



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Οπτική αναγνώριση οδοστρώματος από ψηφιακή εικόνα και  
ανάλυση αυτής για τη μέτρηση λαμπρότητας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αγάπη Ι. Τραυλού – Σούλτ

**Επιβλέπων :** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2008





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

## Οπτική αναγνώριση οδοστρώματος από ψηφιακή εικόνα και ανάλυση αυτής για τη μέτρηση λαμπρότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αγάπη Ι. Τραυλού – Σούλτ

**Επιβλέπων :** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

Σεπτεμβρίου 2008

.....  
Φ. Τοπαλής  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Σ. Παπαθανασίου  
Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Σ. Καβατζά  
Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2008

.....  
Αγάπη Ι. Τραυλού – Σούλτ  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αγάπη Ι. Τραυλού – Σούλτ 2008.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η επεξεργασία ψηφιακής εικόνας για τον εντοπισμό των λωρίδων κυκλοφορίας του οδοστρώματος και εν συνεχεία η μελέτη της λαμπρότητας του. Ο αλγόριθμος εντοπισμού λωρίδων κυκλοφορίας που προτείνεται, περιλαμβάνει τα επόμενα πέντε βασικά στάδια. Αρχικά, γίνεται τμηματοποίηση της εικόνας και ακολουθεί το φιλτράρισμα του θορύβου με χρήση φίλτρου Median. Στη συνέχεια, λαμβάνει χώρα η ανίχνευση των ορίων με χρήση της μεθόδου Roberts, ενώ η ανίχνευση των λωρίδων κυκλοφορίας γίνεται χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Hough. Δεδομένου ότι οι λωρίδες κυκλοφορίας είναι συνήθως μακριές και ομαλές καμπύλες, τις εξετάζουμε ως ευθείες γραμμές. Στο τελευταίο στάδιο, γίνεται σχεδιασμός των ορίων της λωρίδας κυκλοφορίας και επίθεση τους πάνω στην αρχική εικόνα. Εν συνεχεία, γίνεται εξαγωγή από την εικόνα του συγκεκριμένου τμήματος του οδοστρώματος της λωρίδας, του οποίου τη λαμπρότητα μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε και τέλος το επεξεργαζόμαστε λαμβάνοντας τις μετρήσεις που μας ενδιαφέρουν. Συγκεκριμένα, βρίσκουμε τη μέση τιμή της λαμπρότητας της περιοχής, τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της, το λόγο της ελάχιστης τιμής της προς το μέσο όρο της καθώς και το μέσο όρο δέκα κεντρικών τιμών της περιοχής. Ο απαραίτητος κώδικας υλοποίησης των αλγορίθμων δημιουργήθηκε σε περιβάλλον Matlab.

## Λέξεις Κλειδιά

Τμηματοποίηση εικόνας, εντοπισμός λωρίδων κυκλοφορίας, ανίχνευση ορίων, μέθοδος Roberts, μετασχηματισμός Hough, φίλτρο Median, φωτισμός δρόμων, μέτρηση λαμπρότητας.

## **Abstract**

The aim of this diploma thesis is to process image data for lane detection and to study the luminance of the road surface. The proposed lane detection algorithm consists of the next five steps. The first step is image segmentation followed by noise reduction using filtering techniques and especially Median Filter. The next step is edge detection using the Roberts' Cross Operator while lanes are detected using the Hough transform. Since the lanes have normally long and smooth curves, we consider them as straight lines. In the last step, the drawing of the lane boundaries and their application on the original image takes place. Following, we extract the specific segment of the road surface, the luminance of which is of our interest and finally, we process it receiving the measurements we are interested in. In particular, we calculate the average value of the luminance of the segment, its maximum and minimum value, the ratio of the minimum value to the average value as well as the average value of its ten central values. The necessary code for the implementation of the above algorithms was created in Matlab.

## **Key Words**

Image Segmentation, Lane Detection, Roberts' Cross Operator edge detection, Hough Transform, Median Filter, street lighting, Luminance measurements.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ θερμά τον υποψήφιο Διδάκτορα Κωνσταντίνο Απ. Μπουρούση για την πολύτιμη βοήθεια, την καθοδήγηση και τη συμπαράσταση του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η αδιάλειπτη επικοινωνία, οι συμβουλές του και οι υποδείξεις του υπήρξαν καθοριστικές για την ολοκλήρωσή της.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>2</b> | <b>ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ .....</b>  | <b>15</b> |
| 2.1      | Γενικά.....   | 15        |
| 2.2      | Βασικές θεμελιώδεις έννοιες .....   | 15        |
| 2.3      | Σύστημα ταξινόμησης επιφανειών δρόμου. ....                                     | 18        |
| 2.4      | Τύποι συστημάτων φωτισμού.....  | 19        |
| 2.5      | Γενικές αρχές οδικού φωτισμού.....  | 21        |
| 2.6      | Σχεδιασμός εγκατάστασης φωτισμού .....  | 24        |
| 2.6.1    | Θέσεις ιστών φωτισμού .....   | 24        |
| 2.6.2    | Ύψος ιστών .....  | 25        |
| 2.6.3    | Απόσταση φωτιστικών .....   | 25        |
| 2.6.4    | Φωτιστικά σώματα.....   | 25        |
| 2.6.5    | Λόγος φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου.....                                     | 26        |
| 2.6.6    | Διασταυρώσεις δρόμων .....  | 26        |
| 2.6.7    | Επιφάνεια δρόμου.....   | 27        |
| 2.7      | Φωτισμός οδικών σηράγγων .....  | 27        |
| 2.7.1    | Ταξινόμηση σηράγγων .....   | 28        |
| 2.7.2    | Ζώνες σηράγγων.....   | 29        |
| 2.7.2.1  | Ζώνη προσεγγίσεως (Access zone) .....   | 30        |
| 2.7.2.2  | Ζώνη κατωφλίου (Threshold zone).....  | 32        |
| 2.7.2.3  | Μεταβατική ζώνη (προσαρμογής) (Transition zone).....                            | 33        |
| 2.7.2.4  | Κεντρική ζώνη (εσωτερική) (Interior zone).....                                  | 34        |
| 2.7.2.5  | Ζώνη εξόδου (Exit zone).....  | 35        |
| 2.7.3    | Φωτεινή πάλμωση.....  | 35        |
| 2.7.4    | Νυχτερινός φωτισμός.....  | 35        |
| 2.8      | Είδη λαμπτήρων για φωτισμό δρόμων.....  | 36        |
| <b>3</b> | <b>ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ .....</b>                                | <b>38</b> |
| 3.1      | Γενικά.....   | 38        |
| 3.2      | Συνθήκες μέτρησης.....  | 38        |
| 3.3      | Μέτρηση λαμπρότητας.....  | 40        |
| <b>4</b> | <b>ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....</b>                                       | <b>45</b> |
| 4.1      | Γενικά.....   | 45        |
| 4.2      | Αλγόριθμοι ανίχνευσης λωρίδας κυκλοφορίας .....                                 | 46        |
| 4.2.1    | Ανίχνευση λωρίδας με χρήση Catmull-Rom Spline παρεμβολής.....                   | 46        |
| 4.2.1.1  | Χρήση Catmull-Rom Spline για την περιγραφή του ορίου των λωρίδων .....          | 47        |
| 4.2.1.2  | Έλεγχος της περιοχής ανίχνευσης σημείων .....                                   | 48        |
| 4.2.1.3  | Αποτελεσματικότητα της παρεμβολής Catmull-Rom Spline.....                       | 51        |
| 4.2.2    | Ανίχνευση λωρίδας με χρήση της μεθόδου B-Snake .....                            | 52        |
| 4.2.2.1  | B-spline Snake .....  | 52        |
| 4.2.2.2  | Χρήση της μεθόδου B-Snake για την περιγραφή του ορίου των λωρίδων ..            | 54        |
| 4.2.2.3  | Αποτελεσματικότητα της παρεμβολής B-Snake .....                                 | 55        |
| 4.2.3    | Ανίχνευση λωρίδας με χρήση τμηματοποίησης βασισμένης στο χρώμα (color-based) .. | 55        |
| 4.2.3.1  | Διαχωρισμός δρόμου από τα υπόλοιπα αντικείμενα της εικόνας .....                | 56        |



|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.2.3.2  | Όρια λωρίδων .....   | 57         |
| 4.2.3.3  | Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων .....   | 57         |
| 4.2.3.4  | Αποτελεσματικότητα της τμηματοποίησης βάσει χρώματος .....   | 57         |
| 4.2.4    | Ανίχνευση λωρίδας με χρήση νευρωνικών δικτύων .....  | 58         |
| 4.2.4.1  | Προσδιορισμός των rixels που ανήκουν ή όχι στο δρόμο .....   | 58         |
| 4.2.4.2  | Ανίχνευση των διαχωριστικών γραμμών .....  | 59         |
| <b>5</b> | <b>ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ .....</b>  | <b>61</b>  |
| 5.1      | Γενικά.....  | 61         |
| 5.2      | Τύποι αρχείων .....  | 61         |
| 5.2.1    | Αρχεία δεδομένων τύπου binary .....  | 61         |
| 5.2.2    | Αρχεία δεδομένων τύπου avi .....   | 61         |
| 5.3      | Χρωματικά πρότυπα αναπαράστασης εικόνων .....  | 62         |
| 5.3.1    | Πρότυπο RGB.....   | 62         |
| 5.3.2    | Πρότυπο YCbCr .....  | 64         |
| 5.3.3    | Grayscale εικόνες .....  | 65         |
| 5.4      | Φίλτρο Median .....  | 66         |
| 5.5      | Ανίχνευση ορίων με τη μέθοδο Roberts .....   | 68         |
| 5.6      | Μετασχηματισμός Hough .....  | 69         |
| 5.6.1    | Μετασχηματισμός Hough γραμμής .....  | 70         |
| 5.6.2    | Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα μετασχηματισμού Hough .....  | 75         |
| 5.7      | Αλγόριθμος Bresenham για γραμμές.....  | 75         |
| <b>6</b> | <b>ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ .....</b> | <b>78</b>  |
| 6.1      | Γενικά.....  | 78         |
| 6.2      | Εισερχόμενο video.....   | 79         |
| 6.3      | Τμηματοποίηση εικόνας .....  | 81         |
| 6.4      | Μετατροπή της RGBlow σε grayscale .....  | 83         |
| 6.5      | Μείωση θορύβου με χρήση median φίλτρου .....   | 84         |
| 6.6      | Ανίχνευση ορίων με χρήση μεθόδου Roberts .....   | 84         |
| 6.7      | Ανίχνευση γραμμών με χρήση μετασχηματισμού Hough .....   | 85         |
| 6.8      | Σχεδίαση γραμμών στην εικόνα και εύρεση ζητούμενης περιοχής.....   | 89         |
| 6.8.1    | Σχεδίαση ορίων λωρίδας.....  | 90         |
| 6.8.2    | Περιοχή ενδιαφέροντος .....  | 97         |
| 6.8.2.1  | Προσδιορισμός περιοχής ενδιαφέροντος.....  | 97         |
| 6.8.2.2  | Σχεδίαση περιοχής ενδιαφέροντος.....   | 102        |
| 6.8.2.3  | Εξαγωγή των τιμών της έντασης των rixels της περιοχής ενδιαφέροντος.....                                   | 104        |
| 6.8.2.4  | Επεξεργασία τιμών pixel περιοχής ενδιαφέροντος .....   | 108        |
| <b>7</b> | <b>ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.....</b>   | <b>118</b> |
| <b>8</b> | <b>ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>   | <b>126</b> |
| 8.1      | Περιορισμοί και προϋποθέσεις προτεινόμενου αλγορίθμου .....  | 126        |
| 8.2      | Συμπεράσματα - Προτάσεις .....   | 127        |
| <b>9</b> | <b>Βιβλιογραφία.....</b>   | <b>129</b> |

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΠΙΝΑΚΩΝ

|  |    |
|--|----|
| Πίνακας 2-1: Πίνακας ταξινόμησης επιφανειών δρόμου σύμφωνα με τη CIE.....  | 18 |
| Εικόνα 2-1: Συμμετρικό σύστημα φωτισμού .....  | 20 |
| Εικόνα 2-2: Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού.....  | 20 |
| Πίνακας 2-2: Πίνακας επεξήγησης κλάσεων φωτισμού σύμφωνα με τη CIE.....  | 22 |
| Πίνακας 2-3: Προδιαγραφές της κάθε κλάσης φωτισμού σύμφωνα με τη CIE.....  | 23 |
| Εικόνα 2-3: Φωτιστικό Non-cutoff.....  | 25 |
| Εικόνα 2-4: Φωτιστικό Semi-cutoff .....  | 26 |
| Εικόνα 2-5: Φωτιστικό Full-cutoff.....   | 26 |
| Εικόνα 2-6: Φωτιστικό Cutoff .....   | 26 |
| Εικόνα 2-7: Φωτισμός ημέρας συναρτήσει του μήκους των σηράγγων .....   | 29 |
| Εικόνα 2-8: Τυπική κατά μήκος τομή σήραγγας μιας κατεύθυνσης.....  | 30 |
| Εικόνα 2-9: Βοηθητικά σκίτσα για τον υπολογισμό της λαμπρότητας $L_{20}$ .....                                     | 31 |
| Εικόνα 2-10: Διάγραμμα της απόστασης πεδήσεως κατά DIN 67524 .....   | 32 |
| Πίνακας 2-3: Λαμπρότητα που συνιστάται για εσωτερικές ζώνες σύμφωνα με την κυκλοφοριακή ροή .....                  | 33 |
| Εικόνα 2-11: Διάγραμμα Schreuder .....   | 34 |
| Εικόνα 3-1: Πεδίο υπολογισμών λαμπρότητας.....   | 41 |
| Εικόνα 3-2: Θέση σημείων υπολογισμού .....   | 41 |
| Εικόνα 3-3: Παραδείγματα θέσεων παρατηρητή σε σχέση με το πεδίο υπολογισμών .....                                  | 43 |
| Εικόνα 3-4: Όρια περιοχής όπου είναι τοποθετημένα φωτιστικά για τον υπολογισμό της λαμπρότητας σε ένα σημείο ..... | 44 |
| Εικόνα 4-1: Καθοδηγούμενο όχημα .....  | 46 |
| Εικόνα 4-2: Catmull Spline .....   | 47 |
| Εικόνα 4-3: Αρχική εικόνα λωρίδας.....   | 48 |
| Εικόνα 4-4: Εικόνα μετά την εφαρμογή Catmull Spline .....  | 48 |
| Εικόνα 4-5: Κάτοψη .....   | 49 |
| Εικόνα 4-6: Οπτική γωνία φωτογραφίας.....  | 49 |
| Εικόνα 4-7: Πιθανές θέσεις του σημείου $P_{R1}$ .....  | 50 |
| Εικόνα 4-8: Περιοχή ανίχνευσης του $P_{R1}$ .....  | 51 |
| Εικόνα 4-9: Καμπύλη Cubic B-spline.....  | 53 |
| Εικόνα 4-10: Εφαρμογή του μοντέλου B-snake .....   | 55 |
| Εικόνα 4-11: Block διάγραμμα της μεθόδου color-based segmentation .....  | 56 |
| Εικόνα 4-12: Block διάγραμμα ανίχνευσης με χρήση νευρωνικών δικτύων .....  | 58 |
| Εικόνα 5-1: Παράδειγμα RGB εικόνας.....  | 64 |
| Εικόνα 5-2: Παράδειγμα grayscale εικόνας.....  | 66 |
| Εικόνα 5-3: Αντιστοίχιση ευθείας σε σημείο μέσω μετασχηματισμού Hough.....   | 71 |
| Εικόνα 5-4: Αντιστοίχιση σημείου σε καμπύλη μέσω μετασχηματισμού Hough.....  | 71 |
| Εικόνα 5-5: Αντιστοίχιση της ευθείας $x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0$ στο σημείο $(\theta_0, r_0)$ .....        | 72 |
| Εικόνα 5-6: Παράδειγμα μετασχηματισμού Hough .....   | 73 |
| Εικόνα 5-7: Αποτέλεσμα μετασχηματισμού Hough .....   | 74 |
| Εικόνα 5-8: Αντιστοίχιση δύο ευθειών σε δύο σημεία μέσω μετασχηματισμού Hough .....                                | 75 |
| Εικόνα 5-9: Αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου Bresenham.....   | 76 |

|   |     |
|---|-----|
| Εικόνα 6-1: Block διάγραμμα προτεινόμενου αλγορίθμου .....                                      | 78  |
| Εικόνα 6-2: Τα subsystem από τα οποία αποτελείται το μοντέλο μας.....                           | 79  |
| Εικόνα 6-3: Τυπική σκηνή δρόμου .....   | 80  |
| Εικόνα 6-4: Εισαγωγή ενός binary video στο μοντέλο .....  | 80  |
| Εικόνα 6-5: Εισαγωγή ενός ανι video στο μοντέλο.....  | 80  |
| Εικόνα 6-6: Block τμηματοποίηση εικόνας .....   | 81  |
| Εικόνα 6-7: Παράμετροι του block τμηματοποίησης.....  | 82  |
| Εικόνα 6-8: Ρύθμιση της μεταβλητή NumRows .....   | 83  |
| Εικόνα 6-9: Block μετατροπής της εικόνας σε grayscale.....                                      | 83  |
| Εικόνα 6-10: Block του median filter .....  | 84  |
| Εικόνα 6-11: Παράμετροι του block median filter .....   | 84  |
| Εικόνα 6-12: Block ανίχνευσης ορίων με χρήση μεθόδου Roberts .....                              | 85  |
| Εικόνα 6-13: Αποτέλεσμα ανίχνευσης ορίων.....   | 85  |
| Εικόνα 6-14: Subsystem μετασχηματισμού Hough.....   | 85  |
| Εικόνα 6-15: Τα blocks του subsystem του μετασχηματισμού Hough .....                            | 86  |
| Εικόνα 6-16: Πίνακας συσσώρευσης μετασχηματισμού Hough.....                                     | 87  |
| Εικόνα 6-17: Παράμετροι του block local maxima .....  | 88  |
| Εικόνα 6-18: Παράμετροι των δύο block selector.....   | 89  |
| Εικόνα 6-19: Block σχεδίασης γραμμών και εύρεσης του επιθυμητού τμήματος της λωρίδας.....       | 90  |
| Εικόνα 6-20: Τα blocks του subsystem της σχεδίασης γραμμών .....                                | 90  |
| Εικόνα 6-21: Παράμετροι του block Draw Shapes .....   | 91  |
| Εικόνα 6-22: Πολύγωνο που καθορίζεται από την παράμετρο Pts .....                               | 92  |
| Εικόνα 6-23: Λειτουργία του block Hough Lines .....   | 92  |
| Εικόνα 6-24: Είσοδοι και έξοδοι του block Hough Lines .....                                     | 93  |
| Εικόνα 6-25: Παράμετροι των τριών block selector.....   | 94  |
| Εικόνα 6-26: Παράμετροι του block Draw Polygons .....   | 94  |
| Εικόνα 6-27: Λειτουργία οριζόντιας ένωσης του block Matrix Concatenation .....                  | 94  |
| Εικόνα 6-28: Λειτουργία κατακόρυφης ένωσης του block Matrix Concatenation .....                 | 95  |
| Εικόνα 6-29: Διαμόρφωση τελικής μορφής της μεταβλητής Pts.....                                  | 95  |
| Εικόνα 6-30: Καθορισμός σχεδίασης πολυγώνου με τη βοήθεια της μεταβλητής Pts .....              | 95  |
| Εικόνα 6-31: Τα blocks από τα οποία αποτελείται το subsystem Construct Full Image .....         | 96  |
| Εικόνα 6-32: Στιγμιότυπο σχεδίασης ορίων λωρίδας .....  | 96  |
| Εικόνα 6-33: Τα blocks του subsystem Calculate and construct polygon .....                      | 97  |
| Εικόνα 6-34: Περιεχόμενο του block embedded pinax-pinax1.....                                   | 98  |
| Εικόνα 6-35: Περιεχόμενο του block embedded pinax1-line1, line2, height.....                    | 100 |
| Εικόνα 6-36: Αποστάσεις a, b του πολυγώνου.....   | 101 |
| Εικόνα 6-37: Τμήμα σχεδίασης περιοχής ενδιαφέροντος .....                                       | 102 |
| Εικόνα 6-38: Παράμετροι του block Draw Polygons για τη σχεδίαση της περιοχής ενδιαφέροντος..... | 103 |
| Εικόνα 6-39: Στιγμιότυπο σχεδίασης περιοχής ενδιαφέροντος .....                                 | 104 |
| Εικόνα 6-40: Τμήμα εξαγωγής των τιμών της έντασης των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος.....    | 104 |

|  |     |
|--|-----|
| Εικόνα 6-41: Περιεχόμενο των block embedded για την επεξεργασία των τριών συνιστωσών ..... | 106 |
| Εικόνα 6-42: Επεξήγηση της επεξεργασίας των τριών συνιστωσών .....                         | 108 |
| Εικόνα 6-43: Εύρεση των δέκα κεντρικών τιμών .....   | 109 |
| Εικόνα 6-44: Αποκοπή άχρηστων μηδενικών του πίνακα .....                                   | 110 |
| Εικόνα 7-1: Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 3.....                         | 119 |
| Εικόνα 7-2: Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 17.....                        | 120 |
| Εικόνα 7-3: Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 24.....                        | 121 |
| Εικόνα 7-4: Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 30.....                        | 122 |
| Εικόνα 7-5: Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 35.....                        | 123 |
| Εικόνα 7-6: Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 40.....                        | 124 |
| Εικόνα 7-7: Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 44.....                        | 125 |
| Εικόνα 8-1: Real time επεξεργασία εικόνων .....  | 128 |

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά τη δύση του ηλίου ή σε περιοχές που ο φυσικός φωτισμός δεν αρκεί ή δεν υπάρχει, ο τεχνητός φωτισμός καλύπτει ουσιαστικές ανάγκες της ζωής των ανθρώπων. Η ύπαρξη σωστού οδικού φωτισμού παίζει σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη καθημερινότητα, καθώς παρέχει ασφάλεια και βασική λειτουργία στην ορατότητα. Ο κυριότερος στόχος του οδικού φωτισμού είναι η βελτίωση της οδικής ασφάλειας κατά τη διάρκεια της νύχτας, προσδίδοντας συνθήκες καλής ορατότητας για τους χρήστες του οδικού δικτύου. Έτσι, οι οδηγοί θα είναι σε θέση να εντοπίζουν έγκαιρα και με ακρίβεια τα όρια του δρόμου, καθώς και τα τυχόν εμπόδια και αντικείμενα που θα βρεθούν μπροστά τους στο οδόστρωμα, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να αντιδρούν με ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα, οι οδηγοί θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να αντιλαμβάνονται την κατάσταση του δρόμου στο τμήμα που θα διανύσουν στα επόμενα δευτερόλεπτα, την θέση του οχήματος τους στο οδόστρωμα, την θέση και την κίνηση των άλλων οχημάτων, την ύπαρξη τυχόν εμποδίων στο οδόστρωμα και τη σήμανση του δρόμου. Η ανάλυση διαφόρων μελετών οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι θάνατοι και οι τραυματισμοί σε οδικά ατυχήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορούν να μειωθούν σημαντικά αν εγκατασταθεί καλός φωτισμός.

Από τα ανωτέρω γίνεται αντιληπτό ότι η σωστή μελέτη οδικού φωτισμού είναι αναγκαία, ειδικά σε περιπτώσεις κατασκευής μεγάλων οδικών αρτηριών, όπως είναι οι εθνικές οδοί, που εξυπηρετούν χιλιάδες οχήματα καθημερινά. Αλλά και σε πολλές περιπτώσεις ήδη υπάρχοντος οδικού φωτισμού χαμηλής ποιότητας, η βελτίωση του είναι επίσης απαραίτητη. Γι' αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός μελετών φωτισμού οδικών δικτύων έχει αυξηθεί και νέοι, ευκολότεροι τρόποι διεξαγωγής τους αναζητούνται.

Όσον αφορά τις οδικές σήραγγες, σε αυτές ενσωματώνεται ένα μεγάλο πλήθος ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων που αφορούν κυρίως την ασφάλεια των χρηστών. Αυτές είναι φωτισμός, αερισμός, ανίχνευση καυσαερίων, πυρανίχνευση, πυρόσβεση, κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης, τηλέφωνα ανάγκης, σηματοδότηση και έλεγχος ύψους οχημάτων. Από αυτές η πιο ενεργοβόρα είναι ο φωτισμός, ο οποίος λειτουργεί όλο το εικοσιτετράωρο και την ημέρα δε είναι ενισχυμένος. Έτσι, αποκτά μεγάλη σημασία η διερεύνηση για την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω φωτισμού στις οδικές σήραγγες.

Μια σωστή μελέτη σε συνδυασμό με τη σωστή κατασκευή, καθώς και η ρύθμιση του φωτισμού ανάλογα με τις ανάγκες κατά τη διάρκεια λειτουργίας της σήραγγας, μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά (μέχρι και 80%) στην εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας που οφείλεται στον φωτισμό. Επομένως, μετά την ολοκλήρωση της μελέτης και κατασκευής μιας οδικής σήραγγας και κατά τακτά χρονικά διαστήματα, κρίνεται αναγκαίο να μετράται η λαμπρότητα του οδοστρώματός της. Στην περίπτωση που αυτή βρεθεί μεγαλύτερη από το επιθυμητό επίπεδο, σημαίνει ότι έχει γίνει υπερεκτίμηση κατά τη μελέτη και θα πρέπει να επιτευχθεί μείωσή της, πράγμα που συνεπάγεται και μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση που η μετρούμενη λαμπρότητα βρεθεί μικρότερη από ένα καθορισμένο επίπεδο, πρέπει να ληφθούν μέτρα για τη βελτίωσή του φωτισμού (αλλαγή των λαμπτήρων, εκλογή διαφορετικών φωτιστικών σωμάτων, καθαρισμός των τοιχωμάτων και των φωτιστικών σωμάτων), έτσι ώστε να επανέλθει στο επιθυμητό επίπεδο.

Στη συγκεκριμένη μελέτη αναπτύσσεται ένας τρόπος εύρεσης της λαμπρότητας του οδοστρώματος, διαδικασία που είναι αναγκαία για την αξιολόγηση μελετών οδικού φωτισμού, που αφορούν οδικές σήραγγες κυρίως, και τον έλεγχο του επιπέδου φωτισμού που προσφέρουν. Η μέθοδος που προτείνεται βασίζεται στην εξαγωγή από ψηφιακή εικόνα του οδοστρώματος, των τιμών των pixels της, τα οποία βρίσκονται στην περιοχή της οποίας την λαμπρότητα θέλουμε να βρούμε. Ο αλγόριθμος επεξεργασίας της εικόνας περιλαμβάνει εκτός των άλλων την τμηματοποίηση της, το φιλτράρισμα του θορύβου με χρήση φίλτρου Median, την ανίχνευση των ορίων της βάσει της μεθόδου Roberts και την ανίχνευση των λωρίδων κυκλοφορίας με χρήση του μετασχηματισμού Hough.

# 2 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ

## 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η κατάλληλη χρήση του φωτισμού στους δημόσιους χώρους προσφέρει κοινωνικά και οικονομικά οφέλη. Μετά τη δύση του ηλίου ο τεχνητός φωτισμός καλύπτει ουσιαστικές ανάγκες των ανθρώπων. Όσον αφορά τον οδικό φωτισμό, παίζει επίσης ένα σημαντικό ρόλο και συμβάλλει στην ασφάλεια των πολιτών και προωθεί τις κοινωνικές τους δραστηριότητες.

Ο σωστός οδικός φωτισμός είναι βασική παράμετρος της οδικής ασφάλειας, βελτιώνει την ορατότητα των οδηγών και μειώνει τα ατυχήματα στους δρόμους, που συνεπάγονται ανθρώπινες απώλειες, καθώς και οικονομικές. Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μειωμένη φωτεινότητα αποτελεί αιτία για πολλά από τα ατυχήματα που λαμβάνουν χώρα κατά τις νυχτερινές ώρες και που είναι περισσότερα από αυτά που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μάλιστα, έρευνες έχουν δείξει ότι με τη βελτίωση του φωτισμού στους δρόμους, μειώθηκαν σημαντικά τα θανάσιμα ατυχήματα και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι μια αύξηση στη μέση λαμπρότητα του οδοστρώματος κατά  $1 \text{ cd/m}^2$ , έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση κατά περίπου 35% στο λόγο του αριθμού των ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας προς τον αριθμό κατά τη διάρκεια της ημέρας [1].

Ο φωτισμός στα οδικά δίκτυα μεγαλώνει το πεδίο ορατότητας του οδηγού και του δίνει τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται καλύτερα τη διάταξη του δρόμου και τυχόν εμπόδια. Με αυτόν τον τρόπο ο οδηγός αντιδρά γρηγορότερα και εκτιμά σωστότερα τις αποστάσεις και την ταχύτητα και κατά συνέπεια, μειώνεται ο κίνδυνος ατυχημάτων.

## 2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Για την πληρέστερη παρουσίαση της παρούσας εργασίας θεωρείται σκόπιμο να δοθούν κάποιες βασικές έννοιες που χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό και την εγκατάσταση του οδικού φωτισμού. Οι έννοιες αυτές είναι η Φωτεινή ένταση, η Φωτεινή ροή, η Ένταση Φωτισμού, η Λαμπρότητα, η Ομοιομορφία λαμπρότητας, η Θάμβωση, η Ανάκλαση και η Αντίθεση [2]. Πιο αναλυτικά έχουμε:

**1. Φωτεινή ένταση (Luminous Intensity, I):**

Είναι η φωτεινή ροή ανά μονάδα στερεάς γωνίας, από μια δεδομένη πηγή σε μια δεδομένη κατεύθυνση. Περιγράφει τη δύναμη μιας πηγής να παρέχει φως (δύναμη κεριού) προς πάσα κατεύθυνση. Η μονάδα μέτρησης είναι το candela (cd), όπου 1 candela ισούται με 1lumen/steradian.

**2. Φωτεινή ροή (Luminous Flux):**

Αποτελεί την ακτινοβολούμενη ενέργεια (φως) που εκπέμπεται από μία πηγή ή λαμβάνεται από μια επιφάνεια, ασχέτως των διευθύνσεων κατά τις οποίες αυτό κατανέμεται. Η μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το lumen (lm), το οποίο είναι η ροή που εκπέμπεται από μια στερεά γωνία 1 steradian από μία σημειακή πηγή, η οποία έχει ομοιόμορφη φωτεινή ένταση 1 candela.

**3. Ένταση φωτισμού (Illuminance, E):**

Ορίζεται ως η πυκνότητα της φωτεινής ροής, δηλαδή η φωτεινή ροή ανά μονάδα επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης είναι το lux (lx), όπου  $1\text{lux}=1\text{lumen}/\text{m}^2$ . Είναι το μέτρο της ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει στο οδόστρωμα.

**4. Λαμπρότητα (Luminance, L):**

Ορίζεται ως το πηλίκο  $L=I/S$  όπου  $I$  η ένταση της φωτεινής πηγής και  $S$  η επιφάνειά της. Είναι λοιπόν η φωτεινή ένταση που ανακλάται από μια μοναδιαία επιφάνεια σε μια καθορισμένη κατεύθυνση. Σε αντίθεση με την Ισχύ φωτισμού, η οποία εκφράζει την ποσότητα φωτεινής ροής που προσπίπτει στο οδόστρωμα, η Λαμπρότητα είναι το μέτρο της ποσότητας της φωτεινής έντασης, η οποία ανακλάται από το οδόστρωμα προς το μάτι του παρατηρητή. Η μονάδα μέτρησης είναι το candela ανά τετραγωνικό μέτρο ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Επειδή το μέγεθος της λαμπρότητας περιγράφει την πραγματική κατάσταση ενός δρόμου, καθώς εξετάζει την ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση στο οδόστρωμα με κατεύθυνση προς το μάτι του παρατηρητή, καθιστώντας το οδόστρωμα ορατό, θεωρείται το αντικειμενικό μέτρο και το πιο σημαντικό κριτήριο για το φωτισμό του οδικού δικτύου.

**5. Ομοιομορφία λαμπρότητας (Uniformity, U):**

Για να είναι ένα αντικείμενο ορατό πάνω στο οδόστρωμα πρέπει η κατανομή της λαμπρότητας σε αυτό να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία εκφράζεται είτε για διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία) είτε για διεύθυνση που συμπίπτει με τη διεύθυνση του παρατηρητή (διαμήκης ομοιομορφία). Διακρίνονται τρεις συντελεστές ομοιομορφίας:



- Γενικός συντελεστής ομοιομορφίας  $U_0$ , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος  $L_{min}/L_{med}$ , ή  $L_{min}/L_{max}$ , όπου  $L_{min}$ ,  $L_{med}$ ,  $L_{max}$  η ελάχιστη, μέση και η μέγιστη αντίστοιχα λαμπρότητα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας.
- Συντελεστής διαμήκους ακτινοβολίας  $U_l$ , ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος  $L_{min}/L_{max}$  σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα της οδού. Η ανεπαρκής διαμήκης ομοιομορφία βλάπτει την άνεση και την ασφάλεια.
- Συντελεστής εγκάρσιας ομοιομορφίας  $U_v$ , ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος  $L_{min}/L_{max}$  σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα της οδού. Καλή εγκάρσια ομοιομορφία επιτρέπει στον οδηγό να διακρίνει με ευκρίνεια την επιφάνεια της οδού σε όλο της το πλάτος.

### **6. Θάμβωση (Glare, G):**

Θάμβωση δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε κάποιος να αισθάνεται ενόχληση και μείωση της ικανότητας να διακρίνει αντικείμενα εξαιτίας της μη κατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας ή εξαιτίας υπερβολικών αντιθέσεων λαμπρότητας. Το ποσοστό κατά το οποίο η ένταση φωτισμού του περιβάλλοντα χώρου πρέπει να μειωθεί, για να κάνει το αντικείμενο οριακά ορατό ξανά, είναι γνωστό ως δείκτης θάμβωσης (TI) και παρέχει μια ιδεατή μέτρηση του επιπέδου της θάμβωσης. Γενικά, η τιμή του δείκτη θάμβωσης δεν πρέπει να ξεπερνά το 30%. Μελέτες έδειξαν πως το φαινόμενο αυτό απορρέει από το φως που εκπέμπεται ανάμεσα στις 70° και στον οριζόντιο άξονα. Εξαρτάται, επίσης, από την ένταση φωτισμού του δρόμου, από τη διάταξη του πόλου, το ύψος κρεμάσεως και τη θέση του παρατηρητή. Από την IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) έχουν καθοριστεί 3 τύποι θάμβωσης ανάλογα με το επίπεδο δυσκολίας της διάκρισης αντικειμένων από τον παρατηρητή λόγω του φαινομένου αυτού: την απόλυτη θάμβωση, την ψυχολογική θάμβωση ή θάμβωση ενόχλησης και την φυσιολογική θάμβωση ή θάμβωση ανικανότητας. Στόχος του σωστού φωτισμού είναι να παρέχει μια επιφάνεια δρόμου με ίδιο φωτισμό όπως φαίνεται από το χρήστη του δρόμου, μέσα στα επιτρεπτά επίπεδα θάμβωσης από το σύστημα φωτισμού.

### **7. Ανάκλαση (Reflectance):**

Ως ανάκλαση ορίζεται ο λόγος της ροής που ανακλάται από μία επιφάνεια προς τη ροή που προσπίπτει σε αυτήν την επιφάνεια.

### **8. Αντίθεση (Contrast, C):**

Με τον όρο αντίθεση εννοούμε τον καθαρό αριθμό που ορίζεται από το πηλίκο:

$$C = \frac{L1 - L2}{L1 + L2},$$

όπου L1 είναι η λαμπρότητα του σώματος στο οποίο αναφερόμαστε και L2 είναι η λαμπρότητα του περιβάλλοντος χώρου. Είναι φανερό ότι η αντίθεση μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές. Αν το περιβάλλον είναι φωτεινό (δηλαδή  $L2 > L1$ ), τότε έχουμε αρνητική αντίθεση, ενώ αν το περιβάλλον είναι σκοτεινό (δηλαδή  $L1 > L2$ ) έχουμε θετική αντίθεση.

### **2.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΔΡΟΜΩΝ**

Μια σημαντική διευκόλυνση στον υπολογισμό της λαμπρότητας κατά το σχεδιασμό μιας εγκατάστασης φωτισμού αποτελεί ένα σύστημα ταξινόμησης των επιφανειών των δρόμων ανάλογα με τις ιδιότητες ανάκλασης που παρουσιάζουν με βάση περιγραφικές παραμέτρους. Ένα τέτοιο σύστημα ταξινόμησης δίνει τη δυνατότητα για δεδομένο τύπο λαμπροτήτων να υπολογίζονται οι φωτομετρικοί παράγοντες όπως η λαμπρότητα, η ομοιομορφία της λαμπρότητας και ο περιορισμός της θάμβωσης, καλύπτοντας όλες τις στεγνές επιφάνειες του δρόμου. Ένα σύστημα κατάταξης των επιφανειών των δρόμων σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (CIE) ομαδοποιεί τις διάφορες επιφάνειες ανάλογα με την τιμή του κατοπτρικού συντελεστή S1 [3]. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα όρια κάθε κατηγορίας στο σύστημα κατάταξης στεγνών οδοστρωμάτων R.

| Κατηγορία | Πίνακας προτύπων τιμών | Όρια S1               | Τιμές Q <sub>0</sub> | Είδος ανακλάσεως |
|-----------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|
| RI        | R1                     | $S1 < 0,42$           | 0,10                 | Διάχυτος         |
| RII       | R2                     | $0,42 \leq S1 < 0,85$ | 0,07                 | Ελαφρώς διάχυτος |
| RIII      | R3                     | $0,85 \leq S1 < 1,35$ | 0,07                 | Ελαφρώς κανονική |
| RIV       | R4                     | $1,35 \leq S1$        | 0,08                 | Κανονική         |

**Πίνακας 2-1** Πίνακας ταξινόμησης επιφανειών δρόμου σύμφωνα με τη CIE

Ένα άλλο σύστημα κατάταξης των επιφανειών των δρόμων σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (CIE) ομαδοποιεί τις διάφορες επιφάνειες ανάλογα με την τιμή του κατοπτρικού συντελεστή S1 όπως αυτός ορίζεται στις δημοσιεύσεις της CIE CIE66-1984: Road Surfaces and Lighting [4]. Επιφάνειες δρόμου με τιμές μικρότερες του 0.4 ανήκουν στην πρώτη κλάση (CI), ενώ οι επιφάνειες με τιμές ίσες ή μεγαλύτερες από 0.4 ανήκουν στη δεύτερη κλάση (CII).

## **2.4 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ**

Το φως που παράγεται από τους λαμπτήρες μπορεί να κατευθυνθεί προς το οδόστρωμα με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Με κατανομή ακτινοβολιών σε μία κατεύθυνση (unidirectional)
- Με κατανομή ακτινοβολιών σε δύο κατευθύνσεις (bidirectional)

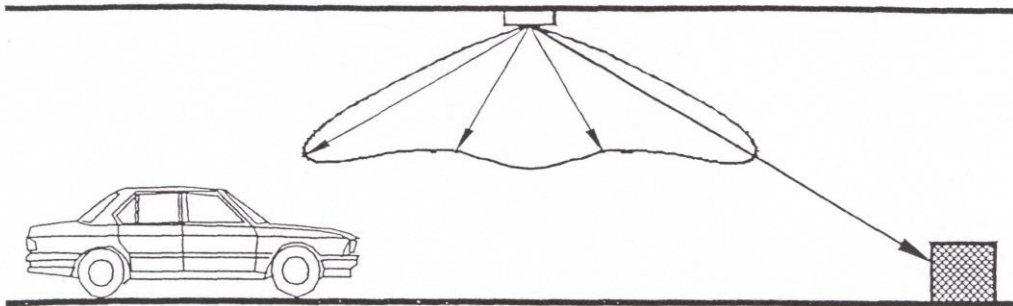
Ειδικότερα και σχετικά με τα συστήματα φωτισμού κατανομής ακτινοβολιών σε μία κατεύθυνση αναφέρεται ότι μπορούν: α) να έχουν την ίδια κατεύθυνση με την κίνηση των οχημάτων ή β) να κατευθύνονται αντίθετα από αυτήν, με κατεύθυνση προς τον οδηγό.

Όταν η κατεύθυνση ακτινοβολιών και κίνησης οχημάτων είναι ίδια, όλα τα αντικείμενα εμφανίζονται στον οδηγό φωτεινά σε ένα σκοτεινό περιβάλλον. Επιπροσθέτως, η χρήση των προβολέων των οχημάτων αυξάνει την ορατότητα, καθώς τα αντικείμενα εμφανίζονται ακόμη πιο φωτεινά σε σχέση με το περιβάλλον τους.

Αντίθετα, στο σύστημα μονής κατεύθυνσης της ακτινοβολίας προς τον οδηγό, ο συντελεστής ανάκλασης της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι κατά πολύ υψηλότερος από αυτόν του προαναφερθέντος συστήματος. Επίσης, αυξάνοντας την κατακόρυφη γωνία ακτινοβολίας επιτυγχάνεται πιο αποτελεσματική παραγωγή λαμπρότητας. Έτσι, για κατακόρυφη γωνία ακτινοβολίας  $80^\circ$  η δυνατότητα παραγωγής λαμπρότητας είναι 10 φορές μεγαλύτερη της αντίστοιχης του συστήματος με κατεύθυνση ίδια με αυτή της κίνησης των οχημάτων.

Σχετικά με τα συστήματα φωτισμού κατανομής ακτινοβολιών σε μία κατεύθυνση αναφέρονται τα εξής:

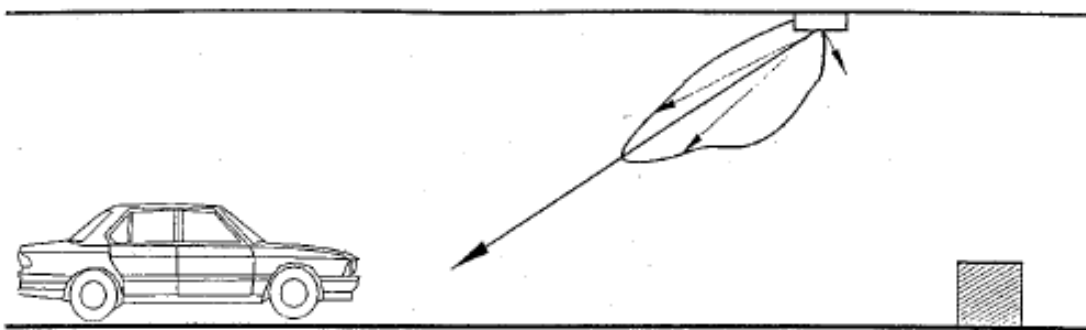
Τα συστήματα κατανομής ακτινοβολιών σε δύο κατευθύνσεις διαχωρίζονται σε συμμετρικά συστήματα (symmetric lighting) και ασύμμετρα συστήματα. Τα συμμετρικά συστήματα φωτισμού μπορούν να θεωρηθούν ως συμβατικός φωτισμός δρόμων. Υπάρχει μια σημαντική διεθνής εμπειρία γι' αυτόν τον τύπο κατανομής και είναι στις περισσότερες χώρες το προτιμότερο σύστημα φωτισμού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με όλους τους τύπους λαμπτήρων.



**Εικόνα 2-1** Συμμετρικό σύστημα φωτισμού

Ανάλογα με την ανακλαστικότητα του αντικειμένου που βρίσκεται μπροστά, αυτό γίνεται ορατό είτε ως ένα σκοτεινό αντικείμενο σε ένα φωτεινό περιβάλλον (αρνητική αντίθεση), είτε ως φωτεινό αντικείμενο σε σκοτεινό περιβάλλον (θετική αντίθεση). Παρόλα αυτά αντικείμενα με ανακλαστικότητα που κυμαίνεται από 0,35 έως 0,45 χαρακτηρίζονται από μια αντίθεση μεταξύ των τιμών  $-0,2$  και  $+0,2$ , οι οποίες είναι κάτω από την κρίσιμη τιμή αντίθεσης για την ορατότητα. Σε αυτήν την περίπτωση το αντικείμενο είναι διακριτό στο περιβάλλον λαμπρότητας του οδοστρώματος. Στην πράξη τα αντικείμενα είναι πιο πολύπλοκα, με καμπύλες, διαφορετική υφή και γυαλιστερές επιφάνειες. Κάτω από αυτές τις πραγματικές συνθήκες είναι πιθανό τουλάχιστον ένα τμήμα του αντικειμένου να έχει επαρκή αντίθεση λαμπρότητας για να γίνει ορατό από τον οδηγό.

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 αυτή της κυκλοφορίας (pro-beam lighting).



**Εικόνα 2-2** Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού

Συνήθως με τη χρήση του όπου ασύμμετρος εννοούμε το φωτισμό κατά τον οποίο το φως κατευθύνεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην αντίθετη προς τη ροή των οχημάτων κατεύθυνση. Η μέθοδος αυτή φωτισμού προέρχεται από την Ελβετία και χρησιμοποιείται συχνά σε Γερμανία, Αυστρία, Γαλλία, Ιταλία και Ολλανδία λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων που το χαρακτηρίζουν.

## **2.5 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΟΔΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ – ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ**

Ο οδικός φωτισμός πρέπει να περιέχει ασφάλεια και άνεση σε κάθε χρήστη του δρόμου. Πιο συγκεκριμένα ο χρήστης της οδού θα πρέπει να μπορεί να βλέπει τη μορφή του δρόμου, να εντοπίζει και να αναγνωρίζει εγκαίρως και με βεβαιότητα κάθε ειδική σήμανση και κάθε εμπόδιο. Σύμφωνα με τις συστάσεις της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού (CIE 115-1995) τα θεμελιώδη κριτήρια ποιότητας για καλή εφαρμογή οδικού φωτισμού είναι:

- Η μέση λαμπρότητα
- Η ομοιομορφία λαμπρότητας
- Ο περιορισμός της θάμβωσης
- Ο φωτισμός του περιβάλλοντος χώρου
- Η οπτική καθοδήγηση

Ανάλογα με την κατάσταση και το ρόλο του δρόμου διαμορφώθηκαν κλάσεις

φωτισμού, οι οποίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

| Περιγραφή του δρόμου  | Κλάση Φωτισμού                |
|---|-------------------------------|
| <p>Δρόμοι ταχείας κυκλοφορίας με διαχωρισμένα οδοστρώματα, χωρίς ισόπεδες διασταυρώσεις και με ολοκληρωμένο έλεγχο προσέγγισης: Αυτοκινητόδρομοι. Πυκνότητα και πολυπλοκότητα κυκλοφορίας:</p> <p>Υψηλή</p> <p>Μέση</p> <p>Χαμηλή</p> | <p>M1</p> <p>M2</p> <p>M3</p> |
| <p>Δρόμοι ταχείας κυκλοφορίας, με διπλό κατάστρωμα οδού. Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός των διαφορετικών χρηστών της οδού:</p> <p>Χαμηλός</p> <p>Καλός</p>   | <p>M1</p> <p>M2</p>           |
| <p>Σημαντικές αστικές αρτηρίες, δρόμοι διανομής της κυκλοφορίας.</p>  |                               |

|   |                     |
|---|---------------------|
| <p>Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός των διαφορετικών χρηστών της οδού:</p> <p>Χαμηλός</p> <p>Καλός</p>   | <p>M2</p> <p>M3</p> |
| <p>Συνδετήριες, μικρότερης σημασίας οδοί, συλλέκτριες οδοί, τοπικοί οδοί.</p> <p>Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός των διαφορετικών χρηστών της οδού:</p> <p>Χαμηλός</p> <p>Καλός</p> | <p>M4</p> <p>M5</p> |

**Πίνακας 2-2** Πίνακας επεξήγησης κλάσεων φωτισμού σύμφωνα με τη CIE

Η πολυπλοκότητα της μορφής του δρόμου αναφέρεται στην κατασκευή, στις επιτρεπόμενες κινήσεις κυκλοφορίας και στον περιβάλλοντα χώρο. Παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

- Ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας και η κλάση του δρόμου
- Η σήμανση
- Οι κόμβοι εισόδου-εξόδου

Ο έλεγχος της κυκλοφορίας αναφέρεται στην παρουσία σήμανσης και σηματοδότησης και στην ύπαρξη ρύθμισης. Μέθοδοι ελέγχου είναι: οι σηματοδότες, οι κανόνες προτεραιότητας, η σήμανση και η διαγράμμιση του δρόμου. Όπου τα παραπάνω απουσιάζουν ή είναι αραιά τότε ο έλεγχος της κυκλοφορίας θεωρείται χαμηλός και το αντίθετο.

Ο διαχωρισμός μπορεί να είναι μέσω του περιορισμού της χρήσης από κάποιους τύπους κυκλοφορίας ή με τον καθορισμό των λωρίδων για κάθε κίνηση. Όταν υπάρχει διαχωρισμός μπορεί να θεωρηθεί μικρό επίπεδο φωτισμού.

Διάφοροι τύποι χρηστών της οδού είναι για παράδειγμα, Ι.Χ. επιβατικά, φορτηγά, λεωφορεία, μηχανοκίνητα δίκυκλα, ποδήλατα, πεζοί.

Οι απαιτήσεις φωτισμού τώρα για τη μηχανοκίνητη κυκλοφορία δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

| Κλάση φωτισμού | Έκταση Εφαρμογής                                 |  |                             |  |  |
|----------------|--|--|-----------------------------|--|--|
|                | Όλοι οι δρόμοι                                   | Όλοι οι δρόμοι                             | Όλοι οι δρόμοι              | Δρόμοι με λίγες ή χωρίς διασταυρώσεις      | Δρόμοι με διαβάσεις πεζών                        |
|                | Μέση λαμπρότητα $L_{av}(cd/m^2)$ (ελάχιστη τιμή) | Συνολική ομοιομορφία $U_0$ (ελάχιστη τιμή) | ΤΙ(%) Μέγιστη (αρχική τιμή) | Διαμήκης ομοιομορφία $U_1$ (ελάχιστη τιμή) | Λαμπρότητα περιβάλλοντα χώρου SR (ελάχιστη τιμή) |
| 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                          | ND   | ND   |
| M5             | 0,5  | 0,4  | 15                          | ND   | ND   |
| M6             | 0,3  | 0,35                                       | 15                          | ND   | ND   |

**Πίνακας 2-3** Προδιαγραφές της κάθε κλάσης φωτισμού σύμφωνα με τη CIE

όπου ND (=Not Defined) σημαίνει ότι δεν έχουν εφαρμογή οι συγκεκριμένες παράμετροι σε αυτήν την κλάση φωτισμού.

Για διευκόλυνση, αλλά και τυποποίηση των μελετών των διαφόρων δρόμων, έχει γίνει διάκριση αυτών σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

Αυτοκινητόδρομοι ή εθνικοί δρόμοι: Λόγω των μεγάλων ταχυτήτων είναι απαραίτητος ο καλός φωτισμός για την ασφαλή οδήγηση.

Δρόμοι πόλεων: Πρέπει να διασφαλίζεται φωτισμός τέτοιος ώστε να γίνονται αντιληπτοί οι πεζοί, τα σταυροδρόμια και τα εμπόδια.

Τοπικοί δρόμοι: Λόγω της περιορισμένης κίνησης αρκεί ο φωτισμός να εξασφαλίζει τον εύκολο εντοπισμό των ορίων του δρόμου, σταυροδρομιών, πεζών και εμποδίων.

Φωτισμός ειδικών θέσεων: Ο φωτισμός στα σημεία αυτά θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι σημάνσεις κινδύνου, πληρωμής διοδίων, διασταύρωσης και έργων να γίνονται αντιληπτές από αρκετά μεγάλη απόσταση.

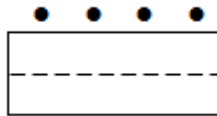
Από τα ανωτέρω γίνεται φανερό ότι για κάθε μελέτη φωτισμού δρόμων απαιτείται να γνωρίζουμε το μέγεθος της κυκλοφορίας του δρόμου, το πλάτος του και τις ιδιαιτερότητες του δρόμου

## **2.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ**

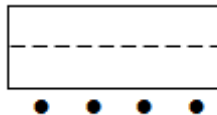
### **2.6.1 Θέσεις ιστών φωτισμού**

Η διάταξη των φωτιστικών μπορεί να είναι μια από τις ακόλουθες [5]:

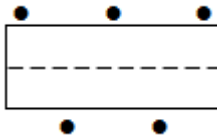
Μονόπλευρη εξ αριστερών:



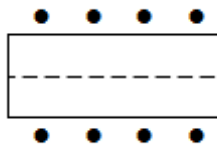
Μονόπλευρη εκ δεξιών:



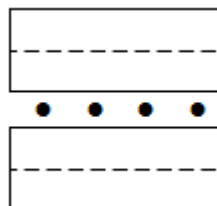
Χιαστί:



Αμφίπλευρη:



Αξονική:





### **2.6.2 Ύψος ιστών**

Ο καθορισμός του κατάλληλου ιστού φωτισμού είναι σημαντικός για την ορθή λειτουργία του συστήματος, αφού ανάλογα με το ύψος του έχουμε αύξηση ή μείωση της αποτελεσματικότητας του φωτιστικού. Αυξάνοντας το ύψος του ιστού μπορεί, αλλά όχι απαραίτητα, να μειωθεί η ανεπιθύμητη θάμβωση και να καλυφθεί η φωτεινότητα. Μάλιστα, με την αύξηση του ύψους του ιστού επιτρέπεται μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των ιστών φωτισμού. Γενικά το ύψος των ιστών είναι περίπου ίσο με το πλάτος του δρόμου και συνήθως κυμαίνεται από 7m έως 12m. Το ύψος των 10m είναι αυτό που ενδείκνυται για την πλειοψηφία των δρόμων, ενώ αυτό των 12 m κυρίως για πλατύς και μεγάλης κυκλοφορίας δρόμους, όπως είναι οι κύριες οδοί μεταξύ δύο πόλεων.

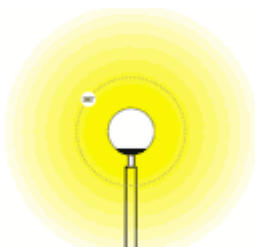
### **2.6.3 Απόσταση φωτιστικών**

Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών συχνά επηρεάζεται από την θέση των χρησιμοποιούμενων πόλων, την διαθέσιμη περιοχή και τη γεωμετρία του δρόμου.

### **2.6.4 Φωτιστικά σώματα**

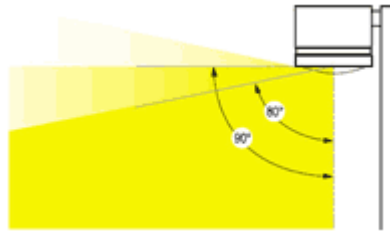
Το φωτιστικό σώμα είναι ο εξοπλισμός που περιέχει τον λαμπτήρα και είναι σχεδιασμένα για να ελέγχουν την διάχυση του φωτός του. Ακόμα, αποτελεί τη σύνδεση του λαμπτήρα με την τροφοδοσία ηλεκτρισμού και τον προστατεύει από μηχανικές κακώσεις. Το σχήμα του φωτιστικού και η μεθοδολογία κατασκευής του σχετίζονται με το σχήμα του λαμπτήρα και με την χρήση για την οποία προορίζονται. Υπάρχουν τέσσερα είδη φωτιστικών που παρέχουν διαφορετικές γωνίες ελέγχου διάχυσης του φωτός [6]:

**Φωτιστικά Non-cutoff:** Αποτελούν το λιγότερο αποδοτικό τρόπο για να φωτιστεί το έδαφος καθώς επιτρέπουν την διάχυση του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις. Γι' αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό των δρόμων.



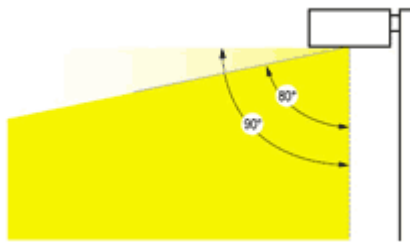
**Εικόνα 2-3** Φωτιστικό Non-cutoff

**Φωτιστικά Semi-cutoff:** Επιτρέπουν το φως να διαχυθεί κάτω από το επίπεδο των 90°, ενώ ένα ποσοστό (έως 5%) διαχέεται πάνω από το επίπεδο των 90°. Γενικά, χρησιμοποιούνται συχνά σε φωτισμούς δρόμων.



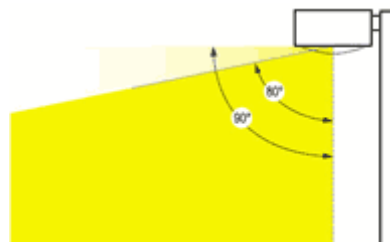
Εικόνα 2-4 Φωτιστικό Semi-cutoff

Φωτιστικά Full-cutoff: Κατευθύνουν το φως προς το έδαφος, κάτω από το φωτιστικό μόνο και δεν επιτρέπουν την διάχυση φωτός άνω του επιπέδου των 90°.



Εικόνα 2-5 Φωτιστικό Full-cutoff

Φωτιστικά Cutoff: Επιτρέπουν πολύ μικρό ποσοστό φωτός να διαφύγει πάνω από το φωτιστικό. Συγκεκριμένα, λιγότερο από 2,5% του φωτός διαφεύγει πάνω από το επίπεδο των 90°.



Εικόνα 2-6 Φωτιστικό Cutoff

### **2.6.5 Λόγος φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου (SR)**

Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη κατά την πολύπλοκη διαδικασία σχεδιασμού της εγκατάστασης φωτισμού. Αναφέρεται στην ικανότητα των οδηγών και των πεζών να διακρίνουν αντικείμενα και ανθρώπους παραπλεύρως του δρόμου. Η τιμή του πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,5 για τις περισσότερες κλάσεις φωτισμού.

### **2.6.6 Διασταυρώσεις δρόμων**

Οι διασταυρώσεις αποτελούν πιθανά μέρη για ατυχήματα και γι' αυτό το λόγο ο φωτισμός τους θα πρέπει να είναι πολύ προσεγμένος έτσι ώστε να προειδοποιεί τον οδηγό που πλησιάζει την διασταύρωση και να αποκαλύπτει

έκτακτα προβλήματα οδικής κίνησης. Επίσης, οι ιστοί φωτισμού θα πρέπει να είναι προσεχτικά τοποθετημένοι έτσι ώστε να μην εμποδίζουν την ορατότητα.

### **2.6.7 Επιφάνεια δρόμου**

Οι τιμές της έντασης φωτισμού και της λαμπρότητας στην επιφάνεια του δρόμου, με την οποία ασχολούμαστε και στην παρούσα εργασία, εξαρτώνται από το προσπίπτον φως και τις αντανακλαστικές ιδιότητες της επιφάνειας του δρόμου. Με τον όρο αντανακλαστικές ιδιότητες αναφερόμαστε στην ολική αντανάκλαση, αλλά και στην κατοπτρική ανάκλαση σε διάφορες γωνίες. Η ολική ανάκλαση είναι κυρίως καθορισμένη από το χρώμα τις ανακλαστικές ιδιότητες του οδοστρώματος.

## **2.7 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ**

Σκοπός του φωτισμού σήραγγας είναι να εξασφαλίσει την είσοδο των αυτοκινήτων στη σήραγγα, τη διέλευσή τους μέσα από αυτή και την έξοδό τους με ασφάλεια χωρίς την παρεμπόδιση της ροής των αυτοκινήτων [7]. Αυτό επιτυγχάνεται με τον επαρκή φωτισμό του εσωτερικού της σήραγγας που επιτρέπει την γρήγορη προσαρμογή των οδηγών στον εσωτερικό φωτισμό, την αναγνώριση πιθανών εμποδίων και τη διέλευση χωρίς τη μείωση της ταχύτητας.

Ο φωτισμός της σήραγγας, σε αντίθεση με το φωτισμό των οδών, είναι περισσότερο κρίσιμος κατά τη διάρκεια της ημέρας, λόγω του ότι το οπτικό σύστημα του ανθρώπου δεν μπορεί αυτόματα να αναγνωρίζει τις διάφορες λεπτομέρειες στο χώρο κάτω από επίπεδα φωτεινότητας τόσο διαφορετικά. Πιο συγκεκριμένα σε φωτεινές ημέρες υπάρχει μία μεγάλη διαφορά μεταξύ του επιπέδου της εξωτερικής και της εσωτερικής λαμπρότητας της τάξεως του 100 προς 1, γεγονός που απαιτεί από τον οδηγό ένα σημαντικό οπτικό έργο για την προσαρμογή του ματιού του σε αυτές τις ξαφνικές και μεγάλες αλλαγές φωτός. Έτσι, ένα σύστημα φωτισμού μιας σήραγγας απαιτείται να λειτουργεί στο μέγιστο του κατά τη διάρκεια της ημέρας και να αντιδρά προοδευτικά στις αλλαγές των επιπέδων του φωτός του εξωτερικού περιβάλλοντος της σήραγγας. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, ο φωτισμός της σήραγγας καλείται να μειώσει σημαντικά την διαφορά μεταξύ των επιπέδων λαμπρότητας έξω και μέσα στη σήραγγα, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο στον οδηγό επαρκές χρονικό διάστημα το οποίο εξαρτάται από τη διαφορά αυτή ώστε να προσαρμοστεί στο περιβάλλον της σήραγγας. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των επιπέδων λαμπρότητας τόσο μεγαλύτερη απόσταση απαιτείται ώστε το οπτικό σύστημα του οδηγού να είναι σε θέση να μειώσει την ευαισθησία. Οι καλές συνθήκες ορατότητας που πρέπει να δημιουργηθούν στην είσοδο της σήραγγας εξαρτώνται τόσο από την επαρκή αντίθεση λαμπρότητας μεταξύ αντικειμένων και του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνονται ορατά, αλλά όσο και από την παροχή

σημαντικά υψηλής λαμπρότητας του δρόμου στην είσοδο για την αντιστάθμιση του φαινομένου της μαύρης τρύπας.

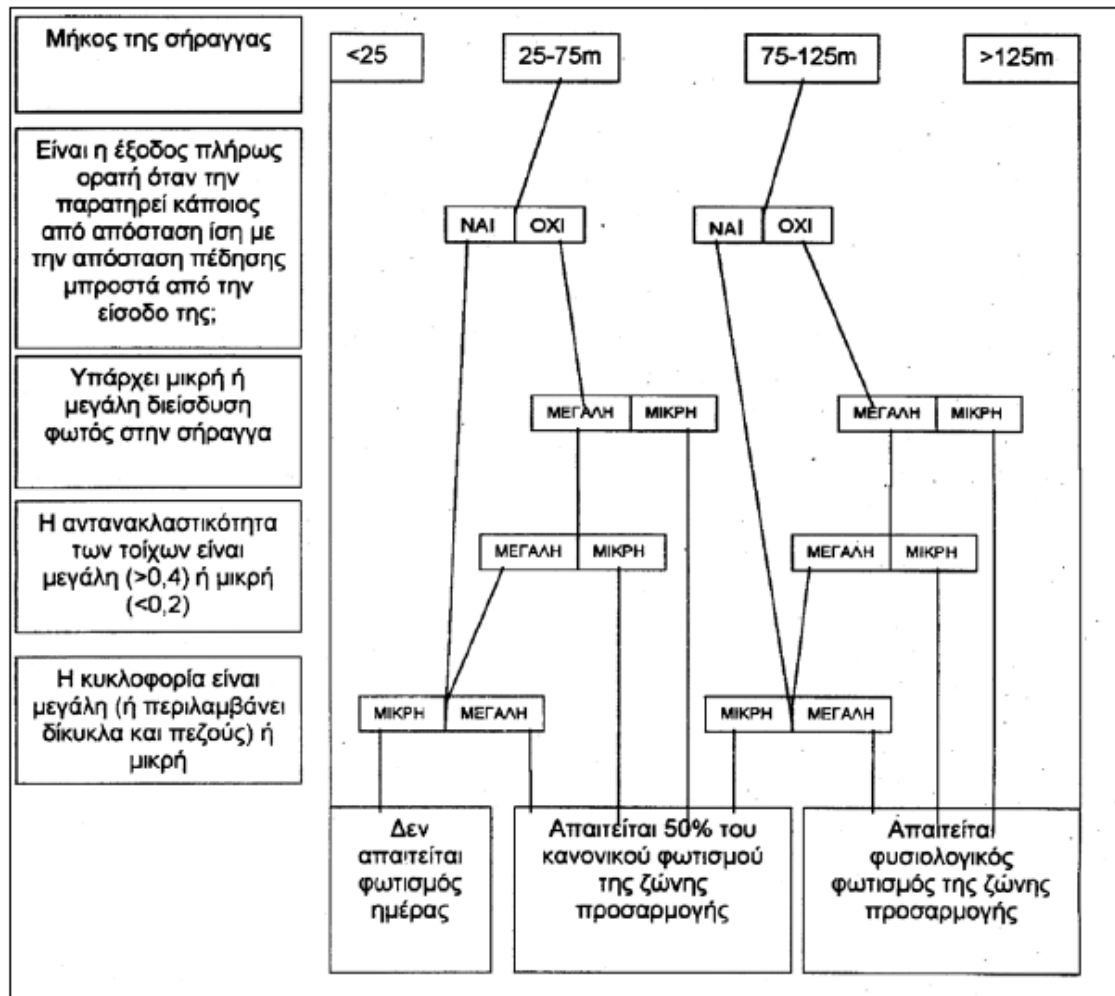
Σύμφωνα με τα πρότυπα της CIE υπάρχουν πέντε ζώνες φωτισμού: η ζώνη προσέγγισης, η ζώνη κατωφλίου, η μεταβατική ζώνη, η εσωτερική ζώνη και η ζώνη εξόδου. Τα επίπεδα φωτισμού και το μήκος της καθεμίας ζώνης εξαιρουμένης της ζώνης προσέγγισης εξαρτώνται από τους πέντε παρακάτω παράγοντες:

- ταχύτητα κυκλοφορίας
- αριθμός (ροή) αυτοκινήτων
- μήκος σήραγγας
- επίπεδα εξωτερικού φωτισμού
- γεωγραφικός προσανατολισμός

### **2.7.1 Ταξινόμηση σηράγγων**

Οι σήραγγες ταξινομούνται γενικά σε μακριές και κοντές σήραγγες. Μια σήραγγα χαρακτηρίζεται μακριά όταν ανεξάρτητα από το μέγεθος της 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. Στη κοντή σήραγγα από τη ζώνη προσέγγισης είναι ορατά τα εμπόδια στην έξοδο κατά την ημέρα.

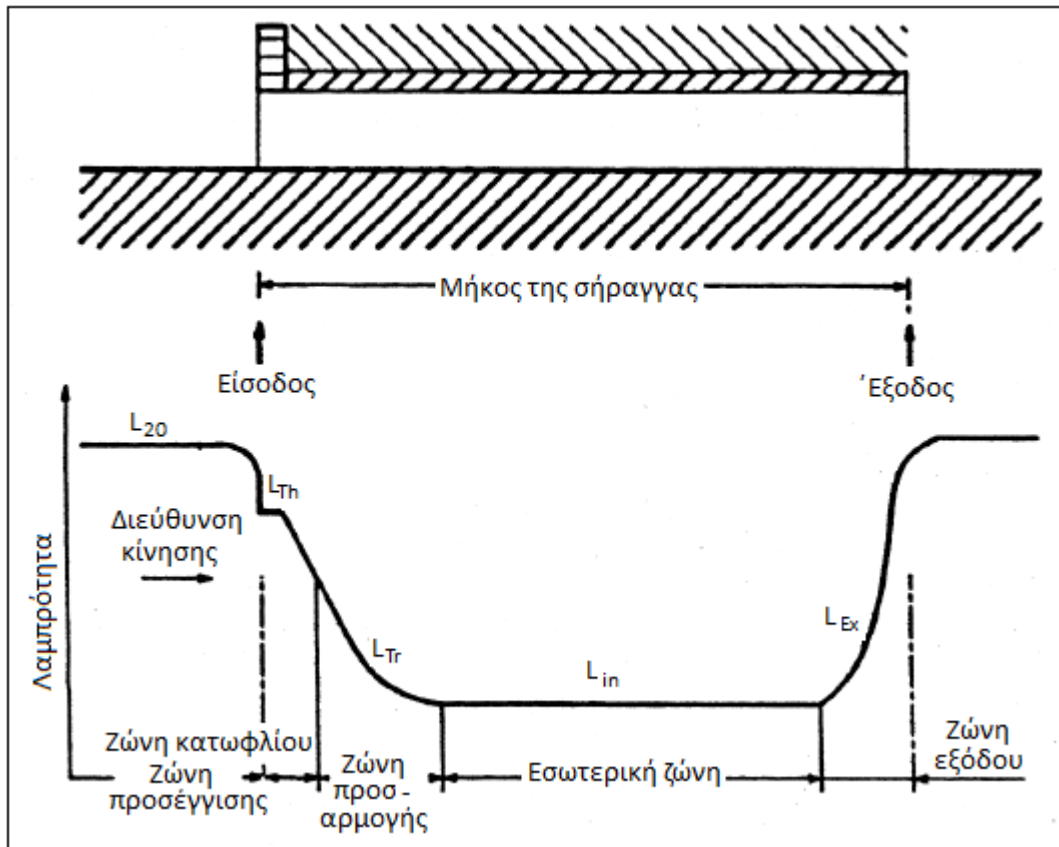
Ανάλογα με το αν μία σήραγγα είναι μακριά ή κοντή καθορίζεται και η απαίτηση για φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Γενικά μία σήραγγα ή υπόγεια διάβαση δεν απαιτεί επιπλέον φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας αν η έξοδος καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος του πεδίου όρασης, από απόσταση ίση με την απόσταση πεδύσεως από την είσοδο. Στο σχήμα που ακολουθεί παρακάτω παρουσιάζονται οι διάφορες παράμετροι και η επίδραση τους στην απαίτηση για ημερήσιο φωτισμό:



Εικόνα 2-7 Φωτισμός ημέρας συναρτήσεσι του μήκους των σηράγγων

### 2.7.2 Ζώνες σηράγγων

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται σχηματικά οι πέντε ζώνες της σηράγγας και στη συνέχεια ακολουθεί περιγραφή της κάθε μίας ζώνης ξεχωριστά:



Εικόνα 2-8 Τυπική κατά μήκος τομή σήραγγας μιας κατεύθυνσης

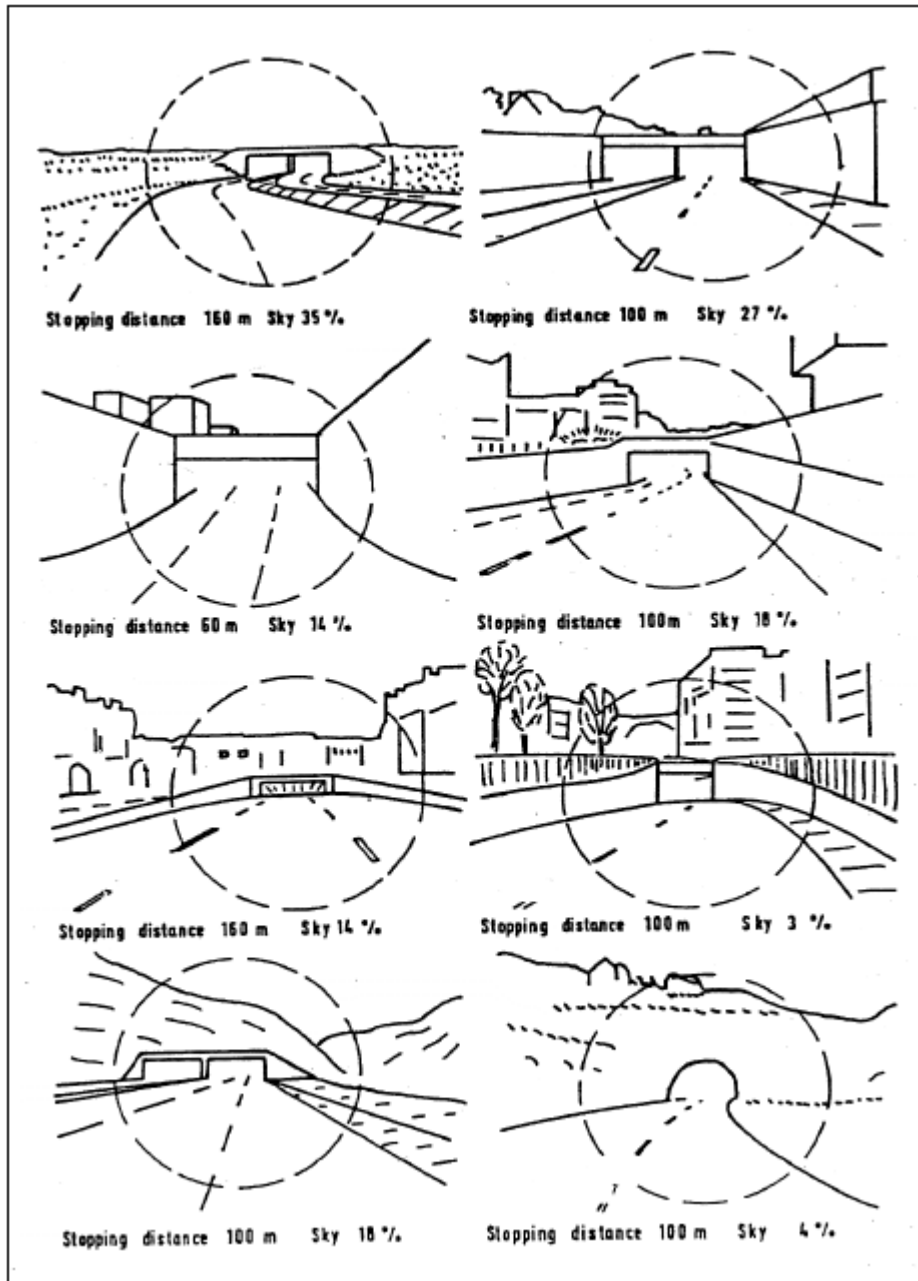
### 2.7.2.1 Ζώνη προσεγγίσεως (Access zone)

Είναι το τμήμα του δρόμου πριν από την είσοδο της σήραγγας, κατά την κατεύθυνση της κυκλοφορίας, όπου πρέπει να δίνεται η δυνατότητα στον οδηγό που προσεγγίζει τη σήραग्γα, να βλέπει ευκρινώς το εσωτερικό αυτής, τα αντικείμενα που βρίσκονται στο δρόμο, σε απόσταση τουλάχιστον ίση με αυτή της ασφαλούς πεδήσεως του οχήματος.

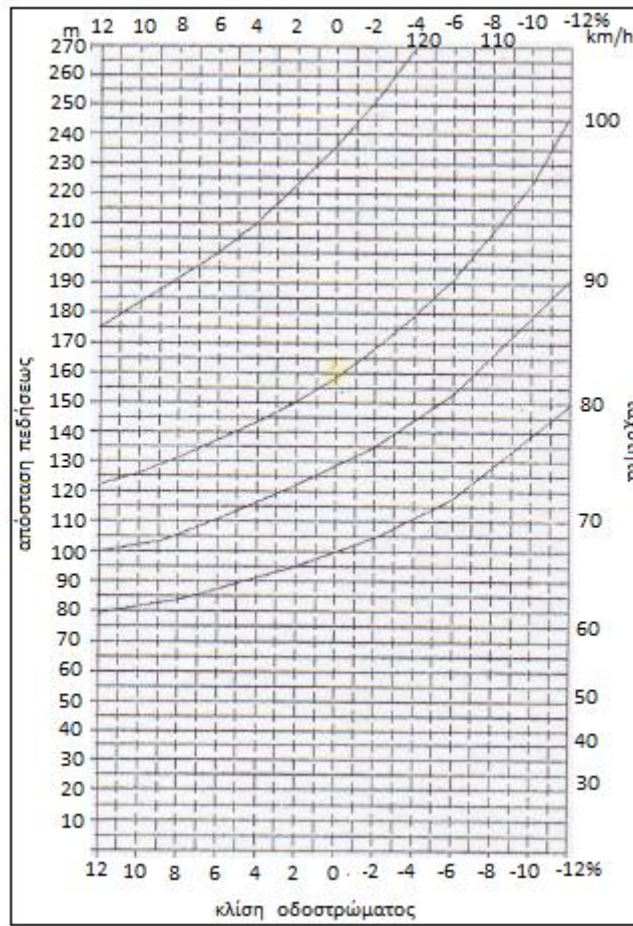
Γι' αυτό το λόγο πρέπει ο φωτισμός της επόμενης ζώνης, της ζώνης κατωφλίου της σήραγγας να είναι επαρκής και να μη μειώνεται η αντίθεση λαμπρότητας των αντικειμένων από το φυσικό φως.

Η ζώνη προσεγγίσεως χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης λαμπρότητας του οδοστρώματος αμέσως μετά την είσοδο στη σήραग्γα. Η απαιτούμενη λαμπρότητα στη ζώνη προσεγγίσεως καθορίζεται από τη μέση λαμπρότητα που περιέχεται στο κωνικό πεδίο ανοίγματος  $20^\circ$  με κορυφή το μάτι του οδηγού, με κέντρο βρισκόμενο σε ύψος ενός τετάρτου του ύψους της εισόδου της σήραγγας, συμβολίζεται με  $L_{20}$  και ονομάζεται λαμπρότητα ζώνης προσεγγίσεως.

Η λαμπρότητα  $L_{20}$  προσδιορίζεται με μετρήσεις. Όταν, όμως, η σήραγγα δεν έχει κατασκευαστεί, γίνεται εκτίμηση βάσει της οδηγίας CIE 99-1990, από τα δύο παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 2-9 Βοηθητικά σκίτσα για τον υπολογισμό της λαμπρότητας  $L_{20}$



Εικόνα 2-10 Διάγραμμα της απόστασης πεδήσεως κατά DIN 67524

### 2.7.2.2 Ζώνη κατωφλίου (Threshold zone)

Η ζώνη που αρχίζει από την είσοδο της σήραγγας και εκτείνεται σε μήκος ίσο με το μήκος πέδησης του οχήματος στη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα, μέσα στη σήραγγα, ονομάζεται ζώνη κατωφλίου (Threshold zone).

Ο οδηγός πριν ακόμα εισέλθει στη σήραγγα, δηλαδή με τα μάτια προσαρμοσμένα σε μεγάλες φωτεινότητες, θα πρέπει να διακρίνει τα αντικείμενα που βρίσκονται μέσα σε αυτή. Η λαμπρότητα στο πρώτο μισό τμήμα αυτής της ζώνης θα πρέπει να παραμένει σταθερή και προσδιορίζεται από το συντελεστή  $k$ , δηλαδή το λόγο της λαμπρότητας της ζώνης κατωφλίου προς τη λαμπρότητα της

ζώνης προσεγγίσεως  $k = \frac{L_{th}}{L_{20}}$ .

Μετά το ήμισυ της ζώνης κατωφλίου η λαμπρότητα μπορεί να μειωθεί σταδιακά μέχρι το τέλος της απόστασης πεδήσεως στο 40% της αρχικής λαμπρότητας. Ο συντελεστής  $k$  λαμβάνεται από τον ακόλουθο πίνακα της CIE 88-90 και εξαρτάται από το εφαρμοζόμενο σύστημα φωτισμού (συμμετρικό ή ασύμμετρο) και από την απόσταση ασφαλούς πεδήσεως.



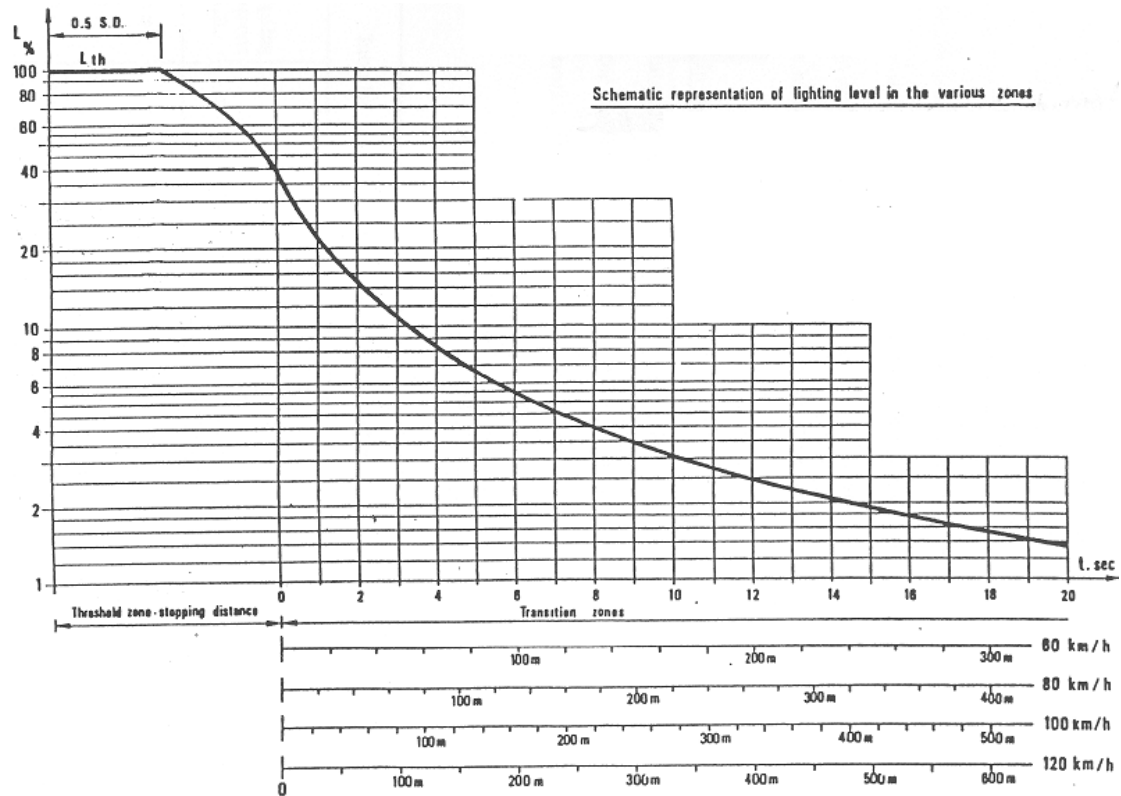
|                                | Συμμετρικό Σύστημα Φωτισμού | Ασύμμετρο Σύστημα Φωτισμού  |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Απόσταση ασφαλούς πεδήσεως (m) | $k = \frac{L_{th}}{L_{20}}$ | $k = \frac{L_{th}}{L_{20}}$ |
| 60                             | 0,05                        | 0,04                        |
| 100                            | 0,06                        | 0,05                        |
| 160                            | 0,10                        | 0,07                        |

Πίνακας 2-3 Λαμπρότητα που συνιστάται για εσωτερικές ζώνες σύμφωνα με την κυκλοφοριακή ροή

### **2.7.2.3 Μεταβατική ζώνη (προσαρμογής) (Transition zone)**

Είναι η ζώνη αμέσως μετά το τέλος της ζώνης κατωφλίου και μέχρι την εσωτερική ζώνη. Στη ζώνη αυτή τα μάτια του οδηγού πρέπει να προσαρμοστούν από την φωτεινότητα της προηγούμενης ζώνης στην φωτεινότητα της επόμενης ζώνης.

Ο προσδιορισμός του μήκους αλλά και της λαμπρότητας αυτής της ζώνης γίνεται γραφικά από το διάγραμμα Schreuder, που παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 2-11 Διάγραμμα Schreuder

**2.7.2.4 Κεντρική ζώνη (εσωτερική) (Interior zone)**

Είναι το κύριο τμήμα της σήραγγας, στο οποίο έχει ήδη γίνει η προσαρμογή των οφθαλμών του οδηγού σε χαμηλά επίπεδα λαμπρότητας. Η λαμπρότητα στη ζώνη αυτή παραμένει σταθερή σε όλο το μήκος της και εξαρτάται από την απόσταση ασφαλούς πεδήσεως και την πυκνότητα κυκλοφορίας. Ο αντίστοιχος πίνακας υπολογισμού ακολουθεί:

| Απόσταση ασφαλούς πεδήσεως (m) | Πυκνότητα Κυκλοφορίας   |   |                         |
|--------------------------------|-------------------------|---|-------------------------|
|                                | Χαμηλή<br>≤100 οχήμ/ώρα | Μέση<br>>100 οχήμ/ώρα<br><1000 οχήμ/ώρα | Υψηλή<br>≥1000 οχήμ/ώρα |
| 160                            | 5                       | 10                                      | 15                      |
| 100                            | 2                       | 4                                       | 6                       |
| 60                             | 1                       | 2                                       | 3                       |

Πίνακας 2-4 Μέση συνιστώμενη λαμπρότητα εσωτερικής ζώνης cd/m<sup>2</sup>

### **2.7.2.5 Ζώνη εξόδου (Exit zone)**

Είναι η τελευταία ζώνη πριν από την έξοδο από τη σήραγγα. Επειδή ο χρόνος προσαρμογής του ματιού σε μεγάλες λαμπρότητες (που επικρατούν στην έξοδο της σήραγγας) είναι ελάχιστος, δεν απαιτείται ειδικός φωτισμός για αυτή τη ζώνη.

Όμως, συνίσταται ο φωτισμός σε αυτή τη ζώνη για μήκος 60m να είναι πέντε φορές μεγαλύτερος από το φωτισμό στην εσωτερική ζώνη, ώστε να μειώνεται η θάμβωση που δημιουργείται στους οδηγούς από το φυσικό φως που υπάρχει στο στόμιο της σήραγγας και να διακρίνουν ευκρινέστερα τα προπορευόμενα ή τα αντιθέτως διερχόμενα αυτοκίνητα αφενός και αφετέρου, οι οδηγοί που εγκαταλείπουν τη σήραγγα να μπορούν ευκρινώς να δουν μέσα από τον καθρέπτη τους τα οχήματα που βρίσκονται πίσω από αυτούς.

Σε περίπτωση σήραγγας διπλής κατεύθυνσης, η ζώνη εξόδου για τη μια κατεύθυνση αποτελεί τη ζώνη κατωφλίου για την αντίθετη κατεύθυνση κυκλοφορίας. Σε αυτήν την περίπτωση η λαμπρότητα πρέπει και για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας να είναι ίση με τη λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου, έτσι ώστε οι εισερχόμενοι στη σήραγγα οδηγοί να διακρίνουν ευκρινώς τα αντικείμενα στην αντίθετη κατεύθυνση κυκλοφορίας.

### **2.7.3 Φωτεινή πάλμωση**

Όταν η απόσταση των φωτιστικών σωμάτων μεταξύ τους βρίσκεται εντός κάποιων ορίων, εμφανίζεται το φαινόμενο της φωτεινής πάλμωσης (flickering effect), το οποίο μειώνει τις συνθήκες άνεσης. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε συνθήκες από 2,5 Hz έως 15Hz, όπου η συχνότητα καθορίζεται από το λόγο της ταχύτητας του οχήματος δια την απόσταση των φωτιστικών. Θα πρέπει γενικώς να αποφεύγεται η τοποθέτηση των φωτιστικών σωμάτων μέσα σε αυτά τα όρια, αν και το σχέδιο του Ευρωπαϊκού προτύπου αναφέρει ότι η φωτεινή πάλμωση πρέπει να αποφεύγεται για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 20sec.

### **2.7.4 Νυχτερινός φωτισμός**

Στην περίπτωση που η σήραγγα είναι μέρος φωταγωγημένου δρόμου, και επομένως ο δρόμος εκατέρωθεν της σήραγγας φωτίζεται, η λαμπρότητα μέσα στη σήραγγα πρέπει να είναι ίση με τη λαμπρότητα εκτός σήραγγας. Συνήθως επιλέγεται λαμπρότητα νυχτερινού φωτισμού  $2\text{cd/m}^2$  ίση με τη λαμπρότητα των οδών προσπέλασης.

Αν η σήραγγα είναι μέρος ενός μη φωταγωγημένου δρόμου, 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. Αυτό επίσης εφαρμόζεται 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 μήκος τμήματος που διανύεται με την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα του οχήματος, για 10sec. Η μέση λαμπρότητα του δρόμου δεν πρέπει να είναι λιγότερη από το 1/3 της λαμπρότητας μέσα στη σήραγγα, κοντά στην έξοδο αυτής. Στην περίπτωση που στην είσοδο ή στην έξοδο της σήραγγας τοποθετηθούν πετάσματα σκίασης, το σύστημα νυχτερινού φωτισμού στο κέντρο της σήραγγας θα πρέπει να συνεχιστεί και κάτω από τα πετάσματα σκίασης.

## **2.8 ΕΙΔΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ**

Οι πηγές φωτισμού αποτελούν ουσιαστικά το πιο σημαντικό στοιχείο ενός συστήματος φωτισμού καθώς καθορίζουν στο μεγαλύτερο βαθμό την οπτική ποιότητα του φωτισμού, την οικονομία, την απόδοση και γενικά την ενεργειακή θεώρηση του εφαρμοζόμενου συστήματος φωτισμού. Ως πηγές φωτισμού σε ένα σύστημα ηλεκτροφωτισμού χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών ηλεκτρικοί λαμπτήρες. Σήμερα τα είδη των χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων είναι έξι [8]:

**Πυρακτώσεως (Incandescent):** Οι λαμπτήρες αυτού του είδους ήταν κάποτε οι πιο δημοφιλείς καθώς ήταν απλοί, φθηνοί και εύκολα εγκαταστάσιμοι. Οι λαμπτήρες αυτοί δεν χρησιμοποιούνται πλέον στις νέες εγκαταστάσεις, λόγω της χαμηλής τους απόδοσης και της μικρής χρονικής διάρκειας ζωής τους. Ωστόσο στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν ευρύτατα.

**Φθορισμού (Fluorescent):** Ομοίως, δεν χρησιμοποιούνται πλέον ούτε αυτοί σε νέες εγκαταστάσεις, εξακολουθούν ωστόσο να χρησιμοποιούνται για φωτισμό σηράγγων και πινακίδων. Το μεγάλο τους μέγεθος δυσκολεύει τον έλεγχο του φωτισμού. Οι λαμπτήρες φθορισμού απαιτούν επιπλέον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό ελέγχου της τάσης, η δε φωτεινή τους απόδοση επηρεάζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες περισσότερο από κάθε άλλο τύπο λαμπτήρα. Πλεονέκτημά τους είναι η απόδοση του φωτός τους επάνω σε βρεγμένο οδόστρωμα.

**Ατμών υδραργύρου (Mercury):** Παλαιότερα ήταν πολύ συνηθισμένοι για τον φωτισμό δρόμων μέσης και χαμηλής κυκλοφορίας και ουσιαστικά αντικατέστησαν λαμπτήρες πυράκτωσης. Το αρχικό τους κόστος είναι υψηλό και απαιτείται και η χρήση ballast, όμως η υψηλή τους απόδοση και η μεγάλη χρονική διάρκεια ζωής τους, τους κάνουν περισσότερο επιθυμητούς από τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Μια πιο βελτιωμένη εκδοχή αυτού του τύπου είναι οι λαμπτήρες με επικάλυψη φωσφόρου.

**Μεταλλικών αλογονιδίων (Metal Halide):** Ο λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων είναι ένας τύπος λαμπτήρα υδραργύρου του οποίου ο σωλήνας τόξων περιέχει συγκεκριμένα μεταλλικά αλογονίδια που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα και την απόδοση του χρώματος. Αποτελεί αναπτυσσόμενο προϊόν για δρόμους μέσης και χαμηλής κυκλοφορίας. Μειονέκτημά τους είναι, όμως, η σχετικά περιορισμένη διάρκεια ζωής.

**Νατρίου υψηλής πίεσης (High Pressure Sodium):** Οι λαμπτήρες αυτοί έχουν αντικαταστήσει τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου και συνηθίζονται σε δρόμους υψηλής και μέσης κυκλοφορίας. Είναι συνήθως χρησιμοποιούμενοι με ειδικά ballast που παρέχουν την απαιτούμενη υψηλή τάση για την έναυση του λαμπτήρα. Μερικοί κατασκευαστές παρέχουν διατάξεις με αναβαθμισμένη χρωματική απόδοση και βοηθητικούς λαμπτήρες που λειτουργούν μετά από στιγμιαίες πτώσεις τάσης, μέχρι να αποκατασταθεί ποσοστό της πλήρους λειτουργίας του κανονικού λαμπτήρα.

**Νατρίου χαμηλής πίεσης (Low Pressure Sodium):** Κύριο χαρακτηριστικό τους αποτελεί το έντονο, κιτρινωπό φως που παράγουν και στο οποίο οφείλεται και η φτωχή χρωματική απόδοση των επιφανειών. Οι λαμπτήρες αυτοί απαιτούν ειδικά ballast και αυξάνουν σε μέγεθος ως προς το υλικό τους με την αύξηση των Watt. Εξαιτίας του μεγάλου αυτού μεγέθους είναι δύσκολο να εξασφαλιστεί ένας καλός έλεγχος φωτός για ένα εύλογο μέγεθος προσαρτήματος. Χρησιμοποιούνται σε ειδικές συνθήκες όπου απαιτείται ορατότητα από μακριά, εκεί όπου οι ομίχλες είναι συχνές, σε διασταυρώσεις, σε σιδηροδρομικές γραμμές, κλπ.

Οι παράγοντες που συντελούν στην επιλογή του κατάλληλου τύπου λαμπτήρα είναι η φωτεινή απόδοση, δηλαδή ο βαθμός αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας, η ικανότητα του λαμπτήρα να διατηρεί τα φωτεινά του χαρακτηριστικά σε βάθος χρόνου, η διάρκεια ζωής, το χρώμα και η διασπορά του φωτός. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κυρίως λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης, και σε μικρότερο βαθμό νατρίου χαμηλής πίεσης και υδραργύρου, ενώ δεν αποκλείονται περιπτώσεις άλλων τύπων που απέμειναν από το παρελθόν.

# 3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

## 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, κατά το σχεδιασμό μιας εγκατάστασης φωτισμού δρόμου, είναι απαραίτητη εκτός των άλλων η μέτρηση των τιμών της έντασης φωτισμού (illuminance) και της λαμπρότητας (luminance) στην επιφάνεια του δρόμου. Οι μετρήσεις αυτές πρέπει να πραγματοποιούνται σύμφωνα με το Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201.03 και ΕΛΟΤ EN 13201.04 [9], [10]. Παρακάτω παρατίθεται ο τρόπος μέτρησης της λαμπρότητας, με τη μέτρηση της οποίας θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία, ενώ η μέτρηση της έντασης φωτισμού πραγματοποιείται με παρόμοιο τρόπο. Γενικά, η λαμπρότητα των δρόμων μπορεί να μετρηθεί είτε με χρήση λαμπρόμετρου για την απευθείας μέτρησή της, είτε με τη λήψη εικόνων του δρόμου και την εξαγωγή της τιμής της στα διάφορα σημεία του δρόμου κατόπιν από αυτές.

## 3.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

### Σταθεροποίηση του εκπεμπόμενου φωτός

Οι μη φορτισμένοι λαμπτήρες απαιτούν ένα χρονικό διάστημα για να σταθεροποιηθεί το εκπεμπόμενο φως τους. Γι' αυτό το λόγο, οι οποιοσδήποτε μετρήσεις θα πρέπει να λαμβάνονται έπειτα από την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος για να εξασφαλιστεί ότι έχει επιτευχθεί σταθερότητα στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία, και η οριστική μέτρηση να είναι ορθή.

### Κλιματικές συνθήκες

Οι κλιματικές συνθήκες θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να μην επηρεάζουν σημαντικά τις μετρήσεις. Οι χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες είναι δυνατό να επηρεάσουν θερμικά ευαίσθητες κάμερες ή την ακρίβεια των χρησιμοποιούμενων οργάνων. Η συγκέντρωση υγρασίας στις επιφάνειες εκπομπής φωτός των οργάνων ή στα ηλεκτρικά τους κυκλώματα, είναι δυνατό να επηρεάσει την ακρίβειά τους. Οι υψηλές ταχύτητες του ανέμου είναι δυνατό να οδηγήσουν σε ταλάντωση τις συσκευές φωτισμού ή να προκαλέσουν δονήσεις στα όργανα μέτρησης. Είναι, επίσης, δυνατό να μειώσουν την θερμοκρασία θερμικά ευαίσθητων λαμπτήρων, μειώνοντας έτσι και την εκπομπή φωτός τους. Ακόμα, και ελάχιστη υγρασία στην

επιφάνεια του δρόμου μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη λαμπρότητα της επιφάνειας του. Η εκπομπή φωτός της ατμόσφαιρας είναι δυνατό να επηρεάζει το φως που προσεγγίζει τη μετρούμενη επιφάνεια, και στην περίπτωση των μετρήσεων λαμπρότητας, το φως που πλησιάζει το λαμπρόμετρο από τη μετρούμενη επιφάνεια.

### Ξένο φως και παρεμπόδιση φωτός

Όταν οι μετρήσεις στοχεύουν στο να καταγράψουν μόνο την απόδοση της εγκατάστασης του φωτισμού του δρόμου, το απευθείας ή το ανακλώμενο φως από το γύρω περιβάλλον θα πρέπει να παρεμποδίζεται. Αυτό το φως μπορεί να προέρχεται από βιτρίνες καταστημάτων, διαφημιστικές ταμπέλες, σήματα κυκλοφορίας, φώτα οχημάτων, άλλες εγκαταστάσεις φωτισμού, αντανακλάσεις λόγω χιονιού παραπλεύρως του δρόμου, κλπ.

Όταν οι μετρήσεις στοχεύουν στο να καταγράψουν το φως που υπάρχει στην εγκατάσταση στο σύνολό του, χωρίς καμία παρεμπόδιση, οι μετρούμενες περιοχές θα πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να μην υπάρχει παρεμπόδιση του φωτός από διάφορα αντικείμενα τα οποία προκαλούν σκίαση. Τέτοια είναι δέντρα, παρκαρισμένα οχήματα, κλπ. Η ύπαρξη τυχόν τέτοιων εμποδίων θα πρέπει να αναφέρεται στην παρουσίαση των μετρήσεων.

### Μετρήσεις από κινούμενο όχημα

Η απόδοση του φωτός σε μια εγκατάσταση μπορεί να μετρηθεί και από ένα κινούμενο όχημα. Οι βασικές διαφορές μεταξύ στατικών και δυναμικών μετρήσεων είναι ότι:

- Ο αριθμός των μετρήσεων στην περίπτωση των δυναμικών μετρήσεων είναι μεγαλύτερος
- Οι απαιτήσεις του προτύπου EN 13201.03 σχετικά με την θέση του παρατηρητή και τα σημεία του πλέγματος (που θα αναφερθούν παρακάτω) είναι δύσκολο να ικανοποιούνται στην περίπτωση των δυναμικών μετρήσεων.

Για να έχουμε χρήσιμα και αξιόπιστα αποτελέσματα στην περίπτωση των δυναμικών μετρήσεων, θα πρέπει για κάθε μετρούμενο σημείο να είμαστε σε θέση να εντοπίσουμε την θέση του στο κράσπεδο και μαζί με τις μετρήσεις να εξηγήσουμε αναλυτικά τον τρόπο εξαγωγής αποτελεσμάτων μας. Ακόμα, οποιαδήποτε επίδραση, όπως για παράδειγμα οι σκιές των διαφόρων οχημάτων και ο ηλεκτρονικός θόρυβος που μπορεί να έχει το όχημα θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί.

### Θερμοκρασία

Θα πρέπει να γίνεται καταμέτρηση της θερμοκρασίας και μάλιστα σε ύψος ενός μέτρου πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Η καταμέτρηση πρέπει να επαναλαμβάνεται ανά 30 λεπτά.

### Όργανα

Όλα τα όργανα που λαμβάνουν μέρος στις μετρήσεις θα πρέπει να είναι σωστά διακριβωμένα (calibrated).

## **3.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ**

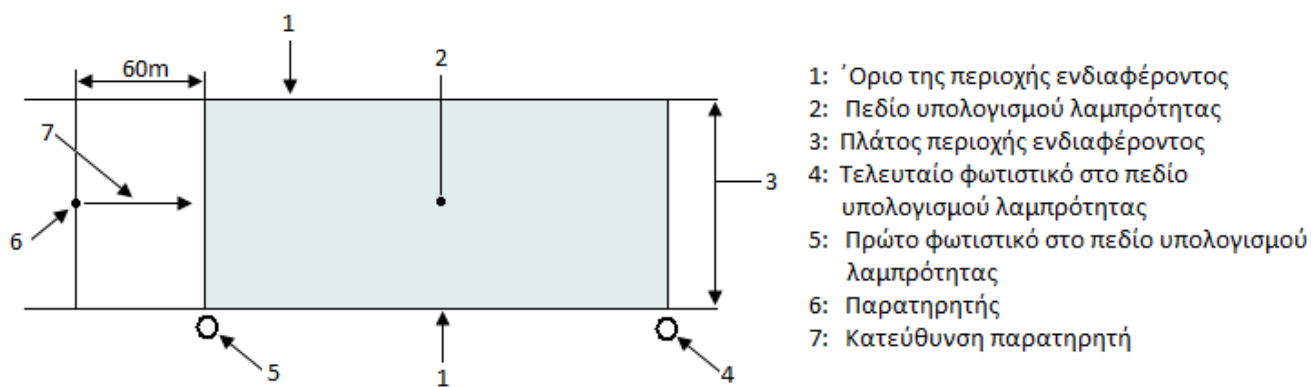
Η λαμπρότητα στο οδόστρωμα θα πρέπει να μετράται με σωστά διακριβωμένο λαμπρόμετρο του οποίου η απόδοση θα πρέπει να είναι κατάλληλη για τους σκοπούς των μετρήσεων.

Οι θέσεις των σημείων του πλέγματος θα πρέπει να υπακούουν με τα όσα προτείνει το προτύπου EN 13201.03. Αυτό είναι δυνατό να συνεπάγεται τη λήψη ενός μεγάλου αριθμού παρατηρήσεων, πράγμα που δεν είναι πάντα πρακτικό, λόγω του περιορισμού του χρόνου και άλλων παραγόντων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι δυνατό να ληφθούν λιγότερες παρατηρήσεις, πράγμα που συνεπάγεται, όμως, απώλεια στην ακρίβεια.

### Πεδίο υπολογισμού λαμπρότητας

Στη διαμήκη κατεύθυνση της περιοχής ενδιαφέροντος, το πεδίο υπολογισμού λαμπρότητας πρέπει να περιέχει δύο φωτιστικά στην σειρά, εκ των οποίων το πρώτο πρέπει να είναι τοποθετημένο 60 μέτρα μπροστά από τον παρατηρητή, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί. Όταν υπάρχουν περισσότερες από μια σειρές φωτιστικών και το διάστημα των φωτιστικών διαφέρει μεταξύ των σειρών, το πεδίο υπολογισμού λαμπρότητας πρέπει να βρίσκεται μεταξύ δύο φωτιστικών στη γραμμή με το μεγαλύτερο διάστημα.

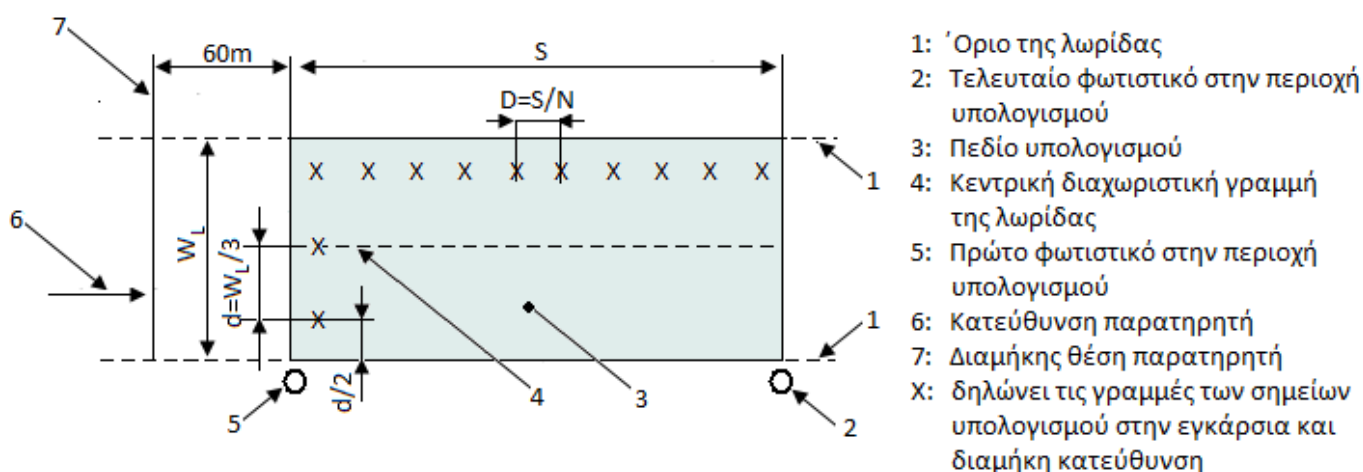




Εικόνα 3-1 Πεδίο υπολογισμών λαμπρότητας

### Θέση των σημείων υπολογισμού

Τα σημεία υπολογισμού θα πρέπει να είναι τοποθετημένα στο πεδίο υπολογισμού όπως παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 3-2 Θέση σημείων υπολογισμού

Η απόσταση μεταξύ των σημείων στη διαμήκη και εγκάρσια κατεύθυνση ορίζονται ως εξής:

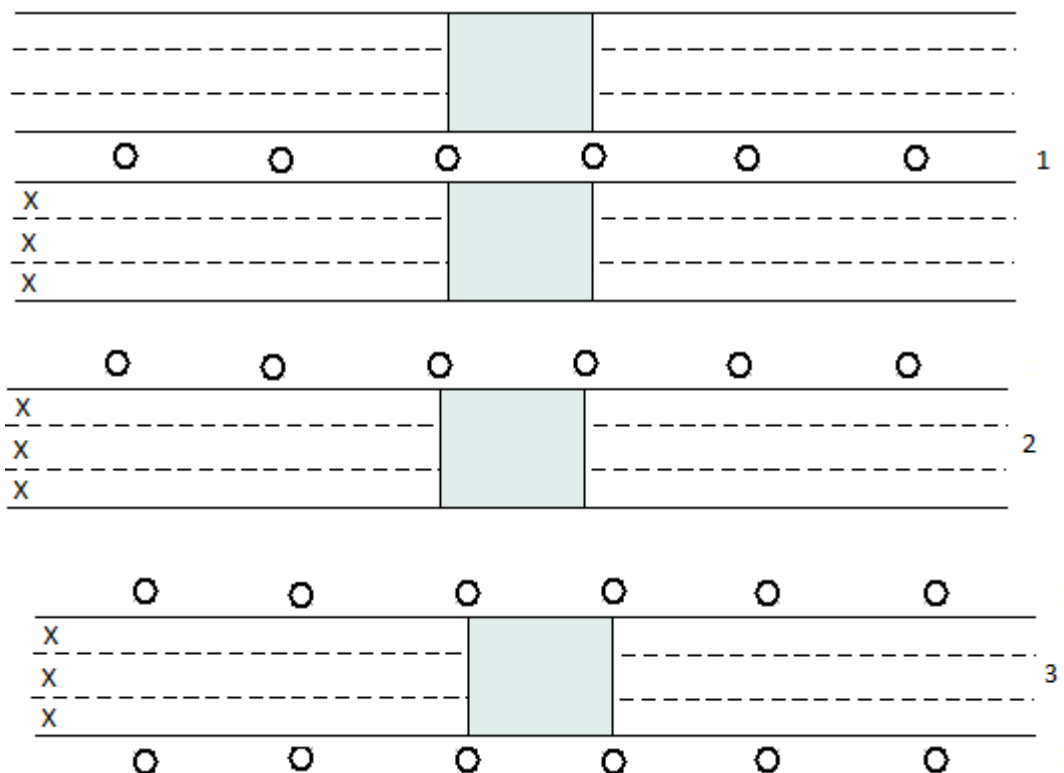
- Στη διαμήκη κατεύθυνση:  $D = \frac{S}{N}$ , όπου  $D$  είναι η απόσταση μεταξύ δύο σημείων στη διαμήκη κατεύθυνση σε μέτρα,  $S$  είναι η απόσταση μεταξύ δύο φωτιστικών που βρίσκονται στην ίδια σειρά,  $N$  είναι ο αριθμός των σημείων υπολογισμού του πλέγματος στη διαμήκη κατεύθυνση που παίρνει τιμή ίση με 10 εάν  $S \leq 30m$ . Η πρώτη διαμήκης σειρά των σημείων υπολογισμού του πλέγματος βρίσκεται σε απόσταση  $D/2$  από το πρώτο φωτιστικό.

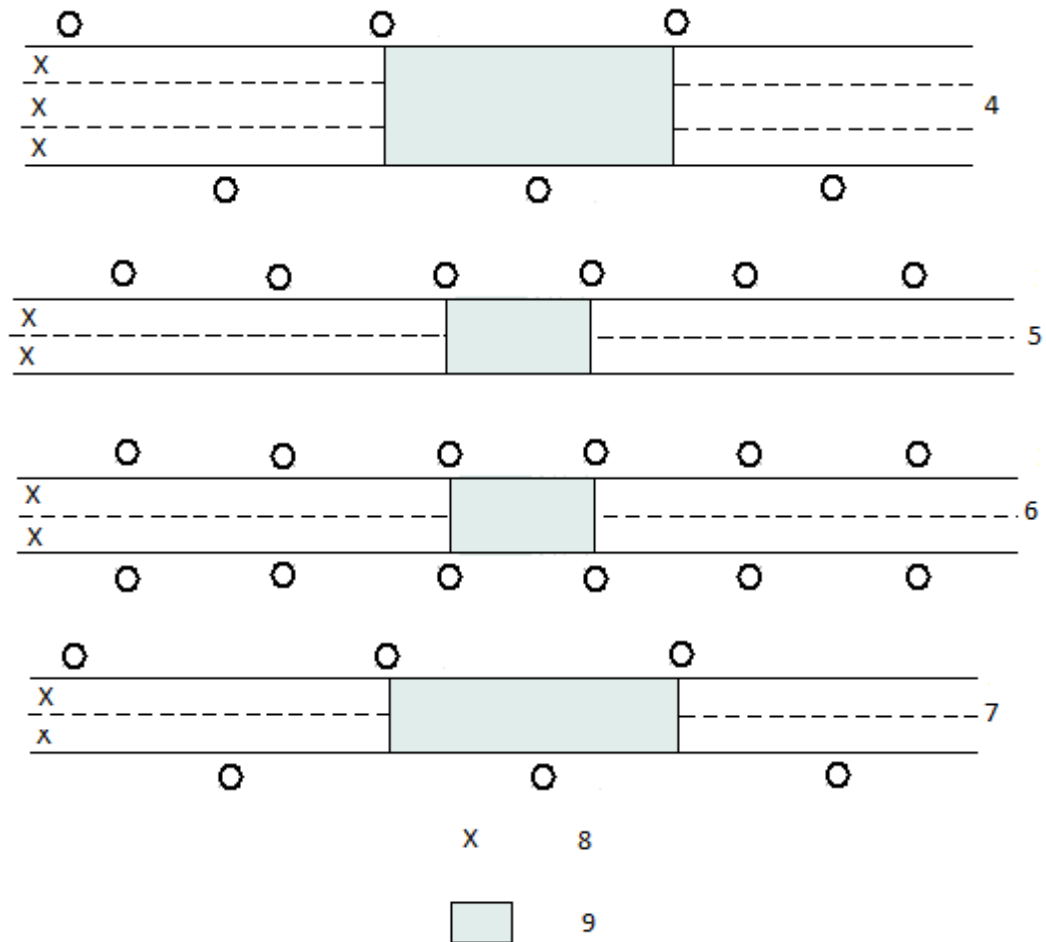
- Στην εγκάρσια κατεύθυνση η απόσταση δίνεται από την εξίσωση:  $d = \frac{W_L}{3}$ , όπου d είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων υπολογισμού του πλέγματος στη διαμήκη κατεύθυνση σε μέτρα και  $W_L$  είναι το πλάτος της λωρίδας σε μέτρα. Το πιο ακραίο σημείο υπολογισμού του πλέγματος απέχει d/2 από το όριο της λωρίδας.

Όπου υπάρχει λωρίδα έκτακτης ανάγκης και απαιτούνται πληροφορίες σχετικά με τη λαμπρότητα, ο αριθμός και η απόσταση των σημείων θα πρέπει να είναι ο ίδιος όπως στις λωρίδες κυκλοφορίας.

### Θέση παρατηρητή

Για τον υπολογισμό της λαμπρότητας το μάτι του παρατηρητή πρέπει να βρίσκεται ακριβώς 15m πάνω από το επίπεδο του δρόμου. Στην εγκάρσια κατεύθυνση η θέση του παρατηρητή πρέπει να είναι στο κέντρο κάθε λωρίδας κάθε φορά. Η μέση λαμπρότητα και η συνολική ομοιομορφία της λαμπρότητας πρέπει να υπολογίζεται από το σύνολο του οδοστρώματος για κάθε θέση του παρατηρητή. Η διαμήκης ομοιομορφία της λαμπρότητας πρέπει να υπολογίζεται για κάθε κεντρική γραμμή. Το ακόλουθο σχήμα δίνει μια σειρά από παραδείγματα σχετικά με την θέση του παρατηρητή σε σχέση με το πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας:



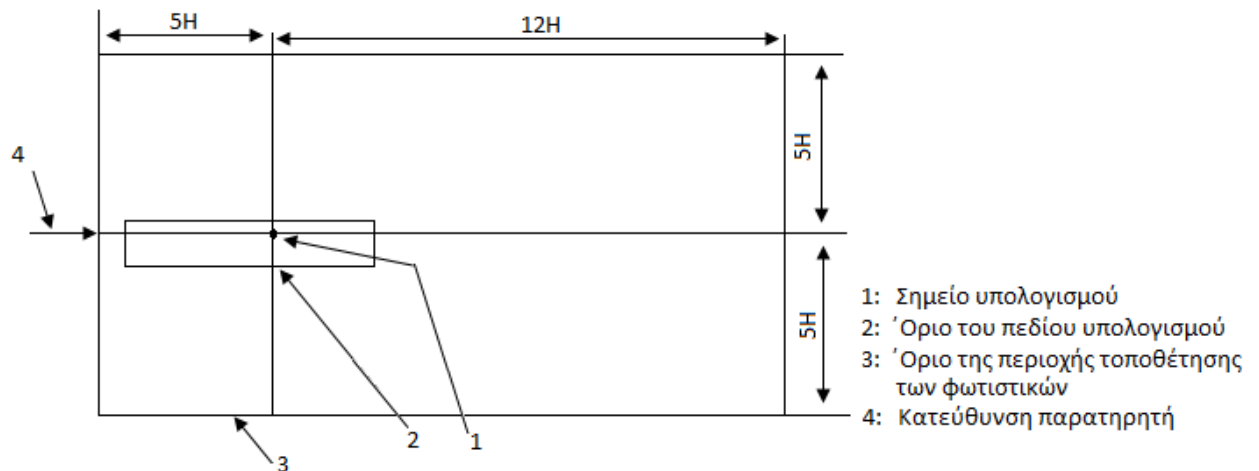


- 1: Έξι λωρίδες που διαχωρίζονται κεντρικά
- 2: Τρεις λωρίδες. Μονόπλευρη διάταξη φωτιστικών
- 3: Τρεις λωρίδες. Αμφίπλευρη διάταξη φωτιστικών
- 4: Τρεις λωρίδες. Χιαστί διάταξη φωτιστικών
- 5: Δύο λωρίδες. Μονόπλευρη διάταξη φωτιστικών
- 6: Δύο λωρίδες. Αμφίπλευρη διάταξη φωτιστικών
- 7: Δύο λωρίδες. Χιαστί διάταξη φωτιστικών
- 8: Θέση παρατηρητή
- 9: Πεδίο υπολογισμού λαμπρότητας

**Εικόνα 3-3** Παραδείγματα θέσεων παρατηρητή σε σχέση με το πεδίο υπολογισμών

Φωτιστικά περιλαμβανόμενα στους υπολογισμούς

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται τα όρια της περιοχής, έτσι ώστε να ληφθούν τα φωτιστικά υπόψη στον υπολογισμό της λαμπρότητας ενός σημείου:



**Εικόνα 3-4** Όρια περιοχής όπου είναι τοποθετημένα φωτιστικά για τον υπολογισμό της λαμπρότητας σε ένα σημείο

- Το όριο σε καθεμία πλευρά του παρατηρητή: Πρέπει να είναι τουλάχιστον πενταπλάσιο του ύψους τοποθέτησης  $H$ .
- Το όριο που βρίσκεται πιο μακριά από τον παρατηρητή: Πρέπει να απέχει από το σημείο υπολογισμού απόσταση τουλάχιστον  $12H$  προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του παρατηρητή.
- Το όριο που βρίσκεται πιο κοντά στον παρατηρητή: Πρέπει να απέχει από το σημείο υπολογισμού απόσταση τουλάχιστον  $5H$  προς την κατεύθυνση του παρατηρητή.

# 4 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

## 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ανίχνευση των λωρίδων κυκλοφορίας αποτελεί μια εις βάθος μελετημένη ερευνητική περιοχή της όρασης των υπολογιστών. Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών έχουν αναπτυχθεί πολλά διαφορετικά συστήματα ανίχνευσης και παρακολούθησης λωρίδων κυκλοφορίας (lane detection and tracking systems), καθένα εκ των οποίων χρησιμοποιεί μια διαφορετική τεχνική [11]. Ουσιαστικά, πρόκειται για δύο επιμέρους προβλήματα, τον καθορισμό της θέσης των διαγραμμίσεων-ορίων της λωρίδας σε μια εικόνα, χωρίς την εκ των προτέρων γνώση της θέσης της (lane detection) και τον καθορισμό της θέσης τους σε μια ακολουθία συνεχόμενων εικόνων με χρήση πληροφοριών σχετικά με τη θέση της λωρίδας από προηγούμενες εικόνες, έτσι ώστε να περιοριστεί η πιθανή θέση της λωρίδας στην τρέχουσα εικόνα (lane tracking).

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ως επί των πλείστων, αν όχι αποκλειστικά, σε αυτόνομα καθοδηγούμενα οχήματα (Autonomous Guided Vehicles) καθώς η χρήση τους ολοένα και διευρύνεται. Μάλιστα, στις ΗΠΑ, όπου κάθε χρόνο συμβαίνουν πάνω από τρία εκατομμύρια τροχαία ατυχήματα, κατά τα οποία ένα όχημα εγκαταλείπει τη λωρίδα κυκλοφορίας χωρίς να συγκρουστεί με άλλο όχημα, εκτιμάται ότι αυτά τα ατυχήματα θα ήταν δυνατό να αποφευχθούν κατά 53%. Αν λάβουμε υπόψη μας ότι αυτά τα ατυχήματα καταλήγουν στον θάνατο 13.000 ατόμων ετησίως και είναι υπεύθυνα για το 16,5% όλων των καθυστερήσεων στο οδικό δίκτυο, κατανοούμε το λόγο του έντονου ενδιαφέροντος γύρω από τα συστήματα ανίχνευσης και παρακολούθησης λωρίδων κυκλοφορίας στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Το 1987 μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πρώτο ορόσημο στην ανάπτυξη της καθοδήγησης οχημάτων δρόμου με μηχανική όραση και στην έναρξη ανάπτυξης πλήθους αλγορίθμων για την ανίχνευση των λωρίδων κυκλοφορίας. Το δοκιμαστικό όχημα του Πανεπιστημίου του Μονάχου (Universität der Bundeswehr München, UBM) για αυτόνομη κίνηση και όραση υπολογιστών, επέδειξε την ικανότητα μιας πλήρως αυτόνομης καθοδήγησης οχήματος με χρήση όρασης υπολογιστών σε μια ευθεία αυτοκινητόδρομο για περισσότερα από 20 km και για ταχύτητες μέχρι 96 km/h. Το αποτέλεσμα αυτό οδήγησε στην απόφαση ότι η όραση υπολογιστών για καθοδήγηση οχημάτων έπρεπε να συμπεριληφθεί στο Ευρωπαϊκό Ερευνητικό Πρόγραμμα «Προμηθέας» (Prometheus). Αυτό το βήμα προετοίμασε το έδαφος για μια γρήγορη ανάπτυξη των δραστηριοτήτων στον τομέα, τόσο ανάμεσα στους

Ευρωπαϊούς κατασκευαστές αυτοκινήτων όσο και στα πανεπιστήμια σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες. Καμία από τις μεγάλες εταιρείες παραγωγής αυτοκινήτων δεν ήθελε να χάσει επαφή με τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των οχημάτων δρόμου με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια εξαιρετικά ευνοϊκή κατάσταση για την ανάπτυξη του τομέα της όρασης υπολογιστών. Έγινε γρήγορα αντιληπτό ότι όλα τα προβλήματα που μπορούν να λυθούν με την ανθρώπινη όραση θα μπορούν μακροπρόθεσμα να λυθούν και με την όραση υπολογιστών.

Πάνω σε ένα αυτόνομα καθοδηγούμενο όχημα βρίσκεται τοποθετημένη μια κάμερα, η οποία φωτογραφίζει ανά μικρά χρονικά διαστήματα το δρόμο και συγκεκριμένα τη λωρίδα κυκλοφορίας πάνω στην οποία κινείται το όχημα και, μάλιστα, από την οπτική γωνία του οδηγού. Εν συνεχεία, ελέγχεται η θέση του οχήματος ως προς την θέση του δρόμου και των διαγραμμίσεων του και σε περίπτωση που το όχημα παρεκκλίνει της φυσιολογικής πορείας του, ο οδηγός ειδοποιείται με ηχητικό σήμα ή δονήσεις.



Εικόνα 4-1 Καθοδηγούμενο όχημα

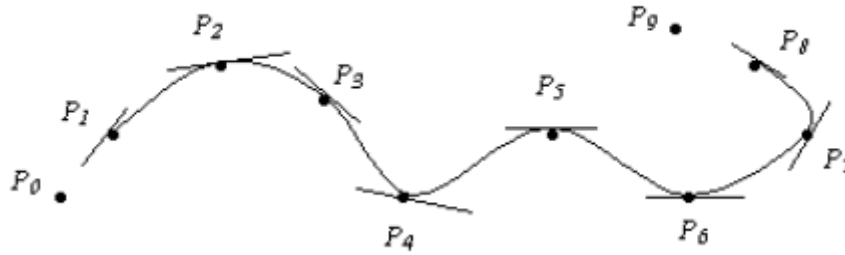
## **4.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ**

Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι όσον αφορά στον εντοπισμό των διαγραμμίσεων της λωρίδας κυκλοφορίας πάνω στην οποία κινείται το όχημα. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε τους εξής τέσσερις:

### **4.2.1 Ανίχνευση λωρίδας με χρήση Catmull-Rom Spline παρεμβολής**

Η παρεμβολή Catmull-Rom Spline (Catmull-Rom Spline Interpolation), που είναι επίσης γνωστή και ως Overhauser spline παρεμβολή, είναι μια μέθοδος που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε αρχικά στον τομέα της γραφιστικής με ηλεκτρονικούς υπολογιστές [12]. Χρησιμοποιήθηκε στο σχεδιασμό καμπυλών και επιφανειών, ενώ πρόσφατα χρησιμοποιήθηκε σε πολλές άλλες εφαρμογές.

Πολύ συχνά, έχουμε μια σειρά από θέσεις και θέλουμε να βρούμε μια καμπύλη που να τις παρεμβάλλει ομαλά (να περνά ενδιάμεσα από αυτές). Η παρεμβολή Catmull-Rom Spline είναι δυνατό να παρεμβάλλει τα σημεία  $P_1$  έως  $P_{m-1}$  μιας ακολουθίας σημείων  $P_0$  έως  $P_m$ . Επίσης, το εφαπτόμενο ευθύγραμμο τμήμα σε ένα σημείο  $P_i$  είναι παράλληλο με τη γραμμή που συνδέει τα σημεία  $P_{i-1}$  και  $P_{i+1}$ , όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 4-2 Catmull Spline

Η φόρμουλα της παρεμβολής Catmull-Rom Spline για ένα τμήμα είναι η εξής:

$$P(t) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 3 & 3 & 1 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{i-3} \\ P_{i-2} \\ P_{i-1} \\ P_i \end{bmatrix}$$

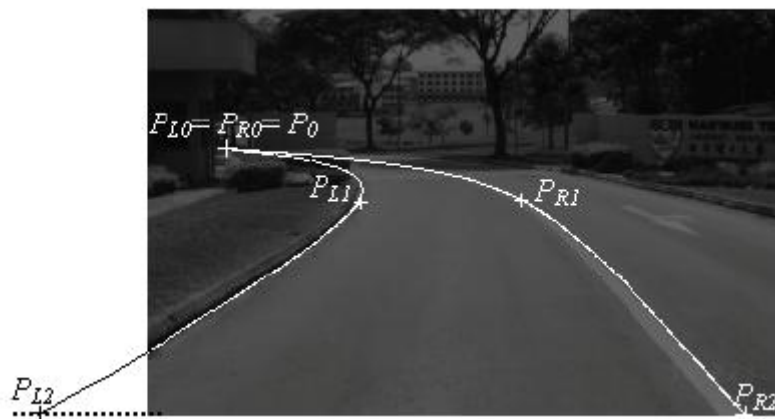
Όπου  $(P_0, P_1, \dots, P_n)$  είναι τα σημεία ελέγχου τα οποία θα παρεμβάλλει η παρεμβολή Catmull-Rom Spline και  $t \in [0, 1]$ .

#### 4.2.1.1 Χρήση Catmull-Rom Spline για την περιγραφή του ορίου των λωρίδων

Στη γενική περίπτωση (ευθεία, στροφή δεξιά, στροφή αριστερά), χρησιμοποιούνται δύο σύνολα από τρία σημεία ελέγχου για την προσέγγιση του δεξιού και του αριστερού ορίου της λωρίδας. Έστω ότι για την προσέγγιση του αριστερού ορίου χρησιμοποιούνται τα σημεία  $P_{L0}$ ,  $P_{L1}$ ,  $P_{L2}$  και του δεξιού τα σημεία  $P_{R0}$ ,  $P_{R1}$ ,  $P_{R2}$ . Θεωρούμε ότι μετά την παρεμβολή τα δύο σχηματιζόμενα όρια ενώνονται σε ένα κοινό σημείο, το οποίο βρίσκεται στον ορίζοντα της εικόνας (vanishing point). Παρόλο που η μέθοδος Catmull-Rom Spline παρεμβάλλει όλα τα σημεία ελέγχου εκτός από το πρώτο και το τελευταίο, είναι δυνατό να «εξαπατηθεί» εάν τεθούν το πρώτο και τα δύο τελευταία σημεία ελέγχου ίσα μεταξύ τους. Η παρεμβολή Catmull-Rom Spline όπως έχει εφαρμοστεί σε μια πραγματική εικόνα λωρίδας, παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 4-3 Αρχική εικόνα λωρίδας

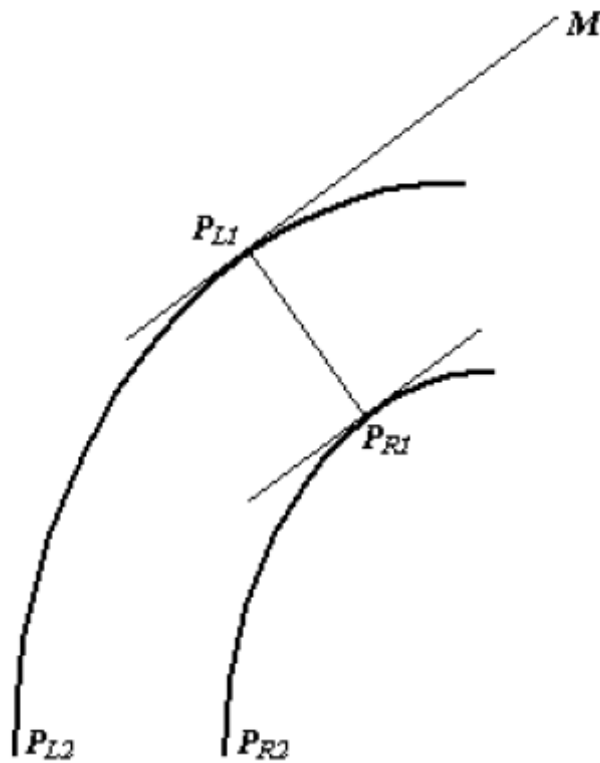


Εικόνα 4-4 Εικόνα μετά την εφαρμογή Catmull Spline

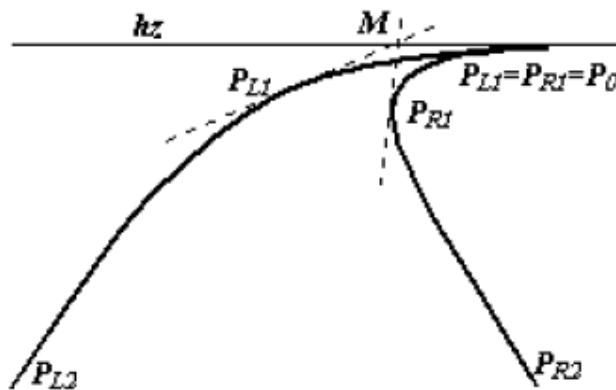
#### 4.2.1.2 Έλεγχος της περιοχής ανίχνευσης σημείων

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται αρχικά το σχήμα μιας λωρίδας σε πλάνο κάτοψης και από την οπτική γωνία που έχουμε σε μια φωτογραφία:





Εικόνα 4-5 Κάτοψη



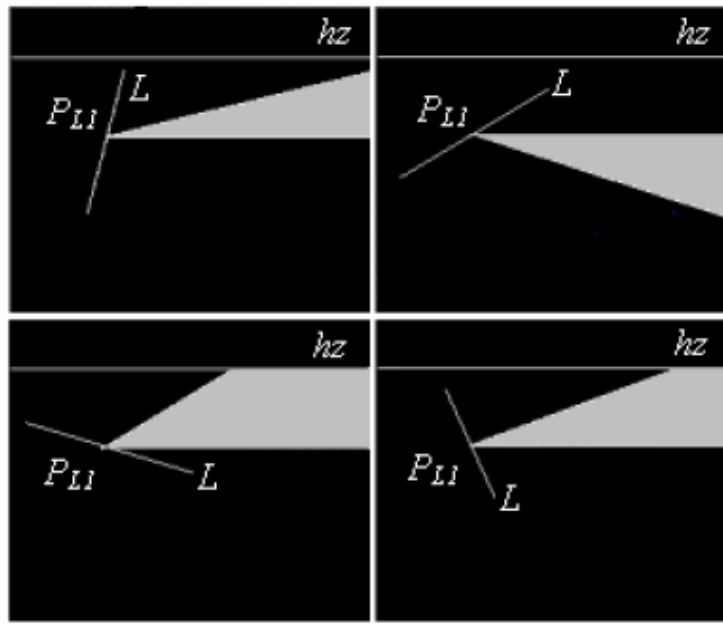
Εικόνα 4-6 Οπτική γωνία φωτογραφίας

Αφού υπολογίσουμε το αριστερό όριο της λωρίδας από τα \$(P\_{L0}, P\_{L1}, P\_{L2})\$, είναι δυνατό να μειώσουμε την περιοχή ανίχνευσης για την εύρεση του δεξί ορίου της λωρίδας, τοποθετώντας το σημείο \$P\_{R1}\$ σε τέτοιο σημείο, ώστε στο πλάνο της κάτοψης, η εφαπτομένη του να είναι παράλληλη με την αντίστοιχη του σημείου \$P\_{L1}\$.

Η δημιουργία της κλίσης της γραμμής \$P\_{L1}P\_{R1}\$ στην οπτική γωνία που έχουμε σε μια φωτογραφία, είναι πιο πολύπλοκη και έχει τη μορφή:

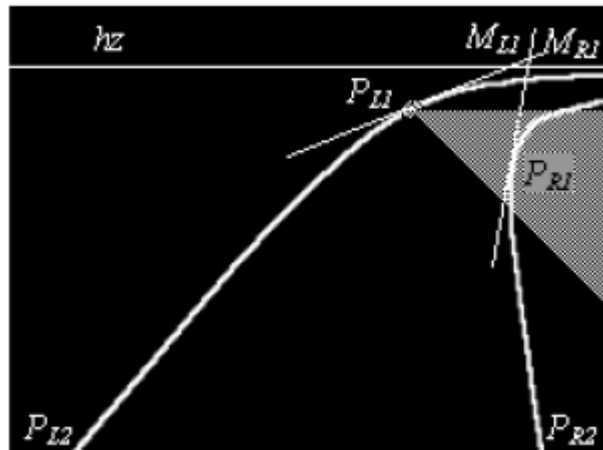
$$k_{11r1} = \frac{(r_{11} - hz)(r_{11}k_{11} - r_{11} + hz)}{c_{11}^2k_{11} + k_{11}(\lambda^2 + hz^2) - c_{11}(r_{11} - hz)}$$

Όπου  $(r_{11}, c_{11})$  είναι οι συντεταγμένες του σημείου  $P_{L1}$  από την οπτική γωνία που έχουμε σε μια φωτογραφία,  $k_{11}$  είναι η κλίση (εφαπτομένη) του σημείου  $P_{L1}$ , λ είναι η εστιακή απόσταση και  $hz$  ο ορίζοντας της εικόνας. Η εξίσωση αυτή ορίζει την πιθανή περιοχή των σημείων  $P_{R1}$  στην οπτική γωνία που έχουμε σε μια φωτογραφία. Οι γκρι περιοχές που παρουσιάζονται στην εικόνα 4-7 δείχνουν την πιθανή περιοχή εύρεσης του σημείου  $P_{R1}$  βάσει του σημείου  $P_{L1}$  και της κλίσης της εφαπτομένης του:



Εικόνα 4-7 Πιθανές θέσεις του σημείου  $P_{R1}$

Παρακάτω θα εξηγήσουμε αναλυτικότερα τον τρόπο εύρεσης των σημείων ελέγχου. Επαναλαμβάνουμε ότι στη μέθοδο παρεμβολής Catmull-Rom Spline, χρειαζόμαστε δύο σύνολα των τριών σημείων ελέγχου  $(P_{L0}, P_{L1}, P_{L2})$  και  $(P_{R0}, P_{R1}, P_{R2})$  έτσι ώστε να κατασκευαστεί η λωρίδα. Αρχικά, ορίζουμε ότι ο ορίζοντας της εικόνας βρίσκεται στη γραμμή  $hz$  της εικόνας. Για να μειώσουμε την περιοχή ανίχνευσης, θεωρούμε ότι τα σημεία  $P_{L0}$  και  $P_{R0}$ , ταυτίζονται και το κοινό τους σημείο βρίσκεται στον ορίζοντα  $hz$  της εικόνας (vanishing point).



Εικόνα 4-8 Περιοχή ανίχνευσης του  $P_{R1}$

Ξεκινώντας από τη γραμμή  $hz$  και με κατεύθυνση προς τα κάτω, αναζητούμε το σημείο  $P_{L1}$ . Η αριστερή πλευρά της λωρίδας μπορεί να κατασκευαστεί, βάσει της θέσης και της κατεύθυνσης του σημείου  $P_{L1}$ . Θεωρούμε ότι το σημείο  $P_{L2}$  είναι η τομή της λωρίδας με την κατώτατη γραμμή της εικόνας. Η εφαπτομένη στο σημείο  $P_{L1}$  τέμνει τη γραμμή  $hz$  στο σημείο  $M_{L1}$ .

Εν συνεχεία, υπολογίζουμε την πιθανότητα του αριστερού ορίου της λωρίδας  $L_L$ . Η πιθανότητα  $L$  είναι ένα μέγεθος που δείχνει κατά πόσο ομοιάζει η μορφή μιας πραγματικής γραμμής που βρίσκεται στην εικόνα, με την αντίστοιχη που χαράχθηκε με τη βοήθεια της παρεμβολής Catmull-Rom Spline. Μάλιστα, ο τρόπος ορισμού αυτής της πιθανότητας απαιτεί ότι οι δύο γραμμές θα ομοιάζουν όχι μόνο ως προς την θέση τους αλλά και την κατεύθυνση των εφαπτομένων τους. Έτσι, λοιπόν, εάν η πιθανότητα  $L_L$  είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι αναζητούμε το αντίστοιχο  $P_{R1}$ , ειδάλλως ξαναεπιχειρούμε την αναζήτηση του  $P_{L1}$ .

Όσον αφορά στην εύρεση του σημείου  $P_{R1}$ , θεωρώντας ότι η εφαπτομένη του τέμνει τη γραμμή  $hz$  στο σημείο  $M_{R1}$ , θα πρέπει η οριζόντια απόσταση μεταξύ των  $M_{L1}$  και  $M_{R1}$  να είναι μικρότερη από ένα κατώφλι  $M_{d1}$ . Ακόμα, θα πρέπει και στην προκειμένη περίπτωση η πιθανότητα  $L_R$  είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι ειδάλλως ξαναεπιχειρούμε την αναζήτηση του  $P_{R1}$ .

Έτσι, τα  $P_{L1}$  και  $P_{R1}$ , που έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα είναι τα κατάλληλα να κατασκευάσουν τα δύο όρια της λωρίδας.

#### **4.2.1.3 Αποτελεσματικότητα της παρεμβολής Catmull-Rom Spline**

Η παρεμβολή Catmull-Rom Spline είναι αρκετά αποτελεσματική ακόμα και σε περιπτώσεις όπου στη λωρίδα υπάρχουν σκιές και εναλλαγές φωτισμού. Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου οι διαχωριστικές λωρίδες στο οδόστρωμα δεν είναι καλοβαμμένες, δεν υπάρχουν ικανοποιητικά αρκετές πληροφορίες ούτως ώστε να

σχεδιαστεί με ακρίβεια η αντίστοιχη λωρίδα και είναι πιθανόν να οδηγηθούμε σε λάθη.

#### **4.2.2 Ανίχνευση λωρίδας με χρήση της μεθόδου B-Snake**

Το πρόβλημα της ανίχνευσης των δύο ορίων μιας λωρίδας με την χρήση αυτής της μεθόδου ανάγεται στον εντοπισμό μιας γραμμής που βρίσκεται ακριβώς στη μέση της λωρίδας [13].

Θεωρούμε ότι τα δύο όρια της λωρίδας στο πλάνο κάτοψης είναι παράλληλα. Ακόμα, υποθέτουμε ότι το δεξί όριο της λωρίδας είναι η μετατοπισμένη κατά την οριζόντια απόσταση  $D=(x_r-x_l)$ , εκδοχή του αριστερού ορίου της λωρίδας. Τα  $x_r$  και  $x_l$  είναι οι τετμημένες των σημείων  $P_l(x_l,y)$  και  $P_r(x_r,y)$  στο πλάνο κάτοψης. Μελετώντας την εικόνα όπως φαίνεται από την οπτική γωνία που έχουμε σε μια φωτογραφία του δρόμου, βρίσκουμε ότι η απόσταση  $d=(c_r-c_l)$  ανάμεσα στα σημεία  $p_l(c_l,r)$  και  $p_r(c_r,r)$ , που είναι τα αντίστοιχα σημεία των  $P_l(x_l,y)$  και  $P_r(x_r,y)$ , είναι:

$$D=k(r-hz)$$

Όπου,  $k = \frac{\lambda^2 D}{H(\lambda^2 + hz^2)}$ ,  $\lambda$  είναι η εστιακή απόσταση,  $H$  είναι το ύψος όπου είναι τοποθετημένη η κάμερα,  $hz$  ο ορίζοντας της εικόνας και  $r$  η τεταγμένη.

Ορίζουμε ως  $L_{mid}=(c_m,r_m)$  τη γραμμή που βρίσκεται ακριβώς στη μέση της λωρίδας. Έτσι, η αριστερή πλευρά της λωρίδας θα είναι:

$$L_{left}=(c_l,r_l),$$

όπου  $c_l=c_m - \frac{1}{2}d = c_m - \frac{1}{2}k(r_l - hz)$  και  $r_l=r_m$ .

Ομοίως, η δεξιά πλευρά της λωρίδας θα είναι:

$$L_{right}=(c_r,r_r),$$

όπου  $c_r=c_m + \frac{1}{2}d = c_m + \frac{1}{2}k(r_r - hz)$  και  $r_r=r_m$ .

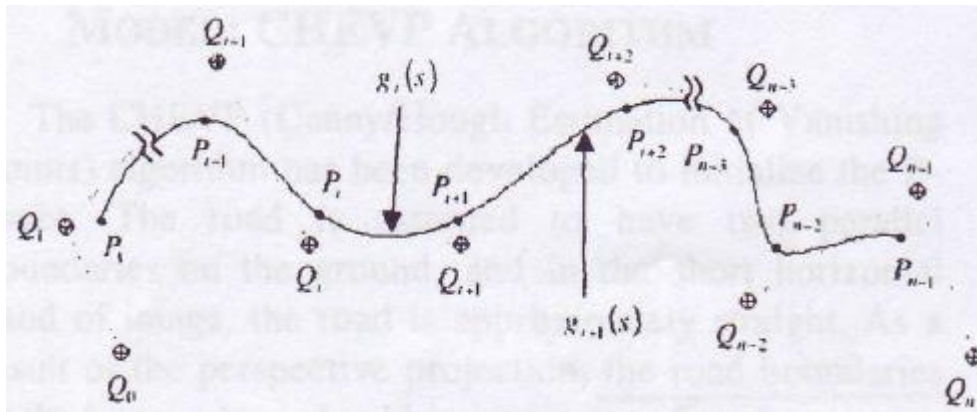
Άρα, από τον τρόπο που μοντελοποιείται το πρόβλημα βλέπουμε ότι η ανίχνευση των δύο ορίων μιας λωρίδας όντως ανάγεται στον εντοπισμό μιας γραμμής που βρίσκεται ακριβώς στη μέση της λωρίδας.

##### **4.2.2.1 B-spline Snake**

Τα ενεργά περιγράμματα ή αλλιώς «snakes», είναι καμπύλες που ορίζονται σε μια περιοχή μιας εικόνας και μπορούν να κινηθούν υπό την επίδραση

εσωτερικών δυνάμεων της καμπύλης ή υπό την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων των δεδομένων της εικόνας. Με το που οριστούν οι εσωτερικές και εξωτερικές δυνάμεις, το ενεργό περίγραμμα μπορεί να ανιχνεύσει τα επιθυμητά όρια των αντικειμένων μέσα στην εικόνα.

Μια πιο οικονομική πραγματοποίηση του ενεργού περιγράμματος, μπορεί να επιτευχθεί με χρήση της μεθόδου του κυβικού B-spline, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 4-9 Καμπύλη Cubic B-spline

Μια κυβική παρεμβολή B-spline με  $n+1$  σημεία ελέγχου  $\{Q_0, Q_1, \dots, Q_n\}$ , αποτελείται από  $(n-2)$  συνδεδεμένα, καμπυλόγραμμα τμήματα,  $g_i(s) = (r_i(s), c_i(s))$ ,  $i=1, 2, \dots, (n-2)$ . Κάθε καμπυλόγραμμα τμήμα είναι ο γραμμικός συνδυασμός τεσσάρων πολυωνύμων με παράμετρο  $s$ , όπου το  $s$  παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1, και μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$g_i(s) = x_0(s)Q_{i-1} + x_1(s)Q_i + x_2(s)Q_{i+1} + x_3(s)Q_{i+2} = \begin{bmatrix} s^3 & s^2 & s & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{1}{6} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{6} \\ \frac{1}{2} & -1 & \frac{1}{2} & 0 \\ -\frac{1}{2} & -1 & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{i-1} \\ Q_i \\ Q_{i+1} \\ Q_{i+2} \end{bmatrix} =$$

$$= M_R(s) \begin{bmatrix} Q_{i-1} \\ Q_i \\ Q_{i+1} \\ Q_{i+2} \end{bmatrix}, \quad i=1, 2, \dots, n-2,$$

$$\text{Όπου } M_R(s) = \begin{bmatrix} s^3 & s^2 & s & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{1}{6} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{6} \\ \frac{1}{2} & -1 & \frac{1}{2} & 0 \\ -\frac{1}{2} & -1 & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 \end{bmatrix}.$$

Τα σημεία που ενώνουν τα γειτονικά τμήματα, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, ονομάζονται κομβικά σημεία και συμβολίζονται  $P_i (i=1,2,\dots,n-1)$ . Γνωρίζοντας ένα σύνολο από κομβικά σημεία  $P=(P_1,P_2,\dots,P_{n-1})$ , όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, μπορούμε κατά μοναδικό τρόπο να ορίσουμε τα σημεία ελέγχου  $Q=(Q_0,Q_1,\dots,Q_n)$ , αντικαθιστώντας  $s=0$  στην εξίσωση. Η σχέση μεταξύ των σημείων ελέγχου και των κομβικών σημείων δίνεται ως εξής:

$$P_i = \frac{1}{6}Q_{i-1} + \frac{2}{3}Q_i + \frac{1}{6}Q_{i+1}, \quad i=1,2,\dots,n-1$$

#### **4.2.2.2 Χρήση της μεθόδου B-Snake για την περιγραφή του ορίου των λωρίδων**

Χρησιμοποιούμε ένα σύνολο σημείων για να περιγράψουμε τη γραμμή στη μέση της λωρίδας, και μια επιπλέον παράμετρο  $k$ , όπως ορίστηκε από τη σχέση για να ορίσουμε το δεξί και το αριστερό όριο της λωρίδας. Για να υποχρεώσουμε τη μέθοδο παρεμβολής μας να συμπεριλάβει και το πρώτο και το τελευταίο σημείο ελέγχου, θέτουμε τα πρώτα τρία σημεία ελέγχου ίσα μεταξύ τους και ομοίως και για τα τρία τελευταία. Με τη μέθοδο B-spline η γραμμή στη μέση της λωρίδας μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$L_{mid} = (c_m, r_m) = M_R(s) \begin{bmatrix} Q_{i-1} \\ Q_i \\ Q_{i+1} \\ Q_{i+2} \end{bmatrix}, \quad i = -1, 0, 1, 2, \dots, n.$$

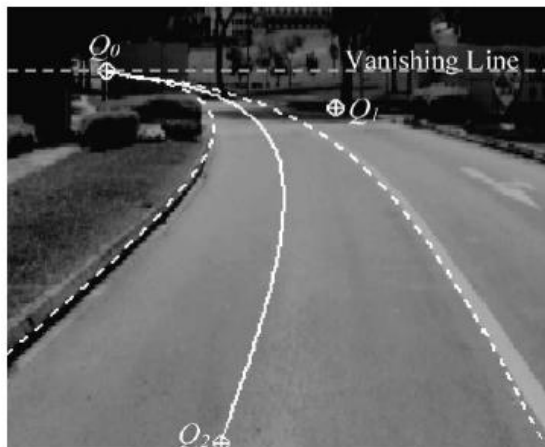
Η γραμμή στη μέση της λωρίδας μπορεί να παραμορφωθεί από τις εξωτερικές δυνάμεις  $E_{M\_sum}(s)$ , οι οποίες είναι το άθροισμα των εξωτερικών δυνάμεων που οφείλονται στο αριστερό και το δεξί όριο της λωρίδας,  $E_L(s)$  και  $E_R(s)$ . Είναι:

$$E_{M\_sum}(s) = E_L(s) + E_R(s)$$

Επίσης, η διαφορά των οριζόντιων συνιστωσών των  $E_L(s)$  και  $E_R(s)$ , ορίζονται ως  $E_{M\_dif}^c(s)$  και οδηγούν στον υπολογισμό της προαναφερθείσας παραμέτρου  $k$ . Είναι:

$$E_{M\_dif}^c(s) = E_L^c(s) - E_R^c(s)$$

Για τις περισσότερες λωρίδες είναι αποτελεσματική η χρήση τριών σημείων ελέγχου για την περιγραφή του σχήματός τους, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



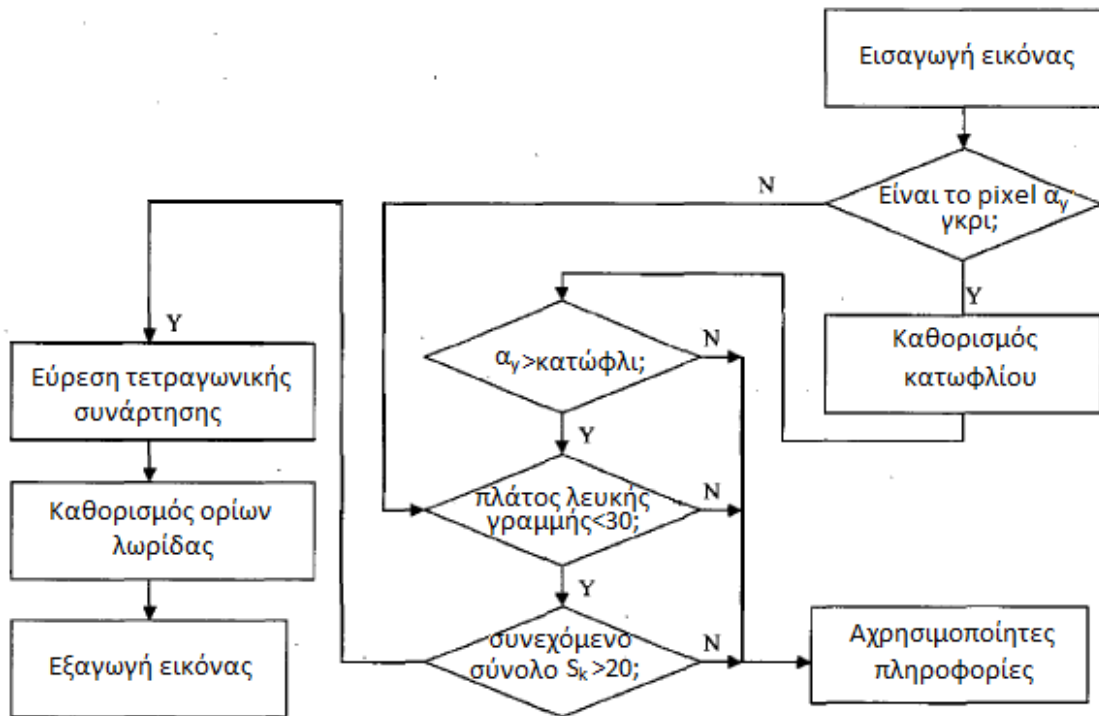
Εικόνα 4-10 Εφαρμογή του μοντέλου B-snake

#### **4.2.2.3 Αποτελεσματικότητα της παρεμβολής B-Spline**

Η παρεμβολή B-Spline είναι αρκετά αποτελεσματική ακόμα και σε περιπτώσεις όπου στη λωρίδα υπάρχουν σκιές, θόρυβος και εναλλαγές φωτισμού. Μάλιστα, είναι εφαρμόσιμη ακόμη και σε περιπτώσεις όπου οι διαχωριστικές λωρίδες στο οδόστρωμα δεν είναι καλοβαμμένες ή και δεν υπάρχουν καν.

#### **4.2.3 Ανίχνευση λωρίδας με χρήση τμηματοποίησης βασισμένης στο χρώμα (color-based segmentation)**

Με αυτή τη μέθοδο αρχικά προσδιορίζουμε τα αντικείμενα που δεν ανήκουν στο δρόμο και τα διαχωρίζουμε από αυτόν [14]. Εν συνεχεία, με χρήση ιστογράμματος εντοπίζουμε τις διαχωριστικές γραμμές των λωρίδων και τέλος χρησιμοποιούμε τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για να προσεγγίσουμε με μεγαλύτερη σιγουριά την πραγματική διαγράμμιση. Τα προηγούμενα μπορούν να παρουσιαστούν συνοπτικά στο ακόλουθο διάγραμμα:



Εικόνα 4-11 Block διάγραμμα της μεθόδου color-based segmentation

#### 4.2.3.1 Διαχωρισμός δρόμου από τα υπόλοιπα αντικείμενα της εικόνας

Λόγω του ότι οι διαχωριστικές γραμμές των λωρίδων είναι σχεδιασμένες πάνω στο δρόμο, η πιθανή περιοχή εύρεσής τους μπορεί να περιοριστεί μόνο σε αυτόν και, μάλιστα, θα είναι ευκολότερη εάν έχουμε πληροφορίες για την θέση του δρόμου. Την τελευταία θα την προσδιορίσουμε βάσει των ιδιοτήτων του δρόμου.

Το χρώμα των περισσότερων δρόμων είναι σκούρο γκρι. Στο σύστημα RGB ένα pixel είναι γκριζό όταν ισχύει η αναλογία:  $v_R = v_G = v_B$ , δηλαδή οι τιμές της κόκκινης, πράσινης και μπλε συνιστώσας της εικόνας είναι ίσες μεταξύ τους. Φυσικά, το χρώμα ενός δρόμου δεν έχει ακριβώς αυτές τις αναλογίες RGB και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές και άλλες συνθήκες. Ωστόσο, βάσει πειραμάτων που έχουν λάβει χώρα, μπορούμε να δεχθούμε ότι ένα pixel ανήκει στο δρόμο εάν για τις αναλογίες του ισχύει:

$$\begin{cases} |v_R - v_G| < 40 \\ |v_G - v_B| < 40 \\ |v_B - v_R| < 40 \end{cases}$$

Έπειτα από αυτή τη διαδικασία, έχουμε διαχωρίσει το δρόμο από τα υπόλοιπα μέρη της εικόνας, χωρίς ωστόσο να έχουμε διαχωρίσει τη διαχωριστικές



γραμμές του δρόμου από αυτόν, καθώς και οι διαχωριστικές γραμμές και ο δρόμος είναι σε αποχρώσεις του γκρι. Γι' αυτό το λόγο χρειαζόμαστε ένα ακόμη κατώφλι για να χωρίσουμε σε δύο κατηγορίες τις τιμές των επιπέδων γκρι: αυτές που αναφέρονται στο δρόμο και αυτές που αναφέρονται στις διαχωριστικές γραμμές του. Το κατώφλι αυτό δεν είναι δυνατόν να είναι προκαθορισμένο και εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος της εικόνας. Λόγω του ότι για την εύρεση αυτού του κατωφλίου χρειάζεται να γνωρίζουμε πόσα pixels της εικόνας αντιστοιχούν σε κάθε δυνατή απόχρωση του γκρι, μας βοηθάει πολύ η χρήση του ιστογράμματος της εικόνας. Εν συνεχεία, κάθε pixel τίθεται ίσο με 0 εάν είναι πιθανότερο να ανήκει στον δρόμο, και με 255 εάν όχι.

#### **4.2.3.2 Όρια λωρίδων**

Λόγω του ότι χρειαζόμαστε περισσότερες πληροφορίες για να διακρίνουμε τα όρια των λωρίδων, λαμβάνουμε υπόψη μας επίσης, ότι τα όρια των λωρίδων έχουν τις εξής ιδιότητες:

1. Το πλάτος ενός ορίου μιας λωρίδας είναι μικρό και αποτελείται από μια σειρά λιγότερων από 30 pixels, που βρίσκονται οριζόντια στην εικόνα
2. Ένα όριο μιας λωρίδας είναι μια συνεχής κάθετη γραμμή

Έτσι, ανιχνεύουμε κάθε γραμμή της εικόνας και αν εντοπίσουμε μια ακολουθία λιγότερων από 30 pixels οριζοντίως, τότε είναι πιθανόν να έχουμε εντοπίσει ένα όριο μιας λωρίδας.

#### **4.2.3.3 Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων**

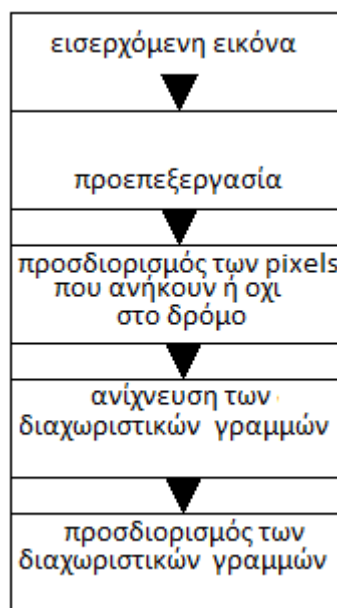
Για να προσδιορίσουμε τα όρια των λωρίδων κάνουμε χρήση της τετραγωνικής συνάρτησης, που δίνεται από τον τύπο:  $a_k y^2 + b_k y + c_k = x$ .

#### **4.2.3.4 Αποτελεσματικότητα της τμηματοποίησης βάσει χρώματος**

Η αποτελεσματικότητα της τμηματοποίησης βάσει χρώματος, είναι ικανοποιητική σε συνεχή ή διακεκομμένη διαγράμμιση, ευθείες ή καμπύλες, ακόμα και αν υπάρχουν σκιές ή αντανακλάσεις φωτός στο οδόστρωμα, μέσα σε λογικά πλαίσια πάντα. Έτσι, παρόλο που εν συνεχεία χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων, που είναι σχετικά απλή, οδηγούμαστε σε καλά αποτελέσματα. Ακόμα, το γεγονός ότι χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων μας προσφέρει οικονομία στον χρόνο, καθώς άλλες μέθοδοι όπως ο μετασχηματισμός Hough, όντας πιο πολύπλοκοι καθυστερούν περισσότερο.

#### **4.2.4 Ανίχνευση λωρίδας με χρήση νευρωνικών δικτύων**

Το αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου είναι ο εντοπισμός του δεξιού και αριστερού ορίου της λωρίδας, στην οποία κινείται το όχημα [15]. Η μέθοδος περιλαμβάνει την επεξεργασία της εικόνας σε τρία στάδια, τα ίδια που ακολουθεί και ένας άνθρωπος για να αναγνωρίσει μια λωρίδα στην οποία οδηγεί. Το αρχικό στάδιο της διαδικασίας αναγνώρισης περιλαμβάνει την κατηγοριοποίηση των pixels της εισερχόμενης εικόνας σε pixels που ανήκουν ή όχι στο τμήμα του δρόμου με χρήση τεχνικών εκπαίδευσης τύπου vector quantization. Το ενδιάμεσο στάδιο της διαδικασίας αναγνώρισης περιλαμβάνει την ανίχνευση των ορίων της λωρίδας. Το τελικό στάδιο της διαδικασίας είναι ο προσδιορισμός των ορίων της λωρίδας. Παρακάτω παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα:



**Εικόνα 4-12** Block διάγραμμα ανίχνευσης με χρήση νευρωνικών δικτύων

Χρησιμοποιείται μια CCD κάμερα (Charged Coupled Device) για την απόκτηση του video της λωρίδας, το οποίο αποθηκεύεται ως διαδοχικές φωτογραφίες (frames). Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει την μείωση του μεγέθους της εικόνας, κατά την οποία ένα σύνολο pixels της αρχικής εικόνας αντικαθίσταται από ένα pixel στη νέα εικόνα.

##### **4.2.4.1 Προσδιορισμός των pixels που ανήκουν ή όχι στο δρόμο**

Σε αυτό το στάδιο κάθε ένα pixel μελετάται για να βρεθεί αν ανήκει ή όχι στο τμήμα του δρόμου. Κάθε pixel μπορεί να θεωρηθεί ως ένα διάνυσμα με τρία στοιχεία, σύμφωνα με το σύστημα RGB.

Για να κατασκευάσουμε ένα εύρωστο σύστημα ικανό να αναγνωρίζει τις λωρίδες κυκλοφορίας σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις, είναι απαραίτητη η ποικιλομορφία των εισερχόμενων εικόνων. Αυτή μπορεί να εξασφαλιστεί αν ληφθούν υπόψη οι κύριοι παράγοντες που διαφοροποιούν μια εικόνα από μια άλλη. Αυτοί οι παράγοντες είναι οι εξής:

1. Το χρώμα της ασφάλτου,
2. Η παρουσία ή απουσία εξωτερικού θορύβου από διερχόμενα οχήματα,
3. Το σχήμα των λευκών διαχωριστικών γραμμών, που μπορεί να είναι συμπαγείς ή διακεκομμένες,
4. Η μορφή της περιοχής που περιβάλλει το δρόμο, η οποία μπορεί να ποικίλλει ευρέως.

Εάν  $x_{ki}$  είναι η  $i$ -οστή είσοδος του  $k$  νευρώνα,  $w_{ki}$ : το  $i$ -οστό συναπτικό βάρος του  $k$  νευρώνα και  $\phi(\cdot)$  η συνάρτηση μεταφοράς (ή "συνάρτηση ενεργοποίησης") του νευρωνικού δικτύου, τότε η έξοδος  $y_k$  του  $k$  νευρώνα δίνεται από την εξίσωση:

$$y_k = \phi \left( \sum_{i=0}^N x_{ki} w_{ki} \right)$$

Στον  $k$ -οστό νευρώνα υπάρχει ένα συναπτικό βάρος  $w_{k0}$  με ιδιαίτερη σημασία, το οποίο καλείται πόλωση ή κατώφλι (bias, threshold). Η τιμή της εισόδου του είναι πάντα η μονάδα,  $x_{k0} = 1$ . Εάν το συνολικό άθροισμα από τις υπόλοιπες εισόδους του νευρώνα είναι μεγαλύτερο από την τιμή αυτή, τότε ο νευρώνας ενεργοποιείται. Εάν είναι μικρότερο, τότε ο νευρώνας παραμένει ανενεργός.

Με τη βοήθεια των εικόνων που αποκτήθηκαν με τη CCD κάμερα, οι οποίες πρέπει να είναι ένας αρκετά μεγάλος αριθμός και με χρήση της Matlab γίνεται εκπαίδευση τύπου vector quantization (LVQ) για να βελτιστοποιηθούν τα συναπτικά βάρη των νευρώνων. Μετά την εκπαίδευση, το νευρωνικό δίκτυο είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί για την κατηγοριοποίηση των εικόνων των δρόμων.

#### **4.2.4.2 Ανίχνευση των διαχωριστικών γραμμών**

Για την τοποθέτηση των ορίων μιας λωρίδας χρειάζεται αρχικά να βρεθούν οι θέσεις των λευκών διαχωριστικών γραμμών. Οι διαχωριστικές αυτές γραμμές μπορούν να οριστούν ως άσπρες περιοχές που δεν ανήκουν στην περιοχή του δρόμου, είναι «περικυκλωμένες» και από τις δύο πλευρές τους από περιοχές δρόμου και έχουν συγκεκριμένο σχήμα.

Οι παράγοντες που συνεισφέρουν στην ποικιλομορφία των σχημάτων και των μεγεθών των άσπρων διαχωριστικών γραμμών, είναι οι εξής:

1. Ο τύπος των διαχωριστικών γραμμών, δηλαδή εάν είναι συμπαγείς ή διακεκομμένες,
2. Το μέγεθος των διαχωριστικών γραμμών που αλλάζει με την αλλαγή της θέσης της κάμερας. Όσο πιο κοντά είναι οι διαχωριστικές γραμμές στην κάμερα, τόσο πιο μεγάλες εμφανίζονται στην εικόνα,
3. Ο προσανατολισμός των διαχωριστικών γραμμών σε σχέση με την κάμερα. Οι διαχωριστικές γραμμές που βρίσκονται στα αριστερά της κάμερας θα έχουν διαφορετικό προσανατολισμό σε σύγκριση με αυτές που βρίσκονται στα δεξιά της.

Με χρήση αλγόριθμου νευρωνικών δικτύων με επίβλεψη, το σύστημα εκπαιδεύεται να ανιχνεύει ποικίλους τύπους διαχωριστικών γραμμών. Η είσοδος του συστήματος ανίχνευσης διαχωριστικών γραμμών είναι σύνολα pixels της εικόνας, που προηγουμένως έχει προσδιοριστεί αν ανήκουν ή όχι στο τμήμα του δρόμου. Η έξοδος του συστήματος ανίχνευσης διαχωριστικών γραμμών θα είναι ο αριθμός 0 ή 1, που προσδιορίζει την απουσία ή παρουσία διαχωριστικών γραμμών αντίστοιχα σε αυτό το σύνολο των pixels.

# 5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

## 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για την κατανόηση του αλγόριθμου εντοπισμού λωρίδων κυκλοφορίας και μέτρησης λαμπρότητας οδοστρώματος που θα προταθεί, κρίνεται αναγκαίος ο ορισμός μερικών βασικών εννοιών και μεθόδων του τομέα της επεξεργασίας εικόνας [16], [17].

## 5.2 ΤΥΠΟΙ ΑΡΧΕΙΩΝ

Ένα αρχείο πολυμέσων (εικόνας, ήχου, video) είναι δυνατό να αναπαριστάται με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τους σκοπούς που εξυπηρετεί. Χαρακτηριστικά, παραθέτουμε δύο τέτοιους τρόπους αναπαράστασης αρχείων που χρησιμοποιούνται ευρύτατα.

### 5.2.1 Αρχεία δεδομένων τύπου binary

Ένα αρχείο τύπου binary (δυναδικό) περιέχει κάθε είδους δεδομένα, κωδικοποιημένα σε δυαδική μορφή, δηλαδή αναπαριστώμενα με βάση το 2, πράγμα που διευκολύνει την αποθήκευση και την επεξεργασία του. Τα δυαδικά αρχεία συνήθως θεωρούνται ως μια σειρά από bytes, πράγμα που σημαίνει ότι τα δυαδικά ψηφία (bits), είναι ομαδοποιημένα ανά οχτώ. Τέτοιου είδους αρχεία μπορεί να περιέχουν κείμενο χαρακτήρων, εικόνες, ήχους, συμπυκνωμένες μορφές άλλων αρχείων, κλπ - με λίγα λόγια οποιοδήποτε τύπο αρχείων.

Εάν ένα δυαδικό αρχείο ανοιχτεί με έναν text editor, κάθε ομάδα οχτώ bits μπορεί να μεταφραστεί σαν ένας χαρακτήρας, και επομένως, αυτό που μπορεί να δει κάποιος είναι μια αναπαράσταση χαρακτήρων κειμένου. Εάν το αρχείο προσπελαστεί με κάποιο άλλο είδος εφαρμογής, αυτή η εφαρμογή έχει τη δική της χρήση για κάθε byte. Είναι δυνατό να συμπεριφέρεται στο κάθε byte ως έναν αριθμό, και να εξάγει μια σειρά αριθμών που κυμαίνονται μεταξύ 0 και 255, ή να ερμηνεύει τους αριθμούς στα bytes σαν χρώματα και να αναπαριστά την αντίστοιχη εικόνα.

### 5.2.2 Αρχεία δεδομένων τύπου avi

Η μορφοποίηση τύπου Audio Video Interleave, που είναι γνωστή σαν μορφοποίηση avi, είναι μια μορφοποίηση αρχείων πολυμέσων [18]. Διαχωρίζει τα δεδομένα του αρχείου σε τμήματα, τα οποία ονομάζονται "chunks". Κάθε τέτοιο τμήμα προσδιορίζεται από μια «ταμπέλα», μια σειρά από τέσσερα bytes (FOURCC

tag). Κάθε τμήμα chunk διαχωρίζεται σε δύο «υποχρεωτικά υποτμήματα» και ένα «προαιρετικό».

Το πρώτο υποτμήμα προσδιορίζεται από την ταμπέλα `hdr1` και περιέχει δεδομένα σχετικά με το `video`, όπως το πλάτος του, το ύψος του και το ρυθμό των `frames` του. Το δεύτερο υποτμήμα προσδιορίζεται από την ταμπέλα `mon1` και περιέχει τα πραγματικά οπτικοακουστικά δεδομένα που αποτελούν το `video`. Το τρίτο, προαιρετικό υποτμήμα προσδιορίζεται από την ταμπέλα `idx1` και καθορίζει το `offset` των τμημάτων δεδομένων μέσα στο αρχείο, δηλαδή ουσιαστικά την θέση τους.

## **5.3 ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

### **5.3.1 Πρότυπο RGB**

Το πρότυπο χρώματος RGB είναι ένα προσθετικό πρότυπο στο οποίο τα χρώματα κόκκινο, πράσινο και μπλε συνδυάζονται με διάφορους τρόπους για να αναπαραχθούν άλλα χρώματα. Το όνομα του προτύπου και η σύντηξη RGB προέρχονται από τα τρία βασικά χρώματα, το κόκκινο (**R**ed), πράσινο (**G**reen), και το μπλε (**B**lue).

Λόγω της διόρθωσης γάμα η ένταση του παραγόμενου χρώματος στις συσκευές απεικόνισης (π.χ. οθόνη) δεν είναι πάντα άμεσα ανάλογη προς τις τιμές R, G, B. Δηλαδή ακόμα κι αν μια τιμή 0,5 είναι πολύ κοντά στα μισά του δρόμου μεταξύ 0 και 1 (πλήρης ένταση), ουσιαστικά η παραγόμενη ένταση όταν το σήμα εισόδου είναι (0,5 0,5 0,5) πλησιάζει περισσότερο το 22% της πλήρους έντασης με σήμα εισόδου (1,0 1,0 1,0). Με λίγα λόγια, ο το γάμα αυτό είναι ένας εκθέτης στον οποίο πρέπει να υψωθεί η τιμή ενός σήματος βίντεο για να επιστρέψει στην γραμμική σχέση που πρέπει να έχει με την φωτεινότητα της σκηνής στην οποία αντιστοιχεί. Στα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα υπάρχει ο θόρυβος κβάντισης και έχοντας ως δεδομένο ένα ποσοστό θορύβου, τα λιγότερο φωτεινά μέρη του σήματος βρίσκονται κοντά σε αυτόν. Στόχος μας είναι να τα απομακρύνουμε. Επομένως, όσο πιο χαμηλή φωτεινότητα έχει ένα μέρος του σήματος, τόσο περισσότερο επιδιώκουμε να το απομακρύνουμε και συνεπώς, μια συνάρτηση με εκθέτη ανεξάρτητης μεταβλητής μικρότερο της μονάδας θα μας βοηθήσει. Η διαδικασία αντιστοίχισης της φωτεινότητας μιας σκηνής σε ένα σήμα βίντεο όχι γραμμικά, όπως θα έπρεπε, αλλά μέσω μιας εκθετικής σχέσης γίνεται με συγκεκριμένες προδιαγραφές.

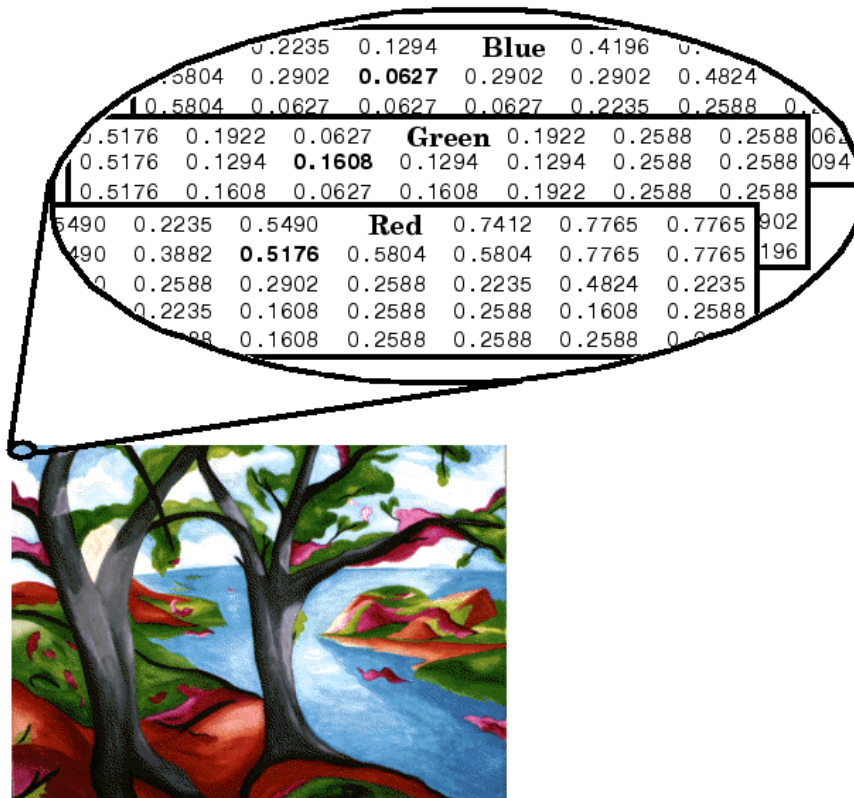
Ένα χρώμα στο πρότυπο χρώματος RGB μπορεί να περιγραφεί με το προσδιορισμό του πόσο κάθε ένα από το κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώματα συμπεριλαμβάνεται. Κάθε ένα μπορεί να ποικίλει μεταξύ του ελάχιστου (καθόλου

χρώμα) και του μεγίστου (πλήρης ένταση). Εάν όλα τα χρώματα είναι στο ελάχιστο το αποτέλεσμα είναι μαύρο. Εάν όλα τα χρώματα είναι στο μέγιστο, το αποτέλεσμα είναι το άσπρο. Τα χρώματα μπορούν να περιγραφούν ποσοτικά με διάφορους τρόπους:

- Τα χρώματα συχνά τοποθετούνται στην κλίμακα 0 (ελάχιστο) έως 1 (μέγιστο). Πολλοί μαθηματικοί τύποι που σχετίζονται με το χρώμα χρησιμοποιούν αυτές τις τιμές. Π.χ. το μέγιστο κόκκινο είναι 1,0,0 για Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε.
- Οι τιμές χρώματος μπορούν να γραφτούν επίσης ως ποσοστά, από 0% (ελάχιστο) ως 100% (μέγιστο). Το μέγιστο κόκκινο είναι 100%, 0%, 0%.
- Οι τιμές χρώματος μπορούν να γραφτούν ως αριθμοί στην κλίμακα 0 έως 255, απλά με τον πολλαπλασιασμό της κλίμακας 0.0 έως 1.0 με 255. Αυτό το μοντέλο απαντάται συνήθως στην πληροφορική, όπου οι προγραμματιστές προτιμούν να αποθηκεύουν κάθε αξία χρώματος σε ένα byte (8 bit). Το μέγιστο κόκκινο είναι το 255,0,0.
- Η ίδια σειρά, 0 έως 255, γράφεται μερικές φορές σε δεκαεξαδικό, και ίσως με ένα πρόθεμα (π.χ. #). Επειδή οι δεκαεξαδικοί αριθμοί σε αυτήν την κλίμακα μπορούν να γραφτούν με ένα σταθερό σχήμα δύο ψηφίων, το μέγιστο κόκκινο #FF, #00, #00 μπορεί να γραφτεί και σαν #ff0000. Αυτή η σύμβαση χρησιμοποιείται ευρέως στα χρώματα στο διαδίκτυο.

Στη Matlab μια RGB εικόνα αποθηκεύεται σε έναν  $M \times N \times 3$  πίνακα δεδομένων, που ορίζει την κόκκινη, πράσινη και μπλε χρωματική συνιστώσα του κάθε pixel [19]. Ένας τέτοιος πίνακας είναι δυνατόν να έχει τιμές χρώματος σε κλίμακα από 0 έως 1 (double), από 0 έως 255 (uint8) ή από 0 έως 255 γραμμένες στο δεκαεξαδικό σύστημα (uint16). Οι τρεις χρωματικές συνιστώσες του κάθε pixel αποθηκεύονται κατά μήκος της τρίτης διάστασης του πίνακα δεδομένων. Για παράδειγμα, η κόκκινη, πράσινη και μπλε χρωματική συνιστώσα του pixel (10,5) αποθηκεύονται στην θέση RGB(10,5,1), RGB(10,5,2), and RGB(10,5,3), αντίστοιχα.

Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει μια RGB εικόνα που έχει τιμές χρώματος σε κλίμακα από 0 έως 1 (double):



Εικόνα 5-1 Παράδειγμα RGB εικόνας

Για να βρούμε το χρώμα ενός pixel στην θέση (2,3), θα κοιτάξουμε την RGB τριπλέτα που είναι αποθηκευμένη στο (2,3,1:3). Έστω ότι το (2,3,1) περιέχει την τιμή 0.5176, το (2,3,2) την τιμή 0.1608, και το (2,3,3) την τιμή 0.0627. Το χρώμα του pixel στην θέση (2,3) είναι 0.5176 0.1608 0.0627.

### 5.3.2 Πρότυπο YCbCr

Αποτελεί ένα βασικό χρωματικό πρότυπο αναπαράστασης ψηφιακού video κυρίως. Η διαφορά του YCbCr από το RGB έγκειται στο ότι το πρώτο αναπαριστά το χρώμα ως ένα σήμα φωτεινότητας και δύο σήματα που είναι χρωματικές διαφορές. Στο YCbCr, το Y είναι η φωτεινότητα (luma), το Cb είναι η μπλε χρωματική συνιστώσα μείον τη συνιστώσα luma (B-Y) και το Cr είναι η κόκκινη χρωματική συνιστώσα μείον τη συνιστώσα luma (R-Y). Αναφέρουμε ότι κατά την παρατήρηση της Y συνιστώσας μιας εικόνας αυτή είναι ουσιαστικά ένα grayscale αντίγραφο της αρχικής εικόνας.

Τα δεδομένα YCbCr είναι τύπου double ή (συνήθως) uint8. Για εικόνες uint8 αναπαράστασης, τα δεδομένα του Y παίρνουν τιμές εντός του διαστήματος [16, 235], και των Cb και Cr εντός του διαστήματος [16, 240]. Μια uint8 εικόνα τύπου YCbCr προκύπτει από μια εικόνα RGB σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:



$$Y = 16 + \frac{1}{256} \cdot (65.738 \cdot R + 129.057 \cdot G + 25.064 \cdot B)$$

$$Cb = 128 + \frac{1}{256} \cdot (-37.945 \cdot R - 74.494 \cdot G + 112.439 \cdot B),$$

$$Cr = 128 + \frac{1}{256} \cdot (112.439 \cdot R - 94.154 \cdot G + 18.285 \cdot B)$$

όπου  $R, G, B \in [0, 255]$  και  $Cb, Cr \in [16, 240]$ . Δύο ενδεικτικές τιμές που μπορούν να πάρουν οι σταθερές  $Kb$  και  $Kr$  σύμφωνα με το πρότυπο ITU-R BT.709 είναι 0.0722 και 0.2126 αντίστοιχα.

### 5.3.3 Grayscale εικόνες

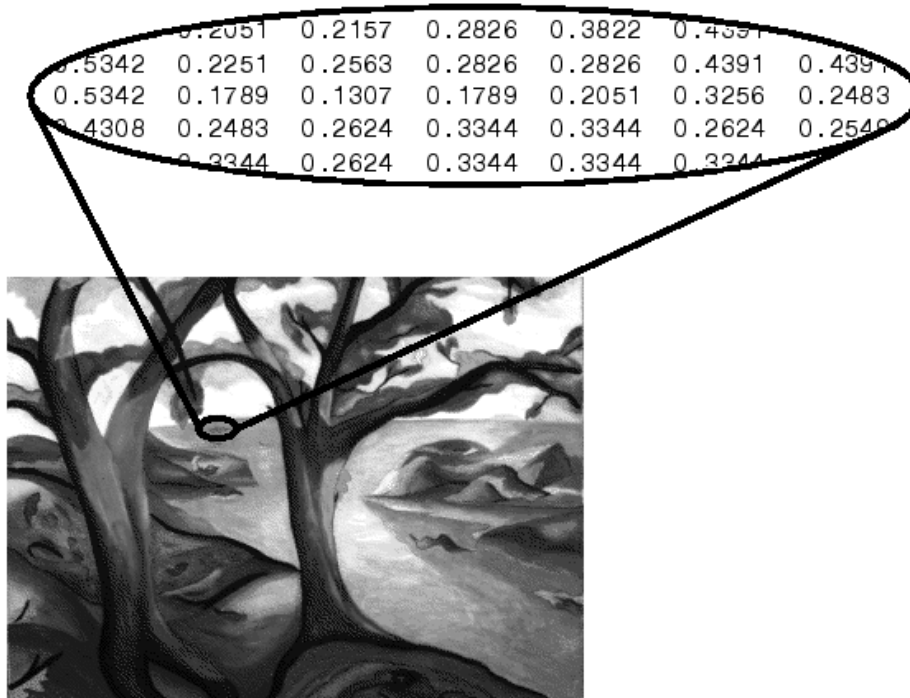
Μια grayscale ψηφιακή εικόνα είναι μια εικόνα στην οποία η τιμή κάθε pixel φέρει πληροφορίες μόνο σχετικά με την έντασή του. Οι εικόνες αυτής της μορφής κατασκευάζονται αποκλειστικά από διάφορα επίπεδα του γκριζου, που κυμαίνονται από το μαύρο (χαμηλότερη ένταση) έως το άσπρο (υψηλότερη ένταση). Πρέπει να τονιστεί ότι αυτού του είδους οι εικόνες διαφέρουν από τις ασπρόμαυρες, καθότι οι τελευταίες περιέχουν μόνο δύο διαφορετικά χρώματα, το μαύρο και το άσπρο, ενώ οι grayscale περιέχουν πολλά επίπεδα του γκριζου. Η ένταση ενός pixel κυμαίνεται μεταξύ ενός ελαχίστου και ενός μεγίστου. Το διάστημα αυτό μπορεί να είναι το  $[0, 1]$  όταν έχουμε κωδικοποίηση με double, το  $[0\%, 100\%]$ , το  $[0, 255]$ , όταν έχουμε κωδικοποίηση με 8 bits και το  $[0, 65.535]$ , όταν έχουμε κωδικοποίηση με 16 bits.

Για να είναι δυνατή η μετατροπή μιας έγχρωμης RGB εικόνας σε grayscale, είναι απαραίτητο να ανακτήσουμε τις τρεις χρωματικές της συνιστώσες RGB αρχικά. Εν συνεχεία, η μετροπή ορίζεται με την εξίσωση:

$$intensity = [0,299 \quad 0,587 \quad 0,114] \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Δηλαδή, προσθέτουμε 30% της τιμής του κόκκινου, 59% της τιμής του πράσινου και 11% της τιμής του μπλε. Άσχετα με την κλίμακα που έχει επιλεγεί (από 0 έως 1, 0 έως 255, 0% έως 100%, κλπ), το αποτέλεσμα θα είναι η επιθυμητή γκρι τιμή. Οι τιμές αυτές έχουν καθοριστεί βάσει της ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού σε καθένα από τα βασικά χρώματα (μικρότερη ευαισθησία στο πράσινο, περισσότερη στο μπλε).

Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει μια grayscale εικόνα που έχει τιμές σε κλίμακα από 0 έως 1 (double):



Εικόνα 5-2 Παράδειγμα grayscale εικόνας

## 5.4 ΦΙΛΤΡΟ MEDIAN

Στον τομέα της επεξεργασίας ψηφιακής εικόνας είναι πολύ σύνηθες, πρώτου λάβει χώρα η διαδικασία ανίχνευσης ορίων, η εικόνα να φιλτράρεται. Ένα συνηθισμένο φίλτρο που χρησιμοποιείται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι το Median φίλτρο.

Το Median φίλτρο είναι μια μη γραμμική ψηφιακή τεχνική φιλτραρίσματος (ομαλοποίησης) που ως επί των πλείστων χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του θορύβου από εικόνες ή σήματα, διατηρώντας παράλληλα τις λεπτομέρειες των περιγραμμάτων των εικόνων. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται με χρήση ενός παραθύρου δειγμάτων. Το Median φίλτρο αντικαθιστά την τιμή ενός ρικελ με την ενδιάμεση τιμή από ένα παράθυρο ρικελς στη γειτονιά του [18]. Οι τιμές του παραθύρου ταξινομούνται σε αύξουσα σειρά και εντοπίζεται η τιμή που βρίσκεται στο μέσο αυτής της ταξινόμησης (η median, ενδιάμεση τιμή).

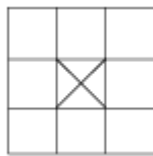
Καθαρά μαθηματικά, αν θεωρήσουμε  $n$  στοιχεία  $x_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  ( $n$  περιττός) διατεταγμένα από το μικρότερο στο μεγαλύτερο, τότε το στοιχείο που βρίσκεται στην μεσαία θέση της διάταξης ονομάζεται μεσαίος (συμβολίζεται με  $med(x_i)$ ) και είναι το στοιχείο εκείνο που ελαχιστοποιεί την  $L_1$  νόρμα :  $\sum_{i=1}^n |x_i - med| \rightarrow \min$ . Από την παραπάνω σχέση, ο μεσαίος είναι ο εκτιμητής της μέγιστης πιθανοφάνειας

(maximum likelihood) της θέσης, αν τα δεδομένα ακολουθούν κάποια κατανομή όπως η Laplace. Ένα δισδιάστατο φίλτρο μεσαίου έχει τον ακόλουθο ορισμό :

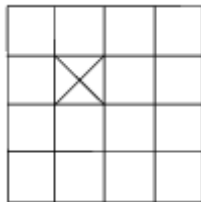
$$y(i, j) = \text{med}\{x(i+r, j+s) : (r, s) \in A, (i, j) \in Z^2\}$$

όπου με  $Z^2 = Z \times Z$  δηλώνεται το επίπεδο της εικόνας και το  $A$  (υποσύνολο του  $Z^2$ ) είναι το παράθυρο του φίλτρου που χρησιμοποιείται.

Το αντίστοιχο Median Filter block της Matlab αντικαθιστά την κεντρική τιμή ενός  $M \times N$  παραθύρου με την ενδιάμεση τιμή του. Εάν το παράθυρο που έχει επιλεγεί έχει μια κεντρική τιμή, το block τοποθετεί την ενδιάμεση τιμή εκεί, όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω σχήμα:



Εάν το παράθυρο δεν έχει ένα ακριβές κέντρο, το block έχει μια «προτίμηση» ως προς την πάνω αριστερή γωνία και τοποθετεί την ενδιάμεση τιμή εκεί, όπως παρουσιάζεται ακολούθως:



Το παλαιότερο δείγμα απορρίπτεται, ένα νέο δείγμα αποκτάται και ο υπολογισμός επαναλαμβάνεται.

Για την καλύτερη κατανόηση του συγκεκριμένου φίλτρου, θα το εφαρμόσουμε στη γειτονιά ενός pixel που έχει τιμή 15, θεωρώντας ένα παράθυρο μεγέθους  $3 \times 3$ , με τιμές των γειτονικών pixels  $\{10, 20, 20, 20, 15, 20, 20, 25, 100\}$ . Το φίλτρο Median αναδιατάσσει τις τιμές κατά αύξουσα διάταξη  $\{10, 15, 20, 20, 20, 20, 20, 25, 100\}$  και επιλέγει την ενδιάμεση τιμή 20 για να αντικαταστήσει την τιμή 15.

Το φίλτρο median είναι πολύ χρήσιμο στην απομάκρυνση του θορύβου salt and pepper, καθώς οι τιμές των pixels, με αυτόν, διαφέρουν πολύ από τις περιβάλλουσες τιμές. Το μόνο πρόβλημά του, έγκειται στο γεγονός ότι η διαδικασία που περιγράφηκε, πραγματοποιείται για όλα τα pixels της εικόνας, εκτός από εκείνα στα άκρα της εικόνας για τα οποία δεν μπορεί να σχηματιστεί το παράθυρο με κέντρο αυτά. Για να εφαρμοστεί το φίλτρο στα ακραία pixels υπάρχουν δυο

προσεγγίσεις. Η μία είναι να αποκοπεί κατάλληλα το παράθυρο του φίλτρου, και η άλλη είναι να συμπληρωθεί η εικόνα με επαρκή αριθμό νέων δειγμάτων (pixels στα άκρα της εικόνας) ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί το παράθυρο. Επομένως, υπάρχει κίνδυνος πιθανώς λάθος υπολογισμού των οριακών τιμών της εικόνας, και γι' αυτό υπάρχει και κίνδυνος διαστρέβλωσης των pixels που βρίσκονται εντός του διαστήματος  $[M/2 \ N/2]$  από τις άκρες της εικόνας. Χαρακτηριστικά, παραθέτουμε το ακόλουθο παράδειγμα, στο οποίο θα φιλτράρουμε τον πίνακα  $x$ , χρησιμοποιώντας ένα παράθυρο μεγέθους 3 και επαναλαμβάνοντας τις ακραίες τιμές:

$$\begin{aligned} x &= [2 \ 80 \ 6 \ 3] \\ y[1] &= \text{Median}[2 \ 2 \ 80] = 2 \\ y[2] &= \text{Median}[2 \ 80 \ 6] = \text{Median}[2 \ 6 \ 80] = 6 \\ y[3] &= \text{Median}[80 \ 6 \ 3] = \text{Median}[3 \ 6 \ 80] = 6 \\ y[4] &= \text{Median}[6 \ 3 \ 3] = \text{Median}[3 \ 3 \ 6] = 3 \end{aligned}$$

Επομένως, η φιλτραρισμένη έξοδος προκύπτει ότι  $y=[2 \ 6 \ 6 \ 3]$ .

## **5.5 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΟΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ROBERTS**

Γενικά οι αλγόριθμοι ανίχνευσης ορίων στοχεύουν στην εύρεση σημείων στην ψηφιακή εικόνα όπου υπάρχει έντονη και απότομη αλλαγή της φωτεινότητάς της ή αλλιώς όπου υπάρχουν ασυνέχειες. Γενικά, ασυνέχειες στην φωτεινότητα της εικόνας μπορεί να αντιστοιχούν σε:

- Ασυνέχειες βάθους,
- Ασυνέχειες στον προσανατολισμό της επιφάνειας,
- Αλλαγές των ιδιοτήτων των υλικών,
- Διαφορές στον φωτισμό της σκηνής.

Στην ιδανική περίπτωση, το αποτέλεσμα της εφαρμογής ενός ανιχνευτή ορίων είναι δυνατό να οδηγήσει σε ένα σύνολο ενωμένων καμπυλών που προσδιορίζουν τα όρια αντικειμένων, όρια σημαδιών στην επιφάνεια καθώς επίσης και καμπυλών που αντιστοιχούν σε ασυνέχειες του προσανατολισμού της επιφάνειας. Έτσι, η εφαρμογή ενός ανιχνευτή ορίων σε μια εικόνα είναι δυνατό να μειώσει σημαντικά την ποσότητα των προς επεξεργασία δεδομένων και να φιλτράρει πληροφορίες που θεωρούνται λιγότερο σχετικές. Εάν το στάδιο της ανίχνευσης ορίων είναι επιτυχημένο, η ερμηνεία των περιεχόμενων της αρχικής εικόνας μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά.

Ωστόσο, δεν είναι πάντα εφικτό να αποκτηθούν ιδανικά όρια από όλες τις εικόνες. Τα εξαγόμενα όρια είναι συχνά διακεκομμένα, τους λείπουν τμήματα ή δεν

ανταποκρίνονται στα όρια που πραγματικά μας ενδιαφέρουν στην εικόνα, δυσκολεύοντας έτσι την ερμηνεία των περιεχόμενων της αρχικής εικόνας .

Η μέθοδος Roberts' Cross είναι ένας από τους πιο πρόσφατους αλγόριθμους για την ανίχνευση ορίων. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των διαγωνίως παρακείμενων pixels. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί εάν γίνει συνέλιξη της εικόνας με δύο 2x2 κελιά:  $\begin{bmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$  και  $\begin{bmatrix} 0 & +1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$ . Με άλλα λόγια, κάθε pixel της εικόνας υπολογίζεται ως εξής:

```
tmp1 = input_image(x,y) - input_image(x+1,y+1)
```

```
tmp2 = input_image(x+1,y) - input_image(x,y+1)
```

```
output_image(x,y) = absolute_value(tmp1) + absolute_value(tmp2)
```

Η μέθοδος Roberts' Cross χρησιμοποιείται λόγω της ταχύτητας των υπολογισμών της και ανιχνεύει γραμμές καλύτερα από άλλες μεθόδους ανίχνευσης, όπως για παράδειγμα οι μέθοδοι Sobel, Prewitt, Canny, κλπ.

Το αντίστοιχο block της Matlab θέτει τα pixels, τα οποία ανήκουν σε κάποιο όριο, ίσα με 1 και τα υπόλοιπα ίσα με 0. Δίνει, λοιπόν, σαν έξοδο μια δυαδική (ασπρόμαυρη) εικόνα.

## **5.6 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ HOUGH**

Ο μετασχηματισμός Hough είναι μια τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απομονώσει κάποια χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου σχήματος σε μια εικόνα. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ευθύγραμμων τμημάτων και γενικά παραμετρικά εκφραζόμενων καμπυλών σε ψηφιακές εικόνες [20]. Ο μετασχηματισμός Hough προτάθηκε από τον Paul Hough το 1962 και είχε αναπτυχθεί στα πλαίσια της κατασκευής μιας ηλεκτρονικής συσκευής για την ανίχνευση της κίνησης σωματιδίων υψηλής ενέργειας. Το 1972 οι Duda και Hart χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά το μετασχηματισμό Hough για την εύρεση σχημάτων σε εικόνες.

Ο κλασικός μετασχηματισμός Hough χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ομαλών καμπυλών όπως γραμμών κύκλων ελλείψεων κλπ. Ένας γενικευμένος μετασχηματισμός χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που δεν είναι δυνατή μια απλή αναλυτική περιγραφή των ζητούμενων χαρακτηριστικών. Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε χρήση του μετασχηματισμού Hough γραμμής.

### **5.6.1 Μετασχηματισμός Hough γραμμής**

Ο μετασχηματισμός Hough γραμμής αποτελεί την απλούστερη περίπτωση του μετασχηματισμού Hough. Το βασικό χαρακτηριστικό του προσδιορισμού ευθειών με αυτό το μετασχηματισμό είναι η σχέση σημείου-ευθείας. Ένα σημείο μπορεί να οριστεί ως το σημείο τομής ενός συνόλου ευθειών που διέρχονται από αυτό. Από την άλλη αν θεωρήσουμε ένα σύνολο συνευθειακών σημείων υπάρχει μια μόνο ευθεία που περνά από καθένα από αυτά τα σημεία. Δηλαδή, όπως ένα σημείο μπορεί να προσδιοριστεί ως σημείο τομής ενός συνόλου ευθειών, έτσι και μια ευθεία μπορεί να προσδιοριστεί από ένα σύνολο σημείων [21], [22].

Μια ευθεία γραμμή μπορεί να περιγραφεί βάσει της κλίσης της από την ακόλουθη εξίσωση:

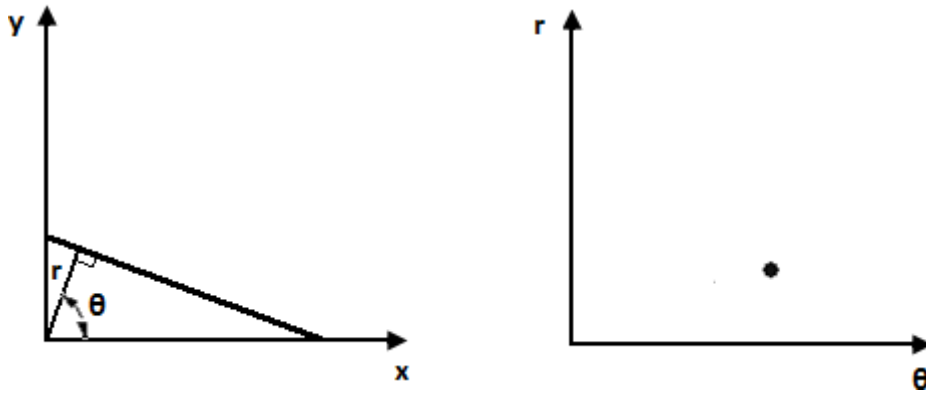
$$y = m \cdot x + b$$

Η βασική ιδέα στο μετασχηματισμό Hough είναι να θεωρήσουμε την ευθεία ως συνάρτηση των  $m$ ,  $b$  και όχι των  $x$ ,  $y$ , και βασιζόμενοι σε αυτό το συλλογισμό να αναπαραστήσουμε μια ευθεία γραμμή  $y = m \cdot x + b$  σαν ένα σημείο  $(m, b)$ . Όμως, στην περίπτωση που οι γραμμές τείνουν να γίνουν κάθετες, τα μεγέθη  $m$  και  $b$  τείνουν επίσης να απειριστούν. Γι' αυτό το λόγο είναι προτιμότερο να παραμετροποιούμε τις ευθείες στο μετασχηματισμό Hough με δύο άλλες παραμέτρους, τις  $r$ ,  $\theta$  (πολικές συντεταγμένες). Έτσι, η εξίσωση παίρνει τη μορφή:

$$x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta = r$$

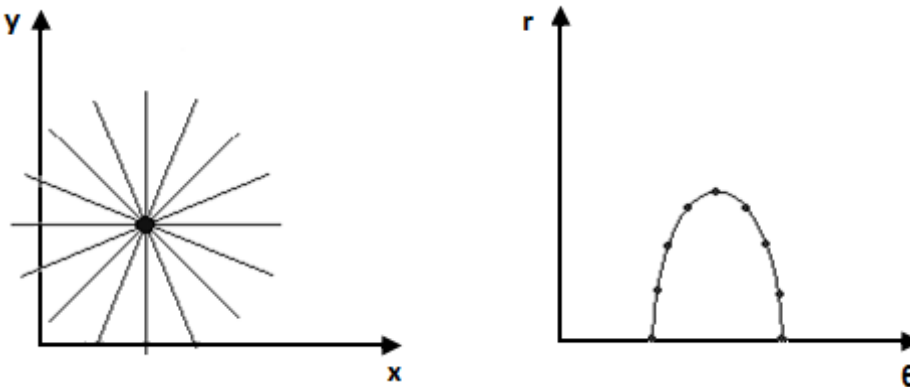
Αν θεωρήσουμε, μάλιστα, ότι  $\theta \in [0, \pi]$  και  $r \in \mathcal{R}$  ή  $\theta \in [0, 2\pi]$  και  $r \geq 0$  τότε κάθε μια από τις ευθείες αντιστοιχίζεται σε ένα μοναδικό ζεύγος  $(r, \theta)$ .

Για να αναλύσουμε αυτή τη μορφή του μετασχηματισμού θα μελετήσουμε τα παρακάτω ζευγάρια σχημάτων. Στο πρώτο ζεύγος σχημάτων απεικονίζεται μια ευθεία στο επίπεδο  $x$ ,  $y$  με πολικές παραμέτρους. Η ευθεία αυτή αντιστοιχίζεται σε ένα σημείο στο επίπεδο  $\theta$ ,  $r$ . Όλα τα σημεία  $(x_p, y_p)$  που ανήκουν στην ευθεία αυτή ικανοποιούν τη σχέση  $r = x_p \cdot \cos\theta + y_p \cdot \sin\theta$ . Πρόκειται, δηλαδή, για μια απεικόνιση ευθείας σε σημείο.



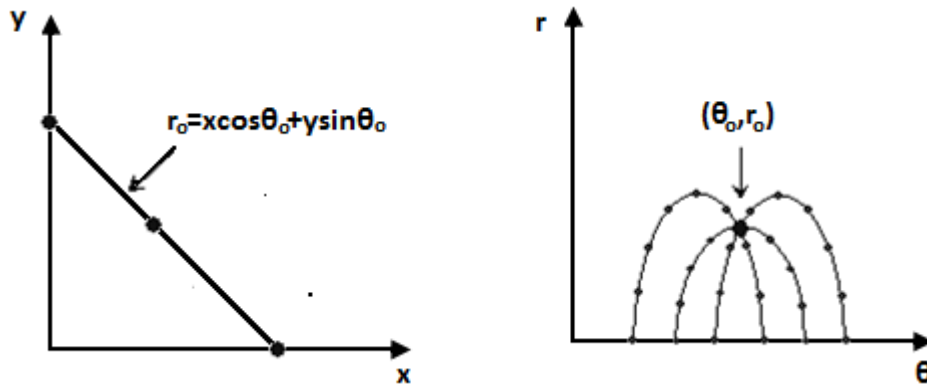
Εικόνα 5-3 Αντιστοίχιση ευθείας σε σημείο μέσω μετασχηματισμού Hough

Στο δεύτερο ζεύγος σχημάτων, έχουμε ένα σημείο  $(x, y)$  στο επίπεδο  $x, y$ , από το οποίο διέρχονται ευθείες. Κάθε μια από αυτές τις ευθείες έχει πολικές παραμέτρους  $(\theta_i, r_i)$ . Δηλαδή, το σημείο προσδιορίζεται από ένα σύνολο ευθειών με διαφορετικά  $(\theta_i, r_i)$  η καθεμία. Το σύνολο αυτό των διαφορετικών ζευγών  $(\theta_i, r_i)$  δημιουργούν μια ημιτονοειδή καμπύλη στο επίπεδο  $\theta, r$  και ικανοποιούν τη σχέση  $r_i = x \cdot \cos\theta_i + y \cdot \sin\theta_i$ . Πρόκειται, δηλαδή, για μια απεικόνιση σημείου σε καμπύλη.



Εικόνα 5-4 Αντιστοίχιση σημείου σε καμπύλη μέσω μετασχηματισμού Hough

Στο τρίτο ζεύγος σχημάτων, έχουμε αρχικά τρία σημεία  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$  και  $(x_3, y_3)$  στο επίπεδο  $x, y$ . Από το καθένα διέρχεται ένα σύνολο ευθειών. Οι ευθείες που αντιστοιχούν σε καθένα από αυτά τα σημεία σχηματίζουν μια ημιτονοειδή καμπύλη στο επίπεδο  $\theta, r$ . Παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα σημείο  $(\theta_0, r_0)$  του επιπέδου  $\theta, r$  από το οποίο διέρχονται όλες οι ημιτονοειδείς καμπύλες. Οι πολικές συντεταγμένες αυτού του σημείου  $(\theta_0, r_0)$  προσδιορίζουν μια ευθεία στο επίπεδο  $x, y$  η οποία διέρχεται από τα τρία σημεία  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$  και  $(x_3, y_3)$ .



Εικόνα 5-5 Αντιστοίχιση της ευθείας  $x\cos\theta_0+y\sin\theta_0$  στο σημείο  $(\theta_0, r_0)$

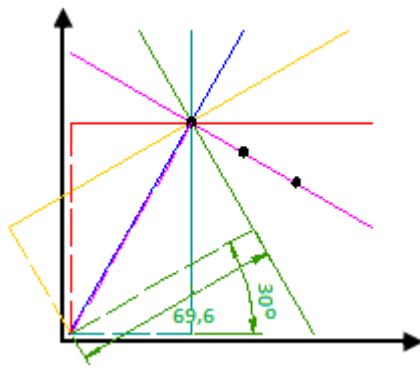
Επομένως, μπορούμε να συνοψίσουμε το μετασχηματισμό Hough ως εξής:

- Κάθε σημείο στο επίπεδο  $x, y$  απεικονίζεται στο επίπεδο  $\theta, r$  με μια ημιτονοειδή καμπύλη.
- Οι ευθείες του επιπέδου  $x, y$  προσδιορίζονται από τις κορυφές του επιπέδου  $\theta, r$ , δηλαδή τα σημεία του επιπέδου  $\theta, r$  από τα οποία διέρχονται περισσότερες από μια καμπύλες.
- Στις εφαρμογές επεξεργασίας εικόνας το επίπεδο  $x, y$  αντιστοιχεί στον πίνακα που περιέχει τις τιμές των pixel της εικόνας.
- Αντίστοιχα, το επίπεδο  $\theta, r$  αναπαρίσταται μέσω ενός πίνακα που ονομάζεται πίνακας Hough ή συσσώρευσης.

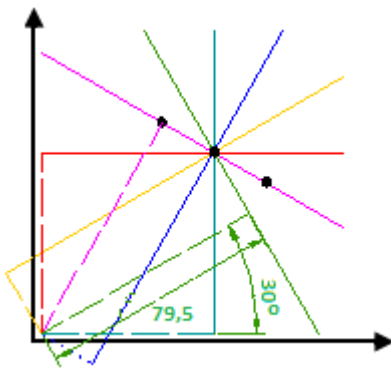
Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στον τρόπο δημιουργίας του πίνακα συσσώρευσης, επιλέγεται ένα συγκεκριμένο βήμα για τη γωνία (πχ  $30^\circ$ ). Για κάθε pixel της εικόνας και έχοντας γνώση της τιμής της γωνίας  $\theta$ , ο αλγόριθμος του μετασχηματισμού Hough υπολογίζει την αντίστοιχη τιμή του  $r$ . Εν συνεχεία, το αντίστοιχο κελί του πίνακα συσσώρευσης που αντιστοιχεί στο ζεύγος  $(\theta, r)$  λέμε ότι παίρνει μία «ψήφο». Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία, βρίσκοντας τα μέγιστα του πίνακα συσσώρευσης, δηλαδή τα κελιά με τις περισσότερες ψήφους, ουσιαστικά μπορούμε να προσδιορίσουμε τις πιο πιθανές ευθείες της αρχικής εικόνας.

Για καλύτερη κατανόηση της έννοιας του πίνακα συσσώρευσης παρατίθεται το ακόλουθο παράδειγμα. Ας θεωρήσουμε ότι έχουμε τρία σημεία, έτσι όπως φαίνονται παρακάτω:

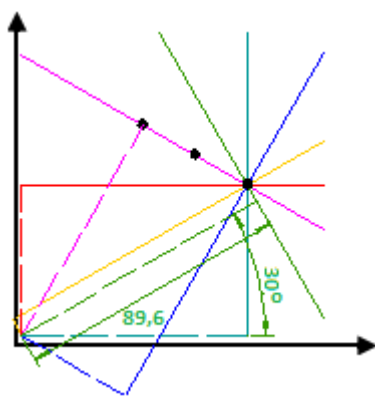




| $\theta$ | r    |
|----------|------|
| 0        | 40   |
| 30       | 69,6 |
| 60       | 81,2 |
| 90       | 70   |
| 120      | 40,6 |
| 150      | 0,4  |



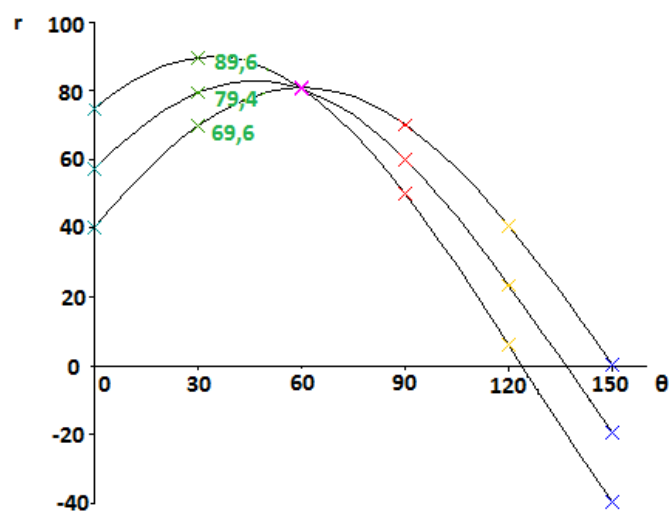
| $\theta$ | r     |
|----------|-------|
| 0        | 57,1  |
| 30       | 79,5  |
| 60       | 80,5  |
| 90       | 60    |
| 120      | 23,4  |
| 150      | -19,5 |



| $\theta$ | r     |
|----------|-------|
| 0        | 74,6  |
| 30       | 89,6  |
| 60       | 80,6  |
| 90       | 50    |
| 120      | 6     |
| 150      | -39,6 |

Εικόνα 5-6 Παράδειγμα μετασχηματισμού Hough

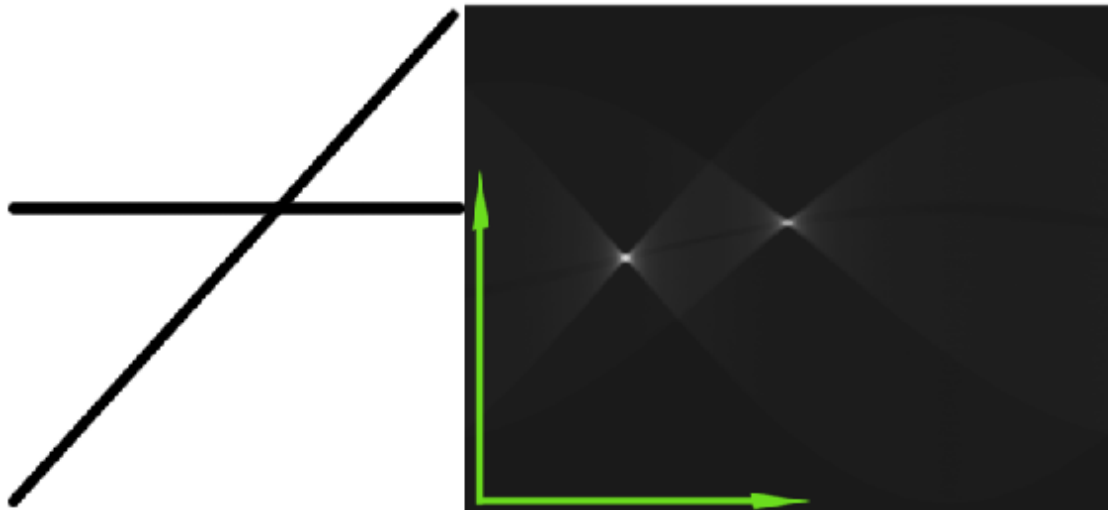
- Από κάθε σημείο διέρχονται έξι ευθείες διαφορετικού χρώματος.
- Σε κάθε μια από αυτές τις γραμμές έχουμε φέρει και μια αντίστοιχη κάθετη με το ίδιο χρώμα αλλά διακεκομμένη.
- Μετράται η γωνία και το μήκος κάθε μίας από τις διακεκομμένες γραμμές και τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρατίθενται στους πίνακες.
- Το ίδιο επαναλαμβάνεται για κάθε ένα από τα τρία σημεία.
- Σχεδιάζεται, στη συνέχεια, ένα γράφημα του μήκους συναρτήσει των γωνιών.



Εικόνα 5-7 Αποτέλεσμα μετασχηματισμού Hough

Το σημείο στο οποίο τέμνονται οι καμπύλες αντιστοιχεί σε ένα μήκος και μια γωνία. Αυτό το μήκος και η γωνία αντιπροσωπεύουν την ευθεία που διέρχεται από τα τρία εξεταζόμενα σημεία.

Παρακάτω παρουσιάζεται το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού Hough σε μια εικόνα που περιέχει δύο ευθείες:



**Εικόνα 5-8** Αντιστοίχιση δύο ευθειών σε δύο σημεία μέσω μετασχηματισμού Hough

Τα κελιά με τις υψηλότερες τιμές φαίνονται φωτεινότερα. Τα φωτεινότερα εικονοκύτταρα αναπαριστούν συντεταγμένες στο χώρο  $r, \theta$  που έλαβαν τις περισσότερες ψήφους, και επομένως είναι περισσότερο πιθανόν να παράγουν γραμμές που να ταιριάζουν σε πολλά σημεία. Στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι δύο τα φωτεινότερα κελιά γιατί δύο είναι και οι ευθείες στην αρχική εικόνα.

### **5.6.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα μετασχηματισμού Hough**

Το βασικό πλεονέκτημα του μετασχηματισμού Hough αποτελεί το γεγονός ότι τα pixel που αποτελούν μια ευθεία δεν χρειάζεται να είναι όλα παρακείμενα. Αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο στην περίπτωση ανίχνευσης γραμμών που δεν είναι συνεχόμενες και έχουν ενδιάμεσα μικρά διαστήματα, όπως χαρακτηριστικά συμβαίνει στην περίπτωση των λωρίδων κυκλοφορίας.

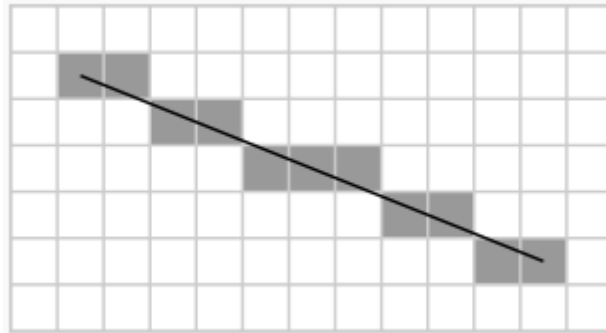
Ως βασικό μειονέκτημα του μετασχηματισμού Hough μπορούμε να θεωρήσουμε το γεγονός ότι εξαρτάται από την ποιότητα της εικόνας εισόδου. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να δώσει παραπλανητικά αποτελέσματα εάν αντικείμενα ευθυγραμμιστούν κατά τύχη. Ακόμα, αυτό συνεπάγεται ότι ο μετασχηματισμός αυτός δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις, όπου οι εικόνες εισόδου έχουν θόρυβο. Σε τέτοιες περιπτώσεις η χρήση φίλτρων σε προηγούμενο στάδιο για τη μείωση του θορύβου κρίνεται αναγκαία.

### **5.7 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ BRESENHAM ΓΙΑ ΓΡΑΜΜΕΣ**

Ο αλγόριθμος Bresenham για γραμμές, είναι ένας αλγόριθμος που καθορίζει ποια σημεία ενός πολυδιάστατου ψηφιοπλέγματος (raster) πρέπει να εμφανιστούν, ώστε να δημιουργηθεί ένα σχήμα που να αποτελεί μια καλή προσέγγιση ευθείας γραμμής μεταξύ δύο σημείων. Χρησιμοποιείται ευρέως για τη

σχεδίαση γραμμών σε οθόνες υπολογιστών, καθώς χρησιμοποιεί διαδικασίες που δεν χρειάζονται μεγάλη υπολογιστική ισχύ, και συγκεκριμένα μόνο πρόσθεση ακεραίων, αφαίρεση και μετατόπιση των bit (bit shifting).

Στον αλγόριθμο αυτό χρησιμοποιείται η σύμβαση ότι οι συντεταγμένες ενός pixel αυξάνονται προς την κάτω, δεξιά κατεύθυνση και ότι τα κέντρα των pixel έχουν ακέραιες συντεταγμένες. Θεωρούμε ότι τα ακραία σημεία της γραμμής είναι τα pixel στα σημεία  $(x_0, y_0)$  και  $(x_1, y_1)$ .



**Εικόνα 5-9** Αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου Bresenham

Ο αλγόριθμος θα παρουσιαστεί για την περίπτωση, όπου το ευθύγραμμο τμήμα πηγαίνει προς τα κάτω και δεξιά ( $x_0 \leq x_1$  and  $y_0 \leq y_1$ ), και η οριζόντιά του προβολή είναι μεγαλύτερη  $x_1 - x_0$  από την κάθετη του  $y_1 - y_0$ . Με λίγα λόγια, δηλαδή, η ευθεία έχει κλίση μικρότερη από 1 και μεγαλύτερη από 0. Σε αυτήν την περίπτωση, για κάθε στήλη  $x$  μεταξύ  $x_0$  και  $x_1$ , υπάρχει ακριβώς μια γραμμή  $y$  (η οποία υπολογίζεται από τον αλγόριθμο), που περιέχει ένα pixel της γραμμής, ενώ κάθε γραμμή μεταξύ  $y_0$  και  $y_1$  είναι δυνατό να περιέχει πολλαπλά pixels του ψηφιοπλέγματος.

Ο αλγόριθμος Bresenham επιλέγει τον ακέραιο  $y$  που αντιστοιχεί στο κέντρο του pixel που είναι πλησιέστερα στο ιδανικό  $y$  για το ίδιο  $x$ . Σε διαδοχικές στήλες  $x$  είναι δυνατό να παραμένει το ίδιο ή να αυξηθεί κατά 1. Η εξίσωση της γραμμής που περνά από τα δύο ακραία σημεία, εκφράζεται ως εξής:

$$y - y_0 = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Αφού γνωρίζουμε τη στήλη  $x$ , η γραμμή του pixel  $y$  μπορεί να βρεθεί στρογγυλοποιώντας αυτήν την ποσότητα προς τον κοντινότερο ακέραιο:

$$\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) + y_0$$

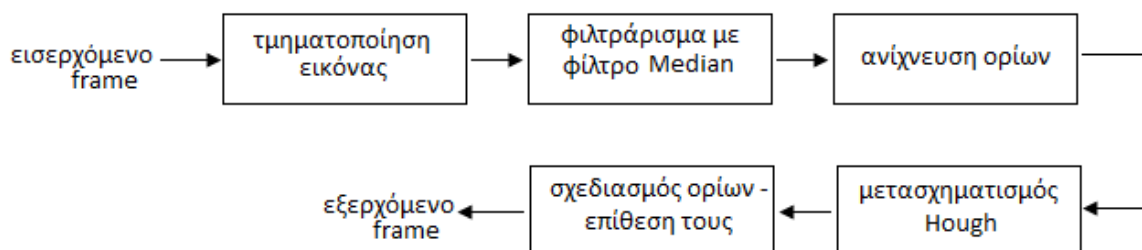
Η κλίση  $(y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)$  εξαρτάται από τις συντεταγμένες των ακραίων σημείων της ευθείας μόνο και μπορεί να υπολογιστεί εκ των προτέρων, και το ιδανικό  $\gamma$  για διαδοχικές ακέραιες τιμές του  $x$ , μπορεί να υπολογιστεί ξεκινώντας από το  $y_0$  και προσθέτοντας επανειλημμένα την κλίση.

Πρακτικά, ο αλγόριθμος είναι δυνατό να εμπεριέχει μια μικρή τιμή λάθους μεταξύ  $-0,5$  και  $0,5$ : είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ των στρογγυλοποιημένων και των ακριβών τιμών του  $\gamma$ , όσον αφορά το τρέχον  $x$ . Κάθε φορά που το  $x$  αυξάνεται, το λάθος αυξάνεται κατά την κλίση. Εάν ξεπεράσει το  $0,5$ , το  $\gamma$  του ψηφιοπλέγματος αυξάνεται κατά 1 (η ευθεία συνεχίζει στην αμέσως χαμηλότερη γραμμή του ψηφιοπλέγματος) και το λάθος μειώνεται κατά 1.

# 6 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

## 6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτήν την εργασία, παρουσιάζουμε έναν αλγόριθμο ανίχνευσης λωρίδων κυκλοφορίας βασισμένο σε ακολουθίες εικόνες που εξάγονται από video το οποίο λαμβάνεται από ένα όχημα που οδηγεί σε κάποιο κεντρικό δρόμο, όπως για παράδειγμα στην εθνική οδό. Ο αλγόριθμος εντοπισμού λωρίδων κυκλοφορίας που προτείνεται, περιλαμβάνει τα επόμενα βασικά στάδια. Αρχικά, γίνεται τμηματοποίηση της εικόνας και ακολουθεί το φιλτράρισμα του θορύβου. Στη συνέχεια, λαμβάνει χώρα η ανίχνευση των ορίων, ενώ η ανίχνευση των λωρίδων κυκλοφορίας γίνεται χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Hough. Δεδομένου ότι οι λωρίδες κυκλοφορίας είναι συνήθως μακριές και ομαλές καμπύλες, τις εξετάζουμε ως ευθείες γραμμές. Στο τελευταίο στάδιο, γίνεται σχεδιασμός των ορίων της λωρίδας κυκλοφορίας και επίθεση τους πάνω στην αρχική εικόνα. Εν συνεχεία, γίνεται εξαγωγή από την εικόνα λαμπρότητας του οδοστρώματος, του συγκεκριμένου τμήματος του οδοστρώματος της λωρίδας, του οποίου τη λαμπρότητα μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε και τέλος το επεξεργαζόμαστε λαμβάνοντας τις μετρήσεις που μας ενδιαφέρουν. Συγκεκριμένα, βρίσκουμε τη μέση τιμή της λαμπρότητας της περιοχής, τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της, το λόγο της ελάχιστης τιμής της προς το μέσο όρο της καθώς και το μέσο όρο δέκα κεντρικών τιμών της περιοχής. Το μοντέλο και ο απαραίτητος κώδικας υλοποίησης των αλγορίθμων δημιουργήθηκε σε περιβάλλον Matlab. Η όλη διαδικασία η οποία επαναλαμβάνεται για κάθε frame του βίντεο, μπορεί να συνοψιστεί στο παρακάτω block διάγραμμα:

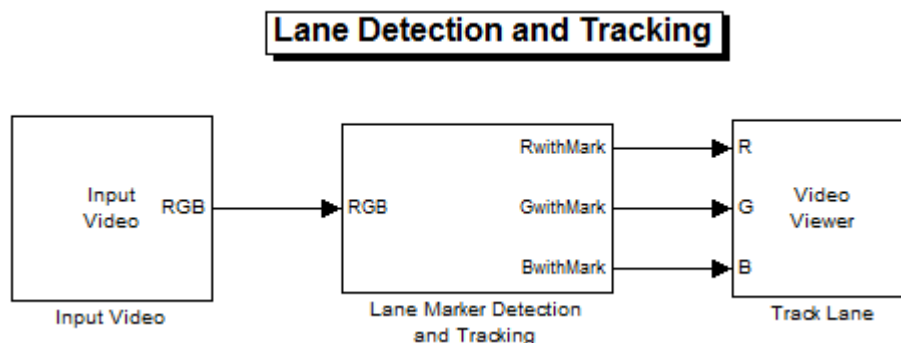


Εικόνα 6-1 Block διάγραμμα προτεινόμενου αλγορίθμου

Σε αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητο να διευκρινιστεί ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος της παρούσας εργασίας, ουσιαστικά αποτελεί τη συνέχεια ενός άλλου,

δεύτερου αλγόριθμου, ο οποίος μετατρέπει μια ακολουθία εικόνων σε εικόνες λαμπρότητας, δηλαδή εικόνες που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τη λαμπρότητα των αναπαριστώμενων αντικειμένων τους (στην προκειμένη περίπτωση του οδοστρώματος). Δηλαδή, αφού ο προτεινόμενος αλγόριθμος μας υπολογίσει την ακριβή θέση του τμήματος του οδοστρώματος της λωρίδας, του οποίου τη λαμπρότητα μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε, επεξεργαζόμαστε και λαμβάνουμε μετρήσεις από το αντίστοιχο τμήμα της αντίστοιχης εικόνας λαμπρότητας, που έχει προκύψει από το δεύτερο αλγόριθμο. Ωστόσο, για να δοκιμάσουμε τον αλγόριθμό μας, δεν χρησιμοποιήσαμε εικόνες λαμπρότητας, παρά τις αντίστοιχες grayscale εικόνες του video που είχαμε στη διάθεσή μας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι πολύ λογικά και αρκετά ρεαλιστικά, αν και πιθανόν να προέκυπταν αρκετά διαφορετικά εάν επεξεργαζόμασταν εικόνες λαμπρότητας και όχι απλά grayscale εικόνες.

Το μοντέλο μας όπως υλοποιήθηκε στη Matlab αποτελείται από τρία blocks, και συγκεκριμένα το block του εισερχόμενου video, το block της ανίχνευσης της λωρίδας και το block του video εξόδου, όπως αυτό προκύπτει έπειτα από την επεξεργασία. Το αντίστοιχο σχήμα παρατίθεται παρακάτω:



**Εικόνα 6-2** Τα subsystem από τα οποία αποτελείται το μοντέλο μας

## **6.2 ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟ VIDEO**

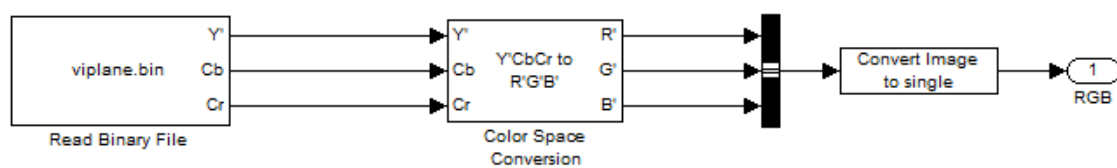
Τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου μας είναι η ακολουθία ψηφιακών εικόνων που λαμβάνονται από ένα κινούμενο όχημα. Μια κάμερα είναι τοποθετημένη μέσα στο όχημα πίσω από τον υαλοθώρακα και το οπτικό της πεδίο είναι το ίδιο με αυτό του οδηγού του οχήματος. Αυτή λαμβάνει εικόνες από το περιβάλλον μπροστά από το όχημα, συμπεριλαμβανομένου του δρόμου, άλλων οχημάτων στον δρόμο, σήματα τροχαίας στη άκρη του δρόμου και ενίοτε διάφορα άλλα αντικείμενα στον δρόμο. Μια τυπική σκηνή του δρόμου φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 6-3 Τυπική σκηνή δρόμου

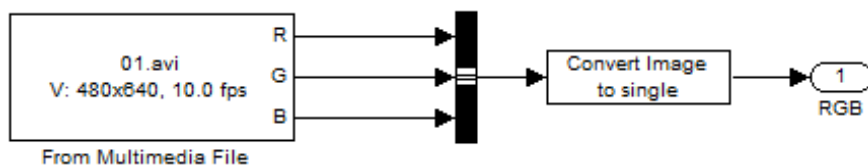
Το video που έχει ληφθεί με ψηφιακή κάμερα αποθηκεύεται σε ένα αρχείο το οποίο αποτελεί και το αρχείο εισόδου του μοντέλου μας. Ανεξάρτητα από τον τύπο του video που δίνει η κάμερα (RGB, YCbCr, κλπ), αυτό βολεύει να μετατραπεί σε RGB (κόκκινο(Red), πράσινο(Green), μπλε(Blue)), διότι με αυτό τον τρόπο η επεξεργασία του στη συνέχεια είναι ευκολότερη. Στην παρούσα εργασία, το μοντέλο δοκιμάστηκε με binary δεδομένα video και με avi.

Στην περίπτωση που τα δεδομένα video που χρησιμοποιούνται είναι σε μορφή binary, εργαζόμαστε ως εξής. Με βάση τα δεδομένα block της βιβλιοθήκης της Matlab, όταν έχουμε binary δεδομένα video, δε γίνεται να πάρουμε κατευθείαν τις RGB συνιστώσες του video, θα πρέπει να μετατρέψουμε τις YCbCr συνιστώσες του σε RGB. Δηλαδή, θα χρησιμοποιήσουμε ένα επιπλέον block, το Color Space Conversion.



Εικόνα 6-4 Εισαγωγή ενός binary video στο μοντέλο

Στην περίπτωση που το video που χρησιμοποιείται είναι σε μορφή avi, το επιπλέον αυτό block δεν χρειάζεται, παίρνουμε κατευθείαν τις RGB συνιστώσες.



Εικόνα 6-5 Εισαγωγή ενός avi video στο μοντέλο

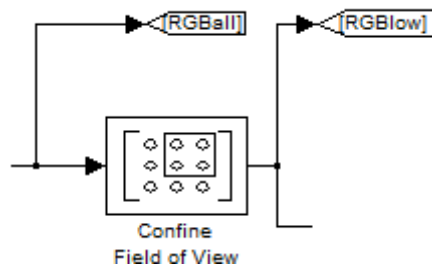


Το RGB πλέον video μας θα το κανονικοποιήσουμε με χρήση του block Image Data Type Conversion. Συγκεκριμένα, ενώ οι τιμές της αρχικής εικόνας κυμαίνονταν από 0 έως 255, μετά την κανονικοποίηση κυμαίνονται από 0 έως 1. Αυτή την κανονικοποιημένη εικόνα την ονομάζουμε RGBall.

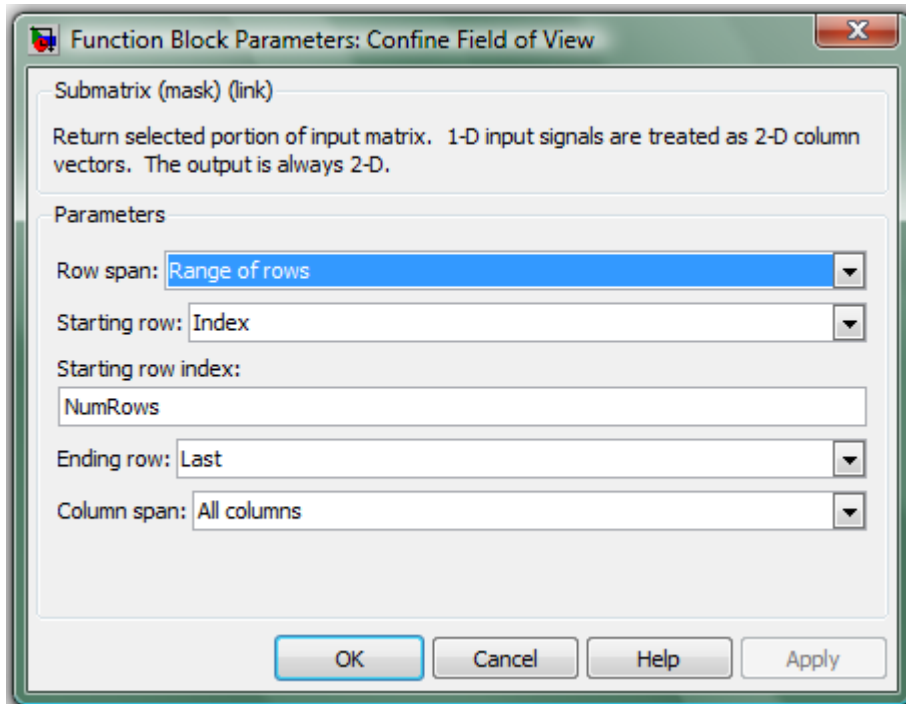
Η συγκεκριμένη ακολουθία από blocks αποτελεί το subsystem του block input video, που παρουσιάστηκε στο σχήμα 6-2.

### **6.3 ΤΜΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ**

Από τη στιγμή που έχουμε κάνει τις απαραίτητες μετατροπές στην εικόνα μας, ακολουθεί η τμηματοποίησή της. Ουσιαστικά, σε αυτό το στάδιο καθορίζουμε ποιο τμήμα της εικόνας μας ενδιαφέρει να επεξεργαστούμε, διότι δεν είναι απαραίτητη η επεξεργασία ολόκληρης της εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη την οπτική γωνία της εικόνας και γνωρίζοντας ότι το τμήμα του οδοστρώματος στο οποίο θέλουμε να κάνουμε μετρήσεις βρίσκεται στο κάτω μισό της εικόνας, αντιλαμβανόμαστε ότι δεν χρειάζεται να ασχοληθούμε με το πάνω κομμάτι της. Έτσι, συμπεριφερόμενοι στην εικόνα ως ένα πίνακα τιμών, όπως και πράγματι είναι, αποφασίζουμε να αποκόψουμε τις πρώτες σειρές της. Λόγω του ότι το video που χρησιμοποιήθηκε έχει διαστάσεις 480x640 και με χρήση του block submatrix της βιβλιοθήκης της Matlab, κρατάμε τις τελευταίες 291 σειρές του χωρίς να επέμβουμε στον αριθμό των στηλών του. Το block submatrix με το οποίο επιτεύχθηκε η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται παρακάτω, καθώς επίσης και οι διάφοροι παράμετροι που ρυθμίστηκαν για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα:

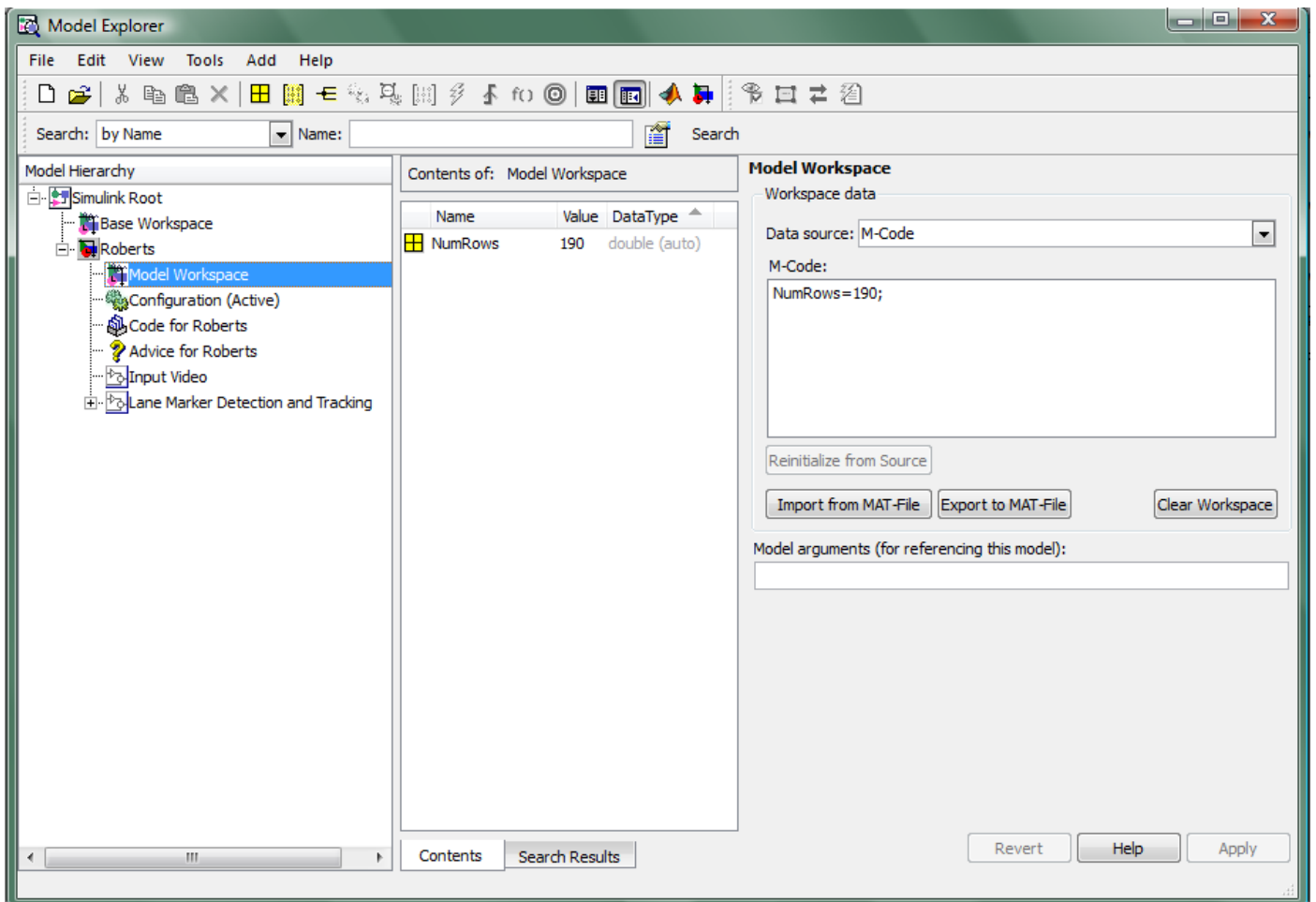


**Εικόνα 6-6** Block τμηματοποίησης εικόνας



Εικόνα 6-7 Παράμετροι του block τμηματοποίησης

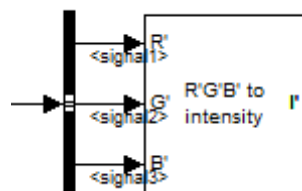
Όσον αφορά στις παραμέτρους που ρυθμίσαμε, επιλέξαμε αρχικά στην παράμετρο Row span την επιλογή Range of rows, διότι από την εικόνα μας δεν θέλουμε να κρατήσουμε όλες τις υπάρχουσες γραμμές. Για να μπορέσουμε να καθορίσουμε τη γραμμή από την οποία θέλουμε να ξεκινά ο νέος μας υποπίνακας στην παράμετρο Starting row επιλέξαμε την επιλογή Index, όπου την παράμετρο Index την θέσαμε ίση με τη μεταβλητή NumRows. Την τελευταία αυτή μεταβλητή, πηγαίνοντας στο model explorer και στην επιλογή model workspace, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα, την εξισώσαμε με 190 για το λόγο που εξηγήσαμε παραπάνω. Ως τελευταία γραμμή του νέου μας υποπίνακα επιλέξαμε την τελευταία της εικόνας μας, καθώς δεν μας ενδιαφέρει να αποκόψουμε γραμμές από το τέλος της. Τέλος, όσον αφορά την παράμετρο Column span διαλέξαμε την επιλογή All columns, καθώς στο νέο υποπίνακα θέλουμε να ανήκουν όλες οι στήλες της εικόνας. Τη νέα αυτή «υποεικόνα» την ονομάζουμε RGBlow.



Εικόνα 6-8 Ρύθμιση της μεταβλητή NumRows

## **6.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ RGBLOW ΣΕ GRAYSCALE**

Σε αυτό το στάδιο μετατρέπουμε την εικόνα RGBlow σε grayscale με τη βοήθεια του block color space conversion, όπου στην παράμετρο conversion, επιλέγουμε RGB to intensity. Ουσιαστικά, μετατρέπουμε την εικόνα RGBlow σε εικόνα, η οποία περιέχει χρώματα σε διάφορους τόνους του γκριζου. Η μετατροπή της εικόνας RGBlow σε grayscale είναι απαραίτητο να γίνει, διότι το median φίλτρο με το οποίο θα μειώσουμε τον θόρυβο μπορεί να έχει ως είσοδό του μόνο grayscale εικόνες.

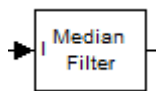


Εικόνα 6-9 Block μετατροπής της εικόνας σε grayscale

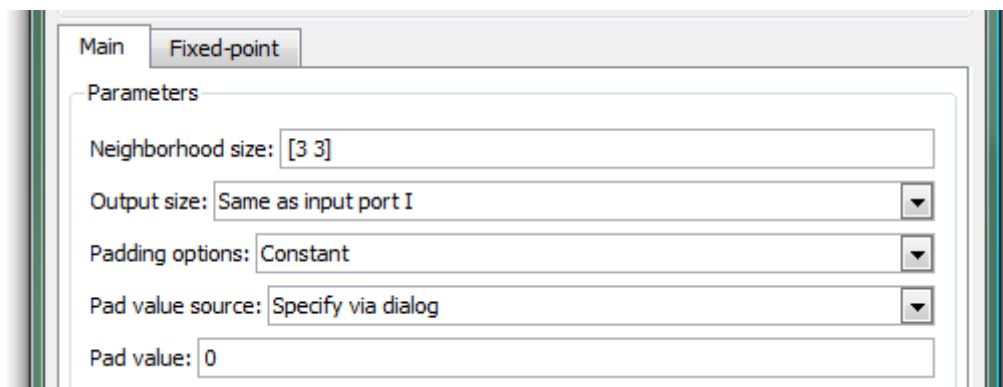
## **6.5 ΜΕΙΩΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ MEDIAN ΦΙΛΤΡΟΥ**

Πρωτού λάβει χώρα η διαδικασία ανίχνευσης ορίων, η εικόνα μας θα φιλτραριστεί. Αυτό ακριβώς θα κάνουμε και στην προκειμένη περίπτωση με χρήση του median φίλτρου.

Αφού μετατρέψουμε την εικόνα RGBlow σε grayscale την περνάμε από το Median Filter block της Matlab, όπως φαίνεται παρακάτω. Το παράθυρο που επιλέγουμε έχει μέγεθος 3x3, πράγμα που το ρυθμίζουμε, διαλέγοντας στην παράμετρο Neighborhood size την επιλογή [3 3]. Ακόμα, παρατηρούμε ότι ως τιμή για να εφαρμοστεί το φίλτρο στα ακραία pixels υπάρχουν συμπληρώνουμε την εικόνα με pixels στα άκρα της που έχουν την τιμή μηδέν, ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί το παράθυρο:



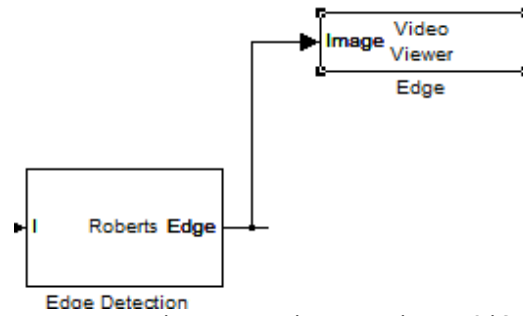
Εικόνα 6-10 Block του median filter



Εικόνα 6-11 Παράμετροι του block median filter

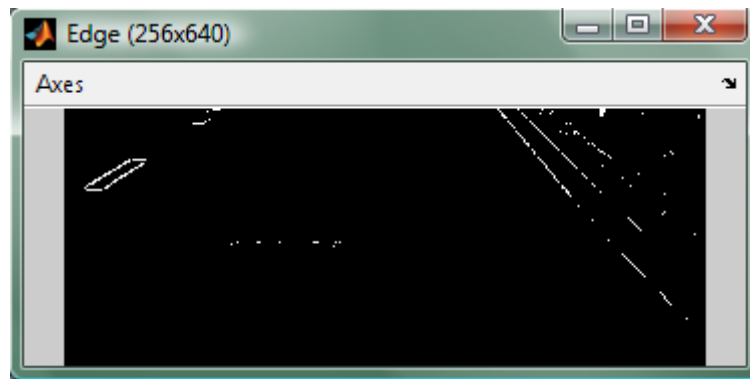
## **6.6 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΟΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ROBERTS**

Εφαρμόζουμε τη μέθοδο Roberts με σκοπό να ανιχνεύσουμε τα διάφορα όρια που βρίσκονται στην εικόνα μας. Προτιμήσαμε τη συγκεκριμένη μέθοδο διότι ανιχνεύει γραμμές καλύτερα από άλλες μεθόδους ανίχνευσης. Πράγματι, δοκιμάζοντας τις μεθόδους Sobel, Prewitt και Canny, που υπάρχουν σε block στη Matlab, βλέπουμε πως τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά. Η έξοδος του block της μεθόδου Roberts είναι μια ασπρόμαυρη εικόνα, δηλαδή ουσιαστικά ένας πίνακας με τιμές 0 και 1. Τα pixels που έχουν τιμή ίση με 1, βρίσκονται σε όριο. Σε αυτό το σημείο του μοντέλου μας τοποθετούμε και ένα video viewer, έτσι ώστε να βλέπουμε τα όρια της εικόνας μας, που ανιχνεύει το συγκεκριμένο block:



Εικόνα 6-12 Block ανίχνευσης ορίων με χρήση μεθόδου Roberts

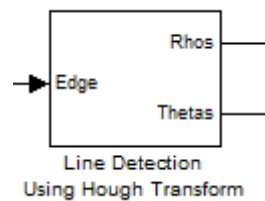
Ένα στιγμιότυπο της διαδικασίας ανίχνευσης ορίων όπως αυτή φαίνεται με τη βοήθεια του video viewer είναι το εξής:



Εικόνα 6-13 Αποτέλεσμα ανίχνευσης ορίων

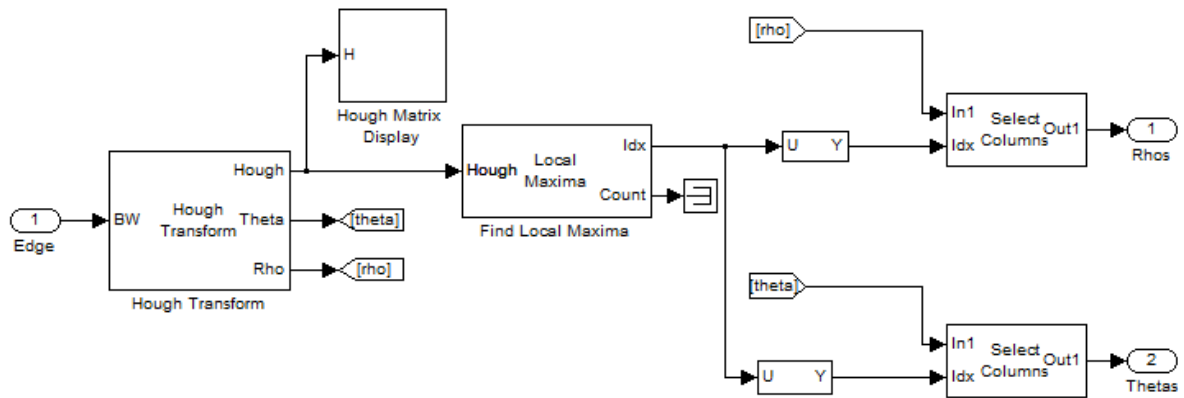
## **6.7 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ HOUGH**

Σε αυτό το σημείο του μοντέλου μας δημιουργούμε ένα νέο subsystem, που το ονομάζουμε Line detection using Hough Transform:



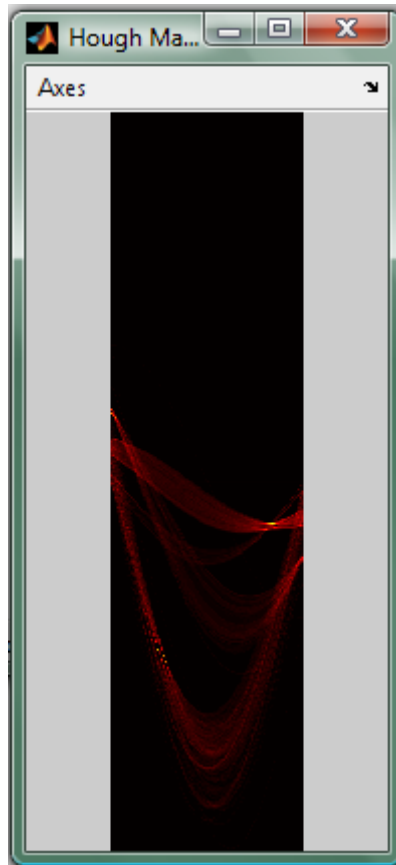
Εικόνα 6-14 Subsystem μετασχηματισμού Hough

Το συγκεκριμένο subsystem περιέχει το ακόλουθο σύνολο από blocks, το οποίο θα εξηγηθεί αναλυτικά:



Εικόνα 6-15 Τα blocks του subsystem του μετασχηματισμού Hough

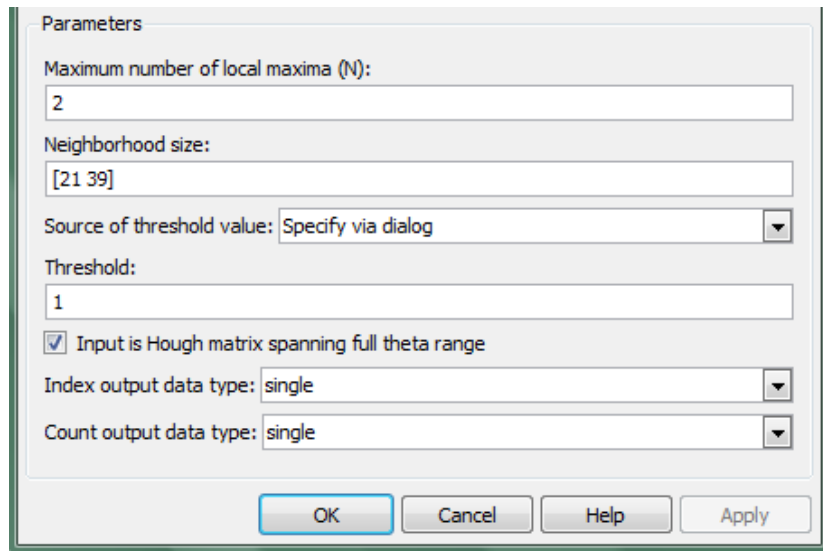
Αρχικά, παρατηρούμε ότι η εικόνα, στην οποία μετά την εφαρμογή του edge detection τα διάφορα όρια-περιγράμματα είναι σχεδιασμένα με άσπρο χρώμα, δηλαδή ο αντίστοιχος πίνακας έχει στα αντίστοιχα σημεία του τιμή 1, εισέρχεται στο block του μετασχηματισμού Hough. Με αυτό τον τρόπο, οι υπάρχουσες γραμμές της αρχικής εικόνας διακρίνονται καλύτερα. Το συγκεκριμένο block με χρήση του μετασχηματισμού Hough μας βοηθάει στην ανίχνευση τυχόν γραμμών στην εικόνα. Συγκεκριμένα, είναι αυτό που δημιουργεί τον πίνακα συσσώρευσης του μετασχηματισμού Hough, καθώς επίσης μας δίνει σαν έξοδο και τις τιμές που παίρνουν οι μεταβλητές  $\theta$  και  $\rho$ . Οι πίνακες των τιμών που παίρνουν οι μεταβλητές  $\theta$  και  $\rho$  είναι προφανώς οι ίδιοι για κάθε χρονική στιγμή. Σε αυτό το σημείο του μοντέλου μας τοποθετούμε και ένα video viewer, έτσι ώστε να βλέπουμε την εικόνα του πίνακα συσσώρευσης. Τα κελιά με τις υψηλότερες τιμές φαίνονται φωτεινότερα. Τα φωτεινότερα εικονοκύτταρα αυτής της εικόνας, αναπαριστούν συντεταγμένες στο χώρο  $r, \theta$  που έλαβαν τις περισσότερες ψήφους, και επομένως είναι περισσότερο πιθανόν να παράγουν γραμμές που να ταιριάζουν σε πολλά σημεία. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα φωτεινότερα κελιά είναι δύο, γιατί δύο είναι και οι ευθείες στην αρχική εικόνα. Ένα χαρακτηριστικό στιγμιότυπο του πίνακα συσσώρευσης που προκύπτει στην περίπτωση μας είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 6-16 Πίνακας συσσώρευσης μετασχηματισμού Hough

Εν συνεχεία, εισάγουμε τον πίνακα συσσώρευσης στο block find local maxima. Το συγκεκριμένο block χωρίζει τον εισερχόμενο πίνακα σε περιοχές, που έχουν μέγεθος που καθορίζεται από τον χρήστη και εντοπίζει σε αυτές τα τοπικά μέγιστα. Στην περίπτωση μας έχουμε ορίσει οι περιοχές αυτές να έχουν μέγεθος 21x39, δίνοντας στη μεταβλητή Neighborhood size την αντίστοιχη τιμή. Στη συνέχεια, το block συγκρίνει καθένα από αυτά τα τοπικά μέγιστα με ένα κατώφλι που το έχει καθορίσει ο χρήστης. Εάν ένα τοπικό μέγιστο είναι μεγαλύτερο ή ίσο με αυτό το κατώφλι, το block το θεωρεί έγκυρο τοπικό μέγιστο. Στην περίπτωση μας έχουμε ορίσει ως κατώφλι την τιμή 1, δίνοντας στη μεταβλητή Threshold την τιμή 1. Έπειτα, το block θέτει όλες τις τιμές του πίνακα της περιοχής που ανήκει το συγκεκριμένο μέγιστο (περιλαμβανομένου και του ίδιου του μεγίστου) ίσες με 0. Αυτό το βήμα εξασφαλίζει ότι το συγκεκριμένο τοπικό μέγιστο του πίνακα, δεν θα συμπεριληφθεί ξανά σε επόμενες συγκρίσεις. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται είτε μέχρι να βρεθούν όλα τα έγκυρα τοπικά μέγιστα, είτε μέχρι να βρεθούν τόσα τοπικά μέγιστα όσα έχουμε ορίσει στην παράμετρο Maximum number of local maxima (N) (οτιδήποτε από τα δύο συμβεί πρώτο η διαδικασία σταματά). Εμείς εδώ έχουμε θέσει την παράμετρο Maximum number of local maxima ίση με 2, καθώς οι γραμμές που αναζητούμε είναι 2. Πρέπει να τονιστεί ότι το μέγεθος της κάθε περιοχής πρέπει να είναι κατάλληλο για το σύνολο δεδομένων μας. Δηλαδή, θα πρέπει να αποβληθούν αρκετές από τις τιμές γύρω από τα τοπικά μέγιστα έτσι ώστε οι

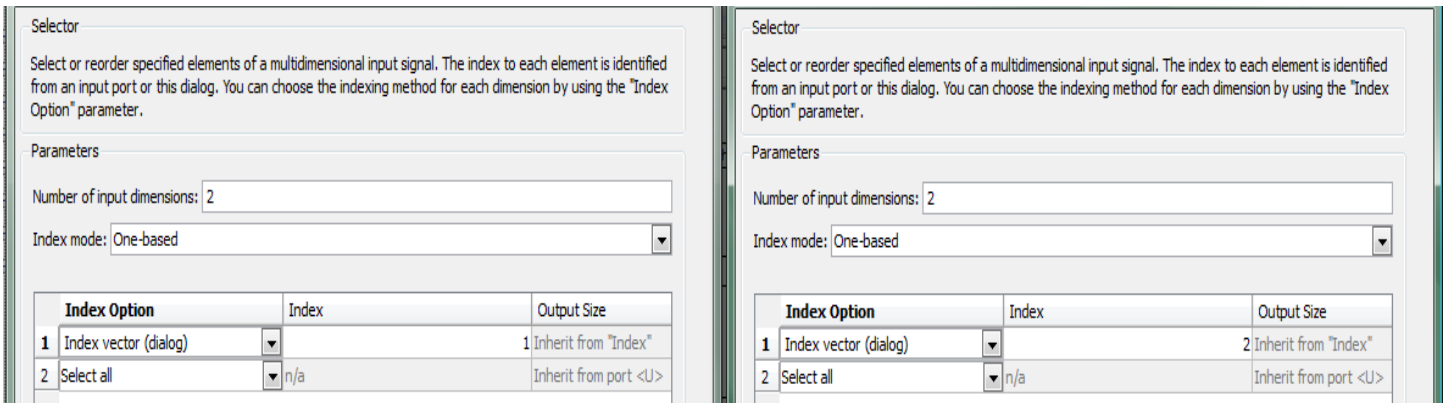
λανθασμένες κορυφές να μην εντοπιστούν. Η έξοδος `Idx` του block είναι οι τετμημένες και τεταγμένες των τοπικών μεγίστων και η έξοδος `Count` δίνει τον αριθμό των έγκυρων τοπικών μεγίστων που βρέθηκαν συνολικά. Εμάς, η έξοδος `Count` δεν μας ενδιαφέρει και γι' αυτό την τερματίζουμε με ένα terminator. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία, βρίσκοντας τα μέγιστα του πίνακα συσσώρευσης, δηλαδή τα κελιά με τις περισσότερες ψήφους, ουσιαστικά μπορούμε να προσδιορίσουμε τις πιο πιθανές ευθείες της αρχικής εικόνας, που εδώ θα είναι 2 στον αριθμό, καθώς επίσης και τις θέσεις τους.



Εικόνα 6-17 Παράμετροι του block local maxima

Έπειτα, τη μεταβλητή `Idx`, που στην ουσία είναι ένας πίνακας 2x2 και περιέχει στην πρώτη του γραμμή τις τετμημένες και στη δεύτερη τις τεταγμένες των δύο μεγίστων, τον χρησιμοποιούμε για να επιλέξουμε τις κατάλληλες στήλες των πινάκων των τιμών που παίρνουν οι μεταβλητές  $\theta$  και  $\rho$ . Αρχικά, χρησιμοποιούμε δύο block selector. Με το πρώτο κρατάμε μόνο την πρώτη γραμμή του πίνακα `Idx` που περιέχει πληροφορίες για τις τετμημένες των μεγίστων, ενώ με το δεύτερο μόνο τη δεύτερη γραμμή του πίνακα `Idx` που περιέχει πληροφορίες για τις τεταγμένες των μεγίστων.





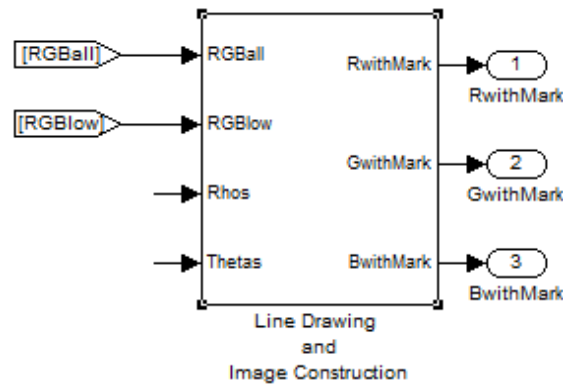
Εικόνα 6-18 Παράμετροι των δύο block selector

Όπως είναι λογικό τον υποπίνακα των τετμημένων τον χρησιμοποιούμε για να προσδιορίσουμε τις κατάλληλες στήλες του πίνακα τιμών των  $\rho$  (που αποτελούν τις τετμημένες του πίνακα Hough), ενώ τον υποπίνακα των τεταγμένων τον χρησιμοποιούμε για να προσδιορίσουμε τις κατάλληλες στήλες του πίνακα τιμών των  $\theta$  (που αποτελούν τις τεταγμένες του πίνακα Hough). Σε αυτό το σημείο πρέπει να πούμε ότι οι πίνακες  $\rho$  και  $\theta$  είναι πίνακες- γραμμές.

Οπότε, τελικώς, ως έξοδο του subsystem Line detection using Hough Transform, έχουμε τις τιμές των  $\rho$  και  $\theta$  για τις οποίες εντοπίζονται στον πίνακα συσσώρευσης Hough τα δύο μέγιστα, τα οποία όπως είναι γνωστό αντιστοιχούν στις πιθανότερες ευθείες στο καρτεσιανό επίπεδο. Αυτό ισχύει, βέβαια, για κάθε frame του video.

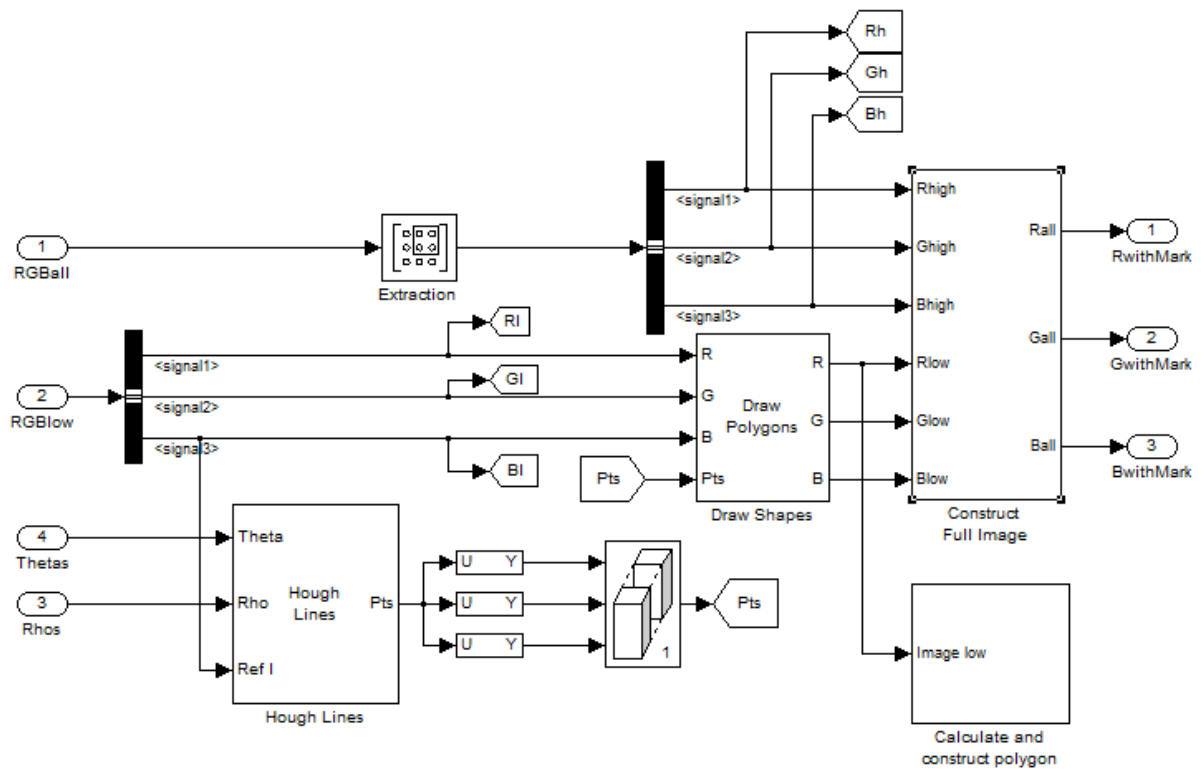
## **6.8 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΚΑΙ ΕΥΡΕΣΗ ΖΗΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Η σχεδίαση γραμμών πάνω στις διαχωριστικές γραμμές της εικόνας μας και συνεπώς η οπτική επιβεβαίωση της ορθότητας των όσων υπολογίστηκαν, καθώς και η εύρεση του τμήματος της λωρίδας στο οποίο μας ενδιαφέρει να κάνουμε μετρήσεις λαμπρότητας γίνεται με το subsystem Line Drawing and image Construction. Παρατηρούμε ότι σαν είσοδο του subsystem έχουμε ολόκληρη την RGB εικόνα, που την έχουμε συμβολίσει ως RGBall, καθώς και το κάτω μισό τμήμα της, που το έχουμε συμβολίσει ως RGBlow. Η έξοδος του subsystem είναι η αρχική μας εικόνα πάνω στην οποία όμως έχουν χαραχθεί τα όρια της λωρίδας κυκλοφορίας που μας ενδιαφέρει:



Εικόνα 6-19 Block σχεδίασης γραμμών και εύρεσης του επιθυμητού τμήματος της λωρίδας

Το συγκεκριμένο subsystem περιλαμβάνει την επόμενη ακολουθία από blocks, όπου τα block Construct Full Image και Calculate and construct polygon είναι επίσης subsystems:

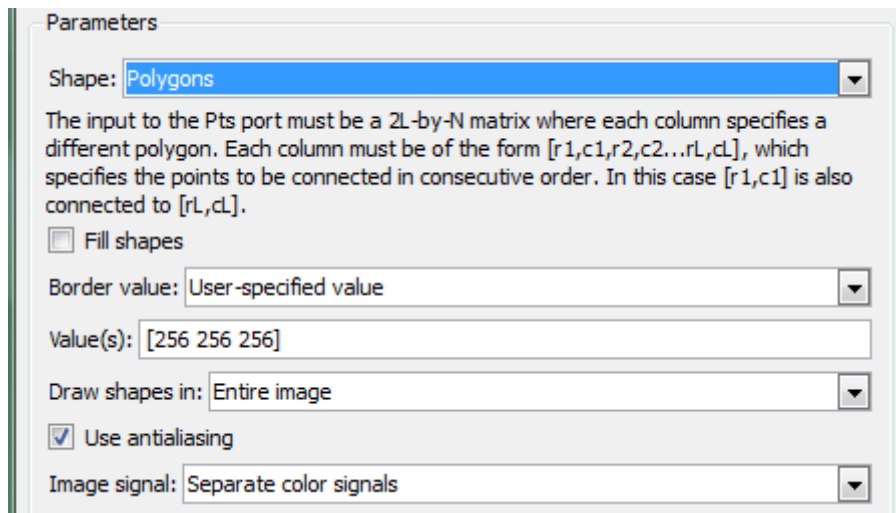


Εικόνα 6-20 Τα blocks του subsystem της σχεδίασης γραμμών

### 6.8.1 Σχεδίαση ορίων λωρίδας

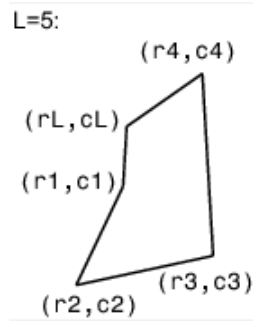
Αρχικά, τμηματοποιούμε με τη βοήθεια του block submatrix για άλλη μια φορά την ολόκληρη εικόνα RGBall. Αυτή την φορά όμως κρατάμε μόνο το πάνω μισό της, αυτό που μέχρι στιγμής δεν έχει χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία. Στην προκειμένη περίπτωση κρατάμε τις πρώτες 290 γραμμές της. Σκοπός μας είναι να ενώσουμε αυτό το πάνω τμήμα της εικόνας με το επεξεργασμένο κάτω μισό της εικόνας και να προκύψει η τελική μας εικόνα.

Όσον αφορά το κάτω μισό της εικόνας μας RGBlow, στο οποίο έχουμε προσδιορίσει τις θέσεις των δύο ευθειών, μένει μόνο να του τις σχεδιάσουμε. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούμε το block Draw Shapes. Το block αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να χαράξουμε πάνω σε μια εικόνα σχήματα της επιλογής μας (πολύγωνα, κύκλους, ορθογώνια), αντικαθιστώντας τις τιμές των συγκεκριμένων pixels της εικόνας πάνω στα οποία θέλουμε να χαραχθεί το σχήμα. Έτσι, τα σχήματα αποτελούν πλέον μέρος της εικόνας. Εμείς εδώ θα επιλέξουμε την χάραξη πολυγώνων, καθώς από τη δεδομένη οπτική γωνία που έχει η φωτογραφία, η λωρίδα κυκλοφορίας έχει το σχήμα πολυγώνου και μάλιστα τραπεζίου. Το block χρησιμοποιεί για την χάραξη των σχημάτων τον αλγόριθμο Bresenham, που έχει περιγραφεί παραπάνω. Μάλιστα, μας δίνεται η δυνατότητα να προσδιορίσουμε το χρώμα που θέλουμε να έχουν τα όρια του σχεδιαζόμενου σχήματος, που εμείς επιλέγουμε να είναι άσπρο για το λόγο που θα εξηγηθεί παρακάτω. Ακόμα, επιλέγουμε την Use antialiasing έτσι ώστε το block να εφαρμόσει έναν αλγόριθμο ομαλοποίησης ορίων.



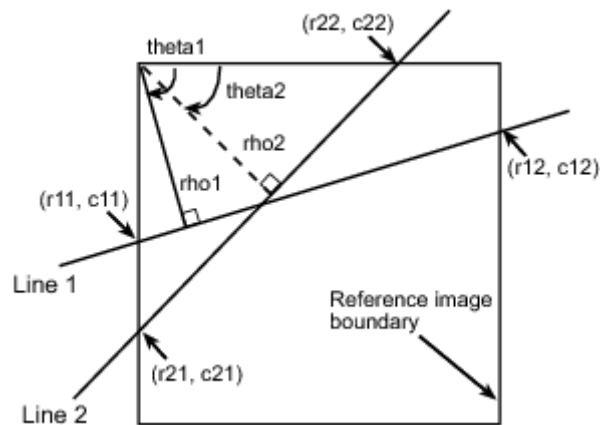
Εικόνα 6-21 Παράμετροι του block Draw Shapes

Σαν είσοδο στο παραπάνω block έχουμε τις τρεις χρωματικές συνιστώσες του κάτω μέρους της εικόνας, καθώς επίσης και μια άλλη παράμετρο Pts, η οποία προσδιορίζει τις συνιστώσες του προς σχεδίαση σχήματος. Η παράμετρος αυτή είναι ένας πίνακας-γραμμή ή στήλη, ο οποίος εάν το πολύγωνο έχει L γωνίες, αυτό έχει μέγεθος 2L και είναι της μορφής [r1 c1 r2 c2 ... rL cL]. Τα r1, c1 είναι οι συντεταγμένες τις γραμμής και της στήλης, αντίστοιχα, της αρχής του πρώτου γραμμικού τμήματος, τα r2, c2 είναι οι συντεταγμένες τις γραμμής και της στήλης, αντίστοιχα, του τέλους του πρώτου γραμμικού τμήματος και της αρχής του δευτέρου και τα rL, cL είναι οι συντεταγμένες τις γραμμής και της στήλης, αντίστοιχα, του τέλους του L-1 γραμμικού τμήματος και της αρχής του L γραμμικού τμήματος. Το block συνδέει το σημείο [r1 c1] με το [rL cL] για να ολοκληρώσει το πολύγωνο. Τα παραπάνω γίνονται κατανοητά με το πιο κάτω σχήμα:



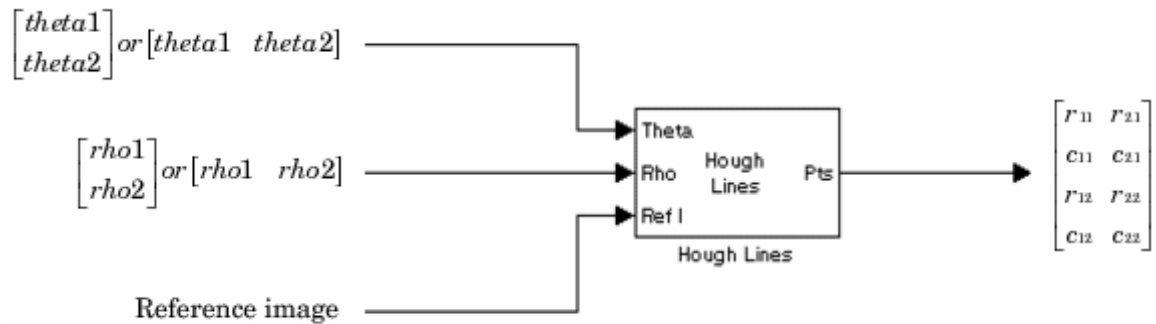
**Εικόνα 6-22** Πολύγωνο που καθορίζεται από την παράμετρο Pts

Η παράμετρος Pts προκύπτει από block Hough Lines, του οποίου η λειτουργία θα αναλυθεί αμέσως. Το συγκεκριμένο block βρίσκει τις καρτεσιανές συντεταγμένες των γραμμών που περιγράφονται από τα ζευγάρια των  $\rho$  και  $\theta$ . Οι είσοδοι του block είναι οι τιμές των  $\rho$  και  $\theta$  καθώς και μια εικόνα αναφοράς. Η έξοδος του είναι ένας  $4 \times N$  πίνακας, όπου  $N$  είναι ο αριθμός των εισερχόμενων γραμμών, ο οποίος δίνει τις συντεταγμένες των τομών των γραμμών με δύο εκ των τεσσάρων πλευρών της εικόνας. Ας υποθέσουμε ότι οι γραμμές Line1 και Line2 τέμνονται με τις πλευρές της εικόνας έτσι όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



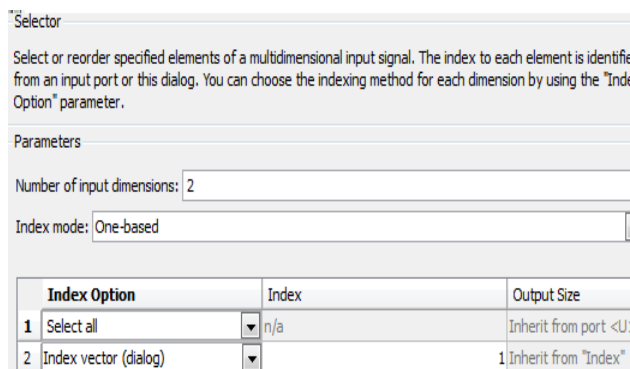
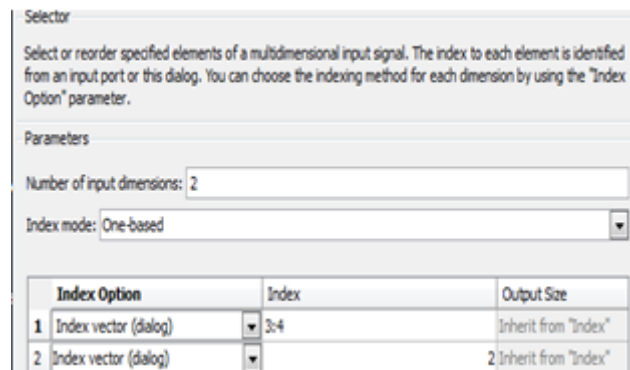
**Εικόνα 6-23** Λειτουργία του block Hough Lines

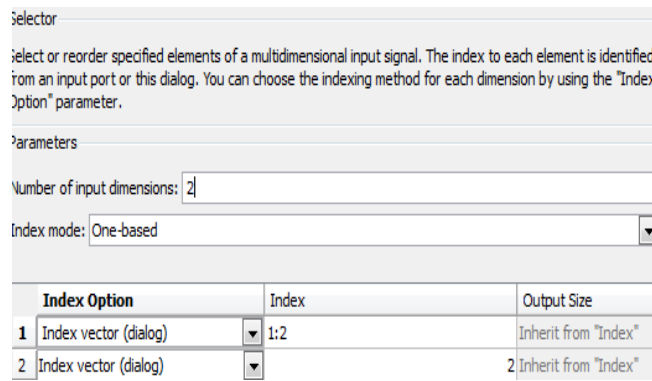
Όταν η εικόνα αναφοράς και οι τιμές των  $\rho$  και  $\theta$  περνούν από το block Hough Lines, αυτό έχει σαν έξοδο τις συντεταγμένες των τομών, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 6-24 Είσοδοι και έξοδοι του block Hough Lines

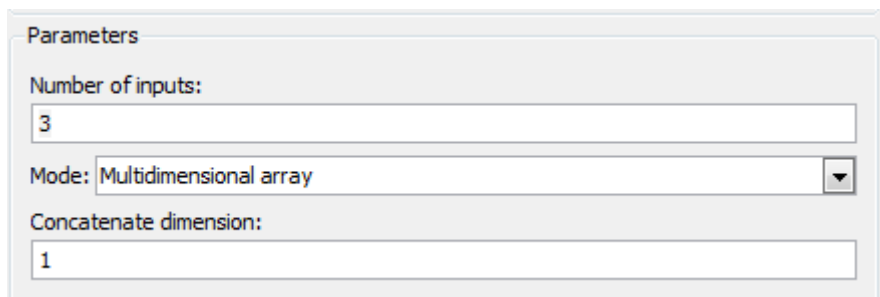
Ο πίνακας αυτός, όμως δεν έχει κατάλληλη μορφή για να τον χρησιμοποιήσουμε ως είσοδο στο block Draw Polygons στη μεταβλητή Pts. Γι' αυτό το λόγο θα τον τροποποιήσουμε με τη βοήθεια τριών block selector και ενός block Matrix Concatenation. Το πρώτο από τα τρία block selector κρατάει μόνο την πρώτη στήλη του πίνακα, το δεύτερο τις δύο τελευταίες γραμμές της δεύτερης στήλης του και το τρίτο τις δύο πρώτες σειρές της δεύτερης στήλης του. Τα παραπάνω τα καθορίζουμε θέτοντας τις αντίστοιχες παραμέτρους των blocks ως εξής:





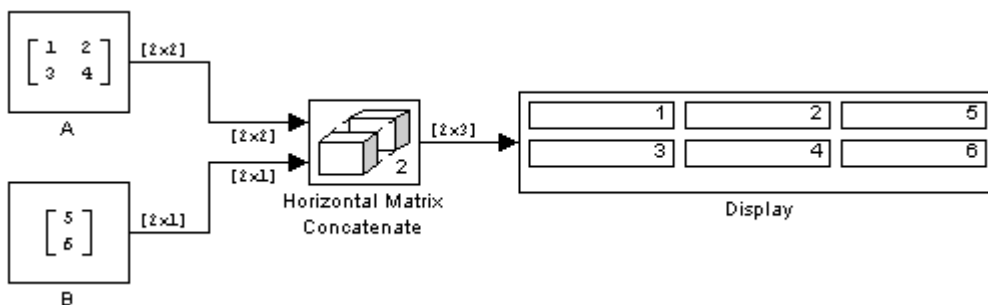
Εικόνα 6-25 Παράμετροι των τριών block selector

Εν συνεχεία, τους τρεις αυτούς πίνακες που προέκυψαν του εισάγουμε ως είσοδο στο block Matrix Concatenation, έτσι ώστε να πάρουμε σαν έξοδο έναν πίνακα στήλη που περιέχει τις πληροφορίες σχετικά με τις συντεταγμένες πολυγώνου που θα σχεδιάσουμε, και ταυτόχρονα έχει μορφή κατάλληλη για να τον βάλουμε ως είσοδο στο block Draw Polygons. Τις παραμέτρους του block τις ρυθμίζουμε ως εξής:

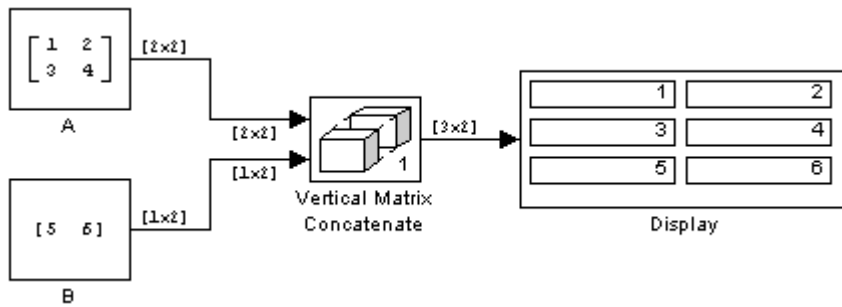


Εικόνα 6-26 Παράμετροι του block Draw Polygons

Το block Matrix Concatenation χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου επιθυμούμε την ένωση πινάκων σε ένα κοινό πίνακα. Μάλιστα, η ένωση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε οριζοντίως είτε καθέτως. Η λειτουργία του γίνεται κατανοητή με τα παρακάτω σχήματα:



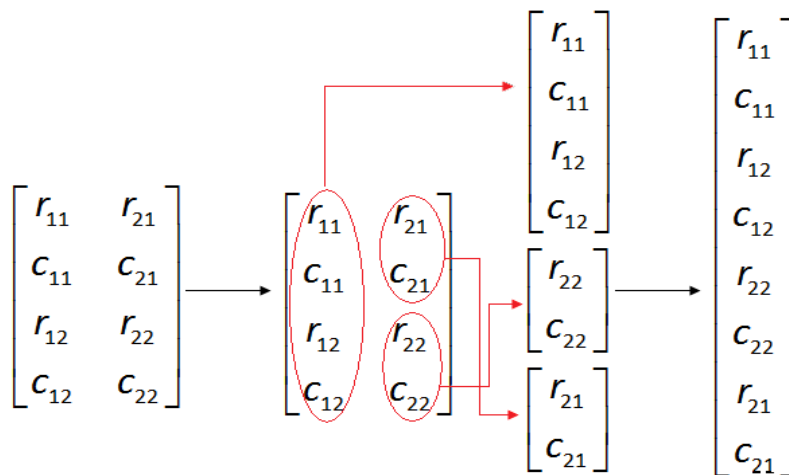
Εικόνα 6-27 Λειτουργία οριζόντιας ένωσης του block Matrix Concatenation



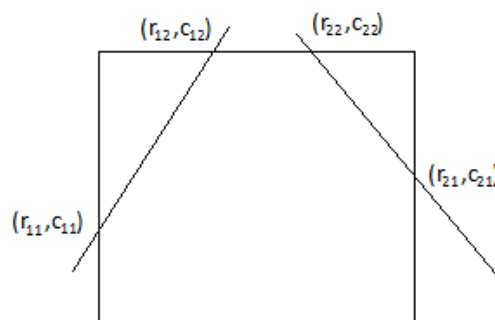
Εικόνα 6-28 Λειτουργία κατακόρυφης ένωσης του block Matrix Concatenate

Εμείς έχουμε επιλέξει το δεύτερο τρόπο ένωσης των τριών πινάκων εισόδου.

Συνοψίζοντας, από τη στιγμή καθορισμού των συντεταγμένων από το block Hough Lines των τομών που θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό του πολυγώνου, δηλαδή της αρχικής μορφής της μεταβλητής Pts, μέχρι τον καθορισμό της τελικής μορφής της Pts που χρησιμοποιείται σαν είσοδος στο block Draw Polygons, λαμβάνει χώρα η ακόλουθη επεξεργασία:



Εικόνα 6-29 Διαμόρφωση τελικής μορφής της μεταβλητής Pts

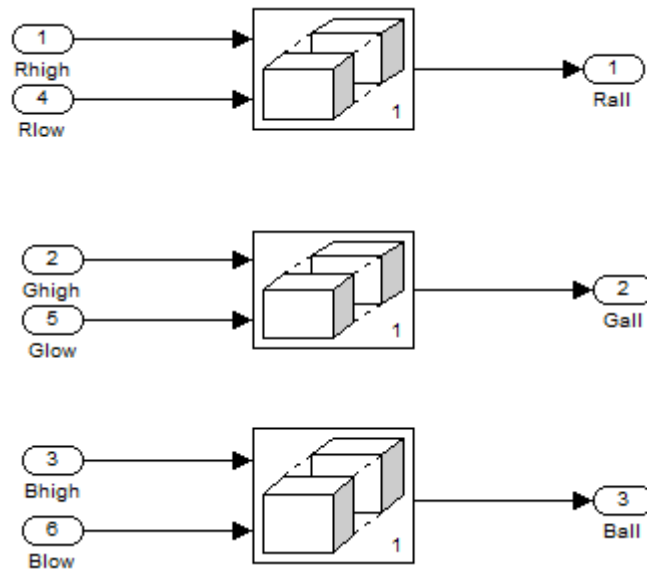


Εικόνα 6-30 Καθορισμός σχεδίασης πολυγώνου με τη βοήθεια της μεταβλητής Pts

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι εάν απλά τοποθετούσαμε τη δεύτερη στήλη του αρχικού πίνακα μετά την πρώτη, ο σχεδιασμός του πολυγώνου θα ήταν

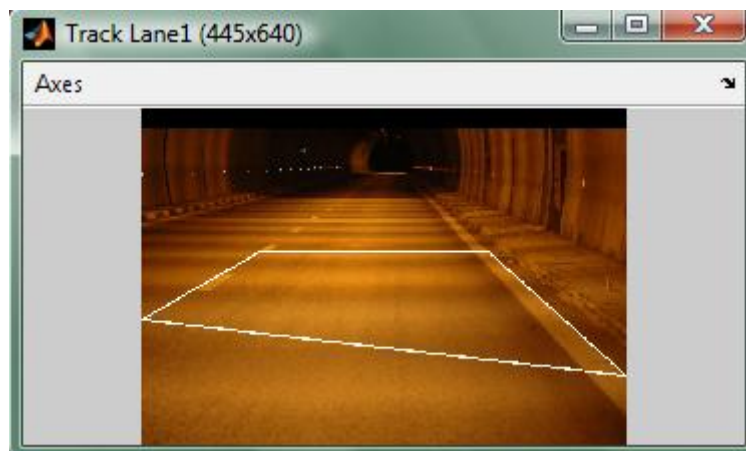
λάθος, καθώς η ένωση μεταξύ των ακμών του στο block Draw Polygons δεν γινόταν με τη σωστή σειρά.

Εφόσον έχουμε σχεδιάσει στο κάτω μισό της εικόνας το πολύγωνο που προσδιορίζει στην εικόνα τη μια λωρίδα οδοστρώματος, μένει μόνο να το ενώσουμε με το πάνω μισό της για να έχουμε ένα καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα. Αυτό το επιτυγχάνουμε με χρήση του subsystem Construct Full Image, το οποίο περιλαμβάνει τα ακόλουθα block:



**Εικόνα 6-31** Τα blocks από τα οποία αποτελείται το subsystem Construct Full Image

Αυτό που κάνουμε, δηλαδή, είναι να ενώσουμε για κάθε χρωματική συνιστώσα της εικόνας μας, το πάνω μισό της με το κάτω μισό της όπου έχει σχεδιαστεί το πολύγωνο, τοποθετώντας το ένα μισό κάτω από το άλλο. Τους τρεις πίνακες-εικόνες Rall, Gall, Ball που προκύπτουν, τους οδηγούμε σε ένα video viewer. Ένα χαρακτηριστικό στιγμιότυπο της εικόνας που προκύπτει στην περίπτωση μας είναι το ακόλουθο:

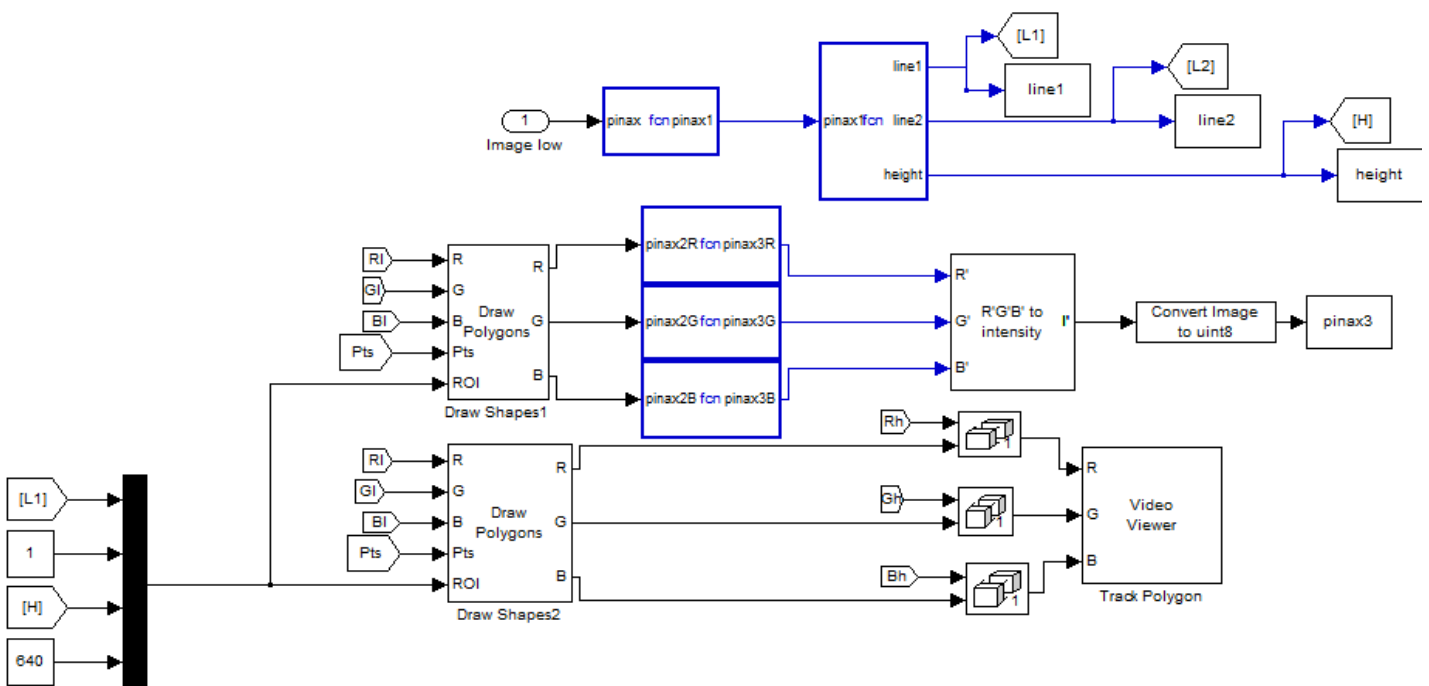


**Εικόνα 6-32** Στιγμιότυπο σχεδίασης ορίων λωρίδας



### 6.8.2 Περιοχή ενδιαφέροντος

Εν συνεχεία, θα αναλύσουμε το subsystem Calculate and construct polygon, με το οποίο θα προσδιορίσουμε το ακριβές τμήμα της λωρίδας του οδοστρώματος του οποίου τη λαμπρότητα επιθυμούμε να μάθουμε, θα το σχεδιάσουμε επί της εικόνας και τέλος θα υπολογίσουμε τη ζητούμενη λαμπρότητα. Πρόκειται στην ουσία για τον προσδιορισμό ενός δεύτερου πολυγώνου, που αποτελεί τμήμα αυτού του οποίου έχουμε ήδη προσδιορίσει. Προς αποφυγή σύγχυσης, αυτό το δεύτερο πολύγωνο θα το χαρακτηρίζουμε ως περιοχή ενδιαφέροντος. Το subsystem αποτελείται από τα ακόλουθο σύνολο blocks:



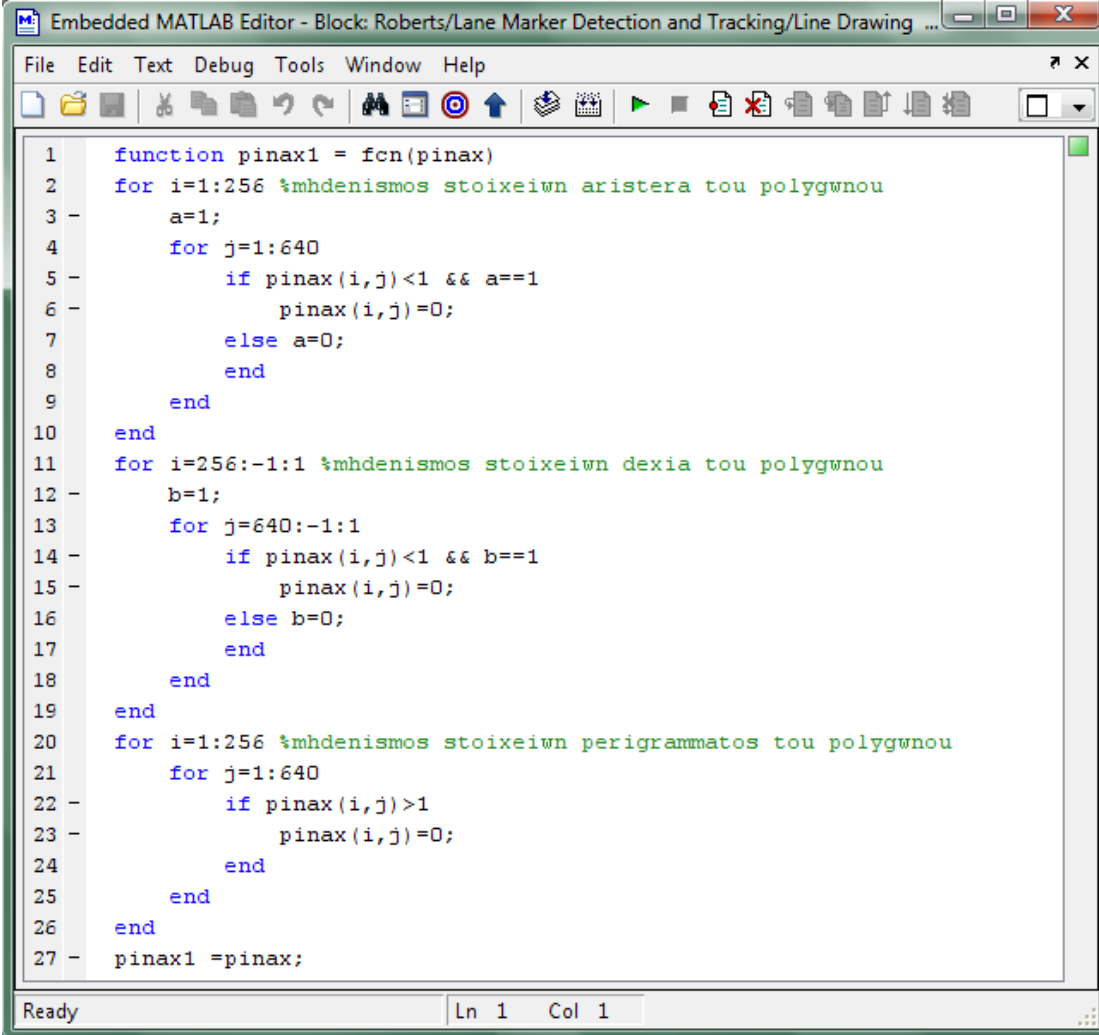
Εικόνα 6-33 Τα blocks του subsystem Calculate and construct polygon

#### 6.8.2.1 Προσδιορισμός περιοχής ενδιαφέροντος

Στο πάνω τμήμα του subsystem και με τη βοήθεια δύο block embedded, γίνεται ο προσδιορισμός της άνω και κάτω πλευράς της περιοχής ενδιαφέροντος, καθώς επίσης και του ύψους της. Γενικά, τα block embedded δίνουν τη δυνατότητα εισαγωγής στο μοντέλο κώδικα και συγκεκριμένα συναρτήσεων καθορισμένων από τον χρήστη.

Το block embedded pinax-pinax1 μπορεί να έχει σαν είσοδό του μια οποιαδήποτε χρωματική συνιστώσα του κάτω μέρους της εικόνας, πάνω στο οποίο έχει χαραχθεί με άσπρο χρώμα το πολύγωνο που προσδιορίζει τη λωρίδα του οδοστρώματος. Δεν έχει σημασία ποια από τις τρεις χρωματικές συνιστώσες θα χρησιμοποιήσουμε, καθώς οι πληροφορίες που θέλουμε να αξιοποιήσουμε αφορούν μόνο τις συντεταγμένες και το μέγεθος του πολυγώνου που έχουμε

σχεδιάσει, οι οποίες είναι ίδιες και στις τρεις συνιστώσες. Εδώ τυχαία επιλέξαμε σαν είσοδο την κόκκινη συνιστώσα. Ο κώδικας που περιέχει το συγκεκριμένο block είναι ο εξής:



```

1  function pinax1 = fcn(pinax)
2  for i=1:256 %mhdenismos stoxeiwn aristera tou polygwnou
3  -   a=1;
4      for j=1:640
5  -         if pinax(i,j)<1 && a==1
6  -             pinax(i,j)=0;
7              else a=0;
8              end
9          end
10     end
11     for i=256:-1:1 %mhdenismos stoxeiwn dexia tou polygwnou
12 -     b=1;
13         for j=640:-1:1
14 -             if pinax(i,j)<1 && b==1
15 -                 pinax(i,j)=0;
16                 else b=0;
17                 end
18             end
19         end
20     for i=1:256 %mhdenismos stoxeiwn perigrammatos tou polygwnou
21         for j=1:640
22 -             if pinax(i,j)>1
23 -                 pinax(i,j)=0;
24                 end
25             end
26         end
27 -     pinax1 =pinax;

```

Εικόνα 6-34 Περιεχόμενο του block embedded pinax-pinax1

Με τον παραπάνω κώδικα στοχεύουμε στο να μηδενίσουμε όλα τα στοιχεία της εικόνας που βρίσκονται εκτός του πολυγώνου, καθώς και επί των ορίων του, εφόσον δεν υπάρχει καμία πιθανότητα να ανήκουν στην περιοχή ενδιαφέροντος και επομένως δεν μας ενδιαφέρει η τιμή τους. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος το επιτυγχάνει αυτό στηριζόμενος στο γεγονός ότι το πολύγωνο έχει σχεδιαστεί λευκό και επομένως η τιμή των αντίστοιχων pixels είναι πολύ υψηλή και σίγουρα μεγαλύτερη από τη μονάδα. Τα υπόλοιπα pixels της εικόνας είναι σίγουρα μικρότερα της μονάδας καθώς οι είναι τιμές τους είναι κανονικοποιημένες.

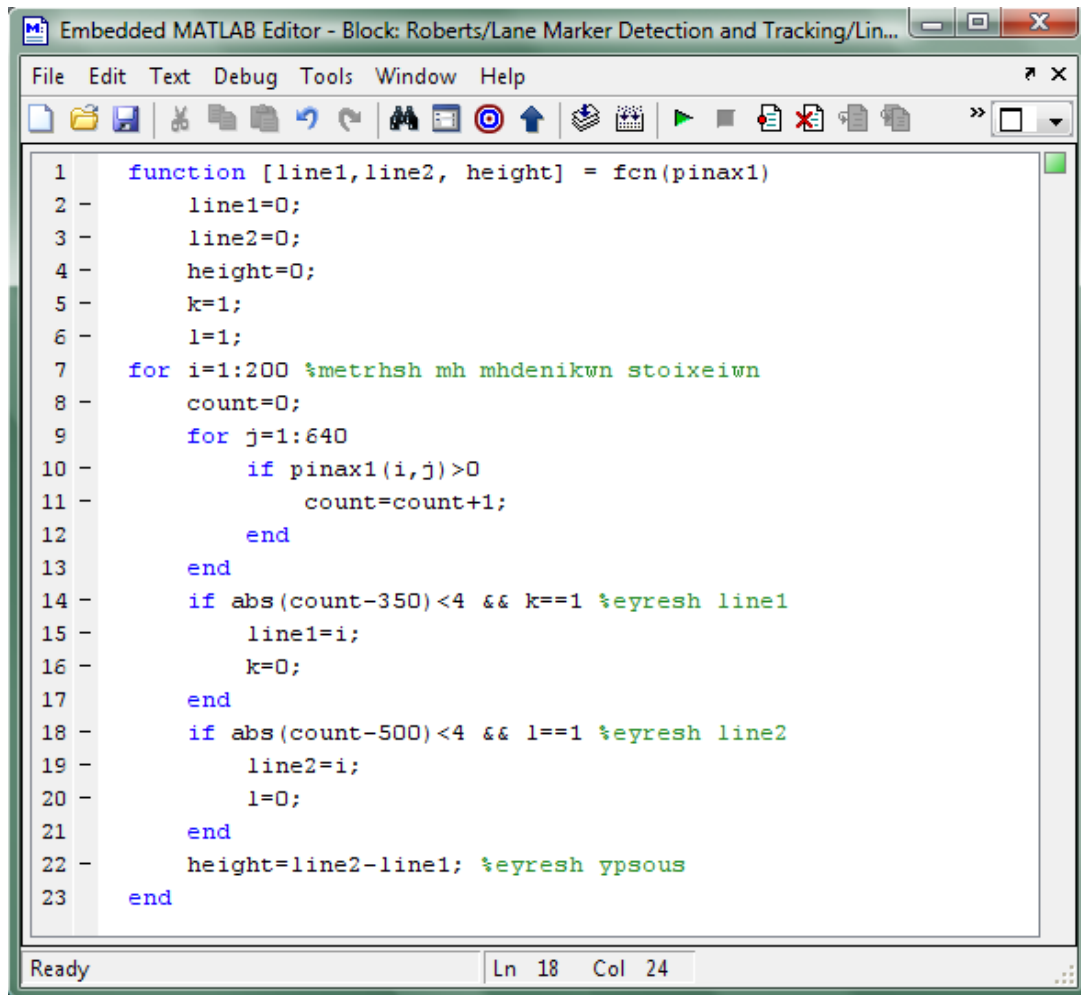
Επομένως, αρχικά εξετάζουμε ξεκινώντας από αριστερά προς τα δεξιά τις τιμές των pixels της εικόνας για καθεμία γραμμή. Όσο συναντάμε στοιχεία μικρότερα της μονάδας, τα μηδενίζουμε διότι σίγουρα θα βρίσκονται εκτός του

πολυγώνου. Όταν φθάσουμε σε ένα στοιχείο της γραμμής το οποίο είναι μεγαλύτερο της μονάδας, αντιλαμβανόμαστε ότι πρόκειται για στοιχείο που ανήκει στο περίγραμμα του πολυγώνου, σταματάμε το μηδενισμό των στοιχείων και περνάμε στην επόμενη γραμμή. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε να μηδενίσουμε όλα τα στοιχεία τα οποία βρίσκονται άνωθεν και κάτωθεν του πολυγώνου, καθώς και αυτά που βρίσκονται στα αριστερά του.

Με ακριβώς τον ίδιο τρόπο μηδενίζουμε και τα στοιχεία που βρίσκονται δεξιά του πολυγώνου και μας είναι άχρηστα όσον αφορά τις πληροφορίες που αναζητούμε, μόνο που τώρα ξεκινάμε την εξέταση των στοιχείων από δεξιά προς τα αριστερά.

Τέλος, μένει να μηδενίσουμε και τα στοιχεία που ανήκουν στο περίγραμμα του πολυγώνου, πράγμα πολύ εύκολο, αφού είναι μεγαλύτερα της μονάδας. Έτσι, ανατρέχουμε απλά την εικόνα μας εξισώνοντας κάθε στοιχείο που είναι μεγαλύτερο της μονάδας με μηδέν. Άρα, ο πίνακας `pinax1` που είναι η μεταβλητή εξόδου του `block embedded`, είναι ένας πίνακας που είναι μη μηδενικός μόνο για εκείνα τα σημεία της εικόνας που ανήκουν στο εσωτερικό του πολυγώνου, δηλαδή στην περιοχή της λωρίδας του οδοστρώματος. Έχουμε μηδενίσει, λοιπόν, τις τιμές των `pixel` που αντιστοιχούν σε αντικείμενα της εικόνας που δε μας ενδιαφέρουν, όπως για παράδειγμα σε πεζοδρόμια ή τοιχώματα τούνελ.

Ο πίνακας `pinax1` χρησιμοποιείται ως είσοδος στο `block embedded pinax1-line1, line2, height`. Ο κώδικας που περιέχει το συγκεκριμένο `block` είναι ο εξής:



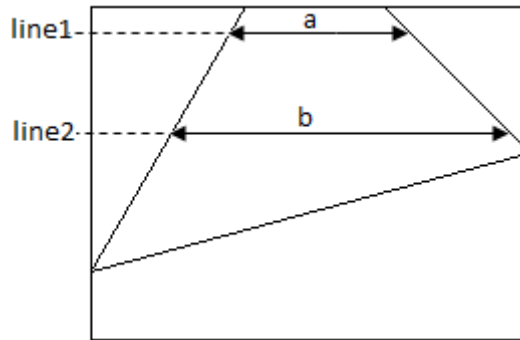
```

1  function [line1,line2, height] = fcn(pinax1)
2  -   line1=0;
3  -   line2=0;
4  -   height=0;
5  -   k=1;
6  -   l=1;
7  for i=1:200 %metrhsh mh mhdenikwn stoixeiwn
8  -   count=0;
9  for j=1:640
10 -   if pinax1(i,j)>0
11 -   count=count+1;
12   end
13   end
14 -   if abs(count-350)<4 && k==1 %eyresh line1
15 -   line1=i;
16 -   k=0;
17   end
18 -   if abs(count-500)<4 && l==1 %eyresh line2
19 -   line2=i;
20 -   l=0;
21   end
22 -   height=line2-line1; %eyresh ypsous
23 end

```

**Εικόνα 6-35** Περιεχόμενο του block embedded pinax1-line1, line2, height

Ο παραπάνω κώδικας δημιουργήθηκε με την προϋπόθεση ότι εάν γνωρίζουμε σε οποιοδήποτε σημείο την οριζόντια απόσταση μεταξύ των δύο μη παραλλήλων πλευρών του τραapeζίου σε μέτρα, τότε αυτή η απόσταση είναι δυνατό να μεταφραστεί σε αριθμό pixel. Με χρήση αυτού του αλγορίθμου είναι δυνατό, δοθέντων δύο αποστάσεων  $a$ ,  $b$ , να βρεθούν οι αντίστοιχες γραμμές της εικόνας ( $line1$  και  $line2$  αντίστοιχα), στις οποίες οι μη παράλληλες πλευρές του τραapeζίου απέχουν τόσο μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος μετρά τις αποστάσεις αυτές σε pixel, όμως υποτίθεται ότι αυτές είναι άμεσα μεταφράσιμες και σε μέτρα.



Εικόνα 6-36 Αποστάσεις a, b του πολυγώνου

Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος βρίσκει διαδοχικά σε κάθε γραμμή της εικόνας το πλήθος των μη μηδενικών στοιχείων, και το αποθηκεύει στη μεταβλητή count. Στη συνέχεια, ελέγχει εάν η μεταβλητή count ισούται με κάποια από τις δύο αποστάσεις a και b. Εάν πράγματι ισούται, αποθηκεύει στη μεταβλητή line1 ή line2 αντίστοιχα τη γραμμή, ειδάλλως συνεχίζει στην επόμενη. Πρέπει να διευκρινίσουμε τα εξής:

- Λόγω του ότι υπάρχει περίπτωση να βρεθεί κι άλλη γραμμή του πολυγώνου στην οποία οι πλευρές απέχουν απόσταση a, καθώς το σχήμα του πολυγώνου μοιάζει με τραπέζιο αλλά στην πραγματικότητα δεν είναι, φροντίζουμε να αποθηκεύεται στη μεταβλητή line1 η πρώτη γραμμή που βρίσκουμε ότι αντιστοιχεί στην απόσταση αυτή. Το ίδιο κάνουμε και όσον αφορά την απόσταση b και τη μεταβλητή line2, αν και είναι σχεδόν απίθανο να έχουμε αντίστοιχο πρόβλημα.
- Είναι δυνατόν, μια απόσταση a που θέλουμε να εντοπίσουμε, να μην υπάρχει καθόλου στο πολύγωνο, καθώς δεν είναι απαραίτητο οι αποστάσεις των πλευρών να παίρνουν διαδοχικά όλες τις δυνατές τιμές. Για παράδειγμα, είναι δυνατό σε μια γραμμή οι πλευρές να απέχουν μεταξύ τους 300 pixels και στην αμέσως επόμενη 302 pixels. Εάν εμείς, επομένως θελήσουμε να αναζητήσουμε την απόσταση 301, δεν θα καταλήξουμε κάπου. Γι' αυτό ακριβώς το λόγο δίνουμε ένα περιθώριο σφάλματος  $\pm 4$  pixels.

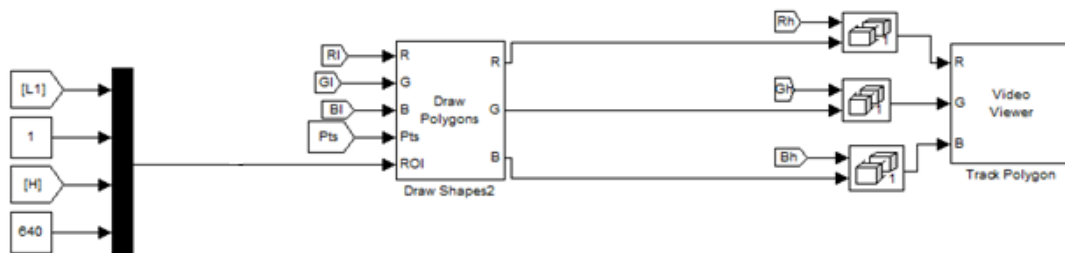
Στο τέλος, αφού υπολογίσουμε τις τιμές των line1, line2, οι οποίες οριοθετούν την περιοχή του ενδιαφέροντος μας, υπολογίζουμε και το ύψος της, με απλή αφαίρεση των δύο μεταβλητών.

Στην προκειμένη περίπτωση, όπως φαίνεται και από τον παραπάνω κώδικα, έχουμε θέσει  $a=350$  και  $b=500$  pixels. Το ύψος, άρα, θα προκύψει ίσο με 150 pixels.

Επομένως, μέχρι στιγμής, έχουμε υπολογίσει την θέση της περιοχής ενδιαφέροντος στην εικόνα, καθώς επίσης και το ύψος της. Μένει μόνο να τη σχεδιάσουμε για να έχουμε και οπτική εποπτεία, και να εξάγουμε και να επεξεργαστούμε τις τιμές των pixels που περιέχονται σ' αυτή.

### 6.8.2.2 Σχεδίαση περιοχής ενδιαφέροντος

Η σχεδίαση της περιοχής ενδιαφέροντος γίνεται με παρόμοιο τρόπο όπως και η σχεδίαση του πολυγώνου που αντιστοιχεί στη λωρίδα του οδοστρώματος και περιγράφηκε παραπάνω. Η σχεδίαση της περιοχής αυτής πραγματοποιείται από το τελευταίο τμήμα του subsystem Calculate and construct polygon, που για ευκολία παρατίθεται και παρακάτω:

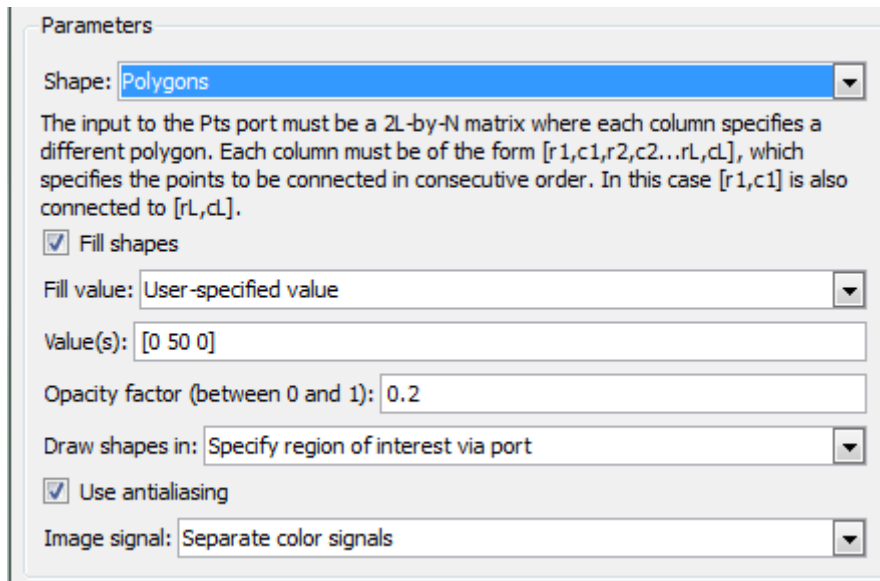


Εικόνα 6-37 Τμήμα σχεδίασης περιοχής ενδιαφέροντος

Χρησιμοποιούμε ένα block Draw Polygons, που σαν είσοδο έχει τις τρεις χρωματικές συνιστώσες του κάτω μέρους της εικόνας, την παράμετρο Pts που προέκυψε από το block Hough Lines και τροποποιήθηκε από το block Matrix Concatenation με τον τρόπο που αναλύθηκε παραπάνω, καθώς επίσης και μια άλλη παράμετρο ROI.

Η συγκεκριμένη παράμετρος είναι ένα διάνυσμα τεσσάρων ακεραίων αριθμών, που καθορίζει μια ορθογώνια περιοχή μέσα στην οποία επιθυμούμε να σχεδιάσουμε τα σχήματα. Οι δύο πρώτοι ακέραιοι αντιπροσωπεύουν τις συντεταγμένες της γραμμής και της στήλης της πάνω αριστερής γωνίας της περιοχής. Οι δύο τελευταίοι ακέραιοι αντιπροσωπεύουν το ύψος και το πλάτος της περιοχής. Στην περίπτωση μας, η ορθογώνια περιοχή μέσα στην οποία θέλουμε να σχεδιαστεί το πολύγωνο της περιοχής ενδιαφέροντος θα ξεκινάει από εκείνη τη γραμμή line1 της εικόνας την οποία υπολογίσαμε προηγουμένως και θα έχει ύψος αυτό που προκύπτει από την αφαίρεση των line2, line1 και επίσης υπολογίσαμε προηγουμένως. Όσον αφορά το πλάτος της ορθογώνιας περιοχής δεν έχουμε κάποιο περιορισμό, και γι' αυτό το λόγο, θέτουμε τον δεύτερο ακέραιο της παραμέτρου ROI ίσο με 1 και τον τέταρτο ίσο με 640, που είναι και το πλάτος ολόκληρης της εικόνας.

Το παράθυρο των παραμέτρων του block Draw Polygons διαμορφώνεται, βάσει των παραπάνω, ως εξής:

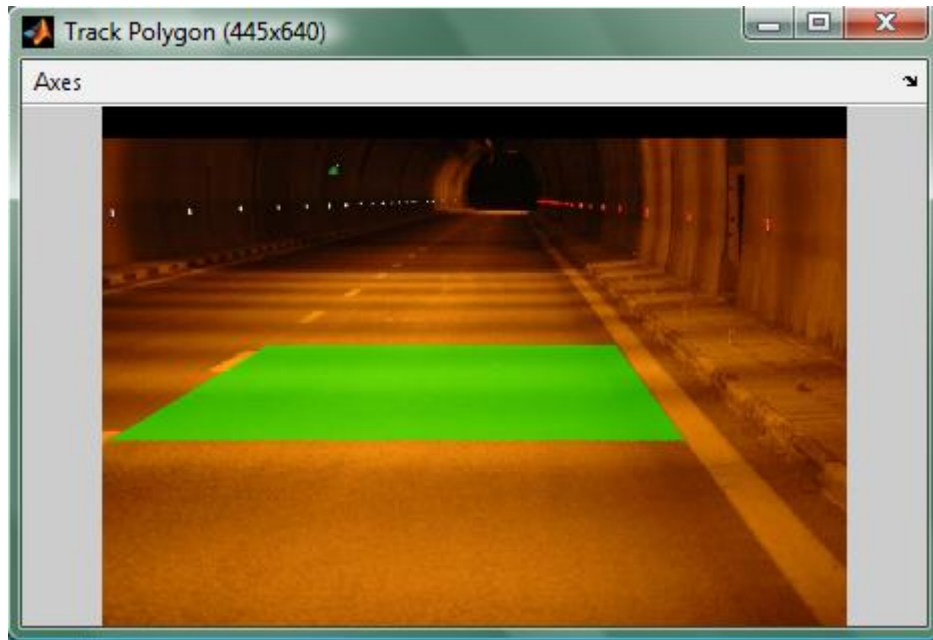


Εικόνα 6-38 Παράμετροι του block Draw Polygons για τη σχεδίαση της περιοχής ενδιαφέροντος

Έχουμε επιλέξει να χρωματίζεται η περιοχή ενδιαφέροντος με χρώμα της επιλογής μας, που εδώ τυχαία επιλέξαμε να είναι μια απόχρωση του πράσινου. Το χρώμα το καθορίζουμε, προσδιορίζοντας στην παράμετρο values τις αναλογίες σε κόκκινο, πράσινο και μπλε, σύμφωνα με το πρότυπο RGB. Ακόμα, έχουμε τη δυνατότητα να καθορίζουμε την αδιαφάνεια των σχημάτων που σχεδιάζουμε. Τέλος, επιλέγουμε την Use antialiasing έτσι ώστε το block να εφαρμόσει έναν αλγόριθμο ομαλοποίησης ορίων.

Εφόσον έχουμε σχεδιάσει στο κάτω μισό της εικόνας την περιοχή του ενδιαφέροντος, μένει μόνο να το ενώσουμε με το πάνω μισό της. Αυτό το επιτυγχάνουμε με χρήση τριών block Frame Concatenation.

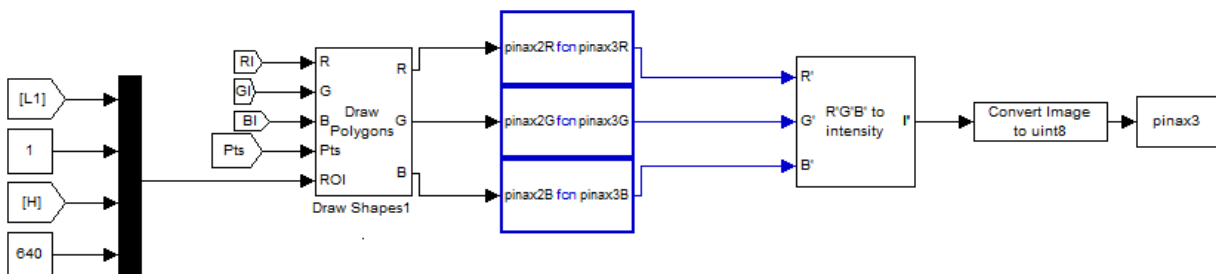
Αυτό που κάνουμε, δηλαδή, είναι να ενώσουμε για κάθε χρωματική συνιστώσα της εικόνας μας, το πάνω μισό της με το κάτω μισό της όπου έχει σχεδιαστεί η περιοχή ενδιαφέροντος, τοποθετώντας το ένα μισό κάτω από το άλλο. Τους τρεις πίνακες-εικόνες που προκύπτουν, τους οδηγούμε σε ένα video viewer. Ένα χαρακτηριστικό στιγμιότυπο της εικόνας που προκύπτει στην περίπτωση μας είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 6-39 Στιγμιότυπο σχεδίασης περιοχής ενδιαφέροντος

### 6.8.2.3 Εξαγωγή των τιμών της έντασης των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος

Η εξαγωγή των τιμών της έντασης των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος πραγματοποιείται από το μεσαίο τμήμα του subsystem Calculate and construct polygon, που για ευκολία παρατίθεται και παρακάτω:



Εικόνα 6-40 Τμήμα εξαγωγής των τιμών της έντασης των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος

Αρχικά, χρησιμοποιούμε ένα block Draw Polygons, με τη βοήθεια του οποίου σχεδιάζουμε μόνο το περίγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος και μάλιστα με άσπρο χρώμα. Σαν είσοδο έχει τις τρεις χρωματικές συνιστώσες του κάτω μέρους της εικόνας, την παράμετρο Pts και την παράμετρο ROI που αναλύσαμε παραπάνω.

Εν συνεχεία, κάθε χρωματική συνιστώσα της εικόνας στην οποία έχουμε σχεδιάσει το περίγραμμα, την οδηγούμε σε ένα block Embedded. Και τις τρεις συνιστώσες τις επεξεργαζόμαστε με τον ίδιο τρόπο, όπως φαίνεται και από τους πανομοιότυπους αλγόριθμους τους που ακολουθούν:



```
Embedded MATLAB Editor - Block: Roberts/Lane Marker Detection and Tracking/Line Drawing and Imag...
File Edit Text Debug Tools Window Help
function pinax3R = fcn(pinax2R)
1  for i=1:256 %mhdenismos stoxeiwn aristera ths perioxhs endiaferontos
2  k=1;
3  for j=1:640
4      if pinax2R(i,j)<1 && k==1
5          pinax2R(i,j)=0;
6      else k=0;
7      end
8  end
9  end
10 end
11 for i=256:-1:1 %mhdenismos stoxeiwn dexia ths perioxhs endiaferontos
12 l=1;
13 for j=640:-1:1
14     if pinax2R(i,j)<1 && l==1
15         pinax2R(i,j)=0;
16     else l=0;
17     end
18 end
19 end
20 for i=1:256 %mhdenismos stoxeiwn perigrammatos ths perioxhs endiaferontos
21 for j=1:640
22     if pinax2R(i,j)>1
23         pinax2R(i,j)=0;
24     end
25 end
26 end
27 pinax3R =pinax2R;
```

```
Embedded MATLAB Editor - Block: Roberts/Lane Marker Detection and Tracking/Line Drawing and Imag...
File Edit Text Debug Tools Window Help
function pinax3B = fcn(pinax2B)
1  for i=1:256 %mhdenismos stoxeiwn aristera ths perioxhs endiaferontos
2  k=1;
3  for j=1:640
4      if pinax2B(i,j)<1 && k==1
5          pinax2B(i,j)=0;
6      else k=0;
7      end
8  end
9  end
10 end
11 for i=256:-1:1 %mhdenismos stoxeiwn dexia ths perioxhs endiaferontos
12 l=1;
13 for j=640:-1:1
14     if pinax2B(i,j)<1 && l==1
15         pinax2B(i,j)=0;
16     else l=0;
17     end
18 end
19 end
20 for i=1:256 %mhdenismos stoxeiwn perigrammatos ths perioxhs endiaferontos
21 for j=1:640
22     if pinax2B(i,j)>1
23         pinax2B(i,j)=0;
24     end
25 end
26 end
27 pinax3B =pinax2B;
```

```

1  function pinax3G = fcn(pinax2G)
2  for i=1:256 %mhdenismos stoxeiwn aristera ths perioxhs endiaferontos
3  -   k=1;
4  for j=1:640
5  -   if pinax2G(i,j)<1 && k==1
6  -       pinax2G(i,j)=0;
7  -   else k=0;
8  -   end
9  end
10 end
11 for i=256:-1:1 %mhdenismos stoxeiwn dexia ths perioxhs endiaferontos
12 -   l=1;
13 for j=640:-1:1
14 -   if pinax2G(i,j)<1 && l==1
15 -       pinax2G(i,j)=0;
16 -   else l=0;
17 -   end
18 end
19 end
20 for i=1:256 %mhdenismos stoxeiwn perigrammatos ths perioxhs endiaferontos
21 for j=1:640
22 -   if pinax2G(i,j)>1
23 -       pinax2G(i,j)=0;
24 -   end
25 end
26 end
27 pinax3G =pinax2G;

```

**Εικόνα 6-41** Περιεχόμενο των block embedded για την επεξεργασία των τριών συνιστωσών

Με τους παραπάνω κώδικες σε κάθε χρωματική συνιστώσα της εικόνας στην οποία έχουμε σχεδιάσει το περίγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος, μηδενίζουμε όλα τα στοιχεία που βρίσκονται εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος, καθώς δε μας ενδιαφέρει η τιμή τους. Και πάλι, βασιζόμαστε στο γεγονός ότι το πολύγωνο έχει σχεδιαστεί λευκό και επομένως η τιμή των αντίστοιχων rixels είναι πολύ υψηλή και σίγουρα μεγαλύτερη από τη μονάδα, και ότι τα υπόλοιπα rixels της εικόνας είναι σίγουρα μικρότερα της μονάδας καθώς οι είναι τιμές τους είναι κανονικοποιημένες.

Για κάθε χρωματική συνιστώσα αρχικά εξετάζουμε ξεκινώντας από αριστερά προς τα δεξιά τις τιμές των rixels της εικόνας για καθεμία γραμμή. Όσο συναντάμε στοιχεία μικρότερα της μονάδας, τα μηδενίζουμε διότι σίγουρα θα βρίσκονται εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος. Όταν φθάσουμε σε ένα στοιχείο της γραμμής το οποίο είναι μεγαλύτερο της μονάδας, αντιλαμβανόμαστε ότι πρόκειται για στοιχείο που ανήκει στο περίγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος, σταματάμε το μηδενισμό των στοιχείων και περνάμε στην επόμενη γραμμή. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε να μηδενίσουμε όλα τα στοιχεία τα οποία βρίσκονται άνωθεν και κάτωθεν του πολυγώνου, καθώς και αυτά που βρίσκονται στα αριστερά του.

Με ακριβώς τον ίδιο τρόπο μηδενίζουμε και τα στοιχεία που βρίσκονται δεξιά της περιοχής ενδιαφέροντος και μας είναι άχρηστα όσον αφορά τις

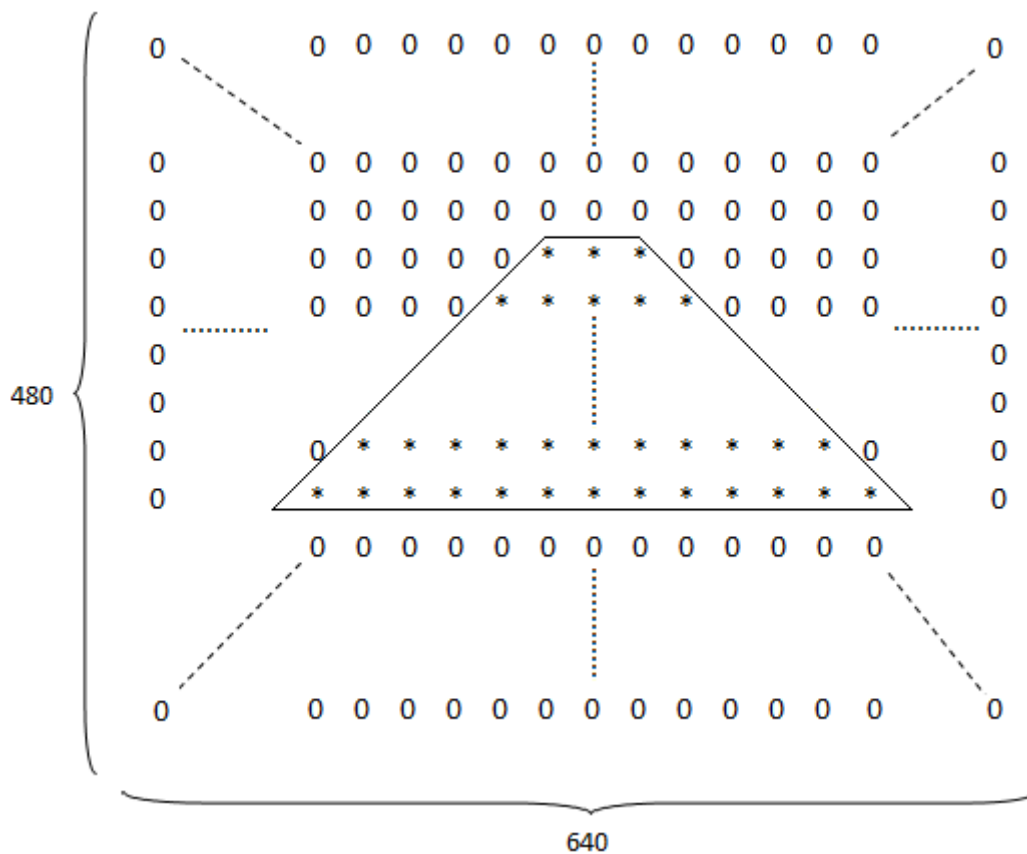
πληροφορίες που αναζητούμε, μόνο που τώρα ξεκινάμε την εξέταση των στοιχείων από δεξιά προς τα αριστερά.

Τέλος, μένει να μηδενίσουμε και τα στοιχεία που ανήκουν στο περίγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος, πράγμα πολύ εύκολο, αφού είναι μεγαλύτερα της μονάδας. Έτσι, ανατρέχουμε απλά την εικόνα μας εξισώνοντας κάθε στοιχείο που είναι μεγαλύτερο της μονάδας με μηδέν. Άρα, στην έξοδο του κάθε block embedded έχουμε ένα πίνακα για κάθε χρωματική συνιστώσα που είναι μη μηδενικός μόνο για εκείνα τα σημεία της εικόνας που ανήκουν στο εσωτερικό της περιοχής ενδιαφέροντος.

Τις τρεις αυτές χρωματικές συνιστώσες της έγχρωμης εικόνας που περιέχει πληροφορίες μόνο για την περιοχή ενδιαφέροντος τις χρησιμοποιούμε ως είσοδο σε ένα block Color Space Conversion, το οποίο μας μετατρέπει την αυτή έγχρωμη εικόνα σε grayscale. Η grayscale εικόνα περιέχει χρώματα σε διάφορους τόνους του γκριζου και ουσιαστικά η τιμή του κάθε pixel αυτής της εικόνας μεταφράζεται εύκολα σε τιμή λαμπρότητας. Αυτός είναι και ο λόγος που μετατρέπουμε την εικόνα μας σε grayscale.

Εν συνεχεία, πριν εξάγουμε τις τιμές των pixels, κάνουμε μια τελευταία μετατροπή της εικόνας περνώντας την από ένα block Image Data Type Conversion. Σε αυτό το block στην επιλογή της παραμέτρου Output data type επιλέγουμε uint8. Με αυτό τον τρόπο, ενώ αρχικά τα pixels έπαιρναν τιμές που κυμαίνονταν από 0 έως 1, με τη μετατροπή της εικόνας μας, τα pixels παίρνουν τιμές από 0 έως 255. Αυτή η μετατροπή έγινε, διότι όταν τα pixel παίρνουν τιμές από 0 έως 255, η μετάφρασή των τιμών τους σε τιμές λαμπρότητας είναι ευκολότερη.

Τον τελικό grayscale πίνακα που τα pixels του παίρνουν τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 255, και περιέχει πληροφορίες μόνο για την περιοχή ενδιαφέροντος, ενώ τα pixels που δεν ανήκουν σε αυτή την περιοχή τα έχουμε θέσει ίσα με μηδέν, τον ονομάζουμε `pinax3`. Ο `pinax3` είναι αυτός που στη συνέχεια θα επεξεργαστούμε και από τον οποίο θα πάρουμε όλες τις ζητούμενες πληροφορίες σχετικά με την λαμπρότητα του οδοστρώματος.

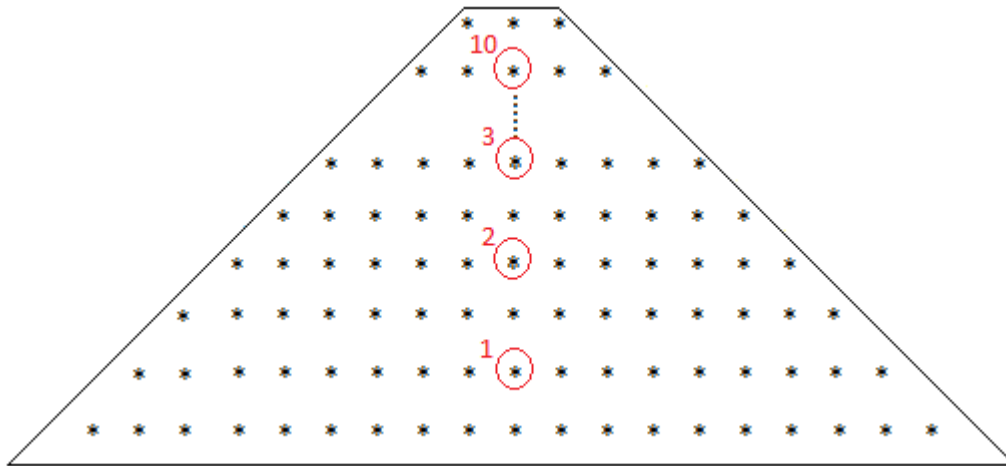


Εικόνα 6-42 Επεξήγηση της επεξεργασίας των τριών συνιστωσών

#### **6.8.2.4 Επεξεργασία τιμών pixel περιοχής ενδιαφέροντος**

Η επεξεργασία των τιμών της περιοχής ενδιαφέροντος γίνεται εκ των υστέρων, αφού τρέξουμε το μοντέλο μας, με χρήση ενός m-file. Με το που τρέξουμε το μοντέλο μας και προτού τρέξουμε το m-file, επιλέγουμε το frame ποιας χρονικής στιγμής θέλουμε να επεξεργαστούμε. Για παράδειγμα, εάν θέλαμε να επεξεργαστούμε τις τιμές των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος του 10ου frame, θα γράφαμε στο command window την εντολή `v=pinax3(:, :, 10);`, όπου η μεταβλητή `v` χρησιμοποιείται στο m-file.

Με το m-file στοχεύουμε στο να βρούμε το μέσο όρο των τιμών των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος, τη μέγιστη (max) και την ελάχιστη (min) τιμή τους, την τιμή του λόγου της ελάχιστης τιμής προς το μέσο όρο των τιμών και τέλος το μέσο όρο δέκα ισαπέχοντων κεντρικών τιμών της περιοχής ενδιαφέροντος, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 6-43 Εύρεση των δέκα κεντρικών τιμών

Το m-file παρατίθεται και αναλύεται τμηματικά παρακάτω:

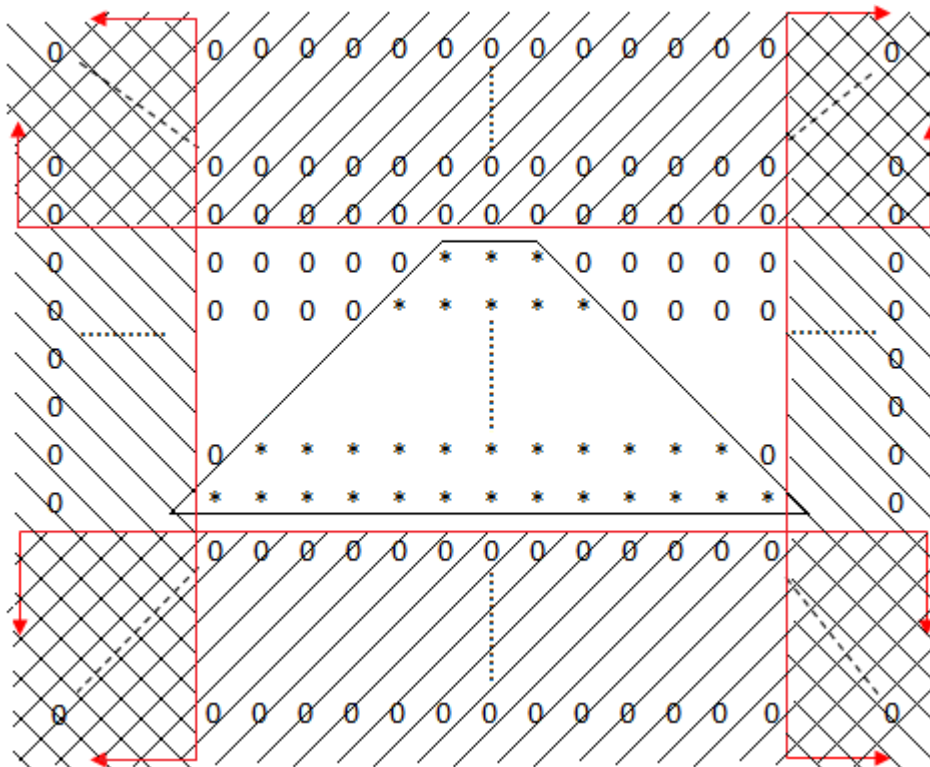
```

k=1;
l=1;
m=1;
sum=0;
plithos=0;
mo=0;
a=zeros(640);
b=zeros(640);
for i=291:-1:1 %eyresh ths megaluterhs mh mhdenikhs grammhs
    for j=1:640 %eyresh ths mikroterhs mh mhdenikhs stlhs
        if v(i,j)>0 && k==1
            k=0;
            lin2=i;
            col1=j;
        end
    end
    for j=640:-1:1 %eyresh ths megalyterhs mh mhdenikhs stlhs
        if v(i,j)>0 && l==1
            l=0;
            col2=j;
        end
    end
end
for i=1:291 %eyresh ths mikroterhs mh mhdenikhs grammhs
    for j=1:640
        if v(i,j)>0 && m==1
            m=0;
            lin1=i;
        end
    end
end
pinax4=v(lin1:lin2,col1:col2)

```

Ο αλγόριθμος ξεκινά με την αρχικοποίηση των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στον κώδικα. Εν συνεχεία, για να γίνεται ευκολότερα η

επεξεργασία, αποκόπτουμε από τον πίνακά μας τα άχρηστα μηδενικά. Αυτό το επιτυγχάνουμε διατρέχοντας αρχικά τον πίνακα  $n$ , ξεκινώντας από την τελευταία γραμμή και προχωρώντας προς την πρώτη από αριστερά προς τα δεξιά. Με αυτόν τον τρόπο βρίσκουμε την θέση της τελευταίας μη μηδενικής γραμμής της περιοχής ενδιαφέροντος ( $lin2$ ), καθώς και την πρώτη στήλη της που δεν αποτελείται εξ ολοκλήρου από μηδενικά ( $col1$ ). Έπειτα, ανατρέχουμε τον πίνακα  $n$ , ξεκινώντας από την τελευταία γραμμή και προχωρώντας προς την πρώτη από δεξιά προς τα αριστερά. Με αυτόν τον τρόπο βρίσκουμε την θέση και της τελευταίας στήλης της περιοχής ενδιαφέροντος που δεν αποτελείται εξ ολοκλήρου από μηδενικά ( $col2$ ). Τέλος, διατρέχοντας τον πίνακα  $n$  ξεκινώντας από την πρώτη γραμμή του και προχωρώντας προς την τελευταία του, εντοπίζουμε την θέση της πρώτης μη μηδενικής γραμμής της περιοχής ενδιαφέροντος ( $lin1$ ). Στη συνέχεια, δημιουργούμε ένα νέο πίνακα τον  $pinax4$ , ο οποίος έχει μέγεθος  $(lin1 - lin2 + 1) \times (col2 - col1 + 1)$  και περιέχει τις γραμμές του  $pinax3$  από τη  $lin1$  ως τη  $lin2$  και τις στήλες του από το  $col1$  ως το  $col2$ . Η όλη διαδικασία γίνεται καλύτερα κατανοητή με τη βοήθεια του παρακάτω σχήματος:



Εικόνα 6-44 Αποκοπή άχρηστων μηδενικών του πίνακα

Η εύρεση του μέσου όρου των τιμών των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος επιτυγχάνεται με το ακόλουθο τμήμα του κώδικα:

```

for i=1:(lin2-lin1+1)           %eyresh mesou orou
    for j=1:(col2-col1+1)
        if pinax4(i,j)>0
            plithos= plithos+1;
            a(i,j)=pinax4(i,j);
            sum=a(i,j)+sum;
        end
    end
end
mo=(sum/plithos)

```

Σύμφωνα με τον παραπάνω κώδικα, διατρέχουμε τον πίνακα pinax4 και όταν βρούμε ένα μη μηδενικό στοιχείο αυξάνουμε τη μεταβλητή plithos κατά 1. Με αυτόν τον τρόπο καταμετρούμε τα μη μηδενικά στοιχεία, των οποίων το μέσο όρο επιθυμούμε να υπολογίσουμε. Ακόμα, προσθέτουμε μεταξύ τους όλα τα μη μηδενικά στοιχεία με τη βοήθεια ενός ενδιάμεσου πίνακα a και τη μεταβλητή αυτή την ονομάζουμε sum. Ο μέσος όρος των στοιχείων προκύπτει απλά με τη διαίρεση των μεταβλητών sum και plithos.

Η εύρεση της μέγιστης τιμής των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος επιτυγχάνεται με το ακόλουθο τμήμα του κώδικά:

```

x=max(pinax4);                 %eyresh megistou
maximum=max(x)

```

Στο συγκεκριμένο σημείο κάνουμε χρήση της συνάρτησης max της Matlab. Η συνάρτηση αυτή στην περίπτωση που έχουμε πίνακα όπως εδώ, συμπεριφέρεται στις στήλες του σαν ξεχωριστά διανύσματα και για κάθε μια από αυτές επιστρέφει το μεγαλύτερο στοιχείο της. Επομένως, με την εντολή x=max(pinax4), μας επιστρέφεται ένα διάνυσμα-γραμμή, τα στοιχεία του οποίου αντιστοιχούν στα μέγιστα κάθε στήλης. Εάν σε αυτό το διάνυσμα-γραμμή, το οποίο έχουμε ονομάσει x, εφαρμόσουμε πάλι τη συνάρτηση max, τότε βρίσκουμε το μέγιστο των μεγίστων κάθε στήλης, που αντιστοιχεί τελικά στο μέγιστο ολόκληρου του πίνακα pinax4.

Η εύρεση της ελάχιστης τιμής των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος επιτυγχάνεται με το ακόλουθο τμήμα του κώδικά:

```

for i=1:(lin2-lin1+1)           %eyresh elaxistou
    for j=1:(col2-col1+1)
        if pinax4(i,j)==0
            pinax4(i,j)=255;
        end
    end
end
y=min(pinax4);
minimum=min(y)
for i=1:(lin2-lin1+1)
    for j=1:(col2-col1+1)
        if pinax4(i,j)== 255
            pinax4(i,j)=0;
        end
    end
end

```

Αρχικά, διατρέχουμε τον πίνακα `pinax4` και όταν βρούμε ένα μηδενικό στοιχείο το θέτουμε ίσο με ένα μεγάλο αριθμό. Εδώ τυχαία το θέτουμε ίσο με 255. Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη διότι στην εξαγωγή της ελάχιστης τιμής των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος δεν θέλουμε να λάβουμε υπόψη μας τα μηδενικά στοιχεία του πίνακα `pinax4` που βρίσκονται γύρω από την περιοχή ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, κάνουμε χρήση της συνάρτησης `min` της Matlab, οποία λειτουργεί ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως και η συνάρτηση `max`. Δηλαδή, συμπεριφέρεται στις στήλες του πίνακα σαν ξεχωριστά διανύσματα και για κάθε μια από αυτές επιστρέφει το μικρότερο στοιχείο της. Επομένως, με την εντολή `y=min(pinax4)`, μας επιστρέφεται ένα διάνυσμα-γραμμή, τα στοιχεία του οποίου αντιστοιχούν στα ελάχιστα κάθε στήλης. Εάν σε αυτό το διάνυσμα-γραμμή, το οποίο έχουμε ονομάσει `y`, εφαρμόσουμε πάλι τη συνάρτηση `min`, τότε βρίσκουμε το ελάχιστο των ελαχίστων κάθε στήλης, που αντιστοιχεί τελικά στο ελάχιστο ολόκληρου του πίνακα `pinax4`.

Μετά την εύρεση της ελάχιστης τιμής των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος θα πρέπει να επαναφέρουμε τα στοιχεία του πίνακα `pinax4` που βρίσκονται εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος στη αρχική τους τιμή. Αυτό το επιτυγχάνουμε με το τελευταίο κομμάτι του κώδικα.

Η εύρεση του λόγου της ελάχιστης τιμής των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος ως προς το μέσο όρο τους επιτυγχάνεται με μια απλή διαίρεση των αντίστοιχων μεταβλητών. Ωστόσο, προηγουμένως θα πρέπει να μετατρέψουμε τις μεταβλητές `minimum` και `mo` σε τύπου `double`, έτσι ώστε η διαίρεσή τους να έχει μεγάλη ακρίβεια και να μη στρογγυλοποιείται και καταλήγουμε σε λάθος αποτελέσματα.



```
r=double(minimum); %eyresh min/mo
t=double(mo);
minaver=(r/t)
```

Η εύρεση του μέσου όρου δέκα ισαπέχοντων κεντρικών τιμών της περιοχής ενδιαφέροντος επιτυγχάνεται με τον ακόλουθο αλγόριθμο. Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινίσουμε τα εξής:

- Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος λειτουργεί υπό την προϋπόθεση ότι το ύψος του τραπεζίου της περιοχής ενδιαφέροντος είναι τουλάχιστον ίσο με 12 pixel. Η υπόθεση αυτή φαίνεται λογική καθώς δεδομένης της οπτικής γωνίας των εικόνων μας, εάν το ύψος της περιοχής ενδιαφέροντος έχει λιγότερα από 12 pixel, οι πραγματικές της διαστάσεις θα είναι πάρα πολύ μικρές και ακατάλληλες για μετρήσεις λαμπρότητας. Εξάλλου, εάν το ύψος είχε λιγότερα από 12 pixel και εφόσον το πρώτο και το τελευταίο κεντρικό pixel της περιοχής ενδιαφέροντος δεν το περιλαμβάνουμε στους υπολογισμούς μας, δεν θα υπήρχαν καν 10 κεντρικά σημεία στην εικόνα μας για να συμπεριλάβουμε στους υπολογισμούς μας.
- Έστω ότι έχουμε δέκα ισαπέχοντα σημεία στο οδόστρωμα οποία λαμβάνουμε μετρήσεις λαμπρότητας. Τα συγκεκριμένα αυτά σημεία εάν τα παρατηρήσουμε στην εικόνα μας, λόγω της οπτικής γωνίας, δεν φαίνονται να ισαπέχουν μεταξύ τους. Μάλιστα, φαίνεται να πυκνώνουν όσο προχωράμε προς το βάθος της εικόνας και να αραιώνουν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ωστόσο, στο συγκεκριμένο μοντέλο δεν έγινε τόσο λεπτομερής υπολογισμός των θέσεων των κεντρικών σημείων καθώς οι αποκλίσεις στις οποίες οδηγούμαστε είναι αμελητέες και ο ακριβής υπολογισμός των θέσεων τους θα αύξανε σημαντικά την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου χωρίς, μάλιστα, αισθητή βελτίωση των αποτελεσμάτων.

```
dif1=((lin2-lin1-1)/9);
rou=round(dif1);
dif2=(dif1-rou);
kentro=0;
if dif2>=0 %eyresh mo kentrikhs sthlhs otan dekadiko meros dif1 <0.5
    for i=2:rou:(2+9*rou);
        a=1;
        w1=0;
        b=1;
        w2=(col2-col1+2);
        for j=1:(col2-col1+1)
            if pinax4(i,j)==0 && a==1 %eyresh prwths mh mhdenikhs
                w1=w1+1; %sthlhs kathe grammhs
            else a=0;
            end
        end
    for j=(col2-col1+1):-1:1
        if pinax4(i,j)==0 && b==1 %eyresh teleytaias mh mhdenikhs
```

```

        w2=w2-1;           %sthlhs kathe grammhs
    else b=0;
    end
end
ken=round(((w2-w1)/2)+w1); %eyresh theshs kentrikoy stoiceioy
b(i,ken)=pinax4(i,ken);   %kathe grammhs
kentro= b(i,ken)+kentro;  %prosthesh kentrikwn stoiceiwn
end
kentriko=kentro/10
end
if dif2<0 %eyresh mo kentrikhs sthlhs otan dekadiko meros dif1 >0.5
    for i=2:(rou-1):3*(rou-1)+2; %eyresh prwtwn 4 kentrikwn stoiceiwn
        a=1;
        w1=0;
        b=1;
        w2=(col2-col1+2);
        for j=1:(col2-col1+1)
            if pinax4(i,j)==0 && a==1 %eyresh prwths mh mhdenikhs
                w1=w1+1;           %sthlhs tw 4 prwtwn grammwn
            else a=0;
            end
        end
        for j=(col2-col1+1):-1:1
            if pinax4(i,j)==0 && b==1 %eyresh teleytaias mh mhdenikhs
                w2=w2-1;           %sthlhs tw 4 prwtwn grammwn
            else b=0;
            end
        end
        ken=round(((w2-w1)/2)+w1); %eyresh theshs kentrikoy stoiceioy
        b(i,ken)=pinax4(i,ken);   %twn 4 prwtwn grammwn
        kentro= b(i,ken)+kentro;  %prosthesh kentrikwn stoiceiwn
    end %twn 4 prwtwn grammwn
    for i=3*(rou-1)+2+rou:rou:3*(rou-1)+2+6*rou %eyresh teleytaiwn
        a=1;                       %6 kentrikwn stoiceiwn
        w1=0;
        b=1;
        w2=(col2-col1+2);
        for j=1:(col2-col1+1)
            if pinax4(i,j)==0 && a==1 %eyresh prwths mh mhdenikhs
                w1=w1+1;           %sthlhs tw 6 teleytaiwn grammwn
            else a=0;
            end
        end
        for j=(col2-col1+1):-1:1
            if pinax4(i,j)==0 && b==1 %eyresh teleytaias mh mhdenikhs
                w2=w2-1;           %sthlhs tw 6 teleytaiwn grammwn
            else b=0;
            end
        end
        ken=round(((w2-w1)/2)+w1); %eyresh theshs kentrikoy stoiceioy
        b(i,ken)=pinax4(i,ken);   %twn 6 teleytaiwn grammwn
        kentro=b(i,ken) +kentro;  %prosthesh kentrikwn stoiceiwn
    end %twn 6 teleytaiwn grammwn
    kentriko=kentro/10
end

```

Το συγκεκριμένο τμήμα κώδικα αρχικά υπολογίζει το ύψος του τραπεζίου της περιοχής ενδιαφέροντος, χωρίς να συμπεριλάβει την πρώτη και την τελευταία

γραμμή του. Στη συνέχεια αυτήν την απόσταση τη διαιρούμε με 9, διότι λαμβάνοντας δέκα σημεία, ουσιαστικά χωρίζουμε το ύψος σε 9 τμήματα. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε βρει πόσο ισαπέχουν τα δέκα ζητούμενα σημεία μεταξύ τους. Ωστόσο το πιο πιθανόν είναι η απόσταση αυτή να είναι δεκαδικός αριθμός, κάτι που δεν έχει νόημα στην περίπτωση που μιλάμε για pixels. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατόν να πούμε ότι δύο σημεία απέχουν μεταξύ τους 3.4 pixels. Γίνεται επομένως αισθητό ότι πρέπει να γίνει κάποια στρογγυλοποίηση. Η αναζήτηση της κατάλληλης στρογγυλοποίησης ανάλογα με την περίπτωση αποτελεί και το βασικό πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίσει ο αλγόριθμος. Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

- i. Η απόσταση που υπολογίσαμε μεταξύ των σημείων έχει δεκαδικό μέρος που κυμαίνεται από 0 έως 0,4. Στην περίπτωση αυτή, στρογγυλοποιούμε την απόσταση στον αμέσως μικρότερο ακέραιο αριθμό και λαμβάνουμε δέκα ισαπέχοντα σημεία βάσει αυτής. Για παράδειγμα, εάν η απόσταση που υπολογίσαμε ισούται με 6,3, τότε τα δέκα σημεία που θα επιλέξουμε θα απέχουν μεταξύ τους 6 pixels.
- ii. Η απόσταση που υπολογίσαμε μεταξύ των σημείων έχει δεκαδικό μέρος που κυμαίνεται από 0,5 έως 0,9. Στην περίπτωση αυτή, ξεκινώντας από το άνω τμήμα της εικόνας, λαμβάνουμε τέσσερα σημεία που απέχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με τον αμέσως μικρότερο της απόστασης ακέραιο αριθμό και εν συνεχεία άλλες έξι που απέχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με τον αμέσως μεγαλύτερο της απόστασης ακέραιο αριθμό. Αυτός ο τρόπος υπολογισμού των σημείων σε αυτή την περίπτωση, είναι ο πιο λογικός καθώς αν απλά στρογγυλοποιούσαμε προς τον αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο, θα βρίσκαμε σημεία εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος, ενώ αν στρογγυλοποιούσαμε προς τον αμέσως μικρότερο ακέραιο, τα σημεία μας δεν θα ήταν αντιπροσωπευτικά, αφού θα ήταν συσσωρευμένα προς την πάνω πλευρά του πολυγώνου της περιοχής ενδιαφέροντος. Έτσι, αυτή η λύση φαίνεται να είναι η πιο σωστή και, μάλιστα, ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, καθώς όπως αναφέραμε σε μια πραγματική κατάσταση, λόγω της οπτικής γωνίας τα σημεία φαίνεται να πυκνώνουν όσο προχωράμε προς το βάθος της εικόνας και να αραιώνουν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Για παράδειγμα, εάν η απόσταση που υπολογίσαμε ισούται με 6,7, τότε τα πρώτα τέσσερα σημεία που θα επιλέξουμε θα απέχουν μεταξύ τους 6 pixels και τα υπόλοιπα έξι 7.

Τον έλεγχο του δεκαδικού μέρους της απόστασης  $dif1$ , που προκύπτει από τη διαίρεση του ύψους του τραpezίου με το 9 τον κάνουμε έμμεσα στρογγυλοποιώντας αρχικά την απόσταση με τη βοήθεια της συνάρτησης `round` της Matlab και αποθηκεύοντας το αποτέλεσμα στη μεταβλητή `rou`. Εν συνεχεία,

αφαιρούμε από τη μεταβλητή  $dif1$  τη μεταβλητή  $rou$  και ελέγχουμε το πρόσημο του αποτελέσματος  $dif2$ . Εάν το  $dif2$  είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το μηδέν, τότε το δεκαδικό μέρος της απόστασης  $dif1$  είναι μικρότερο από 0,5, ενώ αντίστοιχα όταν το  $dif2$  είναι μικρότερο από το μηδέν, τότε το δεκαδικό μέρος της απόστασης  $dif1$  είναι μεγαλύτερο από 0,5. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που η απόσταση  $dif1$  είναι 6,3 pixels, η μεταβλητή  $rou$  θα είναι 6 και η μεταβλητή  $dif2$  θετική. Αντιθέτως στην περίπτωση που η απόσταση  $dif1$  είναι 6,7 pixels, η μεταβλητή  $rou$  θα είναι 7 και η μεταβλητή  $dif2$  αρνητική.

Στην περίπτωση που η μεταβλητή  $dif2$  είναι μεγαλύτερη ή ίση με το μηδέν, το πρώτο σημείο από τα δέκα σημεία που θα επιλέξουμε θα βρίσκεται στη δεύτερη γραμμή και τα υπόλοιπα 9 θα απέχουν απόσταση  $rou$  το καθένα από το προηγούμενό του. Εφόσον έχουμε βρει τις γραμμές των δέκα σημείων, μένει να βρούμε τις στήλες τους. Για αυτό το λόγο σε κάθε γραμμή στην οποία έχουμε εντοπίσει κάποιο σημείο, βρίσκουμε την πρώτη και την τελευταία μη μηδενική στήλη και στη συνέχεια στην θέση της πρώτης μη μηδενικής στήλης προσθέτουμε το μισό της διαφοράς της θέσης της πρώτης και της τελευταίας μη μηδενικής στήλης. Έτσι εντοπίζουμε και τη στήλη στην οποία βρίσκεται καθένα από τα δέκα σημεία μας. Έπειτα και με τη βοήθεια ενός ενδιάμεσου πίνακα τιμών  $b$  προσθέτουμε τις τιμές των κεντρικών σημείων που έχουμε εντοπίσει και το αποτέλεσμα το αποθηκεύουμε στη μεταβλητή  $kentro$ . Τέλος, ο υπολογισμός του επιθυμητού μέσου όρου γίνεται με απλή διαίρεση της μεταβλητής  $kentro$  με το πλήθος των στοιχείων που είναι 10.

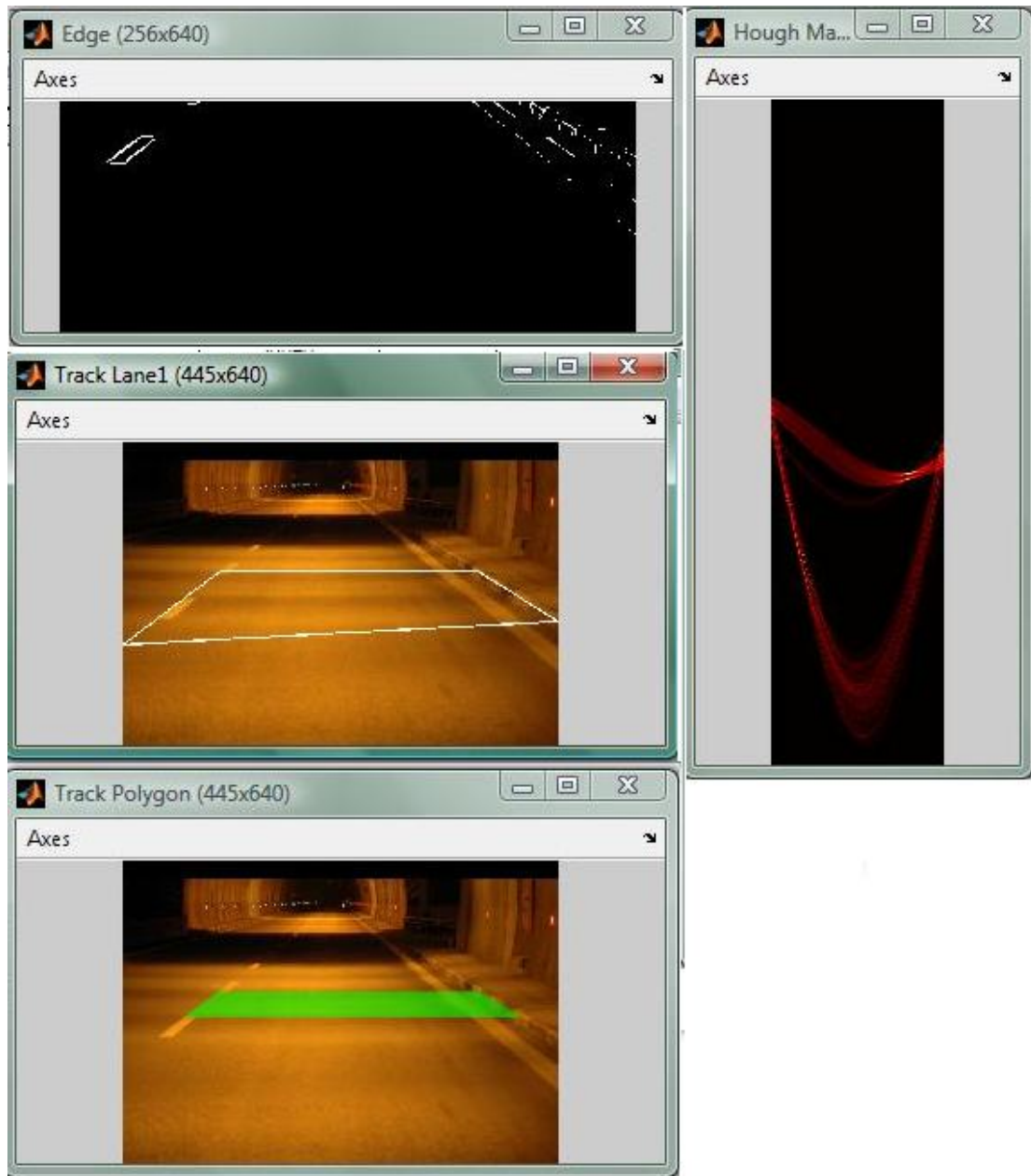
Στην περίπτωση που η μεταβλητή  $dif2$  είναι μικρότερη από το μηδέν, το πρώτο σημείο από τα δέκα σημεία που θα επιλέξουμε θα βρίσκεται στη δεύτερη γραμμή, τα επόμενα 3 θα απέχουν απόσταση  $(rou-1)$  το καθένα από το προηγούμενό του, ενώ τα υπόλοιπα 6 θα απέχουν απόσταση  $rou$  το καθένα από το προηγούμενό του. Ο εντοπισμός των στηλών αυτών των σημείων, της μεταβλητής  $kentro$  και του μέσου όρου των σημείων γίνεται με ακριβώς τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται αναγκαίο να διευκρινιστεί ότι στην περίπτωση που είχαμε στη διάθεσή μας τον προαναφερθέντα δεύτερο αλγόριθμο μετατροπής μιας εικόνας στην αντίστοιχη εικόνα λαμπρότητας, θα εργαζόμασταν με παρόμοιο τρόπο. Δηλαδή, θα είχαμε σαν είσοδο στο block Draw shapes1 την εικόνα λαμπρότητας που μας ενδιέφερε, πάνω στην οποία θα σχεδιαζόταν το περίγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που προαναφέρθηκε παραπάνω. Εν συνεχεία, την εικόνα λαμπρότητας πάνω στην οποία είναι σχεδιασμένο το περίγραμμα, θα την οδηγούσαμε σε ένα block Embedded το περιεχόμενο του οποίου θα ήταν ακριβώς το ίδιο με αυτό των τριών block

Embedded που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Φυσικά, η μετατροπή της σε intensity δεν θα λάμβανε χώρα καθώς δεν θα είχε κανένα νόημα και η εικόνα λαμπρότητας κατευθείαν μετά από το block Embedded, θα υφίσταντο επεξεργασία για την εύρεση του μέσου όρου των τιμών των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος, της μέγιστης (max) και της ελάχιστης (min) τιμής τους, της τιμής του λόγου της ελάχιστης τιμής προς το μέσο όρο των τιμών και τέλος του μέσου όρου δέκα ισαπέχοντων κεντρικών τιμών της περιοχής ενδιαφέροντος.

# 7 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά στιγμιότυπα που προέκυψαν από την επεξεργασία video και στα οποία φαίνεται η επεξεργασμένη εικόνα που προκύπτει από τη διαδικασία ανίχνευσης ορίων με μέθοδο Roberts, ο πίνακας συσσώρευσης του μετασχηματισμού Hough, το πολύγωνο που εντοπίζει τη λωρίδα στην οποία θα λάβουμε τις μετρήσεις και το τραπέζιο που καθορίζει την περιοχή ενδιαφέροντος. Ακόμα, για τις συγκεκριμένες αυτές στιγμές παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την εκτέλεση του m-file.

Στιγμή 3

Εικόνα 7-1 Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 3

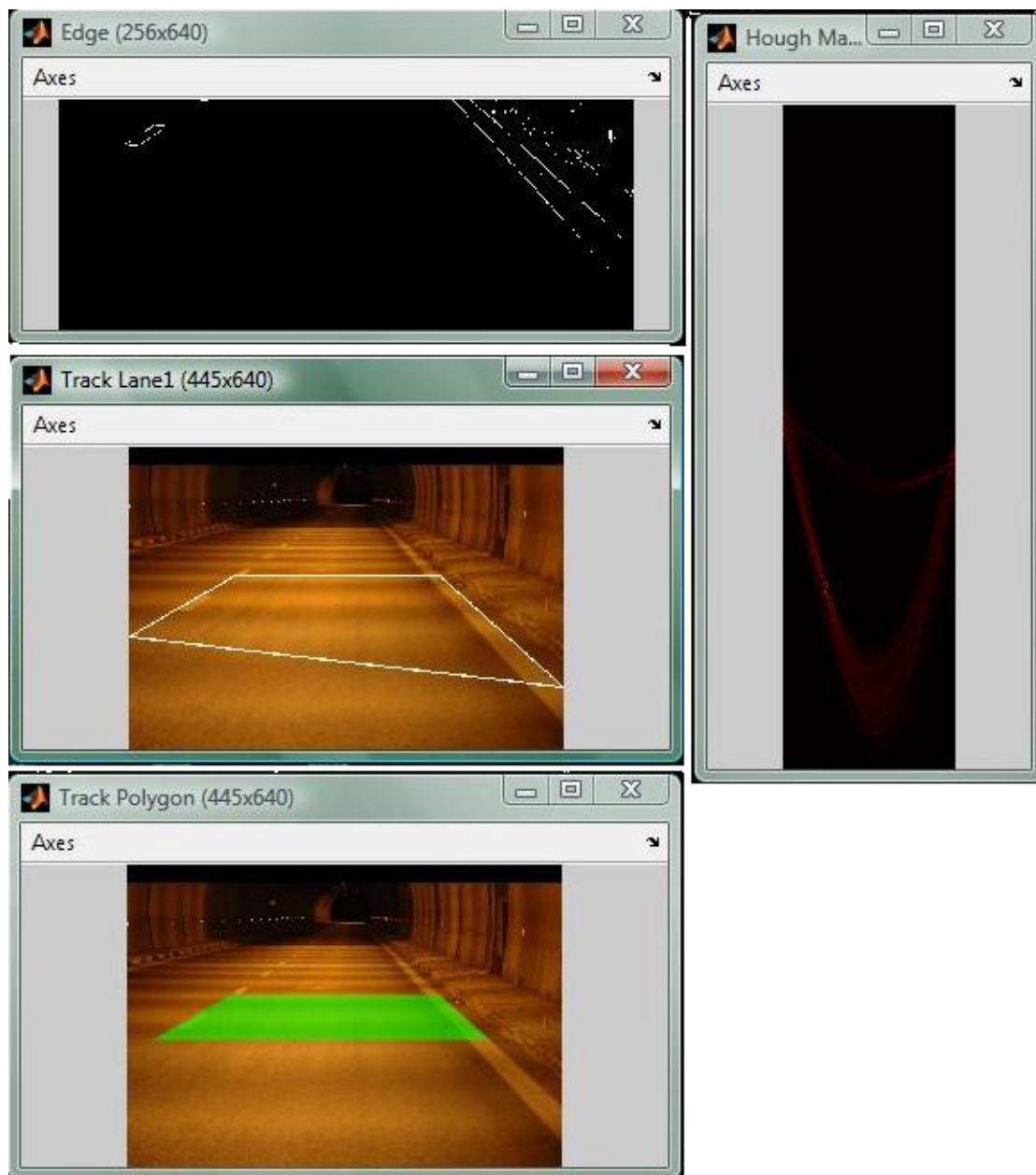
Αποτελέσματα εκτέλεσης m-file

```

mo =          maximum =    minimum =    minaver =    kentriko =
    114.6919      156          45          0.3924      125.8000

```

Στιγμή 17



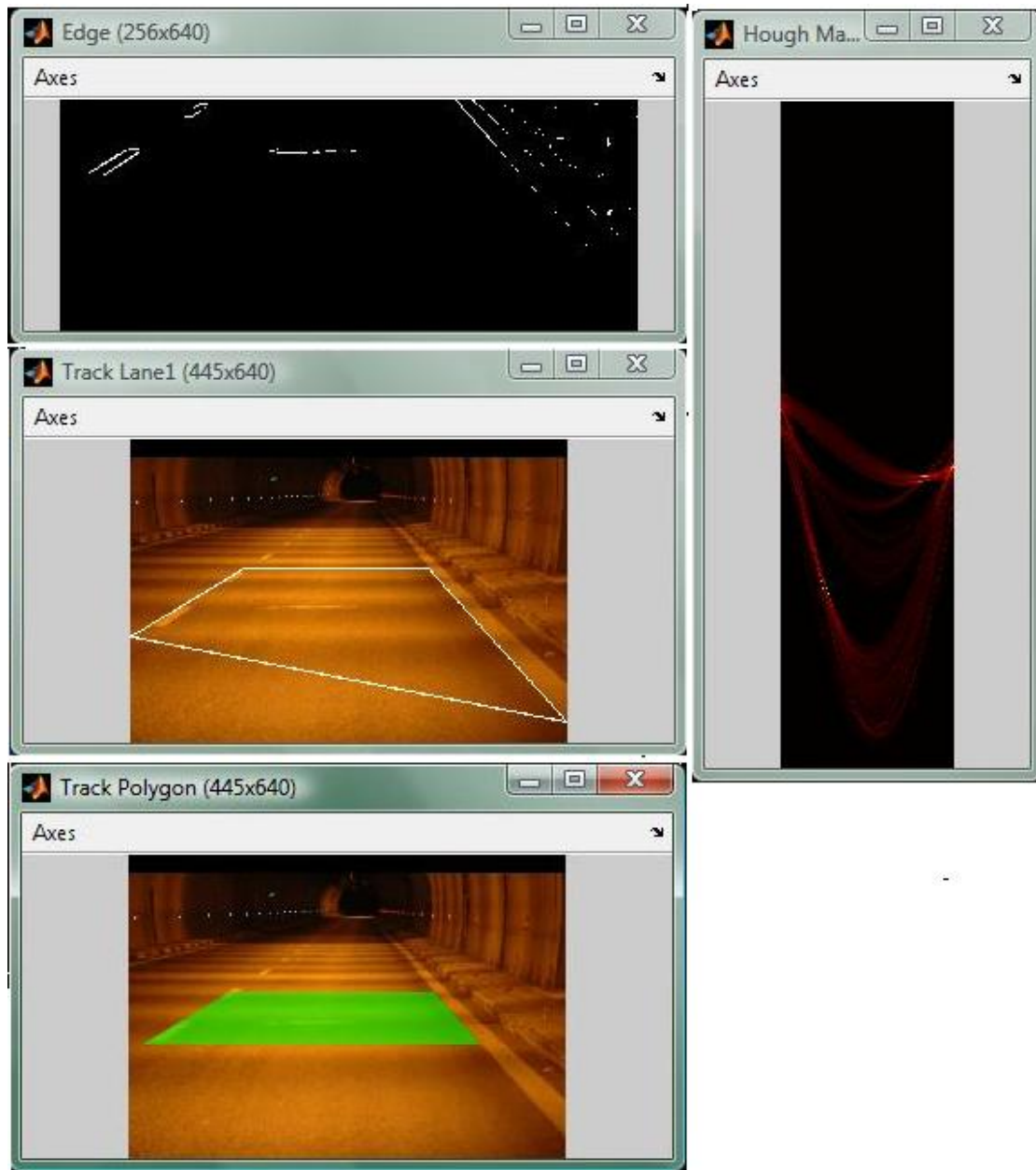
Εικόνα 7-2 Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 17

Αποτελέσματα εκτέλεσης m-file

|          |           |           |           |            |
|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| mo =     | maximum = | minimum = | minaver = | kentriko = |
| 114.6823 | 155       | 57        | 0.4970    | 134        |



Στιγμή 24



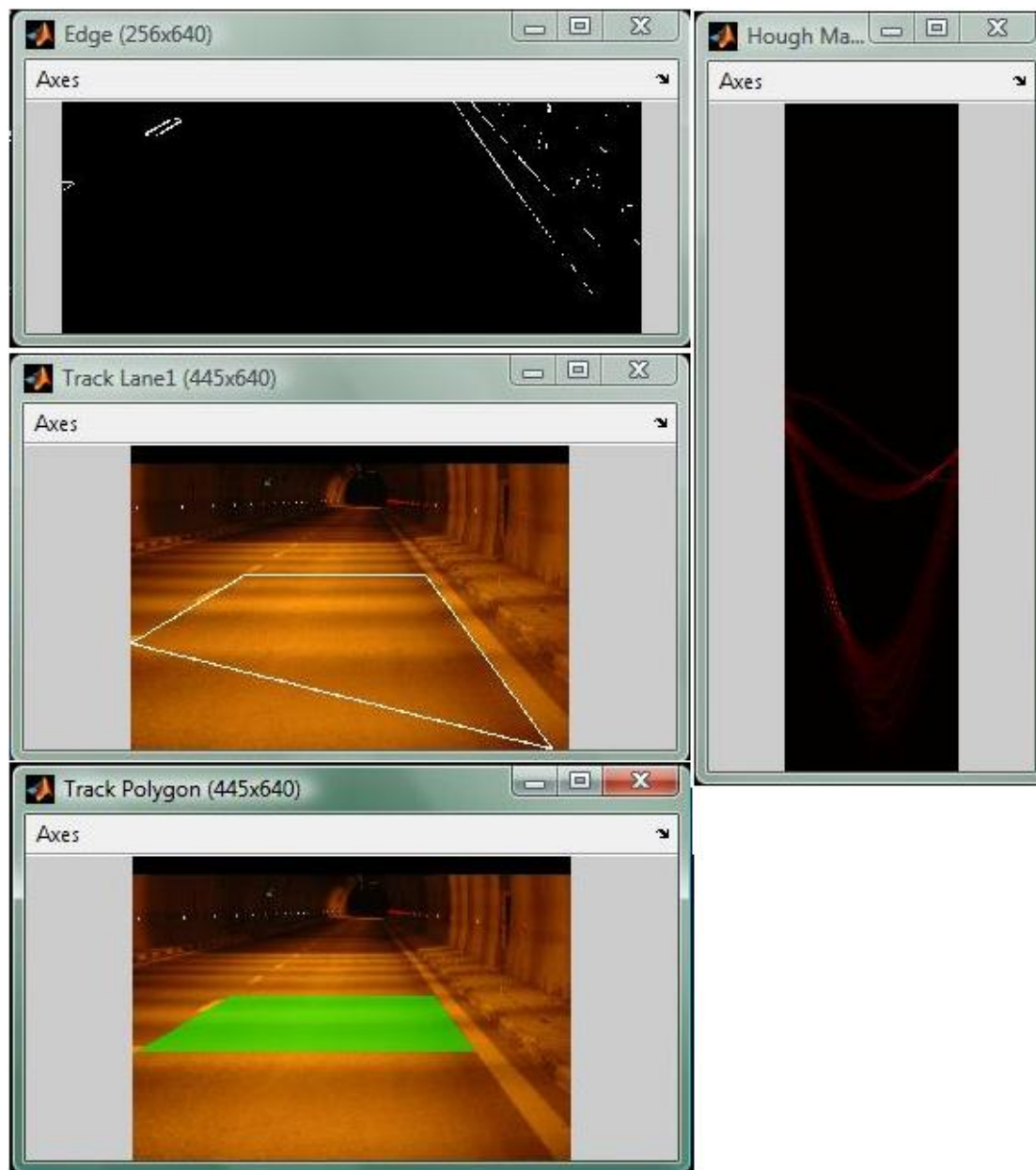
Εικόνα 7-3 Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 24

Αποτελέσματα εκτέλεσης m-file

```

mo =          maximum =    minimum =    minaver =    kentriko =
114.6823    155          57          0.4970    134
    
```

Στιγμή 30

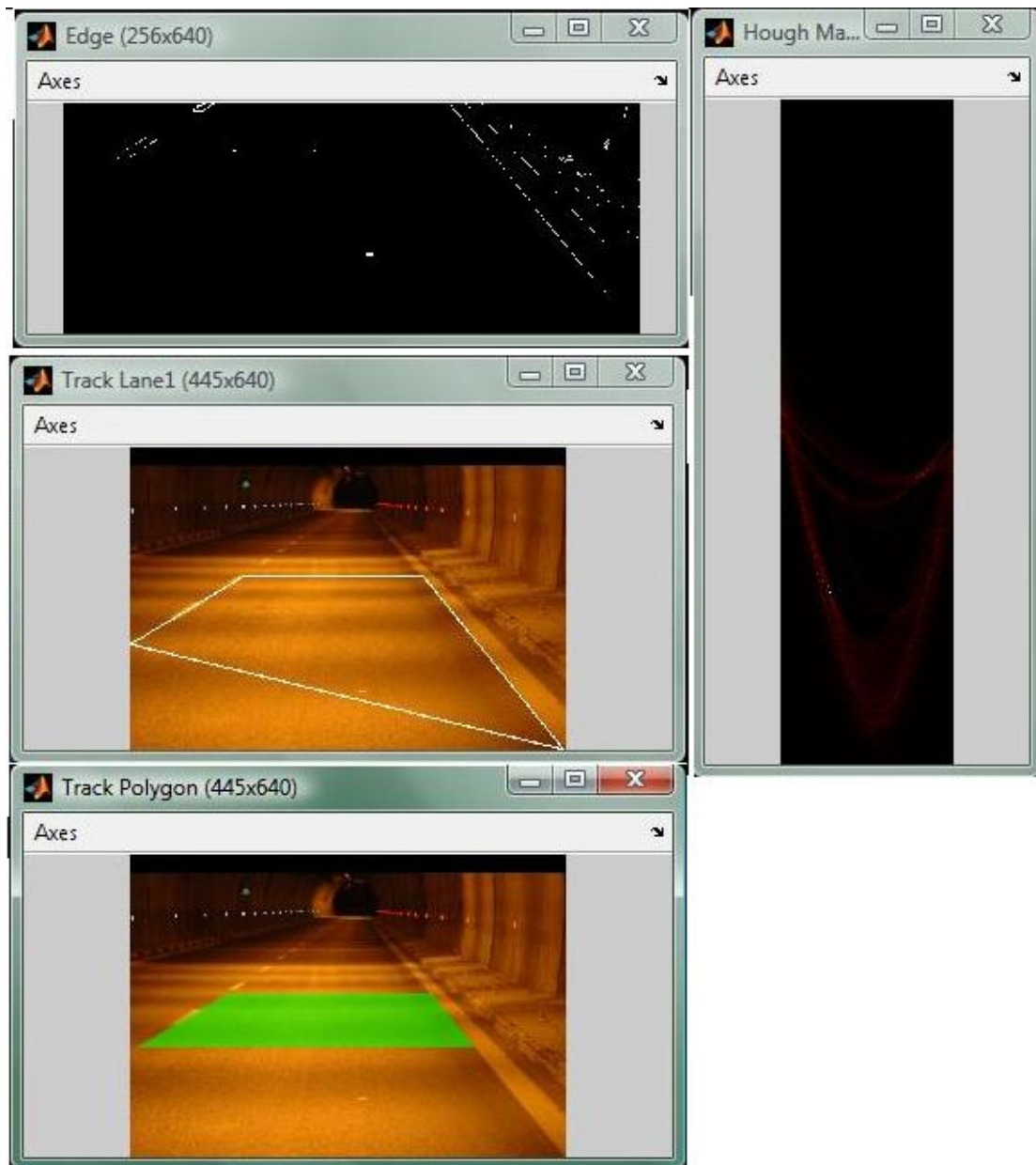


**Εικόνα 7-4** Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 30

Αποτελέσματα εκτέλεσης m-file

```

mo =          maximum =    minimum =    minaver =    kentriko =
117.8287      169          60          0.5092      135.2000
    
```

Στιγμή 35

Εικόνα 7-5 Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 35

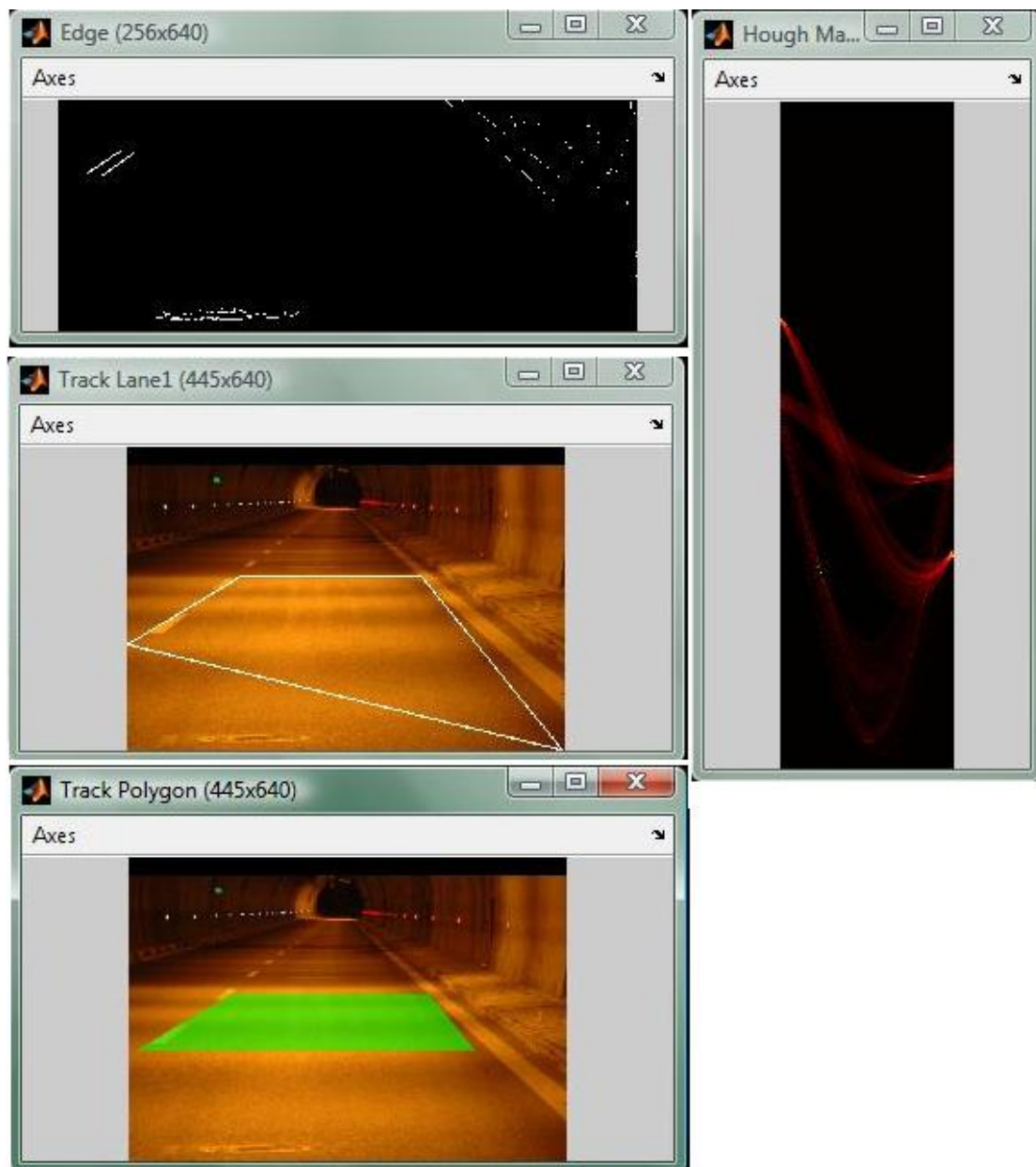
Αποτελέσματα εκτέλεσης m-file

```

mo =          maximum =    minimum =    minaver =    kentriko =
123.6381    154          75          0.6066    63.3000

```

Στιγμή 40

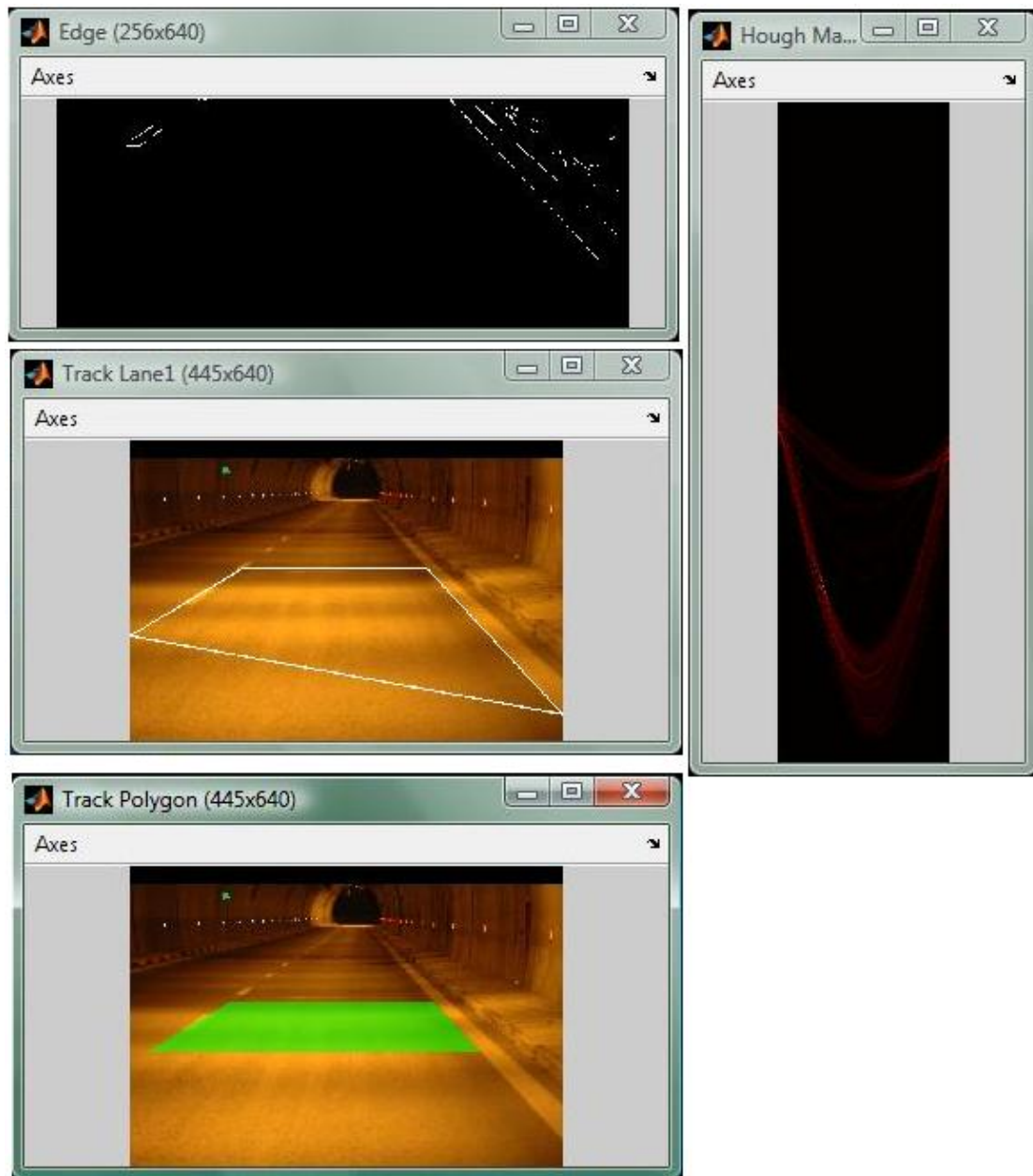


**Εικόνα 7-6** Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 40

Αποτελέσματα εκτέλεσης m-file

```

mo =          maximum =    minimum =    minaver =    kentriko =
132.8253    176          68          0.5120    142.8000
    
```

Στιγμή 44

Εικόνα 7-7 Αποτελέσματα εκτέλεσης αλγορίθμου για τη στιγμή 44

Αποτελέσματα εκτέλεσης m-file

```

mo =          maximum =    minimum =    minaver =    kentriko =
142.4821    176          75          0.5264    125.4000

```

# 8 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

## **8.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ**

Για τη σωστή λειτουργία του προτεινόμενου αλγορίθμου είναι απαραίτητο να θέσουμε ορισμένους περιορισμούς σχετικά με την κατάσταση του οδοστρώματος στο οποίο επιθυμούμε να τον εφαρμόσουμε.

- i. Η παρουσία σκιών και εναλλαγών φωτισμού που μπορεί να προκληθούν από την ύπαρξη δέντρων, κτιρίων, οχημάτων, κλπ είναι δυνατό να επηρεάσουν την ποιότητα της ανίχνευσης των ορίων της λωρίδας και να οδηγήσουν σε λανθασμένα αποτελέσματα. Γι'αυτό το λόγο, κατά τη λήψη μετρήσεων υπό την παρουσία σκιών, θα πρέπει να επιδεικνύεται ιδιαίτερη προσοχή και το μοντέλο ενδείκνυται να χρησιμοποιείται σε μελέτες αξιοπρεπώς φωτισμένων δρόμων.
- ii. Η παρουσία άλλων οχημάτων στο οδόστρωμα είναι δυνατό να περιορίσει την ορατότητα και να οδηγήσει επίσης στη λανθασμένη ανίχνευση των ορίων της λωρίδας. Ακόμα, η ύπαρξη ενός οχήματος στην περιοχή ενδιαφέροντος, ακόμα και αν γίνει σωστή ανίχνευση των ορίων της λωρίδας, εμποδίζει την εξαγωγή των τιμών των pixels που μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε.
- iii. Η διαγράμμιση του οδοστρώματος είναι εντελώς αναγκαία για τη λειτουργία του παρόντος μοντέλου. Μάλιστα, για να αποφύγουμε την λανθασμένη ανίχνευση ορίων της λωρίδας, το μοντέλο θα ήταν καλό να εφαρμόζεται σε οδοστρώματα όπου η ποιότητα της διαγράμμισής τους είναι καλή, δηλαδή θα πρέπει να αποφεύγονται οδοστρώματα με ξεβαμμένες, ξεθωριασμένες ή καθόλου διαχωριστικές γραμμές. Ιδανικά και για να είναι το μοντέλο πλήρως αξιόπιστο, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το συγκεκριμένο μοντέλο θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε φρεσκοβαμμένα και καλοβαμμένα οδοστρώματα.
- iv. Οι άσχημες καιρικές συνθήκες (χιονοπτώσεις, βροχοπτώσεις, ομίχλη, κλπ) είναι δυνατό να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την ανίχνευση των ορίων της λωρίδας. Γι'αυτό το λόγο, η λήψη μετρήσεων με την χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου πρέπει να γίνεται υπό καλές καιρικές συνθήκες για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα.
- v. Ο εντοπισμός των ορίων της λωρίδας σε σημεία όπου υπάρχουν απότομες στροφές δεν είναι δυνατός με το συγκεκριμένο μοντέλο, καθώς για τον

εντοπισμό τους χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Hough γραμμής. Ωστόσο, ακόμα σε δρόμους με μικρές στροφές, όπως είναι και οι κεντρικές και εθνικές οδοί, στις οποίες κυρίως γίνεται μέτρηση λαμπρότητας, η χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου είναι αρκετά αξιόπιστη.

- vi. Το video θα πρέπει να λαμβάνεται υπό συγκεκριμένη οπτική γωνία. Συγκεκριμένα, το κάθε frame του θα πρέπει να είναι κεντραρισμένο ως προς την υπό μελέτη λωρίδα κυκλοφορίας. Δηλαδή, ουσιαστικά το κέντρο του θα πρέπει ιδανικά να ταυτίζεται με αυτό της υπό μελέτη λωρίδας, έτσι ώστε στο οπτικό πεδίο να μη συμπεριλαμβάνονται και άλλες διαχωριστικές γραμμές πέρα από αυτές της λωρίδας, που τυχόν να δυσκολέψουν ή να κάνουν αδύνατη την ανίχνευση των ορίων της.
- vii. Το μοντέλο θεωρητικά μπορεί να λειτουργήσει ανεξαρτήτως του μεγέθους των εισερχόμενων εικόνων. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, όσο πιο μεγάλο είναι το μέγεθος τους τόσο πιο αργή γίνεται η επεξεργασία τους. Γι' αυτό το λόγο, όταν πρόκειται για εικόνες με αρκετά μεγάλο μέγεθος και για να μην υπάρχει μεγάλη καθυστέρηση στην επεξεργασία τους, ίσως θα ήταν προτιμότερο προτού επεξεργαστούν να υπόκεινται σε μείωση του μεγέθους τους.
- viii. Για τη γρήγορη επεξεργασία των δεδομένων μας είναι βασικό να χρησιμοποιούμε υπολογιστή με γρήγορο επεξεργαστή, δηλαδή με μεγάλη συχνότητα λειτουργίας επεξεργαστή. Ιδιαίτερα στην περίπτωση που θέλουμε να πετύχουμε real time επεξεργασία των εικόνων ένας γρήγορος επεξεργαστής είναι αναγκαίος.

## **8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Η συγκεκριμένη εργασία έγινε με σκοπό την εύρεση ενός μοντέλου, το οποίο έχοντας ως είσοδο μια ακολουθία από φωτογραφίες οδοστρώματος, να επιτυγχάνει τον εντοπισμό και την ανίχνευση μιας συγκεκριμένης, επιθυμητής λωρίδας κυκλοφορίας, από την οποία στη συνέχεια γίνεται εξαγωγή και επεξεργασία των τιμών των pixels μιας περιοχής της, της επιλογής μας. Για τις διάφορες δοκιμές του μοντέλου που έλαβαν χώρα, χρησιμοποιήθηκαν video που ήταν αποθηκευμένα σε κάποια αρχεία στον υπολογιστή.

Το επόμενο βήμα, που δεν αποτελεί βέβαια μέρος της παρούσας μελέτης, είναι η δοκιμή του μοντέλου με χρήση video που προέρχεται κατευθείαν από κάμερα. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι δυνατή η real time επεξεργασία των εικόνων και θα είμαστε σε θέση να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τη λαμπρότητα του

δρόμου ταυτόχρονα με τη μαγνητοσκόπηση του με εγκατάσταση κάμερας και υπολογιστή σε ένα όχημα.



**Εικόνα 8-1** Real time επεξεργασία εικόνων

Παράλληλα, θα ήταν δυνατό να γίνει και εξέλιξη του προτεινόμενου μοντέλου εφαρμόζοντας νέες ιδέες σχετικά με τον τρόπο μείωσης θορύβου των εικόνων, τη μέθοδο ανίχνευσης ορίων και ανίχνευσης γραμμών, καθώς και με την εύρεση αποδοτικότερων αλγορίθμων για την εξαγωγή και επεξεργασία των ζητούμενων τιμών των pixels της περιοχής ενδιαφέροντος. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι δυνατή η πιο ακριβής επεξεργασία των εισερχόμενων εικόνων, καθώς και η γρήγορη και χωρίς καθυστερήσεις επεξεργασία εικόνων μεγαλύτερου μεγέθους του εισερχόμενου video.

Τέλος, εάν αντί του μετασχηματισμού Hough γραμμής που χρησιμοποιήθηκε εδώ χρησιμοποιήσουμε κάποιον άλλο μετασχηματισμό, είναι δυνατό να προσαρμοστεί το μοντέλο, έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί σωστά και στην περίπτωση απότομων στροφών του δρόμου.



# 9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Υπουργείο Εσωτερικών: <http://www.ypes.gr>
- [2] Φ. Τοπαλής, **Φωτοτεχνία**, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1994
- [3] Commission Internationale de l' Eclairage (CIE), **Road Surfaces and Lighting**, Publication No 115, 1995
- [4] Commission Internationale de l' Eclairage (CIE), **Road Surfaces and Lighting**, Publication No 66, 1984
- [5] Street lighting, **Urban design standards manual**, 1998
- [6] **Schreder**: <http://www.schreder.ca>
- [7] Π. Παναγάκος, **Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ.-Η.**, Ιούλιος 1999
- [8] **OSRAM**: <http://www.osram.com>
- [9] Ελληνικό πρότυπο (ΕΛΟΤ), **Φωτισμός οδών – Μέρος 3: Υπολογισμός επιδόσεων**, 2004
- [10] Ελληνικό πρότυπο (ΕΛΟΤ), **Φωτισμός οδών – Μέρος 4: Μέθοδοι μέτρησης επιδόσεων φωτισμού**, 2004
- [11] Ernst Dieter Dickmanns, **The development of machine vision for road vehicles in the last decade**
- [12] Yue Wang, Dinggang Shen, Eam Khwang Teoh, **Lane detection Using Catmull-Rom Spline**, IEEE 1998, Singapore
- [13] Yue Wang, Eam Khwang Teoh, Dinggang Shen, **Lane detection Using B-Snake**, IEEE 1999, Singapore
- [14] Tsung-Ying, Shang-Jeng Tsai, Vincent Chan, **HIS Color Model Based Lane-Marking Detection**, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Toronto, September 2006
- [15] Amer K. Dawoud, Salah G. Foda, Ahmad S. Tolba, **A Robust Neural Network Multi-Lane Recognition System**, Kuwait University, 1998

- [16] Sonka, M., Hlavac, V. and Boyle, R., **Image Processing, Analysis and Computer Vision**, Chapman Hall, London UK, 1994
- [17] **Digital Image Processing, 2nd edition**, Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, 2002 Prentice Hall
- [18] **Wikipedia**, the free encyclopedia: <http://en.wikipedia.org>
- [19] **The MathWorks News & Notes**: <http://www.mathworks.com>
- [20] Richard O. Duda, Peter E. Hart, **Use of the Hough Transformation to detect lines and curves in pictures**, Technical Note 36, 1971
- [21] P.V.C Hough, **Method and means for recognizing complex patterns**, December 1962
- [22] Nguyen Dinn Thuc, Duong Anh Duc, **The Hough Transform – A Radon-Like Transform**, 1999