



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Τεχνικές Ομαδοποίησης για Επεξεργασία Δεδομένων Σαρωτή Λέιζερ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλειος Α. Καφφές

**Επιβλέπων :** Νικόλαος Ουζούνογλου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δρ. Άγγελος Αμδίτης, Ερευνητής Α' Ε.Μ.Π./ΕΠΙΣΕΥ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Τεχνικές Ομαδοποίησης για Επεξεργασία Δεδομένων Σαρωτή Λείζερ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλειος Α. Καφφές

**Επιβλέπων :** Νικόλαος Ουζούνογλου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δρ. Άγγελος Αμδίτης, Ερευνητής Α' Ε.Μ.Π./ΕΠΙΣΕΥ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 2011.

.....

Ν. Ουζούνογλου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Α. Αμδίτης

Ερευνητής Α' Ε.Μ.Π./ ΕΠΙΣΕΥ

.....

Δ. Κακλαμάνη

Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011



.....

Βασίλειος Α. Καφφές

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Βασίλειος Α. Καφφές, 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

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η υλοποίηση ενός συστήματος επεξεργασίας των δεδομένων ενός μονοστρωματικού σαρωτή λέιζερ (one layer LaserScanner) και η δημιουργία αξιόπιστης αναπαράστασης του περιβάλλοντα χώρου του αυτοκινήτου. Αυτό αποσκοπεί στο να γνωστοποιούνται στον οδηγό, οπτικά και ηχητικά, όλες οι προειδοποιητικές παρατηρήσεις του συστήματος επεξεργασίας αλλά και στο να επιτελούνται οι απαραίτητες διορθωτικές επεμβάσεις από το ανεπτυγμένο σύστημα ελέγχου. Παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο με τις τεχνικές ομαδοποίησης μετρήσεων από σαρωτή λέιζερ, με τα υποσυστήματα Φίλτρου Εκτίμησης, (με έμφαση στα φίλτρα τύπου Kalman), καθώς επίσης και με εκείνα της Σύνδεσης Δεδομένων (Data Association) και της Διαχείρισης Ιχνών (Track Management). Τα τελευταία επαρκούν για τη δημιουργία ενός συστήματος Ιχνηλασίας (Tracking). Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία αλγορίθμων που να υλοποιούν προγραμματιστικά τον στόχο που αναφέρθηκε στην αρχή της παρούσας περίληψης. Αναπτύχθηκαν μια σειρά υποπρογραμμάτων σε Matlab (για λόγους άμεσης προβολής των αποτελεσμάτων σε γραφικό περιβάλλον) που αντιστοιχούν σε τρεις κυρίως εφαρμογές, οι οποίες είναι: (α) Ομαδοποίηση μετρήσεων με αλγόριθμους τύπου PDBS και εφαρμογή συνθέσεων βάσει μιας σειράς κριτηρίων, (β) Η Εκτίμηση των Οδικών Ορίων με το μοντέλο των clothoid, κάνοντας χρήση φίλτρου τύπου Kalman, αλλά και η σταθεροποίηση των παραμέτρων των clothoid και (γ) Η δημιουργία ενός συγκεκριμένου συστήματος Ιχνηλασίας κινούμενων Οχημάτων (Tracking). Οι παραπάνω εφαρμογές ελέγχθηκαν ως προς την ορθή λειτουργία τους με εφαρμογή σε πραγματικά σενάρια κίνησης, με πραγματικά δεδομένα από το σαρωτή λέιζερ. Στα επόμενα κεφάλαια αναλύονται οι εφαρμογές αυτές καθώς και τα αποτελέσματά τους.

Λέξεις-Κλειδιά: Ομαδοποίηση, αντικείμενο, ομάδα, μονοστρωματικός Σαρωτής Λέιζερ, Επεξεργασία Δεδομένων Σαρωτή, Αποφυγή Συγκρούσεων, Εκτίμηση Οδικών Ορίων, clothoid, φίλτρο Kalman, Ιχνηλασία Οχημάτων.





## ABSTRACT

The purpose of this project is the development of a data processing system, fed with data from an onelayer LaserScanner and a reliable and robust reconstruction of vehicle's environment perception. Its utility lies in notifying the driver, visually and by using sound notifications, of all the processing system's observations, and also accomplishing all the correctional movements provided by the highly developed control system. The theoretical background is presented by the clustering techniques for laser scanner measurements, the Filter Estimation subsystems, (emphasizing the Kalman filters), as well as the Data Association and the Track Management systems. The latter suffice to create a complete Tracking system. The main target of this work is the development of the algorithms which shall accomplish the objective reported in the beginning of the present summary. Developed a series of subprograms in Matlab (Matlab offers usable direct and accurate depiction of the results in graphic environment). These subprograms deal with three main applications, which are: (a) the measurement clustering using Point-Distance-based algorithms (PDBS) and segment fusion based on certain criteria, (b) the Border Estimation with the clothoid model, by using Kalman filters, and the stabilization of the clothoid parameters and (c) The creation of a specific Vehicle Tracking system. All the above referred applications have been checked in real road scenarios constructed with real Laserscanner's data. In order to certify their accuracy, the applications and its results are minutely analyzed, in the following chapters.

Keywords: Clustering, segment, segmentation, cluster, onelayer LaserScanner, LMS151, Laser Data Processing, Collision Avoidance System, Border Estimation, Clothoid, Kalman filter, Vehicle Tracking.



## Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να ευχαριστήσω τους κ.κ. Δρ. Άγγελο Αμδίτη και καθηγητή Ν. Ουζούνογλου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν αναθέτοντας μου την εργασία αυτή. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθεια και την άριστη συνεργασία σε όλη τη διάρκεια της προετοιμασίας της εργασίας αυτής, την ερευνητική ομάδα I-SENSE του ΕΠΙΣΕΥ και ιδιαίτερα τον υποψήφιο Διδάκτορα Γιώργο Θωμαΐδη καθώς και τον Διδάκτορα Νίκο Φλούδα. Η ολοκλήρωση της εν λόγω εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την καταλυτική βοήθειά τους. Τέλος αφιερώνω αυτή τη διπλωματική στους παλιόφιλούς μου.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011,

Βασίλειος Καφφές



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>11</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>13</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>17</b>
1.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ.....	17
1.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ .....	19
1.2.1 Ραντάρ .....	19
1.2.2 Κάμερες .....	20
1.2.3 Σαρωτές λέιζερ .....	20
1.3 ΣΑΡΩΤΗΣ ΛΕΙΖΕΡ .....	20
1.4 ΔΟΜΗ ΚΕΙΜΕΝΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	21
<b>2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ</b> .....	<b>22</b>
2.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	24
2.2 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	24
2.2.1 Μέτρηση απόστασης .....	25
2.2.2 Κατεύθυνση Μέτρησης .....	26
2.2.3 Επίδραση της επιφάνειας του αντικειμένου στη μέτρηση .....	26
2.2.4 Ακτίνα σάρωσης του LMS.....	28
2.2.5 Διάμετρος δέσμης και απόσταση μεταξύ μετρούμενων σημείων.....	28
2.2.6 Ελάχιστο μέγεθος αντικειμένου.....	30
2.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	31
2.4 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ.....	32
2.4.1 Ethernet.....	32
2.4.2 CAN .....	32
2.4.3 Σειριακή θύρα .....	33
2.4.4 Βοηθητική σειριακή διεπαφή .....	33
2.5 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΣΩ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ .....	33
2.5.1 Πλαίσιο και κωδικοποίηση μηνυμάτων.....	33
<b>3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΟΧΗΜΑ</b> .....	<b>35</b>
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	35

3.2	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ .....	36
3.3	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ.....	37
3.3.1	Σφάλμα ως προς τον άξονα γ (pitch) .....	37
3.3.2	Σφάλμα ως προς τον άξονα χ (roll) .....	38
<b>4</b>	<b>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....</b>	<b>40</b>
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	40
4.2	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	41
4.3	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ .....	43
4.3.1	Ομαδοποίηση μετρήσεων.....	43
4.3.1.1	<i>Μέθοδος δημιουργίας αντικειμένων βάσει απόστασης σημείων – PDBS</i> .	44
4.3.1.2	<i>Προσαρμογή καμπύλης – TLS</i> .....	47
4.3.1.3	<i>Σύνθεση αντικειμένων βάσει κριτηρίων</i> .....	49
4.3.1.4	<i>Μερικός αποκλεισμός</i> .....	51
4.3.2	Εκτίμηση ορίων δρόμου.....	51
4.3.2.1	<i>Μοντέλο Κίνησης Οχήματος Αναφοράς</i> .....	51
4.3.2.2	<i>Θεωρία εκτίμησης Οδικών Ορίων</i> .....	52
4.3.2.3	<i>Κατασκευή Οδικών Ορίων</i> .....	55
4.3.3	Ιχνηλασία πολλαπλών στόχων .....	57
4.3.3.1	<i>Μοντέλο μετρήσεων κατάστασης και χώρου</i> .....	57
4.3.3.2	<i>Συσχέτιση δεδομένων</i> .....	59
4.3.3.3	<i>Διαχείριση αντικειμένων</i> .....	59
4.3.3.4	<i>Φιλτράρισμα</i> .....	61
4.3.3.5	<i>Αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων</i> .....	62
4.4	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	64
<b>5</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>67</b>
5.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	67
5.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	67
5.3	ΣΕΝΑΡΙΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ.....	68
5.3.1	Σενάριο 1 .....	68
5.3.2	Σενάριο 2 .....	70
5.3.3	Σενάριο 3 .....	72
<b>6</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>75</b>
6.1	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ .....	75
6.2	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΈΡΕΥΝΑ.....	75
6.2.1	Φιλτράρισμα των 'μη επεξεργασμένων' δεδομένων .....	75

6.2.1.1	<i>Median Filtering</i> .....	75
6.2.1.2	<i>Grid occupancy</i> .....	76
6.2.2	KFBS .....	76
6.2.3	RANSAC.....	76
6.2.4	Remission.....	76
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....</b>		<b>78</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>		<b>80</b>
<b>ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....</b>		<b>80</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>		<b>81</b>





# 1 Εισαγωγή

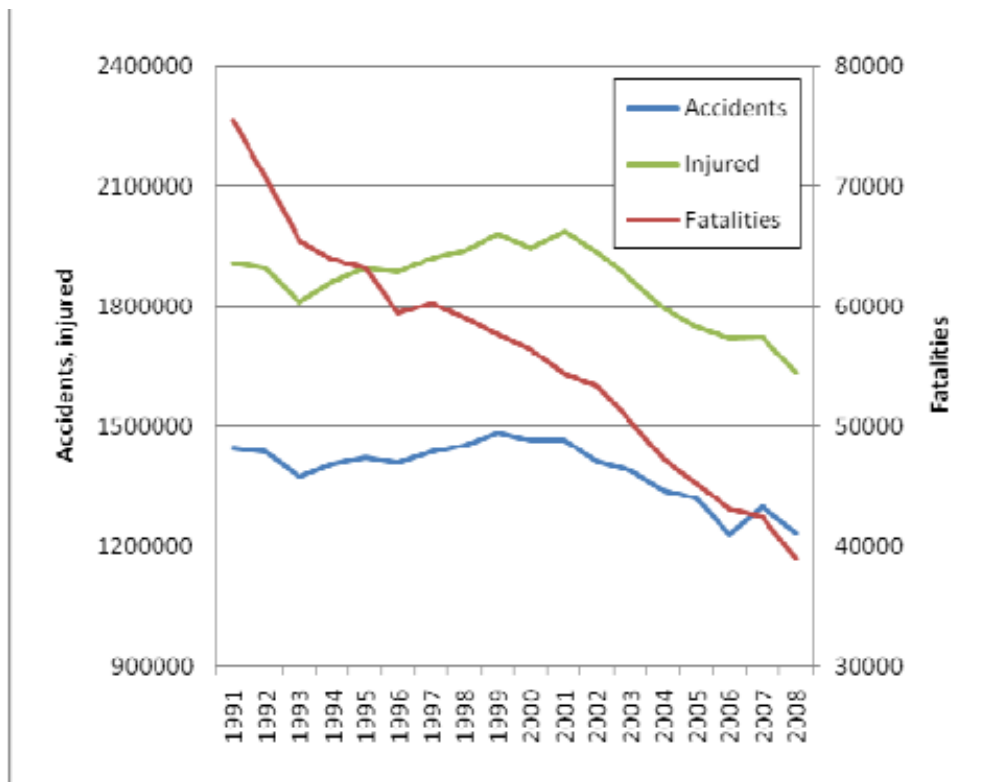
## 1.1 Συστήματα ασφαλούς οδήγησης

Η ασφάλεια των επιβατών είναι μια από τις βασικότερες παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη κατά τη σχεδίαση και τη κατασκευή των σύγχρονων αυτοκινήτων. Τα συστήματα ασφαλείας που εφαρμόζονται στα αυτοκίνητα είναι δύο ειδών. Τα συστήματα ενεργητικής και τα συστήματα παθητικής ασφάλειας. Συστήματα ενεργητικής ασφάλειας είναι αυτά που παρέχουν τη δυνατότητα στον οδηγό του αυτοκινήτου να κατευθύνει και να ελέγχει τη πορεία του στο δρόμο, αποφεύγοντας τις συγκρούσεις. Τέτοια συστήματα είναι το ABS (σύστημα αντι-μπλοκαρίσματος των τροχών), BAS (σύστημα δυναμικής επιβράδυνσης), ASR ή ESR (σύστημα αντι-ολίσθησης των τροχών), καθώς και το ESP (το σύστημα ευστάθειας, που αφαιρεί ή προσθέτει ροπή στους τροχούς ώστε να μη φύγει το αυτοκίνητο από το δρόμο εάν γλιστρήσει σε κάποια στροφή).

Συστήματα παθητικής ασφάλειας είναι τα συστήματα του αυτοκινήτου που σε περίπτωση σύγκρουσης, προστατεύουν τον οδηγό και τους υπόλοιπους επιβάτες από τραυματισμούς. Τέτοια συστήματα στο αυτοκίνητο είναι οι ζώνες ασφαλείας με τους προεντατήρες, τα βυθιζόμενα καθίσματα, οι αερόσακοι οδηγού, συνοδηγού, πλευρικοί αερόσακοι (τύπου κουρτίνας), αλλά και οιμπάρες στο σασί του αυτοκινήτου.

Κοιτάζοντας στα στατιστικά δεδομένα των ατυχημάτων στην Ευρώπη τις τελευταίες δυο δεκαετίες, ο συνολικός αριθμός των ατυχημάτων στους δρόμους όπου εμπλέκονται ανθρωπίνι τραυματισμοί έχει μειωθεί ελάχιστα. Παρόλα αυτά ο αριθμός των θανάσιμων ατυχημάτων έχει μειωθεί κατά 50% όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1. Παρόλα αυτά ο αριθμός των 38000 θανάτων το 2008 είναι αρκετά μεγάλος ώστε να είμαστε ικανοποιημένοι. Περισσότερα συστήματα ασφαλείας πρέπει να σχεδιαστούν και να ενσωματωθούν από τα οχήματα. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι με την αύξηση της ποσότητας των αυτοκινήτων κατά 40% στην Ευρώπη, θα ήταν λάθος να θεωρήσουμε ότι η οδική ασφάλεια έχει βελτιωθεί. Έτσι, ενώ τα παθητικά συστήματα ασφαλείας όπως το ESP έχουνε αισθητά βοηθήσει, η δημιουργία φτηνών αισθητήρων, που θα προσφέρουν ακόμα μεγαλύτερη ασφάλεια, θα επιτρέψει την είσοδο τους στη Ευρωπαϊκή αγορά των αυτοκινήτων.

Ένα νέο τεχνολογικό άλμα σημειώνεται στο πλαίσιο του Minifaros project, όπου επιδιώκεται η κατασκευή χαμηλού κόστους, μικρού μεγέθους και μεγάλης απόδοσης αισθητήρας λέιζερ που μπορεί να βοηθήσει τη διάδοση των έξυπνων συστημάτων ασφαλείας αυτοκινήτων (IVSS) και των υψηλού κόστους εφαρμογών ασφαλείας στα μικρά και μεσαίου μεγέθους αυτοκίνητα που κυριαρχούν στο δρόμο. Έτσι μπορεί να δοθεί μια πραγματική μείωση του ποσοστού των ατυχημάτων στους δρόμους.



**Εικόνα 1.1: Αναπαράσταση οδικής ασφάλειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση**

Υπάρχουν λοιπόν εφαρμογές που βοηθούν σημαντικά τον οδηγό σε συνηθισμένες αλλά και σε πολύ δύσκολες συνθήκες οδήγησης. Αυτές οι εφαρμογές υιοθετούνται και συμπεριλαμβάνονται στα σύγχρονα αυτοκίνητα παραγωγής. Τέτοιες εφαρμογές είναι: η προειδοποίηση σύγκρουσης (collision warning), η υποβοήθηση στην αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας (lane change assist). Επίσης υπάρχουν και διάφορες άλλες εφαρμογές που βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης, όπως: υποβοήθηση σε κυκλοφοριακή συμφόρηση (Traffic Jam Assistant), αποφυγή σύγκρουσης με χαμηλή ταχύτητα (Low Speed Collision Avoidance), έκτακτης ανάγκης αυτόματη επιβράδυνση (Automatic Emergency Braking), προστασία πεζών (Pedestrian Protection), προειδοποίηση σύγκρουσης κατά την αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας (Pre-Crash Lane Departure Warning), και άλλες.

Οι άνωθεν τεχνολογίες αφορούν το όχημα ως όχημα αναφοράς. Μια άλλη τεχνολογία που βρίσκεται υπό εξέλιξη είναι διασύνδεση των οχημάτων, όπως λέγεται Όχημα προς Όχημα (Vehicle To Vehicle) τεχνολογία. Το όλο σύστημα απαρτίζεται ουσιαστικά από ένα μικροεπεξεργαστή με το ανάλογο λογισμικό, ένα δέκτη GPS (General Positioning System) και μία μονάδα ασύρματης επικοινωνίας Wireless LAN. Έχει εμβέλεια της τάξης των 300-500 μέτρων, ανάλογα με τις εδαφολογικές και τις καιρικές συνθήκες. Τα σενάρια στα οποία μπορεί ένα τέτοιο σύστημα - ή καλύτερα δίκτυο - να φανεί χρήσιμο στον εκάστοτε οδηγό είναι πολλά και διάφορα, ενώ με την πάροδο του χρόνου η σπονδυλωτή δομή του μπορεί να δεχτεί και νέες λειτουργίες.

## 1.2 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα όχημα για λόγους πρόβλεψης και ασφάλειας είναι πολλοί. Μάλιστα αν χρησιμοποιούνται παράλληλα – με σύζευξη δεδομένων (data fusion) – πολλαπλοί αισθητήρες, τα αποτελέσματα είναι πιο αξιόπιστα καθώς μπορούν τα δεδομένα να πιστοποιηθούν και να ανιχνευθούν σε μεγαλύτερο φάσμα, χρησιμοποιώντας υβριδικές τεχνολογίες. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για λόγους ασφαλείας, 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 θεσμοθετημένη 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 αζιμούθιο της τάξης των  $\pm 10^\circ$ . 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 αζιμούθιο. Η νέα γενιά αυτοκινητιστικών ραντάρ, χρησιμοποιεί κεραίες ηλεκτρονικής σάρωσης, οι οποίες καταργούν την ανάγκη για πολλαπλές δέσμες και προσφέρουν την απαιτούμενη γωνιακή ανάλυση σε μεγάλη εμβέλεια αλλά και ευρεία κάλυψη σε μέση εμβέλεια.

### 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 λέιζερ

Ο σαρωτής laser είναι ένας αισθητήρας που βασίζεται στην τεχνολογία ανίχνευσης φωτός και αποστασιομέτρησης (Light Detection And Ranging (LIDAR)). 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, 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 επεξεργασίας προκειμένου να ομαδοποιηθούν οι μετρήσεις σε πιθανούς στόχους. Το πληρέστερο σύστημα θα μπορούσε να συμπεριλάβει όλους τους προαναφερθέντες αισθητήρες και ακόμα άλλους τόσους, ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν περισσότερη πληροφορία και να μπορεί να επιβεβαιωθεί καλύτερα. Η πολυπλοκότητα ενός τέτοιου συστήματος θα ήταν τεράστια και δεν μπορεί κανείς να φανταστεί που μπορούν να φτάσουν οι δυνατότητες του συστήματος αυτού. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται σύζευξη δεδομένων, αλλά η απόδοση που έχει επιτευχθεί σήμερα είναι πολύ χαμηλή σχετικά με τις δυνατότητες που έχει.

## 1.3 Σαρωτής λέιζερ

Ο πιο προκλητικός στόχος των σύγχρονων προηγμένων συστημάτων βοήθειας οδήγησης, είναι να αναδημιουργηθεί και να συντεθεί το σενάριο γύρω από το όχημα, ώστε να προειδοποιείται ο οδηγός τότε εμφανίζονται οι ανεπιθύμητες καταστάσεις. Τα λέιζερ έχουν κάποια χαρακτηριστικά που τα κάνουν να υπερτερούν σε σχέση με τους υπόλοιπους αισθητήρες.

Η κάμερα υποφέρει από δυο είδη προβλημάτων: το προσδιορισμό της θέσης και την ομαδοποίηση. Ο καθορισμός της θέσης ενός αντικειμένου μέσω κάμερας είναι πολύ δύσκολο και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται, όπως στερεοσκοπική όραση ή η υπόθεση για συγκεκριμένο σχήμα ενός αντικειμένου, δεν επαρκούν. Αντίθετα για το λέιζερ κάτι τέτοιο είναι τετριμμένο, εφόσον πάντα υπάρχει η κατάλληλη γωνιακή ανάλυση. Επίσης η ομαδοποίηση αντικειμένων που βρίσκονται το ένα μπροστά από το άλλο, αν και φαντάζει ανέφικτο για την κάμερα, για τον αισθητήρα λέιζερ είναι απλό εξαιτίας της αρχής λειτουργίας του, που είναι οι μετρήσεις απόστασης.

Αντίθετα με το ραντάρ δεν έχουμε την δυνατότητα να ανιχνεύσουμε πεζούς, πράγμα χρήσιμο για εφαρμογές ασφάλειας σε αστικά κέντρα. Επίσης το εύρος σάρωσης (FOV) είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των ραντάρ.

Το LMS151 (Automotive LAserSCAnner) είναι μια μονοστρωματική, συσκευή ανίχνευσης λέιζερ, η οποία μετρά τις αποστάσεις των αντικειμένων στα περικόχρα του αισθητήρα. Το σύνολο των δημιουργημένων σχημάτων που έχουν ανιχνευθεί καλούνται ως "σάρωση". Ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει την κατεύθυνση της περιοχής ανίχνευσης, καθώς επίσης και διάφορες άλλες παραμέτρους.

## 1.4 Δομή κειμένου εργασίας

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται αναλυτικά ο σαρωτής LSM151 με τις προδιαγραφές, τα χαρακτηριστικά και την αρχή λειτουργίας του. Παρουσιάζεται η διάταξη του εξοπλισμού με τις προαιρετικές συσκευές που επιδέχεται, αναφέρονται τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιεί με τις άλλες βαθμίδες του συστήματος, σε πλήρη ανάλυση με τις επικεφαλίδες και το εύρος και την ποιότητα των τιμών που μπορεί να ενθυλακώσει.

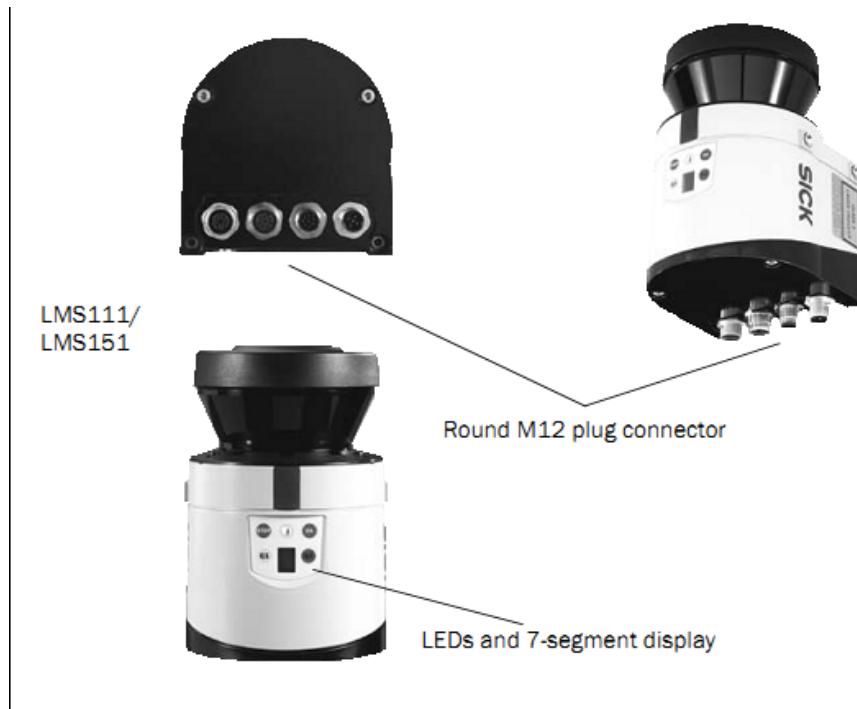
Στο κεφάλαιο 3 κάνουμε μια επισκόπηση στο πειραματικό αυτοκίνητο που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των μετρήσεων και περιγράφουμε τα προβλήματα και τις λύσεις που εφαρμόσαμε.

Στο κεφάλαιο 4 αναπτύσσεται αναλυτικά όλη η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων του σαρωτή λέιζερ. Αρχικά ομαδοποιούμε τα δεδομένα που παίρνουμε από το λέιζερ ώστε να σχηματίσουμε λογικά και χρήσιμα αντικείμενα στο χώρο γύρω από το όχημα. Έπειτα παρουσιάζεται η διαδικασία εκτίμησης των οδικών ορίων, διαχωρίζοντας τα σε δύο μέρη με βάση την εκτίμηση προτύπων clothoid που προέκυψε από την υπομονάδα φίλτρου εκτίμησης και η διαδικασία σταθεροποίησης της εκτίμησης αυτής. Επόμενο τμήμα είναι η ιχνηλασία στόχων και ο αλγόριθμος εκτίμησης και παρακολούθησης οχημάτων (tracking).

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την αποτελεσματικότητα της ομαδοποίησης, των εκτιμήσεων στα οδικά όρια και στην ιχνηλασία οχημάτων σε διαφορετικά σενάρια που παρουσιάζουν ιδιαίτερες αντιξοότητες. Επίσης πέρα από τα αποτελέσματα παρουσιάζονται χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από αυτά.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρατίθεται μια περίληψη της εργασίας, αναφέρονται τα βασικότερα σημεία και διάφορα θέματα μελλοντικής υλοποίησης.

## 2 Αισθητήρας








**Εικόνα 2.1: Συσκευή σαρωτή λέιζερ**

Ο σαρωτής λέιζερ που χρησιμοποιήθηκε είναι ο LMS151 της γερμανικής εταιρίας SICK. Στόχος του σαρωτή λέιζερ είναι η κατάταξη των αντικειμένων που αναγνωρίζονται, προπορευόμενων οχημάτων, πεζών καθώς και κατασκευαστικών στοιχείων του δρόμου. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της κατάστασης της κίνησης (traffic). Στην Εικόνα 2.1 φαίνεται η συσκευή του σαρωτή λέιζερ.



**Εικόνα 2.2: Οθόνη ενδείξεων του λέιζερ**

Η συσκευή λέιζερ έχει μια οθόνη ενδείξεων (Εικόνα 2.2) που είναι χρήσιμη σε αρκετές περιπτώσεις. Ο πίνακας 1 εξηγεί αυτά τα σύμβολα ώστε να γνωρίζουμε τι συμβαίνει όταν είναι ενεργοποιημένα. Η αριθμητική ένδειξη χρησιμοποιείται για διαγνωστικούς σκοπούς σε περίπτωση σφάλματος ή βλάβης.

Ένδειξη	Πιθανή αιτία
	LMS σε λειτουργία, χωρίς τη χρήση κάποιου πεδίου αποτίμησης
	LMS σε λειτουργία, με χρήση κάποιου πεδίου αποτίμησης
	Το κάλυμμα του φακού έχει μολυνθεί
	Η έξοδος OUT1 έχει ενεργοποιηθεί
	Η έξοδος OUT2 έχει ενεργοποιηθεί

**Πίνακας 1: Επεξήγηση φωτοδιόδων (LED) του λέιζερ**

## 2.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Τύπος λέιζερ	Χαρακτηριστικά
LMS151	<ul style="list-style-type: none"><li>• field of view maximum 270°</li><li>• resolution of the angular step width: 0.25/0.50°</li><li>• rotation frequency 25/50 Hz</li><li>• flexible system configurations</li><li>• configuration/measured value request using messages (command strings)</li><li>• data interfaces Ethernet, RS-232, CAN (for the connection of an I/O module)</li></ul> <p><b>Measured value output (raw data)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• electro-sensitive, active measurement technique</li><li>• measurement of objects with almost any shape</li><li>• measured value output for a second reflection pulse (e.g. in rain or on measurement through a window)</li></ul> <p><b>Integrated field application</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 10 configurable evaluation fields</li><li>• monitoring of the evaluation field contours</li><li>• switching of the evaluation fields using digital inputs</li><li>• encoder inputs</li><li>• additional output of the evaluation field (unoccupied or infringed) via digital outputs or messages</li></ul> <hr/> <ul style="list-style-type: none"><li>• scanning range up to 50 m (164.04 ft) with &gt; 75% object remission (18 m (59.05 ft) with 10% object remission)</li><li>• outdoor housing with protection class IP 67</li><li>• CAN data interface, in future support for CANopen 2.0A</li></ul>

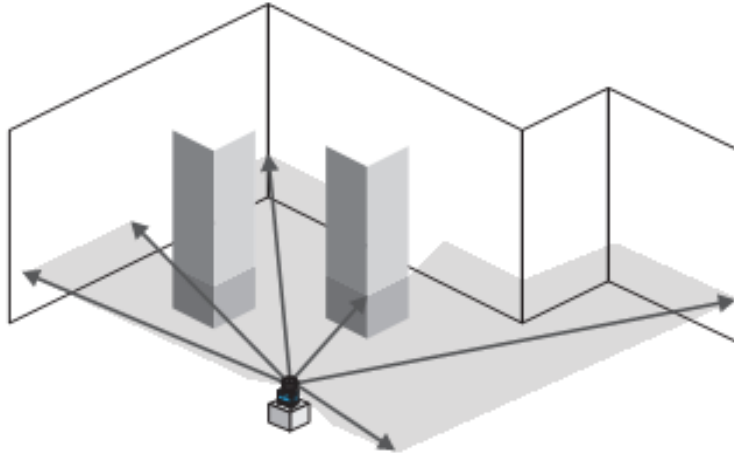
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά LMS151

## 2.2 Τρόπος λειτουργίας

Το LMS151 είναι ένα ηλεκτρο-οπτικό λέιζερ σύστημα μέτρησης το οποίο σαρώνει την περιμέτρο που το περιβάλλει με τη βοήθεια μιας συσκευής εκπομπής δεσμών λέιζερ. Το LMS151 μετρά το χώρο γύρω του σε δύο-διαστάσεις στο πολικό σύστημα συντεταγμένων. Όταν η δέσμη λέιζερ προσπίπτει σε κάποιο αντικείμενο τότε η θέση του καθορίζεται από την απόσταση και την κατεύθυνσή του (γωνία).

Το πεδίο που γίνεται η σάρωση (FOV) φτάνει μέχρι και τις 270°.



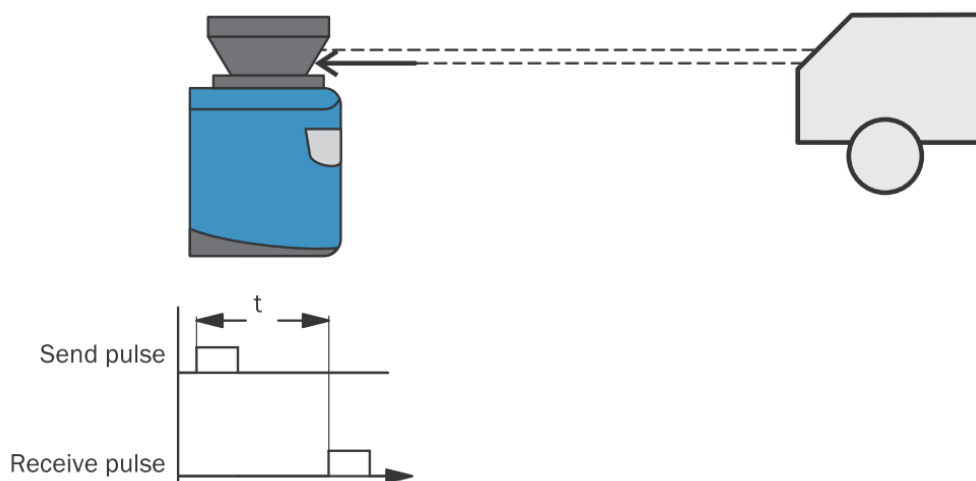


**Εικόνα 2.3: Αρχή λειτουργίας του LMS**

### 2.2.1 Μέτρηση απόστασης

Το LMS εκπέμπει μια δέσμη λέιζερ χρησιμοποιώντας μια δίοδο λέιζερ. Όταν μια τέτοια δέσμη προσπίπτει σε κάποιο αντικείμενο ή άνθρωπο, αντανακλάται στην επιφάνειά του. Η αντανάκλαση τότε ανιχνεύεται από το δέκτη του συστήματος μέτρησης του λέιζερ, μια φωτοδίοδο.

Η απόσταση του αντικειμένου υπολογίζεται από το χρόνο διάδοσης του φωτός από την εκπομπή του μέχρι και τη λήψη της αντανάκλασης από το σαρωτή. Η αρχή της 'μέτρησης του χρόνου διάδοσης της δέσμης' είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται από τα συστήματα radar.



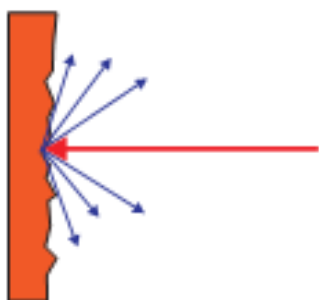
**Εικόνα 2.4: Αρχή λειτουργίας μέτρησης του χρόνου διάδοσης της δέσμης**

### 2.2.2 Κατεύθυνση Μέτρησης

Η εκπεμπόμενη δέσμη λέιζερ εκτρέπεται χρησιμοποιώντας ένα καθρέφτη. Έτσι σαρώνεται ο περιβάλλον χώρος κυκλικά. Οι μετρήσεις ενεργοποιούνται σε σταθερό γωνιακό βήμα με τη βοήθεια ενός γωνιακού κωδικοποιητή. Έτσι όταν το LMS σαρώνει με συχνότητα  $25^\circ$  ή  $50^\circ$ , μια δέσμη λέιζερ και επομένως μια μέτρηση ενεργοποιείται κάθε  $0.25^\circ$  ή  $0.50^\circ$ .

### 2.2.3 Επίδραση της επιφάνειας του αντικειμένου στη μέτρηση

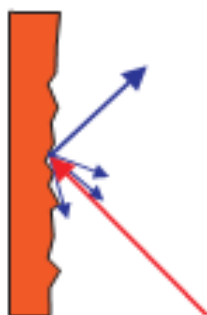
Το σήμα που λαμβάνεται από μια τέλεια διαχεόμενη λευκή επιφάνεια ανταποκρίνεται στον ορισμό της 100% αδράνειας (remission). Σαν αποτέλεσμα αυτού του ορισμού, αδράνεια επιφανειών που αντανακλούν το φως ως δέσμη (καθρέφτες, ανακλαστήρες) είναι περισσότερο από 100%.



Εικόνα 2.5: Ανάκλαση δέσμης του λέιζερ στην επιφάνεια ενός αντικειμένου

Η πλειονότητα των επιφανειών ανακλά τη δέσμη λέιζερ διάχυτα προς όλες τις κατευθύνσεις.

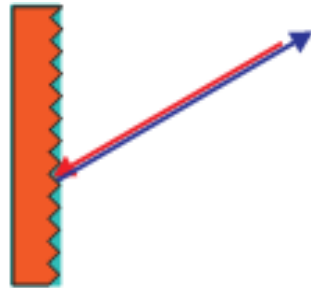
Η ανάκλαση της δέσμης διαφοροποιείται ανάλογα με τη δομή της επιφάνειας και το χρώμα της. Φωτεινές επιφάνειες ανακλούν καλύτερα τη δέσμη από ότι οι σκοτεινές και επομένως μπορούν να ανιχνευθούν από το LMS σε μεγαλύτερη απόσταση. Ο λευκός γύψος, για παράδειγμα, ανακλά σχεδόν 100% το προσπίπτον φως, ενώ το μαύρο αφρώδες λάστιχο μόνο 2.4%. Σε πολύ τραχιές επιφάνειες, μέρος της ενέργειας χάνεται επομένως και η ακτίνα σάρωσης του LMS μειώνεται αισθητά.



Εικόνα 2.6: Γωνία ανάκλασης

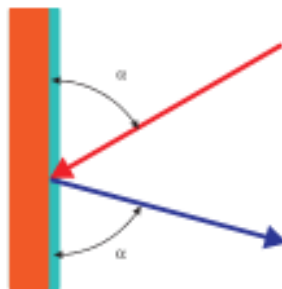
Η γωνία ανάκλασης είναι η ίδια με τη γωνία πρόσπτωσης. Εάν η δέσμη προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια τότε έχουμε βέλτιστη ανάκλαση όλης της ενέργειας (Εικόνα 2.5). Εάν η δέσμη

προσπίπτει υπό γωνία, τότε επιφέρεται σχετική μείωση της ενέργειας και της ακτίνας σάρωσης (Εικόνα 2.6).



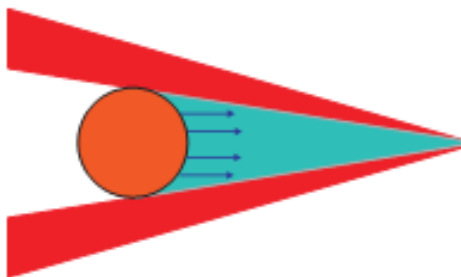
**Εικόνα 2.7: Βαθμός ανάκλασης**

Εάν η ανακλώμενη ενέργεια είναι πάνω από 100% ( Kodak προτυποποίηση) η προσπίπτουσα δέσμη δεν ανακλάται διάχυτα προς όλες τις κατευθύνσεις, αλλά προς ορισμένη κατεύθυνση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα μεγάλο μέρος της εκπεμπόμενης ενέργειας να λαμβάνεται από τη συσκευή μέτρησης απόστασης του λέιζερ. Πλαστικοί ανακλαστήρες, ανακλαστικές ταινίες και τριπλά πρίσματα έχουν αυτή την ιδιότητα.



**Εικόνα 2.8: Επιφάνεια Καθρέφτη**

Στις επιφάνειες τύπου καθρέφτη η δέσμη του λέιζερ εκτρέπεται σχεδόν όλη (Εικόνα 2.8). Έτσι αντί για την επιφάνεια του καθρέφτη, είναι πιθανό να ανιχνευθεί το αντικείμενο που προσπίπτει η εκτρεπόμενη δέσμη.

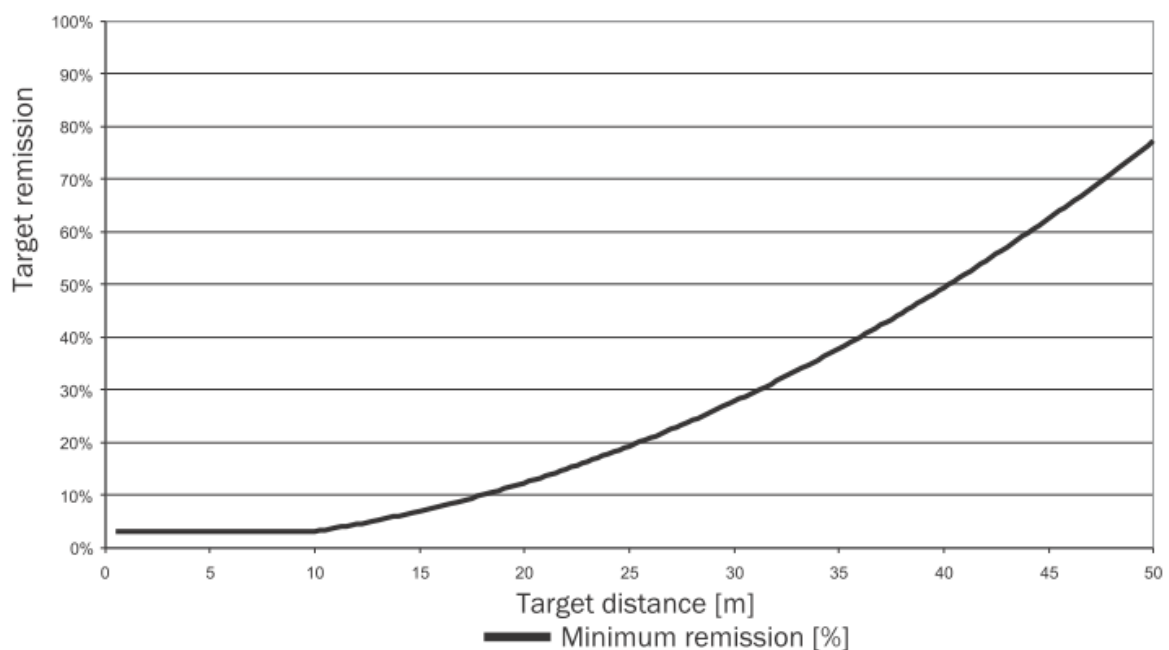


**Εικόνα 2.9: Αντικείμενο μικρότερο από τη διάμετρο της δέσμης του λέιζερ**

Αντικείμενα μικρότερα από τη διάμετρο της δέσμης του λέιζερ δεν ανακλούν την ενέργεια του φωτός λέιζερ (Εικόνα 2.9). Η ποσοστό της ενέργειας που δεν ανακλάται, χάνεται. Αυτό συνεπάγεται ότι η ακτίνα σάρωσης είναι μικρότερη από αυτή που θεωρητικά ισχύει βασιζόμενη στην επιφάνεια ενός αντικειμένου.

#### 2.2.4 Ακτίνα σάρωσης του LMS

Η ακτίνα σάρωσης του LMS εξαρτάται από την αδράνεια (remission) των αντικειμένων που πρόκειται να ανιχνευθούν. Καλύτερη ανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, μεγαλύτερη και η ακτίνα σάρωσης του LMS. Η Εικόνα 2.10 δείχνει ένα διάγραμμα απεικόνισης της σχέσης μεταξύ remission και ανιχνευσιμότητας.

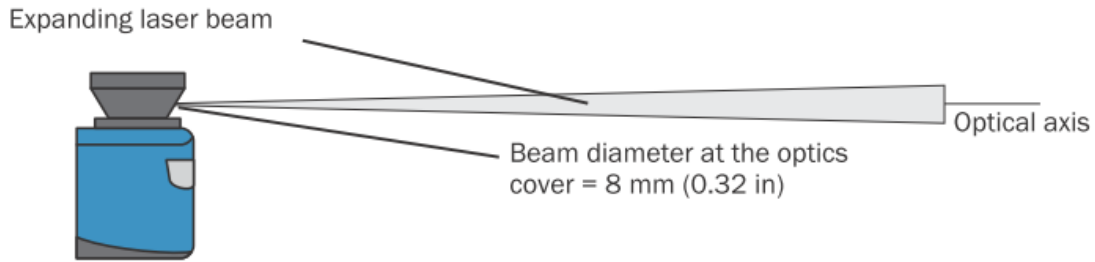


Εικόνα 2.10: Διάγραμμα ακτίνας σάρωσης του LMS σε συνάρτηση με την remission του στόχου

Μέχρι την απόσταση των 10m το LMS μπορεί να ανιχνεύσει αντικείμενα με 3% remission. Σε απόσταση 20m τα αντικείμενα ανιχνεύονται μόνο εάν έχουν remission >13%.

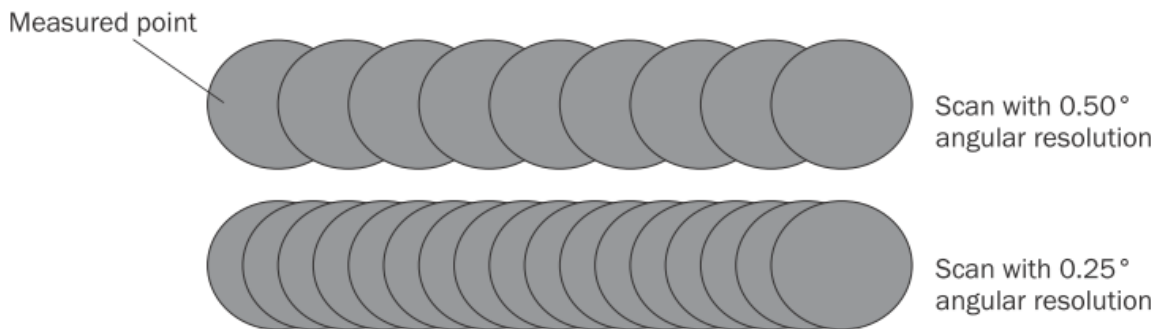
#### 2.2.5 Διάμετρος δέσμης και απόσταση μεταξύ μετρούμενων σημείων

Όταν η απόσταση μεγαλώνει από το LMS η δέσμη μεγαλώνει σε μέγεθος. Σαν αποτέλεσμα η διάμετρος των μετρούμενων σημείων σε μια επιφάνεια ενός αντικειμένου αυξάνεται. Ο τύπος υπολογισμού της σχέσης διάμετρος-απόσταση δίνεται από:  $\text{απόσταση}(\text{mm}) \times 0.015 \text{rad} + 8 \text{mm}$ .



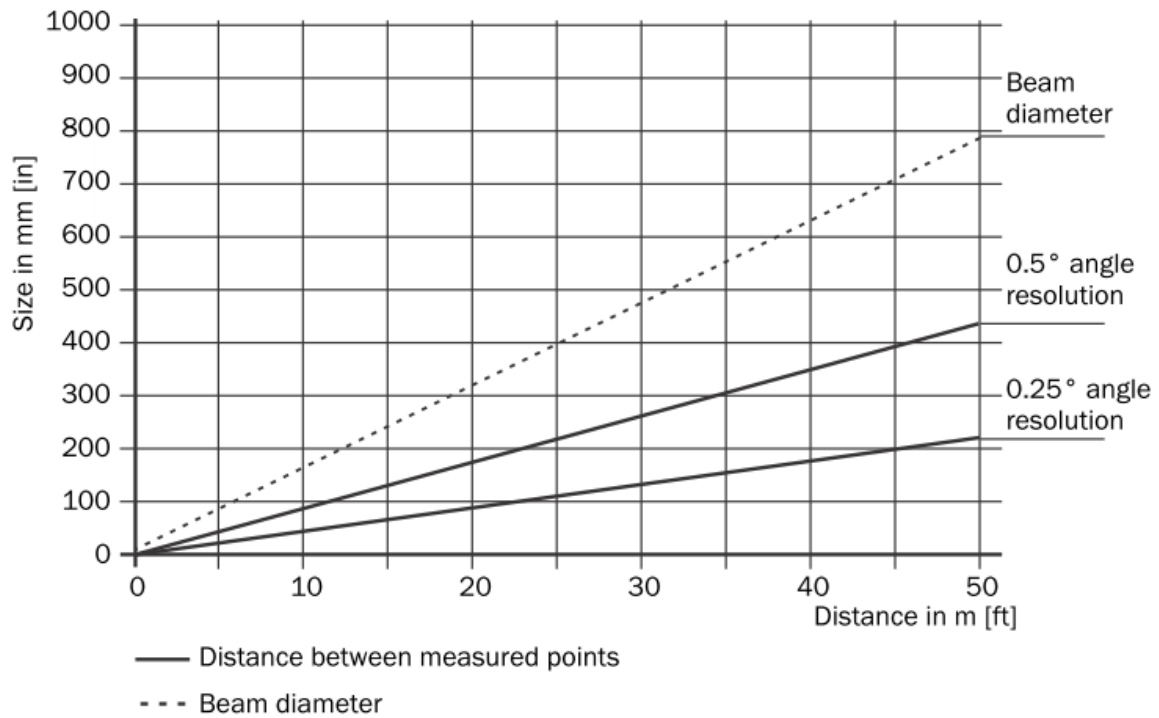
**Εικόνα 2.11: Διαστολή δέσμης**

Όσο μεγαλώνει η απόσταση από το λέιζερ, τόσο μεγαλώνει και η απόσταση μεταξύ διαδοχικών μετρήσιμων σημείων. Η απόσταση διαδοχικών σημείων είναι άμεσα συνυφασμένη και με τη γωνιακή ανάλυση (angular resolution) που έχει επιλεγεί. Με μια ‘μεγάλη’ ανάλυση, η απόσταση είναι μεγαλύτερη, ενώ με μια λεπτότερη ανάλυση πετυχαίνουμε μικρότερη απόσταση.



**Εικόνα 2.12: Σχηματική αναπαράσταση της απόστασης διαδοχικών σημείων σε διαφορετικές γωνιακές αναλύσεις**

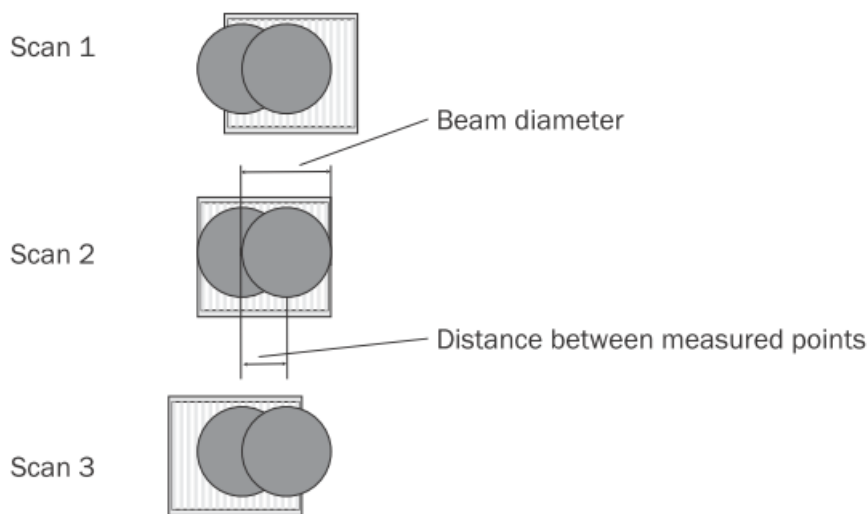
Στην Εικόνα 2.13 φαίνεται απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της δέσμης λέιζερ και του χώρου ανάμεσα διαδοχικών μετρούμενων σημείων με την απόσταση από το LMS. Σημαντικό είναι ότι η διάμετρος του λέιζερ είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την απόσταση μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων. Σαν αποτέλεσμα πλήρης σάρωση εξασφαλίζεται χωρίς κενά. Για παράδειγμα με γωνία ανάλυσης  $0.50^\circ$  έχουμε από την Εικόνα 2.13, ότι για απόσταση 35m, παίρνουμε ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων είναι περίπου 305mm και η διάμετρος της δέσμης είναι περίπου 560mm.



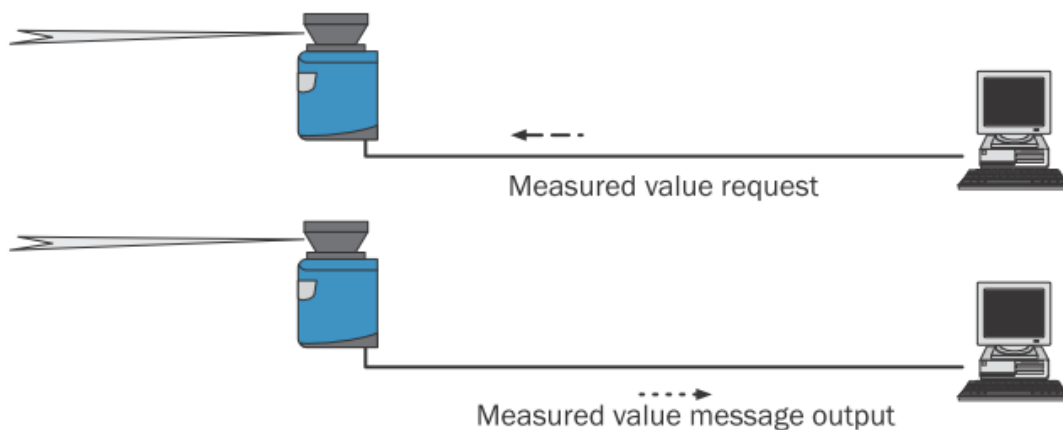
Εικόνα 2.13: Διάμετρος δέσμης και απόσταση μεταξύ μετρούμενων σημείων για 0 - 50m

### 2.2.6 Ελάχιστο μέγεθος αντικειμένου

Για να ανιχνεύσουμε ένα αντικείμενο αξιόπιστα, η δέσμη λέιζερ πρέπει να είναι ικανή να προσπέσει ολόκληρη στο αντικείμενο. Εάν η πρόσπτωση είναι μερική, έχουμε λιγότερη ανάκλαση ενέργειας από το αντικείμενο από ότι χρειάζεται για ορισμένες περιπτώσεις (Εικόνα 2.9). Έτσι ένα αντικείμενο είναι αξιόπιστα ανιχνεύσιμο μόνον όταν είναι τουλάχιστον όσο η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών μετρήσεων συν τη διάμετρο της δέσμης του λέιζερ.



Εικόνα 2.14: Ελάχιστο μέγεθος αντικειμένου ώστε να ανιχνευθεί



**Εικόνα 2.15: Παράδειγμα ζήτησης μέτρησης**

Στην Εικόνα 2.14 βλέπουμε ότι η δέσμη προσπίπτει εξολοκλήρου στο αντικείμενο τουλάχιστον μια φορά σε κάθε σάρωση. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι ανιχνεύσιμο, εάν τηρεί το ελάχιστο απαιτούμενο remission.

## 2.3 Μετρήσεις

Ο σαρωτής λέιζερ LMS λειτουργεί με συχνότητα σάρωσης 25 ή 50 Hz είτε με γωνιακή ανάλυση των  $0.25^\circ$  ή  $0.50^\circ$ . Σε μεγαλύτερη συχνότητα ή σε 'λεπτότερη' ανάλυση το λέιζερ επιστρέφει περισσότερες μετρήσεις.

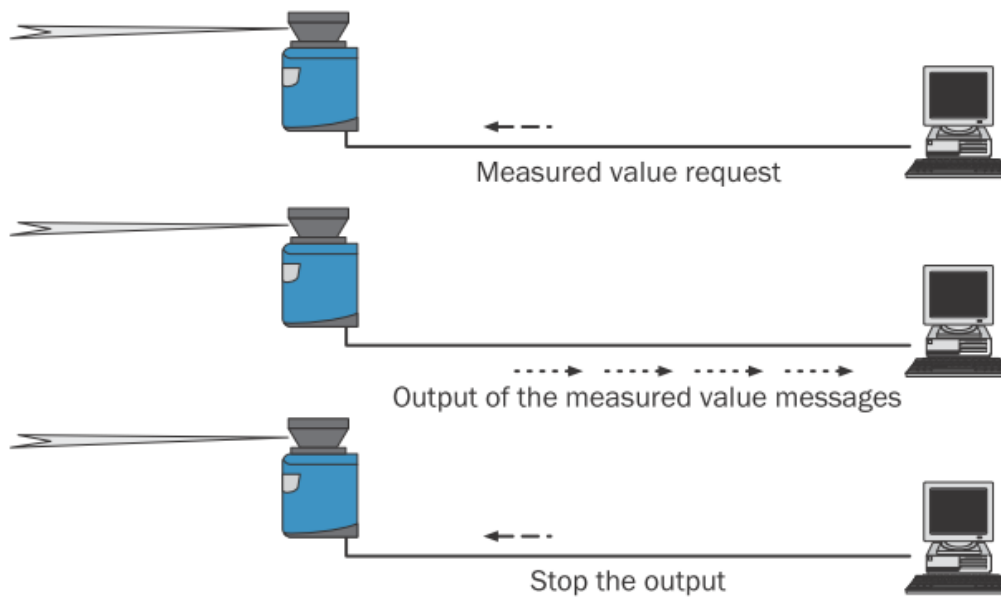
- Το LMS στέλνει δεδομένα αμέσως μετά την έναρξη της διαδικασίας μέτρησης χρησιμοποιώντας τη διασύνδεση που ζητήθηκαν οι μετρήσεις.
- Είναι εφικτό να στέλνει όλες τις μετρήσεις μιας σάρωσης σε πραγματικό χρόνο μόνο μέσω διεπαφής Ethernet

Σε περίπτωση σφάλματος σταματά τη διαδικασία της μέτρησης άμεσα και στέλνει ένα κωδικό σφάλματος για διαγνωστικό έλεγχο.

Η επικοινωνία με το λέιζερ γίνεται μέσω τυποποιημένων μηνυμάτων (messages). Ένα τέτοιο μήνυμα είναι το εξής: <STX>SMN{SPC}LMCstartmeas<ETX>. Με αυτά τα μηνύματα μπορούμε να αλλάξουμε τις ρυθμίσεις του λέιζερ, να το σταματήσουμε, να ξεκινήσουμε μετρήσεις κλπ.

Από τη στιγμή που θα ζητηθεί από το λέιζερ να βρεθεί σε κατάσταση μέτρησης χρειάζεται λίγος χρόνος. Επομένως πρέπει να ρωτήσουμε σε ποια κατάσταση βρίσκεται με το **sRN STImS** μήνυμα. Έπειτα ζητούμε να μας στείλει δεδομένα μέσω του πρωτοκόλλου που έχουμε επιλέξει. Για να γίνει αυτό υπάρχουνε δυο επιλογές:

- Με το μήνυμα **sRN LMDscandata** ζητάμε ακριβώς μια σειρά μετρήσεων – οι μετρήσεις τις τελευταίας Σάρωσης που έχει γίνει στέλνονται (Εικόνα 2.15).
- Με το μήνυμα **sEN LMDscandata** ζητάμε συνεχόμενες μετρήσεις – μετρήσεις στέλνονται μέχρι να σταλεί το μήνυμα τέλους (Εικόνα 2.16).



Εικόνα 2.16: Παράδειγμα συνεχόμενων μετρήσεων

## 2.4 Πρωτόκολλο

Το LMS έχει διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας για τη μεταφορά των μετρήσεων

### 2.4.1 Ethernet

Το πρωτόκολλο Ethernet έχει ρυθμό μεταφοράς 10/100 MBit. Η διεπαφή που χρησιμοποιείται είναι ένα TCP/IP πρωτόκολλο. Υποστηρίζει Full Duplex και half duplex.

Μέσω Ethernet μπορούμε να ρυθμίσουμε το LMS όπως και την έξοδο των μετρήσεων.

Οι εργοστασιακές ρυθμίσεις του Ethernet είναι:

- IP διεύθυνση: 192.168.0.1
- μάσκα υποδικτύου: 255.255.255.0
- TCP θύρα: 2111

### 2.4.2 CAN

Το CAN υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων μεταξύ 10Bit/s και 1MBit/s. Για επικοινωνία μέσω CAN πρωτοκόλλου πρέπει το LMS να ρυθμιστεί ώστε να επικοινωνεί με τον host.

Μπορούμε να ρυθμίσουμε τις εξής παραμέτρους:

- Ρυθμό λειτουργίας του διαύλου CAN
- Το ID του LMS στο CAN



### 2.4.3 Σειριακή θύρα

Το πρωτόκολλο αυτό είναι ένα RS-232 πρωτόκολλο. Μέσω αυτού επιτρέπεται η ρύθμιση του LMS και μόνο περιορισμένη έξοδο δεδομένων.

Οι εργοστασιακές παράμετροι είναι:

- 57,600 Baud
- 8 data bits
- 1 stop bit
- no parity

### 2.4.4 Βοηθητική σειριακή διεπαφή

Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται μόνο για τη ρύθμιση του LMS. Οι εργοστασιακές του ρυθμίσεις είναι ίδιες με αυτές της σειριακής θύρας (2.4.3).

## 2.5 Επικοινωνία μέσω μηνυμάτων

Το LMS στέλνει μηνύματα μέσω των διεπαφών που περιγραφήκανε προηγουμένως. Οι επόμενες λειτουργίες μπορούν να εκτελεστούν μέσω μηνυμάτων.

Ζήτηση μέτρησης από το host και ακολούθως έξοδος μετρήσεων από το LMS

Ρύθμιση παραμέτρων του LMS από τον host

Αρχείο ερωτήσεων και αλλαγών παραμέτρων και καταστάσεων του LMS από το host

Κάθε μήνυμα σχηματίζει ένα πλαίσιο (frame). Υπάρχουν μια σειρά από προκαθορισμένα μηνύματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και έχουν οριστεί από τον κατασκευαστή.

### 2.5.1 Πλαίσιο και κωδικοποίηση μηνυμάτων

Τα frames δεδομένων ποικίλουν ανάλογα με τη κωδικοποίηση.

	Πλαίσιο	Μήνυμα	Πλαίσιο
Κωδικοποίηση	STX	δεδομένα	ETX
Μήκος (byte)	1	≤30kB	1
Περιγραφή	Έναρξη κειμένου χαρακτήρων	Κωδικοποιημένο κατά ASCII. Το μήκος εξαρτάται από το προηγούμενο σταλθέν μήνυμα	Τέλος κειμένου χαρακτήρων

Πίνακας 3: Πλαίσιο μηνύματος με ASCII κωδικοποίηση

	Πλαίσιο				Μήνυμα	Πλαίσιο	
<b>Κωδικοποίηση</b>	STX	STX	STX	STX	Μήκος μηνύματος	δεδομένα	Έλεγχος Αθροίσματος
<b>Μήκος (byte)</b>	1	1	1	1	4	≤2.495	1
<b>Περιγραφή</b>	Έναρξη κειμένου χαρακτήρων				Μήκος των δεδομένων χωρίς έλεγχο αθροίσματος	Δυαδική κωδικοποίηση. Το μήκος εξαρτάται από το προηγούμενο σταθθέν μήνυμα	Βλέπε από κάτω

**Πίνακας 4: Πλαίσιο μηνύματος με δυαδική κωδικοποίηση**

Μέσω ενός τελεστή XOR γίνεται έλεγχος αθροίσματος κάθε byte από τα δεδομένα που στέλνονται, χωρίς το πλαίσιο.

### 3 Εγκατάσταση στο πειραματικό όχημα

#### 3.1 Περιγραφή οχήματος



Εικόνα 3.1: Πειραματικό αυτοκίνητο με το λέιζερ LMS151

Το λέιζερ LMS151 τοποθετήθηκε στο πειραματικό αυτοκίνητο (Εικόνα 3.1), το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να κάνουμε τις μετρήσεις (Κεφάλαιο 5) και να ελέγξουμε του αλγορίθμους που αναπτύξαμε (Κεφάλαιο 4). Ο υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε για τους αλγορίθμους είναι ένα **PICE-3110P2** της plug-in (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2: Μονάδα CPU που αναλαμβάνει την εκτέλεση αλγορίθμων

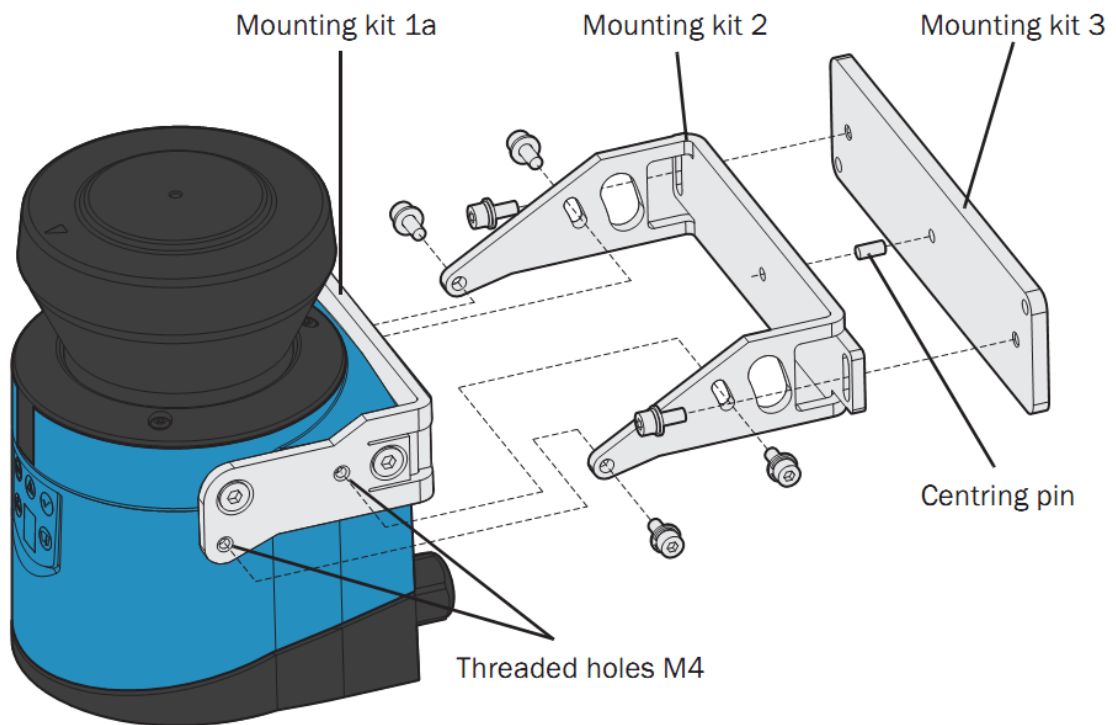
Τα χαρακτηριστικά της υπολογιστικής μονάδας είναι φαίνονται στον πίνακα 5.

	<b>PICE-3110P2</b>
<b>Επεξεργαστής</b>	Intel Core 2 Duo
<b>Chipset</b>	Intel® 945GME +
<b>Μνήμη</b>	2 GB DDR2-DIMM
<b>Σκληρός δίσκος</b>	2,5" HDD drive
<b>Γραφικά</b>	VGA, DVI
<b>Υποδοχή CompactFlash</b>	1 x εξωτερικό
<b>CD-ROM/DVD</b>	Εξωτερικό CD/DVD drive μέσω USB
<b>Interfaces/control elements Στην μπροστινή πλευρά</b>	2 x USB 2.0 ATX On-/Off διακόπτης
<b>Διεπαφές στην πίσω πλευρά</b>	1 x PS/2 (keyboard/mouse), 4 x USB 2.0, 2 x LAN, 4 x serial (44pin D-Sub) thereof 1 x RS-422/485, DVI, VGA (15pin D-Sub), S-Video TV output, Mic-In, Line-Out, DC power supply input 2pin connector for external On-/Off switch
<b>Ethernet</b>	2 x 10/100/1000 Mbps
<b>RS-422/485 υποστήριξη</b>	1 x RS-422/485
<b>LEDs στην μπροστινή πλευρά</b>	HDD, Power, LAN
<b>DC τάση εισόδου</b>	12 V...30 VDC
<b>Εσωτερική κατασκευή</b>	Κατασκευή Aluminium (χωρίς ανεμιστήρα)
<b>Διαστάσεις</b>	195 x 268 x 107 mm
<b>Θερμοκρασία λειτουργίας</b>	5...+50 °C HDD, -10...+55 °C CF

**Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά υπολογιστικής μονάδας**

### 3.2 Εγκατάσταση αισθητήρα

Για την εγκατάσταση του σαρωτή λέιζερ στο αυτοκίνητο χρησιμοποιήθηκε το κιτ της Εικόνας 3.3. Το κιτ αυτό μας επιτρέπει να ρυθμίσουμε τον αισθητήρα αφού τοποθετηθεί πάνω στο αυτοκίνητο



**Εικόνα 3.3: Κιτ συναρμολόγησης για τοποθέτηση στο αμάξι του αυτοκινήτου**

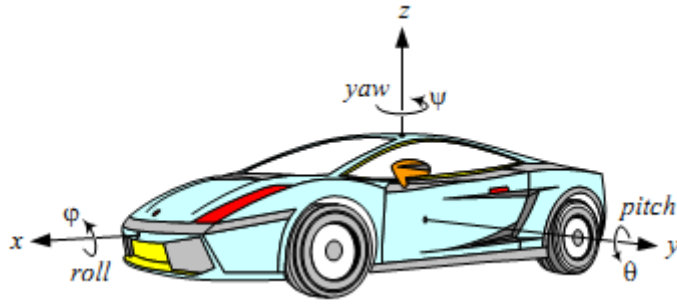
ως προς δύο άξονες, και ως προς  $y$  (pitch) αλλά και ως προς  $x$  (roll) όπως ορίζονται στην Εικόνα 3.4.

### 3.3 Βαθμονόμηση αισθητήρα

Αφού τοποθετήθηκε ο αισθητήρας πάνω στο αμάξι και πραγματοποιήθηκε η πρώτη δοκιμαστική βόλτα παρατηρήθηκε ότι ο αισθητήρας χρειαζόταν βαθμονόμηση. Για να το πετύχουμε αυτό πραγματοποιήθηκε το εξής απλό σενάριο. Για να λειτουργεί σωστά η σάρωση πρέπει να γίνεται στο επίπεδο  $x-y$  δηλαδή παράλληλα με το έδαφος. Οι παρακάτω ρυθμίσεις γίνονται αφού μετακινήσουμε το αμάξι σε σταθερό, επίπεδο έδαφος (πχ. παρκινγκ) και βρούμε κάποιο κουτί με ύψος σχεδόν όσο και η απόσταση του φακού εκπομπής της δέσμης λέιζερ από το έδαφος.

#### 3.3.1 Σφάλμα ως προς τον άξονα $y$ (pitch)

Αρχικά έπρεπε να εξαλειφτεί το πολύ μικρό ακτινικό εύρος που είχαμε λόγω pitch. Αυτό φάνηκε όταν παίρναμε μετρήσεις σε ακτίνα όχι μεγαλύτερη των 20m (βεληνεκές αισθητήρα 50m). Έχουμε δηλαδή το φαινόμενο που παρατηρούμε πάνω στην Εικόνα 3.5. Στόχος είναι να πετύχουμε αυτό που φαίνεται στο κάτω μέρος της Εικόνας 3.5. Έτσι πρώτα τοποθετούμε το αντικείμενο περίπου στα 20m στις  $90^\circ$ , δηλαδή ευθεία μπροστά μας, και αρχίζουμε σιγά σιγά να μετακινούμε τον αισθητήρα κατά τον  $y$ . Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιούμε ένα monitor για να καταγράφουμε τις μετρήσεις από το λέιζερ. Όταν δεν θα το βλέπουμε πια στο monitor σταματάμε τη διαδικασία και μεταφέρουμε το κουτί στα 40m. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία.

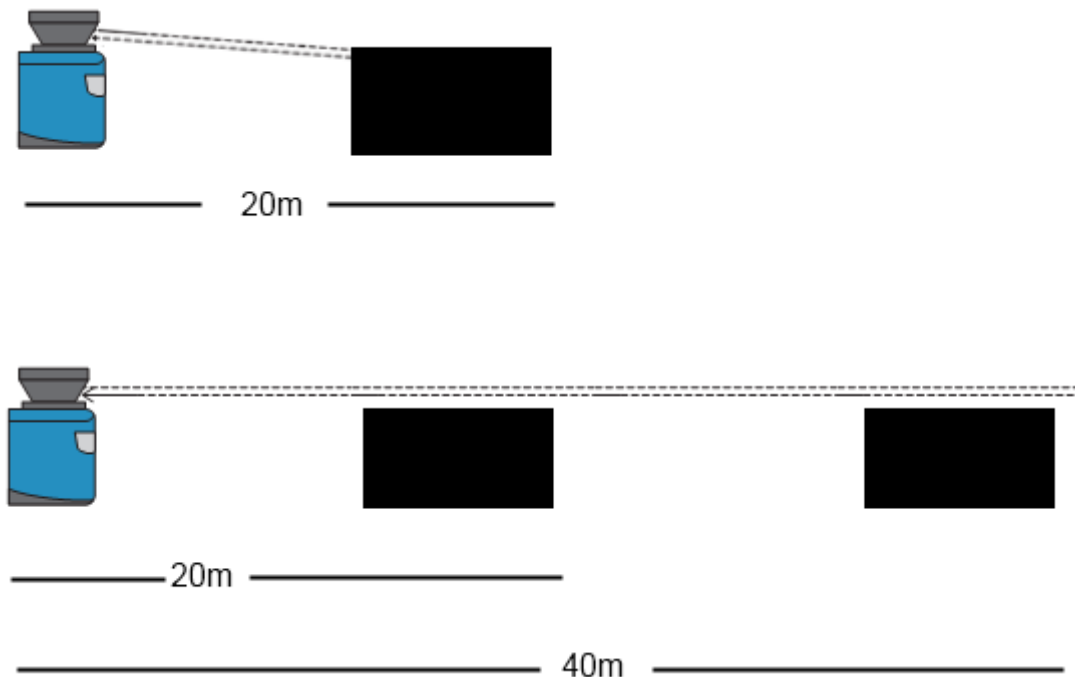


**Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση roll, pitch και yaw rate**

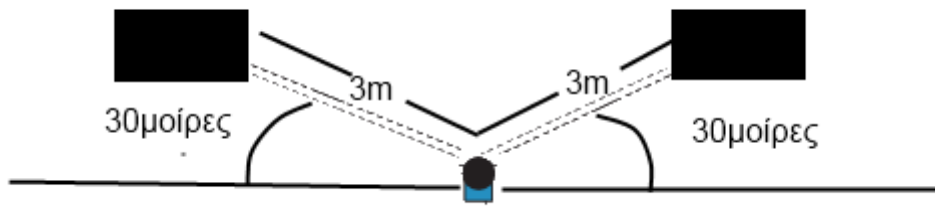
Αντίθετα εάν αντιληφθούμε ότι η γωνία κλίσης με το οριζόντιο επίπεδο είναι θετική, δηλαδή είναι σηκωμένο λιγάκι (δε βλέπουμε τίποτα στα 20m ενώ γνωρίζουμε ότι υπάρχει ένα πχ. αυτοκίνητο), τότε τοποθετούμε πάλι στα 20m ένα κουτί, τον διαστάσεων που αναφέραμε παραπάνω και αρχίζουμε σιγά σιγά τώρα να το γέρνουμε προς το επίπεδο μέχρι να δούμε το στο monitor. Έπειτα ακολουθούμε την ίδια διαδικασία όπως και πριν.

### 3.3.2 Σφάλμα ως προς τον άξονα x (roll)

Ο αισθητήρας υπάρχει περίπτωση να μην είναι σωστά βαθμονομημένος ως προς τον άξονα x, δηλαδή να γέρνει ελαφρά προς τα αριστερά ή δεξιά του οχήματος. Αυτό γίνεται αντιληπτό όταν αντικείμενα από τη δεξιά πλευρά του αυτοκινήτου δεν επιστρέφουν μετρήσεις με την ίδια πυκνότητα που έχουμε από την αριστερή πλευρά ή αντίστροφα. Αυτό μπορούμε κάλλιστα να το παρατηρήσουμε όταν κάνουμε το πείραμα της Εικόνας 3.6. Τοποθετούμε το αμάξι σε οριζόντιο έδαφος όπως και πριν και τοποθετούμε δύο κουτιά, των διαστάσεων που περιγραφήκανε και



**Εικόνα 3.5: Προτεινόμενη μεθοδολογία διόρθωσης φαινομένου pitch του αισθητήρα**



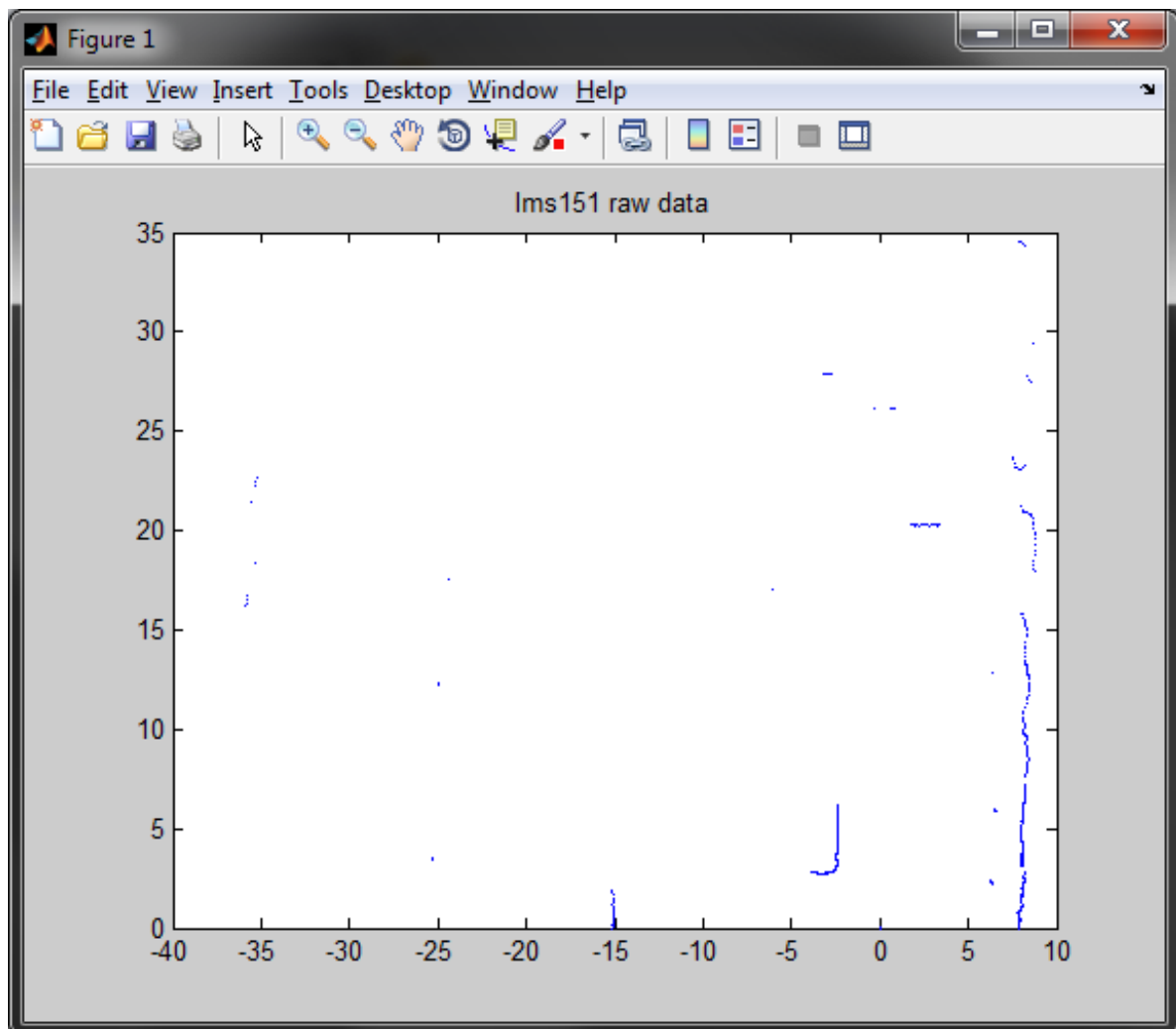
**Εικόνα 3.6: Προτεινόμενη μεθοδολογία διόρθωσης φαινομένου roll του αισθητήρα**

πριν, αριστερά και δεξιά του αμαξιού, περίπου στις γωνίες που φαίνονται στην Εικόνα 3.6, αρκετά κοντά στο αμάξι. Σε μία σάρωση θα δούμε ότι έχουμε μετρήσεις για το ένα αντικείμενο και όχι για το άλλο (το δεξιά δεν θα το βλέπουμε αν γέρνει προς τα αριστερά και αντίστοιχα το άλλο αν γέρνει προς την άλλη πλευρά). Έτσι πειράζοντας το κιτ συναρμολόγησης (Εικόνα 3.3), χωρίς να χαλάσουμε την προηγούμενη βαθμονόμηση) επιδιώκουμε να φτάσουμε σε ένα σημείο όπου δεν θα βλέπουμε κανένα από τα δυο αντικείμενα.

## 4 Επεξεργασία Δεδομένων

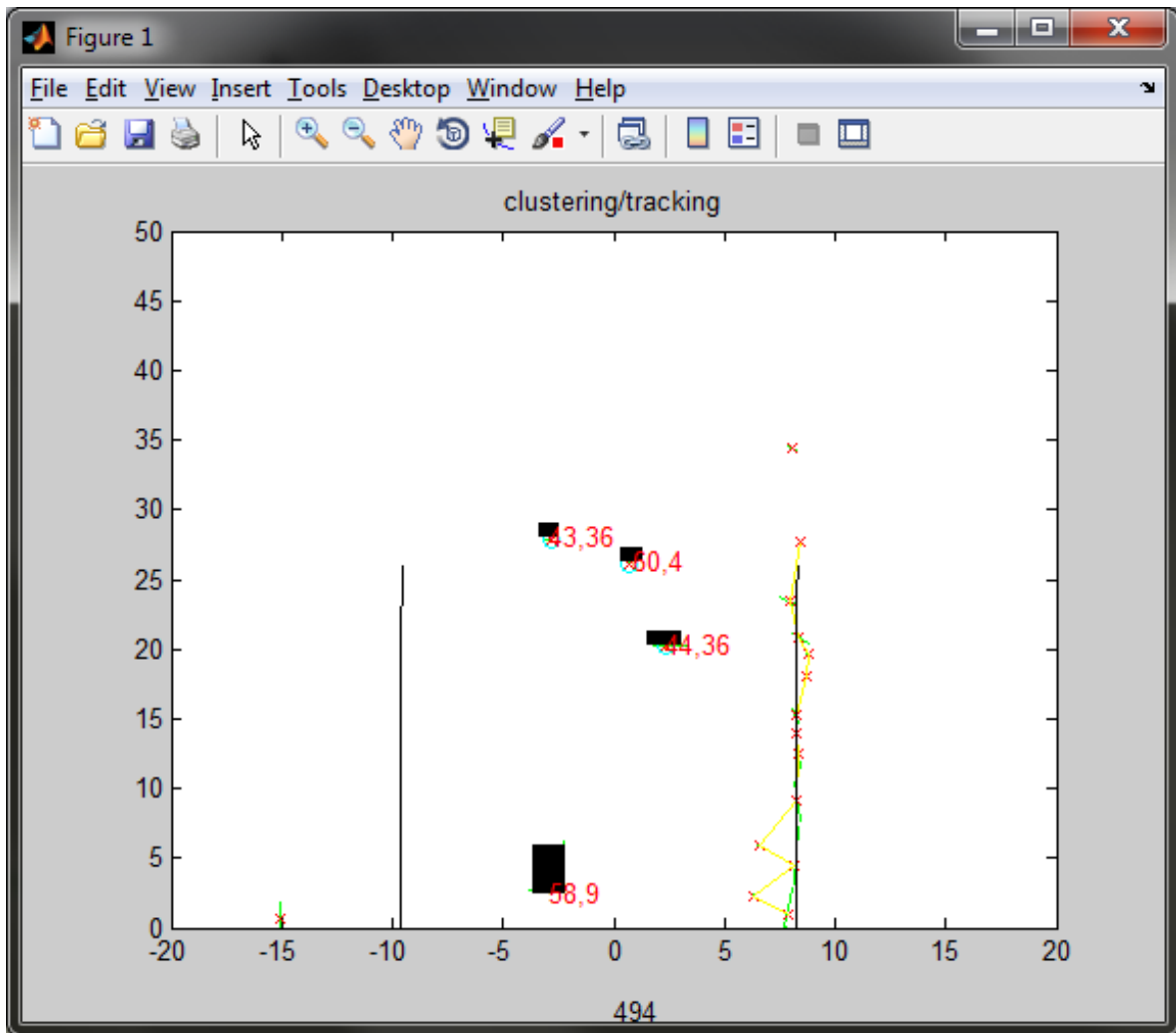
### 4.1 Εισαγωγή

Η επεξεργασία των δεδομένων ενός σαρωτή λέιζερ είναι ένα τεράστιο κεφάλαιο με πολλές διαφοροποιήσεις. Είναι μια επίπονη εργασία που απαιτεί πολύ καλό σχεδιασμό για να δουλέψει αποδοτικά και αξιόπιστα. Τα "μη επεξεργασμένα δεδομένα" (Εικόνα 4.1) που παίρνουμε σαν έξοδο από τον σαρωτή λέιζερ πρέπει να υποστούν επεξεργασία σε διάφορα επίπεδα (Εικόνα 4.2) ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από HMI εφαρμογές είτε για να ειδοποιήσουν έγκαιρα τον οδηγό είτε για να αναλάβουν μερικό ή ολικό έλεγχο του αυτοκινήτου για να αποφύγουν ή για να μετριάσουν τον επερχόμενο κίνδυνο.



Εικόνα 4.1: Στιγμιότυπο από "μη επεξεργασμένα" δεδομένα από το σαρωτή λέιζερ





**Εικόνα 4.2: Επεξεργασμένα δεδομένα από σαρωτή λέιζερ**

Χονδρικά τρία είναι τα επίπεδα εκείνα που απαιτούνται για να εξαχθεί χρήσιμη και αξιοποιήσιμη πληροφορία:

- Ομαδοποίηση (clustering/ segmentation)
- Ιχνηλασία (tracking)
- Κατηγοριοποίηση (classification)

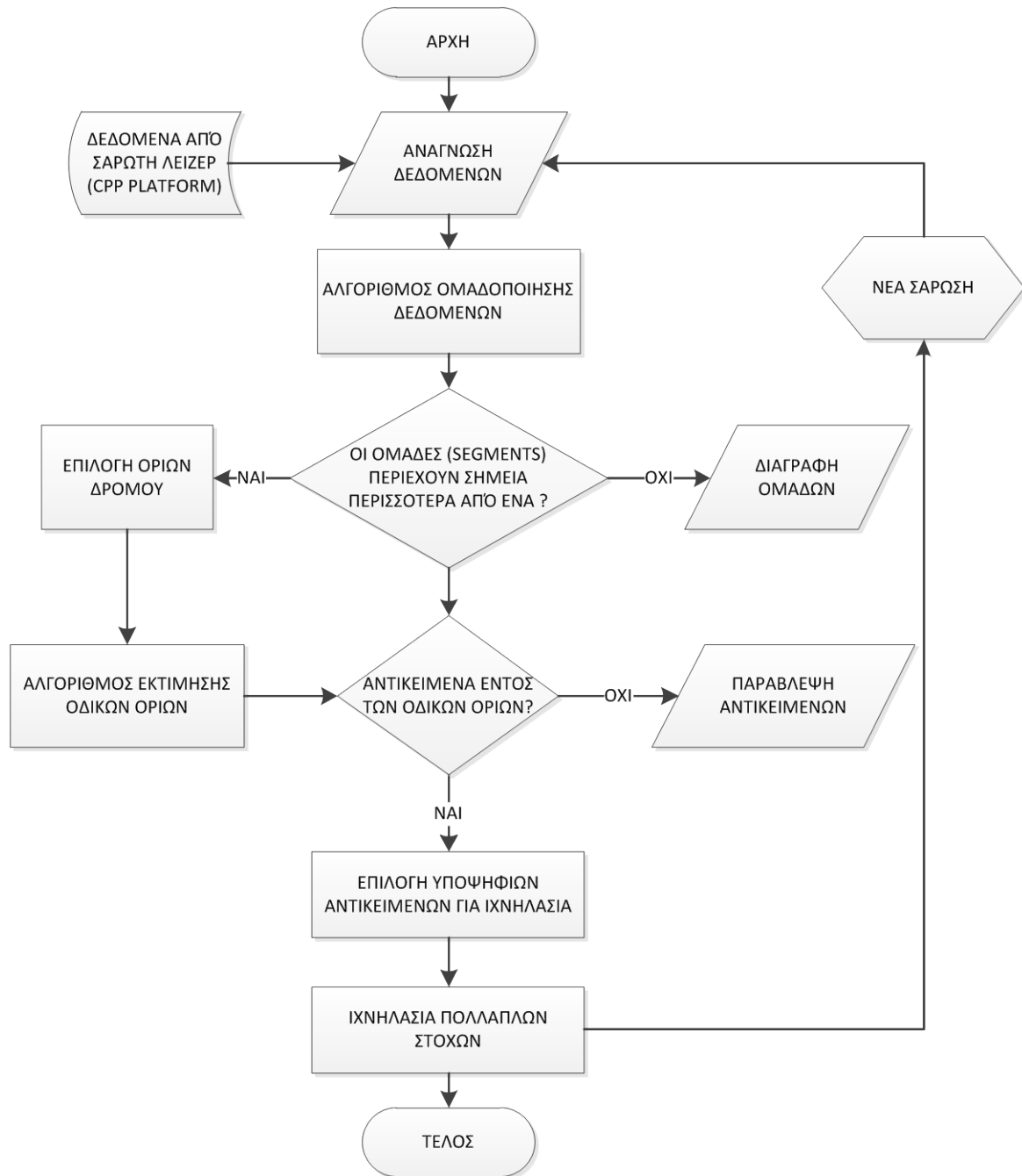
Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση προβλημάτων όσον αφορά την ομαδοποίηση και την ιχνηλασία.

## 4.2 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Το σύστημα που υλοποιήθηκε για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι (ομαδοποίησης και ιχνηλασίας) μπορεί να χωριστεί στα εξής κομμάτια:

- Ομαδοποίηση μετρήσεων
- Εκτίμηση οδικών ορίων
- Ιχνηλασία πολλαπλών στόχων

Η βασική επεξεργασία χωρίζεται στα εξής στάδια που αναλύονται ακολούθως. Τα δεδομένα αρχικά έρχονται από την πλατφόρμα διασύνδεσης του λέιζερ μέσω Ethernet όπως παρουσιάστηκε και αναπτύχθηκε στα Κεφάλαια 2 και 3. Έπειτα ακολουθεί η ομαδοποίηση των μετρήσεων από το σαρωτή λέιζερ, μια διαδικασία καίριας σημασίας διότι η έξοδος του τροφοδοτεί τα επόμενα



Εικόνα 4.3: Λογικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής του συστήματος

επίπεδα και ένα σημαντικό μέρος της διπλωματικής αυτής είναι η μελέτη τέτοιων αλγορίθμων. Έτσι μια εύρωστη και σωστή ομαδοποίηση μπορεί να εξασφαλίσει μια επιτυχημένη ιχνηλασία με αποτέλεσμα να δοθεί μια αξιόπιστη αναπαράσταση του χώρου γύρω από το αυτοκίνητο.

Τα αντικείμενα (segments) που προκύπτουν χρησιμεύουν για την εξαγωγή και εκτίμηση των ορίων του δρόμου, δηλαδή των προστατευτικών μπαρών που υπάρχουν εκατέρωθεν του δρόμου. Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο κάθε απόστασης ασφαλείας με άλλα αντικείμενα που υπάρχουν στο δρόμο και μειώνουν αισθητά τον αριθμό των αντικείμενα που αποτελούν υποψήφιους στόχους για ιχνηλασία.

Τέλος ακολουθεί η ιχνηλασία πολλαπλών στόχων.

Η Εικόνα 4.3 περιγράφει σε block-διάγραμμα τη βασική ροή επεξεργασίας των δεδομένων του σαρωτή λέιζερ.

## 4.3 Αλγόριθμος

### 4.3.1 Ομαδοποίηση μετρήσεων

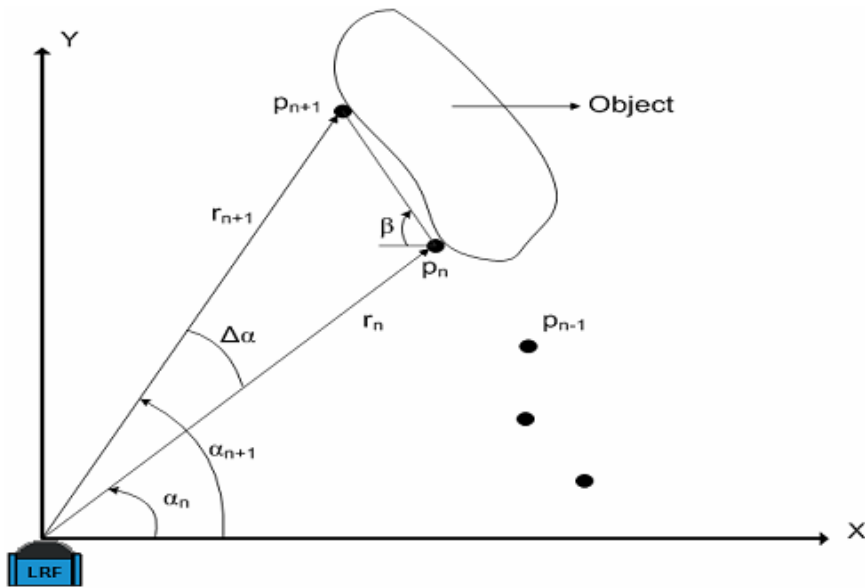
Η ανάλυση ομάδων (cluster analysis) ή απλά ομαδοποίηση (clustering) είναι η γενικευμένη ονομασία των τεχνικών ανάλυσης πολλών μεταβλητών με σκοπό τη δημιουργία ομάδων από αντικείμενα με βάση κριτήριο αλληλοσυσχέτισής τους. Για παράδειγμα, στις βάσεις δεδομένων, η ομαδοποίηση χρησιμοποιείται για την αναδιάρθρωση ήδη αποθηκευμένων πληροφοριών σύμφωνα με προκαθορισμένα κριτήρια, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας των λειτουργιών ανάκτησης δεδομένων. Επίσης 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.

Δυο έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν συχνά είναι η ομαδοποίηση και τα αντικείμενα.

- Ομαδοποίηση (clustering/ segmentation): η διαδικασία της μετατροπής των "μη επεξεργασμένων" δεδομένων από το σαρωτή λέιζερ σε βασικές ομάδες αντικειμένων.
- Αντικείμενα (segments): ένα σύνολο από μετρήσεις (σημεία) στο επίπεδο της σάρωσης που βρίσκονται κοντά η μία στην άλλη και πιθανώς ανήκουν σε ένα και μόνο αντικείμενο.

Σε μια πλήρη σάρωση των  $180^\circ$  έχουμε μια ακολουθία από  $N$  μετρήσεις ( $P$ ), όπου κάθε σημείο της σάρωσης μπορεί να αναπαρασταθεί σε πολικές συντεταγμένες ( $r_n, a_n$ ) ως εξής:

$$P = \left\{ P_n = \left( \begin{matrix} r_n \\ a_n \end{matrix} \right) \right\}, n \in [1, N] \quad 4.1$$



Εικόνα 4.4: Σχηματική αναπαράσταση μιας υποθετικής σάρωσης από λέιζερ. Δα είναι η γωνιακή ανάλυση του αισθητήρα λέιζερ

Σύμφωνα με την αναπαράσταση στην Εικόνα 4.4, ένα αντικείμενο ( $S_i$ ) μπορεί να εκφραστεί ως:

$$S_i = \{(r_i, a_i); (x_i, y_i), / i = k : n\}, 1 \leq k < n \leq N \quad 4.2$$

Τα είδη της ομαδοποίησης που υπάρχουν στη βιβλιογραφία είναι πολλά και διάφορα ανάλογα με το πρόβλημα, τη λύση που ψάχνουμε και τα δεδομένα που εξετάζουμε. Στην περίπτωση των μετρήσεων από σαρωτή λέιζερ η διαδικασία που επιλέξαμε συνοψίζεται στο διάγραμμα της Εικόνα 4.5. Έτσι τρία είναι τα επίπεδα που αποτελούν τη διαδικασία της ομαδοποίησης:

- Ομαδοποίηση με PDBS
- Προσαρμογή καμπύλης
- Έλεγχος κριτηρίων για ένωση αντικειμένων (segments)

#### 4.3.1.1 Μέθοδος δημιουργίας αντικειμένων βάσει απόστασης σημείων - PDBS

Στην κατηγορία αυτή οι μέθοδοι βασίζονται στην Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των σημείων ως συνθήκη για δημιουργία αντικειμένων. Η γενική μορφή των αλγορίθμων είναι της μορφής:

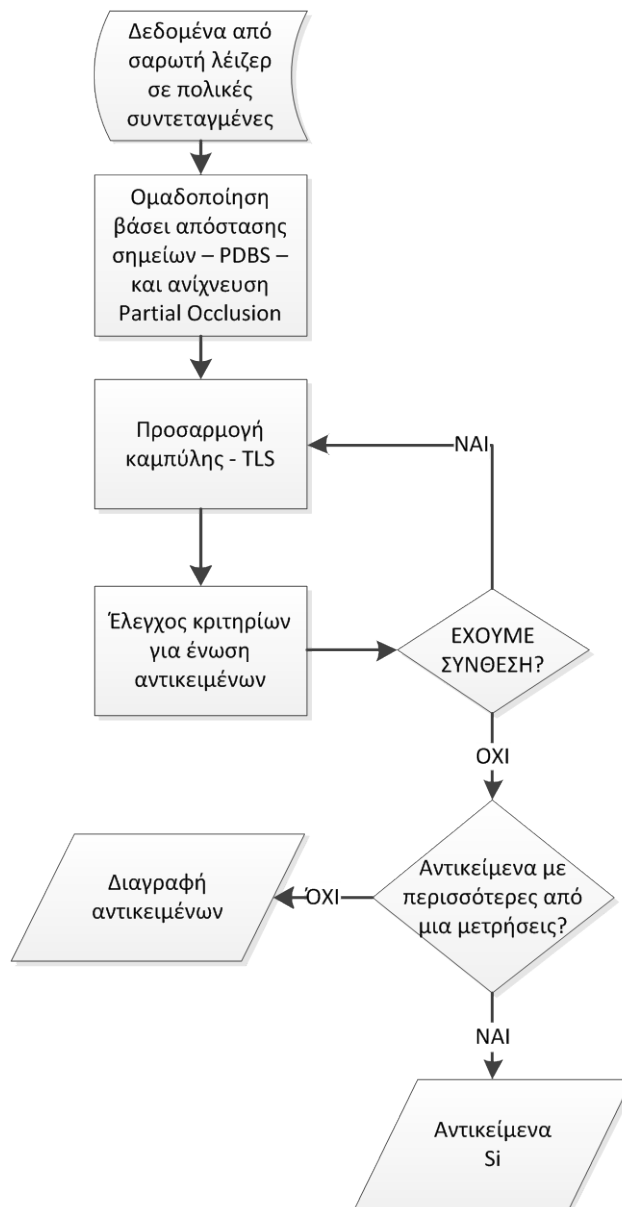
***if  $D(r_i, r_{i+1}) > D_{thd}$ , {τα αντικείμενα πρέπει να χωριστούν}, else {τα αντικείμενα δεν πρέπει να χωριστούν}***

, όπου  $D_{thd}$  είναι η συνθήκη-κατώφλι και  $D(r_i, r_{i+1})$  είναι η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων:

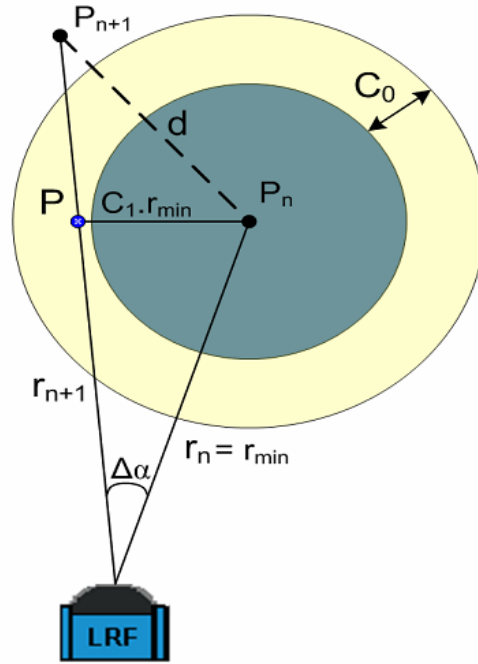
$$D(r_i, r_{i+1}) = \sqrt{r_i^2 + r_{i+1}^2 - 2r_i r_{i+1} \cos \Delta\alpha} \quad 4.3$$

Επειδή όμως  $\Delta\alpha=0.25^\circ$  και  $\cos\Delta\alpha\approx 1$ , συνήθως χρησιμοποιείται ο προσεγγιστικός τύπος της Ευκλείδειας απόστασης:

$$D(r_i, r_{i+1}) \approx |r_i - r_{i+1}| \quad 4.4$$



Εικόνα 4.5: Λογικό διάγραμμα ομαδοποίησης των δεδομένων απο σαρωτή λέιζερ



Εικόνα 4.6: Γεωμετρική αναπαράσταση του  $D_{thd}$  κατά Dietmayer

Το σημαντικό σε αυτόν τον αλγόριθμο είναι να επιλεγεί ένα όσο γίνεται πιο αξιόπιστο  $D_{thd}$ , διότι ένα μεγάλο κατώφλι θα ενοποιήσει αντικείμενα και σημεία που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες ενώ ένα αυστηρό κατώφλι θα προκαλέσει το φαινόμενο της υπέρ-ομαδοποίησης (over segmentation), δηλαδή περισσότερα αντικείμενα από αυτά που πραγματικά υπάρχουν. Ο Dietmayer πρότεινε τον εξής τύπο για την εύρεση ενός αξιόπιστου κατωφλίου-συνθήκης:

$$D_{thd} = C_0 + C_1 \min\{r_i, r_{i+1}\} \quad 4.5$$

, όπου  $C_0$  είναι μια σταθερή παράμετρος που χρησιμοποιείται για τη μείωση του θορύβου και

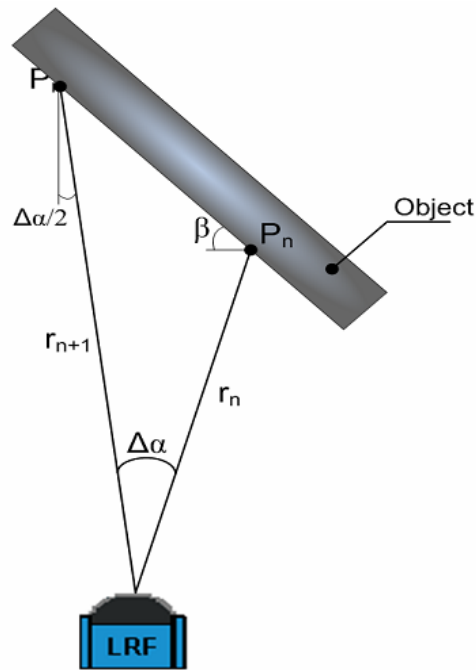
$$C_1 = \sqrt{2(1 - \cos \Delta\alpha)} = D(r_i, r_{i+1})/r_i.$$

Αν και η προτεινόμενη μέθοδος από τον Dietmayer (Εικόνα 4.6) είναι αρκετά καλή, δεν λαμβάνει υπόψη την απόσταση του αντικειμένου από το σαρωτή λέιζερ. Ο Santos (Εικόνα 4.7) για να λύσει αυτό το πρόβλημα όρισε το κατώφλι ως εξής:

$$D_{thd} = C_0 + \frac{C_1 \min\{r_i, r_{i+1}\}}{\cot(\beta) \cdot \cos(\Delta\alpha/2) - \sin(\Delta\alpha/2)} \quad 4.6$$

, όπου  $C_0$  και  $C_1$  είναι ίδια με την 4.5.

Έτσι εάν το  $\min\{r_i, r_{i+1}\}$  είναι μικρό το σύνολο των σημείων που ορίζονται από το  $\beta$  θα είναι και αυτό μικρό ενώ αντίθετα αν το  $\min\{r_i, r_{i+1}\}$  είναι μεγάλο αντίστοιχα μεγαλώνει και ο αριθμός των



Εικόνα 4.7: Γεωμετρική αναπαράσταση μεθόδου κατά Santos

σημείων που ορίζονται από το  $\beta$ . Η επιλογή όμως του  $\beta$  πρέπει να γίνει προσεκτικά διότι αν είναι πολύ μεγάλο τότε σημεία που ανήκουν σε διαφορετικά αντικείμενα θα ενοποιηθούν.

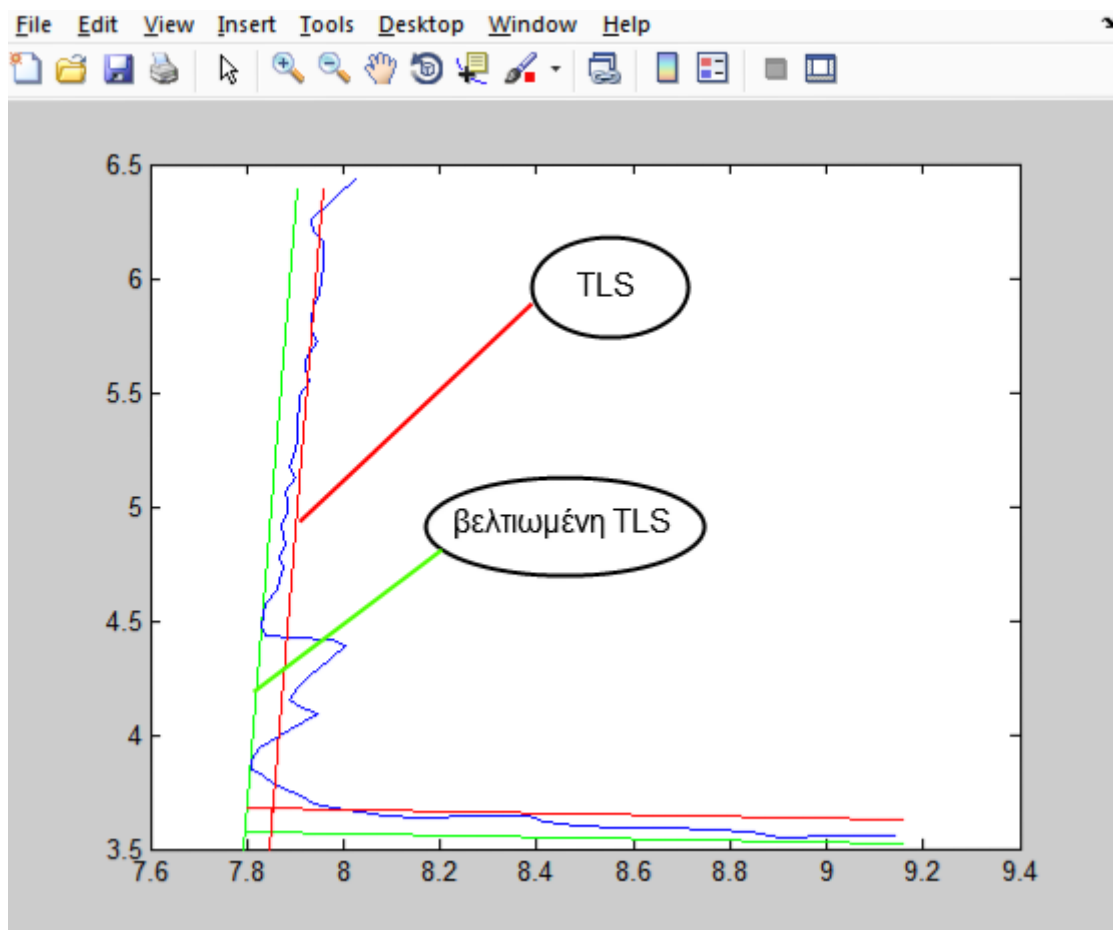
#### 4.3.1.2 Προσαρμογή καμπύλης - TLS

Για να μπορέσουμε να πετύχουμε μια αξιόπιστη ιχνηλασία είναι σημαντικό να ορίσουμε ένα σημείο το οποίο θα μπορούμε εύκολα να αναγνωρίζουμε σε διαδοχικές σαρώσεις. Έτσι, εφόσον όλα τα αντικείμενα αντιμετωπίζονται σαν μοντέλα ελεύθερης μάζας, επιλέγουμε το σημείο αναφοράς τους να είναι το κέντρο βάρους τους. Επίσης για την αναπαράσταση των αντικειμένων χρησιμοποιήθηκαν ευθείες γραμμές και τετράγωνα (Εικόνα 4.8). Αν και αρχικά φαίνεται περιοριστικό δεν είναι. Και αυτό διότι κινούμενα αντικείμενα στο δρόμο αναπαριστώνται αρκετά καλά ως τετράγωνα αλλά και αντικείμενα που δεν έχουν καλή γραμμική προσαρμογή, όπως οι άνθρωποι και οι θάμνοι, μια γραμμή ή ένα τετράγωνο είναι μια πολύ καλή περιγραφή του χώρου που καταλαμβάνουν. Τέλος για να εφαρμοστούν σωστά τα κριτήρια που θα περιγραφούν στην επόμενη παράγραφο πρέπει να χουμε ορισμένες πληροφορίες για τα αντικείμενα, όπως το σχήμα τους, η κλίση, το κέντρο βάρους τους κλπ. Για όλους τους παραπάνω λόγους επιλέχθηκε η χρήση της μεθόδου της γραμμικής απόκλισης εξαρτημένης μεταβλητής (LRM). Επειδή όμως η απλή μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων θεωρεί ότι σφάλματα έχουμε μόνο ως προς τον άξονα των  $y$ , επιλέγει η μέθοδος των απόλυτων ελαχίστων τετραγώνων (TLS), που, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 4.9, κάνει σωστή εκτίμηση του σφάλματος άρα και καλύτερη γραμμική προσέγγιση.

Ο αλγόριθμος που ακολουθούμε για να βρούμε την καλύτερη προσέγγιση καμπύλης ενός αντικειμένου συνοψίζεται στα παρακάτω:

- Βρες το τελεστή αυτοσυσχέτισης των σημείων
- *if* τελεστής αυτοσυσχέτισης > κατώφλι τότε τα σημεία του αντικειμένου μπορούνε να αντικατασταθούνε από ευθεία γραμμή  
*else* βρες το κοντινότερο στο λέιζερ;
- *If* αριθμός σημείων από την αριστερή άκρη μέχρι το κέντρο ( $S_L$ ) > αριθμός σημείων από την δεξιά άκρη μέχρι το κέντρο ( $S_R$ )
- Εφάρμοσε την TLS στα  $S_L$   
*Else* εφάρμοσε την TLS στα  $S_R$ .
- Έπειτα βρες ευθεία που έχει συντελεστή κλίσης  $-1/(\text{συντελεστής κλίσης ευθείας από TLS})$  και περνά από το μέσο των υπόλοιπων σημείων.

Τέλος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.8, γίνεται μια αναπροσαρμογή της καμπύλης που έχει υπολογιστεί με τη μέθοδο TLS, διότι συνήθως τα σημεία που βρίσκονται στις άκρες των αντικειμένων επηρεάζουν αρνητικά το τετράγωνο σχήμα που επιθυμούμε. Αυτό συμβαίνει διότι μπορεί να είναι αντανάκλαση της στρογγυλεμένης άκρης των φαναριών των αυτοκινήτων, είτε η εσοχή των λάστιχων κλπ..



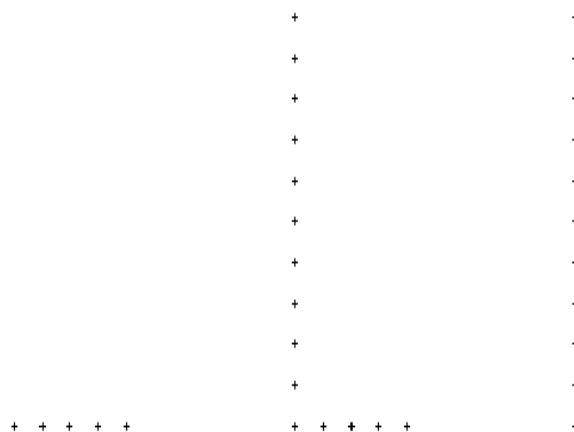
Εικόνα 4.8: Αναπαράσταση αυτόματης προσαρμογής της καμπύλης



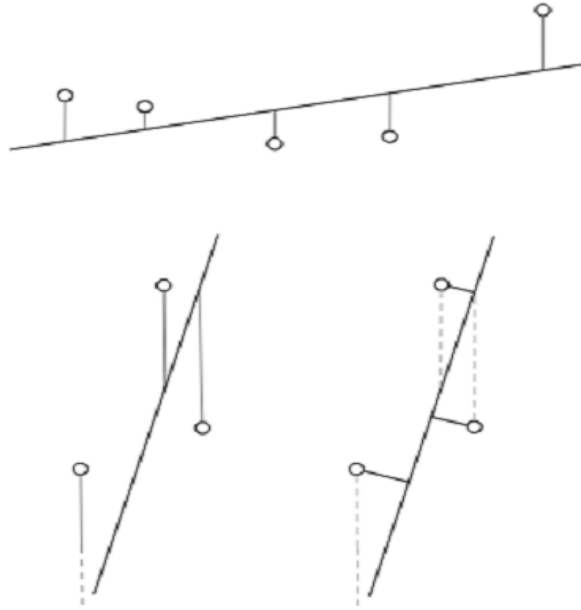
### 4.3.1.3 Σύνθεση αντικειμένων βάσει κριτηρίων

Διάφοροι λόγοι, όπως μερικός αποκλεισμός αντικειμένου από κάποιο άλλο, οδηγούν στο διαχωρισμό αντικειμένων σε διάφορες ομάδες. Έτσι ο PDBS αλγόριθμος που βασίζεται στο κριτήριο της εγγύτητας μόνο δεν είναι αρκετός. Στην Εικόνα 4.10 βλέπουμε μια σειρά από συνθήκες που επιτρέπουν ή όχι δύο ομάδες να ενωθούν και να σχηματίσουν μια μεγαλύτερη. Το πρώτο κριτήριο επιβάλλει το αντικείμενο να είναι συμπαγές. Αυτό σημαίνει να μην υπάρχουν μετρήσεις πίσω από το αντικείμενο (Εικόνα 4.10, αριστερά). Το συντιθέμενο αντικείμενο πρέπει να ναι κυρτό (Εικόνα 4.10, μεσαίο). Αυτός ο περιορισμός υπάρχει διότι αυτοκίνητα, ποδήλατα, φορτηγά και πεζοί έχουν τέτοιο σχήμα. Τέλος το νέο αντικείμενο πρέπει να χει ένα ομαλό σχήμα, δηλαδή τα σημεία προς ένωση πρέπει να βρίσκονται πιο κοντά από οποιαδήποτε άλλα ζευγάρια σημείων των δυο ομάδων.

Η πρώτη συνθήκη αντιμετωπίζεται με ένα αλγόριθμο που θα περιγραφεί παρακάτω. Οι άλλες δυο περιπτώσεις ελέγχονται με στοιχεία των καμπύλων γραμμών που έχουν προκύψει κατά την εφαρμογή των απόλυτων ελαχίστων τετραγώνων. Μερικές φορές όμως επειδή αυτό δεν είναι αρκετό, διότι η προσέγγιση μέσω καμπύλης δεν είναι ακριβής λόγω μικρού αριθμού σημείων, εφαρμόζεται μια τεχνική κατά την οποία το αντικείμενο εκτείνεται προς την κατεύθυνση όπου συνεχίζει να διατηρεί το σχήμα του και ελέγχεται εάν ενσωματώνει κάποια κοντινή ομάδα.

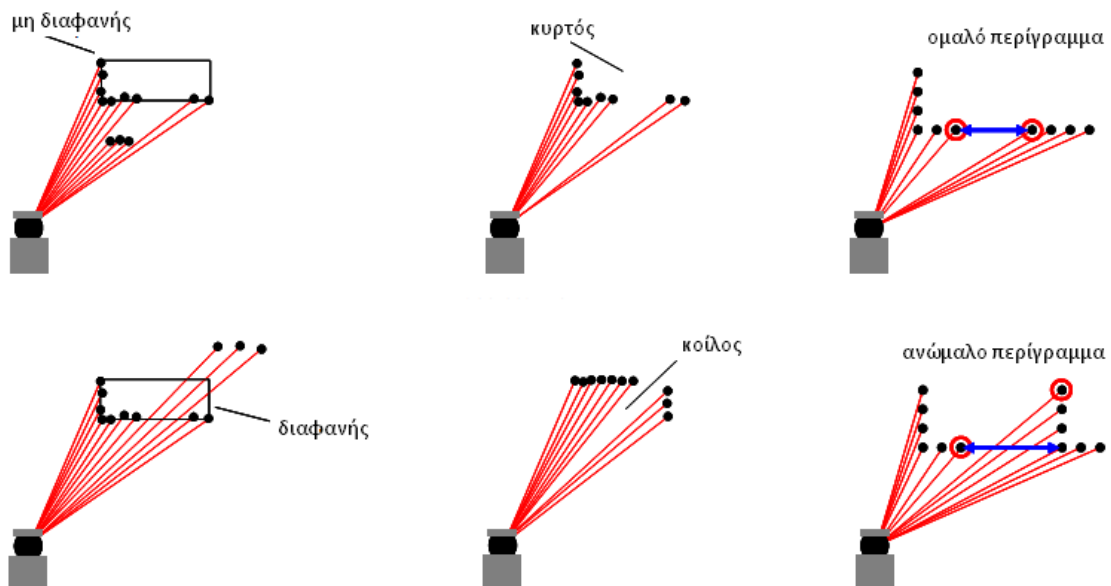


Εικόνα 4.9: Πιθανά περιγράμματα αναπαράστασης των αντικειμένων που παίρνουμε από το λείζερ



**Εικόνα 4.10: Διαφοροποίηση μέτρησης του σφάλματος της απλής μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (πάνω και αριστερά) από την TLS (δεξιά)**

Τέλος , για να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα, σημεία που δεν έχουν ενσωματωθεί σε κάποιο αντικείμενο στην πρώτη ομαδοποίηση χρησιμοποιούνται εδώ ώστε να μειώσουν την απόσταση μεταξύ αντικειμένων που αρχικά μοιάζανε απομακρυσμένα. Επειδή τα γύρω τους σημεία είναι πολύ πιθανό να ανήκουν σε κάποια ομάδα σε αυτή τη φάση, είναι πιο εύκολο να ενσωματωθούν.



**Εικόνα 4.11: Κριτήρια για σύνθεση αντικειμένων που έχουν προκύψει από προηγούμενο επίπεδο ομαδοποίησης**

#### 4.3.1.4 Μερικός αποκλεισμός

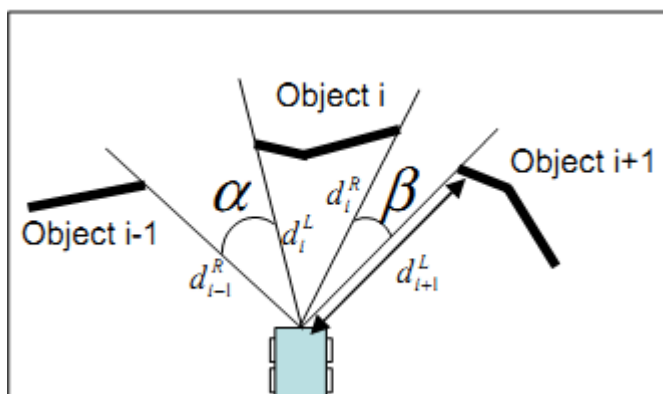
Το πραγματικό περίγραμμα ενός αντικείμενου μερικές φορές είναι μερικώς ορατό από το σαρωτή λέιζερ. Εξαιτίας αυτού όμως το μέγεθος που παίρνουμε μετά την ομαδοποίηση είναι παραπλανητικό. Έτσι, κάνοντας χρήση την σημειογραφία της Εικόνα 4.11, κάθε αντικείμενο χαρακτηρίζεται σαν “occluded” (αποκλεισμένο) ή “not occluded” (μη αποκλεισμένο) ακολουθώντας τον εξής κανόνα:

*if*  $(a < 2 \bullet \Delta\alpha) \wedge (d_{i-1}^R < d_i^L) \vee (a < 2 \bullet \Delta\alpha) \wedge (d_i^R > d_{i+1}^L)$  *is true then object i is occluded else it is not occluded*

, όπου το  $\Delta\alpha$  αναφέρεται στην ανάλυση του σαρωτή λέιζερ.

#### 4.3.2 Εκτίμηση ορίων δρόμου

Η εκτίμηση των οδικών ορίων και η διαδικασία της ιχνηλασία στηρίζονται στην κίνηση του οχήματος αναφοράς, στην επιλογή του μοντέλου που αναπαριστά τμήματα του δρόμου και στην ανίχνευση, δηλαδή ποια αντικείμενα πρέπει να θεωρηθούν ότι αποτελούν μέρος των οδικών ορίων. Η κίνηση του οχήματος αναφοράς ορίζει την μετατόπισή του, και επομένως και τη μετατόπιση του συστήματος συντεταγμένων, σε διαδοχικές σαρώσεις. Το μοντέλο του δρόμου δίνεται από τα εγχειρίδια των πολιτικών μηχανικών, ενώ η διαδικασία της ανάθεσης των οδικών ορίων περιγράφεται στη συνέχεια αυτής της παραγράφου.



Εικόνα 4.12: Αναπαράσταση αλγορίθμου για την εύρεση μερικών αποκλεισμών

##### 4.3.2.1 Μοντέλο Κίνησης Οχήματος Αναφοράς

Σε κάθε σάρωση, η ταχύτητα  $V$  του οχήματος αναφοράς και η γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  παρέχονται από το δίαυλο επικοινωνίας του οχήματος (CAN) και σχηματίζουν το διάνυσμα μετρήσεων. Ο προτεινόμενος εκτιμητής πρέπει να ναι αξιόπιστος όσον αφορά τη δυναμική του οχήματος αναφοράς, το οποίο επηρεάζει τις παραμέτρους του μοντέλου εκτίμησης των οδικών ορίων.

Επιλέγει ένα γραμμικό φίλτρο Kalman, υπό την υπόθεση ότι οι μετρήσεις και ο θόρυβος ακολουθούν Γκαουσιανές κατανομές, με το ακόλουθο διάνυσμα κατάστασης  $\mathbf{X}_v$  :

$$\mathbf{x}_v = [V \quad a \quad \theta \quad \omega]^T \quad 4.7$$

, όπου το  $a$  είναι η εφαπτομενική επιτάχυνση και  $\theta$  η γωνία μεταβολής της ταχύτητας του οχήματος. Το μοντέλο χρησιμοποιεί σταθερό ρυθμό στροφής και σταθερή εφαπτομενική επιτάχυνση, με την ακόλουθη εξίσωση κατάστασης για τη μετάβαση μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων  $k$  και  $k+1$ :

$$\mathbf{x}_v(k+1) = \Phi_v(k)\mathbf{x}_v(k) + \mathbf{G}(k)\mathbf{w}(k) \quad 4.8$$

, όπου  $\Phi_v$  είναι ο πίνακας μετάβασης για την κίνηση του οχήματος αναφοράς,  $\mathbf{w}$  είναι το διάνυσμα θορύβου με κέρδος  $\mathbf{G}$  και πίνακα συνδιακύμανσης  $\mathbf{Q}_v$ .

#### 4.3.2.2 Θεωρία εκτίμησης Οδικών Ορίων

Οι δρόμοι μπορούν να παρασταθούν ως διαδοχικές καμπύλες clothoid. Μία clothoid ορίζεται σαν μία καμπύλη, με γραμμικώς εξαρτημένη καμπυλότητα από το μήκος  $l$  τόξο της, ως εξής:

$$c(l) = c_0 + c_1 l \quad 4.9$$

όπου  $c_0$  είναι η αρχική καμπυλότητα και  $c_1$  ο ρυθμός μεταβολής της καμπυλότητας. Η clothoid μπορεί επίσης να ορισθεί σε παραμετρική μορφή:

$$x(l) = \int_0^l \cos(C_0 \tau + \frac{C_1 \tau^2}{2}) d\tau \quad 4.10$$

$$y(l) = y_0 + \int_0^l \sin(C_0 \tau + \frac{C_1 \tau^2}{2}) d\tau \quad 4.11$$

Ένα οδικό σύνορο περιγράφεται επαρκώς από μία clothoid, η οποία μπορεί στη συνέχεια να προσεγγιστεί από ένα πολυώνυμο τρίτης τάξης. Θεωρώντας τις  $y$ -συντεταγμένες πιο επιρρεπείς στα λάθη σε σύγκριση με τις  $x$ -συντεταγμένες, το πολυώνυμο θα έχει την ακόλουθη μορφή:

$$y(x) = c_0 \frac{x^2}{2} + c_1 \frac{x^3}{6} + y_0 \quad 4.12$$

, με  $Y_0$  να είναι το αντιστάθμισμα (offset) από τη θέση του οχήματος αναφοράς στον άξονα-y. Δύο ίδιες clothoid καμπύλες με τις ίδιες παραμέτρους  $c_0$  και  $c_1$ , αλλά με διαφορετικά αντισταθμίματα (offsets)  $Y_{0l}$  και  $Y_{0r}$ , μπορούν να περιγράψουν το δρόμο για το αριστερό και το δεξί σύνορο, αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, το διάνυσμα κατάστασης  $\mathbf{x}_{RB}$  που περιγράφει το δρόμο είναι:

$$\mathbf{x}_{RB} = [c_0 \quad c_1 \quad Y_{0l} \quad Y_{0r}]^T \quad 4.13$$

Ένα διακριτό χρονικό μοντέλο καθορίζεται για την ενημέρωση αυτού του διανύσματος χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του οχήματος αναφοράς. Οι παράμετροι του οχήματος αναφοράς που χρησιμοποιούμε είναι η ταχύτητα  $V$ , η διαφορά γωνίας (κατεύθυνσης) μεταξύ της τρέχουσας και προηγούμενης γωνίας  $\delta\theta$  και η γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ . Σύμφωνα με την τιμή του  $\omega$  υπολογίζονται οι τιμές  $\Delta x$  και  $\Delta y$  της μετατόπισης του οχήματος αναφοράς που πραγματοποιείται σε  $T$  δευτερόλεπτα. Δύο περιπτώσεις διακρίνονται:

1. Όταν η γωνιακή ταχύτητα του οχήματος αναφοράς είναι σημαντική και έχει επιπτώσεις συνεπώς στην τροχιά του οχήματος:

$$\Delta x = \frac{V}{\omega} \sin(\delta\theta), \quad \Delta y = \frac{V}{\omega} (1 - \cos(\delta\theta)) \quad 4.14$$

2. Όταν η γωνιακή ταχύτητα είναι αμελητέα, υποτίθεται ότι το όχημα κινείται στον x-άξονα (κατεύθυνση της ταχύτητας) εξ ολοκλήρου, επομένως  $\Delta x \approx VT$  και  $\Delta y \approx 0$ .

Η εξίσωση κατάστασης για την ενημέρωση των οδικών παραμέτρων ορίζεται ως:

$$\mathbf{x}_{RB}(k+1) = \Phi_{RB}(k) \cdot \mathbf{x}_{RB}(k) + \mathbf{G}_{RB}(k) \cdot \mathbf{w}_{RB}(k) \quad 4.15$$

Ο πίνακας μετάβασης από τη σάρωση  $k$  ως τη σάρωση  $k+1$   $\Phi_{RB}$  και το διάνυσμα εισαγωγής  $\mathbf{G}_{RB}$  είναι αντίστοιχα:

$$\Phi_{RB} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta x & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\Delta x^2}{2} & \frac{\Delta x^3}{6} & 1 & 0 \\ \frac{\Delta x^2}{2} & \frac{\Delta x^3}{6} & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G}_{RB} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \Delta y \\ -\Delta y \end{bmatrix} \quad 4.16$$

Η μήτρα συνδιακύμανσης εκτίμησης είναι:  $\mathbf{P}(k+1|k) = \Phi_{RB}(k) \cdot \mathbf{P}(k|k) \cdot \Phi_{RB}^T + \mathbf{Q}_{RB}(k)$ , με τη συνδιακύμανση διαδικασίας θορύβου που ορίζεται ως:

$$\mathbf{Q}_{RB} = E(\tilde{\mathbf{x}} \cdot \tilde{\mathbf{x}}^T) = \begin{bmatrix} E(c_0^2) & E(c_0 c_1) & 0 & 0 \\ E(c_1 c_0) & E(c_1^2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E(y_{0l}^2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & E(y_{0r}^2) \end{bmatrix} \quad 4.17$$

Οι παράμετροι που επιδρούν στην ανωτέρω εξίσωση είναι η σταθερή απόκλιση ποσοστού κυρτότητας  $E(c_1^2) = s_c^2$  και η σταθερή απόκλιση αντισταθμίματος  $E(y_0^2) = s_0^2$ . Τα μη διαγώνια στοιχεία της μήτρας συνδιακύμανσης είναι:  $E(c_0 c_1) = E(c_1 c_0) = E(c_1^2 l) = s_c^2 E(l)$  και  $E(c_0^2) = E(c_1^2 l^2) = s_c^2 E(l^2)$ . Προκειμένου να υπολογιστεί η μέση τιμή για το μήκος της καμπύλης, χρησιμοποιούνται οι στοιχειώδεις τιμές αντισταθμίματος  $\Delta x$  και  $\Delta y$ , οι οποίες οδηγούν στο:

$$E(l) = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \left\{ \frac{V}{\omega} \sqrt{2(1 - \cos(\delta\theta))} \right\} \quad 4.18$$

, για τις περιπτώσεις (a) και (b) αντίστοιχα. Εφόσον  $E(l^2) = (E(l))^2$  και το  $a$  ισούται  $E(l)$ , τότε το  $\mathbf{Q}_{RB}$  γίνεται:

$$\mathbf{Q}_{RB} = \begin{bmatrix} a^2 s_c^2 & a s_c^2 & 0 & 0 \\ a s_c^2 & s_c^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_0^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_0^2 \end{bmatrix} \quad 4.19$$

Το σύνολο των μετρήσεων που ορίζονται ως υποψήφια οδικά σύνορα υποτίθενται γνωστά σε αυτήν την παράγραφο. Αυτές οι μετρήσεις παράγουν ένα  $(N_l + N_r)$ -διάστατο διάνυσμα μέτρησης, στη γενική περίπτωση, όπου  $N_l$  και  $N_r$  αναφέρονται στις μετρήσεις για το αριστερό και τα δεξιά σύνορο αντίστοιχα. Κάθε μέτρηση αναφέρεται σε  $x$  και  $y$  συντεταγμένες στο οδικό πλάνο. Από τα  $N_l$  ζευγάρια  $(x_{il}, y_{il}), i = 1 \dots N_l$  και τα  $N_r$  ζευγάρια  $(x_{ir}, y_{ir}), i = 1 \dots N_r$ , ένα διάνυσμα μέτρησης διαμορφώνεται:

$$\mathbf{y}_{RB} = (y_{1l}, \dots, y_{N_{ll}}, y_{1r}, \dots, y_{N_{rr}})^T \quad 4.20$$

Πρέπει να αναφερθεί ότι οι  $y$ -συντεταγμένες ως μετρήσεις των οδικών συνόρων, λαμβάνονται ως πιο επιρρεπείς στα λάθη συγκρινόμενες με τις  $x$ -συντεταγμένες. Οι πιο πρόσφατες χρησιμοποιούνται στο σχηματισμό του πίνακα μέτρησης των ακόλουθων εξισώσεων. Σύμφωνα με αυτό το διάνυσμα, η μήτρα μέτρησης  $\mathbf{H}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$\mathbf{y}_{RB}(k) = \mathbf{H}_{RB} \cdot \mathbf{x}_{RB}(k+1) + \mathbf{u}_{RB} \quad 4.21$$

, όπου:

$$\mathbf{H}_{RB} = \begin{bmatrix} \frac{x_{1l}^2}{2} & \frac{x_{1l}^3}{6} & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{x_{Nll}^2}{2} & \frac{x_{Nll}^3}{6} & 1 & 0 \\ \frac{x_{1r}^2}{2} & \frac{x_{1r}^3}{6} & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{x_{Nrr}^2}{2} & \frac{x_{Nrr}^3}{6} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 4.22$$

Η μήτρα συνδιακύμανσης λάθους μέτρησης  $\mathbf{R}$  - που αντιστοιχεί στο μηδενικής μέσης τιμής Γκαουσιανό θόρυβο  $u_{RB}$ , επιλέγεται ως διαγώνιος πίνακας με διαστάσεις  $(Nl + Nr) \times (Nl + Nr)$ , με τα διαγώνια στοιχεία του να έχουν την τιμή της τυπικής απόκλισης της  $\gamma$ -μέτρησης. Οι παραπάνω εξισώσεις κατάστασης και μετρήσεων σχηματίζουν ένα δυναμικό στοχαστικό σύστημα το οποίο λύνεται μέσω ενός βέλτιστου εκτιμητή Kalman.

Η αρχικοποίηση του διανύσματος κατάστασης πραγματοποιείται στην πρώτη σάρωση ή συνήθως όταν η προηγούμενη σάρωση ήταν μια σάρωση “διαγραφής” (δηλ. κανένα στοιχείο δεν ήταν παρόν για διάφορες διαδοχικές σαρώσεις). Στη διαδικασία αρχικοποίησης, οι παράμετροι  $c_0, c_1$  τίθενται ίσες με μηδέν και οι παράμετροι αντισταθμίσεως τίθενται ίσες με τις προηγούμενες εκτιμηθείσες τιμές τους. Ένα διάνυσμα κατάστασης διαγράφεται (δηλ. έχουμε μια “διαγραφή”) όταν ολοκληρώνεται ένας αριθμός διαδοχικών σαρώσεων (δηλ. 3) που δεν δίνει κανένα αξιόπιστο στοιχείο μέτρησης ορίων δρόμου για καμία από τις δύο πλευρές του δρόμου. Επίσης άμεση διαγραφή και αρχικοποίηση του διανύσματος κατάστασης συμβαίνει όταν η κυρτότητα υπερβαίνει ένα κατώτατο όριο (δηλ.  $0.004 \text{ m}^{-1}$  για δρόμους κατηγορίας IV, σύμφωνα με τα πρότυπα ISO TC204/WG14) για να γίνει αποδεκτή η κυρτότητα του δρόμου. Ο αλγόριθμος αυτο-ρυθμίζεται ώστε να αποδίδει αξιόπιστα σύνορα ίσου μήκους και στις δύο πλευρές του δρόμου, ενώ μπορεί να δώσει και αποτελέσματα (για τη μία ή τις δύο πλευρές) ακόμα κι αν τα στοιχεία υπάρχουν μόνο στη μία πλευρά.

#### 4.3.2.3 Κατασκευή Οδικών Ορίων

Αν και τα μοντέλα οδικών συνόρων προσεγγίζουν αρκετά πιστά τις οδικές παραμέτρους, μπορούν να αποδειχθούν τελείως άχρηστα εάν δεν υπάρχει κανένα στοιχείο μέτρησης, ή είναι κακής ποιότητας στα υψηλής ακαταστασίας περιβάλλοντα. Η επιλογή των μετρήσεων που καταχωρούνται ως αξιόπιστα δεδομένα είναι κρίσιμης σπουδαιότητας για τη γενική απόδοση ενός αλγορίθμου εκτίμησης οδικών συνόρων.

Όπως έχει ήδη επισημανθεί, δεδομένα από το σαρωτή λέιζερ υποψήφια για εκτίμηση οδικών συνόρων έχουν ήδη επιλεγεί. Το αρχικό βήμα για την επιλογή μετρήσεων είναι ο διαχωρισμός των δεδομένων σε αριστερά και δεξιά πιθανά όρια αντίστοιχα κάνοντας χρήση της εκτίμησης των προηγούμενων σαρώσεων. Έπειτα, πριν από οποιαδήποτε διαδικασία, τα υποψήφια σημεία ταξινομούνται σε αύξουσα σειρά σύμφωνα με την πλευρική τους τιμή.

Η πιθανοτική προσέγγιση είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη για μια τέτοια ανάθεση. Περιλαμβάνει τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης στον γ-άξονα ως εξής: Για ένα σημείο στο πλάνο του δρόμου, το εκτιμώμενο διάνυσμα κατάστασης είναι:  $\hat{\mathbf{x}}_{RB} = (c_0, c_1, y_{0l}, y_{0r})^T$ , το οποίο, με τη σειρά του, δίνει την εκτίμηση της τεταγμένης  $\hat{y}$ , η οποία είναι:

$$\hat{y} = \mathbf{c} \cdot \hat{\mathbf{x}}_{RB} \quad 4.23$$

, όπου  $\mathbf{c} = \begin{bmatrix} x^2/2 & x^3/6 & 1 & 0 \end{bmatrix}$  για το αριστερό τμήμα και  $\mathbf{c} = \begin{bmatrix} x^2/2 & x^3/6 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  για το δεξί, στην τετμημένη  $x$ . Ας θεωρήσουμε τις  $y' = \mathbf{c} \cdot \mathbf{x}'$  πραγματικές τιμές σε αντίθεση με τις εκτιμώμενες  $\hat{y} = \mathbf{c} \cdot \hat{\mathbf{x}}$  και  $\mathbf{P}$  τον πίνακα συνδιακύμανσης του εκτιμητή. Η τυπική απόκλιση της γ-τεταγμένης ορίζεται ως:

$$\begin{aligned} \sigma_y^2 &= E\{(\hat{y} - y') \cdot (\hat{y} - y')^T\} = E\{\mathbf{c} \cdot (\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}') \cdot [\mathbf{c} \cdot (\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}')]^T\} \\ &= E\{\mathbf{c} \cdot (\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}') \cdot (\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}')^T \cdot \mathbf{c}^T\} = \mathbf{c} \cdot E\{(\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}') \cdot (\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}')^T\} \cdot \mathbf{c}^T \end{aligned} \quad 4.24$$

$$\sigma_y = \sqrt{\mathbf{c} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{c}^T} \quad 4.25$$

Εναλλακτικά, αντί να χρησιμοποιείται ένα μόνο σημείο, το διάνυσμα μετρήσεων  $\mathbf{y} = (y_{1l}, \dots, y_{Nll}, y_{1r}, \dots, y_{Nrr})^T$  και ο πίνακας μετρήσεων  $\mathbf{H}$  μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ώστε να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης της διαδικασίας, ως εξής:

$$\sigma_y = \sqrt{\mathbf{H} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{H}^T} \quad 4.26$$

Η πιθανοτική προσέγγιση για την επιλογή δεδομένων για την εκτίμηση των οδικών ορίων δεν είναι επαρκής σε δυσμενείς καταστάσεις όπου τα δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό 'ακαταστασίας' (clutter). Για το λόγο αυτό ακολουθείται μια γεωμετρική ανάλυση των δεδομένων. Σε αυτή τη προσέγγιση, η διαδικασία ξεκινά με το πρώτο σημείο που υπάρχει στο σύνολο των ταξινομημένων δεδομένων. Εάν ο αλγόριθμος αποτύχει με το συγκεκριμένο σημείο, τότε επιλέγεται επαναληπτικά ένα άλλο, έτσι ώστε ο αλγόριθμος να μας δώσει έναν ικανοποιητικό αριθμό από σημεία για τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Όσο η διαδικασία εξελίσσεται, μια 'αλυσίδα' από καθορισμένα σημεία του σαρωτή λείζερ έχει δημιουργηθεί. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι επιτρέπει τη δημιουργία μιας ή περισσότερων 'αλυσίδων' οι οποίες ανταγωνίζονται μεταξύ τους ως προς ένα βέλτιστο κριτήριο (π.χ. ελαχιστοποίησης μιας συνάρτησης κινδύνου).

Θεωρούμε το  $(x_1, y_1)$  σαν το τελευταίο σημείο της αλυσίδας και το  $(x_2, y_2)$  ένα υποψήφιο σημείο. Η γωνία κλίσης και η Ευκλείδεια απόσταση αυτών των δύο σημείων είναι:



$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) \text{ and } d = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \quad 4.27$$

Η γωνία  $\phi$  αποθηκεύεται για έλεγχο επόμενων υποψήφιων σημείων και το μέτρο υπολογίζεται ως εξής:

$$d\phi = |\phi - \phi'| \quad 4.28$$

, όπου  $\phi'$  είναι η σχετική γωνία ως προς το προηγούμενο σημείο. Πριν το σημείο  $(x_2, y_2)$  να χαρακτηριστεί σαν 'οριστικά υποψήφιο' για την 'αλυσίδα' δυο κριτήρια πρέπει να ικανοποιηθούν:  $d < 15m$  και  $d\phi < \pi/6 \text{ rad}$ . Ο αλγόριθμος απαιτεί το  $(x_2, y_2)$  να ανήκει σε έλλειψη περιστρεφόμενη κατά  $\phi$  rad, με κέντρο  $(x_1, y_1)$  και άξονες gatex and gatey (π.χ. 5 και 10m) ως προς τις διαμήκης και πλευρικές κατευθύνσεις. Η μαθηματική διατύπωση αυτού του κριτηρίου έχει ως εξής:

$$\frac{a^2}{\text{gatex}^2} + \frac{b^2}{\text{gatey}^2} \leq 1 \quad 4.29$$

$$a = (x_2 - x_1) \cdot \cos \phi + (y_2 - y_1) \cdot \sin \phi \quad 4.30$$

$$b = -(x_2 - x_1) \cdot \sin \phi + (y_2 - y_1) \cdot \cos \phi \quad 4.31$$

Μετά τον υπολογισμό όλων των 'οριστικά υποψηφίων' σημείων, το σημείο που πετυχαίνει να ενωθεί με το  $(x_2, y_2)$  στην αλυσίδα είναι εκείνο που έχει πετύχει τις μικρότερες τιμές για  $d$  και  $d\phi$ . Η διαδικασία εκτελείται επαναληπτικά για όλα τα διαθέσιμα σημεία που έχουν προ-επιλεγεί από τις μετρήσεις του σαρωτή λέιζερ.

### 4.3.3 Ιχνηλασία πολλαπλών στόχων

Έχοντας εξάγει τις καμπύλες της γεωμετρίας του δρόμου τα αντικείμενα που βρίσκονται μέσα σε αυτές τις γραμμές χαρακτηρίζονται σαν πιθανά σημεία ενδιαφέροντος για περαιτέρω επεξεργασία. Τα αντικείμενα αυτά εισέρχονται στη μονάδα της ιχνηλασίας πολλαπλών στόχων. Το τμήμα της ιχνηλασίας περιέχει τις εξής συναρτήσεις:

#### 4.3.3.1 Μοντέλο μετρήσεων κατάστασης και χώρου

Το βασικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για τα ομαδοποιημένα αντικείμενα είναι το μοντέλο σταθερής ταχύτητας (CV). Το διάνυσμα κατάστασης είναι:

$$\mathbf{x} = [x \quad y \quad V_x \quad V_y \quad W \quad L]^T \quad 4.32$$

, όπου το  $V$  αντιστοιχεί στις συντεταγμένες ταχύτητας και τα  $W$  και  $L$  το μήκος και το πλάτος των αντικειμένων, αντίστοιχα. Η κίνηση στους δυο άξονες ( $x$  και  $y$ ) θεωρούνται ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Ο πίνακας γραμμικής μετάβασης καθώς και ο πίνακας συνδιακύμανσης είναι:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 4.33$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \frac{1}{4}T^4\sigma_{ax}^2 & 0 & \frac{1}{2}T^3\sigma_{ax}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4}T^4\sigma_{ay}^2 & 0 & \frac{1}{2}T^3\sigma_{ay}^2 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2}T^3\sigma_{ax}^2 & 0 & T^2\sigma_{ax}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}T^3\sigma_{ay}^2 & 0 & T^2\sigma_{ay}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4}T^4\sigma_{ay}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4}T^4\sigma_{ax}^2 \end{bmatrix} \quad 4.34$$

, όπου  $\sigma_{ax}$  και  $\sigma_{ay}$  είναι οι τυπικές αποκλίσεις του θορύβου ως προς  $x$  και  $y$  αντίστοιχα, και  $T$  είναι το χρονικό βήμα της επεξεργασίας (χρόνος μεταξύ δυο εισόδων δεδομένων):

$$T = time(k) - time(k-1), \text{ [sec]} \quad 4.35$$

Το διάνυσμα μέτρησης που χρησιμοποιείται για την ιχνηλασία των μετρήσεων του λέιζερ είναι:

$$\mathbf{z} = [x \quad y \quad W \quad L]^T \quad 4.36$$

Ο πίνακας μέτρησης για το 4.36 διάνυσμα μέτρησης είναι:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 4.37$$

Εάν  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$ , και  $\sigma_{VR}^2$  είναι οι διακυμάνσεις της μέτρησης, τότε:

$$\text{COV}(\mathbf{w}_k) = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_Y^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{VX}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{VY}^2 \end{bmatrix} \quad 4.38$$

#### 4.3.3.2 Συσχέτιση δεδομένων

Το πρόβλημα της συσχέτισης δεδομένων είναι η ανάθεση μετρήσεων του λέιζερ σε υπάρχοντα αντικείμενα από προηγούμενες σαρώσεις. Η ορολογία αυτού του κεφαλαίου περιλαμβάνει:  $N$  αριθμός αντικειμένων και  $M$  αριθμός μετρήσεων στη τρέχουσα σάρωση  $k$ . Για την υλοποίηση του προβλήματος της συσχέτισης των δεδομένων σχηματίζουμε το πίνακα ανάθεσης ο οποίος είναι η έξοδος μιας διαδικασίας ‘πύλης’, που ορίζεται ως:

$$a_{ij} = G_{ij} - d_{ij}^2 \quad 4.39$$

, όπου  $G_{ij}$  είναι το μέγεθος της πύλης και η απόσταση  $d_{ij}^2$  είναι μια μέτρηση της συσχέτισης μεταξύ του αντικειμένου (track)  $i$  και της μέτρησης  $j$ . Αυτή ορίζεται ως:

$$d^2 = \mathbf{inn}^T \cdot \mathbf{S}^{-1} \cdot \mathbf{inn} \quad 4.40$$

, όπου το διάνυσμα  $\mathbf{inn}$  και η συνδιακύμανση  $\mathbf{S}$  θα οριστούν στην παράγραφο ‘Φιλτράρισμα’, και που εφαρμόζονται για το αντικείμενο (track)  $i$  και την μέτρηση  $j$ . Το πρόβλημα της ανάθεσης έγκειται στην εύρεση της καλύτερης συσχέτισης μεταξύ αντικειμένων και μετρήσεων ελαχιστοποιώντας μια συνάρτηση κόστους, τη GNN (Global Nearest Neighbour). Η GNN μέθοδος βρίσκει την 1-1 αντιστοίχιση μέτρησης με αντικείμενο.

Τα στοιχεία  $a_{ij}$  είναι τα στοιχεία του πίνακα ανάθεσης. Το 2D πρόβλημα ανάθεσης είναι:

Βρες:  $\mathbf{X} = \{x_{ij}\}$  που ελαχιστοποιεί  $C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij}$  στην εξής συνθήκη:

$$\sum_i x_{ij} = 1, \forall j, \text{ and } \sum_j x_{ij} = 1, \forall i.$$

Μια βέλτιστη λύση του προβλήματος επιτρέπει το  $x_{ij}$  να είναι 0 ή 1. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο “Auction”.

#### 4.3.3.3 Διαχείριση αντικειμένων

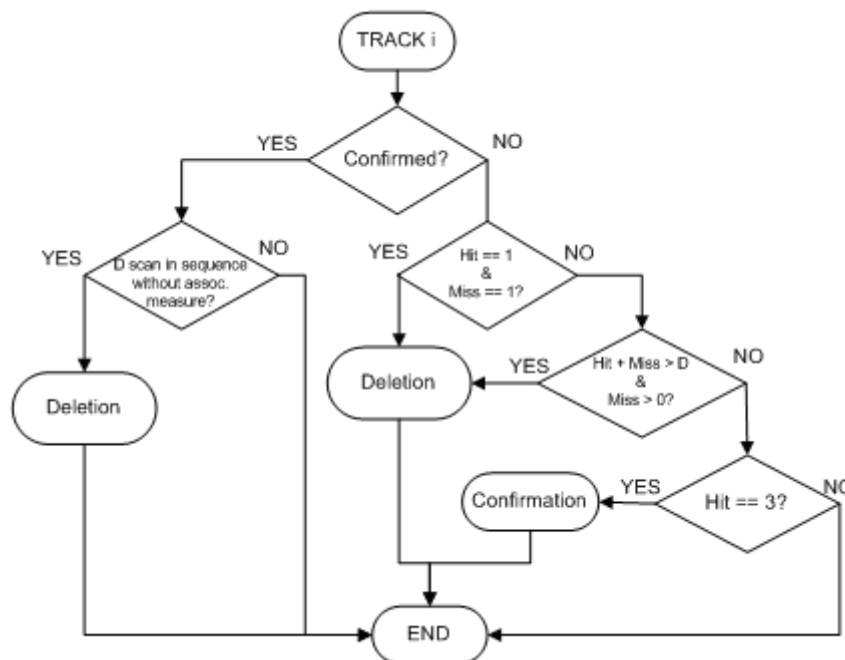
Το πρόβλημα της διαχείρισης αντικειμένων περιλαμβάνει τρία στάδια, αρχικοποίησης, επιβεβαίωσης και διαγραφής αντικειμένου. Από τα αποτελέσματα της 1-1 ανάθεσης, εάν μια αντικείμενο έχει συσχετιστεί με μία μέτρηση τότε έχει ένα “hit” στη τρέχουσα σάρωση, αλλιώς παίρνει ένα “miss”. Οι τιμές των “hits” και “misses” αποθηκεύονται για κάθε αντικείμενο. Έτσι ένα

αντικείμενο χαρακτηρίζεται από το διάνυσμα κατάστασης, το πίνακα συνδιακύμανσης και το ID διάνυσμα. Συγκεκριμένα το εξής ID διάνυσμα συνδέεται με κάθε συγκεκριμένο αντικείμενο:

$ID =$	$\begin{bmatrix} conf \\ id \\ firstObs \\ currScan \\ hits \\ miss \\ O_1 \\ O_2 \\ \dots \\ O_{currScan} \end{bmatrix}$	<p><i>Confirmed or Tentative</i></p> <p><i>Object ID</i></p> <p><i>Scan of first observation</i></p> <p><i>Current scan</i></p> <p><i>Total number of hits (assoc.</i></p> <p><i>Total number of misses</i></p> <p><i>Observation in current scan – D+1 (0 or</i></p> <p><i>Observation in current scan – D+2 (0 or</i></p> <p><i>... (total of D sequential scans)</i></p> <p><i>Observation in current scan (0 or 1)</i></p>
--------	---	--

**Εικόνα 4.13: Περιγραφή ID διανύσματος**

Για την επιβεβαίωση και τη διαγραφή των αντικειμένων, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος στην Εικόνα 4.13. Όταν ένα νέο αντικείμενο επιβεβαιώνεται ή ένα υπάρχων αντικείμενο διαγράφεται, η λίστα των ιχνηλατούντων αντικειμένων ανανεώνεται αντιστοίχως. Κάθε αντικείμενο ορίζεται από το δικό του διάνυσμα κατάστασης, ID διάνυσμα και τον πίνακα συνδιακύμανσης. Η διαχείριση των αντικειμένων είναι το τελευταίο στάδιο πριν από το φιλτράρισμα. Τα αντικείμενα εκείνα που



**Εικόνα 4.14: Αλγόριθμος διαχείρισης αντικειμένων (GNN DA)**

αντιστοιχούν σε ένα ζευγάρι αντικείμενο-μέτρησης ανανεώνονται από τις εξισώσεις φιλτραρίσματος. Οι παράμετροι για επιβεβαίωση αντικειμένου και διαγραφή του μπορούν να αλλάξουν ανάλογα.

#### 4.3.3.4 Φιλτράρισμα

Η διαδικασία του φιλτραρίσματος που εφαρμόζεται για τα δεδομένα του λέιζερ είναι το Kalman φίλτρο, όπως περιγράφεται στις ακόλουθες εξισώσεις. Οι σημειογραφία που χρησιμοποιείται για διάνυσμα κατάσταση και μέτρησης υποδηλώνουν στοχαστικά μοντέλα διακριτού χρόνου και είναι:

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_k &= \mathbf{f}_{k-1}(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{v}_{k-1}) \\ \mathbf{z}_k &= \mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k, \mathbf{w}_k)\end{aligned}\tag{4.41}$$

, όπου  $\mathbf{f}_{k-1}$  και  $\mathbf{h}_k$  είναι γνωστές, πιθανώς μη γραμμικές, συναρτήσεις του διάνυσματος κατάστασης  $\mathbf{x}_{k-1}$  (διάστασης  $n_x$ ) με ακολουθία θορύβου  $\mathbf{v}_{k-1}$  και διάνυσμα μέτρησης  $\mathbf{z}_k$  (διάστασης  $n_z$ ) με ακολουθία θορύβου μετρήσεων  $\mathbf{w}_k$ , αντίστοιχα. Ο στόχος του μη-γραμμικού φιλτραρίσματος είναι η επαναληπτική εκτίμηση του  $\mathbf{x}_k$  από τις μετρήσεις  $\mathbf{z}_k$ , όπου  $k$  είναι ο δείκτης του διακριτού χρόνου.

Στην περίπτωση μας οι γενικοί τύποι για το Kalman φίλτρο (KF) τροποποιούνται με βάσει τις εξής υποθέσεις:

- $\mathbf{v}_{k-1}$  και  $\mathbf{w}_k$  περιγράφονται από Γκαουσιανές πυκνότητες γνωστών παραμέτρων και are additive to the state
- $\mathbf{f}_{k-1}(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{v}_{k-1})$  είναι μια γνωστή γραμμική συνάρτηση των  $\mathbf{x}_{k-1}$  και  $\mathbf{v}_{k-1}$
- $\mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k, \mathbf{w}_k)$  είναι μια γνωστή γραμμική συνάρτηση των  $\mathbf{x}_k$  και  $\mathbf{w}_k$

Επομένως:

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_k &= \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{v}_{k-1} \\ \mathbf{z}_k &= \mathbf{H}_{k-1}\mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k\end{aligned}\tag{4.42}$$

, όπου  $\mathbf{F}_{k-1}$  (διάστασης  $n_x \times n_x$ ) και  $\mathbf{H}_{k-1}$  (διάστασης  $n_z \times n_x$ ) είναι η πίνακες μετάβασης μέτρησης. Οι εξισώσεις του φίλτρου Kalman είναι (βέλτιστη εκτίμηση):

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \mathbf{F}_{k-1} \hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1} \quad 4.43$$

$$\mathbf{P}_{k|k-1} = \mathbf{Q}_{k-1} + \mathbf{F}_{k-1} \mathbf{P}_{k-1|k-1} \mathbf{F}_{k-1}^T \quad 4.44$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k} = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k (\mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}) \quad 4.45$$

$$\mathbf{P}_{k|k} = \mathbf{P}_{k|k-1} - \mathbf{K}_k \mathbf{S}_k \mathbf{K}_k^T \quad 4.46$$

, όπου  $\mathbf{S}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k$  είναι η συνδιακύμανση του innovation διανύσματος:

$$\mathbf{inn}_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} \quad 4.47$$

Και το κέρδος του φίλτρου Kalman είναι:

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T \mathbf{S}_k^{-1} \quad 4.48$$

$\mathbf{Q}_{k-1}$  και  $\mathbf{R}_k$  είναι οι συνδιακυμάνσεις των αμοιβαία ανεξάρτητων, μηδενικού μέσων όρων, τυχαίων Γκαουσιανών ακολουθιών  $\mathbf{V}_{k-1}$  and  $\mathbf{W}_k$ .

#### 4.3.3.5 Αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων

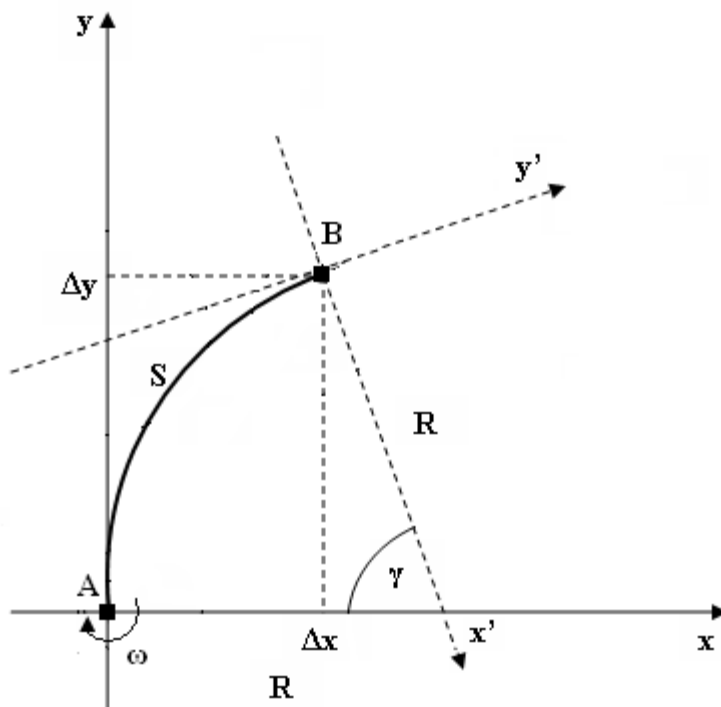
Για την αλλαγή του μετασχηματισμού πρέπει να ληφθεί ένας επιπλέον όρος εξαιτίας της μετακίνησης του συστήματος συντεταγμένων του οχήματος αναφοράς, υποθέτοντας ένα μοντέλο σταθερής κυκλικής κίνησής του. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις της γωνιακής ταχύτητας  $\omega$  και της ταχύτητας  $\nu$  του οχήματος που κουβαλά τον αισθητήρα του λέιζερ.

Η αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων του οχήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 4.14. Το όχημα μετακινείται από το σημείο A στο σημείο B, από το σύστημα συντεταγμένων x-y στο σύστημα x'-y' πάνω σε ένα κυκλικό τμήμα AB με μήκος S ενός κύκλου με ακτίνα R.

Επομένως τα ιχνηλατούντα αντικείμενα από τον αισθητήρα όταν βρίσκεται στο A πρέπει να διορθωθούν όταν το όχημα-αναφοράς θα βρίσκεται στο μελλοντικό σημείο B.

Είναι:

$$S = \nu \cdot T, R = \nu / \omega \text{ and } \gamma = S / R = \omega \cdot T \text{ [rad]} \quad 4.49$$



Εικόνα 4.15: Κυκλική αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων του οχήματος αναφοράς

Και:

$$\begin{aligned} \Delta x &= R \cdot (1 - \cos \gamma) \\ \Delta y &= R \cdot \sin \gamma \end{aligned} \tag{4.50}$$

Έπειτα χρειάζεται να προστεθεί ο όρος στο σύστημα θέσης του διανύσματος κατάστασης για να υπολογιστεί η κίνηση του οχήματος-αναφοράς και για τη μετακίνηση του συστήματος μετασχηματισμού σε  $\gamma$  ακτίνια. Αυτό υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} \Delta x' \\ \Delta y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma \\ -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_0 - \Delta x \\ y_0 - \Delta y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \tag{4.51}$$

, με  $(x_0, y_0)$  η θέση του αντικειμένου που είχε προβλεφθεί από το σαρωτή όταν βρισκότανε στη θέση A. Για την επόμενη σάρωση, όταν ο αισθητήρας θα βρίσκεται στο σημείο B, ο όρος από την εξίσωση 4.51 προστίθεται στο σύστημα κατάστασης θέσης.

## 4.4 Υλοποίηση

Οι παραπάνω αλγόριθμοι υλοποιήθηκαν και δοκιμάστηκαν σε Matlab 7.9.0 R2009b. Ο κώδικας αποτελείται από τα εξής αρχεία:

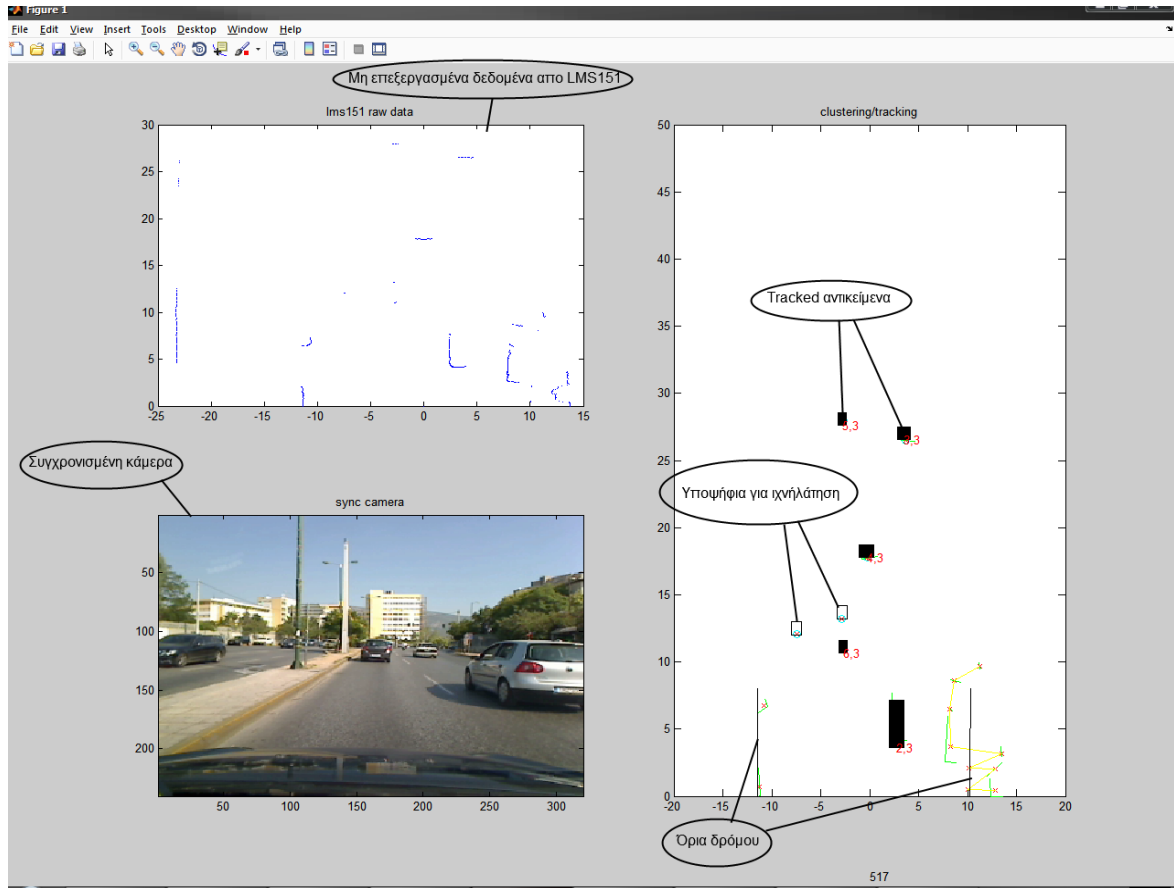
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
TrackLidar	Κύριο αρχείο από όπου καλούνται όλες οι συναρτήσεις που υλοποιούνε κάποιο κομμάτι κώδικα που περιγράφεται στην Εικόνα 4.3, σχηματίζει διαγράμματα (plot) όλες τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε για να μπορούμε να οπτικοποιήσουμε το αποτέλεσμα της εργασίας και φορτώνει τα δεδομένα προς επεξεργασία.
PDBSCluster	Συνάρτηση όπου εκτελείται ο αλγόριθμος PDBS
TLSFitting	Προετοιμάζει ποια και πόσα δεδομένα από κάθε αντικείμενο πρέπει σταλούν για TLS fitting και επιστρέφει χρήσιμες πληροφορίες για τα αντικείμενα, όπως οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους, η κλίση των πλευρών, το σχήμα του κ.α.
wtls_line	Γίνεται η μαθηματική εφαρμογή του TLS αλγορίθμου
InterceptsCalc	Κάνει την αναπροσαρμογή που περιγράφει η Εικόνα 4.8
assocSegments	Ελέγχει και εφαρμόζει τα κριτήρια που περιγραφήκανε στο Κεφάλαιο 4.3.1.3
EuclideanDist	Βρίσκει την ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ σημείων δύο αντικειμένων και ελέγχει αν επιτυγχάνεται επικάλυψη αντικειμένων (segment overlapping)
Inpoly	Ελέγχει που βρίσκεται ένα σημείο σε σχέση με ένα ορθογώνιο
sort_borders	Ταξινομεί τα σημεία του οδικού ορίου
RoadBordersEstimationLidar	Κάνει εκτίμηση των οδικών ορίων, όπως περιγράφηκε



LsGNN6	Γίνεται η ιχνηλασία πολλαπλών στόχων
trackInit	Γίνεται αρχικοποίηση των ιχνηλατούντων αντικειμένων
update_association_matrix	Οργανώνει και ενημερώνει τον πίνακα συσχετίσεων
auctionCC	Υλοποιεί τον αλγόριθμο 'auction'
updateTrackArray6	Ενημερώνει τον πίνακα ιχνηλασίας και ελέγχει τις περιπτώσεις διαγραφής ή επιβεβαίωσης αντικειμένων
kalmanfilter6	Υλοποίηση φίλτρου Kalman και πρόβλεψη επόμενων καταστάσεων
calc_matrices	Υπολογισμός των παραμέτρων της εξίσωσης κατάστασης

**Πίνακας 6: Περιγραφή συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν**

Στην Εικόνα 4.16 βλέπουμε κάποιο στιγμιότυπο της απεικόνισης που γίνεται μέσω Matlab. Αριστερά πάνω απεικονίζουμε τα μη επεξεργασμένα σημεία που παίρνουμε από το σαρωτή για να γνωρίζουμε κάθε στιγμή πόσο καλή και αξιόπιστη πληροφορία μας δίνει. Δεξιά φαίνεται το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης και της ιχνηλασίας που περιγράφηκε σε αυτή την εργασία. Με μαύρο περίγραμμα φαίνονται τα αντικείμενα που είναι υποψήφια για ιχνηλασία, ενώ με μαύρο ορθογώνιο τα αντικείμενα που έχουν μπει στο σύστημα ιχνηλασίας. Οι δυο αριθμοί που συνοδεύουν κάθε αντικείμενο που ιχνηλατείται περιγράφουν ο πρώτος το ID της ιχνηλασίας και ο δεύτερος τον αριθμό των συνεχόμενων σαρώσεων που έχουμε πετυχημένη συσχέτιση δεδομένων. Αριστερά και δεξιά του οχήματος αναφοράς απεικονίζονται επίσης και τα οδικά όρια που σχηματίζονται. Τέλος για να μπορούμε να αντιλαμβανόμαστε κάθε φορά τι βλέπουμε (κάτι πολύ δύσκολο σε πυκνά περιβάλλοντα) έχουμε την προβολή συγχρονισμένου βίντεο(κάτω αριστερά), το οποίο τραβήχτηκε την ώρα που γινόντουσαν οι μετρήσεις με το σαρωτή.



Εικόνα 4.16: Στιμιότυπο απεικόνισης της πλατφόρμας σε κάποια σάρωση

## 5 Αποτελέσματα

### 5.1 Περιγραφή πειράματος

Το πείραμα για τον έλεγχο της ορθότητας των μετρήσεων έλαβε χώρα σε μια οδό ταχείας κυκλοφορίας (2 σενάρια) καθώς και σε ένα δρόμο χαμηλής κυκλοφορίας (1 σενάριο). Για τη συλλογή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν το πειραματικό αυτοκίνητο της Εικόνας 3.1 καθώς και ο αισθητήρας λέιζερ LMS151. Οι ρυθμίσεις του αισθητήρα είχαν ως εξής:

- πρωτόκολλο επικοινωνίας επιλέχθηκε το ethernet
- FOV 180<sup>0</sup>
- συχνότητα σάρωσης 25Hz
- γωνιακή ανάλυση 0.25<sup>0</sup>

Κάνοντας χρήση ενός σαρωτή λέιζερ και εφαρμόζοντας μια αξιόπιστη επεξεργαστική διαδικασία, τα δεδομένα του σαρωτή ομαδοποιούνται με την τεχνική του PDBS καθώς και με την εφαρμογή μιας σειράς κριτηρίων σε δεύτερο επίπεδο και τα οδικά όρια ιχνηλατούνται, χρησιμοποιώντας τα φίλτρα Kalman και τα οδικά πρότυπα clothoid, προκειμένου να παρασχεθεί μια αξιόπιστη αναπαράσταση της σκηνής κυκλοφορίας και μια σταθερή πορεία του οχήματος αναφοράς. Το σύστημα παρακολουθεί επίσης όλα τα ανιχνευθέντα αντικείμενα στο δρόμο και προβλέπει την κυκλοφοριακή ροή ώστε να υπολογιστεί η οδική γεωμετρία (ή να την επεκτείνει) σε περίπτωση έλλειψης στοιχείων ή παρουσίας ανεπιθύμητων δεδομένων. Επειδή οι προσομοιώσεις παράγουν συχνά λανθασμένα αποτελέσματα λόγω της πολυπλοκότητας του περιβάλλοντος που λαμβάνουμε από τους αισθητήρες, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται χρησιμοποιώντας στοιχεία από πραγματικές καταγραφές διαφορετικών σεναρίων κυκλοφορίας.

Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε έτσι ώστε να μπορεί να δίνει ορθά αποτελέσματα σε διάφορα περιβάλλοντα. Μαζί με τα δεδομένα του σαρωτή που αντιστοιχούν σε κάθε σενάριο, υπάρχει και το αντίστοιχο βίντεο για να μπορούμε να κάνουμε αντιπαραβολή και να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την αξιοπιστία της ανάλυσης και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

### 5.2 Δεδομένα μετρήσεων

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για κάθε σενάριο αποτελούνται από 3 αρχεία.

- Το πρώτο αρχείο περιέχει τις μετρήσεις από το λέιζερ σε πολικό σύστημα αναφοράς, ένα timestamp σε millisecond και τον αύξοντα αριθμό της σάρωσης.
- το δεύτερο περιέχει πληροφορίες για τον συγχρονισμό των μετρήσεων του λέιζερ με το βίντεο, δηλαδή σε πιο timestamp αναφέρεται κάθε frame του βίντεο.
- το τρίτο είναι το βίντεο που τραβήχτηκε κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων με το λέιζερ.

Το βίντεο είναι σε ανι κωδικοποίηση ενώ τα άλλα δυο είναι αρχεία binary.

## 5.3 Σενάρια οδήγησης και Αποτίμηση αλγορίθμων

### 5.3.1 Σενάριο 1

Σε δρόμο χαμηλής κυκλοφορίας ελέγχθηκε ο εντοπισμός και η αξιόπιστη ιχνηλασία πεζού. Το περιβάλλον αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί χαμηλής πολυπλοκότητας ως προς τον αριθμό των στόχων προς ιχνηλασία και μέσης πολυπλοκότητας ως προς την εξαγωγή των οδικών ορίων σε σχέση με τα δεδομένα που προσφέρονται για επεξεργασία. Στην Εικόνα 5.1 εντοπίζεται ο πεζός. Στην Εικόνα 5.2 τον βλέπουμε μετά από 97 συνεχόμενες επιτυχημένες σαρώσεις να συνεχίζει να ιχνηλατείται από το λέιζερ. Η δυσκολία στην περίπτωση του πεζού είναι να δημιουργηθεί μια συμπαγής ομαδοποίηση των σημείων του διότι με το περπάτημα έχουμε μεταβολή της απόστασης των δύο ποδιών του (το μέρος του ανθρώπινου σώματος που ανιχνεύεται σε κάθε ιχνηλασία είναι το σημείο λίγο πάνω από το γόνατο) που φτάνει ορισμένες φορές και τα 50cm.

Σενάριο	Συνολικές Σαρώσεις	Σαρώσεις με Κινούμενο Στόχο	#Κινούμενων Αντικειμένων	Ιχνηλασία Υπαρκτού κινούμενου στόχου	Ποσοστό Επιτυχίας	Επιτυχημένη Εκτίμηση Οδικών Ορίων	Γενικό Ποσοστό Επιτυχίας
1	181	108	1	98	90%	181	90,74%

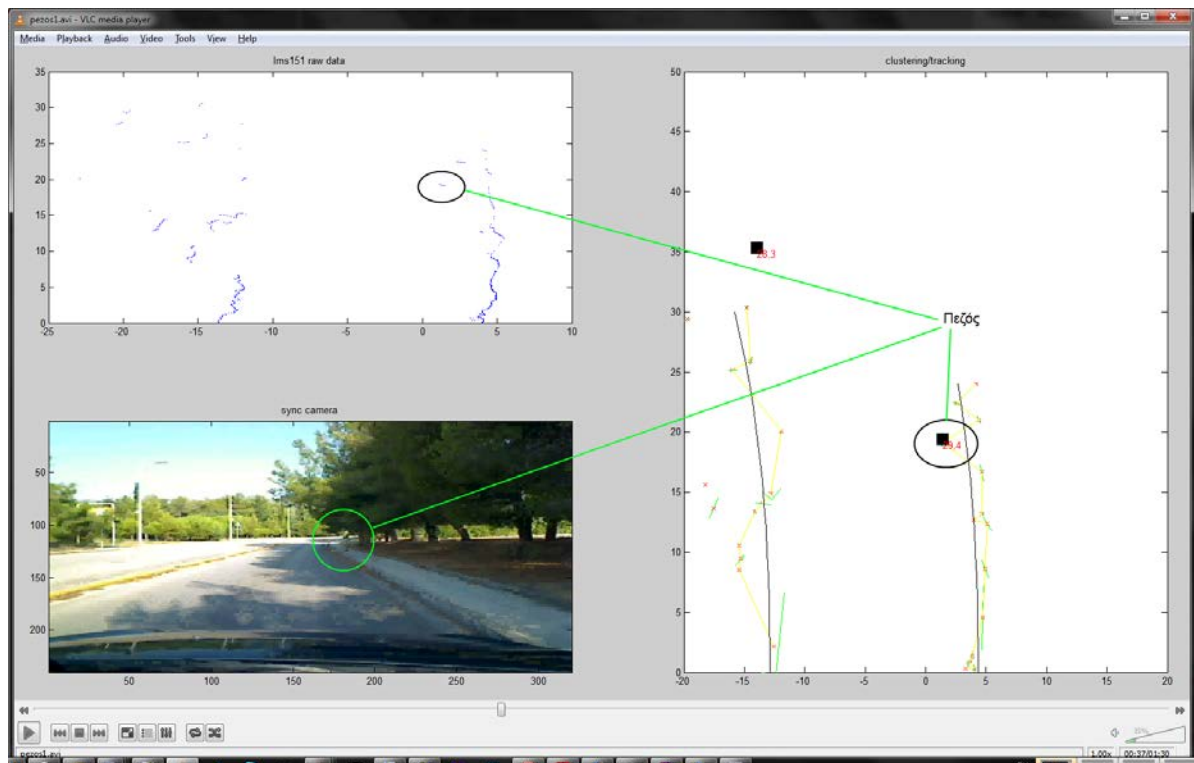
**Πίνακας 7: Αποτελέσματα Ιχνηλασίας και Εκτίμησης Οδικών Ορίων (Σενάριο 1)**

Σενάριο	Συνολικές Σαρώσεις	Σαρώσεις με Κινούμενο Στόχο	#Κινούμενων Αντικειμένων	Διατήρηση ID ιχνηλασίας	Επιτυχημένη Ομαδοποίηση Στόχων	Γενικό Ποσοστό Επιτυχίας
1	181	108	1	98	108	100%

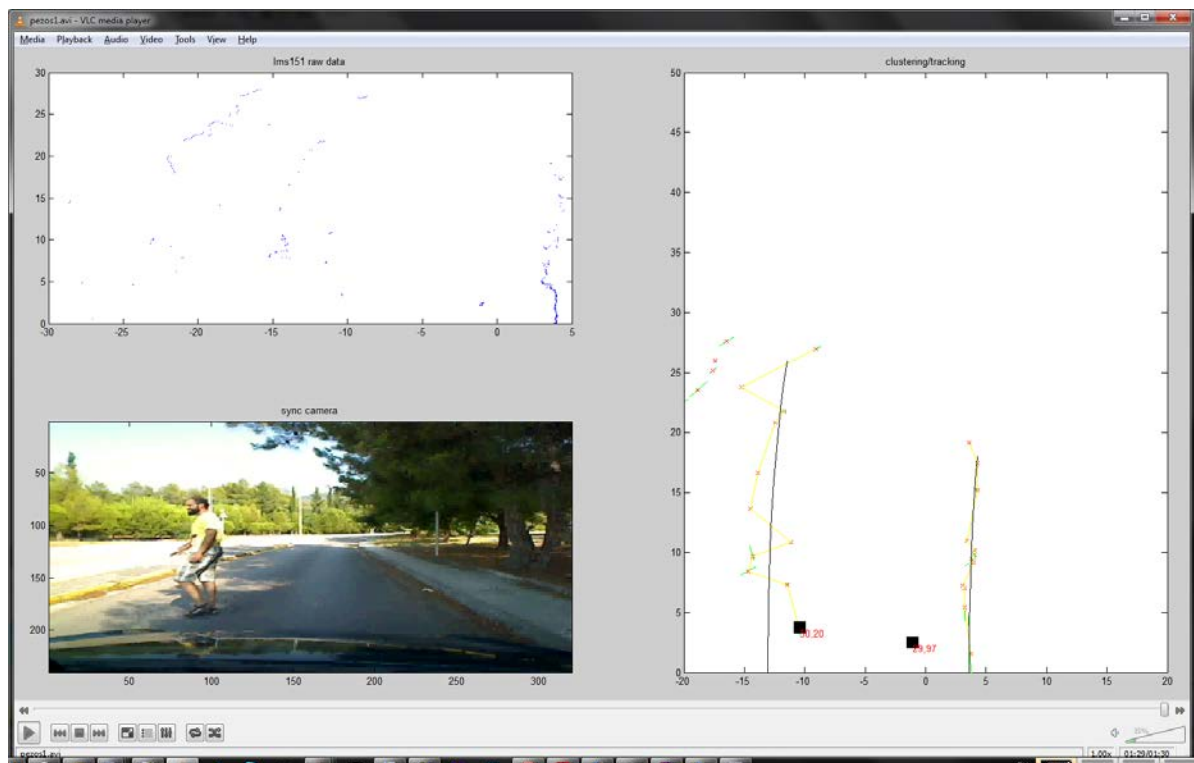
**Πίνακας 8: Αποτελέσματα ομαδοποίησης κινούμενων στόχων**

Οι Πίνακες 7 και 8 παρουσιάζουν συνοπτικά χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την επιτυχία του αλγορίθμου στην ομαδοποίηση και ιχνηλασία του πεζού καθώς και στην επιτυχημένη εκτίμηση των οδικών ορίων. Στις 98 από τις 108 σαρώσεις είχαμε πετυχημένη ιχνηλασία του στόχου υπό εξέταση, ενώ σε όλες τις σαρώσεις ανιχνεύθηκαν σωστά τα οδικά όρια του δρόμου. Οι μετρήσεις

που ανήκανε στο στόχο ομαδοποιήθηκαν σωστά για όσες σαρώσεις βρισκότανε στο πεδίο δράσης του λέιζερ (108 σαρώσεις).



Εικόνα 5.1: Ιχνηλασία πεζού



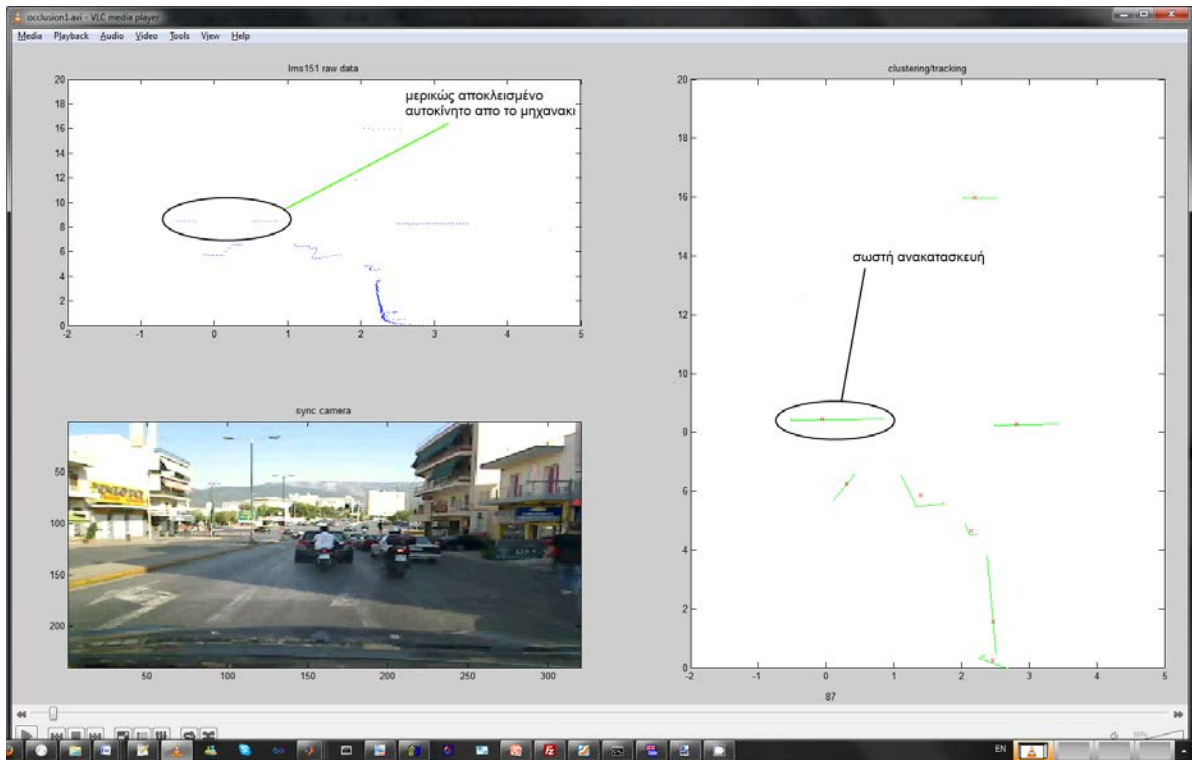
Εικόνα 5.2: Ιχνηλασία πεζού για 97 σαρώσεις

### 5.3.2 Σενάριο 2

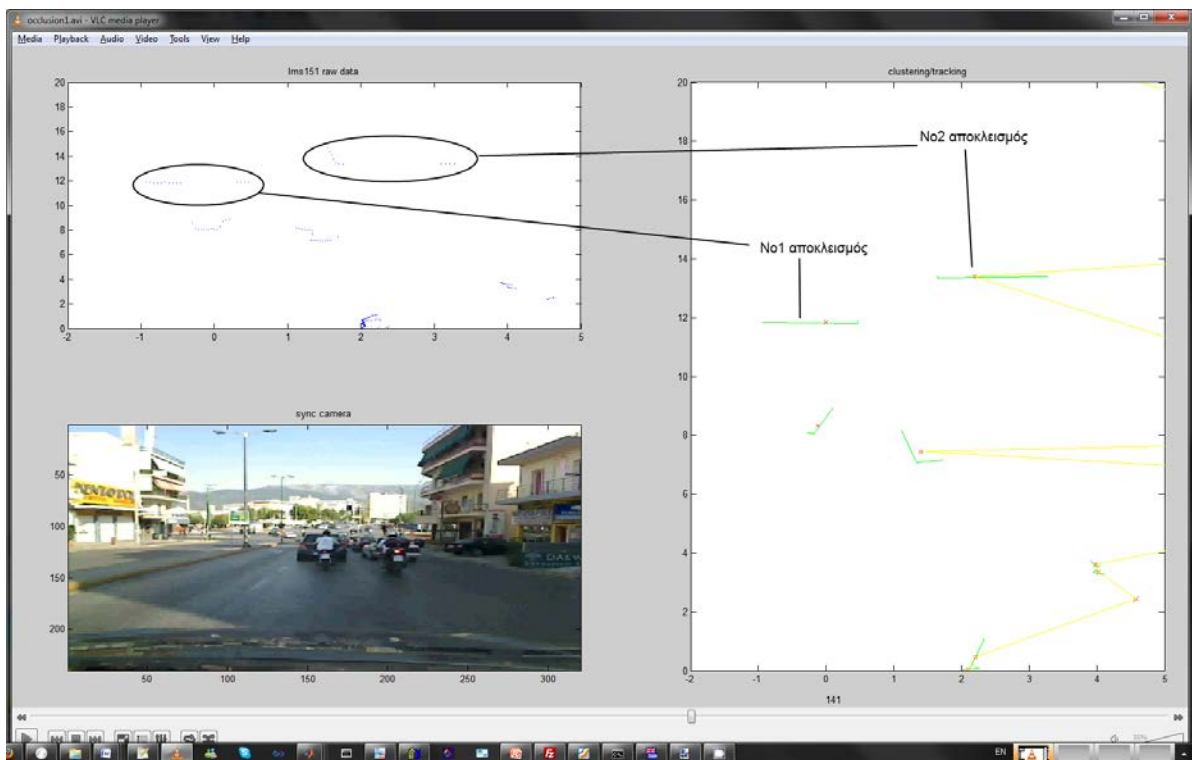
Στο δεύτερο σενάριο ελέγχουμε την αξιοπιστία του προγράμματος που αναπτύχθηκε ως προς την ανακατασκευή μερικώς αποκλεισμένων αντικειμένων από άλλα. Το πείραμα έγινε σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας. Το περιβάλλον που επιχειρείται να περιγραφεί και αναπαρασταθεί, χαρακτηρίζεται από μέση πολυπλοκότητα ως προς τον αριθμό των αντικειμένων που ανιχνεύονται. Από τις Εικόνες 5.3 και 5.4 βλέπουμε ότι ο αλγόριθμος ανταποκρίνεται αρκετά καλά και ανακατασκευάζει σωστά τα υπό μελέτη αντικείμενα. Αυτό καταφέρνει να το διεκπεραιώσει καθ' όλη τη διάρκεια του αποκλεισμού (περίπου 100 σαρώσεις). Στον Πίνακα 9 φαίνεται ότι τα υπό μελέτη αντικείμενα που ήταν μερικώς αποκλεισμένα ήταν 2 αυτοκίνητα. Μεταξύ του λείζερ και των 2 αυτών αυτοκινήτων παρεμβάλλονταν 2 μηχανές. Το αυτοκίνητο #1, που βρίσκεται αριστερά στις Εικόνες 5.3 και 5.4, αν και αποτελείται αρχικά από 2 ομάδες δεδομένων που βρίσκονται σε απόσταση πάνω από 1.2 μέτρα, εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο του μερικού αποκλεισμού, που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4.1.3.4, μπόρεσε να ανακατασκευαστεί πλήρως. Επιτυχή ανακατασκευή είχαμε και για το αντικείμενο #2. Για 10 σαρώσεις όμως εμφανίστηκαν 2 αντικείμενα αντί για μόνο ένα, το πραγματικό και ένα αντικείμενο 'φάντασμα'.

Σενάριο	Συνολικές Σαρώσεις	#1 Αποκλεισμένος Στόχος	Επιτυχημένη Ανακατασκευή #1 Στόχου	#2 Αποκλεισμένος Στόχος	Επιτυχημένη Ανακατασκευή #2 Στόχου	Γενικό Ποσοστό Επιτυχίας
2	95	95	95	76	66	86,84%

Πίνακας 9: Αποτελέσματα Ανακατασκευής Μερικώς Αποκλεισμένων Στόχων



Εικόνα 5.3: Μερικός αποκλεισμός αντικειμένου



Εικόνα 5.4: Δυο αντικείμενα μερικώς αποκλεισμένα



### 5.3.3 Σενάριο 3

Στο τρίτο και τελευταίο υπό εξέταση σενάριο παρατηρούμε τη συμπεριφορά των αλγορίθμων μας κατά την ελεύθερη κίνηση του αυτοκινήτου μας μέσα σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας. Το σενάριο αυτό αποτελείται από 2 υπο-σενάρια: το πρώτο (Σενάριο 3.1) μελετά την αξιοπιστία του αλγορίθμου εφόσον βρίσκεται σε στάση το όχημα αναφοράς και το δεύτερο (Σενάριο 3.2) όταν βρίσκεται σε κίνηση. Το περιβάλλον που περιγράφεται χαρακτηρίζεται από μεγάλη πολυπλοκότητα, τόσο από τον αριθμό των οχημάτων που βρίσκονται στο δρόμο, όσο και από το περιβάλλον (συνεχείς εναλλαγές σταυροδρομιών με διαχωριστικά διαζώματα). Από τις Εικόνες 5.5 και 5.6 βλέπουμε ότι αναγνωρίζει αρκετά καλά τα διάφορα αντικείμενα στο δρόμο. Αυτά είναι ένα αυτοκίνητο μπροστά από το δικό μας όχημα αναφοράς, στην ίδια με μας λωρίδα, δύο αυτοκίνητα στη δεξιά λωρίδα και ένα μηχανάκι δυο λωρίδες δεξιά από μας, το οποίο δεν φαίνεται στην κάμερα εξαιτίας του μικρού εύρους όρασης της. Ο αλγόριθμος καταφέρνει να διατηρεί το ID ενός οχήματος για 200 και 300 συνεχόμενες σαρώσεις. Στην Εικόνα 5.7 μπορεί και αναπαριστά με ακρίβεια το μέγεθος ενός μεγάλου αντικειμένου όπως ένα λεωφορείο, ένα αυτοκίνητο στη δική μας λωρίδα σε απόσταση 25 μέτρων, δυο αυτοκίνητα στη δεξιά λωρίδα, το ένα πίσω από το άλλο, καθώς και το πίσω μέρος ενός αυτοκινήτου που βρίσκεται 40 μέτρα μπροστά από εμάς. Τα οδικά όρια αναγνωρίζονται με μεγάλη ακρίβεια, εφόσον υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός δεδομένων για να ανακατασκευαστούν και βοηθούν αρκετά ώστε να απομακρυνθούν αντικείμενα που είναι αδιάφορα για ιχνηλασία, όπως οι θάμνοι. Το χαμηλό ποσοστό που παρατηρείται στην εκτίμηση των οδικών ορίων στο σενάριο 3.2 έχει να κάνει με την έλλειψη επαρκών δεδομένων εξαιτίας της κίνησης του οχήματος αναφοράς σε διασταύρωση. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι ορθό να μην δημιουργούνται όρια διότι όλοι οι στόχοι μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο για μας εφόσον μπορούμε να συναντηθούμε και με αυτοκίνητα του αντίθετου ρεύματος. Ο πίνακας 11 δείχνει ότι για το σενάριο 3.2 οι ομαδοποιήσεις ήταν επιτυχημένες για όλες τις σαρώσεις (130), ενώ για το σενάριο 3.1 είχαμε λανθασμένη ομαδοποίηση για 29 σαρώσεις.

Σενάριο	Συνολικές Σαρώσεις	Συνολικός # Κινούμενων Αντικειμένων	Επιτυχημένη Ιχνηλασία Οχημάτων	Εσφαλμένη Ιχνηλασία Αντικειμένων	Αρχικοποίηση Ιχνηλασίας	Ποσοστό Επιτυχίας	Επιτυχημένη Εκτίμηση Οδικών Ορίων	Ποσοστό Επιτυχίας
3.1	211	4	200	0	11	94,78%	179	84,83%
3.2	130	6	111	93	19	85,38%	61	46,92%

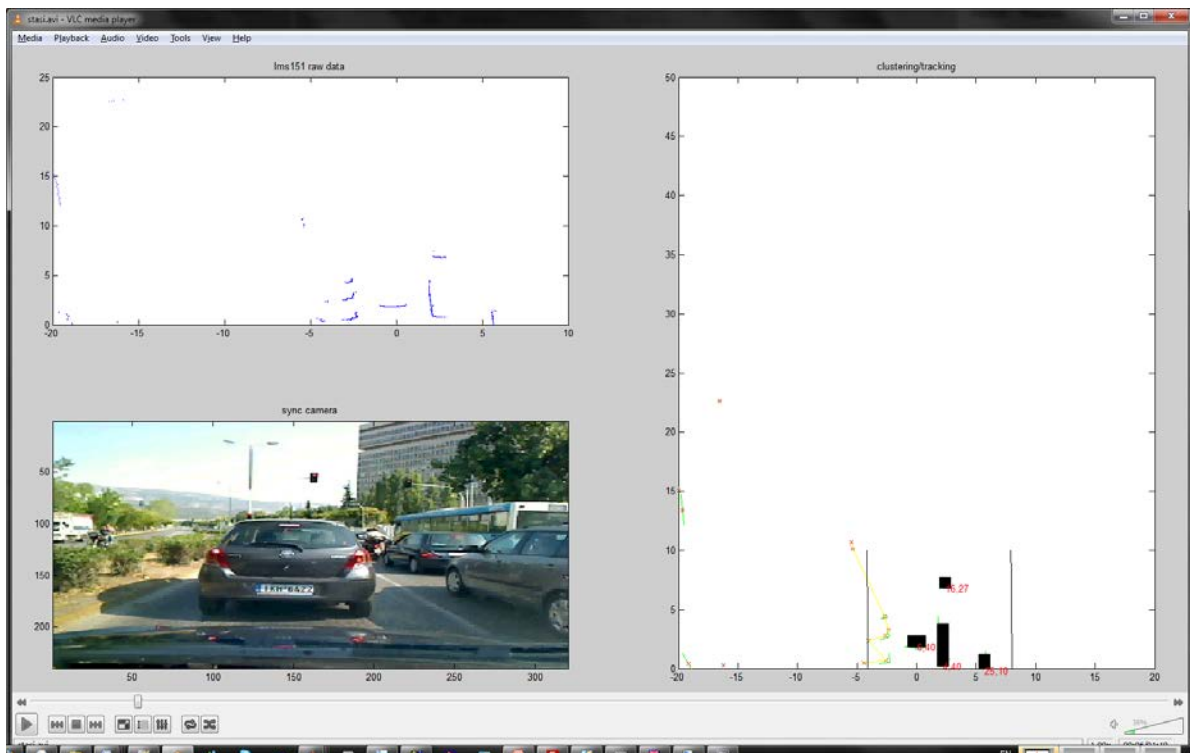
**Πίνακας 10: Αποτελέσματα ιχνηλασίας και εκτίμησης οδικών ορίων σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας**



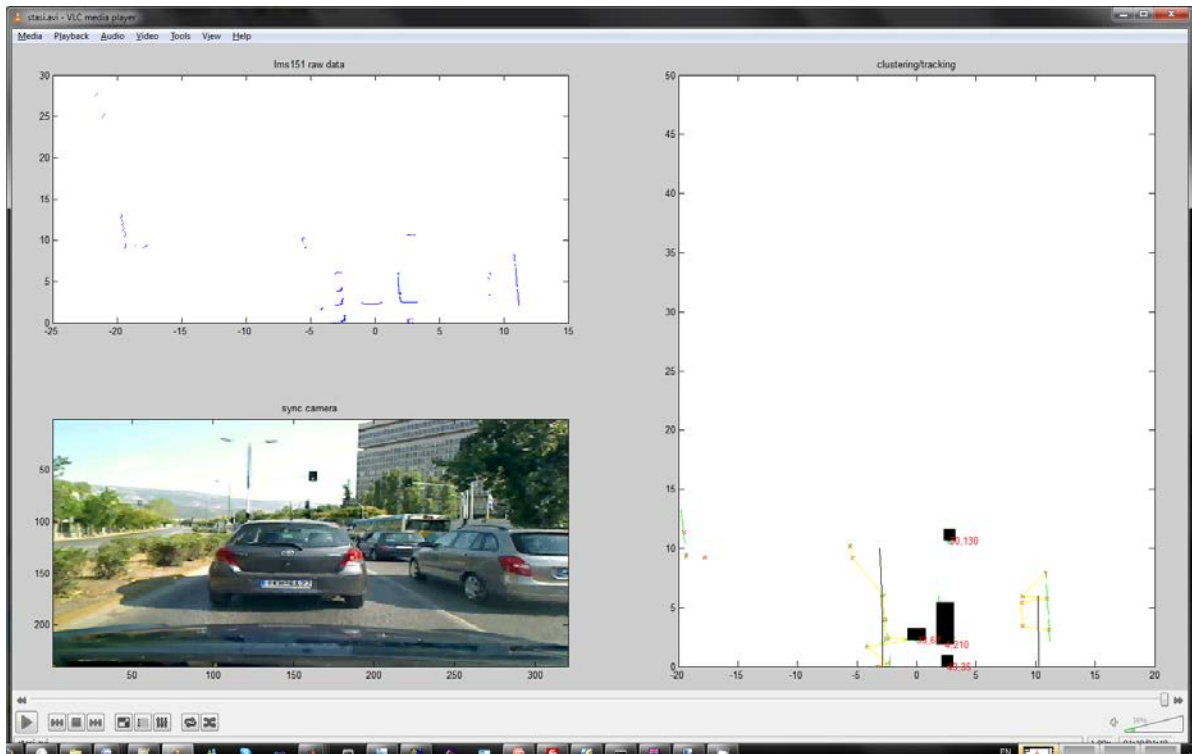
Το αντικείμενο που δεν ομαδοποιήθηκε σωστά ήταν ένα μηχανάκι, διότι το σχήμα είναι της περισσότερες φορές αρκετά ακανόνιστο. Έτσι απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία των μετρήσεων για να έχουμε το αποτέλεσμα που θέλουμε (ακριβής συσχέτιση των μετρήσεων με το αντικείμενο στο οποίο ανήκει) όσες φορές το αντικείμενο βρίσκεται στο πεδίο δράσης του σαρωτή λέιζερ.

Σενάριο	Συνολικές Σαρώσεις	Συνολικός # Κινούμενων Αντικειμένων	Επιτυχημένη Ομαδοποίηση Στόχων	Εσφαλμένη Ομαδοποίηση Στόχων	Ποσοστό Επιτυχίας
3.1	211	4	182	29	86,25%
3.2	130	6	130	0	100%

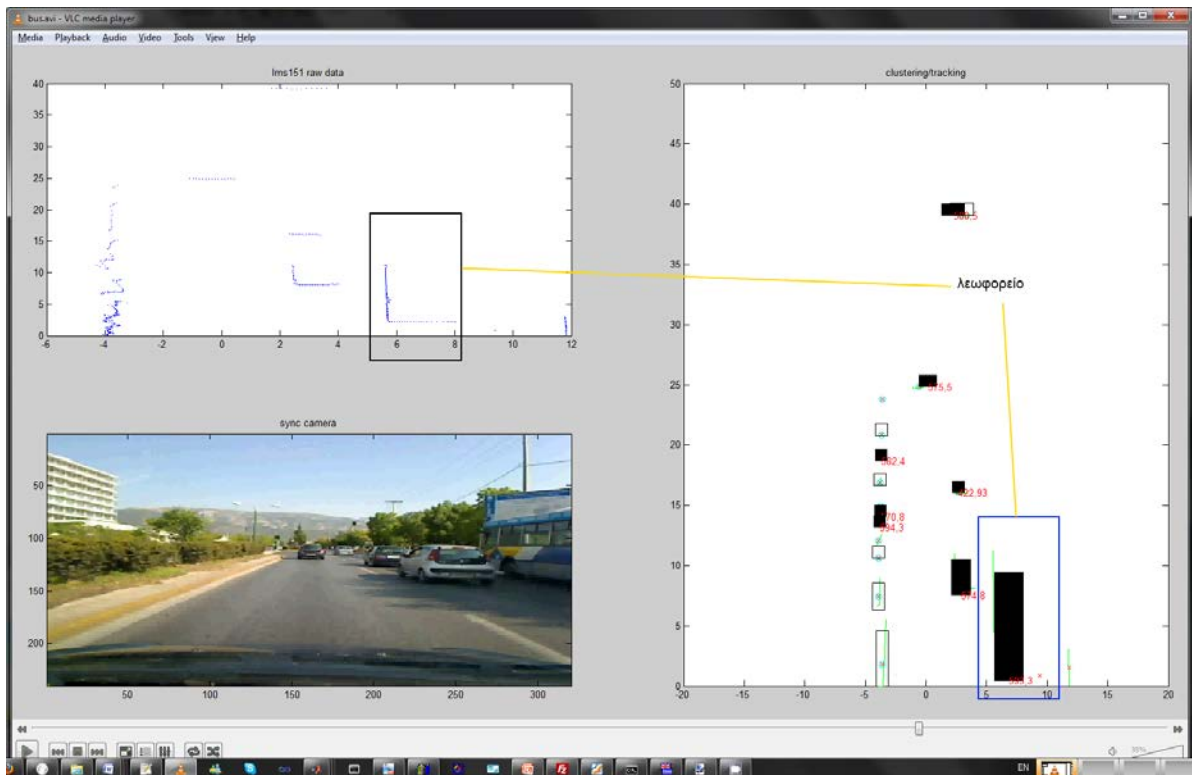
**Πίνακας 11: Αποτελέσματα ομαδοποίησης κινούμενων στόχων**



**Εικόνα 5.5: Ιχνηλασία αντικειμένων κατά τη στάση**



Εικόνα 5.6: Ιχνηλασία ίδιου αντικειμένου για 210 συνεχόμενες σαρώσεις



Εικόνα 5.7: Ακριβής αναπαράσταση μεγέθους λεωφορείου

## 6 Συμπεράσματα

### 6.1 Αξιολόγηση

Το αστικό περιβάλλον αποτελεί ένα πολυσύνθετο και αρκετά 'θορυβώδες' για έναν αισθητήρα λέιζερ. Παρόλα αυτά όμως τα συμπεράσματα που εξαχθήκανε κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων είναι αρκετά ενθαρρυντικά. Μπορέσαμε να ανακατασκευάσουμε αντικείμενα από χαμηλής πυκνότητας δεδομένα με καλή ακρίβεια. Πετύχαμε καλή προσέγγιση στη πρόβλεψη των οδικών ορίων καθώς και επιτυχημένες ιχνηλασίες στόχων για αρκετές συνεχόμενες σαρώσεις. Τα ποσοστά είναι αρκετά υψηλά (>86%) και αξιόπιστα. Οι ομάδες δεδομένων που δημιουργήσαμε ήταν αρκετά αξιόπιστες. Η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε αντιμετώπισε προβλήματα όπου τα δεδομένα ήταν κακής ποιότητας (cluttering). Αυτό βοήθησε στο να έχουμε αρκετά καλά αποτελέσματα και στην ιχνηλασία. Οι πίνακες του κεφαλαίου 5.3 επιβεβαιώνουν τα παραπάνω συμπεράσματά μας. Η μόνη περίπτωση χαμηλής επιτυχίας έχουμε στην εκτίμηση των οδικών ορίων στο σενάριο 3.2 όπου τα δεδομένα δεν είναι αρκετά για να εξαχθούν. Παρόλα αυτά μπορούμε να πούμε ότι είναι ορθή η λειτουργία του αλγορίθμου μας διότι σε διασταύρωση δεν πρέπει να αποκλείουμε αντικείμενα από το δρόμο αντίθετης κυκλοφορίας αφού μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο για μας μιας και τίποτε δεν εμποδίζει την είσοδό τους στο άλλο ρεύμα κυκλοφορίας.

Κατά την ενασχόλησή μας όμως με πραγματικά δεδομένα παρουσιάστηκαν και προβλήματα που δεν είχαν προβλεφθεί, όπως ένωση 2 αντικειμένων σε ένα όταν ένα μηχανάκι περνά πολύ κοντά από ένα αμάξι ή το μεγάλο επεξεργαστικό φόρτο που δημιουργείται από τη μη λειτουργία των ορίων με αποτέλεσμα την ύπαρξη πολλών ομάδων υποψήφιων για ιχνηλασία. Κάποιες ιδέες που θα μπορούσαν να λύσουν τα παραπάνω προβλήματα παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

### 6.2 Μελλοντικά βήματα για Έρευνα

Επόμενα βήματα είναι η βελτίωση της τεχνικής της ομαδοποίησης. Παραθέτουμε μερικές τεχνικές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για τη βελτίωση του αλγορίθμου μας, τις οποίες βρήκαμε κατά την ενασχόληση μας με την παρούσα εργασία.

#### 6.2.1 Φιλτράρισμα των 'μη επεξεργασμένων' δεδομένων

Πριν την εφαρμογή οποιουδήποτε αλγορίθμου για να πετύχουμε σωστή ομαδοποίηση μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε τον θόρυβο που έχουν οι μετρήσεις μας, εξαιτίας διαφόρων παραγόντων που περιγράφονται στο κεφάλαιο 2 και έχει να κάνει με τον τρόπο ανάκλασης της δέσμης στα διάφορα αντικείμενα στο δρόμο. Μερικές από αυτές είναι:

##### 6.2.1.1 Median Filtering

Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται συχνά για να εκτελέσει κάποιου είδους ελάττωσης του θορύβου που υπάρχει σε κάποιο σήμα ή εικόνα. Εργασίες έχουν δείξει ότι λειτουργεί αρκετά καλά και σε δεδομένα που έχουν προκύψει από λέιζερ. Είναι μια μη γραμμική τεχνική που εφαρμόζεται σε όλα τα δεδομένα, αντικαθιστώντας κάθε είσοδο από το μέσο των δύο γειτνιαζόντων εισόδων. Οι γειτνιαζόντες εισοδοί σχηματίζουν ένα 'παράθυρο', το οποίο περνά από όλα τα δεδομένα.

### 6.2.1.2 Grid occupancy

Το grid occupancy είναι μια ομάδα πιθανοτικών αλγορίθμων για υπολογιστές οι οποίοι χωρίζουν το περιβάλλον σε ισόποσα χωρικά τμήματα από δυαδικές τυχαίες μεταβλητές, κάθε μια από τις οποίες αναπαριστά την ύπαρξη ή όχι ενός αντικειμένου στο χώρο αυτό. Για αυτές τις μεταβλητές κάνει εκτιμήσεις για μεταγενέστερες τους τιμές. Έτσι αυτή η τεχνική θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση από μετέπειτα επεξεργασία σταθερών, ακίνητων αντικειμένων.

### 6.2.2 KFBS

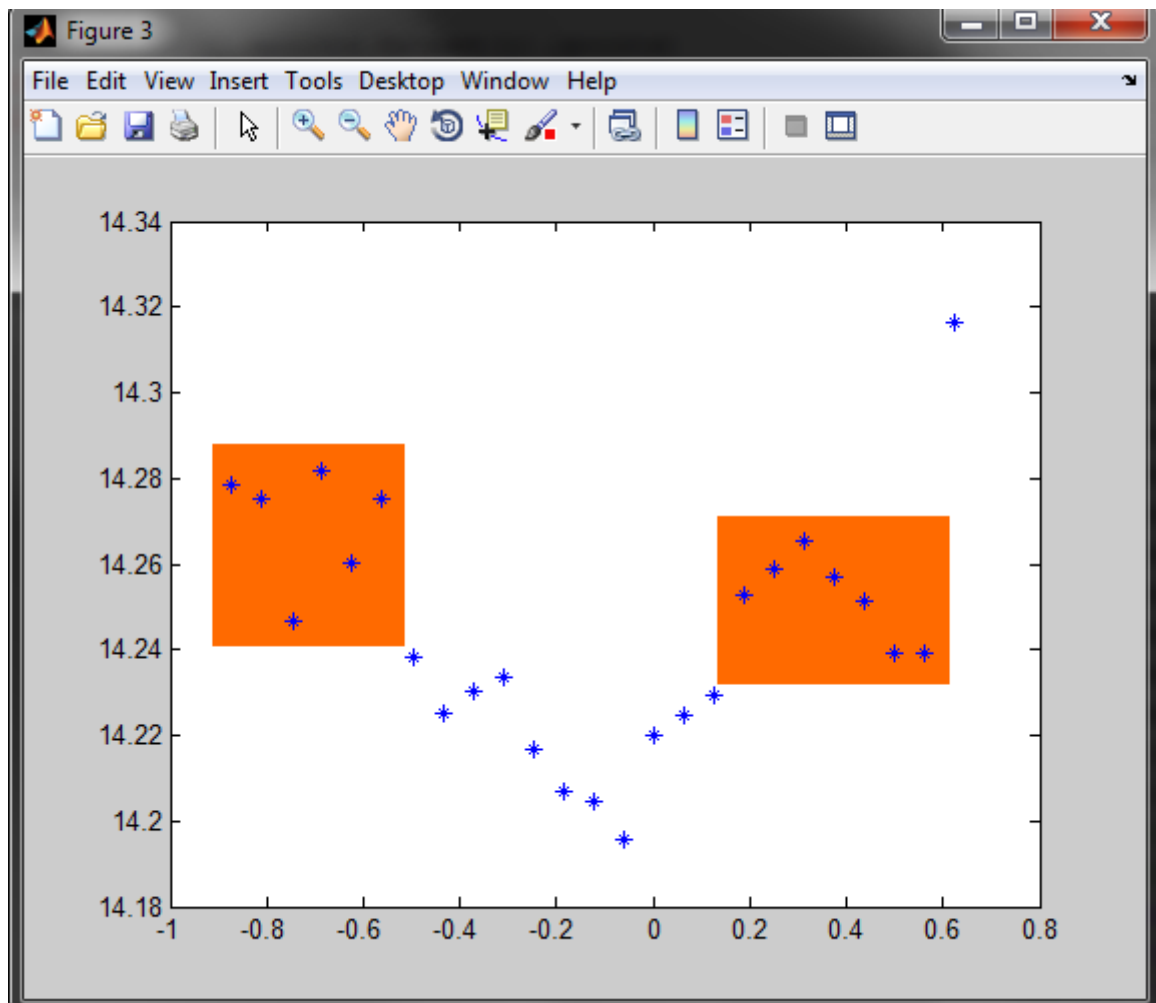
Αυτή η κατηγορία αλγορίθμων βασίζεται στο φίλτρο kalman όπου επιδιώκεται να βρεθεί το σημείο χωρισμού των αντικειμένων με στοχαστικούς τρόπους. Τέτοιου είδους αλγόριθμοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά με το PDBS αλγόριθμο για τη δημιουργία σωστής ομαδοποίησης.

### 6.2.3 RANSAC

Αν και η TLS μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε δίνει πολύ καλά αποτελέσματα όσον αφορά την προσαρμογή καμπύλης, δεν λαμβάνει υπόψη της καθόλου μετρήσεις οι οποίες απέχουν πολύ από τις υπόλοιπες που ανήκουν στην ίδια ομάδα. Έτσι αν μπορούσαμε να τις απομακρύνουμε όταν βρίσκουμε τις παραμέτρους της χαρακτηριστικής καμπύλης θα είχαμε πολύ καλύτερα αποτελέσματα. Μια μέθοδος που μπορεί να βοηθήσει προς αυτή την κατεύθυνση είναι ο αλγόριθμος RANSAC. Είναι μια επαναληπτική μέθοδος που υπολογίζει της παραμέτρους μιας ευθείας από ένα σύνολο μετρήσεων χωρίζοντας τα δεδομένα σε 'inliers' και 'outliers', δηλαδή υποσύνολο μετρήσεων των οποίων η διασπορά εξηγείται ικανοποιητικά από ένα μαθηματικό μοντέλο και αυτών που δεν ταιριάζουν καθόλου στο παραπάνω μοντέλο αντίστοιχα.

### 6.2.4 Remission

Τέλος μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα χαρακτηριστικό που δίνεται από το ίδιο το λέιζερ, το οποίο αποκαλείται remission. Αυτό είναι η ένταση της δέσμης του λέιζερ που έχει ανιχνευθεί από τον δέκτη του. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.1, αυτή είναι μια αναπαράσταση του οπίσθιου μέρους ενός αυτοκινήτου. Τα πορτοκαλί τετράγωνα υποδηλώνουν δεδομένα που αντιστοιχούν στα πίσω φανάρια ενός αυτοκινήτου. Αυτά έχουν μεγάλο βαθμό remission με αποτέλεσμα συγκρίνοντας αυτό το pattern με μια βάση δεδομένων, μπορούμε να αντιληφθούμε ότι βλέπουμε το πίσω μέρος ενός οχήματος και να αντικαταστήσουμε όλες τις μετρήσεις από μια ευθεία. Επίσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές όπου οι μετρήσεις χαρακτηρίζονται από ένα βάρος αξιοπιστίας, πχ. weighed TLS.



Εικόνα 6.1: Απεικόνιση οπίσθιου μέρους αυτοκινήτου από μια σάρωση λέιζερ

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Αναπαράσταση οδικής ασφάλειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση .....	18
Εικόνα 2.1: Συσκευή σαρωτή λέιζερ .....	22
Εικόνα 2.2: Οθόνη ενδείξεων του λέιζερ .....	22
Εικόνα 2.3: Αρχή λειτουργίας του LMS.....	25
Εικόνα 2.4: Αρχή λειτουργίας μέτρησης του χρόνου διάδοσης της δέσμης.....	25
Εικόνα 2.5: Ανάκλαση δέσμης του λέιζερ στην επιφάνεια ενός αντικειμένου .....	26
Εικόνα 2.6: Γωνία ανάκλασης .....	26
Εικόνα 2.7: Βαθμός ανάκλασης .....	27
Εικόνα 2.8: Επιφάνεια Καθρέφτη .....	27
Εικόνα 2.9: Αντικείμενο μικρότερο από τη διάμετρο της δέσμης του λέιζερ .....	27
Εικόνα 2.10: Διάγραμμα ακτίνας σάρωσης του LMS σε συνάρτηση με την remission του στόχου .	28
Εικόνα 2.11: Διαστολή δέσμης.....	29
Εικόνα 2.12: Σχηματική αναπαράσταση της απόστασης διαδοχικών σημείων σε διαφορετικές γωνιακές αναλύσεις.....	29
Εικόνα 2.13: Διάμετρος δέσμης και απόσταση μεταξύ μετρούμενων σημείων για 0 - 50m.....	30
Εικόνα 2.14: Ελάχιστο μέγεθος αντικειμένου ώστε να ανιχνευθεί.....	30
Εικόνα 2.15: Παράδειγμα ζήτησης μέτρησης.....	31
Εικόνα 2.16: Παράδειγμα συνεχόμενων μετρήσεων .....	32
Εικόνα 3.1: Πειραματικό αυτοκίνητο με το λέιζερ LMS151 .....	35
Εικόνα 3.2: Μονάδα CPU που αναλαμβάνει την εκτέλεση αλγορίθμων .....	35
Εικόνα 3.3: Κιτ συναρμολόγησης για τοποθέτηση στο αμάξωμα του αυτοκινήτου.....	37
Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση roll, pitch και yaw rate .....	38
Εικόνα 3.5: Προτεινόμενη μεθοδολογία διόρθωσης φαινομένου pitch του αισθητήρα .....	38
Εικόνα 3.6: Προτεινόμενη μεθοδολογία διόρθωσης φαινομένου roll του αισθητήρα .....	39
Εικόνα 4.1: Στιγμιότυπο από "μη επεξεργασμένα" δεδομένα από το σαρωτή λέιζερ.....	40
Εικόνα 4.2: Επεξεργασμένα δεδομένα από σαρωτή λέιζερ.....	41

Εικόνα 4.3: Λογικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής του συστήματος.....	42
Εικόνα 4.4: Σχηματική αναπαράσταση μιας υποθετικής σάρωσης απο λέιζερ. Δα είναι η γωνιακή ανάλυση του αισθητήρα λέιζερ.....	44
Εικόνα 4.5: Λογικό διάγραμμα ομαδοποίησης των δεδομένων απο σαρωτή λέιζερ.....	45
Εικόνα 4.6: Γεωμετρική αναπαράσταση του $D_{thd}$ κατά Dietmayer.....	46
Εικόνα 4.7: Γεωμετρική αναπαράσταση μεθόδου κατά Santos.....	47
Εικόνα 4.8: Αναπαράσταση αυτόματης προσαρμογής της καμπύλης.....	48
Εικόνα 4.9: Πιθανά περιγράμματα αναπαράστασης των αντικειμένων που παίρνουμε από το λέιζερ.....	49
Εικόνα 4.10: Διαφοροποίηση μέτρησης του σφάλματος της απλής μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (πάνω και αριστερά) από την TLS (δεξιά).....	50
Εικόνα 4.11: Κριτήρια για σύνθεση αντικειμένων που έχουν προκύψει από προηγούμενο επίπεδο ομαδοποίησης.....	50
Εικόνα 4.12: Αναπαράσταση αλγορίθμου για την εύρεση μερικών αποκλεισμών.....	51
Εικόνα 4.13: Περιγραφή ID διανύσματος.....	60
Εικόνα 4.14: Αλγόριθμος διαχείρισης αντικειμένων (GNN DA).....	60
Εικόνα 4.15: Κυκλική αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων του οχήματος αναφοράς.....	63
Εικόνα 4.16: Στιγμιότυπο απεικόνισης της πλατφόρμας σε κάποια σάρωση.....	66
Εικόνα 5.1: Ιχνηλασία πεζού.....	69
Εικόνα 5.2: Ιχνηλασία πεζού για 97 σαρώσεις.....	69
Εικόνα 5.3: Μερικός αποκλεισμός αντικειμένου.....	71
Εικόνα 5.4: Δυο αντικείμενα μερικώς αποκλεισμένα.....	71
Εικόνα 5.5: Ιχνηλασία αντικειμένων κατά τη στάση.....	73
Εικόνα 5.6: Ιχνηλασία ίδιου αντικειμένου για 210 συνεχόμενες σαρώσεις.....	74
Εικόνα 5.7: Ακριβής αναπαράσταση μεγέθους λεωφορείου.....	74
Εικόνα 6.1: Απεικόνιση οπίσθιου μέρους αυτοκινήτου από μια σάρωση λέιζερ.....	77

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Επεξήγηση φωτοдиодων (LED) του λέιζερ.....	23
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά LMS151.....	24
Πίνακας 3: Πλαίσιο μηνύματος με ASCII κωδικοποίηση.....	33
Πίνακας 4: Πλαίσιο μηνύματος με δυαδική κωδικοποίηση.....	34
Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά υπολογιστικής μονάδας.....	36
Πίνακας 6: Περιγραφή συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν.....	65
Πίνακας 7: Αποτελέσματα Ιχνηλασίας και Εκτίμησης Οδικών Ορίων (Σενάριο 1).....	68
Πίνακας 8: Αποτελέσματα ομαδοποίησης κινούμενων στόχων.....	68
Πίνακας 9: Αποτελέσματα Ανακατασκευής Μερικώς Αποκλεισμένων Στόχων.....	70
Πίνακας 10: Αποτελέσματα ιχνηλασίας και εκτίμησης οδικών ορίων σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας.....	72
Πίνακας 11: Αποτελέσματα ομαδοποίησης κινούμενων στόχων.....	73

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

HMI:	Human machine interface
PDBS:	Point-distance-based segmentation
KFBS:	Kalman-filter-based segmentation
TLS:	Total least squares
LRM:	Linear regression method
CAN:	controller area network
CV:	constant velocity
GNN:	Global Nearest Neighbor
FOV:	Field of view
RANSAC:	RANdom SAmple Consensus



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Minifaros ιστοσελίδα <http://www.minifaros.eu/>
- [2] Χαράλαμπος Αυγουστίδης, *Επεξεργασία Δεδομένων από Πολυεπίπεδο Σαρωτή Λέιζερ (multilayer laser scanner)*, Νοέμβριος 2007
- [3] Robert MacLachlan, *Tracking Moving Objects From a Moving Vehicle Using a Laser Scanner*, Ιούνιος 2005
- [4] G. Gate, A. Breheret, F. Nashashibi, *Fast Pedestrian Detection in Dense Environment with a Laser Scanner and a Camera*,
- [5] Cristiano Premebida, *Segmentation and Geometric Primitives Extraction from 2D Laser Range Data for Mobile Robot Applications*, Ιούνιος 2005
- [6] Dietmayer, K.C.J., J. Sparbert and D. Streller (2001), *Model based Object Classification and Object Tracking in Traffic scenes from Range Images*, In: Proceedings of IV IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Tokyo.
- [7] Santos, S., J.E. Faria, F. Soares, R. Araujo and U. Nunes (2003), *Tracking of Multi-Obstacles with Laser Range Data for Autonomous Vehicles*, In: Proc. 3rd National Festival of Robotics Scientific Meeting (ROBOTICA), pp. 59-65, Lisbon, Portugal.
- [8] Viet Nguyen · Stefan Gächter · Agostino Martinelli · Nicola Tomatis · Roland Siegwart, *A comparison of line extraction algorithms using 2D range data for indoor mobile robotics*, In: Springer Science+Business Media, LLC 2007, Ιούνιος 2007
- [9] Stefan Wender, Michael Schoenherr, Nico Kaempchen, Klaus Dietmayer, *Classification of Laserscanner Measurements at Intersection Scenarios with Automatic Parameter Optimization*,
- [10] P. de Groen, *An Introduction to Total Least Squares*, In: Nieuw Archief voor Wiskunde, Vierde serie, deel 14, 1996, pp. 237-253
- [11] Stefan Wender, Thorsten Weiss, Kay Ch. Fuerstenberg, Klaus C. J. Dietmayer, *Object Classification exploiting High Level Maps of Intersections*,
- [12] Ε. Τσογκας, Ν. Φλουδας, *Ανάλυση των επιμέρους τμημάτων ενός συστήματος Data Fusion και προσομοίωση της λειτουργίας τους*, (Φίλτρα Kalman, Data Association, Tracking, Path Prediction, Threat Assessment), 2002
- [13] Bar-Shalom Y., Rong Li X., Kirubarajan T., 2001, *“Estimation with applications to Tracking and Navigation”*, John Wiley and Sons Inc.
- [14] Y. Bar-Shalom, X. Li, *“Multitarget-Multisensor Tracking: Principles and Techniques”*, YBS Publishing, Storrs, CT, 1995.

- [15] Blackman, S.S., and Popoli, R.: '*Design and analysis of modern tracking systems*' (Artech House, Norwood, MA, USA, 1999)
- [16] Kalman, R.E.: '*A new approach to linear filtering and prediction problems*', ASME J. Basic Eng., 1960, 82, pp. 34–35
- [17] Redmill, K., Upadhya, S., Kishnamurthy, A., and Ozguner, U.: '*A lane tracking system for intelligent vehicle applications*'. Proc. IEE ITS Conf., USA, 25–29 Aug. 2001, pp. 273–279
- [18] S. Wender, K. Ch. Fuerstenberg, K. Dietmayer, "*Object Tracking and Classification for Intersection Scenarios Using A Multilayer Laserscanner*", Proceedings of ITS 2004, 11th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Nagoya, 2004
- [19] Jun Xu, Yibin Xu, Jijun Luo, Xiaolei Ning, Falin Zhao, Xiaofeng Li, *New De-noising Method for Laser Active Image Based on Wavelet Transform*
- [20] Sebastian Thrun, *Learning Occupancy Grid Maps with Forward Sensor Models*, Computer Science Department, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA