίλτρου Kalman, όπου η εκτίμηση κατάστασης είναι x_{cam} .

Ο σαρωτής laser παρέχει επίσης πληροφορίες για την γεωμετρία της δεξιάς και της αριστερής γραμμής της λωρίδας. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται χρήση δύο φίλτρων Kalman, ένα για την κάθε γραμμή και η εκτίμηση των φίλτρων θα είναι x_{laser_right} και x_{laser_left} . Επειδή το σύστημα αναφοράς είναι ως προς το κέντρο της λωρίδας, η τελική έξοδος της εκτίμησης προερχόμενη από τους σαρωτές laser είναι :

$$x_{laser} = x_{laser_left} - \frac{(x_{laser_right} + x_{laser_left})}{2} \quad (2.4.8)$$

Με βάση την υπόθεση ότι το όχημα ακολουθεί την γεωμετρία του δρόμου, είναι δυνατός ο υπολογισμός της καμπυλότητας της λωρίδας με βάση τη δυναμική του ίδιου οχήματος. Ισχύει η ακόλουθη σχέση μεταξύ της γραμμικής και γωνιακής ταχύτητας :

$$\dot{\omega} = \frac{u}{R} \quad (2.4.9)$$

Όπου R είναι η ακτίνα στροφής. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι $c = 1/R$:

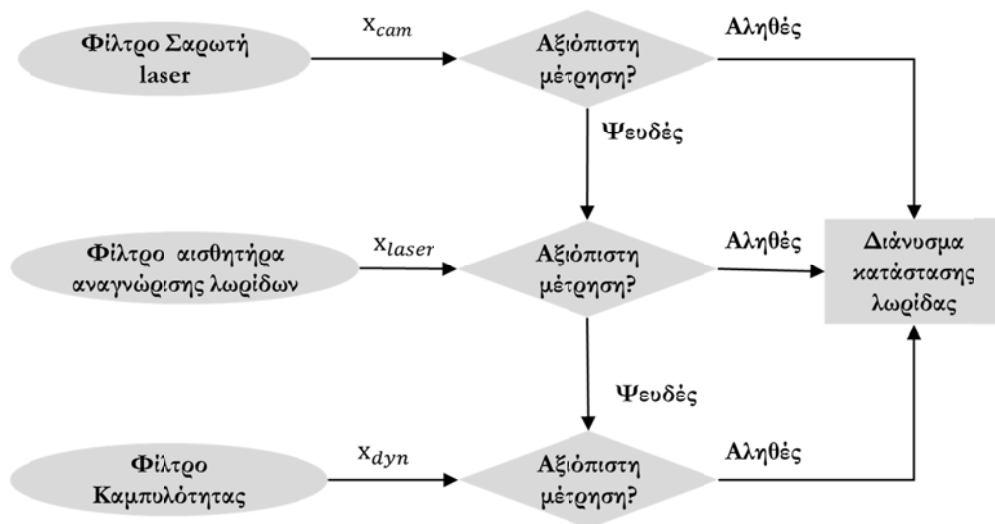
$$c = \frac{\dot{\omega}}{u} \quad (2.4.10)$$

Το φίλτρο Kalman θα έχει το ακόλουθο διάνυσμα κατάστασης και πίνακα μετάβασης:

$$x_{dyn} = [c_0 \quad c_1] \quad (2.4.11)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4.12)$$

Η μέτρηση της καμπυλότητας προέρχεται από τους αισθητήρες ταχύτητας και γωνιακής ταχύτητας του οχήματος και υπολογίζεται με βάση την εξίσωση 2-1. Τέλος με βάση τη λογική που απεικονίζεται στην Εικόνα 2-15, εξάγεται η πιο αξιόπιστη εκτίμηση από τα τρία φίλτρα.



Εικόνα 2-15 Εκτίμηση γεωμετρίας λωρίδας από τα φίλτρα του οπτικού αισθητήρα, σαρωτή laser και κινηματικής οχήματος

2.5 Εκτίμηση Κατάστασης Ίδιου Οχήματος

Το διάνυσμα κατάστασης του ίδιου οχήματος είναι το ακόλουθο:

$$x = \begin{bmatrix} u & a & \dot{\omega} & \ddot{\omega} \end{bmatrix} \quad (2.5.1)$$

Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται δύο παράλληλα φίλτρα Kalman, ένα για την ακτινική και ένα για την κυκλική κίνηση.

$$x_{long} = \begin{bmatrix} u \\ a \end{bmatrix} \quad (2.5.2)$$

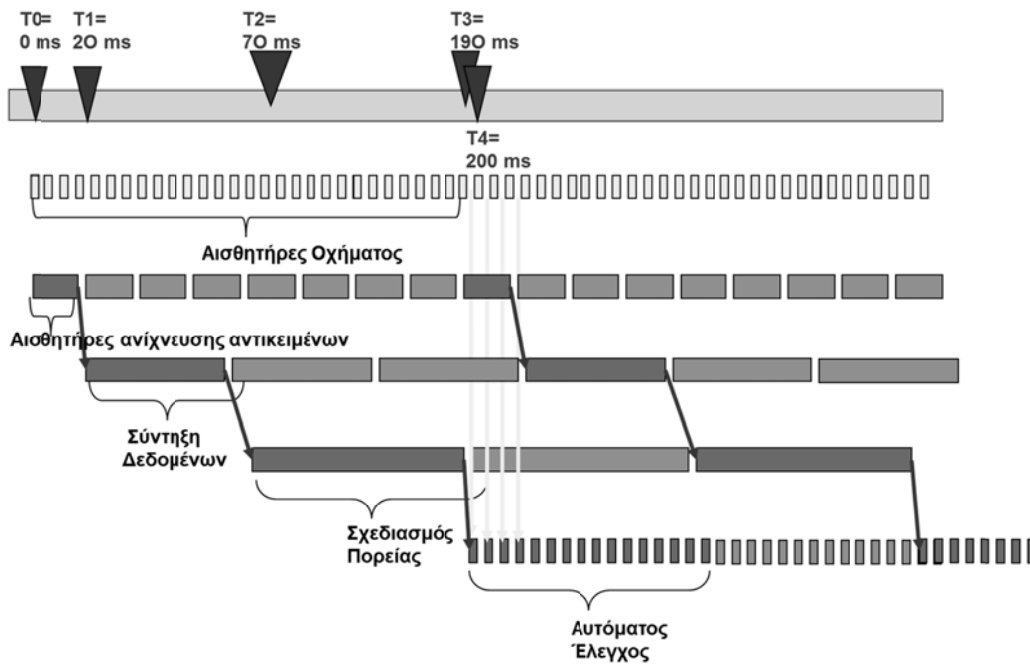
$$x_{yaw} = \begin{bmatrix} \dot{\omega} \\ \omega \end{bmatrix} \quad (2.5.3)$$

Ο πίνακας μετάβασης είναι όμοιος και για τα δύο φίλτρα και είναι ο ακόλουθος:

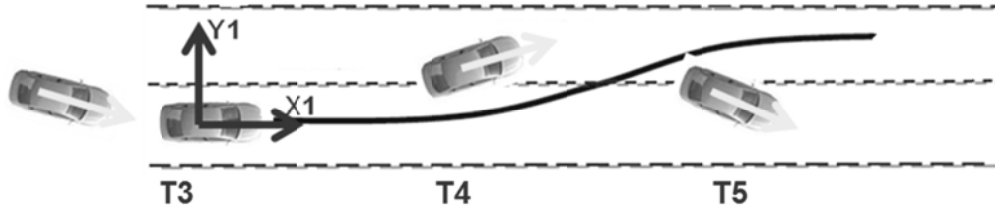
$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5.4)$$

2.6 Εκτίμηση Θέσης

Στο αυτοματοποιημένο σύστημα του οχήματος εκτελείται ένας αλγόριθμος σχεδιασμού τροχιάς ο οποίος υπολογίζει την επιθυμητή πορεία του οχήματος για το επόμενο χρονικό διάστημα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-16, το κάθε υποσύστημα έχει διαφορετικούς χρόνους εκτέλεσης. Ο αυτόματος έλεγχος καλείται να ελέγξει το όχημα με βάση την τροχιά που έχει σχεδιαστεί στο παρελθόν. Συνεπώς απαιτείται ο υπολογισμός της σχετικής θέσης μεταξύ της σχεδιασμένης τροχιάς την χρονική στιγμή T_3 και τις επόμενες χρονικές στιγμές όπου εκτελείται ο αλγόριθμος ελέγχου (Εικόνα 2-17).



Εικόνα 2-16 Απεικόνιση του χρονισμού εκτέλεσης των υποσυστημάτων του αυτοματοποιημένου οχήματος



Εικόνα 2-17 Η βέλτιστη τροχιά υπολογίζεται τη χρονική στιγμή T3 και ο αλγόριθμος εκτίμησης θέσης υπολογίζει τη θέση το οχήματος ως προς το σύστημα συντεταγμένων (X1,Y1)

Για τον υπολογισμό της σχετικής θέσης χρησιμοποιείται το μοντέλο CTRA (Constant Turn Rate – Acceleration) [11]. Στο μοντέλο αυτό εκτός από την κεντρομόλο επιτάχυνση, η οποία εξαρτάται από την γωνιακή ταχύτητα και είναι κάθετη στο διάνυσμα της ταχύτητας, έχουμε και μια γραμμική επιτάχυνση, η οποία έχει την ίδια διεύθυνση με το διάνυσμα της ταχύτητας. Το διάνυσμα κατάστασης που χρησιμοποιείται γι' αυτό περιέχει επτά μεταβλητές κατάστασης (θέση, ταχύτητα και επιτάχυνση στους δύο άξονες καθώς και γωνιακή ταχύτητα), είναι το ακόλουθο:

$$x = \begin{bmatrix} 0 & u & a_x & 0 & 0 & a_y & \dot{\omega} \end{bmatrix} \quad (2.6.1)$$

$$x = \begin{bmatrix} x_axis_position \\ x_axis_velocity \\ x_axis_tan_gential_acceleration \\ y_axis_position \\ y_axis_velocity \\ y_axis_tan_gential_acceleration \\ turn_rate \end{bmatrix} \quad (2.6.2)$$

Ο πίνακας μετάβασης του μοντέλου είναι :

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(\omega T)}{\omega} & f(13) & 0 & \frac{\cos(\omega T)-1}{\omega} & f(16) & f(17) \\ 0 & \cos(\omega T) & T \cos(\omega T) & 0 & -\sin(\omega T) & -T \sin(\omega T) & f(27) \\ 0 & 0 & \cos(\omega T) & 0 & 0 & -\sin(\omega T) & f(37) \\ 0 & \frac{1-\cos(\omega T)}{\omega} & f(43) & 1 & \frac{\sin(\omega T)}{\omega} & f(46) & f(47) \\ 0 & \sin(\omega T) & T \sin(\omega T) & 0 & \cos(\omega T) & T \cos(\omega T) & f(57) \\ 0 & 0 & \sin(\omega T) & 0 & 0 & \cos(\omega T) & f(67) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{x=\hat{x}} \quad (2.6.3)$$

Την χρονική στιγμή T_{traj} που υπολογίζεται μία νέα τροχιά, το διάνυσμα κατάστασης αρχικοποιείται:

$$x(T_{traj}) = \begin{bmatrix} 0 & u & a_x & 0 & 0 & a_y & \dot{\omega} \end{bmatrix} \quad (2.6.4)$$

για κάθε επόμενη χρονική στιγμή το διάνυσμα κατάστασης θα είναι :

$$x(t_k) = \Phi x(t_{k-1}) \quad (2.6.5)$$

2.7 Αποτελέσματα

Για την αξιολόγηση των αλγορίθμων διενεργήθηκε ένα πλήθος δοκιμών προκειμένου να αξιολογηθούν οι επιδόσεις τους. Οι δοκιμές έγιναν τόσο με πραγματικά δεδομένα όσο και με προσομοιωμένες μετρήσεις. Η χρήση προσομοιώσεων είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις όπου είναι

αναγκαίο να επαναλαμβάνεται το ίδιο ακριβώς σενάριο κρατώντας σταθερές όλες τις συνθήκες (θέση - ταχύτητα στόχου) αλλάζοντας μόνο ορισμένες παραμέτρους όπως ο θόρυβος μέτρησης .

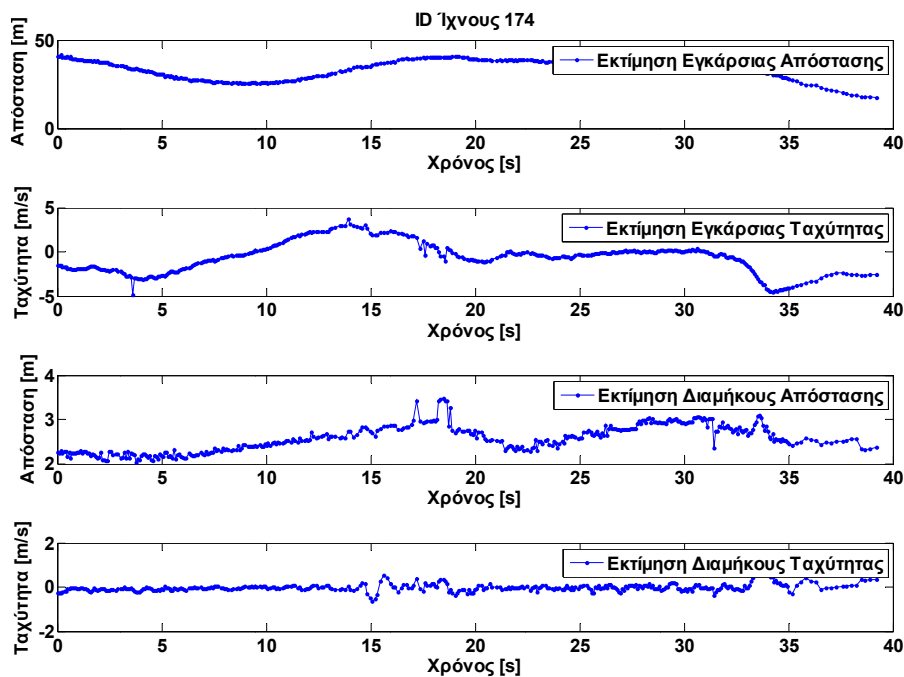
2.7.1 Ιχνηλασία Επιπέδου Αισθητήρα

Για την αξιολόγηση της ιχνηλασίας επιπέδου αισθητήρα διενεργήθηκαν μία σειρά δοκιμών στις οποίες αναπαρίστανται τυπικά σενάρια ενός αυτοματοποιημένου οχήματος.

2.7.1.1 Σενάριο Αποφυγής Δεξιάς Προσπέρασης

Η

Εικόνα 2-18 απεικονίζει την έξοδο του αλγόριθμου ιχνηλασίας κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του σεναρίου αποφυγής δεξιάς προσπέρασης. Η εγκάρσια ταχύτητα αυξάνεται έως το μηδέν και το ίδιο όχημα σταματά πίσω από το ακινητοποιημένο όχημα. Το ID του ίχνους που αναπαριστά το ακινητοποιημένο όχημα διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια του σεναρίου έως ότου το ίδιο όχημα ακινητοποιηθεί (Εικόνα 2-19).



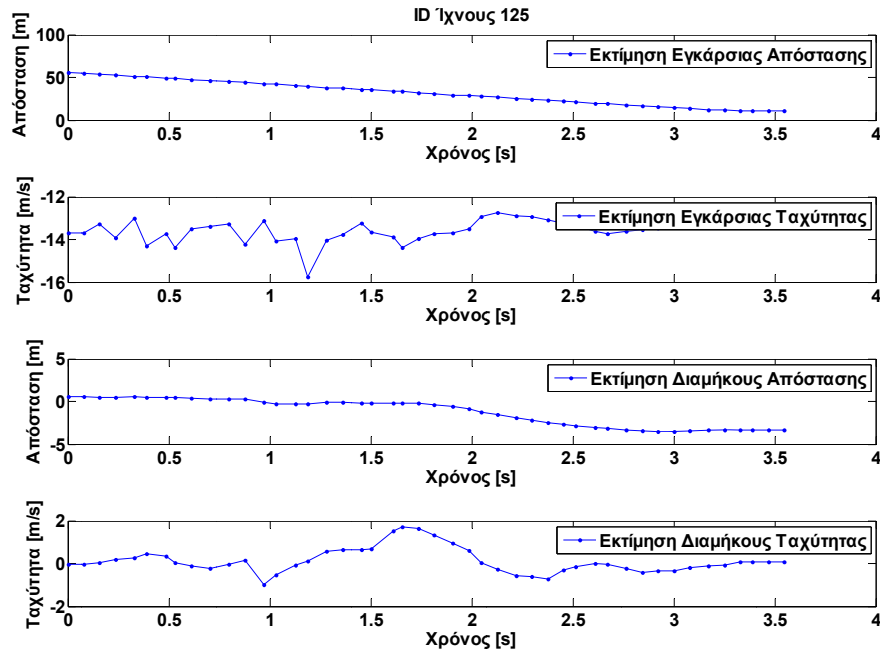
Εικόνα 2-18 Εκτίμηση κατάστασης ίχνους στην αριστερή λωρίδα



Εικόνα 2-19 Σενάριο Αποφυγής Δεξιάς Προσπέρασης

2.7.1.2 Σενάριο Αλλαγής Λωρίδας

Στην Εικόνα 2-20 απεικονίζεται η έξοδος του αλγόριθμου ιχνηλασίας κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του σεναρίου αλλαγής λωρίδας. Το όχημα εντοπίζεται για πρώτη φορά στα 50m. Η επέμβαση του αυτοματισμού φαίνεται μετά το 1.5 sec όπου η πλευρική αντίσταση (3^ο γράφημα) από το όχημα μειώνεται, υποδεικνύοντας της εκτέλεση αλλαγής λωρίδας (Εικόνα 2-21). Σε αντίθεση με το σενάριο του 2.7.1.1, η ταχύτητα δεν γίνεται μηδενική καθώς το όχημα συνεχίζει να κινείται προσπερνώντας το αντικείμενο.



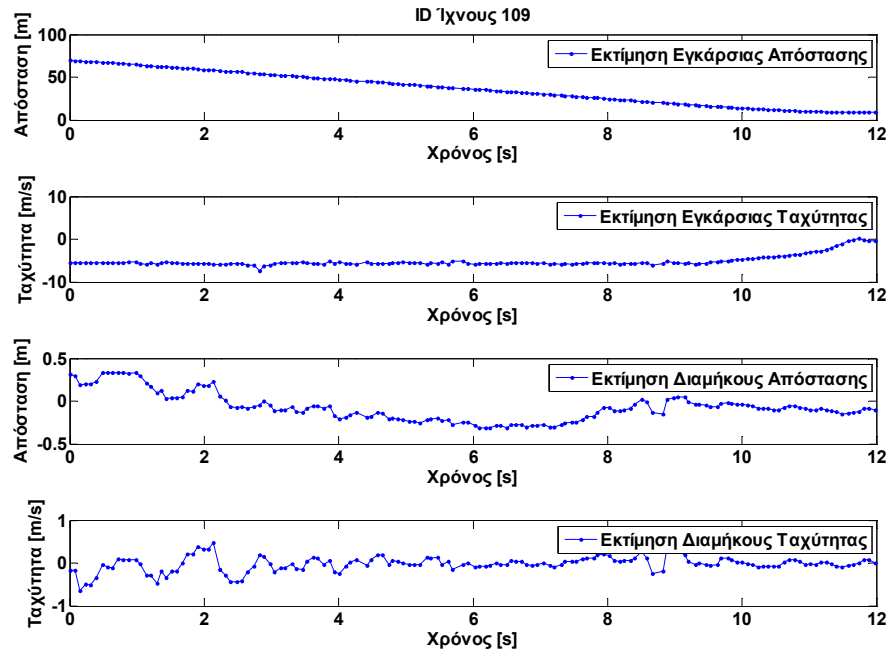
Εικόνα 2-20 Εκτίμηση κατάστασης ιχνους το οποίο προσπερνάται από αριστερά



Εικόνα 2-21 Σενάριο αλλαγής λωρίδας

2.7.1.3 Σενάριο Ακίνητοποίησης Πίσω από Σταθμευμένο Όχημα

Στην Εικόνα 2-22 απεικονίζεται η εκτίμηση κατάστασης του ακίνητοποιημένου οχήματος το οποίο εντοπίζεται στα 60m. Η επέμβαση του αυτοματισμού φαίνεται μετά το 10^ο δευτερόλεπτο όπου η ταχύτητα αυξάνεται έως το μηδέν και το ίδιον όχημα σταματά πίσω από το ακίνητοποιημένο όχημα.



Εικόνα 2-22 Εκτίμηση κατάστασης ίχνους στην ίδια λωρίδα



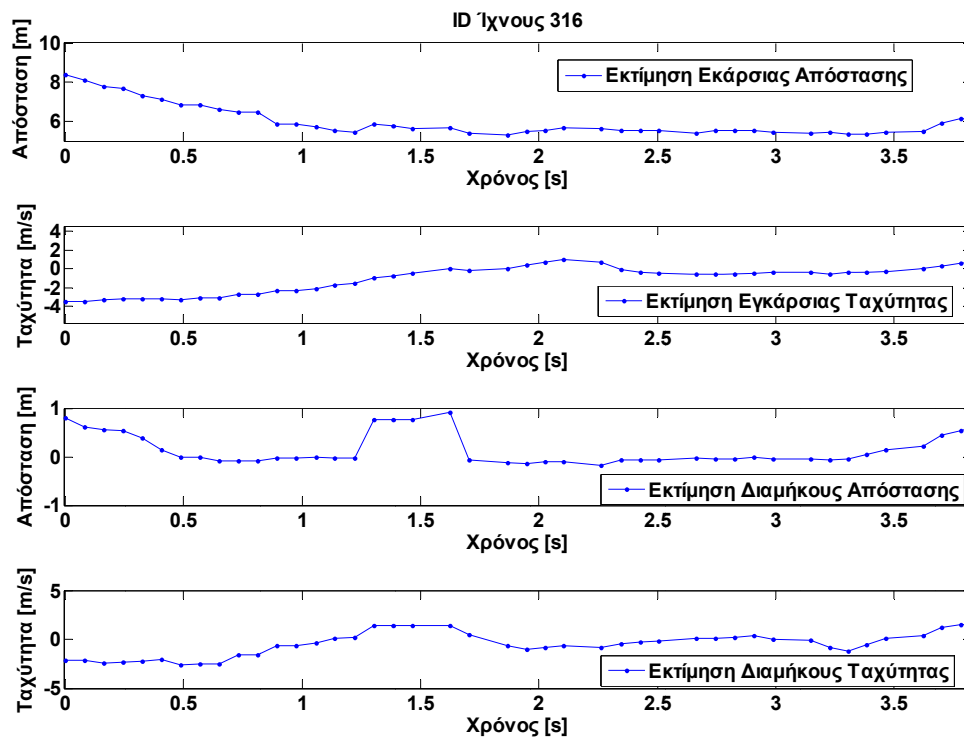
Εικόνα 2-23 Σενάριο ακινητοποίησης πίσω από σταθμευμένο όχημα

2.7.1.4 Σενάριο Ακινητοποίησης Έκτακτης Ανάγκης

Σε αυτό το σενάριο, ένα αντικείμενο εμφανίζεται ξαφνικά μπροστά από το όχημα (Εικόνα 2-24). Στην Εικόνα 2-25 φαίνεται η ιστορία της εκτιμώμενης θέσης και ταχύτητας του αντικειμένου. Το αντικείμενο ιχνηλατείται ενώ βρίσκεται εκτός του δρόμου. Η μονάδα σχεδιασμού τροχιάς ενημερώνεται για το αντικείμενο μόλις αυτό βρίσκεται εντός των λωρίδων. Στην Εικόνα 2-25 φαίνεται η σχετική απόσταση και ταχύτητα μεταξύ ιδίου οχήματος και αντικειμένου. Η σχετική ταχύτητα γίνεται μηδέν κάτι που υποδεικνύει την παρέμβαση του αυτοματισμού για την ακινητοποίηση του οχήματος.



Εικόνα 2-24 Σενάριο Αιμνητοποίησης Έκτακτης Ανάγκης



Εικόνα 2-25 Ιστορία ιχνηλασίας αντικειμένου

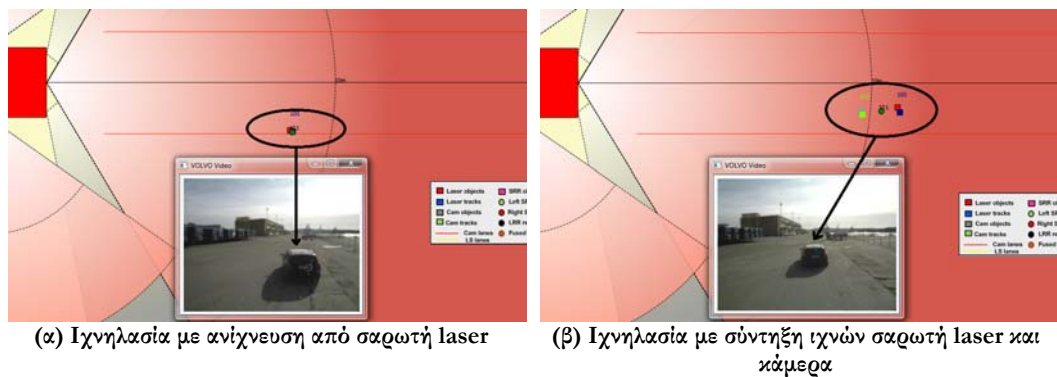
2.7.2 Ιχνηλασία Κεντρικού Αισθητήρα

Για τη μέτρηση των επιδόσεων της ιχνηλασίας κεντρικού επιπέδου χρησιμοποιήθηκαν προσομοιωμένες μετρήσεις καθώς και πραγματικά δεδομένα. Τα πραγματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν με συνδυασμό με συγχρονισμένο αρχείο εικόνας ώστε να εκτιμηθούν παράμετροι όπως οι ψευδείς συναγερομοί και οι αλλαγές ID ενός ίχνους. Τα προσομοιωμένα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό επιπρόσθετων παραμέτρων οι οποίες απαιτούν να είναι γνωστή η πραγματική τιμή αναφοράς, για παράδειγμα για τον υπολογισμό της ακρίβειας στην εκτίμηση της θέσης είναι απαραίτητη η γνώση της πραγματικής θέσης του στόχου.

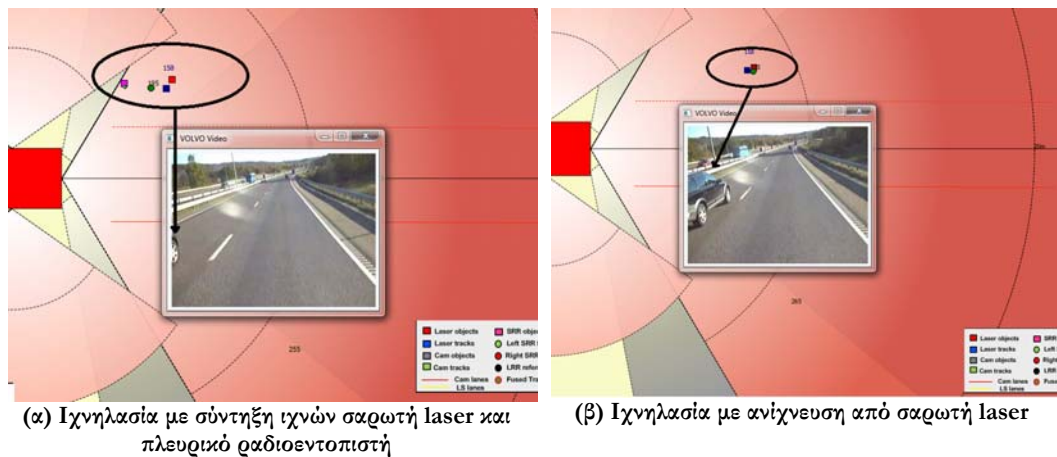
2.7.2.1 Πραγματικά Δεδομένα

Για τον έλεγχο του αλγορίθμου κεντρικής ιχνηλασίας χρησιμοποιήθηκαν αρχεία καταγραφής δεδομένων σε περιβάλλον αυτοκινητόδρομου. Τα δεδομένα είναι συγχρονισμένα με ένα αρχείο video προκειμένου να είναι εφικτή η αξιολόγηση των αλγορίθμων, οι παράμετροι που υπολογίστηκαν είναι ο αριθμός επαναρχικοποιήσεων των ιχνών, και τα ποσοστά των θετικών και αρνητικών ψευδών συναγερωμών. Αρνητικός ψευδής συναγερωμός είναι η περίπτωση όπου υπάρχει πραγματικός στόχος και το σύστημα δεν εξάγει ένα επιβεβαιωμένο ίχνος που αντιστοιχεί στο στόχο αυτό. Θετικός ψευδής συναγερωμός είναι η περίπτωση όπου δεν υπάρχει πραγματικός στόχος και το σύστημα εξάγει ένα επιβεβαιωμένο ίχνος.

Τα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν εστίαζαν σε δύο κυρίως περιπτώσεις: (i) ο στόχος είναι έμπροσθεν και στη λωρίδα του ίδιου οχήματος, (ii) ο στόχος προσπερνά το ίδιο όχημα στην αριστερή λωρίδα. Το κεντρικό σύστημα ιχνηλασίας πρέπει να έχει υψηλότερες επιδόσεις από την ιχνηλασία επιπέδου αισθητήρα, ενώ επιπρόσθετα πρέπει να διατηρεί το ID του ίχνους καθώς αυτό μεταβαίνει από το πεδίο εντοπισμού ενός αισθητήρα στο πεδίο εντοπισμού ενός άλλου.



Εικόνα 2-26 Σύντηξη ιχνών σαρωτή laser και κάμερα



Εικόνα 2-27 Σύντηξη ιχνών σαρωτή laser και πλευρικού ραδιοεντοπιστή

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-1. Οι παράμετροι αξιολόγησης αποτυπώνονται σαν ποσοστό επί τον συνολικό αριθμό σαρώσεων. Όπως φαίνεται στον πίνακα η ιχνηλασία κεντρικού επιπέδου εμφανίζει καλύτερες επιδόσεις από την ιχνηλασία τοπικού επιπέδου. Η σύντηξη ιχνών μειώνει την πιθανότητα ψευδών συναγερωμών και επανα-αρχικοποιήσεων ιχνών χάρις στην χρήση πλεοναζόντων αισθητήρων. Επίσης ο αλγόριθμος κεντρικής ιχνηλασίας διατηρεί τις περισσότερες φορές επιτυχώς το ID του ίχνους στις περιπτώσεις μετάβασης των ιχνών στα πεδία

παρατήρησης διαφορετικών αισθητήρων ή σε περίπτωση απώλειας του ίχνους από έναν τοπικό ιχνηλάτη.

	Ιχνηλασία σαρωτή laser	Ιχνηλασία κάμερας	Ιχνηλασία Κεντρικού επιπέδου
Θετικοί ψευδής συναγερμοί	0.20%	0.00%	0.08%
Αρνητικοί ψευδής συναγερμοί	0.05%	2.00%	0.01%
Επαναρχικοποιήσεις ιχνών	1.00%	0.50%	0.20%

Πίνακας 2-1 Αποτελέσματα ιχνηλασίας με χρήση πραγματικών δεδομένων

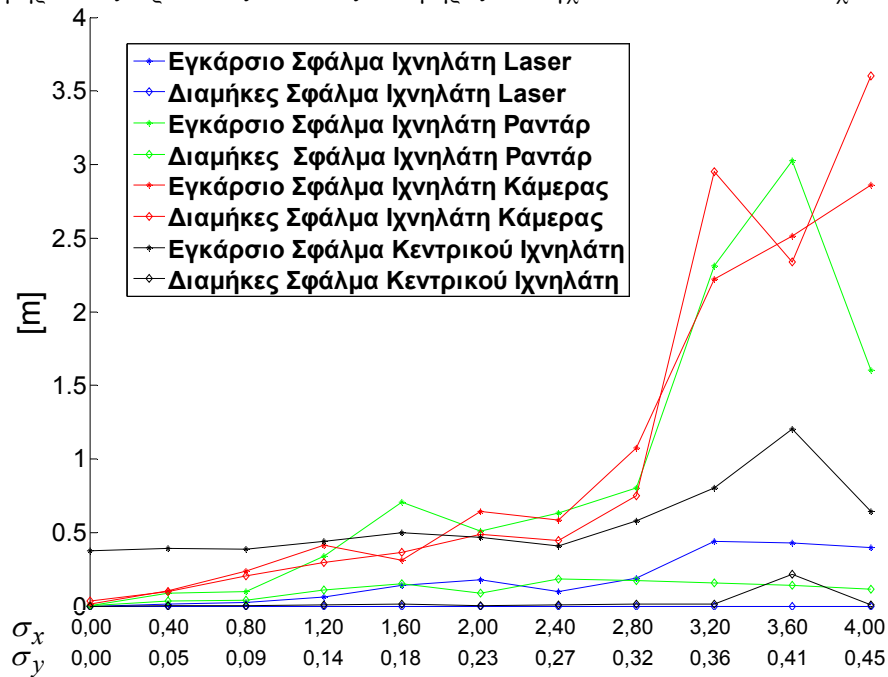
Τα αποτελέσματα από πραγματικές δοκιμές έδειξαν ότι η ιχνηλασία κεντρικού επιπέδου είναι δυνατόν να διατηρήσει ένα ίχνος ακόμα και εάν αυτό δεν εντοπίζεται συστηματικά από κάποιο αισθητήρα ή σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν καθόλου μετρήσεις για ένα στόχο για ένα ορισμένο αριθμό σαρώσεων. Επίσης σε περιπτώσεις που η ιχνηλασία της κάμερας έδινε ένα θορυβώδες ίχνος με συχνές αλλαγές ID ο αλγόριθμος ιχνηλασίας κεντρικού επιπέδου ύστερα από την σύντηξη με το αντίστοιχο ίχνος του σαρωτή laser, παρείχε ένα ίχνος με αμετάβλητο ID και σταθερή εκτίμηση. Ωστόσο σε περιπτώσεις που ένας στόχος εντοπίζεται μόνο από την κάμερα και όταν αυτός βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση, η ποιότητα της εκτίμησης μεταβάλλεται με τις συνθήκες φωτισμού και την ικανότητα εκτίμησης της απόστασης από τον αισθητήρα. Οι ψευδείς συναγερμοί απορρίπτονται στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων όταν πρόκειται για τυχαίες μετρήσεις. Σε περιπτώσεις όμως συστηματικών μετρήσεων (πχ λόγω ανακλάσεων από το έδαφος), η απόρριψη των ψευδών συναγερμών εξαρτάται από τον αλγόριθμο διαχείρισης ιχνών. Αυξάνοντας τον αριθμό των σαρώσεων έως ότου επιβεβαιωθεί ένα ίχνος, οι ψευδείς συναγερμοί μειώνονται, ωστόσο η επιβεβαίωση ενός πραγματικού στόχου καθυστερεί σημαντικά.

2.7.2.2 Προσομοιώσεις

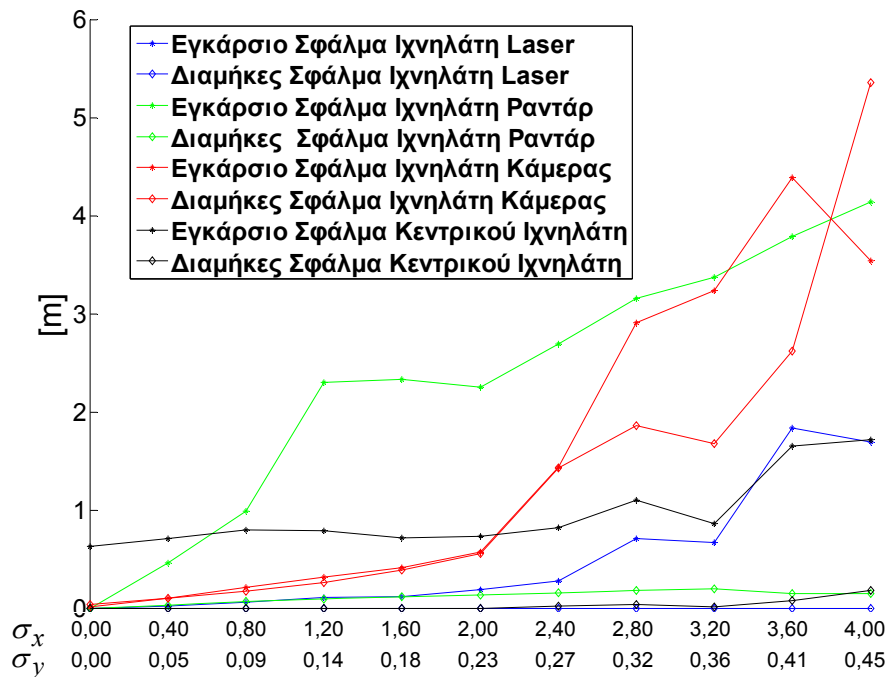
Για την αξιολόγηση του προτεινόμενου αλγόριθμου χρησιμοποιήθηκαν τρία προσομοιωμένα σενάρια. Στο πρώτο, ένα όχημα κινείται στην αριστερή λωρίδα και ακολούθως προσπερνά το ίδιο όχημα και μεταβαίνει στην ίδια λωρίδα με αυτό. Στο δεύτερο σενάριο, τρεις στόχοι κινούνται στην αριστερή λωρίδα και ένας μπροστά από το ίδιο όχημα και ακολούθως όλοι οι στόχοι απομακρύνονται. Στο τελευταίο σενάριο, τέσσερις στόχοι (τρεις στην αριστερή λωρίδα και ένας μπροστά από το ίδιο όχημα) κινούνται σε ένα σενάριο κυκλοφοριακής συμμόρφωσης. Στις προσομοιωμένες μετρήσεις προστέθηκε λευκός θόρυβος. Για κάθε σενάριο, έγιναν έντεκα εκτελέσεις του αλγόριθμου για διαφορετικά επίπεδα θορύβου την κάθε φορά. Η τυπική απόκλιση του θορύβου για την μέτρηση στον εγκάρσιο άξονα ήταν από 0 έως 5 μέτρα και για τον πλευρικό άξονα από 0 έως 0.5 μέτρα. Γενικά αυτές οι τιμές θεωρούνται υψηλές για έναν αυτοκινητιστικό αισθητήρα, ωστόσο σκοπός των προσομοιώσεων είναι η ανάλυση της απόδοσης του συστήματος καθώς αυξάνονται τα επίπεδα θορύβου. Επίσης για κάθε αισθητήρα τα επίπεδα θορύβου ήταν διαφορετικά, καθώς στις πραγματικές δοκιμές κάθε αισθητήρας παρουσίαζε διαφορετικό θόρυβο μέτρησης. Για παράδειγμα ο σαρωτής laser παρατηρήθηκε ότι εμφανίζει τα μικρότερα επίπεδα θορύβου και η κάμερα τα μεγαλύτερα.

Στην Εικόνα 2-28 έως Εικόνα 2-30 παρουσιάζονται τα σφάλματα των τοπικών και του κεντρικού αλγόριθμου ιχνηλασίας. Η πρώτη παρατήρηση είναι ότι όπως αναμενόταν καθώς το σφάλμα εκτίμησης αυξάνεται η ακρίβεια της εκτίμησης είναι μειούμενη. Επίσης στο σενάριο συμμόρφωσης εμφανίζεται το μεγαλύτερο σφάλμα εκτίμησης. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η σχετική απόσταση μειώνεται και αυξάνεται συνεχώς, κατάσταση που είναι ιδιαίτερα απαιτητική για τον αλγόριθμο συσχέτισης εάν ληφθούν υπ' όψιν και τα υψηλά ποσοστά θορύβου. Επίσης ο τοπικός ιχνηλάτης εμφανίζει τα μεγαλύτερα σφάλματα επειδή οι μετρήσεις που παρέχει περιέχουν μόνο απόστασης καθώς επίσης και επειδή οι μετρήσεις αυτές έχουν σχετικά τα μεγαλύτερα ποσοστά θορύβου. Μία ακόμα σημαντική παρατήρηση είναι ότι τα σφάλματα του αλγόριθμου κεντρικής ιχνηλασίας είναι μεγαλύτερα από εκείνα της τοπικής ιχνηλασίας του σαρωτή laser. Αυτό συμβαίνει διότι όταν ο στόχος βρίσκεται στο πλάι του ίδιου οχήματος το σφάλμα του κεντρικού ιχνηλάτη είναι ίδιο με εκείνο του τοπικού αλγόριθμου ιχνηλασίας του ραδιοεντοπιστή, αφού ο στόχος εντοπίζεται μόνο από αυτόν τον αισθητήρα. Επίσης, όταν ο στόχος βρίσκεται μπροστά, η εκτίμηση του

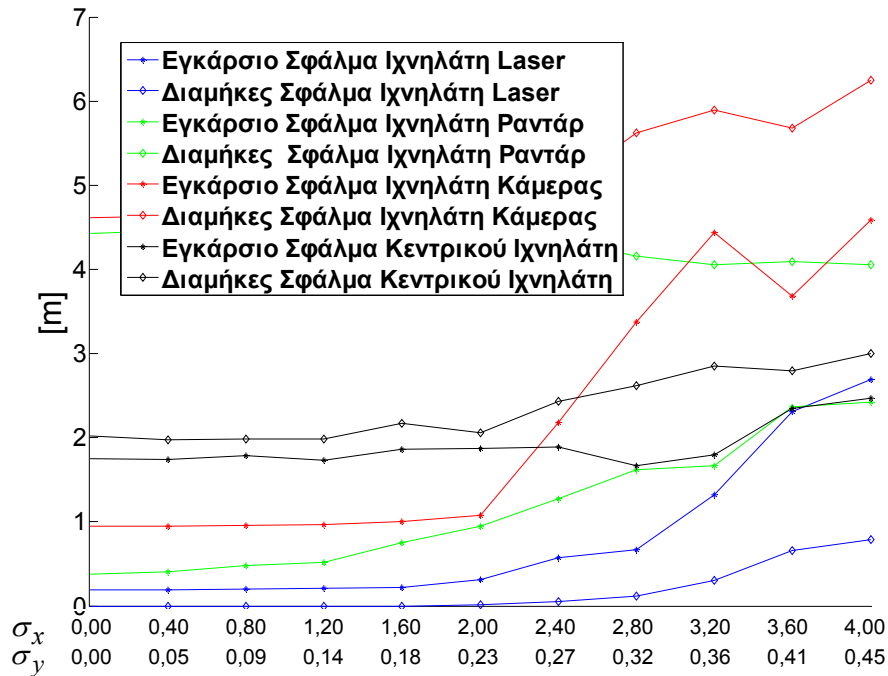
κεντρικούς ίχνους είναι αποτέλεσμα της σύντηξης των ίχνων του σαρωτή Laser και της κάμερας. Συνεπώς, αφού η εκτίμηση της κάμερας είναι χειρότερη, είναι επόμενο η συντηγμένη εκτίμηση να είναι λιγότερο ακριβής. Αν και αυτό φαίνεται ως ένα μειονέκτημα της αρχιτεκτονικής σε σχέση με τη χρήση ενός μόνο αισθητήρα, στην πραγματικότητα το σφάλμα της εκτίμησης του κεντρικούς ίχνους είναι κατά μέσο όρο 0.5 μέτρα περισσότερο από εκείνης του τοπικού ίχνους του σαρωτή Laser. Συνεπώς αυτό είναι ένα μικρό τίμημα για την αξιοπιστία που προσφέρει η χρήση πλεοναζόντων αισθητήρων στις περιπτώσεις όπου ένας αισθητήρας αποτυγχάνει να εντοπίσει ένα στόχο.



Εικόνα 2-28 Σφάλματα Ιχνηλασίας Σεναρίου 1



Εικόνα 2-29 Σφάλματα Ιχνηλασίας Σεναρίου 2



Εικόνα 2-30 Σφάλματα Ιχνηλασίας Σεναρίου 3

Στους πίνακες 2-2 έως 2-4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των απωλειών και της διαθεσιμότητας ίχνους του κάθε ιχνηλάτη. Με τον όρο διαθεσιμότητα ίχνους ορίζεται ο αριθμός των σαρώσεων που ένας στόχος εξήχθη ως επιβεβαιωμένο ίχνος προς τον αριθμό των σαρώσεων που ο στόχος ήταν ορατός από ένα τουλάχιστον αισθητήρα. Οι απώλειες ίχνους αναπαριστούν πόσες φορές χάνεται ένα ίχνος που αναπαριστά ένα στόχο και αρχικοποιείται ως νέο ίχνος. Παρατηρώντας τους πίνακες το πρώτο συμπέρασμα είναι η χαμηλή διαθεσιμότητα του ίχνους του πλευρικού ραδιοεντοπιστή λόγω της περιορισμένης κάλυψης του αισθητήρα. Επιπρόσθετα, η ιχνηλασία κεντρικού αισθητήρα εμφανίζει τουλάχιστον τον ίδιο αριθμό απωλειών ίχνους με τον ιχνηλάτη του ραδιοεντοπιστή. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι ο εντοπισμός στο πλάι του αυτοκινήτου βασίζεται μόνο στο ραδιοεντοπιστή. Συνεπώς αφού δεν υπάρχουν επικαλυπτόμενοι αισθητήρες στη περιοχή αυτή, η ιχνηλασία κεντρικού επιπέδου δεν μπορεί να διατηρήσει το ίχνος χρησιμοποιώντας έναν άλλο αισθητήρα. Το ίδιο συμβαίνει και στην εμπρόσθια περιοχή όπου καλύπτεται μόνο από τον σαρωτή laser. Ωστόσο η κρίσιμη περιοχή για την εφαρμογή είναι εμπροσθεν του οχήματος όπου υπάρχουν επικαλυπτόμενα πεδία εντοπισμού από την κάμερα και τον σαρωτή laser, συνεπώς όταν ένας από τους δύο αισθητήρες δεν εντοπίσει ένα στόχο τότε ο πλεονάζων αισθητήρας πιθανότατα να έχει εντοπίσει το στόχο. Η σημαντικότερη παρατήρηση που προκύπτει από τα αποτελέσματα είναι η αυξημένη διαθεσιμότητα ίχνων που παρέχει η ιχνηλασία κεντρικού επιπέδου σε σχέση με την ιχνηλασία τοπικού επιπέδου. Αυτό αποδεικνύει το πλεονέκτημα που παρέχει η χρήση πλεονάζοντων αισθητήρων.

Θόρυβος		Σενάριο 1							
		Laser		Ραδιοεντοπιστής		Κάμερα		Κεντρική	
x	y	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους
0.00	0.00	94.10%	0	7.41%	0	45.39%	0	100.30%	0
0.40	0.05	94.10%	0	7.41%	0	45.39%	0	100.30%	0
0.80	0.09	94.10%	0	7.41%	0	45.39%	0	100.30%	0
1.20	0.14	94.10%	0	7.41%	0	45.39%	0	100.30%	0
1.60	0.18	94.10%	0	7.41%	0	45.39%	0	100.30%	0
2.00	0.23	94.10%	0	7.26%	0	45.39%	0	100.30%	0
2.40	0.27	94.10%	0	7.41%	0	45.39%	0	100.30%	0
2.80	0.32	96.97%	1	7.26%	1	45.39%	0	100.00%	3
3.20	0.36	100.00%	1	8.93%	7	45.23%	6	100.00%	8
3.60	0.41	94.10%	0	7.26%	2	41.15%	2	100.00%	2
4.00	0.45	100.00%	2	7.11%	5	45.23%	4	100.00%	8

Πίνακας 2-2 Αποτελέσματα ιχνηλασίας σεναρίου 1

Θόρυβος		Σενάριο 2							
		Laser		Ραδιοεντοπιστής		Κάμερα		Κεντρική	
x	y	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους
0.00	0.00	84.65%	0	6.64%	0	45.37%	0	88.14%	0
0.40	0.05	84.65%	0	6.64%	0	45.37%	0	88.80%	1
0.80	0.09	84.65%	0	6.64%	0	45.37%	0	90.31%	3
1.20	0.14	84.65%	0	6.64%	0	45.37%	0	89.26%	2
1.60	0.18	84.65%	0	6.61%	0	45.37%	0	89.67%	5
2.00	0.23	84.65%	0	6.53%	0	45.45%	1	88.95%	4
2.40	0.27	84.42%	0	6.49%	1	46.12%	7	89.91%	7
2.80	0.32	87.76%	3	6.31%	7	46.72%	11	93.61%	14
3.20	0.36	88.06%	3	6.23%	5	48.31%	13	92.74%	9
3.60	0.41	100.00%	8	6.12%	8	46.44%	15	100.00%	18
4.00	0.45	100.00%	10	6.01%	9	46.50%	24	100.00%	25

Πίνακας 2-3 Αποτελέσματα ιχνηλασίας σεναρίου 2

Θόρυβος		Σενάριο 3							
		Laser		Ραδιοεντοπιστής		Κάμερα		Κεντρική	
x	y	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους	Διαθεσιμότητα	Απώλειες Ίχνους
0.00	0.00	55.60%	0	16.34%	2	55.60%	0	79.06%	2
0.40	0.05	55.60%	0	16.38%	2	55.60%	0	78.82%	2
0.80	0.09	55.60%	0	16.54%	3	55.60%	0	78.72%	3
1.20	0.14	55.60%	0	16.70%	3	55.60%	0	79.08%	3
1.60	0.18	55.60%	0	16.80%	3	55.58%	0	78.78%	3
2.00	0.23	55.46%	0	16.44%	3	55.48%	0	78.20%	3
2.40	0.27	55.18%	0	16.22%	4	58.80%	5	78.68%	4
2.80	0.32	54.94%	2	16.04%	4	57.64%	8	77.68%	5
3.20	0.36	58.18%	10	15.00%	4	61.26%	11	78.10%	9
3.60	0.41	65.60%	16	15.22%	4	60.56%	8	83.12%	12
4.00	0.45	69.96%	16	14.94%	5	54.48%	12	84.52%	13

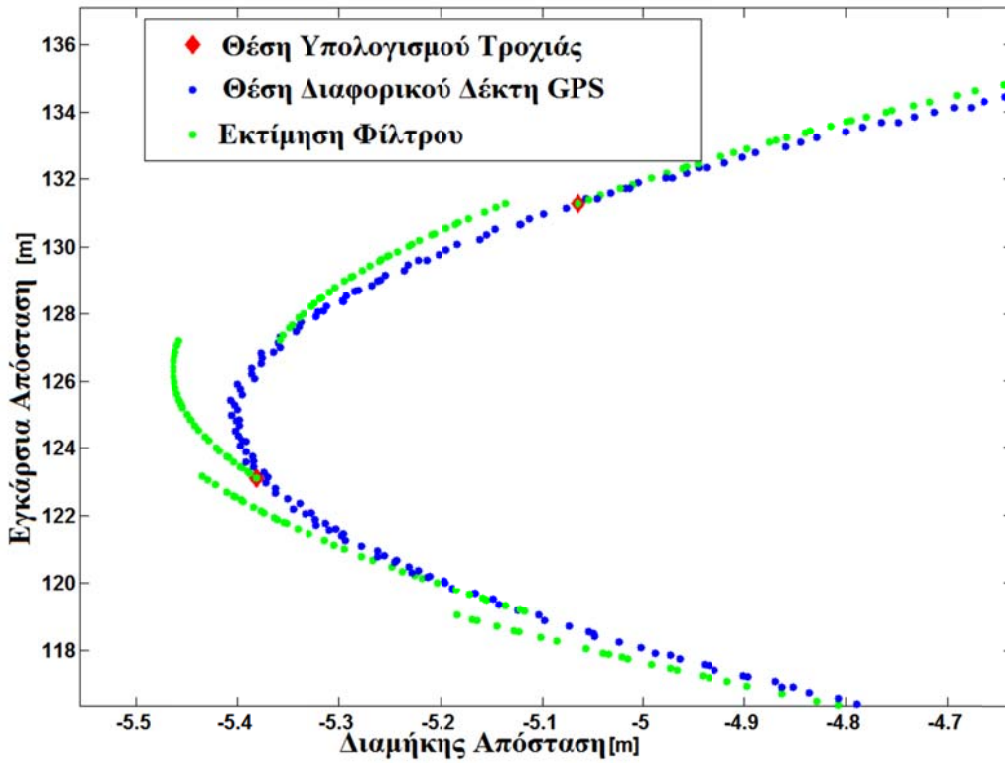
Πίνακας 2-4 Αποτελέσματα ιχνηλασίας σεναρίου 3

Το τελικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα προσομοιωμένα σενάρια είναι το πλεονέκτημα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής ιχνηλασίας και ο λόγος που επιλέχθηκε είναι ότι η πλεονάζουσα πληροφορία εξασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος αντίληψης οδικού περιβάλλοντος σε περίπτωση αστοχίας ενός αισθητήρα. Αποδείχθηκε επίσης ότι η ιχνηλασία κεντρικού επιπέδου παρέχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα ίχνους σε σχέση με την ιχνηλασία τοπικού επιπέδου. Τέλος, το μειονέκτημα είναι το αυξημένο σφάλμα σε σχέση με τον πιο αξιόπιστο αισθητήρα, που σε αυτή τη περίπτωση είναι ο σαρωτής laser.

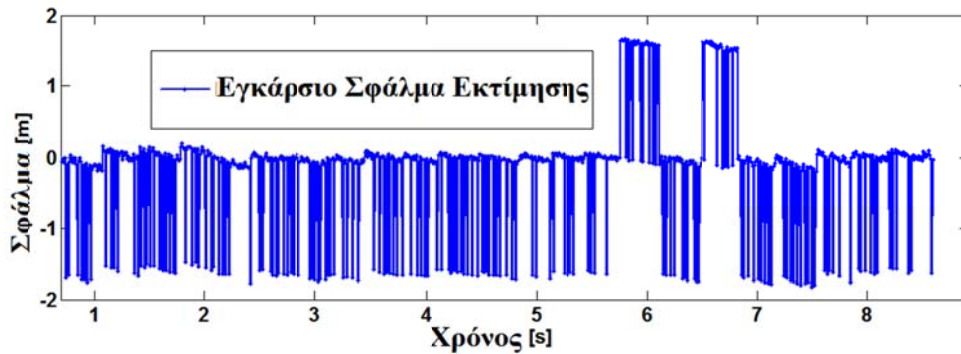
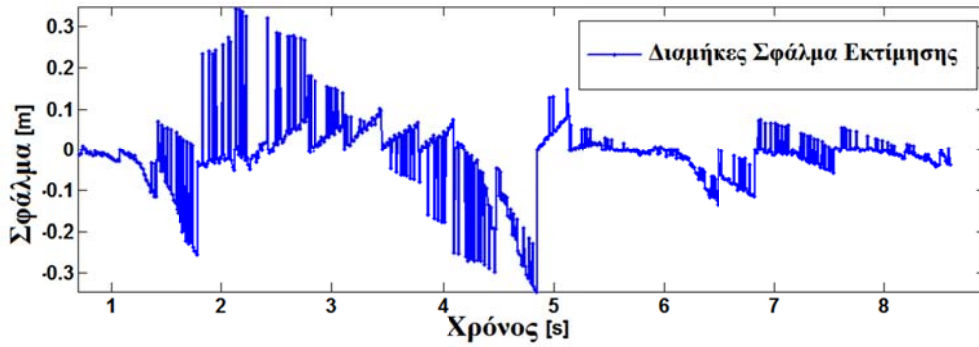
2.7.3 Εκτίμηση Σχετικής Θέσης

Για τον υπολογισμό της ακρίβειας του αλγόριθμου φίλτρου εκτίμησης χρησιμοποιήθηκε ένας διαφορικός δέκτης GPS του οποίου η εκτίμηση θέσης χρησιμοποιήθηκε ως μέτρηση αναφοράς (Εικόνα 2 17). Τα αποτελέσματα της σύγκρισης φαίνονται στην Εικόνα 2 18. Το μέγιστο πλευρικό

σφάλμα είναι της τάξης των 30cm και το εγkάρσιο σφάλμα εκτίμησης δεν ξεπερνά τα 2 μέτρα.



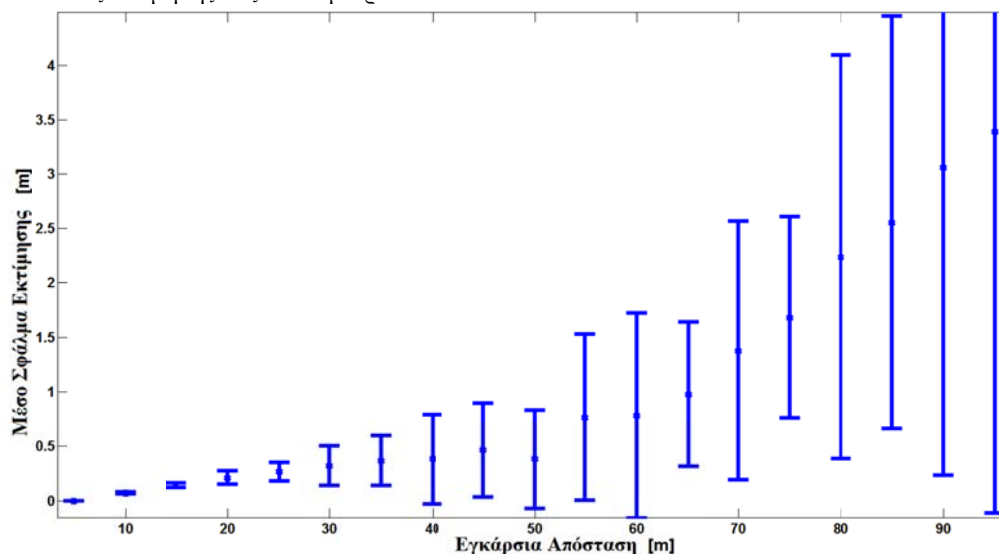
Εικόνα 2-31 Συγκριτικό γράφημα της θέσης από το διαφορικό δέκτη GPS και την έξοδο του φίλτρου εκτίμησης σχετικής θέσης



Εικόνα 2-32 Σφάλμα εκτίμησης αλγορίθμου υπολογισμού σχετικής θέσης

2.7.4 Εκτίμηση Λωρίδων

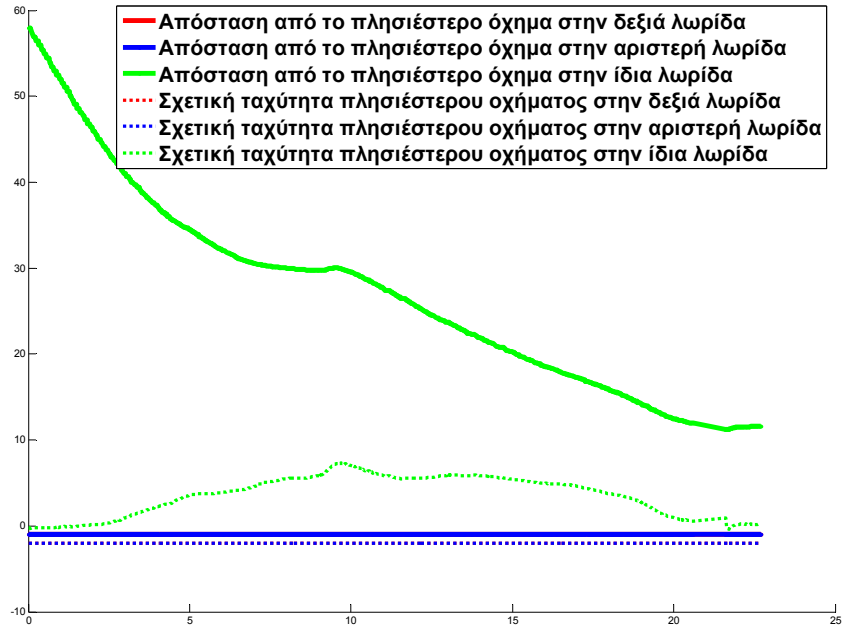
Για την εκτίμηση της ακριβείας της εκτίμησης της γεωμετρίας των λωρίδων χρησιμοποιήθηκε ένας χάρτης υψηλής ακριβείας σε συνδυασμό με ένα διαφορικό δέκτη GPS. Σαν γεωμετρία αναφοράς των χρησιμοποιήθηκε η γεωμετρία του ψηφιακού χάρτη που έχει ακρίβεια της τάξης 30 εκατοστών, με την προϋπόθεση ότι η εκτίμηση θέσης είναι πολύ ακριβής κάτι που στην περίπτωση μας παρέχεται από τον διαφορικό δέκτη GPS που δίνει ακρίβεια θέσης της τάξης των 2 εκατοστών. Η γεωμετρία που υπολογίζονταν με βάση το φίλτρο και περιγράφηκε στην παράγραφο 2.4 συγκρίθηκε με τη γεωμετρία αναφοράς του ψηφιακού χάρτη. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 2-33. Παρατηρούμε ότι το μέσο σφάλμα εκτίμησης παραμένει κάτω από 1.5 μέτρα για αποστάσεις εκτίμησης έως τα 65 μέτρα.



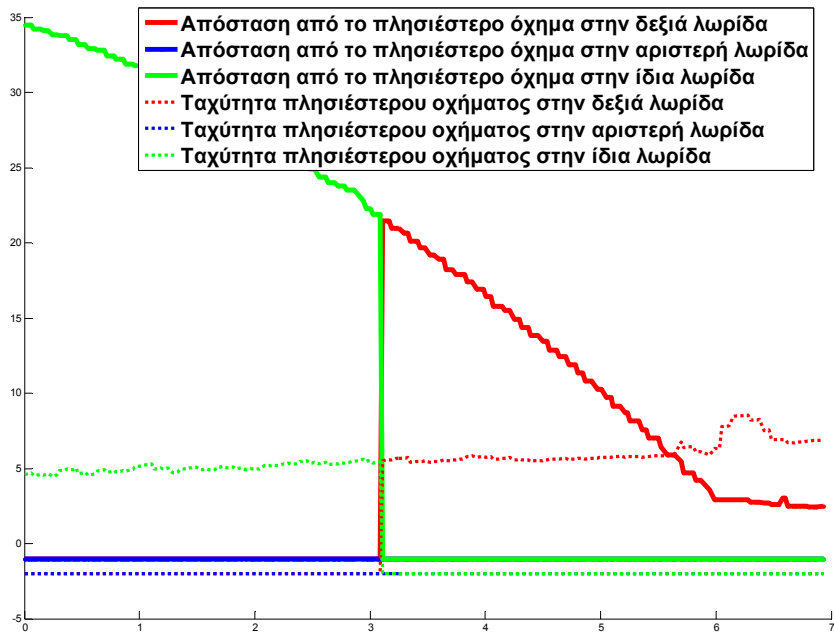
Εικόνα 2-33 Σφάλμα εκτίμησης πλευρικής απόστασης από τη λωρίδα

2.7.5 Ανάθεση Ιχνών σε Λωρίδες

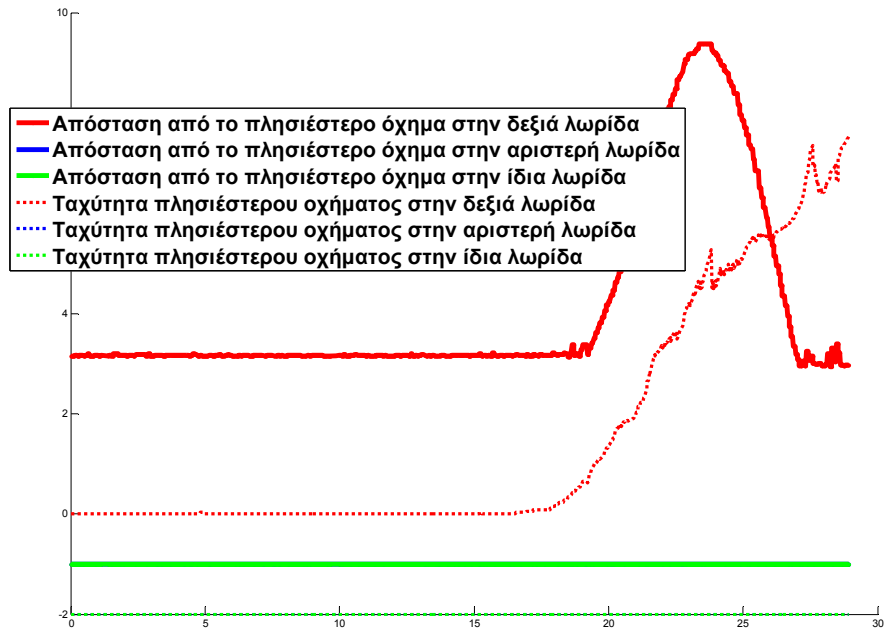
Η ανάθεση των ιχνών στις λωρίδες αποτελεί μία κρίσιμη παράμετρο στο σύστημα ιχνηλασίας. Μία εσφαλμένη ανάθεση λωρίδας μπορεί να σημαίνει είτε ότι το όχημα θα επιβραδύνει για κάποιο ίχνος που εσφαλμένα ανατέθηκε στην ίδια λωρίδα ή σε χειρότερη περίπτωση θα αγνοήσει ένα ίχνος που βρίσκεται στην ίδια λωρίδα με το ίδιο όχημα. Για την αξιολόγηση της ανάθεσης ιχνών σε λωρίδες χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος διαγράμματος. Σε κάθε χρονική στιγμή υπολογίζεται η απόσταση από κοντινότερο αντικείμενο σε κάθε λωρίδα καθώς και η ταχύτητά του. Με πράσινο απεικονίζεται η απόσταση από το κοντινότερο ίχνος στην ίδια λωρίδα, με κόκκινο η απόσταση από το κοντινότερο ίχνος στην δεξιά λωρίδα και με κίτρινο η απόσταση από το κοντινότερο ίχνος στην αριστερή λωρίδα. Με διακεκομμένη γραμμή απεικονίζεται η ταχύτητα του αντίστοιχου ίχνους. Εάν δεν υπάρχει κάποιο ίχνος η τιμή της απόστασης τίθεται ίση με -1 για την αντίστοιχη λωρίδα. Τυχόν ψευδείς συναγερμοί θα απεικονίζονται σαν αιχμές στο διάγραμμα. Επίσης με αυτό το διάγραμμα είναι δυνατόν να αναγνωριστούν ταλαντώσεις στην ανάθεση λωρίδας.



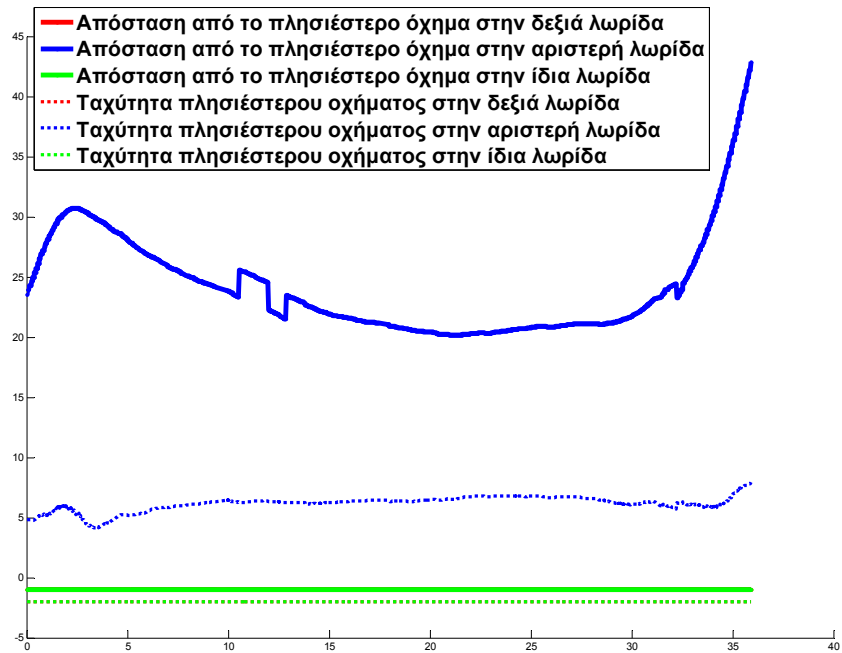
Εικόνα 2-34 Διάγραμμα ανάθεσης λωρίδας σε σενάριο όπου το ίδιο όχημα ακολουθεί ένα προπορευόμενο αυτοκίνητο



Εικόνα 2-35 Διάγραμμα ανάθεσης λωρίδας σε σενάριο όπου το ίδιο όχημα αλλάζει λωρίδα και προσπερνά ένα προπορευόμενο αυτοκίνητο



Εικόνα 2-36 Διάγραμμα ανάθεσης λωρίδας σε σενάριο όπου το ίδιο όχημα προσπερνά ένα άλλο όχημα που βρίσκεται στη δεξιά λωρίδα



Εικόνα 2-37 Διάγραμμα ανάθεσης λωρίδας σε σενάριο αποφυγής προσπέρασης από τα δεξιά.

2.7.6 Χρόνος Εκτέλεσης-Σύστημα Πραγματικού Χρόνου

Σε ένα σύστημα ασφάλειας πάρα πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο χρόνος εκτέλεσης του αλγόριθμου. Καθυστερήσεις στο σύστημα σύντηξης δεδομένων θα έχει ως συνέπεια τα υπόλοιπα υποσυστήματα να δουλεύουν με μία περιγραφή του οδικού περιβάλλοντος που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Επίσης εάν ο χρόνος εκτέλεσης ξεπεράσει τη συχνότητα κλήσης του αλγορίθμου αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απρόβλεπτες καταστάσεις, ειδικά εάν δεν χρησιμοποιείται παράλληλη επεξεργασία μεταξύ των υποσυστημάτων.

Για την αξιολόγηση των χρόνων εκτέλεσης των αλγορίθμων που παρουσιάστηκαν χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό. Το σενάριο που εκτελέστηκε ήταν διάρκειας 5 λεπτών σε περιβάλλον έντονης κυκλοφοριακής συμφόρησης σε αυτοκινητόδρομο. Τέτοιες συνθήκες αποτελούν την χειρότερη δυνατή κατάσταση που καλείται να αντιμετωπίσει το σύστημα ιχνηλασίας λόγω του μεγάλου πλήθους των στόχων.

Αλγόριθμος	Μέγιστος Χρόνος Εκτέλεσης (ms)	Μέσος Χρόνος Εκτέλεσης (ms)
Ιχνηλασία Οπτικού Αισθητήρα	1.68	0.26
Ιχνηλασία Κεντρικού Επιπέδου	7.164	1.67
Ιχνηλασία Σαρωτή Laser	23.948	2.6
Ιχνηλασία Πλευρικού Ραδιοεντοπιστή	0.48	0.2
Εκτίμηση κατάστασης ίδιου οχήματος	0.356	0.08
Εκτίμηση γεωμετρίας λωρίδων	0.226	0.04

Πίνακας 2-5 Αποτελέσματα χρόνου εκτέλεσης των αλγορίθμων της μονάδας σύντηξης δεδομένων.

Στον Πίνακα 2-5 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των χρόνων εκτέλεσης. Η χειρότερη περίπτωση υπολογίζεται εάν αθροίσουμε τον μέγιστο χρόνο εκτέλεσης κάθε αλγόριθμου, που μας δίνει 35 ms. Η συχνότητα κλήσης της μονάδας σύντηξης δεδομένων είναι 80 ms, συνεπώς ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου δεν κινδυνεύει να υπερβεί τη συχνότητα κλήσης.

2.8 Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα

Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε παρουσίαση μίας προτεινόμενης αρχιτεκτονικής ενός συστήματος αντίληψης οδικού περιβάλλοντος σε εφαρμογές αυτοματοποιημένης οδήγησης. Κύριος στόχος ήταν η υλοποίηση ενός συστήματος αξιόπιστου και ανθεκτικού σε σφάλματα. Αρχικά έγινε μία εισαγωγική παρουσίαση σχετικά με την εισαγωγή αυτοματισμών σε καθημερινά οχήματα. Ακολούθως παρουσιάστηκε η γενική αρχιτεκτονική ενός τέτοιου συστήματος και στη συνέχεια η αρχιτεκτονική του οχήματος που χρησιμοποιήθηκε. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάστηκαν οι προτεινόμενες μέθοδοι ιχνηλασίας και εκτίμησης λωρίδων στις οποίες γίνεται χρήση πλεοναζόντων αισθητήρων. Η ιχνηλασία αντικειμένων βασίστηκε σε μία αρχιτεκτονική δύο επιπέδων. Με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε αντιμετωπίζονται τα προβλήματα διασύνδεσης ιχνών επικαλυπτόμενων αισθητήρων καθώς και το πρόβλημα της διατήρησης του ίχνους όταν αυτό κινείται και εντοπίζεται διαδοχικά από διαφορετικούς αισθητήρες. Η εκτίμηση των λωρίδων πραγματοποιείται με τη χρήση τριών διαφορετικών φίλτρων που βασίζονται σε ισάριθμους διαφορετικούς αισθητήρες. Τέλος παρουσιάζονται τα φίλτρα εκτίμησης κατάστασης ίδιου οχήματος και εκτίμησης σχετικής θέσης. Στην παράγραφο των αποτελεσμάτων έγινε παρουσίαση της επίδοσης των αλγορίθμων σε προσομοιωμένα και πραγματικά σενάρια. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διάφορων παραμέτρων όπως η ανοχή στο θόρυβο μέτρησης, το σφάλμα εκτίμησης και η διατήρηση ίχνους. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν το πλεονέκτημα που προσφέρει η συγκεκριμένη τοπολογία αισθητήρων καθώς και η προτεινόμενη αρχιτεκτονική σύντηξης δεδομένων στην αξιοπιστία και την ακρίβεια εκτίμησης.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος αυτού του κεφαλαίου ανέδειξε τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στην αντίληψη του οδικού περιβάλλοντος μία τοπολογία πολλαπλών αισθητήρων. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν ως πρωταρχικό σκοπό την αξιοπιστία, την εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο καθώς και την εύκολη παραμετροποίησή τους. Συνεπώς η ιχνηλασία αντικειμένων για παράδειγμα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου του κοντινότερου γείτονα, ενώ η εκτίμηση της γεωμετρίας των λωρίδων έγινε με χρήση φίλτρων Kalman. Στα επόμενα κεφάλαια της διατριβής γίνεται ανάλυση εξελιγμένων μεθόδων ιχνηλασίας και εφαρμογή τους σε πραγματικά συστήματα

ανίχνευσης αντικειμένων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι δυνατή η χρήση των αλγορίθμων σε ένα αυτοματοποιημένο όχημα το οποίο οδηγείται αυτόνομα χωρίς την παρέμβαση του οδηγού. Σαφώς, η εμπορική εισαγωγή ενός τέτοιου συστήματος είναι απέχει ακόμα τουλάχιστον μία δεκαετία καθώς απαιτείται ακόμα εξέλιξη όλων των επιμέρους υποσυστημάτων καθώς και μορφοποίηση του υπάρχοντος νομικού καθεστώτος.

- [1] Flemisch, F. Nashashibi, F., Glaser, S.; Rauch, N; Temme, T., Resende, P., Vanholme, B.; Schieben, A.; Löper, C., Thomaidis, G.; Kaussner, A.: Towards a Highly Automated Driving: Intermediate report on the HAVEIt-Joint System; Transport Research Arena, Brussels, 2010
- [2] The Vienna Convention for Road Traffic, United Nations, Vienna, November 1968
- [3] International Harmonized Research Activities (IHRA) Working Group on ITS, Design Principles for Advanced Driver Assistance Systems: Keeping Drivers In-the-Loop, November 2010
- [4] D.P. Bertsekas, Linear Network Optimization: Algorithms and Codes, The MIT Press, Cambridge, Mass., 1991.
- [5] A Comparison of Several Different Approaches for Target Tracking With Clutter
A Comparison of Several Different Approaches for Target Tracking With Clutter
(sympplrws ta ypoloipa)
- [6] David L. Hall, Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion, Artech House, Boston-London, 1992
- [7] Bar-Shalom, Y.; Campo, L.: "The effect of the common process noise on the two-sensor fused-track covariance", IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-22, Nov. 1986, pp. 803-805.
- [8] Bar-Shalom, "On the track-to-track correlation problem", IEEE Transactions on Automatic Control (1981), Volume: 26, Issue: 2, 571-572,
- [9] C. Gackstatter, P. Heinemann, S. Thomas, G. Klinker, Stable Road Lane Model Based on Clothoids, Advanced Microsystems for Automotive Applications Springer, 2010, Part 3, 133-143
- [10] E. D. Dickmanns, B. D. Mysliwetz, "Recursive 3-D road and relative ego-state recognition", IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 14, no. 2, pp. 199-213, 1992.
- [11] M. Tsogas, A. Polychronopoulos, and A. Amditis.. "Unscented Kalman Filter Design for Automotive Safety Applications" In Proc. 8th International Conference on Information Fusion, pages 1295–1302. IEEE, 2005
- [12] Rong Li, X., Jilkov, V.P., Survey of maneuvering target tracking. Part I. Dynamic models, "IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems (Oct 2003), Volume: 39, Issue: 4, 1333-1364

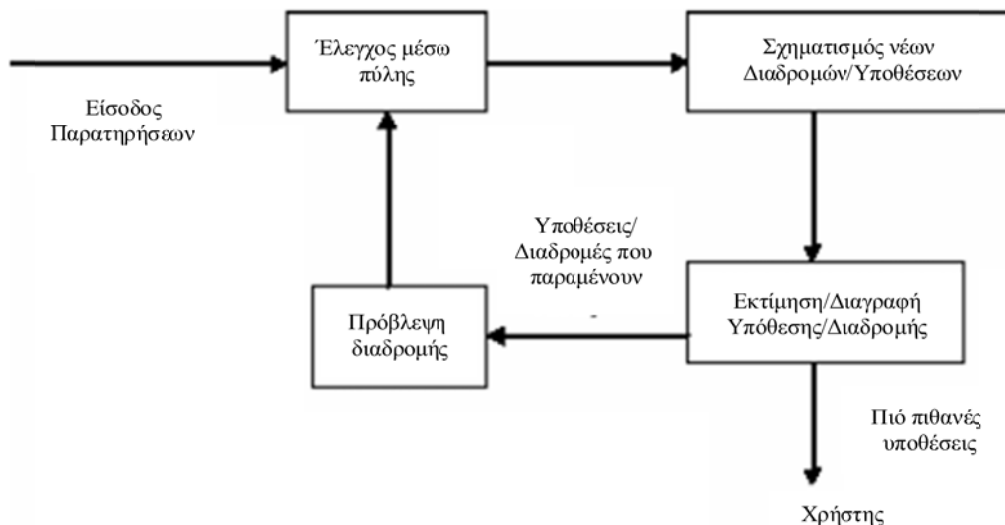
3 Ιχνηλάτηση Πολλαπλών Υποθέσεων (Multiple Hypothesis Tracking –MHT)

Από τα πρώτα βήματα της ανάπτυξης των τεχνικών ιχνηλάτησης είχε διαπιστωθεί ότι η λανθασμένη συσχέτιση μπορεί να αντιπροσωπευθεί από έναν επιπλέον παράγοντα σφάλματος στο φίλτρο Kalman [3.3.5.2-[3]]. Μια πρόταση για τη βελτίωση της τεχνικής GNN ήταν η αύξηση της τιμής του πίνακα συν-διακύμανσης του φίλτρου Kalman ώστε να μοντελοποιείται αυτή η επιπλέον πηγή αβεβαιότητας [3.3.5.2,[2]]. Μια παρόμοια μέθοδος, βασισμένη στο έργο του R.Fitzgerald [4], μειώνει το κέρδος του φίλτρου Kalman για συνθήκες αβεβαιότητας κατά τη συσχέτιση.

Η τεχνική GNN και η τεχνική JPDA αυξάνουν την τιμή του πίνακα συνδιακύμανσης του φίλτρου Kalman για να αντιμετωπίσουν την αβεβαιότητα της συσχέτισης. Ωστόσο, όπως έχει παρουσιαστεί στο [5], η αύξηση της τιμής του πίνακα συνδιακύμανσης του φίλτρου Kalman μπορεί να επιδεινώσει το πρόβλημα της συσχέτισης οδηγώντας στη συσχέτιση πολύ περισσότερων εσφαλμένων παρατηρήσεων μέσα στα όρια της πύλης. Επίσης, η μέθοδος JPDA πάσχει από προβλήματα συγχώνευσης, αφού πολύ κοντινά τοποθετημένοι στόχοι τείνουν να συγχωνευτούν με το συνδυασμό πολύ κοντινών μετρήσεων μεταξύ τους.

Τα προβλήματα που έχουν προκύψει από τη σχετικά μικρή βελτίωση της τεχνικής GNN και η σύγχρονη τεράστια βελτίωση στις υπολογιστικές δυνατότητες έχουν οδηγήσει σε μία καθολική αποδοχή της τεχνικής ιχνηλάτησης πολλαπλών υποθέσεων (Multiple Hypothesis Tracking – MHT), ως της προτιμώμενης μεθόδου συσχέτισης δεδομένων των σύγχρονων συστημάτων. Η τεχνική MHT αποτελεί μία διαφορετική λογική στην οποία δημιουργούνται υποθέσεις για διαφορετικές συσχετίσεις παρατηρήσεων με ίχνη όποτε υπάρχει αβεβαιότητα. Τότε, αντί να επιλέγει την καλύτερη υπόθεση ή να συνδυάζει τις υποθέσεις, όπως συμβαίνει στη μέθοδο JPDA, οι υποθέσεις διαδίδονται σε μελλοντικές σαρώσεις (χρονικές στιγμές) αναμένοντας οι επόμενες παρατηρήσεις να επιλύσουν την αβεβαιότητα της συσχέτισης.

Η ιχνηλάτηση χρησιμοποιεί μία λογική βάσει της οποίας σχηματίζονται εναλλακτικές υποθέσεις συσχετισμού δεδομένων, όταν υπάρχουν καταστάσεις συγκρούσεων παρατηρήσεων-ιχνών. Έτσι αντί να συνδυάζονται οι υποθέσεις αυτές όπως στη μέθοδο JPDA, οι υποθέσεις διαδίδονται στο χρόνο περιμένοντας ότι τα επόμενα δεδομένα θα ξεκαθαρίσουν την οποιαδήποτε αβεβαιότητα. Ο τρόπος με τον οποίο η MHT σχηματίζει πολλαπλές υποθέσεις και διαχειρίζεται αυτές τις υποθέσεις φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (Εικόνα 3-1):



Εικόνα 3-1 Βασικά στοιχεία ιχνηλασίας MHT

Είναι φανερό ότι ένα σύστημα MHT μπορεί να παράγει μια έκρηξη συνδυασμών όσον αφορά τον αριθμό των υποθέσεων (και των ιχνών μέσα από τις υποθέσεις αυτές). Για αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί κάποιες τεχνικές, όπως ομαδοποίηση, διαγραφή υποθέσεων και ιχνών και συγχώνευση

ιχνών, ώστε να διατηρείται υπό έλεγχο η αύξηση αυτή. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί σε ξεχωριστή ενότητα η εφαρμογή των τεχνικών ομαδοποίησης για την βελτιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης.

Υπάρχουν δυο βασικές προσεγγίσεις για την υλοποίηση της ΜΗΤ. Στην πρώτη προσέγγιση (προσανατολισμένη στις υποθέσεις) διατηρείται η δομή των υποθέσεων από σάρωση σε σάρωση, επεκτείνοντας και διαγράφοντας συνεχώς υποθέσεις καθώς λαμβάνονται νέα δεδομένα. Σε κάθε σάρωση, μεταφέρεται από την προηγούμενη σάρωση ένα σύνολο υποθέσεων, το οποίο αποτελείται από ένα ή περισσότερα ίχνη που είναι συμβατά με τα υπόλοιπα ίχνη της υπόθεσης. Συμβατά ίχνη θεωρούνται αυτά που δεν μοιράζονται κοινές παρατηρήσεις. Τότε, μετά τη λήψη νέων δεδομένων, κάθε υπόθεση επεκτείνεται σε ένα σύνολο νέων υποθέσεων λαμβάνοντας υπόψη όλες τις αναθέσεις παρατήρησης-ιχνους για τα ίχνη που περιλαμβάνονται στην υπόθεση. Καθώς δημιουργούνται νέες υποθέσεις ο περιορισμός της συμβατότητας για τα ίχνη κάθε υπόθεσης θα πρέπει να εξακολουθεί να διατηρείται. Η εναλλακτική προσέγγιση της μεθόδου (προσανατολισμένη σε ίχνη) είναι να μην διατηρούνται οι υποθέσεις από τη μία σάρωση στην επόμενη. Τα ίχνη σχηματίζονται σε κάθε σάρωση και στη συνέχεια μετασχηματίζονται σε υποθέσεις. Τα ίχνη που επιβιώνουν από τη διαδικασία της διαγραφής προβλέπονται για την επόμενη σάρωση, όπου και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου προσανατολισμένη σε μετρήσεις ενώ στο επόμενο κεφάλαιο εφαρμόζεται η μέθοδος προσανατολισμένη σε ίχνη. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κυριότερες διαφορές των δύο αυτών προσεγγίσεων (Πίνακας 3-1):

<i>Τυπική ΜΗΤ</i>	<i>Προσανατολισμένη σε ίχνη ΜΗΤ</i>
Διατήρηση των υποθέσεων υψηλής πιθανότητας	Διατήρηση μόνο των ιχνών με υψηλή πιθανότητα
Οι τρέχουσες υποθέσεις δημιουργούν νέες υποθέσεις	Οι υποθέσεις μετασχηματίζονται, αφού έχουν σχηματισθεί τα ίχνη
Διαγραφή υποθέσεων χαμηλής πιθανότητας	Διαγραφή ιχνών χαμηλής πιθανότητας

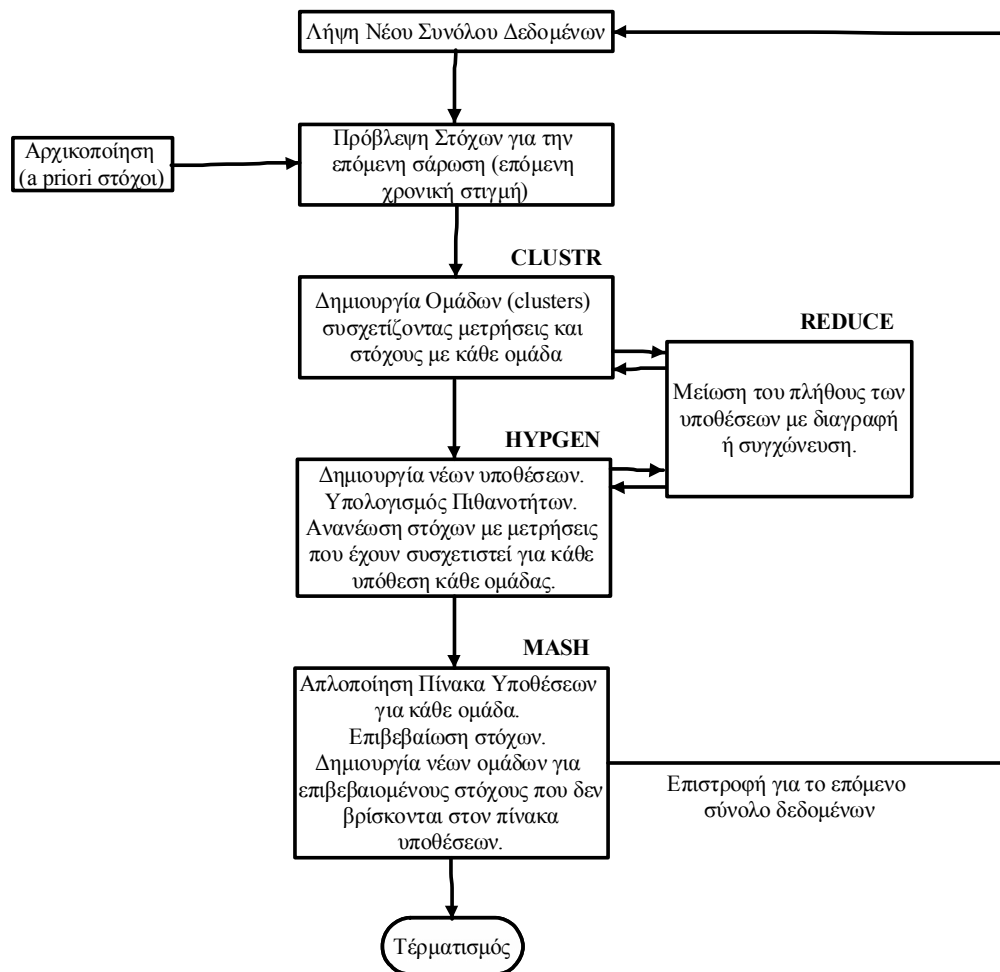
Πίνακας 3-1 Διαφορές προσεγγίσεων ΜΗΤ

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο προσεγγίσεων είναι ότι η τυπική ΜΗΤ διατηρεί τις υποθέσεις από σάρωση σε σάρωση και χρησιμοποιεί αυτές τις υποθέσεις για να παράγει άμεσα νέες. Αντίθετα, στην προσανατολισμένη σε ίχνη προσέγγιση οι υποθέσεις ανασχηματίζονται από τα ίχνη της κάθε σάρωσης.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η εφαρμογή του αλγορίθμου ΜΗΤ σε ένα σύστημα ιχνηλασίας πραγματικού χρόνου. Αρχικά θα παρουσιαστεί ο αλγόριθμος ΜΗΤ και ακολούθως η περιγραφή της υλοποίησης σε ένα σύστημα ιχνηλασίας. Ακολουθεί η περιγραφή των αποτελεσμάτων που αποτελεί μια σύγκριση μεταξύ της μεθόδου ΜΗΤ και των μεθόδων JPDA και GNN. Στα αποτελέσματα επίσης περιλαμβάνεται μια εκτενής μελέτη στις τεχνικές βελτιστοποίησης του αλγορίθμου, καθώς όπως αναφέρθηκε αποτελεί μια υπολογιστικά απαιτητική εφαρμογή.

3.1 Περιγραφή Αλγορίθμου ΜΗΤ Προσανατολισμένου στις Μετρήσεις

Το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου ιχνηλάτησης φαίνεται στην Εικόνα 3-2. Το μεγαλύτερο μέρος της επεξεργασίας πραγματοποιείται στις πρώτες τέσσερις υπορουτίνες του διαγράμματος. Η υπορουτίνα CLUSTER συσχετίζει τις μετρήσεις με προηγούμενες ομάδες στόχων (clusters). Αν δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες ομάδες συσχετισθούν μεταξύ τους λόγω κάποιας μέτρησης, τότε οι δύο αυτές ομάδες συνδυάζονται μεταξύ τους σε μία «περ-ομάδα». Μία νέα ομάδα στόχων δημιουργείται για κάθε μέτρηση που δε συσχετίζεται με κάποια από τις προϋπάρχουσες ομάδες στόχων.



Εικόνα 3-2 Λογικό διάγραμμα αλγορίθμου MHT

Η υπορουτίνα HYPGEN παράγει τις νέες υποθέσεις για κάθε σύνολο δεδομένων που συσχετίζεται με κάθε ομάδα στόχων. Η πιθανότητα κάθε τέτοιας υπόθεσης υπολογίζεται και τα διανύσματα κατάστασης των στόχων ανανεώνονται για κάθε υπόθεση σε κάθε ομάδα.

Οι υπορουτίνες CLUSTR και HYPGEN χρησιμοποιούνται για τη διαγραφή απίθανων υποθέσεων ή για το συνδυασμό υποθέσεων με παραπλήσια διανύσματα κατάστασης. Αφού πραγματοποιηθεί αυτή η απλοποίηση του συνόλου των υποθέσεων, οι μετρήσεις που έχουν συσχετισθεί μονοσήμαντα με κάποιο στόχο σβήνονται από τον πίνακα υποθέσεων μέσω την υπορουτίνας MASH. Η μονοσήμαντη συσχέτιση μιας μέτρησης με ένα στόχο οδηγεί παράλληλα και στην επιβεβαίωση του στόχου αυτού.

3.1.1 Τεχνική Δημιουργίας Υποθέσεων

Η βασική τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η δημιουργία ενός συνόλου υποθέσεων που λαμβάνει υπ' όψη όλες τις πιθανές πηγές μιας μέτρησης. Το φίλτρο δημιουργεί υποθέσεις κατευθυνόμενες από τις μετρήσεις. Σε αυτή την τεχνική όλα τα ίχνη θεωρούνται υποψήφια για την παραγωγή της τρέχουσα μέτρησης.

Συμβολίζεται με $Z(k) = \{Z_m(k), m = 1, 2, \dots, M_k\}$ το πλήθος των μετρήσεων στο σύνολο δεδομένων k και με $Z^k = \{Z(1), Z(2), \dots, Z(k)\}$ το συνδυασμένο σύνολο δεδομένων μέχρι και τη σάρωση k . Με $\Omega^k = \{\Omega_i^k, i = 1, 2, \dots, I_k\}$ συμβολίζεται το σύνολο των υποθέσεων που έχουν

δημιουργηθεί κατά τη σάρωση \mathbf{k} και συσχετίζονται το σύνολο $\mathbf{Z}^{\mathbf{k}}$ με στόχους ή θόρυβο και με $\bar{\Omega}^{\mathbf{m}}$ το σύνολο των υποθέσεων που έχει δημιουργηθεί μετά και την επεξεργασία την \mathbf{m} -οστής μέτρησης ενός συνόλου δεδομένων. Όταν λαμβάνεται ένα νέο σύνολο δεδομένων $\mathbf{Z}(\mathbf{k} + 1)$, δημιουργείται και ένα νέο σύνολο υποθέσεων $\Omega^{\mathbf{k}+1}$ όπως εξηγείται παρακάτω: Το $\bar{\Omega}^0$ αρχικοποιείται θέτοντας $\bar{\Omega}^0 = \Omega^{\mathbf{k}}$. Ένα νέο σύνολο υποθέσεων δημιουργείται επαναληπτικά για κάθε προηγούμενη υπόθεση $\bar{\Omega}_i^{\mathbf{m}-1}$ και κάθε σύνολο μετρήσεων $\mathbf{Z}_m(\mathbf{k} + 1)$. Κάθε υπόθεση στο νέο σύνολο υποθέσεων αποτελεί τη συνδυασμένη υπόθεση ότι το $\bar{\Omega}_i^{\mathbf{m}-1}$ είναι αληθές και ότι η μέτρηση $\mathbf{Z}_m(\mathbf{k} + 1)$ προήλθε από τον στόχο j . Οι τιμές που μπορεί να πάρει το j είναι 0 (σε περίπτωση που η μέτρηση αποτελεί ψευδή συναγευρό), την τιμή κάποιου προηγούμενου στόχου (σε περίπτωση συσχέτισης την μέτρησης με αυτό το στόχο) ή τιμή κατά ένα μεγαλύτερη από τη μέγιστη τιμή των προηγούμενων μη-επιβεβαιωμένων στόχων (που υποδηλώνει ότι η μέτρηση προήλθε από την αρχικοποίηση ενός νέου στόχου). Αυτή η τεχνική επαναλαμβάνεται για κάθε μέτρηση του νέου συνόλου μετρήσεων μέχρι να σχηματιστεί το τελικό σύνολο υποθέσεων $\Omega^{\mathbf{k}+1} = \bar{\Omega}^{\mathbf{M}_{\mathbf{k}+1}}$.

Για να δημιουργηθεί μία καινούργια υπόθεση, ο στόχος πρέπει να ικανοποιεί κάποιες προϋποθέσεις. Πρώτον, αν ο στόχος είναι ένας ανεπιβεβαιωτο ακόμη ίχνος, η παρουσία του πρέπει να υπονοείται από την προηγούμενη υπόθεση-πατέρα από την οποία δημιουργείται. Δεύτερον, πραγματοποιείται έλεγχος ώστε κάθε στόχος να μη συσχετίζεται με περισσότερες από μία μετρήσεις μέσα στο τρέχον σύνολο μετρήσεων. Τελικά, ένας στόχος συσχετίζεται με μία μέτρηση μόνο όταν η μέτρηση βρίσκεται εντός της πύλης ή της περιοχής επιβεβαίωσης του στόχου. Αν τα $\bar{\mathbf{x}}$ και $\bar{\mathbf{P}}$ αποτελούν τις μέσες τιμές των μεταβλητών κατάστασης του στόχου για την προηγούμενη υπόθεση $\Omega_i^{\mathbf{k}}$, η συν-διακύμανση του διανύσματος υπολοίπου $\mathbf{v} = \mathbf{Z}_m - \mathbf{H}\bar{\mathbf{x}}$ δίνεται από τον τύπο:

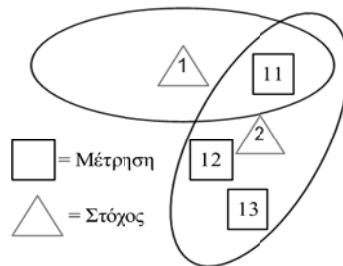
$$\mathbf{B} = \mathbf{H}\bar{\mathbf{P}}\mathbf{H}^T + \mathbf{R} \quad (3.1.1)$$

και η μέτρηση $\mathbf{Z}^{\mathbf{m}}$ βρίσκεται μέσα σε μία «η-sigma» περιοχή επιβεβαίωσης αν και μόνο αν ισχύει:

$$(\mathbf{Z}_m - \mathbf{H}\bar{\mathbf{x}})^T \mathbf{B}^{-1} (\mathbf{Z}_m - \mathbf{H}\bar{\mathbf{x}}) \leq \eta^2 \quad (3.1.2)$$

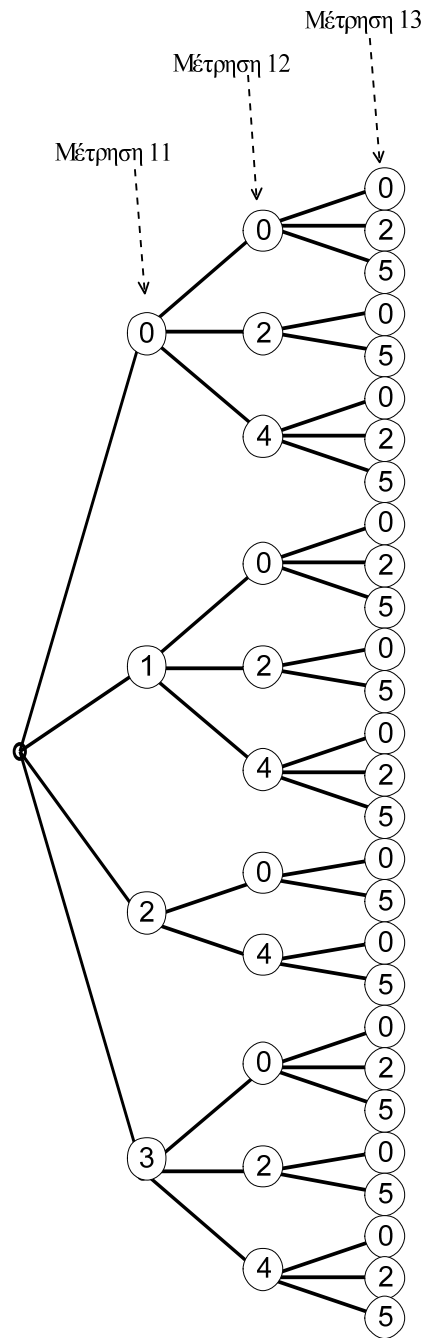
Πρέπει να σημειωθεί ότι η περιοχή επιβεβαίωσης εξαρτάται και από τις μετρήσεις αφού το \mathbf{R} περιλαμβάνεται στην εξίσωση (3.1.1). Παρόλα αυτά, για λόγους απλότητας θεωρείται ότι όλες οι μετρήσεις ενός συνόλου δεδομένων έχουν την ίδια συν-διακύμανση \mathbf{R} .

Για μία αντιπροσωπευτική ομάδα δύο στόχων και τριών μετρήσεων (Εικόνα 3-3), Η παρουσίαση των υποθέσεων σε δέντρο και σε πίνακα απεικονίζονται στην Εικόνα 3-4 και στον Πίνακα 3-2 Πίνακας 3-2 αντίστοιχα.



Εικόνα 3-3 Παράδειγμα συσχέτισης 2 ιχνών και 3 μετρήσεων.

0	0	0
T1	0	0
T3	0	0
0	T1	0
T3	T1	0
0	T2	0
T1	T2	0
T3	T2	0
0	T4	0
T1	T4	0
T3	T4	0
0	0	T1
T3	0	T1
0	T2	T1
T3	T2	T1
0	T4	T1
T3	T4	T1
0	0	T2
T1	0	T2
T3	0	T2
0	T1	T2
T3	T1	T2
0	T4	T2
T1	T4	T2
T3	T4	T2
0	0	T5
T1	0	T5
T3	0	T5
0	T1	T5
T3	T1	T5
0	T2	T5
T1	T2	T5
T3	T2	T5
0	T4	T5
T1	T4	T5
T3	T4	T5



Εικόνα 3-4 Δέντρο υποθέσεων

Πίνακας 3-2 Πίνακας Υποθέσεων

Στο εν λόγω παράδειγμα, οι προηγούμενοι στόχοι αριθμούνται με 1 και 2 και οι μη επιβεβαιωμένοι στόχοι με 3,4 και 5. Οι τρεις μετρήσεις του συνόλου δεδομένων αριθμούνται 11, 12 και 13. Φαίνεται, για παράδειγμα, ότι αν ο στόχος 2 έχει ήδη συσχετισθεί με μία από τις μετρήσεις 11 ή 12, δε θα δημιουργηθεί κλαδί στο δέντρο που να τον συσχετίζει με την μέτρηση 13 αφού θεωρείται ότι ένας στόχος δεν μπορεί να δημιουργήσει πάνω από μία μέτρηση σε ένα σύνολο δεδομένων. Το σύνολο των υποθέσεων αναπαρίσταται στον υπολογιστή από έναν δισδιάστατο πίνακα, τον «πίνακα υποθέσεων» που έχει μία γραμμή για κάθε υπόθεση και μία στήλη για κάθε μέτρηση. Η τιμή κάθε θέσης του πίνακα είναι κάθε φορά ο στόχος που υποτίθεται ότι παρήγαγε τη συγκεκριμένη μέτρηση στη συγκεκριμένη υπόθεση. Σε προγραμματιστικό επίπεδο, η διαδικασία αυτόματης δημιουργίας υποθέσεων πραγματοποιείται εάν η ρουτίνα δημιουργίας των υποθέσεων τοποθετηθεί μέσα στην επανάληψη του αλγορίθμου για όλες τις μετρήσεις. Σε αυτή την περίπτωση, ο πίνακας υποθέσεων για κάθε μέτρηση είναι ένα υποσύνολο του τελικού πίνακα υποθέσεων για όλες τις μετρήσεις της τρέχουσας σάρωσης, όπως φαίνεται από τις διαγραμμίσεις του πίνακα στο σχήμα.

Παρόλο που υπάρχουν πολλές υποθέσεις για μία ομάδα στόχων, για κάθε στόχο της ομάδας υπάρχουν πολύ λιγότερες. Για παράδειγμα, για την ομάδα στόχων που φαίνεται στο σχήμα υπάρχουν 28 υποθέσεις. Ωστόσο, ο στόχος 1 έχει μόνο 2 υποθέσεις, είτε ότι συσχετίζεται με τη μέτρηση 11 είτε ότι δεν συσχετίζεται με κάποια μέτρηση. Παρόμοια, οι στόχοι 2, 3, 4 και 5 έχουν 4, 2, 2 και 2 πιθανές συσχετίσεις αντίστοιχα. Έτσι, για κάθε στόχο δημιουργείται ένας «πίνακας συσχέτισης υποθέσεων» που δείχνει ποιές υποθέσεις του συνόλου υποθέσεων, που δημιουργήθηκαν για ολόκληρη την ομάδα στόχων, αντιστοιχούν σε κάθε στόχο. Τότε, προβλέπονται διαφορετικές εκτιμήσεις κατάστασης για κάθε υπόθεση στόχου και όχι για κάθε υπόθεση της ομάδας στόχων. Οι εκτιμήσεις κατάστασης πραγματοποιούνται με τη βοήθεια ενός φίλτρου Kalman. Η τελική εκτίμηση των μεταβλητών κατάστασης κάθε στόχου πραγματοποιείται ως εξής: χρησιμοποιούνται οι εκτιμήσεις κατάστασης όλων των υποθέσεων του στόχου πολλαπλασιασμένες με την πιθανότητα κάθε υπόθεσης.

3.1.2 Πιθανότητα Υπόθεσης

Η εκτίμηση της πιθανότητας κάθε υπόθεσης εξαρτάται από το είδος του αισθητήρα από τον οποίο λαμβάνονται οι μετρήσεις. Όλες οι μετρήσεις σε ένα σύνολο μετρήσεων θεωρείται ότι λαμβάνονται ταυτόχρονα. Επιπλέον, θα πρέπει κάθε φορά να γίνεται εκτίμηση της πυκνότητας στόχων για κάθε επόμενη μέτρηση για την επεξεργασία δεδομένων.

Συμβολίζεται με P_i^k η πιθανότητα της υπόθεσης Ω_i^k , έχοντας λάβει τις μετρήσεις μέχρι και τη σάρωση k ,

$$P_i^k \square P(\Omega_i^k | Z^k) \quad (3.1.3)$$

Μπορεί να θεωρηθεί το Ω_i^k ως η συνδυασμένη υπόθεση που δημιουργείται από το προηγούμενο σύνολο υποθέσεων Ω_g^{k-1} και την υπόθεση συσχέτισης για το τρέχων σύνολο δεδομένων ψ_h . Η υπόθεση ψ_h περιλαμβάνει την υποτιθέμενη συσχέτιση κάθε μέτρησης του συνόλου μετρήσεων $Z(k)$ με κάποιο στόχο. Μπορεί να γραφεί μία αναδρομική σχέση για τον υπολογισμό του P_i^k χρησιμοποιώντας την εξίσωση Bayes:

$$P(\Omega_g^{k-1}, \psi_h | Z(k)) = \frac{1}{c} P(Z(k) | \Omega_g^{k-1}, \psi_h) P(\psi_h | \Omega_g^{k-1}) P(\Omega_g^{k-1}) \quad (3.1.4)$$

Το c είναι ένας παράγοντας κανονικοποίησης που υπολογίζεται αθροίζοντας των αριθμητή ως προς τα μεγέθη g και h . Οι πρώτοι δύο όροι του δεξιού μέλους της παραπάνω εξίσωσης θα υπολογιστούν παρακάτω. Ο πρώτος όρος είναι η πιθανότητα των μετρήσεων $Z(k)$, δεδομένης της τρέχουσας υπόθεσης συσχέτισης, και δίνεται από τον τύπο:

$$P(Z(k) | \Omega_g^{k-1}, \psi_h) = \prod_{m=1}^{M_k} f(m) \quad (3.1.5)$$

όπου:

$$f(m) = 1/\gamma, \text{ αν η νέα μέτρηση προέρχεται από θόρυβο ή αποτελεί νέο στόχο}$$

$f(m) = N(Z_m - H\bar{x}, B)$, αν η μέτρηση προέρχεται από έναν επιβεβαιωμένο στόχο η έναν μη-επιβεβαιωμένο στόχο που η ύπαρξή του υπονοείται από τις προηγούμενες υποθέσεις Ω_g^{k-1}

Με V συμβολίζεται ο όγκος (ή το εμβαδό) την περιοχής παρατήρησης του αισθητήρα και ο συμβολισμός $N(x, P)$ υποδηλώνει την κανονική κατανομή $\exp\left[-\frac{1}{2}x^T P^{-1}x\right] / \sqrt{(2\pi)^n |P|}$. Οι τιμές των x και B , σύμφωνα με την εξίσωση (3.1.1), είναι κάθε φορά οι κατάλληλες για την προηγούμενη υπόθεση Ω_g^{k-1} .

Ο δεύτερος όρος της (3.1.4) είναι η πιθανότητα της τρέχουσας υπόθεσης συσχέτισης, δεδομένων των προηγούμενων υποθέσεων Ω_g^{k-1} . Κάθε τρέχουσα υπόθεση συσχέτισης ψ_h συσχετίζει κάθε μέτρηση ενός συνόλου δεδομένων με κάποια πηγή. Έτσι, περιλαμβάνει τις ακόλουθες πληροφορίες:

Πλήθος: Πλήθος μετρήσεων που έχουν συσχετιστεί με τους προϋπάρχοντες στόχους $N_{DT}(h)$, πλήθος μετρήσεων που έχουν αναγνωριστεί ως ψευδείς συναγερμοί $N_{FT}(h)$ και πλήθος μετρήσεων που αναγνωρίστηκαν ως νέοι στόχοι $N_{NT}(h)$.

Σύνθεση: Ποιές από τις μετρήσεις έχουν συσχετιστεί με προϋπάρχοντες στόχους, ποιές με ψευδείς συναγερμούς και ποιές έχουν αναγνωριστεί ως νέοι στόχοι.

Συσχέτιση: Ποιοι συγκεκριμένοι προϋπάρχοντες στόχοι έχουν συσχετιστεί με συγκεκριμένες μετρήσεις.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι το σύνολο προηγούμενων υποθέσεων Ω_g^{k-1} περιλαμβάνει πληροφορίες για το πλήθος των προηγούμενων στόχων $N_{TGT}(g)$ μέσα στην περιοχή κάλυψης του αισθητήρα. Το πλήθος αυτό περιλαμβάνει τόσο επιβεβαιωμένους όσο και μη επιβεβαιωμένους στόχους για το σύνολο στόχων που εξετάζεται. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με την τρέχουσα υπόθεση συσχέτισης, μόνο N_{DT} από αυτούς τους στόχους ανιχνεύονται από τον αισθητήρα.

Θεωρείται ότι το πλήθος των προηγούμενων στόχων που ανιχνεύονται δίνεται από μία δυνωμική κατανομή και το πλήθος των ψευδών συναγερμών και των νέων στόχων ακολουθούν μία κατανομή Poisson. Με αυτές τις υποθέσεις, η πιθανότητα για τα πλήθη N_{DT} , N_{FT} , N_{NT} , δεδομένου του συνόλου υποθέσεων Ω_g^{k-1} είναι:

$$P(N_{DT}, N_{FT}, N_{NT} | \Omega_g^{k-1}) = \binom{N_{TGT}}{N_{DT}} P_D^{N_{DT}} (1 - P_D)^{(N_{TGT} - N_{DT})} \cdot F_{N_{FT}}(\beta_{FT} V) F_{N_{NT}}(\beta_{NT} V) \quad (3.1.6)$$

όπου,

P_D = η πιθανότητα ανίχνευσης.

β_{FT} = η πυκνότητα ψευδών συναγερμών.

β_{NT} = η πυκνότητα προηγούμενων άγνωστων στόχων, οι οποίοι ανιχνεύθηκαν τώρα (ο όρος P_D έχει ήδη συμπεριληφθεί μέσα σε αυτούς).

$F_n(\lambda)$ = η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Poisson για n γεγονότα όταν ο μέσος ρυθμός των γεγονότων είναι λ .

Το συνολικό πλήθος των μετρήσεων δίνεται από τον τύπο:

$$M_K = N_{DT} + N_{FT} + N_{NT} \quad (3.1.7)$$

Από τις M_K μετρήσεις, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί συνδυασμοί ή τρόποι με τους οποίους μπορούν να συσχετιστούν N_{DT} από αυτές με προηγούμενους στόχους, N_{FT} με ψευδείς συναγερμούς και N_{NT} με νέους στόχους. Το πλήθος των συνδυασμών δίνεται από τη σχέση:

$$\binom{M_K}{N_{DT}} = \binom{M_K - N_{DT}}{N_{FT}} \binom{M_K - N_{DT} - N_{FT}}{N_{NT}} \quad (3.1.8)$$

Αν οι τιμές των N_{DT} , N_{FT} και N_{NT} είναι γνωστές, η πιθανότητα ενός συγκεκριμένου συνδυασμού τιμών είναι:

$$P(\text{Συνδυασμού}|N_{DT}, N_{FT}, N_{NT}) = \frac{1}{\binom{M_K}{N_{DT}} \binom{M_K - N_{DT}}{N_{FT}}} \quad (3.1.9)$$

Για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό υπάρχουν πολλοί τρόποι να συσχετιστούν οι N_{DT} επιλεγμένες μετρήσεις με τους N_{TGT} στόχους. Το πλήθος των πιθανών συσχετισμών είναι:

$$\frac{N_{TGT}!}{(N_{TGT} - N_{DT})!} \quad (3.1.10)$$

Επομένως, η πιθανότητα ενός συσχετισμού για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό δίνεται από τον τύπο:

$$P(\text{Συσχέτισης}|\text{Συνδυασμό}) = \frac{(N_{TGT} - N_{DT})!}{N_{TGT}!} \quad (3.1.11)$$

Συνδυάζοντας και απλοποιώντας τις τρεις τελευταίες εξισώσεις υπολογίζεται η πιθανότητα

$$P(\psi_h|\Omega_g^{i-1}) = \frac{N_{FT}!N_{NT}!}{M_K!} P_D^{N_{DT}} (1-P_D)^{(N_{TGT}-N_{DT})} F_{N_{FT}}(\beta_{FT}V) F_{N_{NT}}(\beta_{NT}V) \quad (3.1.12)$$

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις (3.1.5) και (3.1.12) στην (3.1.4), έχουμε:

$$P_i^k = \frac{1}{c} \frac{N_{FT}!N_{NT}!}{M_K!} P_D^{N_{DT}} (1-P_D)^{(N_{TGT}-N_{DT})} F_{N_{FT}}(\beta_{FT}V) F_{N_{NT}}(\beta_{NT}V) \times \left[\prod_{m=1}^{N_{DT}} N(Z_m - H\bar{x}, B) \right] \frac{1}{V^{(N_{FT}+N_{NT})}} P_g^{k-1} \quad (3.1.13)$$

, όπου για ευκολία έκφρασης της εξίσωσης, οι μετρήσεις έχουν αναδιαταχτεί ώστε οι πρώτες N_{DT} μετρήσεις να αντιστοιχούν σε μετρήσεις που προέρχονται από προϋπάρχοντες στόχους. Παράλληλα, αντικαθιστώντας και με τις διαδικασίες Poisson, η εξίσωση γίνεται ανεξάρτητη από το εμβαδό V του χώρου παρατήρησης του αισθητήρα. Απλοποιώντας και συνδυάζοντας όλες τις σταθερές τιμές μέσα στη μεταβλητή c , προκύπτει η τελική εξίσωση:

$$P_i^k = \frac{1}{c} P_D^{N_{DT}} (1-P_D)^{(N_{TGT}-N_{DT})} \beta_{FT}^{N_{FT}} \beta_{NT}^{N_{NT}} \left[\prod_{m=1}^{N_{DT}} N(Z_m - H\bar{x}, B) \right] P_g^{k-1} \quad (3.1.14)$$

Η παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται αναδρομικά μέσα στη ρουτίνα δημιουργίας των υποθέσεων για τον υπολογισμό της πιθανότητας κάθε υπόθεσης συσχέτισης στόχων-μετρήσεων. Παρόλο που ο υπολογισμός φαίνεται περίπλοκος, η εφαρμογή του στην πράξη είναι πολύ απλή. Αν όλες οι προηγούμενες υποθέσεις πολλαπλασιαστούν πρώτα με τον παράγοντα $(1-P_D)^{N_{TGT}}$, τότε καθώς δημιουργείται μία διακλάδωση στο δέντρο υποθέσεων, η πιθανότητα για τη διακλάδωση αυτή υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την προηγούμενη πιθανότητα της υπόθεσης με έναν από τους παράγοντες β_{FT} , β_{NT} ή $P_D N(Z_m - H\bar{x}, B)/(1-P_D)$ ανάλογα με την υπόθεση που έχει γίνει. Όταν υπολογιστούν όλες οι πιθανότητες για κάθε υπόθεση, οι πιθανότητες αυτές κανονικοποιούνται.

Παράλληλα με τους παραπάνω υπολογισμούς, γίνεται και μία εκτίμηση της τιμής β_{NT} (της πυκνότητας νέων στόχων) κάθε φορά που λαμβάνεται ένα νέο σύνολο δεδομένων. Η πυκνότητα νέων στόχων εξαρτάται από το πλήθος των σαρώσεων της περιοχής παρατήρησης από τον αισθητήρα καθώς και από το πλήθος μη-ανιχνευμένων στόχων μέσα και έξω από την περιοχή παρατήρησης.

Στην παρούσα ανάλυση έχει γίνει αποδεικτό σιωπηρά ότι η κατανομή πιθανότητας της κατάστασης στόχου δίνεται από μία σχεδόν κανονική κατανομή μετά από κάθε μέτρηση. Αν το διάγραμμα μέτρησης περιέχει όλες τις μεταβλητές κατάστασης του στόχου τότε η αρχική μεταβλητή κατάστασης και συν-διακύμανση του στόχου ορίζονται ως $x = Z_m$ και $P = R$. Παρόλο που η υπόθεση αυτή δεν είναι καθολικά σωστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς να προκαλείται σφάλμα στη γενικότητα του αλγορίθμου. Για παράδειγμα, αν οι μεταβλητές κατάστασης του στόχου είναι η

θέση και η ταχύτητα και μία μέτρηση παρέχει μόνο πληροφορίες για τη θέση, η ταχύτητα μπορεί να εκτιμηθεί ότι παίρνει τιμές ομοιόμορφα κατανομημένες σύμφωνα με μια κανονική κατανομή μέσης τιμής 0 και τυπικής απόκλισης ίσης με το $1/3$ της μέγιστης ταχύτητας του στόχου.

Αν οι μετρήσεις δεν επιτρέπουν τη χρήση της παραπάνω υπόθεσης, πρέπει να γίνουν κατάλληλες τροποποιήσεις στο κριτήριο της πύλης, στον υπολογισμό των πιθανοτήτων καθώς και στις εξισώσεις του φίλτρου Kalman. Για παράδειγμα, θεωρείται η περίπτωση όπου N στόχοι, σε μία επίπεδη επιφάνεια, παράγουν δύο ίχνη-μετρήσεις ο καθένας, καθένα από τα οποία περιέχουν ακριβώς N μετρήσεις (π.χ. $P_D = 1, \beta_{FT} = 0$). Τα διπλά ίχνη διασταυρώνονται σε N^2 σημεία, που αντιστοιχούν στους N πραγματικούς στόχους και στους $N^2 - N$ «στόχους-φαντάσματα». Αφού όλοι οι στατιστικοί βαθμοί ελευθερίας απαιτούνται μόνο για τον υπολογισμό της θέσης των στόχων, δεν υπάρχουν επιπλέον βαθμοί ελευθερίας για το συσχετισμό των δύο ιχνών μεταξύ τους. Επομένως, σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει κριτήριο πύλης για το δεύτερο σύνολο δεδομένων και κάθε ένα από τα N^2 ζευγάρια μετρήσεων είναι εξίσου πιθανά.

3.1.3 Τεχνικές Μείωσης Υποθέσεων

Η μέθοδος που παρουσιάστηκε στην παραπάνω ανάλυση προϋποθέτει την ύπαρξη ενός διαρκώς αυξανόμενου μεγέθους μνήμης και υπολογιστικής ικανότητας όσο λαμβάνονται επιπλέον δεδομένα. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η δημιουργία τεχνικών μείωσης των υποθέσεων ώστε η παραπάνω τεχνική να είναι πρακτικά υλοποιήσιμη. Στόχος, είναι η δημιουργία ενός αλγορίθμου με τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις σε μνήμη και υπολογιστική ικανότητα χωρίς μείωση της ακριβείας που περιγράφεται από την ιδανική περίπτωση πραγματοποίησης όλων των υπολογισμών. Αν θεωρηθεί το σύνολο των υποθέσεων ως ένα δέντρο, οι τεχνικές μείωσης υποθέσεων οδηγούν είτε στο «ψαλίδισμα» κάποιων διακλαδώσεων του δέντρου ή στο συνδυασμό τους σε μια κοινή διακλάδωση.

Στους αλγορίθμους πολλαπλής σάρωσης παραμένουν πολλές υποθέσεις στον πίνακα υποθέσεων μετά την επεξεργασία κάθε συνόλου δεδομένων. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι οι επόμενες μετρήσεις συσχετίζονται με τις προηγούμενες ώστε οι αποφάσεις να είναι πιο ακριβείς. Οι υποθέσεις, των οποίων οι πιθανότητες αυξάνονται, αποτελούν υποθέσεις που οι επόμενες μετρήσεις υποδηλώνουν ότι η συγκεκριμένη συσχέτιση μετρήσεων με στόχους είναι πιο πιθανή. Η πιο απλή τεχνική είναι και πάλι ο «ψαλίδισμός» των απίθανων υποθέσεων και η διατήρηση των υποθέσεων με πιθανότητα μεγαλύτερη από ένα καθορισμένο όριο. Όπως προαναφέρθηκε μάλιστα, στην αναφορά 3.3.5.2, δημιουργήθηκε ένα φίλτρο N -σάρωσης για την περίπτωση ενός στόχου, στο οποίο οι υποθέσεις που έχουν τις τελευταίες N -σάρώσεις κοινές, συνδυάζονται. Από αυτόν το πειραματισμό προέκυψε ότι με $N = 1$, επιτεύχθηκε σχεδόν βέλτιστη απόδοση.

Μία εναλλακτική μέθοδος για συνδυασμό διακλαδώσεων του δέντρου υποθέσεων είναι να συνδυάζονται οι υποθέσεις που έχουν παρόμοια αποτελέσματα. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται κυρίως στις περιπτώσεις αλγορίθμου πολλαπλής σάρωσης αλλά όχι απαραίτητα. Αν οι υποθέσεις που έχουν κοινά αποτελέσματα για τις τελευταίες N -σάρώσεις συνδυαστούν, τότε οι υποθέσεις, που διαφοροποιούνται ως προς τη συσχέτιση μετρήσεων-στόχων για προηγούμενες σάρώσεις, διαγράφονται. Διάφορες μελέτες, όπως η [7] έχουν δείξει ότι είναι πιο σημαντική η διατήρηση προηγούμενων παρά καινούργιων υποθέσεων. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιείται το κριτήριο συνδυασμού των υποθέσεων με παρόμοια αποτελέσματα ταυτόχρονα με το κριτήριο διαγραφής υποθέσεων σύμφωνα με το όριο της πιθανότητας που αναφέρθηκε προηγουμένως. Για να θεωρηθούν όμοιες δύο υποθέσεις πρέπει να περιέχουν το ίδιο πλήθος ανεπιβεβαίωτων στόχων και οι μεταβλητές κατάστασης των στόχων για κάθε υπόθεση να είναι παρόμοιες, δηλαδή η μέση \bar{x} και η συν-διακύμανση \bar{P} να διαφέρουν ελάχιστα ή καθόλου. Το τελικό διάγνυμα κατάστασης υπολογίζεται συνδυάζοντας τα διανύσματα κατάστασης όλων των υποθέσεων που συνδυάζονται.

3.1.4 Ομαδοποίηση Υποθέσεων

Η ανάλυση ομάδων (cluster analysis) ή απλά ομαδοποίηση (clustering) είναι η γενικευμένη ονομασία των τεχνικών ανάλυσης πολλών μεταβλητών με σκοπό τη δημιουργία ομάδων από αντικείμενα με βάση το βαθμό αλληλοσυσχέτισής τους. Με απλά λόγια, η ομαδοποίηση κατατάσσει τα αντικείμενα σε ομάδες στηριζόμενη στις ομοιότητές τους. Για παράδειγμα, στις βάσεις

δεδομένων, η ομαδοποίηση χρησιμοποιείται για την αναδιάρθρωση ήδη αποθηκευμένων πληροφοριών σύμφωνα με προκαθορισμένα κριτήρια, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας των λειτουργιών ανάκτησης δεδομένων. Ο τρόπος εκτίμησης του βαθμού ομοιότητας εξαρτάται από το πεδίο εφαρμογής. Χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης μηχανών (machine learning), εξόρυξη δεδομένων (data mining), αναγνώριση προτύπων, ανάλυση εικόνας και της βιοπληροφορικής.

Αν το σύνολο των στόχων και των μετρήσεων μπορεί να διαιρεθεί σε διαφορετικές ομάδες, ο αλγόριθμος ιχνηλάτησης μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά. Αντί της επίλυσης ενός μεγάλου προβλήματος ιχνηλάτησης στόχων, μπορούν να επιλυθούν πολλά μικρότερα προβλήματα ιχνηλάτησης ταυτόχρονα. Μάλιστα, επειδή οι υπολογιστικές απαιτήσεις αυξάνονται εκθετικά με την αύξηση του πλήθους των στόχων, η μέθοδος ομαδοποίησης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των υπολογιστικών απαιτήσεων. Αν κάθε στόχος μπορούσε να διαμορφώσει μόνος του μία ανεξάρτητη ομάδα, οι υπολογιστικές ανάγκες θα αυξάνονταν απλά γραμμικά με την αύξηση των στόχων.

Μία ομάδα καθορίζεται μονοσήμαντα από το σύνολο των στόχων και των μετρήσεων που την προσδιορίζουν, καθώς και από τον αντίστοιχο πίνακα υποθέσεων για αυτούς τους στόχους και τις μετρήσεις. Επίσης, περιλαμβάνει τις πιθανότητες κάθε υπόθεσης του πίνακα υποθέσεων καθώς και το σύνολο στόχων κάθε υπόθεσης.

Ως μέρος της υπορουτίνας αρχικοποίησης, δημιουργείται μία ομάδα για κάθε έναν από τους στόχους που είναι γνωστοί εκ των προτέρων. Κάθε μέτρηση του συνόλου μετρήσεων συσχετίζεται με μία ομάδα στόχων, αν βρίσκεται μέσα στην περιοχή επιβεβαίωσης οποιουδήποτε στόχου της ομάδας. Οι μετρήσεις που δε συσχετίζονται με κάποιο στόχο κάποιας προϋπάρχουσας ομάδας διαμορφώνουν από μόνες τους μία νέα ομάδα. Αν κάποια μέτρηση συσχετίζεται με περισσότερες από μία ομάδα στόχων, οι ομάδες συγχωνεύονται σε μια υπέρ-ομάδα. Οι πιθανότητες υποθέσεων που δημιουργούνται από τη συγχώνευση δύο ή περισσότερων ομάδων σε μια υπέρ-ομάδα είναι ίδιες είτε υπολογιστούν με την εξίσωση (3.1.13) μετά τη συγχώνευση, είτε αν υπολογιστούν πριν τη συγχώνευση για κάθε ξεχωριστή ομάδα και μετά πολλαπλασιαστούν μεταξύ τους. Η ιδιότητα αυτή προκύπτει από τη χρήση της δυωνυμικής κατανομής και της κατανομής Poisson για την περιγραφή του πλήθους των στόχων στην εξίσωση (3.1.6).

3.1.4.1 Ορισμοί

Αρχικά θα παρουσιάσουμε μια αναλυτική περιγραφή των όρων που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω. Οι όροι αυτοί είναι η ομαδοποίηση (clustering ή cluster analysis), τα αντικείμενα (objects), οι ομάδες (clusters), η απόσταση (distance) και η ομοιότητα (similarity) [8].

3.1.4.1.1 Ομάδες

- Ομαδοποίηση (Clustering): Αναφέρεται στη δημιουργία συνόλων από οντότητες που ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Το σύνολο που αποτελεί μια ομάδα πρέπει να παρουσιάζει υψηλότερο βαθμό αλληλοσυσχέτισης μεταξύ των μελών του παρά με μέλη άλλων ομάδων. Υπό μια πιο αφηρημένη έννοια, η ομάδα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο «παρόμοιων» αντικειμένων. Πέρα από τον όρο clustering, στην ξένη βιβλιογραφία συναντάμε και άλλες ονομασίες για την τεχνική αυτή, όπως automatic classification, numerical taxonomy ή botryology. Η ομαδοποίηση έχει μια ιδιότητα που την κάνει να διαφέρει από άλλες μεθόδους ταξινόμησης. Πληροφορίες για την κατηγορία των συνόλων δεν είναι γνωστά πριν την επεξεργασία. Τα αντικείμενα ομαδοποιούνται σε σύνολα που ορίζονται από τα μέλη των συνόλων αυτών.
- Αντικείμενα (Objects): Η λέξη αυτή χρησιμοποιείται υπό τη γενική έννοια. Τα αντικείμενα μπορούν να είναι οτιδήποτε χρειάζεται να ομαδοποιηθεί βάσει ορισμένων κριτηρίων. Μπορεί να είναι ένα χαρακτηριστικό σε μια συσχετιστική βάση δεδομένων, ή ένα σύνθετο αντικείμενο σε μια αντίστοιχη βάση δεδομένων, δεδομένου ότι μπορεί να αναπαρασταθεί σαν σημείο σε ένα χώρο μέτρησης (measurement space). Προφανώς όλα τα αντικείμενα προς επεξεργασία πρέπει να μπορούν να ορισθούν στον ίδιο χώρο μέτρησης. Σε ένα μονοδιάστατο χώρο, τα αντικείμενα αναπαριστώνται από ένα σημείο που ανήκει σε ένα σύνολο [a,b].

- Ομάδες (Clusters): Είναι σύνολα από αντικείμενα, που συνδέονται μεταξύ τους σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Ο σκοπός της ομαδοποίησης είναι να ευρεθούν ομάδες που περιέχουν αντικείμενα ομογενή μεταξύ τους. Η ομογένεια αναφέρεται στις κοινές ιδιότητες των αντικειμένων προς ομαδοποίηση. Υπάρχουν δύο τρόποι να αναπαρασταθεί μια ομάδα μέσα στον χώρο μέτρησης: από ένα υποθετικό σημείο που δεν αποτελεί αντικείμενο της ομάδας ή από ένα υπάρχον αντικείμενο της ομάδας. Το σημείο αυτό ονομάζεται κέντρο μάζας (centroid) ή αντιπρόσωπος ομάδας (cluster representative).

Οι ομάδες αναπαρίστανται στον χώρο μέτρησης με τον ίδιο τρόπο που αναπαριστώνται και τα αντικείμενα. Συνεπώς για να ξεχωρίσουμε ένα αντικείμενο από μια ομάδα χρειαζόμαστε ένα επιπλέον δεδομένο: τον αριθμό των αντικειμένων της κάθε ομάδας. Με βάση αυτή την ιδέα, ένα αντικείμενο μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ομάδα που περιέχει ακριβώς ένα αντικείμενο. Στην περίπτωση του μονοδιάστατου χώρου, οι ομάδες θα μπορούσαν να είναι {0.1}, {0.6}, {0.2, 0.3, 0.5}, κ.ο.κ.

3.1.4.1.2 Απόσταση και Ομοιότητα

Φυσικά χρειαζόμαστε ένα μέτρο συσχέτισμού μεταξύ των αντικειμένων που θέλουμε να ομαδοποιήσουμε. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούμε την έννοια της απόστασης ή της ομοιότητας. Ο αριθμός των μέτρων ομοιότητας είναι μεγάλος, και η επιλογή μπορεί να επηρεάσει άμεσα τα αποτελέσματα. Σε αντικείμενα με περισσότερες από μία διαστάσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν σχετικά ή κανονικοποιημένα βάρη για να μετατραπεί η απόστασή τους συγκρίσιμο μέγεθος. Όταν γίνει αυτό, και τα αντικείμενα «μεταφερθούν» στον ίδιο μετρήσιμο χώρο με τα υπόλοιπα σημεία (πχ. με τα κέντρα μάζας), η διαδικασία γίνεται απλή. Όσο πιο μικρή είναι η απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων, τόσο πιο πολύ συσχετισμένα θεωρούμε ότι είναι. Κάποιοι τρόποι υπολογισμού της απόστασης μεταξύ των αντικειμένων είναι:

Απόσταση Minkowski (Minkowski distance)

$$d(\hat{x}, \hat{y}) = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^q \right)^{1/q}, \quad q > 0 \quad (3.1.15)$$

Ευκλείδεια Απόσταση (Euclidean distance)

$$d(\hat{x}, \hat{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (3.1.16)$$

Ταυτίζεται με την απόσταση Minkowski για $q=2$.

Απόσταση Manhattan (Manhattan ή City-block distance)

$$d(\hat{x}, \hat{y}) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (3.1.17)$$

Ταυτίζεται με την απόσταση Minkowski για $q=1$.

Μέγιστη Απόσταση (Maximum distance)

$$d(\hat{x}, \hat{y}) = \max_{1 \leq i \leq n} |x_i - y_i| \quad (3.1.18)$$

Ταυτίζεται με την απόσταση Minkowski για $q \rightarrow \infty$.

Απόσταση Mahalanobis (Mahalanobis distance)

$$d(\hat{x}, \hat{y}) = \sqrt{(\hat{x} - \hat{y})^T S^{-1} (\hat{x} - \hat{y})}, \quad (3.1.19)$$

όπου S η μήτρα συνδιακύμανσης (covariance matrix) τους.

Ταντίζεται με την Ευκλείδεια απόσταση για μοναδιαία μήτρα συνδιακύμανσης, ενώ για διαγώνια μήτρα συνδιακύμανσης η απόσταση ονομάζεται «κανονικοποιημένη Ευκλείδεια απόσταση» και δίνεται από τον τύπο:

$$d(\hat{x}, \hat{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{\sigma_i^2}}, \quad (3.1.20)$$

όπου σ_i η τυπική απόκλιση του x_i πάνω στο δείγμα.

3.1.4.2 Τεχνικές Ομαδοποίησης

Δύο είναι οι συνήθεις τεχνικές ομαδοποίησης δεδομένων. Η «ιεραρχική» (hierarchical) και η «διαμεριστική» (partitional). [[9]-[10]]

3.1.4.2.1 Ιεραρχική Ομαδοποίηση

Με την «ιεραρχική» μέθοδο, προκύπτει μια ακολουθία διαμερίσεων, με μια ομάδα στην κορυφή που περιέχει όλα τα αντικείμενα (all-inclusive cluster) και ομάδες με ένα αντικείμενο η καθεμία (singleton clusters) στη βάση της. Κάθε ομάδα των ενδιάμεσων επιπέδων μπορεί να προκύψει είτε ως συνδυασμός δύο ομάδων τους αμέσως επόμενου επιπέδου, είτε από διαίρεση μιας ομάδας του αμέσως προηγούμενου επιπέδου.

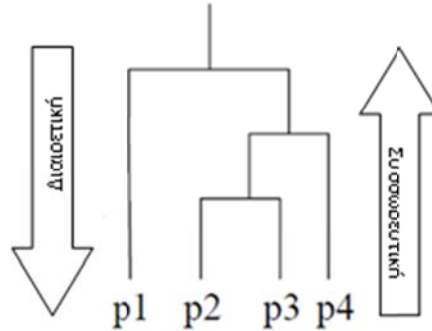
Υπάρχουν δυο κύριες προσεγγίσεις όσον αφορά την «ιεραρχική» ομαδοποίηση:

- Διαιρετική (Divisive ή “top-down”): Ξεκινώντας από την ομάδα που περιέχει όλα τα αντικείμενα (all-inclusive cluster), σε κάθε βήμα, διαιρείται μια ομάδα σε δύο νέες (splitting) μέχρις ότου παραμείνουν μόνο ομάδες ενός αντικειμένου (singleton clusters). Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει σε να αποφασιστεί με ποιο κριτήριο θα διαλέγεται η ομάδα προς διαίρεση και με ποιο τρόπο θα γίνεται η διαίρεση αυτή.
- Συσσωρευτική (Agglomerative ή “bottom-up”): Ξεκινώντας από τη βάση, όπου βρίσκονται οι ομάδες που περιέχουν ένα αντικείμενο η καθεμία (singleton clusters), σε κάθε βήμα συνενώνεται το ζευγάρι των ομάδων που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ομοιότητα. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί τον ορισμό του κριτηρίου της ομοιότητας.
- Ένα παράδειγμα αλγορίθμου συσσωρευτικής ιεραρχικής ομαδοποίησης (Agglomerative Hierarchical Clustering) είναι το ακόλουθο:

Απλός αλγόριθμος συσσωρευτικής ομαδοποίησης.

1. Υπολογισμός της απόστασης όλων των ζευγαριών που δημιουργούνται από το σύνολο των ομάδων, δηλαδή υπολογισμός του πίνακα όπου το (i,j) στοιχείο του αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ της i και j ομάδας.
2. Συνένωση των ομάδων με τη μικρότερη απόσταση.
3. Εκ νέου υπολογισμός του πίνακα αποστάσεων με βάση το νέο σύνολο ομάδων.
4. Επανάληψη των βημάτων 2 και 3 μέχρι να παραμείνει μόνο μία ομάδα.

Το αποτέλεσμα της «ιεραρχικής» ομαδοποίησης μπορεί να αποτυπωθεί γραφικά με τη βοήθεια ενός δενδρογράμματος (Εικόνα 3-5). Με το δένδρο αποτυπώνονται η διαδικασία συνένωσης (merging) ή διαχωρισμού (splitting) και οι ενδιάμεσες ομάδες (intermediate clusters). Στην Εικόνα 3-5 απεικονίζεται πως μπορούν να συνενωθούν ή να διαχωριστούν 4 αντικείμενα ($p1, p2, p3, p4$).



Εικόνα 3-5 Παράδειγμα ιεραρχικής ομαδοποίησης 4 αντικειμένων

Βασικές τεχνικές ιεραρχικής ομαδοποίησης είναι :

- The Single Link Method (SLINK): Σαν απόσταση μεταξύ δύο ομάδων ορίζεται η μικρότερη από όλες τις αποστάσεις μεταξύ των αντικειμένων (x, y) , έστω $D_{x,y}$, τέτοια ώστε το x να ανήκει σε διαφορετική ομάδα από του y . Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή και ως «μέθοδος του κοντινότερου γείτονα» (nearest neighbor method). Η απόσταση $D_{X,Y}$ δύο ομάδων υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D_{X,Y} = \min \{ D_{x,y} \}, \quad x \in X, y \in Y, \quad (3.1.21)$$

όπου (X, Y) είναι ομάδες και (x, y) είναι αντικείμενα στις αντίστοιχες ομάδες. Η τεχνική αυτή είναι η πιο απλή από τις τεχνικές ομαδοποίησης. Ωστόσο οδηγεί συνήθως στη δημιουργία μεγάλων και ομάδων. Η τεχνική αυτή δε θεωρείται κατάλληλη όταν τα αντικείμενα είναι συγκεντρωμένα γύρω από κάποια κέντρα του χώρου μέτρησης.

- The Complete Link Method (CLINK): Σε αυτή την περίπτωση, σαν απόσταση μεταξύ δύο ομάδων ορίζεται η μεγαλύτερη από όλες τις αποστάσεις μεταξύ των αντικειμένων (x, y) , $D_{x,y}$, με x και y να ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται και «μέθοδος του πιο απομακρυσμένου γείτονα» (furthest neighbor method). Η απόσταση $D_{X,Y}$ υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D_{X,Y} = \max \{ D_{x,y} \}, \quad x \in X, y \in Y, \quad (3.1.22)$$

όπου (X, Y) είναι ομάδες και (x, y) είναι αντικείμενα στις αντίστοιχες ομάδες. Η μέθοδος αυτή οδηγεί στη δημιουργία μικρών και συνεκτικών ομάδων.

- The Group Average Method: Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μέση τιμή της συσχέτισης των στοιχείων της ομάδας σε αντίθεση με την SLINK και την CLINK, που ενδιαφέρονται για τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή συσχέτισης. Συνεπώς, εφόσον όλα τα στοιχεία της ομάδας συνεισφέρουν στο βαθμό συσχέτισης, κάθε στοιχείο είναι κατά μέσο όρο ποιο «κοντά» με όλα τα στοιχεία της ομάδας του παρά με τα στοιχεία μιας άλλης ομάδας.
- Centroid/median Method: Οι ομάδες σε αυτή την τεχνική αντιπροσωπεύονται από ένα σημείο, που ονομάζεται κέντρο μάζας (centroid). Η απόσταση μεταξύ δύο ομάδων ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ των κέντρων μάζας αυτών.

3.1.4.2.2 Διαμεριστική Ομαδοποίηση

Σε αντίθεση με την «ιεραρχική» ομαδοποίηση, με τη «διαμεριστική» (partitional) ομαδοποίηση η διαμέριση γίνεται σε ένα επίπεδο. Αν K ο επιθυμητός αριθμός των τελικών ομάδων μετά την ομαδοποίηση, με αυτή την προσέγγιση οι K ζητούμενες ομάδες δημιουργούνται σε ένα βήμα. Αντιθέτως, η «ιεραρχική» προσέγγιση είτε διαιρεί μια ομάδα σε ακριβώς δυο νέες ομάδες (splitting), είτε συνενώνει δυο ομάδες σε μία (merging). Φυσικά είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε «ιεραρχική» ομαδοποίηση για να δημιουργήσουμε K ομάδες, και αντίστοιχα με επαναλαμβανόμενη εφαρμογή της «διαμεριστικής» ομαδοποίησης μπορούμε να προσομοιώσουμε την «ιεραρχική» ομαδοποίηση. Μια τέτοια προσέγγιση είναι και ο αλγόριθμος των K -μέσων (K -means algorithm).

- Αλγόριθμος K -μέσων (K -means algorithm): Ο αλγόριθμος των K -μέσων (K -means algorithm) βασίζεται στην ιδέα ότι ένα σημείο αντιπροσωπεύει κάθε ομάδα (cluster).

Συγκεκριμένα, στον αλγόριθμο αυτό χρησιμοποιείται η έννοια του κέντρου μάζας της ομάδας (centroid). Σαν κέντρο μάζας της ομάδας χρησιμοποιείται είτε η μέση τιμή (mean) των στοιχείων της ομάδας, είτε η διάμεσος (median) αυτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κέντρο μάζας σχεδόν ποτέ δεν αντιστοιχεί σε κάποιο πραγματικό στοιχείο.

Ο βασικός αλγόριθμος των K -μέσων (K -means algorithm) είναι ο εξής:

1. Επιλογή K στοιχείων ως αρχικά κέντρα μάζας.
2. Ανάθεση των υπόλοιπων στοιχείων στην ομάδα με το κοντινότερο κέντρο μάζας.
3. Υπολογισμός των κέντρων μάζας των νέων ομάδων.
4. Επανάληψη των βημάτων 2 και 3 μέχρι να μην σημειωθεί αλλαγή στα κέντρα μάζας.

3.2 Υλοποίηση Αλγορίθμου

Το λογικό διάγραμμα του αλγορίθμου είναι όμοιο με αυτό της Εικόνας 3-2.

3.2.1 Διαδικασία Αρχικοποίησης

Τα δεδομένα εισόδου εισάγονται σε ένα πίνακα εισόδου. Οι στήλες του πίνακα περιέχουν κατά σειρά: τη χρονική στιγμή του συνόλου των μετρήσεων, το πλήθος των μετρήσεων της σάρωσης και τις μετρήσεις θέσης και ταχύτητας ανάλογα με τις πληροφορίες που παρέχουν οι αισθητήρες στο σύστημα. Οι πληροφορίες αυτές είναι μόνο μέτρηση θέσης αν χρησιμοποιούνται ραδιοεντοπιστές (radar), ή μέτρηση θέσης και ταχύτητας αν χρησιμοποιούνται σαρωτές laser. Σε ένα σύστημα πραγματικού χρόνου οι μετρήσεις θα λαμβάνονταν σειριακά ανά σάρωση και όχι όλες μαζί κατά την αρχικοποίηση της διαδικασίας, αλλά τα δεδομένα εισόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα μαζί εξ' αρχής χωρίς σφάλμα της γενικότητας. Ο πίνακας εισόδου μετατρέπεται σε ένα κελί πινάκων όπου κάθε γραμμή περιέχει όλες τις μετρήσεις κάθε σάρωσης. Οι μετρήσεις της πρώτης σάρωσης χρησιμοποιούνται για την αρχικοποίηση των διανυσμάτων κατάστασης των πρώτων στόχων, δηλαδή αρχικά όλες οι μετρήσεις που λαμβάνονται θεωρούνται ως θέσεις στόχων. Παράλληλα, αρχικοποιούνται κατάλληλα οι πίνακες θορύβου μέτρησης και συν-διακύμανσης καθώς και οι πίνακες του φίλτρου Kalman ανάλογα με το θόρυβο μέτρησης των αισθητήρων και το μοντέλο κίνησης που χρησιμοποιείται.

3.2.2 Συσχέτιση Δεδομένων – Πρόβλεψη

Κάθε φορά που λαμβάνεται ένα νέο σύνολο δεδομένων, πραγματοποιείται μία προσωρινή πρόβλεψη, μέσω του φίλτρου Kalman, για την επόμενη σάρωση για το N πλήθος ίχνων που κάθε ένα αντιπροσωπεύεται από τα \bar{x} και \bar{P} χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις πρόβλεψης Kalman:

$$\bar{x}(k+1) = \Phi \cdot \bar{x}(k) \quad (3.2.1)$$

$$\bar{P}(k+1) = \Phi P(k) \Phi^T + Q \quad (3.2.2)$$

όπου:

Φ = Ο πίνακας μετάβασης

Q = Ο πίνακας συν-διακύμανσης του θορύβου διαδικασίας

Γύρω από την προβλεπόμενη τιμή δημιουργείται μία πύλη. Τα N τρέχοντα ίχνη συσχετίζονται με τις M μετρήσεις του συνόλου μετρήσεων που λαμβάνεται σε κάθε σάρωση χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση συσχέτισης μέσω πύλης. Οι πύλες που χρησιμοποιούνται, όπως αναφέρθηκε, είναι ελλειψοειδείς. Το κριτήριο για να ανήκει μία μέτρηση Z_m μέσα στην πύλη μεγέθους G βασίζεται στο διάλυμα υπολοίπου $Z_m - H\bar{x}$ σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$\text{Ελλειψοειδής} \quad (Z_m - H\bar{x})^T B^{-1} (Z_m - H\bar{x}) \leq G \quad \mu\epsilon \quad B = H\bar{P}H + R,$$

Πύλη:

$R = O$ πίνακας συν-διακύμανσης του σφάλματος μέτρησης

Έτσι, αν η μέτρηση ανήκει μέσα στην πύλη, λαμβάνει μία διαβάθμιση (σχορ) που εξαρτάται από το διάνυσμα υπολοίπου και το μέγεθος G της πύλης, υπολογίζοντας της διαφορά τους. Δημιουργείται με αυτό τον τρόπο ένα πίνακας συσχέτισης ($N \times M$) με τις διαβαθμίσεις για κάθε συνδυασμό μέτρησης – ίχνους.

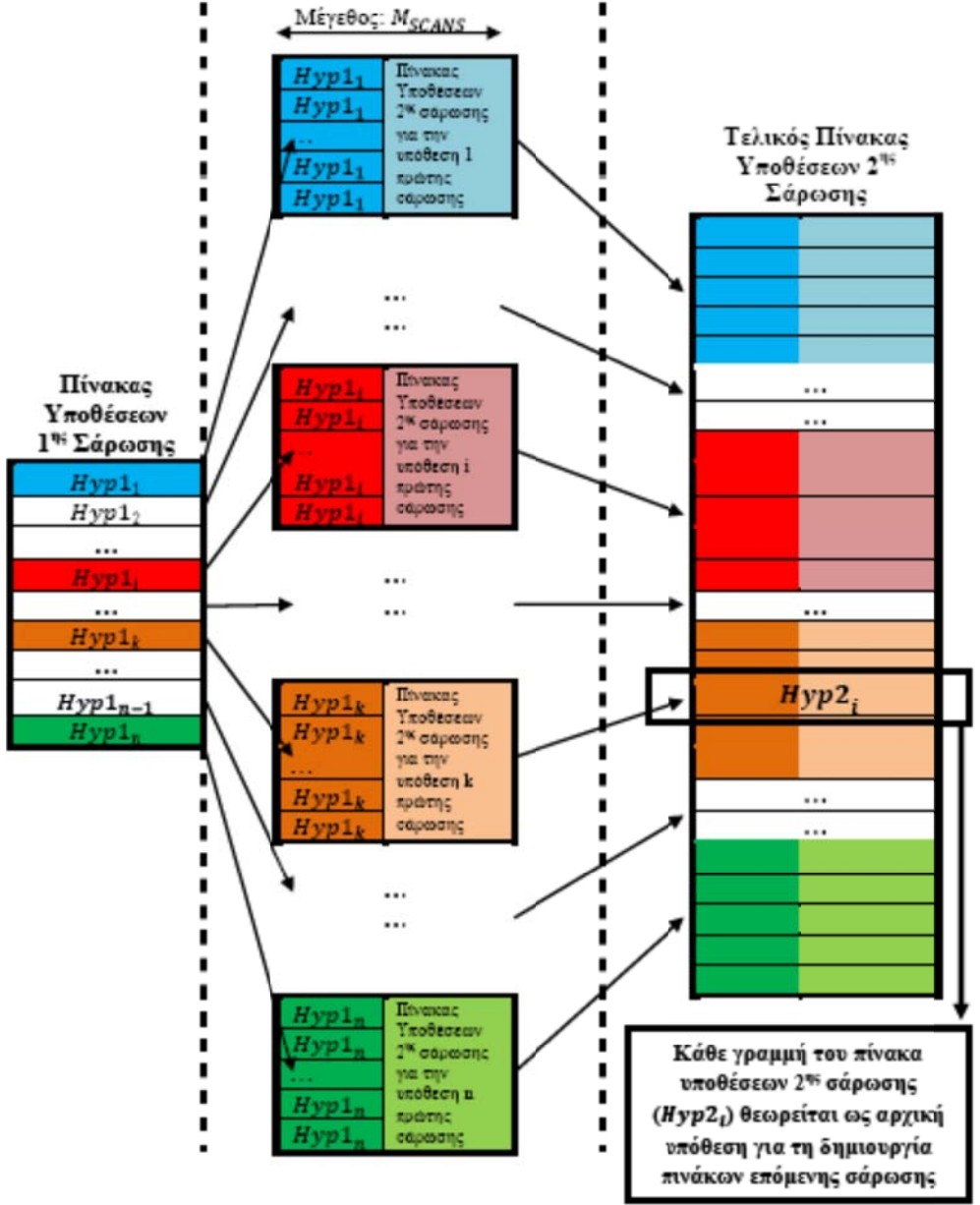
3.2.3 Δημιουργία Πίνακα Υποθέσεων

Χρησιμοποιώντας, τον πίνακα συσχέτισης ($N \times M$), κάθε μέτρηση θεωρείται ότι αποτελεί ψευδή συναγεμώ, ότι ανήκει σε κάποιο προϋπάρχον ίχνος στόχου ή ότι αρχικοποιεί ένα νέο στόχο. Σε προγραμματιστικό επίπεδο χρησιμοποιείται η μορφή πίνακα (Πίνακας 3-2) η οποία υλοποιείται επαναληπτικά για κάθε παρατήρηση του συνόλου παρατηρήσεων. Ο πίνακας έχει μέγεθος $N_{HYP} \times M$, όπου N_{HYP} είναι το πλήθος των υποθέσεων και M το πλήθος των μετρήσεων της τρέχουσας σάρωσης. Η διαδικασία επέκτασης του πίνακα υποθέσεων είναι και αυτή επαναληπτική και δε διαφέρει καθόλου από τη δημιουργία του πίνακα υποθέσεων για μία σάρωση, εκτός φυσικά από το γεγονός ότι μεταξύ των σαρώσεων τα ίχνη στόχων είναι συμβατά, δηλαδή μπορεί να αποτελούν τιμές του πίνακα υποθέσεων για διαφορετικές σαρώσεις, σε αντίθεση με ότι ισχύει για τη μία σάρωση. Έτσι, για κάθε γραμμή του προηγούμενου πίνακα υποθέσεων δημιουργείται ένας νέος πίνακας υποθέσεων και με διαδοχικές συνενώσεις των επιμέρους πινάκων δημιουργείται ο τελικός πίνακας υποθέσεων για τις πολλαπλές σαρώσεις. Ο τελικός αυτός πίνακας έχει μέγεθος $N_{HYP} \times M_{SCANS}$, όπου M_{SCANS} είναι το σύνολο των μετρήσεων για τις πολλαπλές σαρώσεις. Παρόλο που υπάρχουν διάφορες απόψεις για το ποιά πρέπει να είναι το πλήθος των σαρώσεων για το οποίο διατηρείται ο πίνακας υποθέσεων, δεν υπάρχει μία καθολική βέλτιστη λύση. Ανάλογα με την πολυπλοκότητα της εφαρμογής για την οποία προορίζεται ο αλγόριθμος, χρησιμοποιείται μικρότερο ή μεγαλύτερο πλήθος σαρώσεων. Στην παρούσα υλοποίηση, και ύστερα από πειραματισμό, επιλέχθηκε η τιμή αυτή να είναι 3, αλλά μπορεί πολύ απλά να διαφοροποιηθεί με μία απλή αλλαγή στην αρχικοποίηση των μεταβλητών. Μια σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αρχικοποίησης και επέκτασης του πίνακα υποθέσεων παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-6.

3.2.4 Διαγραφή Ιχνών

Κάθε φορά που ένα ίχνος δε συσχετίζεται με κάποια παρατήρηση η αντίστοιχη τιμή της θέσης του πεδίου `Track_loss` της δομής υποθέσεων αυξάνεται κατά 1 και το ίχνος θεωρείται μη επιβεβαιωμένο. Αν ένα ίχνος δε συσχετιστεί με παρατηρήσεις για διαδοχικές σαρώσεις, σβήνεται από το πεδίο `Track` της δομής υποθέσεων και δε θεωρείται πια ως επιβεβαιωμένο ίχνος μέσα στην τρέχουσα υπόθεση, ακόμη και να είχε επιβεβαιωθεί για προηγούμενες σαρώσεις.

Πρώτη σάρωση	Δεύτερη σάρωση	Μετά το τέλος της δεύτερης σάρωσης
Βήμα 1: Πίνακας υποθέσεων για τις παρατηρήσεις 1 ^{ης} σάρωσης κατά το πρότυπο του Reid.	Βήμα 2: Δημιουργία πίνακα υποθέσεων 2 ^{ης} σάρωσης ($N_{HYP2,i} \times M_{SCANS}$) για κάθε προηγούμενη υπόθεση 1 ^{ης} σάρωσης. Επανάληψη της υπόθεσης – γεννήτορα $N_{HYP2,i}$ φορές και οριζόντια συνένωση με το νέο πίνακα υποθέσεων. Για τη 2 ^η σάρωση: $SCANS = 2$.	Βήμα 3: Κατακόρυφη συνένωση των πινάκων που δημιουργήθηκαν στο Βήμα 2. Η συνένωση αυτή οδηγεί στον τελικό πίνακα υποθέσεων 2 ^{ης} σάρωσης. Η διαδικασία για $N - \text{οστή}$ σάρωση είναι ίδια, αν τα Βήματα 1,2,3 επαναληφθούν $N - 1$ φορές.



Εικόνα 3-6 Διαδικασία δημιουργίας πίνακα υποθέσεων πολλαπλών σαρώσεων

3.2.5 Ανανέωση Εκτίμησης Κατάστασης

Μετά από κάθε σάρωση δημιουργείται ο πίνακας υποθέσεων και γίνεται η ανανέωση του διανύσματος κατάστασης και της συν-διακύμανσης για κάθε ίχνος χρησιμοποιώντας το φίλτρο Kalman. Αν η υπόθεση υποδεικνύει ότι η παρατήρηση αποτελεί ψευδή συναγερμό πραγματοποιείται απλά πρόβλεψη για την επόμενη σάρωση μέσω των εξισώσεων που παρουσιάστηκαν στις εξισώσεις (3.2.1) και (3.2.2). Αν η υπόθεση υποδεικνύει ότι η παρατήρηση συσχετίζεται με κάποιο προϋπάρχον ίχνος, η εκτίμηση της κατάστασης του ίχνους ανανεώνεται χρησιμοποιώντας την τρέχουσα παρατήρηση μέσω των εξισώσεων:

$$\hat{x}(k) = \bar{x}(k) + K[z(k) - H\bar{x}(k)] \quad (3.2.3)$$

$$\hat{P}(k) = \bar{P} - \bar{P}H^T (H\bar{P}H^T + R)^{-1} H\bar{P} \quad (3.2.4)$$

όπου:

K = Κέρδος Kalman

$z(k)$ = Τρέχουσα Μέτρηση

H = Πίνακας Μέτρησης

Τέλος, αν η υπόθεση υποδεικνύει ότι η παρατήρηση αρχικοποιεί ένα νέο ίχνος, το διάνυσμα κατάστασης χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του νέου ίχνους. Σε κάθε περίπτωση η δομή υποθέσεων ανανεώνεται κατάλληλα.

3.2.6 Υπολογισμός Πιθανοτήτων

Κάθε φορά που δημιουργείται ο πίνακας υποθέσεων υπολογίζονται οι πιθανότητες για κάθε υπόθεση και έτσι δημιουργείται ο πίνακας πιθανοτήτων με μέγεθος $N_{\text{HYP}} \times 1$.

Οι βασικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι:

P_D = Πιθανότητα ανίχνευσης

β_{FT} = Παράγοντας ψευδών συναγερμών

β_{NT} = Παράγοντας νέων στόχων

$$N(x, P) = \exp \left[-\frac{1}{2} x^T P^{-1} x \right] / \sqrt{(2\pi)^n |P|}$$

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2}$$

Όταν ξεκινάει η διαδικασία ιχνηλάτησης, όλες οι πιθανότητες αρχικοποιούνται με την τιμή $(1 - P_D)^{N_{\text{TGT}}}$, όπου N_{TGT} είναι το πλήθος των γνωστών από πριν στόχων, που βρίσκονταν μέσα στο χώρο παρατήρησης.

Στις επόμενες σαρώσεις, η προηγούμενη πιθανότητα κάθε υπόθεσης αρχικά πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα $(1 - P_D)^{N_{\text{TGT}}}$ και στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με μία από τις ακόλουθες τιμές, ανάλογα με το χαρακτηρισμό της συσχέτισης κάθε μέτρησης:

$$\beta_{FT} = \begin{cases} f(a|G, 1), & a < G/2 \\ 1 - f(a|G, 1), & a > G/2 \end{cases}, \text{ αν η μέτρηση αποτελεί ψευδή συναγερμό}$$

$$\beta_{NT} = \begin{cases} f(a|G, 5), & a < G/2 \\ 1 - f(a|G, 5), & a > G/2 \end{cases}, \text{ αν η μέτρηση αρχικοποιεί νέο στόχο}$$

$P_D N(Z_m - H\bar{x}, B)/(1 - P_D)$, αν η μέτρηση συσχετιστεί με κάποιο προηγούμενο ίχνος

Στις παραπάνω εξισώσεις, a είναι η διαβάθμιση (σκορ) της συσχέτισης και G είναι η οριακή τιμή για τη δημιουργία πύλης. Συνεπώς, οι παράγοντες για ψευδείς συναγερμούς και νέους στόχους εξαρτώνται από το πόσο καλή συσχέτιση πραγματοποιείται μεταξύ των παρατηρήσεων και των ίχνων. Στον παράγοντα νέων στόχων β_{NT} ανατίθεται τυπική απόκλιση μεγαλύτερη από αυτή που ανατίθεται στον παράγοντα ψευδών συναγερμών, αφού συνήθως η πυκνότητα ψευδών συναγερμών είναι μικρότερη. Αν η συσχετισμένη μέτρηση έχει μικρή διαβάθμιση, οι τιμές των παραγόντων β_{FT} και β_{NT} μειώνονται αναλογικά ώστε να μην είναι εύκολο να ξεπεράσουν την τιμή του παράγοντα για συσχέτιση με προϋπάρχον στόχο, που είναι η πιο κοινή περίπτωση. Αντίθετα, αν η τρέχουσα μέτρηση δεν έχει συσχετιστεί με κανένα στόχο ($\sum a_{N,M} = 0$), στους παράγοντες αυτούς ανατίθενται σχετικά χαμηλές σταθερές τιμές.

Ο σχετικά μικρός παράγοντας που ανατίθεται σε περίπτωση αρχικοποίησης νέου στόχου δεν αποτελεί τροχοπέδη στην ανίχνευσή του, αφού, αν ο στόχος είναι πραγματικός, οι επόμενες σαρώσεις θα επιλύσουν την αβεβαιότητα συσχετίζοντάς τον με τις επόμενες μετρήσεις χρησιμοποιώντας τον τρίτο πολλαπλασιαστικό παράγοντα και αυξάνοντας σημαντικά την πιθανότητα της υπόθεσης.

Λέξει επίσης να σημειωθεί ότι, σε περιπτώσεις πολύ χαμηλού σφάλματος μέτρησης και θορύβου διαδικασίας, πρέπει να παραληφθεί το B από τον τρίτο πολλαπλασιαστικό παράγοντα αφού οδηγεί σε πολύ χαμηλές τιμές και αποτρέπει το σωστό υπολογισμό των πιθανοτήτων. Δεν είναι τυχαίο, ότι η πειραματική μελέτη του Reid, στην οποία βασίστηκε ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εξετάστηκε με ενάεριους στόχους για τους οποίους τα μοντέλα κίνησης και μέτρησης που χρησιμοποιούνται διαθέτουν πολύ υψηλότερες τιμές θορύβου μέτρησης και διαδικασίας σε σχέση με μία εφαρμογή οχημάτων. Όταν υπολογιστούν όλες οι πιθανότητες, ο πίνακας πιθανοτήτων κανονικοποιείται.

3.2.7 Διαγραφή Υποθέσεων - Επιβεβαίωση ίχνων

Η διαγραφή υποθέσεων πραγματοποιείται κάθε φορά που δημιουργείται ο τελικός πίνακας υποθέσεων για τις τρεις διαδοχικές σαρώσεις με βάση την τεχνική ψαλιδισμού (pruning). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, διαγράφονται όλες οι υποθέσεις που δεν ξεπερνούν ένα όριο πιθανότητας το οποίο τίθεται σε μία υψηλή σταθερή τιμή για όλη τη διαδικασία ίχνηλάτησης και μόνο οι υποθέσεις που παραμένουν χρησιμοποιούνται ως προηγούμενες υποθέσεις για την επόμενη σάρωση.

Για τη διατήρηση του μεγέθους του πίνακα υποθέσεων στα όρια των τριών σαρώσεων, μόνο οι στήλες των δύο τελευταίων σαρώσεων του πίνακα υποθέσεων παραμένουν για τις επόμενες σαρώσεις. Οι στήλες πρώτης σάρωσης εξάγονται και χρησιμοποιούνται για την επιβεβαίωση των πιο πιθανών ίχνων. Τις περισσότερες φορές, οι στήλες πρώτης σάρωσης που εξάγονται περιέχουν μόνο μία υπόθεση, που σημαίνει, ότι υπάρχουν μονοσήμαντες συσχετίσεις παρατηρήσεων με ίχνη για κάθε μία από τις παρατηρήσεις της σάρωσης. Αν οι στήλες πρώτης σάρωσης περιέχουν πολλαπλές υποθέσεις χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές μέθοδοι για την επιβεβαίωση στόχων.

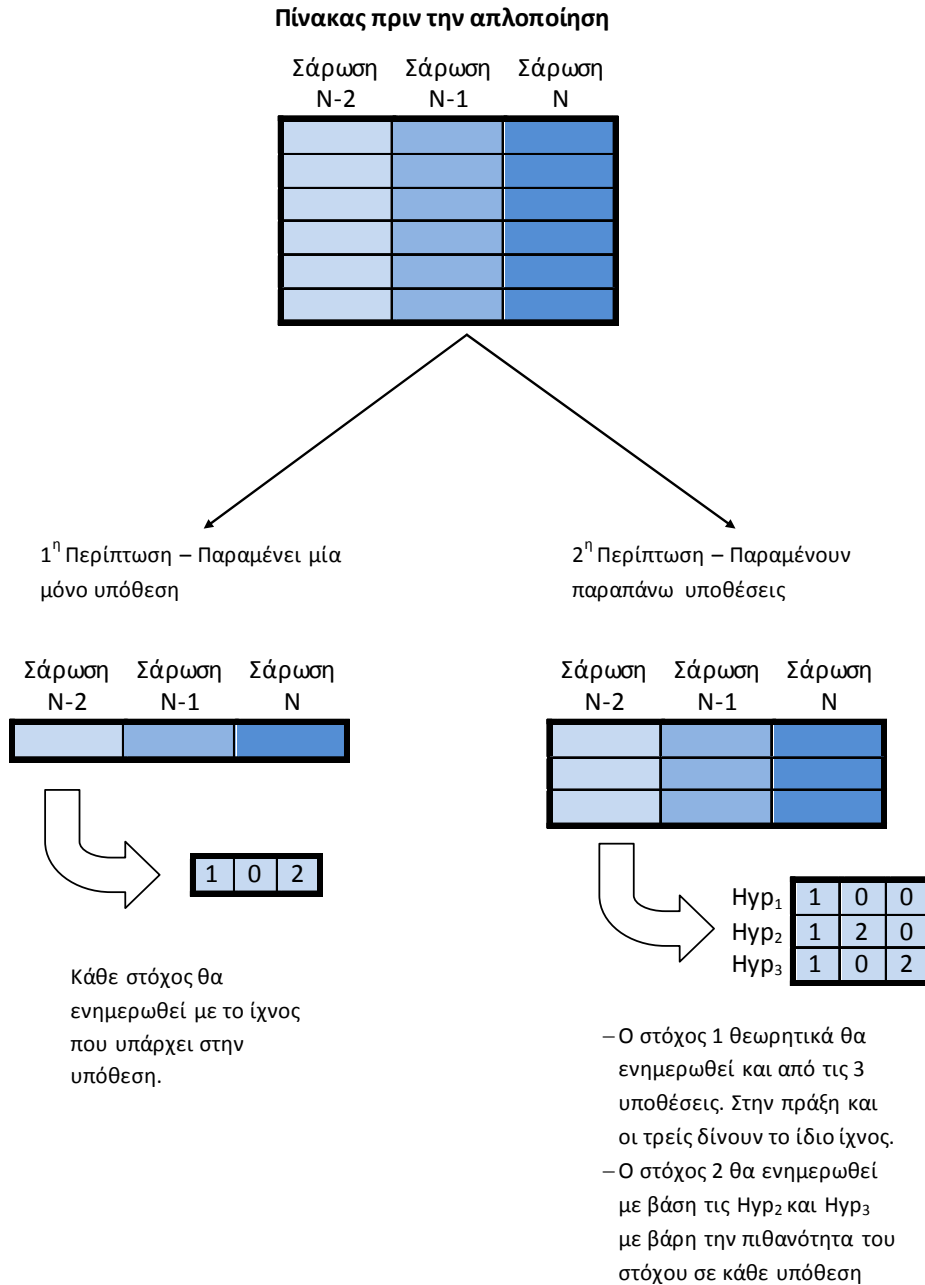
Πρώτον, αν όλες οι υποθέσεις παρουσιάζουν την ίδια συσχέτιση παρατήρησης με στόχο, η συσχέτιση αυτή επιβεβαιώνεται άμεσα. Η εκτίμηση κατάστασης για το ίχνος επιλέγεται ως η εκτίμηση κατάστασης της πιο πιθανής υπόθεσης.

Δεύτερον, αν οι διαφορετικές υποθέσεις παρουσιάζουν διαφορετικές συσχετίσεις με στόχους, η βέλτιστη συσχέτιση επιλέγεται αθροίζοντας τις πιθανότητες των γραμμών που παρουσιάζουν τις ίδιες συσχετίσεις. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζουμε την μέθοδο JPDA για την ενημέρωση των δεδομένων εξόδου. Το διάνυσμα κατάστασης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\hat{x} = \frac{\sum \hat{x}_i \cdot P_i}{\sum P_i}, \quad (3.2.5)$$

όπου \hat{x}_i το ίχνος του στόχου στην υπόθεση i και P_i η πιθανότητα του στόχου στην υπόθεση αυτή.

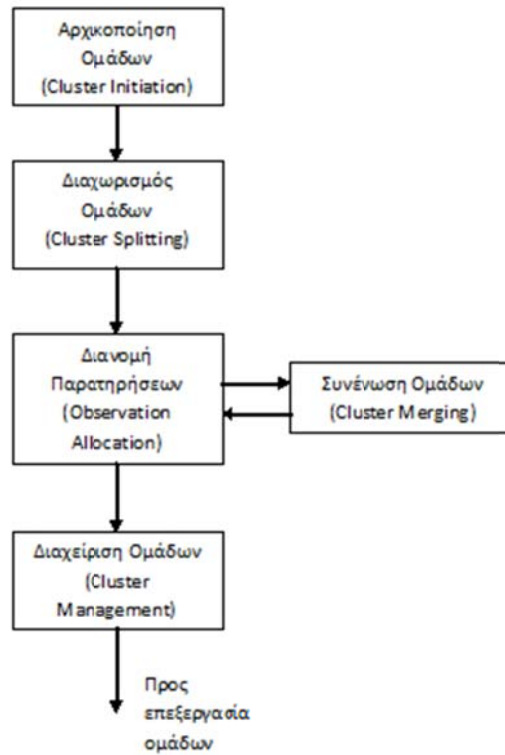
Αυτή η διαδικασία εξαγωγής δεδομένων οδηγεί στη δημιουργία δύο τελικών κελιών πινάκων. Το πρώτο, περιέχει την επιβεβαιωμένη δομή υποθέσεων για κάθε σάρωση και το δεύτερο περιέχει τα IDs των επιβεβαιωμένων στόχων για κάθε σάρωση. Τα κελιά πινάκων χρησιμοποιούνται για τη γραφική αναπαράσταση του ίχνους, δηλαδή τις καρτεσιανές συντεταγμένες των θέσεων των στόχων σε κάθε χρονική στιγμή. Η διαδικασία περιγράφεται σχηματικά στην Εικόνα 3-7.



Εικόνα 3-7 Παράδειγμα εξαγωγής πιθανότερης υπόθεσης

3.2.8 Ομαδοποίηση

Η διαχείριση ομάδων αποτελείται από τις υπορουτίνες αρχικοποίησης ομάδων (cluster initiation), διαχωρισμού ομάδων (cluster splitting), συνένωσης ομάδων (cluster merging), διανομής παρατηρήσεων (observation allocation), και διαχείρισης ομάδων (cluster management), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3-8



Εικόνα 3-8 Δομή βαθμίδας ομαδοποίησης

3.2.8.1 Αρχικοποίηση Ομάδων

Σε περίπτωση που η λίστα υποθέσεων είναι άδεια, το σετ των παρατηρήσεων που λαμβάνεται χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση ομάδων. Οι ομάδες που δημιουργούνται είναι ισάριθμες με τις παρατηρήσεις που λαμβάνονται.

3.2.8.2 Διαχωρισμός Ομάδων (Cluster splitting)

Η σημαντικότητα της διαδικασίας αυτής, όπως ήδη αναφέρθηκε έγκειται στο ότι απαγορεύει στις ομάδες να μεγαλώσουν ανεξέλεγκτα. Ελέγχει το επίπεδο συνοχής της ομάδας και απομακρύνει από αυτή τους στόχους που εμφανίζουν μεγάλη «απόσταση» από τους υπόλοιπους. Η διαδικασία έχει ως εξής: Έστω ότι μια ομάδα έχει N στόχους ($N > 1$). Δημιουργεί έναν πίνακα $N \times N$ όπου το στοιχείο (i, j) έχει την τιμή 1 αν η «απόσταση» μεταξύ των στόχων i και j της ομάδας είναι μεγαλύτερη μιας τιμής κατωφλίου και 0 στην αντίθετη περίπτωση. Για τον υπολογισμό της «απόστασης» αυτής χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$d_{ij}^2 = \left(\hat{x}_i - \hat{x}_j \right)^T \left[\left(P_i^T + P_j^T \right)^T \right]^{-1} \left(\hat{x}_i - \hat{x}_j \right), \quad (3.2.6)$$

όπου \hat{x}_i, \hat{x}_j τα διανύσματα κατάστασης και P_i, P_j οι πίνακες συνδιακύμανσης των στόχων i και j αντίστοιχα. Στη συνέχεια ο πίνακας ελέγχεται κατά στήλη. Αν κάποια στήλη έχει άθροισμα

μεγαλύτερη του 0, τότε ο αντίστοιχος στόχος αφαιρείται από την ομάδα. Για κάθε στόχο που διαγράφεται, διαγράφονται και οι υποθέσεις στις οποίες συμμετείχε, καθώς και οι αντίστοιχες γραμμές του πίνακα υποθέσεων και του πίνακα πιθανοτήτων. Για τους στόχους αυτούς δημιουργούνται ισάριθμες νέες ομάδες με αρχικοποιημένο πίνακα συνδιακύμανσης.

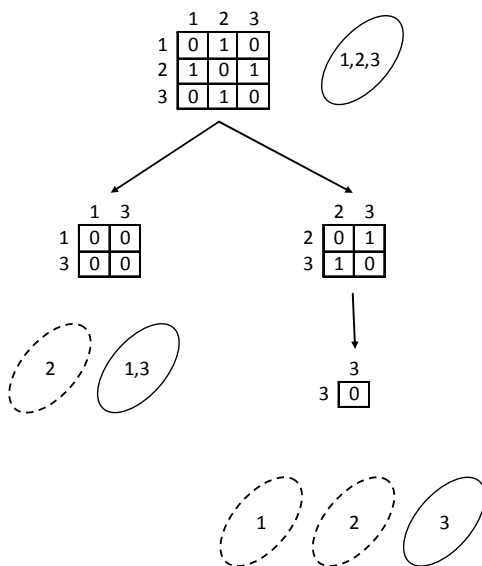
Η διαδικασία επιλογής της σειράς διαχωρισμού των στόχων από την ομάδα υλοποιήθηκε με 2 τρόπους. Για την καλύτερη περιγραφή των 2 προσεγγίσεων θα χρησιμοποιήσουμε το εξής παράδειγμα: έστω ότι ο Πίνακας 3-3 αποτελεί τον πίνακα σύγκρισης στην περίπτωση που μια ομάδα έχει 3 στόχους. Η τιμή 1 στη θέση (i, j) σημαίνει ότι οι στόχοι i και j είναι «αρκετά» μακριά μεταξύ τους ώστε να πρέπει να τοποθετηθούν σε διαφορετικές ομάδες. Η τιμή 0 σημαίνει το αντίθετο.

	1	2	3
1	0	1	0
2	1	0	1
3	0	1	0

Πίνακας 3-4 Παράδειγμα πίνακα σύγκρισης

Με την πρώτη υλοποίηση ξεκινάμε διαχωρίζοντας τον στόχο του οποίου η αντίστοιχη στήλη έχει το μεγαλύτερο άθροισμα. Αρχικοποιούμε μια νέα ομάδα με αυτό το στόχο, τον αφαιρούμε από την αρχική ομάδα και συνεχίζουμε την διαδικασία αφού πρώτα σχηματίσουμε τον νέο πίνακα συγκρίσεως, αφαιρώντας την γραμμή και στήλη που αντιστοιχούσε στον στόχο αυτό.

Στη δεύτερη υλοποίηση ξεκινάμε από την πρώτη στήλη του πίνακα συγκρίσεως και για όποια στήλη έχει άθροισμα μεγαλύτερο του μηδέν, αρχικοποιούμε μια νέα ομάδα με τον αντίστοιχο στόχο και τον αφαιρούμε από την αρχική ομάδα. Στη συνέχεια αφαιρούμε την γραμμή και στήλη που αντιστοιχούσε στον στόχο και συνεχίζουμε. Το αποτέλεσμα των 2 μεθόδων αποτυπώνεται στην Εικόνα 3-9.



Εικόνα 3-9 Παράδειγμα διαχωρισμού ομάδων

Από την Εικόνα 3-9 φαίνεται ότι η πρώτη υλοποίηση είναι αποδοτικότερη καθώς διαχωρίζει τους στόχους ορθότερα (αφήνει τους στόχους 1 και 3 στην ίδια ομάδα, όπως ορίζει ο πίνακας συγκρίσεως. Ωστόσο, στην πράξη, συντελεί στο σχηματισμό μεγαλύτερων πινάκων υποθέσεων, κάτι που αυξάνει τον υπολογιστικό χρόνο. Αντίθετα, με τη δεύτερη υλοποίηση, ο χρόνος εκτέλεσης είναι αισθητά μικρότερος χωρίς να έχουμε αλλοίωση των αποτελεσμάτων, ειδικά σε περίπτωση που η διάταξη των στόχων είναι πιο αραιή.

3.2.8.3 Διανομή Παρατηρήσεων (Observation Allocation).

Σε αυτή την υπορουτίνα οι εισερχόμενες παρατηρήσεις διανέμονται στις υπάρχουσες ομάδες. Το κριτήριο που χρησιμοποιείται είναι η «απόσταση» της παρατήρησης από την ομάδα η οποία υπολογίζεται από τους τύπους:

$$D_j^2 = \min(d_j^2), \quad (3.2.7)$$

με

$$d_j^2 = \left(\hat{y} - \hat{x}_j \right)^T \left(\hat{y} - \hat{x}_j \right), j = 1 \dots N_j \quad (3.2.8)$$

όπου \hat{y} το διάνυσμα κατάστασης της παρατήρησης \hat{x}_j το διάνυσμα κατάστασης του στόχου j της ομάδας και N_j το πλήθος των ιχνών της ομάδας.

Για κάθε μέτρηση της τρέχουσας σάρωσης κατασκευάζεται ένας διάνυσμα μήκους N , όπου N ο αριθμός των ομάδων. Το στοιχείο j του πίνακα είναι 0 αν η «απόσταση» της μέτρησης από την ομάδα j είναι μεγαλύτερη από μια τιμή κατωφλίου και ίση με D_j^2 στην αντίθετη περίπτωση. Έστω n το άθροισμα των στοιχείων του πίνακα που είναι διάφορα του μηδενός. Τότε, εάν:

- $n = 0$, που σημαίνει ότι η παρατήρηση δεν μπορεί να συσχετιστεί με καμία ομάδα, αρχικοποιείται μία νέα ομάδα με την παρατήρηση αυτή.
- $n = 1$, που σημαίνει ότι η παρατήρηση συσχετίζεται με ακριβώς με ένα ιχνος, η παρατήρηση αυτή προστίθεται στο πεδίο “Ymeas” της ομάδας.
- $n > 1$, που σημαίνει ότι η παρατήρηση συσχετίζεται με παραπάνω από ένα ιχνη, οι ομάδες συγχωνεύονται και η παρατήρηση προστίθεται στο πεδίο “Ymeas” της νέας υπερ-ομάδας(super-cluster).

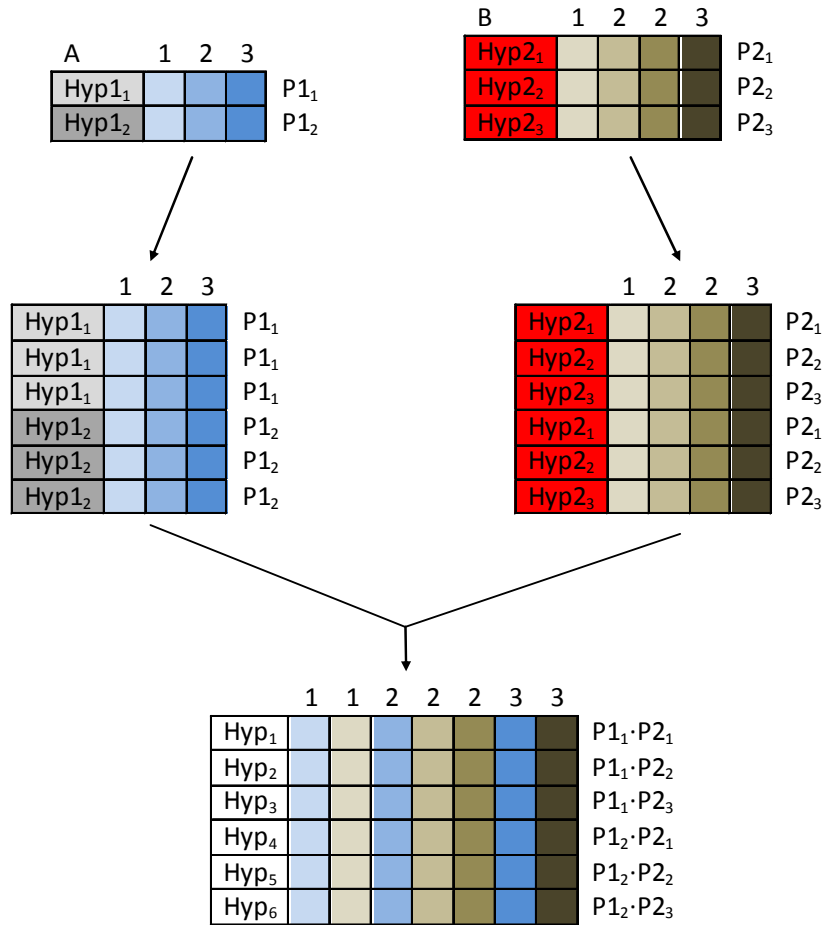
3.2.8.4 Συγχώνευση Ομάδων

Σε περίπτωση που κάποια παρατήρηση συσχετίζεται με παραπάνω από μια παρατηρήσεις, καλείται η υπορουτίνα συνένωσης ομάδων. Η συγχώνευση γίνεται ανά ζευγάρι ομάδων (Εικόνα 3-10).



Εικόνα 3-10 Παράδειγμα συγχώνευσης ομάδων

Η διαδικασία εκτελείται στην περίπτωση όπου 2 ή περισσότερες ομάδες πρέπει να συγχωνευτούν και εκτελείται ανά ζεύγη ομάδων. Η διαδικασία συνδυασμού των πινάκων υποθέσεων φαίνεται στην Εικόνα 3-10. Για διευκόλυνση του σχεδιασμού θεωρούμε ότι θέλουμε να συγχωνεύσουμε του πίνακες A και B όπου ο πίνακας A έχει διαστάσεις 2×3 και ο B έχει διαστάσεις 3×4 . Οι αριθμοί πάνω από τις στήλες υποδηλώνουν τον αριθμό της σάρωσης στην οποία έγινε η αντίστοιχη παρατήρηση. Η διαδικασία συνδυασμού των πιθανοτήτων έγκειται στον πολλαπλασιασμό των επιμέρους πιθανοτήτων όπως πραγματοποιείται στην Εικόνα 3-11.



Εικόνα 3-11 Παράδειγμα συνδυασμού πινάκων υποθέσεων

Από τον συνδυασμό των υποθέσεων δημιουργείται ένας νέος πίνακας υποθέσεων με αριθμό ίσο με το γινόμενο των γραμμών των 2 πινάκων προς συνένωση. Τα στοιχεία του πίνακα αυτού είναι όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των στοιχείων του αρχικών πινάκων.

3.2.8.5 Συγχώνευση Υποθέσεων

Όπως αναφέρθηκε, η συγχώνευση υποθέσεων είναι ένας ακόμη τρόπος αντιμετώπισης της αύξησης του πίνακα υποθέσεων. Η συγχώνευση υποθέσεων εφαρμόζεται μετά την απλοποίηση του πίνακα υποθέσεων. Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι η εύρεση υποθέσεων με παρόμοιες αναθέσεις και η συγχώνευση των υποθέσεων αυτών.

Βασικό κριτήριο για να μπορούν να συγκριθούν 2 υποθέσεις είναι να έχουν τον ίδιο αριθμό αναθέσεων σε στόχους (και όχι σε ψευδείς συναγεργμούς). Για παράδειγμα, στον Πίνακα 3-5, οι υποθέσεις 1 και 2 είναι συμβατές μεταξύ τους αλλά όχι με την 3 (το 0 υποδηλώνει χαρακτηρισμό της παρατήρησης ως ψευδή συναγεργμό).

Υπόθεση 1	1	1	2	3
Υπόθεση 2	1	4	2	6
Υπόθεση 3	1	4	2	0

Πίνακας 3-5 Παράδειγμα υποθέσεων προς συγχώνευση

Για κάθε ζευγάρι συμβατών υποθέσεων κατασκευάζεται πίνακας $N \times N$, όπου N το πλήθος των στόχων των 2 υποθέσεων. Το στοιχείο (i, j) του πίνακα περιέχει την «απόσταση» του στόχου i της μίας υπόθεσης από τον στόχο j της δεύτερης. Σαν «απόσταση», ή κριτήριο ομοιότητας υπολογίζεται το μέγεθος:

$$d_{ij}^2 = \mathbf{K} - \left(\hat{x}_i - \hat{x}_j \right)^T \left[\left(P_i^T + P_j^T \right)^T \right]^{-1} \left(\hat{x}_i - \hat{x}_j \right), \quad (3.2.9)$$

όπου \hat{x}_i το διάνυσμα κατάστασης και P_i ο πίνακας συνδιακύμανσης του στόχου i της μίας υπόθεσης, και \hat{x}_j το διάνυσμα κατάστασης και P_j ο πίνακας συνδιακύμανσης του στόχου j της άλλης υπόθεσης. Το \mathbf{K} είναι μια σταθερά που στη περίπτωση μας έχει επιλεγεί ίση με 20. Αν το μέγεθος αυτό προκύψει αρνητικό, τότε αντικαθίσταται με το 0. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε στον πίνακα τον αλγόριθμο του πλειστηριασμού (auction algorithm [11]). Σε περίπτωση που βρεθεί αντιστοιχία για όλους τους στόχους, θεωρούμε ότι οι δύο υποθέσεις μπορούν να συγχωνευθούν. Δημιουργούμε έναν πίνακα M σειρών, όπου M το πλήθος των υποθέσεων, όπου στη γραμμή i υπάρχουν οι υποθέσεις που πρέπει να συγχωνευθούν με την υπόθεση i .

Για την συγχώνευση των συμβατών υποθέσεων ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Ξεκινώντας από το τέλος του πίνακα, εφόσον μια υπόθεση συγχωνευθεί, διαγράφουμε οποιαδήποτε άλλη αναφορά υπάρχει στον πίνακα για αυτή την υπόθεση, βασιζόμενοι στη λογική ότι αν η υπόθεση A είναι συμβατή με την B , και η υπόθεση B είναι συμβατή με την Γ , τότε και η υπόθεση A θα είναι συμβατή με την Γ .

3.2.9 Διαχείριση Ιχνών

Σε περίπτωση που κάποιος δεν συσχετιστεί με καμία παρατήρηση, το αντίστοιχο πεδίο “trackLoss” του στόχου αυξάνεται κατά 1. Σε αντίθετη περίπτωση το πεδίο “trackLoss” μηδενίζεται. Αν το “trackLoss” κάποιου στόχου περάσει μια τιμή-κατώφλι, ο στόχος διαγράφεται. Με άλλα λόγια, ο στόχος διαγράφεται αν δεν συσχετιστεί με παρατήρηση για κάποιο αριθμό διαδοχικών σαρώσεων.

3.3 Αποτελέσματα ΜΗΤ

Για την εξέταση της λειτουργίας του αλγορίθμου ΜΗΤ που υλοποιήθηκε εξετάζονται ορισμένα σενάρια προσομοιωμένων δεδομένων εισόδου ώστε να είναι δυνατός ο καλύτερος δυνατός έλεγχος των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται και με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που δίνει η μέθοδος GNN ώστε να αποδειχθεί η υπεροχή του ΜΗΤ.

Εξετάζονται τέσσερα σενάρια αυξανόμενης δυσκολίας με διαφορετική κίνηση των στόχων καθώς και με διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και πλήθους εσφαλμένων μετρήσεων (clutter). Τα σενάρια μοντελοποιούν συνηθισμένες καταστάσεις οδήγησης, όπως κίνηση οχημάτων σε λωρίδες κυκλοφορίας ή προσπεράσεις.

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων που θα παρουσιαστούν παρακάτω θα αναφερθούν ορισμένες αρχές παρουσίασης:

- Με κόκκινους κύκλους [\circ] παρουσιάζονται οι πραγματικές μετρήσεις.
- Με μαύρα τετράγωνα [\square] παρουσιάζονται οι εσφαλμένες μετρήσεις.
- Με σταυρούς διαφορετικών χρωμάτων [$+$, $+$] παρουσιάζονται τα ίχνη. Διαδοχικοί σταυροί ίδιου χρώματος αναφέρονται στο ίδιο ίχνος, ενώ όταν δημιουργείται ένα νέο ίχνος το ID του ίχνους αυτού παρουσιάζεται με έναν αριθμό κατά την πρώτη της επιβεβαίωση.
- Οι διαστάσεις της παρουσίασης όλων των διαγραμμάτων βασίζονται στο χώρο παρατήρησης των αισθητήρων του ίδιου οχήματος που θεωρείται έχει εύρος περίπου $0m$ έως $120m$ στον οριζόντιο άξονα και $-20m$ έως $20m$ στον κατακόρυφο άξονα.

Τα μεγέθη ως προς τα οποία γίνεται η σύγκριση της αποτελεσματικότητας των δύο αλγορίθμων είναι:

- Το πλήθος εναλλαγών του ID ενός ίχνους.

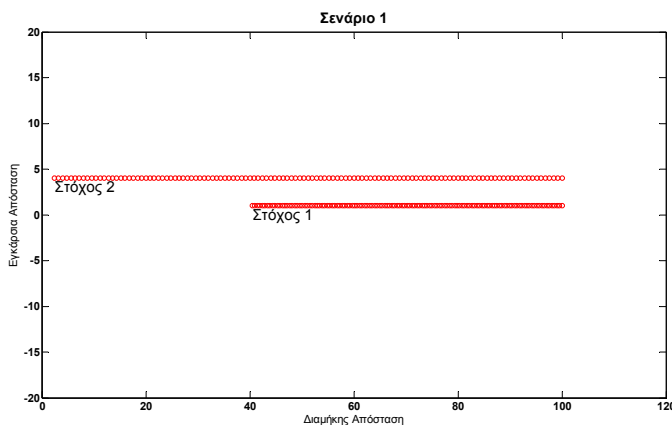
- Τα ποσοστά συσχέτισεων των ιχνών με σωστές η εσφαλμένες μετρήσεις.
- Τα ποσοστά εμφάνισης ψευδών συναγερμών. Ως ψευδείς συναγερμοί έχουν θεωρηθεί οι τα ίχνη που έχουν αρχικοποιηθεί με εσφαλμένη παρατήρηση με την προϋπόθεση ότι το ποσοστό συσχέτισεων των ιχνών αυτών με πραγματικές παρατηρήσεις είναι σημαντικά μικρότερο από το ποσοστό συσχέτισεων με εσφαλμένες παρατηρήσεις. Διαφορετικά, αν το ποσοστό συσχέτισμού με πραγματικές μετρήσεις είναι αυξημένο, ακόμη και αν το ίχνος αρχικοποιήθηκε από κάποια εσφαλμένη μέτρηση, δε θεωρείται ψευδής συναγερμός.
- Το σφάλμα εκτίμησης της θέσης και της ταχύτητας. Το σφάλμα υπολογίζεται μόνο για τις μετρήσεις που δεν αποτελούν ψευδείς συναγερμούς, δηλαδή μόνο για τα ίχνη που έχουν επιβεβαιωθεί για κάθε έναν από τους στόχους του σεναρίου.

Σε όλα τα Σενάρια οι μετρήσεις από τους αισθητήρες θεωρείται ότι λαμβάνονται κάθε **0,08s** και έτσι τροποποιούνται κατάλληλα οι πίνακες μοντέλου κίνησης CV (εξισώσεις 4.29, 4.30) και ο θόρυβος διαδικασίας.

3.3.1 Σενάριο 1

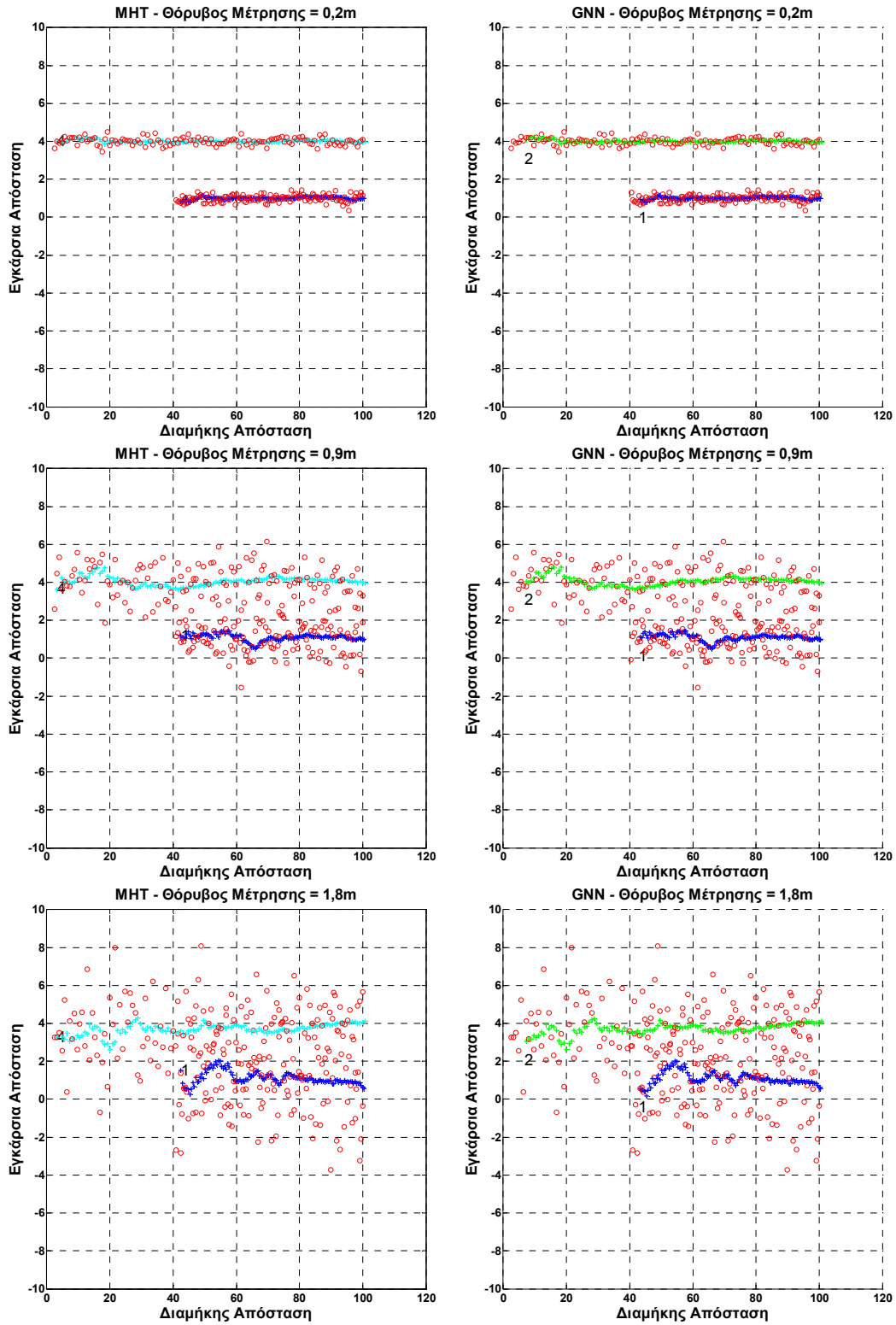
Στο Σενάριο αυτό μοντελοποιούνται δύο στόχοι οι οποίοι κινούνται παράλληλα σε δύο λωρίδες κυκλοφορίας μπροστά από το ίδιο όχημα. Ο πρώτος κινείται ευθύγραμμα στην ίδια λωρίδα κυκλοφορίας με το ίδιο όχημα παρατήρησης με σταθερή ταχύτητα **6 m/s** ξεκινώντας από οριζόντια απόσταση **40m** και εγκάρσια απόσταση **1m** στα αριστερά. Ο δεύτερος κινείται στην αριστερή λωρίδα κυκλοφορίας από το ίδιο όχημα παρατήρησης με σταθερή ταχύτητα **10 m/s** ξεκινώντας από οριζόντια απόσταση **0m**, δηλαδή ακριβώς τη στιγμή που εισέρχεται στο πεδίο παρατήρησης του ίδιου οχήματος παρατήρησης, και εγκάρσια απόσταση **4m** προς τα αριστερά. Στο πρώτο αυτό σενάριο δεν εισάγεται εξωτερικός θόρυβος περιβάλλοντος (clutter), δηλαδή δεν υπάρχουν εσφαλμένες μετρήσεις. Εισάγεται, ωστόσο, θόρυβος μέτρησης κανονικής κατανομής από **0,1m** έως **2m** με βήμα **0,1m** μόνο στην εγκάρσια συνιστώσα κίνησης (y) των στόχων και εξετάζονται τα αποτελέσματα για κάθε μία από τις περιπτώσεις.

Η παρουσίαση αναφοράς κίνησης των δύο στόχων του Σεναρίου 1 είναι:



Εικόνα 3-12, Αναφορική κίνηση στόχων στο σενάριο προσομοίωσης 1.

Τα αποτελέσματα ιχνηλάτησης που προκύπτουν από τους δύο αλγορίθμους για τρεις διαφορετικές αυξανόμενες τιμές θορύβου μέτρησης φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 3-13):



Εικόνα 3-13 Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 1 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT –GNN).

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για όλες τις διαφορετικές τιμές του θορύβου μέτρησης φαίνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 3-6 - Πίνακας 3-7):

Σενάριο 1 - Στόχος 1

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλήθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	γ (%)	Πλήθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	γ (%)	
MHT	0,1	0,4781	0,033	0,0034	0,0361	122	122	100	-	-	-	0
	0,2	0,4805	0,0478	0,0038	0,0441	122	122	100	-	-	-	0
	0,3	0,4794	0,0586	0,0034	0,0532	122	122	100	-	-	-	0
	0,4	0,4811	0,0637	0,0033	0,0442	122	122	100	-	-	-	0
	0,5	0,4816	0,0864	0,0023	0,0678	122	122	100	-	-	-	0
	0,6	0,4799	0,0866	0,0041	0,0636	122	122	100	-	-	-	0
	0,7	0,4783	0,1637	0,002	0,1405	122	122	100	-	-	-	0
	0,8	0,4799	0,1842	0,0036	0,0829	122	122	100	-	-	-	0
	0,9	0,4798	0,1604	0,0044	0,0586	122	122	100	-	-	-	0
	1	0,4808	0,1921	0,0045	0,1085	122	122	100	-	-	-	0
	1,1	0,4776	0,2228	0,0039	0,1226	122	122	100	-	-	-	0
	1,2	0,4799	0,1478	0,0027	0,0653	122	122	100	-	-	-	0
	1,3	0,4799	0,2515	0,0025	0,1081	122	122	100	-	-	-	0
	1,4	0,4701	0,3613	0,0721	0,1161	122	122	100	-	-	-	1
	1,5	0,4795	0,2519	0,0029	0,1088	122	122	100	-	-	-	0
	1,6	0,4774	0,4712	0,0041	0,197	122	122	100	-	-	-	0
	1,7	0,4802	0,3333	0,0046	0,1542	122	122	100	-	-	-	0
	1,8	0,4804	0,249	0,0024	0,1212	122	122	100	-	-	-	0
	1,9	0,4733	0,4891	0,044	0,1594	122	122	100	-	-	-	1
	2	0,479	0,3527	0,0035	0,1971	122	122	100	-	-	-	0
Μέσες Τιμές	0,4788	0,2104	0,0089	0,1025	122	122	100	-	-	-	0,1	
GNN	0,1	0,4779	0,0324	0,0026	0,0322	120	125	96	-	-	-	0
	0,2	0,4804	0,0455	0,0031	0,0407	120	125	96	-	-	-	0
	0,3	0,4794	0,0572	0,0030	0,0482	120	125	96	-	-	-	0
	0,4	0,4812	0,0623	0,0030	0,0419	120	125	96	-	-	-	0
	0,5	0,4815	0,0851	0,0020	0,0644	120	125	96	-	-	-	0
	0,6	0,4801	0,0863	0,0033	0,0627	120	125	96	-	-	-	0
	0,7	0,4783	0,1576	0,0016	0,1389	120	125	96	-	-	-	0
	0,8	0,4800	0,1824	0,0025	0,0846	120	125	96	-	-	-	0
	0,9	0,4802	0,1643	0,0023	0,0618	120	125	96	-	-	-	0
	1	0,4809	0,1924	0,0042	0,1078	120	125	96	-	-	-	0
	1,1	0,4778	0,2146	0,0026	0,1251	120	125	96	-	-	-	0
	1,2	0,4799	0,1482	0,0025	0,0660	120	125	96	-	-	-	0
	1,3	0,4799	0,2495	0,0023	0,1093	120	125	96	-	-	-	0
	1,4	0,4700	0,3643	0,0726	0,1149	120	125	96	-	-	-	1
	1,5	0,4795	0,2461	0,0026	0,1069	120	125	96	-	-	-	0
	1,6	0,4774	0,4652	0,0034	0,2000	120	125	96	-	-	-	0
	1,7	0,4799	0,3393	0,0032	0,1570	120	125	96	-	-	-	0
	1,8	0,4804	0,2435	0,0024	0,1205	120	125	96	-	-	-	0
	1,9	0,4737	0,4708	0,0411	0,1660	120	125	96	-	-	-	1
	2	0,4790	0,3541	0,0032	0,2173	120	125	96	-	-	-	0
Μέσες Τιμές	0,4789	0,2081	0,0082	0,1033	120	125	96	-	-	-	0,1	

Πίνακας 3-6, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 1 – Στόχος 1) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 1 - Στόχος 2

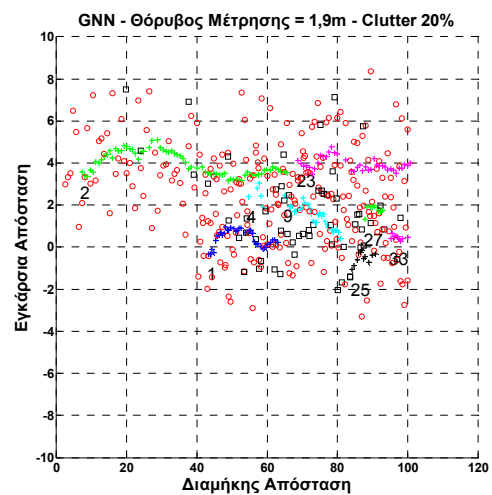
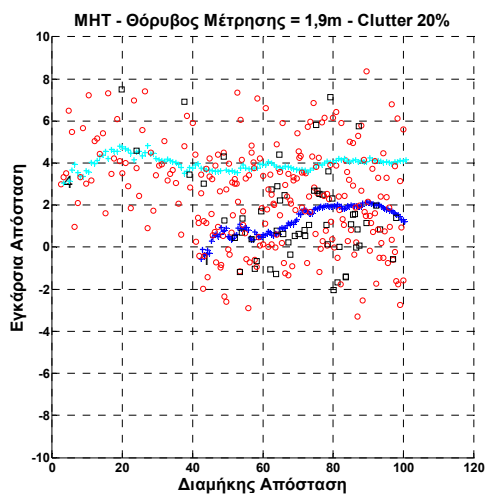
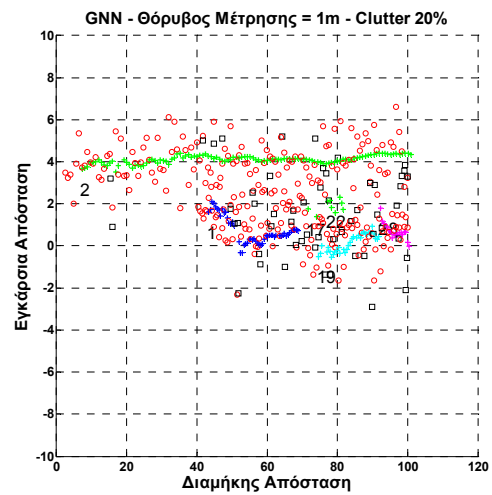
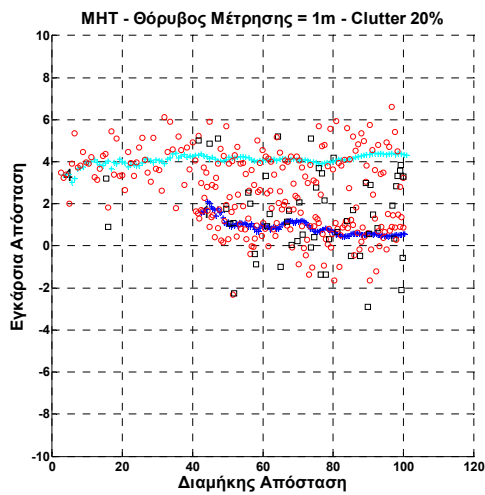
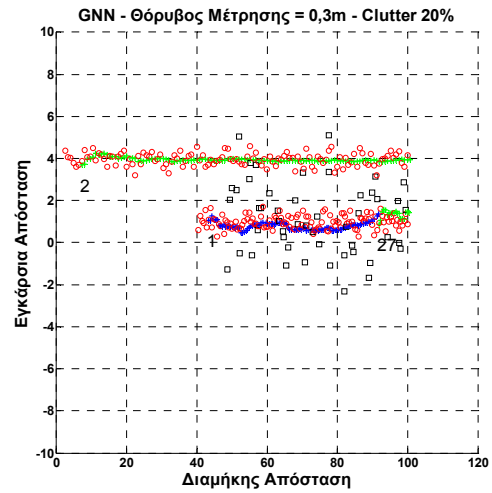
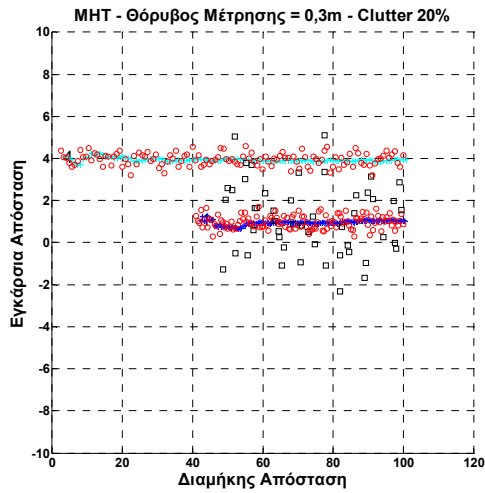
	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Παίθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Παίθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,0037	0,0259	0,0041	0,0368	122	122	100	-	-	-	0
	0,2	0,0030	0,0449	0,0034	0,0469	122	122	100	-	-	-	0
	0,3	0,0033	0,0635	0,0057	0,0478	122	122	100	-	-	-	0
	0,4	0,0025	0,0673	0,0065	0,0510	122	122	100	-	-	-	0
	0,5	0,0035	0,1608	0,0036	0,0733	122	122	100	-	-	-	0
	0,6	0,0022	0,1330	0,0043	0,0845	122	122	100	-	-	-	0
	0,7	0,0030	0,1807	0,0042	0,0963	122	122	100	-	-	-	0
	0,8	0,0032	0,1396	0,0062	0,1022	122	122	100	-	-	-	0
	0,9	0,0048	0,1898	0,0079	0,0984	122	122	100	-	-	-	0
	1	0,0024	0,1904	0,0055	0,1063	122	122	100	-	-	-	0
	1,1	0,0026	0,2450	0,0054	0,2173	122	122	100	-	-	-	0
	1,2	0,0042	0,2989	0,0093	0,0960	122	122	100	-	-	-	0
	1,3	0,0043	0,2561	0,0106	0,1158	122	122	100	-	-	-	0
	1,4	0,0122	0,2298	0,0752	0,0920	122	122	100	-	-	-	1
	1,5	0,0040	0,2817	0,0087	0,1219	122	122	100	-	-	-	0
	1,6	0,0036	0,5141	0,0089	0,1183	122	122	100	-	-	-	0
	1,7	0,0027	0,4206	0,0043	0,1705	122	122	100	-	-	-	0
	1,8	0,0036	0,3321	0,0036	0,1105	122	122	100	-	-	-	0
	1,9	0,0144	0,3864	0,0439	0,1862	122	122	100	-	-	-	1
	2	0,0031	0,6137	0,0060	0,3960	122	122	100	-	-	-	0
Μέσες Τιμές	0,0043	0,2387	0,0114	0,1184	122	122	100	-	-	-	0,1	
GNN	0,1	0,8023	0,0240	0,0033	0,0247	118	123	95,9	-	-	-	0
	0,2	0,7994	0,0442	0,0027	0,0435	118	123	95,9	-	-	-	0
	0,3	0,8005	0,0635	0,0038	0,0442	118	123	95,9	-	-	-	0
	0,4	0,8009	0,0646	0,0024	0,0456	118	123	95,9	-	-	-	0
	0,5	0,8007	0,1585	0,0030	0,0674	118	123	95,9	-	-	-	0
	0,6	0,7997	0,1320	0,0024	0,0829	118	123	95,9	-	-	-	0
	0,7	0,8016	0,1777	0,0030	0,0990	118	123	95,9	-	-	-	0
	0,8	0,8024	0,1317	0,0030	0,1027	118	123	95,9	-	-	-	0
	0,9	0,7973	0,1954	0,0036	0,1036	118	123	95,9	-	-	-	0
	1	0,8011	0,1868	0,0029	0,1062	118	123	95,9	-	-	-	0
	1,1	0,7996	0,2196	0,0020	0,2216	118	123	95,9	-	-	-	0
	1,2	0,7977	0,2985	0,0025	0,0970	118	123	95,9	-	-	-	0
	1,3	0,7998	0,2579	0,0030	0,1174	118	123	95,9	-	-	-	0
	1,4	0,7932	0,2342	0,0748	0,0937	118	123	95,9	-	-	-	1
	1,5	0,8009	0,2772	0,0027	0,1274	118	123	95,9	-	-	-	0
	1,6	0,8017	0,5126	0,0042	0,1191	118	123	95,9	-	-	-	0
	1,7	0,7992	0,4092	0,0025	0,1716	118	123	95,9	-	-	-	0
	1,8	0,8011	0,3249	0,0024	0,1116	118	123	95,9	-	-	-	0
	1,9	0,7892	0,3829	0,0394	0,1908	118	123	95,9	-	-	-	1
	2	0,7998	0,5709	0,0028	0,4162	118	123	95,9	-	-	-	0
Μέσες Τιμές	0,7994	0,2333	0,0083	0,1193	118	123	95,9	-	-	-	0,1	

Πίνακας 3-7 Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 1 – Στόχος 2) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN)

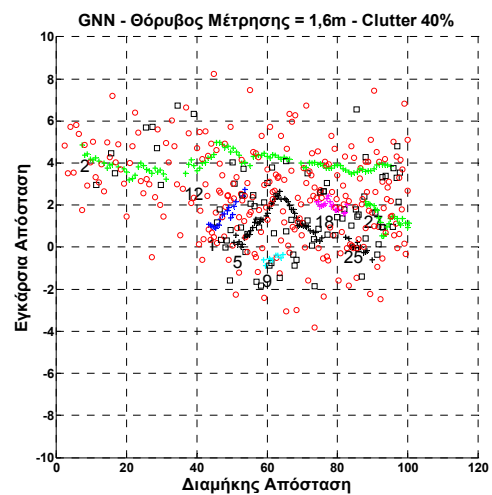
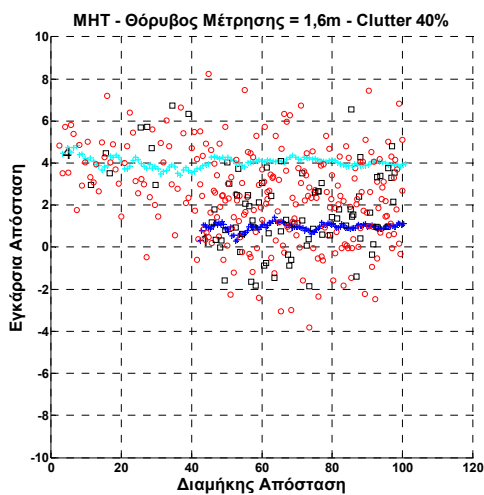
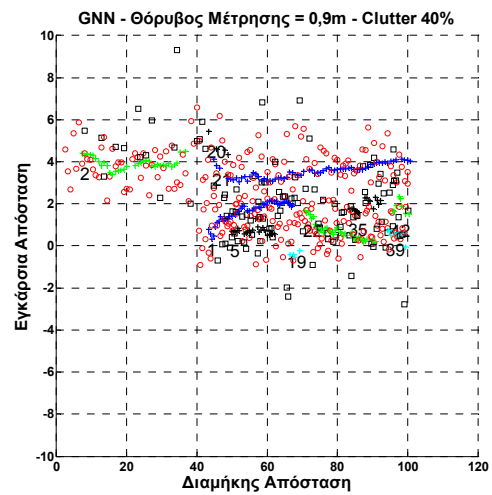
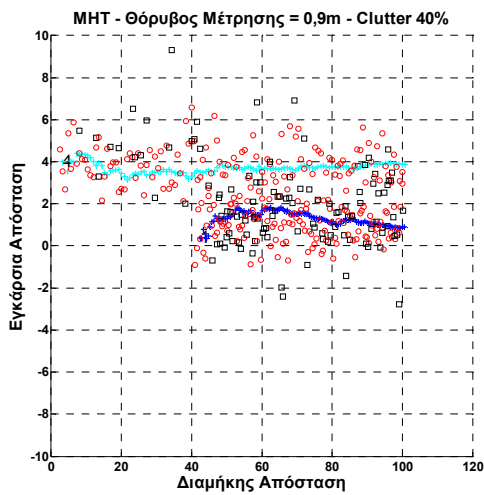
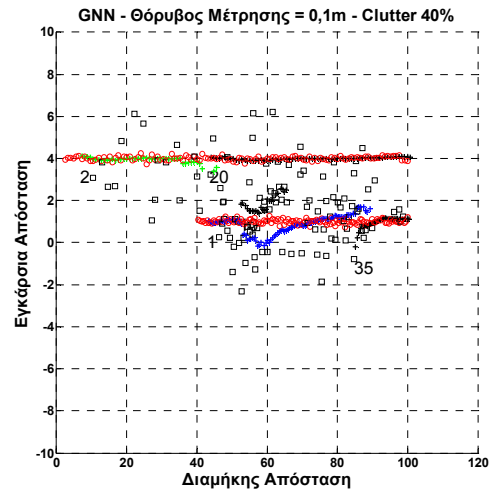
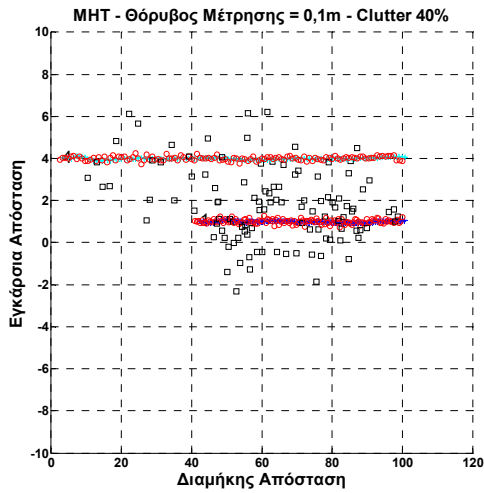
3.3.2 Σενάριο 2

Το Σενάριο αυτό είναι όμοιο με το Σενάριο 1 με τη διαφορά ότι εισάγεται και τυχαίος θόρυβος περιβάλλοντος (clutter), δηλαδή υπάρχουν και εσφαλμένες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα εξετάζονται, εκτός από διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης, όμοια με αυτά του Σεναρίου 1, και για διαφορετικά επίπεδα θορύβου περιβάλλοντος ο οποίος υπολογίζεται σε ποσοστό ως προς τις πραγματικές κάθε φορά μετρήσεις. Τα επίπεδα θορύβου περιβάλλοντος που εξετάζονται είναι τρία με τιμές που προσεγγίζουν τα ποσοστά **20%**, **40%** και **60%**. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή αυτή δεν είναι αυστηρά σταθερή για όλες τις διαφορετικές επαναλήψεις του Σεναρίου για τα ίδια επίπεδα clutter, αφού το clutter που εισάγεται είναι κάθε φορά τυχαίο γύρω από τη μέση τιμή των ποσοστών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

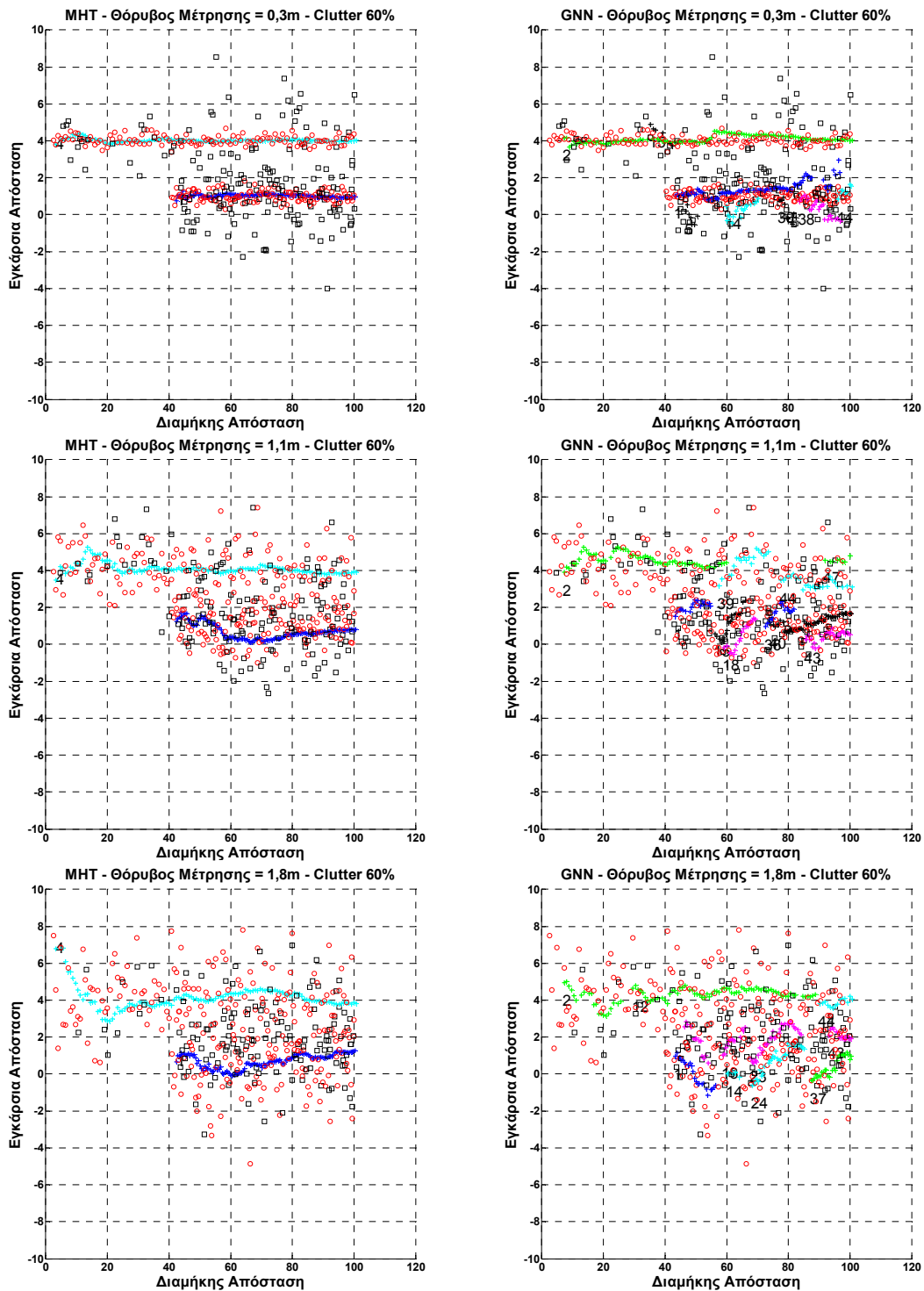
Το σενάριο αναφοράς είναι όμοιο με αυτό του προηγούμενου σεναρίου (Εικόνα 3-12). Τα αποτελέσματα ιχνηλάτησης που προκύπτουν από τους δύο αλγορίθμους για τρεις διαφορετικές αυξανόμενες τιμές θορύβου μέτρησης και για ποσοστά clutter **20%**, **40%** και **60%** φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 3-14 - Εικόνα 3-16):



Εικόνα 3-14 Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 2 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και με επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter) 20% και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).



Εικόνα 3-15, Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 2 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και με επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter) 40% και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).



Εικόνα 3-16 , Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 2 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter) 60% και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN)

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, για όλες τις διαφορετικές τιμές του θορύβου μέτρησης και των διαφορετικών ποσοστών clutter, φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Σενάριο 2 - Στόχος 1 - Clutter 20%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλάθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλάθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,4857	0,0468	0,0073	0,0379	117	122	95,9	0	52	0	0
	0,2	0,4833	0,0761	0,0050	0,0521	117	122	95,9	0	43	0	0
	0,3	0,4801	0,0842	0,0054	0,0677	117	122	95,9	0	49	0	0
	0,4	0,4820	0,1611	0,0048	0,1341	112	122	91,8	0	54	0	0
	0,5	0,4803	0,0971	0,0043	0,0858	113	122	92,6	0	57	0	0
	0,6	0,4810	0,1839	0,0049	0,0935	115	122	94,3	0	47	0	0
	0,7	0,4791	0,2263	0,0036	0,1356	114	122	93,4	0	46	0	0
	0,8	0,4863	0,2220	0,0078	0,1133	106	122	86,9	0	63	0	0
	0,9	0,4840	0,2889	0,0072	0,1310	108	122	88,5	0	65	0	0
	1	0,4821	0,3208	0,0089	0,1809	105	122	86,1	0	55	0	0
	1,1	0,4807	0,2782	0,0098	0,0957	95	122	77,9	0	65	0	0
	1,2	0,4807	0,2193	0,0048	0,1109	107	122	87,7	0	41	0	0
	1,3	0,4681	0,4141	0,0764	0,1700	101	122	82,8	0	62	0	1
	1,4	0,4890	0,3680	0,0118	0,1464	98	122	80,3	0	61	0	0
	1,5	0,4817	0,5221	0,0413	0,2101	95	122	77,9	0	73	0	1
	1,6	0,4722	0,8999	0,0436	0,3677	99	122	81,2	0	57	0	1
	1,7	0,4675	0,4406	0,1173	0,1828	107	122	87,7	0	41	0	1
	1,8	0,4779	0,2385	0,0094	0,0756	96	122	78,7	0	56	0	0
	1,9	0,4829	0,6393	0,0110	0,2696	94	122	77,1	0	58	0	0
	2	0,4809	0,8229	0,0464	0,2801	99	122	81,2	0	47	0	1
Μέσες Τιμές	0,4803	0,3275	0,0216	0,1470	105,75	122	86,7	0	54,6	0	0,25	
GNN	0,1	0,4845	0,1247	0,0077	0,0759	109	125	87,2	2	52	3,85	0
	0,2	0,4828	0,0818	0,0043	0,0507	111	125	88,8	0	43	0	0
	0,3	0,4798	0,2592	0,0087	0,2871	99	125	79,2	0	49	0	1
	0,4	0,4758	0,1368	0,0045	0,0814	102	125	81,6	0	54	0	0
	0,5	0,5374	0,2775	0,1667	0,1477	92	125	73,6	0	57	0	2
	0,6	0,4763	0,2066	0,0090	0,1648	92	125	73,6	0	47	0	2
	0,7	0,4752	0,3949	0,0075	0,3120	90	125	72,0	0	46	0	3
	0,8	0,5680	0,5427	0,2514	0,2633	92	125	73,6	0	63	0	5
	0,9	0,4781	0,4396	0,0201	0,2875	89	125	71,2	0	65	0	3
	1	0,4675	0,6788	0,0422	0,3927	88	125	70,4	0	55	0	4
	1,1	0,4864	0,5782	0,0306	0,4593	83	125	66,4	0	65	0	5
	1,2	0,4825	0,3518	0,0113	0,2282	104	125	83,2	0	41	0	2
	1,3	0,4620	0,4427	0,0965	0,3319	99	125	79,2	0	62	0	3
	1,4	0,4822	0,2304	0,0150	0,1441	92	125	73,6	0	61	0	1
	1,5	0,4807	0,8099	0,0725	0,3148	77	125	61,6	0	73	0	5
	1,6	0,4652	0,5606	0,0628	0,3313	89	125	71,2	0	57	0	3
	1,7	0,4749	0,6076	0,0488	0,3146	73	125	58,4	0	41	0	4
	1,8	0,4748	0,4982	0,1096	0,3526	87	125	69,6	0	56	0	4
	1,9	0,4801	0,7533	0,0464	0,3246	75	125	60,0	0	58	0	5
	2	0,4783	0,4080	0,0698	0,2920	79	125	63,2	0	47	0	3
Μέσες Τιμές	0,4846	0,4192	0,0543	0,2578	91,1	125	72,9	0,1	54,6	0,19	2,75	

Πίνακας 3-8, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 2 – Στόχος 1 – Clutter 20%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 2 - Στόχος 2 - Clutter 20%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Περίθω	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Περίθω	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,0035	0,0289	0,0072	0,034	121	122	99,1	0	52	0	0
	0,2	0,0027	0,05	0,0078	0,0477	122	122	100	0	43	0	0
	0,3	0,0035	0,0912	0,005	0,0577	120	122	98,3	0	49	0	0
	0,4	0,0047	0,0837	0,0059	0,0735	121	122	99,1	0	54	0	0
	0,5	0,0058	0,0975	0,0093	0,0689	120	122	98,3	0	57	0	0
	0,6	0,0056	0,2302	0,0109	0,1336	119	122	97,5	0	47	0	0
	0,7	0,0037	0,156	0,0049	0,0843	120	122	98,3	0	46	0	0
	0,8	0,0033	0,2011	0,007	0,0869	121	122	99,1	0	63	0	0
	0,9	0,0112	0,194	0,0139	0,0979	114	122	93,4	0	65	0	0
	1	0,0115	0,1866	0,0141	0,1257	115	122	94,2	0	55	0	0
	1,1	0,0147	0,1343	0,0125	0,0793	116	122	95,0	0	65	0	0
	1,2	0,0045	0,2014	0,0079	0,1254	121	122	99,1	0	41	0	0
	1,3	0,0233	0,4053	0,047	0,2465	113	122	92,6	0	62	0	1
	1,4	0,0073	0,2491	0,0107	0,2175	116	122	95,1	0	61	0	0
	1,5	0,0264	0,5125	0,0203	0,1669	109	122	89,3	0	73	0	0
	1,6	0,0152	0,3657	0,044	0,1443	113	122	92,6	0	57	0	1
	1,7	0,0401	0,5317	0,0525	0,2889	116	122	95,1	0	41	0	1
	1,8	0,0049	0,3429	0,0048	0,1787	113	122	92,6	0	56	0	0
	1,9	0,0062	0,2564	0,0072	0,1289	116	122	95,1	0	58	0	0
2	0,0054	0,3684	0,0086	0,1637	109	122	89,3	0	47	0	0	
Μέσες Τιμές	0,0102	0,2343	0,0151	0,1275	116,75	122	95,6	0	54,6	0	0,15	
GNN	0,1	0,8016	0,0271	0,0022	0,0272	117	123	95,1	2	52	3,85	0
	0,2	0,7994	0,0498	0,0023	0,0436	118	123	95,9	0	43	0	0
	0,3	0,8003	0,0907	0,0025	0,0523	116	123	94,3	0	49	0	0
	0,4	0,8013	0,1105	0,0045	0,0787	116	123	94,3	0	54	0	0
	0,5	0,9612	0,1711	0,1581	0,1055	111	123	90,2	0	57	0	1
	0,6	0,8026	0,1873	0,0039	0,1243	116	123	94,3	0	47	0	1
	0,7	0,7979	0,1614	0,0028	0,084	113	123	91,8	0	46	0	0
	0,8	0,8761	0,2593	0,1643	0,1419	102	123	82,9	0	63	0	2
	0,9	0,8035	0,3908	0,0129	0,2812	97	123	78,8	0	65	0	2
	1	0,7968	0,1762	0,0079	0,129	110	123	89,4	0	55	0	0
	1,1	0,8011	0,1707	0,0024	0,0951	114	123	92,6	0	65	0	0
	1,2	0,798	0,2074	0,0035	0,1342	112	123	91,0	0	41	0	0
	1,3	0,7808	0,3382	0,0442	0,2707	111	123	90,2	0	62	0	1
	1,4	0,7966	0,2513	0,0086	0,2446	104	123	84,5	0	61	0	1
	1,5	0,7952	0,5465	0,1032	0,2377	91	123	73,9	0	73	0	3
	1,6	0,8178	0,3272	0,0747	0,1247	109	123	88,6	0	57	0	1
	1,7	0,8007	0,3989	0,003	0,2915	113	123	91,8	0	41	0	0
	1,8	0,7942	0,5625	0,1554	0,2163	111	123	90,2	0	56	0	2
	1,9	0,8	0,4168	0,0096	0,247	103	123	83,7	0	58	0	1
2	0,8037	0,3317	0,0041	0,1835	107	123	86,9	0	47	0	0	
Μέσες Τιμές	0,8114	0,2587	0,0385	0,1557	109,55	123	89,1	0,1	54,6	0,19	0,75	

Πίνακας 3-9, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 2 – Στόχος 2 – Clutter 20%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 2 - Στόχος 1 - Clutter 40%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλάθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλάθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,4870	0,0303	0,0082	0,0242	115	122	94,3	0	108	0	0
	0,2	0,4867	0,0613	0,0075	0,0434	114	122	93,4	0	99	0	0
	0,3	0,4831	0,0762	0,0053	0,0567	117	122	95,9	0	97	0	0
	0,4	0,4895	0,1174	0,0150	0,0778	116	122	95,1	0	83	0	0
	0,5	0,4854	0,0963	0,0127	0,0808	101	122	82,8	0	98	0	0
	0,6	0,4867	0,2511	0,0068	0,0723	103	122	84,4	0	99	0	0
	0,7	0,4744	0,1635	0,0094	0,0977	103	122	84,4	0	95	0	0
	0,8	0,4893	0,2087	0,0118	0,0622	93	122	76,2	0	104	0	0
	0,9	0,4830	0,3633	0,0079	0,2120	98	122	80,3	0	111	0	0
	1	0,4775	0,1925	0,0431	0,0902	91	122	74,6	0	100	0	1
	1,1	0,4795	0,4184	0,0104	0,1786	93	122	76,2	0	101	0	0
	1,2	0,4916	0,4018	0,0485	0,1422	89	122	73,0	0	99	0	1
	1,3	0,4898	0,2276	0,0463	0,1117	92	122	75,4	0	103	0	1
	1,4	0,5104	0,3440	0,1824	0,1160	93	122	76,2	0	92	0	1
	1,5	0,4784	0,3840	0,0473	0,1758	88	122	72,1	0	104	0	1
	1,6	0,4830	0,1761	0,0819	0,0714	85	122	69,7	0	82	0	1
	1,7	0,4705	0,4696	0,0862	0,1363	83	122	68,0	1	97	1,03	2
	1,8	0,4687	0,9202	0,0899	0,3690	80	122	65,6	0	93	0	1
	1,9	0,4742	0,3331	0,0484	0,1450	82	122	67,2	0	93	0	1
	2	0,4776	0,6296	0,0511	0,2661	78	122	63,9	0	102	0	1
Μέσες Τιμές	0,4833	0,2933	0,0410	0,1265	95,7	122	78,4	0,05	98	0,05	0,55	
GNN	0,1	0,4801	0,4011	0,0208	0,4737	110	125	88,0	0	108	0	2
	0,2	0,4856	0,1209	0,0108	0,2145	111	125	88,8	2	99	2,02	1
	0,3	0,4703	0,1767	0,0232	0,1000	100	125	80,0	0	97	0	1
	0,4	0,4754	0,2000	0,0105	0,1645	95	125	76,0	0	83	0	1
	0,5	0,4740	0,3908	0,0328	0,2463	101	125	80,8	20	98	20,4	6
	0,6	0,5024	0,3973	0,0598	0,2795	103	125	82,4	0	99	0	4
	0,7	0,4735	0,5345	0,0155	0,4782	89	125	71,2	0	95	0	2
	0,8	0,4837	0,4984	0,0365	0,2748	91	125	72,8	0	104	0	5
	0,9	0,4887	0,6458	0,0392	0,3830	96	125	76,8	13	111	11,7	6
	1	0,4638	0,6263	0,0500	0,2276	88	125	70,4	21	100	21	6
	1,1	0,4718	0,6664	0,0844	0,2855	104	125	83,2	9	101	8,91	6
	1,2	0,4670	0,6862	0,0358	0,3611	84	125	67,2	6	99	6,06	5
	1,3	0,4804	0,7752	0,1073	0,4358	81	125	64,8	3	103	2,91	7
	1,4	0,4962	0,6315	0,0375	0,4643	82	125	65,6	0	92	0	4
	1,5	0,4852	0,7589	0,0820	0,4456	87	125	69,6	0	104	0	5
	1,6	0,4828	0,7274	0,0580	0,3660	88	125	70,4	0	82	0	5
	1,7	0,4742	1,0552	0,0528	0,5787	85	125	68,0	11	97	11,3	5
	1,8	0,4800	1,1009	0,0325	0,5686	95	125	76,0	5	93	5,38	4
	1,9	0,4619	0,9532	0,2350	0,5906	89	125	71,2	3	93	3,23	8
	2	0,4695	0,8216	0,0392	0,3591	71	125	56,8	0	102	0	4
Μέσες Τιμές	0,4783	0,6084	0,0532	0,3649	92,5	125	74,0	4,6	98	4,64	4,35	

Πίνακας 3-10, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 2 – Στόχος 1 – Clutter 40%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 2 - Στόχος 2 - Clutter 40%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλήθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλήθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,0066	0,0314	0,0079	0,0306	119	122	97,5	0	108	0	0
	0,2	0,0062	0,0648	0,0053	0,0539	119	122	97,5	0	99	0	0
	0,3	0,0055	0,1018	0,0057	0,0674	116	122	95,1	0	97	0	0
	0,4	0,0097	0,0776	0,0102	0,1222	120	122	98,3	0	83	0	0
	0,5	0,0067	0,1125	0,008	0,0581	117	122	95,9	0	98	0	0
	0,6	0,0112	0,1363	0,0117	0,0843	113	122	92,6	0	99	0	0
	0,7	0,0091	0,1253	0,0138	0,0791	119	122	97,5	0	95	0	0
	0,8	0,0132	0,1782	0,0159	0,0979	110	122	90,1	0	104	0	0
	0,9	0,0064	0,3329	0,0064	0,1222	113	122	92,6	0	111	0	0
	1	0,0059	0,2656	0,0079	0,1866	116	122	95,1	0	100	0	0
	1,1	0,0109	0,2686	0,0093	0,1066	116	122	95,1	0	101	0	0
	1,2	0,0086	0,4902	0,0074	0,2086	112	122	91,8	0	99	0	0
	1,3	0,009	0,2986	0,0084	0,1168	110	122	90,2	0	103	0	1
	1,4	0,0488	0,399	0,032	0,2415	112	122	91,8	0	92	0	0
	1,5	0,022	0,2771	0,0517	0,1716	105	122	86,1	0	104	0	1
	1,6	0,0212	0,2179	0,0509	0,1042	111	122	90,9	0	82	0	1
	1,7	0,0191	0,287	0,0466	0,0742	105	122	86,1	1	97	1,03	1
	1,8	0,0409	0,3738	0,09	0,1488	114	122	93,4	0	93	0	1
	1,9	0,0128	0,433	0,0447	0,1827	108	122	88,5	0	93	0	1
2	0,0158	0,6223	0,0471	0,2344	104	122	85,2	0	102	0	1	
Μέσες Τιμές	0,0144	0,2546	0,0240	0,1246	112,95	122	92,5	0,05	98	0,05	0,35	
GNN	0,1	0,8015	0,06	0,0065	0,051	113	123	91,8	0	108	0	1
	0,2	0,8029	0,092	0,0037	0,0625	109	123	88,6	2	99	2,02	0
	0,3	0,7981	0,1281	0,0042	0,0757	109	123	88,6	0	97	0	0
	0,4	0,7991	0,0667	0,0035	0,1187	116	123	94,3	0	83	0	0
	0,5	0,8032	0,1341	0,0044	0,0575	111	123	90,2	20	98	20,41	0
	0,6	0,7624	0,1819	0,0236	0,1067	100	123	81,3	0	99	0	0
	0,7	0,7957	0,1418	0,0047	0,0805	112	123	91,1	0	95	0	0
	0,8	0,7996	0,2808	0,0079	0,2093	96	123	78,1	0	104	0	1
	0,9	0,8071	0,3856	0,0051	0,2272	93	123	75,6	13	111	11,7	2
	1	0,8033	0,3882	0,0104	0,3729	101	123	82,1	21	100	21	2
	1,1	0,7978	0,5654	0,0147	0,4176	96	123	78,1	9	101	8,91	2
	1,2	0,7895	0,4324	0,0191	0,4469	86	123	69,9	6	99	6,06	4
	1,3	0,8016	0,457	0,0098	0,3304	97	123	78,9	3	103	2,91	2
	1,4	0,7997	0,3863	0,0042	0,3305	102	123	82,9	0	92	0	1
	1,5	0,8057	0,3819	0,0112	0,2074	97	123	78,9	0	104	0	0
	1,6	0,805	0,3022	0,0059	0,2089	90	123	73,2	0	82	0	1
	1,7	0,8077	0,6535	0,0313	0,4389	77	123	62,6	11	97	11,34	4
	1,8	0,8052	0,7518	0,0135	0,3488	96	123	78,1	5	93	5,38	2
	1,9	0,8093	0,6735	0,1358	0,4155	88	123	71,5	3	93	3,23	4
2	0,7953	0,5443	0,014	0,2447	82	123	66,7	0	102	0	3	
Μέσες Τιμές	0,7994	0,3503	0,0167	0,2376	98,6	123	80,1	4,7	98	4,65	1,45	

Πίνακας 3-11, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 2 – Στόχος 2 – Clutter 40%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 2 - Στόχος 1 - Clutter 60%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλήθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλήθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,4961	0,0337	0,0189	0,0472	114	122	93,4	0	151	0	0
	0,2	0,4919	0,0485	0,0092	0,0376	113	122	92,6	0	158	0	0
	0,3	0,4945	0,0663	0,0140	0,0477	100	122	82,0	0	171	0	0
	0,4	0,5079	0,1057	0,0278	0,1059	108	122	88,5	0	151	0	0
	0,5	0,4923	0,1654	0,0159	0,1523	98	122	80,3	0	174	0	0
	0,6	0,4830	0,1283	0,0101	0,1075	102	122	83,6	0	146	0	0
	0,7	0,5012	0,2085	0,0150	0,1193	91	122	74,6	0	177	0	0
	0,8	0,5118	0,1588	0,0211	0,1554	90	122	73,8	0	163	0	0
	0,9	0,5361	0,3795	0,1314	0,1648	92	122	75,4	0	151	0	0
	1	0,5052	0,1893	0,0188	0,1466	89	122	73,0	0	157	0	0
	1,1	0,4908	0,4531	0,0182	0,1640	86	122	70,5	0	153	0	0
	1,2	0,4842	0,4637	0,0439	0,0863	84	122	68,9	0	149	0	1
	1,3	0,4813	0,7108	0,0150	0,3119	77	122	63,1	0	157	0	0
	1,4	0,4891	0,3436	0,0849	0,1493	79	122	64,8	10	160	6,25	2
	1,5	0,5150	0,8170	0,1193	0,2663	78	122	63,9	0	137	0	1
	1,6	0,4978	0,6810	0,0692	0,2446	75	122	61,5	0	147	0	0
	1,7	0,5045	0,3282	0,0655	0,1536	76	122	62,3	0	153	0	1
	1,8	0,4921	0,3682	0,0239	0,1229	78	122	63,9	0	140	0	0
	1,9	0,5184	0,4877	0,0612	0,1991	68	122	55,7	0	149	0	1
2	0,5091	0,5753	0,0593	0,1570	65	122	53,3	0	161	0	1	
Μέσες Τιμές	0,5001	0,3356	0,0421	0,1470	88,1	122	72,3	0,5	155,25	0,31	0,35	
GNN	0,1	0,5036	0,4565	0,0521	0,7825	100	125	80,0	8	151	5,3	7
	0,2	0,4876	0,5723	0,0603	0,6390	103	125	82,4	3	158	1,9	5
	0,3	0,4804	0,4438	0,0436	0,2764	92	125	73,6	22	171	12,9	6
	0,4	0,4684	0,3927	0,0353	0,3286	109	125	87,2	3	151	1,99	4
	0,5	0,4835	0,4812	0,1020	0,4127	101	125	80,8	26	174	14,9	6
	0,6	0,4732	0,5142	0,0342	0,3237	104	125	83,2	42	146	28,8	5
	0,7	0,5310	0,5326	0,0940	0,5313	75	125	60,0	19	177	10,7	6
	0,8	0,4897	0,5381	0,0390	0,3135	93	125	74,4	21	163	12,9	5
	0,9	0,4969	0,6089	0,0545	0,2579	95	125	76,0	0	151	0	4
	1	0,4800	0,5607	0,0854	0,4148	100	125	80,0	0	157	0	5
	1,1	0,4763	0,5887	0,0908	0,3356	89	125	71,2	0	153	0	5
	1,2	0,4649	0,7734	0,0691	0,4227	94	125	75,2	11	149	7,38	5
	1,3	0,4734	0,6202	0,0479	0,4527	96	125	76,8	15	157	9,55	6
	1,4	0,4676	0,6543	0,0418	0,2741	94	125	75,2	6	160	3,75	4
	1,5	0,4800	0,8190	0,0282	0,3123	85	125	68,0	11	137	8,03	3
	1,6	0,4657	0,8423	0,0852	0,2769	88	125	70,4	0	147	0	5
	1,7	0,4903	0,7926	0,1189	0,4020	73	125	58,4	31	153	20,2	5
	1,8	0,4989	0,8539	0,0720	0,4844	89	125	71,2	17	140	12,1	7
	1,9	0,4828	1,0448	0,0444	0,3101	89	125	71,2	9	149	6,04	6
2	0,5212	0,8897	0,0871	0,3336	73	125	58,4	15	161	9,32	6	
Μέσες Τιμές	0,4858	0,6490	0,0643	0,3942	92,1	125	73,7	12,95	155,25	8,29	5,25	

Πίνακας 3-12, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 2 – Στόχος 1 – Clutter 60%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 2 - Στόχος 2 - Clutter 60%

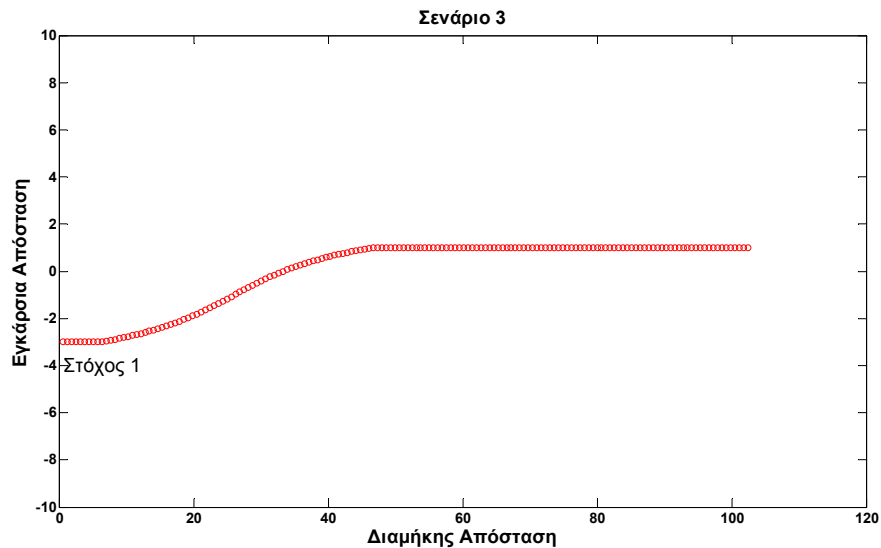
	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμολί			Αλλαγές ID
						Πλήθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλήθος	Σύνολο Εφαλαμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,0071	0,0262	0,0075	0,0424	115	122	94,2	0	151	0	0
	0,2	0,004	0,0472	0,0094	0,0572	120	122	98,3	0	158	0	0
	0,3	0,0049	0,06	0,0085	0,0608	116	122	95,1	0	171	0	0
	0,4	0,006	0,08	0,0084	0,0493	116	122	95,1	0	151	0	0
	0,5	0,0118	0,1311	0,0103	0,0699	109	122	89,3	0	174	0	0
	0,6	0,0106	0,1312	0,0124	0,101	109	122	89,3	0	146	0	0
	0,7	0,0138	0,2059	0,0127	0,1592	108	122	88,5	0	177	0	0
	0,8	0,0067	0,2192	0,0109	0,1423	105	122	86,1	0	163	0	0
	0,9	0,0105	0,231	0,0174	0,1347	104	122	85,3	0	151	0	0
	1	0,0163	0,3734	0,0099	0,1898	104	122	85,3	0	157	0	0
	1,1	0,0139	0,1886	0,0158	0,1241	97	122	79,5	0	153	0	0
	1,2	0,0109	0,3605	0,0117	0,1549	104	122	85,3	0	149	0	0
	1,3	0,011	0,3883	0,0103	0,1827	103	122	84,4	0	157	0	0
	1,4	0,0577	0,465	0,0377	0,1841	95	122	77,9	10	160	6,25	0
	1,5	0,0509	0,3131	0,031	0,122	99	122	81,2	0	137	0	0
	1,6	0,0121	0,2007	0,0114	0,132	97	122	79,5	0	147	0	0
	1,7	0,0122	0,2252	0,0199	0,1192	100	122	81,9	0	153	0	0
	1,8	0,0121	0,3695	0,0092	0,2949	103	122	84,4	0	140	0	0
	1,9	0,0551	0,2217	0,0337	0,105	93	122	76,2	0	149	0	0
	2	0,0127	0,3904	0,0092	0,164	92	122	75,4	0	161	0	0
Μέσες Τιμές	0,0170	0,2314	0,0149	0,1295	104,45	122	85,6	0,5	155,25	0,31	0	
GNN	0,1	0,8052	0,203	0,0147	0,2084	106	123	86,1	8	151	5,3	2
	0,2	0,7914	0,1451	0,0405	0,0811	103	123	83,7	3	158	1,9	1
	0,3	0,7941	0,185	0,0505	0,1038	104	123	84,6	22	171	12,8	2
	0,4	0,8008	0,1688	0,0087	0,0948	102	123	82,9	3	151	1,99	0
	0,5	0,7906	0,4517	0,0275	0,3511	84	123	68,3	26	174	14,9	3
	0,6	0,8047	0,1574	0,0071	0,1092	102	123	82,9	42	146	28,8	0
	0,7	0,7879	0,4274	0,0483	0,3648	75	123	60,9	19	177	10,7	8
	0,8	0,8036	0,2982	0,0288	0,323	91	123	73,9	21	163	12,9	3
	0,9	0,7989	0,4999	0,012	0,3372	98	123	79,7	0	151	0	2
	1	0,7905	0,3878	0,0119	0,2999	92	123	74,8	0	157	0	1
	1,1	0,8162	0,6126	0,0367	0,3374	90	123	73,2	0	153	0	3
	1,2	0,7964	0,3808	0,0129	0,2186	97	123	78,9	11	149	7,38	2
	1,3	0,8067	0,5852	0,0302	0,4038	79	123	64,2	15	157	9,55	2
	1,4	0,8002	0,3874	0,0082	0,1764	90	123	73,2	6	160	3,75	0
	1,5	0,8034	0,4036	0,0146	0,1995	91	123	73,9	11	137	8,03	2
	1,6	0,8013	0,5294	0,0483	0,3335	87	123	70,7	0	147	0	5
	1,7	0,7996	0,6304	0,026	0,5228	73	123	59,3	31	153	20,3	3
	1,8	0,7932	0,3981	0,0257	0,2532	89	123	72,3	17	140	12,1	2
	1,9	0,7903	0,5553	0,027	0,2539	81	123	65,8	9	149	6,04	3
	2	0,793	1,0591	0,0264	0,4456	83	123	67,5	15	161	9,32	4
Μέσες Τιμές	0,7984	0,4233	0,0253	0,2709	90,9	123	73,8	12,95	155,25	8,29	2,4	

Πίνακας 3-13, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 2 – Στόχος 2 – Clutter 60%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

3.3.3 Σενάριο 3

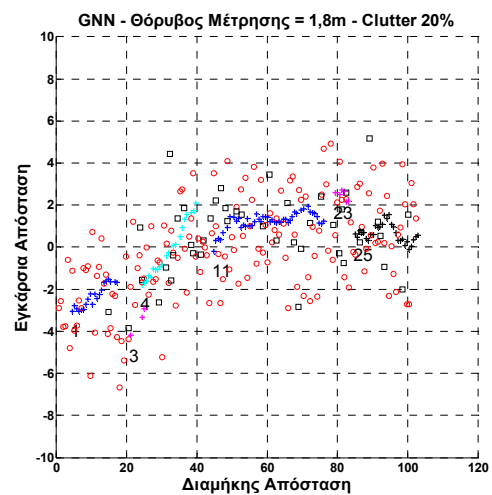
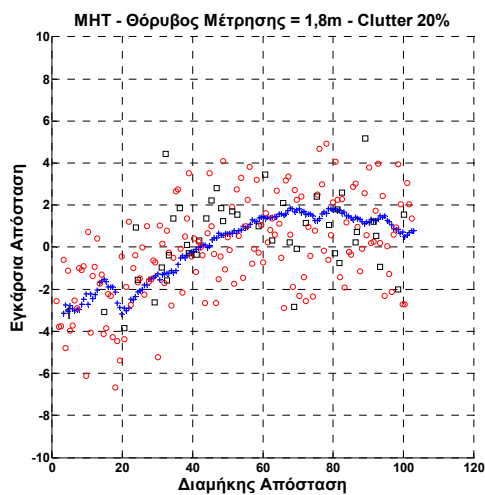
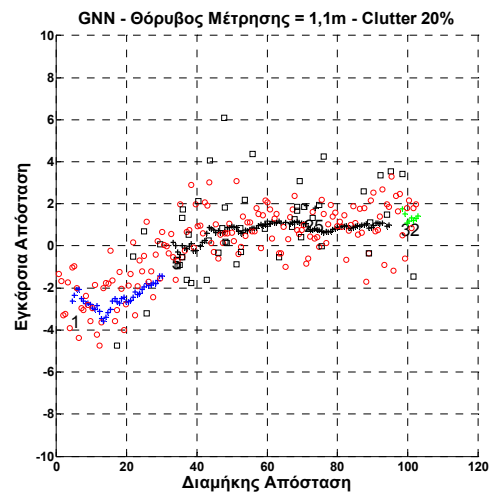
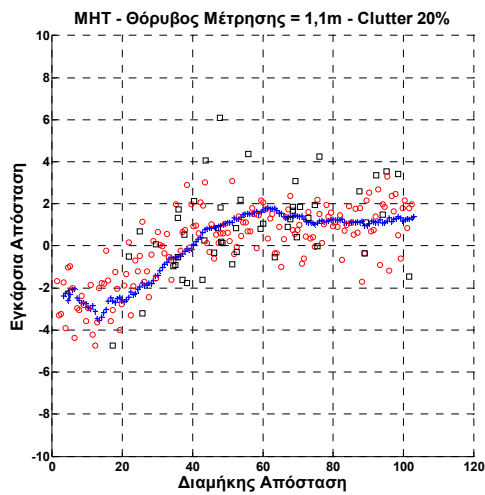
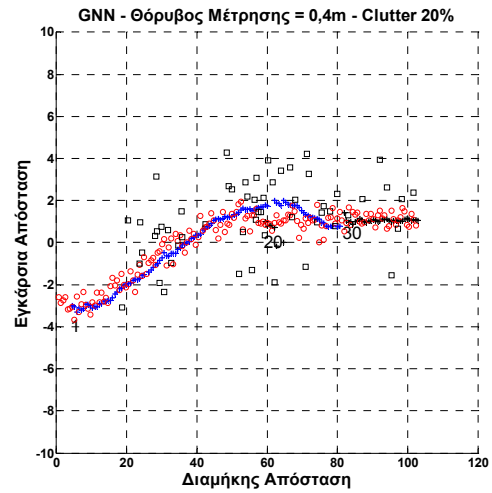
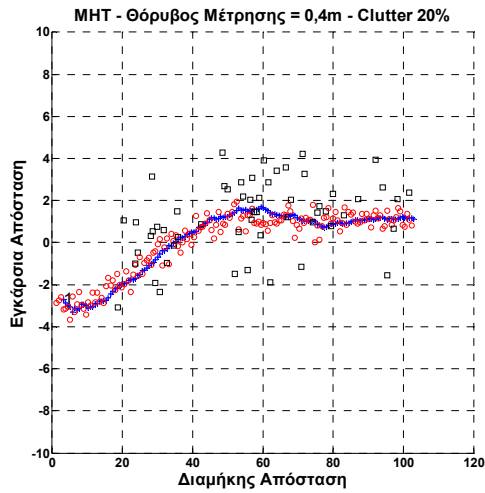
Στο Σενάριο αυτό μοντελοποιείται ένας στόχος ο οποίος αρχικά κινείται στη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας από το ίδιο όχημα παρατήρησης και πραγματοποιεί αλλαγή λωρίδας προς τα αριστερά μπροστά από το ίδιο όχημα. Ο στόχος κινείται με σταθερή οριζόντια ταχύτητα 10 m/s και εγκάρσια ταχύτητα που κατά τη διάρκεια αλλαγής λωρίδας (περίπου 5 s) μεταβάλλεται κανονικά γύρω από τη μέση τιμή ($0,8\text{ m/s}$) ενώ, στην υπόλοιπη διάρκεια της κίνησης του οχήματος, η εγκάρσια ταχύτητα είναι μηδενική. Η κίνησή του ξεκινάει από οριζόντια απόσταση 0 m και εγκάρσια απόσταση 3 m προς τα δεξιά και καταλήγει σε εγκάρσια απόσταση 1 m προς τα αριστερά. Στο σενάριο αυτό εισάγεται και πάλι θόρυβος μέτρησης καθώς και τυχαίος θόρυβος περιβάλλοντος, όμοιος με αυτούς του Σεναρίου 2.

Η παρουσίαση αναφοράς κίνησης του στόχου του Σεναρίου 3 είναι:

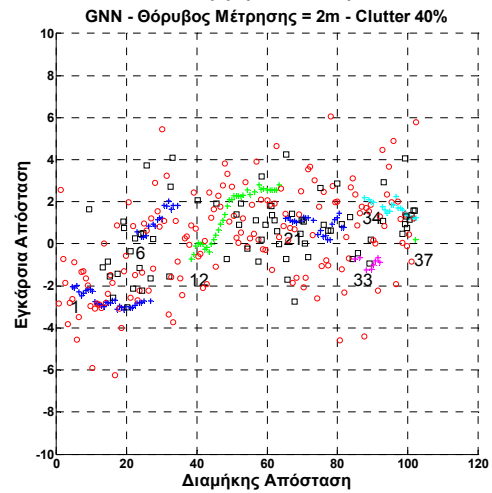
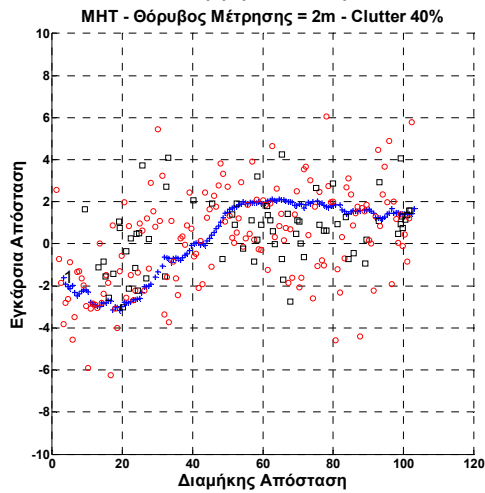
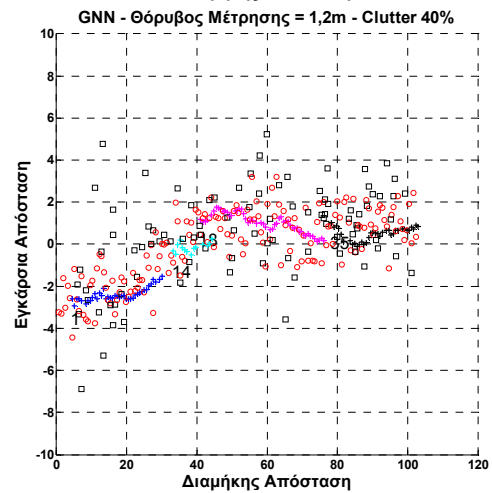
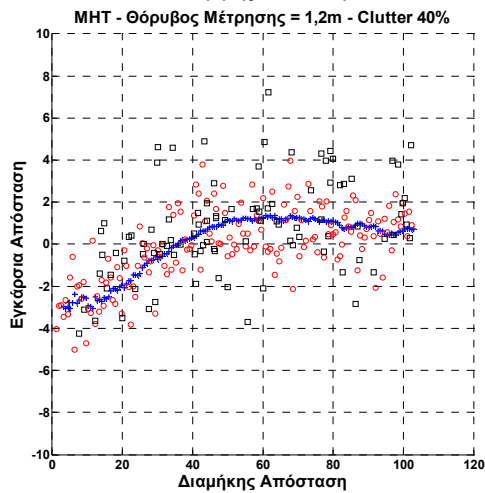
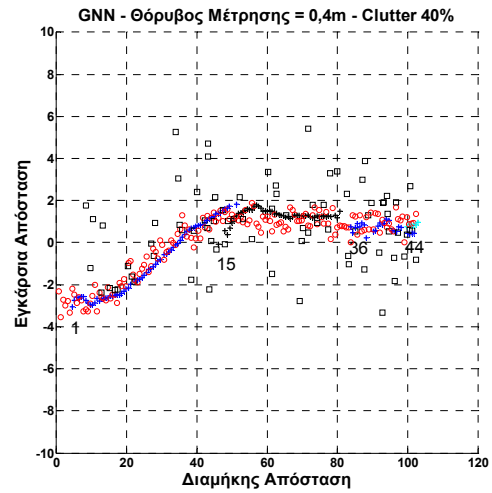
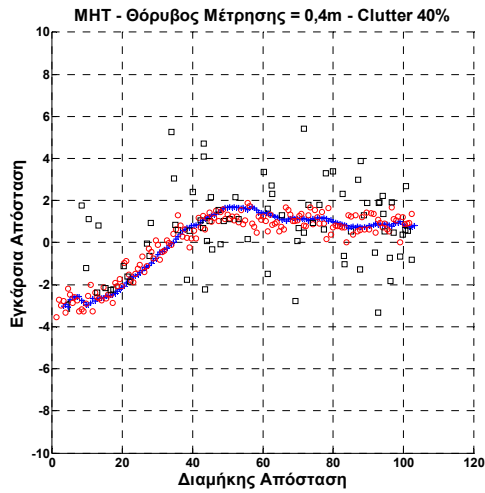


Εικόνα 3-17 Αναφορική κίνηση στόχων στο σενάριο προσομοίωσης 3.

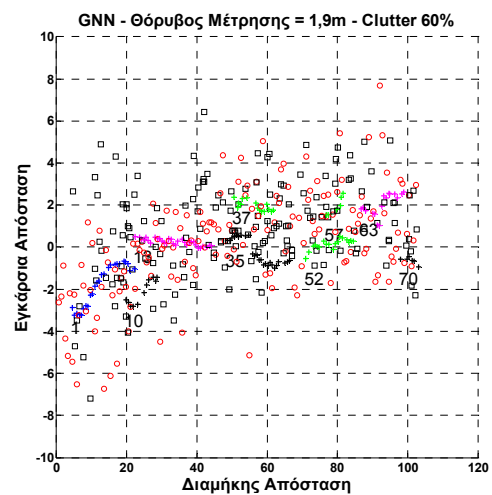
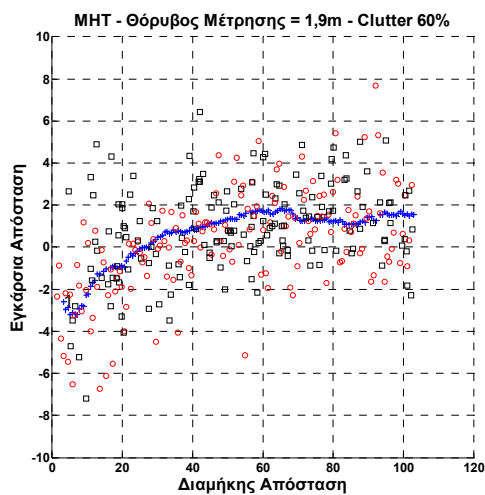
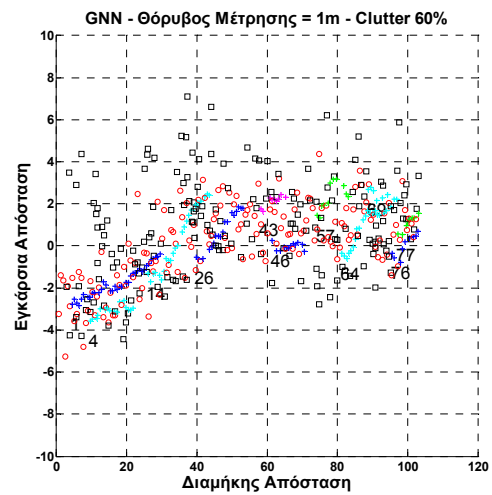
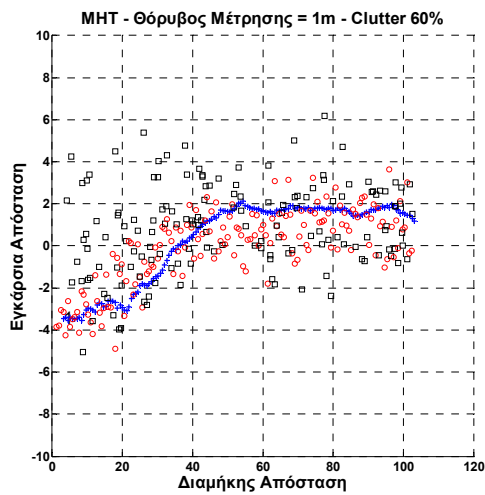
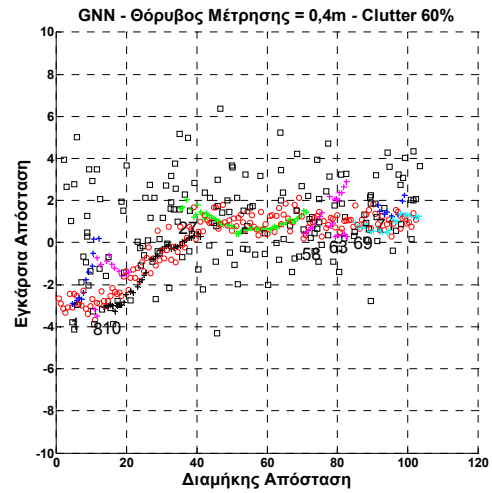
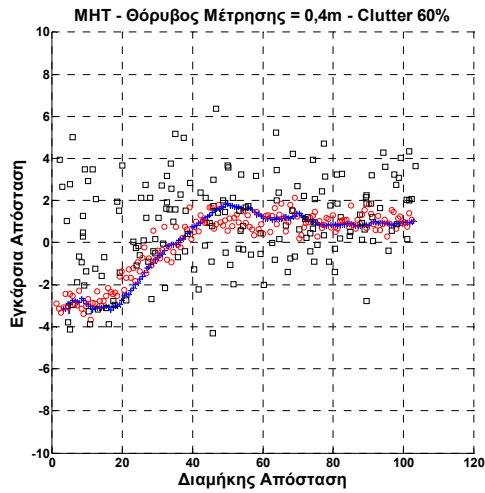
Τα αποτελέσματα ιχνηλάτησης που προκύπτουν από τους δύο αλγόριθμους για τρεις διαφορετικές αυξανόμενες τιμές θορύβου μέτρησης και για ποσοστά clutter 20%, 40% και 60% φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 3-18 - Εικόνα 3-20):



Εικόνα 3-18 Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 3 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter) 20% και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).



Εικόνα 3-19 Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 3 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter) 40% και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).



Εικόνα 3-20 Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 3 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter) 60% και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, για όλες τις διαφορετικές τιμές του θορύβου μέτρησης και των διαφορετικών ποσοστών clutter, φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Σενάριο 3 - Στόχος 1 - Clutter 20%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Παίθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Παίθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,6509	0,06	0,0066	0,6763	149	157	94,9	0	55	0	0
	0,2	0,6526	0,1086	0,0084	0,6844	152	157	96,8	0	55	0	0
	0,3	0,6419	0,174	0,0069	0,7235	147	157	93,6	0	60	0	0
	0,4	0,6456	0,1952	0,0068	0,7022	147	157	93,6	0	56	0	0
	0,5	0,6399	0,2765	0,0045	0,7086	153	157	97,5	0	46	0	0
	0,6	0,6466	0,2406	0,0079	0,7443	146	157	92,9	0	53	0	0
	0,7	0,6444	0,2612	0,0099	0,7098	138	157	87,9	0	69	0	0
	0,8	0,6417	0,53	0,0082	0,7215	137	157	87,3	0	57	0	0
	0,9	0,6398	0,2983	0,0077	0,7098	139	157	88,5	0	48	0	0
	1	0,6457	0,3318	0,0119	0,7112	143	157	91,1	0	51	0	0
	1,1	0,6423	0,4056	0,009	0,5995	140	157	89,2	0	50	0	0
	1,2	0,6426	0,7363	0,0062	0,6951	134	157	85,4	0	42	0	0
	1,3	0,6401	0,4212	0,0041	0,6981	143	157	91,1	0	52	0	0
	1,4	0,6478	0,6176	0,0153	0,6336	136	157	86,6	0	51	0	0
	1,5	0,65	0,5419	0,0126	0,8441	127	157	80,9	0	54	0	0
	1,6	0,6548	0,5515	0,0182	0,6475	133	157	84,7	0	43	0	0
	1,7	0,6488	0,6901	0,0164	0,6679	139	157	88,5	0	45	0	0
	1,8	0,6435	0,5375	0,0121	0,6944	133	157	84,7	0	44	0	0
	1,9	0,6413	0,6079	0,0108	0,6343	123	157	78,3	0	65	0	0
2	0,6402	0,6557	0,1459	0,7357	139	157	88,5	0	50	0	5	
Μέσες Τιμές		0,6450	0,4120	0,0164	0,6971	139,9	157	89,1	0	52,3	0	0,25
GNN	0,1	0,6426	0,1163	0,0036	0,6969	146	160	91,2	0	55	0	0
	0,2	0,637	0,1862	0,0043	0,7181	144	160	90	0	55	0	0
	0,3	0,6382	0,1818	0,0046	0,7425	145	160	90,6	0	60	0	0
	0,4	0,6402	0,2751	0,0121	0,7792	142	160	88,7	0	56	0	2
	0,5	0,6386	0,2869	0,0049	0,709	145	160	90,6	0	46	0	0
	0,6	0,6148	0,2764	0,0429	0,5054	125	160	78,1	0	53	0	4
	0,7	0,6403	0,2606	0,0108	0,656	125	160	78,1	0	69	0	3
	0,8	0,6468	0,451	0,0308	0,4707	110	160	68,8	0	57	0	4
	0,9	0,6443	0,2531	0,0082	0,6977	132	160	82,5	3	48	6,25	2
	1	0,6331	0,268	0,0273	0,5649	115	160	71,9	0	51	0	2
	1,1	0,6389	0,3189	0,0094	0,4246	124	160	77,5	1	50	2	3
	1,2	0,6403	0,6371	0,0211	0,6215	112	160	70	0	42	0	5
	1,3	0,6417	0,3855	0,0091	0,7716	122	160	76,2	0	52	0	2
	1,4	0,6193	0,6485	0,0193	0,6357	111	160	69,4	0	51	0	5
	1,5	0,6483	0,515	0,0281	0,6381	114	160	71,3	0	54	0	4
	1,6	0,6382	0,5475	0,0217	0,5825	103	160	64,4	0	43	0	5
	1,7	0,6412	0,7514	0,0202	0,5037	97	160	60,6	0	45	0	3
	1,8	0,6425	0,502	0,0297	0,7417	104	160	65	3	44	6,82	5
	1,9	0,642	0,6941	0,0328	0,508	92	160	57,5	0	65	0	4
2	0,652	0,6778	0,0445	0,778	109	160	68,1	2	50	4	5	
Μέσες Τιμές		0,6390	0,4117	0,0193	0,6372	120,85	160	75,5	0,45	52,3	0,95	2,9

Πίνακας 3-14 Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 3 – Στόχος 1 – Clutter 20%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 3 - Στόχος 1 - Clutter 40%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλάθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλάθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,647	0,073	0,0062	0,6959	153	157	97,4	0	72	0	0
	0,2	0,6638	0,1161	0,0197	0,6862	146	157	92,9	0	76	0	0
	0,3	0,6445	0,1829	0,0061	0,7066	142	157	90,5	0	106	0	0
	0,4	0,65	0,2272	0,0116	0,7156	141	157	89,8	0	80	0	0
	0,5	0,652	0,3171	0,0123	0,7246	141	157	89,8	0	85	0	0
	0,6	0,6594	0,2909	0,0132	0,6662	140	157	89,2	0	91	0	0
	0,7	0,6267	0,3972	0,0156	0,7043	139	157	88,5	0	79	0	0
	0,8	0,6494	0,4049	0,0115	0,7252	129	157	82,2	0	81	0	0
	0,9	0,6686	0,4066	0,0191	0,7532	128	157	81,5	0	81	0	0
	1	0,6602	0,6533	0,0156	0,6635	128	157	81,5	0	79	0	0
	1,1	0,6572	0,3982	0,0214	0,688	133	157	84,7	0	94	0	0
	1,2	0,6442	0,1886	0,0121	0,6823	117	157	74,5	0	97	0	0
	1,3	0,6535	0,6222	0,0189	0,7047	115	157	73,3	0	95	0	0
	1,4	0,6583	0,5092	0,0109	0,6901	122	157	77,7	0	104	0	0
	1,5	0,6508	0,3338	0,0086	0,7497	130	157	82,8	0	80	0	0
	1,6	0,6564	0,8563	0,0232	0,8714	126	157	80,3	0	82	0	0
	1,7	0,6519	0,5203	0,0115	0,834	114	157	72,6	0	108	0	0
	1,8	0,6738	0,9468	0,0183	0,5584	124	157	78,9	0	75	0	0
	1,9	0,6459	1,0086	0,0229	0,6223	107	157	68,2	0	100	0	0
	2	0,6371	0,7336	0,0096	0,5873	122	157	77,7	0	71	0	0
Μέσες Τιμές	0,6525	0,4593	0,0144	0,7014	129,85	157	82,7	0	86,8	0	0	
GNN	0,1	0,6363	0,138	0,0044	0,667	145	160	90,6	0	72	0	0
	0,2	0,6449	0,1443	0,0088	0,7331	137	160	85,6	0	76	0	1
	0,3	0,6282	0,2289	0,0251	0,5572	121	160	75,6	0	106	0	3
	0,4	0,6505	0,3014	0,0173	0,8522	130	160	81,2	0	80	0	3
	0,5	0,638	0,2894	0,0324	0,935	132	160	82,5	0	85	0	4
	0,6	0,6478	0,2731	0,0107	0,6123	124	160	77,5	0	91	0	2
	0,7	0,6183	0,364	0,0385	0,8101	130	160	81,2	0	79	0	3
	0,8	0,6357	0,4088	0,0294	0,7485	118	160	73,7	9	81	11,1	4
	0,9	0,6492	0,4191	0,0346	0,6957	113	160	70,6	0	81	0	3
	1	0,6414	0,4331	0,0248	0,5987	116	160	72,5	0	79	0	4
	1,1	0,6288	0,4711	0,1038	0,5217	112	160	70	0	94	0	3
	1,2	0,6533	0,3662	0,0264	0,8019	101	160	63,1	0	97	0	4
	1,3	0,6313	0,7085	0,0687	0,6053	102	160	63,7	0	95	0	7
	1,4	0,6588	0,7327	0,0469	0,5752	103	160	64,4	0	104	0	6
	1,5	0,625	0,6457	0,0432	0,6315	109	160	68,1	0	80	0	6
	1,6	0,6607	0,7537	0,1132	0,8227	107	160	66,9	0	82	0	7
	1,7	0,6359	0,7798	0,0329	0,5315	101	160	63,1	0	108	0	5
	1,8	0,6609	0,8289	0,0362	0,5423	110	160	68,7	0	75	0	3
	1,9	0,6358	0,814	0,0351	0,4609	90	160	56,2	0	100	0	3
	2	0,6113	0,9268	0,0502	0,6575	100	160	62,5	4	71	5,63	6
Μέσες Τιμές	0,6396	0,5013	0,0391	0,6680	115,05	160	71,9	0,65	86,8	0,83	3,85	

Πίνακας 3-15 Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 3 – Στόχος 1 – Clutter 40%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

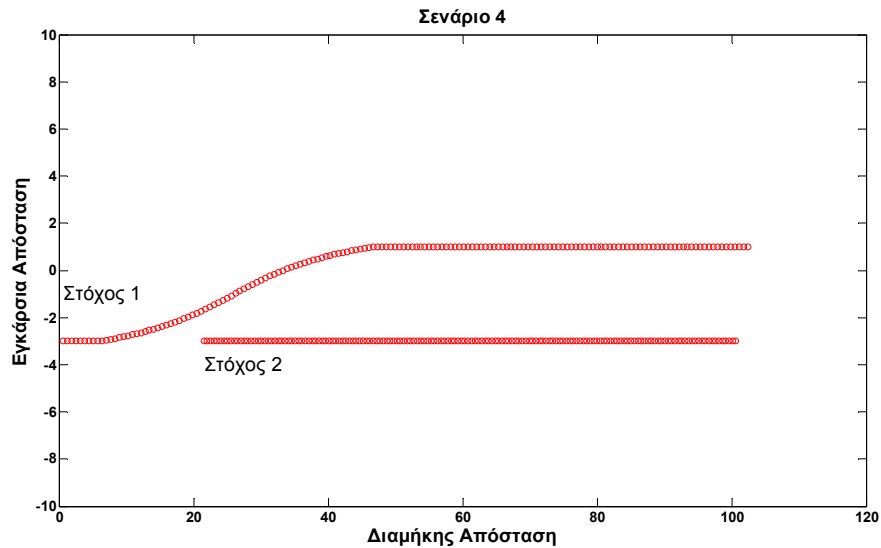
Σενάριο 3 - Στόχος 1 - Clutter 60%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλήθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλήθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,6434	0,0799	0,0066	0,6878	149	157	94,9	0	181	0	0
	0,2	0,6787	0,1331	0,0193	0,7119	138	157	87,9	0	172	0	0
	0,3	0,6485	0,1545	0,0087	0,7083	143	157	91,1	5	178	2,81	1
	0,4	0,6712	0,2919	0,022	0,6912	131	157	83,4	0	174	0	0
	0,5	0,6725	0,2885	0,0153	0,7307	125	157	79,6	0	162	0	0
	0,6	0,6557	0,3248	0,0789	0,7507	127	157	80,9	5	147	3,4	1
	0,7	0,6767	0,3856	0,0335	0,7246	114	157	72,6	0	170	0	0
	0,8	0,6463	0,4262	0,0535	0,506	130	157	82,8	0	165	0	1
	0,9	0,6905	0,4893	0,0228	0,6645	112	157	71,3	0	157	0	0
	1	0,6485	0,6117	0,0153	0,7703	118	157	75,2	0	150	0	0
	1,1	0,6806	0,5566	0,0467	0,6818	111	157	70,7	0	179	0	0
	1,2	0,6638	0,5547	0,0204	0,7401	115	157	73,3	0	143	0	0
	1,3	0,6555	0,6137	0,0183	0,8431	113	157	71,9	0	145	0	0
	1,4	0,6871	0,5673	0,034	0,589	104	157	66,2	0	191	0	1
	1,5	0,6676	0,6666	0,0265	0,7779	113	157	71,9	0	155	0	0
	1,6	0,6834	0,6402	0,0288	0,7578	99	157	63,1	0	148	0	0
	1,7	0,6537	1,0666	0,0258	0,8448	100	157	63,7	0	162	0	0
	1,8	0,6344	0,9823	0,213	0,8612	109	157	69,4	41	174	23,56	5
	1,9	0,7007	0,5572	0,0294	0,7661	100	157	63,7	0	164	0	0
	2	0,7064	1,0738	0,0347	0,9979	86	157	54,8	0	155	0	0
Μέσες Τιμές		0,6682	0,5232	0,0376	0,7402	116,85	157	74,4	2,5	163,6	1,48	0,45
GNN	0,1	0,6321	0,2481	0,0379	0,8632	136	160	85	19	181	10,5	4
	0,2	0,6505	0,2742	0,0881	0,9992	137	160	85,6	0	172	0	4
	0,3	0,6218	0,4075	0,078	1,0555	127	160	79,4	0	178	0	6
	0,4	0,6143	0,5244	0,0964	1,006	120	160	75	4	174	2,3	7
	0,5	0,6534	0,5545	0,0425	0,857	111	160	69,4	14	162	8,64	6
	0,6	0,6423	0,4547	0,0672	0,4459	113	160	70,6	4	147	2,72	6
	0,7	0,6488	0,4252	0,0791	0,9266	116	160	72,5	0	170	0	6
	0,8	0,6459	0,5376	0,0656	0,6183	109	160	68,1	0	165	0	4
	0,9	0,6454	0,6455	0,1403	0,584	97	160	60,6	0	157	0	5
	1	0,6514	0,8545	0,0874	0,8361	116	160	72,5	14	150	9,33	9
	1,1	0,6458	0,7517	0,203	1,0272	101	160	63,1	5	179	2,79	10
	1,2	0,6386	0,7189	0,1391	0,6982	89	160	55,6	0	143	0	6
	1,3	0,6572	0,679	0,0734	0,8631	95	160	59,4	1	145	0,69	5
	1,4	0,6223	0,6343	0,0716	0,3487	93	160	58,1	1	191	0,52	5
	1,5	0,6332	0,696	0,0682	0,6519	95	160	59,4	8	155	5,16	8
	1,6	0,6288	0,8344	0,1225	0,6535	94	160	58,8	8	148	5,41	6
	1,7	0,6126	0,794	0,1142	0,6356	90	160	56,2	10	162	6,17	6
	1,8	0,6285	0,9575	0,1165	0,6218	99	160	61,9	18	174	10,3	8
	1,9	0,6327	0,9647	0,1522	0,6768	87	160	54,4	9	164	5,49	8
	2	0,7298	1,0049	0,2304	0,4443	94	160	58,8	14	155	9,03	9
Μέσες Τιμές		0,6418	0,6481	0,1037	0,7406	105,95	160	66,2	6,45	163,6	3,95	6,4

Πίνακας 3-16 Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 3 – Στόχος 1 – Clutter 60%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

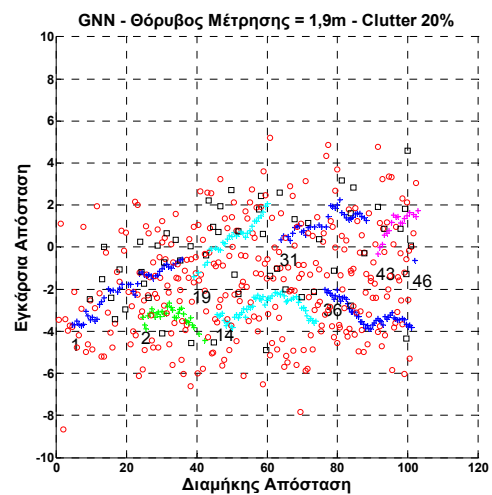
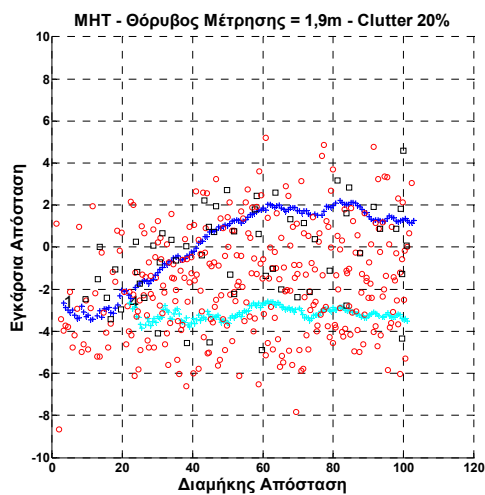
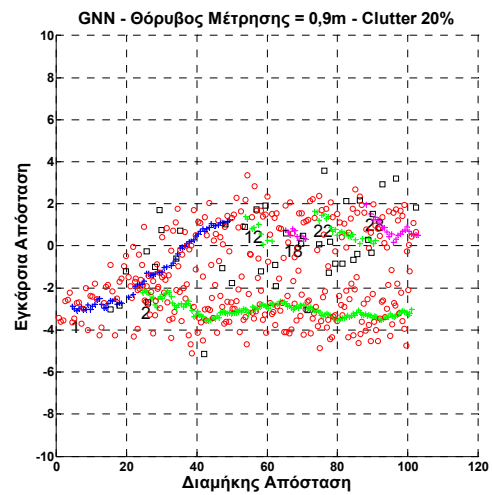
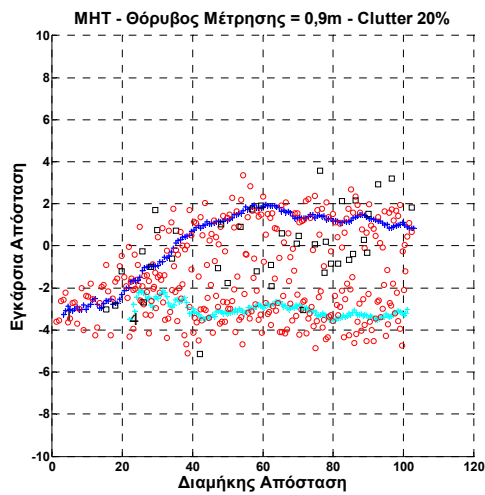
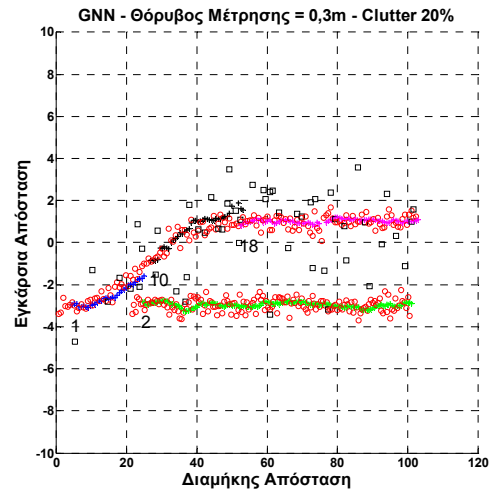
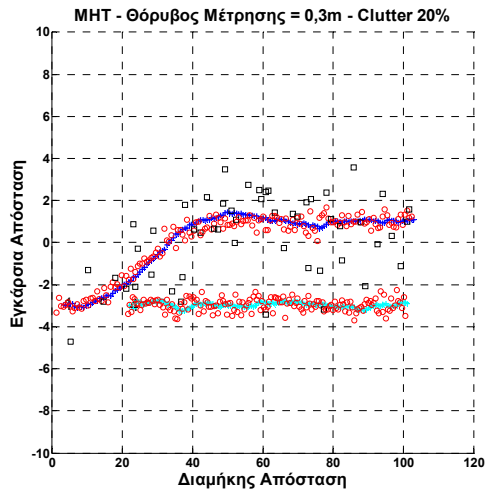
3.3.4 Σενάριο 4

Το Σενάριο αυτό είναι όμοιο με το Σενάριο 3 με τη διαφορά ότι υπάρχει και ένα δεύτερος στόχος, δηλαδή ο πρώτος στόχος του Σεναρίου 3 πραγματοποιεί αριστερή προσπέραση από το προπορευόμενο όχημα, το οποίο κινείται με χαμηλότερη ταχύτητα. Ο δεύτερος στόχος, λοιπόν, κινείται στην δεξιά λωρίδα από το ίδιο όχημα παρατήρησης με ευθύγραμμη σταθερή ταχύτητα $6,3\text{ m/s}$ ξεκινώντας από οριζόντια απόσταση 20 m και εγκάρσια απόσταση 3 m δεξιά από το ίδιο όχημα. Και πάλι το σενάριο εξετάζεται για όμοια επίπεδα θορύβου μέτρησης και τυχαίο θόρυβο περιβάλλοντος, όπως και στα προηγούμενα σενάρια. Η παρουσίαση αναφοράς της κίνησης των στόχων του Σεναρίου 4 είναι:

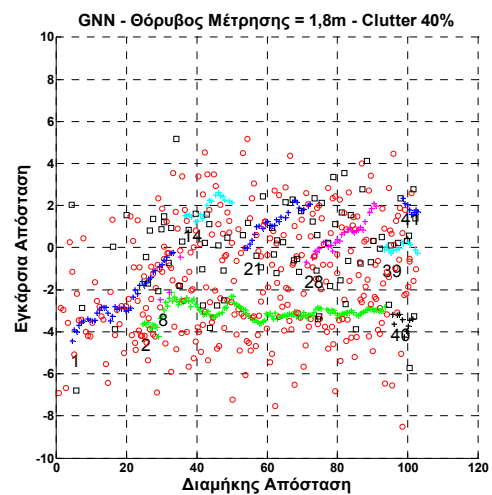
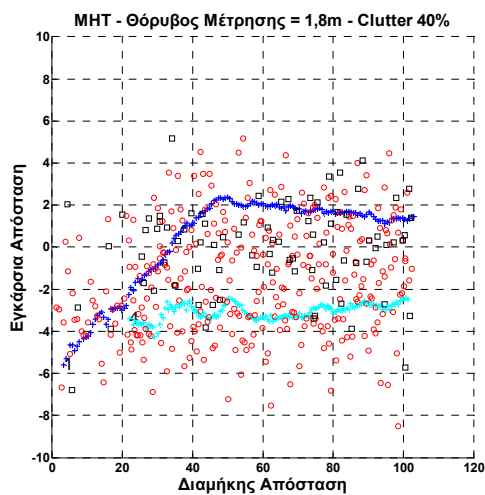
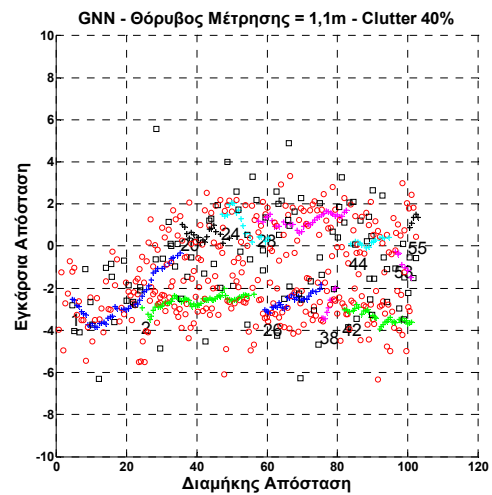
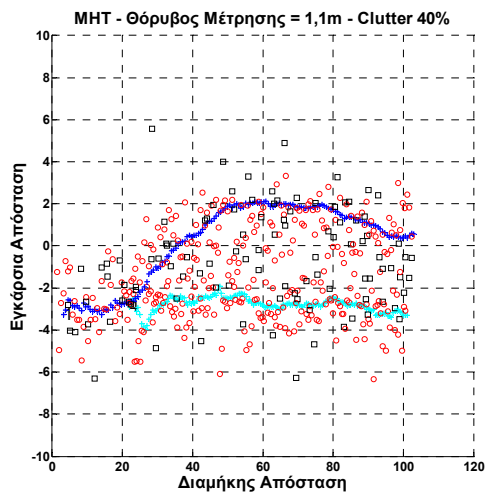
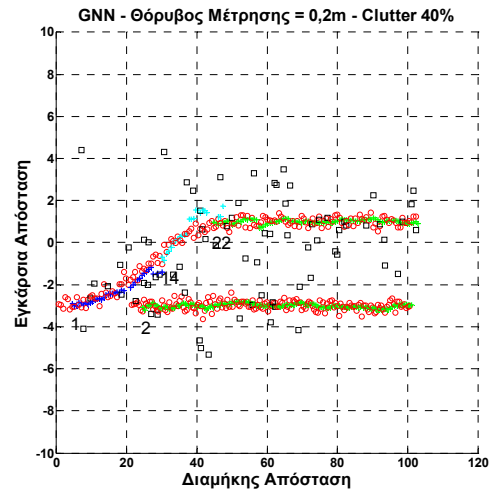
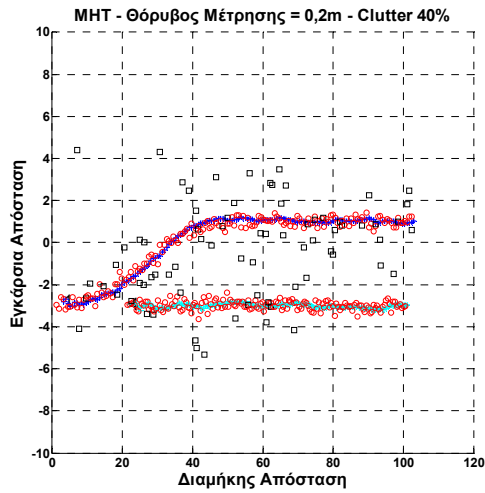


Εικόνα 3-21 Αναφορική κίνηση στόχων στο σενάριο προσομοίωσης 4.

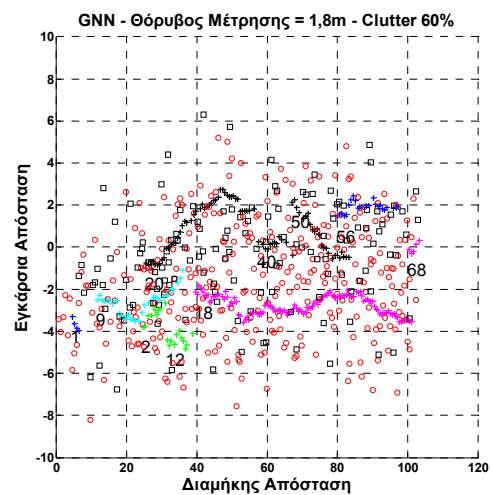
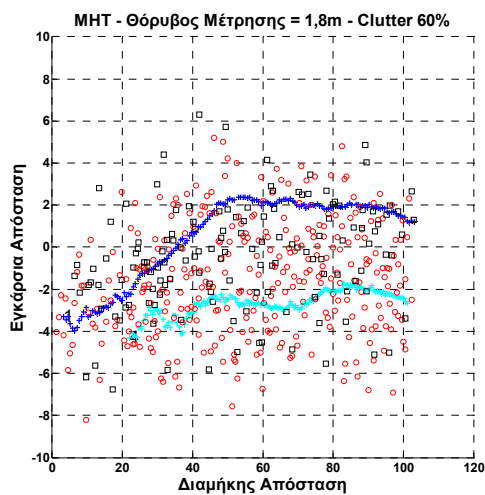
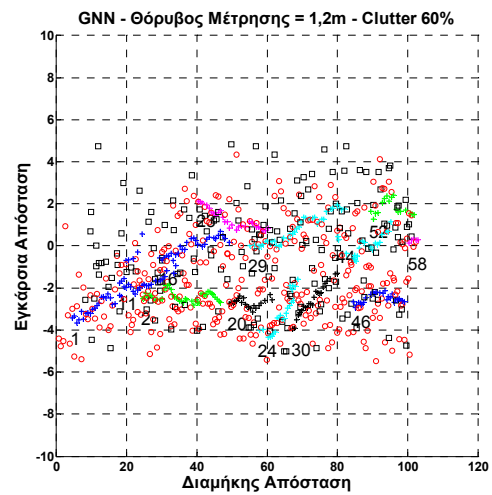
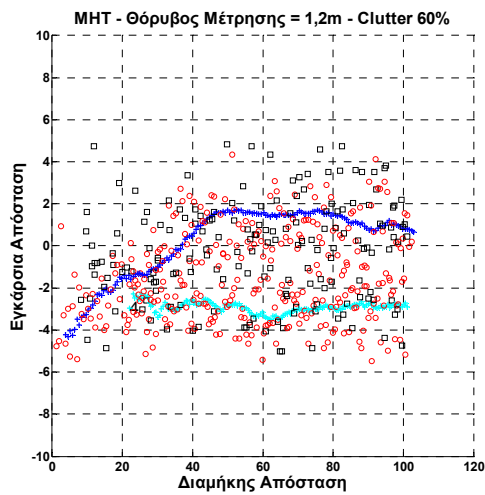
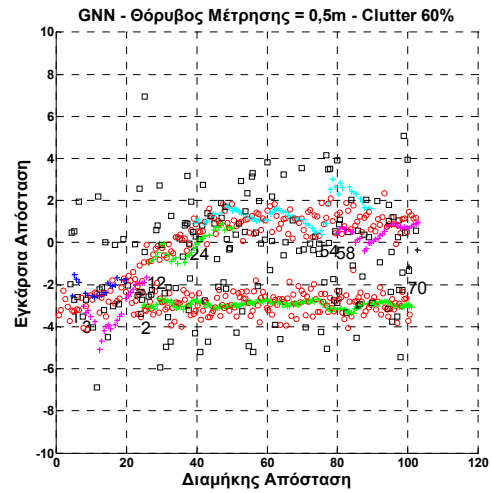
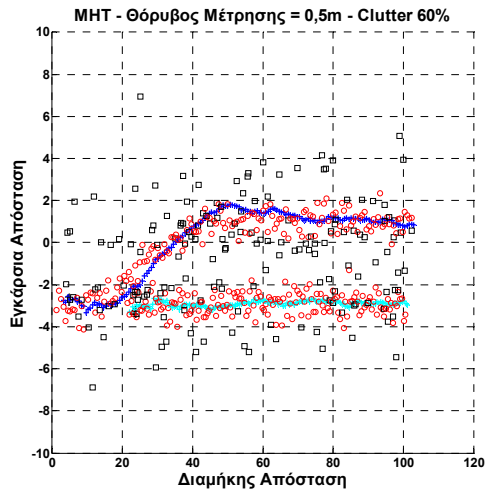
Τα αποτελέσματα ιχνηλάτησης που προκύπτουν από τους δύο αλγόριθμους για τρεις διαφορετικές αυξανόμενες τιμές θορύβου μέτρησης και για ποσοστά clutter 20%, 40% και 60% φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 3-22 - Εικόνα 3-24):



Εικόνα 3-22 Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 4 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter) 20% και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).



Εικόνα 3-23 Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 4 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter) 40% και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).



Εικόνα 3-24 Ιχνηλάτηση στόχων σεναρίου 3 για διαφορετικά επίπεδα θορύβου μέτρησης και επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter) 60% και με τους δυο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT-GNN).

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, για όλες τις διαφορετικές τιμές του θορύβου μέτρησης και των διαφορετικών ποσοστών clutter, φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Σενάριο 4 - Στόχος 1 - Clutter 20%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλήθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλήθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,6425	0,0647	0,004	0,6727	154	157	98,1	0	38	0	0
	0,2	0,6401	0,1355	0,0024	0,6911	154	157	98,1	0	38	0	0
	0,3	0,6437	0,1405	0,0033	0,6883	148	157	94,3	0	52	0	0
	0,4	0,6426	0,1943	0,0046	0,7497	148	157	94,3	0	53	0	0
	0,5	0,6398	0,1989	0,0034	0,7584	148	157	94,3	0	46	0	0
	0,6	0,6406	0,3138	0,0088	0,7574	145	157	92,4	0	41	0	0
	0,7	0,6421	0,2285	0,0041	0,7259	147	157	93,6	0	37	0	0
	0,8	0,6422	0,3327	0,0065	0,7127	143	157	91,1	0	43	0	0
	0,9	0,6391	0,3113	0,005	0,7322	144	157	91,7	0	40	0	0
	1	0,642	0,2653	0,0056	0,6651	148	157	94,2	0	36	0	0
	1,1	0,6447	0,2285	0,005	0,6861	140	157	89,2	0	48	0	0
	1,2	0,6397	0,2906	0,0065	0,7604	142	157	90,4	0	40	0	0
	1,3	0,6427	0,311	0,0048	0,7356	141	157	89,8	0	45	0	0
	1,4	0,6335	0,5142	0,0266	0,6328	143	157	91,1	0	31	0	1
	1,5	0,6484	0,4841	0,0267	0,7838	141	157	89,8	0	43	0	1
	1,6	0,6329	0,5725	0,0306	0,7163	134	157	85,4	0	41	0	1
	1,7	0,6481	0,6528	0,0175	0,8261	137	157	87,3	0	46	0	1
	1,8	0,6375	0,5599	0,0212	0,6872	126	157	80,2	0	48	0	1
	1,9	0,6448	0,5605	0,0099	0,7225	122	157	77,7	0	56	0	0
2	0,642	1,0377	0,0441	0,6492	131	157	83,4	0	56	0	1	
	Μέσες Τιμές	0,6414	0,3698	0,0120	0,7178	141,8	157	90,3	0	43,9	0	0,3
GNN	0,1	0,6423	0,0708	0,0037	0,6746	152	160	95	0	38	0	0
	0,2	0,6453	0,1808	0,016	0,7341	144	160	90	0	38	0	1
	0,3	0,6415	0,1534	0,0069	0,6156	136	160	85	0	52	0	2
	0,4	0,6395	0,2027	0,0154	0,8297	137	160	85,6	0	53	0	2
	0,5	0,6444	0,2344	0,0065	0,8066	137	160	85,6	0	46	0	0
	0,6	0,6379	0,3749	0,0096	0,77	129	160	80,6	0	41	0	1
	0,7	0,644	0,2276	0,0048	0,7288	141	160	88,1	0	37	0	0
	0,8	0,646	0,3909	0,0204	0,8	128	160	80	0	43	0	3
	0,9	0,6347	0,3633	0,015	0,9345	116	160	72,5	0	40	0	4
	1	0,6438	0,2454	0,0061	0,4712	127	160	79,4	0	36	0	2
	1,1	0,6437	0,2807	0,0065	0,7123	124	160	77,5	0	48	0	1
	1,2	0,6426	0,3796	0,005	0,7911	133	160	83,1	0	40	0	0
	1,3	0,6387	0,4751	0,0141	0,8998	131	160	81,9	0	45	0	2
	1,4	0,6305	0,7009	0,0273	0,7218	123	160	76,9	0	31	0	4
	1,5	0,6294	0,3544	0,0183	0,8674	132	160	82,5	0	43	0	2
	1,6	0,6457	0,632	0,1044	0,7009	110	160	68,7	0	41	0	4
	1,7	0,6342	0,6091	0,0156	0,8973	104	160	65	2	46	4,35	3
	1,8	0,6241	0,7499	0,0545	0,7461	109	160	68,1	0	48	0	5
	1,9	0,6476	0,5286	0,0295	0,8776	106	160	66,2	0	56	0	4
2	0,7941	0,8851	0,2042	0,4472	113	160	70,6	0	56	0	4	
	Μέσες Τιμές	0,6475	0,4019	0,0292	0,7513	126,6	160	79,1	0,1	43,9	0,21	2,2

Πίνακας 3-17, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 4 – Στόχος 1 – Clutter 20%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 4 - Στόχος 2 - Clutter 20%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγεαρμοί			Αλλαγές ID
						Πλήθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλήθος	Σύνολο Εφαλαμμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,0039	0,0399	0,0064	0,0552	156	157	99,3	0	38	0	0
	0,2	0,0032	0,0873	0,0055	0,0905	157	157	100	0	38	0	0
	0,3	0,0029	0,1014	0,0038	0,0838	156	157	99,3	0	52	0	0
	0,4	0,0024	0,1278	0,0045	0,1095	155	157	98,7	0	53	0	0
	0,5	0,0039	0,1635	0,0039	0,1382	156	157	99,4	0	46	0	0
	0,6	0,0035	0,1235	0,0061	0,1081	157	157	100	0	41	0	0
	0,7	0,0034	0,1342	0,0032	0,094	155	157	98,7	0	37	0	0
	0,8	0,005	0,1575	0,0062	0,1039	155	157	98,7	0	43	0	0
	0,9	0,0036	0,2811	0,0034	0,132	155	157	98,7	0	40	0	0
	1	0,0051	0,3194	0,0071	0,1478	154	157	98,1	0	36	0	0
	1,1	0,0041	0,2273	0,0056	0,098	152	157	96,8	0	48	0	0
	1,2	0,0041	0,3036	0,0073	0,1476	154	157	98,1	0	40	0	0
	1,3	0,0057	0,3048	0,006	0,1371	154	157	98,1	0	45	0	0
	1,4	0,0069	0,3456	0,006	0,1932	153	157	97,4	0	31	0	0
	1,5	0,0274	0,5094	0,0178	0,3098	150	157	95,5	0	43	0	0
	1,6	0,0203	0,4216	0,0413	0,1664	155	157	98,7	0	41	0	1
	1,7	0,0097	0,3877	0,0078	0,1688	150	157	95,5	0	46	0	0
	1,8	0,0152	0,4031	0,017	0,1474	150	157	95,5	0	48	0	1
	1,9	0,0097	0,2952	0,0204	0,0878	147	157	93,6	0	56	0	1
2	0,0158	0,3285	0,0207	0,1499	142	157	90,4	0	56	0	1	
Μέσες Τιμές	0,0077	0,2531	0,0100	0,1334	153,15	157	97,5	0	43,9	0	0,2	
GNN	0,1	0,5029	0,0382	0,0030	0,0495	153	158	96,8	0	38	0	0
	0,2	0,5037	0,0878	0,0032	0,0881	153	158	96,8	0	38	0	0
	0,3	0,5044	0,1000	0,0030	0,0788	152	158	96,2	0	52	0	0
	0,4	0,5037	0,1295	0,0018	0,1075	151	158	95,5	0	53	0	0
	0,5	0,5018	0,1559	0,0034	0,1377	152	158	96,2	0	46	0	0
	0,6	0,5072	0,1164	0,0032	0,1059	151	158	95,5	0	41	0	0
	0,7	0,5037	0,1351	0,0022	0,0947	151	158	95,5	0	37	0	0
	0,8	0,5059	0,1416	0,0039	0,1058	149	158	94,3	0	43	0	0
	0,9	0,5047	0,2838	0,0023	0,1371	150	158	94,9	0	40	0	0
	1	0,5026	0,3285	0,0041	0,1519	148	158	93,6	0	36	0	0
	1,1	0,5060	0,2358	0,0030	0,1055	145	158	91,7	0	48	0	0
	1,2	0,5057	0,2710	0,0033	0,1494	145	158	91,7	0	40	0	0
	1,3	0,5082	0,3160	0,0058	0,1648	141	158	89,2	0	45	0	1
	1,4	0,4999	0,4279	0,0167	0,2882	137	158	86,7	0	31	0	2
	1,5	0,5016	0,4878	0,0151	0,3524	147	158	93,1	0	43	0	1
	1,6	0,4866	0,8168	0,2159	0,3980	136	158	86,1	0	41	0	2
	1,7	0,5027	0,5366	0,0068	0,3890	136	158	86,1	2	46	4,35	2
	1,8	0,5008	0,3653	0,0039	0,1530	147	158	93,1	0	48	0	0
	1,9	0,5074	0,4556	0,0089	0,2726	125	158	79,1	0	56	0	2
2	0,5535	0,8218	0,4326	0,4640	120	158	75,9	0	56	0	5	
Μέσες Τιμές	0,5057	0,3126	0,0371	0,1897	144,45	158	91,4	0,1	43,9	0,21	0,75	

Πίνακας 3-18, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 4 – Στόχος 2 – Clutter 20%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 4 - Στόχος 1 - Clutter 40%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλήθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλήθος	Σύνολο Εφαλαμμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,6459	0,067	0,0054	0,6674	150	157	95,5	0	87	0	0
	0,2	0,6423	0,0874	0,0049	0,6711	153	157	97,4	0	74	0	0
	0,3	0,6432	0,1407	0,0056	0,6958	148	157	94,2	0	91	0	0
	0,4	0,6417	0,1591	0,007	0,6942	145	157	92,3	0	82	0	0
	0,5	0,6531	0,1983	0,0144	0,6953	148	157	94,2	0	76	0	0
	0,6	0,6429	0,1653	0,0045	0,6816	143	157	91,1	0	89	0	0
	0,7	0,6505	0,4701	0,0099	0,7944	137	157	87,2	0	103	0	0
	0,8	0,6436	0,3879	0,0106	0,8013	132	157	84,1	0	89	0	0
	0,9	0,6424	0,3186	0,0076	0,7214	140	157	89,1	0	83	0	0
	1	0,6488	0,5658	0,0071	0,6918	133	157	84,7	0	68	0	0
	1,1	0,6504	0,5653	0,0197	0,7383	124	157	78,9	0	104	0	0
	1,2	0,6436	0,6004	0,007	0,794	130	157	82,8	0	82	0	0
	1,3	0,6517	0,5036	0,0167	0,8061	129	157	82,1	0	80	0	0
	1,4	0,6499	0,448	0,0132	0,7693	130	157	82,8	0	75	0	0
	1,5	0,661	0,5772	0,0462	0,76	120	157	76,4	0	90	0	1
	1,6	0,6641	0,4518	0,0492	0,6904	130	157	82,8	0	90	0	1
	1,7	0,5971	0,8962	0,2567	0,2775	124	157	78,9	0	67	0	3
	1,8	0,6504	0,7666	0,0161	0,9873	126	157	80,3	0	83	0	0
	1,9	0,6357	1,0144	0,1993	1,2996	98	157	62,4	0	77	0	3
2	1,0002	1,1472	2,0927	1,085	127	157	80,9	0	86	0	3	
Μέσες Τιμές	0,6629	0,4765	0,1396	0,7661	133,35	157	84,9	0	83,8	0	0,55	
GNN	0,1	0,6425	0,0858	0,0038	0,683	145	160	90,6	0	87	0	0
	0,2	0,6411	0,1499	0,0102	0,6456	134	160	83,7	0	74	0	2
	0,3	0,6321	0,293	0,0326	0,7938	128	160	80	0	91	0	4
	0,4	0,6481	0,1599	0,0231	0,6641	137	160	85,6	0	82	0	1
	0,5	0,6426	0,2422	0,008	0,6946	132	160	82,5	0	76	0	2
	0,6	0,6314	0,2218	0,013	0,6332	126	160	78,7	0	89	0	2
	0,7	0,6431	0,407	0,0114	0,6917	131	160	81,9	3	103	2,91	2
	0,8	0,6393	0,3725	0,0192	0,8129	118	160	73,7	0	89	0	3
	0,9	0,6352	0,3218	0,0489	0,5535	113	160	70,6	0	83	0	3
	1	0,6474	0,3228	0,0254	0,7054	122	160	76,2	0	68	0	3
	1,1	0,6336	0,6048	0,0659	0,5295	105	160	65,6	0	104	0	6
	1,2	0,6366	0,7201	0,037	0,9617	107	160	66,8	0	82	0	6
	1,3	0,6458	0,664	0,0299	0,7688	118	160	73,7	6	80	7,5	6
	1,4	0,6512	0,5694	0,0321	0,5714	100	160	62,5	0	75	0	3
	1,5	0,6446	0,6895	0,0219	1,2174	112	160	70	0	90	0	3
	1,6	0,6494	0,5429	0,0457	0,7518	109	160	68,1	4	90	4,44	4
	1,7	0,6405	1,0371	0,0564	0,7614	97	160	60,6	2	67	2,99	7
	1,8	0,6496	0,7271	0,0625	0,9034	104	160	65	8	83	9,64	5
	1,9	0,6399	0,7384	0,0444	0,5627	82	160	51,2	0	77	0	5
2	0,6404	0,9571	0,115	0,5747	110	160	68,7	0	86	0	8	
Μέσες Τιμές	0,6417	0,4913	0,0353	0,7240	116,5	160	72,8	1,15	83,8	1,37	3,75	

Πίνακας 3-19, , Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 4 – Στόχος 1 – Clutter 40%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 4 - Στόχος 2 - Clutter 40%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Πλήθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Πλήθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,0030	0,0387	0,0039	0,0589	157	157	100	0	87	0	0
	0,2	0,0045	0,0780	0,0043	0,0765	155	157	98,7	0	74	0	0
	0,3	0,0039	0,0995	0,0044	0,0772	156	157	99,3	0	91	0	0
	0,4	0,0037	0,1156	0,0059	0,1052	152	157	96,8	0	82	0	0
	0,5	0,0038	0,1241	0,0045	0,0868	152	157	96,8	0	76	0	0
	0,6	0,0037	0,1771	0,0050	0,1323	154	157	98,1	0	89	0	0
	0,7	0,0049	0,1989	0,0049	0,1259	148	157	94,2	0	103	0	0
	0,8	0,0066	0,1574	0,0073	0,1463	148	157	94,2	0	89	0	0
	0,9	0,0067	0,2360	0,0076	0,1078	150	157	95,5	0	83	0	0
	1	0,0051	0,3221	0,0066	0,1842	153	157	97,4	0	68	0	0
	1,1	0,0078	0,3378	0,0098	0,1576	146	157	92,9	0	104	0	0
	1,2	0,0065	0,2431	0,0059	0,1353	151	157	96,2	0	82	0	0
	1,3	0,0076	0,2225	0,0098	0,0835	148	157	94,3	0	80	0	0
	1,4	0,0049	0,3428	0,0059	0,1681	149	157	94,9	0	75	0	0
	1,5	0,0136	0,5105	0,0125	0,2212	143	157	91,1	0	90	0	0
	1,6	0,0388	0,5220	0,0380	0,2103	145	157	92,4	0	90	0	1
	1,7	0,0051	0,3929	0,0069	0,1706	150	157	95,5	0	67	0	0
	1,8	0,0100	0,2985	0,0080	0,1292	142	157	90,4	0	83	0	0
	1,9	0,0281	0,3227	0,0202	0,1286	139	157	88,5	0	77	0	0
	2	1,7546	2,2094	1,6066	0,7310	127	157	80,9	0	86	0	3
Μέσες Τιμές	0,0961	0,3475	0,0889	0,1618	148,25	157	94,4	0	83,8	0	0,2	
GNN	0,1	0,5028	0,0363	0,0025	0,0458	152	158	96,2	0	87	0	0
	0,2	0,5052	0,0754	0,0027	0,0753	151	158	95,5	0	74	0	0
	0,3	0,5022	0,1044	0,0035	0,0787	148	158	93,6	0	91	0	0
	0,4	0,5036	0,1556	0,0068	0,1501	140	158	88,6	0	82	0	1
	0,5	0,5054	0,1242	0,0026	0,0823	148	158	93,6	0	76	0	0
	0,6	0,5061	0,1926	0,0049	0,1532	140	158	88,6	0	89	0	1
	0,7	0,5059	0,2036	0,0035	0,1303	142	158	89,8	3	103	2,91	0
	0,8	0,4971	0,2124	0,0143	0,2058	133	158	84,2	0	89	0	1
	0,9	0,4984	0,2434	0,0066	0,2496	135	158	85,4	0	83	0	1
	1	0,5060	0,4172	0,0229	0,2503	142	158	89,8	0	68	0	1
	1,1	0,4976	0,4625	0,0333	0,2509	125	158	79,1	0	104	0	4
	1,2	0,5141	0,3216	0,0184	0,2077	140	158	88,6	0	82	0	2
	1,3	0,5077	0,2809	0,0066	0,1511	135	158	85,4	6	80	7,5	1
	1,4	0,5000	0,3644	0,0175	0,2084	137	158	86,7	0	75	0	2
	1,5	0,5087	0,4495	0,0146	0,3770	108	158	68,3	0	90	0	3
	1,6	0,5233	0,3446	0,0275	0,3563	118	158	74,6	4	90	4,44	3
	1,7	0,5044	0,4282	0,0046	0,1773	136	158	86,1	2	67	2,99	1
	1,8	0,5064	0,3902	0,0629	0,1514	138	158	87,3	8	83	9,64	3
	1,9	0,5159	0,4581	0,0371	0,1575	132	158	83,5	0	77	0	2
	2	0,5147	0,8921	0,1445	0,3852	124	158	78,4	0	86	0	5
Μέσες Τιμές	0,5063	0,3079	0,0219	0,1922	136,2	158	86,2	1,15	83,8	1,37	1,55	

Πίνακας 3-20, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 4 – Στόχος 2 – Clutter 40%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 4 - Στόχος 1 - Clutter 60%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Παίθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Παίθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,6427	0,0709	0,0060	0,6610	148	157	94,3	0	138	0	0
	0,2	0,6517	0,1721	0,0435	0,7869	148	157	94,3	18	152	11,8	2
	0,3	0,6644	0,2571	0,1024	0,9029	140	157	89,2	10	164	6,1	1
	0,4	0,5952	0,4980	0,3955	0,9258	141	157	89,8	0	185	0	1
	0,5	0,6643	0,3202	0,0200	0,6668	132	157	84,1	0	162	0	0
	0,6	0,6467	0,3745	0,0075	0,6775	126	157	80,2	0	161	0	0
	0,7	0,6577	0,2661	0,0236	0,7535	130	157	82,8	0	159	0	0
	0,8	0,6421	0,4111	0,0103	0,7024	129	157	82,2	0	160	0	0
	0,9	0,6426	0,4298	0,0213	0,7555	114	157	72,6	0	161	0	0
	1	0,6503	0,7723	0,0209	0,7879	122	157	77,7	1	158	0,63	1
	1,1	0,6394	0,7432	0,0094	0,6427	107	157	68,1	0	166	0	0
	1,2	0,6471	0,3926	0,0085	0,8859	106	157	67,5	0	173	0	0
	1,3	0,6620	0,6082	0,0953	0,8476	121	157	77,1	7	143	4,9	1
	1,4	0,6586	0,8349	0,0445	0,8857	110	157	70,1	9	190	4,74	1
	1,5	0,6681	0,7393	0,0913	0,7719	117	157	74,5	0	166	0	2
	1,6	0,6416	0,6536	0,0165	0,5908	98	157	62,4	0	171	0	1
	1,7	0,6773	0,5223	0,0518	0,8129	102	157	64,9	0	167	0	1
	1,8	0,6829	0,7677	0,0810	0,8116	111	157	70,7	0	139	0	1
	1,9	0,6445	0,5336	0,0539	0,6016	108	157	68,8	0	156	0	1
	2	0,6509	0,6144	0,0521	0,6413	95	157	60,5	0	164	0	1
Μέσες Τιμές		0,6515	0,4991	0,0578	0,7556	120,25	157	76,5	2,25	161,75	1,41	0,7
GNN	0,1	0,6248	0,2994	0,0305	0,9777	137	160	85,6	5	138	3,62	6
	0,2	0,6406	0,3282	0,0174	0,9077	138	160	86,2	9	152	5,92	4
	0,3	0,6601	0,4136	0,0578	0,7617	128	160	80	0	164	0	6
	0,4	0,6296	0,4532	0,0771	0,6757	127	160	79,4	10	185	5,41	9
	0,5	0,6606	0,5645	0,0457	0,7779	123	160	76,9	2	162	1,23	5
	0,6	0,6387	0,5047	0,0275	0,5577	127	160	79,4	0	161	0	5
	0,7	0,6247	0,5246	0,0670	0,9374	117	160	73,1	0	159	0	6
	0,8	0,6331	0,5966	0,0621	0,9654	121	160	75,6	11	160	6,88	7
	0,9	0,6300	0,4617	0,0909	0,6540	103	160	64,4	5	161	3,11	6
	1	0,6935	0,6784	0,0986	0,6272	112	160	70	0	158	0	4
	1,1	0,6512	0,7314	0,0508	0,8829	102	160	63,7	20	166	12,05	7
	1,2	0,7469	0,6099	0,1658	0,7199	124	160	77,5	4	173	2,31	8
	1,3	0,6090	0,7277	0,4561	0,6504	113	160	70,6	6	143	4,2	9
	1,4	0,6793	0,6530	0,0922	0,5810	116	160	72,5	0	190	0	5
	1,5	0,6472	0,6529	0,1172	0,7839	122	160	76,2	8	166	4,82	8
	1,6	0,6445	0,6524	0,0562	0,7982	105	160	65,6	0	171	0	7
	1,7	0,6551	1,0019	0,1092	0,4383	117	160	73,1	22	167	13,17	8
	1,8	0,6241	0,9132	0,0587	0,8337	88	160	55	18	139	12,95	6
	1,9	0,6382	0,6885	0,1003	0,5351	97	160	60,6	9	156	5,77	7
	2	0,6244	0,6962	0,1356	0,4826	93	160	58,1	31	164	18,9	7
Μέσες Τιμές		0,6478	0,6076	0,0958	0,7274	115,5	160	72,1	8	161,75	5,01	6,5

Πίνακας 3-21, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 4 – Στόχος 1 – Clutter 60%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

Σενάριο 4 - Στόχος 2 - Clutter 60%

	Θόρυβος Μέτρησης (m)	Σφάλμα x(m)	Σφάλμα y(m)	Σφάλμα u _x (m/s)	Σφάλμα u _y (m/s)	Σωστές Συσχετίσεις			Ψευδείς Συναγερμοί			Αλλαγές ID
						Παίθος	Σύνολο Παρατηρήσεων	(%)	Παίθος	Σύνολο Εσφαλμένων Παρατηρήσεων	(%)	
MHT	0,1	0,0055	0,0363	0,0057	0,0550	153	157	97,4	0	138	0	0
	0,2	0,0062	0,0533	0,0064	0,0617	154	157	98,1	8	152	5,26	0
	0,3	0,0056	0,0867	0,0049	0,0850	150	157	95,5	8	164	4,87	0
	0,4	0,0105	0,1286	0,0095	0,0930	147	157	93,6	0	185	0	0
	0,5	0,0095	0,1307	0,0103	0,0626	149	157	94,9	0	162	0	0
	0,6	0,0104	0,2267	0,0080	0,1461	139	157	88,5	0	161	0	0
	0,7	0,0090	0,1525	0,0089	0,0856	149	157	94,9	0	159	0	0
	0,8	0,0070	0,1687	0,0057	0,0980	146	157	92,9	0	160	0	0
	0,9	0,0154	0,3025	0,0158	0,1285	137	157	87,2	0	161	0	0
	1	0,0214	0,3056	0,0193	0,1338	143	157	91,1	1	158	0,63	1
	1,1	0,0088	0,2984	0,0086	0,0907	141	157	89,8	0	166	0	0
	1,2	0,0083	0,2049	0,0075	0,0987	138	157	87,9	0	173	0	0
	1,3	0,0070	0,2813	0,0076	0,1547	142	157	90,4	7	143	4,9	0
	1,4	0,0194	0,2038	0,0135	0,0940	135	157	85,9	9	190	4,74	0
	1,5	0,0441	0,3579	0,0583	0,1542	133	157	84,7	0	166	0	1
	1,6	0,0100	0,2484	0,0087	0,0987	129	157	82,1	0	171	0	0
	1,7	0,0377	0,4918	0,0342	0,2633	129	157	82,1	0	167	0	1
	1,8	0,0850	0,5919	0,0487	0,1868	128	157	81,5	0	139	0	1
	1,9	0,0200	0,3860	0,0374	0,1146	130	157	82,8	0	156	0	1
2	0,0248	0,6436	0,0291	0,2157	129	157	82,2	0	164	0	1	
Μέσες Τιμές	0,0183	0,2650	0,0174	0,1210	140,05	157	89,2	2,25	161,75	1,41	0,3	
GNN	0,1	0,5021	0,0388	0,0027	0,0560	151	158	95,5	5	138	3,62	0
	0,2	0,5065	0,1084	0,0064	0,1289	141	158	89,2	9	152	5,92	1
	0,3	0,5028	0,1403	0,0076	0,1535	132	158	83,5	0	164	0	1
	0,4	0,5042	0,1293	0,0065	0,1102	137	158	86,7	10	185	5,41	1
	0,5	0,5040	0,1279	0,0076	0,0816	138	158	87,3	2	162	1,23	0
	0,6	0,4912	0,3183	0,0337	0,3115	114	158	72,1	0	161	0	3
	0,7	0,5011	0,2468	0,0404	0,2177	128	158	81,1	0	159	0	3
	0,8	0,5083	0,2902	0,0350	0,2726	120	158	75,9	11	160	6,88	3
	0,9	0,7587	0,5060	0,3220	0,3789	127	158	80,4	5	161	3,11	3
	1	0,5189	0,4247	0,0723	0,2518	119	158	75,3	0	158	0	5
	1,1	0,4990	0,6198	0,0343	0,2959	112	158	70,8	20	166	12,1	4
	1,2	0,5679	0,5883	0,1159	0,3599	104	158	65,8	4	173	2,31	5
	1,3	0,4948	0,5523	0,0305	0,4158	101	158	63,9	6	143	4,2	5
	1,4	0,5272	0,5191	0,0587	0,4676	102	158	64,5	0	190	0	5
	1,5	0,4922	0,9664	0,2118	0,5903	105	158	66,4	8	166	4,82	7
	1,6	0,5561	0,7261	0,0795	0,6217	88	158	55,7	0	171	0	7
	1,7	0,5594	0,7221	0,1730	0,4472	102	158	64,5	22	167	13,2	6
	1,8	0,5071	0,4799	0,0086	0,1971	119	158	75,3	18	139	12,9	2
	1,9	0,5167	0,7882	0,1031	0,2803	106	158	67,0	9	156	5,77	4
2	0,4881	1,1074	0,1643	0,5676	110	158	69,6	31	164	18,9	4	
Μέσες Τιμές	0,5253	0,4700	0,0757	0,3103	117,8	158	74,6	8	161,75	5,02	3,45	

Πίνακας 3-22, Αριθμητικά αποτελέσματα ιχνηλάτησης (Σενάριο 4 – Στόχος 2 – Clutter 60%) και για τους δύο αλγορίθμους ιχνηλάτησης (MHT – GNN).

3.3.5 Διαγράμματα και Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Για όλα τα παραπάνω σενάρια που εξετάστηκαν μπορούν να εξαχθούν κοινά συγκριτικά συμπεράσματα για τη λειτουργία των αλγορίθμων MHT και GNN. Θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά διαγράμματα για τη σύγκριση των διαφορετικών μεγεθών που υπολογίστηκαν, δηλαδή:

- Για το πλήθος εναλλαγών του ID ενός ίχνους.
- Για τα ποσοστά συσχετίσεων των ίχνών με σωστές παρατηρήσεις.
- Για τα ποσοστά εμφάνισης ψευδών συναγερωμών.
- Για το σφάλμα εκτίμησης της θέσης και της ταχύτητας.

Ωστόσο, απαιτείται διάκριση του Σεναρίου 1 από τα Σενάρια 2,3 και 4 λόγω έλλειψης θορύβου περιβάλλοντος (clutter) στο πρώτο, που επηρεάζει αισθητά τα οπτικά αλλά και αριθμητικά αποτελέσματα, όπως φαίνεται από την παρατήρηση των σχημάτων και πινάκων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενες ενότητες (3.3.1 - 3.3.3).

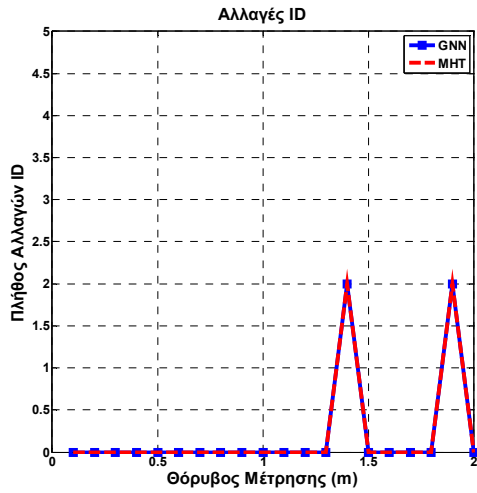
Τα διαγράμματα εξάγονται από τα μεγέθη που υπολογίστηκαν για όλους τους στόχους κάθε σεναρίου για κάθε διαφορετικό επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (clutter), όπου:

- Το πλήθος των εναλλαγών ID των ίχνών καθώς και τα σφάλματα εκτίμησης υπολογίζονται αθροιστικά για όλους τους στόχους κάθε σεναρίου.
- Τα ποσοστά συσχετίσεων των ίχνών με σωστές παρατηρήσεις και τα ποσοστά εμφάνισης ψευδών συναγερωμών υπολογίζονται κατά μέσο όρο για όλους τους στόχους του σεναρίου.

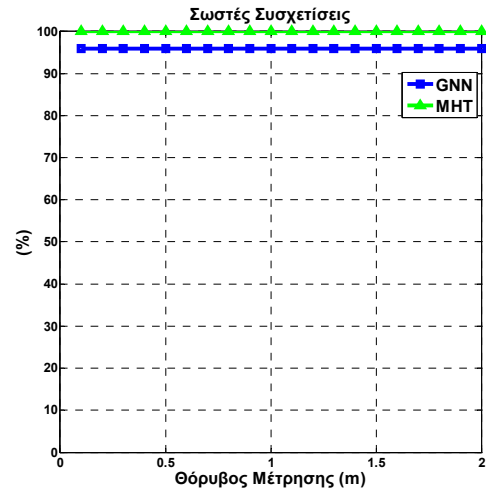
Εδώ, για καλύτερη κατανόηση, θα επαναληφθούν ορισμένες αρχές που έχουν ακολουθηθεί για τους υπολογισμούς:

- Το ποσοστό των σωστών συσχετίσεων υπολογίζεται μόνο για τις χρονικές στιγμές (σαρώσεις) που ένας στόχος έχει επιβεβαιωθεί γιατί μόνο αυτή η πληροφορία εξάγεται από τους αλγορίθμους στο χρήστη. Δηλαδή, οι παρατηρήσεις που έχουν σωστά συσχετιστεί με έναν ανεπιβεβαιωτο ακόμη στόχο, δεν θεωρούνται σωστοί συσχετισμοί.
- Ως ψευδείς συναγερωμοί έχουν θεωρηθεί οι παρατηρήσεις των ίχνών που έχουν αρχικοποιηθεί με εσφαλμένη παρατήρηση με την προϋπόθεση ότι το ποσοστό συσχετίσεων των ίχνών αυτών με πραγματικές παρατηρήσεις είναι σημαντικά μικρότερο από το ποσοστό συσχετίσεων με εσφαλμένες παρατηρήσεις. Διαφορετικά, αν το ποσοστό συσχετισμού με πραγματικές μετρήσεις είναι αυξημένο, ακόμη και αν το ίχνος αρχικοποιήθηκε από κάποια εσφαλμένη μέτρηση, δε θεωρείται ψευδής συναγερωμός.
- Το σφάλμα εκτίμησης υπολογίζεται μόνο για τις μετρήσεις που δεν αποτελούν ψευδείς συναγερωμούς, δηλαδή μόνο για τα ίχνη που έχουν επιβεβαιωθεί για κάθε έναν από τους στόχους του σεναρίου

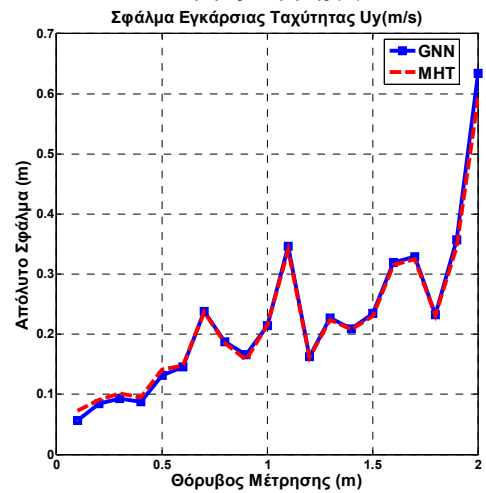
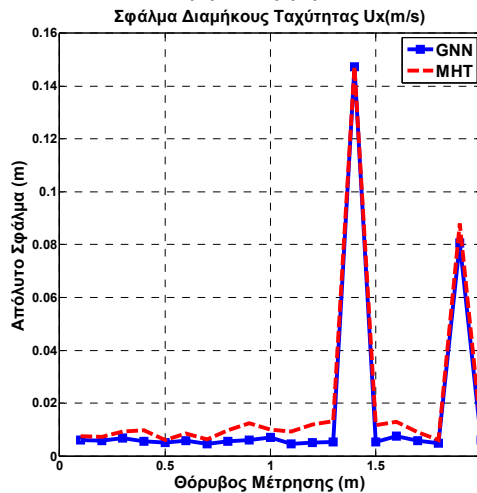
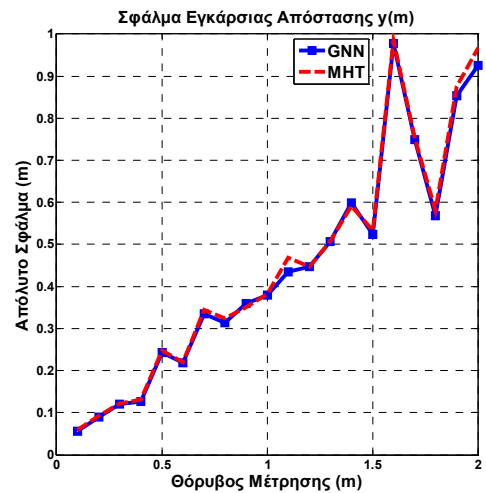
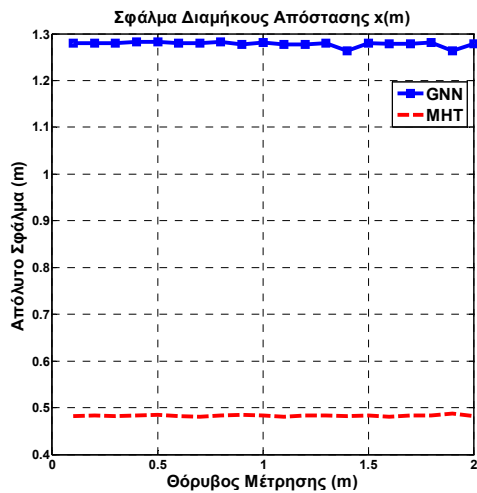
3.3.5.1 Διαγράμματα Σεναρίου 1



ΣΧΗΜΑ 1, ΑΛΛΑΓΕΣ ID ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1.



ΣΧΗΜΑ 2, ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΩΣΤΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1 ΜΕ ΣΩΣΤΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.



ς

Εικόνα 3-25 Συνδυαστικά διαγράμματα υπολογισμένων μεγεθών και για τους 2 στόχους του σεναρίου 1 και για τις δύο τεχνικές ιχνηλάτησης (MHT – GNN)

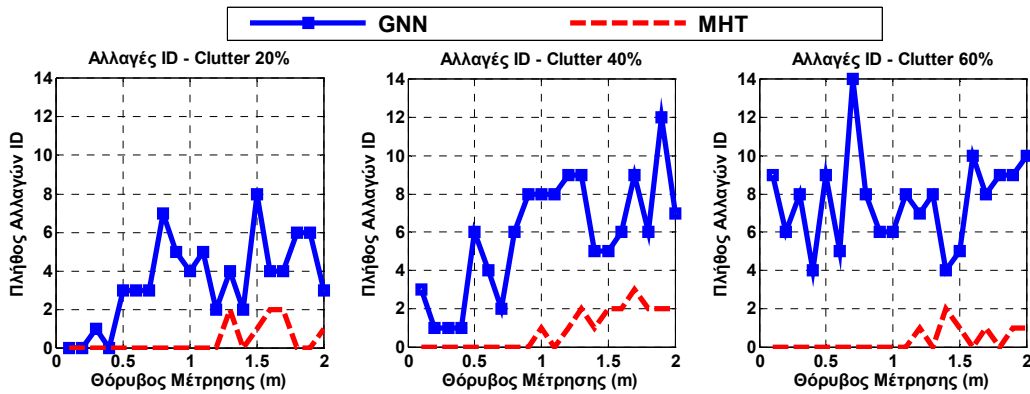
3.3.5.2 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Σεναρίου 1

Το σενάριο 1, όπως προαναφέρθηκε είναι το απλούστερο που εξετάζεται στην παρούσα ανάλυση. Η ιδιαιτερότητά του είναι ότι δεν περιέχει τυχαίες παρατηρήσεις θορύβου περιβάλλοντος (clutter) και συνεπώς είναι πιο εύκολο για ένα σύστημα ιχνηλάτησης να ανιχνεύσει τους στόχους και να διατηρήσει τις τροχιές τους.

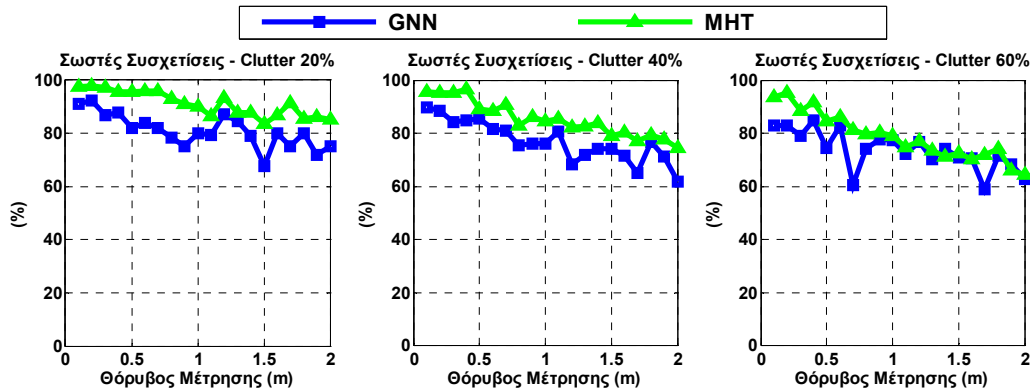
Από τα παραπάνω διαγράμματα (Εικόνα 3-25) φαίνεται ότι η απόδοση και των δύο τεχνικών ιχνηλάτησης (MHT – GNN) είναι σχεδόν όμοια για την πλειοψηφία των μεγεθών που εξετάζονται:

- **Αλλαγές ID:** Τα ID των ιχνών των δύο στόχων διατηρούνται σε μεγάλο βαθμό και από τους δύο αλγόριθμους. Μάλιστα οι δύο αλγόριθμοι παρουσιάζουν ακριβώς μόνο δύο αλλαγές ID. Το πλήθος των εναλλαγών είναι ίδιο επειδή αναφέρονται σε ανταλλαγή παρατηρήσεων μεταξύ των στόχων, δηλαδή σε κάποιες χρονικές στιγμές ο ένας στόχος συσχετίζεται με παρατήρηση του άλλου και αντίστροφα. Άλλωστε δεν υπάρχει απόλεια ιχνών για κανέναν από τους δύο αλγόριθμους, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3-13, του προηγούμενου κεφαλαίου. Το φαινόμενο αυτό είναι σύνηθες σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ισχυρός θόρυβος μέτρησης και οι τροχιές των στόχων βρίσκονται κοντά τοποθετημένες μεταξύ τους (όπως στο εν λόγω παράδειγμα), γιατί παρατηρήσεις του ενός στόχου τυχαίνει να πλησιάζουν ισχυρά την τροχιά του άλλου.
- **Σωστές Συσχετίσεις:** Το ποσοστό συσχετίσεων των ιχνών με τις σωστές παρατηρήσεις φτάνει το 100% για τον αλγόριθμο MHT και το 96% για τον αλγόριθμο GNN. Το ποσοστό 96% είναι ουσιαστικά φαινομενικό, αφού σχετίζεται με την καθυστέρηση επιβεβαίωσης ενός στόχου και τη θεώρησή του ως ανεπιβεβαίωτου στόχου για τις πρώτες σαρώσεις ανίχνευσής του.
- **Ψευδείς Συναγερμοί:** Στο συγκεκριμένο σενάριο, λόγω έλλειψης clutter, δεν υπάρχουν ψευδείς συναγερμοί, αφού όλες οι παρατηρήσεις αποτελούν παρατηρήσεις πραγματικών στόχων.
- **Σφάλμα Εκτίμησης:** Το σφάλμα εκτίμησης είναι σχεδόν ταυτόσημο και για τους δύο αλγόριθμους. Τα σφάλματα εγκάρσιας απόστασης και ταχύτητας αυξάνονται, όπως είναι φυσικό, με την αύξηση του θορύβου μέτρησης, ο οποίος, όπως έχει αναφερθεί, εφαρμόζεται για την εγκάρσια συνιστώσα της κίνησης των στόχων. Αντίθετα τα σφάλματα διαμήκους απόστασης και ταχύτητας παρουσιάζουν πιο σταθερή συμπεριφορά εκτός από ορισμένες τυχαίες αιχμές σε υψηλούς θορύβους που σχετίζονται αποκλειστικά και μόνο στην τυχαία κατανομή των παρατηρήσεων για τον συγκεκριμένο θόρυβο. Οι μόνες ουσιαστικές διαφορές παρατηρούνται στο σφάλμα διαμήκους απόστασης $x(m)$ και στο σφάλμα διαμήκους ταχύτητας $y(m/s)$. Η μεγάλη διαφορά στο σφάλμα διαμήκους απόστασης αποδεικνύει την καλύτερη εκτίμηση που προσφέρει ο αλγόριθμος MHT σε μη θορυβώδεις μετρήσεις, όπως μπορεί να θεωρηθεί η μέτρηση διαμήκους απόστασης στην οποία εφαρμόζεται σταθερά ελάχιστος θόρυβος 0,1m. Αντίθετα, η πολύ μικρή βελτίωση του σφάλματος διαμήκους ταχύτητας από τον αλγόριθμο GNN σχετίζεται αποκλειστικά και μόνο στην καθυστέρηση επιβεβαίωσης ενός στόχου. Όταν ο στόχος επιβεβαιώνεται, μετά από 6 σαρώσεις, η ταχύτητά του έχει προλάβει να προβλεφθεί στη σωστή της τιμή ενώ αντίθετα, ο MHT επιβεβαιώνει πιο γρήγορα τους στόχους, και δεν έχει προλάβει να προβλέψει σωστά την ταχύτητα για όλες τις μετρήσεις που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του σφάλματος ταχύτητας. Η αντίστοιχη φαινομενική μείωση του σφάλματος διαμήκους ταχύτητας για τον MHT θα μπορούσε να επιτευχθεί με αύξηση του παραθύρου N – σαρώσεων.

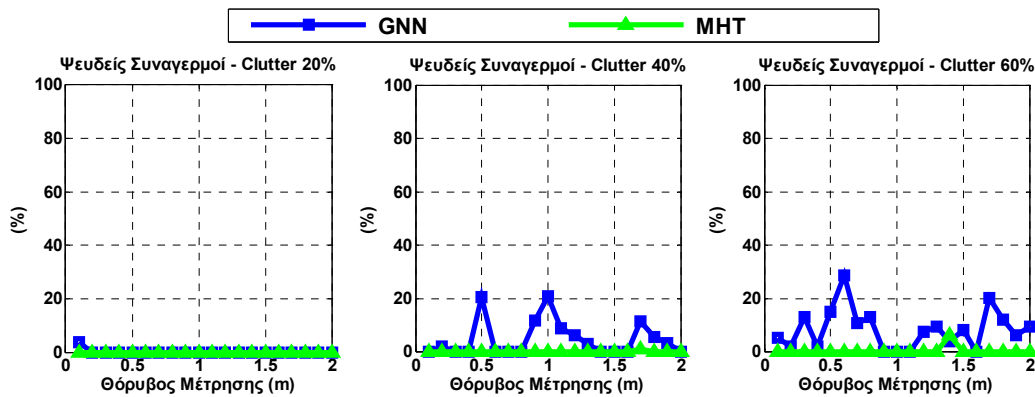
3.3.5.3 Διαγράμματα Σεναρίου 2



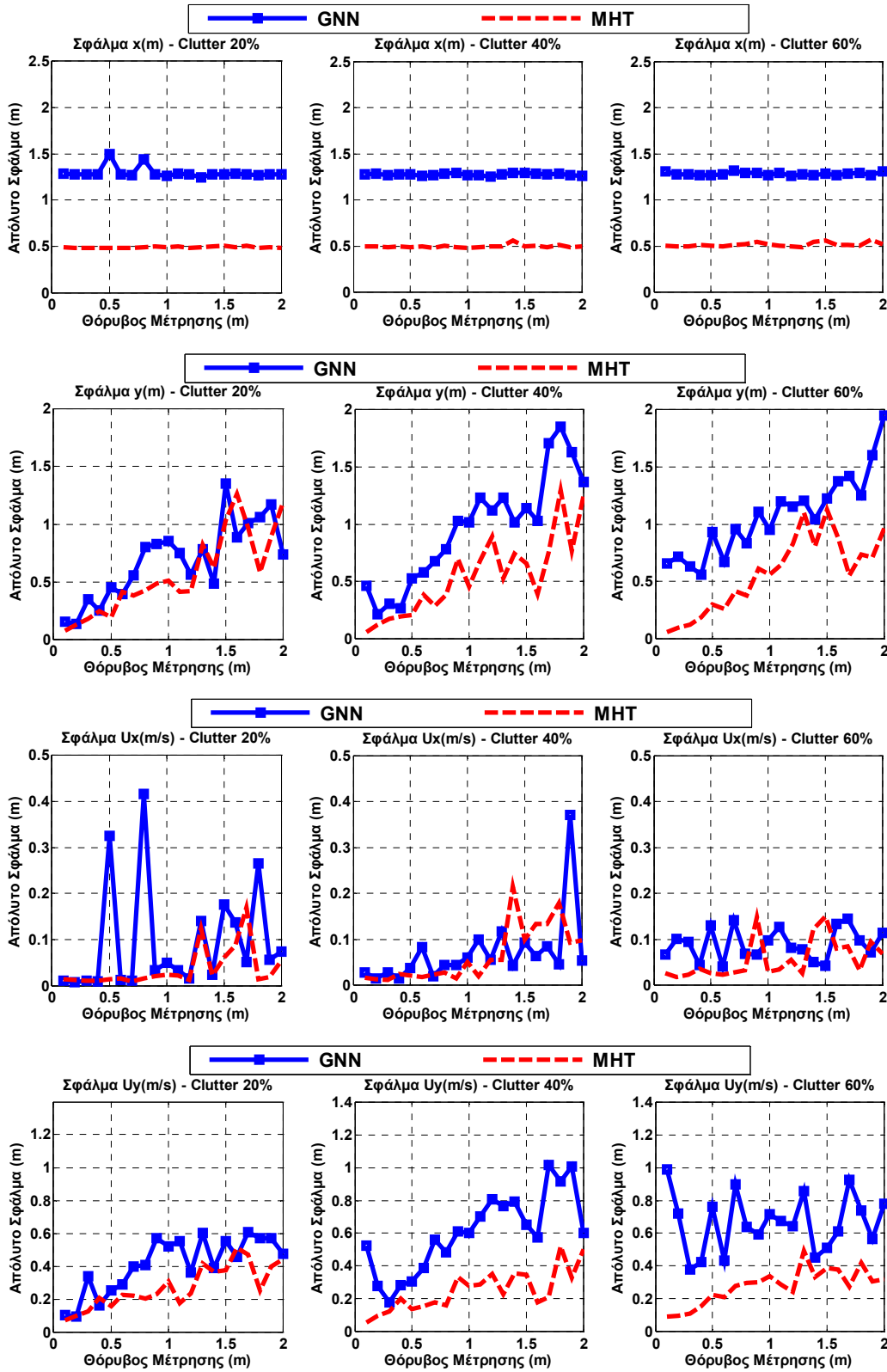
Εικόνα 3-26, Αλλαγές ID για τους στόχους του σεναρίου 2 για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.



Εικόνα 3-27 Ποσοστό Σωστών συσχετίσεων των στόχων του σεναρίου 2 με σωστές παρατηρήσεις για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.

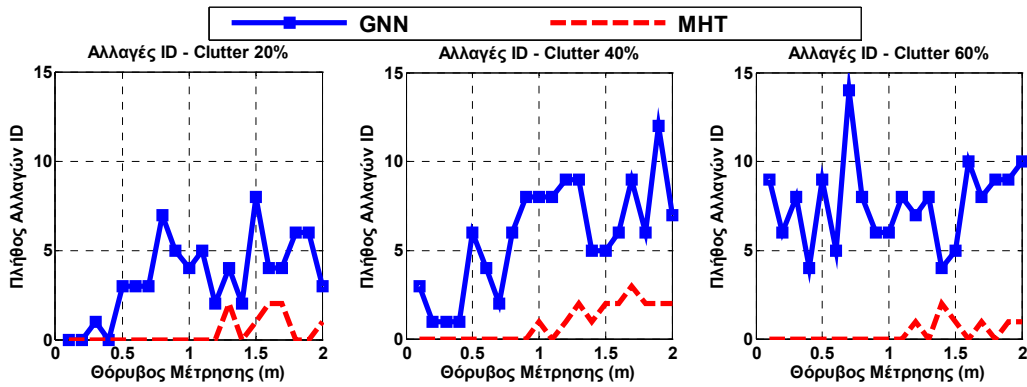


Εικόνα 3-28 Ποσοστό Ψευδών συναγερμών για τους στόχους του σεναρίου 2 για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.

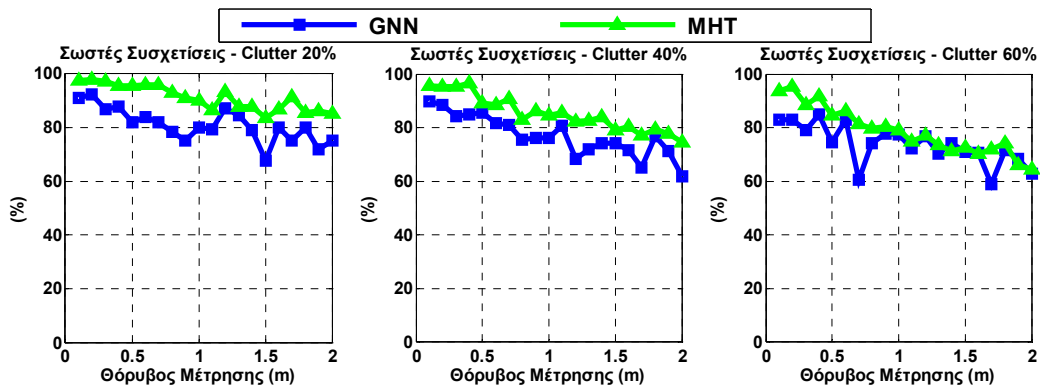


Εικόνα 3-29 Σφάλμα εκτίμησης για όλους τους στόχους του σεναρίου 2 για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.

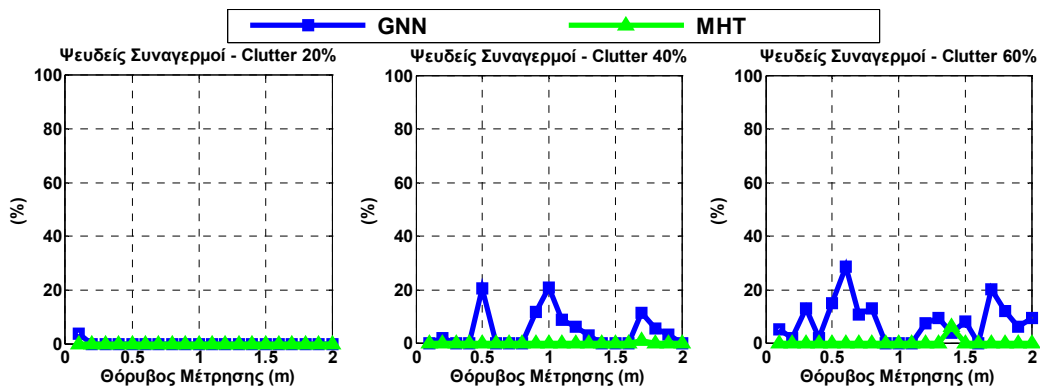
3.3.5.4 Διαγράμματα Σεναρίου 3



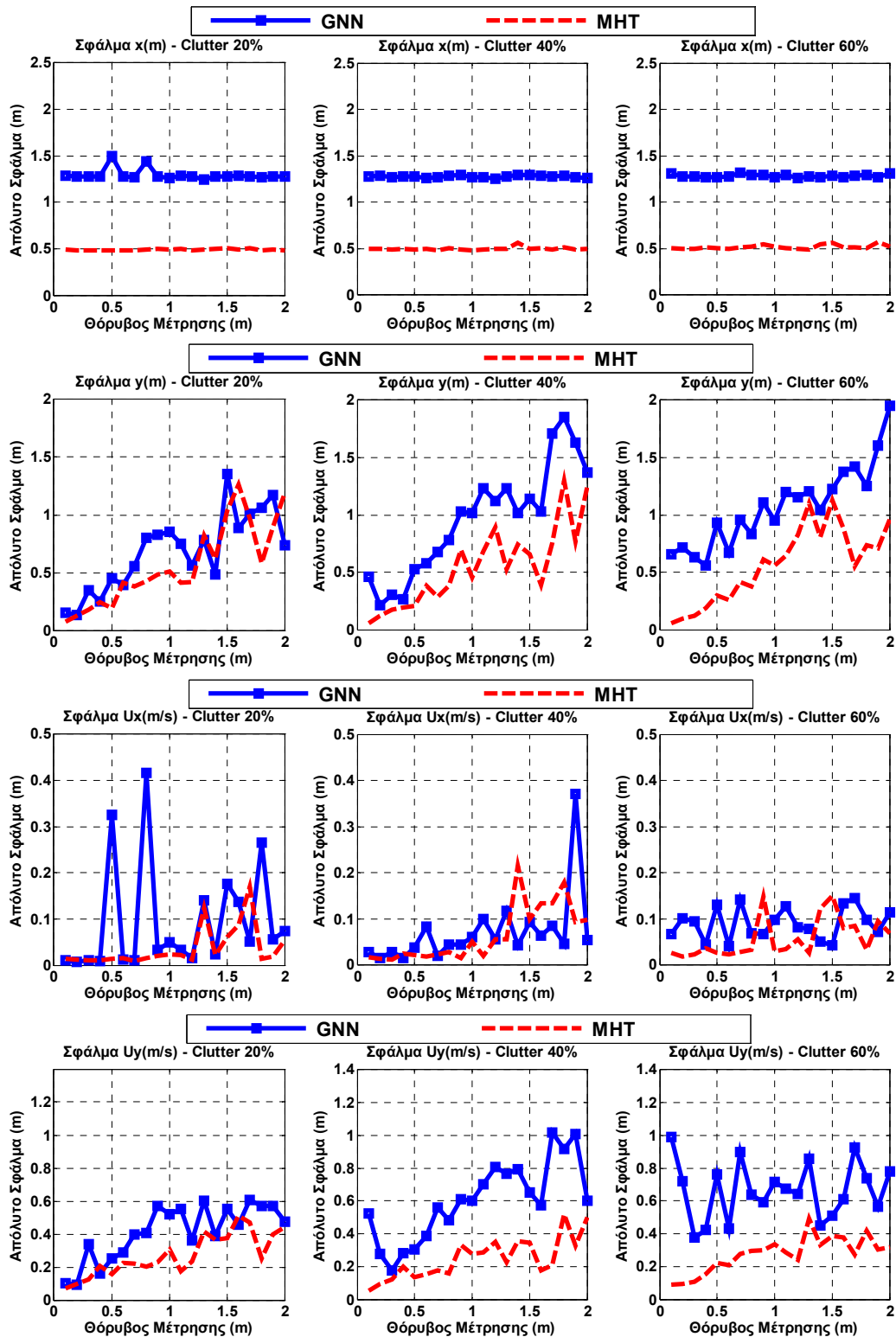
Εικόνα 3-30 Αλλαγές ID για το στόχο του σεναρίου 3 για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.



Εικόνα 3-31 Ποσοστό Σωστών συσχετίσεων του στόχου του σεναρίου 3 με σωστές παρατηρήσεις για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.

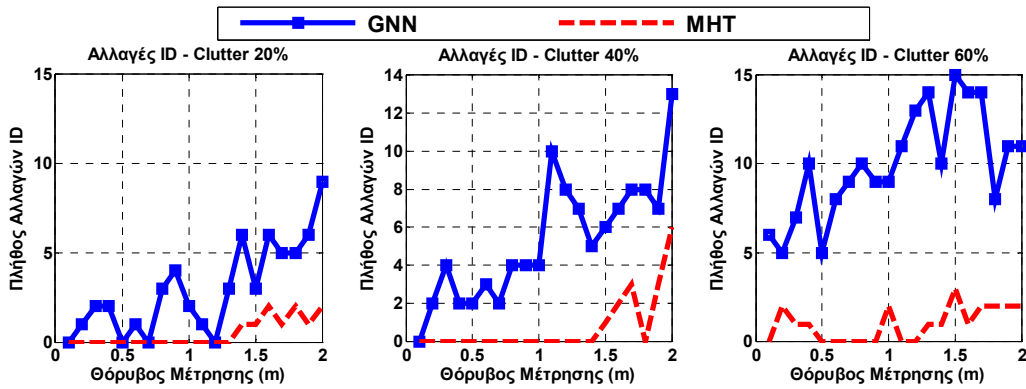


Εικόνα 3-32 Ποσοστό Ψευδών συναγερμών για του στόχου του σεναρίου 3 για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.

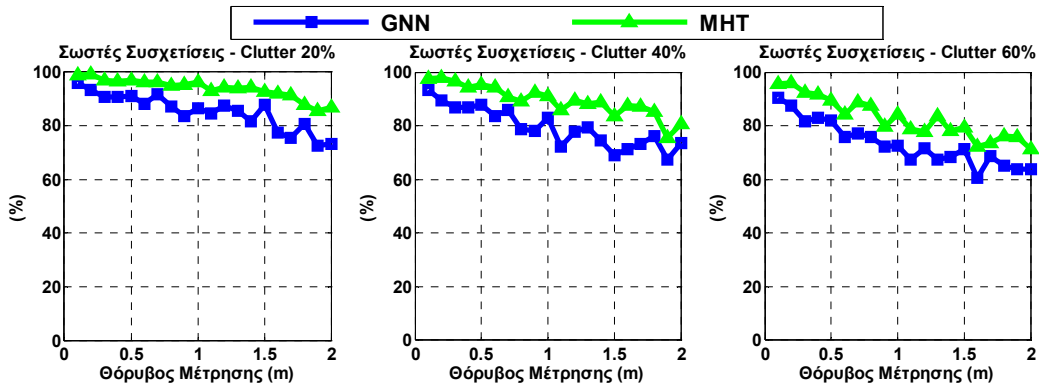


Εικόνα 3-33 Σφάλμα εκτίμησης για το στόχο του σεναρίου 3 για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.

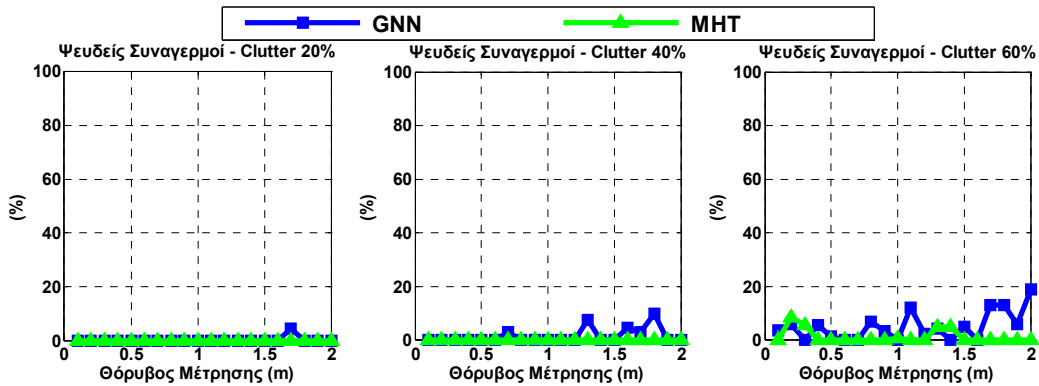
3.3.5.5 Διαγράμματα σεναρίου 4



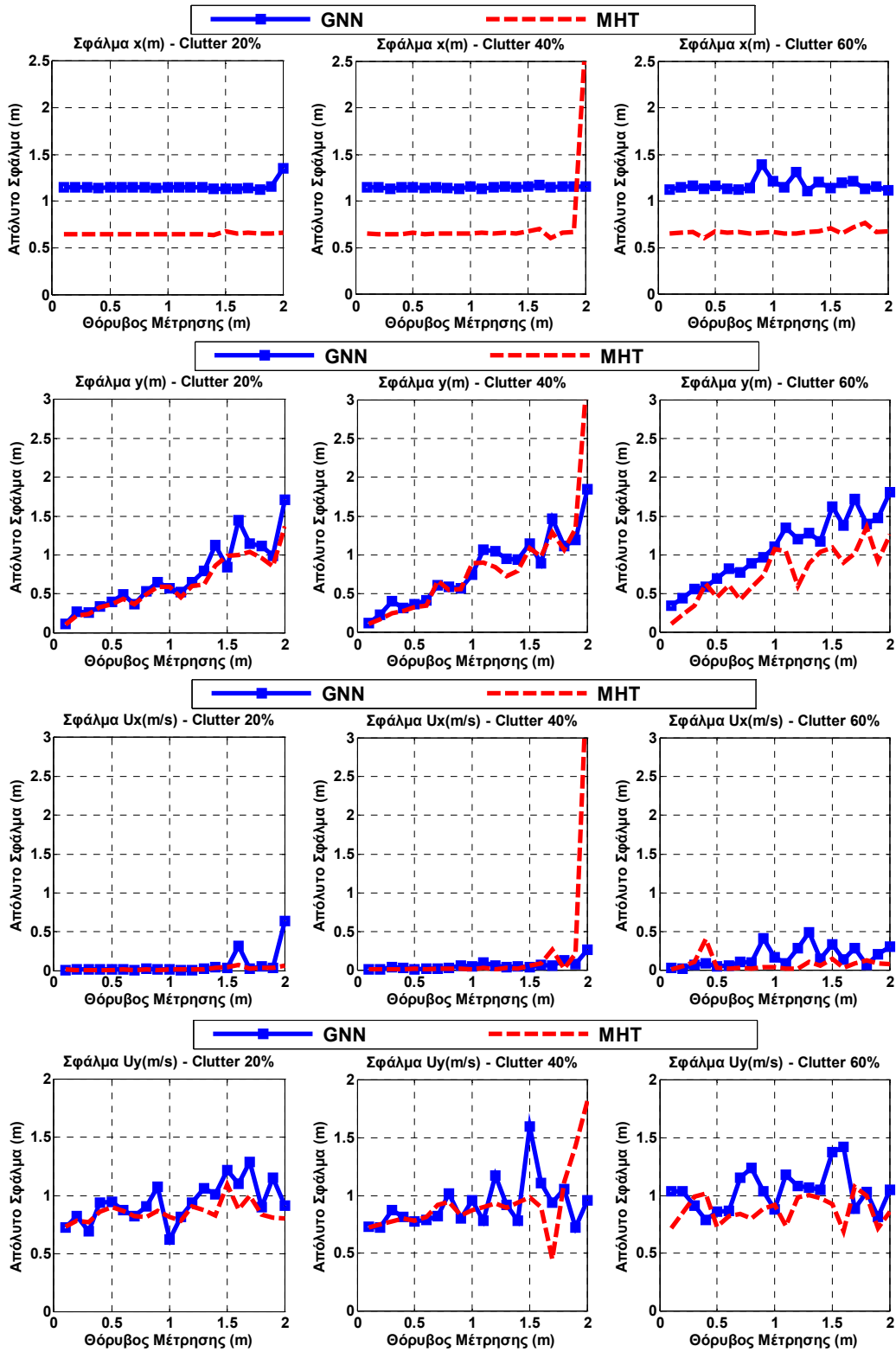
Εικόνα 3-34 Αλλαγές ID για τους στόχους του σεναρίου 4 για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.



Εικόνα 3-35 Ποσοστό Σωστών συσχετίσεων των στόχων του σεναρίου 4 με σωστές παρατηρήσεις για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.



Εικόνα 3-36 Ποσοστό Ψευδών συναγερμών για τους στόχους του σεναρίου 4 για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.



Εικόνα 3-37 Σφάλμα εκτίμησης για όλους τους στόχους του σεναρίου 4 για όλα τα πιθανά ποσοστά clutter.

3.3.5.6 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Σεναρίων 2,3 και 4

Ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων των σεναρίων 2,3 και 4 μπορεί να γίνει ενοποιημένα γιατί και τα τρία αναφέρονται σε σύνολα παρατηρήσεων που περιέχουν και λανθασμένες παρατηρήσεις από θόρυβο περιβάλλοντος (clutter). Μάλιστα η αυξανόμενη δυσκολία ιχνηλάτησης των στόχων στα σενάρια επιτρέπει την τεκμηριωμένη απόδειξη της υπεροχής του αλγορίθμου ΜΗΤ έναντι του αλγορίθμου GNN στην ιχνηλάτηση πολλαπλών στόχων σε περιβάλλον θορύβου.

- Αλλαγές ID: Η τεχνική ΜΗΤ θεωρείται καθολικά ότι υπερέχει από όλες τις άλλες μεθόδους ιχνηλάτησης στόχων όσον αφορά τη διατήρηση του ID των στόχων του πεδίου παρατήρησης. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα αλλαγής ID (Εικόνα 3-26 Εικόνα 3-30 Εικόνα 3-34) η ΜΗΤ υπερέχει σημαντικά έναντι της μεθόδου GNN για ολόκληρο το εύρος θορύβου μέτρησης που εξετάζεται καθώς και για όλα τα διαφορετικά επίπεδα clutter. Είναι ενδεικτικό ότι ακόμη και για τις μεγαλύτερες τιμές θορύβου μέτρησης και clutter ο αλγόριθμος ΜΗΤ αλλάζει τα ID των στόχων το πολύ 3 φορές τη στιγμή που ο GNN φθάνει στον αριθμό των 15 αλλαγών για ποσοστό clutter 60% και θόρυβο μέτρησης 1,5m στο σενάριο 4 (Εικόνα 3-37). Όπως είναι φυσικό, σε όλες τις περιπτώσεις, το πλήθος των αλλαγών ID των στόχων αυξάνεται με την αύξηση του θορύβου μέτρησης και των ποσοστών clutter. Ο αλγόριθμος ΜΗΤ, όμως κατορθώνει να επιτύχει μια σχεδόν σταθερή απόδοση. Ο αλγόριθμος ΜΗΤ επιτυγχάνει αυτή την υψηλή απόδοση μέσω της τεχνικής υπολογισμού των πιθανοτήτων των υποθέσεων που χρησιμοποιούνται για να ληφθούν οι αποφάσεις ιχνηλάτησης. Έτσι, ακόμη και αν πραγματοποιήσει ορισμένες συσχετίσεις του ίχνους με λανθασμένες παρατηρήσεις, διατηρεί σε υψηλά επίπεδα την πιθανότητα της υπόθεσης στην οποία ανήκει αυτό το ίχνος και συνεπώς επιτρέπει τη διατήρησή του. Αντίθετα, ο αλγόριθμος GNN αρχικοποιεί με νέα ID στόχων (δηλαδή ως νέους στόχους) όλες τις μη συσχετισμένες παρατηρήσεις μίας σάρωσης. Έτσι, σε περιπτώσεις υψηλού θορύβου και clutter, επιβεβαιώνει ίχνη που αρχικοποιήθηκαν από μία εσφαλμένη μέτρηση συσχετίζοντας διαδοχικές εσφαλμένες ή σωστές μετρήσεις με το συγκεκριμένο ίχνος, με αποτέλεσμα τη συχνή εναλλαγή των ID των στόχων. Άλλωστε, όλα τα παραδείγματα ιχνηλάτησης που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα έδειχναν και οπτικά τη συχνή εναλλαγή των IDs των στόχων, μέσω της εναλλαγής των χρωμάτων στους σταυρούς ιχνηλάτησης.
- Σωστές Συσχετίσεις: Τα διαγράμματα (Εικόνα 3-27 Εικόνα 3-31) δείχνουν μειούμενη απόδοση ως προς το μέτρο των σωστών συσχετίσεων και για τους δύο αλγορίθμους όσο αυξάνονται ο θόρυβος μέτρησης και τα ποσοστά clutter. Ωστόσο, ο αλγόριθμος ΜΗΤ υπερέχει και εδώ σε σχέση με τον αλγόριθμο GNN, δηλαδή συσχετίζει περισσότερες σωστές παρατηρήσεις με τους κατάλληλους στόχους, δηλαδή παρατηρήσεις που έχουν παραχθεί από τους στόχους αυτούς. Ο λόγος είναι ότι ο αλγόριθμος GNN συσχετίζει κάθε φορά ένα ίχνος με την πιο κοντινή παρατήρηση χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του πλειστηριασμού. Η παρατήρηση αυτή, ωστόσο, δεν είναι πάντα η σωστή αλλά μπορεί να προέρχεται από clutter, ή όπως φάνηκε και στην ανάλυση του σεναρίου 1 (3.3.5.2), από κάποιον άλλο γειτονικό στόχο. Μάλιστα, για υψηλά επίπεδα clutter και έντονο θόρυβο, αυτό συμβαίνει πολύ συχνά, αφού οι πραγματικές παρατηρήσεις διασπείρονται στο χώρο, λόγω του θορύβου και μπορεί οι εσφαλμένες παρατηρήσεις να βρεθούν πιο κοντά στην πραγματική τροχιά του στόχου. Συνεπώς, η διαδικασία συσχετισμού της μεθόδου GNN την καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτη σε λανθασμένες συσχετίσεις. Η τεχνική ΜΗΤ, αντίθετα, χρησιμοποιεί όλες τις πιθανές συσχετίσεις για πολλαπλές σαρώσεις (παράθυρο $N - \text{σαρώσεων}$) και στη συνέχεια αποφασίζει ποια ήταν η πιο σωστή με βάση πολλαπλές υποθέσεις και υπολογισμό πιθανοτήτων. Έτσι, κατορθώνει πιο συχνά να επιλέγει τη βέλτιστη (ή τη σωστή) για συσχέτιση παρατήρησης. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, στις περισσότερες, περιπτώσεις η ΜΗΤ συσχετίζει τις περισσότερες φορές 10-15% περισσότερες σωστές παρατηρήσεις με τους σωστούς στόχους. Μάλιστα, όσο αυξάνεται η δυσκολία του σεναρίου (π.χ. σενάριο 4) και για υψηλότερα επίπεδα clutter (Εικόνα 3-35) η διαφορά των ποσοστών σωστής συσχέτισης

μεταξύ του αλγορίθμου ΜΗΤ και GNN γίνεται μεγαλύτερη. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η μειωμένη τιμή του ποσοστού σωστών συσχετίσεων της μεθόδου GNN συνδέεται στενά και με την συχνή εναλλαγή των ID των στόχων. Όταν ένας στόχος αλλάζει ID απαιτείται ένα πλήθος διαδοχικών σαρώσεων μέχρι ο στόχος αυτός να επιβεβαιωθεί και ο αλγόριθμος να εξάγει εκτίμηση κατάστασης στο χρήστη. Επειδή αναφέρθηκε ότι μόνο αυτές οι μετρήσεις εξετάζονται για τον υπολογισμό των σωστών συσχετίσεων, είναι λογικό να επιβεβαιώνονται λιγότερες σωστές συσχετίσεις εκ φύσεως στον GNN, εξαιτίας της συχνής αρχικοποίησης νέων στόχων.

- **Ψευδείς Συναγερμοί:** Όσον αφορά τα ποσοστά εμφάνισης ψευδών συναγερμών, ο αλγόριθμος ΜΗΤ είναι ακόμη πιο αποδοτικός διατηρώντας το ποσοστό σε πολύ χαμηλές (σχεδόν μηδενικές τιμές) για την πλειοψηφία των σεναρίων, των διαφορετικών τιμών θορύβου μέτρησης και των ποσοστών clutter. Αντίθετα, η τεχνική GNN σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμη και για το απλούστερο 2^ο σενάριο, παρουσιάζει αρκετά υψηλά ποσοστά ψευδών συναγερμών που αγγίζουν η ξεπερνούν το 20%. Στον αλγόριθμο GNN, λόγω της διαρκούς αρχικοποίησης νέων στόχων με όλες τις ασυσχέτιστες παρατηρήσεις μίας σάρωσης, είναι συχνή η αρχικοποίηση ενός στόχου από μία παρατήρηση ψευδούς συναγερμού και στη συνέχεια η επιβεβαίωσή του από τη συσχέτισή του με επόμενες κιντινές εσφαλμένες ή σωστές παρατηρήσεις. Ωστόσο, για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, πρέπει εδώ να εξεταστεί και η μέθοδος ορισμού των ψευδών συναγερμών στην εν λόγω ανάλυση. Έχει αναφερθεί ότι ως ψευδείς συναγερμοί θεωρούνται οι παρατηρήσεις ενός ίχνους που αρχικοποιήθηκαν από μία εσφαλμένη παρατήρηση εκτός από αυτές που στη συνέχεια συσχετίστηκαν για ένα μεγάλο πλήθος σαρώσεων με σωστή παρατήρηση. Ο ορισμός αυτός μπορεί να εξηγήσει τη μείωση του πλήθους των ψευδών συναγερμών της μεθόδου GNN για τα πιο πολύπλοκα σενάρια 3,4 σε σχέση με το σενάριο 2, που φαίνεται από τη σύγκριση των διαγραμμάτων (Εικόνα 3-28 Εικόνα 3-32 Εικόνα 3-36). Δηλαδή, παρόλο που η μεγαλύτερη πυκνότητα clutter οδηγεί λογικά σε περισσότερες αρχικοποιήσεις στόχων από λανθασμένες μετρήσεις, τα ίχνη αυτά επιβιώνουν για έναν μικρό αριθμό σαρώσεων, όπως υπονοείται και από τη συχνή αλλαγή των IDs των στόχων καθώς η πολυπλοκότητα του σεναρίου ιχνηλάτησης αυξάνεται (Εικόνα 3-26 Εικόνα 3-30 Εικόνα 3-34). Έτσι, η επιβίωση για μικρό αριθμό σαρώσεων δεν επιτρέπει στην αναλογία λανθασμένων στόχων προς πραγματικών στόχων να αυξηθεί σημαντικά ώστε ολόκληρο το ίχνος να θεωρηθεί ως ψευδής συναγερμού. Συνεπώς, η μείωση του πλήθους των ψευδών συναγερμών για τη μέθοδο GNN, με την αύξηση της δυσκολίας ιχνηλάτησης των σεναρίων είναι μόνο «εικονική» και η μειούμενη απόδοση του αλγορίθμου GNN αντικατοπτρίζεται από τη συχνή εναλλαγή των IDs των στόχων.
- **Σφάλμα Εκτίμησης:** Η εξέταση των διαγραμμάτων για το σφάλμα εκτίμησης των στόχων σε κάθε ένα από τα σενάρια 2,3 και 4 (Εικόνα 3-29 Εικόνα 3-33 Εικόνα 3-37) δεν μπορεί να οδηγήσει σε σαφή συμπεράσματα για την υπεροχή του ενός ή του άλλου αλγορίθμου. Γενικά, από την εξέταση των διαγραμμάτων φαίνεται ότι ο αλγόριθμος ΜΗΤ προβλέπει, στις περισσότερες περιπτώσεις, τα διανύσματα κατάστασης των στόχων με μεγαλύτερη ακρίβεια. Δεν πρέπει να παραλειφθεί, όμως, ότι τα διαγράμματα αυτά παράχθηκαν με αθροιστικά αποτελέσματα για το πλήθος των στόχων κάθε σεναρίου. Αν εξεταστούν οι πίνακες (Πίνακας 3-8- Πίνακας 3-22) του προηγούμενου κεφαλαίου φαίνεται ότι πολλές φορές για έναν από τους δύο στόχους η εκτίμηση, ανάλογα με το σφάλμα μέτρησης και το ποσοστό clutter, γίνεται άλλοτε καλύτερη για την τεχνική ΜΗΤ και άλλοτε καλύτερη για την τεχνική GNN. Βέβαια, όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση των αποτελεσμάτων του σεναρίου 1, το σφάλμα εκτίμησης υπολογίζεται μόνο για την εκτίμηση κατάστασης που αφορά επιβεβαιωμένους στόχους. Η τεχνική GNN μέσω της διαδικασίας επιβεβαίωσης, η οποία διαρκεί περίπου 5 σαρώσεις, έχει προλάβει να προβλέψει αποτελέσματα πολύ πιο κοντά στις πραγματικές τιμές για μία πληθώρα μετρήσεων. Επίσης, η διαρκής αρχικοποίηση νέων στόχων με πραγματικές τιμές (η αρχικοποίηση γίνεται κατά κανόνα με το διάνυσμα κατάστασης της

παρατήρησης) δίνει τη δυνατότητα στη GNN να έχει χαμηλά σφάλματα εκτίμησης, ειδικά για μεσαίες τιμές θορύβου και clutter, όπου οι επαν-αρχικοποιήσεις δεν έχουν φθάσει ακόμη σε πολύ υψηλά επίπεδα. Τέλος, το σφάλμα εκτίμησης έχει νόημα να υπολογιστεί μόνο για τις παρατηρήσεις που δεν έχουν αναγνωρισθεί ως ψευδείς συναγερμοί. Έτσι, συχνά, το πλήθος των μετρήσεων που χρησιμοποιούνται στη GNN για την εξαγωγή του σφάλματος εκτίμησης είναι πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο της ΜΗΤ, επιτρέποντάς του να παίρνει ελαφρώς χαμηλότερες τιμές. Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι το μεγάλο σφάλμα εκτίμησης που παρουσιάζει η τεχνική ΜΗΤ για το σενάριο 4, υπό ποσοστό θορύβου 40% και σφάλμα μέτρησης 2m (Εικόνα 3-37) είναι τυχαίο γεγονός της κατανομής των παρατηρήσεων στη συγκεκριμένη περίπτωση, και δεν προκαλεί σφάλμα της γενικότητας στην αποδοτικότητα της μεθόδου.

3.4 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων με τη Χρήση Τεχνικών Ομαδοποίησης

3.4.1 Περιβάλλον Matlab

Για την εξακρίβωση της αποδοτικότητας της εφαρμογής της ομαδοποίησης στον αλγόριθμο ΜΗΤ εξετάζουμε την ταχύτητα του αλγορίθμου ΜΗΤ σε σχέση με τον αλγόριθμο που συνθέσαμε, ο οποίος περιλαμβάνει τις 2 επιπλέον λειτουργίες της ομαδοποίησης και της συγχώνευσης υποθέσεων.

3.4.1.1 Έλεγχος Αποδοτικότητας Ομαδοποίησης

Για την σύγκριση των 2 αλγορίθμων εκτελούμε προσομοιώσεις με ίδια δεδομένα εισόδου. Αρχικά τρέχουμε τους 2 αλγορίθμους για ένα σετ 400 σαρώσεων.

Αν συγκρίνουμε τον συνολικό χρόνο εκτέλεσης των 2 αυτών συναρτήσεων παρατηρούμε ότι ο αρχικός αλγόριθμος είναι κατά 4.8 δευτερόλεπτα, ή 21.8%, γρηγορότερος από τον αλγόριθμο με ομαδοποίηση. Παρ' όλα αυτά παρατηρούμε ότι σημαντικές υπορουτίνες, ενώ καλούνται περισσότερες φορές στην 2^η περίπτωση, έχουν συνολικό χρόνο εκτέλεσης αρκετά μικρότερο. Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνονται ορισμένες τέτοιες συναρτήσεις:

	Αλγόριθμος χωρίς Ομαδοποίηση	Αλγόριθμος με Ομαδοποίηση
Συνάρτηση	hypothesis_matrix_whole_function1	hypothesis_matrix_whole_function_clusters
Κλήσεις	372	565
Συνολικός χρόνος εκτέλεσης	1.041 s	0.931 s
Μέσος χρόνος εκτέλεσης	2.80 ms	1.648 ms
Διαφορά		41.2%

	hypothesis_matrix1	hypothesis_matrix1
Κλήσεις	403	440
Συνολικός χρόνος εκτέλεσης	0.112 s	0.086 s
Μέσος χρόνος εκτέλεσης	0.278 ms	0.1955 ms
Διαφορά		29.7%

Συνάρτηση	hyp_prob	hyp_prob
Κλήσεις	403	440
Συνολικός χρόνος εκτέλεσης	0.265 s	0.193 s
Μέσος χρόνος εκτέλεσης	0.5676 ms	0.4386 ms
Διαφορά	22.7%	

Συνάρτηση	hyp_extend	hyp_extend
Κλήσεις	403	440
Συνολικός χρόνος εκτέλεσης	0.349 s	0.306 s
Μέσος χρόνος εκτέλεσης	0.866 ms	0.6955 ms
Διαφορά	19.7%	

Πίνακας 3-23 Σύγκριση επιμέρους συναρτήσεων (MATLAB)

Συνεπώς βλέπουμε ότι στις επιμέρους υπορουτίνες ο αλγόριθμος με ομαδοποίηση είναι σημαντικά πιο γρήγορος. Ωστόσο ο συνολικός χρόνος εκτέλεσής του είναι μεγαλύτερος. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό φαίνεται στην ανάλυση των βασικών υπορουτινών κάθε αλγόριθμου. Αν συγκρίνουμε τον ίδιο χρόνο εκτέλεσης των υπορουτινών βλέπουμε ότι έχουν διαφορά 4.67 δευτερόλεπτα, ή 25.3%, ποσοστό μεγαλύτερο από την διαφορά του συνολικού χρόνου εκτέλεσης. Αυτό σημαίνει ότι η καθυστέρηση οφείλεται στην εκτέλεση των γραμμών της βασικής υπορουτίνας του αλγορίθμου με ομαδοποίηση. Υπολογίζοντας εκ νέου τους χρόνους εκτέλεσης των 2 αλγορίθμων, αφού αφαιρέσουμε την καθυστέρηση που εισάγουν οι εντολές που βοηθούν στην οπτικοποίηση (plot, pause, κλπ) βρίσκουμε ότι ο καθαρός χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου του είναι 6.381 s ενώ του αλγορίθμου με ομαδοποίηση 6.847 s. Αυτό σημαίνει ότι στην πραγματικότητα, ο αλγόριθμος με ομαδοποίηση μόνο 0.466 s, ή 7.3% πιο αργός.

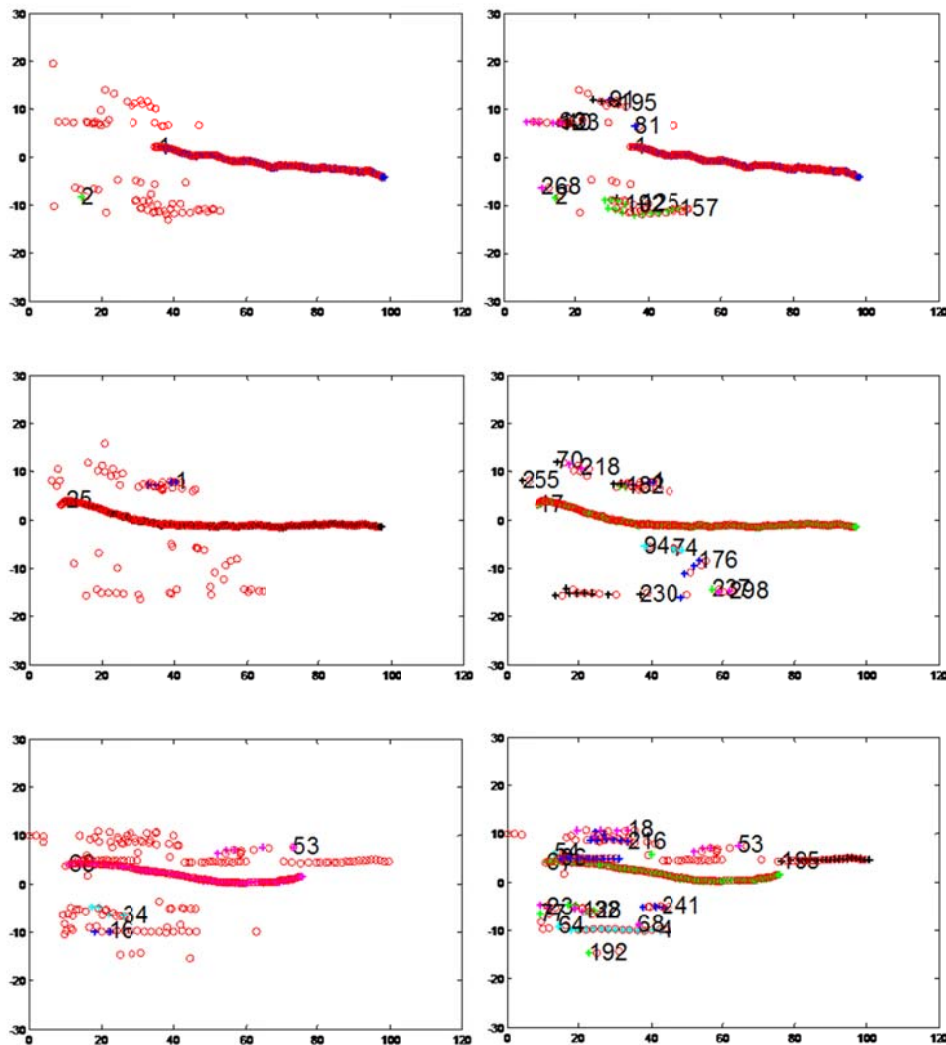
Για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων θα συγκρίνουμε την ταχύτητα εκτέλεσης των 2 αλγορίθμων για διαφορετικό αριθμό σαρώσεων (Πίνακας 3-24):

Σαρώσεις	Αλγόριθμος χωρίς ομαδοποίηση (sec)	Αλγόριθμος με ομαδοποίηση (sec)	Διαφορά	Διαφορά %
200	3.69	3.91	0.220	6.0%
400	6.381	6.847	0.466	7.3%
600	10.612	11.125	-0.513	4.8%
1000	17.628	18.381	0.753	4.3%
1500	33.192	37.052	3.860	11.6%
2500	72.993	85.631	12.638	17.3%
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ				8.6%

Πίνακας 3-24 Σύγκριση αλγορίθμων για διαφορετικό αριθμό σαρώσεων (MATLAB)

Αυτό που παρατηρούμε στον Πίνακα 3-24 είναι ότι στην πραγματικότητα ο χρόνος εκτέλεσης των 2 αλγορίθμων είναι αρκετά κοντά. Αυτό σημαίνει ότι εφόσον εφαρμοστεί παράλληλη επεξεργασία των ομάδων από πολλαπλούς επεξεργαστές ή από multi-threading οι υπολογιστικοί χρόνοι του αλγορίθμου με ομαδοποίηση αναμένεται να πέσουν κατακόρυφα.

Ακολουθούν στιγμιότυπα της ιχνηλάτησης από τους 2 αλγόριθμους (Εικόνα 3-38). Στην αριστερή στήλη βρίσκονται τα στιγμιότυπα του αλγορίθμου χωρίς ομαδοποίηση, και στη δεξιά τα αντίστοιχα στιγμιότυπα του αλγορίθμου που χρησιμοποιεί την τεχνική της ομαδοποίησης.



Εικόνα 3-38 Στιγμιότυπα ιχνηλάτησης (MATLAB)

Αυτό που προκύπτει από τα παραπάνω σχήματα είναι ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στον αριθμό των στόχων που αρχικοποιεί κάθε υλοποίηση.

3.4.1.2 Έλεγχος Αποδοτικότητας Συγχώνευσης Υποθέσεων

Παρόμοια μέθοδο ακολουθούμε και για τον έλεγχο της αποδοτικότητας της Συγχώνευσης Υποθέσεων. Συγκρίνουμε τον αρχικό αλγόριθμο ΜΗΤ με τον τροποποιημένο αλγόριθμο, έχοντας ενεργοποιήσει μόνο τη λειτουργία της συγχώνευσης υποθέσεων. Οι συνολικοί χρόνοι εκτέλεσης για διαφορετικό αριθμό σαρώσεων φαίνεται στον Πίνακα 3-25.

Σαρώσεις	Αλγόριθμος χωρίς συγχώνευση (sec)	Αλγόριθμος με συγχώνευση (sec)	Διαφορά	Διαφορά %
200	3.69	6.264	2.574	69.76%
400	6.381	9.348	2.967	46.50%
600	10.612	13.487	2.875	27.09%
1000	17.628	20.682	3.054	17.32%
1500	33.192	41.908	8.716	26.26%
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ				37.39%

Πίνακας 3-25 Συνολικοί χρόνοι εκτέλεσης για διαφορετικό αριθμό σαρώσεων (MATLAB)

Συγκεκριμένα για τις σαρώσεις αυτές, οι διάρκειες εκτέλεσης της συνάρτησης που εκτελεί την συγχώνευση υποθέσεων ήταν:

Σαρώσεις	Χρόνος εκτέλεσης συνάρτησης hyp_merging (sec)
200	2.375
400	2.547
600	2.947
1000	3.754
1500	9.055

Πίνακας 3-26 Διάρκειες εκτέλεσης συγχώνευσης υποθέσεων (MATLAB)

Από τον Πίνακα 3-26 φαίνεται ότι η εκτέλεση της συνάρτησης αυτής είναι που προκαλεί την καθυστέρηση, χωρίς ουσιαστικά να συντελεί στη μείωση του χρόνου εκτέλεσης του υπόλοιπου προγράμματος. Συνεπώς καταλήγουμε ότι η λειτουργία συγχώνευσης υποθέσεων δεν επιταχύνει την εκτέλεση του αλγορίθμου.

Από τα παραπάνω δεδομένα για τις δυο υλοποιήσεις, καταλήγουμε ότι η τεχνική της ομαδοποίησης μπορεί να μειώσει αρκετά τον χρόνο εκτέλεσης αν εφαρμοστεί σε συνδυασμό με παράλληλη επεξεργασία των ομάδων. Αντίθετα η συγχώνευση ομάδων δε μοιάζει αποδοτική. Για αυτό το λόγο στην ανάπτυξη του αλγορίθμου ιχνηλάτησης σε περιβάλλον C, υλοποιούμε μόνο την τεχνική της ομαδοποίησης.

3.4.2 Περιβάλλον C

Εκμεταλλευόμενοι τις δυνατότητες που μας δίνει το προγραμματιστικό περιβάλλον, θα συγκρίνουμε 3 διαφορετικές προσεγγίσεις του αλγορίθμου. Η πρώτη προσέγγιση εκτελεί ιχνηλασία εφαρμόζοντας απλά την «ιχνηλάτηση πολλαπλών υποθέσεων». Η δεύτερη προσέγγιση εκμεταλλεύεται την τεχνική της ομαδοποίησης αλλά η επεξεργασία των ομάδων γίνεται σειριακά, ενώ η τρίτη προσέγγιση διαφοροποιείται από τη δεύτερη στο ότι η επεξεργασία των ομάδων γίνεται παράλληλα (multithreading). Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι ενσωματώθηκαν στην πλατφόρμα του οχήματος που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, την οποία έχουμε αρχικά ρυθμίσει να επεξεργάζεται μόνο τις παρατηρήσεις που βρίσκονται έως 4.5m εκατέρωθεν του διαμήκη άξονα του οχήματος.

3.4.2.1 Αξιολόγηση Ομαδοποίησης

Αρχικά συγκρίνονται οι αλγόριθμοι με και χωρίς ομαδοποίηση. Για την σύγκριση χρησιμοποιούμε 3 διαφορετικά σενάρια. Τα σενάρια αυτά είναι πραγματικά. Συγκριμένα, εξετάζουμε την υπορουτίνα Run που είναι υπεύθυνη για το κομμάτι της επεξεργασίας των μετρήσεων. Στον Πίνακα 3-27 παρουσιάζεται ο συνολικός, ο μέσος και ο μέγιστος χρόνος εκτέλεσης της υπορουτίνας Run.

Σενάριο	# Scans	Αλγόριθμος χωρίς ομαδοποίηση (msec)			Αλγόριθμος με ομαδοποίηση (msec)			Διαφορά		
		Συνολικός Χρόνος	Μέσος Χρόνος	Μέγιστος Χρόνος	Συνολικός Χρόνος	Μέσος Χρόνος	Μέγιστος Χρόνος	Συνολικός Χρόνος	Μέσος Χρόνος	Μέγιστος Χρόνος
422	1	5264.01	2.81	195.68	1568.55	0.84	4.97			
	2	5370.05	2.87	201.52	1603.97	0.86	14.11			
	3	5676.36	3.03	200.16	1545.11	0.83	8.04	71.08%	71.03%	95.46%
M.O.		5436.81	2.90	199.12	1572.54	0.84	9.04			
1872	1	19627.76	19.65	444.40	1561.01	1.56	4.83			
	2	20675.95	20.70	442.30	1633.51	1.64	6.23			
	3	20629.60	20.29	455.71	1658.26	1.66	10.16	92.04%	91.98%	98.42%
M.O.		20311.10	20.21	447.47	1617.59	1.62	7.07			
1000	1	53405.97	53.78	23278.28	18941.49	19.08	4717.98			
	2	50296.90	50.65	23466.91	15003	15.11	2827.23			
	3	49597.17	49.95	16637.26	18395.42	18.53	4947.73	65.86%	65.86%	80.29%
M.O.		51100.01	51.46	21127.48	17446.64	17.57	4164.31			
994	1	126569.38	28.65	43317.71	24263.40	5.49	12368.89			
	2	131195.62	29.70	11025.98	24342.35	5.51	12340.41			
	3	132374.29	29.96	18234.63	24392.81	5.52	12465.87	81.29%	81.28%	48.78%
M.O.		130046.43	29.44	24192.77	24332.85	5.51	12391.72			
524	1	81407.52	48.28	39466.90	25600.30	15.18	13760.77			
	2	82072.84	45.13	35223.99	25666.09	13.19	12558.88			
	3	78284.71	48.12	36720.61	24452.46	15.86	14679.15	68.64%	69.62%	64.76%
M.O.		81740.18	46.71	37345.45	25633.20	14.19	13159.83			

Πίνακας 3-27 Συγκριση ταχύτητας εκτέλεσης αλγορίθμων με και χωρίς Ομαδοποίηση (C)

Τα δεδομένα του Πίνακα 3-27 καταδεικνύουν ότι η μέθοδος της ομαδοποίησης είναι εξαιρετικά αποτελεσματική. Βλέπουμε ότι μπορεί επιταχύνει της ιχνηλάτηση από 66% έως και 92%. Το ποσοστό εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του σεναρίου. Βλέπουμε ότι σε απλά σενάρια, όπως το Σενάριο 1, η διαφορά κυμαίνεται σε συγκριτικά χαμηλά επίπεδα καθώς οι στόχοι είναι αραιά διατεταγμένοι ή ο αριθμός των μετρήσεων προς επεξεργασία είναι μικρός (1-3 μετρήσεις ανά σάρωση).

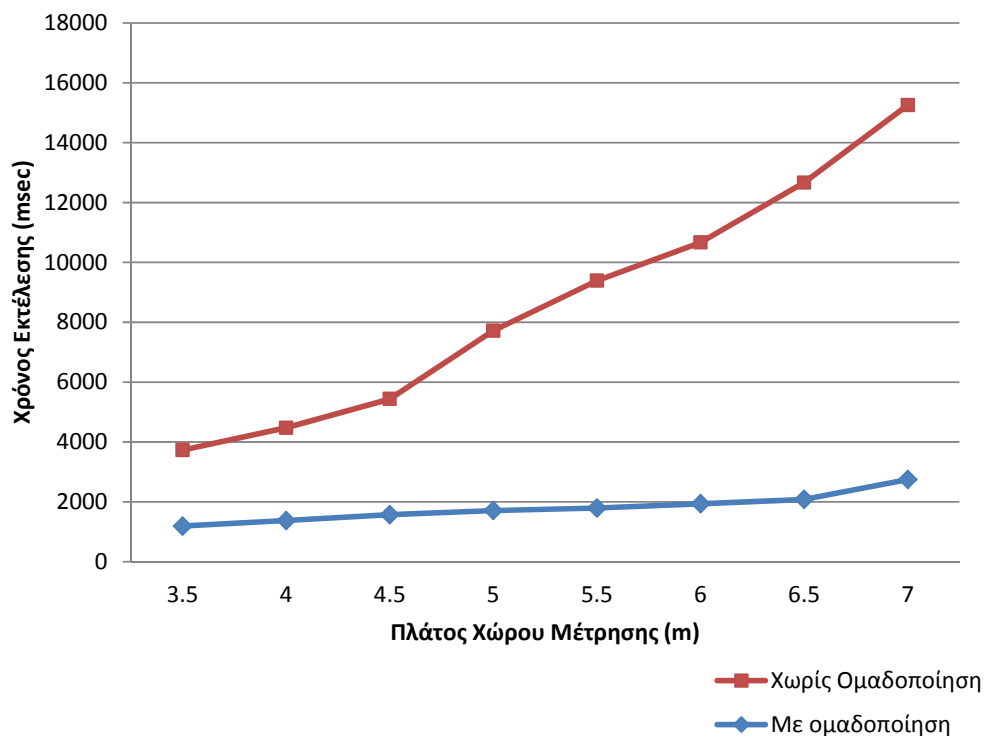
Αντίθετα, σε πιο πολύπλοκα σενάρια είτε ο συνολικός χρόνος εμφανίζει τεράστια διαφορά (Σενάριο 2), είτε έχουμε μεγάλες διαφορές στο μέγιστο χρόνο (Σενάριο 3). Το δεύτερο σημαίνει ότι σε κάποια συγκεκριμένη σάρωση, λόγω του υπολογιστικού φόρτου ο αλγόριθμος αντιμετώπισε σοβαρό πρόβλημα το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει δυσλειτουργία στην ιχνηλάτηση, εάν αυτή γινόταν σε πραγματικό χρόνο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι και στα 3 υπό δοκιμή σενάρια, οι αλλαγές του trackID των στόχων που βρίσκονταν στο προσκήνιο για μεγάλο χρονικό διάστημα δεν είχαν διαφορά ανάμεσα στους 2 αλγόριθμους. Αυτό δείχνει ότι η εφαρμογή της τεχνικής της ομαδοποίησης δεν αφαιρεί καθόλου από την σταθερότητα του αλγορίθμου στην παρακολούθηση στόχων.

Στη συνέχεια εξετάζουμε το Σενάριο 1 όπου εμφανίζεται μία από τις χαμηλότερες διαφορές μεταξύ των αλγορίθμων. Συγκεκριμένα θα συγκρίνουμε την απόδοση τους αλλάζοντας το πλάτος της περιοχής μέτρησης. Η διεύρυνση της περιοχής μέτρησης σημαίνει αυτόματα και την αύξηση των προς επεξεργασία παρατηρήσεων ανά σάρωση. Το πλάτος είχε αρχικά ρυθμιστεί στα 4,5m εκατέρωθεν του διαμήκη άξονα του οχήματος.

Πλάτος (m) (εκατέρωθεν)	Αλγόριθμος χωρίς ομαδοποίηση (msec)		Αλγόριθμος με ομαδοποίηση (msec)		Διαφορά	
	Συνολικός Χρόνος	Μέσος Χρόνος	Συνολικός Χρόνος	Μέσος Χρόνος	Συνολικός Χρόνος	Μέσος Χρόνος
3.5	3729.89	1.99	1190.06	0.64	68.09%	67.84%
4.0	4473.60	2.39	1375.36	0.73	69.26%	69.46%
4.5	5436.81	2.90	1572.54	0.84	71.08%	71.03%
5.0	7717.16	4.12	1710.47	0.91	77.84%	77.91%
5.5	9390.53	5.02	1794.45	0.96	80.89%	80.88%
6.0	10667.20	5.70	1935.58	1.03	81.85%	81.93%
6.5	12666.68	6.77	2082.55	1.11	83.56%	83.6%
7.0	15252.51	8.15	2747.56	1.47	81.99%	81.96%

Πίνακας 3-28 Χρόνοι εκτέλεσης για διαφορετικά μεγέθη περιοχής μέτρησης (C)



Εικόνα 3-39 Διάγραμμα Χρόνου Εκτέλεσης - Πλάτους Χώρου Μέτρησης

Το διάγραμμα οδηγεί σε δυο συμπεράσματα. Αφενός ότι η αποτελεσματικότητα της ομαδοποίησης αυξάνεται όσο πληθαίνουν οι παρατηρήσεις ανά σάρωση, και αφετέρου ότι η απόδοση του αλγορίθμου με ομαδοποίηση μένει σχετικά σταθερή με την αύξηση των παρατηρήσεων ανά σάρωση. Κάτι τέτοιο μας παρέχει την ασφάλεια ότι δε θα δημιουργηθούν έντονα προβλήματα στην διαδικασία, σε περίπτωση αύξησης της πυκνότητας των παρατηρήσεων κατά τη διάρκεια της ιχνηλάτησης.

3.4.2.2 Αξιολόγηση Multithreading

Η ταχύτητα εκτέλεσης του αλγορίθμου με παράλληλη επεξεργασία των ομάδων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Σενάριο	Σειριακή Επεξεργασία (msec)			Multithreading (msec)			Διαφορά (%)		
	Συνολικός Χρόνος	Μέσος Χρόνος	Μέγιστος Χρόνος	Συνολικός Χρόνος	Μέσος Χρόνος	Μέγιστος Χρόνος	Συνολικός Χρόνος	Μέσος Χρόνος	Μέγιστος Χρόνος
1	1572,54	0,84	9,04	1324,71	0,71	7,34	15,76	115,40	18,80
2	1617,59	1,62	7,07	1373,33	1,31	5,54	15,10	19,02	21,67
3	17446,64	17,57	4164,31	13529,87	13,48	3289,80	22,45	23,26	21,00
4	24332,85	5,51	12391,72	19604,98	4,27	9648,19	19,43	22,44	22,14
5	25633,20	14,19	13159,83	20580,90	11,91	9969,89	19,71	16,10	24,24

Πίνακας 3-29 Σύγκριση Αλγορίθμων με και χωρίς Multithreading (C)

Ο Πίνακας 3-29 δείχνει ότι το multithreading μειώνει σχεδόν κατά 1/5 την διάρκεια επεξεργασίας των ομάδων. Οι μεγαλύτερες διαφορές εντοπίζονται στην στο μέγιστο χρόνο εκτέλεσης. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς στις σαρώσεις με μεγάλο αριθμό ομάδων είναι που υπερτερεί η διαδικασία της παράλληλης επεξεργασίας.

3.4.3 Συμπεράσματα από την Εφαρμογή Τεχνικών Ομαδοποίησης

Από τις παραπάνω δοκιμές γίνεται φανερό ότι ο αλγόριθμος με ομαδοποίηση υπερτερεί κατά πολύ περιβάλλον C. Ειδικά σε περιπτώσεις που εμφανίζονται πολλές μετρήσεις ανά σάρωση (Σενάριο 2), η αποφυγή δημιουργίας μεγάλων πινάκων υποθέσεων μειώνει την ταχύτητα εκτέλεσης μέχρι και στο 1/10. Σε γενικές γραμμές η τεχνική της ομαδοποίησης μπορεί να επιταχύνει την διαδικασία της ιχνηλάτησης από 66-92%. Το ποσοστό εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του σεναρίου.

Ο συνδυασμός της τεχνικής της Ομαδοποίησης με την παράλληλη επεξεργασία των ομάδων οδηγεί σε μια επιπλέον μείωση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης. Συγκεκριμένα σε περιπτώσεις που οι προς επεξεργασία ομάδες είναι σημαντικές τον αριθμό (4 ή παραπάνω), ο αλγόριθμος μπορεί να επιταχυνθεί μέχρι και 25%.

Η χρήση της Ομαδοποίησης ως τεχνική βελτιστοποίησης του αλγορίθμου ιχνηλάτησης «πολλαπλών υποθέσεων» κρίνεται αποτελεσματική. Αντίθετα, η μέθοδος της Συγχώνευσης Υποθέσεων δεν αποδείχθηκε ικανή να επιταχύνει τον αλγόριθμο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παράλληλη επεξεργασία των ομάδων από πολλαπλούς επεξεργαστές μπορεί να δώσει ακόμα πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα απ' ό,τι η παράλληλη επεξεργασία με multithreading.

3.5 Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η εφαρμογή της μεθόδου ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων σε ένα σύστημα ιχνηλασίας επιπέδου αισθητήρα. Αρχικά έγινε η παρουσίαση της μεθόδου και ακολούθως περιγράφηκε η υλοποίηση του αλγορίθμου σε ένα σύστημα ιχνηλασίας. Επίσης έγινε μελέτη και εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης της μεθόδου με τη χρήση τεχνικών ομαδοποίησης και συγχώνευσης υποθέσεων. Από την πειραματική ανάλυση που ακολούθησε προκύπτει ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος λειτουργεί πολύ πιο αποτελεσματικά σε σχέση με απλούστερες τεχνικές ιχνηλασίας όπως η GNN σε σημαντικές παραμέτρους της ιχνηλασίας όπως η διατήρηση του ID των ιχνών, η συσχέτιση ίχνους με τη σωστή παρατήρηση, το ποσοστό ψευδών συναγερωμών και το σφάλμα εκτίμησης. Η αυξημένη πολυπλοκότητα της μεθόδου δεν την καθιστά απαγορευτική. Από τις πειραματικές δοκιμές που έγιναν με την εφαρμογή τεχνικών ομαδοποίησης, ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου μπορεί να μειωθεί έως το 1/10. Η βελτίωση εξαρτάται πάντα από την πολυπλοκότητα του σεναρίου. Επίσης η εφαρμογή παράλληλης επεξεργασίας μπορεί να οδηγήσει σε περεταίρω μείωση του χρόνου εκτέλεσης έως 25%.

Ο αλγόριθμος θα μπορούσε να βελτιωθεί περεταίρω με την ενσωμάτωση ενός φίλτρου πολλαπλών μοντέλων όπου ανάλογα με την κίνηση του στόχου επιλέγεται το καλύτερο μοντέλο κίνησης. Επιπλέον η χρήση δεδομένων ψηφιακών χαρτών και ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων έχει αναλυθεί στην βιβλιογραφία για την ανίχνευση στόχων εδάφους από αέρος. Τέλος, υπάρχουν πολλές διαφορετικές υλοποιήσεις της μεθόδου όπως η Bayesian MHT [12], οι οποίες θα ήταν ενδιαφέρον να συγκριθούν με τον προτεινόμενο αλγόριθμο.

- [1] R. W. Sittler. "An optimal data association problem in surveillance theory". IEEE Trans. Mil. Electron., vol. MIL-8, pp. 125-139. 1964.
- [2] R. E. Kalman. "A new approach to linear filtering and prediction problems". J. Basic Eng., vol. 82-D, pp. 35-45. 1960.
- [3] D. L. Alspach, and H. W. Sorenson. "Recursive Bayesian estimation using Gaussian sums". Automatica, vol. 7. 1971.
- [4] S. Blackman, R. Papoli (1999), Design and Analysis of Modern Tracking Systems, Norwood, MA: Anech House, 1999.
- [5] R. A. Singer, R. G. Sea, and K. B. Housewright. "Derivation and evaluation of improved tracking filters for use in dense multi-target environments". IEEE Trans. Infor. Theory, vol. IT-20, pp. 423-432. 1974.
- [6] Y-B Shalom, E. Tse, "Tracking in a cluttered environment with probabilistic data association", Automatica, Volume 11, Issue 5, September 1975, Pages 451-460
- [7] D. B. Reid, "A multiple hypothesis filter for tracking multiple targets in a cluttered environment," LMSC Rep. D-560254, Sept. 1977.
- [8] A. Bouguettaya, and Q. Le-Viet . "Data Clustering Analysis in a Multidimensional Space." Information Sciences, An International Journal, Vol 112 [1-4], pages 267-295. 1998.
- [9] M. Steinbach, G. Kapyris, and V. Kumar. "A comparison of Document Clustering Techniques." Proc. KDD-2000 Workshop TextMining, Aug. 2000.
- [10] . Andritsos. "Data Clustering Techniques." University of Toronto website. University of Toronto, Department of Computer Science, 11 March 2002. Web. 20 Sep 2010.
- [11] D. P. Bertsekas. "Auction Algorithms". Encyclopedia of Optimization, Kluwer. 2001.
- [12] I.J Cox, S.L Hingorani, "An efficient implementation of Reid's multiple hypothesis tracking algorithm and its evaluation for the purpose of visual tracking", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume: 18, Issue: 2, pp.138 - 150, Feb 1996

4 Ιχνηλασία Αντικειμένων σε Δίκτυα Αυτοκινήτων

4.1 Εισαγωγή

Τα σύγχρονα προηγμένα συστήματα υποβοήθησης του οδηγού βασίζονται σε ένα δίκτυο αισθητήρων εγκατεστημένων στο όχημα. Αυτή η προσέγγιση χρήσης αισθητήρων επί του οχήματος έχει υιοθετηθεί από την απαρχή των συστημάτων ασφαλείας, όπως είναι το Προσαρμοστικό Σύστημα Ελέγχου Ταξιδιού (ACC-Adaptive Cruise Control). Ωστόσο μια κοινή παθολογία όλων αυτών των δικτύων αισθητήρων είναι η περιορισμένη εμβέλεια και εύρος παρατήρησης των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται (ραδιοεντοπιστές, οπτικοί αισθητήρες, κλπ.). Επιπρόσθετα, η αντίληψη του περιβάλλοντος περιμετρικά γύρω από το όχημα είναι πρακτικά αδύνατη λόγω περιορισμών στο κόστος αλλά και την χωροταξία της εγκατάστασης σε ένα πραγματικό όχημα. Η εισαγωγή της τεχνολογίας των ασύρματων επικοινωνιών στις εφαρμογές αυτοκινήτων αναμένεται να επεκτείνει το φάσμα εφαρμογής των υπαρχόντων συστημάτων αλλά και να επιφέρει την εισαγωγή ενός πλήθους νέων εφαρμογών ασφάλειας, εξοικονόμησης ενέργειας και διασκέδασης βασισμένες στην επικοινωνία αυτοκινήτου-αυτοκινήτου (Vehicle to Vehicle (V2V)) και αυτοκινήτου-υποδομής (Vehicle to Infrastructure (V2I))[1]. Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας στις ασύρματες επικοινωνίες οχημάτων επικεντρώνεται στην τροποποίηση και βελτίωση των υπαρχόντων ασύρματων τεχνολογιών δικτύων. Τα πρωτοκόλλα δικτύου, οι τοπολογίες δικτύων και θέματα ασφάλειας είναι οι πτυχές των αυτό-οργανούμενων δικτύων αυτοκινήτων που καλύπτονται εκτενέστερα στη βιβλιογραφία[2].

Η ιδέα της βελτίωσης της αντίληψης της τακτικής κατάστασης μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών δεν είναι καινούρια. Οι στρατιωτικές εφαρμογές ήταν οι πρώτες που εισήγαγαν τη χρήση δικτύων αισθητήρων για την επέκταση της αντίληψης της τακτικής κατάστασης. Οι πρώτες εφαρμογές μπορούν να βρεθούν στα πρώτα αναγνωριστικά αεροσκάφη στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και τα δίκτυα ραδιοεντοπιστών έγκαιρης προειδοποίησης της δεκαετίας του 1940 για την καθοδήγηση των φίλων αεροσκαφών στους επερχόμενους στόχους. Στις μέρες μας, η ανταλλαγή πληροφοριών θεωρείται ακρογωνιαίος λίθος στις σύγχρονες στρατιωτικές εφαρμογές[3]. Επίσης, πολιτικές εφαρμογές όπως ο έλεγχος εναέριας κυκλοφορίας επωφελούνται από αυτή τη δικτυο-κεντρική προσέγγιση.

Η πρώτη εισαγωγή των ασύρματων επικοινωνιών στον τομέα των μεταφορών ανάγεται στο τέλος της δεκαετίας του 1980 στο πρόγραμμα Προμηθέας υπό την αιγίδα του πλαισίου EUREKA. Από τότε, πληθώρα ευρωπαϊκών και εθνικών προγραμμάτων υιοθέτησαν την χρήση ασύρματων επικοινωνιών στα πρωτότυπα επίδειξης τεχνολογίας. Το αποκορύφωμα των ευρωπαϊκών προσπαθειών αποτελούν τα προγράμματα SAFESPOT, CVIS και COOPERS που έληξαν το 2010. Εκτός από την Ευρώπη, άλλες χώρες όπως η ΗΠΑ και η Ιαπωνία προωθούν τη χρήση ασύρματων επικοινωνιών σε αυτοκινητιστικές εφαρμογές. Επιπρόσθετα, έχουν σχηματιστεί πολλές κοινοπραξίες αποτελούμενες από αυτοκινητοβιομηχανίες, προμηθευτές και ερευνητικά ιδρύματα που ασχολούνται με διάφορες πτυχές των κινητών αυτό-οργανούμενων δικτύων οχημάτων (Vehicular Ad Hoc Networks)[4].

Στον τομέα της σύντηξης δεδομένων, η χρήση πληροφοριών που προέρχονται από απομακρυσμένους κόμβους ενός δικτύου εισάγει νέες ευκαιρίες και προκλήσεις. Το μεγαλύτερο πρόβλημα παρουσιάζεται στη χωρική και χρονική συσχέτιση της πληροφορίας που προέρχεται από το ασύρματο δίκτυο. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται πρέπει να έχουν ένα κοινό χωρικό και χρονικό πλαίσιο αναφοράς. Ένα όχημα επωφελείται περισσότερο από τις ασύρματες πληροφορίες εάν μπορεί να τις συσχετίσει με τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους τοπικούς αισθητήρες. Αυτή η τελευταία παρατήρηση είναι σημαντική, καθώς σε αραιά δίκτυα η ασύρματη πληροφορία θα έχει επικουρικό ρόλο στην αντίληψη του οδικού περιβάλλοντος. Όσο όμως η διείσδυση των ασύρματων επικοινωνιών θα αυξάνει, τα συστήματα υποβοήθησης του οδηγού θα βασίζονται όλο και περισσότερο στα ασύρματα δίκτυα. Άρα η ανάγκη για αποτελεσματική συσχέτιση δεδομένων θα είναι επιτακτική. Για παράδειγμα ένα όχημα εξοπλισμένο με ραδιοεντοπιστή το οποίο ακολουθεί ένα δεύτερο όχημα, θα πρέπει να συσχετίσει το ίχνος του ραδιοεντοπιστή με τη θέση που μεταδίδει το δεύτερο όχημα.

Στο παρόν κεφάλαιο προτείνεται η χρήση του αλγόριθμου ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων (IPY - Multiple Hypothesis Tracking (MHT)) για την επίλυση του προβλήματος της συσχέτισης των τοπικών ίχνων με τη θέση που μεταδίδουν τα αυτοκίνητα που παρατίθουν ένα ασύρματο δίκτυο

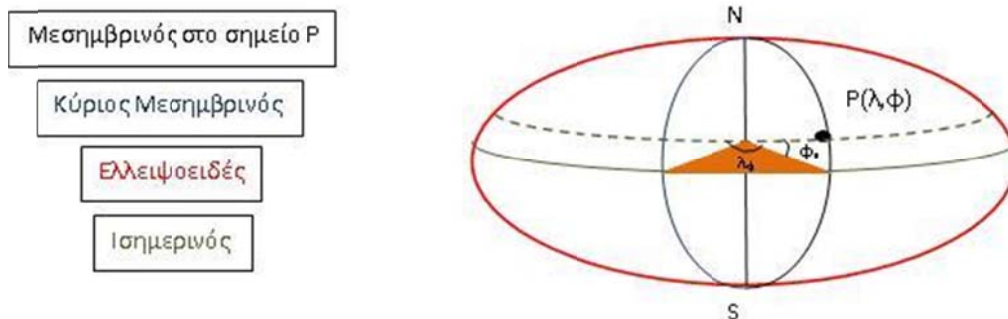
οχημάτων. Ο αλγόριθμος ΠΠΥ χρησιμοποιείται για τη συσχέτιση ιχνών/μετρήσεων και κάνει χρήση εναλλακτικών υποθέσεων συσχέτισης οι οποίες διαδίδονται στο χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, αμφίρροπες περιπτώσεις συσχέτισης του παρελθόντος επιλύονται σε μελλοντική χρονική στιγμή. Αυτή η τεχνική θεωρείται ανώτερη από τις τεχνικές μίας υπόθεσης (όπως του καθολικά κοντινότερου γείτονα) και παρουσιάζει υψηλότερη ανθεκτικότητα στο θόρυβο μέτρησης και τους ψευδείς συναγερούς.

4.2 Συσχέτιση Δεδομένων σε Δίκτυα Οχημάτων

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η χρήση των δεδομένων που προέρχονται από ένα ασύρματο δίκτυο σε ένα σύστημα ιχνηλασίας απαιτεί τη συσχέτιση των τοπικών ιχνών με τις απομακρυσμένες μετρήσεις των κόμβων. Με τον όρο τοπικά ίχνη εννοούνται τα ίχνη που έχουν σχηματιστεί από την ιχνηλασία των μετρήσεων των αισθητήρων που βρίσκονται εγκατεστημένοι στο όχημα. Προηγούμενες εργασίες στο πρόβλημα αυτό περιλαμβάνουν τη μέθοδο που προτείνεται στο [5] για τη συσχέτιση δεδομένων ενός σαρωτή laser και δεδομένων συνεργατικού δικτύου. Επίσης έχει προταθεί η ενσωμάτωση των δεδομένων από ένα δίκτυο οχημάτων σε ένα δυναμικό χάρτη [6]. Η χρήση φίλτρων particles για την ιχνηλασία δεδομένων ασυρμάτου δικτύου έχει παρουσιαστεί στο [7].

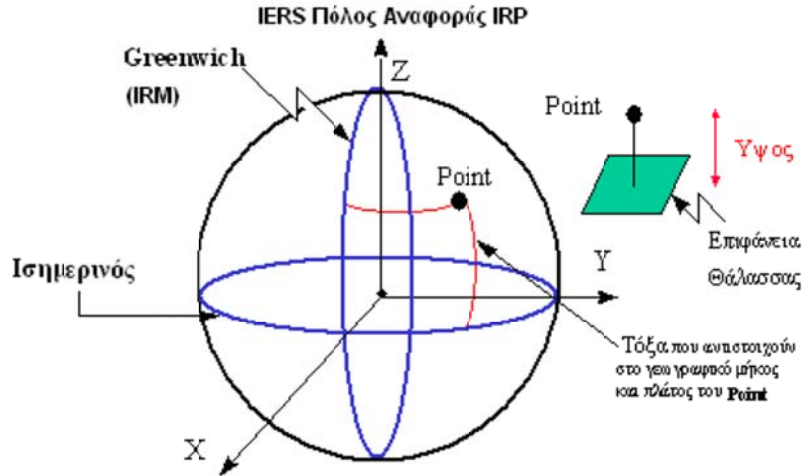
Σε ένα δίκτυο οχημάτων για να είναι εφικτή η συσχέτιση δεδομένων, κάθε μήνυμα που μεταδίδεται πρέπει να περιέχει κατ' ελάχιστο την θέση του κόμβου που μεταδίδει καθώς και την χρονική στιγμή μετάδοσης. Για την συσχέτιση των θέσεων που προέρχονται από ένα δέκτη GPS με τα τοπικά ίχνη που αναφέρονται στο τοπικό σύστημα αναφοράς του οχήματος, απαιτείται η μετατροπή σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων.

Η τοποθεσία ενός σημείου σε σχέση με ένα γεωγραφικό σύστημα αναφοράς περιγράφεται από το ελλειψοειδές του συστήματος αναφοράς και εκφράζεται με τις γεωγραφικές συντεταγμένες: γεωγραφικό πλάτος (latitude ϕ) και γεωγραφικό μήκος (longitude λ). Τα μεγέθη αυτά είναι εκφράσεις γωνιών που σχετίζονται με τον ισημερινό και τον κεντρικό μεσημβρινό που είναι συνήθως αυτός του Greenwich στο Λονδίνο (0° για Βορρά-Νότο/Ανατολή-Δύση αντίστοιχα) (Εικόνα 4-1). Οι δέκτες GPS δημιουργούν μία τρισδιάστατη συντεταγμένη του σημείου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλοήγηση ή και άλλες περισσότερο ειδικευμένες εφαρμογές. Η τοποθεσία εκφράζεται σε Latitude και Longitude ενώ υπολογίζει και το εκτιμώμενο ύψος πάνω από το ελλειψοειδές για την συγκεκριμένη θέση. Το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων που χρησιμοποιείται για το GPS είναι το WGS84. Το WGS84 ορίζει το δικό του ελλειψοειδές.



Εικόνα 4-1 Ελλειψοειδές που εφαρμόζει καλύτερα τοπικά στο γεωειδές και γεωμετρικό πλάτος και γεωμετρικό μήκος του σημείου P

Το σύστημα ECEF (Earthed Centered – Earthed Fixed) είναι το θεμελιώδες σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων WGS 84 του οποίου το σημείο αναφοράς είναι το κέντρο μάζας της γης, δηλαδή το κέντρο της γης (Εικόνα 4-2).



Εικόνα 4-2 Ορισμός συστήματος συντεταγμένων WGS84

Συνεπώς για τη συσχέτιση δεδομένων είναι απαραίτητη η μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων (Πλάτος και Μήκος), σε ένα τοπικό καρτεσιανό σύστημα. Η μετατροπή αυτή περιλαμβάνει κάποιους μετασχηματισμούς καθώς και περιστροφή του συστήματος αναφοράς, που θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο. Επειδή, όπως αναλύθηκε στο εισαγωγικό κεφάλαιο οι δέκτες GPS παρέχουν συγκεκριμένη ακρίβεια θέσης και πορείας, η διαδικασία μετασχηματισμού εισάγει σφάλματα στις μετρήσεις που ιχνηλατούνται. Τα σφάλματα που προκαλούνται από τον μετασχηματισμό δεδομένων που προέρχονται από απομακρυσμένες πλατφόρμες αισθητήρων αποκαλούνται σφάλματα αδιεξόδου (gridlock errors). Πολλοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση αυτών των σφαλμάτων. Οι μέθοδοι αυτοί αντιμετωπίζουν συστηματικά σφάλματα μεταξύ απομακρυσμένων αισθητήρων. Τυχαία και ταχέως μεταβαλλόμενα σφάλματα μπορούν να εξαλειφθούν από τη διαδικασία του φιλτραρίσματος [8]. Τα σφάλματα του GPS μπορούν να αναπαρασταθούν από μια κατανομή Gauss. Στην παρούσα εργασία, τα σφάλματα αδιεξόδου είναι αποτέλεσμα του σφάλματος των δεικτών GPS, συνεπώς η διαδικασία του φιλτραρίσματος θα ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις των σφαλμάτων στην εκτίμηση κατάστασης των ιχνών. Στη γενική περίπτωση όπου έχουμε N αισθητήρες που δίνουν μετρήσεις αζιμουθίου και απόστασης :

$$z_i^p(k) = \begin{bmatrix} r_i(k) \\ \theta_i(k) \end{bmatrix} \quad (4.2.1)$$

Οι μετρήσεις την χρονική στιγμή t είναι:

$$r_i(k) = [1 + \varepsilon_i^r] r_i^t(k) + b_i^r(k) + w_i^r(k) \quad (4.2.2)$$

$$\theta_i(k) = [1 + \varepsilon_i^\theta] \theta_i^t(k) + b_i^\theta(k) + w_i^\theta(k) \quad (4.2.3)$$

όπου r_i^t και θ_i^t είναι οι πραγματικές μετρήσεις απόστασης και αζιμουθίου και ε_i^r, b_i^r είναι τα πολλαπλασιαστικά και αθροιστικά σφάλματα πόλωσης λόγω του σφάλματος της θέσης του αισθητήρα i . Θέτοντας:

$$C_i(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & r_i^t(k) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \theta_i^t(k) \end{bmatrix}$$

$$\beta_i(k) = \begin{bmatrix} b_i^r(k) \\ b_i^\theta(k) \\ \varepsilon_i^r(k) \\ \varepsilon_i^\theta(k) \end{bmatrix} \quad (4.2.4)$$

οι εξισώσεις (4.2.2) και (4.2.3) θα είναι:

$$z_i^p(k) = \begin{bmatrix} r_i^r(k) \\ \theta_i^r(k) \end{bmatrix} + C_i(k)\beta_i(k) + \begin{bmatrix} w_i^r(k) \\ w_i^\theta(k) \end{bmatrix} \quad (4.2.5)$$

Όπως αποδεικνύεται στο [9] για το πρόβλημα των δύο αισθητήρων μπορούμε να ορίσουμε την ψευδομέτρηση για το διάνυσμα της πόλωσης που εισαγάγουν οι αισθητήρες :

$$\begin{aligned} z_b(k+1) &= z_b^1(k+1) - H_1(k+1)H_2^{-1}(k+1)z_b^2 \Rightarrow \\ z_b(k+1) &= H(k+1)\mathbf{b}(k+1) + \tilde{w}(k+1) \end{aligned} \quad (4.2.6)$$

όπου:

$$\begin{aligned} H(k+1) &= \begin{bmatrix} B_1(k+1)C_1(k+1) & -H_1(k+1)H_2^{-1}(k+1)B_2(k+1)C_2(k+1) \end{bmatrix} \\ \mathbf{b}(k+1) &= \begin{bmatrix} \beta_1(k+1) \\ \beta_2(k+1) \end{bmatrix} \\ \tilde{w}(k+1) &= w_1(k+1) - H_1(k+1)H_2^{-1}(k+1)w_2(k+1) \end{aligned} \quad (4.2.7)$$

με H_i, w_i ο πίνακας μέτρησης και το διάνυσμα θορύβου μέτρησης του ιχνηλάτη του i αισθητήρα αντίστοιχα. Στην περίπτωση μεταβολής της πόλωσης με τον χρόνο, με τις γνωστές υποθέσεις του φίλτρου Kalman, το διάνυσμα πόλωσης μπορεί μοντελοποιηθεί ως ακολούθως:

$$\mathbf{b}(k+1) = F_b\mathbf{b}(k) + u_b(k) \quad (4.2.8)$$

Συνεπώς το πρόβλημα της εκτίμησης του διανύσματος πόλωσης μπορεί να επιλυθεί με τη χρήση ενός φίλτρου Kalman.

4.3 Αλγόριθμοι Συσχέτισης Δεδομένων

Η απλούστερη μέθοδος συσχέτισης δεδομένων για σύνδεση ίχνους-μέτρησης είναι ο αλγόριθμος του καθολικά κοντινότερου γείτονα [10]. Αυτή η προσέγγιση σχηματίζει τις πιο πιθανές συσχετίσεις ίχνους μέτρησης ή υποθέσεις νέου ίχνους. Στην JPDA [11], σχηματίζονται πολλές εναλλακτικές υποθέσεις συσχέτισης. Οι πιθανότητες κάθε υπόθεσης υπολογίζονται και έπειτα οι υποθέσεις συσχέτισης κάθε ίχνους συγχωνεύονται. Σε αυτή τη μέθοδο, η ανανέωση της κατάστασης του στόχου γίνεται χρησιμοποιώντας όλες τις μετρήσεις, συνεπώς την εκτίμηση κατάστασης του ίχνους που αντιστοιχεί σε κάθε υπόθεση, που βρίσκονται εντός της πύλης του ίχνους με τη χρήση ενός αθροίσματος με βάρη. Αυτές οι δύο μέθοδοι στο τέλος σχηματίζουν μία μοναδική εκτίμηση κατάστασης για κάθε υπόθεση ίχνους. Συνεπώς παίρνουν μία άμεση απόφαση στο τρέχον ίχνος σε περίπτωση αντικρουόμενων υποθέσεων συσχέτισης ενός ίχνους.

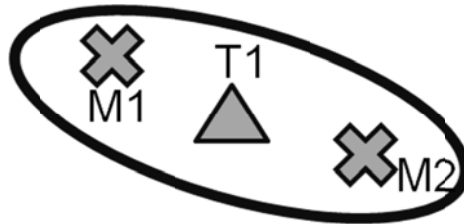
Από την άλλη, οι μέθοδοι ΠΠΥ σχηματίζουν εναλλακτικές υποθέσεις συσχέτισης σε διαφορούμενες περιπτώσεις ανάθεσης ίχνους σε μέτρηση/ίχνος. Το σύνολο των υποθέσεων συσχέτισης διαδίδεται στο χρόνο με την προσδοκία ότι οι παρατηρήσεις σε μελλοντικές σαρώσεις θα επιλύσουν την αμφιβολία συσχέτισης του παρελθόντος. Η μέθοδος αυτή χωρίζεται σε δύο προσεγγίσεις, την ΠΠΥ προσανατολισμένη σε υποθέσεις (ΠΠΥΠΥ) και την ΠΠΥ προσανατολισμένη σε ίχνη (ΠΠΥΠΙ). Η πρώτη προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε στο 3^ο κεφάλαιο, ενώ σε αυτό το κεφάλαιο θα χρησιμοποιηθεί η δεύτερη προσέγγιση.

Η πρώτη παρουσίαση της ιδέας της διάδοσης πολλαπλών υποθέσεων συσχέτισης παρουσιάστηκε στο [12], ωστόσο ο Reid παρουσίασε πρώτος μια συστηματική μέθοδο χρησιμοποιώντας την ΠΠΥ προσανατολισμένη σε υποθέσεις σε ένα σύστημα ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων [13]. Αυτή η μέθοδος παρουσιάστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3. Για την επισήμανση των διαφορών με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται σε αυτό το κεφάλαιο, θα γίνει μια σύντομη περιγραφή. Στην ΠΠΥ προσανατολισμένη σε υποθέσεις, όταν λαμβάνεται ένα νέο σύνολο μετρήσεων, οι υπάρχουσες υποθέσεις επεκτείνονται σε ένα νέο σύνολο υποθέσεων λαμβάνοντας υπόψη όλους τους πιθανούς συνδυασμούς συσχετίσεων. Κάθε υπόθεση περιλαμβάνει ένα σύνολο συμβατών αναθέσεων ίχνους σε μέτρηση, αποτελεί δηλαδή μία εξαντλητική μέθοδο απαρίθμησης όλων των πιθανών συνδυασμών αναθέσεων.

Η ΠΠΥ προσανατολισμένη σε ίχνη παρουσιάστηκε αρχικά στο [14] και σε αντίθεση με την ΠΠΥ προσανατολισμένη σε μετρήσεις, δεν διατηρεί υποθέσεις μεταξύ διαδοχικών σαρώσεων. Όταν λαμβάνεται ένα νέο σύνολο μετρήσεων, το τρέχον σύνολο ιχνών επεκτείνεται σε ένα νέο σύνολο

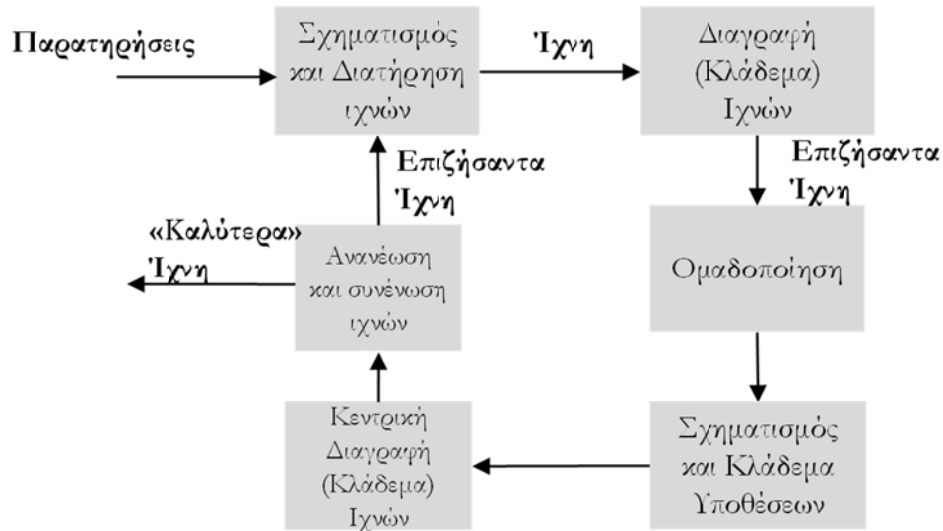
λαμβάνοντας υπόψη όλους τους πιθανούς συνδυασμούς συσχετίσεων. Τα ίχνη που σχηματίζονται δεν είναι απαραίτητα συμβατά μεταξύ τους, για παράδειγμα δύο ίχνη μπορούν να έχουν ανατεθεί σε μία κοινή μέτρηση. Οι ασυμβατότητες αυτές επιλύονται κατά τη διαδικασία σχηματισμού των υποθέσεων όπου κάθε υπόθεση περιέχει ένα σύνολο συμβατών μεταξύ τους ιχνών. Όπως και στο κεφάλαιο 3, και σε αυτή τη μέθοδο είναι απαραίτητος ο περιορισμός των υποθέσεων/ιχνών. Το «αλλάδεμα» των ιχνών γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο, τα ίχνη χαμηλής πιθανότητας διαγράφονται, ενώ στο δεύτερο στάδιο γίνεται η διαγραφή των υποθέσεων και συνεπώς ίχνη που δεν ανήκουν σε καμία υπόθεση διαγράφονται.

Το γενικό διάγραμμα ροής του αλγόριθμου παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-4. Ο σχηματισμός και διαχείριση ιχνών αντιπροσωπεύει την επεξεργασία και την αποθήκευση των ιχνών σε μία κεντρική λίστα. Με τη διαδικασία ελέγχου πύλης που έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 2, ανανεώνεται η τρέχουσα λίστα ιχνών. Για παράδειγμα σε κάθε σάρωση όλα τα ίχνη εκτιμώνται για την επόμενη σάρωση χωρίς ανανέωση κατάστασης με ενημέρωση από κάποια μέτρηση, ενώ επίσης όλες οι παρατηρήσεις αρχικοποιούν νέα ίχνη. Στην Εικόνα 4-3 παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα. Εάν υποθέσουμε ότι στην τρέχουσα σάρωση υπάρχει ένα ίχνος και ελήφθησαν 2 μετρήσεις το αποτέλεσμα θα είναι ο σχηματισμός 5 ιχνών. Οι μετρήσεις αρχικοποιούν δύο νέα ίχνη, δύο ίχνη προέρχονται από τη συσχέτιση του ίχνους T1 με τις μετρήσεις M1 και M2, ενώ το τελευταίο ίχνος σχηματίζεται από την εκτίμηση κατάστασης του T1 χωρίς ανανέωση από καμία μέτρηση.



Εικόνα 4-3 Παράδειγμα σχηματισμού ιχνών στην Ιχνηλασία Πολλαπλών Υποθέσεων Προσανατολισμένη σε Ίχνη

Κάθε ίχνος έχει μια πιθανότητα και μια τιμή σκόρ που υπολογίζεται από την πιθανότητα αυτή. Η πιθανότητα αυτή συγκρίνεται με μία τιμή κατωφλίου και τα ίχνη χαμηλής πιθανότητας διαγράφονται. Η ομαδοποίηση αφορά τη διαδικασία συλλογής ιχνών που συνδέονται με κοινές παρατηρήσεις. Αναλυτική περιγραφή των τεχνικών ομαδοποίησης έγινε στο Κεφάλαιο 3 και δεν θα απασχολήσει τον αλγόριθμο που περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο. Μια υπόθεση περιλαμβάνει μία συλλογή συμβατών ιχνών, δηλαδή ίχνη που δεν έχουν ανατεθεί στην ίδια μέτρηση. Συνεπώς απαιτείται μία ρουτίνα σχηματισμού των υποθέσεων από μία λίστα ιχνών. Η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι ο σχηματισμός της υπόθεσης με το πιθανότερο ίχνος. Ακολούθως σε αυτή την υπόθεση προστίθενται και άλλα συμβατά ίχνη. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου δεν υπάρχουν άλλα συμβατά ίχνη ή τα εναπομείναντα ίχνη είναι χαμηλής πιθανότητας και δεν δικαιολογούν την επέκταση της υπόθεσης. Κάθε ίχνος έχει πιθανότητα ίση με το άθροισμα των πιθανοτήτων των υποθέσεων στις οποίες ανήκει. Στην κεντρική διαγραφή ιχνών, τα ίχνη που δεν ανήκουν σε καμία υπόθεση ή έχουν πιθανότητα μικρότερη ενός κατωφλίου διαγράφονται. Σε αυτό το στάδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η τεχνική του κυλιόμενου παραθύρου N-σαρώσεων για τη διαγραφή ιχνών, διαδικασία που θα αναλυθεί εκτενώς σε επόμενη παράγραφο. Στα ίχνη που επέζησαν από τη διαδικασία της διαγραφής πραγματοποιείται η ανανέωση της εκτίμησης κατάστασης με βάση την υπόθεση συσχέτισης που έχει γίνει για κάθε ίχνος. Επίσης ίχνη που αντιπροσωπεύουν τον ίδιο στόχο συγχωνεύονται.



Εικόνα 4-4 Λογικό διάγραμμα Ιχνηλασίας Πολλαπλών Υποθέσεων Προσανατολισμένη σε Έγνη

4.4 Αλγόριθμος Ιχνηλασίας Πολλαπλών Υποθέσεων για τη Συσχέτιση Δεδομένων σε Δίκτυα Οχημάτων

4.4.1 Χωρική και Χρονική Ευθυγράμμιση Δεδομένων

Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, απαιτείται η χρονική και χωρική ευθυγράμμιση των ιχνών που προέρχονται από τους τοπικούς αισθητήρες και των θέσεων που λαμβάνονται από το ασύρματο δίκτυο. Κάθε όχημα μεταδίδει με συχνότητα 4 Hz ένα προκαθορισμένο μήνυμα το οποίο μπορεί να αναπαρασταθεί υπό τη μορφή ενός διανύσματος μέτρησης ως ακολούθως:

$$stateVanet_j(t_j) = \left[\varphi \quad \lambda \quad u \quad a \quad \theta \quad \dot{\omega} \right]^T \quad (4.4.1)$$

όπου φ και λ το γεωδαιτικό μήκος και πλάτος, θ η κατεύθυνση σε σχέση με το Βορρά, u , a και $\dot{\omega}$ η ταχύτητα, επιτάχυνση και γωνιακή ταχύτητα του οχήματος j τη χρονική στιγμή t_j . Το j αποτελεί και το χαρακτηριστικό ταυτότητας του οχήματος στο δίκτυο και είναι μοναδικό για κάθε όχημα. Τα διανύσματα κατάστασης αποθηκεύονται για ένα προκαθορισμένο διάστημα και ακολούθως διαγράφονται. Το διάστημα που ένα διάνυσμα παραμένει αποθηκευμένο είναι 2 δευτερόλεπτα, καθώς μετά από αυτό το χρόνο θεωρείται αναξιόπιστη οποιαδήποτε εκτίμηση της κατάστασης ενός οχήματος χωρίς τη λήψη νέου μηνύματος. Το χαρακτηριστικό ταυτότητας χρησιμοποιείται έτσι ώστε κάθε φορά να υπάρχει αποθηκευμένο ένα διάνυσμα κατάστασης για κάθε όχημα που μετέχει στο ασύρματο δίκτυο. Σε κάθε χρονική στιγμή t_k περιέχονται τα διανύσματα κατάστασης τα οποία έχουν προηγουμένως μετασχηματιστεί στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, όπου $x_j(t_j)$ είναι το διάνυσμα κατάστασης που ελήφθη τη χρονική στιγμή t_j , με $t_k - t_j < 2sec$.

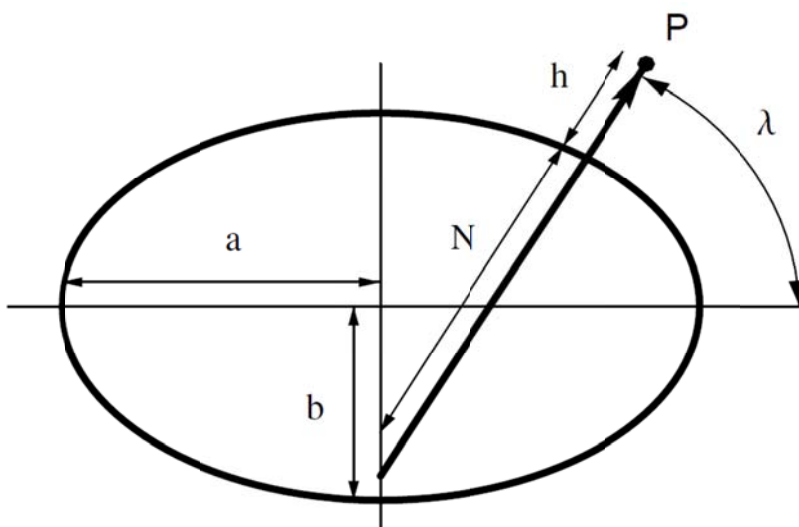
Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική για πού χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε το ερευνητικό όχημα του ΕΠΙΣΕΥ. Συγκεκριμένα, ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο εμπρόσθιος ραδιοεντοπιστής μεγάλης εμβέλειας. Η μετατροπή των γεωδαιτικών συντεταγμένων σε καρτεσιανές συντεταγμένες ECEF (δηλαδή από το σύστημα συντεταγμένων της Εικόνας 4-1 σε αυτό της Εικόνας 4-2/Εικόνα 4-2), γίνεται με βάση τις ακόλουθες εξισώσεις [15]:

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \\ Y &= (N + h) \cdot \cos \lambda \cdot \sin \varphi \\ Z &= [N(1 - e^2) + h] \cdot \sin \lambda \end{aligned} \quad (4.4.2)$$

όπου

α	6378137.0 (m)
b	635675.23142 (m)
ω_{ie}	$7.2921151467 \times 10^{-5} (\text{r/s})$
μ	$3.986005 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$

Πίνακας 4-1 Παράμετροι μετατροπής γεωδαιτικών συντεταγμένων σε καρτεσιανές
 Σχηματικά η παράμετροι του Πίνακα 4-1 φαίνονται στην Εικόνα 4-1.



Εικόνα 4-5 Παράμετροι γεωδαιτικού ελλειψοειδούς

Η μεταβλητή e είναι η εκκεντρότητα της γης και υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$f = \frac{a-b}{a} = 3.3528107 \times 10^{-3} \quad (4.4.3)$$

$$e = \sqrt{f(2-f)} = 8.1819191 \times 10^{-2} \quad (4.4.4)$$

Η απόσταση της επιφάνειας από τον άξονα Z του ελλειψοειδούς είναι μια συνάρτηση του λ και υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$N(\lambda) = \frac{\alpha}{\sqrt{1-e^2 \sin^2(\lambda)}} \quad (4.4.5)$$

Οι συντεταγμένες της εξίσωσης (4.4.2), έχουν ως σημείο αναφοράς το κέντρο της γης. Για την μετατροπή ως προς το σύστημα αναφοράς του ίδιου οχήματος, απαιτείται ο ακόλουθος μετασχηματισμός :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = L \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \right) \quad (4.4.6)$$

Όπου L ο παρακάτω πίνακας μετασχηματισμού :

$$L = \begin{bmatrix} -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ -\sin \lambda \cdot \cos \varphi & -\sin \lambda \cdot \sin \varphi & \cos \lambda \\ \cos \lambda \cdot \cos \varphi & \cos \lambda \cdot \sin \varphi & \sin \lambda \end{bmatrix} \quad (4.4.7)$$

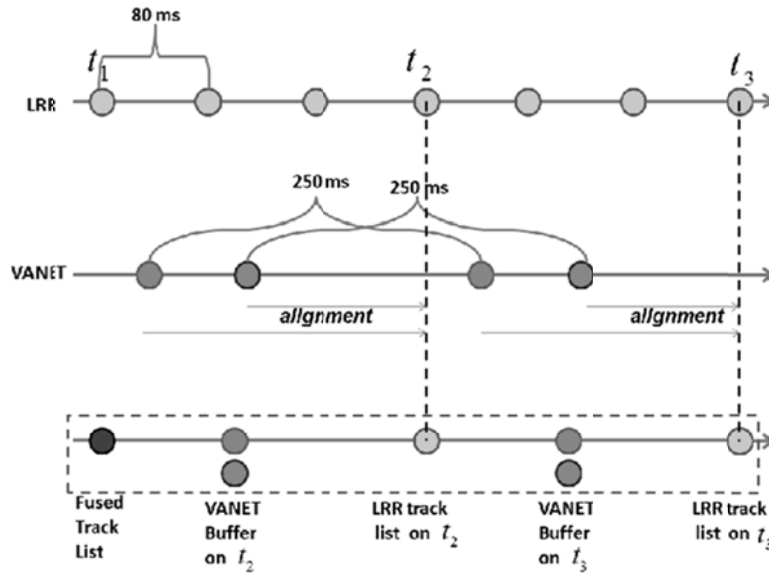
, και $[X_0 \ Y_0 \ Z_0]$ οι ECEF καρτεσιανές συντεταγμένες του ίδιου οχήματος. Οι τοπικές συντεταγμένες της εξίσωσης (4.4.6), έχουν ως x-y άξονες το σύστημα Ανατολή-Δύση. Για την ευθυγράμμιση με την κατεύθυνση του οχήματος εκτελείται η ακόλουθη περιστροφή:

$$\begin{bmatrix} x_{rot} \\ y_{rot} \\ z_{rot} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_0) & -\sin(\theta_0) & 0 \\ \sin(\theta_0) & \cos(\theta_0) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (4.4.8)$$

όπου θ_0 η κατεύθυνση του οχήματος. Συνεπώς το τελικό διάνυσμα κατάστασης που αποθηκεύεται είναι :

$$x_{V_{anet_j}}(t_j) = \left[\chi \quad y \quad u \quad a \quad \theta \quad \dot{\omega} \right]^T \quad (4.4.9)$$

Εκτός από τη χωρική ευθυγράμμιση απαιτείται και η χρονική ευθυγράμμιση μεταξύ των ιχνών του ραδιοεντοπιστή και των διανυσμάτων κατάστασης $x_{VANET_j}(t_j)$. Τα ιχνη του ραδιοεντοπιστή αναnevώνονται σε σταθερό ρυθμό (80 ms), ενώ τα μηνύματα του ασύρματου δικτύου λαμβάνονται ασυγχρόνιστα (Εικόνα 4-6)



Εικόνα 4-6 Χρονική ευθυγράμμιση ιχνών ραδιοεντοπιστή και μετρήσεων ασύρματου δικτύου

Η ευθυγράμμιση πραγματοποιείται με τη χρήση του μοντέλου σταθερής επιτάχυνσης και γραμμικής ταχύτητας [17] και των εξισώσεων για την πρόβλεψη κατάστασης του φίλτρου Kalman :

$$x_{V_{anet_j}}(t_k) = \Phi_{CTRA} \cdot x_{V_{anet_j}}(t_j) \quad (4.4.10)$$

$$P_{V_{anet_j}}(t_k) = \Phi_{CTRA} \cdot P_{V_{anet_j}}(t_j) \cdot \Phi_{CTRA}' + Q \quad (4.4.11)$$

4.4.2 Χρήση Κυλιόμενου Παραθύρου N-Σαρώσεων

Στον αλγόριθμο που προτείνεται χρησιμοποιείται ένα κυλιόμενο παράθυρο 4 σαρώσεων ([18] και [19]). Γενικά σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται N λίστες ιχνών από τις τελευταίες σαρώσεις. Στην περίπτωση της προτεινόμενης μεθόδου χρησιμοποιούνται διαδοχικά 5 λίστες ιχνών του ραδιοεντοπιστή και του ασύρματου δικτύου. Κάθε λίστα i απαρτίζεται από ένα σύνολο ιχνών $x_i^{j_i}$ πλήθους N_i , όπου $i = 1 \dots 5$ και $j_i = 1 \dots N_i$. Ορίζουμε τη δυαδική μεταβλητή $z_{j_1 \dots j_5}$ που αναφέρεται στην υπόθεση ότι τα ιχνη $j_1 \dots j_5$ αναπαριστούν τον ίδιο στόχο. Η μεταβλητή ορίζεται ως ακολούθως :

$$z_{j_1 \dots j_5} \begin{cases} 1; \text{η υπόθεση } i \text{ ιχνους είναι σωστή} \\ 0; \text{η υπόθεση } i \text{ ιχνους δεν είναι σωστή} \end{cases} \quad (4.4.12)$$

Η τιμή J_i μπορεί επίσης να έχει μηδενική τιμή, συμβολίζοντας έτσι την ανάθεση στο «εικονικό» ίχνος. Για την επίλυση του προβλήματος της ανάθεσης θα πρέπει να καθοριστεί το κόστος σχηματισμού ενός ίχνους ή το σκορ του ίχνους. Το κόστος σχηματισμού ορίζεται ως το αντίθετο του λογαριθμικού λόγου πιθανοφάνειας (ΛΛΠ- Log Likelihood Ratio (LLR))[10]. Το πλεονέκτημα του ΛΛΠ είναι ότι αποτελεί ένα αδιάστατο μέγεθος και μπορεί εύκολα να μετατραπεί στην πιθανότητα πραγματικού στόχου. Ο ΛΛΠ υπολογίζεται ως ακολούθως :

$$\Delta L(k) = \frac{V_c e^{(-d^2/2)}}{(2\pi)^{M/2} \sqrt{|S|}} \quad (4.4.13)$$

Το κόστος σχηματισμού ίχνους υπολογίζεται από την ακόλουθη αναδρομική σχέση :

$$L(k) = L(k-1) + \Delta L(k) \quad (4.4.14)$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς προκύπτει το πρόβλημα συσχέτισης 5 λιστών από ίχνη το οποίο μπορεί να εκφραστεί ως το ακόλουθο πρόβλημα ελαχιστοποίησης της ακόλουθης έκφρασης:

$$\sum_{j_1=0}^{N_1} \cdots \sum_{j_5=0}^{N_5} c_{j_1 \dots j_5} z_{j_1 \dots j_5} \quad (4.4.15)$$

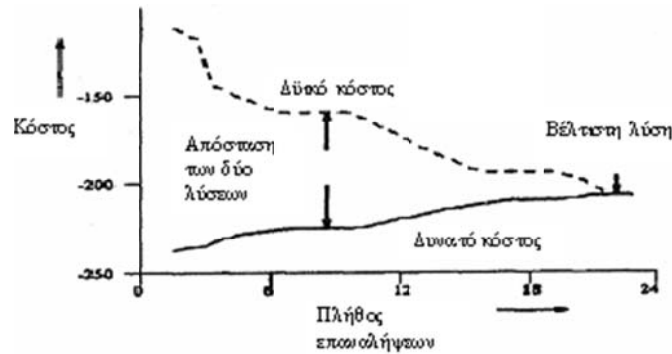
υπό τον περιορισμό ότι κάθε ίχνος από κάθε λίστα χρησιμοποιείται μία φορά:

$$\sum_{j_1=1}^{N_1} \cdots \sum_{j_{k-1}=1}^{N_{k-1}} \sum_{j_{k+1}=1}^{N_{k+1}} \cdots \sum_{j_5=1}^{N_5} z_{j_1 \dots j_k \dots j_5} = 1 \quad (4.4.16)$$

Το πρόβλημα είναι παρόμοιο με το πρόβλημα της ανάθεσης που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2. Ωστόσο στην παρούσα περίπτωση είναι ένα πρόβλημα πολυδιάστατης ανάθεσης που ανήκει στην κατηγορία NP-hard προβλημάτων. Το S-διαστάσεων πρόβλημα της ανάθεσης επιλύεται ως μια σειρά δυσδιάστατων προβλημάτων ανάθεσης κάνοντας χρήση των πολλαπλασιαστών Lagrange [20] για κάθε σύνολο περιορισμών το οποίο δεν λαμβάνεται υπόψη. Η τεχνική χαλάρωσης του Lagrange, που έχει υλοποιηθεί, ακολουθεί την επίλυση του 5-διάστατου προβλήματος σαν μια σειρά 'χαλαρών' δυσδιάστατων υποπροβλημάτων σε δύο φάσεις: 1) σταδιακή χαλάρωση των περιορισμών μέσω των αντίστοιχων πολλαπλασιαστών Lagrange και 2) ανανέωση των πολλαπλασιαστών Lagrange και ικανοποίηση των περιορισμών. Δηλαδή χαλαρώνονται σταδιακά τα σύνολα των περιορισμών $r=5,4,3$ και επισυνάπτονται στη συνάρτηση κόστους μέσω των πολλαπλασιαστών Lagrange u_r . Έτσι στο στάδιο $r=3$ το πρόβλημα έχει μετατραπεί σε ένα δυσδιάστατο πρόβλημα ανάθεσης που μπορεί να λυθεί βέλτιστα με το γενικευμένο αλγόριθμο του πλειστηριασμού σε πολυωνυμικό χρόνο. Στη συνέχεια υπολογίζεται μια δυνατή λύση για το τριδιάστατο πρόβλημα βάσει της λύσης του δυσδιάστατου προβλήματος και ανανεώνονται οι πολλαπλασιαστές u_3 . Ομοίως, υπολογίζονται οι δυνατές λύσεις για τα r-διαστάσεων υποπροβλήματα, όπου $r=4,5,\dots,S$, και ανανεώνονται και οι αντίστοιχοι πολλαπλασιαστές. Τα παραπάνω επαναλαμβάνονται μέχρι είτε να βρεθεί η βέλτιστη λύση είτε να βρεθεί μια δυνατή λύση αποδεκτής ποιότητας.

Μιας και οι δυνατές λύσεις των διαφόρων υποπροβλημάτων ανάθεσης δεν ικανοποιούν όλους τους περιορισμούς του αρχικού προβλήματος, το κόστος αυτών των λύσεων θα αποτελεί άνω όριο του κόστους της βέλτιστης λύσης. Επειδή δεν γνωρίζουμε αν αυτές οι δυνατές λύσεις είναι και βέλτιστες, μόνο το κόστος δυνατής λύσης του δυσδιάστατου προβλήματος ανάθεσης αποτελεί έγκυρο άνω όριο της βέλτιστης λύσης. Οι ενδιάμεσες δυνατές λύσεις του S-διάστατου προβλήματος έχουν κόστος μικρότερο ή ίσο του αντίστοιχου κόστους βέλτιστης λύσης. Η απόσταση μεταξύ του κόστους δυικής λύσης f_{dual} και του κόστους δυνατής λύσης J_S ονομάζεται duality gap και αποτελεί μια εκτίμηση της ακρίβειας της δυνατής λύσης (Εικόνα 4-7). Οι επαναλήψεις του αλγορίθμου θα συνεχίζονται μέχρι είτε τα J_S και f_{dual} να είναι ίσα, οπότε και θα έχει βρεθεί η βέλτιστη λύση, είτε τα J_S και f_{dual} να έχουν πλησιάσει τόσο ώστε η λύση να μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτή. Ένα χαρακτηριστικό αυτού του υποβέλτιστου αλγορίθμου είναι ότι όχι μόνο έχουμε μια καλή λύση αλλά ότι έχουμε και ένα μέτρο της ποιότητας της λύσης μέσω του duality gap. Αυτό είναι

ιδιαίτερα χρήσιμο στις περιπτώσεις όπου θα πρέπει να τερματίσει ο αλγόριθμος πριν βρεθεί η βέλτιστη λύση.



Εικόνα 4-7 Γραφική παράσταση του κόστους δυνατής και δυικής λύσης

Ορίζονται οι πολλαπλασιαστές Lagrange u_r , $r = S, S-1, \dots, 3$ και οι περιορισμοί της εξίσωσης (4.4.16) στη συνάρτηση κόστους της εξίσωσης (4.4.15). Τότε προκύπτει το ακόλουθο r 'χαλαρό' υποπρόβλημα:

$$\text{Min} \sum_{j_1=0}^{N_1} \dots \sum_{j_S=0}^{N_S} (c_{j_1 \dots j_S} - u_{(r+1)_{r+1}} \dots u_{S_{j_S}}) z_{j_1 \dots j_S} + \sum_{j_{r+1}=0}^{N_{r+1}} u_{(r+1)_{r+1}} \dots + \sum_{j_S=0}^{N_{r+1}} u_{S_{j_S}} \quad (4.4.17)$$

, δεδομένου των r πρώτων περιορισμών της εξίσωσης (4.4.16). Όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν υπάρχουν περιορισμοί ως προς το πόσες φορές θα χρησιμοποιηθεί η dummy μέτρηση και άρα θα ισχύει $u_{r_0} = 0, \forall r$. Ορίζουμε νέες δυαδικές μεταβλητές $w^r_{i_1 \dots i_S}$ και νέα κόστη $d^r_{i_1 \dots i_S}$ για το r υποπρόβλημα :

$$w^r_{i_1 \dots i_r} = \sum_{i_{r+1}=0}^{M_{r+1}} \dots \sum_{i_S=0}^{M_S} z_{i_1 \dots i_S} = \sum_{i_{r+1}=0}^{M_{r+1}} w^{r+1}_{i_1 \dots i_{r+1}} \quad (4.4.18)$$

$$d^r_{i_1 \dots i_r} = \min_{i_{r+1}} \dots \min_{i_S} (c_{i_1 \dots i_S} + u_{(r+1)_{r+1}} \dots + u_{S_{j_S}}) = \min_{i_{r+1}} (d^{r+1}_{i_1 \dots i_{r+1}} + u_{(r+1)_{r+1}}) \quad (4.4.19)$$

Προφανώς ισχύει $d^S_{i_1 \dots i_S} = c_{i_1 \dots i_S}$. Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις ((4.4.18)-(4.4.19)) το r υποπρόβλημα μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\text{Minimize} \sum_{j_1=0}^{N_1} \dots \sum_{j_S=0}^{N_S} d^r_{j_1 \dots j_r} w^r_{j_1 \dots j_r} + \sum_{j_{r+1}=0}^{N_{r+1}} u_{(r+1)_{r+1}} \dots + \sum_{j_S=0}^{N_{r+1}} u_{S_{j_S}} \quad (4.4.20)$$

υπό τους περιορισμούς:

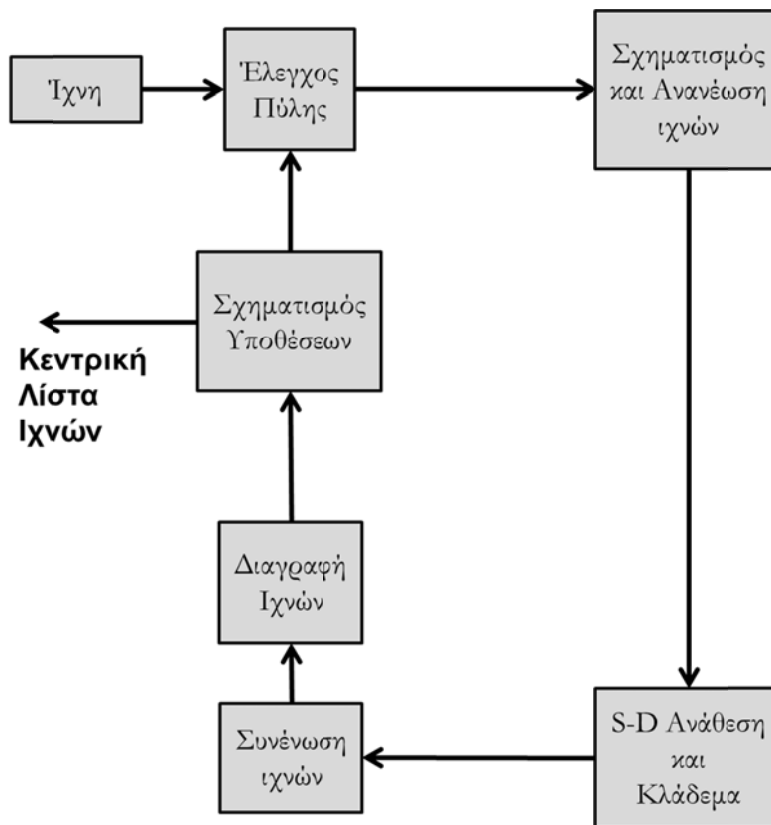
$$\sum_{j_1=1}^{N_1} \dots \sum_{j_{k-1}=1}^{N_{k-1}} \sum_{j_{k+1}=1}^{N_{k+1}} \dots \sum_{j_S=1}^{N_S} z_{j_1 \dots j_k \dots j_r} = 1 \quad (4.4.21)$$

Έτσι για ένα δεδομένο σύνολο πολλαπλασιαστών Lagrange το r υποπρόβλημα είναι ένα γενικευμένο πρόβλημα ανάθεσης, όπου $r \leq S$. Ορίσαμε το δυικό πρόβλημα γιατί οι πολλαπλασιαστές Lagrange θα επιβάλλουν ένα είδος 'τιμωρίας' στους χαλαρωμένους περιορισμούς που παραβιάστηκαν από τη λύση.

4.4.3 Αλγόριθμος Συσχέτισης με Χρήση ΠΠΥ Προσανατολισμένου στα Ίχνη

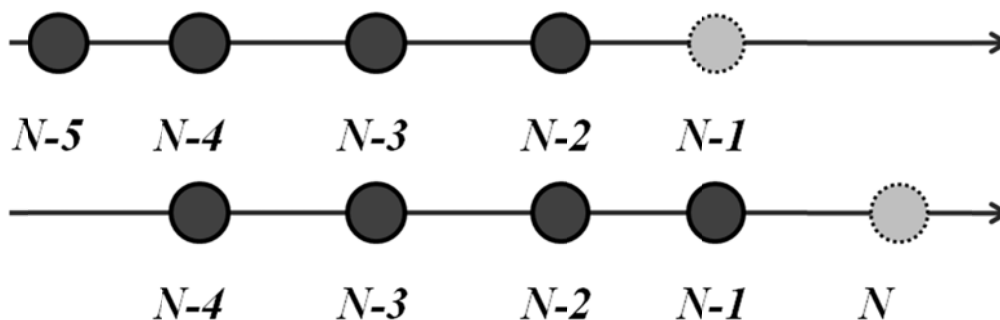
Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου αλγόριθμου απεικονίζεται στην Εικόνα 4-8. Στα υπάρχοντα κεντρικά ίχνη διενεργείται ο γνωστός έλεγχος πύλης με την νέα λίστα ιχνών της τρέχουσας σάρωσης και σχηματίζεται η νέα λίστα ιχνών. Έπειτα εφαρμόζεται ο αλγόριθμος πολυδιάστατης ανάθεσης που περιγράφεται στο 4.4.2. Το αποτέλεσμα της ανάθεσης είναι μια λίστα από 5-αδες ιχνών που αναπαρίστανται με τη μεταβλητή της εξίσωσης (4.4.12), και σύμφωνα με το

αποτέλεσμα της ανάθεσης γίνεται η διαγραφή των ιχνών (πρακτικά γίνεται «κλάδεμα» του δέντρου των υποθέσεων). Στις επόμενες υποενοότητες γίνεται περιγραφή των σημαντικότερων βημάτων του αλγόριθμου.

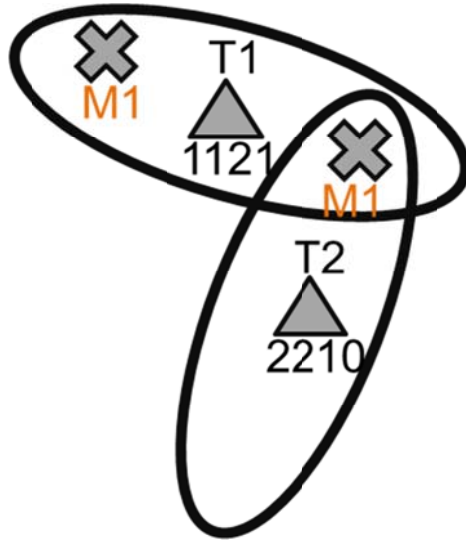


Εικόνα 4-8 Αρχιτεκτονική Προτεινόμενου Αλγόριθμου ΙΠΥ

Σε κάθε σάρωση γίνεται πρόβλεψη της κατάστασης των ιχνών και ακολούθως εκτελείται ο έλεγχος πύλης όπου γίνεται η ανανέωση της λίστας ιχνών. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε 2 κεντρικά ίχνη στη σάρωση N-1 (Εικόνα 4-9). Το T1 έχει συσχετιστεί με το 1^ο ίχνος στη σάρωση N-5, το 1^ο ίχνος στη σάρωση N-4, το 2^ο ίχνος στη σάρωση N-3, κλπ. Το T2 έχει συσχετιστεί με το 2^ο ίχνος στη σάρωση N-5, το 2^ο ίχνος στη σάρωση N-4, το 1^ο ίχνος στη σάρωση N-3, κλπ. Στη σάρωση N-1 λαμβάνονται 2 ίχνη. Τα αποτελέσματα του ελέγχου πύλης απεικονίζονται στην Εικόνα 4-10. Τα νέα κεντρικά ίχνη που δημιουργούνται από την επέκταση των προηγούμενων απεικονίζονται σε μορφή πίνακα (Πίνακας 4-2) και δέντρου (Εικόνα 4-11).



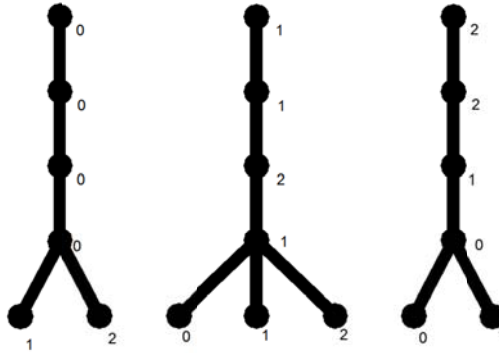
Εικόνα 4-9 Η τεχνική του κυλιόμενου παραθύρου 4 σαρώσεων. Η συσχέτιση 4 σαρώσεις πριν είναι παγιωμένες. Στη σάρωση N, οι αναθέσεις από τη σάρωση N-4 και πριν δεν μεταβάλλονται



Εικόνα 4-10 Έλεγχος πύλης κεντρικών ιχνών με τα ίχνη της σάρωσης N-1

0	0	0	0	1
0	0	0	0	2
1	1	2	1	0
1	1	2	1	1
1	1	2	1	2
2	2	1	0	0
2	2	1	0	1

Πίνακας 4-2 Οι υποθέσεις σε μορφή αναπαράστασης πίνακα.



Εικόνα 4-11 Οι υποθέσεις σε μορφή αναπαράστασης δέντρου.

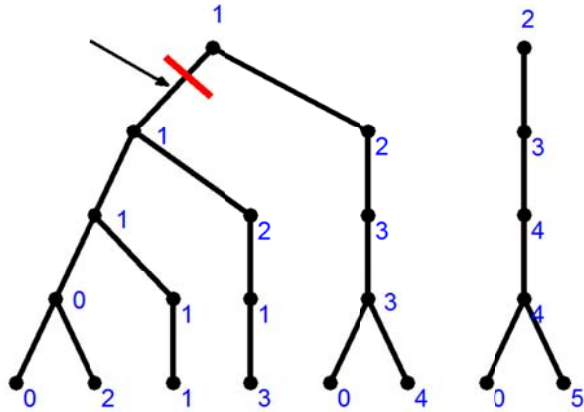
Τα κόστη ανάθεσης ανανεώνονται χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (4.4.13) και (4.4.14). Η ανανέωση του διανύσματος κατάστασης ενός κεντρικού ίχνους της σάρωσης N-1 που συσχετίστηκε με ένα τοπικό ίχνος στη, γίνεται με τις ακόλουθες εξισώσεις σύντηξης ιχνών [21].

$$\tilde{x} = \tilde{x}_i + (P_i - P_{ij})(P_i + P_j - P_{ij} - P_{ji})^{-1}(\tilde{x}_j - \tilde{x}_i) = \tilde{x}'_i S_{ij}^{-1} \tilde{x}_j \quad (4.4.22)$$

$$P = P_i + (P_i - P_{ij})(P_i + P_j - P_{ij} - P_{ji})^{-1}(P_j - P_{ji}) \quad (4.4.23)$$

όπου P_i , P_j είναι οι πίνακες συνδιακύμανσης των εκτιμήσεων $x_{j_{N-5 \dots j_{N-1}}}$, and $x_i^{j_{N-1}}$ αντίστοιχα. Με P_{ij} συμβολίζεται ο πίνακας δια-συνδιακύμανσης ανάμεσα στα δύο ίχνη[22].

Μετά την ανανέωση των ιχνών εφαρμόζεται ο αλγόριθμος της πολυδιάστατης ανάθεσης. Το αποτέλεσμα της ανάθεσης είναι ένα σύνολο από 5-αδες ιχνών που ελαχιστοποιούν το κόστος ανάθεσης. Έχοντας για παράδειγμα την Εικόνα 4-12, το αποτέλεσμα της πολυδιάστατης ανάθεσης θα είναι τα ίχνη $\{[12334], [23445]\}$. Διατηρούνται μόνο τα ίχνη που έχουν κοινή ρίζα με τα ίχνη του αποτελέσματος της ανάθεσης (Εικόνα 4-12). Η διαδικασία αυτή αποκαλείται κλάδεμα ιχνών.

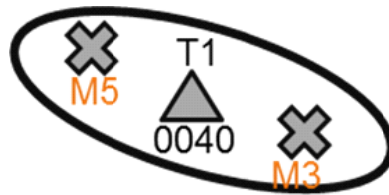


Εικόνα 4-12 Κλάδεμα ιχνών μετά την εφαρμογή της πολυδιάστατης ανάθεσης. Διαγράφονται τα ιχνη που δεν έχουν τον ίδιο πατέρα 3 σαρώσεις πριν με τα ιχνη που ανατέθηκαν από την πολυδιάστατη ανάθεση .

Μετά την διαδικασία του κλαδέματος, τα παρόμοια ιχνη πρέπει να συγχωνευτούν. Για το σκοπό αυτό πρέπει να οριστεί ένα κριτήριο ομοιότητας. Στην προτεινόμενη μέθοδο, τα κεντρικά ιχνη που μοιράζονται τουλάχιστον 3 τοπικά ιχνη και η στατιστική τους απόσταση είναι μικρότερη από μία τιμή κατωφλίου μπορούν να συγχωνευθούν. Επίσης, για να θεωρούνται δύο κεντρικά ιχνη συμβατά δεν πρέπει σε καμία σάρωση να έχουν ανατεθεί σε δύο διαφορετικά τοπικά ιχνη. Για παράδειγμα τα ιχνη [12222] [12122] αν και μοιράζονται πάνω από 3 τοπικά ιχνη, στη σάρωση N-2 το πρώτο γενικό ιχνος έχει ανατεθεί στο 2^ο τοπικό ιχνος ενώ το 2^ο κεντρικό ιχνος έχει ανατεθεί στο 1^ο τοπικό ιχνος. Επίσης το εικονικό ιχνος θεωρείται συμβατό με οποιοδήποτε τοπικό ιχνος. Στον Πίνακα 4-3 για παράδειγμα τα ιχνη στις γραμμές 1,3 και 4 θεωρούνται συμβατά και συνεπώς συγχωνεύονται. Το ιχνος που έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα διατηρείται ενώ τα άλλα διαγράφονται. Η πιθανοφάνεια των ιχνών που διαγράφονται προστίθεται σε αυτή του ιχνος που διατηρείται. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις η συγχώνευση ιχνών μπορεί να προκαλέσει προβλήματα. Ειδική μέριμνα απαιτείται στις περιπτώσεις όπου 2 τοπικά ιχνη βρίσκονται εντός της πύλης ενός κεντρικού ιχνος (Εικόνα 4-13). Ο πίνακας υποθέσεων διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον Πίνακα 4-3.

0	0	0	0	3
0	0	0	0	5
0	0	4	0	0
0	0	4	0	3
0	0	4	0	5

Πίνακας 4-3 Ο πίνακας υποθέσεων όπως διαμορφώνεται όταν δύο τοπικά ιχνη βρίσκονται στην πύλη ενός κεντρικού ιχνος.



Εικόνα 4-13 Δύο τοπικά ιχνη βρίσκονται στην πύλη ενός κεντρικού ιχνος.

Μετά την εφαρμογή της συγχώνευσης ιχνών θα δημιουργηθούν δύο κεντρικά ιχνη, τα {[00403], [00405]}. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τα τοπικά ιχνη 3 και 5 της σάρωσης N να μπορούν να συσχετιστούν με το τοπικό ιχνος 4 της σάρωσης N-2. Με αυτό το τρόπο τα ιχνη 3 και 5 δεν μπορούν να αρχικοποιήσουν ένα νέο γενικό ιχνος. Στην προτεινόμενη τεχνική λαμβάνεται αυτή η περίπτωση υπόψη και τα δύο πρώτα ιχνη του Πίνακα 4-3 να διατηρούνται.

Το χαρακτηριστικό ταυτότητας του οχήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην διαδικασία συγχώνευσης ιχνών. Ας υποθέσουμε ότι υπάρχει μόνο ένα τοπικό ιχνος στις σαρώσεις N-1 και N-3. Γνωρίζοντας ότι αυτό το ιχνος προέρχεται από το όχημα με ταυτότητα 1, συνεπάγεται ότι αυτό το

ίχνος αναπαριστά τον ίδιο στόχο. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη στη διαδικασία της συγχώνευσης. Στον Πίνακα 4-4 αναπαρίσταται αυτή η συγκεκριμένη περίπτωση. Τα κεντρικά ίχνη στις γραμμές 2 και 3 δεν θεωρούνται συμβατά. Ωστόσο στις σαρώσεις N-1 και N-3 έχουν συσχετιστεί με κοινό τοπικό ίχνος το οποίο αντιστοιχεί στο ίδιο όχημα. Άρα γνωρίζουμε ότι το όχημα με αναγνωριστικό “1” πρέπει να αναπαρίσταται από ένα και μόνο ίχνος. Συνεπώς τα ίχνη των γραμμών 2 και 3 πρέπει να συγχωνευτούν, διαφορετικά υπάρχει η περίπτωση να παραχθούν δύο επιβεβαιωμένα ίχνη για ένα μοναδικό στόχο.

LRR	VANET	LRR	VANET	LRR
1	1	1	1	0
1	1	1	1	1
1	1	1	1	2
0	0	0	0	1
0	0	0	0	2

Πίνακας 4-4 Ένας πραγματικός στόχος έχει συσχετιστεί με δύο μετρήσεις του ραδιοεντοπιστή στην τελευταία σάρωση. Με την τεχνική του κυλιόμενου παραθύρου και την χρήση το αναγνωριστικού ταυτότητας δικτύου φαίνεται ότι τα ίχνη αναπαριστούν τον ίδιο στόχο.

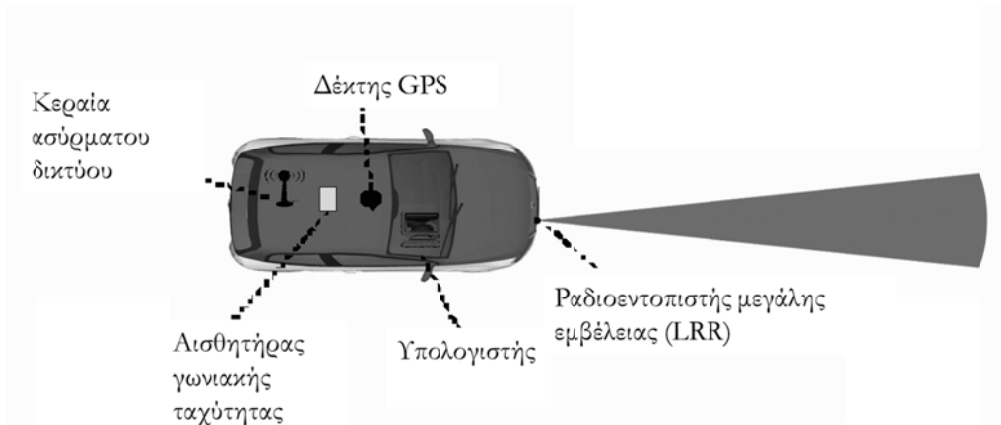
Το τελευταίο βήμα της μείωσης του αριθμού των ιχνών είναι η διαγραφή των ιχνών χαμηλής πιθανότητας. Στην προτεινόμενη μέθοδο, η διαδικασία αυτή εκτελείται μόνο σε περιπτώσεις που ο αριθμός των γενικών ιχνών ξεπεράσει ένα καθορισμένο κατώφλι. Ο λόγος για αυτό είναι ότι τα ίχνη που μόλις έχουν δημιουργηθεί έχουν χαμηλή πιθανότητα και άρα είναι εκείνα που διαγράφονται πρώτα, ενώ ίχνη που έχουν διάρκεια ζωής πολλών σαρώσεων διατηρούνται έστω και εάν για ένα στόχο υπάρχουν πάνω από ένα ίχνη. Για παράδειγμα τα ίχνη των γραμμών 3 και 4 του Πίνακα 4-3 έχουν πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα από αυτά των γραμμών 1 και 2. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τα ίχνη 3 και 4 να διατηρηθούν έστω και εάν αναπαριστούν τον ίδιο στόχο.

Το τελευταίο βήμα του αλγόριθμου περιλαμβάνει την εξαγωγή της λίστας των επιβεβαιωμένων ιχνών. Αυτό γίνεται με το σχηματισμό της πιο πιθανής υπόθεσης ιχνών, τα ίχνη που περιέχονται στην υπόθεση θεωρούνται ως επιβεβαιωμένα. Για το σχηματισμό της πιο πιθανής υπόθεσης τα ίχνη ταξινομούνται με φθίνουσα σειρά πιθανότητας. Το ίχνος με τη μεγαλύτερη πιθανότητα προστίθεται στην υπόθεση. Ακολούθως τα επόμενα σε σειρά πιθανότητας ίχνη προστίθενται στην υπόθεση με την προϋπόθεση ότι είναι συμβατά με τα υπόλοιπα ίχνη που περιέχονται στην υπόθεση και η πιθανότητά τους είναι μεγαλύτερη από μία τιμή κατωφλίου.

4.5 Αρχιτεκτονική Συστήματος

4.5.1 Αρχιτεκτονική Οχημάτων

Τα σενάρια δοκιμών περιλάμβανε δύο οχήματα. Το «ίδιον» όχημα είναι το ερευνητικό όχημα του ΕΠΙΣΕΕΥ, ενώ για τη συγκεκριμένη εφαρμογή η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στην Εικόνα 4-14.



Εικόνα 4-14 Αρχιτεκτονική «ίδιου» οχήματος

Χρησιμοποιήθηκε ένας ραδιοεντοπιστής μεγάλης εμβέλειας που λειτουργεί στη συχνότητα των 77 GHz και έχει γωνία παρατήρησης 11° και εμβέλεια 150 μέτρων. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν οι αισθητήρες ταχύτητας, γωνιακής και γραμμικής ταχύτητας και ο δέκτης GPS που βρίσκονταν εγκατεστημένοι στο όχημα. Για το σκοπό της ασύρματης επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκαν η αντίστοιχη κεραία και δέκτης συμβατά με το πρωτόκολλο 802.11g. Η συλλογή δεδομένων, η οπτικοποίηση και εκτέλεση των αλγορίθμων πραγματοποιούνται από ένα αυτοκινητιστικό υπολογιστή.

Το δεύτερο όχημα είναι ένα πολιτικό αυτοκίνητο στο οποίο έχει εγκατασταθεί μία φορητή πλατφόρμα αισθητήρων (Εικόνα 4-15 και Εικόνα 4-16). Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει αισθητήρες ταχύτητας, επιτάχυνσης, γωνιακής ταχύτητας και ένα δέκτη GPS. Το απαραίτητο λογισμικό εκτελείται από έναν φορητό υπολογιστή ο οποίος φέρει και την απαραίτητη συσκευή διασύνδεσης με το ασύρματο δίκτυο.



Εικόνα 4-15 Εξωτερική διασύνδεση φορητής μονάδας αισθητήρων



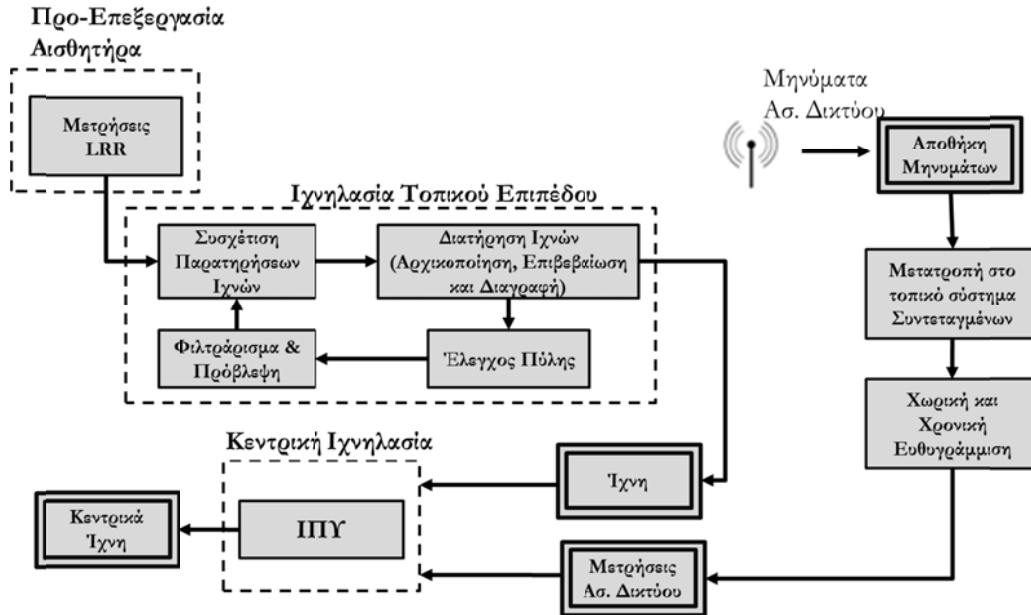
Εικόνα 4-16 Εικόνα από το εσωτερικό της φορητής μονάδας αισθητήρων

4.5.2 Αρχιτεκτονική Αλγορίθμων

Τα δύο οχήματα επικοινωνούν μέσω ενός δικτύου Wi-Fi. Τα οχήματα μεταδίδουν ένα προκαθορισμένο μήνυμα κάθε 250 ms. Το μήνυμα περιέχει τις ακόλουθες πληροφορίες: χρόνο μετάδοσης, αναγνωριστικό οχήματος, θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση και γωνιακή ταχύτητα. Για το σκοπό του συγχρονισμού σε ένα κοινό χρονικό σύστημα αναφοράς οι υπολογιστές των δύο οχημάτων συγχρονίζονται με το ρολόι των δεκτών GPS.

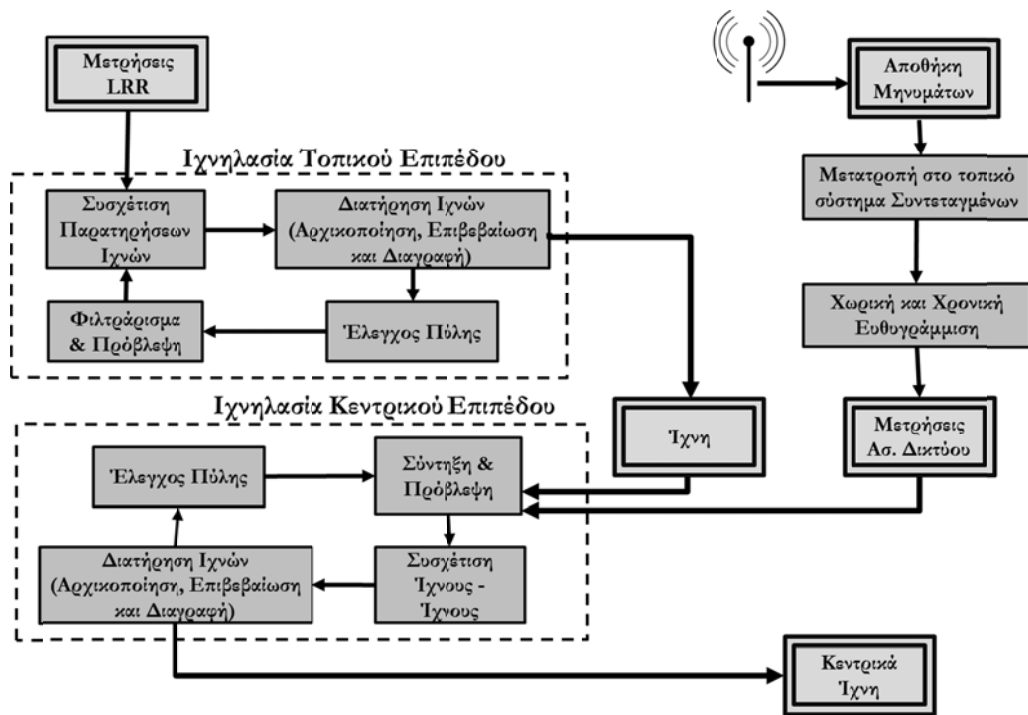
Η αρχιτεκτονική του αλγορίθμου που εκτελείται στο «ίδιου» όχημα απεικονίζεται στην Εικόνα 4-17. Η ιχνηλασία τοπικού επιπέδου ενεργοποιείται κάθε φορά που λαμβάνεται ένα νέο σύνολο

παρατηρήσεων από τον ραδιοεντοπιστή ή μετά την πάροδο ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος στην περίπτωση που ο αισθητήρας δεν μεταδίδει νέες μετρήσεις. Ο αλγόριθμος τοπικής ιχνηλασίας ιχνηλατεί τις παρατηρήσεις του ραδιοεντοπιστή και μεταδίδει ένα σύνολο επιβεβαιωμένων τοπικών ιχνών. Τα μηνύματα ασύρματου δικτύου ευθυγραμμίζονται χωρικά και χρονικά με τα ίχνη του τοπικού ιχνηλάτη. Οι δύο λίστες ιχνών συσχετίζονται και συγχωνεύονται με τον αλγόριθμο που περιγράφηκε στην παράγραφο 4.4. Η τελική έξοδος του αλγόριθμου είναι μια κεντρική λίστα επιβεβαιωμένων ιχνών.



Εικόνα 4-17 Αρχιτεκτονική Αλγορίθμου

Για τη σύγκριση του προτεινόμενου αλγόριθμου, χρησιμοποιήθηκε και μία αρχιτεκτονική με ιχνηλασία κεντρικού επιπέδου που χρησιμοποιεί τη μέθοδο του κοντινότερου γείτονα για την συσχέτιση των ιχνών του ραδιοεντοπιστή και των μηνυμάτων του ασύρματου δικτύου (Εικόνα 4-18).



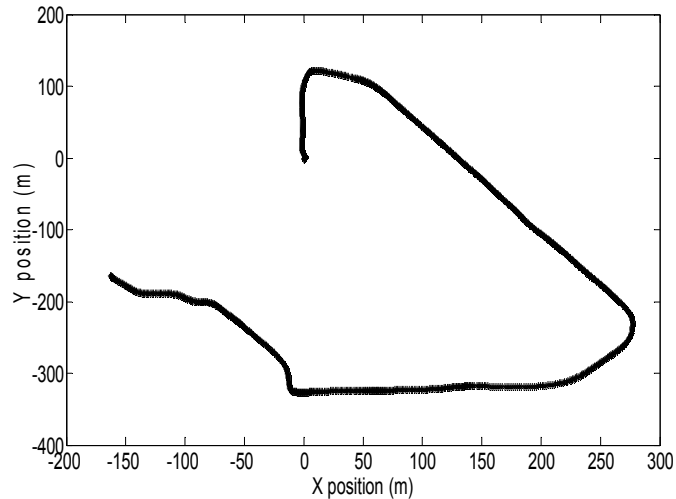
Εικόνα 4-18 Αρχιτεκτονική αναφοράς με ιγνηλασία κεντρικού επιπέδου μίας υπόθεσης

4.6 Σενάρια και Αποτελέσματα

Για τον έλεγχο της απόδοσης του προτεινόμενου αλγόριθμου συσχέτισης δεδομένων εκτελέστηκαν μία σειρά πειραμάτων με πραγματικά δεδομένα. Τα πειράματα χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες. Στη πρώτη σειρά μετρήσεων έγινε σύγκριση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής συσχέτισης δεδομένων με μία απλούστερη αρχιτεκτονική βασισμένη στον αλγόριθμο GNN. Η αρχιτεκτονική αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 4-18. Επίσης ένα τρίτο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για σύγκριση είναι η χρήση μόνο του ραντάρ (χωρίς δεδομένα δικτύου) για την ανίχνευση αντικειμένων.

Για το σκοπό της μέτρησης της ακρίβειας της εκτίμησης, τα δύο οχήματα είναι εξοπλισμένα με ένα διαφορικό δέκτη GPS ο οποίος προσφέρει ακρίβεια της τάξης του εκατοστού. Τα οχήματα εκτός της θέσης που στέλνουν και χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο που περιγράφηκε, μεταδίδουν και την διαφορική θέση υψηλής ακρίβειας η οποία αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται για τη σύγκριση με την εκτίμηση θέσης του αλγόριθμου.

Το σενάριο έλαβε χώρα στην πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το ίδιο όχημα ακολουθούσε ένα προπορευόμενο αυτοκίνητο ενώ και τα δύο αποτελούσαν μέρος του ασύρματου δικτύου που περιγράφηκε και αντάλλαξαν μεταξύ τους το προκαθορισμένο μήνυμα. Η διαδρομή (Εικόνα 4-19) αποτελείται τόσο από ευθείες όσο και από στροφές, ώστε να μπορεί να γίνει εμφανής η χρησιμότητα του ασύρματου δικτύου σε περιπτώσεις που ο ραδιοεντοπιστής δε μπορεί να ανιχνεύσει το προπορευόμενο όχημα εξαιτίας της στροφής. Το οδικό περιβάλλον μπορεί να θεωρηθεί ως αστικό, καθώς η κυκλοφορία πραγματοποιείται σε ένα ρεύμα ανά κατεύθυνση και στις άκρες του δρόμου υπάρχουν πεζοδρόμια, σταθμευμένα οχήματα. Επίσης ο μεγάλος αριθμός πινακίδων αποτελεί μια ακόμα πηγή ανεπιθύμητων επιστροφών για το ραδιοεντοπιστή. Συνεπώς το περιβάλλον αποτελείται από πολλές πηγές ανεπιθύμητων επιστροφών του ραντάρ και κρίνεται ως ιδιαίτερα απαιτητικό για έναν αλγόριθμο ιγνηλασίας. Ο συνολικός χρόνος καταγραφής ήταν 8 λεπτά και αποτελούταν από περίπου 6000 σαρώσεις δεδομένων ραντάρ και ασυρμάτου δικτύου.



Εικόνα 4-19 Διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

Για τη σύγκριση των αλγορίθμων θεσπίστηκαν ορισμένα αντικειμενικά μέτρα αξιολόγησης :

- Το αριθμό των σαρώσεων όπου η μέτρηση του ραδιοεντοπιστή και η θέση του GPS συσχετίζονται σωστά
- Τον αριθμό των επαναρχικοποιήσεων του ίχνους που αντιπροσωπεύει το προπορευόμενο όχημα. Το μέτρο αυτό υποδηλώνει πόσες φορές το κεντρικό ίχνος που περιγράφει το προπορευόμενο όχημα χάθηκε και αρχικοποιήθηκε ως νέο ίχνος
- Το πλήθος των σαρώσεων όπου το προπορευόμενο όχημα αναπαρίσταται από δύο ίχνη (διαχωρισμός ίχνών). Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί όταν ο αλγόριθμος σύνδεσης δεδομένων αποτύχει να συσχετίσει ορθά το ίχνος του ραδιοεντοπιστή με την ληφθείσα θέση.
- Τον αριθμό των σαρώσεων όπου ο αλγόριθμος περιέγραψε το προπορευόμενο όχημα σαν ένα επιβεβαιωμένο κεντρικό ίχνος.

4.6.1 Σενάριο Συνεργατικού ACC

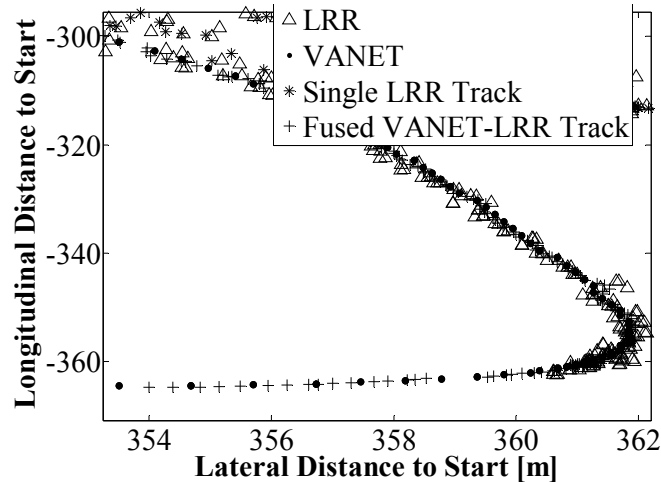
Στον Πίνακα 4-5 απεικονίζονται τα αποτελέσματα από το σενάριο που περιγράφηκε.

#	ACC	GNN	ΠΥΠΠ
Λανθασμένες συσχετίσεις θέσης GPS και ραντάρ	N/A	26	2
Επαναρχικοποιήσεις ίχνους	13	24	6
Διαχωρισμός Ιχνών	0	29	0
Σαρώσεις που ο στόχος εντοπίστηκε	3260	5998	5998

Πίνακας 4-5 Αποτελέσματα των τριών αλγορίθμων στο σενάριο συνεργατικού ACC

Αρχικά είναι προφανές ότι το συνεργατικό σύστημα εντοπίζει για πολύ περισσότερες σαρώσεις το στόχο απ' ότι ένα απλό σύστημα με ραδιοεντοπιστή. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι παρότι το ραντάρ έχει ικανοποιητική εμβέλεια, το περιορισμένο εύρος παρατήρησης αποτρέπει τον

εντοπισμό υπό μεγάλες γωνίες (όπως συμβαίνει στις στροφές) ή ακόμα σε περιπτώσεις όπου το προπορευόμενο όχημα αποκορύπτεται από τη στροφή. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας περίπτωσης απεικονίζεται στην Εικόνα 4-20. Αυτό εξηγεί το λόγο όπου στα αποτελέσματα φαίνεται ότι το σύστημα που βασίζεται μόνο σε ραντάρ εμφανίζει συχνές επαναρχικοποιήσεις ίχνους, το ίχνος χάνεται κατά τη διάρκεια της στροφής και αρχικοποιείται πάλι με νέο ID στην ευθεία όταν πλέον εντοπιστεί πάλι από το ραντάρ.



Εικόνα 4-20 Οι μετρήσεις του ραντάρ απεικονίζονται με τρίγωνο και οι μετρήσεις του δικτύου με τελεία. Τα ίχνη που προέρχονται μόνο από το ραδιοεντοπιστή απεικονίζονται με αστερίσκο ενώ τα ίχνη που συσχετίστηκαν με μία θέση από μήνυμα VANET απεικονίζονται με σταυρό. Στα τμήματα που αποτελούνται από ευθείες το ραντάρ εντοπίζει το προπορευόμενο όχημα. Στη στροφή ο ραδιοεντοπιστής χάνει το όχημα και η ιχνηλασία συνεχίζεται μόνο με τις μετρήσεις του ασύρματου δικτύου.

	GNN	ΠΥΥΠ
Εγκάρσιο Σφάλμα Εκτίμησης Θέσης (m)	2.94	1.34
Διαμήκες Σφάλμα Εκτίμησης Θέσης (m)	1.09	0.94
Σφάλμα εκτίμησης Ταχύτητας (m/s)	4.21	2.35

Πίνακας 4-6 Σφάλματα εκτίμησης θέσης και ταχύτητας για τους αλγόριθμους ΠΥΥΠ και GNN

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μεθόδων GNN και ΜΗΤ μπορούν να βγουν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα. Ο αλγόριθμος ΠΥΥΠ κάνει της σωστή συσχέτιση μεταξύ της λαμβανόμενης θέσης GPS και των ίχνων του ραντάρ στις περισσότερες σαρώσεις. Αυτό φανερώνει το πλεονέκτημα της χρήσης του κυλιόμενου παραθύρου για την επίλυση των αμφιβολιών. Στον αλγόριθμο GNN, χρησιμοποιείται πάντοτε η κοντινότερη στατιστικά απόσταση για την ανανέωση της κατάστασης του ίχνους, κάτι που δεν είναι πάντοτε σωστό. Επίσης ο αλγόριθμος ΠΥΥΠ αναπαριστά το προπορευόμενο όχημα με ένα ίχνος ενώ ο αλγόριθμος GNN δίνει σε 29 σαρώσεις δύο ίχνη για τα το προπορευόμενο όχημα. Μία άλλη σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι η συμπεριφορά του αλγόριθμου στις περιπτώσεις που το σφάλμα της θέσης του δέκτη GPS γίνεται θορυβώδες εξαιτίας συνθηκών όπως η απόκρυψη ενός η περισσότερων δορυφόρων εξ' αιτίας της θέσης του οχήματος τη δεδομένη στιγμή. Σε μία τέτοια περίπτωση εάν το τοπικό ίχνος

του GPS δεν συσχετιστεί με το τρέχον κεντρικό ίχνος, ο αλγόριθμος GNN δημιουργεί ένα νέο κεντρικό ίχνος. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος απαιτείται η χρήση μεγαλύτερης πύλης. Ο αλγόριθμος ΠΠΥΠΠ μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά με μεγαλύτερο μέγεθος πύλης σε σχέση με τον GNN, αφού μπορεί να διαχειριστεί περιπτώσεις όπου δύο ή περισσότερα ίχνη βρίσκονται εντός της πύλης. Αντίθετα, η χρήση μεγάλου μεγέθους πύλης στον GNN οδηγεί σε εσφαλμένες συσχετίσεις και αποτρέπει την αρχικοποίηση νέων ίχνων.

Εξετάζοντας την ακρίβεια της εκτίμησης, ο αλγόριθμος GNN είχε χειρότερα αποτελέσματα από την ΠΠΥΠΠ (Πίνακας 4-6). Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η μέθοδος GNN συσχετίζει λιγότερο συχνά ένα κεντρικό με ένα τοπικό ίχνος, κάτι που οδηγεί στην λανθασμένη ανανέωση της κατάστασης του ίχνους και άρα μειώνοντας την ακρίβεια της εκτίμησης. Επίσης καθώς ο αλγόριθμος GNN αρχικοποιεί περισσότερες φορές ένα νέο ίχνος, στις πρώτες σαρώσεις μετά την εκτίμηση η ακρίβεια είναι μειωμένη.

4.6.2 Συνεργατικές Εφαρμογές

Στην επόμενη σειρά δοκιμών εξετάστηκαν ορισμένα αντιπροσωπευτικά σενάρια συνεργατικής αποφυγής σύγκρουσης. Σε όλα τα σενάρια είναι εμφανής η αυξημένη αντίληψη που προσφέρει ένα συνεργατικό σύστημα έναντι ενός αυτόνομου. Αν και τα σενάρια αφορούν μια ευρεία περιοχή εφαρμογών αποφυγής σύγκρουσης όπως οι διασταυρώσεις, οι προσπεράσεις και ακίνητα εμπόδια, η εισαγωγή της ασύρματης επικοινωνίας λύνει ένα μεγάλο μέρος του προβλήματος της κάλυψης των εγκατεστημένων αισθητήρων. Στους πίνακες 4-7 έως 4-9 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών. Από τα αποτελέσματα επίσης φαίνονται οι ανώτερες επιδόσεις της ΠΠΥΠΠ σε σχέση με τον GNN.

#	ACC	GNN	ΠΠΥΠΠ
Λανθασμένες συσχετίσεις θέσης GPS και ραντάρ	N/A	0	0
Επαναρχικοποιήσεις ίχνους	0	4	0
Διαχωρισμός Ιχνών	0	0	0
Σαρώσεις που ο στόχος εντοπίστηκε	7	280	280

Πίνακας 4-7 Δύο οχήματα σε διασταύρωση, το ίδιο οχήμα είναι ακινητοποιημένο ενώ το άλλο διασχίζει το δρόμο

#	ACC	GNN	ΠΥΥΠ
Λανθασμένες συσχετίσεις θέσης GPS και ραντάρ	N/A	0	0
Επαναρχικοποιήσεις ίχνους	0	3	0
Διαχωρισμός Ιχνών	0	0	0
Σαρώσεις που ο στόχος εντοπίστηκε	182	700	700

Πίνακας 4-8 Τα δύο οχήματα κινούνται παράλληλα και στη συνέχεια το δεύτερο αυτοκίνητο προσπερνά το ίδιο όχημα

#	ACC	GNN	ΠΥΥΠ
Λανθασμένες συσχετίσεις θέσης GPS και ραντάρ	N/A	9	2
Επαναρχικοποιήσεις ίχνους	0	0	0
Διαχωρισμός Ιχνών	0	11	6
Σαρώσεις που ο στόχος εντοπίστηκε	560	1064	1064

Πίνακας 4-9 Το ίδιο όχημα πλησιάζει το δεύτερο όχημα που βρίσκεται ακινητοποιημένο

Σε όλα τα σενάρια ο αλγόριθμος πολλαπλών υποθέσεων αντιμετωπίζει αποτελεσματικότερα το πρόβλημα της θορυβώδους θέσης του GPS και τα σφάλματα χρονισμού. Αυτό δε συμβαίνει μόνο λόγω της διάδοσης περισσότερων υποθέσεων στο χρόνο αλλά και λόγω των επιπρόσθετων λειτουργιών του προτεινόμενου αλγόριθμου ίχνηλασίας. Η διαδικασία συγχώνευσης ίχνων για παράδειγμα, μειώνει την πιθανότητα ένας στόχος να αναπαρίστανται από δύο ίχνη. Επίσης η χρήση του αναγνωριστικού δικτύου συνεισφέρει στην διατήρηση του κεντρικού ίχνους και την ανανέωσή του με το σωστό τοπικό ίχνο, ακόμα και εάν κατά τη διαδικασία της συσχέτισης δεν ανατέθηκε το σωστό ίχνο ή σε περίπτωση που η σωστή υπόθεση ίχνους δεν έχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα.

4.7 Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό ασχολήθηκε με το πρόβλημα της συσχέτισης των ίχνων που προέρχονται από ένα αισθητήρα ραντάρ με τις θέσεις που μεταδίδουν άλλα οχήματα μέσω ενός ασύρματου δικτύου. Αρχικά παρουσιάστηκε η χωρική και χρονική ευθυγράμμιση των δεδομένων. Ένας τροποποιημένος αλγόριθμος πολλαπλών υποθέσεων προτάθηκε προκειμένου να γίνει χρήση των επιπρόσθετων πληροφοριών που προέρχονται από το ασύρματο δίκτυο. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε δύο οχήματα σε μια ποικιλία σεναρίων. Επιπρόσθετα παρουσιάστηκαν άλλοι δύο αλγόριθμοι για τη σύγκριση με τον προτεινόμενο αλγόριθμο. Ο πρώτος αλγόριθμος έκανε χρήση της μεθόδου του κοντινότερου γείτονα (GNN) για τη συσχέτιση των λαμβανόμενων θέσεων GPS και των ίχνων του ραντάρ. Ο δεύτερος αλγόριθμος έκανε μόνο χρήση του εγκατεστημένου ραντάρ για την ανίχνευση των αντικειμένων. Οι δοκιμές σε πραγματικά δεδομένα έδειξαν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος πολλαπλών υποθέσεων παρουσιάζει ανώτερες επιδόσεις από

το GNN. Επίσης αναδείχθηκε εμφανής η αυξημένη αντίληψη που προσφέρει ένα συνεργατικό σύστημα αποφυγής σύγκρουσης σε διάφορα σενάρια.

4.8 Μελλοντική Έρευνα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η χρήση ενός αλγόριθμου πολλαπλών υποθέσεων για τη συσχέτιση δεδομένων σε ένα ασύρματο δίκτυο. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση ψηφιακών βάσεων δεδομένων χαρτών. Μια καινούρια γενιά χαρτών ειδικά για συστήματα υποβοήθησης οδηγού είναι υπό εξέλιξη [23]. Επίσης η χρήση τεχνικών εκτίμησης θέσης [24][24] χρησιμοποιώντας ψηφιακούς χάρτες, αδρανειακούς αισθητήρες και αισθητήρες ανίχνευσης λωρίδων παρέχουν βελτίωση σε σχέση με ένα απλό δέκτη GPS. Επίσης έχει προταθεί η χρήση δεδομένων χαρτών σε έναν αλγόριθμο ιχνηλασίας ([25][25]-[28]). Η βασική προσέγγιση δε αυτή την τεχνική είναι η ενσωμάτωση των περιορισμών που εισάγει το οδικό δίκτυο στην εκτίμηση της κατάστασης του στόχου. Επίσης η μετάδοση επιπρόσθετων (όπως π.χ. ο τύπος του οχήματος), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση του αλγόριθμου ιχνηλασίας [29]. Τέλος ο συνδυασμός ενός φίλτρου πολλαπλών μοντέλων (Interacting Multiple Mode filtering (IMM)), με ένα αλγόριθμο ιχνηλασίας πολλαπλών υποθέσεων μπορεί να παρέχει καλύτερα αποτελέσματα στην εκτίμηση της κατάστασης των ιχνών [31]

Τέλος ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να ελεγχθεί σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο εγκατεστημένων αισθητήρων καθώς και με περισσότερα οχήματα να μετέχουν στο ασύρματο δίκτυο.

- [1] R. P. Zeletin, I. Radusch, M. A. Rigani, *Vehicular-2-X Communication: State-of-the-Art and Research in Mobile Vehicular Ad hoc Networks*, New York: Springer-Verlag, 2010.
- [2] H. Guo, *Automotive Informatics and Communicative Systems: Principles in Vehicular Networks and Data Exchange*, IGI Global, 2009
- [3] J.B. Lyons, S.D. Swindler, J.A. White, "Network centric warfare: Organizational collaboration as a key enabler". In Proc. International Symposium on Collaborative Technologies and Systems, Irvine, CA, 2008.
- [4] S.Olariu (Editor), M. C. Weigle (Editor), *Vehicular Networks: From Theory to Practice*, Chapman and Hall/CRC, 2009
- [5] S. Wender, T. Weiss, K. Dietmayer, "Integration of Wireless Communication Data in a Sensor Based Vehicle Environment Model", In Proc. 4th International Workshop on Intelligent Transportation, Hamburg, 2007.
- [6] F. Ahlers, C. Stimming, "Cooperative Laserscanner Pre-Data-Fusion", In Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Eindhoven, 2008.
- [7] M. Rockl, T. Strang, M. Kranz, "V2V Communications in Automotive Multi-Sensor Multi-Target Tracking", In Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, VTC 2008-Fall, Calgary, 2008.
- [8] J. R. Moore, W. D. Blair, Y. Bar-Shalom (Ed.), *Multitarget-Multisensor Tracking: Advanced Applications*, Nonwood, MA: Artech House, 1990, ch. 1.
- [9] Y. Bar-Shalom, X. Lin, T. Kirubarajan, "Exact Multisensor Dynamic Bias Estimation with Local Tracks", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, April 2004, Vol. 40, Is.2, pp. 576 - 590
- [10] S. Blackman and R. Popoli, "Design and Analysis of modern tracking systems," Artech House, 1999.
- [11] T. Fortmann, Y. Bar-Shalom, M. Scheffe, "Sonar tracking of multiple targets using joint probabilistic data association", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 8, Iss. 3, pp.173 - 184, July 1983
- [12] R. Singer, R. Sea, K. Housewright, "Derivation and evaluation of improved tracking filter for use in dense multitarget environments", *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 20, pp. 423-432, Jul. 1974.
- [13] D. Reid, "An algorithm for tracking multiple targets", *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. 24, issue 6, pp. 423-432, Dec.1979.
- [14] T. Kurien, Y. Bar-Shalom (Ed.), *Multitarget-Multisensor Tracking: Advanced Applications*, Nonwood, MA: Artech House, 1990, ch. 3.
- [15] X. Rong Li, V.P.Jilkov, "Survey of maneuvering target tracking. Part I. Dynamic models", *IEEE Trans. on Aerospace And Electronic Systems* vol. 39, no. 4, pp 1333-1364, 2003
- [16] Brank Ristic, Sanjeev Arulampalam, Neil Gordon, *Beyond the Kalman Filter*, Artech House
- [17] A. Polychronopoulos, M. Tsogas, A. Amditis, Luisa Andreone. "Sensor Fusion for Predicting Vehicles' Path for Collision avoidance Systems". *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 3, September 2007.
- [18] A. B. Poore, A. J. Robertson III and P. J. Shea, "A New Class of Lagrangian Relaxation Based Algorithms for Fast Data Association in Multiple Hypothesis Tracking Applications," in Proc. SPIE Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition IV, Orlando, 1995.
- [19] S. Deb, M. Yeddanapudi, K. Pattipati, Y. Bar-Shalom, "A generalized s-d assignment algorithm for multisensor-multitarget state estimation", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 33, issue 2, pp.523-538, Apr. 1997.
- [20] M. L. Fisher, "The Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems". *Management Science*, vol. 27, no.1 pp. 1-18, 1981
- [21] Y. Bar-Shalom and L. Campo, "The Effect of the Common Process Noise on the Two-Sensor Fused-Track Covariance," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, Vol. AES-22, no. 6, pp. 803-805, November 1986.

- [22] Y. Bar-Shalom, "On the track-to-track correlation problem," *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 26, no. 2, pp. 571-572, April 1981
- [23] S. Ammoun, F. Nashashibi, A. Brageton, "Design of a new GIS for ADAS oriented applications", In Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, San Diego, CA, USA, 2010.
- [24] N. Mattern, R. Schubert, G. Wanielik, "High-accurate vehicle localization using digital maps and coherency images", In Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, San Diego, CA, USA, 2010
- [25] C. Yang, E. Blasch, "Fusion of Tracks with Road Constraints", *Journal of Advances in Information Fusion*, vol. 3, issue. 1, pp. 14-32, 2008.
- [26] T. Kirubarajan, Y.Bar-Shalom, K.R. Pattipati, I. Kadar, "Ground Target Tracking with Variable Structure IMM Estimator", *IEEE Trans. on Aerospace And Electronic Systems* vol. 36, no. 1, pp 26-46, 2000
- [27] M. Ulmke, W. Koch, "Road-Map Assisted Ground Moving Target Tracking", *IEEE Trans. on Aerospace And Electronic Systems* vol. 42, no. 4, pp 1264-1274, 2006
- [28] D. Streller, "Road Map Assisted Ground Target Tracking", 11th International Conference on Information Fusion, Cologne, 2008
- [29] Y.Bar-Shalom, H. Chen, "Track-to-Track Association Using Attributes", *Journal of Advances in Information Fusion*, vol. 2, issue. 1, pp. 49-59, 2007
- [30] R.J. Dempster, S.S. Blackman, T.S. Nichols, "Combing IMM Filtering and MHT Data Association for Multitarget Tracking", in Proc 29th Southeastern Symposium on System Theory, Cookeville, TN, 1997
- [31] Leung, H., Blanchette, M., and Harrison, C. (1994) "A least squares fusion of multiple radar data". In Proc. of RADAR '94, Paris, 1994, 364—369.
- [32] Zhou, Y., Leung, H., and Yip, P, "An exact maximum likelihood registration for data fusion," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 45, issue 6, pp 1560—1573, 1997

Δημοσιεύσεις

A. Διεθνή Επιστημονικά Συνέδρια με Κριτές

1. Panagiotis Lytrivis, Georgios Thomaidis, Angelos Amditis, “A Vehicle-to-vehicle Cooperative Collision Warning Application”, *Proc. of 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation*, Athens, Greece, May 27-31, 2008.
2. George Thomaidis, Manolis Tsogas, Panagiotis Lytrivis, Angelos Amditis, “An Environment for Simulating Vehicle’s Motion Along Virtual Routes”, *Proc. of 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV’08)*, Eindhoven, The Netherlands, June 4-6, 2008, pp. 204-208.
3. Manolis Tsogas, Xun Dai, George Thomaidis, Panagiotis Lytrivis, Angelos Amditis, “Detection of Maneuvers Using Evidence Theory”, *Proc. of 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV’08)*, Eindhoven, The Netherlands, June 4-6, 2008, pp. 126-131.
4. Nikos Floudas, Panagiotis Lytrivis, Harris Avgoustidis, Malte Ahrholdt, George Thomaidis, Angelos Amditis, “Track Based Multi Sensor Data Fusion for Collision Mitigation”, *Proc. of 11th International Conference on Information Fusion (FUSION 2008)*, Cologne, Germany, June 30-July 3, 2008, pp 791-798.
5. Panagiotis Lytrivis, George Thomaidis, Angelos Amditis “Cooperative Path Prediction in Vehicular Environments”, *Proc. of 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Beijing, China, October 12-15, 2008
6. George Thomaidis, Hans-Ulrich Otto, Christina Kotsiourou, Matthaios Bimpas, “Validating automatic map deviation reporting and updating in a large scale scope”, *16th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services (ITS 2009)*, Stockholm, Sweden, 21-25 September 2009
7. George Thomaidis, Leonidas Spinoulas, Panagiotis Lytrivis, Malte Ahrholdt, Grant Grubb, Angelos Amditis, "Multiple Hypothesis Tracking for Automated Vehicle Perception" *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV’10)*, San Diego, CA, June 21-24, 2010.
8. Panagiotis Lytrivis, Manolis Tsogas, George Thomaidis, Giannis Karaseitanidis, and Angelos Amditis, "A Vehicular Filter Suitable for Co-operative Automotive Safety Applications," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV’10)*, San Diego, CA, June 21-24, 2010.
9. George Thomaidis, Christina Kotsiourou, Panagiotis Lytrivis, Malte Ahrholdt, Grant Grubb, Giannis Karaseitanidis, Angelos Amditis, “Road Environment Perception for Automated Vehicles”, *17th World Congress on Intelligent Transport Systems (ITS 2010)*, BEXCO, Busan, Korea, October 25-29, 2010.
10. Panagiotis Lytrivis, George Thomaidis, Ioannis Karaseitanidis, and Angelos Amditis, “Situation Refinement for In-vehicle Platforms in Vehicular Networks,” *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2010)*, Madeira Island, Portugal, 19 – 22 September 2010.
11. Frank Flemisch, Fawzi Nashashibi, Nadja Rauch, Anna Schieben, Sebastien Glaser, Gerald Temme, Paulo Resende, Benoit Vanholme, Christian Löper, George Thomaidis, Henning Mosebach, Jan Schomerus, Salim Hima, Armin Kausner, “Towards Highly Automated Driving: Intermediate report on the HAVEit-Joint System”, Transport Research Arena Europe 2010 (TRA 2010), Brussels

12. Thomaidis George, Kaffes Vassilis, Panagiotis Lytrivis, Manolis Tsogas, Giannis Karaseitanidis, Angelos Amditis, “Target tracking and fusion in vehicular networks”, IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'11), Baden-Baden,Germany, June 5-9, 2011
13. George Thomaidis, Angelos Amditis, Gerald Temme, Henning Mosebach, Frank Flemisch, “Integrated perception in automated vehicles”, 18th World Congress on Intelligent Transport Systems (ITS 2010), Orlando, USA, October 16-20, 2010.

B. Κεφάλαια σε Βιβλία

1. Sensor and Data Fusion, Edited by: Nada Milisavljevic, ISBN 978-3-902613-52-3, Hardcover, 436 pages, February 2009, Publisher: IN-TECH.,Chapter 7: Sensor Data Fusion in Automotive Applications, Panagiotis Lytrivis, George Thomaidis and Angelos Amditis.

Γ. Διεθνή Επιστημονικά Περιοδικά με Κριτές

1. Angelos Amditis, Matthaios Bimpas, George Thomaidis, Manolis Tsogas, Mariana Netto, Said Mammam, Achim Beutner, Nikolaus Möhler, Tom Wirthgen, Stephan Zipser, Aria Etemad, Mauro De Li, Renzo Cicilloni,“A Situation Adaptive Lane Keeping Support System: Overview of the SAFELANE Approach“,*IEEE Transactions on Intelligent Transport Systems*, Sept 2010, Vol. 11 ,Iss.:3,pp 627-639
2. Panagiotis Lytrivis, George Thomaidis, Manolis Tsogas, Angelos Amditis, “An advanced co-operative path prediction algorithm for safety applications in vehicular” *IEEE Transactions on Intelligent Transport Systems*, May 2011, Vol. PP ,Iss.:99,pp 1 - 11



ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ EUROPASS

Προσωπικές πληροφορίες

Επώνυμο (-α) / Όνομα (-τα)

Διεύθυνση (-εις)

Τηλέφωνο (-α)

Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο

Υπηκοότητα (ή υπηκοότητες)

Ημερομηνία γέννησης

Φύλο

Θωμαΐδης Γεώργιος

Λαοδικείας 10, Νίκαια, 18453

210 4966755

gthom@iccs.gr

Ελληνική

8/10/1984

Άρρεν

Επαγγελματική πείρα

Χρονολογίες

Απασχόληση ή θέση που κατείχατε

Κύριες δραστηριότητες και αρμοδιότητες

Όνομα και διεύθυνση εργοδότη

Τύπος ή τομέας δραστηριότητας

Χρονολογίες

Απασχόληση ή θέση που κατείχατε

Κύριες δραστηριότητες και αρμοδιότητες

Όνομα και διεύθυνση εργοδότη

Τύπος ή τομέας δραστηριότητας

2011-

Ερευνητής

Ιχνηλασία και σύντηξη δεδομένων σε συστήματα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Verkehrssystemtechnik

Lilienthalplatz 738108 Braunschweig

Ερευνητικό Ινστιτούτο

2007-2011

Ερευνητής

Ιχνηλασία και σύντηξη δεδομένων σε συστήματα αντίληψης οδικού περιβάλλοντος

Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών (ΕΠΙΣΕΥ)

Ηρώων Πολυτεχνείου 9 Ζωγράφου, Ελλάδα, 157 73

Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο

Εκπαίδευση και κατάρτιση

Χρονολογίες

Τίτλος του πιστοποιητικού ή διπλώματος

Διπλώματος

Κύρια θέματα / επαγγελματικές δεξιότητες

2007-2011

Διδακτορική Διατριβή

Τίτλος διατριβής : "Ιχνηλασία Πολλαπλών Αισθητήρων σε Αυτόνομα και Συνεργατικά Συστήματα Αντίληψης Οδικού Περιβάλλοντος"

Επωνυμία και είδος του οργανισμού που παρέχει την εκπαίδευση ή κατάρτιση

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Επίπεδο κατάρτισης με βάση την εθνική ή διεθνή ταξινόμηση

Διδάκτωρ

Χρονολογίες

2002-2007

Τίτλος του πιστοποιητικού ή διπλώματος

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ

Επωνυμία και είδος του οργανισμού που παρέχει την εκπαίδευση ή κατάρτιση

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Επίπεδο κατάρτισης με βάση την εθνική ή διεθνή ταξινόμηση

Δίπλωμα

Άλλη (-ες) γλώσσα (-ες)

Αυτοαξιολόγηση

1.Ευρωπαϊκό επίπεδο (*)

Αγγλικά

Γαλλικά

Κατανόηση		Ομιλία				Γραφή			
Προφορική		Γραπτή (ανάγνωση)		Επικοινωνία		Προφορική έκφραση			
(1)C2	2.Proficient user	(2)C2	(3)Proficient user	3.C2	(4)Proficient user	(5)C2	4.Proficient user	(6)C2	(7)Proficient user
(8)B2	5.Basic User	(9)B2	(10)Basic User	6.B2	(11)Basic User	(12)B2	7.Basic User	(13)B2	(14)Basic User

(*) [βαθμίδες του κοινού ευρωπαϊκού πλαισίου αναφοράς](#)