

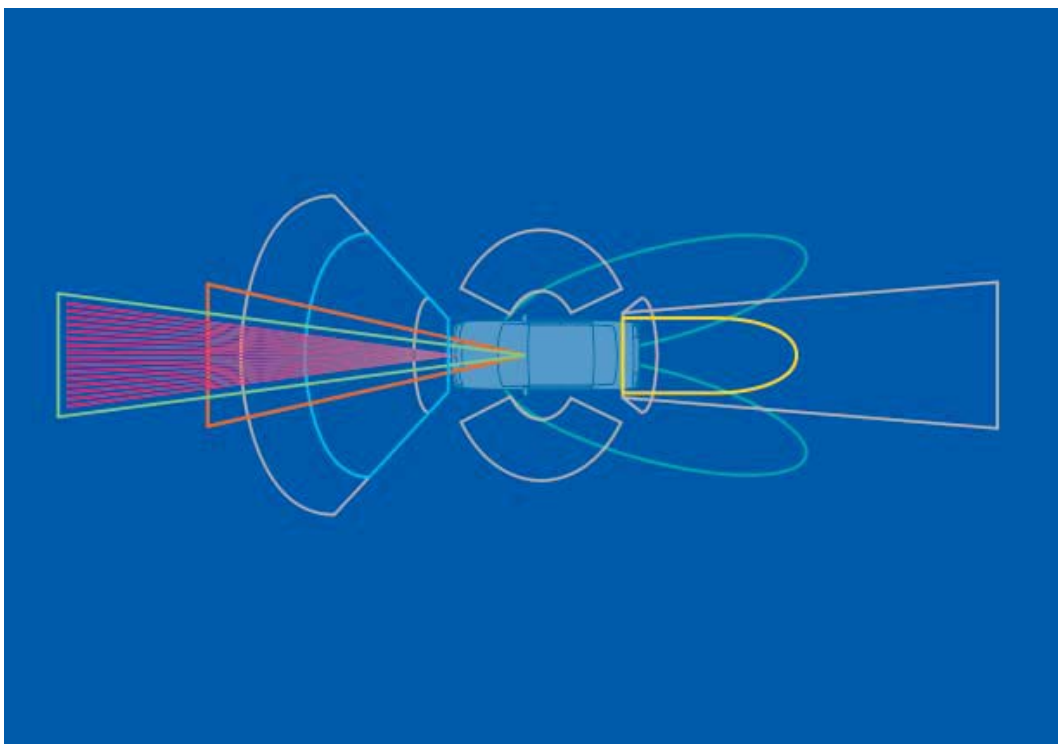
**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΗΓΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ-ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ACC (ADAPTIVE CRUISE CONTROL) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΜΕΡΑΣ-ΡΑΝΤΑΡ**



**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΡΗΓΑΚΗΣ ΗΡΑΚΛΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΧΑΡΟΝΙΤΑΚΗΣ ΟΡΕΣΤΗΣ**

## ΧΑΝΙΑ,ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013

### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	5
Εισαγωγή.....	7
<b>Κεφάλαιο πρώτο-προηγμένα συστήματα υποβοήθησης του οδηγού και αισθητήρες(ADAS)</b>	
<b>1.1 Αισθητήρες</b>	
1.1.1 ULTRASONIC.....	11
1.1.2 LIDAR.....	11
1.1.3 RADAR.....	12
1.1.4 BI-STATIC RADAR.....	12
1.1.5 VISION.....	13
1.1.6 NON-VISION ACTIVE INFRARED(AIR).....	14
1.2 Προηγμένα συστήματα υποβοήθησης του οδηγού και αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για το κάθε σύστημα.	
1.2.1 Νυχτερινή όραση(night vision).....	16
1.2.2 Προειδοποίηση παρέκκλισης από την λωρίδα(LANE DEPARTURE WARNING).....	17
1.2.3 Προειδοποίηση σύγκρουσης(COLLISION WARNING)	
1.2.3α Προειδοποίηση σύγκρουσης κοντινού πεδίου(NEAR FIELD COLLISION WARNING).....	17
1.2.3β Προειδοποίηση μπροστινής σύγκρουσης(FORWARD COLLISION WARNING).....	18
1.2.3γ Πλευρική ανίχνευση εμποδίου(SIDE OBSTACLE DETECTION).....	18
1.2.4 ACC/STOP & GO+Πρόβλεψη	
1.2.4α Σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας(ACC).....	18
1.2.4β STOP & GO.....	20

1.2.4γ ACC/STOP & GO.....	20
1.2.4δ ACC/STOP & GO + Πρόβλεψη.....	21
1.2.5 Βοηθός διατήρησης λωρίδας(LANE KEEPING ASSISTANT)..	22
1.2.6 Βοηθός αλλαγής λωρίδας(LANE CHANGE ASSISTANT).....	23
1.2.7 Αυτόματη στάθμευση(AUTOMATIC PARKING).....	24
1.2.8 Σύστημα μείωσης της σύγκρουσης(PRECRASH COLLISION AND MITIGATION SYSTEM).....	25

**Κεφάλαιο δεύτερο-μοντέλα ανθρώπινης οδήγησης και ανάπτυξη-ολοκλήρωση συστήματος ACC(ADAPTIVE CRUISE CONTROL)με χρήση κάμερας-ραντάρ**

2.1 Μοντέλα ανθρώπινης οδήγησης.....	27
2.1.1 Μοντέλο γραμμικού βέλτιστου ελέγχου.....	30
2.1.2 Μοντέλο ορθολογικής λειτουργίας.....	31
2.1.3 Μοντέλο εύρεσης οδηγού.....	31
2.1.4 Σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου.....	31
2.1.5 Νευρωνικό δίκτυο και μοντέλο ασαφούς λογικής.....	33
2.2 Ανάπτυξη και ολοκλήρωση συστήματος ACC(ADAPTIVE CRUISE CONTROL) με χρήση κάμερας-ραντάρ	
2.2.1 Ιδιότητες των ψηφιακών καμερών.....	34
2.2.2 Απεικονιτές CCD.....	35
2.2.3 Απεικονιτές CMOS.....	36
2.2.4 Μετρήσεις της κάμερας.....	37
2.2.5 Σφάλματα στις μετρήσεις καμερας.....	38
2.2.6 Υπολογισμοί απόστασης για αυθαίρετες γεωμετρίες.....	39
2.2.7 Αναζήτηση αντιστοιχίας.....	40
2.2.7α Αυθαίρετες γεωμετρίες κάμερας.....	41
2.2.7β Περιορισμένη γεωμετρία κάμερας.....	42

2.2.8 Απόσταση από την ανομοιογένεια.....	42
2.2.9 Ανίχνευση των άκρων.....	44
2.2.10 Ανάλυση stereo trinocular.....	45
2.2.11 Ανάλυση άκρων των sub-pixel.....	46
2.2.12 Στρατηγική σχεδίασης.....	48
2.2.13 Τεχνικές επεξεργασίας εικόνας.....	49
2.2.14 Σύστημα συντονισμού.....	51
2.3 Παρακολούθηση στόχου.....	51
2.3.1 Αποτελέσματα ανίχνευσης στόχου.....	55
2.4 Παρακολούθηση λωρίδας.....	60
2.4.1 Αποτελέσματα ανίχνευσης λωρίδας.....	67
2.5 Φιλτράρισμα,σφάλμα ανίχνευσης και σύντηξη δεδομένων...70	
2.5.1 Εισαγωγή.....	70
2.5.2 Αλγόριθμος IMM(INTERACTING MULTIPLE MODEL)	
2.5.2α Φιλτράρισμα.....	70
2.5.2β Ανίχνευση σφάλματος.....	73
2.6 Σύντηξη μετρήσεων κάμερας με μετρήσεις του ραντάρ.....76	
2.6.1 PDAF:PROBABILISTIC DATA ASSOCIATION FILTER(φίλτρο πιθανολογικής συσχέτισης δεδομένων).....	77
2.6.2 Συσχέτιση πολλαπλών δεδομένων από αισθητήρες.....	79
2.7 Αποτελέσματα.....	82
<b>Κεφάλαιο τρίτο-ενεργοποιητές</b>	
3.1 Προειδοποίηση.....	83
3.2 Υποστήριξη και αυτόνομη παρέμβαση.....	85
3.2.1 Αυτόνομη παρέμβαση στην μηχανή.....	86
3.2.2 Αυτόνομη παρέμβαση στο φρενάρισμα.....	87

3.2.3 Αυτόνομη παρέμβαση στο σύστημα διεύθυνσης.....	88
3.2.4 Αυτόνομη παρέμβαση στην μετάδοση κινήσης(κιβώτιο ταχυτήτων).....	89
Συμπεράσματα.....	90
Βιβλιογραφία.....	91



## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναλυθούν τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση οχημάτων και εμποδίων, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους καθώς και τα προηγμένα συστήματα που χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες. Στην συνέχεια αναλύονται τα μοντέλα ανθρώπινης οδήγησης τα οποία περιγράφουν την ανθρώπινη συμπεριφορά στην οδήγηση ώστε να σχεδιαστεί ένα σύστημα ACC (adaptive cruise control) και μετά παρουσιάζεται η ανάπτυξη και ολοκλήρωση ενός συστήματος ACC (adaptive cruise control) με χρήση κάμερας-ραντάρ. Τέλος αναλύονται τα είδη των ενεργοποιητών (actuators).

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to analyze the characteristics of sensors used for the detection of vehicles-obstacles, the advantages-disadvantages as well as advanced driver systems used from sensors. Then analyzed the human driver models which describe the human driving behavior in order to design an ACC system and then shows the development-integration of a ACC system by using camera-radar. Showing up the types of actuators



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μέλλον της οδικής ασφάλειας θα ωφεληθεί σε μεγάλο βαθμό με την ανίχνευση και την ικανότητα ενός οχήματος να προβλέψει το συμβάν ενός ατυχήματος προτού αυτό εκδηλωθεί .Υπάρχουνε διάφορα είδη αισθητήρων όμως ποτέ δεν χρησιμοποιείτε ένα είδος αισθητήρα διότι δεν έχει την ικανότητα συλλογής ικανών πληροφοριών.Προτινόμενη λύση περιλαμβάνει συνδυασμένες πληροφορίες από πολλαπλούς αισθητήρες σε έναν έξυπνο αλγόριθμο ώστε να διαπιστωθούν ακριβείς πληροφορίες.Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα τους,στην συνέχεια θα εξετάσουμε τα συστήματα που χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες για την υποβοήθηση του οδηγού.Μερικά από αυτά τα συστήματα υποβοήθησης έχουν στόχο την πλήρη η μερική βοήθεια του οδηγού,οπως εκείνα για τον διαμήκη έλεγχο που ονομάζονται προσαρμοστικός έλεγχος πορείας(ACC).Ο προσαρμοστικός έλεγχος πορείας(ACC) χρησιμοποιεί τους αισθητήρες και τον ελεγκτή για να μετρήσει την απόσταση και να προσαρμόσει την απόσταση και την ταχύτητα με το μπροστινό όχημα,επίσης απαιτεί την κατάλληλη τεχνολογία αισθητήρων,ενεργοποιητών και συσκευών ελέγχου.Για να σχεδιάσουμε ένα τέτοιο σύστημα που να προσομειώνει την φυσική διαμήκη συμπεριφορά του οδηγού χρειάζεται ένα καλό μοντέλο.Αυτό το σύστημα δεν πρέπει μόνο να είναι ικανό να προσδιορίσει την περιβαλλόμενη ακολουθία οχημάτων αλλά επίσης να είναι ικανό να αντιστοιχίσει σωστά τους στόχους στις κατάλληλες λωρίδες.Πρώτης γενιάς ACC συστημάτων συνήθως βασίζονται σε 77ghz ραντάρ για να μετρήσουν την θέση και την εμβέλεια των οχημάτων «στόχων».Είναι ικανά να παρέχουνε αξιόπιστες διαμήκη μετρήσεις ,λειτουργούνε σε όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες και συνθήκες φωτισμού και έχουνε σχετικά μεγάλη εμβέλεια(150m).Αυτά τα χαρακτηριστικά το κάνουνε ελκυστική επιλογή σαν πρωτεύων αισθητήρα για ένα ACC σύστημα.Ωστόσο υπάρχουνε μερικές ελλείψεις στο ραντάρ που δεν επιτρέπουνε την χρήση μόνο του.Πρώτον η πλευρική ανάλυση του ραντάρ είναι χειρότερη από την διαμήκη ανάλυση του.Η ανάλυση είναι περιορισμένη όχι μόνο με πόση ακρίβεια το ραντάρ μπορεί να εντοπίσει το κέντρο της επιστροφής του αλλά επίσης από το γεγονός ότι συχνά υπάρχει η περίπτωση που το κέντρο της επιστροφής δεν συμπίπτει με το κέντρο που ανακλάται πίσω από το όχημα.Δεύτερον τα ραντάρ δεν παρέχουνε πληροφορίες για τις λωρίδες.Ο αισθητήρας κάμερας μπορεί να επικαλύψει τις ελλείψεις του ραντάρ αφού είναι ικανό για ακριβή προσδιορισμό της πλευρικής θέσης των οχημάτων και είναι ικανά να εξάγουν πληροφορίες για την λωρίδα.Το ραντάρ μπορεί να επικαλύψει τις

ελλείψεις της κάμερας αφού η διαμήκη ανάλυση της κάμερας είναι χειρότερη του ραντάρ, δεύτερον η απόδοση της κάμερας επηρεάζεται από τον χαμηλό φωτισμό και τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τέλος η κάμερα έχει χαμηλότερη εμβέλεια από το ραντάρ

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## Προηγμένα συστήματα υποβοήθησης του οδηγού και αισθητήρες

### 1.1 Αισθητήρες

#### 1.1.1 Αισθητήρες ULTRASONIC

Οι αισθητήρες ultrasonic έχουν το πλεονέκτημα πως είναι ήδη ενσωματωμένοι στο μπροστινό και πισινό μέρος του προφυλακτήρα σε πολλά οχήματα για υποβοήθηση στο παρκάρισμα. Με το χαμηλό κόστος του συγκεκριμένου αισθητήρα μπορεί να τοποθετηθεί στο όχημα ώστε να καλύπτει ευρεία περιοχή ενδιαφέροντος. Στην υποβοήθηση παρκαρίσματος ο αισθητήρας στέλνει ένα παλμό υψηλής συχνότητας και υπολογίζει το χρόνο που κάνει να επιστρέψει το σήμα πίσω. Ένας τυπικός αισθητήρας ultrasonic έχει άνοιγμα γωνίας 45 μοίρες και μέγιστη εμβέλεια 10 μέτρα, οπότε στην πράξη συνδυάζονται 3 και 4 αισθητήρες για να καλύψουν τον μπροστινό και τον πισινό προφυλακτήρα. Επόμενης γενιάς αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιούν μονό πομπό και να συνδυάζουν τους δέκτες σε συγχρονισμένες συστοιχίες ώστε να παρέχουν πληροφορίες τοποθεσίας με ένα τρόπο όχι διαφορετικό από τον τρόπο που λειτουργούν τα ραντάρ των υποβρυχίων.

#### 1.1.2 Αισθητήρες LIDAR

Οι αισθητήρες LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο όπως οι αισθητήρες ULTRASONIC. Η βασική διαφορά είναι η μικρή δέσμη περίθλασης των laser, οι οποίοι δεν καλύπτουν παρά μόνο μια μικρή περιοχή απευθείας μπροστά από το laser. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα χρησιμοποιείτε ένα καθρεπτικό πρίσμα ώστε να σαρώσει η ακτίνα διάφορες γωνίες, αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός ανανέωσης του LIDAR είναι αντιστρόφως ανάλογη της γωνιακής κάλυψης. Τα συστήματα LIDAR μπορούν να μετρήσουν απόσταση με μεγάλη ακρίβεια, επιπλέον μπορούν να μετρήσουν την ταχύτητα ενός οχήματος από την μετατόπιση Doppler του επιστρεφόμενου σήματος. Συνδυασμένα με τον κατάλληλο αλγόριθμο αυτά τα συστήματα μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την γεωμετρία του οχήματος. Τα συστήματα LIDAR γενικά δεν έχουν κώνους υψηλής κάλυψης, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν τυφλά σημεία, επίσης στηρίζονται στην ικανότητα του φωτός να ταξιδεύει σε οποιοδήποτε μέσο βρίσκεται ανάμεσα στην πηγή και τον στόχο, αυτό σημαίνει ότι η παρουσία

σωματιδίων στον αέρα θα υποβαθμίσουν τις δυνατότητές του. Τα στρατιωτικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί με αρκετή ισχύ ώστε να ξεπεράσουν τα σωματίδια ή τα πυκνά σύννεφα αλλά τέτοια συστήματα μπορούν εύκολα να καταστρέψουν το ανθρώπινο μάτι και έτσι είναι ακατάλληλα για πολιτική χρήση.

### 1.1.3 RADAR

Τα radar (Radio detection and ranging) ήταν στην δικαιοδοσία των αεροσκαφών και των συστημάτων ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας, τα πιο πρόσφατα συστήματα Doppler χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ταχύτητας της κυκλοφορίας και άλλες εφαρμογές της καθημερινότητας. Αυτή την στιγμή τα ραντάρ χρησιμοποιούνται για ενίσχυση των συστημάτων ελέγχου πορείας ώστε να ελαττώσουν την ανθρώπινη αντίδραση, είναι τα ραντάρ που χρησιμοποιούνται στον προσαρμοστικό έλεγχο πορείας (ACC) για την ανίχνευση της σύγκρουσης, επίσης έχουν την δυνατότητα να μετρήσουν την τοποθεσία και την ταχύτητα του αντικειμένου και είναι ικανά να καλύψουν τις περισσότερες περιοχές ενδιαφέροντος για την ανίχνευση πριν την σύγκρουση. Είναι προβληματικά στην ανίχνευση αντικειμένων γειτονικά από το όχημα αλλά δεν περιορίζονται όπως τα LIDAR στο πλάτος κάλυψης των κόνων. Τέλος τα ραντάρ μπορούν να λειτουργήσουν σε όλες τις πρακτικές συνθήκες οδήγησης αν και τα αιωρούμενα σωματίδια και η βροχή μπορεί να μειώσει την αποτελεσματική εμβέλεια. Υπάρχουν τα ραντάρ μικρής εμβέλειας (short range radar) 24ghz τα οποία τοποθετούνται στον πίσω προφυλακτήρα ή στο πλάι του οχήματος, η ακρίβεια ανίχνευσης ποικίλλει από τα 0.2 μέτρα έως τα 30 μέτρα με ανάλυση 15cm και ακρίβεια έως 7.5cm. Αυτό το radar δεν έχει την ίδια απόδοση με το 77ghz (long range radar) αλλά οι δυνατότητες αυτού του τύπου είναι πολλές δεδομένου ότι επιτρέπει σημαντική μείωση του κόστους. Τα ραντάρ υψηλής εμβέλειας (long range radar) είναι ανθεκτικά στους εξωτερικούς παράγοντες όπως ομίχλη και πολύ αξιόπιστα, τα συστήματα αυτά είναι ακριβά και ογκώδη, μπορεί να ανιχνεύσουν αντικείμενα έως 150 μέτρα στο μπροστινό μέρος του οχήματος και η δέσμη σάρωσης έχει άνοιγμα γωνίας 15 μοίρες προκειμένου να καλύψει την λωρίδα που καταλαμβάνει το αυτοκίνητο.

### 1.1.4 BI-STATIC RADAR

Τα bi-static radar λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως τα συμβατικά ραντάρ (mono-static), η μόνη διαφορά είναι ότι η κεραία λήψης εκτοπίζεται

από την κεραία μετάδοσης, Αυτό σημαίνει ότι το σήμα που επιστρέφεται από ένα τέτοιο σύστημα είναι στην πραγματικότητα η απόσταση από την κεραία μετάδοσης προς το στόχο και πίσω στην κεραία λήψης. Το mono-static radar αποκτούμε πληροφορίες της γωνίας χρησιμοποιώντας κεραία στενής δέσμης και σαρώνουμε την γωνία της δέσμης. Για το bistatic radar η κάθε απόσταση αντιπροσωπεύει μία έλλειψη παρά έναν κύκλο, με τον πομπό και τον δέκτη να είναι εστίες της έλλειψης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ένα αντικείμενο που κινείται σε μια ευθεία διαδρομή με σταθερή ταχύτητα, να φαίνεται σαν να έχει επιτάχυνση. Επίσης ένα σύστημα bistatic radar αποκτά προσέγγιση γωνίας και πληροφορίες πρόβλεψης σημείου σύγκρουσης από την επεξεργασία των δεδομένων της έλλειψης και της εμβέλειας όσο ο στόχος πλησιάζει, αυτή η επεξεργασία του επιτρέπει να προβλέψει ταχύτητα πρόσκρουσης, γωνία, αντιστάθμιση από το κεντρικό σημείο ανάμεσα στις δύο κεραίες. Η περιοχή κάλυψης του bistatic radar εξαρτάται από την επικάλυψη του διαγράμματος δέσμης του πομπού και του διαγράμματος δέσμης του δέκτη η οποία μπορεί να προσαρμοστεί για να επιτευχθεί η επιθυμητή περιοχή κάλυψης. Τα διαγράμματα της κεραίας είναι ευρείας δέσμης το οποίο επιτρέπει το φυσικό μήκος της κεραίας να είναι μικρό συγκρινόμενο με το σύστημα monostatic radar. Αυτό επίσης επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί σε χαμηλότερες συχνότητες από το μονοστατικό ραντάρ τα οποία κάνουν τα διστατικά ραντάρ ακόμα λιγότερο ευαίσθητα στις καιρικές συνθήκες από τα υψηλότερης συχνότητας μονοστατικά ραντάρ. Ένα χαρακτηριστικό της εφαρμογής των διστατικών ραντάρ είναι η απευθείας διαδρομή του σήματος κατευθείαν από τον πομπό προς τον δέκτη χωρίς να αναπηδά από ένα στόχο. Κατά την λειτουργία η αλληλεπίδραση μεταξύ της άμεσης διαδρομής του σήματος και του ανακλώμενου σήματος του στόχου παρέχει μια εκτίμηση της διατομής του ραντάρ του στόχου, επιτρέποντας στο σύστημα να διακρίνει ανάμεσα σε ένα μικρό στόχο, όπως ένα στύλο ή μοτοσυκλέτα και κάτι μεγάλο όπως ένα φορτηγό ή φράγμα. Αυτή η αλληλεπίδραση παρέχει μία δευτερεύουσα ένδειξη της ταχύτητας προσέγγισης. Οι τρέχουσες εξελίξεις έχουν επικεντρωθεί στην πλευρική πρόσκρουση αλλά το διστατικό ραντάρ προσαρμόζεται εύκολα σε εφαρμογές συστημάτων πίσω, εμπρός, ανατροπής, τυφλού σημείου και υποβοήθησης παρκαρίσματος.

#### 1.1.5 Αισθητήρες όρασης (VISION)

Όταν συζητάμε για συστήματα όρασης τότε συζητάμε για 3 διαφορετικούς τύπους συστημάτων: ορατού φωτός, παθητικής υπέρυθρης όρασης και

ενεργής υπέρυθρης όρασης. Στην πραγματικότητα οι αισθητήρες όρασης είναι οι μόνοι αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να καλύψουν ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος αποτελεσματικά ενώ συλλέγουν πληροφορίες ελέγχου την ίδια χρονική στιγμή. Οι αισθητήρες όρασης συλλέγουν δεδομένα τηλεμετρίας που δεν συλλέγονται από τους περισσότερους αισθητήρες αλλά το μεγαλύτερο μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι η υπολογιστική επιβάρυνση που σχετίζεται με την εξαγωγή των πληροφοριών όπου οι οδηγοί μπορούν να συλλέξουν ενστικτωδώς από μια σκηνή, επιπλέον οι αισθητήρες όρασης δεν παρέχουν από μόνοι τους δεδομένα τηλεμετρίας σχετικά με τα αντικείμενα στην σκηνή. Αυτά τα δεδομένα πρέπει να συγκεντρωθούν είτε από ξεχωριστό αισθητήρα ή να συναχθεί από έναν δεύτερο αισθητήρα όρασης με την χρήση στερεοσκοπικής τριγωνοποίησης. Δυστηχώς το ανθρώπινο μάτι, cmos ή ccd αισθητήρες όρασης δεν μπορούν να προσαρμόσουν αυτόματα στην σκηνή την φωτεινότητα και την αντίθεση γιαυτό πρέπει να συνδεθεί σε ένα σύστημα που να υπολογίζει σωστά την ποσότητα του παρόντος φωτός και να ρυθμίζει την απολαβή του αισθητήρα καταλλήλως, αυτό πρέπει να γίνει γρήγορα και με ακρίβεια γιατί οι συνθήκες φωτισμού αλλάζουνε δραματικά κατά την διάρκεια του ηλιοβασιλέματος ή της ανατολής του ηλίου.

#### 1.1.6 Αισθητήρες ενεργών υπέρυθρων(active infrared,AIR)

Τα συστήματα ενεργών υπέρυθρων χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές για να προσδιορίσουν την παρουσία των αντικειμένων συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπων. Λειτουργούν με ένα πομπό και ανιχνευτή που τοποθετούνται σε χωριστές θέσεις και αποσκοπεί να ταξιδέψει το φως από τον πομπό προς τον ανιχνευτή, τέτοια συστήματα ανιχνεύουν αντικείμενα όταν ο ανιχνευτής δεν λαμβάνει σήμα από τον πομπό. Συστήματα ανάκλασης λειτουργούν περίπου με τον ίδιο τρόπο εκτός του ότι βασίζονται σε μια ανακλαστική επιφάνεια που αναπηδά το φως από τον εκπομπό προς τον ανιχνευτή, ένα τέτοιο σύστημα βασίζεται στο ότι ο εκπομπός παράγει αρκετό φως για να φωτίζει τον στόχο έτσι ώστε να αντικατοπτρίζει περισσότερο υπέρυθρο φως από ότι στο παρασκήνιο. Τα συστήματα ενεργών υπέρυθρων δεν χρησιμοποιούν μετρήσεις του χρόνου επιστροφής για να συλλέξουν πληροφορίες για την απόσταση αλλά ρελέ για την παρουσία ή απουσία του σήματος επιστροφής για να καθορίσει εάν ένα αντικείμενο είναι παρόν. Μερικά συστήματα χρησιμοποιούν την ισχύ του σήματος επιστροφής για να καθορίσουν την απόσταση, ωστόσο οι μετρήσεις απόστασης ισχύουν για τα αντικείμενα των οποίων τα

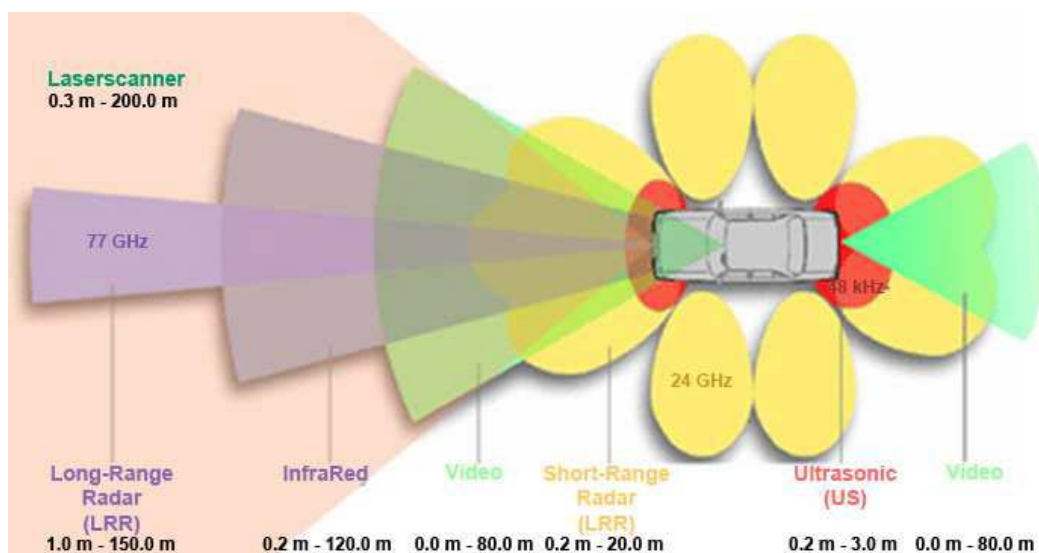
χαρακτηριστικά ανάκλασης ταιριάζουν με το αντικείμενο βαθμονόμησης υπό προσεκτικά ελεγχόμενες συνθήκες. Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος είναι το κόστος και η δύναμη του πομπού, εστιάζοντας φακούς στον πομπό και στον δέκτη αυξάνεται η εμβέλεια του συστήματος αλλά και το άνοιγμα γωνίας. Ως αποτέλεσμα της ευρείας χρήσης και αποδοχής των συστημάτων ενεργών υπερύθρων ταιριάζουνε για εφαρμογή σε συστήματα προσύγκρουσης, το μειονέκτημα αυτών των αισθητήρων είναι ότι παρέχουν μόνο πληροφορίες παρουσίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα συστήματα αυτά είναι φτηνότερα από τα συστήματα με αισθητήρες ultrasonic και παρέχουν πληροφορίες παρουσίας δεν είναι οικονομικά αποδοτικοί.

Πίνακας 1-Σύγκριση τεχνολογιών των αισθητήρων

	ULTRASONIC	LIDAR	RADAR	BI-STATIC	VISION	AIR	PIR
κόστος	Χαμηλό	Υψηλό	Υψηλό	Μέσο	Μέσο	Χαμηλό	Χαμηλό
Υπολογιστική ή ικανότητα	Χαμηλή	Υψηλή	Μέση	Μέση	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
Εμβέλεια	3 μέτρα	5 έως 150 μέτρα	1 έως 150 μέτρα	5 μέτρα	Οπτική απόστ.	2 μέτρα	20 μέτρα
Συνθήκες λειτουργίας	Πλήρης ορατότητα	Πλήρης ορατότ. Έως 150μ.	Φυσιολ. Για πολύ Βροχή-χιόνι	Φυσιολ. Για πολύ βροχή-χιόνι	Πλήρης Ορατότητα	Φυσιολ. Σε χαμηλή ομίχλη	Πλήρης Ορατότητα
Εμπορική διαθεσιμότητα	Ναι	Ναι	Ναι	Οχι	Ναι	Ναι	Ναι
Βιομηχανική αποδοχή	Υψηλή	Καμία	Μερική	Καμία	Καμία	Καμία	Καμία
Ακρίβεια	±0.05 μέτρα	±0.3 μέτρα	±1.0 μέτρο	±0.1 μέτρο	NA	NA	NA
Ρυθμός ανανέωσης	40Hz	400Hz	10Hz	5Khz	<30Hz	NA	NA
Δυνατότητα διάκρισης αντικειμένου	Χαμηλή	Μερική	Χαμηλή	Χαμηλή	Υψηλή	Καμία	Χαμηλή

Ικανότητες ανίχνευσης	Απόσταση	Από-Στάση Ταχυτ. Γεωμετρία	Αποστ. Ταχύτ. διατομή	Αποστ. Διατομή Του ραντάρ	Αποστ. Ταχύτ. Γεωμετρία, Δεδομ. Κλάσης Αντικ.	Παρο-υσία	Παρο-υσία
Ελάχιστο μέγεθος στόχου	Μπάλα του μπάσκετ	1" τετραγωνο η μεγαλυ-τερο	Μηχανέ-ς η μεγαλυ-τερο	Μηχανε-ς, πεζου-ς η μ-εγαλυτε-ρο	Εξαρτά-ται την αποστ-αση	πεζους	Μικρά ζώα

Σχήμα 1-Τεχνολογίες αισθητήρων ανάλογα την περιοχή θέασης



## 1.2 Προηγμένα συστήματα υποβοήθησης του οδηγού και αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για το κάθε σύστημα

### 1.2.1 Νυχτερινή όραση

Βάση των τεχνικών της κάμερας όπως οι υπέρυθρες είναι ικανό να ενισχύσει την αντίληψη του οδηγού σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, η εικόνα εμφανίζεται στον οδηγό σε οθόνες, ένα από τα μείζονα ζητήματα είναι να λυθεί η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής παρουσιάζοντας την σωστή εικόνα στην σωστή θέση ώστε να μην αποσπά την προσοχή του οδηγού.

Πίνακας 2-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στην νυχτερινή όραση



Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
Κάμερα infrared(cmos)	$\lambda=800\text{nm}$ $\lambda=7-14\mu\text{m}$	Κοντινών υπερύθρων Μακρινών υπερύθρων (και τα 2 είναι μονής κάμερας)

### 1.2.2 Προειδοποίηση παρέκκλισης από την λωρίδα

Αν ορισμένα όρια(όπως η απόσταση,χρόνος για την διέλευση της λωρίδας) επιτρέπουν την πρόβλεψη της παρέκκλισης από την λωρίδα τότε το σύστημα προειδοποιεί τον οδηγό με ακουστική,οπτική η απτική ανάδραση.Η ανίχνευση των σημάνσεων της λωρίδας είναι αποτέλεσμα επεξεργασίας βίντεο,για να έχουμε ισχυρή ανίχνευση της σήμανσης λωρίδας 2 απαιτήσεις μπορούνε να προσδιοριστούνε:

- Ορατές λωρίδες κυκλοφορίας πρέπει να παρέχονται από την υποδομή.
- Ισχυρό σύστημα ανίχνευσης λωρίδων πρέπει να εφαρμόζονται στα οχήματα.

Το σύστημα αυτό αποσκοπεί στην πρόληψη ακούσιας αλλαγής λωρίδας που αποτελεί μια σημαντική αιτία ατυχημάτων.

Πίνακας 3-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στην ειδοποίηση παρέκκλισης από την λωρίδα.

Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
Κάμερα όρασης ccd	-	Μονός η διπλός αισθητήρας

### 1.2.3 Προειδοποίηση σύγκρουσης

#### 1.2.3<sup>a</sup>Προειδοποίηση σύγκρουσης κοντινού πεδίου

Η προειδοποίηση σύγκρουσης κοντινού πεδίου περιλαμβάνει την ανίχνευση οχημάτων σε κοντινό πεδίο όπως στην περιοχή τυφλού σημείου η όταν η περιοχή ανίχνευσης είναι πολύ κοντά και οριακά στο όχημα.Κατάλληλα συστήματα αισθητήρων για την ανίχνευση άλλων αυτοκινήτων είναι radar,lidar,vision.Η προειδοποίηση μπορεί να είναι ακουστική,οπτική,απτική.Σε αυτή την περίπτωση η κατανομή συχνοτήτων είναι απαραίτητη καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις είναι κατάλληλα συστήματα αισθητήρων 24ghz.

Πίνακας 4-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στην προειδοποίηση σύγκρουσης κοντινού πεδίου

Αισθητήρες	ιδιότητες	Σχόλια
radar	-	-
lidar	-	-
Vision camera	-	μονο

### 1.2.3β Προειδοποίηση μπροστινής σύγκρουσης

Βασίζεται σε ραντάρ το οποίο είναι τοποθετημένο μπροστά από το όχημα και λειτουργεί στην συχνότητα των 24 ghz και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά στην αμερική το 1995. Το σύστημα εντοπίζει εμπόδια μπροστά από το όχημα και σηματοδοτείτε με οπτική η ακουστική ένδειξη στον οδηγό όταν είναι πολύ κοντά σε σχέση με την ταχύτητα του μπροστινού οχήματος.

Πίνακας 5-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στην προειδοποίηση σύγκρουσης.

Αισθητήρες	ιδιότητες	Σχόλια
radar	συχνότητα:24ghz	Μπροστινή ανίχνευση,μεγάλης εμβέλειας

### 1.2.3γ Πλευρική ανίχνευση εμποδίου

Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει πλευρική ανίχνευση από ραντάρ τα οποία λειτουργούν στα 24 ghz,ανιχνεύει πλευρικά εμπόδια τα οποία σηματοδοτούνται στην κατάλληλη οθόνη.Σαν μια περαιτέρω επιλογή το σύστημα μπορεί να συνδεθεί στον έλεγχο του κινητήρα ώστε να ελέγχει την ταχύτητα και να ακολουθεί ένα πιο αργό εμπόδιο.Πρόσφατα το σύστημα πλευρικής ανίχνευσης εμποδίου έχει εισαχθεί σε αυτοκίνητα Volvo και βασίζονται σε αισθητήρες κάμερας και επεξεργασίας εικόνας.

Πίνακας 6-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στην πλευρική ανίχνευση εμποδίου

Αισθητήρες	ιδιότητες	Σχόλια
radar	Συχνότητα:24ghz Συχνότητα:5.8ghz	Πλευρική ανίχνευση,χαμηλής εμβέλειας
Vision camera	-	Στα αυτοκίνητα volvo

### 1.2.4 ACC/STOP & GO+Πρόβλεψη

#### 1.2.4<sup>α</sup> Σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας(ACC)

Το σύστημα αυτό καθιερώθηκε αρχικά στην Ιαπωνία και στην συνέχεια στην Ευρώπη στην αγορά αυτοκινήτου. Τα ACC συστήματα βασίζονται σε ένα εμπρόσθιο αισθητήρα ανίχνευσης Lidar ή μικροκυματικό ραντάρ με μέγιστη εμβέλεια ανίχνευσης τα 100 μέτρα. Οι μικροκυματικοί αισθητήρες ραντάρ λειτουργούν στην συχνότητα των 76-77ghz και έχει δεσμευτεί για την ανίχνευση εμποδίων στην αυτοκίνηση. Με βάση τις πληροφορίες του μπροστινού οχήματος κυρίως απόσταση και ταχύτητα, το ACC σύστημα ρυθμίζει την ταχύτητα του οχήματος ενεργώντας στον έλεγχο μηχανής και στο σύστημα φρεναρίσματος. Με αυτό το τρόπο το ACC είναι μια επέκταση του συστήματος ελέγχου πορείας με την επιπλέον δυνατότητα να προσαρμόζει την ταχύτητα του οχήματος στην ταχύτητα του προηγούμενου. Η πρώτη εισαγωγή στην Ευρώπη έγινε από την Mercedes το 1999, πρώτα καθιερώθηκε σε πολυτελή αυτοκίνητα και τώρα επεκτείνεται και σε μεσαίας κατηγορίας. Επιπλέον το ACC σύστημα δίνεται από κάποιους κατασκευαστές σε συνδυασμό με σύστημα προειδοποίησης λωρίδας το οποίο δείχνει την τάση να ενοποιηθούν οι λειτουργίες σε ένα σύστημα.

Πίνακας 7- Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στο σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου

Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
Lidar	λ: 850nm	Ενεργός αισθητήρας
radar	<p>Συχνότητα: 76-77ghz  Εμβέλεια: 1-200 μέτρα  Ανάλυση: 100cm  Περιοχή αναζήτησης: 12°  Ακρίβεια μέτρησης ταχύτητας: &lt;0.2km/h  Γωνιακή ακρίβεια: &lt;0.3°</p> <p>Συχνότητα: 24.125ghz  Εμβέλεια: 10 μέτρα  Εμβέλεια ταχύτητας: 60m/s  Οπτικό πεδίο:  • ± 50 0 Horizontal  • ± 0,5 m/s  Ακρίβεια:  • ± 0,05 m  • ± 0,5 m/s  Μικρότερο αντικείμενο: Μεταλλική μπάρα 10mm διαμέτρου.</p>	<p>Μεγάλης εμβέλειας, συχνότητα Doppler, ενεργός αισθητήρας</p> <p>Χαμηλής εμβέλειας</p>

Ccd κάμερα όρασης	-	stereo
-------------------	---	--------

#### 1.2.4β STOP & GO

Το σύστημα stop & go παρέχει υποστήριξη στον οδηγό για διαμήκη έλεγχο σε ουρές οχημάτων,πιθανότατα να είναι το επόμενο σύστημα που θα παρουσιαστεί στην αγορά.

Πίνακας 8-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στο σύστημα stop & go

Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
lidar	-	Ενεργός αισθητήρας
laser	Εκτροπή δέσμης:οριζόντια εμβέλεια:0.3-80m εμβέλεια:0.3-35m@Rr=5% Ανάλυση:20mm Ακρίβεια: ± 50 mm Συχνότητα:10-40hz Χρόνος κύκλου:25-100ms Κάθετο γωνιακό άνοιγμα: ~ 3,5° Οριζόντιο γωνιακό πεδίο: +- 180° Πλευρική ανάλυση: 0,25° - 1°	-

#### 1.2.4γ ACC/STOP & GO

Κατά την διάρκεια κυκλοφοριακής συμφόρησης ο διαμήκης έλεγχος του οχήματος πραγματοποιείται εν μέρη από το σύστημα,επομένως είναι αναγκαία η ανίχνευση της κυκλοφορίας στο μπροστινό μέρος και στο εγγύς πεδίο.Σε επέκταση ενός ACC συστήματος η ανίχνευση αυτής της περιοχής είναι αναγκαία για να αντιδράσει σε άλλα αυτοκίνητα που αποκλίνουν από το εγγύς πεδίο.Το σύστημα ACC/STOP & GO θα χρησιμοποιηθεί σε πιο πολύπλοκες καταστάσεις από το σύστημα ACC.

Πίνακας 9-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στο σύστημα ACC/STOP & GO

Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
radar	Συχνότητα:24.125ghz	Χαμηλής εμβέλειας

	Εμβέλεια απόστασης:10m Εμβέλεια ταχύτητας:60m/s Πεδίο θέασης: • $\pm 50$ 0 Horizontal • $\pm 0,5$ m/s Ακρίβεια: • $\pm 0,05$ m • $\pm 0,5$ m/s Μικρότερο αντικείμενο: Μεταλλική μπάρα 10mm διαμέτρου	
laser	Εκτροπή δέσμης:οριζόντια εμβέλεια:0.3-80m εμβέλεια:0.3-35m@Rr=5% Ανάλυση:20mm Ακρίβεια: $\pm 50$ mm Συχνότητα:10-40hz Χρόνος κύκλου:25-100ms Κάθετο γωνιακό άνοιγμα: $\sim 3,5^\circ$ Οριζόντιο γωνιακό πεδίο: $\pm 180^\circ$ Πλευρική ανάλυση: $0,25^\circ - 1^\circ$	-
Vision ccd camera		stereo

#### 1.2.4δ ACC/STOP & GO+Πρόβλεψη

Η λειτουργία stop & go και ACC μπορεί να επεκταθεί σε ένα σύστημα σχετιζόμενο με την έννοια της επικοινωνίας.Οχήματα που οδηγούνε πολύ μακρινές αποστάσεις συμμετέχουν στον διαμήκη έλεγχο,έτσι το τέλος της κυκλοφοριακής συμφόρησης μπορεί να συμπεριληφθεί στον διαμήκη έλεγχο,πριν ο οδηγός είναι σε θέση να δει για παράδειγμα μια στροφή,έτσι η ροή της κυκλοφορίας και η ασφάλεια μπορεί να αυξηθεί.Επιπρόσθετα στις περιγραφόμενες πτυχές του ACC/STOP & GO πρέπει να δημιουργηθούν τα συστήματα επικοινωνίας και οι συχνότητες για αυτά τα συστήματα πρέπει να κατανεμηθούν

Πίνακας 10-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στο σύστημα ACC/STOP &GO+Πρόβλεψη

Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
lidar	-	Ενεργός αισθητήρας
radar	<p>Συχνότητα:24.125ghz  Εμβέλεια  απόστασης:10m  Εμβέλεια  ταχύτητας:60m/s  Πεδίο θέασης:  • ± 50 0 Horizontal  • ± 0,5 m/s  Ακρίβεια:□  • ± 0,05 m  • ± 0,5 m/s  Μικρότερο αντικείμενο:  Μεταλλική μπάρα  10mm διαμέτρου</p>	-
laser	<p>Εκτροπή  δέσμης:οριζόντια  εμβέλεια:0.3-80m  εμβέλεια:0.3-  35m@Rr=5%  Ανάλυση:20mm  Ακρίβεια: ± 50 mm  Συχνότητα:10-40hz  Χρόνος κύκλου:25-  100ms  Κάθετο γωνιακό  άνοιγμα: ~ 3,5°  Οριζόντιο γωνιακό  πεδίο: +- 180°  Πλευρική ανάλυση:  0,25° - 1</p>	
Vision ccd camera	-	stereo

### 1.2.5 Βοηθός διατήρησης λωρίδας

Η λειτουργία ενός συστήματος διατήρησης λωρίδας περιλαμβάνει την ανίχνευση των λωρίδων και την ανατροφοδότηση του οδηγού αν αφήνει μια συγκεκριμένη τροχιά εντός της λωρίδας. Ένα ενεργό τιμόνι με ανάδραση δύναμης μπορεί να βοηθήσει τον οδηγό να κρατήσει μια συγκεκριμένη τροχιά, η λωρίδα ανιχνεύεται με ένα σύστημα επεξεργασίας εικόνας.

Πίνακας 11-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στο σύστημα βοηθού διατήρησης λωρίδας

Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
Vision ccd camera	ανάλυση :640x480	Mono η stereo Παθητικός αισθητήρας

### 1.2.6 Βοηθός αλλαγής λωρίδας

Πριν και κατά την διάρκεια αλλαγής λωρίδας ο βοηθός αλλαγής λωρίδας προειδοποιεί τον οδηγό. Διάφορα στάδια υπάρχουν για ένα τέτοιο σύστημα, από συστήματα προειδοποίησης μέχρι απτική ανατροφοδότηση στο τιμόνι για να βοηθήσει τον οδηγό στην αλλαγή λωρίδας. Η ανίχνευση όλων των αυτοκινήτων γύρω από το όχημα είναι αναγκαία όπως και η ανίχνευση της λωρίδας.

Πίνακας 12- Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στο σύστημα βοηθού αλλαγής λωρίδας

Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
lidar	-	Ενεργός αισθητήρας
Vision camera	μονόχρωμη: Πλήρης εικόνα: 240x320 pixel ROI: 129x213 pixel Εμβέλεια: 70 μέτρα  Πανοραμική stereo: Θέαση επιφάνειας: • Οριζόντια: 360° • Κάθετη: 180° Γωνιακή εκτίμηση: 2° Τυπική απόκλιση: <0.6°	ROI=Περιοχή ενδιαφέροντος
radar	Συχνότητα: 76-77ghz Εμβέλεια: 1-200 μέτρα Ανάλυση: 100cm Περιοχή αναζήτησης: 12° Ακρίβεια μέτρησης ταχύτητας: <0.2km/h Γωνιακή ακρίβεια: <0.3°  Συχνότητα: 24.125ghz Εμβέλεια απόστασης: 10m Εμβέλεια ταχύτητας: 60m/s	Υψηλής εμβέλειας          Χαμηλής εμβέλειας

	Πεδίο θέασης: • $\pm 50$ 0 Horizontal • $\pm 0,5$ m/s Ακρίβεια: <input type="checkbox"/> • $\pm 0,05$ m • $\pm 0,5$ m/s Μικρότερο αντικείμενο: Μεταλλική μπάρα 10mm διαμέτρου	
laser	εμβέλεια:60 μέτρα	-

### 1.2.7 Αυτόματη στάθμευση

Η αυτόματη στάθμευση είναι μια λειτουργία που βοηθά τον οδηγό να σταθμεύσει το όχημα του σε ελεύθερη θέση με παράλληλο χειρισμό που ενεργεί στο σύστημα διεύθυνσης τροχού και έλεγχου του κινητήρα.

Πίνακας 13-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στο σύστημα αυτόματης στάθμευσης.

Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
laser	Εκτροπή δέσμης:οριζόντια εμβέλεια:0.3-80m εμβέλεια:0.3-35m@Rr=5% Ανάλυση:20mm Ακρίβεια: $\pm 50$ mm Συχνότητα:10-40hz Χρόνος κύκλου:25-100ms Κάθετο γωνιακό άνοιγμα: $\sim 3,5^\circ$ Οριζόντιο γωνιακό πεδίο: $\pm 180^\circ$ Πλευρική ανάλυση: $0,25^\circ - 1^\circ$	-
radar	Συχνότητα:24.125ghz Εμβέλεια απόστασης:10m Εμβέλεια ταχύτητας:60m/s Πεδίο θέασης: • $\pm 50$ 0 Horizontal • $\pm 0,5$ m/s	Χαμηλής εμβέλειας



	Ακρίβεια: <input type="checkbox"/> • $\pm 0,05$ m • $\pm 0,5$ m/s Μικρότερο αντικείμενο: Μεταλλική μπάρα 10mm διαμέτρου	
--	--	--

### 1.2.8 Σύστημα μείωσης της σύγκρουσης

Τα συστήματα προ-σύγκρουσης που έχουν θεσπιστεί από την Toyota και την Honda έχουνε στόχο να μειώσουνε τις ζημιές ενός ατυχήματος ενεργώντας με προεντατήρα των ζωνών ασφαλείας προτού εκδηλωθεί το ατύχημα και με αυτόματο φρενάρισμα σε περίπτωση που ο αισθητήρας ανιχνεύσει μια επικείμενη σύγκρουση που δεν μπορεί να αποφευχθεί.

Πίνακας 14-Διαθέσιμοι αισθητήρες και ιδιότητες στο σύστημα μείωσης της σύγκρουσης

Αισθητήρες	Ιδιότητες	Σχόλια
radar	Συχνότητα:24ghz UWD(ultra wide band) Ανάλυση:3cm Εύρος :5ghz Εμβέλεια:0.3-30μέτρα Ισχύς μετάδοσης:- 41.3dbm/mhz	Χαμηλής εμβέλειας Ενεργός αισθητήρας
laser	Εκτροπή δέσμης:οριζόντια εμβέλεια:0.3-80m εμβέλεια:0.3- 35m@Rr=5% Ανάλυση:20mm Ακρίβεια: $\pm 50$ mm Συχνότητα:10-40hz Χρόνος κύκλου:25- 100ms Κάθετο γωνιακό άνοιγμα: $\sim 3,5^\circ$ Οριζόντιο γωνιακό πεδίο: $\pm 180^\circ$ Πλευρική ανάλυση: $0,25^\circ - 1^\circ$ Γωνιακή σάρωση : $240^\circ$ Γωνιάθέασης:εως $270^\circ$	ALASCA

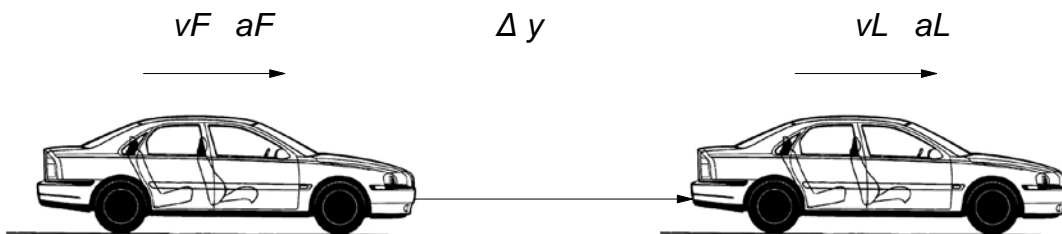
	<p>Γωνία διαχωρισμού δέσμης: 0,25°  Απόκλιση δέσμης: 5 mrad (διάμετρος δέσμης: 50 cm in 100 m)  Συχνότητα σάρωσης: 10hz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Εμβέλεια ανακλώμενων στόχων: μέχρι 250 m</li> <li>• Σκοτεινοί στόχοι (ανακλαστικότητα 5 %): μέχρι 40 μέτρα</li> </ul> <p>Τυπική απόκλιση με μία μετρημένη απόσταση: +/- 5 cm</p>	IBEO
Vision camera	<p>Μονόχρωμη CMOS  Βάθος εστίασης: 5 μέτρα  Πλήρης άνοιγμα</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Οριζόντιο: 40°</li> <li>• Κάθετο: 40°</li> </ul> <p>Φασματική εμβέλεια: 400 - 800 nm  Ανάλυση: 512x512 pixels  Μέγεθος εικόνας: 6,4 x 6,4 mm<sup>2</sup>  Ρυθμός καρτέ: 20 Hz  Λογαριθμική απόκριση: &gt; 100 dB  Πρωτογενής εξαγωγή δεδομένων: 12 bit  4 ζευγάρια LVDS σήματος  Ρολόι μετάδοσης pixel: 20 Mhz  Διαστάσεις: 140 x 50 x 50 mm<sup>3</sup>  Θερμοκρασίες</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Λειτουργίας: -20...+55 °C</li> <li>• αποθήκευσης: -20...+70 °C</li> </ul> <p>stereovision</p>	Μπροστινή ανίχνευση Μεγάλης εμβέλειας
Infrared radar		Near infrared

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

**Μοντέλα ανθρώπινης οδήγησης και ανάπτυξη-ολοκλήρωση συστήματος ACC(adaptive cruise control) με χρήση κάμερας-ραντάρ**

### 2.1 Μοντέλα ανθρώπινης οδήγησης

Η μελέτη της ανθρώπινης συμπεριφοράς οδηγού σε καταστάσεις ακολουθίας αυτοκινήτων ξεκίνησε το 1950 και από τότε παραμένει μεγάλο θέμα. Η γενική μορφή των μοντέλων οδηγού σε ακολουθία αυτοκινήτων αναπτύχθηκε το 1950 βασίζεται στην υπόθεση ότι ο κάθε οδηγός αντιδρά κατά ένα συγκεκριμένο τρόπο σε ένα ερέθισμα το οποίο οδηγεί σε ενεργοποίηση της επιτάχυνσης, ερέθισμα μπορεί να είναι μία αλλαγή στην πρόοδο της απόστασης ή μία αλλαγή στην κατάσταση του περιβάλλοντος.



Σχήμα 2-Ακολουθία αυτοκινήτων

Αυτό οδηγεί σε ένα μοντέλο απόκρισης ερεθίσματος:

$$r_n(t) = k_n(t - \tau_n) \cdot s_n(t - \tau_n) \text{ όπου:}$$

$r_n(t)$  = επιτάχυνση που εφαρμόζεται την χρονική στιγμή  $t$  για τον οδηγό  $n$

$k$  = ευαισθησία

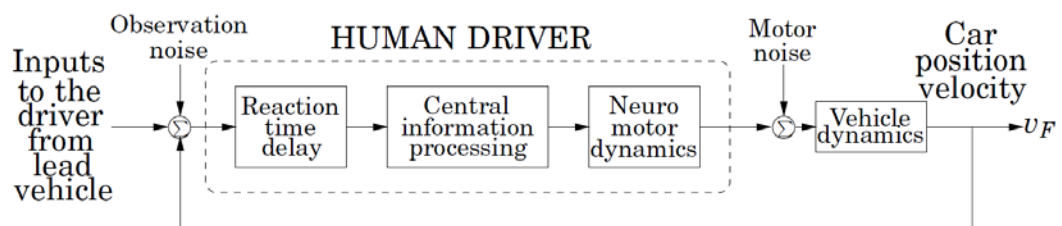
$s$  = ερέθισμα

$t$  = στιγμή της παρατήρησης

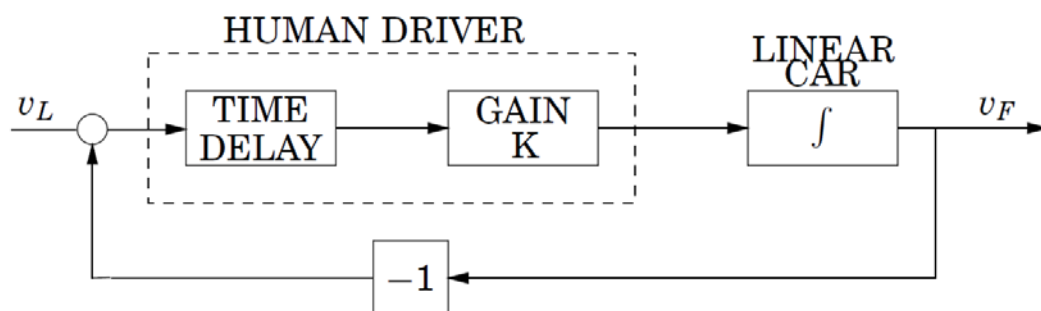
$\tau_n$  = χρόνος αντίδρασης του οδηγού  $n$  (συμπεριλαμβάνει τον χρόνο της αντίληψης και της δράσης)

Τα μοντέλα ακολουθίας αυτοκινήτων περιγράφουν την διαμήκη συμπεριφορά οδηγών όπως στο σχήμα 2, σε αυτές τις περιπτώσεις ο οδηγός ακολουθεί ένα άλλο αυτοκίνητο και προσπαθεί να διατηρήσει μία

συγκεκριμένη απόσταση με το μπροστινό αυτοκίνητο. Ένα απλό μοντέλο ανθρώπινης οδήγησης παρουσιάζεται στο σχήμα 3, υποθέτουμε πως ο οδηγός είναι ικανός να αντιληφθεί τον χώρο και την σχετική ταχύτητα ανάμεσα στο αυτοκίνητο του και στο μπροστινό όχημα του. Ο Chandler ανέπτυξε ένα γραμμικό μοντέλο ακολουθίας αυτοκινήτων βασισμένο στην γενική απόκριση ερεθίσματος. Με μαθηματικά το μοντέλο μπορεί να εκφραστεί ως:  $a_F(t) = \lambda / M [v_L(t - \tau) - v_F(t - \tau)]$



Σχήμα 3-Δομή του οδηγού σε ακολουθία αυτοκινήτου



Σχήμα 4-Μοντέλο ακολουθίας αυτοκινήτου

όπου  $a_F(t)$  = επιτάχυνση του ακολουθούμενου

αυτοκινήτου

$\lambda$  = παράγοντας ευαισθησίας του μηχανισμού ελέγχου

$M$  = μάζα του αυτοκινήτου

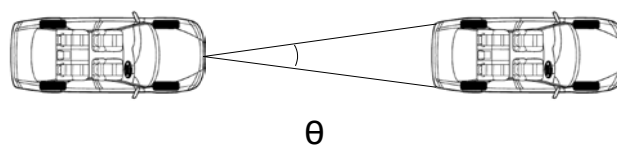
$v_L$  = ταχύτητα του μπροστινού αυτοκινήτου

$v_F$  = ταχύτητα του ακολουθούμενου αυτοκινήτου

Το μοντέλο μπορεί να εκφραστεί όπως στο σχήμα 4. Ο Chandler εκτίμησε το μοντέλο χρησιμοποιώντας μέθοδο ανάλυσης συσχέτισης και συλλέγοντας δεδομένα ακολουθίας αυτοκινήτων. Χρησιμοποιήθηκαν 8 άντρες οδηγοί στην μελέτη και τα πειράματα έδειξαν ότι ο χρόνος αντίδρασης  $T$  ήταν περίπου 1.5 δευτερόλεπτα και η αναλογία ευαισθησίας προς μάζα ήταν περίπου  $0.37^{-1}$  δευτερόλεπτα. Σε αυτό το μοντέλο ο όρος ευαισθησία  $\lambda$  ή το κέρδος ήταν σταθερό για όλες τις καταστάσεις περιορίζοντας την εγκυρότητα του μοντέλου. Ο Gazis υπέθεσε ότι το  $\lambda$  εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των αυτοκινήτων έτσι αναπτύχθηκε το ακόλουθο μοντέλο:  $\alpha_F(t) = \frac{b}{\Delta Y(t-\tau)} (V_L(t-\tau) - V_f(t-\tau))$  όπου  $b$ =σταθερά ευαισθησίας και  $\Delta Y(t-\tau)$ =ο χώρος στο χρονικό διάστημα  $(t-\tau)$ . Δεδομένου ότι αυτό το μοντέλο είχε περιορισμούς σε χαμηλή πυκνότητα κυκλοφορίας ο Edie πρότεινε ένα νέο μοντέλο:  $\alpha_F = b \frac{V_L(t-\tau)}{\Delta Y(t-\tau)^2} (V_L(t-\tau) - V_f(t-\tau))$ . Αυτό το μοντέλο αποδίδει καλύτερα από το μοντέλο που προτάθηκε από τον Gazis σε χαμηλή πυκνότητα κυκλοφορίας. Ο Gazis ανέπτυξε ένα μοντέλο το οποίο είναι γνωστό σαν general motors μη γραμμικό μοντέλο, μαθηματικά μπορεί να εκφραστεί ως:  $\alpha_F(t) = \alpha \frac{V_L(t)^\beta}{\Delta Y(t-\tau)^\gamma} (V_L(t-\tau) - V_f(t-\tau))$  όπου  $\alpha$ =σταθερά

$\beta$ =παράμετρος μοντέλου και  $\gamma$ =παράμετρος μοντέλου

Ο Gazis προσπάθησε να εκτιμήσει το μοντέλο αλλά δεν είχε επαρκή δεδομένα να διεκδικήσει ένα συγκεκριμένο μοντέλο το οποίο θα ήταν ανώτερο από άλλα μοντέλα. Ο May Keller έφτιαξε ένα αυστηρό πλαίσιο για την εκτίμηση του μοντέλου της general motor, στην μελέτη του Gazis το  $\beta$  και  $\gamma$  είναι ακέραιοι αριθμοί αλλά στην μελέτη του May Keller οι  $\beta$  και  $\gamma$  ήταν πραγματικές τιμές, βρήκανε το  $\alpha=1.33e-4$ ,  $\beta=0.8$  και  $\gamma=2.8$  δίνοντας μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ παρατηρουμένων και εκτιμώμενων επιταχύνσεων. Ο Pipes ανέπτυξε μία εναλλακτική προσέγγιση η οποία βασίζεται στην παραδοχή ότι ο οδηγός χρησιμοποιεί την οπτική γωνία που περικλείει το μπροστινό όχημα.



## Σχήμα 5-Η οπτική γωνία ενός ακολουθούμενου αυτοκινήτου

Η γωνία  $\theta$  αυξάνει καθώς το ακολουθούμενο αυτοκίνητο πλησιάζει το μπροστινό του. Χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση ο *ripe* ανέπτυξε ένα μοντέλο όπου η επιτάχυνση του ακολουθούμενου αυτοκινήτου είναι ανάλογη προς την αντίληψη του οδηγού του ρυθμού της μεταβολής της οπτικής γωνίας

$$\theta. \text{Μαθηματικά εκφράζεται: } \alpha_F(t) = b \frac{(V_L(t-\tau) - V_F(t-\tau))}{(\Delta Y(t-\tau))^2}$$

Ο Addison και ο Iow αναπτύξανε ένα μοντέλο που βασίζεται στην παραδοχή ότι ο οδηγός στοχεύει σε μία επιθυμητή θέση και προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την σχετική ταχύτητα  $\Delta v$ . Το μοντέλο είναι μία προέκταση του *gazis* περιλαμβάνοντας ένα μη γραμμικό εξαρτώμενο όρο. Μαθηματικά το μοντέλο μπορεί να εκφραστεί ως:

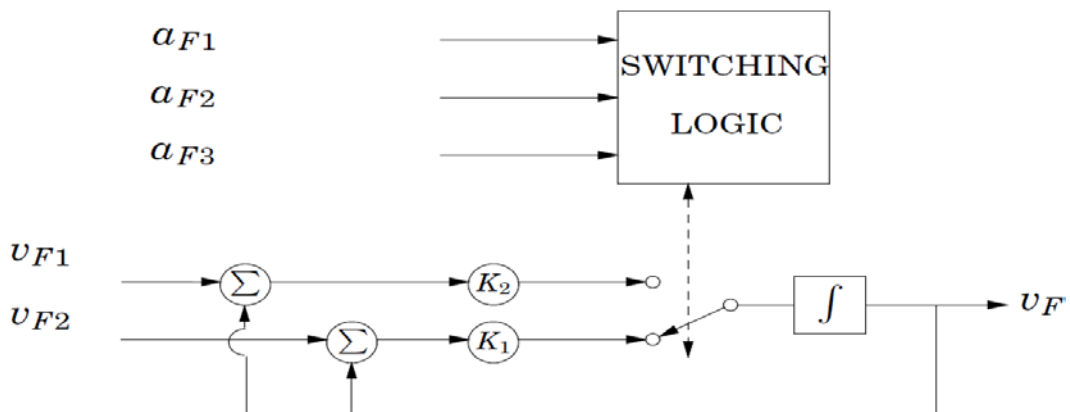
$$\alpha_n(t) = a \frac{V_F(t)^\beta \Delta V(t-\tau)}{(\Delta Y(t-\tau))^\gamma} + n(\Delta Y(t-\tau) - D_n)^3$$

Όπου  $D_n$  = η επιθυμητή θέση προόδου

$n$  = σταθερά

### 2.1.1 Μοντέλο γραμμικού βέλτιστου ελέγχου

Το μοντέλο βέλτιστου ελέγχου βασίζεται σε κριτήριο επιδόσεων όπως του γραμμικού ελέγχου τετραγωνισμού Gaussian, ελαχιστοποίηση των κριτηρίων απόδοσης δίνει την δομή του ελεγκτή. Αυτή η δομή διαφέρει από την δομή απόκρισης ερεθίσματος δεδομένου ότι συμπεριλαμβάνονται μη γραμμικότητες στο μοντέλο. Ο *bekey* ο οποίος έκανε κριτική στην δομή του μοντέλου ανέφερε ότι δεν είναι λογικό να υποθέσουμε ότι ένας οδηγός θα πρέπει να μιμηθεί έναν βέλτιστο ελεγκτή το αποτέλεσμα είναι ενδιαφέρον.



## Σχήμα 6-Μοντέλο look-ahead

### 2.1.2 Μοντέλο ορθολογικής λειτουργίας

Ο bleile πρότεινε ένα νέο μοντέλο διαμήκη οδηγού, χρησιμοποίησε την εκτίμηση πυκνότητας του πυρήνα και διαπίστωσε ότι οι πιο σχετικές τριπλές μεταβλητές εισόδου είναι  $u_n, \Delta Y$  και  $u_{n-1} - u_n$  για να περιγράψει την διαμήκη συμπεριφορά του οδηγού. Επιλέγοντας μία ορθολογική λειτουργία ως προσέγγιση για την σχέση μεταξύ των μεταβλητών εισόδου  $u_n, \Delta Y$ , και  $u_{n-1} - u_n$  και η μέση επιτάχυνση  $a_n$  τότε το μοντέλο μπορεί να εκφραστεί ως:  $a_n = f(u_n, \Delta Y, u_{n-1}) + r(u_n, \Delta Y, u_{n-1})\xi(t)$

$$\text{όπου: } f(u_n, \Delta Y, u_{n-1}) = \frac{1 + b_1 u_n + b_2 \Delta Y + b_3 u_n \Delta Y + b_4 u_{n-1} + b_5 u_n u_{n-1}}{c_0 + c_1 u_n + c_2 \Delta Y + c_3 u_n \Delta Y + c_4 u_{n-1} + c_5 \Delta Y u_{n-1}}$$

$\xi(t)$  = λευκός θόρυβος Gaussian με φασματική πυκνότητα ισχύος

Ο bleile εφάρμοσε το μοντέλο ως προέκταση του φίλτρου kalman με  $u_{n-1}$  σαν είσοδο και  $\Delta Y, u_n$  ως παρατηρούμενες μεταβλητές.

### 2.1.3 Μοντέλο εύρεσης του οδηγού

Ο bekey αξιολόγησε 2 μοντέλα εύρεσης οδηγού, το πρώτο από αυτά είναι το μοντέλο του σχήματος 6 το οποίο βασίστηκε στην υπόθεση ότι ο οδηγός παρατηρεί την συμπεριφορά των 3 αυτοκινήτων μπροστά του και θα προσαρμόσει την δικιά του στρατηγική από την συμπεριφορά τους, το δεύτερο μοντέλο είναι μοντέλο πεπερασμένης κατάστασης βασίζεται στην υπόθεση ότι ο οδηγός πάντα προσπαθεί να διατηρήσει μια ταχύτητα ίση με το μπροστινό όχημα κατά μήκος της πορείας του.

### 2.1.4 Σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου

Ο Ιωάννου παρουσίασε ένα σύστημα ACC (Σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου) το οποίο συγκρίνεται με τα 3 μοντέλα οδηγών: μοντέλο γραμμικής ακολουθίας αυτοκινήτων, μοντέλο γραμμικού βέλτιστου ελέγχου και μοντέλο look-ahead. Μαθηματικά το μοντέλο του οχήματος μπορεί να εκφραστεί ως:  $\frac{d}{dt} y_n(t) = u_n(t)$

$$\frac{d}{dt} \dot{y}_n(t) = a_n(t)$$

$$\frac{d}{dt} \ddot{y}_n(t) = b(\dot{y}_n, \ddot{y}_n) + a(\dot{y}_n) u_n(t)$$

$$\text{Όπου } a(\dot{y}_n) = \frac{1}{m_n \tau_n(\dot{y}_n)}$$

$$b(\dot{y}_n, \ddot{y}_n) = -2 \frac{kd_n}{m_n} \dot{y}_n \ddot{y}_n - \frac{1}{\tau_n(\dot{y}_n)} \left[ \ddot{y}_n + \frac{kd_n}{m_n} \dot{y}_n^2 + \frac{dm_n(\dot{y}_n)}{m_n} \right]$$

$y_n$  = θέση του νιοστού οχήματος

$u_n$  = ταχύτητα του νιοστού οχήματος

$a_n$  = επιτάχυνση του νιοστού οχήματος

$m_n$  = μάζα του νιοστού οχήματος

$\tau_n$  = σταθερά χρόνου κινητήρα του νιοστού οχήματος

$u_n$  = είσοδος κινητήρα του νιοστού οχήματος

$kd_n$  = συντελεστής αεροδυναμικής νιοστού οχήματος

$dm_n$  = μηχανική έλξη του νιοστού οχήματος

Κανόνας ελέγχου:  $u_n = \frac{1}{a(\dot{y}_n)} [c_n(t) - b(\dot{y}_n, \ddot{y}_n)]$

Όπου  $c_n = c_p \delta_n(t) + c_u \delta_n(t) + k_u u_n(t) + k_a a_n(t)$

$$\delta_n(t) = y_{n-1}(t) - y_n - (L_n + S_{O_n} + \lambda_2 u_n(t))$$

$$\dot{\delta}_n(t) = u_{n-1}(t) - u_n - \lambda_2 a_n(t)$$

$L_n$  = μήκος του νιοστού οχήματος

$S_{O_n}$  = αρχική θέση

$\delta_n(t)$  = απόκλιση από την επιθυμητή θέση

$C_p$  = σταθερά σχεδιασμού

$C_u$  = σταθερά σχεδιασμού

$K_u$  = σταθερά σχεδιασμού

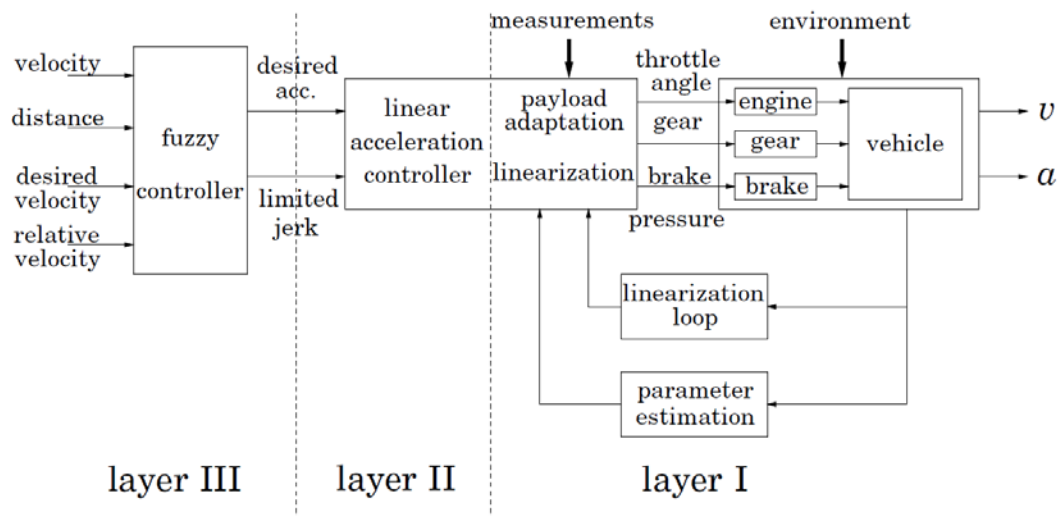
$K_a$  = σταθερά σχεδιασμού

Το συμπέρασμα του Ιωάννου ήταν πως η σύγκριση δείχνει μία ισχυρή δυναμική για το ACC για χαμηλές ροές κίνησης της κυκλοφορίας και για να αυξήσει την ροή της κυκλοφορίας εάν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί σωστά. Σε αυτή την μελέτη αρκετές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης προσομοιωθήκαν και χρησιμοποιήθηκαν για να δείξουν ότι το ACC προτείνεται για πιο ασφαλή οδήγηση. Αυτό το μοντέλο είναι το θεμέλιο για το σύστημα ACC και τώρα χρησιμοποιείτε από την FORD.

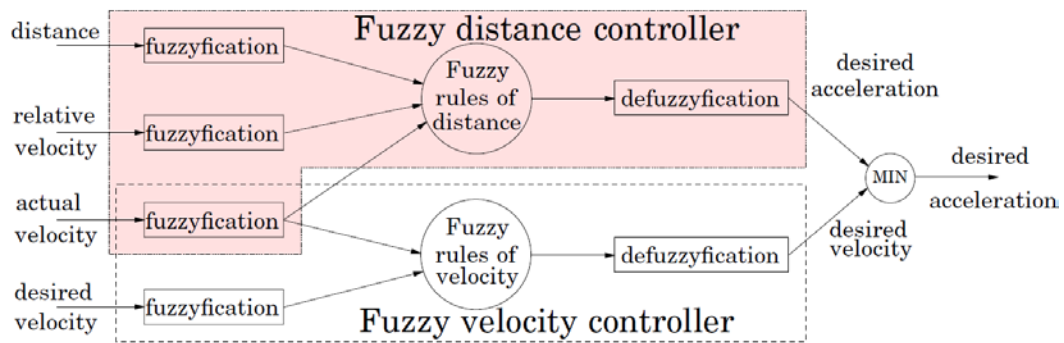


### 2.1.5 Νευρωνικό δίκτυο και μοντέλο ασαφούς λογικής

Ο gazis Zadeh έκανε μία βιβλιογραφική έρευνα σε αυτόν τον τομέα, τα μοντέλα που παρουσιάζονται σε αυτήν την έρευνα χειρίζονται την πλευρική καθοδήγηση και κάποια από αυτά περιλαμβάνουν διαμήκη καθοδήγηση. Αρκετά μοντέλα οδηγού σε αυτή την έρευνα είναι για αυτόνομη ακολουθία οχήματος, π.χ ο Griswold, Germann and Isermann προτείνανε έναν έξυπνο έλεγχο πορείας (ICC) βασισμένο στην ασαφή λογική και τα νευρωνικά δίκτυα, χρησιμοποιούν δομή τριών στρωμάτων στο σχήμα 7. Στο πρώτο στρώμα γίνεται η γραμμικοποίηση των μη γραμμικοτήτων, το δεύτερο στρώμα περιλαμβάνει έναν ελεγκτή γραμμικής επιτάχυνσης, με βάση των κλασσικών τεχνικών ελέγχων και το τρίτο στρώμα αποτελείται από έναν ελεγκτή ασαφούς λογικής με βάση την 'γλωσσική περιγραφή' των απαιτήσεων για άνεση. Ο ελεγκτής ασαφούς λογικής στο σχήμα 8 βασίζεται στις διαφορετικές 'γλωσσικές' μεταβλητές εισόδου: απόσταση, ταχύτητα, σχετική ταχύτητα και την πραγματική ταχύτητα



Σχήμα 7-Δομή ελεγκτή για ασαφή έλεγχο πορείας



Σχήμα 8-Ελεγκτής ασαφούς λογικής

Η επιτάχυνση εξόδου επιτυγχάνεται με:  $a = \min[a(velocity), a(distance)]$

Επιπλέον αντικαθίσταται οι δύο ασαφής ελεγκτές από ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο. Το έξυπνο σύστημα πορείας εφαρμόστηκε και δοκιμάστηκε στην εθνική οδό και σε συμφόρηση της κυκλοφορίας της εθνικής οδού (stop & go)

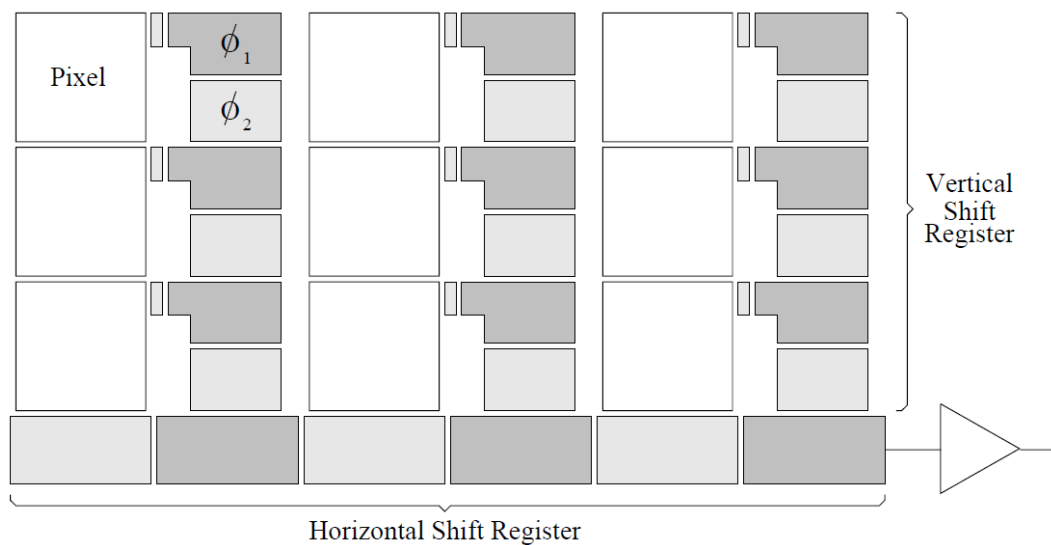
## 2.2 Ανάπτυξη και ολοκλήρωση συστήματος ACC (adaptive cruise control) με χρήση κάμερας και ραντάρ

### 2.2.1 Ιδιότητες των ψηφιακών καμερών

Οι μετρήσεις της όρασης γίνονται από την επεξεργασία της εικόνας που λαμβάνεται από την ψηφιακή κάμερα. Συνήθως η κάμερα παρέχει εικόνες σε ένα ρυθμό γύρω στα 25 καρέ το δευτερόλεπτο, η ψηφιακή κάμερα περιέχει διάταξη φορτισμένης σύζευξης (ccd) απέναντι από τον φακό της κάμερας ώστε να μετρά το φως που περνά μέσα από τον φακό. Το chip ccd είναι ένα ορθογώνιο πλέγμα αισθητήρων που μετράει το αριθμό των φωτονίων που χτυπούν ένα συγκεκριμένο κελί στην συστοιχία πάνω από κάποιο χρονικό διάστημα προκειμένου να αναφέρουν την ένταση του φωτός (Σχήμα 11). Στην περίπτωση της έγχρωμης κάμερας υπάρχουνε λήπτες ευαίσθητοι στο μήκος κύματος του κόκκινου, πράσινου και μπλέ φωτός οι οποίοι είναι ικανοί να αναφέρουν την ένταση του αντίστοιχου μήκους κύματος. Η ένταση του φωτός η οι εντάσεις για το χρώμα σχηματίζουν τις τιμές σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) στο πλαίσιο της εικόνας καθώς ο ακριβής τρόπος που ένα σημείο στον τρισδιάστατο χώρο θα μεταφερθεί σε ένα εικονοστοιχείο στην εικόνα περιπλέκεται, η μεταφορά αυτή μπορεί να μοντελοποιηθεί με μετασχηματισμό.

### 2.2.2 Απεικονητές CCD

Η αρχή λειτουργίας των απεικονητών ccd(coupled charged display) είναι η ικανότητα να μεταφέρει το φορτίο πλήρως και αποτελεσματικά μεταξύ των παρακείμενων πυκνωτών mos εφαρμόζοντας επικαλυπτόμενα ρολόγια στις πύλες τους.Μία εικονοληψία συστοιχίας ccd παρουσιάζεται στο σχήμα 9.Οι πύλες φωτός ενσωματώνουνε φορτίο σε κάθε εικονοστοιχείο(pixel) και το φορτίο μεταφέρεται σε καταχωρητές κάθετης μετατόπισης διαμέσου πύλης μετάδοσης και μετατοπίζεται κάτω σε έναν οριζόντιο καταχωρητή ccd μέχρι την έξοδο.Στην έξοδο ccd τα πακέτα φορτίου μετατρέπονται σε ποσότητα τάσης η ρεύματος για έξοδο η περαιτέρω επεξεργασία.

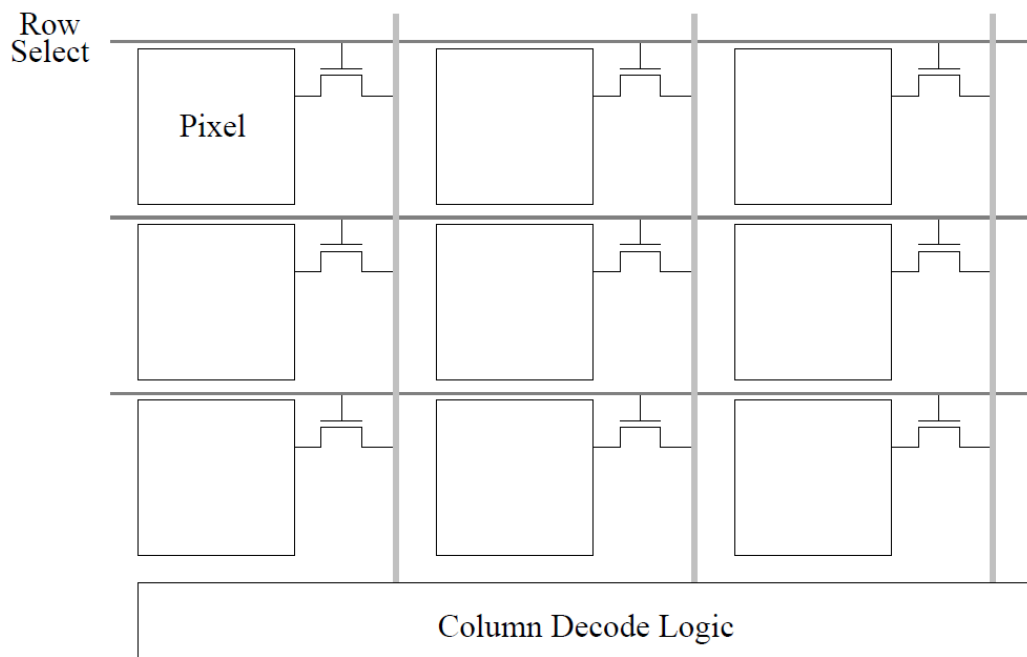


Σχήμα 9-Συστοιχία απεικονητή ccd

Η συστοιχία απεικονητών ccd κυριαρχούνε για πολλά χρόνια λόγω του χαμηλού θορύβου ανάγνωσης,μικρό μέγεθος Pixel,υψηλό συντελεστή πλήρωσης pixel και εξαιρετικά σταθερό χαμηλό θόρυβο.Λόγω της δομής των καταχωρητών μετατοπίσεως εγγενή στο σχεδιασμό συστοιχίας ccd η έξοδος είναι σε pixel σειράς έτσι η μνήμη buffer είναι απαραίτητη για να χρησιμοποιηθεί ένας απεικονητής ccd με έναν αλγόριθμο επεξεργασίας ο οποίος απαιτεί μη σειριακή πρόσβαση στα δεδομένα Pixel.Απο την άλλη τα κυκλώματα cmos είναι πιο ευέλικτα και μπορούνε να υλοποιηθούνε μαζί με τα συστήματα ccd αλλά οι δομές των κυκλωμάτων ccd απαιτούνε ειδική επεξεργασία ημιαγωγών που τα καθιστά πιο ακριβά από τα αντίστοιχα κυκλώματα cmos.

### 2.2.3 Απεικονητές cmos

Μία τυπική συστοιχία εικονοληψίας cmos παρουσιάζεται στο σχήμα 10, οι απεικονητές χρησιμοποιούν είτε δομή πύλη φωτός(photogate) είτε δομή εικονοστοιχείου με φωτοδίοδο αλλά το κύκλωμα ανάγνωσης είναι όμοιο με μια μνήμη rom. Όταν η σειρά της επιλεγμένης γραμμής είναι ενεργοποιημένη το φορτίο του εικονοστοιχείου(pixel) μοιράζεται στην χωρητικότητα της στήλης μετατρέποντας το φορτίο από το εικονοστοιχείο σε τάση στην γραμμή της στήλης. Η λογική εξόδου της στήλης ανιχνεύει την τάση της γραμμής, την ενισχύει και την μετατρέπει σε τάση ή ρεύμα για την έξοδο. Οι απεικονητές cmos έχουν υψηλό ρυθμό ανάγνωσης λόγω της διέλευσης των τρανζίστορ και των μεγάλων γραμμών στις στήλες αλλά και δεδομένου ότι μπορούν να κατασκευαστούν με τυποποιημένες διαδικασίες cmos τα λογικά τμήμα και η διασύνδεση της κλίμακας των pixel με βελτιωμένες τεχνολογίες. Επιπροσθέτως τα αναλογικά και ψηφιακά κυκλώματα μπορούν να ενσωματωθούν ανέξοδα στην ίδια μήτρα(die) όπως το σύστημα απεικόνισης. Τέλος προσθέτοντας έναν αποκωδικοποιητή στην είσοδο της στήλης και μια επιπλέον σειρά τρανζίστορ σε κάθε κυψέλη επιτρέπει τυχαία πρόσβαση στην διεύθυνση των pixel επιτρέποντας πιο σύνθετη επεξεργασία χωρίς την ανάγκη μνήμης buffer για τα δεδομένα της εικόνας.

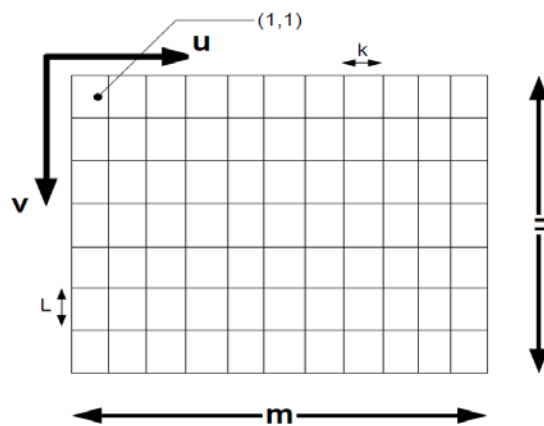


Σχήμα 10-Συστοιχία απεικονητή cmos

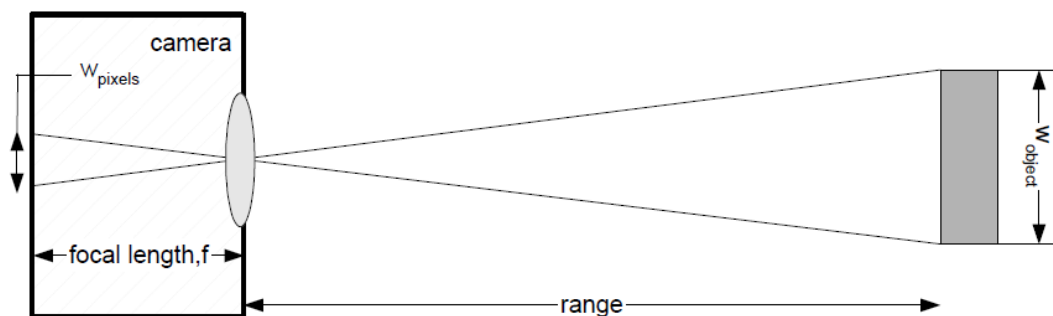
#### 2.2.4 Μετρήσεις της κάμερας

Για την μέτρηση της θέσης ενός αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο χρησιμοποιώντας μία εικόνα, τα εικονοστοιχεία που πιστεύεται ότι αντιστοιχούν στο αντικείμενο πρέπει πρώτα να βρεθούν, για να γίνει αυτό επιλέγονται τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου που πιστεύεται ότι είναι κοινό με τον τύπο αντικειμένου που αναζητήται. Μετά πρέπει να καθοριστεί με ποιό τρόπο τα χαρακτηριστικά μπορούν να προβληθούν μέσα στην εικόνα, τυπικά αυτό είναι μια από τις πιο δύσκολες πτυχές του υπολογισμού της όρασης, αυτό συμβαίνει γιατί ακόμα και τα απλούστερα αντικείμενα εμφανίζονται διαφορετικά στην εικόνα, εξαρτάται από την γωνία και την απόσταση που θα παρατηρηθούν. Στα πλαίσια της παρακολούθησης οχήματος ο προσανατολισμός των οχημάτων και ο ακανόνιστος προσανατολισμός της λωρίδας είναι γνωστά, αυτό επιτρέπει εξαιρετικά ενημερωμένες εκτιμήσεις για το πως τα οχήματα και οι λωρίδες θα εμφανίζονται στις εικόνες, μετά δοκιμές έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να καθοριστεί αν τα χαρακτηριστικά υπάρχουν στην εικόνα. Μετά η θέση του αντικειμένου σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων 3d πρέπει να υπολογιστεί από την θέση των εικονοστοιχείων (pixel) στις συντεταγμένες της εικόνας που έχουν ταξινομηθεί και ανήκουν στο αντικείμενο, σε γενικές γραμμές η θέση 3d μπορεί να καθοριστεί μέχρι την κλίμακα,  $Y/X$  και  $Z/X$ , αυτό ουσιαστικά σημαίνει πως η κατεύθυνση από όπου ήρθε ένα σημείο είναι γνωστή αλλά όχι η απόσταση. Υπάρχουν δύο τρόποι για να ανακτηθεί η πλήρης τρισδιάστατη θέση, ο πρώτος είναι με πολλαπλές εικόνες και τριγωνισμό για να βρεθεί η μοναδική θέση του σημείου, τα μειονεκτήματα αυτού του τρόπου είναι ότι πρώτα απαιτεί πρόσθετη κάμερα καθώς και περαιτέρω υπολογισμό των εικονοστοιχείων (pixels) που αντιστοιχούν στις δύο εικόνες. Επιπλέον η ακρίβεια περιορίζεται από την απόσταση μεταξύ των καμερών (baseline), έτσι ώστε για την προορισμένη εφαρμογή μία επιθυμητή ακρίβεια να μην είναι δυνατή. Εναλλακτικά, είναι συχνά λογικό να γίνονται ορισμένες παραδοχές στο δομημένο περιβάλλον οδήγησης που το καθιστούν δυνατό να ανακτήσει την πλήρη 3d θέση πρώτη παραδοχή που χρησιμοποιείται από πολλές ομάδες στο πεδίο είναι η λεγόμενη παραδοχή επίπεδης γης, αυτό προϋποθέτει ότι το ύψος του δρόμου είναι σταθερό σε όλο το πεδίο οράσεως. Επιπλέον αν ο τόνος (pitch) της κάμερας υπολογίζεται στην πορεία, η παραδοχή είναι ελαστικότερη με το πρώτο παράγωγο του ύψους του δρόμου να είναι σταθερό. Μία άλλη υπόθεση που χρησιμοποιείται είναι ότι δεν γνωρίζουμε το μέγεθος του αντικειμένου που παρακολουθείτε. Απο το σχήμα 12 είναι σαφές ότι η επίλυση της εμβέλειας είναι απλά η επίλυση παρόμοιου προβλήματος τριγώνων (χρησιμοποιώντας την παραδοχή της επίπεδης γης η ίδια κατάσταση προκύπτει). Οι πλευρές των τριγώνων είναι το μέγεθος του αντικειμένου,  $w_{object}$ , η εμβέλεια με το αντικείμενο,  $x$ , το μέγεθος του αντικειμένου στην εικόνα,  $w_{pixels}$  και το εστιακό μήκος της

κάμερας,  $f$ . Χρησιμοποιώντας το μέγεθος του αντικειμένου ως ένδειξη της εμβέλειας, το ποσοστό σφάλματος στην εκτίμηση της εμβέλειας είναι ίσο με το ποσοστό σφάλματος στην παραδοχή μεγέθους του αντικειμένου, έτσι υπό την προϋπόθεση ότι το ποσοστό σφάλματος γνωρίζοντας το μέγεθος του αντικειμένου είναι αποδεκτό μία περιοχή μέτρησης με αποδεκτό ποσοστό σφάλματος μπορεί να διαμορφωθεί.



Σχήμα 11-Σύστημα συντεταγμένων ccd



Σχήμα 12-Προσδιορισμός εμβέλειας αντικειμένου γνωστού μεγέθους

$$x = \frac{f W_{pixels}}{W_{objects}}$$

### 2.2.5 Σφάλματα στις μετρήσεις της κάμερας

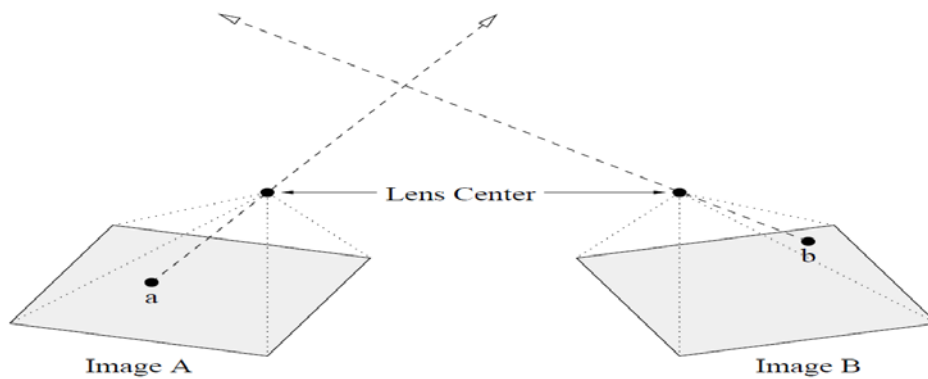
Δύο τύποι διαφορετικών θεμελιωδών σφαλμάτων μπορούν να συμβούν στην διαδικασία μετρήσεων της όρασης. Ο πρώτος τύπος σφαλμάτων συμβαίνει όταν κατά την επεξεργασία της εικόνας κατατάσσει λανθασμένα pixel (εικονοστοιχεία) ως ανήκοντα στο αντικείμενο, με άλλα λόγια η διαδικασία ανάλυσης αποφασίζει ότι ένα σύνολο pixel αντιστοιχεί στο αντικείμενο ενώ στην πραγματικότητα ένα διαφορετικό σύνολο ανήκει

στο αντικείμενο, τα δύο σύνολα μπορούν να μοιράζονται τα περισσότερα, μερικά ή κανένα από τα ίδια pixels. Ο δεύτερος τύπος σφαλμάτων συμβαίνει όταν τα εικονοστοιχεία (pixels) της εικόνας έχουν ταξινομηθεί σωστά αλλά προκύπτουν ανακρίβειες από την διαδικασία που μετασχηματίζει από την θέση των εικονοστοιχείων (pixels) στην εικόνα με την θέση των συντεταγμένων στην πραγματικότητα. Τυπικά αυτό μπορεί να προκύψει από Pixelation (διακριτοποίηση της εικόνας από ccd chip), σφάλματα στις εσωτερικές παραμέτρους της κάμερας (π.χ εστιακή απόσταση, μέγεθος εικονοστοιχείου κ.λ.π), σφάλματα στις εξωτερικές παραμέτρους της κάμερας, η υποθετική σχέση ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων της εικόνας και του πραγματικού (π.χ pitch κάμερας, ύψος κ.τ.λ) ή λόγω άλλων παραδοχών που έγιναν για μεταφράσουν την εικόνα στην πραγματικότητα του κόσμου (π.χ μέγεθος του αντικειμένου). Από τα δύο σφάλματα σαφώς το σφάλμα ταξινόμησης είναι πιο καταστροφικό. Το δεύτερο σφάλμα του μετασχηματισμού αναμένεται να αναφέρει τιμές που είναι εντός ορισμένων ορίων της πραγματικής τιμής. Από την άλλη πλευρά μπορεί να μην είναι δυνατόν να τεθεί ένα λογικό μέγεθος σύνδεσης για τα αποτελέσματα της ταξινόμησης και δεν υπάρχει λόγος να πιστεύουμε ότι η αναφερόμενη τιμή είναι επικεντρωμένη γύρω από την αληθινή τιμή. Εσφαλμένες ταξινομήσεις μπορούν να προκύψουν όταν άλλα αντικείμενα ή το φόντο τυχαίνει να περιέχει χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν το επιθυμητό αντικείμενο, είναι σημαντικό να επιλέξει έξυπνα χαρακτηριστικά ταξινόμησης, αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κοινά και μοναδικά στο είδος του αντικειμένου που αναζητείται και τα χαρακτηριστικά αυτά είναι εύκολο να ελεγχθούν. Η αρτιότητα της ταξινόμησης μπορεί να ενισχυθεί με την παρατήρηση πολλαπλών χαρακτηριστικών και με την αύξηση της ποιότητας των δοκιμών για μεμονωμένα χαρακτηριστικά, υπάρχει ωστόσο ένα πρακτικό όριο στην ποσότητα και ποιότητα της αναζήτησης που μπορεί να εκτελεστεί όπως το λογισμικό να είναι σε θέση να τρέξει σε πραγματικό χρόνο.

#### 2.2.6 Υπολογισμοί απόστασης για αυθαίρετες γεωμετρίες

Δύο κάμερες που έχουν τοποθετηθεί με γνωστές γεωμετρίες και η θέση ενός συσχετισμένου χαρακτηριστικού σε κάθε εικόνα, ο αλγόριθμος μπορεί να διακρίνει την απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα είναι σχετικά απλή. Στο σχήμα 13 ας υποθέσουμε ότι το σημείο  $a$  στην εικόνα  $A$  είναι συσχετισμένο με το σημείο  $b$  στην εικόνα  $B$ . Προβάλλοντας τα σημεία στα επίπεδα της εικόνας μέσω των κέντρων των φακών των αντίστοιχων καμερών παράγουν τις ακτίνες να εμφανίζονται σαν διακεκομμένες

γραμμές. Η θέση του χαρακτηριστικού στο κενό έχει προσδιοριστεί να είναι το σημείο που δύο ακτίνες προβολής τέμνονται. Όταν αυτό το σημείο προσδιορίσει την απόσταση από το κέντρο του φακού της κάθε κάμερας στο αντικείμενο μπορεί να υπολογιστεί. Αναλυτικότερα, οι συντεταγμένες του χαρακτηριστικού στο επίπεδο της εικόνας και του κέντρου του φακού της κάμερας πρώτα μετατρέπονται σε απόλυτο χώρο συντεταγμένων, αυτά τα σημεία μετά χρησιμοποιούνται για να παραμετροποιήσουν τις ακτίνες. Εφαρμόζοντας μία ελαχίστων τετραγώνων ελαχιστοποίηση στις ακτίνες δίνει την θέση του αντικειμένου σε απόλυτες συντεταγμένες. Οι διαδικασίες αυτές είναι ασήμαντες στην εφαρμογή τους στον τομέα του λογισμικού, είναι πολύπλοκες υπολογιστικά να εκτελεστούν για κάθε συσχέτιση χαρακτηριστικού στις εικόνες όταν επιδόσεις πραγματικού χρόνου απαιτούνται.



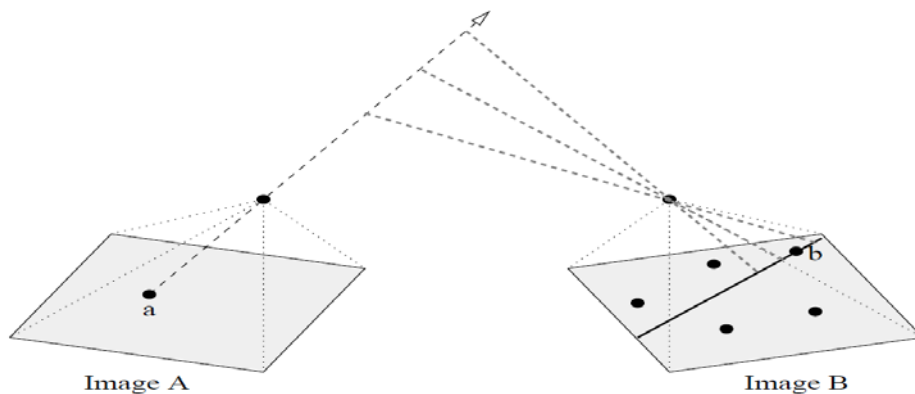
Σχήμα 13-Υπολογισμός απόστασης για αυθαίρετες γεωμετρίες

### 2.2.7 Αναζήτηση αντιστοιχίας

Με τον αλγόριθμο παραπάνω θεωρείτε πως οι αντιστοιχίες εικόνες είναι γνωστές αλλά στην πράξη μπορούν να προκύψουν. Δεδομένου απεριόριστης υπολογιστικής δύναμης, τεχνικές όπως η εκτίμηση εικόνας μπορεί να εφαρμοστεί στο ζεύγος της εικόνας ώστε να παραχθούν ακριβείς αντιστοιχίες. Για ένα χαμηλής ισχύος συστήματος, μία συντηρητική υπολογιστικά λύση απαιτείται.

### 2.2.7<sup>α</sup> Αυθαίρετες γεωμετρίες κάμερας



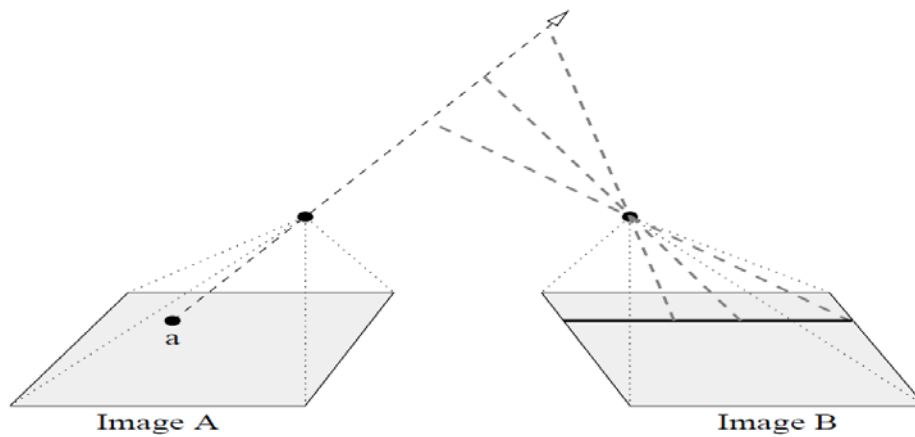


Σχήμα 14-Επιπολικός περιορισμός για αυθαίρετες γεωμετρίες κάμερας

Ας εξετάσουμε το σχήμα 14, δεδομένου του χαρακτηριστικού  $a$  στην εικόνα A (image A) ο αλγόριθμος πρέπει να καθορίσει ποιά χαρακτηριστικά στην εικόνα B (image B) είναι πιθανές αντιστοιχίες. Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων στο χώρο που απεικονίζονται στο  $a$  δίδεται από την ακτίνα που προβάλλεται διαμέσου του κέντρου του φακού της κάμερας, αν αυτή η ακτίνα προβληθεί στην εικόνα B (image B), η προκύπτουσα γραμμή στο επίπεδο της εικόνας ονομάζεται επιπολική γραμμή καταδεικνύοντας όποια χαρακτηριστικά στην εικόνα B (image B) μπορεί να αντιστοιχούν με το  $a$ , έτσι η δισδιάστατη αναζήτηση για πιθανές αντιστοιχίες μειώνεται στην μία διάσταση. Αναλυτικά η επιπολική γραμμή μπορεί να υπολογισθεί τέμνοντας το επίπεδο το οποίο καθορίζεται από το  $a$  και τα κέντρα των φακών των δύο καμερών με το επίπεδο της εικόνας. Ενώ οι επιπολικές γραμμές μπορούν να προϋπολογιστούνε για μία δεδομένη γεωμετρία κάμερας ώστε να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης και το υπολογιστικό φορτίο του συστήματος, την μνήμη που απαιτείτε για την αποθήκευση των δεδομένων θα αύξανε την κατανάλωση ενέργειας. Η γεωμετρία της κάμερας που παράγει επιπολικές γραμμές στην εικόνα B (image B) και είναι επιπόλαιες σχετίζονται με την θέση του χαρακτηριστικού στην εικόνα A θα μπορούσε να ήταν καλύτερο.

## 2.27β Περιορισμένη γεωμετρία κάμερας

Λαμβάνοντας υποδείξεις από την φύση εν γένει και ειδικότερα από το σύστημα ανθρώπινης όρασης οδηγούμαστε σε μία εύκολη γεωμετρία κάμερας. Όταν οι κάμερες τοποθετούνται κατά μήκος μίας κοινής βάσης με ευθυγραμμισμένους οπτικούς άξονες, οι επιπολικές γραμμές που συνδέονται με οποιαδήποτε σημείο στην εικόνα A (image A) είναι οριζόντιες όπως φαίνεται και στο σχήμα 15

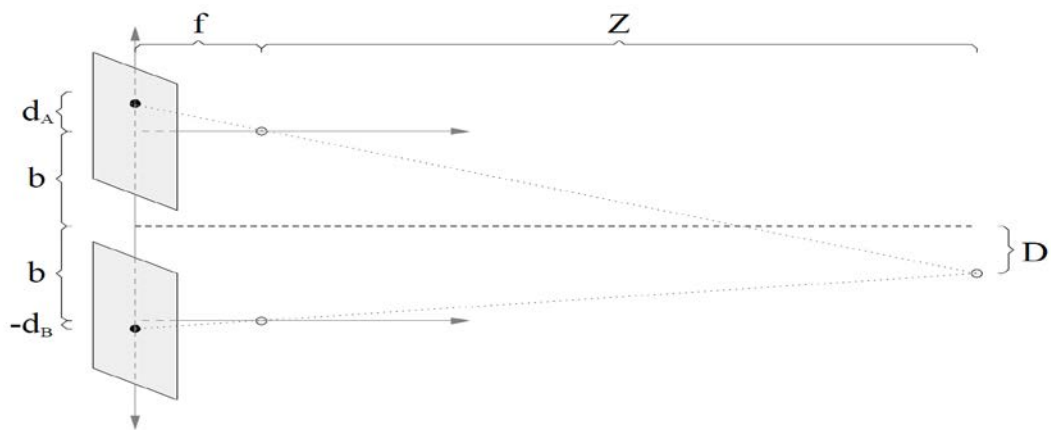


Σχήμα 15-Επιπολικός περιορισμός για κάθετη γεωμετρία

Μία απλή ανάλυση της παρούσας γεωμετρίας αποκαλύπτει ότι η κατακόρυφη θέση της επιπολικής γραμμής στην δεύτερη εικόνα είναι ίση με την κατακόρυφη θέση του χαρακτηριστικού στην πρώτη εικόνα από την οποία η γραμμή προήλθε. Αντιστρόφως εάν ένα σημείο επιλεγθεί επί της επιπολικής γραμμής και χρησιμοποιηθεί για να αποκομίσει νέα επιπολική γραμμή στην εικόνα A, ο παραγόμενος επιπολικός τόπος θα είναι μία οριζόντια γραμμή που περνάει μέσα από το  $a$ . Έτσι αυτή η γεωμετρία εξαλείφει την υπολογιστική πολυπλοκότητα και συνεπάγεται στην αναζήτηση επιπολικών γραμμών για αντιστοιχίες με δύο τρόπους: πρώτον δεν υπάρχει καμία ανάγκη να υπολογίσουμε συντεταγμένες των σημείων στην επιπολική γραμμή, δεδομένου ότι ολόκληρη η γραμμή μπορεί να αναζητηθεί από τον καθορισμό των κάθετων συντεταγμένων και την αύξηση του οριζοντια, δεύτερον δεδομένου ότι οι επιπολικές γραμμές συμπίπτουν για όλα τα χαρακτηριστικά σε μία δεδομένη οριζόντια γραμμή, είναι δυνατόν να συσχετισθούν ολόκληρες γραμμές μαζί και όχι ξεχωριστά σημεία συσχετισμού.

#### 2.2.8 Απόσταση από την ανομοιογένεια

Τώρα που η γεωμετρία της κάμερας μειώνει την πολυπλοκότητα των αναζητήσεων των αντιστοιχιών έχει προσδιορισθεί ο αλγόριθμος για τον υπολογισμό του βάθους πρέπει να αντιμετωπιστεί. Δεδομένου ότι οι οπτικοί άξονες των καμερών είναι ευθυγραμμισμένοι το σύστημα συντεταγμένων μπορεί να ευθυγραμμιστεί με τις δύο κάμερες ταυτόχρονα μειώνοντας τον απαιτούμενο μετασχηματισμό συντεταγμένων σε μία μονοδιάστατη μετάφραση. Αυτή η παρατήρηση σε συνδυασμό με τον επιπολικό περιορισμό επιτρέπει να υπολογιστεί η απόσταση χρησιμοποιώντας εξισώσεις τριγωνισμού όπως φαίνεται στο σχήμα 16.



Σχήμα 16-Απόσταση από την ανομοιογένεια

Αναλύοντας όμοια τρίγωνα παράγονται οι ακόλουθες εξισώσεις:

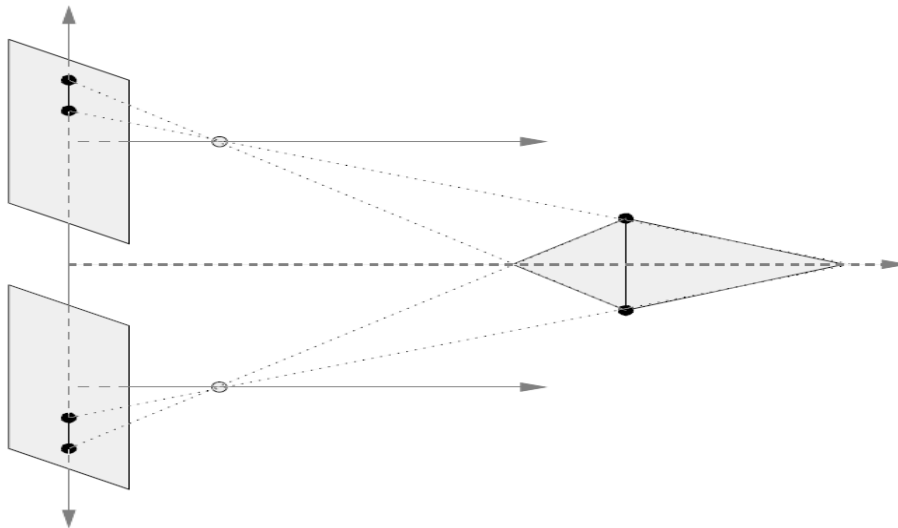
$$\frac{d_A}{f} = \frac{b+D}{Z} \quad \text{και} \quad -\frac{d_B}{f} = \frac{b-D}{Z}$$

Σε αυτές τις εξισώσεις οι γνωστές ποσότητες είναι η  $b$  όπου η απόσταση σε κάθε κάμερα είναι οριζοντίως μετατοπισμένη από την προέλευση των συντεταγμένων,  $f$  είναι η απόσταση μεταξύ του κέντρου των φακών και του επιπέδου της εικόνας για κάθε κάμερα και  $d_A$  και  $d_B$  οι οριζόντιες μετατοπίσεις των χαρακτηριστικών από τα κέντρα προβολής για τις αντίστοιχες εικόνες.  $Z$  είναι η απόσταση από το κέντρο των φακών με το αντικείμενο στο χώρο και  $D$  η οριζόντια μετατόπιση του αντικειμένου από τον άξονα των συντεταγμένων. Προσθέτωντας τις παραπάνω εξισώσεις απομακρύνεται το  $D$  από τις εξισώσεις δίνοντας μία απλή αναλυτική λύση για την απόσταση  $Z$  οσον αφορά την ανισότητα  $d_A$  και  $-d_B$  και των παραμέτρων γεωμετρίας της κάμερας:  $\frac{d_A - d_B}{f} = \frac{2b}{Z}$  και  $Z = \frac{2bf}{d_A - d_B}$

### 2.2.9 Ανίχνευση των άκρων

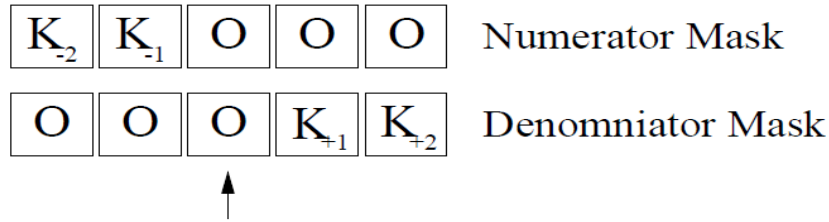
Σε αυτό το σημείο τα χαρακτηριστικά που εξάγονται από τα δεδομένα της εικόνας και έχουν αντιστοιχηθεί δεν έχουν αναγνωρισθεί. Μηχανική όραση και θεωρία επεξεργασίας εικόνας προσφέρουν προτάσεις όπως εκτίμηση κίνησης, ταίριασμα μπλοκ μοτίβου, κατάτμηση εικόνας καθώς και διάφορες μορφές ανίχνευσης των άκρων, αλλά δεδομένου των υπολογιστικών απαιτήσεων των διάφορων αλγορίθμων μόνο ορισμένοι ανιχνευτές των άκρων είναι κατάλληλοι για εφαρμογή σε συστοιχίες ADAP. Για τους σκοπούς υπολογισμού οριζόντιου άξονα ανισότητας ένας μονοδιάστατος ανιχνευτής άκρων είναι προτιμότερος καθώς μόνο κατακόρυφες άκρες είναι χρήσιμες για τον αλγόριθμο. Ο αλγόριθμος αντιστοιχίας χαρακτηριστικών θα πρέπει να συγχέεται κυρίως με τα

οριζόντια άκρα όπως φαίνεται στο σχήμα 17.Σκεφτείτε την σκοτεινή γραμμή στο χώρο,εάν ολόκληρη η σκοτεινή γραμμή σε κάθε εικόνα ανιχνεύεται και αντιστοιχίζεται κατά της άλλης γραμμής τότε ολόκληρη η σκιασμένη περιοχή θα επιστρέφεται εσφαλμένα σαν πιθανές θέσεις του αντικειμένου στον χάρτη βάθους.Ενας ανιχνευτής κάθετων άκρων μπορεί να βρεί μόνο τα τελικά σημεία της γραμμής αυτής και να μειώσει την ασάφεια.



Σχήμα 17-Ασάφεια βάθους λόγω των οριζόντιων άκρων

Ανιχνευτές άκρων laplacian περιλαμβάνουν την ανέλιξη μίας μικρής μάσκας με ένα τμήμα της εικόνας και καθορισμό κατωφλίου της εξόδου για τον προσδιορισμό της θέσης των άκρων.Για τον σκοπό αυτό τα δεδομένα των εικονοστοιχείων(rixel) είναι σε συνεχή ροή μέσα στο ADAP ώστε ο ανιχνευτής των άκρων να έχει μόνο ένα μικρό αριθμό γειτονικών εικονοστοιχείων(rixel) που διατίθεται σε αυτό έτσι ώστε μόνο μια οριζόντια μάσκα μπορεί να εφαρμοστεί στην εικόνα.Επιπλέον απόλυτες τιμές και όρια λειτουργιών δεν μπορούνε να υλοποιηθούνε στην συστοιχία μειώνοντας την χρησιμότητα τέτοιων τεχνικών.



Σχήμα 18-Παράδειγμα φίλτρου ανίχνευσης άκρων sobel

Ο ανιχνευτής άκρων που υλοποιείτε για την εργασία αυτή είναι ένα παράδειγμα ενός φίλτρου sobel. Για να υπολογίσουμε την ισχύ των θετικών άκρων σε μία θέση εικονοστοιχείου τα φίλτρα που παρουσιάζονται στο σχήμα 18 εφαρμόζονται στα γειτονικά εικονοστοιχεία (pixel). Οι τέσσερις σταθερές του φίλτρου μπορούνε να ρυθμιστούνε για να προσαρμόσουνε διαφορετικά επίπεδα αντίθεσης στις εικόνες εισόδου, οι εξόδοι των δύο φίλτρων μετά διαιρούνται για να καθοριστεί η ισχύς του θετικού άκρου:

$$E_{X,+} = \frac{K_{-2}P_{x-2} + K_{-1}P_{x-1}}{K_{+1}P_{x+1} + K_{+2}P_{x+2}}$$

Με την αντιστροφή των φίλτρων και αναστρέφοντας την κατανομή ένας αρνητικός χάρτης άκρων μπορεί να υπολογιστεί παρομοίως:

$$E_{X,-} = \frac{K_{-2}P_{x+2} + K_{-1}P_{x+1}}{K_{+1}P_{x-1} + K_{+2}P_{x-2}}$$

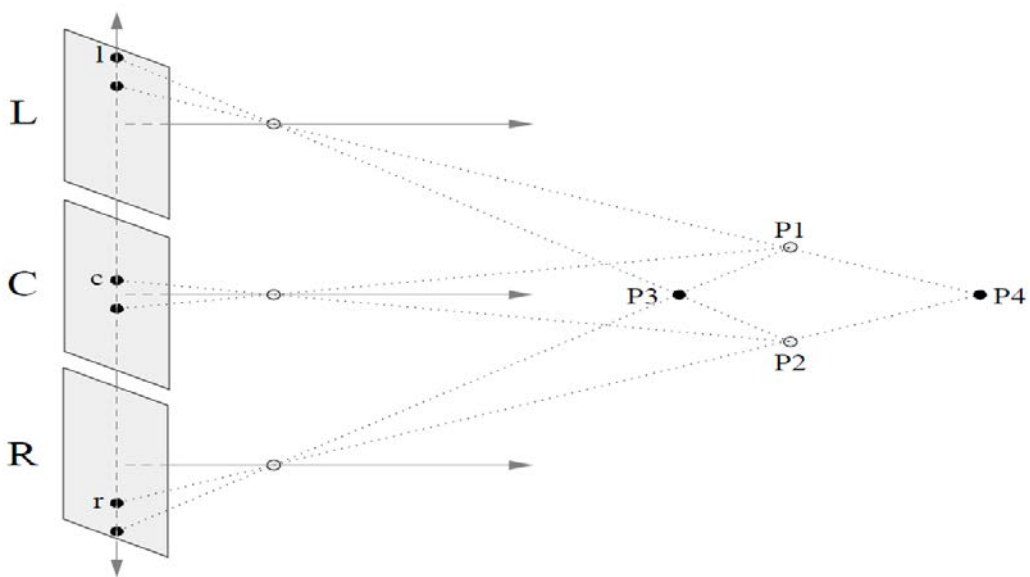
Για τις θετικές και αρνητικές εξισώσεις των άκρων, μία αλληλουχία εικονοστοιχείων χωρίς βαθμίδα θα παράγουν μία μικρή σταθερή τιμή ενώ ένα ισχυρό άκρο θα παράγει μία μεγάλη τιμή, μία κλίση στην αντίθετη κατεύθυνση δίδει ένα μικρό κλάσμα. Για υπολογισμό απόστασης των χαρτών τα αρνητικά και τα θετικά άκρα πρέπει να θεωρηθούν για να αυξηθεί ο αριθμός των σημείων στα οποία τα βάθη μπορούνε να επιλυθούνε. Προσθέτωντας τις δύο προηγούμενες εξισώσεις αποδίδει ένα σύνθετο ανιχνευτή άκρων:  $E_x = \frac{K_{-2}P_{x-2} + K_{-1}P_{x-1}}{K_{+1}P_{x+1} + K_{+2}P_{x+2}} + \frac{K_{-2}P_{x+2} + K_{-1}P_{x+1}}{K_{+1}P_{x-1} + K_{+2}P_{x-2}}$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σύνθετη εξίσωση των ισχυρών άκρων μειώνει το δυναμικό φάσμα της μέτρησης του άκρου όπως και ο θόρυβος που προέρχεται από σταθερές τιμές εικονοστοιχείου (pixel) διπλασιάζεται λόγω της προσθήκης ενώ οι μέγιστες τιμές παραμένουν ίδιες.

### 2.2.10 Ανάλυση stereo trinocular

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα υπάρχει μία ασάφεια στον προσδιορισμό της χωρικής θέσης των χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας

τον απλό αλγόριθμο αντιστοιχίας stereo. Με μόνο δύο χαρακτηριστικά σε μία εικόνα μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές λύσεις για το πρόβλημα αντιστοιχίας stereo όπως επεξηγείτε στο σχήμα 19. Εάν χρησιμοποιούνται μόνο οι αριστερές και δεξιές εικόνες επισημαίνονται L και R αντίστοιχα. Προβάλλοντας τα χαρακτηριστικά της εικόνας πίσω από τα κέντρα των φακών και τέμνοντας τις αντιστοιχίες των ακτίνων στα σημεία  $P_1, P_2, P_3$  και  $P_4$ . Επιλέγωντας είτε  $P_1$  και  $P_2$  η  $P_3$  και  $P_4$  οδηγούμαστε σε μία ελάχιστη λύση για το πρόβλημα αντιστοιχίας αλλά επειδή δεν υπάρχει τρόπος να διακρίνουμε ποιά είναι σωστά και οι τέσσερις ενδείξεις πρέπει να προστεθούν στον χάρτη απόστασης. Η προσθήκη ενός τρίτου κέντρου εικόνας μπορεί να επιλύσει αυτό το πρόβλημα. Προβάλλοντας τα χαρακτηριστικά σημεία στο πίσω κέντρο της εικόνας αποκαλύπτει ότι τα πραγματικά χαρακτηριστικά εμφανίζονται στο  $P_1$  και  $P_2$ , ωστόσο στην πράξη είναι υπολογιστικά ακριβή να προβάλλει τα χαρακτηριστικά από το κέντρο της εικόνας. Παραθέτωντας εξισώσεις τριγώνου πάλι είναι σαφές αν μία πραγματική αντιστοιχία υπάρχει ανάμεσα στο χαρακτηριστικό  $r$  και χαρακτηριστικό  $l$  τότε πρέπει να υπάρχει ένα χαρακτηριστικό στην εικόνα C, στο σημείο  $c$  που βρίσκεται στο ήμισυ της ανισότητας μεταξύ  $r$  και  $l$ . Αν ένα χαρακτηριστικό βρίσκεται στο σημείο αυτό η αντιστοιχία θεωρείται αληθινή και μία καταχώρηση υπολογίζεται για το βάθος χάρτη



Σχήμα 19-Πρόβλημα αντιστοιχίας stereo και ανάλυση

### 2.2.11 Ανάλυση άκρων των sub-pixel

Ένα πρόβλημα με την μέθοδο «απόστασης από την ανομοιογένεια» είναι ότι η διασπορά των αποστάσεων που μπορεί να διακριθεί είναι στενά

συνδεδεμένη με την διασπορά κατά την οποία οι ανισότητες μπορούν να μετρηθούν. Ο αλγόριθμος υπολογίζει τις θέσεις των άκρων σε ακρίβεια ενός pixel έτσι ώστε η μέτρηση ανισότητας να έχει υποδιαίρεση ενός pixel. Για να υπολογίσουμε τις αποστάσεις με περισσότερη ακρίβεια πρέπει να χρησιμοποιηθεί υψηλότερη ανάλυση απεικόνισης για να μειωθεί το μέγεθος του pixel ή να εφαρμοστεί ένας αλγόριθμος για να υπολογίζει τις θέσεις των άκρων με ακρίβεια sub-pixel. Δεδομένου ότι η αύξηση ανάλυσης της εικόνας αυξάνει τον ρυθμό δεδομένων εξόδου και την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ τετραγωνικώς η επιλογή αυτή δεν είναι εφικτή. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την εξαγωγή των δεδομένων sub-pixel πολλές από τις οποίες μπορούν να εκτελεστούν χρησιμοποιώντας μόνο αριθμητικές πράξεις που διατίθενται για ADAP. Αυτός ο αλγόριθμος μοντελοποιεί την έξοδο του ανιχνευτή άκρων με μία παραβολή όπως φαίνεται στο σχήμα 20 διαλέγοντας την κορυφή της παραβολής ως θέση άκρης sub-pixel. Δεδομένου της εξίσωσης της γενικής παραβολής  $E(x) = ax^2 + bx + c$  και οι τρεις τιμές των άκρων  $e(x)$ ,  $e(x + 1)$  και  $e(x + 2)$  είναι απλό να λυθούν οι προσαρμοσμένες παράμετροι  $a$ ,  $b$  και  $c$ . Από την εξίσωση μοντελοποίησης:  $E(0) = a(0)^2 + b(0) + c = c = e(x)$

$$E(1) = a(1)^2 + b(1) + c = a + b + c = e(x + 1)$$

$$E(2) = a(2)^2 + b(2) + c = 4a + 2b + c = e(x + 2)$$

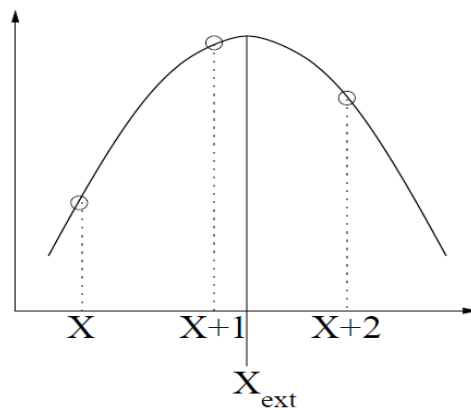
Λύνοντας για  $a$  και  $b$ :  $a = \frac{1}{4}((e(x) - 2e(x + 1) + e(x + 2)))$

$$b = \frac{1}{2}(-3e(x) + 4e(x + 1) - e(x + 2))$$

Διαφοροποίηση της παραβολικής εξίσωσης για να βρεθούν τα άκρα:

$$x_{ext} = -\frac{b}{2a} = \frac{-.75e(x) + e(x + 1) - .25e(x + 2)}{-.50e(x) + e(x + 1) - .50e(x + 2)}$$

Όταν υπολογίζεται το  $x_{ext}$  η θέση των άκρων διακρίνεται σε ένα κλάσμα του ενός pixel και οι ανισότητες μπορούν να υπολογιστούν με την ίδια ακρίβεια. Το  $x_{ext}$  αναφέρεται με την τρέχουσα θέση pixel οπότε αν  $x_{ext} \leq 0$  ή  $x_{ext} > 2$  η τιμή δεν βρίσκεται εντός ορίων των δύο pixel και απορρίπτεται. Εάν η παραβολή στην οποία είναι κατάλληλα τα σημεία των άκρων είναι κάτω κοίλη ο όρος του παρονομαστή θα είναι αρνητικός. Δεδομένου ότι οι ADAP δεν μπορούν να αντιπροσωπεύουν αρνητικές τιμές αποκόπτεται στο μηδέν και το αποτέλεσμα της διαίρεσης θα αποκοπεί στο μέγιστο της έτσι ώστε το αποτέλεσμα να απορρίπτεται αυτόματα.

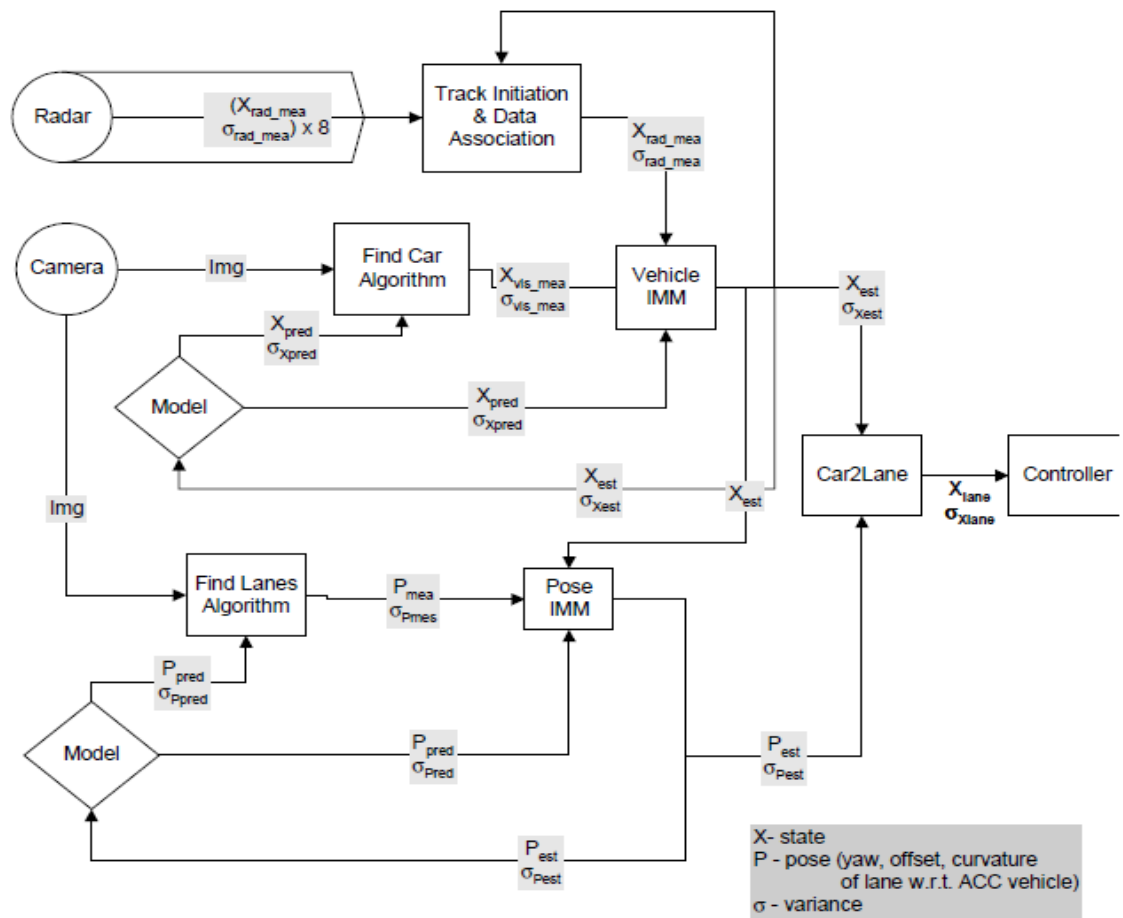


Σχήμα 20-Μέθοδος sub-pixel ανάλυσης

### 2.2.12 Στρατηγική σχεδίασης

Η στρατηγική ώστε να σχεδιαστεί ένα σύστημα που να μπορεί να ταξινομήσει δυναμικά με το ελάχιστο υπολογιστικό φορτίο περιέχει δύο σημαντικές αξιώσεις. Πρώτο είναι να επιλεχθούν σωστά χαρακτηριστικά ταξινόμησης προς αναζήτηση και επιλογή περιοχών της εικόνας όπου αυτά τα χαρακτηριστικά αναζητούνται, αυτό παρέχει ελάχιστη εμφάνιση μπερδεμένων μετρήσεων. Το δεύτερο είναι να κάνουμε μέγιστη χρήση της προηγούμενης γνώσης. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης λωρίδας και οχήματος εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την χρήση προβλέψεων και αβεβαιότητες προβλέψεων που προκύπτουν από το φιλτράρισμα. Με άλλα λόγια η προηγούμενη γνώση της θέσης του οχήματος στόχου και του acc οχήματος χρησιμοποιούνται ως αναπόσπαστο μέρος του αλγόριθμου ανάλυσης της εικόνας, αυτό έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη ενός συστήματος πιο ισχυρό και αποτελεσματικό. Στο σχήμα 21 ένα διάγραμμα ροής παρουσιάζει τις συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων του προτεινόμενου συστήματος, δείχνει ότι η προβλεπόμενη τιμή και η αβεβαιότητα του (τα οποία λαμβάνονται από την προηγούμενη εκτίμηση προβάλλονται μπροστά από το μοντέλο του) είναι η ανατροφοδότηση για χρήση από τους αλγόριθμους όρασης. Μετά την ολοκλήρωση του κύκλου τα συστήματα μέτρησης όρασης χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν την επόμενη εκτίμηση, ανατροφοδοτώντας όχι μόνο μία πρόβλεψη αλλά και την αβεβαιότητα πρόβλεψης καθώς είναι απαραίτητη όπως και ο βαθμός εξάρτησης από την αναμενόμενη τιμή θα πρέπει να εξαρτάται από την αβεβαιότητα της πρόβλεψης.





Σχήμα 21-Σύστημα διαγράμματος ροής για ένα στόχο

### 2.2.13 Τεχνικές επεξεργασίας εικόνας

Η κάμερα καταγράφει και στέλνει για επεξεργασία εικόνας μία εικόνα που είναι  $1024 \times 768$  pixels με ρυθμό 25 εικόνες το δευτερόλεπτο (και τρεις φορές αυτό για χρώμα). Σαφώς εάν ένα πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας έχει ελπίδα ανάλυσης εικόνων σε πραγματικό χρόνο τότε η εικόνα πρέπει να απλοποιηθεί σε μικρότερη ποσότητα βασικών πληροφοριών. Η ευκολότερη μέθοδος για την μείωση της διάστασης της μέτρησης είναι να περιοριστεί μέσα σε μία περιοχή της εικόνας που πιστεύεται ότι περιέχει το αντικείμενο, η περιοχή ενδιαφέροντος (ROI). Άλλη κοινή μέθοδος για την μείωση ποσότητας πληροφοριών που παρέχονται από την εικόνα διατηρώντας παράλληλα βασικές πληροφορίες είναι με την ανίχνευση των άκρων, η ανίχνευση των άκρων χαρακτηρίζει περιοχές στην εικόνα που υπάρχουν απότομες αλλαγές στην ένταση των pixels, αλλαγές στην ένταση είναι σημαντικές διότι αποτελούν συχνά το όριο ενός αντικειμένου, για παράδειγμα ένα ανοιχτόχρωμο αντικείμενο σε σκούρο φόντο ή το αντίστροφο. Μία εικόνα άκρων δημιουργείται με την συνέλιξη της εικόνας με

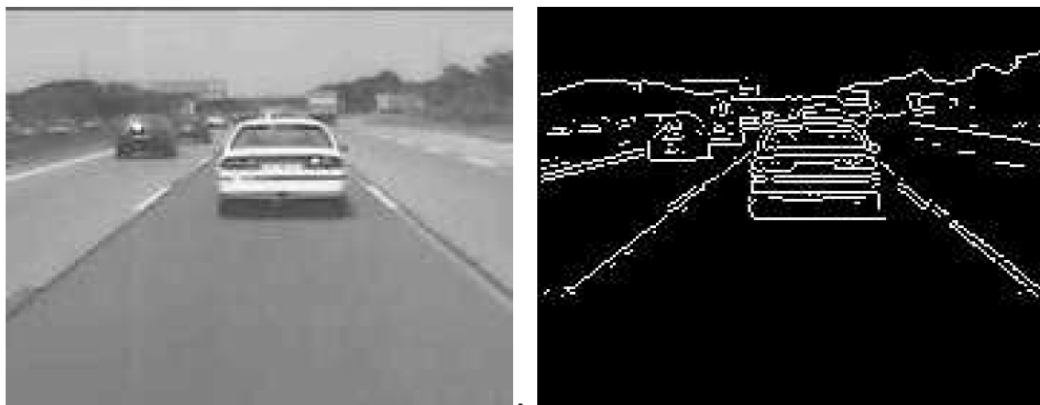
ένα πυρήνα συνέλιξης που παράγεται από πεπερασμένη διάκριση των διαφορών. Ένας απλός πυρήνας συνέλιξης παράγεται από μία μάσκα πεπερασμένης διάκρισης διαφορών στην κατεύθυνση  $x$  και  $y$  θα δούμε παρακάτω.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Το οποίο παράγεται από πεπερασμένες διαφορές στην ένταση των pixel  $i(u, u)$  στις κατευθύνσεις  $u$  και  $v$

$$\frac{di(u_m, u_n)}{du} = \frac{i(u_{m+1}, u_n) - i(u_{m-1}, u_n)}{2l} \quad \frac{di(u_m, u_n)}{dv} = \frac{i(u_m, u_{n+1}) - i(u_m, u_{n-1})}{2l}$$

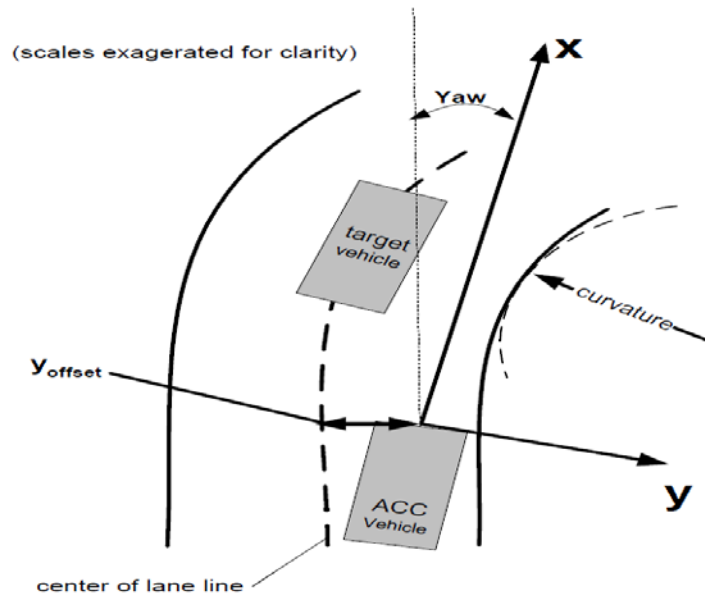
Να σημειωθεί ότι αυτός ο πυρήνας θα δώσει μία μεγάλη θετική απόκριση σε μία διαμόρφωση που είναι για παράδειγμα μία υψηλή ένταση των pixel προς τα αριστερά ή επάνω και μία χαμηλή ένταση των pixel προς τα δεξιά ή κάτω. Το αποτέλεσμα της συνέλιξης είναι η διαβάθμιση της εικόνας που έχει μεγάλες θετικές τιμές σε μεγάλες θετικές μεταβολές στην ένταση και μεγάλες αρνητικές τιμές σε μεγάλες αρνητικές μεταβολές της έντασης. Ωστε να δημιουργηθεί η εικόνα με τα άκρα η απόλυτη τιμή των εικονοστοιχείων (pixels) στην διαβαθμισμένη εικόνα συγκρίνονται με κάποιο κατώφλι για να ταξινομηθούν τα εικονοστοιχεία (pixels) που υπερβαίνουν το όριο ως άκρες. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται ως μία δυαδική εικόνα με 1's θέσεις άκρου και 0's οπουδήποτε αλλού. Υπάρχουν πολλά πρότυπα πυρήνων (sobel, l.o.g, canny κ.λ.π) που είναι ευαίσθητα σε ορισμένες ποιότητες των άκρων και του πυρήνα μπορεί επίσης να συσταθεί για να βρεί συγκεκριμένες κατευθύνσεις άκρου δηλαδή κάθετα, οριζόντια ή και τα δύο. Στο σχήμα 22 φαίνεται ο χάρτης των άκρων μίας εικόνας που λήφθηκε από μία σκηνή οδήγησης.



Σχήμα 22-Αρχική εικόνα(αριστερά),χάρτης των άκρων της εικόνας(δεξιά)

### 2.2.14 Σύστημα συντονισμού

Οι μετρήσεις που γίνονται για τα οχήματα στόχων και για τις παραμέτρους της λωρίδας γίνονται χρησιμοποιώντας το ακόλουθο σύστημα συντεταγμένων και ορισμό των όρων.



Σχήμα 23-Διάγραμμα παραμέτρων λωρίδας και σύστημα συντονισμού

### 2.3 Παρακολούθηση στόχου

Η παρακολούθηση στόχου με κάμερα επιδιώκει να μετρήσει την διαμήκη  $x$  και πλευρική  $y$  θέση ενός οχήματος στόχου σε σχέση με το acc όχημα. Το πρώτο βήμα για τον εντοπισμό του οχήματος είναι να προετοιμαστεί η παρακολούθηση ρουτίνας, αυτό το βήμα προειδοποιεί την ρουτίνα όρασης ότι υπάρχει στην πραγματικότητα στόχος για παρακολούθηση και δίνει μία χονδρική εκτίμηση της θέσης του. Μεθόδοι είτε με ραντάρ είτε με κάμερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το βήμα αρχικοποίησης, η κατάλληλη διαδικασία είναι να χρησιμοποιηθεί το ραντάρ όσο το δυνατόν περισσότερο για αρχικοποίηση διαδρομών έτσι ώστε να ανακουφίσει την ρουτίνα επεξεργασίας, αλλά να χρησιμοποιηθεί η κάμερα για επιβεβαίωση των κρίσιμων στόχων και των στόχων εκτός πεδίου θέασης του ραντάρ. Στην μέθοδο αρχικοποίησης με κάμερα ένα μικρό block εικονοστοιχείων (Pixel) που αντιστοιχούν στο δρόμο ακριβώς μπροστά από το acc όχημα δειγματοληπτείτε ώστε να προσδιοριστεί μία στατιστική

εκτίμηση της μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης των τιμών pixel του δρόμου, με αυτό οι λωρίδες μπορούν να αναζητηθούν γρήγορα για pixels που ανήκουν σε μη οδικά αντικείμενα με δειγματοληψία από τα pixels σε μία λωρίδα και σε διαστήματα του ενός μέτρου, τότε η πιθανότητα να ανήκουν τα Pixel στο δρόμο μπορεί να προσδιοριστεί με την παραδοχή ότι το χρώμα του δρόμου έχει κανονική κατανομή. Εάν μία σειρά εικονοστοιχείων βρίσκεται να ανήκει σε μη οδικό αντικείμενο με υψηλή πιθανότητα, τότε η περιοχή θεωρείται ότι είναι πιθανή περιοχή του οχήματος, για περαιτέρω επικύρωση της περιοχής αυτή η περιοχή ελέγχεται για το ποσοστό των ακραίων σημείων που περιέχει ως οχήματα και έχουν συνήθως ένα μεγάλο αριθμό άκρων, για παράδειγμα η αλλαγή του χρώματος του οδοστρώματος ή η σκιά, αυτά τα χαρακτηριστικά θα πρέπει να επικυρωθούν από τεστ χρώματος αλλά θα αποτύχει στις δοκιμές των άκρων. Όταν η παρακολούθηση της όρασης έχει αρχικοποιηθεί ο βασικός αλγόριθμος παρακολούθησης οχήματος μπορεί να αρχίσει χωρίς περαιτέρω ανάγκη για δοκιμές αρχικοποίησης. Το πρώτο βήμα είναι η αναζήτηση οχήματος στην προβλεπόμενη θέση του οχήματος στην εικόνα. Χρησιμοποιώντας την προβλεπόμενη θέση ένα παράθυρο περιοχής αναζήτησης (ROI) σχηματίζεται γύρω από το όχημα, το παράθυρο είναι κεντραρισμένο στην προβλεπόμενη θέση και εκτείνεται 3σ έξω και πέρα από τις αναμενόμενες πλευρές του οχήματος. Προκειμένου να εντοπιστεί το όχημα το παράθυρο περιοχής αναζήτησης (ROI) αναζητά για αντικείμενο με όριο σχήματος 'U' κατάλληλου μεγέθους που αντιστοιχεί σε αριστερά, δεξιά και κάτω πλευρές του οχήματος. Η οροφή του αυτοκινήτου σκόπιμα δεν ερευνάται για δύο λόγους, πρώτον τα οχήματα μπορεί να έχουν διαφορετικά ύψη και έτσι είναι δύσκολο να προβλεφθεί η θέση της κορυφής, δεύτερον το φόντο κοντά στην κορυφή του οχήματος είναι ο ορίζοντας και είναι σημαντικά περίπλοκο από το φόντο των πλευρών και του κάτω μέρους το οποίο είναι σχεδόν πάντα ο μονόχρωμος δρόμος συνεπώς η πιθανότητα του αλγόριθμου να προκαλέσει σύγχυση τα όρια των πλευρών και του κάτω μέρους με τον θόρυβο του φόντου είναι σημαντικά μικρότερη από ότι για την κορυφή του οχήματος. Η σύνθεση μας για τον εντοπισμό των οχημάτων ακολουθεί την εργασία του dellaert και betke και η ακόλουθη περιγραφή απεικονίζεται στο σχήμα 24, προκειμένου να βρεί τα όρια του οχήματος η αναζήτηση γίνεται μία διάσταση σε μία χρονική στιγμή, αυτό απλοποιεί δραστικά την αναζήτηση χωρίς θυσίες στην απόδοση έτσι πρώτα αναζητούνται οι πλευρές. Ένα κατακόρυφο διάνυσμα  $q$  σχηματίζεται αθροίζοντας κατά μήκος των στηλών του χάρτη των άκρων  $mxu, V$  το οποίο σχηματίζεται χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο κάθετων άκρων.

$$q = (q_1, \dots, q_m) = \left( \sum_{i=1}^n V(x_i, y_1), \dots, V(x_i, y_m) \right)$$

Η κατακόρυφη προβολή χρησιμοποιείται δεδομένου ότι οι μεγάλες κάθετες άκρες της πλευράς του οχήματος θα οδηγήσει σε μεγάλες τιμές καταχωρήσεων στο διάνυσμα προβολής. Οι καταχωρήσεις του  $q$  χρησιμοποιούνται σαν μία μέτρηση της πιθανότητας ότι μία στήλη της εικόνας αντιστοιχεί στην πλευρά του οχήματος στόχου. Η πιθανότητα η στήλη  $q_i$  να ανήκει σε μία πλευρά μπορεί να υπολογιστεί. Επιπροσθέτως με την πρόβλεψη της θέσης και του πλάτους του οχήματος μπορεί κανείς να προσδιορίσει μία εκ των προτέρων πιθανότητα ότι η εγγραφή του διανύσματος  $q$  θα ανήκει είτε στην αριστερή είτε στην δεξιά πλευρά, συνδυάζοντας αυτά μέσω του κανόνα bayes μία πιθανότητα εκ των υστέρων μπορεί να βρεθεί τότε οι στήλες που αντιστοιχούν στην αριστερή και δεξιά πλευρά του στόχου ( $q_{left}, q_{right}$ ) θεωρείτε πως είναι στήλες της μέγιστης εκ των υστέρων πιθανότητας (MAP).

$$P = [i = side | q_i] = \frac{P[q_i | i = side] P[i = side]}{P[q_i]}$$

Μετά το κάτω μέρος του αυτοκινήτου αναζητείται για την χρησιμοποίηση των παραπάνω πλευρών που έχουν βρεθεί ( $q_{left}, q_{right}$ ) για τον εντοπισμό της αναζήτησης. Το κάτω μέρος αναζητείται με την χρήση του ίδιου συστήματος άθροισης και πρόβλεψης το οποίο απεικονίζεται παραπάνω. Τυπικά ένα υποψήφιο όριο κάτω μέρους βρίσκεται στην πρώτη επανάληψη αλλά στην περίπτωση που δεν βρεθεί υποψήφιο εναλλακτικές πλευρές μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρις ότου ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα επιτευχθεί η προσδιοριστεί ότι κανένα όχημα δεν μπορεί να βρεθεί στο παράθυρο ROI. Θα θέλαμε η πρόβλεψη να συνεισφέρει λιγότερο στην τελική εκτίμηση όταν η ποιότητα της πρόβλεψης αναμένεται να είναι κακή (για παράδειγμα κατά την πρώτη απόκτηση ενός στόχου). Η σύνθεση που περιγράφεται το επιτυγχάνει αυτό με την χρήση της διακύμανσης της πρόβλεψης κατά την εύρεση των εκ των προτέρων πιθανοτήτων για καταχωρήσεις της στήλης, με άλλα λόγια όσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση εκ των προτέρων (a priori) τόσο πιο επίπεδη θα είναι η πιθανότητα κατανομής (σχήμα 24e) η οποία οδηγεί λιγότερο στην συνεισφορά της πρόβλεψης. Δεδομένου ότι ψάχνουμε για μία μέγιστη σχετική πιθανότητα (σε αντίθεση με κάποιο ελάχιστο όριο), μία πιο επίπεδη (υψηλή διακύμανση) κατανομή έχει μία πιο κατανεμημένη επίδραση σε αντίθεση με την χαμηλή διακύμανση κατανομής που συγκεντρώνει την επιρροή της σε πιο συγκεκριμένες στήλες. Χρησιμοποιώντας στήλες της εικόνας που αντιστοιχεί στην

αριστερή και δεξιά πλευρά του στόχου( $q_{left}, q_{right}$ ) και υποθέτοντας ένα πλάτος οχήματος  $w_{vehicle}$  η πλευρική και διαμήκη θέση του αυτοκινήτου μπορεί να προσδιοριστεί απο απλές εξισώσεις της κάμερας pinhole.

$$x_{vision} = \frac{w_{vehicle}f_u}{(q_{right}-q_{left})}$$

$$y_{vision} = \frac{x_{vision} \cdot 0.5(q_{right}+q_{left})}{f_u}$$

Η μετατροπή των τιμών από εικόνα 2-d σε 3-d απαιτεί την ανάληψη του πλάτους του αυτοκινήτου, αυτό σημαίνει πως η ρουτίνα λειτουργεί καλύτερα σε μεσαίου μεγέθους αυτοκίνητα που ταξιδεύουν μπροστά από το acc όχημα. Προκειμένου να πάρουμε κάποια ένδειξη για το μέγεθος των σφαλμάτων που αναμένονται από την πραγματοποίηση αυτών των υποθέσεων, ένα δείγμα από 40 οχήματα πολλών τύπων περιλαμβάνοντας οικονομικά, σεντάν, φορτηγά, αυτοκίνητα σπορ και suv πήραμε, η δειγματοληψία βρήκε τα πλάτη των αυτοκινήτων να ποικίλλουν από 1.4 έως 1.9 μέτρα, το μέσο πλάτος ήταν 1.6 μέτρα ως εκούτου οδηγούν σε μία περιοχή +12%/-7% έτσι μπορούμε να περιμένουμε μία παρόμοια επί τις εκατό περιοχή λάθους από την χρήση της παραδοχής του πλάτους. Αυτό το ποσοστό σφάλματος είναι συγκρίσιμο με αυτό που παρέχεται από το ραντάρ και το οποίο αναφέρεται από τον κατασκευαστή ότι είναι 5%. Με την χρήση του ραντάρ σαν ανεξάρτητη μέτρηση της εμβέλειας η εικόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση του πλάτους των οχημάτων. Με αναδιάταξη της εξίσωσης  $x_{vision}$  μπορεί να λυθεί για  $w_{vehicle}$  χρησιμοποιώντας το μετρούμενο πλάτος σε Pixel του οχήματος στην εικόνα,  $q_{right} - q_{left}$  και την εμβέλεια από το ραντάρ  $x_{radar}$

$$w_{vehicle,meas} = \frac{x_{radar}(q_{right} - q_{left})}{f_u}$$

Αρχικά το εκτιμώμενο πλάτος του οχήματος έχει οριστεί να είναι το μέσο πλάτος και τότε η εκτίμηση πλάτους του οχήματος ενημερώνεται συνεχώς για να βρει μία λιγότερο τετραγωνισμένη και καλύτερη εκτίμηση του πλάτους με προηγούμενες εκτιμήσεις πλάτους, μετρούμενες εκτιμήσεις πλάτους και τις αντίστοιχες διακυμάνσεις τους.

$$w_{est,new} = w_{est,old} \left[ \frac{\sigma_{meas}}{\sigma_{meas} + \sigma_{est,old}} \right] + w_{vehicle} \left[ \frac{\sigma_{est,old}}{\sigma_{meas} + \sigma_{est,old}} \right]$$

$$\sigma_{est,new} = \left[ \frac{1}{1/\sigma_{est,old} + 1/\sigma_{meas}} \right]$$

Ξεκάθαρα φαίνεται καθώς η εκτίμηση πλάτους βελτιώνεται οι εκτιμήσεις των συστημάτων όρασης βελτιώνονται.

### 2.3.1 Αποτελέσματα ανίχνευσης στόχου

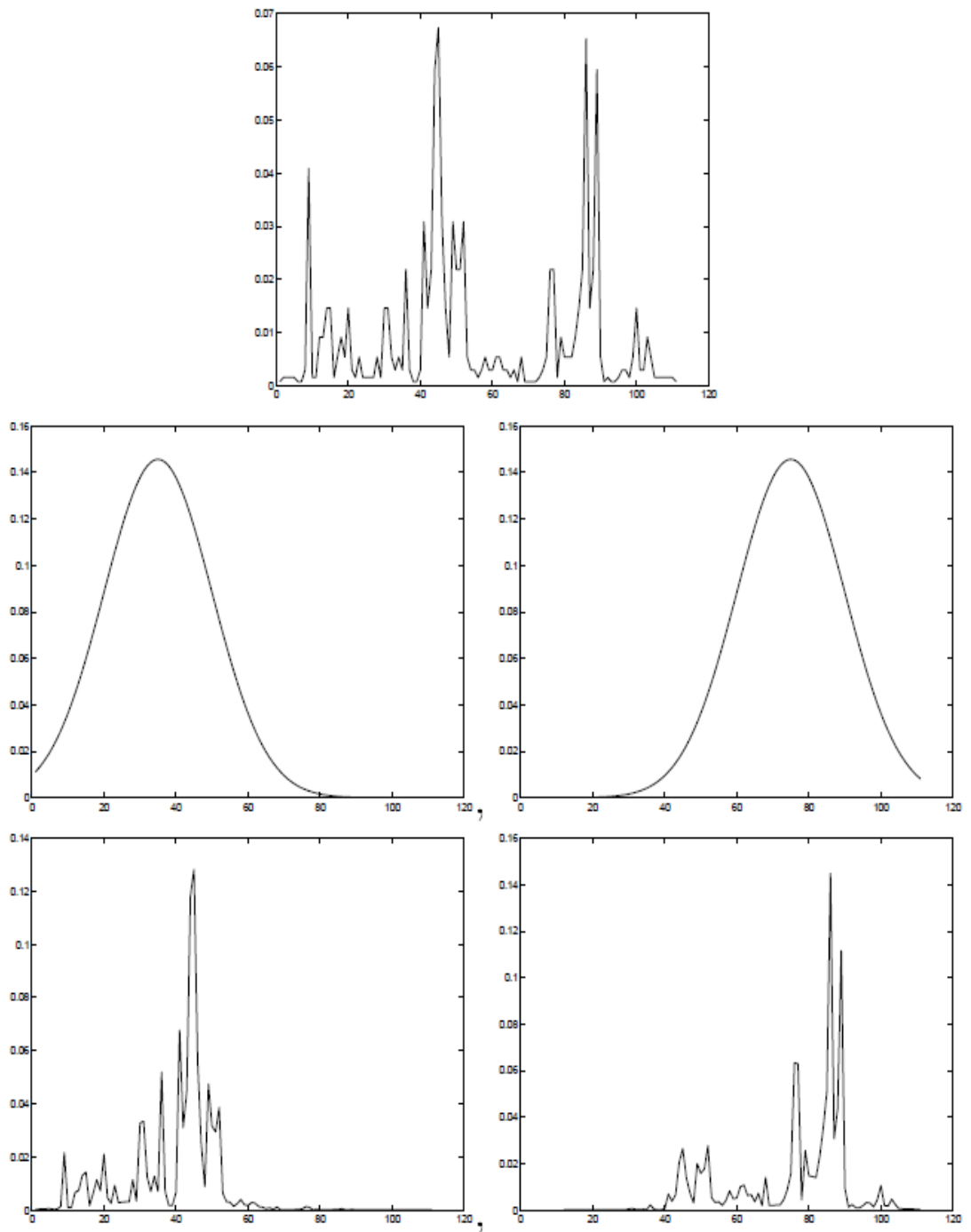
Προκειμένου να αξιολογηθεί ποσοτικά η απόδοση της ρουτίνας ανίχνευσης του οχήματος εκτελείτε ένα ελεγχόμενο πείραμα. Ένα όχημα στόχος είναι σταθμευμένο σε μία απόσταση 20 μέτρων μπροστά από μία πλατφόρμα δοκιμών οχήματος acc και τα πλευρικά κέντρα των δύο οχημάτων ευθυγραμμίζονται όσο το δυνατόν πιο κόντα. Το όχημα στόχος έχει μετρηθεί να έχει πλάτος 1.65 μέτρα. Η μέτρηση ρουτίνας της όρασης λειτούργησε σε συνδυασμό με το ραντάρ για να μετρηθεί τόσο η διαμήκη/πλευρική θέση και το πλάτος του οχήματος στόχου. Καθώς το πραγματικό πλάτος του οχήματος στόχου είναι πολύ κοντά στο μέσο πλάτος μία αρχική εκτίμηση πλάτους 1.35 μέτρων χρησιμοποιείτε για την προσομοίωση ενός περιέργου μεγέθους αυτοκίνητο προκειμένου να αποδείξει την ικανότητα της ρουτίνας αν είναι σε θέση να συγκλίνει γρήγορα στην σωστή τιμή (Στο σχήμα 26 φαίνονται τα αποτελέσματα δοκιμής). Οι γραφικές παραστάσεις δείχνουν ότι οι μετρήσεις της όρασης συγκλίνουν έως 21 μέτρα, η πλευρική θέση έως 0.07 μέτρα και το πλάτος στα 1.75 μέτρα. Το σφάλμα μεταξύ αληθινών και μετρούμενων αποτελεσμάτων μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι ο μέσος θόρυβος του ραντάρ δεν είναι μηδενικός όπως εκτιμάται αλλά μάλλον έχει προστεθεί κάποια πόλωση σε αυτό. Αυτό το πείραμα έδειξε ότι συχνά το σήμα του ραντάρ ανακλάται από τις επιφάνειες κάτω από το όχημα. Σε μία δοκιμαστική λειτουργία η επιστροφή του ραντάρ συνέπεσε σχεδόν ακριβώς με την θέση του οχήματος στόχου, αυτό μπορεί να είναι

φαινόμενο της ατελούς τοποθέτησης του ραντάρ η μπορεί να <κληρονομήσει> τις επιστροφές των ραντάρ των άλλων αυτοκινήτων. Η εκτίμηση ελαχίστων τετραγώνων του πλάτους θεωρεί ότι ο θόρυβος είναι αμερόληπτος, σαφώς στο πείραμα δεν συμβαίνει αυτό και προτείνονται ότι καλύτερα μοντέλα μέτρησης θορύβου του ραντάρ θα ήταν επωφελή. Αν το σφάλμα πόλωσης δεν μπορεί να διαμορφωθεί καλύτερα από ότι το ποσοστό σφάλματος στην αρχική εκτίμηση πλάτους τότε η προσπάθεια ενημέρωσης εκτίμησης του πλάτους χρησιμοποιώντας το ραντάρ είναι περισσότερο επιβλαβής από ότι ωφέλιμη, ωστόσο αν κάποια χρήσιμη εκτίμηση πόλωσης μπορεί να διαμορφωθεί η πόλωση μπορεί να αφαιρεθεί με καλύτερη τοποθέτηση τότε οι δοκιμές αποδεικνύουν την απόδοση του συστήματος όρασης εξαιρετικές. Στο σχήμα 27 οι ίδιες μετρήσεις έγιναν υποθέτοντας ότι οι μετρήσεις του ραντάρ έχουν μέση πόλωση 1 μέτρο. Οι μετρήσεις που προκύπτουν από την δοκιμή είναι πολύ ακριβής και σε γενικές γραμμές αναμένεται ότι η ρουτίνα εύρεσης οχήματος με βάση την όραση θα έχει ένα μικρό σφάλμα υποθέτοντας ότι το όχημα στόχος έχει τοποθετηθεί σωστά στην εικόνα. Το σφάλμα θα είναι κατά μέσο όρο αναμενόμενο σφάλμα στην μέτρηση του ραντάρ συν κάποιο πρόσθετο σφάλμα pixelation και σφάλμα βαθμονόμησης της κάμερας. Το ποσοστό σφάλματος Pixelation θα είναι της τάξης  $\%e_{pix} = \frac{1}{f}$  όπου  $f$  είναι η συνδυασμένη εστιακή απόσταση/pixels ανά μέτρο. Το σφάλμα βαθμονόμησης θα εξαρτηθεί από την ποιότητα της βαθμονόμησης αλλά γενικά αναμένεται να είναι ασήμαντο. Ποιοτικά παρατηρώντας την δυνατότητα ανίχνευσης ρουτίνας του οχήματος σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης η απόδοση μπορεί να επικυρωθεί. Γενικά το σύστημα είναι σε θέση να παρακολουθεί οχήματα διαφόρων μεγεθών και χρωμάτων υπό την παρουσία θορύβου συμπεριλαμβανομένων, σκιες overpass και οχημάτων στο παρασκήνιο. Συγκρίσεις με τα δεδομένα του ραντάρ δείχνουν ότι οι διαμήκεις μετρήσεις φαίνονται λογικές και οι πλευρικές μετρήσεις είναι σημαντικά καλύτερες του ραντάρ. Συχνά το ραντάρ θα αναφέρει πλευρικές θέσεις που είναι της τάξης του 1 μέτρου εκτός. Το σύστημα όρασης φαίνεται να δίνει πλευρικά αποτελέσματα πολύ πιο κοντά

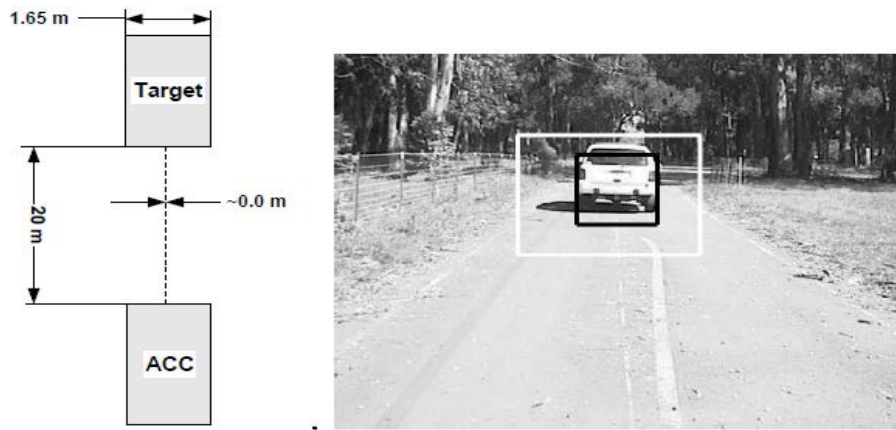


σε αυτά που θα περίμενε κανείς δεδομένων των θέσεων των οχημάτων στην λωρίδα. Συμβαίνουν σφάλματα και πιο συχνά συμβαίνουν καθώς τα αποτελέσματα των οχημάτων στις παρακείμενες λωρίδες που έχουν πλευρές κοντά σε αυτή του προβλεπόμενου στόχου. Στο σχήμα 28 φαίνεται ένα στιγμιότυπο οθόνης από μία από τις δοκιμές που εκτελείτε.

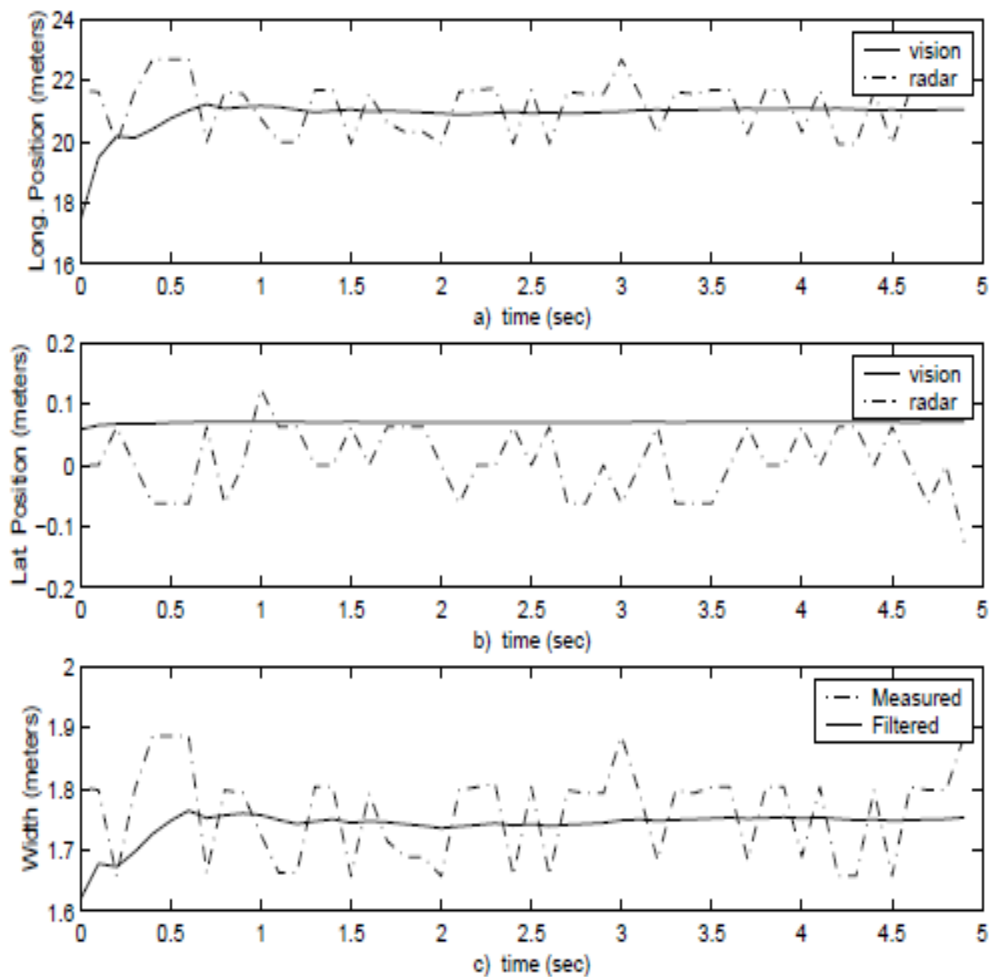




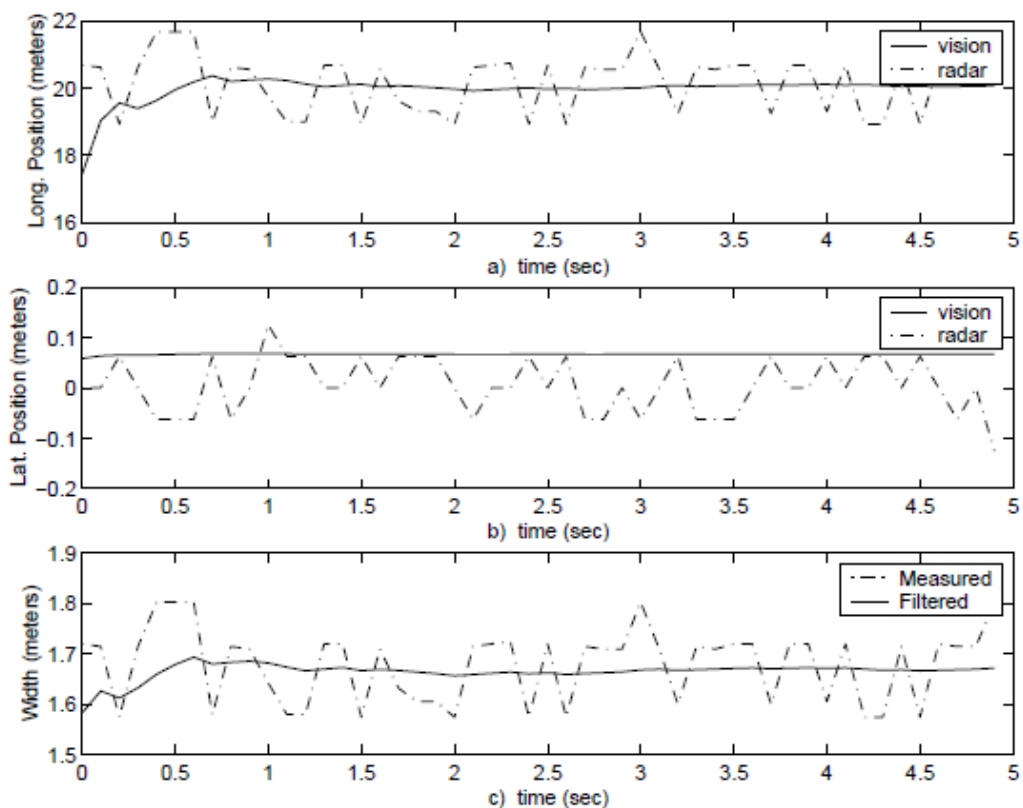
Σχήμα 24-Η διαδικασία ανίχνευσης είναι απο πάνω προς τα κάτω α)ROI γύρω από το αυτοκίνητο β)κατακόρυφη εικόνα άκρων από ROI γ)διάνυσμα προβολής, δ)αριστερά και δεξιά πλευρά εκ των προτέρων πιθανότητες ε)αριστερές και δεξιές πιθανότητες Bayesian.



Σχήμα 25-Δοκιμή διαγράμματος εγκατάστασης(αριστερά),στιγμιότυπο του οχήματος που βρέθηκε σε μαύρο κουτί γοι και σε άσπρο(δεξιά)



Σχήμα 26-Αποτελέσματα της δοκιμής α)διαμήκη θέση (πραγματική 20 μέτρα) β)πλευρική θέση (πραγματική 0 μέτρα) γ)εκτιμώμενο πλάτος (πραγματικό 1.65 μέτρα)



Σχήμα 27-Αποτελέσματα των δοκιμών με πόλωση του ραντάρ ενός μέτρου α)διαμήκη θέση (πραγματική 20 μέτρα) β)πλευρική θέση (πραγματική 0 μέτρα) γ)εκτιμώμενο πλάτος (πραγματικό 1.65 μέτρα)



Σχήμα 28-Εικόνες από ακολουθία οδήγησης στο Μόναχο της Γερμανίας,ROI(μαύρο κουτί),στόχος που έχει βρεθεί (white box),επιστροφή του ραντάρ (κόκκινος σταυρός).

## 2.4 Παρακολούθηση λωρίδας

Ο στόχος του αλγόριθμου εντοπισμού λωρίδας είναι να επιτρέψει για την θέση των οχημάτων στόχων να μεταφράζεται από το πλαίσιο συντεταγμένων του acc σε ένα πλαίσιο συντεταγμένων που έχει σχέση με το κέντρο της λωρίδας. Για να γίνει αυτό η παρακολούθηση λωρίδας προσδιορίζει την στροφή(yaw) του δρόμου, κέντρο offset της λωρίδας και καμπυλότητα και από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως τοποθέτηση σε σχέση με το όχημα acc. Από την τοποθέτηση η πλευρική μετατόπιση του κέντρου της λωρίδας,  $y_{center}$ , σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων acc σε κάποια εμβέλεια το  $x$  μπορεί να υπολογιστεί.

$$y_{center}(x, y_{offset}, \psi, c_0) = -y_{offset} - x \tan(\psi) + \frac{1}{2} c_0 x^2$$

Το πρώτο βήμα για τον προσδιορισμό της τοποθέτησης είναι να εντοπίσει τα εικονοστοιχεία στην εικόνα που αντιστοιχούν στις σημάσεις λωρίδων κυκλοφορίας. Η αναζήτηση ξεκινά με ένα στένεμα ROI όπου οι λωρίδες αναμένεται να είναι στην εικόνα. Με δεδομένα μία προβλεπόμενη τοποθέτηση, το πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας καθώς και την αβεβαιότητα πρόβλεψης δύο περιοχές μπορούν να σχηματιστούν που αναμένεται να περιλαμβάνει αριστερούς και δεξιούς δείκτες (παρακάτω τύπος). Τα εικονοστοιχεία που έχουν ταξινομηθεί ως ανήκοντα σε λωρίδες βρέθηκαν χρησιμοποιώντας μία εικόνα των άκρων καθώς και με σύγκριση εικονοστοιχείων με τις στατιστικές ποσότητες εικονοστοιχείων του δρόμου (όπως περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα) για τον προσδιορισμό των εικονοστοιχείων που δεν ανήκουν στο δρόμο. Προκειμένου να καθοριστούν οι τοποθετήσεις των δεδομένων θέσεων στην εικόνα, ταξινομούνται ότι ανήκουν στους δείκτες της λωρίδας και τότε η ακόλουθη εξαγωγή χρησιμοποιείται. Η θέση των αριστερών και δεξιών γραμμών ( $\pm$  όρος αντιστοίχως) μιας λωρίδας με πλάτος  $w$ , offset  $y_{off}$ , στροφής  $\psi$  και καμπυλότητας  $c_0$  στο σύστημα συντεταγμένων acc δίνεται από  $y = \pm \frac{1}{2} w - y_{offset} - x \tan(\psi) + \frac{1}{2} c_0 x^2$

Προβάλλοντας αυτή την γραμμή στο επίπεδο της εικόνας χρησιμοποιώντας το μοντέλο κάμερας pinhole και με την παραδοχή μικρής στροφής(yaw),  $\psi$  και βαθμό έντασης(pitch)  $\alpha$  μία εξίσωση για λωρίδες δημιουργείται στην εικόνα. Η παραπάνω εξίσωση λόγω του  $\tan$  προκύπτει για τις συντεταγμένες εικόνας  $(u, v)$  με την προέλευση του συστήματος συντεταγμένων που ορίζεται στο κέντρο του ccd chip,

$$u_i = \frac{f_u}{L_i} \left[ \pm \frac{1}{2} w - y_{off} - \Delta \psi L_i + \frac{c_0}{2} L_i^2 \right] \quad \text{όπου } L_i \text{ ορίζεται ως}$$

$$L_i = \frac{H}{-\alpha + \left(\frac{u_i}{f_u}\right)}$$

Και  $H$  είναι το ύψος της κάμερας,  $a$  είναι ο βαθμός έντασης (pitch) της κάμερας και  $f_u, f_v$  είναι παράμετροι της κάμερας. Σαφώς για ένα μετρημένο χαρακτηριστικό σημείο  $(u_{meas}, v_{meas})$  που στην πραγματικότητα ανήκει σε λωρίδα η συντεταγμένη  $u$  θα ισούται με το σημείο που υπολογίζεται με τη σωστή τοποθέτηση,  $u_{pred}(u_{meas}, pose)$  μέσω της εξίσωσης του  $y$  στο  $u_{meas}$ . Ορίζεται διαφορετικά με την σωστή τοποθέτηση και τους δείκτες λωρίδας η ακόλουθη εξίσωση  $u_{meas} - u_{pred}(u_{meas}, \psi, y_{offset}, c_0) = 0$  (1)

Η τοποθέτηση μπορεί να προσδιοριστεί με την εύρεση των τιμών τοποθέτησης που έχουν σαν αποτέλεσμα την ελαχίστων τετραγώνων λύση σφάλματος στην παραπάνω εξίσωση για όλα τα πιθανά εξαγόμενα  $n$  σημεία λωρίδας.

$$\begin{bmatrix} u_1 - \frac{\pm \frac{1}{2} w f_u}{L} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ u_n - \frac{\pm \frac{1}{2} w f_u}{L} \end{bmatrix} = f_u \begin{bmatrix} -L_1^{-1} & -L_1 & \frac{1}{2} L_1^2 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ -L_n^{-1} & -L_n & \frac{1}{2} L_n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{offset} \\ \psi \\ c_0 \end{bmatrix}$$

Βάση του γενν η λύση ελαχίστων τετραγώνων της παραπάνω εξίσωσης(1) χρησιμοποιείται ως μέτρηση της τοποθέτησης. Σε αυτή την εργασία η μέθοδος επεκτείνεται όχι μόνο να αυξήσει την αξιοπιστία της μεθόδου ταξινόμησης δείκτη λωρίδας αλλά και να βελτιώσει την ικανότητα των μεθόδων μέτρησης. Πρώτον θα σημειώσουμε ότι η εξίσωση ελαχιστοποίησης βρίσκει την λύση που δίνει ελάχιστο σφάλμα στα εικονοστοιχεία. Πραγματικά αυτό που είναι επιθυμητό είναι μία λύση που ελαχιστοποιεί το σφάλμα μεταξύ των θέσεων που προβλέπεται από την τοποθέτηση και τις σημάνσεις των λωρίδων κυκλοφορίας. Αυτή είναι σημαντική ιδέα όπως η σχετική έννοια ενός σφάλματος στα pixels εξαρτάται από πού προέρχονται τα εικονοστοιχεία (pixels) στον τρισδιάστατο χώρο, δηλαδή μία διαφορά του 1 pixel θα μπορούσε να είναι ισοδύναμη με 1 cm, 1 m ή 100 m ανάλογα από πού προέρχονται τα εικονοστοιχεία στον τρισδιάστατο χώρο. Ένα άλλο όφελος για την εξέταση του 3d σφάλματος είναι ότι η λύση θα ταιριάζει καλύτερα τους δείκτες λωρίδων πιο μακριά. Δεδομένου ότι για αυτή την εφαρμογή η πληροφορία λωρίδας χρησιμοποιείται για να επιλύσει την πλευρική θέση των οχημάτων σε σχέση με τις λωρίδες είναι πιο σημαντικό να έχουμε ένα καλό ταίριασμα

λωρίδας πιο μακριά που βρίσκονται και τα οχήματα στόχοι σε αντίθεση κοντά στο acc όχημα. Ένας απλός τρόπος για να επιβάλλει την ελαχιστοποίηση του σφάλματος στον τρισδιάστατο χώρο είναι με την ζύγιση της εξίσωσης(1) με ένα συντελεστή διαμήκη απόστασης  $d_i$  που εξαρτάται από τις σημάνσεις αποστάσεως  $x$  (βλέπε παρακάτω βήματα για λεπτομέρειες). Η λύση με την εξίσωση(1) μπορεί εύκολα να βρεθεί με την χρήση ψευδοαντίστροφης η την πιο σταθερή αριθμητικά διάσπαση QR, ωστόσο μία λύση ελαχίστων τετραγώνων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε εσφαλμένες ταξινομήσεις των pixels και εσφαλμένα πιστεύεται ότι ανήκουν στην λωρίδα. Δεν έχει σημασία πόσο αυστηρή είναι η ρουτίνα ανίχνευσης για τις σημάνσεις της λωρίδας, δεσμεύεται να ταξινομήσει κάποιες φορές ψευδώς κάποια pixels ως pixels λωρίδας. Δεδομένου πως η λύση ελαχίστων τετραγώνων ελαχιστοποιεί το τετράγωνο του σφάλματος, ένα εσφαλμένα ταξινομημένο σημείο μακριά από την σωστή λύση μπορεί να έχει σημαντική επιρροή σε πολλά σωστά ταξινομημένα σημεία που βρίσκονται κοντά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μία λύση που εύκολα χειρίζεται μακριά από το σωστό σημείο. Προκειμένου να λυθεί αυτό το ζήτημα ένα ισχυρό στατιστικό εργαλείο ανάλυσης <<μεγιστοποίηση προσδοκίας>>(EM) χρησιμοποιείται. Ο αλγόριθμος μεγιστοποίησης προσδοκίας από τον dempster είναι μία γενική μέθοδος για την αντιμετώπιση των δεδομένων που λείπουν, επιδιώκει να υπολογίσει μία μέγιστη πιθανότητα εκτίμησης χρησιμοποιώντας δύο στάδια επαναληπτικής διαδικασίας: το στάδιο της προσδοκίας και το στάδιο της μεγιστοποίησης, στο πλαίσιο του προσδιορισμού της τοποθέτησης είναι επιθυμητό να βρει την στροφή, offset και την καμπυλότητα της λωρίδας σε σχέση με το acc όχημα. Θα ήταν εύκολο να καθοριστεί η τοποθέτηση αν ξέραμε ακριβώς ποιά εικονοστοιχεία (pixels) άνηκαν στην λωρίδα, αντίθετα θα ήταν εύκολο να γνωρίζαμε ποιά pixel άνηκαν στην λωρίδα αν ξέραμε την τοποθέτηση (όπως θα ξέρατε ακριβώς που να κοιτάξετε). Αυτό το είδος του προβλήματος όπου υπάρχουν δύο άγνωστα και γνωρίζοντας ένα από αυτά που θα βρουν την λύση πιο εύκολα είναι κοινό πρόβλημα και είναι κατάλληλο για τον αλγόριθμο EM. Ο αλγόριθμος EM χρησιμοποιεί την καλύτερη εικασία με ένα άγνωστο για να υπολογίσει και να βελτιώσει την εκτίμηση του άλλου αγνώστου, τότε βελτιώνει την εκτίμηση του πρώτου χρησιμοποιώντας την νέα ενημερωμένη εκτίμηση του δεύτερου, ειδικότερα η υλοποίηση του αλγόριθμου em στην εύρεση λωρίδας παρουσιάζεται στην ακόλουθη διαδικασία.

Βήμα 1. Έρευση χαρακτηριστικών σημείων. Αναζητούνται τα εικονοστοιχεία (pixels) που έχουν διαφορετικό χρώμα από τον δρόμο, έχουν ακραία σημεία και εμπίπτουν σε κάποιο παράθυρο ROI όπως καθορίζεται από μία πρόχειρη εκτίμηση της τοποθέτησης. Η θέση

των χαρακτηριστικών σημείων  $n$  που έχουνε βρεθεί δίνονται από  $u_i, u_i, i = 1, \dots, n$ . Επίσης σε αυτό το στάδιο είναι κατάλληλο να υπολογιστεί ο διαμήκης συντελεστής απόστασης  $\delta_i$  ο οποίος φυσιολογικά είναι συνάρτηση του ύψους της εικόνας  $v$ . 
$$\delta_i = \frac{H}{f_u(-a + \frac{u_i}{f_u})}$$

Ο συντελεστής απόστασης μεταφράζει ουσιαστικά το μέγεθος ενός pixel σε μέτρα δεδομένου του ύψους pixel στην εικόνα.

Βήμα 2. Έρευνα σφάλματος χαρακτηριστικών σημείων. Μία προβλεπόμενη θέση  $u$  της λωρίδας μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας την θέση  $v$ , την προβλεπόμενη τοποθέτηση και την εξίσωση (1). Για την πρώτη επανάληψη η τοποθέτηση μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ίδια με την τελική εκτίμηση από το τελευταίο βήμα η μπορεί να προχωρήσει από κάποιο δυναμικό μοντέλο. Συγκρίνοντας την προβλεπόμενη και μετρημένη  $u$  θέση ένα σφάλμα  $\tilde{u}$  βρίσκεται

$$\tilde{u}_i = u_i - \frac{f_u}{L_i} [\pm w - y_{off} - \Delta\psi L_i + \frac{c_0}{2} L_i^2]$$

$\Leftrightarrow$  ← →  
 Μετρημένη      προβλεπόμενη από  $u_i$  και τοποθέτησης

Το σφάλμα μεταξύ προβλεπόμενου και μετρημένου χαρακτηριστικού σημείου  $\tilde{u}_i$  λωρίδας θα πρέπει στην συνέχεια να μετατραπεί από σφάλμα στο χώρο της εικόνας σε σφάλμα του 3d χώρου,  $\tilde{y}_i$ . Το σφάλμα μπορεί να μετατραπεί με την χρήση του συντελεστή διαμήκη απόστασης,  $\tilde{y}_i = \delta_i \tilde{u}_i$

Βήμα 3. Προσδιορισμός πιθανότητας χαρακτηριστικών σημείων. Χρησιμοποιώντας το λάθος που βρέθηκε στο βήμα 2 και υποθέτοντας μία κανονική κατανομή του σφάλματος μία πιθανότητα του

$$\lambda_i = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} e^{-[\tilde{y}_i^2 / 2\sigma^2]}$$

Όπου  $\sigma$  είναι κάποια υποτιθέμενη κατανομή σφάλματος

Βήμα 4. Καθορισμός νέας τοποθέτησης. Υπολογίζουμε την τοποθέτηση με την ελαχιστοποίηση της εξίσωσης λωρίδας σταθμισμένη με τις πιθανότητες από την εξίσωση  $\tilde{y}_i$  και τον συντελεστή διαμήκη απόστασης.



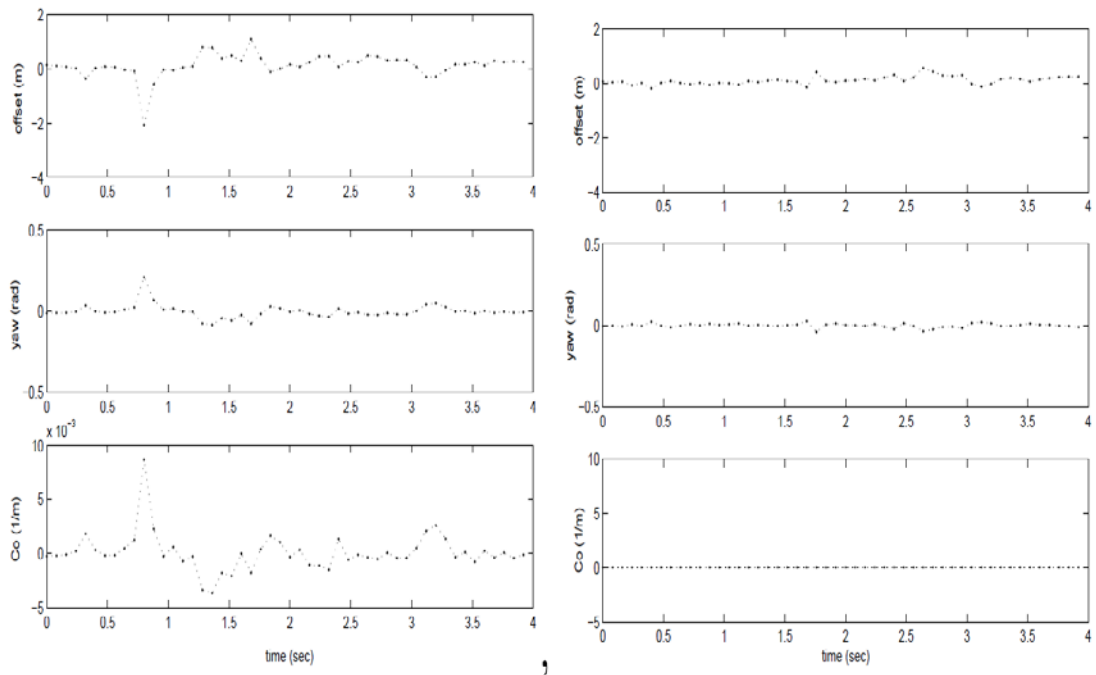
$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \delta_1 (u_1 - \frac{\pm \frac{1}{2} w f_u}{L}) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_n \delta_n (u_n - \frac{\pm \frac{1}{2} w f_u}{L}) \end{bmatrix} = D f_u \begin{bmatrix} -L_1^{-1} & -1 & \frac{1}{2} L_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ -L_n^{-1} & -1 & \frac{1}{2} L_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{offset} \\ \psi \\ c_0 \end{bmatrix}$$

Όπου  $DER^{n \times n}$  είναι ένας διαγώνιος πίνακας με τις καταχωρήσεις να είναι οι συντελεστές στάθμισης  $\lambda_1 \delta_1 \dots \lambda_n \delta_n$

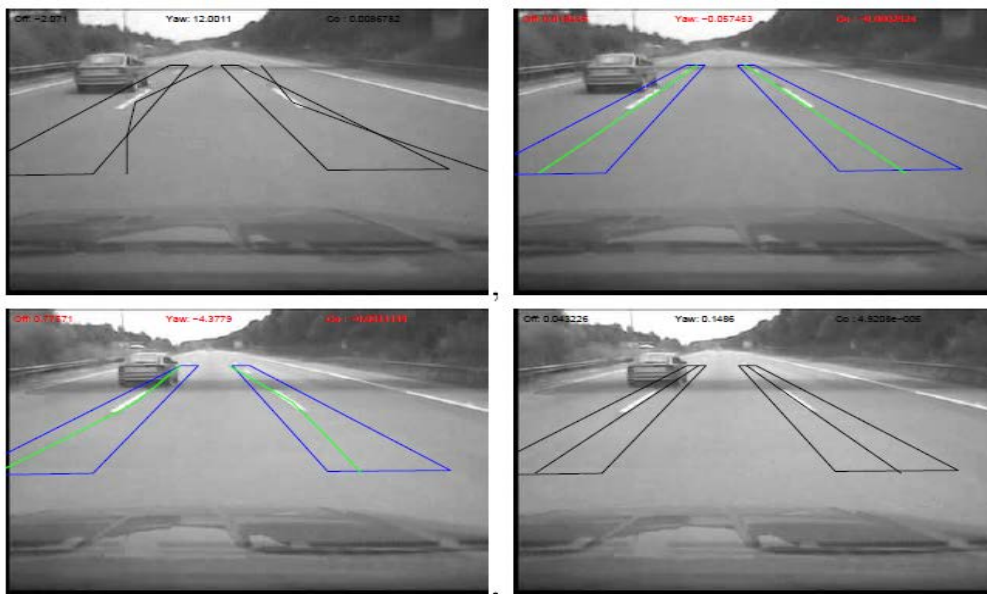
Βήμα 5.Επανάληψη.επανάληψη από το βήμα 2 μέχρι κάποια επιθυμητή σύγκλιση επιτευχθεί.Σύγκλιση μπορεί να προσδιοριστεί εξετάζοντας το σφάλμα και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας καινούρια τοποθέτηση.

$$\tilde{y}_i = \delta_i [u_i - \frac{f_u}{L_i} [\pm w - y_{off} - \Delta \psi L_i + \frac{c_0}{2} L_i^2]]$$

Η παραπάνω διαδικασία είναι σε θέση να δώσει καλύτερες εκτιμήσεις τοποθέτησης από την διαδικασία ενός βήματος επειδή είναι σε θέση να μειώσει τις επιπτώσεις του θορύβου ταξινόμησης.Μία καλύτερη εκτίμηση εικασίας της τοποθέτησης χρησιμοποιείται για την βελτίωση της ταξινόμησης των χαρακτηριστικών pixels,τότε μία βελτιωμένη εκτίμηση τοποθέτησης βρίσκεται χρησιμοποιώντας την νέα και βελτιωμένη ταξινόμηση των χαρακτηριστικών pixels.Τώρα πλέον αναμένεται ότι τα μη χαρακτηριστικά λωρίδας συμβάλουν λιγότερο στην λύση μία ανώτερη εκτίμηση τοποθέτησης αναμένεται.Με μία βελτιωμένη εκτίμηση τοποθέτησης μία καλύτερη ταξινόμηση μπορεί να επιτευχθεί και αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναλαμβάνεται μέχρι κάποια σύγκλιση η όσες επιτρέπει ο χρόνος.Είναι αυτή η διαδικασία της επαναλαμβανόμενης αμοιβαίας βελτίωσης που εγγυάται ότι ο em αλγόριθμος θα βρει τοπική ελάχιστη λύση.Σε γενικές γραμμές δεν υπάρχει εγγύηση ότι το τοπικό ελάχιστο είναι στην πραγματικότητα καθολικό και αυτό θεωρείται συχνά σαν την «αχίλλειος θεραπεία» από αυτόν τον εξαιρετικά ισχυρό αλγόριθμο.Ωστόσο στην περίπτωση αυτή δεδομένης μίας καλής εκτίμησης της τοποθέτησης είναι σε θέση να προετοιμάσει την διαδικασία και είναι πολύ πιθανό το τοπικό ελάχιστο που βρέθηκε από τον αλγόριθμο να είναι στην πραγματικότητα καθολικό.Δοκιμές με την χρήση συνθετικών δεδομένων έχουν δείξει ότι αποφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στα αποτελέσματα που απαιτούν από 2-4 επαναλήψεις.



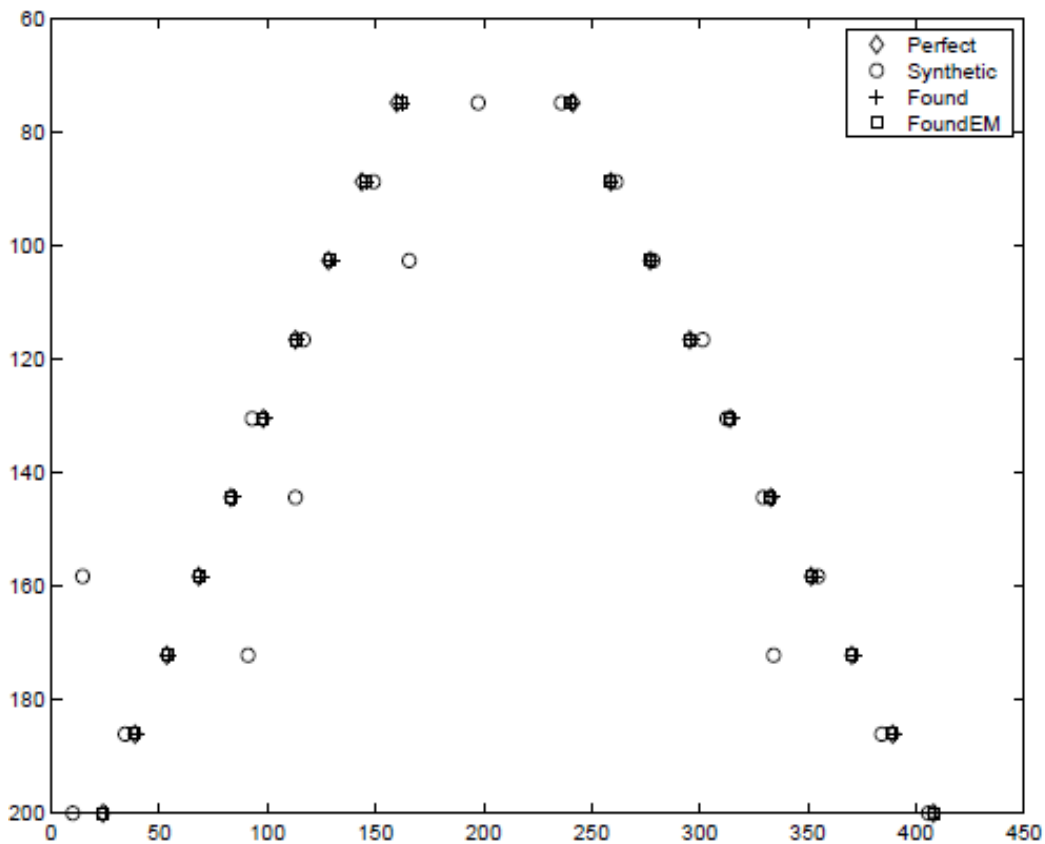
Σχήμα 29-Μετρήσεις τοποθέτησης α)Με χρήση ενός βήματος β)Με την χρήση τεχνικής EM



Σχήμα 30-Δείγματα καρτέ από αλληλουχία.Κορυφή σε 0.8 sec και κάτω σε 1.28 sec.Στις 2 αριστερές εικόνες χρησιμοποιείται ένα βήμα και στις 2 δεξιάς χρησιμοποιείται η τεχνική EM

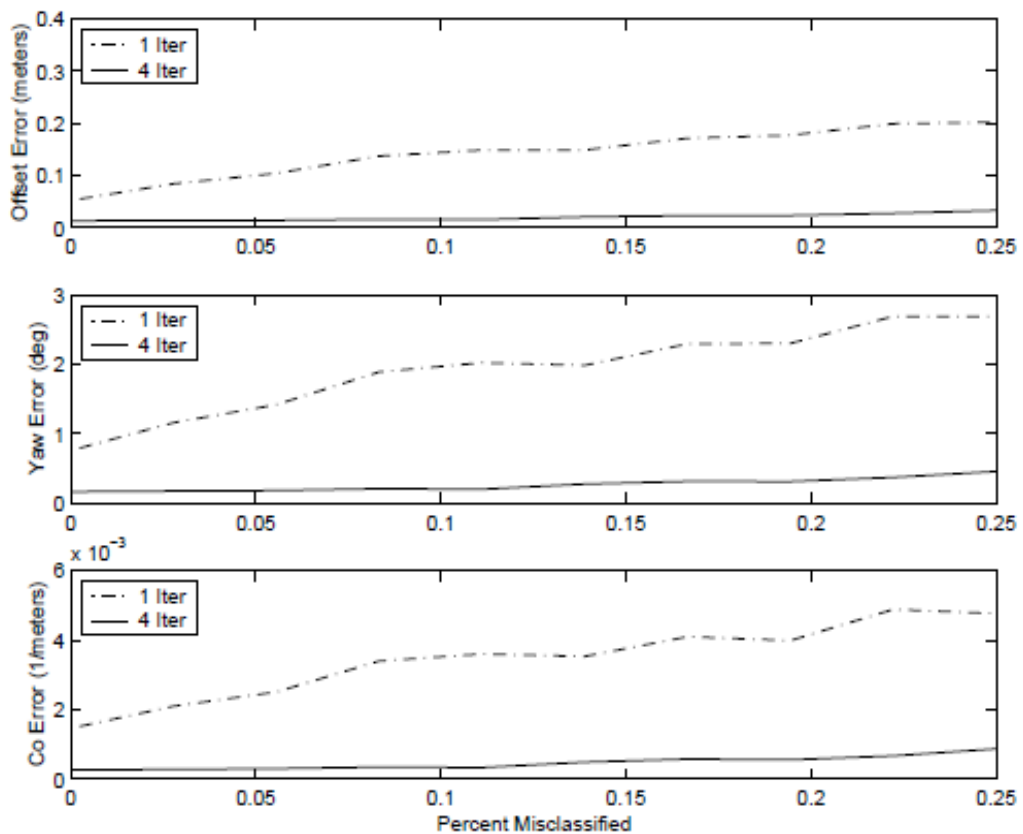
### 2.4.1 Αποτελέσματα ανίχνευσης λωρίδας

Προκειμένου να αναλυθεί η απόδοση του αλγόριθμου ανίχνευσης λωρίδας χρησιμοποιούνται συνθετικά δεδομένα, επιπλέον η αποτελεσματικότητα του αλγόριθμου EM εξετάζεται με σύγκριση των αποτελεσμάτων με μία λύση μονού βήματος. Το πείραμα εκτελείται ως εξής, αρχίζοντας με μία ακριβή τοποθέτηση τα χαρακτηριστικά σημεία παράγονται με κάποιο μικρό κανονικά κατανομημένο προσθετικό θόρυβο  $\sigma = 3$  pixels για την προσομοίωση μετασχηματισμού, pixelation, και τα σφάλματα βαθμονόμησης. Επιπλέον τα σφάλματα ταξινόμησης προσομοιώνονται με διατάραξη μερικών χαρακτηριστικών σημείων σε ένα μεγάλο ποσό  $\sigma = 25$  pixels. Τα σημεία που έχουν ταξινομηθεί εσφαλμένα επιλέγονται βασισμένα στην πιθανότητα που κυμαίνεται από 0.0 έως 0.25. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης λωρίδας τρέχει προκειμένου να υπολογίσει την τοποθέτηση που βασίζεται στα συνθετικά δεδομένα και η προκύπτουσα μετρημένη τοποθέτηση μπορεί να συγκριθεί με την πραγματική προκειμένου να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα της ρουτίνας. Η δοκιμή εκτελείται 500 φορές και ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στα ακόλουθα plots



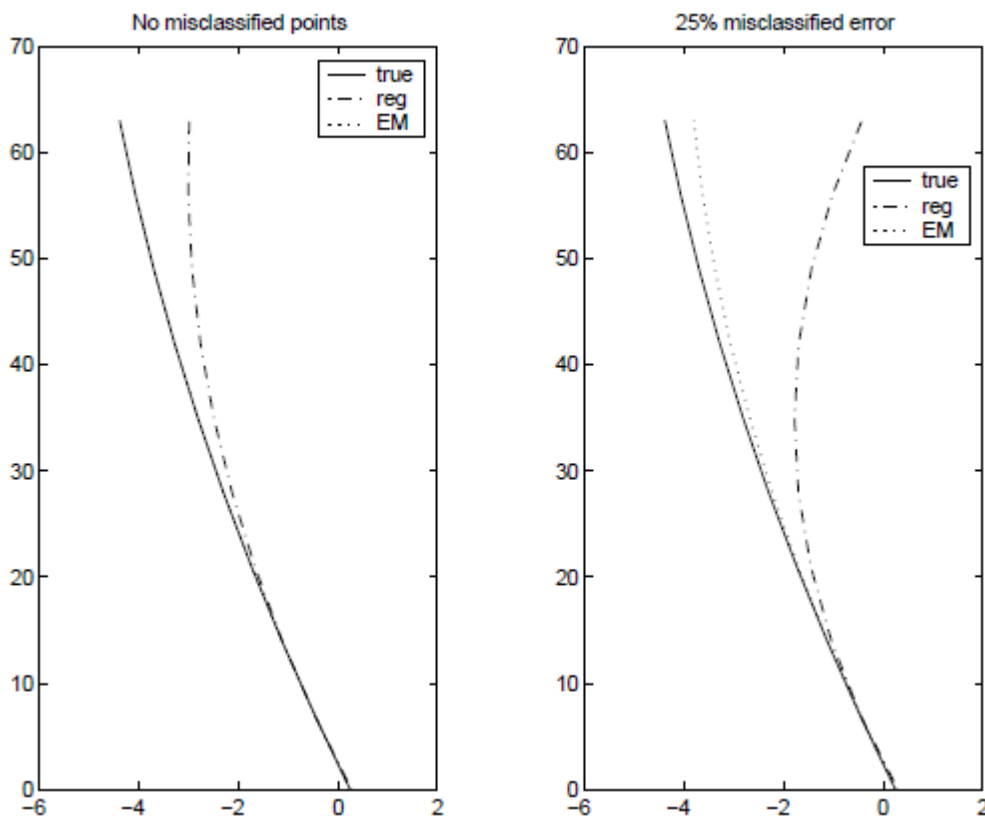
Σχήμα 31-Δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την δοκιμή ανάλυσης επιδόσεων λωρίδας

Όπως φαίνεται στο σχήμα 32 ο αλγόριθμος EM είναι σε θέση να μειώσει το σφάλμα σημαντικά που οφείλεται σε εσφαλμένη ταξινόμηση. Για ένα υποθετικό σφάλμα 25% μειώνεται περισσότερο από ένα συντελεστή 2. Ένα ευχάριστο εκπληκτικό αποτέλεσμα ήταν η ικανότητα του αλγόριθμου EM να βελτιώσει την εκτίμηση ακόμα και όταν δεν υπάρχουν σημεία που να έχουν ταξινομηθεί εσφαλμένα, αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί καθώς ο αλγόριθμος EM σταθμίζει τα δεδομένα σημείων με χαμηλό σφάλμα μέτρησης περισσότερο από τα δεδομένα σημείων με υψηλό σφάλμα μέτρησης. Δεδομένου ότι ο κύριος στόχος του αλγόριθμου εύρεσης λωρίδας είναι να καθορίσει το κέντρο της λωρίδας σε κάποια εμβέλεια, το πραγματικό κέντρο της λωρίδας και το κέντρο όπως υπολογίζεται από τις μετρούμενες παραμέτρους της λωρίδας είναι.



Σχήμα 32-Σφάλμα στον υπολογισμό παραμέτρων της λωρίδας για 1 βήμα εύρεσης λωρίδας και 4 επαναλήψεις του αλγόριθμου EM

Όπως φαίνεται στο σχήμα 33 προκειμένου να καθοριστεί μία «μέση» των μετρούμενων παραμέτρων της λωρίδας η μέση τιμή της απόλυτης τιμής του σφάλματος λαμβάνεται και προστίθεται στην ονομαστική τιμή. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι για εσφαλμένα ταξινομημένα σημεία η μετρούμενη πλευρική θέση του κέντρου της λωρίδας είναι πολύ κοντά στην πραγματική τιμή. Το plot στα αριστερά δείχνει την περίπτωση όταν το 25% των σημείων ταξινομηθεί εσφαλμένα, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την χρήση του αλγόριθμου EM είναι σημαντικά ανώτερα από αυτά που προέρχονται από την μέθοδο μονού βήματος.



Σχήμα 33-Offset κέντρου λωρίδας για την πραγματική λωρίδα, ένα βήμα εύρεσης λωρίδας και 4 επαναλήψεις EM

Ο αλγόριθμος εντοπισμού λωρίδας που εφαρμόστηκε σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης φαίνεται να λειτουργεί καλά. Η ποιότητα δοκιμάζεται συγκρίνοντας την γραμμή που προβάλλεται στην εικόνα χρησιμοποιώντας τις μετρούμενες παραμέτρους της λωρίδας με τις πραγματικές λωρίδες. Συνολικά οι προβαλλόμενες λωρίδες φαίνεται να ταιριάζουν με τις λωρίδες σε όλο το πειραματικό σύνολο δεδομένων. Το σχήμα 34 παρουσιάζονται εικόνες από πραγματική ακολουθία οδήγησης και έχουν ληφθεί από το Μόναχο της γερμανίας. Στην ακολουθία η λωρίδα φαίνεται

να παρακολουθείται σωστά.Περισσότερες εικόνες παρουσιάζονται στο σχήμα 30



Σχήμα 34-Εικόνες από ακολουθία οδήγησης στο Μόναχο της Γερμανίας

## 2.5 Φιλτράρισμα,ανίχνευση σφάλματος και σύντηξη δεδομένων

### 2.5.1 Εισαγωγή

Έχει αποδειχτεί η ικανότητα αλληλεπίδρασης πολλαπλού μοντέλου(IMM) ότι όχι μόνο δεν μειώνει την εκτίμηση σφάλματος rms μέσα στο περιβάλλον εντοπισμού οχήματος αλλά επίσης ότι παρέχει μία πιθανολογική αξιολόγηση της συμπεριφοράς του στόχου.Επιπλέον η ενσωμάτωση του φίλτρου συσχέτισης πιθανολογικών δεδομένων(PDAF) στον IMM έχει αποδείξει την ικανότητα του να συσχετίζει σωστά μετρήσεις από πολλαπλές επιστροφές στόχου ακόμα και στην παρουσία σύγχυσης.Σε αυτή την εργασία ο IMM-PDAF επεκτείνεται προκειμένου να χειριστεί την συσχέτιση και το φιλτράρισμα από τις μετρήσεις του ραντάρ και της κάμερας χρησιμοποιώντας μία διαδοχική εφαρμογή φίλτρου πολλαπλού αισθητήρα συσχέτισης πιθανολογικών δεδομένων(multi-sensor probabilistic data association filter).Μία περαιτέρω προσθήκη στην προηγούμενη εργασία είναι ο εμπλουτισμός των δυνατοτήτων του IMM για την ταυτόχρονη ανίχνευση σφάλματος και φιλτραρίσματος για τον αλγόριθμο ανίχνευσης λωρίδας.

### 2.5.2 Αλγόριθμος IMM(INTERACTING MULTIPLE MODEL)

#### 2.5.2<sup>α</sup> Φιλτράρισμα

Το φίλτρο kalman είναι σε θέση να βελτιώσει τις εκτιμήσεις κατάστασης συνδυάζοντας μία μέτρηση με την πρόβλεψη της κατάστασης,η πρόβλεψη

αυτή λαμβάνεται με την προώθηση της προηγούμενης εκτίμησης χρονικού βήματος μέσω ενός μοντέλου συστήματος (σχήμα 37). Στα πλαίσια του περιβάλλοντος οδήγησης acc δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένα μόνο μοντέλο για να συλλάβει το ευρύ φάσμα της συμπεριφοράς του οχήματος στόχου διότι δεν υπάρχει πρόσβαση στο φρενάρισμα/επιτάχυνση ή εισόδοι καθοδήγησης που να παρέχονται από τον χειριστή οχημάτων στόχων. Εναλλακτικά θα μπορούσε κανείς να χαρακτηρίσει την συμπεριφορά των συστημάτων ότι ανήκουν σε ένα πεπερασμένο σύνολο μοντέλων, δηλαδή ένα για φρενάρισμα/επιτάχυνση, ένα για αλλαγή λωρίδας και ένα για πορεία, τότε μία εκτίμηση μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιώντας ένα σύνολο φίλτρων, μία για κάθε υπόθεση τρόπου λειτουργίας. Αυτή είναι η βασική ιδέα πίσω από τα πολλαπλά μοντέλα τεχνικών φιλτραρίσματος τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση κάθε γενικής κατηγορίας συμπεριφορών υβριδικών συστημάτων. Η IMM είναι μια τεχνική πολλαπλής παρακολούθησης μοντέλων που αναπτύχθηκε για την αεροδιαστημική βιομηχανία που καθορίζει μία πιθανότητα αντί να πάρει μία «σκληρή απόφαση» σε ποιά κατάσταση λειτουργίας του συστήματος βρίσκεται. Χρησιμοποιεί τότε τις πιθανότητες λειτουργίας σαν στάθμιση στην λήψη του μέσου όρου των εκτιμήσεων των μεμονωμένων φίλτρων λειτουργίας για τον υπολογισμό μίας ενιαίας τελικής εκτίμησης κατάστασης. Ο IMM απέδειξε την ικανότητα της ταχείας αντίδρασης όταν το σύστημα αλλάζει λειτουργίες και επίσης είναι σε θέση να μειώσει σημαντικά το σφάλμα rms για αφιλτράριστες μετρήσεις. Μία αναπαράσταση καταστάσεων για ένα διακριτό στοχαστικό υβριδικό σύστημα δίνεται από  $x[k] = F_{m[k]}x[k-1] + G_{m[k]}w_{m[k]}[k-1]$

Όπου  $m[k]$  αντιπροσωπεύει την πραγματική κατάσταση λειτουργίας ότι το σύστημα βρίσκεται σε χρόνο  $k$ , όπου  $w_{m[k]}$  είναι ο θόρυβος διεργασίας που σχετίζεται με την λειτουργία και  $F_{m[k]}$  και  $G_{m[k]}$  είναι η κατάσταση και οι πίνακες εισόδου που συνδέονται με την λειτουργία. Η εξίσωση μέτρησης δίνεται από  $z[k] = Hx[k] + v[k]$  όπου  $v[k]$  είναι ο θόρυβος μέτρησης. Η μετάβαση λειτουργίας διαμορφώνεται ως πρώτου βαθμού αλυσίδας Markov  $P_{ij}\{m_j[k+1]|m_i[k]\} = \pi_{ij} \quad \forall i, j \in M$

Όπου  $M$  είναι ένα σταθερό σύνολο από  $r$  πιθανές καταστάσεις συστήματος,  $\pi_{ij}$  είναι η σταθερά εκ των προτέρων πιθανότητα της μετάβασης από το μοντέλο κίνησης  $i$  σε χρόνο  $k$  στο μοντέλο κίνησης  $j$  σε χρόνο  $k+1$ . Το πρώτο βήμα του IMM είναι το βήμα αλληλεπίδρασης που υπολογίζει μία αρχική κατάσταση για κάθε φίλτρο με ανάμιξη εκτιμήσεων κατάστασης του προηγούμενου βήματος,  $\hat{x}_i[k-1] \quad i = 1 \dots r$  και

πιθανότητες κατάστασης  $\mu_i[k-1]$   $i = 1 \dots r$ . Η μικτή αρχική συνθήκη δίνεται από  $\mu_{i|j}[k-1] = \frac{\pi_{ij}\mu_i[k-1]}{\sum_{i=1}^r \pi_{ij}\mu_i[k-1]}$

$$\hat{x}_j^0[k-1] = \sum_{i=1}^r \hat{x}_i[k-1]\mu_{i|j}[k-1] \quad (6)$$

Με μία εκ των προτέρων πιθανότητα κατάστασης

$$\bar{\mu}_j \triangleq P\{m_j[k]|Z^{k-1}\} = \sum_{i=1}^r \pi_{ij}\mu_i[k-1] \quad (2)$$

Και μία μικτή αρχική κατάσταση διακύμανσης.

$$P_j^0[k-1] = \sum_{i=1}^r \{P_i[k-1] + [\hat{x}_i[k-1] - \hat{x}_j^0[k-1]][\hat{x}_i[k-1] - \hat{x}_j^0[k-1]]^T\} \mu_{i|j}[k-1]$$

Χρησιμοποιώντας τις μικτές αρχικές συνθήκες για κάθε κατάσταση  $j$ , το βήμα αλληλεπίδρασης ακολουθείται από ένα στάδιο φιλτραρίσματος για κάθε κατάσταση. Η αρχική εκτίμηση μικτής κατάστασης και διακύμανσης για την  $j$ th λειτουργία ενημερώθηκε για πρώτη φορά από το κατάλληλο μοντέλο με αποτέλεσμα την προβλεπόμενη εκτίμηση κατάστασης και διακύμανσης.  $\hat{x}[k|k-1] = F_j \hat{x}_j^0[k-1] + G_j \bar{w}_j$  (7)

$$P_j[k|k-1] = F_j P_j^0[k-1] F_j^T + G_j Q_j[k] G_j^T \quad (8)$$

Όπου  $\bar{w}_j$  είναι ο μέσος θόρυβος διεργασίας και  $Q_j[k]$  είναι η διακύμανση διεργασίας θορύβου. Συγκρίνοντας την μέτρηση του αισθητήρα με την προβλεπόμενη μέτρηση μία υπολειπόμενη μέτρηση  $v$  σχηματίζεται. Η υπολειπόμενη μέτρηση χρησιμοποιείται τόσο στο στάδιο φιλτραρίσματος και αργότερα ως ένα μέτρο της πιθανότητας ότι η  $j$ th κατάσταση είναι η κατάσταση όπου ο στόχος υπάρχει. Επιπλέον η εναπομένουσα διακύμανση βρίσκεται.  $v_j \triangleq z[k] - \hat{z}_j[k|k-1] = z[k] - H \hat{x}_j[k|k-1]$  (3)

$$S_j[k] = H P_j[k|k-1] H^T + R_j[k]$$

Ο όρος διόρθωσης κέρδους που προκύπτει από την προσδοκία ελαχίστων τετραγώνων του σφάλματος εκτίμησης, το κέρδος Kalman,  $w_j[k]$  χρησιμοποιείται για να σχηματίσει μία ενημερωμένη εκτίμηση κατάστασης για κάθε λειτουργία με αποτέλεσμα την εκτίμηση διακύμανσης  $P_j[k|k]$

$$W_j[k] = P_j[k|k-1] H S_j[k]^{-1}$$

$$\hat{x}_j[k|k] = \hat{x}_j[k|k-1] + W_j[k] v_j \quad (11)$$

$$P_j[k|k] = P_j[k|k-1] - W_j S_j[k] W_j^T$$



Στο επόμενο βήμα οι επιμέρους εκτιμήσεις από κάθε κατάσταση λειτουργίας του φίλτρου συνδυάζονται για να σχηματίσουν μία ενιαία εκτίμηση της κατάστασης. Πρώτα υπολογίζονται οι ενημερωμένες εκ των υστέρων (posteriori) πιθανότητες κατάστασης. Αυτές καθορίζονται χρησιμοποιώντας μία πιθανότητα βασισμένη στην εναπομένουσα μέτρηση και υποθέτοντας μία κανονική κατανομή και στην συνέχεια συνδυάζοντας αυτή την πιθανότητα με την εκ των προτέρων προβλεπόμενη κατάσταση πιθανότητας(2) μέσω κανόνα bayes

$$\Lambda_j[k] = |2\pi S_j[k]|^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2} v_j^T [k] S_j^{-1} [k] v_j [k]}$$

$$\mu_j[k] = \frac{\Lambda_j[k] \bar{\mu}_j[k]}{\sum_{i=1}^r \Lambda_i[k] \bar{\mu}_i[k]} \quad (12)$$

Η τελική εκτίμηση της κατάστασης και διακύμανσης είναι σταθμισμένος μέσος όρος της κάθε εκτίμησης φίλτρων. Χρησιμοποιώντας τις ενημερωμένες πιθανότητες κατάστασης ως στάθμιση  $\hat{x}[k] = \sum_{j=1}^r x_j[k|k] \mu_j[k]$

$$P[k|k] = \sum_{j=1}^r \left\{ P_i[k|k] + [\hat{x}_j[k|k] - \hat{x}[k|k]] [\hat{x}_j[k|k] - \hat{x}[k|k]]^T \right\} \mu_j[k]$$

### 2.5.2β Ανίχνευση σφάλματος

Βάση του έργου του Zhang και Li με κάποια ελαφριά τροποποίηση ο αλγόριθμος IMM μπορεί επιπροσθέτως να χρησιμοποιηθεί για ανίχνευση σφαλμάτων του αισθητήρα. Η βασική ιδέα είναι να διαμορφώσει τους τύπους των σφαλμάτων που μπορούν να συμβούν ακριβώς όπως θα διαμορφώσει τις διάφορες υποτιθέμενες καταστάσεις λειτουργίας του συστήματος. Η κατάσταση σφάλματος αντιμετωπίζεται ακριβώς όπως κάθε άλλη κατάσταση εκτός από την εκτίμηση κατάστασης που δεν έχει ενημερωθεί από την μέτρηση. Η εκτίμηση για την κατάσταση σφάλματος χρησιμοποιεί μόνο την πρόβλεψη μοντέλου, αυτή η μέθοδος ανίχνευσης σφαλμάτων εφαρμόζεται για το φιλτράρισμα των δεδομένων τοποθέτησης. Ένα μοντέλο κατάστασης της τοποθέτησης δίνεται από

$$x[k] = Fx[k-1] + Gw_{m[k]}[k-1]$$

Όπου  $x[k]$  είναι το διάνυσμα κατάστασης που περιγράφει την τοποθέτηση για την εύρεση λωρίδας του acc οχήματος

$$x = \begin{bmatrix} y_{offset} \\ \psi \\ c_0 \end{bmatrix} \text{ και } F = \begin{bmatrix} 1 & V_{acc}T & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

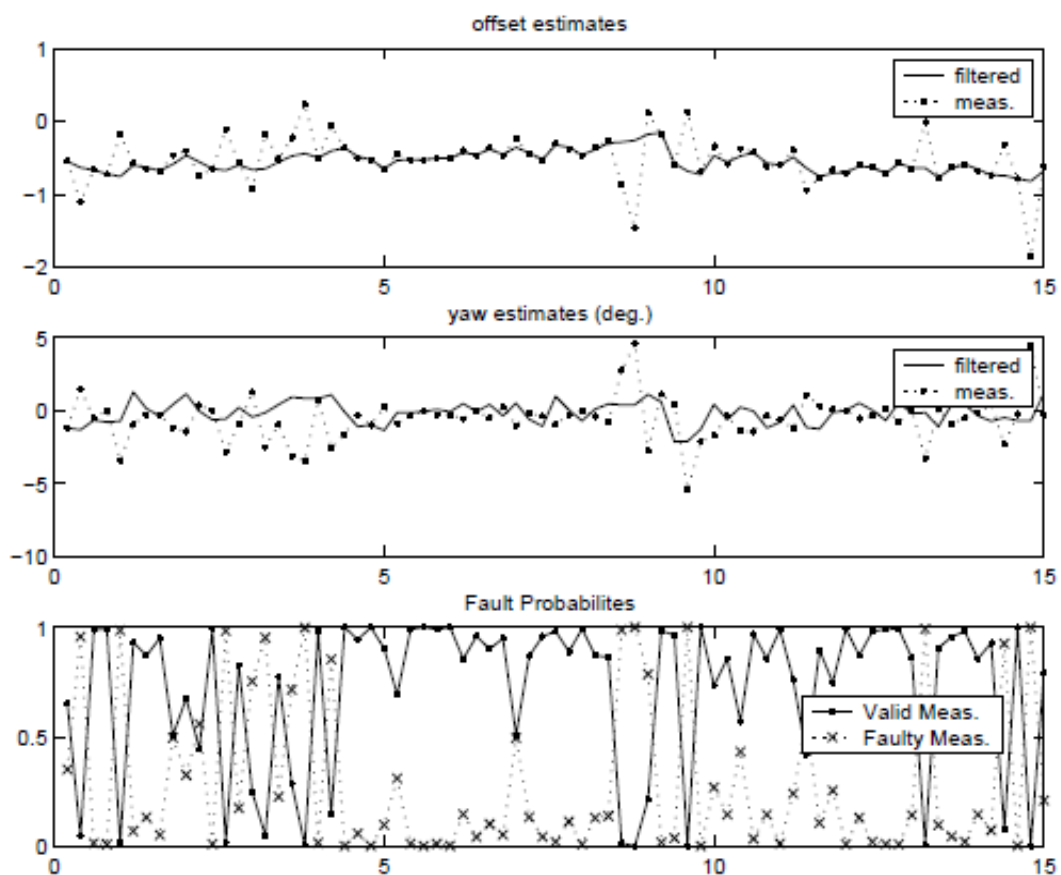
Όπου  $V_{acc}$  είναι η ταχύτητα του οχήματος acc,  $T$  είναι το δείγμα χρόνου της ρουτίνας εύρεσης λωρίδας και η κατάσταση θορύβων διεργασίας που χρησιμοποιείται είναι  $w_1 = \begin{bmatrix} T \\ 0.087T \\ 0.001T \end{bmatrix}, w_2 = \begin{bmatrix} 3T \\ 0.0262T \\ 0.003T \end{bmatrix}$

Ο απλούστερος τρόπος αρχικοποίησης του αλγόριθμου IMM για ανίχνευση σφαλμάτων είναι να χρησιμοποιήσει θόρυβο διεργασίας που αντιπροσωπεύει ότι πιστεύεται ότι είναι ρεαλιστική τιμή για την πρώτη κατάσταση λειτουργίας του αισθητήρα και ένα θόρυβο διεργασίας πολύ μεγαλύτερο από αυτό για την ελαττωματική κατάσταση του αισθητήρα. Αν ήταν σε θέση να προβλέψει πιο συγκεκριμένα πώς θα συμπεριφέρεται η ελαττωματική μέτρηση ένα πιο συγκεκριμένο μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αλλά επειδή σε αυτή την περίπτωση καμία τέτοια πρόβλεψη δεν μπορεί να γίνει ένα μεγαλύτερο θόρυβο διεργασίας επαρκεί για να συλλάβει εσφαλμένη συμπεριφορά του αισθητήρα. Στην συνέχεια ο πίνακας κατάστασης των εκ προτέρων πιθανότητας μετάβασης θα πρέπει να αποφασιστεί. Κατα την εφαρμογή χρησιμοποιείται  $[\pi_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.65 & 0.35 \\ 0.35 & 0.65 \end{bmatrix}$

(4)

Η μοντελοποίηση της μετάβασης του αισθητήρα από την λειτουργία στην κατάσταση σφάλματος και αντίστροφα με μία αλυσίδα Markov έχει διαισθητική υποστήριξη όπως τα τυπικά σφάλματα συμπεριφέρονται με αυτό τον τρόπο, δηλαδή υπάρχει μία μεγαλύτερη πιθανότητα ότι ένας αισθητήρας που αναφέρει εσφαλμένες μετρήσεις να συνεχίσει να το κάνει στο επόμενο βήμα από την πιθανότητα ένας λειτουργικός αισθητήρας να μεταβεί στην κατάσταση σφάλματος. Επιπλέον αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα αληθές σε αυτή την εφαρμογή όπως ο αλγόριθμος ανίχνευσης λωρίδας χρησιμοποιεί προηγούμενες εκτιμήσεις για να βοηθήσουν στην καθοδήγηση της αναζήτησης. Αν η προηγούμενη μέτρηση ήταν λανθασμένη τότε η νέα μέτρηση είναι λιγότερο ενημερωμένη για την αναζήτηση λωρίδας και ως εκ τούτου υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα για άλλο επερχόμενο σφάλμα. Ενώ αυτό είναι αληθές, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι υπάρχουν αυτομεταβάσεις πιθανοτήτων (δηλαδή η εκ των προτέρων πιθανότητα ότι ένας λειτουργικός αισθητήρας θα παραμείνει σε λειτουργία) που είναι πάρα πολύ υψηλές και θα επηρεάσει την ικανότητα του IMM να αλλάζει γρήγορα τις καταστάσεις. Επομένως στην εφαρμογή ο πίνακας μετάβασης (4) επιλέγεται με σχετικά μικρή απόκλιση ως προς την αυτομετάβαση. Η εκ των προτέρων πιθανότητα κατάστασης συνδυάζεται

με μία μετρημένη πιθανότητα κατάστασης για να καθορίσουν μία τελική πιθανότητα κατάστασης. Όπως στον κανονικό αλγόριθμο IMM η πιθανότητα σφάλματος καθορίζεται κοιτάζοντας την εναπομένουσα μέτρηση(3). Μία μέτρηση τοποθέτησης για την εύρεση λωρίδας που είναι μακριά από την προβλεπόμενη θα οδηγήσει σε μία υψηλή πιθανότητα σφάλματος διότι η διακύμανση κατάστασης σφάλματος είναι μεγάλη σε σχέση με την διακύμανση κατάστασης λειτουργίας. Είναι σημαντικό να τροποποιηθεί η IMM έτσι ώστε η εκτίμηση να μην περιλαμβάνει τον όρο διόρθωσης της μέτρησης για την κατάσταση σφάλματος, αυτό είναι ιδιαίτερα αληθές επειδή η κατάσταση σφάλματος έχει μεγάλο θόρυβο διεργασίας η οποία μεταφράζεται σε όρο διόρθωσης της μέτρησης που είναι μεγαλύτερος από ότι για την κατάσταση λειτουργίας του αισθητήρα. Έχοντας υψηλό κέρδος για την λειτουργία σφάλματος είναι ακριβώς το αντίθετο από αυτό που είναι επιθυμητό όπως και η πεποίθηση των μετρήσεων καταστάσεων λειτουργίας είναι υψηλότερες από ότι για την κατάσταση σφάλματος. Υπάρχουν μια σειρά από οφέλη για την χρήση του IMM στην ανίχνευση σφαλμάτων, κινηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την θεμελίωση του προσδιορισμού της εγκυρότητας της μέτρησης αυτό σημαίνει ότι ο προσδιορισμός της απόδοσης του αισθητήρα γίνεται απευθείας από μοντέλα συμπεριφοράς του οχήματος σε αντίθεση με κάποια ad-hoc κριτήρια. Δεύτερον ο IMM είναι σε θέση να παρέχει συνεχείς πιθανότητες εγκυρότητας σε αντίθεση με μία δυαδική απόφαση, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επιθυμητή ιδιότητα ότι δύο παρόμοιες μετρήσεις δεν αντλούν δραματικά διαφορετικές αποφάσεις εγκυρότητας μόνο και μόνο επειδή τοποθετούνται σε διαφορετικές πλευρές κάποιου επινοημένου ορίου. Τέλος από την λήψη έγκυρης απόφασης στο πλαίσιο του IMM η ανίχνευση σφάλματος, η σύντηξη και το φιλτράρισμα είναι σε θέση να υπολογιστούν ταυτόχρονα εξοικονομώντας χρόνο υπολογισμού καθώς και την παροχή μίας εύκολης εφαρμογής. Στο σχήμα 35 φιλτραρισμένα αποτελέσματα του IMM εμφανίζονται για ιδιαίτερα απαιτητικές ακολουθίες αυτοκινήτων που έχουν ληφθεί από το Berkley της Καλιφόρνιας. Δυσκολίες στην παρακολούθηση προέκυψαν λόγω του ότι οι λωρίδες επισημαίνονται με ανακλαστικές σε αντίθεση με τις ζωγραφισμένες γραμμές. Επιπλέον οι λωρίδες φράσσονται από σκιές και από οχήματα που αλλάζουν λωρίδες. Όπως φαίνεται κάθε φορά που γίνεται μία ύποπτη μέτρηση η πιθανότητα σφάλματος είναι υψηλή και το φιλτράρισμα αγνοεί την μέτρηση. Η προκύπτουσα φιλτραρισμένη εκτίμηση IMM φαίνεται ομαλή και είναι σίγουρα βελτιωμένη σε σχέση με τις πρώτες μετρήσεις.



Σχήμα 35-Αποτελέσματα των εκτιμήσεων της τοποθέτησης μετά τον εντοπισμό σφάλματος IMM,offset(πάνω),yaw(μέση) και πιθανότητα έγκυρης/ελλατωματικής μέτρησης(κάτω) από δύσκολο εντοπισμό λωρίδας σε ακολουθία.

## 2.6 Σύντηξη μετρήσεων κάμερας με μετρήσεις του ραντάρ

Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο IMM για να φιλτράρει τις μετρήσεις των αισθητήρων κάμερας και ραντάρ απαιτείται μία ρουτίνα για να συσχετίσει τις μετρήσεις από τους διαφορετικούς αισθητήρες. Αυτή η ενότητα εισάγει το φίλτρο πιθανολογικής συσχέτισης δεδομένων (PDAF) και πρώτα παρουσιάζει τον τρόπο εφαρμογής στην συσχέτιση των μετρήσεων από πολλαπλούς στόχους που δίνονται από έναν αισθητήρα με διαδρομές που είχαν καθοριστεί προηγουμένως για τους στόχους αυτούς, αυτό φυσικά υποθέτει ότι οι διαδρομές έχουν καθοριστεί. Η PDAF ενσωματώνεται εντός της IMM έτσι ώστε η ρουτίνα και τα φίλτρα για τις συσχετίσεις σχηματίζεται η IMM PDAF. Στην επόμενη ενότητα απεικονίζεται ο τρόπος

με τον οποίο οι πολλαπλοί αισθητήρες μπορούν να συντηχθούν χρησιμοποιώντας διαδοχική IMM PDAF.

### 2.6.1 PDAF:PROBABILISTIC DATA ASSOCIATION FILTER(φίλτρο πιθανολογικής συσχέτισης δεδομένων)

Η παραπάνω εφαρμογή της IMM υποθέτει πως είναι γνωστή όποια μέτρηση σχετίζεται με την όποια παρακολούθηση. Προκειμένου να χειριστεί την κατάσταση πολλαπλής παρακολούθησης η IMM διογκώνεται ώστε να ενσωματώσει το φίλτρο πιθανολογικής συσχέτισης δεδομένων. Η ακόλουθη διαδικασία παρουσιάζει πώς η PDAF ενσωματώνεται στην IMM για μία παρακολούθηση και η διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί για κάθε καθορισμένη παρακολούθηση. Δηλώνοντας το σύνολο όλων των  $n[k]$  μετρήσεων που λαμβάνονται από τον αισθητήρα σε χρόνο  $k$ .

$$Z[k] = \{z_i[k]\}_{i=1}^{n[k]}$$

Για όλες τις υπολειπόμενες  $n[k]$  μετρήσεις μπορεί να υπολογιστεί

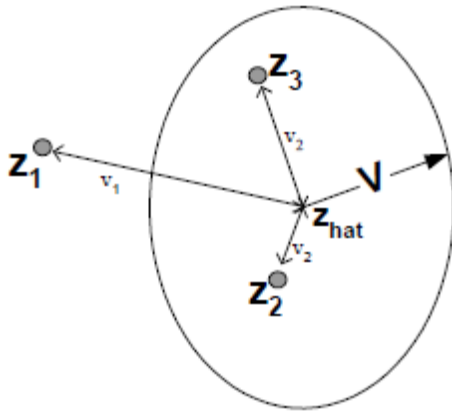
$$v_i[k] \triangleq z_i[k] - \hat{z}[k|k-1] = z_i[k] - H\hat{x}[k|k-1].$$

Τα υπολειπόμενα στην περίπτωση μονής παρακολούθησης(3) χρησιμοποιούνται ως όρος διόρθωσης εκτίμησης καθώς και για μέτρηση της κατάστασης. Στην περίπτωση πολλαπλής παρακολούθησης αυτά τα υπολειπόμενα μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για να συσχετισθούν οι μετρήσεις με την παρακολούθηση. Χρησιμοποιώντας  $\bar{S}[k]$  το  $S_i[k]$  με το μεγαλύτερο σύνολο  $S_j[k], j = 1 \dots r$ , και η υπολειπόμενη διακύμανση υπολογίζεται με την παραπάνω εξίσωση  $S_j[k]$ . Μία περιοχή επαλήθευσης μπορεί να αποδειχτεί επιλέγοντας  $g$  από πίνακες  $\chi$ -squared με  $n_z$  μοίρες ελευθερίας που αντιστοιχούν στην πιθανότητα  $\alpha_1$  να απορρίψει την σωστή επιστροφή του ραντάρ.

$$\{z : v_i[k]^T \bar{S}[k]^{-1} v_i[k] = < g^2 \} \quad (5)$$

Ο όγκος της περιοχής επαλήθευσης δίνεται από την παρακάτω εξίσωση και η διαδικασία επαλήθευσης απεικονίζεται στο σχήμα 36. Σε αυτό το παράδειγμα οι μετρήσεις 2 και 3 είναι επαληθευμένες ενώ η 1 απορρίπτεται  $V = g^2 \pi \det S^{0.5}$

Ικανοποιώντας την παραπάνω εξίσωση(5), δείχνει την ιοστή μέτρηση να εμπίπτει εντός της περιοχής επαλήθευσης και συνεπώς έχει κάποια μη μηδενική πιθανότητα να είναι η σωστή μέτρηση που σχετίζεται με την παρακολούθηση.



Σχήμα 36-Οπτική αναπαράσταση της επαλήθευσης για ένα σύστημα 2 καταστάσεων

Η πιθανότητα ότι η ισοτή μέτρηση είναι σωστά συσχετισμένη ορίζεται από (όπου  $\chi_i[k]$  υποδηλώνει το γεγονός ότι η ισοτή επαληθευμένη μέτρηση  $z_i[k]$  είναι η πραγματική μέτρηση του στόχου)

$$\beta_i[k] \triangleq P\{\chi_i[k]|Z^k\} \quad i = 1, \dots, n[k]$$

$$\sum_{i=0}^{n[k]} \beta_i[k] = 1$$

Και  $\beta_0[k]$  υποδηλώνει πιθανότητα ότι καμία από τις μετρήσεις δεν είναι σωστές. Ουσιαστικά οι πιθανότητες μέτρησης,  $\beta_1, \dots, n$  εξαρτώνται από το πόσο κοντά είναι η μέτρηση στην πρόβλεψη και  $\beta_0[k]$  εξαρτάται από την πυκνότητα της σύγχυσης και από το μέγεθος περιοχής επαλήθευσης. Χρησιμοποιώντας αυτά τα  $\beta[k]$ 's ένα συνδυασμένο υπόλοιπο βρίσκεται από όλες τις επαληθευμένες μετρήσεις.

$$v[k] = \sum_{i=1}^{n[k]} \beta_i[k] v_i[k] \quad (9)$$

Και αντικαθίσταται για την υπολειπόμενη που βρίσκεται στην εξίσωση  $\hat{x}_j[k|k]$  πιο πάνω. Λάβετε υπόψη ότι αυτό είναι απλά ένας σταθμισμένος μέσος όρος των υπολειπόμενων με σταθμά ανάλογα με την πιθανότητα ότι η μέτρηση είναι σωστή. Η διακύμανση που σχετίζεται με  $x[k|k]$  βρίσκεται από 
$$P[k|k] = \beta_0[k]P[k|k-1] + [1 - \beta_0[k]]P^0[k|k] + W_k[\sum_{i=0}^{n[k]} \beta_i[k] v_i[k] v_i[k]^T - v[k] v[k]^T] W[k]^T \quad (10)$$

Όπου  $P^0[k|k]$  είναι η διακύμανση που συνδέεται με την κατάσταση του να γνωρίζει την σωστή μέτρηση και υπολογίζεται ως

$$P^0[k|k] = P[k|k-1] - W[k] \bar{S}[k] W[k]^T$$

## 2.6.2 Συσχέτιση πολλαπλών δεδομένων από αισθητήρες

Προκειμένου να γίνει μία εκτίμηση της κατάστασης του στόχου που χρησιμοποιεί τις μετρήσεις του ραντάρ και της κάμερας, η συσχέτιση και το φιλτράρισμα γίνεται διαδοχικά χρησιμοποιώντας κάθε σύνολο μετρήσεων των αισθητήρων. Η παρακάτω διαδικασία προϋποθέτει δύο αισθητήρες αν και η διαδικασία για τους περισσότερους αισθητήρες επαναλαμβάνει απλώς τα βήματα από 5 έως 7. Ο κάτω δείκτης  $j$  υποδηλώνει τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος με  $j = 1 \dots r$  και οι εκθέτες  $\bar{1}, \bar{2}$  υποδηλώνουν τον αισθητήρα 1 και 2 αντίστοιχα. Η διαδικασία περιγράφεται από τα βήματα που ακολουθούν.

**Βήμα 1.** Μικτές αρχικές εκτιμήσεις. Χρησιμοποιώντας τις εκτιμήσεις από τα προηγούμενα βήματα,  $\hat{x}_j[k-1|k-1]$ , οι μικτές αρχικές συνθήκες  $\hat{x}_j^0[k|k-1]$  και οι διακυμάνσεις τους  $P_j^0[k|k-1]$  υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την εξίσωση πιο πάνω  $\hat{x}_j^0[k-1](6)$ .

**Βήμα 2.** Προβλεπόμενες καταστάσεις και μετρήσεις. Οι προβλεπόμενες μετρήσεις κατάστασης  $\hat{x}_j[k|k-1]$  και οι διακυμάνσεις τους  $P_j[k|k-1]$  υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εξισώσεις (7) και (8). Από αυτές τις προβλεπόμενες εκτιμήσεις οι προβλεπόμενες μετρήσεις  $\hat{z}_j^1[k]$  και οι διακυμάνσεις τους  $S_j^1$  υπολογίζονται για τον αισθητήρα 1.

$$\hat{z}_j^{\bar{1}}[k] = H^{\bar{1}} \hat{x}_j[k|k-1]$$

$$S_j^{\bar{1}} = H^{\bar{1}} P_j^{\bar{1}} (H^{\bar{1}})^T + R^{\bar{1}}$$

**Βήμα 3.** Επαλήθευση της μέτρησης για αισθητήρα 1. Η περιοχή που χρησιμοποιείται για την επαλήθευση των μετρήσεων δημιουργείται τοποθετώντας το κέντρο της περιοχής κατά την συνδυασμένη πρόβλεψη μέτρησης  $\hat{z}^1[k]$  και με την χρήση μεγέθους περιοχής  $\bar{S}^1[k]$ , όπου  $\bar{S}^1[k]$  είναι το  $S_i^1$  με το μεγαλύτερο  $\det S_j^1[k]$ . Οι μετρήσεις που εμπίπτουν εντός της περιοχής είναι αυτές που ικανοποιούν την ανισότητα που δίνεται από την εξίσωση (5). Η συνδυασμένη πρόβλεψη μέτρησης  $\hat{z}^1[k|k-1]$  υπολογίζεται από  $\hat{z}^{\bar{1}}[k|k-1] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \pi_{ji} \mu_j[k-1] H^{\bar{1}} [F_i \hat{x}_j[k-1|k-1]]$

**Βήμα 4.** Φίλτρο-Αισθητήρας 1. Οι επαληθευμένες μετρήσεις από το βήμα 3 χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί η  $\hat{x}_j^{\bar{1}}[k|k]$  τις εκτιμήσεις της κατάστασης από αισθητήρα 1 και τις διακυμάνσεις τους,  $P_j^{\bar{1}}[k|k]$  μέσω των εξισώσεων (9), (10), (11).

Βήμα 5. Νέες «προβλεπόμενες» μετρήσεις. Χρησιμοποιώντας τις φιλτραρισμένες εκτιμήσεις κατάστασης από το βήμα 4 νέες προβλεπόμενες μετρήσεις υπολογίζονται παρομοίως όπως και στο βήμα 2 αλλά τώρα η εκτίμηση δεν χρειάζεται να αναμένεται άλλο ένα βήμα χρόνου μπροστά επειδή η εκτίμηση είναι ήδη σε χρόνο  $k$ .

$$\hat{z}_j^{\bar{2}}[k] = H\hat{x}_j^{\bar{1}}[k|k]$$

$$S_j^{\bar{2}}[k] = H^{\bar{2}}P_j^{\bar{1}}[k|k](H^{\bar{2}})^T + R^{\bar{2}}$$

Βήμα 6. Επαλήθευση μέτρησης του αισθητήρα 2. Όπως στο βήμα 3 οι μετρήσεις από τον αισθητήρα 2 επαληθεύτηκαν χρησιμοποιώντας την ανισότητα από την εξίσωση (5). Οι προβλέψεις της μέτρησης  $\hat{z}_j^{\bar{2}}[k]$  και διακύμανσης  $S_j^{\bar{2}}[k]$  (πάλι το μεγαλύτερο  $\det S_j^{\bar{2}}[k]$ )

$$\hat{z}_j^{\bar{2}}[k] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \pi_{ji} \mu_j[k-1] H^{\bar{2}} [F_i \hat{x}_j^{\bar{1}}[k|k]]$$

Βήμα 7. Φίλτρο-αισθητήρας 2. Χρησιμοποιώντας  $\hat{x}_j^{\bar{1}}[k|k]$  και τις διακυμάνσεις του  $P_j^{\bar{1}}[k|k]$  οι εκτιμήσεις για όλες τις λειτουργίες με μετρήσεις από τον αισθητήρα 2  $\hat{x}_j^{\bar{2}}[k|k]$  και  $P_j^{\bar{2}}[k|k]$  υπολογίζονται με την χρήση των εξισώσεων (9),(10),(11). Καθώς υπάρχουν μόνο δύο αισθητήρες αυτές είναι οι τελικές εκτιμήσεις κατάστασης σε χρόνο  $k$ ,  $\hat{x}_j[k|k]$  και  $P_j[k|k]$ , αλλά στην περίπτωση  $N$  αισθητήρων αρκεί να επαναληφθούν τα βήματα 5 έως 7 πάνω από  $N-2$  φορές.

Βήμα 8. Ενημέρωση πιθανοτήτων μοντέλου. Οι πιθανότητες μοντέλου ενημερώνονται όπως στην εξίσωση (12) πιο πάνω.

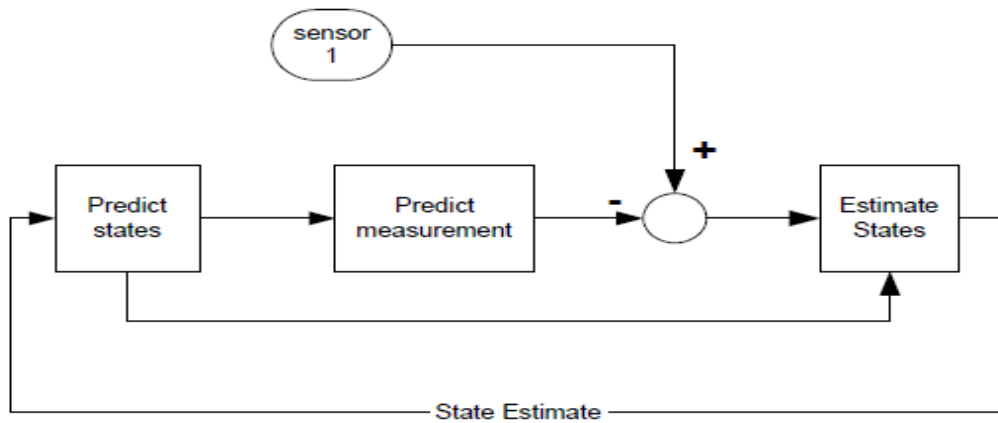
$$\mu_j[k] = \frac{\Lambda_j[k] \bar{\mu}_j[k]}{\sum_{i=1}^r \Lambda_i[k] \bar{\mu}_i[k]}$$

Βήμα 9. Συνδυασμένη εκτίμηση. Παρόμοια με την περίπτωση ενός αισθητήρα με τις εκτιμήσεις κατάστασης από το βήμα 7 υπολογίζεται ο μέσος όρος χρησιμοποιώντας τις πιθανότητες από το βήμα 8 με τις παρακάτω εξισώσεις.  $\hat{x}[k] = \sum_{j=1}^r \hat{x}_j[k|k] \mu_j[k]$

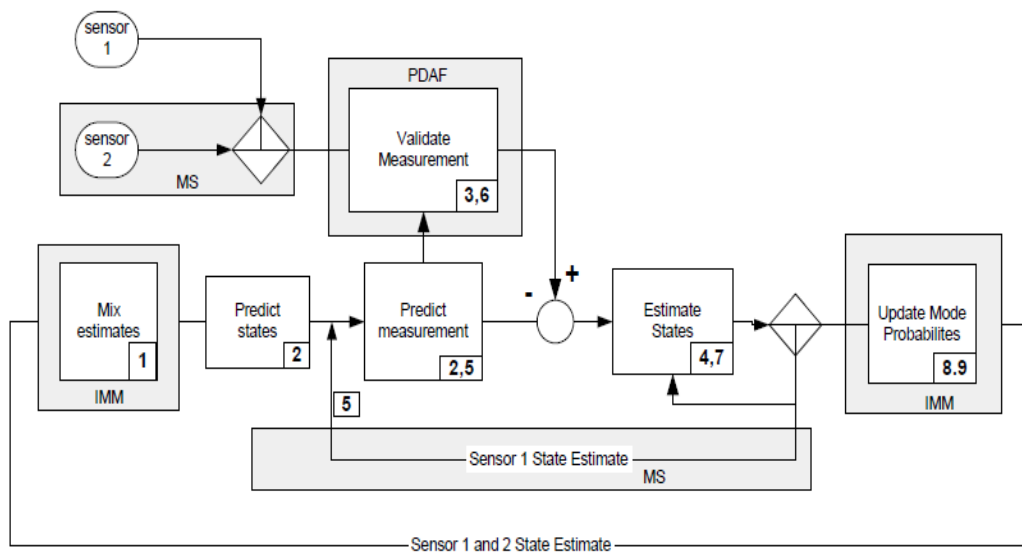
$$P[k|k] = \sum_{j=1}^r \{P_i[k|k] + [\hat{x}_j[k|k] - \hat{x}[k|k][\hat{x}_j[k|k] - \hat{x}[k|k]^T]\} \mu_j[k]$$

Η μέθοδος αυτή απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα ροής (σχήμα 38). Τα κουτιά στο διάγραμμα ροής επισημαίνονται με τα αντίστοιχα βήματα από τα παραπάνω. Για σύγκριση το διάγραμμα ροής για ένα απλό φίλτρο Kalman δείχνεται επίσης.





Σχήμα 37-Αναπαράσταση διαγράμματος ροής ενός απλού φίλτρου Kalman για μονό αισθητήρα/στόχο/μοντέλο

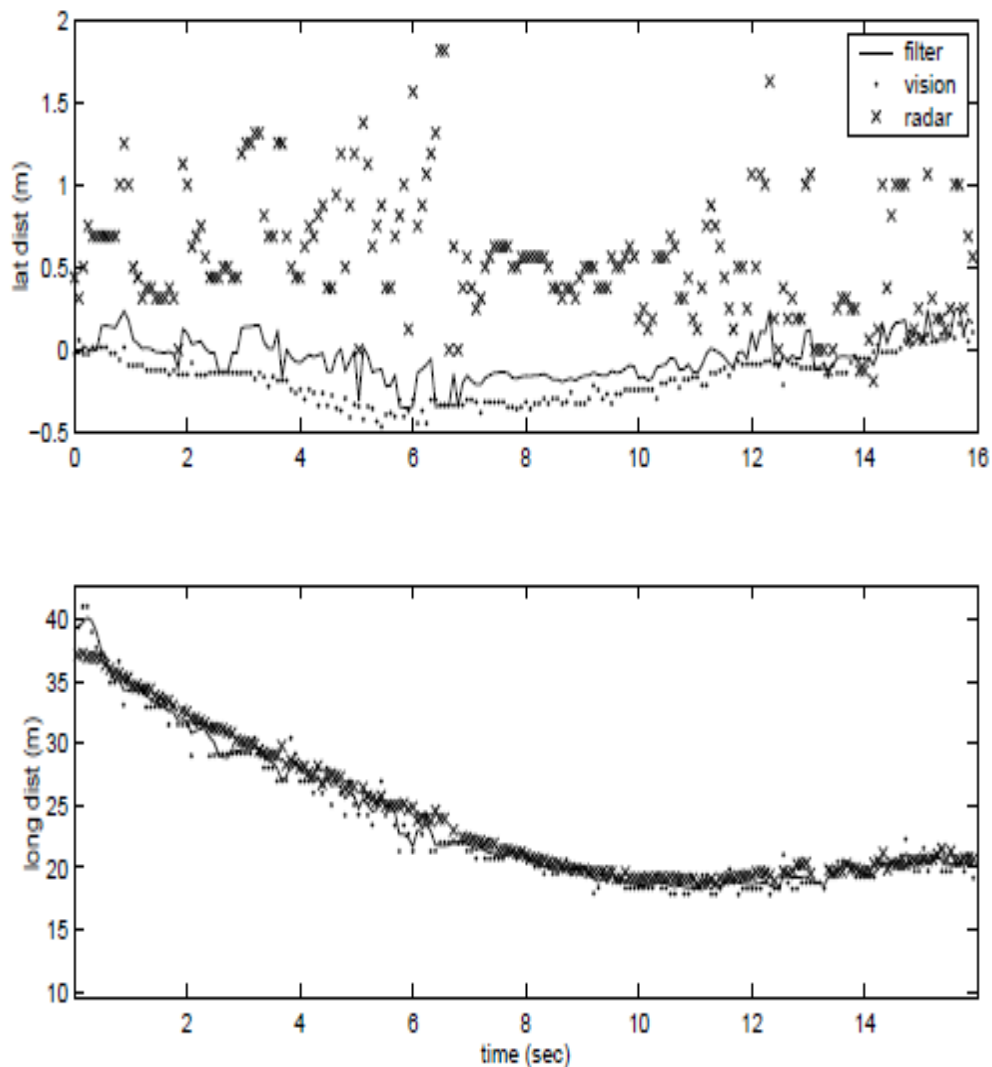


Σχήμα 38-Διάγραμμα ροής που δείχνει την διαδικασία MSPDAFIMM για πολλαπλούς αισθητήρες/στόχους/μοντέλα

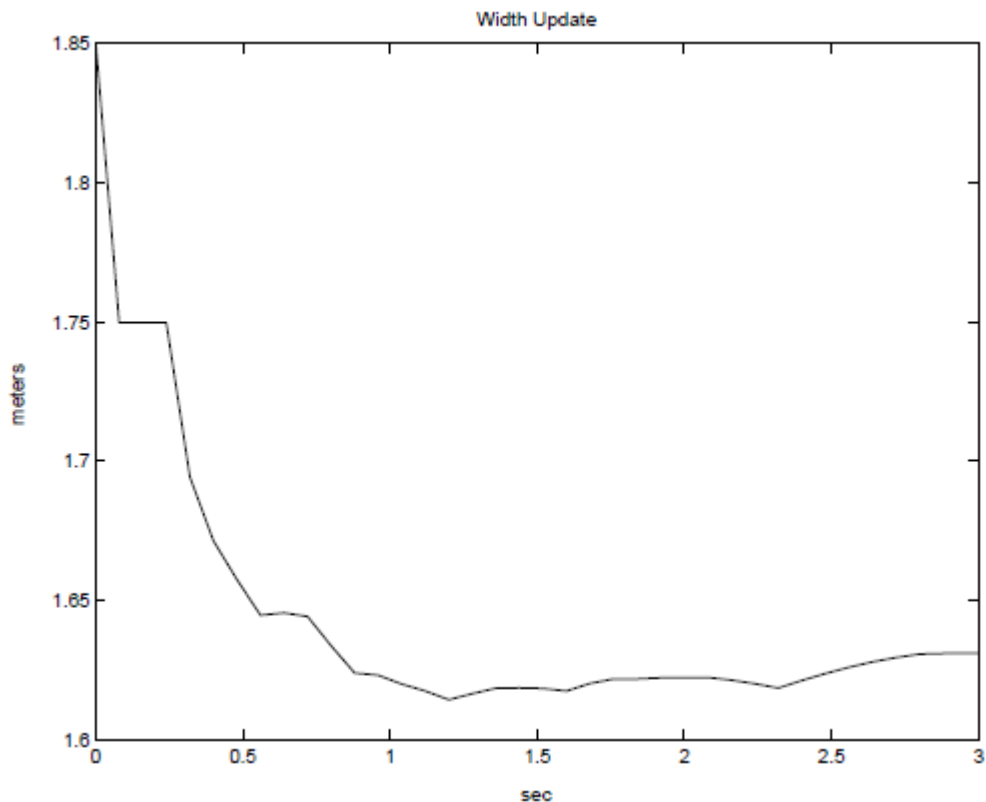
## 2.7 Αποτελέσματα

Η ρουτίνα που περιγράφεται παραπάνω τέθηκε σε εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης ακολουθίας και έχουνε ληφθεί από το Μόναχο της Γερμανίας. Στην ακολουθία το όχημα στόχος ξεκινά κεντραρισμένο στην λωρίδα του, στρέφει αριστερά μετά στρέφει ξανά προς το κέντρο. Εντω μεταξύ το όχημα στόχος πλησιάζει σιγά σιγά το όχημα acc. Το σχήμα 39 δείχνει τον αισθητήρα κάμερας να αναφέρει αυτή την συμπεριφορά. Να σημειωθεί ότι τα συστήματα κάμερας έχουνε την

ικανότητα να αναφέρουν την πλάγια θέση καλύτερα από το ραντάρ. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο οπότε η πλευρική μέτρηση της κάμερας σταθμίστηκε υψηλότερα από αυτή του ραντάρ και η προκύπτουσα φιλτραρισμένη μέτρηση ακολουθεί πιο στενά την μέτρηση της κάμερας. Το διαμήκη αποτέλεσμα δείχνει ότι το σύστημα κάμερας είναι σε θέση να αναφέρει μετρήσεις που ταιριάζουν στενά με τις ακριβείς μετρήσεις του ραντάρ. Επίσης παρουσιάζονται τα πρώτα 3 δευτερόλεπτα της ενημέρωσης εκτίμησης πλάτους των οχημάτων καθώς το αυτοκίνητο έχει το μέσο πλάτος (περίπου 1.6 μέτρα). Το πλάτος αρχικά θεωρείται ότι είναι 1.85 μέτρα για να προσομοιώσει την περίπτωση περιέργου μεγέθους οχήματος. Όπως φαίνεται στο σχήμα 40 η εκτίμηση πλάτους γρήγορα ενημερώνεται σε μία κατάλληλη τιμή.



Σχήμα 39-Πλευρικές και διαμήκη μετρήσεις και φιλτραρισμένες εκτιμήσεις



Σχήμα 40-Ενημέρωση του εκτιμώμενου πλάτους του οχήματος για την παραπάνω ακολουθία

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### Ενεργοποιητές

#### 3.1 Προειδοποίηση

Μία προειδοποίηση που εκδίδεται από το σύστημα ασφαλείας θα χρησιμοποιεί διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις ανθρώπινης αντίληψης ώστε να προειδοποιεί ή να ενημερώνει τον οδηγό ανάλογα με το επίπεδο σημασίας των πληροφοριών που μεταδίδονται και στις ενέργειες πρόληψης που θα μπορούσε να εκτελέσει. Ετσι η έξοδος αυτής της λειτουργίας προσανατολισμένη για την ανθρώπινη αντίληψη μπορεί να είναι: οπτική, ακουστική και απτική. Φώτα, βομβητές ή ηχεία είναι παραδείγματα δεικτών προειδοποίησης που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ασφαλείας.

-Ακουστικές προειδοποιήσεις συνήθως χρησιμοποιούν τα υπάρχοντα μεγάφωνα του οχήματος.

-Απτική ζώνη χρησιμοποιεί έναν ηλεκτρικό συσπειρωτήρα ζώνης ασφαλείας που τραβάει την ζώνη ασφαλείας του οδηγού.Αυτές χρησιμοποιούνται επίσης στην προέκταση της ζώνης πριν μία σύγκρουση.

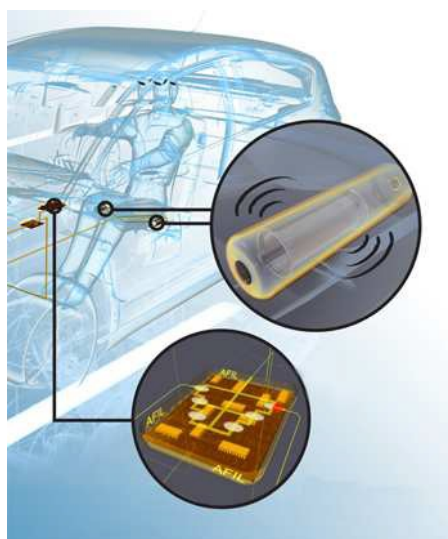
-Οι παλμοί φρένων χρησιμοποιούν τους ενεργοποιητές φρένου ώστε να παράγουν βραχύ παλμό.Ο παλμός δεν προορίζεται για να μειώσει την ταχύτητα του αυτοκινήτου αλλά παρέχει απτική προειδοποίηση.

-Το απτικό κάθισμα χρησιμοποιεί ενσωματωμένο δονητή στο κάθισμα του οδηγού και προειδοποιεί τον οδηγό με παλμό δόνησης.

-Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις οθονών:Ένα φώς στο εσωτερικό του οχήματος δίπλα από τον καθρέπτη,φώτα στο ταμπλό των οργάνων η φώτα που προβάλλονται στο παρμπρίζ.



Σχήμα 41-Ηλεκτρικός κινητήρας για χρήση σε εφαρμογή ηλεκτρικού συσπειρωτήρα ζώνης ασφαλείας



Σχήμα 42-Σύστημα με ηχεία με μονάδα ECU και βομβητή καθίσματος



Σχήμα 43-Οπτική προειδοποίηση



Σχήμα 44-Οθόνη οπτικής προειδοποίησης,το φώς ανακλά στο παρμπρίζ.

### 3.2 Υποστήριξη και αυτόνομη παρέμβαση

Η λειτουργία εξόδου παρέχει στήριξη στον οδηγό με εξαρτήματα που συνδέονται στο όχημα δηλαδή στον κινητήρα,στα φρένα,στο σύστημα διεύθυνσης και μετάδοσης.Σε αντίθεση με μία προειδοποίηση η υποστηρικτική λειτουργία παρέχει φυσική συνεισφορά στην οδήγηση με την προσθήκη π.χ μίας ροπής στρέψης στο σύστημα διεύθυνσης η την δημιουργία πίεσης στα φρένα.Αυτός ο τύπος ενεργοποιητών υποστηρίζει ενεργά και συνεισφέρει στην δράση του οδηγού και του δίνει ανατροφοδότηση στην οποία πρέπει να απαντήσει.Αυτόνομη παρέμβαση είναι μία λειτουργία εξόδου μέσω μηχανής,φρεναρίσματος,διεύθυνσης η μετάδοσης.Είναι η αντίδραση του οχήματος που δρα ώστε να αποφευχθεί μία επικείμενη σύγκρουση.

#### 3.2.1 Αυτόνομη παρέμβαση στην μηχανή

-Προηγούμενες συσκευές με βάση τους ενεργοποιητές στην πεταλούδα του γκαζιού. Στα πρώτα συστήματα ελέγχου πορείας η πεταλούδα του γκαζιού ήταν ένα μηχανικό σύστημα (το ποτενσιόμετρο δεν ενεργοποιεί την πεταλούδα του γκαζιού όπως σήμερα) καθώς το σύστημα ελέγχου πορείας ρυθμίζει την ταχύτητα του οχήματος ελέγχοντας μηχανικά την θέση της πεταλούδας

-Συσκευές βασισμένες σε ενεργοποιητές στην ηλεκτρονική πεταλούδα του γκαζιού. Αυτά τα συστήματα γκαζιού διαχειρίζονται με ένα ποτενσιόμετρο που μετακινείται με το πεντάλ του γκαζιού. Διαβάζοντας την έξοδο του ποτενσιόμετρου η μονάδα ECU ενεργοποιεί ένα ηλεκτρονικό μοτέρ στην βαλβίδα εισαγωγής αέρα της πεταλούδας περιορίζοντας την ποσότητα του αέρα που παίρνει μέσα η μηχανή. Κάποιοι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει συστήματα εισαγωγής χωρίς βαλβίδα εισαγωγής πεταλούδας μόνο με συνεχή μεταβλητό βύθισμα βαλβίδων εισαγωγής από 0 έως 10mm επί του κεντροφόρου. Αυτοί οι κινητήρες είναι μοναδικοί στο ότι βασίζονται στο ποσό βύθισματος των βαλβίδων στην πεταλούδα του γκαζιού και όχι από μία βαλβίδα πεταλούδας στην διεξαγωγή της εισαγωγής. Μόνο ένας κατασκευαστής χρησιμοποιεί αυτή την τεχνολογία στην μαζική αγορά των μηχανών.



Σχήμα 45-Ηλεκτρονική εισαγωγή αέρα πεταλούδας γκαζιού με βαλβίδα εισαγωγής πεταλούδας και κινείται με ηλεκτρικό μοτέρ.

Κατασκευαστές: BOSCH, SIEMENS-VDO, AISAM, PIERBURG, DENSO, DELPHI, MAGNETI MARELLI, MGI COUTIER, JOHNSON CONTROLS, VISTEON, ATTAN, SOLEX

### 3.2.2 Αυτόνομη παρέμβαση στο φρενάρισμα

Σήμερα στην αυτοκινητοβιομηχανία το υδραυλικό σύστημα φρένων χρησιμοποιείται σχεδόν σε κάθε όχημα παραγωγής. Το υδραυλικό σύστημα φρένων περιλαμβάνει τα ακόλουθα μηχανικά στοιχεία:

-Κεντρική αντλία,προμηθεύει πίεση το κύκλωμα.

Κατασκευαστές: ATE, TRW, BOSCH,ADVICS, NISSIN, MANDO, KASKO

-Υποβοήθηση φρένων(ενίσχυση).Πολλαπλασιάζει την δύναμη που ασκείται από τον οδηγό μέσω του πεντάλ των φρένων.

Κατασκευαστές:ATE, TRW, BOSCH, ADVICS, NISSIN, MANDO.

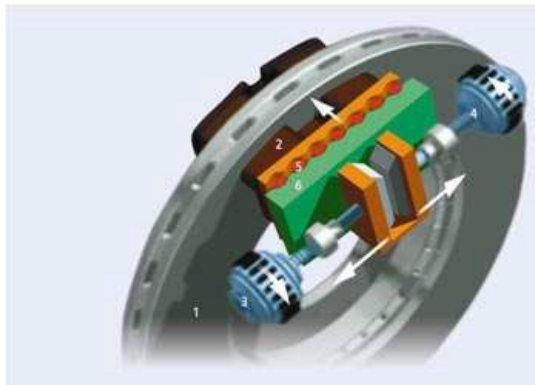
-Μονάδα ελέγχου φρένων.Αυτή η μονάδα διαχειρίζεται την πίεση φρένων στο κύκλωμα όταν ένα από τα συστήματα που χρησιμοποιούν το σύστημα φρένων ενεργοποιείται(ACC,ESC κ.τ.λ).Η διαμόρφωση της πίεσης του φρεναρίσματος για μονό τροχό πραγματοποιείται από την μονάδα κεντρικού υδραυλικού ελέγχου εφοδιασμένη με τις κατάλληλες βαλβίδες και υδραυλικά εξαρτήματα.Συνήθως η ECU και HCU είναι ενσωματωμένα σε μία μονάδα ελέγχου ABS.

Κατασκευαστές: TRW, BENDIX, SUMITOMO,KELSEY HAYES, MOBIS,  
BOSCH, ADVICS, CONTI-TEVES,HONDA, TOYOTA

-Δαγκάνα φρένων είναι η συναρμολόγηση που περιέχει τα τακάκια φρένων και τα έμβολα.

Κατασκευαστές:TRW, BOSCH,KASKO, ATE, ADVICS, NISSIN

-Οι περισσότεροι προμηθευτές TIER1 των συστημάτων φρένων έχουν φρένο με σύστημα σύρματος που αναπτύχθηκε.Με αυτό το σύστημα όλα τα εξαρτήματα του συμβατικού υδραυλικού συστήματος φρένων αφαιρούνται εκτός από τις σιαγόνες φρένων.Η εξάλειψη του υδραυλικού συστήματος όπως σωλήνες,κύλινδροι φρένου,ενισχυτές φρένων και υδραυλικές μονάδες ελέγχου φρένου μειώνουν το βάρος του οχήματος,αυξάνει την αξιοπιστία και μειώνει τις απαιτήσεις συντήρησης.



Σχήμα 46-Ηλεκτρική δαγκάνα φρένου

### 3.2.3 Αυτόνομη παρέμβαση στο σύστημα διεύθυνσης

Electric power steering(EPS) είναι η βασική επιλογή για αυτόνομη παρέμβαση στο σύστημα διεύθυνσης.Το eps είναι ένα κανονικό σύστημα διεύθυνσης με ένα ηλεκτρικό κινητήρα που παρέχει βοήθεια στρέψης.Τεράστια ποσότητα δεδομένων υποβάλλονται σε επεξεργασία για να καθορίσει πότε και πόση ροπή στρέψης θα πρέπει να εφαρμοστεί,η ασφάλεια θα πρέπει να είναι πιο σημαντική κατά τον σχεδιασμό του EPS.Τα πρώτα συστήματα ηλεκτρικού υδραυλικού τιμονιού βασιζόντουσαν σε ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος.Δεδομένου ότι η βοήθεια της ροπής στρέψης είναι ο στόχος κάθε συστήματος υδραυλικού τιμονιού ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος είναι σωστή επιλογή για την εφαρμογή αυτή μόνο και μόνο γιατί η ροπή στρέψης μπορεί να ελέγχεται με την ρύθμιση ρεύματος του κινητήρα DC.Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι τα περισσότερα υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν EPS όχι μόνο για εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και για συνεχή υποβοήθηση διεύθυνσης ακόμα και όταν ο κινητήρας είναι σβηστός.Ο κινητήρας DC έχει κάποια μη ελκυστικά χαρακτηριστικά όπως τόξο και τριβές του συλλέκτη και πιθανών μη επιθυμητή στρέψη αν αποτύχει το σύστημα,τότε ένας μηχανισμός απαιτείται ώστε να αποσυνδέει μηχανικά τον DC κινητήρα από το σύστημα διεύθυνσης όταν ανιχνευτεί αυτή η κατάσταση.Στα μέσα της δεκαετίας του 90 κινητήρες τύπου switched reluctance(SR) άρχισε να έχει μεγαλύτερη προσοχή στα συστήματα διεύθυνσης(EPS).Οι κινητήρες SR είναι εύκολο να κατασκευαστούν και δεν περιέχουν μόνιμους μαγνήτες με αποτέλεσμα την εξαιρετική απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και την εξαιρετική αξιοπιστία.Στην πραγματικότητα οι κινητήρες SR μπορούν να συνεχίσουν να περιστρέφονται ακόμα και μετά από μία μονοφασική αποτυχία.Ο τύπος κινητήρα brushless permanent magnet(BPM) υποσχέθηκε νέα επίπεδα αξιοπιστίας και πυκνότητας ισχύος και βασίζεται σε σπάνιους ισχυρούς μαγνήτες και σε σύγκριση με τους κινητήρες SR παρουσιάζουνε δραματική μείωση στις δονήσεις κινητήρα.Με τον επαγωγικό κινητήρα AC(ac induction motor) μπορεί να επιτευχθεί χαμηλότερος κυματισμός ροπής στρέψης σε σύγκριση με τους BPM κινητήρες.Παρόμοια με τον SR κινητήρα το πεδίο στον ACIM μπορεί να εξαλειφθεί με μία απλή απενεργοποίηση των τρανζίστορ του αναστροφέα και σε μία κατάσταση σφάλματος αυτό μετατρέπει τον ρότορα σε ένα αδρανές κομμάτι περιστρεφόμενου μετάλλου σε ένα κλάσμα του δευτερολέπτου έτσι ακόμα και αν δεν υπάρχει υποβοήθηση δύναμης ο κινητήρας δεν προσφέρει αντίσταση στο σύστημα διεύθυνσης.





Σχήμα 47- Ηλεκτρικός κινητήρας για συστήματα διεύθυνσης EPS

### 3.2.4 Αυτόνομη παρέμβαση στο σύστημα μετάδοσης κίνησης

Τα συστήματα μετάδοσης κίνησης που ενεργοποιούνται ηλεκτρονικά σήμερα ενσωματώνονται στα συστήματα ασφαλείας παρέχοντας καλύτερη σταθερότητα. Οι ενεργοποιητές στα συστήματα αυτά είναι ηλεκτρικοί κινητήρες χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις αλλά με διαφορετικά σχέδια ανάλογα τον κατασκευαστή και ορισμένοι είναι εφοδιασμένοι με ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο υδραυλικό συμπλέκτη. Το σύστημα βελτιστοποιεί το φορτίο σύσφιξης συμπλέκτη για διαφορετικές συνθήκες οδήγησης και ρυθμίζοντας την δράση περιορισμού του διαφορικού μεταξύ ελεύθερων και κλειδωμένων μελών μπορεί να βελτιστοποιήσει την ροπή στρέψης του εμπρός και πίσω τροχού και έτσι να παράγει την καλύτερη ισορροπία μεταξύ πρόσφυσης και απόκρισης τιμονιού. Η χρήση της ροπής του κινητήρα και την πληροφορία πίεσης του φρένου στην ρύθμιση του διαφορικού επιτρέπει στο σύστημα να καθορίσει πιο γρήγορα αν το όχημα επιβραδύνει η επιταχύνει και κατά συνέπεια ενεργοποιείται. Αυτή η ρύθμιση μεταφοράς ροπής αυξάνει την σταθερότητα του αυτοκινήτου επιτρέποντας υψηλότερες επιδόσεις στις στροφές. Χρησιμοποιώντας την ολοκληρωμένη διαχείριση των διαφόρων συστημάτων είναι να δυνατό να ελέγξουμε την δυναμική του οχήματος κατά την επιβράδυνση, επιτάχυνση η στις στροφές κάτω από όλες τις συνθήκες οδήγησης.



## Σχήμα 48-Ηλεκτρικός κινητήρας σε ένα κεντρικό διαφορικό

### Συμπεράσματα

Αναλύθηκαν οι τύποι των αισθητήρων και τα συστήματα υποβοήθησης του οδηγού που χρησιμοποιούνται. Στην συνέχεια παρουσιάστηκαν τα μοντέλα ανθρώπινης οδήγησης για τον σχεδιασμό ενός διαμήκη ελέγχου πορείας και κατόπιν αναλύθηκε το σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου πορείας με αισθητήρα κάμερας και ραντάρ και είδαμε τα οφέλη από την προσθήκη αισθητήρα κάμερας σε συνεργασία με το ραντάρ στο σύστημα αυτο. Το σύστημα που αναπτύχθηκε είναι σε θέση όχι μόνο να παρακολουθεί οχήματα μπροστά από το ACC όχημα αλλά επίσης να καθορίζει την εκτροπή και την καμπυλότητα της λωρίδας καθώς και το offset. Ο αισθητήρας κάμερας φαίνεται ότι συμπληρώνει τις δυνατότητες του ραντάρ παρέχοντας ένα σύστημα ACC βελτιωμένο στην ποιότητα και ποσότητα των πληροφοριών. Οι μετρήσεις του αισθητήρα της κάμερας είναι ικανές να παρέχουν καλύτερες πλευρικές εκτιμήσεις των οχημάτων στόχων όσον αφορά το κέντρο της λωρίδας από ένα σύστημα που χρησιμοποιεί αισθητήρα ραντάρ μόνο, αυτό επιτυγχάνεται τόσο μέσω βελτιωμένων εκτιμήσεων πλευρικής θέσης καθώς και από την παροχή πληροφοριών λωρίδας για την αναφορά των εκτιμήσεων. Αυτές οι βελτιώσεις είναι επιτακτικές για την σωστή αντιστοίχιση οχημάτων στόχου στην λωρίδα έτσι ώστε το ACC όχημα να αντιδράσει με τα κατάλληλα οχήματα στόχων και όχι μόνο στα οχήματα στις προσκείμενες λωρίδες. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος όρασης είναι προσανατολισμένο προς την ανάπτυξη ενός συστήματος που θα είναι ακριβές και αξιόπιστο αλλά αυτό ακόμα έχει ένα λογικό υπολογιστικό φορτίο έτσι ώστε το σύστημα να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο. Ενσωματώνουν την προηγούμενη γνώση από τις φιλτραρισμένες εκτιμήσεις η οποία περιλαμβάνει τα δεδομένα του ραντάρ τα οποία ήταν σημαντικά στοιχεία για την επιτυχία του συστήματος. Συγκεκριμένα, στην ανίχνευση και την παρακολούθηση του οχήματος ρουτίνας ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί έξυπνη αναζήτηση χαρακτηριστικών και πρότυπα Bayesian προκειμένου να βρει γρήγορα και με ακρίβεια το στόχο. Πειράματα έχουν αποδείξει την ικανότητα του συστήματος να επιλύει τη θέση του κοντινού στόχου με την διαμήκη ακρίβεια του ραντάρ (περ. 5%) και δείχνουν μία σημαντική βελτίωση σε

σχέση με το ραντάρ στην επίλυση της πλευρικής θέσης. Επιπλέον, η ποιοτική ανάλυση της οδήγησης με κάμερα έχει δείξει την ικανότητα του συστήματος να παρακολουθεί με ακρίβεια τα οχήματα κάτω από πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Η ρουτίνα εντοπισμού λωρίδας χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κέντρου της λωρίδας. Προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία σε ρουτίνες σφάλματος ταξινόμησης λωρίδας ο αλγόριθμος μεγιστοποίησης προσδοκίας έχει ενσωματωθεί. Η επιτυχία του αλγορίθμου αποδείχθηκε ποσοτικά σε πειράματα χρησιμοποιώντας συνθετικά δεδομένα και επίσης δείχνεται στα πραγματικά βίντεο οδήγησης. Η ενσωμάτωση του αλγορίθμου EM παρουσίασε μείωση των σφαλμάτων του 2-4 φορές στο πείραμα συνθετικών δεδομένων και σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα. Στο τελευταίο τμήμα οι μετρήσεις από τη ρουτίνα παρακολούθησης του στόχου συντήχθηκαν με τη μέτρηση ραντάρ. Τέλος εξετάστηκαν οι ενεργοποιητές και οι τρόποι παρέμβασης τους στην υποβοήθηση του οδηγού.

### **Βιβλιογραφία**

- Martijn Pijpers:"Sensors in Advanced Driver Assistance Systems"(2007)
- Johan Bengtsson:"Adaptive Cruise Control and Driver Modeling"(2001)
- Mark Christian Spaeth:"A Low-Cost Hybrid Vision System for Intelligent Cruise Control Applications"(1999)
- Bryan Eric Feldman:"Development and integration of a vision based sensor adaptive cruise control"(2002)
- Micha Lesemann:"Testing and Evaluation Methods for ICT-based Safety Systems"(2008)