



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

## ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΟΡΙΩΝ ΟΔΟΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΔΡΟΜΟ ΧΩΡΙΣ ΚΛΙΣΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της Ευθυμίας Γ. Ψωμαδάκη

Επιβλέπων: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιανουάριος 2011





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΟΡΙΩΝ ΟΔΟΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ  
ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΔΡΟΜΟ  
ΧΩΡΙΣ ΚΛΙΣΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της Ευθυμίας Γ. Ψωμαδάκη

Επιβλέπων: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....

.....  
.....

Αθήνα, Ιανουάριος 2011

.....  
Ευθυμία Γ. Ψωμαδάκη

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

Copyright © Ευθυμία Γ. Ψωμαδάκη 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος για αναγνώριση ορίων οδοστρώματος από κινούμενο όχημα, με μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Συνεχίζοντας τις προσπάθειες για αυτοματοποίηση των φωτοτεχνικών μετρήσεων στους δρόμους προτείνεται ένας βελτιωμένος κώδικας σε περιβάλλον MATLAB.

Αρχικά η αποτύπωση των στιγμιότυπων γίνεται με τη βοήθεια μίας κατάλληλα βαθμονομημένης κάμερας CCD. Τα στιγμιότυπα στη συνέχεια επεξεργάζονται από υπολογιστή με την ακόλουθη διαδικασία: Αρχικά η εικόνα επεξεργάζεται με τη βοήθεια των κατάλληλων συναρτήσεων του περιβάλλοντος MATLAB έτσι ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν νυχτερινές λήψεις είτε λήψεις σε σήραγγες. Ο θόρυβος της εικόνας μετριάζεται και έτσι οι λωρίδες κυκλοφορίας μπορούν να αναγνωριστούν ακριβέστερα με τη βοήθεια επιλεγμένου αλγορίθμου αναγνώρισης ορίων οδοστρώματος. Οι εντοπισμένες λωρίδες, οι οποίες έχουν προσεγγιστεί με την κατάλληλη καμπύλη, με τη βοήθεια των αρχών της προοπτικής γεωμετρίας υποβάλλονται σε μαθηματικούς μετασχηματισμούς οι οποίοι μας επιτρέπουν να εντοπίσουμε την πραγματική θέση της λωρίδας στον τρισδιάστατο χώρο. Κατόπιν αφού εντοπιστεί το ζητούμενο τραπέζιο στο τρισδιάστατο επίπεδο, με τη βοήθεια ξανά της προοπτικής γεωμετρίας το επιλεγμένο τραπέζιο προβάλλεται πίσω στην εικόνα και χρησιμοποιείται εν τέλει για τον υπολογισμό της μέσης τιμής της λαμπρότητας.

Με τον βελτιωμένο αυτό αλγόριθμο οι μετρήσεις στην περίπτωση οδών με στροφές επιτυγχάνονται με πολύ καλύτερη ακρίβεια ενώ ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου είναι αρκετά μικρός ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε πραγματικό χρόνο.

### Λέξεις κλειδιά

Αναγνώριση ορίων οδοστρώματος, φωτισμός δρόμων, προοπτική γεωμετρία, μέτρηση λαμπρότητας,

## **Abstract**

In the present thesis an algorithm for real time road lane detection from a moving vehicle is described. Continuing the efforts for achieving the automation of the lighting measurements in the roads, an improved MATLAB code is presented.

Initially the video frames are stored with the help of a properly calibrated CCD camera. Afterwards, the frames are edited by a computer with the following procedure: At the beginning the frame is edited with the suitable MATLAB functions so that night pictures or pictures in tunnels can be processed. The noise of the picture is limited and so the road lanes can be detected more accurately with the help of a chosen algorithm. The detected lanes, which have been approximated with the proper curve and by using the basis of perspective projection geometry, are mathematically transformed and the real coordinates of the lanes in the 3D world are calculated. By using the equations of perspective projection the chosen trapezoid is again projected on the camera plane and used to measure the average luminance.

Moreover, with this improved algorithm, we manage to achieve more accurate results for measuring the luminance of curved streets, while the running time of the algorithm is relatively small so that it could be implemented in real time.

## **Keywords**

Road lane detection, street lighting, perspective projection, luminance measurement

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του ΕΜΠ κ. Φραγκίσκο Τοπαλή για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας αυτής και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Επίσης,θα ήθελα να εκφράσω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ κ. Κωνσταντίνο Μπουρούση για την εξαιρετική συνεργασία καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας αυτής, οι οποίες ήταν καθοριστικές για την επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την συνεχή στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.





# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	16
1.1	Σκοπός της εργασίας.....	16
1.2	Διάρθρωση της εργασίας.....	17
2	ΒΑΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ.....	20
2.1	Φωτεινή ροή και φωτεινή ενέργεια .....	20
2.2	Ποσότητα φωτός.....	21
2.3	Φωτεινή ένταση.....	21
2.4	Απόδοση φωτεινής πηγής.....	21
2.5	Ένταση φωτισμού επιφάνειας.....	21
2.6	Λαμπρότητα.....	22
2.7	Θάμβωση.....	23
3	ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΟΔΩΝ.....	26
3.1	Γενικά για τον οδικό φωτισμό.....	26
3.2	Απαιτήσεις οδών σε φωτομετρικά χαρακτηριστικά.....	27
3.3	Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του φωτισμού δρόμων.....	28
3.3.1	Διάταξη φωτιστικών σωμάτων.....	29
3.3.2	Ύψος και απόσταση φωτιστικών σωμάτων.....	20
3.4	Συστήματα φωτισμού.....	30
3.5	Φωτιστικά δρόμων.....	31
3.6	Στοιχεία από το πρότυπο του ΕΛΟΤ για φωτισμό δρόμων.....	33
3.7	Φωτισμός οδικών σηράγγων.....	35
3.7.1	Ταξινόμηση οδικών σηράγγων.....	35
3.7.2	Ζώνες σηράγγων.....	36
3.7.3	Φωτεινή πάλμωση.....	38
3.7.4	Νυχτερινός φωτισμός στη σήραγγα.....	39
4	ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ.....	41
4.1	Μέτρηση λαμπρότητας σε σημείο.....	41
4.2	Πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας.....	41
4.3	Θέση σημείων υπολογισμού λαμπρότητας.....	42
4.4	Θέση του παρατηρητή.....	44
4.5	Φωτιστικά που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς.....	45
5	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΟΡΙΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	48
5.1	Εισαγωγή.....	48
5.2	Μέθοδος με Inverse Perspective Mapping(IPM).....	50
5.3	Αναγνώριση ορίων οδοστρώματος χρησιμοποιώντας των B-snake.....	52
5.4	Αλγόριθμος LOIS (Likelihood Of Image Shape) με χρήση φίλτρου Kalman.....	55

5.5	Αναγνώριση ορίων οδοστρώματος με τη βοήθεια της Catmull-Rom Spline.....	56
5.6	Μία γρήγορη μέθοδος αναγνώρισης βασισμένη στην B-spline.....	59
6	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ-ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΜΕΡΑΣ.....	62
6.1	Φωτογραμμετρία.....	62
6.2	Βαθμονόμηση κάμερας –calibration.....	64
7	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΩΔΙΚΑ .....	68
7.1	Αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των λωρίδων...68	
7.2	Μετασχηματισμός Radon.....	73
7.3	Στοιχεία προοπτικής γεωμετρίας .....	75
7.3.1	Pinhole camera model-Το μοντέλο της απλής σημειακής κάμερας.....	76
7.3.2	Προοπτικός μετασχηματισμός στις τρεις διαστάσεις-Perspective transformation 3D.....	77
7.4	Σχέση μεταξύ πραγματικών συντεταγμένων και pixel συντεταγμένων στην εικόνα.....	82
8	ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΩΔΙΚΑ .....	85
8.1	Λογική του αλγορίθμου.....	85
8.2	Στήσιμο της κάμερας.....	86
8.3	Επεξεργασία εικόνας.....	86
8.4	Εφαρμογή μετασχηματισμού radon για ανίχνευση των αρχικών σημείων ελέγχου για την αριστερή και δεξιά διαγράμμιση.....	95
8.5	Μετατροπή από pixel σε πραγματικές συντεταγμένες.....	99
8.6	Inverse perspective projection.....	99
8.7	Προσέγγιση των σημείων της αριστερής και δεξιάς διαγράμμισης με καμπύλη.....	100
8.8	Perspective projection της αριστερής και δεξιάς καμπύλης.....	104
8.9	Τελικό τραπέζιο.....	104
8.10	Tracking των διαγραμμίσεων.....	105
8.11	Χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου.....	105
9	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ.....	108
10	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	115
10.1	Περιορισμοί της εργασίας και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	115
10.2	Προτάσεις για καλύτερη διεξαγωγή των μετρήσεων.....	116
11	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	118

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 :Κλάσεις φωτισμού για διάφορα επίπεδα οδών.....	27
Πίνακας 3.2 :Απαιτήσεις φωτισμού κατά κλάση φωτισμού.....	28
Πίνακας 3.3 : Απαιτήσεις φωτισμού για ασφαλτικό οδόστρωμα, κατά AASHTO.....	28
Εικόνα 3.1:Παραδείγματα διατάξεως φωτιστικών σωμάτων σε δρόμους για ευθείες .....	29
Πίνακας 3.4 Συντελεστής αντίθεσης.....	30
Εικόνα 3.2 :Συμμετρικό σύστημα φωτισμού.....	30
Εικόνα 3.3 :Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού.....	31
Εικόνα 3.4 :Κατηγορίες φωτιστικών non cut-off,semi cut-off,full cut-off.....	33
Εικόνα 3.5: (CIE 88-1990) Παρουσιάζονται οι παράμετροι και η επίδραση τους στην απαίτηση για ημερήσιο φωτισμό.....	35
Εικόνα 3.6:Ζώνες φωτισμού κατά μήκος μιας σήραγγας.Πέντε ζώνες διακρίνονται.	36
Πίνακας 3.5 :Τιμές λαμπρότητας L20 της ζώνης προσέγγισης.....	37
Πίνακας 3.6 : Υπολογισμός Lth.....	38
Πίνακας 3.7 :Προτεινόμενες περιοχές λαμπρότητας για την κεντρική/εσωτερική ζώνη ανάλογα με την απόσταση πεδήσεως και την κυκλοφοριακή ροή.....	38
Εικόνα 4.1 Πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας.....	42
Εικόνα 4.2: Θέσεις σημείων υπολογισμού της λαμπρότητας.....	43
Εικόνα 4.3 Πεδίο υπολογισμού λαμπρότητας για κάθε τύπο δρόμου.....	44
Εικόνα 4.4 περιοχή εντοπισμού των φωτιστικών που θα περιληφθούν στους υπολογισμούς.....	45
Εικόνα 5.1: Φαίνεται το σύστημα της κάμερας και το τρισδιάστατο σύστημα του πραγματικού κόσμου.....	50
Εικόνα 5.2 : Φαίνονται πάνω οι αρχικές εικόνες και κάτω αυτές που προκύπτουν μετά την επεξεργασία, στις περιπτώσεις που ο δρόμος είναι ευθύς,με στροφή προς τα αριστερά και στροφή προς τα δεξιά.....	51
Εικόνα 5.3 :Πάνω και κάτω αριστερά το αποτέλεσμα μετά το IPM και πάνω και κάτω δεξιά το αποτέλεσμα μετά την τμηματοποίηση.....	51

Εικόνα 5.4:Φαίνονται στις εικόνες τα αποτελέσματα μετρήσεων με IPM.....	52
Εικόνα 5.5 : Φαίνονται οι θέσεις της δεξιάς και αριστερής λωρίδας όπως φαίνονται από ψηλά και από την εικόνα της κάμερας.....	53
Εικόνα 5.6 :Παραδείγματα εφαρμογής του αλγορίθμου CHEVP.....	54
Εικόνα 5.7 :Κάποια παραδείγματα εντοπισμού των λωρίδων με τον αλγόριθμο B-snake.....	54
Εικόνα 5.8 : Αναγνώριση διαχωριστικών λωρίδων με χρήση του αλγορίθμου LOIS..	56
Εικόνα 5.9 :Μορφή της catmul-rom spline.....	57
Εικόνα 5.10 :Αναπαράσταση των λωρίδων με την catmul.....	57
Εικόνα 5.11:Πιθανές θέσεις του σημείου PR1.....	58
Εικόνα 5.12:Επιτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου για δρόμο που δεν είναι βαμμένος.....	58
Εικόνα 5.13:Φαίνεται η εφαρμογή του canny και του φίτρου που χρησιμοποιείται μετέπειτα.....	59
Εικόνα 5.14:Επιτυχημένα παραδείγματα εφαρμογής του αλγορίθμου.....	60
Εικόνα 6.1 :Φαίνεται η εστιακή απόσταση της φωτογραφικής μηχανής και το πεδίο του κόσμου που μπορεί να <συλλάβει> ο φακός.....	63
Εικόνα 6.2 :Στροφή του συστήματος συντεταγμένων.....	65
Εικόνα 6.3 :Φαίνονται τα συστήματα συν/νων κάμερας,κόσμου,εικόνας.....	66
Εικόνα 7.1 :Περιγραφή του αλγορίθμου αναζήτησης σημείων.....	70
Εικόνα 7.2: Παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου.....	71
Εικόνα 7.3 : Εκτίμηση της καμπυλότητας των διαγραμμίσεων.....	71
Εικόνα 7.4 :Μετασχηματισμός radon.....	74
Εικόνα 7.5 :Μετασχηματισμός radon ,επεξήγηση προβολών.....	74
Εικόνα 7.6 :Γεωμετρία του μετασχηματισμού radon.....	75
Εικόνα 7.7 :Αναπαράσταση του μοντέλου της απλής σημειακής κάμερας.....	76
Εικόνα 7.8 Προοπτική σμίκρυνση.....	77

Εικόνα 7.9 Αναπαράσταση του perspective transformation.Φαίνονται τα διάφορα συστήματα συντεταγμένων.....	78
Εικόνα 7.10 Σχέση μεταξύ απεικονιζόμενου αντικειμένου και απεικόνισης του.....	82
Εικόνα 8.1 : σύστημα φωτομέτρησης του εργαστηρίου φωτοτεχνίας του ΕΜΠ.....	85
Εικόνα 8.2 Κάμερα CCD.....	85
Εικόνα 8.3 :Οι τρεις καμπύλες μετασχηματισμού μας δείχνουν πως οι τιμές αντιστοιχίζονται όταν $\gamma < 1, \gamma = 1, \gamma > 1$ .....	88
Εικόνα 8.4 :Δυαδική εικόνα η οποία μεγενθύνεται για να δούμε τις τιμές των pixel.....	88
Εικόνα 8.5 Φαίνεται μία εικόνα grayscale που αναπαριστά έναν ευθή δρόμο με κανονική κυκλοφορία.....	90
Εικόνα 8.6 :Φαίνεται πως γίνεται η εικόνα μας μετά την διόρθωση γάμμα.....	90
Εικόνα 8.7 :Μετατροπή της εικόνας σε δυαδική.....	91
Εικόνα 8.8 :Μετά την αφαίρεση μέρους του θορύβου.....	91
Εικόνα 8.9 :Μετά την εφαρμογή του φίλτρου canny για ανίχνευση ακμών.....	92
Εικόνα 8.10 :Ενδεικτική εικόνα από ένα τουνελ.....	93
Εικόνα 8.11:Η αντίστοιχη ασπρόμαυρη εικόνα.....	93
Εικόνα 8.12:Μετά την rangefilt επεξεργασία.....	94
Εικόνα 8.13:Η αντίστοιχη δυαδική εικόνα.....	94
Εικόνα 8.14:Η εικόνα μας μετά την αφαίρεση μέρους του θορύβου.Φαίνονται η αριστερή και δεξιά διαγράμμιση.....	95
Εικόνα 8.15 Περιοχή αναζήτησης.....	96
Εικόνα 8.16 Περιοχή αναζήτησης αν αλλάξει η γωνία της κάμερας.....	96
Εικόνα 8.17 :Παράδειγμα εφαρμογής του μετασχηματισμού radon για εντοπισμό των αρχικών σημείων των διαγραμμίσεων.....	97
Εικόνα 8.18 Αναγνώριση σημείων ελέγχου.....	98
Εικόνα 8.19: Φαίνεται η spline που προσαρμόστηκε στα σημεία που αποκτήσαμε από τον αλγόριθμο αναζήτησής .....	98
Εικόνα 8.20 Συντεταγμένες pixel.....	99

Εικόνα 8.21:Εισαγωγή των σημείων μας (data) στο curve fitting toolbox .....101

Εικόνα 8.22:Παρατίθεται το παράθυρο στο οποίο θα γίνουν οι κατάλληλες επιλογές για το fitting.....102

Εικόνα 8.23:Φαίνονται σχεδιασμένα στην ίδια γραφική παράσταση το σύνολο των στοιχείων που μπήκαν σαν input καθώς και η καμπύλη με την οποία προσεγγίστηκαν τελικά(output).....103

Εικόνα 8.24 : Παράδειγμα του τελικού τραπεζίου στο οποίο θα γίνουν μετά οι υπολογισμοί για τη μέτρηση της λαμπρότητας.....104



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια συνέχεια της προσπάθειας του Εργαστηρίου Φωτοτεχνίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την υλοποίηση ενός συστήματος που θα διεξάγει αυτόματα μετρήσεις φωτισμού μέσα από κινούμενο όχημα, σε οδού σε οδούς και σήραγγες.

Η ύπαρξη του **σωστού οδικού φωτισμού** συμβάλλει στην καλύτερη οπτική αναγνώριση του οδοστρώματος που βρίσκεται σε μια ορισμένη απόσταση από τον οδηγό και κατά συνέπεια στην επίτευξη **οδικής ασφάλειας**, εφόσον ο οδηγός, με τον κατάλληλο φωτισμό θα αναγνωρίζει ευκολότερα τόσο τα όρια των διαγραμμίσεων του δρόμου όσο και εμπόδια που τυχόν υπάρχουν σ αυτόν. Επίσης με την κατάλληλη αξιολόγηση και εκμετάλλευση των μετρήσεων αυτών μπορεί να επιτευχθεί **εξοικονόμηση ενέργειας** στον φωτισμό δρόμων, φωτίζοντας το οδικό δίκτυο με όσο ακριβώς φωτισμό του είναι απαραίτητος.

Ως τώρα οι προσπάθειες του Εργαστηρίου Φωτοτεχνίας οδήγησαν στην αυτοματοποίηση των μετρήσεων του φωτισμού δρόμων υπο τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Λήψη των μετρήσεων από όχημα εφοδιασμένο με κάμερα CCD. Για να γίνει η λήψη και επεξεργασία των μετρήσεων απαιτούνται δύο επιβάτες στο όχημα, ο οδηγός και ο συνοδηγός που με τη βοήθεια του φορητού υπολογιστή επεξεργάζεται τις μετρήσεις κάνοντας τις απαραίτητες ρυθμίσεις στο πρόγραμμα. Η κάμερα τοποθετείται κατάλληλα ώστε η λήψη των στιγμιότυπων να μην παρεμποδίζεται από τον υαλοθώρακα του οχήματος.

- Η λήψη των μετρήσεων γίνεται με τη χρήση στιγμιότυπων βίντεο από τον χειριστή και όχι και τη λήψη μεμονωμένων στιγμιότυπων. Επίσης τα συνεχόμενα στιγμιότυπα αποθηκεύονται στον φορητό υπολογιστή στην περίπτωση που χρειαστεί να μελετηθούν περαιτέρω αργότερα.



- Σε αντίθεση με παλαιότερες προσπάθειες μέτρησης του επιπέδου φωτισμού στις οποίες απαιτούνταν ενδεχόμενως ακόμα και διακοπή της κυκλοφορίας ή λήψη των μετρήσεων σε ώρες με χαμηλή διέλευση οχημάτων καθώς και απομόνωση του επιθυμητού τμήματος του οδοστρώματος με κώνους, τώρα οι μετρήσεις πραγματοποιούνται αυτόματα σε δρόμο με κανονική κυκλοφορία χωρίς να είναι απαραίτητη η παρεμπόδιση της.

- Η επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται με τη βοήθεια του κατάλληλου προγράμματος σε κώδικα MATLAB και γίνεται την στιγμή της λήψης των στιγμιοτύπων και όχι μετέπειτα αφού εντοπίζεται σε πραγματικό χρόνο η επιθυμητή περιοχή ενδιαφέροντος.

- Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν σε επίπεδο έδαφος για ευθείς δρόμους και δρόμους με στροφές.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η συνέχιση των προηγούμενων προσπαθειών ανάπτυξης του συστήματος, μέσω ανάπτυξης βελτιωμένων αλγορίθμων αναγνώρισης του οδοστρώματος ώστε να καλύπτονται όλες οι περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα δρόμος με στροφές, πολλαπλές λωρίδες κυκλοφορίας κτλ. Επίσης επιτυγχάνεται μέτρηση της λαμπρότητας και στην περίπτωση που υπάρχει τεχνητός φωτισμός (νύκτα, ή μέσα σε σήραγγα). Για επίτευξη του σκοπού αυτού συνδυάστηκαν προηγούμενα αποτελέσματα έρευνας του εργαστηρίου, η επιστήμη της Όρασης Υπολογιστών, οι δυνατότητες του περιβάλλοντος MATLAB καθώς και βασικές αρχές της Προοπτικής Γεωμετρίας.

## **1.2 Διάρθρωση της εργασίας**

Η διάρθρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας έχει ως εξής :

**Κεφάλαιο 1:** Παρουσίαση του σκοπού της εργασίας αυτής.

**Κεφάλαιο 2:** Συνοπτική αναφορά κάποιων βασικών αρχών της επιστήμης της Φωτοτεχνίας

**Κεφάλαιο 3:** Αναφορά βασικών αρχών που διέπουν τον φωτισμό δρόμων.

**Κεφάλαιο 4:** Αναφορά των τρόπων μέτρησης της λαμπρότητας σε οδούς και σήραγγες.

**Κεφάλαιο 5:** Παρουσίαση επικρατέστερων τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση των ορίων οδοστρώματος.

**Κεφάλαιο 6:**Αναφορά στην επιστήμη της φωτογραμμετρίας και κάποιον τεχνικών βαθμονόμησης της κάμερας

**Κεφάλαιο 7:**Ανάλυση του μαθηματικού υποβάθρου που είναι απαραίτητο για την κατανόηση της εργασίας αυτής.

**Κεφάλαιο 8:**Περιγραφή του κώδικα που χρησιμοποιούμε αναλυτικά σε βήματα.

**Κεφάλαιο 9:**Παραδείγματα εφαρμογής του κώδικα αυτού σε πραγματικές εικόνες οδοστρώματος

**Κεφάλαιο 10:**Σύνοψη,συμπεράσματα της εργασίας αυτής και περιορισμοί ,καθώς και προτάσεις για μετέπειτα έρευνα.

**Κεφάλαιο 11:**Παρουσίαση της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΒΑΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα οι επιστήμονες εξέτασαν με επιτυχία τη σχέση που υπάρχει μεταξύ φωτός και οράσεως και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η βελτίωση των συνθηκών καλής ορατότητας δεν απαιτεί οπωσδήποτε αύξηση της ποσότητας του φωτός αλλά εκπλήρωση ορισμένων προϋποθέσεων από την εγκατάσταση. Έτσι μπήκαν τα θεμέλια της **φωτοτεχνίας** που εξελίχθηκε σε κλάδο των φυσικών, φυσιολογικών και ψυχολογικών επιστημών.

Παρακάτω περιγράφονται κάποια **θεμελιώδη μεγέθη** της επιστήμης της φωτοτεχνίας για την καλύτερη κατανόηση αυτής της εργασίας: [1],[2],[3]

#### 2.1 Φωτεινή ροή και φωτεινή ενέργεια

Σαν φωτεινή ροή  $\Phi$  ορίζουμε τη φωτεινή ενέργεια  $Q$  που εκπέμπει μια σημειακή φωτεινή πηγή τοποθετημένη στην κορυφή ενός κώνου, σε χρόνο  $dt$  προς τον χρόνο αυτό.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

Το μέγεθος αυτό είναι στην πραγματικότητα **φωτεινή ισχύς**, γιατί εκφράζει την ποσότητα της φωτεινής ισχύος που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Με τον όρο φωτεινή ενέργεια  $Q$  εννοείται η **εκπεμπόμενη ακτινοβολία** από μία πηγή η οποία γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Μια πηγή ακτινοβολίας εκπέμπει ενέργεια που είναι κατανομημένη ανομοιόμορφα στο φάσμα εκπομπής της πηγής συναρτήσει του μήκους κύματος  $\lambda$ , τη δε κατανομή την καθορίζει η Φασματική ενέργεια ακτινοβολίας  $W_\lambda$ .

## 2.2 Ποσότητα φωτός

Η φωτεινή ενέργεια  $Q$  είναι στην πραγματικότητα η ποσότητα φωτός που εκπέμπει μία πηγή σε κάποιο χρονικό διάστημα, περιγράφει τις δυνατότητες μιας φωτεινής πηγής και δίνεται σε  $\text{lumen} \cdot \text{sec}$ . Για τον υπολογισμό της ποσότητας του φωτός που εκπέμπεται σε κάποιο χώρο, από μία φωτεινή πηγή, σε χρόνο  $\Delta t = t_1 - t_2$  έχουμε:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \Phi dt$$

## 2.3 Φωτεινή ένταση

Μια φωτεινή πηγή δεν εκπέμπει ομοιόμορφα το φως που παράγει. Ορίζεται λοιπόν το μέγεθος της φωτεινής έντασης που καθορίζει προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση του στερεού χώρου το ποσό της φωτεινής ροής  $\Phi$  που εκπέμπει η φωτεινή πηγή. Μετριέται σε  $\text{cd}$  (candela) και ορίζεται ως

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

Όπου  $\omega$  η στερεά γωνία. Η συνολική Φωτεινή ροή  $\Phi_{\text{ολ}}$  που εκπέμπει μια πηγή προς όλες τις κατευθύνσεις, μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση αν είναι γνωστή η φωτεινή ένταση  $I$  της πηγής.

$$\Phi_{\text{ολ}} = \int_0^{4\pi} I d\omega$$

## 2.4 Απόδοση φωτεινής πηγής

Ο βαθμός απόδοσης φωτεινής πηγής  $\eta$  δίνεται ως εξής:

$$\eta = \frac{\Phi}{P_{\text{ηλ}}}$$
 το  $\eta$  δίνεται σε  $\text{lm/w}$

όπου  $P_{\text{ηλ}}$  η καταναλισκόμενη από τον λαμπτήρα ηλεκτρική ισχύς. Το  $\eta$  μας δίνει το ποσό της αποδιδόμενης φωτεινής ισχύος ή ροής για κάθε  $\text{watt}$  καταναλισκόμενης ενέργειας.

## 2.5 Ένταση φωτισμού επιφάνειας

Όταν πέφτει φως σε κάποιο αντικείμενο που είναι ετερόφωτο αυτό φωτίζεται. Αν θεωρηθεί μια στοιχειώδης επιφάνεια  $dS$  του αντικειμένου στην οποία πέφτει κάθετα στοιχειώδης ποσότητα φωτεινής ροής  $d\Phi$ , τότε ορίζεται σαν ένταση φωτισμού ή φωτισμός επιφάνειας ο λόγος

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad \text{Η μονάδα μέτρησης του } E \text{ δίνεται σε lux : } 1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2.$$

Αν μία επιφάνεια φωτίζεται ομοιόμορφα από μία πηγή, τότε η  $E$  είναι σταθερή σε όλη την επιφάνεια και δίνεται από τη σχέση  $E = \frac{\Phi}{S}$ .

## 2.6 Λαμπρότητα

Εκτός από τις **αυτόφωτες** φωτεινές πηγές υπάρχουν και **ετερόφωτες**. Ετερόφωτη φωτεινή πηγή είναι το οποιοδήποτε σώμα ,που όταν φωτίζεται από κάποια φωτεινή ακτινοβολία, είτε ανακλά το φως, είτε το διαχέει. Το φωτιζόμενο σώμα φαίνεται στον παρατηρητή σαν να εκπέμπει φως και γι αυτό ονομάζεται ετερόφωτο. Αν παρατηρηθούν δύο φωτεινές πηγές που έχουν την ίδια φωτεινή ένταση αλλά διαφορετικές διαστάσεις, δίνεται η εντύπωση ότι η πηγή με τη μικρότερη επιφάνεια είναι πιο φωτεινή από την άλλη.

Απαιτείται λοιπόν η εισαγωγή ενός νέου μεγέθους που θα προσδιορίζει τη φωτεινότητα μιας φωτοβολούσας επιφάνειας η οποία θα μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση αυτού που παρατηρεί την πηγή, μια και η φωτεινή ένταση είναι συνάρτηση της κατεύθυνσης προς την οποία ακτινοβολεί η πηγή. Το μέγεθος αυτό είναι η λαμπρότητα  $L$  και ορίζεται με το πηλίκο της φωτεινής έντασης  $I$  της πηγής στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδόν  $S$  της επιφάνειας της πηγής το οποίο βλέπει ο παρατηρητής.

$$L = \frac{I}{S}, \text{ η λαμπρότητα έχει μονάδες } \text{cd/m}^2.$$

Έστω μια φωτεινή πηγή με μικρών διαστάσεων φωτοβολούσα επιφάνεια εμβαδού  $S$ , της οποίας η φωτεινή ένταση κατά την κατεύθυνση την κάθετο προς αυτή έχει τιμή  $I_0$  και ένας παρατηρητής που βρίσκεται σε τυχαία θέση προς την κατεύθυνση της οποίας η φωτεινή πηγή εκπέμπει με  $I_a$  υπό γωνία  $\alpha$  ως προς την κάθετο στην φωτοβολούσα επιφάνειά της. Ο παρατηρητής βλέπει την προβολή  $S_0$  της επιφάνειας  $S$  προς την κατεύθυνση του. Η επιφάνεια που βλέπει ο παρατηρητής έχει εμβαδόν

$$S_a = S \cdot \cos \alpha$$

Η λαμπρότητα κατά τη διεύθυνση του παρατηρητή θα είναι:

$$L_{\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{S_{\alpha}}$$

Υψηλές τιμές ή μεγάλες διαφορές λαμπρότητας προκαλούν **θάμβωση**, η οποία επηρεάζει την ικανότητα οράσεως. Το φαινόμενο μπορεί να αποφευχθεί όταν η λαμπρότητα  $L_{max}$  του περισσότερου λαμπρού σημείου και η λαμπρότητα  $L_{min}$  του λιγότερου λαμπρού σημείου ικανοποιούν τη σχέση

$$\frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max}} \leq 10$$

Για το φωτισμό δρόμο η επιθυμητή λαμπρότητα έχει τιμές  $1 \sim 2 \text{ cd/m}^2$ .

Αναφέρουμε επίσης ότι η λαμπρότητα στην καθομιλουμένη σχετίζεται συχνά με την **φωτεινότητα** ενώ στην φωτοτεχνία είναι δύο έννοιες διαφορετικές. Η λαμπρότητα σε αντίθεση με την φωτεινότητα μπορεί να υπολογιστεί ποσοτικά. Επομένως η φωτεινότητα δεν είναι κατάλληλη για ποσοτικούς καθορισμούς της ορατότητας ενώ η λαμπρότητα είναι.

Όταν ένας οδηγός αυτοκινήτου με αναμμένους τους προβολείς συναντήσει ένα πεζό στο βάθος του δρόμου, για να οριστεί η ορατότητα του πεζού μας ενδιαφέρει κυρίως η λαμπρότητά τους και όχι τόσο πολύ η ένταση φωτισμού με την οποία εμφανίζονται.

## 2.7 Θάμβωση

Σαν θάμβωση εννοούμε τη μείωση της ικανότητας οράσεως που δημιουργείται από τη μη κατάλληλη διανομή της λαμπρότητας μέσα στο πεδίο οράσεως, από πολύ υψηλές λαμπρότητες ή από αντιθέσεις λαμπρότητας του χώρου ή από χρονικές αντιθέσεις λαμπρότητας. Όλα αυτά προκαλούν μια δυσάρεστη ενόχληση και μειώνουν την ευαισθησία διακρίσεως και την ταχύτητα αναγνώρισεως αντικειμένων.

Η θάμβωση διακρίνεται σε :

Φυσιολογική θάμβωση: Την προκαλούν κυρίως φυσιολογικές πηγές φωτός. Είναι η ελάττωση της απόδοσης των λειτουργιών της όρασης χωρίς να εμφανίζεται ταυτόχρονα ενοχλητικό αίσθημα.

Ψυχολογική θάμβωση: Είναι το πιο επικίνδυνο και δυσκολοδιαπιστούμενο είδος θάμβωσης γιατί η βλάβη της ικανότητας οράσεως μπορεί να διαπιστωθεί μετά

από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα με τη μορφή ψυχολογικών συμπτωμάτων πχ. πόνοι στα μάτια και στο κεφάλι, κόπωση. Σ' αυτήν εμφανίζεται αμέσως το αίσθημα της δυσφορίας και της ανασφάλειας χωρίς να ελαττώνεται προσωρινά η ικανότητα οράσεως.

**Για να είναι σωστή η μελέτη του φωτισμού ενός χώρου οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:**

- Η στάθμη φωτισμού
- Η θάμβωση
- Η κατανομή λαμπρότητας στο χώρο
- Η θερμοκρασία χρώματος
- Η χρωματική απόδοση των λαμπτήρων
- Η εκλογή της σωστής στάθμης φωτισμού
- Η εκλογή του σωστού είδους φωτισμού
- Η εκλογή των κατάλληλων λαμπτήρων και φωτιστικών σωμάτων





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΟΔΩΝ

### 3.1 Γενικά για τον οδικό φωτισμό

Ο κυριότερος στόχος του οδικού φωτισμού και του φωτισμού σηράγγων είναι η παροχή βέλτιστης **οδικής ασφάλειας** κατά τη διάρκεια της νύχτας, παρέχοντας συνθήκες καλής ορατότητας για τους χρήστες του οδικού δικτύου.

Ο σωστός οδικός φωτισμός μπορεί να δημιουργήσει ένα περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας, για ανοιχτές οδούς και κατά τη διάρκεια της ημέρας για σήραγγες, στο οποίο οι οδηγοί θα είναι σε θέση να εντοπίζουν έγκαιρα και με ακρίβεια τα όρια του οδοστρώματος, καθώς και τα τυχόν εμπόδια που θα βρεθούν μπροστά τους στο οδόστρωμα, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να αντιδρούν με **ασφάλεια**. Επιπλέον, η εγκατάσταση του κατάλληλου οδικού φωτισμού στοχεύει στην επίτευξη μιας **ομαλής κυκλοφοριακής ροής**, παρέχοντας βελτιωμένη απεικόνιση των γεωμετρικών και κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών της οδού και δυνατότητες ασφαλέστερης προσπέρασης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η βέλτιστη χρήση των υποδομών κατά τη διάρκεια της νύχτας και κατά τη διάρκεια της ημέρας όσον αφορά τις σήραγγες και κάτω από μεγάλη ποικιλία καιρικών συνθηκών.

Μία εγκατάσταση φωτισμού πρέπει να παρέχει στον οδηγό τη δυνατότητα να καθορίζει:

- Την κατάσταση του δρόμου στο τμήμα που θα διανύσει στη διάρκεια των επόμενων 10 δευτερολέπτων.
- Τη θέση του οχήματος και την κίνηση του κατά τη διάρκεια του παραπάνω χρονικού διαστήματος.
- Τη θέση και την κίνηση των άλλων οχημάτων, τα οποία ήδη χρησιμοποιούν, ή πρόκειται να χρησιμοποιήσουν, το τμήμα του δρόμου που θα διανύσει το όχημα του χρήστη στη διάρκεια των επόμενων δευτερολέπτων.

- Την ύπαρξη τυχόν εμποδίων στο οδόστρωμα στο εν λόγω τμήμα.
- Τα σήματα οδικής κυκλοφορίας.

Στόχος του φωτισμού λοιπόν, είναι η δημιουργία ενός φωτεινού περιβάλλοντος και η μεγιστοποίηση της αντίθεσης λαμπρότητας μεταξύ των αντικειμένων και του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνονται ορατά αυτά από το χρήστη. [4]

### 3.2 Απαιτήσεις οδών σε φωτομετρικά χαρακτηριστικά

Για το σωστό φωτισμό ενός σημείου του οδικού τμήματος, απαιτείται να πληρούνται σε αυτό κάποιες μέγιστες και ελάχιστες τιμές φωτομετρικών στοιχείων. Διάφοροι κανονισμοί δίνουν πίνακες με τα απαιτούμενα αυτά στοιχεία, τα οποία εξαρτώνται από το είδος του φωτιζόμενου τμήματος. Κατά τα βρετανικά πρότυπα (BS 5489) διαμόρφωνονται κλάσεις οδικού φωτισμού, ανάλογα με το είδος και την κατάσταση του δρόμου. Τα στοιχεία του Πίνακα αυτού αφορούν μόνο διαμήκη τμήματα οδών.

Πίνακας 3.1 :Κλάσεις φωτισμού για διάφορα επίπεδα οδών.

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ	
Πυκνότητα και πολυπλοκότητα της κυκλοφορίας	Κλάση φωτισμού
Υψηλή	M1
Μέση	M2
Χαμηλή	M3
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΕΣ ΟΔΟΙ ΤΑΧΕΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	
Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός χρηστών	Κλάση φωτισμού
Φτωχός	M1
Καλός	M2
ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΤΗΡΙΕΣ	
Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός χρηστών	Κλάση φωτισμού
Φτωχός	M2
Καλός	M3
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΕΣ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΕΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΟΔΟΙ	
Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός χρηστών	Κλάση φωτισμού
Φτωχός	M4
Καλός	M4

Με βάση την κλάση φωτισμού που αντιστοιχεί στην οδό ορίζονται τα απαιτούμενα φωτομετρικά χαρακτηριστικά

Πίνακας 3.2 :Απαιτήσεις φωτισμού κατά κλάση φωτισμού.

Κλάση φωτισμού	Μέση λαμπρότητα Lav (cd/m <sup>2</sup> )	Συνολική ομοιομορφία Uo (Lmin/Lav)	Αρχικό TI (θάμβωση)	Διαμήκης ομοιομορφία UI (Lmin/Lav)	Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου SR
	Για όλες τις οδούς	Για όλες τις οδούς	Για όλες τις οδούς	Για οδούς χωρίς ή με λίγους κόμβους	Για οδούς με διαβάσεις πεζών
M1	>2.0	>0.4	< 10%	>0.7	>0.5
M2	>1.5	>0.4	< 10%	>0.7	>0.5
M3	>1.0	>0.4	< 10%	>0.5	>0.5
M4	>0.75	>0.4	< 15%	-	-
M5	>0.5	>0.4	< 15%	-	-

Παρόμοια στοιχεία δίνονται και κατά τις αμερικανικές προδιαγραφές του AASHTO. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι απαιτήσεις φωτισμού σε διαμήκη τμήματα οδών, βάσει του είδους της οδού και της πυκνότητας κίνησης πεζών και οχημάτων για ασφαλτικό οδόστρωμα. [5]

Πίνακας 3.3 : Απαιτήσεις φωτισμού για ασφαλτικό οδόστρωμα, κατά AASHTO.

Είδος οδού	Πυκνότητα κίνησης	Φωτισμός lux	Συνολική ομοιομορφία Uo (Lmin/Lav)
Αυτοκινητόδρομος		9	1:3
Ταχείας Κυκλοφορίας	Μεγάλη	14	1:3
	Μέτρια	12	
	Περιοχή Κατοικίας	9	
Κύρια	Μεγάλη	17	1:3
	Μέτρια	13	
	Περιοχή Κατοικίας	9	
Συλλεκτήρια	Μεγάλη	12	1:4
	Μέτρια	9	
	Περιοχή Κατοικίας	6	
Τοπική	Μεγάλη	9	1:6
	Μέτρια	7	
	Περιοχή Κατοικίας	4	

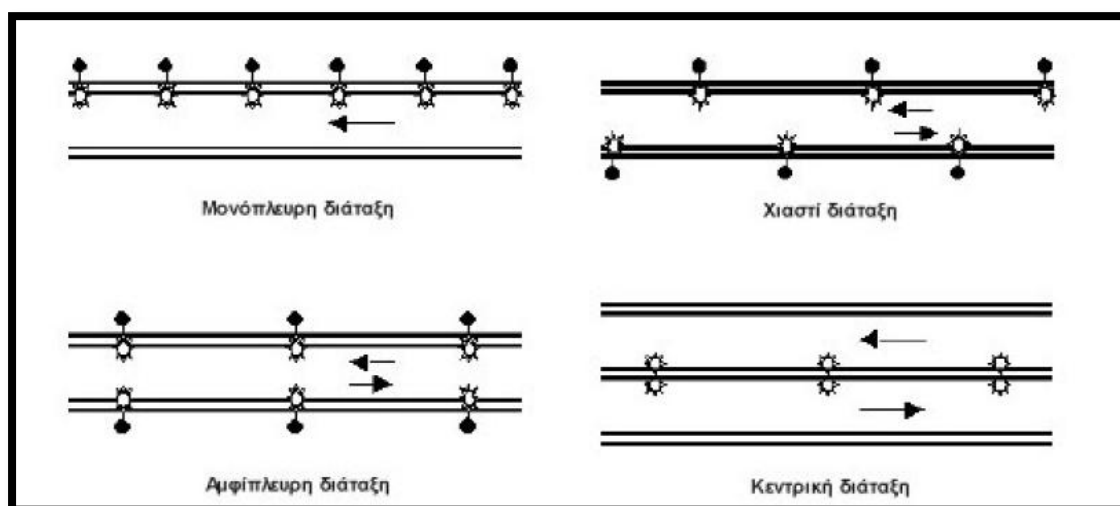
### 3.3 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του φωτισμού δρόμων

Στην προσπάθεια της επιτυχίας ενός καλού και ομοιόμορφου φωτισμού εξωτερικών χώρων, επιδιώκουμε για λόγους οικονομικούς να χρησιμοποιήσουμε μικρό αριθμό ιστών στήριξης και φωτιστικών σωμάτων. Αυτό εξυπακούεται ότι τα φωτιστικά σώματα πρέπει να είναι υψηλής φωτιστικής απόδοσης και να

στέλνουν το φως εκεί ακριβώς που το χρειαζόμαστε, δηλαδή σε μεγάλα μήκη ,ώστε χρησιμοποιώντας λίγα σε αριθμό φωτιστικά να επιτυγχάνουμε όχι μόνο την επιθυμητή φωτεινή ένταση αλλά και την απαραίτητη ομοιομορφία. Επίσης τα φωτιστικά σώματα δεν πρέπει να παρουσιάζουν μεγάλη λαμπρότητα και γι αυτό έχουν μεγάλες διαστάσεις και συνήθως ματ επιφάνειες.

### 3.3.1 Διάταξη φωτιστικών σωμάτων:

Η καλύτερη ομοιομορφία στο φωτισμό μπορεί να επιτευχθεί με φωτιστικά και στις δύο πλευρές του δρόμου,είτε ευθυγραμμισμένα είτε κλιμακούμενα. Εάν το πλάτος του δρόμου είναι αρκετά μεγάλο οφύγουμε τα υψηλά ύψη ανάρτησης ,είναι αναγκαίο να τοποθετηθούν ιστοί και, όπως στην περίπτωση των κύριων εθνικών οδών, τότε για να απ στις δύο πλευρές του αυτοκινητοδρόμου. Πιο ευνοϊκή θέση για την τοποθέτηση των φωτιστικών είναι πάνω από το κατάστρωμα του δρόμου και όχι πλευρικά αυτού,καθώς έτσι γίνονται καλύτερα αντιληπτά τα εμπόδια στο δρόμο,αφού η λαμπρότητα του δρόμου κάτω από τα φωτιστικά είναι περισσότερο αυξημένη, παρά στα σημεία του δρόμου που είναι σε μεγαλύτερη απόσταση από το φωτιστικό.



Εικόνα 3.1: Παραδείγματα διατάξεως φωτιστικών σωμάτων σε δρόμους για ευθείες [4]

### 3.3.2 Ύψος και απόσταση φωτιστικών σωμάτων:

Τα φωτιστικά σώματα στους δρόμους στερεώνονται πάνω σε στύλους(ελάχιστο ύψος 7 μέτρα). Για τον υπολογισμό του φωτισμού μιας επιφάνειας εξωτερικού χώρου δεν λαμβάνονται υπόψη ποσότητες φωτισμού που προέρχονται από ανακλάσεις επιφανειών που περιβάλλουν το φωτιζόμενο χώρο. Το ευνοϊκότερο ύψος γενικά για τις φωτιστικές μονάδες είναι 8-10m (και απόσταση φωτιστικών 24-40m έτσι ώστε να μην έχω σκοτεινές περιοχές στην επιφάνεια του

δρόμου). Το ύψος αναρτήσεως θα πρέπει να είναι περίπου το μισό του πλάτους του δρόμου μείον την προεξοχή, αν αυτή υπάρχει. [2][3]

### 3.4 Συστήματα φωτισμού:

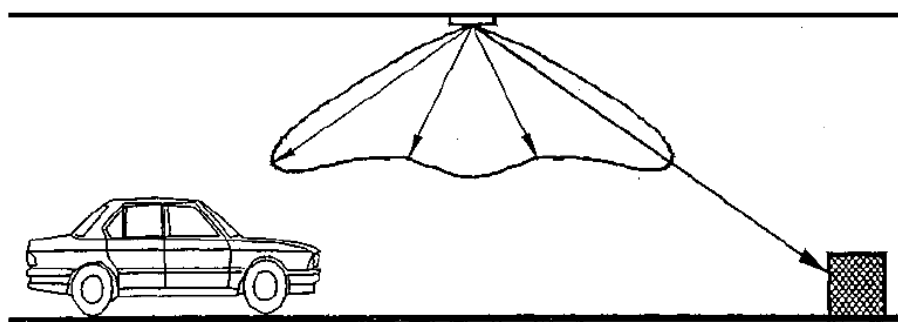
Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων φωτισμού, το **συμμετρικό** και το **ασύμμετρο** σύστημα φωτισμού, τα οποία καθορίζονται από τον συντελεστή αντίθεσης  $q_c$  που αντιπροσωπεύει το λόγο της λαμπρότητας προς την κατακόρυφη ένταση φωτισμού  $L/E_v$ , όπως δείχνει και ο παρακάτω πίνακας.

Πίνακας 3.4 Συντελεστής αντίθεσης.

Σύστημα φωτισμού	Συντελεστής Αντίθεσης $q_c$
Συμμετρικό σύστημα	$\leq 0.2$
Ασύμμετρο σύστημα	$\geq 0.6$

Τα συστήματα συμμετρικού φωτισμού μπορούν να θεωρηθούν ως συμβατικός φωτισμός. Υπάρχει μία σημαντική διεθνής εμπειρία για αυτόν τον τύπο κατανομής και είναι στις περισσότερες χώρες το προτιμότερο σύστημα φωτισμού ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί με όλους τους τύπους λαμπτήρων.

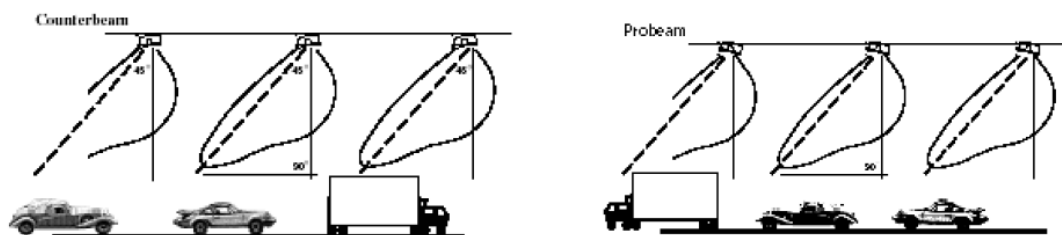
Στο συμμετρικό φωτισμό το φως κατευθύνεται με την ίδια ποσότητα τόσο στην κατεύθυνση της ροής των οχημάτων όσο και στην αντίθετη κατεύθυνση, με αποτέλεσμα η λαμπρότητα του δρόμου να είναι ίδια προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και αν κινείται ο οδηγός. Έτσι, αυτός ο φωτισμός ταιριάζει για κυκλοφοριακές ροές είτε μίας είτε δύο κατευθύνσεων.



Εικόνα 3.2 :Συμμετρικό σύστημα φωτισμού [4]

Τα ασύμμετρα συστήματα μπορούν να χωρισθούν σε αυτά που η κύρια δέσμη ακτινοβολιών κατευθύνεται προς τον οδηγό (counterbeam lighting) και σε αυτά που η κύρια δέσμη έχει την ίδια κατεύθυνση με αυτήν της κυκλοφορίας (pro-beam lighting) (Εικόνα 3.3). Συνήθως με τη χρήση του όρου ασύμμετρος εννοούμε

το φωτισμό κατά τον οποίο το φως κατευθύνεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην αντίθετη προς τη ροή των οχημάτων κατεύθυνση. [4]



Εικόνα 3.3 :Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού

### 3.5 Φωτιστικά σώματα δρόμων

Η φασματική σύνθεση του εκπεμπόμενου φωτός από ένα λαμπτήρα καθορίζει τη χρωματική εμφάνιση του λαμπτήρα, όπως επίσης και τον τρόπο με τον οποίο ο λαμπτήρας θα αποδώσει τα χρώματα των αντικειμένων που αυτός φωτίζει. Το τελευταίο, αν και έχει μικρή αξία για την πλειονότητα του φωτισμού δρόμων, η φασματική σύνθεση του φωτός έχει αξιοσημείωτη επίδραση στους οδηγούς αυτοκινήτων ή και στους πεζούς ώστε αυτοί να εκτιμήσουν την οπτική άνεση και εκτέλεση όλων των πράξεων που λαμβάνουν χώρα στους δρόμους.

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης υπερτερούν των άλλων λαμπτήρων για πολλούς λόγους. Τα πλεονεκτήματά τους από απόψεως ταχύτητας αντιλήψεως και χρόνου ανακτήσεως οράσεως μετά τη θάμβωση είναι

- Μεγαλύτερη οπτική οξύτητα
- Μεγαλύτερη ταχύτητα αντιλήψεως
- Λιγότερη δυσφορία θαμβώσεως
- Μικρότερο χρόνο ανάκτησης οράσεως μετά από μία θάμβωση

#### Τα είδη λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται στο φωτισμό δρόμων είναι :

Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσεως Το κύριο πρόβλημα με τους λαμπτήρες Hg είναι με το χρώμα τους. Η εκφόρτιση του Hg συνοδεύεται από 4 ορατές γραμμές οι οποίες αποδίδουν ένα γαλαζοπράσινο λευκό φως χωρίς καθόλου κόκκινο ή πορτοκαλί και η ανθρώπινη χροιά εμφανίζεται σαν να έχει υποστεί νεκρική ακαμψία. Έτσι οι λαμπτήρες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για φωτισμό δρόμων και λίγες άλλες εφαρμογές αλλά οπωσδήποτε δεν μπορούσαν να έχουν εφαρμογή όπου η δημιουργία ευχάριστης εντύπωσης του χρώματος είναι θεμελιώδης.

Λαμπτήρες μεταλλικών αλογόνων Είναι μία μορφή λαμπτήρων Hg με βελτιωμένο φως και απόδοση σε σχέση με τους λαμπτήρες που αναφέραμε παραπάνω. Έχουν περίπου τη μισή διάρκεια ζωής και το χρώμα τους δεν είναι ακριβώς δεδομένο αφού είναι δύσκολο να το ελέγξουμε από λαμπτήρα σε λαμπτήρα. Έχουν εφαρμογή γενικά σε επιφάνειες μεγάλης έκτασης.

Λαμπτήρες Νατρίου χαμηλής πίεσης Είναι πολύ όμοιοι προς τους λαμπτήρες Hg χαμηλής πίεσης. Η παραγόμενη ακτινοβολία των ατμών Na είναι μήκους κύματος που βρίσκεται σχεδόν στην κορυφή της καμπύλης ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού πράγμα που τους καθιστά πιο αποδοτικούς. Η ακτινοβολία τους είναι μονοχρωματική και συγκεκριμένα κίτρινη επομένως η χρήση τους περιορίζεται σε θέσεις που δεν απαιτούν διακρίσεις χρωμάτων (πχ αυτοκινητόδρομοι)

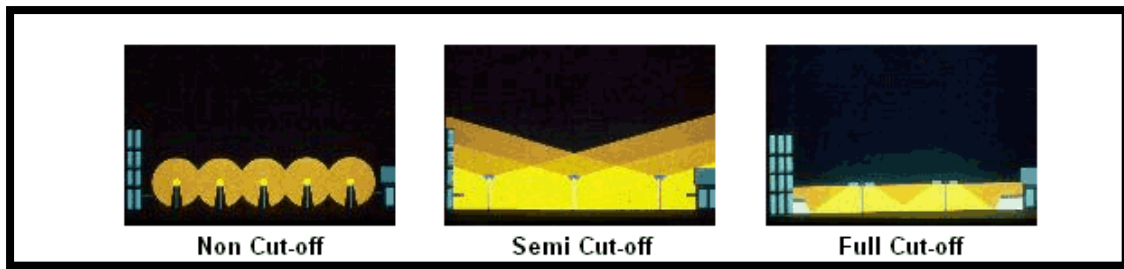
Λαμπτήρες Νατρίου υψηλής πίεσης Σε σύγκριση με τους λαμπτήρες Νατρίου χαμηλής, οι λαμπτήρες υψηλής πίεσης ακτινοβολούν αρκετό μέρος της ενέργειάς τους στην ορατή περιοχή του φάσματος και ως εκ τούτου έχουν καλύτερο δείκτη αποδόσεως χρώματος όχι όμως και απόδοση ικανοποιητική.

Γενικά οι λαμπτήρες Νατρίου μπορούν να λύσουν μόνοι τους το πρόβλημα φωτισμού των αυτοκινητοδρόμων και γενικά εξωτερικού φωτισμού με τον οικονομικότερο τρόπο αφού έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους άλλους τύπους. Επίσης το μάτι έχει την μεγαλύτερη ευαισθησία οράσεως στο κίτρινο φως, ενώ το κίτρινο φως θεωρείται κατάλληλο και για δυσμενείς καιρικές συνθήκες

Η κατάταξη σε κατηγορίες φωτιστικών δρόμων βασίζεται στην διανομή της φωτεινής εντάσεως σε μεγάλες κατακόρυφες γωνίες και δίνει το μέτρο για ενδεχόμενη έντονη λάμψη (θάμβωση)

Μια διανομή φωτιστικού περιγράφεται ως **cut off** (C.O αντιθαμβωτικό σώμα) αν η φωτεινή ένταση δεν είναι μεγαλύτερη από 100cd/1000Lm υπεράνω της κατακόρυφου γωνίας των 80° και όχι μεγαλύτερη από 25cd/1000Lm υπεράνω των 90° σε όλες τις πλάγιες γωνίες. Ένα φωτιστικό ταξινομείται ως **semicut off** (S.C.O ημιαντιθαμβωτικό) αν αυτοί οι αριθμοί είναι αντίστοιχα 200cd/1000Lm και 50cd/1000Lm. Ένα φωτιστικό καλείται **noncut off** (N.C.O θαμβωτικό) αν δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στις φωτεινές εντάσεις. [5]





Εικόνα 3.4 :Κατηγορίες φωτιστικών non cut-off,semi cut-off,full cut-off.

### 3.6 Διεθνή και εθνικά πρότυπα για το φωτισμό οδών

Το πρότυπο ΕΛΟΤ 13201/2004 αποτελείται από τέσσερα μέρη

- ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01.2005 :Επιλογή κατηγοριών φωτισμού.
- ΕΛΟΤ EN 13201.02.2004 :Απαιτήσεις επιδόσεων
- ΕΛΟΤ EN 13201.03.2004 :Υπολογισμός επιδόσεων
- ΕΛΟΤ EN 13201.04.2004 :Μέθοδοι μέτρησης επιδόσεων φωτισμού

Το πρώτο μέρος είναι οδηγία, δηλαδή δεν έχει υποχρεωτική εφαρμογή ενώ τα υπόλοιπα τρία μέρη είναι υποχρεωτικά. Με την Απόφαση όμως Δ13/β/οικ.16522 (ΦΕΚ Β'1792 3.12.2004) του Υπουργού ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., ορίστηκε ότι οι κανόνες, τα στοιχεία, τα μεγέθη και οι προδιαγραφές υλικών για τη σύνταξη μελετών και την εκτέλεση έργων οδικού φωτισμού θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ ή μέχρι την έκδοσή τους, σύμφωνα με τα πρότυπα (ΕΝ), τις οδηγίες και τα κείμενα εναρμόνισης που εκδίδονται και ισχύουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση και όπου δεν υπάρχουν, με τα αναφερόμενα στις τελευταίες εκδόσεις της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού (CIE).

Στο **πρώτο** μέρος καθορίζεται η μεθοδολογία για την επιλογή των περιπτώσεων(καταστάσεων) φωτισμού ενός δρόμου ή μίας περιοχής και κατόπιν επιλέγεται η κατηγορία φωτισμού του δρόμου ή της περιοχής.

Στο **δεύτερο** μέρος έχοντας επιλέξει την κατηγορία φωτισμού του δρόμου ή της περιοχής,επιλέγονται από πίνακες τα φωτοτεχνικά δεδομένα που πρέπει να εφαρμοστούν στην μελετώμενη περιοχή.

Το πρότυπο δεν καθορίζει την αναγκαιότητα φωτισμού ενός δρόμου ή μίας περιοχής, αλλά, εάν αποφασισθεί να φωτιστεί ένας δρόμος ή μία περιοχή, προσδιορίζει την αναγκαία στάθμη φωτισμού σε συνάρτηση με τις παραμέτρους που ορίζονται από το πρότυπο.

Με το πρότυπο αυτό οι απαιτούμενες στάθμες φωτισμού εκφράζονται, είτε μέσω του φωτισμού σε οριζόντιο ή κάθετο επίπεδο, είτε μέσω της λαμπρότητας και είναι μικρότερες από αυτές που εφαρμόζαμε μέχρι σήμερα στην Ελλάδα.

Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-2:2003 καθιερώνονται οι κατηγορίες φωτισμού, οι οποίες είναι οι: ME, CE, S, A, ES, και EV.

Μια **κατηγορία φωτισμού** καθορίζεται από ένα σύνολο φωτομετρικών απαιτήσεων που στοχεύει στις οπτικές ανάγκες των χρηστών των οδών ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλεια τους κατά τη διάρκεια της νύχτας.

**ME:** αυτοκινητόδρομοι και κάποιες φορές δρόμοι σε κατοικημένες περιοχές με ταχύτητες μεγαλύτερες από 60 Km/h.

**CE:** αυτοκινητόδρομοι, περιοχές σύγκρουσης όπως εμπορικοί δρόμοι, οδικοί κόμβοι, διασταυρώσεις υποχρεωτικής κυκλικής πορείας και περιοχές αναμονής, ποδηλατοδρόμοι, πεζόδρομοι και υπόγειες διαβάσεις πεζών.

**S και A:** ποδηλατοδρόμοι, πεζόδρομοι, Λωρίδες Έκτακτης Ανάγκης κατοικημένοι δρόμοι, πεζόδρομοι, περιοχές χώρων στάθμευσης

**ES:** περιπτώσεις όπου ο δημόσιος φωτισμός είναι απαραίτητος για τον προσδιορισμό των προσώπων και των αντικειμένων και στις οδικές περιοχές με υψηλότερη από την κανονική εγκληματικότητα.

**EV:** περιπτώσεις όπου οι κάθετες επιφάνειες πρέπει να είναι ορατές πχ. σταθμοί διοδίων, οι περιοχές ανταλλαγής

Οι απαιτήσεις των κατηγοριών φωτισμού εκφράζουν την κατηγορία οδικού χρήστη ή τον τύπο της οδικής περιοχής. Έτσι οι κατηγορίες ME είναι βασισμένες στη **φωτεινότητα** της οδικής επιφάνειας (luminance) με μονάδα cd/m<sup>2</sup>, ενώ οι κατηγορίες CE, S και A είναι βασισμένες στην **ένταση φωτισμού** (illuminance) με μονάδα το Lux, της οδικής περιοχής. Οι κατηγορίες S και A απεικονίζουν τις διαφορετικές προτεραιότητες στον οδικό φωτισμό. Οι κατηγορίες ES είναι βασισμένες στην ημικυλινδρική ένταση φωτισμού (semi-cylindrical illuminance), ενώ οι κατηγορίες EV είναι βασισμένες στην ένταση φωτισμού στο κάθετο επίπεδο.

[6]

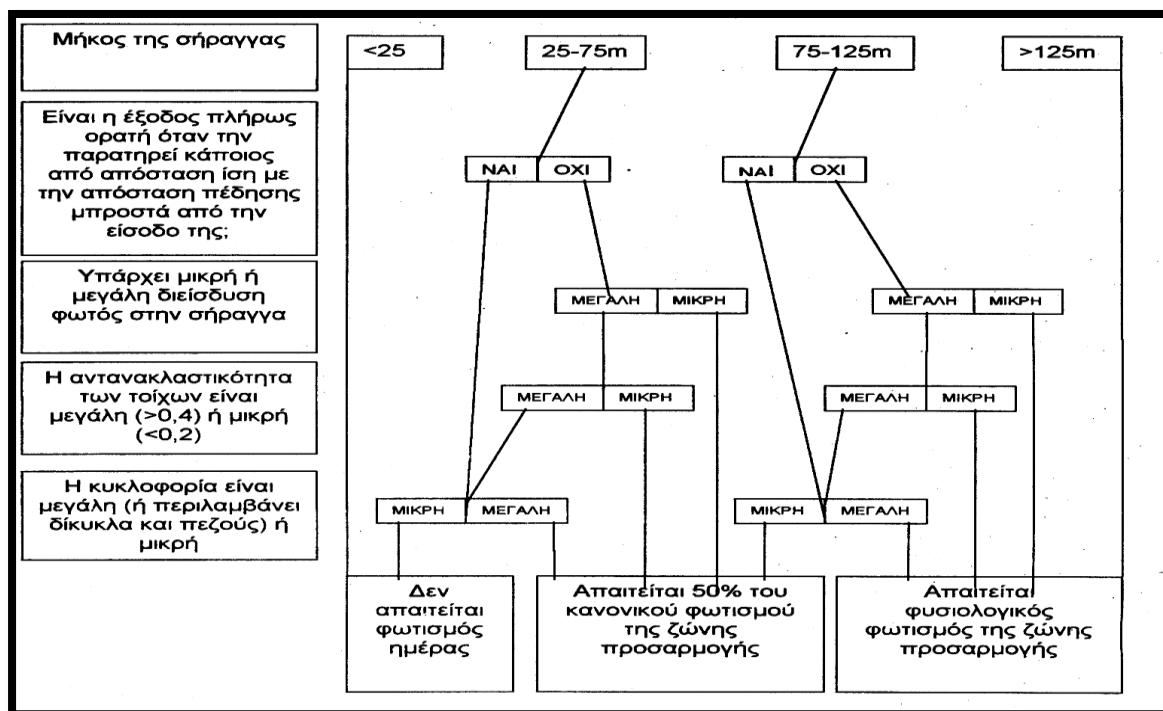
### 3.7 Φωτισμός οδικών σηράγγων

#### 3.7.1 Ταξινόμηση σηράγγων

Οι σηράγγες ταξινομούνται κυρίως σε δύο κατηγορίες: 1. Μακριά σήραγγα 2. Κοντή σήραγγα.

Μία σήραγγα λέγεται **μακριά** (μακρύ τούνελ) όταν ανεξάρτητα από το μέγεθος που έχει, η έξοδος της και το αμέσως μετά από αυτή τμήμα του δρόμου δεν είναι ορατά με τις κανονικές συνθήκες κυκλοφορίας, από ένα σημείο κοντά στην είσοδο. Μία σήραγγα που δεν είναι μακριά λέγεται κοντή. Σε μία **κοντή** σήραγγα από τη ζώνη προσέγγισης, είναι ορατά τα εμπόδια στην έξοδο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ανάλογα με το αν μία σήραγγα ταξινομείται σε μακριά ή κοντή καθορίζεται και η απαίτηση της για φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας.

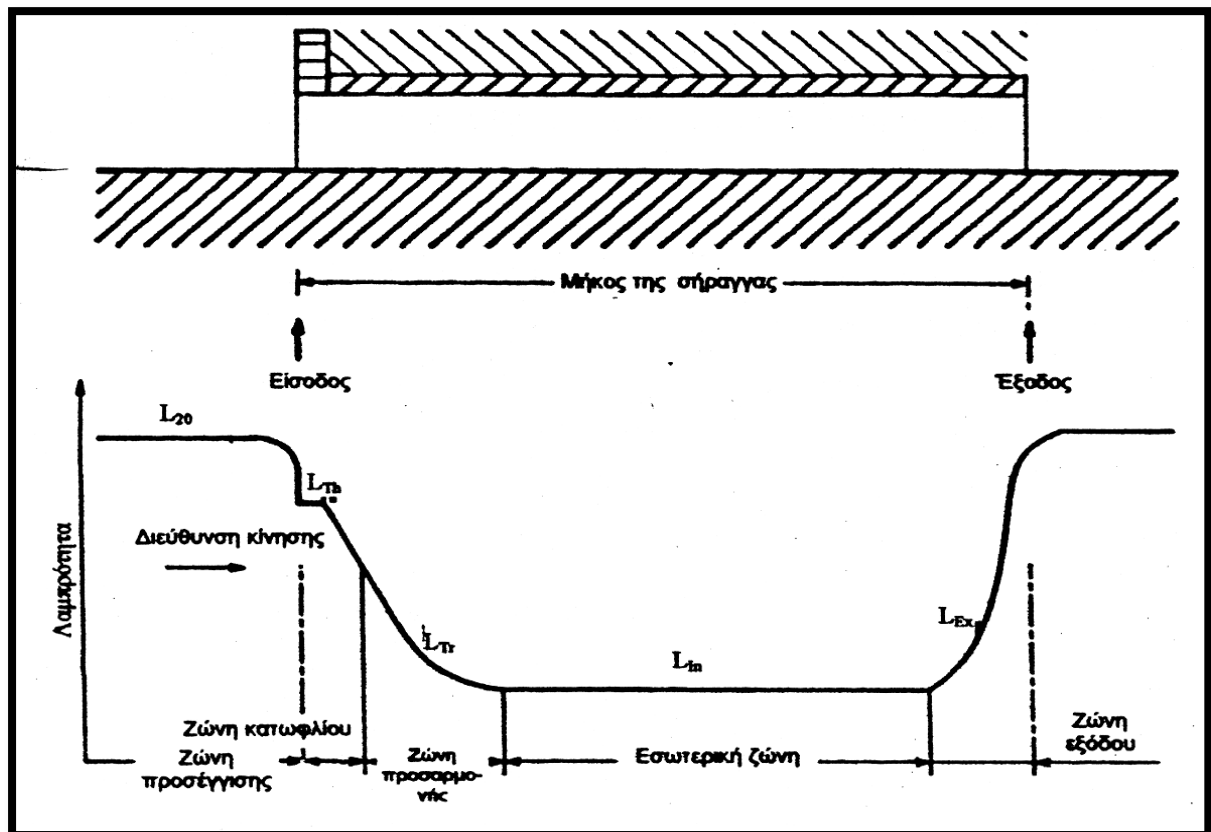
Η αναγκαιότητα της εγκατάστασης φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι επίσης συνάρτηση των εξής παραμέτρων: του μήκους, της καμπυλότητας και της κλίσης της σήραγγας, της πυκνότητας της κυκλοφορίας, των συνθηκών ορατότητας, της ανακλαστικότητας των τοιχωμάτων της σήραγγας και του αν είναι ορατή η έξοδος της σήραγγας πριν από την είσοδο της.



Εικόνα 3.5: (CIE 88-1990) Παρουσιάζονται οι παράμετροι και η επίδραση τους στην απαίτηση για ημερήσιο φωτισμό. Από το διάγραμμα αυτό βλέπουμε αν μία σήραγγα ή υπόγεια διάβαση απαιτεί πλήρη φωτισμό ή χρειάζεται μόνο το 50% του πλήρους φωτισμού.

### 3.7.2 Ζώνες σήραγγων

Ο τεχνητός φωτισμός που εφαρμόζεται σε μία σήραγγα στόχο έχει να μειώσει σημαντικά την διαφορά μεταξύ των επιπέδων λαμπρότητας έξω και μέσα στη σήραγγα. Έτσι παρέχεται στον οδηγό αρκετός χρόνος, ώστε να προσαρμοσθεί στο περιβάλλον της σήραγγας.



Εικόνα 3.6 : Ζώνες φωτισμού κατά μήκος μιας σήραγγας. Πέντε ζώνες διακρίνονται.

#### Ζώνη προσέγγισης

Θα αναφερθεί η προσεγγιστική μέθοδος για τη μέτρηση της λαμπρότητας  $L_{20}$  που είναι η Μέση Λαμπρότητα που περιέχεται στο κωνικό πεδίο ανοίγματος 200 με κορυφή το μάτι του οδηγού, με κέντρο τοποθετημένο σε ύψος ενός τετάρτου του ύψους της εισόδου της σήραγγας σε απόσταση ίση με την Απόσταση Ασφαλούς Πέδησης (SSD) και ονομάζεται **Λαμπρότητα ζώνης Προσέγγισης**. Η Επιλογή της τιμής  $L_{20}$  γίνεται από τον Πίνακα παρακάτω. Διαμορφώνονται τιμές της  $L_{20}$  (cd/m<sup>2</sup>) σε σχέση με το ποσοστό του ουρανού, την απόσταση πεδήσεως, τον προσανατολισμό και την φωτεινότητα του περιβάλλοντα χώρου της εισόδου της σήραγγας.

Πίνακας 3.5 :Τιμές λαμπρότητας L20 της ζώνης προσέγγισης.

Ποσοστό του ουρανού μέσα στο κωνικό πεδίο όρασης 200																
Κατάσταση φωτεινότητας Πεδίο όρασης	35%				25%				10%				0%			
	Κανονική		Με χιόνι		Κανονική		Με χιόνι		Κανονική		Με χιόνι		Κανονική		Με χιόνι	
	χαμηλή	υψηλή	χαμηλή	υψηλή	χαμηλή	υψηλή	χαμηλή	υψηλή	χαμηλή	υψηλή	χαμηλή	υψηλή	χαμηλή	υψηλή	χαμηλή	υψηλή
	(1)		(1)		(1)		(1)		(2)		(1)		(2)		(1)	
Απόσταση πεδήσεως 60m	(3)		(3)		4	5	4	5	2.5	3.5	3	3.5	1.5	3	1.5	4
Απόσταση πεδήσεως 100-160 m (km)	4	6	4	6	4	6	4	6	3	4.5	3	5	2.5	5	2.5	5

Επεξήγηση πίνακα:

(1) Επίδραση εξαρτώμενη κυρίως από τον προσανατολισμό της σήραγγας. Είναι χαμηλή : στο βόρειο ημισφαίριο, νότια είσοδος και υψηλή: στο βόρειο ημισφαίριο, βόρεια είσοδος. Για ανατολικές και δυτικές εισόδους πρέπει να επιλεγούν μέσες τιμές μεταξύ των χαμηλών και των υψηλών.

(2) Επίδραση εξαρτώμενη κυρίως από τη φωτεινότητα του περιβάλλοντα χώρου. Είναι χαμηλή για χαμηλές τιμές ανάκλασης του περιβάλλοντα χώρου και υψηλή για υψηλές τιμές ανάκλασης .

(3) Για μία απόσταση πεδήσεως 60m, ποσοστό ουρανού 35% δεν συμβαίνει ποτέ πρακτικά.

### Ζώνη κατωφλιού

Η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου που απαιτείται στην αρχή της ζώνης κατωφλίου  $L_{th}$  μπορεί να καθορισθεί από τους λόγους  $L_{th} / L20$  που δίνονται στον Πίνακα παρακάτω για διαφορετικές αποστάσεις πεδήσεως και διαφορετικούς λόγους  $L/E_v$ . Το συνολικό μήκος της ζώνης κατωφλίου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με την απόσταση πεδήσεως. Κατά το πρώτο μισό αυτής της απόστασης η λαμπρότητα θα πρέπει να είναι ίση με την  $L_{th}$  , και στη συνέχεια μπορεί βαθμιαία να μειώνεται, ώστε να καταλήξει στο τέλος της ζώνης σε μία τιμή ίση με το  $0,4L_{th}$ .

Πίνακας 3.6 : Υπολογισμός Lth

	Συμμετρικό σύστημα φωτισμού (L/En <0.2)	Σύστημα φωτισμού αντίθετης δέσμης φωτός (L/En >0.6)
Απόσταση πεδήσεως (m)	$K=Lth/L20$	$K=Lth/L20$
60	0.05	0.04
100	0.06	0.05
160	0.10	0.07

### Μεταβατική Ζώνη

Στη μεταβατική ζώνη η λαμπρότητα μειώνεται βαθμιαία από την τιμή της ζώνης κατωφλίου προς την τιμή της κεντρικής εσωτερικής ζώνης. Η μέση λαμπρότητα των τοιχωμάτων της σήραγγας μέχρι το ύψος των 2m δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου.

### Εσωτερική Ζώνη

Στην εσωτερική ζώνη κατά τη διάρκεια της ημέρας απαιτούνται υψηλά επίπεδα φωτισμού, τα οποία διατηρούνται σταθερά σε όλο της το μήκος. Το επίπεδο λαμπρότητας στην κεντρική ζώνη δίνεται από τον πίνακα παρακάτω:

Πίνακας 3.7 :Προτεινόμενες περιοχές λαμπρότητας για την κεντρική/εσωτερική ζώνη ανάλογα με την απόσταση πεδήσεως και την κυκλοφοριακή ροή.

Μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου στην κεντρική ζώνη (cd/m <sup>2</sup> )			
	Κυκλοφοριακή ροή		
Απόσταση πεδήσεως (m)	Χαμηλή (<100 οχήματα/ώρα)	Μέτρια <100 οχήματα/ώρα και <1000 οχήματα/ώρα	Υψηλή (<1000 οχήματα/ώρα)
160	5	10	15
100	2	4	6
60	1	2	3

### Ζώνη εξόδου

Καθώς η οπτική προσαρμογή σε μεγάλες λαμπρότητες είναι αστραπιαία, δεν απαιτείται επιπλέον φωτισμός στις εξόδους των σηράγγων. Παρ' όλα αυτά πρόσθετος φωτισμός στην ζώνη εξόδου μπορεί να είναι χρήσιμος.

### 3.7.3 Φωτεινή Πάλμωση (flicker)

Το φαινόμενο της φωτεινής πάλμωσης δημιουργείται όταν οδηγούμε μέσα σε ένα χώρο όπου γίνονται περιοδικές αλλαγές της λαμπρότητας, οι οποίες οφείλονται τόσο στους φεγγίτες που μπορεί να υπάρχουν στους τοίχους της

σήραγγας όσο και στη λάνθασμένη απόσταση μεταξύ των φωτιστικών. Η οπτική δυσαρέσκεια αυτή εξαρτάται από:

- Τον αριθμό των εναλλαγών της λαμπρότητας κάθε δευτερόλεπτο (συχνότητα).
- Την ολική διάρκεια του φαινομένου.
- Τον ρυθμό αλλαγής από φως σε σκοτάδι σε μια χρονική περίοδο.
- Τον λόγο της αιχμής (φως) προς το κατώτατο (σκοτάδι) σημείο λαμπρότητας μέσα σε μια περίοδο.

#### **3.7.4 Νυχτερινός φωτισμός στη σήραγγα**

- Αν η σήραγγα είναι κομμάτι φωταγωγημένου δρόμου τότε ο φωτισμός μέσα στη σήραγγα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με τον φωτισμό και την ομοιομορφία των δρόμων πριν και μετά τη σήραγγα.
- Αν η σήραγγα είναι μέρος ενός δρόμου χωρίς τεχνητό φωτισμό τότε είναι απαραίτητο μέσα στη σήραγγα να επιτευχθεί μια μέση λαμπρότητα  $L_{av}$  της τάξης της  $1 \text{ cd/m}^2$ , ολική ομοιομορφία  $L_{min}/L_{av} = 0,4$  και κατά μήκος ομοιομορφία φωτισμού  $L_{min}/L_{max} = 0,6$  για κάθε λωρίδα της σήραγγας. Οι ίδιες συνθήκες εφαρμόζονται και σε μικρές σήραγγες χωρίς φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- Μετά την έξοδο από τη σήραγγα, ο δρόμος πρέπει να είναι φωταγωγημένος τουλάχιστον κατά 100 περίπου μέτρα. Η μέση λαμπρότητα του δρόμου δεν πρέπει να είναι λιγότερη από το 1/3 της λαμπρότητας μέσα στη σήραγγα, κοντά στην έξοδο της.
- Στην περίπτωση που στην είσοδο ή στην έξοδο της σήραγγας υπάρχουν πετάσματα σκίασης τότε το σύστημα νυχτερινού φωτισμού στο κέντρο της σήραγγας θα πρέπει να συνεχιστεί και κάτω από τα πετάσματα αυτά. [5]





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## Μέτρηση της λαμπρότητας σε οδόστρωμα

### 4.1 Μέτρηση λαμπρότητας σε σημείο

Η λαμπρότητα σε ένα σημείο μπορεί να καθοριστεί εφαρμόζοντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$L = \frac{I * r * \Phi * MF * 10^{-4}}{H^2}$$

Όπου:

L: η λαμπρότητα σε candela/m<sup>2</sup>

I: η ένταση του φωτός κατά τη διεύθυνση (C,γ) ,σε candela/kilolumen

r: ο μειωμένος συντελεστής λαμπρότητας

Φ: είναι η αρχική φωτεινή ροή των λαμπτήρων του φωτιστικού σε kilolumen.

MF: είναι το γινόμενο του συντελεστή συντήρησης του λαμπτήρα με το συντελεστή συντήρησης του φωτιστικού.

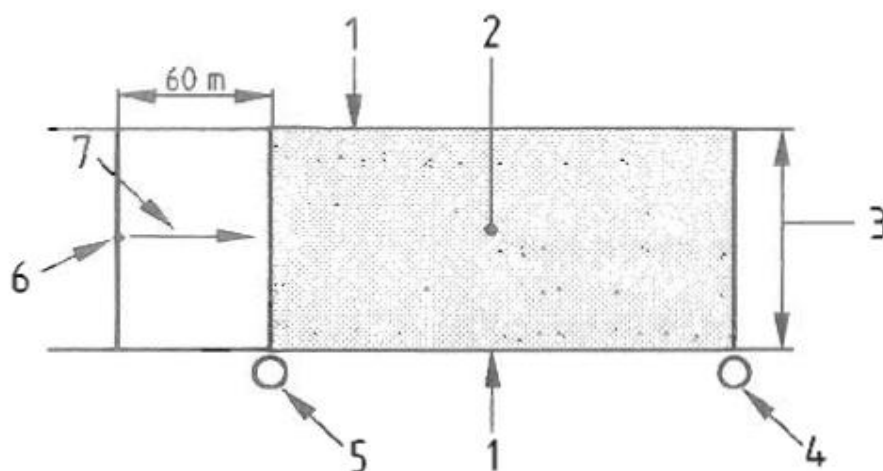
Η **συνολική λαμπρότητα** σε ένα σημείο είναι ίση με τη συνολική συμβολή όλων των φωτιστικών σωμάτων.

### 4.2 Πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας.

Συμφωνα με το πρότυπο EN 13201, κατά τη διαμήκη διεύθυνση της σχετιζόμενης περιοχής, το πεδίο υπολογισμού θα πρέπει να περιλαμβάνει δύο φωτιστικά στην ίδια σειρά με το πρώτο φωτιστικό να βρίσκεται 60μ μπροστά από τον παρατηρητή.

Όταν υπάρχουν περισσότερες από μία σειρές φωτιστικών και η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών διαφέρει μεταξύ των διάφορων σειρών, το πεδίο

υπολογισμού θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ δύο φωτιστικών στη σειρά με την μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των φωτιστικών.



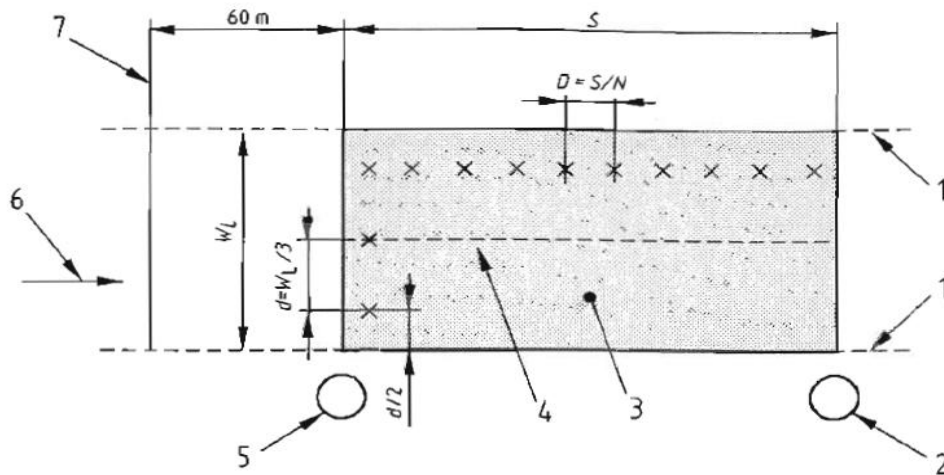
Εικόνα 4.1 Πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας

Επεξήγηση εικόνας:

1. Όρια της επιθυμητής περιοχής
2. Πεδίο υπολογισμού
3. Πλάτος της περιοχής
4. Τελευταίο φωτιστικό στην περιοχή υπολογισμού
5. Πρώτο φωτιστικό στην περιοχή υπολογισμού
6. Παρατηρητής
7. Διεύθυνση παρατήρησης

#### 4.3 Θέση σημείων υπολογισμού λαμπρότητας

Τα σημεία μέτρησης της λαμπρότητας θα πρέπει να ισαπέχουν μεταξύ τους στο πεδίο υπολογισμού. Οι θέσεις τους σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201 φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 4.2: Θέσεις σημείων υπολογισμού της λαμπρότητας

Επεξήγηση εικόνας:

1. Όριο της γραμμής
2. Τελευταίο φωτιστικό στο πεδίο υπολογισμού
3. Πεδίο υπολογισμού
4. Κεντρική γραμμή της λωρίδας
5. Πρώτο φωτιστικό στο πεδίο υπολογισμού
6. Κατεύθυνση παρατήρησης
7. Θέση του παρατηρητή.

Το  $x$  δηλώνει τις θέσεις των σημείων μέτρησης στην εγκάρσια και διαμήκη διεύθυνση.

**Η απόσταση μεταξύ των σημείων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση υπολογίζεται ως εξής:**

Στην **διαμήκη** διεύθυνση:

$$D = S/N$$

Όπου

**D** η απόσταση μεταξύ των σημείων στην διαμήκη διεύθυνση σε μέτρα.

**S** η απόσταση μεταξύ δύο φωτιστικών στην ίδια σειρά, σε μέτρα

**N** ο αριθμός των σημείων μέτρησης με  $N=10$  για  $S \leq 30$  m. Για  $S > 30$  m ο μικρότερος ακέραιος δίνει  $D \leq 3$  m. Η πρώτη εγκάρσια γραμμή σημείων υπολογισμού βρίσκεται σε απόσταση  $D/2$  μετά το πρώτο φωτιστικό.

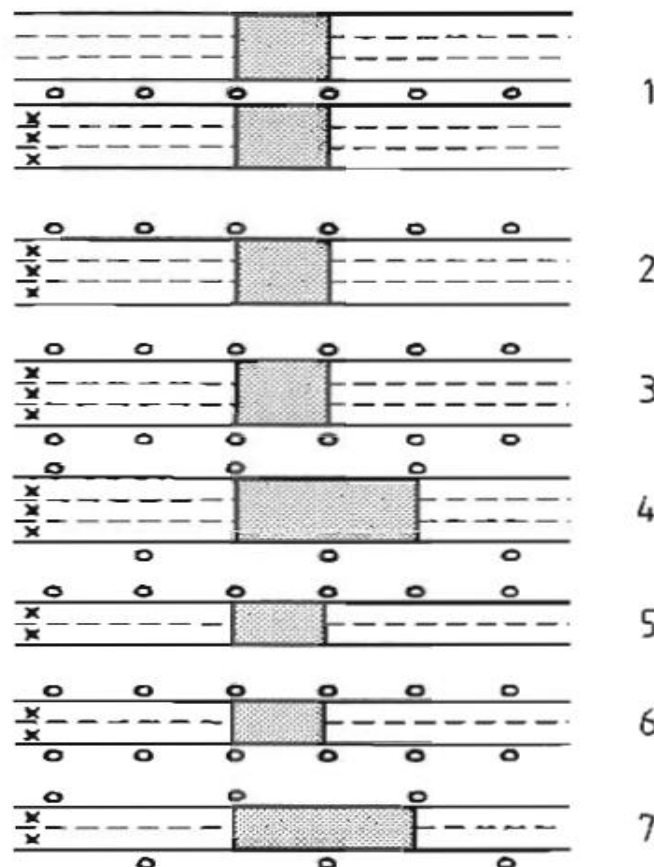
Στην **εγκάρσια** διεύθυνση η απόσταση μεταξύ των σημείων υπολογισμού δίνεται από την εξίσωση :

$$d = W_L / 3$$

Όπου **d** είναι η απόσταση μεταξύ σημείων στην εγκάρσια διεύθυνση σε μέτρα και  $W_L$  το πλάτος της λωρίδας σε μέτρα.

#### 4.4 Θέση του παρατηρητή

Για να μετρήσουμε τη λαμπρότητα θα πρέπει το μάτι του παρατηρητή να βρίσκεται **1.5 μέτρα** πάνω από το επίπεδο του δρόμου. Στην εγκάρσια διεύθυνση ο παρατηρητής θα πρέπει να βρίσκεται στο **κέντρο κάθε λωρίδας**. Η μέση λαμπρότητα θα πρέπει να υπολογίζεται σε όλο το οδόστρωμα για κάθε θέση του παρατηρητή.



Εικόνα 4.3 Πεδίο υπολογισμού λαμπρότητας για κάθε τύπο δρόμου

Επεξήγηση εικόνας:

1. Δρόμος με έξι λωρίδες και κεντρικό φωτισμό
2. Δρόμος με τρεις λωρίδες και φωτισμό από τη μία πλευρά μόνο.
3. Δρόμος με τρεις λωρίδες και φωτισμό και από τις δύο πλευρές.
4. Δρόμος με τρεις λωρίδες και φωτισμό και από τις δύο πλευρές χιαστί.
5. Δρόμος με δύο λωρίδες και φωτισμό από τη μία πλευρά μόνο.
6. Δρόμος με δύο λωρίδες και φωτισμό και από τις δύο πλευρές.
7. Δρόμος με δύο λωρίδες και φωτισμό και από τις δύο πλευρές χιαστί.

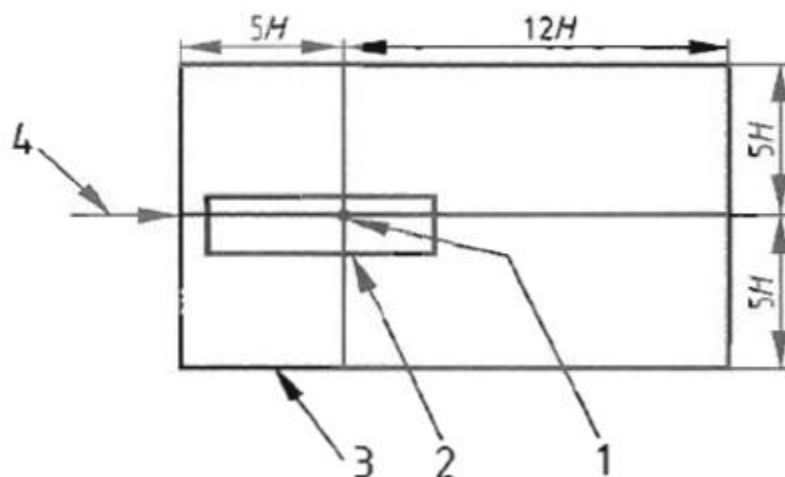
#### 4.5 Φωτιστικά που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς

Η περιοχή εντοπισμού των φωτιστικών που θα περιληφθούν στους υπολογισμούς καθορίζεται ως εξής:

α) Το όριο σε κάθε πλευρά του παρατηρητή να είναι τουλάχιστον πέντε φορές μεγαλύτερο του ύψους τοποθέτησης.

β) Το όριο που βρίσκεται μακρύτερα από τον παρατηρητή να είναι τουλάχιστον δώδεκα φορές μεγαλύτερο του ύψους τοποθέτησης στην κατεύθυνση που είναι πιο απομακρυσμένη από τον παρατηρητή.

γ) Το όριο που είναι πιο κοντά στον παρατηρητή να είναι τουλάχιστον πέντε φορές μεγαλύτερο του ύψους τοποθέτησης στην κατεύθυνση προς τον παρατηρητή.



Εικόνα 4.4 περιοχή εντοπισμού των φωτιστικών που θα περιληφθούν στους υπολογισμούς

Επεξήγηση εικόνας :

- 1.Σημείο υπολογισμού
- 2.Όριο του πεδίου υπολογισμού
- 3.Όριο της περιοχής τοποθέτησης των φωτιστικών.
- 4.Κατεύθυνση παρατήρησης

[7]



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΟΡΙΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

### 5.1 Εισαγωγή

Στις μέρες μας παρατηρείται μια όλο κ αυξανόμενη ανάγκη για συστήματα ασφάλειας στους δρόμους (**traffic safety systems**) για να περιοριστεί ο κίνδυνος των ατυχημάτων. Γίνονται πάνω από 3 εκατομμύρια τροχαία ατυχήματα κάθε χρόνο στις ΗΠΑ στα οποία το όχημα βγαίνει από τη σωστή πορεία χωρίς να συγκρουστεί με άλλο όχημα και τα οποία προκαλούν το 16.5% των θανάτων από τροχαία. Εκτιμάται ότι περίπου το 53% αυτών θα μπορούσε να αποφευχθεί αν τα αυτοκίνητα είχαν κατάλληλα συστήματα που να προειδοποιούν τον οδηγό για κίνδυνο παράβασης της διαχωριστικής λωρίδας. Επίσης είναι επιθυμητή η ενίσχυση της ακρίβειας καθοδήγησης του οχήματος για έξυπνο έλεγχο πλοήγησης ιδιαίτερα όταν το όχημα μπαίνει σε στροφή όπου είναι πολύ πιθανό να βγεί από την επιθυμητή του πορεία.

Υπάρχει μεγάλος αριθμός συστημάτων όρασης που αναπτύχθηκαν τις δύο τελευταίες δεκαετίες με σκοπό τον έλεγχο των οχημάτων, την αποφυγή σύγκρουσης καθώς και την προειδοποίηση για έξοδο από τη λωρίδα κυκλοφορίας. Η ανάπτυξη αυτών των εξελιγμένων συστημάτων για την βοήθεια του οδηγού καθώς και για την περίπτωση της αυτόματης οδήγησης απαιτεί την ικανότητα ανάλυσης των συνθηκών του δρόμου. Για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητη η αναγνώριση των λωρίδων και των σημάτων επι της λωρίδας ώστε να υπακούμε στους κώδικες οδικής κυκλοφορίας και να ανιχνευονται πιθανοί κίνδυνοι. Οι διάφοροι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο κατηγορίες στην πρώτη ανήκουν αυτές που χρησιμοποιούν τα διάφορα χαρακτηριστικά του δρόμου και στη δεύτερη αυτές που χρησιμοποιούν κάποια μορφή μοντελοποίησης. Στην πρώτη κατηγορία εντοπίζουμε τις λωρίδες στις εικόνες του δρόμου συνδυάζοντας διάφορα χαρακτηριστικά όπως οι διαχωριστικές λωρίδες ή τα άκρα του δρόμου. Δεδομένου ότι οι τεχνικές αυτές έχουν το μειονέκτημα ότι δεν βάζουν καποιο γενικό περιορισμό στο σχήμα του δρόμου ,μπορεί να έχουμε προβλήματα από διάφορους θορύβους. Από την άλλη οι τεχνικές που χρησιμοποιούν κάποια μοντελοποίηση χρησιμοποιούν κάποιες παραμέτρους για να αναπαραστήσουν τις γραμμές. Υποθέτοντας ότι το σχήμα της



γραμμής μπορεί να αναπαρασταθεί είτε από ευθεία είτε από κάποια παραβολή, η διαδικασία του εντοπισμού των λωρίδων αντιμετωπίζεται από τη σκοπιά του να υπολογίζουμε αυτές τις παραμέτρους των ευθειών ή των καμπυλών(με hough μετασχηματισμό, συνάρτηση πιθανότητας κτλ). Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται τα προβλήματα από διάφορους θορύβους και τα αποτελέσματα είναι πιο ακριβή σε σχέση με πριν.

### Υπάρχει κάποιος διαχωρισμός μεταξύ της αναγνώρισης και της παρακολούθησης λωρίδας:

Η **αναγνώριση λωρίδας (Lane detection)** περιλαμβάνει τον καθορισμό της θέσης των ορίων της λωρίδας από μία μοναδική εικόνα χωρίς ιδιαίτερη προηγούμενη γνώση της θέσης της λωρίδας.

Η **παρακολούθηση λωρίδας (lane tracking)** περιλαμβάνει τον καθορισμό της θέσης των διαχωριστικών λωρίδων σε μία ακολουθία συνεχόμενων εικόνων χρησιμοποιώντας πληροφορίες σχετικά με τη θέση των λωρίδων από προηγούμενες εικόνες σε μια προσπάθεια να υπολογίσουμε την πιθανή θέση της λωρίδας στην τρέχουσα εικόνα.

Οι **κυριότερες ιδιότητες** που πρέπει να έχουν τα συστήματα ανίχνευσης των λωρίδων είναι :

- Η ποιότητα της αναγνώρισης δεν πρέπει να επηρεάζεται από σκιές που προέρχονται από δέντρα, κτίρια κτλ.
- Θα πρέπει να είναι ικανά να επεξεργαστούν βαμμένους και μη βαμμένους δρόμους.
- Θα πρέπει να λειτουργούν σε δρόμους με στροφές και όχι να υποθέτουν ότι οι δρόμοι είναι ευθείες.
- Θα πρέπει να δίνουν μια σαφή μέτρηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων που αποκτήθηκαν.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιούν κάποιον παραλληλο περιορισμό στον οδηγό για την βελτίωση του εντοπισμού των διαγραμμίσεων και από τις δύο πλευρές παράλληλη την ύπαρξη θορύβων στις εικόνες. [8],[9],[10]

## 5.2 Μέθοδος με Inverse Perspective Mapping(IPM)

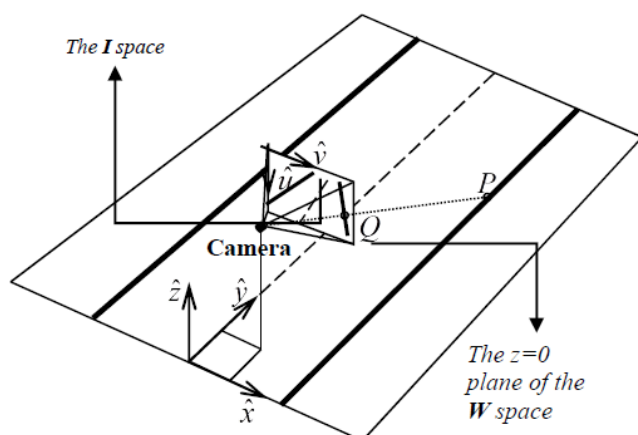
Πρόκειται για έναν αλγόριθμο αναγνώρισης ορίων οδοστρώματος βασισμένο στο IPM. Αρχικά έχοντας τον περιορισμό ότι η λωρίδα έχει **σταθερό πλάτος**, μετα την εφαρμογή του IPM, χωρίζουμε τη λωρίδα σε κομμάτια, τα οποία και προβάλλουμε πίσω στο αρχικό σύστημα συντεταγμένων. Στη συνέχεια ανιχνεύουμε την δεξιά και την αριστερή λωρίδα με τη βοήθεια του **gray scale weighted Hough** μετασχηματισμού. Τα πειραματικά αποτελέσματα μας δείχνουν ότι ο προτεινόμενος αυτός αλγόριθμος, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους, έχει θετικά αποτελέσματα στις συνθήκες που δεν υπάρχουν οι διαχωριστικές λωρίδες ή εμφανίζονται σκιές από διερχόμενα οχήματα. Μία **CCD κάμερα** είναι τοποθετημένη πίσω από τον ανεμοθώρακα και συλλέγει τις εικόνες, οι οποίες επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο.

### 1. Inverse perspective mapping

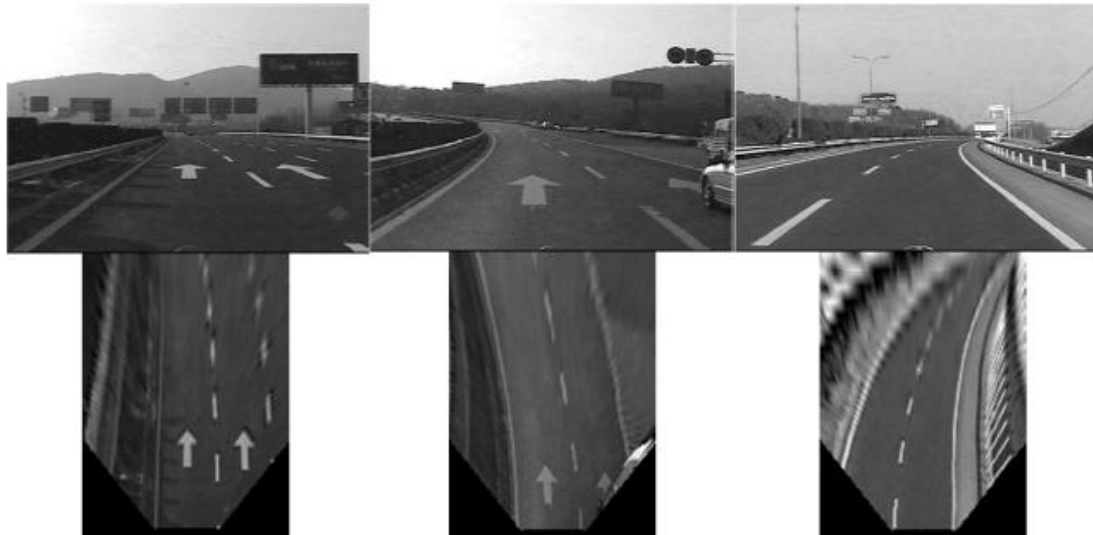
Στην πραγματικότητα τα όρια των λωρίδων είναι παράλληλα το ένα με το άλλο. Όμως στην εικόνα, λόγω της προοπτικής προβολής το σχήμα τους αλλοιώνεται και φαίνονται σαν να συγκλίνουν σε ένα κοινό σημείο, το **σημείο φυγής** (vanishing point). Με την τεχνική του IPM προβάλλουμε κάθε pixel της εικόνας σε ένα σημείο στον τρισδιάστατο κόσμο και στη συνέχεια το επαναπροβάλλουμε σε μία νέα θέση, κατασκευάζοντας μία νέα αναστραμμένη δισδιάστατη απεικόνιση. Με αυτόν τον τρόπο φαίνεται ο δρόμος από ψηλά εξαλείφοντας τις συνέπειες του φαινομένου της προοπτικής προβολής.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε απο πριν τη θέση της κάμερας, τον προσανατολισμό και τα διάφορα χαρακτηριστικά της καθώς και τη σκηνή που αναπαρίσταται (τον δρόμο, ο οποίος θεωρείται πως είναι επίπεδος)

Μαθηματικά η τεχνική IPM μπορεί να περιγραφεί σαν μια προβολή απο τον τρισδιάστατο ευκλείδιο σε ένα επίπεδο δισδιάστατο χώρο. Η απεικόνιση με IPM μπορεί να περιγραφεί σαν μια συνάρτηση των  $u$  και  $v$ .



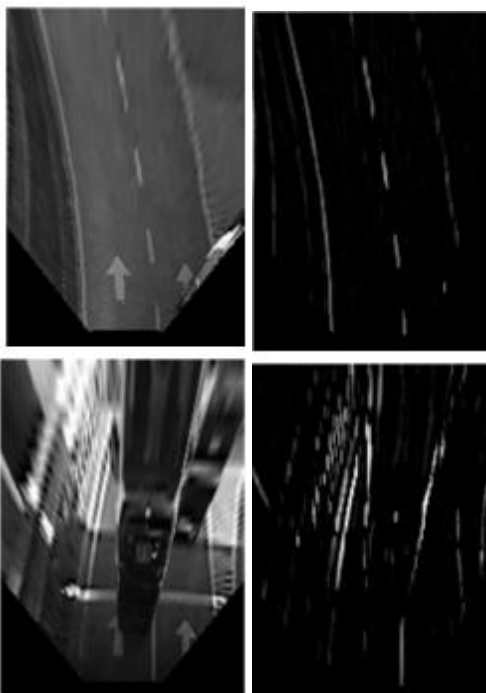
Εικόνα 5.1: Φαίνεται το σύστημα της κάμερας και το τρισδιάστατο σύστημα του πραγματικού κόσμου. Ο δρόμος φαίνεται ότι έχει  $z=0$  είναι δηλαδή επίπεδος.



Εικόνα 5.2 : Φαίνονται πάνω οι αρχικές εικόνες και κάτω αυτές που προκύπτουν μετά την επεξεργασία, στις περιπτώσεις που ο δρόμος είναι ευθύς, με στροφή προς τα αριστερά και στροφή προς τα δεξιά.

## 2 .Αλγόριθμος τμηματοποίησης βασισμένος στο IPM

Η διαχωριστική λωρίδα έχει σταθερό πλάτος (συνήθως 15cm-30cm στην Κίνα) ενώ το χρώμα της είναι λευκό ή κίτρινο που κάνει μεγάλη αντίθεση με την επιφάνεια του δρόμου. Συνήθως όταν η εικόνα μετασχηματίζεται σε gray scale τα σημάδια από τις λωρίδες φαίνονται καλύτερα στη γκρι εικόνα. Μετα την IPM επεξεργασία το πλάτος της λωρίδας που είχε αλλοιωθεί εξαιτίας της προβολής στην εικόνα είναι τώρα πιο εμφανές. Προτείνεται ένας **αλγόριθμος τμηματοποίησης** που βασίζεται στο κατώφλι traversal με σύστημα συγκράτησης πλάτους. Ο αλγόριθμος δίνεται παρακάτω:



$$P(u,v) = \sum_0^{255} f(T, u, v) \quad , \text{με} \quad u=0,1,\dots,n-1 \\ v=0,1,\dots,m-1 \quad T=0,1,\dots,255 \text{ όπου}$$

$$f(T,u,v) = \begin{cases} 1, & w(T, u, v) \in [w1, w2] \\ 0, & w(T, u, v) \notin [w1, w2] \end{cases}$$

Εικόνα 5.3 : Πάνω και κάτω αριστερά φαίνεται το αποτέλεσμα μετά το IPM και πάνω και κάτω δεξιά το αποτέλεσμα μετά την τμηματοποίηση.

Οι συντεταγμένες  $(u,v)$  αντιπροσωπεύουν ένα γενικό σημείο  $P$  στην IPM εικόνα και η  $T$  είναι μία μεταβλητή της gray scale εικόνας. Το  $p(u,v)$  είναι η πιθανότητα του σημείου  $P(u,v)$  στην IMP εικόνα που θα μπορούσε να ανήκει σε σημάδια λωρίδων. Το  $w(Y,u,v)$  αντιπροσωπεύει το πλάτος των συνεχόμενων αρχικών pixel στην οριζόντια γραμμή, που περιλαμβάνει το σημείο  $P(u,v)$ . Το  $[w1,w2]$  αντιστοιχεί σε μια εμπειρικό διάστημα πλάτους των διαχωριστικών λωρίδων.

### 3.Αλγόριθμος αναγνώρισης βασισμένος στον μετασχηματισμό Hough

Παρατηρείται ότι παραμένει **θόρυβος** από διάφορα σήματα πάνω στις λωρίδες και από τις γωνίες των οχημάτων. Για να μειωθεί η ενόχληση από αυτούς τους θυρύβους γίνεται επαναφορά στην αρχική μας εικόνα και γίνεται αντιληπτό ότι ο εντοπισμός είναι ευκολότερος να γίνει με τη βοήθεια του μετασχηματισμού Hough. Ο μετασχηματισμός αυτός μετασχηματίζει ένα σύνολο σημείων από μια εικόνα σε ένα σύνολο σημείων πάνω σε κάποιον άλλο παραμετρικό χώρο. [8]



*Εικόνα 5.4:Φαίνονται στις εικόνες τα αποτελέσματα μετρήσεων.Το όχημα κινείται με ταχύτητες από 40 ως 100 km/h. Οι εικόνες απο την κάμερα (320x240) μεταφέρονται σε ένα φορητό υπολογιστή στον οποίο γίνονται οι ρυθμίσεις που αναφέρθηκαν με ταχύτητα επεξεργασίας 0.1 sec για κάθε εικόνα.*

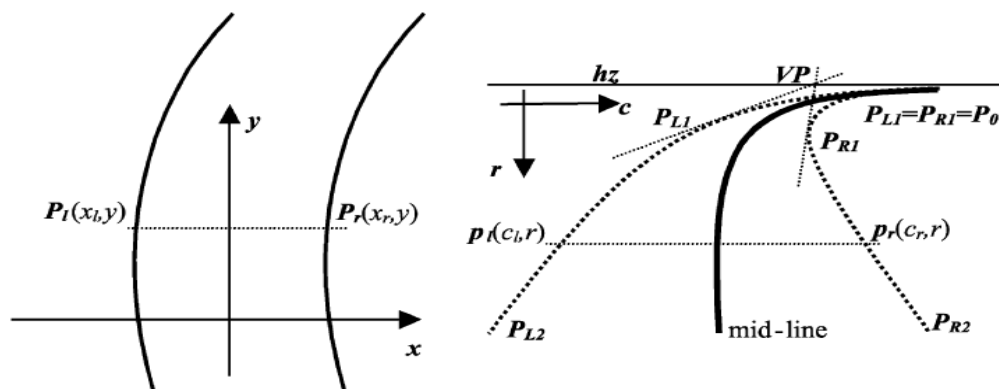
### 5.3 Αναγνώριση ορίων οδοστρώματος χρησιμοποιώντας των B-snake

Προτείνεται αναγνώριση ορίων οδοστρώματος με τη βοήθεια του B-Snake χωρίς καθόλου χρήση των παραμέτρων της κάμερας. Με τον αλγόριθμο αυτό μπορεί να περιγραφεί μεγαλύτερο εύρος σχημάτων λωρίδας καθώς η **B-spline**

μπορεί να σχηματίσει κάθε αυθαίρετο σχήμα θέτωντας κάποια σημεία ελέγχου. Εδώ αντί να εντοπιστούν τα δεξιά και αριστερα ακρα της λωρίδας ανιχνεύεται η μεσαία γραμμή της λωρίδας και με τη βοήθεια του αλγορίθμου **CHEVP** βρίσκεται μια καλή αρχική θέση για τον B-snake. Με τη βοήθεια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων καθορίζονται τα σημεία ελέγχου του B-snake. Μετά από πειράματα βρέθηκε ότι ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί ικανοποιητικά σε συνθήκες θορύβου, σκιές και μεταβολές του φωτισμού στις εικόνες του δρόμου. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε δρόμους που έχουν ή δεν έχουν σημάδια καθώς και σε δρόμους με διαγραμμίσεις.

**Τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου αυτής είναι:**

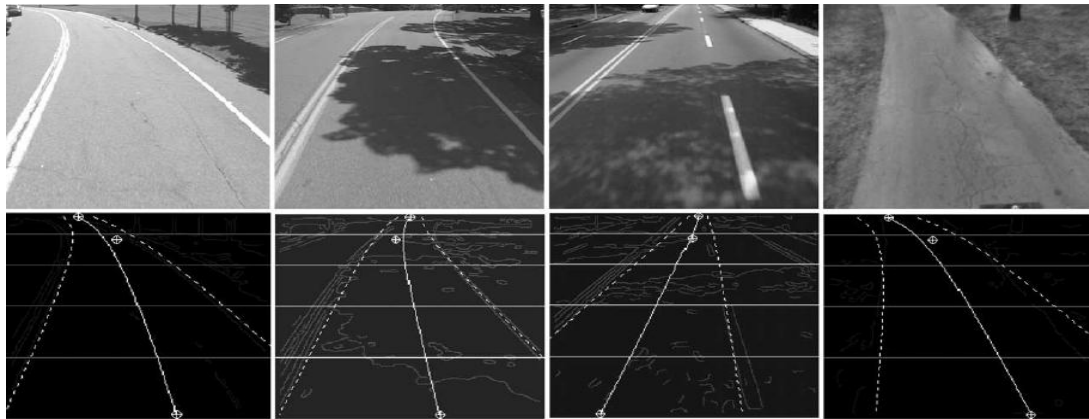
1. Ένα διαφορετικό B-snake μοντέλο που περιγράφει το φαινόμενο της προοπτικής προβολής παράλληλων γραμμών κατασκευάζεται με δυνάμεις εξωτερικές δυνάμεις για γενικά όρια λωρίδων και μπορεί να περιγράψει ένα ευρύτερο φάσμα από σχήματα λωρίδων σε σχέση με άλλες μεθόδους. Επιπλέον εφαρμόζεται με επιτυχία και σε δύσκολες περιπτώσεις εξαιτίας παράλληλης χρήσης του δρόμου στο τριαδιάστατο σύστημα. Το πρόβλημα του εντοπισμού των λωρίδων διατυπώνεται με τον καθορισμό ενός συνόλου σημείων ελέγχου. Η δεξιά διαγράμμιση θεωρείται πως είναι απλά μια μετατόπιση της αριστερής και εντοπίζονται έτσι οι δύο διαγραμμίσεις με τη βοήθεια της γνώσης της μεσαίας λωρίδας.



Εικόνα 5.5 : Φαίνονται οι θέσεις της δεξιάς και αριστερής λωρίδας όπως φαίνονται από ψηλά και από την εικόνα της κάμερας. Στην δεύτερη εικόνα διακρίνεται το vanishing point και η μεσαία λωρίδα, καθώς και οι σχέσεις μεταξύ των διάφορων λωρίδων.

2. Ο αλγόριθμος Canny/Hough για τον υπολογισμό του vanishing point (**Canny/Hough Estimation of Vanishing Points-CHEVP**) χρησιμοποιείται για να μας

προσφέρει μία καλή αρχική θέση για το B-snake, καθώς ο εντοπισμός της αρχικής θέσης του δρόμου γίνεται αυτόματα και δεν απαιτούνται κάποιες ενδεχομένως εσφαλμένες αρχικοποιήσεις από το χρήστη. Ο αλγόριθμος αυτός έχει καλή χρήση σε περιπτώσεις θορύβου, σκιών και μεταβολών στο φωτισμό στις εικόνες και έτσι εφαρμόζεται τόσο σε μη διαγραμμισμένους δρόμους όσο και αν η διαγράμμιση έχει γίνει λιγότερο έντονη και μας αναγνωρίζει τις ευθείες γραμμές και το vanishing point.



Εικόνα 5.6 :Παραδείγματα εφαρμογής του αλγορίθμου CHEVP

3.Χρησιμοποιώντας το **Gradient Vector Flow (GVF)** για να κατασκευαστεί το πεδίο των εξωτερικών δυνάμεων του B-snake για την αναγνώριση, ένα μικρό σφάλμα που ονομάζεται ελάχιστο μέσο τετραγωνικό σφάλμα που βρίσκει την αντιστοιχία μεταξύ του B-snake και των πραγματικών συνθηκών, παρουσιάζεται για να καθορίσει τις παραμέτρους του μοντέλου του δρόμου επαναληπτικά. Η παρακολούθηση των λωρίδων συνεχίζεται μετά από τον επιτυχή εντοπισμό με ένα απλό πεδίο εξωτερικών δυνάμεων και τον υπολογισμό του σφάλματος και γίνεται με μεγάλη ταχύτητα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα splines όπως το **Catmull-Rom spline** και η μόνη διαφορά είναι οι θέσεις των σημείων ελέγχου.



Εικόνα 5.7 :Κάποια παραδείγματα εντοπισμού των λωρίδων με τον αλγόριθμο B-snake.

### **Συμπεράσματα:**

Τα αποκτηθέντα αποτελέσματα είναι αρκετά καλά και ακριβή κάτω από διαφορές συνθήκες. Είναι δυνατές αρκετές επεκτάσεις του μοντέλου. Εδώ εφαρμόζεται μόνο για επίπεδο δρόμο. Είναι όμως εφικτό να εφαρμοστεί και για δρόμο με κλίση απλά προσθέτωντας άλλη μία συνιστώσα σημείων ελέγχου για να περιγράψουμε τη νέα γεωμετρία του δρόμου. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται και κάποια βελτίωση του CNEVP αλγορίθμου. Για την βελτίωση της διαδικασίας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν περισσότερα χαρακτηριστικά του δρόμου όπως η υφή του χρώματος καθώς και άλλα όπως η υγρασία και η ανακλαστικότητα που θα αποκτηθούν με τη χρήση ενός laser scanner. [9]

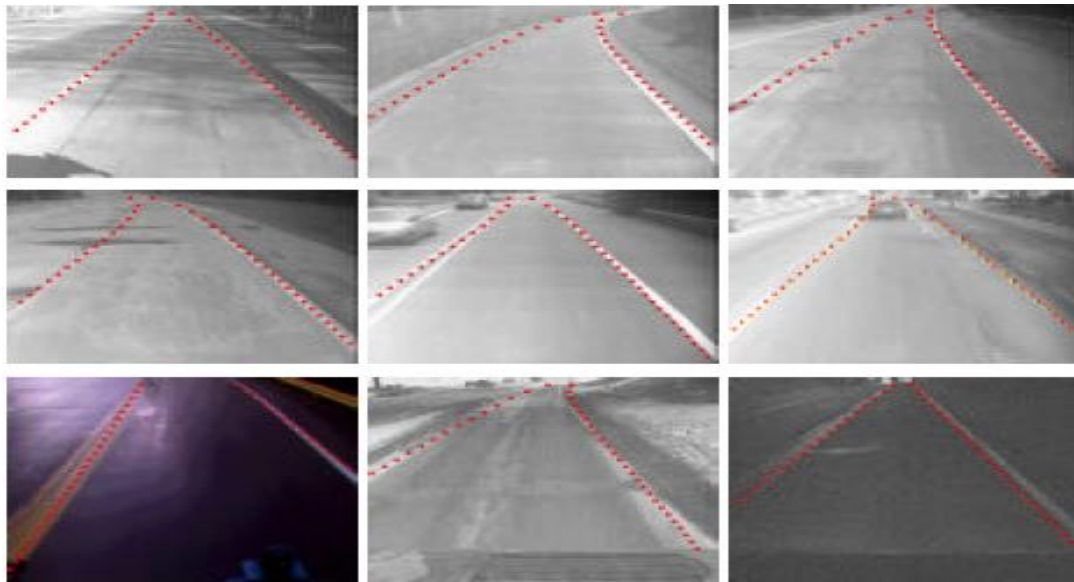
### **5.4 Αλγόριθμος LOIS (Likelihood Of Image Shape) με χρήση φίλτρου Kalman**

Ο αλγόριθμος LOIS μπορεί να εντοπίσει τα σημάδια από τις διαχωριστικές γραμμές ακόμα και υπο την παρουσία σκιών, διαφόρων συνθηκών φωτεινότητας και παρεμπόδισης της ορατότητας από άλλα οχήματα. Εξετάζεται εδώ η χρησιμοποίηση του αλγορίθμου LOIS για την παρακολούθηση των γραμμών, μέσα από μια ακολουθία εικόνων και η αποστολή μιας προειδοποίησης αν είναι επικείμενη η παράβαση κάποιας διαχωριστικής γραμμής. Η πορεία του αυτοκινήτου σε σχέση με την δεξιά και αριστερή λωρίδα (όπως καθορίζονται από τον LOIS) εξετάζεται σαν μια συνάρτηση του χρόνου. Ένα **φίλτρο Kalman** χρησιμοποιείται για να προβλέψει μελλοντικές παραμέτρους βασισμένο σε προηγούμενες παρατηρήσεις. Αν η θέση του οχήματος όπως εντοπίζεται από τον LOIS είναι ένα μέτρο είτε από την δεξιά, είτε από την αριστερή διαγράμμιση και αν η πορεία του αυτοκινήτου όπως προβλέπεται από το φίλτρο Kalman οδηγεί στο να βρεθεί το όχημα 0.8 μέτρα από κάποια από τις λωρίδες σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο τότε ενεργοποιείται η **προειδοποίηση για παράβαση της διαγράμμισης**.

Στον LOIS μία οικογένεια παραμετρικών ευθειών περιγράφει όλους τους πιθανούς τρόπους που τα όρια των λωρίδων μπορούν να εμφανιστούν στην εικόνα. Καθορίζεται μία **συνάρτηση πιθανότητας**, της οποίας η τιμή είναι ανάλογη στο πόσο καλά μία συγκεκριμένη ομάδα παραμέτρων που δίνουν το σχήμα των ευθειών αντιστοιχίζει τα δεδομένα pixel σε μία συγκεκριμένη εικόνα. Η αναγνώριση πραγματοποιείται βρίσκοντας εκείνη τη μορφή της λωρίδας που μεγιστοποιεί την προαναφερθείσα συνάρτηση για την τρέχουσα εικόνα.

Ο LOIS χρησιμοποιείται για να παρακολουθεί τις γραμμές από εικόνα σε εικόνα χρησιμοποιώντας ένα ασθενές μοντέλο προηγούμενων χαρακτηριστικών όταν επιχειρεί για πρώτη φορά να αναγνωρίσει ένα δρόμο και μετά χρησιμοποιεί

τις πληροφορίες από την προηγούμενη εικόνα για να αποκτήσει την πιθανή θέση της γραμμής όταν κάνει το lane tracking. Ένα φίλτρο Kalman προβλέπει τη θέση του οχήματος σε επόμενες εικόνες σε συνάρτηση με τις διαχωριστικές γραμμές. Προηγούμενες εφαρμογές του LOIS επικεντρώθηκαν σε χρήση σε συνθήκες που το όχημα παραμένει κοντά στο κέντρο της λωρίδας, ενώ σε πιο πρόσφατα papers το όχημα επιχειρεί απότομες αλλαγές κατεύθυνσης που το φέρουν μακριά από το κέντρο του δρόμου.



Εικόνα 5.8 : Αναγνώριση διαχωριστικών λωρίδων με χρήση του αλγορίθμου LOIS

Η παρακολούθηση των λωρίδων με τον LOIS μας δίνει έναν πολύ αξιόπιστο αλγόριθμο για την ανάπτυξη ενός συστήματος προειδοποίησης για έξοδο από τη λωρίδα και δίνει τη βάση για μελλοντική προέκταση της εφαρμογής για **αυτόνομο έλεγχο** του οχήματος. Το σύστημα προειδοποίησης που εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας αυτόν τον αλγόριθμο φαίνεται μετά από πειράματα να λειτουργεί για διάφορες περιπτώσεις οδήγησης. [10]

## 5.5 Αναγνώριση ορίων οδοστρώματος με τη βοήθεια της Catmull-Rom Spline

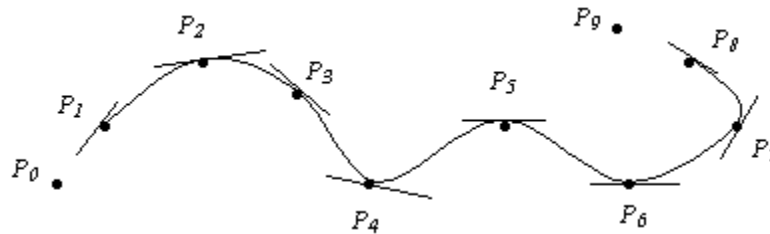
### 1. Η catmull-rom spline

Η αναλυτική εξίσωση της Spline αυτής είναι

$$P(t) = \begin{pmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -1 & 3 & 3 & 1 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_i - 3 \\ P_i - 2 \\ P_i - 1 \\ P_i \end{pmatrix}$$



Όπως φαίνεται και στην εικόνα η spline αυτή περνάει από κάθε σημείο με κατεύθυνση παράλληλη στη γραμμή μεταξύ των γειτονικών του σημείων. ( $P_0, P_1, \dots, P_n$ ) είναι τα **σημεία ελέγχου** από τα οποία πρέπει να περάσει η spline.



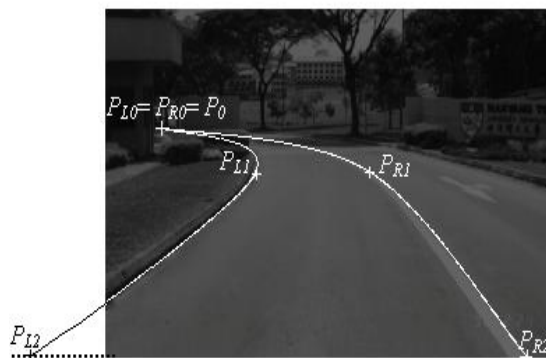
Εικόνα 5.9 :Μορφή της catmul-rom spline



(a)

## 2.Χρησιμοποιώ την spline για να περιγράψω τα όρια των λωρίδων

Στην γενική περίπτωση απαιτούνται 3 σημεία ελέγχου από την αριστερή και 3 σημεία ελέγχου από τη δεξιά λωρίδα ( $P_{l0}, P_{l1}, P_{l2}$ ) και ( $P_{r0}, P_{r1}, P_{r2}$ ) αντίστοιχα ώστε να περιγραφούν αυτές από spline. Το κοινό σημείο αυτών των δύο spline είναι το **vanishing point** και βρίσκεται στον ορίζοντα της εικόνας. Θέτοντας το πρώτο και το τελευταίο σημείο ελέγχου ίσα μεταξύ τους επιτυγχάνεται η αναπαράσταση των λωρίδων με την spline.



(b)

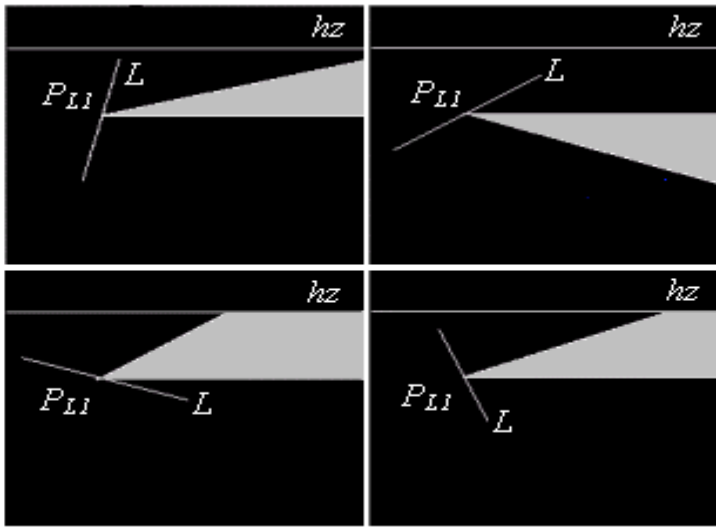
Εικόνα 5.10 :Αναπαράσταση των λωρίδων με την catmul

## 3.Περιοχή αναζήτησης σημείων ελέγχου.

Εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι οι δύο λωρίδες είναι παράλληλες μεταξύ τους, αν αναγνωριστεί η μία, έστω την αριστερή τότε χρησιμοποιώντας αυτή την παραλληλία μπορεί να περιοριστεί η **περιοχή αναζήτησης των σημείων ελέγχου** της δεξιάς λωρίδας. Η εκτίμηση της κλίσης της γραμμής  $PL_1 PR_1$  στην εικόνα έχει τη μορφή

$$k_{llrl} = \frac{(rl1 - hz)(rl1kl1 - rl1 + hz)}{cl1^2kl1 + kl1(\lambda^2 + hz^2) - cl1(rl1 - hz)}$$

( $r_{l1}, c_{l1}$ ) : συντεταγμένες σημείου PL1 στην εικόνα κ1:η κλίση της εφαπτομένης στο PL1 λ:εστιακό μήκος,hz:ο ορίζοντας. Η παραπάνω εξίσωση καθορίζει την πιθανή θέση του PR1 στην εικόνα σε σχέση με το PL1 και την κλίση της εφαπτομένης του.



Εικόνα 5.11:Πιθανές θέσεις του σημείου PR1

#### 4.Χρησιμοποιείται η συνάρτηση πιθανότητας για προσέγγιση της λωρίδας.

Αφού η εικόνα υποστεί το φίλτρο canny για ανίχνευση των ακμών προσπαθώ με κάποιες διαδικασίες να μετρηθεί η ομοιότητα ανάμεσα στο μοντέλο του δρόμου και στα όρια των λωρίδων που φαίνεται κάθε στιγμή στην εικόνα. Αφού υπολογιστεί το πιθανό πεδίο ακμών της εικόνας και μετρηθεί η πιθανότητα με τη συνάρτηση πιθανότητας,στη συνέχεια ανιχνεύονται τα σημεία ελέγχου στην εικόνα αφού αυτή έχει περαστεί από το canny φίλτρο. Αρχικά ξεκινώντας από την γραμμή του ορίζοντα αναζητώνται τα σημεία ελέγχου της αριστερής λωρίδας. Αφού υπολογιστούν,ελέγχεται με τη συνάρτηση πιθανότητας κατά πόσο έχω βρεί το σωστό μοντέλο. Στη συνέχεια με εξισώσεις που περιγράφηκαν νωρίτερα και εφόσον η περιοχή αναζήτησης των σημείων ελέγχου της δεξιάς λωρίδας είναι περιορισμένη αναζητώνται και τα σημεία ελέγχου της δεύτερης λωρίδας. Με τα σημεία αυτά και με τη βοήθεια της spline κατασκευάζονται τα όρια του οδοστρώματος. [11]

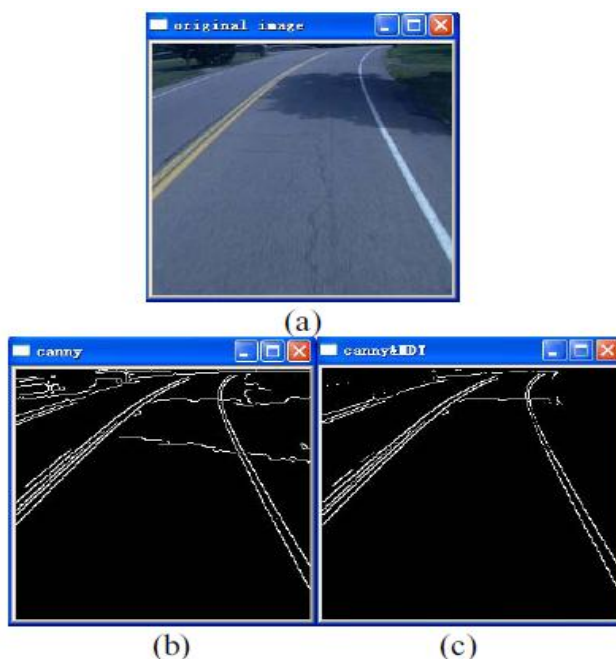


Εικόνα 5.12:Επιτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου για δρόμο που δεν είναι βαθμένος.

## 5.6 Μία γρήγορη μέθοδος αναγνώρισης βασισμένη στην B-spline

### 1. Αναγνώριση των ακμών

Το πρωταρχικό σημείο της αναγνώρισης είναι η ανίχνευση των ακμών με κάποιο φίλτρο. Εδώ χρησιμοποιείται ως καταλληλότερο το **canny**. Επειδή η εικόνα που έχουμε από το δρόμο περιλαμβάνει και σκιές από δέντρα, νερά, φωτισμό και άλλες πηγές θυρούβου εφαρμόζω στη συνέχεια ένα φίλτρο με **δύο κατώφλια**. Η εικόνα χωρίζεται σε τμήματα και στο κάθε τμήμα από αυτά το φίλτρο έχει διαφορετικές παραμέτρους.



Εικόνα 5.13: Φαίνεται η εφαρμογή του canny και του φίλτρου που χρησιμοποιείται μετέπειτα.

### 2. Αναγνώριση των ορίων

Μέθοδοι αναγνώρισης: Δημοφιλέστερες μέθοδοι αναγνώρισης είναι ο μετασχηματισμός Hough και η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων. Η πρώτη είναι πιο ακριβής αλλά υστερεί όταν εφαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο. Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιώ την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.

Η λογική του αλγορίθμου έχει ως εξής: Ξεκινώντας από κάτω βρίσκεται ένα ζεύγος σημείων του δρόμου. Αν επεξεργάζεται το πρώτο στιγμιότυπο τα σημεία που ανιχνεύονται βρίσκονται στο κέντρο της λωρίδας. Γίνεται έλεγχος αν τα σημεία είναι έγκυρα (βρίσκονται σε σωστή θέση και έχουν έγκυρο πλάτος) και αναλόγως τα διατηρούνται για μετέπειτα ή απορρίπτονται. Στην συνέχεια πηγαίνοντας τις **scanning lines** προς τα πάνω ανιχνεύονται ομοίως και τα επόμενα σημεία. Η εικόνα χωρίζεται σε οριζόντια τμήματα σε καθένα από τα οποία εφαρμόζεται η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων .

Αρχικοποίηση του αλγορίθμου: Με την υπόθεση ότι χρησιμοποιείται μοντέλο απλής σημειακής κάμερας και ότι τα όρια των λωρίδων είναι γραμμές παράλληλες στο τρισδιάστατο επίπεδο, τα όρια των λωρίδων μπορούν να θεωρηθούν σαν ευθείες

γραμμές σε μικρά τμήματα της εικόνας. Τα όρια των λωρίδων θα συναντηθούν στο **vanishing point**, ενώ δύο διαφορετικά vanishing points καθορίζουν την vanishing line η οποία για λόγους απλότητας θεωρείται παράλληλη στην γραμμή του ορίζοντα. Το πλάτος του δρόμου των συγκεκριμένων scan lines έχει γραμμική σχέση με την απόσταση μεταξύ των scan lines και του vanishing point.

$$W=K(C-H)$$

Όπου  $W$  είναι το πλάτος του δρόμου,  $C$  η τωρινή scan line και  $H$  η vanishing line. Αν τα σημεία που ανίχνευσα είναι τα  $(C_{lxo}, C_{lyo})$ ,  $(C_{rxo}, C_{ryo})$  το πλάτος του δρόμου μπορεί να εκφραστεί σαν  $|C_{rxo} - C_{lxo}|$ .

Επομένως  $K=(C_0-H)/W_0$  και μπορεί να προβλεφθεί το πλάτος του δρόμου στην επόμενη scan line ως εξής:

$$1=K(\Psi_1-H)=(\Psi_0-H)/(\Psi_{rxo} - \Psi_{lxo}) * (\Psi_1-H).$$

### 3.B-spline curve

Καθώς το σχήμα του δρόμου δεν είναι γενικά πολύπλοκο, χρησιμοποιείται η **κυβικής μορφής B-spline** η οποία εκφράζεται όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση

$$P(t)=(t^3 \quad t^2 \quad t \quad 1) * \begin{pmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 4 & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_i - 1 \\ P_i \\ P_i + 1 \\ P_i + 2 \end{pmatrix}$$

[12]



Εικόνα 5.14:Επιτυχημένα παραδείγματα εφαρμογής του αλγορίθμου



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ-ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΜΕΡΑΣ

### 6.1 Φωτογραμμετρία

Φωτογραμμετρία ονομάζεται η τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία για την απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με τα φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων.

Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές αποτελούν έμμεσους τρόπους καταγραφής της θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων των αντικειμένων, καθώς δεν χρησιμοποιούν απευθείας μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο αλλά χρησιμοποιούν τη μετρική πληροφορία που συλλέγεται πάνω σε μια φωτογραφική εικόνα.

Το μέρος της φωτογραμμετρίας που ασχολείται με την εξαγωγή πληροφορίας από μία μόνο φωτογραφία ονομάζεται **μονοεικονική** φωτογραμμετρία σε αντίθεση με την **στερεοφωτογραμμετρία** που χρησιμοποιεί επικαλυπτόμενα ζεύγη εικόνων.

#### Τεχνικά προβλήματα φωτογραμμετρικών διαδικασιών:

Γενικά η φωτογραφία θεωρείται μία κεντρική προβολή του εδάφους ή ενός αντικειμένου πάνω σε μία επίπεδη επιφάνεια. Εξαιτίας αυτής της μοντελοποίησης της πραγματικότητας, υπάρχουν διαφορές από την εφαρμογή των φωτογραμμετρικών σχέσεων και της αντίστοιχης πραγματικής κατάστασης. Για παράδειγμα:

- Θεωρείται πως η φωτογραφία είναι μία **κεντρική προβολή**. Γίνεται η υπόθεση δηλαδή ότι κάπου μέσα στο σύστημα των φακών υπάρχει ένα προβολικό κέντρο. Στην πραγματικότητα κανένα τέτοιο κέντρο δεν υπάρχει. Υπάρχουν απλά δέσμες ακτίνων που περνούν μέσα από το σύστημα των φακών από διαφορετικά σημεία.

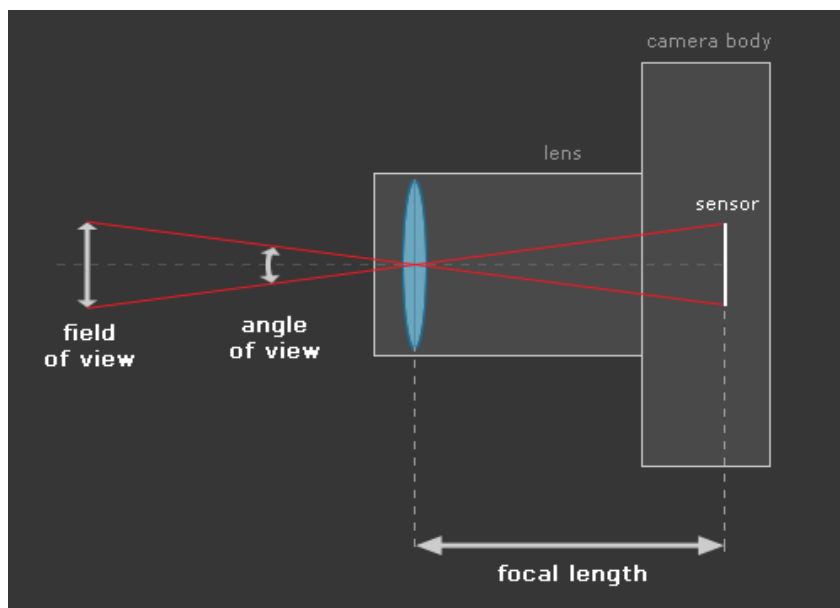
- Θεωρείται πως η εικόνα ενός σημείου πάνω στο αρνητικό είναι και αυτή ένα σημείο. Αυτό από τη φύση του δεν είναι δυνατό. Ούτε βέβαια υπάρχει κάποιο επίπεδο προβολής καθώς η επιφάνεια αυτή έχει ένα ορισμένο πάχος.

- Γίνεται υπόθεση ότι μια δέσμη ακτίνων που έχει ως αρχή ένα σημείο μπορεί να παρασταθεί με μια ευθεία γραμμή που περνάει από το **προβολικό κέντρο**. Στην πραγματικότητα οι ευθείες αυτές σπάζουν κατά τη δίοδό τους μέσα από το σύστημα των φακών.

- Η φωτοευαίσθητη επιφάνεια θεωρείται μια επίπεδη επιφάνεια με σταθερές διαστάσεις. Στην πραγματικότητα όμως ανακαλύπτονται αρκετές **παραμορφώσεις**.

Κατα συνέπεια η σχέση ανάμεσα στην πραγματικότητα και στο ιδανικό μας μοντέλου μπορεί να είναι εντελώς προσεγγιστική. Ο βαθμός προσέγγισης εξαρτάται από την ποιότητα της φωτογραφικής μηχανής, το φωτογραφικό υλικό, τη μεθοδολογία αναγωγής των μετρήσεων και τελικά από την εμπειρία του χρήστη. Με τις σημερινές τεχνολογίες οργάνων ο βαθμός προσέγγισης είναι της τάξης 1μm-50μm. Για πολλές εφαρμογές μια τέτοια προσέγγιση είναι πολύ ικανοποιητική. Υπάρχει όμως περίπτωση να εισάγονται σφάλματα που να μειώνουν σημαντικά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων .

Οι φωτογραφικές μηχανές που χρησιμοποιούνται στην φωτογραμμετρία ονομάζονται μετρικές κάμερες. Το κέντρο του φακού ονομάζεται **κέντρο προβολής** ,η δε απόσταση του επιπέδου σχηματισμού ευκρινούς ειδώλου από το φακό είναι ίση με την εστιακή απόσταση του φακού και ονομάζεται **εστιακή απόσταση** της φωτογραφικής μηχανής.



Εικόνα 6.1 :Η εστιακή απόσταση της φωτογραφικής μηχανής και το πεδίο του κόσμου που μπορεί να <συλλάβει> ο φακός.

Η **ποιότητα και η ακρίβεια** μια φωτογραφικής εικόνας εξαρτάται άμεσα από την πιστότητα της κατασκευής του φακού. **Σφάλματα** των φακών που υποβαθμίζουν την οπτική ποιότητα είναι:

- η σφαιρική εκτροπή
- η κόμη
- ο αστιγματισμός
- η καμπύλωση πεδίου
- η χρωματική εκτροπή

Ενώ η παραμόρφωση των φακών υποβαθμίζει την γεωμετρική ακρίβεια της εικόνας, αναφέρεται δηλαδή σε μετατοπίσεις των σημείων του φωτογραφικού επιπέδου. [13]

#### **Τα σημαντικότερα στάδια εξέλιξης της φωτογραμμετρίας ήταν:**

**Αναλογική φωτογραμμετρία**, όπου με χρήση των οπτικομηχανικών μέσων έγινε δυνατή η εξαγωγή της θέσης στις τρεις διαστάσεις, ενός εικονιζόμενου αντικειμένου που απεικονίζεται σε ένα στερεοζεύγος φωτογραφιών που έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις με σημαντική επικάλυψη.

**Αναλυτική φωτογραμμετρία**, όπου οι φωτογραμμετρικές διαδικασίες γίνονται με υπολογιστικά μέσα και για πρώτη φορά χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί υπολογιστές για τον υπολογισμό των παραμέτρων των φωτογραφικών εικόνων και των προσανατολισμών τους καθώς και ο προσδιορισμός στον τρισδιάστατο χώρο της θέσης των λεπτομερειών των διαφόρων αντικειμένων.

**Ψηφιακή φωτογραμμετρία**, όπου σταματά η επεξεργασία των αναλογικών φωτογραφιών και η επεξεργασία γίνεται με υπολογιστικά μέσα σε ψηφιακές απεικονίσεις (σκαναρισμένες εικόνες ή πρωτογενείς ψηφιακές εικόνες) όχι μόνο του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αλλά και άλλων προτύπων της. [14]

## **6.2 Βαθμονόμηση Κάμερας-Calibration**

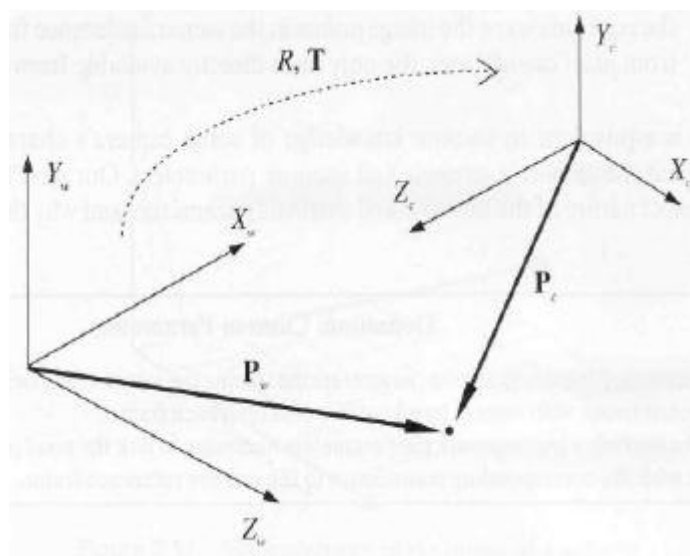
Βαθμονόμηση μιας μετρικής φωτογραφικής μηχανής ονομάζεται η διαδικασία προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της. Η γνώση των



χαρακτηριστικών αυτών είναι απαραίτητη αν οι φωτογραφίες που θα ληφθούν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ακριβείς μετρήσεις αντικειμένων του φυσικού κόσμου.

Οι παράμετροι που προσδιορίζονται φαίνονται παρακάτω. Ισως η σημαντικότερη απ αυτές είναι η εστιακή απόσταση του συστήματος των φακών. Αυτό διότι είναι το πιο ευμετάβλητο καθώς σχετίζεται με την παραμόρφωση των φακών και κυρίως διότι είναι είναι το μέγεθος εκείνο το οποίο είναι συγγραμμικό της τρίτης διάστασης η οποία είναι αυτή που υπολογίζεται φωτογραμμετρικά με τη μικρότερη ακρίβεια σε σχέση με τις άλλες δύο διαστάσεις. [15]

Οι παράμετροι της κάμερας διακρίνονται σε **εξωγενείς και εγγενείς**:



Εικόνα 6.2 :Στροφή του συστήματος συντεταγμένων

#### Εξωγενείς παράμετροι της κάμερας:

- Περιγράφουν τον μετασχηματισμό μεταξύ του αγνώστου πλαισίου αναφοράς της κάμερας(θέση και προσανατολισμός) και ενός γνωστού σημείου αναφοράς του πραγματικού κόσμου.

- Πρακτικά ο καθορισμός αυτών των παραμέτρων σημαίνει:

- 1) Εύρεση του ανύσματος μεταφοράς (translation vector) μεταξύ των σχετικών θέσεων προέλευσης των 2 πλαισίων αναφοράς.

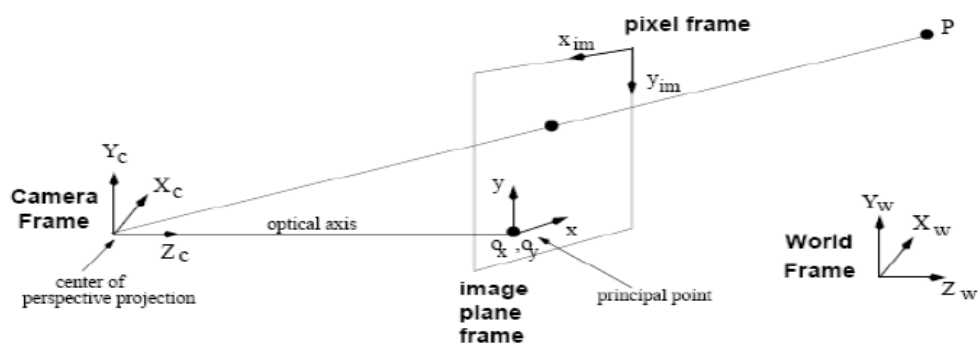
- 2) Εύρεση του πίνακα περιστροφής (rotation matrix) που οδηγεί στην ευθυγράμμιση των αντίστοιχων αξόνων των 2 πλαισίων .

- Βάσει των εξωγενών παραμέτρων της κάμερας, μπορεί να βρεθεί η σχέση που συνδέει τις συντεταγμένες ενός σημείου στον πραγματικό κόσμο με τις συντεταγμένες του στην κάμερα.

## Εγγενείς Παράμετροι Κάμερας

• Χαρακτηρίζουν τα οπτικά, γεωμετρικά και ψηφιακά χαρακτηριστικά της κάμερας :

- 1) Την προοπτική προβολή (focal length  $f$ ).
- 2) Τον μετασχηματισμό μεταξύ συντεταγμένων του επιπέδου εικόνας και συντεταγμένων των εικονοστοιχείων (ψηφιοποίηση).
- 3) Τη γεωμετρική στρέβλωση (distortion) που προκαλείται από την οπτική. [16]



Εικόνα 6.3 : Φαίνονται τα συστήματα συν/νων κάμερας, κόσμου, εικόνας.



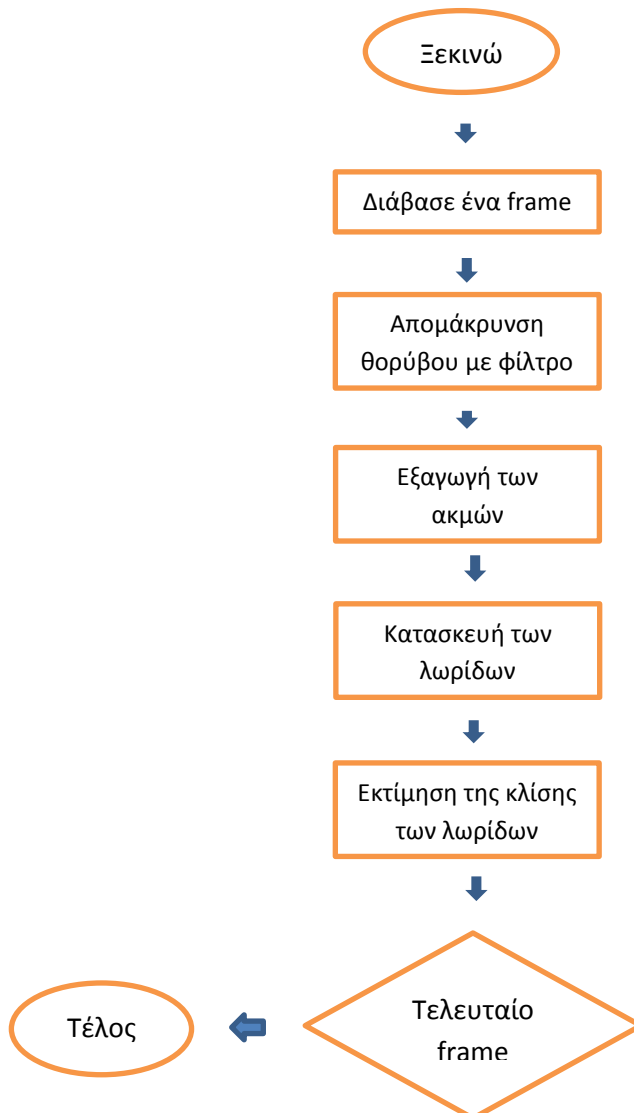
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΩΔΙΚΑ

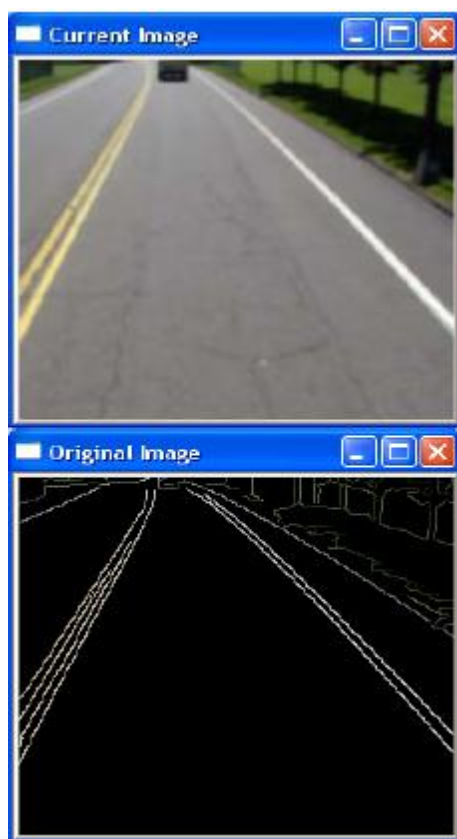
### 7.1 Αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των λωρίδων

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται σ αυτή την εργασία χρησιμοποιεί εικόνες από μία κάμερα προσαρμοσμένη στο όχημα και με μία απλή και γρήγορη μέθοδο ανιχνεύει τις λωρίδες και υπολογίζει την κλίση τους. Αφού ανιχνευθούν τα σημεία στις δύο λωρίδες προσαρμόζεται μία spline σ αυτά και παρουσιάζονται έτσι στην εικόνα μας τα όρια του δρόμου.

Ο αλγόριθμος σε **μορφή διαγράμματος** παρουσιάζεται παρακάτω:



Τα βήματα του αλγορίθμου όπως παρουσιάζονται στην εργασία 'New lane detection algorithm for autonomous vehicles using computer vision' των Quoc-Bao Truong,Byung-Ryong Lee αναφέρονται παρακάτω. Έγιναν κάποιες μικρές τροποποιήσεις ανάλογα με το τι ήταν καλύτερο για την περίπτωσή μας. Τα επιμέρους βήματα και ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε παρουσιάζονται αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο.



### **ΒΗΜΑ 1-Βελτίωση της εικόνας,εξαγωγή του θορύβου**

Στην προαναφερθείσα εργασία προτείνεται η εφαρμογή Gaussian και median φίλτρου καθώς και η εφαρμογή μιας τεχνικής επεξεργασίας ιστογράμματος για να βελτιωθεί η φωτεινότητα και η αντίθεση της εικόνας. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόστηκε μία συνάρτηση για εξαγωγή μικρών περιοχών pixel που συνιστούν θόρυβο. Έγινε αυτή τη διαφοροποίηση για λόγους ταχύτητας του προγράμματος αλλά και διότι μετά από δοκιμές τα αποτελέσματά μας ήταν καλύτερα με την δεύτερη εφαρμογή.

### **ΒΗΜΑ 2-Εξαγωγή των ακμών της εικόνας**

Με τη βοήθεια του canny φίλτρου εξάγονται οι ακμές τις εικόνας, διαδικασία απαραίτητη για

αργότερα

### **ΒΗΜΑ 3-Εφαρμογή αλγορίθμου thinning**

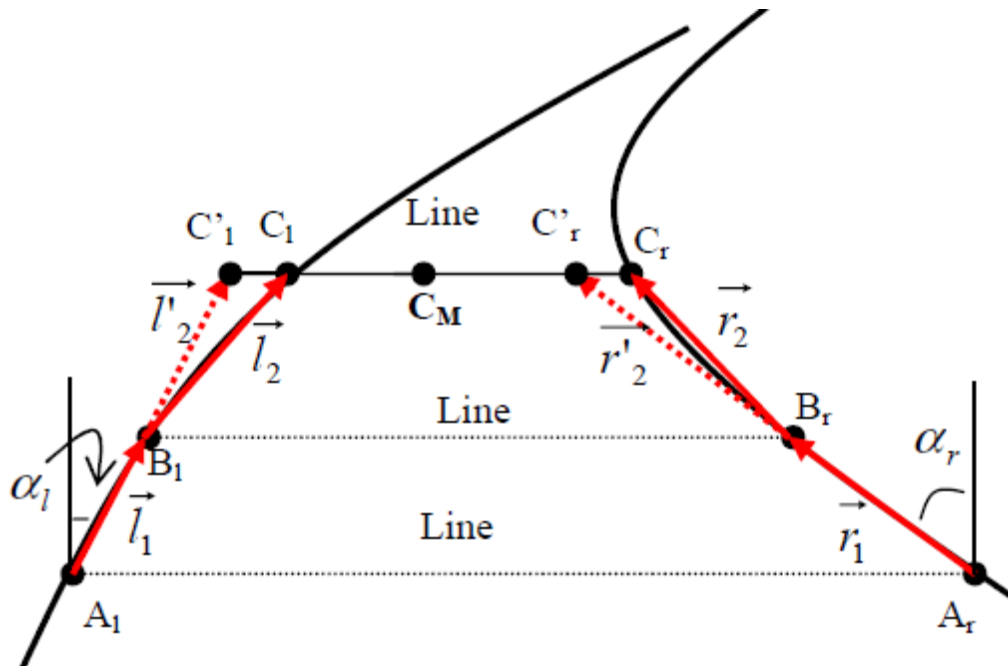
Με τον αλγόριθμο αυτό εξάγεται ο σκελετός της εικόνας και κατα συνέπεια των διαγραμμίσεων. Το thinning είναι μια διαδικασία κατά την οποία ένα αντικείμενο στην εικόνα ελαττώνεται στο ελάχιστο δυνατό μέγεθος που απαιτείται για την αναγνώρισή του. Κατα συνέπεια οι λωρίδες αναπαρίστανται με ένα pixel ανά γραμμή. Δεν χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία διότι μετά από δοκιμές η απ'ευθείας εφαρμογή του αλγορίθμου σε φίλτρο canny αποδείχθηκε καλύτερη.

### **ΒΗΜΑ 4-Αναζήτηση των σημείων των λωρίδων**

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσουμε τα σημεία των λωρίδων. Ο αλγόριθμος ακολουθεί μερικά βήματα.Για να αντιστοιχιστεί η αριστερή και η δεξιά διαγράμμιση με κάποια spline πρέπει

αρχικά να βρεθούν τα σημεία ελέγχου. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται ονομάζεται vector-lane concept και λειτουργεί με έναν αριθμό γραμμών που στην ουσία σκανάρουν την εικόνα σε διάφορα ύψη. Στο πρώτο βήμα βρίσκονται τα δύο πρώτα σημεία ελέγχου για την αριστερή και τη δεξιά διαγράμμιση βρίσκοντας τα σημεία τομής δύο γραμμών με τις διαγραμμίσεις αυτές. Στην συνέχεια κατασκευάζεται το αριστερό και το δεξί διάνυσμα

$$\vec{l}_1 = A_l B_l, \vec{r}_1 = A_r B_r$$



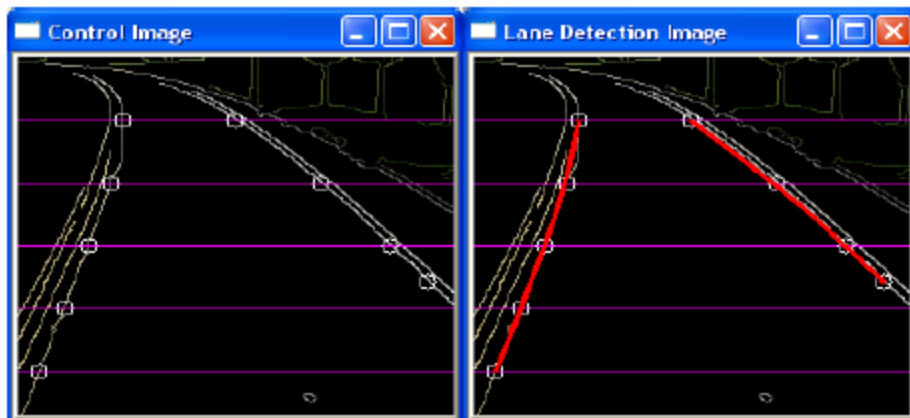
Εικόνα 7.1 :Περιγραφή του αλγορίθμου αναζήτησης σημείων

Και υπολογίζονται οι κλίσεις τους  $\alpha_l$  και  $\alpha_r$  με τους τύπους  $\alpha_l = \arctan\left(\frac{x_{A_l} - x_{B_l}}{y_{A_l} - y_{B_l}}\right)$ ,  $\alpha_r = \arctan\left(\frac{x_{A_r} - x_{B_r}}{y_{A_r} - y_{B_r}}\right)$ .

Τα επόμενα σημεία ελέγχου βρίσκονται ως εξής.

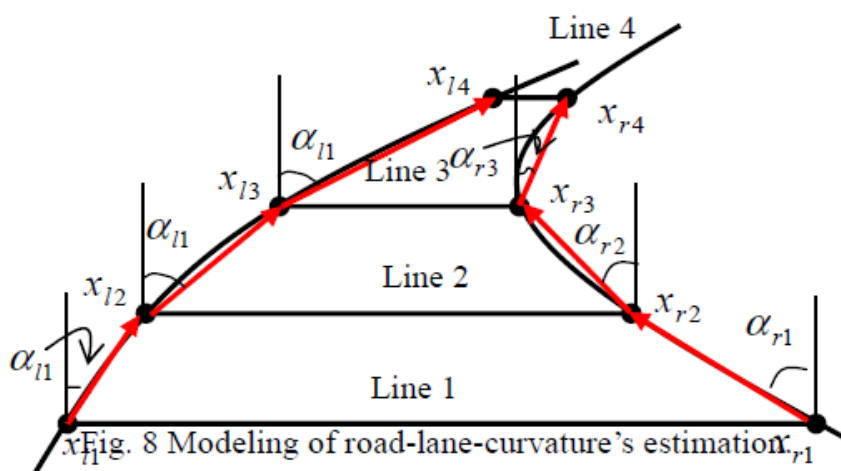
- Η εικόνα που απομένει χωρίζεται σε τέσσερα μέρη χρησιμοποιώντας τρεις οριζόντιες γραμμές.
- Βρίσκεται η θέση του σημείου  $C_l'$  βάσει της θέσης του διανύσματος  $\vec{l}_2'$  που αποτελεί την προέκταση του διανύσματος  $\vec{l}_1$ .
- Βρίσκεται η θέση του σημείου  $C_r'$  βάσει της θέσης του διανύσματος  $\vec{r}_2'$  που αποτελεί την προέκταση του διανύσματος  $\vec{r}_1$ .

- Βρίσκεται η θέση του σημείου CM που είναι το κεντρικό σημείο μεταξύ των  $Cl'$  και  $Cr'$
- Διαβάζεται η γραμμή από το CM και προς τα αριστερά για να βρεθεί το σημείο ελέγχου της αριστερής λωρίδας  $Cl$ . Αν δεν βρεθεί τέτοιο σημείο (θόρυβος ,είτε διακεκομμένη διαγράμμιση) τότε διατηρείται το  $Cl'$ .
- Διαβάζεται η γραμμή από το CM και προς τα δεξιά για να βρεθεί το σημείο ελέγχου της δεξιάς λωρίδας  $Cr$ . Αν δεν βρω τέτοιο σημείο τότε κρατώ το  $Cr'$ .
- Αν ληφθούν περισσότερα από τέσσερα σημεία ελέγχου σε κάθε λωρίδα τότε προσαρμόζεται μια spline με 3<sup>ου</sup> βαθμού πολυώνυμα. Αν ληφθούν τρία σημεία ελέγχου τότε χρησιμοποιείται 2<sup>ου</sup> βαθμού πολυώνυμα.
- Για να ξεπεράσει το πρόβλημα του ενδεχόμενου θορύβου στο μεταξύ των δύο γραμμών χρησιμοποιείται μία **γωνία ελέγχου**. Η γωνία αυτή συνιστά τη διαφορά μεταξύ δύο συνεχόμενων γωνιών που ανήκουν είτε στην αριστερή είτε στη δεξιά διαγράμμιση. Αν η γωνία αυτή είναι μικρότερη από 15 μοίρες τότε συνεχίζεται η αναζήτηση αριστερά ή δεξιά για να βρεθεί άλλο σημείο ελέγχου για τη λωρίδα αυτή.



Εικόνα 7.2: Παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου αυτού.

### Εκτίμηση της καμπυλότητας των διαγραμμίσεων



Εικόνα 7.3 :  
Εκτίμηση της  
καμπυλότητας  
των  
διαγραμμίσεων

Αφού ανιχνευθούν τα όρια της λωρίδας ο επόμενος στόχος είναι να βρεθεί η κατεύθυνση και να ακολουθηθούν οι λωρίδες από frame σε frame.

Για να βρεθεί η **καμπυλότητα** της αριστερής και της δεξιάς διαγράμμισης **γίνονται τα εξής:**

**Βήμα 1:** Χρησιμοποιώντας τέσσερις scan γραμμές και ξεκινώντας από το κάτω μέρος της εικόνας υπολογίζονται τρεις γωνίες για κάθε διαγράμμιση  $\alpha_{i1}$ ,  $\alpha_{i2}$ ,  $\alpha_{i3}$  για την αριστερή διαγράμμιση και  $\alpha_{r1}$ ,  $\alpha_{r2}$ ,  $\alpha_{r3}$  για τη δεξιά. Οι κλίσεις αυτές υπολογίζονται από τους τύπους παρακάτω για  $i=1,2,3$

$$\alpha_{i1} = \arctan\left(\frac{x_{l(i+1)} - x_{li}}{y_{l(i+1)} - y_{li}}\right), \quad \alpha_{ri} = \arctan\left(\frac{x_{r(i+1)} - x_{ri}}{y_{r(i+1)} - y_{ri}}\right)$$

**Βήμα 2:** Βρίσκεται τη διαφορά μεταξύ αυτών των γωνιών

Αριστερή λωρίδα:  $\Delta\alpha_{i1} = \alpha_{i2} - \alpha_{i1}$  και  $\Delta\alpha_{i2} = \alpha_{i3} - \alpha_{i2}$

Δεξιά λωρίδα:  $\Delta\alpha_{r1} = \alpha_{r2} - \alpha_{r1}$  και  $\Delta\alpha_{r2} = \alpha_{r3} - \alpha_{r2}$

**Βήμα 3:** Βρίσκεται η μέση τιμή αυτών των γωνιών

Αριστερή λωρίδα:  $a_i = a_i \Delta\alpha_{i2} + b_i \Delta\alpha_{i1} + c_i a_{i1}$

Δεξιά λωρίδα:  $a_r = a_r \Delta\alpha_{r2} + b_r \Delta\alpha_{r1} + c_r a_{r1}$

Οι τιμές των  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $a_r$ ,  $b_r$ ,  $c_r$  επιλέγονται έπειτα από πείραμα. Στο paper που χρησιμοποιήσαμε  $|a_i| = |a_r| = 3$ ,  $|b_i| = |b_r| = 2$ ,  $|c_i| = |c_r| = 1$

Ανάλογα με τα πρόσημα που παίρνουν οι τιμές που υπολογίστηκαν στο βήμα 2 υπολογίζω και τα πρόσημα για τα  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $a_r$ ,  $b_r$ ,  $c_r$

$a_i \geq 0$  αν  $\Delta\alpha_{i2} \geq 0$

$a_i < 0$  αν  $\Delta\alpha_{i2} < 0$

$b_i \geq 0$  αν  $\Delta\alpha_{i1} \geq 0$

$b_i \geq 0$  αν  $\Delta\alpha_{i1} < 0$

$c_i \geq 0$  αν  $a_{i1} \geq 0$

$c_i \geq 0$  αν  $a_{i1} < 0$

Ομοίως και για την δεξιά λωρίδα. Στη συνέχεια από τους τύπους υπολογίζω τα  $a_i$ ,  $a_r$ .



## Παρακολούθηση των λωρίδων-Lane tracking

Ο σκοπός του tracking είναι διπλός: Κατ'αρχάς χρησιμοποιώντας την αναγνώριση των λωρίδων από το προηγούμενο frame περιορίζεται η περιοχή αναζήτησής μας στο επόμενο frame και έτσι μειώνεται ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου. Επίσης οι πληροφορίες από προηγούμενα frame χρησιμεύουν για τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων μας στα επόμενα. Αυτό που ο αλγόριθμός μας περνάει από frame σε frame είναι το vector-lane concept ή η καμπυλότητα των ορίων. Στην περίπτωση των μη συνεχών διαγραμμίσεων χρησιμοποιούνται τα στοιχεία από την αριστερή και δεξιά καμπυλότητα που βρέθηκαν στο τελευταίο βήμα του επόμενου frame μέχρι να βρεθεί το νέο σημείο ελέγχου των διαγραμμίσεων. Στην συνέχεια κατασκευάζεται το νέο vector lane concept και ξαναυπολογίζονται οι **καμπυλότητες** των διαγραμμίσεων. Αναθεωρούνται οι τιμές για τις καμπυλότητες με την σχέση:

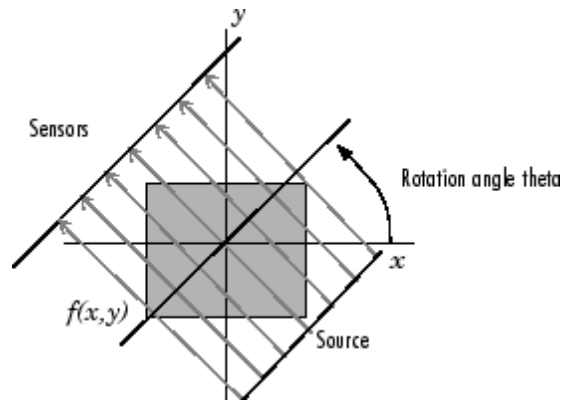
$$\alpha_{\text{leftupdate}}=(\alpha_{\text{leftold}}+\alpha_{\text{leftnew}})/2, \alpha_{\text{rightupdate}}=(\alpha_{\text{rightold}}+\alpha_{\text{rightnew}})/2$$

Στην περίπτωση της εργασίας αυτής το tracking έγινε λίγο διαφορετικά από την πρόταση της εργασίας που αποτέλεσε τη βάση του αλγορίθμου μας και θα εξηγηθεί σε επόμενο κεφάλαιο. [17]

## 7.2 Μετασχηματισμός Radon

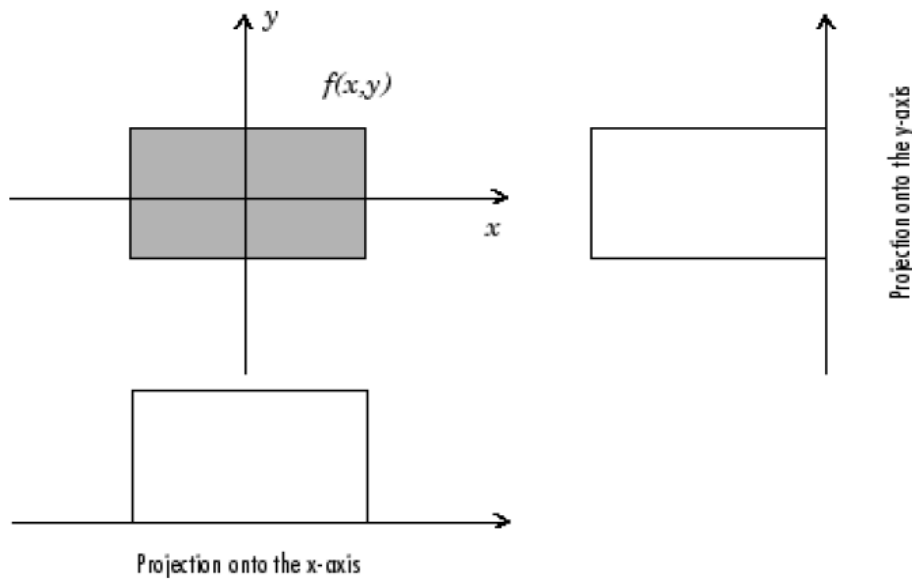
Ο αλγόριθμος που προαναφέρθηκε εφαρμόστηκε σε λωρίδες στις οποίες η αριστερή διαγράμμιση είναι συνεχής και όχι διακεκομμένη όπως ισχύει συνήθως για τις διαγραμμίσεις των δρόμων στις οποίες θα εφαρμοστεί ο κωδικός. Κατα συνέπεια επειδή η **σωστή ανίχνευση των αρχικών σημείων ελέγχου** είναι πολύ βασική, για να ανιχνεύθούν εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός radon για αναζήτηση ευθειών στο τμήμα της εικόνας μεταξύ των δύο πρώτων γραμμών αναζήτησης.

Περιγραφή του μετασχηματισμού Radon: Η συνάρτηση Radon υπολογίζει τις προβολές ενός πίνακα που αναπαριστά μία εικόνα πάνω σε καθορισμένες κατευθύνσεις. Η προβολή μίας δισδιάστατης συνάρτησης  $f(x,y)$  είναι ένα σύνολο γραμμικών τμημάτων. Η συνάρτηση Radon υπολογίζει τα γραμμικά τμήματα από πολλαπλές πηγές μεταξύ παράλληλων δρόμων σε μία ορισμένη κατεύθυνση. Αυτοί οι παράλληλοι δρόμοι έχουν απόσταση ένα pixel μεταξύ τους. Για να αναπαραστήσει μία εικόνα, η **συνάρτηση radon** παίρνει πολλαπλές παράλληλες προβολές της εικόνας από διαφορετικές γωνίες περιστρέφοντας την πηγή γύρω από το κέντρο τις εικόνας. Η επόμενη εικόνα δείχνει μία μοναδική προβολή σε μία καθορισμένη γωνία περιστροφής.



Εικόνα 7.4 :Μετασχηματισμός radon

Για παράδειγμα το γραμμικό κομμάτι της  $f(x,y)$  στην κάθετη κατεύθυνση είναι η προβολή της  $f(x,y)$  πάνω στον άξονα  $x$ . Το γραμμικό κομμάτι πάνω στην οριζόντια κατεύθυνση είναι η προβολή της  $f(x,y)$  πάνω στον άξονα  $y$ . Η επόμενη εικόνα δείχνει τις οριζόντιες και κάθετες προβολές μίας απλής δισδιάστατης συνάρτησης.



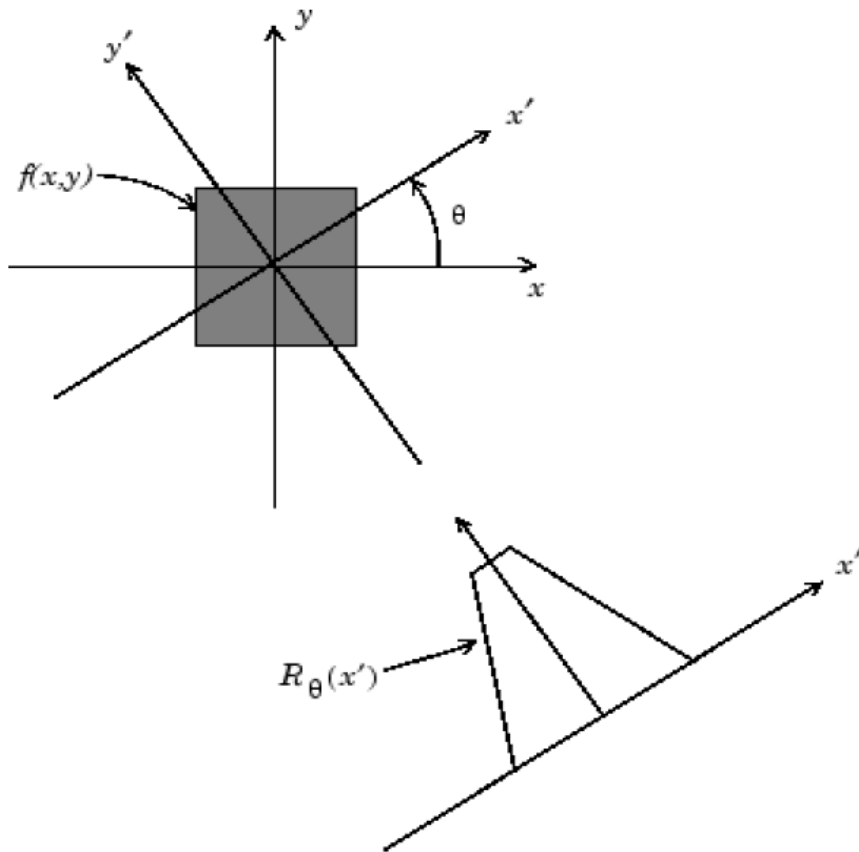
Εικόνα 7.5 :Μετασχηματισμός radon ,επεξήγηση προβολών.

Οι προβολές μπορούν να υπολογιστούν κατά μήκος οποιασδήποτε γωνίας. Σε γενικές γραμμές ο μετασχηματισμός Radon της  $f(x,y)$  είναι το γραμμικό τμήμα της  $f$  που είναι παράλληλο στον άξονα  $y'$ .

$$R_{\theta}(x') = \int_{-\infty}^{\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy'$$

με

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$



Εικόνα 7.6 :Γεωμετρία του μετασχηματισμού radon.

[20]

### 7.3 Στοιχεία προοπτικής γεωμετρίας

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι προβολών: η προοπτική και η παράλληλη προβολή[19]

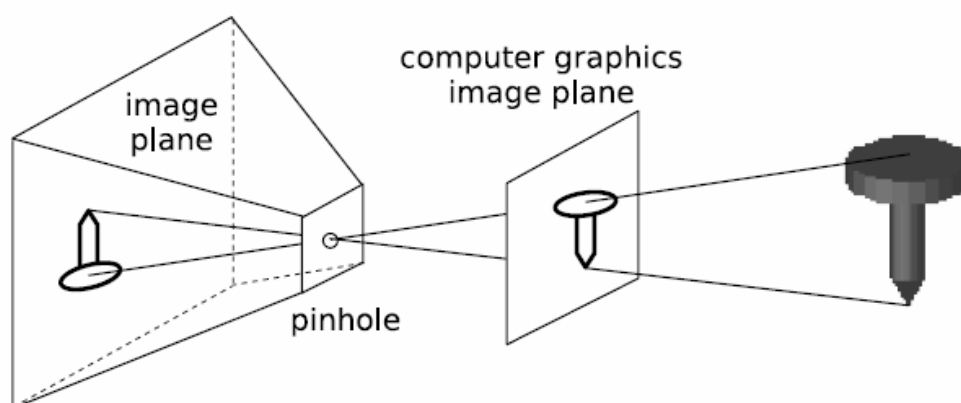
- Εάν η απόσταση από το κέντρο της προβολής είναι πεπερασμένη τότε έχουμε **προοπτική** προβολή
- Εάν η απόσταση από το κέντρο της προβολής είναι άπειρη τότε έχουμε **παράλληλη** προβολή

### 7.3.1 Pinhole camera model-Το μοντέλο της απλής σημειακής κάμερας

Η προοπτική προβολή στην ουσία μοντελοποιεί το σύστημα παρατήρησης των ματιών μας και σε αντίθεση με την παράλληλη προβολή η απόσταση επιπέδου προβολής-κέντρου προβολής είναι πεπερασμένη.

Μπορεί να περιγραφεί με βάση μια σημειακή κάμερα (οπή):

- Το **Κέντρο** της προβολής είναι η οπή
- Το **Επίπεδο προβολής** είναι το επίπεδο προβολής γραφικών (όπου δημιουργείται η εικόνα)
- Δημιουργεί μια **ανεστραμμένη** εικόνα
- Μπορεί να παράγει μια **<όρθια> εικόνα** τοποθετώντας το επίπεδο προβολής <μπροστά>από την οπή όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.

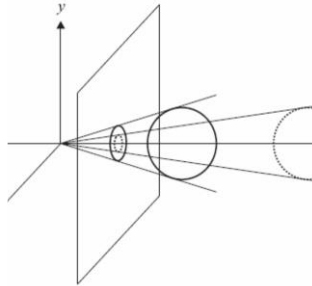


Εικόνα 7.7 :Αναπαράσταση του μοντέλου της απλής σημειακής κάμερας.

Κάποιες χρήσιμες **ιδιότητες της προοπτικής προβολής** που θα φανούν ιδιαίτερα χρήσιμες στην εφαρμογή αυτή είναι οι ακόλουθες:

- Οι Ευθείες προβάλλονται σε ευθείες.
- Οι αποστάσεις αλλάζουν (γενικά)
- 3D παράλληλες ευθείες, μη παράλληλες με επίπεδο προβολής, δεν προβάλλονται σε παράλληλες ευθείες
- Η Γωνία μεταξύ των ευθειών αλλάζει, εκτός αν το επίπεδο γωνίας είναι παράλληλο με το επίπεδο προβολής

- Το μέγεθος του προβαλλόμενου αντικειμένου είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασής του από το επίπεδο προβολής (Προοπτική Σμίκρυνση)



Εικόνα 7.8 Προοπτική σμίκρυνση

### 7.3.2 Προοπτικός μετασχηματισμός στις τρεις διαστάσεις-Perspective transformation 3D

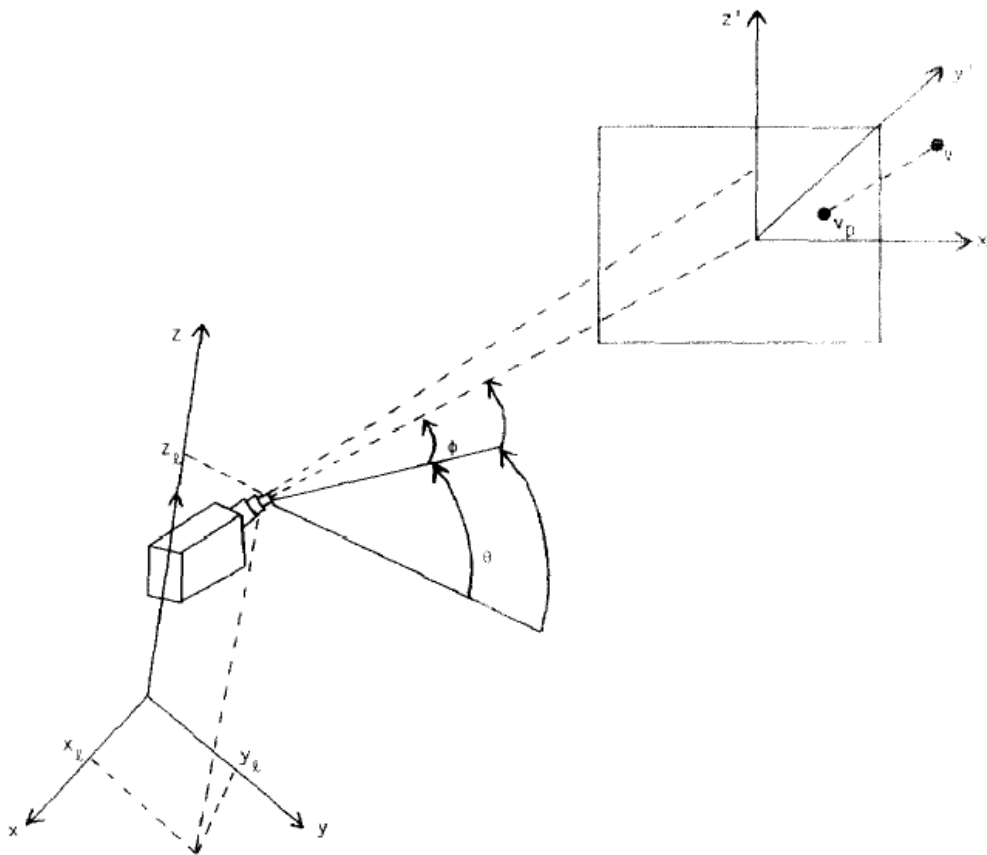
Συχνά καλούμαστε να ερμηνεύσουμε πληροφορίες από τις διδιάστατες εικόνες στον **τρισδιάστατο πραγματικό κόσμο** για να βρεθεί η θέση των αντικειμένων που παρουσιάζονται στις εικόνες. Για να γίνει αυτό πρέπει πρώτα να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο οι τρισδιάστατες πληροφορίες αποτυπώνονται στην εικόνα.

Για να βρεθούν οι συντεταγμένες εικόνας για ένα δοσμένο σημείο στον 3D χώρο, πρώτα μετασχηματίζεται το σημείο σε ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων με κέντρο του τον **φακό της κάμερας**. Κατόπιν περιστρέφεται το σύστημα συντεταγμένων έτσι ώστε το  $x$ - $z$  επίπεδό του να είναι παράλληλο στο επιθυμητό  $x$ - $z$  επίπεδο της εικόνας και κατόπιν περιστρέφεται κατάλληλα και γύρω από τον  $y$  άξονα. Από τη θέση αυτή λαμβάνεται η προβολή του σημείου πάνω στην εικόνα.

Για να γίνουν αυτά χρησιμοποιείται το ομογενές σύστημα συντεταγμένων, υποθέτοντας ότι ο φακός έχει σταθερή θέση και προσανατολισμό.

Ορίζεται ως  $(x, y, z)$  τις συντεταγμένες ενός σημείου στον τρισδιάστατο χώρο και  $(x', y', z')$  τις συντεταγμένες της προοπτικής προβολής του σημείου  $(x, y, z)$  στην εικόνα. Το διάνυσμα  $(x_l, y_l, z_l)$  δείχνει τη θέση του φακού σύμφωνα με το αρχικό σύστημα συντεταγμένων. Το νέο σύστημα συντεταγμένων με κέντρο το φακό έχει περιστραφεί κατά γωνία  $\theta$  (**pan angle**) γύρω από τον άξονα των  $z$ , κατά γωνία  $\phi$  (**tilt angle**) περί τον άξονα των  $x$  και κατά γωνία  $\psi$  (**swing angle**) περί τον άξονα των  $y$  σε σχέση με το αρχικό σύστημα συντεταγμένων.

Αρχικά για λόγους απλότητας θεωρείται ότι η swing angle ισούται με το μηδέν. Η γεωμετρία που περιγράφεται φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7.9 Αναπαράσταση του perspective transformation. Φαίνονται τα διάφορα συστήματα συντεταγμένων

Οι εξισώσεις για να προβληθεί κάποιο σημείο του πραγματικού κόσμου στο image plane είναι οι ακόλουθες:

Perspective	Translation	Rotation by $\theta$ and $\phi$
Projection	to image	

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1/f & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -f \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\cos\phi\sin\theta & \cos\phi\cos\theta & \sin\phi & 0 \\ \sin\phi\sin\theta & -\sin\phi\cos\theta & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} *$$

Translation to  
center of lens

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -xl \\ 0 & 1 & 0 & -yl \\ 0 & 0 & 1 & -zl \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x^* \\ z^* \\ t^* \end{pmatrix}$$

Και  $x' = x^*/t^*$ ,  $z' = z^*/t^*$

Οπότε τελικά:

$$x' = f \frac{(x-x_l) \cos \theta + (y-y_l) \sin \theta}{-(x-x_l) \cos \varphi \sin \theta + (y-y_l) \cos \varphi \cos \theta + (z-z_l) \sin \varphi}$$

$$z' = f \frac{(x-x_l) \sin \varphi \sin \theta - (y-y_l) \sin \varphi \cos \theta + (z-z_l) \cos \varphi}{-(x-x_l) \cos \varphi \sin \theta + (y-y_l) \cos \varphi \cos \theta + (z-z_l) \sin \varphi}$$

Αν θεωρήθει ότι η γωνία  $\psi$  είναι διάφορη του μηδενός και  $\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \end{pmatrix}$  οι συντεταγμένες μετά την περιστροφή κατά  $\psi$  τότε

$$\begin{pmatrix} x'' \\ z'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x' \\ z' \end{pmatrix}$$

### Vanishing points

Δύο παράλληλες γραμμές στον τρισδιάστατο κόσμο συγκλίνουν σε ένα σημείο στην εικόνα. Το σημείο αυτό λέγεται σημείο φυγής ή vanishing point. Μπορούν να βρεθούν οι συντεταγμένες αυτού του σημείου στην εικόνα.

Έστω ότι  $\psi=0$ , και οι ευθείες αναπαρίστανται από τα συνημίτονα των γωνιών τους ως προς τους αξόνες  $(x,y,z)$ , μία ευθεία δηλαδή αναπαρίσταται από τα σημεία

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \parallel \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \text{ για κάποιο } \lambda \text{ σταθερό } (a^2+b^2+c^2=1)$$

Και δύο ευθείες είναι παράλληλες αν έχουν τα ίδια  $\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$ .

Αντικαθιστώντας όπου  $x,y,z$  στην εξίσωση που δίνει τις  $x'$  και  $z'$  συντεταγμένες στην εικόνα το  $\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$  και παίρνοντας όριο για το  $\lambda$  το  $+\infty$  τότε υπολογίζονται οι **συντεταγμένες του vanishing point** στην εικόνα ως εξής:

$$x' = f \frac{a \cos \theta + b \sin \theta}{-a \cos \varphi \sin \theta + b \cos \varphi \cos \theta + c \sin \varphi}$$

$$z' = f \frac{a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \theta - b \cdot \sin \varphi \cdot \cos \theta + c \cdot \cos \varphi}{-a \cdot \cos \varphi \cdot \sin \theta + b \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta + c \cdot \sin \varphi}$$

Οι συντεταγμένες  $x'$  και  $z'$  εξαρτώνται μόνο από τις κατευθύνσεις των ευθειών και τις γωνίες της κάμερας ως προς το αρχικό σύστημα συντεταγμένων και όχι από το σημείο  $\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}$  από το οποίο περνούν οι γραμμές.

Για ευθείες παράλληλες στον άξονα των  $y$  που είναι η περίπτωση που ενδιαφέρει την εργασία αυτή  $\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$

και το vanishing point έχει συντεταγμένες  $\begin{pmatrix} x' \\ z' \end{pmatrix} = f \cdot \begin{pmatrix} \tan \theta / \cos \varphi \\ -\tan \varphi \end{pmatrix}$ .

### Από τις συντεταγμένες της εικόνας στις 3D συντεταγμένες

Για να βρεθούν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες που αντιστοιχούν σε κάθε σημείο στην εικόνα θα πρέπει πρώτα να καθοριστούν οι **παράμετροι της κάμερας**. Τότε με τη βοήθεια του αντίστροφου προοπτικού μετασχηματισμού και κάποιων επιπρόσθετων πληροφοριών θα βρεθούν τις ζητούμενες συντεταγμένες.

Κάθε σημείο  $(x', z')$  στην εικόνα μπορεί να είναι η προοπτική προβολή πολλών σημείων του τρισδιάστατου κόσμου. Τα σημεία που έχουν ως προβολή τους το  $(x', z')$  θα πρέπει να βρίσκονται πάνω σε μία ευθεία που περνάει από το σημείο  $(x', z')$  και το φακό. Θα δωθεί μία αναπαράσταση της ευθείας αυτής και στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί για να αναπτυχθούν κάποιες σχέσεις μεταξύ των 3D και 2D σημείων της εικόνας.

Για λόγους διευκόλυνσης θεωρούμε πως το κέντρο του 3D συστήματος συντεταγμένων είναι το κέντρο του φακού της κάμερας. Η απόσταση μπροστά από το φακό μεταξύ φακού και επιπέδου προβολής συμβολίζεται με  $f$ . Τότε λόγω του περιστραμμένου συστήματος συντεταγμένων που έχει κέντρο το φακό το σημείο  $(x', z')$  στην εικόνα είναι το σημείο  $(x', f, z')$  σε τρισδιάστατες συντεταγμένες. Το  $(x', f, z')$  σε σχέση με το αρχικό σύστημα συντεταγμένων έχει διαστάσεις  $(u, v, w)$  και βρίσκεται με τη σχέση:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos \psi & 0 & -\sin \psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x' \\ f \\ z' \end{pmatrix}$$



Εφόσον θεωρώ σαν κέντρο του συστήματος συντεταγμένων το φακό της κάμερας, μία ευθεία που περνάει από το φακό και το σημείο (u,v,w) αποτελείται από όλα τα πολλαπλάσια του (u,v,w). Δηλαδή η **ευθεία αυτή αποτελείται από τα σημεία**

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \text{ όπου } \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \lambda * \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} \text{ για } \lambda, \text{ σταθερό}$$

Στη συνέχεια για λόγους απλότητας θεωρείται πως  $\psi=0$ . Μπορεί να γίνει αυτό καθώς αν  $(x'',z'')$  είναι ένα σημείο και  $\psi \neq 0$  τότε θέτωντας

$$\begin{pmatrix} x' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\psi & -\sin\psi \\ \sin\psi & \cos\psi \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x'' \\ z'' \end{pmatrix}$$

Υπολογίζονται οι συντεταγμένες  $(x',z')$  του σημείου στην εικόνα της οποίας η γωνία περιστροφής γύρω από τον γ άξονα είναι μηδέν.

Με αυτό το συμπέρασμα η ευθεία της οποίας η προβολή στην εικόνα είναι  $(x',z')$  είναι αυτή που αποτελείται από τα σημεία

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \text{ όπου } \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \lambda * \begin{pmatrix} x' * \cos\theta - f * \sin\theta * \cos\varphi + z' * \sin\theta * \sin\varphi \\ x' * \sin\theta + f * \cos\theta * \cos\varphi - z' * \cos\theta * \sin\varphi \\ f * \sin\varphi + z' \cos\varphi \end{pmatrix}$$

για κάποιο  $\lambda$  σταθερό

Για την ανάλυση παρακάτω γίνεται η υπόθεση πως  $\psi=0$ .

• Τα σημεία τα οποία βρίσκονται στο επίπεδο του ματιού ( $z=0$ ) έχουν προβολές των οποίων η συντεταγμένη  $z'$  είναι ίση με

$$z' = \frac{-f * \sin\varphi}{\cos\varphi} = -f * \tan\varphi$$

• Μπορούμε να υπολογίζουμε **δύο από τις συντεταγμένες ενός σημείου** (x,y,z) αν ξέρουμε την προβολή του και την τρίτη συντεταγμένη. πχ Έστω ότι είναι γνωστή η συντεταγμένη z(που είναι η περίπτωση που θα χρειαστούν στην εργασία αυτή) τότε λύνοντας το παραπάνω σύστημα εξισώσεων υπολογίζουμε τις x,y ως εξής:

$$y = \lambda * f * \sin\varphi + z' * \cos\varphi$$

Αν z γνωστό και μη μηδενικό τότε και  $\lambda$  γνωστό οπότε αντικαθιστώντας στις παραπάνω εξισώσεις:

$$x = z * \frac{x' * \cos\theta - f * \sin\theta * \cos\varphi + z' * \sin\theta * \sin\varphi}{f * \sin\varphi + z' * \cos\varphi}$$

$$y = z * \frac{x' * \sin\theta + f * \cos\theta * \cos\varphi - z' * \cos\theta * \sin\varphi}{f * \sin\varphi + z' * \cos\varphi}$$

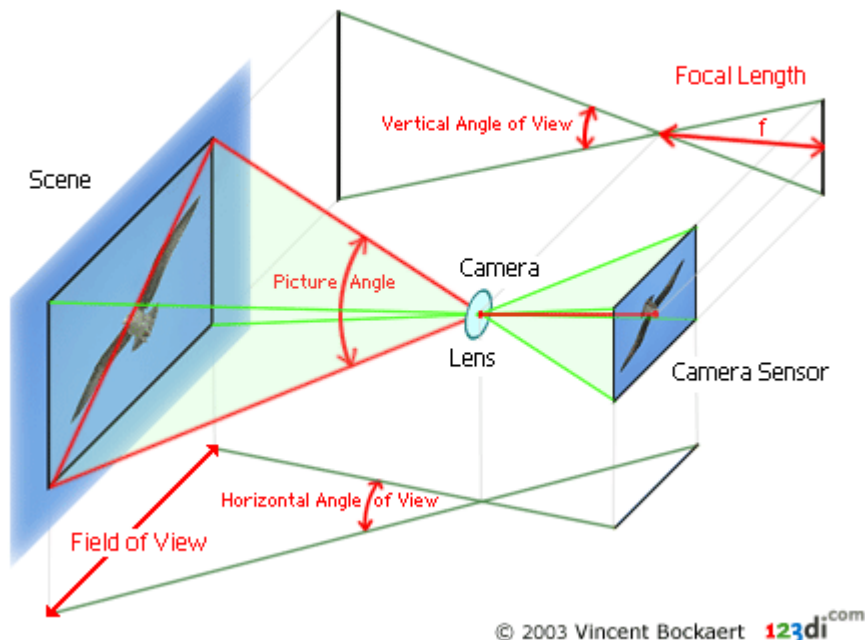
• Αν για δύο σημεία στον πραγματικό κόσμο ξέρουμε ότι έχουν μία κοινή συντεταγμένη μπορεί να υπολογιστεί αυτή την κοινή συντεταγμένη αν είναι γνωστή η διαφορά μεταξύ κάποιας άλλης συντεταγμένης των σημείων αυτών. Έστω  $(x_1, y_1, z_1)$  και  $(x_2, y_2, z_2)$  δύο σημεία για τα οποία ισχύει  $y_1 = y_2$  και των οποίων οι προβολές στην εικόνα είναι  $(x_1', z_1')$  και  $(x_2', z_2')$  και είναι γνωστή η διαφορά τους  $x_1 - x_2$  τότε

$$x_1 - x_2 = y * \left( \frac{x_1' * \cos\theta - f * \sin\theta * \cos\varphi + z_1' * \sin\theta * \sin\varphi}{x_1' * \sin\theta + f * \cos\theta * \cos\varphi - z_1' * \cos\theta * \sin\varphi} - \frac{x_2' * \cos\theta - f * \sin\theta * \cos\varphi + z_2' * \sin\theta * \sin\varphi}{x_2' * \sin\theta + f * \cos\theta * \cos\varphi - z_2' * \cos\theta * \sin\varphi} \right)$$

[18]

#### 7.4 Σχέση μεταξύ πραγματικών συντεταγμένων και pixel συντεταγμένων στην εικόνα.

Για να εφαρμοστούν οι παραπάνω εξισώσεις θα πρέπει οι συντεταγμένες που θα είναι διαθέσιμες να είναι πραγματικές. Οι εικόνες όμως απεικονίζονται με διακριτές συντεταγμένες (pixel). Μπορεί να βρεθεί η σχέση που υπάρχει μεταξύ αυτών των δύο τύπων συντεταγμένων στην εικόνα.



Εικόνα 7.10 Σχέση μεταξύ απεικονιζόμενου αντικειμένου και απεικόνισής του

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα ανάλογα με την εστιακή απόσταση της κάμερας και τις διαστάσεις του πλαισίου στο οποίο απεικονίζεται το αντικείμενο στην

κάμερα μπορεί να βρεθεί ποιό είναι το <άνοιγμα> του φακού στην οριζόντια και στην κατακόρυφη διάσταση. Έχοντας τις γωνίες που εκφράζουν το άνοιγμα αυτό μπορεί να υπολογιστεί μέχρι ποιο σημείο του πραγματικού κόσμου μπορούμε να συλλάβουμε με τη συγκεκριμένη κάμερα. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις της προβολικής γεωμετρίας που περιγράφηκαν παραπάνω μπορούν να βρεθούν οι προβολές στην κάμερα ,σε πραγματικές συντεταγμένες των ακραίων σημείων του πραγματικού κόσμου που μπορούν να αναπαρασταθούν στην εικόνα. Με μία απλή **μετατόπιση** του συστήματος συντεταγμένων μας από το κέντρο της εικόνας στην πάνω αριστερά γωνία και το κατάλληλο scaling μπορούν να κατασκευαστούν οι εξισώσεις που μετατρέπουν τις ζητούμενες συντεταγμένες σε pixel.

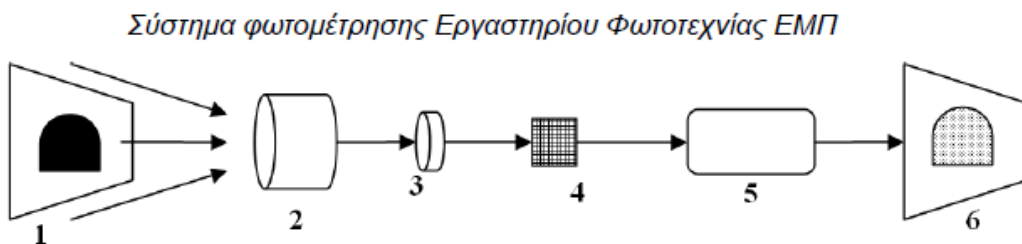
Για να εκφραστούν οι συντεταγμένες pixel σε πραγματικές συντεταγμένες ακολουθείται η αντίστροφη πορεία.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΩΔΙΚΑ

Η λήψη των εικόνων γίνεται με τη χρήση μίας **κάμερας CCD** και μετρήσεις σε ειδικά διαμορφωμένο κινούμενο όχημα. Η κάμερα λαμβάνει τις εικόνες του υπό μέτρηση θέματος και στη συνέχεια το λογισμικό επεξεργασίας κάνει την απαραίτητη επεξεργασία στην εικόνα. Στην συνέχεια η εικόνα επεξεργάζεται περαιτέρω για την μέτρηση της λαμπρότητας.



*Εικόνα 8.1 :Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το σύστημα φωτομέτρησης του εργαστηρίου φωτοτεχνίας του ΕΜΠ. Έχουμε: 1) Υπό μέτρηση θέμα 2) Φακός 3) Φωτοπικό φίλτρο  $V(\lambda)$  4) CCD 5) Λογισμικό επεξεργασίας 6) Τελική εικόνα λαμπρότητας*

*Εικόνα 8.2 Κάμερα CCD.*

#### 8.1 Λογική του αλγορίθμου

Η λαμπρότητα θα μετρηθεί σε ένα τραπέζιο το οποίο είναι παράλληλο στην κατεύθυνση κίνησης του οχήματος και οι πλαγιες πλευρές του τραapeζιου να εφάπτονται στις λωρίδες κυκλοφορίας. Το τραπέζιο αυτό πρέπει να είναι πάνω από 60μ μπροστά από το όχημα. Όταν ο δρόμος είναι επίπεδος και ευθύς τότε με απλούς σχετικά υπολογισμούς μπορεί να εντοπιστεί το ζητούμενο τραπέζιο. Όταν

όμως ο δρόμος έχει στροφές τότε λόγω ιδιοτήτων της επιστήμης της φωτογραμμετρίας/προοπτικής γεωμετρίας, δεν μπορεί απευθείας από την εικόνα να εντοπιστεί το τραπέζιο. Έτσι λοιπόν αφού αναγνωριστούν οι δύο διαγραμμίσεις στην εικόνα τις επαναπροβάλλονται στον πραγματικό τρισδιάστατο κόσμο και αφού εντοπιστεί εκεί το ζητούμενο τραπέζιο, επιστρέφοντας και πάλι μέσω εξισώσεων της προοπτικής προβολής στην εικόνα αποτυπώνεται και εκεί το τραπέζιο στο οποίο θα γίνουν τελικά οι μετρήσεις.

## 8.2 Στήσιμο της κάμερας

Η κάμερα τοποθετείται πάνω σε ειδικά διαμορφωμένο όχημα και αρχικά τοποθετείται με κατάλληλη γωνία έτσι ώστε όταν ο δρόμος είναι επίπεδος να φαίνεται κομμάτι του δρόμου σε απόσταση ίση με τα **2/3 της εικόνας** και το επάνω μέρος της εικόνας (το υπόλοιπο 1/3 να είναι ο ορίζοντας). Η ρύθμιση αυτή γίνεται για διευκόλυνση στα επόμενα βήματα καθώς με αυτό τον τρόπο θα είναι γνωστό περίπου σε ποιά κομμάτια των στιγμιότυπων θα αναζητηθούν τις λωρίδες μας και μειώνει το χρόνο επεξεργασίας της εικόνας καθώς πλέον η εικόνα δεν επεξεργάζεται ολόκληρη αλλά μόνο το κομμάτι εκείνο που μας ενδιαφέρει.

## 8.3 Επεξεργασία εικόνας

Αφού το στιγμιότυπο συλληφθεί από την κάμερα, η εικόνα **διαβάζεται** από το λογισμικό που χρησιμοποιούμε και αποθηκεύεται σ' αυτό με τη μορφή **πίνακα**. Οι εικόνες που λαμβάνονται είναι στην κλίμακα του γκρι. Αν χρειαστεί μεταβάλλεται το μέγεθος της εικόνας ανάλογα με το τι διευκολύνει την μετέπειτα επεξεργασία.

Πριν μετατραπεί η εικόνα που είναι στην κλίμακα των αποχρώσεων του γκρι σε δυαδική θα εφαρμοστεί πρώτα μία άλλη τεχνική μετασχηματισμού φωτεινότητας, τη **διόρθωση gamma**.

Το γάμμα καθορίζει τη σχέση μεταξύ της αριθμητικής τιμής ενός pixel και την πραγματική φωτεινότητα του. Η κατανόηση του πώς λειτουργεί η gamma διόρθωση μπορεί να μας βοηθήσει να αξιοποιήσουμε στο έπακρο την επεξεργασία της εικόνας μας.

Το gamma είναι αυτό που μεταφράζει την ευαισθησία στο φως των ματιών σε αναλογίες της κάμερας. Όταν, λοιπόν, μια ψηφιακή εικόνα αποθηκεύεται, γίνεται και η gamma κωδικοποίηση- έτσι ώστε το διπλάσιο της τιμής

σε ένα αρχείο να είναι πιο κοντά σε αυτό που αντιλαμβάνεται το μάτι ως δύο φορές πιο φωτεινό.

$V_{out} = V_{in}^\gamma$ , όπου  $V_{out}$  είναι η τιμή της φωτεινότητας εξόδου και  $V_{in}$  είναι η είσοδος ή αλλιώς η πραγματική τιμή φωτεινότητας.

Οι κωδικοποιημένα εικόνες Gamma αποθηκεύουν τους τόνους πιο αποτελεσματικά. Δεδομένου ότι η κωδικοποίηση γάμμα αναδιανέμει τονικά επίπεδα πλησιέστερα προς το πώς τα μάτια μας τα αντιλαμβάνονται, χρειάζονται λιγότερα bits για να περιγράψουν ένα συγκεκριμένο τονικό εύρος.

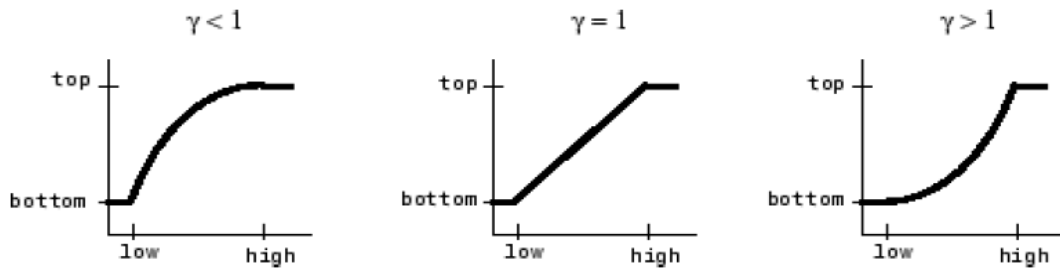
Η κωδικοποίηση gamma προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο πολυπλοκότητας στην όλη διαδικασία της καταγραφής και προβολής εικόνων. Μια gamma κωδικοποιημένη εικόνα πρέπει να έχει «διόρθωση gamma» εφαρμοσμένη πάνω της κατά την προβολή της - η οποία την ξαναμετατρέπει αποτελεσματικά ώστε να αναπαραστήσει το φως από την αρχική σκηνή. Με άλλα λόγια, ο σκοπός της κωδικοποίησης gamma είναι η καταγραφή της εικόνας - όχι η εμφάνιση της εικόνας.

Η Συνάρτηση με την οποία υλοποιείται η διόρθωση gamma στη Matlab είναι η **imadjust**. Η imadjust αντιστοιχίζει τις χαμηλές τιμές φωτεινότητας στο bottom και τις υψηλές στο top. Οι ενδιάμεσες τιμές αντιστοιχίζονται γραμμικά σε τιμές μεταξύ bottom και top.

Στην κλήση της imadjust μπορεί να εισαχθεί άλλη μία παράμετρος η οποία αποτελεί την παράμετρο της διόρθωσης gamma. Εξαρτάται από την τιμή της παραμέτρου  $\gamma$  το αν η αντιστοίχιση μεταξύ των τιμών στις εικόνες εισόδου και εξόδου είναι μη γραμμική ή όχι.

Για παράδειγμα η τιμή φωτεινότητας που είναι στη μέση μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης μπορεί να αντιστοιχιστεί σε μία τιμή είτε μεγαλύτερη είτε μικρότερη από την τιμή που είναι στην μέση μεταξύ bottom και top.

Το  $\gamma$  μπορεί να έχει κάθε τιμή από το μηδέν ως το άπειρο. Αν το  $\gamma$  έχει την τιμή 1 τότε η αντιστοίχιση είναι γραμμική. Αν  $\gamma < 1$  τότε pixel που είναι λιγότερο φωτεινά πχ σκούρα χρώματα, φαίνονται ακόμα λιγότερο φωτεινά μετά την επεξεργασία. Αυτό χρησιμοποιείται πχ αν θέλουμε να μειωθεί ο θόρυβος που προκαλούν στην εικόνα σκούρες περιοχές. Αν τώρα  $\gamma > 1$  τότε περιοχές που είναι φωτεινές γίνονται ακόμα πιο φωτεινές. Όπως στην περιπτωσή αυτή που οι διαγραμμίσεις του δρόμου είναι χρώματος λευκού αν θέσουμε  $\gamma > 1$  αυτές οπτικά γίνονται εντονότερες.



Εικόνα 8.3 :Οι τρεις καμπύλες μετασχηματισμού μας δείχνουν πως οι τιμές αντιστοιχίζονται όταν  $\gamma < 1, \gamma = 1, \gamma > 1$ . Σε κάθε καμπύλη ο άξονας x αντιπροσωπεύει τις τιμές αντίθεσης της εισερχόμενης εικόνας και ο άξονας y τις αντίστοιχες τιμές στην εξερχόμενη εικόνα.

Φαίνεται παρακάτω ο κώδικας που χρησιμοποιείται για να γίνει η διόρθωση gamma στην περίπτωση μας. Στην κλήση της `imadjust` οι σειρές των στοιχείων της εισόδου και εξόδου καθορίζονται σαν κενοί πίνακες. Αυτό σημαίνει ότι η συνάρτηση gamma εφαρμόζεται χωρίς κάποια άλλη προσαρμογή των δεδομένων.

---

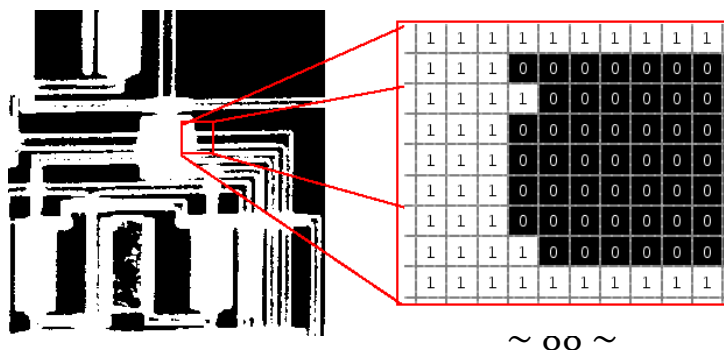
```
I=imread('input_frame'); % ανάγνωση του εισερχόμενου frame
J=imadjust(I, [], [], gamma) %γίνεται η διόρθωση gamma.
figure, imshow(I);
figure, imshow(J); %εμφανίζεται η αρχική εικόνα και η εικόνα
μετά την επεξεργασία.
```

---

### Η εικόνα grayscale

Το Matlab αποθηκεύει τις εικόνες grayscale σε έναν πίνακα όπου κάθε στοιχείο αντιστοιχεί σε ένα pixel. Όταν χρησιμοποιείται το σύμβολο `I` αναφέρομαστε σε grayscale image. Αν ο πίνακας είναι `single` ή `double` τότε παίρνει τιμές 0 κ 1. Αν είναι τύπου `uint8`, `uint16`, or `int16` η τιμή `intmin(class(I))` αντιπροσωπεύει μαύρο και η τιμή `intmax(class(I))` αντιπροσωπεύει λευκό. Πχ αν η εικόνα είναι 8bit τότε η τιμή 0 αντιπροσωπεύει το μαύρο και η τιμή 255 το λευκό. Αν είναι 16bit τότε η αντίστοιχες τιμές είναι 0 και 65535. Για `int16` οι τιμές ανήκουν στο διάστημα [-32768,32767]

### Η δυαδική εικόνα



Εικόνα 8.4 :Δυαδική εικόνα η οποία μεγενθύνεται για να φανούν οι τιμές των pixel.



Στη δυαδική εικόνα (bw image) κάθε pixel παίρνει μόνο δύο διακριτές τιμές, το μηδέν και τον άσσο οι οποίες ερμηνεύονται σαν μαύρο και άσπρο αντίστοιχα.

Για να μετατραπεί μία εικόνα από grayscale σε δυαδική εκτελείται το λεγόμενο thresholding. Εφαρμόζεται δηλαδή αρχικά ένα φίλτρο στην εικόνα με το κατάλληλο κατώφλι το οποίου βρίσκεται από τη συνάρτηση του matlab: graythresh. Το κατάλληλο κατώφλι μπορεί να βρεθεί και μετά από δοκιμές. Στη συνέχεια με τη συνάρτηση **im2bw** μετατρέπεται η εικόνα σε δυαδική.

Επειδή θέλουμε να εξαλειφθούν κάποια pixel που προκαλούν θόρυβο στην εικόνα χρησιμοποιείται η συνάρτηση **bwareaopen**. Με τη συνάρτηση αυτή περιοχές οι οποίες δεν αποτελούν διαγράμμιση λόγω του ότι δεν είναι αρκετά μεγάλες, φεύγουν από την εικόνα.

Στη συνέχεια αφού έχει εξαλειφθεί μεγάλο μέρος από τον θόρυβο της εικόνας εφαρμόζεται σ αυτήν ένα φίλτρο ανίχνευσης ακμών πράγμα που θα διευκολύνει μετέπειτα στην αναγνώριση των λωρίδων. Μετά από δοκιμές κρίθηκε καταλληλότερο το **φίλτρο canny**. Η μέθοδος canny βρίσκει τις ακμές ψάχνοντας για το τοπικό μέγιστο της κλίσης της εικόνας. Η κλίση αυτή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την παράγωγο ενός Gaussian φίλτρου. Η μέθοδος χρησιμοποιεί δύο κατώφλια για να ανιχνεύσει τις έντονες και μη έντονες ακμές και περιλαμβάνει τις τελευταίες στην έξοδο μόνο αν είναι συνδεδεμένες με έντονες ακμές. Αυτή η μέθοδος επομένως έχει καλύτερη συμπεριφορά σε περιπτώσεις θορύβου από τις υπόλοιπες και ανιχνεύει καλύτερα τις ακμές που μας ενδιαφέρουν. [20,21]

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται φαίνεται παρακάτω. Το J είναι το grayscale image μετά την εφαρμογή της διόρθωσης γάμμα.

---

```
I=imread('image18.jpg'); %διαβάζω την εικόνα
J=imadjust(I, [], [], 2); %γίνεται διόρθωση γαμμα
level = 0.9; %κατώφλι για την μετατροπή σε δυαδική
bw = im2bw(J, level); %γίνεται η εικόνα δυαδική
bw2 = bwareaopen(bw, 15); %εξαλείφονται οι μικρές ομάδες pixel
bw1=edge(bw2, 'canny'); %εφαρμογή του φίλτρου canny
```

---

Παράδειγμα εφαρμογής του κώδικα αυτού φαίνεται στις παρακάτω εικόνες οι οποίες έχουν παρθεί τη διάρκεια της μέρας. Παρακάτω φαίνονται και τα αποτελέσματα της εφαρμογής του κώδικα και σε νυχτερινή λήψη.



*Εικόνα 8.5 Εικόνα grayscale που αναπαριστά έναν ευθύ δρόμο με κανονική κυκλοφορία. Επίσης φαίνονται και κάποια σημεία με λευκό στην μέση περίπου της εικόνας που δεν αναπαριστούν διαγράμμιση και θα επιδιωχθεί να φύγουν από την εικόνα.*



*Εικόνα 8.6 :Φαίνεται πως γίνεται η εικόνα μας μετά την διόρθωση gamma.*



*Εικόνα 8.7 :Μετατροπή της σε διαδική.*



*Εικόνα 8.8 :Μετά την αφαίρεση μέρους του θορύβου(συνάρτηση bwareaopen).*

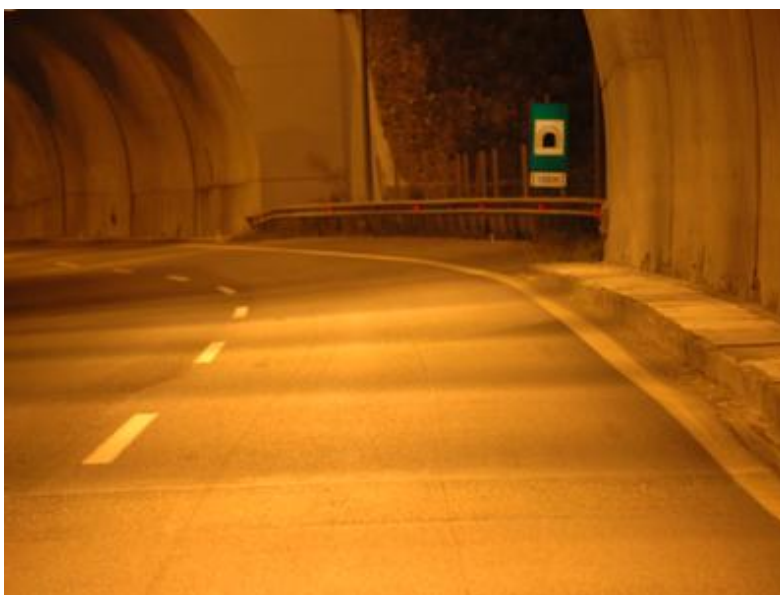


*Εικόνα 8.9 :Μετά την εφαρμογή του φίλτρου canny για ανίχνευση ακμών.*

Ειδικότερα:Πιο αποτελεσματικός τρόπος επεξεργασίας εικόνας για λειτουργία τη νύχτα ή γενικά σε δρόμους με τεχνητό φωτισμό(σήραγγες)

Όταν οι μετρήσεις γίνονται σε δρόμο με τεχνητό φωτισμό,για τις ανάγκες του προγράμματός εξυπηρετεί καλύτερα να χρησιμοποιηθεί ένας δεύτερος τρόπος επεξεργασίας της εικόνας ο οποίος είναι ο εξής: Αφου διαβάσουμε το στιγμιότυπο εφαρμόζεται στην grayscale εικόνα μία συνάρτηση του Matlab την **rangefilt**. Κατόπιν γίνεται η εικόνα δυαδική με την **im2bw** και αφαιρείται ο θόρυβος με την **bwareaopen**.

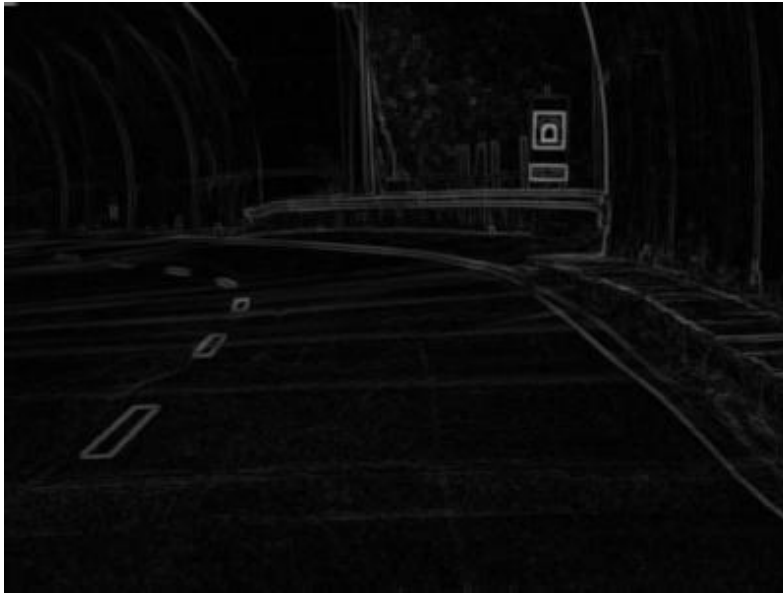
Η συνάρτηση **rangefilt** λειτουργεί ως εξής: Επιστρέφει έναν πίνακα όπου κάθε pixel του περιέχει το εύρος τιμής (μέγιστη τιμή – ελάχιστη τιμή) των 3x3 γειτονικών pixel γύρω από το αντίστοιχο pixel της αρχικής εικόνας.



*Εικόνα 8.10 :Ενδεικτική εικόνα από ένα τουνελ*



*Εικόνα 8.11:Η αντίστοιχη ασπρόμαυρη εικόνα*



*Εικόνα 8.12:Μετά την rangefilt επεξεργασία*



*Εικόνα 8.13:Η αντίστοιχη δυαδική εικόνα.*

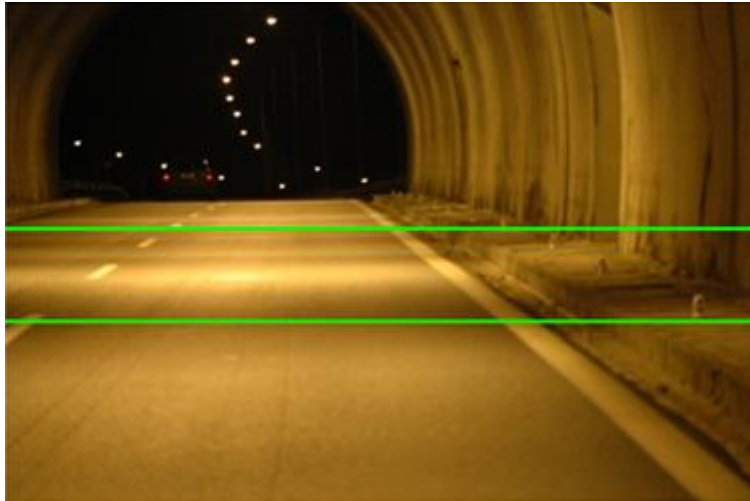


*Εικόνα 8.14: Η εικόνα μας μετά την αφαίρεση μέρους του θορύβου. Φαίνονται η αριστερή και δεξιά διαγράμμιση.*

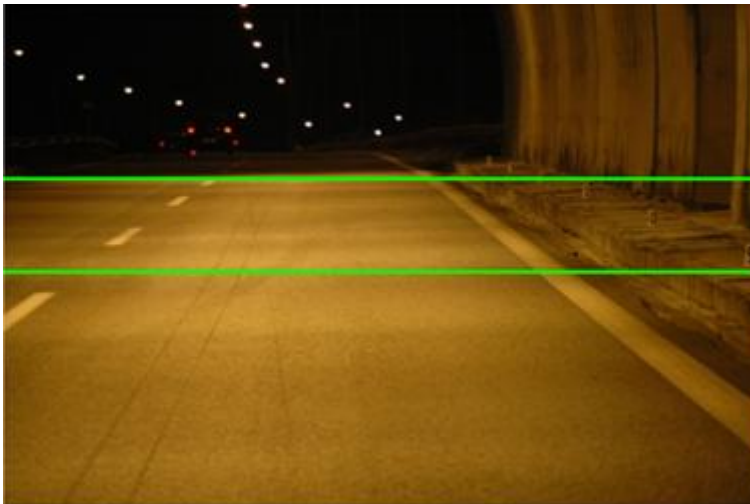
#### **8.4 Εφαρμογή μετασχηματισμού radon για ανίχνευση των αρχικών σημείων ελέγχου για την αριστερή και δεξιά διαγράμμιση.**

Αρχικά θα πρέπει να προσδιοριστεί μια περιοχή αναζήτησης για τα όρια του δρόμου πάνω στην εικόνα. Ορίζεται ότι η κάμερα θα τοποθετηθεί αρχικά με γωνία τέτοια ώστε τα 2/3 της εικόνας να απεικονίζουν δρόμο. Επομένως η περιοχή αναζήτησής περιορίζεται σε ένα κομμάτι εικόνας λίγο παραπάνω από τη μέση της και κάτω. Η περιοχή αναζήτησής ανάλογα και με την γωνία κλίσης της κάμερας μετατοπίζεται ανάλογα αν αυτή μεταβληθεί. Όσο αυξάνει η γωνία κλίσης της κάμερας η περιοχή αναζήτησής μετατοπίζεται προς τα πάνω (θεωρώντας ως θετική τη μεταβολή της γωνίας που γίνεται σύμφωνα με τη φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού).

Η διαφορά που προκύπτει για την περιοχή αναζήτησης ανάλογα με την μεταβολή της γωνίας κλίσης της κάμερας φαίνεται στις παρακάτω εικόνες στις οποίες στην δεύτερη εικόνα η κλίση της κάμερας είναι μεγαλύτερη από την πρώτη και κατα συνέπεια θα μεταβληθεί και η περιοχή στην οποία θα αναζητηθούν τα σημεία των διαγραμμίσεων. Όπως βλέπουμε στην δεύτερη εικόνα η περιοχή αναζήτησης μετατοπίζεται προς τα πάνω. Η περιοχή αναζήτησης και στις δύο περιπτώσεις έχει σταθερό ύψος.



*Εικόνα 8.15 Περιοχή αναζήτησης*



*Εικόνα 8.16 Περιοχή αναζήτησης αν αλλάξει η γωνία της κάμερας*

Στο κατώτερο τμήμα της περιοχής αυτής θα γίνει η αναζήτηση των αρχικών σημείων των δύο λωρίδων με την εφαρμογή του μετασχηματισμού radon για αναζήτηση ευθειών.

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται για την αναζήτηση αυτή εφαρμόζεται ξεχωριστά για την αριστερή και την δεξιά λωρίδα.

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται για την αριστερή λωρίδα φαίνεται παρακάτω(είναι όμοιος με αυτόν για την δεξιά)

---

```
s3=105; %γωνίες αναζήτησης του radon  
s4=255;  
theta2=(s3:s4);%γωνίες αναζήτησης για την αριστερή διαγράμμιση  
radon_array_left=radon(I2,theta2); %εφαρμόζεται συνάρτηση  
radon
```

---



---

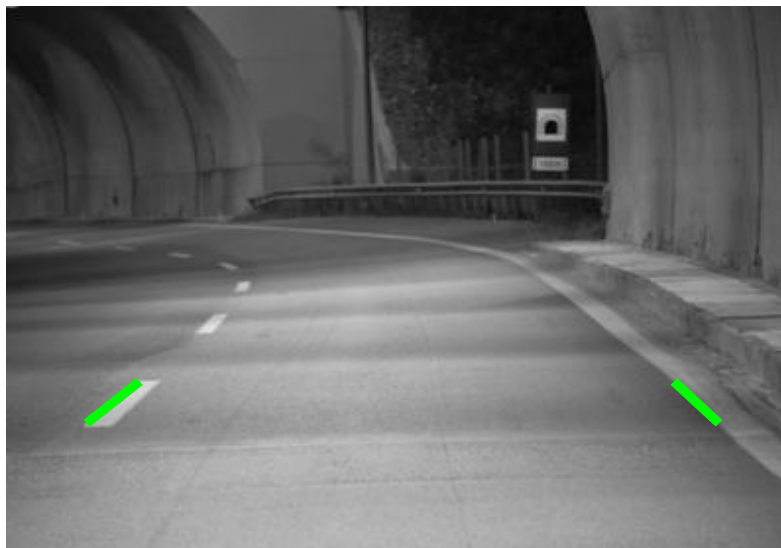
```

max_radon_array_left=max(radon_array_left); %για κάθε γωνία
αναζήτησης υπολογίζεται το max του πίνακα radon
maxLeft=max_radon_array_left; %υπολογίζεται για ποια γωνία
αναζήτησης έχω max
pick_left=max(maxLeft);
[rowL colL]=find(radon_array_left==pick_left); %αναζήτηση του
max που υπολογίστηκε στον αρχικό πίνακα radon
angleLeft=colL+(theta2(1)-1); %αντιστοίχιση της γωνίας radon
στις 180 μοιρες
angleLeft1=angleLeft*pi/180; %μετατρέπεται τη γωνία σε rad
megethos1=size(radon_array_left); %μέγεθος του πίνακα radon
distanceLeft=rowL-megethos1(1)/2; %απόσταση της ευθείας που
αναγνωρίσαμε από το κέντρο της εικόνας

```

---

Για την αριστερή διαγράμμιση επιλέχθηκε να γίνει η αναζήτηση μεταξύ των γωνιών 105 και 255 μετά από δοκιμές. Έτσι οποιαδήποτε μορφή έχει η καμπύλη του δρόμου(ευθεία,αριστερή στροφή,δεξιά στροφή) ο μετασχηματισμός radon μπορεί να εντοπίσει τις ευθείες που θέλουμε.

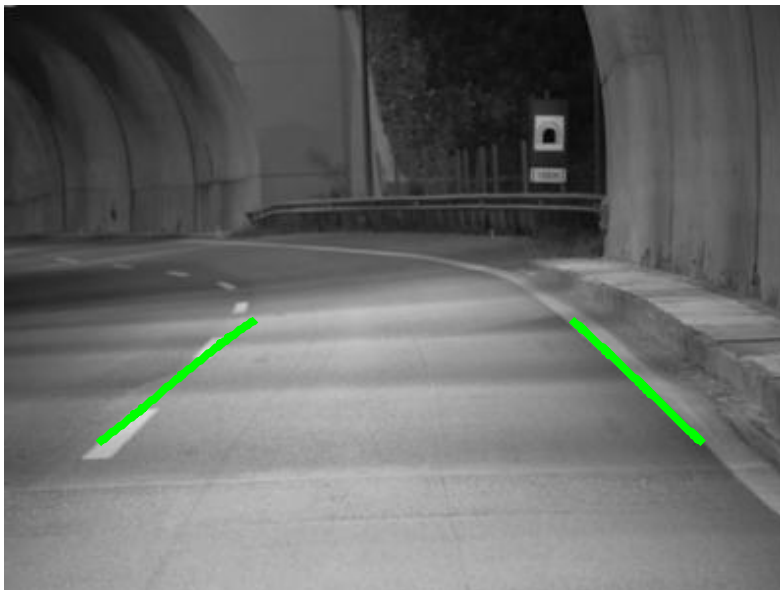


*Εικόνα 8.17 :Παράδειγμα εφαρμογής του μετασχηματισμού radon για εντοπισμό των αρχικών σημείων των διαγραμμίσεων.*

Στην συνέχεια με βάση τον αλγόριθμο αναζήτησης που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 7 υπολογίζονται και τα επόμενα σημεία που ανήκουν στις διαγραμμίσεις και προσαρμόζεται σ αυτά μία spline.



Εικόνα 8.18 Αναγνώριση σημείων ελέγχου

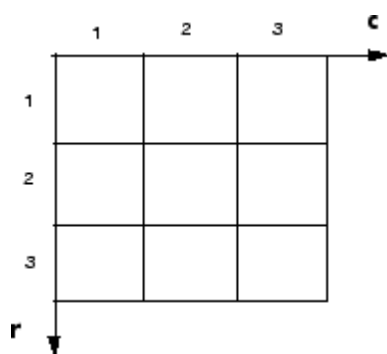


Εικόνα 8.19: Φαίνεται η *spline* που προσαρμόστηκε στα σημεία που αποκτήθηκαν από τον αλγόριθμο αναζήτησής. Στο τέλος της αριστερής διαγράμμισης η *spline* συνεχίζει σαν ευθεία γιατί καθώς η διαγράμμιση είναι διακεκομμένη πιθανώς στην *row* αυτή δεν βρήκε ο χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος κάποιο σημείο και πήρε την προέκταση με την μορφή ευθείας.

## 8.5 Μετατροπή από pixel σε πραγματικές συντεταγμένες.

Το επόμενο βήμα είναι να προβληθούν τα σημεία που αναγνώρισθηκαν στον πραγματικό κόσμο. Για να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις αυτές πρέπει αρχικά να μετατραπούν οι συντεταγμένες pixel σε πραγματικές συντεταγμένες.

Το Matlab αποθηκεύει τις περισσότερες εικόνες σαν πίνακες δύο διαστάσεων στους οποίους κάθε στοιχείο του πίνακα αντιστοιχεί σε ένα και μοναδικό pixel στην εικόνα. Το pixel προκύπτει από την εικόνα και συνήθως απεικονίζεται σαν ένα σημείο σ αυτή. Εδώ η εικόνα αντιμετωπίζεται σαν μία γραφική παράσταση διακριτών στοιχείων που κατανέμονται από την κορυφή και προς τα κάτω και από τα αριστερά προς τα δεξιά όπως φαίνεται και στην εικόνα. Η μεταβλητή  $r$  αντιπροσωπεύει την γραμμή στην οποία βρίσκεται το εκάστοτε pixel (αυξάνει προς τα κάτω) και η μεταβλητή  $c$  αντιπροσωπεύει την αντίστοιχη στήλη (αυξάνει προς τα δεξιά).



Εικόνα 8.20 Συντεταγμένες pixel

Το σύστημα συντεταγμένων των πραγματικών αριθμών έχει κέντρο του το κέντρο της εικόνας. Επομένως με το κατάλληλο scaling και την κατάλληλη αλλαγή στο σύστημα συντεταγμένων επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

## 8.6 Αντίστροφος προοπτικός μετασχηματισμός (Inverse perspective projection )

Στα σημεία που υπολογίστηκαν από το προηγούμενο βήμα εφαρμόζονται οι εξισώσεις για να μεταφερθούμε από τις δύο διαστάσεις τις εικόνες στις τρεις διαστάσεις του τρισδιάστατου κόσμου. Οι δρόμοι στους οποίους εφαρμόστηκε αυτό είναι επίπεδοι επομένως γνωρίζοντας τη μία διάσταση στον τρισδιάστατο κόσμο μπορούν να βρεθούν τις άλλες δύο. Μετά την εφαρμογή των εξισώσεων αυτών αυτό που μπορούμε να δούμε είναι πως φαίνεται ο δρόμος από ψηλά.

## 8.7 Προσέγγιση των σημείων της αριστερής και δεξιάς διαγράμμισης με καμπύλη

Στην συνέχεια τα σημεία που ανήκουν στον 3D χώρο και τα οποία υπολογίστηκαν για την αριστερή και για την δεξιά διαγράμμιση με τη διαδικασία του αντίστροφου προοπτικού μετασχηματισμού, προσεγγίζονται με τις κατάλληλες καμπύλες για να συνεχιστεί η διαδικασία που ακολουθείται και να ληφθούν οι σωστές μετρήσεις.

Η προσέγγιση με τις καμπύλες γίνεται με τη βοήθεια του κατάλληλου toolbox της Matlab του **Curve Fitting Toolbox**. Για λόγους ευκολίας για τη ροή του προγράμματος προσεγγίζεται το κάθε σύνολο σημείων με δύο καμπύλες. Για τα σημεία (x,y,z) της αριστερής διαγράμμισης υπολογίζεται με τη βοήθεια του toolbox η καμπύλη  $x=f(y)$  και αντίστοιχα για τα σημεία (p,q,z) της δεξιάς διαγράμμισης υπολογίζεται η καμπύλη  $p=f(q)$ .

Με το curve fitting toolbox υπάρχουν πολλές επιλογές όσον αφορά τον τύπο της καμπύλης με τον οποίο θα προσεγγιστεί ένα σύνολο σημείων. Εδώ βρέθηκε ότι ένας κατάλληλος τύπος καμπύλης για να προσεγγίζονται κάθε φορά τα σημεία μας είναι το πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού της μορφής:

$$f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$$

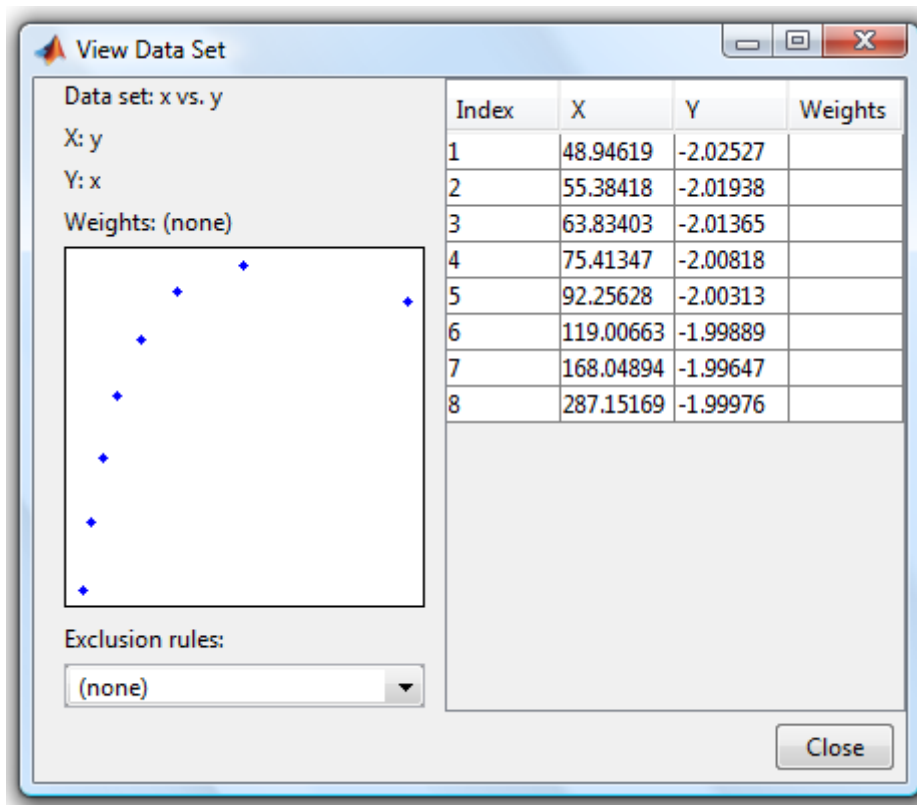
Παρατίθεται ο κώδικας matlab που χρησιμοποιήθηκε για να προσεγγιστούν τα σημεία μας με πολυώνυμο 2ου βαθμού .

---

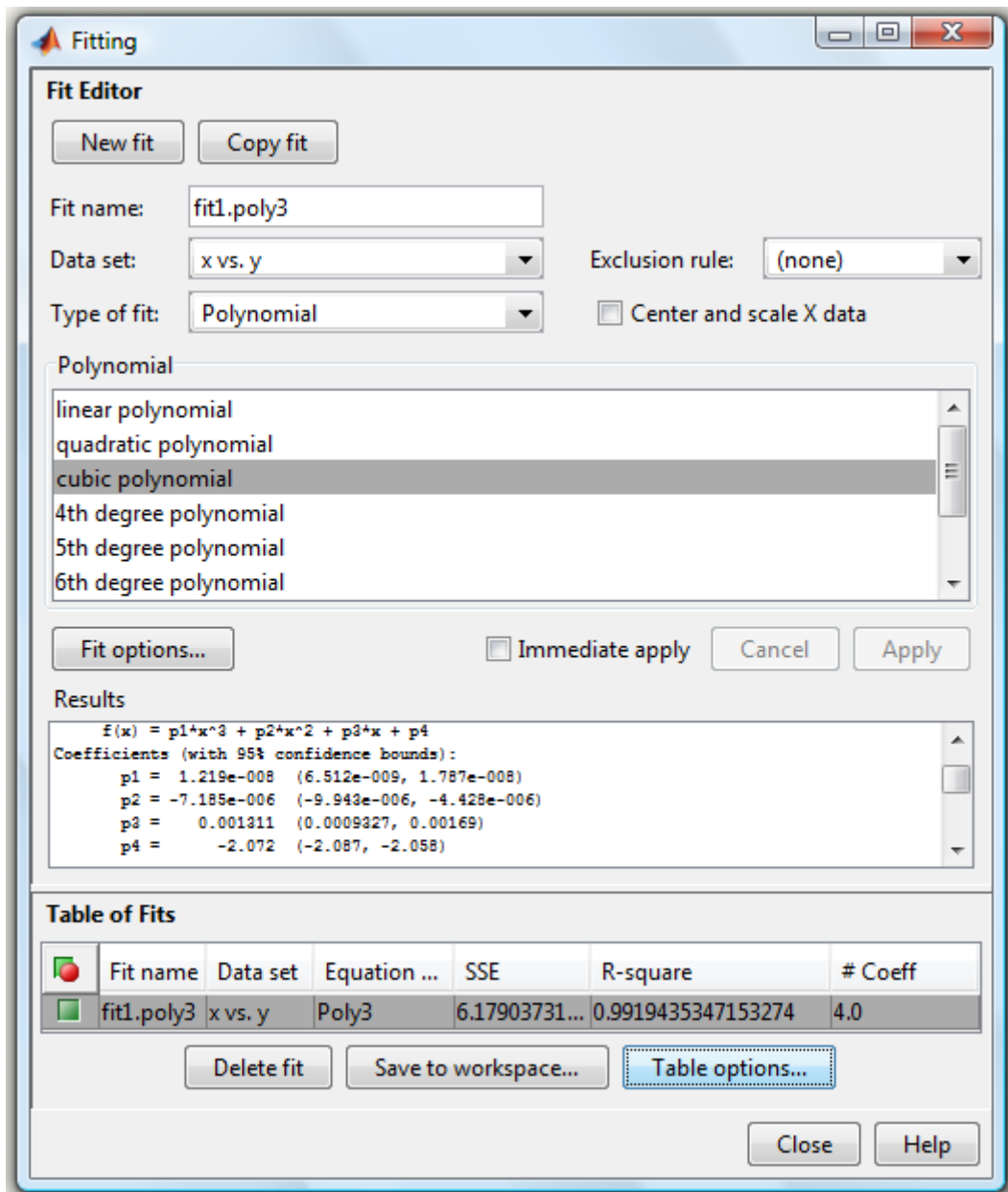
```
e=fittype('poly2');%ορίζεται ο τύπος καμπύλης με την οποία θα
προσεγγιστούν τα δεδομένα μας
formula(e);%καθορίζεται η μορφή του πολυωνύμου και τα ονόματα
των συντελεστών
g=fit(y,x,e);%γίνεται το curve fitting,εισάγονται οι
μεταβλητές (πρώτα η ανεξάρτητη-y και μετά η εξαρτημένη x
ca=coeffvalues(g);% αποθηκεύονται στον πίνακα ca οι τιμές των
συντελεστών των όρων του πολυωνύμου για να χρησιμοποιηθούν
μετέπειτα
```

---

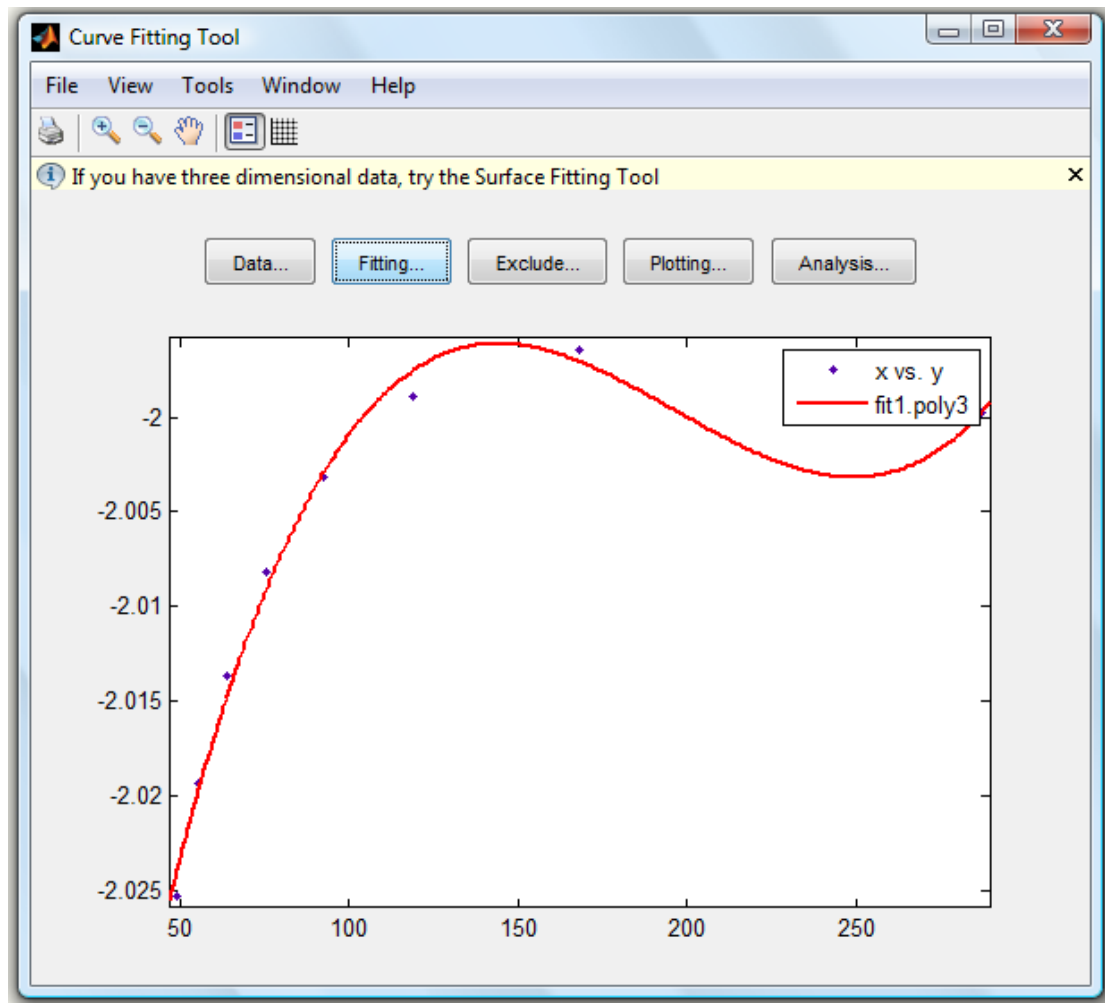
Επειδή το πρόγραμμά τρέχει σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιήθηκε το Curve Fitting Toolbox με τη μορφή κώδικα και όχι με την μορφή του interface που διαθέτει. Παρατίθενται κάποιες εικόνες για το πως γίνεται η προσέγγιση μιας καμπύλης με το user interface του προγράμματος. Σ'αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε προσέγγιση με πολυώνυμο 3<sup>ου</sup> βαθμού.



Εικόνα 8.21 :Εισάγονται τα σημεία μας (data)στο curve fitting toolbox. Στην θέση για τα X σημεία αντιστοιχίζεται η μεταβλητή που είναι ανεξάρτητη και στη θέση για τα Y σημεία αυτή που είναι εξαρτημένη. Φαίνεται η γραφική παράσταση των σημείων καθώς και οι τιμές τους σε πίνακα.



Εικόνα 8.22: Παρατίθεται το παράθυρο στο οποίο θα γίνουν οι κατάλληλες επιλογές για το fitting. Αναφέρεται το όνομα της κάθε προσέγγισης, το σύνολο των σημείων στα οποία εφαρμόζεται καθώς και ο τύπος της καμπύλης. Υπάρχουν πολλές επιλογές (πολυώνυμο διαφόρων βαθμών, ρητή συνάρτηση, εκθετική, σειρά Fourier κτλ..). Στο δεύτερο παράθυρο φαίνεται η μορφή του πολυωνύμου καθώς και οι τιμές των συντελεστών του, ενώ στο τελευταίο παράθυρο εμφανίζονται κάποια στοιχεία για το πόσο καλή είναι η προσέγγιση αυτή όπως το μέσο τετραγωνικό σφάλμα κτλ..)



Εικόνα 8.23: Φαίνονται σχεδιασμένα στην ίδια γραφική παράσταση το σύνολο των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν σαν input καθώς και η καμπύλη με την οποία προσεγγίστηκαν τελικά(output).

**Σημείωση:** Η επιλογή του πολυωνύμου 2<sup>ου</sup> βαθμού έγινε μετά από δοκιμές για τις περιπτώσεις που ενδιαφέρουν στην εργασία αυτή. Αποφεύχθηκε να εφαρμόστούν πολλές διαφορετικές καμπύλες και συγκρίνοντας τις παραμέτρους τους (πχ σφάλματα) να αποφασιστεί ποιά είναι η καλύτερη για λόγους ταχύτητας του προγράμματος. Τα σημεία τα οποία καλούμαστε να προσεγγίσουμε σχηματίζουν κατα κύριο λόγο ευθείες είτε στροφές με μικρή σχετικά κύρτωση. Αυτοί οι δύο τύποι βρέθηκαν μετά από δοκιμές ότι προσεγγίζονται ικανοποιητικά από ένα πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού.

## 8.8 Perspective projection της αριστερής και δεξιάς καμπύλης

Τώρα είναι γνωστές οι τρισδιάστατες καμπύλες που προσεγγίζουν την αριστερή και τη δεξιά διαγράμμιση του δρόμου. Το σύστημα αναφοράς έχει αρχή το μέσο της κάμερας. Τώρα πρέπει να επιλεγεί σύμφωνα με τα διάφορα πρότυπα ποιά θα είναι η περιοχή μέτρησης της λαμπρότητας. Έστω ότι μετράται η λαμπρότητα από το μήκος του δρόμου *garxi* μέχρι το μήκος του δρόμου *ytelos* (Οι μεταβλητές αυτές έχουν τιμή πάνω από 60 m σύμφωνα με τις απαιτήσεις των προτύπων του ΕΛΟΤ). Τα σημεία των δύο καμπυλών που έχουν  $\gamma$  ανάμεσα στο διάστημα  $[garxi, ytelos]$  και με βήμα από 2-5 μέτρα (ανάλογα με το διάστημα που θα χρησιμοποιήσουμε) υπόκεινται σε προβολικό μετασχηματισμό (perspective projection) σύμφωνα με τύπους που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα σημεία αυτά έχουν πραγματικές συντεταγμένες και για να απεικονιστούν στην οθόνη θα πρέπει στο επόμενο βήμα αυτές να μετασχηματιστούν σε συντεταγμένες pixel με τρόπο που έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

## 8.9 Τελικό τραπέζιο

Η λαμπρότητα θα μετρηθεί σε ένα τραπέζιο το οποίο έχει τις πλευρές του παράλληλες στον οδηγό και το οποίο βρίσκεται τουλάχιστον 60m μπροστά από το όχημα. Το να είναι το τελικό τραπέζιο παράλληλο στην κατεύθυνση κίνησης του οχήματος επιτυγχάνεται κρατώντας τα σημεία της μίας από τις διαγραμμίσεις που βρέθηκαν από το προηγούμενο βήμα σαν αναφορά και προσεγγίζοντας τα σημεία της άλλης διαγράμμισης με κάποια καμπύλη (πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού και εδώ).



Εικόνα 8.24 : Παράδειγμα του τελικού τραπέζιου στο οποίο θα γίνουν μετά οι υπολογισμοί για τη μέτρηση της λαμπρότητας.



## 8.10 Tracking των διαγραμμίσεων

Για να γίνει το tracking των λωρίδων, αφού επεξεργαστούν κάποια αρχικά frame και παρθούν σωστά αποτελέσματα, εφαρμόζεται ο τροποποιημένος κώδικας που περιγράφεται παρακάτω:

- Ανάλογα με το που εντοπίστηκε το τραπέζιο στα προηγούμενα δέκα frame, καθορίζεται και η περιοχή στην οποία αναζητούνται τα σημεία των λωρίδων για το επόμενο frame η οποία βρίσκεται σε εύρος  $\pm 20$  pixel από τη μέση τιμή του αντίστοιχου σημείου στα προηγούμενα 10 frame. Και κατα συνέπεια μειώνεται η περιοχή της εικόνας που πρέπει να επεξεργαστεί και ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου κατά ένα ποσοστό 4% περίπου.
- Εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός radon με μειωμένο εύρος γωνιών. Ανάλογα με την μέση τιμή της γωνίας στην οποία ανιχνεύτηκε η ευθεία στα προηγούμενα δέκα frame, έστω  $\theta$ , το διάστημα της γωνίας ανίχνευσης του radon για το επόμενο frame είναι  $[\theta - 10^\circ, \theta + 10^\circ]$ . Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου κατά ένα ποσοστό της τάξης του 12%.
- Αν για κάποιο λόγο από το εκάστοτε frame δεν προκύψουν αποδεκτά αποτελέσματα τότε σαν τιμή της λαμπρότητας για την εικόνα αυτή χρησιμοποιείται η μέση τιμή της λαμπρότητας των προηγούμενων 10 frame.

## 8.11 Χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου

Πρώτα frame:

- Ο κώδικας είναι γραμμένος και οργανωμένος με τη μορφή συναρτήσεων (functions) καθώς έτσι ο χρόνος εκτέλεσης γίνεται αρκετά μικρότερος. Επίσης το πρόγραμμα στο περιβάλλον MATLAB γράφεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όποιες διαδικασίες είναι αρκετά χρονοβόρες και θα μπορούσαν να γίνουν εκτός του κυρίως μέρους του προγράμματος να εκτελεστούν έξω απ αυτό πχ κάποια στάδια του curve fitting.
- Στη συνέχεια, καθώς δεν χρειάζεται να γίνει επεξεργασία σε όλη την εικόνα, επεξεργαζόμαστε μόνο το κομμάτι που αποτελεί την περιοχή ενδιαφέροντός μας (τα 2/3 της εικόνας) και με αυτόν τον τρόπο ο χρόνος εκτέλεσης μειώνεται κατά ένα ποσοστό 10% περαιτέρω.

- Ο αλγόριθμος αναγνώρισης των λωρίδων περιορίζεται όσον αφορά τον αριθμό των βημάτων του καθώς τέσσερα σημεία ελέγχου θεωρήθηκαν αρκετά(αφαιρέθηκε μία επανάληψη του αλγορίθμου). Έτσι επετεύχθη μείωση του χρόνου κατά 3% περίπου.

Μείωση στο χρόνο του tracking σε σχέση με τον χρόνο επεξεργασίας των πρώτων στιγμιοτύπων βίντεο:

- Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, μειώνοντας την περιοχή αναζήτησης του τραπέζιου ανάλογα με τη θέση στην οποία εντοπίστηκε σε προηγούμενα frame μειώνεται ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου κατα ένα ποσοστό 4%.

- Είδαμε και παραπάνω ότι μειώνοντας το εύρος αναζήτησης γωνιών του μετασχηματισμού radon επιτυγχάνεται μείωση του χρόνου εκτέλεσης κατά 12% περίπου.

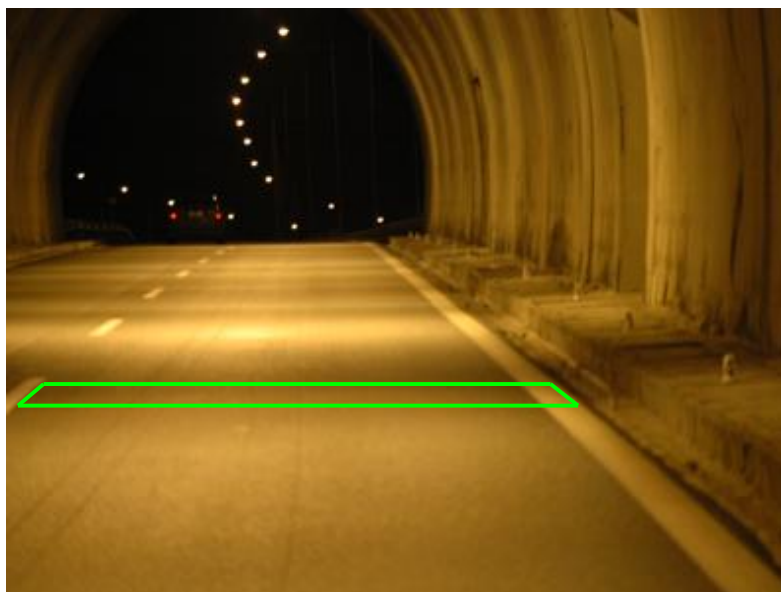
Οι πιο χρονοβόρες διαδικασίες διαδικασίες του προγράμματος είναι η ανάγνωση όλης της εικόνας και η αποθήκευσή της σε πίνακα, η επεξεργασία της εικόνας και η προσαρμογή κάποιων καμπύλων που γίνεται στα μετέπειτα στάδια του αλγορίθμου.

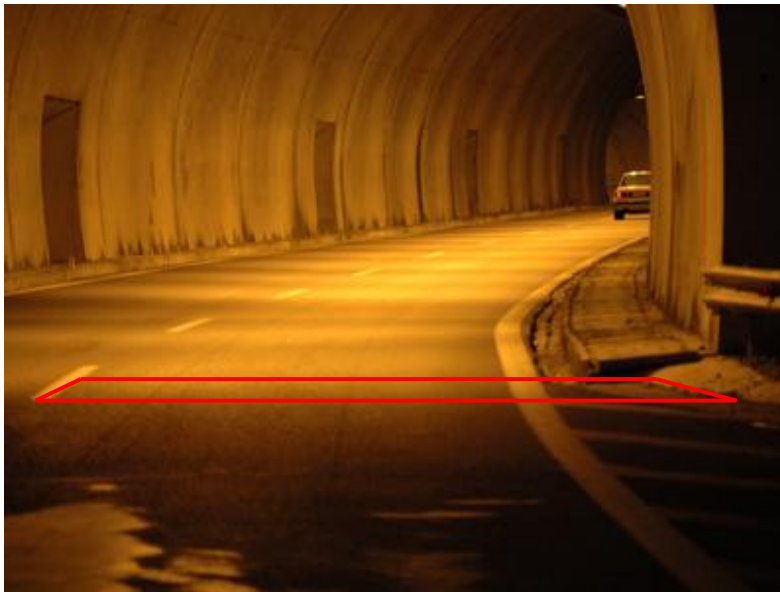
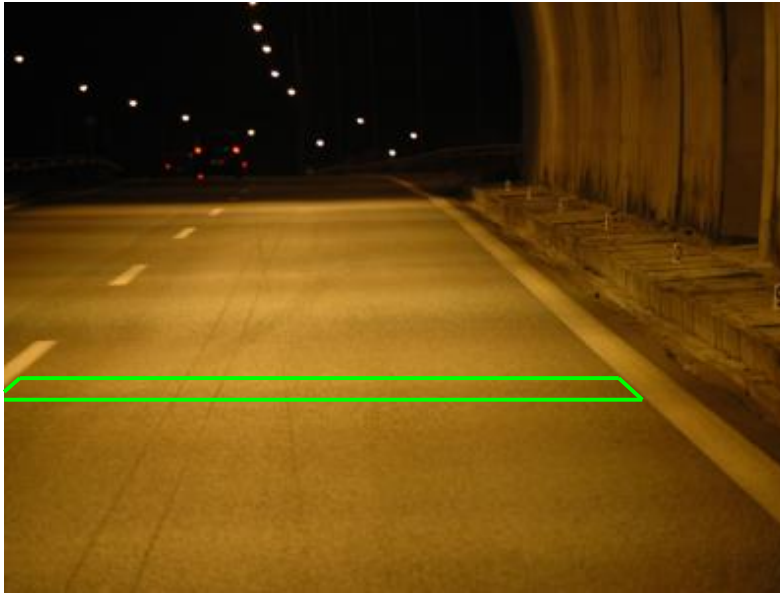


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

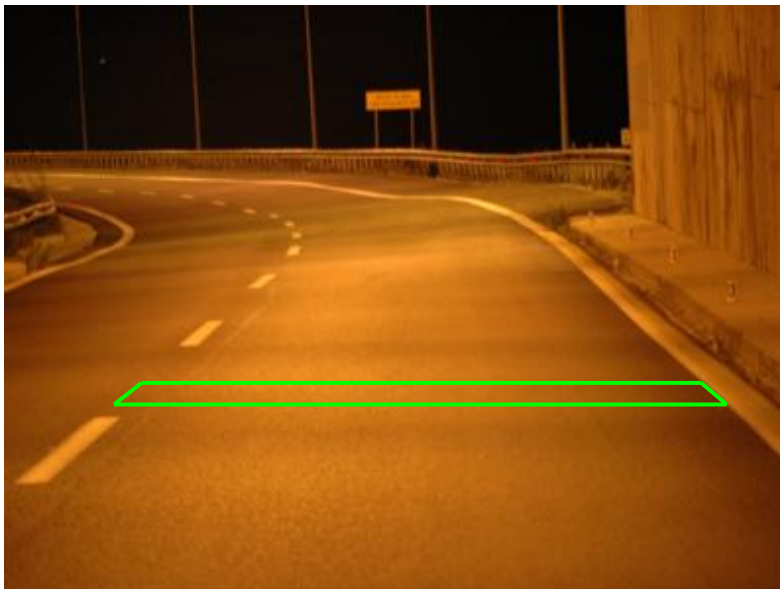
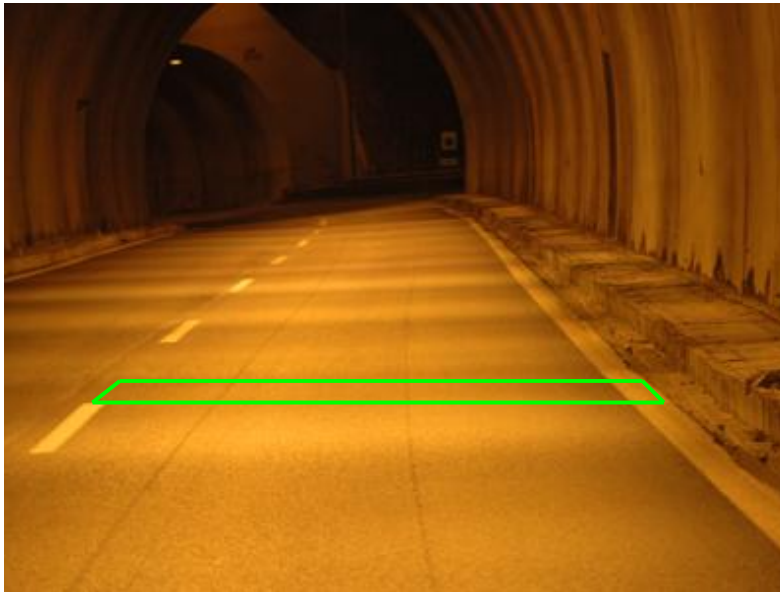
### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ

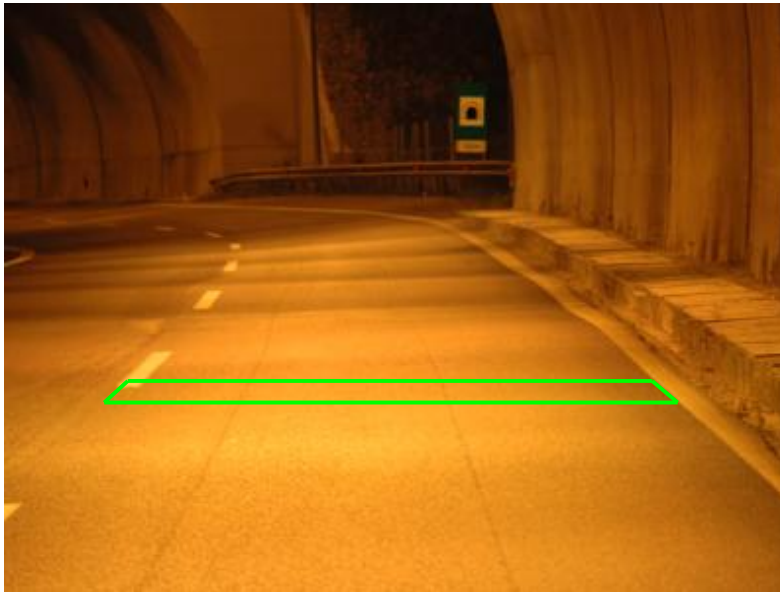
Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται κάποια παραδείγματα εφαρμογής του κώδικα μας σε πραγματικές εικόνες-λήψεις σε σήραγγα. Στις εικόνες αυτές φαίνεται με πράσινο χρώμα η περιοχή (τραπέζιο) στην οποία θα γίνει η μέτρηση της λαμπρότητας με τους κατάλληλους υπολογισμούς.





• Παρατηρείται στην παραπάνω εικόνα ότι η ζητούμενη περιοχή δεν εντοπίστηκε σωστά. Αυτό συνέβη γιατί δεν έγινε σωστά η εκτίμηση των αρχικών σημείων μέσω του μετασχηματισμού Radon, λόγω της μειωμένης φωτεινότητας της εικόνας στο κάτω μέρος της .

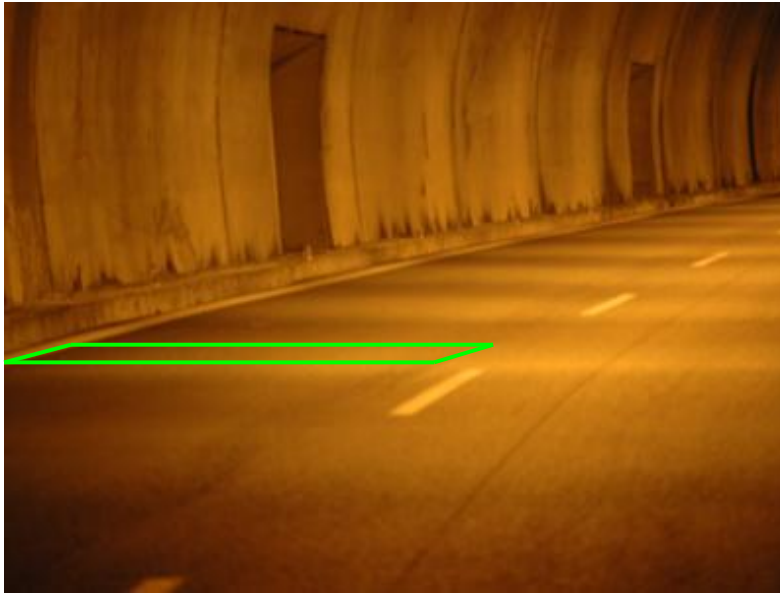






• Στην παραπάνω εικόνα ο εντοπισμός δεν έγινε σωστά διότι δεν βρέθηκε το κατάλληλο σημείο της αριστερής διαγράμμισης (λόγω του αυτή είναι διακεκομμένη) ώστε να λειτουργήσει σωστά ο αλγόριθμος αναγνώρισης ορίων οδοστρώματος που χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση αυτή.





- Γενικά παρατηρείται ότι ο αλγόριθμος μας λειτούργησε αρκετά αποτελεσματικά στην πλειοψηφία των εικόνων στις οποίες εφαρμόστηκε.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην εργασία μας αυτή,επετεύχθη η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου για την αναγνώριση ορίων οδοστρώματος για μέτρηση της λαμπρότητας.Ειδικότερα:

- Η αναγνώριση ορίων οδοστρώματος μπορεί να γίνει πλέον αρκετά αποτελεσματικά σε δρόμους με στροφές.
- Με τους κατάλληλους μετασχηματισμούς, επεξεργάζεται με ταχύτητα μία εικόνα δρόμου με τεχνητό φωτισμό και στη συνέχεια επεξεργάζεται περαιτέρω για την εξαγωγή του ζητούμενου τραπεζίου.
- Μετράται η μέση τιμή της λαμπρότητας και τα αποτελέσματα αυτά καταγράφονται για χρήση στο μέλλον.

### 10.1 Περιορισμοί της εργασίας και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

**Περιορισμοί της εργασίας:**Η ιδέα αυτή για την εύρεση του ζητούμενου τραπεζίου αρχικά επρόκειτο να εφαρμοστεί για δρόμους κάθε τύπου (ευθείες, στροφές, ανηφόρες/ κατηφόρες). Όμως στην πορεία διαπιστώθηκε,ότι με την παρούσα πορεία προσέγγισης του θέματος δεν έγινε δυνατό να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις που ο δρόμος έχει κλίση. Αυτό γιατί υπήρξε πρόβλημα στα βήματα στα οποία έπρεπε να βρούμε την τρισδιάστατη απεικόνιση του δρόμου από μία δισδιάστατη φωτογραφία του. Οι εξισώσεις της προοπτικής προβολής λειτουργούν κάτω από ορισμένες συνθήκες και για να υπολογιστεί η θέση ενός σημείου στον τρισδιάστατο κόσμο, χρησιμοποιώντας μόνο μία διδιάστατη εικόνα απαιτείται να είναι γνωστή είτε κάποια από τις τρεις διαστάσεις στον πραγματικό κόσμο, είτε να υπάρχει κάποια συγκεκριμένη σχέση μεταξύ των τριών διαστάσεων, η οποία στους δρόμους με κλίση δεν υπήρχε. Έτσι περιορίσαμε την εφαρμογή του αλγορίθμου μας σε δρόμους επίπεδους με στροφές ή χωρίς.

Κάποιες προτάσεις για συνέχιση της εργασίας αναφέρονται παρακάτω:

- Επίτευξη μικρότερου χρόνου εκτέλεσης του κώδικα με εφαρμογή parallel computing και επιτάχυνση GPU στη MATLAB.
- Ανάπτυξη ενός αλγορίθμου για αναγνώριση ορίων οδοτρώματος που να λειτουργεί ακριβέστερα στις περιπτώσεις διακεκομμένων διαγραμμίσεων.
- Εύρεση μεθόδου που να επιτρέπει αποτελεσματικότερα τον εντοπισμό του τραπεζίου και στις περιπτώσεις που ο δρόμος έχει κλίση.
- Πιθανή ανάπτυξη του κώδικα σε διαφορετικό λογισμικό από τη MATLAB όπως για παράδειγμα στο Open CV, το οποίο παρέχει μεγαλύτερη δυνατότητα ανάπτυξης κώδικα στον τομέα της όρασης υπολογιστών.

## **10.2 Προτάσεις για καλύτερη διεξαγωγή μετρήσεων:**

- Η εκτέλεση των μετρήσεων θα ήταν πιο εύκολη και ακριβής αν χρησιμοποιούνταν αντι για συμβατό όχημα, κάποιο όχημα ειδικό για αυτό το σκοπό. Έτσι θα αυξανόταν η ποιότητα των στιγμιότυπων βίντεο και η μέτρηση της λαμπρότητας θα γινόταν με αρκετά μικρότερα σφάλματα.
- Επίσης ,η χρήση ταχύτερου υπολογιστή, αντί ενός συμβατού φορητού θα επέτρεπε μικρότερο χρόνο επεξεργασίας μετρήσεων.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]Φωτοτεχνία,Φραγκίσκος Β.Τοπαλής εκδόσεις ΕΜΠ Αθήνα 2004
- [2]Φωτοτεχνία,τεχνική του φωτισμού Φίλιππας Ι.Δημόπουλος Αθήνα 1975
- [3]Φωτοτεχνία Αντωνίου Ι.Τσακίρη Αθήνα 2004
- [4]Φωτισμός οδικών σηράγγων.Χικιμτζής Δημήτρης Ψηφιακή Βιβλιοθήκη ΤΕΕ.
- [5]Διπλωματική εργασία Εξοπλισμός οδών (Δημητριος. Τσανακσιδης, Δημητριος. Τσιτσουλας
- [6] Άρθρο για το πρότυπο ΕΛΟΤ 13201 για τον οδικό φωτισμό Π.Παναγάκος Δελτίου ΠΣΔΜ-Η Φεβρουάριος 2007
- [7] Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ Hellenic standard ΕΛΟΤ EN 13201.03 Φωτισμός οδών μέρος 3 ,Υπολογισμός επιδόσεων
- [8]A New Lane Line Segmentation and Detection Method based on Inverse Perspective Mapping , Minxian Li, Chunxia Zhao, Yingkun Hou, Mingwu Ren International Journal of Digital Content Technology and its Applications. Volume 5, Number 4, April 2011
- [9]Lane detection and tracking using B-Snake Yue Wanga, Eam Khwang Teoh,Dinggang Shen
- [10]A Driver Warning System Based on the LOIS Lane Detection Algorithm Chris Kreucher, Sridhar Lakshmanan, and Karl Kluge
- [11]Lane detection using catmul-rom spline Yue Wang,Dinggang Shen,Eam Khwang Teoh
- [12]A fast and stable lane detection method based on B-spline curve, Huarong Xu, Xiaodong Wan, Hongwu Huang, Keshou Wu, Qiu Fang
- [13]Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία Πατιάς Πέτρος

[14] <http://www.ipet.gr/>

[15] Computer Graphics and Image Processing Volume 13, Number 3, July, 1980  
Robert M. Haralick

[16] <http://www.intelligence.tuc.gr/>

[17] New lane detection algorithm for autonomous vehicles using computer vision  
Quoc-Bao Truong, Byung-Ryong Lee

[18] Using perspective transformation in scene analysis Robert M. Haralick

[19] Γραφικά και οπτικοποίηση αρχές και αλγόριθμοι Θεοχάρης Θεοχάρης, Γεώργιος Παπαϊωάννου, Νίκος Πλατής, Νικόλαος Μ. Πατρικαλάκης

[20] Matlab image toolbox

[21] <http://teamrawphotography.blogspot.com/2011/03/gamma-raw-jpeg.html>