



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**«Ανάπτυξη και Υλοποίηση Αλγορίθμων Βίντεο για Αξιολόγηση Φερτών στη
Ροή Ποταμού»**

ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΠΕΝΤΑΡΗ



Επιβλέπων: Καθηγητής Μ. Ζερβάκης

Επιτροπή: Αν. Καθηγητής Γ. Παπαευσταθίου

Καθηγητής Ν. Νικολαΐδης

Χανιά 2015

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου εργασίας, κ. Ζερβάκη Μιχάλη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης ευχαριστώ τον κ. Μπάλα Κωνσταντίνο για τη συνεργασία μας πάνω στο κομμάτι της εκτίμησης της ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Τέλος, ευχαριστώ τη Μοιρογιώργου Ντίνα για την βοήθειά της ώστε η παρούσα εργασία να δημοσιευθεί.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Εισαγωγή.....	6
Κεφάλαιο 1: Προεπεξεργασία.....	8
1.1 Μετατροπή από το RGB στο HSI.....	9
1.2 Μετατροπή από το RGB στο YCbCr.....	11
1.3 Διαγραφή τιμών έντασης βάσει ιστογράμματος για το HSI.....	12
1.4 Διαγραφή τιμών έντασης βάσει ιστογράμματος για το YCbCr.....	14
1.5 Αφαίρεση των καρέ από καρέ σταθερού φόντου.....	16
1.6 Εφαρμογή median φίλτρου.....	18
1.7 Smoothing.....	19
1.8 Τομή της αρχικής εικόνας με τη smoothed.....	21
1.9 Σύγκριση RGB, HSI και YCbCr.....	23
1.10 Συμπεράσματα.....	24
Κεφάλαιο 2: Εκτίμηση Κίνησης.....	26
2.1 Ανάλυση Block Matching Algorithm.....	26
2.2 Βελτιστοποιήσεις του BMA.....	27
2.3 Υπολογισμός της κατεύθυνσης.....	28
2.4 Ανάλυση των αποτελεσμάτων του BMA.....	29
Κεφάλαιο 3: Ταυτοποίηση Αντικειμένων.....	34
3.1 Εξαγωγή χρήσιμων περιοχών.....	34
3.2 Ταυτοποίηση αντικειμένων.....	35
3.3 Ίσος αριθμός αντικειμένων από καρέ σε καρέ.....	36
3.4 Αύξηση του αριθμού των αντικειμένων από καρέ σε καρέ.....	38
3.5 Μείωση του αριθμού των αντικειμένων από καρέ σε καρέ.....	40
Κεφάλαιο 4: Εκτίμηση Μέσης Πραγματικής Ταχύτητας κάθε Φύλλου.....	42
4.1 Εκτίμηση ταχύτητας βάσει όλων των διανυσμάτων κίνησης και βάσει ιστογράμματος.....	43

4.2 Μέση τιμή των ταχυτήτων διαδοχικών καρέ.....	48
4.3 Υπολογισμός πραγματικής ταχύτητας.....	50
4.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	50
4.5 Μετατόπιση φύλλων.....	56
Κεφάλαιο 5: Εκτίμηση Μέσης Ταχύτητας Ερυθρών Αιμοσφαιρίων.....	59
5.1 Φάσμα απορρόφησης αιμοσφαιρίνης.....	59
5.2 Εκτίμηση μέσης ταχύτητας ερυθρών αιμοσφαιρίων.....	63
5.2.1 Adaptive Histogram Equalization (AHE).....	64
5.2.2 Χρήση Median Φίλτρου.....	65
5.2.3 Gaussian Φιλτράρισμα.....	66
5.2.4 RGB Διαδικασία.....	67
5.2.5 Εντοπισμός περιγράμματος.....	68
5.2.6 Block Matching Αλγόριθμος.....	68
5.3 Εκτίμηση μέσης ταχύτητας ερυθρών αιμοσφαιρίων.....	69
5.4 Αφαίρεση μεθόδων για διερεύνηση ακρίβειας.....	72
Κεφάλαιο 6: Επιβεβαίωση Τιμών Ταχύτητας.....	75
6.1 Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων ταχύτητας.....	75
6.2 Παρουσίαση στατιστικών μεγεθών.....	77
Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα-Καινοτομίες-Μελλοντική Εργασία.....	79
References.....	82

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία **στόχος** είναι να γίνει μελέτη στο πεδίο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας και μέσω αυτής να εντοπιστούν σε πρώτο επίπεδο, οι φερτές ύλες στη ροή του ποταμού για την μετέπειτα ανάλυση της ποιότητας του νερού ενώ σε δεύτερο στάδιο στόχος είναι η εκτίμηση της ταχύτητάς τους. Αυτό αφορά το πρώτο σκέλος αυτής της εργασίας. Το δεύτερο σκέλος αφορά τον εντοπισμό και την εκτίμηση της ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων για τη βοήθεια σε διάγνωση κάποιων ασθενειών. Η επεξεργασία των εικόνων έγινε στο εργαλείο προγραμματισμού **Matlab**. Στα πρώτα τέσσερα κεφάλαια γίνεται ανάλυση της βασικής εργασίας δηλαδή της μελέτης της μέσης πραγματικής ταχύτητας των αντικειμένων στη ροή ποταμού, ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μικρότερη αλλά σημαντική ανάλυση της ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων, που ήταν συμπληρωματική εργασία.

Πιο συγκεκριμένα, στο **πρώτο κεφάλαιο** αναλύονται οι μέθοδοι προεπεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν για να λάβουμε το τελικό αποτέλεσμα της εξαγωγής μόνο της χρήσιμης πληροφορίας. Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, γίνεται εκτίμηση των διανυσμάτων κίνησης με την χρήση του Block Matching Algorithm, δηλαδή κατ' επέκταση εκτιμάται η στιγμιαία ταχύτητα. Στο **τρίτο κεφάλαιο** δείχνουμε πως έγινε η εξαγωγή των χρήσιμων περιοχών και η ταυτοποίησή τους. Στο **τέταρτο κεφάλαιο** μελετάται ο τρόπος υπολογισμού της μέσης πραγματικής ταχύτητας κάθε φύλλου. Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, γίνεται ανάλυση μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας που οδηγεί στην εκτίμηση της μέσης ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Τέλος, στο **έκτο κεφάλαιο** γίνεται σύγκριση των πραγματικών τιμών ταχύτητας με τις υπολογισμένες από εμάς ταχύτητες.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη της κίνησης αντικειμένων και η εκτίμηση της μέσης ταχύτητάς τους είναι ένα ευρύ πεδίο στην μηχανική όραση. Η εργασία αυτή χωρίζεται σε δύο σκέλη. Το πρώτο αφορά την εκτίμηση της μέσης πραγματικής ταχύτητας των φύλλων από βίντεο ποταμού ενώ το δεύτερο, αφορά την εκτίμηση της μέσης ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων από βίντεο ενδοσκοπίου. Έτσι, πρόκειται να γίνει μία σχετική ανάλυση για το κάθε θέμα με την ίδια βάση.

Αρχικά, ο εντοπισμός και η εκτίμηση της κίνησης αντικειμένων στη ροή ποταμού (river monitoring) είναι μία σημαντική μελέτη για το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας επικεντρώνεται στην επίλυση ενός σημαντικού προβλήματος, της ποιότητας του νερού, μέσω του εντοπισμού των αιωρούμενων αντικειμένων στην επιφάνεια του ποταμού. Το κομμάτι αυτό της διπλωματικής εργασίας δημοσιεύθηκε στο «Feature analysis on river flow video data for floating tracers detection».

Αναλυτικότερα, μέσω μίας βίντεο ροής παρακολουθούμε τον ποταμό. Μέσω αυτής της ροής εικόνων, ουσιαστικά, απομονώνουμε την χρήσιμη πληροφορία, δηλαδή ότι κινείται στην επιφάνειά του. Αυτά τα αντικείμενα, τα οποία μπορούν να φτάσουν στην επιφάνεια ενός ποταμού μέσω μίας πλημμύρας, ανάλογα με το χρόνο παραμονής τους σε αυτήν, μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση του νερού. Έτσι κρίνεται απαραίτητος ο εντοπισμός τους.

Το δεύτερο τμήμα της εργασίας αυτής, ήταν η μελέτη της μέσης ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Το ανθρώπινο αίμα αποτελείται από το πλάσμα (άμορφο συστατικό), μέσα στο οποίο υπάρχουν τα ερυθρά αιμοσφαίρια (RBCs), τα λευκά αιμοσφαίρια και τα αιμοπετάλια. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια αποτελούν το 38%-48% του πλήρους αίματος και είναι μέρος των εμμόρφων συστατικών του [1].

Τα RBCs είναι απύρρηνα κύτταρα και ο κύριος στόχος τους είναι η διατήρηση των ιστών στη ζωή, μεταφέροντας σε αυτούς οξυγόνο από τους πνεύμονες και απομακρύνοντας το διοξείδιο του άνθρακα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τέλος, δίνουν στο αίμα το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα μέσω της αιμοσφαιρίνης [1].

Η μελέτη της απορρόφησης της αιμοσφαιρίνης (οξυγονωμένης και μη) στο ορατό φάσμα είναι αρκετά σημαντική στον τομέα της φασματοσκοπίας και της ιατρικής. Ακόμη όμως σημαντικότερη είναι η εκτίμηση της ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων για τη διάγνωση ασθενειών, όπως είναι η εν μέρει διάγνωση της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας.

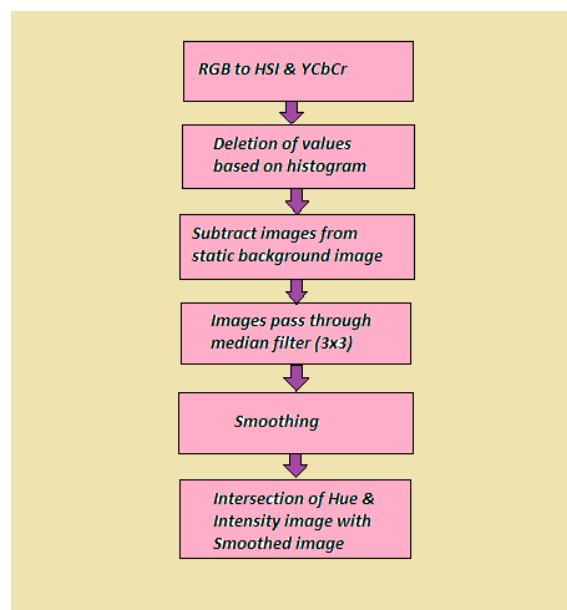
Η βάση της μελέτης και των δύο αυτών θεμάτων είναι η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, οι εικόνες και από αυτά τα δύο βίντεο περνούν από κάποια σημαντικά στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι το κομμάτι της προ-επεξεργασίας. Κατά το στάδιο αυτό, κάθε εικόνα περνά από μία σειρά διαδικασιών με τελικό στόχο την εξαγωγή της χρήσιμης πληροφορίας, μέσω χρωματικής ανάλυσης. Σε επόμενο στάδιο μέσω ενός αλγορίθμου εκτίμησης διανυσμάτων κίνησης, τον Block Matching Algorithm, υπολογίζονται τα motion vectors, μέσω των οποίων, σε τελικό στάδιο γίνεται η εκτίμηση της μέσης ταχύτητας σε μέτρο και κατεύθυνση. Ειδικά στην εφαρμογή που αφορά στον εντοπισμό φερτών στην επιφάνεια ποταμού, οι εικόνες περνούν από το στάδιο της ταυτοποίησης των αντικειμένων.

Κεφάλαιο 1: Προεπεξεργασία

Σε αυτό το κεφάλαιο στόχος είναι να περιγραφούν τα βήματα που ακολουθήθηκαν έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η προεπεξεργασία των εικόνων. Η προ-επεξεργασία είναι μια από τις σημαντικότερες διαδικασίες στην επεξεργασία εικόνας. Κατά τη διαδικασία αυτήν σκοπός είναι να εξαλειφθούν σφάλματα, θόρυβος και αλλοιώσεις που υπάρχουν στις εικόνες οι οποίες μπορεί να προέρχονται από την κάμερα γενικά, από το φακό της κάμερας ή και από το περιβάλλον και αν παραμείνουν μπορεί να υποβαθμίσουν την ποιότητα της τελικής πληροφορίας και να οδηγήσουν σε εσφαλμένα ή αλλοιωμένα αποτελέσματα.

Παρακάτω, στην εικόνα 1, ακολουθεί ένα διάγραμμα που δείχνει τα βασικά βήματα που ακολουθήθηκαν μέχρι να πάρουμε το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασμένης εικόνας με όσο το δυνατόν μειωμένο θόρυβο. Τα βήματα αυτά είναι:

- Μετατροπή του συστήματος από το RGB χρωματικό μοντέλο στα HSI και YCbCr.
- Διαγραφή τιμών έντασης και φωτεινότητας βάσει ιστογράμματος.
- Αφαίρεση κάθε τρέχοντος καρέ από ένα καρέ σταθερού φόντου, που δημιουργήθηκε από το μέσο όρο 90 καρέ.
- Εφαρμογή median φίλτρου και της διαδικασίας του smoothing για κάθε τρέχον καρέ.
- Υπολογισμός της τομής της αρχικής εικόνας με τη smoothed.

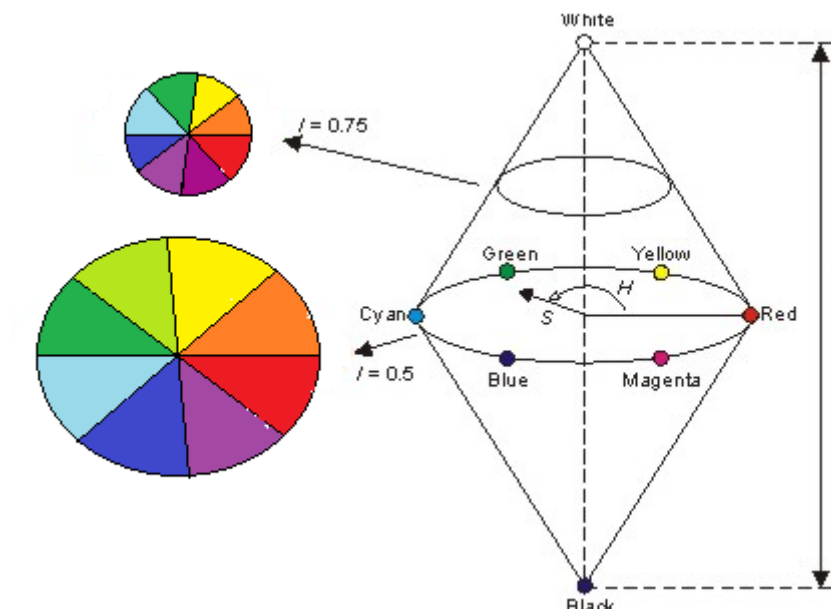


Εικόνα 1: Preprocessing Block Diagram.

1.1 Μετατροπή από το RGB στο HSI

Στόχος της εργασίας είναι να γίνει εντοπισμός φύλλων στη ροή ποταμού. Αυτό προϋποθέτει πως πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο χρωματικό μοντέλο, έτσι ώστε να γίνει πιο εύκολος και λεπτομερής ο εντοπισμός των αντικειμένων. Στο RGB color model μία εικόνα αποτελείται από τρία ανεξάρτητα επίπεδα εικόνας, ένα για κάθε βασικό χρώμα, red, green και blue. Κάθε χρωματικός παράγοντας εκτείνεται από 0-255. Η μετατροπή από το RGB στο HSI είναι μία βασική και απαραίτητη διαδικασία καθότι στο HSI χρωματικό μοντέλο η επεξεργασία των εικόνων είναι πιο εύρωστη και αξιόπιστη.

Το χρωματικό μοντέλο HSI (hue, saturation, intensity) εκμεταλλεύεται τον τρόπο που οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται το χρώμα. Συγκεκριμένα, συνηθίζεται να κάνουμε περιγραφή, όχι σε κόκκινο, μπλε, πράσινο, αλλά σε απόχρωση, καθαρότητα κι ένταση. Η απόχρωση είναι το χρώμα που γίνεται αντιληπτό λόγω του μήκους κύματος. Βλέποντας την εικόνα 2 παρατηρείται ότι το hue είναι η γωνία θ , δηλαδή η γωνιακή συντεταγμένη, ($0-360^\circ$) του πολικού συστήματος που σχηματίζει το διάνυσμα που δείχνει το χρώμα με τον άξονα του κόκκινου. Ο κορεσμός είναι ο βαθμός καθαρότητας του χρώματος, δηλαδή κατά πόσο το χρώμα έχει πρόσμιξη με το λευκό. Ο κορεσμός είναι η απόσταση από τον άξονα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Παίρνει τιμές από 0-1. Τέλος, η ένταση είναι το μήκος του κατακόρυφου άξονα του πολικού συστήματος και παίρνει τιμές από 0-1, σε κανονικοποιημένη μορφή [2].



Εικόνα 2: Αναπαράσταση του HSI μοντέλου.

Η μετατροπή αυτή μεταφράζεται σε κάποιους μαθηματικούς τύπους. Ακολουθεί σχετική ανάλυση. Τα αρχικά χρώματα, οι τρεις συνιστώσες των τριών βασικών χρωμάτων είναι:

$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, b = \frac{B}{R+G+B}$$

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός της απόχρωσης που είναι τιμή δύο παραγόντων:

$$h = \cos^{-1} \left\{ \frac{0.5 \cdot [(r-g) + (r-b)]}{[(r-g)^2 + (r-b)(g-b)]^{1/2}} \right\} \quad h \in [0, \pi] \text{ for } b \leq g$$

$$h = 2\pi - \cos^{-1} \left\{ \frac{0.5 \cdot [(r-g) + (r-b)]}{[(r-g)^2 + (r-b)(g-b)]^{1/2}} \right\} \quad h \in [\pi, 2\pi] \text{ for } b > g$$

Αφού έχει γίνει υπολογισμός της απόχρωσης, ο κορεσμός υπολογίζεται βάσει του παρακάτω τύπου:

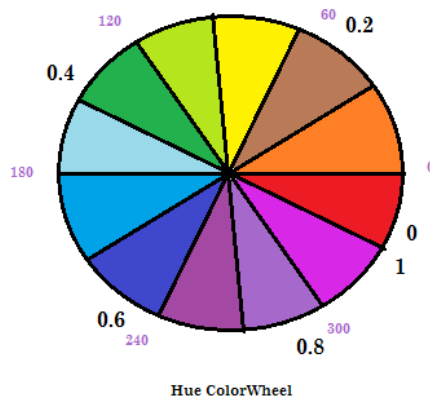
$$s = 1 - 3 \cdot \min(r, g, b) \quad s \in [0, 1]$$

Και τέλος, σκοπός μας είναι ο υπολογισμός της έντασης:

$$i = (R + G + B) / (3 \cdot 255) \quad i \in [0, 1]$$

Στη μελέτη αυτή έγινε μία κανονικοποίηση του παράγοντα hue από τις 0-360° στο διάστημα 0-1. Έτσι, όπως παρατηρείται παρακάτω από τα ιστογράμματα και από την εικόνα 3, έχουμε τις εξής αντιστοιχίες:

- 0-0.2: κόκκινο-πορτοκαλί (καφέ)
- 0.2-0.4: κίτρινο-πράσινο
- 0.4-0.6: γαλάζιο-μπλε
- 0.6-0.8: σκούρο μπλε-μοβ
- 0.8-1: μοβ-ματζέντα



Εικόνα 3: Κανονικοποίηση του Hue παράγοντα.

1.2 Μετατροπή από το RGB στο YCbCr

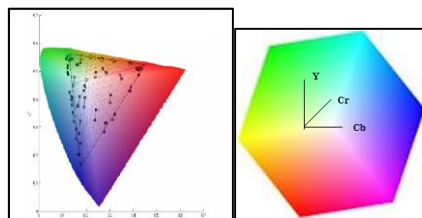
Το χρωματικό μοντέλο YCbCr προκύπτει από μετασχηματισμούς κλιμάκωσης και μεταφοράς, που εφαρμόζονται στο μοντέλο YUV. Αποτελείται από τρεις συνιστώσες, η μία είναι η φωτεινότητα που παίρνει τιμές από 0-255, η δεύτερη είναι η χρωματική συνιστώσα του μπλε και η τρίτη είναι η χρωματική συνιστώσα του κόκκινου, που παίρνουν και αυτές τιμές στο 0-255. Οι εξισώσεις που ακολουθούνται για τη μετατροπή των εικόνων από το RGB στο YCbCr μοντέλο, είναι [3]:

$$Y = 0.275R + 0.587G + 0.114B$$

$$Cb = 128 + 0.5R - 0.419G - 0.081B$$

$$Cr = 128 - 0.169R - 0.331G + 0.5B$$

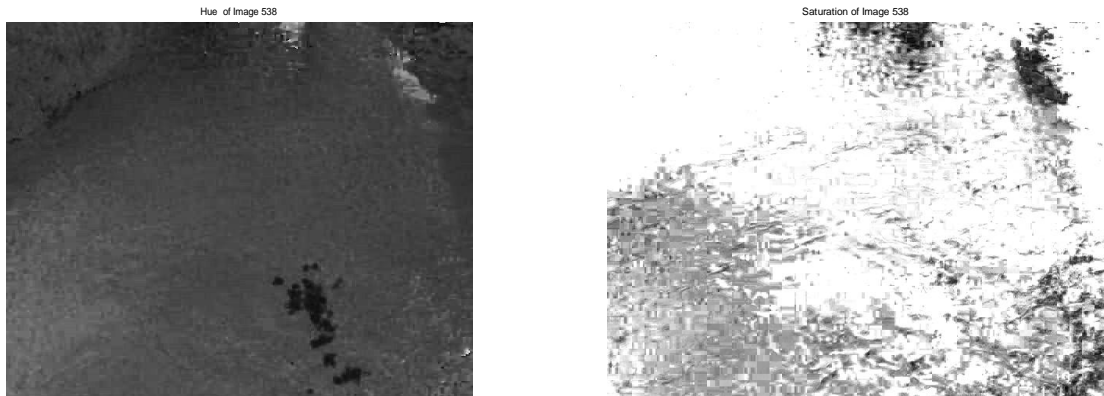
Η μορφή του είναι η παρακάτω εικόνα 4:



Εικόνα 4: Αναπαράσταση YCbCr χρωματικού μοντέλου.

1.3 Διαγραφή τιμών έντασης βάσει ιστογράμματος για το HSI

Μετά τη μετατροπή των εικόνων από το RGB στο HSI χρωματικό μοντέλο, στόχος είναι να γίνει διαγραφή κάποιων τιμών έντασης έτσι ώστε να διώξουμε τιμές φόντου και θόρυβο. Πριν όμως αναλύσουμε αυτήν τη διαδικασία, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός μίας HSI εικόνας στους τρεις παράγοντες, hue, saturation και intensity. Θα αναλυθεί πάλι το καρέ 538.



Εικόνα 5:α) Hue παράγοντας b) Saturation παράγοντας.

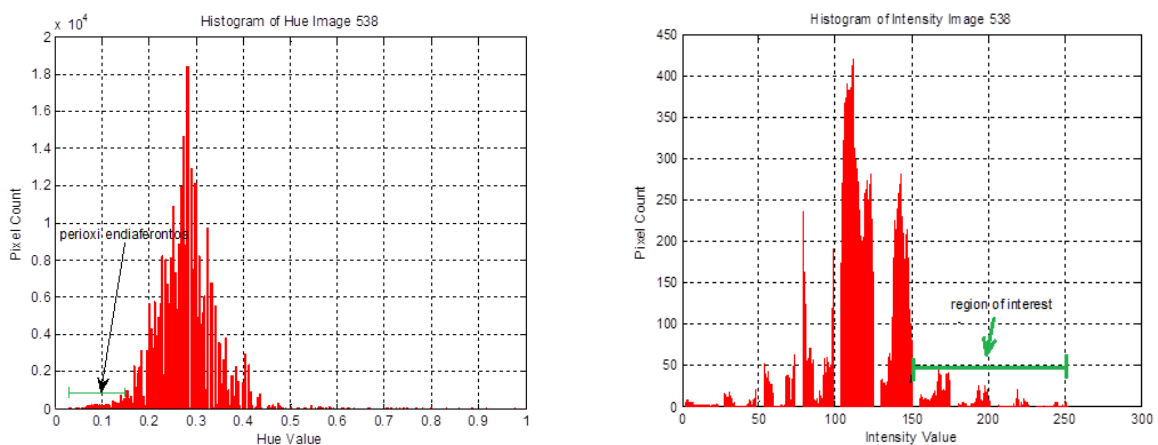
Από την παραπάνω εικόνα (5a) παρατηρείται πως τα φύλλα μπορούν να εντοπιστούν εύκολα και μάλιστα αρκετά πιο εύκολα από ότι στην εικόνα του παράγοντα saturation, όπως φαίνεται στην εικόνα 5b. Όπως παρατηρείται από την παραπάνω εικόνα, η οποία είναι πολλαπλασιασμένη επί 10 επί της πραγματικής για να είναι ευκρινέστερες οι λεπτομέρειές της, έχει χαθεί πλήρως η χρήσιμη πληροφορία ενώ είναι έντονη η παρουσία των σκιών από τον ήλιο και του θορύβου γενικότερα, όπως είναι τα κύματα στο κάτω δεξί μέρος της εικόνας.



Εικόνα 6: Intensity παράγοντας.

Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα 6, η χρήσιμη πληροφορία φαίνεται πάρα πολύ καλά. Να σημειωθεί πως η hue εικόνα είναι κανονικοποιημένη στο διάστημα 0-1 όπως και ο saturation, ενώ για την intensity ισχύει ότι έχει τιμές από 0-255.

Λόγω του γεγονότος ότι στις εικόνες 5a και 6 η χρήσιμη πληροφορία είναι πιο ευκρινής, δηλαδή οι διακυμάνσεις σε σχέση με το φόντο είναι εντονότερες, δημιουργήσαμε μια συνάρτηση σύμφωνα με την οποία διαγράφοντας τιμές έντασης και απόχρωσης, βάσει των αντίστοιχων διαγραμμάτων, όπως θα δειχθεί παρακάτω, δημιουργούταν μία εικόνα έντασης που συνδύαζε τις εναπομείνουσες τιμές έντασης και απόχρωσης. Παρακάτω βλέπουμε τα σχετικά ιστογράμματα για το καρέ 538.



Εικόνα 7: α) Ιστόγραμμα του hue παράγοντα β) Ιστόγραμμα του intensity παράγοντα.

Πράγματι, οι τιμές ενδιαφέροντος είναι κοντά στο 0.1 όπως έχει αναλυθεί στην υποενότητα 1.1. Έτσι διατηρήθηκαν οι τιμές απόχρωσης που βρίσκονταν στο διάστημα $0.04 < \text{hue} < 0.15$, όπως φαίνεται στην εικόνα 7a. Όσον αφορά την ένταση, μετά από πειραματικές διαδικασίες καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως οι καταλληλότερες τιμές έντασης ήταν εκείνες που είχαν τιμές μεγαλύτερες από 140, όπως φαίνεται στο ιστόγραμμα της έντασης στην εικόνα 7b. Διατηρώντας λοιπόν αυτές τις τιμές έντασης και απόχρωσης δημιουργήθηκε η παρακάτω εικόνα 8 που αφορά πάλι το καρέ 538.

Hue and Intensity Image 538

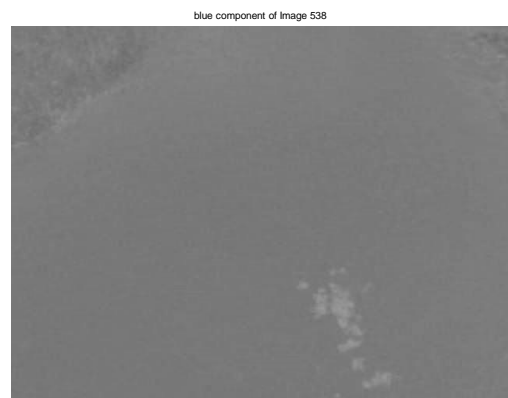


Εικόνα 8: Hue and Intensity Frame 538

Παρατηρείται ότι έχει παραμείνει λίγος θόρυβος, λόγω του φωτισμού από τον ήλιο στο πάνω μέρος της εικόνας και κάποιος μικρός θόρυβος από τα κύματα, στο δεξί μέρος της εικόνας. Ο θόρυβος, που έχει παραμείνει, θα εξαλειφθεί με περαιτέρω επεξεργασία.

1.4 Διαγραφή τιμών έντασης βάσει ιστογράμματος για το YCbCr

Παράλληλα στόχος είναι να γίνει μετατροπή από το RGB στο YCbCr χρωματικό μοντέλο όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 1.2 και να συγκριθούν τα αποτελέσματα. Κι εδώ χωρίζουμε το σύστημα σε τρεις συνιστώσες, την φωτεινότητα Y, τον μπλε παράγοντα Cb και τον κόκκινο παράγοντα Cr. Οι τρεις αυτές παράμετροι φαίνονται παρακάτω:

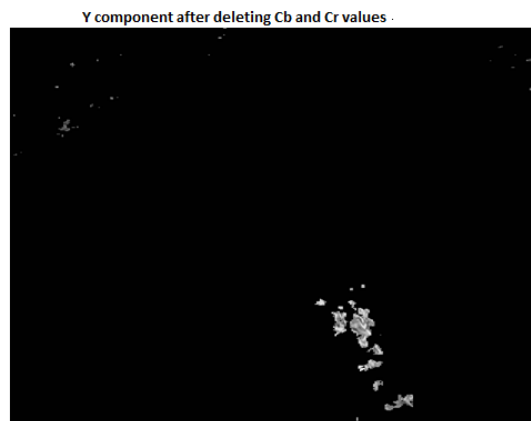


Εικόνα 9: α) Φωτεινότητα του YCbCr β) Μπλε παράγοντας του YCbCr.



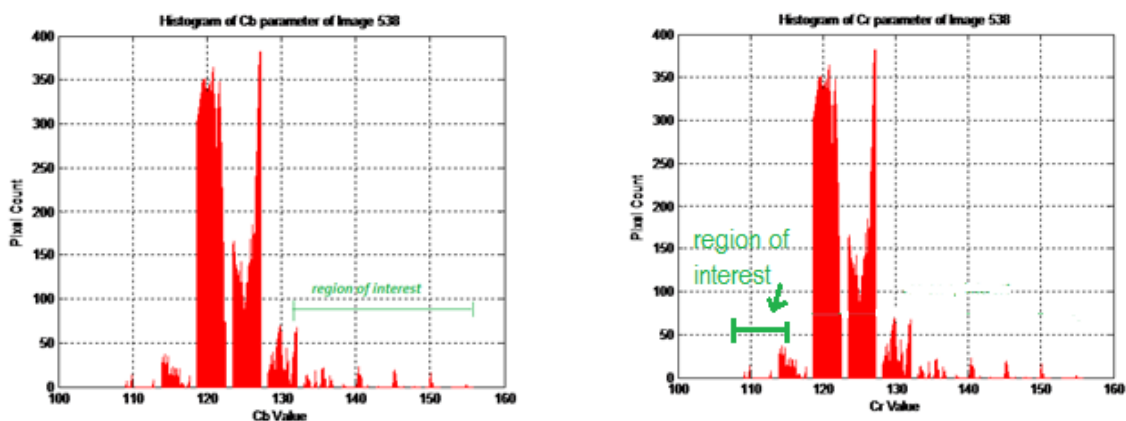
Εικόνα 10: Κόκκινος παράγοντας του YCbCr.

Από τις εικόνες 9a, 9b και 10 παρατηρείται ότι ο πρώτος παράγοντας, της φωτεινότητας, δίνει μεγαλύτερη έμφαση στο φωτισμό. Ο δεύτερος στα αντικείμενα και ο τρίτος στο φόντο. Έτσι στη συνέχεια, συνδυάστηκαν ο κόκκινος και ο μπλε παράγοντας, όπου οι διακυμάνσεις ήταν πιο έντονες, ώστε να δημιουργηθεί μία νέα εικόνα φωτεινότητας. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας φαίνονται παρακάτω στην εικόνα 11.



Εικόνα 11: Y παράγοντας μετά από διαγραφή τιμών Cb και Cr.

Οι τιμές αυτές προέκυψαν από την εξής διαδικασία: Όπως και στην HSI επεξεργασία, έτσι κι εδώ στόχος είναι να γίνει διαγραφή τιμών φωτεινότητας θέτοντας όρια μέσα στα οποία θα κινηθούν οι παράγοντες Cb και Cr. Παρακάτω, εικόνες 12a και 12b, φαίνονται οι τιμές που διατηρήθηκαν έτσι ώστε να πάρουμε το παραπάνω επιθυμητό αποτέλεσμα για το καρέ 538 πάλι.



Εικόνα 12: α) Cb Ιστόγραμμα β) Cr Ιστόγραμμα.

Από το παραπάνω ιστόγραμμα (12α) παρατηρείται πως οι περισσότερες τιμές είναι συγκεντρωμένες κάτω από το 135. Αυτό σημαίνει πως επειδή το φόντο περιέχει την περισσότερη μη χρήσιμη πληροφορία θα βρίσκεται στις τιμές Cb παράγοντα που βρίσκονται κάτω από το 135. Έτσι, τα φύλλα που αποτελούν ένα μικρό κομμάτι της χρήσιμης πληροφορίας, θα βρίσκονται στις τιμές Cb που είναι μεγαλύτερες από το 135, για αυτό και τις διατηρήσαμε. Έπειτα από πειραματικές προσπάθειες, διαπιστώθηκε πως οι τιμές Cr που έπρεπε να διατηρηθούν ήταν από το 115 και κάτω, όπως φαίνεται στην εικόνα 12b. Ο συνδυασμός του Cb με το Cr έγινε γιατί με τον πρώτο περιορισμό έφευγαν τιμές φωτεινότητας που αφορούν το μεγαλύτερο μέρος του φόντου, ενώ με τον δεύτερο περιορισμό έφευγαν τιμές θορύβου που προέκυπταν από τον ήλιο (σκιές) και τα κύματα του ποταμού.

1.5 Αφαίρεση των καρέ από καρέ σταθερού φόντου

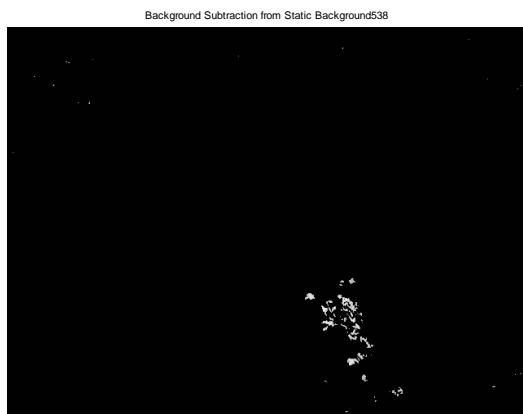
Σε επόμενο στάδιο σκοπός είναι να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερος εντοπισμός της χρήσιμης πληροφορίας, δηλαδή των φύλλων του ποταμού. Από τα προηγούμενα στάδια προεπεξεργασίας παρατηρείται πως έχει παραμείνει κάποιος σημαντικός θόρυβος που αν δεν εξαλειφθεί θα αλλοιώσει τα τελικά αποτελέσματα, δηλαδή της εκτίμησης της μέσης πραγματικής ταχύτητας των φύλλων.

Λόγω αυτού του προβλήματος κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός καρέ σταθερού φόντου από το οποίο μετέπειτα θα αφαιρεθεί κάθε τρέχον καρέ. Αυτό έγινε διότι αν γινόταν αφαίρεση κάθε τρέχοντος καρέ από το προηγούμενο, ή αν αφαιρούταν κάθε τρέχον καρέ από κάποιο με όσο το δυνατόν πιο σταθερό φόντο, τότε παρέμενε ο θόρυβος από τα κύματα. Παίρνοντας έτσι το μέσο όρο 90 καρέ δημιουργήθηκε το παρακάτω στατικό καρέ της εικόνας 13.



Εικόνα 13: Καρέ σταθερού φόντου.

Διαδοχικά λοιπόν για το HSI και το YCbCr μοντέλο έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα των εικόνων 14a και 14b.



Εικόνα 14: α) Αφαίρεση από σταθερό φόντο για HSI b) Ομοίως για YCBCr.

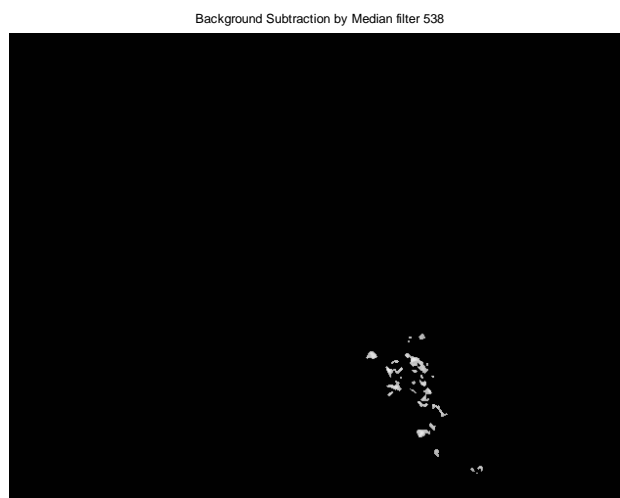
Από την παραπάνω εικόνα 14a, παρατηρείται πως ο θόρυβος έχει μειωθεί αισθητά ενώ η χρήσιμη πληροφορία δεν έχει αλλοιωθεί. Ακολουθεί το αντίστοιχο αποτέλεσμα για το χρωματικό μοντέλο YCbCr. Στην εικόνα 14b παρατηρείται πως και πάλι έχει μειωθεί κατά πολύ ο θόρυβος όμως όχι και πάλι στο βέλτιστο. Συγκρίνοντας τώρα τις δύο εικόνες, παρατηρείται πως το HSI έχει καλύτερα αποτελέσματα καθώς η χρήσιμη πληροφορία είναι πιο λεπτομερής και μεγαλύτερη, δηλαδή στο YCbCr «χάνουμε» σε χρήσιμη πληροφορία. Αντιθέτως με το YCbCr κερδίζουμε σε θόρυβο, δηλαδή ο θόρυβος είναι μειωμένος στη δεύτερη περίπτωση.

1.6 Εφαρμογή median φίλτρου

Το median φίλτρο είναι μία διαδικασία σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται η μέση τιμή των εντάσεων κάθε εικόνας. Σύμφωνα με αυτήν την τιμή, τιμές έντασης που είναι μικρότερες από αυτήν διαγράφονται ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργώντας μια μάσκα 3x3, στα περισσότερα από τα καρέ που επεξεργάστηκαν, υπολογίζεται η μέση τιμή, m , των pixels. Pixels με τιμή μικρότερη του m διαγράφονται ενώ εκείνα με τη μεγαλύτερη τιμή διατηρούνται. Το median φίλτρο είναι κατάλληλο για την εξάλειψη του θορύβου από τα κύματα επίσης μειώνει τον “salt and pepper” θόρυβο. Περαιτέρω θεωρητική ανάλυση του median φίλτρου γίνεται στην υποενότητα 5.2.2.

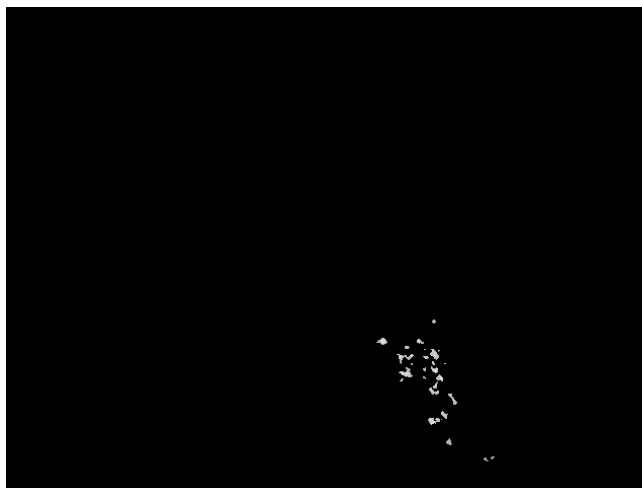
Σε κάποιες περιπτώσεις καρέ, χρειάστηκε να «σπάσουμε» την εικόνα σε δύο μισά και στο πρώτο μισό να εφαρμόσουμε median φίλτρο 3x3 ενώ στο δεύτερο μισό ένα φίλτρο 2x2. Αυτό συνέβη καθώς το median φίλτρο εξαφάνιζε χρήσιμη μακρινή πληροφορία. Πιο συγκεκριμένα, σε κάποια καρέ που θα αναλυθούν σε επόμενα κεφάλαια, μακρινά, μικρά φύλλα εξαφανίζονταν λόγω του median φίλτρου, έτσι έπρεπε να μειώσουμε το «παράθυρο».

Αρχικά για το HSI και έπειτα για το YCbCr για το καρέ 538 έχουμε, εικόνες 15, 16:



Εικόνα 15: Μετά το median φίλτρο για το HSI.

Στην εικόνα 15 παρατηρείται πως ο θόρυβος έχει μειωθεί πλήρως όμως έχει χαθεί λίγη χρήσιμη πληροφορία.



Εικόνα 16: Μετά το median φίλτρο για το YCbCr.

Παρατηρείται πως τα αποτελέσματα των δύο χρωματικών μοντέλων στην έως τώρα προεπεξεργασία είναι παρόμοια. Έχει χαθεί ο θόρυβος και στις δύο εικόνες 15 και 16 ενώ έχει χαθεί παρόμοιο ποσοστό χρήσιμης πληροφορίας. Για να ανακτηθεί αυτή η χρήσιμη πληροφορία χρειάστηκε να «θολώσουμε» τις εικόνες, όπως θα αναλυθεί στην επόμενη υποενότητα.

1.7 Smoothing

Η λογική της διαδικασίας του smoothing είναι η αύξηση της χρήσιμης πληροφορίας. Το σκεπτικό του smoothing είναι ότι γύρω από κάθε κενό pixel χρήσιμης πληροφορίας θα υπάρχουν γειτονικά pixels χρήσιμης πληροφορίας. Με αυτόν τον τρόπο «γεμίσαμε» τα φύλλα.

Πιο συγκεκριμένα, έπειτα από δοκιμές, παρατηρήθηκε ότι έπρεπε να επεξεργαστούμε τις εικόνες κάνοντας smoothing, ή αλλιώς blurring, προσθέτοντας δηλαδή variance ή αναλυτικότερα να μπορέσει να «γεμίσει» η χρήσιμη πληροφορία, δηλαδή βλέποντας τα γειτονικά pixels σκοπός ήταν να καταφέρουμε να δώσουμε τιμή και σε κάποια που είχαν μηδενική τιμή από προηγούμενη επεξεργασία. Η διαδικασία έχει ως εξής:

- Φτιάχνουμε ένα παράθυρο 3x3 της εικόνας.
- Υπολογίζουμε το mean, μ , ως:

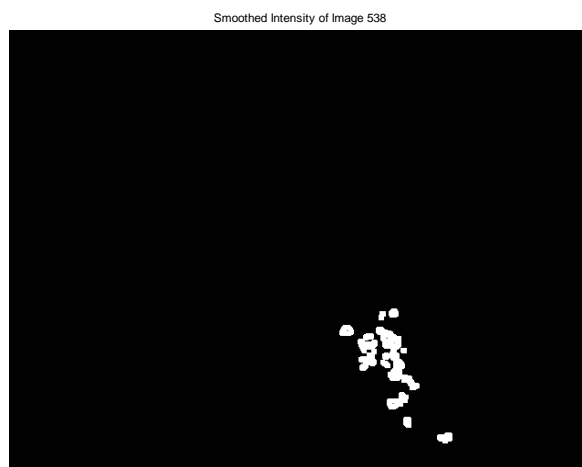
$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

- Μετά υπολογίζεται το:

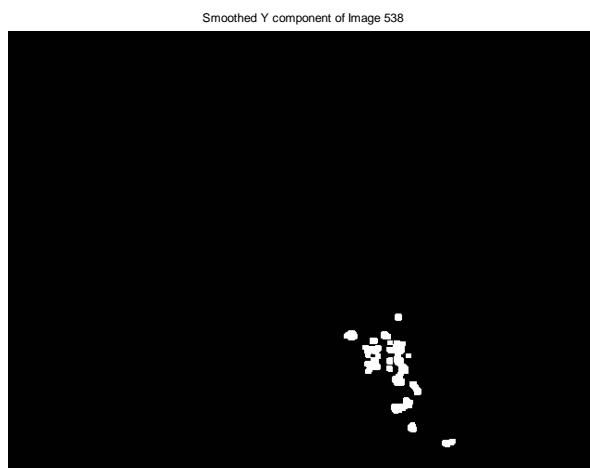
$$sum = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (img(i, j) - \mu)^2$$

- Τέλος, διαιρώ κάθε άθροισμα με το πλήθος των pixels που επεξεργάστηκαν, δηλαδή στην περίπτωση μας το 9.

Η διαδικασία αυτή αύξησε κατά πολύ την πολυπλοκότητα του προγράμματος, έτσι για να μειώσουμε την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου αυτού, για pixels που είχαν mean = 1 ορίζαμε κατευθείαν την τιμή της εικόνας ίση με μηδέν. Με τη σειρά οι εικόνες 17 και 18 αναφέρονται στα αποτελέσματα των HSI και YCbCr αντίστοιχα.



Εικόνα 17: Smoothed εικόνα για το HSI.



Εικόνα 18: Smoothed εικόνα για το YCbCr.

Από τις παραπάνω εικόνες 17 και 18 παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα είναι παρόμοια. Συμπερασματικά λοιπόν, προς στιγμήν δεν μπορούμε να διακρίνουμε ποιο χρωματικό μοντέλο είναι καλύτερο. Το μόνο που μπορούμε να συμπεράνουμε είναι πως είναι βέλτιστα καθότι δεν έχει παραμείνει καθόλου θόρυβος.

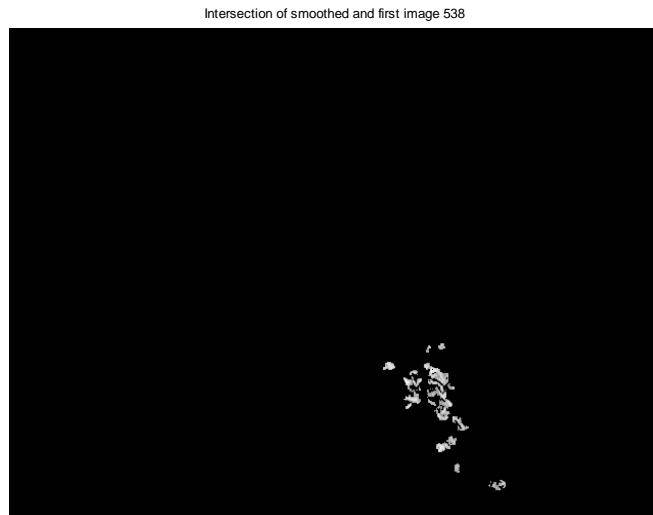
1.8 Τομή της αρχικής εικόνας με τη smoothed

Σε αυτό το στάδιο στόχος είναι να δημιουργηθεί μια νέα εικόνα η οποία να έχει τιμές έντασης συνδυασμένες με τις εικόνες smoothed και την αρχική intensity εικόνα. Πιο συγκεκριμένα πρέπει να πάρουμε την τομή των εντάσεων της αρχικής intensity image και της smoothed image, και να διατηρήσουμε τις τιμές έντασης της αρχικής εικόνας μας. Έτσι αρχικά έχουμε τις δύο διαφορετικές εικόνες, όπως φαίνονται παρακάτω, στην εικόνα 19, όσον αφορά το HSI χρωματικό μοντέλο:



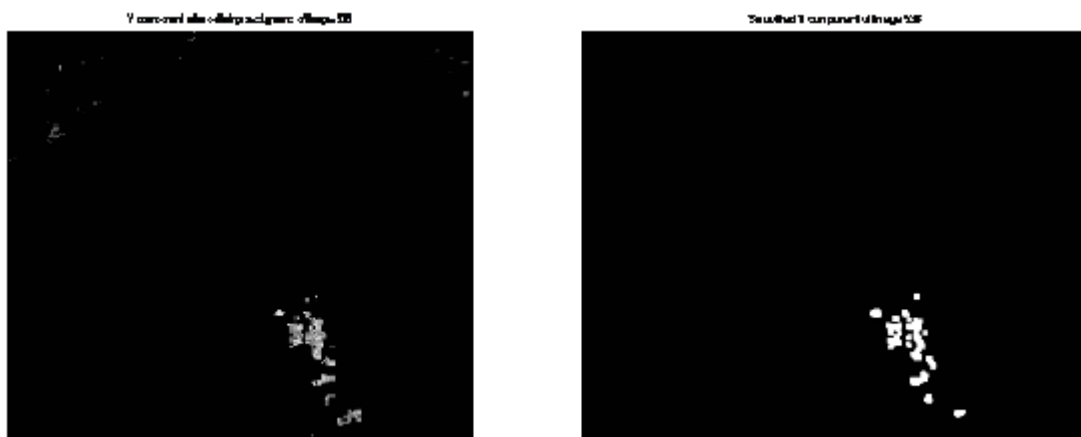
Εικόνα 19: a) Εικόνα μετά τη διαγραφή hue- intensity b) smoothed εικόνα

Μετά την τομή έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα για το καρέ 538. Από την εικόνα 20 παρατηρείται πως έχει ανακτηθεί η περισσότερη χρήσιμη πληροφορία.



Εικόνα 20: Τομή αρχικής και smoothed εικόνας για το HSI.

Όσον αφορά το χρωματικό μοντέλο YCbCr παίρνουμε την τομή της αρχικής εικόνας φωτεινότητας με την smoothed εικόνα, και μιας και η εικόνα φωτεινότητας είναι υποσύνολο της smoothed, αναμένουμε να πάρουμε την αρχική εικόνα χωρίς το θόρυβο. Έτσι έχουμε την τομή των παρακάτω εικόνων της εικόνας 21:



Εικόνα 21: α) Εικόνα μετά από τη διαγραφή Cb, Cr β) Smoothed εικόνα.

Το τελικό αποτέλεσμα της τομής περιγράφεται παρακάτω στην εικόνα 22.



Εικόνα 22: Τομή αρχικής και smoothed εικόνας για το YCbCr.

1.9 Σύγκριση RGB, HSI και YCbCr

Σε αυτό το στάδιο της ανάλυσης στόχος είναι να γίνει σύγκριση των τριών χρωματικών μοντέλων. Έτσι έχουμε:

Ο RGB χρωματικός χώρος είναι ο πιο επικρατών για τα γραφικά υπολογιστών γιατί η χρωματική έκθεση γίνεται μέσω της χρήσης των red, green και blue έτσι ώστε να δημιουργηθεί το επιθυμητό χρώμα. Ωστόσο το RGB χρωματικό μοντέλο δεν είναι κατάλληλο και τόσο αποδοτικό όταν η επεξεργασία γίνεται σε εικόνες του πραγματικού κόσμου. Πρέπει να γίνει συνδυασμός και των τριών χρωματικών παραγόντων ώστε να πάρουμε ένα χρώμα. Τέλος, για να επεξεργαστούμε την ένταση ή το χρώμα χρειάζεται να «διαβάσουμε» και τα τρία χρώματα γεγονός που αυξάνει την πολυπλοκότητα.

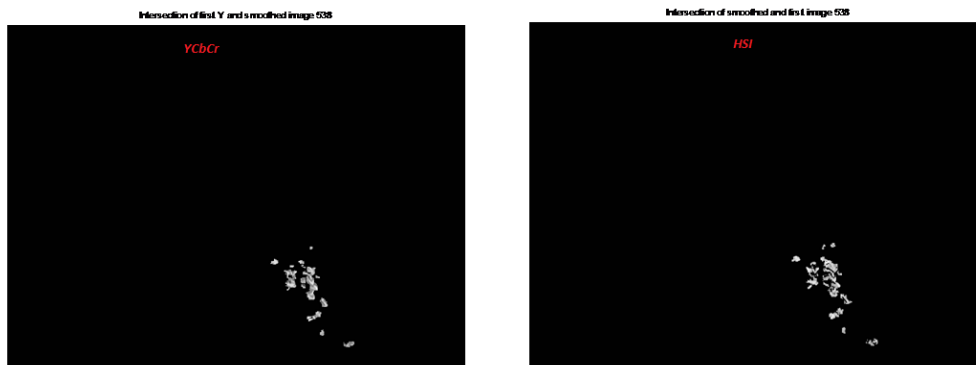
Το HSI χρωματικό μοντέλο αναπτύχθηκε για να είναι πιο διαισθητική η επεξεργασία του χρώματος και σχεδιάστηκε για να προσεγγίσει τον τρόπο που οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται το χρώμα. Το HSI είναι πιο κατάλληλο σε παραδοσιακές επεξεργασίας εικόνες λειτουργίες όπως η συνέλιξη, τα ιστογράμματα εκμεταλλευόμενο τον παράγοντα ένταση που είναι ισοδύναμος των R, G και B. Τέλος, είναι αποδοτικότερο στην ανίχνευση προσώπων για παράδειγμα.

Τέλος, το YCbCr χρωματικό μοντέλο είναι ένας ευκλείδειος χώρος. Ουσιαστικά το YCbCr είναι ότι «παίρνεις» τυπικά από μία κάμερα. Πρακτικά, στην έκθεση των αποτελεσμάτων, θα δείξουμε πως το πιο κατάλληλο μοντέλο για την ανίχνευση των φύλλων στη ροή ποταμού είναι το χρωματικό μοντέλο HSI. Παρακάτω, στις εικόνες 23, 24 δείχνουμε τα τελικά αποτελέσματα της

ανίχνευσης των φύλλων, για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα δύο χρωματικά μοντέλα. Έτσι, για το καρέ 538 έχουμε ως αρχική εικόνα, την παρακάτω εικόνα 23.



Εικόνα 23: Καρέ 538



Εικόνα 24: Comparison of YCbCr and HSI

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρείται ότι η δεξιά εικόνα που είναι το τελικό αποτέλεσμα του HSI χρωματικού μοντέλου, είναι ευκρινέστερη σε σχέση με την αριστερή, που είναι το αποτέλεσμα του YCbCr χρωματικού μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, τα φύλλα της δεξιάς εικόνας φαίνονται καλύτερα, δηλαδή οι ακμές τους είναι πιο λεπτομερείς σε σχέση με την αριστερή εικόνα. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως, για την ανίχνευση των φύλλων στη ροή ποταμού είναι καταλληλότερο το HSI χρωματικό μοντέλο.

1.10 Συμπεράσματα

Μετά το στάδιο της προεπεξεργασίας πάνω στα δύο χρωματικά μοντέλα HSI και YCbCr τα συμπεράσματα είναι τα παρακάτω:

1. Καλύτερο χρωματικό μοντέλο όσον αφορά τον εντοπισμό της χρήσιμης πληροφορίας είναι το HSI ενώ όσον αφορά τη μείωση του θορύβου το YCbCr για τον εντοπισμό των

αντικειμένων στη ροή ποταμού. Επίσης, το δεύτερο, χωρίζει καλύτερα τα χρωματικά μοντέλα, όπως φαίνεται στις εικόνες 24a και 24b.

2. Ο συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων που αναπτύχθηκαν ήταν ο καταλληλότερος έτσι ώστε να απομονωθεί όσο το δυνατόν περισσότερη χρήσιμη πληροφορία και για τα δύο χρωματικά μοντέλα, όπως φαίνεται στην εικόνα 24.
3. Τέλος, να σημειωθεί ότι όσον αφορά το HSI χρωματικό μοντέλο, σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού το hue δεν αλλάζει ενώ το intensity αλλάζει. Άρα, οι τιμές που επιλέχθηκαν είναι σχετικές για το intensity, γεγονός που προκύπτει λογικά.

Στο επόμενο κεφάλαιο 2, θα αναλυθεί ο τρόπος που έγινε η εκτίμηση της κίνησης. Πιο συγκεκριμένα θα μελετηθεί η χρήση του Block Matching Algorithm για την εκτίμηση των motion vectors.

Κεφάλαιο 2: Εκτίμηση Κίνησης

Σε αυτό το κεφάλαιο στόχος είναι να γίνει ανάλυση του υπολογισμού της εκτίμησης της κίνησης. Με τον όρο κίνηση εννοούμε την μετατόπιση κάθε εικονοστοιχείου από το ένα καρέ στο προηγούμενο σε μέτρο και κατεύθυνση και εν τέλει τον υπολογισμό του διανύσματος κίνησης, motion vector. Ο υπολογισμός αυτού του διανύσματος έγινε μέσω του Block Matching Algorithm. Παρακάτω θα αναλυθούν τα βήματα που ακολουθήθηκαν ώστε να γίνει ο υπολογισμός του διανύσματος.

2.1 Ανάλυση Block Matching Algorithm

Η εκτίμηση της κίνησης είναι η διαδικασία εύρεσης των βέλτιστων διανυσμάτων κίνησης (motion vectors, mv). Για την εκτίμηση της κίνησης χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Block Matching (BMA). Η διαδικασία του BMA πραγματοποιήθηκε για δύο διαδοχικά καρέ, το $frame_t$ και το $frame_{t-1}$. Σύμφωνα με τον BMA, η τρέχουσα εικόνα, $frame_t$, χωρίζεται σε τετράγωνα κομμάτια, μεγέθους $w \times w$, τα blocks, και παίρνοντας κάθε block, ψάχνουμε σε μία search area του reference $frame_{t-1}$, μεγέθους $(p+w) \times (p+w)$, να βρούμε βάσει Sum of absolute differences (SAD), το πιο κοντινό του σε επίπεδο εντάσεων, δηλαδή το πιο όμοιό του block. Αφού βρούμε το «πιο ταιριαστό» block, ενώνουμε τα κέντρα τους κι έτσι παίρνουμε έναν motion vector. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου διανύσουμε όλη την εικόνα.

Παρακάτω, στην εικόνα 25, παρατηρούνται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον υπολογισμό του motion vector. Έτσι τα βήματα αυτά είναι τα ακόλουθα [4]:

1. Αρχικά, για να μειωθεί η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου, διότι πρόκειται να επεξεργαστούμε μεγάλες εικόνες (480x640 pixels), εξετάζεται αν το pixel που είναι έτοιμο προς επεξεργασία ανήκει στο background (δηλαδή τιμή ίση με 1) ή είναι μέρος αντικειμένου, όπου και συνεχίζεται η επεξεργασία του.
2. Αφού το pixel ανήκει σε αντικείμενο προχωράμε στο δεύτερο βήμα. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε pixel που επεξεργάζεται, ορίζεται μία search area στο προηγούμενο καρέ, το reference frame, μέσα στην οποία ο αλγόριθμος αρχίζει να ψάχνει για το πιο κοντινό του σε ένταση pixel, δηλαδή στο best-matched.
3. Στη συνέχεια, για κάθε τέτοιο «ταίριασμα» υπολογίζεται το sum of absolute difference, SAD, σύμφωνα με το οποίο το τρέχον pixel που εξετάζεται με το minimum SAD είναι εκείνο που θεωρείται το best-matched.

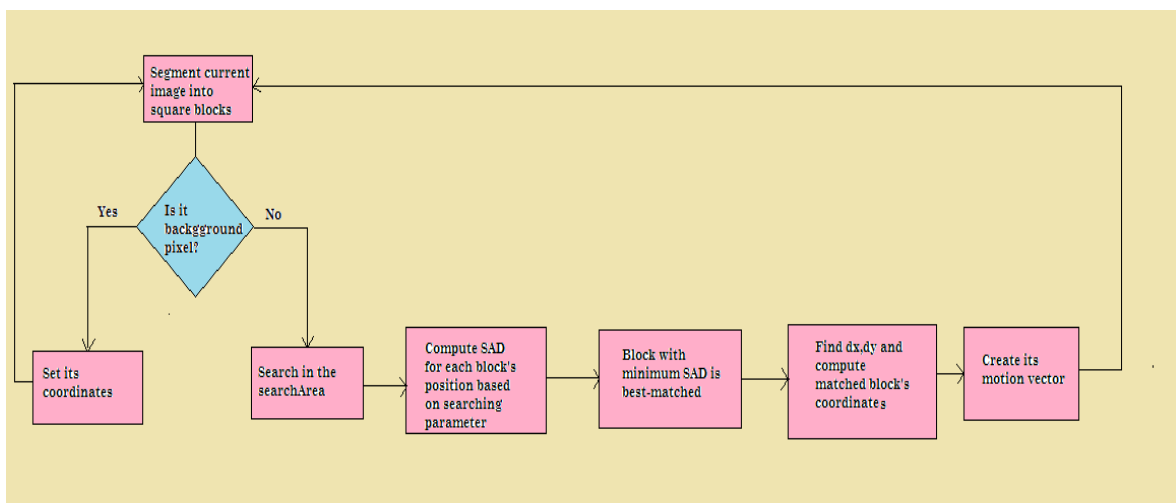
$$SAD(\hat{u}, \hat{v}) = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} |g_t(x+i, y+j) - g_{t+1}(x+\hat{u}+i, y+\hat{v}+j)|$$

Όπου:

g_t : is the gray value of a pixel in the current frame

g_{t+1} : is the gray level of a pixel in the next frame

4. Τέλος, για κάθε εξεταζόμενο pixel το οποίο ανήκε σε κάποιο αντικείμενο υπολογίζονται οι νέες συντεταγμένες του x, y βάσει μετατοπίσεων dx και dy αντίστοιχα.



Εικόνα 25: BMA Steps.

2.2 Βελτιστοποιήσεις του BMA

Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.1, η πρώτη βελτιστοποίηση, του αλγορίθμου υπολογισμού των motion vectors που έγινε, ήταν η παράβλεψη των εικονοστοιχείων τα οποία ανήκαν στο φόντο. Πιο συγκεκριμένα, για να μην χρειαστεί να γίνει επεξεργασία όλης της εικόνας, άρα για μείωση της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου, για κάθε τρέχον block, μετράμε πόσους «1» έχει. Αν ο αριθμός των «1» είναι $w \times w$, τότε σημαίνει πως το block ανήκει στα background pixels, έτσι δεν υπολογίζουμε mn.

Η δεύτερη βελτιστοποίηση αφορά τα directions. Πιο συγκεκριμένα, αφού έχουν υπολογιστεί όλοι οι motion vectors, για τα pixels που ανήκουν μόνο στα αντικείμενα, σκοπός είναι να γίνει ο υπολογισμός του direction, όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Έπειτα, όπως θα δούμε και στην περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων, δημιουργούμε ένα ιστόγραμμα των directions. Από

το ιστόγραμμα βρίσκεται η direction που έχει το μέγιστο αριθμό pixels. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο, διατηρούνται μόνο οι βασικές κατευθύνσεις των mv.

2.3 Υπολογισμός της κατεύθυνσης

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι υπολογισμού της κατεύθυνσης. Είναι γνωστό πως έχοντας δύο σημεία $A(x_1, y_1)$ και $B(x_2, y_2)$ για να γίνει υπολογισμός της κλίσης της ευθείας που σχηματίζεται με τον άξονα των x , χρησιμοποιείται ο τύπος:

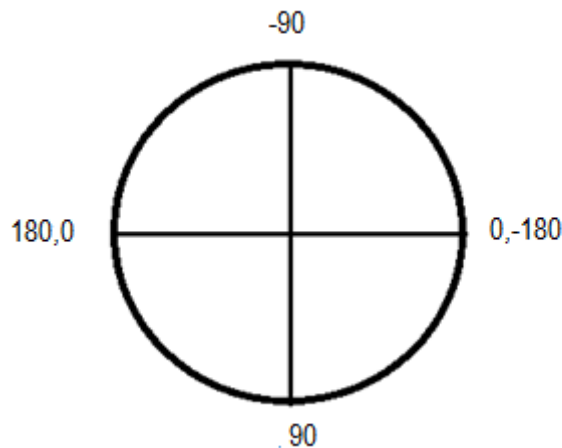
$$\kappa\lambda\iota\sigma\eta = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Έπειτα, βάσει τύπου, $\epsilon\phi\omega = \kappa\lambda\iota\sigma\eta$, υπολογίζεται η γωνία σε rads. Τέλος, βάσει του τύπου (1), τα rads, μετατρέπονται σε μοίρες.

$$\frac{a}{\pi} = \frac{\mu}{180^\circ} \quad (1)$$

Όπου, a : ακτίνια και μ : μοίρες.

Τέλος, γίνεται μετατροπή των γωνιών, θετικών και αρνητικών, στην κλίμακα 0-180°, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 26.



Εικόνα 26: Αναπαράσταση κατευθύνσεων.

- **Απόδειξη του τύπου (1)**

Ακτίνιο(1 rad), είναι η γωνία η οποία όταν γίνει επίκεντρη σε έναν κύκλο. Βαίνει σε τόξο ενός ακτινίου.

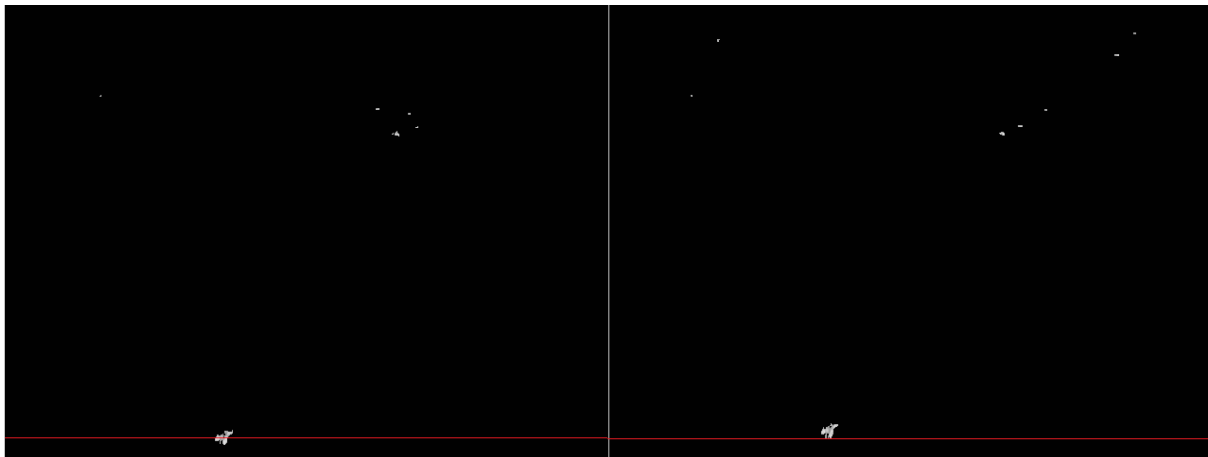
Έστω ότι μία γωνία ω είναι μ° και α rad. Επειδή το μήκος ενός κύκλου ακτίνας ρ είναι $2\pi\rho$, η γωνία 360° θα είναι ίση με 2π rads. Η γωνία 1 rad θα είναι ίση με $360^\circ/2\pi$ μοίρες.

Επομένως η γωνία α rads, είναι ίση με $\alpha 180^\circ/\pi$ μοίρες.

Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.1, ο αλγόριθμος υπολογίζει τα motion vectors από το frame_t στο frame_{t-1} . Έτσι στην επόμενη υποενότητα της εμφάνισης και σχολιασμού των αποτελεσμάτων, περιμένουμε να δούμε τα θετικά directions προς τα κάτω ενώ τα αρνητικά προς τα πάνω.

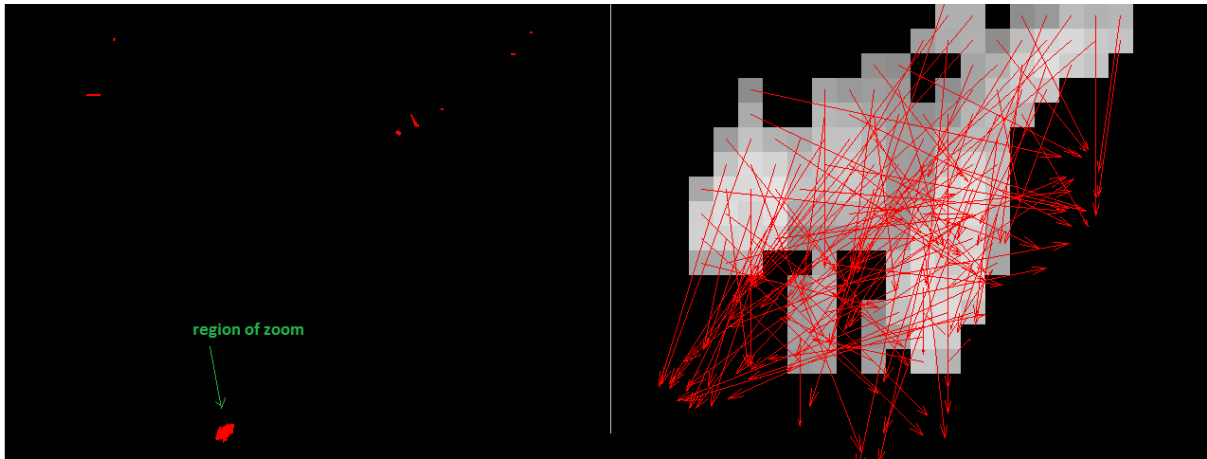
2.4 Ανάλυση των αποτελεσμάτων του BMA

Σε αυτήν την υποενότητα στόχος είναι να γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων του Block Matching Algorithm. Θα μελετηθούν δύο περιπτώσεις διαδοχικών καρέ. Αρχικά θα μελετηθούν όλα τα motion vectors κι έπειτα θα δείξουμε τα αποτελέσματα μετά την δεύτερη βελτιστοποίηση που αναλύθηκε στην υποενότητα 2.2. Αρχικά θα μελετηθεί το καρέ 662, όπως φαίνεται στην εικόνα 27.



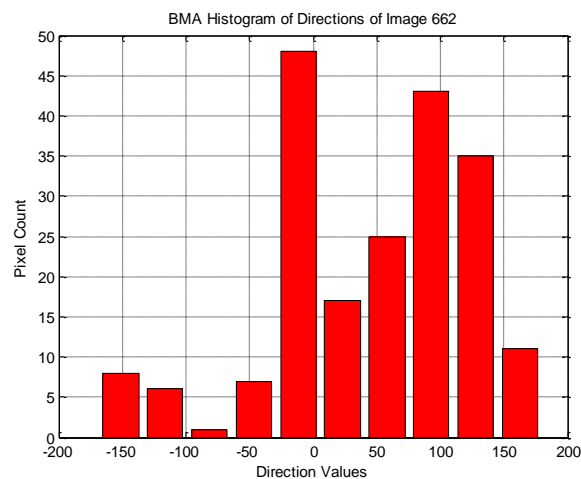
Εικόνα 27: a) Καρέ 661 b) Καρέ 662.

Από τις παραπάνω εικόνες, της εικόνας 27, παρατηρείται πως το βασικό αντικείμενο κινείται προς τα πάνω και δεξιά. Αφού λοιπόν υπολογίζουμε τα διανύσματα κίνησης από το τρέχον καρέ στο προηγούμενο, αναμένουμε τα βέλη να έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω και αριστερά. Παρακάτω, στην εικόνα 28, παρατηρούνται όλα τα motion vectors.



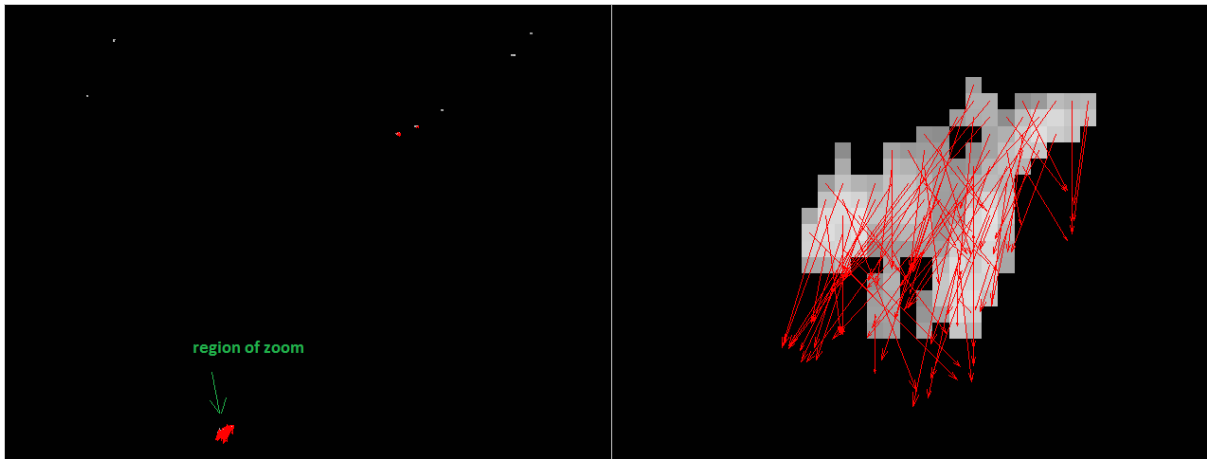
Εικόνα 28: α) BMA καρέ 662 β) zoom region of 662

Πράγματι, η πληθώρα των motion vectors έχει την παραπάνω κατεύθυνση που αναμέναμε. Παρακάτω στην εικόνα 29, φαίνεται το ιστόγραμμα όλων των κατευθύνσεων.



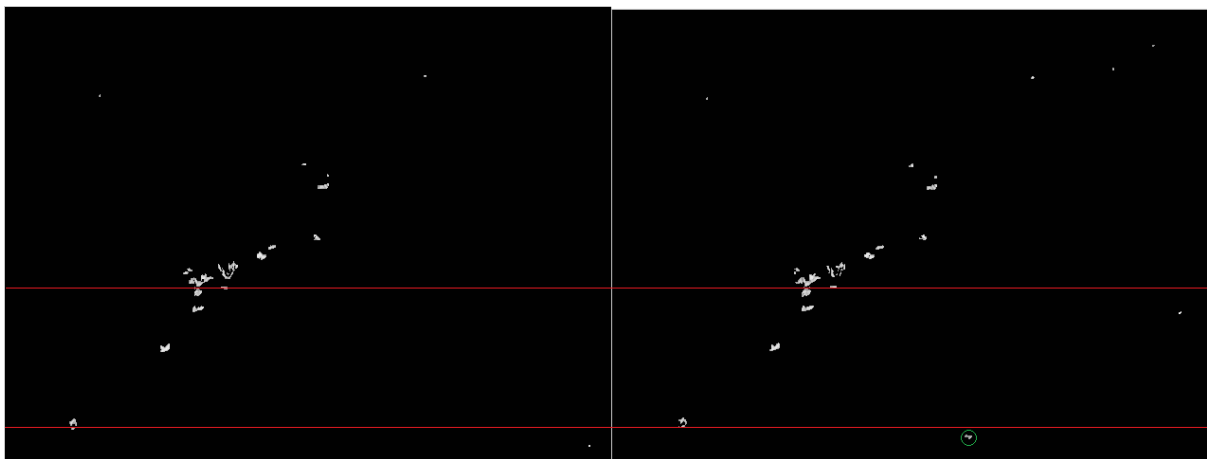
Εικόνα 29: Ιστόγραμμα κατευθύνσεων καρέ 662.

Από το παραπάνω ιστόγραμμα παρατηρείται πως με μικρή διαφορά η μέγιστη κατεύθυνση είναι οι 0° . Αυτό συμβαίνει διότι όπως παρατηρείται από την εικόνα 27, υπάρχουν κάποια μακρινά αντικείμενα ή αντικείμενα θορύβου, που θα διαγραφούν σε επόμενη επεξεργασία, τα οποία είτε έχουν πολύ μικρή ταχύτητα είτε δεν υπήρχαν στο προηγούμενο καρέ. Έτσι επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Βάσει ιστογράμματος λοιπόν, διατηρείται η δεύτερη μεγαλύτερη κατεύθυνση και σε ένα διάστημα $\pm 45^\circ$, ο αλγόριθμος επιλέγει ποιες κατευθύνσεις θα διατηρήσει. Το αποτέλεσμα αυτού του «ξεκαθαρίσματος» φαίνεται στην παρακάτω, εικόνα 30. Να σημειωθεί πως αυτό συνέβη σε ελάχιστα καρέ καθώς στα περισσότερα καρέ η επικρατέστερη κατεύθυνση ήταν και η πραγματική.



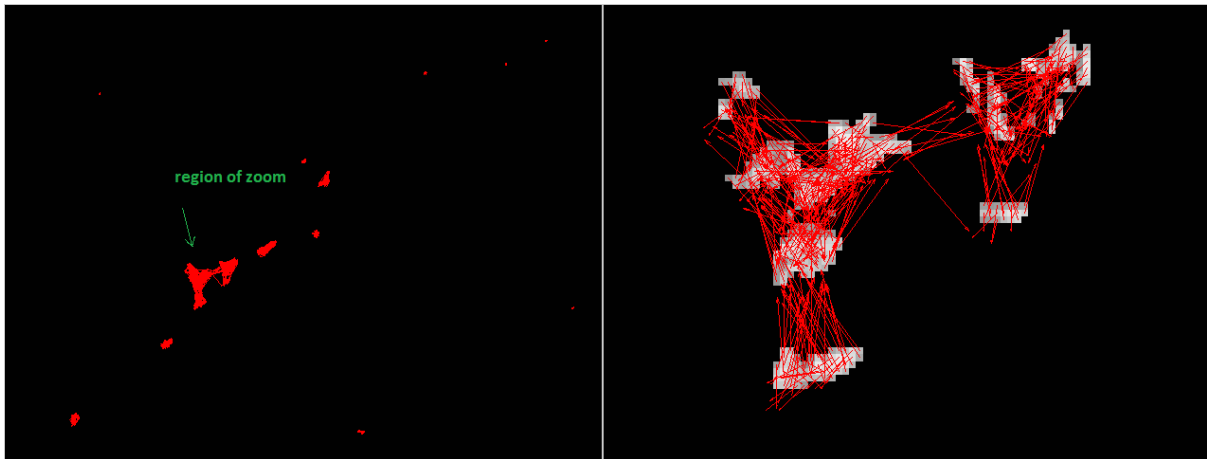
Εικόνα 30: α) Επικρατέστερες κατευθύνσεις καρέ 662 β) zoom of 30α.

Παρατηρείται πως αν και τα φύλλα έχουν σχεδόν ομοιόμορφες αποχρώσεις, γεγονός που «μπερδεύει» τον αλγόριθμο, ο αλγόριθμος λειτουργεί άρτια. Στη συνέχεια θα μελετηθεί το καρέ 742 από άλλη οπτική γωνία.



Εικόνα 31: α) Καρέ 741 β) Καρέ 742.

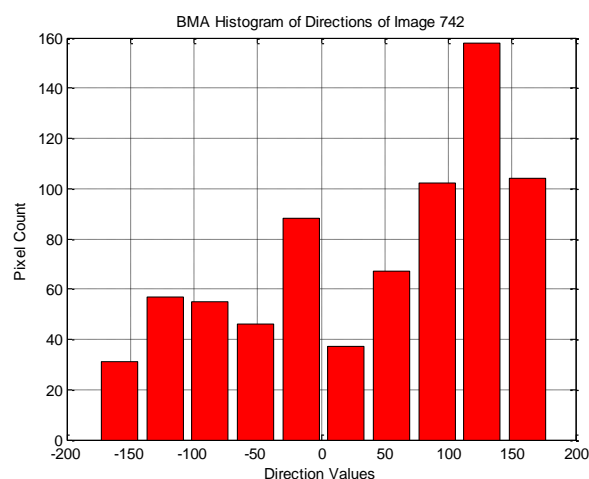
Στην εικόνα 31 παρατηρείται πως ως επί το πλείστον τα αντικείμενα κινούνται προς τα πάνω και δεξιά. Αυτό που θα παρατηρηθεί σε αυτό το στάδιο της ανάλυσης είναι κατά πόσο ο BMA λειτουργεί σωστά ανεξάρτητα από τον τομέα των κατευθύνσεων. Ας αναλυθεί όμως αναλυτικά το αποτέλεσμα του καρέ 742.



Εικόνα 32: α) BMA καρέ 742 β) zoom of 32α.

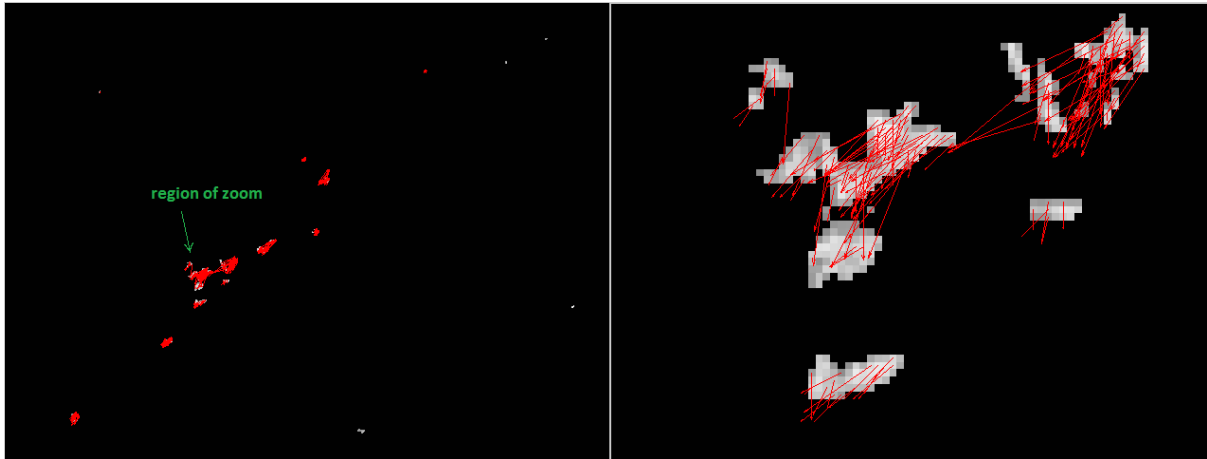
Από την παραπάνω εικόνα 32, παρατηρείται πόσο «ανώμαλα» είναι τα αποτελέσματα στο σημείο του συσσωματώματος. Αυτό συμβαίνει καθώς, αρχικά κάποια αντικείμενα πρωτοεμφανίζονται στο καρέ 742 οπότε το πιο matching block βρίσκεται στην πιο κοντινή περιοχή άλλων φύλλων και δεύτερον επειδή τα φύλλα έχουν παρόμοιες αποχρώσεις του καφέ, οπότε ο αλγόριθμος μπερδεύεται.

Στην εικόνα 33, εμφανίζεται το ιστόγραμμα των κατευθύνσεων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω αναμένεται η μέγιστη κατεύθυνση να είναι περίπου στις 110° , δηλαδή τα αντικείμενα να κινούνται προς τα κάτω και αριστερά από το τρέχον καρέ στο προηγούμενο. Πράγματι, η επικρατέστερη κατεύθυνση είναι γύρω στις 110° , γεγονός που επιβεβαιώνει την αρχική μας υπόθεση.



Εικόνα 33: Ιστόγραμμα κατευθύνσεων.

Στη συνέχεια στόχος είναι να διατηρηθούν οι επικρατέστερες κατευθύνσεις. Έτσι, διατηρώντας τις κατευθύνσεις που βρίσκονται στο διάστημα $65^\circ < \text{direction} < 155^\circ$ τα αποτελέσματα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα 34.



Εικόνα 34: α) Επικρατέστερες κατευθύνσεις καρέ 742 β) zoom of 34a.

Παρατηρείται πως έγινε ένα «ξεκαθάρισμα» των κατευθύνσεων. Πιο συγκεκριμένα, για αντικείμενα τα οποία δεν είχαν αντίστοιχο αντικείμενο ο BMA έδωσε κατευθύνσεις μηδενικές, όπως για παράδειγμα το αντικείμενο που είναι κυκλωμένο με πράσινο χρώμα στην εικόνα 31a. Επίσης πράγματι η επικρατέστερη κατεύθυνση είναι εκείνη που ισχύει πραγματικά. Άρα κι εδώ ο αλγόριθμος λειτουργεί άρτια.

Στο επόμενο κεφάλαιο 3, θα αναλυθούν οι τρόποι με τους οποίους έγιναν η εξαγωγή των χρήσιμων περιοχών, blob tracking και η ταυτοποίηση τους.

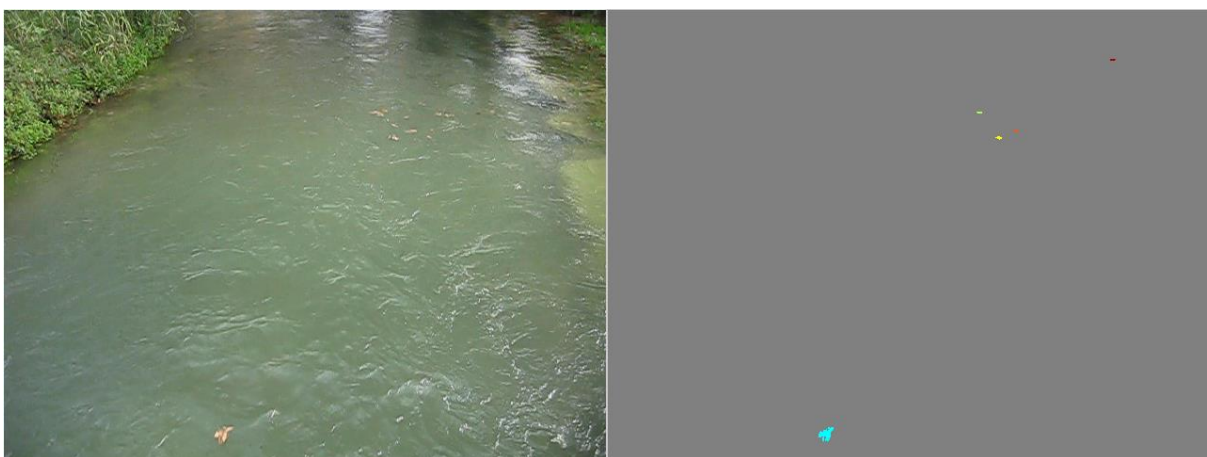
Κεφάλαιο 3: Ταυτοποίηση Αντικειμένων

Σε αυτό το κεφάλαιο στόχος είναι να γίνει περιγραφή δύο διεργασιών. Η πρώτη αφορά το στάδιο της ανίχνευσης των χρήσιμων περιοχών ενώ η δεύτερη το στάδιο της ταυτοποίησης των αντικειμένων. Όπως έχει προαναφερθεί, στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι να γίνει εκτίμηση της μέσης πραγματικής ταχύτητας κάθε αντικειμένου στη ροή ποταμού. Αυτό προϋποθέτει πως θα χρειαστεί να γίνουν οι παραπάνω δύο διαδικασίες.

3.1 Εξαγωγή χρήσιμων περιοχών

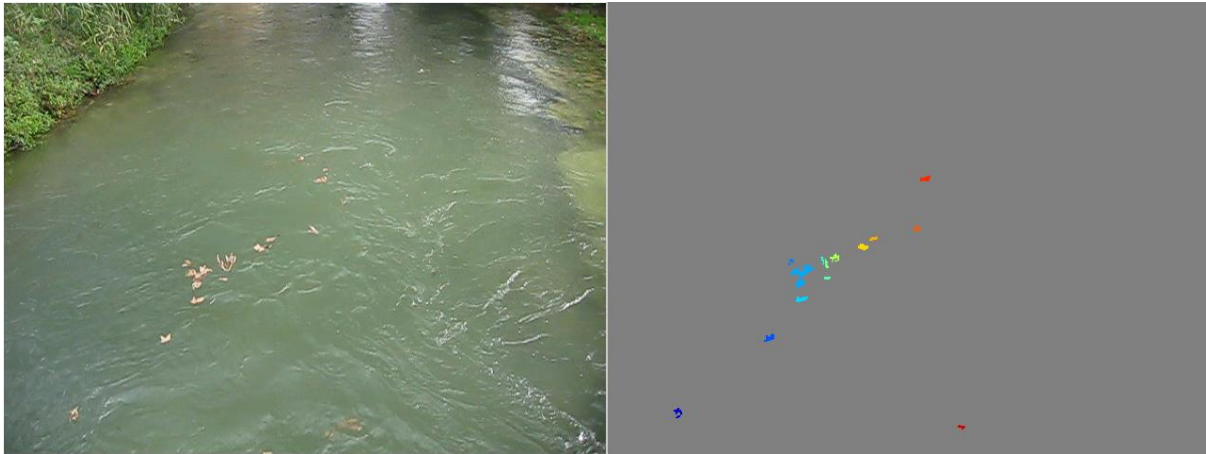
Αρχικά, εν συντομία θα περιγραφεί η πρώτη διαδικασία. Σε πρώτο στάδιο λοιπόν, στόχος είναι να γίνει εξαγωγή των χρήσιμων περιοχών, δηλαδή blob tracking. Για τον εντοπισμό αυτών των χρήσιμων περιοχών χρησιμοποιείται 8-connectivity για να βρούμε τους γείτονες κάθε εικονοστοιχείου και να εντοπίσουμε την περιοχή κάθε αντικειμένου. Αφού βρούμε τα εικονοστοιχεία που περιέχονται σε κάθε αντικείμενο εξάγουμε τα όριά του, boundaries. Έτσι, σαν τελικό αποτέλεσμα παίρνουμε την τελική εικόνα με labels που δείχνουν όχι τις πραγματικές του ταυτότητες αλλά τη σειρά με την οποία υπάρχουν μέσα σε μία εικόνα και τα όρια κάθε αντικειμένου. Τέλος, επειδή κάποιες εικόνες περιέχουν θόρυβο ορίστηκε ένα πειραματικό threshold σύμφωνα με το οποίο, αντικείμενα που είχαν μέγεθος μικρότερο των 15 pixels διαγράφονται.

Παρακάτω φαίνονται κάποια ενδεικτικά αποτελέσματα των καρέ 662 και 742 που αναλύθηκαν και παραπάνω.



Εικόνα 35: Καρέ 662 μετά τη διαγραφή μικρών περιοχών.

Παρατηρείται πως έχουν εντοπιστεί τα περισσότερα από τα φύλλα τα οποία υπάρχουν στον ποταμό. Ο μη εντοπισμός των υπολοίπων, οφείλεται στο γεγονός ότι πρώτον είναι πολύ μικρά και δεύτερον είναι μακρινά. Γενικά ο αλγόριθμός μας εντοπίζει καλύτερα κοντινά αντικείμενα λόγω της χρήσης του median φίλτρου, το οποίο όμως είναι απαραίτητο για τη μείωση του θορύβου.



Εικόνα 36: Καρέ 742 μετά τη διαγραφή μικρών περιοχών.

Παρατηρείται πως ο αλγόριθμος λειτουργεί άρτια.

3.2 Ταυτοποίηση αντικειμένων

Το δεύτερο κομμάτι του κεφαλαίου αυτού είναι η ανάλυση της ταυτοποίησης των αντικειμένων. Αρχικά η ταυτοποίηση των αντικειμένων έγινε χειροκίνητα ενώ στη συνέχεια βάσει αλγορίθμου. Εδώ θα αναλυθεί ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε για την ταυτοποίηση των αντικειμένων. Να σημειωθεί πως ως δεδομένο ταυτοποίησης ήταν η τρέχουσα ταχύτητα κάθε φύλλου, κομμάτι που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Οι βασικές περιπτώσεις για την ταυτοποίηση των αντικειμένων βάσει αλγορίθμου είναι τρεις:

1. Ίσος αριθμός αντικείμενων από καρέ σε καρέ.
2. Αύξηση των αντικειμένων από καρέ σε καρέ.
3. Μείωση των αντικειμένων από καρέ σε καρέ.

Τα δεδομένα για κάθε ταυτοποίηση είναι τα εξής:

1. Τα προηγούμενα labels.
2. Οι ταχύτητες των αντικειμένων του τρέχοντος και του προηγούμενου καρέ. (frame_t->frame_t-1 & frame_t-1->frame_t-2)

3. Η τοποθεσία κάθε αντικειμένου.

Οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν και που αφορούν τις καινοτομίες αυτής της εργασίας, ήταν οι παρακάτω:

1. Εξαφάνιση αντικειμένου και επανεμφάνισή του μετά από το λιγότερο 3 καρέ.
2. Συσσωμάτωμα.
3. Ίσος αριθμός αντικειμένων με την εξαφάνιση δύο και την επανεμφάνιση δύο μετά από ένα καρέ.
4. Αύξηση των αντικειμένων με επανεμφάνιση δύο αντικειμένων μετά από ένα καρέ και επανεμφάνιση κάποιου μετά από δύο καρέ.
5. Μείωση των αντικειμένων και επανεμφάνιση κάποιων αντικειμένων.

Παρακάτω αναλύονται οι τρεις βασικοί αλγόριθμοι που υλοποιήθηκαν για την ταυτοποίηση των αντικειμένων.

3.3 Ίσος αριθμός αντικειμένων από καρέ σε καρέ

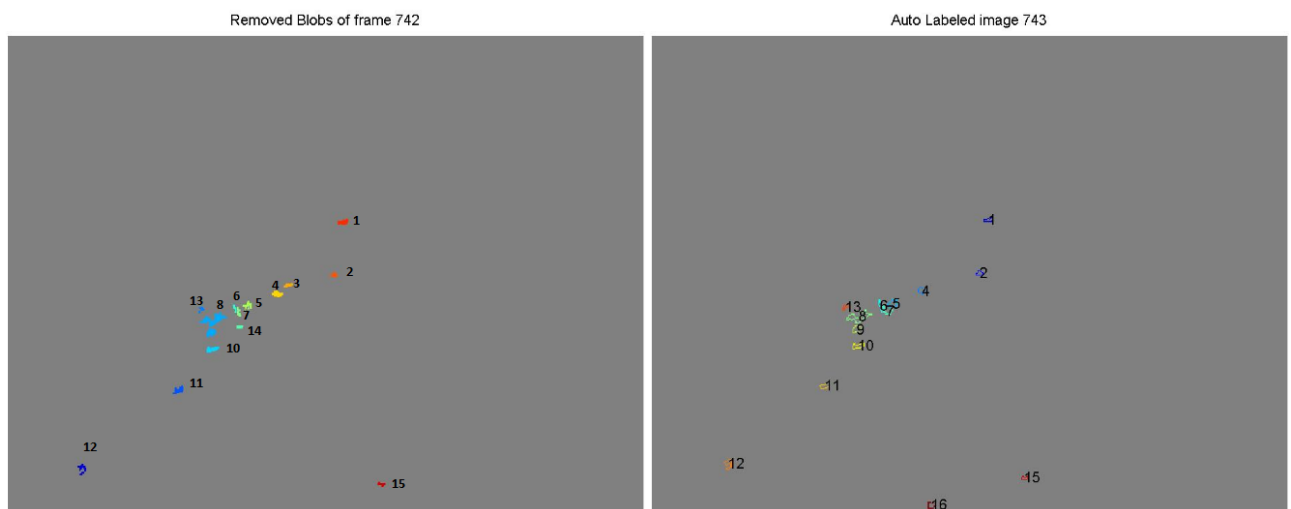
Η περίπτωση αυτή αν και θεωρείται η πιο εύκολη, δυσκολεύει στην περίπτωση που έχουμε επανεμφάνιση κάποιου αντικειμένου μετά από παραπάνω από 3 καρέ και ταυτόχρονα μείωση αντικειμένων. Στη γενική περίπτωση που έχουμε επανεμφάνιση αντικειμένου μετά από 2 καρέ ο αλγόριθμος είναι ο εξής:

Βάσει του location βρίσκονται τα όμοια αντικείμενα που υπάρχουν και στα δύο τρέχοντα καρέ. Για τα υπόλοιπα τώρα χρησιμοποιούνται οι ταχύτητές τους. Πιο συγκεκριμένα, τα αντικείμενα τα οποία εμφανίζονται για πρώτη φορά έχουν $magnitude_frame_t = 0$ και $magnitude_frame_t-1 = 0$. Εκείνα που επανεμφανίστηκαν μετά από δύο καρέ έχουν $magnitude_frame_t = value$ και $magnitude_frame_t-1 = 0$. Τέλος, εκείνα που χάθηκαν έχουν $magnitude_frame_t = 0$ και $magnitude_frame_t-1 = value$.

Στην περίπτωση τώρα της δυσκολίας, από το στάδιο του υπολογισμού των ταχυτήτων, λόγω του γεγονότος ότι δε δουλεύουμε σε real-time και γνωρίζοντας πως ο maximum αριθμός αντικειμένων είναι 22 στη ροή των 12 καρέ και 4 στη ροή των 30 καρέ, στα αντικείμενα τα οποία απουσίαζαν έχουν τοποθετηθεί μηδενικές ταχύτητες. Έτσι ήταν πιο εύκολο να βρεθεί ποια αντικείμενα είχαν επανεμφανιστεί.

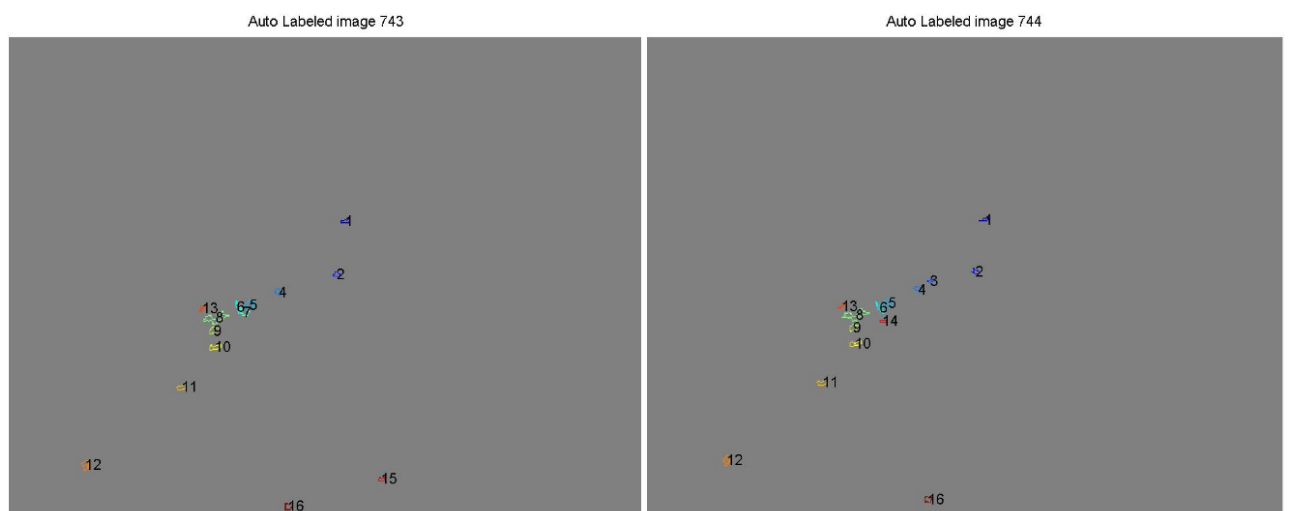
Παρακάτω παρουσιάζονται οι περιπτώσεις ίσων αντικειμένων στη διάρκεια των 12 καρέ προς ταυτοποίηση. Να σημειωθεί πως το πρώτο καρέ ταυτοποιήθηκε από εμάς. Έτσι έχουμε καρέ

742-743. Οι αρχικές ταυτότητες των αντικειμένων δόθηκαν βάσει του ποιο βρισκόταν πιο μακριά από το τέλος της εικόνας, έτσι θεωρούταν πιο παλιό.



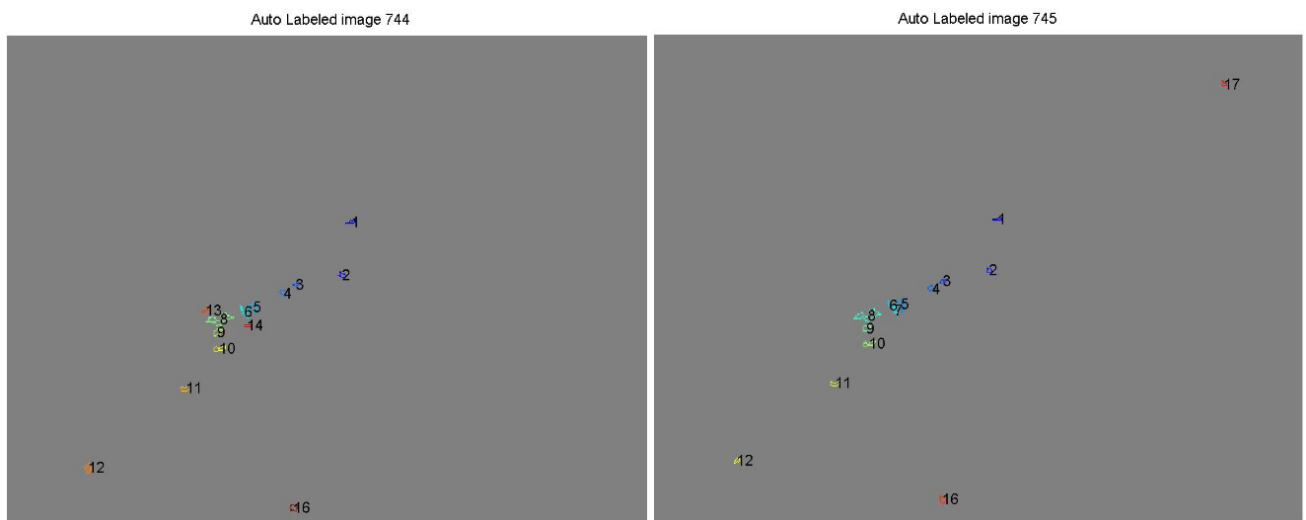
Εικόνα 37: Ταυτοποίηση καρέ 743.

Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται πως αντιμετωπίζεται η περίπτωση του συσσωματώματος (object 8 frame 742). Επίσης παρατηρείται η εξαφάνιση του αντικειμένου #3 και η εμφάνιση ενός νέου του #16. Παρακάτω αναλύονται ακόμη δύο περιπτώσεις που είχαμε ίσο αριθμό αντικειμένων από καρέ σε καρέ.



Εικόνα 38: Ταυτοποίηση καρέ 744.

Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται η επανεμφάνιση των αντικειμένων 3, 14 τα οποία όμως υπήρχαν στο καρέ 742. Η ταυτοποίηση αυτού του καρέ ήταν μία δύσκολη περίπτωση.



Εικόνα 39: Ταυτοποίηση καρτέ 745.

Στην εικόνα 39 παρατηρείται η επανεμφάνιση του αντικειμένου #7, η εξαφάνιση του αντικειμένου #13 και η εμφάνιση του νέου αντικειμένου #17.

3.4 Αύξηση του αριθμού των αντικειμένων από καρτέ σε καρτέ

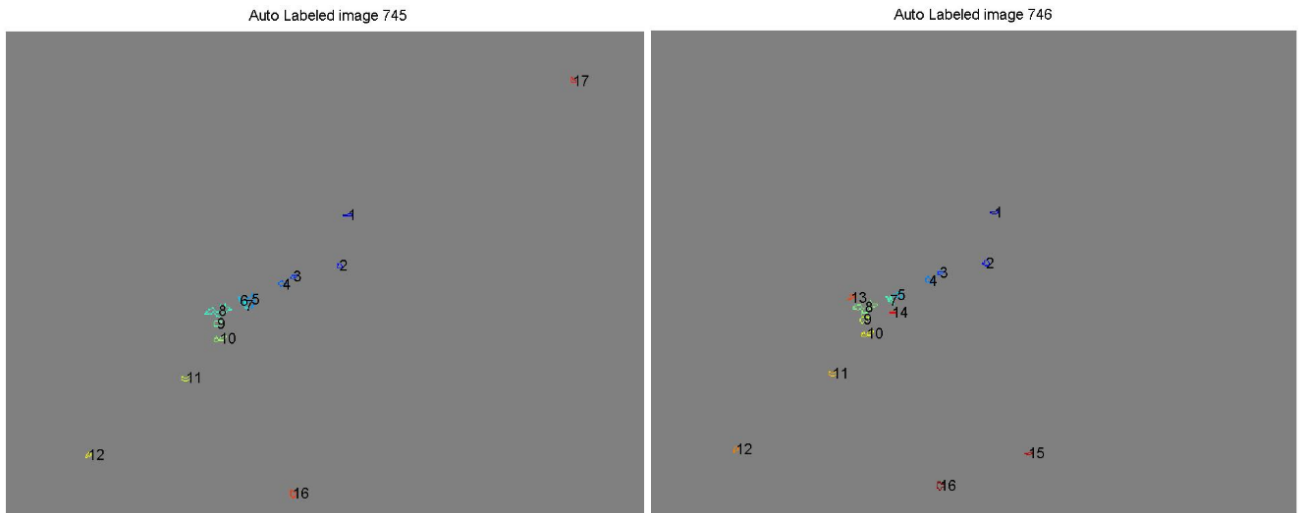
Σε αυτήν την περίπτωση, που δεν είχαμε επανεμφάνιση αντικειμένων μετά από τρία και άνω καρτέ, ο αλγόριθμος ήταν ο παρακάτω:

Αρχικά για τα αντικείμενα τα οποία προυπήρχαν βρήκαμε τις ταυτότητές τους από το location. Η μόνη δυσκολία που αντιμετωπίστηκε σε αυτό το στάδιο ήταν η περίπτωση των φύλλων 5, 6 και 7 που έμοιαζαν με συσσωμάτωμα. Για τα υπόλοιπα φύλλα συναντήθηκαν οι εξής περιπτώσεις:

1. Επανεμφάνιση αντικειμένου μετά από 1-2 καρτέ, όπου βρισκόταν η ταχύτητά του βάσει των ταχυτήτων. Πιο συγκεκριμένα, τα αντικείμενα τα οποία είχαν επανεμφανιστεί είχαν $magnitude_frame_t-1 = value$ ενώ $magnitude_frame_t = 0$.
2. Εμφάνιση νέου αντικειμένου σήμαινε πως έχει και στι δύο ταχύτητες τιμή ίση με το μηδέν.
3. Μπέρδεμα νέου αντικειμένου με εκείνου που επανεμφανίστηκε μετά από τρία και άνω καρτέ. Επίλυση του προβλήματος βάσει των ταχυτήτων πάλι. Πιο συγκεκριμένα

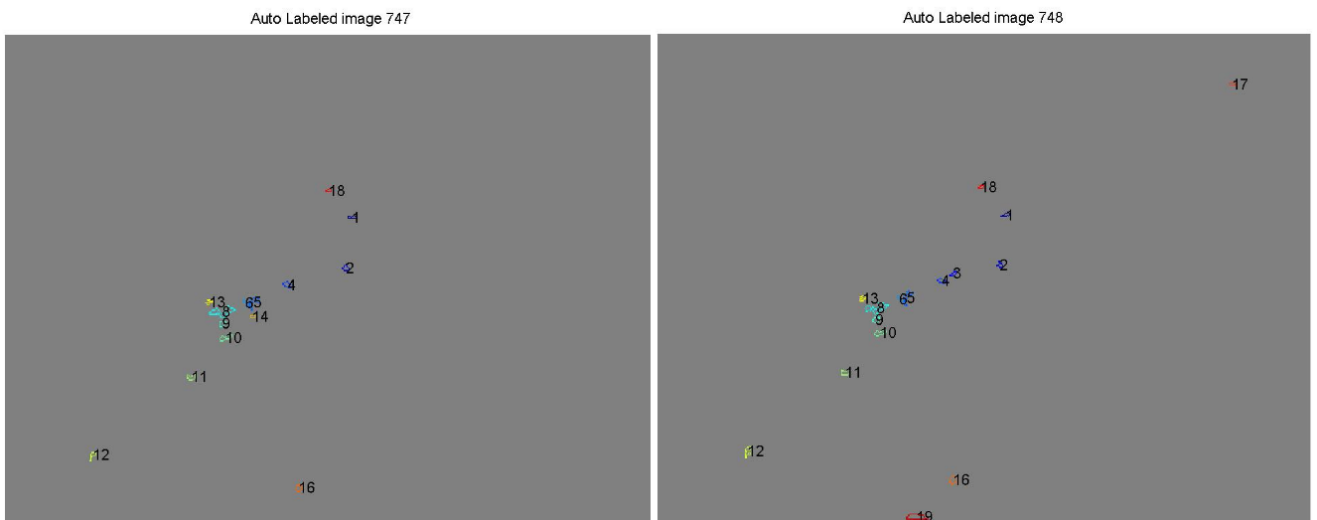
διατηρώντας σε μία μεταβλητή τη `max_object_value` γνωρίζαμε αν το αντικείμενο είναι παλιό ή νέο.

Παρακάτω θα δούμε δύο περιπτώσεις από τις τέσσερις που συναντήσαμε, που αφορούν αύξηση των αντικειμένων στην περίπτωση των 22 φύλλων.



Εικόνα 40: Ταυτοποίηση καρτέ 746.

Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει επανεμφάνιση του αντικειμένου 15 από το καρτέ 743! Επίσης φαίνεται το συσσωμάτωμα των φύλλων 6, 7 καθώς και επανεμφάνιση του αντικειμένου 14 από το καρτέ 744. Όπως όμως αναφέρθηκε αυτό το πρόβλημα λύθηκε βάσει του γεγονότος ότι διατηρούταν η μέγιστη τιμή των αντικειμένων. Σε κάποιες ακραίες περιπτώσεις να σημειωθεί πως έγινε συνδυασμός των manual labels με τις autolabels.



Εικόνα 41: Ταυτοποίηση καρτέ 748.

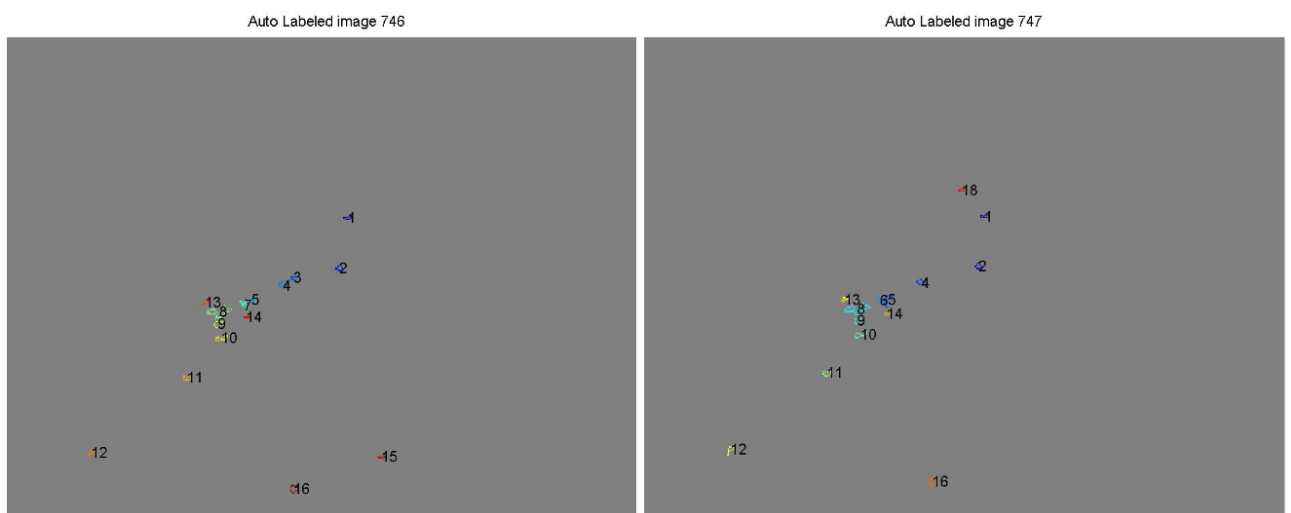
Στην εικόνα 41 παρατηρείται πως αλγόριθμος λειτουργεί άρτια.

3.5 Μείωση του αριθμού των αντικειμένων από καρέ σε καρέ

Λόγω του ότι εργαζόμαστε σε ποταμό κάποια φύλλα είναι λογικό να χάνονται καθώς βυθίζονται μέσα στον ποταμό. Έτσι υπήρχε η περίπτωση της μείωσης του αριθμού των αντικειμένων. Όμως δεν είναι τόσο εύκολη αυτή η περίπτωση καθώς κάποια φύλλα χάνονται και κάποια επανεμφανίζονται. Ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε περιγράφεται παρακάτω:

Για τα αντικείμενα που υπάρχουν σε δύο διαδοχικά καρέ βρίσκονταν οι ταυτότητές του συνδυάζοντας τα αποτελέσματα του location και των previous labels. Τώρα για αντικείμενα που επανεμφανίστηκαν μετά από 1 καρέ έχουμε $magnitude_frame_t-1 = value$ και $magnitude_frame_t = 0$. Λόγω λοιπόν του ότι κάθε φορά ως είσοδο δεν έχουμε μόνο τις ταχύτητες των υπαρχόντων αντικειμένων αλλά όλων των αντικειμένων αριθμημένα με τη σειρά, είναι γνωστό ποια είναι η ταυτότητα αυτών των αντικειμένων. Για νέα αντικείμενα και για αντικείμενα που έχουν επανεμφανιστεί μετά από 3 καρέ, παρατηρήθηκε ότι οι δύο ταχύτητες είχαν μηδενικές τιμές. Ο διαχωρισμός γίνεται στο γεγονός ότι το νέο αντικείμενο έχει $velocity_label$ μεγαλύτερη του max_object_value ενώ το προϋπάρχον μικρότερη. Για τα αντικείμενα που έχουν εξαφανιστεί έχουμε τρέχουσα ταχύτητα ίση με μηδέν.

Παρακάτω θα δούμε μία περίπτωση μείωσης αντικειμένων που συναντήθηκε στην περίπτωση των 22 φύλλων.

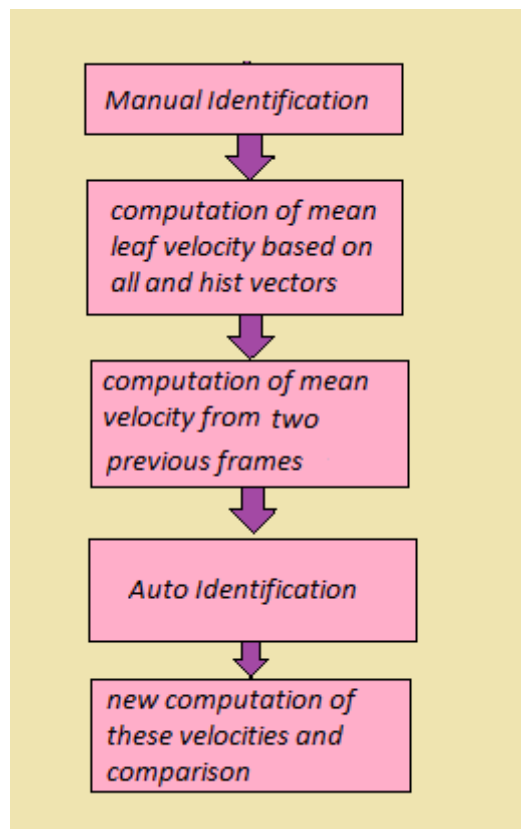


Εικόνα 42: Ταυτοποίηση καρέ 747.

Σε αυτά τα καρέ, της εικόνας 42, παρατηρείται αρχικά διάσπαση του συσσωματώματος των φύλλων 6 και 7, επίσης παρατηρείται εξαφάνιση του αντικειμένου 15 και εμφάνιση του αντικειμένου 18. Τέλος, το φύλλο 3 βυθίζεται στο νερό.

Κεφάλαιο 4: Εκτίμηση Μέσης Πραγματικής Ταχύτητας κάθε Φύλλου

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να γίνει εκτίμηση της μέσης πραγματικής ταχύτητας κάθε φύλλου. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, αρχικά η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε πάνω σε 4 φύλλα σε διάρκεια 30 καρέ. Έπειτα επεξεργαστήκαμε άλλα 22 φύλλα σε διάρκεια 12 καρέ. Μετά την εκτίμηση των ταχυτήτων στόχος είναι να γίνει επαλήθευση αυτών των τιμών έτσι ώστε να αποδειχθεί κατά πόσο αυτές οι ταχύτητες «αγγίζουν» την πραγματικότητα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα block diagram που δείχνει τα βήματα που ακολουθήθηκαν μέχρι τον τελικό υπολογισμό της μέσης πραγματικής ταχύτητας κάθε φύλλου σε cm/sec. Τα βήματα αυτά θα αναλυθούν στις παρακάτω υποενότητες.



Εικόνα 43: Διάγραμμα Εκτίμησης Ταχύτητας.

Να αναφερθεί σε αυτό το σημείο πως το πρώτο βήμα αυτής της ανάλυσης ήταν να γίνει χειροκίνητη ταυτοποίηση, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3. Αυτό το βήμα καθώς και η αυτόματη ταυτοποίηση έχουν αναλυθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.

4.1 Εκτίμηση ταχύτητας βάσει όλων των διανυσμάτων κίνησης και βάσει ιστογράμματος

Αρχικά, έως ότου φτάσουμε στο τελικό αποτέλεσμα, σκοπός ήταν να γίνει υπολογισμός της μέσης ταχύτητας βάσει των διανυσμάτων κίνησης. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με δύο διαφορετικούς τρόπους που θα συγκριθούν στην πορεία.

1. Εκτίμηση της ταχύτητας των φύλλων βασισμένοι σε όλα τα motion vectors.
2. Εκτίμηση της ταχύτητας των φύλλων βασισμένοι στα επικρατέστερα motion vectors.

Πριν όμως αναλυθούν οι παραπάνω μέθοδοι, ας αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο προστίθενται τα διανύσματα κίνησης. Πιο συγκεκριμένα, γνωρίζοντας πως τα motion vectors είναι διανυσματικά μεγέθη, η πρόσθεση δύο διανυσμάτων και κατ επέκταση όλων έπρεπε να γίνει διανυσματικά.

Ως αρχικό δεδομένο είχαμε τις συντεταγμένες της αρχής και τις συντεταγμένες του τέλους, από τον BMA. Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων κάθε διανύσματος προς πρόσθεση, έπρεπε να αφαιρεθούν οι τετμημένες του τέλους μείον της αρχής, για τον υπολογισμό του x , και με ένα μείον μπροστά έπρεπε να αφαιρεθούν οι τεταγμένες του τέλους μείον της αρχής για να πάρουμε την τεταγμένη κάθε διανύσματος y . Τέλος, για κάθε διάνυσμα κίνησης υπολογιζόταν το μέτρο του, ως $\sqrt{x^2 + y^2}$. Έπειτα αφού προστίθενται όλα τα διανύσματα κίνησης, το αποτέλεσμα διαιρείται με το n , δηλαδή το συνολικό αριθμό των διανυσμάτων.

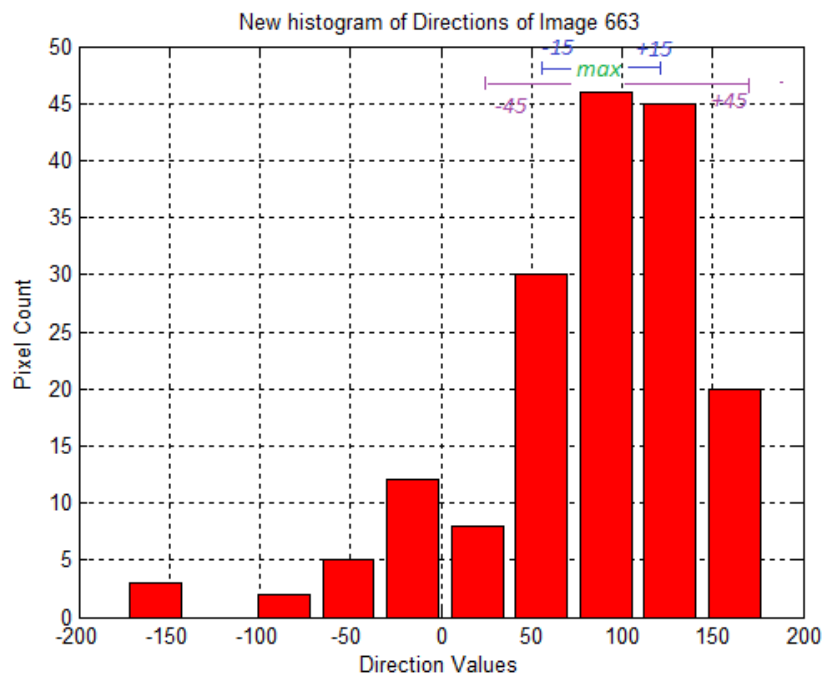
Η κατεύθυνση τώρα των διανυσμάτων κίνησης υπολογιζόταν βάσει του παραπάνω τύπου (1) του κεφαλαίου 3. Για να υπολογιστεί η στιγμιαία κατεύθυνση κι εδώ προστίθενται όλα τα directions και έπειτα το αποτέλεσμα διαιρείται με το n .

Ας αναλυθούν όμως τώρα οι παραπάνω δύο μεθοδολογίες εκτίμησης της ταχύτητας των φύλλων. Σύμφωνα με την πρώτη, στόχος ήταν να γίνει η πρόσθεση όλων των motion vectors που αφορούν κάθε φύλλο για να εκτιμηθεί η στιγμιαία ταχύτητα κάθε φύλλου. Θεωρητικά, αλλά και πρακτικά όπως θα δούμε στη συνέχεια, αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση θορύβου, δηλαδή motion vectors τα οποία δε συμφωνούσαν με την κατεύθυνση του ποταμού, αποτελούσαν θόρυβο.

Όσον αφορά τη δεύτερη μεθοδολογία, με ένα ιστόγραμμα μελετούνταν οι επικρατέστερες κατευθύνσεις και από όλα τα motion vectors, διατηρούνταν εκείνα που συμφωνούσαν με αυτές. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τη δεύτερη μέθοδο, δημιουργούσαμε ένα ιστόγραμμα κατευθύνσεων, όπως θα δούμε παρακάτω, στο οποίο αρχικά διατηρούνταν τιμές στο εύρος

$\max(\text{direction})-15^\circ:\max(\text{direction})+15^\circ$. Όμως έτσι χάναμε σημαντικό κομμάτι χρήσιμης πληροφορίας με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των δύο αυτών ταχυτήτων. Έτσι αυξήσαμε την τιμή σε 45° . Το αποτέλεσμα ήταν να αποφευχθεί ο θόρυβος από κύματα ή άλλα ρεύματα γενικά τα οποία άλλαζαν την κατεύθυνση των motion vectors, όπως έχουμε δει στο κεφάλαιο 2.

Παρακάτω φαίνεται ένα ιστόγραμμα των επικρατέστερων διανυσμάτων κίνησης.



Εικόνα 44: Ιστόγραμμα Επικρατέστερων Κατευθύνσεων.

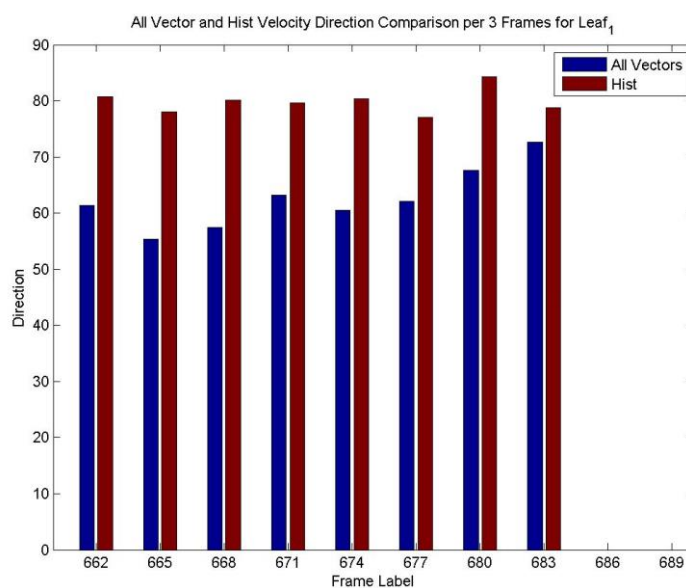
Από το παραπάνω ιστόγραμμα της εικόνας 44, παρατηρείται πως όσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα κοντά στην επικρατέστερη κατεύθυνση τόσο πιο έγκυρο είναι το αποτέλεσμα. Επίσης παρατηρείται πως η επικρατέστερη κατεύθυνση είναι περίπου οι 90° .

Στο επόμενο στάδιο της ανάλυσής μας θα συγκριθούν οι παραπάνω δύο στιγμιαίες ταχύτητες, τριών φύλλων κατά βάση στη διάρκεια 30 καρέ. Πριν όμως πραγματοποιηθεί αυτό, θα δείξουμε δύο διαδοχικά στιγμιότυπα των 30 πρώτων καρέ που αναλύθηκαν για να μελετηθεί η κίνησή τους. Συγκεκριμένα θα αναλυθεί το καρέ 663, του οποίου το ιστόγραμμα παρουσιάστηκε παραπάνω, στην εικόνα 44.



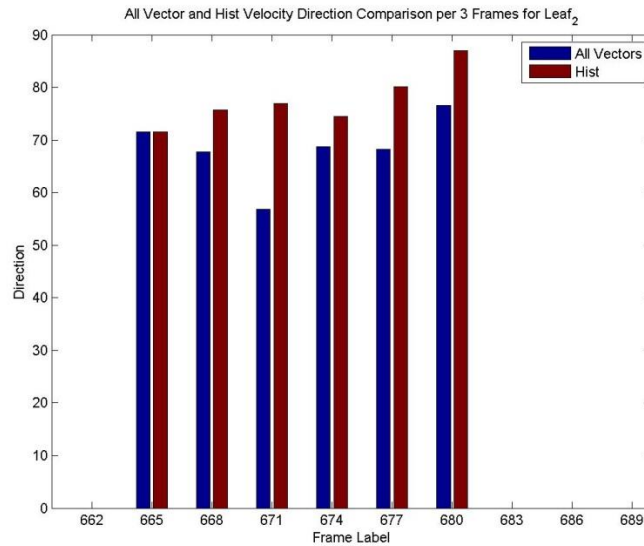
Εικόνα 45: Διαδοχικά καρέ 662-663.

Από το παραπάνω σετ εικόνων παρατηρείται πως η κατεύθυνση του φύλλου, 1 συγκεκριμένα, είναι περίπου στις 100° . Να υπενθυμίσουμε σε αυτό το σημείο ότι ο ΒΜΑ μελετάει την ταχύτητα από το καρέ t στο καρέ $t-1$.



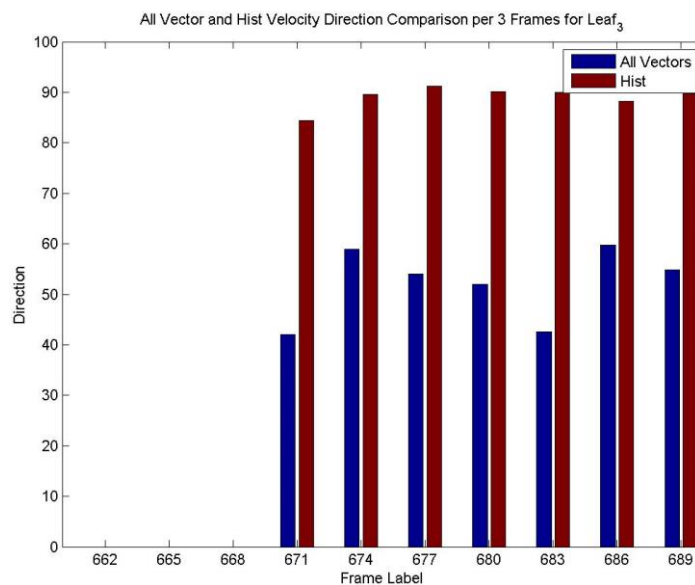
Εικόνα 46: Σύγκριση all vectors και histogram για το φύλλο 1-Κατεύθυνση.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως η στιγμιαία ταχύτητα βασισμένη στο ιστόγραμμα δίνει καλύτερα αποτελέσματα, δηλαδή αποτελέσματα πιο κοντινά στην πραγματική κατεύθυνση.



Εικόνα 47: Σύγκριση *all vectors* και *histogram* για το φύλλο 2-Κατεύθυνση.

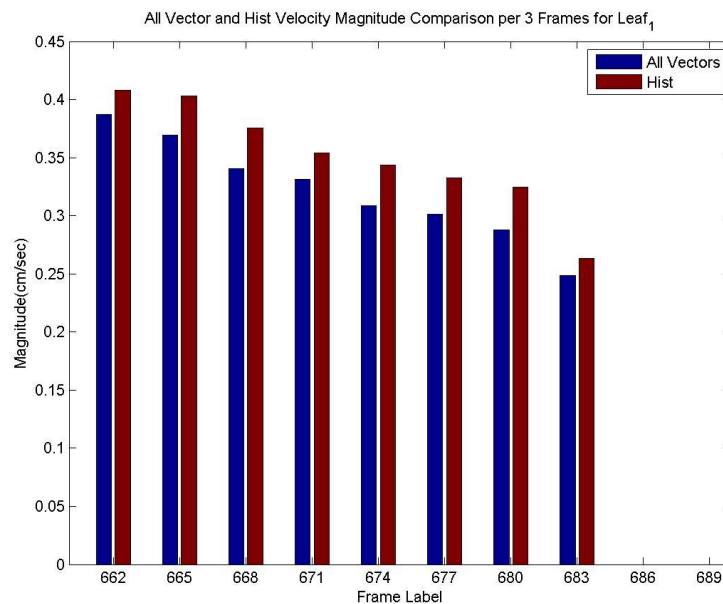
Από το παραπάνω ιστόγραμμα παρατηρείται πως η δεύτερη κατεύθυνση είναι πιο αξιόπιστη καθώς όπως προαναφέρθηκε στον πρώτο υπολογισμό προστίθενται και διανύσματα κίνησης τα οποία είναι διανύσματα θορύβου, κάτι που ουσιαστικά αποπροσανατολίζει το αποτέλεσμα από το πραγματικό.



Εικόνα 48: Σύγκριση *all vectors* και *histogram* για το φύλλο 3-Κατεύθυνση.

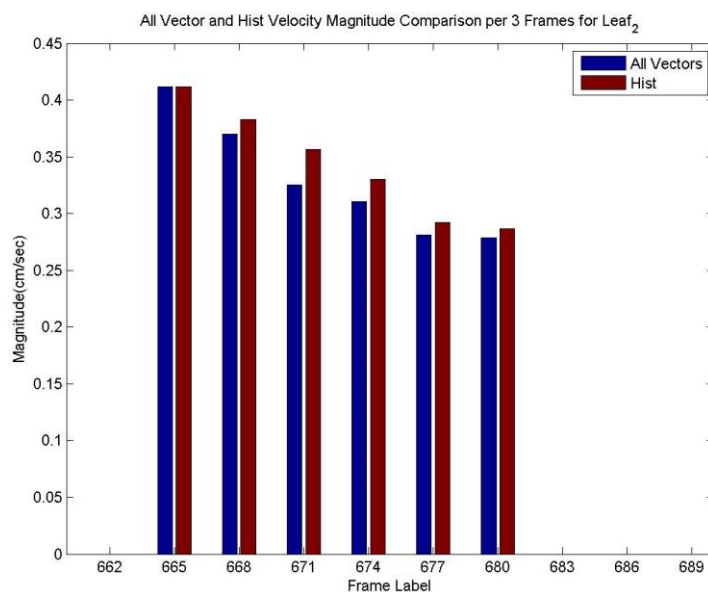
Μετά την παρουσίαση των τριών αυτών ιστογραμμάτων κατευθύνσεων, παρατηρείται πως πιο έγκυρη τιμή δίνει η κατεύθυνση βασισμένη στο ιστόγραμμα. Ας μελετηθεί όμως και η σύγκριση

όσον αφορά το μέτρο του στιγμιαίου διανύσματος κίνησης. Η μελέτη θα γίνει πάλι για τα ίδια φύλλα στη διάρκεια πάλι των 30 καρέ.

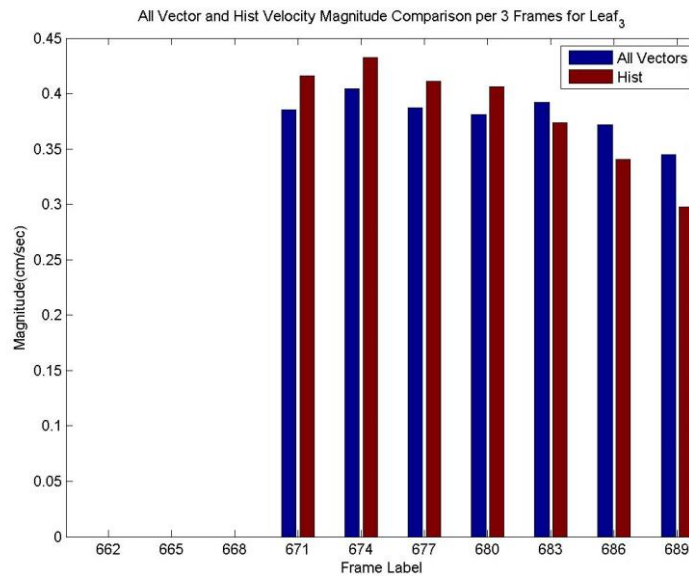


Εικόνα 49: Σύγκριση all vectors και histogram για το φύλλο 1-Μέτρο.

Από το παραπάνω διάγραμμα και πάλι φαίνεται πως με μικρή όμως απόκλιση είναι πιο έγκυρη η τιμή του ιστογράμματος των διανυσμάτων κίνησης. Όμως επειδή δεν έχουμε πραγματικές τιμές να συγκρίνουμε το μέτρο των διανυσμάτων κίνησης, αποφασίστηκε να παίρνουμε ως μέτρο και κατεύθυνση τη μέση τιμή αυτών των δύο τιμών των δύο μεθόδων.



Εικόνα 50: Σύγκριση all vectors και histogram για το φύλλο 2-Μέτρο.

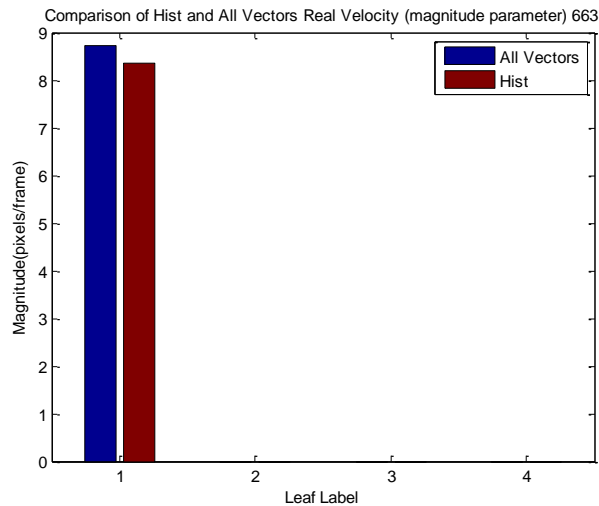


Εικόνα 51: Σύγκριση all vectors και histogram για το φύλλο 3-Μέτρο.

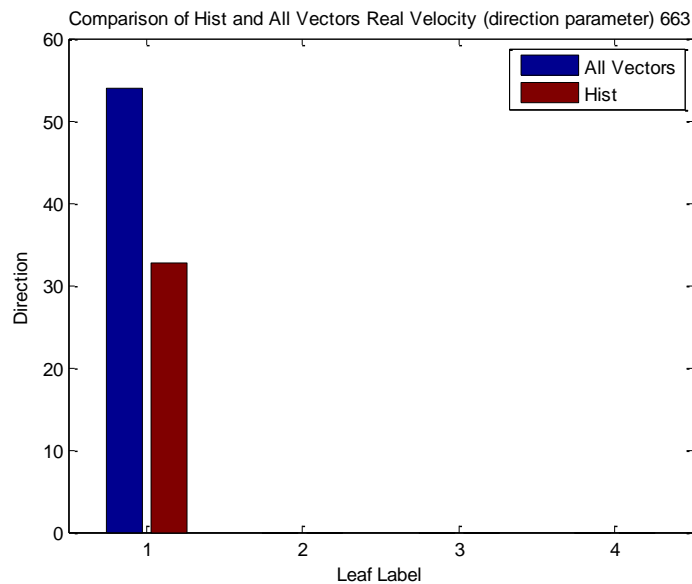
Από τις παραπάνω εικόνες 49, 50, 51 παρατηρείται πως τα φύλλα την χρονική στιγμή που περνάνε από κάποιο σημείο του ποταμού μειώνεται η ταχύτητά τους. Πιθανότατα, πριν όλα κινούνταν πάνω σε κάποιο ρεύμα του ποταμού γι αυτό και είχαν μεγαλύτερες ταχύτητες. Να σημειωθεί πως το μέτρο των μέτρων των διανυσμάτων κίνησης είναι σε μονάδες μέτρησης cm/sec μετατροπή που θα αναλυθεί παρακάτω.

4.2 Μέση τιμή των ταχυτήτων διαδοχικών καρέ

Σε επόμενο στάδιο στόχος ήταν να γίνει υπολογισμός της μέσης ταχύτητας κάθε φύλλου βασισμένοι στα δύο προηγούμενα καρέ. Πιο συγκεκριμένα, αφού έχουμε υπολογίσει τις μέσες ταχύτητες για κάθε φύλλο βασισμένοι σε όλα τα διανύσματα κίνησης και στο ιστόγραμμα, τώρα για κάθε φύλλο υπολογίζεται η μέση τιμή της ταχύτητάς του που αφορά τα $frame_t \rightarrow frame_{t-1}$ και $frame_{t-1} \rightarrow frame_{t-2}$. Παρακάτω, για το καρέ 663 γίνεται ανάλυση.



Εικόνα 52: Σύγκριση μέσης ταχύτητας κάθε φύλλου καρέ 663-Μέτρο.



Εικόνα 53: Σύγκριση μέσης ταχύτητας κάθε φύλλου καρέ 663-Κατεύθυνση.

Όσον αφορά το μέτρο των δύο αυτών ταχυτήτων δεν παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις (εικόνα 52). Τώρα, όσον αφορά τις κατευθύνσεις, εικόνα 53, παρατηρείται πως η επικρατέστερη κατεύθυνση δεν είναι οι 90° , γεγονός που συμβαίνει μόνο στο συγκεκριμένο καρέ, όπως θα δούμε στα αναλυτικά αποτελέσματα αργότερα. Αυτό συμβαίνει καθότι στο καρέ 662 η επικρατέστερη κατεύθυνση είναι οι 0° (λόγω του ότι στο καρέ 661 το αντικείμενο δεν υπάρχει) , έτσι πέφτει ο μέσος όρος τους.

4.3 Υπολογισμός πραγματικής ταχύτητας

Ως τώρα η ταχύτητα που έχει διατηρηθεί και υπολογιστεί αφορά τις μονάδες μέτρησης pixel/frame. Αυτό που έπρεπε να γίνει αρχικά, ήταν η μέτρηση των πραγματικών διαστάσεων, μήκους και πλάτους των φύλλων πλατάνου, αφού στο βίντεό αυτό το πείραμα πραγματοποιήθηκε με τέτοια φύλλα. Έτσι βρήκαμε ότι:

Κατά μέσο όρο το πραγματικό μήκος των φύλλων, αφού μετρήσαμε πληθώρα φύλλων διαφορετικού μεγέθους είναι 11.4 cm προς το εικονικό μήκος που βρέθηκε 8.8 pixels δηλαδή μας δίνει scaling factor = 1.3 cm/pixel, περίπου. Ομοίως για το πλάτος έχουμε: Πραγματικό πλάτος = 13.5 cm προς το εικονικό πλάτος = 10.5 pixels που και πάλι μας δίνει scaling factor = 1.3 cm/pixel. Έτσι αποδείχτηκε πως οι μετρήσεις μας ήταν αρκετά ακριβείς.

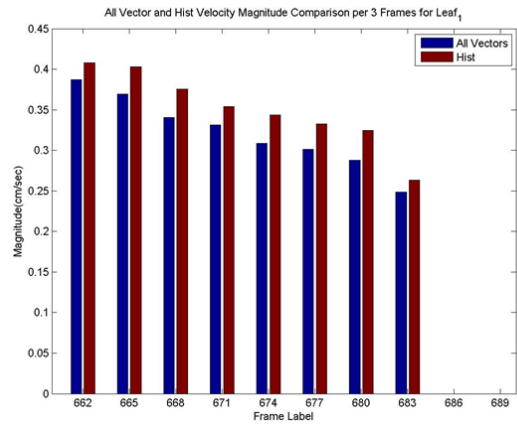
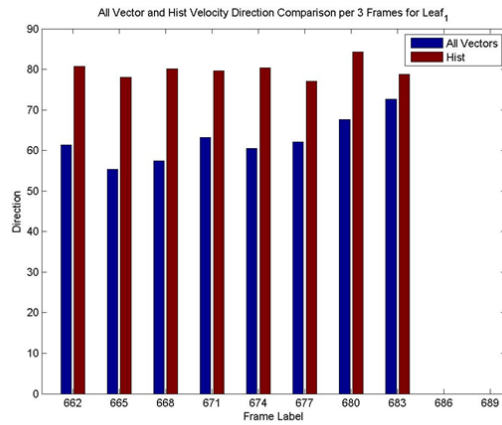
Πολλαπλασιάζοντας λοιπόν την εικονική μέση ταχύτητα, που υπολογίστηκε από το μέσο όρο των δύο ταχυτήτων, με το scaling factor, δίδονται τιμές ταχύτητας σε μονάδες μέτρησης ίσες με cm/frame.

Έτσι, τέλος, η τελευταία μετατροπή ήταν να μετατραπούν τα cm/frame σε cm/sec. Γνωρίζοντας πως το frame rate της κάμερας είναι 30 frame/sec σε δύο διαδοχικά καρέ, θα πρέπει να διαιρέσουμε την ταχύτητα με το 30 έτσι ώστε να έχουμε τελικές μονάδες σε cm/sec.

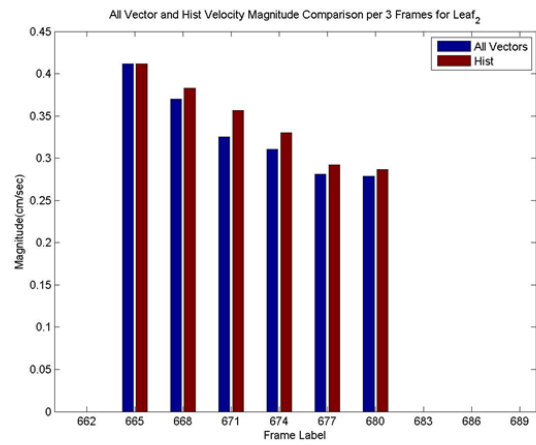
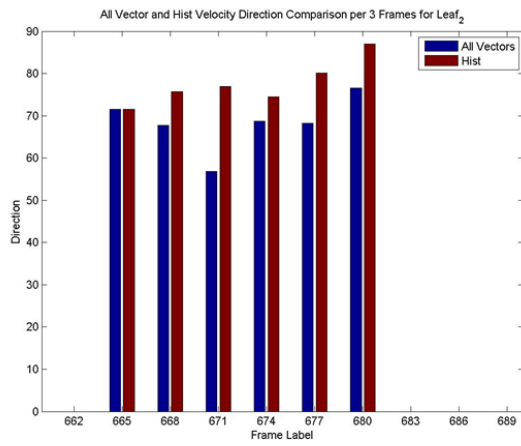
Να σημειωθεί πως ο υπολογισμός του εικονικού μήκους και πλάτους έγινε δημιουργώντας μία prediction region γύρω από κάθε αντικείμενο και υπολογίζοντας στη συνέχεια τη μέγιστη απόσταση κατά μήκος και κατά πλάτος.

4.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

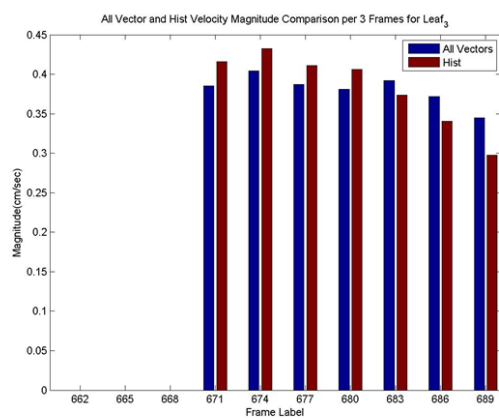
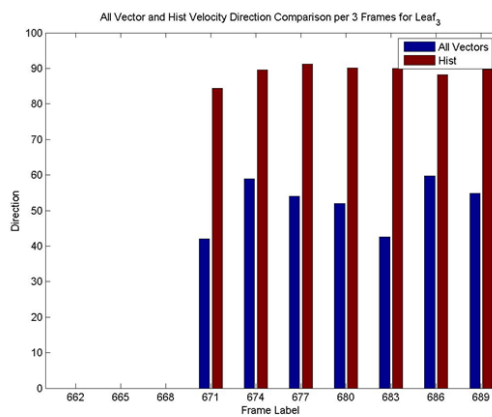
Σε αυτό το σημείο σκοπός είναι να γίνει σχολιασμός των τελικών αποτελεσμάτων δηλαδή των αποτελεσμάτων για τα 30 καρέ συνολικά. Αρχικά θα παρουσιαστούν οι τιμές all vectors και hist για κάθε φύλλο, σε σύνολο τριών φύλλων. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για τα 22 φύλλα σε σύνολο 12 καρέ.



Εικόνα 54: Φύλλο 1 Κατεύθυνση και Μέτρο σε σύνολο 30 καρτέ.



Εικόνα 55: Φύλλο 2 Κατεύθυνση και Μέτρο σε σύνολο 30 καρτέ.

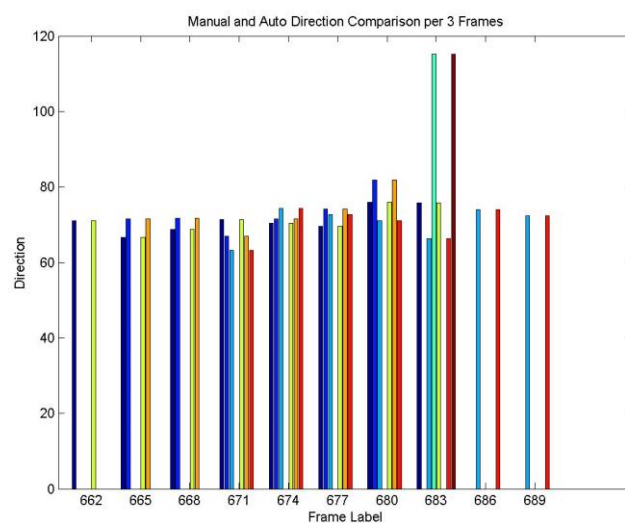


Εικόνα 56: Φύλλο 3 Κατεύθυνση και Μέτρο σε σύνολο 30 καρτέ.

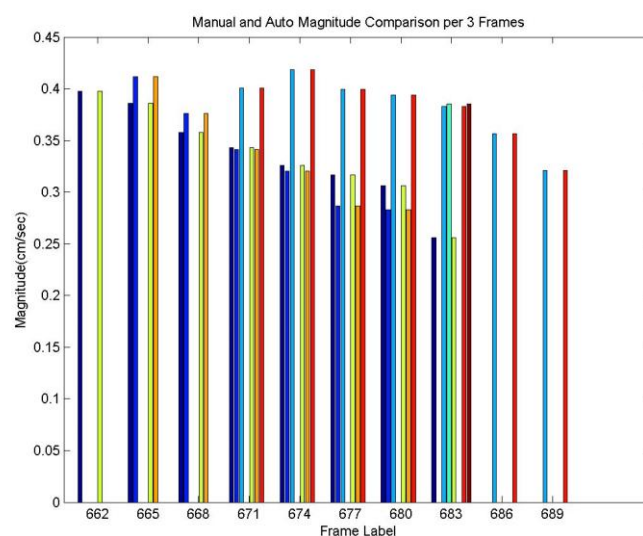
Από τις παραπάνω τρεις εικόνες παρατηρούνται τα εξής:

Γενικά, παρατηρείται μια ομοιομορφία στις κατευθύνσεις, η οποία βέβαια αλλάζει κάπως στην περίπτωση του τρίτου φύλλου. Αυτή η απόκλιση γενικά, βασίζεται στο γεγονός ότι στο ιστόγραμμα παίρνουμε μόνο θετικές τιμές direction, ενώ στην μέθοδο all vectors, παίρνουμε και αρνητικές τιμές.

Σε αντίθεση με το direction, στο μέτρο της ταχύτητας παρατηρείται μία ομοιομορφία και στα τρία φύλλα, με μια τάση να μειώνεται η ταχύτητά τους κατά το πέρας του χρόνου. Στη συνέχεια θα συγκριθούν οι μέσες ταχύτητες που υπολογίστηκαν από τον manual και τον auto τρόπο.

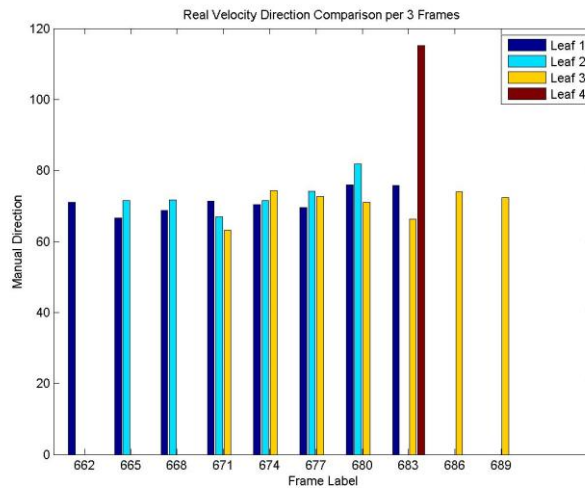


Εικόνα 57: Σύγκριση manual & auto τρόπου για τα 30 καρέ-Κατεύθυνση.



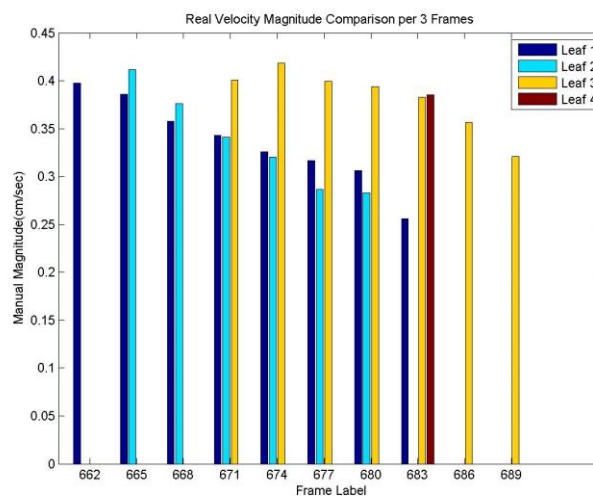
Εικόνα 58: Σύγκριση manual & auto τρόπου για τα 30 καρέ-Μέτρο.

Από τις εικόνες 57 και 58 παρατηρούνται πως τα αποτελέσματα είναι όμοια κάτι που σημαίνει πως η χειροκίνητη και η αυτόματη διαδικασία ταυτοποίησης των αντικειμένων ήταν σωστές και ίδιες. Παρακάτω θα μελετηθεί η μέση πραγματική ταχύτητα υπολογισμένη από τις παραπάνω διαδικασίες που αναλύθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες κατά το πέρας των 30 καρέ.



Εικόνα 59: Μέση πραγματική ταχύτητα για τα 30 καρέ-Κατεύθυνση.

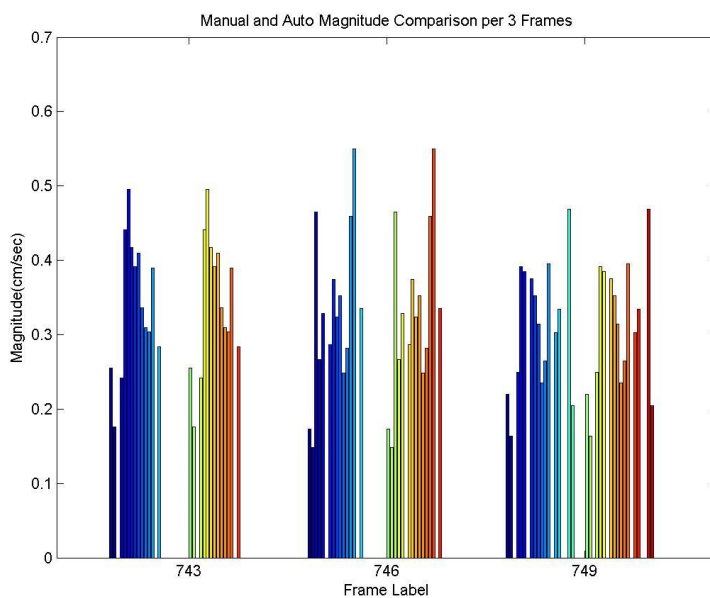
Από την παραπάνω εικόνα παρατηρείται πως οι κατευθύνσεις των αντικειμένων για τα 30 καρέ είναι σχετικά ομοιόμορφες. Να σημειωθεί πως στα 30 καρέ εμφανίζεται κι ένα τέταρτο φύλλο το οποίο όμως εμφανίζεται ελάχιστες φορές. Έτσι η τιμή της κατεύθυνσής του έχει μεγάλη απόκλιση, τιμή που δεν είναι ενδεικτική.



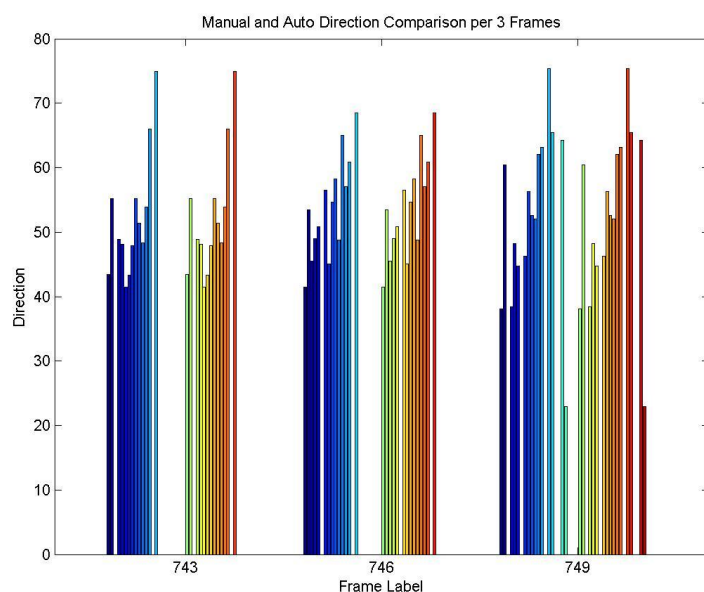
Εικόνα 60: Μέση πραγματική ταχύτητα για τα 30 καρέ-Μέτρο.

Από την παραπάνω εικόνα 60, παρατηρείται πως η ταχύτητα κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα, με μία μικρή μείωση, όπως παρατηρήθηκε και παραπάνω. Αυτή η μείωση οφείλεται σε κάποιο ρεύμα του ποταμού από το οποίο όταν περνάνε τα φύλλα αυξάνουν ταχύτητα και μετά μειώνεται.

Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα 22 φύλλα στη διάρκεια των 12 καρέ. Αρχικά θα γίνει μελέτη του χειροκίνητου και του αυτόματου τρόπου υπολογισμού των ταχυτήτων των αντικειμένων.

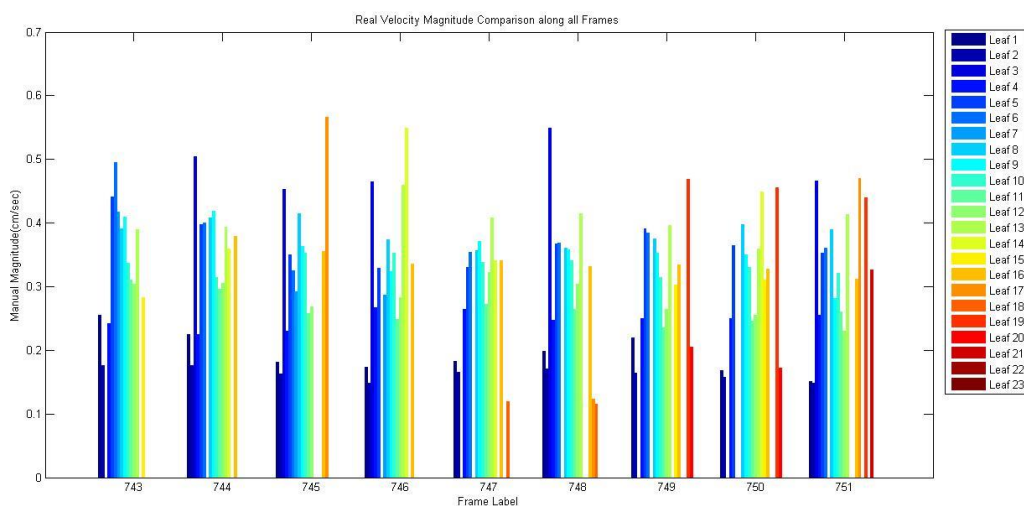


Εικόνα 61: Σύγκριση manual & auto ταυτοποίησης για 12 καρέ-Μέτρο.

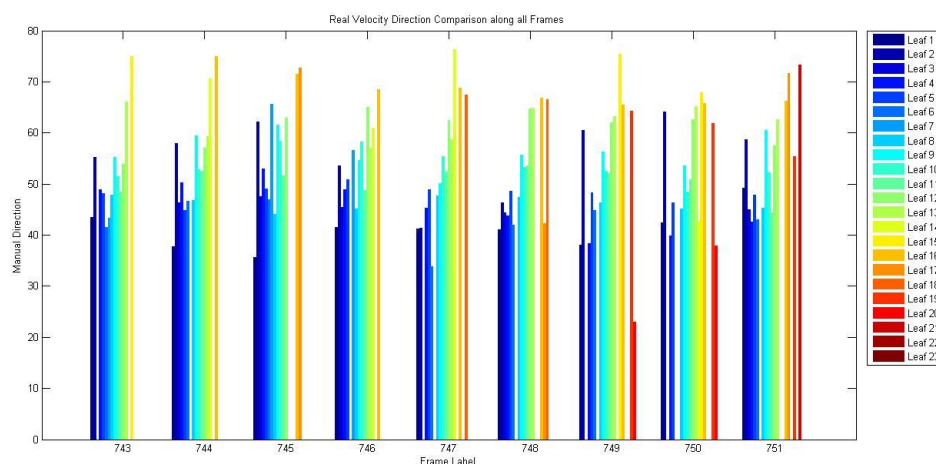


Εικόνα 62: Σύγκριση manual & auto ταυτοποίησης για 12 καρέ-Κατεύθυνση.

Από τις παραπάνω εικόνες 61 και 62, παρατηρείται πως τα αποτελέσματα είναι πανομοιότυπα που σημαίνει πως η ταυτοποίηση και ο υπολογισμός των μέσων ταχυτήτων των 22 αντικειμένων έχει γίνει σωστά. Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα όλων των ταχυτήτων για όλα τα φύλλα και για όλα τα καρέ με τη μία και μοναδική πραγματική ταχύτητα σε cm/sec.



Εικόνα 63: Μέση πραγματική ταχύτητα για τα 12 καρέ-Μέτρο.



Εικόνα 64: Μέση πραγματική ταχύτητα για τα 12 καρέ-Κατεύθυνση.

Παρατηρείται, από την εικόνα 63, πως υπάρχει μία ανομοιομορφία μεταξύ των ταχυτήτων γεγονός που οφείλεται στο ότι το ποτάμι κάνει κάποια ρεύματα που αλλάζουν τις ταχύτητες των αντικειμένων από σημείο σε σημείο. Κοντινά αντικείμενα έχουν και κοντινές ταχύτητες όμως, όπως

παρατηρείται στα φύλλα 5,6 και 7. Επίσης όσο πιο μακριά βρισκόταν ένα φύλλο τόσο πιο μικρή ταχύτητα είχα, όπως τα φύλλα 18 και 20. Γενικά ο αλγόριθμός μας λειτουργεί καλύτερα σε κοντινές αποστάσεις από ότι σε πιο απομακρυσμένες. Όσον αφορά τις κατευθύνσεις, παρατηρείται πως τα αντικείμενα λόγω ρεύματος κινούνται προς τα πάνω και δεξιά.

4.5 Μετατόπιση φύλλων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία προσπάθεια να συγκριθούν οι πραγματικές μέσες ταχύτητες του αλγορίθμου με αυτές του περιβάλλοντος. Εν ολίγοις, θα προσπαθήσουμε να δείξουμε πως η ταχύτητα που υπολογίστηκε είναι και η σωστή. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργώντας ένα βέλος που θα δείχνει το μέτρο και την κατεύθυνση κάθε φύλλου θα μελετήσουμε τα αποτελέσματα. Αρχικά τη συνολική μετατόπιση για τα 30 καρέ κι έπειτα τη μέση ταχύτητα για τα 12 καρέ.

Αρχικά θα αναλυθεί πως από το μέτρο και την κατεύθυνση κάθε αντικειμένου υπολογίζεται το βέλος που δείχνει την ταχύτητά του. Το διάνυσμα κίνησης λοιπόν είναι το παρακάτω:

$$A = \begin{bmatrix} A_x & A_y \end{bmatrix}$$

Με:

$$A_x = mag * \cos(dir)$$

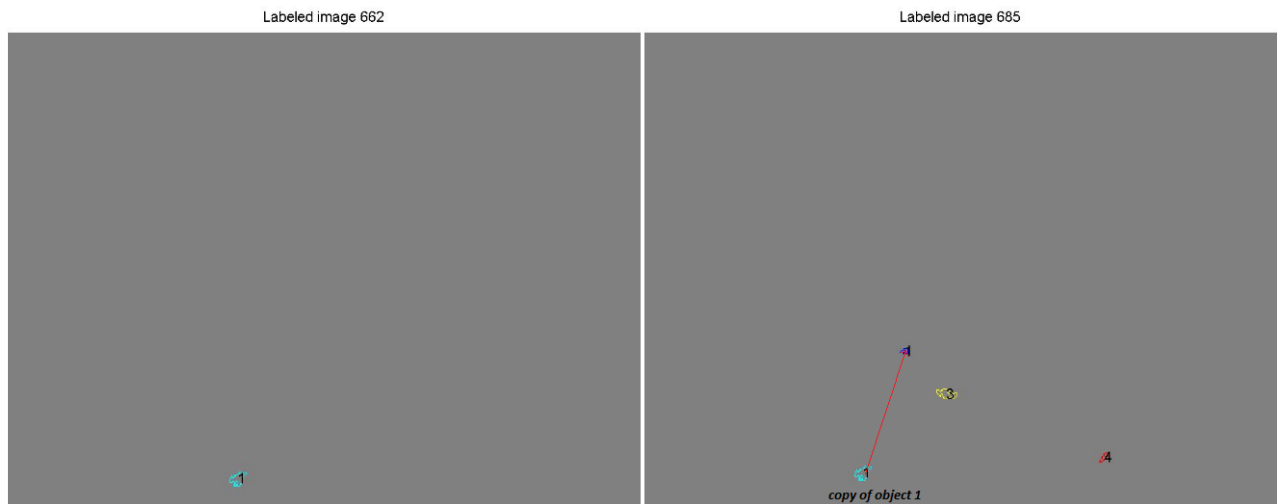
$$A_y = mag * \sin(dir)$$

Και ως μέση τιμή θεωρούμε τη μέση τιμή των φορών που εμφανίστηκε κάθε αντικείμενο στο χώρο.



Εικόνα 65: Συνολική μετατόπιση των τεσσάρων φύλλων.

Στην εικόνα 65 παρατηρείται η συνολική μετατόπιση των τεσσάρων φύλλων που δείχνει ουσιαστικά πόσο έχει μετατοπιστεί ένα φύλλο από την αρχή της εμφάνισής του στο χώρο ως το τέλος. Για να αποδειχθεί τώρα πως αυτή η μετατόπιση είναι και η σωστή, θα μελετηθεί το φύλλο 1. Το αντικείμενο αυτό πρωτοεμφανίζεται στο καρέ 662 και σβήνει στο καρέ 685. Ας δούμε την μετατόπιση του κέντρου του από εκείνο το καρέ ως το τελευταίο στο οποίο εμφανίζεται.



Εικόνα 66: Μετατόπιση του φύλλου 1 από την αρχή έως το τέλος.

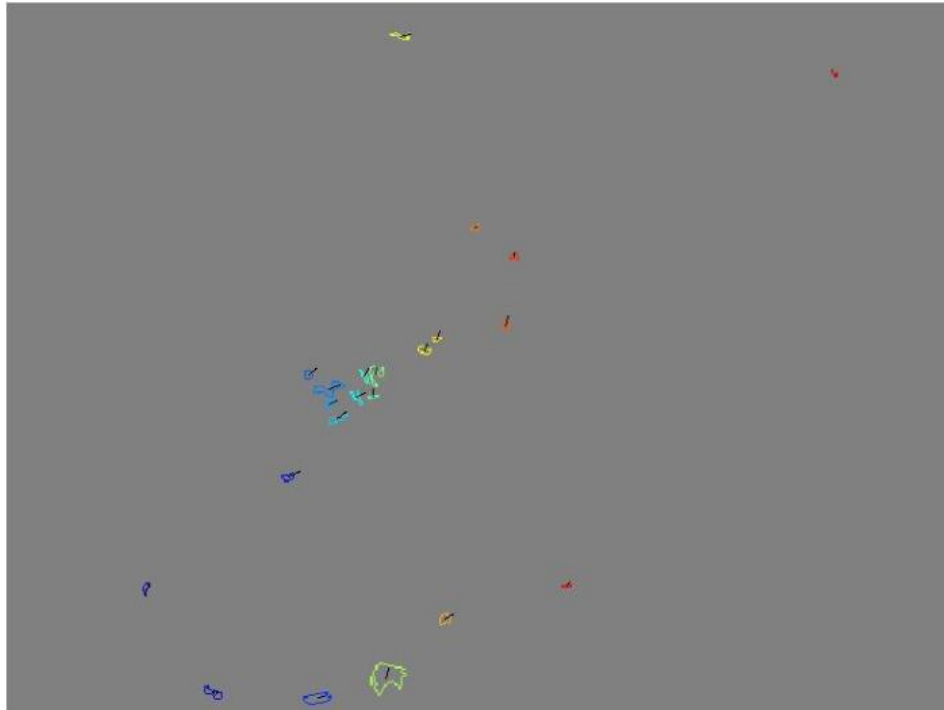
Τώρα τέλος στόχος είναι να γίνει σύγκριση αυτών των δύο βελών.



Εικόνα 67: Σύγκριση των δύο βελών.

Από μετρήσεις που έγιναν με μαθηματικό τρόπο το σύστημά μας «χάνει» περίπου 20+,-10 pixels κατά άξονα x και y. Η απόσταση αυτή είναι πολλή μικρή και συμβαίνει γιατί ο αλγόριθμός μας δεν μπορεί να ακολουθήσει την υπό κλίση τροχιά της κίνησης των φύλλων. Αυτό σημαίνει πως το πρόγραμμα είναι αρκετά αξιόπιστο.

Στη συνέχεια, θα δείξουμε τη μέση μετατόπιση των 22 φύλλων.



Εικόνα 68: Μέση μετατόπιση των 22 φύλλων.

Από την παραπάνω εικόνα παρατηρείται πως κι εδώ ο αλγόριθμος λειτούργησε καλά.

Κεφάλαιο 5: Εκτίμηση Μέσης Ταχύτητας Ερυθρών Αιμοσφαιρίων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μελέτη και εκτίμηση της μέσης ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Αρχικά θα γίνει ανάλυση του φάσματος απορρόφησης της αιμοσφαιρίνης. Σε επόμενο στάδιο θα μελετηθεί η διαδικασία εκτίμησης της μέσης ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Επίσης θα μελετηθούν όροι όπως η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα του προγράμματός μας.

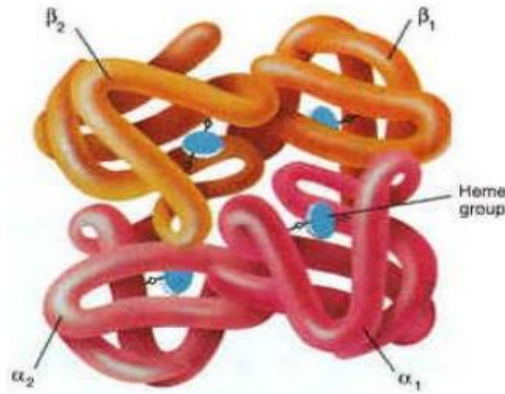
5.1 Φάσμα απορρόφησης αιμοσφαιρίνης

Η γνώση των οπτικών ιδιοτήτων των ανθρώπινων ιστών αποτελεί ένα σημαντικό επιστημονικό πεδίο για την αποτελεσματική θεραπεία από ασθένειες. Τις τελευταίες δεκαετίες, νέες τεχνολογίες, όπως η φασματοσκοπία, έχουν καταφέρει να εξάγουν *in vivo* δεδομένα, κάτι που στο παρελθόν ήταν αδύνατο. Οι *in vivo* ιδιότητες εξαρτώνται από το είδος του ιστού [5].

Με τον χαρακτηρισμό των *in vivo* «οπτικών ιδιοτήτων» εννοούμε τη μελέτη του συντελεστή απορρόφησης και του συντελεστή σκέδασης [5]. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων αλλάζουν από *in vivo* σε *ex vivo* ιστούς ή και στα ζώα. Πιο συγκεκριμένα, όπως θα μελετηθεί για την αιμοσφαιρίνη, ο συντελεστής απορρόφησης ποικίλλει στο ορατό φάσμα, ωστόσο ο συντελεστής σκέδασης μειώνεται στους ιστούς καθώς αυξάνεται το μήκος κύματος [5].

Η παρουσία των χρωμοφώρων επηρεάζει το συντελεστή απορρόφησης. Τα χρωμοφόρα είναι συστατικά των ιστών που απορροφούν φως, στο ορατό κομμάτι του φάσματος και βρίσκονται υπό μορφή αιμοσφαιρίνης και μελανίνης. Η αιμοσφαιρίνη (Hb) υπάρχει μόνο στα ερυθρά αιμοσφαίρια και είναι αυτή που δίνει στο αίμα το χαρακτηριστικό του χρώμα [7].

Πιο συγκεκριμένα, η αιμοσφαιρίνη σχηματίζεται από δύο ζεύγη διαφορετικών πρωτεϊνικών αλυσίδων και τέσσερις προσθετικές ομάδες αίμης, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 69 [7]. Είναι από τις πρωτεΐνες του αίματος η οποία μπορεί να ενωθεί με το οξυγόνο (O_2). Στους πνεύμονες υπάρχει η ικανότητα της δημιουργίας της οξυαιμοσφαιρίνης (HbO_2), γεγονός που οφείλεται στη μεγάλη συγκέντρωση οξυγόνου [6]. Έτσι μεταφέρεται οξυγόνο στα τριχοειδή αγγεία. Η μεταφορά του οξυγόνου στους ιστούς γίνεται μέσω του αρτηριακού αίματος, δηλαδή του αίματος που έχει κορεστεί από οξυγόνο και έχει μεγάλη ποσότητα οξυαιμοσφαιρίνης [6].



Εικόνα 69: Αναπαράσταση σχηματισμού αιμοσφαιρίνης

Η μελέτη της συγκεντρώσης της οξυγονωμένης και μη αιμοσφαιρίνης στο αίμα είναι σημαντική για την παρακολούθηση της καρδιοαναπνευστικής κατάστασης ασθενών κατά τη θεραπεία ή κατά τη διάρκεια του χειρουργείου, καθώς και για την ανίχνευση ασθενειών του δέρματος, γιατί σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση μη οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης επειδή δεν οξυγονώνονται σωστά [7]. Αυτός είναι ένας σημαντικός λόγος της μελέτης της αναλογίας της οξυαιμοσφαιρίνης με την αιμοσφαιρίνη.

Η ανεπάρκεια αιμοσφαιρίνης στον οργανισμό μπορεί να προκαλέσει αναιμία, δηλαδή μείωση των μορίων αιμοσφαιρίνης στο αίμα ή αιμοσφαιρινοπάθειες, που προκαλούνται από τη μειωμένη ικανότητα του κάθε μορίου να συνδεθεί με μόριο του οξυγόνου. Γενικά η ανεπάρκεια της αιμοσφαιρίνης στο αίμα επηρεάζει αρνητικά την κυκλοφορία του οξυγόνου στο αίμα. Μπορεί επίσης να προκαλέσει υποξία – μία παθολογική κατάσταση κατά την οποία ολόκληρο το σώμα ή ένα μέρος του στερείται επαρκούς οξυγόνωσης [7].

Όσον αφορά το διάγραμμα απορρόφησης της αιμοσφαιρίνης, βασισμένοι στο νόμο Beer-Lambert, ο συντελεστής απορρόφησης, δηλαδή η πιθανότητα απορρόφησης ενός φωτονίου σε ένα μέσο ανά μονάδα μήκους διαδρομής, όσον αφορά τα στοιχεία της αιμοσφαιρίνης, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

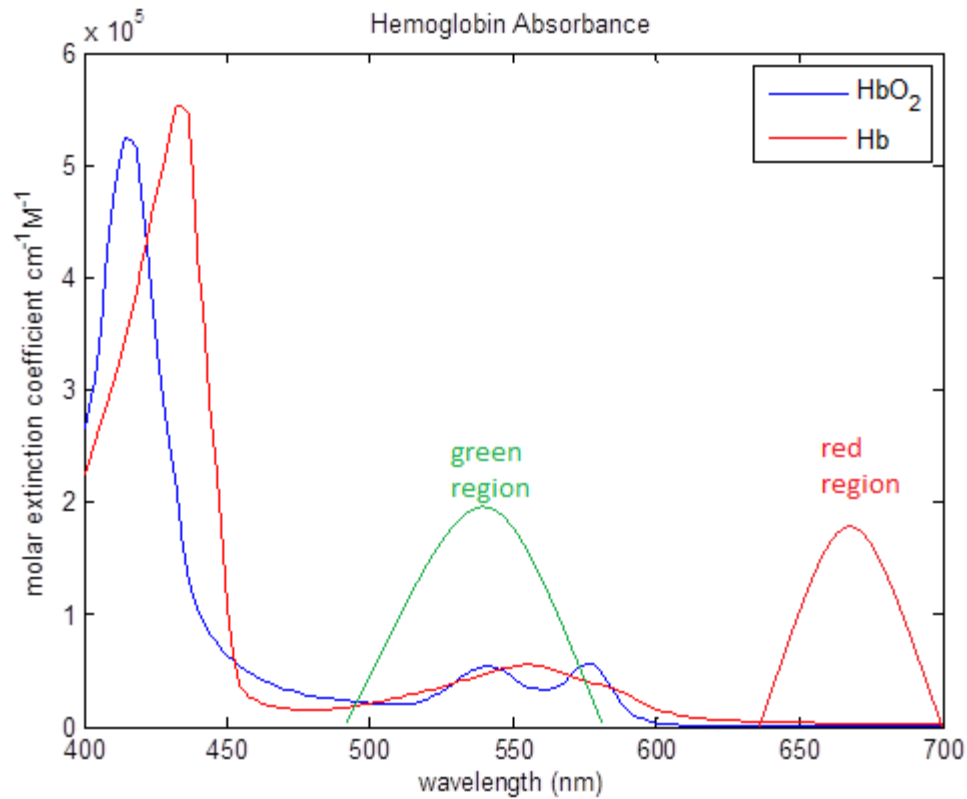
$$\mu_a = \ln(10)e \frac{C}{64,500}$$

Όπου:

- Το πάχος του κύβου θεωρείται 1cm.
- e: γραμμομοριακή απορροφητικότητα ($M^{-1}cm^{-1}$)

- $C = 150\text{g/liter}$

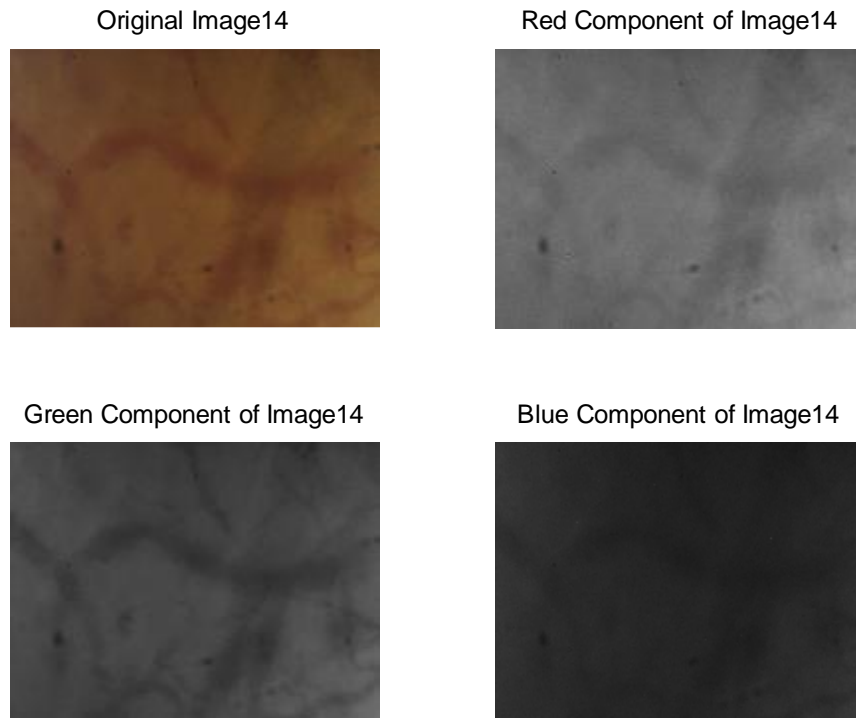
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η καμπύλη απορρόφησης, στο ορατό, στην εικόνα 70, από μετρήσεις που πήραμε από [8]:



Εικόνα 70: Καμπύλη απορρόφησης αιμοσφαιρίνης.

Παρατηρήσεις – Σχολιασμός γραφικής:

1. Η αιμοσφαιρίνη έχει peaks απορρόφησης στα 430nm και στα 555nm στο ορατό φάσμα. Η οξυαιμοσφαιρίνη έχει peaks απορρόφησης στα 415nm, 540nm και στα 576nm.
2. Η αιμοσφαιρίνη βρίσκεται στο μικροαγγειακό δίκτυο του χορίου, που σημαίνει πως για μήκη κύματος μεγαλύτερα των 600nm (κόκκινη περιοχή) η απορρόφηση του αίματος είναι πολλή χαμηλή.
3. Επίσης, η αιμοσφαιρίνη έχει peak στην πράσινη περιοχή, γεγονός που σημαίνει πως απορροφά περισσότερο φως σε αυτά τα μήκη κύματος. Αυτό μπορεί να δειχθεί χωρίζοντας την RGB εικόνα στα τρία χρωματικά κανάλια, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 71: a)Original image b)Red c)Green d)Blue parameter

Παρατηρήσεις – Σχολιασμός εικόνων:

1. Όπως παρατηρείται από την παραπάνω εικόνα, τα αγγεία φαίνονται καλύτερα στο πράσινο χρωματικό κανάλι, εικόνα 71c.
2. Ο θόρυβος στα red, blue κανάλια είναι μεγαλύτερος από ότι στο green.
3. Η σημαντικότερη πληροφορία βρίσκεται στο πράσινο κανάλι. Βέβαια, όταν υπάρχει χρήσιμη πληροφορία και στα άλλα δύο κανάλια χάνεται, γιατί εργαστήκαμε στο πράσινο κανάλι. Πιο συγκεκριμένα, περιορίσαμε το φάσμα της Gaussian κατανομής και διώξαμε τις «ουρές» δεξιά και αριστερά, δηλαδή το background, όπως θα δείξουμε στις επόμενες υποενότητες.
4. Στο πράσινο κανάλι συναντάται η περισσότερη λεπτομέρεια. Στο κόκκινο κανάλι, που είναι πιο φωτεινό, έχω χαμηλότερο contrast. Τέλος, στο μπλε κανάλι δε συναντώ κάτι παραπάνω από θόρυβο.
5. Ας μελετήσουμε όμως το contrast. Βάσει του Weber contrast έχουμε:

$$\Delta L = (L_{\max} - L_{\min}) / 2$$

$$C = \frac{\Delta L}{L_{\min} + \Delta L}$$

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι:

$$C_{red} = 0.6612$$

$$C_{green} = 0.5425$$

$$C_{blue} = 0.6207$$

Δηλαδή, πράγματι, στο πράσινο κανάλι έχω τη μεγαλύτερη απορρόφηση φωτός.

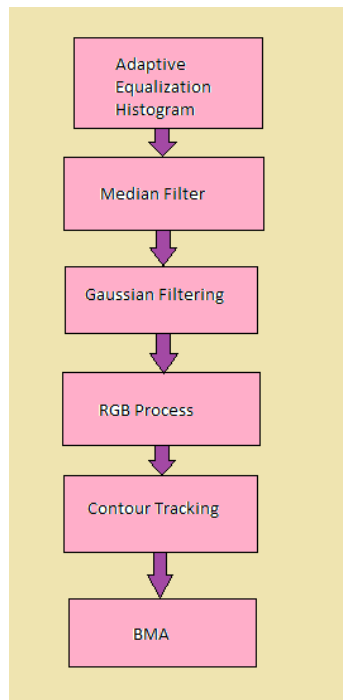
6. Τέλος, το γεγονός ότι έχω μεγαλύτερη απορρόφηση στο πράσινο κανάλι εξαρτάται και από τη συγκέντρωση της μελανίνης. Μελανίνη είναι μία οικογένεια χρωστικών που παράγεται από τους οργανισμούς.

5.2 Εκτίμηση μέσης ταχύτητας ερυθρών αιμοσφαιρίων

Στο δεύτερο κομμάτι αυτής της μελέτης στόχος ήταν να εργαστούμε στον τομέα της επεξεργασίας εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, αφού με κάποια προ-επεξεργασία εντοπίζαμε το περίγραμμα των αγγείων – ερυθρών αιμοσφαιρίων, έπρεπε να υπολογίσουμε κάποια μεγέθη, όπως την μέση ταχύτητά τους, την κατεύθυνσή τους και την υπολογιστική πολυπλοκότητα του συστήματος. Επίσης στόχος ήταν να εξεταστούν το reproducibility, το precision και το accuracy μέσω της τυπικής απόκλισης, standard deviation (SD) καθώς και του standard error (SE).

Accuracy ενός μεγέθους σημαίνει κατά πόσο κοντινή είναι η μέτρηση σε σχέση με την πραγματική τιμή. Το accuracy των περισσότερων οργάνων εξαρτάται από τη συσκευή και κατά πόσο ακριβής είναι η βαθμονόμησή της. **Precision** είναι το μέτρο της διάδοσης διαφορετικών αναγνώσεων. Το precision και το accuracy είναι άσχετα μεταξύ τους. Τέλος, **reproducibility** είναι ο βαθμός στον οποίο μία έρευνα ή ένα πείραμα μπορεί να αναπαραχθεί με ακρίβεια, από κάποιον που δουλεύει ανεξάρτητα, και είναι μία από τις βασικότερες αρχές στην επιστημονική μεθοδολογία.

Αρχικά, να σημειωθεί ότι είχαμε ως δεδομένα ένα βίντεο από το οποίο επιλέξαμε 50 εικόνες, οι οποίες πάρθηκαν από όσο το δυνατό πιο σταθερή κάμερα και ήταν μειωμένος ο θόρυβος από την κάμερα και από το αίμα. Ακολουθεί ένα block diagram, στην εικόνα 72, της συνολικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε μέχρι το τελικό αποτέλεσμα, της εκτίμησης της μέσης ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Το καρέ που θα μελετηθεί είναι το καρέ 14.

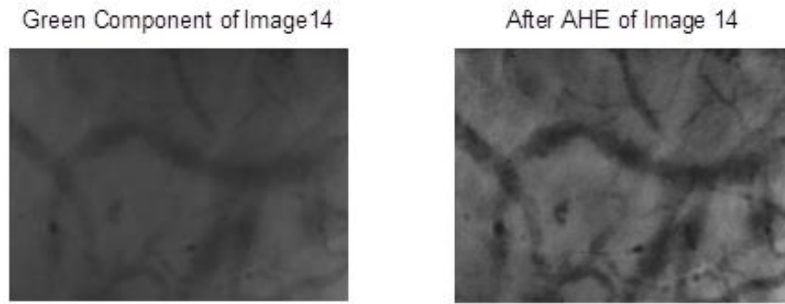


Εικόνα 72: Block diagram εκτίμησης μέσης ταχύτητας ερυθρών αιμοσφαιρίων

Πιο συγκεκριμένα, από τα παραπάνω βήματα της εικόνας 72, θα αναλυθούν όλα εκτός από το στάδιο του Block Matching Algorithm, που έχει αναλυθεί θεωρητικά στην υποενότητα 2.1. Τα αποτελέσματα του όμως θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν αναλυτικά.

5.2.1 Adaptive Histogram Equalization (AHE)

Από έρευνες που έχουν γίνει, έχει παρατηρηθεί πως οι εικόνες που έχουν σχέση με την ιατρική χρειάζονται «enhancement-ενίσχυση». Μία χρήσιμη μέθοδος για την ενίσχυση του contrast είναι η Adaptive Histogram Equalization (AHE). Αυτή η μέθοδος θέτει κάποια thresholds και κάποια γενικά κριτήρια μείωσης του θορύβου. Για την υλοποίηση μία τέτοιας τεχνικής, χρειάζονται μέθοδοι «ανάπτυξης περιοχής-region growing» με την χρήση 8-connectivity. Η μεθοδολογία ξεκινά με ένα «seed point» και συμπεριλαμβάνει τις ενισχυμένες ακμές με βάση την κλίση [9]. Το AHE είναι μία απαραίτητη μέθοδος για την μετέπειτα εξαγωγή της χρήσιμης μόνο πληροφορίας. Παρακάτω, στην εικόνα 73, φαίνονται τα αποτελέσματα του AHE για το καρέ 14:



Εικόνα 73: a) Green parameter b) After Adaptive Histogram Equalization

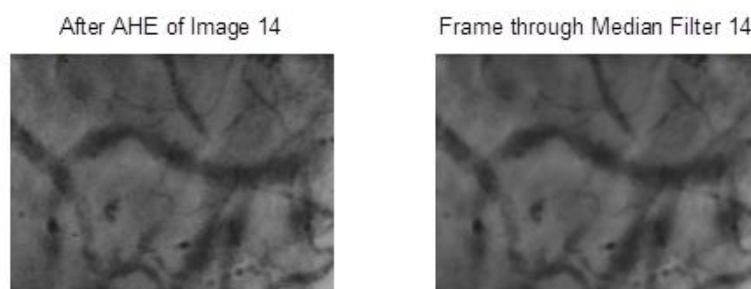
Από τη σύγκριση των παραπάνω εικόνων, δηλαδή της αρχικής green channel εικόνας και της εικόνας μετά την χρήση του AHE, παρατηρείται πως έχει αυξηθεί το contrast των αγγείων. Αυτό το βήμα ήταν απαραίτητο για να εξαχθεί στη συνέχεια, μόνο η χρήσιμη πληροφορία.

5.2.2 Χρήση Median Φίλτρου

Median φιλτράρισμα είναι μία μη-γραμμική τεχνική μείωσης θορύβου. Θεωρείται εξίσου καλή με μία γραμμική τεχνική. Χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία ιατρικών εικόνων. Ουσιαστικά «θολώνει» τις εικόνες δίνοντας ενίσχυση στις ακμές, με τον εξής τρόπο:

- Σε μία εικόνα ορίζουμε ένα παραθύρο $w \times w$ μεγέθους (8x8 στην περίπτωση μας).
- Σορτάρουμε τις τιμές αυτού του παραθύρου σε έναν πίνακα A.
- Βρίσκουμε τη median τιμή του πίνακα A, m.
- Στο κεντρικό εικονοστοιχείο του παραθύρου τοποθετούμε τη νέα τιμή m.

Είναι μια εύρωστη μέθοδος ακόμη και στην περίπτωση κινούμενης κάμερας. Να σημειωθεί πως όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του παραθύρου δε σημαίνει απαραίτητα και καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος, θεωρείται και αυτή μία μέθοδος enhancement. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας για το καρτέ 14:



Εικόνα 74: a) Previous image b) After median filter image

Από τις παραπάνω εικόνες (74a, 74b) παρατηρείται πως έχει γίνει blurring των εικόνων. Το στάδιο του median filtering θεωρείται εξίσου σημαντικό στη μείωση θορύβου των εικόνων προς εξαγωγή των ερυθρών αιμοσφαιρίων, όπως και στο στάδιο της μείωσης των κυμάτων και του θορύβου από τον ήλιο στην προηγούμενη επεξεργασία του ποταμού.

5.2.3 Gaussian Φιλτράρισμα

Το στάδιο του Gaussian filtering είναι ένα σημαντικό στάδιο για την περαιτέρω μείωση του θορύβου ειδικά στην επεξεργασία ιατρικών εικόνων. Πρακτικά συνελίσσουμε την εικόνα με μία mxm (3×3 στην περίπτωση μας) μάσκα. Τα βάρη της μάσκας υπολογίζονται βάσει της Gaussian συνάρτησης:

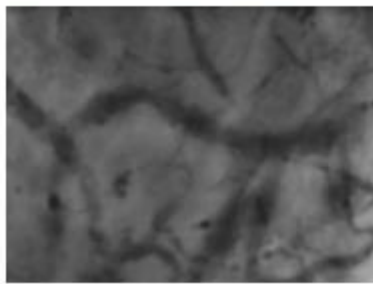
$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, x, y = -3\sigma, \dots, 3\sigma$$

Όπου:

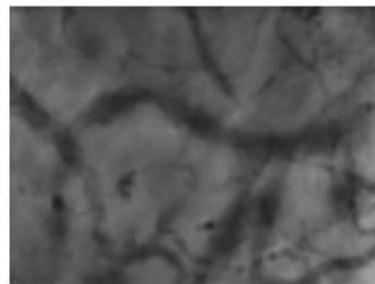
- σ : η τυπική απόκλιση της Gaussian κατανομής.
- Η κατανομή υποθέτουμε πως έχει μέση τιμή ίση με μηδέν.

Είναι μία linear μέθοδος. Ουσιαστικά θολώνει και αυτήν την εικόνα, απομακρύνοντας θόρυβο και λεπτομέρειες. Τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου φαίνονται παρακάτω στις εικόνες 75a και 75b:

Frame through Median Filter 14



Frame through Gaussian Filter 14

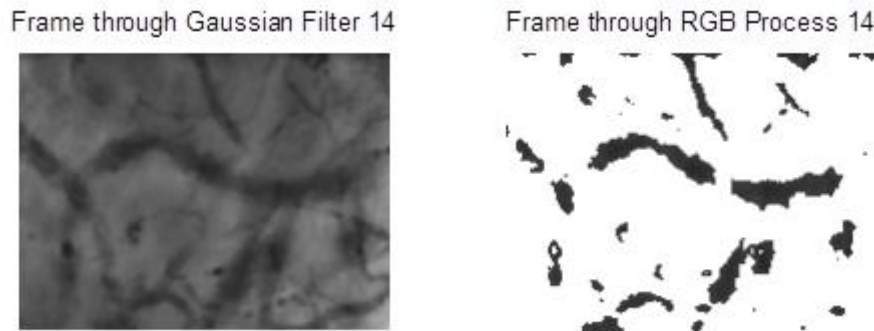


Εικόνα 75: a) Previous image b) After Gaussian filtering

Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο έχουμε απομακρύνει Gaussian θόρυβο, όπου είναι και ο βασικός θόρυβος σε μία εικόνα. Παρατηρείται πως η μάσκα έχει δώσει έμφαση στις ακμές. Να σημειωθεί πως η μάσκα είναι rotationally symmetric και πως όσο μεγαλύτερη είναι η τυπική απόκλιση τόσο πιο έντονο είναι το smoothing.

5.2.4 RGB Διαδικασία

Σε επόμενο στάδιο, στόχος είναι μετά την προεπεξεργασία των εικόνων να διώξουμε το background βάσει κατωφλίων. Να υπενθυμίσουμε πως εργαζόμαστε στον πράσινο παράγοντα του RGB color model. Έτσι για τον πράσινο παράγοντα, σε αυτήν τη διαδικασία διατηρήσαμε τιμές που βρίσκονταν στο διάστημα $0.15 \leq \text{green} \leq 0.25$, έπειτα από πειραματικές προσπάθειες. Τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου παρουσιάζονται παρακάτω για το καρέ 14:

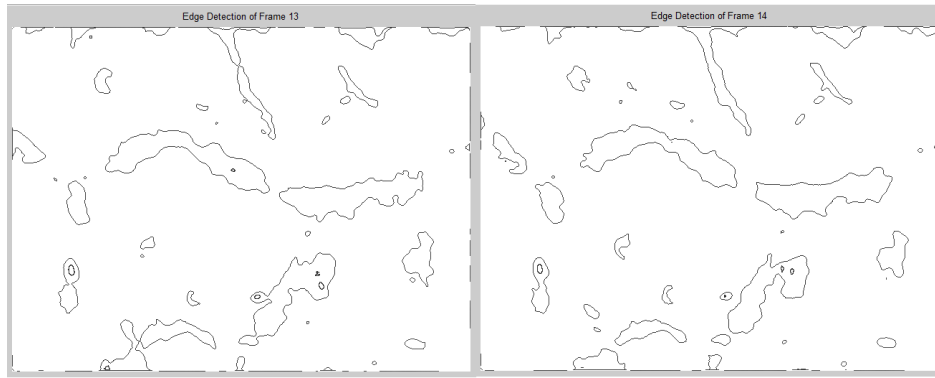


Εικόνα 76: a) Previous image b) After Background subtraction

Από τις παραπάνω εικόνες παρατηρείται πόσο καλός είναι ο εντοπισμός της χρήσιμης πληροφορίας. Να σημειωθεί πως χωρίς τις παραπάνω μεθόδους enhancement, τα αποτελέσματα δεν ήταν τόσο καλά.

5.2.5 Εντοπισμός περιγράμματος

Σε αυτό το στάδιο της επεξεργασίας έπρεπε να γίνει ανίχνευση των ακμών των αντικειμένων γιατί από πειραματικές προσπάθειες που έγιναν αποδείχθηκε πως επειδή τα αντικείμενα είχαν πολύ μεγάλο μέγεθος, ο BMA, που θα εφαρμοστεί μετέπειτα για τον υπολογισμό των motion vectors, είχε πολλή μεγάλη υπολογιστική πολυπλοκότητα, σε αντίθεση με τον ποταμό όπου τα αντικείμενα είχαν πολύ μικρό μέγεθος. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας για δύο διαδοχικά καρέ φαίνεται παρακάτω:

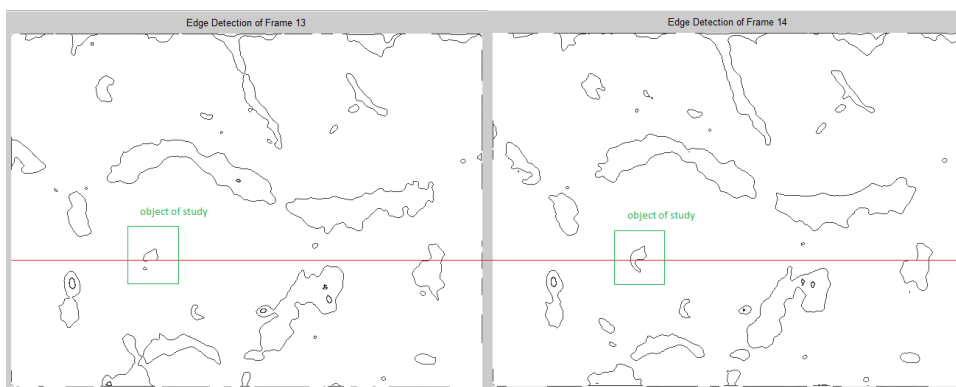


Εικόνα 77: a) Frame 13 b)Frame 14

Από τις παραπάνω εικόνες 77a και 77b φαίνεται πως το περίγραμμα των αντικειμένων έχει εντοπιστεί καλά. Να σημειωθεί πως θα μπορούσαμε να διαγράψουμε μικρές περιοχές που αποτελούν κατά βάση θόρυβο, όμως είναι λίγες και μικρές περιοχές που δεν επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα.

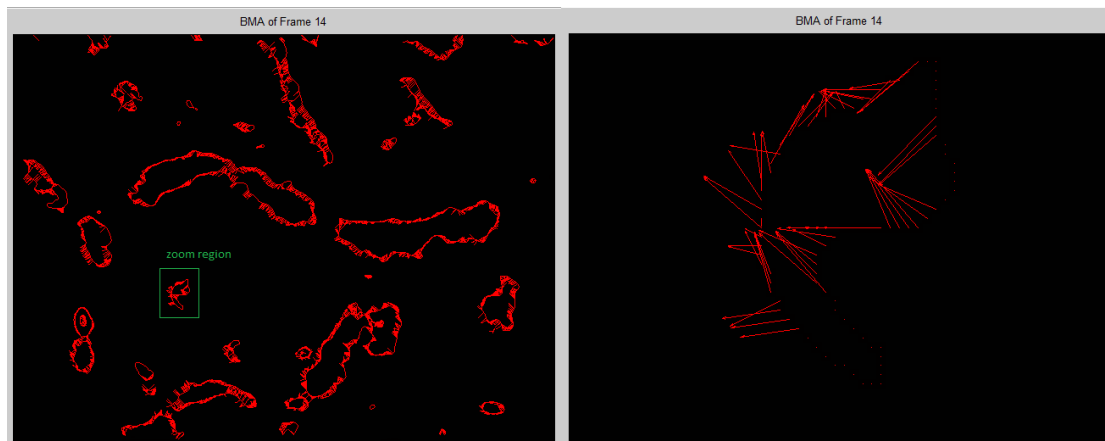
5.2.6 Block Matching Αλγόριθμος

Έχοντας εντοπίσει λοιπόν το περίγραμμα των αντικειμένων, τώρα στόχος είναι να γίνει υπολογισμός των διανυσμάτων κίνησης μέσω του Block Matching αλγορίθμου, που έχει ήδη αναλυθεί. Παρακάτω θα γίνει αναλυτική μελέτη των διανυσμάτων κίνησης. Αρχικά ως παρατηρήσουμε την κίνηση ενός αντικειμένου μεταξύ δύο διαδοχικών καρέ. Το αντικείμενο αυτό φαίνεται στο πράσινο πλαίσιο της εικόνας 78.



Εικόνα 78: Μελέτη κίνησης ενός αντικειμένου

Όπως παρατηρείται από την εικόνα 78, το αντικείμενο του πράσινου πλαισίου κινείται προς τα δεξιά, ως επί το πλείστον, δηλαδή, το μεγαλύτερο τμήμα του. Ας δούμε όμως και τα αποτελέσματα του BMA.



Εικόνα 79: Αποτελέσματα του BMA

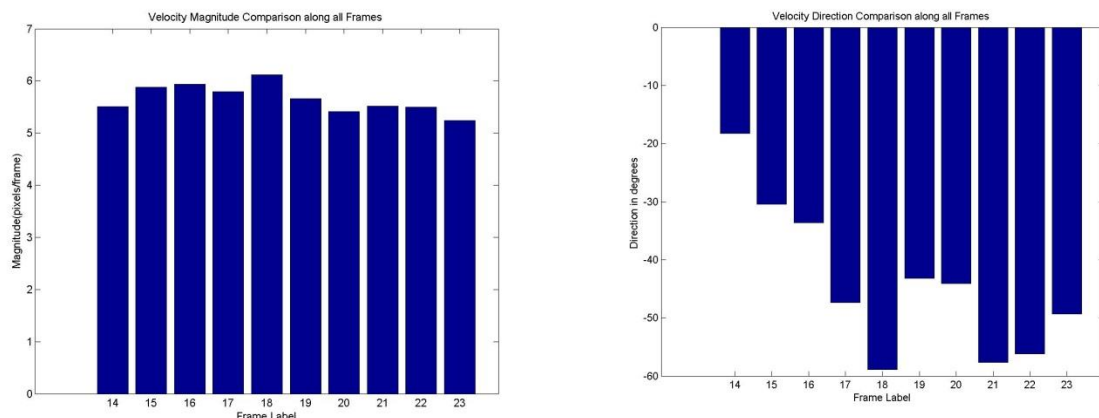
Παρατηρείται πως ο αλγόριθμος λειτουργεί σωστά. Να υπενθυμίσουμε πως ο αλγόριθμος υπολογίζει τα διανύσματα κίνησης από το καρέ t στο καρέ $t-1$. Αυτός είναι και ο λόγος που φαίνονται ανάποδα τα βέλη. Αυτό που παρατηρείται έντονα είναι πόσο ανώμαλη είναι η κίνηση των ερυθρών αιμοσφαιρίων μέσα στο αγγεία. Το επόμενο στάδιο της ανάλυσης είναι η μελέτη του υπολογισμού της μέσης ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων.

5.3 Εκτίμηση μέσης ταχύτητας ερυθρών αιμοσφαιρίων

Ο τρόπος υπολογισμού του μέτρου και της κατεύθυνσης της ταχύτητας έχει μελετηθεί στις προηγούμενες ενότητες. Σε αυτήν την ενότητα στόχος είναι να γίνει μελέτη του πειραματικού μέρους της διαδικασίας εκτίμησης της ταχύτητας και μελέτη των αποτελεσμάτων.

Τα καρέ που επεξεργαστήκαμε ήταν 50 σε αριθμό. Έπειτα από πειραματικές προσπάθειες αποδείχθηκε πως χρειαζόμαστε 10 καρέ κάθε φορά για να φτάσουμε στην τιμή ταχύτητας που ουσιαστικά δεν αλλάζει από κει και πέρα κατά πολύ, τουλάχιστον όσον αφορά το μέτρο των ταχυτήτων το οποίο αλλάζει πιο ομοιόμορφα. Αυτό θα φανεί και στην παρακάτω ανάλυση.

Αρχικά λοιπόν θα μελετηθούν τα γραφήματα του μέτρου και της κατεύθυνσης των 10 πρώτων καρέ που επεξεργαστήκαμε. Έτσι έχουμε:



Εικόνα 80: α)Μέτρο ταχύτητας β)Κατεύθυνση ταχύτητας

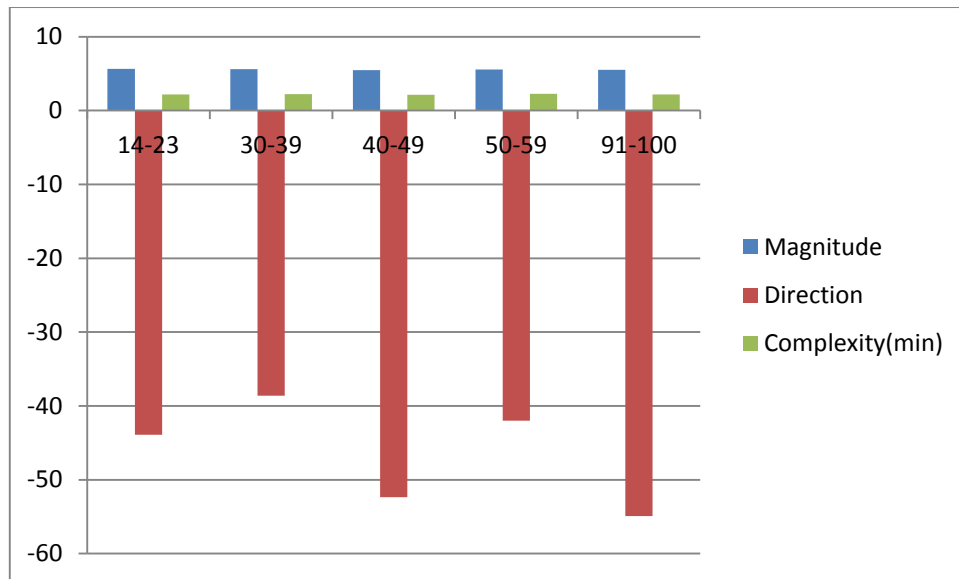
Από τις παραπάνω εικόνες παρατηρείται πως πράγματι χρειαζόμαστε περίπου 8-10 καρτέτσι ώστε να βρεθεί η τιμή που από κει και πέρα αλλάζει πιο ομοιόμορφα η ταχύτητα των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Όσον αφορά την κατεύθυνση δεν αλλάζει τόσο ομοιόμορφα καθώς τα ερυθρά αιμοσφαίρια κινούνται άτακτα μέσα στα αγγεία! Να σημειωθεί πως η κατεύθυνση των ερυθρών αιμοσφαιρίων είναι αρνητική γιατί όπως φαίνεται στην εικόνα 26, τα ερυθρά αιμοσφαίρια κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση από ότι εκείνης των φύλλων.

Σε επόμενο στάδιο θα μελετηθεί η συνολική εικόνα της μεταβολής της μέσης ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Πιο συγκεκριμένα, ανά δεκάδες θα υπολογιστεί μία μέση ταχύτητα, σε μέτρο και κατεύθυνση. Για κάθε τέτοια τιμή θα μελετηθούν κάποια στατιστικά μέτρα απόκλισης όπως είναι η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση καθώς και το standard error.

Frames	Magnitude	Direction	Complexity(min)
14-23	5,66	-43,91	2,16
30-39	5,62	-38,61	2,22
40-49	5,46	-52,34	2,12
50-59	5,55	-42,01	2,27
91-100	5,51	-54,9	2,19

Πίνακας 1: Αριθμητικά αποτελέσματα αιμοσφαιρίων για τα 50 καρτέ

Στον παραπάνω πίνακα 1, παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις από τα 50 καρτέ. Ακολουθεί σχετικό διάγραμμα:



Εικόνα 81: Διάγραμμα τιμών μεγεθών πίνακα 1

Παρακάτω αναλύονται τα στατιστικά μεγέθη. Αρχικά τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Values	Magnitude	Direction	Complexity(min)
μ	5,56	-46,35	2,19
SD	0,08	6,96	0,06
SE	0,036	3,113	0.027
SE/ μ (%)	0,65	-6,72	1,23

Πίνακας 2: Στατιστικά μεγέθη

Με:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$$

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{N}}$$

Όπου N ο αριθμός των δειγμάτων, δηλαδή 5 στην περίπτωση μας.

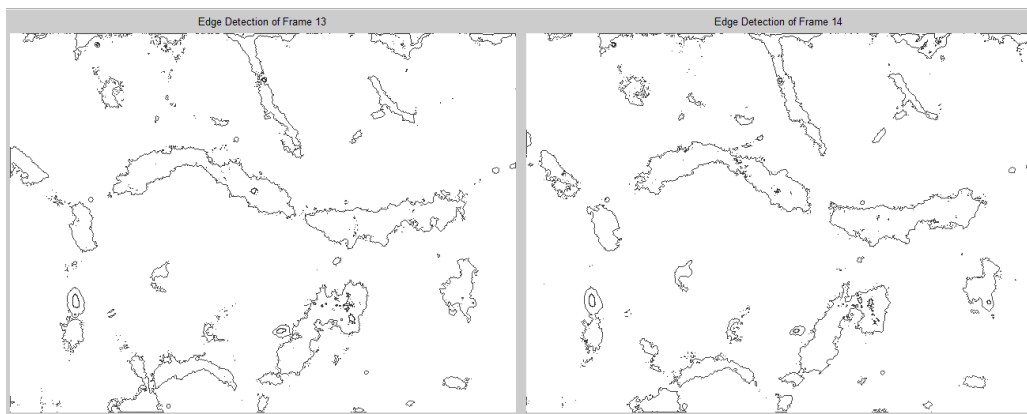
Από τις παραπάνω στατιστικές παρατηρήσεις, φαίνεται πως οι μετρήσεις μας είναι αρκετά ακριβείς.

5.4 Αφαίρεση μεθόδων για διερεύνηση ακρίβειας

Το επόμενο και τελευταίο στάδιο της μελέτης της ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων ήταν να μελετηθεί η ακρίβεια των μετρήσεων αφαιρώντας κάποιες μεθόδους. Πιο συγκεκριμένα σταδιακά θα αφαιρέσουμε κάποιες μεθόδους enhancement. Αυτό βέβαια δε σημαίνει πως θα πάρουμε και καλύτερα αποτελέσματα. Έτσι, οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν να αφαιρεθούν είναι το median φίλτρο και σε δεύτερη φάση το Gaussian. Το πρόβλημα θα επαναληφθεί ακόμη δύο φορές δηλαδή.

- **Χωρίς την χρήση median φίλτρου**

Αρχικά θα μελετηθούν τα αποτελέσματα του τελικού αποτελέσματος, δηλαδή των ακμών, χωρίς την χρήση του median φίλτρου. Έτσι για τα καρέ 13, 14 πάλι έχουμε:

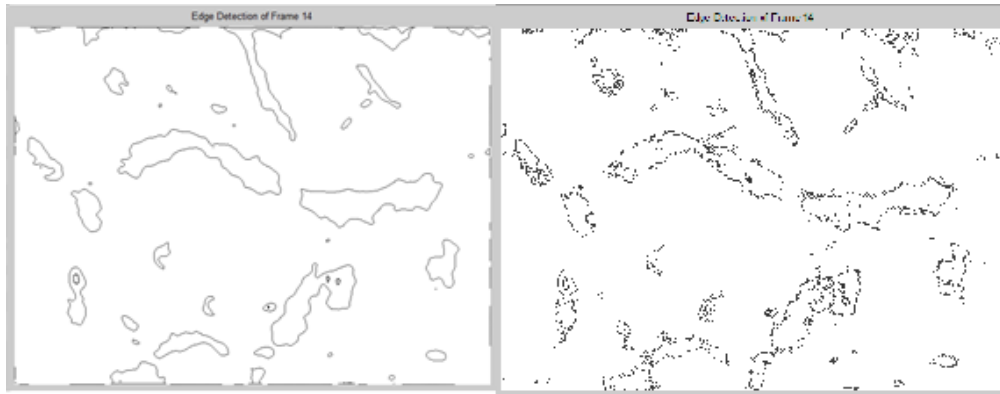


Εικόνα 82: Παρουσίαση ακμών διαδοχικών καρέ μετά την αφαίρεση του median φίλτρου

Σε σύγκριση με τα προηγούμενα αποτελέσματα, παρατηρείται μία ανομοιομορφία στις ακμές-περισσότερος θόρυβος. Έτσι, βλέπουμε πόσο χρήσιμη είναι η χρήση ενός median φίλτρου στον εντοπισμό των ερυθρών αιμοσφαιρίων.

- **Χωρίς την χρήση Gaussian φίλτρου**

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των εικόνων-ακμών και χωρίς την χρήση του Gaussian φίλτρου. Έπειτα με σχετικά διαγράμματα θα μελετηθούν τα αριθμητικά αποτελέσματα.



Εικόνα 83: α) All algorithms image result β) without median and Gaussian filters

Από τις παραπάνω εικόνες, όπου γίνεται σύγκριση μεταξύ της αρχικά επεξεργασμένης εικόνας και της εικόνας χωρίς το Median και χωρίς το Gaussian φίλτρο, παρατηρείται πως τα βέλτιστα αποτελέσματα είναι στη συνολική μεθοδολογία επεξεργασίας των εικόνων. Αυτό θα φανεί και αριθμητικά στην παρακάτω ανάλυση.

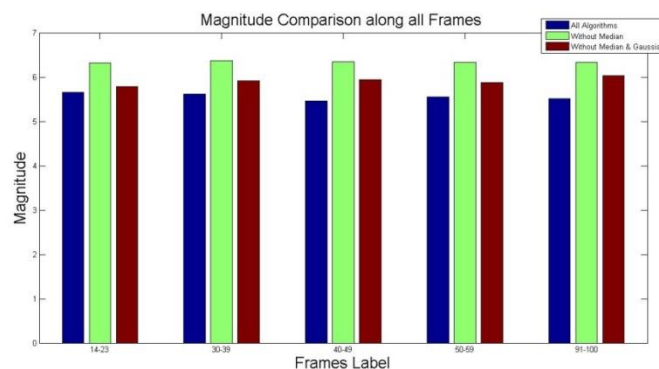
- **Πειραματικά Αποτελέσματα**

Εδώ παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει όλα τα αποτελέσματα και για τις τρεις φορές που πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

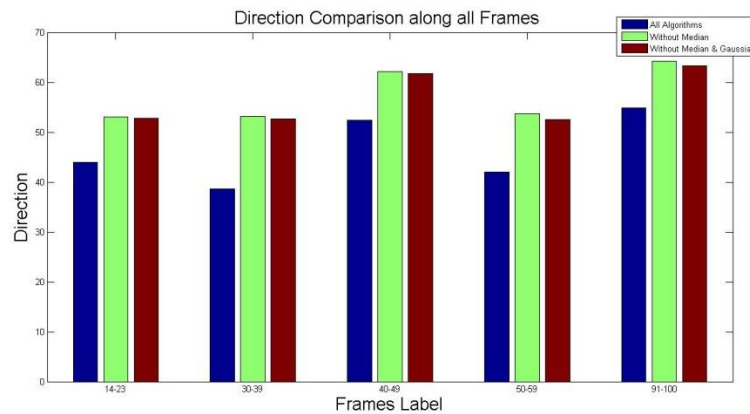
frames	All Algorithms			Without Median			Without Median & Gaussian		
	Magnitude	Direction	Complexity	Magnitude	Direction	Complexity	Magnitude	Direction	Complexity
14-23	5,66	-43,91	2,16	6,32	-53,07	2,73	5,79	-52,73	4,47
30-39	5,62	-38,61	2,22	6,37	-53,18	2,72	5,91	-52,6	4,84
40-49	5,46	-52,34	2,12	6,35	-62,16	2,61	5,94	-61,69	4,38
50-59	5,55	-42,01	2,27	6,33	-53,66	2,42	5,88	-52,54	4,37
91-100	5,51	-54,9	2,19	6,33	-64,26	2,89	6,03	-63,28	4,36

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

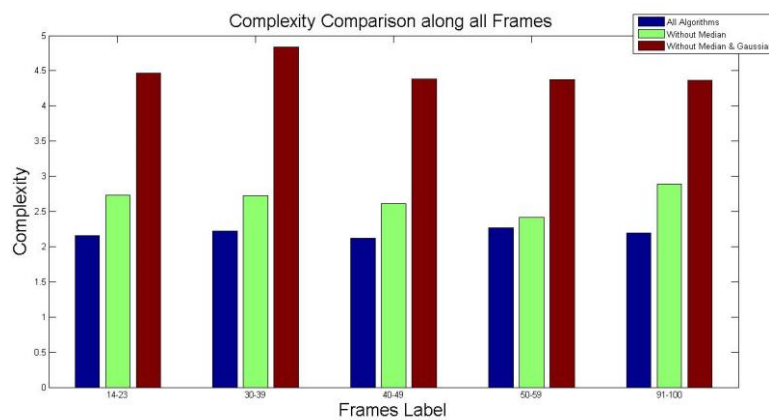
Ακολουθούν γραφήματα κι έπειτα σχολιασμός.



Εικόνα 84: Σύγκριση μέτρου ταχύτητας



Εικόνα 85: Σύγκριση κατεύθυνσης ταχύτητας



Εικόνα 86: Σύγκριση υπολογιστικής πολυπλοκότητας

Παρατηρήσεις-Σχολιασμός:

- Το μέτρο της ταχύτητας είναι περίπου το ίδιο με μία μικρή απόκλιση μικρότερη από 1 pixel.
- Παρουσιάζεται μία πιο σημαντική διαφοροποίηση στις τιμές της κατεύθυνσης της ταχύτητας, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη θορύβου που επηρεάζει τις αρχικές τιμές μας με μία απόκλιση της τάξης των 10 περίπου pixels.
- Η πιο ουσιαστική όμως αλλαγή φαίνεται στο χρόνο μετά και την αφαίρεση του Gaussian φίλτρου. Από τα παραπάνω αποτελέσματα βλέπουμε πως έχει αυξηθεί η υπολογιστική πολυπλοκότητα κατά 2min. Αυτό συμβαίνει γιατί το πρόγραμμα έχει να επεξεργαστεί περισσότερο θόρυβο!
- Άρα συνολικά, παρατηρείται πως η χρήση των median και Gaussian φίλτρων είναι απαραίτητη και επίσης δεν κοστίζει πολύ.

Κεφάλαιο 6: Επιβεβαίωση Τιμών Ταχύτητας

Σε αυτό το κεφάλαιο στόχος είναι να γίνει επιβεβαίωση των τιμών ταχύτητας, που υπολογίστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, από βίντεο που βρέθηκαν στα οποία εκτιμάται η ταχύτητα προσπαθήσαμε να υπολογίσουμε την μέση πραγματική ταχύτητα βάσει του αλγόριθμού μας και στη συνέχεια να συγκρίνουμε τις τιμές. Επίσης, θα παρουσιαστούν κάποια στατιστικά μεγέθη, όπως έγινε και στο κεφάλαιο 5. Να σημειωθεί ότι σε αυτό το κεφάλαιο δε θα γίνει ανάλυση των βημάτων προεπεξεργασίας και BMA, αφού έχει ήδη γίνει σε προηγούμενα κεφάλαια, αλλά θα παρουσιαστούν απλά τα αποτελέσματα.

6.1 Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων ταχύτητας

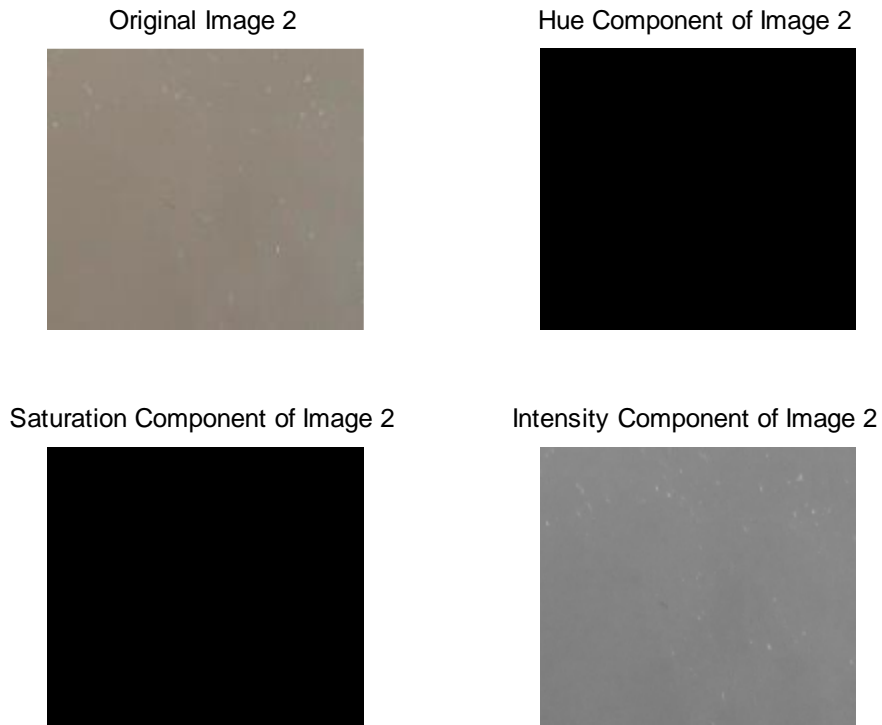
Αρχικά, θα παρουσιαστεί η μορφή του βίντεο που είχαμε να επεξεργαστούμε σε αυτό το σημείο της εργασίας. Το βίντεο προς επεξεργασία, είχε ως αντικείμενα προς μελέτη αφρούς του ποταμού, που δημιουργούνται στην επιφάνειά του λόγω της έντονης ροής. Από μία σειρά εικόνων βίντεο, το οποίο αφορά σε μετρήσεις που έγιναν στον Πηνειό με χρήση του Doppler οργάνου μέτρησης ταχύτητας και παροχής Qlinear, απομονώσαμε από τις εικόνες ένα κομμάτι που μας ενδιέφερε και το επεξεργαστήκαμε. Τις μετρήσεις πραγματικής ταχύτητας μας παρείχε ο καθ. Ιωάννης Συμπέθερος, Property of Dept. Of Civil Engineering TEI Athens. Το κομμάτι που επιλέχθηκε έγινε με κριτήριο τη μείωση του θορύβου και επιλογή της χρήσιμης μόνο πληροφορίας.

Original Image2



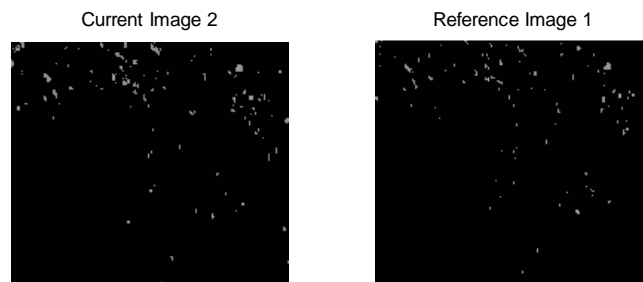
Εικόνα 87: Αρχική εικόνα

Από την παραπάνω εικόνα απομονώσαμε το πάνω δεξί της μέρος. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 88. Στη συνέχεια, όπως και στο βίντεο με τα φύλλα, έτσι κι εδώ εργαστήκαμε πάνω στο HSI χρωματικό μοντέλο. Στην εικόνα 88 φαίνονται επίσης οι τρεις παράμετροι.



Εικόνα 88: a) Κομμάτι επιλογής b) Hue c) Saturation d) Intensity

Από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται πως στον μόνο παράγοντα που μπορούσαμε να εργαστούμε, ήταν στον intensity (εικόνα 88d). Έτσι με μία εύκολη προεπεξεργασία, απομονώσαμε τους αφρούς και στη συνέχεια εφαρμόσαμε τον αλγόριθμο υπολογισμού των διανυσμάτων κίνησης.



Εικόνα 89: Διαδοχικά καρέ προς υπολογισμό διανυσμάτων κίνησης.

Στην παραπάνω εικόνα 89 φαίνονται τα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν να μελετηθούν. Μετά τον υπολογισμό των διανυσμάτων κίνησης, υπολογίστηκε η μέση πραγματική ταχύτητα των αφρών ως εξής:

Μέσω του διαδικτύου, αφού δεν είχαμε πραγματικές διαστάσεις για τους αφρούς αλλά μόνο για την μέση πραγματική ταχύτητα του συγκεκριμένου ποταμού, βρήκαμε έναν μετατροπέα από pixels σε m, όπου το 1m αντιστοιχεί σε 4000 pixels. Έτσι, η ταχύτητα που υπολογίσαμε ήταν 8 pixels/frame κατά μέσο όρο. Τα 8 pixels αντιστοιχούν σε 0.002 m/frame. Πολλαπλασιάζοντας τώρα με το frame rate (30 frames/sec) παίρνουμε πως η μέση πραγματική ταχύτητα βάσει του αλγορίθμου μας είναι **0.063m/sec**.

6.2 Παρουσίαση στατιστικών μεγεθών

Λόγω έλλειψης δεδομένων με πραγματικές μετρήσεις, ουσιαστικά η σύγκριση έγινε με ένα μόνο δεδομένο. Πιο συγκεκριμένα, στο βίντεο που παρουσιάστηκε στην υποενότητα 6.1, η μέση πραγματική ταχύτητα του ποταμού μετρήθηκε 0.5 m/sec. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως η απόκλιση ήταν:

$$\alphaπόκλιση = \frac{0.5}{0.063} = 7.94\% < 10\%$$

Όπου 10% ήταν η επιτρεπτή απόκλιση.

Το επόμενο και τελευταίο στάδιο αυτής της εργασίας, είναι να εκτιμηθεί η απόκλιση για τα αντικείμενα που ταυτοποιήθηκαν βάσει του αλγορίθμου μας χωρίς τη βοήθεια των manual labels, όπως έχει αναλυθεί στον κεφάλαιο 3. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κομμάτι της εργασίας που επεξεργαστήκαμε τα 4 πρώτα φύλλα, ο αλγόριθμος εντόπισε όλα τα αντικείμενα σε κάθε καρέ. Στην περίπτωση, τώρα, των 22 φύλλων όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3, σε κάποιες περιπτώσεις χρειάστηκε να συνδυαστούν τα έτοιμα labels που είχαμε δώσει εμείς με τα labels που ψάχναμε. Για αυτήν την περίπτωση καρέ θα υπολογιστεί μία απόκλιση.

Σε έναν αριθμό 15 καρέ με συνολικό αριθμό 22 φύλλα, στα 5 καρέ χρησιμοποιήθηκε η βοήθεια από τα manual labels. Περαιτέρω ανάλυση απόκλισης πέρα από αυτήν δεν μπορεί να γίνει γιατί σε αυτά τα 5 καρέ ο αριθμός των αντικειμένων δεν παραμένει σταθερός. Έτσι έχουμε:

$$\text{απόκλιση} = \frac{5}{15} = 33\%$$

Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα-Καινοτομίες-Μελλοντική Εργασία

Σε αυτήν την εργασία έγινε η επεξεργασία βίντεο-εικόνων σε τρία πολύ βασικά χρωματικά μοντέλα, το RGB, το HSI και το YCbCr. Συμπερασματικά, συγκρίνοντας αυτά τα τρία χρωματικά μοντέλα παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Η χρήση του χρωματικού μοντέλου στο οποίο επιλέγεται να εργαστούμε εξαρτάται από τον τύπο των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, είδαμε πως το RGB μοντέλο δεν ήταν κατάλληλο στην περίπτωση του περιβάλλοντος, όμως στον τομέα των βιοϊατρικών δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Δεν υπάρχει μέτρο σύγκρισης χρωματικών μοντέλων καθότι το καθένα έχει τα θετικά και τα αρνητικά του.
- Η μέση ταχύτητα που υπολογίστηκε είναι κατά ένα μεγάλο βαθμό αξιόπιστη, όπως αποδείχθηκε στο κεφάλαιο 6.
- Γενικά, το σύστημα των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκε είναι καλό, δεδομένου ότι η πολυπλοκότητα είναι μικρή για έναν αρκετά μεγάλο όγκο δεδομένων.

Σε αυτό το σημείο της εργασίας αξίζει να αναφερθούμε, συγκεντρωτικά πια, στις καινοτομίες αυτής της εργασίας. Αρχικά οι πρώτες βελτιστοποιήσεις αφορούν τον BMA. Πιο συγκεκριμένα, δεν χρησιμοποιήσαμε απλά τον αλγόριθμο όπως υπάρχει στη βιβλιογραφία, αντιθέτως, έγιναν δύο βελτιστοποιήσεις.

Η πρώτη βελτιστοποίηση αφορά την χρήση μόνο των pixels χρήσιμης πληροφορίας. Όπως αναλύθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο και πιο συγκεκριμένα στην υποενότητα 2.2, για μείωση της πολυπλοκότητας του BMA, πριν την χρήση του BMA κάθε pixel εξεταζόταν αν ανήκει στο φόντο ή στην χρήσιμη πληροφορία. Η δεύτερη βελτιστοποίηση του BMA αφορά την χρήση του ιστογράμματος των κατευθύνσεων.

Τα φύλλα-αντικείμενα είναι ομοιόμορφα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ειδικά σε περιπτώσεις συσσωματώματος ο BMA να μπερδεύει το best-matched pixel προέλευσης του εξεταζόμενου pixel. Με την χρήση ιστογράμματος κατευθύνσεων, μπορούμε να διατηρήσουμε την επικρατέστερη κατεύθυνση σε κάθε τρέχον καρέ των φύλλων και διατηρώντας ένα διάστημα $\pm 45^\circ$ από την επικρατέστερη κατεύθυνση, να διώξουμε τα motion vectors «θορύβου» κρατώντας ουσιαστικά τα πιο αντιπροσωπευτικά.

Συνεχίζοντας την ανάλυση των καινοτομιών αυτής της εργασίας, αξίζει να σημειωθούν και οι περιπτώσεις ταυτοποίησης αντικειμένων που δεν ανήκαν στις τρεις βασικές κατηγορίες ταυτοποίησης, όπως αναφέρονται στο κεφάλαιο 3. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμός μας κατάφερε να αντιμετωπίσει και περιπτώσεις που μπορούν να δημιουργήσουν νέες κατηγορίες ταυτοποίησης αλλά και άλλες πιο εξειδικευμένες.

Ακριβέστερα, η πρώτη περίπτωση είναι εκείνη κατά την οποία τα αντικείμενα από καρέ σε καρέ έχουν τον ίδιο αριθμό αντικειμένων, στην περίπτωση που έχουν χαθεί δύο αντικείμενα και έχουν εμφανιστεί επίσης δύο. Οι περιπτώσεις που συναντήσαμε στην περίπτωση των πολλών φύλλων ταυτοποίησης ήταν αρκετά εξειδικευμένες, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορούμε να γνωρίζουμε τι θα γινόταν στην περίπτωση που εξαφανίζονταν παραπάνω από δύο και εμφανίζονταν ή επανεμφανίζονταν παραπάνω από δύο, διατηρώντας πάντα τον αριθμό των αντικειμένων ίσο.

Η δεύτερη βασική κατηγορία που κατάφερε να αντιμετωπίσει ο αλγόριθμός μας ήταν εκείνη του συσσωματώματος. Η πειραματική εμπειρία μας έδειξε πως όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των φύλλων προς επεξεργασία, τόσο περισσότερα συσσωματώματα υπήρχαν. Αυτό καθιστούσε άμεσα την δημιουργία ενός αλγορίθμου ταυτοποίησης πιο δύσκολη και πολύπλοκη. Να σημειωθεί επίσης πως ο τρόπος κίνησης των αντικειμένων στη ροή ποταμού είναι τυχαioκρατικός.

Τέλος, με την χρήση των ταχυτήτων των αντικειμένων των δύο προηγούμενων καρέ καταφέραμε να επιλύσουμε πολλά προβλήματα τα οποία συναντήσαμε κατά το πέρας της επεξεργασίας. Ο αλγόριθμός μας κατάφερε να λύσει προβλήματα τα οποία αφορούν συνολικά τρία καρέ. Η διατήρηση για παράδειγμα όλων των ταχυτήτων των προηγούμενων καρέ είναι γεγονός δύσκολο και που αυξάνει την πολυπλοκότητα ενός αλγορίθμου ταυτοποίησης πάρα πολύ.

Συμπερασματικά λοιπόν, όσον αφορά τον αλγόριθμο ταυτοποίησης, δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος αρκετά γενικευμένος, ο οποίος «πιάνει» αρκετές περιπτώσεις. Αν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων μας είχαν συναντηθεί και άλλες περιπτώσεις ταυτοποίησης πέραν αυτών, θα είχαν λογικά αντιμετωπιστεί και αυτές. Ο εντοπισμός και η ταυτοποίηση αντικειμένων στη ροή ποταμού, στην κίνηση δηλαδή αντικειμένων πάνω σε ένα άτακτο background είναι μία δύσκολη συνολικά διαδικασία.

Ως μελλοντική-συμπληρωματική εργασία θα μπορούσαμε να αναφερθούμε σε δύο σκέλη, το περιβαλλοντικό και το βιοϊατρικό. Όσον αφορά το πρώτο, η εργασία θα μπορούσε να επεκταθεί στην χρήση στερεοσκοπικών καμερών για τον εμπλουτισμό των δεδομένων της κίνησης των φύλλων στη ροή του ποταμού, όπως είναι η εύρεση της πραγματικής θέσης κάθε αντικειμένου.

Για το δεύτερο κομμάτι της εργασίας είναι σημαντικό να σημειωθεί πως η δημιουργία ενός αξιόπιστου συστήματος αλγορίθμων για την εκτίμηση της ταχύτητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων είναι σημαντική για τη βοήθεια εύρεσης κάποιων ασθενειών. Ως μελλοντική εργασία θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε την εκτίμηση της ταχύτητας του σπέρματος για να διαπιστωθεί εάν είναι γόνιμο ή όχι.

References

- [1]: Τσιμόγιαννη Χριστίνα, “Αναγνώριση Παθολογικών Αιμοσφαιρίων με Επεξεργασία Ψηφιακής Εικόνας Σκέδασης στο Υπέρυθρο και στο Ορατό Φάσμα”.
- [2]: Gonzalez Woods, “Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας”.
- [3]: Wikipedia/YCbCr.
- [4]: Jianhua Lu and Ming L. Liou, “A simple and Efficient Search Algorithm for Block Matching Motion Estimation”.
- [5]: Julia L. Sandell and Timothy C.Zhu, “A review of in vivo optical properties of human tissues and its impact on PDT”.
- [6]: Μαρία Αντωνίου, “UV/Vis και FTIR Μελέτη της αιμοσφαιρίνης και της υπεροξειδάσης της λιγνίνης”.
- [7]: Γαλάρας Κωνσταντίνος, “In vivo φασματική χαρτογράφηση της οξυγονωμένης και μη αιμοσφαιρίνης”.
- [8]: Scott Prahl, “Tabulated Molar Extinction Coefficient for Hemoglobin in Water”.
- [9]: Sonia Goyal, Seema, “Region Based Contrast Limited Adaptive HE with Additive Gradient for Contrast Enhancement of Medical Images (MRI)”.