ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ανάπτυξη εφαρμογής για την υποβοήθηση του οδηγού κατά την αλλαγή λωρίδας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Στ. Καρούσος

Επιβλέποντες:

Ν. Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δρ. Α. Αμδίτης
Ερευνητής 'Β Ε.Μ.Π./ ΕΠΙΣΕΥ

Αθήνα, Μάρτιος 2007

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ανάπτυξη εφαρμογής για την υποβοήθηση του οδηγού κατά την αλλαγή λωρίδας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Στ. Καρούσος

Επιβλέποντες:

Ν. Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δρ. Α. Αμδίτης
Ερευνητής 'Β Ε.Μ.Π./ ΕΠΙΣΕΥ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την …….. 2007.

.....	.....	.....
Νικόλαος Ουζούνογλου	Δήμητρα Κακλαμάνη	Παναγιώτης Φράγκος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2007

.....

Δημήτριος Καρούσος

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

Copyright © Δημήτριος Καρούσος, 2007.
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.

Ι ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ……...18

1 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ- ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1.1 Περιγραφή-χαρακτηρισμός οδικών ατυχημάτων προκαλούμενων από αλλαγή λωρίδας……18
1.2 Παράγοντες που δημιουργούν 'τυφλά' σημεία στα οχήματα με αποτέλεσμα το ατύχημα……19
1.2.1 Γενικά……19
1.2.2 'Τυφλά' σημεία λόγω αρχιτεκτονικής οχήματος……...19
1.2.3 Η οπτική αντίληψη του οδηγού……20
1.2.4 Περιορισμοί στην κίνηση του οδηγού……...21

2 ΥΠΟΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΛΩΡΙΔΑΣ (LANE CHANGE DECISION AID SYSTEMS - LCDAS)
2.1 Γενικά……22
2.2 Ορισμοί……23
2.2.1 Υποκείμενο όχημα (Subject vehicle)……23
2.2.2 Όχημα στόχος (Target vehicle)……..23
2.2.3 Ζώνη κάλυψης (Coverage zone)……23
2.2.4 Πλευρικές ζώνες (Adjacent zones)……23
2.2.5 Πίσω ζώνες (Rear zones)……...24
2.2.6 Πλευρικό περιθώριο (Lateral clearance)……...24
2.2.7 Όπισθεν περιθώριο (Rear clearance)……25
2.2.8 Ταχύτητα προσέγγισης (Closing speed)……26
2.2.9 Υπολειπόμενος χρόνος για σύγκρουση (Time to collision)……..26
2.2.10 Ταχύτητα προσπέρασης (Overtaking speed)……...26
2.2.11 Λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου (Blind spot warning function)……26
2.2.12 Λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει (Closing vehicle warning function)……..27
2.2.13 Λειτουργία προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας (Lane change warning function)……..27
2.2.14 Ακτίνα καμπυλότητας δρόμου (Roadway radius of curvature)……...27
2.3 Κατηγοριοποίηση (Classification)……..27
2.3.1 Κατηγοριοποίηση ζωνών κάλυψης (Coverage zone classification)……..27
2.3.1.1 Συστήματα τύπου I (Type I systems)……28
2.3.1.2 Συστήματα τύπου II (Type II systems)……..28
2.3.1.3 Συστήματα τύπου III (Type III systems)……...28
2.3.2 Κατηγοριοποίηση ταχύτητας προσέγγισης οχήματος στόχου (Target vehicle closing speed classification)……28
2.3.2.1 Συστήματα τύπου A (Type A systems)……29
2.3.2.2 Συστήματα τύπου B (Type B systems)……..29
2.3.2.3 Συστήματα τύπου C (Type C systems)……..30
2.4 Απαιτήσεις λειτουργίας (Functional requirements)……31
2.4.1 Διάγραμμα καταστάσεων υποβοηθητικών συστημάτων για την αλλαγή λωρίδας (LCDAS state diagram)……31
2.4.1.1 LCDAS ανενεργό……...31
2.4.1.2 Κριτήρια ενεργοποίησης……31
2.4.1.2.1 Διαρκής ενεργοποίηση……...32
2.4.1.2.2 Χειροκίνητη ενεργοποίηση……32

2.4.1.2.3 Ενεργοποίηση από σήματα αλλαγής πορείας……32
2.4.1.2.4 Ενεργοποίηση από την ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος…...32
2.4.1.3 LCDAS ενεργό……..32
2.4.1.3.1 Κατάσταση μη προειδοποίησης……32
2.4.1.3.2 Κατάσταση προειδοποίησης……..32
2.4.1.3.2.1 Κριτήρια αξιολόγησης……...33
2.4.1.3.2.1.1 Αξιολόγηση σήματος αλλαγής πορείας……33
2.4.1.3.2.1.2 Αξιολόγηση στρέψης τιμονιού του υποκείμενου οχήματος……33
2.4.1.3.2.1.3 Αξιολόγηση της θέσης του υποκείμενου οχήματος στην λωρίδα που κινείται……..33
2.4.1.3.2.1.4 Αξιολόγηση του πλευρικού περιθωρίου……34
2.4.1.3.2.1.5 Αξιολόγηση του όπισθεν περιθωρίου……34
2.4.1.3.2.1.6 Αξιολόγηση του υπολειπόμενου χρόνου για σύγκρουση……..34
2.4.1.3.2.2 Επίπεδο προειδοποίησης 1……34
2.4.1.3.2.3 Επίπεδο προειδοποίησης 2 και άνω……...34
2.4.2 Λειτουργίες προειδοποίησης συστήματος……34
2.4.2.1 Προϋποθέσεις των λειτουργιών προειδοποίησης-Γενικά……..34
2.4.2.2 Ελάχιστο εντοπιζόμενο όχημα στόχος……...37
2.4.2.3 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης ‘τυφλού’ σημείου (blind spot warning function requirements)……37
2.4.2.3.1 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης ‘τυφλού’ σημείου αριστερής πλευράς……...37
2.4.2.3.2 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης ‘τυφλού’ σημείου δεξιάς πλευράς……37
2.4.2.3.3 Μη αναγκαιότητα προειδοποίησης ‘τυφλού’ σημείου……..38
2.4.2.4 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει (closing vehicle warning function requirements)……38
2.4.2.4.1 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει στην αριστερή πλευρά……38
2.4.2.4.2 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει στην δεξιά πλευρά……..39
2.4.2.4.3 Προαιρετική λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει και για τις δύο πλευρές……..39
2.4.2.4.4 Προαιρετική οπτική ενημέρωση για όχημα που προσεγγίζει……39
2.4.2.5 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας (lane change warning function requirements)……..40
2.4.2.6 Χρόνος απόκρισης συστήματος……40
2.4.3 Διασύνδεση χρήστη……...40
2.4.3.1 Ένδειξη ανενεργού LCDAS……..40
2.4.3.1.1 Μέθοδος ένδειξης ανενεργού LCDAS……..40
2.4.3.2 Ένδειξη ενεργού LCDAS……..40
2.4.3.2.1 Μέθοδος ένδειξης ενεργού LCDAS……..41
2.4.3.3 Ένδειξη προειδοποίησης LCDAS……..41
2.4.3.3.1 Μέθοδος ένδειξης προειδοποίησης LCDAS……41
2.4.3.4 Ένδειξη σφάλματος LCDAS……41
2.4.3.4.1 Μέθοδος ένδειξης σφάλματος LCDAS……41
2.4.4 Απαιτήσεις αυτοελέγχου LCDAS……41
2.5 Διαδικασία ελέγχου/ δοκιμής (test requirements) ενός LCDAS……..42

3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΚΤΥΟΥ CAN (CONTROLLER AREA NETWORK PROTOCOL)
3.1 Πρωτόκολλο CAN (Controller Area Network)-Γενικά ……...43
3.2 Βασικές αρχές μετάδοσης δεδομένων CAN……...43
3.2.1 Μετάδοση μηνυμάτων με βάση την αρχή παραγωγού-καταναλωτή…….43
3.2.2 Η ευελιξία των δικτύων CAN……43
3.3 Διαιτησία διαύλου CAN……..44
3.3.1 Γενικά……44
3.3.2 Μετάδοση με βάση την προτεραιότητα……45
3.3.3 Βέλτιστη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης……...45
3.3.4 Ρυθμός μετάδοσης και μήκος διαύλου……..46
3.4 Μήκος μηνύματος και μέγιστος ρυθμός μετάδοσης……46
3.5 Αντιμετώπιση σφαλμάτων……..46
3.5.1 Εντοπισμός και αποκλεισμός σφαλμάτων……46
3.5.2 Ειδοποίηση για σφάλμα αντί για επιβεβαίωση αποστολής……...47
3.6 Μορφή πλαισίου CAN……47
3.6.1 'Βασικό πλαίσιο CAN' ("CAN base frame")……47
3.6.2 'Εκτεταμένο πλαίσιο CAN' ("CAN extended frame")……..49

ΙΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ……51

4 ΔΙΚΤΥΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ- ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
4.1 Γενικά……51
4.2 Τοπολογία δικτύου πειραματικού οχήματος……51
4.3 Προδιαγραφές και χρήση των στοιχείων του δικτύου……53
4.3.1 Βιομηχανικός Η/Υ (xPC Targetbox)……53
4.3.1.1 Γενικά……53
4.3.1.2 Λογισμικό (Software)……54
4.3.1.3 Διασύνδεση διαύλων CAN (CAN bus interface)……..54
4.3.1.4 Επικοινωνία προσωπικού Η/Υ με xPC……..54
4.3.1.5 Ρυθμίσεις xPC (xPC setup)……54
4.3.2 Ραντάρ μεσαίας εμβέλειας (Universal Medium Range Radar - UMRR)…..55
4.3.2.1 Γενικά……55
4.3.2.2 Σχεδιασμός……56
4.3.2.2.1 Block διάγραμμα ραντάρ……...56
4.3.2.2.2 Block διάγραμμα δικτύου ραντάρ……..56
4.3.2.3 Μετρούμενες παράμετροι και απόδοση……57
4.3.2.3.1 Ακρίβεια και πεδία τιμών……..58
4.3.2.3.2 Σύστημα συντεταγμένων και ζώνες κάλυψης……58
4.3.2.4 Σύνδεση στο δίκτυο CAN και κωδικοποίηση σε πλαίσια δεδομένων (data frames)……..62
4.3.2.4.1 Μήνυμα sensor control (sensor control message)……62
4.3.2.4.2 Μήνυμα object data (object data message)……...63
4.3.2.4.3 Εξαγωγή δυαδικής τιμής κωδικοποίησης (bit value) από πραγματική (real value) και αντιστρόφως……64
4.3.3 Αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας (Yaw Rate Sensor)……..64
4.3.3.1 Γενικά……64
4.3.3.2 Κωδικοποίηση σε πλαίσια δεδομένων (data frames) CAN……..65
4.3.3.2.1 Μήνυμα λήψης CAN (CAN Receive Message) YRS_Signals_RcvMsg……..65

4.3.3.2.2 Μήνυμα αποστολής CAN (CAN Transmit Message) YRS_Signals_TrmMsg……..66
4.3.3.2.3 Εξαγωγή δυαδικής τιμής κωδικοποίησης (bit value) από πραγματική (real value) και αντιστρόφως……66
4.3.3.2.4 Μετρούμενη τιμή γωνιακής ταχύτητας……..67
4.3.4 Κάρτα διασύνδεσης CAN (Vector CANcardXL)……..68
4.3.5 Δέκτης GPS……68
4.3.5.1 Γενικά……68
4.3.5.2 Χρήση GPS……69
4.3.5.3 Λήψη απαραίτητων πληροφοριών GPS……69
4.4 Επικοινωνία των εφαρμογών λογισμικού με τα στοιχεία του δικτύου……...70

5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
5.1 Γενικά……71
5.2 Τοπολογία δικτύου κατά την καταγραφή……..71
5.3 Λογισμικό ανάπτυξης για συστήματα με διαύλους CAN (CANalyser)……...72
5.3.1 Βασικές λειτουργίες……...72
5.3.2 Βάσεις δεδομένων μηνυμάτων CAN……72
5.3.3 Καταγραφή μηνυμάτων CAN……74
5.4 Καταγραφή μηνυμάτων CAN στο πειραματικό όχημα……75
5.4.1 Σενάριο δοκιμής……75
5.4.2 Αποτελέσματα δοκιμής……76
5.4.2.1 Αποτελέσματα πρώτης φάσης……...77
5.4.2.2 Αποτελέσματα δεύτερης φάσης……77

6 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΛΩΡΙΔΑΣ (LANE CHANGE DECISION AID APPLICATION)
6.1 Γενικά……....79
6.2 Σκοπός και λειτουργία της εφαρμογής……..79
6.3 Το μοντέλο Simulink της εφαρμογής……80
6.3.1 Αποκωδικοποίηση μηνυμάτων (message unpacking)……...80
6.3.1.1 Αποκωδικοποίηση μηνυμάτων CAN (CAN message unpacking)……80
6.3.1.2 Αποκωδικοποίηση μηνυμάτων UDP (UDP message unpacking)…….85
6.3.2 Αλγόριθμοι αξιολόγησης……...87
6.3.2.1 Μπλοκ απομόνωσης σχετικών κινούμενων αντικειμένων και εκτίμησης αξιοπιστίας μετρήσεων (S- function: Object filter)……87
6.3.2.1.1 Θύρες εισόδου – εξόδου……87
6.3.2.1.2 Περιγραφή αλγόριθμου……..90
6.3.2.2 Μπλοκ υπολογισμού προσέγγισης καμπυλότητας δρόμου (S – function: curvature)……91
6.3.2.2.1 Θύρες εισόδου – εξόδου……92
6.3.2.2.2 Περιγραφή αλγόριθμου……..92
6.3.2.3 Μπλοκ απομόνωσης πλησιέστερων σχετικών αντικειμένων (S – functions: relevant_object_left, relevant_object_right)……..94
6.3.2.3.1 Θύρες εισόδου – εξόδου……94
6.3.2.3.2 Περιγραφή αλγορίθμου……..96
6.3.2.3.3 Υπολογισμός παραμέτρων……97
6.3.2.4 Μπλοκ τελικής εκτίμησης για το επίπεδο προειδοποίησης που πρέπει να δοθεί (S – function: risk_level)……...99

6.3.2.4.1 Θύρες εισόδου – εξόδου……99
6.3.2.4.2 Περιγραφή αλγορίθμου……100
6.3.2.4.3 Υπολογισμός παραμέτρων……...102
6.3.3 Κωδικοποίηση αποτελεσμάτων σε μηνύματα CAN και αποστολή τους…102
6.3.3.1 Κωδικοποίηση και αποστολή μηνύματος LCDAS_risk_level……103
6.3.3.2 Κωδικοποίηση και αποστολή μηνυμάτων GPS_data και YRS_data...104
6.3.4 Χρονισμός συστήματος……...105

7 ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΟΧΗΜΑ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ
7.1 Πειραματική διάταξη και διαδικασία κατά τη δοκιμή της εφαρμογής…...107
7.2 Καταγραφή μηνυμάτων κατά τις προσπεράσεις και ερμηνεία……107
7.2.1 Μήνυμα LCDAS_risk_level……...107
7.2.2 Μηνύματα YRS_data και GPS_data……...111
7.3 Μελλοντικές επεκτάσεις- βελτιώσεις……..113

III ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ……114

IV ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ……115

Παράρτημα Α
Αποτελέσματα δοκιμών των ραντάρ (UMRR) στο πειραματικό όχημα……...115

Παράρτημα Β
Υπολογισμός πλευρικών και όπισθεν περιθωρίων……127

Παράρτημα Γ
Επίπεδα και ζώνες προειδοποίησης……...131

Παράρτημα Δ
Μπλοκ διαγράμματα Simulink……..133

ΣΧΗΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Σχήμα 1.1: Τα διάφορα στάδια κατά την αλλαγή λωρίδας……..18
Σχήμα 1.2 : Κυριότερες οπτικές ζώνες οχήματος……19
Σχήμα 1.3 : Τα πεδία όρασης του οδηγού……...21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σχήμα 2.1: Τυχαίο σενάριο για σύστημα υποβοήθησης αλλαγής λωρίδας……22
Σχήμα 2.2: Πλευρικές ζώνες……23
Σχήμα 2.3: Πίσω ζώνες……24
Σχήμα 2.4: Πλευρικά περιθώρια……..24
Σχήμα 2.5: Πίσω περιθώριο σε ευθύ δρόμο μετρούμενο κατά μήκος μιας ευθείας…25
Σχήμα 2.6: Πίσω περιθώριο σε ευθύ δρόμο μετρούμενο κατά μήκος της προβλεπόμενης πορείας του οχήματος στόχου……..25
Σχήμα 2.7: Πίσω περιθώριο σε καμπύλη τροχιά μετρούμενο κατά μήκος ευθείας…25
Σχήμα 2.8: Πίσω περιθώριο σε καμπύλη τροχιά μετρούμενο κατά μήκος της προβλεπόμενης πορείας του οχήματος στόχου……..26
Σχήμα 2.9: Σύστημα τύπου Α, ελάχιστη περιοχή λειτουργίας……29
Σχήμα 2.10: Σύστημα τύπου Β, ελάχιστη περιοχή λειτουργίας……..30
Σχήμα 2.11: Σύστημα τύπου C, ελάχιστη περιοχή λειτουργίας……..30
Σχήμα 2.12: Διάγραμμα καταστάσεων υποβοηθητικών συστημάτων για την αλλαγή λωρίδας……...31
Σχήμα 2.13: Διάγραμμα για την περιγραφή των προϋποθέσεων των λειτουργιών προειδοποίησης……...36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σχήμα 3.1: Βασική αρχή μετάδοσης δεδομένων CAN……44
Σχήμα 3.2: Διαιτησία διαύλου……45
Σχήμα 3.3: Γενική μορφή πλαισίου CAN……47
Σχήμα 3.4: Βασικό πλαίσιο CAN (διεύθυνση 11 bits)……49
Σχήμα 3.5: Εκτεταμένο πλαίσιο CAN (διεύθυνση 29 bits)……50
Σχήμα 3.6: Πλαίσιο με 11 bits διεύθυνση που ‘ζητά’ την αποστολή άλλου πλαισίου……50
Σχήμα 3.7: Πλαίσιο με 29 bits διεύθυνση που ‘ζητά’ την αποστολή άλλου πλαισίου……50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σχήμα 4.1: Τοπολογία δικτύου πειραματικού οχήματος……52
Σχήμα 4.2: Βιομηχανικός Η/Υ (xPC Targetbox industrial PC)……...53
Σχήμα 4.3: Ρυθμίσεις xPC……...55
Σχήμα 4.4: Block διάγραμμα και φωτογραφία του ραντάρ UMRR……56
Σχήμα 4.5: Block διάγραμμα συστήματος πολλαπλών αισθητήρων……...57
Σχήμα 4.6: Σύστημα συντεταγμένων του αριστερού ραντάρ (UMRR 2)……59
Σχήμα 4.7: Σύστημα συντεταγμένων του δεξιού ραντάρ (UMRR 1)……..60
Σχήμα 4.8: Ζώνες κάλυψης ραντάρ……61
Σχήμα 4.9: Αισθητήρας μέτρησης γωνιακής ταχύτητας και πλευρικής επιτάχυνσης……..65
Σχήμα 4.10: Κάρτα διασύνδεσης CAN (Vector CANcardXL - PCMCIA)……68

Σχήμα 4.11: Δέκτης GPS (GlobalSat BU-353 WaterProof USB GPS Receiver)……68
Σχήμα 4.12: Σχηματικό διάγραμμα επικοινωνίας των εφαρμογών λογισμικού με τα στοιχεία του δικτύου……...70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
Σχήμα 5.1: Τοπολογία δικτύου κατά την καταγραφή μηνυμάτων CAN των δύο ραντάρ UMRR……...71
Σχήμα 5.2: Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής CANalyser……72
Σχήμα 5.3: Πεδία μηνύματος sensor_control_ID1……..73
Σχήμα 5.4: Πεδία μηνύματος sensor_control_ID2……..73
Σχήμα 5.5: Πεδία μηνυμάτων object_data_ID1_01 έως object_data_ID1_31……74
Σχήμα 5.6: Πεδία μηνυμάτων object_data_ID2_01 έως object_data_ID2_31……74
Σχήμα 5.7: Καταγραμμένα πεδία μηνυμάτων που αποστέλλουν τα ραντάρ UMRR. Μετατροπή από αρχεία *.asc σε αρχεία *.mat του MATLAB……..75
Σχήμα 5.8: Υποθετικό σενάριο δοκιμής. Τα ραντάρ καταγράφουν οποιαδήποτε ανακλαστικά αντικείμενα εντός της εμβέλειάς τους……76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
Σχήμα 6.1: Ρύθμιση παραμέτρων (setup) για την επικοινωνία της εφαρμογής με το CAN……...80
Σχήμα 6.2: Μπλοκ λήψης CAN. Ρυθμίσεις λήψης μηνύματος *object_data*……...81
Σχήμα 6.3: Απομόνωση δυαδικών τιμών κωδικοποίησης μηνύματος *object_data* και εξαγωγή πραγματικών τιμών……82
Σχήμα 6.4: Απομόνωση δυαδικών τιμών κωδικοποίησης μηνύματος *YRS_Signals_TrmMsg* και εξαγωγή πραγματικών τιμών……..83
Σχήμα 6.5: Λήψη, αποκωδικοποίηση και ομαδοποίηση των τιμών που εξάγονται από τα μηνύματα *object_data* σε έξι διαύλους (buses). Φαίνονται μόνο τα μηνύματα *object_data_ID1_01, object_data_ID1_02, object_data_ID2_01 και object_data_ID2_02*……..84
Σχήμα 6.6: Λήψη, αποκωδικοποίηση και εξαγωγή της πραγματικής τιμής της γωνιακής ταχύτητας από το μήνυμα *YRS_Signals_TrmMsg*……85
Σχήμα 6.7: Μπλοκ διάγραμμα για την εξαγωγή της πραγματικής τιμής της ταχύτητας, που λαμβάνεται ως ακολουθία χαρακτήρων ASCII μέσω πρωτοκόλλου UDP από την εφαρμογή UDP_client……86
Σχήμα 6.8: Μπλοκ απομόνωσης σχετικών κινούμενων αντικειμένων και εκτίμησης αξιοπιστίας μετρήσεων (S- function: Object filter)……...90
Σχήμα 6.9: Μπλοκ υπολογισμού προσέγγισης καμπυλότητας δρόμου (S – function: curvature)……...92
Σχήμα 6.10: Μπλοκ απομόνωσης πλησιέστερων σχετικών αντικειμένων (S – functions: relevant_object_left, relevant_object_right)……95
Σχήμα 6.11: Μπλοκ τελικής εκτίμησης για το επίπεδο προειδοποίησης που πρέπει να δοθεί (S – function: risk_level)……..99
Σχήμα 6.12: Κωδικοποίηση και αποστολή μηνύματος *LCDAS_risk_level*……...103
Σχήμα 6.13: Κωδικοποίηση και αποστολή μηνυμάτων *GPS_data* και *YRS_data*….104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Σχήμα 7.1: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για τις αριστερές ζώνες κατά την προσπέραση από αριστερά……..108

Σχήμα 7.2: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για τις δεξιές ζώνες κατά την προσπέραση από αριστερά…….108

Σχήμα 7.3: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για τις αριστερές ζώνες κατά την προσπέραση από δεξιά……109

Σχήμα 7.4: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για τις δεξιές ζώνες κατά την προσπέραση από δεξιά……109

Σχήμα 7.5: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για την κεντρική πίσω ζώνη κατά την προσπέραση από αριστερά……..110

Σχήμα 7.6: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για την κεντρική πίσω ζώνη κατά την προσπέραση από δεξιά……110

Σχήμα 7.7: Τιμές γωνιακής ταχύτητας του πειραματικού οχήματος κατά την προσπέραση από αριστερά……..111

Σχήμα 7.8: Τιμές γραμμικής ταχύτητας του πειραματικού οχήματος κατά την προσπέραση από αριστερά……..112

Σχήμα 7.9: Τιμές γωνιακής ταχύτητας του πειραματικού οχήματος κατά την προσπέραση από δεξιά……112

Σχήμα 7.10: Τιμές γραμμικής ταχύτητας του πειραματικού οχήματος κατά την προσπέραση από δεξιά…….113

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Σχήμα Α.1: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης ακτινικής σχετικής ταχύτητας (radial relative speed) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2)…….115

Σχήμα Α.2: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης γωνίας (angle) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2)……...116

Σχήμα Α.3: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης απόστασης (range) βοηθητικού οχήματος στόχου από κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2)……..117

Σχήμα Α.4: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης ακτινικής σχετικής ταχύτητας (radial relative speed) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1)……..118

Σχήμα Α.5: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης γωνίας (angle) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1)……..119

Σχήμα Α.6: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης απόστασης (range) βοηθητικού οχήματος στόχου από κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1)…….120

Σχήμα Α.7: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης ακτινικής σχετικής ταχύτητας (radial relative speed) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς ακίνητο

πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2)……121
Σχήμα Α.8: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης γωνίας (angle) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2)……...122
Σχήμα Α.9: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης απόστασης (range) βοηθητικού οχήματος στόχου από ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2)……123
Σχήμα Α.10: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης ακτινικής σχετικής ταχύτητας (radial relative speed) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1)……124
Σχήμα Α.11: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης γωνίας (angle) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1)……..125
Σχήμα Α.12: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης απόστασης (range) βοηθητικού οχήματος στόχου από ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1)……...126

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Σχήμα Β.1: Πλευρικό και όπισθεν περιθώριο σε ευθεία……...127
Σχήμα Β.2: Πλευρικό και όπισθεν περιθώριο σε δρόμο με καμπυλότητα……128
Σχήμα Β.3: Υπολογισμός πλευρικού και όπισθεν περιθωρίου σε δρόμο με θετική καμπυλότητα (στροφή αριστερά)……129
Σχήμα Β.4: Υπολογισμός πλευρικού και όπισθεν περιθωρίου σε δρόμο με αρνητική καμπυλότητα (στροφή δεξιά)……..130

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Σχήμα Γ.1: Ζώνες και επίπεδα προειδοποίησης που ορίζονται στην εφαρμογή υποβοήθησης κατά την αλλαγή λωρίδας. Ευθύς δρόμος……131
Σχήμα Γ.2: Ζώνες προειδοποίησης που ορίζονται στην εφαρμογή υποβοήθησης κατά την αλλαγή λωρίδας. Δρόμος με καμπυλότητα……...132

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Σχήμα Δ.1: Μπλοκ διάγραμμα του μοντέλου LCDAS_appication……...133
Σχήμα Δ.2: Μπλοκ διάγραμμα του υποσυστήματος Lane_change_warning του μοντέλου LCDAS_application, που περιλαμβάνει τα μπλοκ μορφοποιούμενων από το χρήστη λειτουργιών (S – functions)……..134
Σχήμα Δ.3: Μπλοκ διάγραμμα του υποσυστήματος CAN_Receiver του μοντέλου LCDAS_application, που περιλαμβάνει λήψη, αποκωδικοποίηση και ομαδοποίηση τιμών των μηνυμάτων CAN……..135
Σχήμα Δ.4: Μπλοκ διάγραμμα του υποσυστήματος UDP_Receiver του μοντέλου LCDAS_application, που περιλαμβάνει λήψη και αποκωδικοποίηση της τιμής της ταχύτητας και εξαγωγή του αντίστοιχου χρόνου άφιξης των μηνυμάτων UDP που περιλαμβάνουν την πληροφορία αυτή……..136

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
Πίνακας 2.1: Κατηγοριοποίηση ζωνών κάλυψης……27
Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση ταχύτητας προσέγγισης οχήματος στόχου……...28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
Πίνακας 4.1: Κωδικοποίηση του μηνύματος *sensor control* σε δίαυλο CAN…….62
Πίνακας 4.2: Κωδικοποίηση του μηνύματος *object data* σε δίαυλο CAN……..63
Πίνακας 4.3: Κωδικοποίηση του μηνύματος *YRS_Signals_RcvMsg* σε δίαυλο CAN……66
Πίνακας 4.4: Κωδικοποίηση του μηνύματος *YRS_Signals_TrmMsg* σε δίαυλο CAN……66

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο αυτής της εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη, με τη βοήθεια του τεχνικού λογισμικού Simulink του MATLAB, εφαρμογής, στα πλαίσια της ενεργητικής ασφάλειας αυτοκινήτων, για την υποβοήθηση του οδηγού κατά την αλλαγή λωρίδας, έτσι ώστε αυτός να προειδοποιείται έγκαιρα και έγκυρα για το επίπεδο επικινδυνότητας ενός τέτοιου ελιγμού. Η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων θέσης και κίνησης των οχημάτων, που επεξεργάζεται σε πραγματικό χρόνο η εφαρμογή, γίνεται με τη βοήθεια ενός δικτύου αισθητήρων, που εγκαθίστανται στο υποκείμενο όχημα, δηλαδή το όχημα το οποίο αποτελεί το σημείο αναφοράς και στο οποίο εκτελείται η εφαρμογή (πειραματικό όχημα Πολυτεχνείου). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται δύο ραντάρ μεσαίας εμβέλειας, ένας αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας και ένας δέκτης GPS. Ένας εξειδικευμένος βιομηχανικός υπολογιστής (xPC), ο οποίος επικοινωνεί με τον φορητό προσωπικό υπολογιστή στον οποίο αναπτύχθηκε η εφαρμογή (μοντέλο Simulink), δέχεται τα δεδομένα των δύο ραντάρ και του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας, κωδικοποιημένα βάσει του πρωτοκόλλου CAN (Controller Area Network) μέσω των κατάλληλων διασυνδέσεων που διαθέτει, και τα δεδομένα του δέκτη GPS, που είναι συνδεδεμένος απευθείας σε θύρα USB του φορητού προσωπικού υπολογιστή, βάσει του πρωτοκόλλου UDP (User Datagram Protocol). Αποτελεί την κεντρική μονάδα χρονισμού του δικτύου και σε αυτόν φορτώνεται και εκτελείται ουσιαστικά η εφαρμογή. Τα κωδικοποιημένα δεδομένα των αισθητήρων (πλαίσια ή μηνύματα CAN και UDP) αποκωδικοποιούνται από την εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο και απομονώνονται οι απαραίτητες τιμές που αφορούν ταχύτητα και θέση. Οι τιμές αυτές στη συνέχεια εισάγονται σε αλγόριθμο, ο οποίος βάσει συγκεκριμένων συνθηκών και κριτηρίων δίνει ως έξοδο τιμές σχετικές με το επίπεδο επικινδυνότητας ενός δυνητικού ελιγμού αλλαγής λωρίδας και με την αξιοπιστία των εκτιμήσεων αυτών γενικότερα. Τα τελικά αυτά αποτελέσματα κωδικοποιούνται βάσει του πρωτοκόλλου CAN και αποστέλλονται στο δίκτυο του οχήματος συγχρονισμένα και ως ανεξάρτητα πλαίσια δεδομένων. Παράλληλα, με τον ίδιο τρόπο, αποστέλλονται και άλλες χρήσιμες πληροφορίες για την κίνηση του υποκείμενου οχήματος. Σημειώνεται ότι, σκοπός της εφαρμογής είναι να υλοποιήσει το λογισμικό βάσει του οποίου θα λειτουργεί ένα σύστημα υποβοήθησης για την αλλαγή λωρίδας. Ο λεπτομερής τρόπος εγκατάστασης αυτού του συστήματος και η μέθοδος αλληλεπίδρασής του με τον οδηγό αφήνεται ως αντικείμενο μελλοντικής ανάπτυξης και δεν αναφέρεται αναλυτικά στην παρούσα διπλωματική.

Η εργασία έχει χωριστεί σε θεωρητικό και πειραματικό μέρος. Στο πρώτο, γίνεται αναφορά στην διαδικασία και τους κινδύνους της αλλαγής λωρίδας, σε ορισμένες προτυποποιήσεις των συστημάτων υποβοήθησης κατά την αλλαγή λωρίδας και στο πρωτόκολλο CAN γενικά. Στο δεύτερο, περιγράφονται ο εξοπλισμός (υλικό και λογισμικό) που χρησιμοποιήθηκε, οι δοκιμαστικές καταγραφές δεδομένων που έγιναν σε πραγματικό χρόνο στο πειραματικό όχημα του Πολυτεχνείου, η εφαρμογή υποβοήθησης κατά την αλλαγή λωρίδας (μοντέλο Simulink) και η τελική δοκιμή της σε πραγματικό χρόνο στο πειραματικό όχημα.

Λέξεις κλειδιά

Ενεργητική ασφάλεια αυτοκινήτων, Εφαρμογή πραγματικού χρόνου, Πειραματικό όχημα, Αλλαγή λωρίδας, Αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας, Ραντάρ μεσαίας εμβέλειας, Δέκτης GPS, Βιομηχανικός υπολογιστής, xPC, Πρωτόκολλο CAN, Μηνύματα CAN, Τεχνικό λογισμικό, Simulink, CANalyser.

Για την άμεση ή έμμεση συμβολή τους στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής οφείλω να ευχαριστήσω, τον καθηγητή Νικόλαο Ουζούνογλου, τον ερευνητή ‘Β ΕΠΙΣΕΥ Δρ. Άγγελο Αμδίτη, τον Δρ. Άρη Πολυχρονόπουλο, τους υποψήφιους διδάκτορες Μανώλη Τσόγκα , Νίκο Φλούδα, Γιώργο Κιόκε και Παναγιώτη Λυτρίβη, καθώς και το μέλος της ερευνητικής ομάδας I-SENSE Κωστή Κοντόπουλο.

Αθήνα, Μάρτιος 2007
ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΤ. ΚΑΡΟΥΣΟΣ

ABSTRACT

The scope of this thesis is the development, in terms of car active safety, of a lane change decision aid application, using the technical software Simulink of MATLAB, so that the driver will be warned in advance and reliably of the risk level of a lane change. The necessary data, which is being processed in real time by the application and defines position and speed of the involved vehicles, is gathered from a network of sensors that is installed in the subject vehicle i.e. the one equipped with the system in question (NTUA experimental vehicle). Specifically, two medium range radars, one yaw rate sensor and one GPS receiver are used. A specialised industrial computer (xPC), which communicates with the portable personal computer, on which the application (Simulink model) was developed, processes the data sent by the two medium range radars and the yaw rate sensor, based on CAN (Controller Area Network) protocol encoding, via its compatible interfaces, and the data sent by the GPS receiver, which is connected directly to an USB port of the portable personal computer, based on UDP (User Datagram Protocol) protocol encoding. It is considered to be the central timing unit (gateway) and is essentially the unit on which the application is being loaded and executed. The encoded sensor data (CAN and UDP messages or frames) is being decoded by the application in real time and the necessary values concerning position and speed are being extracted. These values are given as input to an algorithm, which, based on certain conditions and criteria, outputs values related to the risk level of a potential lane change and to the reliability of these estimations. These final results are sent to the car network as synchronized and independent data frames in CAN encoding. Simultaneously, other useful information about the subject vehicle's motion is being sent the same way. It is to be noticed, that the aim of the application in question is to develop the software by which a lane change decision aid system will be functioning. A detailed way to install such a system and the method of interaction with the driver is considered to be an issue of future development and is not referred in the current thesis.

This thesis is divided into a theoretical and an experimental part. The first refers to the procedure and the dangers of changing lanes, some standardisations of lane change decision systems and the CAN protocol in general. The second includes a description of the used equipment (hardware and software), the real time testing data loggings on the University's experimental vehicle, the lane change decision aid application (Simulink model) and the final real time trial of the application on the experimental vehicle.

Key Words

Car active safety, Real time application, Experimental vehicle, Lane change, Yaw rate sensor, YRS, Medium range radar, UMRR, GPS receiver, Industrial PC, xPC, CAN protocol, CAN messages, Technical software, Embedded software, Simulink, CANalyser.

For their direct or indirect contribution to the completion of this thesis I have to thank professor Nikolaos Ouzounoglou, research associate professor Dr. Angelos Amditis, Dr. Aris Polychronopoulos, the doctorate candidates Manolis Tsogas, Nikos Floudas, Giorgos Kiokes and Panagiotis Lytrivis, as well as the member of the I-SENSE group Costis Contopoulos.

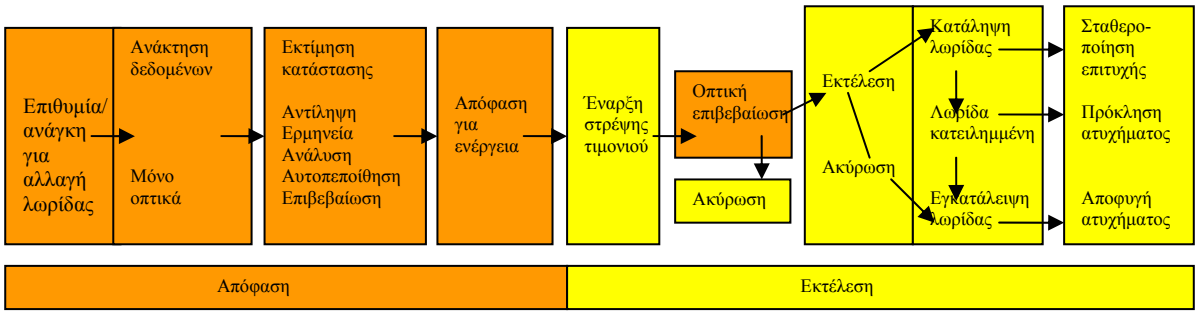
Athens, March 2007
DIMITRIS ST. KAROUSOS

1 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ- ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

1.1 Περιγραφή-χαρακτηρισμός οδικών ατυχημάτων προκαλούμενων από αλλαγή λωρίδας

Κατά βάση, τέτοιου είδους ατυχήματα, είναι αυτά στα οποία κάποιος οδηγός επιχειρεί να κινηθεί πλευρικά με το όχημά του από μια λωρίδα σε γειτονική, εισερχόμενος στην πορεία άλλου οχήματος.

Η αλλαγή λωρίδας θεωρείται ότι συμβαίνει σε δύο φάσεις[1]. Τη φάση της απόφασης, που ξεκινά όταν ο οδηγός επιθυμεί να αλλάξει λωρίδα και τελειώνει όταν εκείνος αρχίζει να στρίβει το τιμόνι ή εγκαταλείπει τον ελιγμό. Και τη φάση της εκτέλεσης, όπου ο οδηγός αρχίζει να στρίβει το τιμόνι και καταλήγει είτε στο να σταθεροποιήσει το όχημα στη νέα λωρίδα, είτε στο να επαναφέρει το όχημα στην αρχική λωρίδα.
Το στάδιο της απόφασης μπορεί να χωριστεί σε δύο επιμέρους φάσεις, αυτή της συλλογής δεδομένων από τον οδηγό και αυτή της εκτίμησης της κατάστασης από αυτόν (Βλ. Σχήμα. 1.1).



Σχήμα 1.1: Τα διάφορα στάδια κατά την αλλαγή λωρίδας

Πρωταρχικό αίτιο των ατυχημάτων κατά την αλλαγή λωρίδας, είναι η εσφαλμένη εκτίμηση του οδηγού για την ταχύτητα, την απόσταση ή τον όγκο των άλλων οχημάτων, και κατά συνέπεια η άγνοιά του για βασικούς κινδύνους κατά τη διάρκεια της φάσης της απόφασης. Αυτό σημαίνει ότι τα περισσότερα ατυχήματα αυτού του είδους συμβαίνουν από σφάλμα του οδηγού που επιχειρεί την αλλαγή λωρίδας και όχι του οδηγού άλλου οχήματος κινούμενου στην λωρίδα που εισέρχεται ο πρώτος.

Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από στατιστικές που έγιναν στις ΗΠΑ[1], σύμφωνα με τις οποίες, μόλις το 13% των ατυχημάτων αυτού του τύπου συμβαίνουν επειδή ο οδηγός δεν πρόσεξε την αλλαγή λωρίδας που επιχειρήθηκε από προπορευόμενο όχημα ξεκινώντας να το προσπεράσει. Τα υπόλοιπα ατυχήματα προκλήθηκαν είτε από άγνοια του οδηγού, που επιχείρησε την αλλαγή λωρίδας, για κίνηση οχήματος στην 'τυφλή' γωνία του είτε από κακή εκτίμηση της ταχύτητας και του όγκου του οχήματος στην γειτονική λωρίδα.
Άλλες έρευνες στις ΗΠΑ [1] έδειξαν ότι η πλειοψηφία των ατυχημάτων αυτών συμβαίνουν σε αρκετά καλές εξωτερικές συνθήκες, δηλαδή επίπεδο και στεγνό

οδόστρωμα, ευθύς δρόμος, καλός καιρός την ημέρα ή τη νύχτα σε φωτισμένο δρόμο. Αυτές οι συνθήκες είναι προφανές ότι ευνοούν τη χρήση των καθρεπτών και γενικότερα την οπτική αντίληψη του οδηγού. Συνεπώς, τα απλά μέσα που έχει στη διάθεσή του ο οδηγός δεν του παρέχουν τις επαρκείς πληροφορίες για να αποφύγει ένα ατύχημα.

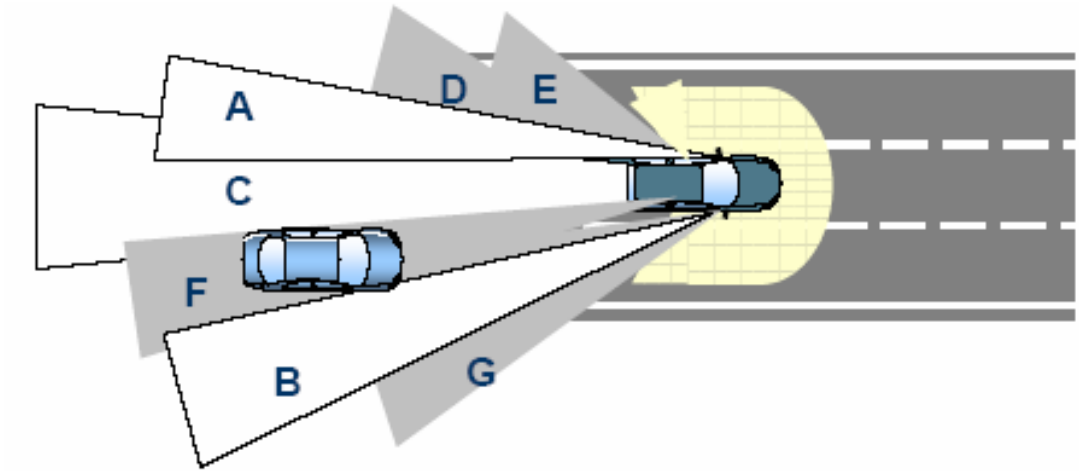
1.2 Παράγοντες που δημιουργούν 'τυφλά' σημεία στα οχήματα με αποτέλεσμα το ατύχημα

1.2.1 Γενικά

Οι οδηγοί βασίζονται κυρίως στην όρασή τους κατά την οδήγηση. Το οπτικό τους πεδίο περιορίζεται από τρεις βασικούς παράγοντες. Πρώτον, το πεδίο που μπορεί να εστιάσει και να παρακολουθεί ο οδηγός, χωρίς να στρέψει το κεφάλι του ή το σώμα του, είναι είτε μόνο μπροστά είτε μόνο στην περιοχή που καλύπτει ο κάθε καθρέπτης. Δηλαδή δεν παρακολουθούνται ταυτόχρονα αυτές οι περιοχές. Δεύτερον, ακόμα και αν στρέψει το κεφάλι του ή το σώμα του, εφόσον η ζώνη ασφαλείας και το κάθισμα δεν του αφήνουν μεγάλα περιθώρια κίνησης, αυξάνει ελάχιστα το οπτικό του πεδίο. Τρίτον, το πεδίο του οδηγού περιορίζεται από τις μεσαίες και πίσω κολόνες της καμπίνας των επιβατών.

1.2.2 'Τυφλά' σημεία λόγω αρχιτεκτονικής οχήματος

Μια σχηματική απεικόνιση των κυριότερων οπτικών ζωνών σε ένα όχημα φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 1.2).



A: πλευρικός καθρέπτης οδηγού

B: πλευρικός καθρέπτης συνοδηγού

C: κεντρικός καθρέπτης

D: 'τυφλή' γωνία αριστερής πίσω κολόνας

E: 'τυφλή' γωνία αριστερής μεσαίας κολόνας

F: 'τυφλή' γωνία δεξιάς πίσω κολόνας

G: 'τυφλή' γωνία δεξιάς μεσαίας κολόνας

Σχήμα 1.2 : Κυριότερες οπτικές ζώνες οχήματος

Οι πλευρικοί καθρέπτες που χρησιμοποιούνται στα οχήματα σήμερα δίνουν ένα οπτικό πεδίο 33-45 μοιρών περίπου. Οι οδηγοί τους ρυθμίζουν ανάλογα με το ποια περιοχή επιθυμούν να παρατηρούν καλύτερα. Συνήθως η ρύθμιση γίνεται έτσι ώστε να είναι μόλις ορατή η πλευρά του οχήματος. Αυτή η θέση του καθρέπτη δημιουργεί ένα 'τυφλό' σημείο στα δεξιά του οχήματος που ξεκινά από την πίσω δεξιά πόρτα και εκτείνεται προς την γειτονική λωρίδα μερικά μήκη οχήματος πίσω από αυτό. Στην αριστερή πλευρά είναι λίγο διαφορετικά (Βλ. Σχήμα 1.2) λόγω της θέσης του οδηγού.

Τα αντικείμενα που απεικονίζονται στους καθρέπτες δίνουν συνήθως την εντύπωση στον οδηγό ότι βρίσκονται μακρύτερα από ότι είναι πραγματικά. Έτσι, ο οδηγός σπαταλάει πολύτιμο χρόνο στο να εκτιμήσει την πραγματική θέση άλλων οχημάτων που ακολουθούν και αποσπάται η προσοχή του από την κίνηση μπροστά.

Επίσης, οι καθρέπτες μπορεί να μην εμφανίζουν ένα αντικείμενο ευδιάκριτα. Αν, για παράδειγμα, το αντικείμενο είναι χρώματος γκρι ή ασημί, χωρίς φώτα, οι καιρικές συνθήκες άσχημες και είναι αργά το απόγευμα, ο οδηγός θα έχει σίγουρα δυσκολία στο να εκτιμήσει τη σχετική ταχύτητα και την απόσταση του οχήματος αυτού.

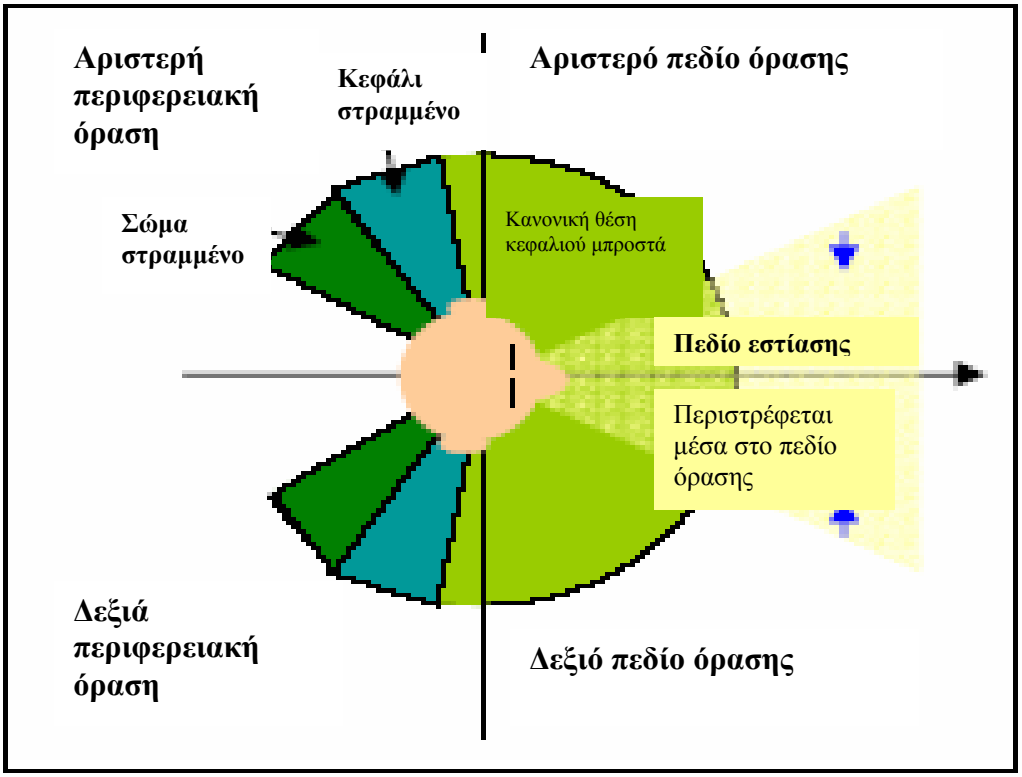
1.2.3 Η οπτική αντίληψη του οδηγού

Το ανθρώπινο οπτικό πεδίο εκτείνεται λίγο περισσότερο από τις 180 μοίρες (Βλ. Σχήμα 1.3). Κατά μέσο όρο, το κεφάλι μπορεί να στραφεί περί τις 60 μοίρες σε κάθε πλευρά. Συνδυάζοντας την περιστροφή του κεφαλιού και την στροφή του ματιού, ο οδηγός έχει ένα πεδίο παρατήρησης 280 μοιρών περίπου. Μέσα σε αυτό το πεδίο ορίζεται το πεδίο εστίασης του οδηγού, δηλαδή η περιοχή γύρω από το κέντρο της όρασης όπου τα μάτια μπορούν να παρακολουθούν άνετα το ίδιο αντικείμενο. Κατά μέσο όρο το πεδίο αυτό είναι 150 μοίρες και διαφέρει πολύ από άνθρωπο σε άνθρωπο.

Σύμφωνα με έρευνες [1] το πεδίο εστίασης του οδηγού μειώνεται οριζοντίως και κατακορύφως όσο πιο μεγάλη και σύνθετη είναι η διαδικασία της αντίληψης μιας παράστασης από αυτόν. Επίσης, άλλες διεργασίες που τυχόν γίνονται παράλληλα από τον οδηγό συμβάλλουν ακόμη περισσότερο στη μείωση του πεδίου αυτού. Όσο μειώνεται το πεδίο εστίασης τόσο μειώνεται και η περιφερειακή οπτική αντίληψη του οδηγού, δηλαδή η αντίληψη πέρα από τις 180 μοίρες.

Όταν ένας οδηγός στρέφει το κεφάλι του προς τα αριστερά πριν αλλάξει λωρίδα το πεδίο εστίασης μετατοπίζεται προς τα αριστερά, παρόλα αυτά τα αντικείμενα εντοπίζονται ακόμα από την περιφερειακή όραση. Όμως, η περιφερειακή όραση, ουσιαστικά όταν το ένα μάτι συλλέγει πληροφορίες, μπορεί απλώς να αντιληφθεί την ύπαρξη ενός αντικειμένου και όχι το μέγεθος, την απόσταση ή την σχετική ταχύτητά του. Πολλοί οδηγοί προσπαθούν να μετατοπίσουν το πεδίο εστίασής τους προς την 'τυφλή' γωνία στρέφοντας το σώμα τους. Έτσι, όμως, αποσπάται τελείως η προσοχή του από μπροστά με κίνδυνο να προκληθεί ατύχημα με προπορευόμενο όχημα.

Τα πεδία της όρασης του οδηγού φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.3 : Τα πεδία όρασης του οδηγού

1.2.4 Περιορισμοί στην κίνηση του οδηγού

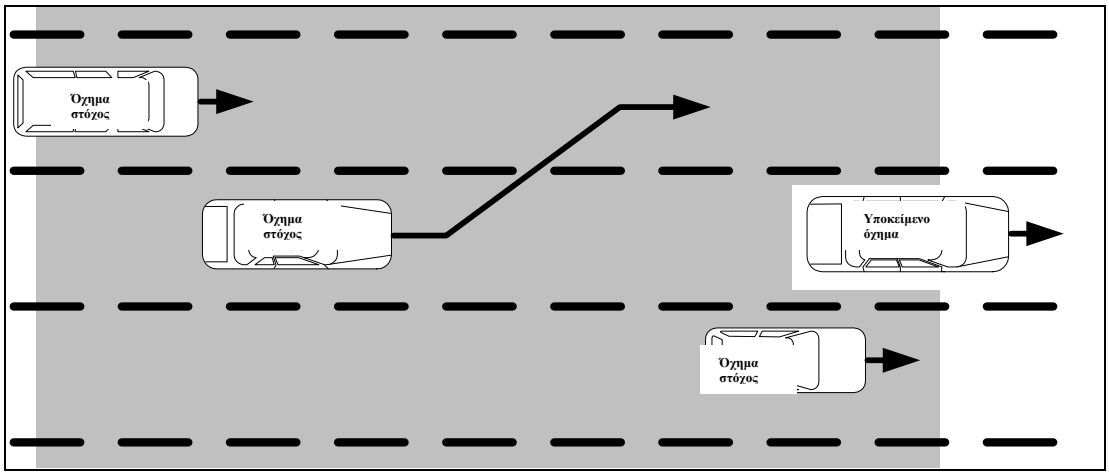
Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, ο οδηγός μπορεί να διευρύνει το οπτικό του πεδίο στρέφοντας το σώμα του στο κάθισμά του. Παράγοντες ασφαλείας, όπως τα καθίσματα και οι ζώνες, που έχουν σχεδιαστεί να κρατούν τον οδηγό σε σταθερή θέση, μειώνουν τη δυνατότητα στροφής του σώματος. Σε μια συνήθη περίπτωση η στροφή του σώματος μπορεί να αυξήσει το οπτικό πεδίο κατά 20 μοίρες σε κάθε πλευρά. Αυτό επεκτείνει τη μέγιστη γωνία όρασης σε 320 μοίρες. Παρόλα αυτά, αυτό συχνά δεν είναι δυνατό. Η λιγότερο επώδυνη και ευκρινέστερη ματιά προς τα πίσω και πλευρικά είναι οι καθρέπτες, που και πάλι δεν είναι και το πιο αξιόπιστο μέσο.

2 ΥΠΟΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΛΩΡΙΔΑΣ (LANE CHANGE DECISION AID SYSTEMS - LCDAS)

2.1 Γενικά

Τέτοιου είδους συστήματα στοχεύουν στην έγκαιρη και έγκυρη ηχητική ή / και οπτική προειδοποίηση του οδηγού για πιθανό κίνδυνο σύγκρουσης με άλλα οχήματα, κινούμενα πλευρικά ή / και πίσω από το δικό του με την ίδια κατεύθυνση, όταν αυτός επιχειρεί ελιγμό για αλλαγή λωρίδας. Στο σύγγραμμα αυτό θεωρείται ότι η χρήση τους γίνεται αποκλειστικά από Ι.Χ. αυτοκίνητα χωρίς τράκτορα ή τρέιλερ.

Σημειώνεται ότι η λειτουργία τέτοιων συστημάτων είναι συμπληρωματική και δεν αποκλείει την χρήση του εσωτερικού και των πλευρικών καθρεπτών. Σκοπός τους είναι ο εντοπισμός οχημάτων κινούμενων πλευρικά ή πίσω από το υποκείμενο όχημα (Βλ. Σχήμα 2.1). Όταν ο οδηγός του υποκείμενου οχήματος εκδηλώσει την πρόθεση να αλλάξει λωρίδα, το σύστημα αξιολογεί την κατάσταση και προειδοποιεί τον οδηγό εάν μια τέτοια κίνηση ενέχει κίνδυνο. Τα συστήματα αυτά δεν αποσκοπούν σε καμία περίπτωση στο να προτρέψουν την επιθετική οδήγηση. Η μη προειδοποίηση δεν σημαίνει ότι ο οδηγός μπορεί να κάνει ελιγμούς ελεύθερα χωρίς να προσέχει. Εξάλλου, το σύστημα δεν έχει σχεδιαστεί να επεμβαίνει διορθωτικά στην πορεία του οχήματος και να αποτρέψει έτσι κάποια σύγκρουση. Αυτό είναι καθαρά ευθύνη του οδηγού.



Σχήμα 2.1: Τυχαίο σενάριο για σύστημα υποβοήθησης αλλαγής λωρίδας

2.2 Ορισμοί

Για καλύτερη κατανόηση των συστημάτων υποβοήθησης αλλαγής λωρίδας είναι απαραίτητο να επεξηγηθούν κάποιοι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται στην περιγραφή σεναρίων αλλαγής λωρίδας.

2.2.1 Υποκείμενο όχημα (Subject vehicle)

Το υποκείμενο όχημα (subject vehicle), είναι αυτό στο οποίο είναι εγκατεστημένο το σύστημα και αποτελεί το σημείο αναφοράς των περιγραφών.

2.2.2 Όχημα στόχος (Target vehicle)

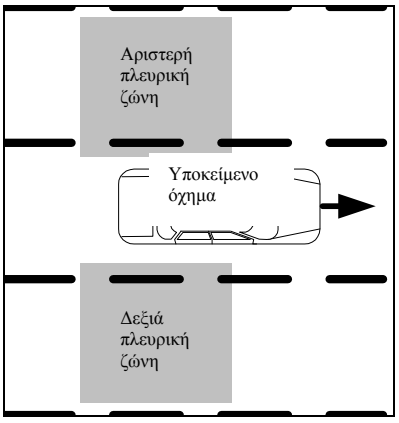
Το όχημα στόχος (target vehicle), είναι οποιοδήποτε όχημα, το οποίο πλησιάζει το υποκείμενο όχημα από πίσω ή βρίσκεται σε μια από τις πλευρικές ζώνες (rear or adjacent zones) που θα εξηγηθούν παρακάτω.

2.2.3 Ζώνη κάλυψης (Coverage zone)

Η ζώνη κάλυψης (coverage zone) ορίζεται ως ολόκληρη η ζώνη η οποία παρακολουθείται από το σύστημα. Με άλλα λόγια, όποιο όχημα βρεθεί εντός αυτής της ζώνης, εντοπίζεται από το σύστημα. Η ζώνη κάλυψης αποτελείται από τις εξής ζώνες, που θα αναφερθούν παρακάτω: αριστερή πλευρική (left adjacent), δεξιά πλευρική (right adjacent), αριστερή πίσω (left rear) και δεξιά πίσω (right rear).

2.2.4 Πλευρικές ζώνες (Adjacent zones)

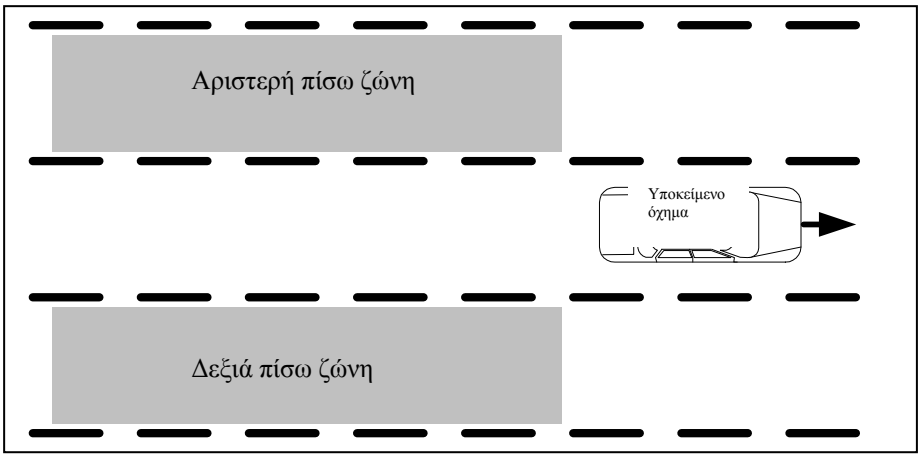
Οι πλευρικές ζώνες (adjacent zones) είναι αυτές που φαίνονται στα αριστερά και δεξιά του υποκείμενου οχήματος όπως δείχνει το σχήμα 2.1. Οι πλευρικές ζώνες καλύπτουν τις γειτονικές λωρίδες του υποκείμενου οχήματος. Πάντως η θέση και το μέγεθός τους ορίζεται με σημείο αναφοράς το υποκείμενο όχημα και είναι ανεξάρτητα από τη διαγράμμιση του δρόμου.



Σχήμα 2.2: Πλευρικές ζώνες

2.2.5 Πίσω ζώνες (Rear zones)

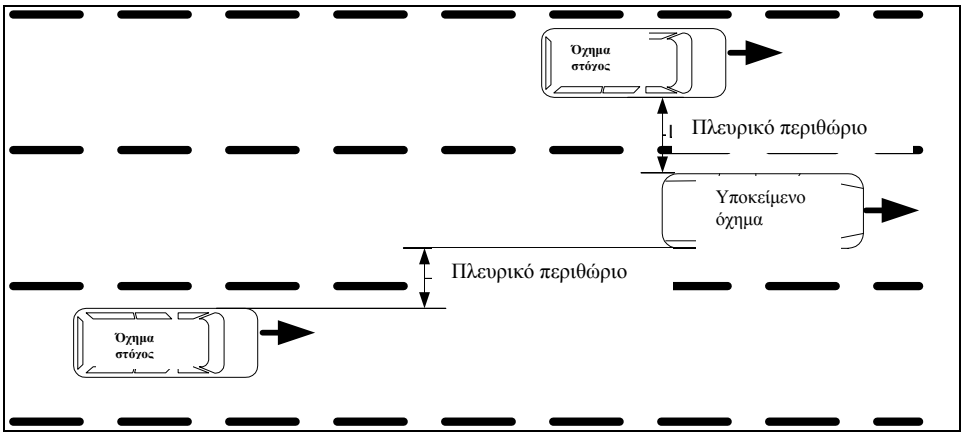
Οι πίσω ζώνες (rear zones)είναι αυτές πίσω και πλευρικά από το υποκείμενο όχημα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2. Καλύπτουν τις γειτονικές λωρίδες αλλά είναι ανεξάρτητες από κάθε διαγράμμιση. Έχουν ως σημείο αναφοράς πάντα το υποκείμενο όχημα.



Σχήμα 2.3: Πίσω ζώνες

2.2.6 Πλευρικό περιθώριο (Lateral clearance)

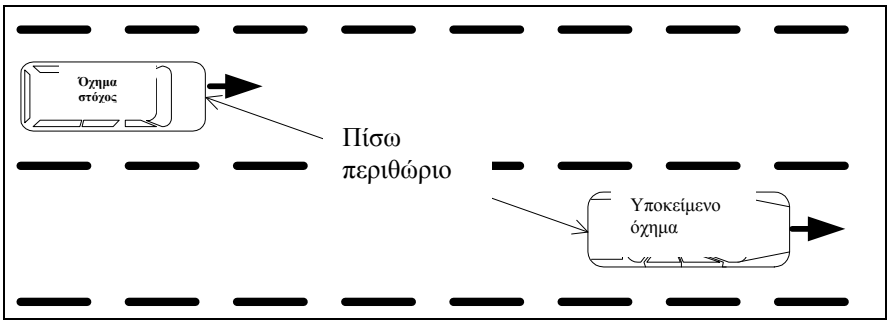
Το πλευρικό περιθώριο (lateral clearance) ορίζεται ως η απόσταση της πλευράς του υποκείμενου οχήματος από την κοντινότερη πλευρά κάποιου οχήματος στόχου (Βλ. Σχήμα 2.3).



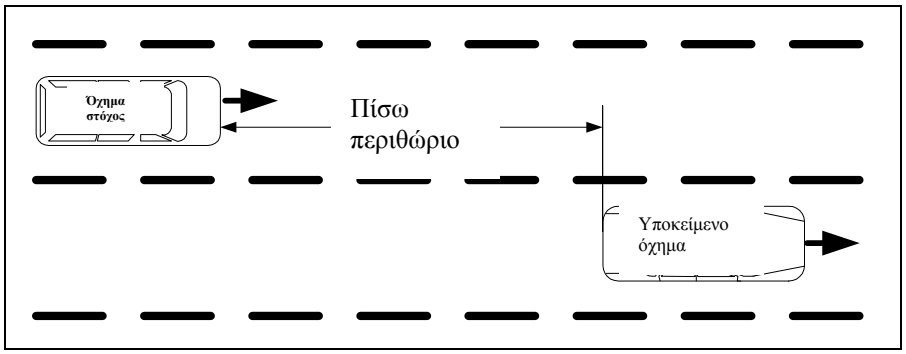
Σχήμα 2.4: Πλευρικά περιθώρια

2.2.7 Όπισθεν περιθώριο (Rear clearance)

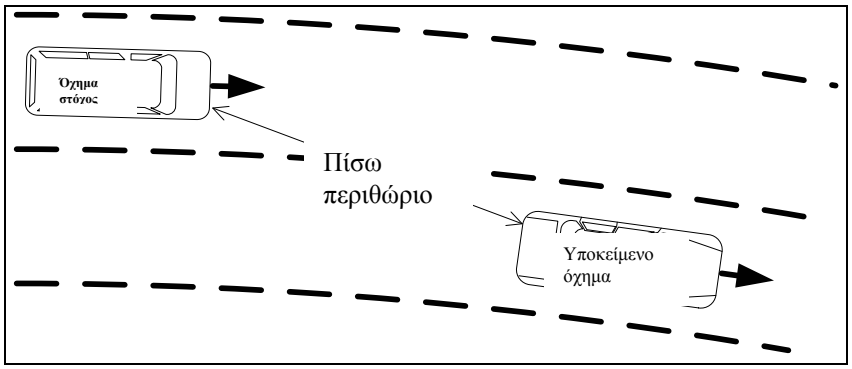
Το όπισθεν περιθώριο (rear clearance) είναι η απόσταση μεταξύ του πίσω μέρους του υποκείμενου οχήματος και του μπροστινού μέρους κάποιου οχήματος στόχου μετρούμενη κατά μήκος της ευθείας που τα ενώνει ή κατά μήκος της προβλεπόμενης πορείας του οχήματος στόχου (Βλ. Σχήματα 2.4 - 2.7). Ο ορισμός ισχύει μόνο για οχήματα που κινούνται στις πίσω ζώνες.



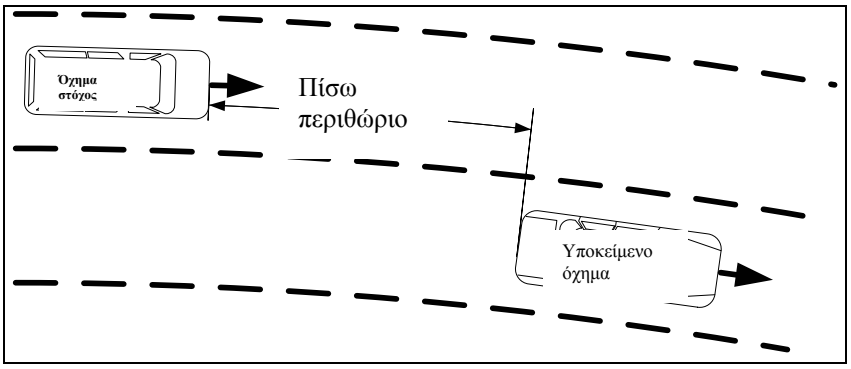
Σχήμα 2.5: Πίσω περιθώριο σε ευθύ δρόμο μετρούμενο κατά μήκος μιας ευθείας



Σχήμα 2.6: Πίσω περιθώριο σε ευθύ δρόμο μετρούμενο κατά μήκος της προβλεπόμενης πορείας του οχήματος στόχου



Σχήμα 2.7: Πίσω περιθώριο σε καμπύλη τροχιά μετρούμενο κατά μήκος ευθείας



Σχήμα 2.8: Πίσω περιθώριο σε καμπύλη τροχιά μετρούμενο κατά μήκος της προβλεπόμενης πορείας του οχήματος στόχου

2.2.8 Ταχύτητα προσέγγισης (Closing speed)

Η ταχύτητα προσέγγισης (closing speed) ή σχετική ταχύτητα (relative speed) του οχήματος στόχου ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της ταχύτητας του οχήματος στόχου και αυτής του υποκείμενου οχήματος. Ο ορισμός ισχύει μόνο για οχήματα κινούμενα στις πίσω ζώνες. Εάν η ταχύτητα αυτή είναι θετική σημαίνει ότι το όχημα στόχος προσεγγίζει το υποκείμενο από πίσω. Σημειώνεται, όμως, ότι στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες (UMR radars) που μετράνε ως αρνητική την ταχύτητα προσέγγισης ενός οχήματος στόχου από πίσω και ως θετική ενός στόχου που απομακρύνεται προς τα πίσω. Αυτό οφείλεται στο ότι οι αισθητήρες αυτοί είναι σχεδιασμένοι να τοποθετούνται συνήθως μπροστά στο υποκείμενο όχημα και έτσι να μετράνε ως θετική την σχετική ταχύτητα των οχημάτων που κινούνται γρηγορότερα δηλαδή απομακρύνονται από αυτό προς τα εμπρός.

Target Vehicle

2.2.9 Υπολειπόμενος χρόνος για σύγκρουση (Time to collision)

Ο υπολειπόμενος χρόνος σύγκρουσης (time to collision) ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται το όχημα στόχος να συγκρουστεί με το υποκείμενο, αν θεωρηθεί ότι θα συνεχίσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα ίση με την τρέχουσα ταχύτητά του. Μπορεί να υπολογιστεί διαιρώντας το όπισθεν περιθώριο ενός οχήματος στόχου με την τρέχουσα ταχύτητα προσέγγισής του. Ορίζεται μόνο για οχήματα κινούμενα στις πίσω ζώνες.

2.2.10 Ταχύτητα προσπέρασης (Overtaking speed)

Η ταχύτητα προσπέρασης (overtaking speed) του υποκείμενου οχήματος είναι η διαφορά της ταχύτητάς του από αυτή του οχήματος στόχου όταν το υποκείμενο όχημα επιχειρεί να προσπεράσει το όχημα στόχο. Θετική ταχύτητα προσπέρασης σημαίνει ότι το υποκείμενο κινείται γρηγορότερα από το όχημα στόχος.

2.2.11 Λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου (Blind spot warning function)

Η λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου (blind spot warning function) είναι η λειτουργία κατά την οποία το σύστημα εντοπίζει οχήματα κινούμενα στις πλευρικές ζώνες και προειδοποιεί τον οδηγό του υποκείμενου οχήματος εφόσον πληρούνται συγκεκριμένα κριτήρια.

2.2.12 Λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει (Closing vehicle warning function)

Η λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει (closing vehicle warning function) ορίζεται ως η λειτουργία κατά την οποία το σύστημα εντοπίζει οχήματα κινούμενα στις πίσω ζώνες και προειδοποιεί τον οδηγό του υποκείμενου οχήματος εφόσον πληρούνται συγκεκριμένα κριτήρια.

2.2.13 Λειτουργία προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας (Lane change warning function)

Η λειτουργία προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας (lane change warning function) είναι ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων λειτουργιών.

2.2.14 Ακτίνα καμπυλότητας δρόμου (Roadway radius of curvature)

Η ακτίνα καμπυλότητας δρόμου (roadway radius of curvature) είναι η οριζόντια ακτίνα καμπυλότητας του δρόμου που κινείται το υποκείμενο όχημα.

2.3 Κατηγοριοποίηση (Classification)

2.3.1 Κατηγοριοποίηση ζωνών κάλυψης (Coverage zone classification)

Τα υποβοηθητικά συστήματα για την αλλαγή λωρίδας κατηγοριοποιούνται βάση της ελάχιστης κάλυψης όπως φαίνεται στον πίνακα 1 παρακάτω. Για παράδειγμα, ένα σύστημα τύπου 1 πρέπει να παρέχει κάλυψη τουλάχιστον της αριστερής και της δεξιάς πλευρικής ζώνης.

Πίνακας 2.1: Κατηγοριοποίηση ζωνών κάλυψης

Τύπος	Κάλυψη αριστερής πλευρικής ζώνης	Κάλυψη δεξιάς πλευρικής ζώνης	Κάλυψη πίσω αριστερής ζώνης	Κάλυψη πίσω δεξιάς ζώνης	Λειτουργία
I	X	X			προειδοποίησης ‘τυφλού’ σημείου
II			X	X	προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει
III	X	X	X	X	προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας

2.3.1.1 Συστήματα τύπου I (Type I systems)

Τα συστήματα αυτά παρέχουν μόνο τη λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου. Δηλαδή, προειδοποιούν τον οδηγό του υποκείμενου οχήματος για παρουσία οχημάτων στόχων εντός των πλευρικών ζωνών. Επίσης, δεν απαιτείται προειδοποίηση για οχήματα που προσεγγίζουν από πίσω παρά μόνο εντός της περιορισμένης περιοχής πλευρικά του υποκείμενου οχήματος.

2.3.1.2 Συστήματα τύπου II (Type II systems)

Τα συστήματα αυτά παρέχουν μόνο τη λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει. Δηλαδή, προειδοποιούν τον οδηγό του υποκείμενου οχήματος για οχήματα στόχους που προσεγγίζουν από πίσω. Επειδή, αυτού του είδους τα συστήματα δεν απαιτείται να παρέχουν προειδοποίηση για οχήματα εντός των πλευρικών ζωνών του υποκείμενου οχήματος, πρέπει να χρησιμοποιούνται σε οχήματα με πλευρικούς καθρέπτες με οριζόντιο οπτικό πεδίο τουλάχιστον 45° και στις δύο πλευρές.

2.3.1.3 Συστήματα τύπου III (Type III systems)

Τα συστήματα αυτά παρέχουν τη λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου και τη λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει. Αποσκοπούν στο να προειδοποιούν τον οδηγό του υποκείμενου οχήματος για οχήματα στόχους κινούμενα στις πλευρικές και στις πίσω ζώνες.

2.3.2 Κατηγοριοποίηση ταχύτητας προσέγγισης οχήματος στόχου (Target vehicle closing speed classification)

Τα τύπου II ή τύπου III υποβοηθητικά συστήματα για την αλλαγή λωρίδας κατηγοριοποιούνται βάσει της μέγιστης ταχύτητας προσέγγισης του οχήματος στόχου και της ελάχιστης ακτίνας καμπυλότητας του δρόμου (μέγιστης καμπυλότητας δρόμου), όπως φαίνεται στον πίνακα 2 παρακάτω. Σημειώνεται ότι, ένα σύστημα μπορεί να ανήκει σε περισσότερους από έναν τύπους που παρατίθενται στον πίνακα.

Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση ταχύτητας προσέγγισης οχήματος στόχου

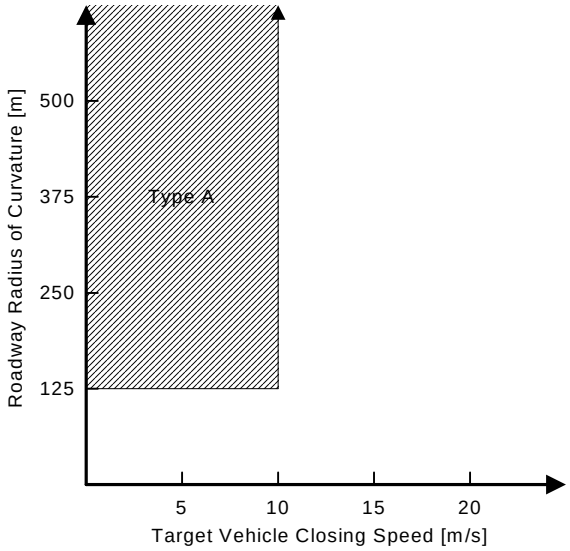
Τύπος	Μέγιστη ταχύτητα προσέγγισης οχήματος στόχου	Ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας δρόμου
A	10 m/s	125 m
B	15 m/s	250 m
C	20 m/s	500 m

Η μέγιστη ταχύτητα προσέγγισης οχήματος στόχου έχει άμεση επίδραση στην απαιτούμενη εμβέλεια των αισθητήρων και/ή του χρόνου ανάκτησης των δεδομένων από αυτούς. Μια υψηλή ταχύτητα προσέγγισης οχήματος στόχου απαιτεί μεγαλύτερη εμβέλεια αισθητήρων και/ή μικρότερο χρόνο ανάκτησης δεδομένων, έτσι ώστε να εντοπίζεται το όχημα στόχος αρκετά γρήγορα για να προειδοποιηθεί ο οδηγός

έγκαιρα και έγκυρα. Επίσης, η μέγιστη ταχύτητα προσέγγισης οχήματος σχετίζεται και με την ακτίνα καμπυλότητας του δρόμου. Για δεδομένη ακτίνα καμπυλότητας και μια τυπική τιμή ταχύτητας του υποκείμενου οχήματος, η ταχύτητα προσέγγισης ενός οχήματος στόχου περιορίζεται από παράγοντες δυναμικής στην οδήγηση.

2.3.2.1 Συστήματα τύπου A (Type A systems)

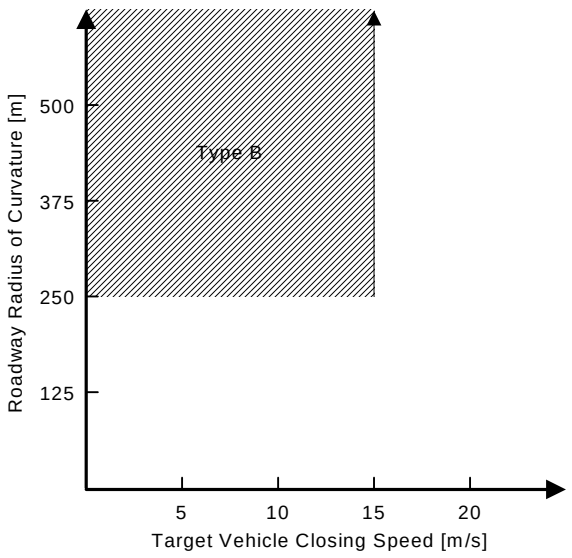
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη περιοχή λειτουργίας σχετικά με την ακτίνα καμπυλότητας και την ταχύτητα προσέγγισης του οχήματος στόχου για σύστημα τύπου A. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν σε δρόμους με ακτίνα καμπυλότητας 125 m και μεγαλύτερη. Δεν λειτουργούν για στροφές 'στενότερες', δηλαδή με ακτίνα μικρότερη από 125 m.



Σχήμα 2.9: Σύστημα τύπου A, ελάχιστη περιοχή λειτουργίας

2.3.2.2 Συστήματα τύπου B (Type B systems)

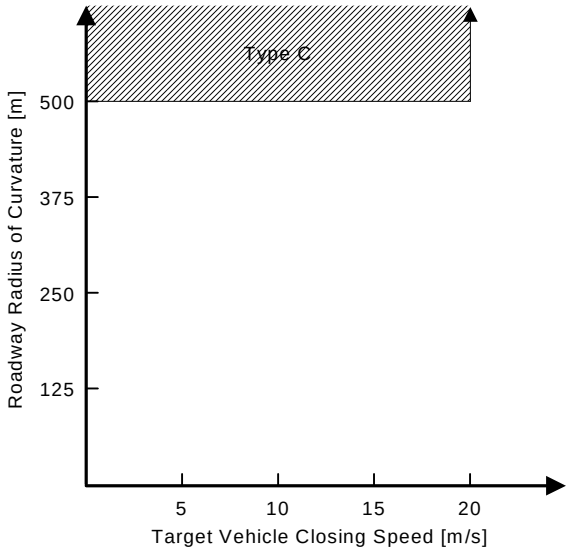
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη περιοχή λειτουργίας σχετικά με την ακτίνα καμπυλότητας και την ταχύτητα προσέγγισης του οχήματος στόχου για σύστημα τύπου B. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν σε δρόμους με ακτίνα καμπυλότητας 250 m και μεγαλύτερη. Δεν λειτουργούν για στροφές 'στενότερες', δηλαδή με ακτίνα μικρότερη από 250 m.



Σχήμα 2.10: Σύστημα τύπου B, ελάχιστη περιοχή λειτουργίας

2.3.2.3 Συστήματα τύπου C (Type C systems)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη περιοχή λειτουργίας σχετικά με την ακτίνα καμπυλότητας και την ταχύτητα προσέγγισης του οχήματος στόχου για σύστημα τύπου C. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν σε δρόμους με ακτίνα καμπυλότητας 500 m και μεγαλύτερη. Δεν λειτουργούν για στροφές 'στενότερες', δηλαδή με ακτίνα μικρότερη από 500 m.

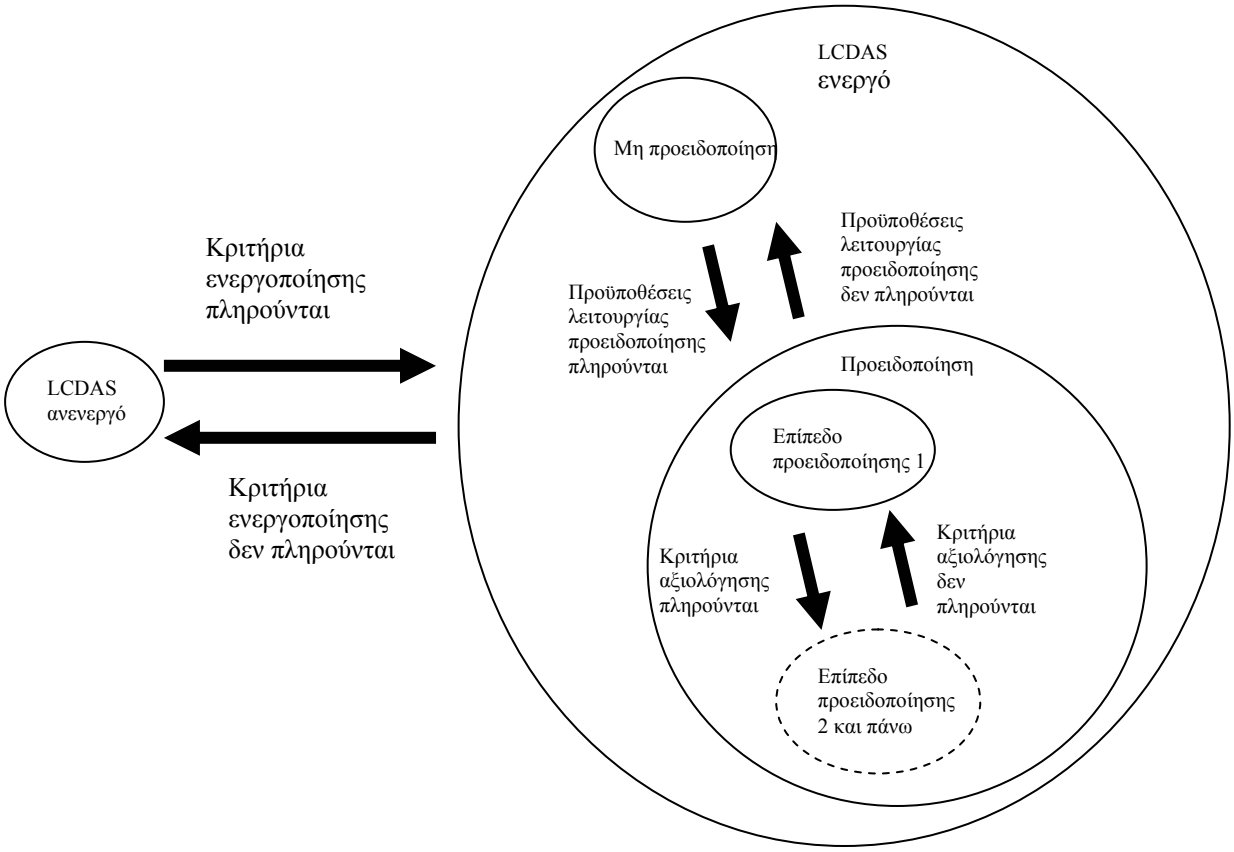


Σχήμα 2.11: Σύστημα τύπου C, ελάχιστη περιοχή λειτουργίας

2.4 Απαιτήσεις λειτουργίας (Functional requirements)

2.4.1 Διάγραμμα καταστάσεων υποβοηθητικών συστημάτων για την αλλαγή λωρίδας (LCDAS state diagram)

Ένα υποβοηθητικό σύστημα για την αλλαγή λωρίδας ακολουθεί κατά βάση το ακόλουθο διάγραμμα καταστάσεων.



Σχήμα 2.12: Διάγραμμα καταστάσεων υποβοηθητικών συστημάτων για την αλλαγή λωρίδας.

2.4.1.1 LCDAS ανενεργό

Σε ανενεργή κατάσταση το σύστημα δεν πρέπει να δίνει προειδοποίηση στον οδηγό. Αυτή η κατάσταση μπορεί να αντιστοιχεί σε μια κατάσταση απενεργοποιημένου συστήματος (power off) ή σε μια κατάσταση ετοιμότητας (ready state). Σε κατάσταση ετοιμότητας το σύστημα μπορεί να εντοπίζει οχήματα στόχους, αλλά δεν πρέπει να δίνει προειδοποίηση επειδή δεν πληρούνται τα κριτήρια ενεργοποίησης.

2.4.1.2 Κριτήρια ενεργοποίησης

Όταν το LCDAS ενεργοποιείται, μεταβαίνει από την ανενεργή στην ενεργή κατάσταση. Διαφορετικά κριτήρια ενεργοποίησης μπορούν να χρησιμοποιούνται την

ίδια στιγμή. Δυνητικά κριτήρια ενεργοποίησης μπορούν να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα, χωρίς, βέβαια, να περιορίζονται σε αυτά.

2.4.1.2.1 Διαρκής ενεργοποίηση

Το σύστημα μπορεί να είναι διαρκώς ενεργοποιημένο (όσο το υποκείμενο όχημα είναι σε λειτουργία).

2.4.1.2.2 Χειροκίνητη ενεργοποίηση

Το σύστημα μπορεί να ενεργοποιείται χειροκίνητα, για παράδειγμα με έναν παλινδρομικό διακόπτη, έναν διακόπτη αφής ή μια διασύνδεση χρήστη που βασίζεται σε μενού επιλογών. Εάν η φυσική θέση, η κατάσταση ή η επιλογή αυτών των διακοπτών/ μενού είναι ενδεικτική για την ενεργοποίηση του συστήματος, τότε το σύστημα θα πρέπει να ενεργοποιείται κάθε φορά που οι χειροκίνητοι διακόπτες ή οι επιλογές στο μενού βρίσκονται σε κατάσταση ενεργού (on state).

2.4.1.2.3 Ενεργοποίηση από σήματα αλλαγής πορείας

Το σύστημα μπορεί να ενεργοποιείται βάσει της κατάστασης των σημάτων αλλαγής πορείας (φλάς). Για παράδειγμα, εάν το αριστερό φλάς έχει ενεργοποιηθεί, το σύστημα μπορεί να ενεργοποιηθεί στην αριστερή πλευρά του υποκείμενου οχήματος ενώ στην δεξιά να παραμείνει ανενεργό.

2.4.1.2.4 Ενεργοποίηση από την ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος

Το σύστημα μπορεί να ενεργοποιείται βάσει της ταχύτητας του υποκείμενου οχήματος. Εάν συμβαίνει αυτό, τότε εφόσον η ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος είναι μεγαλύτερη ή ίση από ένα καθορισμένο κατώφλι το σύστημα να μεταβαίνει στην ενεργή κατάσταση. Σύμφωνα με το έντυπο προτυποποίησης [2] αυτό το κατώφλι δεν πρέπει να ξεπερνά τα 16,7 m/s (60 km/h).

2.4.1.3 LCDAS ενεργό

Στην ενεργή κατάσταση το σύστημα εντοπίζει οχήματα στόχους.

2.4.1.3.1 Κατάσταση μη προειδοποίησης

Στην κατάσταση μη προειδοποίησης το σύστημα είναι ενεργό αλλά οι προϋποθέσεις της λειτουργίας προειδοποίησης (βλ. § 2.2.11, 2.2.12, 2.2.13) δεν πληρούνται.

2.4.1.3.2 Κατάσταση προειδοποίησης

Στην κατάσταση προειδοποίησης το σύστημα είναι ενεργό και οι προϋποθέσεις της λειτουργίας προειδοποίησης (βλ. § 2.2.11, 2.2.12, 2.2.13) πληρούνται.

2.4.1.3.2.1 Κριτήρια αξιολόγησης[1]

Τα κριτήρια αξιολόγησης για μετάβαση από το πρώτο σε ανώτερα επίπεδα προειδοποίησης είναι συγκεκριμένες παράμετροι που καταγράφονται από ένα σύστημα LCDAS. Χρησιμεύουν στον προσδιορισμό των προθέσεων του οδηγού να αλλάξει λωρίδα και στην έγκαιρη και έγκυρη εκτίμηση του βαθμού επικινδυνότητας μιας τέτοιας κίνησης. Εάν ένα ή περισσότερα κριτήρια πληρούνται τότε το σύστημα μπορεί να μεταβεί από το επίπεδο προειδοποίησης 1 στο επίπεδο 2 και άνω. Διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα.

Δυνητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ακόλουθα κριτήρια, για τη μετάβαση από το επίπεδο προειδοποίησης 1 στο επίπεδο 2 και άνω, χωρίς αυτό να είναι περιοριστικό.

2.4.1.3.2.1.1 Αξιολόγηση σήματος αλλαγής πορείας

Το σύστημα είναι δυνατόν να αξιολογεί την τρέχουσα κατάσταση των σημάτων αλλαγής πορείας (φλάς). Για παράδειγμα, εάν το αριστερό φλάς είναι αναμμένο, το σύστημα μεταβαίνει στο επίπεδο 2 ή ανώτερο (ανάλογα με περαιτέρω κριτήρια) στην αριστερή πλευρά του υποκείμενου οχήματος, ενώ δεν επηρεάζεται η δεξιά πλευρά.

2.4.1.3.2.1.2 Αξιολόγηση στρέψης τιμονιού του υποκείμενου οχήματος

Το σύστημα μπορεί να αξιολογήσει τη στρέψη του τιμονιού από τον οδηγό του υποκείμενου οχήματος. Εάν, για παράδειγμα, ο οδηγός ξεκινήσει να στρίβει για να αλλάξει λωρίδα προς τα αριστερά, το σύστημα μεταβαίνει στο επίπεδο 2 ή ανώτερο (ανάλογα με περαιτέρω κριτήρια) στην αριστερή πλευρά του υποκείμενου οχήματος, ενώ δεν επηρεάζεται η δεξιά πλευρά.

2.4.1.3.2.1.3 Αξιολόγηση της θέσης του υποκείμενου οχήματος στην λωρίδα που κινείται

Το σύστημα σε αυτή την περίπτωση αξιολογεί τη θέση ή/και την πλευρική κίνηση του υποκείμενου οχήματος στην λωρίδα που βρίσκεται. Εάν, για παράδειγμα, το υποκείμενο όχημα κινείται προς την αριστερή διαχωριστική της τρέχουσας λωρίδας ή εισέρχεται στην γειτονική, το σύστημα μεταβαίνει στο επίπεδο 2 ή ανώτερο (ανάλογα με περαιτέρω κριτήρια) στην αριστερή πλευρά του υποκείμενου οχήματος, ενώ δεν επηρεάζεται η δεξιά πλευρά.

---

[1] Σημειώνεται ότι, η εφαρμογή που αναπτύχθηκε σε αυτή τη διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στο αν πληρούνται ή όχι οι προϋποθέσεις λειτουργίας προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας (βλ. § 2.2.13) και συγκεκριμένα κριτήρια που δεν σχετίζονται με το αν ο οδηγός του υποκείμενου οχήματος εκδηλώνει την πρόθεση να αλλάξει λωρίδα. Εν γένει, η εφαρμογή που αναπτύχθηκε βασίστηκε στα κριτήρια των παραγράφων 2.4.1.3.2.1.4, 2.4.1.3.2.1.5, 2.4.1.3.2.1.6. Πιο αναλυτική αναφορά γίνεται στο πειραματικό μέρος.

2.4.1.3.2.1.4 Αξιολόγηση του πλευρικού περιθωρίου

Το σύστημα μπορεί, επίσης, να αξιολογεί το πλευρικό περιθώριο (βλ. § 2.2.6) ως προς ένα όχημα στόχο. Εάν αυτό το περιθώριο είναι μικρότερο από ένα καθορισμένο κατώφλι, το σύστημα μεταβαίνει στο επίπεδο 2 ή ανώτερο (ανάλογα με περαιτέρω κριτήρια).

2.4.1.3.2.1.5 Αξιολόγηση του όπισθεν περιθωρίου

Το σύστημα μπορεί να αξιολογεί το όπισθεν περιθώριο (βλ. § 2.2.7) ως προς ένα όχημα στόχο. Εάν αυτό το περιθώριο είναι μικρότερο από ένα καθορισμένο κατώφλι, το σύστημα μεταβαίνει στο επίπεδο 2 ή ανώτερο (ανάλογα με περαιτέρω κριτήρια).

2.4.1.3.2.1.6 Αξιολόγηση του υπολειπόμενου χρόνου για σύγκρουση

Το σύστημα μπορεί να αξιολογεί τον υπολειπόμενο χρόνο για σύγκρουση (βλ. § 2.2.9) ενός οχήματος στόχου. Εάν αυτός ο χρόνος είναι μικρότερος από ένα καθορισμένο κατώφλι, το σύστημα μεταβαίνει στο επίπεδο 2 ή ανώτερο (ανάλογα με περαιτέρω κριτήρια).

2.4.1.3.2.2 Επίπεδο προειδοποίησης 1

Στο επίπεδο προειδοποίησης 1 οι προϋποθέσεις της λειτουργίας προειδοποίησης πληρούνται αλλά τα κριτήρια αξιολόγησης δεν πληρούνται. Αυτό σημαίνει ότι η προειδοποίηση που θα δοθεί στον οδηγό θα πρέπει να είναι λιγότερο επείγουσα από τις προειδοποιήσεις του επιπέδου 2 και πάνω.

2.4.1.3.2.3 Επίπεδο προειδοποίησης 2 και άνω

Οι καταστάσεις αυτές είναι προαιρετικές. Σε αυτές τις καταστάσεις μεταβαίνει το σύστημα εφόσον οι προϋποθέσεις της λειτουργίας προειδοποίησης και ένα ή περισσότερα κριτήρια αξιολόγησης πληρούνται. Οι προειδοποιήσεις σε αυτά τα επίπεδα είναι πιο επείγουσες από ότι στο επίπεδο 1.

2.4.2 Λειτουργίες προειδοποίησης συστήματος[2]

2.4.2.1 Προϋποθέσεις των λειτουργιών προειδοποίησης-Γενικά

Οι διακεκομμένες γραμμές στο σχήμα 2.11, που ακολουθεί, βοηθούν στην απαιτούμενη περιγραφή των προϋποθέσεων για τις λειτουργίες ‘τυφλού’ σημείου και οχήματος που προσεγγίζει (βλ. § 2.2.11, 2.2.12). Οι χαρακτηρισμοί ‘δεξιά’, ‘αριστερά’ και ‘πίσω’ αναφέρονται ως προς την κατεύθυνση κίνησης του υποκείμενου οχήματος. Οι διαχωριστικές γραμμές των λωρίδων υπάρχουν ενδεικτικά μόνο. Όλα τα μεγέθη δίνονται αναφορικά ως προς το υποκείμενο όχημα.

[2] Οι αποστάσεις που αναφέρονται σε αυτή την παράγραφο είναι ενδεικτικές. Για την καλύτερη λειτουργία της εφαρμογής που αναπτύχθηκε, οι αποστάσεις αυτές προσαρμόστηκαν στις συνθήκες κάτω από τις οποίες έγιναν οι δοκιμές στο πειραματικό όχημα του Ε.Μ.Π. Θα γίνουν σχετικές αναφορές στο πειραματικό μέρος της εργασίας.

Η γραμμή A πρέπει να είναι παράλληλη με την πίσω ακμή του υποκείμενου οχήματος και σε απόσταση 30 μέτρων από αυτή.

Η γραμμή B πρέπει να είναι παράλληλη με την πίσω ακμή του υποκείμενου οχήματος και σε απόσταση 3 μέτρων από αυτή.

Η γραμμή C πρέπει να είναι παράλληλη με την μπροστινή ακμή του υποκείμενου οχήματος και στο ύψος του οδηγού.

Η γραμμή D πρέπει να είναι η προέκταση της μπροστινής ακμής του υποκείμενου οχήματος και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Η γραμμή E πρέπει να είναι παράλληλη με την διεύθυνση του υποκείμενου οχήματος ευρισκόμενη στην αριστερότερη ακμή του σώματος του υποκείμενου οχήματος εξαιρούμενου του αριστερού πλευρικού καθρέπτη.

Η γραμμή F πρέπει να είναι παράλληλη με την διεύθυνση του υποκείμενου οχήματος σε απόσταση 0,5 μέτρων αριστερά από τη γραμμή E.

Η γραμμή G πρέπει να είναι παράλληλη με την διεύθυνση του υποκείμενου οχήματος σε απόσταση 3 μέτρων αριστερά από τη γραμμή E.

Η γραμμή H πρέπει να είναι παράλληλη με την διεύθυνση του υποκείμενου οχήματος σε απόσταση 6 μέτρων αριστερά από τη γραμμή E.

Η γραμμή J πρέπει να είναι παράλληλη με την διεύθυνση του υποκείμενου οχήματος ευρισκόμενη στην δεξιότερη ακμή του σώματος του υποκείμενου οχήματος εξαιρούμενου του δεξιού πλευρικού καθρέπτη.

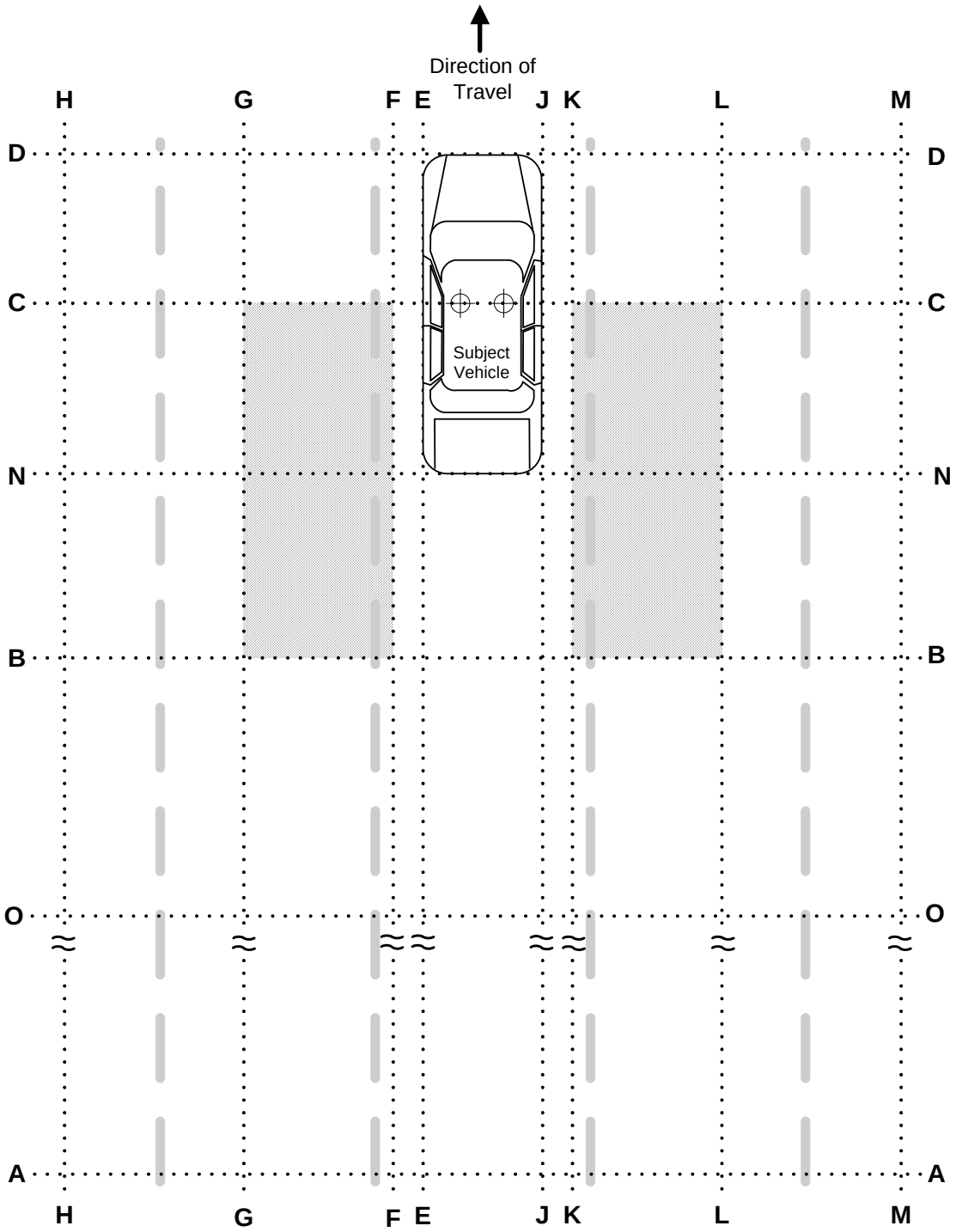
Η γραμμή K πρέπει να είναι παράλληλη με την διεύθυνση του υποκείμενου οχήματος σε απόσταση 0,5 μέτρων δεξιά από τη γραμμή J.

Η γραμμή L πρέπει να είναι παράλληλη με την διεύθυνση του υποκείμενου οχήματος σε απόσταση 3 μέτρων δεξιά από τη γραμμή J.

Η γραμμή M πρέπει να είναι παράλληλη με την διεύθυνση του υποκείμενου οχήματος σε απόσταση 6 μέτρων δεξιά από τη γραμμή J.

Η γραμμή N πρέπει να είναι η προέκταση της πίσω ακμής του υποκείμενου οχήματος και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Η γραμμή O πρέπει να είναι παράλληλη με την πίσω ακμή του υποκείμενου οχήματος και σε απόσταση 10 μέτρων από αυτή.



Σχήμα 2.13: Διάγραμμα για την περιγραφή των προϋποθέσεων των λειτουργιών προειδοποίησης.

2.4.2.2 Ελάχιστο εντοπιζόμενο όχημα στόχος

Το LCDAS πρέπει να έχει τη δυνατότητα, σύμφωνα με το έντυπο προτυποποίησης, να εντοπίζει οχήματα στόχους μεγέθους τουλάχιστον μοτοσικλέτας με αναβάτη.

2.4.2.3 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου (blind spot warning function requirements)

Η λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου οφείλει να παρέχει κάλυψη της αριστερής και δεξιάς πλευρικής ζώνης (βλ. § 2.2.4). Οι γραμμές που αναπαρίστανται στο σχήμα 2.11 παραπάνω, είναι απαραίτητες για την περιγραφή των προϋποθέσεων για τη λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου. Σημειώνεται ότι, η κάλυψη των πλευρικών ζωνών λειτουργεί συμπληρωματικά για τους πλευρικούς καθρέπτες.

2.4.2.3.1 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου αριστερής πλευράς

Με αναφορά το σχήμα 2.11, προειδοποίηση 'τυφλού' σημείου αριστερής πλευράς πρέπει να δοθεί στον οδηγό του υποκείμενου οχήματος, εφόσον ένα όχημα στόχος ικανοποιεί όλες τις παρακάτω συνθήκες.

Οποιοδήποτε τμήμα του οχήματος στόχου βρίσκεται μπροστά από τη γραμμή B.
Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου πίσω από τη γραμμή C.
Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου προς τα αριστερά της γραμμής F.
Οποιοδήποτε τμήμα του οχήματος στόχου βρίσκεται στα δεξιά της γραμμής G.

Εφόσον στη ζώνη που ορίζεται από τις γραμμές A, D, E και H δεν κινούνται οχήματα στόχοι ή τμήματά τους, προειδοποίηση 'τυφλού' σημείου αριστερής πλευράς δεν πρέπει να δοθεί.

2.4.2.3.2 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου δεξιάς πλευράς

Με αναφορά το σχήμα 2.11, προειδοποίηση 'τυφλού' σημείου δεξιάς πλευράς πρέπει να δοθεί στον οδηγό του υποκείμενου οχήματος, εφόσον ένα όχημα στόχος ικανοποιεί όλες τις παρακάτω συνθήκες.

Οποιοδήποτε τμήμα του οχήματος στόχου βρίσκεται μπροστά από τη γραμμή B.
Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου πίσω από τη γραμμή C.
Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου προς τα δεξιά της γραμμής K.
Οποιοδήποτε τμήμα του οχήματος στόχου βρίσκεται στα αριστερά της γραμμής L.

Εφόσον στη ζώνη που ορίζεται από τις γραμμές A, D, J και M δεν κινούνται οχήματα στόχοι ή τμήματά τους, προειδοποίηση 'τυφλού' σημείου δεξιάς πλευράς δεν πρέπει να δοθεί.

2.4.2.3.3 Μη αναγκαιότητα προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου

Εφόσον το υποκείμενο όχημα προσπερνά ένα όχημα στόχο και η ταχύτητα προσπέρασης (βλ. § 2.2.10) του υποκείμενου οχήματος είναι μεγαλύτερη από 3 m/s, τότε δεν απαιτείται προειδοποίηση 'τυφλού' σημείου.

2.4.2.4 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει (closing vehicle warning function requirements)

Η λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει οφείλει να παρέχει κάλυψη της αριστερής και δεξιάς πίσω ζώνης (βλ. § 2.2.5). Οι γραμμές που αναπαρίστανται στο σχήμα 2.11 παραπάνω, είναι απαραίτητες για την περιγραφή των προϋποθέσεων για τη λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει. Για συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να εκτιμούν τη γεωμετρία του δρόμου, αυτές οι γραμμές θα μπορούσαν να οριστούν έτσι ώστε να ακολουθούν την καμπυλότητα του δρόμου.

2.4.2.4.1 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει στην αριστερή πλευρά

Με αναφορά το σχήμα 2.11, προειδοποίηση για όχημα που προσεγγίζει στην αριστερή πλευρά πρέπει να δοθεί στον οδηγό του υποκείμενου οχήματος, εφόσον ένα όχημα στόχος ικανοποιεί όλες τις παρακάτω συνθήκες.

Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου πίσω από τη γραμμή B.
Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου προς τα αριστερά της γραμμής F.
Οποιοδήποτε τμήμα του οχήματος στόχου βρίσκεται στα δεξιά της γραμμής G.
Ο εκτιμούμενος υπολειπόμενος χρόνος σύγκρουσης (βλ. § 2.2.9) είναι μικρότερος ή ίσος από ένα καθορισμένο κατώφλι[3].

Για οχήματα στόχους κινούμενα στην αριστερή πίσω ζώνη πίσω από τη γραμμή A, μια προειδοποίηση για όχημα που προσεγγίζει στην αριστερή πλευρά δεν πρέπει να δοθεί εάν αυτά τα οχήματα έχουν εκτιμούμενο υπολειπόμενο χρόνο σύγκρουσης 7,5 sec ή περισσότερο [2].

Για οχήματα στόχους κινούμενα επί της γραμμής A ή μπροστά από αυτήν, μια προειδοποίηση για όχημα που προσεγγίζει στην αριστερή πλευρά δεν πρέπει να δοθεί εφόσον μια από τις δύο παρακάτω συνθήκες είναι αληθής.

Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου μπροστά από τη γραμμή N.
Κανένα τμήμα του οχήματος στόχου δεν βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ των γραμμών E και H.

[3] Το κατώφλι του υπολειπόμενου χρόνου σύγκρουσης καθορίζεται στα έντυπα προτυποποίησης [2] ανάλογα με την ταχύτητα προσέγγισης του οχήματος στόχου και την επιβράδυνση που μπορεί να έχει αυτό. Επειδή, όμως, εξαρτάται και από πολλούς άλλους παράγοντες υπάρχουν διάφορες εκτιμήσεις. Η εκτίμηση που έγινε στην παρούσα εργασία αναφέρεται στο πειραματικό μέρος.

2.4.2.4.2 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει στην δεξιά πλευρά

Με αναφορά το σχήμα 2.11, προειδοποίηση για όχημα που προσεγγίζει στην δεξιά πλευρά πρέπει να δοθεί στον οδηγό του υποκείμενου οχήματος, εφόσον ένα όχημα στόχος ικανοποιεί όλες τις παρακάτω συνθήκες.

Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου πίσω από τη γραμμή B.
Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου προς τα δεξιά της γραμμής K.
Οποιοδήποτε τμήμα του οχήματος στόχου βρίσκεται στα αριστερά της γραμμής L.
Ο εκτιμούμενος υπολειπόμενος χρόνος σύγκρουσης (βλ. § 2.2.9) είναι μικρότερος ή ίσος από ένα καθορισμένο κατώφλι.

Για οχήματα στόχους κινούμενα στην δεξιά πίσω ζώνη πίσω από τη γραμμή A, μια προειδοποίηση για όχημα που προσεγγίζει στην δεξιά πλευρά δεν πρέπει να δοθεί εάν αυτά τα οχήματα έχουν εκτιμούμενο υπολειπόμενο χρόνο σύγκρουσης 7,5 sec ή περισσότερο [2].

Για οχήματα στόχους κινούμενα επί της γραμμής A ή μπροστά από αυτήν, μια προειδοποίηση για όχημα που προσεγγίζει στην δεξιά πλευρά δεν πρέπει να δοθεί εφόσον μια από τις δύο παρακάτω συνθήκες είναι αληθής.

Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου μπροστά από τη γραμμή N.
Κανένα τμήμα του οχήματος στόχου δεν βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ των γραμμών J και M.

2.4.2.4.3 Προαιρετική λειτουργία προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει και για τις δύο πλευρές

Με αναφορά το σχήμα 2.11, υπάρχει περίπτωση ταυτόχρονης προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει και για τις δύο πλευρές, εφόσον ένα όχημα στόχος ικανοποιεί όλες τις παρακάτω συνθήκες.

Μια προειδοποίηση για όχημα που προσεγγίζει στην αριστερή πλευρά δεν είναι απαραίτητη (βλ. § 2.4.2.3.1).
Μια προειδοποίηση για όχημα που προσεγγίζει στην δεξιά πλευρά δεν είναι απαραίτητη (βλ. § 2.4.2.3.2).
Οποιοδήποτε τμήμα του οχήματος στόχου είναι μεταξύ των γραμμών E και J.
Το όχημα στόχος βρίσκεται εξολοκλήρου πίσω από τη γραμμή O.
Ο εκτιμούμενος υπολειπόμενος χρόνος σύγκρουσης (βλ. § 2.2.9) είναι μικρότερος ή ίσος από ένα καθορισμένο κατώφλι.

2.4.2.4.4 Προαιρετική οπτική ενημέρωση για όχημα που προσεγγίζει[4]

Προαιρετικά θα μπορούσε να υπάρχει οπτική ενημέρωση του οδηγού του υποκείμενου οχήματος για διάφορα οχήματα στόχους (π.χ. αναφορικά με τη σχετική θέση, την ταχύτητα προσέγγισης κτλ), με την διευκρίνιση ότι οι πληροφορίες αυτές δεν θα έχουν τον χαρακτήρα προειδοποίησης.

[4] Δεν συμπεριλήφθη στην παρούσα εφαρμογή. Υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης.

2.4.2.5 Προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας (lane change warning function requirements)

Οι προϋποθέσεις για τη λειτουργία προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας καθορίζονται από το συνδυασμό προϋποθέσεων για τις λειτουργίες προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου και οχήματος που προσεγγίζει (βλ. § 2.4.2.2, 2.4.2.3).

2.4.2.6 Χρόνος απόκρισης συστήματος[5]

Ο συνολικός χρόνος απόκρισης, από τη στιγμή που ένα όχημα στόχος πληροί τις προϋποθέσεις για προειδοποίηση μέχρι τη στιγμή που η ένδειξη προειδοποίησης ενεργοποιείται, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 300 ms. Ο συνολικός χρόνος απόκρισης, από τη στιγμή που μια προειδοποίηση δεν είναι πλέον έγκυρη μέχρι τη στιγμή που η ένδειξη προειδοποίησης απενεργοποιείται, δεν πρέπει να ξεπερνά το 1 sec.

2.4.3 Διασύνδεση χρήστη[6]

2.4.3.1 Ένδειξη ανενεργού LCDAS

Μια ένδειξη ανενεργού συστήματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να δείξει στον οδηγό του υποκείμενου οχήματος ότι το σύστημα βρίσκεται σε ανενεργή κατάσταση (βλ. § 2.4.1). Εάν το σύστημα μπορεί να ενεργοποιείται και να απενεργοποιείται χειροκίνητα από τον οδηγό, τότε θα πρέπει να συμπεριληφθεί μια ένδειξη ενεργοποιημένου και μια απενεργοποιημένου συστήματος. Εάν το μέσο για την ενεργοποίηση/ απενεργοποίηση του συστήματος είναι ένας διακόπτης, και η θέση του διακόπτη είναι σαφώς κατανοητή από τον οδηγό, τότε υποτίθεται ότι η θέση του διακόπτη είναι η ένδειξη.

2.4.3.1.1 Μέθοδος ένδειξης ανενεργού LCDAS

Η ένδειξη ανενεργού συστήματος πρέπει να είναι οπτική και θα πρέπει να δείχνει στον οδηγό με σαφήνεια ότι το LCDAS είναι ανενεργό.

2.4.3.2 Ένδειξη ενεργού LCDAS

Μια ένδειξη ενεργού συστήματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να δείξει στον οδηγό του υποκείμενου οχήματος ότι το σύστημα βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (βλ. § 2.4.1). Εάν το σύστημα μπορεί να ενεργοποιείται και να απενεργοποιείται χειροκίνητα από τον οδηγό, τότε θα πρέπει να συμπεριληφθεί μια ένδειξη ενεργοποιημένου και μια απενεργοποιημένου συστήματος. Εάν το μέσο για την ενεργοποίηση/ απενεργοποίηση του συστήματος είναι ένας διακόπτης, και η θέση του διακόπτη είναι σαφώς κατανοητή από τον οδηγό, τότε υποτίθεται ότι η θέση του διακόπτη είναι η ένδειξη.

---

[5] Στο πειραματικό μέρος θα δοθούν επιπλέον λεπτομέρειες για το χρονισμό του συστήματος.
[6] Δεν συμπεριλήφθηκε στην παρούσα εφαρμογή. Υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης.

2.4.3.2.1 Μέθοδος ένδειξης ενεργού LCDAS

Η ένδειξη ενεργού συστήματος πρέπει να είναι οπτική και θα πρέπει να δείχνει στον οδηγό με σαφήνεια ότι το LCDAS είναι ενεργό.

2.4.3.3 Ένδειξη προειδοποίησης LCDAS

Μια ένδειξη προειδοποίησης θα πρέπει να δείχνει στον οδηγό του υποκείμενου οχήματος ότι ένας ελιγμός αλλαγής λωρίδας θα ενείχε κίνδυνο. Όπως αναφέρεται στην § 2.4.1, η ένδειξη προειδοποίησης είναι ενεργή στην κατάσταση προειδοποίησης.

2.4.3.3.1 Μέθοδος ένδειξης προειδοποίησης LCDAS

Στο επίπεδο προειδοποίησης 1 (βλ. § 2.4.1) η ένδειξη προειδοποίησης θα πρέπει να είναι μόνο οπτική. Στο επίπεδο προειδοποίησης 2 και πάνω η ένδειξη προειδοποίησης μπορεί να είναι οπτική, ακουστική ή/και προειδοποίηση με δόνηση. Οι προειδοποιήσεις θα πρέπει με κάποιο τρόπο να καταδεικνύουν την πλευρά στην οποία κινείται το όχημα στόχος. Συνιστάται τα οπτικά σήματα προειδοποίησης να εγκαθίστανται σε σημεία που ενθαρρύνουν την χρήση των καθρεπτών [2]. Επίσης, θα πρέπει να ξεχωρίζονται εύκολα από άλλες οπτικές ενδείξεις του οχήματος. Το ίδιο ισχύει και για τις ακουστικές προειδοποιήσεις και για τις προειδοποιήσεις με δόνηση.

2.4.3.4 Ένδειξη σφάλματος LCDAS

Μια ένδειξη σφάλματος του συστήματος θα πρέπει να δείχνει στον οδηγό του υποκείμενου οχήματος ότι η λειτουργία αυτοελέγχου (self-test function, βλ. § 2.4.4) έχει εντοπίσει σφάλμα του συστήματος.

2.4.3.4.1 Μέθοδος ένδειξης σφάλματος LCDAS

Η ένδειξη σφάλματος του συστήματος θα πρέπει να είναι οπτική ή/και ακουστική, και να είναι σαφώς κατανοητή.

2.4.4 Απαιτήσεις αυτοελέγχου LCDAS

Κατ ελάχιστον, το σύστημα θα πρέπει να παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες αυτοελέγχου (self-test functions).

Έλεγχος του συστήματος για ορθή λειτουργία των κύριων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.
Έλεγχος του συστήματος για ορθή λειτουργία όλων των αισθητήρων.

Το σύστημα θα πρέπει αυτόματα να εκτελεί τη λειτουργία αυτοελέγχου που προαναφέρθηκε, και να ενεργοποιεί ένδειξη σφάλματος οποτεδήποτε εντοπίζεται συνθήκη λάθους.

2.5 Διαδικασία ελέγχου/ δοκιμής (test requirements) ενός LCDAS

Η διαδικασία ελέγχου/ δοκιμής ενός συστήματος υποβοήθησης κατά την αλλαγή λωρίδας, αναφέρεται με αναλυτικό τρόπο στο έντυπο προτυποποίησης LCDAS [2].

3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΚΤΥΟΥ CAN (CONTROLLER AREA NETWORK PROTOCOL)

3.1 Πρωτόκολλο CAN (Controller Area Network)-Γενικά

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, απαίτησε πιο εξειδικευμένες γραμμές σηματοδοσίας. 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 τέστ πιστότητας του πρωτοκόλλου CAN, που εγγυάται την ομαλή μεταφορά δεδομένων μεταξύ των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων CAN.

3.2 Βασικές αρχές μετάδοσης δεδομένων CAN

3.2.1 Μετάδοση μηνυμάτων με βάση την αρχή παραγωγού-καταναλωτή

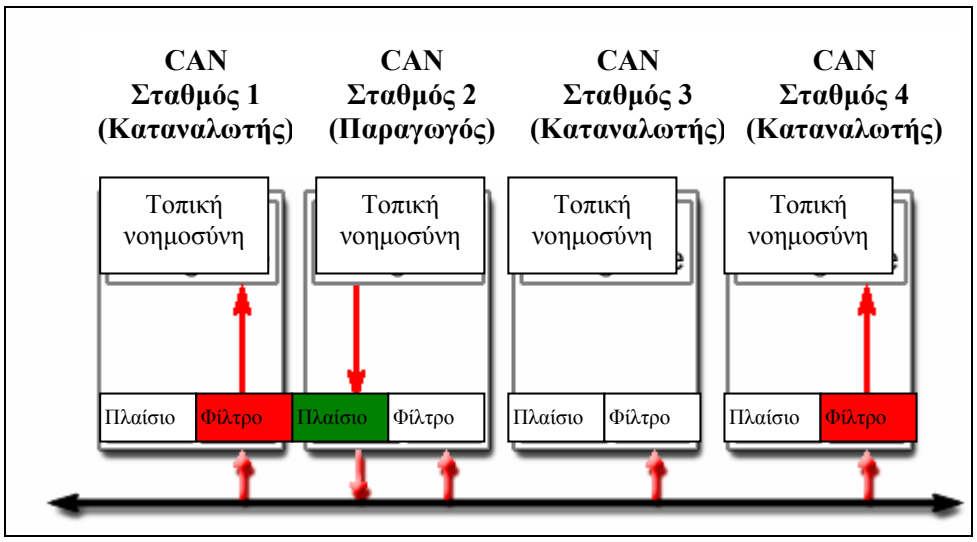
Σε αντίθεση με την από κόμβο σε κόμβο μετάδοση, όπου η μεταφορά ενός μηνύματος γίνεται μεταξύ δύο συγκεκριμένων κόμβων, η μετάδοση των μηνυμάτων στο CAN βασίζεται στην λεγόμενη ‘αρχή παραγωγού-καταναλωτή’ (Βλ. Σχήμα 3.1). Ένα μήνυμα που εστάλη από κάποιον κόμβο παραγωγό μπορεί να ληφθεί από όλους τους κόμβους καταναλωτές. Για αυτό το λόγο τα μηνύματα-πλαίσια που αποστέλλονται δεν συνοδεύονται από διεύθυνση παραλήπτη αλλά αντί για αυτό από μια διεύθυνση μηνύματος (identifier) που καθορίζει το περιεχόμενο και την προτεραιότητά τους. Το τελευταίο είναι βασικό όταν δύο ή περισσότεροι κόμβοι ‘ανταγωνίζονται’ για την πρόσβαση στον κεντρικό δίαυλο. Η αποστολή μηνυμάτων προς όλους τους κόμβους καλείται και ‘broadcasting’. Στο πρωτόκολλο CAN, τα μηνύματα έχουν συνήθως ‘ταυτότητες’ μήκους 11 bits (standard format). Αυτό σημαίνει ότι 2048 διαφορετικά μηνύματα μπορούν να υπάρχουν σε κάθε δίκτυο. Ο αριθμός αυτός είναι επαρκής στις περισσότερες εφαρμογές. Παρόλα αυτά, για ειδικές εφαρμογές, είναι δυνατή η χρήση 29 bits για την διεύθυνση του κάθε μηνύματος, που σημαίνει ότι ο αριθμός των διαφορετικών μηνυμάτων αυξάνεται σε 512 εκατομμύρια.

3.2.2 Η ευελιξία των δικτύων CAN

Ως αποτέλεσμα της μεθόδου της ταυτοποίησης κάθε μηνύματος είναι ο μεγάλος βαθμός ευελιξίας των συστημάτων CAN. Η πρόσθεση σταθμών-κόμβων σε ένα

σύστημα CAN είναι εύκολη και δεν απαιτεί αλλαγές στο λογισμικό ή το υλικό των παρόντων κόμβων όσο οι νέοι κόμβοι είναι απλώς δέκτες. Αυτό επιτρέπει την λήψη πολλαπλών δεδομένων και το συγχρονισμό των διαφόρων διεργασιών στο σύστημα. Επίσης, η μετάδοση δεδομένων δεν βασίζεται στη διαθεσιμότητα ορισμένων σταθμών-κόμβων, πράγμα που επιτρέπει την γρήγορη και εύκολη συντήρηση και αναβάθμιση του δικτύου.

Ο κόμβος για τον οποίον προορίζονται κάποια μηνύματα θα πρέπει να φιλτράρει τη ροή των μηνυμάτων στον δίαυλο CAN και να απομονώσει μόνο τα σχετικά. Για τον λόγο αυτό τα ολοκληρωμένα κυκλώματα-ελεγκτές του πρωτοκόλλου CAN παρέχουν μηχανισμούς οι οποίοι βασίζονται στη λογική του φιλτραρίσματος για την αποδοχή ή μη των μηνυμάτων.



Σχήμα 3.1: Βασική αρχή μετάδοσης δεδομένων CAN

3.3 Διαιτησία διαύλου CAN

3.3.1 Γενικά

Κάθε κόμβος ενός CAN δικτύου μπορεί να αρχίσει να μεταδίδει αμέσως μόλις ελευθερωθεί ο κεντρικός δίαυλος (bus). Στην περίπτωση που περισσότεροι από ένας κόμβοι αρχίζουν να μεταδίδουν κάποιο μήνυμα ταυτόχρονα , είναι απαραίτητη μια διαδικασία διαιτησίας, που εξασφαλίζει ότι μόνο ένας κόμβος συνεχίζει τη μετάδοση.

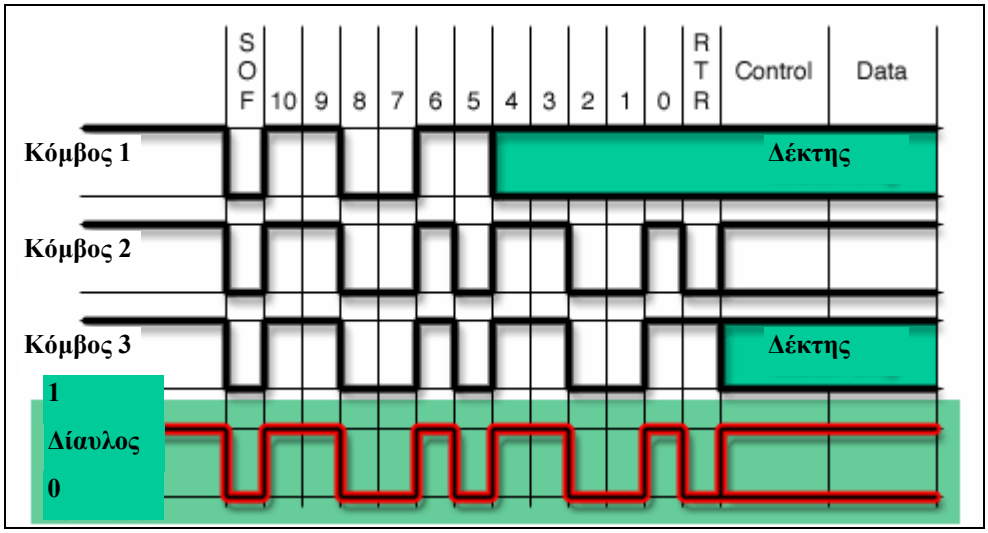
Εφόσον κάθε κόμβος μπορεί να μεταδίδει μηνύματα, είναι δυνατή η άμεση μεταφορά μηνυμάτων μεταξύ όλων των κόμβων. Έτσι, είναι δυνατόν να μεταδίδονται μηνύματα μόνο όταν αυτό είναι απαραίτητο, όταν δηλαδή προκύψει κάποιο σχετικό γεγονός που το απαιτεί. Συγκριτικά με την κυκλική μετάδοση μηνυμάτων, δηλαδή τη μετάδοση σε δίκτυο-βρόχο, η μετάδοση στον κοινό δίαυλο υπερτερεί είτε στο ότι

προκύπτει σημαντικά χαμηλότερο φορτίο διαύλου είτε στο ότι ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι μικρότερος.

3.3.2 Μετάδοση με βάση την προτεραιότητα

Για να αποτραπεί η καταστροφή ταυτόχρονα μεταδιδόμενων μηνυμάτων, σε κάθε φάση της διαιτησίας εντοπίζεται το μήνυμα με την υψηλότερη προτεραιότητα. Μόνον ο κόμβος που μεταδίδει το μήνυμα με την υψηλότερη προτεραιότητα δύναται να συνεχίσει τη μετάδοσή του. Το μήνυμα με την ελάχιστη δυαδική τιμή του πεδίου διεύθυνσης (identifier) έχει την υψηλότερη προτεραιότητα.

Αναλυτικότερα, η ακολουθία των δυαδικών δεδομένων, που αντιστοιχεί στα πεδία 'αρχή του πλαισίου' (Start Of Frame), διεύθυνση (identifier) και 'remote transmission request' (RTR) (Βλ. Σχήμα 3.3) του κάθε μηνύματος, συγκρίνεται bit προς bit (Βλ. Σχήμα 3.2). Κάθε κόμβος καταγράφει το επίπεδο του σήματος στον δίαυλο. Αυτό συμβαίνει με καλωδιωμένη λογική 'ΚΑΙ', όπου το 'λογικό μηδέν' συγκρινόμενο με 'λογικό ένα' ή 'μηδέν' δίνει πάντα 'λογικό μηδέν'. Εάν ένας κόμβος εντοπίσει 'λογικό μηδέν' στον δίαυλο ενόσω αυτός στέλνει 'λογικό ένα' αυτομάτως εγκαταλείπει τη μετάδοση. Όσοι κόμβοι δεν πάρουν προτεραιότητα αυτόματα γίνονται δέκτες του μηνύματος που απέστειλε ο κόμβος με προτεραιότητα και δεν επιχειρούν να αποστείλουν δεδομένα έως ότου ελευθερωθεί ο δίαυλος.



Σχήμα 3.2: Διαιτησία διαύλου

3.3.3 Βέλτιστη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω εγγυάται ότι το μήνυμα με την υψηλότερη προτεραιότητα αποστέλλεται πάντα μόλις ελευθερωθεί ο δίαυλος. Η αρχή της διαιτησίας με την προτεραιότητα για κάθε μήνυμα συμβάλλει σε μια πολύ αποδοτική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Έτσι, είναι δυνατόν μηνύματα με χαμηλή προτεραιότητα να καταλαμβάνουν 100% τον δίαυλο χωρίς να καθυστερούν την μετάδοση μηνυμάτων υψηλότερης προτεραιότητας. Για το μήνυμα με την υψηλότερη προτεραιότητα ο μέσος μέγιστος χρόνος καθυστέρησης είναι περίπου 130μs, με αποτέλεσμα ο ρυθμός μετάδοσης να είναι 1Mbit/s. Από την άλλη, βέβαια, κατά τη

σχεδίαση ενός συστήματος CAN, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι τα υψηλής προτεραιότητας μηνύματα δεν καταλαμβάνουν συνεχώς τον δίαυλο.

3.3.4 Ρυθμός μετάδοσης και μήκος διαύλου

Η αρχή της bit προς bit διαιτησίας που χρησιμοποιείται στο CAN απαιτεί την σύγκριση των 'λογικών' επιπέδων (bit levels) όλων των κόμβων που κατανέμονται στον δίαυλο μέσα στο χρονικό διάστημα που διαρκεί ένα bit. Καθώς ο χρόνος διάδοσης του σήματος πάνω στον δίαυλο είναι ανάλογος του μήκους του διαύλου, η απαιτούμενη διάρκεια ενός bit πρέπει να αυξάνεται με το μήκος του διαύλου.

Το μέγιστο μήκος διαύλου είναι για αυτό το λόγο αντιστρόφως ανάλογο με τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Για μήκη διαύλου μεγαλύτερα από 100 m, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ακόλουθος κανόνας για υπολογισμούς:

Ρυθμός μετάδοσης (σε Mbit/s) x Μήκος διαύλου (σε m) = 60.

3.4 Μήκος μηνύματος και μέγιστος ρυθμός μετάδοσης

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.

3.5 Αντιμετώπιση σφαλμάτων

3.5.1 Εντοπισμός και αποκλεισμός σφαλμάτων

Το πλέον αξιόλογο χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου CAN είναι η ξεχωριστή δυνατότητα για εντοπισμό σφαλμάτων κατά τη μετάδοση. Αυτό συναντά τις υψηλές απαιτήσεις εφαρμογών όπως για παράδειγμα είναι τα ελεγκτικά συστήματα των μηχανών αυτοκινήτων. Η υψηλή ικανότητα για εντοπισμό λαθών επιτυγχάνεται μέσω ενός συνδυασμού διαφορετικών μεθόδων εντοπισμού λαθών. Μια από τις πιο αποδοτικές συνίσταται στην καταγραφή των επιπέδων του διαύλου από τον πομπό κάποιου μηνύματος, που εντοπίζει όλα τα λάθη που επιδρούν ευρύτερα στο σύστημα. Επίσης, κάθε δέκτης που λαμβάνει μηνύματα ελέγχει κάθε λαμβανόμενο μήνυμα βάσει της πρότυπης μορφής του πλαισίου και της τιμής του πεδίου CRC (Βλ. Σχήμα 3.3). Με αυτόν τον τρόπο εντοπίζονται λάθη που επιδρούν μόνο τοπικά. Το πρωτόκολλο CAN διαθέτει επίσης και έναν μηχανισμό εντοπισμού και κατάργησης

ελαττωματικών κόμβων. Αυτό εξασφαλίζει ότι οι ελαττωματικοί κόμβοι δεν μπορούν πλέον να επηρεάζουν τη μετάδοση μηνυμάτων.

3.5.2 Ειδοποίηση για σφάλμα αντί για επιβεβαίωση αποστολής

Σε αντίθεση με τις αντιλήψεις για μετάδοση με σημείο αναφοράς τον κόμβο, το πρωτόκολλο CAN ορίζει ως σημείο αναφοράς το μήνυμα και χρησιμοποιεί την αρχή της ειδοποίησης για σφάλμα. Κάθε κόμβος στο δίκτυο ελέγχει κάθε εκπεμπόμενο μήνυμα για λάθη. Όταν ένας πομπός ή ένας δέκτης εντοπίσει σφάλμα, μεταδίδει την είδηση αυτή και στους υπόλοιπους κόμβους στέλνοντας ένα μήνυμα λάθους (error frame). Αυτό περιλαμβάνει έναν συνδυασμό έξι bit με την ίδια πολικότητα, συνήθως με 'λογικά μηδέν'. Όλοι οι κόμβοι εντοπίζουν το μήνυμα λάθους και ακυρώνουν όλα τα πεδία του εσφαλμένου μηνύματος που έχει ήδη ληφθεί. Έτσι εξασφαλίζεται η συνοχή των δεδομένων όλων των κόμβων.

Μόλις ένας κόμβος αποστείλει ή λάβει μήνυμα λάθους, αμέσως επιχειρεί να στείλει ξανά το μήνυμα που εστάλη λάθος πριν με διαφορετική διαδικασία διαιτησίας.

Καθώς η αποστολή των μηνυμάτων λάθους συμβαίνει αμέσως αφότου έχει εντοπιστεί κάποιο λάθος, οι χρόνοι ανάκαμψης του συστήματος από τα σφάλματα είναι σύντομοι.

Το γεγονός ότι ο δίαυλος είναι πρόσθετα απασχολημένος μόνο κατά τον εντοπισμό κάποιου λάθους σημαίνει σημαντικά χαμηλότερο πρόσθετο φορτίο διαύλου.

3.6 Μορφή πλαισίου CAN

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 'εκτεταμένο πλαίσιο CAN' ('CAN extended frame') υποστηρίζει 29 bits (γνωστό ως CAN 2.0 B). Η γενική μορφή του πλαισίου φαίνεται στο σχήμα 2.3 παρακάτω.

Σχήμα 3.3: Γενική μορφή πλαισίου CAN

3.6.1'Βασικό πλαίσιο CAN' ("CAN base frame")

Το βασικό πλαίσιο CAN (Βλ. Σχήμα 3.4) 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 3.4) από αυτά που αποστέλλονται για να 'ζητήσουν' την αποστολή άλλων μηνυμάτων (RTR=1, Βλ. Σχήματα 3.6, 3.7).

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 'εκτεταμένα' (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 παραγεμίσματος 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.

Τέλος, εκτός και αν κάποιος κόμβος ξεκινήσει να μεταδίδει, ο δίαυλος μένει σε κατάσταση αδράνειας (bus idle).

3.6.1'Εκτεταμένο πλαίσιο CAN' ("CAN extended frame")[1]

Το 'εκτεταμένο' πλαίσιο CAN (Βλ. Σχήμα 3.5) διαφέρει από το 'βασικό' καταρχάς στον αριθμό των bits που δεσμεύονται για την διεύθυνση του μηνύματος, όπως προαναφέρθηκε .

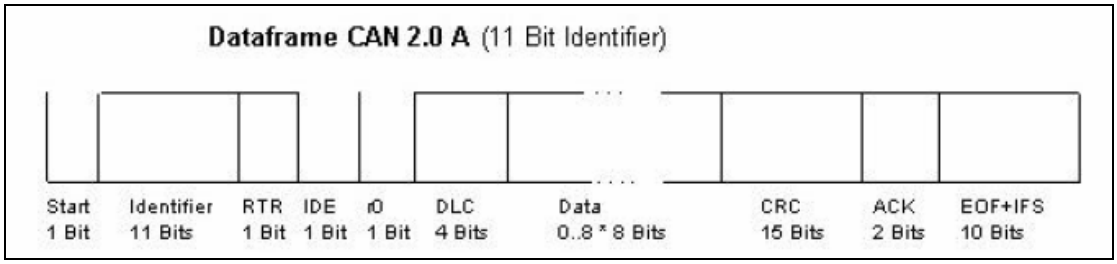
Επίσης, το πεδίο RTR αντικαθίσταται από το πεδίο SRR (Substitude Remote Request).

Στο πεδίο IDE τίθεται 'λογικό ένα' αντίθετα με το πλαίσιο με 11 bit διεύθυνση όπου είναι 'λογικό μηδέν'.

Εφόσον τα 'εκτεταμένα' πρέπει να συνυπάρχουν με τα 'βασικά' πλαίσια στον ίδιο δίαυλο, θα πρέπει να καθοριστεί η προτεραιότητα στην περίπτωση που δύο διαφορετικής κωδικοποίησης μηνύματα 'ανταγωνίζονται' για πρόσβαση στον δίαυλο. Έτσι, τα 'βασικά' μηνύματα έχουν απόλυτη προτεραιότητα έναντι των 'εκτεταμένων'.

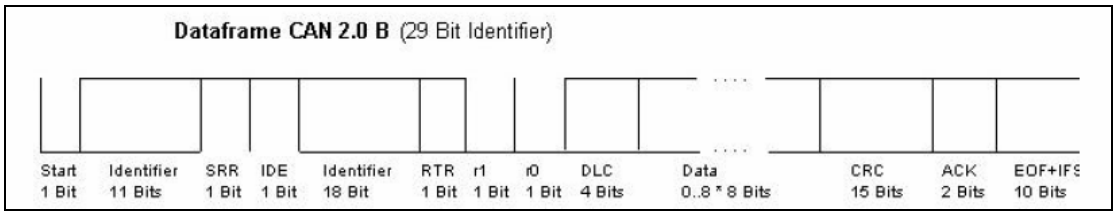
Τα μηνύματα με 29 bits μήκος διεύθυνσης έχουν ορισμένα μειονεκτήματα συγκριτικά με αυτά με τα 11 bits. Καταρχάς, ο χρόνος διάδοσής τους στον δίαυλο είναι μεγαλύτερος, τουλάχιστον 20 διάρκειες bit, ενώ απαιτούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης (περίπου 20% περισσότερο). Επίσης, η απόδοσή τους στον εντοπισμό λαθών 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.

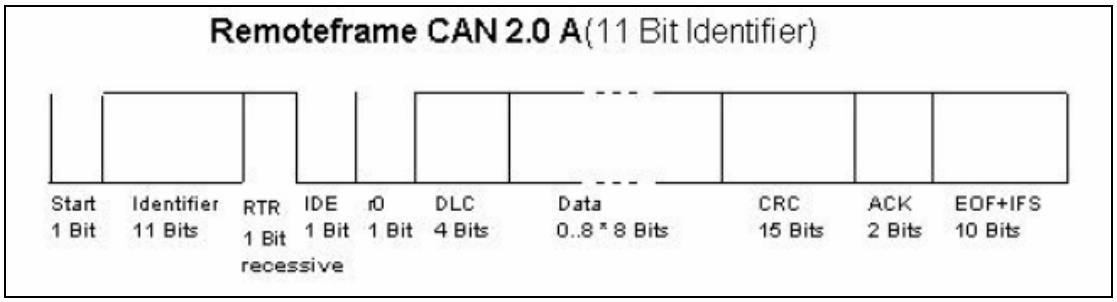


Σχήμα 3.4: Βασικό πλαίσιο CAN (διεύθυνση 11 bits)

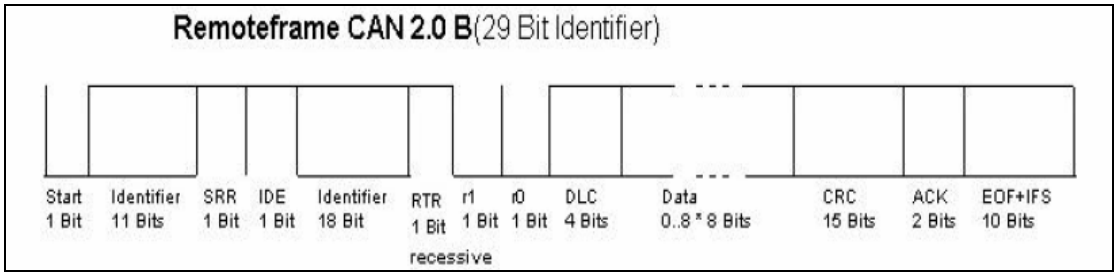
[1] Η εφαρμογή αναπτύχθηκε με βάση μόνο το βασικό πλαίσιο CAN.



Σχήμα 3.5: Εκτεταμένο πλαίσιο CAN (διεύθυνση 29 bits)



Σχήμα 3.6: Πλαίσιο με 11 bits διεύθυνση που 'ζητά' την αποστολή άλλου πλαισίου



Σχήμα 3.7: Πλαίσιο με 29 bits διεύθυνση που 'ζητά' την αποστολή άλλου πλαισίου

4 ΔΙΚΤΥΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ- ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

4.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στην τοπολογία του δικτύου που έχει εγκατασταθεί στο πειραματικό όχημα του Ε.Μ.Π.[1], καθώς και σε ορισμένες προδιαγραφές των κόμβων του δικτύου και περαιτέρω στοιχείων του υλικού και λογισμικού εξοπλισμού (Hardware & Software) που χρησιμοποιήθηκε. Σημειώνεται ότι, οι αναφορές περιορίζονται μόνο σε στοιχεία του δικτύου που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη της συγκεκριμένης εφαρμογής υποβοήθησης κατά την αλλαγή λωρίδας.

Θα περιγραφούν βασικές, για την ανάπτυξη της εφαρμογής, προδιαγραφές και λειτουργίες των παρακάτω στοιχείων:

Κεντρική μονάδα επεξεργασίας – Βιομηχανικός υπολογιστής (xPC TARGETBOX 106 266 MHz Pentium MMX industrial PC xPC TARGETBOX IO 308 2 CAN channels).

Ραντάρ μεσαίας εμβέλειας με τη μονάδα επεξεργασίας τους και με διασύνδεση CAN (Universal medium range radar (UMRR) and their control units with CAN interface - Smart microwave sensors GmbH).

Αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας με διασύνδεση CAN (Bosch Yaw Rate sensor DRS-MM 1.1 with CAN interface).

Κάρτα διασύνδεσης CAN (Vector CANcardXL - PCMCIA).

Δέκτης GPS (GlobalSat BU-353 WaterProof USB GPS Receiver).

4.2 Τοπολογία δικτύου πειραματικού οχήματος

Στο σχήμα 4.1 φαίνεται ένα απλό σχηματικό διάγραμμα του τμήματος του δικτύου του οχήματος, που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή.

Όπως αναπαρίσταται στο σχήμα ο βιομηχανικός υπολογιστής (xPC Targetbox) τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος του οχήματος (πορτ μπαγκάζ).

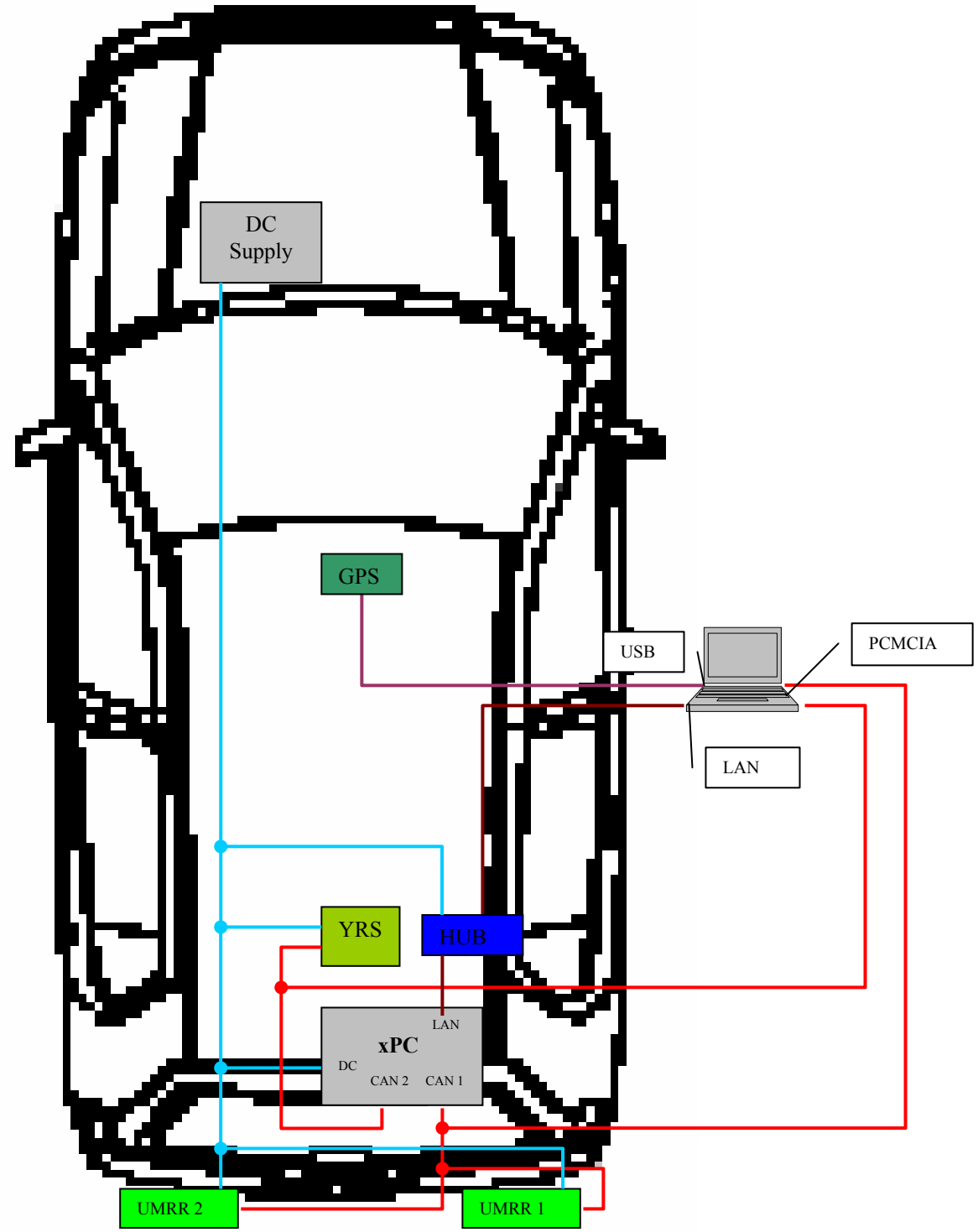
Στη θύρα CAN 1 του υπολογιστή συνδέονται δύο ραντάρ μεσαίας εμβέλειας (UMRR 1, UMRR 2) και στη θύρα CAN 2 ένας αισθητήρας μέτρησης της γωνιακής ταχύτητας του οχήματος (Yaw rate sensor, YRS). Η θύρα τοπικού δικτύου (LAN) συνδέεται σε δρομολογητή (hub).

Η θύρα τοπικού δικτύου του φορητού υπολογιστή, στον οποίο αναπτύχθηκε η εφαρμογή, συνδέεται επίσης στον ίδιο δρομολογητή[2].

---

[1] Το πειραματικό όχημα του Ε.Μ.Π. (Toyota Starlet) βρίσκεται σε υπόστεγο των Μηχανολόγων Μηχανικών του Πολυτεχνείου και μοιράζεται μεταξύ της ομάδας I-SENSE και του εργαστηρίου δυναμικής των Μηχανολόγων Μηχανικών για μετρήσεις και δοκιμές.

[2] Η επικοινωνία του βιομηχανικού Η/Υ (xPC Targetbox) με το φορητό υπολογιστή γίνεται μέσω σύνδεσης TCP/IP μέσω καλωδίων Ethernet LAN, όπως εξηγείται αναλυτικότερα παρακάτω.



Σχήμα 4.1: Τοπολογία δικτύου πειραματικού οχήματος

Μέσω της κάρτας διασύνδεσης CAN (PCMCIA), που συνδέεται στον φορητό Η/Υ, γίνεται καταγραφή της κίνησης των δεδομένων στους δύο διαύλους CAN. Επίσης, ένας αισθητήρας GPS συνδέεται σε USB θύρα του φορητού υπολογιστή.

Το δίκτυο τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα (DC Supply) από τη μπαταρία του οχήματος, και όπου χρειάζεται παρεμβάλλονται μετασχηματιστές.

Τα δύο ραντάρ εγκαθίστανται στον πίσω προφυλακτήρα του οχήματος[3] συμμετρικά το ένα ως προς το άλλο και με κάποια κλίση ως προς τον προφυλακτήρα, πράγμα που θα εξηγηθεί αναλυτικότερα παρακάτω.

Ο αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας εγκαθίσταται σε σταθερό σημείο[3] έτσι ώστε να ισαπέχει από τις δύο πλευρές του οχήματος και να είναι παράλληλλα με τον στροφαλοφόρο άξονα του αυτοκινήτου.

Τέλος, ο δέκτης GPS είναι φορητός και μαγνητικός και τοποθετείται κάθε φορά σε ακάλυπτα μεταλλικά μέρη του οχήματος (π.χ. οροφή).

4.3 Προδιαγραφές και χρήση των στοιχείων του δικτύου

4.3.1 Βιομηχανικός Η/Υ (xPC Targetbox)

4.3.1.1 Γενικά

Ο βιομηχανικός υπολογιστής (xPC TARGETBOX 106 266 MHz Pentium MMX industrial PC xPC TARGETBOX IO 308 2 CAN Channels, βλ. σχήμα 4.2) αποτελεί την κεντρική μονάδα επεξεργασίας και χρονισμού του όλου συστήματος. Λειτουργεί ως ‘πύλη’ (gateway) μέσα από την οποία διέρχονται όλες οι πληροφορίες των ραντάρ και των αισθητήρων που αξιοποιούνται από την εφαρμογή. Ουσιαστικά, επιτρέπει την αλληλεπίδραση του χρήστη ενός προσωπικού υπολογιστή (φορητού στην προκειμένη περίπτωση) με το δίκτυο CAN (βλ. κεφ. 3) του οχήματος.

Σχήμα 4.2: Βιομηχανικός Η/Υ (xPC Targetbox industrial PC)

[3] Πληροφορίες για την τοποθέτηση των ραντάρ και του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας υπάρχουν στα αντίστοιχα έντυπα προδιαγραφών [5][6].

4.3.1.2 Λογισμικό (Software)

Ο xPC χρησιμοποιείται σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου βασιζόμενες σε τεχνικό λογισμικό προσωπικού υπολογιστή. Η συγκεκριμένη εφαρμογή έγινε σε Simulink v. 6.0 (Matlab R14) [4]. Από το μοντέλο Simulink δημιουργήθηκε αυτόματα, με τη βοήθεια του Real-Time Workshop[5] ο κώδικας που εκτελείται στο xPC.

4.3.1.3 Διασύνδεση διαύλων CAN (CAN bus interface)

Η διασύνδεση διαύλων CAN (CAN bus interfaces) του xPC που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του μοντέλου xPC TargetBox IO 308, που περιλαμβάνει:

Κάρτα διασύνδεσης CAN-AC2-104.
2 διαύλους CAN.
Ελεγκτή τύπου SJA1000 για CAN 2.0A (11-bit standard frames) και 2.0B (29-bit extended frames) (βλ. Κεφ. 3).
Ενσωματωμένο μικροελεγκτή που αποσυμφορεί την κεντρική μονάδα επεξεργασίας.

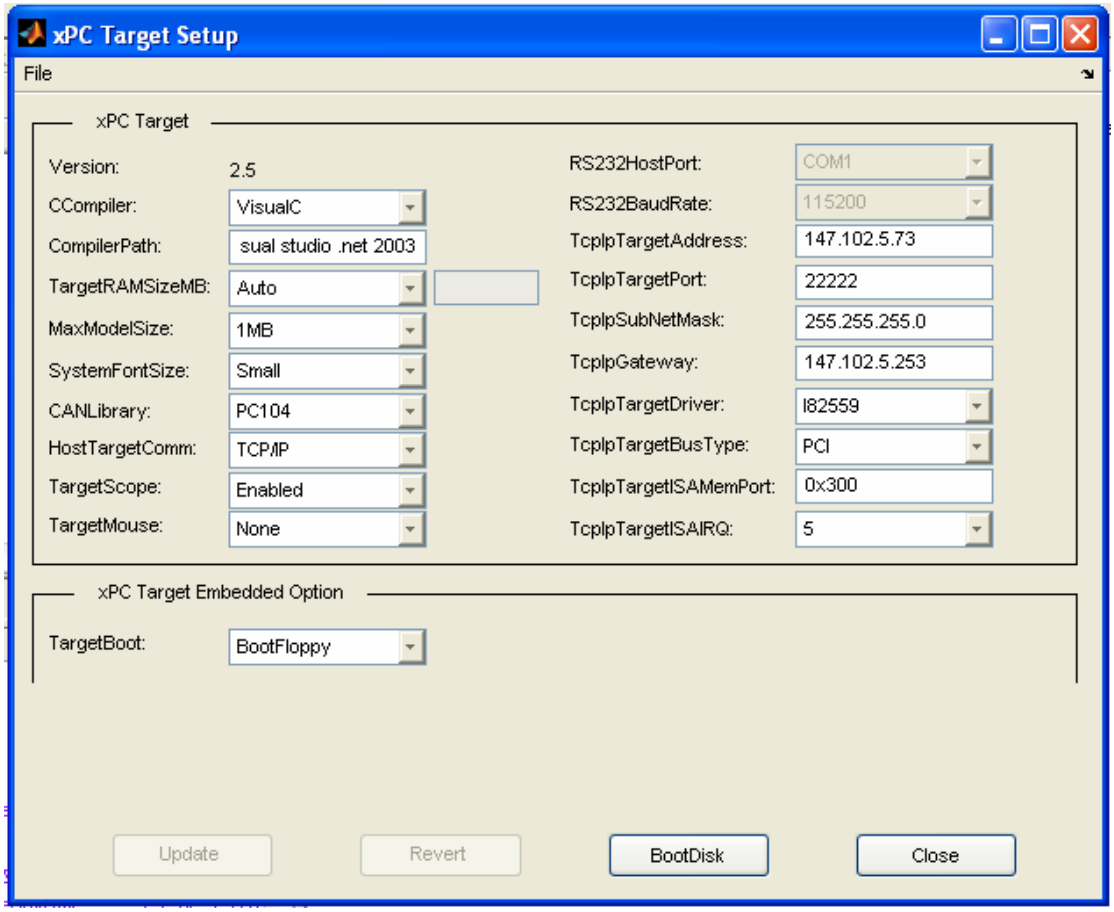
4.3.1.4 Επικοινωνία προσωπικού Η/Υ με xPC

Η επικοινωνία ενός προσωπικού υπολογιστή με το βιομηχανικό Η/Υ γίνεται μέσω σύνδεσης TCP/IP. Στον xPC αντιστοιχεί , όπως σε κάθε προσωπικό υπολογιστή σε δίκτυο TCP/IP, διεύθυνση IP, με βάση την οποία γίνεται η επικοινωνία. Φυσικά, προϋπόθεση για την επικοινωνία είναι ο προσωπικός Η/Υ να είναι συνδεδεμένος στο ίδιο τοπικό δίκτυο (Ethernet LAN) με αυτό του xPC.

4.3.1.5 Ρυθμίσεις xPC (xPC setup)

Οι διάφορες ρυθμίσεις (options) σχετικά με τη λειτουργία του xPC αποθηκεύονται σε δισκέτα (floppy disk) και φορτώνονται κάθε φορά που εκκινεί ή επανεκκινεί μέσω οδηγού δισκέτας (floppy disk drive). Οι ρυθμίσεις που τέθηκαν στο xPC φαίνονται στο σχήμα 4.3, όπου φαίνεται το παράθυρο με τις επιλογές (xPCsetup) στο περιβάλλον MATLAB.

[4] Στο κεφάλαιο 6 γίνεται αναλυτικότερη περιγραφή της εφαρμογής (application). Γίνεται αναφορά στις λειτουργίες των επιμέρους blocks του Simulink καθώς και στη συνολικότερη λειτουργία των block διαγραμμάτων.
[5] Εργαλείο (tool) του MATLAB.



Σχήμα 4.3: Ρυθμίσεις xPC

4.3.2 Ραντάρ μεσαίας εμβέλειας (Universal Medium Range Radar - UMRR)[5]

4.3.2.1 Γενικά

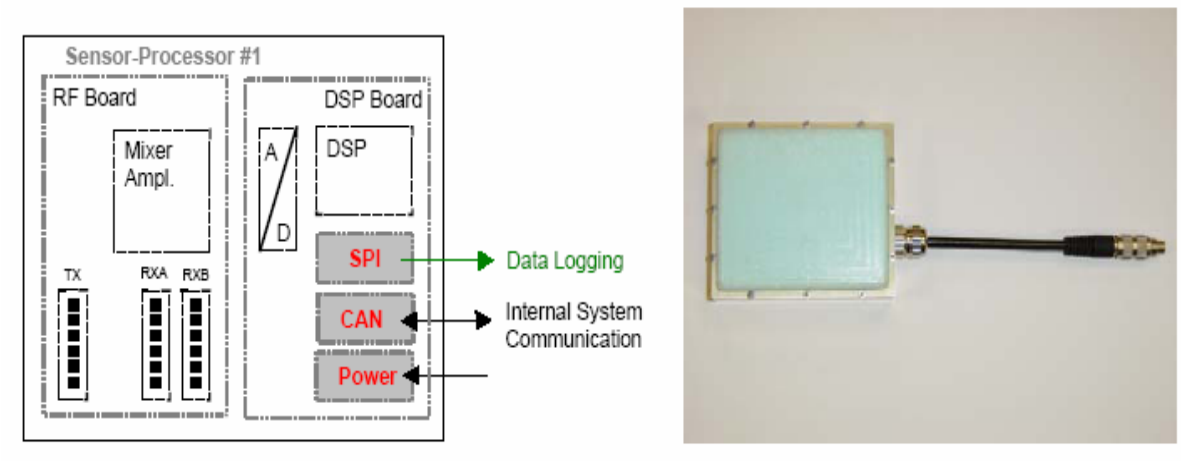
Το εν λόγω ραντάρ (Universal medium range radar – Smart microwave sensors GmbH) αναπτύχθηκε για λειτουργίες προηγμένης οδηγικής υποβοήθησης στον τομέα της αυτοκίνησης αλλά και για καθαρά βιομηχανική χρήση. Μπορεί να αποτελεί τμήμα δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένα και διάφορα άλλα όμοια ή όχι ραντάρ ή αισθητήρες. Παρακάτω δίνονται κάποια βασικά τεχνικά στοιχεία[6] που έπρεπε να ληφθούν υπόψη στην ανάπτυξη της εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής.

[6] Περαιτέρω τεχνικά στοιχεία μπορούν να βρεθούν στο αντίστοιχο έντυπο προδιαγραφών [5].

4.3.2.2 Σχεδιασμός

4.3.2.2.1 Block διάγραμμα ραντάρ

Το ραντάρ σχεδιάστηκε να λειτουργεί γύρω από τη συχνότητα των 24 GHz με δύο δυνατές διαμορφώσεις φέροντος, UWB ή FMCW [5]. Επίσης, η κεραία είναι δυνατόν να επιλεγεί ανάλογα με τις απαιτήσεις και είναι εύκολο να τροποποιηθεί το οπτικό της πεδίο (κατευθυντικότητα). Παρακάτω φαίνεται ένα block διάγραμμα και δίπλα μια φωτογραφία του ραντάρ.



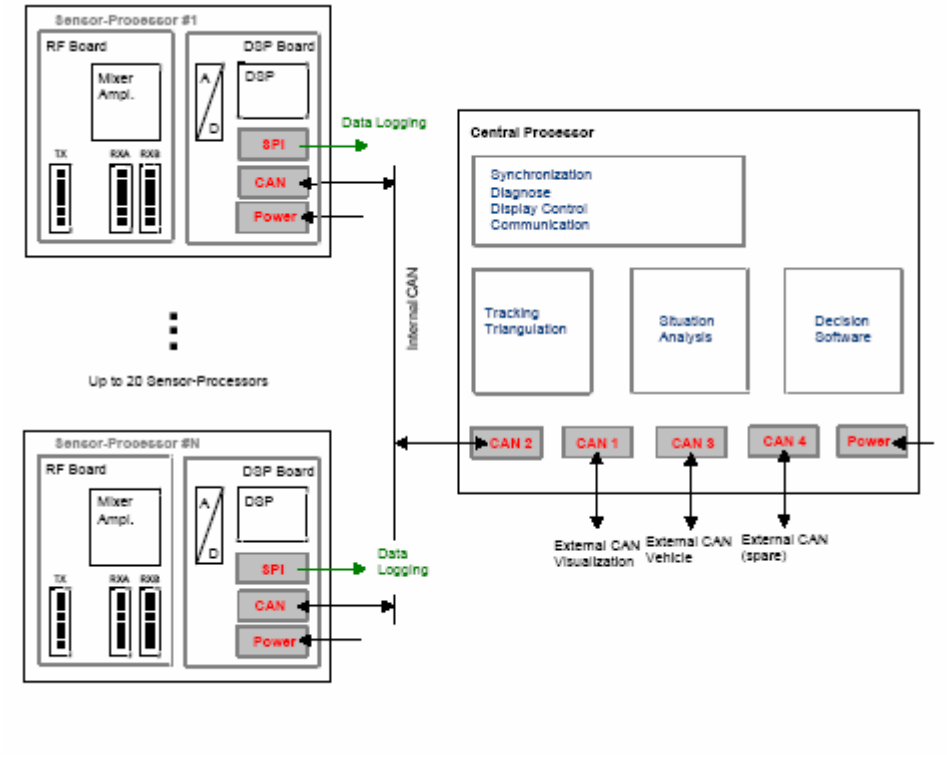
Σχήμα 4.4: Block διάγραμμα και φωτογραφία του ραντάρ UMRR

Στο διάγραμμα φαίνεται ο επεξεργαστής του αισθητήρα (sensor processor) που αποτελείται από δύο βασικά τμήματα. Το τμήμα όπου διαμορφώνεται/ αποδιαμορφώνεται το υψίσυχνο σήμα (RF board) και το τμήμα που γίνεται η μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά (A/ D) και η μετέπειτα ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων (DSP board). Το τελευταίο είναι υπεύθυνο και για την οργάνωση των ψηφιακών δεδομένων σε πλαίσια CAN (βλ. κεφ. 3) και την αποστολή τους στο δίκτυο CAN του οχήματος.

4.3.2.2.2 Block διάγραμμα δικτύου ραντάρ

Όπως προαναφέρθηκε, είναι δυνατόν περισσότερα ραντάρ να είναι συνδεδεμένα στο ίδιο δίκτυο. Σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας που θα ελέγχει το όλο σύστημα, θα ερμηνεύει τα δεδομένα που παράγουν οι αισθητήρες (ραντάρ) και θα επικοινωνεί με επιμέρους στοιχεία του δικτύου. Στο δίκτυο του πειραματικού οχήματος τον ρόλο αυτό παίζει ο βιομηχανικός Η/Υ (xPC).

Στο σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ περισσότερων αισθητήρων και του κεντρικού επεξεργαστή του δικτύου. Στον κεντρικό επεξεργαστή αναγράφονται κάποιες δυνατές λειτουργίες, ανάλογα πάντα με τους αλγορίθμους που έχουν φορτωθεί σε αυτόν.



Σχήμα 4.5: Block διάγραμμα συστήματος πολλαπλών αισθητήρων

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5 μέχρι και 20 αισθητήρες είναι δυνατόν να συνδεθούν μαζί στο ίδιο σύστημα. Κάποιες από τις δυνατές λειτουργίες του κεντρικού επεξεργαστή θα μπορούσαν να είναι :

-Παρακολούθηση πορείας οχημάτων στόχων (Tracking).
-Εκτίμηση τρέχουσας κατάστασης (Situation analysis).
-Αλγόριθμοι απόφασης (Decision algorithms).
-Συγχρονισμός (Synchronisation).
-Διάγνωση (Diagnose).
-Έλεγχος οπτικών αναπαραστάσεων (Display control).
-Επικοινωνία (Communication).

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε θα μπορούσε να χαρακτηριστεί από τις παραπάνω λειτουργίες εκτός της πρώτης κατά σειρά. Δηλαδή, η εφαρμογή LCDAS δεν απαιτεί την παρακολούθηση της πορείας οχημάτων στόχων (Tracking).

4.3.2.3 Μετρούμενες παράμετροι και απόδοση

Οι βασικές παράμετροι που μετρά το ραντάρ UMRR είναι σχετική ακτινική ταχύτητα (radial relative speed), απόσταση (range) και γωνία (angle). Τα μεγέθη αυτά μετρούνται πάντα με αναφορά το υποκείμενο όχημα (βλ. § 2.2.1).

4.3.2.3.1 Ακρίβεια και πεδία τιμών

Η ακτινική σχετική ταχύτητα[7] (radial relative speed) παίρνει τιμές από -69,44 m/s μέχρι +69,44 m/s, που αντιστοιχούν σε -250 km/h μέχρι +250 km/h. Η ακρίβεια είναι συνήθως μικρότερη από 0,25 km/h.

Η απόσταση (range) κυμαίνεται από 0,75 έως και 70 m. Κάτω από 0,75 m ανιχνεύεται μόνο η παρουσία ενός οχήματος. Η ακρίβεια για οχήματα κινούμενα πιο κοντά από 10 m είναι καλύτερη 0,5 m, ενώ για οχήματα πέρα από τα 10 m είναι καλύτερη απο 5%. Κατά μέσο όρο η ακρίβεια είναι μικρότερη από 0,25 m.

Η γωνία (angle) παίρνει τιμές στο διάστημα -40° έως +40°, που σημαίνει ότι το οριζόντιο οπτικό πεδίο του ραντάρ είναι 80°. Η ακρίβεια συνήθως είναι μικρότερη από 0,5^o.

Για να θεωρηθούν δύο στόχοι διαφορετικοί μεταξύ τους αρκεί οι ακτινικές σχετικές ταχύτητες να διαφέρουν τουλάχιστον κατά 1 km/h ή οι αποστάσεις τους να διαφέρουν τουλάχιστον κατά 1,8 m.

4.3.2.3.2 Σύστημα συντεταγμένων και ζώνες κάλυψης

Στα ακόλουθα σχήματα φαίνεται το σύστημα συντεταγμένων για το αριστερό (UMRR 2, σχήμα 4.6) και το δεξιό (UMRR 1, σχήμα 4.7) ραντάρ καθώς και οι ζώνες κάλυψης (σχήματα 4.6, 4.7, 4.8). Όπως προαναφέρθηκε, το οριζόντιο οπτικό πεδίο του κάθε ραντάρ είναι 80°, δηλαδή ±40° συμμετρικά ως προς την κάθετη ευθεία (στο σχήμα 0°) στην επιφάνεια του ραντάρ (η επιφάνεια που φαίνεται στο σχήμα 4.4).

Το κάθε ραντάρ τοποθετείται στον πίσω προφυλακτήρα του πειραματικού οχήματος, συμμετρικά το ένα ως προς το άλλο. Η γωνία που σχηματίζει η επιφάνεια του κάθε ραντάρ με τον προφυλακτήρα μπορεί και μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες τις εφαρμογής[8]. Στα σχήματα η γωνία αυτή συμβολίζεται με **'θ'**. Η μετρούμενη από τα ραντάρ γωνία (angle) του οχήματος στόχου, μετριέται πάντα ως προς την κάθετη στην επιφάνεια (0°) των ραντάρ. Το πρόσημό της, όπως φαίνεται από τα σχήματα, προκύπτει ανάλογα σε ποια πλευρά της ευθείας των 0° βρίσκεται το όχημα στόχος. Στα σχήματα συμβολίζεται με 'a'. Η ακτινική σχετική ταχύτητα (radial relative speed) του οχήματος στόχου ως προς το υποκείμενο όχημα που μετρούν τα ραντάρ συμβολίζεται με 'v_r' στα σχήματα. Επειδή, όμως, στους υπολογισμούς που υπεισέρχονται στην εφαρμογή χρειάζεται η σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X των οχημάτων, αυτή αναπαρίσταται επίσης στα σχήματα ως 'v_x'. Υπολογίζεται για το αριστερό ραντάρ από τη σχέση:

$v_x = v_r \cdot \cos(\theta - a) + r \cdot \sin(\theta - a) \cdot \frac{da}{dt}$ και για το δεξιό ραντάρ από τη σχέση:

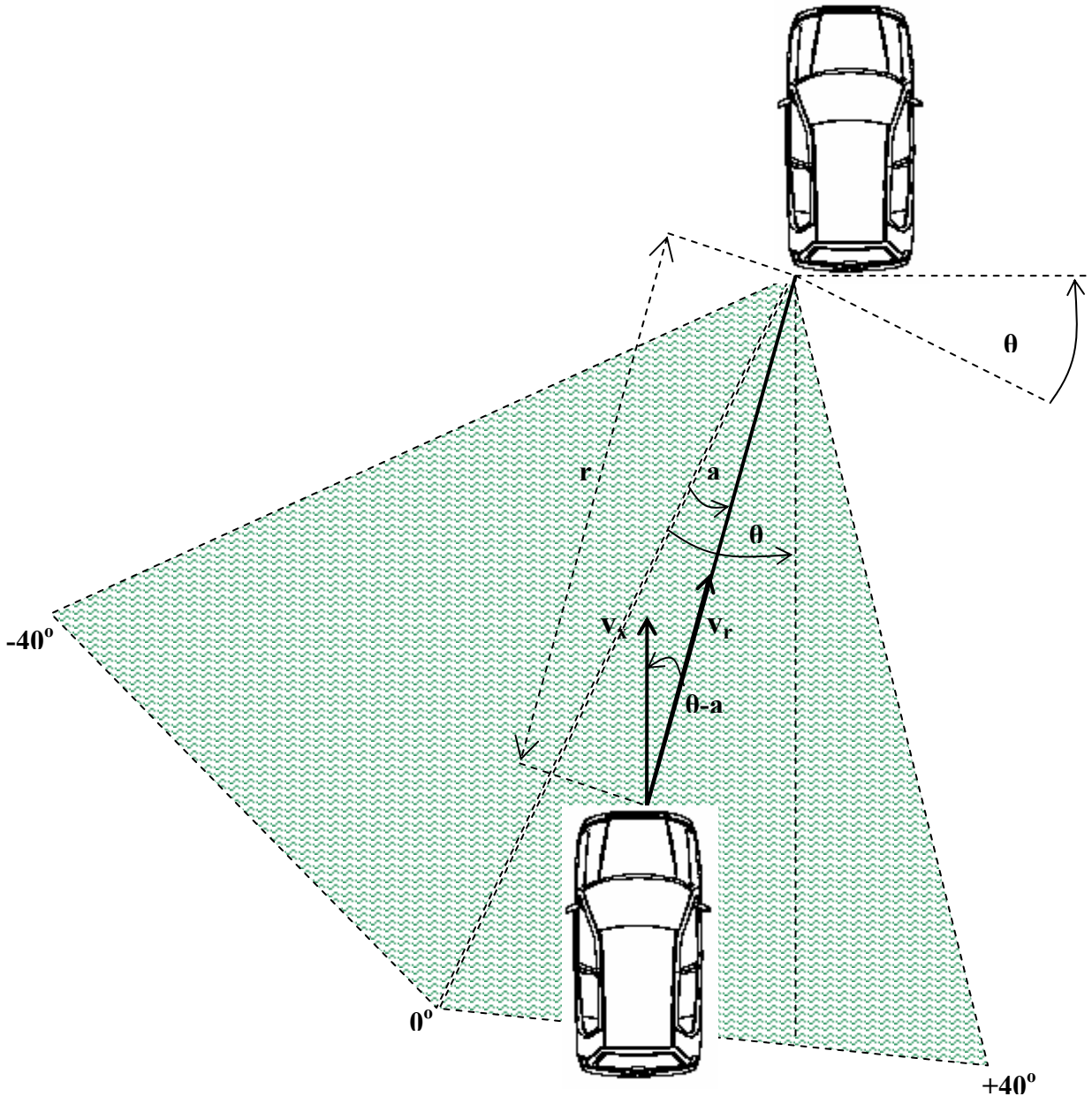
$$v_x = v_r \cdot \cos(\theta + a) - r \cdot \sin(\theta + a) \cdot \frac{da}{dt}.$$

Τέλος, η μετρούμενη απόσταση (range) είναι αυτή που συμβολίζεται με 'r' στα σχήματα.

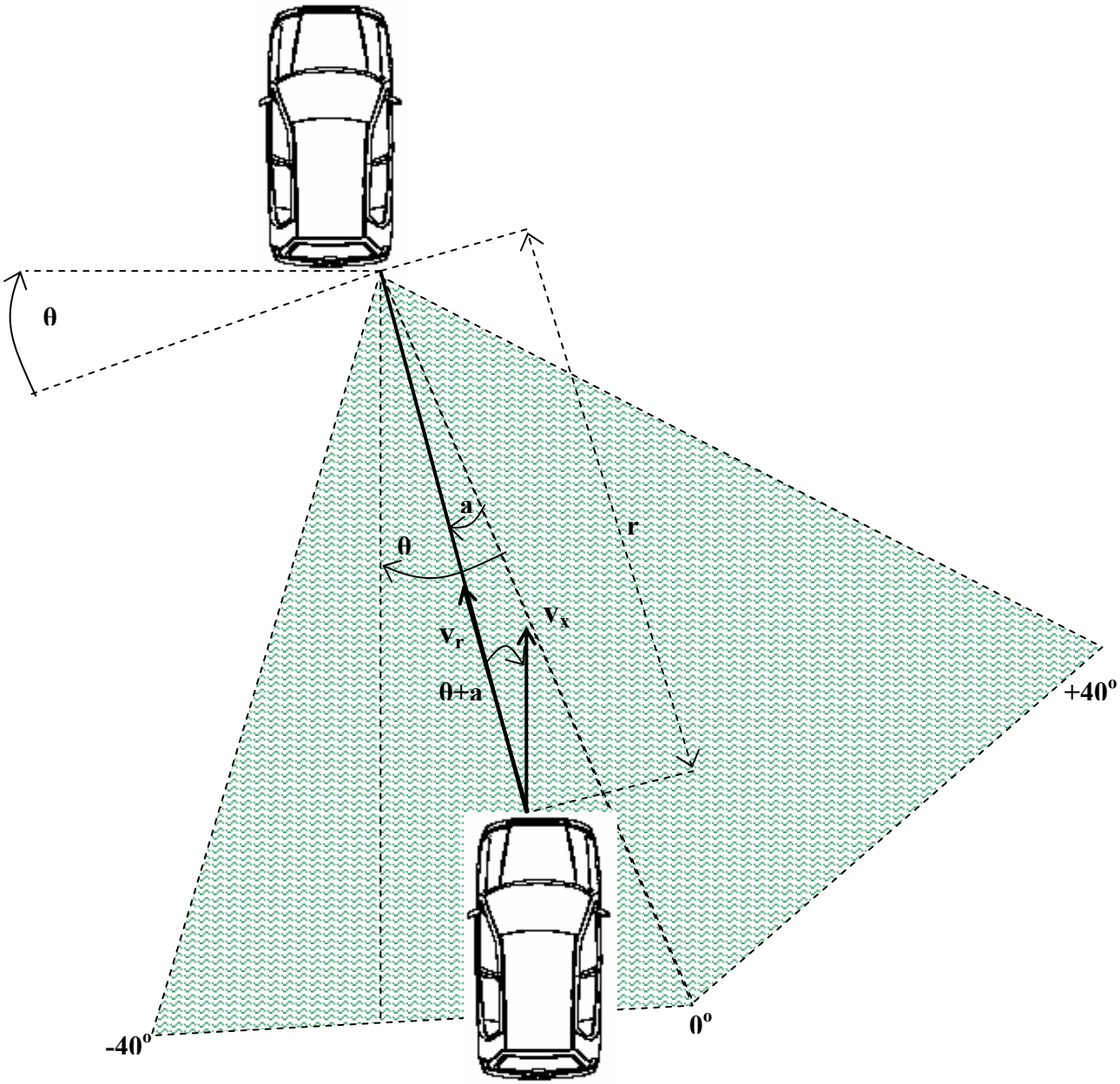
---

[7] Η ακτινική σχετική ταχύτητα είναι θετική για στόχους που απομακρύνονται και αρνητική για στόχους που πλησιάζουν το ραντάρ.

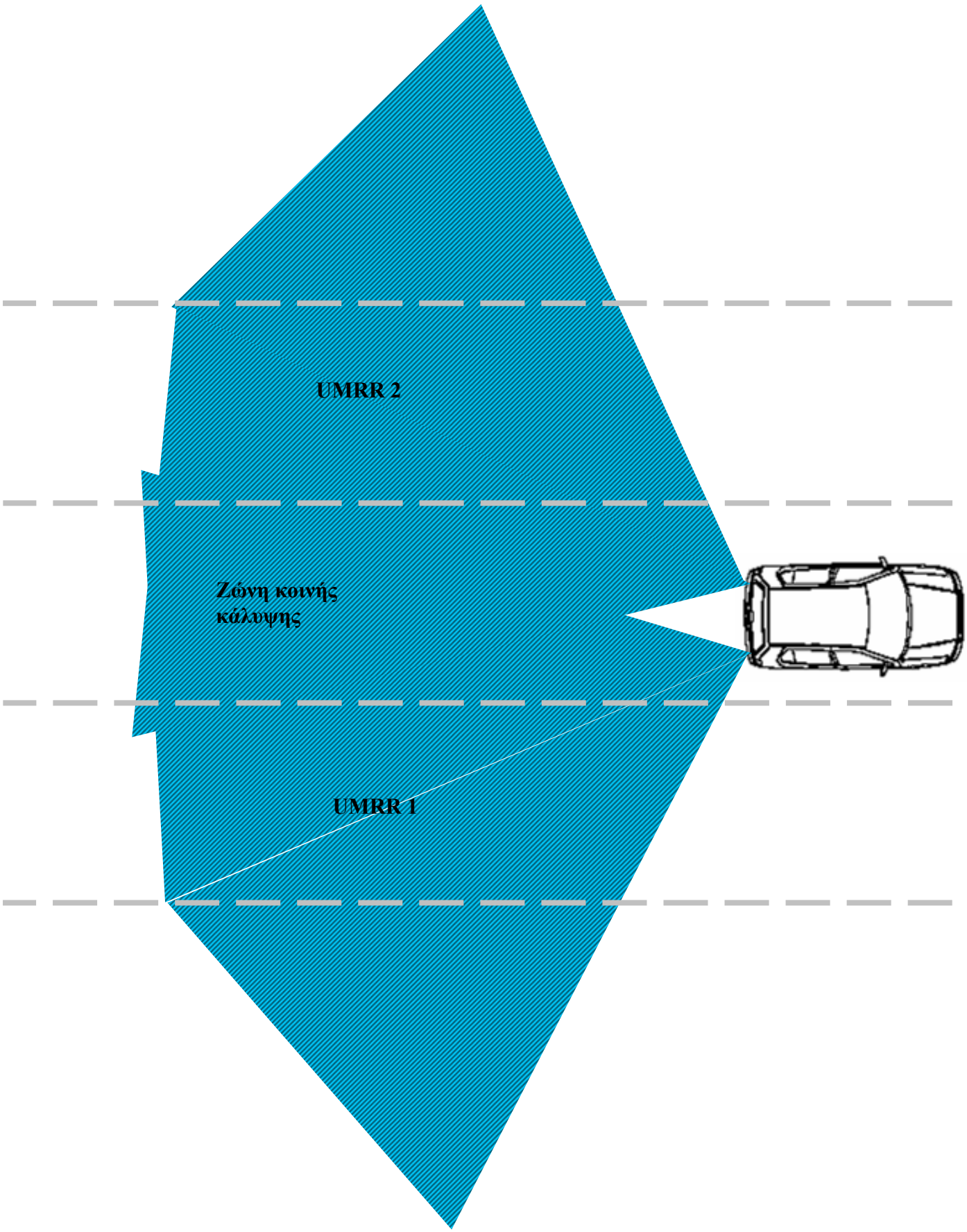
[8] Η γωνία αυτή ρυθμίστηκε για τις ανάγκες τις εφαρμογής LCDAS γύρω στις 20°.



Σχήμα 4.6: Σύστημα συντεταγμένων του αριστερού ραντάρ (UMRR 2)



Σχήμα 4.7: Σύστημα συντεταγμένων του δεξιού ραντάρ (UMRR 1)



Σχήμα 4.8: Ζώνες κάλυψης ραντάρ

4.3.2.4 Σύνδεση στο δίκτυο CAN και κωδικοποίηση σε πλαίσια δεδομένων (data frames)

Η αποστολή και λήψη των πληροφοριών, που συλλέγουν τα ραντάρ, στο δίκτυο του οχήματος, γίνεται με κωδικοποίηση σε πλαίσια δεδομένων (data frames) ή μηνύματα CAN, που αντιστοιχούν στο πεδίο δεδομένων εφαρμογής του βασικού πλαισίου CAN (βλ. κεφ.3 §3.6.1). Εδώ θα γίνει αναφορά μόνο σε εκείνα τα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν άμεσα στην εφαρμογή. Σημειώνεται ότι, ο ρυθμός μετάδοσης των μηνυμάτων CAN τέθηκε ίσος με 500 Kbps, όπως αναλυτικότερα αναφέρεται και σε επόμενα κεφάλαια.

4.3.2.4.1 Μήνυμα sensor control (sensor control message)[9]

Το μήνυμα αυτό μεταδίδεται σε κάθε κύκλο μετάδοσης[10] ξεχωριστά από κάθε ραντάρ. Περιέχει πληροφορίες όπως τον αριθμό των εντοπιζόμενων αντικειμένων (number of objects) σε κάθε κύκλο μετάδοσης, τον αριθμό (ID) του ραντάρ που το στέλνει (για το δεξιό ραντάρ είναι ID = 0 και για το αριστερό ID = 1) και τη διάρκεια του κάθε κύκλου μετάδοσης.

Έχει μήκος 8 bytes και διεύθυνση (βλ. κεφ. 3) $700_{(hex)}$ ($1792_{(dec)}$) για το δεξιό και $720_{(hex)}$ ($1824_{(dec)}$) για το αριστερό ραντάρ.

Η κωδικοποίηση του μηνύματος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Data Byte 7	Data Byte 6	Data Byte 5	Data Byte 4	Data Byte 3	Data Byte 2	Data Byte 1	Data Byte 0
Time stamp Hi-Byte Or in last 5 Bits CYCLE Count (default) Res. 1 Offset 0	Time stamp Lo-Byte	Time stamp Bits 32...63 Or Bits 32...58	Time stamp Lo-Byte Resolution: 0.8192ms Offset: 0	Sensor ID Bit 0..2 Value 0..7 Number of objects Bit 3..7 Value 0..31 (uint) Resolution: 1 Offset: 0	Cycle duration (uint) Resolution: 0.8192ms Offset: 0	Sensor Mode Bit 0..3 Value 0..15 Sub Mode Bit 4..7 Value 0..15 (uint) Resolution: 1 Offset: 0	Sensor status (uint) Resolution: 1 Offset: 0

Πίνακας 4.1: Κωδικοποίηση του μηνύματος *sensor control* σε δίαυλο CAN.

[9] Το μήνυμα αυτό χρησιμοποιήθηκε μόνο για την εύρεση των διευθύνσεων των μηνυμάτων που αντιστοιχίζονται στο κάθε ραντάρ μέσω του πεδίου 'sensor ID'.

[10] Ο κύκλος μετάδοσης του ραντάρ είναι το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο ολοκληρώνεται η μετάδοση μιας αλληλουχίας μηνυμάτων όπως το *object data message* για μια σειρά εντοπιζόμενων αντικειμένων. Μεταδίδονται μέχρι και 31 μηνύματα *object data* σε κάθε κύκλο μετάδοσης. Ο κύκλος μετάδοσης διαρκεί περί τα 40 ms.

4.3.2.4.2 Μήνυμα object data (object data message)

Το μήνυμα αυτό περιέχει μεταξύ άλλων και τα μετρούμενα μεγέθη που προαναφέρθηκαν, δηλαδή ακτινική σχετική ταχύτητα (radial relative speed), απόσταση (range) και γωνία (angle).

Σε κάθε κύκλο μετάδοσης μπορούν να μεταδοθούν μέχρι και 31 τέτοια μηνύματα από κάθε ραντάρ (μεταδίδονται με τη σειρά που είναι αριθμημένα και με χρονική καθυστέρηση 200 μs περίπου το ένα από το άλλο). Για έναν συγκεκριμένο κύκλο μετάδοσης κάποια από τα μηνύματα αυτά μπορεί και να αντιστοιχούν στο ίδιο φυσικό αντικείμενο. Επίσης σε προηγούμενο ή επόμενο κύκλο μετάδοσης διαφορετικά αντικείμενα μπορεί να αντιστοιχούν στο ίδιο μήνυμα. Όσο πιο ανακλαστικός και πιο κοντά σε σχέση με άλλους είναι ο στόχος που εντοπίζεται σε τόσο πιο πολλούς κύκλους μετάδοσης θα καταγράφεται[11].

Έχει μήκος 6 bytes και διευθύνσεις:

$701_{(hex)}$ ($1793_{(dec)}$) μέχρι και $71F_{(hex)}$ ($1823_{(dec)}$) για το δεξιό ραντάρ.
$721_{(hex)}$ ($1825_{(dec)}$) μέχρι και $72F_{(hex)}$ ($1839_{(dec)}$) για το αριστερό ραντάρ.

Η κωδικοποίηση του μηνύματος φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Data Byte 7	Data Byte 6	Data Byte 5	Data Byte 4	Data Byte 3	Data Byte 2	Data Byte 1	Data Byte 0
No data byte	No data byte	Encoding on CAN Bus					

	47...43	42...35	34...24	23...13	12...0
	type	Signal to threshold level	Radial rel. speed	angle	range
resolution	1	1.28dB alternative: 0.32dB	80mm/s	0.16°	10mm alternative: 20mm, 40mm
offset	0	0	1024	1024	0
values	0...31	0..326.4dB alternative: 81.6dB	-81.92...+81.84m/s	-163.84...+163.68°	0...81.84m alternative: 163.82m 327,68m
bits	5	8	11	11	13

Πίνακας 4.2: Κωδικοποίηση του μηνύματος *object data* σε δίαυλο CAN.

[11] Σε επόμενα κεφάλαια, όπου αναλύονται οι μετρήσεις των ραντάρ, θα εξηγηθεί αναλυτικότερα.

4.3.2.4.3 Εξαγωγή δυαδικής τιμής κωδικοποίησης (bit value) από πραγματική (real value) και αντιστρόφως

Όπως φαίνεται στους πίνακες 4.1 και 4.2, η ακρίβεια (resolution) επιλέγεται έτσι ώστε, με δεδομένο τον αριθμό των bits που καταλαμβάνει κάθε πεδίο μεταβλητής, να επιτυγχάνεται κάλυψη της απαιτούμενης κατά περίπτωση περιοχής τιμών (values) και με ικανοποιητική ακρίβεια.

Είναι προφανές ότι, κατά την κωδικοποίηση μιας περιοχής πραγματικών αριθμών με ορισμένο αριθμό bits υπεισέρχεται σφάλμα κβαντοποίησης, δηλαδή απόκλιση από την πραγματική τιμή η οποία στην χειρότερη περίπτωση είναι ίση με το μισό της ακρίβειας που επιλέγεται.

Επειδή στην δυαδική κωδικοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιούνται μη προσημασμένοι ακέραιοι (uint – unsigned integers), τα αντίστοιχα πεδία των μεταβλητών που παίρνουν και αρνητικές τιμές επιλέγεται να έχουν ισοστάθμιση (offset). Η τιμή της ισοστάθμισης υπολογίζεται ως το μισό των συνολικών αριθμών που μπορούν να παρασταθούν με τον αριθμό διαθέσιμων bits του πεδίου της κάθε μεταβλητής.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η δυαδική τιμή (bit_value), στην οποία κωδικοποιείται μια πραγματική τιμή μεταβλητής (real_value), υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$bit_value = \frac{real_value}{resolution} + offset$$

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

$$real_value = (bit_value - offset) \cdot resolution$$

Οι τύποι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν στην κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση των πεδίων των πακέτων CAN της εφαρμογής, όπως θα φανεί στο κεφάλαιο 7.

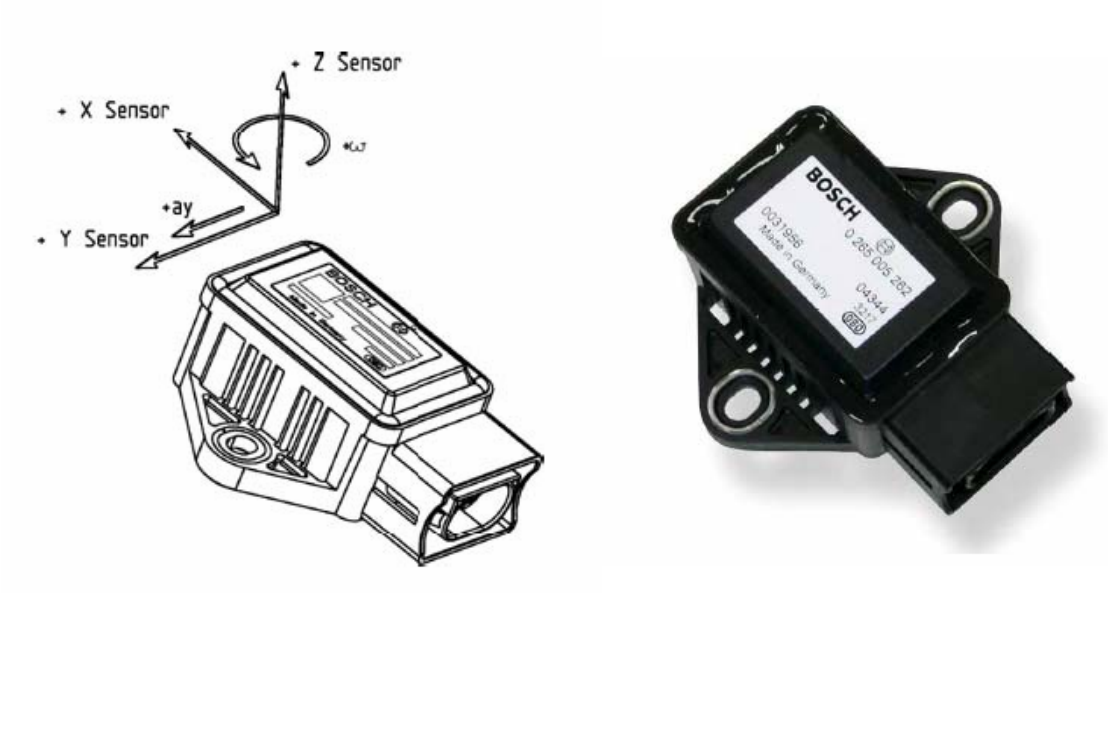
4.3.3 Αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας (Yaw Rate Sensor)[6]

4.3.3.1 Γενικά

Σκοπός του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας είναι να μετρά την γωνιακή ταχύτητα (^{o}/s) και την πλευρική επιτάχυνση (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 (CAN interface) 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 4.9: Αισθητήρας μέτρησης γωνιακής ταχύτητας και πλευρικής επιτάχυνσης

4.3.3.2 Κωδικοποίηση σε πλαίσια δεδομένων (data frames) CAN

Η αποστολή και λήψη των πληροφοριών, που συλλέγει ο αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας, στο δίκτυο του οχήματος, γίνεται με κωδικοποίηση σε πλαίσια δεδομένων (data frames) ή μηνύματα CAN, που αντιστοιχούν στο πεδίο δεδομένων εφαρμογής του βασικού πλαισίου CAN (βλ. κεφ.3 §3.6.1). Εδώ θα γίνει αναφορά μόνο σε εκείνα τα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν άμεσα στην εφαρμογή. Σημειώνεται ότι, ο ρυθμός μετάδοσης των μηνυμάτων CAN τέθηκε ίσος με 500 Kbps, όπως αναλυτικότερα αναφέρεται και σε επόμενα κεφάλαια.

4.3.3.2.1 Μήνυμα λήψης CAN (CAN Receive Message) YRS_Signals_RcvMsg

Ο αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας μεταδίδει τα μετρούμενα δεδομένα μόνο εφόσον λάβει το μήνυμα λήψης *YRS_Signals_RcvMsg*. Αυτό σημαίνει ότι, αυτό το μήνυμα αποτελεί το έναυσμα για την αποστολή των δεδομένων από τον αισθητήρα.

Έχει μήκος 2 bytes και διεύθυνση $2_{(hex)}$ ($2_{(dec)}$). Η κωδικοποίηση του μηνύματος φαίνεται παρακάτω, στον πίνακα 4.3.

	MSB Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	LSB Bit 0
Byte 1	IDB							
Byte 0	CAL = 0	SII1 = 0	SII0 = 0	Rsrvd = 0	SFPAYS	SFPYRS	Rsrvd = 0	STM

Πίνακας 4.3: Κωδικοποίηση του μηνύματος *YRS_Signals_RcvMsg* σε δίαυλο CAN.

4.3.3.2.2 Μήνυμα αποστολής CAN (CAN Transmit Message) YRS_Signals_TrmMsg

Στο μήνυμα αυτό περιλαμβάνονται οι μετρούμενες τιμές γωνιακής ταχύτητας και πλευρικής επιτάχυνσης. Αποστέλλεται αμέσως μετά τη λήψη του μηνύματος 'YRS_Signals_RcvMsg'. Με δεδομένο τον ρυθμό μετάδοσης συμβόλων (500 Kbps), τα μηνύματα αυτά έχουν περίοδο 10ms περίπου.

Έχει μήκος 8 bytes και διεύθυνση $130_{(hex)}$ ($304_{(dec)}$). Η κωδικοποίηση του μηνύματος φαίνεται παρακάτω, στον πίνακα 4.4.

	MSB Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	LSB Bit 0
Byte 7	CHKSUM							
Byte 6	ERRNO							
Byte 5	AYS (MSB)							
Byte 4	AYS (LSB)							
Byte 3	YRS (MSB)							
Byte 2	YRS (LSB)							
Byte 1	IDB							
Byte 0	CAL = 0	SII1 = 0	SII0 = 0	SERR	TERR	ERR	POS	TM

Πίνακας 4.4: Κωδικοποίηση του μηνύματος *YRS_Signals_TrmMsg* σε δίαυλο CAN.

4.3.3.2.3 Εξαγωγή δυαδικής τιμής κωδικοποίησης (bit value) από πραγματική (real value) και αντιστρόφως

Σημειώνεται εδώ ότι, στην εφαρμογή αξιοποιήθηκε μόνο η μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας, έτσι θεωρείται σκόπιμο να γίνει αναφορά μόνο στις παραμέτρους που αφορούν το σχετικό πεδίο του πλαισίου CAN, δηλαδή στο πεδίο σήματος γωνιακής ταχύτητας (yaw rate signal – YRS).

Το πεδίο YRS έχει μήκος 2 bytes και κωδικοποιείται ως προσημασμένος ακέραιος σε παράσταση συμπληρώματος του 2 (int - signed integer, 2's complement). Η ακρίβεια που έχει επιλεγεί είναι 0,2 ^{o}/s.

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 α προκύπτει από τη σχέση:

$$2's_complement(\alpha) = 2^n - |\alpha|$$

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:

Αν $real_value \geq 0$, τότε: $bit_value = \dfrac{real_value}{resolution}$

Αν $real_value<0$, τότε: $bit_value = 2^n - \left|\dfrac{real_value}{resolution}\right|$

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

Αν $0 \leq bit_value < 2^{n-1}$, τότε: $real_value = bit_value \cdot resolution$

Αν $2^{n-1} < bit_value \leq 2^n$, τότε: $real_value = (bit_value - 2^n) \cdot resolution$

4.3.3.2.4 Μετρούμενη τιμή γωνιακής ταχύτητας

Αντικαθιστώντας, *n* = 16, *resolution* = 0,2 και *bit_value* = *YRS* στον τύπο της προηγούμενης παραγράφου, προκύπτει:

Αν $0 \leq YRS < 32768$, τότε: $real_value = YRS \cdot 0{,}2$ (^{o}/s)

Αν $32768 < YRS \leq 65536$, τότε: $real_value = (YRS - 65536) \cdot 0{,}2$

Σημειώνεται ότι, η τιμή του πεδίου YRS περιορίζεται μεταξύ +498 και -500, που αντιστοιχεί στις πραγματικές τιμές 99,6 ^{o}/s και -100 ^{o}/s αντίστοιχα. Έτσι, για εφαρμοζόμενες γωνιακές ταχύτητες μεγαλύτερες από την ανώτερη θετική τιμή (99,6 ^{o}/s), η τιμή που θα στέλνει ο αισθητήρας θα είναι, σύμφωνα με τις προτυποποιήσεις, πάντα 99,8 ^{o}/s. Αντίστοιχα, για μικρότερες τιμές γωνιακές ταχύτητας κάτω του αρνητικού ορίου (-100 ^{o}/s), η τιμή που θα αποστέλλεται θα είναι πάντα -100,2 ^{o}/s.

Η τιμή 32768 για το πεδίο YRS θεωρείται άκυρη και προκύπτει εφόσον υπάρχει κάποιου είδους σφάλμα στη μετάδοση, που φαίνεται από τα πεδία ERR, SERR, TERR του πλαισίου.

Θετικές τιμές της γωνιακής ταχύτητας σημαίνουν ότι το υποκείμενο όχημα εκτελεί στροφή προς τα αριστερά, ενώ αρνητικές τιμές ότι στρίβει προς τα δεξιά. Τιμές μηδενικές ή πολύ κοντά στο μηδέν φανερώνουν ότι το υποκείμενο όχημα κινείται ευθύγραμμα. Περισσότερες πληροφορίες για τις τιμές των πεδίων των μηνυμάτων CAN του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας υπάρχουν στο σχετικό έντυπο προτυποποίησης [6].

4.3.4 Κάρτα διασύνδεσης CAN (Vector CANcardXL)

Η κάρτα διασύνδεσης CAN χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής για την καταγραφή της κίνησης δεδομένων σε διαύλους CAN σε πραγματικό χρόνο. Αποτελεί έναν τρόπο διασύνδεσης μεταξύ προσωπικού Η/Υ και δικτύου CAN. Έχει δύο εισόδους/ εξόδους για τη σύνδεση μέχρι δύο διαύλων CAN.

Σχήμα 4.10: Κάρτα διασύνδεσης CAN (Vector CANcardXL - PCMCIA)

Συνοδεύεται από λογισμικό επεξεργασίας των μηνυμάτων ενός δικτύου CAN. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό CANalyser, στο οποίο θα γίνει αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο.

4.3.5 Δέκτης GPS

4.3.5.1 Γενικά

Ο δέκτης GPS δίνει πληροφορίες που μεταξύ άλλων αφορούν θέση και κίνηση. Οι πληροφορίες αποστέλλονται σε ψηφιακά, κωδικοποιημένα πλαίσια δεδομένων (data sets). Ένα πλαίσιο αποτελείται από μια ακολουθία συμβόλων σε κωδικοποίηση ASCII [8].

Σχήμα 4.11: Δέκτης GPS (GlobalSat BU-353 WaterProof USB GPS Receiver).

4.3.5.2 Χρήση GPS

Επισημαίνεται ότι η χρήση του δέκτη GPS στην παρούσα διπλωματική έγινε μόνο για την καταγραφή, σε πραγματικό χρόνο, της ταχύτητας του πειραματικού οχήματος, εφόσον δεν ήταν δυνατό να βρεθεί αποδοτικότερος (σε χρόνο και χρήμα) τρόπος, με τον δεδομένο εξοπλισμό του εργαστηρίου του Πολυτεχνείου, για την μέτρηση της ταχύτητας και της κωδικοποίησής της σε ψηφιακό δεδομένο. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα για την όλη εφαρμογή, εφόσον η ακρίβεια και η συχνότητα μετάδοσης του δεδομένου της ταχύτητας μέσω GPS δεν είναι οι καλύτερες δυνατές.

Συγκεκριμένα σημειώνεται ότι τα πλαίσια δεδομένων GPS μεταδίδονται περίπου κάθε 1sec, που αποτελεί αρκετά μεγάλο χρόνο, αν αναλογιστούμε την περίοδο μετάδοσης των πλαισίων CAN των ραντάρ και του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας που είναι 40ms και 10ms αντίστοιχα.

.

Έτσι, αξιοποιήθηκε μόνο το αντίστοιχο πλαίσιο δεδομένων GPS που περιέχει την πληροφορία της ταχύτητας. Συγκεκριμένα το πλαίσιο VTG (VTG dataset) που περιέχει την τρέχουσα ταχύτητα σε km/h.

4.3.5.3 Λήψη απαραίτητων πληροφοριών GPS

Για την λήψη της πληροφορίας αυτής από τον φορητό Η/Υ αναπτύχθηκε πρόγραμμα σε γλώσσα C++ που υλοποιεί τη λειτουργία ενός πελάτη (client) δικτύου, που λειτουργεί με βάση το πρωτόκολλο UDP[12].

Η εφαρμογή UDP_client λαμβάνει το συγκεκριμένο πλαίσιο GPS (VTG dataset), απομονώνει την κωδικοποιημένη σε ASCII τιμή της ταχύτητας, και την αποστέλλει στη συνέχεια, σύμφωνα με το πρωτόκολλο UDP, στην διεύθυνση IP που αντιστοιχεί στον βιομηχανικό Η/Υ (xPC Targetbox, βλ. § 4.3.1.4).

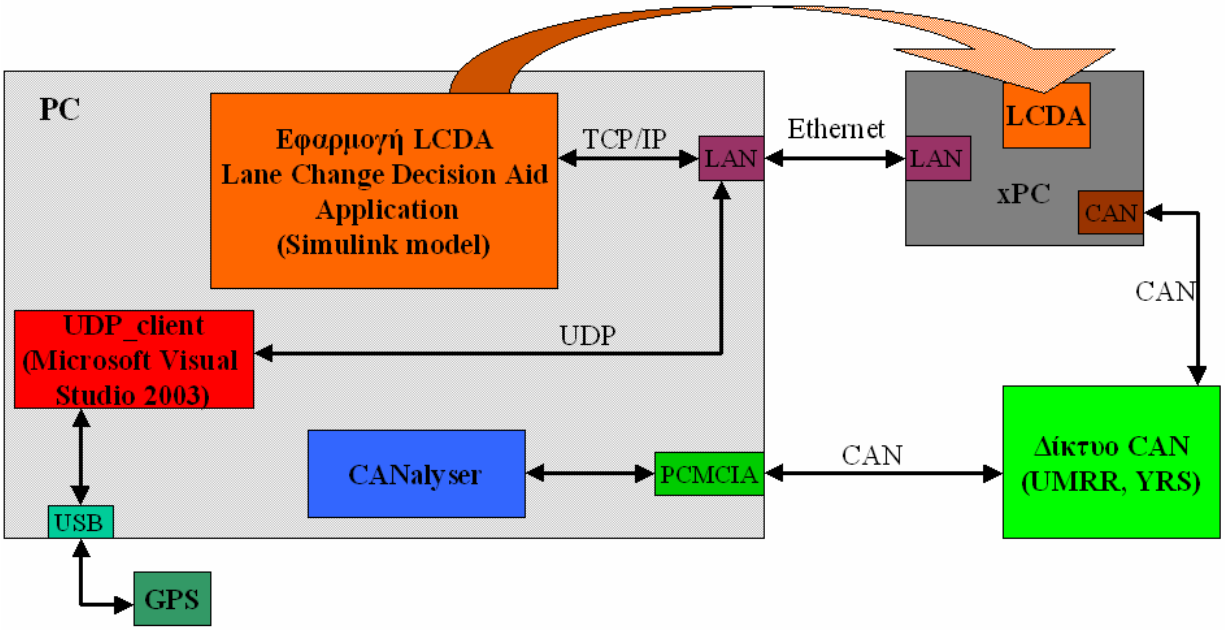
Περαιτέρω πληροφορίες θα δοθούν κατά την περιγραφή του μοντέλου Simulink που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 6.

[12] Το πρόγραμμα έγινε σε περιβάλλον Microsoft Visual Studio 2003. Θα αναφέρεται ως UDP_client.

4.4 Επικοινωνία των εφαρμογών λογισμικού με τα στοιχεία του δικτύου

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται μια σχηματική περιγραφή της επικοινωνίας των εφαρμογών λογισμικού που εκτελούνται στον φορητό προσωπικό Η/Υ και στον βιομηχανικό Η/Υ με τα διάφορα στοιχεία του δικτύου του πειραματικού οχήματος. Επίσης φαίνεται και βάσει ποιων πρωτοκόλλων γίνεται η μεταφορά δεδομένων μεταξύ τους.

Η βασική εφαρμογή (μοντέλο Simulink) 'φορτώνεται' στον βιομηχανικό Η/Υ (xPC) από τον φορητό Η/Υ (PC) μέσω σύνδεσης Ethernet LAN (επίπεδο ζεύξης) και βάσει του πρωτοκόλλου μεταφοράς TCP. Ακολούθως, τα απαραίτητα δεδομένα από τον δέκτη GPS τα επεξεργάζεται και τα αποστέλλει η εφαρμογή UDP_client και φθάνουν στον βιομηχανικό Η/Υ μέσω της ίδιας σύνδεσης Ethernet LAN μεταφερόμενα βάσει του πρωτοκόλλου UDP. Τα δεδομένα που στέλνουν τα δύο ραντάρ (UMRR) και ο αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας (YRS) καταλήγουν στον βιομηχανικό Η/Υ μέσω διαύλων CAN. Παράλληλα, η κίνηση στους διαύλους αυτούς καταγράφεται από την εφαρμογή CANalyser στον φορητό Η/Υ μέσω της ειδικής κάρτας διασύνδεσης CAN PCMCIA.



Σχήμα 4.12: Σχηματικό διάγραμμα επικοινωνίας των εφαρμογών λογισμικού με τα στοιχεία του δικτύου.

5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

5.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας καταγραφής των δεδομένων (data logging) που παράγονται από τα δύο ραντάρ μεσαίας εμβέλειας (UMRR, βλ. κεφ. 4) σε πραγματικό χρόνο, κατά την προσέγγιση, και τελικά προσπέραση, του πειραματικού οχήματος από άλλο βοηθητικό όχημα.

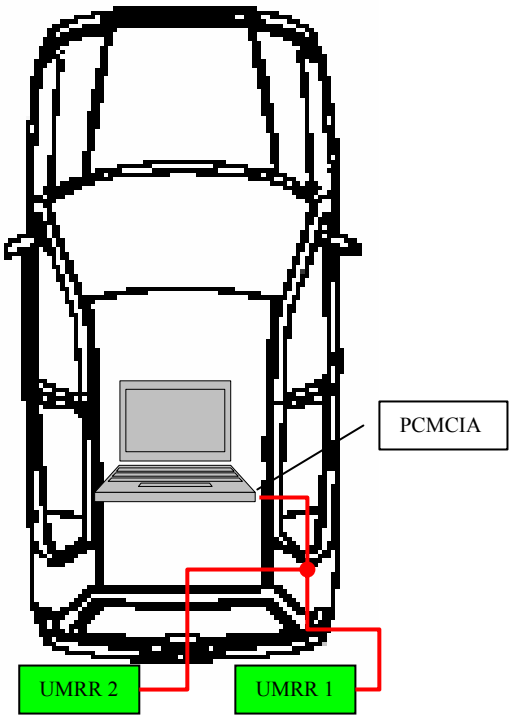
Η καταγραφή έγινε με τη βοήθεια του εξειδικευμένου λογισμικού ανάπτυξης CANalyser[1] για συστήματα με διαύλους CAN.

Αυτό που κατεγράφη, είναι τα μηνύματα CAN (βλ. § 4.3.2.4) που αποστέλλουν τα δύο ραντάρ και ο αντίστοιχος χρόνος άφιξής τους.

5.2 Τοπολογία δικτύου κατά την καταγραφή

Επισημαίνεται ότι, η διεξαγωγή αυτών των μετρήσεων είχε ως σκοπό να γίνει απλώς δοκιμή και ρύθμιση των δύο ραντάρ μεσαίας εμβέλειας σύμφωνα με τις απαιτήσεις της τελικής εφαρμογής. Για αυτό το λόγο δεν ήταν απαραίτητη η σύνδεση του βιομηχανικού Η/Υ (xPC) στο δίκτυο του οχήματος. Δηλαδή, η καταγραφή έγινε με τον φορητό Η/Υ απευθείας συνδεδεμένο, μέσω της κάρτας διασύνδεσης CAN (βλ. § 4.3.4), με τα δύο ραντάρ. Επελέγη, έτσι, μόνο ένας δίαυλος CAN (channel 1) της κάρτας, όπου και συνδέθηκαν και τα δύο ραντάρ.

Η τοπολογία του δικτύου κατά την καταγραφή φαίνεται στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Τοπολογία δικτύου κατά την καταγραφή μηνυμάτων CAN των δύο ραντάρ UMRR

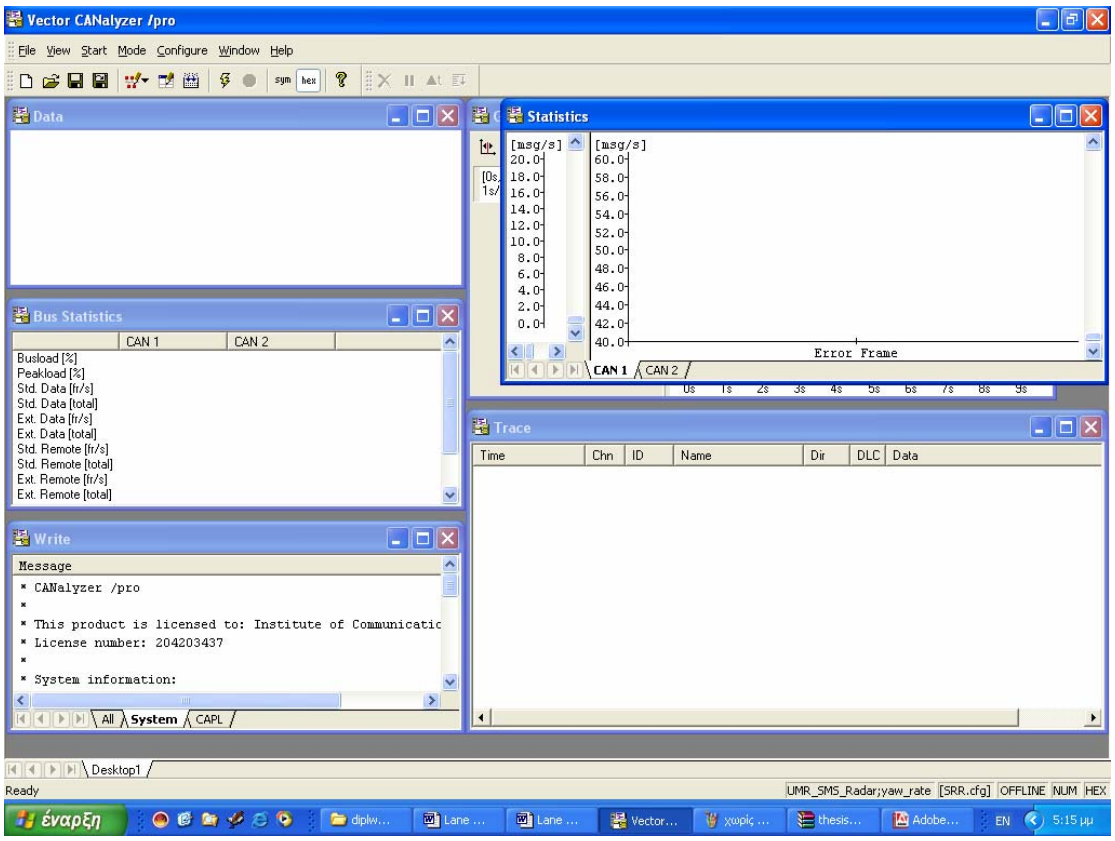
[1] CANalyser/ pro version 5.0.44 (SP3) CANcardX copyright 1992 – 2004 Vector Informatik GmbH.

5.3 Λογισμικό ανάπτυξης για συστήματα με διαύλους CAN (CANalyser)

5.3.1 Βασικές λειτουργίες

Η βασική λειτουργία του λογισμικού CANalyser είναι να παρατηρεί και να αναλύει την κίνηση δεδομένων σε ένα σύστημα διαύλων CAN. Αυτή η λειτουργία περιλαμβάνει μεταξύ άλλων:

Παρουσίαση και καταχώρηση σε λίστα της κίνησης διαύλου (tracing).
Παρουσίαση πεδίων δεδομένων συγκεκριμένων μηνυμάτων (displaying data segments of certain messages).
Στατιστική ανάλυση πάνω στην συχνότητα εμφάνισης των μηνυμάτων.
Καταγραφή (Recording) όλων των παραπάνω πληροφοριών για επεξεργασία χωρίς σύνδεση στο δίκτυο (offline).



Σχήμα 5.2: Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής CANalyser

5.3.2 Βάσεις δεδομένων μηνυμάτων CAN

Τα μηνύματα CAN που παρουσιάζονται και αναλύονται είναι καταχωρημένα σε βάσεις δεδομένων (CAN databases), όπου ορίζεται η κωδικοποίησή τους.

Έτσι, για τα ραντάρ μέσης εμβέλειας UMRR έχει οριστεί η βάση UMR_SMS_Radar, που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τα μηνύματα:

- sensor_control_ID1 (βλ. § 4.3.2.4.1, για το δεξιό ραντάρ)
- sensor_control_ID2 (βλ. § 4.3.2.4.1, για το αριστερό ραντάρ)

- object_data_ID1_01 έως και object_data_ID1_31 (βλ. § 4.3.2.4.2, για το δεξιό ραντάρ)
- object_data_ID2_01 έως και object_data_ID2_31 (βλ. § 4.3.2.4.2, για το αριστερό ραντάρ)

Τα αντίστοιχα πεδία των παραπάνω μηνυμάτων φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:

Vector CANdb++ Editor - C:\Documents and Settings\Jimmy\Επιφάνεια εργασίας\diplwmatikh\Vector_lib\UMR_SMS_Radar.dbc - [Overall View]

File Edit View Options Window Help

Name	Message	Startbit	Length [Bit]	Byte Order	Value Type	Initial Value	Factor	Offset	Minim...	Maximum	Unit	Value Table	Comment
sensor_status	sensor_control_ID1	0	8	Intel	Unsigned	0	1	0	0	255		<none>	
sensor_mode	sensor_control_ID1	8	4	Intel	Unsigned	0	1	0	0	15		<none>	
sub_mode	sensor_control_ID1	12	4	Intel	Unsigned	0	1	0	0	15		<none>	
cycle_duration	sensor_control_ID1	16	8	Intel	Unsigned	0	0.8192	0	0	255	ms	<none>	
sensor_ID	sensor_control_ID1	24	3	Intel	Unsigned	0	1	0	0	7		<none>	
number_of_objects	sensor_control_ID1	27	5	Intel	Unsigned	0	1	0	0	31		<none>	
time_stamp	sensor_control_ID1	32	32	Intel	Unsigned	0	0.8192	0	0	65535	ms	<none>	

Σχήμα 5.3: Πεδία μηνύματος sensor_control_ID1

Vector CANdb++ Editor - C:\Documents and Settings\Jimmy\Επιφάνεια εργασίας\diplwmatikh\Vector_lib\UMR_SMS_Radar.dbc - [Overall View]

File Edit View Options Window Help

Name	Message	Startbit	Length [Bit]	Byte Order	Value Type	Initial Value	Factor	Offset	Minim...	Maximum	Unit	Value Table	Comment
sensor_status2	sensor_control_ID2	0	8	Intel	Unsigned	0	1	0	0	255		<none>	
sensor_mode2	sensor_control_ID2	8	4	Intel	Unsigned	0	1	0	0	15		<none>	
sub_mode2	sensor_control_ID2	12	4	Intel	Unsigned	0	1	0	0	15		<none>	
cycle_duration2	sensor_control_ID2	16	8	Intel	Unsigned	0	0.8192	0	0	255	ms	<none>	
sensor_ID2	sensor_control_ID2	24	3	Intel	Unsigned	0	1	0	0	7		<none>	
number_of_objects2	sensor_control_ID2	27	5	Intel	Unsigned	0	1	0	0	31		<none>	
time_stamp2	sensor_control_ID2	32	32	Intel	Unsigned	0	0.8192	0	0	65535	ms	<none>	

Σχήμα 5.4: Πεδία μηνύματος sensor_control_ID2

Vector CANdb++ Editor - C:\Documents and Settings\Jimmy\Επιφάνεια εργασίας\diplwmatikh\Vector_lib\UMR_SMS_Radar.dbc - [Overall View]

File Edit View Options Window Help

Name	Message	Startbit	Length [Bit]	Byte Order	Value Type	Initial Value	Factor	Offset	Minim...	Maximum	Unit	Value Table	Comment
range	object_data_ID1...	0	13	Intel	Unsigned	0	0.01	0	0	81.91	m	<none>	
angle	object_data_ID1...	13	11	Intel	Unsigned	0	0.16	-163.84	-163.84	163.68	deg	<none>	
Radial_rel_speed	object_data_ID1...	24	11	Intel	Unsigned	0	0.08	-81.92	-81.92	81.84	m/s	<none>	
Signal_to_thresho...	object_data_ID1...	35	8	Intel	Unsigned	0	1.28	0	0	326.4	db	<none>	
type	object_data_ID1...	43	5	Intel	Unsigned	0	1	0	0	31		<none>	

Σχήμα 5.5: Πεδία μηνυμάτων object_data_ID1_01 έως object_data_ID1_31

Vector CANdb++ Editor - C:\Documents and Settings\Jimmy\Επιφάνεια εργασίας\diplwmatikh\Vector_lib\UMR_SMS_Radar.dbc - [Overall View]

File Edit View Options Window Help

Name	Message	Startbit	Length [Bit]	Byte Order	Value Type	Initial Value	Factor	Offset	Minim...	Maximum	Unit	Value Table	Comment
range_2	object_data_ID2...	0	13	Intel	Unsigned	0	0.01	0	0	81.91	m	<none>	
angle_2	object_data_ID2...	13	11	Intel	Unsigned	0	0.16	-163.84	-163.84	163.84	deg	<none>	
Radial_rel_speed_2	object_data_ID2...	24	11	Intel	Unsigned	0	0.08	-81.92	-81.92	81.84	m/s	<none>	
Signal_to_thresho...	object_data_ID2...	35	8	Intel	Unsigned	0	1.28	0	0	326.4	db	<none>	
type_2	object_data_ID2...	43	5	Intel	Unsigned	0	1	0	0	31		<none>	

Σχήμα 5.6: Πεδία μηνυμάτων object_data_ID2_01 έως object_data_ID2_31

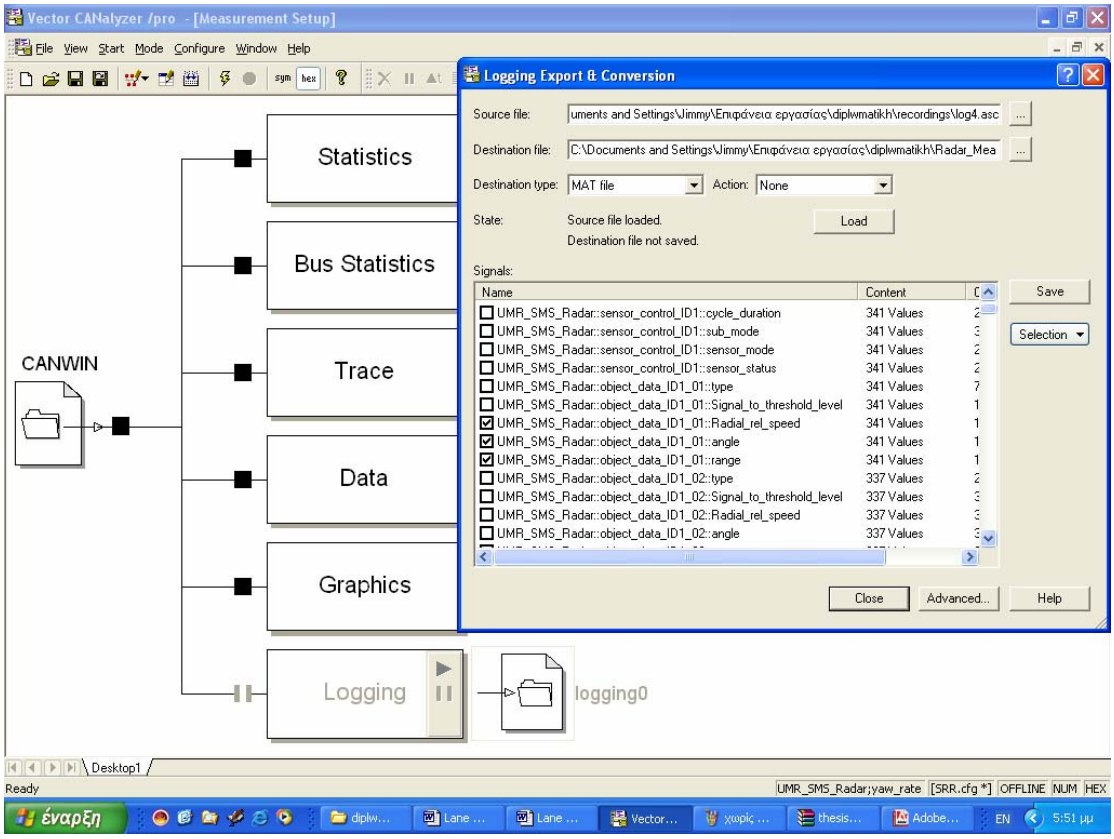
5.3.3 Καταγραφή μηνυμάτων CAN

Σε μια καταγραφή μηνυμάτων, αφού οριστεί η σχετική βάση δεδομένων, αποθηκεύονται οι τιμές των αντίστοιχων μεταβλητών (πεδίων) σε αρχεία τύπου ASCII (*.asc). Για τις ανάγκες της εφαρμογής και γενικότερα για λόγους ευκολίας, τα αρχεία αυτά μετατράπηκαν σε αρχεία αναγνωρίσιμα από το MATLAB (*.mat), όπως φαίνεται στο σχήμα 5.7.

Δίπλα στην ονομασία του κάθε πεδίου που καταγράφεται, φαίνονται και πόσες τιμές καταγράφονται συνολικά από το καθένα για όσο διαρκεί η καταγραφή. Επίσης, το ποια πεδία θα μεταφερθούν (export) σε αρχείο του MATLAB (*.mat) μπορεί και επιλέγεται.

Στο MATLAB, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, οι μετρούμενες τιμές της κάθε μεταβλητής και οι αντίστοιχες χρονικές στιγμές καταγραφής της, καταχωρούνται σε πίνακες δύο στηλών και γραμμών ίσων με τον αριθμό των τιμών που καταγράφηκαν

για το κάθε πεδίο. Η πρώτη στήλη περιλαμβάνει τις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες κατεγράφη το κάθε δείγμα και η δεύτερη την αντίστοιχη τιμή του δείγματος.



Σχήμα 5.7: Καταγραμμένα πεδία μηνυμάτων που αποστέλλουν τα ραντάρ UMRR. Μετατροπή από αρχεία *.asc σε αρχεία *.mat του MATLAB.

5.4 Καταγραφή μηνυμάτων CAN στο πειραματικό όχημα

5.4.1 Σενάριο δοκιμής

Το σενάριο για τη δοκιμή των ραντάρ στο πειραματικό όχημα ήταν μια απλή προσπέραση από τα αριστερά.

Ένα βοηθητικό όχημα προσεγγίζει το πειραματικό από πίσω και το προσπερνά από αριστερά. Η δοκιμή αυτή χωρίστηκε σε δύο φάσεις:

- Στην πρώτη, το πειραματικό όχημα κινούταν με ταχύτητα που κυμάνθηκε μεταξύ 10 km/h (2,8 m/s) και 26 km/h (7,2 m/s) περίπου.
- Στην δεύτερη, το πειραματικό όχημα ήταν ακίνητο.

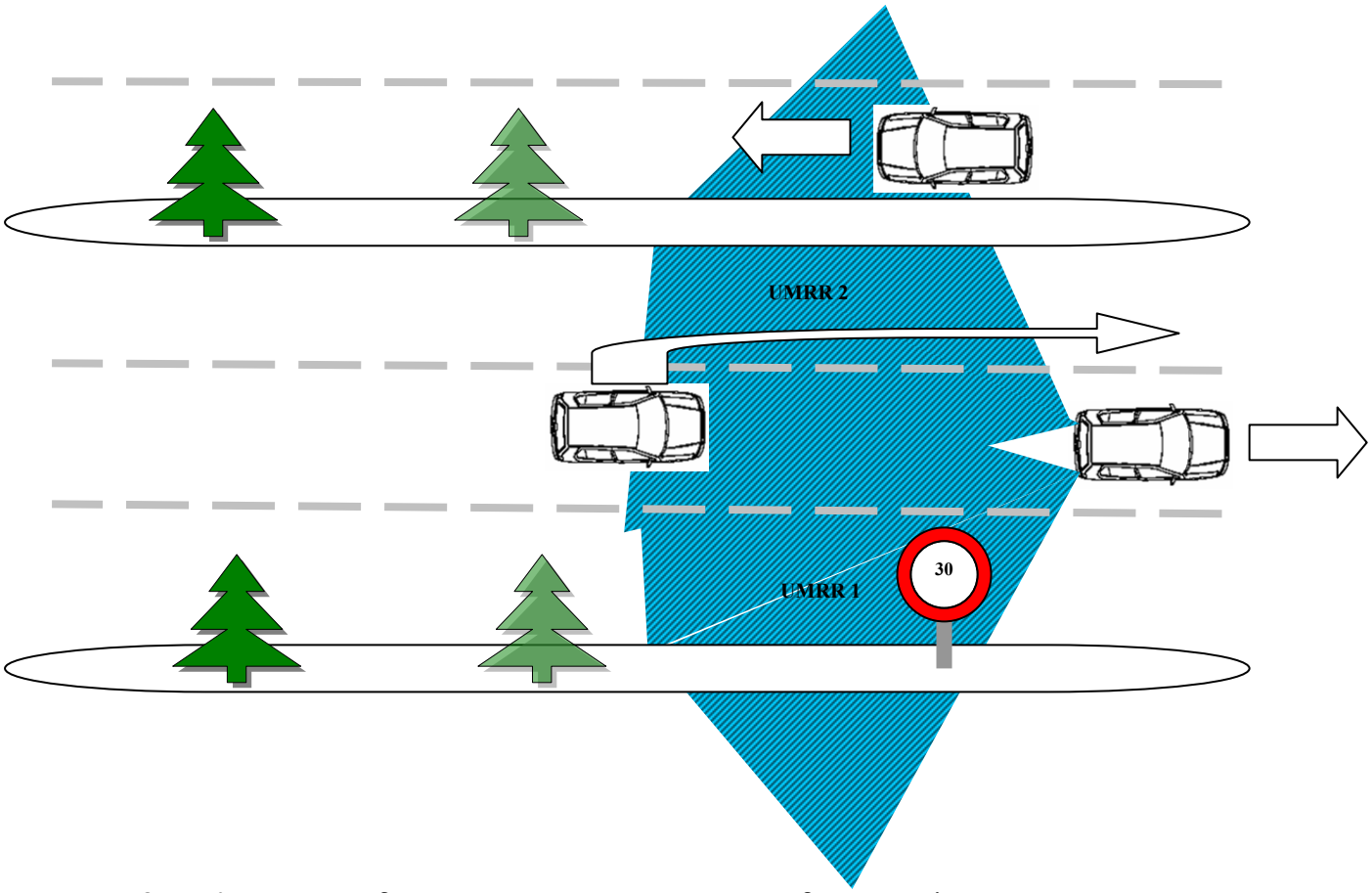
Κατά τη διάρκεια της δοκιμής καταγράφονται η ακτινική σχετική ταχύτητα (radial relative speed) του βοηθητικού οχήματος ως προς το πειραματικό, η γωνία (angle) που βρίσκεται το βοηθητικό όχημα και η απόστασή (range) του από το πειραματικό. Στα μεγέθη αυτά έγινε αναλυτική αναφορά στην παράγραφο 4.3.2.3.

5.4.2 Αποτελέσματα δοκιμής

Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν παρακάτω αντιστοιχούν σε πεδία των μηνυμάτων object_data_ID1_xx και object_data_ID2_xx , όπου 'xx' είναι ο αριθμός (01 έως 31) του μηνύματος για συγκεκριμένο κύκλο μετάδοσης (βλ. § 5.3.2 και § 4.3.2.4.2).

Για προφανείς λόγους έχουν επιλεγεί, μετά από επεξεργασία, μόνο εκείνα τα μηνύματα που δίνουν τις περισσότερες και εγκυρότερες μετρήσεις (δείγματα) για το όχημα στόχο (βοηθητικό όχημα). Πρώτα παρουσιάζονται αυτούσια τα αποτελέσματα της καταγραφής χωρίς φιλτράρισμα και στη συνέχεια τα ίδια αποτελέσματα φιλτραρισμένα.

Το φιλτράρισμα είναι απαραίτητο για να φανεί μια σαφέστερη εικόνα των τιμών (ακτινική σχετική ταχύτητα, γωνία, απόσταση) που αντιστοιχούν στο όχημα στόχο που εκτελεί την προσπέραση. Και αυτό διότι αρκετές τιμές που καταγράφηκαν αντιστοιχούν σε διαφορετικά ανακλαστικά αντικείμενα του περιβάλλοντος που έγινε η δοκιμή, όπως για παράδειγμα μεταλλικές πινακίδες ή άλλα οχήματα που έτυχε να περνούν (βλ. σχήμα 5.8). Το φιλτράρισμα γίνεται με βάση την τιμή της ακτινικής σχετικής ταχύτητας (radial relative speed). Δηλαδή, επιλέγονται μόνον εκείνες οι τιμές της ακτινικής σχετικής ταχύτητας που θα μπορούσαν να αντιστοιχούν στο όχημα που εκτελεί την προσπέραση, δεδομένης της ταχύτητας του πειραματικού οχήματος, όπως θα εξηγηθεί παρακάτω. Παράλληλα απομονώνονται και οι τιμές της γωνίας και της απόστασης.



Σχήμα 5.8: Υποθετικό σενάριο δοκιμής. Τα ραντάρ καταγράφουν οποιαδήποτε ανακλαστικά αντικείμενα εντός της εμβέλειάς τους.

5.4.2.1 Αποτελέσματα πρώτης φάσης

Στη φάση αυτή το πειραματικό όχημα κινείται, όπως προαναφέρθηκε, με ταχύτητες μεταξύ 10km/h (2,8 m/s) και 26km/h (7,2 m/s). Κριτήριο επιλογής των τιμών είναι σε αυτή την περίπτωση η ακτινική σχετική ταχύτητα να είναι μικρότερη από το πολύ 3,8 m/s. Επισημαίνεται ότι, θα μπορούσε να τεθεί αρκετά μικρότερο όριο, για παράδειγμα κοντά στο μηδέν, εφόσον το όχημα που επιχειρεί την προσπέραση, τον περισσότερο χρόνο της καταγραφής, θα πλησιάζει το πειραματικό, δηλαδή θα έχει ως επί το πλείστον αρνητική ακτινική σχετική ταχύτητα (βλ. § 4.3.2.4.2). Αρκετά μικρές θετικές τιμές ακτινικής σχετικής ταχύτητας μπορεί να παρατηρούνται επίσης, που σημαίνει ότι το βοηθητικό όχημα ελαφρώς απομακρύνεται από το πειραματικό. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές αυτές διαχωρίζονται εύκολα από αυτές των ακίνητων αντικειμένων ή αυτών που κινούνται σε αντίθετη κατεύθυνση, οι οποίες είναι τουλάχιστον ίσες με 2,8 m/s, δηλαδή την ελάχιστη ταχύτητα που είχε το πειραματικό όχημα κατά τη διάρκεια της καταγραφής.

Στο παράρτημα Α (σχήματα Α.1 έως και Α.6) φαίνονται τα διαγράμματα των μετρούμενων μεγεθών, πριν και μετά το φιλτράρισμα, για τα δύο ραντάρ. Στον κατακόρυφο άξονα αντιστοιχούν τα μεγέθη και στον οριζόντιο ο χρόνος σε δευτερόλεπτα.

Από τα διαγράμματα με τις φιλτραρισμένες τιμές μπορούν να βγουν συμπεράσματα για την πορεία του βοηθητικού οχήματος στόχου που έκανε την προσπέραση. Έτσι, φαίνεται, όπως θα αναμενόταν, ότι η ακτινική σχετική ταχύτητα του οχήματος στόχου ως προς το υποκείμενο παίρνει σταδιακά όλο και μεγαλύτερες κατά απόλυτο τιμή αρνητικές τιμές μέχρι το όχημα στόχος να βγει από το οπτικό πεδίο του κάθε ραντάρ. Την ίδια στιγμή, οι τιμές που καταγράφονται για την γωνία και την απόσταση δηλώνουν ότι το όχημα στόχος πλησίασε το υποκείμενο από πίσω, κινούμενο ταυτόχρονα προς την κατεύθυνση κίνησης του υποκείμενου και πλευρικά προς τα αριστερά, μέχρι που πέρασε από την αριστερή πλευρά του τελευταίου.

Συγκεκριμένα, οι τιμές της γωνίας μεταβάλλονται από περίπου $+20^o$ μέχρι -40° για το αριστερό ραντάρ (βλ. σχήμα 4.6), ενώ για το δεξιό από -20° μέχρι -40° (βλ. σχήμα 4.7) περίπου. Αντίστοιχα, οι τιμές της απόστασης για το αριστερό ραντάρ κυμάνθηκαν από 7,5 μέχρι 1,5 μέτρο περίπου, ενώ για το δεξιό από 7,5 μέχρι 4,5 μέτρα περίπου. Η διαφορά μεταξύ των μετρούμενων τιμών του αριστερού και του δεξιού ραντάρ οφείλεται, προφανώς, στην διαφορετική τοποθέτησή τους στο πειραματικό όχημα. Έτσι, σε μια προσπέραση από αριστερά, το αριστερό ραντάρ θα δίνει περισσότερες μετρήσεις στον χρόνο που διαρκεί η καταγραφή, εφόσον το όχημα στόχος κινείται για περισσότερο χρόνο στο οπτικό πεδίο του αριστερού ραντάρ (βλ. σχήμα 5.8).

5.4.2.2 Αποτελέσματα δεύτερης φάσης

Στη φάση αυτή η προσπέραση γίνεται με ακίνητο το πειραματικό όχημα, για την ευκολότερη απομόνωση των τιμών που αντιστοιχούν στο βοηθητικό όχημα, που εκτελεί την προσπέραση. Αυτό σημαίνει ότι, επιλέγονται μόνο οι τιμές που αντιστοιχούν σε αρνητική ακτινική σχετική ταχύτητα αρκετά μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή από το μηδέν, εφόσον οι μετρήσεις για τα υπόλοιπα ακίνητα ανακλαστικά αντικείμενα του περιβάλλοντος θα δίνουν μηδενικές ή πολύ κοντά στο

μηδέν τιμές. Επίσης, για οχήματα που έτυχε να περνούν κινούμενα αντίθετα, οι τιμές της ακτινικής σχετικής ταχύτητας θα είναι προφανώς θετικές, οπότε και απομονώνονται.

Στο παράρτημα Α (σχήματα Α.7 έως και Α.12) φαίνονται τα διαγράμματα των μετρούμενων μεγεθών, πριν και μετά το φιλτράρισμα, για τα δύο ραντάρ. Στον κατακόρυφο άξονα αντιστοιχούν τα μεγέθη και στον οριζόντιο ο χρόνος σε δευτερόλεπτα.

Οι παρατηρήσεις είναι παρόμοιες με αυτές της προηγούμενης παραγράφου, με τη διαφορά ότι το βοηθητικό όχημα προσπερνά με μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με την πρώτη φάση.

6 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΛΩΡΙΔΑΣ (LANE CHANGE DECISION AID APPLICATION)

6.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στο υπολογιστικό και προγραμματιστικό μέρος της εφαρμογής υποβοήθησης για την αλλαγή λωρίδας.

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε με το τεχνικό λογισμικό Simulink (v. 6) του MATLAB (R14). Για την επικοινωνία του προσωπικού Η/Υ με τον βιομηχανικό Η/Υ (βλ. § 4.3.1.2), σε πραγματικό χρόνο, έγινε χρήση του εργαλείου (tool) Real – Time Workshop του MATLAB. Συμπληρωματικά, για την λήψη και την κατάλληλη διαμόρφωση δεδομένων του GPS (βλ. § 4.3.5.3) χρησιμοποιήθηκε και το περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού Microsoft Visual Studio 2003. Τέλος, για την καταγραφή μηνυμάτων CAN σε πραγματικό χρόνο έγινε χρήση του λογισμικού CANalyser της Vector (βλ. κεφ. 5).

6.2 Σκοπός και λειτουργία της εφαρμογής

Εν γένει, σκοπός της εφαρμογής είναι να υλοποιήσει το λογισμικό βάσει του οποίου θα λειτουργεί ένα σύστημα υποβοήθησης για την αλλαγή λωρίδας. Ο λεπτομερής τρόπος εγκατάστασης αυτού του συστήματος και η μέθοδος αλληλεπίδρασής του με τον οδηγό αφήνεται ως αντικείμενο μελλοντικής ανάπτυξης και δεν αναφέρεται αναλυτικά στην παρούσα διπλωματική (βλ. κεφ. 2). Επίσης, πιθανές βελτιώσεις και επεκτάσεις μπορούν να αποτελέσουν μελλοντική δουλειά (βλ. κεφ. 7). Η εφαρμογή που αναφέρεται στο παρόν σύγγραμμα ακολουθεί τις παρακάτω φάσεις λειτουργίας:

- Απομονώνονται οι απαραίτητες, για την εκτίμηση της σχετικής θέσης και κίνησης οχημάτων στόχων, τιμές των μεγεθών, που συλλέγουν και στέλνουν τα ραντάρ και οι αισθητήρες.

- Οι τιμές αυτές στη συνέχεια αξιολογούνται βάσει κριτηρίων, που θα αναφερθούν αναλυτικότερα παρακάτω. Γενικά, τηρούνται κάποια από τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.4.1.3.2.1 με κάποιες προσαρμογές.

- Εξάγεται συμπέρασμα για το βαθμό επικινδυνότητας της τρέχουσας κατάστασης και την αξιοπιστία των μετρήσεων. Ορίζονται τέσσερα επίπεδα προειδοποίησης, που θα αναφερθούν παρακάτω, τα οποία βασίζονται στην λειτουργία προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας (βλ. § 2.2.13) με κάποιες προσαρμογές. Οι προειδοποιήσεις συνοδεύονται από ενδείξεις για την αξιοπιστία τους, που σχετίζονται με τους χρόνους άφιξης των μηνυμάτων CAN και UDP.

- Τα εξαγόμενα συμπεράσματα κωδικοποιούνται κατάλληλα και αποστέλλονται στη συνέχεια στο δίκτυο του οχήματος ως ανεξάρτητα μηνύματα CAN, όπως θα φανεί παρακάτω. Παράλληλα, αποστέλλονται με τον ίδιο τρόπο και χρήσιμες πληροφορίες, όπως η γραμμική (οριζόντια) και γωνιακή ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος.

6.3 Το μοντέλο Simulink της εφαρμογής

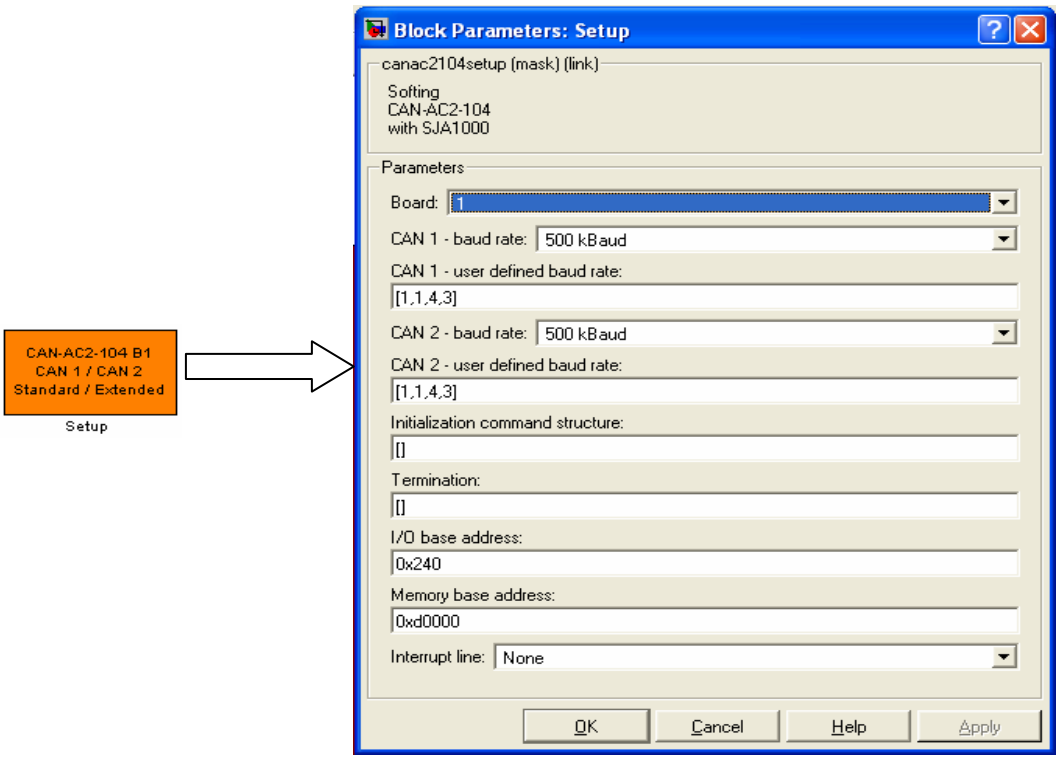
Οι περιγραφές που ακολουθούν αναφέρονται στο αρχείο μοντέλου Simulink LCDAS_application, όπου αναπτύχθηκε η εφαρμογή. Επίσης, θα γίνει αναφορά στα διάφορα βοηθητικά αρχεία πηγαίου κώδικα γλώσσας C που χρησιμοποιήθηκαν στην δημιουργία μορφοποιούμενων (customized) από το χρήστη μπλοκ λειτουργιών του Simulink (S - functions). Για ευκολότερη περιγραφή παρατίθενται και στιγμιότυπα (screenshots) του μοντέλου. Συνολική εικόνα του μοντέλου (μπλοκ διαγράμματα) υπάρχει στο παράρτημα Ε.

6.3.1 Αποκωδικοποίηση μηνυμάτων (message unpacking)

6.3.1.1 Αποκωδικοποίηση μηνυμάτων CAN (CAN message unpacking)

Για την λήψη, αποστολή και επεξεργασία μηνυμάτων CAN, μέσω του βιομηχανικού Η/Υ (βλ. § 4.3.1.2, 4.3.1.3), το Simulink διαθέτει ειδικά μπλοκ.

Καταρχήν, το μπλοκ στο οποίο ορίζονται οι παράμετροι της επικοινωνίας στο δίκτυο CAN. Για την συγκεκριμένη κάρτα διασύνδεσης, CAN-AC2-104 με ελεγκτή τύπου SJA1000, που χρησιμοποιεί ο βιομηχανικός Η/Υ, οι παράμετροι ορίζονται όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1.

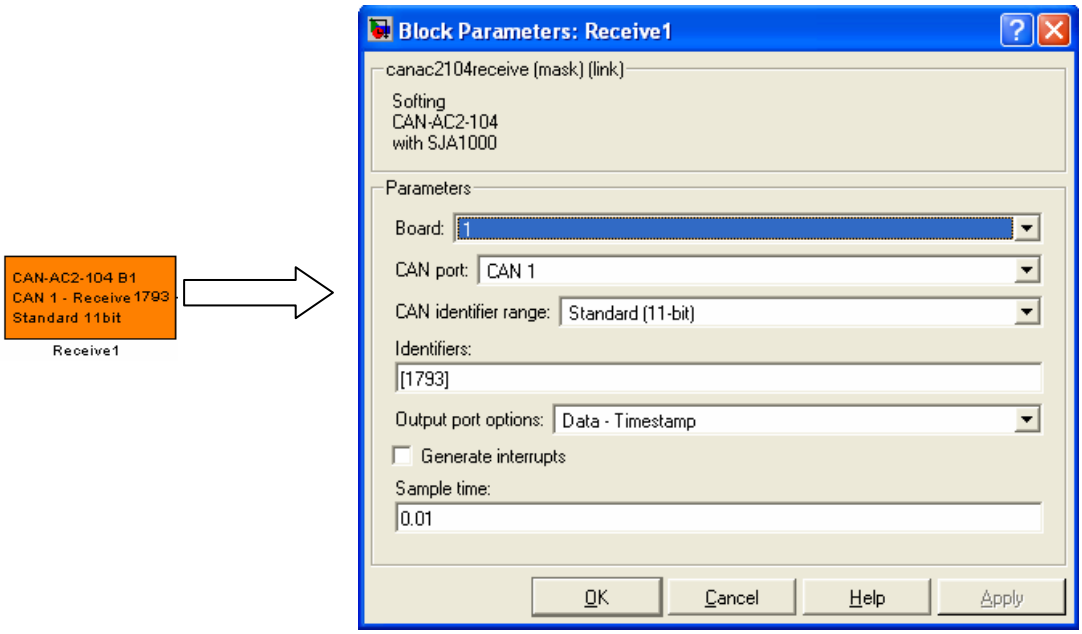


Σχήμα 6.1: Ρύθμιση παραμέτρων (setup) για την επικοινωνία της εφαρμογής με το CAN.

Τα μηνύματα CAN που αποκωδικοποιούνται είναι τα μηνύματα *object_data_ID1_xx* και *object_data_ID2_xx* (βλ. § 4.3.2.4.2 και § 5.3.2) του δεξιού και αριστερού ραντάρ αντίστοιχα ('xx' είναι ο αριθμός 01 έως 31) και το μήνυμα *YRS_Signals_TrmMsg* (βλ. § 4.3.3.2.2) του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας[1].

Σημειώνεται ότι δεν είναι απαραίτητο να αποκωδικοποιηθούν όλα τα μηνύματα *object_data_ID1_xx* και *object_data_ID2_xx* (01 έως 31), διότι στις συνθήκες που δοκιμάστηκε η εφαρμογή ακολουθούσε μόνο ένα βοηθητικό όχημα το πειραματικό, που σημαίνει ότι οι απαραίτητες τιμές καταγράφονται γρήγορα στα πρώτα μηνύματα του κάθε κύκλου μετάδοσης (βλ. § 4.3.2.4). Αυτό φάνηκε και από τα αποτελέσματα της καταγραφής, που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5, όπου ο αριθμός των μηνυμάτων που καταγράφηκαν σε κάθε κύκλο μετάδοσης δεν ξεπέρασε τα 13 για το κάθε ραντάρ, με τα πρώτα κιόλας μηνύματα να περιέχουν αρκετές τιμές για το όχημα στόχο.

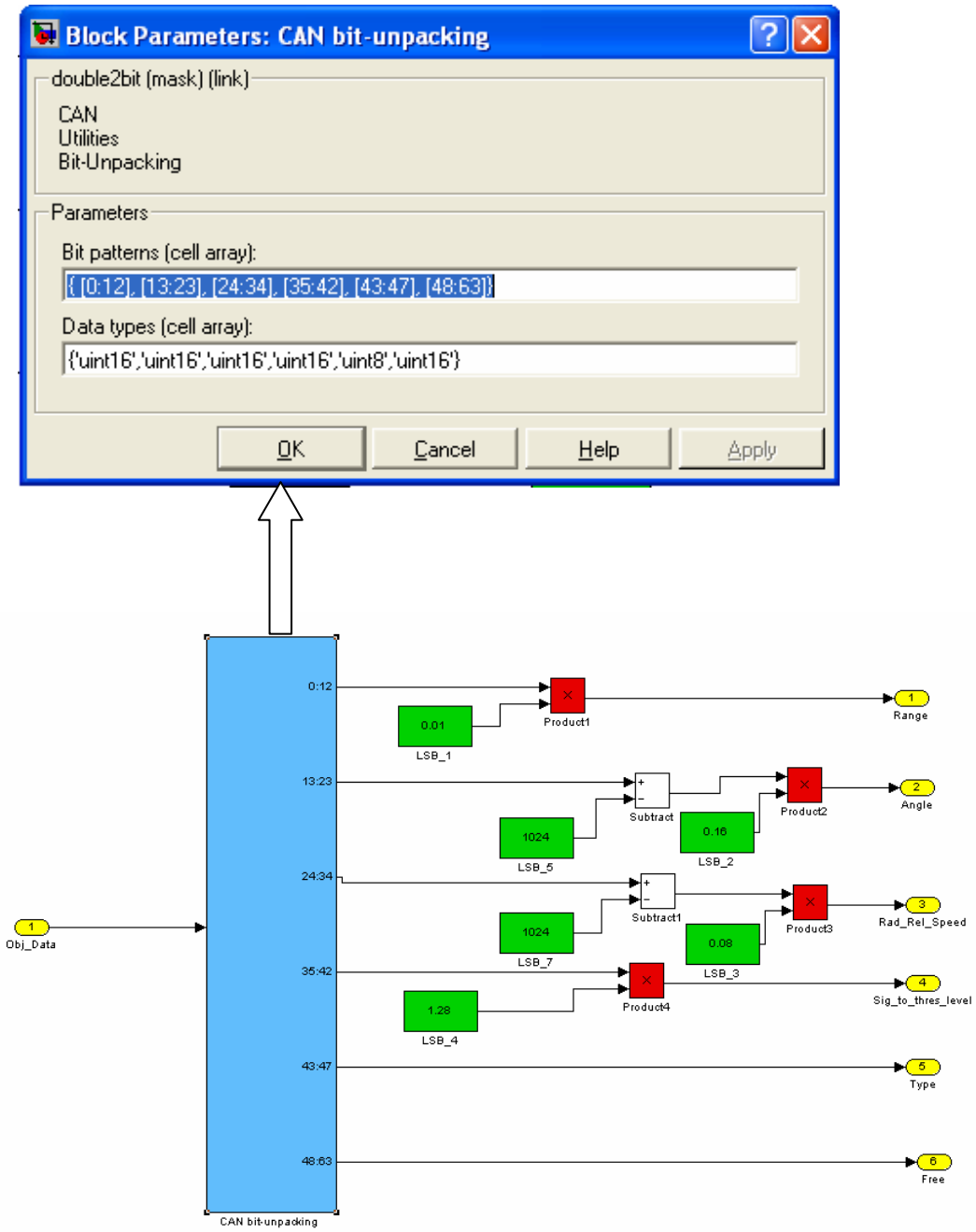
Το ποια μηνύματα CAN θα ληφθούν για αποκωδικοποίηση καθορίζεται από το μπλοκ λήψης CAN (CAN receive μπλοκ). Εκεί, μεταξύ άλλων, επιλέγεται η διεύθυνση (identifier) του μηνύματος που θα ληφθεί, που είναι μοναδική για το κάθε μήνυμα (βλ. § 4.3.2.4 και § 4.3.3.2.2). Επίσης, ορίζεται και η περίοδος δειγματοληψίας, του αντίστοιχου μηνύματος που κυκλοφορεί στο δίκτυο, ως 0,01 sec ή 10ms. Στο σχήμα 6.2 φαίνονται οι ρυθμίσεις αυτού του μπλοκ για το μήνυμα *object_data_ID1_01*. Παρόμοια επιλέγονται και τα υπόλοιπα. Επισημαίνεται ότι, τα μηνύματα *object_data_ID1_xx* και *object_data_ID2_xx* καταγράφονται στο κανάλι 1 (CAN 1) και το μήνυμα *YRS_Signals_TrmMsg* στο κανάλι 2 (CAN 2).



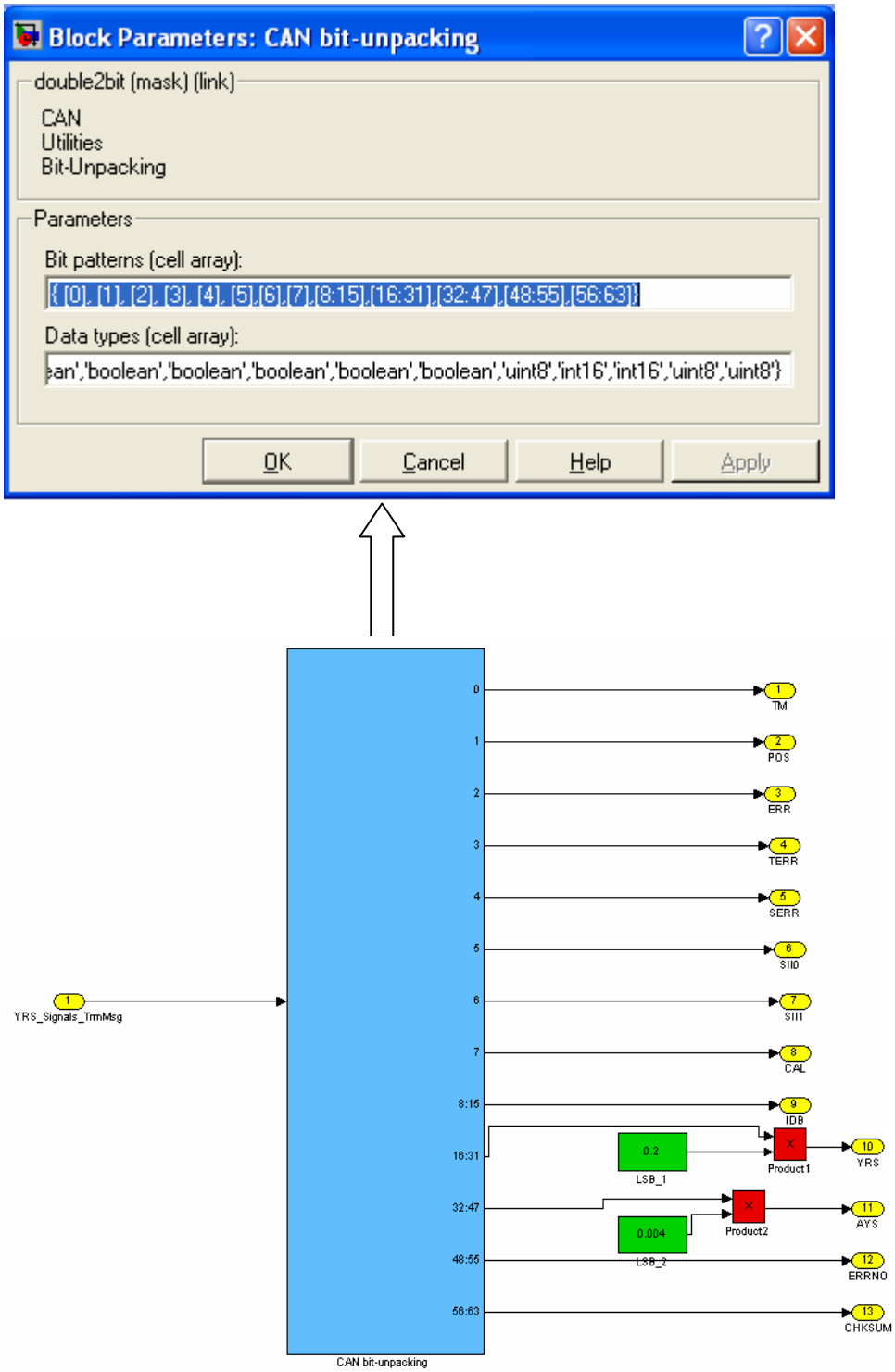
Σχήμα 6.2: Μπλοκ λήψης CAN. Ρυθμίσεις λήψης μηνύματος *object_data*.

[1] Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3.3.2.1, για να αποσταλεί από τον αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας το μήνυμα *YRS_Signals_TrmMsg* απαιτείται πρώτα ο αισθητήρας να λάβει το μήνυμα *YRS_Signals_RcvMsg*. Έτσι, το μήνυμα *YRS_Signals_RcvMsg* κωδικοποιείται και αποστέλλεται από την εφαρμογή (βλ. § 6.3.3).

Ακολούθως, γίνεται η αποκωδικοποίηση του κάθε μηνύματος με τη βοήθεια των μπλοκ αποκωδικοποίησης (unpacking) CAN. Τα μπλοκ αυτά δέχονται στην είσοδο κωδικοποιημένα μηνύματα CAN και στην έξοδο απομονώνουν τις δυαδικές τιμές κωδικοποίησης για κάθε πεδίο του μηνύματος. Η απομόνωση των δυαδικών τιμών κωδικοποίησης του κάθε πεδίου γίνεται σύμφωνα με τις κωδικοποιήσεις των μηνυμάτων, όπως αναφέρθηκαν αναλυτικά στις παραγράφους 4.3.2.4.2 και 4.3.3.2.2. Έπειτα, για την λήψη των πραγματικών τιμών των μεγεθών ακολουθείται η διαδικασία που αναφέρθηκε στις παραγράφους 4.3.2.4.3 και 4.3.3.2.3 για την εξαγωγή της πραγματικής τιμής (real value) από δυαδική τιμή κωδικοποίησης (bit value). Στα σχήματα 6.3 και 6.4 φαίνεται η αποκωδικοποίηση ενός μηνύματος *object_data* και του μηνύματος *YRS_Signals_TrmMsg* αντίστοιχα.



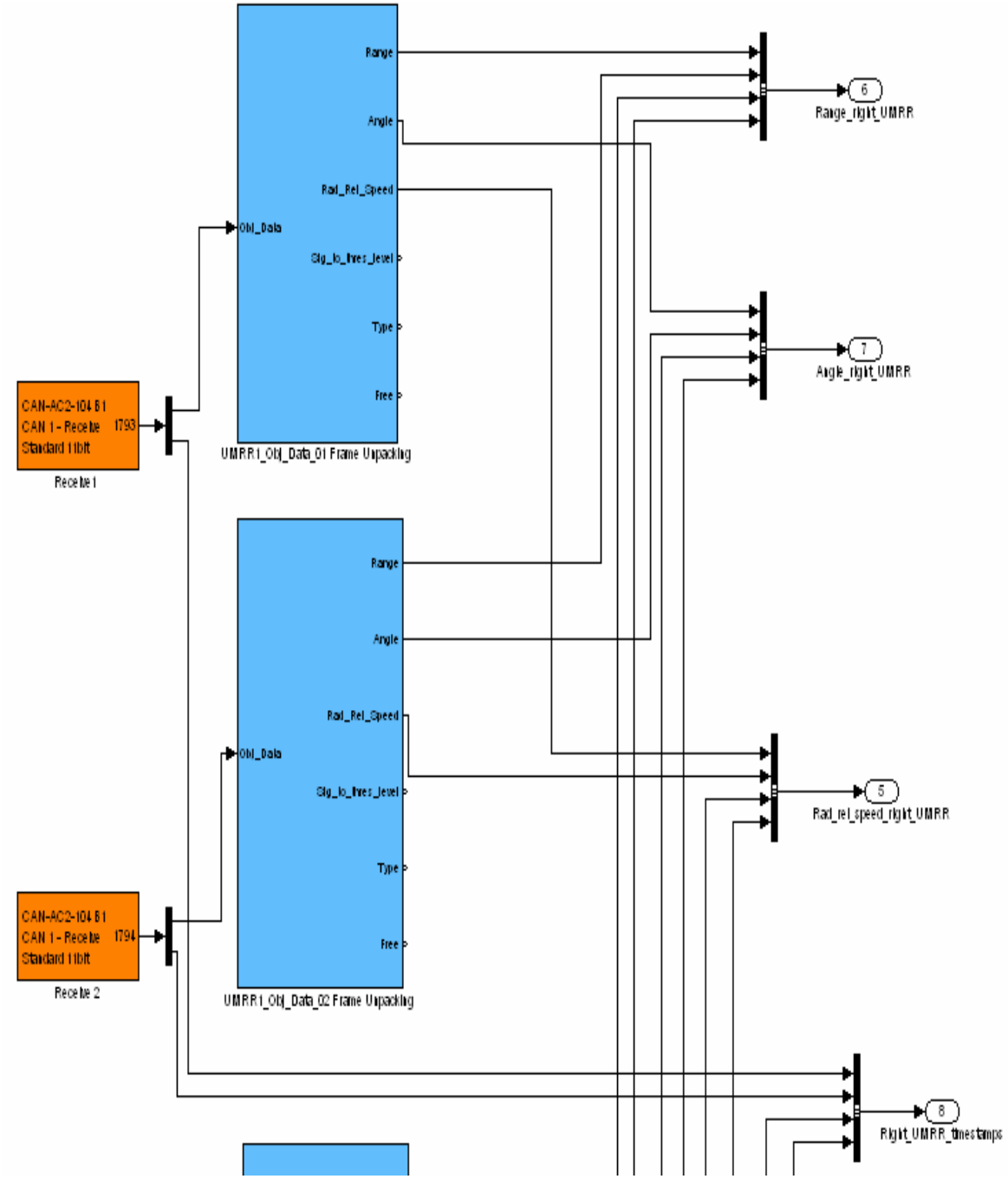
Σχήμα 6.3: Απομόνωση δυαδικών τιμών κωδικοποίησης μηνύματος *object_data* και εξαγωγή πραγματικών τιμών.



Σχήμα 6.4: Απομόνωση δυαδικών τιμών κωδικοποίησης μηνύματος *YRS_Signals_TrmMsg* και εξαγωγή πραγματικών τιμών.

Οι πραγματικές τιμές που εξάγονται, από το κάθε μήνυμα *object_data* του κάθε ραντάρ, για την ακτινική σχετική ταχύτητα (radial relative speed), τη γωνία (angle) και την απόσταση (range), ομαδοποιούνται και αποστέλλονται σε έξι διαύλους του Simulink μέσω των μπλοκ δημιουργίας διαύλου (bus creator). Έτσι, δημιουργείται ένας δίαυλος για τις τιμές της ακτινικής σχετικής ταχύτητας, ένας για τις τιμές της γωνίας, ένας για τις τιμές της απόστασης και ένας για τους χρόνους άφιξης του κάθε

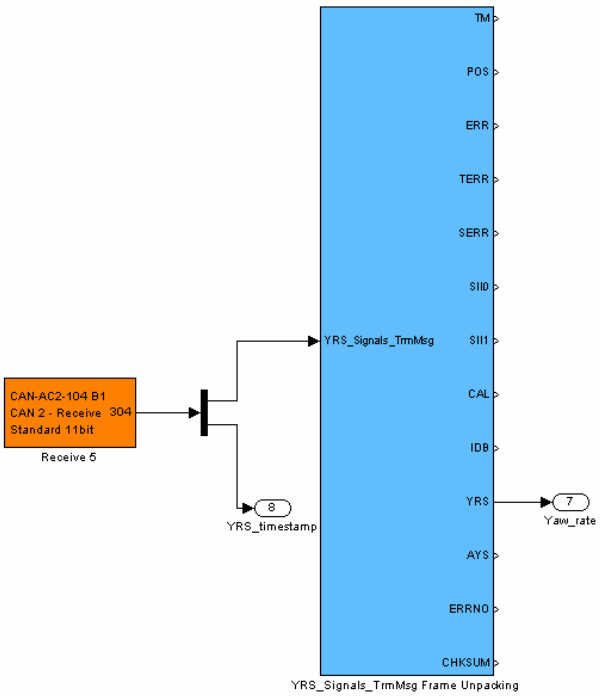
μηνύματος[2] (και για τα δύο ραντάρ, δηλαδή συνολικά οκτώ δίαυλοι), που σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγούν τις τιμές αυτές στα επόμενα μπλοκ του μοντέλου. Το Simulink αντιλαμβάνεται την ομαδοποίηση στον κάθε δίαυλο ως μονοδιάστατο πίνακα τιμών.



Σχήμα 6.5: Λήψη, αποκωδικοποίηση και ομαδοποίηση των τιμών που εξάγονται από τα μηνύματα *object_data* σε διαύλους (buses). Φαίνονται μόνο τα μηνύματα *object_data_ID1_01*και *object_data_ID1_02* του δεξιού ραντάρ. Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για τα μηνύματα του αριστερού ραντάρ.

[2] Ο χρόνος άφιξης των μηνυμάτων *object_data* χρειάζεται στην αξιολόγηση της χρονικής εγκυρότητας των τιμών που βρίσκονται κάθε στιγμή στους μονοδιάστατους πίνακες.

Παράλληλα, η τιμή της γωνιακής ταχύτητας (μία για κάθε κύκλο δειγματοληψίας) οδηγείται ανεξάρτητα στα επόμενα μπλοκ της εφαρμογής (βλ. σχήμα 6.6). Κατά την εξαγωγή της τιμής της γωνιακής ταχύτητας, επιλέγεται να εξάγεται και ο χρόνος άφιξης (timestamp) του αντίστοιχου μηνύματος που έδωσε την τιμή (επιλέγεται στις αντίστοιχες ρυθμίσεις λήψης μηνύματος), δεδομένο που αξιοποιείται αργότερα για την εκτίμηση της αξιοπιστίας των μετρήσεων.



Σχήμα 6.6: Λήψη, αποκωδικοποίηση και εξαγωγή της πραγματικής τιμής της γωνιακής ταχύτητας από το μήνυμα *YRS_Signals_TrmMsg*.

6.3.1.2 Αποκωδικοποίηση μηνυμάτων UDP (UDP message unpacking)

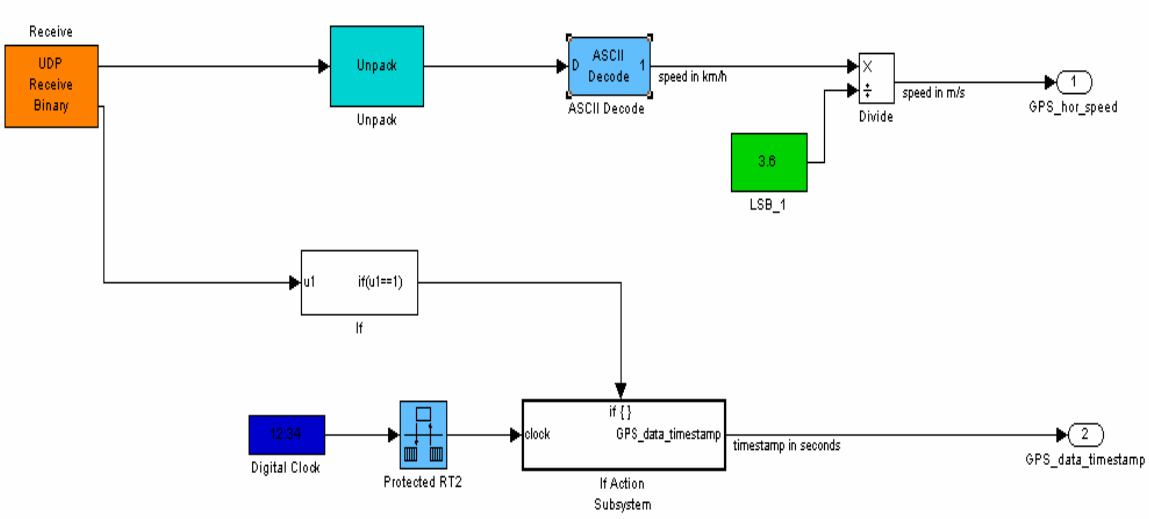
Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 (§ 4.3.5) η πληροφορία της τρέχουσας ταχύτητας του υποκείμενου (πειραματικού) οχήματος εξάγεται με τη βοήθεια του δέκτη GPS και μέσω του πρωτοκόλλου UDP. Το δεδομένο της ταχύτητας βρίσκεται κωδικοποιημένο στο πλαίσιο δεδομένων VTG του GPS. Το πρόγραμμα UDP_client[3] που αναπτύχθηκε (βλ. § 4.3.5.3) λαμβάνει το πλαίσιο VTG, απομονώνει το δεδομένο της ταχύτητας, και το αποστέλλει, μέσω UDP πρωτοκόλλου, στο μοντέλο LCDAS_application.

Συγκεκριμένα, εφόσον η κωδικοποίηση των δεδομένων στα πλαίσια GPS γίνεται με τον κώδικα ASCII, δηλαδή μεταδίδονται ακολουθίες χαρακτήρων ASCII, η ταχύτητα που απομονώνει το πρόγραμμα UDP_client είναι κωδικοποιημένη ως ακολουθία χαρακτήρων ASCII. Η ακρίβεια που επελέγη ήταν τρία ακέραια ψηφία και ένα δεκαδικό, που σημαίνει ότι τελικά αποστέλλεται μια ακολουθία πέντε χαρακτήρων ASCII. Δηλαδή, τρεις χαρακτήρες ASCII, που αντιστοιχούν στα τρία ακέραια ψηφία,

[3] Αναπτύχθηκε σε γλώσσα C++ σε περιβάλλον Microsoft Visual Studio 2003.

ακολουθούμενα από έναν χαρακτήρα ASCII για την υποδιαστολή και έναν για το δεκαδικό ψηφίο.

Για την τελική εξαγωγή της πραγματικής τιμής της ταχύτητας καθώς και των χρόνων άφιξης των μηνυμάτων UDP στο μοντέλο LCDAS_application, ακολουθήθηκε η διαδικασία που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα και περιγράφεται παρακάτω.



Σχήμα 6.7: Μπλοκ διάγραμμα για την εξαγωγή της πραγματικής τιμής της ταχύτητας, που λαμβάνεται ως ακολουθία χαρακτήρων ASCII μέσω πρωτοκόλλου UDP από την εφαρμογή UDP_client.

Τα μηνύματα UDP που στέλνει η εφαρμογή UDP_client λαμβάνονται από το μοντέλο Simulink μέσω του μπλοκ λήψης UDP (UDP receive). Η άνω έξοδος του μπλοκ λήψης αντιστοιχεί στα κωδικοποιημένα δεδομένα UDP που μεταφέρονται και η κάτω έξοδος είναι ενδεικτική της άφιξης νέων μηνυμάτων (όταν φτάνει νέο μήνυμα δίνει τιμή 1, ενώ όσο δεν φτάνει νέο μήνυμα δίνει τιμή 0).

Η άνω έξοδος του μπλοκ λήψης UDP στη συνέχεια οδηγείται στο μπλοκ αποκωδικοποίησης (unpack) του μηνύματος UDP και έτσι εξάγεται η κωδικοποιημένη σε ASCII τιμή της ταχύτητας που μεταφέρει. Μεσολαβεί ένα μπλοκ που εκτιμά την πραγματική τιμή (ASCII decode) που αντιστοιχεί η ακολουθία ASCII. Έπειτα η πραγματική τιμή της ταχύτητας διαιρείται με 3,6 για να εξαχθεί η τελική τιμή σε m/s (στο πλαίσιο VTG η ταχύτητα είναι σε km/h).

Η κάτω έξοδος του μπλοκ λήψης UDP οδηγείται σε ένα μπλοκ απόφασης (if). Το μπλοκ απόφασης ενεργοποιεί, κάθε φορά που η κάτω έξοδος δίνει 1, ένα μπλοκ υποσυστήματος. Κάθε φορά που ενεργοποιείται το μπλοκ υποσυστήματος (if action subsystem), στην έξοδό του οδηγείται ο τρέχων χρόνος της εκτέλεσης (simulation) της εφαρμογής, μέσω ενός μπλοκ ψηφιακού ρολογιού (digital clock) του συστήματος. Έτσι, εξάγεται ο χρόνος άφιξης (timestamp) του κάθε νέου μηνύματος.

6.3.2 Αλγόριθμοι αξιολόγησης

Οι αλγόριθμοι αξιολόγησης αναπτύχθηκαν σε κώδικα γλώσσας C μορφοποιημένο κατάλληλα (C mex file) ώστε να επιτρέπεται η δημιουργία μορφοποιούμενων (customized) από το χρήστη μπλοκ λειτουργιών του Simulink (S - functions).

Πέντε τέτοια μπλοκ δημιουργήθηκαν, που το καθένα αντιστοιχεί σε ένα αρχείο πηγαίου κώδικα γλώσσας C:

- Ένα μπλοκ με τη λειτουργία να απομονώνει τις μετρήσεις (σχετική ταχύτητα, γωνία και απόσταση) των δύο ραντάρ για τα κινούμενα προς την κατεύθυνση του πειραματικού οχήματος αντικείμενα (αν υπάρχουν) και να ελέγχει την αξιοπιστία των υπολογισμών της εφαρμογής σύμφωνα με τους χρόνους άφιξης των μηνυμάτων του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας και του δέκτη GPS (S – function: object_filter).

- Ένα μπλοκ με τη λειτουργία να υπολογίζει μια προσέγγιση για την καμπυλότητα ενός ορισμένου τμήματος του δρόμου πίσω από το πειραματικό όχημα (S – function: curvature).

- Δύο μπλοκ με τη λειτουργία να υπολογίζουν νέες παραμέτρους σχετικής θέσης από τις μετρήσεις (αν υπάρχουν), που αντιστοιχούν σε κινούμενο, προς την κατεύθυνση του πειραματικού οχήματος αντικείμενο. Έπειτα, γίνεται αξιολόγηση αν βάσει των παραμέτρων πληρούνται συγκεκριμένα κριτήρια σχετικής θέσης ως προς το υποκείμενο όχημα. Το ένα μπλοκ επεξεργάζεται τιμές του δεξιού (S – function: relevant_object_right) και το άλλο του αριστερού (S – function: relevant_object_left) ραντάρ.

- Ένα μπλοκ με τη λειτουργία να κάνει την τελική εκτίμηση για το επίπεδο προειδοποίησης που πρέπει να δοθεί (S – function: risk_level).

6.3.2.1 Μπλοκ απομόνωσης σχετικών κινούμενων αντικειμένων και εκτίμησης αξιοπιστίας μετρήσεων (S- function: Object filter)

6.3.2.1.1 Θύρες εισόδου – εξόδου

Το μπλοκ αυτό δέχεται 10 εισόδους και δίνει 7 εξόδους.

Οι 10 θύρες εισόδου είναι οι εξής:

- Ακτινική σχετική ταχύτητα που μετρά το αριστερό ραντάρ (Radial_relative_speed_left). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια ομάδα (μονοδιάστατο πίνακα) τιμών για την ακτινική σχετική ταχύτητα. Ο αριθμός των τιμών αντιστοιχεί στον αριθμό των μηνυμάτων object_data_ID2 που στέλνονται στον σχετικό δίαυλο μετά την αποκωδικοποίηση (βλ. § 6.3.1.1).

- Απόσταση που μετρά το αριστερό ραντάρ (Range_left). Όσον αφορά τον αριθμό των τιμών, που οδηγούνται ταυτόχρονα σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη θύρα εισόδου.

- Γωνία που μετρά το αριστερό ραντάρ (Angle_left). Όσον αφορά τον αριθμό των τιμών, που οδηγούνται ταυτόχρονα σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη θύρα εισόδου.

- Χρόνος άφιξης μηνύματος του αριστερού ραντάρ (left_UMRR_timestamp). Όσον αφορά τον αριθμό των τιμών, που οδηγούνται ταυτόχρονα σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη θύρα εισόδου.

- Ακτινική σχετική ταχύτητα που μετρά το δεξιό ραντάρ (Radial_relative_speed_right). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια ομάδα (μονοδιάστατο πίνακα) τιμών για την ακτινική σχετική ταχύτητα. Ο αριθμός των τιμών αντιστοιχεί στον αριθμό των μηνυμάτων object_data_ID1 που στέλνονται στον σχετικό δίαυλο μετά την αποκωδικοποίηση (βλ. § 6.3.1.1).

- Απόσταση που μετρά το δεξιό ραντάρ (Range_right). Όσον αφορά τον αριθμό των τιμών, που οδηγούνται ταυτόχρονα σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη θύρα εισόδου.

- Γωνία που μετρά το δεξιό ραντάρ (Angle_right). Όσον αφορά τον αριθμό των τιμών, που οδηγούνται ταυτόχρονα σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη θύρα εισόδου.

- Χρόνος άφιξης μηνύματος του δεξιού ραντάρ (right_UMRR_timestamp). Όσον αφορά τον αριθμό των τιμών, που οδηγούνται ταυτόχρονα σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη θύρα εισόδου.

- Ταχύτητα υποκείμενου οχήματος από GPS (speed). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια τιμή για την ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε αυτήν που προέκυψε από το προηγούμενο στάδιο της αποκωδικοποίησης (βλ. § 6.3.1.2).

- Χρονική στιγμή άφιξης νέου μηνύματος *YRS_Signals_TrmMsg* (YRS_timestamp). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια τιμή για την χρονική στιγμή άφιξης νέου μηνύματος *YRS_Signals_TrmMsg*, όπως αυτή προέκυψε από το προηγούμενο στάδιο της αποκωδικοποίησης (βλ. § 6.3.1.1).

- Χρονική στιγμή άφιξης νέου μηνύματος UDP που περιέχει την πληροφορία της ταχύτητας του υποκείμενου οχήματος όπως αυτή έρχεται από το δέκτη GPS (GPS_speed_timestamp). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια τιμή για την χρονική στιγμή άφιξης νέου μηνύματος UDP, όπως αυτή προέκυψε από το προηγούμενο στάδιο της αποκωδικοποίησης (βλ. § 6.3.1.2).

- Τρέχων χρόνος εκτέλεσης της εφαρμογής (ρολόι) (clock). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια τιμή για τον τρέχοντα χρόνο εκτέλεσης της εφαρμογής, όπως αυτή έρχεται από ένα μπλοκ ψηφιακού ρολογιού του Simulink.

Οι 7 θύρες εξόδου είναι οι εξής:

- Σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X από τις μετρήσεις του αριστερού ραντάρ (Relative_speed_x_left). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια ομάδα (μονοδιάστατο πίνακα) τιμών για την σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X, όπως αυτή προέκυψε από τον αλγόριθμο του μπλοκ και από τις τιμές που οδηγήθηκαν στην είσοδο 1.

- Απόσταση από τις μετρήσεις του αριστερού ραντάρ (Range_left). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια ομάδα (μονοδιάστατο πίνακα) τιμών για την απόσταση, όπως αυτή προέκυψε από τον αλγόριθμο του μπλοκ και από τις τιμές που οδηγήθηκαν στην είσοδο 2.

- Γωνία από τις μετρήσεις του αριστερού ραντάρ (Angle_left). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια ομάδα (μονοδιάστατο πίνακα) τιμών για την γωνία, όπως αυτή προέκυψε από τον αλγόριθμο του μπλοκ και από τις τιμές που οδηγήθηκαν στην είσοδο 3.

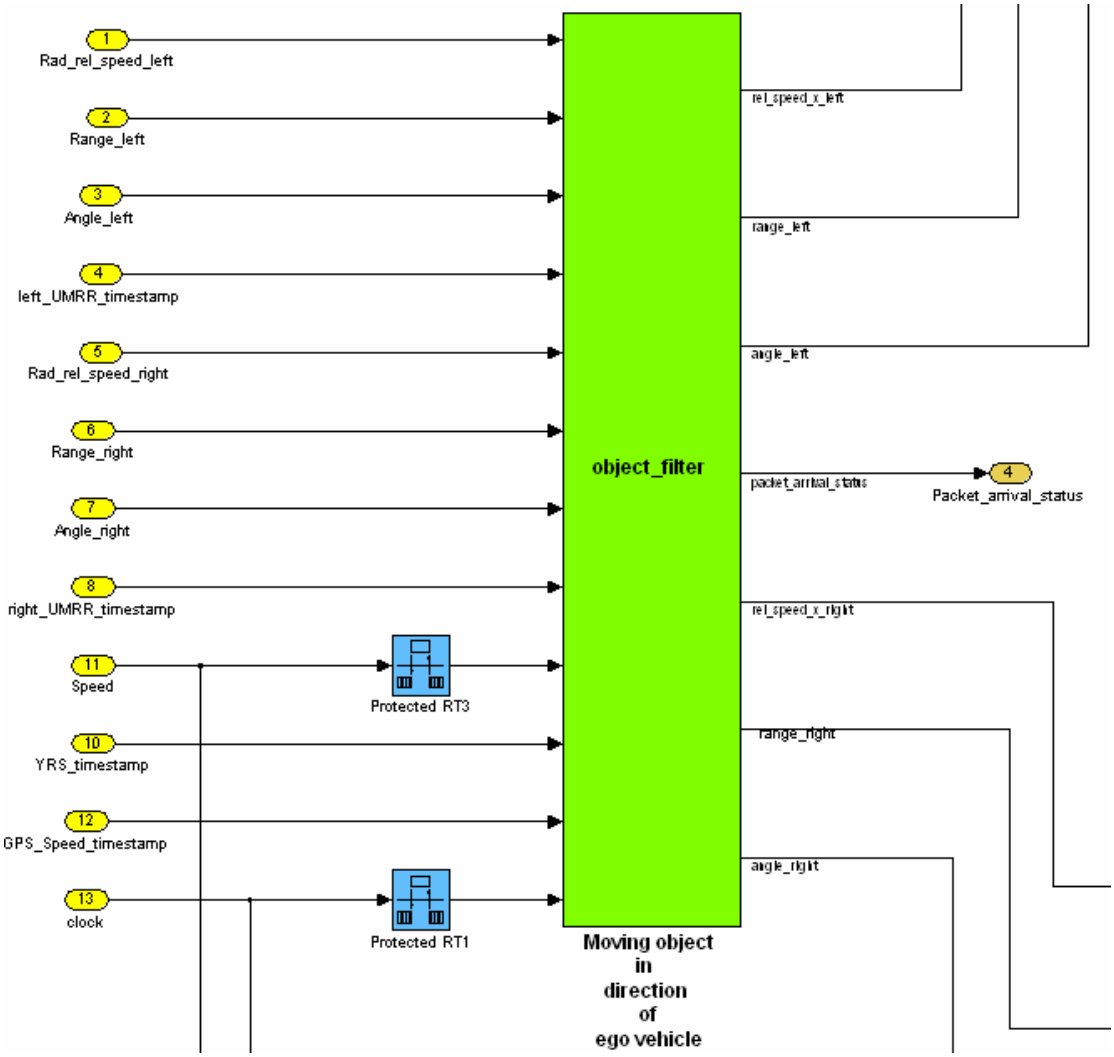
- Σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X από τις μετρήσεις του δεξιού ραντάρ (Relative_speed_x_right). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια ομάδα (μονοδιάστατο πίνακα) τιμών για την σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X, όπως αυτή προέκυψε από τον αλγόριθμο του μπλοκ και από τις τιμές που οδηγήθηκαν στην είσοδο 5.

- Απόσταση από τις μετρήσεις του δεξιού ραντάρ (Range_right). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια ομάδα (μονοδιάστατο πίνακα) τιμών για την απόσταση, όπως αυτή προέκυψε από τον αλγόριθμο του μπλοκ και από τις τιμές που οδηγήθηκαν στην είσοδο 6.

- Γωνία από τις μετρήσεις του δεξιού ραντάρ (Angle_right). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια ομάδα (μονοδιάστατο πίνακα) τιμών για την γωνία, όπως αυτή προέκυψε από τον αλγόριθμο του μπλοκ και από τις τιμές που οδηγήθηκαν στην είσοδο 7.

.

- Τρέχουσα κατάσταση άφιξης μηνυμάτων (packet_arrival_status). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια τιμή που αντιστοιχεί σε ένα επίπεδο αξιολόγησης για την συχνότητα άφιξης των μηνυμάτων του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας και του δέκτη GPS, όπως αυτό προκύπτει μέσω του αλγορίθμου από τις τιμές των εισόδων 9, 10 και 11.



Σχήμα 6.8: Μπλοκ απομόνωσης σχετικών κινούμενων αντικειμένων και εκτίμησης αξιοπιστίας μετρήσεων (S- function: Object filter).

6.3.2.1.2 Περιγραφή αλγόριθμου

Η απομόνωση των κινούμενων, προς την κατεύθυνση του υποκείμενου οχήματος, αντικειμένων, γίνεται με βάση την μετρούμενη σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση της κίνησης X και την ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος. Η πρώτη υπολογίζεται από τις μετρήσεις των ραντάρ, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 (βλ. § 4.3.2.3.2) θεωρώντας αμελητέο τον όρο da/dt[4], και η δεύτερη φθάνει απευθείας από τον δέκτη GPS (βλ. § 6.3.1.2). Ο αλγόριθμος σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας[5], αφού υπολογίσει από τις τρέχουσες μετρήσεις του κάθε ραντάρ την σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση της κίνησης X, ελέγχει αν η διαφορά της τρέχουσας ταχύτητας του υποκείμενου οχήματος από αυτήν είναι θετική. Αν αυτό ισχύει, σημαίνει ότι η

[4] Για αποφυγή πολύπλοκων υπολογισμών στον αλγόριθμο, η ταχύτητα αυτή προσεγγίζεται με την ακτινική ταχύτητα που μετρούν τα ραντάρ.
[5] Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας ο αλγόριθμος εκτελεί επαναληπτικό βρόχο για κάθε τιμή της ομάδας τιμών που δέχεται ως είσοδο.

σχετική ταχύτητα αυτή αντιστοιχεί σε αντικείμενο κινούμενο στην κατεύθυνση κίνησης του υποκείμενου οχήματος, οπότε η τιμή αυτή, μαζί με τις τιμές για την απόσταση και τη γωνία που αντιστοιχούν στον τρέχοντα κύκλο δειγματοληψίας, οδηγούνται στις αντίστοιχες εξόδους για το κάθε ραντάρ ξεχωριστά. Σε διαφορετική περίπτωση στις σχετικές εξόδους δίνονται μηδενικές τιμές.

Παράλληλα, ο αλγόριθμος αξιολογεί την κατάσταση άφιξης των μηνυμάτων του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας και του δέκτη GPS. Δηλαδή, εφόσον ορίζονται κάποια ανώτερα όρια[6] για την περίοδο άφιξης των προηγούμενων μηνυμάτων, ελέγχεται αν γίνεται υπέρβασή τους (καθυστέρηση). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας συγκρίνονται αυτά τα όρια με τη διαφορά του τρέχοντος χρόνου εκτέλεσης της εφαρμογής από τον χρόνο άφιξης του τελευταίου μηνύματος του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας (YRS_timestamp) και του δέκτη GPS (GPS_speed_timestamp) αντίστοιχα.

Έτσι, ορίζονται τέσσερα επίπεδα αξιολόγησης των χρόνων άφιξης των παραπάνω μηνυμάτων:

- Επίπεδο 1: Αργή άφιξη μόνο των μηνυμάτων *YRS_Signals_TrmMsg* (YRS_PACKETS_ARRIVAL_SLOW).
- Επίπεδο 2: Αργή άφιξη μόνο των μηνυμάτων *GPS* (GPS_PACKETS_ARRIVAL_SLOW).
- Επίπεδο 3: Κανονική άφιξη των μηνυμάτων (PACKET_ARRIVAL_OK).
- Επίπεδο 4: Αργή άφιξη των μηνυμάτων (PACKET_ARRIVAL_SLOW).

Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται στην έξοδο τρέχουσας κατάστασης άφιξης μηνυμάτων ο αντίστοιχος αριθμός επιπέδου 1 έως 4.

6.3.2.2 Μπλοκ υπολογισμού προσέγγισης καμπυλότητας δρόμου (S – function: curvature)

6.3.2.2.1 Θύρες εισόδου – εξόδου

Το μπλοκ αυτό δέχεται 3 εισόδους και δίνει 1 έξοδο.

Οι 3 θύρες εισόδου είναι οι εξής:

- Γωνιακή ταχύτητα υποκείμενου οχήματος που μετρά ο αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας (Yaw_rate). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια τιμή για την γωνιακή ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος, όπως αυτή προέκυψε από το προηγούμενο στάδιο της αποκωδικοποίησης (βλ. § 6.3.1.1).

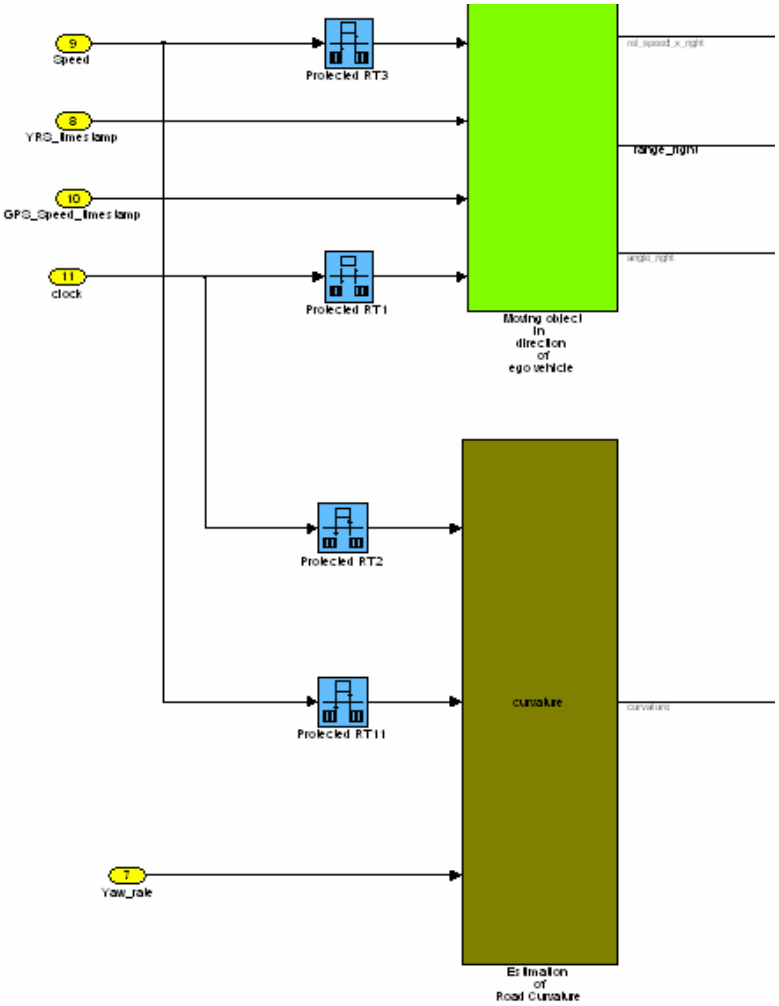
- Ταχύτητα υποκείμενου οχήματος από GPS (speed). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια τιμή για την ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε αυτήν που προέκυψε από το προηγούμενο στάδιο της αποκωδικοποίησης (βλ. § 6.3.1.2).

[6] Ορίστηκαν 0,045 sec για το μήνυμα *YRS_Signals_TrmMsg* και 1 sec για τα μηνύματα από το δέκτη GPS.

- Τρέχων χρόνος εκτέλεσης της εφαρμογής (ρολόι) (clock). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγεί μια τιμή για τον τρέχοντα χρόνο εκτέλεσης της εφαρμογής, όπως αυτή έρχεται από ένα μπλοκ ψηφιακού ρολογιού του Simulink.

Η θύρα εξόδου είναι:

- Καμπυλότητα (curvature). Οδηγεί σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας μια προσέγγιση που κάνει ο αλγόριθμος για την καμπυλότητα ενός τμήματος του δρόμου πίσω από το υποκείμενο όχημα.



Σχήμα 6.9: Μπλοκ υπολογισμού προσέγγισης καμπυλότητας δρόμου (S – function: curvature).

6.3.2.2.2 Περιγραφή αλγόριθμου

Σε ακόλουθο στάδιο της εφαρμογής απαιτείται ο υπολογισμός, σχετικών ως προς το υποκείμενο όχημα, αποστάσεων οχημάτων στόχων (πλευρικό, όπισθεν περιθώριο) που εξαρτάται από την καμπυλότητα του δρόμου (βλ. § 2.2.6, 2.2.7). Έτσι, είναι σημαντικό να γίνει κάποιος, έστω προσεγγιστικός, υπολογισμός της.

Η γενική ιδέα του αλγορίθμου είναι η εξής: Σε κάθε χρονική στιγμή μπορούμε να υπολογίσουμε την καμπυλότητα ενός στοιχειώδους κομματιού δρόμου που διανύει το υποκείμενο όχημα, απλώς διαιρώντας την τρέχουσα τιμή γωνιακής ταχύτητας που δίνει ο αισθητήρας γωνιακής ταχύτητας με την τρέχουσα τιμή της ταχύτητας που δίνει ο δέκτης GPS. Επιλέγεται ορισμένος αριθμός τιμών καμπυλότητας για ένα ορισμένο τμήμα (παράθυρο) δρόμου που έχει διανύσει κάθε στιγμή το υποκείμενο όχημα και σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας υπολογίζεται ο μέσος όρος αυτών των τιμών. Δηλαδή, ένα ορισμένο τμήμα του δρόμου πίσω από το υποκείμενο όχημα προσεγγίζεται ως τμήμα κύκλου ορισμένης καμπυλότητας.

Αναλυτικότερα, ορίζεται ένας ικανοποιητικός αριθμός δειγμάτων καμπυλότητας για ένα ορισμένο τμήμα δρόμου πίσω από το υποκείμενο όχημα. Έτσι, ορίστηκε να λαμβάνονται 30 δείγματα καμπυλότητας, ομοιόμορφα κατανεμημένα, για τμήμα δρόμου 30 m, δηλαδή ένα δείγμα καμπυλότητας κάθε μέτρο. Βέβαια, είναι προφανές ότι για να είναι σταθερός και ομοιόμορφα κατανεμημένος ο αριθμός των δειγμάτων καμπυλότητας για ένα ορισμένο διανυόμενο διάστημα, θα πρέπει να μεταβάλλεται ο ρυθμός δειγματοληψίας των τιμών της καμπυλότητας ανάλογα με την ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος. Η περίοδος δειγματοληψίας σε αυτή την περίπτωση δίνεται από τον τύπο:

$$sample_time = \left(\frac{INTERVAL}{speed \cdot NUM_SAMPLES} \right)$$

, όπου *sample_time* ο χρόνος (περίοδος) δειγματοληψίας (sec), *INTERVAL* το ορισμένο σταθερό διανυόμενο διάστημα (m), *speed* η ταχύτητα του υποκείμενου οχήματος (m/sec) και *NUM_SAMPLES* ο ορισμένος σταθερός αριθμός των δειγμάτων.

Ο βασικός χρόνος δειγματοληψίας των τιμών στις εισόδους του μπλοκ έχει επιλεγεί αρκετά μικρός (10 ms) έτσι ώστε να είναι πάντα μικρότερος από τον χρόνο που πρέπει να δειγματοληπτούνται οι τιμές της καμπυλότητας. Η επιλογή των τιμών της καμπυλότητας γίνεται εσωτερικά στον αλγόριθμο βάσει της τιμής του χρόνου που έχει περάσει από το τελευταίο δείγμα συγκρινόμενο με την τρέχουσα περίοδο δειγματοληψίας που εξάγεται από την προαναφερθείσα σχέση. Αν η τιμή του πρώτου ξεπεράσει την τρέχουσα περίοδο δειγματοληψίας, σημαίνει ότι θα πρέπει να επιλεγεί η τρέχουσα τιμή της καμπυλότητας, αλλιώς όχι.

Οι τιμές της καμπυλότητας που επιλέγονται εισάγονται σε πίνακα (buffer) ορισμένου μήκους (ίσου με τον αριθμό δειγμάτων για το ορισμένο διανυόμενο διάστημα). Όταν ο πίνακας αυτός γεμίσει, κάθε νέα τιμή καμπυλότητας αντικαθιστά εκείνη την τιμή του πίνακα που επελέγη νωρίτερα σε σχέση με τις άλλες. Έτσι, στον πίνακα έχουμε κάθε στιγμή ορισμένο αριθμό τιμών καμπυλότητας που αντιστοιχούν στο καθορισμένο διάστημα πίσω από το υποκείμενο όχημα. Από τις τιμές του πίνακα εξάγεται τελικά ο μέσος όρος τους και οδηγείται στην έξοδο. Έτσι, το καθορισμένο τμήμα του δρόμου πίσω από το υποκείμενο όχημα (30 m) προσεγγίζεται κάθε στιγμή με τμήμα κύκλου ίσου μήκους και καμπυλότητας ίσης με τον εξαγόμενο μέσο όρο.

Σημειώνεται ότι, η επιλογή μήκους 30 m για το τμήμα του δρόμου, του οποίου προσεγγίζεται η καμπυλότητα κάθε φορά, έγινε γιατί θεωρούμε ότι το σύστημα υποβοήθησης για την αλλαγή λωρίδας λαμβάνει υπόψη οχήματα στόχους κινούμενα

σε απόσταση το πολύ 30 μέτρων πίσω από το υποκείμενο. Βέβαια, η οριζόμενη απόσταση μπορεί να αλλάξει εύκολα στον κώδικα αν χρειαστεί, όπως επίσης και ο αριθμός των δειγμάτων σε αυτήν.

6.3.2.3 Μπλοκ απομόνωσης πλησιέστερων σχετικών αντικειμένων (S – functions: relevant_object_left, relevant_object_right)

Αυτή η παράγραφος αναφέρεται σε δύο μπλοκ μορφοποιούμενων λειτουργιών (relevant_object_left, relevant_object_right) που δέχονται ως είσοδο τις εξόδους των μπλοκ object_filter και curvature. Έχουν την ίδια λειτουργία με τη μόνη διαφορά ότι το ένα μπλοκ δέχεται τις τιμές, κινούμενων προς την κατεύθυνση του υποκείμενου οχήματος, οχημάτων στόχων που αφορούν το αριστερό ραντάρ και το άλλο αυτές του δεξιού, όπως αυτές έχουν οδηγηθεί στις αντίστοιχες εξόδους του μπλοκ object_filter (βλ. § 6.3.2.1). Η διαφοροποίηση μεταξύ των αλγορίθμων των δύο μπλοκ έγκειται στον τρόπο υπολογισμού κάποιων γεωμετρικών παραμέτρων, που γίνεται αλλιώς με αναφορά το αριστερό και αλλιώς με αναφορά το δεξιό ραντάρ, όπως θα φανεί παρακάτω.

6.3.2.3.1 Θύρες εισόδου – εξόδου

Εφόσον τα δύο μπλοκ είναι όμοια, η αναφορά στις εισόδους και εξόδους τους θα γίνει μία φορά.

Τα μπλοκ αυτά δέχονται 4 εισόδους και δίνουν 6 εξόδους.

Οι 4 θύρες εισόδου είναι:

- Σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X από τις μετρήσεις του αριστερού/ δεξιού ραντάρ (Relative_speed_x_left/ right). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται η αντίστοιχη έξοδος (μονοδιάστατος πίνακας τιμών) του μπλοκ object_filter (βλ. § 6.3.2.1.1).

- Απόσταση από τις μετρήσεις του αριστερού/ δεξιού ραντάρ (Range_left/ right). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται η αντίστοιχη έξοδος (μονοδιάστατος πίνακας τιμών) του μπλοκ object_filter (βλ. § 6.3.2.1.1).

- Γωνία από τις μετρήσεις του αριστερού/ δεξιού ραντάρ (Angle_left/ right). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται η αντίστοιχη έξοδος (μονοδιάστατος πίνακας τιμών) του μπλοκ object_filter (βλ. § 6.3.2.1.1).

- Καμπυλότητα (curvature). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται η αντίστοιχη έξοδος (μία τιμή) του μπλοκ curvature(βλ. § 6.3.2.2.1).

Οι 6 θύρες εξόδου είναι:

- Σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X στόχου κινούμενου στις αριστερές/ δεξιές ζώνες (βλ. § 2.2.4, 2.2.5) (Relative_speed_x_left/ right_side). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται μία τιμή που αντιστοιχεί στην σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X ενός στόχου που πληροί συγκεκριμένα κριτήρια που εξετάζονται στον αλγόριθμο.

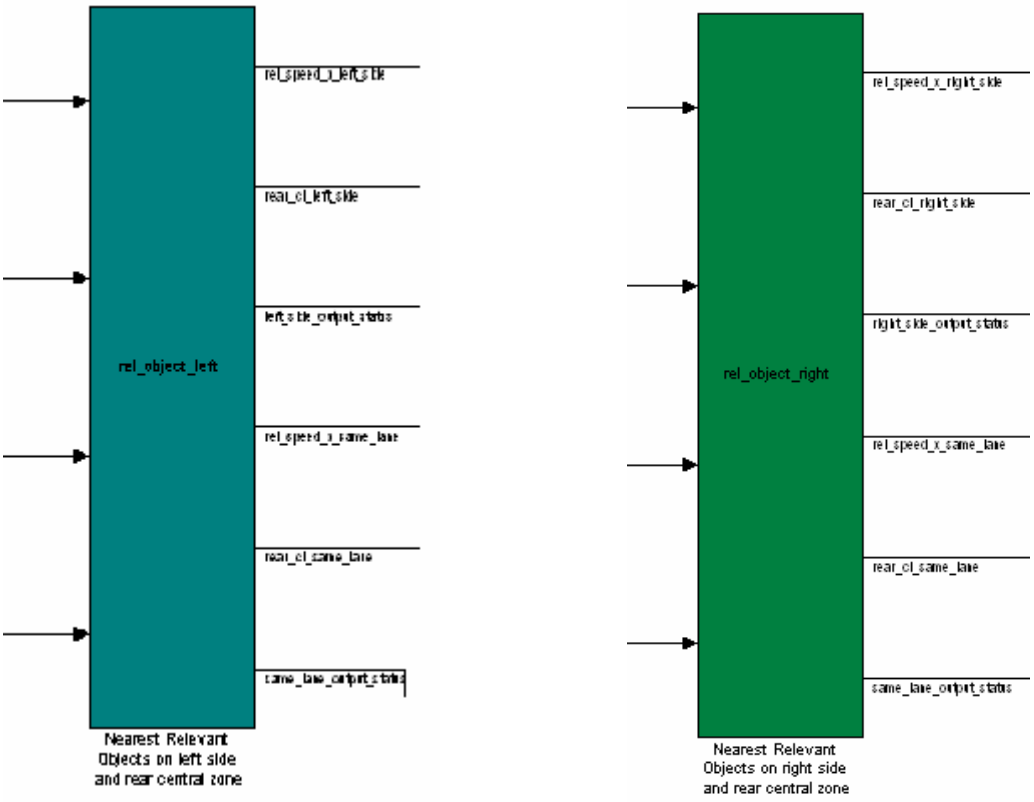
- Όπισθεν περιθώριο στόχου κινούμενου στις αριστερές/ δεξιές ζώνες (βλ. § 2.2.4, 2.2.5) (Rear_clearance_left/ right_side). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται μία τιμή που αντιστοιχεί στο όπισθεν περιθώριο στόχου που πληροί συγκεκριμένα κριτήρια που εξετάζονται στον αλγόριθμο.

- Τρέχουσα κατάσταση των παραπάνω εξόδων που σχετίζονται με τις αριστερές/ δεξιές ζώνες (left/ right_side_output_status). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται μία τιμή που αντιστοιχεί στο αν οι προηγούμενες δύο έξοδοι περιέχουν έγκυρα (συγχρονισμένα) ή όχι δεδομένα.

- Σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X στόχου κινούμενου στην ίδια λωρίδα με το υποκείμενο όχημα (Relative_speed_x_same_lane). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται μία τιμή που αντιστοιχεί στην σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X ενός στόχου που πληροί συγκεκριμένα κριτήρια που εξετάζονται στον αλγόριθμο.

- Όπισθεν περιθώριο στόχου κινούμενου στην ίδια λωρίδα με το υποκείμενο όχημα (Rear_clearance_same_lane). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται μία τιμή που αντιστοιχεί στο όπισθεν περιθώριο στόχου που πληροί συγκεκριμένα κριτήρια που εξετάζονται στον αλγόριθμο.

- Τρέχουσα κατάσταση των προηγούμενων δύο εξόδων που σχετίζονται με στόχους κινούμενους στην ίδια λωρίδα με το υποκείμενο όχημα (same_lane_output_status). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται μία τιμή που αντιστοιχεί στο αν οι προηγούμενες δύο έξοδοι περιέχουν έγκυρα (συγχρονισμένα) ή όχι δεδομένα.



Σχήμα 6.10: Μπλοκ απομόνωσης πλησιέστερων σχετικών αντικειμένων (S – functions: relevant_object_left, relevant_object_right).

6.3.2.3.2 Περιγραφή αλγορίθμου

Σκοπός των αλγορίθμων των μπλοκ relevant_object_left και relevant_object_right είναι να ελέγξουν, βάσει νέων παραμέτρων που υπολογίζονται, αν υπάρχει όχημα στόχος που κινείται εντός των αριστερών ή δεξιών ζωνών (βλ. § 2.2.4, 2.2.5) αντίστοιχα ή/ και πίσω από το υποκείμενο όχημα στην ίδια λωρίδα. Σε κάθε περίπτωση, εφόσον υπάρχουν τέτοια αντικείμενα, επιλέγεται το πλησιέστερο στο υποκείμενο όχημα, δηλαδή αυτό με το μικρότερο όπισθεν περιθώριο (βλ. § 2.2.7).

Για να εξαχθούν συμπεράσματα για το αν ένα όχημα στόχος βρίσκεται ή όχι σε μια ζώνη, θα πρέπει να υπολογίζονται σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας ορισμένες παράμετροι σχετικές με τη θέση του στόχου ως προς το υποκείμενο όχημα. Οι παράμετροι που επιλέγονται είναι το πλευρικό και το όπισθεν περιθώριο (lateral and rear clearance), όπως αυτές ορίζονται στα σχήματα του παραρτήματος Β.1, για ευθεία και Β.2 για δρόμο με καμπυλότητα. Ο υπολογισμός τους εξηγείται στην επόμενη παράγραφο.

Για να βρίσκεται ένα όχημα στόχος στις αριστερές/ δεξιές ζώνες που ορίστηκαν, υποτέθηκε ότι θα πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα οι ακόλουθες σχέσεις για το πλευρικό και όπισθεν περιθώριο (οι τιμές σε μέτρα)[7]:

- $0 \leq lateral_clearance \leq 3{,}5$
- $0 < rear_clearance < 30$

Αντίστοιχα, για να βρίσκεται ένα όχημα στόχος πίσω από το υποκείμενο όχημα και στην ίδια λωρίδα, υποτέθηκε ότι θα πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα οι ακόλουθες σχέσεις για το πλευρικό και όπισθεν περιθώριο (οι αρνητικές τιμές πλευρικού περιθωρίου σημαίνουν ότι ο στόχος βρίσκεται πίσω από το υποκείμενο όχημα):

- $-2 < lateral_clearance < 0$
- $0 < rear_clearance < 30$

Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, όπου εκτελείται επαναληπτικός βρόχος για κάθε τιμή των μονοδιάστατων πινάκων τιμών που οδηγούνται στις εισόδους, με βάση το αν πληρούνται οι παραπάνω συνθήκες, ο αλγόριθμος καταχωρεί στην αντίστοιχη θέση ενός νέου μονοδιάστατου πίνακα την τιμή TRUE ή FALSE. Έτσι, στο τέλος της εκτέλεσης του αλγορίθμου για έναν κύκλο δειγματοληψίας, συγκρίνονται τα όπισθεν περιθώρια που προέκυψαν από τις τιμές που αντιστοιχούν σε TRUE. Ο αριθμός της θέσης του πίνακα που έδωσε το μικρότερο όπισθεν περιθώριο χρησιμοποιείται για την επιλογή των τιμών που θα οδηγηθούν στις εξόδους (μία τιμή για κάθε έξοδο). Στην περίπτωση που σε έναν κύκλο εκτέλεσης του αλγορίθμου (κύκλος δειγματοληψίας) δεν υπάρχουν τιμές που να ικανοποιούν τις συνθήκες, στις εξόδους παραμένουν οι τιμές του προηγούμενου κύκλου εκτέλεσης. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές των εξόδων δεν αντιστοιχούν σε εκείνη τη χρονική στιγμή, δηλαδή δεν είναι

[7] Τα όρια των τιμών του πλευρικού και όπισθεν περιθωρίου που παρατίθενται δεν είναι απόλυτα καθορισμένα και μπορούν εύκολα να αλλάξουν στον αλγόριθμο αν χρειαστεί.

έγκυρες χρονικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι έξοδοι τρέχουσας κατάστασης εξόδων δίνουν τιμές που αντιστοιχούν σε μη εγκυρότητα των εξόδων. Οι έξοδοι τρέχουσας κατάστασης εξόδων, μαζί με τις υπόλοιπες εξόδους των μπλοκ relevant_object_left και relevant_object_right, οδηγούνται στη συνέχεια σε επόμενο μπλοκ, όπως θα φανεί σε επόμενη παράγραφο, έτσι ώστε να μην λαμβάνονται υπόψη οι μη έγκυρες τιμές εισόδου σε αυτό.

Τέλος, για το σχετικό αντικείμενο της κάθε ζώνης ο αλγόριθμος κάνει μια καλύτερη εκτίμηση της ταχύτητάς του στην κατεύθυνση X, υπολογίζοντας το ρυθμό μεταβολής της γωνίας da/dt, που υπεισέρχεται στους τύπους της παραγράφου 4.3.2.3.2. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται το πηλίκο διαφορών με βάση την τρέχουσα και την τελευταία έγκυρη τιμή της γωνίας.

6.3.2.3.3 Υπολογισμός παραμέτρων

Με βάση τα σχήματα 4.6, 4.7 και B.1 το πλευρικό και όπισθεν περιθώριο για ευθύ δρόμο υπολογίζονται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

Για το αριστερό ραντάρ:

- $lateral_clearance = r \cdot \cos(90 - (\theta - a))$
- $rear_clearance = r \cdot \sin(90 - (\theta - a))$

Για το δεξιό ραντάρ:

- $lateral_clearance = r \cdot \cos(90 - (\theta + a))$
- $rear_clearance = r \cdot \sin(90 - (\theta + a))$

Με βάση τα σχήματα 4.6, 4.7, B.2, B.3 και B.4 το πλευρικό και όπισθεν περιθώριο για δρόμο με καμπυλότητα υπολογίζονται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

Για το αριστερό ραντάρ:

- Αριστερή στροφή:

- $lateral_clearance = R_{ego} - R_{target}$

όπου,

$$R_{ego} = \left| \frac{1}{curvature} \right|$$

$$R_{target} = \sqrt{R_{ego}^{\ 2} + r^2 - 2 \cdot R_{ego} \cdot r \cdot \cos(90 - (\theta - a))}$$

- $rear_clearance = R_{target} \cdot a\cos\left(\frac{2 \cdot R_{target}^{\ 2} - r^2 - lat_cl^2 - 2 \cdot r \cdot lat_cl \cdot \cos(90 - (\theta - a))}{2 \cdot R_{target}^{\ 2}} \right)$

- Δεξιά στροφή:

  - $lateral_clearance = R_{target} - R_{ego}$

  όπου,

  $R_{ego} = \left|\frac{1}{curvature}\right|$

  $R_{target} = \sqrt{R_{ego}^{\ 2} + r^2 - 2 \cdot R_{ego} \cdot r \cdot \cos(90 + (\theta - a))}$

  - $rear_clearance = R_{target} \cdot a\cos\left(\frac{2 \cdot R_{target}^{\ 2} - r^2 - lat_cl^2 - 2 \cdot r \cdot lat_cl \cdot \cos(90 + (\theta - a))}{2 \cdot R_{target}^{\ 2}}\right)$

Για το δεξιό ραντάρ:

- Αριστερή στροφή:

  - $lateral_clearance = R_{target} - R_{ego}$

  όπου,

  $R_{ego} = \left|\frac{1}{curvature}\right|$

  $R_{target} = \sqrt{R_{ego}^{\ 2} + r^2 - 2 \cdot R_{ego} \cdot r \cdot \cos(90 + (\theta + a))}$

  - $rear_clearance = R_{target} \cdot a\cos\left(\frac{2 \cdot R_{target}^{\ 2} - r^2 - lat_cl^2 - 2 \cdot r \cdot lat_cl \cdot \cos(90 + (\theta + a))}{2 \cdot R_{target}^{\ 2}}\right)$

- Δεξιά στροφή:

  - $lateral_clearance = R_{ego} - R_{target}$

  όπου,

  $R_{ego} = \left|\frac{1}{curvature}\right|$

  $R_{target} = \sqrt{R_{ego}^{\ 2} + r^2 - 2 \cdot R_{ego} \cdot r \cdot \cos(90 - (\theta + a))}$

  - $rear_clearance = R_{target} \cdot a\cos\left(\frac{2 \cdot R_{target}^{\ 2} - r^2 - lat_cl^2 - 2 \cdot r \cdot lat_cl \cdot \cos(90 - (\theta + a))}{2 \cdot R_{target}^{\ 2}}\right)$

Ο ρυθμός μεταβολής της γωνίας a, για συγκεκριμένο κινούμενο αντικείμενο, υπολογίζεται προσεγγιστικά από το πηλίκο διαφορών:

- $\frac{da}{dt} \approx \frac{a_{current} - a_{last}}{t_{current} - t_{last}}$

Οι δύο τιμές $a_{current}$ και a_{last} αντιστοιχούν σε διαδοχικές τιμές γωνίας που μετρά το ραντάρ για αντικείμενο που πληροί τις προϋποθέσεις σχετικής θέσης και κίνησης.

6.3.2.4 Μπλοκ τελικής εκτίμησης για το επίπεδο προειδοποίησης που πρέπει να δοθεί (S – function: risk_level)

6.3.2.4.1 Θύρες εισόδου – εξόδου

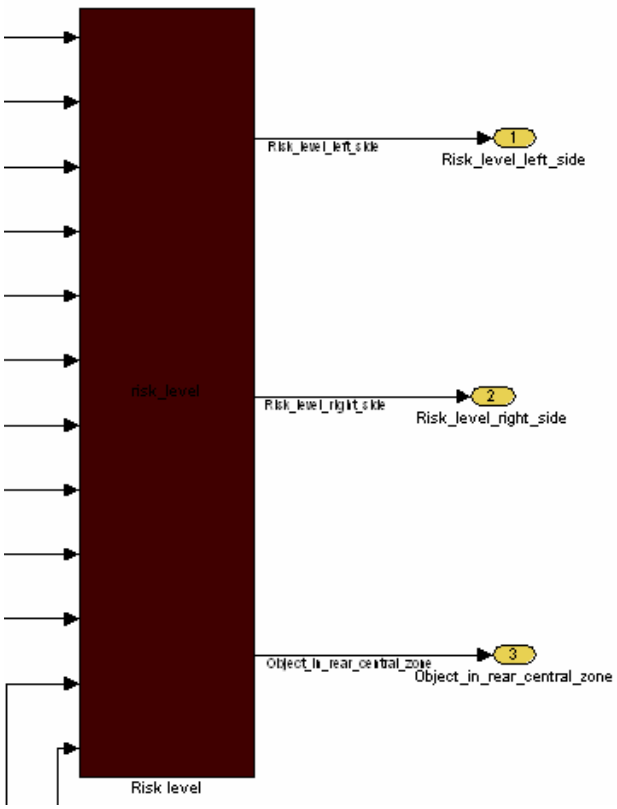
Το μπλοκ αυτό δέχεται 12 εισόδους και δίνει 3 εξόδους.

Στις 12 θύρες εισόδου οδηγούνται σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οι 6 έξοδοι του μπλοκ relevant_object_left και οι 6 έξοδοι του μπλοκ relevant_object_right (βλ. § 6.3.2.3.1).

Οι 3 θύρες εξόδου είναι:

- Επίπεδο επικινδυνότητας για τις αριστερές ζώνες (βλ. § 2.2.4) (Risk_level_left_side). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται μία τιμή που αντιστοιχεί στο επίπεδο επικινδυνότητας που θα ενείχε ένας ελιγμός αλλαγής λωρίδας προς τα αριστερά, ανάλογα με το αν πληρούνται ορισμένα κριτήρια που ελέγχονται στον αλγόριθμο.
- Επίπεδο επικινδυνότητας για τις δεξιές ζώνες (βλ. § 2.2.5) (Risk_level_right_side). Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται μία τιμή που αντιστοιχεί στο επίπεδο επικινδυνότητας που θα ενείχε ένας ελιγμός αλλαγής λωρίδας προς τα δεξιά, ανάλογα με το αν πληρούνται ορισμένα κριτήρια που ελέγχονται στον αλγόριθμο.
- Παρουσία οχήματος στόχου πίσω από το υποκείμενο όχημα στην ίδια λωρίδα με αυτό (η ζώνη θα μπορούσε να χαρακτηρισθεί ως κεντρική πίσω ζώνη, βλ. § 6.3.2.3.2) (Object_in_rear_central_zone) [8]. Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας οδηγείται μία τιμή που αντιστοιχεί σε ορισμένο επίπεδο προειδοποίησης ενδεικτικό για την κίνηση ενός οχήματος στόχου πίσω από το υποκείμενο όχημα και στην ίδια λωρίδα με αυτό, ανάλογα με το αν πληρούνται ορισμένα κριτήρια που ελέγχονται στον αλγόριθμο.

[8] Η έξοδος αυτή δεν είναι απαραίτητη για την λειτουργία του συστήματος LCDAS. Δίνει απλώς μια συμπληρωματική πληροφορία που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί σε μελλοντική αναβάθμιση του συστήματος. Η σχετική ζώνη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πίσω κεντρική. Για ορισμένη απόσταση από το υποκείμενο όχημα η ζώνη καλύπτεται και από τα δύο ραντάρ (βλ. § 4.3.2.3.2). Στον αλγόριθμο επιλέγονται οι τιμές που δίνει το αριστερό ραντάρ εφόσον αυτές είναι έγκυρες χρονικά. Σε αντίθετη περίπτωση επιλέγονται οι τιμές του δεξιού.



Σχήμα 6.11: Μπλοκ τελικής εκτίμησης για το επίπεδο προειδοποίησης που πρέπει να δοθεί (S – function: risk_level).

6.3.2.4.2 Περιγραφή αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος αυτός ουσιαστικά εκτιμά την βαρύτητα της προειδοποίησης που πρέπει να δοθεί σύμφωνα με τη λειτουργία προειδοποίησης κατά την αλλαγή λωρίδας, που είναι συνδυασμός των λειτουργιών προειδοποίησης 'τυφλού' σημείου και προειδοποίησης για όχημα που προσεγγίζει (βλ. § 2.2.13). Η εκτίμηση γίνεται βάσει των παραμέτρων που οδηγούνται στις εισόδους από τα προηγούμενα μπλοκ (relevant_object_left και relevant_object_right) ή/ και βάσει νέων παραμέτρων που υπολογίζονται από τον αλγόριθμο. Οι τιμές της εισόδου του αλγόριθμου, σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, αντιστοιχούν το πολύ σε ένα όχημα στόχο για κάθε ζώνη που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Οι παράμετροι που οδηγούνται στις εισόδους, σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας για κάθε ζώνη (αριστερή, δεξιά, κεντρική πίσω), είναι: Σχετική ταχύτητα στην κατεύθυνση κίνησης X (relative_speed_x), όπισθεν περιθώριο (rear_clearance), τρέχουσα κατάσταση εισόδων (input_status) (βλ. τρέχουσα κατάσταση εξόδων § 6.3.2.3.2).

Οι νέες παράμετροι που υπολογίζονται είναι: Ο υπολειπόμενος χρόνος για σύγκρουση (time_to_collision, βλ. § 2.2.9) και ο ελάχιστος χρόνος για αποφυγή σύγκρουσης (min_time_to_avoid_collision). Ο υπολογισμός τους περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

Ορίστηκαν 5 επίπεδα προειδοποίησης (ή επικινδυνότητας):

- Επίπεδο 0 (INVALID_INPUT): Οι τιμές, που αφορούν την κίνηση οχήματος στόχου σε ορισμένη ζώνη, στις σχετικές εισόδους δεν είναι έγκυρες χρονικά (βλ. τρέχουσα κατάσταση εξόδων § 6.3.2.3.2). Επομένως, δεν μπορεί να γίνει σωστή αξιοποίηση των δεδομένων για κάποια προειδοποίηση στον συγκεκριμένο κύκλο δειγματοληψίας.

- Επίπεδο 1 (CLOSING_VEHICLE_1): Οι τιμές είναι έγκυρες χρονικά και ισχύει ένα από τα παρακάτω:

  - $rear_clearance \geq 5$ και $relative_speed_x \geq 0$
  - $rear_clearance \geq 5$ και $relative_speed_x < 0$ και $time_to_collision > \min_time_to_avoid_collision$

- Επίπεδο 2 (CLOSING_VEHICLE_2): Οι τιμές είναι έγκυρες χρονικά και ισχύει:

  - $rear_clearance \geq 5$ και $relative_speed_x < 0$ και $time_to_collision \leq \min_time_to_avoid_collision$

- Επίπεδο 3 (BLIND_SPOT_1): Οι τιμές είναι έγκυρες χρονικά και ισχύει:

  - $rear_clearance < 5$ και $relative_speed_x > 0$

- Επίπεδο 4 (BLIND_SPOT_2): Οι τιμές είναι έγκυρες χρονικά και ισχύει:

  - $rear_clearance < 5$ και $relative_speed_x \leq 0$

Τα επίπεδα προειδοποίησης 1 έως 4 αντιστοιχίζονται ως εξής στις σχετικές ζώνες (βλ. σχετικά σχήματα στο παράρτημα Γ):

- Αριστερή πίσω ζώνη: Επίπεδο 1 (CLOSING_VEHICLE_1) ή επίπεδο 2 (CLOSING_VEHICLE_2).

- Αριστερή πλευρική ζώνη: Επίπεδο 3 (BLIND_SPOT_1) ή επίπεδο 4 (BLIND_SPOT_2).

- Δεξιά πίσω ζώνη: Επίπεδο 1 (CLOSING_VEHICLE_1) ή επίπεδο 2 (CLOSING_VEHICLE_2).

- Δεξιά πλευρική ζώνη: Επίπεδο 3 (BLIND_SPOT_1) ή επίπεδο 4 (BLIND_SPOT_2).

- Κεντρική πίσω ζώνη: Επίπεδο 1 (CLOSING_VEHICLE_1) ή επίπεδο 2 (CLOSING_VEHICLE_2).

Επομένως, οι έξοδοι του μπλοκ θα οδηγούν ανάλογα με την περίπτωση τις εξής τιμές:

- Επίπεδο επικινδυνότητας για τις αριστερές ζώνες (Risk_level_left_side): 0 ή 1 ή 2 ή 3 ή 4.

- Επίπεδο επικινδυνότητας για τις δεξιές ζώνες (Risk_level_right_side): 0 ή 1 ή 2 ή 3 ή 4.

- Παρουσία οχήματος στόχου στην κεντρική πίσω ζώνη (Object_in_rear_central_zone): 0 ή 1.

6.3.2.4.3 Υπολογισμός παραμέτρων

Ο υπολειπόμενος χρόνος για σύγκρουση (time_to_collision) υπολογίζεται ως εξής:

$$time_to_collision = \frac{rear_clearance}{|relative_speed_x|}$$

Ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την αποφυγή της σύγκρουσης (min_time_to_avoid_collision) αντιστοιχεί στον χρόνο, που χρειάζεται ο οδηγός ενός οχήματος στόχου, από τη στιγμή που, προσπαθώντας να αποφύγει τη σύγκρουση με το προπορευόμενο υποκείμενο όχημα, αφήνει απλά το γκάζι, μέχρι τη στιγμή που το όχημα στόχος αποκτά την ίδια ταχύτητα με το υποκείμενο και φτάνει σε μια ορισμένη απόσταση ασφαλείας (allowable_rear_clearance) πίσω από αυτό. Θεωρώντας ότι αφήνοντας απλά το γκάζι το όχημα στόχος αποκτά σταθερή επιβράδυνση (deceleration) και η αρχική του ταχύτητα είναι αυτή που μετράται εκείνη τη στιγμή (relative_speed_x), ο χρόνος αυτός υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\min_time_to_avoid_collision = \frac{relative_speed_x^2 + 2 \cdot deceleration \cdot al_rear_clearance}{2 \cdot deceleration \cdot |relative_speed_x|}$$

Η σχετική ταχύτητα (relative_speed_x) είναι σε απόλυτο γιατί είναι πάντα αρνητική όταν πρόκειται να υπολογιστεί ο εν λόγω χρόνος.

Οι τιμές που δόθηκαν στην επιβράδυνση και στην απόσταση ασφαλείας είναι 4 m/s^2 και 5 m αντίστοιχα[9].

6.3.3 Κωδικοποίηση αποτελεσμάτων σε μηνύματα CAN και αποστολή τους

Σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας κωδικοποιούνται και αποστέλλονται στο δίκτυο τέσσερα μηνύματα CAN:

- Το μήνυμα *LCDAS_risk_level* που περιέχει τις τιμές των τελικά εξαγόμενων επιπέδων επικινδυνότητας (risk_level_left_side, risk_level_right_side, object_in_rear_central_zone, βλ. § 6.3.2.4.2) μαζί με την τιμή για το επίπεδο αξιολόγησης των χρόνων άφιξης των μηνυμάτων (packet_arrival_status) του

[9] Η τιμή της επιβράδυνσης δεν μπορεί να καθοριστεί αυστηρά γιατί εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως δυναμικής του οχήματος ή των συνθηκών του οδοστρώματος. Η τιμή 4 m/s^2 αναφέρεται προσεγγιστικά στο έντυπο προτυποποίησης LCDAS.

αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας (YRS_timestamp) και του δέκτη GPS (GPS_speed_timestamp) αντίστοιχα, σαν ένδειξη για την αξιοπιστία των υπολογισμών. Συνοδεύεται, επίσης, από την τιμή του χρόνου αποστολής του (timestamp).

- Το μήνυμα *GPS_data* που περιέχει την τιμή της ταχύτητας του υποκείμενου οχήματος, όπως αυτή έρχεται από τον δέκτη GPS μέσω UDP (GPS_hor_speed). Συνοδεύεται από την τιμή της χρονικής στιγμής άφιξης του εκάστοτε μηνύματος UDP (GPS_data_timestamp).

- Το μήνυμα *YRS_data* που περιέχει την τιμή της γωνιακής ταχύτητας (yaw_rate) του υποκείμενου οχήματος, όπως αυτή έρχεται από τον αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας μέσω του μηνύματος CAN *YRS_Signals_TrmMsg.* Συνοδεύεται από την τιμή της χρονικής στιγμής άφιξης (YRS_timestamp) του εκάστοτε μηνύματος *YRS_Signals_TrmMsg.*

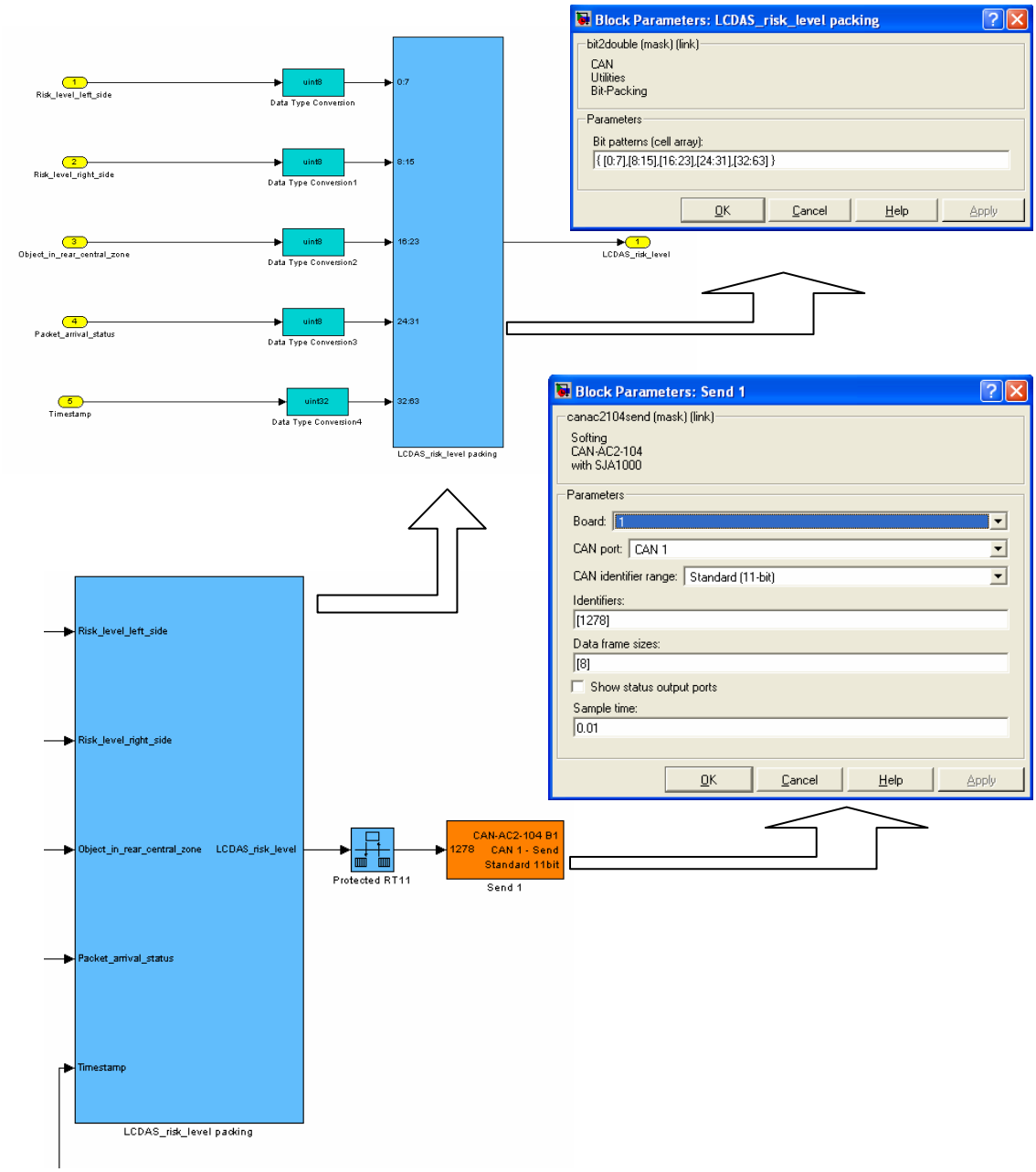
- Το μήνυμα *YRS_Signals_RcvMsg* που σκοπό έχει να εκκινήσει την αποστολή του μηνύματος *YRS_Signals_TrmMsg* από τον αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας.

Το πρώτο ουσιαστικά περιέχει τα αποτελέσματα των αλγορίθμων της εφαρμογής LCDAS, τα επόμενα δύο περιέχουν απλώς χρήσιμες πληροφορίες για μελλοντική αξιοποίηση και το τελευταίο είναι απαραίτητο μόνο για τη μετάδοση μηνυμάτων από τον αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας. Εκτελείται η αντίστροφη διαδικασία της αποκωδικοποίησης όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.3.1.

6.3.3.1 Κωδικοποίηση και αποστολή μηνύματος LCDAS_risk_level

Στο μήνυμα αυτό, σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, κωδικοποιούνται οι τιμές risk_level_left_side, risk_level_right_side, object_in_rear_central_zone, packet_arrival_status και timestamp, όπως προαναφέρθηκε.

Η διαδικασία της κωδικοποίησης και αποστολής φαίνεται στο σχήμα 6.10, όπου οι πραγματικές τιμές των προαναφερθέντων παραμέτρων μετατρέπονται πρώτα σε δυαδικές τιμές κωδικοποίησης (μη προσημασμένοι ακέραιοι, uint) με τη βοήθεια των μπλοκ μετατροπής τύπου δεδομένων (data type conversion) και έπειτα γίνεται συγχώνευσή τους με το σχετικό μπλοκ συγχώνευσης (CAN packing) στο εν λόγω μήνυμα CAN. Στη συνέχεια, το νέο μήνυμα CAN αποστέλλεται στο δίκτυο μέσω του μπλοκ αποστολής μηνυμάτων CAN (CAN send) με τη διεύθυνση (identifier) $4FE_{(hex)}$ ($1278_{(dec)}$).



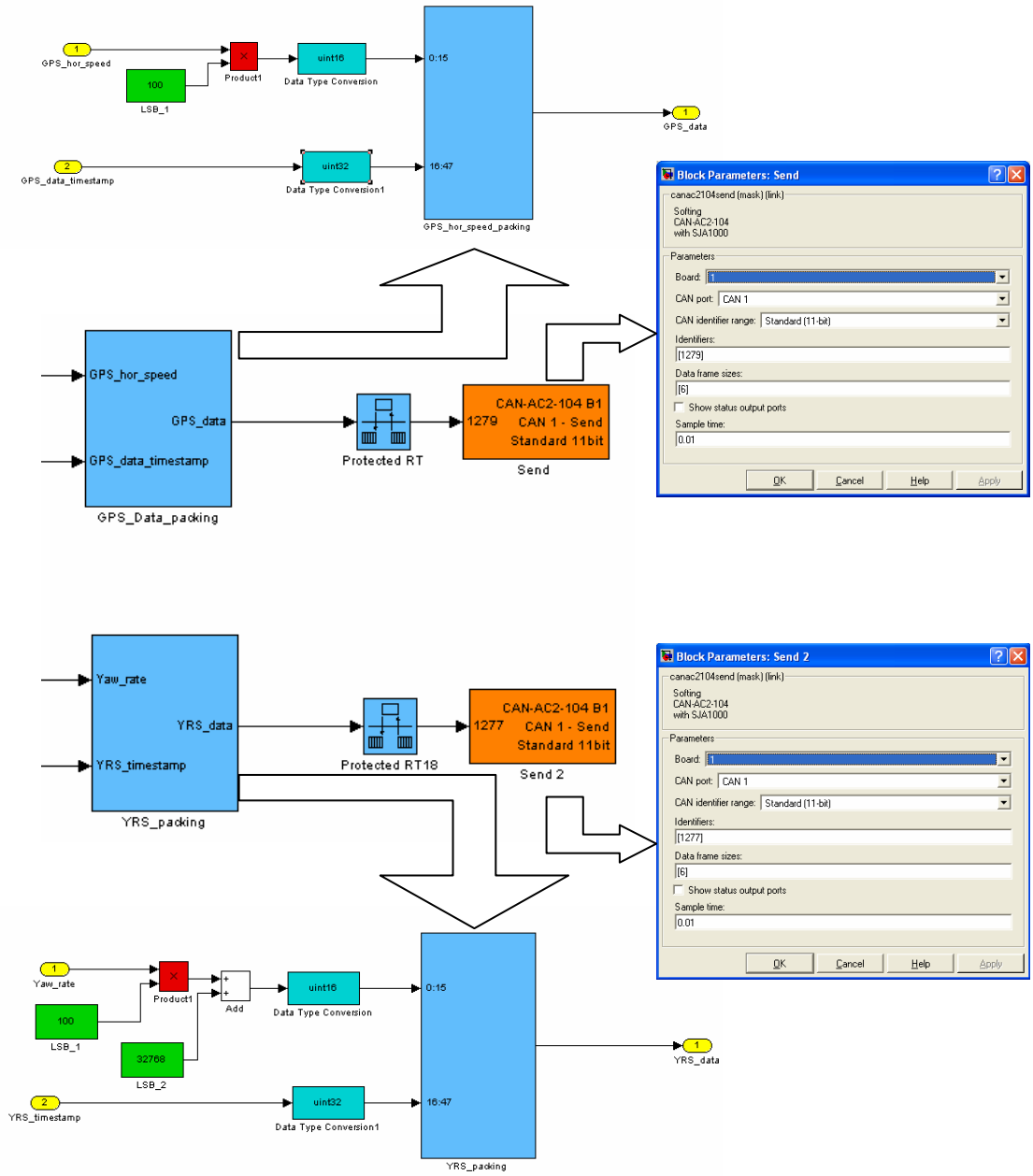
Σχήμα 6.12: Κωδικοποίηση και αποστολή μηνύματος *LCDAS_risk_level*.

6.3.3.2 Κωδικοποίηση και αποστολή μηνυμάτων GPS_data και YRS_data

Στο μήνυμα *GPS_data*, σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, κωδικοποιούνται οι τιμές GPS_hor_speed και GPS_data_timestamp, όπως προαναφέρθηκε. Αντίστοιχα, στο μήνυμα *YRS_data*, σε κάθε κύκλο δειγματοληψίας, κωδικοποιούνται οι τιμές yaw_rate και YRS_timestamp, όπως προαναφέρθηκε.

Η κωδικοποίηση και αποστολή τους στο μοντέλο Simulink φαίνεται στο σχήμα 6.11. Οι ακρίβεια που χρησιμοποιήθηκε στην κωδικοποίηση των τιμών GPS_hor_speed και yaw_rate είναι 0,01 m/s και 0,01 ^{o}/s αντίστοιχα. Επίσης, εφόσον η κωδικοποίηση έγινε με μη προσημασμένους ακεραίους (uint), για την παράσταση των τιμών της

γωνιακής ταχύτητας έγινε ισοστάθμιση (offset) ίση με $2^{16}/2 = 32768$. Τέλος, επελέγησαν οι διευθύνσεις αποστολής $4FF_{(hex)}$ ($1279_{(dec)}$) και $4FD_{(hex)}$ ($1277_{(dec)}$) για το μήνυμα *GPS_data* και *YRS_data* αντίστοιχα.



Σχήμα 6.13: Κωδικοποίηση και αποστολή μηνυμάτων *GPS_data* και *YRS_data*.

6.3.4 Χρονισμός συστήματος

Για την εκτέλεση της εφαρμογής (μοντέλου Simulink) σε πραγματικό χρόνο ορίζεται ένας βασικός χρόνος δειγματοληψίας του συστήματος στις ρυθμίσεις διαμόρφωσης (configuration parameters). Επίσης, για κάθε μπλοκ που προαναφέρθηκε ορίζεται μια περίοδος δειγματοληψίας των εισόδων ή/ και εξόδων του. Επισημαίνεται ότι, για μια εφαρμογή που λειτουργεί μέσω του βιομηχανικού Η/Υ σε πραγματικό χρόνο, το Simulink δεν επιτρέπει τον ορισμό μεταβλητού χρόνου δειγματοληψίας.

Συγκεκριμένα, ως βασικός χρόνος ορίζεται ένας πολύ μικρός χρόνος (π.χ. 0,00025 sec). Για κάθε μπλοκ ορίζεται ως χρόνος δειγματοληψίας ένα πολλαπλάσιο του βασικού. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή σε όλα τα μπλοκ ορίστηκε χρόνος δειγματοληψίας 0,01 sec, που φυσικά μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τις απαιτήσεις. Στην περίπτωση που δυο συνδεόμενα μπλοκ έχουν διαφορετικούς χρόνους δειγματοληψίας, παρεμβάλλεται ειδικό μπλοκ (rate transition block) που ελέγχει την ομαλή μεταφορά των δεδομένων μεταξύ τους.

7 ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΟΧΗΜΑ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

7.1 Πειραματική διάταξη και διαδικασία κατά τη δοκιμή της εφαρμογής

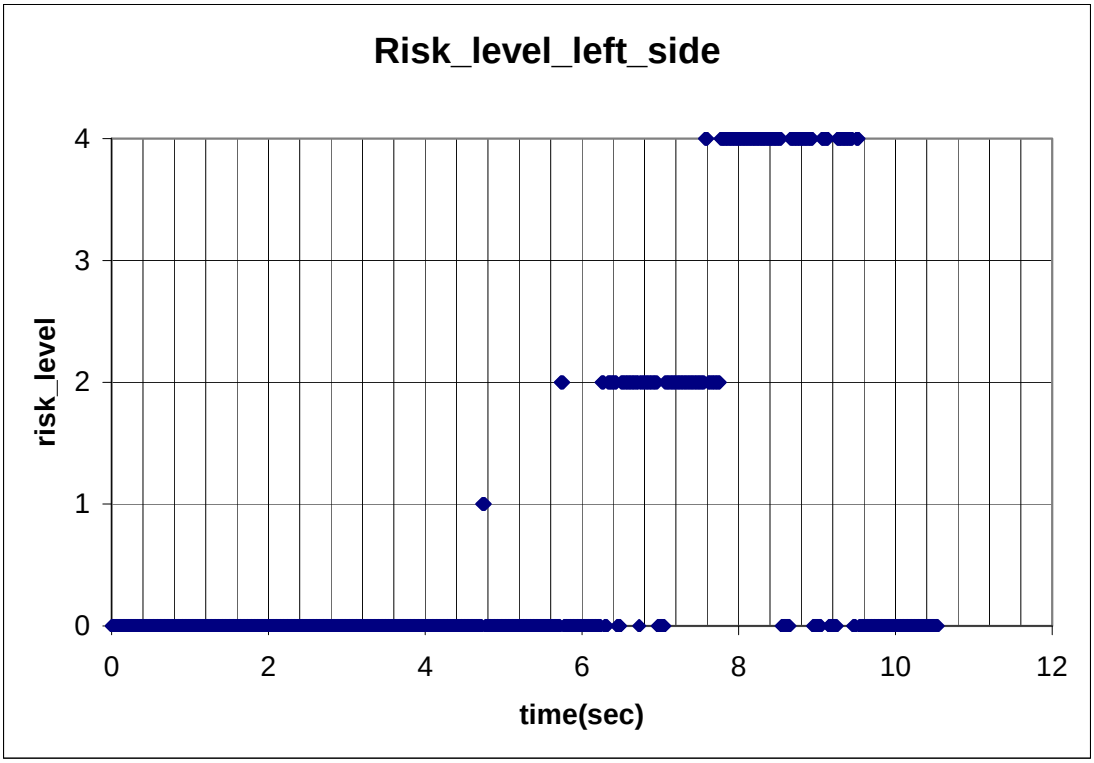
Η εφαρμογή υποβοήθησης κατά την αλλαγή λωρίδας που αναπτύχθηκε, δοκιμάστηκε στο πειραματικό όχημα του Πολυτεχνείου με βάση την τοπολογία του δικτύου που απεικονίζεται στο σχήμα 4.1. Η λειτουργία του υλικού και του λογισμικού του δικτύου εξηγήθηκε στα κεφάλαια 4, 5 και 6.
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει μια καταγραφή των μηνυμάτων που αποστέλλονται στο δίκτυο CAN από την εν λόγω εφαρμογή (βλ. κεφ. 6) σε πραγματικό χρόνο κατά την προσπέραση του πειραματικού οχήματος από δεύτερο βοηθητικό. Γίνονται δύο διαδοχικές προσπεράσεις, μια από αριστερά και μια από δεξιά. Το βοηθητικό όχημα ξεκινά να κινείται στην ίδια , θεωρητικά, λωρίδα με το πειραματικό και εν συνεχεία εκτελεί την προσπέραση. Επισημαίνεται ότι, τα οχήματα κινήθηκαν με χαμηλές ταχύτητες λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου ελεύθερου δρόμου στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.

7.2 Καταγραφή μηνυμάτων κατά τις προσπεράσεις και ερμηνεία

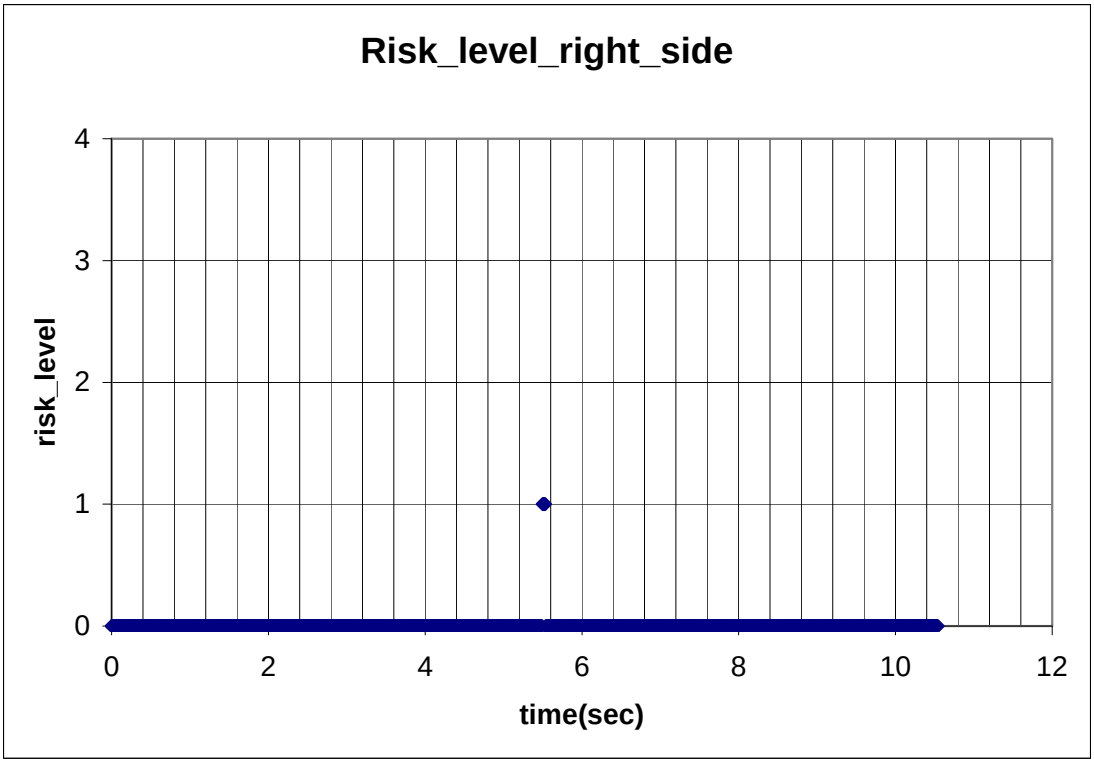
Μεταξύ άλλων, καταγράφηκαν τα μηνύματα *LCDAS_risk_level*, *YRS_data* και *GPS_data* (βλ. § 6.3.3) με τη βοήθεια του λογισμικού CANalyser. Παρακάτω παρατίθενται και ερμηνεύονται οι γραφικές παραστάσεις των κυριότερων πεδίων των μηνυμάτων αυτών.

7.2.1 Μήνυμα LCDAS_risk_level

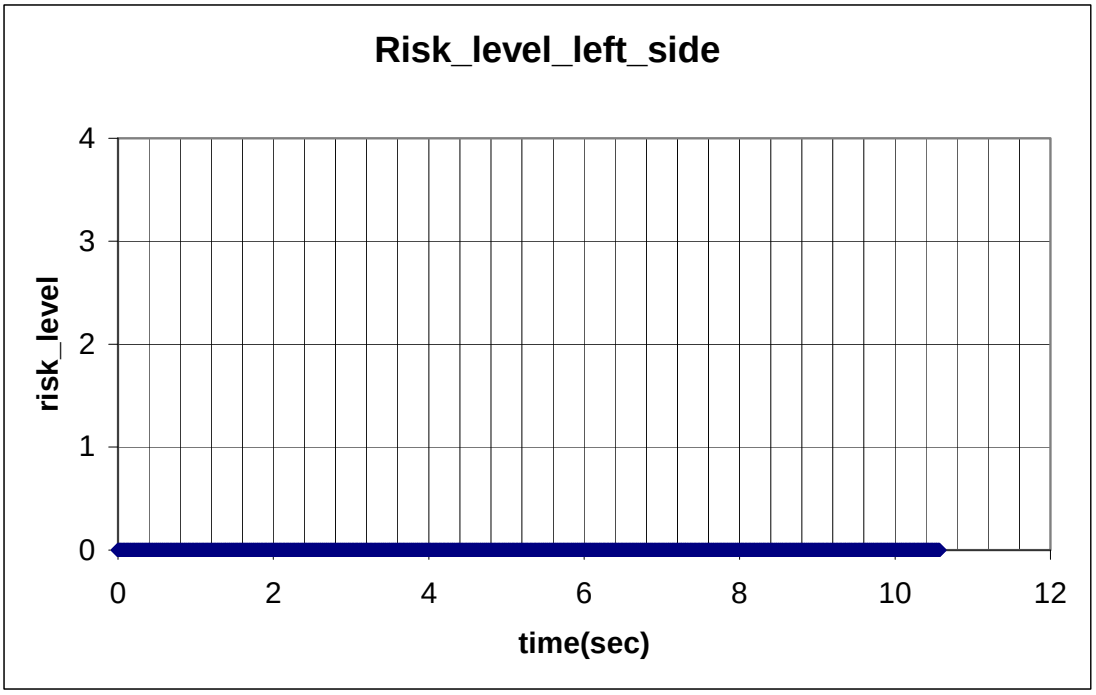
Το εν λόγω μήνυμα περιλαμβάνει τις πιο βασικές πληροφορίες όσον αφορά το τελική εκτίμηση του κινδύνου που ενέχει μια αλλαγή λωρίδας. Όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 6, το μήνυμα αυτό αποτελείται από τα πεδία risk_level_left_side, risk_level_right_side, object_in_rear_central_zone, packet_arrival_status και timestamp. Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν, φαίνονται οι τιμές που καταγράφηκαν για τα επίπεδα επικινδυνότητας (βλ. § 6.3.2.4.2) στα τα τρία πρώτα πεδία. Όπως αναμενόταν, οι τιμές του πεδίου risk_level_left_side είναι ενδεικτικές της προσπέρασης που έγινε από αριστερά και αντίστοιχα οι τιμές του πεδίου risk_level_right_side είναι ενδεικτικές της προσπέρασης που έγινε από δεξιά. Το επίπεδο 4 διαδέχεται τα επίπεδα 1,2 Οι μηδενικές τιμές που παρεμβάλλονται των τιμών αυτών οφείλονται στην καθυστέρηση των ραντάρ να αποστείλουν τιμές που αντιστοιχούν στο όχημα που προσπερνά. Αυτό δεν επηρεάζει σημαντικά τα τελικά συμπεράσματα καθώς οι μηδενικές τιμές δεν είναι συνεχόμενες για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Η συνέχεια των τιμών 4, 2 ή 1 είναι σαφής ένδειξη και δεν αλλοιώνεται από τους στιγμιαίους αυτούς μηδενισμούς. Στην αρχή της καταγραφής η συνεχείς μηδενικές τιμές δηλώνουν ότι δεν υπάρχει κίνδυνος, δηλαδή το όχημα που πρόκειται να προσπεράσει δεν έχει εισέλθει ακόμα στις σχετικές ζώνες (βλ. παράρτημα Γ). Όσον αφορά το πεδίο risk_level_right_side στην προσπέραση από αριστερά, δίνει μια τιμή στο επίπεδο 1 που ερμηνεύεται από την στιγμιαία ενδεχομένως είσοδο του βοηθητικού οχήματος στην δεξιά περιοχή καθώς πλησιάζει το πειραματικό από πίσω. Για το χρονικό διάστημα που το βοηθητικό όχημα αρχίζει να κινείται προς τα αριστερά για να προσπεράσει η ένδειξη είναι σταθερά μηδέν, όπως θα αναμενόταν άλλωστε. Το πεδίο risk_level_left_side δίνει σταθερά μηδενικές τιμές για την προσπέραση από δεξιά, πράγμα αναμενόμενο.



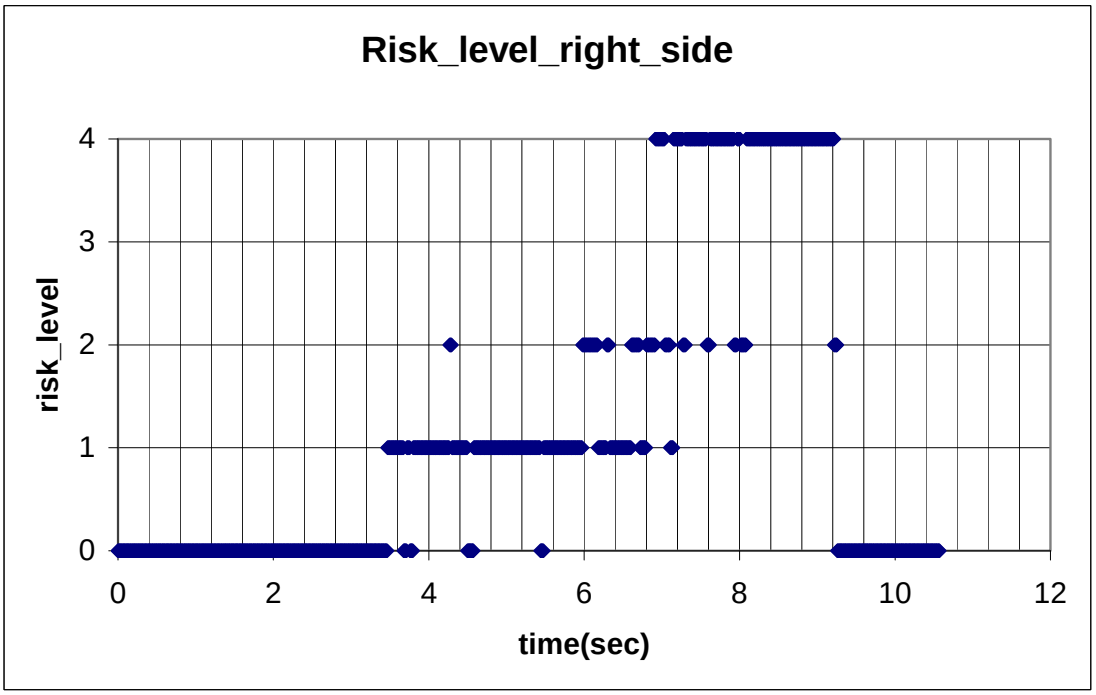
Σχήμα 7.1: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για τις αριστερές ζώνες κατά την προσπέραση από αριστερά.



Σχήμα 7.2: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για τις δεξιές ζώνες κατά την προσπέραση από αριστερά.



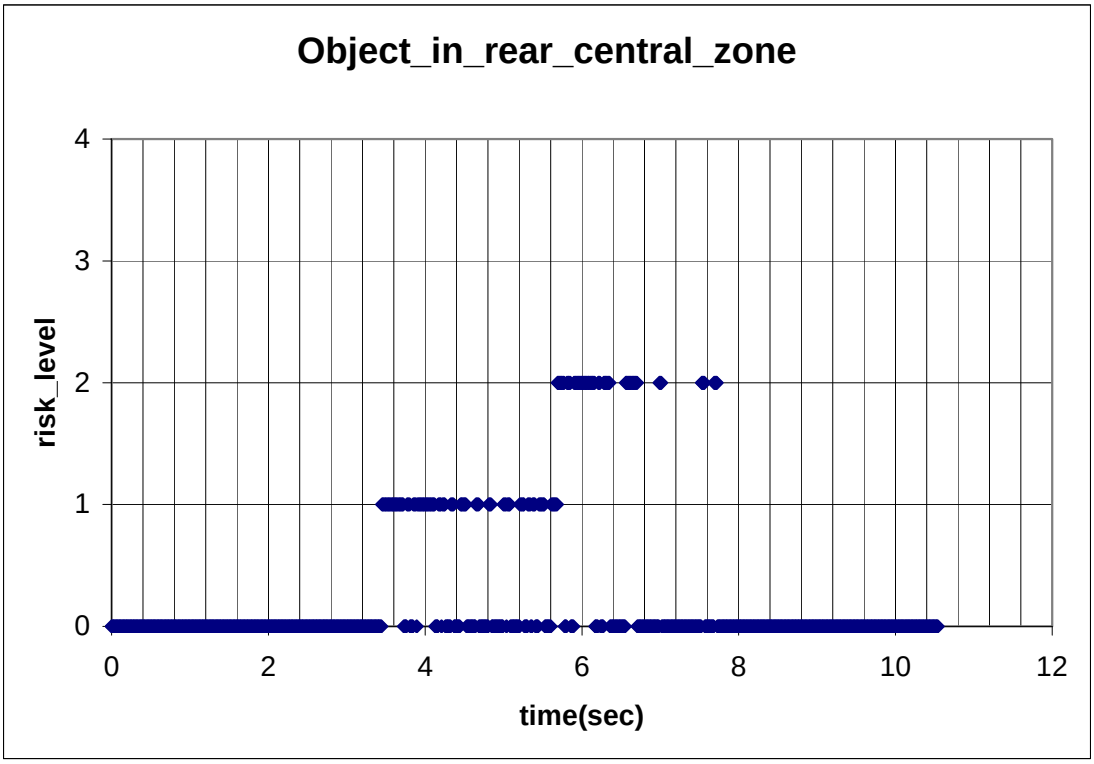
Σχήμα 7.3: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για τις αριστερές ζώνες κατά την προσπέραση από δεξιά.



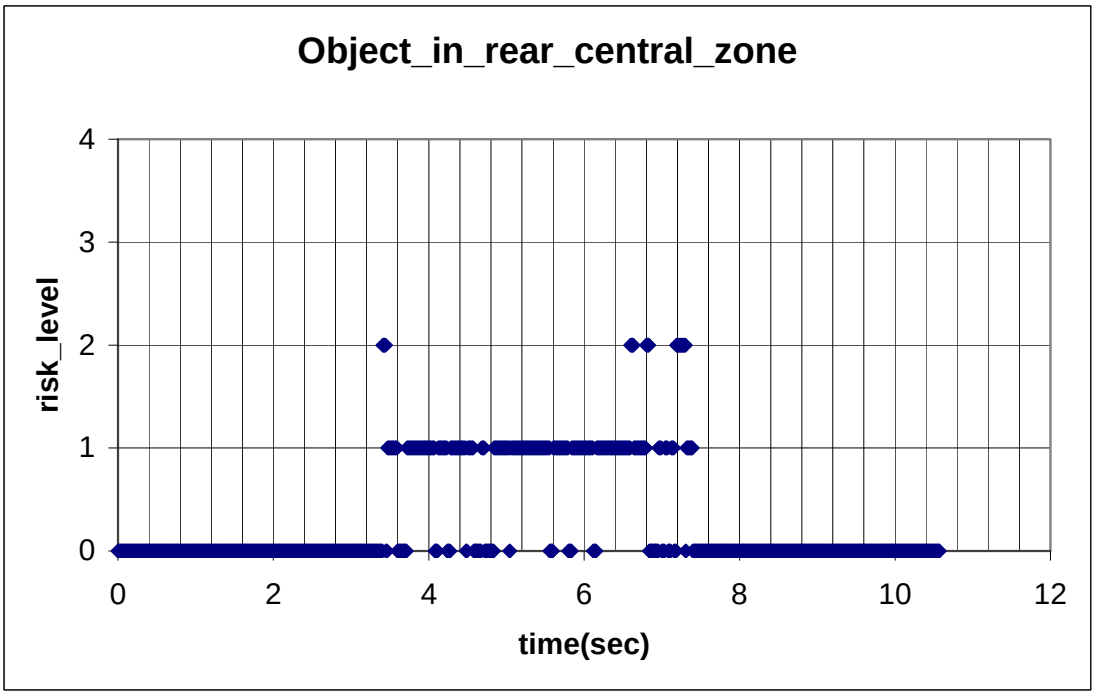
Σχήμα 7.4: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για τις δεξιές ζώνες κατά την προσπέραση από δεξιά.

Για την κεντρική πίσω ζώνη, το πεδίο object_in_rear_central_zone παρατηρείται ότι δίνει τιμές 1 και 2, όσο το βοηθητικό όχημα πλησιάζει από πίσω και στην ίδια λωρίδα

με το πειραματικό. Όταν το πρώτο κινείται προς την αριστερή ή δεξιά πλευρά αντίστοιχα, οι ενδείξεις χάνονται καθώς εξέρχεται της ζώνης.



Σχήμα 7.5: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για την κεντρική πίσω ζώνη κατά την προσπέραση από αριστερά.



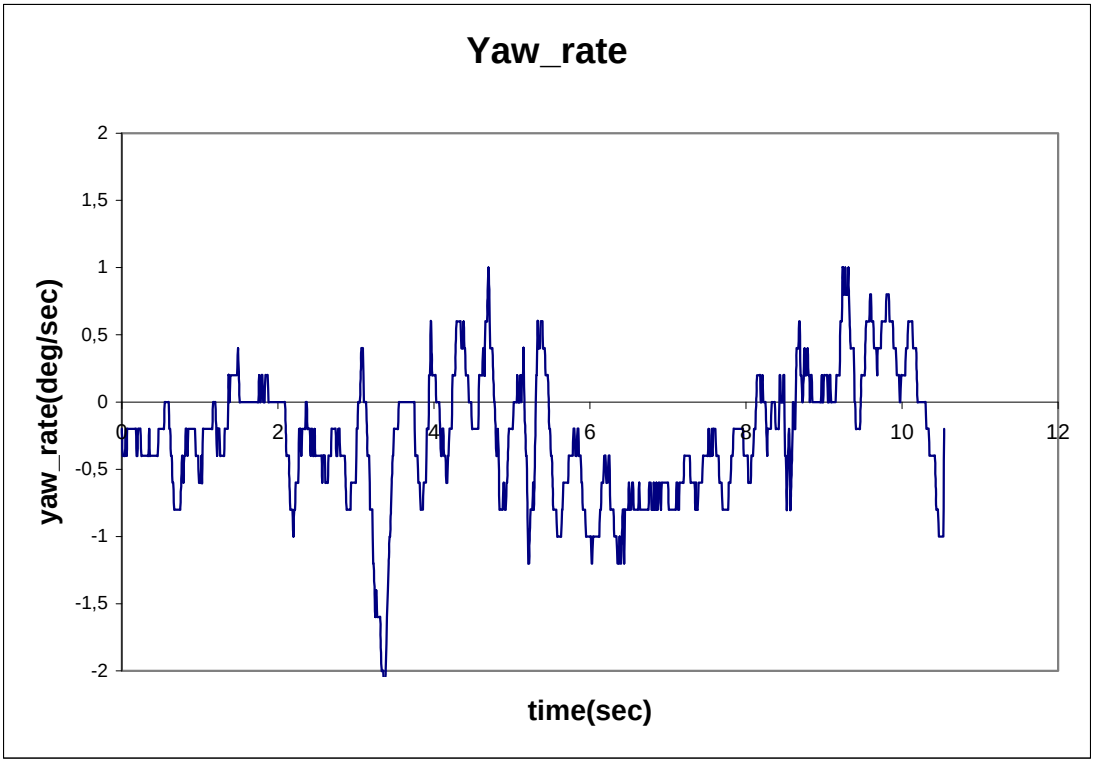
Σχήμα 7.6: Τιμές επιπέδων επικινδυνότητας για την κεντρική πίσω ζώνη κατά την προσπέραση από δεξιά.

7.2.2 Μηνύματα YRS_data και GPS_data

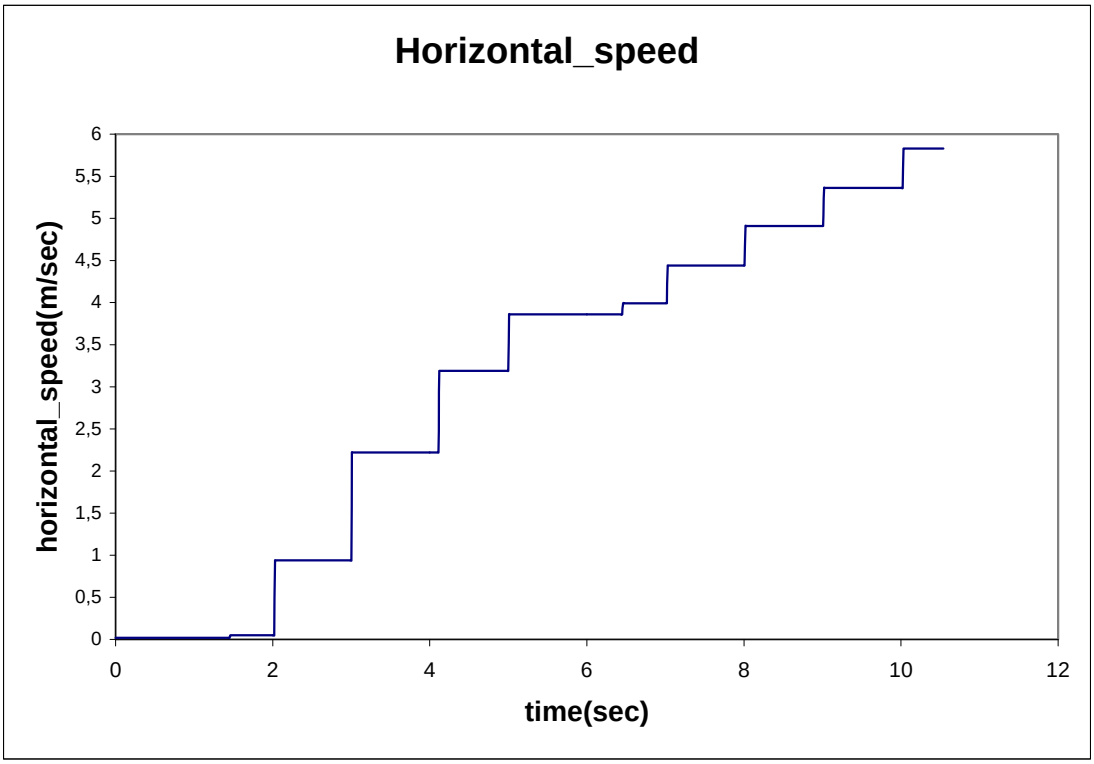
Τα πεδία των μηνυμάτων *YRS_data και GPS_data* (βλ. § 6.3.3.2) που παρουσιάζονται είναι τα yaw_rate και GPS_hor_speed αντίστοιχα, δηλαδή η καταγραμμένη γωνιακή και γραμμική ταχύτητα του πειραματικού οχήματος.

Η γωνιακή ταχύτητα μεταβάλλεται γύρω από το μηδέν παίρνοντας μικρές τιμές, όπως θα αναμενόταν άλλωστε εφόσον το πειραματικό όχημα κινήθηκε ευθύγραμμα. Παρόλα αυτά, ορισμένες τιμές είναι αρκετά υψηλές, για τη δεδομένη κίνηση του πειραματικού οχήματος, με αποτέλεσμα να μπορούν να επηρεάσουν την αξιοπιστία των τελικών συμπερασμάτων σε ένα βαθμό. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε λανθασμένη τοποθέτηση του αισθητήρα γωνιακής ταχύτητας, που όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο τοποθετείται στο πορτ μπαγκάζ πάνω στον άξονα συμμετρίας του οχήματος και όχι στο κέντρο βάρους του, όπως συνιστάται στα έντυπα προτυποποιήσεων.

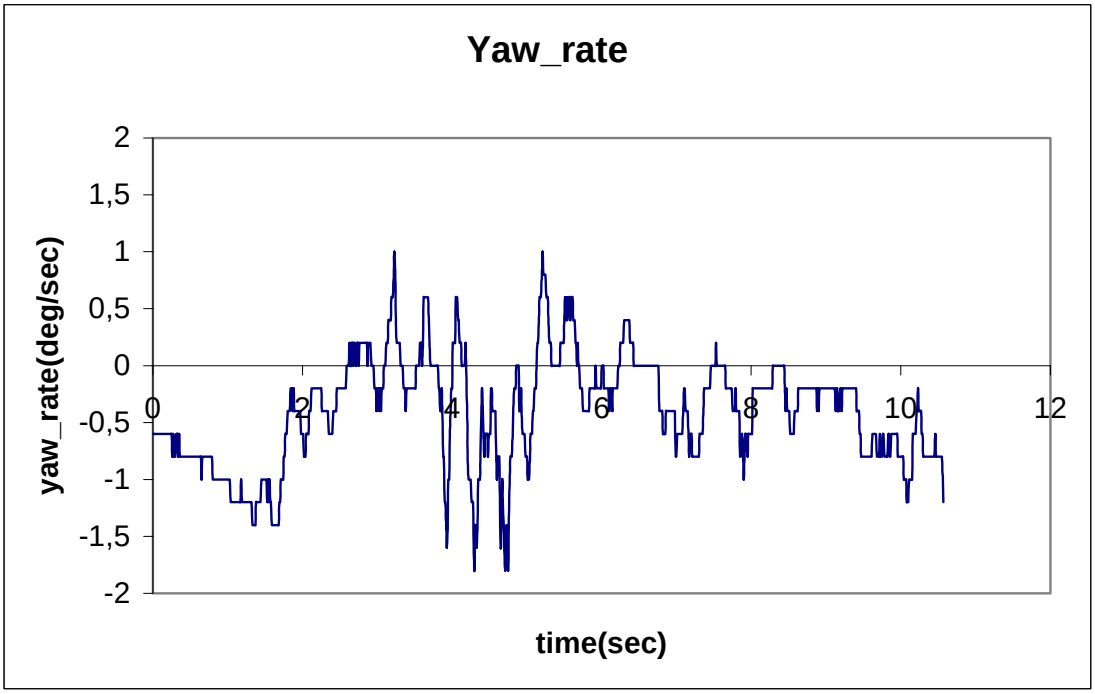
Οι τιμές της γραμμικής ταχύτητας, που καταγράφονται με τη βοήθεια του δέκτη GPS, φαίνεται να είναι αρκετά κοντά στις τιμές που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της δοκιμής στο ταχύμετρο του πειραματικού οχήματος. Ωστόσο, η καθυστερημένη ανανέωση των τιμών αυτών (κάθε 1 sec περίπου, βλ. § 4.3.5.2) επηρεάζει σημαντικά την ορθότητα των τελικών συμπερασμάτων της εφαρμογής.



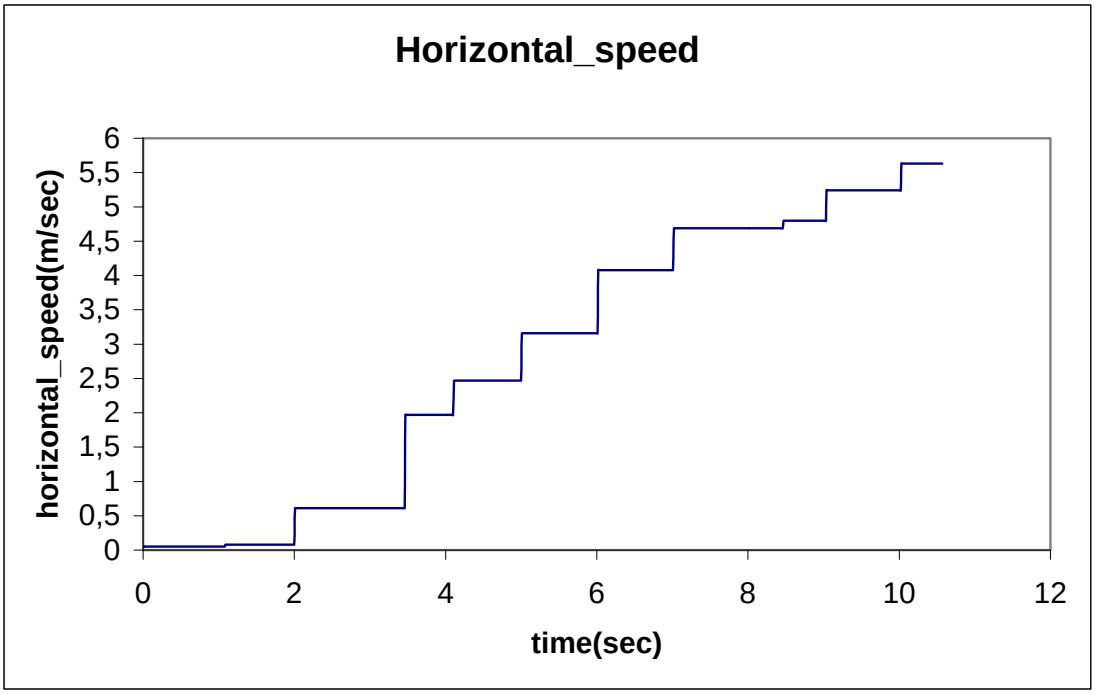
Σχήμα 7.7: Τιμές γωνιακής ταχύτητας του πειραματικού οχήματος κατά την προσπέραση από αριστερά.



Σχήμα 7.8: Τιμές γραμμικής ταχύτητας του πειραματικού οχήματος κατά την προσπέραση από αριστερά.



Σχήμα 7.9: Τιμές γωνιακής ταχύτητας του πειραματικού οχήματος κατά την προσπέραση από δεξιά.



Σχήμα 7.10: Τιμές γραμμικής ταχύτητας του πειραματικού οχήματος κατά την προσπέραση από δεξιά.

7.3 Μελλοντικές επεκτάσεις- βελτιώσεις

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε χρήζει δύο σημαντικών βελτιώσεων, που λόγω του υπάρχοντος εξοπλισμού δεν ήταν δυνατό να γίνουν.

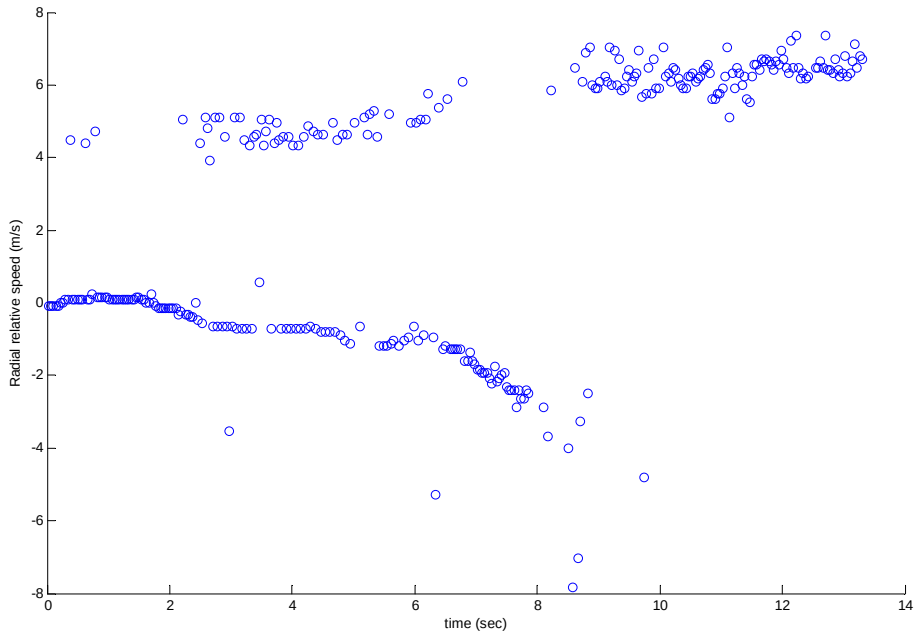
Καταρχήν, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, η καταγραφή της γραμμικής ταχύτητας του υποκείμενου οχήματος γίνεται με τη βοήθεια ενός δέκτη GPS που δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστος. Ειδικά σε εφαρμογές σαν την εν λόγω, όπου η αποφυγή ή μη μιας σύγκρουσης είναι ζήτημα κλασμάτων του δευτερολέπτου, η καταγραφή και μετάδοση των τιμών των φυσικών μεγεθών από τους αισθητήρες οφείλει να γίνεται με υψηλή συχνότητα για την έγκαιρη και έγκυρη ειδοποίηση του οδηγού. Θα πρέπει, λοιπόν, να βρεθεί πιο αξιόπιστη μέθοδος καταγραφής σε ψηφιακό δεδομένο της γραμμικής ταχύτητας.

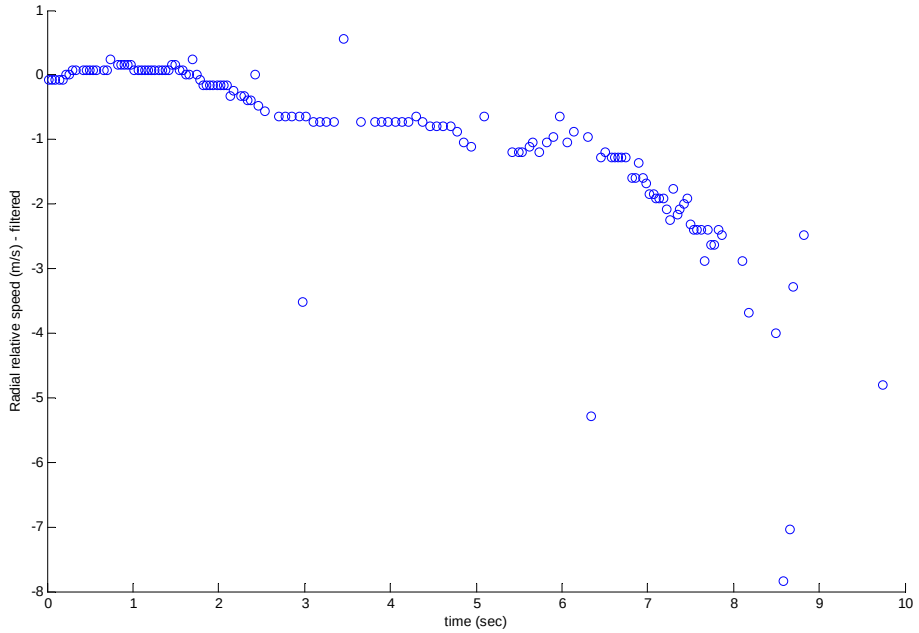
Μια δεύτερη βελτίωση έγκειται στον ακριβέστερο υπολογισμό της σχετικής ταχύτητας στην κατεύθυνση X των οχημάτων στόχων. Στην εφαρμογή, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, έχουν παραληφθεί ορισμένοι όροι στον τύπο υπολογισμού του μεγέθους αυτού. Με τον δεδομένο εξοπλισμό, θα μπορούσε να βρεθεί μια ακριβέστερη αριθμητική μέθοδος προσέγγισης. Διαφορετικά, θα μπορούσε να εγκατασταθεί νέος αισθητήρας απευθείας ή ευκολότερου υπολογισμού του μεγέθους.

Ως επέκταση, η εν λόγω εφαρμογή υποβοήθησης του οδηγού θα μπορούσε να συνδυαστεί με μια εφαρμογή υποβοήθησης του οδηγού κατά την προσπέραση άλλου οχήματος από το υποκείμενο. Έτσι, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και το ραντάρ μακρινής εμβέλειας (LRR- Long Range Radar) που είναι εγκατεστημένο στον μπροστινό προφυλακτήρα του πειραματικού οχήματος.

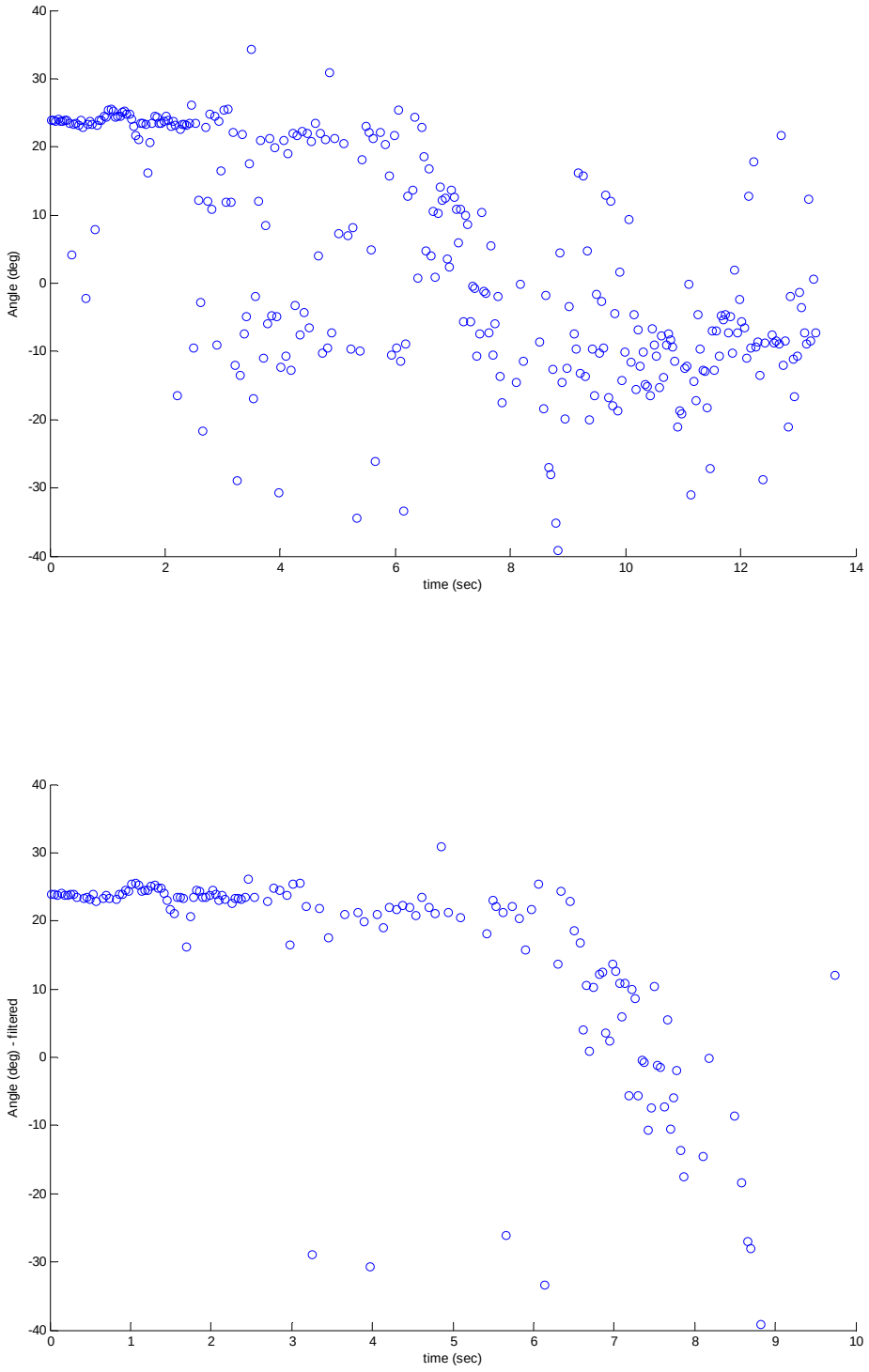
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] W. Scott Pyles Valeo Raytheon Systems, Inc.: “Lane change accidents are caused by blind spots and factors affecting the driver’s awareness of vehicles in adjacent lanes of traffic”, Valeo Raytheon white paper series.
[2] Standardization working draft for NP17387: “Lane change decision aid systems- ISO/TC204/WG14/N40.25”, April 23, 2004.
[3] CiA (CAN in Automation) website: www.can-cia.org/can/protocol .
[4] IXXAT Automation GmbH website: www.ixxat.de .
[5] Jörn Fauck, Fabian Kyrisch, Ralph Mende: “Universal medium range radar (UMRR) documentation- s.m.s smart microwave sensors GmbH”, May 16, 2004.
[6] Robert Bosch GmbH: “Technical customer documentation- Yaw rate sensor DRS-MM 1.1”, Edition 4, October 14, 2003.
[7] Vector Informatik GmbH website: www.vector-informatik.de .
[8] Jean Marie Zogg: “GPS basics- Introduction to the system- Application overview”, October 2001.
[9] M. Rueder, W. Enkelmann, R. Garnitz: “Highway lane change assistant”, IEEE intelligent vehicle symposium, Versailles- France, June 2002.

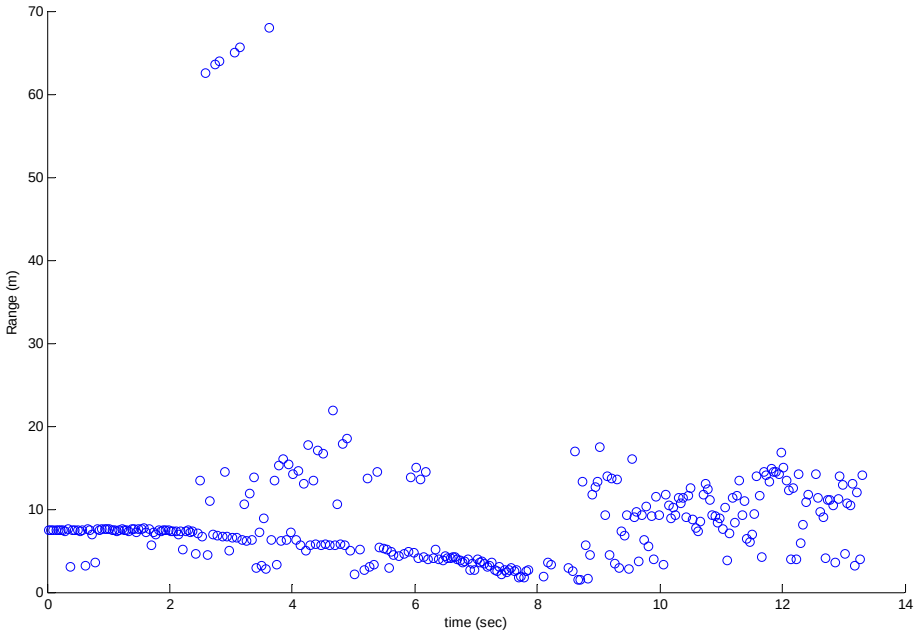


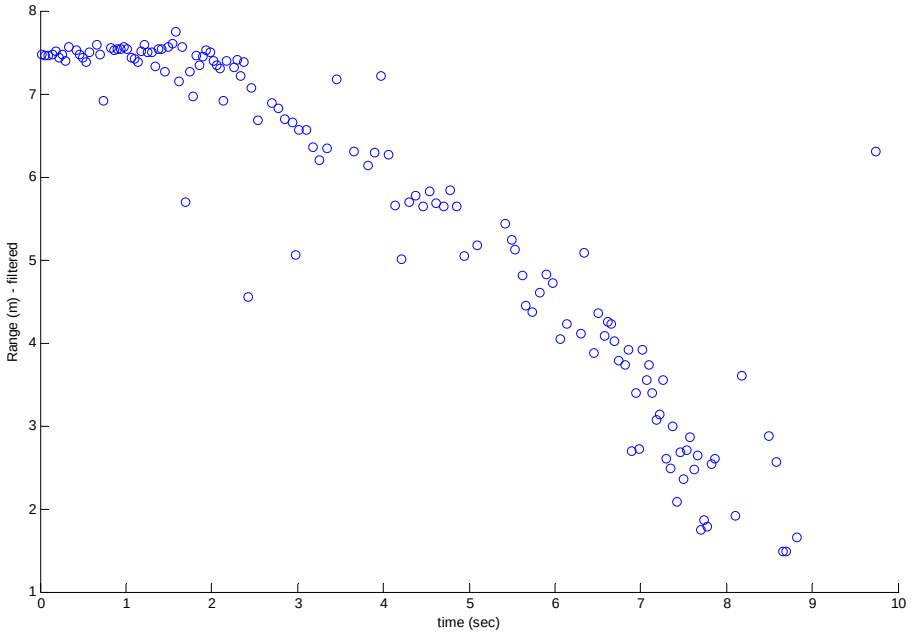


Σχήμα Α.1: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης ακτινικής σχετικής ταχύτητας (radial relative speed) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2).

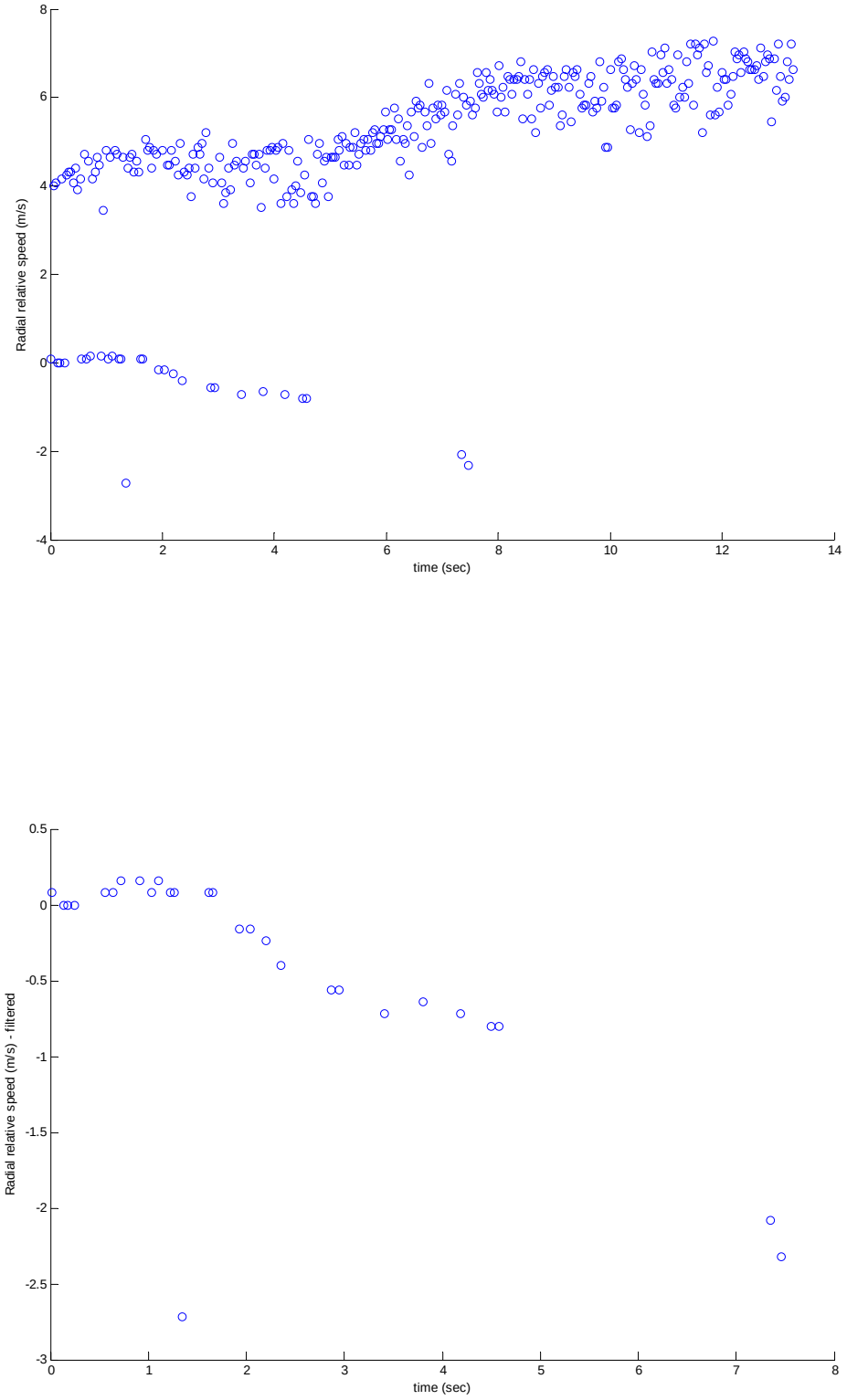


Σχήμα Α.2: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης γωνίας (angle) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2).

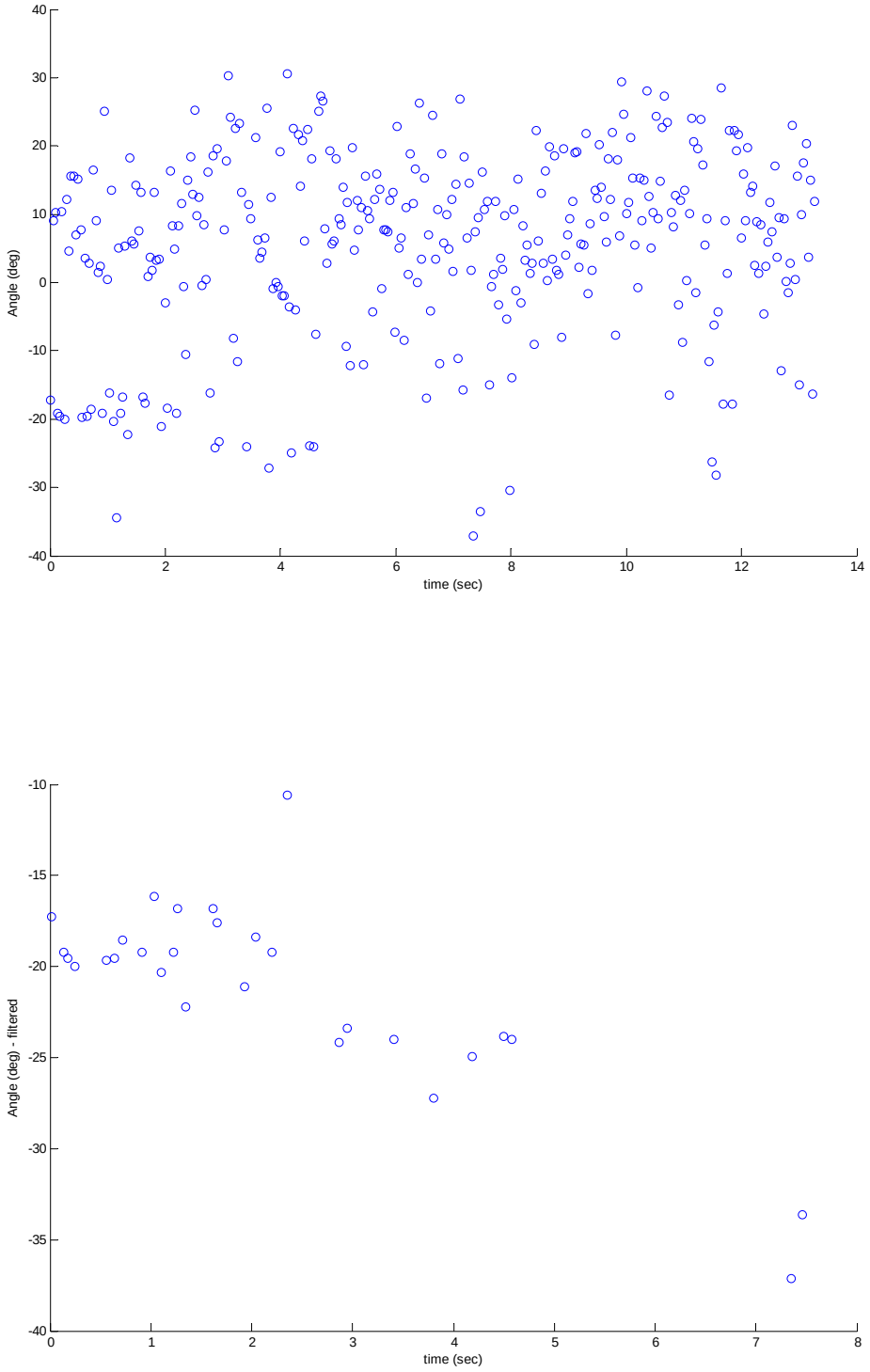




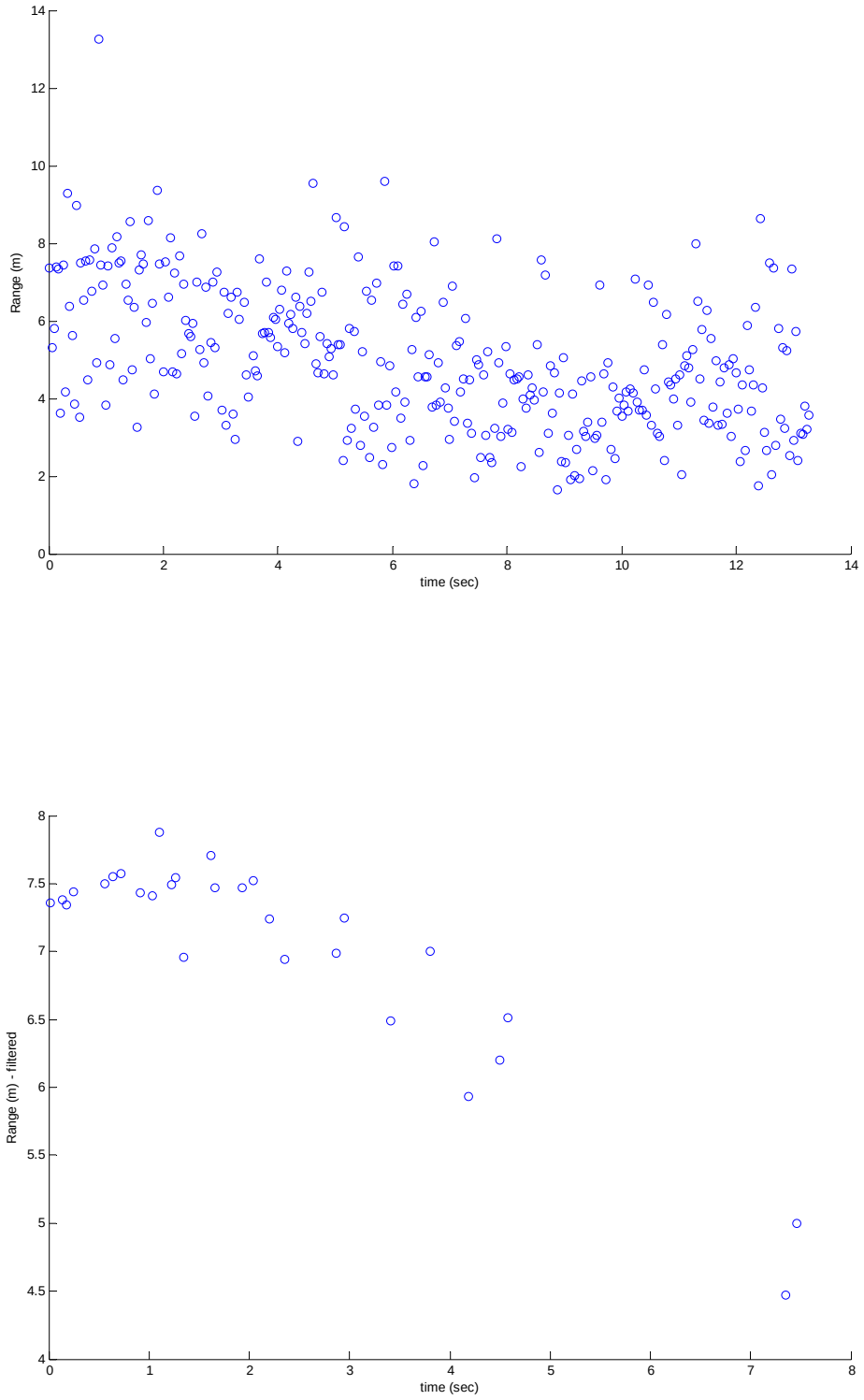
Σχήμα Α.3: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης απόστασης (range) βοηθητικού οχήματος στόχου από κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2).



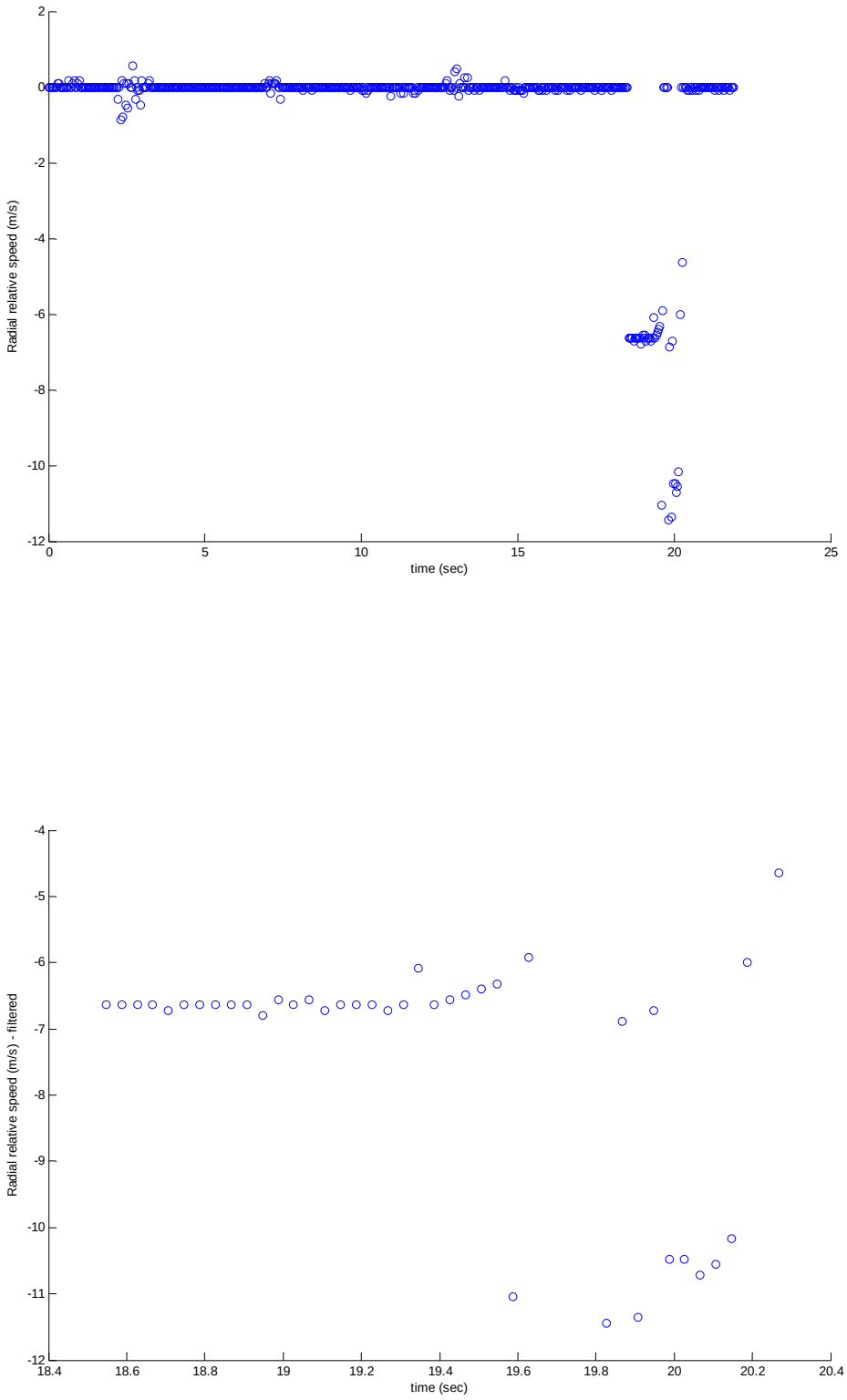
Σχήμα Α.4: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης ακτινικής σχετικής ταχύτητας (radial relative speed) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1).



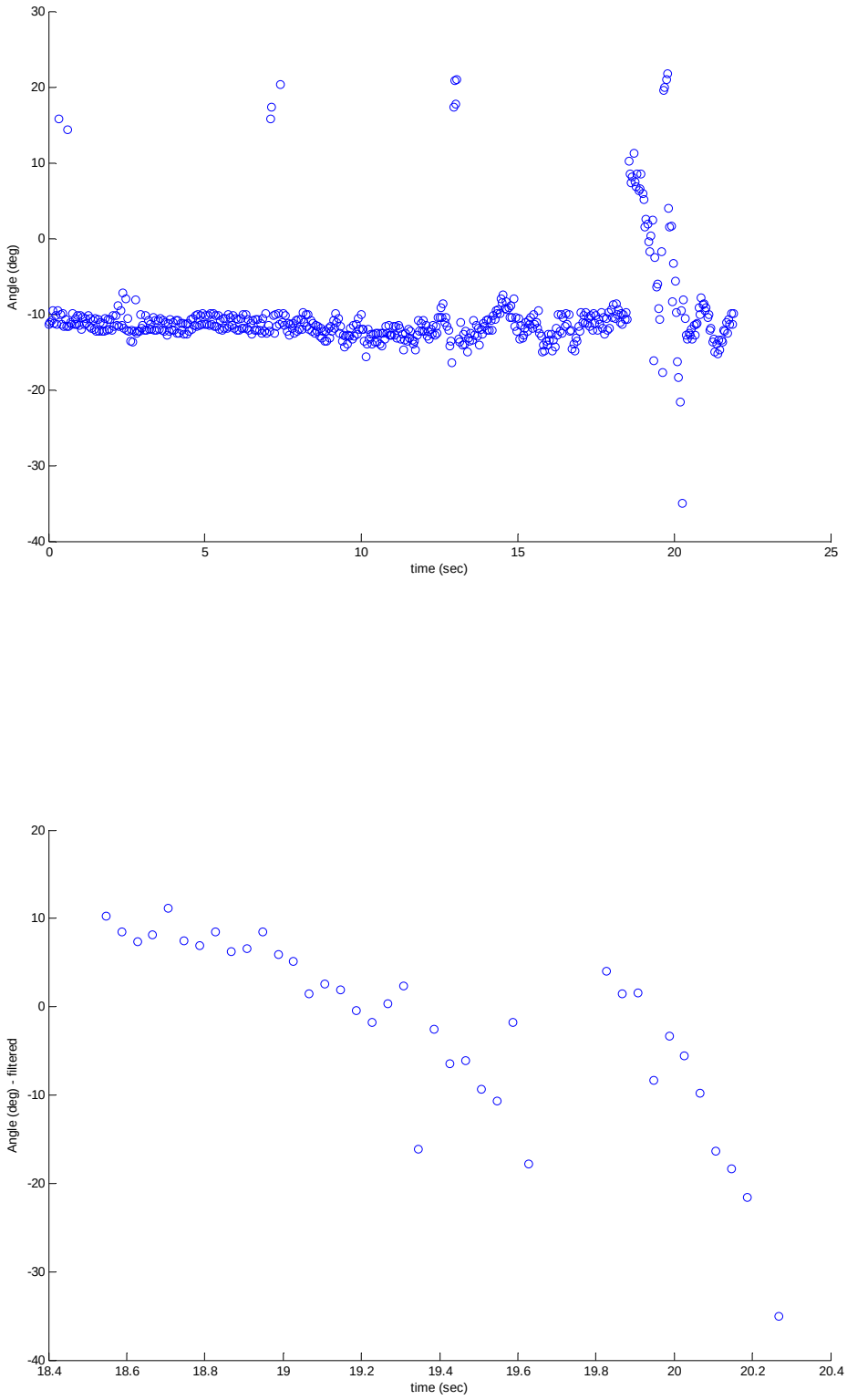
Σχήμα Α.5: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης γωνίας (angle) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1).



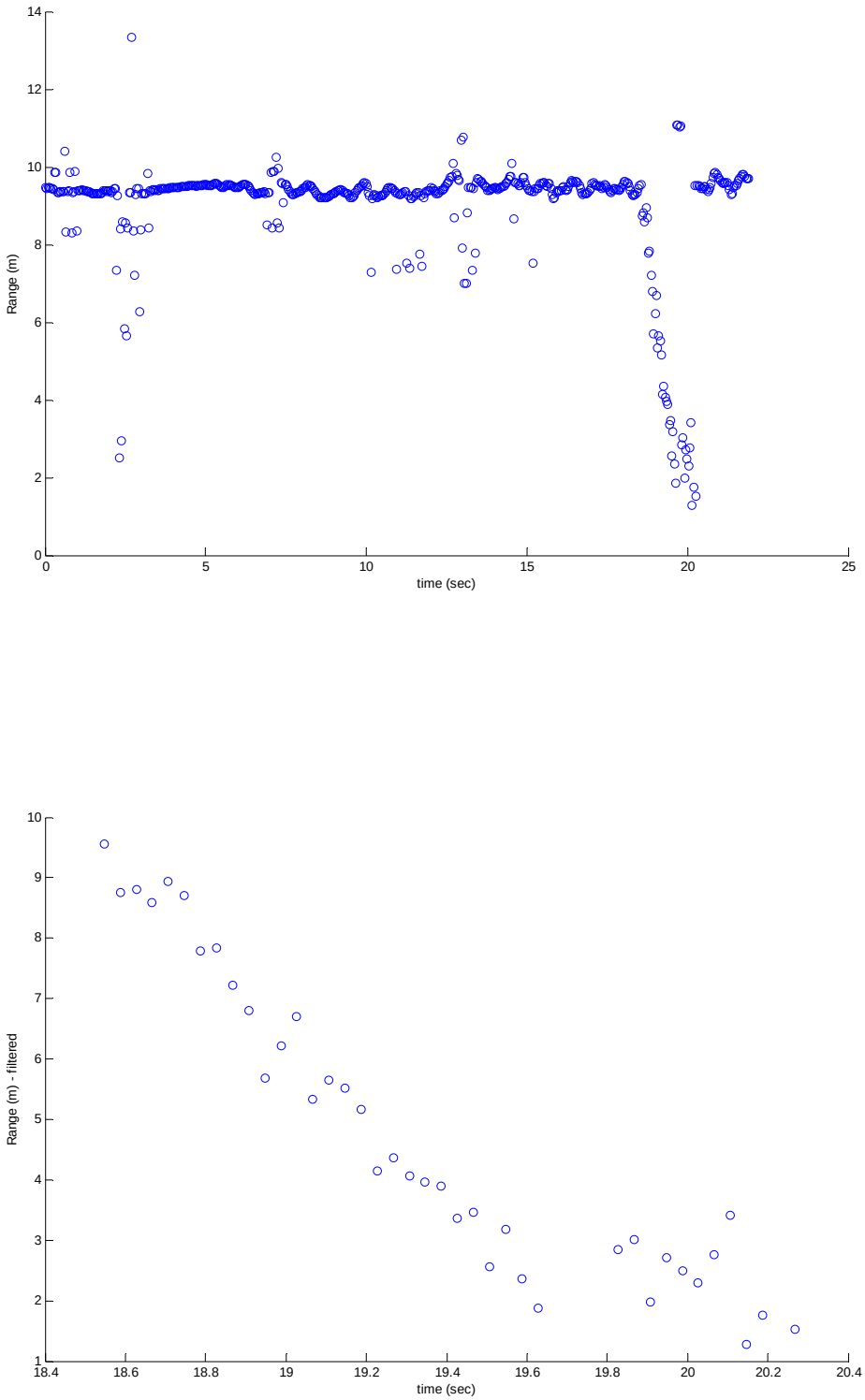
Σχήμα Α.6: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης απόστασης (range) βοηθητικού οχήματος στόχου από κινούμενο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1).



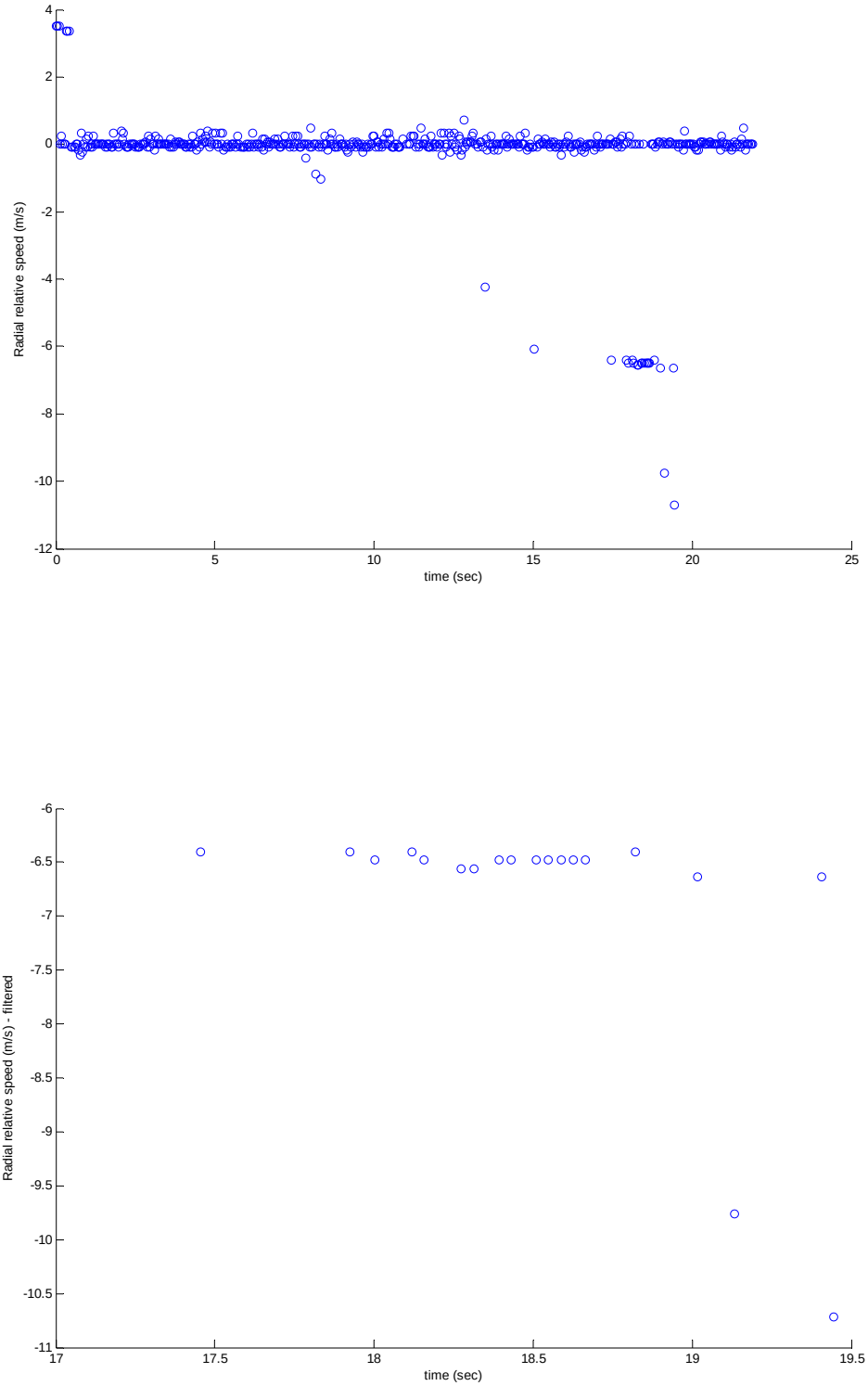
Σχήμα Α.7: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης ακτινικής σχετικής ταχύτητας (radial relative speed) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2).



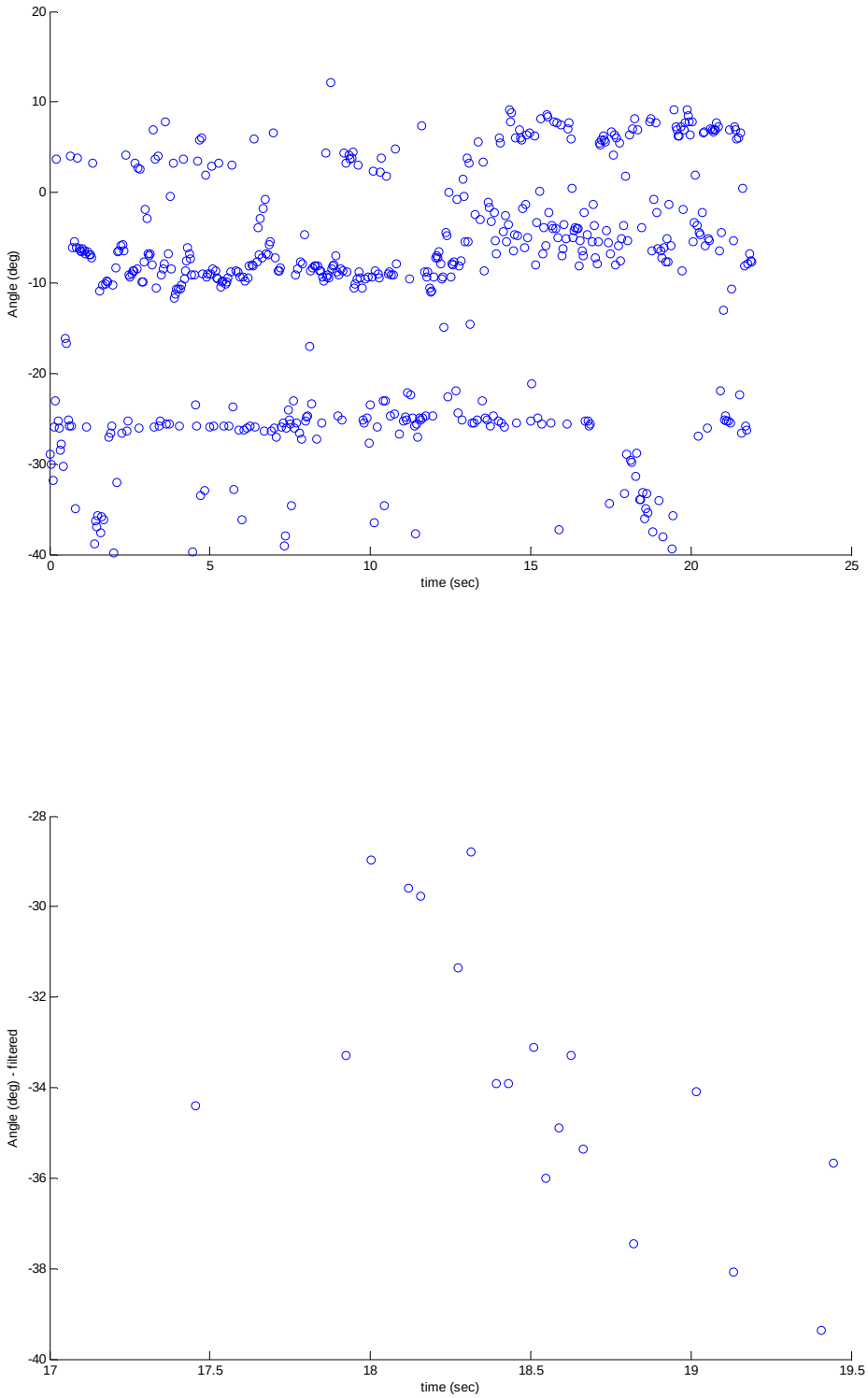
Σχήμα Α.8: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης γωνίας (angle) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2).



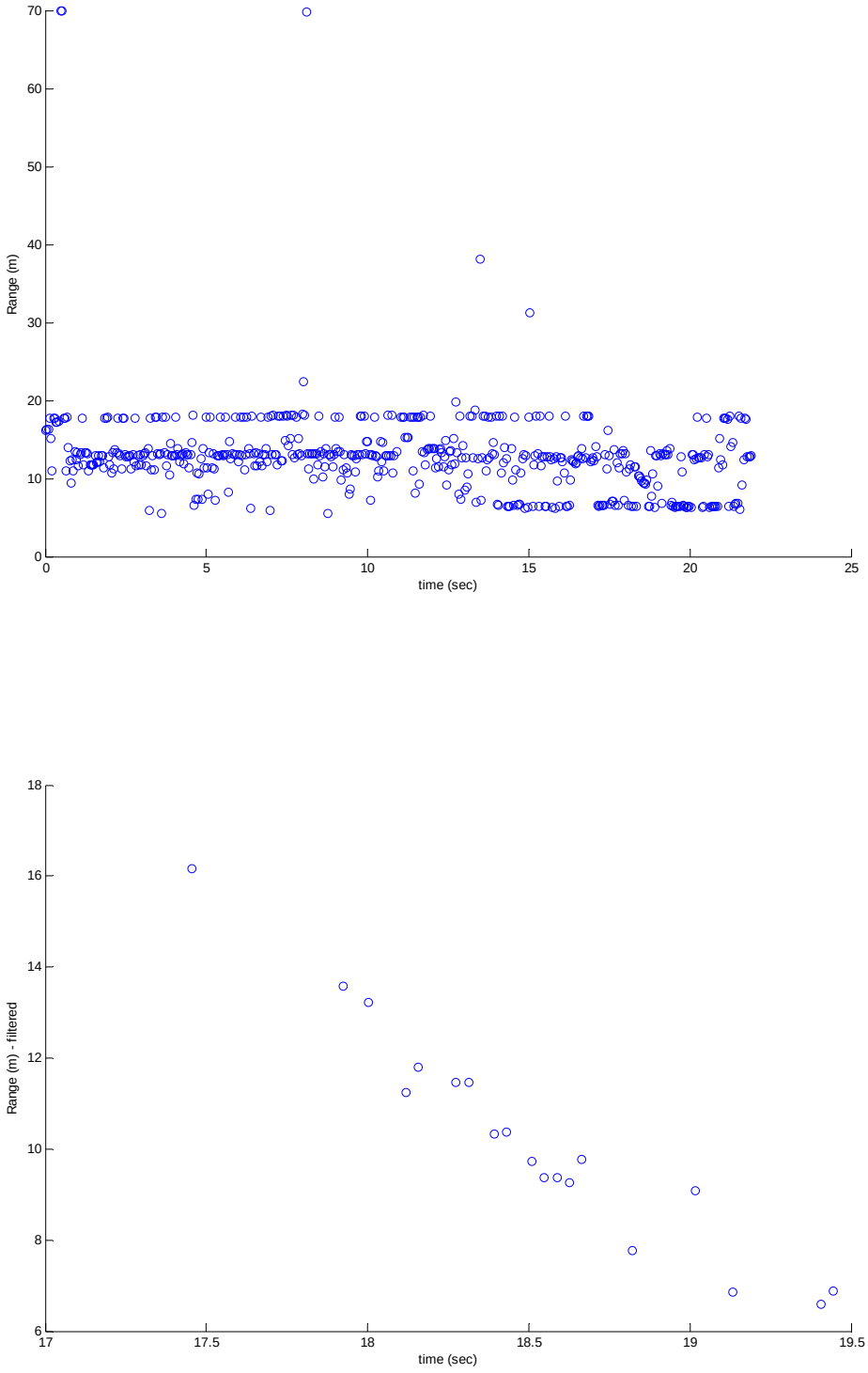
Σχήμα Α.9: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης απόστασης (range) βοηθητικού οχήματος στόχου από ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Αριστερό ραντάρ (UMRR 2).



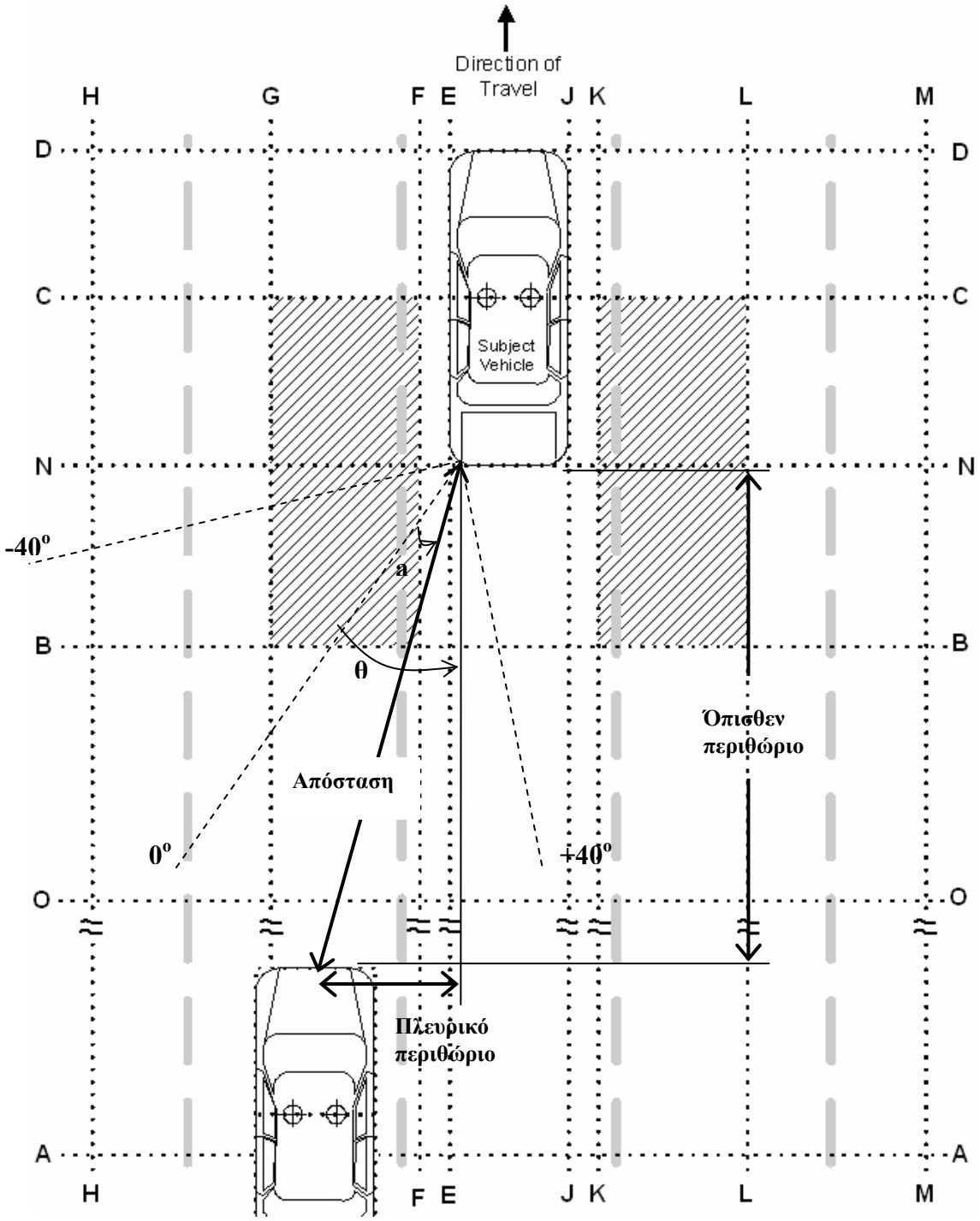
Σχήμα Α.10: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης ακτινικής σχετικής ταχύτητας (radial relative speed) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Προσπέραση από αριστερά. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1).



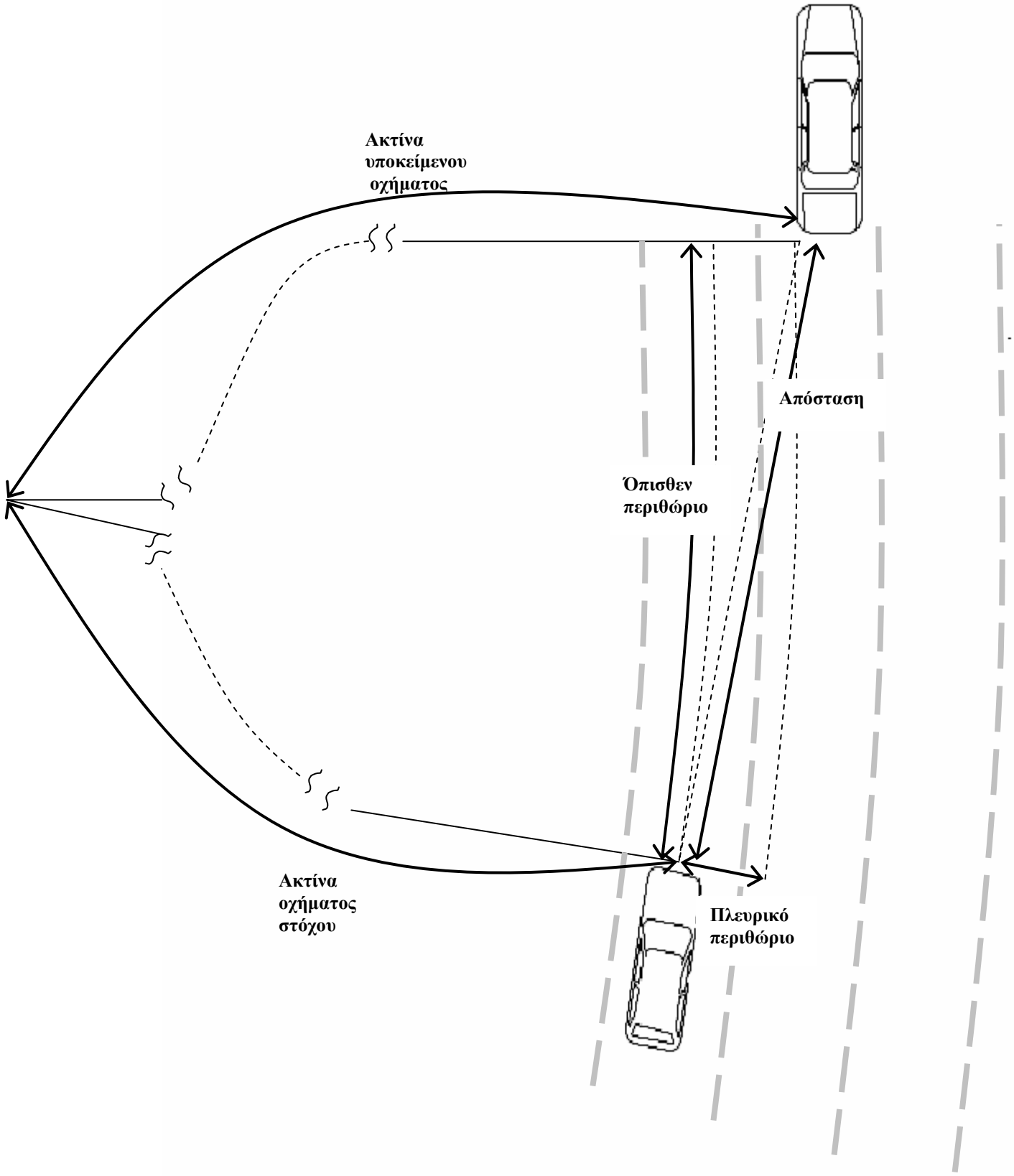
Σχήμα Α.11: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης γωνίας (angle) βοηθητικού οχήματος στόχου ως προς ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1).



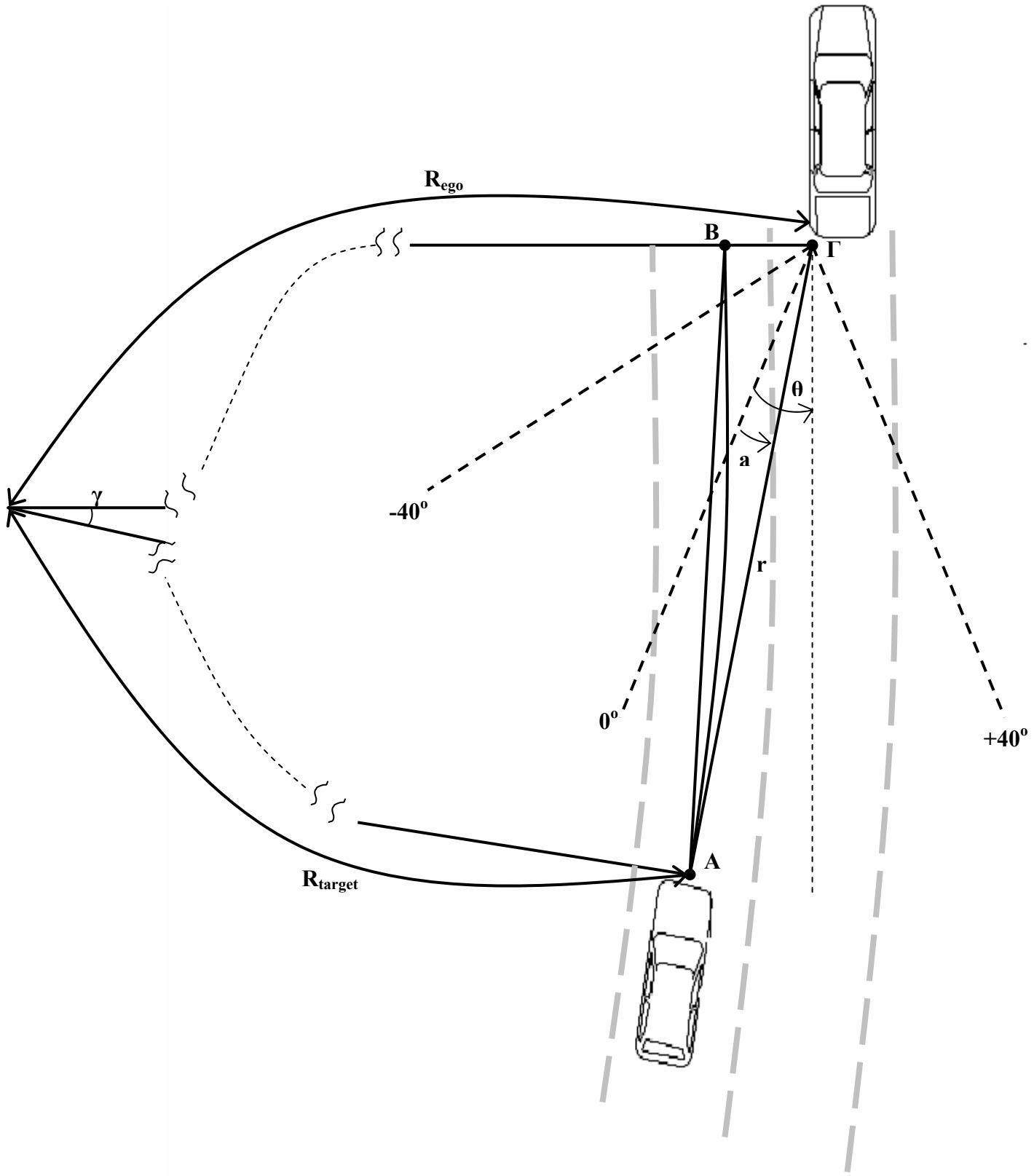
Σχήμα Α.12: Γραφικές παραστάσεις καταγραμμένης απόστασης (range) βοηθητικού οχήματος στόχου από ακίνητο πειραματικό όχημα, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) το φιλτράρισμα. Δεξιό ραντάρ (UMRR 1).



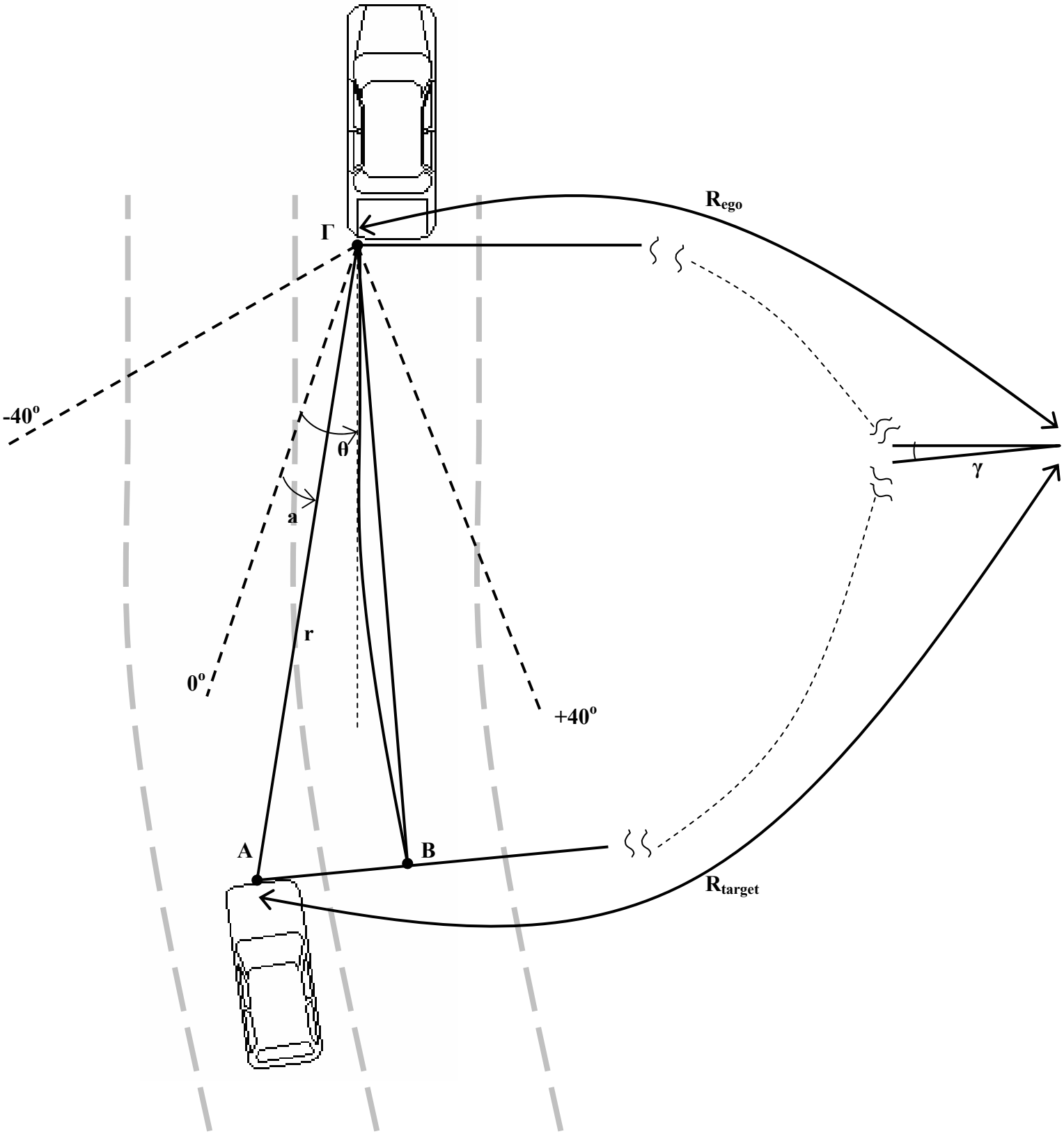
Σχήμα Β.1: Πλευρικό και όπισθεν περιθώριο σε ευθεία.



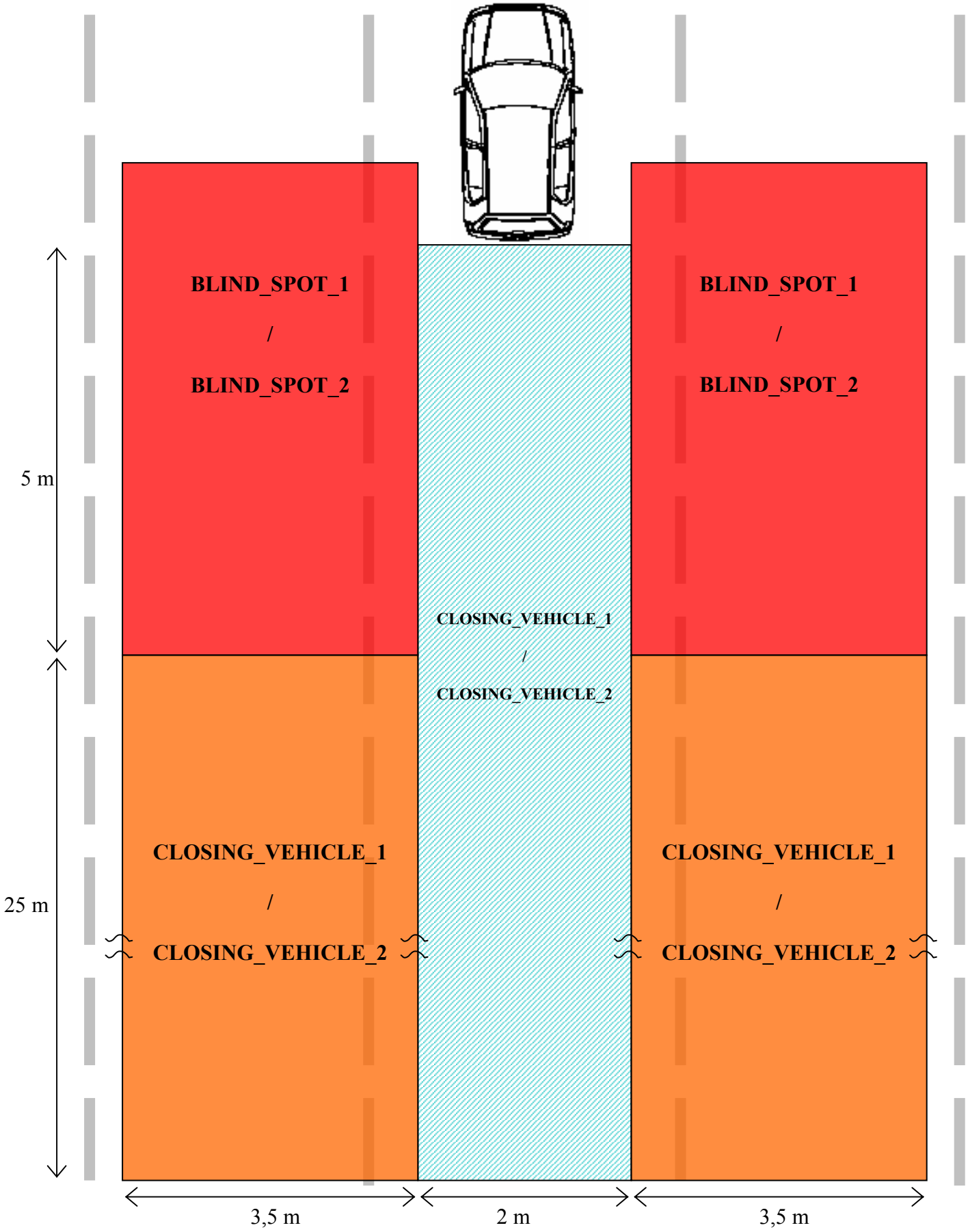
Σχήμα Β.2: Πλευρικό και όπισθεν περιθώριο σε δρόμο με καμπυλότητα.



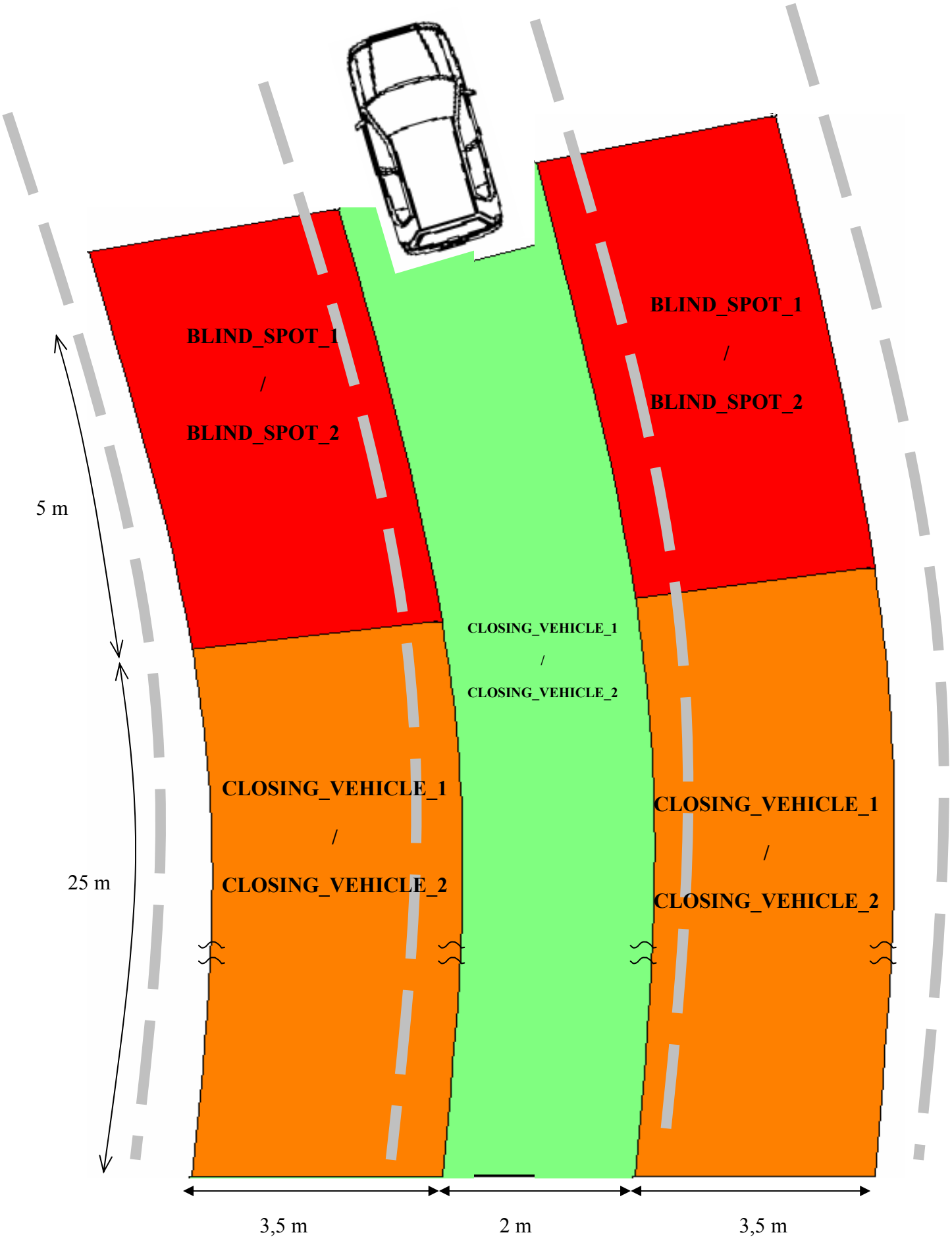
Σχήμα Β.3: Υπολογισμός πλευρικού και όπισθεν περιθωρίου σε δρόμο με θετική καμπυλότητα (στροφή αριστερά).



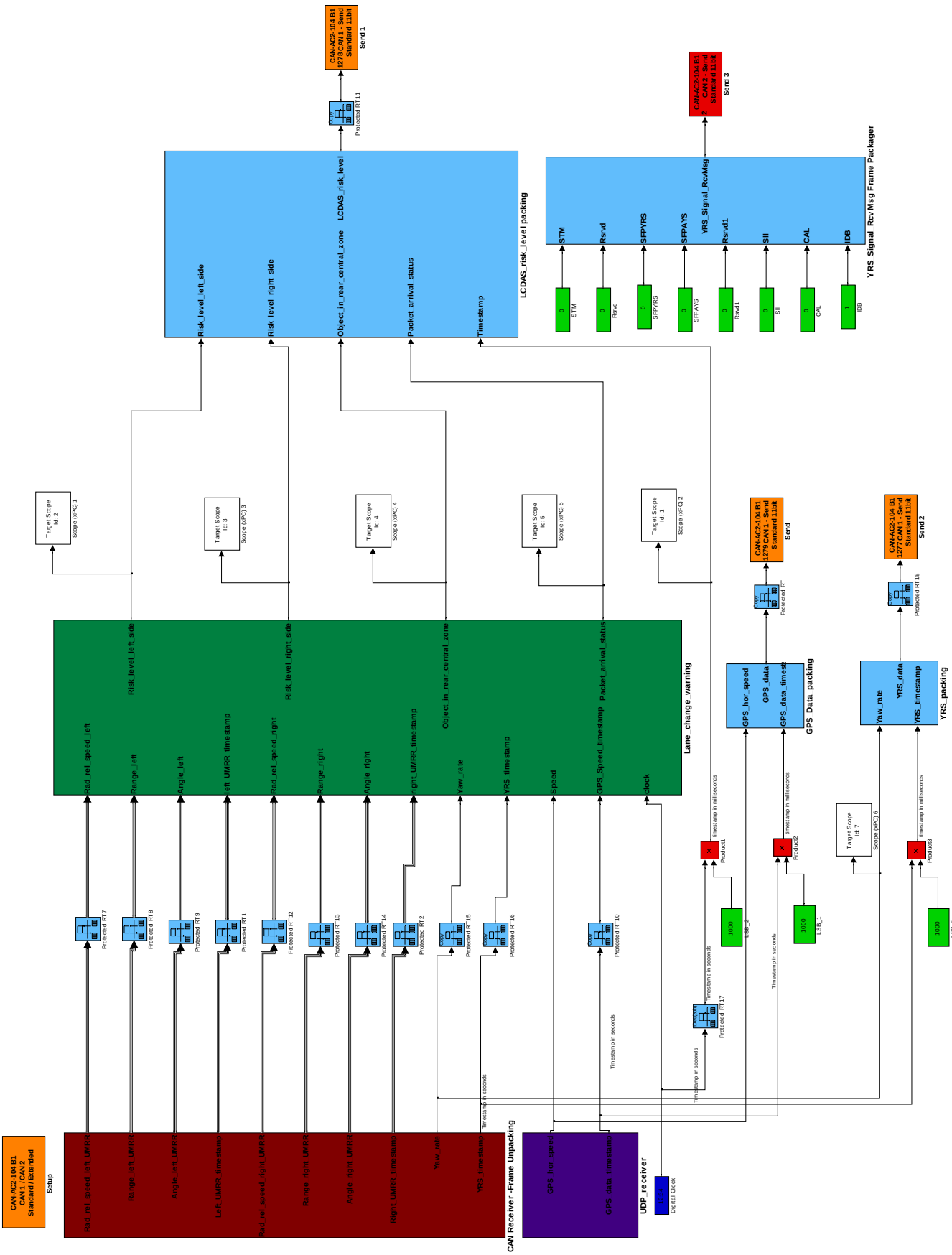
Σχήμα Β.4: Υπολογισμός πλευρικού και όπισθεν περιθωρίου σε δρόμο με αρνητική καμπυλότητα (στροφή δεξιά).



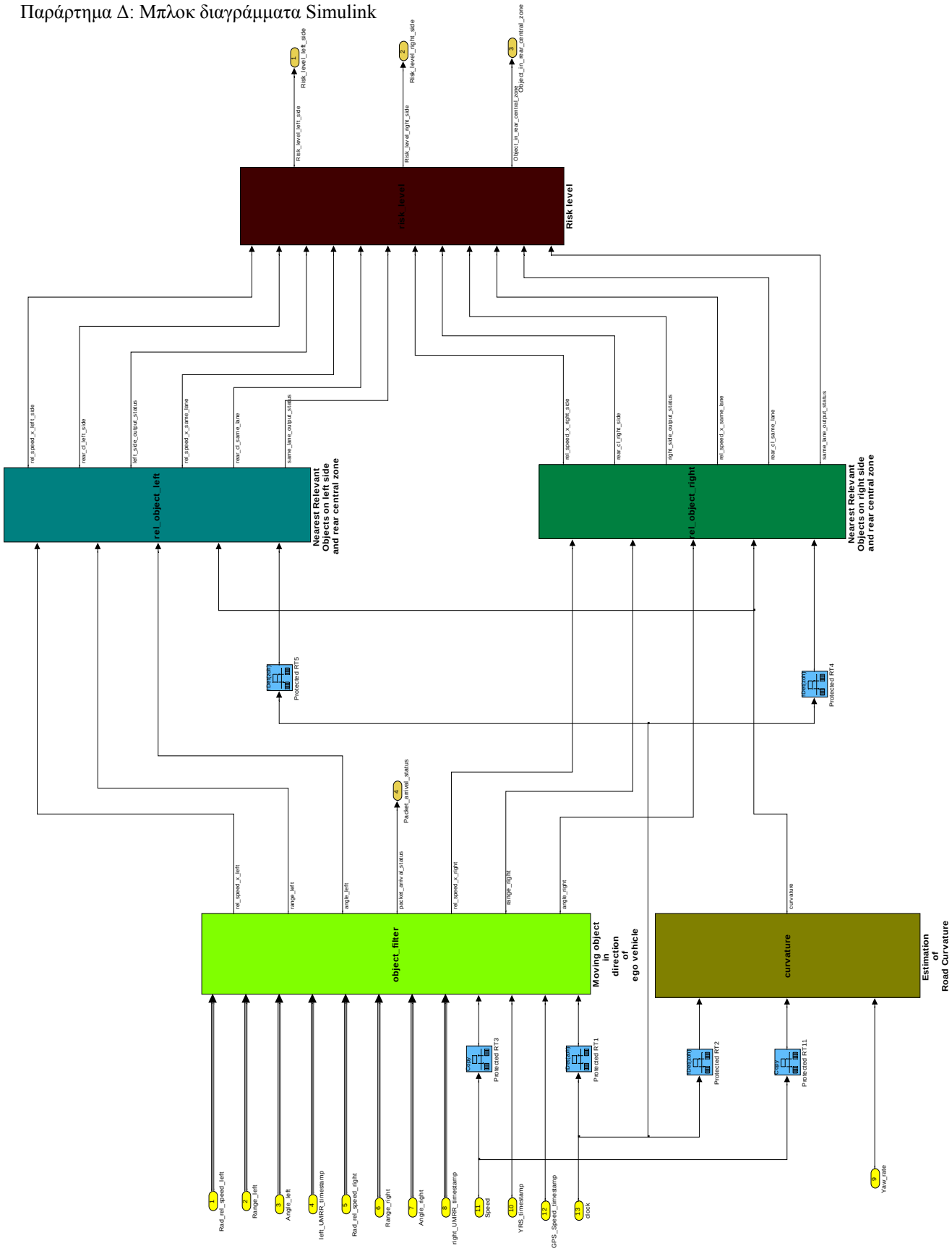
Σχήμα Γ.1: Ζώνες και επίπεδα προειδοποίησης που ορίζονται στην εφαρμογή υποβοήθησης κατά την αλλαγή λωρίδας. Ευθύς δρόμος.



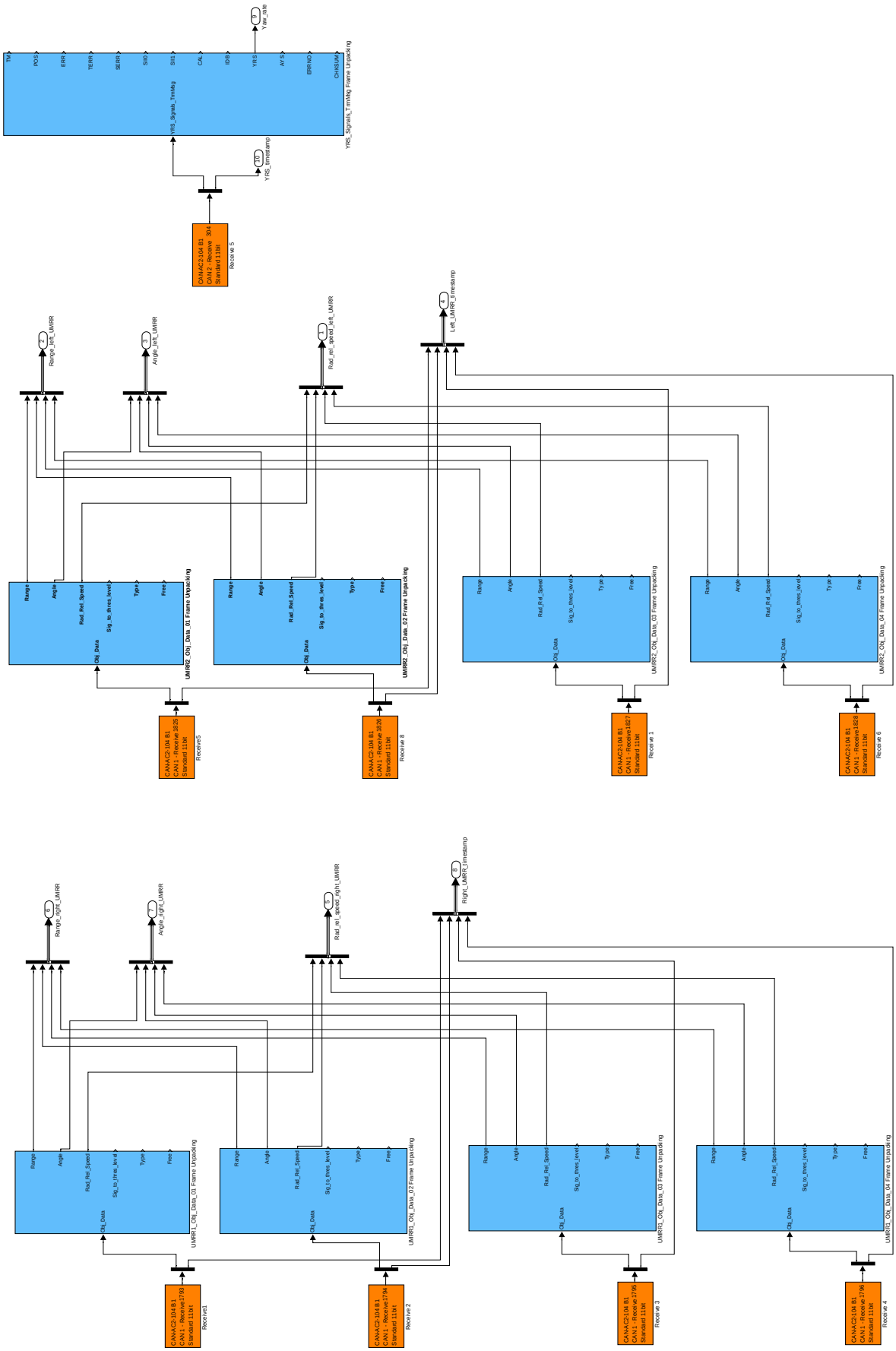
Σχήμα Γ.2: Ζώνες και επίπεδα προειδοποίησης που ορίζονται στην εφαρμογή υποβοήθησης κατά την αλλαγή λωρίδας. Δρόμος με καμπυλότητα.



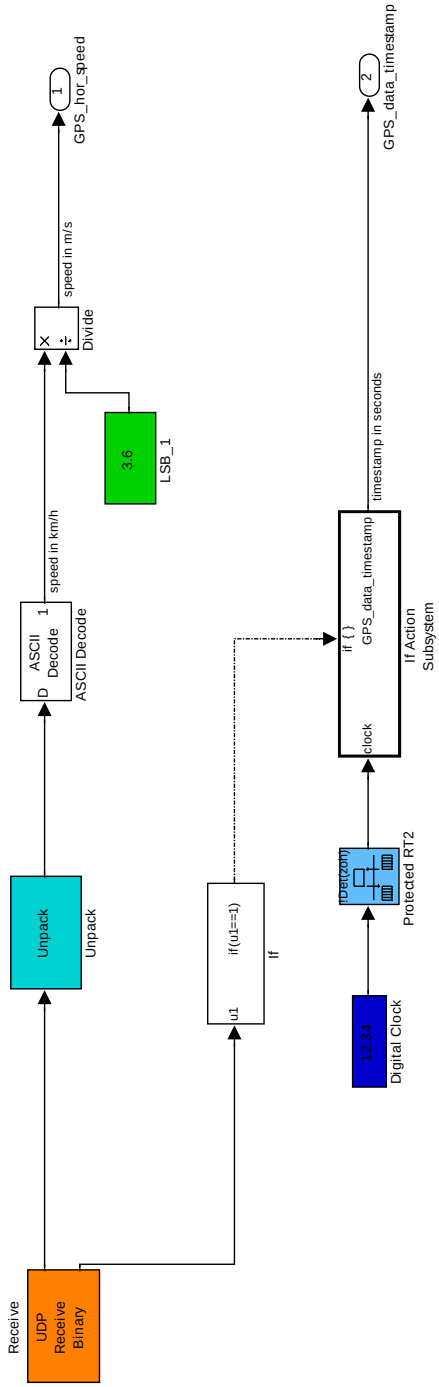
Σχήμα Δ.1: Μπλοκ διάγραμμα του μοντέλου LCDAS_appication.



Σχήμα Δ.2: Μπλοκ διάγραμμα του υποσυστήματος Lane_change_warning του μοντέλου LCDAS_application, που περιλαμβάνει τα μπλοκ μορφοποιούμενων από το χρήστη λειτουργιών (S – functions).



Σχήμα Δ.3: Μπλοκ διάγραμμα του υποσυστήματος CAN_Receiver του μοντέλου LCDAS_application, που περιλαμβάνει λήψη, αποκωδικοποίηση και ομαδοποίηση τιμών των μηνυμάτων CAN.



Σχήμα Δ.4: Μπλοκ διάγραμμα του υποσυστήματος UDP_Receiver του μοντέλου LCDAS_application, που περιλαμβάνει λήψη και αποκωδικοποίηση της τιμής της ταχύτητας και εξαγωγή του αντίστοιχου χρόνου άφιξης των μηνυμάτων UDP που περιλαμβάνουν την πληροφορία αυτή.