



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Ανάπτυξη συστήματος αντίληψης οδικού περιβάλλοντος με
σύντηξη δεδομένων από πολλαπλές πηγές πληροφορίας**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Εμμανουήλ, Ν. Τσόγκας

Αθήνα, Ιανουάριος 2008



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ανάπτυξη συστήματος αντίληψης οδικού περιβάλλοντος με σύντηξη δεδομένων από πολλαπλές πηγές πληροφορίας

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Εμμανουήλ, Ν. Τσόγκας

Συμβουλευτική Επιτροπή : Ηλίας, Κουκούτσης

Νικόλαος, Ουζούνογλου

Άγγελος, Αμδίτης

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 31^η Μήνα Έτος.

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

Αθήνα, Ιανουάριος 2008

.....
Εμμανουήλ, Ν. Τσόγκας

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

Copyright © Εμμανουήλ, Ν. Τσόγκας, 2008.

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

Τον τελευταίο καιρό η έρευνα για τον περιορισμό των τροχαίων ατυχημάτων στρέφεται όλο και περισσότερο στην μελέτη της τοποθέτησης και λειτουργίας μιας ευρείας γκάμας αισθητήρων πάνω στα οχήματα. Σκοπός των συστημάτων που αναπτύσσονται είναι η αντίληψη του περιβάλλοντος και η αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης για την έγκαιρη προειδοποίηση του οδηγού σε κρίσιμες καταστάσεις ή ακόμα και η ανάληψη μερική ή ολική του ελέγχου του οχήματος. Η χρησιμότητα των συστημάτων αυτών έχει ήδη αρχίσει να αναγνωρίζεται και ήδη έχουν αρχίσει να εμφανίζονται τα πρώτα εμπορικά συστήματα σε μεγάλα οχήματα όπως φορτηγά ή αυτοκίνητα πολυτελείας με έναν ή δυο το πολύ αισθητήρες προς το παρών. Οι λειτουργίες που ενσωματώνονται σε αυτές τις εφαρμογές είναι η αποφυγή σύγκρουσης, η πλευρική ασφάλεια, η υποβοήθηση ταχύτητας, η υποβοήθηση σε διασταυρώσεις και η υποβοήθηση σε καταστάσεις παύσης και έναρξης κίνησης. Η χρήση τους αυξάνεται προς το παρών με αργούς ρυθμούς καθώς βρίσκονται στα αρχικά στάδια της μελέτης και ανάπτυξης τους, αλλά προβλέπεται σε μερικά χρόνια να αρχίσει σταδιακά η μαζική χρήση τους.

Καθώς η έρευνα προχωράει, η μελέτη στρέφεται στην εγκατάσταση και λειτουργία συστημάτων με πολλαπλούς αισθητήρες οι οποίοι θα καλύπτουν όλη την περιοχή γύρω από το όχημα. Σκοπός είναι η πλήρης αντίληψη όλων των περιοχών εμπρός, πίσω, αριστερά και δεξιά από το αυτοκίνητο για την προστασία από περιπτώσεις όπως π.χ. η σύγκρουση με ένα διπλανό όχημα κατά την αλλαγή λωρίδας ή η σύγκρουση με ένα εμπόδιο μπροστά σε συνθήκες περιορισμένης ορατότητας. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως μικροκυματικά ραντάρ για την ανίχνευση κινούμενων οχημάτων, κάμερες για την ανίχνευση κυρίως των λωρίδων και των οριών του δρόμου, σαρωτές laser για την ανίχνευση του δρόμου και άλλων οχημάτων, υπέρυθρες κάμερες για την ανίχνευση αντικειμένων το βράδυ, ψηφιακοί χάρτες για πληροφορίες σχετικά με τον δρόμο, δέκτες GPS για την εύρεση της θέσης και αδρανειακοί αισθητήρες για την εκτίμηση της δυναμικής κατάστασης του οχήματος.

Σκοπός της διατριβής είναι η εισαγωγή ορισμένων πρωτότυπων αλγορίθμων όσον αφορά την αποτελεσματική αντίληψη του οδικού περιβάλλοντος σε εφαρμογές υποβοήθησης του οδηγού σε έξυπνα οχήματα και η ανάπτυξη μιας πρωτότυπης πλατφόρμας για την λήψη και επεξεργασία των δεδομένων από τους αισθητήρες με τους οποίους είναι εξοπλισμένο το όχημα. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει μια σύντομη εισαγωγή στα συστήματα οδικής ασφάλειας, όπου γίνεται επίσης παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του πυρήνα επεξεργασίας των πληροφοριών από τους αισθητήρες κάνοντας χρήση τεχνικών σύντηξης δεδομένων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένοι νέοι αλγόριθμοι και βελτιώνονται ορισμένοι υπάρχοντες σε σχέση με την επεξεργασία των δεδομένων από τους αισθητήρες αυτούς που είναι εγκατεστημένοι πάνω στο όχημα. Το πεδίο στο οποίο εστιάζεται είναι η εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου με χρήση ψηφιακών χαρτών καθώς και η εκτίμηση της ίδιας γεωμετρίας σε μεταγενέστερο στάδιο με χρήση πολλαπλών πηγών πληροφορίας. Επίσης, αναλύονται οι μέθοδοι αξιολόγησης κατάστασης και ιδιαίτερα αυτοί που αφορούν την εκτίμηση των συντελεστών κινδύνου καθώς και την ανίχνευση των εκτελούμενων ελιγμών και την εξακρίβωση της πρόθεσης του οδηγού. Στο τέλος παρουσιάζεται μια πρότυπη πλατφόρμα η οποία εστιάζει στην πλευρική ασφάλεια.

ABSTRACT

In recent years the on-going research, for decreasing road accidents, focus in using various sensors onboard vehicles for perceiving the road environment. This effort aims in detecting and recognizing the current situation evolving around the vehicle in order to inform or warn the driver or even take control of the vehicle. The importance of such systems has already started being recognized and nowadays the first generation of such systems is equipping heavy trucks or luxurious vehicles by using one or two different sensors. The functions that are developed are collision avoidance, lane keeping, speed assistance, intersection support and stop & go. Currently, their market penetration is very low, as those systems are under research and development, but it is anticipated their extended use in the near future.

The main purpose is the field of view of all sensors to include the whole area of the vehicle. Thus, for example, the driver assistance system (ADAS) should be able to cover a possible collision with another vehicle moving in the adjacent lane during a lane change, or the collision with an obstacle in front of the vehicle during bad weather. Typical sensors used in ADAS systems are radars, cameras, laser scanners, infrared cameras, digital maps, GPS and inertial sensors for estimating the vehicle dynamics.

This thesis includes a short introduction in advanced driver assistance systems, the presentation of the architecture of data fusion systems and the proposal of some new algorithms or the extension of previous ones for the processing of data provided by the sensor network installed on the vehicle. The main work focuses at the road geometry estimation using digital maps and the lane estimation using multiple sources of information. It is also focusing in the development of algorithms regarding situation assessment and particularly at estimating the risks involved with the current situation. It is also deals with the problem of detecting the performed maneuver by the driver and the intention associated with the corresponding maneuver. Finally, a software platform for testing all the proposed algorithms is developed and presented.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	8
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 1	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΟΔΗΓΟΥ	13
1.1 Εισαγωγή	13
1.1.1 Σύστημα πλοήγησης	15
1.1.2 Σύστημα υποβοήθησης ταχύτητας	17
1.1.2.1 Επιλογές σχεδίασης συστήματος	17
1.1.2.2 Προ-απαιτούμενα συστήματος υποβοήθησης ταχύτητας	18
1.1.2.3 Επιπλέον προοπτικές	19
1.1.3 Βασικές τεχνολογίες σχετικά με τον προσδιορισμό θέσης και τις επικοινωνίες	20
1.1.3.1 Σχετικός προσδιορισμός θέσης	21
1.1.4 Σύστημα αποφυγής σύγκρουσης	22
1.1.5 Σύστημα υποστήριξης σε διασταυρώσεις	23
1.1.6 Σύστημα διατήρησης λωρίδας	24
1.2 Αρχιτεκτονική συστημάτων σύντηξης δεδομένων αισθητήρων	24
1.2.1 Το μοντέλο JDL	25
1.2.2 Συστήματα ενεργητικής ασφάλειας και αποτροπής ατυχημάτων	26
1.2.3 Τροποποιημένο λειτουργικό μοντέλο	27
1.2.4 Ενδό-στρωματική διαδικασία σύντηξης	29
1.3 Δομή και συνεισφορά διατριβής	31
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 2	33
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΔΡΟΜΟΥ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ	33
2.1 Εισαγωγή	33
2.2 Περιγραφή συστήματος γεωγραφικής απεικόνισης θέσης	33
2.3 Εκτίμηση γεωμετρίας	35
2.3.1 Περιγραφή μοντέλου Clothoid	35
2.3.2 Εκτίμηση κατάστασης δυναμικού συστήματος	36
2.3.2.1 Γραμμικό Φίλτρο Kalman	36
2.3.2.2 Μη γραμμικό φίλτρο Kalman	39
2.3.2.3 Φίλτρο Kalman UKF	42
2.3.3 Περιγραφή γεωμετρίας με χρήση πολλαπλών μοντέλων clothoid	44
2.4 Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα	49
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 3	53
ΣΥΝΤΗΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ	53
3.1 Εισαγωγή	53
3.2 Πηγές πληροφορίας για την εξαγωγή της γεωμετρίας του δρόμου	54
3.2.1 Επεξεργασία εικόνας για την ανίχνευση του δρόμου	54
3.2.2 Εκτίμηση γεωμετρίας δρόμου με χρήση σαρωτή λέιζερ	55
3.2.3 Εύρεση καμπυλότητας με χρήση δεδομένων ραντάρ	55
3.2.4 Εύρεση καμπυλότητας με χρήση της κινηματικής του ίδιου οχήματος	58
3.3 Σύντηξη δεδομένων για την εξαγωγή της γεωμετρίας του δρόμου	58
3.3.1 Σύντηξη δεδομένων στο χωρικό πεδίο με χρήση βαρών (Σύστημα 1)	59
3.3.2 Σύντηξη δεδομένων με χρήση ασαφούς λογικής (Σύστημα 2)	64

3.3.3	Σύντηξη δεδομένων στο πεδίο των συντελεστών	66
3.3.4	Συνδυαστική μέθοδος σύντηξης δεδομένων	67
3.3.5	Εκτιμητής πλευρικών παραμέτρων	68
3.4	Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα	68
3.5	Επίλογος	76
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 4		77
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ		77
4.1	Εισαγωγή	77
4.2	Πρόβλεψη μελλοντικής θέσης	78
4.2.1	Μοντέλο σταθερής ταχύτητας	79
4.2.2	Μοντέλο σταθερής επιτάχυνσης.....	79
4.2.3	Μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας	79
4.2.4	Μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας και σταθερής εφαπτομενικής επιτάχυνσης.....	81
4.2.5	Προσαρμοστικό δυναμικό μοντέλο.....	82
4.2.6	Μοντέλο με βάση τη γεωμετρία του δρόμου	82
4.2.7	Συνδυαστικό μοντέλο με βάση την γεωμετρία δρόμου και δυναμικού μοντέλου.....	83
4.3	Υπολογισμός κινδύνου με χρήση συστήματος ασαφούς λογικής.....	83
4.3.1	Εισαγωγή στη θεωρία ασαφούς λογικής	83
4.3.1.1	Ορισμός ασαφούς συνόλου και συνάρτησης μέλους	84
4.3.1.2	Ιδιότητες συναρτήσεων μέλους.....	85
4.3.2	Ρίσκο κατάστασης περιβάλλοντος	85
4.3.3	Ρίσκο εισόδου σε στροφή με μεγάλη ταχύτητα.....	87
4.3.4	Ρίσκο αλλαγής λωρίδας.....	87
4.3.5	Ρίσκο σύγκρουσης με προπορευόμενο όχημα	88
4.3.6	Υπολογισμός συνολικού ρίσκου	90
4.4	Εκτίμηση κατάστασης με εφαρμογή της θεωρίας αποδείξεων.....	92
4.4.1	Θεωρία Dempster-Shafer	92
4.4.1.1	Εισαγωγή.....	92
4.4.1.2	Αποδεικτικό σύστημα Dempster-Shafer για σύντηξη δεδομένων	93
4.4.2	Αναγνώριση ελιγμών	95
4.4.3	Αναγνώριση πρόθεσης οδηγού.....	99
4.4.3.1	Αναγνώριση πρόθεσης οδηγού με χρήση κανόνων και βαρών	100
4.4.4	Ανάθεση ανιχνευθέντων αντικειμένων σε λωρίδες.....	101
4.5	Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα	101
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 5		105
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΟΔΗΓΟΥ.....		105
5.1	Εισαγωγή	105
5.2	Δίκτυα Επικοινωνιών	105
5.2.1	Πρωτόκολλο CAN.....	105
5.2.1.1	Μορφή πακέτων	106
5.2.1.2	Αποθήκευση αριθμών.....	107
5.2.2	Πρωτόκολλο IEEE-1394.....	108
5.3	Περιγραφή λογισμικού αντίληψης οδικού περιβάλλοντος	108
5.3.1	Περιγραφή αισθητήρων	110
5.3.2	Περιγραφή λειτουργίας της πλατφόρμας	112
5.3.3	Περιγραφή υπομονάδων.....	116
5.3.4	Συγχρονισμός δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες.....	118
5.4	Σύστημα ασφαλούς οδήγησης επιβατηγού οχήματος.....	118
5.4.1.1	Αισθητήρες πλατφόρμας ανίχνευσης οδικού περιβάλλοντος.....	118
5.4.1.1.1	Ραντάρ μακρινής εμβέλειας.....	119
5.4.1.1.2	Ραντάρ μέσης εμβέλειας.....	119

5.4.1.1.3	Κάμερα CMOS υψηλού δυναμικού εύρους	120
5.4.1.1.4	Σύστημα ψηφιακών χαρτών.....	121
5.4.1.1.5	Αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας.....	121
5.4.2	Περιγραφή υπολογιστικών μονάδων για την επεξεργασία των δεδομένων από τους αισθητήρες 122	
5.4.3	Αρχιτεκτονική συστήματος.....	123
5.4.3.1	Αρχιτεκτονική συστήματος σε επίπεδο υλικού	123
5.4.3.2	Αρχιτεκτονική λογισμικού	124
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 6		127
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ		127
6.1	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	127
6.2	Επόμενα βήματα	128
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....		131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		133
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ.....		139
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ		141
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....		145

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διδακτορική αυτή διατριβή περιλαμβάνει αρχικά μια εισαγωγή στα συστήματα οδικής ασφάλειας έξυπνων οχημάτων και στη συνέχεια αναλύεται η αρχιτεκτονική των συστημάτων σύντηξης δεδομένων και πως αυτά χρησιμοποιούνται για την αύξηση της ασφάλειας σε οδικές εφαρμογές. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται ο τρόπος για την υλοποίηση ενός πλήρους τέτοιου συστήματος και προτείνονται ορισμένοι νέοι αλγόριθμοι για την επεξεργασία των δεδομένων από τους διάφορους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται. Τέλος, αναφέρονται ορισμένα γενικά συμπεράσματα και τα μελλοντικά βήματα.

Όλοι οι αλγόριθμοι της εργασίας αυτής, καθώς και η τελική εφαρμογή, υλοποιήθηκαν σε C++ και δημιουργήθηκαν έτσι ώστε να είναι δυνατόν να μπορούν να τρέχουν σε συστήματα πραγματικού χρόνου. Επίσης, τμήματα των αλγορίθμων υλοποιήθηκαν αρχικά σε Matlab έτσι ώστε να επιτευχτεί η πιο γρήγορη βελτιστοποίηση τους και στη συνέχεια έγινε η ολοκλήρωση τους σε C++. Το μεγαλύτερο μέρος υλοποιήθηκε και ενσωματώθηκε σε πραγματικά συστήματα υποβοήθησης οδηγού έξυπνων οχημάτων στα πλαίσια της ερευνητικής δραστηριότητας της ομάδας I-Sense που υπάρχει στο εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών (EMOI) της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται στον διευθυντή του εργαστηρίου καθηγητή Ν.Ουζουνογλου και τον Δρ. Άγγελο Αμδίτη που είναι υπεύθυνος της ομάδας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψ. Δρ. Νικόλαο Φλούδα και Δρ. Άρι Πολυχρονόπουλο για την συνεργασία και την συνεισφορά τους καθ' όλη τη διάρκεια της ενασχόλησης μου με την διατριβή. Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κωστή Κοντόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια του.

Τέλος, το σύνολο των αλγορίθμων που παρουσιάζονται σε αυτήν την διατριβή και η τελική εφαρμογή, που υλοποιήθηκε, εγκαταστάθηκε και δοκιμάστηκε σε πειραματικά οχήματα που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια των Ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων Prevent και Aide από το ερευνητικό κέντρο της FIAT και της FORD, και VOLVO. Για τον λόγο αυτό πρέπει να ευχαριστήσω για τις τεχνικές υποδείξεις τους και την όλη συνεργασία τους Dr. Andrea Saroldi από την FIAT, τον Dr. Malte Ahrholdt από την Volvo και Etemad Aria από τη Ford. Επίσης, μια τροποποιημένη έκδοχή της εγκαταστάθηκε στο όχημα του εργαστηρίου Οχημάτων της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ στα πλαίσια της συνεργασίας με τον καθηγητή Κ. Σπεντζα.

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΟΔΗΓΟΥ

1.1 Εισαγωγή

Τα τροχαία ατυχήματα αποτελούν ένα από τα σοβαρότερα κοινωνικά προβλήματα στον κόσμο σήμερα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας 1.2 εκατομμύρια άνθρωποι σκοτώνονται και 50 εκατομμύρια τραυματίζονται σε τροχαία ατυχήματα κάθε χρόνο. Εκτιμήσεις για το μέλλον προβλέπουν ότι αυτά τα νούμερα θα αυξηθούν κατά 65% μέσα στα επόμενα 20 χρόνια εκτός και αν υπάρξει αυξημένη υποχρέωση για ασφάλεια.

Ο όρος κυκλοφορία συνεπάγεται την αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπων, οχημάτων και οδικών υποδομών. Στην διαδικασία αυτή ο άνθρωπος είναι το στοιχείο κλειδί, αλλά και ο πιο αδύναμος κρίκος. Σχεδόν τα περισσότερα τροχαία ατυχήματα οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα. Μέτρα ενάντια στα τροχαία ατυχήματα περιλαμβάνουν:

1. Την αλλαγή της ανθρώπινης συμπεριφοράς.
2. Μέτρα σχετικά με τα οχήματα.
3. Μέτρα σχετικά με τις οδικές υποδομές.

Μια άλλη κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει βασιζόμενη σε μέτρα παθητικής ασφάλειας, τα οποία στοχεύουν στον μετριασμό των συνεπειών ενός ατυχήματος αφότου αυτό γίνει, και σε μέτρα ενεργητικής ασφάλειας τα οποία στοχεύουν στην αποφυγή των ατυχημάτων. Κάθε μια από τις 3 πρώτες κατηγορίες περιέχει τόσο παθητικά όσο και ενεργητικά στοιχεία. Η αλλαγή της συμπεριφοράς προωθείται με την επιβολή, την πληροφόρηση, την εκπαίδευση ή την οδηγική διδασκαλία και είναι ως επί το πλείστον στο πεδίο της ενεργητικής ασφάλειας. Τα σχετικά μέτρα εξαρτώνται από την δράση που λαμβάνει κάθε κυβέρνηση και τα αποτελέσματα τους συνήθως δεν διαρκούν πολύ.

Ειδικά για τα μέτρα ασφάλειας σχετικά με τα οχήματα, διάκριση γίνεται μεταξύ των παθητικών στοιχείων (όπως τα δομικά στοιχεία του σκελετού του οχήματος, τον περιοριστή κεφαλιού, τις ζώνες ασφάλειας και τους αερόσακους) και των ενεργητικών στοιχείων (όπως η ποιότητα των ελαστικών, το σύστημα ηλεκτρονικού έλεγχου ευστάθειας (Electronic Stability Control – ESC), το σύστημα αποτροπής μπλοκαρίσματος των φρένων (Anti-lock Braking System – ABS) και τα επονομαζόμενα εξελιγμένα συστήματα υποβοήθησης οδηγού (ΕΣΥΟ). Συστήματα όπως το ESC και το ABS βοηθούν στην αποφυγή ατυχημάτων σε κρίσιμες καταστάσεις, ενώ ΕΣΥΟ εφαρμογές βασισμένες σε τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφοριών (Information and Communication Technology – ICT) βοηθούν στην αποτροπή ατυχημάτων, βοηθώντας τον οδηγό στο οδηγικό του έργο συνεχώς, αλλά επιπροσθέτως έχουν την ικανότητα να αυξάνουν την άνεση και την αποτελεσματικότητα. Ο πίνακας 1 παρέχει μια ανασκόπηση των ΕΣΥΟ εφαρμογών ασφάλειας.

Τα μέτρα ασφαλείας σχετικά με τις οδικές υποδομές επικεντρώνονται κυρίως στην ενεργητική ασφάλεια, αλλά επίσης έχουν και παθητικά στοιχεία; οι υποδομές θα μπορούσαν να κατασκευαστούν έτσι ώστε ατυχήματα να είναι λιγότερο πιθανόν να συμβούν, και αν συμβούν οι συνέπειες να είναι λιγότερο σοβαρές. Σχετικές λογικές περιλαμβάνουν τους ‘αυτό-εξηγούμενους’ δρόμους, οι οποίοι έχουν αναγνωρίσιμη οδική διάταξη εξαρτώμενη από την κατηγορία του δρόμου και επομένως προκαλούν ικανοποιητική συμπεριφορά και τους ‘δρόμους που συγχωρούν’, οι οποίοι αποτελούνται από δομικά στοιχεία τα οποία ελαττώνουν τις συνέπειες των ατυχημάτων εφόσον αυτά συμβούν. Για παράδειγμα το Σουηδικό μοντέλο οδικών υποδομών ορίζει ότι η

δόμηση των υποδομών θα πρέπει να ενημερώνει τον οδηγό με ένα φυσικό και αναμφίβολο τρόπο για την προτεινόμενη χρήση και την αναμενόμενη συμπεριφορά και να βοηθά στην αποτροπή συνάντησης με υψηλές διαφορές ταχυτήτων και αντίθετης κατεύθυνσης, υλοποιώντας τις ακόλουθες

<i>Λειτουργία ADAS</i>	<i>Ορισμός/Περιγραφή</i>	<i>Επίπεδο</i>	<i>Επίδραση</i>
Σύστημα πλοήγησης	Πρόβλεψη θέσης οχήματος, υπολογισμός διαδρομής και καθοδήγηση διαδρομής	Π/Υ	Διαμήκης
Προσαρμοστικός έλεγχος πλοήγησης	Αυτόματος έλεγχος ταχύτητας και απόστασης σε σχέση με το μπροστινό όχημα στη ίδια λωρίδα	E	Διαμήκης
Προσαρμοστικός έλεγχος φωτισμού	Δυναμική στόχευση των λαμπτήρων φωτισμού και προσαρμοζόμενος φωτισμός ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση	Υ	Διαμήκης
Ενίσχυση φωτισμού	Υποβοήθηση ικανότητας όρασης του οδηγού σε κακές συνθήκες φωτισμού και καιρού με την παροχή ενισχυμένων οπτικών πληροφοριών	Υ	Διαμήκης
Υποβοήθηση διατήρησης μέγιστης ταχύτητας	Υποβοήθηση του οδηγού για την διατήρηση της ταχύτητας του οχήματος εντός των νόμιμων ορίων (στατικών ή δυναμικών)	Π/P/E	Διαμήκης
Υποβοήθηση διατήρησης ταχύτητας σε στροφές	Υποβοήθηση οδηγού για την διατήρηση της κατάλληλης ασφαλούς ταχύτητας κατά την κίνηση του οχήματος σε στροφές	P/E	Διαμήκης
Προειδοποίηση επικίνδυνων σημείων	Υποβοήθηση οδηγού με την παροχή πληροφοριών ή προειδοποιήσεων σε επικίνδυνες τοποθεσίες (με βάση στατιστικά ατυχημάτων) όταν η ταχύτητα δεν είναι κατάλληλη	Π/P	Διαμήκης
Διακοπή και επανέναρξη κίνησης	Υποβοήθηση του οδηγού αναλαμβάνοντας τον πλήρη έλεγχο του οχήματος σε καταστάσεις συμφόρησης της κυκλοφορίας σε χαμηλές ταχύτητες	E	Διαμήκης
Αποτροπή εμπρόσθιας σύγκρουσης	Προειδοποίηση του οδηγού σε κατάσταση επικείμενης εμπρόσθιας σύγκρουσης και/ή παροχή αυτόματου ελέγχου του οχήματος σε τέτοιες περιπτώσεις	P/E	Διαμήκης
Υποβοήθηση διατήρησης λωρίδας (αποφυγή εξόδου από την λωρίδα κυκλοφορίας)	Υποβοήθηση του οδηγού για διατήρηση του οχήματος εντός της λωρίδας (ή μη ηθελημένη έξοδο ή εξόδου από τον δρόμο) με προειδοποίηση και/ή ημιαυτόνομο έλεγχο του οχήματος (εφαρμογή ανάδρασης στο τιμόνι) και/ή πλήρη έλεγχο	P/E	Πλευρική
Υποβοήθηση διατήρησης λωρίδας (αποφυγή πλευρικής σύγκρουσης)	Για ελιγμούς αλλαγής λωρίδας γίνεται παροχή πληροφοριών για οχήματα κινούμενα στις πλευρικές λωρίδες και/ή προειδοποίηση για επικείμενη σύγκρουση και/ή έλεγχο του οχήματος σε περίπτωση επικείμενης σύγκρουσης	Π/P/E	Πλευρική
Αποτροπή σύγκρουσης σε διασταύρωση	Αποφυγή συγκρούσεων σε διασταυρώσεις ειδοποιώντας ή αναλαμβάνοντας τον έλεγχο	P/E	Διαμήκης
Διαχείριση διασταυρώσεων	Συντονισμός κυκλοφορίας οχημάτων σε διασταυρώσεις με βάση την θέση των οχημάτων και μικρής απόστασης ενδοεπικοινωνία μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων οχημάτων	E	Διαμήκης
Αυτόνομη οδήγηση	Πλήρης αυτοματοποιημένη οδήγηση σε ελεγχόμενες καταστάσεις κίνησης σε αυτοκινητόδρομο σε όλες τις ταχύτητες με πλήρη πλευρικό και διαμήκη έλεγχο	E	Πλευρική + Διαμήκης

Επίπεδο: Π = Πληροφόρηση, P = Προειδοποίηση, E = Έλεγχος, Υ = Υποστήριξη

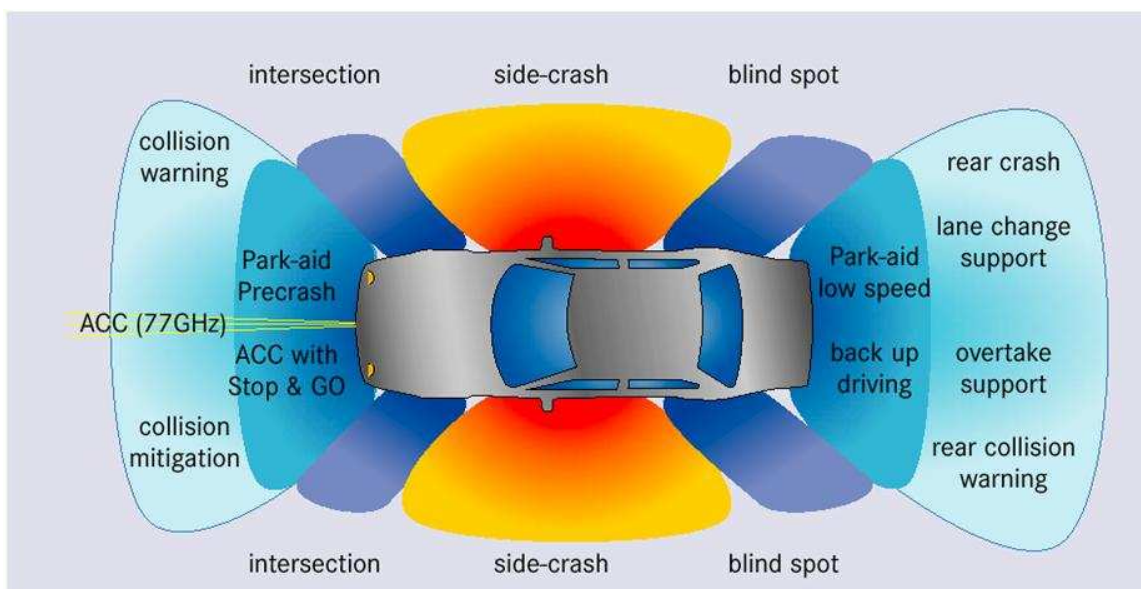
Βασικές κατευθυντήριες γραμμές, με διαχωρισμό των διαφορετικών τύπων κυκλοφορίας σαν βασική αρχή:

- Ποτέ να μην γίνεται μίξη οχημάτων με άλλες πιο αργές μορφές κυκλοφορίας σε ταχύτητες μεγαλύτερες των 30km/h.

- Ποτέ να μην επιτρέπεται η ύπαρξη επίπεδων διασταυρώσεων με ταχύτητες μεγαλύτερες των 50Km/h.
- Ποτέ να μην επιτρέπεται η ύπαρξη εισερχόμενης κυκλοφορίας χωρίς διαχωρισμό σε ταχύτητες μεγαλύτερες των 70Km/h.

Από τις αρχές του 1990, ειδικά σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, εκπονήθηκαν μεγάλης κλίμακας προγράμματα για τον επανασχεδιασμό των υποδομών. Ωστόσο, η πλήρης υλοποίησή τους καλύπτει αρκετές δεκαετίες και απαιτεί σημαντικές επενδύσεις [3]. Στο μεταξύ η ανάπτυξη των ADAS εφαρμογών προωθείται ταχύτατα και πολλές από αυτές βρίσκονται πολύ κοντά στην υιοθέτησή τους σε μαζική κλίμακα.

Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των κυριότερων ADAS λειτουργιών – πλοήγηση, υποβοήθηση ταχύτητας, αποτροπή σύγκρουσης, υποστήριξη διασταυρώσεων και διατήρηση λωρίδας – οι οποίες έχουν αναγνωριστεί σε προηγούμενες ερευνητικές μελέτες ως πιθανά μέσα αντικατάστασης των μέτρων ασφαλείας που βασίζονται στις υποδομές [3]. Εξετάζεται η τεχνική επιτευξιμότητα αυτών των ADAS εφαρμογών ως προς κατά πόσον είναι στην αιχμή της τεχνολογίας οι κεντρικές τεχνολογίες που υιοθετούν (γεωγραφική ενημέρωση θέσης, ραντάρ, ανιχνευτής λέιζερ, όραση και επικοινωνίες) και η χρήση τους σαν αυτόνομα ή συνεργατικά συστήματα.



Σχήμα 1.1 Περιοχές κάλυψης των διαφόρων εφαρμογών ασφάλειας οχημάτων

1.1.1 Σύστημα πλοήγησης

Το σύστημα πλοήγησης είναι ένα σύστημα εξελιγμένης τεχνολογίας, το οποίο εμφανίζεται με πολλές διαφορετικές παραλλαγές και με διεπαφές χρήστη με διαφορετικά επίπεδα εξέλιξης. Η προτίμηση του αυξάνεται ραγδαία, ακόμα και από τον μέσο οδηγό, καθώς παρέχει όχι μόνο καθοδήγηση πορείας αλλά ακόμα και δυναμική πληροφόρηση κυκλοφορίας, τις καλύτερες εναλλακτικές διαδρομές και εκτιμώμενο χρόνο άφιξης. Ο προσδιορισμός θέσης του οχήματος (αδρανειακοί αισθητήρες, GPS και ταιρίασμα χαρτών) και η καθοδήγηση πορείας είναι τα κύρια συστατικά του συστήματος. Αρκετές από τις απαιτήσεις ασφαλείας για τον σχεδιασμό των οδικών υποδομών θα μπορούσαν να ανατεθούν στο σύστημα πλοήγησης με μικρές προσθήκες που περιλαμβάνουν [3]:

1. Ελαχιστοποίηση του χρόνου ταξιδιού σε μη ασφαλείς δρόμους
2. Επίτευξη του ελάχιστου χρόνου άφιξης
3. Σύμπτυξη των ασφαλέστερων και πιο σύντομων διαδρομών
4. Αποτροπή συμπεριφοράς αναζήτησης

5. Δημιουργία ευκρινέστερων κατηγοριών δρόμων

Από την φύση του, το σύστημα πλοήγησης υλοποιεί το τέταρτο κριτήριο. Τα τρία πρώτα κριτήρια σχετίζονται πολύ μεταξύ τους και με μια έννοια έχουν ήδη υλοποιηθεί στο σύστημα πλοήγησης, με την έννοια ότι η έξοδος του συστήματος εξαρτάται από την επιλογή της προτεινόμενης διαδρομής που έχει κάνει ο χρήστης. Οι διαθέσιμες επιλογές για αυτήν απόφαση γενικά περιλαμβάνουν:

- Την πιο γρήγορη διαδρομή
- Την μικρότερη απόσταση
- Κύριες οδικές αρτηρίες (όσο το δυνατόν περισσότερο)
- Μη κύριες οδικές αρτηρίες (όσο το δυνατόν περισσότερο)

Το σύστημα πλοήγησης κατά βάση δημιουργεί την πιο σύντομη (ή γρήγορη) διαδρομή σε ισορροπία με το επιλεγόμενο κριτήριο για την επιθυμητή διαδρομή. Όσο πιο υψηλό είναι το επίπεδο του δρόμου, γενικά τόσο καλύτερος θα είναι ο διαχωρισμός των διαφορετικών ειδών κυκλοφορίας και επομένως τόσο ασφαλέστερη η διαδρομή θα είναι. Έτσι λοιπόν η επιλογή των κεντρικών αρτηριών παρέχει την καλύτερη ισορροπία μεταξύ των κριτηρίων (1), (2), (3). Το αποτέλεσμα εξαρτάται από τις επιλογές που ο πάροχος της ψηφιακής βάσης των χαρτών έχει κάνει σχετικά με την κατηγοριοποίηση των δρόμων και τις επιλογές υπολογισμού διαδρομής που γίνονται από το λογισμικό στο σύστημα πλοήγησης. Ως παράδειγμα, διαλέγοντας την συντομότερη διαδρομή δεν σημαίνει ότι παρέχεται πάντοτε η πραγματικά πιο σύντομη διαδρομή, αλλά μια έξυπνη σύντομη διαδρομή, εξακολουθώντας να λαμβάνει υπόψη το σύστημα μερικές αρχές για την επιλογή του υψηλότερου επιπέδου δρόμων και αποφυγής κατοικήσιμων περιοχών. Για την αύξηση της ασφάλειας, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη μια εναρμόνιση από το σύστημα πλοήγησης της κατηγοριοποίησης των δρόμων στην βάση δεδομένων των ψηφιακών χαρτών και των κανόνων επιλογής διαδρομής. Για τον σκοπό αυτό είναι επιθυμητά δεδομένα από τις δημόσιες αρχές.

Το κριτήριο (5) συνδέεται στενά με την αρχή των αυτό-εξηγούμενων δρόμων. Φυσικά ένα σύστημα πλοήγησης θα μπορούσε κατά αρχήν να πληροφορήσει τον οδηγό για τον τύπο του δρόμου μέσα στον οποίο κινείται με το αυτοκίνητο του, έτσι ώστε να επιβάλλει την κατάλληλη οδική συμπεριφορά, και συγκεκριμένα την σωστή ταχύτητα. Ωστόσο ένα σύστημα υποβοήθησης διατήρησης ταχύτητας θα μπορούσε να πληροφορήσει τον οδηγό με ένα καλύτερο και λιγότερο παρεμφερητικό τρόπο για την αναμενόμενη οδική συμπεριφορά.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα πλοήγησης παρέχει επίσης μια πλατφόρμα για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την κυκλοφορία στους δρόμους, υπό την μορφή μηνυμάτων ΚΜΚ (Κανάλι Μηνυμάτων Κυκλοφορίας) μέσω του συστήματος ΡΣΔ (Ράδιο – Σύστημα Δεδομένων), το οποίο είναι ένα κανάλι δεδομένων στην μπάντα των FM. Ένα παράδειγμα πληροφοριών κυκλοφορίας που σχετίζονται με την ασφάλεια είναι η παροχή της ακριβής τοποθεσίας του τέλους μιας κυκλοφοριακής ουράς, η οποία θα μπορούσε να βασιστεί στο προσφάτως ανεπτυγμένο ΚΜΚ φόρουμ προδιαγραφών για τον ακριβή προσδιορισμό τοποθεσίας [4].

Πολλές εφαρμογές ΕΣΥΟ θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τα δεδομένα χαρτών και γεωγραφικού στίγματος (θεωρώντας τους ψηφιακούς χάρτες και την συσκευή εύρεσης στίγματος ως έναν ενιαίο επιπρόσθετο εικονικό αισθητήρα). Παραδείγματα είναι η προειδοποίηση προσέγγισης σε στροφή (παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την καμπυλότητα της επικείμενης στροφής) και ο προσαρμοστικός έλεγχος πλοήγησης (για να ανιχνεύεται αν το ιχνηλατούμενο όχημα χάνεται στιγμιαία λόγω κίνησης σε στροφή). Μια έννοια κλειδί αποτελεί ο ΕΣΥΟ ορίζοντας, ο οποίος παρέχει της πληροφορίες που εξάγονται από τους ψηφιακούς χάρτες για το κομμάτι του δρόμου που βρίσκεται μπροστά από το όχημα. Στο φόρουμ ADASIS και στο χρηματοδοτούμενο από την ευρωπαϊκή ένωση πρόγραμμα MAPS&ADAS αναπτύσσονται οι προδιαγραφές για μια ΕΣΥΟ διεπαφή [5] έτσι ώστε να οριστούν οι σχετικές θεμελιώδεις αρχές και να τυποποιηθούν οι ροές πληροφορίας. Ο παροχέας του ορίζοντα ΕΣΥΟ (ΠΟΕ) εξάγει τα δεδομένα των χαρτών και της θέσης του οχήματος, τροφοδοτώντας συνεχώς διαμέσου του κεντρικού καναλιού επικοινωνίας του οχήματος τις διάφορες εφαρμογές που χρειάζονται τα δεδομένα αυτά. Από την πλευρά της ΕΣΥΟ

εφαρμογής υπάρχει η Μονάδα Αναδημιουργίας του ΕΣΥΟ Ορίζοντα (ΜΑΟ) λαμβάνει τις αναγκαίες πληροφορίες μέσω του διαύλου ροής δεδομένων και τις προετοιμάζει για την εφαρμογή. Ο ΠΟΕ μπορεί να ενσωματωθεί στο σύστημα πλοήγησης, το οποίο περιλαμβάνει ήδη πληροφορίες χαρτών και θέσης του οχήματος, αλλά εναλλακτικά τα δεδομένα αυτά θα μπορούσαν να λαμβάνονται από μια ξεχωριστή μονάδα (τον διακομιστή χαρτών), η οποία εξυπηρετεί τόσο το σύστημα πλοήγησης όσο και τον ΠΟΕ.

1.1.2 Σύστημα υποβοήθησης ταχύτητας

Ένας σημαντικός συντελεστής κινδύνου στα οδικά ατυχήματα [1] είναι η ανάρμωση ή υπερβολική ταχύτητα, ειδικά σε αστικό περιβάλλον και σε μονής κυκλοφορίας αστικούς δρόμους. Επομένως μια από τις παραμέτρους κλειδιά για τον πρακτικό και επιχειρησιακό έλεγχο της ενεργητικής ασφάλειας είναι η ταχύτητα. Τα συστήματα ADAS παρέχουν τεχνολογίες για την διαχείριση του θέματος σχετικά με την ταχύτητα και για να προωθούν την καλύτερη (ή και ολοκληρωτική) συμμόρφωση με τα όρια ταχύτητας σε σχέση με άλλα μέτρα, όπως η αστυνομική επιβολή, εκπαίδευση, και βελτιωμένη διάταξη των οδικών υποδομών.

Αν και η υποβοήθηση ταχύτητας βασιζόμενη στις οδικές υποδομές είναι εφικτή, είναι γενικά αποδεκτό ότι τα μελλοντικά συστήματα θα βασίζονται σε χάρτες. Σε ένα σύστημα βασιζόμενο στις οδικές υποδομές η θέση του οχήματος και η πληροφορία σχετικά με το όριο της ταχύτητας μπορούν να ληφθούν με την επικοινωνία με μικρής εμβέλειας αναμεταδότες (ή ετικέτες αναμετάδοσης), που μπορεί να είναι εγκατεστημένοι στα σημεία αλλαγής του ορίου ταχύτητας (γενικώς κατά μήκος του δρόμου επί των πινακίδων ταχύτητας). Η υψηλή εγκατάσταση υποδομών και τα κόστη συντήρησης δείχνουν να είναι απαγορευτικά, ενώ από την άλλη η αύξηση των ADAS στοιχείων στο αυτοκίνητο ευνοούν την εσωτερική εγκατάσταση συστημάτων που βασίζονται σε βάσεις δεδομένων ψηφιακών χαρτών.

Η υποβοήθηση ταχύτητας που βασίζεται σε βάσεις δεδομένων ψηφιακών χαρτών χρησιμοποιεί τον προσδιορισμό θέσης, τον προσδιορισμό του τοπικού ορίου ταχύτητας (από την βάση δεδομένων), σύγκριση της τρέχουσας ταχύτητας του οχήματος με το όριο αυτό και πληροφόρηση ή προειδοποίηση ή ανάληψη ελέγχου οχήματος. Ο προσδιορισμός θέσης και οι βάσεις δεδομένων ψηφιακών χαρτών είναι πολύ πιθανόν να αποτελούν ένα συνηθισμένο στοιχείο του εξοπλισμού σε όλα τα αυτοκίνητα στο μέλλον και είναι προς το παρών βασικό συστατικό του συστήματος πλοήγησης. Η σύγκριση μεταξύ της πραγματικής ταχύτητας του οχήματος είναι καθιερωμένη τεχνολογία καθώς αποτελεί πηγή πληροφόρησης ή προειδοποίησης μέσω του HMI (Human Machine Interface) συστήματος, ή του ελέγχου του οχήματος (με παράκαμψη ή όχι του οδηγού).

1.1.2.1 Επιλογές σχεδίασης συστήματος

Η σχεδίαση των συστημάτων υποβοήθησης ταχύτητας θα μπορούσε να γίνει με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ένα σημαντικό στοιχείο είναι η επιλογή του μοντέλου ανάδρασης, για το οποίο γενικά μπορούν να ορισθούν τέσσερα επίπεδα.

- Πληροφορίας (οπτικής ή ακουστικής)
- Προειδοποίησης (ακουστικής ή απτικά)
- Ελέγχου του οχήματος χωρίς την παράκαμψη του οδηγού (απτική δόνηση)
- Πλήρους έλεγχος του οχήματος (έλεγχος τροφοδοσίας καυσίμου, αλλαγής ταχυτήτων και φρεναρίσματος)

Ένας άλλος καθοριστικός παράγοντας είναι ο τρόπος εφαρμογής της λειτουργίας, ο οποία μπορεί να εφαρμοσθεί είτε επιλεκτικά (διακόπτης ενεργοποίησης/απενεργοποίησης), είτε υποχρεωτικά (αυτόνομη λειτουργία, αφότου η μηχανή είναι αναμμένη) [6]. Τα τελευταία χρόνια πολλά πιλοτικά προγράμματα έχουν γίνει σε διάφορες χώρες (Σουηδία, Αγγλία, Γαλλία, Ολλανδία και Αυστραλία) [7 – 11], στα οποία διαφορετικά συστήματα δοκιμάστηκαν και παρουσιάστηκαν, καθώς επίσης έγινε και έλεγχος της αντίδρασης των χρηστών στα συστήματα αυτά και έλεγχος του βαθμού

αποδοχής τους. Στα προγράμματα αυτά παρουσιάστηκε επαρκώς η δυνατότητα τεχνικής υλοποίησης διαφορετικών προσεγγίσεων για συστήματα υποβοήθησης ταχύτητας. Στο [3] γίνεται η πρόταση για την εισαγωγή μιας εξελιγμένης και ευέλικτης διάταξης συστήματος η οποία διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο του δρόμου και της απαιτήσεως για οδική ασφάλεια, συμπεριλαμβανομένου:

- Τον υποχρεωτικό πλήρη έλεγχο σε δρόμους και διαβάσεις με μεικτή κίνηση
- Τον υποχρεωτικό αναστρέψιμο έλεγχο (απτική δόνηση) σε δρόμους μονής κυκλοφορίας με διαχωρισμό των κατηγοριών κυκλοφορίας
- Επιλεκτική προειδοποίηση σε δρόμους διπλής κυκλοφορίας που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για αυτοκίνητα.

Η επιχειρηματολογία για την διαφοροποίηση αυτή βασίζεται σε δεδομένα ατυχημάτων, την εναρμόνιση των μέτρων υποδομής για την οδική ασφάλεια και την αποδοχή από τον χρήστη. Οι αυτοκινητόδρομοι θεωρούνται ότι είναι σχετικά ασφαλείς και δεν χαρακτηρίζονται από επεμβάσεις αλλαγής των υποδομών τους καθώς ήδη υπακούουν με τα προτεινόμενα πρότυπα. Τα περισσότερα ατυχήματα συμβαίνουν σε αστικές περιοχές και σε δρόμους μονής κυκλοφορίας. Οι μετρήσεις μέσω υποδομών εστιάζουν στον έλεγχο της ταχύτητας σε τέτοιες περιοχές. Αντιστρόφως, ο περιορισμός του οδηγού να έχει τον πλήρη έλεγχο του οχήματος του είναι περισσότερο πιθανό να γίνει πολύ πιο αισθητός σε περιβάλλοντα αυτοκινητόδρομων.

1.1.2.2 Προ-απαιτούμενα συστήματος υποβοήθησης ταχύτητας

Σε ένα σύστημα υποβοήθησης ταχύτητας χρειάζεται να καθορίζεται με αξιοπιστία η θέση του οχήματος πάνω στον χάρτη και πληροφορίες σχετικά με τα όρια της ταχύτητας από τους ψηφιακούς χάρτες που να ανανεώνονται συνεχώς. Ο καθορισμός της θέσης του οχήματος, όπως αυτός υλοποιείται στα τρέχοντα συστήματα πλοήγησης, είναι πολύ ακριβής. Μόνο σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να συμβεί κάποιο λάθος και αυτό για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Στις περιπτώσεις αυτές η μονάδα προσδιορισμού θέσης γνωρίζει γενικώς την αβεβαιότητα στην θέση του οχήματος και μπορεί το σύστημα υποβοήθησης ταχύτητας να προειδοποιήσει κατάλληλα τον οδηγό ότι δεν υπάρχουν αυτή τη χρονική στιγμή αξιόπιστες πληροφορίες για τα όρια ταχύτητας. Η μελλοντική εισαγωγή του Ευρωπαϊκού δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης Galileo, το οποίο θα περιλαμβάνει πληροφορίες αξιοπιστίας και τοπικά επιπρόσθετα συστήματα για την κάλυψη των κενών στη δορυφορική λήψη, θα βελτιώσει περαιτέρω τις μελλοντικές ικανότητες προσδιορισμού θέσης.

Το θέμα της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας των ορίων ταχύτητας που προέρχονται από ψηφιακούς χάρτες έχει επισημανθεί από την ομάδα εργασίας eSafety της Ασφάλειας Δρόμων [12]. Διαπιστώνεται ότι η αγορά ωθεί την επέκταση των ψηφιακών χαρτών με πληροφορίες σχετικά με αναψυχή και ταξίδια και όχι τόσο στην συμπερίληψη με πληροφορίες που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια, όπως είναι τα όρια ταχύτητας. Το συμπέρασμα είναι ότι λόγω εμπορικών περιορισμών, μια Ευρωπαϊκή ψηφιακή βάση χαρτών οδικής ασφάλειας δεν είναι πιθανόν να παρουσιαστεί στην αγορά σαν ένα επαρκές χαμηλού κόστους προϊόν, το οποίο θα επέτρεπε την προώθηση σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών ασφάλειας.

Το αν η παραπάνω άποψη είναι απολύτως σωστή είναι υπό αμφισβήτηση. Η συμπερίληψη νέου περιεχομένου σε εμπορικούς ψηφιακούς χάρτες εξαρτάται πράγματι από τις δυνάμεις της αγοράς. Εάν οι κατασκευαστές αυτοκινήτων πρόσφεραν συνεχώς με αυξανόμενο ρυθμό στα επόμενα χρόνια εφαρμογές ασφάλειας ΕΣΥΟ σαν επιλογή στα μοντέλα αυτοκινήτων, αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει μια κατευθυντήρια δύναμη για την συμπερίληψη των σχετικών πληροφοριών στους ψηφιακούς χάρτες. Αλλά εάν το κοινό δεν προτίθεται να πληρώσει περισσότερα για μια τέτοια επιλογή, ανάλογη εμπειρία υπάρχει με τις υπηρεσίες πληροφόρησης κίνησης [12] και εφαρμογές άμεσης ειδοποίησης, τότε οι κατασκευαστές αυτοκινήτων θα είναι διστακτικοί στο να προσφέρουν τέτοιες εφαρμογές ενσωματωμένες στα προϊόντα που προσφέρουν. Παρόλα αυτά όμως οι τάσεις της αγοράς μπορούν να αλλάξουν με σημαντικό ρυθμό εάν η υποβοήθηση ταχύτητας θα μπορούσε να υλοποιηθεί βαθμιαία σαν ένα υποχρεωτικό σύστημα, σύμφωνα με ένα Ευρωπαϊκό σχέδιο

ανάπτυξης στα καινούργια καθώς και στα υπάρχοντα αυτοκίνητα. Συνεπώς [12] μια Ευρωπαϊκή ψηφιακή βάση χαρτών που θα περιέχει επιπρόσθετες συμφωνημένες πληροφορίες για την υποστήριξη του οδηγού και για συμβουλευτικό σκοπό, θα πρέπει να αναπτυχθεί, να αναανεώνεται συνεχώς και να πιστοποιηθεί υπό την επίβλεψη του ιδιωτικού και δημοσίου τομέα και να γίνει διαθέσιμη σε ανεκτές τιμές για τους τελικούς χρήστες (ακόμα και χωρίς χρέωση).

Για να υπάρχει η δυνατότητα της ενημέρωσης των ορίων ταχύτητας σε ψηφιακές βάσεις χαρτών ενσωματωμένες σε οχήματα, πρέπει να εκπληρώνονται δυο προαπαιτούμενα. Πρώτον, οι αρχές που είναι υπεύθυνες, θα πρέπει να οργανώνουν τις πληροφορίες σχετικά με τα νόμιμα όρια ταχύτητας για τους δρόμους τους σε περιοδική βάση και με εύκολα προσβάσιμο τρόπο και να παρέχουν αυτές τις πληροφορίες και ειδικά αλλαγές σε αυτές, στους προμηθευτές των ψηφιακών χαρτών ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτό θα επέτρεπε την διάθεση πιστοποιημένων δεδομένων ορίων ταχύτητας (όπως προτείνεται στο [12]). Παρόλα αυτά απαιτείται μια πάρα πολύ μεγάλη προσπάθεια για την επίτευξη του στόχου αυτού. Γενικά μέσα σε μια χώρα υπάρχουν διαφορετικές δημόσιες αρχές που είναι υπεύθυνες για τα διάφορα τμήματα των οδικών δικτύων. Τα τρέχοντα συστήματα για την καταγραφή των οδικών σημάνσεων, συμπεριλαμβανομένου των σημάτων ταχύτητας, υπάρχουν σε πολλές διαφορετικές ειδοχές, είναι συχνά μη προσβάσιμα και μερικές φορές ακόμα και ανύπαρκτα. Μια εναρμονισμένη υλοποίηση των λύσεων για αυτό το πρόβλημα θα έπρεπε να οργανωθεί σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, συμπεριλαμβανομένου των λύσεων για την αποθήκευση και διατήρηση των δεδομένων που περιγράφουν τους οδικό δίκτυο από τις αρχές και την τυποποίηση των μηχανισμών ανταλλαγής των δεδομένων αυτών. Μερικά από τα θέματα αυτά εξετάζονται στο γάλλο-γερμανικό χρηματοδοτούμενο πρόγραμμα SafeMAP και στα χρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση προγράμματα SpeedAlert και MAPS&ADAS [5,13,14].

Δεύτερον, επιπρόσθετες ενημερώσεις των ψηφιακών χαρτών σε σχέση με τα όρια ταχύτητας θα πρέπει να παρέχονται στο όχημα σε περιοδική βάση και να ενσωματώνονται στην υπάρχουσα βάση δεδομένων. Αυτό απαιτεί μια μέθοδο για την επιπρόσθετη ανανέωση, η οποία έχει εξετασθεί στο Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα ActMAP [15] και ένας κατάλληλος μηχανισμός μεταφοράς και σηματοδότησης των δεδομένων για την λήψη κάθε φορά των σωστών ενημερώσεων από κάθε όχημα.

Η εισαγωγή των συστημάτων υποβοήθησης ταχύτητας με υποχρεωτική νομοθεσία ως ένα μηχανισμό επιβολής τους, διατηρώντας τη νομική ευθύνη για συμμόρφωση στα υπάρχοντα σήματα ορίων ταχύτητας στους δρόμους, θα μπορούσε επαρκώς να επιληφθεί του νομικού ζητήματος και να επιτρέψει στα συστήματα υποβοήθησης ταχύτητας να χρησιμοποιηθούν ακόμα και αν τα δεδομένα ορίων ταχύτητας στους ψηφιακούς χάρτες δεν έχουν ακόμα ολοκληρωθεί ή δεν είναι ενημερωμένα.

1.1.2.3 Επιπλέον προοπτικές

Πηγαίνοντας ένα βήμα παραπέρα από ότι έχει ήδη ειπωθεί, το σύστημα υποβοήθησης ταχύτητας θα μπορούσε επίσης να ρυθμίσει την ταχύτητα κατά την προσέγγιση σε διασταυρώσεις, συμπεριλαμβανομένου την ελάττωση ταχύτητας στο απαιτούμενο επίπεδο και το σταμάτημα του οχήματος σε ένα σήμα ΣΤΟΠ ή σε ένα κόκκινο φωτεινό σηματοδότη. Στη δεύτερη περίπτωση το σύστημα του φωτεινού σηματοδότη θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με μια συσκευή επικοινωνίας μικρής εμβέλειας, η οποία εκπέμπει την κατάσταση του φωτεινού σηματοδότη, και το σύστημα του αυτοκινήτου με τον αντίστοιχο δέκτη και δυνατότητες επεξεργασίας των ληφθέντων σημάτων.

Η υποβοήθηση ταχύτητας σε σύγκριση με τα μέτρα που λαμβάνονται με τη χρήση υποδομών έχει ορισμένα ξεκάθαρα πλεονεκτήματα. Έχει πιο εκτεταμένη και ομοιογενή επίδραση στην ταχύτητα και επομένως στην οδική ασφάλεια. Επίσης, κατά ένα μεγάλο ποσοστό αποφεύγει την αρνητική επίδραση όσον αφορά τη χρήση γης, τις εκπομπές και την κατανάλωση καυσίμου. Επιπλέον, η δυναμική υποβοήθηση ταχύτητας παρέχει μια αληθοφανή προοπτική για την διαχείριση του προβλήματος της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Έχει αποδειχθεί με μελέτες προσομοίωσης ότι τα δυναμικά όρια ταχύτητας θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη αποτροπή, την μετρίαση ή και την εξάλειψη της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των εκρηξέων κίνησης με τον επαρκή έλεγχο της ταχύτητας, πυκνότητας και ροής [16]. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε αυξάνοντας την ροή εξόδου στο τμήμα της οδού στο οποίο παρατηρείται [17], είτε μειώνοντας τη ροή εισόδου στο τμήμα αυτό [18,19], είτε ομογενοποιώντας την γενική κυκλοφοριακή κίνηση [20,21]. Όλες οι μελέτες βασίζονται στη χρήση σημάτων μεταβλητών ορίων ταχύτητας και στατικής υποβοήθησης ταχύτητας [22,23]. Παρόλα αυτά η ανάλυση στην ταχύτητα των σημάτων μεταβλητών ορίων ταχύτητας είναι πολύ προσεγγιστική και σε γενικές γραμμές οι οδηγοί δεν ακολουθούν τις υποδείξεις των σημάτων αυτών. Η δυναμική υποβοήθηση ταχύτητας, επίσης με την έννοια ότι θα άλλαζε προσωρινά από κατάσταση προειδοποίησης σε κατάσταση ελέγχου, θα μπορούσε να επιληφθεί αυτού του φαινομένου και θα μπορούσε επίσης να βελτιώσει σημαντικά την επίδραση της υποβοήθησης ταχύτητας στην ομογενοποίηση της κυκλοφοριακής κίνησης όταν αυτό απαιτείται. Τα μοντέλα που πρέπει να εφαρμοστούν είναι πολύ πολύπλοκα και θα απαιτούσαν πλήρως αυτοματοποιημένη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από κινούμενα οχήματα, ρύθμιση του ορίου ταχύτητας ανάλογα με τη θέση και παροχή αυτών των πληροφοριών στο όχημα. Η μετάδοση επιτυγχάνεται καλύτερα σε τοπικό επίπεδο υπό την έννοια της χρήσης επικοινωνιών μικρής εμβέλειας. Εκτεταμένες επιχειρησιακές δοκιμές στην πράξη τέτοιων συστημάτων είναι απαραίτητες και θα μπορούσαν να προσφέρουν μια πλατφόρμα για δοκιμές μεγάλης κλίμακας στο πραγματικό κόσμο μοντέλων κυκλοφοριακής κίνησης. Η υποχρεωτική διατήρηση της λωρίδας σε πυκνή κυκλοφοριακή κίνηση θα μπορούσε επίσης να συνεισφέρει στην ελάττωση της συμφόρησης, αλλά είναι δύσκολο να υλοποιηθεί με την τρέχουσα τεχνολογία.

Ο συνδυασμός της πλοήγησης με την υποβοήθηση ταχύτητας, χρησιμοποιώντας ως βάση μια πλατφόρμα που θα αποτελείται από έναν κεντρικό διακομιστή χαρτών και μια μονάδα προσδιορισμού θέσης του οχήματος, θα μπορούσε να προσφέρει την προοπτική μιας εφικτής μαζικής αγοραστικής λύσης. Η τεχνολογία είναι καινοτόμος και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πάρα πολύ γρήγορα. Δημοσιονομικά μέτρα και χαμηλότερα ασφάλιστρα αυτοκινήτων θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στην ευρύτερη αποδοχή, εάν οι δημόσιες αρχές αποφάσιζαν την εθελοντική εισαγωγή. Παρόλα αυτά οι δημόσιες αρχές θα μπορούσαν να αποφασίσουν την υποχρεωτική εισαγωγή ως μια καλύτερη λύση για την επιβολή της τήρησης των ορίων ταχύτητας. Μια τέτοια πλατφόρμα εάν ήταν επίσης εξοπλισμένη με μια διεπαφή ΕΣΥΟ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και από άλλες ΕΣΥΟ λειτουργίες, όπως επίσης και από εφαρμογές αξιολόγησης δρόμων και το μαύρο κουτί του οχήματος.

1.1.3 Βασικές τεχνολογίες σχετικά με τον προσδιορισμό θέσης και τις επικοινωνίες

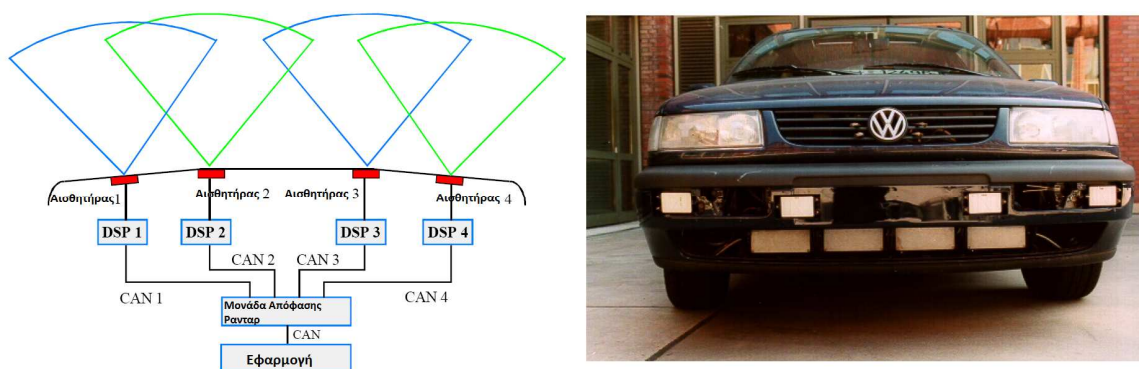
Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με τον προσδιορισμό θέσης και τις επικοινωνίες αποτελούν τον πυρήνα των εφαρμογών αποφυγής σύγκρουσης, υποβοήθησης σε διασταυρώσεις και διατήρησης λωρίδας. Υπάρχουν διάφορες επιλογές που είναι διαθέσιμες και αυτές μπορούν να συνδυαστούν με διαφορετικούς τρόπους για την δημιουργία αυτόνομων και συνεργατικών συστημάτων. Και για τα δυο είδη τεχνολογιών θα γίνει αρχικά μια σύντομη ανασκόπηση των ήδη υπάρχοντων εναλλακτικών. Με τον όρο «υπάρχοντων» εννοείται όχι μόνο ότι είναι διαθέσιμες, αλλά και ότι υπάρχουν σαν ιδέα. Οι περισσότερες από αυτές τις ιδέες είναι ώριμες, αλλά οι περισσότερες χρειάζονται σημαντική βελτίωση μέσω επιπρόσθετης έρευνας για την υλοποίηση τους και εντατικών δοκιμών, αφού ακόμα δεν ανταποκρίνονται στις βασικές απαιτήσεις αποδοτικότητας, συμπεριλαμβανομένου της αξιοπιστίας, της μόνιμης και ασφαλούς λειτουργίας και των λίγων ή καθόλου ψευδών συναγερωμών. Μετέπειτα μια σημαντική μεταβλητή είναι κατά πόσο τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σε κατάσταση προειδοποίησης ή ανάληψης του ελέγχου ή συνδυασμού και των δυο. Για την κατάσταση προειδοποίησης η επιλογή της διεπαφής ανθρώπου μηχανής αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα. Ένα άλλο θέμα αποτελεί η σύντηξη των δεδομένων από τους αισθητήρες έτσι ώστε να αυξηθεί η ανθεκτικότητα και η αξιοπιστία του συστήματος καθώς και η αδιάλειπτη λειτουργία του. Σημαντική είναι επίσης η διάκριση που πρέπει να γίνει

μεταξύ της αποφυγής σύγκρουσης μεταξύ δυο ή περισσότερων σχημάτων και μεταξύ ενός οχήματος και ενός ή περισσότερων ευαίσθητων χρηστών του οδικού δικτύου, όπως είναι οι πεζοί.

Για τον προσδιορισμό θέσης υπάρχουν δυο διαφορετικές εκδοχές. Η πρώτη είναι ο σχετικός προσδιορισμός που καθορίζει την θέση και την ταχύτητα του οχήματος ως προς τα σταθερά αντικείμενα του οδικού περιβάλλοντος και ως προς αλλά αντικείμενα (σταθερά ή κινούμενα), χρησιμοποιώντας κάποιο είδος αισθητήρα απεικόνισης και επεξεργασίας εικόνας. Κατάλληλοι αισθητήρες για αυτόν τον σκοπό είναι το ραντάρ (χρήση ραδιοκυμάτων και εκτίμηση απόστασης), ο σαρωτής λέιζερ (χρήση φωτός και εκτίμηση απόστασης) και κάμερες ορατού φωτός και υπέρυθρων. Οι ενεργητικοί αισθητήρες (ραντάρ, σαρωτής λέιζερ) μετρούν τις ανακλάσεις των σημάτων που μεταδόθηκαν αρχικά από τον ίδιο αισθητήρα. Οι διάφοροι τύποι καμερών χρησιμοποιούνται κυρίως στις αυτοκινητιστικές εφαρμογές υπό την έννοια της παθητικής λειτουργίας, δηλαδή μετρούν την φυσική ακτινοβολία που ανακλάται από τα διάφορα αντικείμενα, αν και μπορεί να επιτευχθεί και η ενεργητική λειτουργία τους παρέχοντας τον αναγκαίο φωτισμό στα αντικείμενα. Μια άλλη μέθοδος σχετικού προσδιορισμού θέσης είναι η χρήση μαγνητικών δεικτών τοποθετημένων στις λωρίδες. Ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης χρησιμοποιεί την εύρεση θέσης μέσω δορυφόρου, κατά προτίμηση σε συνδυασμό με αδρανειακούς αισθητήρες και δεδομένα χαρτών, για να παρέχει την απόλυτη θέση και την ταχύτητα. Οι αισθητήρες σχετικού προσδιορισμού θέσης χρησιμοποιούνται σε πρώτη φάση σε αυτόνομες εφαρμογές, ενώ η χρήση του απόλυτου προσδιορισμού θέσης σε εφαρμογές αποφυγής σύγκρουσης απαιτεί την αμφίδρομη επικοινωνία για να δηλώνεται η θέση και η ταχύτητα του οχήματος καθώς επίσης και να αποκτούνται πληροφορίες σχετικά με τη θέση και την ταχύτητα άλλων κοντινών οχημάτων. Ο σχετικός προσδιορισμός θέσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθεί η επαφή οχήματος με όχημα και οχήματος με ΕΧΟΔ. Ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης δεν είναι ωστόσο κατάλληλος για να αποφευχθεί ο τελευταίος τύπος σύγκρουσης.

1.1.3.1 Σχετικός προσδιορισμός θέσης

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ραντάρ που χρησιμοποιούνται ή εξετάζονται σε εφαρμογές ασφάλειας οχημάτων. Τα συστήματα ACC τα οποία υπάρχουν ήδη στην αγορά χρησιμοποιούν ραντάρ μακρινής εμβέλειας (LRR, εμβέλεια 150m) διαμόρφωσης συχνότητας συνεχούς κύματος (FMCW) που λειτουργούν στη συχνότητα των 76GHz. Επίσης, ραντάρ μικρής εμβέλειας (SRR, εμβέλεια 50m) που λειτουργούν στην περιοχή των 24GHz (UWB, Ultra Wide Band, pulse operated) έχουν προταθεί και δοκιμαστεί σε εφαρμογές ασφάλειας οχημάτων [24]. Σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές στην αγορά το SRR είναι φθηνότερο κατά 40% ανά μονάδα σε σχέση με το LRR [25], είναι μικρότερο και διαπερνά τα υλικά του προφυλακτήρα καλύτερα, το οποίο δίνει την δυνατότητα ευκολότερης υλοποίησης συστοιχίας τέτοιων αισθητήρων πάνω στο όχημα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.2 Συστοιχία ραντάρ μικρής εμβέλειας

Παρόλα αυτά στην Ευρώπη σημαντικά νομικά ζητήματα πρέπει να ρυθμιστούν. Επίσης, υπάρχει ακόμα και η αμφιβολία εάν τα 24GHz είναι η καλύτερη λύση. Ένας μεγάλος αριθμός κατασκευαστών αυτοκινήτων και προμηθευτών συστημάτων που έχουν ενωθεί στην ομάδα SARA (Short – range Automotive Radar frequency Allocation) προωθούν με δυναμικό τρόπο την παγκόσμια εναρμόνιση με αυτόν τον τύπου ραντάρ και την χρησιμοποίηση του κυρίως σε εφαρμογές ενίσχυσης της οδικής ασφάλειας [26]. Το ραντάρ, τέλος, δεν επηρεάζεται τόσο πολύ από τον κακό καιρό και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά δεν μπορεί να προβλέψει την μελλοντική πορεία του δρόμου.

Η απεικόνιση με τη βοήθεια σαρωτή λέιζερ χρησιμοποιεί μια ισχυρά κατευθυντική δέσμη φωτός λέιζερ σε κατάσταση σάρωσης. Είναι λιγότερο ακριβή από το ραντάρ και ευκολότερη στο πακετάρισμα. Ωστόσο είναι ευαίσθητη στην κακή ορατότητα, ειδικά στη βροχή και στο χιόνι, καθώς το πλάτος της δέσμης φωτός είναι μικρότερο από το συνολικό μέγεθος των σταγόνων βροχής. Επιπλέον η σκόνη, η λάσπη και το χιόνι που επικάθονται στα διάφορα μέρη του αυτοκινήτου μπορούν εύκολα να μπλοκάρουν την δέσμη του σαρωτή λέιζερ [27].

Η επεξεργασία εικόνας με χρήση καμερών που λειτουργούν στο ορατό φάσμα για χρήση σε εφαρμογές ασφάλειας οχημάτων είχε αρχίσει να μελετάται από τα τέλη της δεκαετίας 1980, με μια σημαντική ώθηση που δόθηκε κατά τη διάρκεια του προγράμματος Prometheus στις αρχές της δεκαετίας 1990 [28]. Εάν και έχει γίνει σημαντική πρόοδος, οι τιμές του αναγκαίου εξοπλισμού έχουν πέσει, και η στερεοσκοπική απεικόνιση κάνει δυνατή την εξακρίβωση της απόστασης των αντικειμένων που ανιχνεύονται, αποδεικνύεται δύσκολο το να γίνουν τα συστήματα ανθεκτικά και αποδοτικά ως προς την διάκριση των διαφορετικών τύπων αντικειμένων. Ο κακός καιρός και οι άσχημες συνθήκες φωτισμού μπορούν να μειώσουν δραστικά την απόδοση τέτοιων συστημάτων, όπως επίσης και η λειτουργία τους συνεχόμενα νύχτα μέρα μπορεί να είναι προβληματική. Ένα καθαρό πλεονέκτημα σε σχέση με το ραντάρ είναι ότι τα συστήματα όρασης

1.1.4 Σύστημα αποφυγής σύγκρουσης

Μεγάλο μέρος της έρευνας διεξάγεται για την ανάπτυξη αυτόνομων συστημάτων ανίχνευσης για το αυτοκίνητο που σκοπεύουν τόσο στην αποτροπή σύγκρουσης όσο και στην διαχείριση των αποτελεσμάτων της εφόσον αυτή συμβεί. Η βέλτιστη τοπολογία αφορά την κάλυψη των αισθητήρων σε μια περιοχή 360° γύρω από το όχημα (παρέχοντας μια πλήρη ζώνη ασφάλειας) με έναν αριθμό 10 μονάδων SRR (short range radar) ανά όχημα για πολυτελή και για όλων των ειδών των λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένου της διαχείρισης σύγκρουσης [25], [26] και ενός LRR (long range radar) στη μπροστινή πλευρά του οχήματος, πιθανώς συνδυαζόμενου με σύστημα επεξεργασίας εικόνας, για την αποφυγή σύγκρουσης.

Καθαρά, από την οπτική της αντικατάστασης των προληπτικών μέτρων με οδικές υποδομές, οι οποίες σκοπό έχουν να περιβάλλουν τα κύρια μέτρα, η συνεισφορά αυτών των συστημάτων θα ήταν ικανοποιητική μόνο σε αγορές με υψηλό βαθμό διείσδυσης. Δοσμένων των ρυθμιστικών προβλημάτων με τα 24GHz UWB συστήματα, και την πρόσφατη απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής να περιορίσει την διείσδυση στην αγορά τέτοιων συστημάτων στο 7% μέχρι τις 30 Ιουνίου 2013, έτσι ώστε να γίνει προσαρμογή τυχόν προβλημάτων παρεμβολών και καθόλου υλοποίηση σε αυτοκίνητα μετά την ημερομηνία αυτή [38], θα μπορούσε να είναι αμφίβολο εάν τα συστήματα αυτά θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην οδική ασφάλεια μέχρι το 2010. Για τα ραντάρ μακρινής εμβέλειας LRR και τα συστήματα όρασης, το σενάριο υλοποίησης είναι διαφορετικό, παρόλο που στην περίπτωση αυτή το κόστος των συστημάτων αυτών μπορεί να είναι απαγορευτικό για να επιτευχθεί μεγάλη διείσδυση στην αγορά πριν το 2010.

Σχετικές πτυχές αυτών των τεχνολογιών ανίχνευσης έχουν μελετηθεί και εξακολουθούν τα τελευταία χρόνια από πολλά προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα οποία παρουσιάζονται εδώ σαν παραδείγματα. Το πρόγραμμα RadarNet υλοποίησε ένα ραντάρ πολλαπλών λοβών και στενής γωνίας κάλυψης στα 77GHz για ανίχνευση μέχρι τα 150m και ένα δίκτυο από 4 ραντάρ ενός λοβού στα 77GHz για απόσταση ανίχνευσης μέχρι τα 25m , για συστήματα αποφυγής σύγκρουσης στην οπίσθια περιοχή με εφαρμογή σε αστικές περιοχές και ταχύτητα οχήματος μέχρι

80 Km/h. Η χρήση της τεχνολογίας των 77GHz φάνηκε ως ένα πλεονέκτημα, καθώς χρησιμοποιείται και στα συστήματα ACC [39]. Το πρόγραμμα SAVE-U ανέπτυξε ένα σύστημα ανίχνευσης κοντινής περιοχής για πεζούς, για ταχύτητες οχήματος μέχρι 40 Km/h, το οποίο συνδύαζε απεικόνιση στην περιοχή των υπερύθρων και στην περιοχή του ορατού φάσματος και ένα δίκτυο από πολλαπλά παράλληλα τοποθετημένα 24GHz ραντάρ, για να επιτευχθεί η ανθεκτικότητα σε όλες τις συνθήκες φωτισμού και καιρού. Η αναγνώριση εμποδίων που αντιστοιχούν σε ανθρώπους βελτιώθηκε με την χρήση μιας μεγάλης βάσης δεδομένων με πρότυπα (εικόνες ανθρώπων) [40]. Το πρόγραμμα CARSENSE συνδύασε πληροφορίες από laser, ραντάρ και κάμερες που λειτουργούσαν στο ορατό φάσμα και τους αισθητήρες μέτρησης της δυναμικής κατάστασης του οχήματος για την ανάπτυξη ενός συστήματος υποβοήθησης οδήγησης με χαμηλή ταχύτητα σε περιπτώσεις περίπλοκων σεναρίων οδήγησης σε αστικό περιβάλλον [41].

Φυσικά τα παραπάνω ερευνητικά προγράμματα αντανακλούν μόνο ένα μέρος της έρευνας σε τέτοια συστήματα τα οποία βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη από τις βιομηχανίες αυτοκινητών σε συνεργασία με προμηθευτές υλικού. Παρόλα αυτά είναι δύσκολο για κάποιον να μην βγάλει το συμπέρασμα ότι αυτά και παρόμοια ερευνητικά προγράμματα βρίσκονται ακόμα στο πειραματικό στάδιο και χρειάζονται την συνέχιση τους από άλλα έτσι ώστε να αναπτυχθούν συστήματα τα οποία είναι πραγματικά αξιόπιστα, ανθεκτικά και αποδεκτά ως προς το κόστος τους.

Τα συνεργατικά συστήματα παρέχουν μια άλλη προσέγγιση, τουλάχιστον στο επίπεδο της ιδέας, για την αποφυγή της σύγκρουσης από πίσω, με χρήση προσδιορισμού θέσης και επικοινωνίας οχήματος με όχημα. Για να επιτευχθεί αποτελεσματικά αυτή η λειτουργία, τόσο ο προσδιορισμός θέσης όσο και οι επικοινωνίες θα πρέπει να είναι αποτελεσματικές και με μεγάλη ακρίβεια.

1.1.5 Σύστημα υποστήριξης σε διασταυρώσεις

Στην Αμερική έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα πάνω σε συνεργατικά συστήματα αποφυγής σύγκρουσης σε διασταυρώσεις [44, 45]. Επίσης, προσεγγίσεις αυτόνομης και αυτοκινήτου με αυτοκίνητο συνεργατικότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποφυγή σύγκρουσης σε διασταυρώσεις δρόμων. Η αξιοπιστία των αυτόνομων συστημάτων παρεμποδίζεται, περισσότερο για την αποφυγή σύγκρουσης στον διαμήκη άξονα, από το γεγονός ότι μια ανεμπόδιση περιοχή παρατήρησης είναι μη διαθέσιμη. Επομένως η συνεργατική προσέγγιση φαίνεται ότι είναι μια πιο καλή λύση. Η απόδοση μπορεί να αυξηθεί, αλλά επίσης και η πολυπλοκότητα και το κόστος, με τον συνδυασμό συνεργατικών και αυτόνομων λύσεων. Όπως για την αποφυγή σύγκρουσης, έτσι και για τα συστήματα υποστήριξης σε διασταυρώσεις την τελευταία δεκαετία η μεγάλης κλίμακας διαθεσιμότητα στην αγορά σε αποδεκτές τιμές τόσο για αυτόνομες όσο και για συνεργατικές λύσεις θα μπορούσε να αμφισβητηθεί. Θα μπορούσε να φανταστεί κανείς ότι το συνεργατικό σύστημα υποστήριξης διασταύρωσης πηγαίνει ένα βήμα παραπέρα από την αποφυγή σύγκρουσης και λειτουργεί σε κατάσταση συνεννόησης στην διασταύρωση. Στην Ιαπωνία έχει γίνει έρευνα σε συστήματα υποστήριξης διασταυρώσεων με επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και επικοινωνία μεταξύ οχήματος και οδικών υποδομών [46].

Η αποτελεσματικότητα κόστους των συστημάτων υποστήριξης σε διασταυρώσεις είναι αμφισβητήσιμη. Για παράδειγμα η διάβαση με κόκκινο αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του ενός εκατομμυρίου συγκρούσεων ανά έτος σε διασταυρώσεις με σήμανση στην Αμερική, οι οποίες προκαλούν παραπάνω από 500,000 τραυματισμούς, αριετούς χιλιάδες θανάτους και ζημιές της τάξης των 7 εκατομμυρίων δολαρίων κάθε χρόνο [47]. Η ταχύτητα είναι ένας σημαντικότερος παράγοντας στις συγκρούσεις σε περιοχές διασταυρώσεων. Η υποστήριξη σε διασταυρώσεις θα μπορούσε να είναι ένα από τα αντίμετρα, αλλά δύσκολα θα συνείφερε στην καλύτερη προστασία των πεζών και ποδηλατιστών. Η υποβοήθηση ταχύτητας ενισχυμένη με μια λειτουργία για να ελέγχεται η ταχύτητα του οχήματος σε κάθε διασταύρωση, με επαύξηση των φωτεινών σηματοδοτών για να αποφευχθεί η διάβαση με κόκκινο, θα μπορούσε κάλλιστα να φέρει σημαντικά αποτελέσματα για την ασφάλεια, καθώς λαμβάνει υπόψη και τους ευάλωτους χρήστες του δρόμου,

και ελαττώνει τα αποτελέσματα της ταχύτητας και όλα αυτά με μια πιο απλή διάταξη του συστήματος. Επιπρόσθετα θα μπορούσε να βοηθήσει να αντιμετωπιστούν οι κυκλοφοριακές συμφορήσεις στις μητροπολιτικές περιοχές ελαττώνοντας τις διακυμάνσεις της ταχύτητας των οχημάτων, και επομένως κάνοντας την κυκλοφοριακή ροή περισσότερο ομογενή.

1.1.6 Σύστημα διατήρησης λωρίδας

Στην ενότητα αυτή γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των συστημάτων διατήρησης λωρίδας. Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας και ανάπτυξης που γίνεται στα συστήματα αυτά σχετίζεται με την εφαρμογή τους σε αυτοκινητοδρόμους και με προοπτική την εφαρμογή τους στο μέλλον στην αυτόνομη καθοδήγηση οχημάτων σε τέτοιους δρόμους. Σίγουρα, ένα αξιόπιστο σύστημα διατήρησης λωρίδας για αυτοκινητοδρόμους μπορεί να έχει ειδικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την ασφάλεια, παρόλα αυτά εδώ θα εστιάσουμε στην περίπτωση δρόμων διπλής κατεύθυνσης με μια λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Για τέτοιους δρόμους έχει προταθεί (π.χ. στην Ολλανδία) να υλοποιηθεί παντού ο φυσικός διαχωρισμός των λωρίδων, αποτρέποντας έτσι τις προσπεράσεις και αποφεύγοντας το πάτημα της ενδιάμεσης γραμμής λόγω απροσεξίας. Παρόλα αυτά το κόστος αυτού του μέτρου αποδείχθηκε ότι είναι απαγορευτικό.

Η διατήρηση λωρίδας βασιζόμενη στην εύρεση της απόλυτης θέσης θα απαιτούσε μια ακρίβεια της τάξης των $0.3m$, η οποία είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Ένα σύστημα βασιζόμενο στη σχετική εύρεση θέσης με κάμερα και αναγνώριση διαχωριστικών γραμμών είναι άκρως εξαρτώμενο από την ποιότητα των διαχωριστικών γραμμών στον δρόμο και όχι ικανοποιητικά αξιόπιστο σε κακό καιρό, άσχημες συνθήκες περιβάλλοντος και κακό φωτισμό. Αυτός ο τύπος συστήματος είναι διαθέσιμος στην αγορά, τόσο για φορτηγά (MAN, DC) όσο και για αυτοκίνητα (Citroen, Honda).

Μια άλλη μέθοδος σχετικής εύρεσης θέσης βασίζεται στην χρήση μαγνητικών δεικτών λωρίδας και αναπτύχθηκε στην Αμερική [48] αρχικά για αυτόνομη καθοδήγηση οχημάτων. Ωστόσο θα μπορούσε να αποτελέσει μια εφικτή και οικονομική εναλλακτική λύση για εφαρμογές διατήρησης λωρίδας σε δρόμους μονής κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και ακρίβεια στον πλευρικό άξονα της τάξης εκατοστού. Μαγνητικοί δείκτες θέσης τοποθετούνται κάτω από την άσφαλο, στο κέντρο της λωρίδας, σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους, τυπικά $1-2m$ και η πλευρική θέση του οχήματος σε σχέση με το κέντρο καθορίζεται από έναν μαγνητικό αισθητήρα εγκατεστημένο πάνω σε αυτό. Ένα παρόμοιο σύστημα δεικτών λωρίδας χρησιμοποιεί παθητικούς ράδιο πολλαπλασιαστές συχνότητας - δείκτες θέσης εγκατεστημένους επίσης στο κέντρο της λωρίδας οι οποίοι αντανακλούν ράδιο κύματα χαμηλής ισχύος που εκπέμπονται από το όχημα. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην Ιαπωνία έδειξαν ότι και τα δυο συστήματα μπορούν να παρέχουν πλευρική εξακρίβωση θέσης με ακρίβεια $4cm$ ή και καλύτερη σε ταχύτητες μεταξύ 20 και $120 Km/h$ [49]. Φυσικά τέτοια συστήματα απαιτούν επιπρόσθετες υποδομές, οι οποίες σημαίνουν επιπρόσθετο κόστος, αλλά το κύριο πλεονέκτημα τους είναι ότι η λειτουργία τους δεν εξαρτάται από τον καιρό, τον φωτισμό και τις υπόλοιπες συνθήκες περιβάλλοντος. Επίσης, ο εξοπλισμός που απαιτείται στο όχημα είναι σχετικά φτηνός και η αντοχή του και η διάρκεια ζωής των απαιτούμενων υποδομών είναι πάρα πολύ μεγάλες. Μια τρίτη μέθοδος στην κατηγορία αυτή βασίζεται σε μαγνητική ταινία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τις κλασικές άσπρες διαχωριστικές γραμμές οι οποίες σήμερα επίσης εφαρμόζονται με την μορφή ταινιών παρά με βάψιμο του δρόμου. Το βάψιμο από τη πλευρά του είναι φτηνότερο, αλλά οι ταινίες διαρκούν περισσότερο, κάνοντας τη συνολική προσέγγιση πιο ελκυστική. Οι μαγνητικές ταινίες έχουν επίσης δοκιμαστεί εκτεταμένα για την καθοδήγηση εκχιονιστικών μηχανημάτων [50].

1.2 Αρχιτεκτονική συστημάτων σύντηξης δεδομένων αισθητήρων

Συστήματα σύντηξης δεδομένων αισθητήρων μπορούν να βρεθούν σε αρκετές πολιτικές και στρατιωτικές εφαρμογές. Παρόλα αυτά μόνο στο στρατιωτικό πεδίο έχει υπάρξει συστηματική δουλειά τις τελευταίες δεκαετίες. Από το 1988, το JDL μοντέλο της διαδικασίας σύντηξης δεδομένων που είχε εισάγει ο White [52] είχε εγκριθεί από την επιστημονική κοινότητα με διάφορες τροποποιήσεις (π.χ. από τους Bowman και White [53]). Το JDL θεωρείται ένα μοντέλο

γενικής κατανόησης και αντίληψης της σύντηξης δεδομένων αισθητήρων και όχι σαν ένας αποκλειστικός οδηγός του ‘πως θα υλοποιηθεί η σύντηξη δεδομένων’.

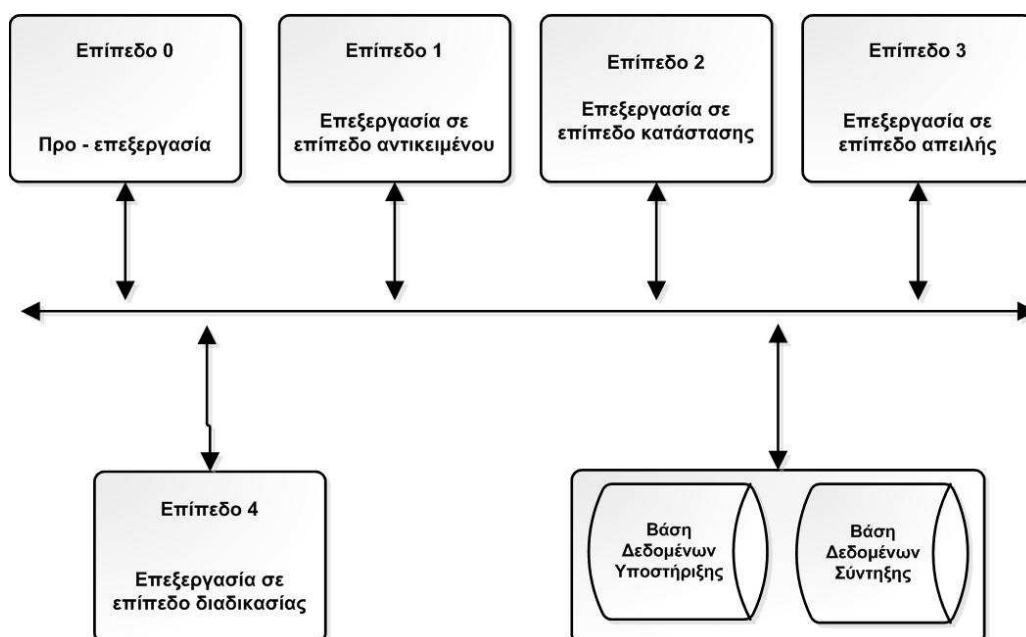
Συστήματα αισθητήρων τα οποία αντιλαμβάνονται το περιβάλλον είχαν εισαχθεί σε αυτοκίνητα από τα τέλη της δεκαετίας του 80 – τα οποία βασίζονταν σε συστήματα όρασης [54] – και είχαν συνδυαστεί με τους αδρανειακούς αισθητήρες επί του οχήματος για να αναπαράγουν μια τεχνητή αντίληψη του περιβάλλοντος. Πάνω σε αυτά βασίστηκαν εφαρμογές αποτροπής ατυχημάτων και εφαρμογές ενεργητικής ασφάλειας, οι οποίες είτε βοηθούν τον οδηγό, είτε παρεμβαίνουν και λαμβάνουν τον έλεγχο, όπως π.χ. να στρίβουν ή να φρενάρουν το όχημα. Το πρώτο σύστημα το οποίο εισήχθη στην αγορά ήταν το προσαρμόσιμο σύστημα ελέγχου πλοήγησης ACC, το οποίο βασίζεται σε αισθητήρες ραντάρ. Παρόλα αυτά είναι κοινώς αποδεκτό ότι προχωρημένες και ανθεκτικές εφαρμογές μπορούν να υπάρξουν μόνο με την εγκατάσταση και αποτελεσματική χρήση πολλαπλών αισθητήρων, ενώ παράλληλα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο χρήστης/οδηγός κατά την φάση ανάπτυξης του συστήματος.

Ωστόσο, υπάρχει μια έλλειψη όχι μόνον οποιωνδήποτε προτύπων, αλλά επίσης και μιας ομοφωνίας του ‘τι είναι σύντηξη δεδομένων αισθητήρων’ ή ‘τι είναι δια-λειτουργησιμότητα’ μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Αυτό συμβαίνει παρά το γεγονός ότι η σύντηξη δεδομένων αποτελεί ένα θέμα κλειδί και κάποιος μπορεί να βρει πληθώρα δημοσιεύσεων στην βιβλιογραφία ειδικά στα IEEE συνέδρια και περιοδικά σχετικά με έξυπνα οχήματα.

Στο τμήμα που ακολουθεί, επανεξετάζεται το JDL μοντέλο για την περίπτωση εφαρμογών αντίληψης περιβάλλοντος από έξυπνα οχήματα (εφοδιασμένα με δίκτυα αισθητήρων). Το αποτέλεσμα είναι ένα μοντέλο περιβάλλοντος – το λεγόμενο συναρτησιακό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό αποσκοπεί στο να γεφυρώσει τις υπάρχουσες καλά διατυπωμένες αρχιτεκτονικές σύντηξης με τον χώρο της ηλεκτρονικής ασφάλειας στα σύγχρονα οχήματα.

1.2.1 Το μοντέλο JDL

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το μοντέλο JDL σύμφωνα με την κύρια αναθεώρηση [54], όπου μια αρχιτεκτονική πολλαπλών επιπέδων αναφέρεται στο συναρτησιακό μοντέλο, π.χ. πως είναι δομημένη η επεξεργασία των πληροφοριών σε ένα σύστημα σύντηξης δεδομένων. Η αναθεώρηση [54] έχει επιλεγεί καθώς έχει εισαχθεί το επίπεδο 0 και η έννοια της εκτίμησης καταστάσεων αντίληψης παρά φυσικών καταστάσεων.



Σχήμα 1.3: Αρχιτεκτονική συστήματος σύντηξης δεδομένων

Στο σχήμα 1.2 φαίνεται το μοντέλο αναλυτικά. Ο πυρήνας του JDL μοντέλου αναφέρεται στα επίπεδα E0-E3, όπου:

Στο επίπεδο E0 γίνεται όλη η προ-επεξεργασία των μετρήσεων από τους αισθητήρες. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί με πολλούς τρόπους, π.χ. μέχρι ποιο σημείο γίνεται η επεξεργασία, παρά ταύτα αναγνωρίζεται ως ένα ξεχωριστό επίπεδο.

Στο επίπεδο E1 γίνεται η διύλιση των αντικειμένων, η οποία είναι μια επαναληπτική διαδικασία σύντηξης δεδομένων από πολλαπλές πηγές για να καθοριστεί η ταυτότητα και άλλα χαρακτηριστικά των οντοτήτων και επίσης να δημιουργηθούν τα ίχνη τα οποία αναπαριστούν τη συμπεριφορά τους. Η οντότητα εδώ αναφέρεται για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. Ένα ίχνος βασίζεται συνήθως απευθείας στις παρατηρήσεις μιας οντότητας, αλλά μπορεί επίσης να βασίζεται εμμέσως στις παρατηρήσεις των ενεργειών της. Το επίπεδο 1 προσπαθεί να προσδιορίσει «τι είναι» (ταυτοποίηση), πότε και που είναι (π.χ. ιχνηλασία). Το επίπεδο 1 διαιρείται σε 4 συναρτήσεις [55]:

- Την διαχείριση δεδομένων
- Την σύνδεση δεδομένων
- Την ιχνηλασία
- Την ταυτοποίηση

Σκοπός της συνάρτησης διαχείρισης δεδομένων είναι η αντιστοίχιση των εισερχομένων δεδομένων σε ένα κοινό (στον χώρο και στον χρόνο) πλαίσιο αναφοράς. Η σύνδεση δεδομένων καταπιάνεται με το πρόβλημα της ταξινόμησης και της συσχέτισης των παρατηρήσεων σε ομάδες, με την κάθε ομάδα να αναπαριστά δεδομένα τα οποία σχετίζονται με μια μοναδική οντότητα. Η ιχνηλασία αναφέρεται στην εκτίμηση της θέσης και της ταχύτητας της οντότητας. Η ταυτοποίηση επιδιώκει την καλύτερη αναγνώριση/περιγραφή της οντότητας.

Το επίπεδο 2 πραγματοποιεί την αναγνώριση αντικειμένων, η οποία είναι μια επαναληπτική διαδικασία σύντηξης των χωρικών και χρονικών σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων έτσι ώστε να ομαδοποιηθούν και να σχηματίσουν μια αφηρημένη αναπαράσταση των μοτίβων.

Το επίπεδο 3 πραγματοποιεί την αναγνώριση κατάστασης, η οποία είναι μια επαναληπτική διαδικασία σύντηξης της συνδυασμένης δραστηριότητας και της ικανότητας των παρατηρούμενων στόχων να προβάλλουν τις προθέσεις τους και να αξιολογείται ο κίνδυνος που σχετίζεται με αυτούς.

Το επίπεδο 4 δεν ανήκει στα κεντρικά επίπεδα και σχετίζεται με την διαχείριση των πόρων και την επεξεργασία σε επίπεδο διαδικασίας. Επιπροσθέτως, το επίπεδο 5 προτάθηκε από τους Blasch και Plano [57]. Πρότειναν μια επέκταση στο αναθεωρημένο JDL μοντέλο έτσι ώστε να συμπεριλάβει το επίπεδο 5, το οποίο ονόμασαν «επεξεργασία σε επίπεδο χρήστη» και το οποίο αναδεικνύει τα θέματα τα οποία σχετίζονται με την ανθρώπινη διεπαφή. Το ερώτημα που τίθεται είναι πως το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτός του στρατιωτικού τομέα.

1.2.2 Συστήματα ενεργητικής ασφάλειας και αποτροπής ατυχημάτων

Παραδοσιακά, τα συστήματα ασφάλειας οχημάτων χωρίζονταν στις κατηγορίες παθητικής και ενεργητικής ασφάλειας. Τα συστήματα της πρώτης κατηγορίας ελαττώνουν τις συνέπειες ενός ατυχήματος αφότου αυτό συμβεί, ενώ τα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας βοηθούν στην αποτροπή των ατυχημάτων. Παραδείγματα παραδοσιακών συστημάτων παθητικής ασφάλειας είναι οι ζώνες ασφάλειας, ενώ παραδείγματα συστημάτων ενεργητικής ασφάλειας είναι τα φώτα πορείας τα οποία βοηθούν στην αποτροπή ατυχημάτων στο σκοτάδι, βελτιώνοντας την όραση του οδηγού ή το σύστημα ABS το οποίο βοηθάει τον οδηγό στο να πραγματοποιεί πιο αποτελεσματικά τον ελιγμό φρεναρίσματος.

Τα σύγχρονα συστήματα ασφάλειας μπορούν να περιγραφθούν με τον τίτλο ηλεκτρονικά συστήματα έξυπνων οχημάτων (HΣΕΟ), επειδή χρησιμοποιούν αισθητήρες ανίχνευσης και ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Τα τελευταία χρόνια έχουν εισαχθεί συστήματα, τα οποία όχι μόνο αντιδρούν σε σήματα εντός του οχήματος (οι αερόσακοι ενεργοποιούνται από ένα σήμα που προέρχεται από το επιταχυνσιόμετρο), αλλά αντιδρούν και στην περιβάλλουσα κυκλοφορία. Έχοντας την γνώση της περιβάλλουσας κυκλοφορίας το αυστηρό όριο μεταξύ ενεργητικών και

παθητικών συστημάτων ασφαλείας γίνεται ολοένα και λιγότερο ολοφάνερο. Οι μετρήσεις παθητικής ασφάλειας μπορούν να προσαρμοστούν ή ακόμα και να ενεργοποιηθούν πριν το πραγματικό ατύχημα. Παρόμοια, το αυτόματο φρενάρισμα ανάγκης μπορεί να ενεργοποιηθεί έτσι ώστε να μετριαστούν οι συνέπειες μιας σύγκρουσης.

Κατά αναλογία με τα στρατιωτικά συστήματα η ηλεκτρονική ασφάλεια στα έξυπνα οχήματα περιλαμβάνει μια τυπική διαδικασία σύντηξης δεδομένων. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ορισμός του Jim Llinas [60]: «Η σύντηξη πληροφοριών είναι μια πληροφοριακή διαδικασία που ασχολείται με την σύνδεση, συσχέτιση και συνδυασμό δεδομένων και πληροφοριών (από έναν ή περισσότερους αισθητήρες, ή πηγές πληροφορίας που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί βελτιστοποίηση των μετρούμενων παραμέτρων, χαρακτηριστικών, γεγονότων και συμπεριφορών) των παρατηρούμενων οντοτήτων στην περιοχή λειτουργίας των αισθητήρων». Μερικές φορές υλοποιείται σαν μια πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία ή σαν μια διαδικασία υποβοήθησης του ανθρώπου που αποσκοπεί στην ανάλυση ή/και στην εξαγωγή αποφάσεων. Ένα ενεργητικό σύστημα ασφάλειας αντιλαμβάνεται το περιβάλλον, κάνει εκτίμηση της κατάστασης των αντικείμενων – οντοτήτων και των μεταξύ τους σχέσεων και στο τέλος παίρνει αποφάσεις, π.χ. υποστηρίζοντας τον οδηγό, προειδοποιώντας τον ή παρεμβάλλοντας παίρνοντας τον έλεγχο του οχήματος. Ο «εχθρός» σε ένα στρατιωτικό σύστημα είναι τώρα ένα ανεξάρτητο αντικείμενο – οντότητα ή μια κατάσταση ή οποία μπορεί να προκαλέσει μια ανεπιθύμητη κατάσταση, π.χ. ένα ατύχημα (σύγκρουση ή έξοδο από τον δρόμο) ή μια συμφόρηση. Η ανεπιθύμητη κατάσταση θεωρούμε ότι ισχύει για όλα τα αντικείμενα που βρίσκονται στο οδικό περιβάλλον, π.χ. όχι μόνο για το όχημα που φέρει το σύστημα ενεργητικής ασφάλειας (υποκείμενο όχημα), αλλά επίσης και για τους τρωτούς χρήστες του δρόμου (πεζοί) και γενικώς για την κοινή ασφάλεια και άνεση.

1.2.3 Τροποποιημένο λειτουργικό μοντέλο

Στο τροποποιημένο λειτουργικό μοντέλο θεωρούμε τα ακόλουθα επίπεδα επιπρόσθετα με αυτά της παραγράφου 1.2.1.

- Επίπεδο 0: το επίπεδο προ-επεξεργασίας σημάτων αντιπροσωπεύει τη φυσική ποσότητα που ανιχνεύει μια αισθητήρια συσκευή και μετρά (συμπεριλαμβανομένου και κάποιες προ-επεξεργασίας, π.χ. εικονοστοιχεία, Doppler ταχύτητα, κλπ)
- Επίπεδο 1: η αναγνώριση των αντικείμενων αντιπροσωπεύει την εκτίμηση των φυσικών διακριτών αντικείμενων – οντοτήτων, τα οποία δεν είναι αναγκαστικά κινούμενα οχήματα. Στις οντότητες αυτές μπορεί να ανήκουν άλλοι χρήστες του δρόμου, οι λωρίδες κυκλοφορίας και τα όρια του δρόμου, οδικές υποδομές, το υποκείμενο όχημα, κλπ.
- Επίπεδο 2: η αναγνώριση κατάστασης αντιπροσωπεύει την εκτίμηση των σχέσεων μεταξύ οντοτήτων, π.χ. πρόθεση για αλλαγή λωρίδας, ελιγμός προσπέρασης, κλπ. Οι σχέσεις αυτές μπορεί να αναφέρονται σε οντότητες του ίδιου τύπου (οχήματα) ή διαφορετικού τύπου (οδικές υποδομές και υποκείμενο όχημα). Τα αποτελέσματα αυτού του επιπέδου μπορεί να είναι «ποια λωρίδα καταλαμβάνεται από το όχημα» ή «ποια είναι η πρόθεση του μπροστινού οχήματος», κλπ.
- Επίπεδο 3: η αναγνώριση απειλής αντιπροσωπεύει την εκτίμηση των επιδράσεων και των συνεπειών των τρεχουσών δραστηριοτήτων όλων των οντοτήτων. Το διπλό πρόβλημα είναι «πόσο επικίνδυνη είναι η κατάσταση», κλπ.

Το επίπεδο 4 θεωρούμε ότι δεν ανήκει στον πυρήνα της διαδικασίας σύντηξης δεδομένων και ως εκ τούτου δεν εξετάζεται παραπέρα. Το επίπεδο 5 αντιστοιχεί στη διεπαφή ανθρώπου μηχανής (HMI, human machine interface) επίπεδο δύλισης χρήστη. Αποτελεί ένα θέμα κλειδί για την αυτοκινητοβιομηχανία, αλλά δεν ενσωματώνεται στην αλυσίδα σύντηξης δεδομένων. Το επίπεδο 5 χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή στο μέλλον. Στη βιβλιογραφία μόνο στο [59] γίνεται μια προσπάθεια – προτείνεται ο συντονισμός προσπαθειών έτσι ώστε να μην αποσπάται ο οδηγός από το πρωτεύον του μέλημα της οδήγησης, οι συγγραφείς εξέτασαν τη ροή δεδομένων μεταξύ των επιπέδων 3 και 5, χωρίς να βασίζονται όμως σε κάποια διαδικασία σύντηξης. Περισσότερη δουλειά θα γίνει στο μέλλον καθώς η μεγαλύτερη αξία της προκύπτει από το γεγονός ότι οι συναρτήσεις

σύντηξης είναι αναγνωρίσιμες στους ανθρώπους σαν ένα μοντέλο συναρτήσεων οι οποίες εκτελούνται μέσα στο ίδιο τους τον εγκέφαλο, όταν οργανώνουν και συνδυάζουν δεδομένα και πληροφορίες.

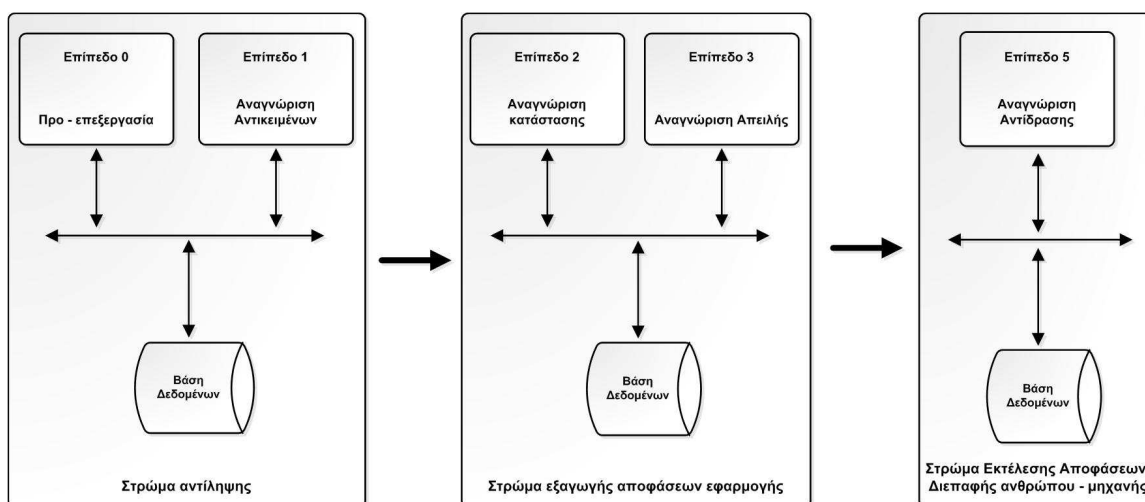
Ένα σύστημα σύντηξης δεδομένων πρέπει να αντιμετωπίζει επιτυχώς την ανταλλαγή που σχετίζεται με την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων επιπέδων. Από τη μια, δεδομένα θα πρέπει να είναι διαθέσιμα μεταξύ όλων των επιπέδων καθώς κατά κανόνα δεν θα πρέπει να υπάρχουν ιεραρχίες σε μια διαδικασία σύντηξης δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, θα πρέπει να υπάρχει κάποια έννοια προστιθέμενης αξίας ή εργαλείο για την εξισορρόπηση των αρνητικών πλευρών της επιπρόσθετης υπολογιστικής πολυπλοκότητας και χρονικής καθυστέρησης ενεργοποιώντας τέτοιες δομές. Αυτή η ανταλλαγή δεν είναι σαφής στο JDL μοντέλο και επιτρέπει διαφορετικές προσεγγίσεις στο βαθμό της συσχέτισης και της ανάδρασης μεταξύ των JDL επιπέδων.

Στα προαναφερθέντα, συστήματα σύντηξης δεδομένων για οχήματα, υπάρχουν και ορισμένοι επιπλέον περιορισμοί. Η πιθανότητα τέτοιας ανάδρασης εγείρει αιτιάσεις για τη διατήρηση της συνοχής και επιπλέον δεν επιτρέπει την δοκιμασία των επιδόσεων. Η δημιουργία δια-λειτουργικών συστημάτων είναι πάντοτε ελκυστική, όπου οι υπό-διεργασίες σύντηξης δεδομένων μπορούν να αντικατασταθούν, να αγνοηθούν ή να διαφοροποιηθούν δοσμένου ενός συγκεκριμένου σκοπού, π.χ. η διατήρηση της λωρίδας ή η διαχείριση των αποτελεσμάτων σύγκρισης, κλπ. Για παράδειγμα ένα σύστημα ενεργητικής ασφάλειας θα είχε μεγάλη αξία αν θα μπορούσε να λειτουργήσει με διαφορετικές προσεγγίσεις όσον αφορά την βελτιστοποίηση αντικειμένου ή εκμεταλλεύσιμο διαφορετικούς αισθητήρες.

Η υπόθεση ότι η παραπάνω απαίτηση ισχύει, λαμβάνεται υπόψη για περαιτέρω ανάλυση. Για να υπάρξει μια αναπαράσταση ενός συστήματος σύντηξης δεδομένων σε υψηλότερο επίπεδο, προτείνεται μια τροποποιημένη αρχιτεκτονική η οποία αποτελείται από τα εξής τρία επίπεδα:

- Στρώμα 1 – αντίληψης του περιβάλλοντος (επίπεδα 0 και 1)
- Στρώμα 2 – εξαγωγής αποφάσεων/εφαρμογής (επίπεδα 2 και 3)
- Στρώμα 3 – λήψης μέτρων/διεπαφής ανθρώπου μηχανής (επίπεδο 5)

Τα επίπεδα αυτά ακολουθούν μια ιεραρχική δομή: είναι ανεξάρτητα και υπάρχει μια μονόδρομη μορφή επικοινωνίας από τα αριστερά προς τα δεξιά όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4. Δεν επιτρέπεται η ύπαρξη ανάδρασης από τα ανώτερα προς τα κατώτερα στρώματα της ιεραρχίας για την διαδικασία σύντηξης δεδομένων.



Σχήμα 1.4: Ιεραρχικό υβριδικό λειτουργικό μοντέλο σύντηξης δεδομένων

Επίσης, η επεξεργασία των δεδομένων που γίνεται στα διάφορα επίπεδα γίνεται ακολουθιακά, δηλαδή ξεκινά στο επίπεδο Γ μετά συνεχίζεται στο επίπεδο Β και τελειώνει στο επίπεδο Α. Αυτό

σε καμία περίπτωση δεν επηρεάζει την διαδικασία σύντηξης λόγω των σημαντικών διαφορών στον τύπο των δεδομένων, των μοντέλων και των εξόδων αναγκαίων για κάθε επίπεδο δοσμένου ενός τελικού στόχου του συστήματος σύντηξης δεδομένων.

Από την άλλη, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα μοντέλα και στις εξόδους των στρωμάτων του ίδιου επιπέδου. Εάν ακολουθηθεί η ίδια αυστηρή πολιτική ιεράρχησης, όπως μεταξύ των επιπέδων, κάθε δυνατή επιπλέον μεταβλητή θα χαθεί. Έτσι, η αλληλεπίδραση μεταξύ των στρωμάτων επιτρέπεται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο κανόνων ή συναρτήσεις πίστης (belief functions). Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική φαίνεται στο σχήμα 1.4.

Μια τέτοια υλοποίηση σαν αναφορά δίνεται στην επόμενη παράγραφο για το επίπεδο αντίληψης. Η επιλογή αυτού του επιπέδου έγινε γιατί παραδοσιακά στις εφαρμογές ασφάλειας η έρευνα επικεντρώνεται περισσότερο σε αυτό το σημείο παρά στις διαδικασίες εξαγωγής συμπερασμάτων των άλλων στρωμάτων και επιπέδων.

1.2.4 Ενδό-στρωματική διαδικασία σύντηξης

Το στρώμα αντίληψης είναι ένα παράδειγμα της τυπικής περίπτωσης ότι η ολοκρατική αντίληψη των δεδομένων σε πολλαπλά επίπεδα (στην περίπτωση αυτή το επίπεδο 0 και το επίπεδο 1) έχει πλεονεκτήματα. Επιπρόσθετα, στο επίπεδο αντίληψης μπορούν να αναγνωρισθούν τα υπό-επίπεδα ώστε να γίνεται εντελώς ξεκάθαρο ποιος τύπος δεδομένων υπάρχει και ποιοι τύποι εξαρτήσεων προκύπτουν:

- Επίπεδο 1Α: Το επίπεδο αναγνώρισης χαρακτηριστικών αντιπροσωπεύει την εκτίμηση των εξαγόμενων χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου. Επομένως, ένα χαρακτηριστικό είναι μια αφηρημένη μορφή των πρωτευόντων δεδομένων (επίπεδο 0) η οποία αποσκοπεί στο να παρέχει ένα πιο περιορισμένο σύνολο δεδομένων, το οποίο αντιπροσωπεύει με ακρίβεια και συνοπτικά την αρχική πληροφορία (π.χ. το περιγράμμα ενός αυτοκινήτου που ανιχνεύεται από την κάμερα). Μπορούν να υπάρχουν πολλαπλά υπό-επίπεδα τύπου 1Α.
- Επίπεδο 1Β: Το επίπεδο αναγνώρισης ίχνων αντιπροσωπεύει την συλλογική εκτίμηση χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου. Ένα ίχνος είναι μια αναλλοίωτη χρονική ακολουθία αναπαράστασης της συμπεριφοράς των αντικειμένων.
- Επίπεδο 1Γ: Το επίπεδο αναγνώρισης αντικειμένων αντιπροσωπεύει την εκτίμηση μιας οντότητας (π.χ. αυτοκίνητο).

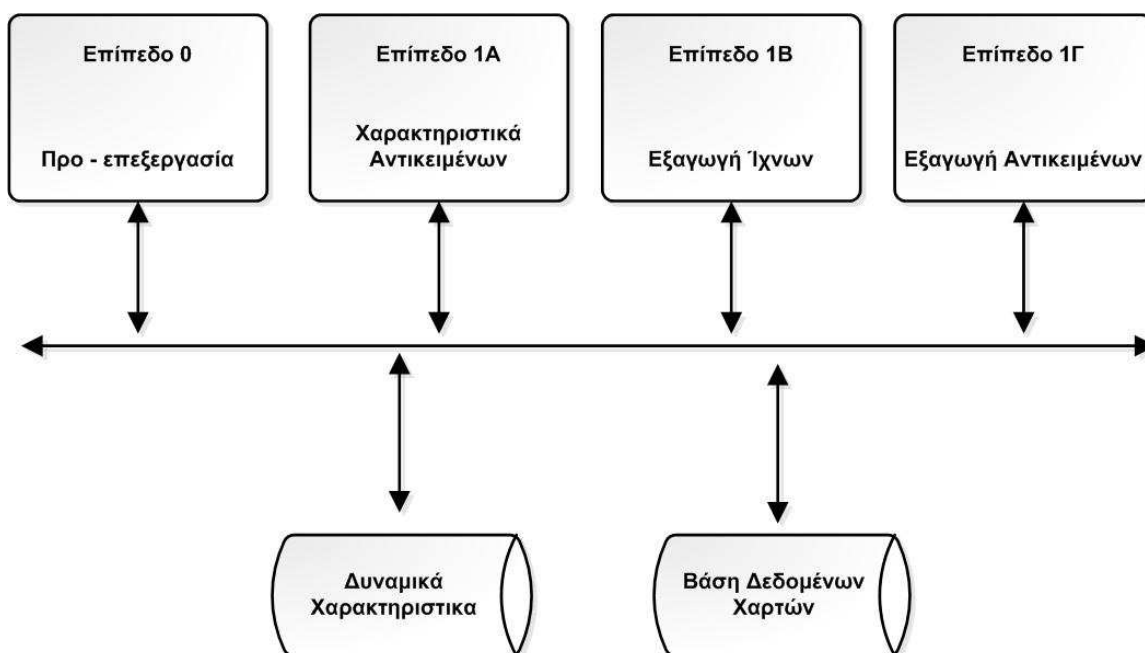
Όμως η ύπαρξη επιπέδων και υπό-επιπέδων δεν σημαίνει ότι η αποκλειστική ξεχωριστή χρήση των δεδομένων του κάθε επιπέδου είναι η βέλτιστη, αλλά συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Η ιδέα είναι να εισαχθεί μια γενική περιγραφή του περιβάλλοντος η οποία βασίζεται στην παρατήρηση ότι κατά την διάρκεια της αυτοματοποιημένης διαδικασίας αντίληψης όλες οι σχετικές πληροφορίες για ένα σενάριο στον πραγματικό κόσμο πρέπει να συλλεχθούν και να αποθηκευτούν για περαιτέρω χρήση σε μεταγενέστερα υπολογιστικά βήματα. Για τον λόγο αυτό κάθε διαδικασία είναι ικανή να αντιστρέφεται σε κάθε πληροφορία κάθε στιγμή της επεξεργασίας. Νέες μέθοδοι πρέπει να αναπτυχθούν για την αντιμετώπιση των αυξημένων απαιτήσεων σε ποιότητα και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας σήματος. Οι νέοι αυτοί αλγόριθμοι σχεδιάζονται προοδευτικά έτσι ώστε να βελτιωθούν τα αποτελέσματα της συνολικής επεξεργασίας, βελτιστοποιώντας όλα τα ενδιάμεσα επίπεδα και υπό-επίπεδα.

Η “μνήμη αντίληψης” αποθηκεύει τις μετρήσεις και όλα τα σχετικά αποτελέσματα της επεξεργασίας συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων σήματος, χαρακτηριστικών, ίχνων, και αντικειμένων. Χρησιμοποιείται για την απομνημόνευση μη επεξεργασμένων μετρήσεων από αισθητήρες όπως και αντικειμένων και οντοτήτων που έχουν αναγνωρισθεί. Έτσι λοιπόν, είναι δυνατόν να επιτευχθεί ένα πολύ-επίπεδο μοντέλο επεξεργασίας δεδομένων το οποίο έχει πρόσβαση σε όλα τα ενδιάμεσα αποτελέσματα στο σύνολο.

Η δεύτερη έννοια της “μνήμης αντίληψης” είναι το εκτεταμένο Μοντέλο Περιβάλλοντος 4 Διαστάσεων (ΜΠ4Δ), το οποίο συγκροτείται από ένα ευρύ φάσμα μοντέλων, όπως είναι τα γεωμετρικά μοντέλα (που αντιπροσωπεύονται από τα μοντέλα χαρακτηριστικών), τα δυναμικά μοντέλα που περιγράφουν τις κινήσεις των αντικειμένων, μοντέλα χαρτών και συναρτησιακά

μοντέλα. Οι “διαδικασίες αντίληψης” έχουν πρόσβαση στην μνήμη αυτή, καθώς οργανώνουν το περιεχόμενο της, το επανασημασιάζουν και το ελέγχουν. Για τον λόγο αυτό οι “διαδικασίες αντίληψης” χρησιμοποιούν τα στοιχεία του ΜΠ4Δ ως πρότερη γνώση. Η συνολική “μνήμη αντίληψης” μπορεί να αποθηκευτεί και να επαναχρησιμοποιηθεί σε μια εξωτερική βάση δεδομένων. Αυτό είναι προφανές για τα στοιχεία αυτά που ανήκουν στο ΜΠ4Δ, αλλά και βολικό για αυτά που αντιπροσωπεύουν πραγματικά δεδομένα αντίληψης του περιβάλλοντος.

Όλοι οι τύποι των αλγορίθμων και διαδικασιών σύντηξης χειρίζονται διαφορετικούς τύπους δεδομένων. Κάθε αλγόριθμος έχει συγκεκριμένες πληροφορίες σαν είσοδο και αποτελέσματα με βελτιωμένες πληροφορίες στο ίδιο ή διαφορετικό επίπεδο αφαιρετικότητας. Η βασική πρόκληση στην χρήση μιας πολύ-επίπεδης μεθοδολογίας για σύντηξη στηρίζεται στο γεγονός ότι όλα τα επίπεδα δεδομένων πρέπει να είναι διαθέσιμα για τις λειτουργίες σύντηξης δεδομένων. Έτσι, η πιθανότερα περισσότερο χρήσιμη ιδιότητα της “μνήμη αντίληψης” είναι να παρέχει πρόσβαση στο πλήρες σύνολο των διαθέσιμων πληροφοριών για όλα τα επίπεδα της επεξεργασίας.



Σχήμα 1.5

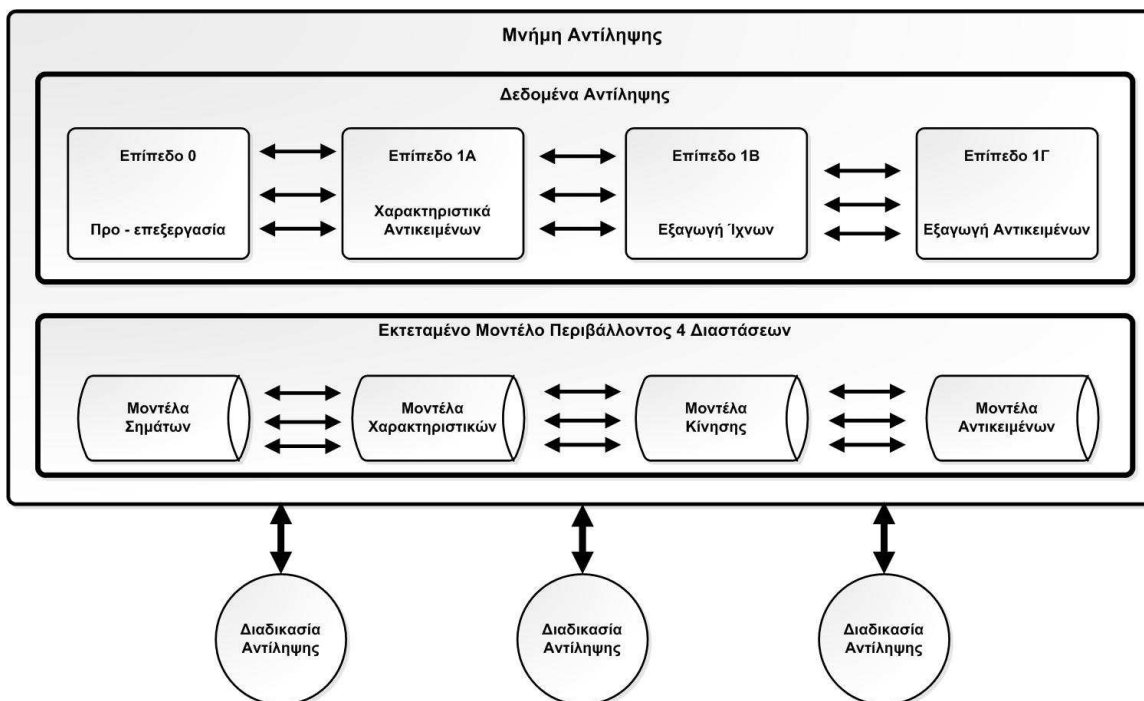
Η ολοκρατική αναπαράσταση δεν αποθηκεύει μόνο όλα τα σχετικά δεδομένα ενός σεναρίου, αλλά αντιπροσωπεύει επίσης και σχέσεις μεταξύ αυτών των δεδομένων. Αυτές οι σχέσεις μπορεί να είναι:

- Σχέσεις στο πεδίο του χρόνου.
- Χωρικές σχέσεις.
- Σχέσεις με βάση το παρελθόν επεξεργασίας.
- Ειδικές σχέσεις, όπως για παράδειγμα το αντικείμενο A1 είναι μέρος του αντικειμένου A (το κεφάλι είναι μέρος του σώματος, το σημείο είναι μέρος μιας περιοχής).

Έτσι είναι δυνατή μια ισχυρή χρησιμοποίηση τους όταν οι σχέσεις μεταξύ δεδομένων γίνονται ένα σημαντικό κομμάτι στην επεξεργασία δεδομένων. Αυτές οι διασυνδέσεις μπορούν να υιοθετηθούν σε περιπτώσεις μεταβαλλόμενων συνθηκών και καταστάσεων και μπορούν να ενισχυθούν ή να μετριαστούν.

Η ανάπτυξη μιας κοινής δομής δεδομένων για την αναπαράστασή τους μέσα στην “μνήμη αντίληψης” είναι μέρος μιας συνολικότερης εργασίας. Ενώ μπορεί να συμφωνηθεί ότι η ανταλλαγή και η αξιοποίηση πληροφοριών μεταξύ των επιπέδων είναι γενικώς επιθυμητή, κάθε ξεχωριστή προσέγγιση για την ενεργοποίηση αυτών των λειτουργιών επεξεργασίας πρέπει να οδηγείται από

την ισορροπία μεταξύ κόστους και αξίας ανά μονάδα. Το μοντέλο που παρουσιάστηκε δεν είναι κατηγορηματικό αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και να υλοποιηθεί ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας και τους περιορισμούς του συστήματος. Τέλος, παρουσιάστηκε η δυνατότητα της ομαδοποίησης των επιπέδων σε στρώματα και της εφαρμογής ιεραρχιών μόνο στον βαθμό που η διαδικασία εκπληρώνει τις απαιτήσεις του συστήματος και τις ανθρωποκεντρικές απαιτήσεις.



Σχήμα 1.6: Μνήμη αντίληψης

1.3 Δομή και συνεισφορά διατριβής

Η διατριβή χωρίζεται σε 6 κεφάλαια. Στο πρώτο γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στα συστήματα οδικής ασφάλειας με χρήση αισθητήρων για την έγκαιρη προειδοποίηση του οδηγού σε περιπτώσεις κινδύνου. Επίσης γίνεται μια παρουσίαση του μοντέλου JDL που εφαρμόζεται σε συστήματα σύζευξης δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των πληροφοριών από το δίκτυο αισθητήρων του οχήματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα συστήματα ψηφιακών χαρτών που χρησιμοποιούνται για την παροχή ενός πάρα πολύ μεγάλου όγκου βοηθητικών πληροφοριών σε σχέση με το οδικό περιβάλλον και τα χαρακτηριστικά του. Τα συστήματα αυτά παρέχουν δεδομένα για την γεωμετρία του δρόμου σε μια μεγάλη απόσταση γύρω από τη τρέχουσα θέση του οχήματος και πληροφορίες σχετικά με τα οδικά σήματα κατά μήκος του δρόμου που θα ακολουθήσει το αυτοκίνητο, την ύπαρξη διαβάσεων ή φαναριών, το πλήθος των λωρίδων, το είδος των διαχωριστικών γραμμών, κτλ. Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στην μελέτη της γεωμετρίας του δρόμου. Συγκεκριμένα, προτείνεται μια μέθοδος για τον υπολογισμό σε πραγματικό χρόνο των γεωμετρικών χαρακτηριστικών με αφαίρεση του θορύβου που υπεισέρχεται λόγω της κίνησης του οχήματος και της χρήσης GPS. Τα τρέχοντα συστήματα ψηφιακών χαρτών υπολογίζουν προσεγγιστικά με χρήση απλών γεωμετρικών μεθόδων (χρήση τριών σημείων) την καμπυλότητα του δρόμου. Η μέθοδος που προτείνεται κάνει χρήση ενός πιο σύνθετου μοντέλου που περιγράφει την γεωμετρία με μεγαλύτερη ακρίβεια και επιπλέον δίνει την δυνατότητα υπολογισμού των συντεταγμένων του δρόμου σε οποιοδήποτε σημείο. Παράλληλα μπορεί να οδηγήσει στην σημαντική μείωση του μεγέθους των ψηφιακών χαρτών και να τους καταστήσει πιο λειτουργικούς, αφού τώρα δεν είναι απαραίτητη η εκ των προτέρων αποθήκευση όλων των δεδομένων της γεωμετρίας σε μια συγκεκριμένη πόλη, χώρα ή ήπειρο, αλλά παρέχεται η δυνατότητα του

υπολογισμού τους σε πραγματικό χρόνο, χωρίς σημαντική κατανάλωση υπολογιστικών πόρων μόνο για την διαδρομή που ακολουθεί το όχημα. Επίσης, γίνεται υλοποίηση βιβλιοθήκης που χρησιμοποιείται σε ερευνητικό λογισμικό ψηφιακών χαρτών και με βάση την οποία εξάγονται αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο τέλος του κεφαλαίου.

Στο τρίτο κεφάλαιο προτείνεται μια μέθοδος για τον υπολογισμό της γεωμετρίας της λωρίδας στην οποία κινείται το όχημα με σύντηξη δεδομένων από πολλαπλές πηγές. Τα τρέχοντα συστήματα κάνουν χρήση μόνο ενός αισθητήρα, συνήθως κάμερας, για την ανίχνευση των διαχωριστικών γραμμών της λωρίδας. Έτσι λοιπόν σε περιπτώσεις κακών περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως είναι η κακή ορατότητα λόγω άσχημου καιρού ή λόγω ύπαρξης σιμών στο δρόμο, ο αισθητήρας μπορεί να αποτύχει στην ανίχνευση της λωρίδας και το σύστημα να μην είναι ικανό να παρέχει πληροφορίες για την γεωμετρία της. Επίσης, ένα άλλο μειονέκτημα είναι η περιορισμένη εμβέλεια που εισάγει η χρήση ενός μόνο αισθητήρα. Η κάμερα για παράδειγμα μπορεί να ανιχνεύει την λωρίδα μέχρι τα 40 – 60m. Η μέθοδος που προτείνεται λαμβάνει υπόψη μια πληθώρα από πηγές πληροφορίας, όπως είναι κάμερα, ραντάρ, ψηφιακοί χάρτες και δυναμική κατάσταση οχήματος και μέσω ενός συστήματος σύντηξης δεδομένων γίνεται εκτίμηση της συνολικής γεωμετρίας του δρόμου ακόμη και σε περιπτώσεις αποτυχίας ενός αισθητήρα, ενώ παράλληλα επεκτείνεται η περιοχή κάλυψης της κάμερας με την χρήση των δεδομένων από τους ψηφιακούς χάρτες και το ραντάρ. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται αποτελέσματα, που ελήφθησαν με εφαρμογή της πλατφόρμας σύντηξης δεδομένων που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σε ερευνητικό όχημα στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος SafeLane(Prevent).

Το τέταρτο κεφάλαιο ασχολείται με την μελέτη των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση κατάστασης. Κύριος άξονας είναι η επέκταση των υπάρχοντων μεθόδων για την εκτίμηση των συντελεστών κινδύνου με χρήση συστημάτων ασαφούς λογικής και η ανάπτυξη και υλοποίηση αλγορίθμων για την ανίχνευση της συμπεριφοράς του οχήματος (ανίχνευση ελιγμών και πρόθεσης οδηγού). Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την εφαρμογή όλων αυτών των αλγορίθμων σε πραγματικό όχημα με δίκτυο αισθητήρων στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος AIDE.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάπτυξη μιας πλήρους πλατφόρμας, η οποία ακολουθεί την αρχιτεκτονική που αναφέρθηκε στην εισαγωγή της διατριβής και η οποία χρησιμοποιεί όλους τους αλγόριθμους που προτάθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Γίνεται παρουσίαση όλων των αισθητήρων και υπολογιστικών συστημάτων(εργαστήριο EMOI) που χρησιμοποιήθηκαν και εγκαταστάθηκαν στο ερευνητικό όχημα (του εργαστηρίου Οχημάτων της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών).

Τέλος, το τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζει γενικά συμπεράσματα και γίνεται αναφορά στα μελλοντικά βήματα για την ολοκλήρωση της διατριβής.

Κεφάλαιο 2

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΔΡΟΜΟΥ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Σημαντικές μελλοντικές εφαρμογές σε συστήματα πληροφόρησης για αυτοκίνητα ενδέχεται να αποτελέσουν τα συστήματα GPS με ταυτόχρονη ύπαρξη ψηφιακών χαρτών για την περιοχή κίνησης του οχήματος. Τα συστήματα GPS έχουν αρκετά σημαντικό σφάλμα προσδιορισμού θέσης (κάποια μέτρα), αλλά αρκούν για τον προσδιορισμό της θέσης του οχήματος σε μια περιοχή. Έτσι ο οδηγός μπορεί να ενημερωθεί άμεσα για την θέση του πάνω στο χάρτη ώστε να καθορίσει την περαιτέρω πορεία του και ανάλογα με την ποιότητα των πληροφοριών που παρέχονται από τον ψηφιακό χάρτη μπορεί να ενημερωθεί για μια σειρά άλλα θέματα. Τα θέματα αυτά κυμαίνονται από προτεινόμενη πορεία για τον προσδιορισμό αν υπάρχει διασταύρωση ή κόμβος, πληροφορίες για την ευρύτερη περιοχή που βρίσκεται το όχημα (π.χ. καταστήματα, ξενοδοχεία κλπ), παραπάνω πληροφορίες αν υπάρχει αλληλεπίδραση με άλλα συστήματα του οχήματος. Τέλος μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα αποφυγής συγκρούσεων ως μια επιπρόσθετη πηγή πληροφόρησης για την καμπυλότητα του δρόμου και το ρυθμό μεταβολής της.

2.2 Περιγραφή συστήματος γεωγραφικής απεικόνισης θέσης

Η ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων υποβοήθησης οδηγού (ADAS – Advanced Driver Assistant Systems) και γενικά εφαρμογών έξυπνων συστημάτων μεταφορών ενσωματωμένων σε οχήματα, τα οποία συμβάλουν σε μια ασφαλή, άνετη και οικονομική οδήγηση, έχουν μεγάλη σημασία στην αυτοκινητοβιομηχανία. Τυπικά παραδείγματα ADAS συστημάτων είναι το σύστημα ελέγχου προσαρμοζόμενης πλοήγησης (ACC) και το σύστημα προσαρμοζόμενου εμπρόσθιου φωτισμού (AFS). Τα συστήματα ADAS λειτουργούν αυτή τη στιγμή υπό τη λογική ότι παράγουν πληροφορίες παρατηρώντας το περιβάλλον χώρο του οχήματος χρησιμοποιώντας αισθητήρες. Υπάρχει όμως μια σημαντική προοπτική στη χρήση ψηφιακών χαρτών και αισθητήρων για την εύρεση της θέσης του οχήματος, έτσι ώστε να προβλέπεται η γεωμετρία του δρόμου και να ανιχνεύονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του στη περιοχή εμπρός από το όχημα. Πιο συγκεκριμένα οι εφαρμογές ADAS θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν δεδομένα χαρτών για να αναγνωρίζουν τις συνθήκες στην οδική υποδομή στη τρέχουσα θέση του οχήματος και για να έχουν μια προεπισκόπηση του τμήματος του δρόμου μπροστά από το όχημα.

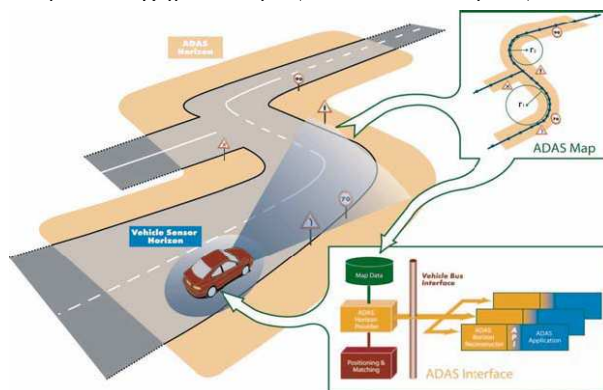
Μια πρώτη προσέγγιση ενός ADAS συστήματος που θα διατίθεται στην αγορά και που θα υποστηρίζει χάρτες θα χρησιμοποιεί πιθανόν το σύστημα πλοήγησης του οχήματος ως την κύρια πηγή τροφοδότησης με δεδομένα ψηφιακών χαρτών. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του συστήματος πλοήγησης είναι ότι ήδη διαθέτει αποθηκευμένα δεδομένα ψηφιακών χαρτών και ότι ήδη μπορεί να εκτελεί εύρεση της θέσης του οχήματος και απεικόνιση του πάνω στον ψηφιακό χάρτη. Παρόλα αυτά κάθε σύστημα πλοήγησης αποθηκεύει τα δεδομένα αυτά των χαρτών σε μια ιδιαίτερη μορφή που εξαρτάται από το τρέχον σύστημα και χρησιμοποιεί τον δικό του τρόπο για την εύρεση της θέσης του οχήματος και την απεικόνιση του πάνω στον χάρτη.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου μέσα στον οποίο κινείται το υποκείμενο όχημα κάνοντας χρήση ενός συστήματος ψηφιακών χαρτών. Μέχρι στιγμής οι τεχνικές που εφαρμόζονται για την εξαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών βασίζονται στην χρήση ραντάρ ή κάμερας. Το μεν πρώτο όμως έχει περιορισμένη δυνατότητα ανίχνευσης των παρακείμενων αντικειμένων στο

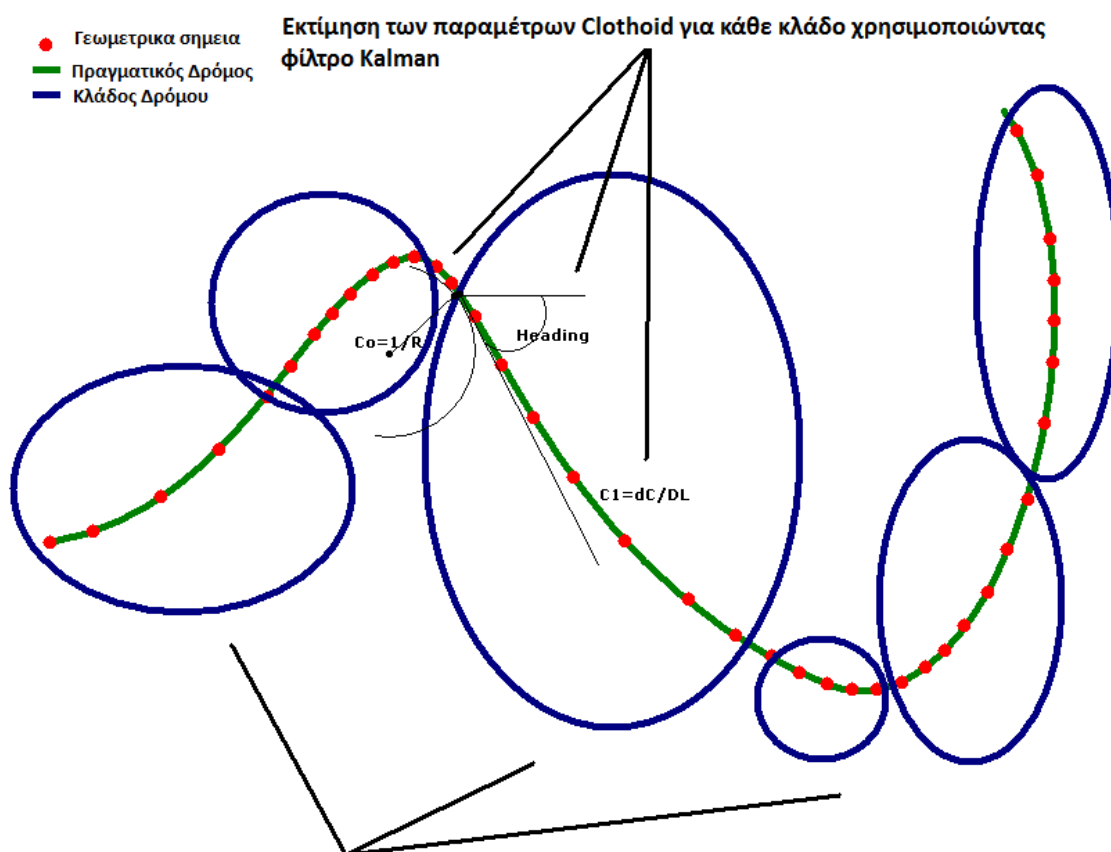
δρόμο ώστε να δώσει μια ολοκληρωμένη εικόνα του και η μεν δεύτερη κάνει καλή εκτίμηση μόνο για μια περιορισμένη απόσταση εμπρός του υποκείμενου οχήματος, μερικών δεκάδων μέτρων.



Σχήμα 2.1: Εφαρμογή βάσης δεδομένων ψηφιακών χαρτών



Σχήμα 2.2: Ηλεκτρονικός ορίζοντας ψηφιακών χαρτών



Διαχωρισμός της λίστας των γεωμετρικών σημείων σε κλάδους, σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων

Σχήμα 2.3: Επεξεργασία δεδομένων ψηφιακών χαρτών

Η μαθηματική αναπαράσταση της γεωμετρίας του δρόμου βασίζεται στην επεξεργασία των πληροφοριών που λαμβάνονται από την υπολογιστική μονάδα εύρεσης θέσης. Η μονάδα αυτή αποτελείται από μια κεραία GPS (Global Positioning System) για την λήψη των δεδομένων από

τους δορυφόρους του συστήματος και έναν υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων αυτών και την εξαγωγή επιπρόσθετων πληροφοριών από μια γεωγραφική βάση δεδομένων με βάση την τρέχουσα θέση του οχήματος. Η ψηφιακή αυτή βάση δεδομένων είναι ενσωματωμένη στον υπολογιστή του συστήματος και περιέχει καταγεγραμμένα όλα τα στοιχεία που αφορούν στην μορφολογία των οδών και των διάφορων πληροφοριών που υπάρχουν κατά μήκος τους, όπως είναι για παράδειγμα τα σήματα οδικής κυκλοφορίας. Πιο συγκεκριμένα το σύνολο αυτών των πληροφοριών που δίνονται από την ψηφιακή βάση δεδομένων ονομάζεται Ηλεκτρονικός Ορίζοντας. Επειδή ο ηλεκτρονικός αυτός ορίζοντας παρέχει όλα τα δυνατά μονοπάτια που μπορεί να ακολουθήσει το όχημα κατά μήκος του δρόμου στον οποίο κινείται, υπάρχει ένα δεύτερο στάδιο επεξεργασίας το οποίο κάνει ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης και εξάγει το πιο πιθανό μονοπάτι πάνω στο οποίο πρόκειται να κινηθεί το όχημα. Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι να εξαχθεί η καμπύλη η οποία ανταποκρίνεται με την μέγιστη πιθανότητα στην πραγματική μελλοντική πορεία που θα ακολουθηθεί.

2.3 Εκτίμηση γεωμετρίας

Στην ενότητα αυτή θα γίνει η παρουσίαση των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται από το σύστημα των ψηφιακών χαρτών. Στην πρώτη υπό-ενότητα θα γίνει η παρουσίαση του μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Στην δεύτερη υπό-ενότητα θα γίνει η περιγραφή των φίλτρων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της κατάστασης ενός δυναμικού συστήματος και τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση των εξαγομένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών με βάση τους ψηφιακούς χάρτες. Τέλος στην τελευταία υπό-ενότητα θα γίνει η παρουσίαση του προτεινόμενου αλγορίθμου, σκοπός του οποίου θα είναι η εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου στον οποίο κινείται το υποκείμενο όχημα κάνοντας χρήση των γεωγραφικών σημείων που περιγράφουν το οδικό δίκτυο εμπρός του οχήματος και τα οποία λαμβάνονται από την βάση δεδομένων των ψηφιακών χαρτών.

2.3.1 Περιγραφή μοντέλου Clothoid

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται ευρέως για τη μοντελοποίηση του δρόμου στο οριζόντιο επίπεδο είναι το Clothoid, το οποίο περιγράφει μια καμπύλη της οποίας η καμπυλότητα c είναι ανάλογη του μήκους της l :

$$c = c_0 + c_1 \cdot l \quad (2.1)$$

όπου c_0 είναι η καμπυλότητα στην αρχή και c_1 είναι ο ρυθμός μεταβολής της καμπυλότητας. Στον πραγματικό κόσμο οι δρόμοι είναι, όσο αυτό μπορεί να επιτευχθεί με βάση την μορφολογία του περιβάλλοντος, σύνολα διαδοχικών clothoid (συμπεριλαμβανομένου των ευθειών και των κυκλικών τομέων).

Η πλήρης μαθηματική περιγραφή του μοντέλου clothoid γίνεται με βάση τις δυο παρακάτω σχέσεις:

$$x(l) = \int_0^l \cos(c_0 \tau + \frac{c_1 \tau^2}{2}) d\tau \quad (2.2\alpha)$$

$$y(l) = y_0 + \int_0^l \sin(c_0 \tau + \frac{c_1 \tau^2}{2}) d\tau \quad (2.2\beta)$$

Επειδή αυτή η μαθηματική αναπαράσταση είναι πολύπλοκη και προκειμένου να απλουστευτεί γίνεται προσέγγιση με ένα πολυώνυμο 3^{ου} βαθμού. Θεωρώντας το σύστημα συντεταγμένων του σχήματος (2.3), η εξίσωση που θα περιγράφει το μοντέλο που εξετάζουμε θα είναι η παρακάτω:

$$y(x) = y_0 + \tan(h) \cdot x + c_0 \cdot \frac{x^2}{2} + c_1 \cdot \frac{x^3}{6} \quad (2.3)$$

όπου h είναι η εφαπτομενική κλίση της καμπύλης στην αρχή των αξόνων και y_0 η αρχική πλευρική απόκλιση.

2.3.2 Εκτίμηση κατάστασης δυναμικού συστήματος

Η εκτίμηση της κατάστασης ενός δυναμικού συστήματος μπορεί να γίνει με το φίλτρο Kalman. Το φίλτρο Kalman αποτελεί βασικά μια προέκταση της επαναληπτικής μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων η οποία μας επιτρέπει να μοντελοποιήσουμε αποτελεσματικά την δυναμική κατάσταση τυχαίων στόχων. Παρέχει μια γενική λύση για το πρόβλημα της εκτίμησης με την επαναληπτική μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων από την κλάση των γραμμικών εκτιμητριών. Η χρήση του φίλτρου Kalman θα ελαχιστοποιήσει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα εφόσον η δυναμική κατάσταση του στόχου και ο θόρυβος μέτρησης μπορούν να μοντελοποιηθούν με ακρίβεια. Επιπρόσθετα με την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος το φίλτρο Kalman έχει ένα πλήθος άλλα πλεονεκτήματα για εφαρμογές σε συστήματα ιχνηλασίας πολλαπλών στόχων. Τα πλεονεκτήματα αυτά περιλαμβάνουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. Η ακολουθία του κέρδους επιλέγεται αυτόματα, με βάση το μοντέλο της κίνησης που υποθέτουμε για τον στόχο και το μοντέλο του θορύβου μέτρησης. Αυτό σημαίνει ότι το ίδιο φίλτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικούς στόχους και περιβάλλοντα μέτρησης αλλάζοντας μερικές παραμέτρους κλειδιά. Για παράδειγμα, καθώς ο στόχος πλησιάζει, το στίγμα του γίνεται πιο έντονο, με αποτέλεσμα η ακρίβεια στη μέτρηση της γωνίας συνήθως να βελτιώνεται. Από την άλλη πλευρά, καθώς η απόσταση μειώνεται, η γωνιακή δυναμική κατάσταση του στόχου τείνει να αυξάνεται. Η βέλτιστη απόκριση σ' αυτό το πολύπλοκο μεταβαλλόμενο περιβάλλον εύκολα πετυχαίνεται με το φίλτρο Kalman χρησιμοποιώντας απλά εξαρτώμενα από την απόσταση δυναμικά μοντέλα και μοντέλα του θορύβου μέτρησης.
2. Η ακολουθία του κέρδους αυτόματα προσαρμόζεται στη μεταβαλλόμενη ιστορία ανίχνευσης. Αυτό περιλαμβάνει μεταβαλλόμενο διάστημα δειγματοληψίας και κενά στην ανίχνευση ενός στόχου.
3. Το φίλτρο Kalman παρέχει έναν βολικό υπολογισμό της ακρίβειας της εκτίμησης μέσω του πίνακα συνδιακύμανσης. Ο υπολογισμός αυτός απαιτείται για να εκτελέσουμε τους διάφορους υπολογισμούς που συνδέονται με την σύνδεση δεδομένων. Επίσης, η γνώση μιας τιμής για την αναμενόμενη διασπορά του λάθους πρόβλεψης, είναι χρήσιμη για την ανίχνευση ελιγμών και ανιχνεύοντας τους ελιγμούς το μοντέλο του φίλτρου Kalman παρέχει ένα βολικό τρόπο για να προσαρμοζόμαστε στα δυναμικά χαρακτηριστικά ανόμεριων στόχων.
4. Με τη χρήση του φίλτρου Kalman είναι δυνατόν τουλάχιστον να αντισταθμιστούν τα αποτελέσματα της λανθασμένης σύνδεσης δεδομένων αν αυτή υπάρξει στο έντονο περιβάλλον των συστημάτων ιχνηλασίας πολλαπλών στόχων. Για παράδειγμα μια βολική μέθοδος είναι να αυξήσουμε τις αριθμητικές τιμές των στοιχείων του πίνακα συνδιακύμανσης του φίλτρου Kalman ώστε να αντικατοπτρίζεται το αναμενόμενο σφάλμα που σχετίζεται με την αβέβαιη σύνδεση δεδομένων. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται στη συνδυαστική πιθανοκρατική σύνδεση δεδομένων *JPDA*.

2.3.2.1 Γραμμικό Φίλτρο Kalman

Υποθέτουμε ότι η δυναμική κατάσταση ενός αντικειμένου μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν μια μαρκοβιανή διαδικασία διακριτού χρόνου της μορφής:

$$x(k+1) = A \cdot x(k) + u(k+1|k) + w(k) \quad (2.4)$$

όπου x (διάστασης $n \times 1$) είναι το διάνυσμα κατάστασης του αντικειμένου που περιέχει τις μεταβλητές εκείνες για τις οποίες θέλουμε να κάνουμε μια εκτίμηση. Επίσης, A είναι η μήτρα μετάβασης που υποθέτουμε ότι είναι γνωστή, $w(k)$ είναι ο μηδενικής μέσης τιμής λευκός Γκαουσιανός θόρυβος της διαδικασίας με γνωστή μήτρα συνδιακύμανσης Q και $u(k+1|k)$ είναι η ντετερμινιστική είσοδος του συστήματος, η οποία για παράδειγμα μπορεί να είναι η επιτάχυνση του στόχου όταν αυτή δεν υπάρχει μέσα στο διάνυσμα κατάστασης.

Η εξίσωση (2.4) είναι μια διαφορική εξίσωση η οποία περιγράφει την δυναμική κατάσταση του στόχου σαν μια Μαρκοβιανή διαδικασία που αναπαρίσταται από το διάνυσμα κατάστασης. Η διακριτού χρόνου μαρκοβιανή διαδικασία μπορεί να οριστεί σαν μια διαδικασία στην οποία η στατιστική αναπαράσταση της διαδικασίας στο μέλλον (σάρωση $k+1$) είναι ολοκληρωτικά καθορισμένη από την παρούσα κατάσταση (σάρωση k). Οι δυναμικές σχέσεις συνήθως παράγονται από συνεχούς χρόνου εξισώσεις κατάστασης και έπειτα μετατρέπονται σε διακριτές της μορφής (2.4). Η εξίσωση κατάστασης οδηγείται από την ντετερμινιστική είσοδο $u(k+1|k)$, όπως επίσης και από τον τυχαίο θόρυβο $w(k)$, ο οποίος αναπαριστά την τυχαιότητα που εισάγεται στο σύστημα, όπως για παράδειγμα τον τυχαίο θόρυβο επιτάχυνσης του αντικειμένου.

Οι μετρήσεις μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτουν από το γραμμικό συνδυασμό κάποιων από τις μεταβλητές κατάστασης του συστήματος, οι οποίες αλλοιώνονται από ασυσχέτιστο θόρυβο. Έτσι, το διάνυσμα μέτρησης y (διάστασης $m \times 1$) μοντελοποιείται ως εξής:

$$y(k) = C \cdot x(k) + z(k) \quad (2.5)$$

όπου C είναι η μήτρα μέτρησης (διάστασης $m \times n$) και $z(k)$ είναι ο μηδενικής μέσης τιμής λευκός Γκαουσιανός θόρυβος μέτρησης με μήτρα συνδιακύμανσης R . Δεδομένης της δυναμικής κατάστασης του στόχου (2.4) και του μοντέλου μέτρησης (2.5) οι εξισώσεις για το φίλτρο Kalman είναι:

$$K(k) = P(k|k-1) \cdot C^T \cdot [C \cdot P(k|k-1) \cdot C^T + R]^{-1} \quad (2.6\alpha)$$

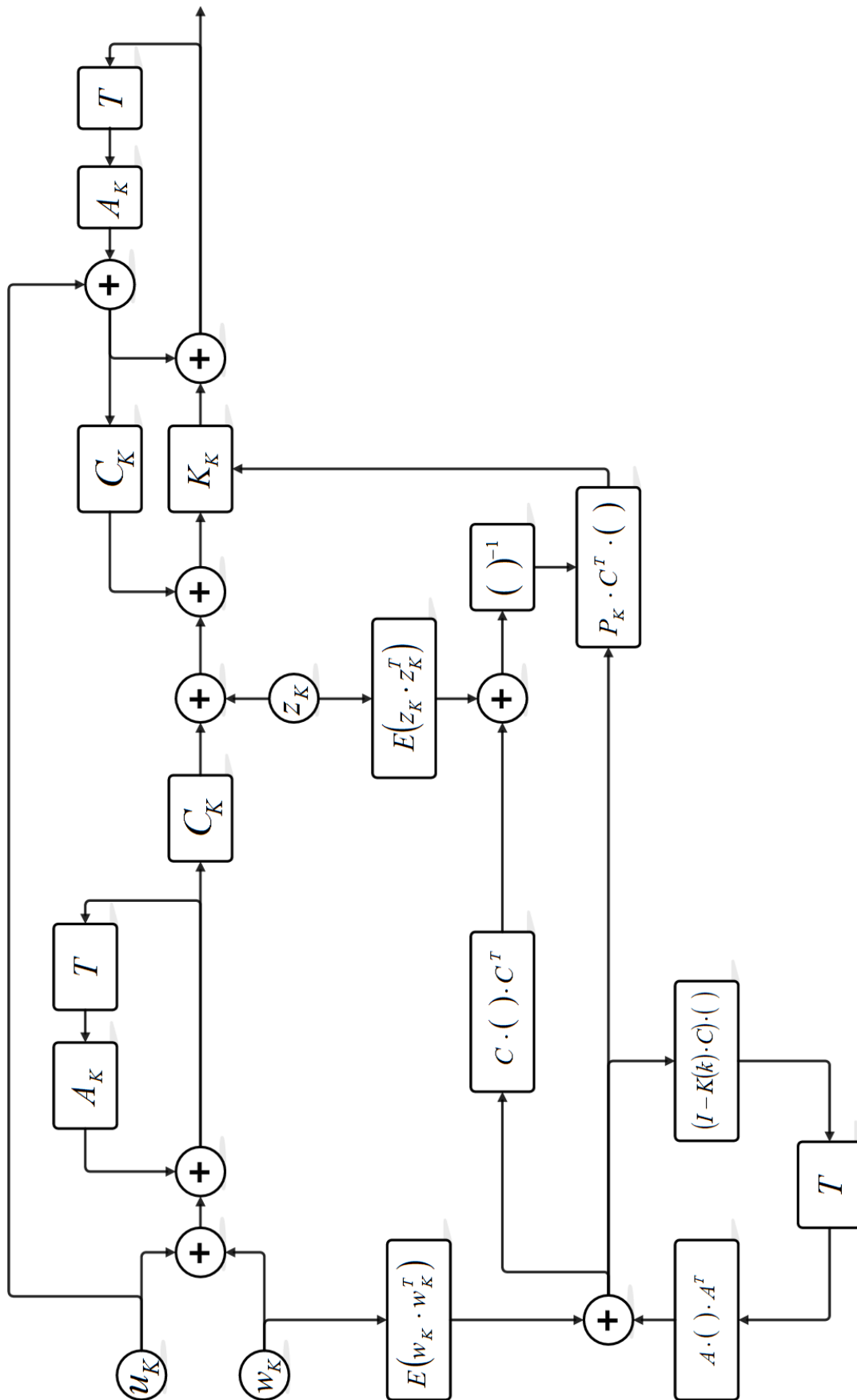
$$\hat{x}(k|k) = \hat{x}(k|k-1) + K(k) \cdot [y(k) - C \cdot \hat{x}(k|k-1)] \quad (2.6\beta)$$

$$P(k|k) = [I - K(k) \cdot C] \cdot P(k|k-1) \quad (2.6\gamma)$$

$$\hat{x}(k+1|k) = A \cdot \hat{x}(k|k) \quad (2.6\delta)$$

$$P(k+1|k) = A \cdot P(k|k) \cdot A^T + Q \quad (2.6\epsilon)$$

Η σχηματική παράσταση της λειτουργίας του φίλτρου Kalman φαίνεται στην επόμενη σελίδα.



Σχήμα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση φίλτρου Kalman

Η ενημέρωση του πίνακα συνδιακυμάνσης βασίζεται στην υπόθεση ότι το κέρδος του φίλτρου Kalman έχει υπολογιστεί πρώτα από τη σχέση (2.6). Εάν εξαιτίας υπολογιστικού λάθους ο υπολογισμός του κέρδους δεν είναι ακριβής ή το κέρδος επιλέγεται με διαφορετικό τρόπο, η σταθεροποιημένη μορφή της εξίσωσης ενημέρωσης του πίνακα συνδιακυμάνσης που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί είναι:

$$P(k|k) = [I - K(k) \cdot C] \cdot P(k|k-1) \cdot [I - K(k) \cdot C]^T + K(k) \cdot R \cdot K(k)^T \quad (2.7)$$

Η χρησιμοποίηση της παραπάνω σχέσης θα προσδώσει μεγαλύτερη ευστάθεια στο φίλτρο Kalman. Ο πίνακας συνδιακυμάνσης ορίζεται ως εξής:

$$P(k) = E\{[x(k) - \hat{x}(k)] \cdot [x(k) - \hat{x}(k)]^T\} \quad (2.8)$$

Το διάνυσμα της διαφοράς μεταξύ των μετρούμενων και των εκτιμώμενων ποσοτήτων:

$$\bar{y}(k) = y(k) - C \cdot \hat{x}(k|k-1) \quad (2.9)$$

είναι το διάνυσμα υπολοίπου που έχει πίνακα συνδιακυμάνσης:

$$S(k) = C \cdot P(k|k-1) \cdot C^T + R \quad (2.10)$$

Επίσης μπορεί να οριστεί μια νέα έκδοση του φίλτρου Kalman στην οποία οι φιλτραρισμένες ποσότητες παρακιάμπτονται και χρησιμοποιείται μόνο πρόβλεψη ενός βήματος. Αυτό είναι βολικό επειδή η λειτουργία πραγματικού χρόνου των *MITT* συστημάτων συχνά υπαγορεύει ότι μόνο οι προβλεπόμενες ποσότητες έχουν πρακτική σημασία. Οι εξισώσεις για αυτό το φίλτρο Kalman είναι οι εξής:

$$K_p(k) = A \cdot P(k|k-1) \cdot C^T \cdot [C \cdot P(k|k-1) \cdot C^T + R]^{-1} \quad (2.11\alpha)$$

$$\hat{x}(k+1|k) = A \cdot \hat{x}(k|k-1) + K_p(k) \cdot [y(k) - C \cdot \hat{x}(k|k-1)] \quad (2.11\beta)$$

$$P(k+1|k) = [A - K(k) \cdot C] \cdot P(k|k-1) \cdot A^T + Q \quad (2.11\gamma)$$

2.3.2.2 Μη γραμμικό φίλτρο Kalman

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το μη γραμμικό φίλτρο Kalman το οποίο βασικά αποτελεί μια επέκταση του γραμμικού φίλτρου Kalman που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Το μη γραμμικό φίλτρο Kalman εφαρμόζεται όταν η δυναμική κατάσταση του στόχου είναι μη γραμμική ή όταν έχουμε μη γραμμική διαδικασία μέτρησης. Η εξίσωση ενημέρωσης για το μη γραμμικό φίλτρο Kalman είναι της ίδιας μορφής με την εξίσωση του γραμμικού φίλτρου Kalman:

$$\hat{x}(k|k) = \hat{x}(k|k-1) + K(k) \cdot \{y(k) - h[\hat{x}(k|k-1)]\} \quad (2.12)$$

όπου $h[\hat{x}(k|k-1)]$ είναι γενικά μια μη γραμμική συνάρτηση μέτρησης, η οποία αντιστοιχεί στην ποσότητα $C \cdot \hat{x}(k|k-1)$ που έχουμε στη περίπτωση γραμμικής μέτρησης. Ο υπολογισμός του κέρδους είναι επίσης όμοιος με αυτόν του γραμμικού φίλτρου Kalman:

$$K(k) = P(k|k-1) \cdot H_x^T(k) \cdot [H_x(k) \cdot P(k|k-1) \cdot H_x^T(k) + R]^{-1} \quad (2.13)$$

όπου H_x είναι ο γραμμικός πίνακας μέτρησης που ορίζεται ως εξής:

$$H_x(k) = \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=x(k|k-1)} \quad (2.14)$$

Ο γραμμικός πίνακας μέτρησης έχει διαστάσεις $m \times n$ όπου n είναι η διάσταση του εκτιμώμενου διανύσματος κατάστασης και m είναι η διάσταση του διανύσματος μέτρησης.

Εναλλακτικά, ίσως θα ήταν καλύτερο να γίνεται η επεξεργασία των στοιχείων του διανύσματος παρατήρησης ακολουθιακά με τη σειρά που καθορίζει η ακριβεία τους (η πιο ακριβής μέτρηση πρώτη). Σε κάθε περίπτωση το εκτεταμένο φίλτρο Kalman θα πρέπει να ενημερώνεται από μια βαθμωτή ποσότητα στο χρόνο έτσι ώστε ο πίνακας συνδιακύμανσης του θορύβου μέτρησης R , να είναι ακριβώς η διασπορά της βαθμωτής ποσότητας. Επιπρόσθετα για την αύξηση της σταθερότητας του φίλτρου, η προσέγγιση αυτή οδηγεί σε σημαντική υπολογιστική απλοποίηση.

Μια άλλη προσέγγιση για την ελάττωση της επίδρασης της ανακρίβειας της εκτίμησης στον σχηματισμό του πίνακα μέτρησης H_x είναι η χρησιμοποίηση του επαναληπτικού μη γραμμικού φίλτρου Kalman. Χρησιμοποιώντας το φίλτρο αυτό οι εξισώσεις (2.12)-(2.14) επιλύονται επαναληπτικά χρησιμοποιώντας την πιο πρόσφατη εκτίμηση του διανύσματος κατάστασης στο πίνακα μέτρησης H_x . Έτσι υποθέτοντας N_f επαναλήψεις και χρησιμοποιώντας δείκτη $n = 0, 1, 2, \dots, N_f - 1$ η εκτίμηση κατάστασης (2.12) για την $(n+1)$ - ιοστή επανάληψη γίνεται:

$$\hat{x}(k|k)_{n+1} = \hat{x}(k|k-1) + K(k)_n \cdot RES(k)_n \quad (2.15)$$

όπου:

$$RES(k)_n = y(k) - h[x(k|k)_n] - H_x(k)_n \cdot \{x(k|k-1) - x(k|k)_n\} \quad (2.16\alpha)$$

$$x(k|k)_0 = x(k|k-1) \quad (2.16\beta)$$

Ο πίνακας μέτρησης H_x υπολογίζεται ξανά σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιώντας τη σχέση (2.14) και την τρέχουσα εκτίμηση της κατάστασης, $\hat{x}(k|k)_n$. Το κέρδος του φίλτρου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K(k)_n = P(k|k-1) \cdot H_x^T(k)_n \cdot [H_x(k)_n \cdot P(k|k-1) \cdot H_x^T(k)_n + R]^{-1} \quad (2.17)$$

Η επαναληπτική διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να σταθεροποιηθεί η εκτίμηση της κατάστασης ή μέχρι να συμβεί ένας συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων. Ο υπολογισμός του πίνακα συνδιακύμανσης του σφάλματος εκτίμησης τόσο για το μη γραμμικό όσο και για το επαναληπτικό μη γραμμικό φίλτρο είναι όμοιος με αυτόν του γραμμικού φίλτρου. Για την περίπτωση του επαναληπτικού μη γραμμικού φίλτρου ο υπολογισμός του πίνακα συνδιακύμανσης δε χρειάζεται να αποτελεί μέρος της επαναληπτικής διαδικασίας. Έτσι τόσο για το απλό μη γραμμικό όσο και για το επαναληπτικό μη γραμμικό φίλτρο η ενημέρωση του πίνακα συνδιακύμανσης του σφάλματος εκτίμησης θα δίνεται από τη σχέση:

$$P(k|k) = [I - K(k) \cdot H_x(k)] \cdot P(k|k-1) \quad (2.18)$$

Στη περίπτωση του επαναληπτικού μη γραμμικού φίλτρου ο πίνακας κέρδους και ο πίνακας μέτρησης που χρησιμοποιούνται στη παραπάνω εξίσωση είναι αυτοί που υπολογίζονται στην τελευταία επανάληψη. Ξανά για να αντιμετωπίσουμε πιθανά αριθμητικά προβλήματα θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε την σταθεροποιημένη μορφή της παραπάνω εξίσωσης.

Στη συνέχεια ας θεωρήσουμε τη πρόβλεψη κατάστασης για ένα στόχο με μη γραμμικό δυναμικό μοντέλο κίνησης. Πρώτον, η προβλεπόμενη κατάσταση μπορεί να υπολογιστεί από μια ακριβή (εάν υπάρχει) λύση ή από την αριθμητική λύση της εξίσωσης κατάστασης:

$$\hat{x}(k+1|k) = \hat{x}(k|k) + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \dot{\hat{x}}(\tau|t_k) \partial\tau \quad (2.19)$$

Ωστόσο, μπορεί να εισαχθεί μια δεύτερης τάξης διόρθωση η οποία να αφαιρεί τις σταθερές που παράγονται από τη μη γραμμική διαδικασία πρόβλεψης.

Η πρόβλεψη του πίνακα συνδιακύμανσης μπορεί να γίνει σχεδόν ακριβώς όμοια με τη σχέση που χρησιμοποιήθηκε στη περίπτωση του γραμμικού φίλτρου.

$$P(k+1|k) = A \cdot P(k|k) \cdot A^T + Q \quad (2.20)$$

Εάν υπάρχει μια κλειστής μορφής λύση της εξίσωσης (2.19) έτσι ώστε:

$$x(k+1) = g[x(k)] \quad (2.21)$$

τότε ο πίνακας μεταφοράς μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$A(k+1|k) = \left. \frac{\partial g[x(k)]}{\partial x(k)} \right|_{x=\hat{x}} \quad (2.22)$$

Εναλλακτικά, εάν η κλειστής μορφής λύση της εξίσωσης (2.19) δεν υπάρχει, τα στοιχεία του πίνακα μεταφοράς μπορούν να υπολογιστούν αριθμητικά ή μια δεύτερης τάξης προσέγγιση του πίνακα μεταφοράς μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$A(k+1|k) = I + F(\hat{x}(k)) \cdot T + F^2(\hat{x}(k)) \cdot \frac{T^2}{2} + \dots \quad (2.23)$$

όπου:

$$\dot{x} = f(x) \quad (2.24\alpha)$$

$$F(\hat{x}) = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x=\hat{x}} \quad (2.24\beta)$$

Τέλος ένας πιο ακριβής υπολογισμός του πίνακα συνδιακύμανσης από αυτόν της σχέσης (2.20) μπορεί να επιτευχθεί με άμεση ολοκλήρωση:

$$P(k+1|k) = P(k|k) + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \dot{P}(t|t_k) \partial t \quad (2.25)$$

με

$$\dot{P}(t|t_k) = F(x(t)) \cdot P(t|t_k) + P(t|t_k) \cdot F'(x(t)) + Q_t \quad (2.26)$$

2.3.2.3 Φίλτρο Kalman UKF

Η κατανομή του διανύσματος κατάστασης στο φίλτρο UKF (Unscented Kalman Filter) μπορεί να αναπαρασταθεί με μια Γκαουσιανή τυχαία μεταβλητή και ορίζεται χρησιμοποιώντας ένα ελάχιστο σύνολο από προσεκτικά επιλεγμένα σημεία δείγματος. Η αληθινή μέση τιμή και διακύμανση της Γκαουσιανής τυχαίας μεταβλητής συλλαμβάνεται ολοκληρωτικά από αυτά τα σημεία δείγματος. Η αναπαραγωγή διαμέσου του αληθινού μη γραμμικού συστήματος οδηγεί στη σύλληψη των εκ των υστέρων μέσης τιμής και συνδιακύμανσης με ακρίβεια τρίτης τάξης για οποιοδήποτε είδος μη γραμμικότητας. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τον Unscented μετασχηματισμό.

Ας θεωρηθεί η περίπτωση μιας τυχαίας μεταβλητής x που έχει διάσταση n , η οποία αναπαράγεται μέσω μιας μη γραμμικής συνάρτησης $y = f(x)$. Η μέση τιμή και η συνδιακύμανση αυτής της τυχαίας μεταβλητής είναι \bar{x} και P_x αντιστοίχως. Για να υπολογιστεί η στατιστική συμπεριφορά της συνάρτησης y , σχηματίζεται ο πίνακας X ο οποίος αποτελείται από $2 \cdot L + 1$ σίγμα - διανύσματα X_i . Το καθένα από αυτά τα διανύσματα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο βάρος W_i , όπως φαίνεται στις παρακάτω εξισώσεις:

$$X_i = \bar{x} + \left(\sqrt{(L + \lambda) \cdot P_x} \right)_i \quad i = 1, \dots, L \quad (2.27\alpha)$$

$$X_i = \bar{x} - \left(\sqrt{(L + \lambda) \cdot P_x} \right)_i \quad i = L + 1, \dots, 2L \quad (2.27\beta)$$

$$X_0 = \bar{x} \quad (2.27\gamma)$$

Τα αντίστοιχα βάρη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις:

$$W_0^{(m)} = \lambda / (L + \lambda) \quad (2.28\alpha)$$

$$W_0^{(c)} = \lambda / (L + \lambda) + (1 - a^2 + \beta) \quad (2.28\beta)$$

$$W_i^{(m)} = W_i^{(c)} = 1 / \{2(L + \lambda)\} \quad (2.28\gamma)$$

$$\lambda = a^2 \cdot (L + \kappa) - L \quad (2.28\delta)$$

για $i = 1, \dots, 2L$. Η παράμετρος λ χρησιμοποιείται για λόγους μετατροπής της κλίμακας. Η κατανομή των σίγμα σημείων γύρω από το \bar{x} εκφράζεται χρησιμοποιώντας τον παράγοντα a , ο οποίος συνήθως παίρνει μια μικρή θετική τιμή, όπως 10^{-3} . Το κ είναι μια δευτερεύουσα παράμετρος μετατροπής κλίμακας, η οποία συνήθως ορίζεται ίση με το μηδέν και το β χρησιμοποιείται για την εισαγωγή της προϋπάρχουσας γνώσης στην κατανομή του x . Μια βέλτιστη τιμή για Γκαουσιανές κατανομές είναι $\beta = 2$. Τέλος, το $\sqrt{(L + \lambda) \cdot P_x}$ είναι η i -οστή γραμμή της τετραγωνικής ρίζας του πίνακα.

Το φίλτρο UKF ξεκινά με την αρχικοποίηση και περιλαμβάνει τις εξισώσεις υπολογισμού των σίγμα - σημείων, της ανανέωσης χρόνου και της ανανέωσης μετρήσεων σε κάθε σάρωση k . Η αρχικοποίηση φαίνεται παρακάτω:

$$\hat{x}_0 = E[x_0] \quad (2.29\alpha)$$

$$P_0 = E[(x_0 - \hat{x}_0) \cdot (x_0 - \hat{x}_0)^T] \quad (2.29\beta)$$

Οι εξισώσεις ανανέωσης χρόνου είναι οι εξής:

$$X_{k-1} = [\hat{x}_{k-1} \quad \hat{x}_{k-1} + \xi \cdot \sqrt{P_{k-1}} \quad \hat{x}_{k-1} - \xi \cdot \sqrt{P_{k-1}}] \quad (2.30\alpha)$$

$$X_{k|k-1} = f(X_{k-1}), \quad \hat{x}_k^- = \sum_{i=0}^{2L} W_i^{(m)} \cdot X_{i,k|k-1} \quad (2.30\beta)$$

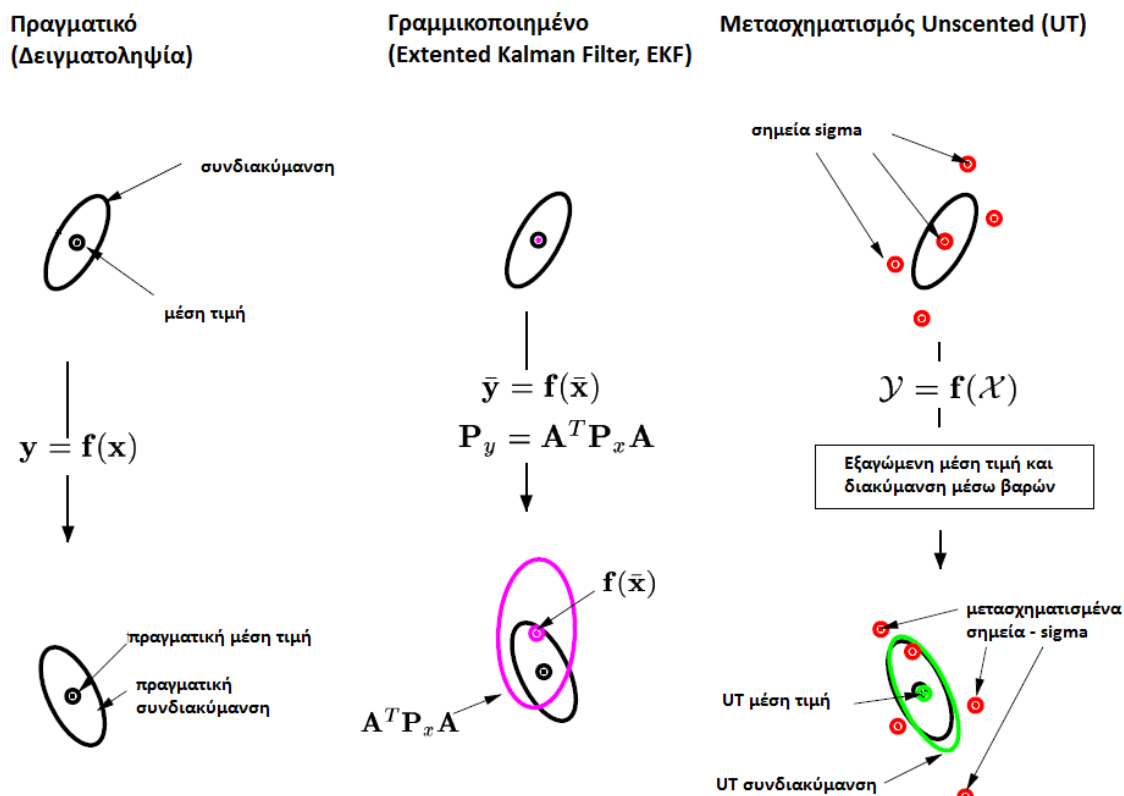
$$P_k^- = \sum_{i=0}^{2L} W_i^{(c)} \cdot (X_{i,k|k-1} - \hat{x}_k^-) \cdot (X_{i,k|k-1} - \hat{x}_k^-)^T + Q \quad (2.30\gamma)$$

$$Y_{k|k-1} = g(X_{k|k-1}), \quad \hat{y}_k^- = \sum_{i=0}^{2L} W_i^{(m)} \cdot Y_{i,k|k-1} \quad (2.30\delta)$$

όπου $\xi = \sqrt{L + \lambda}$. Επίσης, Q και R είναι οι πίνακες συνδιακύμανσης του θορύβου διαδικασίας και μέτρησης αντιστοίχως. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εξισώσεις ανανέωσης των μετρήσεων:

$$P_{\tilde{y}_k \tilde{y}_k} = \sum_{i=0}^{2L} W_i^{(c)} \cdot (Y_{i,k|k-1} - \hat{y}_k^-) \cdot (Y_{i,k|k-1} - \hat{y}_k^-)^T + R \quad (2.31\alpha)$$

$$P_{x_k y_k} = \sum_{i=0}^{2L} W_i^{(c)} \cdot (X_{i,k|k-1} - \hat{x}_k^-) \cdot (Y_{i,k|k-1} - \hat{y}_k^-)^T \quad (2.31\beta)$$



Σχήμα 2.5: Μετασχηματισμός Unscented

Τέλος, ο υπολογισμός του κέρδους και η εκτίμηση του διανύσματος κατάστασης μαζί με τον πίνακα συνδιακύμανσης του σφάλματος εκτίμησης γίνεται με βάση τις παρακάτω εξισώσεις:

$$K_k = P_{x_k y_k} \cdot P_{\tilde{y}_k \tilde{y}_k}^{-1} \quad (2.32\alpha)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k \cdot (y_k - \hat{y}_k^-) \quad (2.32\beta)$$

$$P_k = P_k^- + K_k \cdot P_{\tilde{y}_k \tilde{y}_k} \cdot K_k^T \quad (2.32\gamma)$$

Σε αντίθεση με τις γενικές μεθόδους δειγματοληψίας Monte-Carlo, ο Unscented μετασχηματισμός δεν απαιτεί τόσα πολλά σημεία δειγματοληψίας στην προσπάθεια για την αναπαραγωγή μιας ακριβούς κατανομής που θα περιγράφει την κατάσταση ενός αντικειμένου.

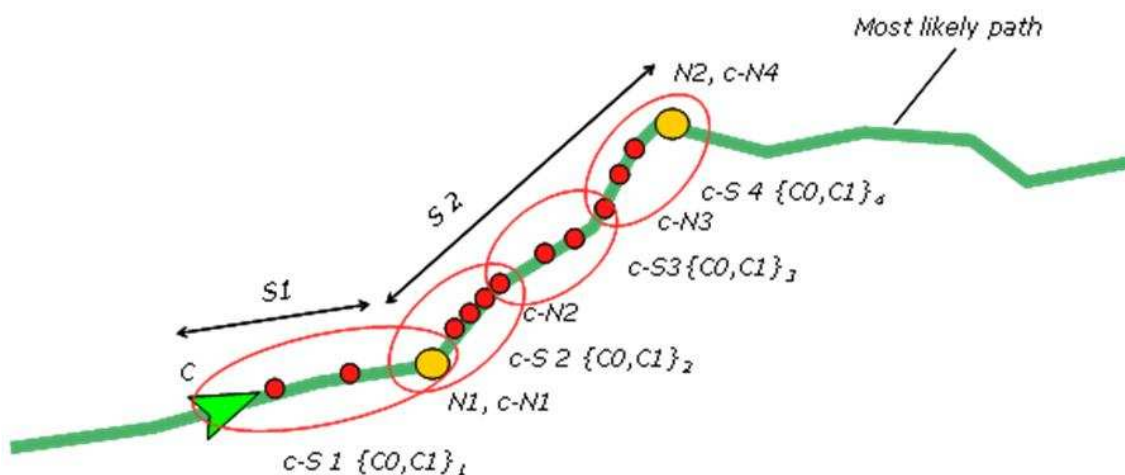
2.3.3 Περιγραφή γεωμετρίας με χρήση πολλαπλών μοντέλων clothoid

Χρησιμοποιώντας τα γεωγραφικά σημεία που παρέχονται από την βάση δεδομένων των ψηφιακών χαρτών, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η γεωμετρία του δρόμου, μπροστά από το υποκείμενο όχημα, για πολύ μεγάλες αποστάσεις μέχρι και $250 - 300m$. Για να επιτευχθεί αυτό οι συντεταγμένες των σημείων αυτών μετασχηματίζονται στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, ομαδοποιούνται και μετά εφαρμόζεται ένα φίλτρο Kalman έτσι ώστε να εκτιμηθεί η καμπυλότητα και ο ρυθμός μεταβολής της για κάθε χαρακτηριστική ομάδα σημείων του δρόμου. Σχηματικά η διαδικασία φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 2.6.



Σχήμα 2.6: Διαδικασία ανάλυσης γεωμετρίας δρόμου

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ομάδα k , η οποία ορίζεται από τον κόμβο N_{k-1} έως τον κόμβο N_k , είναι ένα μέρος του δρόμου μεταξύ δυο διαβάσεων ή άλλων σχετικών μεταβολών της τοπολογίας του δρόμου και αποτελείται από M_k κ-τμήματα, όπου $M_k \geq 1$. Η πρώτη ομάδα είναι ο δρόμος μεταξύ της τρέχουσας θέσης και του κόμβου N_1 . Οι κόμβοι δεν ταυτίζονται με όλα τα γεωγραφικά σημεία που συνθέτουν τον ηλεκτρονικό οριζοντα, αλλά μόνο με εκείνα στα οποία ο δρόμος έχει ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, π.χ. μια διασταύρωση.



Σχήμα 2.7: Τεχνική ομαδοποίησης σημείων ηλεκτρονικού οριζοντα

Ένα κ-τμήμα ορίζεται ως το κομμάτι του δρόμου το οποίο έχει τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά όσον αφορά την καμπυλότητα και τον ρυθμό μεταβολής της. Το κάθε i κ-τμήμα αποτελείται από $SP_{k,i}$, όπου $SP_{k,i} \geq 3$ (μπορεί να συμπεριλαμβάνεται η θέση του υποκείμενου

οχήματος και κόμβοι αν αυτοί αποτελούν μέρος του n -τμήματος). Το n -τμήμα ορίζεται από τον αρχικό και τον τελικό n -κόμβο. Δυο διαδοχικά n -τμήματα έχουν ένα κοινό n -κόμβο. Κάθε n -τμήμα έχει μοναδικές τιμές για την αρχική πλευρική απόκλιση, την αρχική εφαπτομενική κλίση, την καμπυλότητα και τον ρυθμό μεταβολής της καμπυλότητας. Τα n -τμήματα ορίζονται κατά μήκος του πιθανότερου μελλοντικού μονοπατιού. Στο παραπάνω σχήμα C είναι η τρέχουσα θέση του υποκείμενου οχήματος, N είναι ο κόμβος, $c - N$ είναι ο n -κόμβος, S είναι η ομάδα, $c - S$ το n -τμήμα, $C0$ η καμπυλότητα και $C1$ ο ρυθμός μεταβολής της καμπυλότητας.

Ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων των σημείων αφορά την αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων από το γεωδαιτικό σύστημα στο γεωκεντρικό σύστημα (Earth Centered, Earth Fixed - ECEF). Έπειτα ακολουθεί ο μετασχηματισμός από το γεωκεντρικό σύστημα συντεταγμένων στο τοπικό εφαπτομενικό καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Οι εξισώσεις για τον πρώτο μετασχηματισμό φαίνονται παρακάτω:

$$X = (N + h) \cdot \cos(\lambda) \cdot \cos(\phi) \quad (2.33\alpha)$$

$$Y = (N + h) \cdot \cos(\lambda) \cdot \sin(\phi) \quad (2.33\beta)$$

$$Z = [N \cdot (1 - e^2) + h] \cdot \sin(\lambda) \quad (2.33\gamma)$$

όπου e είναι η εκκεντρότητα του ελλειψοειδούς (για το WGS-84 είναι $e = 0.0818$) και:

$$N(\lambda) = a / \sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(\lambda)} \quad (2.34)$$

Τέλος, οι εξισώσεις για τον δεύτερο μετασχηματισμό είναι οι εξής:

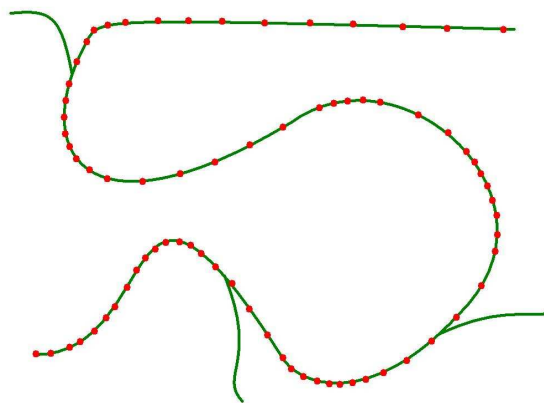
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = L \cdot \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \right) \quad (2.35\alpha)$$

$$L = \begin{bmatrix} -\sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ -\sin(\lambda) \cdot \cos(\phi) & -\sin(\lambda) \cdot \sin(\phi) & \cos(\lambda) \\ \cos(\lambda) \cdot \cos(\phi) & \cos(\lambda) \cdot \sin(\phi) & \sin(\lambda) \end{bmatrix} \quad (2.35\beta)$$

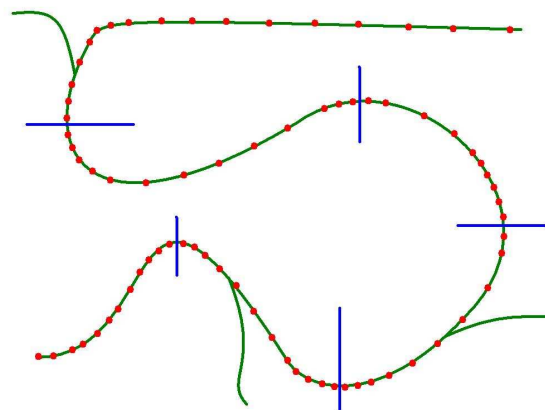
Η περιγραφή κάθε n -τμήματος βασίζεται στο μοντέλο clothoid που περιγράφεται από τις εξισώσεις (2.1), (2.3). Αναλυτικά ο αλγόριθμος ομαδοποίησης (διάγραμμα 2.12) υλοποιείται με βάση τα παρακάτω βήματα:

- Δημιουργία αρχικών τμημάτων με αναζήτηση τοπικών ελάχιστων και μέγιστων και στις δυο διαστάσεις.
- Περαιτέρω κατάτμηση με βάση το μέγεθος των τμημάτων.
- Επανένωση τμημάτων με βάση την πυκνότητα σε περίπτωση τμημάτων χαμηλής καμπυλότητας.
- Για να εξασφαλισθεί η συνέχεια γίνεται προσθήκη σε κάθε τμήμα του ενός, δυο ή τριών τελευταίων γεωγραφικών σημείων από το προηγούμενο τμήμα.

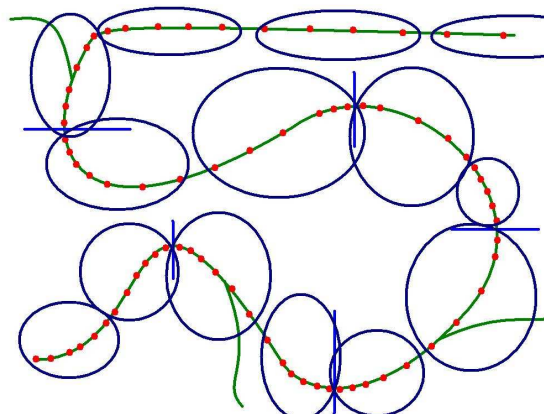
Μια εφαρμογή των παραπάνω βημάτων γραφικά φαίνεται στα σχήματα 2.8-2.11.



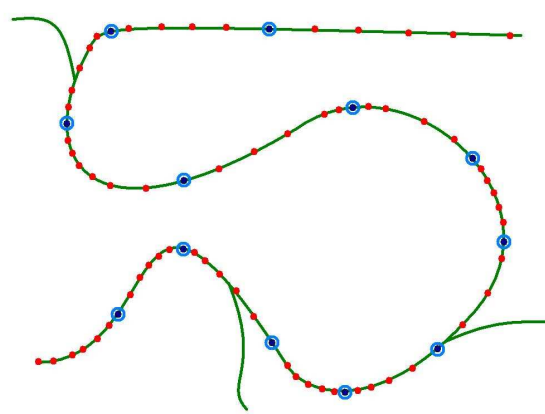
Σχήμα 2.8: Περιοχή ενός δρόμου προς



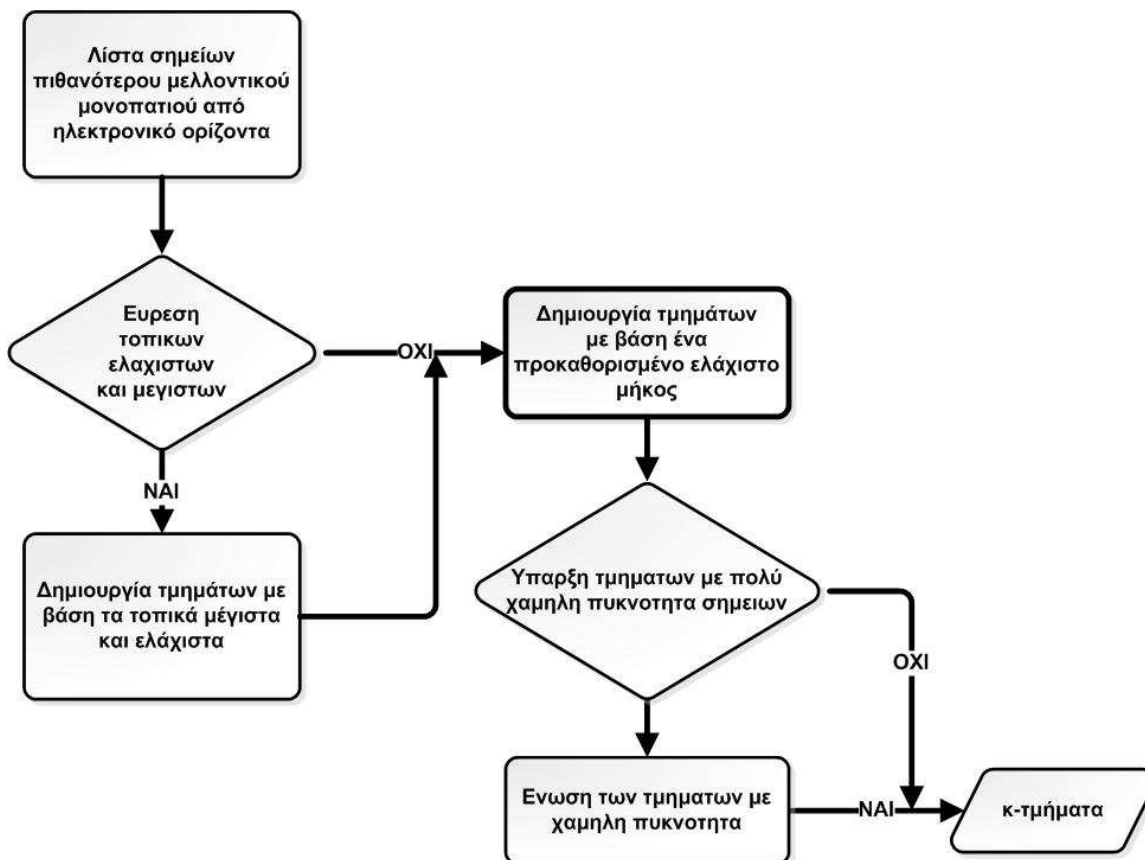
Σχήμα 2.9: Πρώτο στάδιο τμηματοποίησης



Σχήμα 2.10: Δεύτερο στάδιο τμηματοποίησης



Σχήμα 2.11: Τρίτο στάδιο τμηματοποίησης



Σχήμα 2.12: Αλγόριθμος τμηματοποίησης

Η έξοδος του αλγορίθμου τμηματοποίησης θα είναι μια λίστα με μετασχηματισμένα, στο τοπικό σύστημα, γεωγραφικά σημεία:

$$S_i = \left\{ \begin{matrix} x_j \\ y_j \end{matrix} \right\} \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, L_i \quad (2.36)$$

όπου N είναι ο αριθμός των τμημάτων και L_i είναι το μήκος του i -οστού τμήματος. Τα σημεία αυτά χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της συνολικής γεωμετρίας μέσω του φίλτρου Kalman. Ειδικότερα χρησιμοποιείται μια τράπεζα φίλτρων, στην οποία όλα τα φίλτρα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Το διάνυσμα κατάστασης του κάθε φίλτρου θα είναι το εξής:

$$x_i = [y_0^i \quad th^i \quad c_0^i \quad c_1^i]^T \quad (2.37)$$

Το διάνυσμα μέτρησης θα περιέχει όλες τις y – συντεταγμένες των μετασχηματισμένων σημείων που ανήκουν στο συγκεκριμένο k -τμήμα και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$y_i = [y_{i,1} \quad \dots \quad y_{i,L_i}]^T \quad (2.38)$$

Ο πίνακας μετάβασης θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_i = \begin{bmatrix} 1 & dx & dx^2/2 & dx^3/6 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \sqrt{dx^2 + dy^2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

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

$$dx = U \cdot dt + 0.5 \cdot A \cdot dt^2 \quad (2.40\alpha)$$

$$dy = (\omega \cdot U) \cdot dt \quad (2.40\beta)$$

Το μοντέλο που επιλέχθηκε για την ανανέωση της καμπυλότητας και αρχικής πλευρικής απόκλισης, όπως μπορεί να φανεί από την (2.39), είναι το clothoid, ενώ για την αρχική διεύθυνση και το ρυθμό μεταβολής της καμπυλότητας επιλέχθηκε ένα σταθερό μοντέλο ανανέωσης. Συνεχίζοντας, ο πίνακας μέτρησης θα έχει την παρακάτω μορφή:

$$C_i = \begin{bmatrix} 1 & x_{i,1} & x_{i,1}^2/2 & x_{i,1}^3/6 \\ 1 & x_{i,2} & x_{i,2}^2/2 & x_{i,2}^3/6 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{i,L_i} & x_{i,L_i}^2/2 & x_{i,L_i}^3/6 \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

Τέλος, οι πίνακες συνδιακύμανσης του θορύβου διαδικασίας και μέτρησης θα δίνονται αντιστοίχως από τις παρακάτω σχέσεις:

$$Q_i = q \cdot S \cdot q^T \quad (2.42\alpha)$$

$$R_i = \begin{bmatrix} \sigma_{y,1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{y,L_i}^2 \end{bmatrix} \quad (2.42\beta)$$

όπου:

$$q = \begin{bmatrix} dx & dx^3/6 \\ 1 & 0 \\ 0 & \sqrt{dx^2 + dy^2} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.43\alpha)$$

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_h^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{cr}^2 \end{bmatrix} \quad (2.43\beta)$$

όπου $\sigma_{y,1}, \dots, \sigma_{y,L_i}$ είναι οι τυπικές αποκλίσεις των μετρούμενων y συντεταγμένων των μετασχηματισμένων σημείων και σ_h, σ_{cr} του θορύβου διαδικασίας της διεύθυνσης και της καμπυλότητας αντιστοίχως. Για να εκτιμηθεί η απόδοση του αλγορίθμου η τελική έξοδος συνοδεύεται με μια τιμή εμπιστοσύνης για το κάθε τμήμα, η οποία ορίζεται ως εξής:

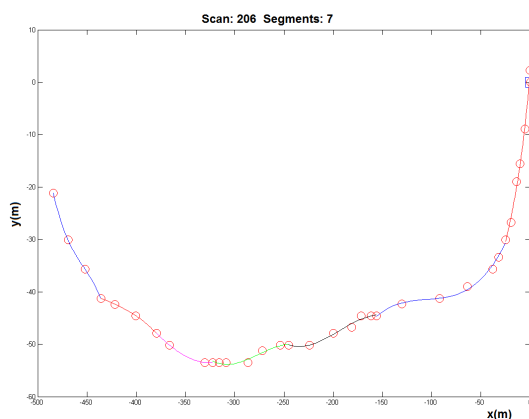
$$\sigma_M = \frac{\sigma_M^2 - \sigma_{M,MIN}^2}{\sigma_{M,MAX}^2 - \sigma_{M,MIN}^2} \cdot (n/N_{SP}) \quad (2.44)$$

όπου σ_M^2 είναι η διακύμανση της εκτιμώμενης καμπυλότητας, n είναι ο αριθμός των μετασχηματισμένων σημείων που σχηματίζουν το n -τμήμα και N_{SP} είναι ο μέγιστος αριθμός σημείων που επιτρέπονται σε κάθε n -τμήμα.

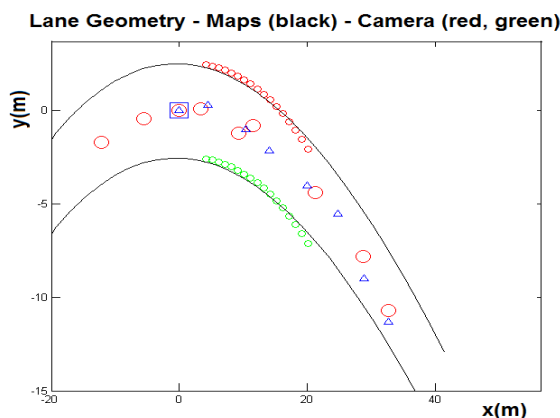
2.4 Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα

Για την υλοποίηση του παραπάνω αλγορίθμου αναπτύχθηκε βιβλιοθήκη σε C++ που ενσωματώθηκε στις εφαρμογές AdasRP της Navteq και MLPModule της Navigon (εφαρμογές διαχείρισης δεδομένων ψηφιακών χαρτών για χρήση σε συστήματα υποβοήθησης του οδηγού σε έξυπνα οχήματα) στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος SafeLane(Prevent). Η εκτιμώμενη γεωμετρία που υπολογίζονταν με βάση την παραπάνω ανάλυση μεταδίδονταν στον δίαυλο Can για να είναι διαθέσιμη στις υπόλοιπες υπολογιστικές μονάδες του συστήματος που αναπτύχθηκε. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα αφορούσε την υλοποίηση ενός συστήματος αποτροπής αλλαγής λωρίδας χωρίς την πρόθεση του οδηγού για την ενίσχυση της πλευρικής ασφάλειας του οχήματος.

Στις επόμενες δυο γραφικές παραστάσεις φαίνονται ορισμένα αποτελέσματα. Στην πρώτη εικόνα φαίνεται το αποτέλεσμα της τμηματοποίησης και η εξαγόμενη τροχιά του δρόμου (συνεχής γραμμή) με βάση τα σημεία του ηλεκτρονικού οριζοντα (κυκλικά σημεία). Τα διαφορετικά χρώματα αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά τμήματα). Στην δεύτερη εικόνα φαίνεται η μεγάλη ακρίβεια που παρέχει η γεωμετρία που υπολογίζεται με βάση τους ψηφιακούς χάρτες σε μεγάλες αποστάσεις και πως αυτή μπορεί να βοηθήσει την επέκταση των λωρίδων που ανιχνεύονται από την κάμερα. Στο συγκεκριμένο σενάριο, το όχημα κινείται σε ένα τμήμα δρόμου με υψηλό βαθμό καμπυλότητας.



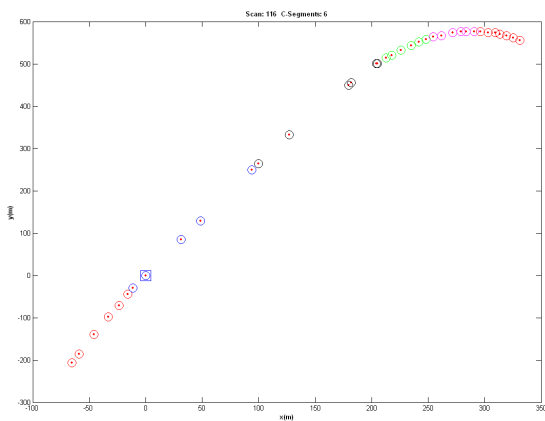
Σχήμα 2.13: Εκτίμηση γεωμετρίας σε μεγάλες αποστάσεις με την βοήθεια ψηφιακών χαρτών



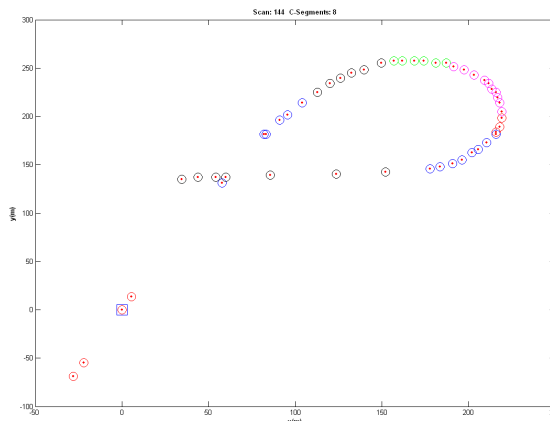
Σχήμα 2.14: Επέκταση γεωμετρίας κάμερας με την βοήθεια ψηφιακών χαρτών

Στο δεύτερο σχήμα η μαύρη συνεχής γραμμή αντιπροσωπεύει την εκτιμώμενη λωρίδα από τους χάρτες, ενώ οι κόκκινοι/πράσινοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν την γεωμετρία του δρόμου σύμφωνα με την κάμερα. Το μπλε τετράγωνο είναι το υποκείμενο όχημα, που βρίσκεται στην αρχή των αξόνων και τα μπλε τριγωνικά σημεία είναι οι προ-επεξεργασμένες μετρήσεις του GPS δέκτη, της θέσης του οχήματος μας στο μέλλον. Τέλος, με τους κόκκινους μεγάλους κύκλους στο μέσον της λωρίδας παρουσιάζονται τα μετασχηματισμένα σημεία του ηλεκτρονικού οριζοντα που παρέχονται από τους ψηφιακούς χάρτες.

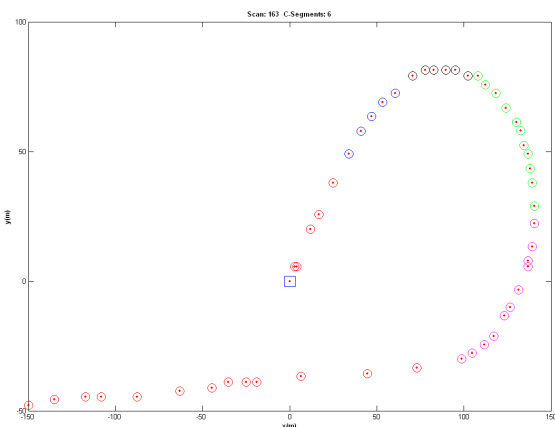
Επίσης στις επόμενες γραφικές παραστάσεις φαίνονται ορισμένα παραδείγματα εφαρμογής του αλγορίθμου σε ορισμένες σύνθετες περιπτώσεις γεωμετρίας του δρόμου.



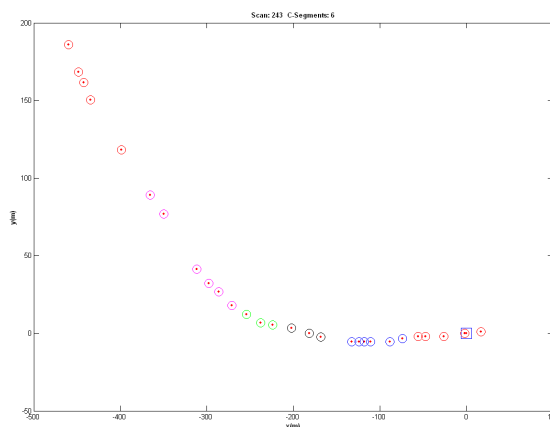
Σχήμα 2.15: Τμηματοποίηση 1



Σχήμα 2.16: Τμηματοποίηση 2



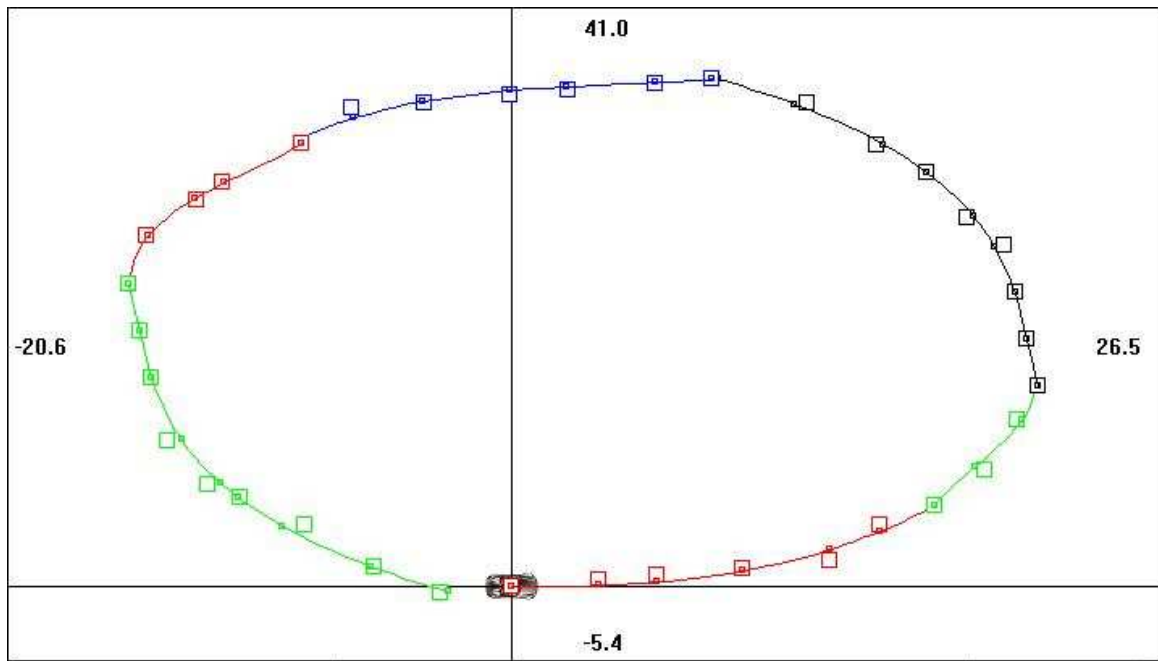
Σχήμα 2.17: Τμηματοποίηση 3



Σχήμα 2.18: Τμηματοποίηση 4

Στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις με τις κόκκινες κουκίδες παρουσιάζεται το πιθανότερο μελλοντικό μονοπάτι που παρέχει ο ηλεκτρονικός ορίζοντας και με τα χρωματιστά κυκλικά σημεία παρουσιάζεται η κατανομή των σημείων αυτών σε ομάδες σύμφωνα με το σύνολο των κανόνων που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Τέλος, στην επόμενη γραφική παράσταση παρουσιάζεται η εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου σε μια κυκλική πλατεία. Στην περίπτωση αυτή η εφαρμογή του κλασικού αλγορίθμου με την χρήση ενός μόνο μοντέλου Clothoid θα οδηγούσε σε αποτυχία του συστήματος να εκτιμήσει τη γεωμετρία του δρόμου ενώ τώρα είναι δυνατόν να εξαχθούν πλήρως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου τμήματος του δρόμου. Με την συνεχόμενη γραμμή παρουσιάζεται η τροχιά του δρόμου όπως έχει εκτιμηθεί με βάση τον αλγόριθμο που προτάθηκε στο κεφάλαιο αυτό, ενώ με τα τετραγωνικά σημεία παρουσιάζονται τα μετασχηματισμένα σημεία του ηλεκτρονικού ορίζοντα. Οι διαφορετικές αποχρώσεις χρησιμοποιούνται για να αποδώσουν την ύπαρξη των διαφορετικών τμημάτων δρόμου και πως έγινε η ανάθεση των σημείων από την βάση δεδομένων των ψηφιακών χαρτών σε κάθε τέτοιο τμήμα.



Σχήμα 2.19: Εκτίμηση γεωμετρίας σε κυκλική πλατεία

Κεφάλαιο 3

ΣΥΝΤΗΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Οι εφαρμογές οδικής ασφάλειας και ειδικά τα συστήματα προειδοποίησης εξόδου από την λωρίδα κυκλοφορίας και τα συστήματα πλευρικού ελέγχου βασίζονται στην ακριβή εκτίμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου και της λωρίδας στην οποία κινείται το όχημα. Τα υπάρχοντα συστήματα τα οποία βασίζονται στην οπτική ανίχνευση είναι αποτελεσματικά μόνο στην εύρεση της μελλοντικής αλλαγής λωρίδας αλλά δεν αναγνωρίζουν την πρόθεση που κρύβεται πίσω από κάθε ελιγμό. Η τάση στα συστήματα αυτά δείχνει να είναι περισσότερο προς την κατεύθυνση εφαρμογής περισσότερο ενεργητικών λύσεων, όπως η αναγνώριση των μη σκόπιμων αλλαγών λωρίδας και η εφαρμογή αντίρροπης δύναμης στο σύστημα ελέγχου διεύθυνσης έτσι ώστε να αποφεύγεται στις περιπτώσεις αυτές η είσοδος του οχήματος στη διπλανή λωρίδα [1]. Ο στόχος των συστημάτων αυτών είναι η αύξηση της συνολικής ασφάλειας στον δρόμο, καθώς δοκιμές μεγάλης κλίμακας ελέγχου της λειτουργικότητας τέτοιων συστημάτων έχουν δείξει ότι ένα μεγάλο ποσοστό των τροχαίων ατυχημάτων μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας τέτοια συστήματα [2,3].

Η ανάπτυξη των αλγορίθμων σχετικά με την μοντελοποίηση και την εκτίμηση των ορίων του δρόμου σε συστήματα οπτικής ανίχνευσης έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό. Οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν ενσωματωθεί κυρίως σε συστήματα προειδοποίησης αλλαγής λωρίδας των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην χρήση οπτικών αισθητήρων [4,5,6]. Από την άλλη, οι εκτιμητές των ορίων του δρόμου που βασίζονται στη χρήση αισθητήρων εύρεσης της απόστασης αντικειμένων έχουν μικρή ιστορία [7]. Η αρχική προσέγγιση του προβλήματος έγινε με συστήματα που χρησιμοποιούν κυρίως σαρωτές laser χάρη στην υψηλή ανάλυση και στο μεγάλο εύρος της γωνίας ανίχνευσης [8] που προσφέρουν. Παρ' όλα αυτά έχει αποδειχθεί [7] ότι ένας μικρό-κυματικός αισθητήρας (ραντάρ) υψηλής ευκρίνειας θα μπορούσε επίσης να προσφέρει αξιόπιστα αποτελέσματα στην εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου. Επίσης, όπως έχει παρουσιαστεί στο [9], μπορεί να επιτευχθεί η ταυτόχρονη ανίχνευση του τύπου και των ορίων του δρόμου χρησιμοποιώντας ένα σαρωτή λέιζερ μονής δέσμης τοποθετημένο στο μπροστινό μέρος του αυτοκινήτου. Στο [10] η εκτίμηση των ορίων του δρόμου χρησιμοποιώντας ένα σαρωτή λέιζερ επιτυγχάνεται με την επεξεργασία του σήματος του λέιζερ και συγκεκριμένα της απόστασης και της ανακλαστικότητας. Οι τεχνικές συνδυασμού δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες έχουν αρχίσει να κερδίζουν έδαφος. Στο [11] η αυτόματη ανίχνευση των ορίων του δρόμου και της λωρίδας κυκλοφορίας γίνεται συνδυάζοντας πληροφορίες από μια κάμερα και ένα ενεργό W-band αισθητήρα απεικόνισης ραντάρ, τοποθετημένους στο μπροστινό μέρος του οχήματος.

Οι τρέχουσες ερευνητικές προσπάθειες στοχεύουν στην ικανοποίηση του αιτήματος για την ανάπτυξη ενός συστήματος το οποίο θα λειτουργεί κάτω από ένα ευρύ φάσμα συνθηκών [17]. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να αντιμετωπίζει περιπτώσεις όπου οι διαχωριστικές γραμμές της λωρίδας κυκλοφορίας δεν υπάρχουν ή είναι δυσδιάκριτες, ή η ορατότητα είναι περιορισμένη λόγω κακών καιρικών συνθηκών οι οποίες περιορίζουν την απόδοση των οπτικών αισθητήρων. Άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η επιπλέον κυκλοφορία στο δρόμο, η πρόθεση του οδηγού και οι περίπλοκες περιπτώσεις ελιγμών όπως είναι η προσπέραση. Η λειτουργική ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων συνοδεύεται με έρευνες που στοχεύουν στην διαδικασία ενοποίησης όλων των υποστηρικτικών συστημάτων διατήρησης

λωρίδας [1]. Επιπλέον, καθώς η γενική κατεύθυνση των συστημάτων οδικής ασφαλείας είναι προς την πλευρά της ενοποίησης όλων των εφαρμογών και όλων των αλγορίθμων επεξεργασίας δεδομένων [18], χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός αισθητήρων εγκατεστημένων στο όχημα, ώστε να καλύπτεται ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων. Παράλληλα, αναδεικνύεται η ανάγκη για μια γενική μέθοδο χρήσης αυτών των δεδομένων.

Η γεωμετρία του δρόμου στον οποίο κινείται το αυτοκίνητο μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση διαφόρων αισθητήρων και πηγών πληροφορίας. Σκοπός των αλγορίθμων που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό είναι η βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων που χρησιμοποιούν μόνο μια κάμερα για την ανίχνευση της γεωμετρίας του δρόμου, με την αξιοποίηση περισσότερων πηγών πληροφορίας καταλήγοντας σε ένα σύστημα το οποίο μπορεί να προσαρμόσει τη λειτουργία του ανάλογα με τη τρέχουσα κατάσταση. Το προτεινόμενο σύστημα εκτός από μια CMOS κάμερα η οποία ανιχνεύει τις γραμμές των λωρίδων κυκλοφορίας ή τα όρια του δρόμου, περιλαμβάνει επίσης ένα σύστημα εύρεσης θέσης που συνοδεύεται από ψηφιακούς χάρτες, οι οποίοι έχουν αποθηκευμένα τα χαρακτηριστικά του δρόμου σε μια εκτεταμένη βάση δεδομένων και μπορούν να παρέχουν ανά οποιαδήποτε στιγμή τις πληροφορίες που απαιτούνται. Επίσης περιλαμβάνει ένα εκτεταμένο δίκτυο ραντάρ που ανιχνεύουν όλα τα κινούμενα αντικείμενα στον δρόμο. Στην περίπτωση αυτή η εξαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου μπορεί να γίνει με κατάλληλη επεξεργασία των συντεταγμένων των κινούμενων αντικειμένων. Περιλαμβάνεται επίσης ένας σαρωτής λέιζερ ο οποίος ανιχνεύει, εκτός από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου, και την απόσταση από το άκρο του. Τέλος, η εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου γίνεται δυναμικά με χρήση της κινητικής κατάστασης του υποκείμενου οχήματος. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται μια μέθοδος σύντηξης όλων των παραπάνω πληροφοριών έτσι ώστε:

- Να αυξηθεί η συνολική διαθεσιμότητα και ανθεκτικότητα του συστήματος υποβοήθησης του οδηγού
- Να αυξηθεί η ακρίβεια εκτίμησης των διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών της λωρίδας στην οποία κινείται το όχημα μας με το συνδυασμό πολλαπλών πληροφοριών.

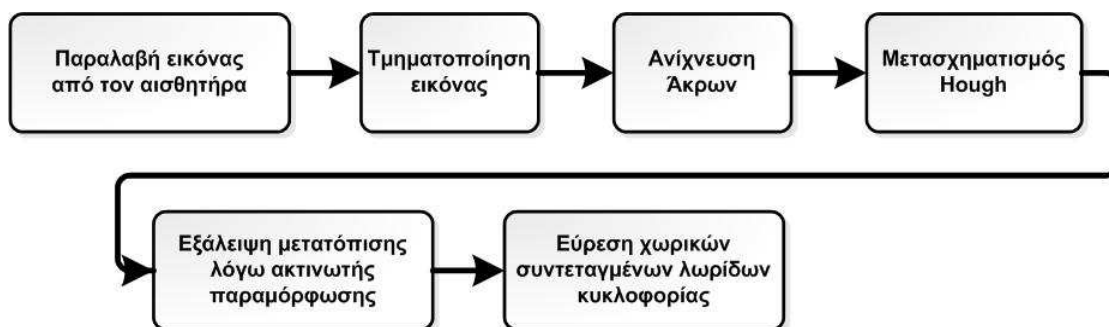
3.2 Πηγές πληροφορίας για την εξαγωγή της γεωμετρίας του δρόμου

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται εν συντομία οι πηγές πληροφορίας που χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να εξαχθεί μια αξιόπιστη εκτίμηση για την γεωμετρία του δρόμου κάνοντας χρήση τεχνικών σύντηξης δεδομένων. Αρχικά αναφέρονται ορισμένα στοιχεία σχετικά με την επεξεργασία εικόνας τα οποία χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λωρίδας κυκλοφορίας στην οποία κινείται το υποκείμενο όχημα. Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος εξαγωγής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου κάνοντας χρήση των τροχιών που διαγράφουν τα αντικείμενα που ανιχνεύονται από το ραντάρ. Έπειτα γίνεται περιγραφή του τρόπου εξαγωγής της καμπυλότητας του δρόμου με βάση τη δυναμική κατάσταση του οχήματος. Τέλος, γίνεται μια σύντομη περιγραφή της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή της γεωμετρίας του δρόμου με βάση δεδομένα που λαμβάνονται από τον σαρωτή λέιζερ. Ο αλγόριθμος για την εξαγωγή της γεωμετρίας με βάση τους ψηφιακούς χάρτες αναλύθηκε διεξοδικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σε όλες τις περιπτώσεις το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου είναι το clothoid.

3.2.1 Επεξεργασία εικόνας για την ανίχνευση του δρόμου

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά ένας αλγόριθμος ανίχνευσης λωρίδων στον δρόμο στον οποίο κινείται το υποκείμενο όχημα. Στον αλγόριθμο ανίχνευσης λωρίδων κυκλοφορίας, η τμηματοποίηση (segmentation) και η αφαίρεση των σιων επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας την τιμή απόχρωσης του χρώματος για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Δεδομένου ότι οι λωρίδες κυκλοφορίας έχουν μακριές και ομαλές καμπύλες, ανιχνεύονται χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Hough. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος ανίχνευσης λωρίδων κυκλοφορίας μπορεί να εφαρμοστεί στους δρόμους με σωστή διαγράμμιση ανεξάρτητα αν ο δρόμος είναι ευθύς ή έχει καμπυλότητα.

Στο σχήμα 2 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής του προτεινόμενου αλγόριθμου εντοπισμού λωρίδων κυκλοφορίας. Αποτελείται από επτά βήματα: σύλληψη εικόνας (image capturing), τμηματοποίηση εικόνας (image segmentation), ανίχνευση άκρων (edge detection), μετασχηματισμός Hough (Hough Transform, HT), ανίχνευση λωρίδων κυκλοφορίας (lane tracking), αναίρεση μετατόπισης που προκαλείται από την ακτινωτή παραμόρφωση (radial distortion) και τέλος εύρεση χωρικών συντεταγμένων των λωρίδων κυκλοφορίας μέσω της μήτρας βαθμονόμησης (calibration matrix).



Σχήμα 3.1: Αλγόριθμος ανίχνευσης λωρίδων

3.2.2 Εκτίμηση γεωμετρίας δρόμου με χρήση σαρωτή λέιζερ

Η διαδικασία ιχνηλάτισης των ορίων του δρόμου με επεξεργασία δεδομένων από τον σαρωτή λέιζερ εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την κίνηση του υποκείμενου οχήματος και την επιλογή του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί για την μαθηματική αναπαράσταση των διαφόρων τμημάτων του δρόμου. Η κίνηση του υποκείμενου οχήματος ορίζει την μετατόπιση του και επομένως καθορίζει το ποσοστό μετατόπισης του συστήματος συντεταγμένων μεταξύ δυο διαδοχικών καταστάσεων του συστήματος. Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται και σε αυτήν την περίπτωση ανίχνευσης της γεωμετρίας του δρόμου είναι το clothoid (εξίσωση 2.3). Πιο συγκεκριμένα ορίζονται δυο πολυώνυμα με τις ίδιες παραμέτρους c_0 και c_1 , αλλά διαφορετικούς τους σταθερούς συντελεστές y_{0l} και y_{0r} . Τα δυο αυτά πολυώνυμα περιγράφουν το αριστερό και το δεξί άκρο του δρόμου αντίστοιχα. Το διάνυσμα κατάστασης λοιπόν που θα περιγράφει τον δρόμο θα είναι:

$$x_{RB} = [c_0 \quad c_1 \quad y_{0l} \quad y_{0r}]^T \quad (3.1)$$

Χρησιμοποιώντας στη συνέχεια ένα φίλτρο Kalman είναι δυνατόν να εκτιμηθούν οι παράμετροι του μοντέλου clothoid που δίνουν την γεωμετρική αναπαράσταση του δρόμου, όπως περιγράφεται στο [14].

3.2.3 Εύρεση καμπυλότητας με χρήση δεδομένων ραντάρ

Η εύρεση της καμπυλότητας με την χρήση των πληροφοριών που προέρχονται από τους μικροκυματικούς αισθητήρες βασίζεται στην ανάλυση των τροχιών των αντικειμένων που ανιχνεύονται. Ο αλγόριθμος αυτός ονομάζεται και αλγόριθμος ιχνηλασίας ίχνων, όπου ως ίχνος αναφέρεται η προσωρινή θέση ενός αντικείμενου. Η λογική του αλγορίθμου που θα χρησιμοποιηθεί έχει την βάση της στην παραδοχή ότι οι τροχιές των αντικειμένων αυτών, εάν υποθεθεί ότι η ροή της κυκλοφορίας είναι ομαλή, θα είναι παράλληλες στην καμπύλη του δρόμου. Μάλιστα, επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια, εάν υπάρχει μεγάλος αριθμός προπορευόμενων οχημάτων και αν τα οχήματα αυτά δεν εκτελούν ελιγμούς (π.χ. προσπεράσεις, αλλαγές λωρίδας ή έξοδο από τον κεντρικό δρόμο).

Η αναπαράσταση της κυκλοφοριακής ροής μπορεί να επιτευχθεί, δημιουργώντας μια προσωρινή μνήμη για κάθε προπορευόμενο όχημα, και αποθηκεύοντας σε αυτήν σε κάθε χρονική στιγμή την τρέχουσα θέση του κάθε αντικειμένου που ανιχνεύεται από το ραντάρ, ως προς το σχετικό σύστημα συντεταγμένων. Όλες αυτές οι μνήμες ανανεώνονται σε κάθε νέο κύκλο επεξεργασίας, χρησιμοποιώντας την τρέχουσα δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος (ταχύτητα, επιτάχυνση, γωνιακή ταχύτητα), καθώς το αυτοκίνητο κινείται και το σύστημα συντεταγμένων μεταβάλλεται.

Ας υποθέσουμε ότι N_{TO} είναι ο συνολικός αριθμός των αντικειμένων που ιχνηλατούνται από τη κεντρική μονάδα επεξεργασίας και βρίσκονται εντός του δρόμου κινούμενα εμπρός του υποκείμενου οχήματος και προς την ίδια κατεύθυνση. Για κάθε ένα από αυτά δημιουργείται μια προσωρινή μνήμη B_i ($i=1,2,\dots,N_{TO}$) χρησιμοποιώντας την φιλτραρισμένη εκτίμηση θέσης (ίχνος). Η μνήμη αυτή μπορεί να θεωρηθεί σαν μια στοίβα, όπου κάθε νέα εκτίμηση θέσης εισάγεται στην κορυφή της. Εάν θεωρηθεί ένα σταθερό μήκος N_B για την μνήμη, τότε εάν το συνολικό πλήθος στοιχείων που είναι αποθηκευμένα ξεπεράσει το μήκος αυτό, τότε το τελευταίο στοιχείο διαγράφεται. Σε κάθε κύκλο επεξεργασίας, πριν την εισαγωγή της νέας εκτίμησης θέσης $(x, y)_i$ στην στοίβα, οι παλιές τιμές $(x_j, y_j)_i$ ($j=1,2,\dots,N_B$) ανανεώνονται χρησιμοποιώντας την μετατόπιση του οχήματος, με βάση τις παρακάτω σχέσεις:

$$dx = 0.5 \cdot \omega \cdot U \cdot T^2 \quad (3.2\alpha)$$

$$dy = U \cdot T + 0.5 \cdot A \cdot T^2 \quad (3.2\beta)$$

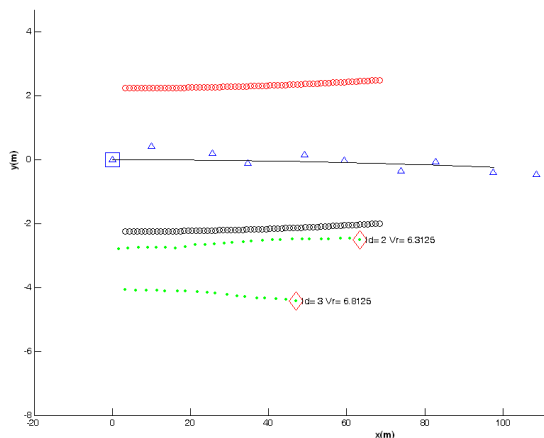
όπου $[U \quad A \quad \omega]^T$ είναι το διάνυσμα κατάστασης του οχήματος (ταχύτητα, επιτάχυνση, γωνιακή ταχύτητα). Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την ανανέωση της θέσης του υποκείμενου οχήματος ήταν το μοντέλο σταθερής επιτάχυνσης. Έτσι λοιπόν, η μετάβαση στο καινούργιο σύστημα συντεταγμένων γίνεται ως εξής:

$$x_{ji}(k+1) = [x_{ji}(k) - dx] \cdot \cos(d\varphi) - [y_{ji}(k) - dy] \cdot \sin(d\varphi) \quad (3.3\alpha)$$

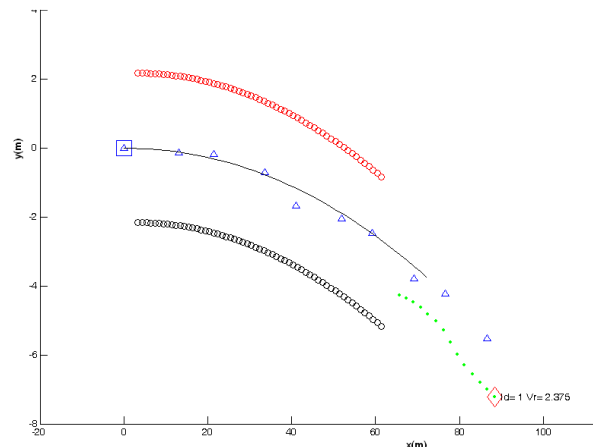
$$y_{ji}(k+1) = [y_{ji}(k) - dy] \cdot \cos(d\varphi) + [x_{ji}(k) - dx] \cdot \sin(d\varphi) \quad (3.3\beta)$$

Εφόσον γίνει η ανανέωση θέσης στην στοίβα, τότε ακολουθεί η εισαγωγή της νέας εκτίμησης θέσης. Έπειτα ακολουθούν ορισμένοι έλεγχοι. Ο πρώτος έχει να κάνει με το πλήθος των στοιχείων στη στοίβα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ο δεύτερος σχετίζεται με το συνολική απόσταση μεταξύ της πρώτου και του τελευταίου στοιχείου μέσα στην μνήμη, η οποία εάν είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι, τότε γίνεται η τελική επεξεργασία των δεδομένων για την ανάκτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου. Αυτό συμβαίνει γιατί για πολύ μικρές τροχιές ίχνων, η γεωμετρία τους δεν ταυτίζεται με την πραγματική γεωμετρία του δρόμου. Στη συνέχεια, όλα τα στοιχεία των επιμέρους προσωρινών μνημών μεταφέρονται σε μια τελική στοίβα, και γίνεται κατάλληλη μετατόπιση συντεταγμένων έτσι ώστε το τελευταίο ίχνος να ταυτίζεται με την αρχή των αξόνων. Μετά ακολουθεί ταξινόμηση της λίστας με τα ίχνη ανάλογα με την απόσταση τους από την αρχή των αξόνων.

Τελικά, εφαρμόζεται ένας εκτιμητής Kalman, χρησιμοποιώντας ως μετρήσεις την λίστα με τις συντεταγμένες του κάθε ίχνους και ως μοντέλο μετάβασης κατάστασης το μοντέλο clothoid.



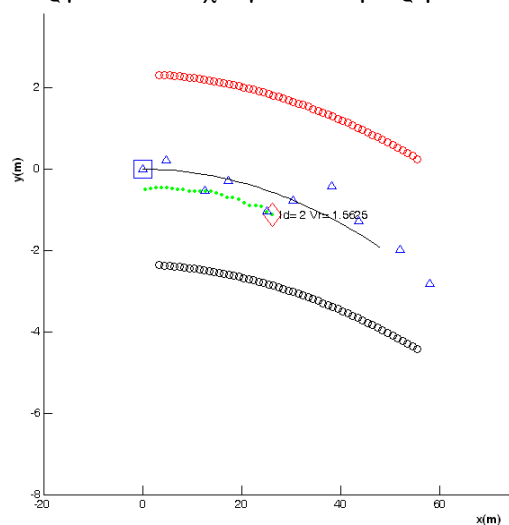
Σχήμα 3.2: Σενάριο 1



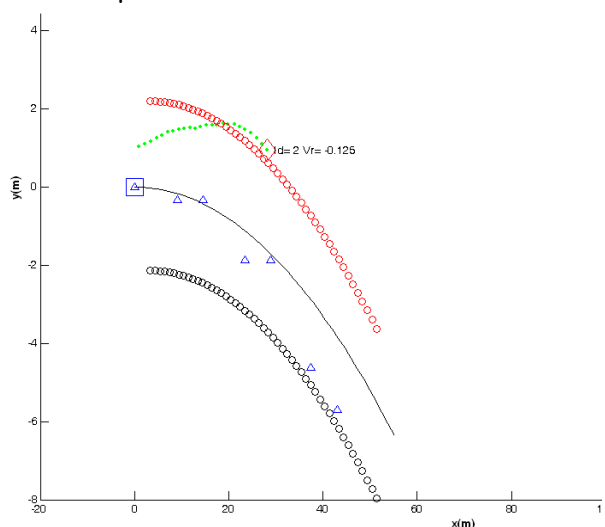
Σχήμα 3.3: Σενάριο 2

Στις γραφικές παραστάσεις (3.2-3.5) παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα όπου εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ιχνηλασίας ιχνών. Στο πρώτο σενάριο το υποκείμενο όχημα κινείται σε ίσιο δρόμο και δυο άλλα αυτοκίνητα κινούνται στην γειτονική λωρίδα. Στο δεύτερο σενάριο που παρουσιάζεται, το υποκείμενο όχημα κινείται σε καμπύλο τμήμα δρόμου και ακολουθεί ένα άλλο αυτοκίνητο. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί και στις δυο περιπτώσεις, όταν τα προπορευόμενα οχήματα δεν εκτελούν ελιγμούς, τότε τα ίχνη τους είναι παράλληλα στις γραμμές των λωρίδων κυκλοφορίας που ανιχνεύονται από την κάμερα. Στην περίπτωση αυτή, η εξαγόμενη καμπυλότητα και ρυθμός μεταβολής της καμπυλότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και όταν η κάμερα αποτυγχάνει να ανιχνεύσει τις λωρίδες στον δρόμο, ή στην περίπτωση που χρειάζεται να επεκταθεί η εκτιμώμενη γεωμετρία πέραν της μέγιστης απόστασης που δίνει η κάμερα για την γεωμετρική εκτίμηση που κάνει.

Με το κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η αριστερή γραμμή της λωρίδας και με το μαύρο η δεξιά. Το μεγάλο τετράγωνο αντιπροσωπεύει το υποκείμενο όχημα που βρίσκεται πάντα στην αρχή των αξόνων. Επίσης, παρουσιάζεται με την μαύρη συνεχόμενη γραμμή η μελλοντική πορεία του υποκείμενου οχήματος, και οι κόκκινοι ρόμβοι δείχνουν τα ιχνηλατημένα αντικείμενα από το ραντάρ. Οι πράσινες τελείες δείχνουν τα ίχνη των αντικειμένων αυτών και τα μπλε τριγωνικά σημεία δείχνουν την μελλοντική πορεία του υποκείμενου οχήματος ύστερα από την προεπεξεργασία που έχει γίνει στις μετρήσεις του GPS δέκτη.



Σχήμα 3.4: Σενάριο 3



Σχήμα 3.5: Σενάριο 4

Στο τρίτο σενάριο το υποκείμενο όχημα κινείται σε μια στροφή μαζί με ένα προπορευόμενο αυτοκίνητο σε κοντινή απόσταση χωρίς να εκτελούνται ελιγμοί. Τέλος, το τέταρτο σενάριο είναι ακριβώς το ίδιο μόνο που σε αυτήν περίπτωση το προπορευόμενο όχημα αρχίζει να εκτελεί έναν ελιγμό αλλαγής λωρίδας. Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται, ο αλγόριθμος ιχνηλασίας δεδομένων δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Για τον λόγο αυτό η πλευρική ταχύτητα των προπορευόμενων οχημάτων παρακολουθείται, έτσι ώστε να μπορούν να εντοπιστούν οι περιπτώσεις αυτές κατά τις οποίες τα αντικείμενα μπροστά από το υποκείμενο όχημα βρίσκονται σε διαδικασία ελιγμού. Στις περιπτώσεις αυτές, τα ίχνη των συγκεκριμένων αντικειμένων δεν λαμβάνονται υπόψη από τον αλγόριθμο, ή λαμβάνονται με μικρότερη εμπιστοσύνη όταν ο ελιγμός δεν είναι τόσο έντονος.

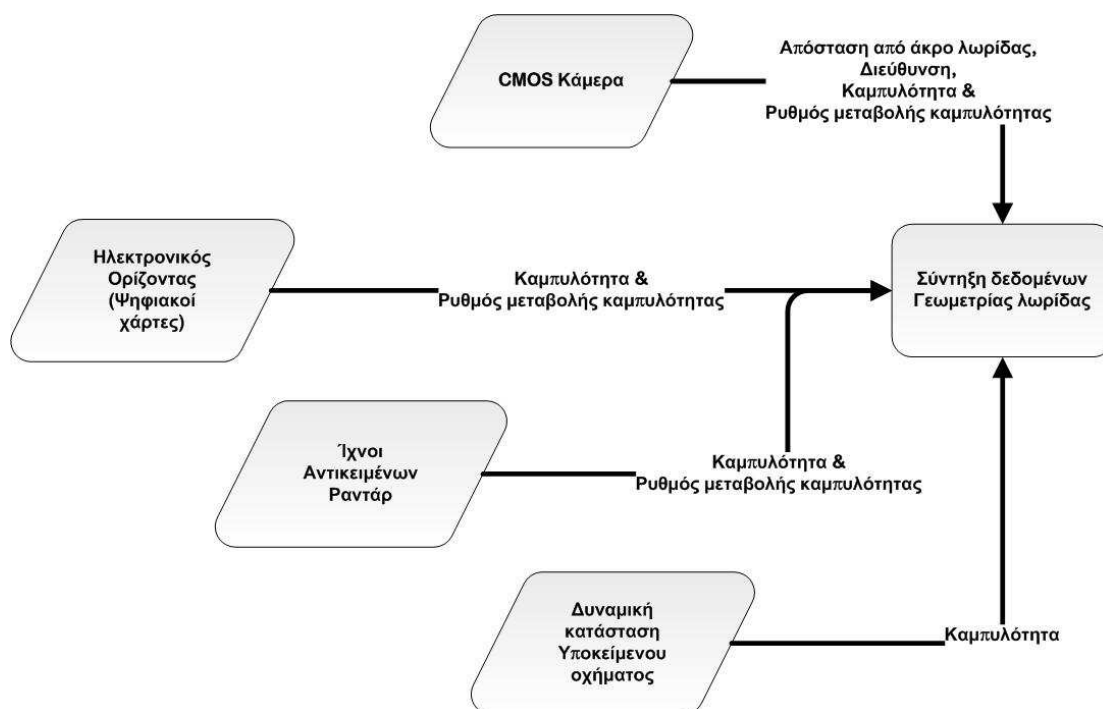
3.2.4 Εύρεση καμπυλότητας με χρήση της κινηματικής του ιδίου οχήματος

Η εύρεση της καμπυλότητας με βάση την δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος βασίζεται στην λογική ότι σε συνηθισμένες συνθήκες ροής κυκλοφορίας η τροχιά που θα διαγράφει το όχημα θα είναι παράλληλη προς τα όρια του δρόμου. Επομένως χρησιμοποιώντας την ταχύτητα του U και την γωνιακή ταχύτητα ω μπορεί να υπολογιστεί η τρέχουσα καμπυλότητα c της τροχιάς που διαγράφει με βάση την παρακάτω σχέση:

$$c = \frac{\omega}{U} \quad (3.4)$$

3.3 Σύντηξη δεδομένων για την εξαγωγή της γεωμετρίας του δρόμου

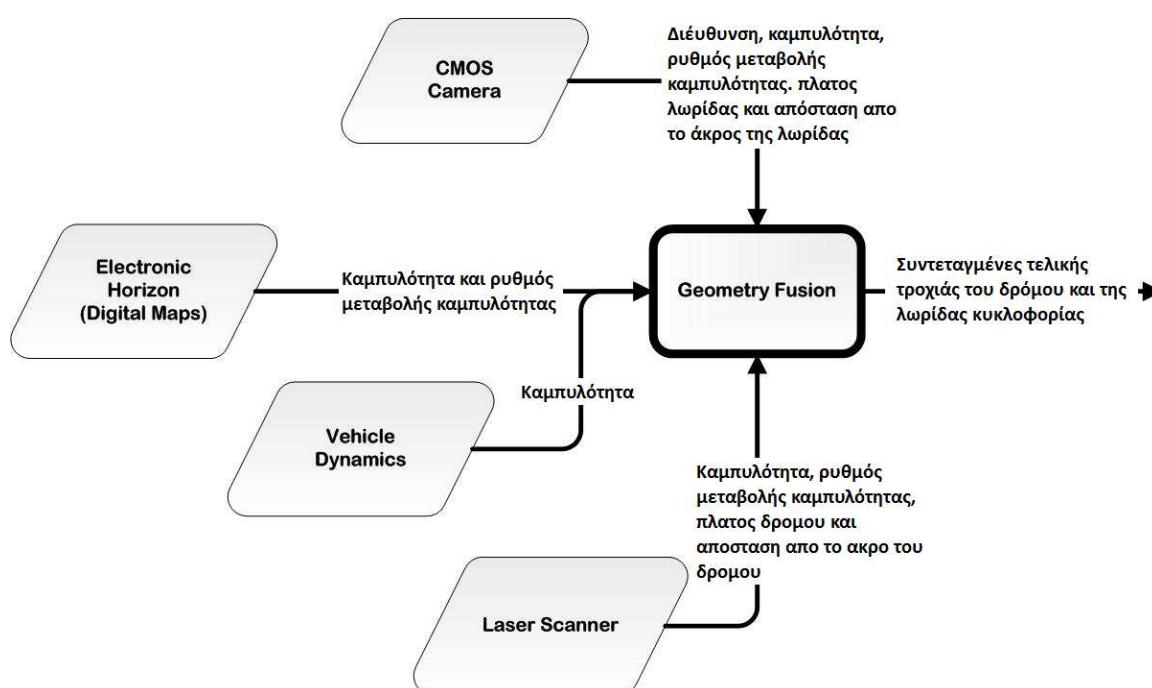
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω προκειμένου να αυξηθούν οι επιδόσεις του συστήματος υποβοήθησης του οδηγού εφαρμόζεται η σύντηξη δεδομένων για την εξαγωγή της γεωμετρίας του δρόμου κάνοντας χρήση πληροφοριών από πολλαπλές πηγές. Υπήρξαν δυο διαφορετικές εκδοχές του συστήματος οι οποίες εξετάστηκαν.



Σχήμα 3.6: Πηγές πληροφορίας για την σύντηξη δεδομένων της γεωμετρίας του δρόμου (Συστημα 1)

Η πρώτη (Σύστημα 1) αφορούσε όλες τις πηγές πληροφορίας εκτός τον σαρωτή λέιζερ, ενώ στην δεύτερη εκδοχή (Σύστημα 2) υπήρχαν όλες οι πηγές πληροφορίας εκτός του ραντάρ. Συνοπτικά οι πηγές πληροφορίας που χρησιμοποιούνται για την σύντηξη της γεωμετρίας του δρόμου στο Σύστημα 1 φαίνονται στο σχήμα (3.6).

Η πρώτη μέθοδος που προτείνεται βασίζεται στην υλοποίηση ενός αλγόριθμου σύντηξης στο χωρικό πεδίο με βάση κάνοντας χρήση προκαθορισμένων κανόνων για την αντιμετώπιση διαφορετικών περιπτώσεων. Η μέθοδος αυτή δοκιμάστηκε στο Σύστημα 1. Επίσης σχεδιάστηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος βασίζεται στην σύντηξη των δεδομένων για την εξαγωγή της γεωμετρίας του δρόμου με βάση ένα ασαφές σύστημα. Ο αλγόριθμος αυτός εξετάστηκε μόνο στην δεύτερη εκδοχή του συστήματος (Σύστημα 2). Τέλος, γίνεται πρόταση για ένα συνδυαστικό αλγόριθμο που θα συνδυάζει τους δυο πρώτους αλγορίθμους και ο οποίος βελτιώνει σημαντικά την απόδοση τους. Η περίπτωση αυτή εξετάστηκε επίσης μόνο στην εκδοχή που περιλαμβάνει τον σαρωτή λέιζερ (Σύστημα 2). Συνοπτικά οι πηγές πληροφορίας που χρησιμοποιούνται για την σύντηξη της γεωμετρίας του δρόμου στο Σύστημα 2 φαίνονται στο σχήμα (3.7).

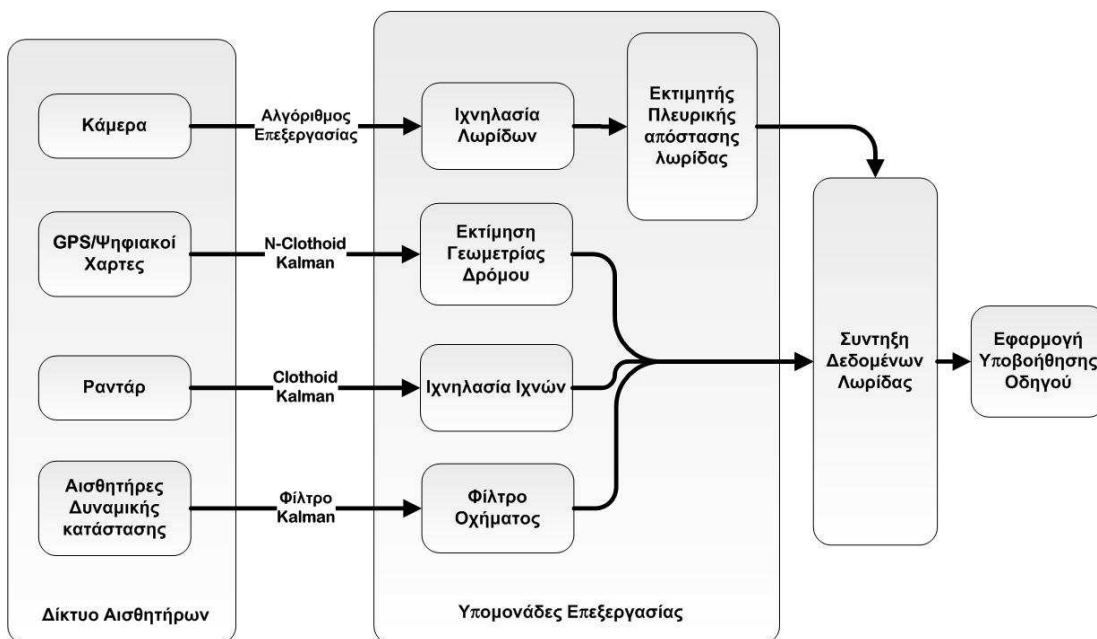


Σχήμα 3.7: Πηγές πληροφορίας για την σύντηξη δεδομένων της γεωμετρίας του δρόμου (Συστημα 2)

3.3.1 Σύντηξη δεδομένων στο χωρικό πεδίο με χρήση βαρών (Σύστημα 1)

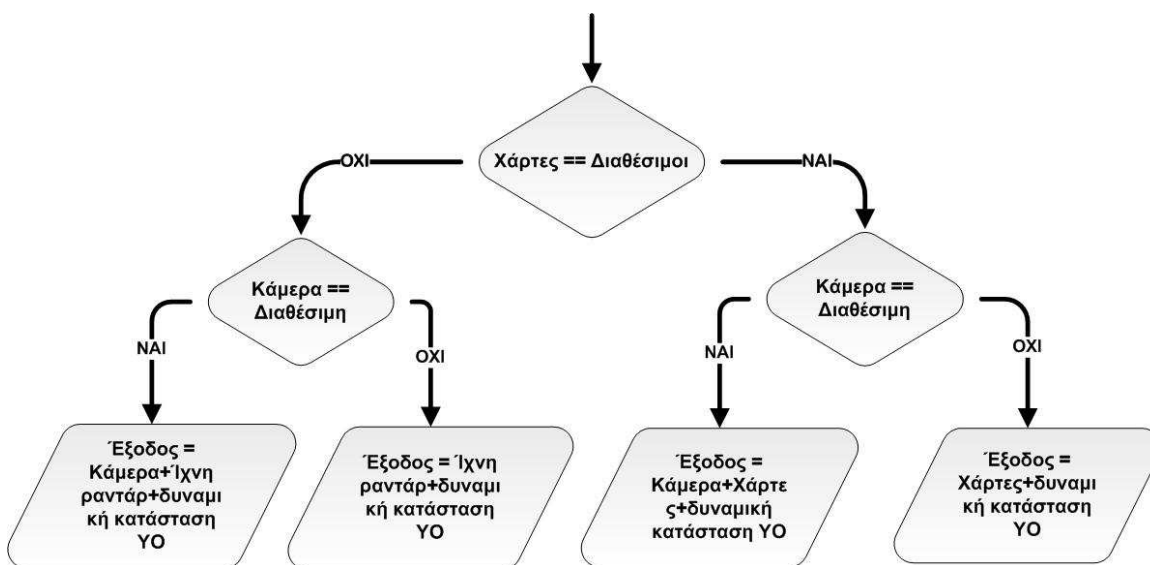
Με την μέθοδο αυτή γίνεται συνδυασμός των χαρακτηριστικών του δρόμου από τις διάφορες πηγές πληροφορίας με χρήση κατάλληλων βαρών τα οποία προκύπτουν με βάση τα σφάλματα εκτίμησης των επιμέρους παραμέτρων. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό του τελικού αποτελέσματος η απόσταση από την αρχή των αξόνων, ώστε να ληφθεί υπόψη και το εύρος ακριβείας των επιμέρους αισθητήρων. Η υπομονάδα σύντηξης φαίνεται σχηματικά στο διάγραμμα του σχήματος 3.8. Όπως φαίνεται υπάρχουν συνολικά τέσσερις πηγές πληροφορίας. Ο συνδυασμός τους αποτελεί την μοναδική λύση για την επίτευξη ενός άκρως διαθέσιμου και αποτελεσματικού συστήματος για εφαρμογές διατήρησης λωρίδας. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει μια κοινή μέθοδος για την σύντηξη των χαρακτηριστικών της λωρίδας είτε στο επίπεδο των συντεταγμένων είτε στο επίπεδο των συντελεστών της εξίσωσης με βάση την οποία προκύπτουν οι συντεταγμένες της λωρίδας, όπως έχει προταθεί στο [69], είτε ακόμα και με απλούστερο τρόπο στο [72]. Για αυτό κάθε πηγή θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με ξεχωριστό τρόπο, εφόσον εσφαλμένα δεδομένα ή

ακόμα και απουσία κάποιας πηγής μπορεί να οδηγήσει στην αναποτελεσματικότητα του συνολικού εκτιμητή. Στο [72] και στο [75] έχουν εισαχθεί εμπειρικοί κανόνες συνδυαστικής εκτίμησης.



Σχήμα 3.8: Υπομονάδα σύντηξης δεδομένων γεωμετρίας λωρίδας

Ο σχεδιαστής του συστήματος θα πρέπει να έχει υπόψη του συνέχεια ότι τα χαρακτηριστικά της λωρίδας θα πρέπει να εκτιμούνται από το οπτικό σύστημα ανίχνευσης, εάν είναι διαθέσιμο. Αυτή η τεχνική ακολουθήθηκε στο [74] για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα χρησιμοποιώντας DGPS ενημέρωση θέσης. Μετά μια προσαρμοστική επιλογή των βαρών που αποδίδονται στην κάθε πηγή πληροφορίας και εμπειρική ανάθεση με βάση την προϊστορία είναι πιο υποσχόμενη από την τυφλή χρήση των συντελεστών διακύμανσης των εκτιμώμενων μεγεθών από κάθε πηγή, όπως θα εξηγηθεί στην συνέχεια.



Σχήμα 3.9: Κανόνες σύντηξης δεδομένων από τις διάφορες πηγές πληροφορίας

Η βασική σύντηξη πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από την κάμερα και το σύστημα ανίχνευσης γεωμετρίας με βάση τους ψηφιακούς χάρτες. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λωρίδας που εξάγονται από τον ηλεκτρονικό οριζόντα, δίνονται με την μορφή τμημάτων, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Έτσι με βάση το μήκος του πρώτου τμήματος, η σύντηξη πληροφοριών πραγματοποιείται στο πρώτο και πιθανόν σε σπάνιες περιπτώσεις στο δεύτερο τμήμα. Οι κανόνες που χρησιμοποιούνται για την σύντηξη των πληροφοριών από τις διάφορες πηγές φαίνονται σχηματικά στο διάγραμμα του σχήματος (3.9). Εφόσον οι παράμετροι που περιγράφουν την λωρίδα γίνουν γνωστές από τις διάφορες πηγές, τότε η τροχιά $\{x_i, y_i\}$ που περιγράφει την γεωμετρία της μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας την πολυωνυμική εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο Clothoid:

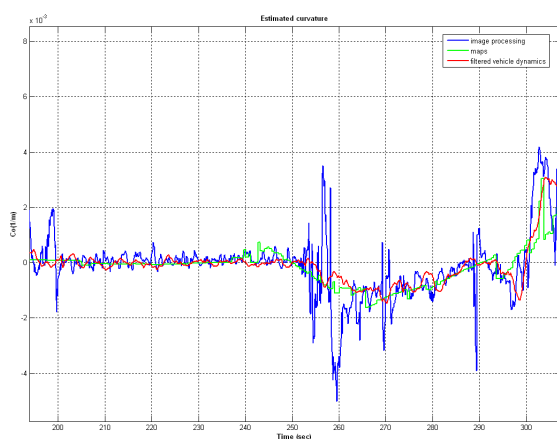
$$y_{\{L,R\}} = y_{0\{L,R\}} + c_h \cdot x + \frac{c_0}{2} \cdot x^2 + \frac{c_1}{6} \cdot x^3 \quad (3.5)$$

όπου c_0, c_1 είναι η καμπυλότητα της λωρίδας και ο ρυθμός μεταβολής της αντίστοιχα. Στις επόμενες δυο γραφικές παραστάσεις (3.10, 3.11) φαίνονται ορισμένα παραδείγματα της εκτιμώμενης καμπυλότητας από τις διάφορες πηγές πληροφορίας.

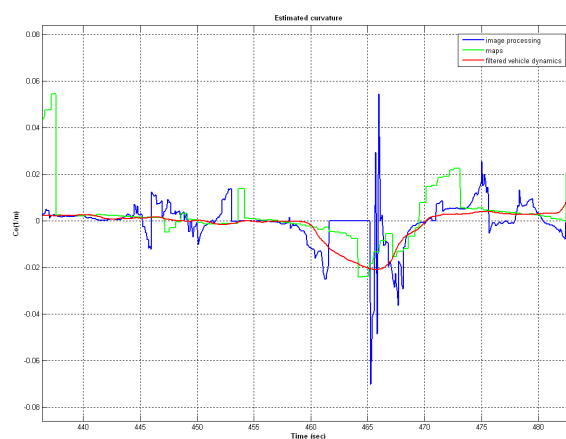
Στην προηγούμενη εξίσωση η καμπυλότητα και ο ρυθμός μεταβολής της είναι πάντα σταθερές κάτι που δεν ισχύει στην περίπτωση του εκτεταμένου ηλεκτρονικού οριζόντα. Η γεωμετρία του δρόμου η οποία παρέχεται μέσω της επεξεργασίας των ψηφιακών χαρτών αποτελείται από τα λεγόμενα n -τμήματα (c -segment). Κάθε ένα από αυτά τα τμήματα έχει σταθερή τιμή για το ρυθμό μεταβολής της καμπυλότητας της λωρίδας για συγκεκριμένη απόσταση πάνω σε αυτήν:

$$(c\text{-segment})^{MLP} = \left\{ y_0^{(i)} \quad c_h^{(i)} \quad c_0^{(i)} \quad c_1^{(i)} \quad L_i \right\}^T \quad i = 1, \dots, N_s \quad (3.6)$$

όπου N_s είναι ο αριθμός των τμημάτων και L_i το μήκος του i -th τμήματος. Για την λήψη μια πιο αξιόπιστης εκτίμησης της γεωμετρίας είναι αναγκαίο να συνδυάσουμε τα δεδομένα που προέρχονται από τις διάφορες πηγές.



Σχήμα 3.10: Σενάριο 1 εκτιμώμενης καμπυλότητας



Σχήμα 3.11: Σενάριο 2 εκτιμώμενης καμπυλότητας

Το σφάλμα εκτίμησης της κάμερας είναι πολύ μικρότερο σε κοντινές αποστάσεις μπροστά από το υποκείμενο όχημα, ενώ μεγαλώνει κατά ένα μεγάλο βαθμό σε μεγαλύτερες σχετικά αποστάσεις, όπου θα πρέπει να χρησιμοποιείται η γεωμετρία από τους ψηφιακούς χάρτες. Η σύντηξη της καμπυλότητας από τη κάμερα και τους ψηφιακούς χάρτες για το πρώτο τμήμα, το οποίο ορίζεται ως το πρώτο τμήμα των χαρτών, γίνεται χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$y_f = w_{EV} \cdot y_{EV} + w_{M1} \cdot y_M \quad x \leq lad_{MIN} \quad (3.7\alpha)$$

$$y_f = w_C \cdot y_C + w_{M2} \cdot y_M \quad lad_{MIN} \leq x \leq lad_{MAX} \quad (3.7\beta)$$

$$y_f = y_M \quad x \geq lad_{MAX} \quad (3.7\gamma)$$

όπου:

$$w_{EV} = \frac{\sigma_{EV}}{\sigma_{EV} + \sigma_M} \quad w_C = \frac{\sigma_C}{\sigma_C + \sigma_M} \quad (3.8\alpha)$$

$$w_{M1} = \frac{\sigma_M}{\sigma_{EV} + \sigma_M} \quad w_{M2} = \frac{\sigma_M}{\sigma_C + \sigma_M} \quad (3.8\beta)$$

όπου $y_{EV,C,M}$ είναι η y συντεταγμένη των ορίων της λωρίδας που εξάγεται χρησιμοποιώντας την δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος, της κάμερας και των ψηφιακών χαρτών αντίστοιχα. Επίσης, lad_{MIN} και lad_{MAX} είναι αντίστοιχα η ελάχιστη και η μέγιστη απόσταση ανίχνευσης της λωρίδας από τη μονάδα επεξεργασίας των δεδομένων της κάμερας. Τέλος, σ_C είναι η εμπιστοσύνη που ανατίθεται στην εκτιμώμενη γεωμετρία χρησιμοποιώντας την κάμερα και δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_C = \frac{\sigma_c^C}{\sigma_c^C|_{MAX}} \cdot \frac{x - lad_{MIN}}{lad_{MAX}} \quad (3.9)$$

όπου σ_c^C είναι η διακύμανση της εκτιμώμενης καμπυλότητας της λωρίδας και $\sigma_c^C|_{MAX}$ είναι η τρέχουσα μέγιστη τιμή της καμπυλότητας.

Σύμφωνα με αυτήν την εξίσωση το ανατιθέμενο βάρος είναι ανάλογο της διακύμανσης της εκτιμώμενης τιμής και της απόστασης του συγκεκριμένου σημείου από το υποκείμενο όχημα. Όταν τα δεδομένα της κάμερας δεν είναι διαθέσιμα, τότε στις προηγούμενες εξισώσεις το βάρος της κάμερας τίθεται ίσο με μηδέν και οι αποστάσεις ανίχνευσης τίθενται ως εξής:

$$lad_{MIN} = 0 \quad (3.10\alpha)$$

$$lad_{MAX} = L_1 \quad (3.10\beta)$$

όπου L_1 είναι το μήκος του πρώτου τμήματος από τους ψηφιακούς χάρτες. Στην περίπτωση των ψηφιακών χαρτών η αντίστοιχη τιμή της εμπιστοσύνης θα δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\sigma_M = \frac{\sigma_c^M}{\sigma_c^M|_{MAX}} \cdot \frac{x - lad_{MIN}}{lad_{MAX}} \quad (3.11)$$

όπου σ_c^M είναι η διακύμανση της εκτιμώμενης καμπυλότητας και $\sigma_c^M|_{MAX}$ είναι η τρέχουσα μέγιστη τιμή αυτής της καμπυλότητας. Στη συνέχεια, η εμπιστοσύνη που ανατίθεται στην καμπυλότητα που εξάγεται με την βοήθεια της δυναμικής κατάστασης του υποκείμενου οχήματος θα είναι:

$$\sigma_{EV} = \frac{U_L}{VL} \quad U_L \leq VL \quad (3.12\alpha)$$

$$\sigma_{EV} = 0 \quad U_L \geq VL \quad (3.12\beta)$$

όπου VL είναι ένα κατώφλι που υποδεικνύει την μέγιστη επιτρεπόμενη πλευρική ταχύτητα. Τέλος, η τιμή της εμπιστοσύνης στην τελική εκτιμώμενη τροχιά θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$confidence = \begin{cases} \frac{1}{3} \cdot w_{EV}, & \text{camera and map not available} \\ \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cdot w_{M1}, & \text{camera not available} \\ \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \cdot [(w_{EV} + w_C + w_{M1} + w_{M2})/4] \end{cases} \quad (3.13)$$

Στην περίπτωση που υπάρχει αποτυχία στην λήψη δεδομένων από τους ψηφιακούς χάρτες, τότε χρησιμοποιούνται τα ίχνη των αντικειμένων που εντοπίζονται από το ραντάρ στην περίπτωση μη ελυσόμενων στόχων. Οι εξισώσεις της εκτιμώμενης γεωμετρίας του δρόμου στην περίπτωση αυτή θα είναι οι παρακάτω:

$$y_f = w_{EV} \cdot y_{EV} + \sum_{i=1}^{N_{TO}} w_{R1}^i \cdot y_R^i \quad x \leq lad_{MIN} \quad (3.14\alpha)$$

$$y_f = w_C \cdot y_C + \sum_{i=1}^{N_{TO}} w_{R2}^i \cdot y_R^i \quad lad_{MIN} \leq x \leq lad_{MAX} \quad (3.14\beta)$$

$$y_f = y_R \quad x \geq lad_{MAX} \quad (3.14\gamma)$$

όπου:

$$w_{EV} = \frac{\sigma_{EV}}{\sigma_{EV} + \sum_{j=1}^{N_{TO}} \sigma_R^j} \quad w_C = \frac{\sigma_C}{\sigma_C + \sum_{j=1}^{N_{TO}} \sigma_R^j} \quad (3.15\alpha)$$

$$w_{R1}^i = \frac{\sigma_{R1}^i}{\sigma_{EV} + \sum_{j=1}^{N_{TO}} \sigma_R^j} \quad w_{R2}^i = \frac{\sigma_{R2}^i}{\sigma_C + \sum_{j=1}^{N_{TO}} \sigma_R^j} \quad (3.15\beta)$$

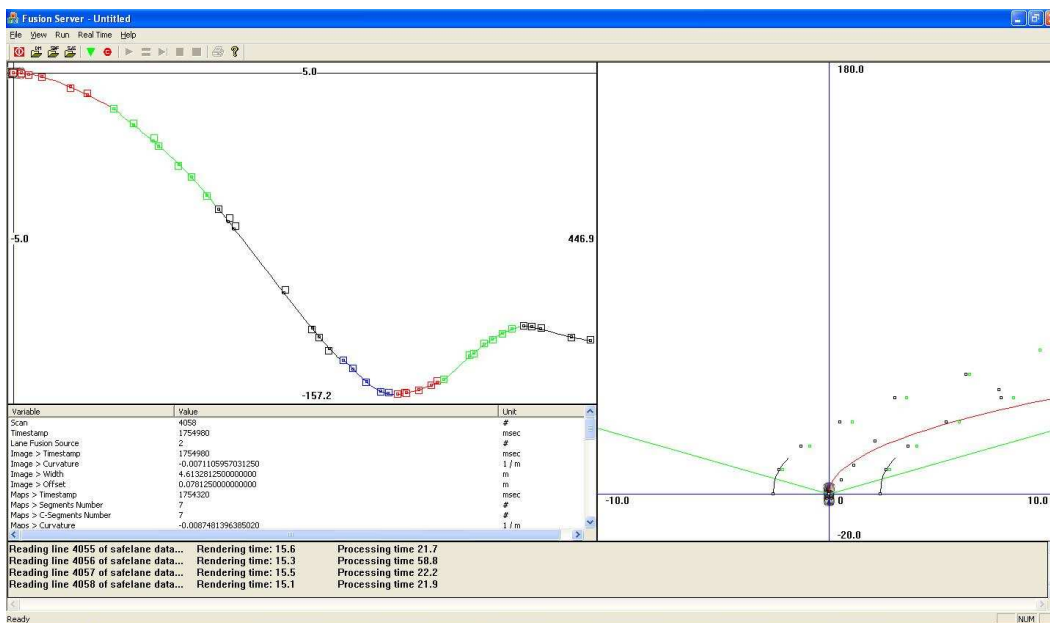
όπου τα βάρη για την κάμερα και την δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος είναι τα ίδια, όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Επίσης, y_R είναι η y συντεταγμένη της τροχιάς της λωρίδας που βασίζεται στον αλγόριθμο ιχνηλασίας ιχνών, η οποία εκτιμάει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου χρησιμοποιώντας τα ίχνη των N_{TO} ανιχνευθέντων αντικειμένων. Η εμπιστοσύνη για την τροχιά της λωρίδας που εξάγεται χρησιμοποιώντας το ραντάρ, που ανατίθεται στο i -th ιχνηλατημένο αντικείμενο θα είναι:

$$\sigma_R^i = \frac{U_L^i}{VL} \quad U_L^i \leq VL \quad x_0^i \leq x \leq x_{N_i}^i \quad (3.16\alpha)$$

$$\sigma_R^i = 0 \quad U_L^i \geq VL \quad x \leq x_0^i \text{ or } x \geq x_{N_i}^i \quad (3.16\beta)$$

όπου το x_0^i αναφέρεται στο πρώτο σημείο της i -th προσωρινής μνήμης και το $x_{N_i}^i$ αναφέρεται στο τελευταίο σημείο της i -th προσωρινής μνήμης. Τέλος, η τιμή της εμπιστοσύνης για την εκτιμώμενη τροχιά θα δίνεται από την εξής σχέση:

$$confidence = \left(w_{EV} + w_C + \sum_{i=1}^{N_{TO}} w_{RI}^i \right) / (2 + N_{TO}) \quad (3.17)$$



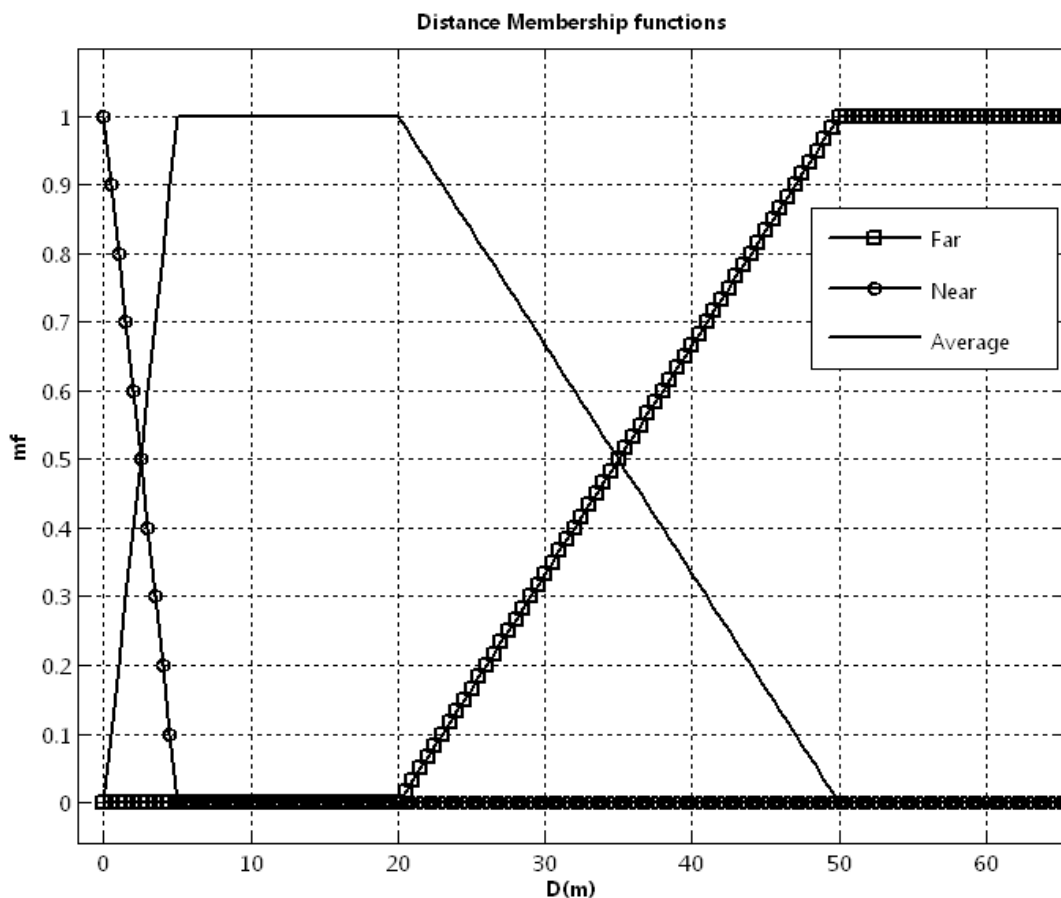
Σχήμα 3.12: Επέκταση γεωμετρίας δρόμου συνδυάζοντας χάρτες και κάμερα

Τέλος, στο προηγούμενο σχήμα (3.12) φαίνονται τα πλεονεκτήματα της συνδυασμένης χρήσης πηγών πληροφορίας για την εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου. Φαίνεται ότι με την χρήση των χαρτών είναι δυνατόν να επεκταθεί η γεωμετρία του δρόμου για πολύ μεγάλες αποστάσεις, ενώ παράλληλα σε μια απόσταση, περίπου 40m, μπροστά από το όχημα, υπάρχει εκτίμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών με πολύ μεγάλη ακρίβεια λόγω της ύπαρξης του συστήματος ανίχνευσης με την χρήση της κάμερας.

3.3.2 Σύντηξη δεδομένων με χρήση ασαφούς λογικής (Σύστημα 2)

Στην περίπτωση αυτή ο κύριος αλγόριθμος σύντηξης χρησιμοποιεί πάλι τα επεξεργασμένα δεδομένα από τη κάμερα τα οποία έχουν την μορφή των παραμέτρων που περιγράφουν το μοντέλο clothoid. Οι υπόλοιπες πηγές πληροφορίας είναι οι ψηφιακοί χάρτες οι οποίοι παρέχουν επίσης τα πλήρη γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου, εκτός από τη θέση του οχήματος μέσα στη λωρίδα κυκλοφορίας.

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή οι συντεταγμένες του δρόμου υπολογίζονται ξεχωριστά χρησιμοποιώντας την κάμερα, τον σαρωτή λέιζερ, τους ψηφιακούς χάρτες και την δυναμική κατάσταση του οχήματος και στη συνέχεια συνδυάζονται με βάση την απόσταση από το υποκείμενο όχημα.



Σχήμα 3.13: Συνάρτηση μέλους στο ασαφές σύστημα Sugeno για την σύντηξη της γεωμετρίας του δρόμου στο χωρικό πεδίο

Η σύντηξη των δεδομένων που προέρχονται από τις τέσσερις διαφορετικές πηγές πληροφορίας γίνεται στο χωρικό πεδίο χρησιμοποιώντας ένα ασαφές σύστημα Sugeno. Η μεταβλητή εισόδου του ασαφούς συλλογιστικού συστήματος είναι η απόσταση x στον διαμήκη άξονα, η οποία περιγράφεται χρησιμοποιώντας τρεις καταστάσεις:

$$x_state = \left\{ \begin{array}{l} (N)Near \\ (A)Average \\ (F)Far \end{array} \right\} \quad (3.18)$$

Οι συναρτήσεις μέλους, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ασαφοποίηση της μεταβλητής εισόδου φαίνονται στη γραφική παράσταση του σχήματος (3.13). Οι κανόνες που χρησιμοποιούνται και η έξοδος κάθε κατάστασης φαίνονται παρακάτω:

$$\text{if } X \text{ is } N \text{ then } y_N(x) = 0.8 \cdot y_{EV}(x) + 0.1 \cdot y_C(x) + 0.1 \cdot y_M(x) \quad (3.19\alpha)$$

$$\text{if } X \text{ is } A \text{ then } y_A(x) = 0.6 \cdot y_C(x) + 0.3 \cdot y_L(x) + 0.1 \cdot y_M(x) \quad (3.19\beta)$$

$$\text{if } X \text{ is } F \text{ then } y_F(x) = 0.05 \cdot y_C(x) + 0.05 \cdot y_L(x) + 0.9 \cdot y_M(x) \quad (3.19\gamma)$$

όπου y_{EV}, y_C, y_L, y_M είναι οι συντεταγμένες του δρόμου χρησιμοποιώντας την δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος, της κάμερας, του σαρωτή λέιζερ και των ψηφιακών χαρτών

αντιστοίχως. Τα βάρη w_N, w_A, w_F για κάθε κατάσταση εξάγονται χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις μέλους που φαίνονται στο σχήμα (3.12). Οι τελικές συντεταγμένες του δρόμου χρησιμοποιώντας όλες τις πηγές πληροφορίας υπολογίζονται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$y_F(x) = \frac{w_N \cdot y_N(x) + w_A \cdot y_A(x) + w_F \cdot y_F(x)}{w_N + w_A + w_F} \quad (3.20)$$

3.3.3 Σύντηξη δεδομένων στο πεδίο των συντελεστών

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η τελική γεωμετρία υπολογίζεται συνδυάζοντας τους συντελεστές του clothoid μοντέλου από κάθε διαφορετική πηγή πληροφορίας. Ενώ η απόσταση από το υποκείμενο όχημα δε χρησιμοποιείται – ωστόσο είναι χρήσιμη για τον υπολογισμό της τελικής τροχιάς που περιγράφει τον δρόμο – η διακύμανση κάθε παραμέτρου του μοντέλου clothoid λαμβάνεται υπόψη, έτσι ώστε μεγαλύτερο βάρος να ανατεθεί στην πηγή εκείνη με το μικρότερο σφάλμα εκτίμησης. Οι πηγές πληροφορίας που χρησιμοποιούνται στη περίπτωση αυτή είναι η κάμερα, ο σαρωτής λέιζερ και οι ψηφιακοί χάρτες. Η δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος χρησιμοποιείται μόνο στη περίπτωση που οι υπόλοιπες τρεις πηγές αδυνατούν να τροφοδοτήσουν το σύστημα με δεδομένα. Η μέθοδος αυτή έχει μόνο τον περιορισμό ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η απόσταση από το υποκείμενο όχημα, ενώ οι προηγούμενες προσεγγίσεις δεν χρησιμοποιούσαν την διακύμανση του σφάλματος εκτίμησης και την ποιότητα των εκτιμώμενων τιμών.

Ενώ από την κάμερα και τον σαρωτή λέιζερ παρέχονται οι διακυμάνσεις όλων των παραμέτρων του μοντέλου clothoid, οι ψηφιακοί χάρτες παρέχουν μόνο μια τιμή εμπιστοσύνης c_{NM} , η οποία υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις διακυμάνσεις των εκτιμώμενων παραμέτρων και κάποια άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά εξάγονται χρησιμοποιώντας τον αριθμό των γεωγραφικών σημείων που επεξεργάστηκαν για να εξαχθούν οι παράμετροι του μοντέλου clothoid. Έτσι, σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται αυτή η τιμή εμπιστοσύνης έτσι ώστε να ενσωματωθεί η γεωμετρία των χαρτών στο τελικό αποτέλεσμα που θα προκύψει με την σύντηξη των δεδομένων από τις διαφορετικές πηγές πληροφορίας. Για να συνδυαστεί η γεωμετρία από την κάμερα και τον σαρωτή λέιζερ χρησιμοποιείται η επόμενη εξίσωση:

$$y(x) = th \cdot x + \frac{c}{2} \cdot x^2 + \frac{cr}{6} \cdot x^3 \quad (3.21)$$

όπου c, cr είναι η καμπυλότητα και ο ρυθμός μεταβολής της καμπυλότητας αντιστοίχως. Οι τελικές παράμετροι προκύπτουν αθροίζοντας υπό βάρη τις αρχικές παραμέτρους σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$p = \frac{w_C^{(p)} \cdot p_C + w_L^{(p)} \cdot p_L + w_M^{(p)} \cdot p_M}{w_C^{(p)} + w_L^{(p)} + w_M^{(p)}} \quad (3.22\alpha)$$

$$p = \{th, c, cr\} \quad (3.22\beta)$$

όπου τα βάρη της κάμερας και του σαρωτή λέιζερ υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις:

$$w_q^{(p)} = 1 - \frac{\sigma_{p,q}^2 - \sigma_{p,q,MIN}^2}{\sigma_{p,q,MAX}^2 - \sigma_{p,q,MIN}^2} \quad (3.23\alpha)$$

$$q = \{Camera, LaserScanner\} \quad (3.23\beta)$$

όπου $\sigma_{p,q}$ είναι η τυπική απόκλιση του σφάλματος εκτίμησης της διεύθυνσης, της καμπυλότητας και του ρυθμού μεταβολής της καμπυλότητας από την κάμερα και τον σαρωτή λέιζερ αντίστοιχα. Επίσης χρησιμοποιείται μια μέθοδος κανονικοποίησης των υπολογιζόμενων βαρών, επειδή οι διακυμάνσεις απευθύνονται σε διαφορετικά μεγέθη που περιγράφονται από διαφορετικά σφάλματα μέτρησης και διαδικασίας που χρησιμοποιούνται στα αντίστοιχα φίλτρα εκτίμησης που τα παράγουν. Για παράδειγμα αν η διακύμανση αυξάνεται συνεχώς τότε το αντίστοιχο βάρος θα υπολογίζεται ως μηδενικό κάτι που είναι αναμενόμενο, αφού η εκτιμώμενη τιμή πρέπει να σταθεροποιηθεί, έτσι ώστε να ανατεθεί κάποια εμπιστοσύνη στη τιμή αυτή. Στην περίπτωση των ψηφιακών χαρτών το βάρος είναι το ίδιο για όλες τις παραμέτρους:

$$w_M^{(p)} = cv_M \quad (3.24)$$

3.3.4 Συνδυαστική μέθοδος σύντηξης δεδομένων

Στην μέθοδο αυτή η διαδικασία σύντηξης πραγματοποιείται τόσο στο χωρικό πεδίο, όσο και στο πεδίο των συντελεστών, κάνοντας χρήση του ασαφούς συστήματος Sugeno που περιγράφηκε προηγουμένως. Για να υπολογιστεί η συνδυαστική έξοδος για κάθε κανόνα, εφαρμόζονται οι σχέσεις που αναφέρθηκαν πιο πάνω, μόνο που στη περίπτωση αυτή τα βάρη είναι διαφορετικά και μεταβάλλονται σύμφωνα με τις διακυμάνσεις των εκτιμώμενων παραμέτρων:

$$\text{if } X \text{ is } N \text{ then } y_N(x) = th_N(x) \cdot x + \frac{c_N(x)}{2} \cdot x^2 + \frac{cr_N(x)}{6} \cdot x^3 \quad (3.25\alpha)$$

$$\text{if } X \text{ is } A \text{ then } y_A(x) = th_A(x) \cdot x + \frac{c_A(x)}{2} \cdot x^2 + \frac{cr_A(x)}{6} \cdot x^3 \quad (3.25\beta)$$

$$\text{if } X \text{ is } F \text{ then } y_F(x) = th_F(x) \cdot x + \frac{c_F(x)}{2} \cdot x^2 + \frac{cr_F(x)}{6} \cdot x^3 \quad (3.25\gamma)$$

όπου:

$$p_N(x) = \frac{0.8 \cdot w_{EV}^{(p)} \cdot p_{EV} + 0.1 \cdot w_C^{(p)} \cdot p_C + 0.1 \cdot w_M^{(p)} \cdot p_M}{0.8 \cdot w_{EV}^{(p)} + 0.1 \cdot w_C^{(p)} + 0.1 \cdot w_M^{(p)}} \quad (3.26\alpha)$$

$$p_A(x) = \frac{0.6 \cdot w_C^{(p)} \cdot p_C + 0.3 \cdot w_L^{(p)} \cdot p_L + 0.1 \cdot w_M^{(p)} \cdot p_M}{0.6 \cdot w_C^{(p)} + 0.3 \cdot w_L^{(p)} + 0.1 \cdot w_M^{(p)}} \quad (3.26\beta)$$

$$p_F(x) = \frac{0.05 \cdot w_C^{(p)} \cdot p_C + 0.05 \cdot w_L^{(p)} \cdot p_L + 0.9 \cdot w_M^{(p)} \cdot p_M}{0.05 \cdot w_C^{(p)} + 0.05 \cdot w_L^{(p)} + 0.9 \cdot w_M^{(p)}} \quad (3.26\gamma)$$

$$p = \{th, c, cr\} \quad (3.26\delta)$$

όπου το C αντιστοιχεί στην κάμερα, το L στον σαρωτή λέιζερ, το M στους ψηφιακούς χάρτες και το EV στο υποκείμενο όχημα.

Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι συνδυάζει τόσο τις διακυμάνσεις των σφαλμάτων εκτίμησης των επιμέρους παραμέτρων του γεωμετρικού μοντέλου, όσο και το ότι λαμβάνει υπόψη την απόσταση από το υποκείμενο όχημα, η οποία προσδιορίζει ποια πηγή της γεωμετρίας του δρόμου παρέχει καλύτερα αποτελέσματα κάθε φορά.

3.3.5 Εκτιμητής πλευρικών παραμέτρων

Σε περιπτώσεις όπου η κάμερα αποτυγχάνει να ανιχνεύσει τα όρια των λωρίδων, τότε χρησιμοποιείται ένας εκτιμητής για τις πλευρικές παραμέτρους, ο οποίος συνεχίζει να δίνει την απόσταση από το άκρο της λωρίδας για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, τα οποία ορίζονται από ένα χρονικό κατώφλι T_{LF} . Αυτό αποτρέπει την πλήρη αποτυχία της υπομονάδας σύντηξης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου, καθώς η απόσταση από τα άκρα της λωρίδας παρέχεται από μια και μόνο πηγή, η οποία είναι το σύστημα οπτικής ανίχνευσης λωρίδων, δηλαδή η κάμερα.

Η εκτίμηση της πλευρικής ταχύτητας και επιτάχυνσης (πρώτη και δεύτερη παράγωγος της απόστασης από τα άκρα της λωρίδας αντιστοίχως) μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τον ορισμό της παραγώγου, δηλαδή διαιρώντας τις διαφορές των πλευρικών αποστάσεων μεταξύ δυο διαδοχικών κύκλων επεξεργασίας με τον αντίστοιχο χρόνο που μεσολαβεί, όπως προτείνεται στο [76]. Παρόλα αυτά η μέθοδος αυτή εισάγει πάρα πολύ μεγάλες αποκλίσεις στις εκτιμώμενες τιμές της πλευρικής ταχύτητας και επιτάχυνσης. Για να αντιμετωπιστούν τα πολύ μεγάλα σφάλματα εκτίμησης, γίνεται χρήση ενός φίλτρου Kalman για την εκτίμηση αυτών των παραμέτρων με αποδεκτό συντελεστή ακριβείας. Το φίλτρο αυτό έχει το ακόλουθο διάνυσμα κατάστασης και διάνυσμα μέτρησης αντιστοίχως:

$$x = [d_L \quad U_L \quad A_L \quad w_L]^T \quad (3.27\alpha)$$

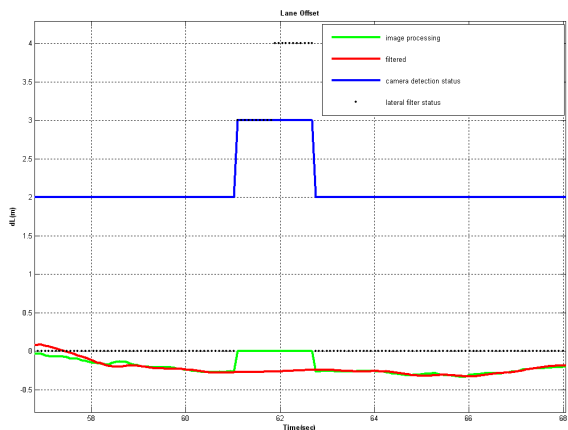
$$y = [y_0^{cam} \quad w^{cam}]^T \quad (3.27\beta)$$

όπου y_0^{cam} , w^{cam} είναι η απόσταση από το κέντρο και το πλάτος αντιστοίχως, που παρέχονται από τη μονάδα επεξεργασίας εικόνας της κάμερας. Επίσης, d_L, U_L, A_L, w_L είναι η πλευρική απόσταση από το μέσον της λωρίδας, η πλευρική ταχύτητα (παράγωγος της d_L), η πλευρική επιτάχυνση (παράγωγος της U_L) και το πλάτος της λωρίδας αντιστοίχως.

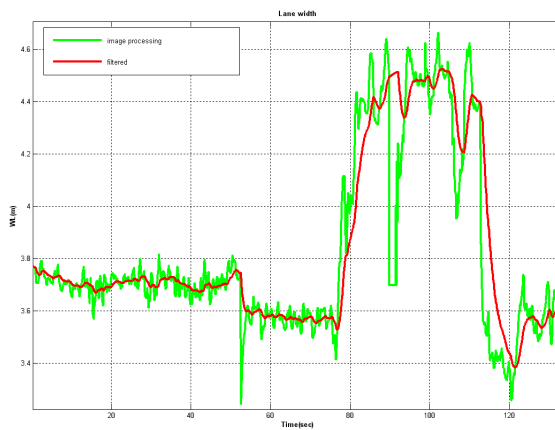
3.4 Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα

Η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου, ασφαλούς και άκρως διαθέσιμου συστήματος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές πλευρικής ασφάλειας αποτελεί ένα από τα κυριότερα πεδία της έρευνας στον χώρο των έξυπνων οχημάτων. Τα συστήματα, τα οποία έχουν αναπτυχθεί και βρίσκονται σήμερα στο στάδιο της εμπορικής εκμετάλλευσης, κάνουν χρήση αποκλειστικά οπτικών αισθητήρων για την ανίχνευση των ορίων της λωρίδας, δηλαδή καμερών [67]. Παρόλα αυτά όμως ενδιαφέρουν παρουσιάζει η ενίσχυση των συστημάτων αυτών με την χρήση επιπρόσθετων αισθητήρων, οι οποίοι επεκτείνουν το εύρος κάλυψης της εφαρμογής και βοηθούν στην εξαγωγή πιο αξιόπιστων μετρήσεων με μικρότερα σφάλματα.

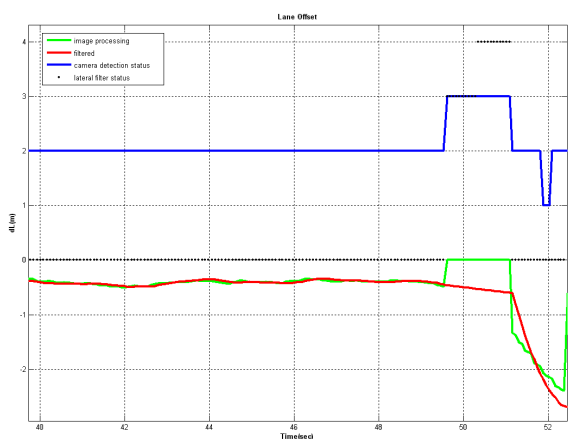
Όπως τονίστηκε ένα από τα κυριότερα προβλήματα σήμερα αποτελεί η ανάπτυξη ενός συστήματος το οποίο θα μπορεί να λειτουργεί κάτω από όλες τις συνθήκες που επικρατούν στον δρόμο και για όλους τους τύπους οδηγών. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να αντιμετωπίζει περιπτώσεις όπου οι γραμμές των λωρίδων λείπουν ή δεν είναι ευκρινείς, ή η ορατότητα είναι περιορισμένη λόγω κακών καιρικών συνθηκών που περιορίζουν την απόδοση των οπτικών αισθητήρων. Άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η επιπλέον κίνηση και η πρόθεση του οδηγού. Σκοπός της μεθόδου που προτείνεται στο κεφάλαιο αυτό είναι η ενίσχυση προηγούμενων συστημάτων, που χρησιμοποιούν οπτικούς αισθητήρες, με την χρησιμοποίηση πολλαπλών πηγών πληροφορίας καταλήγοντας στην δημιουργία ενός συστήματος το οποίο είναι προσαρμόσιμο ανάλογα με τις τρέχουσες συνθήκες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές πλευρικής ασφάλειας.



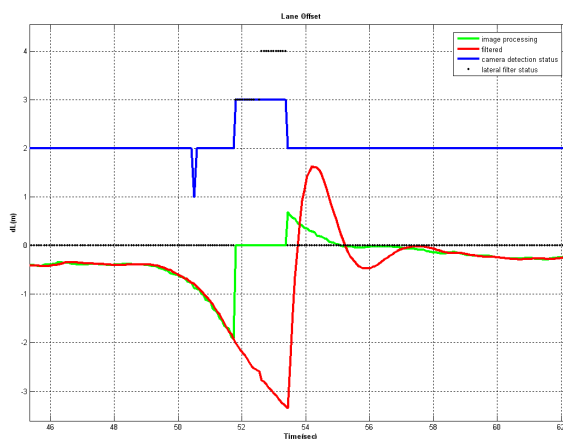
Σχήμα 3.14: Πλευρική απόσταση από το μέσο της λωρίδας (1^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας)



Σχήμα 3.15: Πλάτος λωρίδας



Σχήμα 3.16: Πλευρική απόσταση από το μέσο της λωρίδας (2^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας)



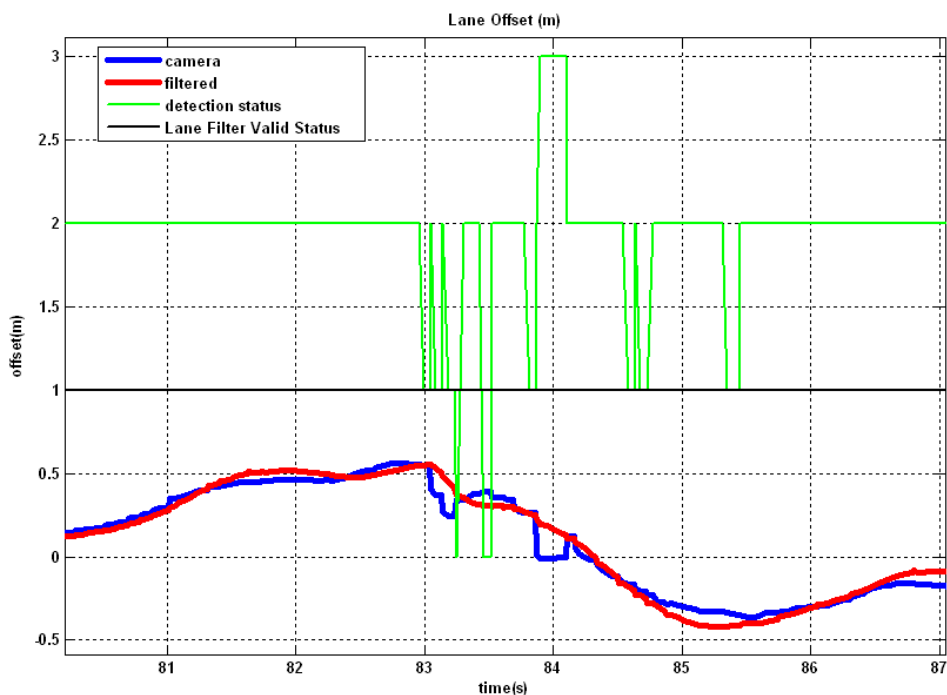
Σχήμα 3.17: Πλευρική απόσταση από το μέσο της λωρίδας (3^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας)

Στα σχήματα 3.14-3.19 παρουσιάζεται η έξοδος του φίλτρου στην περίπτωση της πλευρικής απόστασης και του πλάτους της λωρίδας. Το φίλτρο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αφαιρεί τον θόρυβο εκτίμησης από τα χαρακτηριστικά της λωρίδας και να παρέχει πλευρική απόσταση όχι μόνο όταν τα δεδομένα της κάμερας είναι διαθέσιμα, αλλά και για ένα εκτεταμένο χρονικό διάστημα αφότου η κάμερα αρχίσει να μην δίνει τα όρια της λωρίδας. Το χρονικό αυτό κατώφλι ορίζεται συνήθως ίσο με 10 κύκλους επεξεργασίας. Η πράσινη γραμμή αντιπροσωπεύει την έξοδο της επεξεργασίας εικόνας και η κόκκινη αντιπροσωπεύει τις φιλτραρισμένες τιμές.

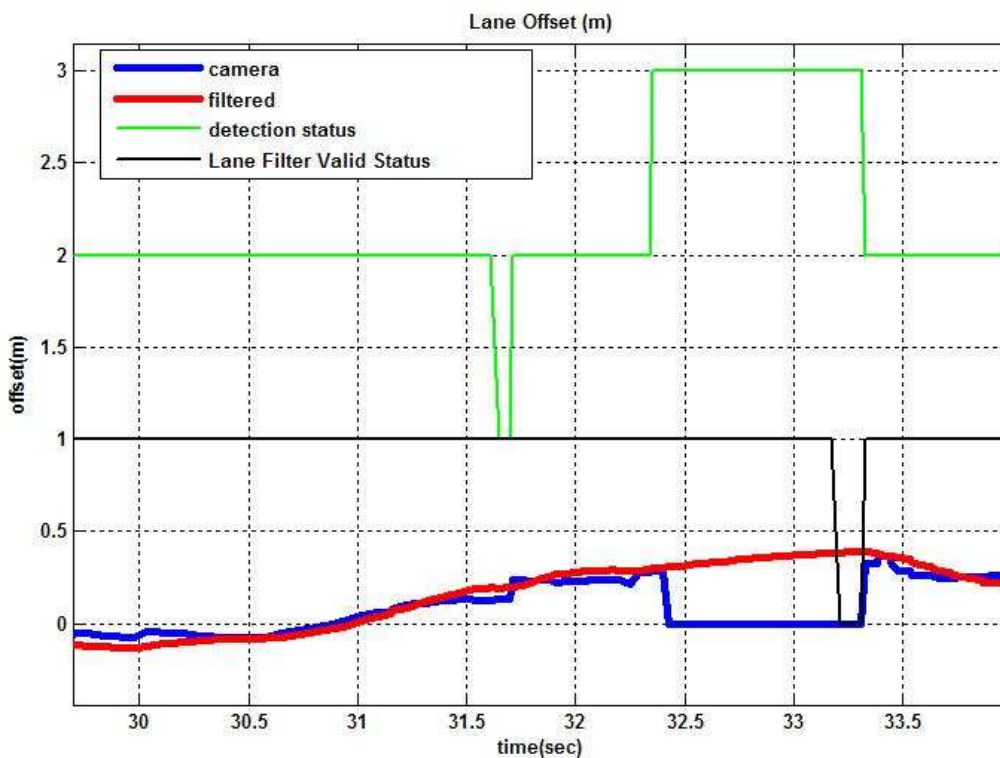
Η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει την κατάσταση ανίχνευσης της κάμερας και η μαύρη γραμμή αντιπροσωπεύει την κατάσταση του φίλτρου. Η κατάσταση του φίλτρου μπορεί να είναι είτε μηδέν όταν βρίσκεται σε κανονική λειτουργία, είτε 1,2 ή 3 όταν υπάρχει αποτυχία της κάμερας, είτε 4 όταν υπάρχει αποτυχία ανίχνευσης από την κάμερα και γίνει υπέρβαση του χαρακτηριστικού χρονικού κατωφλίου του φίλτρου. Η κατάσταση ανίχνευσης της κάμερας μπορεί να είναι 0,1 ή 2 όταν ανιχνεύει το αριστερό, το δεξιό ή και τα δυο όρια της λωρίδας και 3 όταν υπάρχει αποτυχία εύρεσης των ορίων της λωρίδας στην οποία κινείται το υποκείμενο όχημα.

Τέλος, στο 3^ο σενάριο παρουσιάζεται μια ακραία περίπτωση, όπου η αποτυχία της κάμερας συμβαίνει ακριβώς τη χρονική στιγμή κατά την οποία γίνεται μια αλλαγή λωρίδας από το υποκείμενο όχημα. Αυτή είναι η περίπτωση όπου το πρόσημο της πλευρικής απόστασης αλλάζει

και συμβαίνει ένα στιγμιαίο άλμα της πλευρικής απόστασης από την αρνητική τιμή του μισού πλάτους της λωρίδας στο αντίστοιχο θετικό.



Σχήμα 3.18: Πλευρική απόσταση από το μέσον της λωρίδας (4^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας)



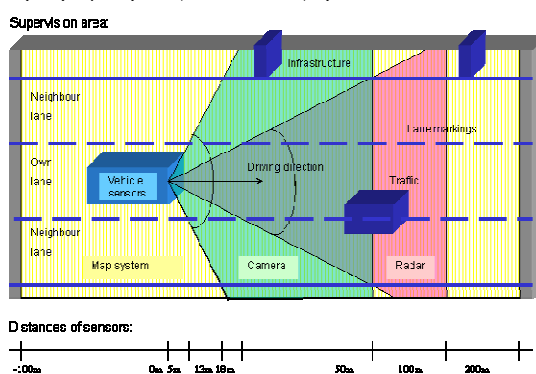
Σχήμα 3.19: Πλευρική απόσταση από το μέσον της λωρίδας (5^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας)

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος SafeLane (Prevent) αναπτύχθηκε πλήρης εφαρμογή για την λήψη δεδομένων από τους αισθητήρες του συστήματος σε πραγματικό χρόνο,

την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή αποφάσεων με κεντρική φιλοσοφία την εφαρμογή του αλγορίθμου σύντηξης δεδομένων για την εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου.

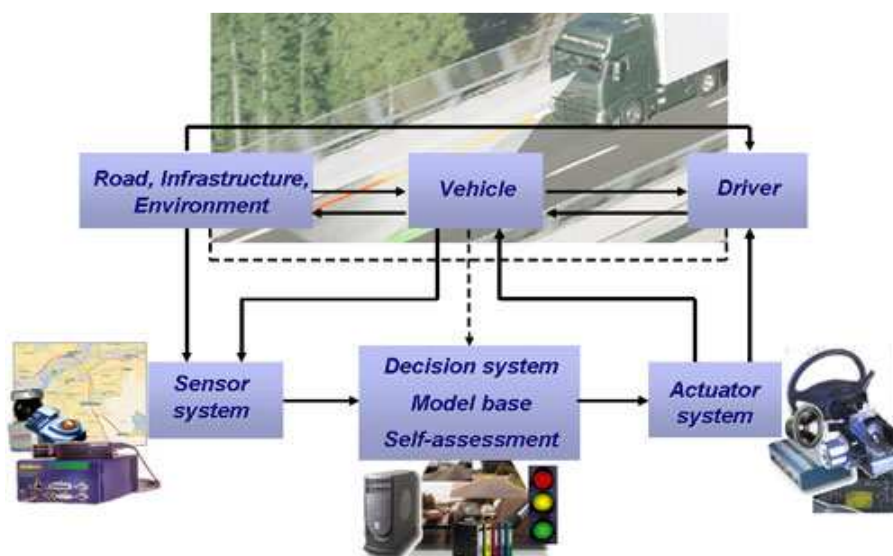


Σχήμα 3.20: Εφαρμογή πλευρικής ασφάλειας με σύντηξη δεδομένων για την εκτίμηση γεωμετρίας δρόμου



Σχήμα 3.21: Περιοχή κάλυψης αισθητήρων

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η κάμερα, το ραντάρ ανίχνευσης αντικειμένων στην μπροστινή περιοχή του οχήματος, οι ψηφιακοί χάρτες και οι αδρανειακοί αισθητήρες μέτρησης της δυναμικής κατάστασης του οχήματος.



Σχήμα 3.22: (α) Φορτηγό Volvo, (β) φορτηγό Iveco, (γ) όχημα ινστιτούτου FhG, (δ) Αισθητήρες συστήματος

Η εφαρμογή που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε φαίνεται στο σχήμα 3.20 και στο σχήμα 3.21 η περιοχή κάλυψης των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν και οι οποίοι κάλυπταν αποκλειστικά την εμπρόσθια πλευρά. Επίσης στις επόμενες εικόνες (σχήμα 3.22) φαίνονται τα πειραματικά οχήματα (Volvo, Iveco, FhG) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των πειραμάτων και την δοκιμή του συστήματος.

Στην πίνακα (3.1) φαίνονται ορισμένα στατιστικά αποτελέσματα που ελήφθησαν με την επεξεργασία των μετρήσεων από τους σένσορες σε 4 διαφορετικά σενάρια χρησιμοποιώντας την μέθοδο που αναλύθηκε στην παράγραφο (3.3.1). Πιο αναλυτικά φαίνεται η διάρκεια του σεναρίου σε δευτερόλεπτα και το ποσοστό αποτυχίας για κάθε πηγή εκτίμησης της γεωμετρίας και για τον αλγόριθμο σύντηξης. Η αποτυχία ορίζεται ως η κατάσταση εκείνη κατά την οποία η συγκεκριμένη πηγή πληροφορίας αποτυγχάνει να κάνει διαθέσιμη στο σύστημα την γεωμετρία του δρόμου ή όταν ο συντελεστής εμπιστοσύνης που ανατίθεται στις εκτιμώμενες γεωμετρικές παραμέτρους που περιγράφουν τις λωρίδες βρίσκεται κάτω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε το κατώφλι αυτό ορίζεται στην τιμή 0.4. Το τελικό ποσοστό εξάγεται διαιρώντας τον αριθμό των περιπτώσεων αποτυχίας με τον συνολικό αριθμό των κύκλων επεξεργασίας του κάθε σεναρίου. Για τον αλγόριθμο της σύντηξης γεωμετρίας (ΑΣΓ) η αποτυχία ορίζεται ως η περίπτωση κατά την οποία ο συντελεστής εμπιστοσύνης παίρνει τιμή μικρότερη από 0.4 ή το χρονικό κατώφλι T_{LF} του πλευρικού εκτιμητή ξεπεραστεί.

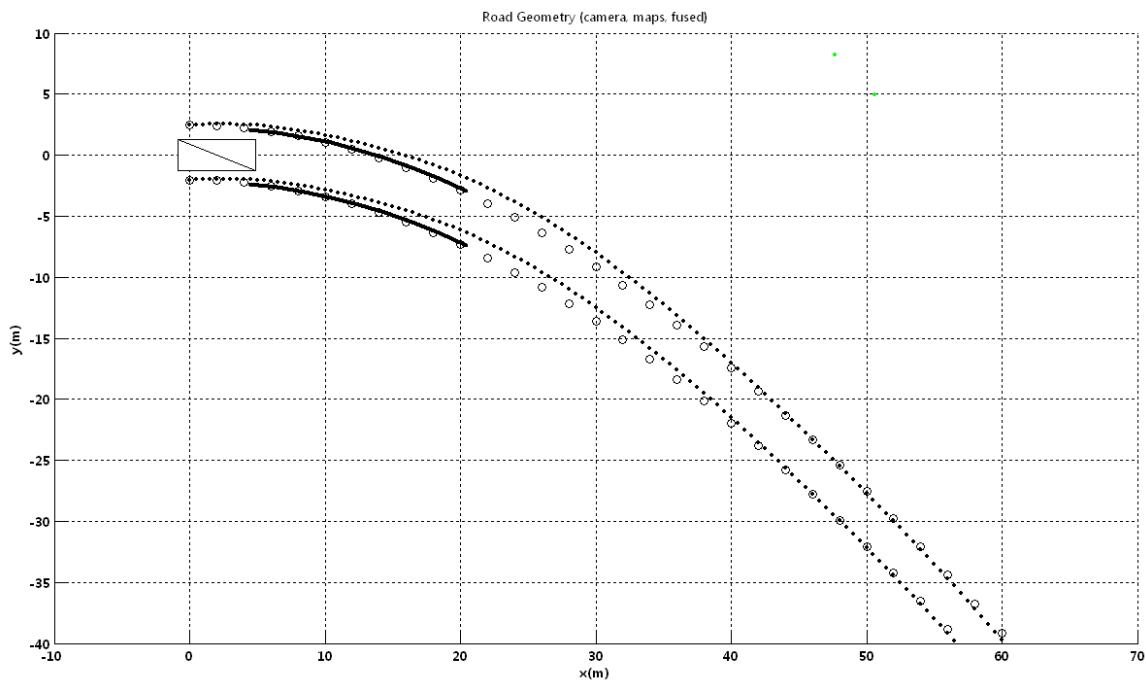
Πίνακας 3.1: Αποτελεσματικότητα πηγών εκτίμησης γεωμετρίας δρόμου

Σενάριο	Διάρκεια (sec)	Αποτυχία (%)		
		Κάμερα	Χάρτες	ΑΣΓ
1	101	2.82	1.88	1.17
2	100	3.75	21.05	3.17
3	95	3.03	19.23	2.02
4	64	54.48	2.06	45.33

Για τον λόγο αυτό ο συντελεστής αποτυχίας του ΑΣΓ στο τέταρτο σενάριο είναι πολύ μεγάλος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι δυνατότητες ανίχνευσης της κάμερας έχουν περιοριστεί δραματικά λόγω κακών περιβαλλοντολογικών συνθηκών (άσχημος καιρός), με αποτέλεσμα το σύστημα οπτικής ανίχνευσης λωρίδων να έχει υπερβολικά περιορισμένη απόδοση. Παρόλα αυτά όμως η τελική εκτιμώμενη γεωμετρία των λωρίδων είναι βελτιωμένη λόγω της χρήσης του αλγορίθμου σύντηξης δεδομένων. Στο πρώτο σενάριο και οι δυο πηγές (κάμερα και χάρτες) έχουν αυξημένη απόδοση και επιπλέον η διαδικασία σύντηξης βελτιώνει ακόμα περισσότερο το τελικό αποτέλεσμα. Στη δεύτερη και τρίτη περίπτωση παρουσιάζονται δυο σενάρια όπου το σύστημα εκτίμησης γεωμετρίας με βάση τους ψηφιακούς χάρτες έχει περιορισμένη απόδοση. Παρόλα αυτά όμως το τελικό αποτέλεσμα είναι πολύ καλό λόγω της συνδυασμένης χρήσης των δεδομένων της κάμερας.

Για τον έλεγχο των άλλων δυο προτεινόμενων μεθόδων χρησιμοποιήθηκαν επίσης δεδομένα που λήφθηκαν από ένα φορτηγό εφοδιασμένο με αισθητήρες. Το όχημα αυτό διέθετε μια κάμερα για την αναγνώριση των λωρίδων, έναν σαρωτή λέιζερ για την εκτίμηση των ορίων του δρόμου, μια μονάδα εκτίμησης θέσης με ψηφιακούς χάρτες και τέλος αδρανειακούς αισθητήρες για την μέτρηση της δυναμικής κατάστασης του οχήματος. Πρόκειται για μια πειραματική πλατφόρμα, ρόλος της οποίας είναι η αναγνώριση του οδικού περιβάλλοντος και για την επίτευξη του σκοπού αυτού η εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου είναι πάρα πολύ σημαντική. Σε όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν, εκτός από την καταγραφή των δεδομένων από τους βασικούς αισθητήρες, έγινε και χρήση μιας δεύτερης κάμερας για την εκτίμηση των προτεινόμενων αλγορίθμων και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την απόδοση τους.

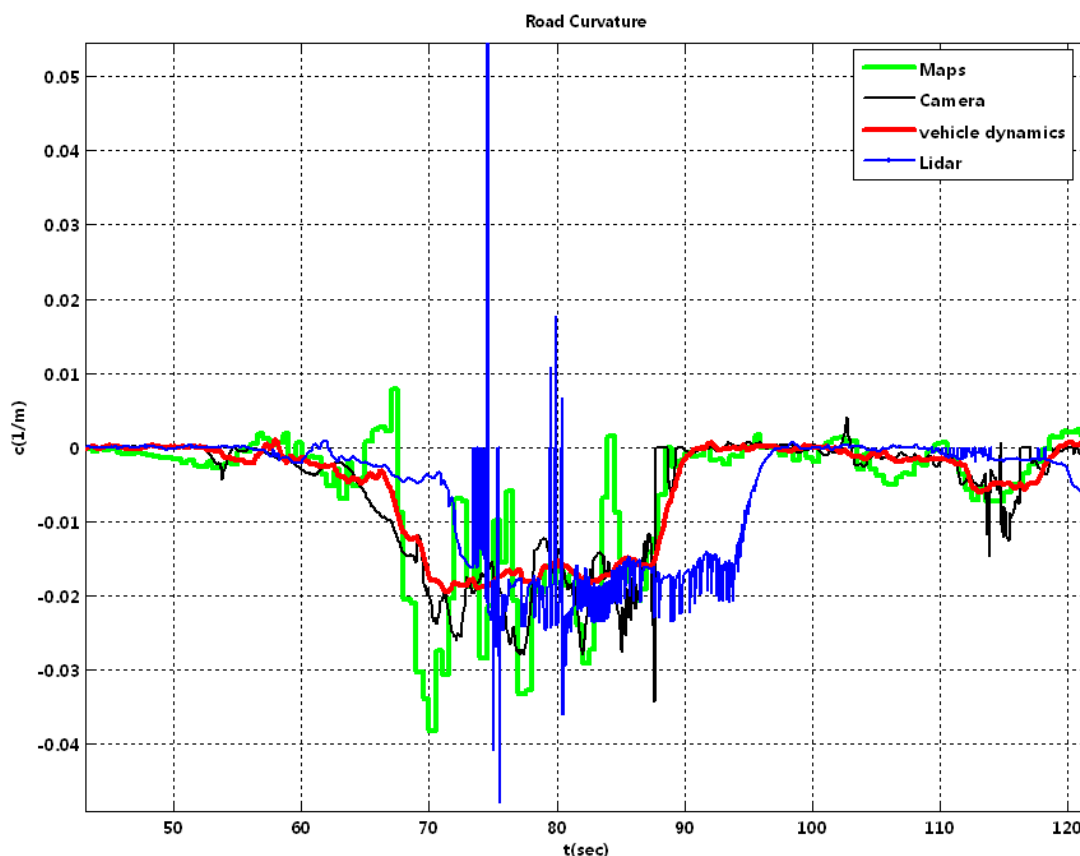
Στο σχήμα 3.23 φαίνονται τα εκτιμώμενα όρια του δρόμου χρησιμοποιώντας τους χάρτες (κυκλικά σημεία) και πως αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επεκτείνουν την αντίστοιχη εκτίμηση που προκύπτει χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της κάμερας (συνεχής γραμμή που εκτείνεται μέχρι τα 20m).



Σχήμα 3.23: Σύγκριση γεωμετρίας δρόμου μεταξύ χαρτών και κάμερας

Επίσης, φαίνεται η τελική τροχιά (τελείες) του δρόμου που προκύπτει μετά την σύντηξη των δεδομένων από τις πολλαπλές πηγές πληροφορίας. Το κύριο χαρακτηριστικό της κάμερας (σύστημα αναγνώρισης λωρίδας) είναι ότι μπορεί να εξάγει την γεωμετρία της λωρίδας κυκλοφορίας μέχρι και τα 50m. Το όριο αυτό μπορεί να ελαττωθεί ακόμα περισσότερο όταν το όχημα κινείται σε απότομες στροφές. Έχει παρατηρηθεί ότι σε τέτοιες περιπτώσεις η ενσωμάτωση της γεωμετρίας, που υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται από την βάση των ψηφιακών χαρτών, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της ακρίβειας της τελικής εκτίμησης του συστήματος ανίχνευσης του δρόμου. Στην πολύ κοντινή περιοχή από το υποκείμενο όχημα (0–10m) η καμπυλότητα ισούται με την τιμή που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την δυναμική κατάσταση του οχήματος, στη συνέχεια λαμβάνει τιμές δίνοντας μεγαλύτερο βάρος στην κάμερα, στην ενδιάμεση περιοχή λαμβάνει τιμές που εξάγονται με την αναγωγή μεγαλύτερης εμπιστοσύνης στα δεδομένα του σαρωτή λέιζερ. Τέλος, στις μεγαλύτερες αποστάσεις γίνεται σχεδόν ίση με αυτή από τους ψηφιακούς χάρτες καθώς σε αυτήν την περιοχή το αντίστοιχο βάρος μεγιστοποιείται.

Στο σχήμα (3.24) φαίνονται οι εκτιμώμενες καμπυλότητες από τις διάφορες πηγές πληροφορίας της γεωμετρίας του δρόμου. Το συγκεκριμένο σενάριο που προβάλλεται στη γραφική παράσταση περιλαμβάνει την κίνηση του οχήματος αρχικά σε ένα ευθύγραμμο κομμάτι δρόμου, στη συνέχεια το όχημα κινείται σε μια στροφή και στη συνέχεια ξανά σε ευθεία. Η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει τις τιμές που εξάγονται χρησιμοποιώντας τον σαρωτή λέιζερ, η μαύρη γραμμή συμβολίζει την καμπυλότητα που εξάγεται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της κάμερας, και η πράσινη αντιστοιχεί στην καμπυλότητα από τους ψηφιακούς χάρτες. Όπως φαίνεται από τη γραφική παράσταση, η καμπυλότητα που υπολογίζεται με βάση τους χάρτες έχει μεγαλύτερο θόρυβο εκτίμησης σε σχέση με αυτήν που υπολογίζεται από τη κάμερα. Επίσης, σε αυτό το σενάριο η καμπυλότητα που εξάγεται με βάση τη δυναμική κατάσταση του οχήματος έχει ελάχιστο σφάλμα καθώς το όχημα δεν εκτελεί κάποιον επιπρόσθετο ελιγμό καθ' όλη την διάρκεια της κίνησης.



Σχήμα 3.24: Οι καμπυλότητες που υπολογίζονται από τις διάφορες πηγές πληροφορίας

Όπως αναφέρθηκε η απόδοση των προτεινόμενων αλγορίθμων για την σύντηξη δεδομένων από πολλαπλές πηγές πληροφορίας για την εύρεση της γεωμετρίας του δρόμου ή της λωρίδας κυκλοφορίας δοκιμάστηκε σε πραγματικά σενάρια. Η υπολογιζόμενη γεωμετρία εξετάζεται ελέγχοντας την έξοδο κάθε πηγής πληροφορίας συμπεριλαμβανομένης και της συνδυαστικής εξόδου με το βίντεο που καταγράφηκε κατά την κίνηση του οχήματος στον δρόμο έτσι ώστε να επαληθευτεί εάν τα αποτελέσματα είναι σωστά ή όχι. Στη συνέχεια, ο συντελεστής επιτυχίας υπολογίζεται διαιρώντας τον αριθμό των σαρώσεων, κατά τις οποίες η εκτίμηση της τροχιάς του δρόμου είχε γίνει χωρίς σημαντικό σφάλμα, με το συνολικό αριθμό σαρώσεων στο συγκεκριμένο σενάριο. Έτσι τα αποτελέσματα που λαμβάνονται φαίνονται στον πίνακα 3.1. Στο συγκεκριμένο πίνακα ο συντελεστής υπολογίστηκε κάνοντας τον έλεγχο σε μια μέση απόσταση μέχρι τα $75m$, ενώ στον επόμενο πίνακα (3.2) φαίνονται τα ίδια αποτελέσματα, κάνοντας όμως αυτή την φορά τον ίδιο έλεγχο σε μια κοντινή απόσταση μέχρι τα $20m$. Αυτό γίνεται για να εξακριβωθεί εάν ο υπολογισμός της γεωμετρίας του δρόμου χρησιμοποιώντας δεδομένα από πολλαπλές πηγές είναι σωστός σε όλο το μήκος του δρόμου μπροστά από το υποκείμενο όχημα. Η στήλη ΣΧΠ αντιστοιχεί στο συντελεστή επιτυχίας εφαρμόζοντας την μέθοδο σύντηξης στο χωρικό πεδίο, η στήλη ΣΠΣ αντιστοιχεί στον συντελεστή επιτυχίας εφαρμόζοντας την σύντηξη στο πεδίο των συντελεστών, και η στήλη ΣΣ αντιστοιχεί στην σύντηξη χρησιμοποιώντας την συνδυαστική μέθοδο. Επίσης, το ΔΚ-ΥΟ αντιστοιχεί στα αποτελέσματα που λαμβάνονται χρησιμοποιώντας μόνο την δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος.

Πίνακας 3.2: Συντελεστής επιτυχίας (75m)

#	Περιγραφή	Επιτυχία (%)						
		Κάμερα	Χάρτες	Λείζερ	ΔΚ-ΥΟ	ΣΧΠ	ΣΠΣ	ΣΣ
1	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	67.31	86.54	15.66	95.6	91.21	92.03	94.51
2	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	66.15	73.85	43.08	100	73.85	78.46	81.54
3	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	15	12.5	2.5	100	10.0	17.5	22.5
4	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	98.11	84.34	56.04	100	98.11	98.49	98.68
5	Στροφή / Έξοδος	33.33	85.84	25.83	33.33	86.87	83.33	88.33
6	Στροφή / Έξοδος	34.55	81.82	14.55	1.82	84.24	78.79	86.06
7	Στροφή / Έξοδος	89.33	49.33	17.33	88	75.33	72.67	79.33
8	Ευθεία / Επαρχιακός	75.71	64.29	45.71	82.85	68.57	71.43	74.29
9	Στροφή / Είσοδος	72	100	4	4	100	100	100
10	Στροφή / Είσοδος	42.39	100	28.57	36	100	93.09	100
11	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	6.67	100	73.33	100	100	100	100
Μέση Επιτυχία (%)		54.59	76.23	29.69	67.49	80.73	80.53	84.11

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από τον δεύτερο πίνακα, τα αποτελέσματα στην κοντινή περιοχή (20m) είναι βελτιωμένα κατά ένα πάρα πολύ μεγάλο βαθμό. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς στην περιοχή αυτή επίδοση των αισθητήρων είναι πολύ καλύτερη και ο βαθμός κάλυψης της μεγιστοποιείται καθώς δεδομένα λαμβάνονται από όλους τους αισθητήρες, κάτι που δεν ισχύει για την μέση και μακρινή περιοχή.

Πίνακας 3.3: Συντελεστής επιτυχίας (20m)

#	Περιγραφή	Επιτυχία (%)						
		Κάμερα	Χάρτες	Λείζερ	ΔΚ-ΥΟ	ΣΧΠ	ΣΠΣ	ΣΣ
1	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	76.92	90.66	31.32	98.35	95.6	93.96	96.7
2	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	73.85	78.46	55.38	100	80	83.08	86.15
3	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	27.5	22.5	17.5	100	32.5	45	60
4	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	98.68	85.28	66.04	100	98.3	98.87	99.06
5	Στροφή / Έξοδος	53.33	92.5	40	51.67	90.83	88.33	93.33
6	Στροφή / Έξοδος	46.67	86.67	41.82	33.33	90.3	86.67	92.73
7	Στροφή / Έξοδος	92.67	61.33	34.67	91.33	81.33	78.67	84
8	Ευθεία / Επαρχιακός	87.14	74.29	57.14	88.57	74.29	78.57	84.29
9	Στροφή / Είσοδος	84	100	32	28	100	100	100
10	Στροφή / Είσοδος	56.22	100	44.7	39.17	100	95.39	100
11	Ευθεία / Αυτοκινητόδρομος	26.67	100	80	100	100	100	100
Μέση Επιτυχία (%)		65.79	81.06	45.51	75.49	85.74	86.23	90.57

Οι παραπάνω πίνακες δείχνουν ότι η προτεινόμενη συνδυαστική μέθοδος για την εύρεση της γεωμετρίας του δρόμου μέσω της σύντηξης των δεδομένων από πολλαπλές πηγές πληροφορίας τόσο στο χωρικό όσο και στο πεδίο των συντελεστών δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τις άλλες δυο μεθόδους. Το συγκεκριμένο σενάριο περιλαμβάνει την κίνηση του οχήματος μέσα σε έναν αυτοκινητόδρομο, μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα εξέρχεται μέσω μιας απότομης

στροφής σε έναν επαρχιακό δρόμο και μετά από λίγο ξανά-εισέρχεται μέσα στον αυτοκινητόδρομο χρησιμοποιώντας μια άλλη είσοδο.

3.5 Επίλογος

Για να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί μια λειτουργική μονάδα πλευρικής υποστήριξης σε ένα εξελιγμένο σύστημα υποβοήθησης οδηγού (ΕΣΥΟ) πρέπει να ενσωματωθεί σε αυτό μια αξιόπιστη και ανθεκτική υπό-μονάδα εκτίμησης της γεωμετρίας του δρόμου στον οποίο κινείται το υποκείμενο όχημα. Η υπό-μονάδα αυτή θα πρέπει να είναι ικανή να ανταπεξέρχεται τους τρέχοντες περιορισμούς των υπαρχόντων συστημάτων όρασης. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείται η πληροφορία από πολλαπλούς αισθητήρες για την εξαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που περιγράφουν τον δρόμο με τον βέλτιστο τρόπο. Χρησιμοποιώντας δεδομένα χαρτών είναι εφικτό να επεκταθεί η γεωμετρία του δρόμου σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις σε σύγκριση με τους υπάρχοντες αισθητήρες όπως είναι τα ραντάρ και οι κάμερες. Είναι επίσης δυνατόν να αυξηθεί η ανθεκτικότητα των συστημάτων ανίχνευσης λωρίδας καθώς καθίσταται δυνατή η ανίχνευση των γραμμών κυκλοφορίας ακόμα και στην περίπτωση που ένας ή περισσότεροι αισθητήρες αποτυγχάνουν να λειτουργούν με ικανοποιητική ακρίβεια λόγω κακών καιρικών συνθηκών ή άλλων αιτιών. Τέλος, ο σαρωτής λέιζερ βοηθά στην παροχή μιας συνολικής εικόνας του δρόμου και όχι μόνο της λωρίδας κυκλοφορίας και μπορεί επίσης να επεκτείνει τις δυνατότητες ανίχνευσης της κάμερας σε μεγαλύτερες αποστάσεις (μέση περιοχή). Ο συνολικός αλγόριθμος σύντηξης που παρουσιάστηκε σε αυτό το κεφάλαιο, όπως αποδείχτηκε, είναι ικανός να εκμεταλλεύεται την κάθε ξεχωριστή δυνατότητα των επιμέρους πηγών πληροφορίας παρέχοντας συγχρόνως μια αξιόπιστη συνολική αναπαράσταση τόσο της λωρίδας κυκλοφορίας όσο και ολόκληρου του δρόμου.

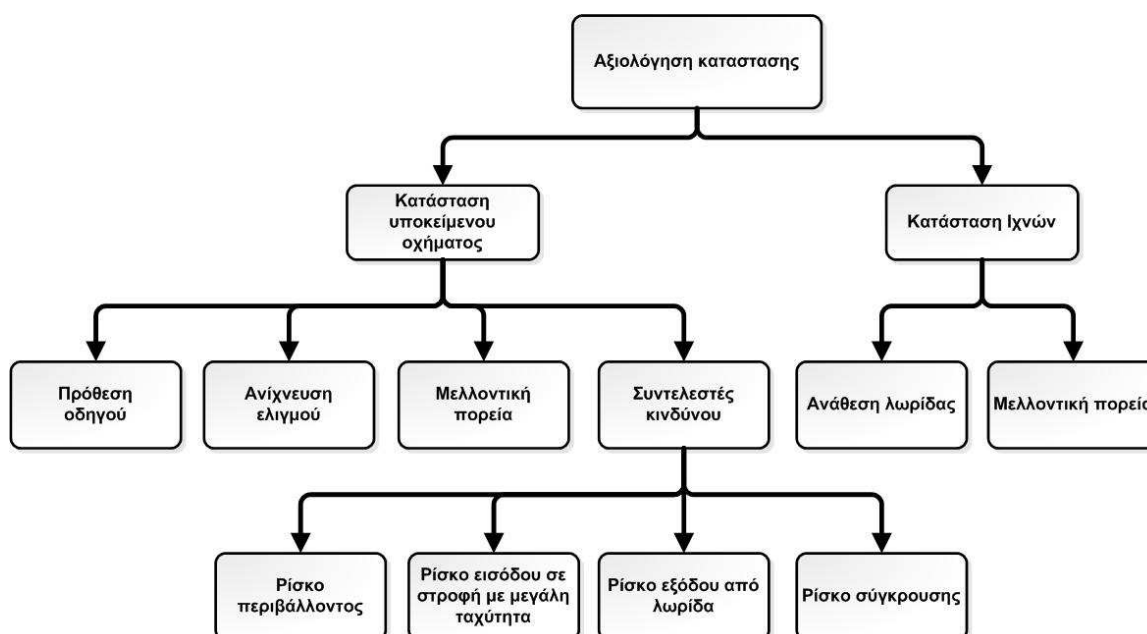
Κεφάλαιο 4

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

4.1 Εισαγωγή

Η γνώση της κατάστασης είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της απειλής της παρούσας και μελλοντικής κατάστασης. Η αξιολόγηση ρίσκου κατάστασης εξαρτάται στην εμπιστοσύνη σε όλους τους παράγοντες του συστήματος που θα δράσουν σύμφωνα με τον εκτιμώμενο τρόπο. Η αξιολόγηση κατάστασης μπορεί να είναι αβέβαιη λόγω της ελλιπούς γνώσης και αβέβαιων πηγών πληροφορίας. Η αξιολόγηση κατάστασης που σχετίζεται με το υποκείμενο όχημα περιλαμβάνει τις εξής υπό-συναρτήσεις:

- Εύρεση της μελλοντικής θέσης του υποκείμενου οχήματος.
- Εύρεση του ελιγμού που εκτελείται από το όχημα. Επίσης υπολογίζεται ένας συντελεστής εμπιστοσύνης σχετικά με την εκτίμηση που έχει γίνει.
- Εύρεση της πρόθεσης του οδηγού σχετικά με τον ελιγμό που πρόκειται να εκτελεστεί.
- Εύρεση του ρίσκου σύγκρουσης με άλλο όχημα.
- Εύρεση του ρίσκου αλλαγής λωρίδας.
- Εύρεση του ρίσκου εισόδου σε στροφή με μεγάλη ταχύτητα.
- Εύρεση του συνολικού ρίσκου σχετικά με μια επικίνδυνη κατάσταση στο οδικό περιβάλλον.



Σχήμα 4.1: Αξιολόγηση κατάστασης

Το μαθηματικό υπόβαθρο που θα χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση των προαναφερθέντων υπό-συναρτήσεων βασίζεται στην ασαφή λογική και στην θεωρία αποδείξεων. Ειδικότερα, η πρώτη

και δεύτερη συνάρτηση θα υλοποιηθούν με εφαρμογή της θεωρίας Dempster-Shafer, ενώ για όλες πλην της πρώτης θα γίνει υλοποίηση με εφαρμογή της θεωρίας ασαφούς λογικής.

Επίσης, για τα αντικείμενα που κινούνται γύρω από το όχημα και ανιχνεύονται από τους αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι πάνω σε αυτό θα γίνει εκτίμηση των εξής παραμέτρων:

- Υπολογισμός της μελλοντικής τροχιάς του αντικειμένου.
- Τύπος του ελιγμού που εκτελείται από τον ανιχνευόμενο αντικείμενο και συντελεστής εμπιστοσύνης για την εκτίμηση που έχει γίνει.
- Δείκτης της λωρίδας πάνω στην οποία κινείται το ανιχνευόμενο αντικείμενο.

Σχηματικά όλες οι υπό-συναρτήσεις φαίνονται στο σχήμα 4.1.

4.2 Πρόβλεψη μελλοντικής θέσης

Στην ενότητα αυτή γίνεται παρουσίαση της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την εύρεση της μελλοντικής θέσης ενός οχήματος. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μελλοντικής τροχιάς χρησιμοποιεί τις εξής πληροφορίες:

- Την δυναμική κατάσταση του οχήματος, η οποία περιλαμβάνει την ταχύτητα, την επιτάχυνση και την γωνιακή ταχύτητα. Οι μεταβλητές αυτές εφαρμόζονται σε διάφορα δυναμικά μοντέλα και εξάγεται το μονοπάτι που πρόκειται να ακολουθήσει το όχημα, του οποίου η τροχιά αναζητείται.
- Την γεωμετρία του δρόμου όπως αυτή παρέχεται από το οπτικό σύστημα αναγνώρισης λωρίδων και τους ψηφιακούς χάρτες. Ο υπολογισμός της μελλοντικής τροχιάς μπορεί να γίνει με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου εάν υποτεθεί ότι το όχημα δεν θα εκτελέσει πολύπλοκους ελιγμούς κατά το μελλοντικό χρονικό διάστημα που εξετάζεται.
- Επιπρόσθετα μπορεί να γίνει συνδυασμός των παραπάνω πηγών πληροφορίας και να εξαχθεί ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο που θα περιγράφει την μελλοντική κίνηση του οχήματος.

Η μελλοντική θέση του εξεταζόμενου αντικειμένου μπορεί να περιγραφεί με ένα διάνυσμα κατάστασης το οποίο ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιείται μπορεί να έχει μια από τις 3 παρακάτω μορφές:

$$\underline{x} = [x \quad U_x \quad y \quad U_y]^T \quad (4.1\alpha)$$

$$\underline{x} = [x \quad U_x \quad A_x \quad y \quad U_y \quad A_y]^T \quad (4.1\beta)$$

$$\underline{x} = [x \quad U_x \quad y \quad U_y \quad \omega]^T \quad (4.1\gamma)$$

$$\underline{x} = [x \quad U_x \quad A_x \quad y \quad U_y \quad A_y \quad \omega]^T \quad (4.1\delta)$$

Η πρόβλεψη του μελλοντικού διανύσματος κατάστασης γίνεται με βάση την παρακάτω εξίσωση μετάβασης κατάστασης:

$$\underline{x}(k+1) = \underline{A}(k) \cdot \underline{x}(k) \quad (4.2)$$

όπου $\underline{x}(k)$, $\underline{x}(k+1)$ είναι τα διανύσματα κατάστασης που αντιστοιχούν στις χρονικές στιγμές $t(k)$, $t(k+1)$ αντιστοίχως και $\underline{A}(k)$ είναι ο πίνακας μετάβασης που υπολογίζεται την χρονική στιγμή $t(k)$. Ο υπολογισμός του πίνακα συνδυακόμενης, ο οποίος εκφράζει το σφάλμα εκτίμησης θέσης, από κατάσταση σε κατάσταση γίνεται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$\underline{P}(k+1) = \underline{A}(k) \cdot \underline{P}(k) \cdot \underline{A}^T(k) \quad (4.3)$$

όπου $\underline{P}(k)$, $\underline{P}(k+1)$ είναι οι πίνακες συνδυακόμενης που αντιστοιχούν στις χρονικές στιγμές $t(k)$, $t(k+1)$ αντιστοίχως.

Τα δυναμικά μοντέλα κίνησης που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της μελλοντικής τροχιάς είναι τα παρακάτω:

- Μοντέλο σταθερής ταχύτητας (Constant Velocity model – CV)
- Μοντέλο σταθερής επιτάχυνσης (Constant Acceleration model – CA)

- Μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας (Constant Turn Rate model – CTR)
- Μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας και σταθερής εφαπτομενικής επιτάχυνσης (Constant Turn Rate and constant tangential Acceleration model – CTRA)
- Προσαρμοστικό δυναμικό μοντέλο (Adaptive Dynamic model – AD)

Τα μοντέλα κίνησης τα οποία στηρίζονται στη γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου είναι τα εξής:

- Μοντέλο με βάση το γεωμετρικό μοντέλο δρόμου clothoid
- Συνδυαστικό μοντέλο γεωμετρίας δρόμου και δυναμικού μοντέλου

4.2.1 Μοντέλο σταθερής ταχύτητας

Στο μοντέλο αυτό θεωρούμε ότι η ταχύτητα του αντικειμένου παραμένει σταθερή και στους δυο άξονες. Στην περίπτωση αυτή το διάνυσμα κατάστασης περιγράφεται από την εξίσωση (4.1α). Ο πίνακας μετάβασης του μοντέλου αυτού θα δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} \underline{AA} & \underline{O} \\ \underline{O} & \underline{AA} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

όπου:

$$\underline{AA} = \begin{bmatrix} 1 & dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

και \underline{O} είναι ο μηδενικός πίνακας. Επίσης dt είναι το χρονικό διάστημα που έχει οριστεί μεταξύ δυο διαδοχικών καταστάσεων και το οποίο μπορεί να είναι είτε συνεχές, είτε μεταβαλλόμενο. Στην περίπτωση του μοντέλου αυτού το αρχικό διάνυσμα κατάστασης είναι το παρακάτω:

$$\underline{x}(0) = [0 \quad U \quad 0 \quad 0]^T \quad (4.6)$$

όπου U είναι η τρέχουσα ταχύτητα του οχήματος.

4.2.2 Μοντέλο σταθερής επιτάχυνσης

Στο μοντέλο αυτό θεωρούμε ότι η επιτάχυνση του αντικειμένου παραμένει σταθερή και στους δυο άξονες, ενώ η ταχύτητα του μεταβάλλεται. Στην περίπτωση αυτή το διάνυσμα κατάστασης περιγράφεται από την εξίσωση (4.1β). Ο πίνακας μετάβασης του μοντέλου αυτού θα δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} \underline{AA} & \underline{O} \\ \underline{O} & \underline{AA} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

όπου:

$$\underline{AA} = \begin{bmatrix} 1 & dt & dt^2/2 \\ 0 & 1 & dt \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Στην περίπτωση του μοντέλου αυτού το αρχικό διάνυσμα κατάστασης είναι το παρακάτω:

$$\underline{x}(0) = [0 \quad U \quad A \quad 0 \quad 0 \quad \omega \cdot U]^T \quad (4.9)$$

όπου A είναι η εγκάρσια επιτάχυνση του και ω η γωνιακή του ταχύτητα.

4.2.3 Μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας

Στο μοντέλο αυτό θεωρούμε ότι η γωνιακή ταχύτητα του οχήματος και η ταχύτητα του παραμένουν σταθερές. Η χαρακτηριστική εξίσωση του μοντέλου αυτού που συνδέει τον ρυθμό μεταβολής της επιτάχυνσης \dot{A} σε συνάρτηση με την ταχύτητα U και την γωνιακή ταχύτητα ω είναι η παρακάτω:

$$\dot{A} = -\omega^2 \cdot U \quad (4.10)$$

όπου η γωνιακή ταχύτητα ω ορίζεται από το παρακάτω διανυσματικό γινόμενο:

$$\omega = \frac{\bar{\omega} \times \bar{U}}{U^2} \quad (4.11)$$

Οι παραπάνω δυο εξισώσεις περιγράφουν πλήρως την δυναμική συμπεριφορά ενός αντικειμένου το οποίο εκτελεί μια ομαλή στροφή στην οποία θεωρούμε ότι το διάνυσμα της κεντρομόλου επιτάχυνσης είναι πάντα κάθετο στο διάνυσμα της ταχύτητας και η κίνηση γίνεται σε οριζόντιο επίπεδο. Η ταχύτητα του αντικειμένου μπορεί να αναλυθεί στους δυο άξονες με βάση τις παρακάτω εξισώσεις:

$$U_x = U \cdot \cos(\varphi) \quad (4.12\alpha)$$

$$U_y = U \cdot \sin(\varphi) \quad (4.12\beta)$$

Παραγωγίζοντας λαμβάνουμε τις παρακάτω σχέσεις που περιγράφουν την επιτάχυνση του αντικειμένου:

$$A_x = \dot{U}_x = -U \cdot \omega \cdot \sin(\varphi) = -\omega \cdot U_y \quad (4.13\alpha)$$

$$\dot{A}_x = -U \cdot \omega^2 \cdot \cos(\varphi) = -\omega^2 \cdot U_x \quad (4.13\beta)$$

$$A_y = \dot{U}_y = U \cdot \omega \cdot \cos(\varphi) = \omega \cdot U_x \quad (4.13\gamma)$$

$$\dot{A}_y = -U \cdot \omega^2 \cdot \sin(\varphi) = -\omega^2 \cdot U_y \quad (4.13\delta)$$

Οι εξισώσεις εύρεσης της θέσης λαμβάνονται θεωρώντας σταθερή γωνιακή ταχύτητα $\omega = \dot{\varphi}$:

$$x(k+1) = x(k) + \int_{t_k}^{t_{k+1}} U_x(\tau | t_k) d\tau = x(k) + T \cdot [SW \cdot U_x(k) - CW \cdot U_y(k)] \quad (4.14\alpha)$$

$$y(k+1) = y(k) + \int_{t_k}^{t_{k+1}} U_y(\tau | t_k) d\tau = y(k) + T \cdot [CW \cdot U_x(k) + SW \cdot U_y(k)] \quad (4.14\beta)$$

όπου:

$$SW = \frac{\sin(\omega \cdot T)}{\omega \cdot T} \quad (4.15\alpha)$$

$$CW = \frac{1 - \cos(\omega \cdot T)}{\omega \cdot T} \quad (4.15\beta)$$

Αντιστοίχως για την ταχύτητα εξάγονται οι παρακάτω σχέσεις:

$$U_x(k+1) = U \cdot \cos(\varphi + \omega \cdot T) = U_x(k) \cdot \cos(\omega \cdot T) - U_y(k) \cdot \sin(\omega \cdot T) \quad (4.16\alpha)$$

$$U_y(k+1) = U \cdot \sin(\varphi + \omega \cdot T) = U_x(k) \cdot \sin(\omega \cdot T) + U_y(k) \cdot \cos(\omega \cdot T) \quad (4.16\beta)$$

Στην περίπτωση αυτή το διάνυσμα κατάστασης περιγράφεται από την εξίσωση (4.1γ). Έτσι, λοιπόν με βάση τις εξισώσεις (12), (13), (14) εξάγεται ο γραμικοποιημένος πίνακας μετάβασης του μη γραμμικού συστήματος που περιγράφει την ομαλή κυκλική κίνηση και ο οποίος είναι ο εξής:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & \sin(\omega T)/\omega & 0 & -(1 - \cos(\omega T))/\omega & f_{15} \\ 0 & \cos(\omega T) & 0 & -\sin(\omega T) & f_{25} \\ 0 & (1 - \cos(\omega T))/\omega & 1 & \sin(\omega T)/\omega & f_{35} \\ 0 & \sin(\omega T) & 0 & \cos(\omega T) & f_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

όπου:

$$dsw = \frac{\cos(\omega T)}{\omega} - \frac{\sin(\omega T)}{\omega^2 T} \quad (4.18\alpha)$$

$$dcw = \frac{\sin(\omega T)}{\omega} - \frac{1}{\omega^2 T} + \frac{\cos(\omega T)}{\omega^2 T} \quad (4.18\beta)$$

$$f_{15} = \frac{\partial x}{\partial \omega} = T \cdot (U_x \cdot dsw - U_y \cdot dcw) \quad (4.18\gamma)$$

$$f_{25} = \frac{\partial U_x}{\partial \omega} = -T \cdot (U_x \cdot \sin(\omega T) + U_y \cdot \cos(\omega T)) \quad (4.18\delta)$$

$$f_{35} = \frac{\partial y}{\partial \omega} = T \cdot (U_x \cdot dcw + U_y \cdot dsw) \quad (4.18\epsilon)$$

$$f_{45} = \frac{\partial U_y}{\partial \omega} = T \cdot (U_x \cdot \cos(\omega T) - U_y \cdot \sin(\omega T)) \quad (4.18\zeta)$$

Στην περίπτωση του μοντέλου αυτού το αρχικό διάνυσμα κατάστασης του υποκείμενου οχήματος είναι το παρακάτω:

$$\underline{x}(0) = [0 \quad U \quad 0 \quad 0 \quad \omega]^T \quad (4.19)$$

Στην περίπτωση αντικειμένου που ανιχνεύεται από τους αισθητήρες του οχήματος το αρχικό διάνυσμα κατάστασης θα είναι το εξής:

$$\underline{x}(0) = \left[x_0 \quad U_x \quad y_0 \quad U_y \quad \frac{U_x \cdot A_y - U_y \cdot A_x}{U_x^2 + U_y^2} \right]^T \quad (4.20)$$

όπου:

$$\underline{x} = [x_0 \quad U_x \quad A_x \quad y_0 \quad U_y \quad A_y]^T \quad (4.21)$$

είναι η δυναμική κατάσταση του συγκεκριμένου αντικειμένου όπως αυτή εξάγεται από την υπομονάδα σύντηξης δεδομένων των αισθητήρων του υποκείμενου οχήματος.

4.2.4 Μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας και σταθερής εφαπτομενικής επιτάχυνσης

Το μοντέλο αυτό περιγράφει με έναν πιο ρεαλιστικό τρόπο την πραγματική κίνηση του οχήματος. Θεωρούμε ότι ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας του αντικειμένου (εφαπτομενική επιτάχυνση) είναι σταθερός καθώς και ο ρυθμός μεταβολής της διεύθυνσης του:

$$A_T = \dot{U} = const \quad (4.22\alpha)$$

$$\omega = \dot{\varphi} = const \quad (4.22\beta)$$

Οι δυο συνιστώσες της επιτάχυνσης υπολογίζονται ως εξής:

$$\begin{aligned} A_x = \dot{U}_x &= \dot{U} \cdot \cos(\varphi) - U \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin(\varphi) = A_T \cdot \cos(\varphi) - \omega \cdot U \cdot \sin(\varphi) = \\ &= A_T \cdot \cos(\varphi) - \omega \cdot U_y = A_{Tx} + A_{Cx} \end{aligned} \quad (4.23\alpha)$$

$$\begin{aligned} A_y = \dot{U}_y &= \dot{U} \cdot \sin(\varphi) + U \cdot \dot{\varphi} \cdot \cos(\varphi) = A_T \cdot \sin(\varphi) + \omega \cdot U \cdot \cos(\varphi) = \\ &= A_T \cdot \sin(\varphi) + \omega \cdot U_x = A_{Ty} + A_{Cy} \end{aligned} \quad (4.23\beta)$$

Οι δυο συνιστώσες της κεντρομόλου επιτάχυνσης θα δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$A_{Cx} = -\omega \cdot U_y \quad (4.24\alpha)$$

$$A_{Cy} = \omega \cdot U_x \quad (4.24\beta)$$

Φαίνεται εύκολα ότι:

$$A_C = \sqrt{A_{Cx}^2 + A_{Cy}^2} = \sqrt{\omega^2 \cdot U_y^2 + \omega^2 \cdot U_x^2} = \omega \cdot \sqrt{U_x^2 + U_y^2} = \omega \cdot U \quad (4.25)$$

Αντιστοίχως οι δυο συνιστώσες της εφαπτομενικής επιτάχυνσης υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$A_{Tx} = A_T \cdot \cos(\varphi) \quad (4.26\alpha)$$

$$A_{Ty} = A_T \cdot \sin(\varphi) \quad (4.26\beta)$$

Στην περίπτωση του μοντέλου αυτού το διάνυσμα κατάστασης περιγράφεται από την εξίσωση (4.1δ). Ο πίνακας μετάβασης προκύπτει ότι είναι:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(\omega T)}{\omega} & f(13) & 0 & \frac{\cos(\omega T)-1}{\omega} & f(16) & f(17) \\ 0 & \cos(\omega T) & T \cos(\omega T) & 0 & -\sin(\omega T) & -T \sin(\omega T) & f(27) \\ 0 & 0 & \cos(\omega T) & 0 & 0 & -\sin(\omega T) & f(37) \\ 0 & \frac{1-\cos(\omega T)}{\omega} & f(43) & 1 & \frac{\sin(\omega T)}{\omega} & f(46) & f(47) \\ 0 & \sin(\omega T) & T \sin(\omega T) & 0 & \cos(\omega T) & T \cos(\omega T) & f(57) \\ 0 & 0 & \sin(\omega T) & 0 & 0 & \cos(\omega T) & f(67) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

Στην περίπτωση του μοντέλου αυτού το αρχικό διάνυσμα κατάστασης του υποκείμενου οχήματος είναι το παρακάτω:

$$\underline{x}(0) = [0 \quad U \quad A \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad \omega]^T \quad (4.28)$$

4.2.5 Προσαρμοστικό δυναμικό μοντέλο

Αναμένεται ότι το μοντέλο σταθερής επιτάχυνσης θα επιτυγχάνει μεγαλύτερη ακρίβεια στις περιπτώσεις που ο οδηγός κινείται με σταθερή εγκάρσια επιτάχυνση. Αντιστοίχως το μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας θα έχει μικρότερο σφάλμα στην πρόβλεψη τροχιάς στις περιπτώσεις που ο οδηγός κινείται σε στροφές αλλάζοντας την διεύθυνση του οχήματος με σταθερό ρυθμό και διατηρώντας την ταχύτητα σταθερή. Τέλος το μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας και σταθερής εφαπτομενικής επιτάχυνσης θα έχει μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας στις περιπτώσεις αυτές που το όχημα κινείται σε στροφές με σταθερή καμπυλότητα, χωρίς να εκτελεί πλευρικούς ελιγμούς, ενώ ο οδηγός το επιταχύνει με σταθερό ρυθμό. Εξετάζοντας τα δεδομένα που προέρχονται από αληθινά σενάρια οδήγησης μπορούν να οριστούν ορισμένοι εμπειρικοί κανόνες με βάση τους οποίους να γίνεται κατάλληλη επιλογή δυναμικού μοντέλου σε κάθε χρονική στιγμή. Οι κανόνες αυτοί λαμβάνουν υπόψη τις τρέχουσες τιμές του ρυθμού μεταβολής της γωνιακής ταχύτητας και της εγκάρσιας επιτάχυνσης του οχήματος. Με βάση δοκιμές και αναλύσεις δεδομένων από σενάρια τα κατώφλια για την αλλαγή μοντέλου ορίζονται στο 0.01 rad/s^2 και 0.05 m/s^2 αντιστοίχως. Έτσι λοιπόν, εάν για παράδειγμα $\dot{\omega} > 0.01 \text{ rad/s}^2$ και $A > 0.05 \text{ m/s}^2$ τότε το CTRA μοντέλο επιλέγεται, ενώ εάν $\dot{\omega} < 0.01 \text{ rad/s}^2$ τότε εφαρμόζεται το CA μοντέλο, αλλιώς εφαρμόζεται το CTR μοντέλο.

Το προσαρμοστικό μοντέλο, που βασίζεται στα τρία επιμέρους δυναμικά μοντέλα, έχει το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS), συγκρίνοντας την απόδοση του σε σχέση με τα υπόλοιπα τρία μοντέλα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για ACC συστήματα, μόνο το RMS σφάλμα στον x άξονα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, καθώς η περιοχή κάλυψης του ραντάρ που χρησιμοποιείται σε τέτοια συστήματα είναι πολύ στενή. Για την γενική όμως περίπτωση αποφυγής σύγκρουσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα RMS σφάλματα και στους δυο άξονες.

4.2.6 Μοντέλο με βάση τη γεωμετρία του δρόμου

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η εξίσωση που περιγράφει τη γεωμετρία του δρόμου στον όποιο κινείται το εξεταζόμενο αντικείμενο όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3. Οι συντεταγμένες στον άξονα x λαμβάνονται χρησιμοποιώντας ένα από τα διαθέσιμα δυναμικά μοντέλα, ενώ οι συντεταγμένες στον κατακόρυφο άξονα λαμβάνονται χρησιμοποιώντας την εξίσωση του μοντέλου – clothoid. Έτσι λοιπόν στη περίπτωση που χρησιμοποιούμε για δυναμικό μοντέλο το CA οι εξισώσεις θα έχουν την παρακάτω μορφή:

$$y = y_0 + \frac{1}{2} \cdot c_0 \cdot x^2 + \frac{1}{6} \cdot c_1 \cdot x^3 \quad (4.29\alpha)$$

$$x = x_0 + U_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot A \cdot t^2 \quad (4.29\beta)$$

Οι εξισώσεις ανανέωσης κατάστασης θα έχουν την εξής μορφή:

$$A_x(k+1) = A_x(k) \quad (4.30\alpha)$$

$$U_x(k+1) = U_x(k) + A_x(k) \cdot T \quad (4.30\beta)$$

$$x(k+1) = x(k) + U_x(k) \cdot T + 0,5 \cdot A_x(k) \cdot T^2 \quad (4.30\gamma)$$

$$y(k+1) = y(k) + \frac{1}{2} \cdot c_0 \cdot x^2(k+1) + \frac{1}{6} \cdot c_1 \cdot x^3(k+1) \quad (4.30\delta)$$

Στην περίπτωση του μοντέλου αυτού το αρχικό διάνυσμα κατάστασης του υποκείμενου οχήματος είναι το παρακάτω:

$$\underline{x} = [x_0 \quad U \quad A \quad y_0]^T \quad (4.31)$$

Τα ιδανικά σενάρια για τα οποία το μοντέλο αυτό θα προβλέπει την μελλοντική τροχιά με το μικρότερο RMS σφάλμα είναι εκείνα στα οποία ο οδηγός ακολουθεί την γεωμετρία του δρόμου χωρίς να εκτελεί πλευρικούς ελιγμούς. Για παράδειγμα χωρίς να εκτελεί αλλαγές λωρίδας, ή πλευρικούς ελιγμούς μικρής κλίμακας εντός της λωρίδας στην οποία κινείται, ή προσπεράσεις.

4.2.7 Συνδυαστικό μοντέλο με βάση την γεωμετρία δρόμου και δυναμικού μοντέλου

Στο μοντέλο αυτό για τον υπολογισμό των συντεταγμένων στον διαμήκη άξονα γίνεται χρήση ενός δυναμικού μοντέλου και για τον υπολογισμό των συντεταγμένων στον πλευρικό άξονα γίνεται χρήση συνδυαστικού κανόνα με βάρη, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη τόσο το μοντέλο οδήγησης που ακολουθεί πιστά τη γεωμετρία του δρόμου, όσο και το μοντέλο οδήγησης με ελιγμούς. Το προτεινόμενο μοντέλο CDRB κάνει χρήση βαρών για το συνδυασμό των μετατοπίσεων στον πλευρικό άξονα με βάση τα δυο διαφορετικά μοντέλα, έτσι ώστε να προβλέψει την μελλοντική τροχιά του αντικείμενου. Το βάρος το οποίο χρησιμοποιείται για την συνέλιξη του δυναμικού μοντέλου με τη γεωμετρία του δρόμου ορίζεται ως:

$$r = \frac{N_p - k}{N_p - 1} \quad k = 1, 2, \dots, N_p \quad (4.32)$$

όπου N_p είναι ο αριθμός των σημείων της μελλοντικής πορείας του οχήματος. Η μελλοντική τροχιά υπολογίζεται λοιπόν χρησιμοποιώντας τις εξής σχέσεις:

$$x(k) = x_d(k) \quad (4.33\alpha)$$

$$y(k) = r \cdot y_d(k) + (1-r) \cdot y_r(k) \quad k = 1, 2, \dots, N_p \quad (4.33\beta)$$

όπου $x_d(k)$ είναι η διαμήκης μετατόπιση που υπολογίζεται με βάση το δυναμικό μοντέλο τη χρονική στιγμή $t(k)$, y_r είναι η πλευρική μετατόπιση που υπολογίζεται με βάση τη γεωμετρία του δρόμου και y_d η πλευρική μετατόπιση που υπολογίζεται με βάση το δυναμικό μοντέλο. Το συγκεκριμένο συνδυαστικό μοντέλο ενδείκνυται για περιπτώσεις που οδηγός εκτελεί ελιγμούς σε δρόμο με καμπύλη γεωμετρία, καθώς δίνει μεγαλύτερο βάρος στα πρώτα στάδια της μελλοντικής τροχιάς και αντιστοίχως μεγαλύτερο βάρος στο στατικό γεωμετρικό μοντέλο στο τελευταίο τμήμα της τροχιάς.

4.3 Υπολογισμός κινδύνου με χρήση συστήματος ασαφούς λογικής

Το προτεινόμενο σύστημα που θα υλοποιηθεί θα περιλαμβάνει τον υπολογισμό τεσσάρων επιμέρους συντελεστών κινδύνου και τον υπολογισμό ενός τελικού συντελεστή κινδύνου έτσι ώστε να γίνεται εκτίμηση της συνολικής κατάστασης που επικρατεί στο οδικό περιβάλλον μέσα στο οποίο κινείται το υποκείμενο όχημα. Η μέθοδος που προτείνεται περιλαμβάνει την χρήση συστημάτων ασαφούς λογικής, ενώ οι υπάρχοντες τεχνικές μέχρι τώρα έκαναν χρήση εμπειρικών συστημάτων και συνδυασμό πληροφοριών με χρήση βαρών.

4.3.1 Εισαγωγή στη θεωρία ασαφούς λογικής

Στην ενότητα αυτή γίνεται μια εισαγωγή στη θεωρία ασαφούς λογικής. Στην αρχή θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση των ασαφών συνόλων. Ένα κλασικό σύνολο είναι ένα σύνολο το οποίο έχει

ξεκάθαρο όριο. Για παράδειγμα το σύνολο A των πραγματικών αριθμών που είναι μεγαλύτεροι του 1.8 μπορεί να εκφραστεί ως:

$$A = \{x \mid x > 1.8\} \quad (4.34)$$

όπου υπάρχει ένα καθαρό και σαφές όριο το 1.8 για το οποίο αν ένας πραγματικός x είναι μεγαλύτερος από αυτόν τον αριθμό, τότε ο x ανήκει στο σύνολο A , διαφορετικά όμως δεν ανήκει σε αυτό το σύνολο. Αν και τα κλασικά σύνολα είναι κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές και έχουν αποδειχθεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο για τις επιστήμες των μαθηματικών και των υπολογιστών, ωστόσο δεν αντανακλούν την φύση των ανθρώπινων σκέψεων και ιδεών, οι οποίες τείνουν να είναι αφηρημένες και ανακριβείς. Σαν παράδειγμα μπορεί να θεωρηθεί η μαθηματική αναπαράσταση του συνόλου των ψηλών ανθρώπων σαν η συλλογή των ανθρώπων αυτών των οποίων το ύψος είναι μεγαλύτερο από 1.8 μέτρα. Το σύνολο αυτό μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση (4.34), εάν θεωρήσουμε ότι το A αντιστοιχεί στους ψηλούς ανθρώπους και το x είναι το ύψος. Ωστόσο, αυτός είναι ένας αφύσικος και ανεπαρκής τρόπος για την αναπαράσταση της κοινής έννοιας των ψηλών ανθρώπων. Αυτό συμβαίνει γιατί η διχοτόμος φύση του κλασικού συνόλου θα κατηγοριοποιούσε έναν άνθρωπο με ύψος 1.81 σαν ψηλό και κάποιον με ύψος 1.79 σαν κοντό. Η διάκριση αυτή είναι διαισθητικά παράλογη.

Σε αντίθεση με το κλασικό σύνολο, ένα ασαφές σύνολο, όπως το όνομα συνεπάγεται, είναι ένα σύνολο χωρίς ξεκάθαρο όριο. Δηλαδή, η μετάβαση από το 'ανήκει στο σύνολο' στο 'δεν ανήκει στο σύνολο' είναι βαθμιαία και αυτή η ομαλή μετάβαση χαρακτηρίζεται από τις συναρτήσεις μέλους οι οποίες δίνουν στα ασαφή σύνολα την ευλυγισία στη μοντελοποίηση κοινών γλωσσικών εκφράσεων, όπως για παράδειγμα 'το νερό είναι ζεστό' ή 'η θερμοκρασία είναι υψηλή'. Όπως έχει τονίσει ο Zadeh το 1965 στη θεμελιώδη εργασία του 'Fuzzy Sets', τέτοια μη επαρκώς ορισμένα σύνολα ή κλάσεις 'παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη σκέψη, ειδικά στους χώρους της αναγνώρισης προτύπων, επικοινωνιών πληροφορίας, και των αφηρημένων εννοιών'. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ασάφεια δεν πηγάζει από την τυχαιότητα των συνιστωσών μελών των συνόλων, αλλά από την αβέβαιη και ανακριβή φύση των αφηρημένων σκέψεων και ιδεών.

Ας υποθέσουμε ότι X είναι ένας χώρος αντικειμένων και x είναι ένα γενικό στοιχείο του X . Ένα κλασικό σύνολο A , $A \subseteq X$, ορίζεται σαν μια συλλογή στοιχείων ή αντικειμένων $x \in X$, έτσι ώστε κάθε x να μπορεί είτε να ανήκει είτε να μην ανήκει στο σύνολο A . Ορίζοντας μια χαρακτηριστική συνάρτηση για κάθε στοιχείο x στο X , μπορούμε να αναπαραστήσουμε ένα κλασικό σύνολο A σαν ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών $(x,0)$ ή $(x,1)$, το οποίο υποδεικνύει εάν $x \notin A$ ή αν $x \in A$ αντιστοίχως.

4.3.1.1 Ορισμός ασαφούς συνόλου και συνάρτησης μέλους

Εάν X είναι μια συλλογή στοιχείων που δηλώνονται γενικά από το x , τότε ένα ασαφές σύνολο A στο X ορίζεται σαν ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (4.35)$$

όπου $\mu_A(x)$ ονομάζεται η συνάρτηση μέλους (ΣΜ) για το ασαφές σύνολο A . Η ΣΜ αντιστοιχεί κάθε στοιχείο του X σε ένα βαθμό μέλους (ή τιμή μέλους) μεταξύ του 0 και του 1.

Προφανώς, ο ορισμός του ασαφούς συνόλου είναι μια απλή επέκταση του ορισμού του κλασικού συνόλου στο οποίο η χαρακτηριστική συνάρτηση επιτρέπεται να έχει οποιοδήποτε τιμές μεταξύ 0 και 1. Εάν η τιμή της συνάρτησης μέλους $\mu_A(x)$ περιορίζεται να είναι 0 ή 1, τότε το A ανάγεται σε κλασικό σύνολο και $\mu_A(x)$ είναι η χαρακτηριστική συνάρτηση του A . Από εδώ και πέρα το κλασικό σύνολο θα αναφέρεται επίσης και ως σύνηθες σύνολο, ξεκάθαρο σύνολο, μη ασαφές σύνολο ή απλά σύνολο.

Επίσης, το X αναφέρεται και ως σύνολο αναφοράς η θεμελιώδης χώρος και μπορεί να αποτελείται από διακριτά (διατεταγμένα ή μη διατεταγμένα) αντικείμενα η να είναι ένας συνεχής χώρος. Η κατασκευή ενός ασαφούς συνόλου εξαρτάται από δυο παραμέτρους: την ταυτοποίηση ενός κατάλληλου συνόλου αναφοράς και τον καθορισμό μιας κατάλληλης συνάρτησης μέλους. Ο

καθορισμός των συναρτήσεων μέλους είναι υποκειμενικός, το οποίο σημαίνει ότι οι συναρτήσεις μέλους που έχουν οριστεί για την ίδια ιδέα (π.χ. 'λογικός αριθμός παιδιών σε μια οικογένεια') από διαφορετικά άτομα μπορεί να διαφέρει σημαντικά. Η υποκειμενικότητα αυτή πηγάζει από τις επιμέρους διαφορές που υπάρχουν στην αντίληψη ή στην έκφραση αφηρημένων ιδεών και πάρα πολύ λίγο έχει να κάνει με την τυχαιότητα. Έτσι λοιπόν η υποκειμενικότητα και η τυχαιότητα των ασαφών συνόλων είναι η κυριότερη διαφορά μεταξύ της μελέτης των ασαφών συνόλων και της πιθανοτικής θεωρίας, η οποία ασχολείται με την αντικειμενική αντιμετώπιση τυχαιών φαινομένων.

Για απλότητα της αναπαράστασης, εισάγεται ένας εναλλακτικός τρόπος για την αναπαράσταση των ασαφών συνόλων. Ένα ασαφές σύνολο A μπορεί να δηλωθεί ως:

$$A = \begin{cases} \sum_{x_i \in X} \mu_A(x_i) / x_i & X = \text{διακριτό} \\ \int_X \mu_A(x) / x & X = \text{συνεχές} \end{cases} \quad (4.36)$$

Οι τελεστές άθροισης και ολοκλήρωσης στην παραπάνω εξίσωση αναφέρονται στην ένωση των $(x, \mu_A(x))$ ζευγών και δεν υποδεικνύουν πραγματική άθροιση ή ολοκλήρωση. Το ίδιο ισχύει και για το / το οποίο χρησιμοποιείται ως δείκτης και όχι ως τελεστής διαίρεσης.

Στην πράξη όταν το σύνολο αναφοράς X είναι συνεχές, τότε συνήθως τεμαχίζεται το X σε πολλά ασαφή σύνολα των οποίων οι ΜΣ καλύπτουν το X με ένα λίγο ή περισσότερο ομοιόμορφο τρόπο. Τα ασαφή αυτά σύνολα, τα οποία συνήθως έχουν ονόματα τα οποία συμμορφώνονται με επίθετα τα οποία παρουσιάζονται στην καθημερινή γλωσσική χρήση, όπως 'μεγάλο', 'μεσαίο', ή 'μικρό' ονομάζονται γλωσσικές τιμές ή γλωσσικές ετικέτες. Έτσι, το σύνολο αναφοράς X συχνά καλείται η γλωσσική μεταβλητή.

4.3.1.2 Ιδιότητες συναρτήσεων μέλους

Ένα ασαφές σύνολο ορίζεται μοναδικά από τη συνάρτηση του μέλους. Για να περιγραφούν οι συναρτήσεις μέλους πιο ειδικά, ορίζονται ορισμένες ιδιότητες τους.

Η υποστήριξη ενός ασαφούς συνόλου A είναι το σύνολο όλων των σημείων x του X έτσι ώστε $\mu_A(x) > 0$:

$$\text{sup port}(A) = \{x \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (4.37)$$

Ο πυρήνας ενός ασαφούς συνόλου A είναι το σύνολο όλων των σημείων x του X έτσι ώστε $\mu_A(x) = 1$:

$$\text{core}(A) = \{x \mid \mu_A(x) = 1\} \quad (4.38)$$

Ένα ασαφές σύνολο A είναι κανονικό όταν ο πυρήνας του δεν είναι κενός. Με άλλα λόγια όταν υπάρχει πάντα ένα σημείο $x \in X$ τέτοιο ώστε $\mu_A(x) = 1$.

Το σημείο διασταύρωσης ενός ασαφούς συνόλου A είναι ένα σημείο $x \in X$ στο οποίο $\mu_A(x) = 0.5$.

$$\text{crossover}(A) = \{x \mid \mu_A(x) = 0.5\} \quad (4.39)$$

Το ασαφές σύνολο του οποίου η υποστήριξη είναι ένα μοναδικό σημείο στο X με $\mu_A(x) = 1$ ονομάζεται μοναδιαίο.

4.3.2 Ρίσκο κατάστασης περιβάλλοντος

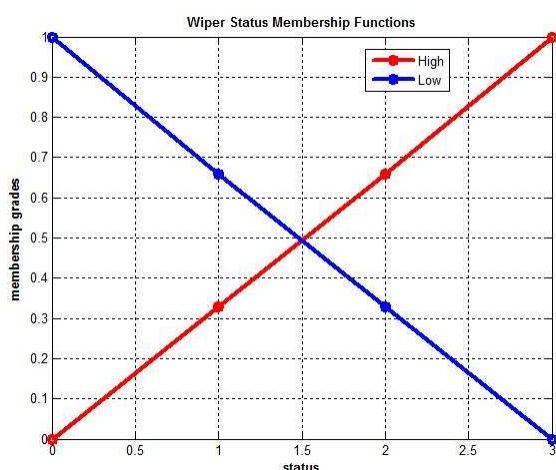
Για τον υπολογισμό του ρίσκου αυτού λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες, όπως γίνονται αντιληπτές από τους εγκατεστημένους αισθητήρες του οχήματος. Πιο συγκεκριμένα λαμβάνεται υπόψη:

- Ο καιρός και η ένταση του. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται με βάση την κατάσταση των υαλοκαθαριστήρων και της έντασης λειτουργίας τους.
- Η κατάσταση φωτός, δηλαδή εάν είναι ημέρα ή νύχτα, που γίνεται αντιληπτή από την κατάσταση λειτουργίας των φώτων του οχήματος.

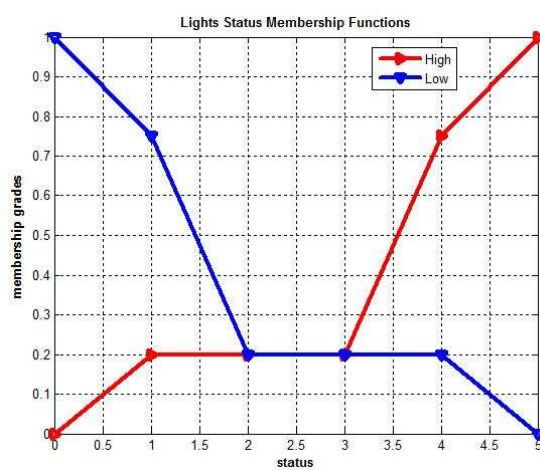
- Η ύπαρξη ή όχι ομίχλης που γίνεται αντιληπτή από την λειτουργία ή όχι των φώτων ομίχλης.

Είναι προφανές ότι οι πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος δεν λαμβάνονται απευθείας με την χρήση αισθητήρων περιβάλλοντος αλλά έμμεσα, με βάση την κατάσταση λειτουργίας δευτερευόντων οργάνων του οχήματος, των οποίων η λειτουργία εξαρτάται και επηρεάζεται από τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες.

Το σύστημα ασαφούς λογικής που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου Sugeno. Οι μεταβλητές εισόδου του συστήματος ορίστηκαν να είναι η κατάσταση των υαλοκαθαριστήρων *Wiper_Status* και η κατάσταση των φώτων του οχήματος *Lights_Status*. Επίσης, ορίστηκαν δυο επίπεδα καταστάσεων του συστήματος $\{Low, High\}$. Οι συναρτήσεις μέλους για τις δυο μεταβλητές του συστήματος φαίνονται στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις:



Σχήμα 4.2: Συναρτήσεις μέλους κατάστασης υαλοκαθαριστήρων



Σχήμα 4.3: Συναρτήσεις μέλους κατάστασης φώτων οχήματος

Η κατάσταση του υαλοκαθαριστήρα μπορεί να έχει τις εξής δυνατές τιμές (0, 1, 2, 3) οι οποίες αντιστοιχούν στις εξής περιπτώσεις (εκτός λειτουργίας, πρώτη βαθμίδα, δεύτερη βαθμίδα, τρίτη βαθμίδα). Η κατάσταση των φώτων αντιστοίχως θα λαμβάνει τις τιμές (0, 1, 2, 3, 4, 5) οι οποίες αντιστοιχούν στις εξής περιπτώσεις (εκτός λειτουργίας, πλευρικό φως, χαμηλή ένταση, υψηλή ένταση, φώτα ομίχλης, φώτα ομίχλης και υψηλή ένταση). Οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για να μοντελοποιηθεί το σύστημα φαίνονται παρακάτω:

$$\text{if } Wiper_Status = High \text{ and } Lights_Status = High \quad (4.40\alpha)$$

$$\text{then } z_H = 0.6 \cdot ws + 0.4 \cdot ls$$

$$\text{if } Wiper_Status = Low \text{ and } Lights_Status = Low \quad (4.40\beta)$$

$$\text{then } z_L = 0.4 \cdot ws + 0.6 \cdot ls$$

όπου:

$$ws = Wiper_Status / 3 \quad (4.41\alpha)$$

$$ls = Lights_Status / 5 \quad (4.41\beta)$$

Η τελική έξοδος που θα εκφράζει και το συντελεστή περιβαλλοντικού ρίσκου θα είναι:

$$R_E = \frac{w_H \cdot z_H + w_L \cdot z_L}{w_H + w_L} \quad (4.42)$$

όπου τα βάρη w_H, w_L υπολογίζονται από τις συναρτήσεις μέλους ως εξής:

$$w_H = \min(\mu_{wiper}^{High}(Wiper_Status), \mu_{lights}^{High}(Lights_Status)) \quad (4.43\alpha)$$

$$w_L = \min(\mu_{wiper}^{Low} (Wiper_Status), \mu_{lights}^{Low} (Lights_Status)) \quad (4.43\beta)$$

4.3.3 Ρίσκο εισόδου σε στροφή με μεγάλη ταχύτητα

Το ρίσκο αυτό σχετίζεται με την είσοδο του οχήματος σε στροφές έχοντας μεγάλη ταχύτητα και προφανώς σε μια τέτοια κατάσταση θα υπάρχει ο κίνδυνος εκτροπής του και εξόδου του από το δρόμο ή εισόδου του σε γειτονική λωρίδα, όπου πιθανώς να κινούνται άλλα οχήματα. Για την εύρεση του ρίσκου αυτού λαμβάνονται υπόψη πληροφορίες σχετικά με την καμπυλότητα του δρόμου οι οποίες προέρχονται από τους ψηφιακούς χάρτες και την κάμερα ανίχνευσης λωρίδων. Επίσης λαμβάνεται υπόψη η τρέχουσα δυναμική κατάσταση του οχήματος και πιο συγκεκριμένα η τρέχουσα ταχύτητα του.

Ο συγκεκριμένος συντελεστής κινδύνου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την σχέση που φαίνεται παρακάτω:

$$R_{HSC} = 1 - abs\left(\frac{\omega}{c \cdot U}\right) \quad (4.44)$$

όπου ω, U είναι αντιστοίχως η γωνιακή ταχύτητα και η ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος και c είναι η τρέχουσα καμπυλότητα. Με βάση την σχέση αυτή, όσο η καμπυλότητα με βάση την δυναμική κατάσταση του οχήματος προσεγγίζει την πραγματική καμπυλότητα του δρόμου, τόσο ο συντελεστής κινδύνου θα τείνει προς το μηδέν, ενώ στην αντίθετη περίπτωση όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση μεταξύ των δυο καμπυλοτήτων τόσο ο συντελεστής θα τείνει προς την τιμή ένα.

4.3.4 Ρίσκο αλλαγής λωρίδας

Το ρίσκο αυτό υποδεικνύει την πιθανότητα που υπάρχει ώστε το υποκείμενο όχημα να αλλάξει λωρίδα στο άμεσο μέλλον, είτε αν δεν βρίσκεται άλλο κινούμενο αντικείμενο μπροστά του, είτε αν βρίσκεται και πρόκειται να εκτελέσει μια προσπέραση. Για τον υπολογισμό του λαμβάνονται υπόψη πληροφορίες που προέρχονται από την υπό-μονάδα εκτίμησης της γεωμετρίας του δρόμου και την υπό-μονάδα εκτίμησης της μελλοντικής του θέσης.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του συντελεστή αλλαγής λωρίδας φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Με βάση την μελλοντική τροχιά του οχήματος και με βάση την τροχιά των λωρίδων, που έχει υπολογιστεί με την μέθοδο που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση του οχήματος από τα άκρα της λωρίδας. Εάν αυτή η ελάχιστη απόσταση PMD είναι μικρότερη από ένα χαρακτηριστικό κατώφλι D_{PMD} , τότε υποθέτουμε ότι έχουμε αλλαγή λωρίδας. Επίσης, υπόψη λαμβάνεται και ο χρόνος $TPMD$ που αντιστοιχεί σε αυτήν την απόσταση και ο οποίος επίσης πρέπει να είναι μικρότερος από ένα συγκεκριμένο χρονικό κατώφλι T_{TPMD} , ώστε να θεωρηθεί ότι έχουμε αλλαγή λωρίδας.

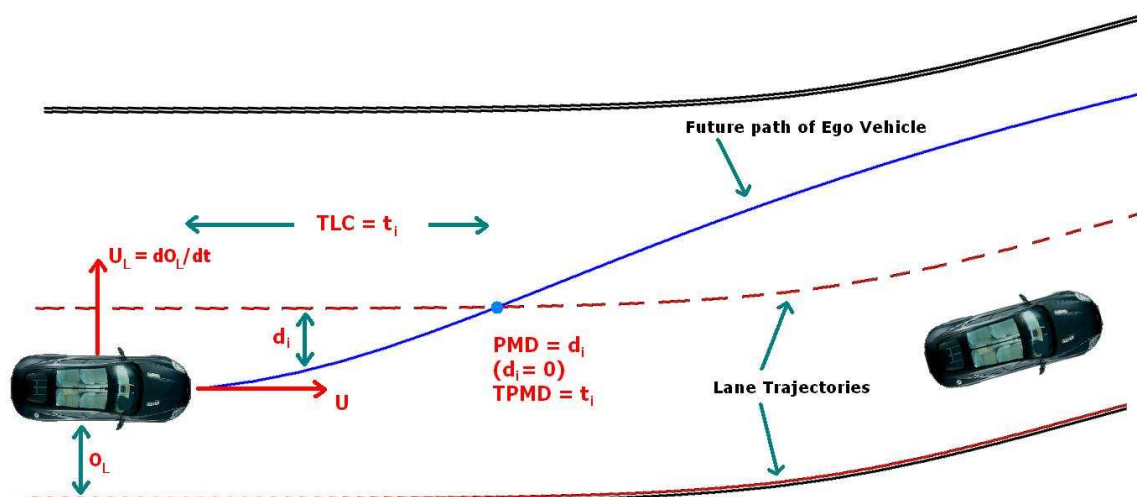
$$d_i = |y_{LANES} - y_{EGO_VEHICLE}| \quad (4.45\alpha)$$

$$PMD = \min(d_i) \quad (4.45\beta)$$

$$TPMD = t_i \Big|_{d_i=\min} \quad (4.45\gamma)$$

$$if (PMD < D_{PMD}) \text{ and } (TPMD < T_{TPMD}) \text{ then lane_change} \quad (4.45\delta)$$

Επίσης, μια άλλη παράμετρος που χρησιμοποιείται για την εύρεση της αλλαγής λωρίδας είναι ο χρόνος TLC (Time to Lane Crossing), ο οποίος υπολογίζεται με βάση την πλευρική ταχύτητα και πλευρική επιτάχυνση του υποκείμενου οχήματος.



Σχήμα 4.4: Παράμετροι εύρεσης συντελεστή κινδύνου για έξοδο από την λωρίδα

Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χρόνου TLC είναι χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο πρώτης τάξης (μοντέλο σταθερής πλευρικής ταχύτητας):

$$Tlc = \frac{S}{U_L} \quad (4.46)$$

Η δεύτερη μέθοδος είναι, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο δεύτερης τάξης (μοντέλο σταθερής πλευρικής επιτάχυνσης) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$Tlc = \frac{U_L}{A_L} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot A_L}{U_L^2} + 1} - 1 \right) \quad (4.47)$$

όπου:

$$S = \frac{LW}{2} - d_L \quad \text{if } U_L > 0 \quad (4.48\alpha)$$

$$S = -\frac{LW}{2} - d_L \quad \text{if } U_L < 0 \quad (4.48\beta)$$

Το ρίσκο αλλαγής λωρίδας στην πρώτη περίπτωση, όπου λαμβάνεται υπόψη η τροχιά του υποκείμενου οχήματος, δίνεται από τη σχέση:

$$R_{LC} = \left(1 - \frac{TPMD}{T_{TPMD}} \right) \cdot \left(1 - \frac{PMD}{D_{PMD}} \right) \quad (4.49)$$

ενώ στην δεύτερη περίπτωση του μοντέλου της πλευρικής μετατόπισης, το ρίσκο αλλαγής λωρίδας θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_{LC} = 1 - \frac{TLC}{T_{TLC}} \quad (4.50)$$

όπου T_{TLC} είναι μια σταθερά χρόνου που χρησιμοποιείται ως κατώφλι για τον χρόνο TLC για την ανίχνευση της αλλαγής λωρίδας.

4.3.5 Ρίσκο σύγκρουσης με προπορευόμενο όχημα

Για να αντιμετωπιστεί η περίπτωση σύγκρουσης με κάποιο κινούμενο όχημα, κυρίως μπροστά από το υποκείμενο όχημα, υπολογίζεται το ρίσκο σύγκρουσης. Για να επιτευχθεί αυτό λαμβάνονται υπόψη οι μελλοντικές θέσεις των οχημάτων που ανιχνεύονται στην κοντινή περιοχή του υποκείμενου οχήματος καθώς και η δική του μελλοντική τροχιά. Με βάση τις τροχιές αυτές

υπολογίζονται οι μεταξύ τους αποστάσεις και στη συνέχεια εξάγεται η μικρότερη PMD_k από αυτές καθώς και ο χρόνος $TPMD_k$ που αντιστοιχεί μέχρι να επέλθει η απόσταση αυτή. Στη συνέχεια εξετάζεται αν η ελάχιστη απόσταση είναι μικρότερη από ένα κατώφλι D_{PMD} και εάν χρόνος μέχρι την ελάχιστη απόσταση είναι και αυτός μικρότερος από ένα κατώφλι T_{TPMD} . Αναλυτικά, ο αλγόριθμος έχει ως εξής:

$$d_i = |y_{OBJECT_k} - y_{EGO_VEHICLE}| \quad (4.51\alpha)$$

$$PMD_k = \min(d_i) \quad (4.51\beta)$$

$$TPMD_k = t_i|_{d_i=\min} \quad (4.51\gamma)$$

$$\text{if } (PMD_k < D_{PMD}) \text{ and } (TPMD_k < T_{TPMD}) \text{ then collision_k} \quad (4.51\delta)$$

όπου k είναι ο δείκτης του k -οστού αντικειμένου. Στη συνέχεια ο συντελεστής ρίσκου σύγκρουσης υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$R_C = \left(1 - \frac{TPMD_K}{T_{TPMD}}\right) \cdot \left(1 - \frac{PMD_K}{D_{PMD}}\right) \quad (4.52)$$

όπου K είναι ο δείκτης του αντικειμένου με τον μικρότερο χρόνο ελάχιστης απόστασης $TPMD_k$. Επίσης, ο συντελεστής ρίσκου μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας ένα στατικό μοντέλο. Στην περίπτωση αυτή υπολογίζονται δυο χαρακτηριστικές παράμετροι, οι οποίες είναι ο χρόνος σύγκρουσης TTC και ο χρόνος προσέγγισης TH . Οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό τους είναι οι εξής:

$$TTC_k = \frac{d_k}{|U - U_k|} \quad (4.53)$$

και

$$TH_k = \frac{d_k}{U} \quad (4.54)$$

όπου d_k, U_k είναι η απόσταση και η ταχύτητα του αντικειμένου αντιστοίχως και U είναι η ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος. Το ρίσκο σύγκρουσης στην περίπτωση αυτή θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_C = \left(1 - \frac{TTC_K}{T_{TTC}}\right) \cdot \left(1 - \frac{TH_K}{T_{TH}}\right) \quad (4.55)$$

όπου T_{TTC}, T_{TH} είναι τα χαρακτηριστικά κατώφλια για τους χρόνους TTC και TH αντιστοίχως.

Επιπλέον για εφαρμογές ACC, μπορεί να εφαρμοστεί μια εναλλακτική μέθοδος για τον υπολογισμό του ρίσκου σύγκρουσης με βάση τις δυο παραπάνω παραμέτρους και την χρήση ενός ασαφούς συστήματος Sugeno. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνεται υπόψη ο στόχος που κινείται μπροστά από το υποκείμενο όχημα και εντός του μονοπατιού που ορίζεται από την μελλοντική πορεία του υποκείμενου οχήματος. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα ρίσκα TTC και TH τα οποία ορίζονται ως εξής:

$$r_{TTC} = 1 - \frac{TTC_{OIP}}{T_{TTC}} \quad (4.46\alpha)$$

$$r_{TH} = 1 - \frac{TH_{OIP}}{T_{TH}} \quad (4.46\beta)$$

όπου OIP είναι ο δείκτης του αντικειμένου που βρίσκεται εντός της λωρίδας του υποκείμενου οχήματος. Επίσης, τα ρίσκα αυτά υπολογίζονται για όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα και κρατούνται οι τιμές μόνο για εκείνο που έχει τις μεγαλύτερες τιμές $r_{TTC}^{MAX}, r_{TH}^{MAX}$. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει τότε το αντικείμενο εντός της λωρίδας θεωρείται ότι είναι το αντικείμενο που έχει τις

μεγαλύτερες τιμές r_{TTC}, r_{TH} . Ορίζουμε τρεις καταστάσεις $\{Low, Medium, High\}$ για το σύστημα, ενώ οι κανόνες με βάση τους οποίους μοντελοποιείται φαίνονται παρακάτω:

$$\text{if } TTC = High \text{ then } z_H = 0.9 \cdot r_{TTC} + 0.1 \cdot r_{TH} \quad (4.47\alpha)$$

$$\text{if } TTC = Medium \text{ then } z_M = \frac{0.7 \cdot (r_{TTC} + r_{TTC}^{MAX}) + 0.3 \cdot (r_{TH} + r_{TH}^{MAX})}{2} \quad (4.47\beta)$$

$$\text{if } TTC = Low \text{ then } z_L = 0.8 \cdot r_{TTC}^{MAX} + 0.2 \cdot r_{TH}^{MAX} \quad (4.47\gamma)$$

Το συνολικό ρίσκο σύγκρουσης θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_C = \frac{w_H \cdot z_H + w_M \cdot z_M + w_L \cdot z_L}{w_H + w_M + w_L}$$

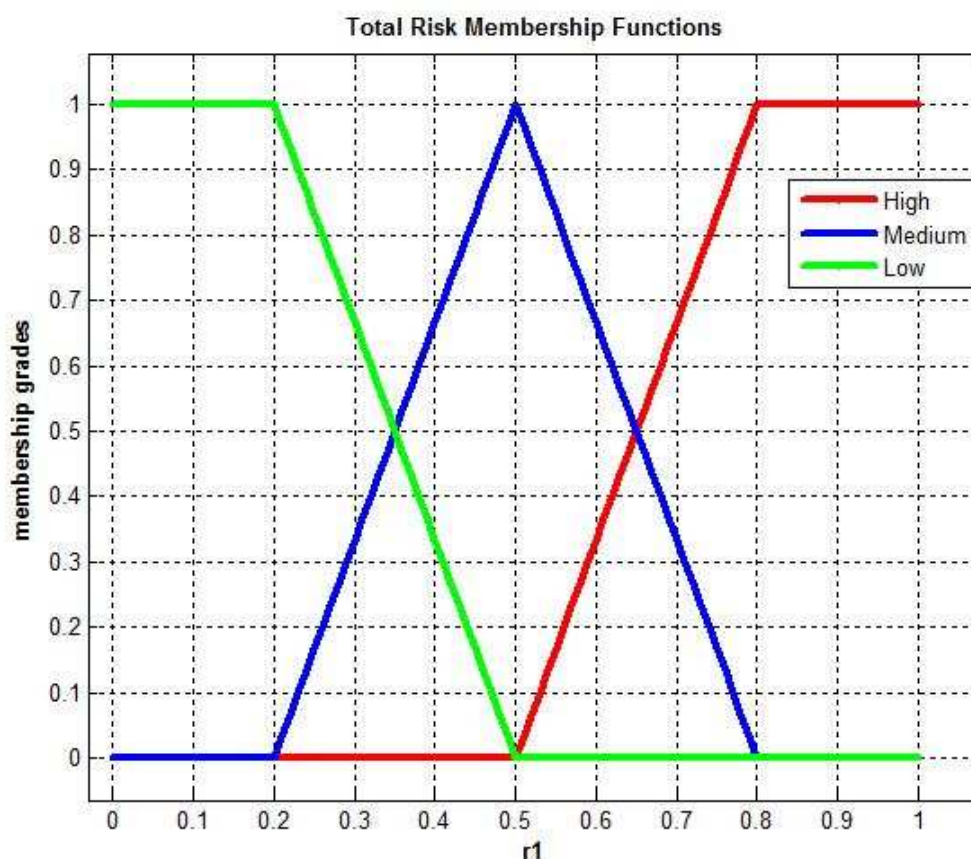
όπου τα βάρη w_H, w_M, w_L θα υπολογίζονται ως εξής:

$$w_H = \mu_{TTC}^{High}(r_{TTC}) \quad (4.48\alpha)$$

$$w_M = \mu_{TTC}^{Medium}(r_{TTC}) \quad (4.48\beta)$$

$$w_L = \mu_{TTC}^{Low}(r_{TTC}) \quad (4.48\gamma)$$

Οι συναρτήσεις μέλους του ρίσκου TTC για το όχημα εντός της λωρίδας φαίνονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.

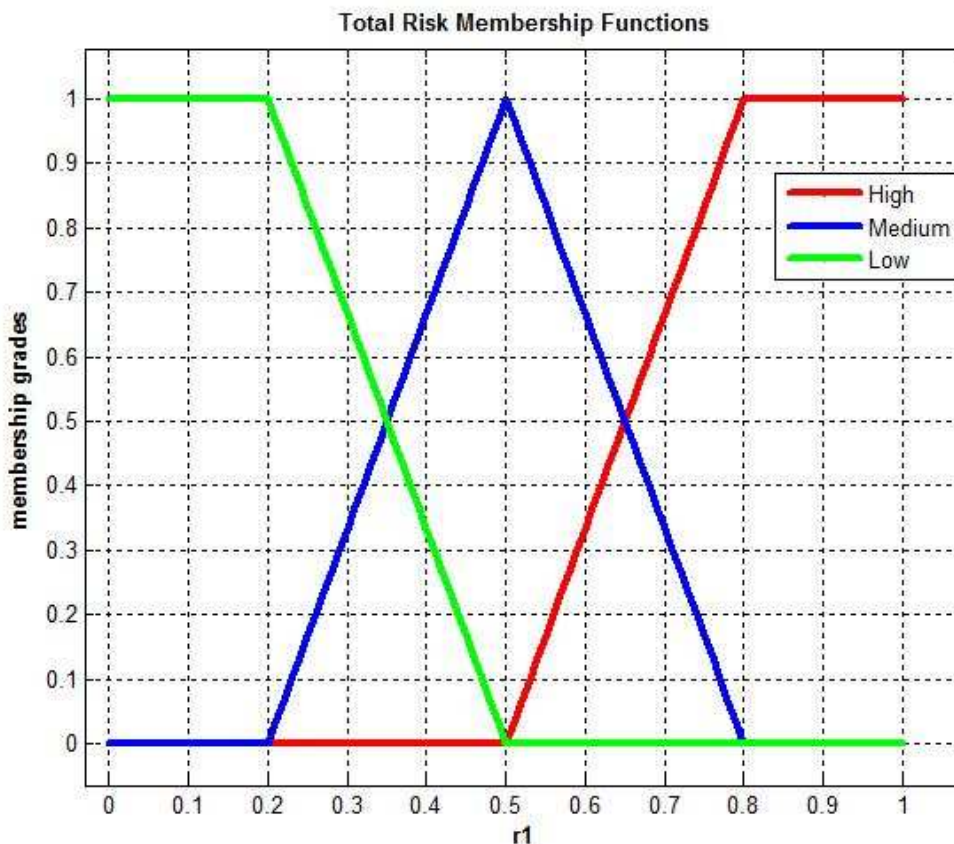


Σχήμα 4.5: Συναρτήσεις μέλους ρίσκου TTC

4.3.6 Υπολογισμός συνολικού ρίσκου

Τέλος για να εξαχθεί μια συνολική εκτίμηση της περιβάλλουσας κατάστασης στο δρόμο, υπολογίζεται ένα συνολικό ρίσκο κάνοντας χρήση των συντελεστών κινδύνου που αναλύθηκαν στις

προηγούμενες ενότητες. Για τον σκοπό αυτό γίνεται χρήση ενός συστήματος ασαφούς λογικής τύπου Sugeno.



Σχήμα 4.6: Συναρτήσεις μέλους τελικού ρίσκου

Ορίζονται τρεις καταστάσεις $\{Low, Medium, High\}$ για τις μεταβλητές εισόδου του συστήματος, οι οποίες είναι ο συντελεστής κινδύνου περιβάλλοντος R_E , εισόδου σε στροφή με μεγάλη ταχύτητα R_{HSC} , εξόδου από τη λωρίδα R_{LC} και σύγκρουσης R_C . Οι κανόνες με βάση τους οποίους γίνεται η μοντελοποίηση του συστήματος φαίνονται παρακάτω:

$$\text{if } (E \& HSC \& LC \& C) = High \text{ then} \quad (4.49\alpha)$$

$$z_H = 0.25 \cdot (R_E + R_{HSC} + R_{LC} + R_C)$$

$$\text{if } (E \& HSC \& LC \& C) = Medium \text{ then} \quad (4.49\beta)$$

$$z_M = 0.35 \cdot (R_{LC} + R_C) + 0.15 \cdot (R_{HSC} + R_E)$$

$$\text{if } (E \& HSC \& LC \& C) = Low \text{ then} \quad (4.49\gamma)$$

$$z_L = 0.5 \cdot (R_{LC} + R_C)$$

Το τελικό ρίσκο θα δίνεται από την εξής σχέση:

$$R = \frac{w_H \cdot z_H + w_M \cdot z_M + w_L \cdot z_L}{w_H + w_M + w_L} \quad (4.50)$$

όπου τα βάρη w_H, w_M, w_L θα υπολογίζονται ως εξής:

$$w_H = \min(\mu_E^{High}(R_E), \mu_{HSC}^{High}(R_{HSC}), \mu_{LC}^{High}(R_{LC}), \mu_C^{High}(R_C)) \quad (4.51\alpha)$$

$$w_M = \min(\mu_E^{Medium}(R_E), \mu_{HSC}^{Medium}(R_{HSC}), \mu_{LC}^{Medium}(R_{LC}), \mu_C^{Medium}(R_C)) \quad (4.51\beta)$$

$$w_L = \min(\mu_E^{Low}(R_E), \mu_{HSC}^{Low}(R_{HSC}), \mu_{LC}^{Low}(R_{LC}), \mu_C^{Low}(R_C)) \quad (4.51\gamma)$$

Οι συναρτήσεις μέλους των τεσσάρων μεταβλητών εισόδου είναι οι ίδιες και φαίνονται στην παρακάτω γραφική παράσταση.

4.4 Εκτίμηση κατάστασης με εφαρμογή της θεωρίας αποδείξεων

Στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται μια σύντομη περιγραφή της θεωρίας Dempster-Shafer και στην συνέχεια παρουσιάζεται η υλοποίηση τριών υποσυστημάτων για την αναγνώριση του εκτελούμενου ελιγμού από τον οδηγό του υποκείμενου οχήματος, την εκτίμηση της πρόθεσης που συνδέεται με αυτόν τον ελιγμό και την ανάθεση των αντικειμένων, που ανιχνεύονται από τους αισθητήρες του οχήματος, σε λωρίδες ως προς την μελλοντική πορεία του υποκείμενου οχήματος.

4.4.1 Θεωρία Dempster-Shafer

Η θεωρία του Dempster-Shafer προσφέρει μια εναλλακτική μαθηματική αναπαράσταση της αβεβαιότητας σε σχέση με τη παραδοσιακή πιθανοτική θεωρία. Η σημαντική καινοτομία αυτού του θεωρητικού πλαισίου είναι ότι επιτρέπει την κατανομή μάζας πιθανότητας ακόμα και σε σύνολα η διαστήματα. Αυτό είναι δυναμικά ένα πολύτιμο εργαλείο για την εκτίμηση του κινδύνου και της αξιοπιστίας σε εφαρμογές της επιστήμης των μηχανικών όταν δεν είναι δυνατόν να ληφθούν ακριβείς μετρήσεις από πειράματα ή η γνώση που αποκομίζεται εξάγεται με εμπειρικό τρόπο. Μια σημαντική πτυχή της θεωρίας αυτής είναι ο συνδυασμός των αποδείξεων που λαμβάνονται από πολλαπλές πηγές και η μοντελοποίηση της σύγκρουσης μεταξύ τους.

4.4.1.1 Εισαγωγή

Μόνο πολύ πρόσφατα η επιστημονική κοινότητα καθώς και η κοινότητα των μηχανικών άρχισε να αναγνωρίζει την βοήθεια που προσφέρει ο ορισμός πολλαπλών τύπων αβεβαιότητας. Εν μέρη η εις βάθρων μελέτη του ρόλου της αβεβαιότητας έγινε εφικτή χάρη στη σημαντική άνοδο της υπολογιστικής ισχύος που απολαμβάνουμε σήμερα. Καθώς τα συστήματα γίνονται υπολογιστικά καλύτερα, εφοδιασμένα έτσι ώστε να είναι ικανά να χειρίζονται πολύπλοκες αναλύσεις, αντιμετωπίζονται οι περιορισμοί της εφαρμογής μόνο ενός μαθηματικού πλαισίου (παραδοσιακά της πιθανοτικής θεωρίας) το οποίο χρησιμοποιείται για να αναπαριστάνει το πλήρες εύρος της αβεβαιότητας. Η διπλή φύση της αβεβαιότητας περιγράφεται με τους παρακάτω ορισμούς από τον [Helton, 1997]:

- **Τυχαία αβεβαιότητα** – ο τύπος της αβεβαιότητας που προκύπτει από το γεγονός ότι ένα σύστημα μπορεί να συμπεριφέρεται με τυχαίο τρόπο, γνωστή και ως στοχαστική αβεβαιότητα, τύπου Α αβεβαιότητα, μεταβλητότητα, αντικειμενική αβεβαιότητα.
- **Επιστημονική αβεβαιότητα** – ο τύπος αβεβαιότητας ο οποίος προκύπτει από την έλλειψη γνώσης για ένα σύστημα και είναι κτήμα των αναλυτών που διεξάγουν την ανάλυση, γνωστή και ως υποκειμενική αβεβαιότητα, τύπου Β αβεβαιότητα, μειώσιμη αβεβαιότητα, αβεβαιότητα της κατάστασης γνώσης, άγνοια.

Παραδοσιακά η θεωρία πιθανοτήτων χρησιμοποιούνταν για να χαρακτηρίσει και τους δυο τύπους αβεβαιότητας. Είναι κοινά αποδεκτό ότι η τυχαία αβεβαιότητα αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας τη συχνοτική προσέγγιση συνδεδεμένη με την παραδοσιακή θεωρία πιθανοτήτων. Παρόλα αυτά η τρέχουσα κριτική που γίνεται στο πιθανοτικό χαρακτηρισμό της αβεβαιότητας ισχυρίζεται ότι η παραδοσιακή πιθανοτική θεωρία δεν είναι ικανή να συλλαμβάνει την επιστημονική αβεβαιότητα. Η εφαρμογή των παραδοσιακών πιθανοτικών μεθόδων στην επιστημονική ή υποκειμενική αβεβαιότητα είναι συχνά γνωστή ως Bayesian πιθανότητα. Μια πιθανοτική ανάλυση προϋποθέτει ότι ο αναλυτής έχει πληροφορίες για τις πιθανότητες όλων των ενδεχομένων. Όταν αυτό δεν είναι εφικτό, συχνά χρησιμοποιείται η συνάρτηση της κανονικής κατανομής, που δικαιολογείται με βάση την αρχή των ανεπαρκών αποδείξεων του Laplace [Savage, 1972]. Αυτό μπορεί να μεταφραστεί στο ότι όλα τα απλά ενδεχόμενα, των οποίων η κατανομή

πιθανότητας δεν είναι γνωστή σε ένα δοσμένο διάστημα δειγμάτων, είναι ισοπίθανα. Για παράδειγμα, αν ληφθεί υπόψη το ενδεχόμενο της βλάβης ενός συστήματος, στο οποίο υπάρχουν τρία πιθανά εξαρτήματα τα οποία μπορεί να είναι υπεύθυνα για την βλάβη αυτή. Ένας ειδικός στην αξιοπιστία ενός εξαρτήματος αναθέτει μια πιθανότητα αποτυχίας του εξαρτήματος αυτού ίση με 0,3 (Εξάρτημα Α). Ο ειδικός δεν γνωρίζει τίποτα για τις άλλες δυο πιθανές πηγές της βλάβης (εξαρτήματα Β και Γ). Μια παραδοσιακή πιθανοτική ανάλυση που ακολουθεί της αρχή των ανεπαρκών αποδείξεων θα μπορούσε να αναθέσει μια πιθανότητα αποτυχίας ίση με 0,35 σε κάθε ένα από τα δυο εναπομείναντα εξαρτήματα (Β και Γ). Αυτή θα ήταν μια πολύ ακριβής πρόταση για την πιθανότητα αποτυχίας αυτών των δυο εξαρτημάτων στην βάση μιας ολοκληρωτικής άγνοιας όσον αφορά αυτά τα εξαρτήματα από την πλευρά του συγκεκριμένου ειδικού.

Μια επιπρόσθετη παραδοχή στις κλασικές πιθανότητες συνεπάγεται από το αξίωμα της προσθετικότητας, σύμφωνα με την οποία όλες οι πιθανότητες οι οποίες ικανοποιούν συγκεκριμένες ιδιότητες έχουν άθροισμα ίσον με τη μονάδα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η γνώση ενός ενδεχομένου συνεπάγεται απαραίτητα γνώση του συμπληρωματικού ενός άλλου ενδεχομένου.

4.4.1.2 Αποδεικτικό σύστημα Dempster-Shafer για σύντηξη δεδομένων

Η θεωρία απόδειξης (evidence theory) μπορεί να θεωρηθεί σαν μια γενική επέκταση της Bayesian Θεωρίας. Μπορεί να χειριστεί την απόλυτη άγνοια και υποκειμενικότητα των ενδεχομένων συνδυάζοντας τα από πολλές οπτικές γωνίες. Έτσι μας επιτρέπει να χειριστούμε πολλά αβέβια δεδομένα την ίδια χρονική στιγμή. Επιτρέπει την υποστήριξη όχι μόνο μιας πρότασης αλλά και ενός συνόλου προτάσεων που περιλαμβάνει την πρόταση αυτή. Σε ένα Dempster-Shafer συλλογιστικό σύστημα, όλα τα πιθανώς αποκλειστικά αμοιβαία συναφή γεγονότα του ίδιου είδους απαριθμούνται στο πεδίο των πιθανών τιμών. Συγκρινόμενη με την Bayesian θεωρία, η Dempster-Shafer θεωρία των αποδείξεων φαίνεται να είναι πιο κοντά στην ανθρώπινη αντίληψη και στην ανθρώπινη συλλογιστική διαδικασία. Η ικανότητα της να αναθέτει αβεβαιότητα και άγνοια σε προτάσεις την κάνει ένα ισχυρό εργαλείο για την αντιμετώπιση ενός μεγάλου αριθμού προβλημάτων, τα οποία αλλιώς θα φαινόταν δισεπίλυτα.

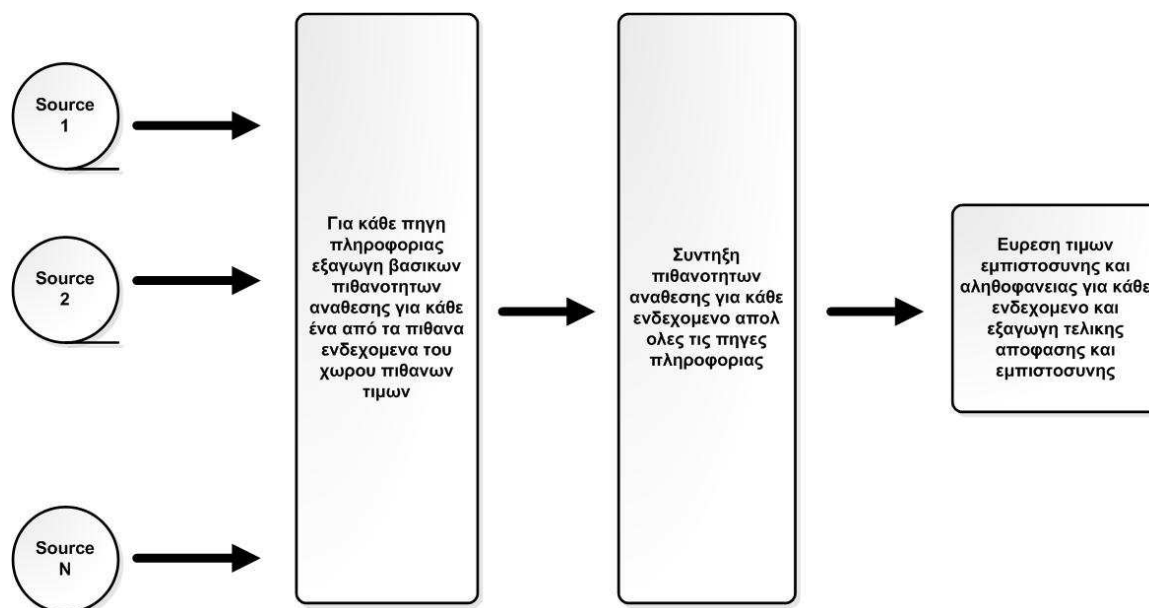
Η λογική που ακολουθείται για την εξαγωγή αποφάσεων με βάση ένα αποδεικτικό σύστημα Dempster-Shafer φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Ο υπολογισμός των βασικών πιθανοτήτων ανάθεσης γίνεται με τη χρήση των συναρτήσεων βασικής πιθανότητας ανάθεσης για την αντιστοίχιση της φυσικής-πραγματικής τιμής με την πιθανότητα ανάθεσης. Ο υπολογισμός της εμπιστοσύνης και της αληθοφάνειας γίνεται με την χρήση των παρακάτω συναρτήσεων:

$$bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B) \quad (4.52\alpha)$$

$$pl(A) = \sum_{A \cap B \neq \emptyset} m(B) \quad (4.52\beta)$$

Ο υπολογισμός της συνδυαστικής πιθανότητας ανάθεσης γίνεται με την βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

$$m_1 \oplus m_2(C) = \frac{\sum_{A \cap B = C} m_1(A) \cdot m_2(B)}{1 - \sum_{A \cap B = \emptyset} m_1(A) \cdot m_2(B)} \quad C = \emptyset \quad (4.53)$$

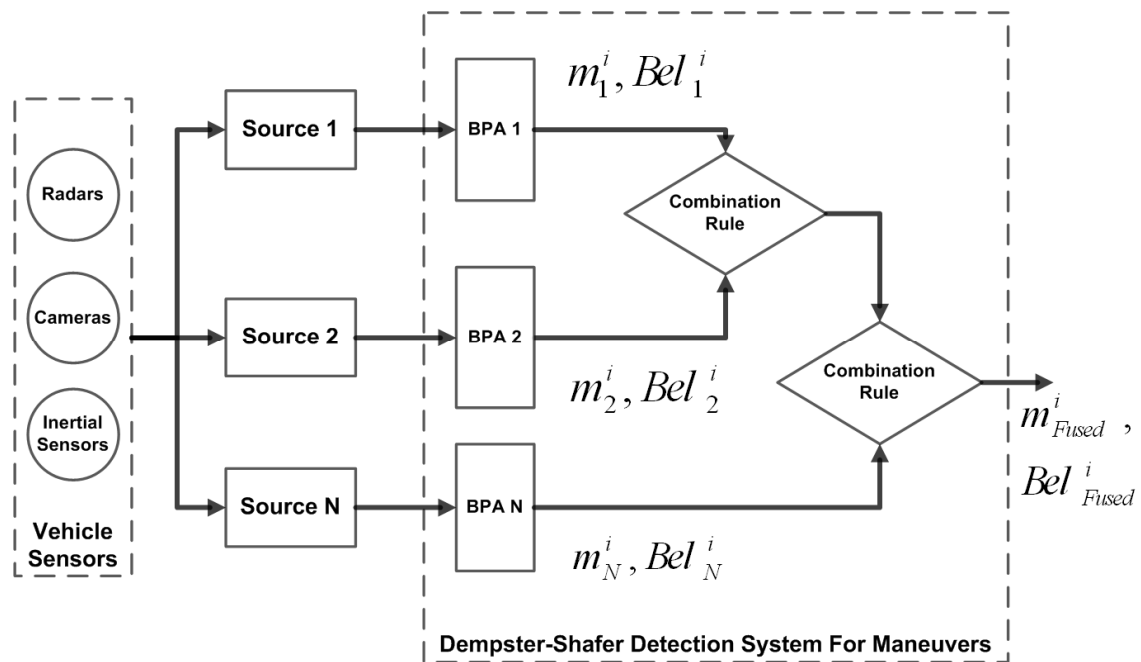


Σχήμα 4.7: Αποδεικτικό σύστημα Dempster-Shafer

Το σύστημα Dempster-Shafer που θα χρησιμοποιείται κάθε φορά θα έχει ως είσοδο όλες τα δεδομένα που θα προέρχονται από τις διαφορετικές πηγές πληροφορίας. Με βάση τις συναρτήσεις βασικής ανάθεσης πιθανότητας που θα έχουν οριστεί, θα εξάγονται οι μάζες απόδειξης για κάθε πηγή:

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & \cdots & m_{1S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_N & \cdots & m_{NS} \end{bmatrix} \quad (4.54)$$

όπου S είναι ο αριθμός των πηγών πληροφορίας, N είναι ο αριθμός των καταστάσεων και $m_{i,j}$ είναι το βάρος απόδειξης της κατάστασης i με βάση τις πληροφορίες της πηγής j .



Σχήμα 4.8: Διαδικασία σύντηξης με Dempster-Shafer

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τον συνδυαστικό κανόνα του Dempster-Shafer, υπολογίζονται τα συνδυασμένα βάρη:

$$M_F = [m_1^f \quad \dots \quad m_N^f]^T \quad (4.55)$$

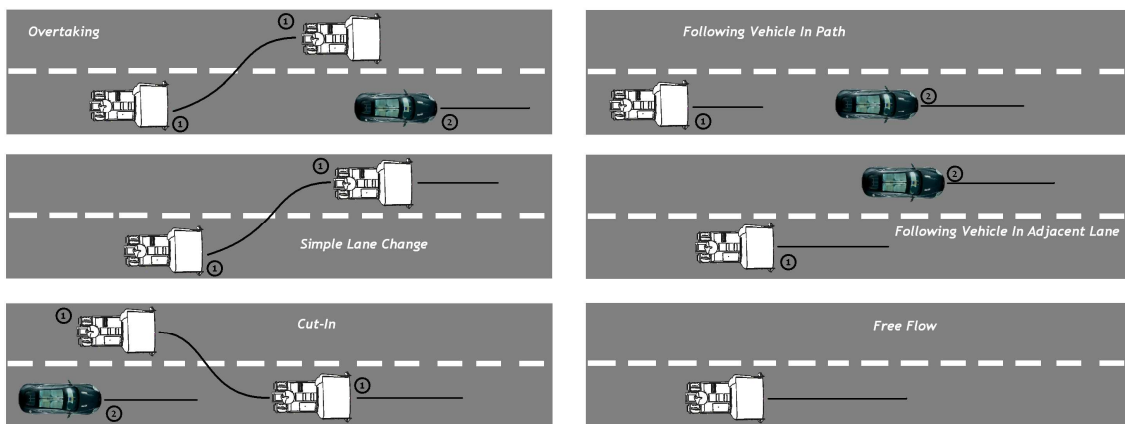
Τελικά χρησιμοποιώντας την εξίσωση 4.52 υπολογίζονται οι τιμές της πίστης (belief) σε κάθε πρόταση και εξάγεται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο διατυπωμένων κανόνων η τελική πρόταση.

4.4.2 Αναγνώριση ελιγμών

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ένα σύστημα αναγνώρισης ελιγμών που έχει υλοποιηθεί με βάση την θεωρία Dempster-Shafer. Οι τύποι ελιγμών για τους οποίους ενδιαφερόμαστε είναι οι εξής:

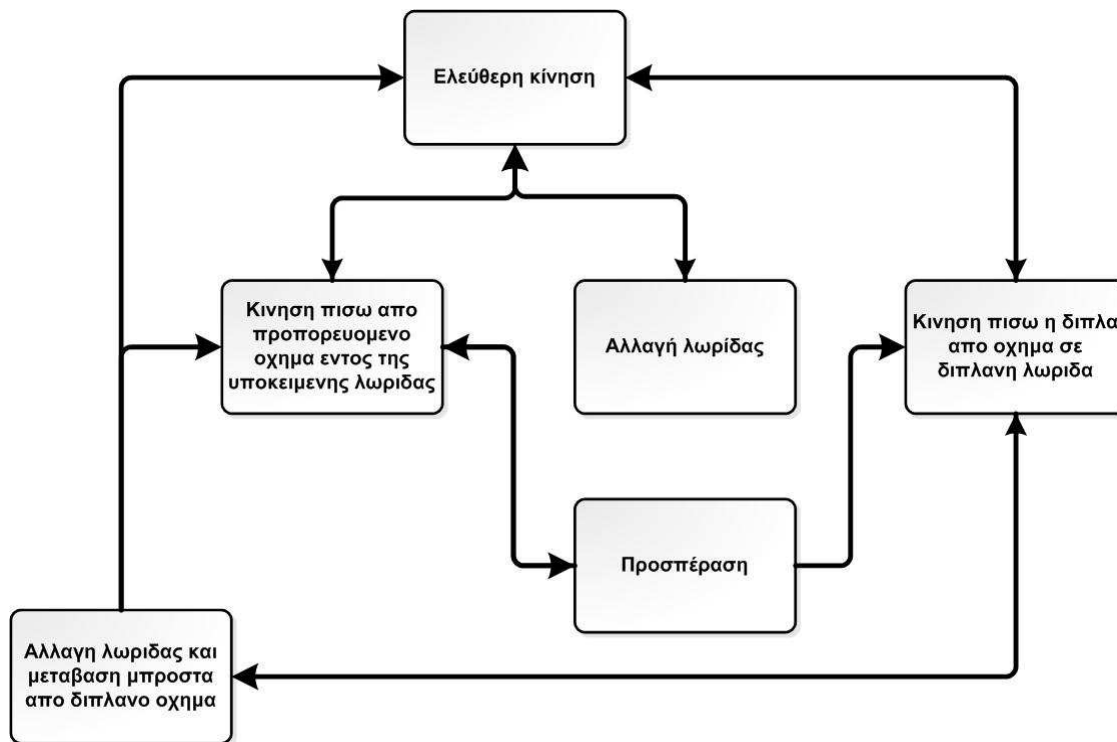
- Αλλαγή λωρίδας *LC*
- Κίνηση πίσω από προπορευόμενο όχημα εντός της υποκείμενης λωρίδας *FP*
- Προσπέραση *OV*
- Κίνηση πίσω η δίπλα από όχημα σε διπλανή λωρίδα *FN*
- Αλλαγή λωρίδας και μετάβαση μπροστά από διπλανό όχημα *CI*
- Ελεύθερη κίνηση *FF*

Οι ελιγμοί αυτοί αντιπροσωπεύουν όλες τις δυνατές καταστάσεις κίνησης οι οποίες παρουσιάζονται κυρίως σε αυτοκινητόδρομο και φαίνονται σχηματικά στο επόμενο διάγραμμα.



Σχήμα 4.9: Τύποι ελιγμών

Το σύστημα ανίχνευσης ελιγμών που έχει σχεδιαστεί βασίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα καταστάσεων για την μετάβαση από έναν ελιγμό σε κάποιον άλλο, με βάση την εμπιστοσύνη που υπολογίζεται για τον πιο πιθανό ελιγμό.



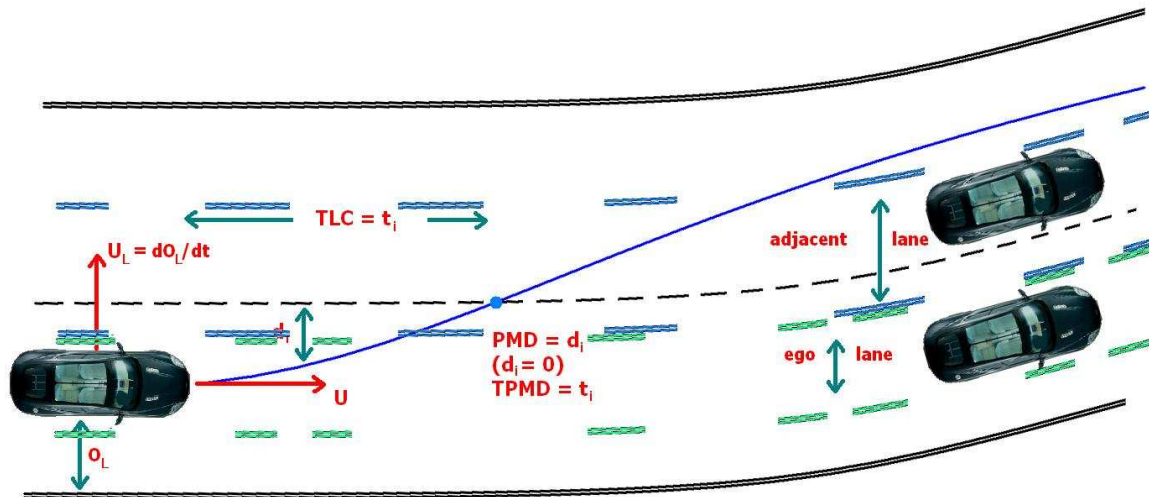
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα μεταβάσεων ελιγμών

Για παράδειγμα αν η τρέχουσα κατάσταση είναι προσπέραση τότε η επόμενη κατάσταση είτε θα είναι κίνηση δίπλα από όχημα στη γειτονική λωρίδα είτε κίνηση πίσω από προπορευόμενο όχημα. Οι πηγές πληροφορίας που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση λωρίδας είναι οι εξής:

- Ο χρόνος αλλαγής λωρίδας TLC_{CV} χρησιμοποιώντας το μοντέλο σταθερής πλευρικής ταχύτητας CV .
- Ο χρόνος αλλαγής λωρίδας TLC_{CA} χρησιμοποιώντας το μοντέλο σταθερής πλευρικής επιτάχυνσης CA .

- Η προβλεπόμενη ελάχιστη απόσταση PMD του υποκείμενου οχήματος από τα όρια της λωρίδας.
- Ο χρόνος $TPMD$ που μεσολαβεί μέχρι αυτήν την ελάχιστη απόσταση.
- Ο λόγος Cr της καμπυλότητας της λωρίδας προς την καμπυλότητα που υπολογίζεται με βάση την δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος.
- Η απόσταση d_{VIP} από το προπορευόμενο όχημα στην λωρίδα του υποκείμενου οχήματος.
- Η απόσταση d_{VIAL} από το όχημα στην γειτονική λωρίδα.

Η γραφική αναπαράσταση των παραμέτρων αυτών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.11: Πηγές πληροφορίας για ανίχνευση ελιγμών

Το πεδίο διακριτικότητας του αποδεικτικού συστήματος Dempster-Shafer που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι το εξής:

$$\Omega_M = \{LC, OV, FF, CI, FP, FN\} \quad (4.56)$$

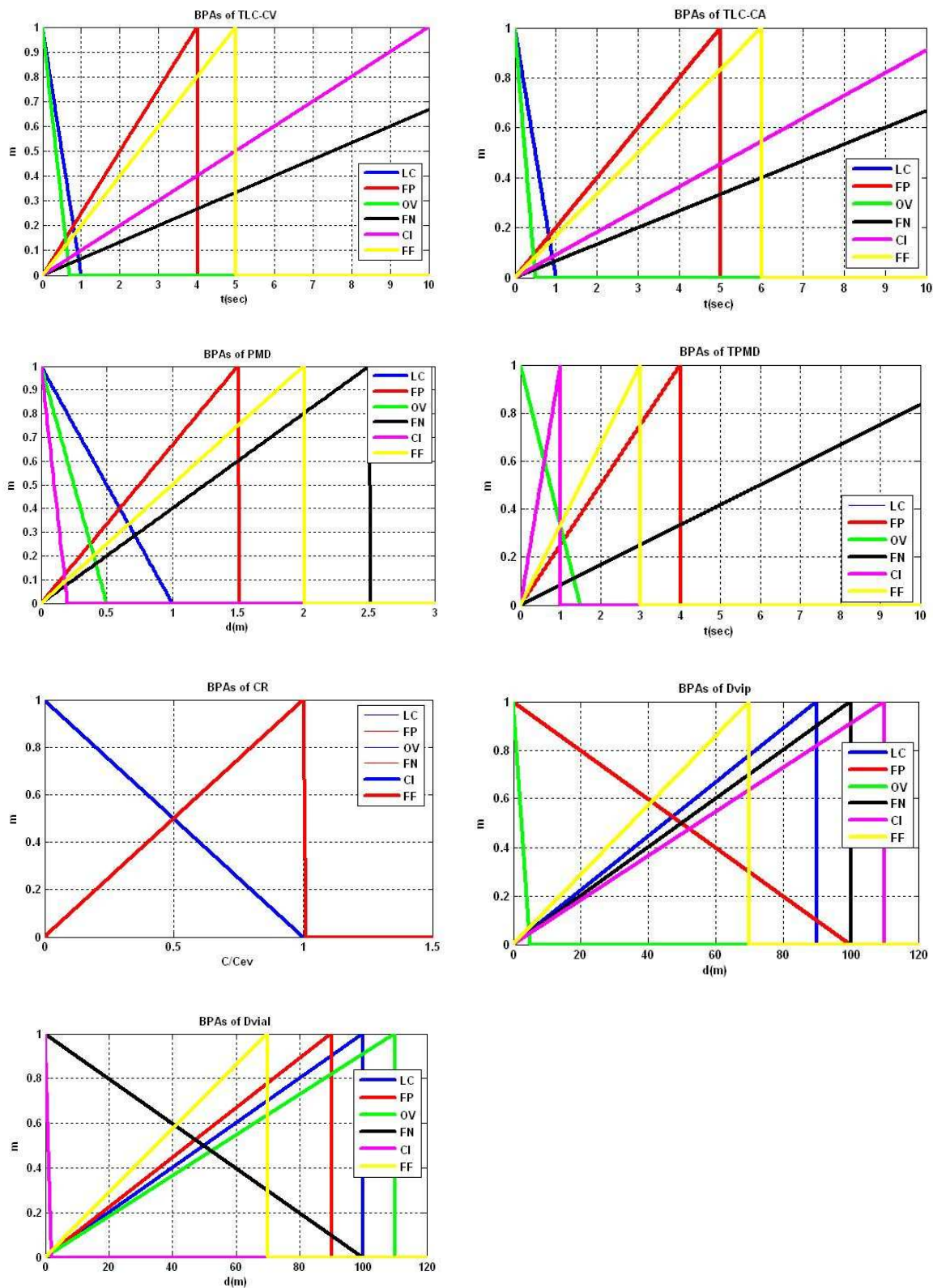
Όπου ο ελιγμός της προσπέρασης μπορεί να θεωρηθεί σαν η ένωση του ελιγμού κίνησης πίσω από προπορευόμενο όχημα και του ελιγμού αλλαγής λωρίδας.

$$OV = \{LC, FP\} \quad (4.57)$$

Επίσης ο ελιγμός μετάβασης στη γειτονική λωρίδα μπροστά από το διπλανό όχημα μπορεί να θεωρηθεί σαν η ένωση του ελιγμού κίνησης δίπλα η πίσω από όχημα στη γειτονική λωρίδα και του ελιγμού αλλαγής λωρίδας.

$$CI = \{LC, FN\} \quad (4.58)$$

Οι βασικές συναρτήσεις ανάθεσης πιθανότητας φαίνονται στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



Σχήμα 4.12: Συναρτήσεις ανάθεσης βασικών πιθανοτήτων

4.4.3 Αναγνώριση πρόθεσης οδηγού

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος για την ανίχνευση της πρόθεσης του οδηγού σε περιπτώσεις ελιγμών που εμπεριέχουν αλλαγή λωρίδας. Οι πηγές πληροφορίας στην περίπτωση αυτή θα είναι οι παρακάτω:

- Η κατάσταση των φλας του αυτοκινήτου
- Ο τύπος του δρόμου (αυτοκινητόδρομος, επαρχιακός δρόμος, δρόμος που εκτελούνται έργα, κτλ)
- Ο τύπος των διαχωριστικών γραμμών των λωρίδων
- Η καμπυλότητα του δρόμου όπου κινείται το υποκείμενο όχημα
- Ο ελιγμός που εκτελείται και υπολογίζεται σύμφωνα με την προηγούμενη ενότητα
- Η σχετική ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος
- Η σχετική ταχύτητα του οχήματος που κινείται στην γειτονική λωρίδα

Ο αλγόριθμος που προτείνεται για την ανίχνευση της πρόθεσης του οδηγού βασίζεται στην υλοποίηση ενός αποδεικτικού συστήματος Dempster-Shafer, όπως αυτό έχει περιγραφεί σε προηγούμενη παράγραφο. Το διάστημα διακριτικότητας του συστήματος αυτού θα είναι:

$$\Omega = \{I, NI\} \quad (4.59)$$

όπου I είναι ο προτιθέμενος ελιγμός και NI είναι ο ελιγμός χωρίς πρόθεση. Οι συναρτήσεις βασικής ανάθεσης πιθανότητας βασίζονται στα εξής στοιχεία:

- Η πιθανότητα ο οδηγός να προσπαθήσει να αλλάξει λωρίδα σε στροφές με μεγάλη ή μέτρια καμπυλότητα είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με την αντίστοιχη πιθανότητα που ισχύει όταν το όχημα κινείται σε σχετικά ευθεία κομμάτια δρόμου. Όταν η καμπυλότητα ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι τότε είναι πολύ απίθανο να γίνει προσπάθεια για αλλαγή λωρίδας.
- Όταν η σχετική ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος είναι πολύ χαμηλή ή θετική (απομακρύνεται), και ο ελιγμός που ανιχνεύεται είναι προσπέραση τότε είναι πολύ πιθανό ο συγκεκριμένος ελιγμός να μην γίνεται με πρόθεση.
- Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση του ελιγμού αλλαγής λωρίδας και τοποθέτησης μπροστά από διπλανό όχημα. Έτσι όταν το υποκείμενο όχημα κινείται δίπλα σε ένα άλλο αυτοκίνητο και η σχετική τους ταχύτητα είναι σχεδόν μηδενική τότε είναι σίγουρο ότι μια ανιχνευθείσα αλλαγή λωρίδας προς αυτήν την πλευρά, μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε σύγκρουση και την πρόκληση ατυχήματος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τρεις πρώτες μεταβλητές εισόδου έχουν διακριτές τιμές, οπότε και οι συναρτήσεις βασικής ανάθεσης πιθανότητας θα έχουν διακριτή μορφή. Έτσι λοιπόν οι συναρτήσεις στην περίπτωση αυτή ορίζονται ως εξής:

$$(m_i, \text{Blinder_Status}) = (\{0, No\}, \{1, Left / Right\}) \quad (4.60\alpha)$$

$$(m_i, \text{Road_Type}) = \left(\begin{array}{c} \{0.1, Urban\} \\ \{0.4, Rural\} \\ \{0.8, Urban\} \\ \{0.9, ConstructionArea\} \end{array} \right) \quad (4.60\beta)$$

$$(m_i, \text{Lane_Marking}) = \left(\begin{array}{c} \{0, No\} \\ \{0.3, Solid\} \\ \{0.9, Dashed\} \end{array} \right) \quad (4.60\gamma)$$

4.4.3.1 Αναγνώριση πρόθεσης οδηγού με χρήση κανόνων και βαρών

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η κλασική μέθοδος πρόβλεψης της πρόθεσης του οδηγού που δεν βασίζεται στην χρήση συστήματος που χρησιμοποιεί την θεωρία Dempster-Shafer. Η είσοδος του αλγορίθμου που χρησιμοποιείται κάνει χρήση των παρακάτω μεταβλητών:

- Κατάσταση των φλας του οχήματος
- Κατάσταση ελιγμού και ειδικότερα εάν αναγνωρίζεται προσπέραση, ή αλλαγή λωρίδας.
- Τύπος των γραμμών λωρίδας
- Καμπυλότητα του δρόμου
- Κατάσταση χρήσης πλευρικών καθρεπτών οχήματος

Οι συντελεστές εμπιστοσύνης για την πρόθεση ελιγμού για κάθε μια πηγή πληροφορίας ξεχωριστά υπολογίζονται με βάση τις εξισώσεις (4.61)-(4.65).

Έτσι λοιπόν προκειμένου για το φλας του αυτοκινήτου θα έχουμε τον εξής συντελεστή εμπιστοσύνης:

$$c_{IND} = \begin{cases} 1.00 & \text{left or right} \\ 0.50 & \text{warning} \\ 0.05 & \text{off} \\ 0.00 & \text{unknown} \end{cases} \quad (4.61)$$

όπου δεχόμαστε ότι όταν ανάβει το ένα από τα δυο (αριστερό ή δεξιό) φλας τότε έχουμε μέγιστη πιθανότητα για θετική πρόθεση του οδηγού για ελιγμό, εάν ανάβουν τα προειδοποιητικά αλάρμ τότε έχουμε μια ενδιάμεση αβέβαιη κατάσταση (0.5), ενώ τέλος αν είναι σβηστά όλα ή δεν γνωρίζουμε την κατάσταση τους από τον διάυλο επικοινωνίας τότε έχουμε μηδενική πρόθεση του οδηγού για ελιγμό.

Στην περίπτωση της κατηγορίας του ελιγμού θα έχουμε τις εξής τιμές για τον συντελεστή εμπιστοσύνης:

$$c_{MAN} = \begin{cases} 1.0 & \text{overtaking} \\ 0.5 & \text{lane change} \\ 0.1 & \text{other} \end{cases} \quad (4.62)$$

Δηλαδή, στην περίπτωση της προσπέρασης έχουμε την μέγιστη βεβαιότητα ότι η πρόθεση του οδηγού για ελιγμό είναι θετική, στην αλλαγή λωρίδας έχουμε μια ενδιάμεση τιμή αβεβαιότητας και σε κάθε άλλη μανούβρα ο συντελεστής εμπιστοσύνης είναι σχεδόν μηδενικός.

Στην περίπτωση της καμπυλότητας του δρόμου θα έχουμε:

$$c_{CUR} = \frac{|c|}{0.9} \quad |c| < 0.9 \quad (4.63\alpha)$$

$$c_{CUR} = 0 \quad |c| \geq 0.9 \quad (4.63\beta)$$

Τέλος ο συντελεστής εμπιστοσύνης που εξαρτάται από την κατάσταση χρήσης των πλευρικών καθρεπτών από τον οδηγό είναι ο εξής:

$$c_{MINT} = \text{mirror_intention} = \{0,1\} \quad (4.64)$$

Η παραπάνω μεταβλητή παρέχεται από το σύστημα ανίχνευσης ματιών όταν αυτό υπάρχει εγκατεστημένο στο όχημα.

Ο συντελεστής εμπιστοσύνης για τον τύπο των διαχωριστικών γραμμών που ανιχνεύονται από το σύστημα θα είναι:

$$c_{IND} = \begin{cases} 0.20 & \text{no_left} \ \& \ \text{no_right} \\ 1.00 & \text{dashed_left} \ \& \ \text{dashed_right} \\ 0.5 & \text{solid_left} \ \text{or} \ \text{solid_right} \\ 0.05 & \text{other} \end{cases} \quad (4.65)$$

Η εξίσωση που δίνει το τελικό συντελεστή εμπιστοσύνης για την πρόθεση του οδηγού ως προς την εκτελούμενη μανούβρα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$In = \begin{cases} 0.4 \cdot c_{IND} + 0.4 \cdot c_{MAN} + 0.2 \cdot c_{MINT} & c_{MAN} = 1 \\ 0.6 \cdot c_{IND} + 0.1 \cdot c_{MAN} + 0.15 \cdot c_{MINT} + 0.075 \cdot c_{CUR} + 0.075 \cdot c_{LANT} & c_{MAN} < 1 \end{cases} \quad (4.66)$$

Η αντίστοιχη τιμή της εμπιστοσύνης θα δίνεται από την παρακάτω εξίσωση

$$C = \begin{cases} 0.4 \cdot CI + 0.4 \cdot CM + 0.2 \cdot CMI & c_{MAN} = 1 \\ 0.6 \cdot CI + 0.1 \cdot CM + 0.15 \cdot CMI + 0.15 \cdot CL & c_{MAN} < 1 \end{cases} \quad (4.67)$$

όπου $CI = \{0,1\}$ είναι η κατάσταση διαθεσιμότητας των φλας, CM είναι η τιμή της εμπιστοσύνης που ανατίθεται στην κατάσταση χρήσης των πλευρικών καθρεπτών, CMI είναι η εμπιστοσύνη που ανατίθεται στον ελιγμό που ανιχνεύεται και CL είναι η εμπιστοσύνη στις λωρίδες που ανιχνεύονται.

4.4.4 Ανάθεση ανιχνευθέντων αντικειμένων σε λωρίδες

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος που θα παρουσιαστεί υποδεικνύει την σχέση μεταξύ των αντικειμένων που ανιχνεύονται από το δίκτυο αισθητήρων του υποκείμενου οχήματος και του ιδίου. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.11 το πρώτο αντικείμενο που ανιχνεύεται βρίσκεται στην δεύτερη σχετική λωρίδα, ενώ το δεύτερο αντικείμενο βρίσκεται στην ίδια λωρίδα. Βέβαια η υπόθεση αυτή εξαρτάται και από το σχετικό σφάλμα εκτίμησης της μελλοντικής πορείας του υποκείμενου οχήματος, η οποία είναι ανάλογη της απόστασης.

Οι πηγές πληροφορίας που θα χρησιμοποιηθούν για να βρεθεί ο ανατιθέμενος δείκτης λωρίδας είναι οι εξής:

- Οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ του υποκείμενου οχήματος και των αντικειμένων χρησιμοποιώντας τα παρακάτω μοντέλα:
 - ο Μοντέλο σταθερής επιτάχυνσης
 - ο Μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας
 - ο Μοντέλο σταθερής γωνιακής ταχύτητας και σταθερής εφαπτομενικής επιτάχυνσης
- Η απόσταση του ανιχνευθέντος αντικείμενου από το υποκείμενο όχημα

Οι σχετικές αποστάσεις υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την μελλοντική τροχιά του υποκείμενου οχήματος και τις συντεταγμένες που δίνουν οι αισθητήρες για την τοποθεσία των αντικειμένων εντός του δρόμου.

Οι συναρτήσεις βασικής ανάθεσης πιθανότητας για τις τέσσερις πηγές διαμορφώνονται με βάση τους παρακάτω κανόνες:

- Όσο πιο κοντά είναι τα αντικείμενα στα όρια των λωρίδων τόσο μικρότερη μάζα απόδειξης ανατίθεται στην αντίστοιχη πρόταση.
- Όσο πιο μακριά βρίσκονται τα αντικείμενα από το υποκείμενο όχημα τόσο μικρότερη μάζα εμπιστοσύνης ανατίθεται

Το διάστημα διακριτικότητας του συστήματος απόδειξης Dempster-Shafer, που θα χρησιμοποιηθεί είναι το ακόλουθο:

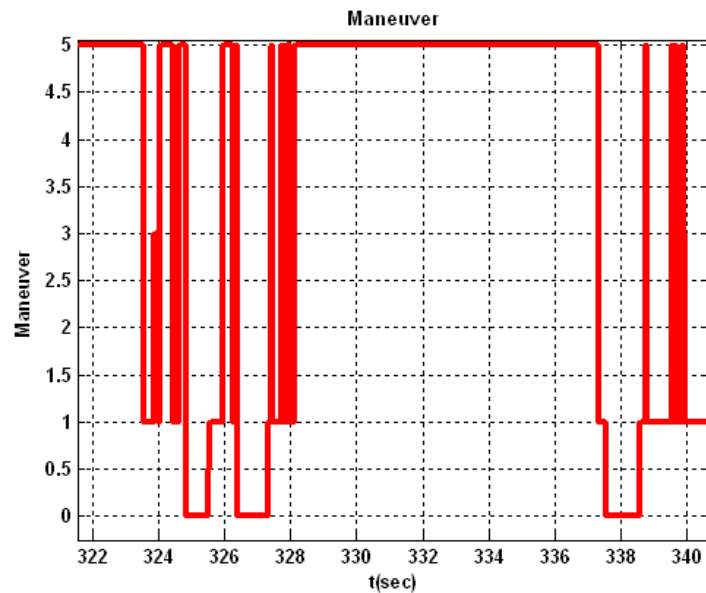
$$\Omega = \{L1, L2, L3, L4, OL\} \quad (4.68)$$

Όπου θεωρούμε συνολικά τέσσερα επίπεδα λωρίδων και μια επιπρόσθετη κατάσταση όταν ο αντίστοιχος δείκτης είναι μεγαλύτερος από 4. Επίσης, παρέχεται ένας συμπληρωματικός δείκτης που δείχνει εάν το αντικείμενο βρίσκεται αριστερά ή δεξιά ως προς το υποκείμενο όχημα.

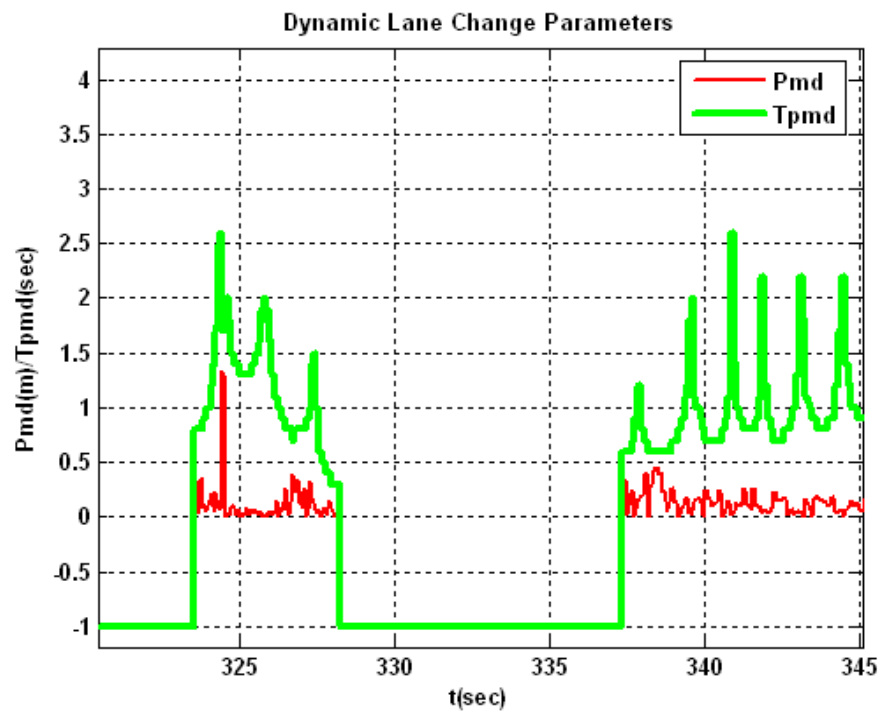
4.5 Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος AIDE αναπτύχθηκε ένα πλήρες σύστημα αξιολόγησης κατάστασης που καλύπτει όλες τις ενότητες που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο αυτό. Στην παρακάτω γραφική παράσταση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου ανίχνευσης ελιγμού στην περίπτωση ενός απλού σεναρίου, το οποίο περιλαμβάνει τρεις αλλαγές λωρίδας. Επίσης, για να γίνει περισσότερη κατανοητή η μορφή του σεναρίου

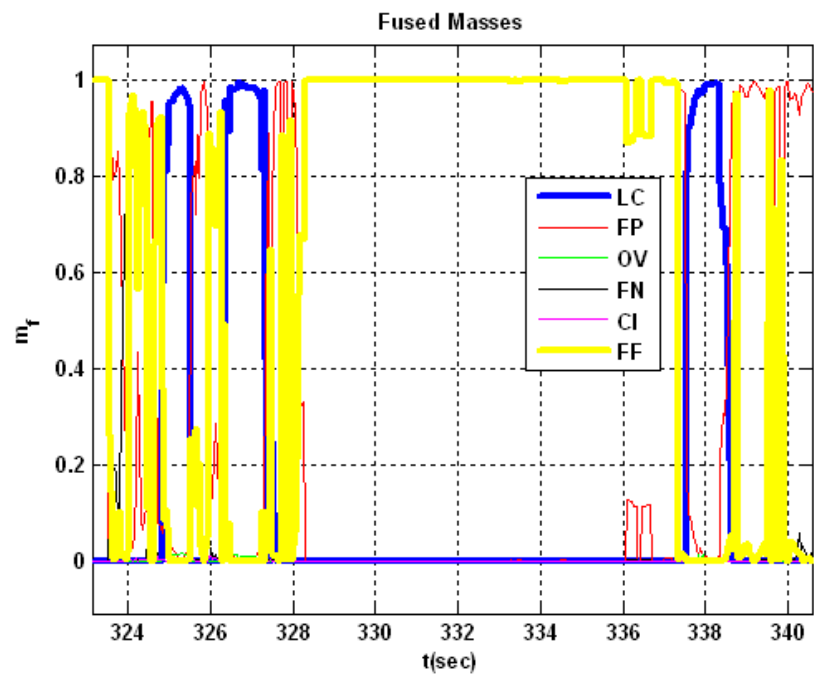
παρουσιάζονται στη δεύτερη γραφική παράσταση οι χαρακτηριστικές παράμετροι $\{PMD, TPMD\}$ της ελάχιστης απόστασης από τα όρια των λωρίδων. Τέλος στην τρίτη γραφική παράσταση παρουσιάζονται τα συνδυασμένα βάρη εμπιστοσύνης από όλες τις πηγές πληροφορίας που έχουν ανατεθεί σε κάθε τύπο ελιγμού κατά της διάρκειας που εξελίσσεται το σενάριο.



Σχήμα 4.13: Σενάριο παρουσίασης αποτελεσμάτων ανίχνευσης ελιγμού



Σχήμα 4.14: Ελάχιστη απόσταση από τα όρια της λωρίδας και χρόνος που συμβαίνει



Σχήμα 4.15: Συνδυασμένα βάρη εμπιστοσύνης για κάθε τύπο ελιγμού

Κεφάλαιο 5

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΟΔΗΓΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί μια εφαρμογή που αναπτύχθηκε για την επεξεργασία δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες και την κατάλληλη προειδοποίηση του οδηγού. Θα παρουσιαστεί αναλυτικά η τοπολογία των διαφόρων αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν, του δικτύου που δημιουργήθηκε για την ανταλλαγή πληροφοριών καθώς και η δομή των υπολογιστικών μονάδων για την επεξεργασία των διαφόρων πληροφοριών σχετικά με το οδικό περιβάλλον, όπως αυτό γίνεται αντιληπτό από το εγκατεστημένο δίκτυο αισθητήρων. Στην πρώτη ενότητα θα αναλυθεί το δίκτυο επικοινωνιών που χρησιμοποιήθηκε για την ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ των αισθητήρων και των υπολογιστικών μονάδων. Στην επόμενη ενότητα θα περιγράψει το λογισμικό το οποίο σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε. Στην τελευταία ενότητα θα παρουσιαστεί μια τροποποιημένη μορφή της πλατφόρμας αντίληψης του οδικού περιβάλλοντος για την περίπτωση ενός επιβατηγού οχήματος.

5.2 Δίκτυα Επικοινωνιών

Στις επόμενες δυο ενότητες περιγράφονται οι τύποι των δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν για την μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των αισθητήρων και των υπολογιστών του οχήματος. Για την επικοινωνία μεταξύ των ραντάρ και των υπολογιστικών μονάδων χρησιμοποιήθηκε το δίκτυο που βασίζεται στο πρωτόκολλο CAN. Επίσης, ο ίδιος τύπος δικτύου χρησιμοποιήθηκε και στην περίπτωση του μετρητή της γωνιακής ταχύτητας του οχήματος. Τέλος, για την αποστολή των δεδομένων από την κάμερα προς την υπολογιστική μονάδα η οποία εκτελεί την επεξεργασία εικόνας χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο IEEE-1394.

5.2.1 Πρωτόκολλο CAN

Το δίκτυο CAN αναπτύχθηκε αρχικά στην Ευρώπη για επιβατηγά οχήματα και γρήγορα εξαπλώθηκε ανά τον κόσμο. Η χρήση του επεκτάθηκε και σε ευρύτερες βιομηχανικές εφαρμογές. Στο σύγγραμμα αυτό οι αναφορές στο δίκτυο και στο πρωτόκολλο CAN σχετίζονται με τη χρήση του στα αυτοκίνητα.

Με την αυξανόμενη ζήτηση για μεγαλύτερη ασφάλεια, άνεση, ευκολία και τις απαιτήσεις για βελτίωση του ελέγχου της εκπομπής ρύπων και μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, η αυτοκινητοβιομηχανία ανέπτυξε μια ποικιλία από ηλεκτρονικά συστήματα όπως ABS, EMS, ESP, αερόσακους, κεντρικό κλείδωμα. Η πολυπλοκότητα αυτών των συστημάτων ελέγχου και η ανάγκη την ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ τους, απαιτήσε πιο εξειδικευμένες γραμμές σηματοδότησης. Το CAN προσέφερε την πιο ολοκληρωμένη λύση. Χρησιμοποιώντας το δίκτυο CAN, τα ηλεκτρονικά ελεγκτικά συστήματα και οι αισθητήρες στα αυτοκίνητα επικοινωνούν μεταξύ τους, σε πραγματικό χρόνο, με ταχύτητες που φτάνουν το 1MBit/sec, μέσω σειριακού δίκλωνου διαύλου. Το πρωτόκολλο CAN είναι ένα διεθνές πρότυπο που καθορίζεται στο ISO 11898. Πέρα από αυτό υπάρχει και το ISO 16845 όπου καθορίζεται και το τεστ πιστότητας του πρωτοκόλλου CAN, που εγγυάται την ομαλή μεταφορά δεδομένων μεταξύ των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων CAN.

Μαζί με ένα μήνυμα-πλαίσιο CAN μπορούν να μεταδοθούν μέχρι και 8 bytes δεδομένων. Αυτός ο αριθμός καλύπτει ικανοποιητικά τις απαιτήσεις των περισσότερων συστημάτων αυτοματισμού που υπάρχουν. Μεγαλύτερος αριθμός δεδομένων μπορεί να σταλεί και με

περισσότερα συνεχόμενα μηνύματα-πλαίσια. Τα βασικά πλεονεκτήματα των σύντομων μηνυμάτων είναι οι μικρότεροι χρόνοι καθυστέρησης των μηνυμάτων με υψηλή προτεραιότητα και η δυνατότητα μετάδοσης ακόμα και σε περιβάλλοντα όπου εμφανίζονται συχνά βλάβες. Η πιθανότητα να σταλούν επιτυχώς σύντομα μηνύματα μεταξύ δύο συνεχόμενων βλαβών του συστήματος είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή της μετάδοσης μακρύτερων μηνυμάτων. Με ρυθμό μετάδοσης 1 Mbit/s, περίπου 10.000 μηνύματα, με μέσο αριθμό δεδομένων τα 4 bytes, μπορούν να σταλούν. Για 8 bytes δεδομένων ανά μήνυμα ο αριθμός αυτός γίνεται 7.200 περίπου.

5.2.1.1 Μορφή πακέτων

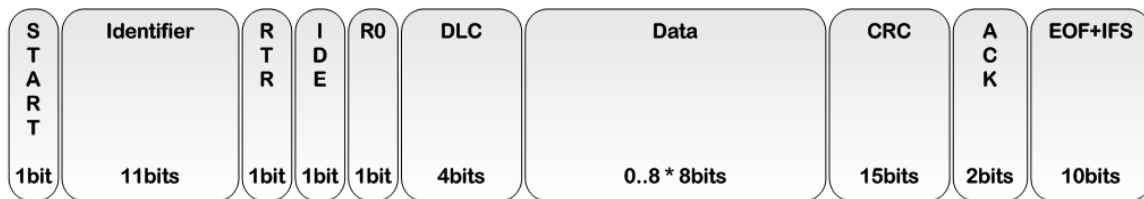
Το πρωτόκολλο CAN υποστηρίζει δύο μορφές πλαισίου ανάλογα με τον αριθμό bit που δεσμεύονται για το πεδίο της διεύθυνσης (identifier). Το 'βασικό πλαίσιο CAN' ('CAN base frame') υποστηρίζει διεύθυνση μήκους 11 bits (γνωστό ως CAN 2.0 A), ενώ το 'ετεταμένο πλαίσιο CAN' ('CAN extended frame') υποστηρίζει 29 bits (γνωστό ως CAN 2.0 B). Η γενική μορφή του πλαισίου φαίνεται στο σχήμα 5.1 παρακάτω.



Σχήμα 5.1: Γενική μορφή πλαισίου CAN

Το βασικό πλαίσιο CAN (σχήμα 5.2) αρχίζει με το bit αρχής (*SOF*: Start Of Frame) που ακολουθείται από το πεδίο διαιτησίας αποτελούμενο από την διεύθυνση (identifier) του μηνύματος και το bit *RTR* (Remote Transmission Request). Το τελευταίο χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των πλαισίων που 'μεταφέρουν' δεδομένα (*RTR* = 0, Βλ. Σχήμα 5.3) από αυτά που αποστέλλονται για να 'ζητήσουν' την αποστολή άλλων μηνυμάτων (*RTR* = 1, Βλ. Σχήματα 5.3, 5.4). Το ακόλουθο πεδίο είναι το πεδίο ελέγχου (control field) που αποτελείται από το bit *IDE* (Identifier Extension), το δεσμευμένο bit *r0* και 4 bits του πεδίου *DLC* (Data Length Code). Το πρώτο χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει τα 'βασικά' (*IDE* = 0) από τα 'ετεταμένα' (*IDE* = 1) πλαίσια και το *DLC* περιλαμβάνει τον αριθμό των bytes που ακολουθούν στο πεδίο δεδομένων (Data). Εάν το μήνυμα είναι του τύπου που 'ζητά' άλλα μηνύματα (Remote Transmission Request), τότε το πεδίο *DLC* περιλαμβάνει τον αριθμό των bytes δεδομένων (Data) που θα έχει το ζητούμενο μήνυμα. Στο πεδίο των δεδομένων εφαρμογής (Data) που ακολουθεί δεσμεύονται έως και 8 bytes. Την ακεραιότητα του πλαισίου εγγυάται το ακόλουθο πεδίο *CRC* (Cyclic Redundant Check), το οποίο περιλαμβάνει ένα άθροισμα ελέγχου (checksum) για τον αριθμό των bits που προηγήθηκαν στο πλαίσιο. Χρησιμοποιείται μόνο για τον εντοπισμό λαθών και όχι για τη διόρθωσή τους. Μπορεί να εντοπίσει έως και 6 λάθη διασκορπισμένα στο μήνυμα και έχει μήκος 15 bits. Το επόμενο πεδίο είναι το *ACK* (Acknowledge field) που αποτελείται από δύο bits (*ACK Delimiter* και *ACK Slot*). Κάθε ενεργός κόμβος ενός δικτύου CAN που εντοπίζει ένα ορθά κωδικοποιημένο μήνυμα στον δίαυλο θέτει το *ACK Slot*, που αρχικά ήταν 'λογικό ένα', σε 'λογικό μηδέν'. Ο κόμβος-αποστολέας του μηνύματος ελέγχει αυτό το πεδίο και αν διαπιστώσει ότι βρίσκεται σε επίπεδο 'λογικού ένα' το αντιμετωπίζει ως λάθος. Σημειώνεται ότι, εφόσον ο αποστολέας αντιληφθεί 'λογικό μηδέν' δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το μήνυμά του εστάλη στις επιθυμητές εφαρμογές. Το μόνο το οποίο μπορεί να συμπεράνει είναι ότι το μήνυμα έχει κωδικοποιηθεί σωστά πάνω στον δίαυλο. Ακολουθεί το πεδίο *EOF* (End Of Frame) που σημαίνει το τέλος του πλαισίου CAN. Αποτελείται από 7 bits, όλα σε 'λογικό ένα', παραβιάζοντας έτσι τον κανόνα 'bit stuffing', δηλαδή παραγεμίσιματος με bits, σύμφωνα με τον οποίον μετά από μια ακολουθία 5 bits με την ίδια πολικότητα πρέπει να τεθεί αντίθετης πολικότητας bit. Έτσι, όσο είναι ενεργό αυτό το πεδίο, ο κανονισμός αυτός τίθεται εκτός λειτουργίας. Στη συνέχεια υπάρχει το πεδίο *IFS* (Intermission Frame Space), αποτελούμενο από 7 bits, δηλώνει τον ελάχιστο αριθμό

bits μεταξύ δύο συνεχόμενων μηνυμάτων. Δηλαδή, ουσιαστικά ορίζει το χρόνο που απαιτείται για να μεταφερθεί από τον ελεγκτή CAN ένα λαμβανόμενο μήνυμα από τον διαχειριστή του διαύλου (bushandler) μέχρι τον σχετικό χώρο μνήμης (buffer) όπου αποθηκεύονται τα μηνύματα.



Σχήμα 5.2: Πλαίσιο CAN (απλή μορφή, CAN 2.0A)

Το 'εκτεταμένο' πλαίσιο CAN (Βλ. Σχήμα 5.3) διαφέρει από το 'βασικό' καταρχάς στον αριθμό των bits που δεσμεύονται για την διεύθυνση του μηνύματος, όπως προαναφέρθηκε. Επίσης, το πεδίο *RTR* αντικαθίσταται από το πεδίο *SRR* (Substitute Remote Request). Στο πεδίο *IDE* τίθεται 'λογικό ένα' αντίθετα με το πλαίσιο με *11bit* διεύθυνση όπου είναι 'λογικό μηδέν'. Εφόσον τα 'εκτεταμένα' πρέπει να συνυπάρχουν με τα 'βασικά' πλαίσια στον ίδιο διαυλο, θα πρέπει να καθοριστεί η προτεραιότητα στην περίπτωση που δύο διαφορετικής κωδικοποίησης μηνύματα 'ανταγωνίζονται' για πρόσβαση στον διαυλο. Έτσι, τα 'βασικά' μηνύματα έχουν απόλυτη προτεραιότητα έναντι των 'εκτεταμένων'.

Τα μηνύματα με *29bits* μήκος διεύθυνσης έχουν ορισμένα μειονεκτήματα συγκριτικά με αυτά με τα *11bits*. Καταρχάς, ο χρόνος διάδοσής τους στον διαυλο είναι μεγαλύτερος, τουλάχιστον 20 διάρκειες bit, ενώ απαιτούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης (περίπου 20% περισσότερο). Επίσης, η απόδοσή τους στον εντοπισμό λαθών είναι μικρότερη. Οι ελεγκτές CAN, που υποστηρίζουν 'εκτεταμένη' μορφή μηνυμάτων, έχουν τη δυνατότητα να στείλουν και να λάβουν μηνύματα σε 'βασική' μορφή. Αντίθετα, ελεγκτές που υποστηρίζουν 'βασική' μορφή, δεν υποστηρίζουν 'εκτεταμένη'. Βέβαια, υπάρχουν και ελεγκτές που απλά αγνοούν τα 'εκτεταμένα' μηνύματα.



Σχήμα 5.3: Πλαίσιο CAN (εκτεταμένη μορφή, CAN 2.0B)

5.2.1.2 Αποθήκευση αριθμών

Στην παράσταση συμπληρώματος του 2 οι θετικοί αριθμοί παριστάνονται με περισσότερο σημαντικό bit (MSB) το 0 και ακολούθως το μέτρο του αριθμού σε δυαδική μορφή. Οι αρνητικοί αριθμοί παριστάνονται με το συμπλήρωμα ως προς δύο της παράστασης συμπληρώματος του 2 της απόλυτης τιμής τους. Το συμπλήρωμα ως προς 2 ενός αριθμού a προκύπτει από τη σχέση:

$$2's_complement(a) = 2^n - |a| \quad (5.1)$$

όπου, n ο αριθμός των διαθέσιμων bits για την δυαδική κωδικοποίηση του αριθμού. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η δυαδική τιμή (*bit_value*), στην οποία κωδικοποιείται η πραγματική τιμή της μεταβλητής (*real_value*), υπολογίζεται ως εξής:

$$bit_value = \frac{real_value}{resolution} \quad real_value \geq 0 \quad (5.2\alpha)$$

$$bit_value = 2^n - \left\lceil \frac{real_value}{resolution} \right\rceil \quad real_value < 0 \quad (5.2\beta)$$

Επομένως, για την αποκωδικοποίηση της δυαδικής τιμής και την εξαγωγή της πραγματικής τιμής, χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$real_value = bit_value \cdot resolution \quad 0 \leq bit_value < 2^{n-1} \quad (5.3\alpha)$$

$$real_value = (2^n - bit_value) \cdot resolution \quad 2^{n-1} \leq bit_value \leq 2^n \quad (5.3\beta)$$

5.2.2 Πρωτόκολλο IEEE-1394

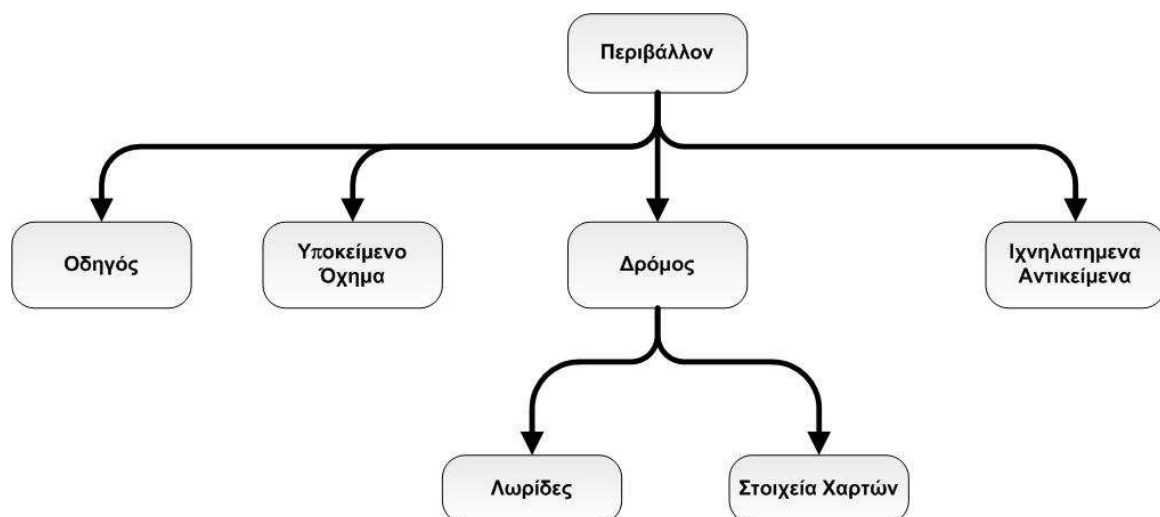
Το IEEE-1394 δεν είναι τίποτα άλλο από ένα υψηλής ταχύτητας πρότυπο ψηφιακής δικτύωσης, κάτι παρόμοιο με το FastEthernet. Παρόλα αυτά διαφέρει από αυτό το τυπικό 100BaseT πρότυπο σε δυο βασικά σημεία:

- Προορίζεται για μικρής απόστασης επικοινωνίες, επιτρέποντας την επίτευξη μεγαλύτερων ταχυτήτων (400Mbps τώρα, και αρκετά Gbps στο μέλλον) με φτηνότερη καλωδίωση. Οι περιορισμοί στην απόσταση μπορούν να αντιμετωπιστούν χρησιμοποιώντας κόμβους και επαναλήπτες, όπως ακριβώς και στην τεχνολογία Ethernet (IEEE-802.3).

Παρέχει εξασφαλισμένο εύρος ζώνης. Στην ισόχρονη κατάσταση λειτουργίας του, ένα κανάλι σταθερού εύρους ζώνης είναι πάντοτε διαθέσιμο σε κάθε συσκευή που συνδέεται στο δίκτυο. Αυτό επιτρέπει συνεχή και αδιάλειπτη ροή ζωντανής κινούμενης εικόνας να μεταδίδεται χωρίς διακοπές πάνω στο κατανεμημένο δίκτυο.

5.3 Περιγραφή λογισμικού αντίληψης οδικού περιβάλλοντος

Τα βασικά στοιχεία της εφαρμογής που αναπτύχθηκε ήταν, μεταξύ των άλλων, η ικανότητα



Σχήμα 5.4: Ιεραρχικό μοντέλο μνήμης

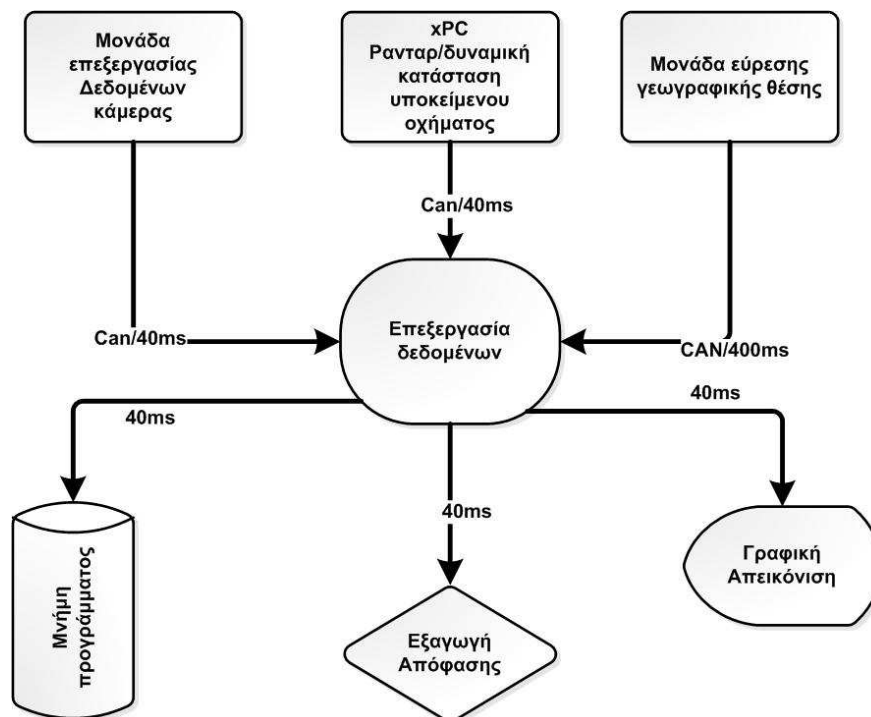
διαχείρισης των δεδομένων χρησιμοποιώντας πολλαπλά νήματα (Threads) για την εκτέλεση των διαφόρων λειτουργιών με μεγαλύτερη ταχύτητα και η ικανότητα επικοινωνίας χρησιμοποιώντας τους διαύλους CAN και ETHERNET. Ο κύκλος επεξεργασίας της εφαρμογής σχεδιάστηκε να είναι γύρω στα 40ms, εξασφαλίζοντας έτσι πολύ γρήγορη διαχείριση και επεξεργασία των διαφόρων πληροφοριών. Επίσης, σχεδιάστηκε ένα ιεραρχικό μοντέλο δεδομένων για την

αποθήκευση των διαφόρων δεδομένων που σχετίζονται με το οδικό περιβάλλον και προέρχονται από τους διάφορους αισθητήρες του οχήματος. Το μοντέλο αυτό φαίνεται στο σχήμα (5.4) και αναλύει το περιβάλλον μέσα στο οποίο κινείται το όχημα μας σε διάφορες κατηγορίες οι οποίες είναι χαρακτηριστικές για κάθε τύπο πληροφορίας που προέρχεται από τους αισθητήρες. Έτσι λοιπόν για παράδειγμα όλα τα δεδομένα που αφορούν την δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος αποθηκεύονται στην περιοχή μνήμης – Υποκείμενο Όχημα –, όλες οι πληροφορίες που αφορούν τα δεδομένα των ραντάρ αποθηκεύονται στην περιοχή μνήμης – Ιχνηλατημένα Αντικείμενα –, όλες οι πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση του δρόμου αποθηκεύονται στην περιοχή μνήμης – Δρόμος –, κτλ.



Σχήμα 5.5: Κύριες περιοχές μνήμης

Επίσης η διάρθρωση της μνήμης ακολουθεί το μοντέλο JDL που περιγράφηκε στην



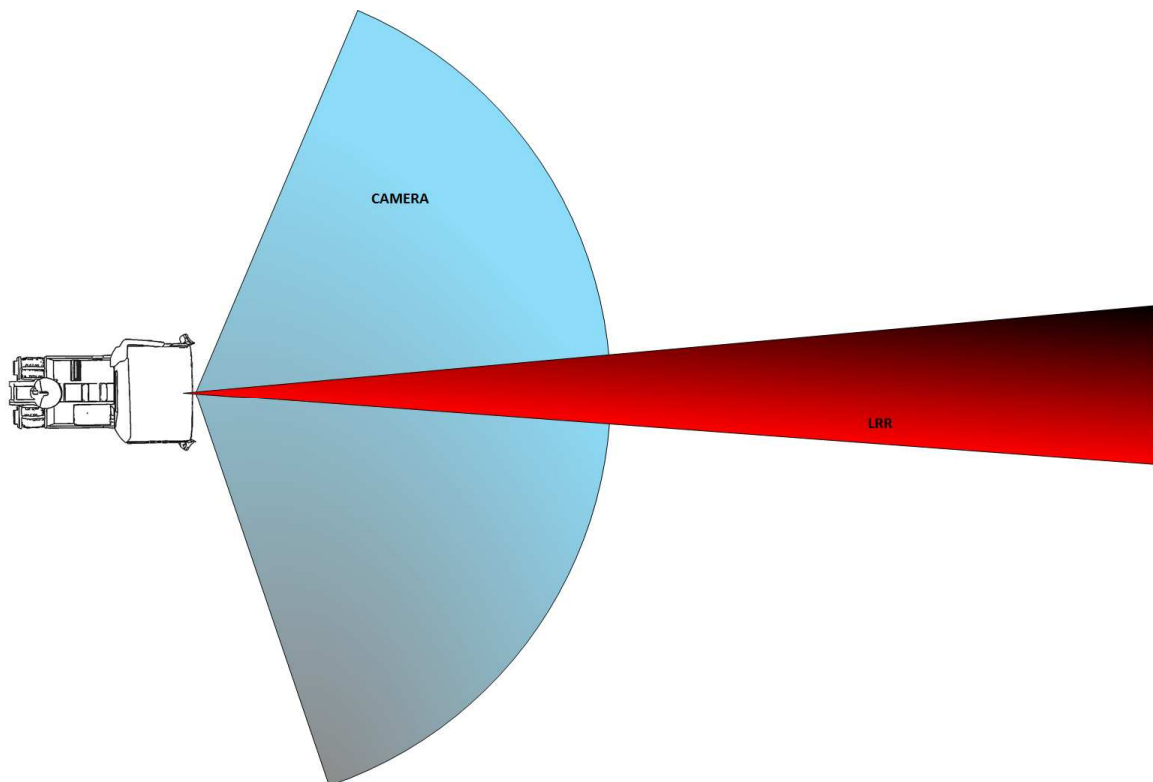
Σχήμα 5.6: Κύκλος επεξεργασίας δεδομένων

εισαγωγή της διατριβής για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των δεδομένων, έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερη προσαρμογή της εφαρμογής στο πεδίο της επεξεργασίας πληροφοριών από πολλαπλές πηγές με σύντηξη δεδομένων. Έτσι λοιπόν η μνήμη χωρίζεται σε τέσσερα κύρια κομμάτια τα οποία χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των δεδομένων που αντιστοιχούν στα τέσσερα επίπεδα του μοντέλου JDL.

Ο κύκλος επεξεργασίας και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων μονάδων του υποσυστήματος φαίνεται στο σχήμα (5.6). Η εξαγωγή της τελικής απόφασης και η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων γίνεται κάθε $40ms$, ενώ επειδή οι χάρτες έχουν μεγαλύτερο κύκλο ανανέωσης των πληροφοριών που αποστέλλουν, γίνεται γραμμική παρεμβολή για τον υπολογισμό των μεταβλητών σε ενδιάμεσους κύκλους, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η ομαλή λειτουργία του συστήματος.

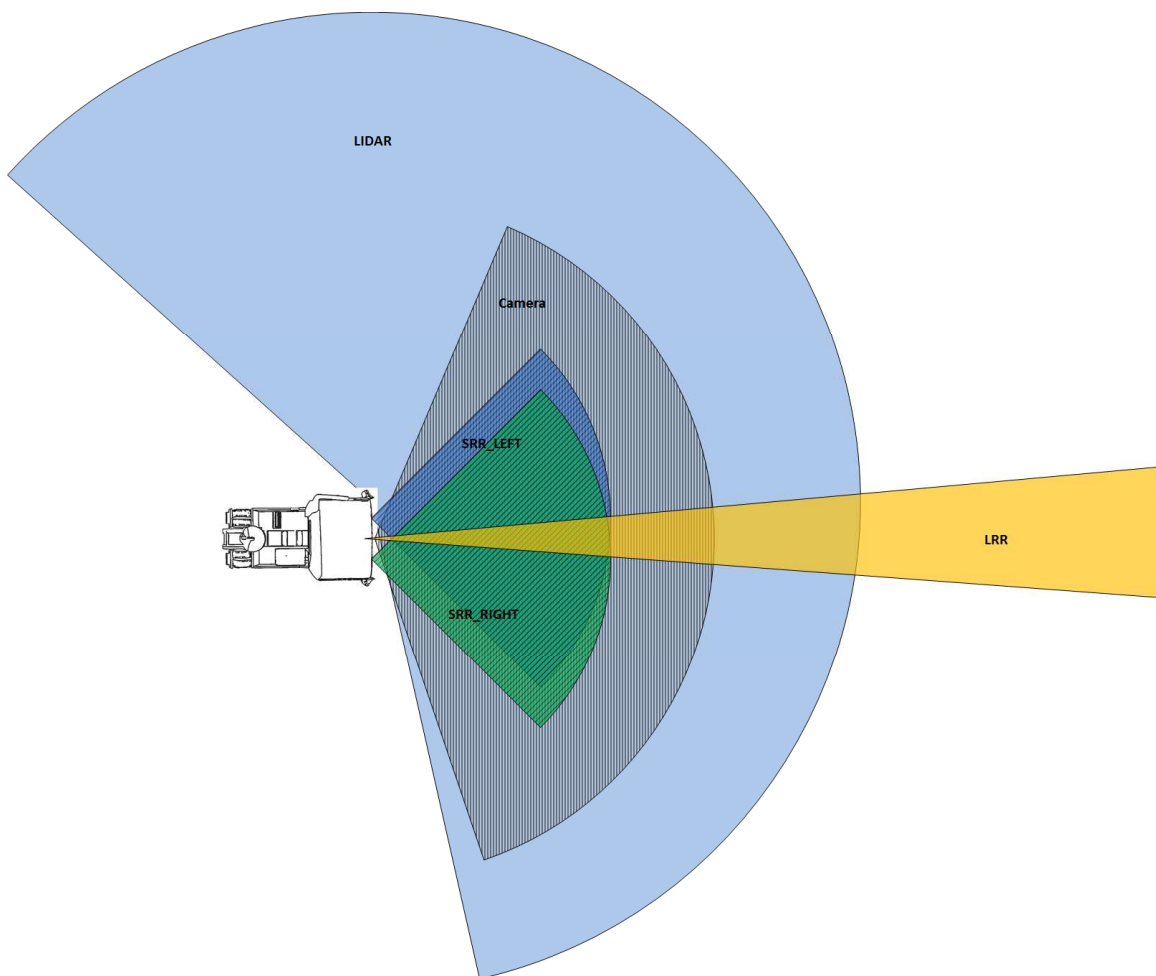
5.3.1 Περιγραφή αισθητήρων

Η πλατφόρμα που σχεδιάστηκε είναι ικανή να υποστηρίξει τρεις διαφορετικές τοπολογίες αισθητήρων. Στα σχήματα (5.7-5.9) φαίνονται οι τρεις διαφορετικές διατάξεις, σύμφωνα με τις οποίες τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες και οι οποίες υποστηρίζονται από το λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε.

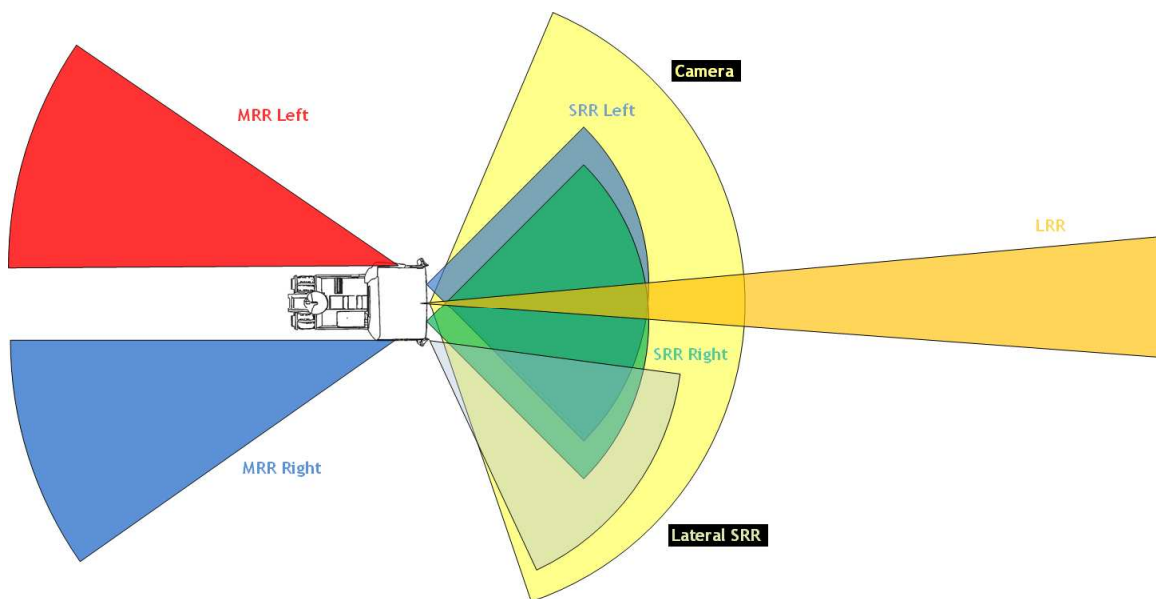


Σχήμα 5.7: Τοπολογία αισθητήρων SafeLane

Στην πρώτη τοπολογία, όπως φαίνεται, υπάρχει μόνο ένα ραντάρ μακρινής εμβέλειας (LRR) για την ανίχνευση των αντικειμένων μπροστά από το όχημα και μια κάμερα που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των λωρίδων. Το LRR έχει εμβέλεια $200m$ και γωνία κάλυψης 11° . Η κάμερα έχει ακτίνα ανίχνευσης $40-50m$ και γωνία κάλυψης 160° . Το συγκεκριμένο σύστημα αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Safelane-Prevent και η εφαρμογή του είναι η υποστήριξη του οδηγού σε περιπτώσεις αλλαγής λωρίδας χωρίς να υπάρχει πρόθεση. Το σύστημα διαθέτει επίσης και μια μονάδα ψηφιακών χαρτών, για την εύρεση της θέσης του οχήματος και την εκτίμηση της γεωμετρίας του δρόμου, και αδρανειακούς αισθητήρες για την μέτρηση της ταχύτητας και της γωνιακής ταχύτητας του οχήματος. Το ραντάρ έχει τοποθετηθεί στο κέντρο του προφυλακτήρα του οχήματος, ενώ η κάμερα είναι επίσης στο κέντρο μπροστά, αλλά πολύ πιο ψηλά, μέσα στη καμπίνα του οδηγού.



Σχήμα 5.8: Τοπολογία αισθητήρων Profusion2



Σχήμα 5.9: Τοπολογία αισθητήρων InSafes

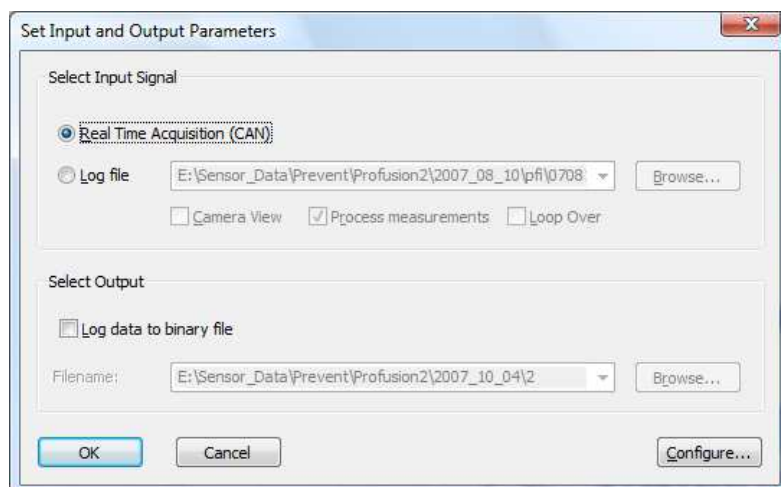
Στην δεύτερη τοπολογία αισθητήρων το σύστημα έχει ενισχυθεί επιπλέον και με έναν σαρωτή λέιζερ (Lidar), ο οποίος είναι ικανός να ανιχνεύει τόσο τα αντικείμενα που κινούνται εντός της περιοχής κάλυψης του όσο και τα όρια του δρόμου. Η εμβέλεια του Lidar είναι γύρω στα $80m$ και η γωνία κάλυψης, του αν και είναι 360° , περιορίζεται ανάλογα με το σημείο τοποθέτησης του πάνω στο όχημα. Έτσι, καθώς στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει τοποθετηθεί στην μπροστινή αριστερή γωνία, καλύπτει 75° προς τα δεξιά ως προς τον εγκάρσιο άξονα του οχήματος και 135° προς τα αριστερά ως προς τον ίδιο άξονα. Τέλος υπάρχουν επίσης και δυο ραντάρ κοντινής εμβέλειας (SRR) τα οποία είναι τοποθετημένα αριστερά και δεξιά στον προφυλακτήρα σε απόσταση $0.61m$ από το κέντρο. Η ακτίνα ανίχνευσης τους είναι γύρω στα $35m$ και η γωνία κάλυψης τους είναι 80° . Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Profusio2-Prevent που σκοπό είχε την μελέτη των αλγορίθμων σύντηξης δεδομένων για εφαρμογές ασφάλειας αυτοκινήτων.

Τέλος, στην τρίτη τοπολογία οι αισθητήρες καλύπτουν και την πίσω πλευρά του οχήματος. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει το Lidar, αλλά υπάρχει ένα επιπλέον SRR στη μπροστινή πλευρά το οποίο είναι στραμμένο κατά 45° προς τα δεξιά, ώστε να διευρύνεται η περιοχή κάλυψης προς την κατεύθυνση εκείνη. Η ακτίνα ανίχνευσης του είναι $40m$ και η γωνία κάλυψης του είναι 50° . Επίσης, όπως αναφέρθηκε υπάρχουν δυο ραντάρ μέσης εμβέλειας (MRR) που επιτηρούν την πίσω περιοχή. Τα ραντάρ αυτά έχουν μέγιστη απόσταση ανίχνευσης τα $80m$ και γωνία κάλυψης 30° . Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Insafes-Prevent και σκοπός του είναι η μελέτη διαφορετικών λειτουργιών πάνω στο ίδιο σύστημα, όπως είναι η πλευρική υποστήριξη ή η εμπρόσθια επιτήρηση.

5.3.2 Περιγραφή λειτουργίας της πλατφόρμας

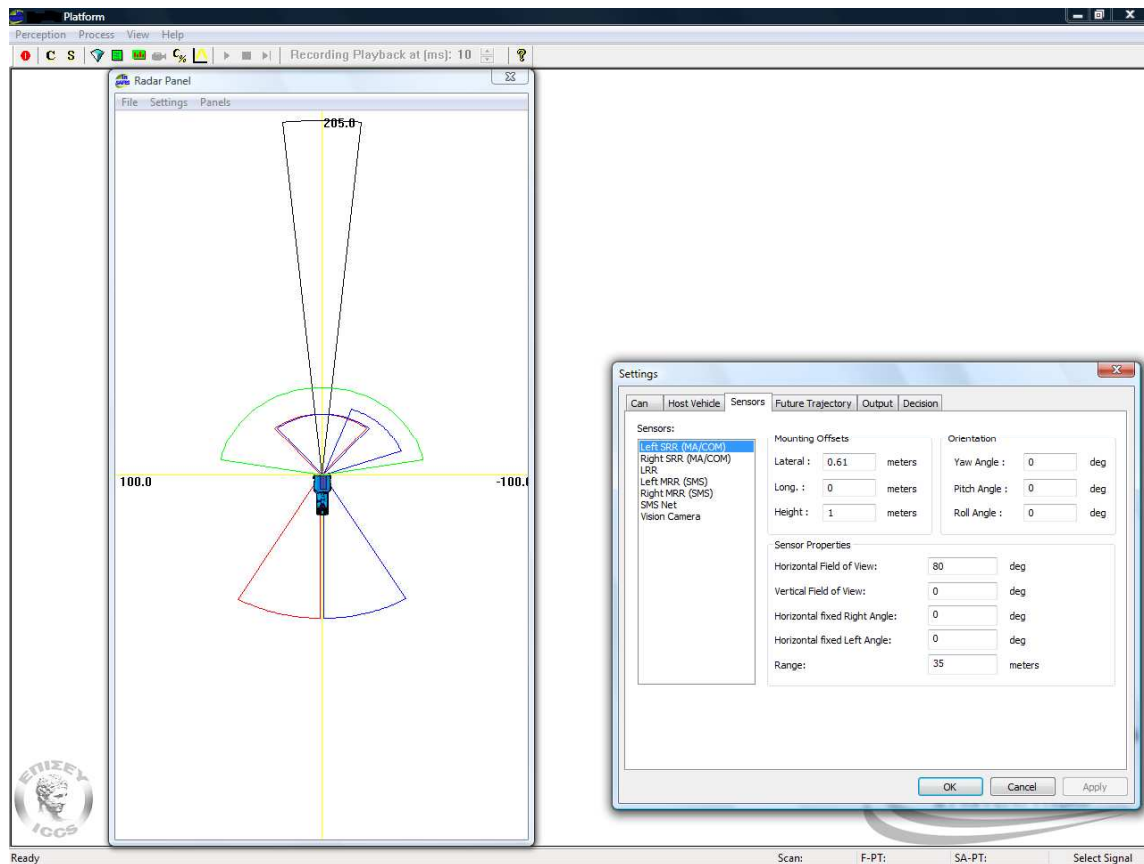
Στην ενότητα αυτή γίνεται περιγραφή των χαρακτηριστικών και του τρόπου λειτουργίας του λογισμικού το οποίο υλοποιήθηκε για την λήψη και επεξεργασία δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες με απώτερο σκοπό την αντίληψη του οδικού περιβάλλοντος σε εφαρμογές ασφάλειας έξυπνων οχημάτων.

Η πλατφόρμα που σχεδιάστηκε έχει την δυνατότητα λειτουργίας τόσο σε πραγματικό χρόνο, όσο και φορτώνοντας δεδομένα από αρχεία τα οποία δημιουργήθηκαν κατά την λειτουργία του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες (σχήμα 5.10). Στην πρώτη περίπτωση τα δεδομένα λαμβάνονται μέσω του καναλιού CAN από τους διάφορους αισθητήρες του συστήματος, ενώ στην δεύτερη περίπτωση από αρχεία τα οποία δημιουργούνται από το πρόγραμμα όταν έχει επιλεγεί αυτό από τον χρήστη.



Σχήμα 5.10: Αρχικοποίηση εφαρμογής

Επίσης, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ρυθμίζει όλες τις παραμέτρους του κάθε αισθητήρα (σχήμα 5.11), όπως είναι το σημείο τοποθέτησης του πάνω στο όχημα, η εμβέλεια και η γωνία κάλυψης του. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται υπόψη από τις μονάδες επεξεργασίας που επεξεργάζονται τα δεδομένα κατά την λειτουργία του προγράμματος.

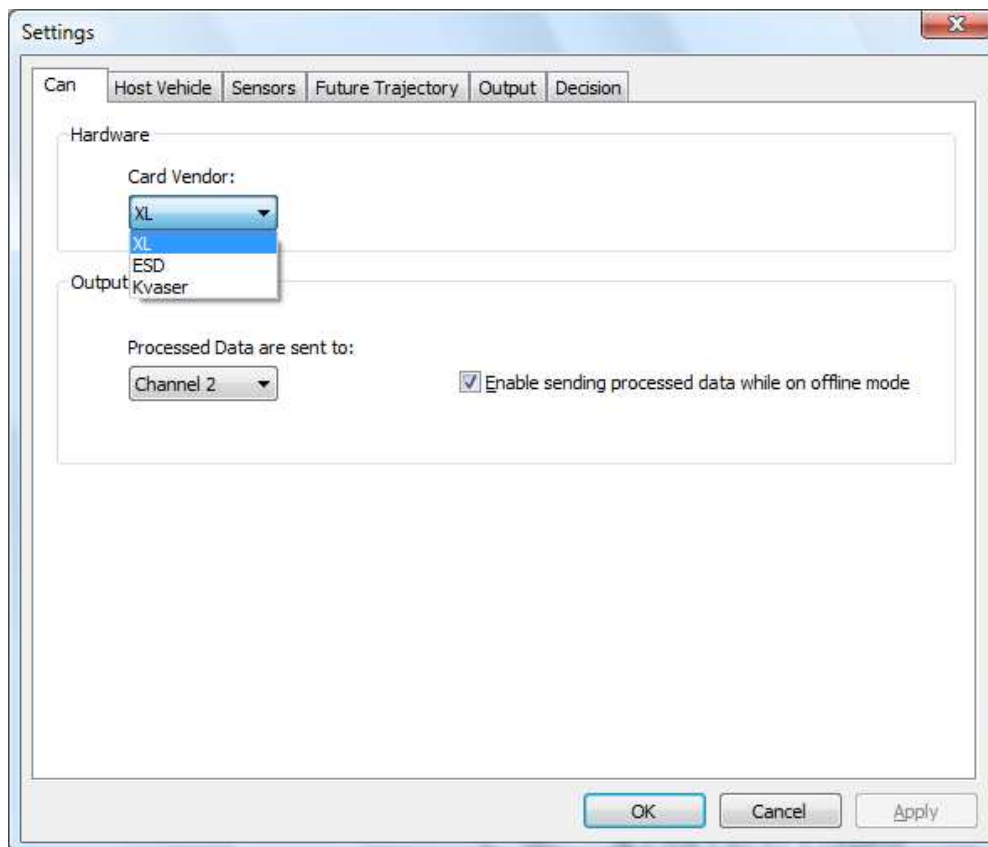


Σχήμα 5.11: Ρυθμιση παραμέτρων αισθητήρων

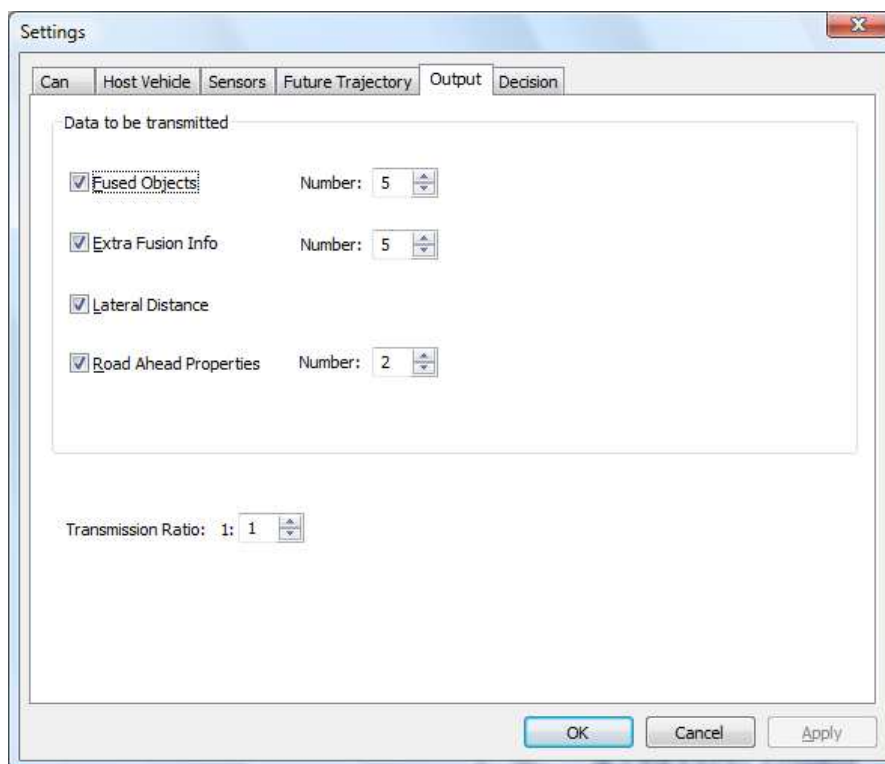
Ο χρήστης έχει επίσης την δυνατότητα να ρυθμίζει ορισμένες παραμέτρους σχετικά με την λήψη των δεδομένων από το CAN (σχήμα 5.12). Αυτές είναι ο τύπος της κάρτας που χρησιμοποιήθηκε. Στην περίπτωση αυτή υποστηρίζονται τρεις διαφορετικοί τύποι. Επίσης, επιλέγεται το κανάλι στο οποίο θα αποστέλλονται τα επεξεργασμένα δεδομένα.

Στη συνέχεια δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ρυθμίσει ορισμένες παραμέτρους σχετικά με τα επεξεργασμένα δεδομένα που αποστέλλονται στο CAN από την εφαρμογή (σχήμα 5.13). Έτσι υπάρχει η δυνατότητα επιλογής αν θα αποστέλλονται τα αντικείμενα που ιχνηλατούνται από το δίκτυο των ραντάρ και πόσα από αυτά. Επίσης μπορεί να επιλεγεί αν θα αποστέλλονται επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τα αντικείμενα αυτά και οι οποίες πρόκειψαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων κάνοντας χρήση τεχνικών σύντηξης δεδομένων. Επίσης, μπορεί να επιλεγεί να αποστέλλονται στο δίκτυο η μελλοντική απόσταση του οχήματος από τα άκρα της λωρίδας καθώς και όλες οι πληροφορίες σχετικά με την γεωμετρία και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του δρόμου.

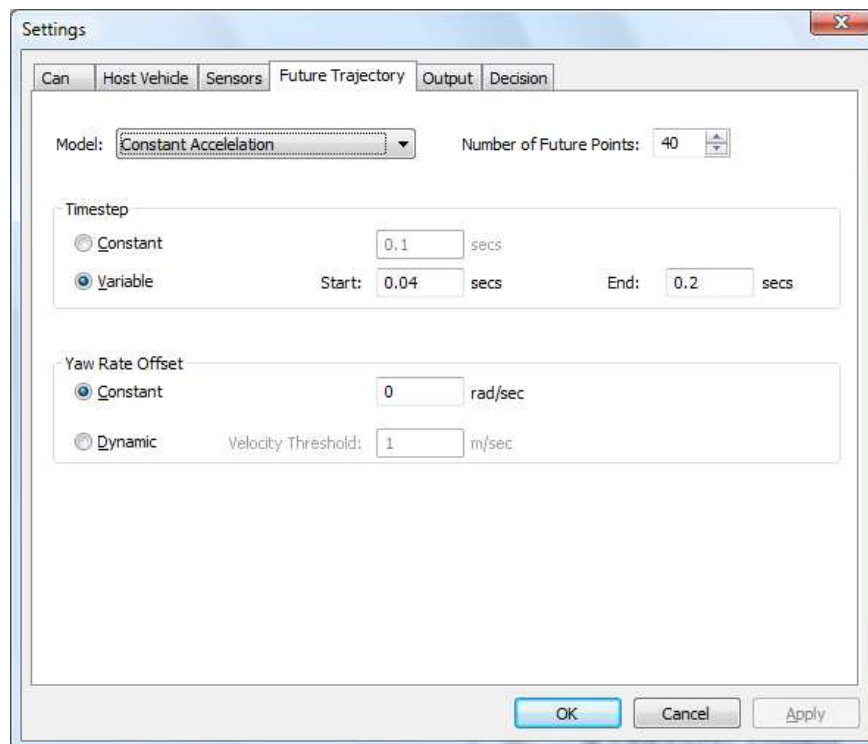
Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης ορισμένων παραμέτρων σχετικά με τις μονάδες επεξεργασίας των δεδομένων. Αυτό παρέχει στον χρήστη την ικανότητα ευκολότερης δοκιμής των διαφόρων υπομονάδων που επεξεργάζονται τα διάφορα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες του συστήματος, χωρίς να χρειάζεται να γίνονται επεμβάσεις στον κώδικα. Στο σχήμα (5.14) φαίνεται ένα παράδειγμα ρύθμισης του μοντέλου που χρησιμοποιείται για την εύρεση της μελλοντικής τροχιάς του υποκείμενου οχήματος.



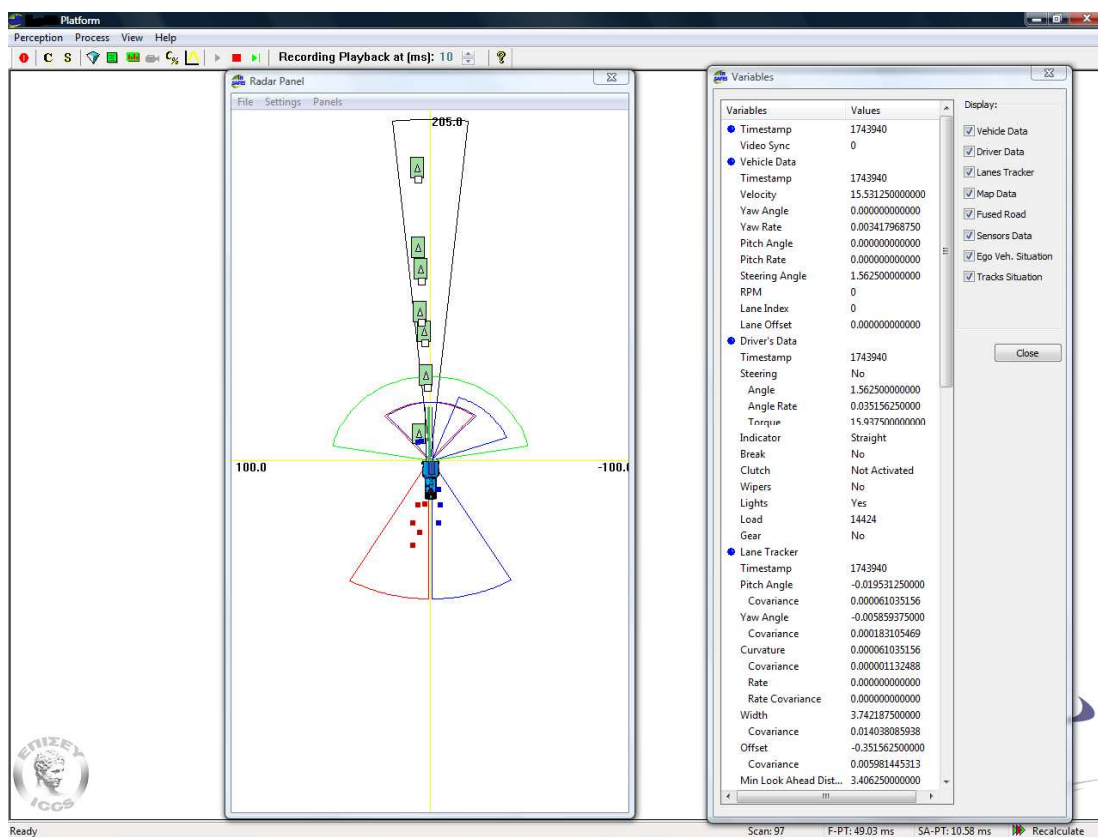
Σχήμα 5.12: Ρυθμίσεις αποστολής και λήψης δεδομένων μέσω CAN



Σχήμα 5.13: Ρυθμίσεις επιλογής δεδομένων που θα αποστέλλονται μέσω CAN

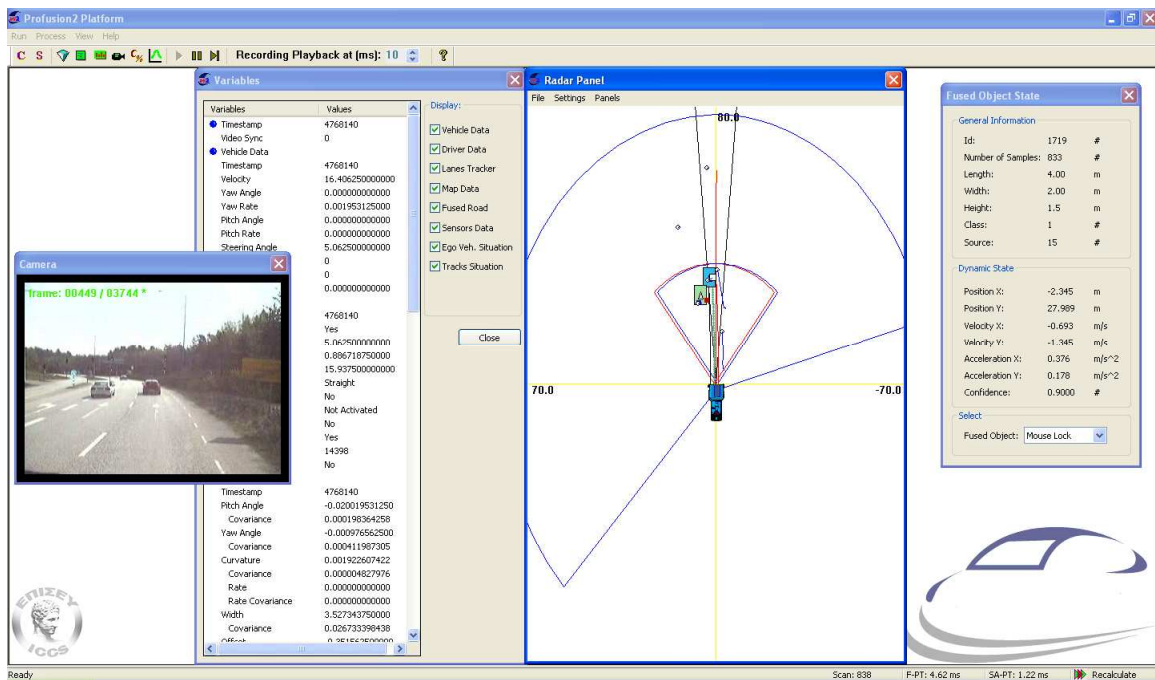


Σχήμα 5.14: Ρύθμιση παραμέτρων μοντέλου μελλοντικής τροχιάς του υποκείμενου οχήματος



Σχήμα 5.15: Γραφική και αριθμητική απεικόνιση των διαφόρων μεταβλητών

Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής δίνει την δυνατότητα απεικόνισης τόσο των αντικειμένων που ανιχνεύονται από τους αισθητήρες όσο και των ιχνηλατημένων αντικειμένων που προκύπτουν μετά την επεξεργασία των δεδομένων αυτών. Επίσης, απεικονίζονται επιπλέον πληροφορίες, όπως η μελλοντική τροχιά του υποκείμενου οχήματος, όπως και οι λωρίδες που ανιχνεύονται από την κάμερα καθώς και η τελική γεωμετρία του δρόμου που προκύπτει από τον συνδυασμό πολλαπλών πηγών πληροφορίας, όπως είναι η κάμερα, οι χάρτες, η δυναμική κατάσταση του υποκείμενου οχήματος, το ραντάρ και ο σαρωτής λέιζερ. Τέλος, υπάρχει ξεχωριστή περιοχή όπου απεικονίζονται και αριθμητικά όλες οι τιμές των μεταβλητών που λαμβάνει και επεξεργάζεται η εφαρμογή.

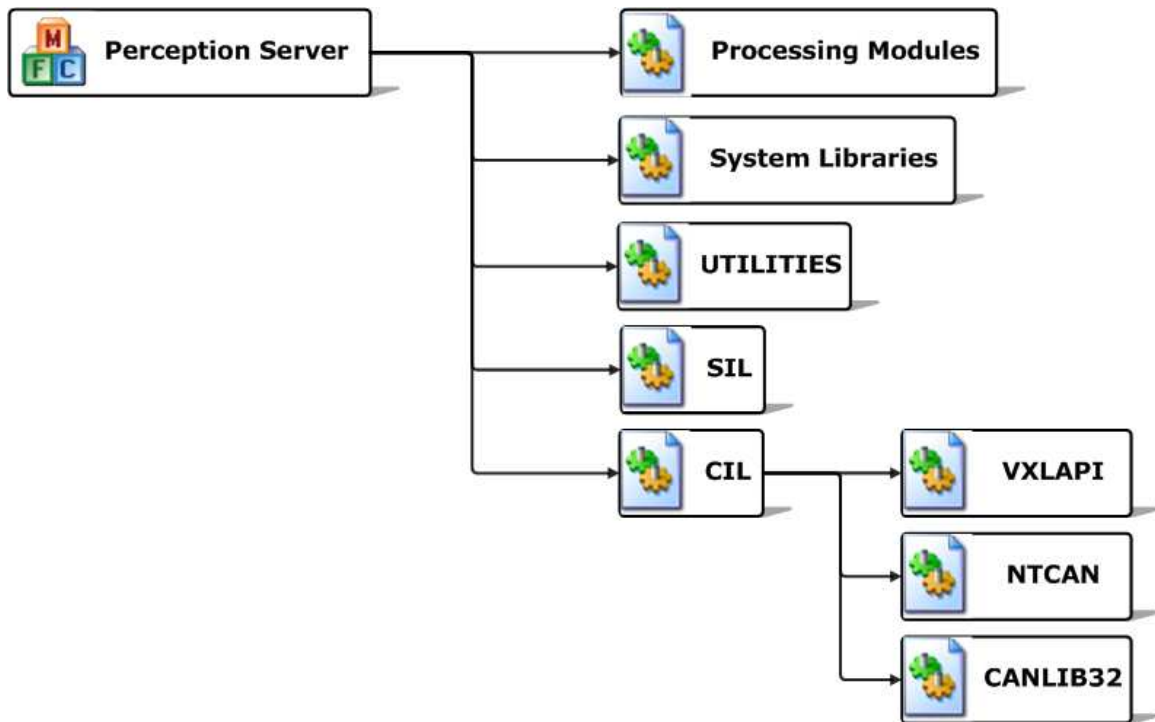


Σχήμα 5.16: Λειτουργικές δυνατότητες γραφικού περιβάλλοντος

Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης ταυτόχρονα και βίντεο ώστε να έχει ο χρήστης μια αντίληψη του σεναρίου το οποίο καταγράφηκε, ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα να επιλέγεται ένα συγκεκριμένο αντικείμενο (γαλάζιο χρώμα) και να παρουσιάζονται συγκεκριμένες πληροφορίες για αυτό σε ξεχωριστό παράθυρο.

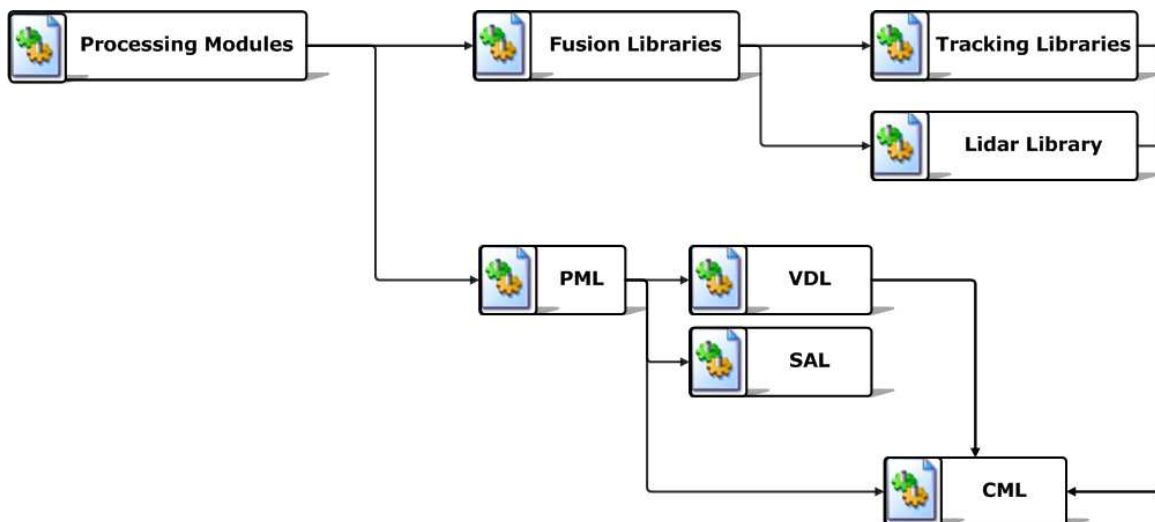
5.3.3 Περιγραφή υπομονάδων

Στα πλαίσια της ανάπτυξης της πλατφόρμας δημιουργήθηκε ένα σύνολο συνοδευτικών βιβλιοθηκών, η κάθε μια από τις οποίες συγκεντρώνει ένα σύνολο συναρτήσεων και κλάσεων οι οποίες εκπληρώνουν ένα συγκεκριμένο σκοπό. Η ιεράρχηση της κύριας εφαρμογής και των συνοδευτικών βιβλιοθηκών φαίνεται στο σχήμα (5.17). Όπως μπορεί να φανεί η κύρια εφαρμογή (PerceptionServer) χρησιμοποιεί ένα σύνολο βιβλιοθηκών του λειτουργικού συστήματος (οι οποίες δεν θα αναφερθούν εδώ), μια βιβλιοθήκη (Utilities) που περιέχει γενικές συναρτήσεις, όπως ρολόι για την μέτρηση εκτέλεσης εργασιών και αποθήκευσης σε εξωτερικά αρχεία, μια βιβλιοθήκη (SIL) που περιέχει συναρτήσεις για την μετάφραση των πακέτων του CAN και μια βιβλιοθήκη (CIL) η οποία είναι υπεύθυνη για τον χειρισμό των καρτών λήψης δεδομένων από το CAN. Η τελευταία χρησιμοποιεί εν συνεχεία τους οδηγούς που παρέχονται από τους κατασκευαστές των καρτών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ανεξαρτητοποίηση της κύριας εφαρμογής από τον τύπο του υλικού που χρησιμοποιείται και μπορεί να υποστηρίξει οποιοδήποτε αριθμό καρτών χωρίς να χρειάζεται επέμβαση στον κύριο κώδικα της εφαρμογής.



Σχήμα 5.17: Βιβλιοθήκες κύριας εφαρμογής

Στη συνέχεια (σχήμα 5.18) αναλύεται η ιεράρχηση των βιβλιοθηκών που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων.

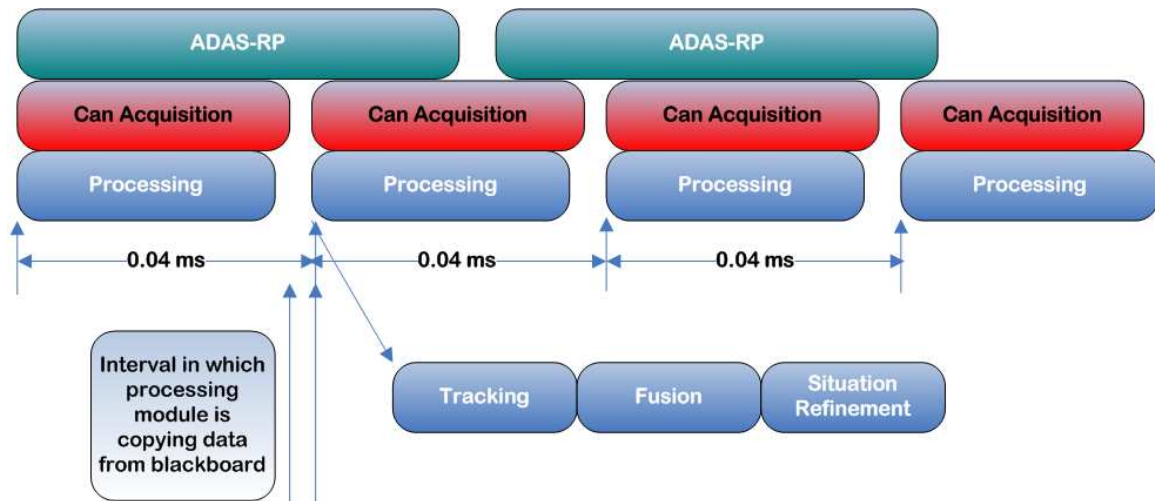


Σχήμα 5.18: Βιβλιοθήκες επεξεργασίας δεδομένων από αισθητήρες

Όπως φαίνεται χρησιμοποιούνται ένα σύνολο βιβλιοθηκών που εκτελούν την ιχνηλασία των αντικειμένων που ανιχνεύονται από τα ραντάρ και την επεξεργασία του σαρωτή λέιζερ, και οι οποίες είναι εξωτερικές. Επίσης χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη PML η οποία λειτουργεί σαν μια διεπαφή ανάμεσα στην εκάστοτε εφαρμογή και στις βιβλιοθήκες που εκτελούν την αξιολόγηση κατάστασης και την επεξεργασία των αντικειμένων σε υψηλότερο επίπεδο.

5.3.4 Συγχρονισμός δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες

Λόγω του γεγονότος ότι τα δεδομένα από τους διάφορους αισθητήρες δεν λαμβάνονται με σταθερό ρυθμό σχεδιάστηκε ένας αλγόριθμος για τον συγχρονισμό τους. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη το ρυθμό μετάδοσης από κάθε αισθητήρα και με βάση ένα ανώτατο κατώφλι που έχει τεθεί για τον κάθε κύκλο επεξεργασίας ξεκινάει τη μονάδα επεξεργασίας ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Πιο συγκεκριμένα η διέγερση των κύκλων επεξεργασίας συμβαίνει, όποτε ληφθούν δεδομένα από την μονάδα επεξεργασίας εικόνας της κάμερας, τα ραντάρ και τους αδρανειακούς αισθητήρες του οχήματος. Επειδή οι ψηφιακοί χάρτες έχουν πολύ μεγάλο χρόνο ανανέωσης δεν λαμβάνονται υπόψη.



Σχήμα 5.19: Συγχρονισμός δεδομένων

5.4 Σύστημα ασφαλούς οδήγησης επιβατηγού οχήματος

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η σχεδίαση και η εγκατάσταση ενός συστήματος αντίληψης του οδικού περιβάλλοντος σε ένα επιβατηγό όχημα. Το σύστημα βασίζεται στην λήψη και επεξεργασία των δεδομένων από ένα σύνολο αισθητήρων που είναι τοποθετημένοι σε ένα όχημα – πλατφόρμα Toyota-Starlet. Όλοι οι υπολογιστές έχουν τοποθετηθεί στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου, ενώ οι αισθητήρες καλύπτουν τόσο την εμπρόσθια όσο και την οπίσθια πλευρά του οχήματος.

5.4.1.1 Αισθητήρες πλατφόρμας ανίχνευσης οδικού περιβάλλοντος

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση των αντικειμένων στο οδικό περιβάλλον είναι οι εξής:

- Ένα ραντάρ μακρινής εμβέλειας, που τοποθετήθηκε στο μπροστινό μέρος του οχήματος.
- Δυο ραντάρ μέσης εμβέλειας, που τοποθετήθηκαν στο πίσω μέρος του οχήματος.
- Μια κάμερα CMOS, που τοποθετήθηκε στο μπροστινό μέρος του οχήματος.
- Ένα σύστημα ψηφιακών χαρτών.
- Ένας αισθητήρας μέτρησης γωνιακής ταχύτητας.
- Ένας αισθητήρας μέτρησης ταχύτητας.

Οι υπολογιστικές μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων περιλαμβάνουν:

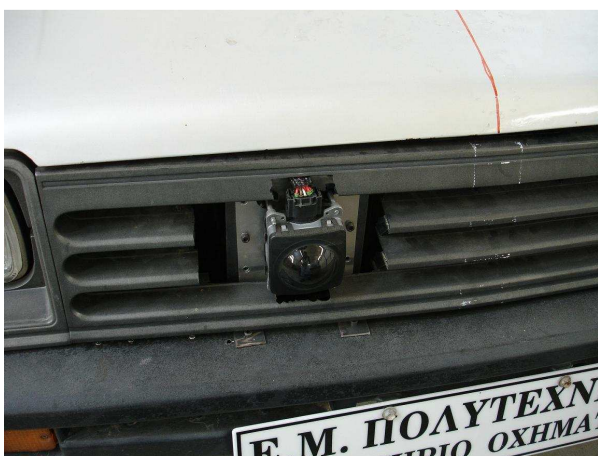
- Έναν υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων της κάμερας.
- Έναν βιομηχανικό υπολογιστή για την λήψη των δεδομένων από τα ραντάρ και τον συγχρονισμό τους.

- Έναν φορητό υπολογιστή για την επεξεργασία όλων των δεδομένων και την λήψη των τελικών αποφάσεων.

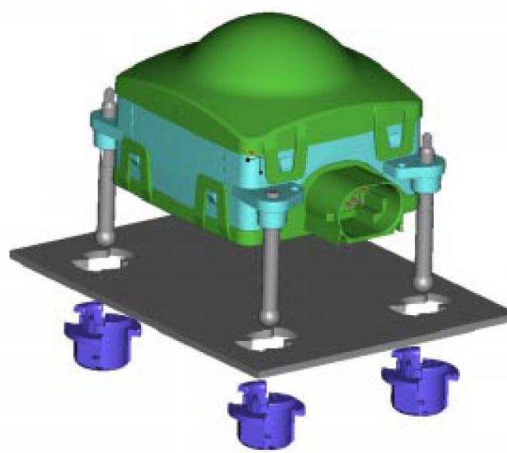
Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε είχε ως στόχο την ανίχνευση του περιβάλλοντος γύρω από τον οδηγό και την προειδοποίηση του σε περιπτώσεις μη σκόπιμης αλλαγής λωρίδας ή σε περιπτώσεις σύγκρουσης με άλλα οχήματα. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται πιο αναλυτικά στις παρακάτω ενότητες.

5.4.1.1.1 Ραντάρ μακρινής εμβέλειας

Το ραντάρ που χρησιμοποιήθηκε είναι το Bosch-ACC2/SGU το οποίο έχει εμβέλεια γύρω στα 150m και γωνία κάλυψης 11°. Η τάση τροφοδοσίας του ανέρχεται στα 12V. Επίσης διαθέτει την ικανότητα μέτρησης της ακτινικής ταχύτητας του αντικειμένου που εντοπίζει. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνος του σε εφαρμογές ελέγχου προσαρμοζόμενης πλοήγησης οχημάτων. Η μετάδοση δεδομένων, που περιλαμβάνει τις πληροφορίες σχετικά με τα αντικείμενα που ανιχνεύει το ραντάρ, γίνεται με βάση το πρωτόκολλο CAN. Ο ρυθμός ανανέωσης των μετρήσεων του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι 100ms και ο μέγιστος αριθμός αντικειμένων που μπορεί να εντοπίσει είναι 32. Επιπλέον παρέχεται η δυνατότητα ιχνηλασίας των αντικειμένων που ανιχνεύονται και η εξαγωγή του κοντινότερου που κινείται στην ίδια λωρίδα με το υποκείμενο όχημα (για εφαρμογές ACC), αλλά στην εφαρμογή που σχεδιάστηκε δεν γίνεται χρήση της, λόγω των μεγάλων σφαλμάτων που παρουσιάζει. Για την ενεργοποίηση της συγκεκριμένης δυνατότητας πρέπει να αποστέλλονται στον αισθητήρα η ταχύτητα και η γωνιακή ταχύτητα του οχήματος μέσω του CAN διαύλου. Τέλος, ο αισθητήρας αυτός μπορεί να παρέχει πληροφορίες για την κατάσταση του μπροστινού φακίου (σχήμα 5.21), ή πληροφορίες σχετικά για την τυχών λανθασμένη τοποθέτηση του πάνω στο όχημα. Η συχνότητα λειτουργίας του ανέρχεται στα 77GHz.



Σχήμα 5.20: Τοποθέτηση ραντάρ μακρινής εμβέλειας στο όχημα



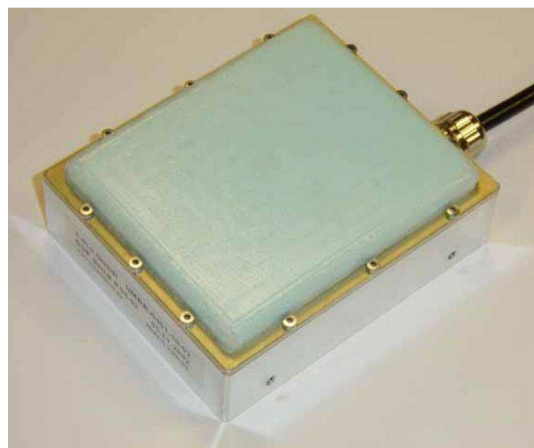
Σχήμα 5.21: Σχηματική αναπαράσταση του ραντάρ μακρινής εμβέλειας

5.4.1.1.2 Ραντάρ μέσης εμβέλειας

Το ραντάρ που χρησιμοποιήθηκε είναι το SMS-UMRR, το οποίο αποτελείται από ένα ζεύγος κεραιών των οποίων η συχνότητα λειτουργίας είναι τα 24GHz. Η τάση τροφοδοσίας του είναι τα 12V. Η μετάδοση δεδομένων γίνεται με βάση το πρωτόκολλο CAN και ο μέγιστος αριθμός αντικειμένων που μπορούν να ανιχνευθούν είναι 32, δηλαδή συνολικά 64. Ο ρυθμός ανανέωσης των μετρήσεων είναι γύρω στα 40ms. Ο αισθητήρας ανιχνεύει αντικείμενα σε αποστάσεις από 1m έως 70m με μια γωνία κάλυψης $\pm 40^\circ$. Επίσης διαθέτει την ικανότητα μέτρησης της ακτινικής ταχύτητας των στόχων που εντοπίζει με μια ακρίβεια της τάξης των 0.25 Km/h.



Σχήμα 5.22: Σημεία τοποθέτησης των δυο ραντάρ στο όχημα



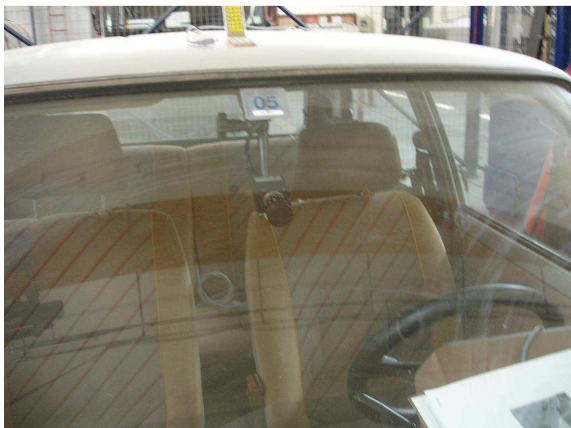
Σχήμα 5.23: Ραντάρ μέσης εμβέλειας

5.4.1.1.3 Κάμερα CMOS υψηλού δυναμικού εύρους

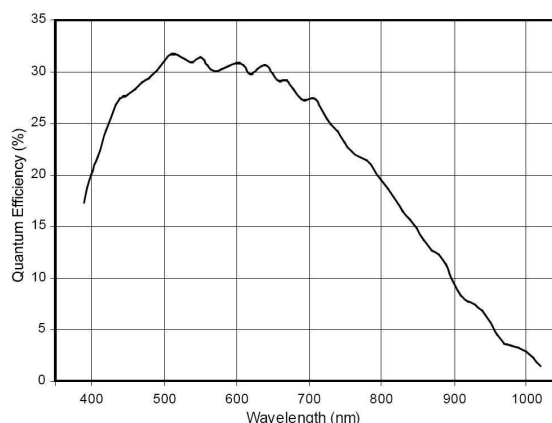
Η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μονοχρωματική CMOS Basler A601f-HDR, η οποία έχει αυξημένη απόδοση σε συνθήκες πολύ έντονου ή πολύ χαμηλού φωτισμού. Μπορεί να υποστηρίζει μέχρι και 60 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο, ενώ η φασματική της απόδοση φαίνεται στο σχήμα 2. Η τάση τροφοδοσίας ανέρχεται στα 12V και η λήψη των πληροφοριών γίνεται χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο IEEE 1394. Η μέγιστη ανάλυση που μπορεί να χρησιμοποιήσει είναι 656x491 εικονοστοιχεία. Ο ρυθμός ανανέωσης των μετρήσεων του αισθητήρα αυτού είναι 40ms .

Οι περισσότερες ψηφιακές κάμερες λειτουργούν με αισθητήρες που χρησιμοποιούν τιμές 8, 10, ή 12 bit για την κωδικοποίηση της φωτεινότητας του κάθε εικονοστοιχείου στις εικόνες που συλλαμβάνονται από τον αισθητήρα. Εάν ο αισθητήρας λειτουργεί με το συνηθισμένο γραμμικό τρόπο και 12 bit βάθος χρώματος, μπορεί να συλλαμβάνει εικόνες με ένα δυναμικό εύρος μέχρι 72dB μεταξύ της πιο σκοτεινής περιοχής στην εικόνα και της πιο φωτεινής. Για πολλές εφαρμογές όπου οι πηγές φωτός στην περιοχή κάλυψης μπορεί να ρυθμίζονται, το εύρος αυτό είναι συνήθως ικανοποιητικό για την ακριβή αναπαράσταση όλων των αποχρώσεων μέσα στην εικόνα. Για περιπτώσεις όμως όπου υπάρχουν πηγές έντονου φωτός ή γυαλιστερά αντικείμενα μέσα στην περιοχή κάλυψης της κάμερας ή όταν η χρήση της γίνεται κάτω από φυσικό φωτισμό, τότε το δυναμικό αυτό εύρος μπορεί να μην είναι αρκετό. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι αν χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερος χρόνος έκθεσης για την αποτύπωση περισσότερων λεπτομερειών για τις σκοτεινές περιοχές, τότε οι αντίστοιχες φωτεινές θα παρουσιάζονται υποεκτεθειμένες στις εικόνες που έλαβε η κάμερα. Αντίστοιχα, αν χρησιμοποιηθεί μικρός χρόνος έκθεσης για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα, τότε όλη η λεπτομέρεια στις σκοτεινές περιοχές θα χαθεί. Το βασικό πρόβλημα είναι ότι το πολύ μεγάλο εύρος φωτεινών διαβαθμίσεων που υπάρχει σε τέτοιες περιπτώσεις δεν μπορεί να αποτυπωθεί με ακρίβεια χρησιμοποιώντας 8, 10 ή 12 bit έξοδο.

Για περιπτώσεις όπου το φωτεινό εύρος κυμαίνεται από το πολύ σκοτεινό έως το πολύ λαμπρό, απαιτείται μια ψηφιακή κάμερα η οποία να μπορεί να αποδώσει λεπτομερείς εικόνες σε μια κλίμακα ένα πολύ υψηλό δυναμικό εύρος. Η συγκεκριμένη κάμερα έχει αυτήν την δυνατότητα και μάλιστα μπορεί να δώσει εικόνες με βάθος χρώματος μέχρι 22 bit, μια κλίμακα που αντιπροσωπεύει εικόνες με μέχρι 132 dB δυναμικό εύρος.



Σχήμα 5.24: Σημείο τοποθέτησης κάμερας μέσα στο όχημα



Σχήμα 5.25: Φασματική απόδοση κάμερας

5.4.1.1.4 Σύστημα ψηφιακών χαρτών

Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα βιομηχανικό μικροελεγκτή και μια βάση δεδομένων με ψηφιακούς χάρτες ή οποία βρίσκεται στον απομακρυσμένο υπολογιστή ελέγχου, σχήμα 5.7. Το βιομηχανικό αυτό PC συνδέεται με μια κεραία GPS και είναι υπεύθυνο για την αποστολή των πληροφοριών της τρέχουσας γεωγραφικής θέσης στον κεντρικό υπολογιστή, καθώς και πληροφοριών σχετικά με τη δυναμική κατάσταση του οχήματος, καθώς διαθέτει ενσωματωμένο γυροσκόπιο. Η αποστολή των δεδομένων γίνεται μέσω σειριακής θύρας. Η τάση τροφοδοσίας του είναι 12V . Ο ρυθμός ανανέωσης των δεδομένων είναι περίπου στο 1sec .



Σχήμα 5.26: Τοποθέτηση συστήματος εύρεσης GPS θέσης στο όχημα

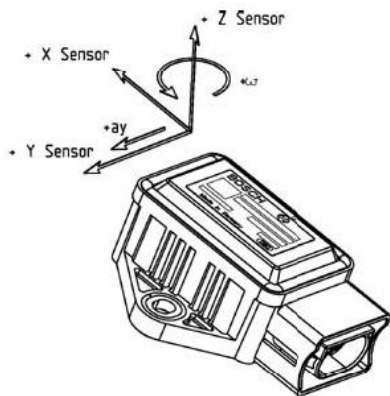


Σχήμα 5.27: Ελεγκτής συστήματος ψηφιακών χαρτών

5.4.1.1.5 Αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας

Σκοπός του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας είναι η μέτρηση της rad/s μέσω της μέτρησης της πλευρικής επιτάχυνσης m/s^2 του οχήματος στο οποίο τοποθετείται. Οι μέθοδοι και η τεχνολογία που χρησιμοποιούνται για να γίνουν αυτές οι μετρήσεις περιγράφονται στο έντυπο προτυποποίησης της Bosch [6]. Τα αναλογικά δεδομένα που προκύπτουν με αυτές τις μεθόδους

μετατρέπονται σε ξεχωριστό τμήμα (διεπαφή CAN) του αισθητήρα σε ψηφιακά δεδομένα και τελικά κωδικοποιούνται σε δεδομένα CAN. Η τοποθέτηση του αισθητήρα πρέπει να γίνεται σε όσο το δυνατόν πιο στέρεο σημείο και κοντά στο κέντρο βάρους του οχήματος.



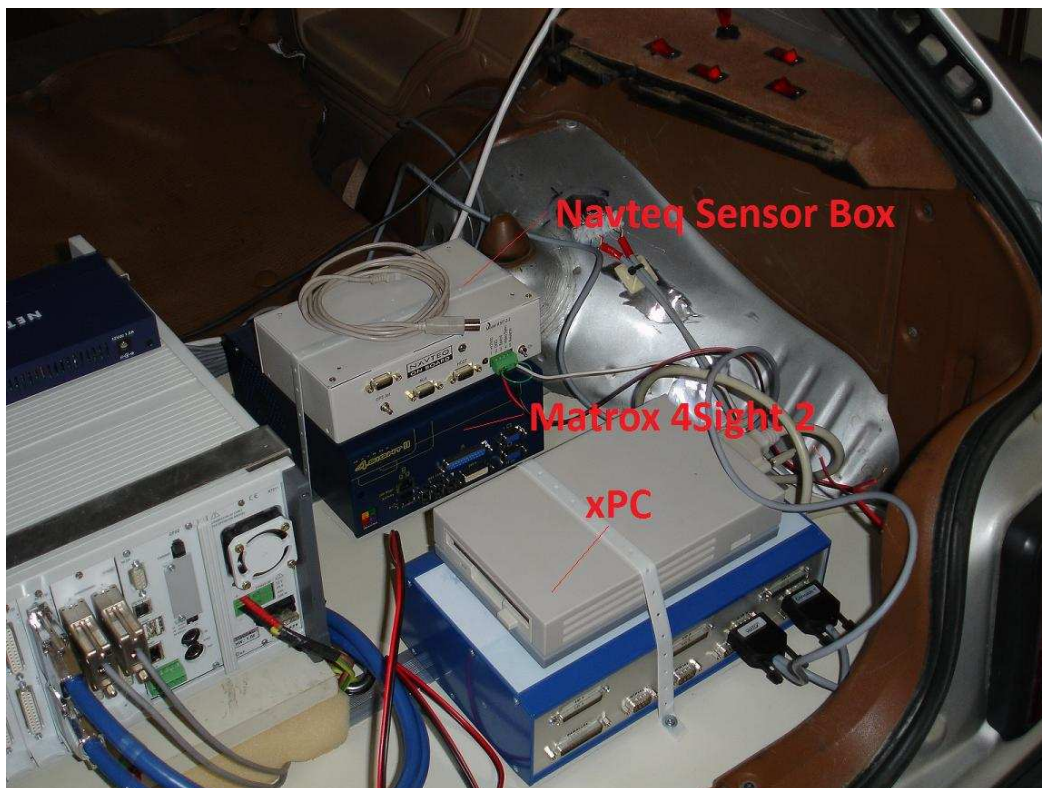
Σχήμα 5.28: Μεγέθη μέτρησης αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας



Σχήμα 5.29: Αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας

5.4.2 Περιγραφή υπολογιστικών μονάδων για την επεξεργασία των δεδομένων από τους αισθητήρες

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 2 βιομηχανικοί υπολογιστές και ένα λάπτοπ για την λήψη και επεξεργασία των δεδομένων από το δίκτυο αισθητήρων του συστήματος.



Σχήμα 5.30: Βοηθητικοί υπολογιστές συστήματος

Αναλυτικά, οι υπολογιστικές μονάδες είναι οι εξής:

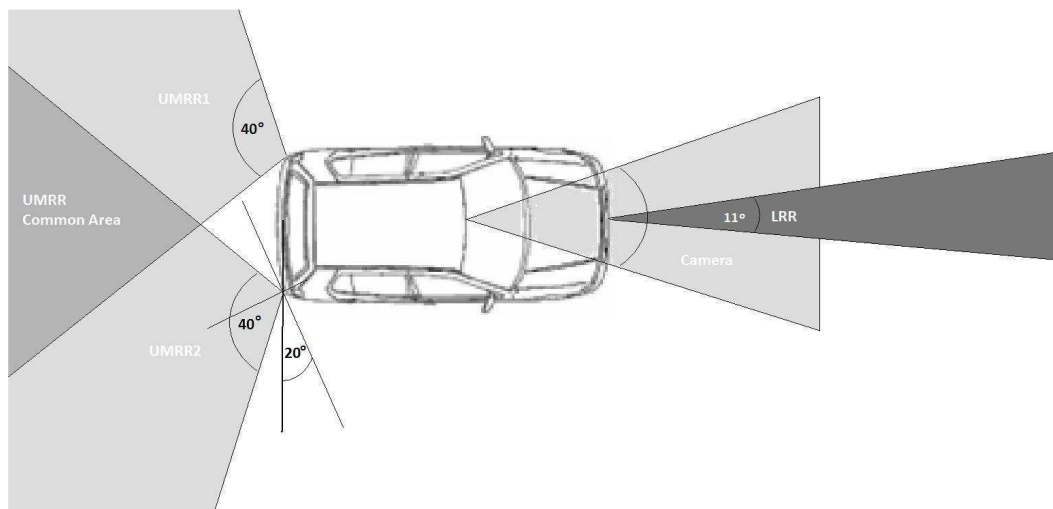
- xPC TARGETBOX 106 266 MHz Pentium MMX

- Matrox 4Sight 2
- Dell Laptop

5.4.3 Αρχιτεκτονική συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος βασίζεται στην κατανομημένη επεξεργασία των δεδομένων από τους διάφορους αισθητήρες. Καταρχήν όλα τα δεδομένα από τα 3 ραντάρ, μαζί με το σήμα της γωνιακής ταχύτητας από τον αντίστοιχο αισθητήρα και το σήμα της ταχύτητας του οχήματος, συγκεντρώνονται στη μονάδα xPC. Εκεί γίνεται συγχρονισμός των διαφορετικών πληροφοριών και στέλνονται με ένα σταθερό ρυθμό, ανεξάρτητο από το ρυθμό συλλογής τους, στην κεντρική υπολογιστική μονάδα (ΚΥΠ). Τα δεδομένα της κάμερας στέλνονται στη μονάδα matroxPC όπου γίνεται η επεξεργασία τους και στη συνέχεια αποστέλλονται και αυτά στην ΚΥΠ. Η μονάδα NavteqPC χρησιμοποιείται για την λήψη και ανάλυση του GPS σήματος που λαμβάνεται από την κεραία GPS και λειτουργεί για να στέλνει τα δεδομένα της γεωγραφικού στίγματος του οχήματος στην ΚΥΠ, όπου τρέχει η εφαρμογή των ψηφιακών χαρτών, η οποία παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για τον δρόμο στον οποίο κινείται το όχημα μας.

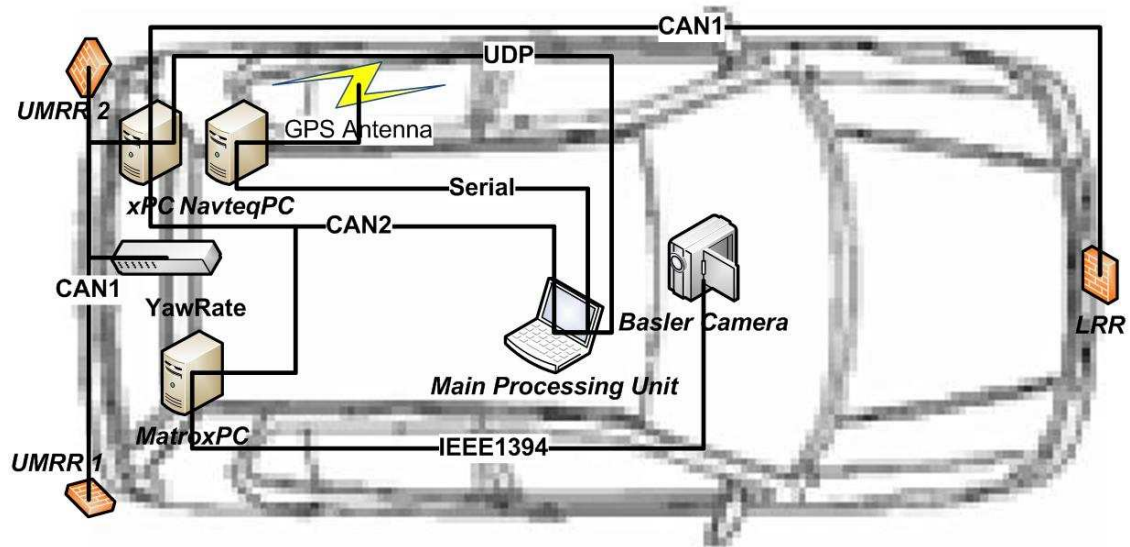
Η περιοχή κάλυψης του δικτύου των αισθητήρων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το ραντάρ μακρινής εμβέλειας τοποθετήθηκε στον μπροστινό προφυλακτήρα του οχήματος, ακριβώς στο κέντρο του. Τα άλλα δυο ραντάρ, μέσης εμβέλειας τοποθετήθηκαν στο πίσω μέρος του οχήματος, στα δυο άκρα του προφυλακτήρα, έχοντας μια εξωτερική κλίση. Επίσης η κάμερα τοποθετήθηκε ακριβώς στο σημείο του μεσαίου καθρέπτη του οδηγού και πάνω στον κεντρικό άξονα του αυτοκινήτου.



Σχήμα 5.31: Περιοχή κάλυψης δικτύου αισθητήρων

5.4.3.1 Αρχιτεκτονική συστήματος σε επίπεδο υλικού

Η τοπολογία των αισθητήρων και των υπολογιστικών συστημάτων πάνω στο όχημα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.32: Τοπολογία αισθητήρων και υπολογιστών

Στο σχήμα επίσης αυτό φαίνεται ο τύπος του διαύλου που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία των συσκευών μεταξύ τους. Όλες οι δευτερεύουσες υπολογιστικές μονάδες είναι τοποθετημένες στο πορτ-παγκαζ του οχήματος, εκτός από τη κεντρική μονάδα που βρίσκεται στη θέση του συνοδηγού.

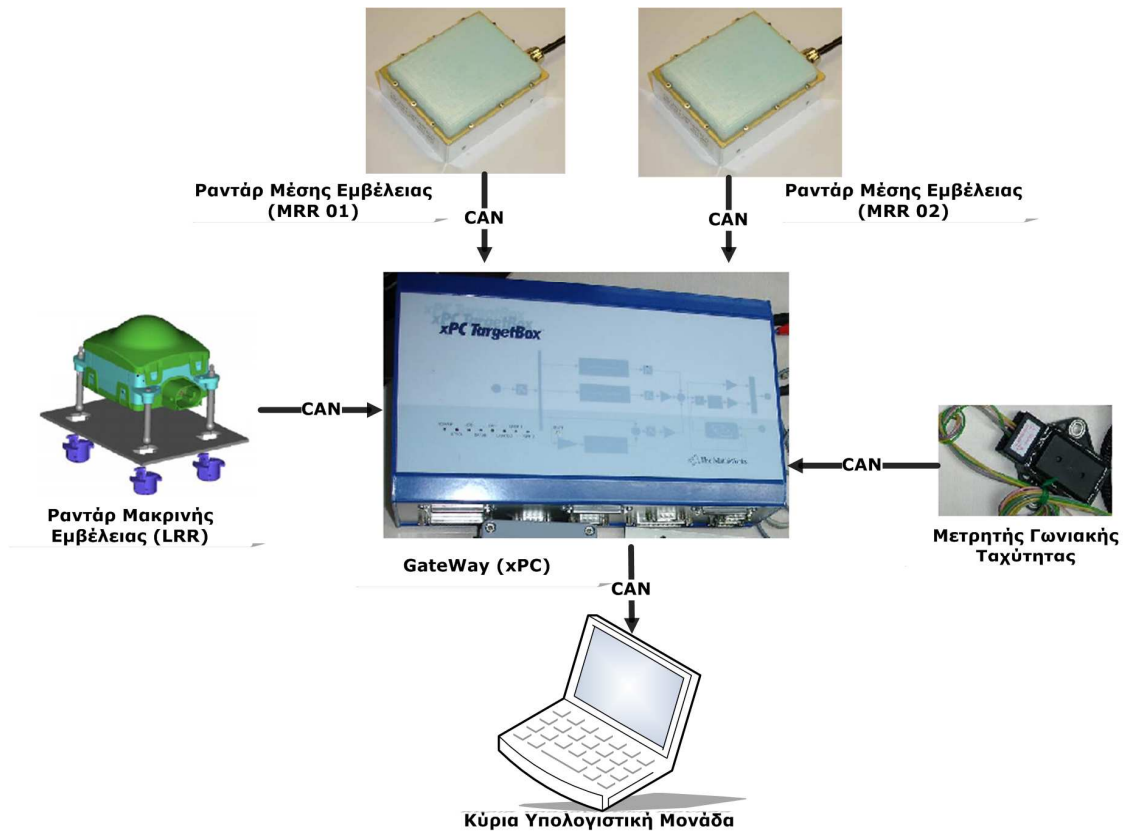
Όλα τα ραντάρ επικοινωνούν με το xPC μέσω ενός καναλιού CAN, ενώ με ένα δεύτερο κανάλι CAN επικοινωνεί το xPC με τη κεντρική υπολογιστική μονάδα. Επίσης, οι δυο αυτοί υπολογιστές συνδέονται μέσω UDP για την μετάδοση δευτερευόντων πληροφοριών ελέγχου. Η υπολογιστική μονάδα των ψηφιακών χαρτών συνδέεται με τη ΚΥΠ με σειριακή σύνδεση. Τέλος, η κάμερα συνδέεται με την υπολογιστική μονάδα που εκτελεί την επεξεργασία εικόνας μέσω IEEE 1394 και η μονάδα αυτή συνδέεται με τη σειρά της με την ΚΥΠ με τη βοήθεια του δεύτερου καναλιού CAN.

5.4.3.2 Αρχιτεκτονική Λογισμικού

Το λογισμικό που σχεδιάστηκε για την λήψη των δεδομένων και την επεξεργασία τους αποτελείται κυρίως από δυο μέρη:

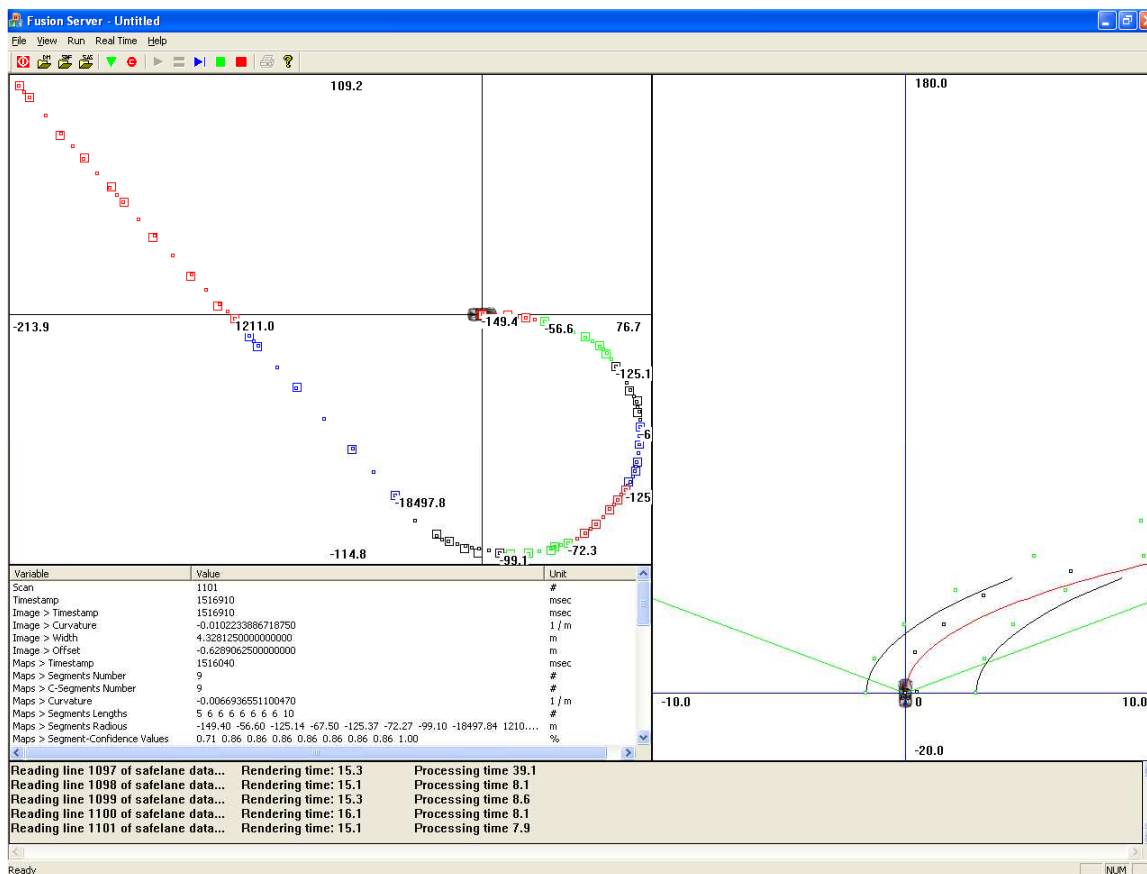
- Την πύλη για τον συγχρονισμό των δεδομένων από τα ραντάρ του συστήματος και τους αδρανειακούς αισθητήρες του οχήματος (σχήμα 5.33).
- Το κυρίως πρόγραμμα για την επεξεργασία των δεδομένων από όλους τους αισθητήρες.

Η υλοποίηση του πρώτου μέρους έγινε σε Simulink και ο υπολογιστής που ήταν υπεύθυνος για την λειτουργία του ήταν το xPC. Η υλοποίηση του δεύτερου μέρους έγινε σε C++ και ο αντίστοιχος υπολογιστής που ήταν υπεύθυνος για το τρέξιμο του προγράμματος ήταν το Laptop.



5.33: Διάταξη συνδεσμολογίας μεταξύ Gateway και αισθητήρων

Η τελική πλατφόρμα που υλοποιήθηκε για το σύστημα αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το πρόγραμμα απεικονίζει στην πάνω δεξιά μεριά τα δεδομένα που λαμβάνονται και επεξεργάζονται από τους ψηφιακούς χάρτες. Στην αριστερή πλευρά φαίνονται τα δεδομένα που λαμβάνονται και επεξεργάζονται από το ραντάρ και την κάμερα. Στην κάτω δεξιά μεριά φαίνονται οι αριθμητικές τιμές των μεταβλητών των επεξεργαστικών μονάδων, ενώ στο κάτω μέρος απεικονίζεται η λειτουργική κατάσταση της πλατφόρμας.



5.34: Πλατφόρμα επεξεργασίας δεδομένων οχήματος

Κεφάλαιο 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ

6.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Όλοι οι αλγόριθμοι που παρουσιάστηκαν αναπτύχθηκαν σε C++ και εφαρμόστηκαν σε πραγματικά σενάρια που ελήφθησαν στα πλαίσια Ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων με ειδικά πειραματικά οχήματα εξοπλισμένα με τους αναγκαίους αισθητήρες. Με βάση τα αποτελέσματα που ελήφθησαν πρόεκυψαν τα εξής συμπεράσματα. Ο αλγόριθμος εκτίμησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών με δεδομένα που προέρχονται από βάση δεδομένων ψηφιακών χαρτών εγκατεστημένη στο όχημα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της επίδοσης του συστήματος καθώς επεκτείνει σε πολύ μεγάλες αποστάσεις την γνώση για την γεωμετρία του δρόμου. Επιπλέον το μοντέλο με πολλαπλά clothoid συμβάλει στην ακριβέστερη εκτίμηση των παραμέτρων, αφού η εφαρμογή του υπάρχοντος αλγορίθμου με ένα μόνο πολυώνυμο θα οδηγούσε σε λανθασμένα αποτελέσματα λόγω του πολύ μεγάλου μήκους της καμπύλης που σχηματίζουν τα σημεία που αποτελούν τον πιο πιθανό μονοπάτι (MLP) του ηλεκτρονικού οριζοντα (EH). Επίσης, η εφαρμογή της εκτίμησης της γεωμετρίας σε πραγματικό χρόνο, συμβάλει στην λεπτομερέστερη περιγραφή τη γεωμετρίας του δρόμου σε σχέση με αυτή που υπάρχει ήδη αποθηκευμένη στην βάση δεδομένων καθώς θεωρεί ένα πιο σύνθετο μοντέλο γεωμετρικών χαρακτηριστικών, ενώ παράλληλα μπορεί να οδηγήσει στην αισθητή μείωση του μεγέθους της βάσης των χαρτών. Τέλος, εισάγεται ο συντελεστής εμπιστοσύνης που επιτρέπει στο σύστημα να αξιολογεί κατά πόσον οι εκτιμώμενες παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων και έως ποιον βαθμό.

Ο αλγόριθμος σύντηξης δεδομένων σχετικά με την γεωμετρική περιγραφή των λωρίδων του δρόμου μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος, στην ακριβέστερη εκτίμηση των γεωμετρικών παραμέτρων και στην αυξημένη ανθεκτικότητα του έναντι άλλων συστημάτων που κάνουν χρήση μόνο μιας πηγής πληροφορίας. Αρχικά η χρήση των ψηφιακών χαρτών οδηγεί στην διευρυμένη επέκταση της περιοχής ανίχνευσης των ορίων της λωρίδας με βάση την κάμερα η οποία βρίσκει τις διαχωριστικές γραμμές της λωρίδας μέχρι τα 40–60m, ενώ οι ψηφιακοί χάρτες μέχρι τα 400–500m. Επίσης, στην ενίσχυση της γεωμετρίας του δρόμου σε μικρές και μέσες αποστάσεις 50–150m μπορεί να συμβάλει η κυκλοφοριακή ροή η οποία εάν υποθεθεί ότι δεν εκτελούνται πολύπλοκοι ελιγμοί από τα επιμέρους οχήματα, τότε η καμπύλη που σχηματίζεται με βάση το ιστορικό των θέσεων των αντικειμένων που εντοπίζονται από το ραντάρ θα είναι παράλληλη στα όρια του δρόμου. Τέλος, εισάγεται η χρήση του πλευρικού φίλτρου Kalman με το οποίο είναι δυνατόν να αντιμετωπίζεται η αποτυχία της κάμερας να ανιχνεύσει τα όρια της λωρίδας για μικρά χρονικά διαστήματα έως 2s βοηθώντας έτσι στην αύξηση της συνολικής αξιοπιστίας του συστήματος.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 4 επιτυγχάνεται η αποτελεσματικότερη εκτίμηση των παραμέτρων κινδύνου για την έγκαιρη προειδοποίηση του οδηγού λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλές πηγές πληροφορίας για την εκτίμηση του κάθε ρίσκου και συνδυάζοντας τα δεδομένα χρησιμοποιώντας συστήματα ασαφούς λογικής. Επίσης, προτείνεται η χρήση ενός συνολικού συντελεστή κινδύνου ο οποίος λαμβάνει υπόψη με χρήση κανόνων ασαφούς λογικής όλους τους επιμέρους συντελεστές ρίσκου, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μια αποτελεσματικότερη και πιο περιεκτική θεώρηση της κατάστασης που εξελίσσεται γύρω από το όχημα ανά πάσα στιγμή. Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο ο αλγόριθμος που προτείνεται για την ανίχνευση του εκτελούμενου ελιγμού από τον οδηγό οδηγεί σε μια πιο συμπαγή οριοθέτηση της τρέχουσας δυναμικής συμπεριφοράς του οχήματος και στην περιγραφή με μεγαλύτερο εύρος δυναμικών καταστάσεων της κίνησης τους. Έτσι, ενώ τα τρέχοντα συστήματα αρκούνται μόνον στην ανίχνευση αλλαγής

λωρίδας, ο αλγόριθμος που προτείνεται είναι ικανός να διακρίνει αν πρόκειται για μια απλή λωρίδα, για την έναρξη προσπέρασης ή για την τελική φάση μιας προσπέρασης (είσοδος μπροστά από το μέχρι πρότινος προπορευόμενο όχημα). Επίσης, είναι δυνατόν να ανιχνεύεται η πρόθεση του οδηγού στην περίπτωση μιας αλλαγής λωρίδας, με αποτέλεσμα να προειδοποιείται κατάλληλα στη περίπτωση που ο ελιγμός που πραγματοποιεί δεν ανταποκρίνεται στις πραγματικές του προθέσεις. Παράλληλα τόσο για την ανίχνευση λωρίδας, όσο και την εξακρίβωση της πρόθεσης του οδηγού παρέχονται οι συντελεστές εμπιστοσύνης σχετικά με την εκτίμηση που γίνεται αυξάνοντας την αξιοπιστία και την λειτουργικότητα του τελικού συστήματος. Τέλος, προτείνεται μια μέθοδος ανάθεσης των αντικειμένων, που ανιχνεύονται από το δίκτυο αισθητήρων του υποκείμενου οχήματος, σε λωρίδες ως προς την μελλοντική τροχιά του οχήματος μας. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ σημαντική γιατί επιτρέπει την κατηγοριοποίηση των οχημάτων που κινούνται στον δρόμο, ανάλογα με τον υποτιθέμενο βαθμό στον οποίο μπορούν να επηρεάσουν το δικό μας όχημα. Έτσι για παράδειγμα ένα όχημα που ανήκει στην ίδια σχετική λωρίδα και κινείται εμπρός θα αποτελεί μεγαλύτερη απειλή σε σχέση με ένα άλλο όχημα που κινείται π.χ. στην δεύτερη λωρίδα από δεξιά. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να γίνει καλύτερη εστίαση της προσοχής προς ένα συγκεκριμένο κομμάτι του δρόμου μέσα στον οποίο κινείται το όχημα μας.

Τέλος στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται μια συνολική πλατφόρμα η οποία ενσωματώνει όλους τους προηγούμενους αλγορίθμους. Με βάση την εφαρμογή αυτή είναι δυνατόν να αξιολογηθεί η επίδοση τους σε πραγματικό χρόνο και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την αξιοποίηση τους σε εφαρμογές οδικής ασφάλειας έξυπνων οχημάτων. Έτσι μπορούν να εξαχθούν στατιστικά αποτελέσματα που να δείχνουν τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα της κάθε προσέγγισης σε σενάρια πραγματικής κίνησης.

6.2 Επόμενα βήματα

Τα μελλοντικά βήματα αναφορικά με την ολοκλήρωση της διατριβής περιλαμβάνουν τις εξής ενέργειες. Όσον αφορά την εκτίμηση γεωμετρίας δρόμου με χρήση δεδομένων από ψηφιακούς χάρτες πρέπει να γίνει βελτίωση του αλγορίθμου για την αντιμετώπιση του προβλήματος των απότομων μεταβάσεων της διεύθυνσης του οχήματος που παρέχεται από τη μονάδα εύρεσης γεωγραφικής θέσης και η οποία εισάγει μεγάλα σφάλματα στην τελική εκτίμηση. Επίσης, επιθυμητή είναι η βελτίωση και η επέκταση του αλγορίθμου ώστε να βελτιστοποιηθεί όσον αφορά την διατήρηση της συνέχειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου κατά την μετάβαση μεταξύ των διαφόρων υπό-ομάδων των σημείων του ηλεκτρονικού οριζοντα. Επίσης, ένα άλλο βήμα αφορά την μελέτη άλλων μαθηματικών μοντέλων όπως είναι οι καμπύλες Splines, λόγω του γεγονότος ότι αν και με τα υπάρχοντα μοντέλα επιτυγχάνεται η ακριβής εξαγωγή της καμπύλης που περιγράφει τον δρόμο, ωστόσο η εξαγόμενη καμπυλότητα και ρυθμός μεταβολής της καμπυλότητας (ως φυσικά ορίσματα) έχουν μια μικρή απόκλιση από την πραγματική τιμή με αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικά σε εφαρμογές προειδοποίησης κατά την προσέγγιση σε στροφές, όταν οι στροφές αυτές έχουν μεγάλη καμπυλότητα.

Στο κεφάλαιο 3, όπου παρουσιάζεται η τεχνική σύντηξης της γεωμετρίας του δρόμου, μπορεί γίνει επέκταση του προτεινόμενου αλγορίθμου με χρήση συστήματος Dempster-Shafer για τον συνδυασμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών από τις διάφορες πηγές. Ένα άλλο μελλοντικό βήμα αποτελεί η βελτίωση του αλγορίθμου εκτίμησης γεωμετρίας με χρήση δεδομένων από το ραντάρ, έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται περιπτώσεις κατά τις οποίες η υπό-μονάδα ιχνηλασίας του συστήματος αποτυγχάνει να παρέχει ικανοποιητική περιγραφή της θέσης και της ταχύτητας των αντικειμένων που ανιχνεύονται στον δρόμο.

Στο κεφάλαιο 4, ένα μελλοντικό βήμα αποτελεί η εξέταση του προβλήματος εύρεσης της μελλοντικής τροχιάς των οχημάτων κάνοντας χρήση ασαφών συστημάτων ή συλλογιστικών συστημάτων Dempster-Shafer. Επίσης, μπορεί να επεκταθεί μελλοντικά ο αλγόριθμος εύρεσης των ελιγμών που εκτελούνται κάνοντας χρήση νέων πηγών πληροφορίας, όπως είναι η χρήση επιπλέον αισθητήρων ή χρήση επιπλέον παραμέτρων για την εκτίμηση της θέσης του οχήματος καθώς εξελίσσεται το σενάριο. Τέλος, μπορούν να μελετηθούν σε βάθος τα ασαφή συστήματα που

χρησιμοποιήθηκαν ελέγχοντας την απόδοση του αλγορίθμου χρησιμοποιώντας νέες συναρτήσεις μέλους για τις μεταβλητές του συστήματος ή εξετάζοντας τη συμπεριφορά του συστήματος χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους ασαφών συστημάτων.

Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο που παρουσιάζεται η ολοκληρωμένη πλατφόρμα τα μελλοντικά βήματα περιλαμβάνουν την εισαγωγή της επικοινωνίας με άλλα οχήματα μέσω ενός ασύρματου δικτύου. Αυτό θα μπορούσε να επεκτείνει σημαντικά τις δυνατότητες του συστήματος υποβοήθησης οδηγού εισάγοντας ένα σημαντικό αριθμό νέων πληροφοριών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων όσον αφορά την ακριβέστερη αντίληψη του οδικού περιβάλλοντος.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ACC	Adaptive Cruise Control	Προσαρμοστικό σύστημα ελέγχου πλοήγησης	ΠΣΕΠ
AFS	Adaptive Front lighting System	Σύστημα προσαρμόσιμου εμπρόσθιου φωτισμού	ΣΠΕΦ
ADAS	Advanced Driver Assistance System	Εξελιγμένο σύστημα υποβοήθησης οδηγού	ΕΣΥΟ
ESC	Electronic Stability Control	Σύστημα ηλεκτρονικής ευστάθειας	ΣΗΕ
ABS	Anti-lock Braking System	Σύστημα αποτροπής κλειδώματος φρένων	ΣΑΚΦ
SRR	Short Range Radar	Ραντάρ μικρής εμβέλειας	ΡΜΙΕ
LRR	Long Range Radar	Ραντάρ μεγάλης εμβέλειας	ΡΜΕΕ
MRR	Medium Range Radar	Ραντάρ μέσης εμβέλειας	ΡΜΕ
ICT	Information & Communication Technology	Τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών	ΤΠΕ
JDL	Joint Directors of Laboratories		
HMI	Human Machine Interface	Διεπαφή ανθρώπου μηχανής	ΔΑΜ
EO	Electronic Horizon	Ηλεκτρονικός Ορίζοντας	ΗΟ
SP	Shape Point	Γεωγραφικό σημείο	ΓΣ
MLP	Most Likely Path	Πιθανότερο μελλοντικό μονοπάτι	ΠΜΜ
ECEF	Earth Centered – Earth Fixed System	Γεωκεντρικό σύστημα	ΓΕΣ
HT	Hough Transform	Μετασχηματισμός Hough	ΜΗ
PMD	Predicted Minimum Distance	Προβλεπόμενη ελάχιστη απόσταση	ΠΕΑ
TPMD	Time to Predicted Minimum Distance	Χρόνος μέχρι την προβλεπόμενη ελάχιστη απόσταση	ΧΠΕΑ
TLC	Time to Lane Crossing	Χρόνος μέχρι την διάβαση της διαχωριστικής γραμμής της λωρίδας	ΧΔΔΓΛ
TTC	Time To Collision	Χρόνος σύγκρουσης	ΧΣΥ
TH	Time to Headway	Χρόνος μετάβασης	ΧΜΕ
TMC	Traffic Message Channel	Κανάλι Μηνυμάτων Κυκλοφορίας	ΚΜΚ
RDS	Radio Data System	Ράδιο-Σύστημα Δεδομένων	ΡΣΔ
AHP	ADAS Horizon Provider	Πάροχος Ορίζοντα ΕΣΥΟ	ΠΟΕ
AHR	ADAS Horizon Reconstructor	Μονάδα Αναδημιούργησης Ορίζοντα	ΜΑΟ
VRU	Vulnerable Road User	Ευαίσθητος Χρήστης Οδικού Δικτύου	ΕΧΟΔ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Peden, M., Scurfield, R., Sleet, D., Mohan, D., Hyder, A. A., Jarawan, E. & Mathers, C. (2004) World Report on Road Traffic Injury Prevention (Geneva: World Health Organization).
- [2] Janssen, W. H., Claessens, F. M. M. & Muermans, R. C. (1999) Vormgeving van duurzaam veilige wegcategorieën: evaluatie van ‘self-explaining’ kenmerken [Design of sustainably safe road categories: evaluation of ‘self-explaining’ characteristics], report TM-99-C016, TNO Technische Menskunde, Soesterberg, 1 June.
- [3] Lu, M., van der Heijden, R. & Wevers, K. (2003) Traffic safety _/ road infrastructure versus ITS. Paper presented in Proceedings of the 10th World Congress on ITS, Madrid, November.
- [4] TMC Forum (2004) Precise location referencing, TMC Forum Specification, Brussels, 20 September.
- [5] MAPS&ADAS Consortium (2005) Interface and Data Entity Specifications , version 10, Brussels, 26 January.
- [6] Marchau, V., Wiethoff, M., Hermans, L. & van der Meulen, R. (2002) Actor analysis intelligent speed adaptation, final report, research project AV-5157 (Rotterdam: Transport Research Centre [AVV], Ministry of Transport and Water Management).
- [7] Carsten, O. & Fowkes, M. (2000) External Vehicle Speed Control, Executive summary of project results , Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds, 12 July.
- [8] van Loon, A.&Duynstee, L. (2001) Intelligent speed adaptation (ISA): a successful test in the Netherlands. Paper presented in Proceedings of Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XII, London, Ontario, June.
- [9] Bidding, T. & Lind, G. (2002) Intelligent Speed Adaptation (ISA), Results of large-scale trials in Borlänge, Lidköping, Lund and Umeå during the period 1999_/2002, Publication 2002:89 E (Borlänge: Va¨gverket [Swedish National Road Administration]).
- [10] Ehrlich, J., Robin-Jouan, Y., Saintot, B., Gle´mot, F. & Lusetti, B. (2003) LAVIA, the French ISA project: main issues and first results of technical tests. Paper presented in Proceedings of the 10th World Congress on ITS, Madrid, November.
- [11] Regan, M., Mitsopoulos, E., Triggs, T. J. & Tomasevic, N. (2003) Multiple in-vehicle intelligent transport systems: update on the Australian TAC SafeCar project. Paper presented in Proceedings of the 10th World Congress on ITS, Madrid, November).
- [12] EC (European Commission) (2003) Final Report of the eSafety Working Group on Road Safety, November 2002 (Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities).
- [13] SafeMAP Consortium (2003) Socio-economic assessment of a dedicated digital map for road safety applications, Project description (Paris).
- [14] SpeedAlert Consortium (2003) Harmonisation of in vehicle speed alert system, detailed description of the proposal, Brussels.
- [15] ActMAP Consortium (2004) ActMAP Specification , Deliverable 3.2, Version 1.0, Brussels.
- [16] Hegyi, A. (2004) Model predictive control for integrating traffic control measures, Dissertation, TRAIL thesis series T2004/2, Delft.
- [17] Kates, R. & Bogenberger, K. (2003) Potential for improved traffic performance using intervehicle communication and distributed intelligence. Paper presented in Proceedings of the 10th World Congress on ITS, Madrid, November.
- [18] Chien, C.-C., Zhang, Y. & Ioannou, P. A. (1997) Traffic density control for automated highway systems, Automatica, 33(7), 1273_/1285.

- [19] Lenz, H., Sollacher, R. & Lang, M. (2001) Standing waves and the influence of speed limits. Paper presented in Proceedings of European Control Conference, pp. 1228_/1232, Porto.
- [20] Alessandri, A., Di Febbraro, A., Ferrara, A. & Punta, E. (1999) Nonlinear optimization for freeway control using variable-speed signalling, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 48(6), 2042_/2052.
- [21] Smulders, S. (1996) Control of Freeway Traffic Flow, CWI Tract no. 80 (Amsterdam: CWI [Dutch Institute for Research in Mathematics and Computer Science]).
- [22] Sentinella, D. J. & Hardman, E. J. (1996) Review of motorway speed control systems in Europe, unpublished project report, TRL, PR/TT/056/96 N203, Crowthorne, UK.
- [23] Wilkie, J. K. (1997) Using variable speed limit signs to mitigate speed differentials upstream of reduced flow locations, technical report, Department of Civil Engineering, Texas A&M University, College Station, Texas.
- [24] Molish, A. & Zhang, J. (2003) Ultra wideband systems, In: Wireless Technology.
- [25] Marsh, D. (2003) Radar reflects safer highways, EDN, 24 April.
- [26] Scherrer, D. & Burgherr, R. (2003) Short Range Devices, Radio Frequency Identification Devices, Bluetooth, Ultra Wideband Systems, Automotive Short Range Radars, Overview and latest developments (Biel: OFCOM [Swiss Federal Office of Communications]).
- [27] Jones, W. D. (2001) Keeping cars from crashing, IEEE Spectrum, 38, 40_/45.
- [28] Franke, U. & Heinrich, S. (2002) Fast obstacle detection for urban traffic situations, IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, 3, 173_/181.
- [29] Wang, X., Chan, C., Misener, J., Shladover, S. & Zhang, W. (2004) Limiting factors in the use of remote sensors to detect road traffic hazards. Paper presented in Proceedings of US Transportation Research Board 83rd Annual Meeting, Washington DC, January.
- [30] El-Rabbany, A. (2002) Introduction to GPS: The global positioning system (Boston: ArtechHouse).
- [31] GISS (2002) Galileo Mission requirements document, Issue 5 (draft), Brussels, 25 July.
- [32] NextMAP Consortium (2000) Roadmap of preliminary enhanced map database requirements, NextMAP Consortium, Deliverable D 2.1, final version 2.0, Brussels, 25 August.
- [33] Ohmori, S., Horimatsu, T., Fujise, M. & Tokuda, K. (2001) Radio communication technologies for vehicle information systems, In: L. Vlacic, M. Parent & F. Harashima (Eds) Intelligent Vehicle Technologies (London: Butterworth).
- [34] Huang, Q., Miller, R., MacNeille, P., Roman, G. & DiMeo, D. (2002) Development of a peer-to-peer collision warning system, Ford Technical Journal , 5(2).
- [35] Zhu, J. & Roy, S. (2003) MAC (Media Access Control) for DSRC (Dedicated Short Range Communications) in Intelligent Transport System, Communication Magazine, December.
- [36] Andresen, S. & Evensen, K. (2003) Standardisation and trends _/ Why is standardisation of ITS needed?, Telektronik, 1.
- [37] Evensen, K. (2003) CALM versus DSRC-complementary technologies. Paper presented in Proceedings of the 10th World Congress on ITS, Madrid, November.
- [38] EC (European Commission) (2005) Commission decision of 17 January 2005 on the harmonisation of the 24 GHz range radio spectrum band for the time-limited use by automotive short-range radar equipment in the Community, Official Journal of the European Union, 25 January.
- [39] Slater, S. et al . (2004) Multifunctional Automotive Radar Network (RadarNet), RadarNet Consortium, Deliverable D40, final report version 0.5, Regensburg, 25 November.
- [40] Meinecke, M., Obojski, M. A., To" ns, M., Doerfler, R., Marchal, P., Letellier, L., Gavrilu, D. & Morris, R. (2003) Approach for protection of vulnerable road users using sensor

- fusion techniques. Paper presented at the International Radar Symposium, Dresden, 30 September _/ 2 October.
- [41] Langheim, J., Buchanan, A., Lages, U. & Wahl, M. (2002) CARSENSE-New environment sensing for advanced driver assistance systems. Paper presented in Proceedings of the 10th World Congress on ITS, Chicago, October.
- [42] Maihofer, C. & Eberhardt, R. (2004) Time-stable geocast for ad hoc networks and its application with virtual warning signs, *Computer Communications* , 27, 1065_/1075.
- [43] Fußler, H., Widmer, J., Kasemann, M., Mauve, M. & Hartenstein, H. (2003) Contentionbased forwarding for mobile ad hoc networks, *Ad Hoc Networks*, 1, 351_/369.
- [44] Pierowicz, J., Jocoy, E., Lloyd, M., Bittner, A. & Pirson, B. (2000) Intersection collision avoidance using ITS countermeasures, final report, DOT HS 809 171 (Washington, DC: US Department of Transportation).
- [45] BMI (Bellomo-Mcgee Incorporated) (2003) Intersection Collision Avoidance Study: Final Report (Columbus, OH: US DoT [Department of Transportation], FHWA [Federal Highway Administration]).
- [46] Morimoto, H., Koizumi, M., Inoue, H. & Nitadori, K. (1999) AHS road-to-vehicle communication system. Paper presented at the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, pp. 327_/334, Tokyo, October.
- [47] Joseph, J. (2001) Stopping on red, *Traffic Technology International (TTi)* , pp. 40_/47.
- [48] Chan, C. Y., & Tan, H. S. (2003) Evaluation of Magnetic Markers as a Position Reference System for Ground Vehicle Guidance and Control, California PATH Research Report UCBITS- PRR-2003-8, California Partners for Advanced Transit and Highways.
- [49] AHSRA (Advanced Cruise-Assist Highway System Research Association) (2003) AHSRA report , 11, Tokyo, October.
- [50] Mn/DOT (Minnesota Department of Transportation) (2001) Detailed design, Intelligent Vehicle Initiative-Specialty Vehicle Field Operational Test (Saint Paul, MN: Mn/DOT _/ US DOT Cooperative Agreement DTFH61-99-X-00101).
- [51] Meng Lu, Kees Wevers, Rob Van Der Heijden, "Technical Feasibility of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) for Road Traffic Safety", *Transportation Planning and Technology*, June 2005
- [52] White, F.E., "A Model for Data Fusion", *Proc. 1st National Symposium on Sensor Fusion*, 1988
- [53] Steinberg, A.N., Bowman, C.L., and White, F.E., "Revisions to the JDL Data Fusion Model", in *Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications*, Proceedings of the SPIE, Vol. 3719, 1999
- [54] Dickmanns, E., Mysliwetz B., "Recursive 3-D Road and Relative Ego-State Recognition", *Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 2, February, 1992
- [55] Hall. D., *Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion*. Artech House, Boston, London, 1992.
- [56] DSTO (Defense Science and Technology Organization) Data Fusion Special Interest Group, *Data fusion lexicon*. Department of Defense, Australia, 7 p., 21 September 1994.
- [57] Blasch, E.P. and Plano, S., "Level 5: User Refinement to aid the Fusion Process", in *Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications 2003*
- [58] B. Dasarathy (Ed.), *Proc of the SPIE*, Vol. 5099, 2003
- [59] Amditis, A., Kussman, H., Polychronopoulos, A., Engström, J., Andreone, L., "System architecture for integrated adaptive HMI solutions ", *IEEE Intelligent Vehicle Symposium*, Tokyo, 2006.

- [60] Llinas, L., Bowman, C., Rogova, G., Steinberg, A., Waltze, E., White, F., "Revisiting the JDL Data Fusion Model II", published at www.infofusion.buffalo.edu
- [61] Tatschke, T., Park, S.B., Amditis, A., Polychronopoulos, A., Scheunert, U., "ProFusion2 – Towards a modular, robust architecture for automotive environment perception and reliable fusion", in J. Valldorf, W. Gessner (Eds): *Advanced Microsystems for Automotive Applications 2006 (AMAA-2006)* 451-469, Springer, Berlin, 2006.
- [62] Polychronopoulos, A., Floudas, N., Amditis, A., Bank, D., Broek, B., "Data fusion in multi-sensor platforms for wide area perception", *IEEE Intelligent Vehicle Symposium*, Tokyo, 2006
- [63] Sjögren, A., Amditis, A., Polychronopoulos, A., "Functional integration: Possibilities and Challenges - INSAFES project", *Proc. of the ITS World Congress*, London, 2006.
- [64] Kirchner, Th. Heinrich, "Model Based detection of road boundaries with a laser scanner", *IEEE International Conference on intelligent vehicles*, 1998
- [65] Shinnoshuke Ishida, Jens E. Gayko, "Development, Evaluation and Introduction of a Lane Keeping Assistance System", in *Proc. IEEE, Intelligent Vehicles Symp*, Parma, 2004
- [66] "Road safety in the Netherlands, key figures - ADA implicaties voor verkeersveiligheid (ADA Implications for Road Safety)", Dutch Ministry of Transport, edition 2004
- [67] A. Polychronopoulos, N. Möhler, S. Ghosh, A. Beutner, "System design of a situation adaptive lane keeping support system, the SAFELANE system", *AMAA Handbook 2005*, Springer-Verlag.
- [68] A. Amditis, A. Polychronopoulos, A. Sjögren, A. Beutner, M. Miglietta, A. Saroldi, "System design of a situation adaptive lane keeping support system, the SAFELANE system", *AMAA Handbook 2006*, Springer-Verlag.
- [69] A. Klotz, J. Sparbert, D. Hötzer, "Lane data fusion for driver assistance systems", in *Proc. 7th Information Fusion Conf.*, Stockholm, 2004
- [70] "Automotive collision avoidance system field operational test", *ACAS/FOT 3rd annual report*, NHTSA, 2003
- [71] S. S. Ieng, J. P. Tarel, R. Labayrade, "On the Design of a Single Lane-Markings Detector Regardless the On-board Camera's Position", in *Proc. IEEE, Intelligent Vehicles Symp*, Ohio, 2003.
- [72] D. Swartz, "Clothoid Road Geometry Unsuitable for Sensor Fusion", in *Proc. IEEE, Intelligent Vehicles Symp*, Ohio, 2003
- [73] T. Akita, M. Mizuno, "Lane Keep Assist System Utilizing Rear View Camera", in *Proc. IEEE, ITS Conf.*, Washington D.C., 2004.
- [74] H. Cramer, U. Scheunert, G. Wanielik, "A New Approach for Tracking Lanes by Fusing Image Measurements with Map Data", in *Proc. IEEE, Intelligent Vehicles Symp*, Parma, 2004.
- [75] A. Polychronopoulos, U. Scheunert, F. Tango, "Centralized data fusion for obstacle and road borders tracking in a collision warning system", *Proc. 7th International Conference on Information Fusion*, Stockholm, Sweden, 2004.
- [76] S. Y. Kim, S. Y. Oh, "A Driver Adaptive Lane Departure Warning System Based on Image Processing and a Fuzzy Evolutionary Technique", in *Proc. IEEE, Intelligent Vehicles Symp*, Ohio, 2003.
- [77] Parag H. Batavia, "Driver-Adaptive Lane Departure Warning Systems", Ph.D. dissertation, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1999.
- [78] L. Svensson, J. Gunnarsson, "A new motion model for tracking of vehicles", In *Proc. 14th IFAC System Identificatio Symp.*, Newcastle, 2006.

- [79] X Lin., T. Kirubarajan, Y. Bar-Shalom, X. Li., "Enhanced Accuracy GPS Navigation Using the Interacting Multiple Model Estimator", In Proc. 2000 Aerospace Conf., Big Sky, MT, 2001.
- [80] K. Weiss, N. Kaempchen, A. Kirchner, "Multiple-Model Tracking for the Detection of Lane Change Maneuvers", in Proc. IEEE, Intelligent Vehicles Symp, Parma, 2004.
- [81] A. Polychronopoulos, A. Amditis, U. Scheunert, T. Tatschke, Revisiting JDL model for automotive safety applications: the PF2 functional model, The 9th International Conference on Information Fusion, Florence, Italy, July 10 - 13, 2006.
- [82] A. Dempster, Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping, *Annals of Mathematical statistics*, 1967, Proc. 38, pp. 325-339.
- [83] G. Shafer, *A mathematical theory of evidence*, Princeton University Press, Princeton, 1976.
- [84] Kweku Muata, Osei Bryson, Supporting knowledge elicitation and consensus building for Dempster-Shafer decision models, *International Journal of Intelligent Systems*, 2003, Vol. 18, pp. 129-148.
- [85] T. Benouhiba, J. M. Nigro, Uncertainty management in rule based systems application to maneuvers recognition, 2003, pp. 220-228.
- [86] J. M. Nigro, S. Lorrette-Rougegrez, M. Rombaut, I. Jarkass, Driving situation recognition in the CASSICE project towards an uncertainty management, *IEEE Conference Proceedings on Intelligent Transportation Systems*, Dearborn, USA, October 1 - 3, 2000.
- [87] *Neuro-Fuzzy and Soft Computing, A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*
- [88] "IEEE-1394 Technology Brief", Basler Vision Technologies
- [89] M. Tsogas, A. Polychronopoulos, A. Amditis, Using Digital Maps to Enhance Lane Keeping Support Systems, in *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, June 13-15, 2007, Istanbul, Turkey, pp. 148-153.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

A. Διεθνή επιστημονικά περιοδικά με κριτές

- [1] "Sensor fusion for predicting vehicles' path for collision avoidance systems", Aris Polychronopoulos, Manolis Tsogas, Angelos Amditis, Luisa Andreone, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems
- [2] "Combined lane and road attributes extraction by fusing data from digital map, laser scanner and camera", Manolis Tsogas, Nikos Floudas, Panagiotis Lytrivis, Angelos Amditis, Aris Polychronopoulos, ISIF Journal, accepted for review.

B. Διεθνή επιστημονικά συνέδρια με κριτές

- [1] "Non-linear filtering techniques in intelligent vehicles' functions", Polychronopoulos, A., Tsogas, M., Scheunert, U., Cramer, Amditis, A., Andreone, L., Proc. of IEEE - EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, June 8-11, 2003, GRADO – GORIZIA, ITALY.
- [2] "Dynamic situation and threat assessment for collision warning systems: The EUCLIDE approach", Polychronopoulos, A., Tsogas, M., Amditis, A., Scheunert, U., Andreone, L., Tango, F., Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Parma, Italy, June, 2004.
- [3] "Unscented Kalman Filter Design for Curvilinear Motion Models Suitable for Automotive Safety Applications", Manolis Tsogas, Aris Polychronopoulos, Angelos Amditis, 8th International Conference on Information Fusion, July 25 - 29, 2005, Philadelphia, USA.
- [4] "Prediction of Unintentional Lane Departure Using Evidence Theory", Aris Polychronopoulos, Christos Koutsimanis, Manolis Tsogas, Angelos Amditis, 8th International Conference on Information Fusion, July 25 - 29, 2005, Philadelphia, USA.
- [5] "Extended path prediction using camera and map data for lane keeping support", Aris Polychronopoulos, Manolis Tsogas, Angelos Amditis, Aria Etemad, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 13-16 September, 2005, Vienna, Austria.
- [6] "Multi-Sensor Coordination And Fusion For Automotive Safety Applications", N. Floudas, A. Polychronopoulos, M. Tsogas, A. Amditis, Ninth International Conference on Information Fusion (FUSION 2006), Florence, Italy, 10-13/07/2006.
- [7] "Using digital maps to enhance lane keeping support systems", Tsogas, M., Polychronopoulos, A., Amditis, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, Turkey, June, 2007.
- [8] "Situation refinement for vehicle maneuver identification and driver's intention prediction", Manolis Tsogas, Aris Polychronopoulos, Nikos Floudas, Angelos Amditis, 10th International Conference on Information Fusion, 2007, Canada.
- [9] "A Real Time platform for estimating the Driver - Vehicle - Environment state in AIDE Integrated Project", Angelos Amditis, Katia Pagle, Manolis Tsogas, Evangelos Bekiaris, Maria Panou, Helene Tattégren Vesté, Thierry Bellet, Serge Boverie, Matti Kuttila, Gustav Markkula, 14th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2007, Beijing, China.
- [10] "Positioning and path prediction for scenario assessment of safe speed system, Nikos Floudas, Manolis Tsogas, Angelos Amditis, Hendrik Weigel, 14th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2007, Beijing, China.
- [11] "Detection of maneuvers using evidence theory", Tsogas, M., Dai, X., Thomaidis, G., Lytrivis, P., Amditis, A., IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Eindhoven, the Netherlands, June 4-6, 2008, Accepted for review.

- [12] “*An environment for simulating vehicle’s motion along virtual routes*’, Thomaidis, G., Tsogas, M., Lytrivis, P., Amditis, A., Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Eindhoven, the Netherlands, June 4-6, 2008, Accepted for review.
- [13] “*Enhanced curve speed warning application using multiple sources of information for extracting road geometry*”, Tsogas, M., Lytrivis, P., Amditis, A., 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, Athens, Greece, May 27-31, 2008, Accepted for review.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Περιοχές κάλυψης των διαφόρων εφαρμογών ασφάλειας οχημάτων	15
Σχήμα 1.2 Συστοιχία ραντάρ μικρής εμβέλειας	21
Σχήμα 1.3: Αρχιτεκτονική συστήματος σύντηξης δεδομένων	25
Σχήμα 1.4: Ιεραρχικό υβριδικό λειτουργικό μοντέλο σύντηξης δεδομένων.....	28
Σχήμα 1.5.....	30
Σχήμα 1.6: Μνήμη αντίληψης	31
Σχήμα 2.1: Εφαρμογή βάσης δεδομένων ψηφιακών χαρτών	34
Σχήμα 2.2: Ηλεκτρονικός ορίζοντας ψηφιακών χαρτών.....	34
Σχήμα 2.3: Επεξεργασία δεδομένων ψηφιακών χαρτών.....	34
Σχήμα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση φίλτρου Kalman	38
Σχήμα 2.5: Μετασχηματισμός Unscented	43
Σχήμα 2.6: Διαδικασία ανάλυσης γεωμετρίας δρόμου	44
Σχήμα 2.7: Τεχνική ομαδοποίησης σημείων ηλεκτρονικού ορίζοντα	44
Σχήμα 2.8: Περιοχή ενός δρόμου προς τμηματοποίηση	46
Σχήμα 2.9: Πρώτο στάδιο τμηματοποίησης.....	46
Σχήμα 2.10: Δεύτερο στάδιο τμηματοποίησης.....	46
Σχήμα 2.11: Τρίτο στάδιο τμηματοποίησης.....	46
Σχήμα 2.12: Αλγόριθμος τμηματοποίησης.....	47
Σχήμα 2.13: Εκτίμηση γεωμετρίας σε μεγάλες αποστάσεις με την βοήθεια ψηφιακών χαρτών	49
Σχήμα 2.14: Επέκταση γεωμετρίας κάμερας με την βοήθεια ψηφιακών χαρτών.....	49
Σχήμα 2.15: Τμηματοποίηση 1.....	50
Σχήμα 2.16: Τμηματοποίηση 2.....	50
Σχήμα 2.17: Τμηματοποίηση 3.....	50
Σχήμα 2.18: Τμηματοποίηση 4.....	50
Σχήμα 2.19: Εκτίμηση γεωμετρίας σε κυκλική πλατεία	51
Σχήμα 3.1: Αλγόριθμος ανίχνευσης λωρίδων	55
Σχήμα 3.2: Σενάριο 1.....	57
Σχήμα 3.3: Σενάριο 2.....	57
Σχήμα 3.4: Σενάριο 3.....	57
Σχήμα 3.5: Σενάριο 4.....	57
Σχήμα 3.6: Πηγές πληροφορίας για την σύντηξη δεδομένων της γεωμετρίας του δρόμου (Συστημα 1).....	58
Σχήμα 3.7: Πηγές πληροφορίας για την σύντηξη δεδομένων της γεωμετρίας του δρόμου (Συστημα 2).....	59
Σχήμα 3.8: Υπομονάδα σύντηξης δεδομένων γεωμετρίας λωρίδας.....	60
Σχήμα 3.9: Κανόνες σύντηξης δεδομένων από τις διάφορες πηγές πληροφορίας.....	60
Σχήμα 3.10: Σενάριο 1 εκτιμώμενης καμπυλότητας.....	61
Σχήμα 3.11: Σενάριο 2 εκτιμώμενης καμπυλότητας.....	61
Σχήμα 3.12: Επέκταση γεωμετρίας δρόμου συνδυάζοντας χάρτες και κάμερα.....	64
Σχήμα 3.13: Συνάρτηση μέλους στο ασαφές σύστημα Sugeno για την σύντηξη της γεωμετρίας του δρόμου στο χωρικό πεδίο	65
Σχήμα 3.14: Πλευρική απόσταση από το μέσο της λωρίδας (1 ^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας).....	69
Σχήμα 3.15: Πλάτος λωρίδας	69

Σχήμα 3.16: Πλευρική απόσταση από το μέσο της λωρίδας (2 ^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας).....	69
Σχήμα 3.17: Πλευρική απόσταση από το μέσο της λωρίδας (3 ^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας).....	69
Σχήμα 3.18: Πλευρική απόσταση από το μέσον της λωρίδας (4 ^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας).....	70
Σχήμα 3.19: Πλευρική απόσταση από το μέσον της λωρίδας (5 ^ο σενάριο ενδιάμεσης αποτυχίας).....	70
Σχήμα 3.20: Εφαρμογή πλευρικής ασφάλειας με σύντηξη δεδομένων για την εκτίμηση γεωμετρίας δρόμου.....	71
Σχήμα 3.21: Περιοχή κάλυψης αισθητήρων.....	71
Σχήμα 3.22: (α) Φορτηγό Volvo, (β) φορτηγό Iveco, (γ) όχημα ινστιτούτου FhG, (δ) Αισθητήρες συστήματος.....	71
Σχήμα 3.23: Σύγκριση γεωμετρίας δρόμου μεταξύ χαρτών και κάμερας.....	73
Σχήμα 3.24: Οι καμπυλότητες που υπολογίζονται από τις διάφορες πηγές πληροφορίας....	74
Σχήμα 4.1: Αξιολόγηση κατάστασης.....	77
Σχήμα 4.2: Συναρτήσεις μέλους κατάστασης υαλοκαθαριστήρων.....	86
Σχήμα 4.3: Συναρτήσεις μέλους κατάστασης φώτων οχήματος.....	86
Σχήμα 4.4: Παράμετροι εύρεσης συντελεστή κινδύνου για έξοδο από την λωρίδα.....	88
Σχήμα 4.5: Συναρτήσεις μέλους ρίσκου TTC.....	90
Σχήμα 4.6: Συναρτήσεις μέλους τελικού ρίσκου.....	91
Σχήμα 4.7: Αποδεικτικό σύστημα Dempster-Shafer.....	94
Σχήμα 4.8: Διαδικασία σύντηξης με Dempster-Shafer.....	95
Σχήμα 4.9: Τύποι ελιγμών.....	96
Σχήμα 4.10: Διάγραμμα μεταβάσεων ελιγμών.....	96
Σχήμα 4.11: Πηγές πληροφορίας για ανίχνευση ελιγμών.....	97
Σχήμα 4.12: Συναρτήσεις ανάθεσης βασικών πιθανοτήτων.....	98
Σχήμα 4.13: Σενάριο παρουσίασης αποτελεσμάτων ανίχνευσης ελιγμού.....	102
Σχήμα 4.14: Ελάχιστη απόσταση από τα όρια της λωρίδας και χρόνος που συμβαίνει.....	102
Σχήμα 4.15: Συνδυασμένα βάρη εμπιστοσύνης για κάθε τύπο ελιγμού.....	103
Σχήμα 5.1: Γενική μορφή πλαισίου CAN.....	106
Σχήμα 5.2: Πλαίσιο CAN (απλή μορφή, CAN 2.0A).....	107
Σχήμα 5.3: Πλαίσιο CAN (εκτεταμένη μορφή, CAN 2.0B).....	107
Σχήμα 5.4: Ιεραρχικό μοντέλο μνήμης.....	108
Σχήμα 5.5: Κύριες περιοχές μνήμης.....	109
Σχήμα 5.6: Κύκλος επεξεργασίας δεδομένων.....	109
Σχήμα 5.7: Τοπολογία αισθητήρων SafeLane.....	110
Σχήμα 5.8: Τοπολογία αισθητήρων Profusion2.....	111
Σχήμα 5.9: Τοπολογία αισθητήρων InSafes.....	111
Σχήμα 5.10: Αρχικοποίηση εφαρμογής.....	112
Σχήμα 5.11: Ρυθμική παραμέτρων αισθητήρων.....	113
Σχήμα 5.12: Ρυθμίσεις αποστολής και λήψης δεδομένων μέσω CAN.....	114
Σχήμα 5.13: Ρυθμίσεις επιλογής δεδομένων που θα αποστέλλονται μέσω CAN.....	114
Σχήμα 5.14: Ρύθμιση παραμέτρων μοντέλου μελλοντικής τροχιάς του υποκείμενου οχήματος.....	115
Σχήμα 5.15: Γραφική και αριθμητική απεικόνιση των διαφόρων μεταβλητών.....	115
Σχήμα 5.16: Λειτουργικές δυνατότητες γραφικού περιβάλλοντος.....	116
Σχήμα 5.17: Βιβλιοθήκες κύριας εφαρμογής.....	117
Σχήμα 5.18: Βιβλιοθήκες επεξεργασίας δεδομένων από αισθητήρες.....	117
Σχήμα 5.19: Συγχρονισμός δεδομένων.....	118

Σχήμα 5.20: Τοποθέτηση ραντάρ μακρινής εμβέλειας στο όχημα	119
Σχήμα 5.21: Σχηματική αναπαράσταση του ραντάρ μακρινής εμβέλειας	119
Σχήμα 5.22: Σημεία τοποθέτησης των δυο ραντάρ στο όχημα	120
Σχήμα 5.23: Ραντάρ μέσης εμβέλειας	120
Σχήμα 5.24: Σημείο τοποθέτησης κάμερας μέσα στο όχημα	121
Σχήμα 5.25: Φασματική απόδοση κάμερας	121
Σχήμα 5.26: Τοποθέτηση συστήματος εύρεσης GPS θέσης στο όχημα	121
Σχήμα 5.27: Ελεγκτής συστήματος ψηφιακών χαρτών.....	121
Σχήμα 5.28: Μεγέθη μέτρησης αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας.....	122
Σχήμα 5.29: Αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας.....	122
Σχήμα 5.30: Βοηθητικοί υπολογιστές συστήματος.....	122
Σχήμα 5.31: Περιοχή κάλυψης δικτύου αισθητήρων.....	123
Σχήμα 5.32: Τοπολογία αισθητήρων και υπολογιστών.....	124
5.33: Διάταξη συνδεσμολογίας μεταξύ Gateway και αισθητήρων	125
5.30: Πλατφόρμα επεξεργασίας δεδομένων οχήματος	126

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Αποτελεσματικότητα πηγών εκτίμησης γεωμετρίας δρόμου	72
Πίνακας 3.2: Συντελεστής επιτυχίας (75m)	75
Πίνακας 3.3: Συντελεστής επιτυχίας (20m)	75

