

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου

"ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΑΧΕΩΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ "

Διπλωματική Εργασία του Σακαλή Ι. Νικολάου Σπουδαστή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Επίβλεψη: Καθηγητής Αντωνιάδης Ιωάννης Αθήνα 2015

"ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΑΧΕΩΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ "

"OPTICAL MEASUREMENTS FOR SPEED CALCULATION OF FAST MOVING OBJECTS"

Αφιερώνεται στους γονείς μου, Ιωάννη και Αναστασία, και στον αδελφό μου, Γεώργιο, που βρίσκονται συνεχώς δίπλα μου και με στηρίζουν.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα και πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Παντοδύναμο Τριαδικό Θεό και για την ολοκλήρωση της εργασίας, διότι όπως είπε και ο Ίδιος « χωρὶς ἐμοῦ οὐ δύνασθε ποιεῖν οὐδέν».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ.Αντωνιάδη Ιωάννη που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα και να χρησιμοποιήσω ειδικό εξοπλισμό του εργαστηρίου για την λήψη των καταγραφών μου.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό κ.Γιακόπουλο Χρήστο για τον χρόνο που αφιέρωσε για την επίβλεψη της εργασίας, την διόρθωση των λαθών μου και την επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκειά της.

Από αυτή την θέση θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αγαπητό φίλο και συνάδελφο Πατίρη Παύλο, ο οποίος παρά το φόρτο των οικογενειακών και επαγγελματικών του υποχρεώσεων, συνέβαλε τα μέγιστα στην υλοποίηση της εργασίας παρέχοντας μου τις γνώσεις του πάνω στα πυροβόλα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές για την συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της φοιτήσεώς μας και να τους ευχηθώ από τα βάθη της καρδιάς μου «καλή σταδιοδρομία».

<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχοληθήκαμε με το πρόβλημα του υπολογισμού της ταχύτητας ενός σώματος. Αναζητώντας στην βιβλιογραφία διαπιστώσαμε την χρήση ποικίλων μεθόδων για τον σκοπό αυτό. Σε όλες γίνεται κάποιου είδους «καταγραφή» και ακολουθεί επεξεργασία αυτής της «καταγραφής».

Στην εργασία μας επιλέξαμε να προβούμε στον υπολογισμό της ταχύτητας μέσω επεξεργασίας εικόνας/βίντεο. Χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο της οπτικής ροής και πιο συγκεκριμένα την μέθοδο Horn-Schunck που ανήκει στην κατηγορία των διαφορικών τεχνικών. Αρχικά γίνεται η καταγραφή της κίνησης με την βοήθεια μιας κάμερας. Στην συνέχεια γίνεται η ανάκτηση της καταγραφής σε τύπο αρχείο ο οποίος είναι αναγνωρίσιμος από το λογισμικό MATLAB το οποίο χρησιμοποιήσαμε. Το αρχείο αυτό εισάγεται σε έναν κώδικα που αναπτύξαμε. Με την βοήθεια αυτού γίνεται ο εντοπισμός και η παρακολούθηση του αντικειμένου μας από καρέ σε καρέ, με αποτέλεσμα τον υπολογισμό της ταχύτητας του σε κάθε καρέ. Στο τέλος γίνεται μια επεξεργασία των ταχυτήτων αυτών, προκειμένου να απορριφθούν κάποιες λανθασμένες τιμές, και προκύπτει η τελική μέση ταχύτητα.

ABSTRACT

In this paper we addressed the problem of calculating the velocity of an object. Searching the literature we found the use of various methods for this purpose. In all of this a record is made, followed by an elaboration of this record.

In our work, we chose to make the calculation of speed by image/video processing. We used the method of optical flow and more specifically the Horn-Schunck method, which belongs to the class of differential techniques. Firstly the motion is captured with the use of a high speed camera. Then becomes the recovery of the record to a file type that is recognizable by the MATLAB software. This file is used as an input to a code we developed. With this code, we achieved the identification and monitoring of our object from frame to frame, thereby we achieved the calculation of speed in every frame. Finally, a processing of these speeds is done to reject outliers, and the final average velocity is obtained.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισα	xγωγή1			
2	Συστήματα Μέτρησης Ταχύτητας			3	
2.1		Βαλλιστικό Εκκρεμές			
	2.2	Περι	ιστρεφόμενος Άξονας με Δύο Δίσκους	4	
	2.3	Σύσι	τημα με Δύο Κανάλια	4	
	2.4	Ако	υστικές Μέθοδοι	5	
	2.5	Σύσι	τημα Επαγόμενης Ηλεκτρεγερτικής Δύναμης(ΗΕΔ)	7	
	2.6	Οπτι	ικοηλεκτρονικό Σύστημα	8	
	2.7	Συσι	κευή ανίχνευσης και σκόπευσης με δέσμη φωτός	10	
	2.8	Συσι	κευή ανίχνευσης και σκόπευσης με ραδιοκύματα	12	
	2.9	Σύσι	τημα Μαγνητικών Αισθητήρων	12	
	2.10	Εφα	ρμογή του Google	14	
3	Σύσ	τημα	Μέτρησης Ταχύτητας Ελληνικού Στρατού	15	
	3.1	Γενι	κή Περιγραφή	15	
	3.2	Περι	ιγραφή Επιμέρους Στοιχείων Χρονογράφου	16	
	3.2.	1	Μονάδα Κεραίας	16	
	3.2.	2	Μονάδα Επεξεργασίας Στοιχείων(ΜΕΣ)	18	
	3.2.	3	Συσκευή ελέγχου	21	
	3.2.	4	Καλώδια	22	
	3.3	Προ	διαγραφές	22	
	3.3.	1	Τεχνικές Προδιαγραφές	22	
	3.3.	2	Φυσικά Χαρακτηριστικά	24	
4	Μέθ	θοδοι	Υπολογισμού της Ταχύτητας Μέσω Επεξεργασίας Εικόνας/Βίντεο	26	
4.1		Εισο	ιγωγή	26	
	4.2	Ταίρ	ριασμα χαρακτηριστικού/περιοχής	26	
	4.2.	1	Λογαριθμική αναζήτηση δύο διαστάσεων	27	
	4.2.	2	Αναζήτηση κατεύθυνσης σύγκλισης	28	
	4.2.	3	Υποδειγματοληψία στο παράθυρο συσχετισμού	28	
	4.2.	4	Ταίριασμα μπλοκ πολλαπλών αναλύσεων	28	
	4.2.	5	Ιεραρχικό ταίριασμα μπλοκ	28	
	4.2.	6	«Προφητική» κατάτμηση πεδίου κίνησης	29	

	4.2.	7	Επικαλυπτόμενα μπλοκ ταιριάσματος	29
	4.3	Ανα	ιδρομικές	30
	4.3.	1	Netravali-Robbins	31
	4.3.	2	Bergmann	32
	4.3.	3	Cafforio-Rocca	32
	4.3.	4	Walker-Rao	32
	4.4	Βασ	σισμένοι στο αιτιοκρατικό μοντέλο	32
	4.5	Βασ	σισμένοι στο στοχαστικό μοντέλο	35
	4.6	Βασ	σισμένοι στην οπτική ροή	36
	4.6.	1	Διαφορικές	38
	4.6.	2	Ταύτιση με βάση την περιοχή	45
	4.6.	3	Βασιζόμενες στην ενέργεια	50
	4.6.	4	Βασιζόμενες στην φάση	51
	4.7	Ανά	ιλυση Μεθόδου Horn-Schunck	54
	4.7.	1	Περιορισμός ομαλότητας	54
	4.7.	2	Εκτίμηση των Μερικών Παραγώγων	55
	4.7.	3	Εκτίμηση της Laplacian των ταχυτήτων ροής	56
	4.7.	4	Ελαχιστοποίηση	57
	4.7.	5	Επαναληπτική Λύση	59
	4.7.	6	Επιλογή επαναληπτικού σχήματος	60
	4.7.	7	Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Μεθόδου	61
5	Μεθ	θοδοί	λογία	62
	5.1	Κατ	αγραφή κίνησης βλήματος	63
	5.2	Ανά	ικτηση καταγραφής	64
	5.3	Επε	ξεργασία καταγραφής	65
	5.3.	1	Αρχικές Ρυθμίσεις	65
	5.3.	2	Εντοπισμός και παρακολούθηση κινούμενου αντικειμένου	66
	5.4	Υπο	λογισμός ταχύτητας	73
6	Πειρ	ραμα	τική Διάταξη	77
	6.1	Κάμ	ιερα με τρίποδα στήριξης	77
	6.1.	1	Τρίποδας	77
	6.1.	2	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κάμερας	78
	6.1.	3	Γενική Περιγραφή	80
	6.2	Επι	κοινωνία Κάμερας με Υπολογιστή	82

6.2	2.1	Ρυθμίσεις Κάμερας	84
7 Πε	ιραμα	ιτική Εφαρμογή	92
7.1	Εισ	αγωγή	92
7.2	Πει	ραματικά Αποτελέσματα	92
7.2	2.1	Καταγραφή κίνησης βλήματος και ανάκτηση καταγραφής	92
7.2	2.2	Επεξεργασία Καταγραφής	93
7.2	2.3	Υπολογισμός ταχύτητας	95
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ			100
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			

1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής είναι η επίλυση του προβλήματος υπολογισμού της ταχύτητας των βλημάτων που εξέρχονται από τον σωλήνα κάποιου πυροβόλου του Στρατού Ξηράς.

Βασικό μέλημα των στελεχών του Πυροβολικού(είναι το κομμάτι του στρατού που ασχολείται με τα πυροβόλα) είναι η γνώση της ταχύτητας με την οποία το βλήμα εξέρχεται από τον σωλήνα του πυροβόλου. Και αυτό το χρειάζονται για ένα κυρίως λόγους. Ο λόγος αυτός είναι γιατί με βάση αυτήν την ταχύτητα θα κάνουν κάποιους περαιτέρω υπολογισμούς που είναι ιδιαίτερης σημασίας για την εκτέλεση της αποστολής τους.

Ο Στρατός Ξηράς για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούσε τον Χρονογράφο DR 810 MKII(Movτέλο II). Κάποια απάρτια της συσκευής τοποθετούνται επί του σωλήνα του πυροβόλου και ο υπολογισμός της ταχύτητας γίνεται με την εφαρμογή του Φαινομένου Doppler (περαιτέρω ανάλυση ακολουθεί στο κεφάλαιο 3). Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι με την εν λόγω συσκευή μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα ενός βλήματος κάθε φορά.

Στην εργασία μας θέσαμε ως στόχο ο υπολογισμός να μην απαιτεί την τοποθέτηση απαρτίων στο σωλήνα του πυροβόλου, να μην απαιτούνται αρκετές ρυθμίσεις ανάλογα με το διαμέτρημα του βλήματος και εάν είναι δυνατόν να γίνεται ο ταυτόχρονος υπολογισμός της ταχύτητας περισσοτέρων του ενός βλημάτων.

Η μέθοδος στην οποία καταλήξαμε είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας μέσω επεξεργασίας αλληλουχίας εικόνων/βίντεο. Σύμφωνα με αυτήν, με την χρήση κάμερας και κατάλληλου λογισμικού γίνεται η καταγραφή της βολής. Στην συνέχεια επεξεργαζόμαστε την καταγραφή αυτή μέσω ενός κώδικα γραμμένου σε MATLAB και θα προκύπτει η ταχύτητα του βλήματος.

Παρατηρούμε ότι με την παραπάνω μέθοδο καταφέραμε να μην τοποθετούμε τίποτα επί του πυροβόλου, οι ρυθμίσεις που θα χρειαστούν να γίνουνε σε περίπτωση αλλαγής του τύπου του βλήματος είναι ελάχιστες, ενώ υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής της κίνησης περισσοτέρων του ενός βλημάτων. Στην εργασία μας ασχοληθήκαμε με την περίπτωση μέτρησης ταχύτητας ενός μόνο βλήματος. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι και η δυνατότητα που παρέχεται για τήρηση ηλεκτρονικού αρχείου με τις εκάστοτε βολές.

Τέλος σχετικά με την δομή της διπλωματικής έχουμε:

Στο 2° κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής μας έρευνας σχετικά με υπάρχοντα συστήματα μέτρησης ταχύτητας. Στο 3° κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των στοιχείων του χρονογράφου DR 810 MKII(Μοντέλο ΙΙ) καθώς και του τρόπου λειτουργίας του, της συσκευής που χρησιμοποιεί σήμερα ο Στρατός Ξηράς.

Στο 4° κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των μεθόδων υπολογισμού της ταχύτητας μέσω επεξεργασίας εικόνας/βίντεο. Αρχίζουμε δηλαδή να εισερχόμαστε στο θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου την οποία χρησιμοποιήσαμε για την επίλυση του προβλήματος μας.

Στο 5° κεφάλαιο παρουσιάζουμε την μεθοδολογία την οποία ακολουθήσαμε.

Στο 6° περιγράφεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήσαμε για την καταγραφή της εξόδου του βλήματος από τον σωλήνα του πυροβόλου.

Κλείνοντας στο 7° κεφάλαιο παραθέτουμε την πειραματική εφαρμογή, την υλοποίηση της μεθοδολογίας μας στην συγκεκριμένη καταγραφή. Σε αυτό το σημείο προκύπτει και το τελικό αποτέλεσμα που είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας.

2 Συστήματα Μέτρησης Ταχύτητας

2.1 Βαλλιστικό Εκκρεμές

Είναι μια συσκευή η οποία μετράει την ορμή ενός σώματος (συγκεκριμένα μιας σφαίρας), από την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα και την κινητική ενέργεια της.

Ανακαλύφθηκε το 1742 από τον Άγγλο μαθηματικό Benjamin Robins("New Principles of Gunnery"). Χρησιμοποίησε το βαλλιστικό εκκρεμές για να μετρήσει την ταχύτητα της σφαίρας με δύο (2) τρόπους.

Ο πρώτος ήταν να δέσει το όπλο με το εκκρεμές και να μετρήσει την ανάκρουση. Αφού η ορμή του όπλου είναι ίση με την ορμή της εκτίναξης και η μάζα της σφαίρας είναι η πλειοψηφία της μάζας εκτίναξης, η ταχύτητα της σφαίρας μπορεί να εκτιμηθεί.



Ο δεύτερος, και πιο ακριβής τρόπος, ήταν η απευθείας μέτρηση της ορμής της σφαίρας με το να πυροβολήσει το εκκρεμές (Σχήμα 2.1).

Χρησιμοποίησε την περίοδο ταλάντωσης και την μάζα του εκκρεμούς (αμφότερα υπολογισμένα συμπεριλαμβανομένης της μάζας της σφαίρας) για να υπολογίσει την περιστροφική αδράνεια του εκκρεμούς, η οποία στην συνέχεια χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς. Επίσης χρησιμοποίησε ένα μήκος ταινίας, χαλαρά πιασμένο σε ένα

σφιγκτήρα, για να μετρήσει την διαδρομή του εκκρεμούς. Το εκκρεμές θα χάραζε ένα μήκος κορδέλας ίσο με τη χορδή της διαδρομής του εκκρεμούς.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με άλλες μεθόδους υπολογισμού ταχύτητας, οι βασικοί υπολογισμοί για το βαλλιστικό εκκρεμές δεν απαιτούν μέτρηση του χρόνου αλλά βασίζονται σε μετρήσεις μάζας και απόστασης.

2.2 Περιστρεφόμενος Άξονας με Δύο Δίσκους

Αποτελεί την πρώτη προσπάθεια αντικατάστασης του βαλλιστικού εκκρεμούς. Ανακαλύφθηκε το 1808 μ.Χ κατά την διάρκεια των Ναπολεόντειων Πολέμων. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ένα ταχέως περιστρεφόμενο άξονα γνωστής ταχύτητας με δύο χάρτινους δίσκους. Η σφαίρα βάλλεται παράλληλα προς τον άξονα και με κατεύθυνση προς τους δύο δίσκους. Η γωνιακή διαφορά στα σημεία επαφής/πρόσκρουσης της σφαίρας στους δίσκους αντιστοιχεί σε ένα χρονικό διάστημα που πέρασε για να καλυφθεί η απόσταση των δύο δίσκων. Γνωρίζοντας επομένως χρόνο και απόσταση μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα της σφαίρας.

2.3 Σύστημα με Δύο Κανάλια

Το σύστημα υπολογισμού με δύο κανάλια (Dual-Channel Velocity System) αποτελείται από δύο τυπικά πηνία-αισθητήρες, το καθένα από τα οποία τοποθετείται πάνω σε μια ειδικού σχήματος ανοικτή σπείρα με διάμετρο 2,5 ίντσες. Κάθε μορφή πηνίου στερεώνεται σε ένα πρότυπο σφιγκτήρα και τοποθετείται ανεξάρτητα πάνω σε μια μεταλλική ράβδο, επιτρέποντας στο χρήστη να προσαρμόζει εύκολα την απόσταση μεταξύ των πηνίων με απλή ολίσθηση τους πλησιάζοντας ή απομακρύνοντας τα (Σχήμα 2.2). Η απόκριση συχνότητας του συστήματος στα 50 kHz επιτρέπει την ανίχνευση βλημάτων πολύ υψηλής ταχύτητας.



Σχήμα 2.2: Σύστημα Υπολογισμού της Ταχύτητας με Δύο Κανάλια

4

Η λειτουργία του συστήματος είναι απλή. Καθώς το βλήμα πλησιάζει το πρώτο πηνίο τα δινορεύματα επάγονται και η τάση εξόδου-θετική στο πρώτο πηνίοαρχίζει να αυξάνεται. Καθώς η σφαίρα φθάνει στο νεκρό κέντρο του πρώτου πηνίου, η τάση εξόδου φθάνει στο μεγαλύτερο επίπεδο. Αφήνοντάς το η τάση εξόδου μειώνεται. Καθώς πλησιάζει το δεύτερο πηνίο η ίδια αλληλουχία εμφανίζεται, με την διαφορά ότι τώρα η τάση εξόδου είναι αρνητική.

Οι αλλαγές της τάσης εξόδου και από τους δύο αισθητήρες συλλέγονται από ένα παλμογράφο ή ένα σύστημα ανάκτησης δεδομένων. Συσχετίζοντας τον χρόνο μεταξύ των δύο κορυφών της τάσης εξόδου και την γνωστή απόσταση των δύο πηνίων προσδιορίζεται η ταχύτητα του βλήματος.

2.4 Ακουστικές Μέθοδοι

Για την υλοποίηση της μεθόδου αυτής (Acoustic Methods for Measuring Bullet Velocity) είναι απαραίτητη η ύπαρξη μικροφώνου και υπολογιστή, ο οποίος να έχει ένα λογισμικό που επιτρέπει την προβολή κυματομορφών για την υπολογισμό χρονικών διαφορών. Υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης των παρακάτω δύο διαφορετικών διατάξεων:

-Το μικρόφωνο τοποθετείται κοντά στο ρύγχος του όπλου. Κυρίως στο πλάι και πίσω προκειμένου να μην χτυπηθεί είτε από την ανάκρουση του όπλου είτε από τα αέρια της έκρηξης.

-Το μικρόφωνο τοποθετείται στην μέση της απόστασης όπλου-στόχου και σε κάποια απόσταση από την ευθεία που ενώνει αυτά τα δύο.

Ο χρόνος υπολογίζεται από τον ήχο της πυροδότησης και τον ήχο πρόσκρουσης της σφαίρας στον στόχο.

Στην περίπτωση της πρώτης διάταξης ο χρόνος πτήσης της σφαίρας είναι αυτός που προκύπτει αν από αυτόν που έχει καταγραφεί αφαιρέσουμε τον χρόνο που χρειάζεται ο ήχος, από την επαφή σφαίρας-στόχου, να φτάσει στο μικρόφωνο

$$t_{\sigma\varphi\alpha\dot{\imath}\rho\alpha\varsigma} = t_{\kappa\alpha\tau\alpha\gamma\rho\alpha\phi\dot{\imath}\varsigma} - t_{\dot{\imath}\chi\upsilon\upsilon}$$
(2.1)

Στην περίπτωση της πρώτης διάταξης ο χρόνος πτήσης της σφαίρας είναι αυτός που καταγράφεται.

Και στις δύο περιπτώσεις η ταχύτητα υπολογίζεται από την γνωστή σχέση

$$v = \frac{d}{t_{\sigma\phi\alpha\hat{\rho}\alpha\varsigma}}$$
(2.2)

και πρόκειται για την μέση ταχύτητα της σφαίρας.

Ενδεικτικά παραθέτουμε τα αποτελέσματα των καταγραφών από μετρήσεις που έγιναν με τις δύο ανωτέρω διατάξεις (Σχήματα 2.3 και 2.4)



Σχήμα 2.3:Διάγραμμα Ενέργειας (ήχου)-Χρόνου Κατά την Καταγραφή με την Πρώτη Διάταξη





Στην περίπτωση της πρώτης διάταξης παρατηρούμε ότι στους υπολογισμούς υπεισέρχεται ο υπολογισμός του χρόνου του ήχου. Το πρόβλημα που υπάρχει έγκειται στην μη ακριβή γνώση της ταχύτητας του ήχου

$$t_{\eta\chi\sigma\upsilon} = \frac{d}{c_{\eta\chi\sigma\upsilon}}.$$
 (2.3)

Μια σχέση για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ήχου είναι η εξής:

$$c_{\text{fixou}} = 331 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + 0.6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^{\circ}\text{C}}\right) \text{T}(^{\circ}\text{C}) .$$
(2.4)

2.5 Σύστημα Επαγόμενης Ηλεκτρεγερτικής Δύναμης (ΗΕΔ)

Προτού αναφερθούμε στην μέθοδο αυτή θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή του όπλου, την ταχύτητα του οποίου μετράμε με την μέθοδο αυτή. Πρόκειται για το «Όπλο Ηλεκτρομαγνητικής Ράβδου (Electromagnetic Rail Gun)». Το όπλο αυτό, αντί να βασίζεται σε ένα εκρηκτικό προωθητικό όπως η πυρίτιδα, χρησιμοποιεί ένα γιγαντιαίο κύμα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας για την πυροδότηση. Οι αρχές λειτουργίας του είναι παρόμοιες με αυτές ενός ηλεκτρομαγνητικού κινητήρα (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5:Αρχή Λειτουργίας Όπλου Ηλεκτρομαγνητικής ράβδου

Η σφαίρα σαν επαγώγιμη τοποθετείται ανάμεσα σε δύο παράλληλες ράβδους. Το ρεύμα εισέρχεται από την μια ράβδο, περνά από την σφαίρα και εξέρχεται από την άλλη ράβδο. Η σφαίρα σαν αγωγός μεταφοράς ρεύματος επιταχύνεται ανάμεσα στις ράβδους και εκτοξεύεται με υψηλή ταχύτητα.

Η μέτρηση αυτής της ταχύτητας γίνεται μέσω της επαγόμενης ΗΕΔ. Η ΗΕΔ παράγεται καθώς η σφαίρα κόβει το μαγνητικό πεδίο. Δέκα (10) πηνία-στόχοι τοποθετούνται κατά μήκος των ράβδων και ανά ίσα διαστήματα και πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σαν μετρητικές συσκευές. Όταν η σφαίρα περνά από κάθε πηνίο, η επαγόμενη ΗΕΔ παράγεται αντίστοιχα σε κάθε πηνίο.

Η αρχή λειτουργίας της μέτρησης της ταχύτητας της σφαίρας φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Η επαγόμενη ΗΕΔ φαίνεται στο Σχήμα 2.7. Τέλος η καμπύλη εξόδου της επαγόμενης ΗΕΔ φαίνεται στο Σχήμα 2.8.







Όταν η σφαίρα ευρισκόμενη σε τροχιά επιταχύνεται κινείται προς τα εμπρός μέσα από κάθε πηνίο. Λόγω της μεταβολής της μαγνητικής ροής, σε κάθε πηνίο παράγεται ΗΕΔ. Ο ηλεκτρικός παλμός παράγεται από την επαγόμενη ΗΕΔ. Στο πηνίο ο ηλεκτρικός παλμός χρησιμοποιείται σαν έναυσμα για άνοιγμα και κλείσιμο. Η μέγιστη τιμή του ηλεκτρικού παλμού χρησιμοποιείται για την μέτρηση. Μετρώντας το χρονικό διάστημα του ηλεκτρικού παλμού μεταξύ δύο πηνίων, υπολογίζεται ο χρόνος διέλευσης της σφαίρας από τα δύο πηνία. Γνωρίζοντας απόσταση και χρόνο υπολογίσουμε την ταχύτητα.

2.6 Οπτικοηλεκτρονικό Σύστημα

Το σύστημα αποτελείται από ένα οπτικό-ηλεκτρικό μπλοκ, μια μονάδα αισθητήρα επεξεργασίας σήματος, μια οθόνη LCD για την παρακολούθηση της πληροφορίας, μια μονάδα καταμέτρησης χρόνου και μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.9.

8



Σχήμα 2.9:Οπτικό-Ηλεκτρικό Σύστημα Μέτρησης Ταχύτητας

Το οπτικό σύστημα βασίζεται σε τρεις ισαπέχοντες οπτικούς φραγμούς (barriers). Κάθε φραγμός αποτελείται από μία δέσμη laser και ένα φωτοαισθητήρα. Το όλο σύστημα χρησιμοποιεί τρεις οπτικούς φραγμούς. Κάθε γραμμή φωτός συνδυάζεται με το δικό της κύκλωμα επεξεργασίας, το οποίο διοικείται από ένα μικροελεγκτή. Οι τρεις οπτικοί φραγμοί είναι στο ίδιο επίπεδο. Η ταχύτητα ενός βλήματος μπορεί να μετρηθεί μόνο όταν διέρχεται από αυτό το επίπεδο πτήσης, ως εκ τούτου το όπλο θα πρέπει να τοποθετηθεί κάθετα στους φραγμούς (Σχήμα 2.10^α,β).



Σχήμα 2.10α: Οπτική Απεικόνιση Μετρητικής Διάταξης



Σχήμα 2.10β:Οπτική Απεικόνιση Μετρητικής Διάταξης

Η ταχύτητα του βλήματος μετριέται μέσω της απόκτησης των τριών διαφορετικών σημάτων που προέρχονται από την διασταύρωση του βλήματος με τους οπτικούς φραγμούς κατά την διάρκεια της πτήσης του. Η ανίχνευση αυτών των σημάτων από τους φωτοαισθητήρες και η επεξεργασία τους από τον μικροελεγκτή επιτρέπει στο σύστημα να αξιολογεί την μέση ταχύτητα του βλήματος.

Η αρχή λειτουργίας είναι η εξής: Οι φωτοδίοδοι καταλαβαίνουν όταν τα laser μπλοκάρονται από την τροχιά του βλήματος, που υποτίθεται ότι είναι κάθετη στους οπτικούς φραγμούς. Όταν το βλήμα διασχίζει τον πρώτο οπτικό φραγμό η δέσμη laser έχει αποκλειστεί και ο μετρητής χρόνου του μικροελεγκτή ενεργοποιείται. Οι χρόνοι πτήσης καταχωρούνται όταν το βλήμα έχει διασχίσει και τους υπόλοιπους δύο φραγμούς. Η μέση ταχύτητα υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$v = \frac{1}{3} \left(\frac{S}{T_1} + \frac{S}{T_2} + \frac{S}{T_3} \right)$$
(2.5)

Όπου T₁: ο χρόνος πτήσης από τον 1° στον 2° οπτικό φραγμό T₂: ο χρόνος πτήσης από τον 2° στον 3° οπτικό φραγμό T₃: ο χρόνος πτήσης από τον 1° στον 3° οπτικό φραγμό

Υποθετικά

$$T_3 = T_1 + T_2$$
 (2.6)

Μπορεί να είναι διαφορετικός επειδή το σύστημα μετράει περιόδους ρολογιού μικροελεγκτή.

2.7 Συσκευή ανίχνευσης και σκόπευσης με δέσμη φωτός

Η συσκευή LiDAR Speed Gun είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται από την αστυνομία για τον υπολογισμό της ταχύτητας των αυτοκινήτων. Στο Σχήμα 2.11

παρατίθεται ενδεικτικά οι δύο όψεις μιας τέτοιας συσκευής με περιγραφή των επιμέρους στοιχείων και ενδείξεων.





Σε αντίθεση με τα συμβατικά radar (speed/radar gun) με αυτή τη συσκευή δίνεται η δυνατότητα μέτρησης της ταχύτητας ενός οχήματος μέσα σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας.

Η διαδικασία μέτρησης της ταχύτητας είναι η εξής: Μέσω ενός τηλεσκοπικού οφθαλμού που υπάρχει στην συσκευή εντοπίζεται το όχημα του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την ταχύτητα. Η στόχευση γίνεται συνήθως στην πινακίδα του οχήματος. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνε διόδους laser (laser diodes) 50μW παρέχοντας παλμούς 30nsec με ρυθμό 1kHz. Οι παλμοί αυτοί κινούνται προς το όχημα, προσκρούουν πάνω του και επιστρέφουν πίσω. Παράλληλα με την εκπομπή γίνεται και καταγραφή χρόνων. Καταγράφονται τόσο ο χρόνος έναρξης εκπομπής όσο και ο χρόνος άφιξης (πίσω στην κάμερα) των παλμών.

Ο χρόνος πτήσης κάθε παλμού είναι η διαφορά του χρόνου άφιξης από τον χρόνο έναρξης εκπομπής. Γνωρίζοντας και την ταχύτητα του ήχου βρίσκει την απόσταση στην οποία είναι το όχημα κατά την συγκεκριμένη μέτρηση. Επαναλαμβάνοντας την παραπάνω διαδικασία και για μια μεταγενέστερη θέση του οχήματος, έχουμε και εκεί τον χρόνο πτήσης και την θέση του οχήματος.

Έχοντας τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να υπολογίσει τόσο την μετατόπιση του οχήματος (διαφορά των δύο παραπάνω αποστάσεων) όσο και τον χρόνο που χρειάστηκε για αυτή την μετατόπιση(διαφορά των δύο χρόνων πτήσης. Τέλος από την γνωστή σχέση

$$v = \frac{s}{t}$$
(2.7)

υπολογίζει την ταχύτητα.

Όπως αναφέραμε προηγουμένως η συσκευή εκπέμπει αρκετούς παλμούς το δευτερόλεπτο. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι η επίτευξη όσο το δυνατόν ακριβέστερων μετρήσεων. Με τον τρόπο αυτό παλμοί που δεν επιστρέφουν στην συσκευή ή που επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες δεν επηρεάζουν την μέτρηση της ταχύτητας.

2.8 Συσκευή ανίχνευσης και σκόπευσης με ραδιοκύματα

Η λειτουργία των συσκευών αυτών (Radar Guns) στηρίζεται στο φαινόμενο Doppler. Αποτελούνται από ένα πομπό και ένα δέκτη. Στέλνουν ραδιοκύματα, με την μορφή στενής δέσμης, και τα λαμβάνουν πίσω αφού πρώτα έχουν προσκρούσει στο όχημα-στόχο. Η πρόσκρουση αυτή αλλάζει την συχνότητα του σήματος. Η αλλαγή αυτή μπορεί να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα αν το όχημα έρχεται προς ή απομακρύνεται από εμάς. Στην 1^η περίπτωση έχουμε αύξηση της συχνότητας και στην 2^η μείωση.

Στις περιπτώσεις όπου η ταχύτητα που θέλουμε να μετρήσουμε είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με την ταχύτητα του φωτός, η ταχύτητα δίνεται από την σχέση:

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta f}{f} \cdot \frac{c}{2} \tag{2.8}$$

Όπου Δf η μεταβολή της συχνότητας του σήματος, f η συχνότητα εκπομπής και c η ταχύτητα του φωτός.

2.9 Σύστημα Μαγνητικών Αισθητήρων

Το γήινο μαγνητικό πεδίο μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφο σε μια περιοχή ορισμένων τετραγωνικών χιλιομέτρων, όπου δεν υπάρχουν φερομαγνητικά υλικά. Η είσοδος ενός φερομαγνητικού αντικειμένου, όπως είναι το αυτοκίνητο, προκαλεί μια τοπική αλλοίωση στο πεδίο, ανεξάρτητα από το αν το αντικείμενο κινείται ή όχι. Στα Σχήματα 2.12-2.14 παρατηρούμε την σταδιακή μεταβολή των μαγνητικών γραμμών λόγω του αυτοκινήτου.



Σχήμα 2.12:Συμπίεση Μαγνητικών Γραμμών



Σχήμα 2.13:Σύγκλιση Μαγνητικών Γραμμών



Σχήμα 2.14:Απόκλιση Μαγνητικών Γραμμών

Οι αλλοιώσεις αυτές (πύκνωση και αραίωση των μαγνητικών γραμμών) είναι συνήθως περισσότερο έντονες λόγω του κινητήρα και των αξόνων του οχήματος, αλλά και από τυχόν ισχυρά σιδηρομαγνητικά υλικά που βρίσκονται στο όχημα. Η παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου, όπως δίνεται από την έξοδο του αισθητήρα, είναι διαφορετική για κάθε όχημα. Το γεγονός αυτό παρέχει τη δυνατότητα κατάταξης των διερχόμενων οχημάτων, μέσω των μαγνητικών υπογραφών τους. Στο Σχήμα 2.15 παρατίθεται η μαγνητική υπογραφή ενός οχήματος όπως λαμβάνεται στην έξοδο του αισθητήρα AMR.





Για την εύρεση της ταχύτητας του οχήματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν δύο αισθητήρες. Αφού ληφθεί η μαγνητική υπογραφή από τον κάθε αισθητήρα, με σύγκριση των χρονικών τιμών όπου εμφανίζονται οι μέγιστες (ή οι ελάχιστες) τιμές της έντασης του μετρούμενου πεδίου, λόγω της διέλευσης του οχήματος, μπορεί να βρεθεί η ταχύτητά του.

2.10 Εφαρμογή του Google

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας εισάγουμε την κοντινότερη απόσταση από τον στόχο, την απόσταση δηλαδή της καθέτου από το σημείο στο οποίο στεκόμαστε στην κατεύθυνση κίνησης του σώματος. Κατόπιν πιέζουμε με το δάχτυλο μας την οθόνη ακολουθώντας το κινούμενο σώμα καθ' όλη την διάρκεια που φαίνεται αυτό στην οθόνη μας και προκύπτει η μέση ταχύτητα κίνησης του σώματος. Ενδεικτικά παρατίθεται στο Σχήμα 2.16 η μέτρηση της ταχύτητας ενός αυτοκινήτου αγώνων. Περισσότερες πληροφορίες στην ιστοσελίδα (https://play.google.com/ store/apps/details?id=kr.sira.speed).



Σχήμα 2.16: Μέτρηση Ταχύτητας Αυτοκινήτου μέσω της Εφαρμογής Google

3 Σύστημα Μέτρησης Ταχύτητας Ελληνικού Στρατού

3.1 Γενική Περιγραφή

Μια συσκευή που χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια από τον Ελληνικό Στρατό για την μέτρηση της (αρχικής) ταχύτητας (βλήματος) είναι ο «Χρονογράφος DR 810 MKII (Μοντέλο 2)» που λειτουργεί με χρήση του φαινομένου DOPPLER. Μια πρώτη οπτική επαφή με την συσκευή παρέχεται στην παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.1):



Σχήμα 3.1 : Χρονογράφος DR 810 MKII

Ο Χρονογράφος περιέχει τρεις (3) λειτουργικές συσκευές (Μονάδα Κεραίας, Μονάδα Επεξεργασίας Στοιχείων και Μονάδα Ελέγχου), δύο (2) καλώδια και ένα σύνολο υποστηρίγματος κεραίας όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.2):



ετικιι μεταφοράς Σχήμα 3.2: Το πλήρες Σύστημα του χρονογράφου DR 810 MKII Μοντέλο 2.

3.2 Περιγραφή Επιμέρους Στοιχείων Χρονογράφου

3.2.1 Μονάδα Κεραίας

Η Μονάδα Κεραίας (Σχήματα 3.3 και 3. 4) περιλαμβάνει τα εξής επιμέρους στοιχεία (Σχήμα 5):

- Την κεραία εκπομπής
- Την κεραία λήψεως
- Τον συζευκτήρα κυκλωμάτων
- Τον πομπό
- Τον δέκτη
- Την πηγή τροφοδοσίας



Σχήμα 3.3: Μονάδα Κεραίας(Εμπρόσθια Όψη)



Σχήμα 3.4: Μονάδα Κεραίας(Οπίσθια Όψη)

Στο Σχήμα 3.4 με τον αριθμό «1» απεικονίζεται η «Πενταπολική Υποδοχή», που είναι η υποδοχή για την σύνδεση του καλωδίου της κεραίας, και με τον αριθμό «2» οι τέσσερις (4) τρύπες με βόλτες για την τοποθέτηση της μονάδας κεραίας πάνω στο ρυθμιζόμενο στήριγμά της.



Σχήμα 3.5: Διάγραμμα Μονάδας Κεραίας

Η κεραία εκπομπής εκπέμπει ένα σήμα υψηλής συχνότητας κατά μήκος της τροχιάς. Ένα μικρό μέρος αυτού του σήματος ανακλάται στο κινούμενο βλήμα και λαμβάνεται από την κεραία λήψεως. Η συχνότητα του εκπεμπόμενου σήματος συγκρίνεται με την συχνότητα του δέκτη και η μεταξύ τους διαφορά είναι ένα σήμα DOPPLER χαμηλής συχνότητας, που είναι ανάλογο με την ταχύτητα του βλήματος. Το σήμα DOPPLER μεταφέρεται στη Μονάδα Επεξεργασίας Στοιχείων (Σχήμα 3.8) μέσω του συνδετικού καλωδίου (Σχήμα 3.10).

Η εκπομπή της κεραίας δεν είναι κάθετη προς την επιφάνεια της κεραίας αλλά σχηματίζει γωνία 7° κάτω από την κάθετο, όπως φαίνεται και στο Σχήματα 3.6 και 3.7. Στο οριζόντιο επίπεδο της συσκευής της κεραίας η εκπομπή είναι κατακόρυφη προς την πρόσοψη της συσκευής της κεραίας. Για αυτό το λόγο η κεραία τοποθετείται σε γωνία 7° ως προς την κάθετο κάνοντας έτσι την εκπομπή των κυμάτων να είναι παράλληλη στον άξονα του κοίλου του πυροβόλου.



Σχήμα 3.6: Γωνία Εκπομπής κεραίας



Σχήμα 3. 7:Τοποθέτηση Μονάδας Κεραίας σε Σωλήνα Πυροβόλου

3.2.2 Μονάδα Επεξεργασίας Στοιχείων (ΜΕΣ)

Η Μονάδα Επεξεργασίας Στοιχείων περιέχει τα στοιχεία των κυκλωμάτων μέτρησης και υπολογισμού, την οθόνη των αποτελεσμάτων και τα όργανα ελέγχου λειτουργίας όπως αυτά απεικονίζονται στο Σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8: Μονάδα Επεξεργασίας Στοιχείων

Επεξήγηση των αριθμών που φαίνονται στο ανωτέρω σχήμα παρέχεται στον παρακάτω πίνακα:

Πινακάς 3.Τ. Περιγραφή Ιντερών Ινιοναούς Επεςεργασίας Ζτοιχείων					
A/A	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
1	POWER ON/OFF	Ελατηριωτός διακόπτης 2 θέσεων	Ο διακόπτης αυτός είναι για την έναρξη και την παύση της λειτουργίας της συσκευής		

Πίνακας 3.1: Περιγραφή Μερών Μονάδας Επεξεργασίας Στοιχείων

2	CALIBER(mm)	Περιστρεφόμενος διακόπτης 5 θέσεων	Αυτός ο διακόπτης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της απόστασης του πρώτου από τα επτά σημεία μέτρησης
3	EXPECTED VELOCITY(m/s)	Περιστρεφόμενος διακόπτης 13 θέσεων	Αυτός ο διακόπτης ρυθμίζεται σύμφωνα με την αναμενόμενη αρχική ταχύτητα. Όταν είναι τοποθετημένος στη θέση DATA UNIT TEST γίνεται ένας ολικός έλεγχος κάθε φορά που πιέζεται το κουμπί PRESS BEFORE FIRE. Όταν ο διακόπτης είναι τοποθετημένος στη θέση SYSTEM TEST ένας γενικός έλεγχος μπορεί να διεξαχθεί σε ολόκληρο το σύστημα αν η Μονάδα Ελέγχου είναι προσαρμοσμένη στη Μονάδα Κεραίας.
4	DATA DISPLAY	Περιστρεφόμενος διακόπτης 9 θέσεων	Αυτός ο διακόπτης χρησιμοποιείται για να εμφανισθούν οι τελευταίες οκτώ βολές και ο μέσος όρος όλων των βολών(μέχρι οκτώ). Εμφανίζεται επίσης όταν ο διακόπτης είναι στη θέση AVG, ο αριθμός των βολών που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μέσου όρου. Αναφορές με στοιχεία λανθασμένα δεν θα υπολογισθούν στον μέσο όρο.
5	MUZZLE VELOCITY(m/s)	Ενδείκτης L.E.D(LIGHT EMITTING DIODE)	Η αρχική ταχύτητα εμφανίζεται στην οθόνη σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο αμέσως μετά τη βολή. Επίσης μπορούν να εμφανισθούν οι τελευταίες οκτώ βολές και η μέση ταχύτητα, περιστρέφοντας τον διακόπτη DATA DISPLAY
6	CLEAR MEMORY	Πιεζόμενο κουμπί	Σβήνει τη μνήμη του συστήματος
1	READY	Ενοεικτική Λυχνία	Δειχνει οτι η κεραια εκπέμπει και ότι ο χρονογράφος είναι έτοιμος να μετρήσει
8	PRESS BEFORE FIRE	Πιεζόμενο κουμπί	Αρχίζει την εκπομπή συχνότητας RF από την κεραία και θα πρέπει να ενεργοποιείται 5 δευτερόλεπτα πριν βάλει το πυροβόλο. Αυτός ο διακόπτης χρησιμοποιείται μόνο όταν ο διακόπτης MODE βρίσκεται στη θέση NORMAL.
9	STANDBY	Ενδεικτική Λυχνία	Δείχνει ότι η κεραία δεν εκπέμπει όταν ο διακόπτης MODE είναι μόνο στη θέση NORMAL
10	MODE	Ελατηριωτός διακόπτης 2 θέσεων	Αυτός ο διακόπτης χρησιμοποιείται για την επιλογή μεθόδου αυτόματης κανονικής βολής.

11	J3 DATA OUTPUT	Υποδοχή 55 πόλων	Υποδοχή για τη μεταβίβαση πληροφοριών σε εξωτερική συσκευή συλλογής πληροφοριών
12	J2 ANTENNA INTER CONNECT	Πενταπολική Υποδοχή	Υποδοχή που παρέχει ρεύμα στην κεραία και σήμα DOPPLER από την κεραία
13	J1 INPUT POWER	Πενταπολική Υποδοχή	Υποδοχή αρχικής τροφοδοσίας 20 έως 30V DC
14	3 AMP	Ασφάλεια	Προστατεύει το κύκλωμα από ηλεκτρονική υπερφόρτωση

Η Κλίμακα Αρχικής Ταχύτητας διαιρείται σε δέκα (10) μπάντες που καλύπτουν ταχύτητες από 50 m/s μέχρι 1750 m/s και ρυθμίζεται από το διακόπτη «Αναμενόμενη Α/Τ (EXPECTED VELOCITY)» που υποδεικνύεται με το βέλος vo3.

Οι ταχύτητες σε κάθε ένα από τα σημεία μέτρησης υπολογίζεται από την μέτρηση του χρόνου πτήσης του βλήματος σε μια βάση μέτρησης 3,6m.

Η επιλογή της απόστασης μέχρι το πρώτο σημείο μέτρησης (15,30,60,120 και 180 μέτρα) επιλέγεται από το διακόπτη «ΔΙΑΜΕΤΡΗΜΑ (CALIBER)» που υποδεικνύεται με το βέλος νο2. Οι αποστάσεις των 15,30,60,120 και 180 μέτρων αντιστοιχούν στις θέσεις του διακόπτη CALIBER 35,105,155,175 και 203.

Τα άλλα σημεία μέτρησης τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η σχέση χρόνου μεταξύ του χρόνου πτήσης του βλήματος από το στόμιο του όπλου μέχρι το πρώτο σημείο μέτρησης και του χρόνου πτήσης μεταξύ οποιωνδήποτε δύο (2) σημείων μέτρησης να είναι 2:1 ή 4:1, ανάλογα με τη θέση του διακόπτη CALIBER.

Η αναλογία σήματος προς θόρυβο μετριέται για κάθε σημείο μέτρησης πάνω στην βλητική τροχιά και η μέτρηση θεωρείται λανθασμένη εάν η σχέση σήματος προς θόρυβο είναι κάτω των 12 db. Όταν μία ή περισσότερες από αυτές τις λανθασμένες μετρήσεις χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω υπολογισμούς όλα τα αποτελέσματα από τέτοιους υπολογισμούς θεωρούνται λανθασμένα. Όταν ένα λανθασμένο αποτέλεσμα παρουσιάζεται, θα αναβοσβήνει ένα «Ε» στην οθόνη που δείχνει μια πιθανώς εσφαλμένη ένδειξη.

Η Μονάδα Επεξεργασίας Στοιχείων υπολογίζει τη Μέση Αρχική Ταχύτητα των τελευταίων οκτώ μετρήσεων. Εάν δεν έχουν γίνει οκτώ μετρήσεις ο υπολογισμός για τον μέσο γίνεται χρησιμοποιώντας τον πραγματικό αριθμό των μετρήσεων που έγιναν. Οι λανθασμένες μετρήσεις απορρίπτονται και δεν χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μέσου όρου.

Τα στοιχεία που εμφανίζονται στην οθόνη της ΜΕΣ διατίθενται στο «Σύνδεσμο Εξαγωγής Στοιχείων (DATA OUTPUT)»(βέλος vo11) για χρησιμοποίηση με άλλα όργανα ελέγχου ή ηχογραφήσεως. Αυτός περιλαμβάνει την «λανθασμένη» ένδειξη. Τα στοιχεία διανέμονται σε σειρά της μορφής BCD δια μέσου του μεταξύ των επιφανειών τμημάτων του υπολογιστή (μεταξύ των φάσεων του συστήματος) RS232.

3.2.3 Συσκευή ελέγχου

Για την συσκευή ελέγχου θα αναφέρουμε επιγραμματικά τα κάτωθι:

-Χρησιμοποιείται για ένα δοκιμαστικό έλεγχο του συστήματος του ραντάρ του χρονογράφου DR 810 MKII Μοντέλο 2

- Έχει μια εσωτερική πηγή ρεύματος που αποτελείται από μια μπαταρία των 9V.

-Τίθεται στη μονάδα κεραίας για να προκαλέσει την απομίμηση ενός κινούμενου βλήματος με μια σταθερή ταχύτητα.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μονάδα ελέγχου και ακολουθεί και ένας πίνακας με την επεξήγηση των επιμέρους τμημάτων της μονάδας



Σχήμα 2.9: Μονάδα Ελέγχου

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
1	Μοχλός προσαρτήσεως	Για την τοποθέτηση της Μονάδας Ελέγχου
	κεραίας	πάνω στην κεραία
2	Στιγμιαίος διακόπτης-	Η Μονάδα Ελέγχου είναι σχεδιασμένη να
	πιεζόμενο κουμπί	λειτουργεί μόνο όταν είναι
		προσαρμοσμένη στην κεραία. Όταν
		αφαιρείται από την κεραία το κύκλωμα της
		μπαταρίας ανοίγεται και έτσι
		προστατεύεται η μπαταρία από τυχόν
		εκφόρτωση.
3	Ρυθμιστικός κοχλίας	Ο ρυθμιστικός κοχλίας ρυθμίζεται για να
		ενεργοποιήσει τον στιγμιαίο διακόπτη-
		κουμπί όταν η Μονάδα Ελέγχου είναι
		τοποθετημένη πάνω στην κεραία.

Πίνακας 3.2: Περιγραφή Μερών Μονάδας Ελέγχου

3.2.4 Καλώδια

Δύο (2) καλώδια χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του Χρονογράφου, τα οποία απεικονίζονται στο Σχήμα 3.10. Το καλώδιο της κεραίας 75 μέτρων χρησιμοποιείται για την σύνδεση μεταξύ κεραίας και ΜΕΣ. Το καλώδιο της κεραίας απεικονίζεται μαζί με την εκτυλίκτρια καλωδίου. Το καλώδιο ρεύματος 5 μέτρων χρησιμοποιείται για την παροχή της αρχικής τροφοδοσίας του συστήματος.



Σχήμα 3.10: Καλώδια

3.3 Προδιαγραφές

3.3.1 Τεχνικές Προδιαγραφές

3.3.1.1 Σύστημα

-Συνολική Ακρίβεια: ±0-2%

-**Απαιτούμενη Ισχύς**: Το σύστημα προστατεύεται για την περίπτωση τροφοδοσίας του με αντίθετη πολικότητα.

-Τάση :20-30V DC

-Κατανάλωση :40W

3.3.1.2 Μονάδα Κεραίας

-Απαιτούμενη Ισχύς(παρέχεται από την ΜΕΣ)

-Τάση :20-30V DC

-Κατανάλωση :40W

-Κεραία

- Κέρδος	:>21db
- Πλάτος δέσμης E-PLANE	:15°±1°

- Επίπεδο πλευρικών λοβών Ε-PLANE :<12db

- Πλάτος δέσμης Η-PLANE	:7°±1°				
- Επίπεδο πλευρικών λοβών Η-PLANE	:<12db				
- Γωνία εκτροπής ακτινοβολίας Ε-PLANE	:0°				
- Γωνία εκτροπής ακτινοβολίας Η-PLANE	:7°				
-Δέκτης					
Εύρος Συχνοτήτων, 3db 3000-125000 Hz (50-1750 m/s)					
-Πομπός					
-Συχνότητα που ελέγχεται με κρύσταλλο	:10525±0,3 MHz				
-Ισχύς εξόδου	: 130-240 MW				

3.3.1.3 Μονάδα Επεξεργασίας Στοιχείων

-**Απαιτούμενη ισχύς**: Η συσκευή προστατεύεται κατά της αντίστροφης συνδεσμολογίας της με την πηγή τροφοδοσίας.

-Τάση :20-30V DC

-Κατανάλωση :20W

-**Απόσταση από τα πρώτα σημεία μέτρησης**(λ=μήκος κύματος εκπεμπόμενου σήματος)

- 1024 x (λ/2)	~ 15m	(35mm θέση διακόπτη διαμετρήματος)
- 2048 x (λ/2)	~30m	(105mm θέση διακόπτη διαμετρήματος)

- 4096 χ (λ/2) ~ 60m (155mm θέση διακόπτη διαμετρήματος)
- 8192 x (λ/2) ~ 120m (175mm θέση διακόπτη διαμετρήματος)
- 12288 x (λ/2) ~ 180m (203mm θέση διακόπτη διαμετρήματος)

-Βάση Μέτρησης

256 χ (λ/2) ~3,6m

-Μπάντες

- -50 μέχρι 200m/s
- -200 μέχρι 400m/s
- -400 μέχρι 600 m/s

.....

-1600 μέχρι 1750m/s

- Έλεγχος: Με τον διακόπτη «EXPECTED VELOCITY» στη θέση «DATA UNIT TEST» και τον διακόπτη « CALIBER» στη θέση 35mm, δίνεται η ένδειξη 911,5±0,2m/s.

-Σύστημα Υπολογισμού

-Μέθοδος: Γραμμική παρεμβολή με την χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων.

-Υπολογισμοί: Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται με έξι(6) ψηφία.

-**Τμηματική Ανάγνωση**: πέντε(5) ψηφία

-Προσέγγιση Τμηματικής Ανάγνωσης: 0,1m/s

-Ενδεικνύμενα Στοιχεία

-Μν μέχρι Μν-7: Αρχικές ταχύτητες των τελευταίων οκτώ(8) βολών

-AVG : Μέση αρχική ταχύτητα(μέγιστο 8 τελευταίων βολών)

-**Αριθμός Μετρήσεων**: Αριθμός μετρήσεων χρησιμοποιηθέντων στον υπολογισμό του μέσου όρου

- Έξοδος Στοιχείων: Πανομοιότυπη με την ένδειξη στοιχείων μορφής σειράς(RS232)

3.3.1.4 Μονάδα Ελέγχου

-Ισχύς	: 1 μπαταρία των 9V
-Εικονική Ταχύτητα	: 333.8±0.2 m/s

3.3.2 Φυσικά Χαρακτηριστικά

3.3.2.1 Μονάδα Κεραίας

-Μέγεθος(Ύψος χ Μήκος χ Πλάτος)	: 315 x 217 x 100mm
-Βάρος	: 8,2 Kg

3.3.2.2 Μονάδα Επεξεργασίας Στοιχείων

-Μέγεθος(Ύψος χ Μήκος χ Πλάτος)	: 256 x 402 x 200mm
-Βάρος	: 10,9 Kg

3.3.2.3 Μονάδα Ελέγχου

-Μέγεθος(Ύψος χ Μήκος χ Πλάτος)	: 185 x 95 x 80mm
-Βάρος	: 0,45 Kg

3.3.2.4 Καλώδια

-Μήκος Καλωδίων: Κεραία

Συνδετικό καλώδιο : 75m Καλώδιο τροφοδοσίας :5m

-Βάρος : 8,7 Kg

3.3.2.5 Βάση Κεραίας

-Μέγεθος(Ύψος χ Μήκος χ Πλάτος)	: 200 x 195 x 170mm
-Βάρος	: 3,6 Kg

3.3.2.6 Θήκη Μεταφοράς

-Μέγεθος(Ύψος χ Μήκος χ Πλάτος)	: 419 x 724 x 625mm
-Βάρος	: 27,6 Kg
-Συνολικό Βάρος	: 58,6 Kg
(συμπεριλαμβανομένων των υλικών)	

25

4 Μέθοδοι Υπολογισμού της Ταχύτητας Μέσω Επεξεργασίας Εικόνας/Βίντεο

4.1 Εισαγωγή

Για την εκτίμηση της κίνησης σε μια ακολουθία εικόνων, και ως εκ τούτου για τον υπολογισμό της ταχύτητας, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι. Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις πέντε(5) ομάδες που ακολουθούν, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουν το πρόβλημα:

- 1. Ταίριασμα χαρακτηριστικού/περιοχής
- 2. Αναδρομικές
- 3. Βασισμένες στο αιτιοκρατικό μοντέλο
- 4. Βασισμένες στο στοχαστικό μοντέλο
- 5. Βασισμένες στην οπτική ροή

4.2 Ταίριασμα χαρακτηριστικού/περιοχής

Αυτές οι μέθοδοι (feature/regions matching methods) εκτιμούν την κίνηση συσχετίζοντας/ταιριάζοντας χαρακτηριστικά ή συγκεκριμένες περιοχές της ακολουθίας από μια εικόνα σε μια άλλη, βρίσκοντας το μέγιστο της κανονικοποιημένης διασυσχετίσεως ή το ελάχιστο από κάποιο μέτρο απόστασης όπως MSE (Mean-Squared Error/ Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα), MAE (Mean Absolute Error/ Μέσο Απόλυτο Σφάλμα) και MAD (Minimum Absolute Difference/ Ελάχιστη Απόλυτη Διαφορά).

Η μετατόπιση ενός συγκεκριμένου μπλοκ από μια εικόνα (frame) την χρονική στιγμή t, σε μια εικόνα (frame) την χρονική στιγμή t+Dt βρίσκεται ψάχνοντας στο frame προορισμού για το μπλοκ που ταιριάζει περισσότερο σε αυτό του αρχικού frame. Αυτό το «καλύτερο ταίριασμα» αξιολογείται στην βάση μιας συγκεκριμένης συνάρτησης συσχετισμού. Στην διαδικασία ταιριάσματος, υποθέτουμε ότι τα εικονοστοιχεία (pixel) που ανήκουν σε αυτό το μπλοκ έχουν μετατοπιστεί το ίδιο, πράγμα που σημαίνει απαίτηση ομαλότητας και φθίνουσας πλευρικής πληροφορίας (decreasing side information) σχετικά με τα διανύσματα κίνησης, δεδομένου ότι ολόκληρο το κινούμενο μπλοκ μπορεί να περιγραφεί από ένα μόνο αντικείμενο. Παρά το γεγονός ότι το μοντέλο αυτό απλοποιεί την όλη κατάσταση θεωρώντας μεταφορική κίνηση, πιο σύνθετοι τύποι κίνησης, όπως περιστροφή και εστίαση, μπορούν να συμπεριληφθούν σε αυτό, με το να προσεγγίζονται από την τμηματική μεταφορά του μπλοκ, με την προϋπόθεση ότι αυτές είναι αρκετά μικρές. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση εκτίμησης κίνησης από το ταίριασμα μπλοκ
μπορεί να είναι είτε μεγιστοποίηση της συνάρτησης αλληλοσυσχέτισης ή ελαχιστοποίηση κριτηρίου σφάλματος, όπως το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) και η ελάχιστη απόλυτη διαφορά (MAD).

Θεωρούμε ένα μπλοκ Β με διαστάσεις Ν Χ Ν, τότε:

$$MSE(\Delta m, \Delta n) = \frac{1}{N^2} \sum_{(m,n) \in B} [y(m + \Delta m, n + \Delta n, t + \Delta t) - y(m, n, t)]^2$$
(4.1)

$$MAD(\Delta m, \Delta n) = \frac{1}{N^2} \sum_{(m,n) \in B} |y(m + \Delta m, n + \Delta n, t + \Delta t) - y(m, n, t)|$$
(4.2)

Όπου

$$-d_m^{\max} \le \Delta m \le d_m^{\max} \tag{4.3}$$

$$-d_n^{\max} \le \Delta n \le d_n^{\max} \tag{4.4}$$

είναι οι μέγιστες επιτρεπτές μετατοπίσεις.

Όσον αφορά τις στρατηγικές αναζήτησης, συνήθως χωρίζονται σε δύο ομάδες, οι πλήρης-αναζήτησης (εξαντλητικές) και οι κάτω από το βέλτιστο (suboptimal) (μη εξαντλητικές). Η πρώτη είναι μια εξαντλητική αναζήτηση μέσα σε ένα προκαθορισμένο μέγιστο εύρος μετατόπισης: δεδομένου ενός παραθύρου αναζήτησης (μπλοκ) N × N και ενός διανύσματος μέγιστης μετατόπισης [d_m , d_m], η πλήρης αναζήτηση καλεί για την αξιολόγηση του ταιριάσματος το κριτήριο σε (2 d_m +1)χ(2 d_n + 1) σημεία. Η τελευταία είναι μια μη-εξαντλητική διαδικασία αναζήτησης που έχει καθορισθεί για να μειώσει το χρόνο αναζήτησης, και αναπτύχθηκε σε διάφορους αλγόριθμους.

4.2.1 Λογαριθμική αναζήτηση δύο διαστάσεων

Υλοποιείται με σταδιακό τρόπο, αξιολογώντας το κριτήριο ταύτισης για πέντε σημεία (το κέντρο του παραθύρου αναζήτησης και τα τέσσερα μεσοδιαστήματα μεταξύ του κέντρου και των τεσσάρων ορίων). Αυτό που δείχνει ελάχιστη ανομοιότητα επιλέγεται ως «νικητής». Στη συνέχεια, στο επόμενο βήμα, και άλλα τέσσερα σημεία λαμβάνονται γύρω από το νικητή με αμετάβλητη απόσταση, εκτός εάν το τρέχον κεντρικό σημείο ή ένα οριακό σημείο δώσει μια ελάχιστη τιμή του κριτηρίου ταύτισης. Στην περίπτωση αυτή, η απόσταση μεταξύ των πέντε σημείων πρέπει να μειωθεί. Το ελάχιστο επιτυγχάνεται όταν η τελευταία ομάδα των σημείων είναι σε ένα πλέγμα 3 × 3 δύο διαστάσεων (2D).

4.2.2 Αναζήτηση κατεύθυνσης σύγκλισης

Πρόκειται για μια προσέγγιση δύο σταδίων, στην οποία το κριτήριο ταύτισης αξιολογείται ξεχωριστά από γραμμές και στη συνέχεια από στήλες, ή αντίστροφα. Πρώτα, η συντεταγμένη της γραμμής καθορίζεται σε μια αρχική θέση, και το ελάχιστο του επιλεγμένου κριτηρίου βρίσκεται κατά μήκος της οριζόντιας κατεύθυνσης. Στη συνέχεια, το ίδιο είδος αξιολόγησης γίνεται για την κατακόρυφη κατεύθυνση ξεκινώντας από τη συντεταγμένη της στήλης, που λαμβάνεται από το προηγούμενο στάδιο.

4.2.3 Υποδειγματοληψία στο παράθυρο συσχετισμού

Μια υπο-δειγματοληψία μέσα στο παράθυρο συσχετισμού και το αρχικό μπλοκ εκτελείται. Η ιδέα είναι να ληφθούν υπόψη μόνο τα δείγματα που προέκυψαν από την υπο-δειγματοληψία, ώστε να μειωθεί στο 1 / Μ το υπολογιστικό κόστος, όπου Μ είναι ο παράγοντας υποδειγματοληψίας.

4.2.4 Ταίριασμα μπλοκ πολλαπλών αναλύσεων

Αυτές οι τεχνικές αποδείχθηκαν ότι είναι οι πιο αποτελεσματικές σε ταίριασμα μπλοκ. Μια πυραμίδα Gauss διαμορφώνεται με ένα σύνολο εικόνων, που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές αναλύσεις, όπου το χαμηλότερο επίπεδο είναι η ίδια η αρχική εικόνα με την υψηλότερη ανάλυση, και σε κάθε βήμα, το ανώτερο επίπεδο λαμβάνεται μετά από χαμηλοπερατό φιλτράρισμα του κάτω, χρησιμοποιώντας ιδιαίτερα βάρη (weights) και στη συνέχεια γίνεται υπο-δειγματοληψία 2 × 2. Συνήθως, η συνάρτηση του βάρους προσεγγίζει τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του Gauss. Ο αλγόριθμος αναζήτησης βρίσκει την αρχική εκτίμηση διανυσμάτων κίνησης ξεκινώντας από την κορυφή, και στη συνέχεια βελτιώνοντας τα, τα μεταφέρει στο επόμενο επίπεδο. Κάθε επίπεδο δίνει μια βελτίωση στην αξιολόγηση των διανυσμάτων.

Μια τροποποιημένη έκδοση θέτει ένα κατώτατο όριο το οποίο αποτρέπει από περιττές βελτιώσεις, εάν η εκτίμηση που έχει ήδη αποκτηθεί είναι ικανοποιητική.

4.2.5 Ιεραρχικό ταίριασμα μπλοκ

Πολλαπλών αναλύσεων παραστάσεις των δύο καρέ, που μας ενδιαφέρουν, αρχικά δημιουργούνται. Αυτές λαμβάνονται από βαθυπερατό φιλτράρισμα των δύο καρέ με ορθογώνια ομοιόμορφη συνέλιξη πυρήνων, K1 × K1, K2 × K2,και K3 X K3. Αν K3 ≤ K2 ≤ K1, το 3ο επίπεδο γίνεται το χαμηλότερο επίπεδο ανάλυσης. Το ιεραρχικό ταίριασμα μπλοκ πρώτα εφαρμόζεται στα δύο καρέ στο χαμηλότερο επίπεδο ανάλυσης τους. Από χαμηλή σε υψηλή ανάλυση, τα αποτελέσματα κάθε επιπέδου περνάνε στο επόμενο επίπεδο υψηλότερης ανάλυσης και χρησιμοποιούνται ως αρχικές εκτιμήσεις του πεδίου διανυσμάτων μετατόπισης. Αυτές οι αρχικές τιμές ενημερώνονται από τις τιμές που εκτιμώνται στο παρόν επίπεδο και στη συνέχεια περνάνε στο επόμενο επίπεδο και ούτω καθεξής.

Μεγαλύτερα μεγέθη μπλοκ χρησιμοποιούνται σε χαμηλότερα επίπεδα ανάλυσης και μικρότερα μεγέθη μπλοκ σε υψηλότερα επίπεδα ανάλυσης. Μεγαλύτερα μεγέθη μπλοκ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χαμηλότερα επίπεδα, δεδομένου ότι οι ανεξάρτητα κινούμενες μικρότερες δομές εντός των μπλοκ μπορεί να έχουν εξαλειφθεί από το χαμηλοπερατό φιλτράρισμα. Ο σκοπός των επιπέδων χαμηλότερης ανάλυσης είναι να εκτιμηθεί το μεγαλύτερο μέρος της μετατόπισης. Ο σκοπός των επιπέδων υψηλότερης ανάλυσης είναι να τελειοποιήσουν τις εκτιμήσεις που λαμβάνονται σε επίπεδα χαμηλότερης ανάλυσης.

4.2.6 «Προφητική» κατάτμηση πεδίου κίνησης

Η προτεινόμενη προσέγγιση χρησιμοποιεί «προφητική» κατάτμηση πεδίου κίνησης, προκειμένου να βελτιωθεί η εκτίμηση κίνησης και η κατάτμηση κατά μήκος των κινούμενων ορίων. Εδώ μια τεχνική κατάτμησης που βασίζεται σε προηγουμένως αποκωδικοποιημένα καρέ εφαρμόζεται, έτσι να μην αυξηθεί το κόστος (Overhead) για τη διαβίβαση των εν λόγω πληροφοριών. Αυτό μπορεί να γίνει διότι το σχήμα του κινούμενου αντικείμενου υποτίθεται ότι δεν αλλάζει με την κίνηση. Οι πληροφορίες που παρέχονται από το προηγούμενα καρέ χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί το σχήμα της ασυνέχειας στο πεδίο κινήσεως. Το τρέχον καρέ χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των διανυσμάτων κίνησης.

4.2.7 Επικαλυπτόμενα μπλοκ ταιριάσματος

Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοστεί για να μειώσει ή να καταργήσει εντελώς την ομαδοποίηση αντικειμένων. Αυτό επιτυγχάνεται χαλαρώνοντας τον περιορισμό της μη επικάλυψης της διαίρεσης του μπλοκ, μεγαλώνοντας κατά μήκος και των τεσσάρων κατευθύνσεων τα μπλοκ που προήλθαν από την προκαταρκτική μη επικαλυπτόμενη διαίρεση. Ο αλγόριθμος λειτουργεί με τον συνήθη τρόπο ταιριάσματος μπλοκ, αξιολογώντας το σφάλμα μεταξύ του διευρυμένου, επικαλυμμένου αρχικού μπλοκ (στόχου) και της προβλεφθείσας εκδοχής του, που υπολογίζεται γνωρίζοντας το επιλεχθέν υποψήφιο διάνυσμα μετατόπισης. Η διαφορά σε σχέση με όλες τις άλλες μεθόδους ταιριάσματος μπλοκ είναι στο επόμενο βήμα, στο οποίο εφαρμόζεται μία συνάρτηση παραθύρου(window function) στο σφάλμα και στην συνέχεια αξιολογείται η «νέα» MAD για να βρεθεί το καλύτερο ταίριασμα και κατά συνέπεια το διάνυσμα μετατόπισης.

Όσον αφορά την ακρίβεια της ανάλυσης κίνησης, τόσο η ακρίβεια ενός -pixel, δηλαδή όταν τα διανύσματα μετατόπισης είναι ακέραια πολλαπλάσια του pixel, όσο και η ακρίβεια υπο-pixel, όταν τα διανύσματα μετατόπισης είναι μη ακέραια πολλαπλάσια του pixel, είναι δυνατές. Σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχει η ανάγκη να εκτελεστεί χωρική παρεμβολή . Αυτό αντιπροσωπεύει μια ισχυρή βελτίωση, δεδομένου ότι οδηγεί σε καλή ισορροπία(trade-off) μεταξύ υπολογιστικού κόστους και σφάλματος πρόβλεψης. Οι πλέον χρησιμοποιούμενες εφαρμογές είναι η ακρίβεια μισού-pixel και ενός τετάρτου-pixel.

4.3 Αναδρομικές

Αυτή η κατηγορία των αλγορίθμων (pixel-recursive methods) έχει ως στόχο να εκτιμήσει τα διανύσματα μετατόπισης για κάθε εικονοστοιχείο μιας εικόνας (frame) με αναδρομικό τρόπο, ελαχιστοποιώντας μια μη γραμμική συνάρτηση της ανομοιότητας μεταξύ αντίστοιχων περιοχών σε δύο συνεχόμενες εικόνες (frames). Αυτό γίνεται με τη χρήση επαναληπτικής μεθόδου (που ονομάζεται μέθοδος κατάβασης-descent method) που κινείται pixel προς pixel τόσο χωρικά (οριζόντια και κάθετα) όσο και χρονικά (ίδια θέση σε δύο συνεχόμενες εικόνες). Πολλοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση αυτής της μεθόδου καθόδου. Η πρώτη προσπάθεια έγινε από τους Netravali και Robbins, οι οποίοι επέλεξαν ως συνάρτηση το τετραγώνο της διαφοράς μετατόπισης καρέ, DFD (Displacement Frame Difference), όπου:

$$DFD(x_1, x_2; d_{x_1}, d_{x_2}) = y_n(x_1, x_2) - y_{n-1}(x_{1-}d_{x_1}, x_2 - d_{x_2})$$
(4.5)

Ωστόσο, αυτό είναι ένα χωρίς περιορισμούς μη γραμμικό πρόβλημα και πρέπει να επιβληθούν κάποιες συνθήκες για την επίλυσή του. Η πρώτης τάξεως απαραίτητη συνθήκη δηλώνει ότι, θεωρώντας μια μη γραμμική συνάρτηση z(y), εάν η z έχει πρώτης τάξης συνεχής μερικές παραγώγους, τότε

$$\nabla y (x^*) = 0 \tag{4.6}$$

με το x* να είναι αυτό που ελαχιστοποιεί τη μη γραμμική συνάρτηση. Η δεύτερης τάξης επαρκής συνθήκη δηλώνει ότι

$$\nabla y (\mathbf{x}^*) = 0 \tag{4.7}$$

$$H(\chi^*) > 0$$
 (4.8)

όπου Η είναι η Hessian μήτρα, η οποία περιέχει όλες τις δεύτερης τάξης μερικές παραγώγους ως προς όλες τις συνιστώσες του x. Ο αλγόριθμος ψάχνει για ελαχιστοποίηση μιας επαναληπτικής διαδικασίας, έτσι ώστε η αλληλουχία να συγκλίνει στο ελάχιστο y(x*). Πρόκειται για μια διαδικασία βήμα προς βήμα, βρίσκοντας σε κάθε βήμα το σχετικό ελάχιστο της συνάρτησης. Στη συνέχεια, το ελάχιστο αυτό λαμβάνεται ως το σημείο εκκίνησης για την επόμενη επανάληψη. Έτσι, υποθέτοντας ότι ξεκινάμε από ένα τοπικό ελάχιστο, για το k βήμα πρέπει να αξιολογηθεί η κατεύθυνση στην οποία θα κινηθούμε, $\vec{\omega}^k$, και το βέλτιστο πλάτος του βήματος, $a^k > 0$, ικανοποιώντας τους περιορισμούς που ορίστηκαν πριν. Οι δύο βασικές προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν σε αυτή τη βάση είναι η μέθοδος Steepest Descent (απότομης καθόδου) και η μέθοδος Newton-Raphson.

Η πρώτη, γνωστή ως μέθοδος κλίσης, αναφέρει ότι η κατεύθυνση που έχει επιλεγεί σε κάθε βήμα είναι αντίθετη προς το διάνυσμα κλίσης, δηλαδή

$$\vec{\omega}^{k} = -\nabla y (x^{*}) \tag{4.9}$$

έτσι ώστε να έχουμε

$$y(x^{k+1}) = y(x^k) - \alpha^k \nabla y(x^*)$$
(4.10)

Δεδομένου ότι η κατεύθυνση του διανύσματος κλίσης είναι εκείνη κατά μήκος της οποίας η μη γραμμική συνάρτηση αυξάνει περισσότερο, η αρνητική κατεύθυνση της κλίσης θα δώσει την κατεύθυνση της πιο απότομης πτώσης. Αυτή η μέθοδος αποδίδει καλύτερα στην αρχή, όταν είναι μακριά από το ελάχιστο, και στη συνέχεια η εκτίμηση γίνεται όλο και χειρότερη κοντά σε αυτό.

Η τελευταία χρησιμοποιεί ένα ενημερωμένο διάνυσμα του οποίου το μέγεθος σχετίζεται με το αντίστροφο της Hessian μήτρας. Με απλά λόγια, θα μπορούσε να πούμε ότι η μέθοδος Newton-Rapson επιλέγει ένα μέγεθος βήματος α^k ίσο με το $H^{-1}(x^*)$. Προσεγγίζει τη συνάρτηση για να ελαχιστοποιηθεί από μια τετραγωνική, δείχνοντας καλύτερη συμπεριφορά εάν είναι κοντά στο ελάχιστο.

Διάφοροι αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί σε αυτό το πεδίο, οι οποίοι διαφέρουν κυρίως στις στο είδος της προσέγγισης που εφαρμόζουν.

4.3.1 Netravali-Robbins

Βασίζεται στον αλγόριθμο απότομης καθόδου (Steepest Descent) και αποσκοπεί στο να εκτιμηθούν τα διανύσματα κίνησης ελαχιστοποιώντας το

τετράγωνο της DFD. Η εκτιμώμενη μετατόπιση ορίζεται σε ένα επαναληπτικό τον τρόπο με:

$$\hat{d}^{k+1} = \hat{d}^k - \alpha \cdot \text{DFD}(x_1, x_2, \hat{d}^k) \nabla y_{n-1}(x_{1-}d_{x_1}, x_2 - d_{x_2})$$
(4.11)

Όπου y_{n-1} είναι το προηγούμενο καρέ. Μια απλοποιημένη εκδοχή είναι η εξής:

$$\hat{d}^{k+1} = \hat{d}^k - \alpha \cdot \text{sgn}\{\text{DFD}(x_1, x_2, \hat{d}^k)\} \text{spn}\{\nabla y_{n-1}(x_{1-}d_{x_1}, x_2 - d_{x_2})\}$$
(4.12)

έτσι ώστε τα διανύσματα να λαμβάνουν μόνο τις κατευθύνσεις που είναι πολλαπλάσιες των 45°.

4.3.2 Bergmann

Πρότεινε μια τροποποιημένη εκδοχή των Netravalli-Robbins χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Newton-Raphson αντί αυτόν της απότομης καθόδου. Το πλεονέκτημα είναι ότι η προτεινόμενο μέθοδος συγκλίνει στο ελάχιστο πιο γρήγορα από ό, τι χρησιμοποιώντας αυτόν της απότομης καθόδου. Έτσι εδώ το βήμα του επαναληπτικού υπολογισμού της μετατόπισης εξαρτάται από το αντίστροφο του H (Hessian μήτρα).

4.3.3 Cafforio-Rocca

Είναι μια τροποποιημένη έκδοση του αλγορίθμου Steepest Descent, όπου

$$\alpha = \frac{1}{\|\nabla y_{n-1}(x_{1-}d_{x_{1}},x_{2}-d_{x_{2}})\|^{2}+\eta^{2}}$$
(4.13)

4.3.4 Walker-Rao

Είναι μια άλλη παραλλαγή του αλγορίθμου απότομης καθόδου, με μεταβλητό μέγεθος βήματος ίσο με

$$\alpha = \frac{1}{2\|\nabla y_{n-1}(x_{1-}d_{x_{1}},x_{2}-d_{x_{2}})\|^{2}}$$
(4.14)

Αυτό το μέγεθος βήματος είναι μικρό κοντά στα άκρα και μεγάλο σε λείες περιοχές του καρέ, βελτιώνοντας την απόδοση της μεθόδου.

4.4 Βασισμένοι στο αιτιοκρατικό μοντέλο

Αυτές οι μέθοδοι (deterministic model based methods) βασίζονται σε

ντετερμινιστικά μοντέλα κίνησης (π.χ., μοντέλων συσχετισμού και μοντέλων επίπεδων επιφανειών). Θεωρούμε ένα σημείο σε ένα κινούμενο αντικείμενο στο χώρο 3D. Η θέση του κατά τη χρονική στιγμή t είναι

$$X = X(t) = (X1(t), X2(t), X3(t))^{T}, X \in \mathbb{R}^{3}$$
(4.15)

στις συντεταγμένες της κάμερας. (X (t), t) ορίζει μια καμπύλη στο χώρο 3D, που αναφέρεται ως «τροχιά παγκόσμιας κίνησης». Προσδιορίζει μια 3D μετατόπιση στη θέση, για κάθε δύο χρονικές στιγμές t και τ:

$$D_{t,\tau}(X) = X(\tau) - X(t)$$
 (4.16)

Ένα σύστημα λήψης εικόνας προβάλλει την 3D κίνηση σε ένα 2D επίπεδο εικόνας με συντεταγμένες $x = (x1, x2)^T \in \Lambda$, ένα πλέγμα δειγματοληψίας. Αυτή η προβολή οδηγεί σε μια 2D τροχιά κίνησης, που ορίζεται μόνο στο χρονικό διάστημα στο οποίο το σχετικό σημείο είναι ορατό στην εικόνα. Η 2D μετατόπιση μπορεί να εκφραστεί ως

$$d_{t,\tau}(x) = x(\tau) - x(t)$$
(4.17)

Από την στιγμή που η 2D κίνηση προκύπτει από την προβολή των κινούμενων 3D αντικειμένων στο επίπεδο της εικόνας, ένα μοντέλο για την περιγραφή της 2D κίνησης μπορεί να προέλθει από μοντέλα που περιγράφουν 3D κίνηση, συνάρτηση 3D επιφάνειας και γεωμετρία προβολής της κάμερας. Ως παράδειγμα, μπορούμε να σκεφτούμε ένα 3D επίπεδο στοιχείο το που υποβάλλουμε σε 3D συσχετισμένη κίνηση υπό ορθογραφική υποβολή. Η τρισδιάστατη συσχετισμένη κίνηση μπορεί να γραφτεί ως

$$D(x) = (R - I)X + s$$
 (4.18)

όπου το R είναι η μήτρα περιστροφής και s είναι το διάνυσμα μεταφορικής κίνησης. Έστω ότι το επίπεδο στοιχείο ορίζεται από τρεις παραμέτρους α, β, γ, έτσι ώστε

$$\alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3 = 1 \tag{4.19}$$

Το μοντέλο της κάμερας περιγράφεται από δύο βαθμωτές εξισώσεις που αντιστοιχούν τις 3D παγκόσμιες συντεταγμένες σε 2D συντεταγμένες του επίπεδο της εικόνας. Για την ορθογραφική προβολή είναι $x_1 = cX_1$, $x_2 = cX_2$, $c \in R$. Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις για το μοντέλο της κάμερας και για την επιφάνεια 3D στην (4.18), το συσχετισμένο 2D μοντέλο λαμβάνεται:

$$d(x) = (A - I)x + b$$
 (4.20)

όπου

$$A = \begin{pmatrix} r_{11} - \frac{\alpha}{\gamma} r_{13} & r_{12} - \frac{\beta}{\gamma} r_{13} \\ r_{21} - \frac{\alpha}{\gamma} r_{23} & r_{22} - \frac{\beta}{\gamma} r_{23} \end{pmatrix} \quad \text{Kal} \quad b = \begin{pmatrix} \frac{c}{\gamma} r_{13} + cs_1 \\ \frac{c}{\gamma} r_{23} + cs_2 \end{pmatrix}$$

Σαφώς, ένα 2D μοντέλο κίνησης δεν αντιστοιχεί αποκλειστικά σε ένα 3D μοντέλο. Ταυτόσημα 2D μοντέλα κίνησης μπορεί να προκύψουν από διαφορετικές παραδοχές για 3D κίνηση, επιφάνεια και μοντέλα προβολής κάμερας. Ο πίνακας 4.1 συνοψίζει κάποια παραμετρικά μοντέλα για 2D κίνηση, συμπεριλαμβάνοντας έναν σταθερό αριθμό παραμέτρων. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την εκτίμηση, ερμηνεία και μετάδοση κάποιας κατηγορίας των πεδίων κίνησης.

2D model			3D model		Camera
	Number of parameter s	Motion field	3D surface function	3D motion	model
Translational	2	$d(x) = (a_1, b_1)^T$	arbitrary	rigid 3D translation	orthographic
Affine	6	$d(x) = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} a_3 \\ b_3 \end{pmatrix}$	planar	3D affine	orthographic
Projective linear	8	$d(x) = \begin{pmatrix} \frac{a_1 + a_2 x_1 + a_3 x_2}{1 + a_4 x_1 + b_4 x_2} \\ \frac{b_1 + b_2 x_1 + b_3 x_2}{1 + a_4 x_1 + b_4 x_2} \end{pmatrix} - x$	planar	3D affine	perspective
Quadratic	12	$d(x) = \begin{pmatrix} a_1 + a_2 x_1 + a_3 x_2 + a_6 x_1^2 + a_5 x_1 x_2 + a_4 x_1^2 \\ b_1 + b_2 x_1 + b_3 x_2 + b_6 x_1^2 + b_5 x_1 x_2 + b_4 x_1^2 \end{pmatrix}$	parabolic	3D affine	orthographic
Sampled	2 per Δ^2 pixels	$d(x) = \sum_{i,j} \begin{pmatrix} a_{ij} \\ b_{ij} \end{pmatrix} \mathcal{H}(x_1 - \Delta \cdot i, x_2 - \Delta \cdot j)$	smooth as specified by interpolation kernel H		arbitrary
Polynomial	2 κ motion adaptive	$d(x) = \sum_{i,j \in \kappa} \begin{pmatrix} a_{ij} \\ b_{ij} \end{pmatrix} x_1^i x_2^j$	smooth as by κ	specified	arbitrary

Πίνακας 4.1: Μοντέλα Κίνησης

Η μετατόπιση 2D που ορίστηκε παραπάνω μπορεί να συλλάβει μόνο πρώτης τάξης δυναμική ενός κινούμενου σημείου (κίνηση σταθερής ταχύτητας). Ωστόσο, δεύτερης τάξης χρονικά μοντέλα που συλλαμβάνουν τόσο την ταχύτητα όσο και την επιτάχυνση μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση περαιτέρω κωδικοποίησης. Για

34

να συλλάβουμε τα αποτελέσματα της δεύτερης τάξης, κάθε τροχιά κίνησης πρέπει να μοντελοποιηθεί ρητά. Αυτό σημαίνει ότι, μπορεί να αντιπροσωπεύεται από δύο διανύσματα, τη στιγμιαία ταχύτητα και επιτάχυνση. Αυτή η χρονική μοντελοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί μαζί με την χωρική μοντελοποίηση που περιγράφεται στον Πίνακα 4.1.

4.5 Βασισμένοι στο στοχαστικό μοντέλο

Autές οι μέθοδοι (stochastic model based methods) βασίζονται σε μοντέλα τυχαίων πεδίων του Markov, τόσο της κατανομής της εικόνας όσο και του πεδίου του διανύσματος μετατόπισης, όπου το πρόβλημα της εκτίμησης λαμβάνει τη μορφή της εκτίμησης MAP (Maximum A Posteriori) (Μέγιστο εκ των Υστέρων). Ένα γενικό πλαίσιο παρέχεται από μεθόδους Bayesian . Έστω ότι το πεδίο κίνησης δ είναι μια υλοποίηση ενός τυχαίου πεδίου D με δεδομένη εκ των υστέρων κατανομή πιθανότητας. Εκτιμώντας ένα πεδίο κίνησης δεδομένης της εικόνας g_{t+1} , της υλοποίηση του G_{t+1} , και της προηγούμενης εικόνας g_t , η εκ των υστέρων κατανομή πιθανότητας μπορεί να γραφτεί χρησιμοποιώντας τον κανόνα του Bayes:

$$P(D = d|G_{t+1} = g_{t+1}; g_t) = \frac{P(G_{t+1} = g_{t+1}|D = d; g_t) \cdot P(D = d; g_t)}{P(G_{t+1} = g_{t+1}; g_t)}$$
(4.21)

P είναι ένα μέτρο πιθανότητας. Η μέγιστη εκ των υστέρων (MAP) εκτίμηση του D είναι:

$$\hat{d} = \arg\min\{-\log[P(G_{t+1} = g_{t+1}|D = d; g_t)] - \log[P(D = d; g_t)]\}$$
(4.22)

Ο πρώτος όρος είναι η πιθανότητα μιας εικόνας δεδομένου του πεδίου κίνησης και της προηγούμενης εικόνας. Με δεδομένα τα d και g η πρόβλεψη αντιστάθμισης κίνησης του G_{t+1} μπορεί να υπολογιστεί. Ένα κοινό μοντέλο παρατήρησης υποθέτει ότι η πιθανότητα καθορίζεται πλήρως από ένα τυχαίο πεδίο Ε που μοντελοποιεί την μετατοπισμένη διαφορά καρέ, που ορίζεται από διάφορες κατανομές όπως της μηδενικής μέσης τιμής του Gauss.

Εάν ένα πεδίο κίνησης έχει ομοιόμορφη εκ των προτέρων κατανομή, η εκ των υστέρων κατανομή εξαρτάται μόνο από την μετατοπισμένη διαφορά καρέ. Έτσι, από στατιστική άποψη, οι μέθοδοι που ελαχιστοποιούν την μετατοπισμένη διαφορά καρέ, εκτελούν εκτίμηση μέγιστης πιθανότητας. Για να ενσωματωθεί εκ των προτέρων γνώση στην εκτίμηση \hat{d} , θα πρέπει να επιλεγεί μία εκ των προτέρων κατανομή για μετατοπίσεις. Ακόμη και αν ένα χωρικά αιτιατό μοντέλο (spatially casual model) θα

μπορούσε να είναι υπολογιστικά συμφέρον, χωρική αιτιότητα δεν μπορεί να δικαιολογηθεί σε τομείς μετατόπισης. Μια μη αιτιατή λύση που συλλαμβάνει ιδιότητες, όπως η ομαλότητα δίνεται από τα στοχαστικά πεδία Gibbs/Markov. Απαιτούν προδιαγραφή ενός συστήματος γειτνίασης G, στο οποίο καμιά τοποθεσία δεν είναι δική της γειτονιά και τα μέλη της γειτονιάς είναι συμμετρικά. Ένα τυχαίο πεδίο Gibbs/Markov D με διακριτές τιμές σε σχέση με ένα σύστημα γειτνίασης G μπορεί να καθοριστεί από την κατανομή Gibbs:

$$P(D = d) = \frac{1}{z} \exp[(H(d))]$$
 (4.23)

όπου Η είναι η Χαμιλτονιανή(Hamiltonian)

$$H(d) = \sum_{c \in C} V_c(d_c)$$
(4.24)

και

$$Z = \sum_{d} \exp(H(d))$$
(4.25)

Ο περιορισμός της ομαλότητας μπορεί να μοντελοποιηθεί με συγκεκριμένα πρώτης ή δεύτερης τάξης τυχαία πεδία Gibbs/Markov. Επιτρέπουν επίσης ρητή μοντελοποίηση του ασυνεχειών, είτε από ένα γραμμικό πεδίο (line field) δυαδικών τιμών σε διπλό πλέγμα, είτε με κατάτμηση.

4.6 Βασισμένοι στην οπτική ροή

Η οπτική ροή (Optical Flow) είναι το μοτίβο της φαινόμενης κίνησης των αντικειμένων, επιφανειών και ακμών σε μια οπτική σκηνή η οποία προκαλείται από την σχετική κίνηση μεταξύ ενός παρατηρητή(μάτι ή κάμερα) και της σκηνής(Σχήμα 4.1). Η έννοια της οπτικής ροής εισήχθη από τον αμερικάνο ψυχολόγο James J. Gibson για να περιγράψει το οπτικό ερέθισμα που παρέχεται στα ζώα καθώς κινούνται στο περιβάλλον.





Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.2) φαίνεται η σχέση του πεδίου κίνησης με το πεδίο οπτικής ροής, η σχέση, δηλαδή, της 3-διάστατης (3d) κίνησης στον πραγματικό κόσμο και της προβολής αυτής στην 2-διάστατη (2d) εικόνα.



Σχήμα 4.2: Σχέση πεδίου κίνησης-πεδίου οπτικής ροής

Η μέθοδος αυτή προσπαθεί να υπολογίσει την κίνηση μεταξύ δύο εικόνων(frames) που έχουν ληφθεί τις χρονικές στιγμές t και t+Δt και καλείται διαφορική καθώς βασίζεται σε τοπικές προσεγγίσεις σειρών Taylor του σήματος της εικόνας. Χρησιμοποιούν δηλαδή μερικές παραγώγους ως προς τις χωρικές και χρονικές συντεταγμένες.

Κατά την διάρκεια του χρόνου αρκετές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για την προσέγγιση του υπολογισμού της οπτικής ροής (optical flow). Οι τεχνικές αυτές ακολουθούν τα παρακάτω στάδια:

Φιλτράρισμα και ομαλοποίηση της εικόνας με κάποιο βαθυπερατό ή
 ζωνοπερατό φίλτρο, για την εξάλειψη του υψίσυχνου θορύβου και την αύξηση του σηματοθορυβικού λόγου

 Διεξαγωγή μετρήσεων στην εικόνα όπως χωρική και χρονική παραγώγιση, ή εύρεση συσχετίσεων μεταξύ περιοχών στην εικόνα, ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη μέθοδο.

 Χρήση των μετρήσεων και κάποιων παραδοχών για την εύρεση της οπτικής ροής

Τέλος οι μέθοδοι αυτές κατατάσσονται στις εξής τέσσερις κατηγορίες και η ανάλυση τους ακολουθεί:

- 1. Διαφορικές (gradient-based ή differential methods)
- 2. Ταίριασμα με βάση την περιοχή (Region-based Methods)
- 3. Βασιζόμενες στην ενέργεια (Energy-based Methods)
- 4. Βασιζόμενες στην φάση (Phase-based Methods)

4.6.1 Διαφορικές

Οι διαφορικές τεχνικές υπολογίζουν την ταχύτητα από τις χώρο-χρονικές παραγώγους της έντασης της εικόνας ή από φιλτραρισμένες εκδόσεις της εικόνας με τη χρήση χαμηλοπερατών ή ζωνοπερατών φίλτρων. Οι πρώτες περιπτώσεις χρησιμοποιούσαν παράγωγα πρώτης τάξης και βασίστηκαν σε μεταφορά της εικόνας

$$I(x, t) = I(x - vt, 0)$$
 (4.26)

Από ανάπτυγμα κατά Taylor της (4.26) ή πιο γενικά από μια παραδοχή ότι η ένταση διατηρείται, η εξίσωση περιορισμού κλίσης εύκολα εξάγεται:

$$\nabla I(\mathbf{x}, t) \cdot \mathbf{v} + I_t(\mathbf{x}, t) = 0 \tag{4.27}$$

όπου το $I_t(\mathbf{x}, t)$ δηλώνει την μερική χρονική παράγωγο του $I(\mathbf{x}, t)$ και το $\nabla I \cdot \mathbf{v}$ δηλώνει το γνωστό εσωτερικό γινόμενο. Η έννοια της σχέσης (4.27) μπορεί να γίνει κατανοητή από το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Συσχετισμός της μετατόπισης ενός σήματος με τις χρονικές διαφορές και τις χωρικές παραγώγους.

Για ένα γραμμικό σήμα, όπως το αριστερό, η μετατόπιση *d* δίνεται από το λόγο της διαφοράς των τιμών σε ένα σημείο προς την κλίση. Αν το σήμα δεν είναι γραμμικό, τότε ο παραπάνω λόγος δίνει απλά μια προσέγγιση της μετατόπισης (*d*). Στην πραγματικότητα, η (4.27) αποδίδει την κάθετη συνιστώσα της κίνηση των χωρικών περιγραμμάτων σταθερής έντασης. Η κάθετη ταχύτητα s και η κάθετη κατεύθυνση n δίνονται από

$$s = \frac{-I_t(\mathbf{x},t)}{\|\nabla I(\mathbf{x},t)\|}$$
(4.28)

$$\mathbf{n} = \frac{\nabla I(\mathbf{x},t)}{\|\nabla I(\mathbf{x},t)\|} \tag{4.29}$$

Υπάρχουν δύο άγνωστες συνιστώσες της **v** στην (4.27), που περιορίζονται από μία μόνο γραμμική εξίσωση . Αυτό είναι το λεγόμενο «πρόβλημα οπής»(aperture problem) των μεθόδων οπτικής ροής. Επομένως περαιτέρω περιορισμοί είναι αναγκαίοι για την επίλυση και των δύο συνιστωσών της **v**.

Δεύτερης τάξης διαφορικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τη δεύτερης τάξης παραγώγους (Hessian του I) για να περιορίσουν την 2d ταχύτητα.

$$\begin{pmatrix} I_{xx} \left(\mathbf{x}, t \right) & I_{yx} \left(\mathbf{x}, t \right) \\ I_{xy} \left(\mathbf{x}, t \right) & I_{yy} \left(\mathbf{x}, t \right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \upsilon_1 \\ \upsilon_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_{tx} \left(\mathbf{x}, t \right) \\ I_{ty} \left(\mathbf{x}, t \right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$
(4.30)

Η εξίσωση (4.30) μπορεί να προέλθει από την (4.26) ή από τη διατήρηση της ∇Ι(x,t) . Κυριολεκτικά μιλώντας, η διατήρηση της ∇Ι(x,t) σημαίνει ότι η πρώτης τάξης παραμορφώσεις της έντασης (π.χ. περιστροφή ή διαστολή) δεν θα πρέπει να υπάρχουν. Ως εκ τούτου αυτός είναι ένας ισχυρότερος περιορισμός από την (4.27) σχετικά με τα επιτρεπόμενα πεδία κίνησης. Για την μέτρηση της ταχύτητας της εικόνας, υποθέτοντας ότι $\frac{d \nabla I(\mathbf{x},t)}{dt} = 0$ οι περιορισμοί στην (4.30) μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό με την (4.27) για να αποφέρουν ένα υπερορισμένο σύστημα γραμμικών εξισώσεων. Ωστόσο εάν το πρόβλημα οπής υπάρχει σε μια τοπική γειτονιά (πχ αν η ένταση είναι ουσιαστικά μιας διαστάσεως) τότε λόγω της ευαισθησίας της αριθμητικής διαφοροποίησης, οι παράγωγοι 2ης τάξεως συνήθως δεν μπορούν να μετρηθούν με αρκετή ακρίβεια για να προσδιοριστεί η εφαπτομενική συνιστώσα της ν. Ως συνέπεια, εκτιμήσεις ταχύτητας από 2ης τάξης μεθόδους συχνά θεωρούνται ότι είναι πιο αραιές και λιγότερο ακριβείς από τις εκτιμήσεις μεθόδων 1ης τάξης.

Ένας άλλος τρόπος για να περιοριστεί η **v**(x) είναι να συνδυαστούν τοπικές εκτιμήσεις της συνιστώσας της ταχύτητας και/ ή 2d ταχύτητα μέσα στο χώρο και το χρόνο, δημιουργώντας έτσι πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις της **v**(x). Υπάρχουν δύο κοινές μέθοδοι για να επιτευχθεί αυτό. Η πρώτη μέθοδος ταιριάζει τις μετρήσεις σε κάθε γειτονιά σε ένα τοπικό μοντέλο για 2d ταχύτητα (πχ ένα χαμηλής τάξης πολυωνυμικό μοντέλο) με ελαχιστοποίηση με τη χρήση ελαχίστων τετραγώνων ή ένα μετασχηματισμό Hough. Συνήθως η **v**(x) λαμβάνεται να είναι σταθερή , αν και γραμμικά μοντέλα για την **v**(x) έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία. Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί περιορισμούς παγκόσμιας ομαλότητας, στην οποία το πεδίο ταχύτητας ορίζεται έμμεσα από την άποψη του ελάχιστου ενός συναρτησιακού

Μια απαίτηση των διαφορικών τεχνικών είναι ότι το I(x, t) πρέπει να είναι διαφορίσιμο. Αυτό συνεπάγεται ότι χρονική εξομάλυνση στους αισθητήρες απαιτείται για να αποφευχθούν φαινόμενα aliasing και ότι η αριθμητική διαφοροποίηση πρέπει να γίνει προσεκτικά. Οι συχνά αναφερόμενοι περιορισμοί που οι βασιζόμενες στην κλίση τεχνικές απαιτούν η ένταση της εικόνας να είναι σχεδόν γραμμική , με ταχύτητες μικρότερες από 1 pixel / καρέ, προκύπτουν από τη χρήση των 2 καρέ, την κακή αριθμητική διαφοροποίηση ή τα σήματα εισόδου που έχουν φθαρεί από το χρονικό aliasing. Για παράδειγμα, με 2 καρέ , οι παράγωγοι εκτιμώνται χρησιμοποιώντας 1ης τάξης διαφορές προς τα πίσω οι οποίες είναι ακριβής μόνο όταν η είσοδος είναι πολύ υπερδειγματισμένη ή η δομή της έντασης είναι σχεδόν γραμμική . Όταν το aliasing δεν μπορεί να αποφευχθεί στην απόκτηση εικόνας, ένας τρόπος για να παρακαμφθεί το πρόβλημα είναι να εφαρμοστούν διαφορικές τεχνικές σε ένα τραχύ σε λεπτό(coarse-to-fine) τρόπο με τον οποίο οι εκτιμήσεις αρχικά παράγονται σε τραχείς κλίμακες όπου το aliasing υποτίθεται ότι είναι λιγότερο σοβαρό, με ταχύτητες κάτω του 1 pixel/καρέ. Οι εκτιμήσεις αυτές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια ως αρχική εικασίες για να παραμορφώσουν τις λεπτότερες κλίμακες για να αντισταθμίσουν μεγαλύτερες μετατοπίσεις.

4.6.1.1 Horn and Schunk

Αναπτύχθηκε από τους Berthold K.P Horn και Brian G. Schunck. Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται σε μια διαφορική τεχνική που υπολογίζεται με την χρησιμοποίηση ενός περιορισμού κλίσης (σταθερότητα φωτεινότητας) με μια ολική(global) ομαλότητα για την απόκτηση ενός εκτιμώμενου πεδίου ταχύτητας. Υπάρχουν δύο κύριες διαδικασίες για την εφαρμογή του αλγορίθμου. Η πρώτη είναι μια εκτίμηση των μερικών παραγώγων και η δεύτερη είναι η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των λαθών από μια επαναληπτική διαδικασία για την παρουσίαση του τελικού διανύσματος κίνησης.

4.6.1.2 Lucas and Kanade

Στην υπολογιστική όραση(computer vision) η μέθοδος Lucas-Kanade είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη διαφορική μέθοδο για την εκτίμηση της οπτικής ροής που αναπτύχθηκε από τον Bruce D. Lucas και Takeo Kanade. Υποθέτει ότι η ροή είναι ουσιαστικά σταθερή σε μια τοπική γειτονιά του εικονοστοιχείου(pixel) υπό εξέταση, και επιλύει τις βασικές εξισώσεις οπτικής ροής για όλα τα εικονοστοιχεία σε αυτή την περιοχή, με το κριτήριο ελαχίστων τετραγώνων.

Με το συνδυασμό των πληροφοριών από πολλά γειτονικά pixels, η μέθοδος Lucas-Kanade μπορεί να επιλύσει συχνά την εγγενή ασάφεια της εξίσωσης οπτικής ροής. Επίσης, είναι λιγότερο ευαίσθητη στο θόρυβο της εικόνας από σημειακές μεθόδους. Από την άλλη πλευρά, δεδομένου ότι είναι μια καθαρά τοπική μέθοδος, δεν μπορεί να παρέχει πληροφορίες ροής στο εσωτερικό ομοιόμορφων περιοχών της εικόνας

Η μέθοδος Lucas-Kanade υποθέτει ότι η μετατόπιση των περιεχομένων της εικόνας μεταξύ δύο κοντινών καρέ (frames) είναι μικρή και περίπου σταθερή εντός μια γειτονιάς του υπό εξέταση σημείου p. Έτσι, η εξίσωση οπτικής ροής μπορεί να υποτεθεί ότι ισχύει για όλα τα εικονοστοιχεία εντός ενός παραθύρου που έχει ως κέντρο το p. Δηλαδή, το τοπικό διάνυσμα (ταχύτητας) (V_x , V_y) της ροής της εικόνας πρέπει να πληροί τις εξής εξισώσεις:

 $I_{x}(q_{1})V_{x} + I_{y}(q_{1})V_{y} = -I_{t}(q_{1})$ $I_{x}(q_{2})V_{x} + I_{y}(q_{2})V_{y} = -I_{t}(q_{2})$

$$I_x(q_n)V_x + I_y(q_n)V_y = -I_t(q_n)$$
 (4.31)

Όπου q_1 , q_2 ,..., q_n είναι τα εικονοστοιχεία(pixel) μέσα στην εικόνα και $I_x(q_i)$, $I_y(q_i)$, $I_t(q_i)$ είναι οι μερικές παράγωγοι της εικόνας Ι ως προς τις συντεταγμένες x και y και ως προς το χρόνο t αντίστοιχα, για το σημείο q_i και την τρέχουσα χρονική στιγμή. Αυτές οι εξισώσεις μπορούν να γραφούν σε πίνακα της μορφής

όπου

$$A = \begin{bmatrix} I_{x}(q_{1}) & I_{y}(q_{1}) \\ I_{x}(q_{2}) & I_{y}(q_{2}) \\ \vdots & \vdots \\ I_{x}(q_{n}) & I_{y}(q_{n}) \end{bmatrix}, \qquad v = \begin{bmatrix} V_{x} \\ V_{y} \end{bmatrix} \qquad \kappa \alpha i \qquad b = \begin{bmatrix} -I_{t}(q_{1}) \\ -I_{t}(q_{2}) \\ \vdots \\ -I_{t}(q_{n}) \end{bmatrix}$$

Αυτό το σύστημα έχει περισσότερες εξισώσεις από αγνώστους και για αυτό είναι συνήθως υπερορισμένο. Η μέθοδος Lucas-Kanade αποκτά μια συμβιβαστική λύση με την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων. Μπορούμε να γράψουμε ότι:

$$A^{T}Av = A^{T}b \rightarrow v = (A^{T}A)^{-1}A^{T}b$$
(4.33)

Όπου A^T είναι ο ανάστροφος του πίνακα Α. Αναλύοντας την παραπάνω ισότητα έχουμε:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma_i I_x(q_i)^2 & \Sigma_i I_x(q_i) I_y(q_i) \\ \Sigma_i I_x(q_i) I_y(q_i) & \Sigma_i I_y(q_i)^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\Sigma_i I_x(q_i) I_t(q_i) \\ -\Sigma_i I_y(q_i) I_t(q_i) \end{bmatrix}$$
(4.34)

Με το άθροισμα να είναι από i=1 έως Ν. Ο πίνακας Α^TΑ συχνά αποκαλείται «τανυστής δομής» της εικόνας στο σημείο p.

Η απλή λύση ελαχίστων τετραγώνων παραπάνω δίνει την ίδια σημασία για όλα τα Ν εικονοστοιχεία του παραθύρου. Στην πράξη, είναι συνήθως καλύτερο να δώσουμε περισσότερο βάρος στα εικονοστοιχεία που είναι πιο κοντά στο κεντρικό εικονοστοιχείο p. Για αυτό, χρησιμοποιείται η σταθμισμένη εκδοχή της εξίσωσης των ελαχίστων τετραγώνων:

$$A^{T}WAv = A^{T}Wb \rightarrow v = (A^{T}WA)^{-1}A^{T}Wb$$
(4.35)

Όπου W είναι ένας NXN διαγώνιος πίνακας που περιέχει τα βάρη $W_{ii} = w_i$ που θα διατεθούν για την εξίσωση των pixel q_i . Δηλαδή, υπολογίζει

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma_i w_i I_x(q_i)^2 & \Sigma_i w_i I_x(q_i) I_y(q_i) \\ \Sigma_i w_i I_x(q_i) I_y(q_i) & \Sigma_i w_i I_y(q_i)^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\Sigma_i w_i I_x(q_i) I_t(q_i) \\ -\Sigma_i w_i I_y(q_i) I_t(q_i) \end{bmatrix}$$
(4.36)

Το βάρος w_i συνήθως ρυθμίζεται σε μία συνάρτηση Gauss της απόστασης μεταξύ q_i και p.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου:

- 1. Πιο εύκολη μέθοδος σε σύγκριση με άλλες
- 2. Πολύ γρήγοροι υπολογισμοί
- 3. Ακριβείς χρονικές παράγωγοι

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι ο αλγόριθμος Lucas-Kanade δεν είναι ικανός να παράξει ένα ιδιαίτερα πυκνό πεδίο από διανύσματα οπτικής ροής, ιδιότητα κοινή για όλες τις μεθόδους εκτίμησης πεδίου ροής που βασίζονται σε τοπική πληροφορία γύρω από κάθε εικονοστοιχείο(pixel). Αυτό συνεπάγεται ότι η χρήσιμη πληροφορία του πεδίου ροής μειώνεται γρήγορα στις περιοχές των συνόρων μεταξύ των αντικειμένων και στο εσωτερικό μεγάλων ομογενών περιοχών χωρίς ιδιαίτερη υφή, όπου δεν μπορεί να ανιχνευθεί ισχυρή κίνηση

4.6.1.3 Πυραμιδωτή εκτέλεση αλγορίθμων οπτικής ροής

Η πυραμιδωτή εκτέλεση των αλγορίθμων οπτικής ροής είναι μια ιεραρχική υλοποίηση των αλγορίθμων οπτικής ροής, που εφαρμόζεται και στους δύο παραπάνω αλγορίθμους. Συγκεκριμένα εξετάζεται η κατασκευή μιας Laplacian πυραμίδας, όπου στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκονται οι εικόνες στην αρχική τους μορφή, ενώ σε ανώτερα επίπεδα κάποιες ομαλοποιημένες και από προϊόν υποδειγματοληψίας εκδοχές αυτών(Σχήμα 4.4). Ξεκινώντας από τα χαμηλότερα επίπεδα (στην κορυφή της πυραμίδας) εκτελούνται οι αλγόριθμοι οπτικής ροής, και τα αποτελέσματά τους χρησιμοποιούνται ως μια αρχική εκτίμηση για την οπτική ροή του επόμενου επιπέδου. Το σύστημα που προτείνεται αποτελείται από τα εξής τέσσερα(4) στάδια:

1. Κατασκευή της Laplacian πυραμίδας

 Υπολογισμός του πεδίου ροής στο τρέχον επίπεδο, με οποιονδήποτε αλγόριθμο

3. Χρησιμοποίηση του υπολογισμένου πεδίου ροής για την εκτίμηση της εικόνας ελέγχου και σύγκριση για την εύρεση του σφάλματος εκτίμησης

4. Μεταφορά των παραμέτρων του μοντέλου εκτίμησης της οπτικής ροής (εάν υπάρχουν) και μεταφορά στο επόμενο επίπεδο. Το αποτέλεσμα του τρέχοντος επιπέδου τροποποιείται κατάλληλα ώστε να αντιστοιχεί στις διαστάσεις του επόμενου επιπέδου.

Η εκτέλεση των αλγορίθμων σε ιεραρχική πυραμίδα εξυπηρετεί τόσο από άποψη χρόνου εκτέλεσης, καθώς το πεδίο ροής υπολογίζεται ταχύτατα στα υψηλότερα επίπεδα και η αρχική εκτίμηση βοηθά στην επιτάχυνση της διαδικασίας στα χαμηλότερα, όσο και από την άποψη της ποιότητας των αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, η χρήση της πυραμίδας επιτρέπει σε τοπικές μεθόδους όπως ο αλγόριθμος LK να ανιχνεύσουν με επιτυχία μεγαλύτερες μετατοπίσεις από ότι ο απλός αλγόριθμος (που μπορεί να ανιχνεύσει μόνο πολύ μικρές κινήσεις), καθώς οι κινήσεις αυτές ανιχνεύονται με επιτυχία στα υψηλότερα επίπεδα, όπου το μέγεθος τους έχει μειωθεί σημαντικά, και μεταφέρονται κατόπιν στα χαμηλότερα επίπεδα.



Σχήμα 4.4 : Απεικόνιση Πυραμιδωτής εκτέλεσης αλγορίθμου (LK)

4.6.1.4 Nagel

Ο Nagel ήταν ένας από τους πρώτους που χρησιμοποίησε παραγώγους δεύτερης τάξης για τη μέτρηση της οπτικής ροής. Όπως οι Horn και Schunck, οι βασικές μετρήσεις ολοκληρώθηκαν χρησιμοποιώντας ένα περιορισμό παγκόσμιας ομαλότητας . Ως εναλλακτική λύση για τον περιορισμό στην (4.31), Nagel πρότεινε ένα προσανατολισμένο περιορισμό ομαλότητας στον οποία η ομαλότητα δεν επιβάλλεται σε όλη τις απότομες κλίσεις έντασης (άκρα) σε μια προσπάθεια για να χειριστεί την έμφραξη(occlusion). Το πρόβλημα μορφοποιείται ως η ελαχιστοποίηση του συναρτησιακού

$$\iint (\nabla I^{\mathrm{T}} \mathbf{v} + I_{\mathrm{t}})^{2} + \frac{\alpha^{2}}{\|\nabla I\|_{2}^{2} + 2\delta} [(u_{\mathrm{x}} I_{\mathrm{y}} - u_{\mathrm{y}} I_{\mathrm{x}})^{2} + (\upsilon_{\mathrm{x}} I_{\mathrm{y}} - \upsilon_{\mathrm{y}} I_{\mathrm{x}})^{2} + \delta(u_{\mathrm{x}}^{2} + u_{\mathrm{y}}^{2} + \upsilon_{\mathrm{x}}^{2} + \upsilon_{\mathrm{y}}^{2})] dxdy$$

(4.38) Ελαχιστοποιώντας την (4.38) ως προς **ν**, εξασθενεί την μεταβολή της ροής ∇**ν** στην κατεύθυνση κάθετα προς την κλίση. Συνήθης τιμές για τα α και δ είναι 0.5 και 1.0 αντίστοιχα.

Με τη χρήση των Gauss-Seidel επαναλήψεων η λύση μπορεί να εκφραστεί ως:

$$u^{k+1} = \xi(u^k) - \frac{I_x(I_x\xi(u^k) + I_y\xi(v^k) + I_t)}{I_x^2 + I_y^2 + \alpha^2}$$
(4.39)

$$\upsilon^{k+1} = \xi(\upsilon^k) - \frac{I_x(I_x\xi(\upsilon^k) + I_y\xi(\upsilon^k) + I_t)}{I_x^2 + I_y^2 + \alpha^2}$$
(4.40)

Σε αυτές τις εξισώσεις το k αντιπροσωπεύει τον αριθμό επαναλήψεων και τα $\xi(u^k)$ και $\xi(u^k)$ δίνονται από τις σχέσεις:

$$\xi(\mathbf{u}^{k}) = \bar{\mathbf{u}}^{k} - 2\mathbf{I}_{x}\mathbf{I}_{y}\mathbf{u}_{xy} - \mathbf{q}^{\mathrm{T}}(\nabla \mathbf{u}^{k})$$
(4.41)

$$\xi(\boldsymbol{\upsilon}^{k}) = \bar{\boldsymbol{\upsilon}}^{k} - 2I_{x}I_{y}\boldsymbol{\upsilon}_{xy} - \boldsymbol{q}^{T}(\nabla\boldsymbol{\upsilon}^{k})$$
(4.42)

όπου

$$\mathbf{q} = \frac{1}{I_x^2 + I_y^2 + 2\delta} \nabla I^T \begin{bmatrix} \begin{pmatrix} I_{yy} & -I_{xy} \\ -I_{xy} & I_{xx} \end{pmatrix} + 2 \begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} \\ I_{xy} & I_{yy} \end{pmatrix} W \end{bmatrix}$$

και \overline{u}^k , $\overline{\upsilon}^k$ είναι μέσοι όροι τοπικής γειτονιάς των u^k και υ^k , αντίστοιχα, και W ο κάτωθι πίνακας βάρους(weight matrix):

$$W = (I_x^2 + I_y^2 + 2\delta)^{-1} \begin{pmatrix} I_y^2 + \delta & -I_x I_y \\ -I_x I_y & I_x^2 + \delta \end{pmatrix}$$
(4.43)

4.6.1.5 Uras , Girosi, Verri and Torre

Η άλλη τεχνική 2ης τάξης που θεωρείται εδώ βασίζεται σε μια τοπική λύση για την (4.30). Ακολουθώντας τους Ultras et al, η (4.30) μπορεί να λυθεί για την **v** οπουδήποτε η Hessian Η του I(x, t) είναι αντιστρέψιμη. Στην πράξη, για ευρωστία, διαιρούν την εικόνα σε 8x8 περιοχές pixel. Από κάθε περιοχή επιλέγουν τις 8 εκτιμήσεις που ικανοποιούν καλύτερα τον περιορισμό

$$\|M\nabla I\| \ll \|\nabla I_t\| \tag{4.44}$$

όπου M ≡ $(\nabla \mathbf{v})^{\mathrm{T}}$. Από αυτούς που θα επιλέξουν την εκτίμηση με το μικρότερο αριθμό συνθήκης της Hessian της (4.30) ως ταχύτητα για το συνολική περιοχή 8x8.

4.6.2 Ταύτιση με βάση την περιοχή

Ακριβής αριθμητική διαφοροποίηση μπορεί να μην είναι πρακτική λόγω του θορύβου, επειδή υπάρχει ένας μικρός αριθμός καρέ ή εξαιτίας aliasing στη διαδικασία λήψης εικόνας. Σε αυτές τις περιπτώσεις διαφορικές προσεγγίσεις μπορεί να είναι ακατάλληλες και είναι φυσικό να στραφούμε σε ταύτιση που στηρίζεται στην περιοχή. Οι τεχνικές αυτές έχουν το πλεονέκτημα ότι έχουν αναπτυχθεί για την επιτάχυνση της φάσης της κωδικοποίησης με αφορμή την προσπάθεια για επανόρθωση των διαφορών που προκύπτουν από την κωδικοποίηση και την αποκωδικοποίηση. Η βασική τεχνική είναι η αναζήτηση και για αυτό το λόγο η επιτάχυνση της διαδικασίας αυτής έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη βελτίωση στο χρόνο εκτέλεσης.

Η άλλη παράμετρος από την οποία εξαρτάται μια τέτοιου είδους μέθοδος εκτίμησης της κίνησης είναι η συνάρτηση κόστους. Μια συνάρτηση κόστους αντιστοιχίζει τις διαφορές των μπλοκ των pixel με πραγματικούς αριθμούς. Δηλαδή, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των ομοιοτήτων ή των διαφορών μεταξύ δύο μπλοκ pixel. Λόγω της σπουδαιότητας της συνάρτησης κόστους για ακριβή αποτελέσματα σε αποδεκτό χρονικό διάστημα αναπτύχθηκαν διάφορα είδη συναρτήσεων.

Οι προσεγγίσεις αυτές ορίζουν την ταχύτητα ν ως την μετατόπιση d = (dx, dy) που αποδίδει την καλύτερη προσαρμογή μεταξύ των περιοχών της εικόνας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η εύρεση του καλύτερου ταιριάσματος οδηγεί στη μεγιστοποίηση ενός μέτρου ομοιότητας, όπως η κανονικοποιημένη διασυσχέτιση ή η ελαχιστοποίηση ενός μέτρου απόστασης, όπως το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών SSD(Sum-of-Squared Difference)

$$SSD_{1,2}(\mathbf{x}, \mathbf{d}) = \sum_{j=-n}^{n} \sum_{i=-n}^{n} W(i, j) [I_1(\mathbf{x} + (i, j)) - I_2(\mathbf{x} + \mathbf{d} + (i, j))]^2 = W(\mathbf{x}) * [I_1(\mathbf{x}) - I_2(\mathbf{x} + \mathbf{d})]^2$$
(4.45)

Υπάρχει στενή σχέση μεταξύ του μέτρου απόστασης SSD, του μέτρου ομοιότητας διασυσχέτισης και των διαφορικών τεχνικών. Ελαχιστοποιώντας την απόσταση SSD οδηγούμαστε σε μεγιστοποίηση του ολοκληρώματος του αποτελέσματος του γινομένου I₁(x)I₂(x + d). Επίσης η διαφορά στην (4.45) μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μέσος όρος σταθμισμένου παραθύρου μιας προσέγγισης πρώτης τάξης της χρονικής παραγώγου του I(x,t). Τέλος στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.5) φαίνεται η περιοχή αναζήτησης σε μια block-matching τεχνική εκτίμησης κίνησης.



Σχήμα 4.5: Η περιοχή αναζήτησης σε μια block-matching τεχνική εκτίμησης κίνησης: α) γενική περίπτωση και β) μια τυπική περίπτωση με n= m= 16, p= 6 (F: ένα μακρομπλόκ στο τρέχον πλαίσιο, G: η περιοχή αναζήτησης σε προηγούμενο πλαίσιο)

4.6.2.1 Anandan

Η πρώτη τεχνική ταιριάσματος που μελετάμε αναφέρθηκε από τον Anandan, βασίζεται σε μια Laplacian πυραμίδα και ένα τραχεία σε λεπτή(coarse-to-fine) βασισμένη στην SSD στρατηγική ταιριάσματος. Η Laplacian πυραμίδα επιτρέπει τον υπολογισμό των μεγάλων μετατοπίσεων μεταξύ των καρέ και βοηθά στην ενίσχυση της δομής της εικόνας, όπως τα άκρα , που συχνά θεωρείται ότι είναι σημαντική. Ξεκινάμε από το πιο τραχύ επίπεδο όπου οι μετατοπίσεις θεωρούνται ότι είναι 1pixel/καρέ ή λιγότερο. Το ελάχιστο της SSD αρχικά εντοπίζεται με ακρίβεια pixel υπολογίζοντας τιμές SSD σε ένα παράθυρο αναζήτησης 3x3 (πχ τα d_x και d_y παίρνουν τιμές -1,0 και 1 pixel/καρέ) χρησιμοποιώντας μια 5x5 Gaussian για την W(x). Μετατοπίσεις υπο-pixel στην συνέχεια εντοπίζονται βρίσκοντας το ελάχιστο μιας τετραγωνικής προσέγγισης στις επιφάνειες SSD. Όπως προτάθηκε από τον Anandan, φορείς Beaudet χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των παραμέτρων τετραγωνικής επιφάνειας. Μέτρα εμπιστοσύνης, c_{min} και c_{max} προέρχονται από τις κύριες καμπυλότητες, , *C*_{min} και C_{max}

$$c_{\max} = \frac{c_{\max}}{k_1 + k_2 S_{\min} + k_3 C_{\max}}$$
(4.46)

όπου k_1, k_2 και k_3 είναι σταθερές κανονικοποίησης και S_{min} είναι η τιμή της SSD στο ελάχιστο. Ο Anandan δίνει ως τιμές $k_1 = 150$, $k_2 = 1$ και $k_3 = 0$.

Ο Anandan εφαρμόζει επίσης ένα περιορισμό ομαλότητας στις εκτιμήσεις της ταχύτητας, λαμβάνοντας υπόψη τα c_{min} και c_{max} και στην συνέχεια ελαχιστοποιώντας την παράσταση

$$\iint \left(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2 \right) + c_{\max} \left(\mathbf{v} \mathbf{e}_{\max} - \mathbf{v}_o \mathbf{e}_{\max} \right)^2 + c_{\min} \left(\mathbf{v} \mathbf{e}_{\min} - \mathbf{v}_o \mathbf{e}_{\min} \right)^2$$
(4.47)

όπου τα \mathbf{e}_{max} και \mathbf{e}_{min} είναι οι κατευθύνσεις της μέγιστης και της ελάχιστης καμπυλότητας της επιφάνειας SSD στο ελάχιστο και το \mathbf{v}_{o} υποδηλώνει την μετατόπιση που ελήφθη από το υψηλότερο επίπεδο στην πυραμίδα. Χρησιμοποιώντας επαναλήψεις Gauss-Seidal ο Anandan αντλεί την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mathbf{v}^{k+1} = \bar{\mathbf{v}}^k + \frac{c_{max}}{c_{max}+1} \left[\left(\mathbf{v}_0 - \bar{\mathbf{v}}^k \right) \cdot \mathbf{e}_{max} \right] \mathbf{e}_{max} + \frac{c_{min}}{c_{min}+1} \left[\left(\mathbf{v}_0 - \bar{\mathbf{v}}^k \right) \cdot \mathbf{e}_{min} \right] \mathbf{e}_{min} \quad (4.48)$$

όπου $\bar{\mathbf{v}}^k$ είναι ο μέσος όρος γειτονιάς του \mathbf{v}^k που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την μάσκα

$$\frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Αρχικά, το $\bar{\mathbf{v}}^0$ λαμβάνεται ίσο με \mathbf{v}_o . Ο Anandan επιτρέπει 10 επαναλήψεις για να επιτευχθεί η σύγκλιση.

Ταίριασμα και ομαλοποίηση εκτελούνται σε κάθε επίπεδο της Laplacian πυραμίδας. Όταν κινούμαστε από τραχύτερα σε λεπτότερα επίπεδα η 3x3 αρχική περιοχή αναζήτησης SSD καθορίζεται προβάλλοντας την εκτίμηση τραχύτερου επίπεδο σε κάθε pixel, σε όλα τα pixel σε μια περιοχή 4x4 στο επόμενο λεπτότερο επίπεδο , έτσι ώστε κάθε pixel στο λεπτότερο επίπεδο έχει 4 αρχικές εικασίες. Η περιοχή αναζήτησης SSD είναι τότε η ένωση των περιοχών 3x3 επικεντρωμένες σε καθεμία από τις 4 αρχικές μετατοπίσεις.

4.6.2.2 Singh

Είναι μια μέθοδος ταιριάσματος δύο σταδίων. Το πρώτο στάδιο βασίζεται στον υπολογισμό των τιμών SSD με τρεις γειτονικές ζωνοπερατά φιλτραρισμένες εικόνες I₋₁, I₀ και I₁.

$$SSD_0(\mathbf{x}, \mathbf{d}) = SSD_{0,1}(\mathbf{x}, \mathbf{d}) + SSD_{0,-1}(\mathbf{x}, -\mathbf{d})$$
(4.49)

Προσθέτοντας επιφάνειες καρέ SSD για να σχηματίσουν το SSD, οδηγεί σε πλαστό ελάχιστο SSD λόγω του θορύβου ή της περιοδική υφής. Ο Singh στη συνέχεια μετατρέπει SSD σε μια κατανομή πιθανοτήτων χρησιμοποιώντας

$$R_{c}(\mathbf{d}) = e^{-kSSD_{0}}$$
(4.50)

όπου $k = \frac{-\ln(0.95)}{(\min(SSD_0))}$

Η υπο-pixel ταχύτητα v_c τότε υπολογίζεται από την σχέση

$$u_{c} = \frac{\sum R_{c}(\mathbf{d})d_{x}}{\sum R_{c}(\mathbf{d})}$$
(4.51)

$$\upsilon_{c} = \frac{\sum R_{c}(\mathbf{d})d_{y}}{\sum R_{c}(\mathbf{d})}$$
(4.52)

Δεδομένου ότι αυτό λειτουργεί καλά μόνο όταν το R_c(**d**) είναι σχεδόν συμμετρικό ως προς την πραγματική ταχύτητα ,ο Singh προτείνει μια τραχεία προς λεπτή στρατηγική χρησιμοποιώντας μια Laplacian πυραμίδα έτσι ώστε η αποτελεσματική επιφάνεια SSD να είναι επικεντρωμένη στην πραγματική μετατόπιση .Αυτό επιτρέπει επίσης τις μεγάλες ταχύτητες και αποφέρει υπολογιστική αποταμίευση. Τέλος, ο Singh προτείνει τις ιδιοτιμές της αντίστροφης μήτρας συνδιακύμανσης ως μέτρα εμπιστοσύνης, όπου η μήτρα συνδιακύμανσης δίνεται από

$$S_{c} = \begin{pmatrix} \sum R_{c}(\mathbf{d})(d_{x} - u_{c})^{2} & \sum R_{c}(\mathbf{d})(d_{x} - u_{c})(d_{y} - v_{c}) \\ \sum R_{c}(\mathbf{d})(d_{x} - u_{c})(d_{y} - v_{c}) & \sum R_{c}(\mathbf{d})(d_{y} - v_{c})^{2} \end{pmatrix}$$
(4.53)

Το δεύτερο στάδιο στον αλγόριθμο διαδίδει ταχύτητα χρησιμοποιώντας περιορισμούς γειτονιάς. Υποτίθεται ότι μια σταθμισμένη ελαχίστων τετραγώνων εκτίμηση της ταχύτητας **v**_n θα μπορούσε να προέλθει από ταχύτητες **v**_i στην τοπική (2w + 1) x (2W + 1) γειτονιά όπως παρακάτω

$$u_{n} = \frac{\sum R_{n}(\mathbf{v}_{i})u_{i}}{\sum R_{n}(\mathbf{v}_{i})}$$
(4.54)

$$\upsilon_{n} = \frac{\sum R_{n}(\mathbf{v}_{i})\upsilon_{i}}{\sum R_{n}(\mathbf{v}_{i})}$$
(4.55)

όπου $R_n(\mathbf{v}_i)$ είναι μία Gaussian συνάρτηση της απόστασης μεταξύ του κέντρου της γειτονιάς και της τοποθεσίας της εκτιμηθείσας \mathbf{v}_i . Η αντίστοιχη μήτρα συνδιακύμανσης είναι

$$S_{c} = \begin{pmatrix} \sum R_{n}(\mathbf{v}_{i})(u_{i} - u_{n})^{2} & \sum R_{n}(\mathbf{v}_{i})(u_{i} - u_{n})(\upsilon_{i} - \upsilon_{n}) \\ \sum R_{n}(\mathbf{v}_{i})(u_{i} - u_{n})(\upsilon_{i} - \upsilon_{n}) & \sum R_{n}(\mathbf{v}_{i})(\upsilon_{i} - \upsilon_{n})^{2} \end{pmatrix}$$
(4.56)

Η τελική εκτίμηση ταχύτητας ν επιλέγεται να ελαχιστοποιεί την παράσταση

$$\iint (\mathbf{v} - \mathbf{v}_n)^{\mathrm{T}} \mathbf{S}_n^{-1} (\mathbf{v} - \mathbf{v}_n) + (\mathbf{v} - \mathbf{v}_c)^{\mathrm{T}} \mathbf{S}_c^{-1} (\mathbf{v} - \mathbf{v}_c) dx dy$$
(4.57)

Εδώ τα \mathbf{v}_c και S_c αντλούνται απευθείας από τα αρχεία έντασης του βήματος 1, ενώ τα \mathbf{v}_n και S_n απαιτούν οι ταχύτητες να είναι γνωστές σε κάθε γειτονικό σημείο και δεν

μπορούνε να υπολογιστούνε ρητά. Ως εκ τούτου, ο Singh εξάγει επαναληπτικές εξισώσεις με τη χρήση του λογισμού των μεταβολών

$$\mathbf{v}_{n}^{0} = \mathbf{v}_{c} \tag{4.58}$$

$$\mathbf{v}_{n}^{k+1} = [S_{c}^{-1} + (S_{n}^{k})^{-1}]^{-1} [S_{c}^{-1} \mathbf{v}_{c} + (S_{n}^{k})^{-1} \mathbf{v}_{n}^{k}]$$
(4.59)

Τέλος οι ιδιοτιμές του πίνακα συνδιακύμανσης $[S_c^{-1} + S_n^{-1}]^{-1}$, που συμβολίζεται με λ_1 και λ_2 , όπου $\lambda_1 \ge \lambda_2$ χρησιμεύσουν ως εκτιμήσεις μέτρων εμπιστοσύνης για το βήμα 2.

4.6.3 Βασιζόμενες στην ενέργεια

Μια τρίτη κατηγορία τεχνικών οπτικής ροής βασίζεται στην ενέργεια εξόδου των συντονισμένων με την ταχύτητα φίλτρων. Αυτές καλούνται επίσης και μέθοδοι βασισμένες στη συχνότητα λόγω της σχεδίασης των συντονισμένων με την ταχύτητα φίλτρων στο χώρο Fourier. Ο μετασχηματισμός Fourier ενός μοτίβου μεταφοράς 2d της (4.26) είναι

$$\hat{\mathbf{l}}(\mathbf{k},\omega) = \hat{\mathbf{l}}_0(\mathbf{k})\delta(\omega + \mathbf{v}^{\mathrm{T}}\mathbf{k})$$
(4.60)

όπου $\hat{I}_0(\mathbf{k})$ είναι ο μετασχηματισμός Fourier του I(x,0), δ(k) μια συνάρτηση δέλτα Dirac, το ω δηλώνει την χρονική συχνότητα και το $\mathbf{k} = (k_x, k_y)$ δηλώνει την χωρική συχνότητα. Είναι ενδιαφέρον το ότι έχει δειχθεί ότι ορισμένες βασιζόμενες στην ενέργεια μέθοδοι είναι ισοδύναμες με βασιζόμενες στην συσχέτιση μεθόδους και προς την βασιζόμενη στην κλίση προσέγγιση των Lucas και Kanade.

4.6.3.1 Heeger

Εδώ θεωρούμε τη μέθοδο που αναπτύχθηκε από τον Heeger, διατυπωθείσα ως μια ελαχίστων τετραγώνων της χωροχρονικής ενέργειας σε ένα επίπεδο στο διάστημα συχνότητας. Η τοπική ενέργεια εξάγεται χρησιμοποιώντας φίλτρα ενέργειας Gabor, με 12 φίλτρα σε κάθε μία από τις διάφορες χωρικές κλίμακες, συντονισμένοι σε διαφορετικές χωρικές κατευθύνσεις και διαφορετικές χρονικές συχνότητες. Ιδανικά, για μία μεταφορική κίνηση, οι αποκρίσεις των φίλτρων αυτών συγκεντρώνεται γύρω από ένα επίπεδο στο διάστημα συχνότητας. Ο Heeger αντλεί την αναμενόμενη απόκριση R(u,u) ενός φίλτρου ενέργειας Gabor συντονισμένου με τη συχνότητα (k_x, k_y, ω) για τη μεταφορά λευκού θορύβου ως συνάρτηση της ταχύτητας

$$R(u,v) = \exp\left[\frac{-4\pi^2 \sigma_x^2 \sigma_y^2 \sigma_t^2 (uk_x + vk_y + \omega)}{(u\sigma_x \sigma_t)^2 + (v\sigma_y \sigma_t)^2 + (\sigma_x \sigma_y)^2}\right]$$
(4.61)

όπου σ_x, σ_y και σ_t είναι οι τυπικές αποκλίσεις της συνιστώσας Gauss του φίλτρου Gibor.

Για να προκύψει η λύση Heeger το M_i , με 1 ≤ i ≤ 12, χαρακτηρίζει το σύνολο των φίλτρων με τον ίδιο συντονισμό προσανατολισμού και \overline{m}_i και \overline{R}_i είναι το άθροισμα των μετρούμενων και των προβλεπόμενων ενεργειών, m_j και R_j , από τα φίλτρα i στο σύνολο M_i :

$$\overline{m}_i = \sum_{j \in M_i} m_j \tag{4.62}$$

$$\bar{R}_i = \sum_{j \in M_i} R_j(u, v) \tag{4.63}$$

Μια εκτίμηση ελαχίστων τετραγώνων για τα (u,u) που ελαχιστοποιεί την διαφορά μεταξύ των μετρούμενων και των προβλεπόμενων ενεργειών κίνησης δίδεται από το ελάχιστο της παρακάτω σχέσης

$$f(u,v) = \sum_{i=1}^{12} \left[m_i - \overline{m}_i \frac{R_i(u,v)}{\overline{R}_i(u,v)} \right]^2$$
(4.64)

4.6.4 Βασιζόμενες στην φάση

Η προσέγγιση που βασίζεται στη φάση, με τους αλγόριθμους των Waxman et al.(1988) και Fleet-Jepson(1990).

Αναφερόμαστε στην τέταρτη τάξη μεθόδων ως στηριζόμενες στη φάση επειδή η ταχύτητα ορίζεται σε όρους συμπεριφοράς φάσης των εξόδων βαθυπερατών φίλτρων.

4.6.4.1 Waxman, Wu and Bergholm

Οι Waxman, Wu και Bergholm εφαρμόζουν χωροχρονικά φίλτρα σε δυαδικούς χάρτες ακρών για να εντοπίσουν άκρες σε πραγματικό χρόνο. Χάρτες ακρών E(**x**(t)) που βασίζονται σε DOG μηδενικής διέλευσης(zero-crossings) λειαίνονται με ένα Gaussian φίλτρο για να δημιουργηθεί ένα μεταφερόμενο προφίλ ενεργοποίησης A(**x**(t)).

$$A(\mathbf{x}, t) = G(\mathbf{x}, t; \sigma_{\mathbf{x}}, \sigma_{\mathbf{y}}, \sigma_{t}) * E(\mathbf{x}, t)$$
(4.65)

Επίπεδο περίγραμμα του A(x(t)) στη συνέχεια εντοπίζεται χρησιμοποιώντας διαφορικές μεθόδους. Ωστόσο επειδή η χωρική κλίση(gradient) A(**x**(t)) θα είναι μηδέν σε θέσεις άκρων, μια προσέγγιση δεύτερης τάξης υιοθετείται εφαρμόζοντας τους περιορισμούς της (4.30) στην A(**x**(t)). Οι εκτιμήσεις της ταχύτητας σε θέσεις άκρων τότε δίνεται από

$$\mathbf{v} = \frac{(A_{xt}A_{yy} - A_{yt}A_{xy}, A_{yt}A_{xx} - A_{xt}A_{xy})}{A_{xx}A_{yy} - A_{xy}^2}$$
(4.66)

όπου οι δεύτερες παράγωγοι του Α(**x**(t)), υπολογίζονται με συνέλιξη των κατάλληλων παραγώγων Gauss με τους χάρτες άκρων.

Τέλος όπως προτείνεται από Waxman et all η Hessian του A (πχ η Gaussian καμπυλότητα του A που δίνεται στον παρονομαστή της (4.66)) παρέχει μια μέτρηση της εμπιστοσύνης για τις ταχύτητες. Εάν η Hessian είναι μεγαλύτερη από ή ίση με ένα κατώφλι τ, τότε η πλήρης ταχύτητα υπολογίζεται στη θέση της άκρης. Εάν είναι λιγότερο από τ, μπορούμε να προχωρήσουμε με τον υπολογισμό της κάθετης ταχύτητας

$$(u_n, v_n) = \frac{1}{\nabla^2 A} (A_{xt}, A_{yt})$$
 (4.67)

4.6.4.2 Fleet and Jepson

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τους Fleet και Jepson ορίζει την συνιστώσα της ταχύτητας σε όρους της στιγμιαίας κίνησης κάθετα προς τα περιγράμματα επιπέδου φάσης στην έξοδο των συντονισμένων με την ταχύτητα ζωνοπερατών φίλτρων. Τα ζωνοπερατά φίλτρα χρησιμοποιούνται για την αποσύνθεση του σήματος εισόδου σύμφωνα με την κλίμακα της ταχύτητας και τον προσανατολισμό. Κάθε έξοδος του φίλτρου είναι μιγαδικής τιμής και μπορεί να γραφεί ως

$$R(\mathbf{x},t) = \rho(\mathbf{x},t)\exp[i\phi(\mathbf{x},t)]$$
(4.68)

όπου ρ(**x**,t) και φ(**x**,t) είναι το πλάτος και τη φάση του R. Η συνιστώσα της 2D ταχύτητας στην κατεύθυνση κάθετα προς τα περιγράμματα επιπέδου φάσης τότε δίνεται από την σχέση

$$\mathbf{v}_{n} = \mathbf{s}\mathbf{n} \tag{4.69}$$

όπου η κάθετη ταχύτητα και η κατεύθυνση δίνεται από τις σχέσεις

$$s = \frac{-\varphi_t(\mathbf{x},t)}{\|\nabla\varphi(\mathbf{x},t)\|}$$
(4.70)

$$\mathbf{n} = \frac{\nabla \varphi(\mathbf{x}, t)}{\|\nabla \varphi(\mathbf{x}, t)\|}$$
(4.71)

Στην πραγματικότητα, αυτή είναι μια διαφορική τεχνική που εφαρμόζεται στη φάση αντί στην ένταση. Οι παράγωγοι της φάσης υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την ταυτότητα

$$\phi_{x}(x,t) = \frac{\text{Im}[R^{*}(x,t)R_{x}(x,t)]}{|R(x,t)|^{2}}$$
(4.72)

όπου R* είναι ο συζυγής μιγαδικός του R.

Η χρήση της φάσης παρακινείται από τον ισχυρισμό ότι η συνιστώσα της φάσης των εξόδων των ζωνοπερατών φίλτρων είναι πιο σταθερή από την συνιστώσα του πλάτους, όταν εξετάζονται οι μικρές αποκλίσεις από τις αναγνώσεις της εικόνας που εμφανίζονται τακτικά σε 3D σκηνές. Ωστόσο δείχνουν ότι η φάση μπορεί επίσης να είναι ασταθής, με αστάθειες που συμβαίνουν στις γειτονιές ιδιομορφιών της φάσης. Τέτοιες αστάθειες μπορούν να ανιχνευθούν με ένα απλό περιορισμό στην στιγμιαία συχνότητα της εξόδου του φίλτρου και της μεταβολή του πλάτους του στο χωρο-χρόνο

$$\|\nabla \log R(\mathbf{x}, t) - i(\mathbf{k}, \omega)\| \le \sigma_k \tau \tag{4.73}$$

όπου (**k**,ω) δηλώνει την χωροχρονική συχνότητα με την οποία το φίλτρο είναι συντονισμένο. Το σ_k είναι η τυπική απόκλιση του ισοτροπικού φάσματος πλατών που χρησιμοποιούν και τ δηλώνει ένα κατώφλι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόρριψη αναξιόπιστων μετρήσεων συνιστωσών ταχύτητας. Όπως μειώνεται το τ, η έξοδος του φίλτρου είναι πιο περιορισμένη και ως εκ τούτου μεγαλύτερες γειτονιές ιδιομορφίας ανιχνεύονται. Ένας δεύτερος περιορισμός στην απόκριση του πλάτους χρησιμοποιείται επίσης για να εξασφαλιστεί ένα λογικός λόγος σήματος-προς-θόρυβο.

Τέλος δεδομένων των εκτιμήσεων της κάθετης συνιστώσας της ταχύτητας από τα διάφορα κανάλια του φίλτρου, ένα μοντέλο γραμμικής ταχύτητας ταιριάζει σε κάθε τοπική περιοχή. Οι εκτιμήσεις που ικανοποιούν τη σταθερότητα και τους

περιορισμούς SNR συλλέγονται από 5x5 γειτονιές στις οποίες το καλύτερο μοντέλο γραμμικής ταχύτητας κατά μία έννοια LS καθορίζεται. Για να εξασφαλιστεί ότι υπάρχει επαρκής τοπική πληροφορία για αξιόπιστες εκτιμήσεις της ταχύτητας εισάγονται νέοι περιορισμοί σχετικά με την προετοιμασία του γραμμικού συστήματος και με το εναπομένον σφάλμα LS.

4.7 Ανάλυση Μεθόδου Horn-Schunck

Οι Horn και Schunck θεώρησαν, για λόγους ευκολίας, ότι έχουν να αντιμετωπίσουν ένα ιδιαίτερα απλό κόσμο όπου είναι η εμφανής ταχύτητα των μοτίβων φωτεινότητας μπορεί να συνδεθεί άμεσα με την κίνηση των επιφανειών στην σκηνή. Προχώρησαν επίσης στις παρακάτω παραδοχές:

1. Για να αποφευχθούν μεταβολές στη φωτεινότητα λόγω επίδρασης της σκίασης υπέθεσαν ότι η επιφάνεια που απεικονίζεται είναι επίπεδη.

2. Ο περιστατικός (incident) φωτισμός είναι ομοιόμορφος σε όλη την επιφάνεια. Η φωτεινότητα σε ένα σημείο της εικόνας είναι τότε ανάλογη προς την ανάκλαση της επιφάνειας στο αντίστοιχο σημείο του αντικειμένου.

3. Η ανάκλαση μεταβάλλεται ομαλά και δεν έχει χωρικές ασυνέχειες. Αυτή η τελευταία προϋπόθεση μας διαβεβαιώνει ότι η φωτεινότητα της εικόνας είναι διαφορίσιμη.

4. Τα αντικείμενα δεν απορροφούν, εν μέρει, το ένα το άλλο επειδή οι ασυνέχειες στην ανάκλαση βρίσκονται στα όρια του αντικειμένου.

4.7.1 Περιορισμός ομαλότητας

Εάν κάθε σημείο του μοτίβου φωτεινότητας μπορεί να κινηθεί ανεξάρτητα, είναι δύσκολη η ανάκτηση του πεδίου των ταχυτήτων. Πιο συχνά βλέπουμε αδιαφανή αντικείμενα πεπερασμένου μεγέθους που υποβάλλονται σε άκαμπτη κίνηση ή παραμόρφωση. Σε αυτήν την περίπτωση γειτονικά σημεία στα αντικείμενα έχουν παρόμοιες ταχύτητες και το πεδίο ταχυτήτων των μοτίβων φωτεινότητας στην εικόνα μεταβάλλεται ομαλά σχεδόν παντού. Ασυνέχειες στην ροή αναμένονται εκεί που το ένα αντικείμενο καλύπτει το άλλο. Ως εκ τούτου ένας αλγόριθμος που βασίζεται σε ένα περιορισμό ομαλότητας πιθανόν να έχει δυσκολίες με επικαλυπτόμενα άκρα ως αποτέλεσμα.

Ένας τρόπος να εκφραστεί ο πρόσθετος περιορισμός είναι να ελαχιστοποιηθεί το τετράγωνο του μέτρου της κλίσης της ταχύτητας οπτικής ροής:

$$\left|\nabla u\right|^{2} = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^{2} + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^{2}$$
(4.74)

και

$$\left|\nabla \upsilon\right|^{2} = \left(\frac{\partial \upsilon}{\partial x}\right)^{2} + \left(\frac{\partial \upsilon}{\partial y}\right)^{2}$$
(4.75)

Ένα άλλο μέτρο της ομαλότητας του πεδίου οπτικής ροής είναι το άθροισμα των τετραγώνων των Laplacian των x και y συνιστωσών της ροής. Οι Laplacian των u και υ ορίζονται ως

$$\nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$
(4.76)

$$\nabla^2 \upsilon = \frac{\partial^2 \upsilon}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon}{\partial y^2}$$
(4.76)

Σε απλές καταστάσεις, και οι δύο Laplacian είναι μηδέν. Αν ο παρατηρητής κινείται (μεταφέρεται) παράλληλα ως προς ένα επίπεδο αντικείμενο, περιστρέφεται γύρω από μια γραμμή ή κάθετα προς την επιφάνεια ή ταξιδεύει ορθογώνια προς την επιφάνεια, τότε η δεύτερη μερική παράγωγος τόσο της υ όσο και της υ εξαφανίζονται (υποθέτοντας προοπτική προβολή στο σχηματισμό της εικόνας).

Οι Horn και Schunck επέλεξαν να χρησιμοποιήσουν το τετράγωνο του μέτρου της κλίσης ως μέτρο ομαλότητας.

4.7.2 Εκτίμηση των Μερικών Παραγώγων

Η εκτίμηση των παραγώγων της φωτεινότητας πρέπει να γίνει από το διαθέσιμο διακριτό σύνολο των μετρήσεων φωτεινότητας της εικόνας. Είναι σημαντικό οι εκτιμήσεις των I_x, I_yκαι I_t να είναι συνεπής. Δηλαδή, θα πρέπει όλες να αναφέρονται στο ίδιο σημείο της εικόνας, στον ίδιο χρόνο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα σύνολο που δίνει εκτιμήσεις των I_x, I_yκαι I_t σε ένα σημείο στο κέντρο ενός κύβου που σχηματίζεται από 8 μετρήσεις. Η σχέση στο χώρο και στο χρόνο μεταξύ αυτών των μετρήσεων φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.6). Οι τρεις μερικοί παράγωγοι της φωτεινότητας της εικόνας στο κέντρο του κύβου εκτιμώνται από τον μέσο όρο των πρώτων διαφορών κατά μήκος τεσσάρων

παράλληλων άκρων του κύβου. Ο δείκτης στήλης j αντιστοιχεί στην x κατεύθυνση, ο δείκτης γραμμής i στην y κατεύθυνση, ενώ το k κείται στην κατεύθυνση του χρόνου.



Σχήμα 4.6: Οι σχέσεις των μετρήσεων στο χώρο και το χρόνο

Κάθε εκτίμηση είναι ο μέσος όρος των τεσσάρων πρώτων διαφορών λαμβάνοντας υπόψη γειτονικές μετρήσεις στον κύβο.

$$\begin{split} I_{x} &\approx \frac{1}{4} \Big\{ I_{i,j+1,k} - I_{i,j,k} + I_{i+1,j+1,k} - I_{i+1,j,k} + I_{i,j+1,k+1} - I_{i,j,k+1} + I_{i+1,j+1,k+1} - I_{i+1,j,k+1} \Big\} \\ & (4.77) \\ I_{y} &\approx \frac{1}{4} \Big\{ I_{i+1,j,k} - I_{i,j,k} + I_{i+1,j+1,k} - I_{i,j+1,k} + I_{i+1,j,k+1} - I_{i,j,k+1} + I_{i+1,j+1,k+1} - I_{i,j+1,k+1} \Big\} \\ & (4.78) \\ I_{t} &\approx \frac{1}{4} \Big\{ I_{i,j,k+1} - I_{i,j,k} + I_{i+1,j,k+1} - I_{i+1,j,k} + I_{i,j+1,k+1} - I_{i,j+1,k} + I_{i+1,j+1,k+1} - I_{i+1,j+1,k} \Big\} \\ & (4.79) \end{split}$$

Εδώ η μονάδα του μήκους είναι το διάστημα του πλέγματος σε κάθε καρέ εικόνας και η μονάδα του χρόνου είναι η περίοδος δειγματοληψίας καρέ της εικόνας.

4.7.3 Εκτίμηση της Laplacian των ταχυτήτων ροής

Επόμενο στάδιο είναι η εκτίμηση των Laplacian των u και υ. Μια βολική προσέγγιση είναι η εξής:

$$\nabla^2 \mathbf{u} \approx \kappa \big(\bar{\mathbf{u}}_{i,j,k} - \mathbf{u}_{i,j,k} \big) \tag{4.80}$$

Και

$$\nabla^2 \upsilon \approx \kappa \big(\overline{\upsilon}_{i,j,k} - \upsilon_{i,j,k} \big) \tag{4.81}$$

Όπου οι τοπικοί μέσοι όροι ū και ῦ υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\begin{split} \overline{u}_{i,j,k} &= \frac{1}{6} \{ u_{i-1,j,k} + u_{i,j+1,k} + u_{i+1,j,k} + u_{i,j-1,k} \} + \frac{1}{12} \{ u_{i-1,j-1,k} + u_{i-1,j+1,k} + u_{i+1,j+1,k} + u_{i+1,j-1,k} \} \\ (4.82) \\ \overline{\upsilon}_{i,j,k} &= \frac{1}{6} \{ \upsilon_{i-1,j,k} + \upsilon_{i,j+1,k} + \upsilon_{i+1,j,k} + \upsilon_{i,j-1,k} \} + \frac{1}{12} \{ \upsilon_{i-1,j-1,k} + \upsilon_{i-1,j+1,k} + \upsilon_{i+1,j+1,k} + \upsilon_{i+1,j-1,k} \} \\ (4.83) \end{split}$$

Ο συντελεστής αναλογικότητας κ ισούται με 3 (κ=3), εφόσον οι μέσοι όροι υπολογίζονται από τις παραπάνω σχέσεις. Η Laplacian εκτιμάται αφαιρώντας την τιμή σε ένα σημείο από ένα σταθμισμένο μέσο όρο των τιμών σε γειτονικά σημεία. Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.7) παρουσιάζονται κατάλληλα βάρη(weights) με τα οποία οι τιμές μπορούν να πολλαπλασιαστούν.

1/12	1/6	1/12	
1/6	-1	1/6	
1/12	1/6	1/12	

Σχήμα 4.7:Βάρη για τον υπολογισμό της Laplacian

4.7.4 Ελαχιστοποίηση

Το πρόβλημα είναι τώρα να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα των λαθών στην εξίσωση για τον ρυθμό αλλαγής της φωτεινότητας της εικόνας:

$$\mathcal{E}_{b} = I_{x}u + I_{y}v + I_{t}$$
(4.84)

Και το μέτρο της αναχώρησης από την ομαλότητα στην ροή της ταχύτητας

$$\mathcal{E}_{c}^{2} = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^{2} + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^{2} + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^{2} + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^{2}$$
(4.85)

Τώρα γεννάται το ερώτημα: Ποιο θα είναι το σχετικό βάρος αυτών των δύο παραγόντων; Στην πράξη οι μετρήσεις φωτεινότητας της εικόνας θα αλλοιωθούν από

το λάθος και το θόρυβο ποσοτικοποίησης (κβαντοποίησης) με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να περιμένουμε ότι το \mathcal{E}_{b} θα είναι (ακριβώς) μηδέν. Αυτή η ποσότητα θα τείνει να έχει ένα μέτρο σφάλματος που είναι ανάλογο προς τον θόρυβο στην μέτρηση. Αυτό το γεγονός μας οδηγεί στο να επιλέξουμε ένα κατάλληλο παράγοντα στάθμισης, που δηλώνεται ως α^{2} . Οπότε το συνολικό σφάλμα που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί είναι

$$\mathcal{E}^{2} = \iint \left(\alpha^{2} \mathcal{E}_{c}^{2} + \mathcal{E}_{b}^{2} \right) dxdy$$
(4.86)

Η ελαχιστοποίηση θα ολοκληρωθεί βρίσκοντας κατάλληλες τιμές για την ταχύτητα οπτικής ροής (u,u). Χρησιμοποιώντας τον λογισμό των μεταβολών έχουμε

$$I_x^2 u + I_x I_y \upsilon = \alpha^2 \nabla^2 u - I_x I_t$$
(4.87)

και

$$I_x I_y u + I_y^2 = \alpha^2 \nabla^2 \upsilon - I_y I_t$$
(4.88)

Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση για την Laplacian, που αναφέραμε προηγουμένως, έχουμε

$$(\alpha^{2} + I_{x}^{2})u + I_{x}I_{y}v = \alpha^{2}\bar{u} - I_{x}I_{t}$$
(4.89)

και

$$I_{x}I_{y}v + (\alpha^{2} + I_{y}^{2})v = \alpha^{2}\bar{v} - I_{y}I_{t}$$
(4.90)

Η ορίζουσα του πίνακα συντελεστών ισούται με

$$\det = \alpha^{2} \left(\alpha^{2} + I_{x}^{2} + I_{y}^{2} \right)$$
(4.91)

Λύνοντας ως προς u και u, προκύπτουν οι εξής σχέσεις:

$$(\alpha^{2} + I_{x}^{2} + I_{y}^{2})u = +(\alpha^{2} + I_{y}^{2})\bar{u} - I_{x}I_{y}\bar{v} - I_{x}I_{t}$$
(4.92)

$$(\alpha^{2} + I_{x}^{2} + I_{y}^{2})\upsilon = -I_{x}I_{y}\bar{u} + (\alpha^{2} + I_{x}^{2})\bar{v} - I_{y}I_{t}$$
(4.93)

Αυτές οι εξισώσεις μπορούν να γραφούν και με την ακόλουθη μορφή

$$(\alpha^{2} + I_{x}^{2} + I_{y}^{2})(u - \bar{u}) = -I_{x}(I_{x}\bar{u} + I_{y}\bar{v} + I_{t})$$
(4.94)

και

$$\left(\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2\right)(\upsilon - \overline{\upsilon}) = -I_y(I_x\overline{\upsilon} + I_y\overline{\upsilon} + I_t)$$
(4.95)

Στην παραπάνω σχέση το α^2 παίζει σημαντικό ρόλο μόνο για περιοχές όπου η κλίση (gradient) της φωτεινότητας είναι μικρή, προλαμβάνοντας τυχαίες προσαρμογές στην εκτιμηθείσα ταχύτητα ροής που προκαλούνται από θόρυβο στις εκτιμηθείσες παραγώγους. Αυτή η παράμετρος θα είναι το πολύ ίση με τον αναμενόμενο θόρυβο στην εκτίμηση του όρου $I_x^2 + I_y^2$. Όταν επιτρέπουμε στο α^2 να τείνει στο μηδέν αποκτούμε την λύση σε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης υπό περιορισμούς. Εφαρμόζοντας την μέθοδο των πολλαπλασιαστών Lagrange στο πρόβλημα της ελαχιστοποίησης του \mathcal{E}_c^2 ,διατηρώντας το $\mathcal{E}_b = 0$, οδηγούμαστε στις σχέσεις

$$I_{v}\nabla^{2}u = I_{x}\nabla^{2}\upsilon \tag{4.96}$$

και

$$I_x u + I_y v + I_t = 0$$
 (4.97)

4.7.5 Επαναληπτική Λύση

Τώρα έχουμε δύο εξισώσεις (4.94 και 4.95)για κάθε σημείο της εικόνας. Θα ήταν πολύ δαπανηρό να λυθούν αυτές οι εξισώσεις ταυτόχρονα από μια από τις τυπικές μεθόδους, όπως η απαλοιφή Gauss-Jordan. Η αντίστοιχη μήτρα είναι αραιή και πολύ μεγάλη, αφού ο αριθμός των γραμμών και των στηλών ισούται με το διπλάσιο του αριθμού των pixel της εικόνας. Στον αντίποδα επαναληπτικές μέθοδοι, όπως η μέθοδος Gauss-Seidel, είναι πιο κατάλληλες. Με αυτές θα προκύπτει ένα νέο σύνολο εκτιμήσεων ταχυτήτων (u^{n+1}, v^{n+1}) από τις εκτιμηθείσες παραγώγους και τον μέσο όρο των προηγούμενων εκτιμήσεων των ταχυτήτων (\bar{u}^n, \bar{v}^n). Οι σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι ακόλουθες:

$$u^{n+1} = \bar{u}^n - \frac{I_x(I_x\bar{u}^n + I_y\bar{v}^n + I_t)}{(\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2)}$$
(4.97)

$$v^{n+1} = \bar{v}^n - \frac{I_y(I_x\bar{u}^n + I_y\bar{v}^n + I_t)}{(\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2)}$$
(4.98)

Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι οι νέες εκτιμήσεις σε ένα συγκεκριμένο σημείο δεν εξαρτώνται άμεσα από τις προηγούμενες εκτιμήσεις στο ίδιο σημείο.

Στην άκρη της εικόνας, κάποια από τα σημεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό του τοπικού μέσου όρου της ταχύτητας βρίσκονται έξω από την εικόνα. Σε αυτή την περίπτωση οι ταχύτητες απλά αντιγράφονται από ενδότερα παρακείμενα σημεία. Σε σημεία της εικόνας στα οποία η κλίση φωτεινότητας είναι μηδέν, οι εκτιμήσεις της ταχύτητας θα είναι μέσοι όροι των γειτονικών εκτιμήσεων της ταχύτητας. Δεν υπάρχει τοπική πληροφορία για τον περιορισμό της φαινόμενης ταχύτητας της κίνησης των μοτίβων φωτεινότητας σε αυτές τις περιοχές. Σταδιακά οι τιμές γύρω από τέτοια περιοχή θα διαδίδονται προς τα μέσα. Αν οι ταχύτητες στο όριο της περιοχής έχουν την ίδια τιμή, τότε τα σημεία μέσα στην περιοχή θα έχουν και αυτά την ίδια ταχύτητα, μετά από ένα επαρκή αριθμό επαναλήψεων.

Εάν οι τιμές στο όριο δεν είναι όλες ίδιες, είναι δύσκολο να προβλεφθεί τι θα γίνει. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές που συμπληρώνονται θα αντιστοιχούν στην λύση της εξίσωσης Laplace για την δεδομένη οριακή συνθήκη.

Ο αριθμός των επαναλήψεων θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των pixel κατά μήκος της μεγαλύτερης περιοχής η οποία πρέπει να συμπληρωθεί. Αν το μέγεθος τέτοιων περιοχών δεν είναι γνωστός εκ των προτέρων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τομή(cross section) της ολικής εικόνας σαν μια συντηρητική εκτίμηση.

4.7.6 Επιλογή επαναληπτικού σχήματος

Ένα πρακτικό πρόβλημα που προκύπτει είναι η επιλογή της συνύφανσης των επαναλήψεων με τα χρονικά βήματα. Ο ένας τρόπος είναι οι συνεχείς επαναλήψεις έως ότου η λύση σταθεροποιηθεί πριν την μετάβαση στο επόμενο καρέ εικόνας. Ο δεύτερος τρόπος περιλαμβάνει μια επανάληψη ανά χρονικό βήμα, απαιτώντας όμως μια καλή αρχική εκτίμηση. Μια καλή αρχική εκτίμηση για τις ταχύτητες οπτικής ροής είναι συνήθως διαθέσιμη από ένα προηγούμενο χρονικό βήμα.

Τα πλεονεκτήματα της τελευταίας προσέγγισης περιλαμβάνουν την ικανότητα να ασχοληθεί με περισσότερες εικόνες ανά μονάδα χρόνου και καλύτερες εκτιμήσεις των ταχυτήτων οπτικής ταχύτητες ροής σε ορισμένες περιοχές. Περιοχές στις οποίες η κλίση φωτεινότητας είναι μικρή οδηγούν σε αβέβαιες θορυβώδεις εκτιμήσεις που αποκτήθηκαν μερικώς από συμπληρώσεις από το περιβάλλον. Αυτές οι εκτιμήσεις βελτιώνονται με την εξέταση περισσοτέρων εικόνων. Ο θόρυβος στις μετρήσεις των εικόνων θα είναι ανεξάρτητος και θα τείνει να εξαλειφτεί. Το πιο σημαντικό, διαφορετικά τμήματα του μοτίβου θα ολισθήσουν από ένα δεδομένο σημείο στην εικόνα. Η κατεύθυνση της κλίσης φωτεινότητας θα μεταβάλλεται με τον χρόνο, παρέχοντας πληροφορίες και για τις δύο συνιστώσες της ταχύτητας οπτικής ροής.

4.7.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Μεθόδου

Το πλεονέκτημα του αλγορίθμου Horn-Schunck είναι το ότι μπορεί να δώσει μεγάλη πυκνότητα διανυσμάτων ροής, δηλαδή η πληροφορία που λείπει από το εσωτερικό ομογενών περιοχών συμπληρώνεται από τα όρια των περιοχών αυτών.

Το μειονέκτημα του αλγορίθμου η μεγαλύτερη ευαισθησία στο θόρυβο σε σχέση με τις τοπικές μεθόδους, όπως ο αλγόριθμος Lucas-Kanade.

5 Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό θα προβούμε σε περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθείται για την μέτρηση της ταχύτητας του βλήματος. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα βασικά βήματα που την αποτελούν είναι τα ακόλουθα:

- 1. Καταγραφή της κίνησης του βλήματος
- 2. Ανάκτησης καταγραφής
- 3. Επεξεργασία καταγραφής
- 4. Υπολογισμός ταχύτητας βλήματος

Στο Σχήμα 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε.



Σχήμα 5.1:Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου
5.1 Καταγραφή κίνησης βλήματος

Στόχος μας στο συγκεκριμένο βήμα είναι η καταγραφή της κίνησης του βλήματος.

Η καταγραφή επηρεάζεται από τις καιρικές και περιβαλλοντικές συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται. Η έντονη ηλιοφάνεια δημιουργεί ανακλάσεις πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου του οποίου την κίνηση καταγράφουμε. Δεδομένου ότι οι μέθοδοι οπτικής ροής βασίζονται στην κλίση της έντασης της εικόνας καταλαβαίνουμε ότι αυτό θα δημιουργεί προβλήματα. Επίσης δυνατοί άνεμοι μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα σε καταγραφές. Αυτό μπορεί να γίνει σε περιπτώσεις όπου η ταχύτητα «κίνησης» των δέντρων που υπάρχουν στο περιβάλλον είναι παραπλήσια με την ταχύτητα του αντικειμένου που μελετάμε.

Η καταγραφή πραγματοποιείται με την βοήθεια κάμερας υψηλού ρυθμού καταγραφής και ενός φορητού υπολογιστή. Λαμβάνονται διαδοχικές εικόνες/καρέ (frames) στα οποία αποτυπώνεται η κίνηση του αντικειμένου. Στο Σχήμα 5.2 φαίνονται δύο στιγμιότυπα/καρέ μιας καταγραφής της κίνησης σε κάποιον δρόμο



Σχήμα 5.2:Στιγμιότυπα καταγραφής κίνησης οχημάτων

Θα πρέπει ο ρυθμός καταγραφής της κάμερας να είναι τέτοιος ώστε να καθίσταται δυνατή η «σύλληψη» της κίνησης προκειμένου να υπάρχει ικανός αριθμός καρέ για την μετέπειτα επεξεργασία. Επίσης η κίνηση από καρέ σε καρέ δεν πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη για την καλύτερη μελέτη του φαινομένου. Για τον λόγο αυτό ενδείκνυται να τεθεί ως στόχος η μετατόπιση του βλήματος από καρέ σε καρέ να μην υπερβαίνει μια συγκεκριμένη απόσταση

Πριν την καταγραφή δύναται να εκτιμηθεί η τάξη της ταχύτητας του σώματος. Με την χρήση της σχέσης (2.7), όπου ως s η μετατόπιση από καρέ σε καρέ και t ο ρυθμός καταγραφής, και λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, καταλήγουμε στον επιθυμητό ρυθμό καταγραφής της κάμερας (fps-frame per second). Στην παραπάνω επιλογή λαμβάνονται υπόψη και τα όσα αναφέρονται στην ενότητα 6.2.1.2. Με βάση όλα τα παραπάνω και ανάλογα με ανάλυση εικόνας που επιθυμούμε γίνεται η επιλογή της θέσης τοποθέτησης της κάμεράς.

Η κάμερα τοποθετείται κάθετα προς με την αναμενόμενη κατεύθυνση της κίνησης του σώματος. Ενδεικτικά παραθέτουμε το Σχήμα 5.3 που αντιστοιχεί σε παρόμοια διάταξη.



ΦΩΤ. ΜΗΧΑΝΗ

Σχήμα 5.3:Αναπαράσταση πειραματικής διάταξης

Το σημείο εξόδου από το σωλήνα του πυροβόλου τοποθετείται στην κάτω δεξιά γωνία του οπτικού πεδίου της κάμερας. Η επιλογή αυτή έγινε προκειμένου να γίνει πληρέστερη εκμετάλλευση του οπτικού της πεδίου. Με αυτό επιτυγχάνεται η χρησιμοποίηση ολόκληρου του ορθογώνιο οπτικού πεδίου της κάμερας για την καταγραφή της κίνησης του βλήματος. Επιπλέον καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση της κίνησης λόγω της γωνίας που σχηματίζει η τροχιά του βλήματος ως προς την οριζόντια κατεύθυνση.

Αποτέλεσμα αυτού του βήματος είναι η απόκτηση ενός βίντεο, μορφής αρχείου "rec".

5.2 Ανάκτηση καταγραφής

Στο βήμα αυτό στόχος είναι η ανάκτηση της καταγραφής. Το πρόγραμμα της κάμερας αποθηκεύει σε κάποιο αρχείο εντός του υπολογιστή τις καταγραφές. Η κάμερα παρέχει την δυνατότητα αποθήκευσης της καταγραφή ως εικόνες με επέκταση "bmp" ή "rec". Τα αρχεία της πρώτης μορφής αναγνωρίζονται από το λογισμικό MATLAB που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία της καταγραφής και έτσι εύκολα μπορούν να «μετατραπούνε» σε αρχείο βίντεο τύπου "avi". Τα αρχεία της μορφής "rec" δεν αναγνωρίζονται και ως εκ τούτου πρέπει να γίνουν κάποιες «ενέργειες» για την άρση αυτού του κωλύματος. Μια λύση παρέχεται από το ίδιο το

πρόγραμμα της κάμερας, μέσω της εντολής "Make Avi" που περιγράφεται στην παράγραφο 6.2.1.

Η άλλη λύση δίνεται από το λογισμικό της MATLAB με την ανάπτυξη κατάλληλου κώδικα. Ο κώδικας αυτός έχει ως είσοδο το αρχείο όπως το αποθήκευσε το πρόγραμμα της κάμερας. Το ανοίγει και μεταβαίνει στην αρχή της καταγραφής. Στην συνέχεια προχωράει με βήμα ίσο με τον αριθμό των pixels της εικόνας (οριζόντια x κατακόρυφη ανάλυση) και αρχίζει να «ανακτά» σταδιακά τις εικόνες. Κατά την ανάκτηση τους οι εικόνες αυτές χρήζουν ανάγκης αλλαγής προσανατολισμού προκειμένου να έρθουν στην επιθυμητή μορφή. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλο κώδικα MATLAB.

Καθώς εξελίσσεται η διαδικασία ανάκτησης των εικόνων, αφαιρείται από τον αριθμό των pixels που υπάρχουν στο αρχείο ο αριθμός των pixels που αντιστοιχούν σε μια εικόνα. Αυτό συνεχίζεται για όσο ο αριθμός των pixels που υπάρχουν στο αρχείο είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των pixels μιας εικόνας. Όταν το πρόγραμμα διαπιστώσει ότι ο αριθμός των pixels που έχουν «απομείνει» στο αρχείο είναι μικρότερος από τον αριθμός των pixels που έχουν απομείνει» στο αρχείο είναι μικρότερος από τον αριθμός των pixels που έχουν απομείνει.

Με την ολοκλήρωση αυτού του βήματος όσες εικόνες έχουν ανακτηθεί εγγράφονται σε ένα αντικείμενο εγγραφής βίντεο (video writer object) τύπου "avi", το οποίο είναι αναγνωρίσιμο από την MATLAB.

5.3 Επεξεργασία καταγραφής

Στο στάδιο αυτό καθορίζονται παράμετροι και επιλέγονται εντολές που θα έχουν ως αποτέλεσμα όλα τα απαραίτητα στοιχεία που χρειαζόμαστε για να υλοποιηθεί το τέταρτο και τελευταίο βήμα που είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας. Τα επιμέρους στάδια αυτού του βήματος είναι τα ακόλουθα:

5.3.1 Αρχικές Ρυθμίσεις

Στο στάδιο αυτό στόχος είναι να εντοπιστούν περιοχές της εικόνας που υπάρχει κάποιου είδους κίνηση.

Το πρώτο πράγμα προκειμένου να είναι δυνατή στην συνέχεια η επεξεργασία του βίντεο είναι να οριστεί μια συνάρτηση. Σε αυτήν δίνεται ως είσοδο το αρχείο ("avi"), το οποίο και διαβάζει, καθώς και κάποιες άλλες παραμέτρους ανάλογα με τις ιδιότητες που θέλουμε να καθοριστούνε.

Το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός στο πρόγραμμα της μεθόδου που έχει επιλεγεί. Ορίζεται και σε αυτήν την περίπτωση μια συνάρτηση που εκτιμάει την ταχύτητα των αντικειμένων στο επίπεδο της εικόνας, από το ένα καρέ στο επόμενο.

Επιλέγοντας την μέθοδο Horn-Schunck, η επίλυση των (u,u) γίνεται ως εξής:

1. Υπολογίζονται τα I_x και I_y με την χρήση του πυρήνα συνέλιξης Sobel [-1 -2 -1; 0 0 0; 1 2 1], και της ανάστροφης μορφής του για κάθε εικονοστοιχείο στην πρώτη εικόνα.

2. Υπολογίζεται το Ι_t μεταξύ των εικόνων 1 και 2, χρησιμοποιώντας τον πυρήνα [-1 1].

Υποθέτεται ότι η προηγούμενη ταχύτητα είναι μηδέν και υπολογίζεται
 η μέση ταχύτητα για κάθε εικονοστοιχείο χρησιμοποιώντας τον πυρήνα συνέλιξης
 [0 1 0; 1 0 1; 0 1 0].

4. Λύνονται επαναληπτικά οι υ και υ.

Αποτέλεσμα αυτού του σταδίου είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας οπτικής ροή (u,u) που φαίνεται και στο Σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4: Αναπαράσταση διανυσμάτων οπτικής ροής

5.3.2 Εντοπισμός και παρακολούθηση κινούμενου αντικειμένου

Στο στάδιο αυτό ρυθμίζονται όλες οι παράμετροι προκειμένου να εντοπιστεί το κινούμενο αντικείμενο και να είναι δυνατή η παρακολούθηση της κίνησής του από καρέ σε καρέ.

5.3.2.1 Καθορισμός «κινούμενου αντικειμένου»

Αρχικά ορίζεται το «κινούμενο αντικείμενο». Σε μια ροή εικόνων, που απεικονίζουν ένα κομμάτι του πραγματικού κόσμου, πολλά αντικείμενα μπορούν να κινούνται ταυτόχρονα. Πρέπει επομένως να οριστούν κάποια κριτήρια προκειμένου να αποκόψουμε/απορρίψουμε όλα τα υπόλοιπα και να κρατήσουμε μόνο αυτό που μας ενδιαφέρει.

Ένα πρώτο κριτήριο είναι η ταχύτητα του αντικειμένου που μας ενδιαφέρει. Θέλουμε να ασχοληθούμε μόνο με αντικείμενα που κινούνται με ταχύτητα παραπλήσια της ταχύτητας που αναμένουμε να έχει το αντικείμενο μας. Για το λόγο αυτό υπολογίζεται μια ταχύτητα η οποία χρησιμοποιείται ως κατώφλι προκριμένου να απορριφθούνε όσο αντικείμενα έχουν ταχύτητα μικρότερη από αυτήν. Για να επιτευχθεί αυτό ορίζονται δύο διαδικασίες. Η πρώτη υπολογίζει την μέση τιμή της ταχύτητας της οπτικής ροής μιας εικόνας. Οι τιμές αυτές εισάγονται στην δεύτερη διαδικασία που υπολογίζει την μέση τιμή της ταχύτητας της αλληλουχίας του συνόλου των εικόνων.

Γίνεται ένας υπολογισμός μέσης τιμής 2 διαστάσεων (2-D Mean). Υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού της μέσης τιμής της ταχύτητας σε κάθε γραμμή, σε κάθε στήλη της εικόνας ή σε ολόκληρη την εικόνα. Το αποτέλεσμα σε κάθε μια από αυτές είναι ένας βαθμωτός αριθμός.

Με αυτόν το πρώτο κριτήριο υπολογίζεται η μέση τιμή της ταχύτητας οπτικής ροής σε όλη την καταγραφή και καθορίζεται η ταχύτητα κατωφλίου ως ποσοστό αυτής.

Το δεύτερο κριτήριο είναι το μέγεθος του αντικειμένου. Στόχος του είναι η απόρριψη όσων αντικειμένων έχουν ταχύτητα πάνω από την ταχύτητα κατωφλίου αλλά μέγεθος που δεν αντιστοιχεί στο μέγεθος του σώματος που μελετάμε.

Πριν το εφαρμόσουμε επεξεργαζόμαστε τις εικόνες. Στόχος είναι η βελτίωση του αποτελέσματος με απομάκρυνση του θορύβου. Φιλτράρουμε την εικόνα και εφαρμόζουμε το κατώφλι ταχύτητας που υπολογίσαμε προηγουμένως. Το φιλτράρισμα θα γίνει με ένα φίλτρο 2 διαστάσεων μεσαίας τιμής (2D Median filter).

Αρχικά καθορίζεται το μέγεθος της «γειτονιάς». Είναι η περιοχή στην οποία θα γίνει ο υπολογισμός της μεσαίας τιμής της ταχύτητας της οπτικής ροής που είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα κατωφλίου. Επιλέγουμε να είναι μια περιοχή μεγέθους 3x3 pixels. Κατόπιν υπολογίζεται, από το ίδιο τα φίλτρο, η μεσαία τιμή της γειτονιάς. Την τιμή αυτή στην συνέχεια την αντικαθιστά με την κεντρική τιμή της γειτονιάς. Εάν η γειτονιά έχει ένα κεντρικό σημείο, είναι δηλαδή διαστάσεων NxN, το φίλτρο τοποθετεί την μεσαία τιμή στο σημείο αυτό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5: Τοποθέτηση μεσαίας τιμής σε NxN γειτονιά

Εάν η γειτονιά δεν έχει κεντρικό σημείο, είναι δηλαδή διαστάσεων MxN, το φίλτρο έχει την τάση να τοποθετεί την μεσαία τιμή στην πάνω αριστερή γωνία όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6: Τοποθέτηση μεσαίας τιμής σε MxN γειτονιά

Το δεύτερο στάδιο είναι η εκτέλεση κάποιων μορφολογικών λειτουργιών (Morphological Operations) στην φιλτραρισμένη εικόνα. Η πρώτη λειτουργία είναι το μορφολογικό κλείσιμο. Εκτελείται/Εφαρμόζεται ένας μορφολογικός τελεστής διαστολής (dilation) που ακολουθείται από ένα μορφολογικό τελεστή διάβρωσης (erosion) χρησιμοποιώντας ένα προκαθορισμένο επίπεδο δομικό στοιχείο ή στοιχείο γειτονιάς.

Το δομικό στοιχείο που χρησιμοποιήσαμε για την διαστολή είναι γραμμή (line). Το μήκος της γραμμής, η απόσταση δηλαδή μεταξύ των κέντρων των δομικών στοιχείων, είναι 3 pixels. Η γωνία της γραμμής ως προς την οριζόντια κατεύθυνση κατά την ανθωρολογιακή φορά είναι 45°. Τα ανωτέρω απεικονίζονται στο Σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.7:Δομικό στοιχείο διαστολής

Ο μορφολογικός τελεστής διαστολής περιστρέφει το δομικό στοιχείο ή στοιχείο γειτονιάς κατά 180°. Στην συνέχεια ολισθαίνει πάνω στην εικόνα και βρίσκει το τοπικό μέγιστο σε κάθε περιοχή 3x3 της εικόνας. Έχοντας διατρέξει όλη την εικόνα δίνει ως έξοδο μια μήτρα με αυτές τις τοπικές μέγιστες τιμές. Εάν το δομικό στοιχείο ή στοιχείο γειτονιάς έχει ένα κεντρικό σημείο, ο τελεστής τοποθετεί το μέγιστο εκεί, όπως ακριβώς φαίνεται και στο Σχήμα 5.5. Αυτό συμβαίνει για τον λόγο ότι η περιστροφή μιας NxN γειτονιάς κατά 180° δεν αλλάζει το κεντρικό της σημείο. Εάν δεν έχει ακριβές κέντρο, ο τελεστής έχει τάση να τοποθετεί το μέγιστο στην κάτω αριστερή γωνία, ως αποτέλεσμα της περιστροφής(Σχήμα 5.8)



Σχήμα 5.8 Τοποθέτηση μέγιστης τιμής

Το δομικό στοιχείο που χρησιμοποιήσαμε για την διάβρωση είναι ένας τετράγωνος πίνακας (square) .Το πλάτος του πίνακα είναι 2 pixels. Ενδεικτικά παραθέτουμε το Σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9:Δομικό στοιχείο διάβρωσης

Ο τελεστής διάβρωσης ολισθαίνει το δομικό στοιχείο ή στοιχείο γειτονιάς πάνω σε μια εικόνα και βρίσκει το τοπικό ελάχιστο. Έχοντας διατρέξει όλη την εικόνα δίνει ως έξοδο μια μήτρα με αυτές τις τοπικές ελάχιστες τιμές. Εάν δομικό στοιχείο ή στοιχείο γειτονιάς έχει ένα κεντρικό σημείο, το μπλοκ τοποθετεί το μέγιστο εκεί, όπως ακριβώς φαίνεται και στο Σχήμα 5.5. Εάν δεν έχει ακριβές κέντρο, το μπλοκ έχει τάση να τοποθετεί το μέγιστο στην πάνω δεξιά γωνία, όπως ακριβώς φαίνεται και στο Σχήμα

Αποτέλεσμα των ανωτέρω διαδικασιών είναι η απομάκρυνση του θορύβου και η επεξεργασία των εικόνων.

Για την υλοποίηση του δεύτερου κριτηρίου χρησιμοποιείται μια εντολή της MATLAB που υπολογίζει στατιστικά για περιοχές που συνδέονται σε μια δυαδική (binary) εικόνα. Βρίσκει δηλαδή σε μια εικόνα ομάδες pixels που συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα «σώμα». Ενδεικτικά παραθέτουμε το Σχήμα 5.10 όπου απεικονίζονται οι περιοχές αυτές ως άσπρα σχήματα.



Σχήμα 5.10:Περιοχές που συνδέονται σε δυαδική εικόνα

Το αποτέλεσμα της χρήσης της συγκεκριμένης εντολής είναι ο υπολογισμός του εμβαδού αυτών των σωμάτων (area) καθώς και των στοιχείων του πλαισίου οριοθέτησης. Είναι το πλαίσιο που εμφανίζεται γύρω από το αντικείμενο που τελικά έχει επιλεχθεί. Τα στοιχεία αυτά εμφανίζονται με την μορφή μήτρας Mx4. Το M δηλώνει τον αριθμό των επιλεγμένων αντικειμένων. Το δε διάνυσμα 1x4 περιέχει τις συντεταγμένες x και y της πάνω αριστερής άκρης, το μήκος και το ύψος του. Στο Σχήμα 5.11 απεικονίζονται τα ανωτέρω στοιχεία του πλαισίου, όπου b_x είναι το μήκος του και b_y το ύψος του. Στο Σχήμα 5.12 βλέπουμε την υλοποίηση του σε ένα παράδειγμα εντοπισμού κινούμενου αυτοκινήτου (το πλαίσιο με το πράσινο χρώμα).



Σχήμα 5.11:Στοιχεία πλαισίου οριοθέτησης



Σχήμα 5.12: Απεικόνιση πλαισίου οριοθέτησης σε εντοπισμό αυτοκινήτου

Το αποτέλεσμα του δεύτερου κριτηρίου είναι ο εντοπισμός των σωμάτων που έχουν το επιθυμητό μέγεθος σε pixels και η γνώση τόσο του εμβαδού αυτών όσο και των στοιχείων του πλαισίου οριοθέτησης που τα περιβάλλει.

Το τρίτο κριτήριο είναι η περιοχή της εικόνας στην οποία κινείται το σώμα. Θέλουμε με αυτό το κριτήριο να απορρίψουμε αντικείμενα που πληρούν τα δύο προηγούμενα κριτήρια αλλά δεν δύνανται να είναι τα επιθυμητά. Ο λόγος είναι ότι εντοπίζονται σε περιοχές της εικόνας που δεν αναμένεται να κινηθεί το σώμα μας.

Πρέπει επομένως να καθοριστεί η περιοχή ενδιαφέροντος της εικόνας (ROI-Region Of Interest). Ο καθορισμός της είναι άρρηκτα συνδεδεμένος τόσο με τον τρόπο κίνησης του αντικειμένου όσο και με το εύρος της περιοχής μελέτης μας. Για την κατανόηση των ανωτέρω θα επικαλεστούμε τα Σχήματα 5.12 και 5.13. Στο Σχήμα 5.12 από τον τρόπο τοποθέτησης της κάμερας υποθέτουμε ότι στόχος του μελετητή ήταν να καταγράφονται όλες οι λωρίδες κυκλοφορίας της συγκεκριμένης οδού. Η δε κίνηση των οχημάτων από καρέ σε καρέ είναι προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αυτά δικαιολογούν το γεγονός ότι η περιοχή ενδιαφέροντος είναι το τμήμα της εικόνας που βρίσκεται κάτω από την λευκή γραμμή.

Στο δε Σχήμα 5.13 η τοποθέτηση της κάμερας είναι τέτοια που μπορεί να γίνει καταγραφή και των δύο ρευμάτων κυκλοφορίας. Η δε κίνηση των οχημάτων από καρέ σε καρέ πραγματοποιείται σε δύο αντίθετες κατευθύνσεις. Οπότε προκειμένου να εστιάσει ο μελετητής την προσοχή του σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας επέλεξε ως περιοχή ενδιαφέροντος ένα ορθογώνιο πλαίσιο.



Σχήμα 5.13:Καθορισμός μέρους της εικόνας ως ROI

Υπάρχει τέλος και η δυνατότητα επιλογής όλης της εικόνας ως περιοχής ενδιαφέροντος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.14.



Σχήμα 5.14:Επιπλογή ολόκληρης της εικόνας ως ROI

Πλεονέκτημα της επιλογής μέρους της εικόνας ως ROI είναι η δυνατότητα που μας παρέχεται να απορρίπτουμε τόσο αρχικά όσο και στην συνέχεια περιοχές της εικόνας που μας δημιουργούνε πρόβλημα στην επεξεργασία μας λόγω ύπαρξης άλλων κινούμενων αντικειμένων, αλλαγών στο φόντο ή θορύβου. Την επιλογή αυτή ακολουθήσαμε στην επεξεργασία μας. Οι πλευρές της ROI τοποθετήθηκαν σε θέσεις

της επιλογής μας, όπως εξηγούμε και στο 7° κεφάλαιο, με χρήση εντολών του λογισμικού της MATLAB.

Στην συνέχεια χρησιμοποιούνται δύο σχέσεις με λογικούς τελεστές. Η πρώτη βασίζεται στα στοιχεία της μήτρας του πλαισίου οριοθέτησης που έχει υπολογιστεί προηγουμένως και στις γραμμές της περιοχής ενδιαφέροντος. Θα σημειώσουμε εδώ ότι γύρω από όλα τα αντικείμενα που πληρούν τα δύο προηγούμενα κριτήρια σχηματίζεται νοερά ένα πλαίσιο οριοθέτησης. Η οπτική τους υλοποίηση πραγματοποιείται μόνο σε όσα πληρούν και το τρίτο κριτήριο. Σύμφωνα με την σχέση αυτήν το x της πάνω αριστερής γωνίας του πλαισίου πρέπει να έχει τιμή (pixel) που να είναι μικρότερη από την τιμή που αντιστοιχεί στην δεξιά πλευρά της ROI και μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της αριστερής πλευράς. Στο δε y, η τιμή του πρέπει να είναι μικρότερη από αυτής της κάτω πλευράς και μεγαλύτερη της πάνω αριστερό ότι η αρχή των αξόνων σε μια εικόνα βρίσκεται στο πάνω αριστερό άκρο αυτής, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.11. Για την καταγραφή που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.12.

Σε αυτήν την περίπτωση θα θεωρήσουμε ότι έχουμε υπολογίσει με την προηγούμενη διαδικασία τα x και y της κάτω αριστερής γωνίας του πλαισίου οριοθέτησης. Υπενθυμίζουμε ότι η ROI είναι το τμήμα της εικόνας κάτω από την λευκή γραμμή. Παρατηρούμε ότι το λευκό όχημα στο πάνω δεξί μέρος της εικόνας δεν έχει γύρω του το πλαίσιο οριοθέτησης. Αυτό συμβαίνει γιατί βρίσκεται εκτός της ROI και ως εκ τούτου δεν επαληθεύονται οι σχέσεις για τα x και y. Το λευκό όχημα στο κέντρο της εικόνας έχει γύρω του το πλαίσιο διότι είναι εντός και επαληθεύονται οι σχέσεις. Τέλος το λευκό όχημα στο κάτω δεξί άκρο βρίσκεται μεν, σχεδόν ολόκληρο, εντός της ROI αλλά τα x και y του (νοερού πλέον) πλαισίου οριοθέτησης έχουν εξέλθει από αυτήν οπότε παύει να εμφανίζεται.

Η δεύτερη σχέση λαμβάνει αφενός υπόψη τον υπολογισμό του εμβαδού των σωμάτων (αντικειμένων) που προηγήθηκε αφετέρου την 3ⁿ και 4ⁿ στήλη της μήτρας του πλαισίου οριοθέτησης. Από τις δύο στήλες, που δίνουν το μήκος και το ύψος του πλαισίου, υπολογίζεται το εμβαδόν του. Κατόπιν βρίσκει τον λόγο του εμβαδού των αντικειμένων προς το συνολικό εμβαδό του πλαισίου. Για να θεωρηθεί ένα αντικείμενο αποδεκτό θέτουμε ότι ο ανωτέρω λόγος πρέπει να έχει τιμή μεγαλύτερη από μια προκαθορισμένη.

Καθεμία από τις σχέσεις όταν επαληθεύεται δίνει ως αποτέλεσμα τον αριθμό «1». Απαραίτητη προϋπόθεση για την εξέταση της δεύτερης σχέσης είναι η επαλήθευση της πρώτης, διότι είναι άσκοπος ο υπολογισμός εμβαδού σε αντικείμενα

που δεν μας ενδιαφέρουν. Για να επιτύχουμε αυτήν την «εξάρτηση» θεωρήσαμε το βαθμωτό μέγεθος του εμβαδού (area) ως ένα είδος διανύσματος διαστάσεων (1x1). Από το διάνυσμα αυτό χρησιμοποιούμε στην δεύτερη σχέση το στοιχείο (ψ , 1), όπου ψ είναι το αποτέλεσμα της πρώτης σχέσης. Αν επαληθεύεται η πρώτη σχέση το ψ θα λάβει την τιμή «1» και επομένως το στοιχείο (1,1) είναι η τιμή του εμβαδού που έχει υπολογιστεί. Αν δεν επαληθεύεται η πρώτη σχέση, το ψ ισούται με το μηδέν και το στοιχείο (0,1) δεν υφίσταται. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μη ύπαρξη τιμής που θα χρησιμοποιηθεί στους περαιτέρω υπολογισμούς.

Εν κατακλείδι σε αυτό το βήμα υπολογίστηκε η ταχύτητα του κατωφλίου, καθαρίστηκε η εικόνα από τους θορύβους και εντοπίστηκε το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει και παρακολουθούμε την κίνησή του.

5.4 Υπολογισμός ταχύτητας.

Είναι το τελευταίο βήμα, αυτό από το οποίο θα προκύψει το ζητούμενο αποτέλεσμα. Για να γίνει ο υπολογισμός της ταχύτητας στον τρισδιάστατο χώρο, δηλαδή της πραγματικής ταχύτητας, πρέπει να προηγηθεί ο υπολογισμός της ταχύτητας στο δισδιάστατο επίπεδο της εικόνας.

Γνωρίζουμε ότι για τον υπολογισμό της (στιγμιαίας) ταχύτητας απαιτείται η γνώση της απόστασης που διανύει το σώμα και του χρόνου που χρειάστηκε για να διανύσει την συγκεκριμένη απόσταση.

Ο υπολογισμός της απόστασης θα γίνει με την βοήθεια στοιχείων που προκύπτουν από το προηγούμενο βήμα και κυρίως από το στάδιο του εντοπισμού και της παρακολούθησης του βλήματος. Ως απόσταση θα θεωρήσουμε αυτήν που διανύει το σώμα από καρέ σε καρέ. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, η πρώτη στήλη της μήτρας του πλαισίου οριοθέτησης είναι η x συντεταγμένη της πάνω αριστερής γωνίας, η δεύτερη είναι η y συντεταγμένη, η τρίτη το μήκος του και η τέταρτη το ύψος του. Θεωρούμε ότι η πάνω αριστερή γωνία του πλαισίου κινείται ακριβώς όπως και το βλήμα, σαν να είναι δηλαδή αναπόσπαστο κομμάτι του. Οπότε ο υπολογισμός της οριζόντιας μετατόπισης θα γίνει αφαιρώντας την χ συνιστώσα του πλαισίου στο τρέχον καρέ από την αντίστοιχη στο προηγούμενο καρέ. Για την ακρίβεια θα είναι η απόλυτη τιμή αυτής της διαφοράς λόγω του ότι η αρχή των αξόνων στην εικόνα βρίσκεται στο πάνω αριστερό άκρο με αποτέλεσμα το x να μειώνεται καθώς κινείται το βλήμα συτην καταγραφή μας. Ομοίως θα γίνει και ο υπολογισμός της οριζότησης συνιστώσας αφαιρώντας τα αντίστοιχα y. Τέλος ο υπολογισμός της ολικής μετατόπισης θα γίνει με το Πυθαγόρειο θεώρημα. Σχετικά τώρα με τον υπολογισμό του χρόνου, αυτός ισούται με την χρονική διαφορά των δύο διαδοχικών καρέ. Αυτός υπολογίζεται εύκολα μέσω του ρυθμού καταγραφής (fps) της κάμερας.

Έχοντας τα παραπάνω υπολογίζουμε την (στιγμιαία) ταχύτητα στο επίπεδο της εικόνας. Επόμενο βήμα η εύρεση σχέσης η οποία θα μας επιτρέπει να ανάγουμε την ταχύτητα αυτή στον πραγματικό κόσμο. Η λύση που ακολουθήσαμε περιλαμβάνει εύρεση της αναλογίας που υπάρχει μεταξύ του πραγματικού μεγέθους/μήκους του σώματος σε μέτρα και του αντίστοιχου μεγέθους σε pixel στο επίπεδο της εικόνας. Αυτό μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την αναλογία μεταξύ pixel και μέτρου (m). Το πραγματικό μέγεθος του σώματος δίδεται από τον κατασκευαστή.

Για το υπολογισμό του μήκους του σώματος στο επίπεδο της εικόνας επικεντρώνουμε την προσοχή μας στην εικόνα που προέκυψε από το φιλτράρισμα και τις μορφολογικές λειτουργίες. Η εικόνα αυτή είναι ασπρόμαυρη. Το προσκήνιο αναπαρίσταται με λευκό χρώμα και το φόντο με μαύρο. Έχουμε επομένως σαν αποτέλεσμα μια εικόνα που κάθε της στοιχείο θα είναι ανάλογα προσκήνιο ή φόντο.

Στην συνέχεια παίρνουμε αυτή την εικόνα και με την βοήθεια μιας εντολής της MATLAB βρίσκουμε ποια από τα pixels που ανήκουν στο προσκήνιο ή στο φόντο σχηματίζουν ομάδες έτσι ώστε να θεωρηθούν ότι αντιπροσωπεύουν κάποιο αντικείμενο. Ακολουθεί σχετικό παράδειγμα στο παράρτημα «Α».

Κατόπιν μετράμε τον αριθμό των pixels καθενός από τα αντικείμενα που έχουν εντοπιστεί, στο προηγούμενο βήμα, και βρίσκουμε αυτό με τον μεγαλύτερο αριθμό. Αυτό το κάνουμε γιατί θεωρούμε ότι δεν θα υπάρξει σε αυτό τον χώρο μεγαλύτερο αντικείμενο από το βλήμα μας. Για να προκύψει αυτός ο αριθμός μετατρέπουμε την μήτρα, που προκύπτει από την παραπάνω εντολή, σε διάνυσμα στήλης διαστάσεων (MxN)x1, όπου MxN η διάσταση της μήτρας. Στην συνέχεια συγκρίνουμε αυτό το διάνυσμα στήλης με κάθε ένα από τα αντικείμενα που εντοπίσαμε προκειμένου να βρούμε τα στοιχεία τους που είναι ίσα. Για παράδειγμα στην περίπτωση μας όπου έχει εντοπιστεί ένα αντικείμενο, το αποτέλεσμα που θα προκύψει είναι μια μήτρα η οποία θα έχει μόνο τα στοιχεία της μήτρας που είναι ίσα με το 1. Το άθροισμα όλων αυτών των στοιχείων είναι το μεγαλύτερο αριθμό pixels. Σε περίπτωση που είχαμε περισσότερα από ένα αντικείμενα θα γινότανε μια σύγκριση των επιμέρους για να βρεθεί αυτό με τον μεγαλύτερο αριθμό.

Το επόμενο βήμα είναι να βρούμε το μήκος του σώματος που μελετάμε, του αντικειμένου δηλαδή με τον μεγαλύτερο αριθμό pixels. Προκειμένου να γίνει ο υπολογισμός αυτό πρέπει να βρούμε τα άκρα του αντικειμένου. Στο Σχήμα 5.15 και 5.16 απεικονίζεται ένας πύραυλος και μια εικόνα του ίδιου πυραύλου η οποία είναι προϊόν όλης της διαδικασίας που αναφέραμε παραπάνω.



Σχήμα 5.15: Αρχική εικόνα πυραύλου



Σχήμα 5.16: Εικόνα πυραύλου κατόπιν επεξεργασίας

Ο πύραυλος είναι η λευκή καμπύλη γραμμή και ό,τι εσωκλείεται από αυτήν. Ο υπολογισμός των άκρων σε αυτόν γίνεται με την μέθοδο "Canny". Εν συντομία αυτή βρίσκει τα άκρα σε μια εικόνα με το να αναζητεί τοπικά μέγιστα της κλίσης της έντασης Ι της εικόνας. Χρησιμοποιεί δύο κατώφλια για τον εντοπισμό των δυνατών και αδύναμων άκρων, των πιο έντονων δηλαδή και ευδιάκριτων και των λιγότερο έντονων αντίστοιχα. Συμπεριλαμβάνει στην έξοδο τα αδύναμα άκρα μόνο εάν συνδέονται με δυνατά. Ως εκ τούτου η μέθοδος αυτή είναι λιγότερο πιθανό να επηρεαστεί από θόρυβο, σε σχέση με άλλες που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό. Επίσης είναι πιο πιθανό να εντοπίσει πραγματικά αδύναμα άκρα.

Από όλα αυτά τα άκρα πρέπει να εντοπίσουμε ποια αντιστοιχούν στα ακριανά, στο σημείο δηλαδή που βρίσκεται στην κορυφή του βλήματος και στο αντίστοιχο στην βάση. Η απόσταση αυτών των δύο είναι ουσιαστικά ίση με το μήκος του βλήματος. Στο Σχήμα 5.16 τα βέλη υποδεικνύουν μερικά από τα σημεία όπου έχουν εντοπιστεί άκρα. Τα βέλη που βρίσκονται στην κορυφή και στην βάση του βλήματος αφορούν τα ακριανά σημεία.

Το επόμενο που πρέπει να γίνει είναι ο εντοπισμός των θέσεων των άκρων, να βρεθούν δηλαδή οι συντεταγμένες των σημείων αυτών. Αυτό γίνεται με χρήση μιας συνάρτησης της MATLAB. Αυτή εντοπίζει σε ένα πίνακα τις θέσεις όπου υπάρχουν μη μηδενικές τιμές. Δεδομένου ότι στον πίνακά μας υπάρχουν μόνο τιμές «0» και «1» και ότι τα άκρα (λόγω του ότι απεικονίζονται με λευκό χρώμα) αντιστοιχούνε σε τιμή «1», η παραπάνω σχέση εντοπίζει τις θέσεις των άκρων. Τις συντεταγμένες, σε pixel, των θέσεων αυτών τις αποθηκεύει σε μια μήτρα.

Στην συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός, μέσω κατάλληλου κώδικα, των αποστάσεων μεταξύ όλων αυτών των σημείων που αντιστοιχούν σε άκρα. Βρίσκουμε δηλαδή την απόσταση κάθε άκρου από όλα τα υπόλοιπα άκρα και τα αποτελέσματα τα αποθηκεύουμε σε μια νέα μήτρα. Γνωρίζοντας τις συντεταγμένες των θέσεων ο υπολογισμός αυτός γίνεται με χρήση του Πυθαγόρειου θεωρήματος. Η μεγαλύτερη τιμή που υπάρχει στην μήτρα είναι και το μήκος του βλήματος.

Εφαρμογή αυτής της διαδικασίας στο Σχήμα 5.15 μας δίνει ως μέγεθος βλήματος την τιμή 38.4187 pixels. Αυτό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα, είναι το μήκος του βλήματος και όχι η προβολή αυτού στον οριζόντιο άξονα (21 pixels).

Η αναλογία πλέον μεταξύ πραγματικού κόσμου και εικόνας, μεταξύ μέτρου και pixel, γίνεται διαιρώντας αυτό το μήκος με το πραγματικό μήκος του σώματος. Ο υπολογισμός δε της πραγματική ταχύτητας γίνεται πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα στο επίπεδο της εικόνας με τον λόγο που μόλις υπολογίσαμε.

Από αυτές τις ταχύτητες βρίσκουμε, με την βοήθεια του λογισμικού της MATLAB, την μεσαία ταχύτητα, που είναι και η τελική ταχύτητα του βλήματος της καταγραφής.

6 Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των μετρήσεων μας (Σχήμα 6.1) αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

-Κάμερα με τρίποδα στήριξης

- Λογισμικό



Σχήμα 6.1: Πειραματική Διάταξη

Στην συνέχεια θα προβούμε σε περιγραφή καθενός στοιχείου.

6.1 Κάμερα με τρίποδα στήριξης

Για την λήψη των μετρήσεων μας χρησιμοποιήθηκε η κάμερα «HiSpec Low-Light High-Speed Camera» της εταιρίας FASTEC IMAGING η οποία υπάρχει στο Εργαστήριο Δυναμικής του Τομέα Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου.

6.1.1 Τρίποδας

Προτού ασχοληθούμε με την κάμερα θα αναφέρουμε λίγα στοιχεία για τον τρίποδα.

Πρόκειται για το μοντέλο MARS-1 της εταιρίας VANGUARD με τα εξής γενικά χαρακτηριστικά:

-Μέγιστο Φορτίο	: 3 Kg
-Διάμετρος Στήλης(Κυλινδρικός σωλήνας με τον οποίο	: 20mm
συνδέονται τα τρία σκέλη)	
-Υλικό	: Αλουμίν

: Αλουμίνιο

: 0,95 Kg

Τέλος στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 6.2) φαίνεται η θέση τοποθέτησης της βάσης στήριξης της κάμερας επί του τρίποδα.



Σχήμα 6.2: Θέση Τοποθέτησης Βάσης Στήριξης.

6.1.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κάμερας

-Βάρος

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα τεχνικά δεδομένα της κάμερας που χρησιμοποιήσαμε στις μετρήσεις.

Τύπος Αισθητήρα(Sensor Type)	Μονόχρωμος(Monochrome)
Αριθμός Pixel	1280 x 1024
Μέγεθος Pixel	14 x 14 μm
Ευαισθησία στα 500nm και	25 V/lux-sec
Vref = 1V (a2 = 66h)	
Φασματική Απόκριση	4001000 nm
Πυροδότηση	Εξωτερική πυροδότηση, πυροδότηση
	ImageBLITZ
Εσωτερική Δυναμική	57 db

Πίνακας θ	6.1: Τεχνικά	Χαρακτηριστικά	Κάμερας

Τροφοδοτικό	10,530 V
Μέγιστη Κατανάλωση Ισχύος σε συνεχή	7.5W
καταγραφή με ανάλυση 512 x 512 και	
2500 καρέ το δευτερόλεπτο(frame per	
second)	
Θερμική Αντίσταση	6.25°/W
Σειριακή Σύνδεση Δεδομένων	GigaBit Ethernet, Baud Rate 19200
Ψηφιακό Βίντεο	GigaBit Ethernet
Θερμοκρασία Λειτουργίας	+545°C
Κραδασμοί και δονήσεις	tbd
Διαστάσεις(Πλάτος x Ύψος x Διάμετρος)	63 x 63 x 94.2 mm(f-mount)
Βάρος	280 g (χωρίς τους φακούς)
Φακός	F- mount
Λογισμικό	«click, drag and drop» για Windows XP
Απαιτήσεις Υπολογιστή	Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz,
Απαιτήσεις Υπολογιστή	Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte
Απαιτήσεις Υπολογιστή	Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου	Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per	Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per second = fps)	Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per second = fps) Χρόνος Κλείστρου	 Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000 Ελάχιστος 2 μs
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per second = fps) Χρόνος Κλείστρου Λειτουργίες Καταγραφής	 Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000 Ελάχιστος 2 μs Μη Κυκλική(Non Circular) ή κυκλική με
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per second = fps) Χρόνος Κλείστρου Λειτουργίες Καταγραφής	 Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000 Ελάχιστος 2 μs Μη Κυκλική(Non Circular) ή κυκλική με προ/μετά πυροδότηση(Circular with pre-
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per second = fps) Χρόνος Κλείστρου Λειτουργίες Καταγραφής	 Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000 Ελάχιστος 2 μs Μη Κυκλική(Non Circular) ή κυκλική με προ/μετά πυροδότηση(Circular with pre- and post trigger)
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per second = fps) Χρόνος Κλείστρου Λειτουργίες Καταγραφής Ρυθμιστικό Πλαισίου(Frame	 Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000 Ελάχιστος 2 μs Μη Κυκλική(Non Circular) ή κυκλική με προ/μετά πυροδότηση(Circular with pre- and post trigger) 2
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per second = fps) Χρόνος Κλείστρου Λειτουργίες Καταγραφής Ρυθμιστικό Πλαισίου(Frame Buffer)(Gbytes)	 Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000 Ελάχιστος 2 μs Μη Κυκλική(Non Circular) ή κυκλική με προ/μετά πυροδότηση(Circular with pre- and post trigger) 2
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per second = fps) Χρόνος Κλείστρου Λειτουργίες Καταγραφής Ρυθμιστικό Πλαισίου(Frame Buffer)(Gbytes) Συχνότητα Επανάληψης(Replay	 Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000 Ελάχιστος 2 μs Μη Κυκλική(Non Circular) ή κυκλική με προ/μετά πυροδότηση(Circular with pre- and post trigger) 2 20-50 fps σε ανάλυση 1280 x1024,
Απαιτήσεις Υπολογιστή Τύπος Αρχείου Συχνότητας Καταγραφής(frames per second = fps) Χρόνος Κλείστρου Λειτουργίες Καταγραφής Ρυθμιστικό Πλαισίου(Frame Buffer)(Gbytes) Συχνότητα Επανάληψης(Replay frequency)	 Ελάχιστες: Pentium III 650 MHz, 1024*768 Pixel, 256 MB RAM, 10GByte σκληρό δίσκο,GigaBit Ethernet AVI ή bmp Έως 113000 Ελάχιστος 2 μs Μη Κυκλική(Non Circular) ή κυκλική με προ/μετά πυροδότηση(Circular with pre- and post trigger) 2 20-50 fps σε ανάλυση 1280 x1024, εξαρτώμενη από την απόδοση του

6.1.3 Γενική Περιγραφή

6.1.3.1 Φακός Κάμερας

Σχήμα 6.3: Φωτογραφικός Φακός Κάμερας

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα(Σχήμα 6.3), ο φακός της κάμερας είναι τύπου 09D Navitar 25mm F.095.

Ο φακός έχει δύο(2) «ροδέλες» ρυθμίσεως. Η πρώτη, αυτή που βρίσκεται πιο κοντά στο γυαλί του φακού, ρυθμίζει την ένταση της φωτεινότητας της λήψεως. Η δεύτερη, πιο κοντά στο κυρίως σώμα της κάμερας, ρυθμίζει την εστίαση(zoom).

6.1.3.2 Οπίσθια Όψη Κάμερας

Στην οπίσθια όψη της κάμερας που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα(Σχήμα 6.4) μπορούμε να ξεχωρίσουμε τρεις(3) «υποπεριοχές».

Σχήμα 6.4: Οπίσθια Όψη Κάμερας

Η πρώτη αφορά τα στοιχεία(την ταυτότητα) της κάμερας(Σχήμα 6.5). Ανάμεσα σε αυτά είναι και ο «Αριθμός MAC(MAC-No)», ο οποίος θα μας βοηθήσει παρακάτω στην σύνδεση της κάμερας με τον υπολογιστή.

Σχήμα 6.5: Στοιχεία(Ταυτότητα) Κάμερας

Η δεύτερη «υποπεριοχή» είναι η περιοχή της υποδοχής του καλωδίου Ethernet για την σύνδεση της κάμερας με τον υπολογιστή(Σχήμα 6.6).

Σχήμα 6.6: Θύρα Ethernet

Τέλος στην τρίτη «υποπεροχή»(Σχήμα 6.7) φαίνονται η υποδοχή για την σύνδεση της κάμερας με το τροφοδοτικό(ανάλυση αυτών υπάρχει στο Σχήμα 6.8) καθώς και ένα λαμπάκι το οποίο μας δείχνει την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η κάμερα(περισσότερες πληροφορίες παρέχονται στον Πίνακα 6.2).

Σχήμα 6.7: Υποδοχή Σύνδεσης Τροφοδοτικού

Pinning of Lemosa 6-pin female connector 2 2 3 4 EEG.1B.306.CLL		
Pin Nr.	Level Description	
1	Pwr GND	
2	=1030V Pwr Voltage	
3	Opto In Sync	
4	Opto In Trigger	
5	Opto GND	
6	Opto out STRB/ARM	

Σχήμα 6.8: Επεξήγηση Αριθμών στην Υποδοχή Σύνδεσης του Τροφοδοτικού

ΤΠΛάκας 6.2. Γιεριγραφή Χρωματισμών Λυχνίας καμεράς

Χρώμα	Κατάσταση-	Κατάσταση Κάμερας
	LED	
Κόκκινο	Σταθερό	Αποτυχία διαδικασίας εκκίνησης. Απενεργοποιήστε την
		κάμερα και δοκιμάστε ξανά
Πράσινο	Σταθερό	Έτοιμη για την πρώτη καταγραφή μετά την
		ενεργοποίηση
Πορτοκαλί	Αναβοσβήνει	Κυκλική καταγραφή(Circular Mode) σε εξέλιξη,
		περιμένει να σταματήσει
Πορτοκαλί	Σταθερό	Η κυκλική καταγραφή σταμάτησε. Αναμονή για νέο
		σήμα εκκίνησης καταγραφής

6.2 Επικοινωνία Κάμερας με Υπολογιστή

Πρόδρομος αυτής της διαδικασίας είναι η εγκατάσταση του προγράμματος της κάμερας στον υπολογιστή. Αυτό που ουσιαστικά κάνουμε είναι να τρέχουμε το αρχείο τύπου .exe που συνοδεύει την κάμερα και να ακολουθήσουμε τα βήματα που θα εμφανιστούν, όπως κάνουμε κάθε φορά που θέλουμε να εγκαταστήσουμε κάτι στον υπολογιστή μας.

Αφού έχει γίνει αυτό προχωράμε στην σύνδεση της κάμερας με τον υπολογιστή. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

-Συνδέουμε με το καλώδιο Ethernet την κάμερα και τον υπολογιστή(Σχήμα 6.9).

Σχήμα 6.9: Σύνδεση Κάμερας και Υπολογιστή μέσω καλωδίου Ethernet

-Συνδέουμε την κάμερα με το τροφοδοτικό. Αυτή η σύνδεση επιτυγχάνεται με την βοήθεια ενός καλωδίου που συνοδεύει την κάμερα.

Έχοντας κάνει όλα αυτά, το τελευταίο βήμα που μας απομένει είναι να τρέξουμε το πρόγραμμα της κάμερας. Όταν το κάνουμε αυτό θα εμφανιστεί κάποια στιγμή στην οθόνη του υπολογιστή μας το παρακάτω παράθυρο(Σχήμα 6.10)

🕷 Select Network Adapter, Camera: f-mount color 📃 🗖 🔀				
	Installed Network A	dapters:		
	IP-Address	Subnet Mask	MAC Address	Description
	192.168.1.102	255.255.255.0	00-18-DE-62-8E-B9) PRO/Wireless 3945ABG Network Connection - Packet Scheduler M
	169.254.235.103	255.255.0.0	00-13-A9-8A-8E-36	I Yukon 88E8036 PCI-E Fast Ethernet Controller - Packet Scheduler N
		Select Adapter:	00-13-A9-8A-8E-36	
	Used Fi	or Camera Access:	00-13-A9-8A-8E-36	Apply Close

Σχήμα 6.10:Παράθυρο Επιλογής Προσαρμογέα Δικτύου

Αφού επιλέξουμε (Apply+Close) θα εμφανιστεί το ακόλουθο παράθυρο(Σχήμα 6.11):

amera Selec	t, Camera: f-m:	ount col	or	
Installed	Cameras:			
IP-Address	MAC Address		Camera Name	
	00-11-1C-F1-70-C1		f-mount color	
Select Came	a: 00-11-1C-F1-70-C1		f-mount color	
Used Came	a: 00-11-1C-F1-70-C1	Apply	Scan Net Close	,
	,			

Εδώ, με βάση τον αριθμό MAC(MAC-No) που είχαμε αναφέρει παραπάνω, επιλέγουμε την κάμερα μας(Apply+Close). Πλέον η σύνδεση της κάμερας με τον υπολογιστή έχει ολοκληρωθεί.

6.2.1 Ρυθμίσεις Κάμερας

Αφού έχει ολοκληρωθεί η σύνδεση της κάμερας στην οθόνη του υπολογιστή μας θαεμφανιστεί το παρακάτω παράθυρο (Σχήμα 6.12), στο οποίο θα γίνουν όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις:

Σχήμα 6.12:Παράθυρο Ρυθμίσεων Κάμερας

Προτού περάσουμε στις ρυθμίσεις θα αναφερθούμε σε δύο εικονίδια που εμφανίζονται στο παράθυρο και αφορούν τις προ των ρυθμίσεων ρυθμίσεις.

Το πρώτο είναι το πράσινο εικονίδιο που υπάρχει δίπλα από το εικονίδιο της φωτογραφικής μηχανής. Πατώντας το «ενεργοποιούμε» την σύνδεση κάμερας και υπολογιστή. Αυτό μπορεί να χρειαστεί να το επαναλάβουμε και άλλη φορά σε περίπτωση που κλείσουμε την κάμερα ή για κάποιο λόγο διακοπεί η σύνδεση με τον υπολογιστή.

Το δεύτερο είναι το εικονίδιο «LIVE». Πατώντας το αυτό έχουμε στην οθόνη του υπολογιστή μας αυτό ακριβώς που «βλέπει» η κάμερα. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο γιατί μας δίνει την δυνατότητα να βλέπουμε απευθείας τον αντίκτυπο των ρυθμίσεών μας.

6.2.1.1 Κατάλογος Επιλογής αρχείου

Οι εδώ ρυθμίσεις έχουν να κάνουν κυρίως με την αποθήκευση και την επαναφόρτωση των δεδομένων. Επιλέγοντας το File Menu εμφανίζονται οι παρακάτω επιλογές: -Load Bmp -Load Rec -Save bmp -Save Rec -Make AVI -Exit

Ξεκινώντας από τις επιλογές 3 και 4 βλέπουμε τους δύο τύπους αρχείων στους οποίους μας δίνει την δυνατότητα, το πρόγραμμα της κάμερας, να αποθηκεύσουμε την καταγραφή μας. Για τις καταγραφές μας επιλέχθηκε ο τύπος αρχείου «Rec».

Οι πρώτες δύο επιλογές μας δίνουν την δυνατότητα να φορτώσουμε στην οθόνη του υπολογιστή μας την καταγραφή που μόλις κάναμε ή κάποια παλαιότερη καταγραφή από το αρχείο μας. Ενδεικτικά παρατίθεται στο Σχήμα 6.13 το παράθυρο που εμφανίζεται όταν επιλέξουμε το «Load Bmp».

🖻 File - Load, (Camera: f-mo	unt 🔀
 ✓ Loop ✓ Frame List 	From To 1 843 880-890	Load <u>C</u> lose File Dialog
ManualShots .bmp ManualShots00877.bmp ManualShots00878.bmp ManualShots00880.bmp ManualShots00880.bmp ManualShots00883.bmp ManualShots00883.bmp ManualShots00883.bmp ManualShots00884.bmp ManualShots00886.bmp ManualShots00886.bmp ManualShots00888.bmp ManualShots00888.bmp ManualShots00888.bmp ManualShots00888.bmp	c: c: Documents and drivers HiSpec Videos Infineon Install Disks My Downloads Program Files pvsw pvswarch	Settings

Σχήμα 6.13: Παράθυρο Φόρτωσης Αρχείου Τύπου Bmp

Η πέμπτη επιλογή(Make AVI) μας δίνει την δυνατότητα για απευθείας μετατροπή ολόκληρης της καταγραφής ή μέρους αυτής σε αρχείο τύπου AVI(Σχήμα 6.14). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό γιατί μας δίνει λύση σε περίπτωση που έχουμε αποθηκεύσει τις καταγραφές μας σε αρχεία τύπου Rec, όπως στην περίπτωση μας, και θέλουμε να επεξεργαστούμε στην συνέχεια τα δεδομένα μας. Το πρόγραμμα MATLAB που χρησιμοποιήσαμε για την επεξεργασία των δεδομένων μας δεν

αναγνωρίζει τα αρχεία τύπου Rec ενώ μπορεί και διαβάζει εύκολα τα αρχεία τύπου AVI.

Τέλος η έκτη επιλογή είναι το γνωστό μας Exit που μας επιτρέπει να κλείσουμε το πρόγραμμα της κάμερας.

💕 Make AVI, Camera:	
AVI Setup	
AVI Filename:	Play AVI
c:\Sample.avi	File Dialog
Input Frames From 1 To 932 List Display Frames Clipping	Input Format Width: 1280 Height: 1064 Bits Per Pixet: 8
AVI Properties AVI Frame Rate: Compressor Setup AVI Duration: 31.06 s	Compressor Cinepak Codec by Radius Identifier: cvid Quality: 100
Make AVI	Close

Σχήμα 6.14:Παράθυρο Δημιουργίας Αρχείου Τύπου ΑVI

6.2.1.2 Κατάλογος Επιλογής της Κάμερας

Επιλέγοντας το Camera Menu εμφανίζονται οι παρακάτω επιλογές(Σχήμα 6.15):

Σχήμα 6.15: Camera Menu

Για τις επιλογές 2 και 3 έγινε αναφορά παραπάνω(Σχήματα 6.11 και 6.10).

Η πρώτη επιλογή αποτελεί και την «καρδιά» των ρυθμίσεων μας. Επιλέγοντας το Camera Setup εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή μας το παράθυρο του σχήματος (Σχήμα 6.16). Ξεκινώντας από πάνω επιλέγουμε το «Center Region Of Interest». Η εικόνα που θα εμφανίζεται κατά την διάρκεια της καταγραφής θα εμφανίζεται «συμμετρικά» ως προς το κέντρο του παραθύρου της κάμερας και κατ' επέκταση της οθόνης του υπολογιστή.

🖻 Camera Setup, C	Camera: f-mo	unt color 🛛 🔀
Resolution and recording rate Center Region Of Interest Horizontal 1280 Vertical 1024 Fixed Frame Geometry Fixed Frame Rate Frames/sec 139 1 506		
Gain 4.0 Lin 1 Log Black Level 128 Set Default	Maximum Recording Til Shutter Time [µse — J Enable Sync In Sync In Trigger © 1 0 1	Sync/ARM Output
White Balance	Apply	Close

Σχήμα 6.16: Camera Setup

Στην συνέχεια επιλέγουμε αν θέλουμε συγκεκριμένη γεωμετρία frame ή συγκεκριμένο ρυθμό καταγραφής frame. Επιλέγοντας ένα από τα δύο προκύπτουν και κάποιες τιμές για τις υπόλοιπες παραμέτρους που εμφανίζονται στο παράθυρο.

Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε δύο παραδείγματα προκειμένου να γίνουν πιο αντιληπτά τα όσα αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Πρώτο παράδειγμα: Επιλέγουμε «Fixed Frame Rate». Δίνουμε ως τιμές «Horizontal»=1280 και «Frame/sec»=18. Βλέπουμε το μέγεθος της περιοχής ενδιαφέροντος(ROI) και ότι η τιμή για την κατακόρυφη διάσταση είναι «Vertical» =1024(Σχήμα 6.17). Αν τώρα θέσουμε «Frame/sec»=3000 παρατηρούμε ότι αλλάζει τόσο η ROI όσο και η κατακόρυφη διάσταση (τώρα «Vertical»=170).(Σχήμα 6.18)

✓ Center Region Of Interest Horizontal 1280 Vertical 1024 ● Fixed Frame Geometry ● Fixed Frame Rate Frames/sec 18 18 502	
--	--

Σχήμα 6.17: Camera Setup: «Frame/sec»=18, «Vertical» =1024

📑 Camera Setup, Camera: f-mi	
Resolution and recording rate Center Region Of Interest Horizontal Vertical Fixed Frame Geometry Fixed Frame Rate Frames/sec 18 46819	Max Recording Time [sec] 8
Black Level 202	Shutter Time [µsec] 353 Max

Σχήμα 6.18 Camera Setup:«Frame/sec»=3000, «Vertical» =170

Δεύτερο παράδειγμα: Επιλέγουμε «Fixed Frame Geometry». Δίνουμε ως τιμές «Horizontal»=1280 και «Vertical»=900. Βλέπουμε το μέγεθος της περιοχής ενδιαφέροντος(ROI) και ότι ο μέγιστος ρυθμός καταγραφής(fps) είναι 572(Σχήμα 6.19). Αν τώρα θέσουμε «Vertical»=500 παρατηρούμε ότι αλλάζει τόσο η ROI όσο και ο μέγιστος ρυθμός καταγραφής(τώρα fps=1028)(Σχήμα 6.20).

🗮 Camera Setup,	Camera: f-mount color	×
Resolution and re Center Region Horizontal Vertical Fixed Frame G Fixed Frame B Frames/sec 5 20	Conding rate Of Interest 1280 900 900 900 172 572 Max. Recording Time [sec	÷ 8
Black Level	202 Shutter Time [µsec] 353	Max. Low Light
Gain	4 Enable Sync In	
Contraction of the Contraction o	Supe In + Trigger Supe IAE	DM Charles A

Σχήμα 6.19 Camera Setup:«Vertical» =900, «Frame/sec»=572(maximum)

C, Camera Setup, Camera: Fin	
Resolution and recording rate Center Region 01 Interest Horizonta 500 Center Region 01 Interest Vertical 500 Center Region 01 Interest Sold Sol	
Black Level 202 Gain C 8	Shutter Time (usec) 353 C Max.
C 2 C 1 Set Default	Sync In + Trigger Sync/ARM Output

Σχήμα 6.20 Camera Setup:«Vertical» =500, «Frame/sec»=1028(maximum)

Στην καταγραφή μας επιλέξαμε το πρώτο. Πιο συγκεκριμένα επιλέξαμε διαστάσεις εικόνας 1280(Horizontal) και 256(Vertical) το οποίο μας οδήγησε μέγιστο αριθμό frames 2004,μέγιστο χρόνο καταγραφής 3170ms και χρόνο κλείστρου (Shutter Time) 178μsec. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές ανάλυσης και ρυθμών frames:

Resolution	Maximum Frame Rate	Recording Time @ Maximum Frame Rate
1280 x 1024	506 fps	3.2 sec.
1280 x 720	718 fps	3.2 sec.
1280 x 640	808 fps	3.2 sec.
1280 x 512	1008 fps	3.2 sec.
1280 x 256	2000 fps	3.3 sec.
768 x 600	1,319 fps	3.5 sec.
624 x 480	1,922 fps	3.7 sec.
480 x 480	2,312 fps	4.0 sec.
288 x 288	5,197 fps	5.0 sec.
144 x 144	13,540 fps	7.6 sec.
144 x 72	24,433 fps	8.5 sec.
144 x 2	112,183 fps	66.4 sec.

Πίνακας 6.3: Τυπικές Τιμές ανάλυσης και Ρυθμών Frames TYPICAL RESOLUTIONS & FRAME RATES

Το κέρδος(Gain) δεν το πειράζουμε γιατί όσο αυξάνεται το κέρδος τόσο μειώνεται η ποιότητα της εικόνας, κάτι το οποίο δεν θέλουμε σε καμία περίπτωση.

To Lin-Log δεν το πειράξαμε γιατί αφορά έγχρωμες κάμερες(Η δική μας είναι ασπρόμαυρη).

6.2.1.3 Κατάλογος Επιλογής Εγγραφής

Επιλέγοντας το μενού Καταγραφής (Record Menu) εμφανίζονται οι εξής δύο(2) επιλογές:

-Circular Buffer

-Non Circular Buffer, Until End Of Buffer

Εάν επιλέξουμε το πρώτο η κάμερά μας θα καταγράφει συνεχώς. Όταν γεμίσει το Buffer τα νέα δεδομένα θα γράφονται πάνω στα παλιά μέχρι να δοθεί εντολή παύσης της καταγραφής.

Εάν επιλέξουμε το δεύτερο, όπως κάναμε εμείς στην καταγραφή μας, η καταγραφή θα σταματήσει αυτόματα μόλις γεμίσει το Buffer.

6.2.1.4 Κατάλογος Επιλογής Προβολής

Επιλέγοντας το View Menu εμφανίζονται οι παρακάτω επιλογές:

-Raw -Input Ports -Display While Recording -Marker -Infoline -Infotext -Language

Από τις παραπάνω επιλογές, που αφορούν στο τι θα φαίνεται κατά την διάρκεια των καταγραφών και στα τελικά αποτελέσματα, επιλέξαμε

 - την τρίτη(να εμφανίζεται αυτό που βλέπει και καταγράφει η κάμερα κατά τη διάρκεια της καταγραφής)

- την πέμπτη(εμφανίζονται στα frames που έχουν καταγραφεί πληροφορίες
 σχετικά με τον ρυθμό καταγραφής(fps), τις διαστάσεις τις εικόνας, τον συνολικό
 χρόνο καταγραφής καθώς και τον συγκεκριμένο χρόνο στον οποίο έχει καταγραφεί
 κάθε frame, την ώρα στην οποία γίνεται η καταγραφή) και τέλος

-την έβδομη(επιλέξαμε ως γλώσσα τα Αγγλικά. Η άλλη επιλογή ήταν τα Γερμανικά).

6.2.1.5 Φωτεινότητα και Αντίθεση

Η ρύθμιση της φωτεινότητας και της αντίθεσης (Brightness and Contrast) επιτυγχάνεται με την βοήθεια των τριών μπαρών κύλισης που βρίσκονται στο δεξί μέρος του παραθύρου της κάμερας(Σχήμα 6.21). Αυτή η ρύθμιση είναι αναγκαία κυρίως όταν υπάρχει είτε ελλιπής φωτισμός είτε δημιουργούνται στο φόντο της κάμερας διαφόρων ειδών αντανακλάσεις.

Σχήμα 6.21:Μπάρες Ρύθμισης Φωτεινότητας και Αντίθεσης

6.2.1.6 Μεγέθυνση και Εικονίδια Αναπαραγωγής

Το zoom(εστίαση) επιτυγχάνεται με την χρήση της αριστερής μπάρας κύλισης. Για την επαναφορά στο αρχικό μέγεθος πατάμε πάνω στο εικονίδιο που βρίσκεται στη κορυφή της μπάρας κύλισης (Σχήμα 6.22).

Σχήμα 6.22: Μπάρα Ρύθμισης Εστίασης

Τέλος υπάρχουν και τα εικονίδια αναπαραγωγής(playback) οποία βρίσκονται κάτω από το μενού και μας παρέχουν δυνατότητες ίδιες με τα αντίστοιχα πλήκτρα ενός τηλεχειριστηρίου dvd player(ή βίντεο για τους παλαιότερους). Στο Σχήμα 6.23 υπάρχει μια περιγραφή αυτών.

playback reverse

Σχήμα 6.23: Εικονίδια Αναπαραγωγής Βίντεο(Playback)

7 Πειραματική Εφαρμογή

7.1 Εισαγωγή

Η καταγραφή μας πραγματοποιήθηκε σε πεδίο βολής κατά την διάρκεια βολής των πυροβόλων του Στρατού Ξηράς. Η τροφοδοσία της διάταξης μας προήλθε από Η/Ζ (Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος) και χρησιμοποιήθηκε για λόγους ασφαλείας συσκευή αδιάλειπτης τροφοδοσίας (UPS-Uninterruptible Power Supply). Για το καταγραφικό μας χρησιμοποιήθηκε φορητός υπολογιστής με τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά:

-Επεξεργαστής	:Intel® Pentium® CPU 2.13GHz
-Εγκατεστημένη Μνήμη(RAM)	: 3,00GB
- Έκδοση Windows	: Windows 7 Home Premium
-Τύπος Συστήματος	: Λειτουργικό Σύστημα 64-bit
-Σκληρός Δίσκος	: 149GB(C) -148GB(D)

7.2 Πειραματικά Αποτελέσματα

7.2.1 Καταγραφή κίνησης βλήματος και ανάκτηση καταγραφής

Η καταγραφή μας έγινε κάτω από συνθήκες έντονης βροχόπτωσης αλλά, στο μέγεθος της επεξεργασίας που κάναμε, δεν μας δημιούργησε κάποιο σοβαρό πρόβλημα. Σε αυτό συνετέλεσε και το γεγονός ότι η κάμερα που χρησιμοποιήσαμε έκανε καταγραφές σε κλίμακα του γκρι. Αν η καταγραφή ήταν έγχρωμη τότε οι καιρικές συνθήκες, τόσο βροχής όσο και ηλιοφάνειας, ενδεχομένως να δημιουργούσανε σοβαρό πρόβλημα. Αυτό γιατί θα αλλάζανε την ένταση σε κάποια σημεία από καρέ σε καρέ και το πρόγραμμα θα το εκλάμβανε ως κίνηση, χωρίς όμως αυτό να συμβαίνει.

Επιλέξαμε η μετατόπιση του βλήματος από καρέ σε καρέ να μην υπερβαίνει τα 20cm. Στην καταγραφή μας η ταχύτητα του βλήματος αναμενόταν να είναι πολύ κοντά στην ταχύτητα του ήχου (343 m/s ή 1235 km/h). Με την χρήση της σχέσης (2.7), όπου ως s θεωρήσαμε τα 20cm και όπου t τον ρυθμό καταγραφής, και λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, καταλήξαμε στο ότι ο ρυθμός καταγραφής της κάμερας θα είναι 2000 καρέ/δευτερόλεπτο (fps-frame per second). Με βάση όλα τα παραπάνω και με την επιθυμία μας να έχουμε ανάλυση εικόνας (1280x256) pixels επιλέξαμε να τοποθετήσουμε την κάμερα μας περί τα 50m από το επίπεδο κίνησης του βλήματος. Το αρχείο που προέκυψε από την καταγραφή είναι αρχείο τύπου

"rec". Οπότε όπως αναφέραμε και στην μεθοδολογία, απαιτήθηκε η μετατροπή του σε αρχείο τύπου "avi".

7.2.2 Επεξεργασία Καταγραφής

7.2.2.1 Αρχικές Ρυθμίσεις

Για την επεξεργασία επιλέχθηκε η μέθοδος οπτικής ροής Horn-Schunck. Στην συνάρτηση (οπτικής ροής) που ορίσαμε επιλέξαμε η ταχύτητα να δίδεται ως τετράγωνο του μέτρου. Στο Σχήμα 7.1 αναπαρίστανται τα διανύσματα οπτικής ροής.

Σχήμα 7.1:Διανύσματα οπτικής ροής

7.2.2.2 Εντοπισμός και παρακολούθηση κινούμενου αντικειμένου

7.2.2.2.1 Καθορισμός «κινούμενου αντικειμένου»

Για την υλοποίηση του πρώτου κριτηρίου επιλέξαμε να γίνει υπολογισμός της μέσης τιμής της ταχύτητας σε ολόκληρη την εικόνα και στις δύο διαδικασίες που καθορίσαμε. Η ταχύτητα που επιλέχθηκε ως ταχύτητα κατωφλίου είναι το 600% της μέσης ταχύτητας οπτικής ροής της καταγραφής μας. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε, κατόπιν δοκιμών, διότι το πλαίσιο οριοθέτησης που προκύπτει «εφάπτεται» καλύτερα στο βλήμα μας.

Για την υλοποίηση του δεύτερου κριτηρίου καθορίσαμε ως πιθανές περιοχές της εικόνας που μπορούνε θα θεωρηθούνε ένα «σώμα» αυτές που αποτελούνται από 400 έως 3600 pixels.

Σχετικά με την υλοποίηση του 3^{ου} κριτηρίου, στο Σχήμα 7.2 φαίνεται το πλαίσιο οριοθέτησης που σχηματίζεται γύρω από το βλήμα μας καθώς και η περιοχή ενδιαφέροντος. Επιλέχθηκε να τοποθετηθεί κατά αυτόν τον τρόπο για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι ότι παρατηρήσαμε ότι ο καπνός που εξέρχεται από τον σωλήνα του πυροβόλου επηρεάζει την επεξεργασία και αποφασίσαμε να την

τοποθετήσουμε σε απόσταση που δεν θα την επηρεάζει. Παρατηρούμε στο κάτω μέρος της εικόνας κάποια δένδρα και κάποια κτίρια. Επομένως ο δεύτερος λόγος είναι ότι δεν θέλαμε αυτά να επηρεάσουν την επεξεργασία και για αυτό τοποθετήσαμε το κάτω μέρος της ROI σε κάποια απόσταση από το κάτω μέρος της εικόνας.

Σχήμα 7.2:Στιγμιότυπα της καταγραφής μας στα οποία απεικονίζεται το πλαίσιο οριοθέτησης και η περιοχή ενδιαφέροντος

Στο Σχήμα 7.2 φαίνονται οι λευκές γραμμές του πλαισίου οριοθέτησης. Η αριστερή κατακόρυφη γραμμή χαράχθηκε στην περιοχή όπου η οριζόντια συντεταγμένη της εικόνας είναι ίση με 550 pixels. Η δε δεξιά κατακόρυφη στα 900 pixels. Ομοίως η πάνω οριζόντια είναι στα 22 pixels και η κάτω στα 230 pixels.

Στην πρώτη σχέση με λογικούς τελεστές που χρησιμοποιήσαμε θέσαμε ότι η τιμή του x της πάνω αριστερής γωνίας του πλαισίου οριοθέτησης πρέπει να είναι μικρότερη από 900 pixel και μεγαλύτερο από 550 pixel. Αντίστοιχα το y πρέπει να είναι μικρότερο από 230 pixel και μεγαλύτερο από 22 pixel.

Στην δεύτερη σχέση θωρήσαμε ως αποδεκτά τα αντικείμενα που έχουν λόγο εμβαδών μεγαλύτερο από το 0.4.

7.2.3 Υπολογισμός ταχύτητας

Η χρονική διαφορά από καρέ σε καρέ στην καταγραφή μας ισούται με 0.0005 sec (1/2000fps). Υπολογίζοντας και την αντίστοιχη μετατόπιση προκύπτει η ταχύτητα στο επίπεδο της εικόνας, με τις μονάδες της να είναι pixel/sec. Στο Σχήμα 7.3 παραθέτουμε την ασπρόμαυρη εικόνα στην οποία γίνεται ο υπολογισμός του μήκους του βλήματος.

Σχήμα 7.3: Εικόνα από την οποία υπολογίζεται το μήκος του βλήματος

Το πραγματικό μήκος του βλήματος είναι 70cm. Στον κώδικά μας υπολογίζουμε το μήκος του βλήματος στο επίπεδο της εικόνας σε κάθε εικόνα. Τα αποτελέσματα παραθέτονται στον Πίνακα 7.1 και στα Σχήματα 7.4 και 7.5.

		,
A/A	ΜΗΚΟΣ ΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΡΙΧΕΙ	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΕΚΑΤΟΣΤΩΝ-PIXEL
1	50,990	1,373
2	57,271	1,222
3	59,439	1,178
4	40,025	1,749
5	40,262	1,739
6	40,025	1,749
7	40,262	1,739
8	40,262	1,739
9	40,262	1,739
10	40,262	1,739
11	40,792	1,716
12	40,025	1,749

Πίνακας 7.1

13	40,262	1,739
14	40,262	1,739
15	40,025	1,749
16	40,025	1,749
17	40,025	1,749
18	40,025	1,749
19	39,560	1,769
20	40,262	1,739
21	40,262	1,739
22	40,025	1,749
23	40,025	1,749
24	40,025	1,749
25	39,294	1,781
26	39,850	1,757
27	39,560	1,769
28	40,262	1,739
29	39,294	1,781
30	39,560	1,769
31	40,025	1,749
32	39,812	1,758
33	39,294	1,781
34	39,812	1,758
35	39,294	1,781
36	39,051	1,793
37	40,025	1,749
38	39,560	1,769
39	39,051	1,793
40	39,051	1,793
41	39,812	1,758
42	39,051	1,793
43	39,623	1,767
44	39,051	1,793
45	38,833	1,803

Σχήμα 7.5:Γράφημα αναλογίας εκατοστών-pixels

Και στα δύο ανωτέρω γραφήματα ο οριζόντιος άξονας δηλώνει τον αριθμό του καρέ στο οποίο αντιστοιχεί η εκάστοτε τιμή του κατακόρυφου άξονα.

Έχοντας αυτά προκύπτει ο Πίνακας 7.2 που περιέχει την πραγματική (στιγμιαία) ταχύτητα. Στο Σχήμα 7.6 απεικονίζεται το γράφημα της ταχύτητας.

	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
A/A	TAXYTHTA ΣE m/s
1	25031,587
2	201,579
3	194,227
4	282,003
5	286,742
6	288,437
7	286,742
8	286,742
9	286,742
10	286,742
11	283,013
12	282,003
13	286,742
14	286,742
15	288,437
16	254,645
17	288,437
18	282,003
19	291,827
20	286,742
21	286,742
22	288,437
23	247,333
24	288,437

Πίνακας 7.2

25	293,805
26	289,706
27	291,827
28	286,742
29	251,936
30	291,827
31	288,437
32	256,007
33	287,251
34	256,007
35	293,805
36	260,994
37	288,437
38	285,317
39	260,994
40	295,629
41	248,656
42	260,994
43	291,362
44	260,994
45	254,925

Η πρώτη ταχύτητα έχει αυτήν την τιμή λόγω κάποιων συμβάσεων που κάναμε κατά την ανάπτυξη του κώδικα. Αναφέρεται για λόγους πληρότητας του κειμένου και δεν υπολογίζεται στις όποιες μετρήσεις. Αυτή είναι και η διαφορά μεταξύ πρώτου και δευτέρου γραφήματος.

Στην συνέχεια με την χρήση της εντολής "boxplot" της MATLAB υπολογίζουμε τα στοιχεία που παραθέτουμε στον Πίνακα 7.3. Οπτική απεικόνιση του αποτελέσματος της χρήσης της παραπάνω εντολής παραθέτουμε στο Σχήμα 7.7.

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	TIMH
1	Μέγιστη Τιμή	295.629
2	Ελάχιστη Τιμή	194.228
3	Μεσαία Τιμή	286.742
4	Τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το 25% των αποτελεσμάτων	260.994
5	Τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το 75% των αποτελεσμάτων	288.437

Πίνακας	7.3
---------	-----



Σχήμα 7.7:Μεσαία ταχύτητα καταγραφής(κόκκινη γραμμή)

Η τελική ταχύτητα που προκύπτει είναι 286.742 m/s. Η ταχύτητα που δίνει ο κατασκευαστής με βάση τις ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν είναι 313 m/s. Οπότε η ποσοστιαία απόκλιση είναι 8.39%.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «A»

Θεωρούμε την ακόλουθη εικόνα bw, διαστάσεων 5x5. Σε αυτήν παράγουμε μια μήτρα ετικέτας (label matrix) L. Γενικά τα στοιχεία του L είναι ακέραιοι με τιμές μεγαλύτερες ή ίσες του μηδενός.. Τα στοιχεία με τιμή μηδέν αντιστοιχούνε στο φόντο. Τα στοιχεία με τιμή 1 αντιστοιχούνε σε ένα αντικείμενο, αυτά με τιμή 2 σε δεύτερο αντικείμενο και ούτω κάθε εξής.

```
bw = false(5, 5);
bw(1:2, 1:2) = true;
bw(4:5, 1:2) = true;
bw(1:2, 4:5) = true;
bw(4:5, 4:5) = true
```

bw =							
	1	1	0	1	1		
	1	1	0	1	1		
	0	0	0	0	0		
	1	1	0	1	1		
	1	1	0	1	1		

L = bwlabel(bw)

L =								
	1	1	0	3	3			
	1	1	0	3	3			
	0	0	0	0	0			
	2	2	0	4	4			
	2	2	0	4	4			

Η εντολή ψάχνει κατά μήκος των στηλών και βρίσκει τέσσερα(ή οχτώ ανάλογα) συνδεδεμένες ομάδες pixel από το προσκήνιο(foreground) στην εικόνα bw. Η εντολή σκανάρει τα pixels κατά σειρά(order) στήλης και βρίσκει το αντικείμενο στην κάτω αριστερή γωνία δεύτερο, εξ ου και η αρίθμηση αυτών των pixels ως «2» στην μήτρα L. Η σειρά αναζήτησης της εντολής καθορίζεται από την σειρά αποθήκευσης εσωτερικής μνήμης των στοιχείων στην MATLAB. Ψάχνοντας κατά μήκος των γραμμών θα καθυστερούσε σημαντικά την λειτουργία.

<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>

- 1) Βαλλιστικό εκκρεμές (en.wikipedia.org/wiki/Ballistic_pendulum)
- Dual-Channel Velocity System (www.sensormag.com/sensors/motionvelocity-displacement/inductive-sensing-velocity-measurement-a-us-air-forcelabora-854)
- 3) Acoustic methods for measuring bullet velocity (http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0812/0812.4752.pdf)
- A Measuring Method About the Bullet Velocity in Electromagnetic Rail Gun (www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/P_1872.htm)
- Cost-effective optoelectronic system to measure the projectile velocity in highvelocity impact testing of aircraft and spacecraft structural elements (<u>http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7564/cost-</u> <u>effective_zaera_oe_2007.pdf?sequence=3</u>)
- 6) LiDAR (en.wikipedia.org/wiki/LIDAR_speed_gun)
- 7) Radar Gun (en.wikipedia.org/wiki/Radar_gun)
- Μαγνητικοί Αισθητήρες. Διπλωματική εργασία Χαρίλαου Α. Μουσούλη, ΣΗΜΜΥ ΕΜΠ, Αθήνα, Μάρτιος 2005
- 9) Εγχειρίδιο συσκευής DR810 MKII
- 10) Hispec Operator's Manual Version 1.10.1 (<u>www.transam.gr/files/PDF's/Hispec.pdf</u>)
- 11) Εφαρμογή
 Google

 (https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.speed)
 Google
- Εκτίμηση θέσης κάμερας για αυτοκινούμενα ρομπότ. Πτυχιακή Εργασία των
 Δανιηλίδη Ιωάννη και Μαθιουδάκη Χρήστου, ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο 2010
- 13) Determining Optical Flow (Berthold K.P. Horn and Brian G. Schunck)
- 14) Performance of Optical Flow Techniques (J.L.Barron, D.J.Fleet and S.S. Beauchemin)
- 15) A Tutorial on Motion Estimation (Chiara Ercole)
- 16) Εκτίμηση Οπτικής Ροής χρησιμοποιώντας Υπερδειγματοληπτημένες Ακολουθίες Βίντεο. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία της Κατσένου Αγγελικής, Πολυτεχνική Σχολή Μηχ/κων Η/Υ και Πληροφορικής Πανεπιστημίου Πάτρας, Πάτρα 2007
- 17) A Computational Approach to Edge Detection, John Canny (http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.420.3300&rep=rep 1&type=pdf)