



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών

Διπλωματική Εργασία

«Σύστημα συλλογής και ανάλυσης σήματος αναλογικής κάμερας
για την μελέτη κίνησης διφασικού μίγματος σε αγωγούς»

Θεοδοσίου Ζήνωνας

Εξεταστική Επιτροπή

Ζερβάκης Μιχάλης, καθηγητής (Επιβλέπων)
Κελεσίδης Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής
Σταυρακάκης Γεώργιος, Καθηγητής

Χανιά, Μάρτιος 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ	4
1.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....4
1.2	ΜΟΡΦΕΣ ΡΟΗΣ4
1.3	ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΕ ΥΓΡΑ7
1.3.1	Με ηχητική ενέργεια.....7
1.3.2	Με χρήση ακτίνων Χ.....9
1.3.3	Με χρήση κάμερας.....12
1.3.4	Με χρήση επαγωγικών πηνίων.....13
1.4	Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ CCD14
1.4.1	Πως ξεχωρίζει τα χρώματα ένας αισθητήρας.....15
1.4.2	Πώς σχηματίζονται τα χρώματα.....16
1.4.3	Πόσα χρώματα μπορεί να διαβάσει ένας αισθητήρας.....16
1.4.4	Πως λειτουργεί ο γραμμικός αισθητήρας.....17
1.4.5	Είδη αισθητήρων.....17
1.4.6	Ανάλυση μιας εικόνας.....17
1.5	ΚΑΜΕΡΕΣ18
1.5.1	Τύποι κάμερων.....18
1.5.2	Αναλογικές κάμερες.....18
1.5.3	Ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές.....19
1.5.4	Θεμελιώδη τεχνολογίες της κάμερας.....20
1.5.5	Ανίχνευση γραμμών.....20
1.5.6	Υπέρυθρες.....21
1.6	ΟΠΤΙΚΟΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΣΗΜΑ22
1.6.1	Frame Grabber.....23
1.6.2	Video Scanning.....24
1.6.3	Αναλογικά σήματα.....25
1.6.4	Ψηφιακά σήματα.....28
1.7	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΠΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ29
1.7.1	Σύστημα μελέτης και ανάλυσης φυσαλίδων σε υγρά.....30
1.7.2	Σύστημα για καθορισμό των παραμέτρων που επιδρούν στην ανοδική πορεία φυσαλίδων αερίου και στερεών σωματιδίων σε μη Νευτώνεια υγρά.....33
1.7.3	Σύστημα για τη μελέτη της διαδικασίας διάβρωσης ιζήματος.....35
1.7.4	Συμπεράσματα.....37
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ	38
2.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ38
2.2	ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΟΗΣ.....38
2.2.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ39
2.3	ΚΑΜΕΡΑ.....44
2.3.1	Κύρια χαρακτηριστικά.....44
2.3.2	Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.....45
2.3.3	Τα τμήματα της κάμερας.....46
2.3.4	Σύνδεση σημάτων στο DC IN/SYNC connector.....47
2.3.5	Εξωτερικός συγχρονισμός.....48
2.3.6	Field on demand function.....49
2.3.7	Ηλεκτρονικό κλείστρο.....50
2.3.8	Συνδέσεις.....51
2.3.9	Οπτικό σύστημα.....53
2.3.10	Junction box JU-M1A.....54
2.4	ΚΑΡΤΑ PCI / PXI – 141155
2.4.1	Περιγραφή του υλικού της κάρτας.....55
2.4.2	Συνθήκες εκκίνησης.....58
2.4.3	Acquisition window control.....58
2.4.4	Συνδέσεις.....58
2.4.5	Προδιαγραφές.....59
2.4.6	NI-IMAQ Driver Software.....62
2.5	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ.....63
2.5.1	Frame grabber.....66

2.5.2	Διαδικασία λήψης και ανάκτησης εικόνας.....	73
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	74
	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ	74
3.1	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	74
3.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ.....	75
3.3	ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΕΙΚΟΝΑΣ	77
3.3.1	Επεξεργασία της εικόνας με Φίλτρα	77
3.4	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΜΩΝ.....	79
3.4.1	Τελεστές Sobel.....	80
3.4.2	Τελεστές Kirsch.....	80
3.5	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ HOUGH.....	81
3.6	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	83
3.6.1	Dilation.....	84
3.6.2	Erosion	85
3.7	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΑΛΛΑΓΗΣ	86
3.7.1	Αλγόριθμος βασιζόμενος στο U statistic.....	86
3.7.2	Αλγόριθμος βασιζόμενος στο control-charting.....	90
3.7.3	Αλγόριθμος βασιζόμενος στη μη-παραμετρική μέθοδο CUSUM.....	94
3.8	ΜΕΑΝ ΚΑΙ MEDIAN ΦΙΛΤΡΑ.....	97
3.9	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ (CURVE APPROXIMATION)	98
3.10	ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ-ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	100
3.10.1	Εντοπισμός του συνολικού ύψους του φαινομένου.....	101
3.10.2	Εντοπισμός του ύψους του στατικού στρώματος.....	102
3.11	ΈΜΜΕΣΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	104
3.12	ΆΜΕΣΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	105
3.13	Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	107
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	109
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	109
4.1	ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	109
4.1.1	Με υψηλοπερατό φίλτρο.....	110
4.1.2	Με τελεστή ανίχνευσης ακμών Sobel.....	110
4.1.3	Παρατηρήσεις.....	111
4.2	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	111
4.3	ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΑΤΩ ΟΡΙΟΥ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ.....	113
4.3.1	Εφαρμογή τελεστή Kirsch.....	113
4.3.2	Μετασχηματισμός Hough.....	115
4.4	ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΑΝΩ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΟΡΙΟΥ ΤΟΥ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	118
4.4.1	1 ^{ος} Αλγόριθμος εντοπισμού ακμών	119
4.4.2	2 ^{ος} Αλγόριθμος	121
4.4.3	3 ^{ος} Αλγόριθμος	124
4.4.4	Συμπεράσματα των αποτελεσμάτων των τριών αλγορίθμων.....	126
4.5	ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	127
4.6	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΣΕΓΓΙΖΟΥΝ ΤΟ ΠΑΝΩ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΟΡΙΟ ΤΟΥ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	128
4.7	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ.....	130
4.7.1	Παρατηρήσεις.....	134
4.8	ΈΜΜΕΣΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	134
4.8.1	Ταχύτητα για το συνολικό φαινόμενο	135
4.8.2	Ταχύτητα για το στατικό στρώμα	136
4.8.3	Ταχύτητα για το κινούμενο στρώμα.....	138
4.8.4	Παρατηρήσεις για τον έμμεσο τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας.....	139
4.9	ΆΜΕΣΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	139
4.9.1	Υπολογισμός ταχύτητας κινούμενου στρώματος.....	141
4.9.2	Υπολογισμός ταχύτητας του στατικού στρώματος	143
4.9.3	Επαλήθευση του άμεσου τρόπου υπολογισμού της ταχύτητας	145
4.9.4	Υπολογισμός ταχύτητας κινούμενου στρώματος.....	145

4.9.5	Υπολογισμός ταχύτητας στατικού στρώματος.....	147
4.9.6	Παρατηρήσεις για τον άμεσο τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας	149
5	Κ ΕΦΑΛΛΑΙΟ.....	150
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	150
5.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	150
5.2	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	151
	Βιβλιογραφία.....	155
	Παράρτημα Α.....	159
	Παράρτημα Β.....	201

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Εισαγωγή

1.1 Παρουσίαση του προβλήματος

Ο καθαρισμός των φρεάτων γεώτρησης από τα θραύσματα είναι ένα συχνό και δαπανηρό πρόβλημα. Το φαινόμενο έχει απασχολήσει την ερευνητική κοινότητα κατά τα τελευταία είκοσι χρόνια και έχουν γίνει πολλές εργαστηριακές μελέτες και παρατηρήσεις κατά την διάρκεια των γεωτρήσεων για την μελέτη του φαινομένου αυτού. Η επικέντρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι στην κίνηση των dunes ή blobs (συσσωματώματα) που παρατηρούνται σε σχετικά χαμηλές παροχές υγρού όπου υπάρχουν κυρίως δύο στρώματα στερεών με σχετική κίνηση του άνω ως προς το κάτω, ενώ το υγρό κινείται υπεράνω των στερεών.

Κατά την εκπόνηση της εργασίας αναπτύχθηκε σύστημα καταγραφής της κίνησης των στερεών κατά την ροή του μίγματος σε οριζόντιο δακτύλιο με την χρήση αναλογικής κάμερας. Έγινε ψηφιοποίηση και τμηματοποίηση του λαμβανόμενου σήματος σε συνεχόμενα στιγμιότυπα και στην συνέχεια αναπτύχθηκε μεθολογία ψηφιακής ανάλυσης εικόνας για τον προσδιορισμό των καμπυλών του στατικού και κινούμενου στρώματος, το πάχος των δύο στρωμάτων, γίνεται η αποτύπωση της εξέλιξης σε χωροχρονική εικόνα και τέλος υπολογίζεται η ταχύτητα τους.

1.2 Μορφές ροής

Κατά τη διάρκεια της ροής μιγμάτων στερεών – υγρών μέσα σε οριζόντιους αγωγούς, οι δύο φάσεις μπορεί να κατανεμηθούν σε διαφορετικές γεωμετρικές μορφές, που εξαρτώνται από τις παροχές, το σχήμα και το μέγεθος του αγωγού, τη κλίση του καθώς και από τις ιδιότητες των στερεών και των υγρών. Η οπτική παρατήρηση δείχνει ότι υπάρχουν φυσικές ενοποιήσεις, **οι μορφές ροής**, όπου τα βασικά χαρακτηριστικά του διφασικού μίγματος παραμένουν τα ίδια. Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν τη κατανομή των στερεών στην υγρή φάση, δηλαδή τις μορφές ροής, είναι η

ταχύτητα ροής του υγρού, η περιεκτικότητα των στερεών και οι ιδιότητες του υγρού και των στερεών (ρεολογία και πυκνότητα του υγρού, πυκνότητα, διάμετρος και σφαιρικότητα των στερεών). Οι πειραματικές παρατηρήσεις για ροή υγρού – στερεού σε σωλήνες και δακτυλίου, ακόμη και σε περιπτώσεις χαμηλής συγκέντρωσης στερεών, προτείνουν τις μορφές ροής (απεικονίζονται στο σχήμα 1.1) και κινούνται στη κατεύθυνση της μείωσης της παροχής (ή της ταχύτητας) (Govier & Aziz (1972), Doron κ.ά. (1987), Doron & Barnea (1996), Cho κ.ά. (2001), Walton (1995), Martins & Santana (1990), Kelessidis & Bandelis (2004)):

~ Σε υψηλές ταχύτητες του υγρού, τα στερεά δύνανται να κατανεμηθούν ομοιόμορφα στο υγρό, πράγμα που οδηγεί στην λογική εικασία, ότι δεν υπάρχουν ολισθήσεις μεταξύ των δύο φάσεων. Η ταχύτητα των στερεών είναι ίδια με αυτή του υγρού. Το μοντέλο αυτό παρατηρείται όταν έχουμε πολύ μικρά στερεά (<1mm). Αυτή μορφή ροής δεν αναμένεται να παρουσιάζεται στις διεργασίες μιας γεώτρησης, όπου το μέγεθος των θραυσμάτων είναι μεγαλύτερο του 1mm. Αυτό η μορφή ροής καλείται από πολλούς ως **συμμετρική μορφή πλήρους αιώρησης** (σχήμα 1.1a).

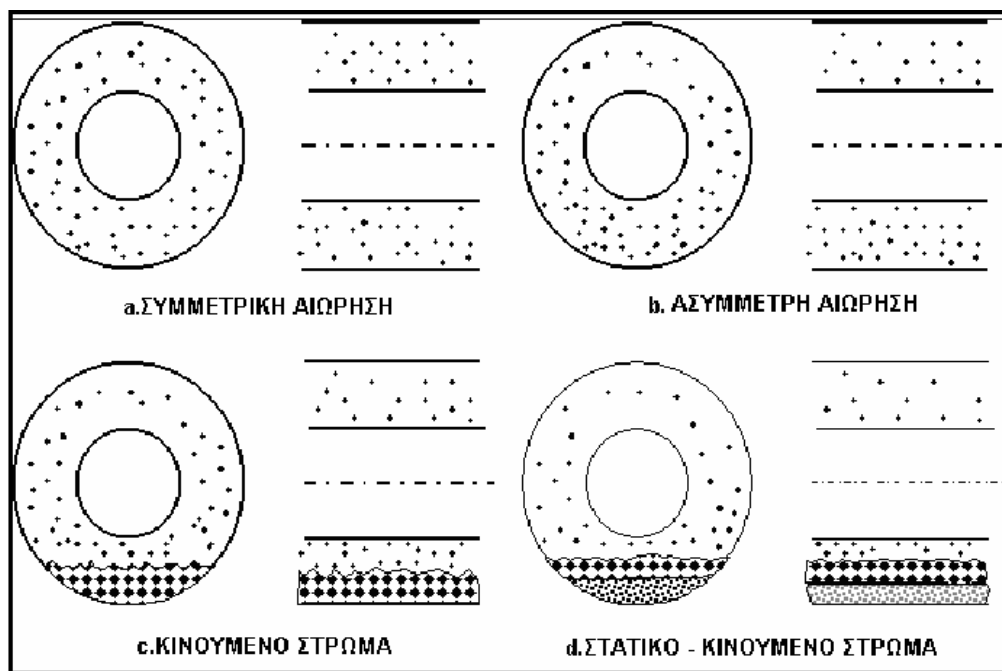
~ Όσο η ταχύτητα του υγρού μειώνεται, εμφανίζεται η τάση από τα στερεά να ρέουν κοντά στο πυθμένα του σωλήνα (ή τον εξωτερικό σωλήνα του δακτυλίου), διατηρώντας, όμως, την αιώρησή τους, με συνέπεια να δημιουργούν μια μη συμμετρική συγκέντρωση (μη ομογενής). Αυτή ονομάζεται **ασύμμετρη** μορφή ροής, όπου τα στερεά συνεχίζουν να κινούνται με το υγρό (σχήμα 1.1b).

~ Η περαιτέρω μείωση της ταχύτητας του υγρού, έχει ως αποτέλεσμα την επικάλυψη των στερεών στο πυθμένα του σωλήνα. Τα στερεά αρχίζουν να δημιουργούν στρώμα, το οποίο κινείται προς τη κατεύθυνση της ροής, ενώ παράλληλα, μπορεί να υπάρχουν ορισμένα στερεά πάνω από το στρώμα, ασύμμετρα κατανεμημένα. Αυτό είναι μορφή ροής του **κινούμενου στρώματος** και η ταχύτητα κάτω από την οποία δημιουργείται καλείται, οριακή ταχύτητα εναπόθεσης ή ταχύτητα αιώρησης ή κρίσιμη ταχύτητα (σχήμα 1.1c).

~ Η μεγαλύτερη μείωση της ταχύτητας του υγρού, έχει ως συνέπεια τη διαρκή καθίζηση των στερεών. Έτσι, υπάρχει ένα στρώμα στερεών που δεν

κινείται, το **σταθερό** στρώμα, ένα **κινούμενο** στρώμα στερεών πάνω από το σταθερό και ένα ετερογενές μίγμα υγρού – στερεού, στο ανώτερο τμήμα. Παρατηρείται μια ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ του ετερογενούς μίγματος και του κινούμενου στρώματος, όπου τα στερεά εναποτίθενται στο στρώμα και επανεισάγονται στο μίγμα υγρού – στερεού. Υπάρχει ένα σημείο ισορροπίας, όπου, με την αύξηση του ύψους του στρώματος των στερεών, η διαθέσιμη περιοχή για τη ροή του ετερογενούς μίγματος μειώνεται τόσο ώστε δημιουργούνται μεγαλύτερες ταχύτητες ανάμιξης που αυξάνουν τη διάβρωση του στρώματος (σχήμα 1.1d).

~ Σε ακόμη χαμηλότερες ταχύτητες ροής, τα στερεά συσσωρεύονται στο σωλήνα (ή στο δακτύλιο) και μπορούν να τον φράξουν. Οι πειραματικές ενδείξεις και οι θεωρητικές αναλύσεις δείχνουν ότι το φαινόμενο αυτό είναι δυνατό να συμβεί σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις στερεών, πράγμα που δεν παρατηρείται σε γεωτρήσεις. Παρ' όλα αυτά, μπορεί να συμβεί όταν η μεταφορά των θραυσμάτων δεν είναι αποτελεσματική, οπότε και παρουσιάζονται, σε τμήματα του φρεατίου υψηλές συγκεντρώσεις στερεών.



Σχήμα 1.1. Μορφές ροής υγρού – στερεού, για ροή σε ομόκεντρο δακτύλιο (Πηγή : Κουτρούλης και Μιχαλάκης , 2002)

Αρκετοί ερευνητές έχουν αναφέρει ότι το ύψος του στρώματος των στερεών, διαφοροποιείται καθ' όλο το μήκος του δακτυλίου. Το φαινόμενο

αυτό έχει μοντελοποιηθεί από τους Iyoho & Takahashi (1986), αλλά χρειάζονται να γίνουν καλύτερες συσχετίσεις για τη διακύμανση της πίεσης, όπως σωστά υπέδειξαν οι Kamp & Rivero (1999).

Θα πρέπει να τονισθεί ότι η κατ' όγκο συγκέντρωση στερεών στα ρευστά γεώτρησης είναι αρκετά χαμηλή και στη περίπτωση του CTD, δεν ξεπερνά το 2% - 4%.

1.3 Τρόποι παρακολούθησης της ροής στερεών σε υγρά

Έχουν γίνει διάφορα πειράματα και μελέτες για την παρακολούθηση της διφασικής ροής μέσα σε σωλήνα ή σε άλλα διαφανή δοχεία για την εξαγωγή συμπερασμάτων καθώς και για τον καθορισμό διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν την κίνηση των στερεών μέσα σε υγρά. Τα πειράματα έγιναν για διάφορους συνδυασμούς μιγμάτων υγρού-στερεών και έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για την παρακολούθηση του μίγματος. Κάποιες από αυτές παρουσιάζονται παρακάτω.

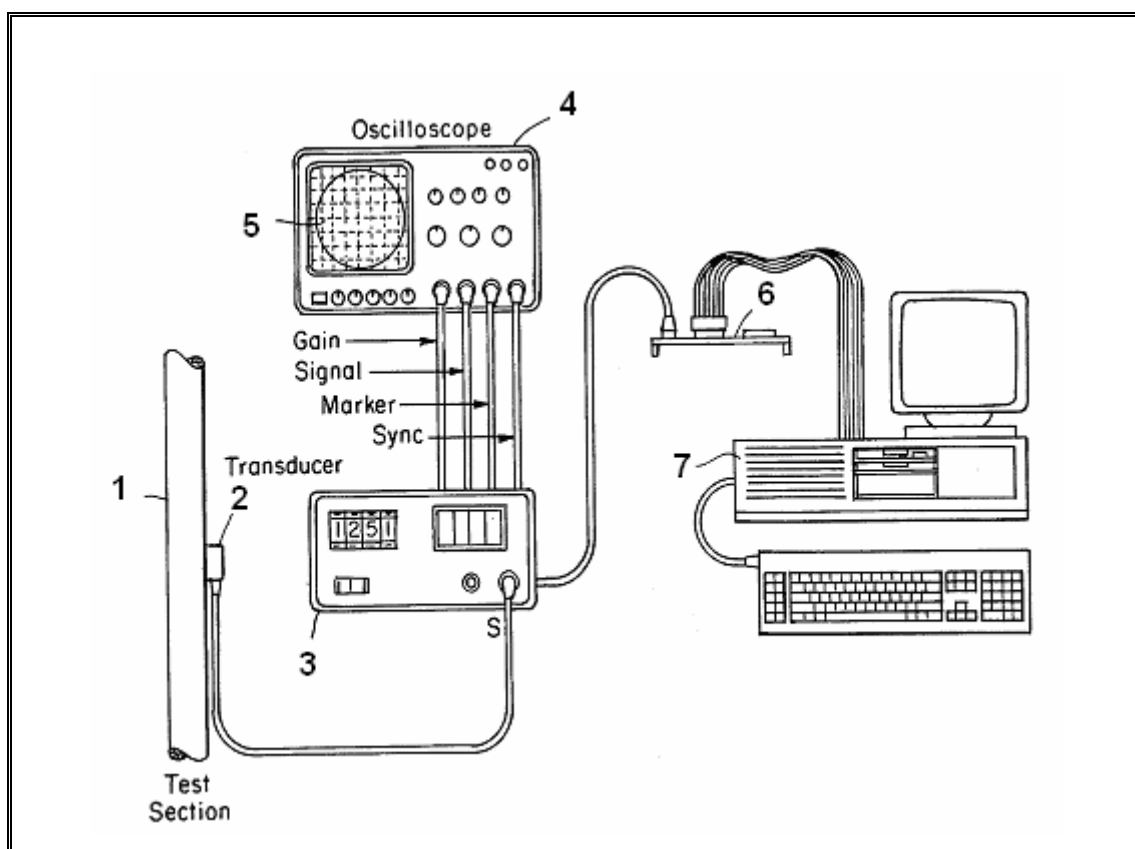
1.3.1 Με ηχητική ενέργεια

Η τεχνική των υπερήχων είναι μια μη απαιτητική μέθοδος για την περιγραφή διαφόρων χαρακτηριστικών των πολυφασικών ροών, με γρήγορα αποτελέσματα κατάλληλη ακόμη και για αδιαφανή συστήματα.

Οι ιδιότητες μιας μεταδιδόμενης δέσμης ήχου, όπως είναι η ταχύτητα και το πλάτος, ποικίλουν καθώς τα διασκορπισμένα μέσα (στερεά σωματίδια και/ή φυσαλλίδες αέριου) παρουσιάζονται σε συνεχόμενη ροή υγρού. Όταν το υγρό περιέχει ανομοιογένειες (μη συμπαγή σωματίδια, φυσαλλίδες αέριου), η δέσμη ανακλάται ή μεταδίδεται στα όρια των δύο μέσων με διαφορετικές χαρακτηριστικές εμπεδήσεις. Το ανακλώμενο σήμα ταξιδεύει πίσω διαμέσου του υγρού με την ίδια ταχύτητα και το μεταδιδόμενο συνεχίζει να κινείται διαμέσου των σωματιδίων/φυσαλλίδων με ταχύτητα ίδια με την δική τους. Λόγω των φαινομένων απορρόφησης και σκέδασης η ηχητική ενέργεια εξασθενεί γρηγορότερα σε ανομοιογενή μέσο από ότι σε ομοιογενή. Ο συνδυασμός των διαφόρων επιδράσεων οδηγούν σε ευδιάκριτες αλλαγές στην ταχύτητα του ήχου και εξασθένιση αυτού. Χρησιμοποιώντας τον χρόνο μετάδοσης αλλά και την εξασθένιση του υπέρηχου μπορούν να καθοριστούν

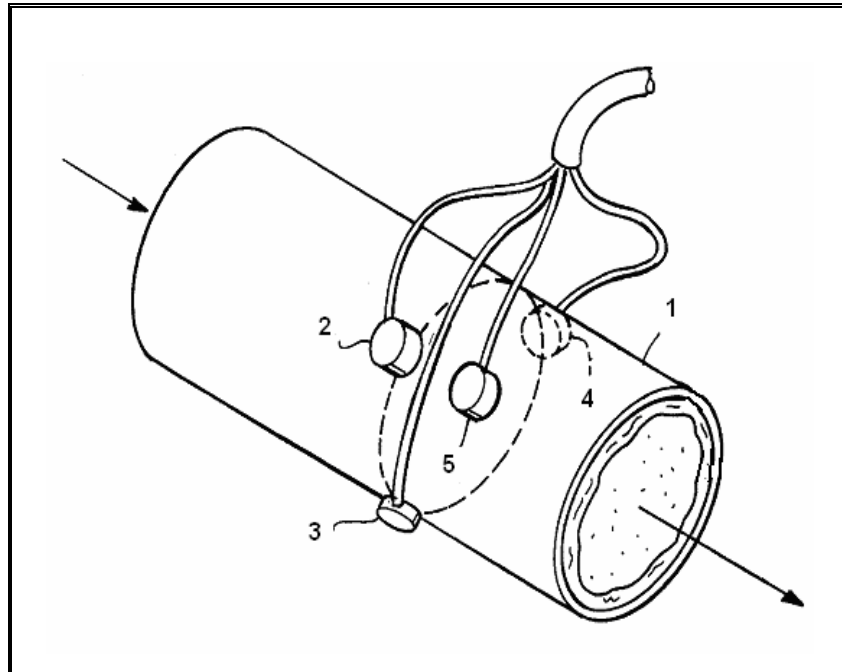
διάφορες παράμετροι που αφορούν την διφασική ροή όπως η ταχύτητα των φυμαλλιδιών/σωματιδίων, η διάμετρος τους κ.ά.

Τη μέθοδο αυτή την έχει χρησιμοποιήσει η United States Air Force στα πλαίσια κάποιας έρευνας τους για το καθορισμό της ποιότητας και πυκνότητας της διφασικής ροής. Ο διφασικός σωλήνας αποτελείται από υγρό και φυμαλλίδες αερίου. Η πειραματική διάταξη του συστήματος τους απεικονίζεται στο σχήμα 1.4. Το σύστημα αποτελείται από το διφασικό σωλήνα παρακολούθησης (1), μια ομάδα από transducers που μεταδίδουν υπερηχητικά κύματα στον σωλήνα (2), παραλήπτη υπερηχητικών παλμών (3), ταλαντοσκόπιο (4,5), ρυθμιστή αναλογικού-ψηφιακού σήματος, υπολογιστή(7).



Σχήμα 1.4. Απεικόνιση του συστήματος
(Πηγή: United States Air Force, 1998)

Οι υπέρηχοι μεταδίδονται στο σωλήνα με την βοήθεια των transducers που είναι τοποθετημένοι στην περιφέρεια του σωλήνα όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5. Στην συνέχεια παραλαμβάνονται οι αντίλαλοι που επιστρέφουν και οδηγούνται στον υπολογιστή για την επεξεργασία.



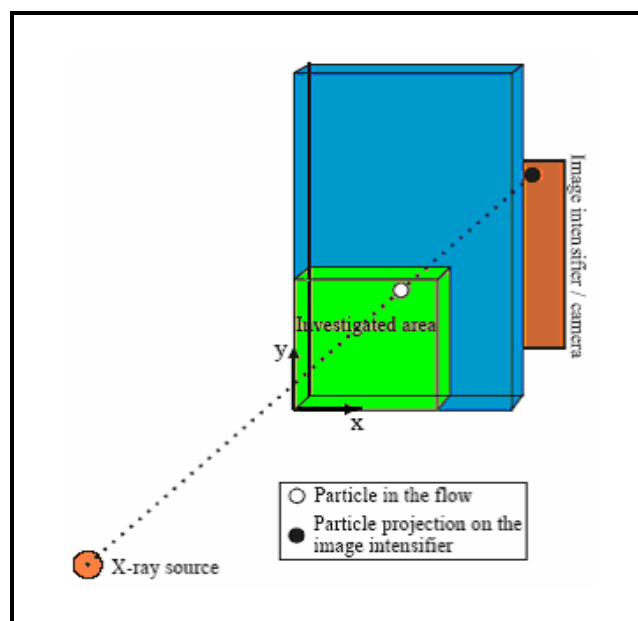
Σχήμα 1.5. Τοποθέτηση των transducers στο σωλήνα
(Πηγή: United States Air Force, 1998)

1.3.2 Με χρήση ακτίνων Χ

Σε περιπτώσεις που υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ υγρού και σωματιδίων (πχ.φυσσαλλίδες αέριου), μπορεί να παρατηρηθούν φαινόμενα διάθλασης και οι οπτικές μέθοδοι να μην μπορέσουν μας δώσουν σωστά αποτελέσματα. Έτσι μια εναλλακτική μέθοδος που λύνει τα προβλήματα μικρής ανάκλασης και διάθλασης στα όρια των φάσεων είναι με τη χρήση ακτίνων Χ. Οι ακτίνες Χ διαπερνούν το μίγμα σε ευθείες γραμμές και αποφεύγονται λάθη που θα μπορούσαν να προέρθουν από την ανάκλαση-διάθλαση.

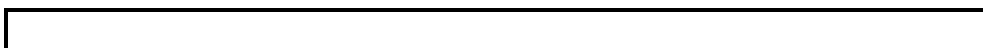
Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε από τους Seeger κ.α. (2001) με μια ιατρική συσκευή ακτίνων Χ η οποία χρησιμοποιόταν για την απεικόνιση των στεφανιαίων αγγείων, για να αξιολογήσουν τις δομές φάσεων σε στήλες φυσαλλίδων(Bubble columns) βασιζόμενοι στη παρακολούθηση της κίνησης σωματιδίων(Particle tracking velocimetry). Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποίησαν σωματίδια που μπορούν να απορροφήσουν ακτίνες Χ. Η πειραματική διάταξη της μεθόδου απεικονίζεται στο σχήμα 1.6. Η πηγή

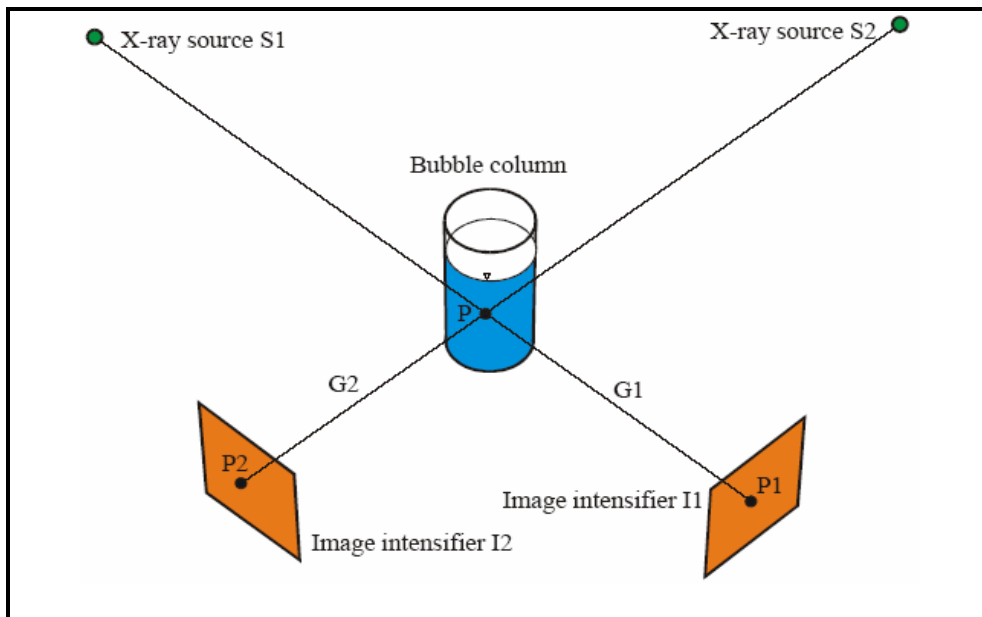
ακτίνων X εκπέμπει ακτίνες διαμέσου της στήλης παρατήρησης. Στην συνέχεια οι ακτίνες αυτές φτάνουν σε ένα ενισχυτή εικόνας(image intensifier) όπου τις ενισχύει και τις μετατρέπει σε ορατό φως για να καταλήξουν σε μια ψηφιακή κάμερα. Με τη χρήση ψηφιακής κάμερας και ενός frame grabber (λήπτης στιγμιότυπων) το φως μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακή εικόνα και μετά να αποθηκευτεί. Παίρνοντας μια σειρά από εικόνες μπορεί να υπολογιστεί η κίνηση των σωματιδίων. Η ταχύτητα υπολογίζεται από την μετατόπιση των σωματιδίων από εικόνα σε εικόνα και την χρονική διαφορά μεταξύ των εικόνων.



Σχήμα 1.6. Πειραματική διάταξη παρακολούθησης με ακτίνες X
(Πηγή: Seeger κ.ά , 2001)

Στο σχήμα 1.7 εξηγείται αναλυτικά ένα παράδειγμα της διαδικασίας αυτής. Ένα σωματίδιο που απορροφάει ακτίνες X απεικονίζεται με το σημείο P και με τη βοήθεια των ακτίνων X, απεικονίζεται στους δύο ενισχυτές I1 και I2 με τα σημεία P1, P2. Το σωματίδιο στην συνέχεια ανακατασκευάζεται με την βοήθεια των P1 και P2.





Σχήμα 1.7. Παράδειγμα της διαδικασίας
(Πηγή: Seeger κ.ά , 2001)

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

- Δεν παρουσιάζονται προβλήματα διάθλασης ανάκλασης που απορρέουν συνήθως από τα όρια φάσης.
- Η ταχύτητα του υγρού μετρείται ταυτόχρονα σε πολλά σημεία της έντασης.
- Μπορεί να μετρηθεί η ταχύτητα τρισδιάστατων τμημάτων.
- Μπορεί να εφαρμοστεί για μη διαφανή υγρά και περιοχές χωρίς ορατότητα.

Τα μειονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι:

- Ανάκτηση εικόνων χαμηλής συχνότητας.
- Απαιτούνται μεγάλα σωματίδια.
- Σφάλματα από τις ακτίνες Χ.

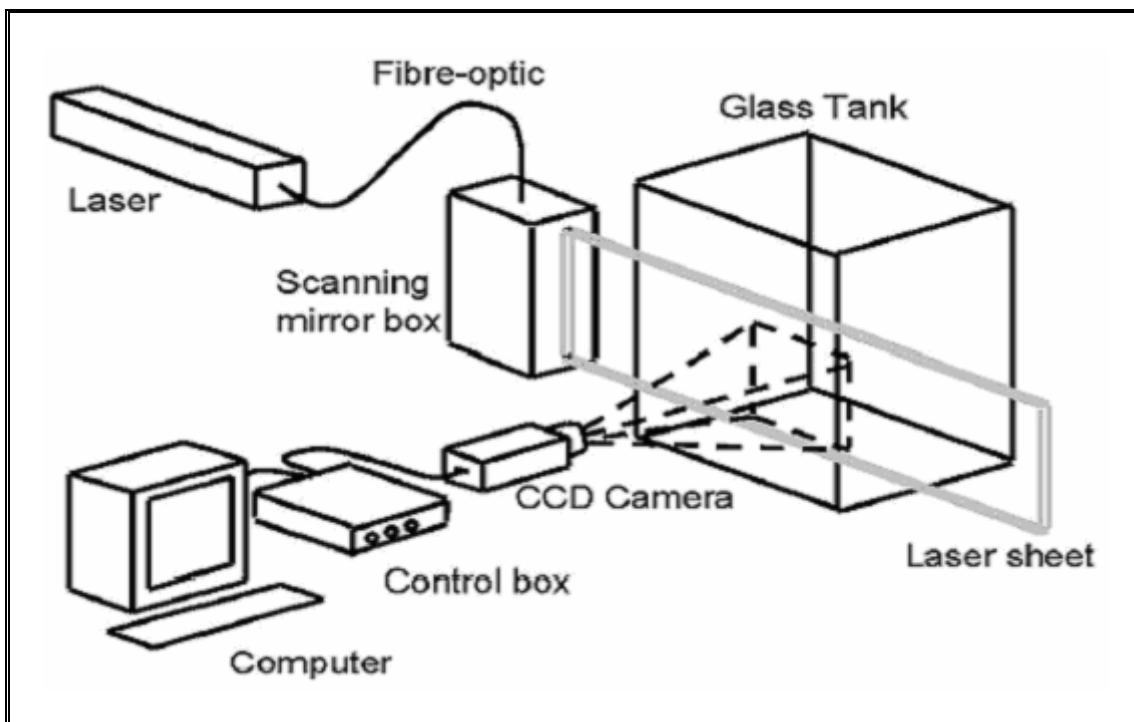
Τα προβλήματα αυτά μπορούν να λυθούν. Η χρησιμοποίηση των καινούργιων πηγών ακτίνων Χ, φωτογραφικών μηχανών και ενισχυτών επιτρέπει συχνότητες μετρήσεων μέχρι και 150 Hz. Όπως επίσης και η χρήση ειδικών δωματίων έρευνας μπορεί να λύσει τα σφάλματα που προκύπτουν από την χρήση των ακτίνων Χ.

1.3.3 Με χρήση κάμερας

Η παρακολούθηση της διφασικής ροής μπορεί να γίνει και με την χρήση κάμερας. Η τεχνική αυτή κερδίζει διαρκώς έδαφος με την βελτίωση των μέσων καταγραφής (Daseubry & Cervais (2000), Haam & Brodkey (2000), Hering κ.ά (1997)). Συνήθως χρησιμοποιούνται μία ή δύο κάμερες με το ανάλογο σύστημα καταχώρησης και ψηφιοποίησης του σήματος. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση σωματιδίων κινούμενων σε υγρά ώστε να προκύπτει η χωρική κατανομή ταχυτήτων του υγρού σε στρωτή αλλά κυρίως σε τυρβώδη ροή σε αγωγούς όπως επίσης και σε χαρακτηριστικές γεωμετρίες (εγχυτήρες, ροή σε γωνίες) με την χρήση σωματιδίων περίπου ίδιας πυκνότητας με το νερό και διαμέτρους που είναι μικρότερες του 1 mm.

Μια αντιπροσωπευτική πειραματική διάταξη της μεθόδου αυτής απεικονίζεται στο σχήμα 1.8. Η κάμερα συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω του κουτιού ελέγχου και τοποθετείται μπροστά στον μέσο παρατήρησης (σωλήνας ή δοχείο με διφασικό μίγμα). Αφού πρώτα το σύστημα ενισχύεται με τον κατάλληλο φωτισμό, ξεκινάει η λήψη της κάμερας. Εάν το σήμα είναι αναλογικό, οδηγείται πρώτα στην κάρτα ψηφιοποίησης που βρίσκεται τοποθετημένη στον υπολογιστή και μετατρέπεται από αναλογικό σε ψηφιακό, εάν είναι ψηφιακό περνάει κατευθείαν στον υπολογιστή μέσω της κατάλληλης θύρας. Στον υπολογιστή γίνεται η τμηματοποίηση του με την βοήθεια λήπτη στιγμιότυπων-frame grabber σε συνεχόμενα στιγμιότυπα-εικόνες κατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία. Στην συνέχεια με την ανάλογη μεθοδολογία ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας ή έτοιμα πακέτα λογισμικού γίνεται η ανάλυση της εικόνας και η εξαγωγή συμπερασμάτων.

Η μέθοδος αυτή είναι μια καλή και απλή λύση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη του διφασικού μίγματος.



Σχήμα 1.8. Πειραματική διάταξη με χρήση κάμερας

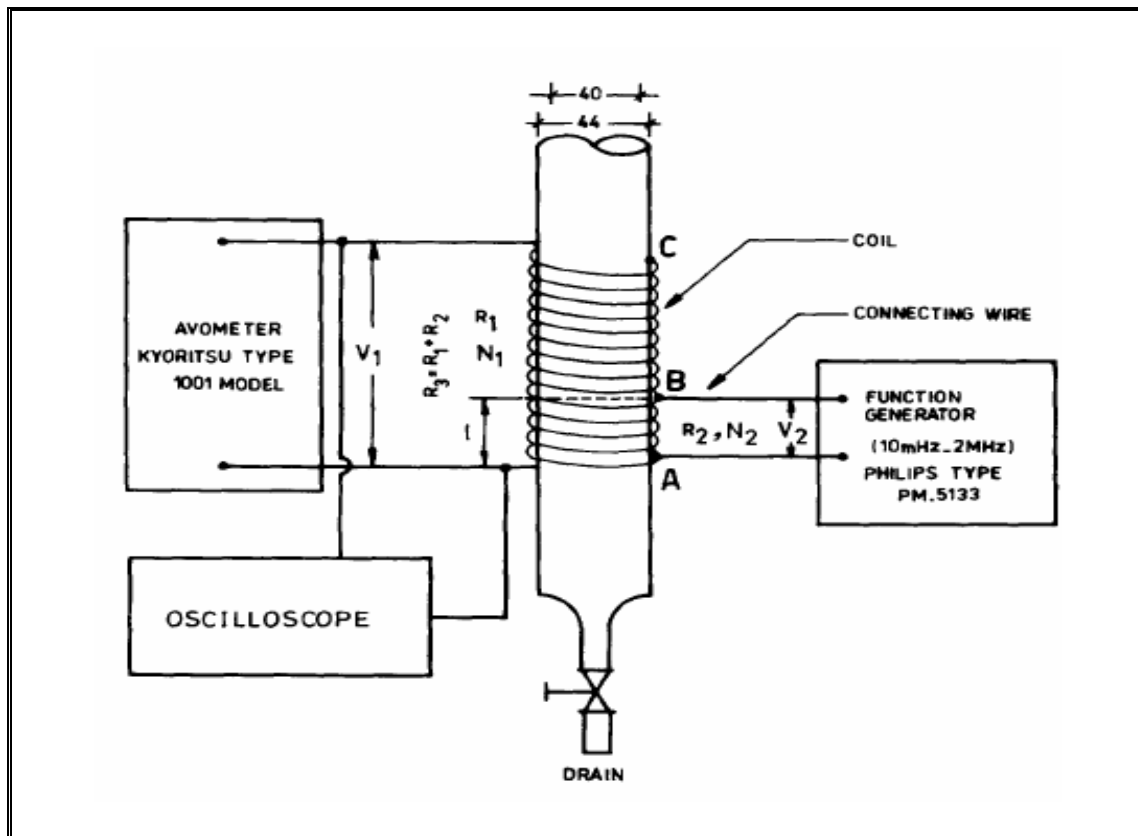
1.3.4 Με χρήση επαγωγικών πηνίων

Μια άλλη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη της διαφασικής ροής σε σωλήνες είναι αυτή με τα επαγωγικά πηνία. Η τεχνική αυτή έχει μεγάλη προσαρμοστικότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πειραματικές διατάξεις με μη μεταλλικό σωλήνα γιατί μετά το μαγνητικό πεδίο τείνει να συγκεντρωθεί στο μέταλλο και όχι στο μίγμα. Οι A.Kendoush & A.Sakris (1996) χρησιμοποίησαν την τεχνική αυτή για τη μέτρηση του λόγου του όγκου του αερίου ως προς το συνολικό όγκο του διαφασικού μίγματος σε σωλήνα συγκεκριμένου μήκους (void fraction). Ο υπολογισμός του λόγου αυτού είναι χρήσιμος για τον καθορισμό βασικών παραμέτρων της ροής όπως τη μέση τιμή της πυκνότητας, την πτώση πίεσης κ.ά. Τυλίγοντας το σωλήνα παρατήρησης με σύρματα χαμηλής αντίστασης όπως ένας μετασχηματιστής, μπορεί το διαφασικό μίγμα να γίνει περιοχή με μαγνητικό πεδίο. Η πειραματική διάταξη απεικονίζεται στο σχήμα 1.9. Όταν το πηνίο εισόδου (τμήμα AB) συνδεθεί με μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, δημιουργείται μια μαγνητική ροή στις σπείρες του πηνίου. Η ροή αυτή προκαλεί μια ηλεκτρεγερτική δύναμη της αυτεπαγωγής του πηνίου εξόδου (τμήμα AC). Η μέτρηση της ηλεκτρεγερτικής δύναμης θα δείξει μια συγκεκριμένη τιμή του void fraction α .

Η παρουσία του διφασικού μίγματος μπροστά από το πηνίο θα προκαλέσει κάποια αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο κατά μήκος του μέσου. Η αλλαγή δείχνει την μετρημένη ηλεκτρεγερτική δύναμη.

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη από την αυτεπαγωγή δίνεται από τον τύπο:

$$V_1 = V_2 N_1 / N_2 \quad (1.1)$$



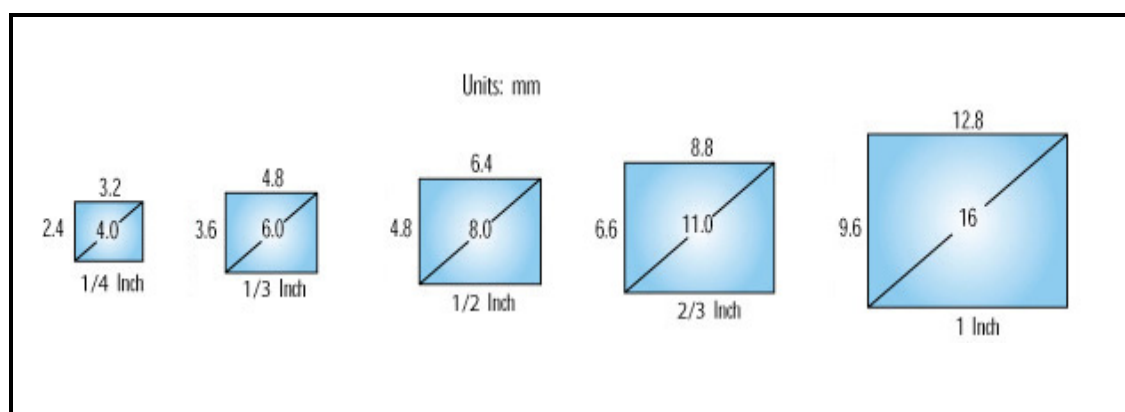
Σχήμα 1.9. Πειραματική διάταξη παρακολούθησης με την χρήση επαγωγικών πηνίων
(Πηγή : A.Kendoush & A.Sakris (1996))

1.4 Ο αισθητήρας CCD

Ο αισθητήρας CCD (Charge-Coupled Device) ανακαλύφθηκε το 1970 και σκοπός του ήταν να χρησιμοποιηθεί σαν μηχανισμός μνήμης. Σήμερα βρίσκεται εντός των περισσότερων μοντέρνων φωτογραφικών μηχανών και είναι πολύ ευαίσθητος στο φως. Είναι ένα μεγάλης κλίμακας ολοκληρωμένο κύκλωμα που περιέχει εκατοντάδες χιλιάδες εικονοστοιχεία (pixels) τα οποία αποτελούνται από φωτοευαίσθητες επιφάνειες (τα φωτοδιόδια) που αναλαμβάνουν την καταγραφή του φωτός το οποίο το μεταφράζει σε

ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα από τον αντίστοιχο μετατροπέα.

Το μέγεθος του μετράται διαγώνια και μπορεί να είναι 1/4, 1/3, 1/2, ή 2/3 της ίντσας. Όσο μεγαλύτερο τόσο καλύτερη η ποιότητα της εικόνας.



Εικόνα 1. Τα μεγέθη του αισθητήρα CCD

Ένας αισθητήρας αποτελείται από σειρές εικονοστοιχείων ((pixels που προέρχεται από το picture elements) τα οποία με τη σειρά τους έχουν ως βασικό συστατικό το πυρίτιο. Τα εικονοστοιχεία είναι μικρότερες μονάδες του αισθητήρα που μπορούν να καταγράψουν πληροφορίες για την ένταση του φωτός και το χρώμα σε μια εικόνα. Κάθε τέτοιο εικονοστοιχείο είναι ευαίσθητο στο φως, έτσι όταν αυτό πέσει επάνω του παράγει ηλεκτρική τάση. Η ηλεκτρική τάση είναι ανάλογη με την ποσότητα του φωτός που πέφτει στο εικονοστοιχείο. Όσο περισσότερο το φως, τόσο μεγαλύτερη τάση παράγεται.

1.4.1 Πως ξεχωρίζει τα χρώματα ένας αισθητήρας

Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες αισθητήρων. Οι αισθητήρες διάταξης και οι γραμμικοί. Στους πρώτους τα εικονοστοιχεία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- σε αυτά που αντιδρούν μόνο στο κόκκινο φως,
- σε αυτά που αντιδρούν μόνο στο πράσινο,
- και τέλος σε αυτά που αντιδρούν μόνο στο μπλε.

Ως γνωστόν όλα τα χρώματα σχηματίζονται από το συνδυασμό αυτών των τριών χρωμάτων: κόκκινου, πράσινου και μπλε (RGB).

Έτσι λοιπόν, ένα εικονοστοιχείο που αντιδρά στο κόκκινο φως παράγει ηλεκτρική τάση μόνο όταν πέσει πάνω του κόκκινο φως, ενώ μένει ανεπηρέαστο από τα άλλα δύο χρώματα. Αντίστοιχα αντιδρούν και τα άλλα δύο.

1.4.2 Πώς σχηματίζονται τα χρώματα

Για παράδειγμα το πορτοκαλί χρώμα είναι ο συνδυασμός του κόκκινου και μπλε χρώματος. Έτσι, το εικονοστοιχείο που αντιδρά στο κόκκινο θα παράγει μια μικρή τάση και το εικονοστοιχείο που αντιδρά στο μπλε θα παράγει επίσης μια μικρή τάση. Η μονάδα της κάμερας που κάνει τη μετατροπή θα διαβάσει τις δυο αυτές μικρές τάσεις σαν πορτοκαλί. Συνεπώς χρειάζονται τρία διαφορετικά εικονοστοιχεία για να παραχθεί ένα χρώμα.

1.4.3 Πόσα χρώματα μπορεί να διαβάσει ένας αισθητήρας

Όσο περισσότερο φως πέφτει πάνω σε ένα εικονοστοιχείο, τόσο μεγαλύτερη ηλεκτρική τάση παράγεται. Έτσι κάθε εικονοστοιχείο δίνει ένα byte ψηφιακής πληροφορίας. Κάθε byte όμως περιέχει οκτώ bits και κάθε bit έχει τιμή 1 ή 0, που αντιστοιχεί στο on και στο off. Όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των οκτώ bits μας δίνουν 256 συνδυασμούς. Τελικά το κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να αντιδράσει στην ένταση του φωτός που πέφτει πάνω του με 256 διαφορετικές τιμές, που ποικίλουν από το μηδέν (καθόλου φως) μέχρι το 256 (μέγιστη ένταση φωτός). Έτσι κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να διαβάσει 256 διαφορετικά επίπεδα φωτός. Πολλαπλασιάζοντας $256 \times 256 \times 256$ (τα επίπεδα του φωτός που διαβάζει κάθε εικονοστοιχείο κόκκινο, πράσινο, μπλε) προκύπτει ο αριθμός 16.777.216 που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ένας αισθητήρας CCD RGB (κόκκινο, πράσινο, μπλέ) μπορεί να διαβάσει 16.777.216 διαφορετικά χρώματα. Πρόκειται για ένα πολύ ικανοποιητικό αριθμό, που μπορεί να αποτυπώσει με ακρίβεια οποιοδήποτε χρώμα στη φύση.

1.4.4 Πως λειτουργεί ο γραμμικός αισθητήρας

Ο δεύτερος τύπος αισθητήρα κάνει τρεις λήψεις του ίδιου θέματος, όπου στην κάθε λήψη χρησιμοποιεί ένα κόκκινο, πράσινο και μπλε φίλτρο. Έτσι η τελική εικόνα προέρχεται από τον συνδυασμό των τριών χρωμάτων RGB.

1.4.5 Έιδη αισθητήρων

Υπάρχουν δυο κύρια είδη αισθητήρων, οι CCD και CMOS. CCD σημαίνει Charge Coupled Device, ενώ CMOS σημαίνει Complementary Metal Oxide Semiconductor. Ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι είναι οι αισθητήρες CCD. Το πλεονέκτημα των αισθητήρων CMOS είναι ότι το κόστος κατασκευής τους είναι πολύ χαμηλότερο από αυτών των αισθητήρων CCD. Όμως η ποιότητα εικόνας που δίνουν είναι χαμηλότερη. Έτσι χρησιμοποιούνται κυρίως σε φτηνές μηχανές με χαμηλή ανάλυση.

Μερικές εταιρείες χρησιμοποιούν ένα είδος αισθητήρα CCD που είναι διαφορετικός ως προς την κατασκευαστική του δομή από τους άλλους αισθητήρες και τον ονομάζουν Super CCD. Σε αυτόν η διάταξη των εικονοστοιχείων είναι διαφορετική και το σχήμα τους οκταγωνικό. Η διάταξη αυτή προσφέρει μεγαλύτερη ευαισθησία, καλύτερο λόγο σήματος/θορύβου και ευρύτερο δυναμικό πεδίο.

1.4.6 Ανάλυση μιας εικόνας

Το μέγεθος που χαρακτηρίζει ένα αισθητήρα είναι η ανάλυση, δηλαδή το πόσα εικονοστοιχεία διαθέτει. Όσο μεγαλύτερος αυτός ο αριθμός τόσο καλύτερη ποιότητας εικόνας δίνει. Βέβαια η ποιότητα εικόνας εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως το λογισμικό της μηχανής, αλλά η ανάλυση παραμένει ο πρωταρχικός παράγοντας.

1.5 Κάμερες

1.5.1 Τύποι κάμερων

Οι κάμερες χωρίζονται δύο κύριες κατηγορίες: αναλογικές και ψηφιακές. Οι ψηφιακές κατατάσσονται και σε υποκατηγορίες όπως parallel digital, Camera Link και IEEE- 1394.

1.5.2 Αναλογικές κάμερες

Οι αναλογικές κάμερες παράγουν τηλεοπτικό σήμα σε αναλογική μορφή. Το αναλογικό σήμα ψηφιοποιείται από έναν πίνακα αποκτήσης εικόνας. Είναι βασισμένο στα τηλεοπτικά πρότυπα, που το καθιστούν ως κοινό μέσο για την αντιπροσώπευση των τηλεοπτικών σημάτων.

Ο αισθητήρας CCD αποτελείται από εκατοντάδες χιλιάδες διασυνδεδεμένους ημιαγωγούς. Το ιχνοστοιχείο(pixel) είναι ένα φωτοευαίσθητο στοιχείο που παράγει και αποθηκεύει ηλεκτρικό φορτίο, όταν φωτίζεται. Το pixel είναι η δομική μονάδα για το CCD imager, μια ορθογώνια σειρά απο pixels στην οποία εστιάζεται μια σκηνή της εικόνας. Στις περισσότερες διατάξεις, ο αισθητήρας συμπεριλαμβάνει το κυκλώμα το οποίο αποθηκεύει και μεταφέρει το φορτίο του σε έναν καταχωρητή μετατόπισης, ο οποίος μετατρέπει το σύνολο των φορτίων του CCD σε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο τηλεοπτικό σήμα. Οι πληροφορίες συγχρονισμού για τις κάθετες και οριζόντιες συνταταγμένες μαζί με μέγεθος του αισθητήρα συνδυάζονται για να διαμορφώσουν το τηλεοπτικό σήμα.

Για τις συνηθισμένες αναλογικές κάμερες, οι γραμμές του CCD συμπλέκονται για να αυξήσουν το ρυθμό ανανέωσης της παρατηρούμενης εικόνας. Αυτό σημαίνει ότι πρώτα σαρώνονται οι μονά αριθμημένες σειρές και μετά οι θετικά αριθμημένες. Οι δύο αυτοι τομείς συνθέτουν ένα πλαίσιο. Οι κάμερες Electronic Industries Association (EIA) RS-170 και NTSC παραθέτουν 30 frames/s με ένα ανάλυση 640 X 480 και οι CCIR , PAL 25 frames/s με ανάλυση 768 X 576.

Οι αναλογικές κάμερες έχουν χαμηλότερο κόστος και διεπικοινωνούν εύκολα με μια συνηθισμένη αναλογική συσκευή λήψης. Επομένως, είναι μια καλή και συνάμα φτηνή λύση για πολυάριθμες εφαρμογές.

1.5.3 Ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές

Οι ψηφιακές κάμερες έχουν διάφορα πλεονεκτήματα απέναντι στις αναλογικές. Το αναλογικό βίντεο είναι πιο ευαίσθητο στο θόρυβο κατά τη διάρκεια της μετάδοσης από το ψηφιακό βίντεο. Ψηφιοποιώντας στο επίπεδο της μηχανής και όχι σε αυτό του πίνακα αποκτήσης, η αναλογία σήματος-θορύβου είναι υψηλότερη πετυχαίνοντας έτσι μεγαλύτερη ασφάλεια. Δεν απαιτείται να υποστηρίζουν τα τηλεοπτικά κριτήρια, έτσι μπορούν να υποστηρίξουν μεγαλύτερα μεγέθη εικόνας γρηγορότερους ρυθμούς πλαισίων, καθώς και μεγαλύτερη ανάλυση ιχνοστοιχείων. Οι ψηφιακές κάμερες έχουν από 10-bit έως 16-bit gray επίπεδα ανάλυσης όπως απαιτείται στη μηχανική όραση, την αστρονομία, τη μικροσκοπία, και τις εφαρμογές θερμικής απεικόνισης. Χρησιμοποιούν τις ίδιες CCD συσκευές όπως και οι αναλογικές.

1.5.3.1 Parallel Digital cameras

Μέχρι σήμερα ήταν ο μόνος διαθέσιμος τύπος ψηφιακών κάμερων. Προσφέρουν όλα τα οφέλη που αναφέρθηκαν και πιο πριν με τη μόνη διαφορά ότι η διεπαφή τους με ψηφιακές κάμερες λήψης μπορεί να είναι δύσκολη γιατί δεν έχουν σαφή φυσικά κριτήρια. Συνήθως χρειάζονται καλώδια για να ενωθούν με πίνακες λήψης εικόνας αν υπάρχει συμβατότητα μεταξύ της μηχανής και της συσκευής λήψης.

1.5.3.2 Camera Link

Είναι προδιαγραφή για την διεπαφή των καλωδίων που συνδέουν τις ψηφιακές κάμερες με τους πίνακες αποκτήσεων εικόνας. Διατηρεί τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών κάμερων όπως η προσαρμοστικότητα για

πολλούς τύπους αισθητήρων. Απλοποιεί πολύ την καλωδίωση, η οποία μπορεί να είναι δύσκολη με τις συνηθισμένες ψηφιακές κάμερες.

1.5.3.3 IEEE 1394

Το IEEE 1394 είναι ένα πρότυπο serial bus (δίαυλος) που χρησιμοποιείται από πολλές περιφερειακές συσκευές του ηλεκτρονικού υπολογιστή συμπεριλαμβανομένων των και ψηφιακών κάμερων. Οι IEEE 1394 κάμερες χρησιμοποιούν ένα απλό, ευπροσάρμοστο, 4-wire ή 6-wire καλώδιο τροφοδοσίας αν και σε μερικές περιπτώσεις αυτοτροφοδοτείται. Λόγω του ότι χρησιμοποιείται από πολλές συσκευές ταυτόχρονα υπάρχει ένας περιορισμός εύρους ζώνης - 40 MB/s όταν δεν συνδέεται με άλλη συσκευή. Οι κάμερες αυτού του τύπου απαιτούν επίσης έλεγχο από τον επεξεργαστή για να κινήσουν τα δεδομένα της εικόνας έτσι περιορίζετε το διαθέσιμο εύρος ζώνης επεξεργαστή για την επεξεργασία εικόνας. Το IEEE 1394 συμπεριλαμβάνει επίσης τις λειτουργίες για την απαρίθμηση και οργάνωση των δυνατοτήτων της κάμερας.

1.5.4 Θεμελιώδη τεχνολογίες της κάμερας

Στις συνηθισμένες αναλογικές κάμερες, ο CCD εκτίθεται και διαβάσει με δύο τρόπους. Όταν απεικονίζει ένα αντικείμενο σε κίνηση, ο συνδυασμός των δύο τομέων του αισθητήρα προκαλεί μια διπλή έκθεση της εικόνας. Στις εξελισσόμενες κάμερες ανίχνευσης, η σειρά αισθητήρων CCD εκτίθεται συγχρόνως και όχι σε δύο βήματα. Αυτή η συμπεριφορά καθιστά τις προοδευτικές κάμερες ανίχνευσης ιδιαίτερα χρήσιμες στις εφαρμογές όπου το αντικείμενο κινείται. Πρέπει να ρυθμίζεται από πριν ο κατάλληλος χρόνος έκθεσης, για να αποκτηθεί η εικόνα χωρίς θάμπωμα (blurring).

1.5.5 Ανίχνευση γραμμών

Αντίθετα από μια κάμερα ανίχνευσης περιοχής, που αποκτά μια δισδιάστατη εικόνα, μια κάμερα ανίχνευσης γραμμών αποκτά μια εικόνα που έχει πλάτος ένα pixel. Οι κάμερες ανίχνευσης γραμμών είναι χρήσιμες σε

εφαρμογές στο διαδίκτυο, στις οποίες το παρατηρούμενο αντικείμενο κινείται σε ατέρμονα μεταφορέα ή σε στάδιο κάποιου συστήματος παραγωγής. Είναι χρήσιμες επίσης σε εφαρμογές υψηλής ανάλυσης επειδή μπορούν να ανιχνεύουν γραμμές με γρήγορο ρυθμό. Το πλάτος τους καθορίζεται από τον αριθμό των CCDs στη κάμερα.

1.5.6 Υπέρυθρες

Οι υπέρυθρες ή θερμικές κάμερες μετρούν τη θερμική, ή υπέρυθρη, ενέργεια που εκπέμπεται από μια σκηνή. Επειδή διακρίνονται πιο εύκολα καποιές λεπτομέρειες μπορούν να βοηθήσουν στη λύση επιστημονικών και βιομηχανικών εφαρμογών όπου οι αισθητήρες ορατού φάσματος δεν μπορούν να βοηθήσουν. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια τετοια κάμερα για τον έλεγχο του επιπέδου πετρελαίου σε έναν συμπιεστή όταν διαφέρει η θερμοκρασία του πετρελαίου από αυτή των περιβλημάτων.

Ο πίνακας που ακολουθεί συγκρίνει τους βασικούς τύπους ψηφιακής κάμερας

	Parallel Digital	Camera Link	IEEE-1394
Ρυθμός Δεδομένων	Γρήγορος	Γρήγορος	Αργός
Χωρική Ανάλυση	Υψηλή	Υψηλή	Μέτρια
Λειτουργικότητα	Προηγμένη	Προηγμένη	Απλή και Εύκολη
Ένταση pixel	Μέχρι 16-bit	Μέχρι 16-bit	8-bit
Καλωδίωση	Thicker, custom cabling	Simple, standard cabling	Simple, standard cabling

Πίνακας .1.1. Σύγκριση ψηφιακών κάμερων

(Πηγή: <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf>)

Παρακάτω δίνονται βασικές διαφορές ψηφιακών και αναλογικών κάμερων.

Ψηφιακές	Αναλογικές
1. Μεγάλες μηχανές.	1. Μικρότερο μέγεθος.
2. Δεν υπάρχει περιορισμός στην κατακόρυφη ανάλυση έτσι προσφέρουν μεγαλύτερη ανάλυση.	2. Περιορισμός στην κατακόρυφη ανάλυση από το εύρος του αναλογικού σήματος.
3. Χωρίς περιορισμένο εύρος, προσφέρει μεγαλύτερο αριθμό pixels και μεγαλύτερους CCD αισθητήρες, άρα μεγαλύτερη ανάλυση.	3. Οι αισθητήρες έχουν συγκεκριμένο μέγεθος.
4. Για να απεικονισθεί το σήμα χρειάζεται computer και capture board. Το σήμα μπορεί να συμπιεστεί έτσι γίνεται μεταφορά σε μικρότερο εύρος χωρίς απώλειες.	4. Το computer και capture board χρειάζονται για την ψηφιοποίηση αλλά δεν είναι απαραίτητα για την απεικόνιση.
5. Τετραγωνισμένα pixels με ίδια κατακόρυφη και οριζόντια ανάλυση.	5. Συνήθως έχουν ορθογώνια pixels με διαφορετική κατακόρυφη από την οριζόντια ανάλυση.
6. Το σήμα στην έξοδο είναι ψηφιοποιημένο άρα λίγη απώλεια σήματος.	6. Το αναλογικό σήμα είναι ευάλωτο στον θόρυβο και την παρεμβολή άρα μεγαλύτερη απώλεια σήματος.

Πίνακας 1.2. Σύγκριση ψηφιακών-αναλογικών κάμερων

(Πηγή: <http://www.edmundoptics.com/techsupport>)

1.6 Οπτικοακουστικό σήμα

Λόγω του ότι μια εικόνα μπορεί να θεωρηθεί ως μια δισδιάστατη σειρά στοιχείων έντασης ή χρώματος, το οπτικοακουστικό σήμα από μια κάμερα είναι μονοδιάστατο ρεύμα αναλογικών ή ψηφιακών δεδομένων. Ο σκοπός του λήπτη στιγμιότυπων (frame grabber) είναι να ανακτήσει τα δεδομένα

αυτά, να τα ψηφιοποιήσει εάν χρειάζεται, και να τα οργανώσει κατάλληλα για να μεταφερθούν διαμέσου του PCI (Peripheral Component Interconnect) δίαυλου στη μνήμη του συστήματος, από όπου μπορεί να απεικονισθεί η εικόνα.

1.6.1 Frame Grabber

Ο λήπτης στιγμιότυπων-frame grabber, τμηματοποιεί ένα οπτικοακουστικό σήμα σε συνεχόμενα στιγμιότυπα (εικόνες). Η τμηματοποίηση γίνεται σύμφωνα με μια συχνότητα δειγματοληψίας η οποία μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με τις ανάγκες του προβλήματος.

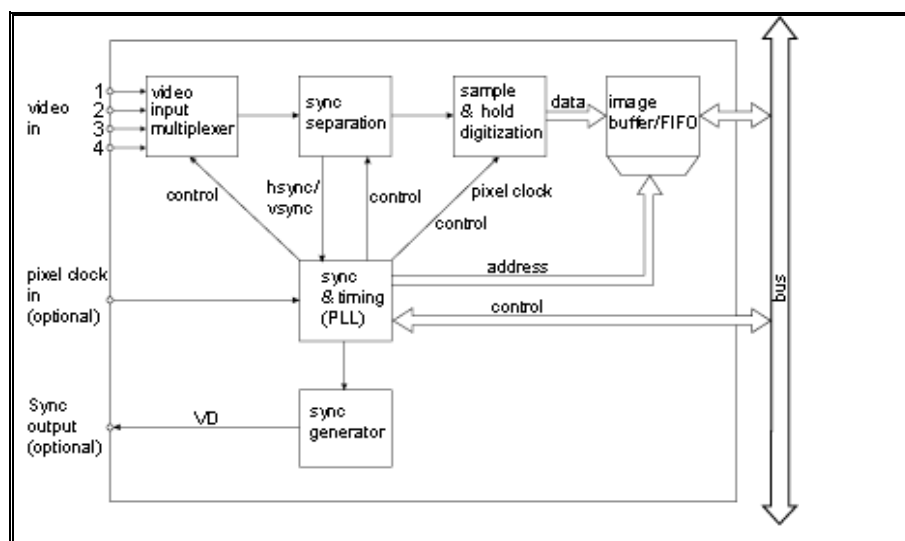
Το σχήμα 1.10 απεικονίζει την βασική δομή ενός frame grabber. Πρώτα απ' όλα το sync separation (ή αλλιώς το sync stripper) διαχωρίζει τους παλμούς συγχρονισμού από το εισερχόμενο σήμα video. Το horizontal sync (H - Sync) δηλώνει την αρχή καινούργιας γραμμής και το vertical sync (V - Sync) την αρχή καινούργιου πεδίου ή πλαισίου (frame). Αφού γίνει η σύνδεση του σήματος με τον grabber, ο grabber χρειάζεται χρόνο ίσο με αυτόν που θα χρειαζόταν για να διαχωρίσει τρία πλαίσια για να τρέξει σε σταθερή κατάσταση. Για να αποφευχθεί η χρονοβόρα αρχικοποίηση οι πηγές video μπορούν να συγχρονιστούν εξωτερικά έτσι ώστε τα H - Syncs και V - Syncs όλων των κάμερων να είναι σε συγχρονισμό. Αυτό ονομάζεται και μηχανισμός genlock.

Αρκετοί grabbers είναι εξοπλισμένοι με sync generator (γεννήτρια συγχρονισμού) που χρησιμοποιείται για την παραγωγή σημάτων sync για το genlocking. Τα σήματα αυτά είναι TTL επιπέδου και όχι αυτού των τυπικών παλμών video. Έτσι και οι πηγές video πρέπει να είναι ικανές να δουλεύουν με εισόδους TTL sync. Το sync separation και sync generator δουλεύουν ανεξάρτητα και είναι έμμεσα συνδεδεμένα στις πηγές video.

Αφού ο σταθερός συγχρονισμός των γραμμών και των πλαισίων έχει επιτευχθεί, το επόμενο βήμα της διεργασίας είναι αφορά την δημιουργία των εικονοστοιχείων (pixels). Σύμφωνα με τα πρότυπα ψηφιακού οπτικοακουστικού σήματος (digital video standards), το **sample** και **hold** παίρνουν 767 pixels από κάθε γραμμή για το CCIR (Consultative Committee for International Radio) και 647 pixels για το EIA (European Intermodal

Association) και τα ψηφιοποιούν. Αυτό οδηγεί σε συχνότητα ρολογιού pixel ίση με 14,75 MHz για τις CCIR και 12,3 για τις EIA. Στην πράξη οι grabbers διαφέρουν από τις τιμές αυτές χωρίς καμία απώλεια ακρίβειας. Η μόνη περίπτωση να υπάρχει αντιστοιχία των pixels του CCD με αυτών της μνήμης του grabber είναι ο grabber να χρησιμοποιεί το pixel clock της κάμερας.

Τα ψηφιοποιημένα pixels συγκεντρώνονται σε ένα image buffer ή FIFO (First Input First Out) buffer. Το image buffer αποθηκεύει το πολύ ένα πλαίσιο και χρησιμοποιείται μόνο εάν το εύρος ζώνης του δίαυλου είναι πολύ μικρό για να μεταφέρει ροή ψηφιοποιημένων δεδομένων χωρίς απώλειες. Με τη βοήθεια των PCI επιτυγχάνεται η συσσώρευση της ψηφιοποιημένης ροής δεδομένων κατευθείαν στην κεντρική μνήμη του υπολογιστή και το πέρασμα της στην κάρτα γραφικών για να μπορεί να προβληθεί σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 2.10. Βασική δομή του frame grabber

(Πηγή: <http://www.theimagingsource.com/resources>)

1.6.2 Video Scanning

Τα τυπικά αναλογικά οπτικοακουστικά σήματα σχεδιάζονται για να μεταδοθούν και να απεικονιστούν σε μια τηλεοπτική οθόνη. Με ρυθμό 30 frames/sec, το ανθρώπινο μάτι μπορεί να αντιληφθεί τρεμούλιασμα καθώς η οθόνη ενημερώνεται. Για να ελαχιστοποιηθεί το φαινόμενο, χρησιμοποιείται η διαμπλεκόμενη ανίχνευση (interlaced scanning) κατά την οποία κάθε frame χωρίζεται σε δύο μέρη (fields), το ένα περιέχει τις περιττές οριζόντιες γραμμές και το άλλο τις άρτιες. Έτσι η ανανέωση κάθε μέρους γίνεται με ρυθμό 60

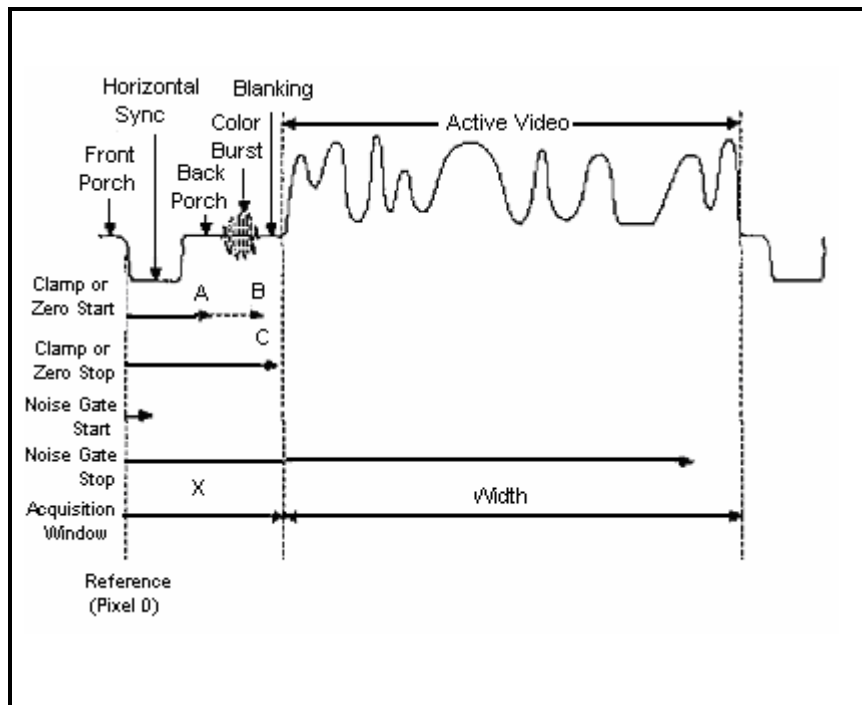
fields/sec που δεν γίνεται αντιληπτός από το ανθρώπινο μάτι. Οι φωτογραφικές μηχανές που παράγουν interlaced video signals ονομάζονται area scan cameras.

Σε εφαρμογές υψηλής ταχύτητας η απεικόνιση ανανεώνεται γρήγορα ούτως ώστε να εντοπίζεται ή να μετρείται το κάθε βήμα με ακρίβεια. Έτσι κάθε frame αποτελείται από ένα μέρος, καταλήγοντας σε μια εικόνα με το μισό ύψος και διπλάσιο ρυθμό ανανέωσης από το ρυθμό του interlaced. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται non-interlaced video και η μηχανές που παράγουν τέτοιο σήμα, progressive scan cameras.

Οι line scan cameras είναι ο τρίτος τύπος τέτοιων μηχανών, οι οποίες παράγουν μια οριζόντια γραμμή στο χρόνο. Ο frame grabber συλλέγει τις γραμμές και κατασκευάζει μια εικόνα ενός προκαθορισμένου ύψους. Μια παραλλαγή αυτής της διαδικασίας είναι το variable height acquisition (VHA) όπου ο frame grabber συλλέγει τις οπτικοακουστικές γραμμές σε μια εικόνα ενώ ένα άλλο σήμα εισόδου παραμένει ενεργό. Όταν το σήμα γίνεται ανενεργό, η προκύπτουσα εικόνα μεταφέρεται στη μνήμη του συστήματος. Αυτός ο τύπος μηχανής χρησιμοποιείται κυριώς για αναπαράσταση κυκλικών αντικειμένων σε μια εικόνα για παράδειγμα εάν επρόκειτο να περιστραφεί ένα κουτί αναψυκτικού μπροστά από μια line scan camera, μπορεί να ληφθεί μια επίπεδη εικόνα που περιέχει ολόκληρη την επιφάνεια του κουτιού.

1.6.3 Αναλογικά σήματα

Ένα αναλογικό τηλεοπτικό σήμα είναι σήμα χαμηλής τάσης που περιέχει τις πληροφορίες έντασης για κάθε γραμμή, σε συνδυασμό με πληροφορίες συγχρονισμού που εξασφαλίζουν ότι η συσκευή απεικόνισης παραμένει συγχρονισμένη με το σήμα. Το σήμα μιας οριζόντιας οπτικοακουστικής γραμμής απεικονίζεται στο σχήμα, αποτελείται από το horizontal sync, back porch, active pixel region, front porch.



Σχήμα 1.11. Σήμα οριζόντιας οπτικοακουστικής γραμμής
(Πηγή: <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf>)

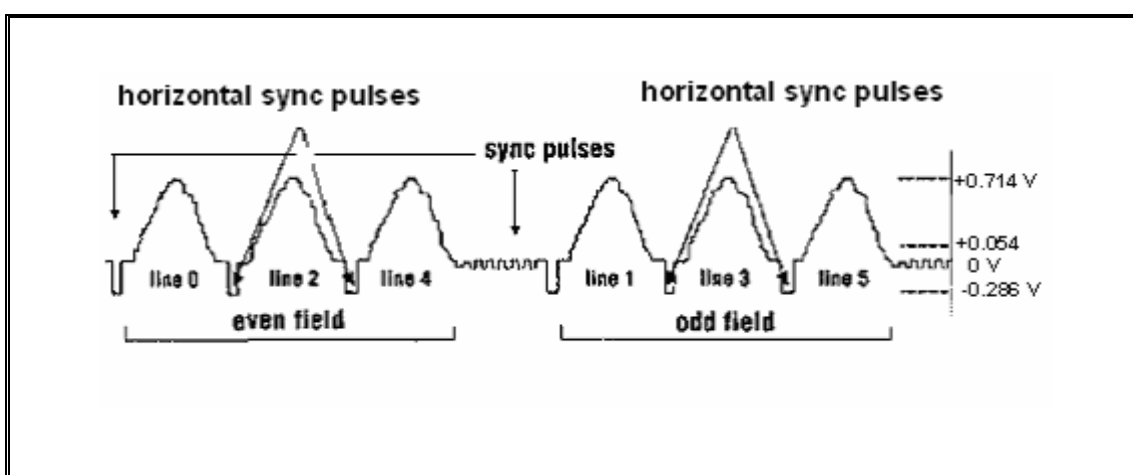
Το horizontal sync (HSYNC) επισημαίνει την αρχή κάθε νέας οπτικοακουστικής γραμμής. Ακολουθείται από το back porch, το οποίο χρησιμοποιείται ως επίπεδο αναφοράς για την αφαίρεση οποιαδήποτε DC τμήματος από το μετακινούμενο (AC-coupled) οπτικοακουστικό σήμα. Αυτό ολοκληρώνεται κατά την διάρκεια του clamping interval για τα μονοχρωματικά σήματα και διαδραματίζεται στο back porch. Για τα έγχρωμα σήματα, το clamping εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του horizontal sync, επειδή το μεγαλύτερο τμήμα του back porch χρησιμοποιείται για το color burst, το οποίο παρέχει τις πληροφορίες για την αποκωδικοποίηση του χρώματος.

Οι πληροφορίες χρώματος περιλαμβάνονται μαζί με το μονοχρωματικό οπτικοακουστικό σήμα (NTSC και το PAL είναι κοινά standard formats). Το έγχρωμο σήμα αποτελείται από το standard μονοχρωματικό σήμα (RS - 170 ή CCIR) μαζί με τα πιο κάτω στοιχεία:

- **Color burst:** Βρίσκεται στο back porch, είναι περιοχή υψηλής συχνότητας και παρέχει την φάση και το λόγο του πλάτος για την πληροφορία χρώματος.
- **Chroma signal:** Η πληροφορία χρώματος. Περιέχει δύο τετραγωνισμένα τμήματα διαμορφωμένα βάση της συχνότητα color

burst. Η φάση και το πλάτος τους καθορίζουν το περιεχόμενο του χρώματος για κάθε pixel.

Μια άλλη διάσταση του οπτικοακουστικού σήματος είναι το vertical sync (VSYNC) pulse. Είναι μια σειρά παλμών που εμφανίζεται μεταξύ δύο τμημάτων και επισημαίνει στη συσκευή παρακολούθησης να αναπαραστήσει μια κατακόρυφη διαδρομή και να προετοιμαστεί για την ανίχνευση του επόμενου τμήματος. Υπάρχουν γραμμές μεταξύ τμημάτων που δεν περιέχουν καμία ενεργή οπτικοακουστική πληροφορία. Μερικές περιέχουν μόνο τους παλμούς HSYNC, ενώ άλλες περιέχουν μια σειρά από equalizing και VSYNC παλμούς. Αυτοί οι παλμοί παρατηρούνται από τότε που ξεκίνησε η τηλεοπτική μετάδοση, αν και η νεώτερη τεχνολογία υλικού έχει εξαλείψει την ανάγκη επιπρόσθετων παλμών. Ένα composite RS-170 interlaced σήμα παρουσιάζεται πιο κάτω συμπεριλαμβανομένων των κάθετων παλμών sync



Σχήμα 1.12. Composite RS-170 interlaced signal
(Πηγή: <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf>)

1.6.3.1 Αναλογικά standards

Στο πιο κάτω πίνακα περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των standard αναλογικών οπτικοακουστικών σημάτων που χρησιμοποιούνται :

Format	χώρα	Mode	Όνομα σήματος	Frame Rate (Frame/sec)	Κατακόρυφη ανάλυση	Line Rate	Μέγεθος εικόνας
--------	------	------	------------------	---------------------------	-----------------------	--------------	--------------------

					γραμμών	(Lines/second)	(WxH) pixels
NTSC	ΗΠΑ, Ιαπωνία	Μονοχρωματικό	RS-170	30	525	15.750	640x480
		Έγχρωμο	NTSC Color	29.97	525	15.734	
PAL	Ευρώπη (εκτός Γαλλία)	Μονοχρωματικό	CCIR	25	405	10.125	768x576
		Έγχρωμο	PAL Color	25	625	15.625	
SECAM	Γαλλία, Ανατολική Ευρώπη	Μονοχρωματικό		25	819	20.475	N/A
		Έγχρωμο		25	625	15,625	

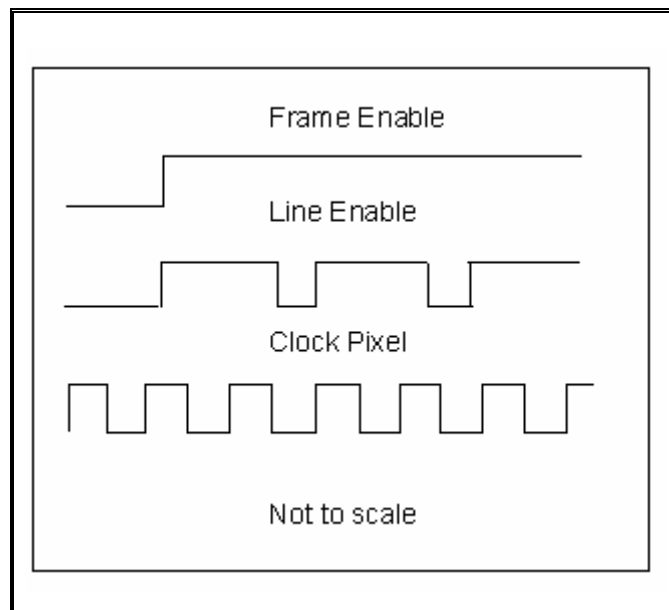
Πίνακας 1.2. Αναλογικά πρότυπα
(Πηγή: <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf>)

1.6.4 Ψηφιακά σήματα

Τα ψηφιακά οπτικοακουστικά σήματα ψηφιοποιούνται στον αισθητήρα CCD και όχι στο frame grabber. Η χρησιμοποίηση ψηφιακού σήματος είναι απαραίτητη σε εφαρμογές που απαιτούν:

- Υψηλή χωρική ανάλυση (μεγαλύτερες εικόνες)
- Υψηλή ανάλυση έντασης (βάθος bit)
- Υψηλή ταχύτητα
- Ευελιξία στα χαρακτηριστικά συγχρονισμού ή ανίχνευσης
- Ανοσία στο θόρυβο

Τα σήματα συγχρονισμού του ψηφιακού σήματος είναι πολύ απλούστερα από εκείνα του αναλογικού σήματος, δεδομένου ότι το σήμα έχει ψηφιοποιηθεί. Περιλαμβάνουν, το Pixel Clock συγχρονίζει την μετάδοση δεδομένων και μπορεί να είναι είσοδος ή έξοδος από την μηχανή, ένα ενεργοποιητή γραμμής (Line Enable) για να σηματοδοτεί την αρχή και το τέλος κάθε οπτικοακουστικής γραμμής δεδομένων, ένα ενεργοποιητή πλαισίου (Frame Enable) για να σηματοδοτεί την έναρξη και την ολοκλήρωση κάθε πλαισίου



Σχήμα 1.13. Σήμα συγχρονισμού

(Πηγή: <http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf>)

Αυτά τα σήματα, καθώς επίσης και τα ίδια τα δεδομένα, μπορούν να είναι single-ended (TTL) ή differential (RS - 422 ή LVDS).

Δεν υπάρχει κανένα standard πρότυπο ανίχνευσης για τα ψηφιακά οπτικοακουστικά σήματα, έτσι το ψηφιακό frame grabber πρέπει να είναι διαμορφώσιμο προκειμένου να είναι ευσυμβίβαστο όλες τις διαθέσιμες συμβάσεις ανίχνευσης. Ένας σημαντικός παράγοντας στον τύπο ανίχνευσης είναι ο αριθμός των tap που έχει μια φωτογραφική μηχανή. Μερικές φωτογραφικές μηχανές μπορούν να δώσουν έξοδο, δύο, τέσσερα, ή περισσότερα pixels παράλληλα. Για παράδειγμα, ένα 32 – bit frame grabber (έχει 32 γραμμές-δεδομένων εισόδου) είναι ικανό να διαβάζει τέσσερα 8- bit pixels ταυτόχρονα. Έτσι, το frame grabber πρέπει να διαμορφωμένο ούτως ώστε να τοποθετεί τα τέσσερα pixels στην κατάλληλη θέση της εικόνας.

1.7 Παραδείγματα συστημάτων οπτικής παρακολούθησης

Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν, η χρησιμοποίηση της κάμερας σε συστήματα οπτικής παρακολούθησης διαφόρων φαινομένων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Παρακάτω περιγράφουμε κάποια συστήματα από αυτά, που

μας βοήθησαν στην ανάπτυξη του συστήματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας .

1.7.1 Σύστημα μελέτης και ανάλυσης φυσαλίδων σε υγρά

Το μέγεθος των φυσαλίδων σε υγρά παίζει σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία παραγωγής. Υπάρχει μεγάλο εύρος εξοπλισμού παραγωγής φυσαλίδων , το καθένα όμως διαφέρει στον τρόπο με τον οποίο τις παράγει και τις απελευθεώνει μέσα στο υγρό. Διαφορές παρατηρούνται στην ταχύτητα, στο ποσοστό όπως και στην κατανομή τους. Κάποια εργαλεία ανάλυσης υπήρχαν όμως μετά από χρονοβόρα και εντατική δουλειά μπορούσαν οι μηχανικοί να πετύχουν στατιστική συμπεριφορά των φυσαλίδων. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη κατασκευής κάποιου συστήματος ανάλυσης των παραγόμενων φυσαλίδων βασιζόμενο σε επαναλαμβανόμενο στατιστικό έλεγχο. Το σύστημα υλοποιήθηκε από τον Wilding (2002) και περιλαμβάνει :

- βέλτιστο αισθητήρα απεικόνισης με εγκαταστημένη βάση φωτισμού και ρυθμιζόμενη ένταση που μπορεί να τοποθετηθεί ελεύθερα στο παρατηρούμενο υγρό
- λογισμικό επεξεργασίας εικόνας και interface που δουλεύουν σε ένα τυπικό προσωπικό υπολογιστή.

Περιγραφή συστήματος

Αισθητήρας απεικόνισης

Αποτελείται από κάμερα τοποθετημένη σε αδιάβροχη μεταλλική βάση, προσανατολισμένη σε κατεύθυνση 90° για παρατήρηση. Η φωτογραφία αλλάζει κατεύθυνση στη κάμερα με τη βοήθεια πρίσματος. Η διάταξη αυτή παρέχει ένα μικροκαμωμένο σχεδιασμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σε πολύ στενό πειραματικό δοχείο.

Παρέχει τη δυνατότητα διευθέτησης της διόδου εκπομπής φωτός (LED) στο υποφώς έτσι ώστε μόνο μια μικρή χαράδρα φωτός να μένει όταν οι φυσαλίδες περνούν μεταξύ της μονάδας φωτεινότητας και του αισθητήρα.

Αυτό βοηθάει το σύστημα να μεταχειρίζεται με συνέπεια τη μεταβολή πυκνοτήτων των φυσαλλίδων. Η ένταση του υποφωτός είναι επίσης διευθετήσιμη για να ξεπεράσει τυχόν προβλήματα έντασης στα υγρά που τα κάνει μη διαφανή.

Λειτουργικό interface

Το interface περιλαμβάνει τα ακόλουθα λειτουργικά τμήματα :

- Απόκτηση εικόνας (συμπεριλαμβανομένου τη πηγή καθώς και τις παραμέτρους επεξεργασίας της εικόνας).
- Εμφάνιση της εικόνας (διαφορετικά στάδια επεξεργασίας κ.τ.λ.)
- Τρόπος Ιστογράμματος
- Εμφάνιση ιστογράμματος (συμπεριλαμβανομένου τον μέσο, τη τυπική απόκλιση και το άθροισμα των φυσαλλίδων)
- Τρόπος ενσωμάτωσης (μονή φωτογραφία, ακολουθία από φωτογραφίες)

Μπορεί να αποκτήσει ξεχωριστές φωτογραφίες ή μια ακολουθία φωτογραφιών με τη βοήθεια του αισθητήρα. Έχει τη δυνατότητα να φορτώσει φωτογραφίες από το σκληρό δίσκο και να τις ξανάεπεξεργαστεί. Έχει διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας καθορίζοντας έτσι το στατιστικό αποτέλεσμα, μπορεί να αποθηκεύσει το ιστόγραμμα στο σκληρό δίσκο και τέλος παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να ρυθμίσει τις παράμετρους επεξεργασίας έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί το αποτέλεσμα για δωθείσα κατάσταση: ταχύτητα φυσαλλίδας, διαφάνεια υγρού και μέγεθος φυσαλίδας.

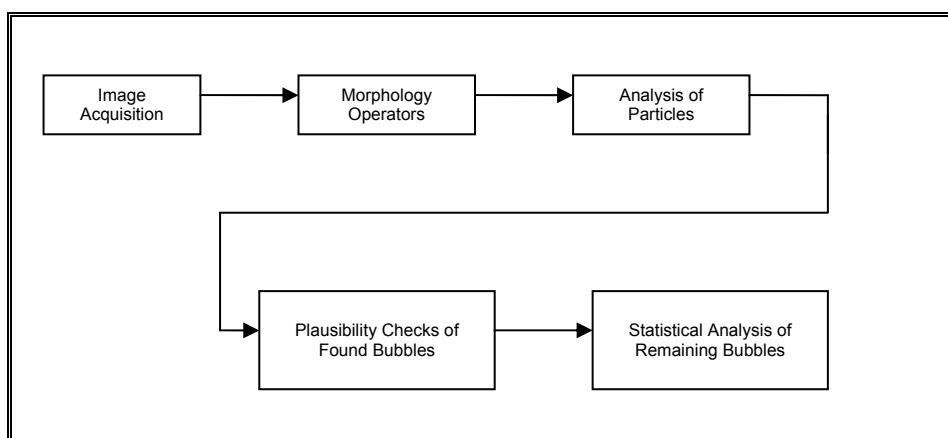
Επεξεργασία εικόνας

Διαφορετικά μορφολογικά βήματα επεξεργασίας εικόνας, όπως η μορφολογική μεταβολή, μορφολογικό γέμισμα τρύπων και μορφολογικό 'άνοιγμα' (morphological opening) είναι απαραίτητα για την προεπεξεργασία και τμηματοποίηση των φυσαλλίδων. Για να ελαττωθεί το σφάλμα του ρολογιού (alarm rate) στον εντοπισμό των φυσαλλίδων, πρέπει να γίνει προεισαγωγική ανάλυση των απομονωμένων φυσαλλίδων με δύο

διαφορετικούς τρόπους από τους οποίους διαλέγει ένα ο χρήστης του συστήματος.

Ο πρώτος τρόπος για την αποφυγή του προβλήματος εντοπισμού πολλαπλών μικρών φυσαλλίδων με μερική επικάλυψη σαν μια μεγάλη, συμπίπτει με την ευρετική μέθοδο. Η μέθοδος αυτή αυξάνει την βελτιστοποίηση της αναγνώρισης μιας φυσαλλίδας. Έχοντας υπόψιν ότι μια εικόνα με ένα φωτεινό στίγμα στο κέντρο και πιο σκούρο διάκοσμο απεικονίζει μια φυσαλλίδα, μπορούν να απορριφθούν αμφίλογες φυσαλλίδες.

Ο δεύτερος τρόπος στηρίζεται στην χρήση χαρακτηριστικών παραμέτρων όπως το Heywood circularity factor, Waddel disk diameter, κέντρο βάρους, ellipse orientation και ένα μεγάλο σύνολο άλλων δοθέντων παραμέτρων.



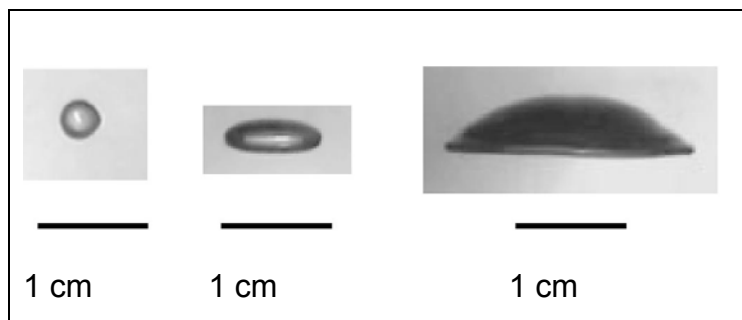
Σχήμα 1.14. Βήματα Επεξεργασίας
(Πηγή: <http://digital.ni.com/csma.nsf>)

Προβλήματα που εντοπίστηκαν κατά τη δημιουργία του συστήματος

Δυσκολία στην απόκτηση φωτογραφίας γιατί οι φυσαλλίδες κινούνται με μεγάλη ταχύτητα μόλις βγούν από το μηχάνημα δημιουργίας τους. Έτσι το σύστημα επεξεργασίας βασίστηκε στην υψηλή πυκνότητα των φυσαλλίδων στο μέσο και κατ' επέκτασιν στην διάθλαση, ανάκλαση του φωτός. Λόγω της μεγάλης πυκνότητας των φυσαλλίδων ήταν δύσκολο ο διαχωρισμός τους, έτσι η μερική και ολική επικάλυψη ήταν ακόμη ένα πρόβλημα που εντοπίστηκε και λύθηκε με τις δύο μεθολογίες που αναφέρθηκαν στην επεξεργασία.

1.7.2 Σύστημα για καθορισμό των παραμέτρων που επιδρούν στην ανοδική πορεία φυσαλλίδων αερίου και στερεών σωματιδίων σε μη Νευτώνεια υγρά.

Το σύστημα χρησιμοποιήθηκε από τους Dewsbury κ.α. (1999), με σκοπό να καθοριστούν διάφορες παράμετροι όπως: ο συντελεστής βραδύτητας, η τροχιά της πορείας καθώς και η τελική ταχύτητα σωματιδίων φυσαλλίδων συναρτήσει, του σχήματος και του όγκου που έχουν και των ρεολογικών ιδιοτήτων των μη νευτώνειων υγρών.



Σχήμα 1.15. Σχήματα Φυσαλλίδων που παρατηρήθηκαν στο πείραμα (Πηγή: Dewsbury κ.α. (1999))

Περιγραφή Συστήματος

Σωλήνας

Το σύστημα αποτελείται από ένα ακρυλικό σωλήνα με διαστάσεις 240 cm x 30 cm x 30 cm. Δίνει αναλογία διάμετρου της μεγαλύτερης φυσαλλίδας ως προς τη διάμετρο του σωλήνα, μικρότερη από 0,2 έτσι αποφεύγεται η επίδραση από τα τοιχώματα και κατ'επέκτασιν αλλοίωση των αποτελεσμάτων. Ο σωλήνας γέμιζε με διάλυμα CMC, στερεά σωματίδια και φυσαλλίδες που αναδύονται από τον πάτο.

Σύστημα Απεικόνισης

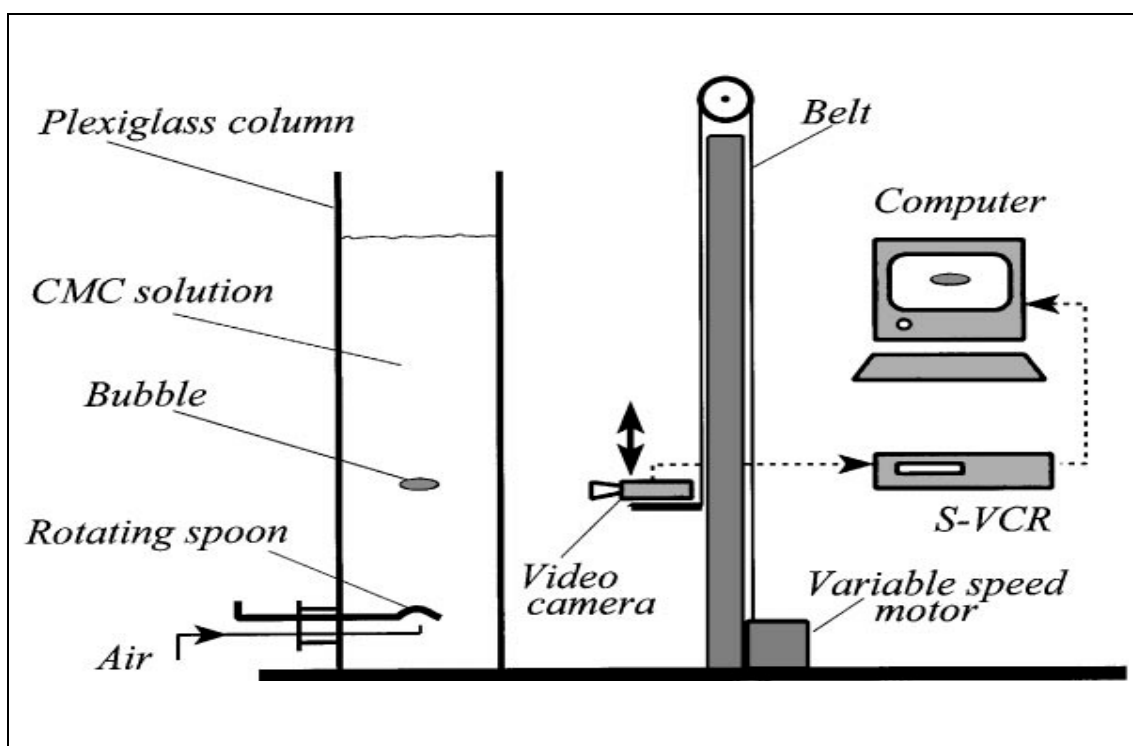
Χρησιμοποιήθηκε κάμερα υψηλής ανάλυσης (Hitachi μοντέλο KP-1U) η οποία είναι στερεωμένη σε μια βάση που μπορεί να ανεβοκατεβαίνει με διάφορες ταχύτητες. Το σήμα εξόδου καταλήγει σε ένα Super – VHS video

recording που μπορεί να αποθηκεύει τα δεδομένα σε μια κασέτα για μελλοντική ανάλυση. Στην συνέχεια το σήμα από το S – VHS recorder ψηφιοποιείται στο frame grabber board (Mira Computer products AG, Germany, model DC – 30) και καταλήγει στον υπολογιστή που απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο την εικόνα του αντικειμένου. Η ανάλυση 570 οριζοντίων γραμμών που παρέχει η κάμερα επιτρέπουν λεπτομερή απεικόνιση της πορείας των φυσαλλίδων.

Επεξεργασία Εικόνας

Η επεξεργασία εικόνας έγινε με τη βοήθεια Imaging software (SigmaScan 4.0, SPSS Inc., USA). Το πακέτο αυτό παρέχει τη δυνατότητα ακριβής μέτρησης όγκου, επιφάνειας, περιμέτρου, διάμετρου, τελικής ταχύτητας καθώς και ταχύτητας οπουδήποτε σωματιδίου ή φυσαλλίδας που έχει κατακόρυφο άξονα συμμετρίας.

Παρακάτω παρατέθεται ένα σχεδιάγραμμα του συστήματος στο οποίο φαίνονται λεπτομερώς όλα τα τμήματα του.



Σχήμα 1.16. Διάταξη Συστήματος
(Πηγή: Dewsbury κ.ά. (1999))

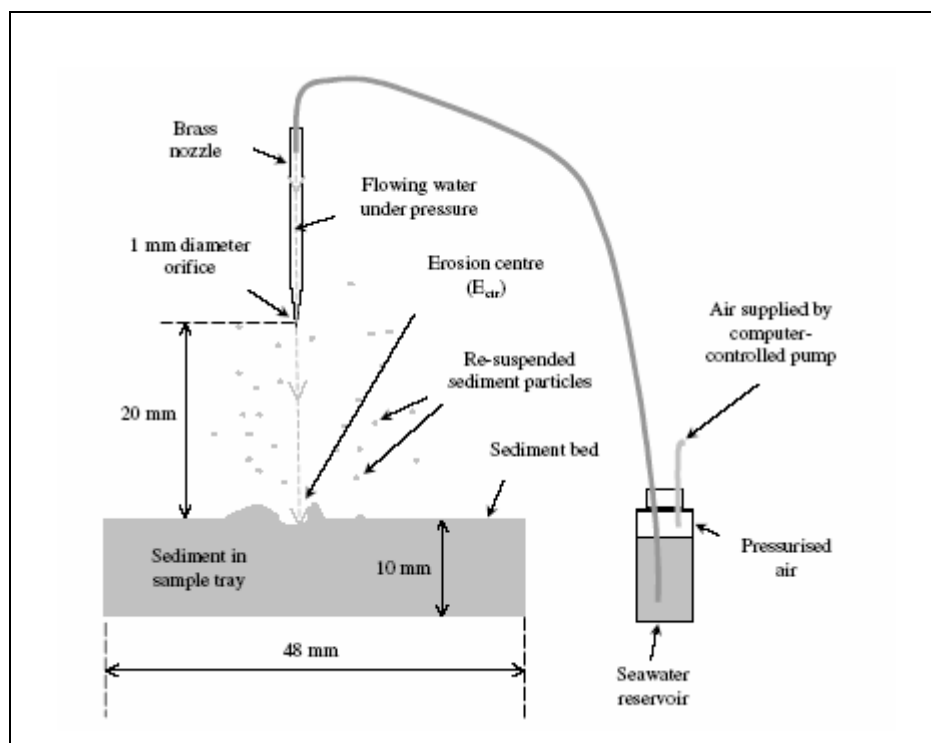
1.7.3 Σύστημα για τη μελέτη της διαδικασίας διάβρωσης ιζήματος.

Για να εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη φυσική συμπεριφορά των ιζημάτων χρειάζεται λεπτομερής παρατήρηση για την απόσπαση του υλικού από το στρώμα, τις επακόλουθες αλλαγές των σωματιδίων καθώς και τις συγκεντρώσεις αιωρήματος. Το σύστημα αυτό έχει χρησιμοποιηθεί από τους Sun κ.α. (2002), για την πλήρη καταγραφή των πιο πάνω φαινομένων.

Περιγραφή Συστήματος

Συσκευή Διάβρωσης

Πιο κάτω φαίνεται το σχεδιάγραμμα της διαδικασίας διάβρωσης. Το πείραμα γίνεται με τεχνητό ίζημα το οποίο είναι τοποθετημένο σε ένα γυάλινο δοχείο. Πίεση ασκείται με την βοήθεια της συσκευής cohesive strength meter (CSM) από την οποία αναβλύζουν σταγόνες νερού οδηγούμενες από πίεση αέρα και κατευθύνονται στην επιφάνεια του ιζήματος.



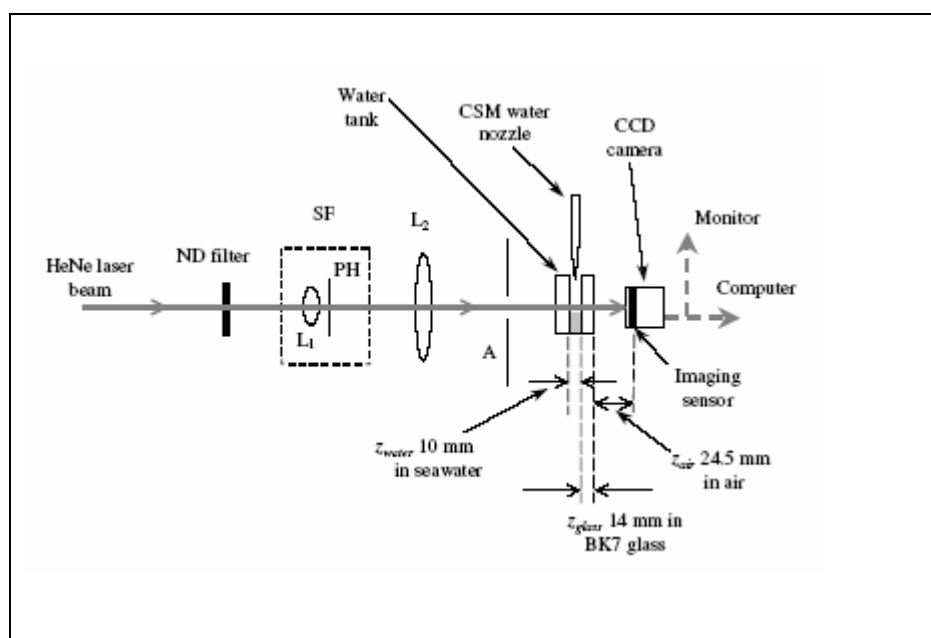
Σχήμα 1.17. Συσκευή Διάβρωσης ιζήματος
(Πηγή: Sun κ.ά, (2002))

Σύστημα καταγραφής

Το σύστημα αποτελείται από τρία μέρη. Το πρώτο περιλαμβάνει 3 mW HeNe laser από το οποίο ξεκινάει μια δέσμη φωτός και περνώντας από Neutral Density (DN) φίλτρο, από Spatial φίλτρο το οποίο αποτελείται από αντικειμενικό φακό και μια μικρή σχισμή, από ευθυγραμμισμένο φακό και τέλος από ένα ρυθμιζόμενο άνοιγμα, φωτίζει το δοχείο με το νερό και την κάμερα. Το δεύτερο αποτελείται από το δοχείο με το νερό. Το τρίτο περιλαμβάνει μια μονοχρωματική κάμερα (Hitachi, μοντέλο KP-M1E/K) το σήμα της οποίας καταλήγει σε MV delta frame-grabber card (Matrix Vision GmbH) που είναι συνδεδεμένη πάνω σε Conexant Bt848 single-chip video στον επεξεργαστή του υπολογιστή.

Επεξεργασία Εικόνας

Η επεξεργασία των εικόνων έγινε με Matlab και περιλάμβανε διάφορους αλγόριθμους και μετασχηματισμούς Fresnel, Fraunhofer, Wavelet, Fourier.



Σχήμα 1.18. Σύστημα καταγραφής
(Πηγή : Sun κ.ά, (2002))

1.7.4 Συμπεράσματα

Τα τμήματα του οπτικού συστήματος και η διαδικασία ανάκτησης και τμηματοποίησης του σήματος είναι σχεδόν η ίδια σε όλες τις περιπτώσεις. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία της εικόνας καθώς και η μεθοδολογία που ακολουθείται κάθε φορά, διαφοροποιείται σύμφωνα με το φαινόμενο που πρέπει να μελετηθεί.

2 Κεφάλαιο

Σύστημα

2.1 Περιγραφή συστήματος

Για την παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε σύστημα συλλογής και ανίχνευσης κίνησης στερεών σωματιδίων κατά τη διφασική ροή στερεών-υγρού σε οριζόντιο δακτύλιο. Η μέλετη έγινε για την κίνηση των dunes ή blobs που παρατηρούνται σε σχετικά χαμηλές παροχές υγρού όπου εμφανίζονται συσσωματώματα στερεών με δύο στρώματα στερεών με σχετική κίνηση του άνω ως προς το κάτω, ενώ το υγρό κινείται υπεράνω των στερεών.

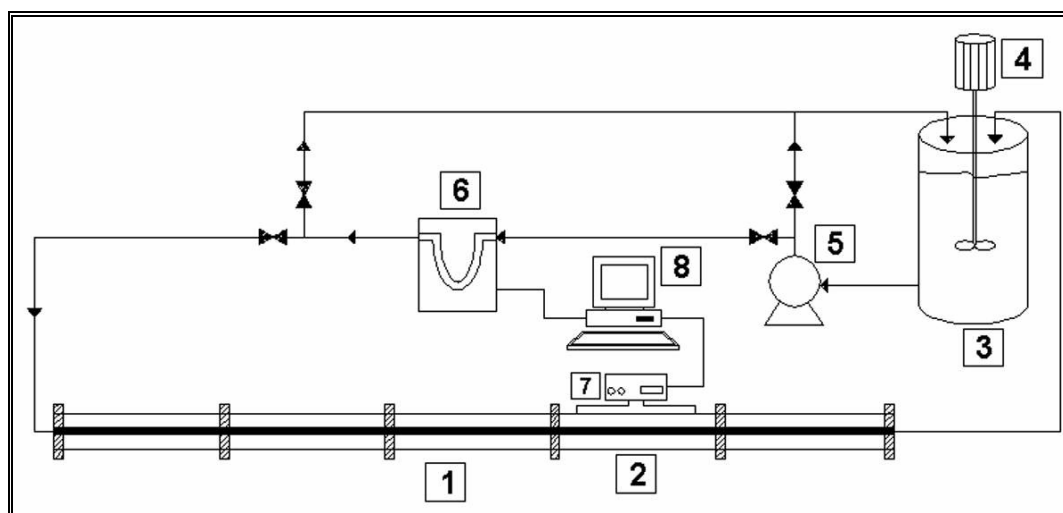
Το σύστημα καταγραφής και ανάλυσης αποτελείται από αναλογική μονοχρωματική κάμερα (Hitachi, μοντέλο KP-1411), 2/3 in CCD υψηλής ευαισθησίας και μεγάλης ανάλυσης με 30 frames/second, κάρτα ψηφιοποίησης PCI-1411 της National Instruments και το πακέτο λογισμικού Labview-Vision Development Module μέσω του οποίου αναπτύχθηκε frame grabber με δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας λήψης του οπτικού σήματος. Το αναλογικό οπτικό σήμα φτάνει στην κάρτα που είναι εγκατεστημένη στον υπολογιστή, μετατρέπεται σε ψηφιακό και ενεργοποιώντας το frame grabber, τμηματοποιείται το σήμα με τη δοθείσα συχνότητα και αποθηκεύεται στο σκληρό δίσκο σε συνεχόμενα frames κατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία.

Στην συνέχεια θα περιγραφούν και θα αναλυθούν όλα τα τμήματα του συστήματος συμπεριλαμβανομένου και του συστήματος ροής που προutipήρχε στο εργαστήριο “Τεχνικές Γεωτρήσεων”, στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

2.2 Σύστημα Ροής

Στοχεύοντας στην πρακτική μελέτη της διαδικασίας μεταφοράς θραυσμάτων, στην βιομηχανία γεωτρήσεων και ειδικότερα στην τεχνική Coiled Tubing και με στόχο την διεξαγωγή αποτελεσμάτων υψηλής ποιότητας, κατασκευάστηκε πειραματικό σύστημα ροής. Η διάταξη επιτρέπει την παρακολούθηση της ικανότητας των ρευστών γεώτρησης για μεταφορά

θραυσμάτων σε οριζόντιες και κεκλιμένες γεωμετρίες, χωρίς την περιστροφή του εσωτερικού σωλήνα (Coiled Tubing).



Σχήμα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση συστήματος ροής εργαστηρίου με τα: 1. δακτύλιος, 2. τμήμα μετρήσεων, 3. κυλινδρική δεξαμενή 4. αναδευτήρα, 5. φυγοκεντρική αντλία, 6. παροχόμετρο, 7. μετρητή διαφορικής πίεσης, 8. Η/Υ με κατάλληλο λογισμικό για μετρήσεις – επεξεργασία δεδομένων

2.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

2.2.1.1 Οριζόντιος δακτύλιος

Ο δακτύλιος, συνολικού μήκους 5m, αποτελείται από 5 τμήματα του 1m αποτελείται από:

- Εξωτερικό σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου $d_1=70\text{mm}$, εξωτερικής $\Phi 80\text{mm}$
- Εσωτερικό σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου $d_2=30\text{mm}$, εξωτερικής $d_3=40\text{mm}$

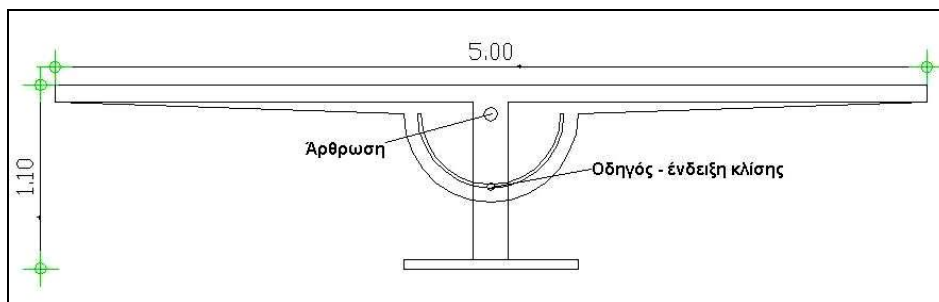
Είναι κατασκευασμένος από Plexiglas για να υπάρχει δυνατότητα παρατήρησης της ροής, σε όλο το μήκος του και με κατάλληλες και στεγανές συνδέσεις (Κουτρούλης Α. & Μιχαλάκης (2002)).

Το μετρητικό τμήμα είναι κατάλληλο για την παρακολούθηση της ροής αφού, βρίσκεται σε απόσταση ίση με $\frac{L}{d_h} = \frac{4m}{0,02974m} = 134d_h$ (134 υδραυλικές διαμέτρους όπου $d_h = d_1 - d_3$, η υδραυλική διάμετρος) από την είσοδο και

$$\frac{L}{d_h} = \frac{1m}{0,02974m} = 37 \text{ από την έξοδο, ώστε να μην υπάρχουν επιδράσεις από}$$

την είσοδο και έξοδο του ρευστού στο δακτύλιο.

Ο δακτύλιος είναι τοποθετημένος πάνω σε μεταλλική κατασκευή – βάση – που μπορεί να περιστρέφεται ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση μέχρι 90° (σχήμα 2.3), ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες θέσεις (για προσομοίωση κεκλιμένης γεωμετρίας γεώτρησης), πέρα από την οριζόντια.



Σχήμα 2.2. Βάση στήριξης δακτυλίου εργαστηρίου

Η εισαγωγή του ρευστού, γίνεται μέσω μιας κατασκευασμένης φλάντζας που προσομοιάζει τον τρόπο (γεωμετρικά) που δημιουργούνται και εισέρχονται επομένως τα στερεά θραύσματα και στις πραγματικές συνθήκες σε γεώτρηση.

Η είσοδος και η έξοδος του δακτυλίου συνδέονται με το υπόλοιπο σύστημα, με την βοήθεια ελαστικών σωλήνων. Στις επόμενες εικόνες, φαίνεται η όλη κατασκευή και το σύστημα δακτύλιος – βάση – μετρητικό τμήμα.



Εικόνα 2.1. Ο δακτύλιος και η βάση στήριξης και περιστροφής



Εικόνα 2.2. το μετρητικό τμήμα του δακτυλίου (4ο μέτρο)

2.2.1.2 Σύστημα προσαγωγής ρευστού

Το σύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για την προσαγωγή του ρευστού (και των μιγμάτων με τα στερεά θραύσματα) και αποτελείται από:

- την αντλία
- τις σωληνώσεις

Οι σωληνώσεις είναι διαμέτρου Φ50mm από PVC και επιλέχθηκε αυτή η διάσταση, για να έχει το ρευστό μεγαλύτερη ταχύτητα μέσα σε αυτούς από ό,τι στο δακτύλιο που ακολουθεί, ώστε να μην καθιζάνουν εκεί τα στερεά που θα μεταφέρονται, αλλά να οδηγούνται στον δακτύλιο παρατήρησης. Σε κάποια σημεία του δίκτυο σωληνώσεων, έχουν τοποθετηθεί κάποια εξαρτήματα που επιτρέπουν την παρατήρηση της ροής (με διάφανο πλαστικό). Οι ενώσεις των σωληνώσεων είναι κολλητές (μόνιμες) για στεγανότητα και έχουν τοποθετηθεί οι απαραίτητες βάνες κατά μήκος του δικτύου ώστε να είναι εύκολος ο έλεγχος της ροής.

2.2.1.3 Δεξαμενή – Σύστημα ανάδευσης (αιώρηση σωματιδίων)

Η δεξαμενή, είναι ο χώρος μέσα στον οποίο γίνεται η προετοιμασία του ρευστού, πριν την χρήση του, η προσθήκη των στερεών για την επίτευξη των συνθηκών του πειράματος που πρόκειται να εκτελεστεί. Επιλέχθηκε μια κυλινδρική δεξαμενή χωρητικότητας 500 λίτρων. Τα χαρακτηριστικά της δεξαμενής παρουσιάζονται στο πίνακα 2.2

Ύψος	110 cm
Ύψος ρευστού (H)	90 cm
Διάμετρος (Δ)	70 cm
Λόγος Δ/H	1.28
Έξοδος προς αντλία	15cm από πυθμένα – 2,5in
Απορροή	Πυθμένας 1in
Πλήρωση	Ανοιχτή στο πάνω μέρος

Πίνακας 2.1.Στοιχεία δεξαμενής

Για την οδήγηση της επιθυμητής αναλογίας στερεών – ρευστού στον δακτύλιο, με σκοπό την μελέτη ροής, πρέπει να υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες στην δεξαμενή (κατάλληλη αιώρηση των στερεών μέσα σε αυτή). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αναδευτήρα που μελετήθηκε και σχεδιάστηκε ειδικά για τη συγκεκριμένη κατασκευή καθώς και με τη χρήση τεσσάρων σταθερών πτερυγίων (ανακλαστήρες) περιμετρικά της δεξαμενής (εικόνα 2.3).

Ο αναδευτήρας πέρα από την αιώρηση των στερεών, χρειάζεται και για τη δημιουργία των ρευστών (διάλυμα CMC) και λειτουργεί με χρήση ρυθμιστή στροφών (inverter).



Εικόνα 2.3. εσωτερικό δεξαμενής με τον αναδευτήρα και ποσότητα στερεών

2.3 Κάμερα

Για την κάμερα του συστήματος χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο KP-M1A της Hitachi. Είναι μαυρόασπρη αναλογική κάμερα με μέγεθος CCD 2/3 ίντσες, έχει μεγάλη ευαισθησία, υψηλή ανάλυση και μεγάλη αποδοτικότητα. Παρέχει πολλές ρυθμίσεις λειτουργίας προς τον χρήστη όπως ρύθμιση κλείστρου, integration mode switching function, HD/VD pulse switching function και non-interlaced scanning function. Είναι η κατάλληλη για εφαρμογές με μικροσκόπιο ή για συστήματα επεξεργασίας εικόνας.

2.3.1 Κύρια χαρακτηριστικά

- Έχει πολύ μικρό μέγεθος και χαμηλό βάρος. Προσφέρει μεγάλη απόδοση. Το οπτικοακουστικό σήμα λαμβάνεται με τροφοδοσία μόνο 12 V DC.
- Ύψηλη ανάλυση. Χρησιμοποιεί αισθητήρα CCD 2/3 ίντσων. Η οριζόντια ανάλυση είναι 570 TVL (560 TVL CCIR) και κατακόρυφη ανάλυση 485 TVL (575 TVL CCIR).
- Πολλαπλά βήματα λειτουργίας ηλεκτρονικού κλείστρου. Η ταχύτητα κλείστρου μπορεί να επιλεγθεί από 1/100 (1/120 CCIR) μέχρι 1/10000.
- Εσωτερικός και εξωτερικός συγχρονισμός. Το σύστημα συγχρονισμού και σάρωσης εναλλάσσονται αυτόματα από το είδος του εξωτερικού σήματος sync.

- Λειτουργία Field-on-demand. Η σύλληψη της εικόνας γίνεται με ένα κατ' εκλογήν χρονισμό από ένα εξωτερικό σήμα και η απεικόνιση της είναι στιγμιαία.

- Frame or field integration mode. Όταν ρυθμιστεί ο τρόπος ολοκλήρωσης η εικόνα σύμφωνα με την εφαρμογή μπορεί να ανακτηθεί με συνδυασμό του συστήματος σάρωσης και την λειτουργία του κλείστρου.

2.3.2 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Στο παρακάτω πίνακα δίνονται τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της αναλογικής κάμερας

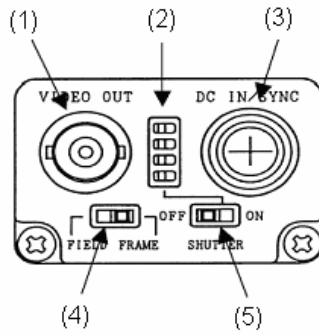
1. Συσκευή απεικόνισης	Interline CCD
Συνολικός αριθμός pixels	EIA : 811(H)X508(V) CCIR : 795(H)X596(V)
Μέγεθος pixel	EIA : 11.64(H)X13.5(V) μm CCIR : 11.6(H)X11.2(V) μm
Αριθμός ενεργών pixels	EIA : 768(H)X494(V) μm CCIR : 752(H)X582(V) μm
2. Περιοχή ανίχνευσης	EIA : 8.94X6.67 mm (2/3 inch size) CCIR : 8.72X6.52 mm (2/3 inch size)
3. TV format	EIA/CCIR
4. Lens mount	C-mount
5. Flange focal distance	17.526 mm
6. Συχνότητα οριζόντιας σάρωσης	EIA : 15.734 kHz CCIR : 15.625 kHz
7. Συχνότητα κατακόρυφης σάρωσης	EIA : 59.94 Hz CCIR : 50 Hz
8. Sync system	Internal/external
9. Int. sync scanning system	2 : 1 interlaced, Αριθμός οριζόντιων γραμμών: 525 (625 CCIR)
10. Ext. sync input	HD/VD : 2-6 V p-p Input impedance : 1k Ω $f_v = 2f_H/525$ (625 CCIR)
11. Video output	1.0 V p-p / 75 Ω

12. Ανάλυση	Video : 0.7 V p-p Sync : 0.3 V p-p EIA : 570 TVL(H)/485 TVL(V) CCIR : 560 TVL(H)/575 TVL(V)
13. Ευαισθησία	400 Lx, f4, 3200 K
14. Ελάχιστη φωτεινότητα	0.3 Lx, f1.4, AGG:ON, GAMMA:ON W/O IR cut filter
15. Signal-to-noise ratio	56 dB
16. Ηλεκτρονικό κλείστρο	1/10000, 1/4000, 1/2000, 1/1000, 1/500, 1/250, 1/125, 1/120 (CCIR), 1/100 (EIA) sec OFF : Normal exposure
17. Integration mode	Field or frame
18. Gamma correction	Gamma = 1.0 or correction
19. AGC	Fixed or AGC
20. Field-on-demand	ON –OFF
21. Restart Reset	ON or OFF
22. Τροφοδοσία	12V DC
23. Κατανάλωση ενέργειας	220 mA
24. Ambient conditions	Operating: -10 to 50 90% RH or less Storage : -20 to 60 70% RH or less
25. Anti-vibration	98 m/s ² (10 to 60 Hz, amplitude: 0.98 mm constant 60 to 200 Hz amplitude, variable) (10 to 200 Hz, sweep: 1mm, XYZ, duration: 30mm.)
26. Anti-vibration	686 m/s ²
27. Διαστάσεις	44(W)x29(H)x72(D)mm
28. Mass	120g

Πίνακας 2.2. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της κάμερας

2.3.3 Τα τμήματα της κάμερας

Όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα η κάμερα χωρίζεται σε πέντε τμήματα:



Σχήμα 2.3. Τα τμήματα της κάμερας

(1) VIDEO OUT (BNC) connector

Ένα σύνθετο (composite) οπτικοακουστικό σήμα τροφοδοτείται από αυτό τον connector. Ένα ομοαξονικό καλώδιο 75-ohm συνδέεται μεταξύ του connector και της οθόνης απεικόνισης ή άλλης συσκευής.

(2) Shutter speed select switch

Χρησιμοποιείται για ρύθμισης της ταχύτητας κλείστρου

(3) DC IN/SYNC connector

Μπορεί να συνδεθεί η τροφοδοσία 12V DC σαν είσοδος, ένα σύνθετο οπτικοακουστικό σήμα (VS) σαν έξοδος και ένα external sync σήμα σαν είσοδος.

(4) FIELD/FRAME integration select switch

Επιλογή λήψης video ή εικόνας

(5) SHUTTER ON/OFF switch

Ενεργοποίηση κλείστρου

2.3.4 Σύνδεση σημάτων στο DC IN/SYNC connector

Οι συνδέσεις των σημάτων στο DC IN/SYNC connector περιγράφονται στο πιο κάτω πίνακα:

PIN NO.	Internal mode	External sync mode				
		HD/VD	Frame/field on demand			
			ONE trigger	TWO trigger	Fixed shutter	EXT shutter
1	GND	GND	GND	GND	GND	GND
2	+12V	+12V	+12V	+12V	+12V	+12V
3	GND(Vout)	GND(Vout)	GND(Vout)	GND(Vout)	GND(Vout)	GND(Vout)
4	Vout	Vout	Vout	Vout	Vout	Vout
5	-	GND(HD)	-	-	-	GND(HD)
6	-	HD IN	-	-	-	HD IN
7	-	VD IN	Trigger A IN	Trigger A IN	Trigger A IN	VD IN
8	-	-	-	GND(Trig B)	-	GND(Trig B)
9	-	-	-	Trigger B IN	-	Trigger B IN
10	GND	GND	GND	GND	GND	GND
11	+12V	+12V	+12V	+12V	+12V	+12V
12	-	GND(VD)	GND(Trig A)	GND(Trig A)	GND(Trig A)	GND(Trig A)

Πίνακας 2.3. Οι συνδέσεις των σημάτων

2.3.5 Εξωτερικός συγχρονισμός

Όταν η κάμερα λειτουργεί με εξωτερικά σήματα, τα σήματα sync (HD,VD) συνδέονται στο DC IN/SYNC connector και αυτόματα ο τρόπος αλλάζει από το internal sync mode στο external sync mode.

- Οριζόντια και κατακόρυφα σήματα εισόδου

HD EIA: $f(H) = 15.734 \text{ kHz}$

CCIR: $f(H) = 15.625 \text{ kHz}$

VD EIA: $f(V) = 59.94 \text{ kHz}$

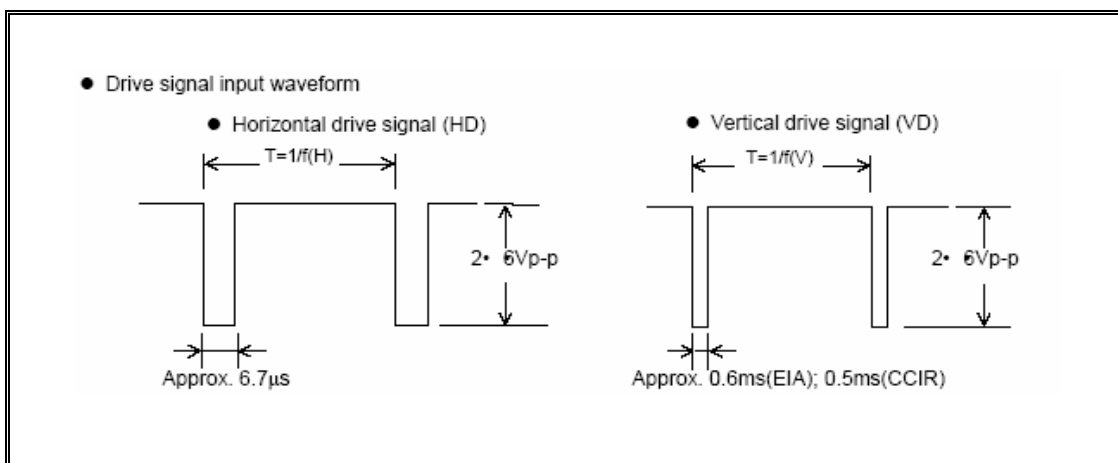
CCIR: $f(V) = 50 \text{ kHz}$

- Επίπεδα εισόδου

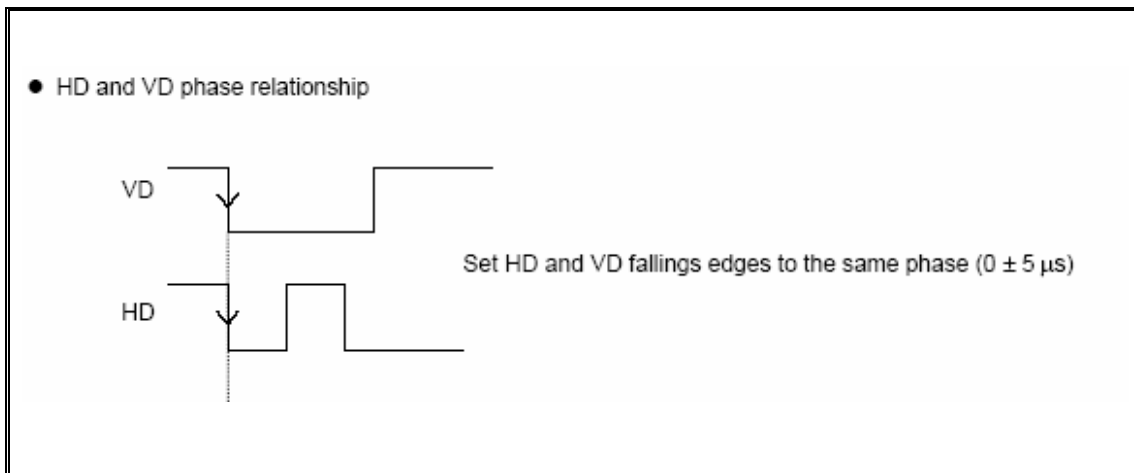
HD 2 to 6 Vp-p negative

VD 2 to 6 Vp-p negative

- Εμπέδωση εισόδου 1κ



Σχήμα 2.4. Το οριζόντιο και κατακόρυφο σήμα εισόδου



Σχήμα 2.5. Η σχέση φάσης των δύο σημάτων

2.3.6 Field on demand function

Η KP-M1A παρέχει την λειτουργία Field on demand με την οποία η ανακτώμενη εικόνα μπορεί να αποθηκευτεί με triggering σε μνήμη κτλ. Υπάρχουν τέσσερις τρόποι οι οποίοι μεταλλάσσονται εσωτερικά.

- 1) ONE trigger mode
- 2) TWO trigger mode
- 3) Fixed shutter mode: 1/1600s (EIA) / 1/1000s (CCIR)
- 4) External shutter control mode

2.3.6.1 Διαφορά μεταξύ λειτουργίας restart / reset (R/R) και Field-on-demand (FD)

Λειτουργία R/R: Η επιθυμητή εικόνα είναι μετά από ένα πεδίο λόγω του παλμού εισόδου.

Λειτουργία FD: Η επιθυμητή εικόνα είναι αμέσως μετά από τον παλμό του εισόδου.

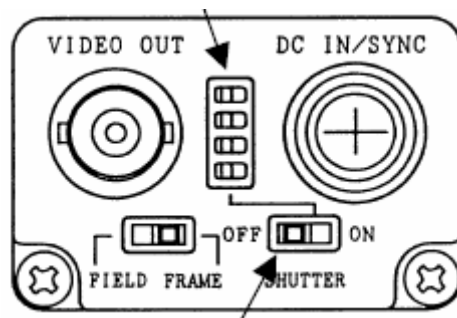
R.R		A: Image required for the pulse
Restart of sync signal only		
FD (Fixed shutter)		A: Image required for the pulse
Reset of		

sync signal and start of shutter		
--	--	--

Σχήμα 2.6. Οι λειτουργίες restart/reset και Field-on-demand

2.3.7 Ηλεκτρονικό κλείστρο


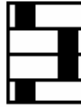

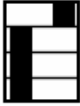

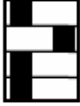
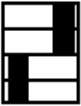
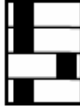
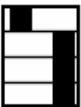
Shutter speed select switch



SHUTTER ON/OFF switch

Σχήμα 2.7. Το ηλεκτρονικό κλείστρο

2.3.7.1 Ταχύτητα κλείστρου

Setting position	Speed (second)	Relative sensitivity	Setting position	Speed (second)	Relative sensitivity
 (*1)	1/60(EIA) 1/50(CCIR)	1		1/500	1/8
				1/1000	1/16
	1/100(EIA) 1/120(CCIR)	1/1.5		1/2000	1/32
	1/125	1/2		1/4000	1/64
	1/250	1/4		1/10000	1/160

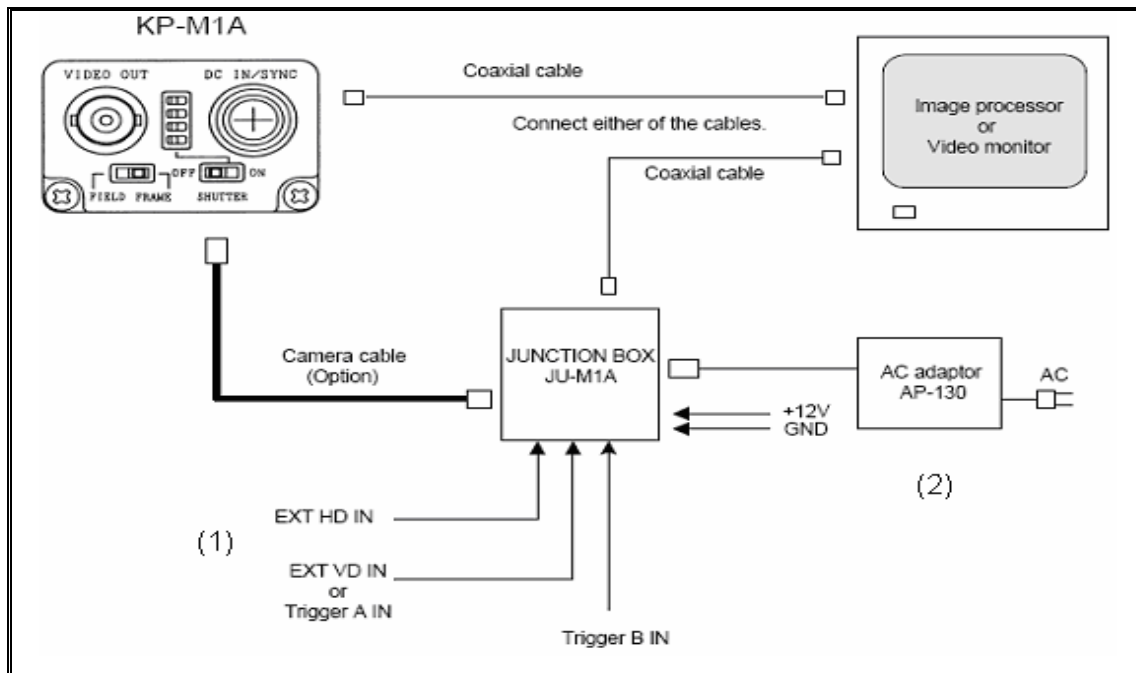
Πίνακας 2.4. Οι ταχύτητες κλείστρου

Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα κλείστρου, τόσο πιο καλά αποτελέσματα δίνει. Πρέπει να χρησιμοποιείται φώτισμός που δεν τρεμοπαίζει, επειδή το κλείστρο μπορεί να προκαλέσει τρεμούλιασμα κάποιου αντικειμένου στην ανακτώμενη εικόνα.

2.3.8 Συνδέσεις

Η κάμερα μπορεί να συνδεθεί με δύο τρόπους:

- Σύνδεση κατ'επιλογήν, σχήμα 2.10. (Ο τρόπος σύνδεσης που επιλέγηκε για το πείραμα της διπλωματικής εργασίας).

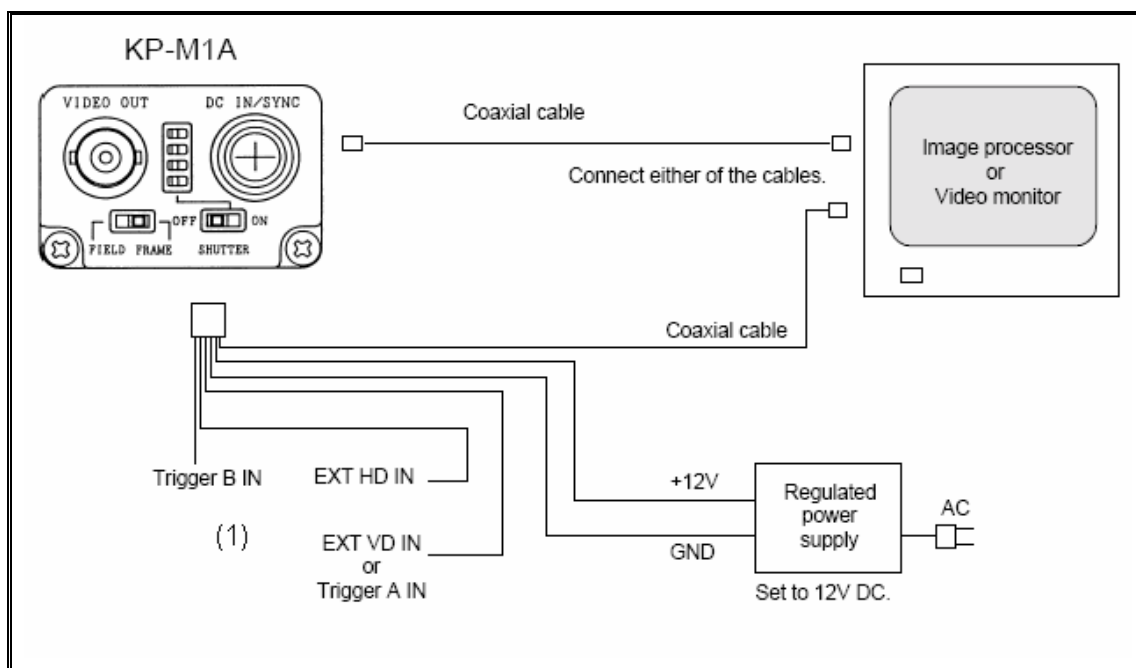


Σχήμα 2.8. Πρώτος τρόπος σύνδεσης της κάμερας

(1) Τα σήματα sync HD, VD συνδέονται όταν η κάμερα λειτουργεί με external sync drive.

(2) Όταν δεν χρησιμοποιείται το AC adaptor, η τροφοδοσία γίνεται από το Junction box.

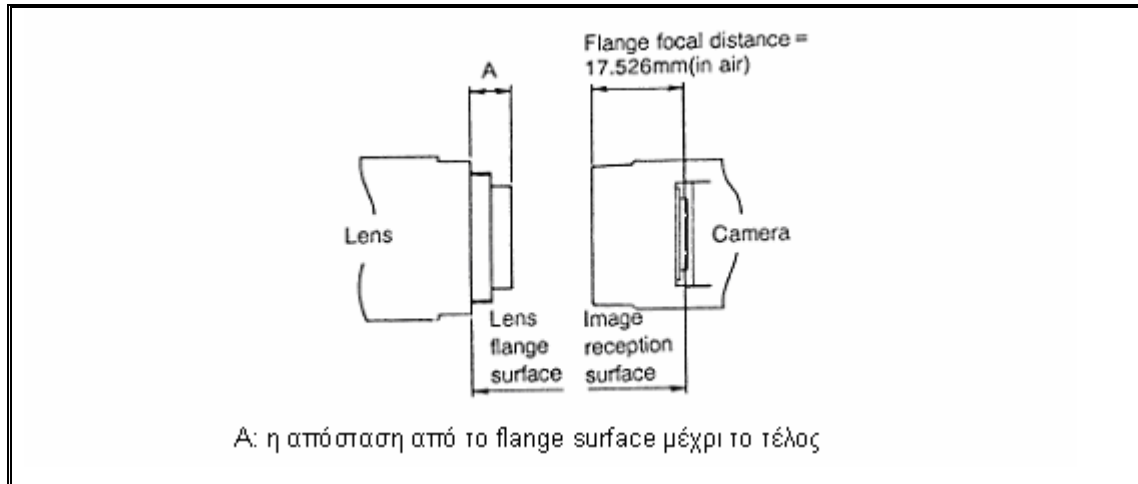
- Βασική σύνδεση, σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.9. Δεύτερος τρόπος σύνδεσης

- (1) Τα σήματα sync HD, VD συνδέονται όταν η κάμερα λειτουργεί με external sync drive.

2.3.9 Οπτικό σύστημα



Σχήμα 2.10 Το οπτικό σύστημα

1. Flange focal

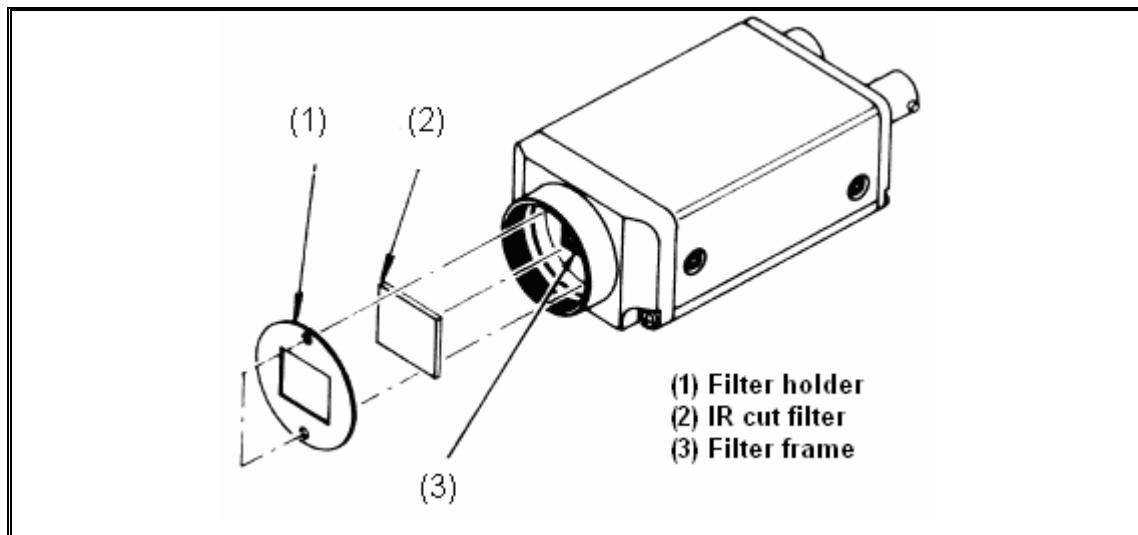
Η απόσταση του φακού από την κάμερα

Μέγεθος εικόνας: 2/3 inch

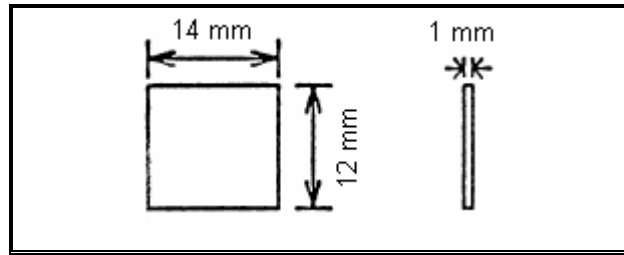
Flange focal distance: 17.526 mm

2. Optical filter

Η κάμερα υποστηρίζεται από IR cut filter



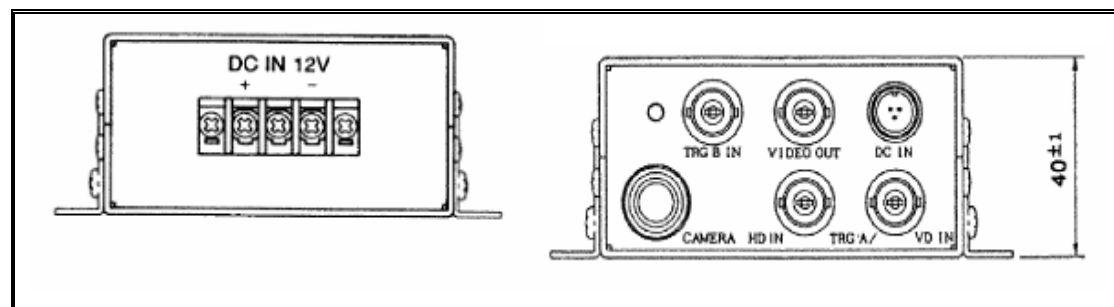
Σχήμα 2.11 Το οπτικό φίλτρο της κάμερας



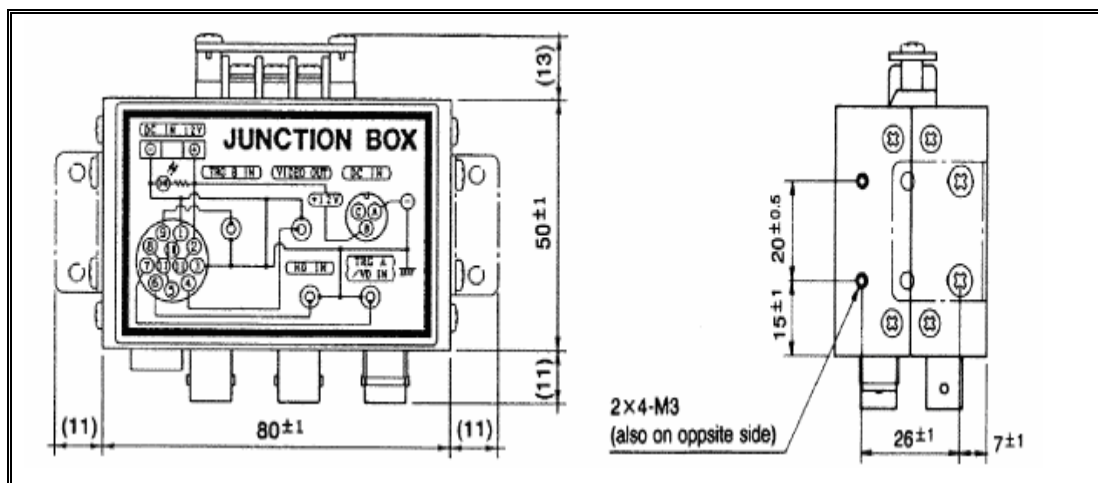
Σχήμα 2.12 Οι διαστάσεις του IR cut filter IRC650

2.3.10 Junction box JU-M1A

Στα παρκάτω σχήματα απεικονίζεται το κουτί συνδέσεων της κάμερας (JU-M1A)



(α)



(β)

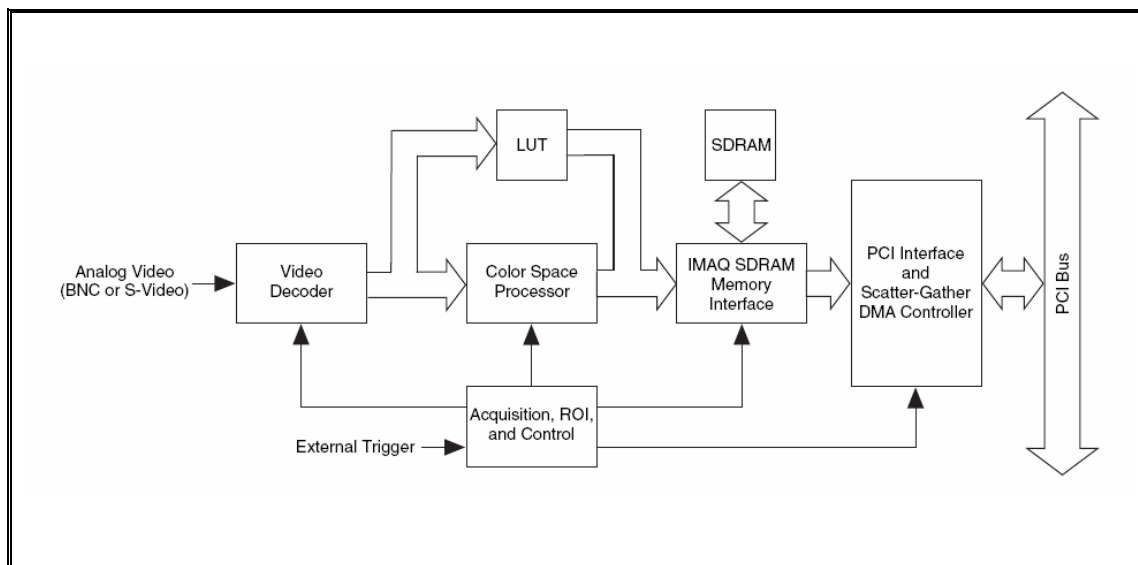
Σχήμα 2.13(α)-(β). Junction box

2.4 Κάρτα PCI / PXI – 1411

Η κάρτα αυτή υποστηρίζει πολλές αναλογικές μηχανές και δουλεύει με τη βοήθεια του πακέτου λογισμικού της National Instruments, NI-IMAQ. Έχει την δυνατότητα ανάκτησης εικόνας σε παραγματικό χρόνο καθώς επίσης και την άμεση αποθήκευση της ή μεταφορά της στην μνήμη του συστήματος. Διαθέτει αποκωδικοποιήτη αναλογικού video υψηλής ανάλυσης, ιδανικό για βιομηχανικές και επιστημονικές εφαρμογές. Το 1411 υποστηρίζει τα NTSC και PAL χρωματικά πρότυπα καθώς και τα μονοχρωματικά RS-170 και CCIR.

2.4.1 Περιγραφή του υλικού της κάρτας

Το σχήμα παρακάτω απεικονίζει τα λειτουργικά τμήματα της κάρτας PCI / PXI -1411.



Σχήμα 2.14. PCI / PXI -1411 block diagram

2.4.1.1 Ανάκτηση Εικόνας

Μπορεί να ανακτήσει αναλογικό έγχρωμο οπτικοακουστικό σήμα με πολλούς τρόπους και να την αποθηκεύσει στην δική της SDRAM μνήμη ή να μεταφέρει τις εικόνες απευθείας στην μνήμη του υπολογιστή.

2.4.1.2 Video Decoder

Υποστηρίζει τα NTSC και PAL οπτικοακουστικά πρότυπα σε composite ή S-video formats. Ο αποκωδικοποιητής μετατρέπει το εισερχόμενο σήμα σε RGB δεδομένα και τα περνάει στο color-space processor για περαιτέρω επεξεργασία.

Ο αποκωδικοποιητής επίσης επιτρέπει τον έλεγχο των αριθμητικών παραμέτρων για την βελτίωση της ανάκτησης. Ο χρήστης μπορεί ανεξάρτητα να διευθετήσει παράμετρους όπως, εύρος αναλογικής εισόδου, φωτεινότητα, αντίθεση, διαπύση ή συχνότητα εύρους.

Επιπρόσθετα ανακαλύπτει όλα τα σήματα χρόνου και συγχρονισμού που περικλείονται στο οπτικοακουστικό σήμα και ελέγχει αυτόματα τις συνθήκες ανάκτησης. Είναι σε θέση να ανακτήσει σωστά ακόμη και με κακά σήματα συγχρονισμού όπως για παράδειγμα από κασέτα εγγραφή (VCR).

2.4.1.3 Color- Space Processor and LUTs

Λαμβάνει τα RGB δεδομένα από τον αποκωδικοποιητή τα επεξεργάζεται και στην συνέχεια τα προωθεί στον memory controller. Η επεξεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Διευθέτηση των ανεξάρτητων κερδών των τριών σημάτων R, G, B.
- Εφαρμογή των τριών ανεξάρτητων look-up tables (LUTs) στα R, G, B, δεδομένα.
- Μετατροπή των RGB δεδομένων σε Hue, Saturation, Luminance, (HSL).
- Επεξεργασία στο Hue επίπεδο για τον καθαρισμό των pixels που το saturation πέφτει κάτω από την προκαθορισμένη τιμή του threshold. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται και post-decoding coring. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απαλλαγή κάποιου μέρους από την εικόνα που δεν περιέχει χρωματική πληροφορία και εισάγει θόρυβο στο Hue επίπεδο.

Το color-space processor μπορεί να εξάγει τα δεδομένα σε 32- bit RGB ή HSL format ή σε διαφορετικά 8- bit hue, saturation και luminance επίπεδα.

2.4.1.4 SDRAM

Η PCI / PXI – 1411 έχει 16 MB υψηλής ταχύτητας, σύγχρονη δυναμική μνήμη. Μπορεί να χρησιμοποιήσει την μνήμη σαν FIFO buffer, για να μεταδώσει τα δεδομένα της εικόνας ή να τα αποθηκεύσει και να τα μεταφέρει μετά στην μνήμη του συστήματος.

2.4.1.5 Trigger Control and Mapping Circuitry

Το trigger control παρακολουθεί και οδηγεί την εξωτερική γραμμή πυροδότησης η οποία μπορεί να διαμορφωθεί ούτως ώστε να ξεκινήσει την ανάκτηση στην ακμή ανύψωσης ή στην ακμή πτώσης.

2.4.1.6 Acquisition, Scaling, ROI

Το acquisition, scaling και ROI, ελέγχει το εισερχόμενο οπτικοακουστικό σήμα και οδηγεί τα pixels στην SDRAM μνήμη.

2.4.1.7 Scatter-Gather DMA Controllers

Η PCI / PXI -1411 χρησιμοποιεί τρεις ανεξάρτητους ελεγκτές (controllers) για την πρόσβαση στη μνήμη (DMA). Οι ελεγκτές αυτοί μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ των SDRAM buffers και του PCI bus. Ο κάθε ελεγκτής υποστηρίζει scatter – gather DMA, το οποίο τους επιτρέπει να αναδιοργανώνονται και έτσι η PCI/PXI-1411 μπορεί να πραγματοποιεί μεταφορές εικόνων άμεσα σε συνεχόμενους ή κατακερματισμένους καταχωρητές μνήμης.

2.4.1.8 Bus Master PCI interface

Η αναπαράσταση του PCI interface γίνεται με την εφαρμογή της National Instruments, PCI MITE. Το PCI interface μπορεί να μεταδώσει δεδομένα με μέγιστο ρυθμό 132 Mbytes/s όταν το bus είναι σε master mode. Το PCI/PXI-1411 μπορεί να δημιουργήσει 8-, 16- και 32-bit κύκλους μνήμης για διάβασμα και γράψιμο. Σε slave mode, το PCI \ PXI-1411 συμπεριφέρεται σαν αποκωδικοποιητής μέτριας ταχύτητας που δέχεται μαζί και τους κύκλους μνήμης και τους κύκλους διαμόρφωσης.

2.4.2 Συνθήκες εκκίνησης

Η κάρτα μπορεί να ξεκινήσει την ανάκτηση με πολλές συνθήκες:

- Software control μέσω του οποίου μπορεί να ανακτά συγκεκριμένο αριθμό περιοχών ή πλαισίων.
- Trigger control, ενεργοποιώντας μια εξωτερική γραμμή πυροδότησης. Η ανάκτηση μπορεί να γίνεται στην ακμή ανύψωσης ή πτώσης.
- Frame\field selection. Με μια interlaced camera και την κάρτα σε frame mode μπορεί να ανακτά σε odd ή even field.

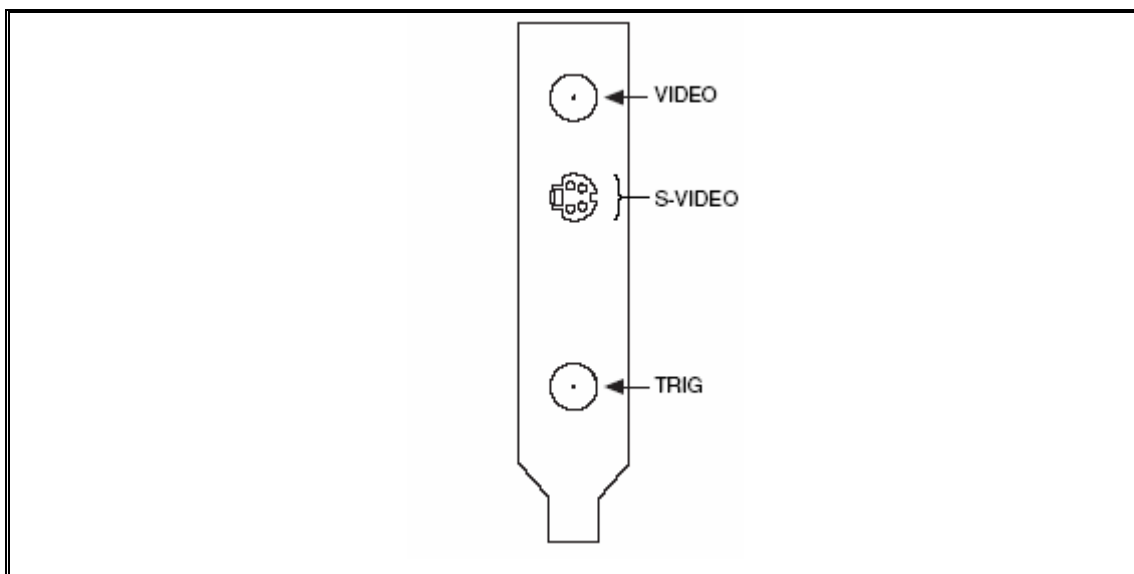
2.4.3 Acquisition window control

Παρέχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης διαφόρων παραμέτρων για τον έλεγχο του acquisition control. Οι παράμετροι είναι οι εξής:

- Acquisition window. Επιτρέπει τον καθορισμό των ξεχωριστών περιοχών ενεργών pixels και γραμμών μέσα στο εισερχόμενο οπτικοακουστικό σήμα. Η περιοχή ενεργού pixel επιλέγει το pixel εκκίνησης και τον αριθμό των pixels και η περιοχή ενεργής γραμμής τη γραμμή εκκίνησης και τον αριθμό των γραμμών, που πρέπει να ανακτηθούν.
- Region of interest (ROI). Η κάρτα χρησιμοποιεί ένα δεύτερο επίπεδο για την επιλογή των ενεργών περιοχών, που παρέχει τη δυνατότητα επιλογής οποιασδήποτε περιοχής. Όταν το επίπεδο είναι απενεργοποιημένο, ολόκληρο το παράθυρο ανάκτησης αποθηκεύεται στην μνήμη της κάρτας ή του συστήματος ενώ όταν ενεργοποιηθεί γίνεται η ανάκτηση μόνο της επιλεγμένης περιοχής της εικόνας.
- Scaling down. Η PCI / PXI – 1411 μπορεί να περιορίσει κλιμακωτά το πλαίσιο μειώνοντας, τον αριθμό των pixels σε κάθε γραμμή ή τον αριθμό των γραμμών σε κάθε πλαίσιο ή και τα δύο. Για την επιλογή του pixel ή της γραμμής μπορεί να διαλέγει, κάθε pixel / γραμμή, κάθε δεύτερο, κάθε τέταρτο ή κάθε όγδοο pixel / γραμμή. Η παράμετρος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με Region of interest (ROI).

2.4.4 Συνδέσεις

Η κάρτα χρησιμοποιεί ένα S – Video και δύο BNC συνδέσεις για τα δεδομένα εισόδου και το εξωτερικό σήμα πυροδότησης.



Σχήμα 3.14. Οι συνδέσεις της PCI / PXI – 1411

- Video: Composite Video. Το σήμα επιτρέπει σχετική single-ended (RSE) σύνδεση στο video channel.

- S-Video: Αποτελείται από δύο σήματα:

Y: Περιέχει τις πληροφορίες φωτεινότητας και συγχρονισμού του οπτικοακουστικού σήματος.

C: Περιέχει τις πληροφορίες χρώματος του οπτικοακουστικού σήματος.

- TRIG: Είναι μια TTL I/O line που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ξεκινήσει η ανάκτηση ή για τον έλεγχο των εξωτερικών γεγονότων.

- GND: Απευθείας σύνδεση σε ψηφιακή γείωση.

2.4.5 Προδιαγραφές

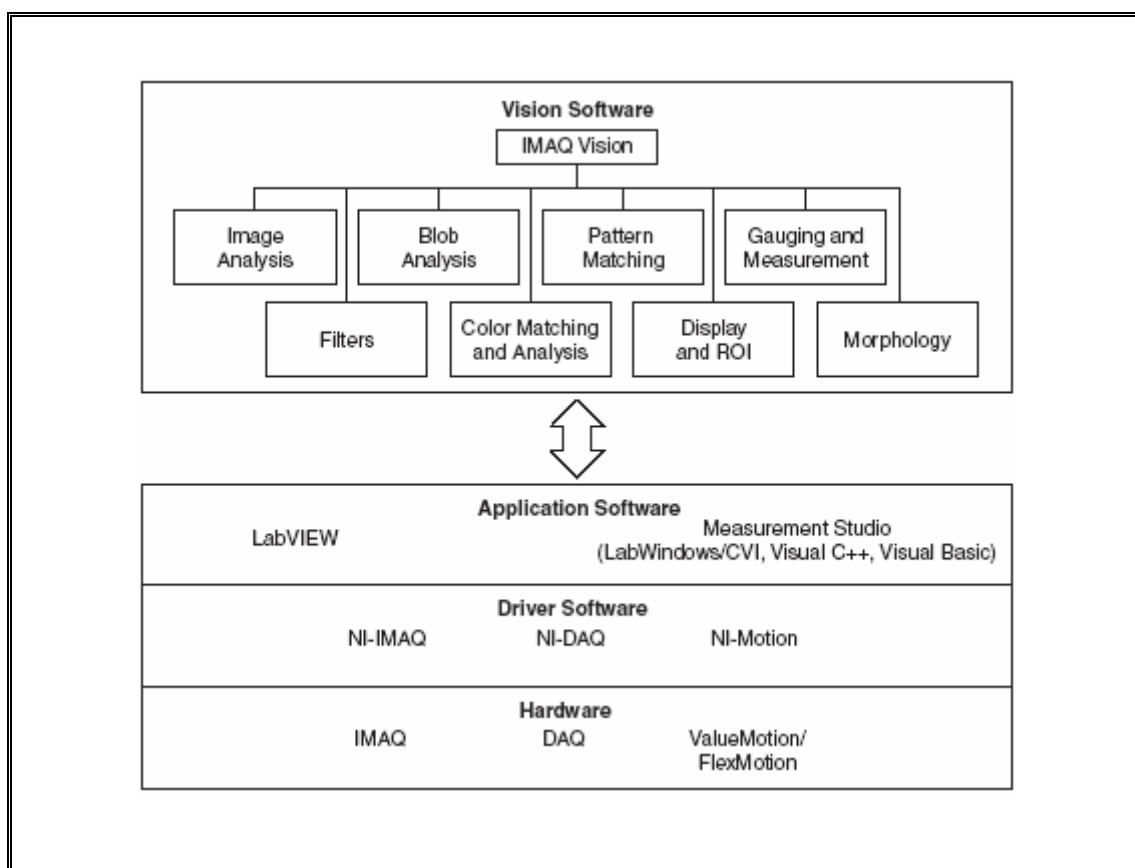
Formats Supported		
	Input formats	
	RS-170 / NTSC	29.97 frames/s
	CCIR/PAL	25 frames/s
	Output formats	
	RGB	32-bit
	HSL	32-bit
	R, G, B, H, S, or L	8-bit
	Pixel aspect ratio	Square pixel
Video Input		
	Quantity	1 (VIDEO)
	VIDEO	Composite video on BNC (RSE), Y/C on S-Video connector

		(RSE)
	Input impedance	75 $\Omega \pm 1\%$
	Input range (blank to white)	700 mV (calibrated) or 400 mV to 1.00 V (variable gain) (PCI-1411 revision C and later, PXI-1411 revision A and later)
	Frequency response (luminance)	
	Full range	12 MHz (–3 dB) typ (all filters off)
	Programmable	Decimation and lowpass filters
Accuracy		
	Absolute accuracy	
	Luma gain	$\pm 2.5\%$ of reading
	Chroma gain	$\pm 2.5\%$ of reading
	Temperature drift	<250 ppm/°C
A/D Conversion		
	Quantity	One 8-bit 2X oversampling for composite video Two 8-bit 2X oversampling for Y/C (S-Video)
	Dynamic range	46 dB typ
	Sampling Frequency	
	RS-170/NTSC	27.54 MHz (double rate of square pixel)
	CCIR/PAL	29.5 MHz (double rate of square pixel)
Color Decoding		
	Composite video	
	Luma path	Chroma trap filter and/or line comb
	Chroma path	Bandpass filter and/or line comb
Memory		
	Onboard memory	16 MB synchronous dynamic RAM
	LUTs	Three 256 x 8 (RGB only)
External Connections		
	Trigger sense	TTL
	Trigger level	Programmable (rising or falling)
PCI Interface		
	PCI initiator (master) capability	Supported
	PCI target (slave) capability	Supported
	Data path	32 bits
	Board voltage	5 V, 12 V, –12 V

	Board type 32-bit half-size card	
	Parity generation/checking, error reporting	Supported
	Target decode speed	Medium (1 clock)
	Target fast back-to-back capability	Supported
	Resource locking	Supported as a master and slave
	PCI interrupts	Interrupts passed on INTA# signal
	Base address registers	BAR0 (16 KB) BAR1 (64 KB)
	Expansion ROM	4 KB
	PCI master performance	
	Ideal	133 Mbytes/s
	Sustained	100 Mbytes/s
Power Requirements		
	Voltage	+5 V (1.00 A) +12 V (75 mA)
Physical		
	Dimensions	
	PCI-1411	10.7 by 17.5 cm (4.2 by 6.9 in.)
	PXI-1411	10 by 16 cm (3.9 by 6.3 in.)
	Weight	
	PCI-1411	0.136 kg (0.3 lb)
	PXI-1411	0.154 kg (0.34 lb)
Environment		
	Operating temperature	0–55 °C
	Storage temperature	–20–70 °C
	Relative humidity	5–90%, noncondensing
	MTBF	839,653 h at 30 °C
	Emissions	EN 55011:1991 Group 1 Class A at 10 m FCC Class A at 10 m
	Functional shock (PXI only)	

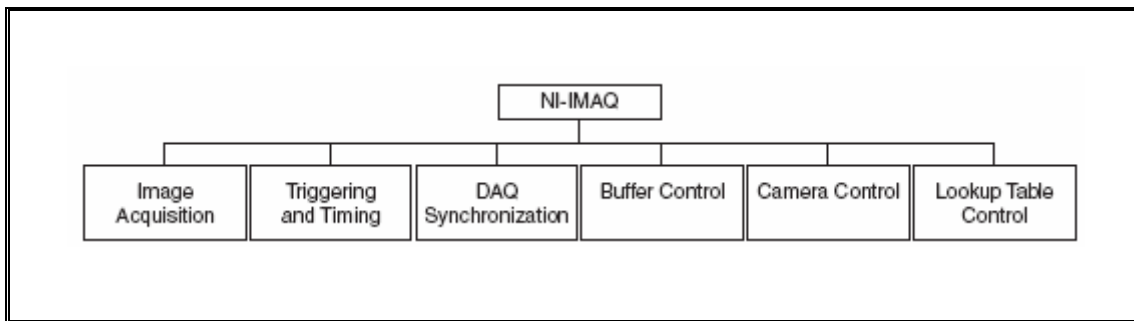
2.4.6 NI-IMAQ Driver Software

Χρησιμοποιώντας το NI-IMAQ (National Instruments Image Acquisition) driver, μπορεί να προγραμματιστεί η κάρτα για την ανάκτηση και αποθήκευση των εικόνων. Μπορεί να συνδυαστεί και με άλλα πακέτα λογισμικού της National Instruments για την πλήρη ανάκτηση και ανάλυση της εικόνας όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.



Σχήμα 2.15. Σχέση μεταξύ του προγραμματιστικού περιβάλλον, NI-IMAQ και συσκευής

Το NI-IMAQ δουλεύει με το LabVIEW και το LabWindows/CVI όπως και οι συμβατές γλώσσες προγραμματισμού. Έχει μεγάλη βιβλιοθήκη συναρτήσεων που καλούνται μέσα από το προγραμματιστικό περιβάλλον. Οι συναρτήσεις αυτές περιλαμβάνουν ρουτίνες για video configuration, image acquisition, memory buffer allocation, trigger control, board configuration όπως απεικονίζονται στο σχήμα πιο κάτω:



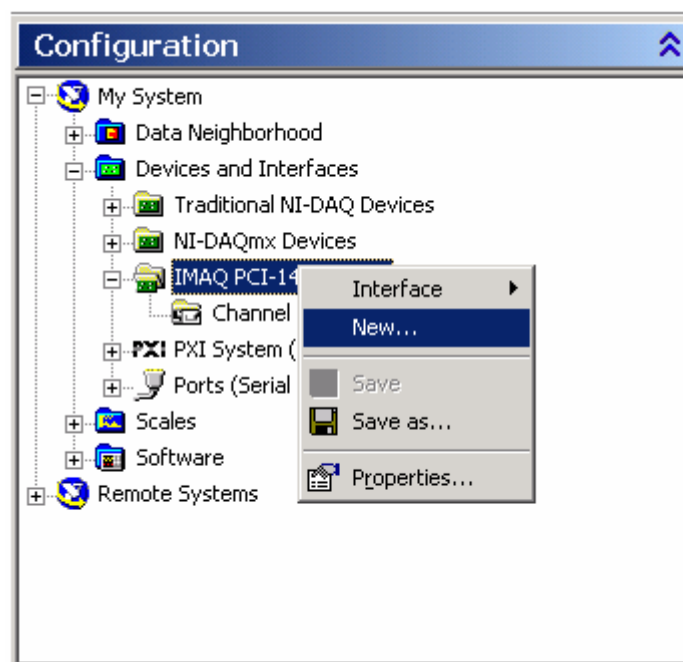
Σχήμα 2.16. Οι συναρτήσεις του NI-IMAQ

2.5 Δημιουργία συστήματος λήψης και ανάκτησης εικόνας

Για να ενεργοποιήσουμε το σύστημα για την λήψη και την ανάκτηση των εικόνων ακολουθήσαμε την πιο κάτω διαδικασία.

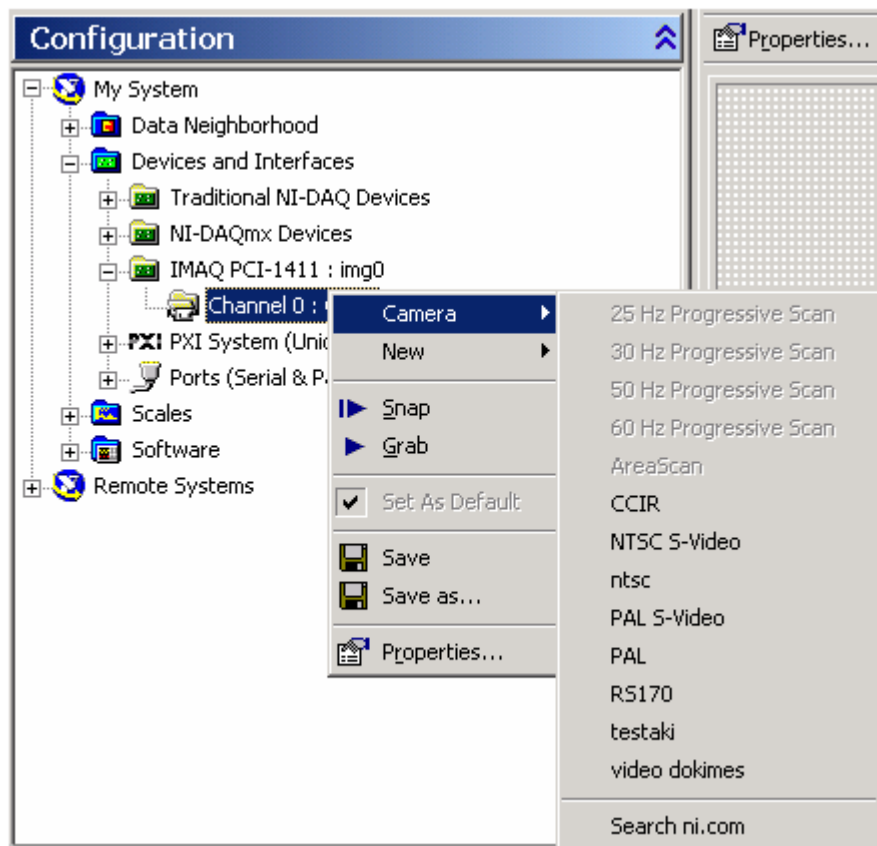
Συνδέσαμε την κάμερα με το junction box διαμέσου των θυρών video out (κάμερα) και video (junction box) και το junction box με την κάρτα με τις θύρες video out (junction box) και video (κάρτα). Ρυθμίσαμε την ταχύτητα κλείστρου της κάμερας στα 1/1000 speed/second. Τροφοδοτήσαμε το σύστημα μας με τάση 12 Volts και η κάμερα ξεκίνησε την λήψη.

Στην συνέχεια ανοίξαμε το Measurement & Automation Explorer (MAX) (εμφανίζει το υλικό και το λογισμικό της National Instruments που υπάρχει στον υπολογιστή) και φτάνουμε μια καινούργια εφαρμογή (img0) για την κάρτα PCI-1411, σχήμα 2.19.



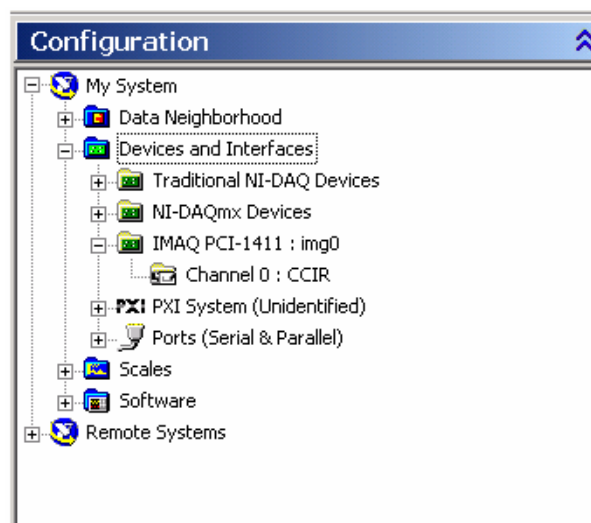
Σχήμα 2.17 Δημιουργία καινούργιας εφαρμογής για την κάρτα

Για την εφαρμογή που δημιουργήσαμε, δίνουμε το τύπο του αναλογικού οπτικοακουστικού σήματος (CCIR) που διαβάζει η κάρτα.



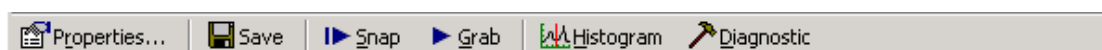
Σχήμα 2.18 Καθορισμός του οπτικοακουστικού σήματος εισόδου της κάρτας

Μετά τον καθορισμό του τύπου του σήματος η κάρτα είναι πλέον έτοιμη για την λήψη του σήματος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.21, ανοίγοντας το MAX, μπορούμε να επιλέξουμε την εφαρμογή της κάρτας που δημιουργήσαμε και να ενεργοποιήσουμε την κάρτα για την λήψη.



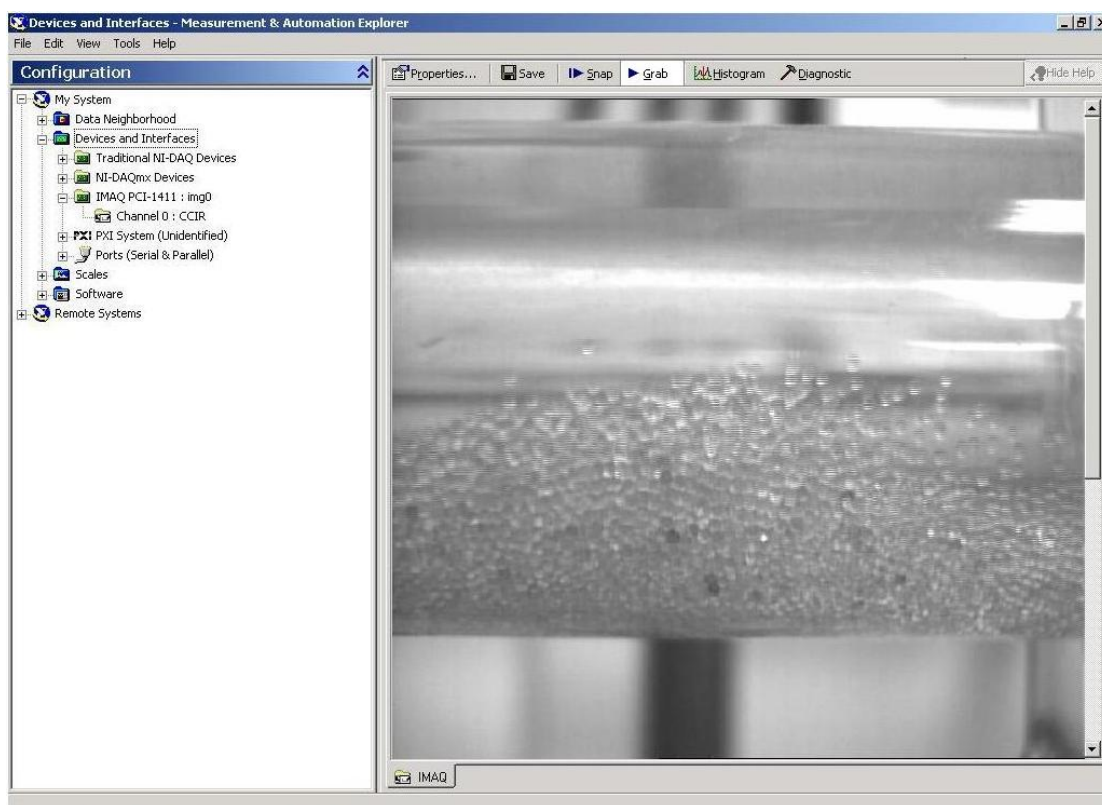
Σχήμα 2.19. Η εμφάνιση της εφαρμογής στο MAX

Για την εφαρμογή που δημιουργήσαμε έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε μια από τις επιλογές που φαίνονται στο σχήμα 2.22. Με την επιλογή properties μπορούμε να ρυθμίσουμε τα χαρακτηριστικά του οπτικοακουστικού σήματος καθώς και της απεικόνισης του στην οθόνη. Στην επιλογή αυτή αφήσαμε της ρυθμίσεις που μας δίνει το MAX εκτός από την αντίθεση των χρωμάτων, που την αυξήσαμε για να έχουμε καλύτερη απεικόνιση. Με την επιλογή Grab ξεκινάει η απεικόνιση του οπτικοακουστικού σήματος στην οθόνη και με την επιλογή Snap γίνεται η ανάκτηση μιας εικόνας από το συνεχόμενο οπτικοακουστικό σήμα. Αφού γίνει η ανάκτηση της εικόνας μπορεί να αποθηκευτεί στο σκληρό δίσκο με την επιλογή Save.



Σχήμα 2.20. Οι επιλογές που έχουμε για την εφαρμογή που δημιουργήσαμε

Με την επιλογή Grab ξεκίνησε η απεικόνιση του οπτικοακουστικού σήματος στην οθόνη επιβεβαιώνοντας μας την επιτυχία του συστήματος λήψης.



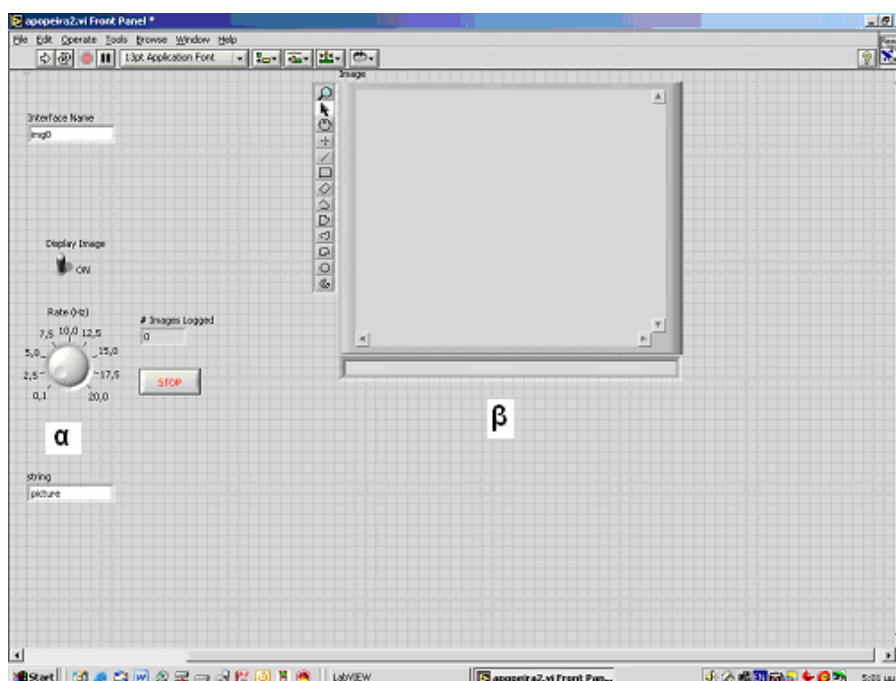
Σχήμα 2.21. Η απεικόνιση του λαμβανόμενου οπτικοακουστικού σήματος

Η επιλογή Snap δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τμηματοποίηση του οπτικοακουστικού σήματος σε συνεχόμενα στιγμιότυπα γιατί ανακτά ένα στιγμιότυπο κάθε φορά που ενεργοποιείται. Έτσι για να ολοκληρώσουμε το σύστημα λήψης και ανάκτησης εικόνας, προχωρήσαμε στην δημιουργία ενός λήπτη στιγμιότυπων – frame grabber για να τμηματοποιήσουμε το λαμβανόμενο σήμα σε στιγμιότυπα.

2.5.1 Frame grabber

Οι ανάγκες του συστήματος απαιτούσαν την δημιουργία frame grabber για την τμηματοποίηση του οπτικού σήματος σε συνεχόμενα frames για να γίνει η επεξεργασία. Έτσι με τη βοήθεια του Labview δημιουργήσαμε ένα frame grabber με δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας με την οποία θα γίνει η τμηματοποίηση. Διαβάζει το σήμα που περνάει από την κάρτα, το τμηματοποιεί και στην συνέχεια το αποθηκεύει κατευθείαν στο σκληρό δίσκο.

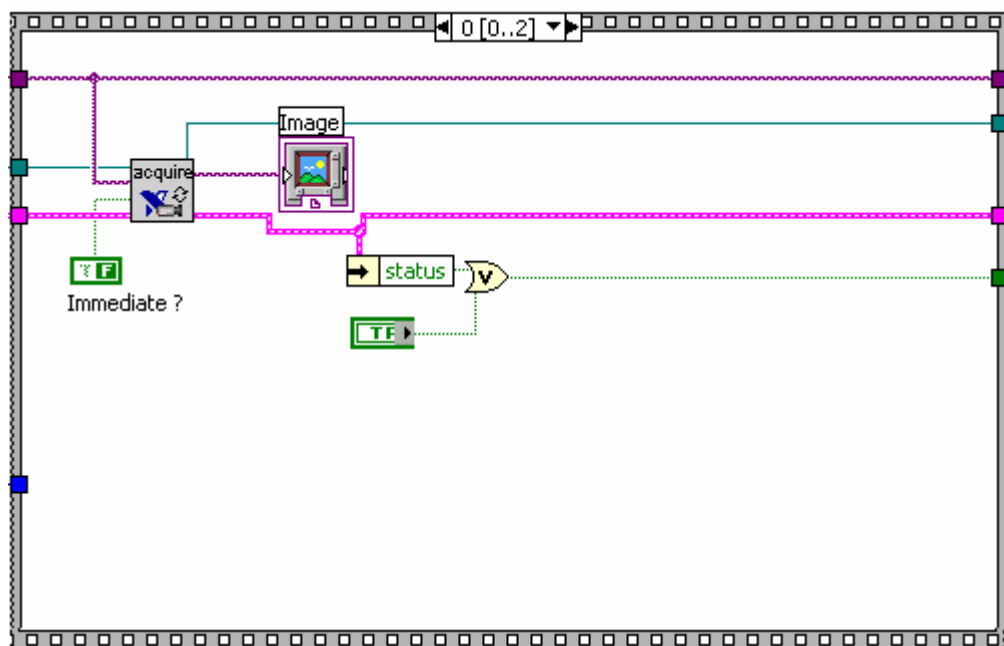
Το Front panel είναι η διεπιφάνεια χρήσης του frame grabber που κατασκευάσαμε με την βοήθεια δεικτών και ελέγχων που περιέχει το Labview. Αποτελείται από το ρυθμιστή συχνότητας και οθόνη παρουσίασης των εικόνων που ανακτούνται.



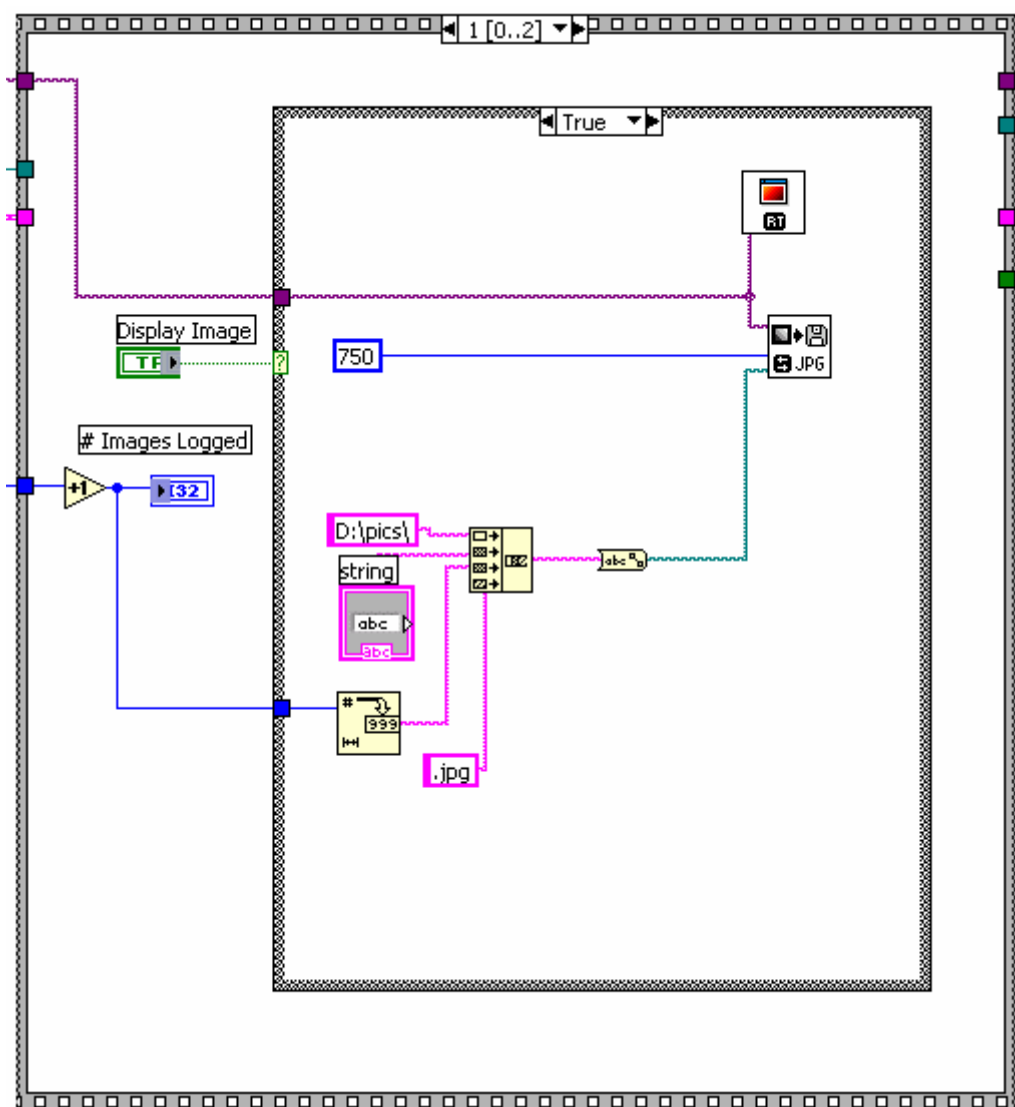
Σχήμα 2.22. Η διεπιφάνεια χρήσης, (α) ρυθμιστής συχνότητας, (β) οθόνη απεικόνισης των ανακτώμενων frames

Με την βοήθεια των γραφικών συναρτήσεων υλοποιήθηκε το block diagram που ελέγχει τα αντικείμενα του front panel. Αρχικά φορτώνει το διαμορφωμένο αρχείο NI-IMAQ και διαμορφώνει την συσκευή IMAQ για να παίρνει είσοδο από το κάρτα PCI-1411. Δημιουργεί ένα αντικείμενο τύπου εικόνας και αρχικοποιεί την ανάκτηση του αντικειμένου από το σήμα. Για την υλοποίηση της ανάκτησης χρησιμοποιήθηκε ένα while loop. Η διαδικασία της ανάκτησης γίνεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο γίνεται η ανάκτηση και η απεικόνιση της εικόνας στην οθόνη, στο δεύτερο η αποθήκευση της εικόνας στον σκληρό δίσκο και στο τρίτο γίνεται η ρύθμιση της συχνότητας ανάκτησης του επόμενου frame.

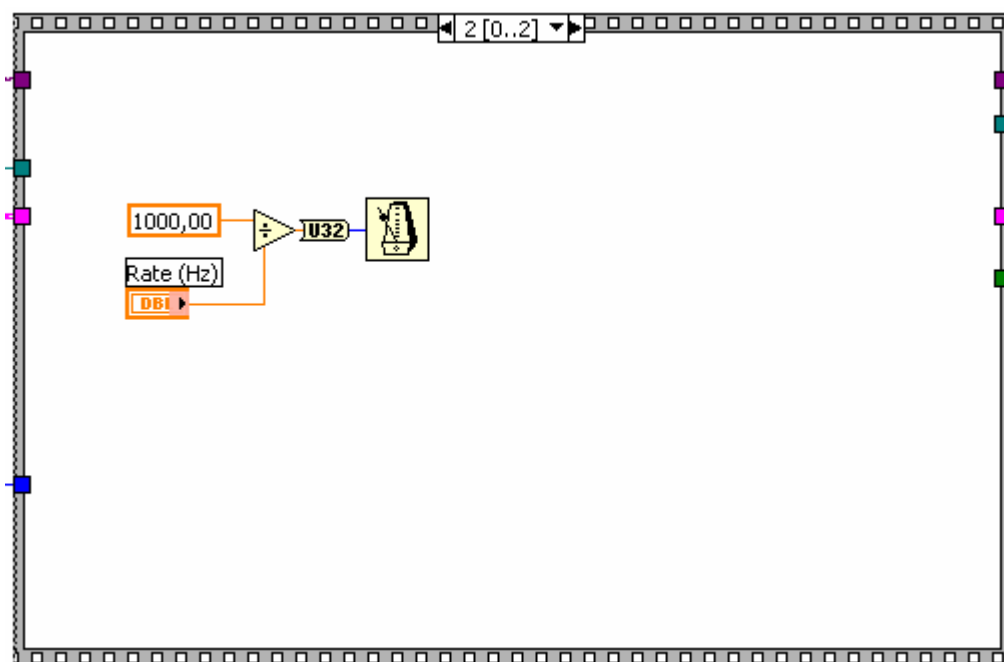
Τα τρία στάδια της ανάκτησης γίνονται με την βοήθεια ενός Stacked Sequence Structure. Τα στάδια απεικονίζονται παρακάτω:



Σχήμα 2.23. Ανάκτηση εικόνας και προβολή της στην οθόνη

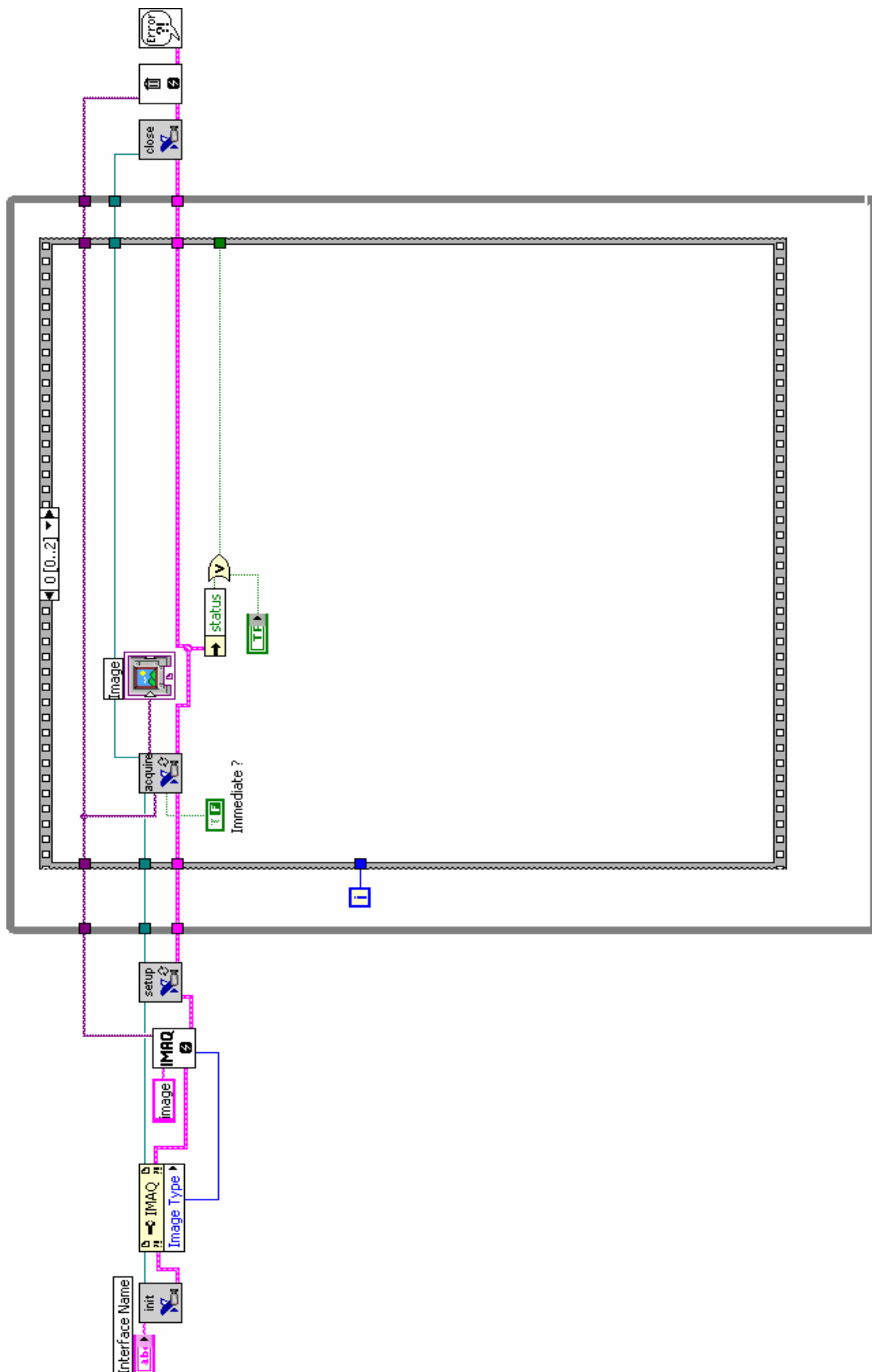


Σχήμα 2.24. Αποθήκευση της εικόνας στον σκληρό δίσκο



Σχήμα 2.25. Ρύθμιση της συχνότητας ανάκτησης της επόμενης εικόνας

Παρακάτω παρατίθεται το τελικό block diagram του frame grabber.



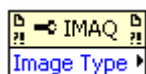
Σχήμα 2.26. Το block diagram του frame grabber

Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή των κυριότερων γραφικών συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του block diagram.



IMAQ Unit

Φορτώνει ένα διαμορφωμένο αρχείο NI-IMAQ και διαμορφώνει την IMAQ συσκευή.



Property Node

Διαβάζει τις ιδιότητες του αντικειμένου στο οποίο γίνεται η αναφορά και προσαρμόζεται στην τάξη του αντικειμένου.



Δημιουργεί μια εικόνα.



IMAQ Grab Setup

Ενεργοποιεί την ανάκτηση (Grab acquisition). Η συνάρτηση αυτή αντιπροσωπεύει μια επαναλαμβανόμενη ανάκτηση σε ένα buffer.



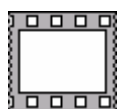
IMAQ Grab Acquire

Ανακτά μια εικόνα από το Grab acquisition. Η συνάρτηση αυτή επαναλαμβάνεται σε ένα buffer.



While loop

Επαναλαμβάνει το υποδιάγραμμα που βρίσκεται στο εσωτερικό της μέχρι να τελειώσει η συνθήκη ή η είσοδος της.



Stacked Sequence Structure

Αποτελείται από ένα ή περισσότερα υποδιαγράμματα ή frames που εκτελούνται διαδοχικά. Στην δομή αυτή μπορούν να προστεθούν ή να διαγραφούν frames ή ακόμα να δημιουργηθεί μια ακολουθία από χώρους για να περνούν δεδομένα μεταξύ των frames.



OR

Υπολογίζει την λογική πράξη OR μεταξύ των εισόδων. Οι είσοδοι πρέπει να είναι Boolean ή αριθμητικές τιμές. Εάν και οι δύο είσοδοι είναι False τότε επιστρέφει False, διαφορετικά επιστρέφει True.



Concatenate Strings

Συγκεντρώνει τις συμβολοσειρές που δέχεται στην είσοδο και τις δίνει σαν μια στην έξοδο.



Γράφει μια εικόνα σε JPEG μορφή.



IMAQ RT Video out

Δείχνει μια εικόνα στην οθόνη που βρίσκεται στο Labview RT system



Wait Until Next ms Multiple

Περιμένει μέχρι να γίνει η τιμή του χρονομέτρου (millisecond) πολλαπλάσιο του προκαθορισμένου πολλαπλάσιου.



To Unsigned Long Integer

Μετατρέπει ένα αριθμό σε 32-bit unsigned integer στο εύρος 0 έως $(2^{32})-1$.



IMAQ Close

Σταματάει την ανάκτηση εάν είναι σε εξέλιξη, αποδεσμεύει όλους τους πόρους που σχετίζονται με την ανάκτηση και κλείνει την προκαθορισμένη IMAQ συσκευή.



IMAQ Dispose

Καταστρέφει την εικόνα και ελευθερώνει χώρο στη μνήμη.



Simple Error Handler

Δείχνει πότε γίνεται κάποιο λάθος και δίνει την περιγραφή του.

2.5.2 Διαδικασία λήψης και ανάκτησης εικόνας

Μετά την ολοκλήρωση του frame grabber, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση εικόνων, ακολουθώντας τα πιο κάτω βήματα:

- Σύνδεση της κάμερας με την κάρτα μέσω του junction box.
- Τροφοδοσία κάμερας.
- Ενεργοποίηση της εφαρμογής που δημιουργήσαμε στο Measurement & Automation Explorer (MAX) για την κάρτα.
- Ρύθμιση των χαρακτηριστικών του λαμβανόμενου οπτικοακουστικού σήματος.
- Ενεργοποίηση του Grab και απεικόνιση του σήματος στην οθόνη, για επιβεβαίωση ότι το λαμβανόμενο σήμα φτάνει σωστά στον υπολογιστή.
- Ρύθμιση της συχνότητας δειγματοληψίας του frame grabber.
- Ενεργοποίηση του frame grabber.

Μετά την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του frame grabber τα λαμβανόμενα στιγμιότυπα είναι αποθηκευμένα στον σκληρό δίσκο στην θέση που δώσαμε κατά την δημιουργία του frame grabber.

3 Κεφάλαιο

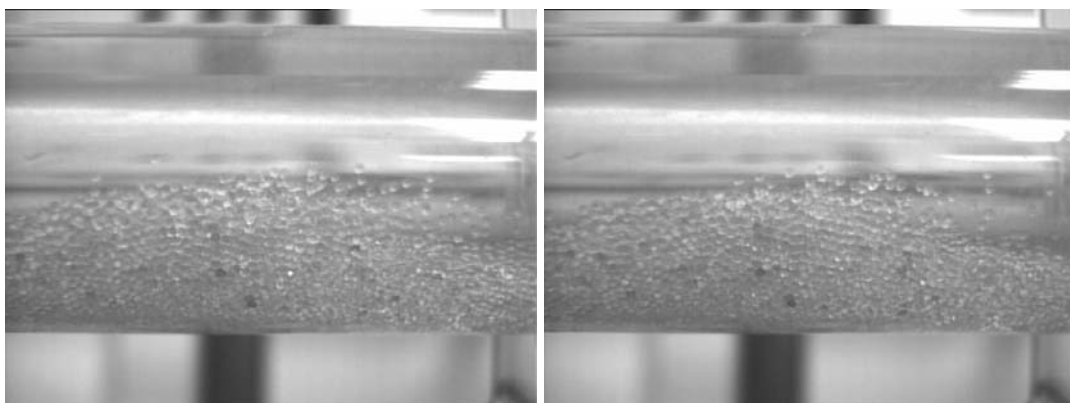
Επεξεργασία Εικόνας

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τη μέθοδο που ακολουθήσαμε για την ανάκτηση των δεδομένων και στην συνέχεια εξηγούμε το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθολογίας που χρησιμοποιήσαμε για την επεξεργασία των εικόνων.

3.1 Πειραματική διάταξη και ανάκτηση δεδομένων

Το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία λήφθηκαν από το σύστημα που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο και εξηγήθηκε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 2).

Πριν ξεκινήσει το πείραμα τοποθετήθηκε η κάμερα μπροστά στον διάφανο οριζόντιο σωλήνα του συστήματος ροής και συνδέθηκε με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω της κάρτας. Ρυθμίστηκε η φωτεινότητα του φακού καθώς και η ταχύτητα κλείστρου στα 1/1000. Η δεξαμενή του συστήματος ροής γέμισε με 350 λίτρα φιλτραρισμένο νερό και 7 Kg στερεά (γυάλινα σφαιρίδια 2 mm). Από την αντλία και μέσω του ρυθμιστή στροφών, δόθηκε στο νερό η παροχή των 75 lpm και ταυτόχρονα άρχισε η ανάδευση του μέσα στη δεξαμενή, από τον αναδευτήρα με ταχύτητα περιστροφής 350-360 rpm. Η κάμερα και ο λήπτης στιγμιότυπων (frame grabber) ενεργοποιήθηκαν και έτσι ξεκίνησε η ανάκτηση στιγμιότυπων (frames) και στην συνέχεια η αποθήκευσή τους στον σκληρό δίσκο.

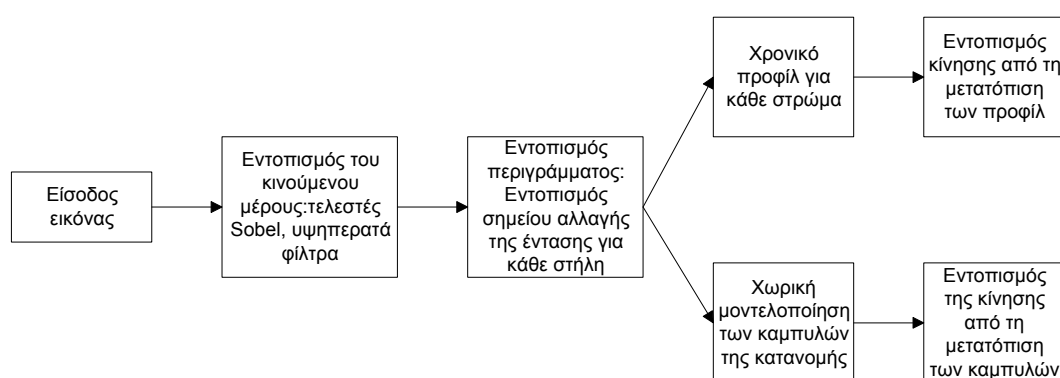


Εικόνα 3.1. Δύο συνεχόμενα στιγμιότυπα

Τα στιγμιότυπα-εικόνες, απεικονίζουν την κίνηση των “συσσωμάτων” που παρατηρείται μεταξύ των μορφών ροής κινούμενου στρώματος και της ροής τριών στρωμάτων. Τα συσώματα κινούνται με κίνηση μορφής ερπύστριας δημιουργώντας συγκεκριμένη και επαναλήψιμη μορφή ροής. Στις εικόνες διακρίνονται τρία στρώματα, το στρώμα υγρού, χωρίς σχεδόν καθόλου στερεά, ένα λεπτό στρώμα στερεών που κινείται με μικρή σχετική ταχύτητα και ένα μεγαλύτερο στρώμα στερεών που παραμένει ακίνητο για μικρό χρονικό διάστημα έως ότου μετακινηθεί ολόκληρο το συσσωμάτωμα. Το ύψος του κυμαίνεται μεταξύ από 3-4 cm ενώ το μήκος του κυμαίνεται μεταξύ 30-50 cm.

3.2 Ανάλυση εικόνας

Αναπτύχθηκε μεθοδολογία ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, βήματα της οποίας φαίνονται στο σχήμα 3.1, για τον εντοπισμό των ορίων του στατικού και του κινούμενου μέρους της εικόνας του συσώματος, εύρεση του περιγράμματος των διαφόρων στρωμάτων, προσδιορισμός των καμπυλών του στατικού και κινούμενου στρώματος, εύρεση του πάχους των δύο στρωμάτων, αποτύπωση της εξέλιξης σε χωροχρονική εικόνα και ο προσδιορισμός της ταχύτητας του κινούμενου στρώματος με την παραμετροποίηση της εξωτερικής καμπύλης.



Σχήμα 3.1. Τα βήματα της επεξεργασίας

Στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε το θεωρητικό υπόβαθρο με σκοπό την κατανόηση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε βήμα της επεξεργασίας.

3.3 Φιλτράρισμα εικόνας

Η επεξεργασία ξεκίνησε με φιλτράρισμα της εικόνας για τον εντοπισμό των στρωμάτων. Το φιλτράρισμα είναι μια τεχνική για τροποποίηση ή βελτίωση της εικόνας. Για παράδειγμα μπορούμε να φιλτράρουμε μια εικόνα για να τονίσουμε ή να αφαιρέσουμε κάποια χαρακτηριστικά της.

3.3.1 Επεξεργασία της εικόνας με Φίλτρα

Το φιλτράρισμα στο πεδίο της συχνότητας γίνεται ως εξής: υπολογίζουμε τον μετασχηματισμό Fourier της εικόνας, πολλαπλασιάζουμε το αποτέλεσμα με το φίλτρο και στην συνέχεια παίρνουμε τον αντίστροφο του μετασχηματισμού για να πάρουμε την επεξεργασμένη εικόνα.

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) \quad (1)$$

όπου $F(u, v)$ είναι ο μετασχηματισμός Fourier της εικόνας που θα φιλτραριστεί και $H(u, v)$ η συνάρτηση μεταφοράς που παράγει την $G(u, v)$ ενισχύοντας ή αδυνατίζοντας τις περιοχές υψηλής συχνότητας. Αντίστοιχα, με την βοήθεια της θεωρίας της συνέλιξης η πιο πάνω εξίσωση μπορεί να μεταφερθεί στο επίπεδο του χώρου ως:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) \quad (2)$$

όπου $h(x, y)$ είναι ο αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης μεταφοράς $H(u, v)$ του φίλτρου και $f(x, y)$ η εικόνα.

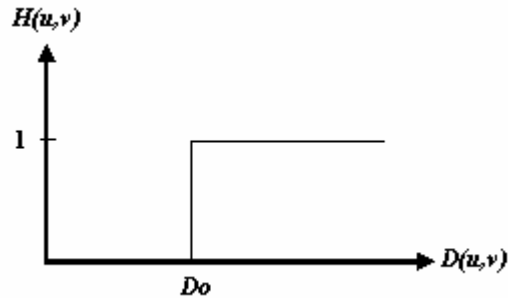
3.3.1.1 Υψηλοπερατά φίλτρα

Οι ακμές και άλλες απότομες αλλαγές στα επίπεδα του γκρί συνδέονται με τις περιοχές υψηλής συχνότητας, έτσι με το υψηλοπερατό φιλτράρισμα στο πεδίο της συχνότητας μπορούμε να πετύχουμε ενίσχυση των ακμών αδυνατίζοντας τις περιοχές χαμηλής συχνότητας χωρίς να επηρεαστεί η πληροφορία των περιοχών υψηλής συχνότητας.

Ένα δισδιάστατο ιδανικό υψηλοπερατό φίλτρο έχει συνάρτηση μεταφοράς που ικανοποιεί την πιο κάτω σχέση:

$$H(u,v) = \begin{cases} 0 & \text{για } D(u,v) \leq D_0 \\ 1 & \text{για } D(u,v) > D_0 \end{cases}$$

όπου $D(u,v) = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$ η απόσταση του στοιχείου (u,v) από το κέντρο του επιπέδου της συχνότητας και D_0 η απόσταση αποκοπής.



Σχήμα 3.2.

Στην πράξη πιο συχνά χρησιμοποιούνται μικρές χωρικές μάσκες και όχι ο μετασχηματισμός Fourier γιατί είναι πιο απλές στην εφαρμογή τους και δίνουν πιο γρήγορα αποτελέσματα. Σε αυτή την περίπτωση η τιμή του pixel στην εικόνα εξόδου καθορίζεται από την εφαρμογή κάποιου αλγόριθμου στις τιμές των pixels που γειτονεύουν με το συγκεκριμένο pixel στην εικόνα εισόδου. Στο γραμμικό φιλτράρισμα το pixel εξόδου είναι γραμμικός συνδυασμός των τιμών των pixels που γειτονεύουν με το pixel εισόδου. Άσχετα από τον τύπο του φίλτρου (χαμηλοπερατό, ευρέας ζώνης, υψηλοπερατό) το αποτέλεσμα είναι το άθροισμα των γινόμενων μεταξύ των συντελεστών της μάσκας και των εντάσεων των pixels που είναι κάτω από την μάσκα σε συγκεκριμένη θέση στην εικόνα. Στο σχήμα παρακάτω απεικονίζεται περίπτωση της μάσκας 3x3. Εάν θέσουμε τα επίπεδα του γκρί των pixels που βρίσκονται κάτω από την μάσκα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση σαν $z_1, z_2 \dots z_9$, η έξοδος της γραμμικής μάσκας είναι $R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9$.

$$\begin{pmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \\ w_4 & w_5 & w_6 \\ w_7 & w_8 & w_9 \end{pmatrix}$$

Σχήμα 3.3. Μάσκα 3x3 με αυθαίρετους συντελεστές

Η εικόνα εξόδου που προκύπτει από την συνέλιξη της πιο πάνω μάσκας w με την εικόνα f δίνεται από τον τύπο:

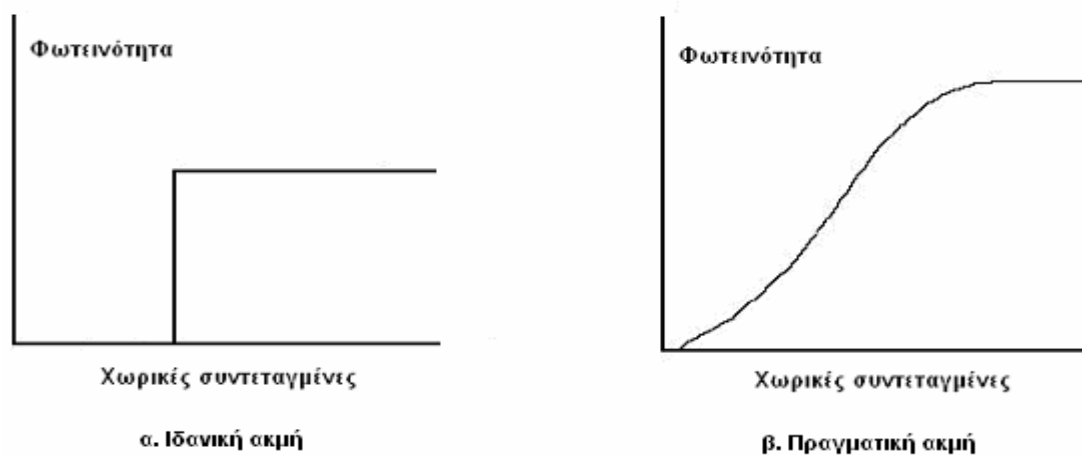
$$g(i, j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 w(k, l) f(i-k, j-l) \quad (3)$$

3.4 Ανίχνευση ακμών

Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν, οι ακμές σε μια εικόνα συνδέονται με τις περιοχές υψηλής συχνότητας. Για την ανίχνευση ακμών σε εικόνες χρησιμοποιούνται διάφοροι τελεστές ανίχνευσης. Πολλοί από αυτούς εφαρμόζονται με μάσκες συνέλιξης στηριζόμενες σε διαφορικές εξισώσεις. Οι διαφορικές εξισώσεις για την ανίχνευση ακμών χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των αλλαγών χρώματος ή φωτεινότητας των pixels και την διεύθυνση των αλλαγών αυτών. Εάν υπάρχει απότομη αλλαγή φωτεινότητας μέσα σε ένα μικρό διάστημα της εικόνας, σημαίνει ότι υπάρχει κάποια ακμή.

Πολλοί από αυτούς τους τελεστές επηρεάζονται αρνητικά από τον θόρυβο που πιθανόν να υπάρχει στην εικόνα. Έτσι πριν την εφαρμογή των τελεστών πρέπει να γίνει φιλτράρισμα της εικόνας.

Η βασική ιδέα των τελεστών ανίχνευσης στηρίζεται στην σύγκριση των τιμών της φωτεινότητας των pixels με τα γειτονικά τους. Εάν για παράδειγμα η τιμή του pixel είναι η ίδια ή πολύ κοντά με την τιμή των γειτονικών του τότε με μεγάλη πιθανότητα το pixel αυτό δεν ανήκει σε ακμή. Αν υπάρχει διαφορά μεταξύ του pixel και των γειτονικών του τότε πιθανόν να ανήκει σε ακμή. Μια ιδανική ακμή εμφανίζεται με μια απότομη αλλαγή στο επίπεδο του γκρί. Στην πράξη όμως δεν εμφανίζονται απότομες αλλά πιο ομαλές αλλαγές. Στο πιο κάτω σχήμα απεικονίζεται μια ιδανική περίπτωση αλλαγών στο επίπεδο του γκρί λόγω ακμής και η αντίστοιχη κατάσταση στη πράξη.



Σχήμα 3.4. Ιδανική και πραγματική ακμή

Στην συνέχεια εξηγούνται κάποιοι τελεστές ακμών. Για τις ανάγκες της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος οριζόντιας ανίχνευσης ακμών με μάσκα Sobel και κατακόρυφης με μάσκα Kirsch.

3.4.1 Τελεστές Sobel

Οι μάσκες ανίχνευσης ακμών Sobel ανιχνεύουν ξεχωριστά τις οριζόντιες και κατακόρυφες ακμές και στην συνέχεια συνδυάζονται οι κατευθυντήριες ακμές. Οι συντελεστές των μάσκων Sobel 3x3 είναι:

$$\text{Οριζόντια μάσκα} = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{Κατακόρυφη μάσκα} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Οι δύο μάσκες συνελίσσονται με την εικόνα ξεχωριστά. Το πλάτος και η διεύθυνση μιας ακμής υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της συνέλιξης των δύο μάσκων. Αυτά είναι :

$$S = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \quad \text{και} \quad a = \tan^{-1} \left[\frac{S_1}{S_2} \right]$$

3.4.2 Τελεστές Kirsch

Οι μάσκες ανίχνευσης ακμών Kirsch μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό ακμών σε διάφορες κατευθύνσεις. Οι μάσκες 3x3 είναι:

$$\text{Μάσκα1} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{για οριζόντια ανίχνευση ακμών (0°)}$$

$$\text{Μάσκα2} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad \text{για κατακόρυφη ανίχνευση ακμών (90°)}$$

$$\text{Μάσκα3} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \text{ για διαγώνια ανίχνευση ακμών (45°)}$$

$$\text{Μάσκα4} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{pmatrix} \text{ για διαγώνια ανίχνευση ακμών (135°)}$$

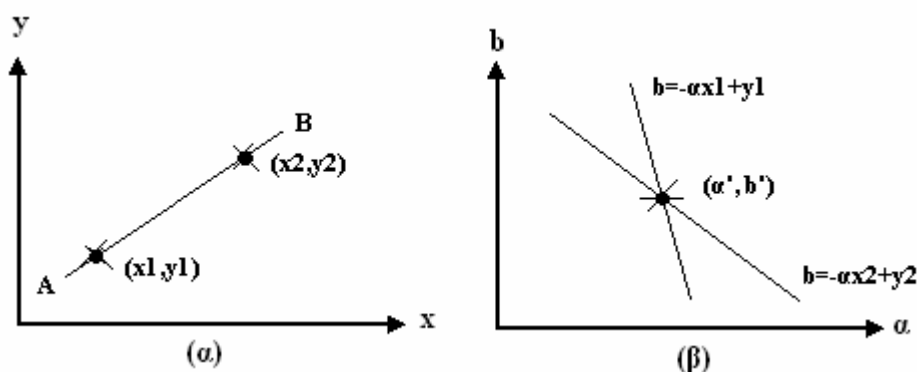
Η ανίχνευση των ακμών μπορεί να αναπαρασταθεί με τον ακόλουθο τρόπο. Όλες οι μάσκες Kirsch εφαρμόζονται σε κάθε pixel της εικόνας. Η μάσκα που παράγει τη μεγαλύτερη τιμή εξόδου είναι αυτή που δίνει και την πληροφορία για το κάθε pixel της εικόνας.

3.5 Μετασχηματισμός Hough

Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιεί παραμετρική περιγραφή απλών γεωμετρικών σχημάτων (καμπυλών) για να ελαττώσει την υπολογιστική πολυπλοκότητα της αναζήτησης τους σε μια δυαδική εικόνα. Για την περίπτωση ευθείας γραμμής η παραμετρική περιγραφή της είναι μια γραμμική εξίσωση :

$$y = ax + b \quad (4)$$

Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύεται από ένα σημείο (a', b') στον παραμετρικό χώρο (a, b) . Μια ευθεία γραμμή διέρχεται από δύο σημεία (x_1, y_1) και (x_2, y_2) στο επίπεδο (x, y) της εικόνας. Κάθε γραμμή που διέρχεται από το σημείο (x_1, y_1) αντιστοιχεί στη γραμμή $b = -ax_1 + y_1$ στον παραμετρικό χώρο. Ομοίως, κάθε γραμμή που διέρχεται από (x_2, y_2) αντιστοιχεί στην γραμμή $b = -ax_2 + y_2$ στο χώρο (a, b) . Η τομή (a', b') των δύο αυτών γραμμών καθορίζει μοναδικά την ευθεία γραμμή που διέρχεται από τα $(x_i, y_i), i = 1, 2$.



Σχήμα 3.5. (α) Ευθεία γραμμή στο επίπεδο της εικόνας, (β) Η αναπαράσταση της στον παραμετρικό χώρο.

Μια απλή διαδικασία για ανίχνευση ευθείας γραμμής είναι η ακόλουθη. Ο παραμετρικός χώρος διακριτοποιείται και σχηματίζεται μια παραμετρική μήτρα $P(a,b)$, $a_1 \leq a \leq a_K$, $b_1 \leq b \leq b_L$. Για κάθε στίγμα (x_i, y_i) που κατέχει τιμή 1 στην δυαδική έξοδο του ανιχνευτή ακμών σχηματίζεται η εξίσωση $b = -ax_i + y_i$. Για κάθε τιμή της παραμέτρου a , $a_1 \leq a \leq a_K$, υπολογίζεται η αντίστοιχη παράμετρος b και το κατάλληλο στοιχείο της παραμετρικής μήτρας $P(a,b)$ αυξάνεται κατά 1:

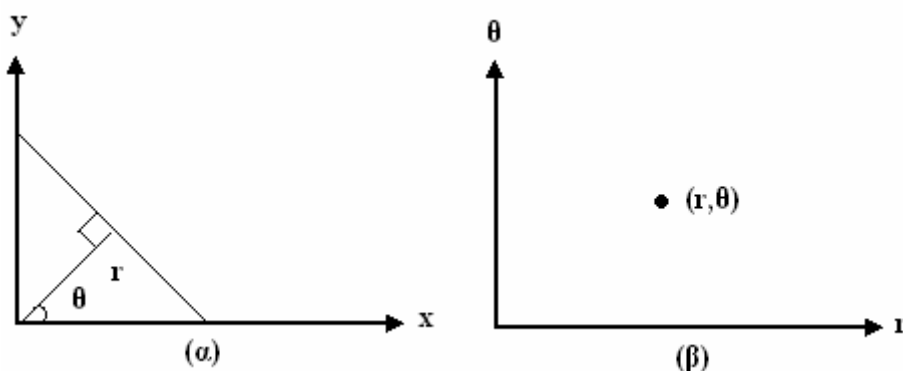
$$P(a,b) = P(a,b) + 1 \quad (5)$$

Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να σαρωθεί όλη η εικόνα. Στο τέλος της διαδικασίας, κάθε στοιχείο της παραμετρικής μήτρας $P(a,b)$ δείχνει τον αριθμό των στιγμάτων της δυαδικής εξόδου του ανιχνευτή ακμών που ικανοποιούν την εξίσωση $y = ax + b$. Αν αυτός ο αριθμός είναι πάνω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι τότε ορίζεται μια γραμμή της μορφής $y = ax + b$.

Το παραμετρικό μοντέλο $y = ax + b$ έχει κάποιες δυσκολίες στην παράσταση των κατακόρυφων ευθειών γραμμών, επειδή η παράμετρος a πρέπει να τείνει στο άπειρο. Έτσι χρησιμοποιείται η πολική παράσταση μιας ευθείας γραμμής:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (6)$$

που περιγράφει μια γραμμή με προσανατολισμό θ σε απόσταση r από την αρχή των αξόνων.



Σχήμα 3.6. Πολική αναπαράσταση ευθείας γραμμής

Μια γραμμή που διέρχεται από το σημείο (x_1, y_1) παριστά μια ημιτονοειδή καμπύλη $r = x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta$ στον παραμετρικό χώρο (r, θ) . Τα συγγραμμικά σημεία (x_i, y_i) στο χώρο της δυαδικής εικόνας αντιστοιχούν στην τομή ημιτονοειδών στον παραμετρικό χώρο. Συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αλγόριθμος παραπλήσιος με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε για την προηγούμενη περίπτωση της ευθείας σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Το εύρος των προς χρήση παραμέτρων (r, θ) για μια εικόνα δυαδική εικόνα $N_1 \times N_2$ δίνεται από τις σχέσεις:

$$-\sqrt{N_1^2 + N_2^2} \leq r \leq \sqrt{N_1^2 + N_2^2}$$

$$-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$$

3.6 Μορφολογία

Λόγω των φαινομένων γράμμωσης που παρατηρούνται στην οθόνη και καταγράφονται στην ψηφιακή εικόνα εφαρμόστηκε μαθηματική μορφολογία για την εξάλειψή τους. Η μαθηματική μορφολογία είναι πολύ σημαντικό εργαλείο για την εξαγωγή στοιχείων της εικόνας που είναι χρήσιμα για την αναπαράσταση και περιγραφή των σχημάτων περιοχών, όπως για παράδειγμα τα όρια, ο σκελετός και το κυρτό περίγραμμα. Ενδιαφέρων είναι επίσης οι μορφολογικές τεχνικές για προεπεξεργασία όπως είναι το μορφολογικό φιλτράρισμα, thinning και pruning.

Η μαθηματική μορφολογία προσφέρει μια ενιαία και αποτελεσματική μέθοδο επίλυσης σε πολλά προβλήματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας. Τα σύνολα στην μαθηματική μορφολογία αναπαριστούν τα σχήματα των αντικειμένων σε μια εικόνα. Για παράδειγμα ένα σύνολο από μαύρα pixels σε μια δυαδική εικόνα είναι η πλήρης περιγραφή της εικόνας. Σε μια δυαδική εικόνα τα σύνολα είναι μέλη ενός δισδιάστατου χώρου ακεραίων Z^2 , όπου κάθε στοιχείο είναι ένα δισδιάστατο διάνυσμα με συντεταγμένες τις συντεταγμένες (x, y) του μαύρου pixel στην εικόνα. Οι gray-scale ψηφιακές εικόνες μπορούν να παρασταθούν σαν σύνολα με στοιχεία στο χώρο Z^3 . Σε αυτήν την περίπτωση τα 2 μέρη του κάθε στοιχείου αναφέρονται στις συντεταγμένες του pixel και το τρίτο στην διακριτή τιμή της έντασης. Σύνολα σε τμήματα μεγαλύτερων διαστάσεων, μπορεί να περιέχουν και άλλα

χαρακτηριστικά της εικόνας, όπως το χρώμα και τα χρονικά μεταβαλλόμενα στοιχεία.

3.6.1 Dilation

Το dilation χρησιμοποιείται γαι να γεμίσει μικρές τρύπες και στενά χάσματα καθώς μεγαλώνει και το μέγεθος του αντικειμένου.

Το dilation της εικόνας f με το δομικό στοιχείο b στο επίπεδο του γκρί, δηλώνεται ως $f \oplus b$,

$$f \oplus b = \max \{f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in Df; (x, y) \in Db\} \quad (7)$$

Όπου Df και Db είναι τα πεδία του f και του b . Καθορίζουμε ως b το δομικό στοιχείο της μορφολογικής επεξεργασίας, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί σαν συνάρτηση. Επειδή το dilation βασίζεται στην επιλογή του μεγαλύτερου από τα $(f + b)$ στην γειτονιά καθορίζεται από το σχήμα του δομικού στοιχείου, η γενική επίδραση του dilation σε μια gray-scale εικόνα είναι διπλή: (1) Εάν όλες οι τιμές του δομικού στοιχείου είναι θετικές, τότε η εικόνα εξόδου τείνει να είναι φωτεινότερη από αυτή της εισόδου, και (2) μάυρες λεπτομέρειες ελαττώνονται ή απαλείφονται, αναλόγως με τις τιμές και τα σχήματα σχετικά με το δομικό στοιχείο που χρησιμοποιείται για dilation. Το dilation είναι αντιμεταθετικό, έτσι η εναλλακτική προσέγγιση ανταλλάζοντας το f και b ισούται με το $b \oplus f$. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο με τη μόνη διαφορά ότι το b είναι η συνάρτηση που ερμηνεύεται.

Βασικό κομμάτι του dilation είναι το δομικό στοιχείο που χρησιμοποιεί για να ερευνήσει την εικόνα. Τα δισδιάστατα ή μονοδιάστατα δομικά στοιχεία αποτελούνται από πίνακες απο 0 και 1 μικρότερους από την εικόνα που θα επεξεργαστεί. Το κεντρικό pixel του δομικού στοιχείου ονομάζεται origin και προσδιορίζει τα pixel ενδιαφέροντος. Τα pixel στο δομικό στοιχείο που περιέχουν 1 καθορίζουν την γειτονιά του δομικού στοιχείου. Αυτά τα pixels εξετάζονται στη περίπτωση του dilation αλλά και του erosion.

0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0

(α)

1	1	1
1	1	1
1	1	1

(β)

Σχήμα 3.7. Το δομικά στοιχεία (α)"Diamond", (β)"Square"

3.6.2 Erosion

Το erosion στο επίπεδο του γκρι, δηλώνεται ως $f \ominus b$,

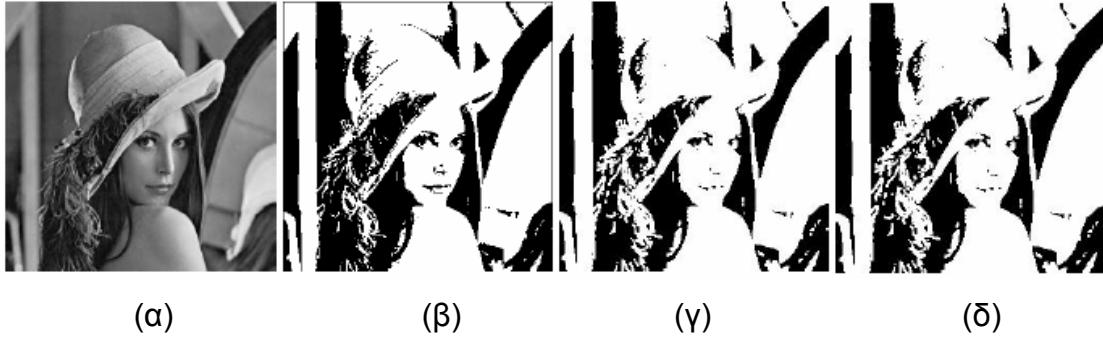
$$f \ominus b = \min \{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in Df; (x, y) \in Db\} \quad (8)$$

Όπου Df και Db είναι οι περιοχές των f και b . Η εξίσωση αυτή μοιάζει με την δισδιάστατη αυτοσυσχέτιση με την μικρότερη λειτουργία να αντικαθιστά τα αθροίσματα των αυτοσυσχετίσεων. Το erosion βασίζεται στην επιλογή της μικρότερης τιμής ($f - b$) στην γειτονιά, που καθορίζεται από το δομικό στοιχείο. Η γενική επίδραση του erosion σε μια gray-scale εικόνα είναι διπλή: (1) εάν όλα τα στοιχεία του δομικού στοιχείου είναι θετικά, τότε η εικόνα εξόδου τείνει να είναι σκοτεινότερη από την εικόνα εισόδου, και (2) η επίδραση των φωτεινών λεπτομερειών στην εικόνα εισόδου που είναι μικρότερη σαν "περιοχή" από το δομικό στοιχείο, ελαττώνεται με βαθμό ελάττωσης που καθορίζεται από τις τιμές των επιπέδων του γκρι που περιβάλλουν την φωτεινή λεπτομέρεια και από τις τιμές σχήματος και πλάτους του δομικού στοιχείου. Το dilation και erode είναι δυικές συναρτήσεις. Ισχύει:

$$(f \ominus b)^c(x, y) = (f^c \oplus \hat{b})(x, y) \quad (9)$$

Όπου $f^c = -f(x, y)$ και $\hat{b} = b(-x, -y)$.

Στο πιο κάτω σχήμα απεικονίζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή dilation και erode σε μια εικόνα. Πρίν την εφαρμογή τους, χρησιμοποιήσαμε κατώφλι στην εικόνα μετατρέποντας την τιμή των pixels. Τα pixels που είχαν τιμή έντασης πάνω από το κατώφλι έγιναν άσπρα και τα pixels που είχαν τιμή κάτω από το κατώφλι έγιναν μαύρα.



Σχήμα 3.8.(α) Αρχική εικόνα, (β) Η αρχική εικόνα μετα την εφαρμογή κατωφλίου, (γ) Εφαρμογή dilation με δομικό στοιχείο τετράγωνο διαστάσεων $\alpha=2$, (δ) Εφαρμογή erode με δομικό στοιχείο τετράγωνο διαστάσεων $\alpha=2$.

3.7 Αλγόριθμοι εντοπισμού σημείου αλλαγής

Ο εντοπισμός των ορίων του κινούμενου στρώματος σε κάθε σημείο επιτυγχάνεται με την εφαρμογή αλγορίθμων εντοπισμού σημείων καμπής στην κατανομή των εντάσεων σε κάθε στήλη της εικόνας του στρώματος. Υλοποιήσαμε τρεις διαφορετικούς αλγόριθμους που αναλύονται στην συνέχεια.

3.7.1 Αλγόριθμος βασιζόμενος στο U statistic

Ο αλγόριθμος αυτός είναι μη παραμετρικός, βασίζεται στην Mann-Whitney U statistic και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξέταση αν κάποιο σημείο τ σε μια ακολουθία είναι σημείο αλλαγής. Σε μια σειρά από στατιστικές παρατηρήσεις η κατανομή αλλάζει από f_0 σε f_1 σε ένα άγνωστο σημείο τ ($1 \leq \tau \leq \infty$) στο χρόνο. Τα X_1, X_2, \dots είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές έτσι ώστε τα X_1, \dots, X_τ κατανέμονται με βάση την κατανομή f_0 και τα $X_{\tau+1}, X_{\tau+2}, \dots$ κατανέμονται με βάση την κατανομή f_1 . Οι δύο υποθέσεις που μπορούν να παραχθούν από την πιο πάνω εξέταση είναι οι εξής:

$$H_0 : X_i \sim F_0, \quad i = 1(1)n,$$

και

$$H_1 : X_i \sim F_0, \quad i = 1(1)\tau,$$

$$\sim F_1, \quad i = \tau + 1(1)n,$$

όπου F_0, F_1 είναι οι κατανομές πιθανότητας και $H_0: \tau = n$ η άκυρη υπόθεση “όχι-αλλαγή” εναντίων της υπόθεσης “αλλαγή” $H_1: 1 \leq \tau < n$.

Ας εξάγουμε την Mann-Whitney statistic για την εξέταση του ενδεχομένου δύο δείγματα να προέρχονται από την ίδια ομάδα. Η $U_{t,n}$ statistic καθρίζεται ως:

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n D_{ij} \quad (10)$$

όπου $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$, $\text{sgn}(x) = 1$ εάν $x > 0$, 0 εάν $x = 0$, -1 εάν $x < 0$. Για να χρησιμοποιήσουμε την πιο πάνω μέθοδο για την επίλυση του προβλήματος του σημείου αλλαγής θέτουμε το t έτσι ώστε $1 \leq t < n$. Στην συνέχεια έχουμε:

$$V_n = \max |U_{t,n}| \quad (11)$$

$$V_n^+ = \max_{1 \leq t < n} U_{t,n} \quad (12)$$

$$V_n^- = -\min_{1 \leq t < n} U_{t,n} \quad (13)$$

Τα V_n, V_n^+, V_n^- είναι τα στατιστικά σημεία αλλαγής. Έτσι,

$$V_n = \max(V_n^+, V_n^-) \quad (14)$$

Ο στατιστικός έλεγχος που χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό των σημείων αλλαγής στηρίζεται σε αυτή την στατιστική.

Για να εντοπίσουμε το πιθανό σημείο αλλαγής χρησιμοποιούμε την στατιστική $U_{t,n}$ με $1 \leq t < n$. Ο αρχικό τύπος είναι χρονοβόρος έτσι παρουσιάζεται μια εναλλακτική εξίσωση. Η $U_{t,n}$ μπορεί να γραφτεί και ως:

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{j=t+1}^n D_{ij} + \sum_{j=t+1}^n D_{ij} \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{t-1} \sum_{j=t+1}^n D_{ij} = \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{j=t}^n D_{ij} - \sum_{i=1}^{t-1} D_{it} \quad (16)$$

Αντικαθιστώντας την (14) στην (15), έχουμε

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{j=t}^n D_{ij} - \sum_{i=1}^{t-1} D_{it} + \sum_{j=t+1}^n D_{ij} \quad (17)$$

Εάν υποθέσουμε ότι

$$U_{t-1,n} = \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{j=t}^n D_{ij} \quad (18)$$

$D_{it} = 0$ από τον ορισμό,

$$-\sum_{i=1}^{t-1} D_{it} = \sum_{i=1}^{t-1} D_{ti} \quad (19)$$

και τέλος από την συμμετρία της συνάρτησης sgn , φτάνουμε στο τελικό τύπο:

$$U_{t,n} = U_{t-1,n} + \sum_{i=1}^n D_{ti} \quad (20)$$

Αφού υπολογιστεί η $U_{t,n}$ τότε προχωράμε στην εύρεση του σημείου αλλαγής.

Ας υποθέσουμε υπάρχει σημείο s στο οποίο ισχύει:

$$\sum_{t=1}^s U_{t,n} < 0 \quad \text{και} \quad \sum_{t=s+1}^n U_{t,n} > 0$$

Εντοπίζουμε τη θέση που έχει τη μέγιστη τιμή $U_{t,n}$ στο διάστημα $[1, s]$.

$$d^* = \arg \max_{1 \leq t < s} |U_{t,s}| \quad (21)$$

Στην συνέχεια για $d < t < s$ εντοπίζουμε σε ποιο t μηδενίζεται η πρώτη παράγωγος της $U_{t,n}$. Θέση στην οποία έχουμε τοπικό μέγιστο γιατί στο διάστημα αυτό η $U_{t,n}$ έχει αρνητικό πρόσημο.

Εάν για $t = t_1$,

$$\frac{d(U_{t_1,n})}{dt} = 0 \quad (22)$$

τότε στο t_1 έχουμε τοπικό μέγιστο.

Εάν ισχύει,

$$\frac{|d - t_1|}{|d|} > 0.1 \quad (23)$$

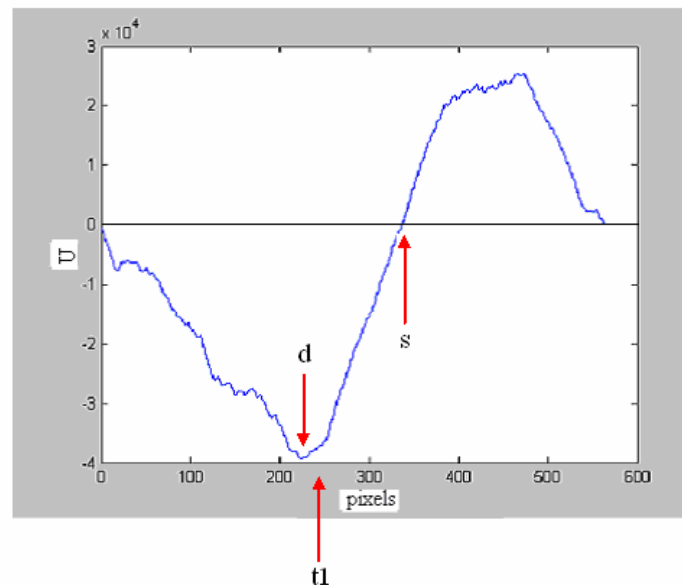
τότε το σημείο t_1 είναι το σημείο αλλαγής.

Εάν δεν ισχύει τότε ψάχνουμε το επόμενο τοπικό μέγιστο μέχρι να ισχύει η (23). Εάν δεν βρεθεί τοπικό μέγιστο στο διάστημα $d < t < s$ που να πληρεί την πιο πάνω συνθήκη, σημείο αλλαγής είναι το d .

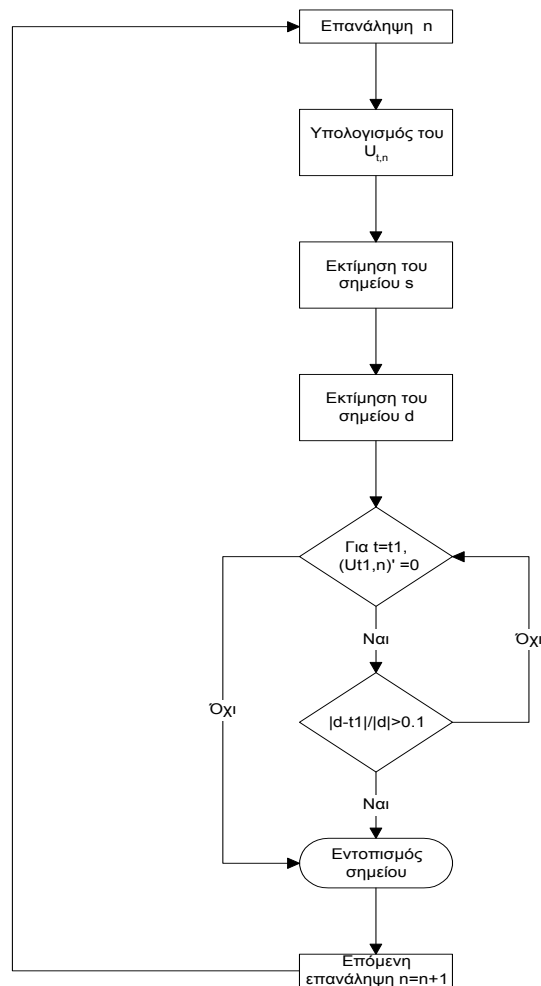
Ο πιο πάνω αλγόριθμος έχει σαν είσοδο τις εντάσεις των pixel για κάθε στήλη και αυτό γίνεται για κάθε στήλη ξεχωριστά (768 επαναλήψεις). Σε μια επανάληψη ο αλγόριθμος θα έχει τα εξής βήματα:

1. Υπολογισμός του $U_{t,n}$
2. Υπολογισμός του σημείου s όπου οι αρνητικές τιμές της $U_{t,n}$ από αρνητικές γίνονται θετικές.

3. Ένρεση της απόλυτης μέγιστης τιμής d στο διάστημα $[1, s]$.
4. Ένρεση του τοπικού μέγιστου στη θέση t_1 , στο διάστημα $[d, s]$.
Εάν δεν υπάρχει τότε σημείο αλλαγής είναι το d .
5. Υπολογισμός του κριτηρίου απόφασης $\frac{|d-t_1|}{|d|} > 0.1$. Εάν ισχύει τότε σημείο αλλαγής είναι το t_1 . Εάν δεν ισχύει επέστρεψε στο 4.



Σχήμα 3.9 Εφαρμογή του αλγόριθμου σε μια στήλη της εικόνας (μια επανάληψη)



Σχήμα 3.10. $U_{t,n}$ αλγόριθμος

3.7.2 Αλγόριθμος βασιζόμενος στο control-charting

Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί την τεχνική control-charting για την ανάλυση μιας σειράς από διαφορετικά δεδομένα. Η τεχνική αυτή ξεκινάει με τον εντοπισμό των θέσεων για πιθανές μετακινήσεις των δεδομένων και διαιρεί τη σειρά των δεδομένων σε διαστήματα στα οποία ο μέσος (mean) των μετρήσεων είναι μια θεωρητική σταθερά. Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας βέλτιστους εκτιμητές εντοπίζονται οι μέσες τιμές (mean) και η διαφορά (variance) των μετρήσεων. Βάση των εκτιμήσεων καθορίζεται ένα ζεύγος με τα όρια ελέγχου του κάθε διαστήματος. Δεδομένα που είναι εκτός των ορίων ελέγχου του διαστήματος δεν ανήκουν στο συγκεκριμένο διάστημα.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα δείγμα από n μετρήσεις που πρέπει να αναλυθούν με διάγραμμα ελέγχου. Αρχικά θεωρούμε ότι όλες οι μετρήσεις $y_i, i=1, \dots, n$ έχουν την ίδια κανονική κατανομή:

$$y_i = \mu + \varepsilon_i, \quad i=1, \dots, n \quad (24)$$

με ε_i i.i.d. $N(0, \sigma^2)$.

Για να εξάγουμε την απαιτούμενη εκτίμηση και τις μεθόδους ελέγχου, ξεκινάμε με τον τρόπο εκτίμησης της θέσης τ , στην οποία σημειώνεται μια μικρή μετατόπιση. Η κατάσταση περιγράφεται με το εξής μοντέλο:

$$\begin{cases} y_i = \mu_1 + \varepsilon_i & \text{για } i=1, \dots, \tau \\ y_i = \mu_2 + \varepsilon_i & \text{για } i=\tau+1, \dots, n \end{cases} \quad (25)$$

όπου ε_i i.i.d. $N(0, \sigma^2)$, μ_1, μ_2, τ άγνωστα.

Οι Sullivan και Woodall (1996), εξάγουν τον maximum likelihood (ML) εκτιμητή για τη θέση μετατόπισης τ ως συνάρτηση των ML εκτιμητών για τα μ_1, μ_2, σ .

$$(\tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2, \tilde{\sigma}, \tilde{\tau}) = \arg \min_{\mu_1, \mu_2, \sigma, \tau} \ell(\mu_1, \mu_2, \sigma, \tau) \quad (26)$$

με

$$\ell(\mu_1, \mu_2, \sigma, \tau) = \frac{n}{2} \log(2\pi\sigma^2) + \frac{1}{2\sigma^2} \left(\sum_{i=1}^{\tau} (y_i - \mu_1)^2 + \sum_{i=\tau+1}^n (y_i - \mu_2)^2 \right) \quad (27)$$

Βρίσκοντας τις παράγωγους για τα μ_1, μ_2, σ και εξισώνοντας τις με μηδέν παίρνουμε:

$$c\tilde{\mu}_1[\tau] = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} y_i \quad (28)$$

$$\tilde{\mu}_2[\tau] = \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=\tau+1}^n y_i \quad (29)$$

$$\tilde{\sigma}^2[\tau] = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{\tau} (y_i - \tilde{\mu}_1[\tau])^2 + \sum_{i=\tau+1}^n (y_i - \tilde{\mu}_2[\tau])^2 \right) \quad (30)$$

$\tau = 2, 3, \dots, n-2$. Στην συνέχεια το σημείο αλλαγής τ υπολογίζεται από:

$$\tilde{\tau} = \arg \min_{2 \leq \tau \leq n-2} \ell(\tilde{\mu}_1[\tau], \tilde{\mu}_2[\tau], \tilde{\sigma}[\tau], \tau) = \arg \min \{ \log(\tilde{\sigma}[\tau]) \} \quad (31)$$

και

$$\tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_1[\tilde{\tau}], \quad \tilde{\mu}_2 = \tilde{\mu}_2[\tilde{\tau}], \quad \tilde{\sigma} = \tilde{\sigma}[\tilde{\tau}]$$

Επειδή το μοντέλο ελέγχου (25) δεν μπορεί να παράγει όλα τα δεδομένα χρησιμοποιούμε ένα βέλτιστο μοντέλο που περιγράφεται στην συνέχεια.

Για $\tau = 2, 3, \dots, n-2$ ως υποθέσουμε ότι το $\hat{\mu}_1[\tau]$ είναι η λύση του

$$\sum_{i=1}^{\tau} \psi((y_i - \mu_1)/cs_0[\tau]) = 0 \text{ και } \hat{\mu}_2[\tau] \text{ η λύση του } \sum_{i=\tau+1}^n \psi((y_i - \mu_2)/cs_0[\tau]) = 0, \text{ όπου}$$

$$s_0[\tau] = \text{median}\{|y_i - m|\}_{i=1, \dots, n} \quad (32)$$

με $m = m_1[\tau]$ εάν $1 \leq i \leq \tau$ και $m = m_2[\tau]$ εάν $\tau+1 \leq i \leq n$, όπου $m_1[\tau]$ και $m_2[\tau]$ είναι οι μέσοι από y_1, \dots, y_τ και $y_{\tau+1}, \dots, y_n$, αντίστοιχα. Επιπλέον η ψ είναι περιττή συνάρτηση δεδομένου ότι το c είναι μεταβαλλόμενη σταθερά. Συνεπώς, τα $\hat{\mu}_1[\tau]$ και $\hat{\mu}_2[\tau]$ είναι οι M-estimators για την θέση που δίνει η προκαταρκτική εκτίμηση του $s_0[\tau]$ για ταξινόμηση. Η τελική ταξινομημένη εκτίμηση δίνεται από:

$$\hat{\sigma}[\tau] = \frac{\sqrt{nc}s_0[\tau] \left(\sum_{i=1}^{\tau} \psi^2((y_i - \hat{\mu}_1[\tau])/cs_0[\tau]) + \sum_{i=\tau+1}^n \psi^2((y_i - \hat{\mu}_2[\tau])/cs_0[\tau]) \right)^{\frac{1}{2}}}{\left| \sum_{i=1}^{\tau} \psi'((y_i - \hat{\mu}_1[\tau])/cs_0[\tau]) + \sum_{i=\tau+1}^n \psi'((y_i - \hat{\mu}_2[\tau])/cs_0[\tau]) \right|} \quad (33)$$

όπου ψ' η παράγωγος του ψ και

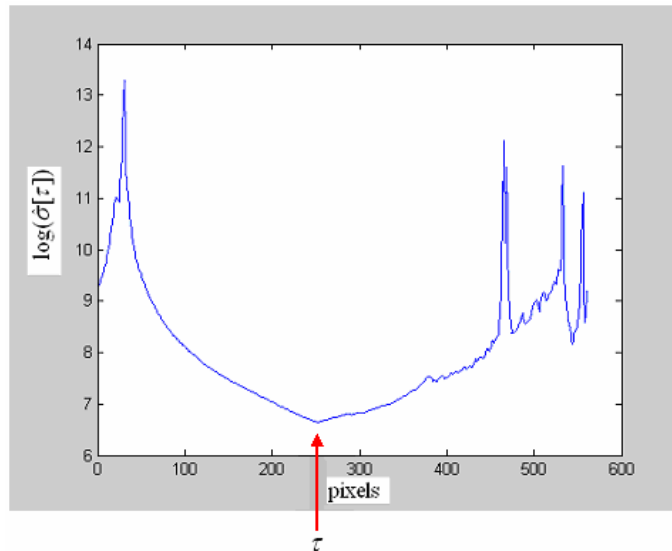
$$\psi(u) = \begin{cases} u(1-u^2)^2, & |u| \leq 1, \\ 0, & |u| > 1 \end{cases} \quad (34)$$

Το σημείο αλλαγής $\hat{\tau}$ μπορεί να υπολογιστεί από:

$$\hat{\tau} = \arg \min \{\log(\hat{\sigma}[\tau])\} \quad (35)$$

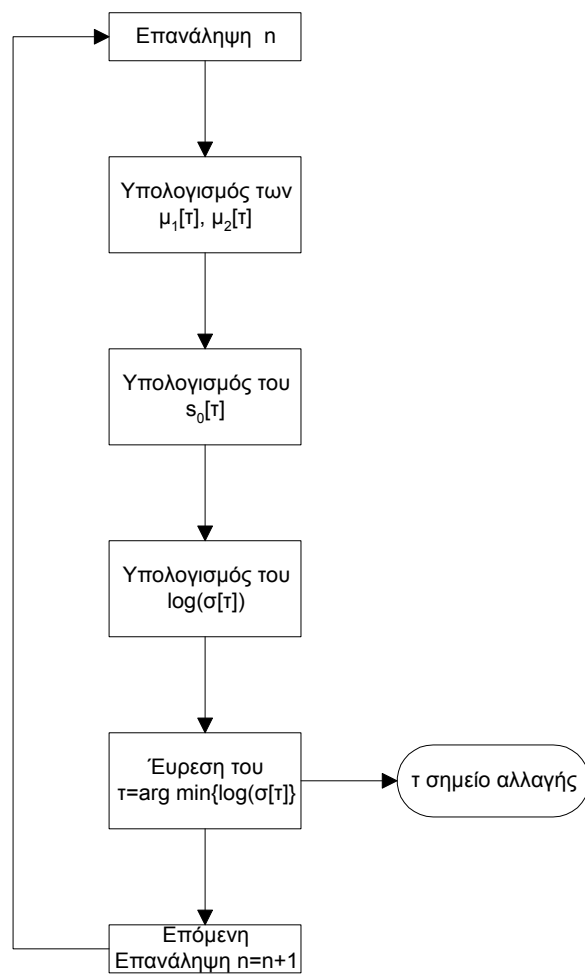
Η εφαρμογή του αλγόριθμου έγινε για τις εντάσεις των pixels κάθε στήλης. Τα βήματα του αλγόριθμου για κάθε επανάληψη:

1. Υπολογισμός των $\hat{\mu}_1[\tau], \hat{\mu}_2[\tau]$.
2. Υπολογισμός του $s_0[\tau]$.
3. Υπολογισμός του $\log(\hat{\sigma}[\tau])$.
4. Έυρεση του σημείου αλλαγής $\tau = \arg \min \{\log(\hat{\sigma}[\tau])\}$.



Σχήμα 3.11 Εφαρμογή του αλγόριθμου σε μια στήλη της εικόνας (μια επανάληψη)

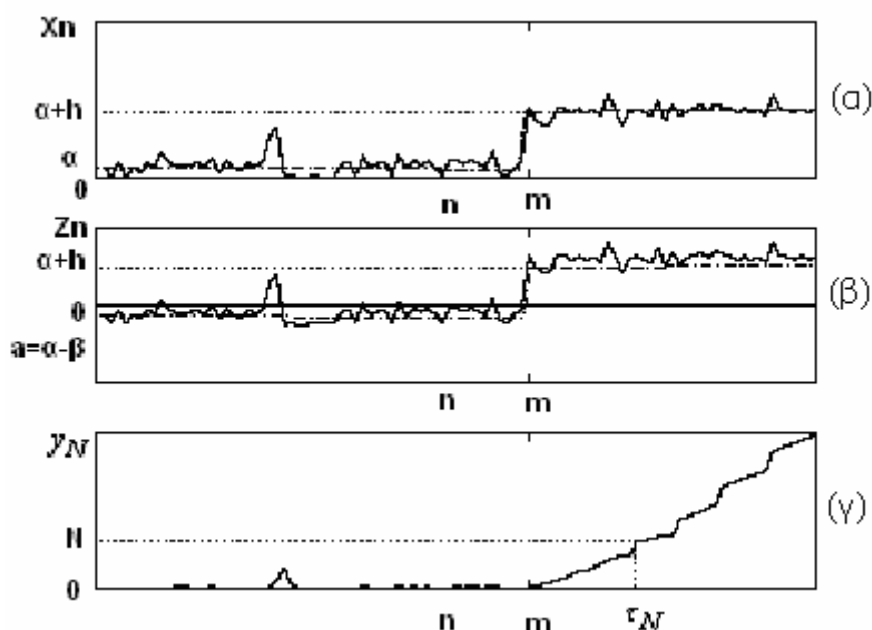
Το διάγραμμα που αντιστοιχεί στα πιο πάνω βήματα φαίνεται πιο κάτω:



Σχήμα 3.12. Τα βήματα του αλγόριθμου

3.7.3 Αλγόριθμος βασιζόμενος στη μη-παραμετρική μέθοδο CUSUM

Ας υποθέσουμε ότι το X_n αναπαριστά μια σειρά από δεδομένα στο διάστημα Δ_n . Εξετάζοντας το σχήμα 3.13(α) παρατηρούμε ότι υπάρχει αλλαγή στη μέση τιμή στο σημείο m , από a σε $a+h$.



Σχήμα 3.13. Ο αλγόριθμος CUSUM, (α) η αρχική ακολουθία των δεδομένων, (β) η ακολουθία Z_n και (γ) οι θετικές τιμές του Z_n

Χρησιμοποιώντας την μη-παραμετρική μέθοδο CUSUM (Cumulative Sum) στον αλγόριθμο εντοπισμού μπορούμε να εκτιμήσουμε την αύξηση h της τιμής a και να εντοπίσουμε την θέση m που παρατηρείται η αύξηση αυτή, με ακολουθιακό τρόπο έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η καθυστέρηση εντοπισμού. Η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται ο μη-παραμετρικός αλγόριθμος CUSUM είναι η συγκέντρωση των τιμών της ακολουθίας X_n , που είναι μεγαλύτερες από το επίπεδο της μέσης τιμής.

Ας υποθέσουμε ότι η μέση τιμή για μια τυχαία ακολουθία είναι αρνητική υπό κανονικές συνθήκες και γίνεται θετική όταν σημειωθεί κάποια αλλαγή. Χωρίς να χάσουμε πολύτιμη πληροφορία από τα δεδομένα, η $\{X_N\}$ μετατρέπεται σε μια άλλη τυχαία ακολουθία $\{Z_N\}$, (σχήμα 3.13(β)) με αρνητική μέση τιμή a , όπου $Z_N = X_N - \beta$, $a = a - \beta$ και β τυχαία παράμετρος

με σταθερή τιμή. Στο σημείο αλλαγής, η Z_N έχει μεγάλη θετική τιμή π.χ $h+a>0$, όπου h είναι το όριο της μικρότερης αύξησης του Z_N όταν εντοπιστεί κάποιο σημείο αλλαγής. Στο σχήμα 3.13(γ) το y_n αναπαριστά τις θετικές τιμές του Z_N και αν θέσουμε το N σαν κατώφλι εντοπισμού (detection threshold) παίρνουμε σαν σημείο αλλαγής το τ_N .

Ο αναδρομικός CUSUM αλγόριθμος έχει την πιο κάτω μορφή:

$$y_n = (y_{n-1} + Z_n)^+,$$

$$y_0 = 0,$$

όπου x^+ είναι ίσο με x εάν $x > 0$ διαφορετικά είναι ίσο με μηδέν.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.13(γ), το y_n αναπαριστά τις θετικές τιμές του Z_N . Υποθέτουμε ότι το σημείο αλλαγής είναι στο τ_N εάν $y_{\tau_N} \geq N$. Η εκτίμηση του σημείου αλλαγής υπολογίζεται από:

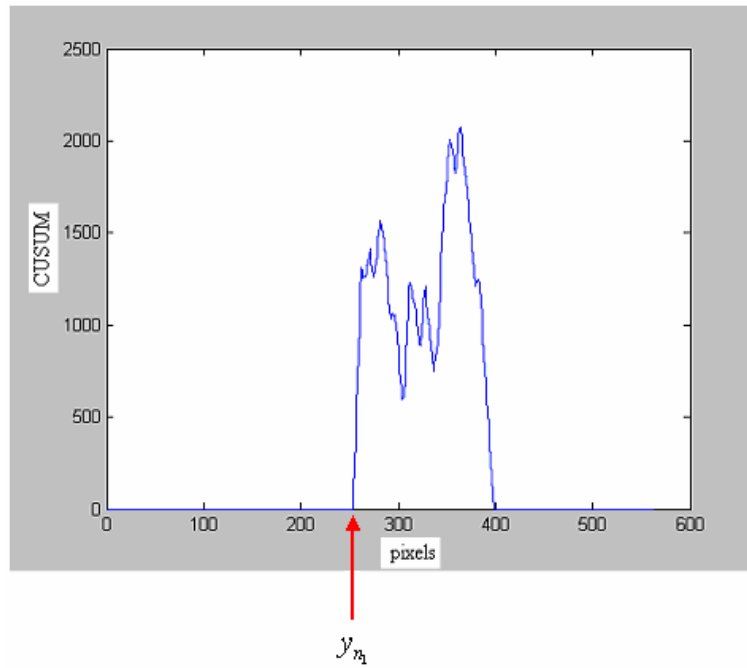
$$d_N(y_n) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } y_n \leq N \\ 1 & \text{εάν } y_n > N \end{cases} \quad (36)$$

N είναι το κατώφλι για τον εντοπισμό του σημείου αλλαγής και $d_N(y_n)$ την απόφαση για την θέση n . '1' εάν ο στατιστικός έλεγχος y_n είναι μεγαλύτερος από το N , το οποίο δείχνει την ύπαρξη σημείου αλλαγής και '0' εάν δεν υπάρχει σημείο αλλαγής.

Με την κατάλληλη τιμή της σταθεράς β για τον υπολογισμό του $Z_N = X_N - \beta$ η συμπεριφορά του αλγόριθμου μπορεί να αλλάξει. Έχει παντού μηδενική τιμή εκτός από τα σημεία αλλαγής. Αυτό δίνει πιο βέλτιστο αποτέλεσμα όταν η αλλαγή στα δεδομένα δεν είναι πολύ ξεκάθαρη ή όταν πρέπει να υπολογιστεί μια συγκεκριμένη αλλαγή.

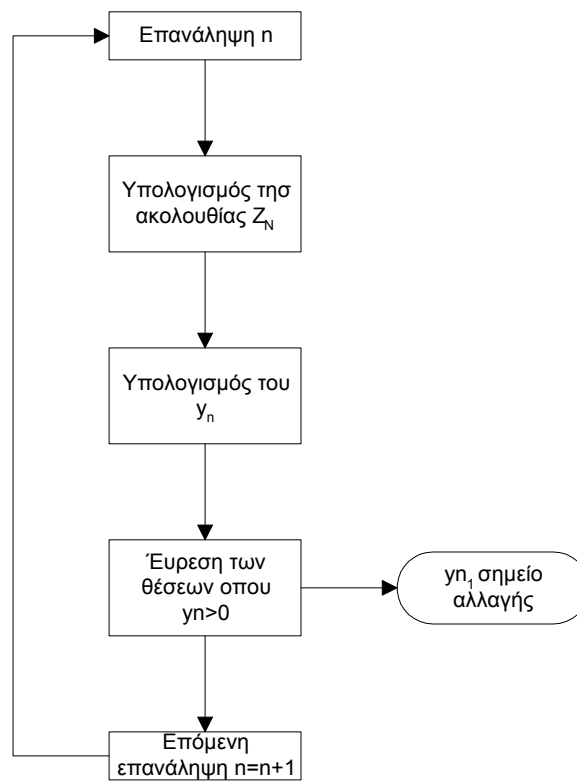
Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται στις εντάσεις των pixels για κάθε στήλη (768 επαναλήψεις). Τα βήματα του αλγόριθμου για κάθε επανάληψη είναι:

1. Υπολογισμός της ακολουθίας Z_N .
2. Υπολογισμός y_n .
3. Έυρεση των θέσεων που $y_n > 0$.
4. y_{n_i} = σημείο αλλαγής



Σχήμα 3.14 Εφαρμογή του αλγορίθμου σε μια στήλη της εικόνας (μια επανάληψη)

Το πιο κάτω διάγραμμα δείχνει τα βήματα του αλγορίθμου.



Σχήμα 3.15. CUSUM αλγόριθμος

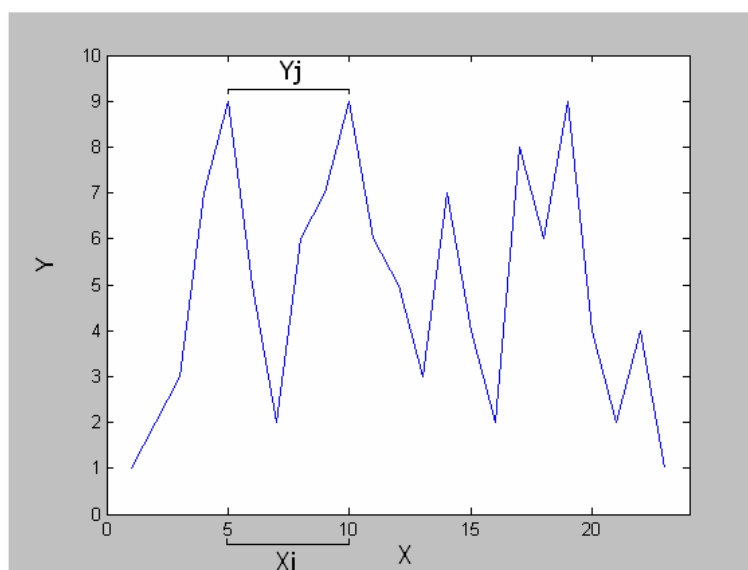
3.8 Mean και Median φίλτρα

Πρίν προχωρήσουμε στην παραμετροποίηση των περιγραμμάτων του πάνω και κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος, ομαλοποιούμε τα αποτελέσματα από τους αλγόριθμους εντοπισμού σημείου καμπής της έντασης, χρησιμοποιώντας φίλτρα median και mean.

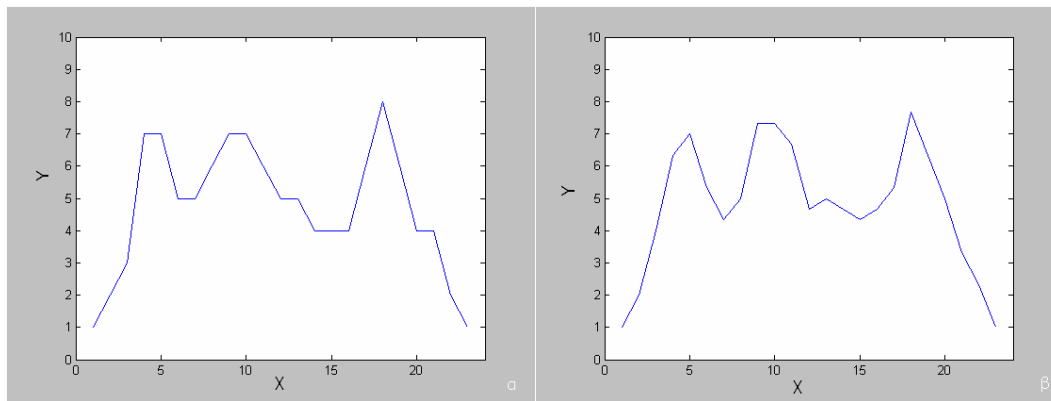
Το μονοδιάστατο median και mean φιλτράρισμα είναι μια μη γραμμική τεχνική που χρησιμοποιείται για να ομαλοποιήσει τα δεδομένα σε μια ακολουθία, ελαττώνοντας το ποσοστό της μεταβολής της τιμής μεταξύ δύο διαδοχικών στοιχείων της ακολουθίας.

Η τεχνική αυτή εφαρμόζει ένα κινούμενο μονοδιάστατο παράθυρο και αντικαθιστά την κεντρική τιμή του παραθύρου με την μέση τιμή (mean) ή την μεσέα (median) των γειτονικών του, συμπεριλαμβανομένου και της δικής του τιμής. Το αποτέλεσμα της τεχνικής αυτής ελαττώνει τις τιμές των στοιχείων που δεν έχουν αντιπροσωπευτική τιμή συγκριτικά με τα άλλα που το περιβάλλουν.

Στην συνέχεια ακολουθεί ένα παράδειγμα εφαρμογής μονοδιάστατου παραθύρου σε μια ακολουθία δεδομένων. Το παράθυρο παίρνει τις τιμές Y_j και για το κεντρικό σημείο X_i του παραθύρου δίνει την τιμή $median\{Y_j\}$ αν είναι median φίλτρο και την τιμή $\frac{1}{N} \sum Y_j$, όπου N η τιμή του παραθύρου, αν είναι για mean φίλτρο.



Σχήμα 3.16. Εφαρμογή μονοδιάστατου παραθύρου για median και mean φιλτράρισμα



Σχήμα 3.17. Η έξοδος μετά την εφαρμογή (α) median και (β) mean, φίλτρου

3.9 Προσέγγιση Καμπύλης (Curve Approximation)

Η παραμετροποίηση των περιγραμμάτων του κινούμενου στρώματος έγινε με την χρήση της τεχνικής προσέγγισης καμπύλης (Curve Approximation).

Η τεχνική προσέγγισης καμπύλης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του πολυωνύμου που περνάει από μια σειρά δεδομένων και βασίζεται στην ιδέα ότι το πολυώνυμο αυτό δεν χρειάζεται να περνάει από όλα τα σημεία εκτός από το πρώτο και τελευταίο. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε πως μπορούμε να ταιριάξουμε ένα σύνολο σημείων (x_k, y_k) με ένα πολυώνυμο $f(x)$, έτσι ώστε το λάθος για κάθε σημείο, $e_i = y_i - f(x_i)$ να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων (least squares method).

Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση διαφόρων συναρτήσεων που περνάνε από ένα σύνολο σημείων. Μια γραμμή είναι ένα πολυώνυμο πρώτου βαθμού. Πολλές φορές όμως ένα σύνολο σημείων αναπαριστάται με πολυώνυμο μεγαλύτερου βαθμού από αυτό του ενός, ή με μια δυναμική συνάρτηση ή ακόμα με μια εκθετική συνάρτηση. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων ελαχιστοποιεί το άθροισμα των κατακόρυφων αποστάσεων ανάμεσα στην παραγόμενη καμπύλη και τα σημεία που προκειται να προσεγγιστούν.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα σύνολο από στοιχεία (x_k, y_k) για $k = 1, 2, \dots, N$. Θέλουμε να εντοπίσουμε όλους τους συντελεστές c_1, c_2, \dots, c_M έτσι ώστε:

$$c_1 + c_2 x_k + c_3 x_k^2 + \dots + c_M x_k^{M-1} \approx y_k \quad (37)$$

για όλες τις τιμές του k . Το N θεωρείται πάντα μεγαλύτερο από το M άλλα μπορεί να γίνει προσέγγιση των σημείων και στην περίπτωση που το N είναι ίσο με M .

Το σύνολο των εξισώσεων μπορεί να γραφτεί σε μορφή πίνακα,

$$\begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \cdot & \cdot & \cdot & x_1^{M-1} \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdot & \cdot & \cdot & x_2^{M-1} \\ 1 & x_3 & x_3^2 & \cdot & \cdot & \cdot & x_3^{M-1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_{N-1} & x_{N-1}^2 & \cdot & \cdot & \cdot & x_{N-1}^{M-1} \\ 1 & x_N & x_N^2 & \cdot & \cdot & \cdot & x_N^{M-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_M \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_{N-1} \\ y_N \end{pmatrix} \quad (38)$$

Ο πίνακας έχει N γραμμές και M στήλες (με $N > M$). Επειδή οι γραμμές είναι περισσότερες από τις στήλες του πίνακα δεν υπάρχει λύση στο σύστημα για τις περισσότερες επιλογές των δεδομένων, y_k . Έτσι δεν μπορούμε να αντικαταστήσουμε το \approx με $=$. Γράφουμε το σύστημα ως :

$$A\vec{c} \approx \vec{y} \quad (39)$$

Ο καθορισμός των συντελεστών ξεκινάει εξετάζοντας το διάνυσμα της διαφοράς τους,

$$\vec{r} = \vec{y} - A\vec{c} \quad (40)$$

το οποίο μπορεί να γραφτεί σαν

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} y_1 - (c_1 + c_2 x_1 + c_3 x_1^2 + \dots + c_M x_1^{M-1}) \\ y_2 - (c_1 + c_2 x_2 + c_3 x_2^2 + \dots + c_M x_2^{M-1}) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_N - (c_1 + c_2 x_N + c_3 x_N^2 + \dots + c_M x_N^{M-1}) \end{pmatrix} \quad (41)$$

Το ταίριασμα με τα ελάχιστα τετράγωνα καθορίζεται επιλέγοντας τους συντελεστές c_j έτσι ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των στοιχείων του υπόλοιπου,

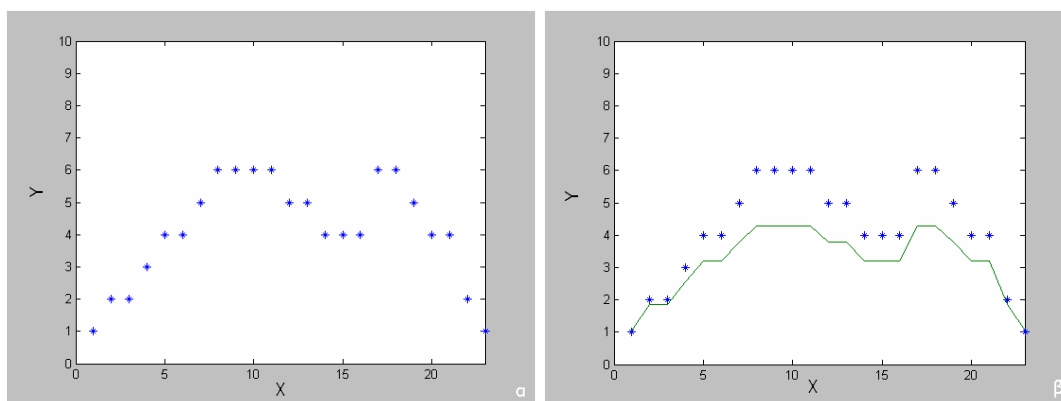
$$r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_N^2 \quad (42)$$

ελαχιστοποιείται. Ένας άλλος τρόπος για τον καθορισμό του καλύτερου ταιριάσματος μπορεί να γίνει επιλέγοντας τους συντελεστές c_j έτσι ώστε το άθροισμα

$$|r_1| + |r_2| + \dots + |r_N| \quad (43)$$

να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της μεθόδου αυτής. Η ακολουθία του σχήματος 3.18(α) προσεγγίζεται με ένα πολυώνυμο τρίτου βαθμού σχήμα 3.18(β).



Σχήμα 3.18 (α) Μια τυχαία ακολουθία τιμών (β) Η προσέγγιση της με ένα πολυώνυμο τρίτου βαθμού

3.10 Εντοπισμός του πάχους-ύψους των στρωμάτων

Μετά την παραμετροποίηση των περιγραμμάτων του πάνω και κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος καθώς και τον εντοπισμό του ύψους του σωλήνα από την αρχή της εικόνας με την βοήθεια του ανιχνευτή οριζόντιων ακμών Kirsch και του μετασχηματισμού Hough, προχωρήσαμε στην υλοποίηση αλγορίθμου για την εύρεση του πάχους-ύψους, των 2 στρωμάτων.

3.10.1 Εντοπισμός του συνολικού ύψους του φαινομένου

Το συνολικό ύψος του φαινομένου οριοθετείται μεταξύ της αρχής του σωλήνα και του περιγράμματος του πάνω ορίου του κινούμενου στρώματος. Εάν το πολυώνυμο που προσεγγίζει το πάνω όριο είναι το $f_1(x)$ και d το ύψος του σωλήνα από την αρχή της εικόνας, το πάχος του συνολικού ύψους σε pixels για κάθε στήλη ισούται με:

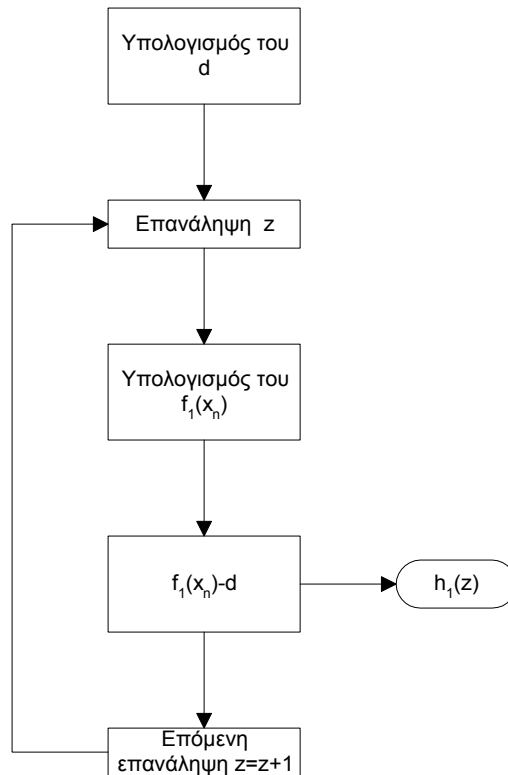
$$h_1 = f_1(x_n) - d \quad (44)$$

όπου $n = 1, 2, \dots, 768$

Εάν εστιάσουμε σε ένα σημείο-στήλη της εικόνας και εντοπίσουμε το συνολικό ύψος του φαινομένου για τη συγκεκριμένη στήλη για όλη τη σειρά των frames που περιγράφουν το φαινόμενο, μπορούμε να δημιουργήσουμε το χρονικό προφίλ του ύψους του συνολικού φαινομένου. Τα βήματα της τεχνικής για τη στήλη n είναι:

1. Εντοπισμός του ύψους του σωλήνα d .
2. Υπολογισμός του $f_1(x_n)$.
3. Υπολογισμός του $f_1(x_n) - d$

Η τεχνική επαναλαμβάνεται για κάθε frame.



Σχήμα 3.19. Το διάγραμμα της τεχνικής για τον εντοπισμό του συνολικού ύψους του φαινομένου

3.10.2 Εντοπισμός του ύψους του στατικού στρώματος

Το στατικό στρώμα οριοθετείται μεταξύ του τοιχώματος του σωλήνα και του περιγράμματος του κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος. Ας υποθέσουμε ότι $f_2(x)$ είναι το πολυώνυμο που προσεγγίζει το κάτω όριο του κινούμενου στρώματος και d είναι το ύψος του σωλήνα από την αρχή της εικόνας. Το πάχος h_2 του στατικού στρώματος σε pixels για κάθε στήλη ισούται με:

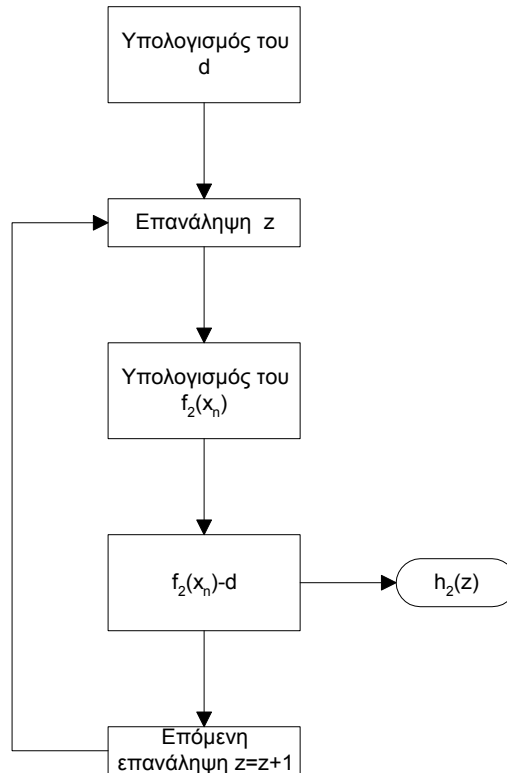
$$h_2 = f_2(x_n) - d \quad (45)$$

Εάν εστιάσουμε σε μια στήλη της εικόνας και υπολογίσουμε το ύψος του στατικού στρώματος για τη συγκεκριμένη στήλη, για όλη τη σειρά των frames που περιγράφουν το φαινόμενο, μπορούμε να δημιουργήσουμε το χρονικό προφίλ του ύψους του στατικού στρώματος. Τα βήματα της τεχνικής για τη στήλη n είναι:

1. Εντοπισμός του ύψους του σωλήνα d .
2. Υπολογισμός του $f_2(x_n)$.

3.Υπολογισμός του $f_2(x_n) - d$

Η τεχνική εφαρμόζεται για κάθε frame.



Σχήμα 3.20. Αλγόριθμος για εντοπισμό πάχους στατικού στρώματος

3.10.2.1 Εντοπισμός του πάχους του κινούμενου στρώματος

Το κινούμενο στρώμα οριοθετείται μεταξύ των περιγραμμάτων του πάνω και κάτω ορίου. Ας υποθέσουμε ότι $f_1(x)$ είναι το πολυώνυμο που προσεγγίζει το πάνω όριο και $f_2(x)$ το πολυώνυμο που προσεγγίζει το κάτω όριο του κινούμενου στρώματος. Το πάχος h_3 του κινούμενου στρώματος σε pixels για κάθε στήλη ισούται με:

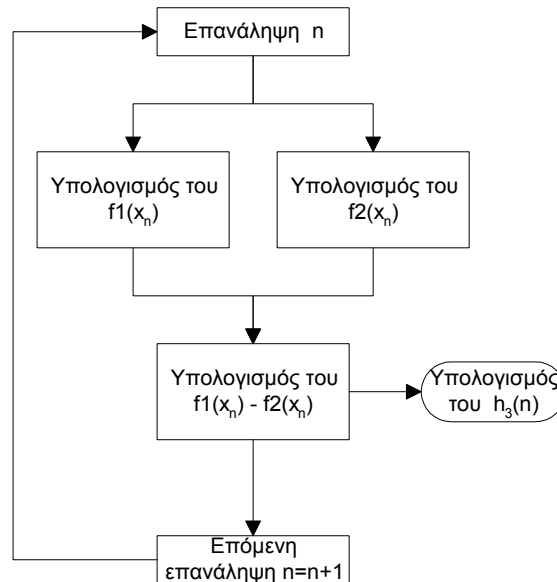
$$h_3 = f_1(x_n) - f_2(x_n) \quad (46)$$

όπου $n = 1, 2, \dots, 768$.

Εάν εστιάσουμε σε μια στήλη της εικόνας και υπολογίσουμε το ύψος του κινούμενου στρώματος για τη συγκεκριμένη στήλη για όλη τη σειρά των frames που περιγράφουν το φαινόμενο, μπορούμε να δημιουργήσουμε το χρονικό προφίλ του ύψους του κινούμενου στρώματος. Τα βήματα της τεχνικής για τη στήλη n είναι:

- 1.Υπολογισμός του $f_1(x_n)$
- 2.Υπολογισμός του $f_2(x_n)$.
- 3.Υπολογισμός του $f_1(x_n) - f_2(x_n)$

Η τεχνική εφαρμόζεται για κάθε frame.



Σχήμα 3.21. Αλγόριθμος για τον εντοπισμό του πάχους του κινούμενου στρώματος

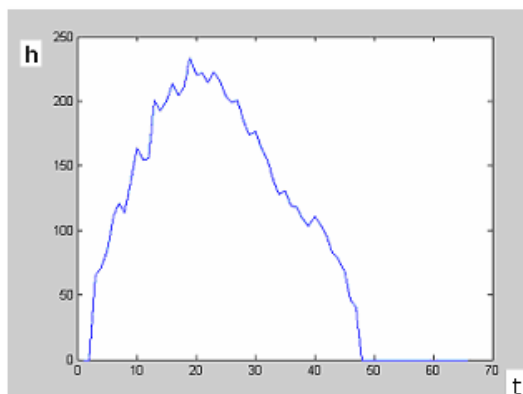
3.11 Έμμεσος τρόπος υπολογισμού της ταχύτητας

Χρησιμοποιώντας τα χρονικά προφίλ (σχήμα 3.22) με την τεχνική που εξηγήθηκε παραπάνω εφαρμόσαμε ένα έμμεσο τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας. Ακολουθώντας το προφίλ αυτό από σημείο σε σημείο κατά τον άξονα του σωλήνα, υπολογίζεται ο χρόνος μεταφοράς του προφίλ από σημείο σε σημείο. Η ταχύτητα προκύπτει ως λόγος απόστασης σημείων προς το χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά του προφίλ από το ένα σημείο στο άλλο.

Υπολογίστηκε το κέντρο βάρους της καμπύλης (χρονικό προφίλ) για κάθε στήλη. Το κέντρο βάρους g , της κάθε καμπύλης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$g = \frac{\sum t_i h_i}{\sum h_i} \quad (47)$$

όπου $i = 1, 2, \dots, n$, οι χρονικές στιγμές t και h το ύψος που αντιστοιχεί για την κάθε χρονική στιγμή.



Σχήμα 3.22. Η καμπύλη του χρονικού προφίλ μιας στήλης

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η χρονική μετατόπιση του κέντρου βάρους από στήλη σε στήλη. Εάν υποθέσουμε ότι το g_k είναι το κέντρο βάρους του χρονικού προφίλ της στήλης k και το g_{k+1} το κέντρο βάρους της επόμενης στήλης, τότε η χρονική μετατόπιση τ_k ισούται με:

$$\tau_k = g_{k+1} - g_k \quad (48)$$

Αφού υπολογιστεί η χρονική μετατόπιση από στήλη σε στήλη και γνωρίζοντας ότι η μια στήλη από την άλλη απέχει ένα pixel (11.6 μm), σε πραγματικές διαστάσεις όπως δίνεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάμερας, μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της ταχύτητας.

$$vel = \frac{11,6 \times 10^{-4}}{\tau_k} \quad (49)$$

3.12 Άμεσος τρόπος υπολογισμού της ταχύτητας

Στο δεύτερο (άμεσο) τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας υπολογίζεται η μετατόπιση των ενεργών καμπυλών από στιγμιότυπο σε στιγμιότυπο. Εάν $f_1(x)$ είναι το πολυώνυμο της καμπύλης του περιγράμματος για το κινούμενο μέρος κάποιου τυχαίου στιγμιότυπου και $f_2(x)$ το πολυώνυμο της καμπύλης του περιγράμματος για το επόμενο στιγμιότυπο, υπολογίσαμε τη μετατόπιση a του $f_1(x)$ έτσι ώστε να προσεγγίζει βέλτιστα το $f_2(x)$.

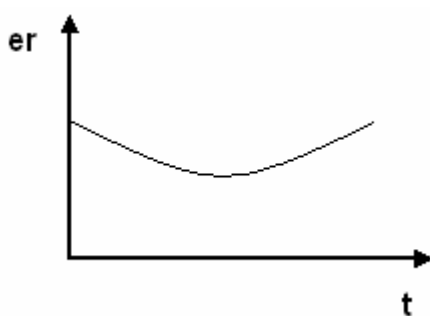
Για τον υπολογισμό της βέλτιστης μετατόπισης του $f_1(x)$, αφαιρούμε χρονικές στιγμές t από το πολυώνυμο και βρίσκουμε το μέσο όρο er των αποστάσεων που απέχουν τα σημεία του μετατοπισμένου πολυώνυμου $f_1(x)$ από τα σημεία του πολυωνύμου $f_2(x)$.

$$er = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_2(x) - f_1(x_i - t))^2 \quad (50)$$

Χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία μπορούμε να υπολογίσουμε την βέλτιστη μετατόπιση του $f_1(x)$, αφαιρώντας χρονικές στιγμές t από το πολυώνυμο και βρίσκοντας το μέσο όρο er των αποστάσεων που απέχουν τα σημεία του μετατοπισμένου πολυώνυμου $f_1(x)$ από τα σημεία του περιγράμματος y , του κινούμενου στρώματος στο επόμενο στιγμιότυπο (το περίγραμμα που προσεγγίζει το πολύωνυμο $f_2(x)$).

$$er = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y(i) - f_1(x_i - t))^2 \quad (51)$$

Η βέλτιστη μετατόπιση $t=t$, δίνεται για την περίπτωση που ο μέσος όρος των αποστάσεων είναι ο μικρότερος. Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται για 100 μετατοπίσεις και για κάθε περίπτωση υπολογίζεται και αποθηκεύεται το er . Ο μέσος όρος των αποστάσεων μειώνεται μέχρι να φτάσει στην ελάχιστη τιμή και μετά αυξάνεται.

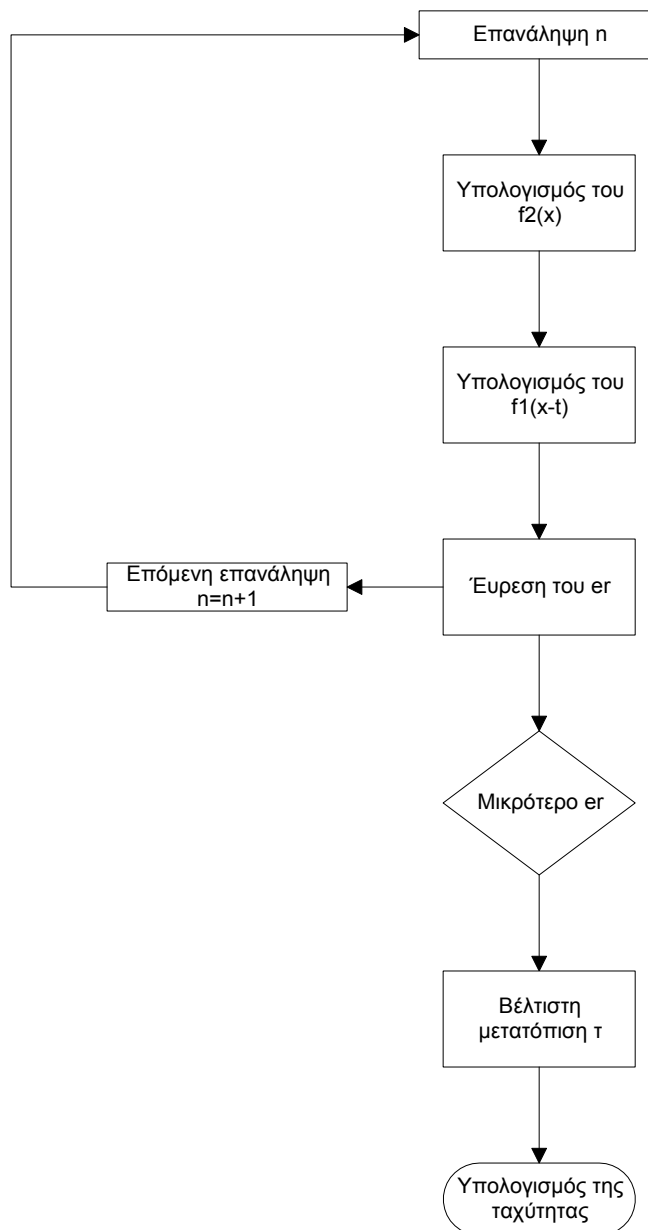


Σχήμα 3.23. Η συμπεριφορά του er

Τα βήματα του αλγόριθμου για δύο συνεχόμενα στιγμιότυπα δίνονται παρακάτω:

1. Υπολογισμός του $f_2(x)$ ή του περιγράμματος y .
2. Υπολογισμός του $f_1(x-t)$.
3. Υπολογισμός του er .
4. Εντοπισμός του μικρότερου er

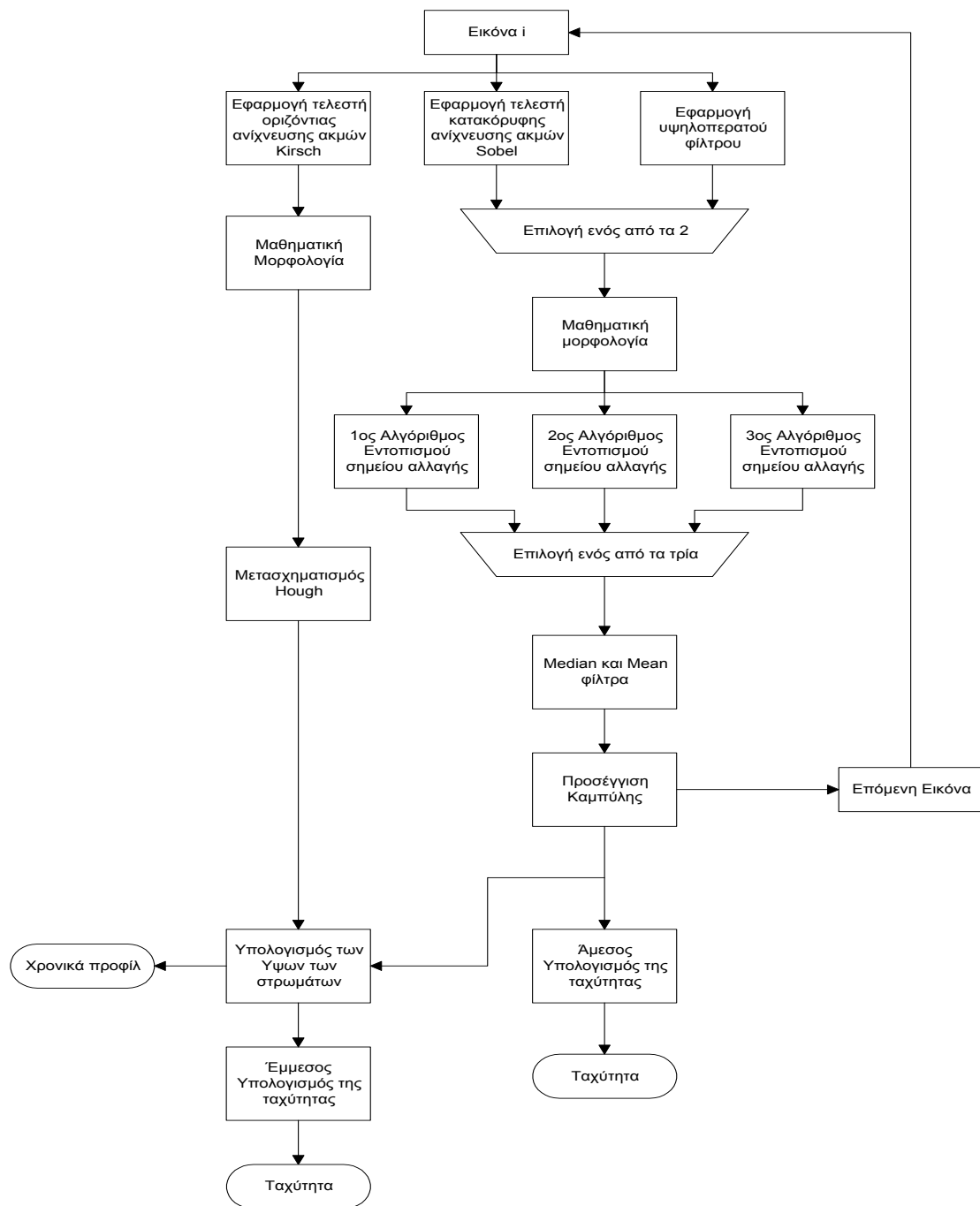
5. Υπολογισμός της ταχύτητας $= \frac{11.6 \times 10^{-6}}{\tau}$



Σχήμα 3.24. Αλγόριθμος άμεσου τρόπου υπολογισμού της ταχύτητας

3.13 Ο αλγόριθμος της επεξεργασίας

Συνδυάζοντας όλα τα βήματα της επεξεργασίας μπορούμε να κατασκευάσουμε τον συνολικό αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία της εικόνας. Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα του συνολικού αλγόριθμου.



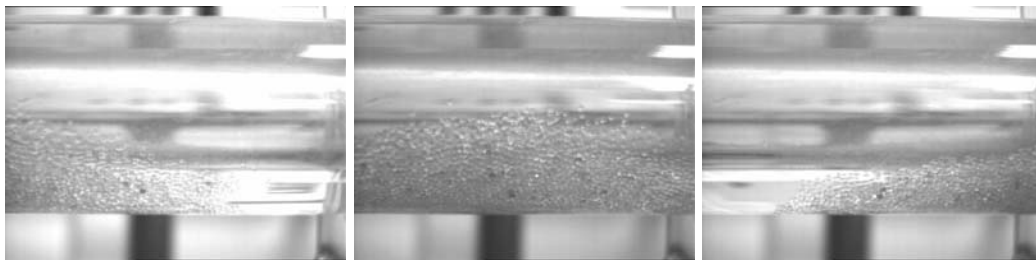
Σχήμα 3.25. Ο Αλγόριθμος της επεξεργασίας

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα αποτελέσματα με τη σειρά που προέκυψαν από την επεξεργασία, μέχρι να φτάσουμε στα τελικά αποτελέσματα και την εύρεση των ταχυτήτων.

Η σειρά των στιγμιότυπων που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία απεικονίζουν το φαινόμενο από την αρχή της εμφάνισης του στην κάμερα μέχρι το τέλος. Παρακάτω δίνονται τρία στιγμιότυπα στα οποία φαίνεται η κίνηση του συσώματος μπροστά στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Η επεξεργασία στην αρχή έγινε για ένα στιγμιότυπο και στην συνέχεια εφαρμόστηκε για όλη την ακολουθία.



Σχήμα 4.1. Η καταγραφή της κίνησης του συσώματος από την κάμερα

Αρχικά θα δείξουμε τον εντοπισμό του κινούμενου στρώματος και τον εντοπισμό του σωλήνα από την αρχή της εικόνας, στην συνέχεια την εύρεση του πάνω και κάτω περιγράμματος του κινούμενου στρώματος, την παραμετροποίηση των περιγραμμάτων, τον εντοπισμό των χρονικών προφίλ και τέλος τον υπολογισμό της ταχύτητας με τον άμεσο και τον έμμεσο τρόπο.

4.1 Εντοπισμός του κινούμενου στρώματος

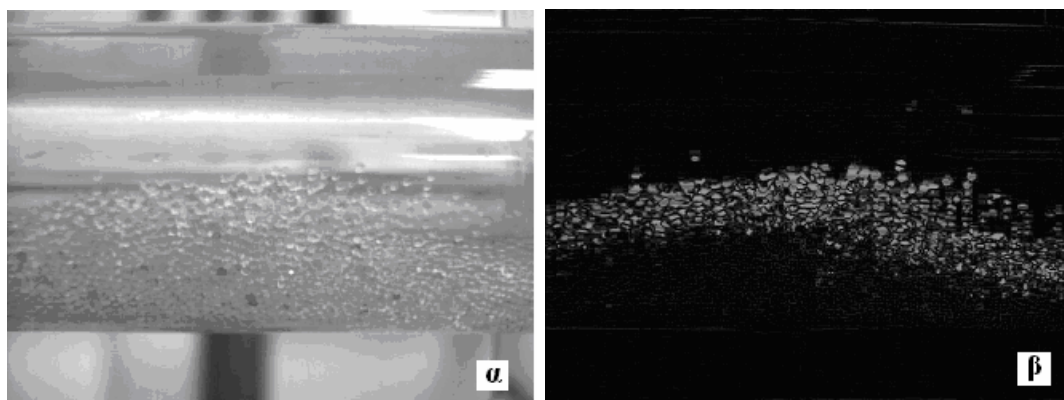
Το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας είναι ο εντοπισμός του κινούμενου στρώματος. Για τον διαχωρισμό του κινούμενου και στατικού στρώματος εφαρμόστηκε υπερπαρατό φίλτρο και τελεστής ανίχνευσης ακμών Sobel.

4.1.1 Με υψηλοπερατό φίλτρο

Όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο το υψηλοπερατό φίλτρο έχει την ιδιότητα να εξασθενεί τις περιοχές με χαμηλή συχνότητα και να ενισχύει τις περιοχές με υψηλή συχνότητα στην εικόνα. Λόγω της κίνησης, το κινούμενο στρώμα είναι περιοχή υψηλότερης συχνότητας συγκριτικά με το στατικό στρώμα. Έτσι εφαρμόζοντας την ακόλουθη χωρική μάσκα

$$A1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

στην εικόνα μας εντοπίζουμε την περιοχή υψηλής συχνότητας-κινούμενο στρώμα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εφαρμογή της μάσκας στην εικόνα παρουσιάζεται στο σχήμα 4.2.



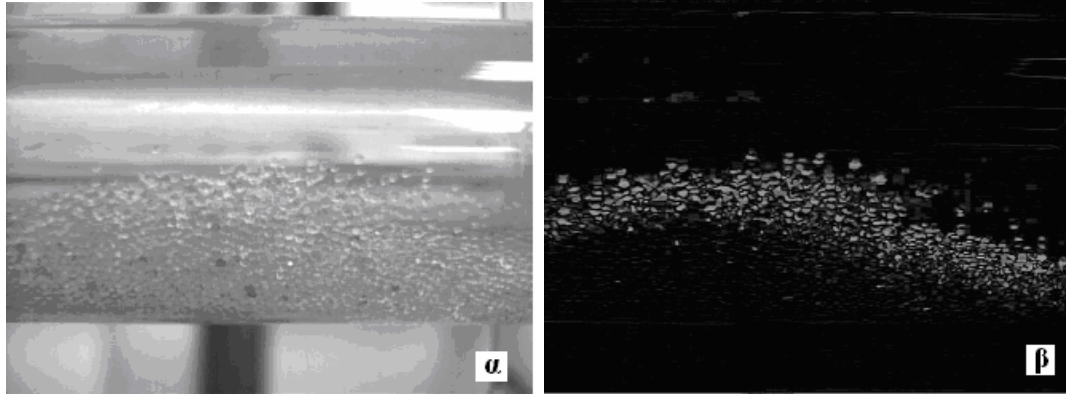
Σχήμα 4.2. (α) Εικόνα εισόδου, (β) Εικόνα εξόδου από την εφαρμογή υψηλοπερατού φίλτρου

Φαίνεται καθαρά ο εντοπισμός της περιοχής υψηλής συχνότητας που αντιστοιχεί στο κινούμενο στρώμα.

4.1.2 Με τελεστή ανίχνευσης ακμών Sobel

Στο κινούμενο στρώμα τα σωματίδια εμφανίζονται διακριτά μεταξύ τους ενώ στο κάτω στρώμα παραμένουν ακίνητα για κάποιο χρονικό διάστημα και εμφανίζονται ως ένα συμπαγές σώμα. Εφαρμόζοντας τελεστή Sobel κατακόρυφης ανίχνευσης ακμών επιτυγχάνεται ο εντοπισμός των ακμών του αντικειμένου σε μια εικόνα. Στην δική μας την περίπτωση το αντικείμενο είναι

ολόκληρο το συσσωμάτωμα και οι κατακόρυφες ακμές του αντικειμένου είναι τα διακριτά σωματίδια. Έτσι ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του τελεστή στη εικόνα έχουμε τον εντοπισμό του κινούμενου στρώματος. Το αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω:



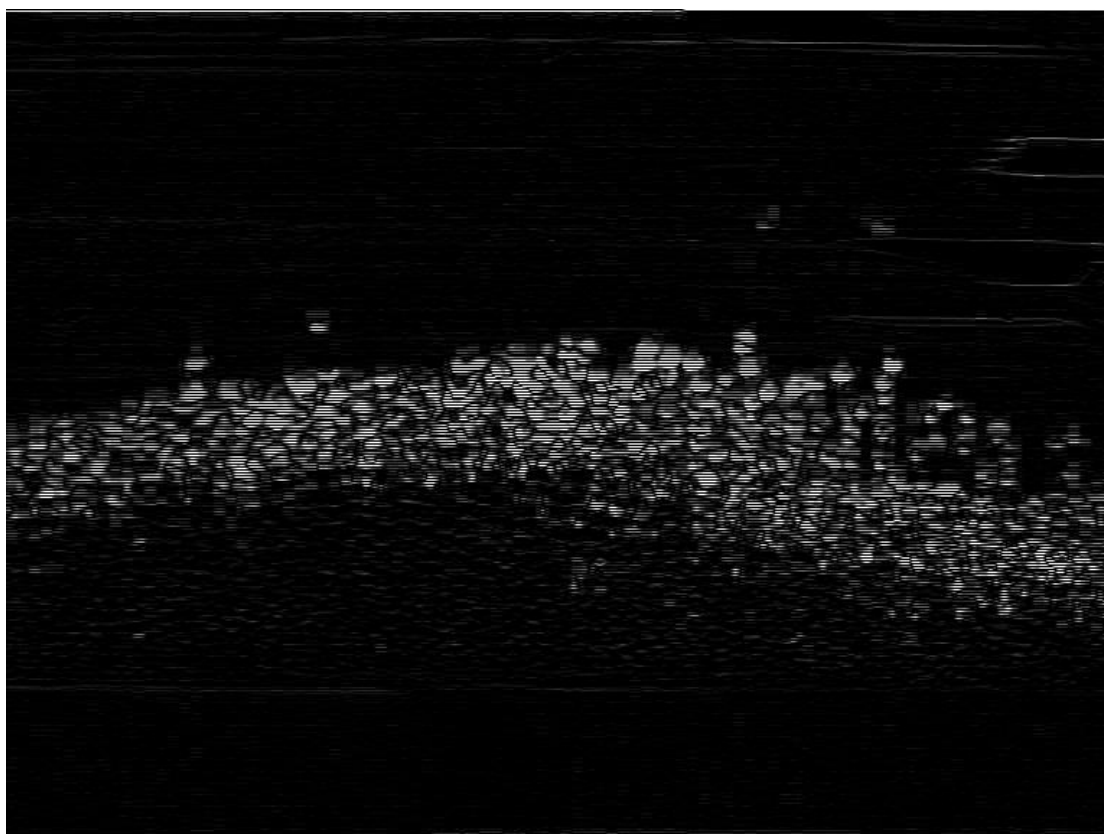
Σχήμα 4.3. (α) εικόνα εισόδου και (β) εικόνα εξόδου από την εφαρμογή του τελεστή Sobel για κατακόρυφη ανίχνευση ακμών

4.1.3 Παρατηρήσεις

Εφαρμόζοντας υψηλοπερατά φίλτρα ή τελεστή κατακόρυφης ανίχνευσης Sobel καταφέραμε να εντοπίσουμε το κινούμενο στρώμα και να διαχωρίσουμε τα 2 στρώματα του συσώματος. Το αποτέλεσμα είναι σχεδόν το ίδιο αλλά επιλέξαμε να προχωρήσουμε με το αποτέλεσμα του τελεστή Sobel.

4.2 Μαθηματική μορφολογία

Οι γραμμές που φαίνονται στην οθόνη και καταγράφονται στην ψηφιακή φωτογραφία μετά την εφαρμογή των τελεστών και του υψηλοπερατού φίλτρου γίνονται πιο εμφανείς. Παρακάτω φαίνεται η εικόνα εξόδου μετά την εφαρμογή του τελεστή Sobel για κατακόρυφη ανίχνευση ακμών στην οποία είναι εμφανής η ύπαρξη των γραμμών αυτών.



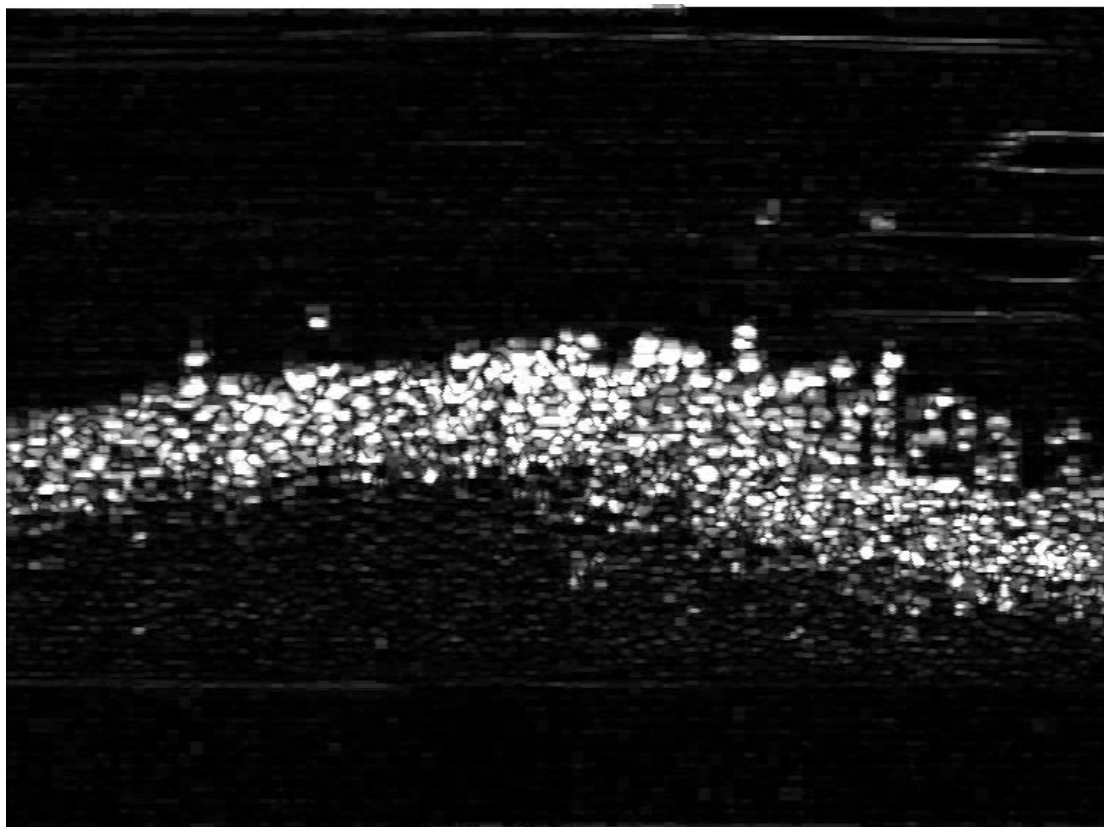
Σχήμα 4.4. Η ύπαρξη γραμμών στην εικόνα εξόδου από την εφαρμογή του τελεστή Sobel.

Εφαρμόζοντας μαθηματική μορφολογία και πιο συγκεκριμένα τη συνάρτηση Dilation με δομικό στοιχείο δίσκο (disk) ακτίνας 1,

$$A2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

στην εικόνα εξόδου μετά την εφαρμογή του τελεστή Sobel, έχουμε ως αποτέλεσμα το γέμισμα των γραμμών και συνεπώς την ένωση των σωματιδίων. Το αποτέλεσμα και η επίδραση του dilation στην εικόνα είναι εμφανές και απεικονίζεται παρακάτω (σχήμα 4.5).

Στα επόμενα βήματα της επεξεργασίας, χρησιμοποιείται το αποτέλεσμα που προκύπτει μετά την εφαρμογή μαθηματικής μορφολογίας στην εικόνα εξόδου του τελεστή Sobel.



Σχήμα 4.5. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την χρήση μαθηματικής μορφολογίας στην εικόνα εξόδου της εφαρμογής Sobel

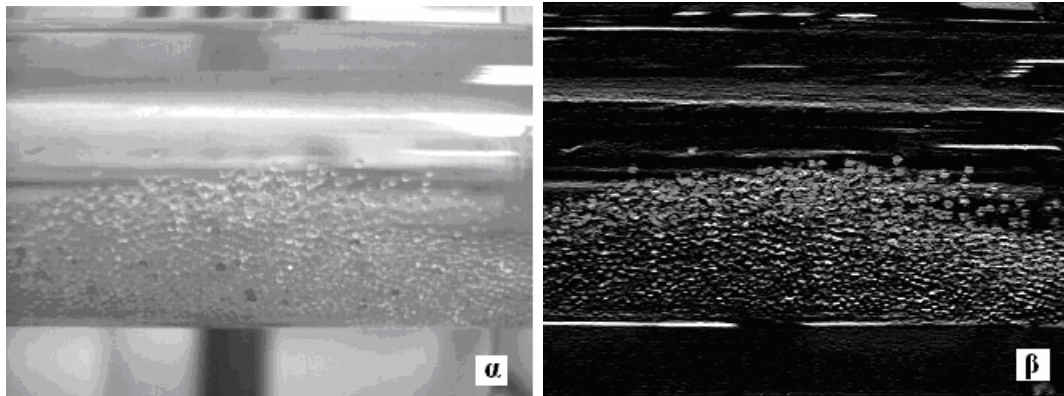
4.3 Εντοπισμός του κάτω ορίου του σωλήνα στην εικόνα

Το συσσωμάτωμα μέσα στην εικόνα ξεκινάει από την αρχή του σωλήνα. Για να καταφέρουμε να οριοθετήσουμε το συσσωμάτωμα στην εικόνα πρέπει πρώτα να εντοπίσουμε την απόσταση που απέχει το κάτω όριο του σωλήνα από την αρχή της εικόνας. Χρησιμοποιήσαμε τελεστή Kirsch οριζόντιας ανίχνευσης ακμών για τον εντοπισμό του κάτω ορίου του σωλήνα και στην συνέχεια εφαρμόσαμε μετασχηματισμό Hough για να υπολογίσουμε την εξίσωση του ορίου αυτού.

4.3.1 Εφαρμογή τελεστή Kirsch

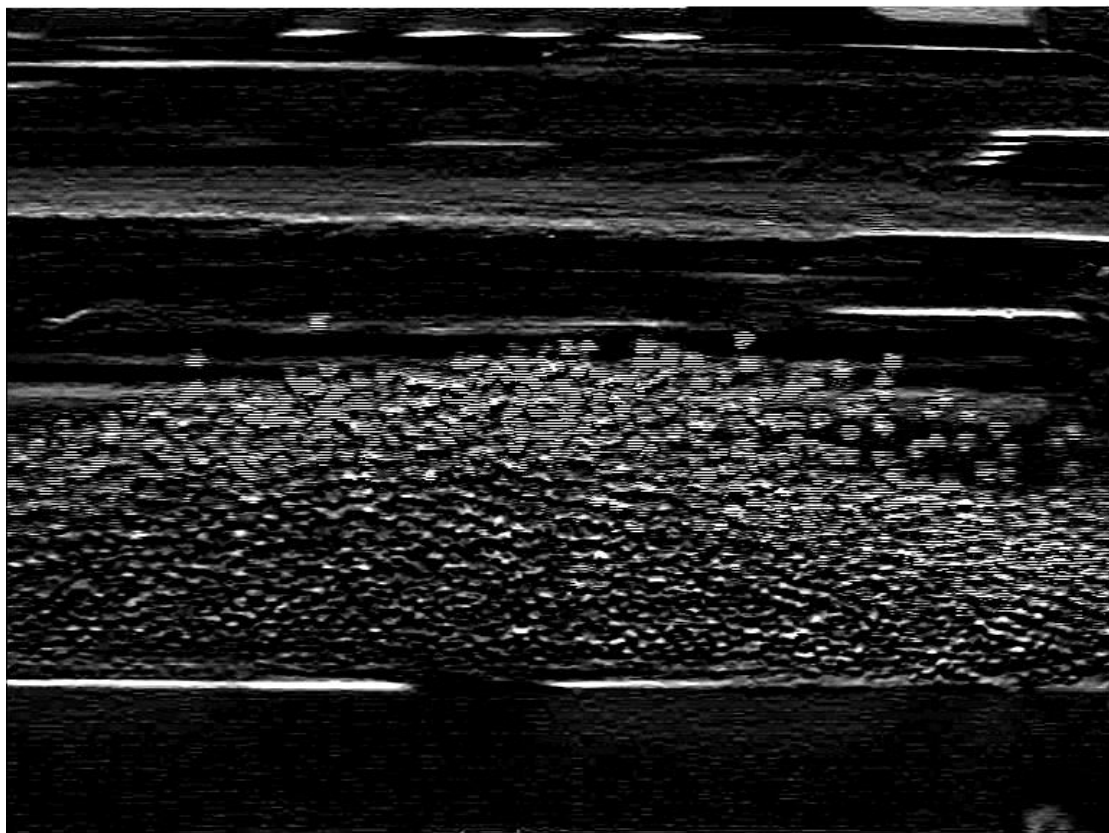
Ο τελεστής οριζόντιας ανίχνευσης ακμών δίνει τις οριζόντιες ακμές ενός αντικειμένου σε μια εικόνα. Στην δική μας την περίπτωση εφαρμόζοντας τον

τελεστή οριζόντιας ανίχνευσης Kirsch (μάσκα 1), καταφέραμε να εντοπίσουμε το κάτω όριο του σωλήνα. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



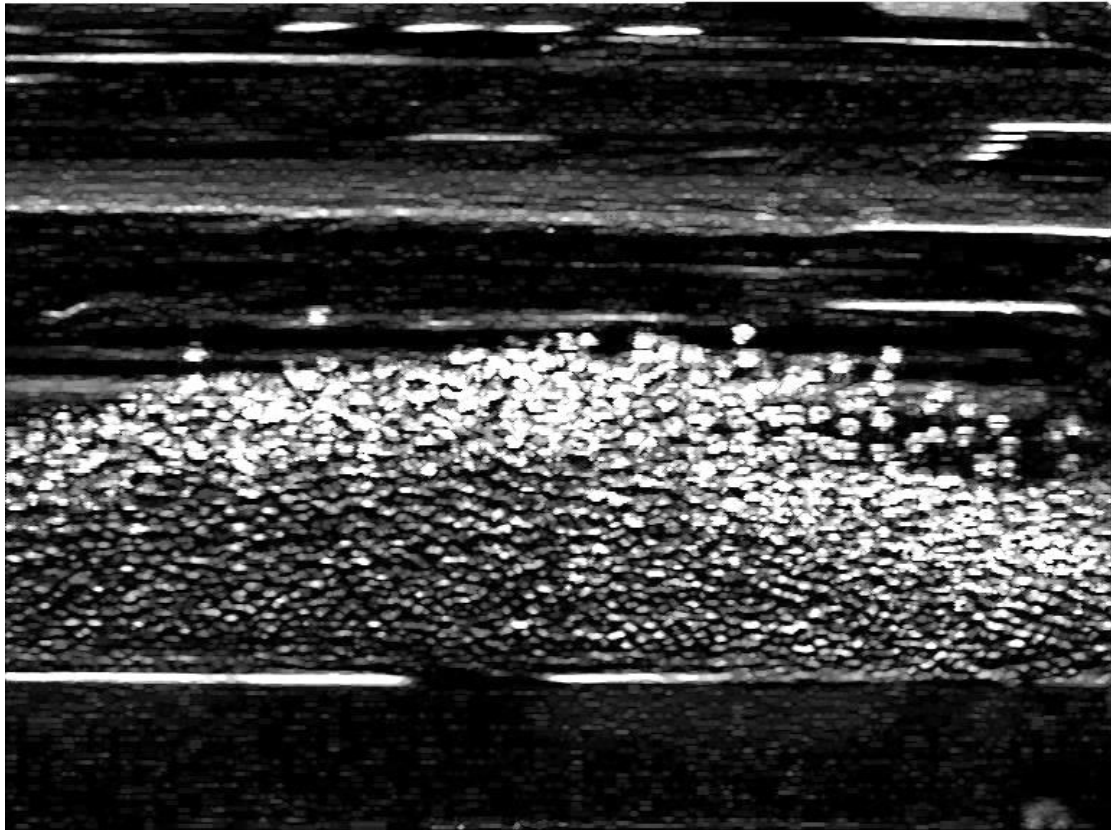
Σχήμα 4.6. (α) Η εικόνα εισόδου και (β) η εικόνα εξόδου από την εφαρμογή του τελεστή Kirsch για οριζόντια ανίχνευση ακμών

Όπως παρατηρήθηκε και πιο πριν, μετά την εφαρμογή του τελεστή Kirsch, το φαινόμενο γράμμωσης είναι πιο εμφανές (σχήμα 4.7), και σε αυτή την περίπτωση εφαρμόζουμε μαθηματική μορφολογία (dilation) για να γεμίσουμε τις γραμμές και να ενώσουμε τα σωματίδια.



Σχήμα 4.7. Η ύπαρξη γραμμών στην εικόνα εξόδου από την εφαρμογή του τελεστή Kirsch.

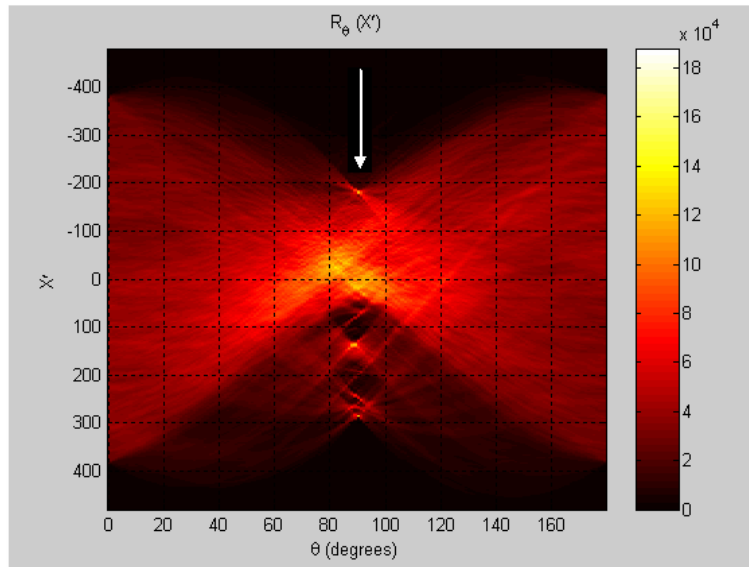
Το αποτέλεσμα που προκύπτει παρατίθεται πιο κάτω:



Σχήμα 4.8. Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή μαθηματικής μορφολογίας στην εικόνα εξόδου από την εφαρμογή του τελεστή Kirsch .

4.3.2 Μετασχηματισμός Hough

Για να εντοπίσουμε την εξίσωση της ευθείας που προσεγγίζει το κάτω όριο του σωλήνα, εφαρμόζουμε μετασχηματισμό Hough στην εικόνα που προκύπτει από την εφαρμογή του τελεστή Kirsch οριζόντιας ανίχνευσης(μετά την μαθηματική μορφολογία). Το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού είναι ένα πλέγμα πολικών συντεταγμένων (γωνία θ και ακτίνα X), που αντιπροσωπεύει την εικόνα.



Σχήμα 4.9. Η απεικόνιση της ευθείας στο πολικό πλέγμα

Οι γραμμές τις εικόνες απεικονίζονται με μονά σημεία και με την ανάλογη ένταση. Η γραμμή που θέλουμε να εντοπίσουμε απεικονίζεται με το σημείο που φαίνεται στο σχήμα 4.9. Το σημείο αυτό έχει σαν πολικές συντεταγμένες, $\theta=90^\circ$, $X'=-178$.

Για τον υπολογισμό της εξίσωσης της ευθείας χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

όπου $\theta = 90^\circ$ και $r = x' = -178$. Λύνοντας την εξίσωση με αυτές τις τιμές καταλήγουμε:

$$y = -178 \quad (2)$$

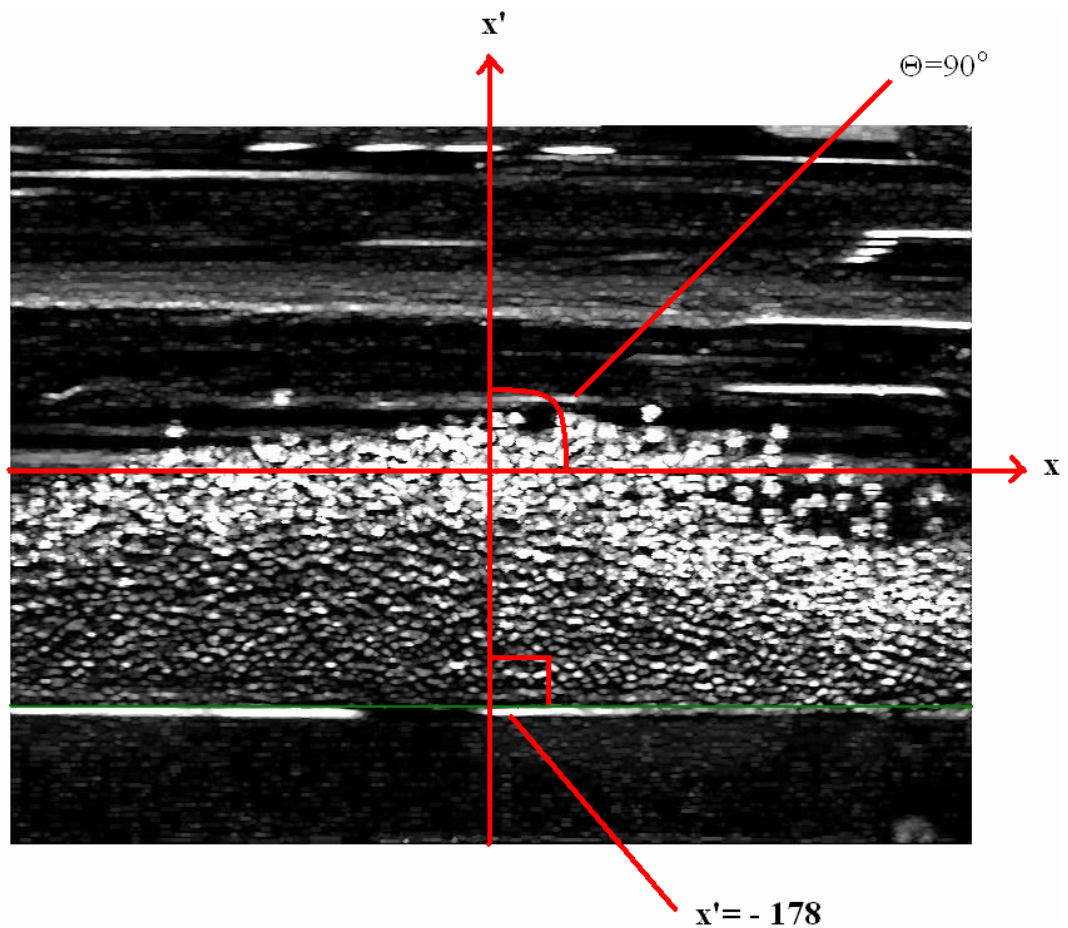
Η τιμή -178 υπολογίζεται από την μέση της εικόνας. Η εικόνα έχει 576 pixels άρα η μέση στο 288. Έτσι η εξίσωση της ευθείας είναι:

$$y = 110 \quad (3),$$

εάν η αρίθμηση ξεκινάει από κάτω προς τα πάνω και

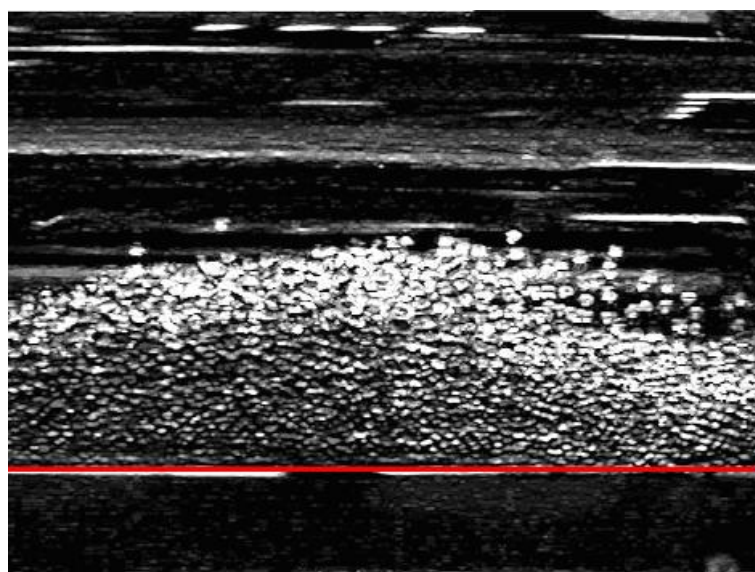
$$y = 466 \quad (4),$$

εάν η αρίθμηση ξεκινάει από πάνω προς τα κάτω.



Σχήμα 4.10. Η γεωμετρία του μετασχηματισμού Hough

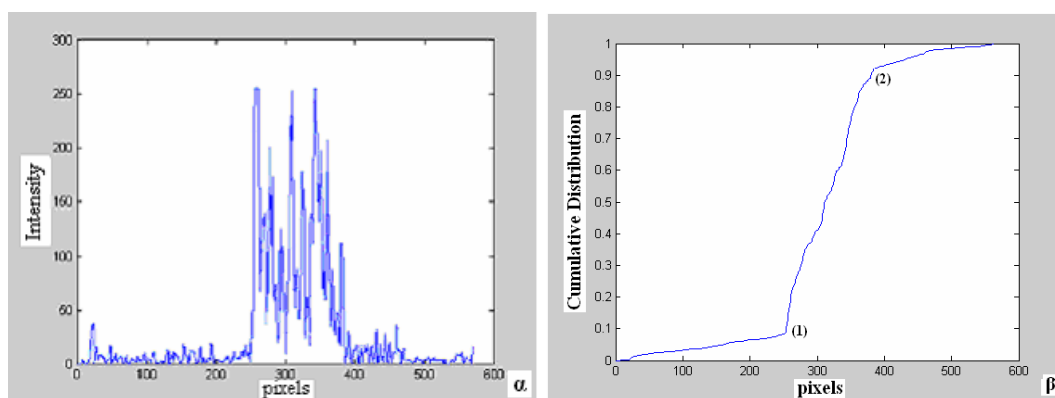
Όπως φαίνεται και παρακάτω με την χρήση του τελεστή Kirsch και του μετασχηματισμού Hough καταφέραμε να υπολογίσουμε την εξίσωση του κάτω ορίου του σωλήνα.



Σχήμα 4.11. Η προσέγγιση του κάτω ορίου του σωλήνα

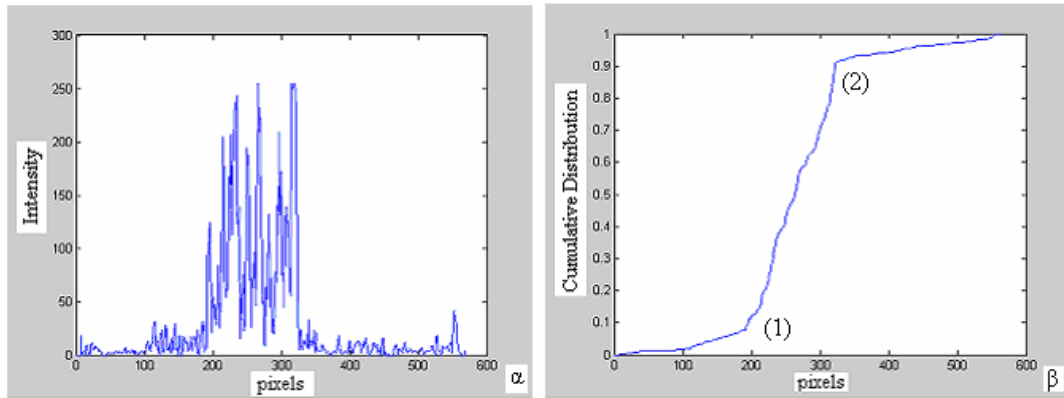
4.4 Εντοπισμός του περιγράμματος του πάνω και κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος

Παρατηρώντας την εικόνα που προκύπτει από την εφαρμογή του τελεστή Sobel και της μαθηματικής μορφολογίας φαίνεται ξεκάθαρα ότι το κινούμενο στρώμα είναι περιοχή υψηλών εντάσεων. Εάν εστιάσουμε σε μια στήλη από τις 768 της εικόνας, η κατανομή των εντάσεων της φωτεινότητας των pixels απεικονίζεται στο σχήμα 4.12(α) (οι τιμές των pixels από πάνω προς τα κάτω). Οι εντάσεις των pixels του κινούμενου στρώματος είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές των υπόλοιπων pixels. Υπολογίζοντας τις τιμές που οριοθετείται το τμήμα των υψηλών εντάσεων θα μας δώσει και τα δύο όρια του κινούμενου στρώματος για την στήλη αυτή. Υπολογίζοντας την αθροιστική κατανομή (cumulative distribution) των εντάσεων της στήλης (σχήμα 4.12(β)), φαίνεται ότι τα δύο σημεία καμπής μας δίνουν τα όρια του κινούμενου στρώματος. Χρησιμοποιώντας αλγόριθμους εντοπισμού σημείου αλλαγής μπορούμε να βρούμε τα σημεία καμπής των εντάσεων για κάθε στήλη, τα οποία αντιστοιχούν και στα δύο όρια του κινούμενου στρώματος.



Σχήμα 4.12.(α) Οι εντάσεις της φωτεινότητας των pixels από πάνω προς τα κάτω,για μια στήλη ,(β) Η αθροιστική τους κατανομή

Οι αλγόριθμοι εντοπισμού που χρησιμοποιήσαμε μας εντοπίζουν με μεγάλη ακρίβεια το πρώτο σημείο καμπής. Έτσι παίρνοντας τις τιμές των εντάσεων ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω για κάθε στήλη, οι αλγόριθμοι εντοπίζουν το σημείο καμπής για το πάνω όριο του κινούμενου στρώματος. Παίρνοντας τις τιμές από κάτω προς τα πάνω, δίνουν το σημείο καμπής που αντιστοιχεί στο κάτω όριο.

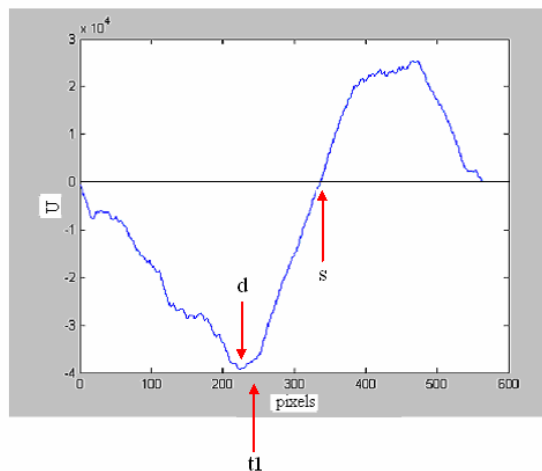


Σχήμα 4.13.(α) Οι εντάσεις της φωτεινότητας των pixels από κάτω προς τα πάνω, για μια στήλη, (β) Η αθροιστική τους κατανομή

Παρακάτω θα παρασταθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των αλγορίθμων σε κάθε στήλη της εικόνας.

4.4.1 1^{ος} Αλγόριθμος εντοπισμού ακμών

Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο στις τιμές μιας τυχαίας στήλης, το $U_{t,n}$ έχει την πιο κάτω απόκριση (σχήμα 4.14). Όπου s , το σημείο που το $U_{t,n}$ περνάει σε θετικές τιμές, d το σημείο με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή στο διάστημα $[1, s]$ και t_1 , το τοπικό απόλυτο μέγιστο στο διάστημα $[d, s]$ που ικανοποιεί την σχέση $\frac{|d - t_1|}{|d|} > 0.1$. Άρα για την στήλη αυτή το σημείο αλλαγής είναι το $t_1 = 250$.



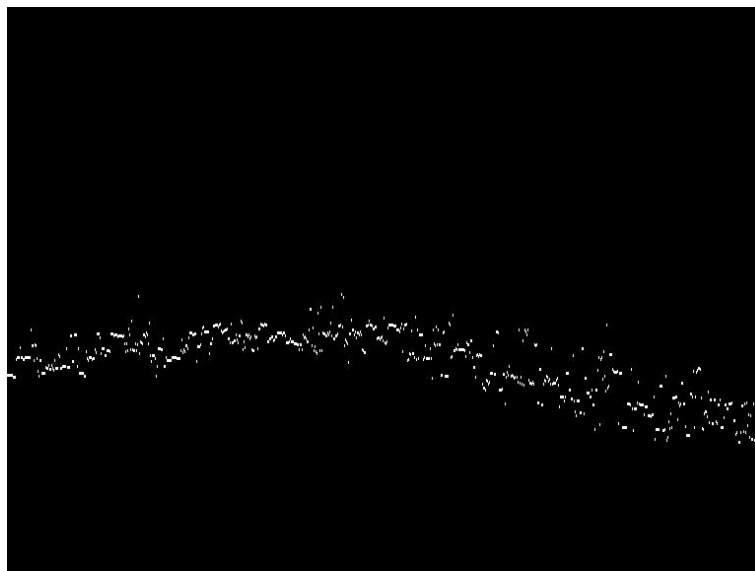
Σχήμα 4.14. Ο εντοπισμός του σημείου αλλαγής με την εφαρμογή του πρώτου αλγορίθμου

Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο σε κάθε στήλη της εικόνας παίρνοντας τις τιμές από πάνω προς τα κάτω μας δίνει το περίγραμμα του πάνω ορίου του κινούμενου στρώματος.



Σχήμα 4.15. Το περίγραμμα του πάνω ορίου του κινούμενου στρώματος

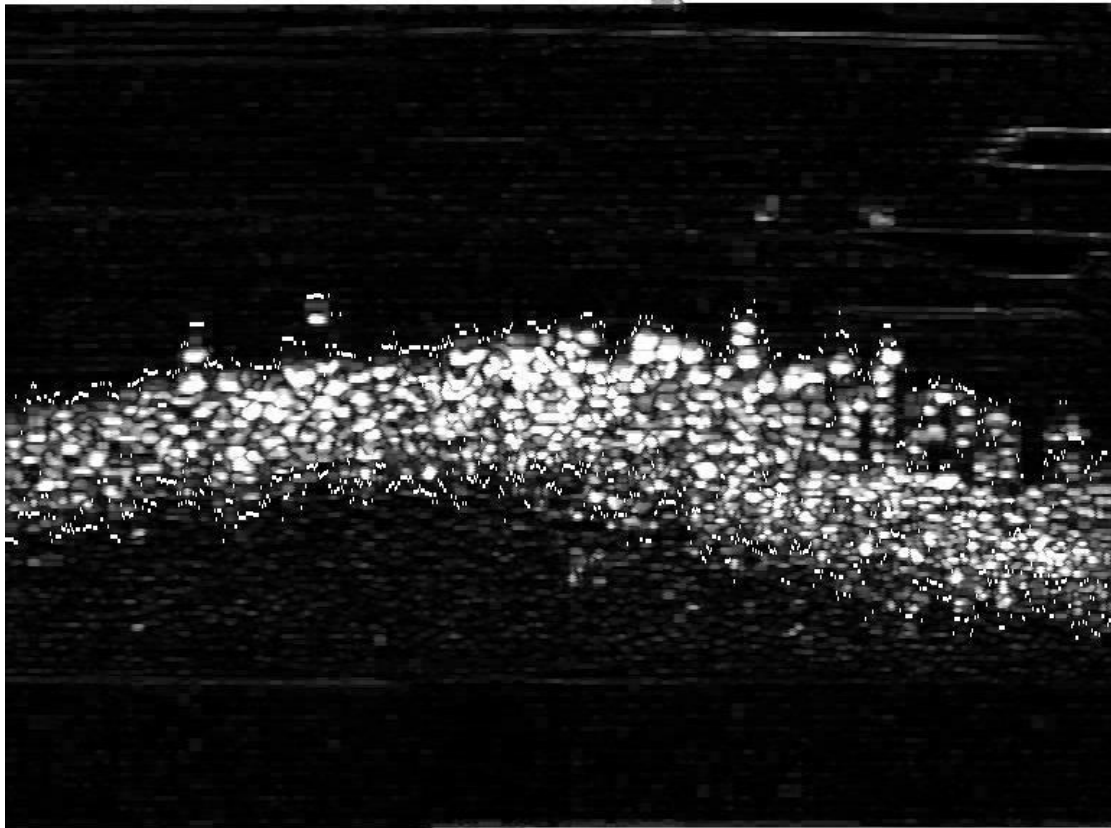
Παίρνοντας τις τιμές από κάτω προς τα πάνω για κάθε στήλη και εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο εντοπίζουμε το περίγραμμα του κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος.



Σχήμα 4.16. Το περίγραμμα του κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος

Τοποθετώντας τα δύο περιγράμματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του αλγόριθμου στην εικόνα με το κινούμενο στρώμα,

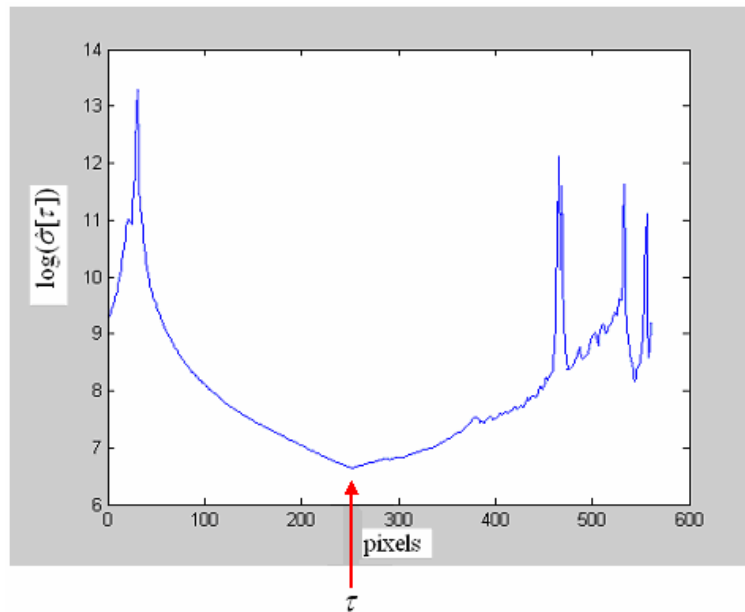
παρατηρούμε ότι προσεγγίζουν ικανοποιητικά το πάνω και κάτω όριο του κινούμενου στρώματος.



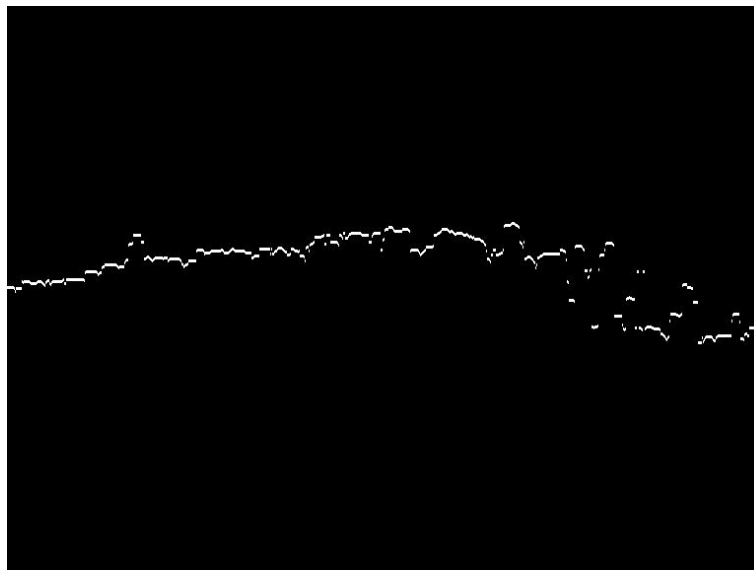
Σχήμα 4.17. Ο εντοπισμός του πάνω και κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος με την εφαρμογή του πρώτου αλγόριθμου

4.4.2 2^{ος} Αλγόριθμος

Όταν εφαρμοστεί ο αλγόριθμος σε μια τυχαία στήλη της εικόνας το $\log(\hat{\sigma}[\tau])$ έχει την πιο κάτω απόκριση (Σχήμα 4.18). Είναι εμφανές ότι σε κάποιο σημείο τ , το $\log(\hat{\sigma}[\tau])$ παίρνει την μικρότερη του τιμή. Το σημείο αυτό είναι και το σημείο αλλαγής. Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο σε κάθε στήλη της εικόνας με τις τιμές από πάνω προς τα κάτω, εντοπίζουμε το περίγραμμα του πάνω ορίου (σχήμα 4.19).

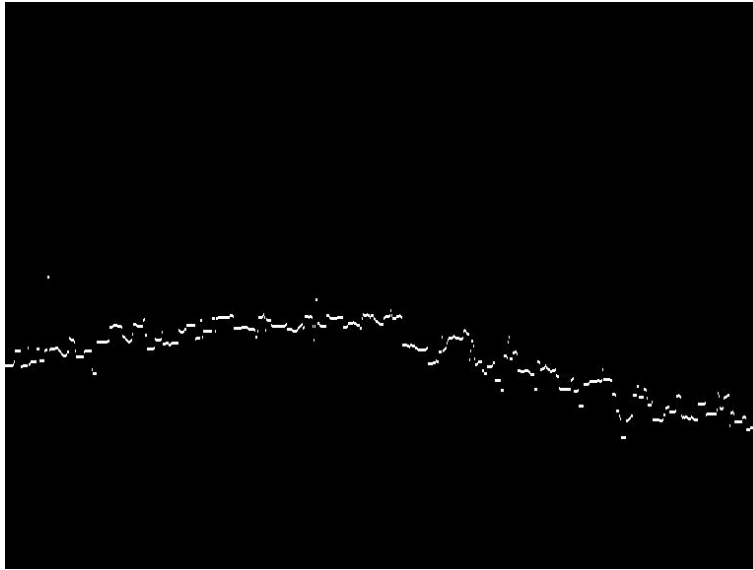


Σχήμα 4.18. Ο εντοπισμός του σημείου αλλαγής με την εφαρμογή του δεύτερου αλγόριθμου



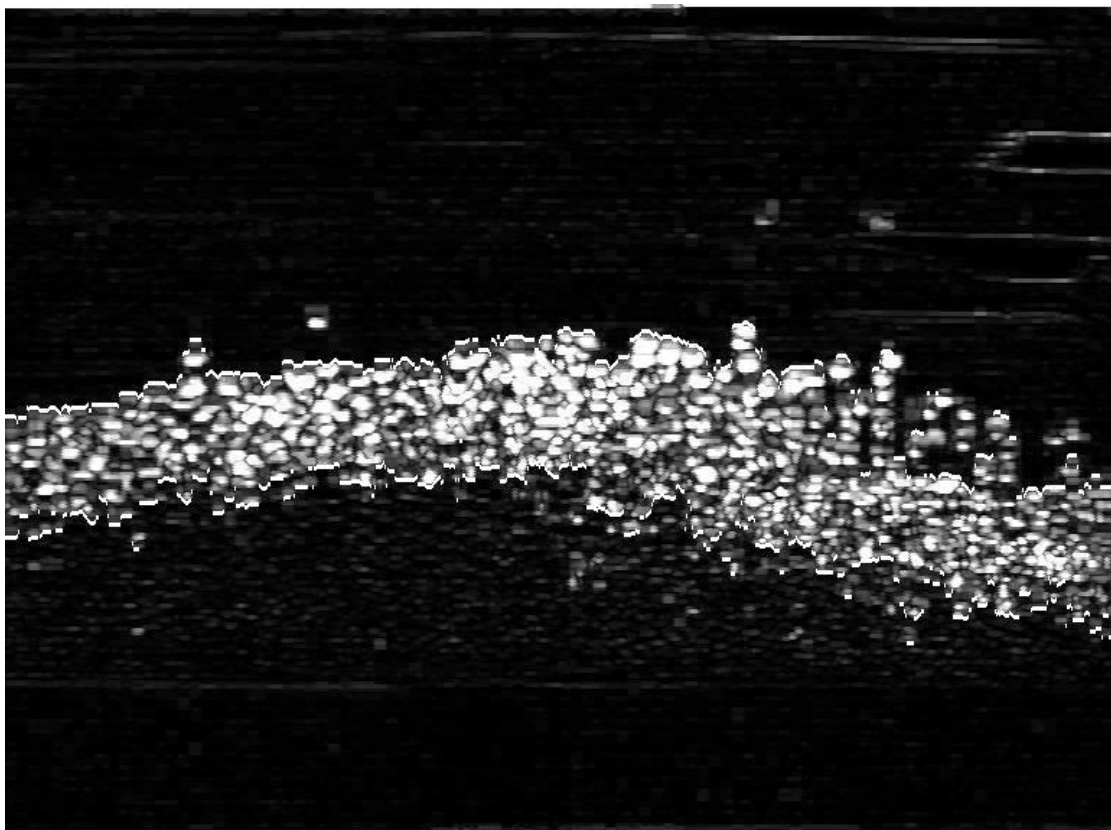
Σχήμα 4.19. Το περίγραμμα του πάνω ορίου του κινούμενου στρώματος

Παίρνοντας τιμές από κάτω προς τα πάνω και εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο εντοπίζουμε το περίγραμμα του κάτω ορίου.



Σχήμα 4.20. Το περίγραμμα του κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος

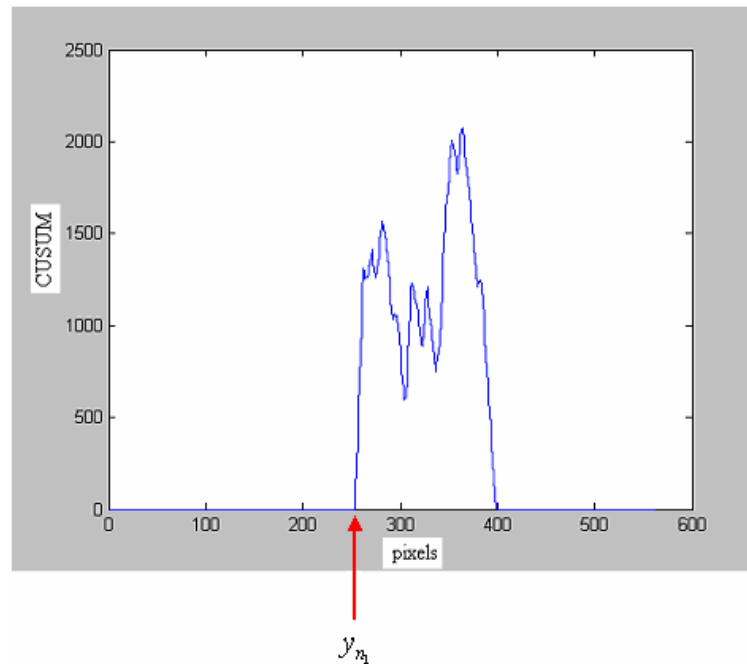
Βάζοντας τα περιγράμματα που προέκυψαν απο την εφαρμογή του αλγόριθμου στην εικόνα με το κινούμενο στρώμα, παρατηρούμε όπως και στον προηγούμενο αλγόριθμο, ότι προσεγγίζουν ικανοποιητικά το πάνω και κάτω όριο του κινούμενου στρώματος.



Σχήμα 4.21. Ο εντοπισμός του πάνω και κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος με την εφαρμογή του δεύτερου αλγόριθμου

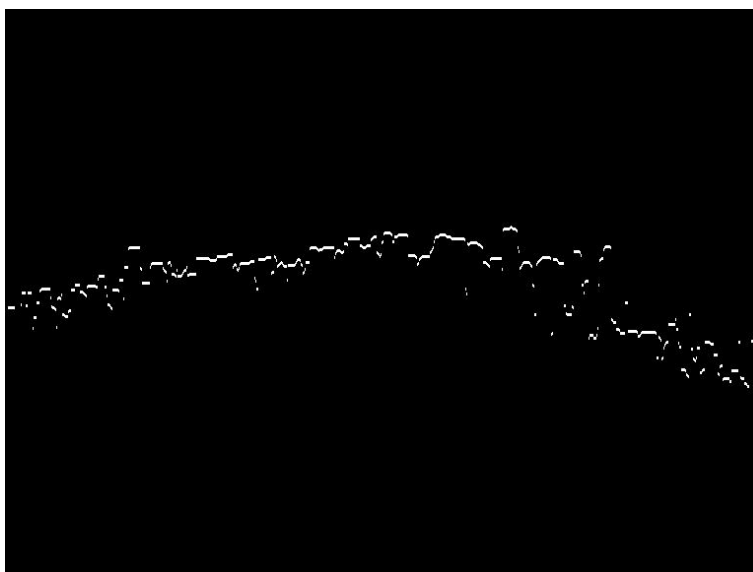
4.4.3 3^{ος} Αλγόριθμος

Για την εφαρμογή του αλγόριθμου, η μεταβλητή β τέθηκε ίση με 100 (δοκιμάστηκε για διάφορες τιμές του β) και έτσι οι τιμές του $Z_N = X_N - \beta$ είναι μηδενικές εκτός από τις θέσεις των υψηλών εντάσεων. Παρακάτω φαίνεται το αποτέλεσμα για μια τυχαία στήλη:



Σχήμα 4.22. Ο εντοπισμός του σημείου αλλαγής με την εφαρμογή του τρίτου αλγόριθμου

Το σημείο αλλαγής ισοδυναμεί με την πρώτη μη μηδενική θέση y_{n_1} . Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζεται σε όλες τις στήλες της εικόνας για τον εντοπισμό του πάνω ορίου (σχήμα 4.23) και στην συνέχεια για τον εντοπισμό του κάτω ορίου (σχήμα 4.24).

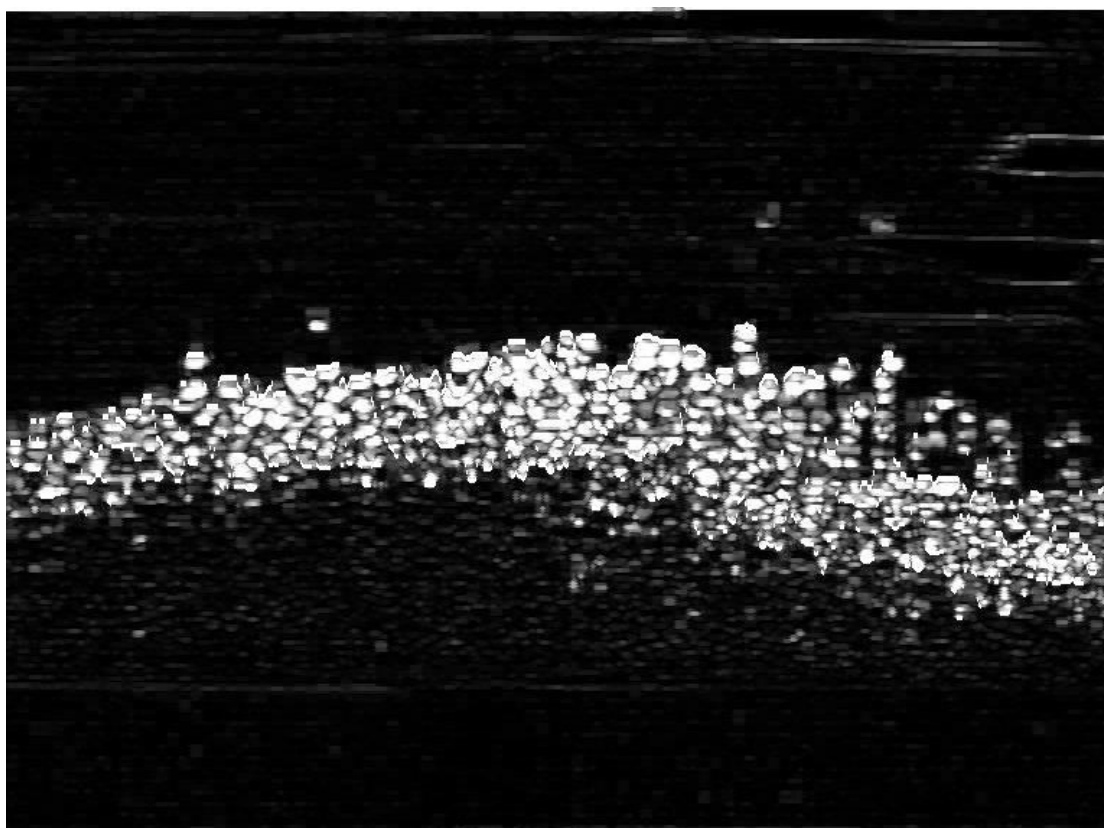


Σχήμα 4.23. Το περίγραμμα του πάνω ορίου του κινούμενου στρώματος



Σχήμα 4.24. Το περίγραμμα του κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος

Τοποθετώντας τα περιγράμματα του κινούμενου στρώματος στην εικόνα, όπως και στις δύο άλλες περιπτώσεις, είναι φανερό ότι προσεγγίζουν ικανοποιητικά το κινούμενο στρώμα.



Σχήμα 4.25. Ο εντοπισμός του πάνω και κάτω ορίου του κινούμενου στρώματος με την εφαρμογή του τρίτου αλγόριθμου

4.4.4 Συμπεράσματα των αποτελεσμάτων των τριών αλγορίθμων

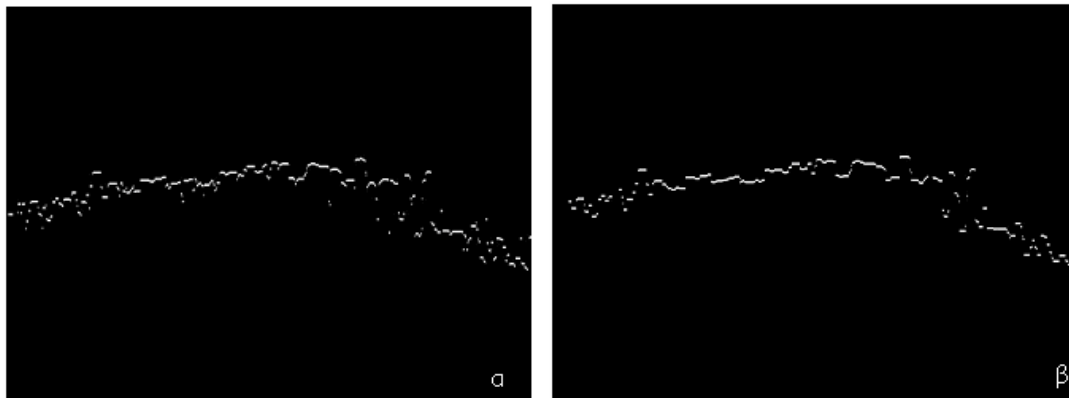
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των τριών αλγορίθμων για τον εντοπισμό των δύο σημείων καμπής στην κατανομή των εντάσεων παρατηρούμε ότι είναι σχεδόν τα ίδια. Και στις τρεις περιπτώσεις τα περιγράμματα προσεγγίζουν ικανοποιητικά το κινούμενο στρώμα και ειδικά στα αποτελέσματα των δύο τελευταίων αλγορίθμων έχουμε ποιο βέλτιστη προσέγγιση γιατί καταφέραμε να αφαιρέσουμε κάποια σωματίδια που κινούνται πάνω από το κινούμενο στρώμα. Έτσι για τα επόμενα στάδια της επεξεργασίας χρησιμοποιήθηκε το αποτέλεσμα από τον δεύτερο αλγόριθμο.

Πριν εφαρμοσθεί η παραμετροποίηση των περιγραμμάτων και η μετατροπή τους σε πολυώνυμα εφαρμόστηκαν median και mean φίλτρα για ομαλοποίηση των περιγραμμάτων ελαττώνοντας τις τιμές των pixels που έχουν μεγάλη διαφορά από τις τιμές των γειτονικών τους.

4.5 Ομαλοποίηση των περιγραμμάτων

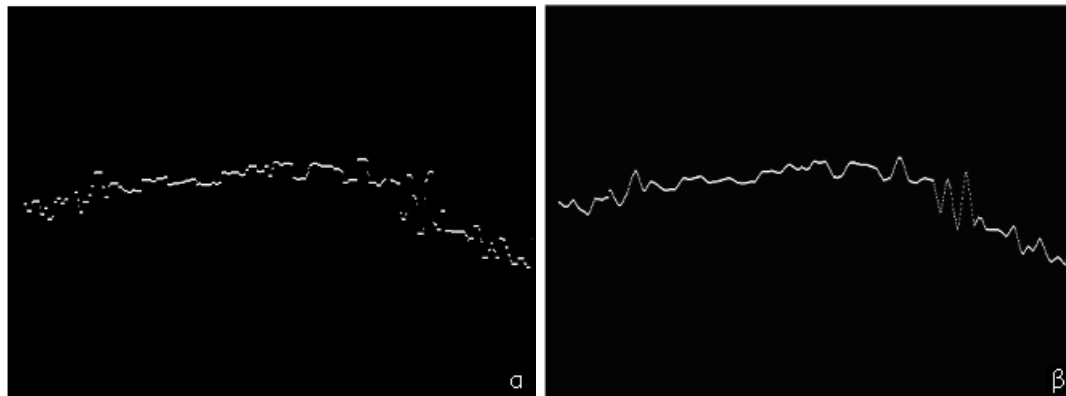
Επειδή μια μεγάλη μη αντιπροσωπευτική τιμή κάποιου pixel μπορεί να επηρεάσει και την μέση τιμή (mean) όλων των γειτονικών του, εφαρμόστηκε πρώτα median φίλτρο και μετά mean.

Για το πάνω περίγραμμα του στρώματος εφαρμόστηκε αρχικά median φίλτρο με παράθυρο 9 θέσεων. Η επιλογή του παραθύρου έγινε μετά από δοκιμή



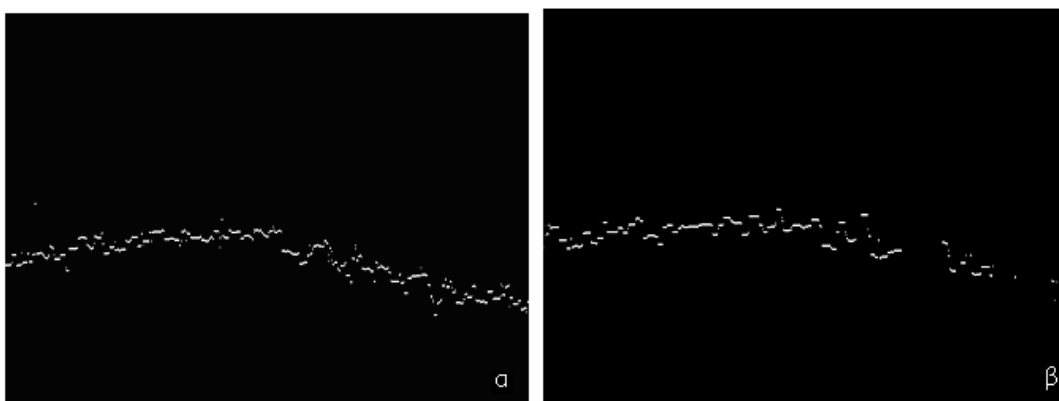
Σχήμα 4.26. (β)Το αποτέλεσμα της εφαρμογής median φίλτρου στο (α) πάνω περίγραμμα.

Στην συνέχεια εφαρμόστηκε στο αποτέλεσμα που προκύπτει, φίλτρο mean με παράθυρο 11 θέσεων.

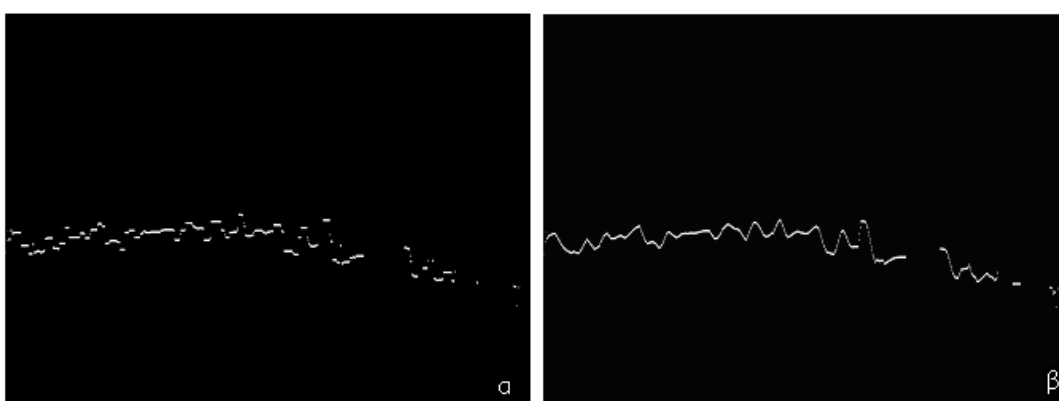


Σχήμα 4.27. (β)Το αποτέλεσμα που προκύπτει μετά την εφαρμογή του mean φίλτρου στην (α) εικόνα εξόδου από το median

Ομοίως προχωρήσαμε και στην ομαλοποίηση του κάτω περιγράμματος. Ξεκινήσαμε με median φίλτρο (παράθυρο 11) και στην εικόνα εξόδου, εφαρμόσαμε mean φίλτρο (παράθυρο 11) για να καταλήξουμε στο τελικό ομαλοποιημένο κάτω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος.



Σχήμα 4.28. (β) Το αποτέλεσμα της εφαρμογής median φίλτρου στο (α) κάτω περίγραμμα



Σχήμα 4.29. (β) Το αποτέλεσμα που προκύπτει μετά την εφαρμογή του mean φίλτρου στην (α) εικόνα εξόδου από το median

Τελειώνοντας με την εφαρμογή των median και mean φίλτρων, τα περιγράμματα έχουν πάρει την τελική τους μορφή και είναι έτοιμα πλέον για την παραμετροποίησή τους.

4.6 Παραμετροποίηση των καμπυλών που προσεγγίζουν το πάνω και κάτω όριο του κινούμενου στρώματος

Η παραμετροποίηση των περιγραμμάτων έγινε με την εφαρμογή της προσέγγισης καμπύλης (Curve Approximation), η οποία όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 3), στηρίζεται στην μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Δίνοντας ως είσοδο τα σημεία των δύο περιγραμμάτων η μέθοδος αυτή έδωσε τους συντελεστές του πολυωνύμου που προσεγγίζει τις ακολουθίες των σημείων των δύο περιγραμμάτων.

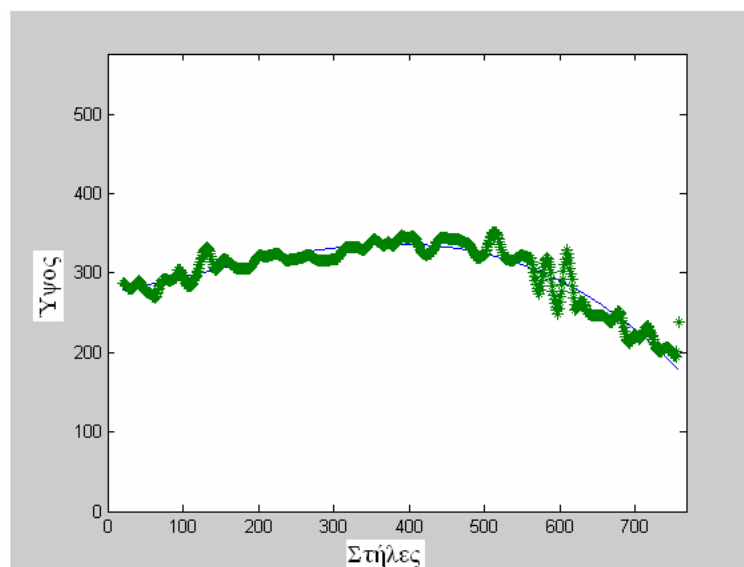
Κατά την εφαρμογή της μεθόδου παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλώνει ο βαθμός του αναζητούμενου πολυωνύμου, τόσο περισσότερο πλησιάζει τα

σημεία τα οποία πρέπει να προσεγγιστούν. Αποφασίσαμε ότι ένα πολυώνυμο τρίτου βαθμού προσεγγίζει πολύ καλά τα σημεία και γι' αυτό η παραμετροποίηση έγινε με πολυώνυμο 3^{ου} βαθμού (χρήση της συνάρτησης *polyfit* στο Matlab).

Δίνοντας για είσοδο τα σημεία του άνω περιγράμματος που εντοπίστηκε πιο πριν, βρήκαμε ότι πολυώνυμο:

$$f_1(x) = -0.0001x^3 + 0.003x^2 + 0.1804x + 274.7873 \quad (5)$$

προσεγγίζει ικανοποιητικά το άνω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος.

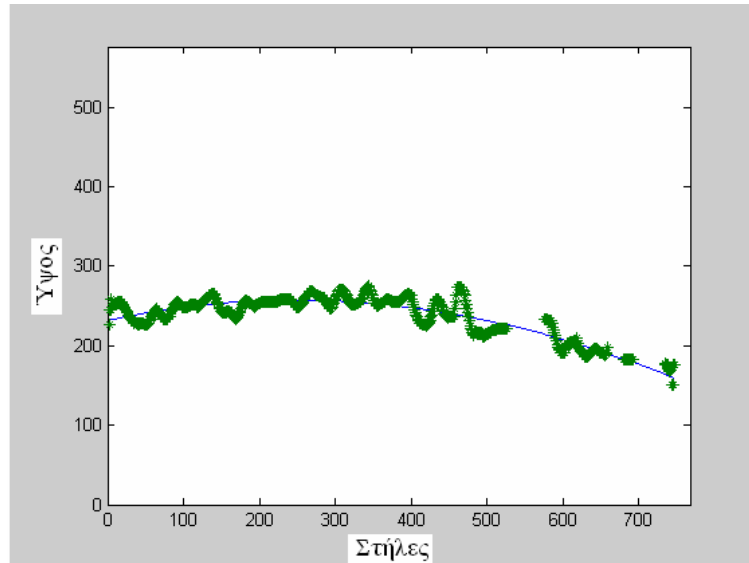


Σχήμα 4.30. Με πράσινο απεικονίζονται τα σημεία του περιγράμματος του άνω ορίου και με μπλέ , η καμπύλη του πολυωνύμου που το προσεγγίζει

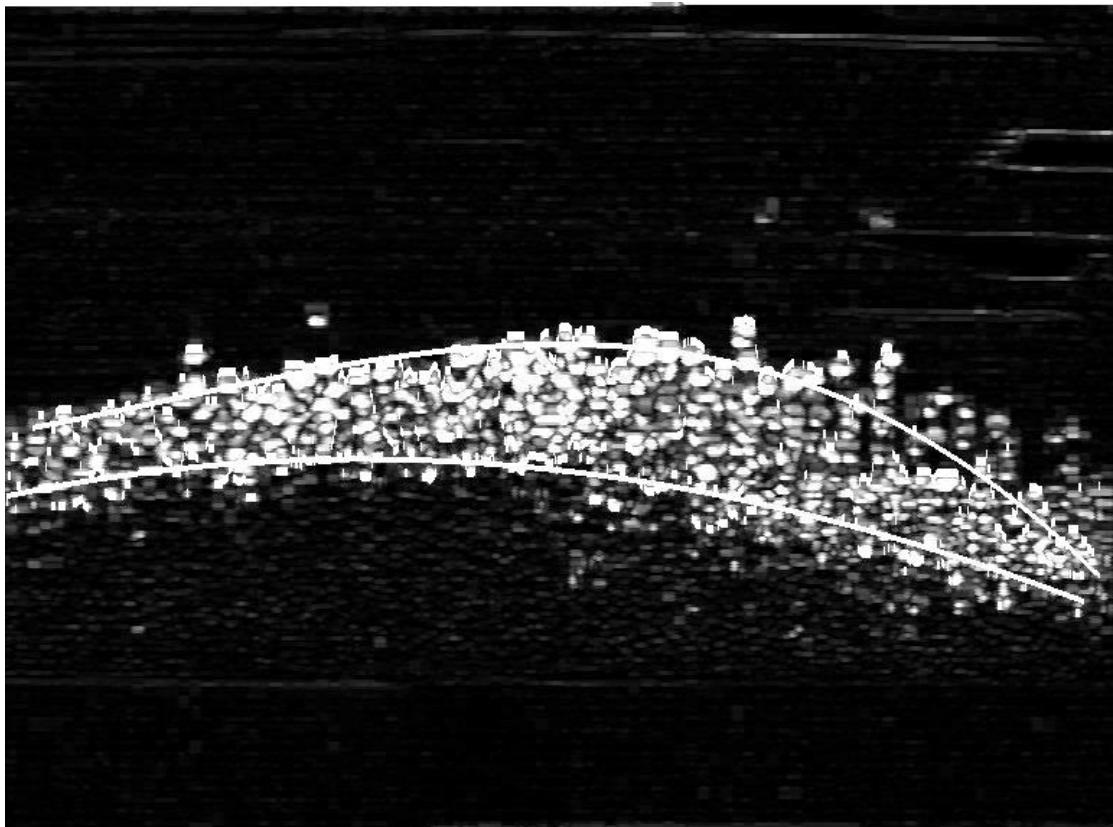
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία προχωρήσαμε στην εύρεση του πολυωνύμου για το περίγραμμα του κάτω ορίου. Βρέθηκε ότι το πολυώνυμο:

$$f_2(x) = 0.0001x^3 - 0.0004x^2 + 0.2134x + 231.5548 \quad (6)$$

προσεγγίζει ικανοποιητικά το κάτω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος.



Σχήμα 4.31. Με πράσινο απεικονίζονται τα σημεία του περιγράμματος του κάτω ορίου και με μπλέ , η καμπύλη του πολυωνύμου που το προσεγγίζει



Σχήμα 4.32. Οι καμπύλες των δύο περιγραμμάτων

4.7 Υπολογισμός του ύψους

Μετά την παραμετροποίηση των περιγραμμάτων και τον εντοπισμό της αρχής του φαινομένου στην εικόνα (ύψος του σωλήνα) προχωρήσαμε στον

υπολογισμό του ύψους του συσσωματός $d1$, του κινούμενου $d2$ και στατικού $d3$ στρώματος. Η επεξεργασία της μεθολογίας που ακολουθήσαμε και εξηγήσαμε παραπάνω για μια συγκεκριμένη εικόνα, εφαρμόστηκε για όλη την σειρά των εικόνων-στιγμιότυπων που περιγράφουν την κίνηση του συσσωματός μπροστά στην κάμερα. Για την εύρεση των υψών εφαρμόστηκε η πιο πάνω μεθολογία σε 66 συνεχόμενα στιγμιότυπα.

Για κάθε σημείο στην εικόνα το συνολικό ύψος του συσσωματός ισούται με :

$$d1 = L1 - L3 \quad (7)$$

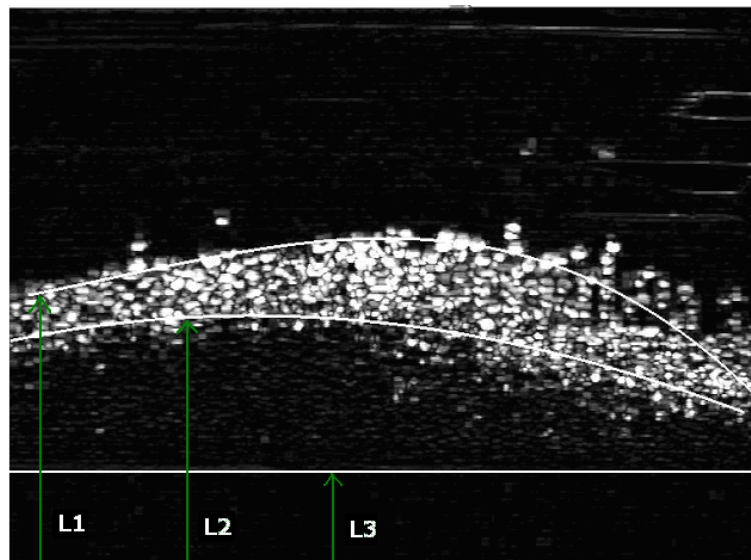
Το ύψος του κινούμενου στρώματος,

$$d2 = L1 - L2 \quad (8)$$

και του στατικού στρώματος,

$$d3 = L2 - L3 \quad (9)$$

όπου για κάθε στήλη, $L1$ είναι το ύψος του περιγράμματος του άνω ορίου, $L2$ το ύψος του περιγράμματος του κάτω ορίου και $L3$ το ύψος του σωλήνα από την αρχή της εικόνας.

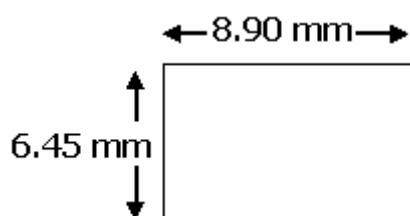


Σχήμα 4.33. Τα ύψη από την αρχή της εικόνας

Χρησιμοποιώντας τις πιο πάνω σχέσεις μπορούμε να υπολογίσουμε τα τρία ύψη σε pixels, για κάθε σημείο/στήλη της εικόνας. Για να μετατρέψουμε τα ύψη αυτά σε πραγματικές διαστάσεις ακολουθήσαμε την πιο κάτω διαδικασία:

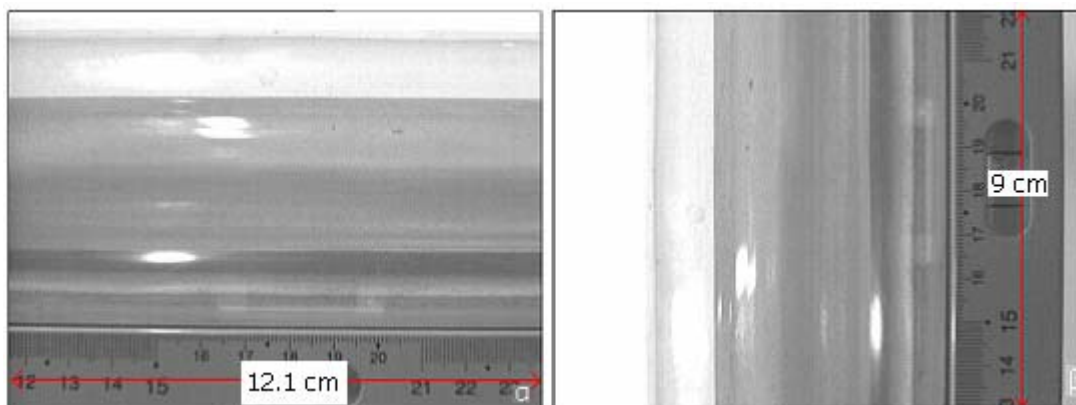
Γνωρίζοντας από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της κάμερας ότι ένα pixel έχει κατακόρυφη διάσταση $11.2\ \mu\text{m}$ και οριζόντια διάσταση $11.6\ \mu\text{m}$, μπορούμε να υπολογίσουμε τις διαστάσεις του CCD.

- Οριζόντια διάσταση: $768\ \text{pixels} \times 11.6\ \mu\text{m} = 8.90\ \text{mm}$
- Κατακόρυφη διάσταση: $576\ \text{pixels} \times 11.2\ \mu\text{m} = 6.45\ \text{mm}$



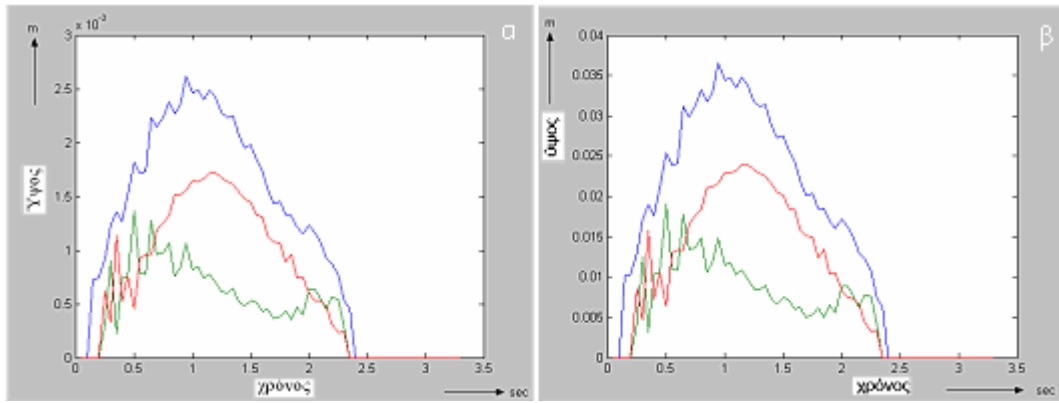
Σχήμα 4.34. Οι διαστάσεις του CCD

Για να μετατρέψουμε τις διαστάσεις του CCD σε πραγματικές, τοποθετήσαμε μέτρο στο σωλήνα και βρήκαμε τις πραγματικές διαστάσεις της εικόνας, σχήμα 4.35. Το ύψος είναι 0.09m και το πλάτος 0.121m . Η οριζόντια διάσταση του pixel αναπαριστά $1.575 \times 10^{-4}\text{m}$ ($0.12\text{m}/768\ \text{pixels}$) και η κατακόρυφη διάσταση του αναπαριστά $1.56 \times 10^{-4}\text{m}$ ($0.09\text{m}/576\ \text{pixels}$), πραγματικού μεγέθους.

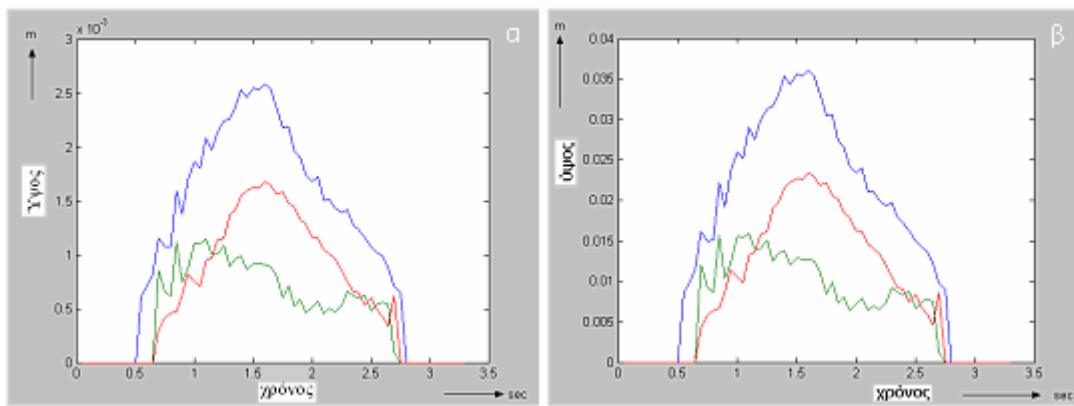


Σχήμα 4.35. Οι πραγματικές διαστάσεις της εικόνας, (α) οριζόντια και (β) κατακόρυφα

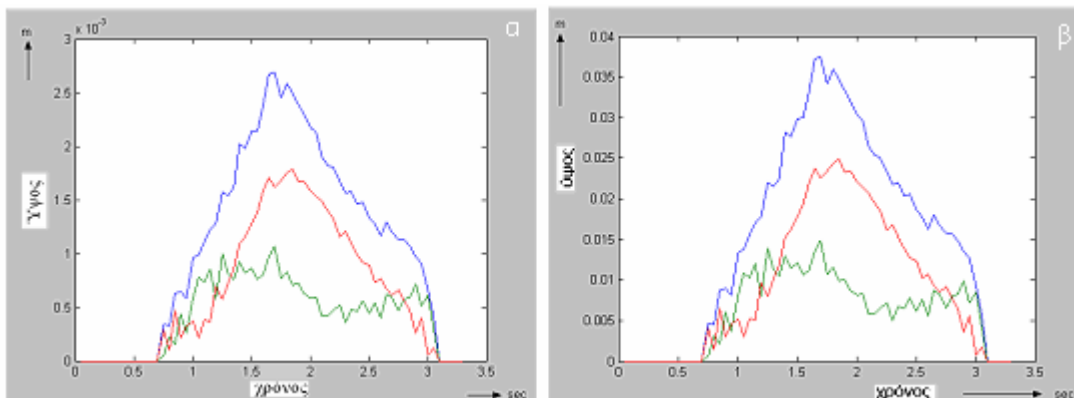
Εαν εστιάσουμε σε μια συγκεκριμένη στήλη και υπολογίσουμε το ύψος της σε κάθε εικόνα (κάθε εικόνα απέχει από την άλλη 0.05 δευτερόλεπτα γιατί λήφθηκε με συχνότητα δειγματοληψίας $20\ \text{Hz}$) ξεκινώντας από την αρχή μέχρι το τέλος της ακολουθίας, μπορούμε να βρούμε το χρονικό προφίλ του κάθε ύψους για την στήλη. Παρακάτω απεικονίζονται τα ύψη για τρεις διαφορετικές στήλες από τις 768 της εικόνας, σε συνάρτηση με τον χρόνο.



Σχήμα 4.36 Συνολικό ύψος του φαινομένου (άνω καμπύλη), ύψος του στατικού μέρους (μεσαία), ύψος του κινούμενου μέρους (κάτω καμπύλη) για τη στήλη 100, (α) για τις διαστάσεις του CCD και (β) πραγματικές διαστάσεις



Σχήμα 4.37 Συνολικό ύψος του φαινομένου (άνω καμπύλη), ύψος του στατικού μέρους (μεσαία), ύψος του κινούμενου μέρους (κάτω καμπύλη) για τη στήλη 400, (α) για τις διαστάσεις του CCD και (β) πραγματικές διαστάσεις



Σχήμα 4.38 Συνολικό ύψος του φαινομένου (άνω καμπύλη), ύψος του στατικού μέρους (μεσαία), ύψος του κινούμενου μέρους (κάτω καμπύλη) για τη στήλη 600, (α) για τις διαστάσεις του CCD και (β) πραγματικές διαστάσεις

4.7.1 Παρατηρήσεις

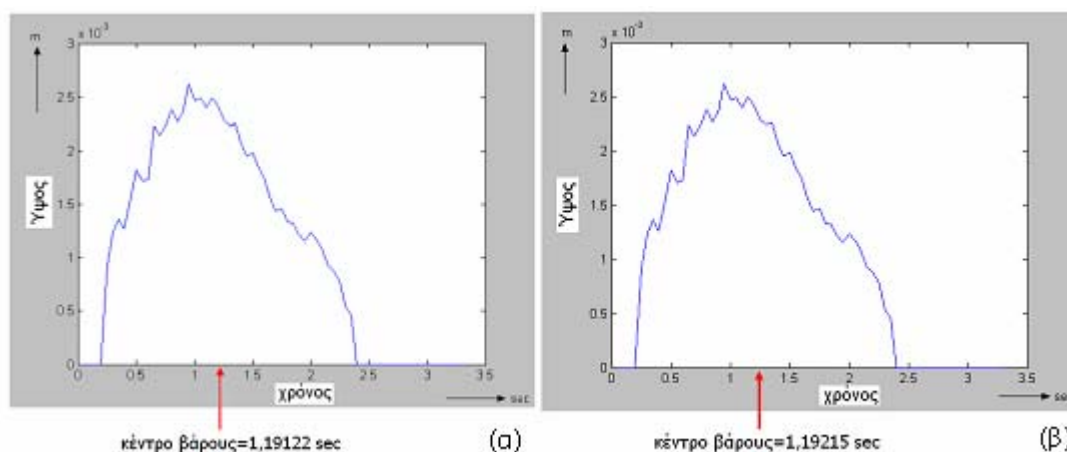
Το κάθε ύψος έχει την ίδια χρονική διάρκεια και στις τρεις περιπτώσεις. Το ύψος του κινούμενου στρώματος κυμαίνεται στην αρχή του φαινομένου σε ένα σταθερό επίπεδο γύρω στο ένα 0.01 m, ενώ στην συνέχεια κυμαίνεται κοντά στο 0.005 m. Η καμπύλη για το στατικό στρώμα ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού φαινομένου.

Παρατηρώντας τα χρονικά προφίλ για τα τρία ύψη μπορούν να εξαχθούν πολλές παρατηρήσεις και συμπεράσματα σχετικά με την κίνηση του διφασικού μίγματος.

Στην συνέχεια με την βοήθεια των πιο πάνω καμπυλών, προχωρήσαμε στον υπολογισμό των ταχυτήτων με τον έμμεσο τρόπο όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

4.8 Έμμεσος υπολογισμός της ταχύτητας

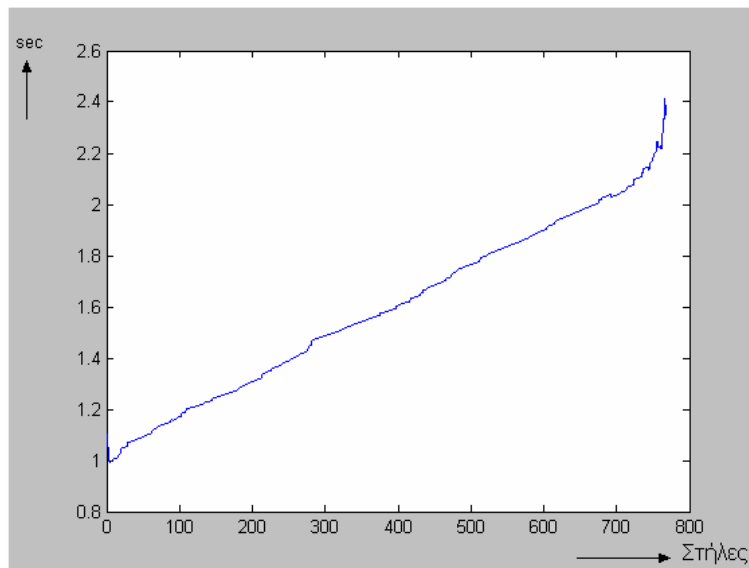
Από τις καμπύλες των χρονικών προφίλ για κάθε στήλη, υπολογίσαμε το κέντρο βάρους της καμπύλης και στη συνέχεια υπολογίσαμε την μετατόπιση του από στήλη σε στήλη. Όπως φαίνεται και πιο κάτω για 2 συνεχόμενες στήλες (στήλες 100-101), το κέντρο βάρους του χρονικού προφίλ μετατοπίζεται από την θέση 1,19122 sec στην θέση 1,19215 sec. Η διαφορά των δύο αυτών θέσεων είναι και η χρόνος που χρειάστηκε για να μετατοπιστεί το συσσωμάτωμα από την μια στήλη στην άλλη.



Σχήμα 4.39 Το χρονικό προφίλ και το κέντρο βάρους για (α) στήλη 100, (β) στήλη 101

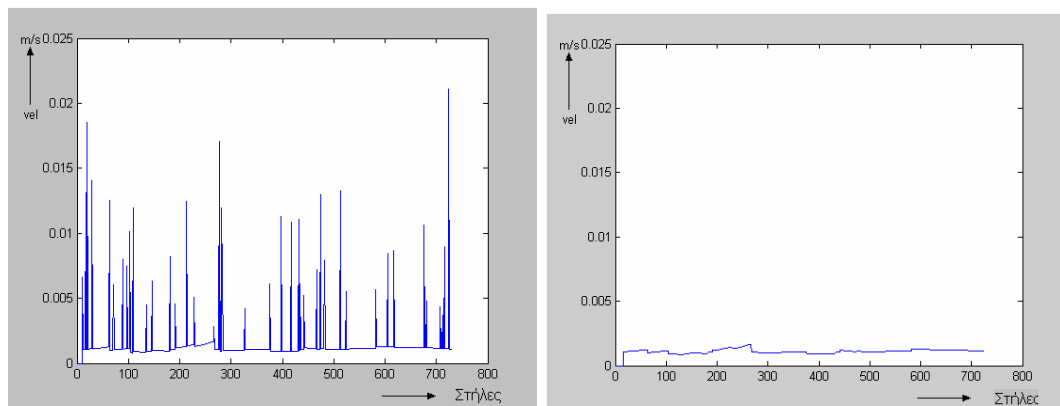
4.8.1 Ταχύτητα για το συνολικό φαινόμενο

Υπολογίζοντας τα κέντρα βάρους των καμπυλών των χρονικών προφίλ, για το συνολικό ύψος του φαινομένου, προκύπτει η γραφική παράσταση του σχήματος 4.40. Στην συνέχεια προχωρήσαμε στον εντοπισμό των χρονικών μετατοπίσεων του κέντρου βάρους, σχήμα 4.41(α).

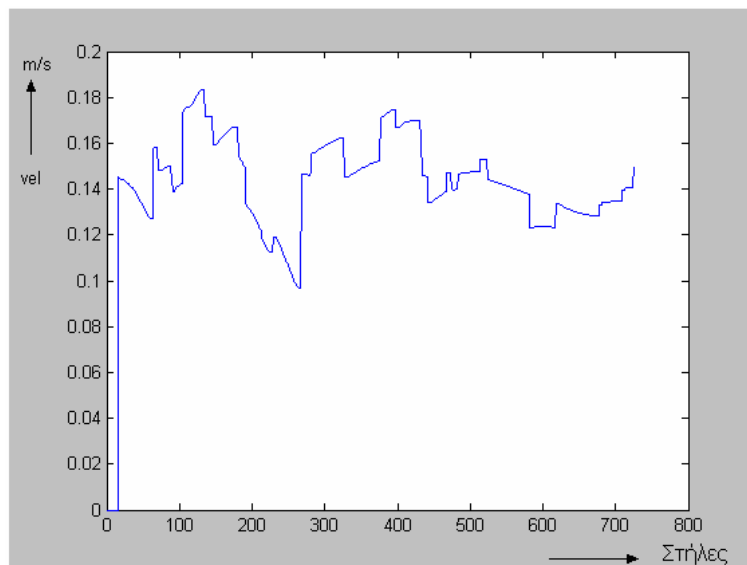


Σχήμα 4.40 Τα κέντρα βάρους των καμπυλών για όλες τις στήλες

Για να ομαλοποιήσουμε κάποιες απότομες αλλαγές στις μετατοπίσεις εφαρμόσαμε median φίλτρο με παράθυρο 11 θέσεων σχήμα 4.41(β) . Γνωρίζοντας την απόσταση μεταξύ των δύο στηλών (ένα pixel= 11.6×10^{-6} m σε διαστάσεις CCD και 1.575×10^{-4} m σε πραγματικές διαστάσεις) και ότι η ταχύτητα υπολογίζεται από το πηλίκο της απόστασης με τον χρόνο, υπολογίσαμε τις ταχύτητες που προκύπτουν από τις χρονικές μετατοπίσεις.



Σχήμα 4.41 (α) Οι μετατοπίσεις των κέντρων βάρους, (β) Ομαλοποίηση από το φίλτρο median

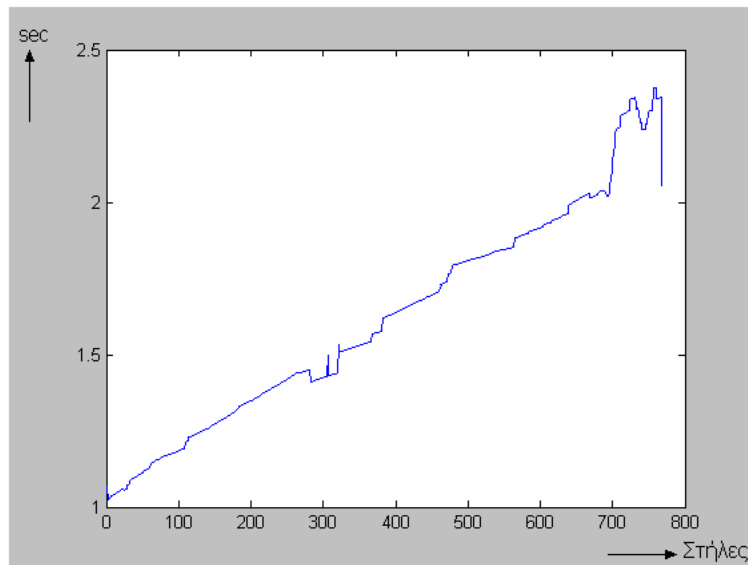


Σχήμα 4.42 Οι ταχύτητες του φαινομένου

Με βάση τις τιμές των τελικών ταχυτήτων (Παράρτημα Β, πίνακας Β-1) υπολογίσαμε τη μέση ταχύτητα κίνησης για το συνολικό φαινόμενο, η οποία ισούται με **0,1441 m/s** (τυπική απόκλιση 0,001).

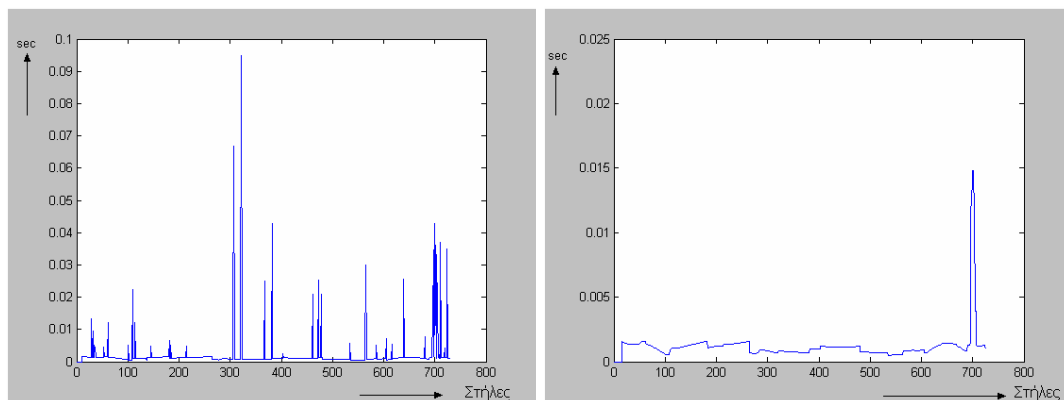
4.8.2 Ταχύτητα για το στατικό στρώμα

Η πιο πάνω διαδικασία υπολογισμού της ταχύτητας έγινε και για το χρονικό προφίλ του στατικού στρώματος. Στην αρχή υπολογίσαμε τα κέντρα βάρους σχήμα 4.43, στην συνέχεια τη χρονική μετατόπιση του κέντρου βάρους σχήμα 4.44(α) και εφαρμόσαμε φίλτρο median σχήμα 4.44(β).

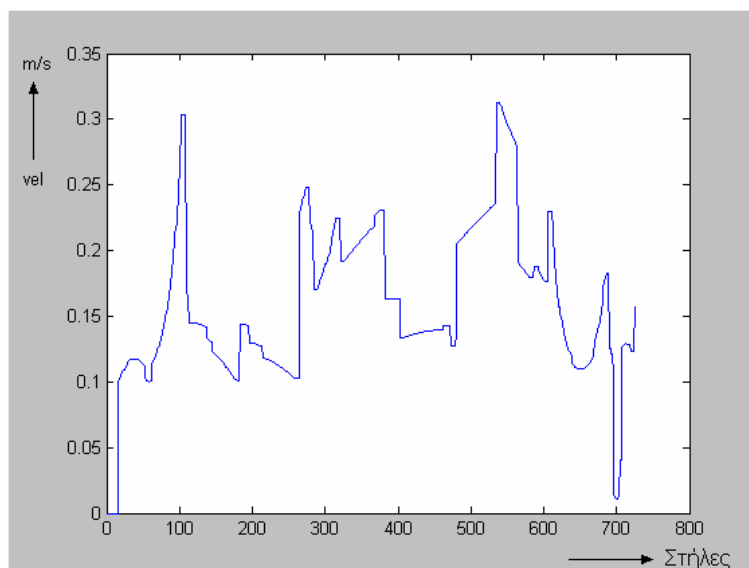


Σχήμα 4.43 Τα κέντρα βάρους των καμπυλών για όλες τις στήλες

Χρησιμοποιώντας τις μετατοπίσεις που προέκυψαν μετά την εφαρμογή του παραθύρου, υπολογίσαμε τις ταχύτητες.



Σχήμα 4.44 (α) Οι μετατοπίσεις των κέντρων βάρους, (β) Ομαλοποίηση από το φίλτρο median



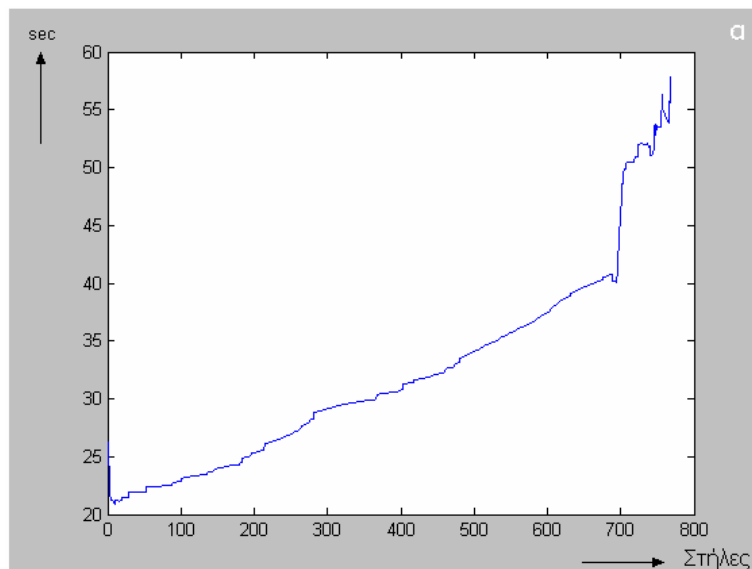
Σχήμα 4.45 Οι ταχύτητες για το στατικό στρώμα

Υπολογίζοντας τον μέσο όρο των τελικών ταχυτήτων (Παράρτημα Β, πίνακας Β-2) καταλήξαμε ότι η μέση ταχύτητα κίνησης για το στατικό στρώμα ισούται με **0,1627 m/s** (τυπική απόκλιση 0,0022).

4.8.3 Ταχύτητα για το κινούμενο στρώμα

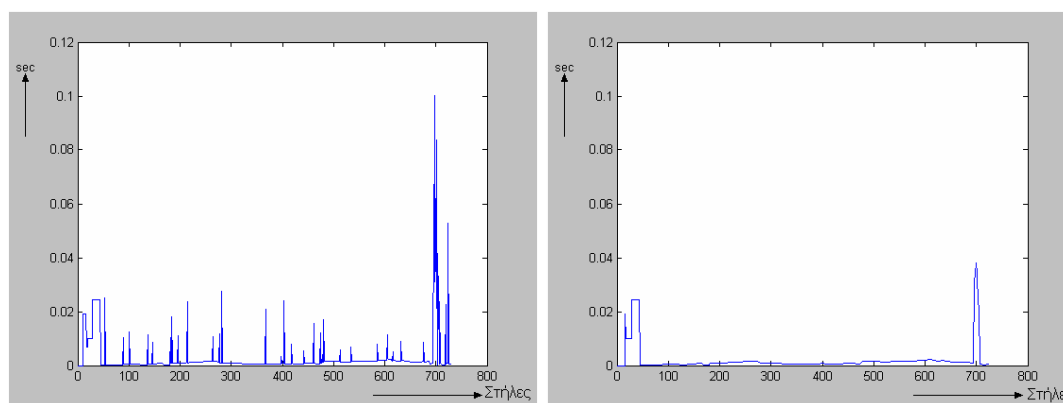
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας το χρονικό προφίλ που αντιστοιχεί στο ύψος του κινούμενου στρώματος, υπολογίζουμε την ταχύτητα του.

Αρχικά υπολογίζουμε τα κέντρα βάρους των χρονικών προφίλ για κάθε στήλη και μετά τη χρονική μετατόπιση του από στήλη σε στήλη.

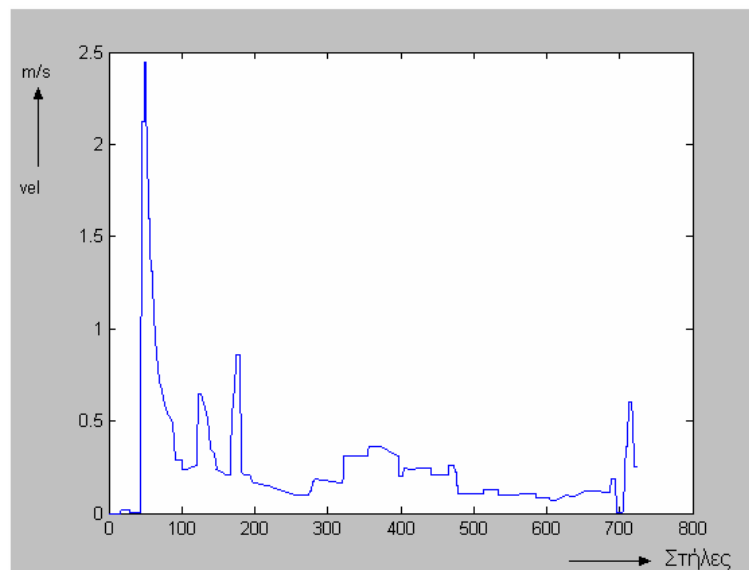


Σχήμα 4.46 Τα κέντρα βάρους των καμπυλών για όλες τις στήλες

Ομαλοποιήσαμε τις μετατοπίσεις χρησιμοποιώντας φίλτρο median και στην συνέχεια υπολογίσαμε τις ταχύτητες.



Σχήμα 4.47 Οι μετατοπίσεις των κέντρων βάρους, (β) Ομαλοποίηση από το φίλτρο median



Σχήμα 4.48 Τελικές ταχύτητες κινούμενου στρώματος

Υπολογίζοντας τον μέσο όρο των τελικών ταχυτήτων (Παράρτημα Β, πίνακας Β-3) καταλήξαμε ότι η μέση ταχύτητα κίνησης για το στατικό στρώμα ισούται με **0,2534 m/s** (τυπική απόκλιση 0,0122).

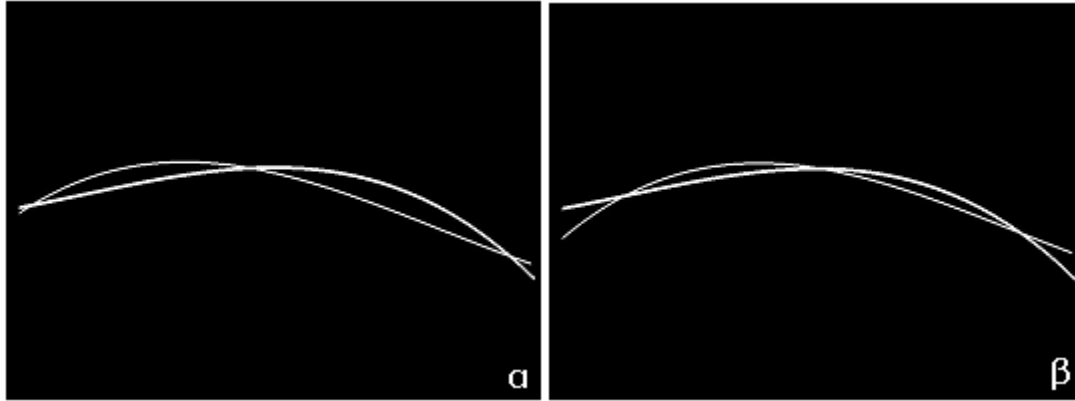
4.8.4 Παρατηρήσεις για τον έμμεσο τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας

Οι ταχύτητες που προέκυψαν από τον έμμεσο τρόπο έχουν μεγάλη απόκλιση από τις μετρούμενες ταχύτητες των συσσωμάτων, που κυμαίνονται μεταξύ 0.03-0.05 m/s (Kelesidis & Bandelis (2004)). Θεωρήσαμε ότι η απόσταση που διανύει το κέντρο βάρους σε κάθε χρονική μετατόπιση είναι ένα pixel χωρίς όμως να γνωρίζουμε την θέση του μέσα στο pixel πριν και μετά την μετατόπιση. Αν για παράδειγμα το κέντρο βάρους βρισκόταν στην αρχή κάποιου pixel και μετά την μετατόπιση βρέθηκε στο τέλος του επόμενου pixel τότε η απόσταση που διάνυσε είναι περίπου δύο pixels και όχι ένα που θεωρήσαμε εμείς. Έτσι ο έμμεσος τρόπος υπολογισμού δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστος για τον υπολογισμό της ταχύτητας.

4.9 Άμεσος υπολογισμός της ταχύτητας

Όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, στον άμεσο τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας προσπαθούμε να βρούμε την μετατόπιση

της καμπύλης του περιγράμματος ενός στιγμιότυπου έτσι ώστε να προσεγγίζει βέλτιστα τη καμπύλη του επόμενου. Στο σχήμα 4.49 φαίνονται οι καμπύλες πριν και μετά την μετατόπιση για δύο συνεχόμενα στιγμιότυπα.



Σχήμα 4.49 α-β. Παράδειγμα υπολογισμού ταχύτητας με άμεση μέθοδο, το πολυώνυμο του προηγούμενου frame, α χωρίς μετατόπιση και β με μετατόπιση μαζί με το πολυώνυμο του επόμενου frame

Για να υπολογίσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια την ταχύτητα από την μέθοδο αυτή ακολουθήσαμε την πιο κάτω διαδικασία: Υπολογίσαμε την μετατόπιση της καμπύλης για να προσεγγίσει τις αντίστοιχες καμπύλες των τριών προηγούμενων και των τριών επόμενων στιγμιότυπων. Για παράδειγμα για την καμπύλη $f_i(x)$ υπολογίσαμε τις μετατοπίσεις $d1, d2, d3, d4, d5, d6$ για να προσεγγίσει τις καμπύλες $f_{i-3}, f_{i-2}, f_{i-1}, f_{i+1}, f_{i+2}, f_{i+3}$.

$$d1 = \frac{\text{Μετατόπιση } f_i(x) : f_{i-3}(x)}{3}$$

$$d2 = \frac{\text{Μετατόπιση } f_i(x) : f_{i-2}(x)}{2}$$

$$d3 = \text{Μετατόπιση } f_i : f_{i-1}$$

$$d4 = \text{Μετατόπιση } f_i : f_{i+1}$$

$$d5 = \frac{\text{Μετατόπιση } f_i(x) : f_{i+2}(x)}{2}$$

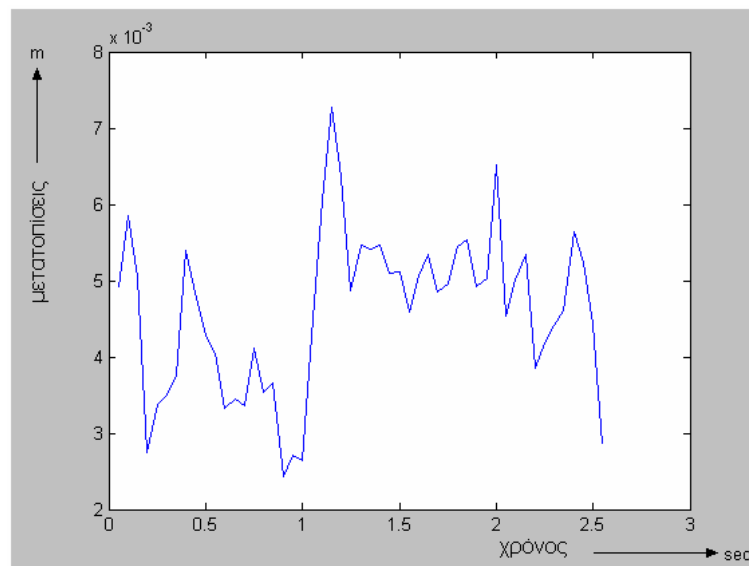
$$d6 = \frac{\text{Μετατόπιση } f_i(x) : f_{i+3}(x)}{3}$$

Στην συνέχεια ταξινομήσαμε τις μετατοπίσεις αυτές και αφαιρέσαμε από την ακολουθία την μεγαλύτερη και μικρότερη τιμή. Υπολογίσαμε τον μέσο

όρο των τεσσάρων μετατοπίσεων και δώσαμε σαν βέλτιστη μετατόπιση της καμπύλης την τιμή αυτή.

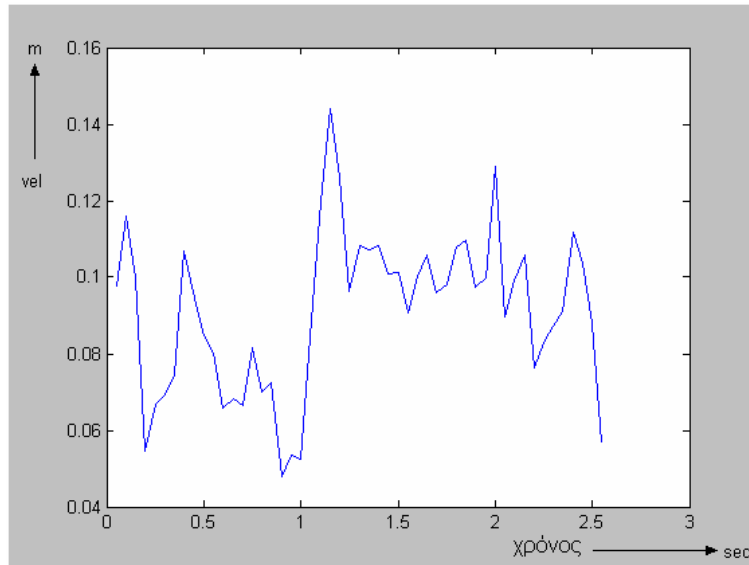
4.9.1 Υπολογισμός ταχύτητας κινούμενου στρώματος

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι μετατοπίσεις που προέκυψαν με την εφαρμογή της πιο πάνω μεθόδου για την καμπύλη του πάνω περιγράμματος του κινούμενου στρώματος ως συνάρτηση του χρόνου (τα στιγμιότυπα είναι χρονικές στιγμές που απέχουν 0.05 δευτερόλεπτα το ένα από το άλλο).



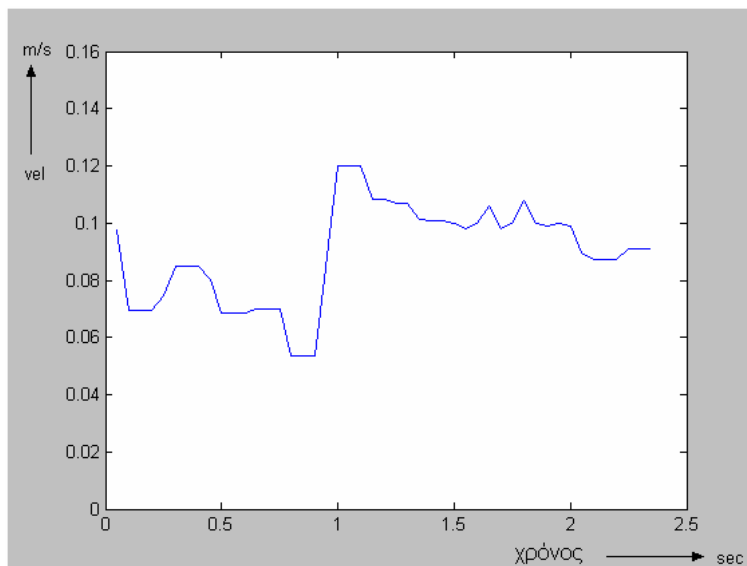
Σχήμα 4.50 Οι μετατοπίσεις του άνω περιγράμματος συνάρτηση με το χρόνο

Οι μετατοπίσεις διαιρούμενες με τον χρόνο που απέχουν δύο στιγμιότυπα δίνει την ταχύτητα μετακίνησης. Τα αποτελέσματα των ταχυτήτων παρατίθενται στο σχήμα 4.51 , σαν συνάρτηση του χρόνου.



Σχήμα 4.51 Οι ταχύτητες που προκύπτουν από τις μετατοπίσεις του άνω περιγράμματος συνάρτηση με το χρόνο

Για να ομαλοποιήσουμε και να εξαλείψουμε τιμές οι οποίες δεν είναι αντιπροσωπευτικές συγκριτικά με τις γειτονικές τους, εφαρμόσαμε mean φίλτρο με παράθυρο 5 θέσεων και καταλήξαμε στις τελικές τιμές των ταχυτήτων που φαίνονται παρακάτω

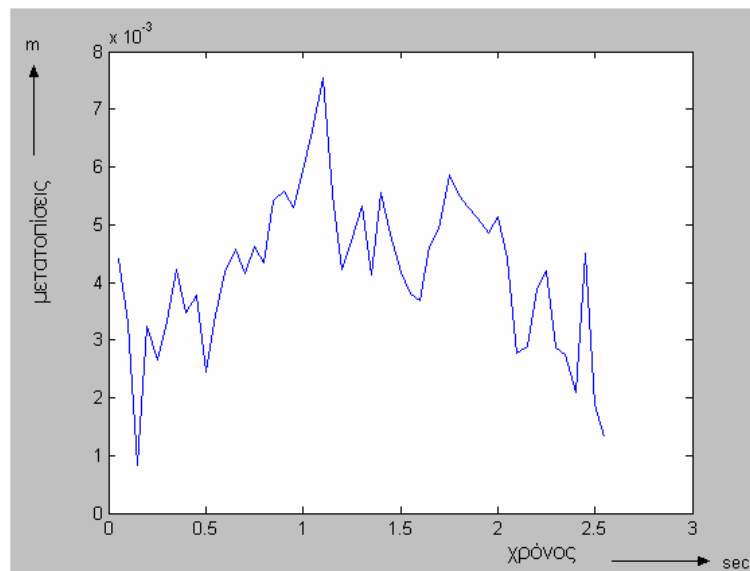


Σχήμα 4.52 Οι τελικές ταχύτητες που αντιστοιχούν στις μετατοπίσεις του άνω περιγράμματος συνάρτηση με το χρόνο

Υπολογίζοντας τον μέσο όρο των τελικών ταχυτήτων (Παράρτημα Β, πίνακας Β-4) καταλήξαμε ότι η μέση ταχύτητα κίνησης για το κινούμενο στρώμα ισούται με **0,0892 m/s** (τυπική απόκλιση 0,0025).

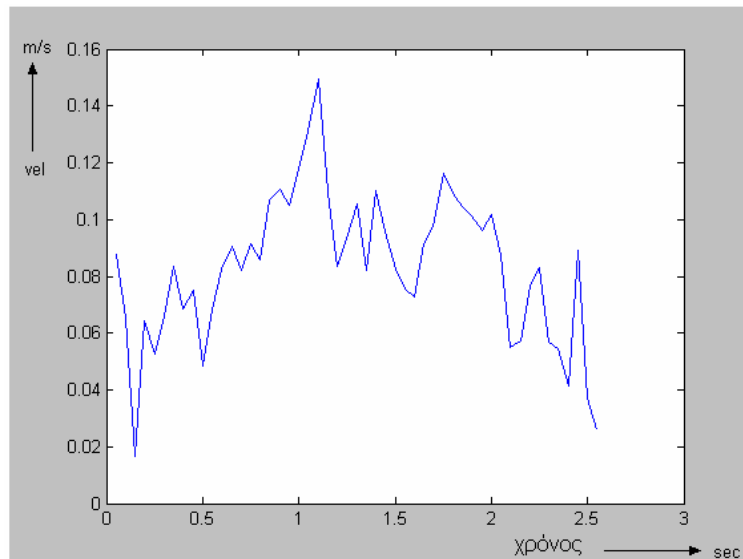
4.9.2 Υπολογισμός ταχύτητας του στατικού στρώματος

Το ίδιο έγινε χρησιμοποιώντας τις καμπύλες του κάτω περιγράμματος, για τον εντοπισμό της ταχύτητας του στατικού στρώματος. Οι βέλτιστες μετατοπίσεις παρατίθενται στο σχήμα 4.53.



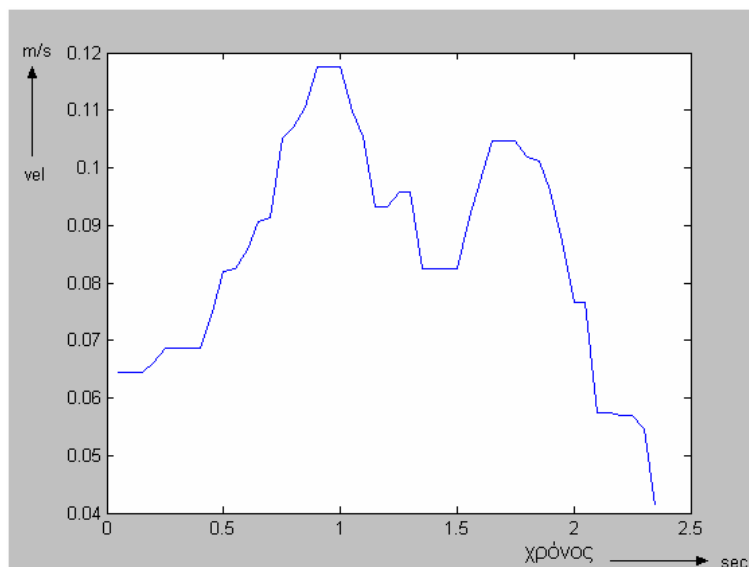
Σχήμα 4.53 Οι μετατοπίσεις του κάτω περιγράμματος συνάρτηση με το χρόνο

Οι ταχύτητες που προκύπτουν για τις μετατοπίσεις και τον χρόνο που απέχει το ένα στιγμιότυπο από το άλλο απεικονίζονται παρακάτω ως συνάρτηση του χρόνου.



Σχήμα 4.54 Οι ταχύτητες που προκύπτουν από τις μετατοπίσεις του κάτω περιγράμματος συνάρτηση με το χρόνο

Τέλος μετά την εφαρμογή του mean φίλτρου παίρνουμε τις τελικές στιγμιαίες ταχύτητες του στατικού στρώματος.



Σχήμα 4.55 Οι τελικές ταχύτητες που αντιστοιχούν στις μετατοπίσεις του κάτω περιγράμματος συνάρτηση με το χρόνο

Υπολογίζοντας τον μέσο όρο των ταχυτήτων (Παράρτημα Β, πίνακας Β-5) καταλήγουμε ότι η μέση ταχύτητα του στατικού στρώματος είναι ίση με **0,0857 m/s** (τυπική απόκλιση 0,0028).

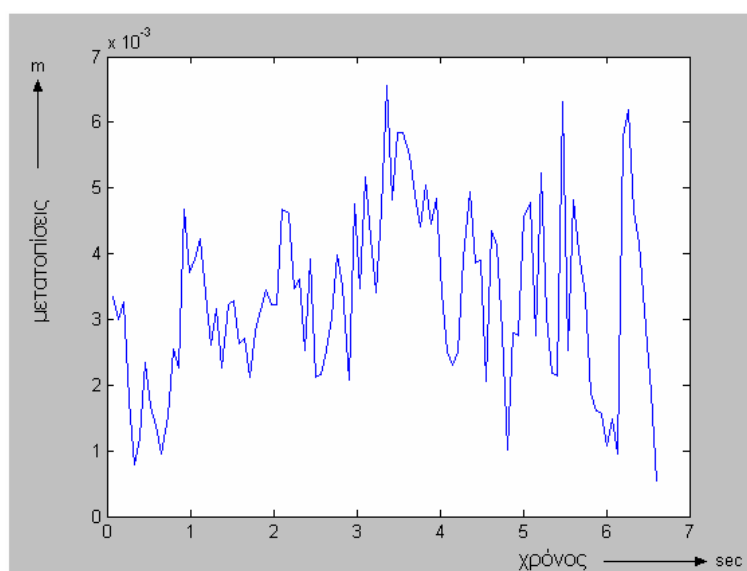
4.9.3 Επαλήθευση του άμεσου τρόπου υπολογισμού της ταχύτητας

Για να βεβαιωθούμε ότι η μεθολογία που ακολουθήσαμε χρησιμοποιώντας τον άμεσο τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας, είναι αξιόπιστη και μπορεί να εφαρμοσθεί για τον υπολογισμό της ταχύτητας σε κάθε συσσωμάτωμα, εφαρμόσαμε την μεθολογία και σε άλλη ακολουθία στιγμιότυπων.

Πήραμε την ακολουθία που περιγράφει την κίνηση ενός συσσωματώματος που δημιουργήθηκε στις ίδιες συνθήκες με το προηγούμενο αλλά με συχνότητα δειγματοληψίας στο frame grabber 15 Hz(το ένα στιγμιότυπο από το άλλο απέχει $1/15 \text{ Hz}=0.066 \text{ seconds}$). Συνολικά η ακολουθία αποτελείται από 100 στιγμιότυπα.

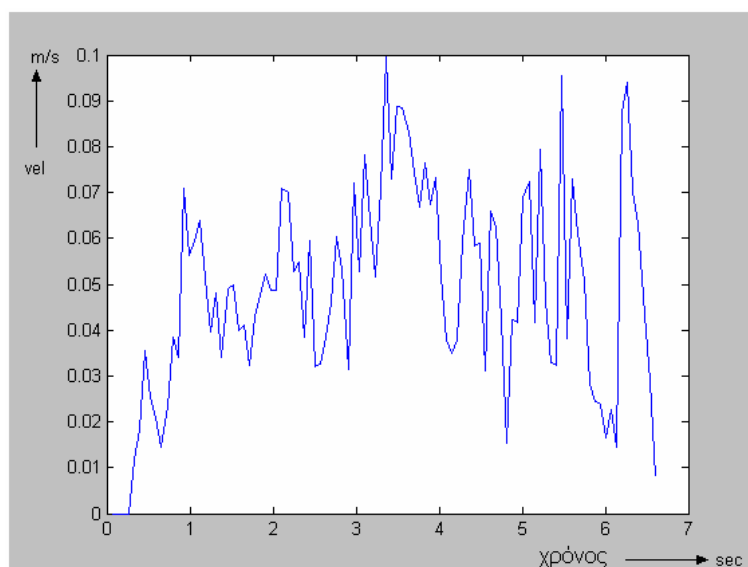
4.9.4 Υπολογισμός ταχύτητας κινούμενου στρώματος

Οι μετατοπίσεις του άνω περιγράμματος που προέκυψαν ακολουθώντας την μεθολογία που χρησιμοποιήθηκε και πιο πάνω παρατίθενται στο σχήμα 4.56.



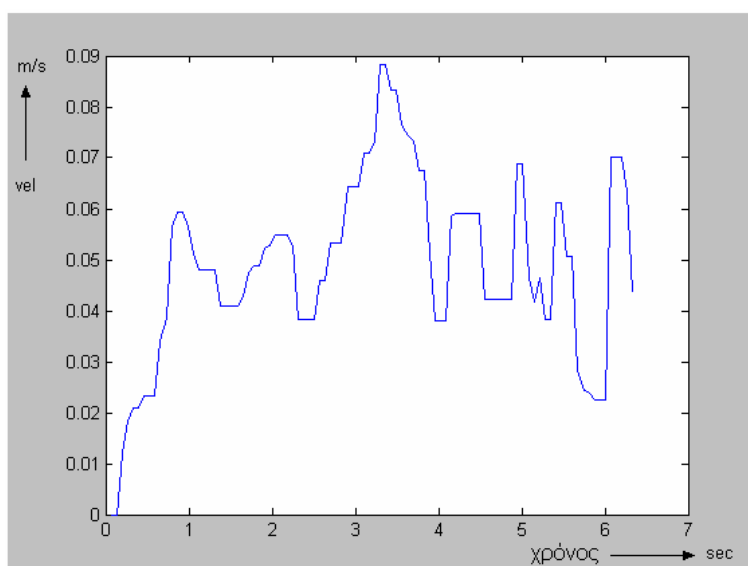
Σχήμα 4.56. Οι μετατοπίσεις του πάνω περιγράμματος

Στην συνέχεια υπολογίσαμε τις ταχύτητες χρησιμοποιώντας τις πιο πάνω μετατοπίσεις του άνω περιγράμματος από στιγμιότυπο σε στιγμιότυπο και το χρόνο που απέχει το ένα στιγμιότυπο από το άλλο (0.066 sec).



Σχήμα 4.57. Οι ταχύτητες που προκύπτουν από τις μετατοπίσεις του άνω περιγράμματος

Για να ομαλοποιήσουμε και να εξαλείψουμε κάποιες τιμές που δεν είναι αντιπροσωπευτικές σχετικά με τις γειτονικές τους εφαρμόσαμε φίλτρο mean με παράθυρο 5 θέσεων για να καταλήξουμε στις τελικές ταχύτητες που απεικονίζονται παρακάτω:

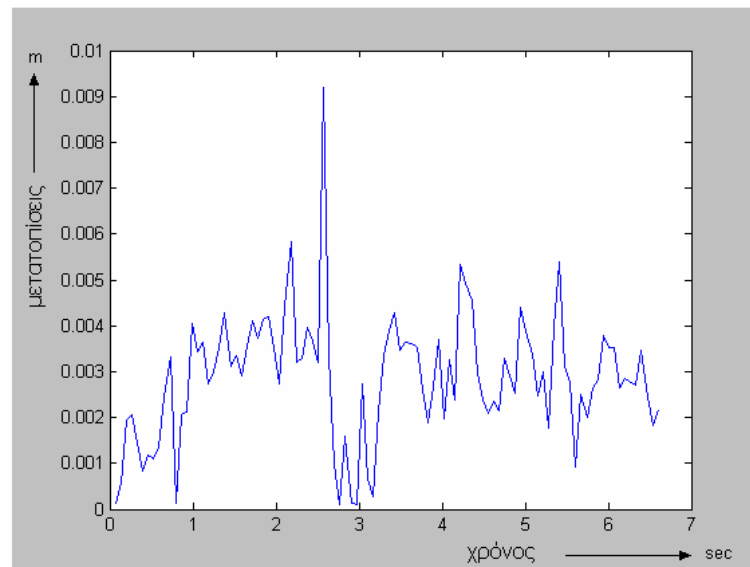


Σχήμα 4.58. Τελικές ταχύτητες για το πάνω περίγραμμα

Η μέση τιμή της ταχύτητας για το κινούμενο στρώμα ισούται με **0.0488 m/s** (τυπική απόκλιση 0,0018). Οι τιμές των ταχυτήτων περιέχονται στον πίνακα B-6 στο Παράρτημα Β.

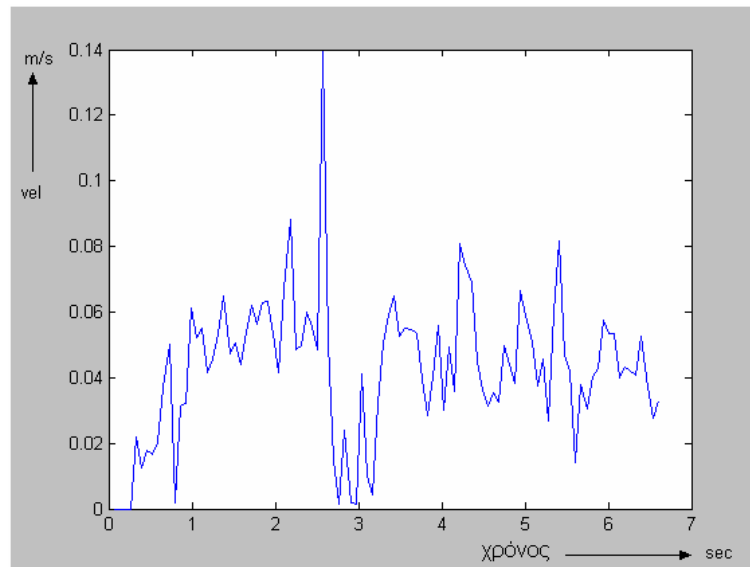
4.9.5 Υπολογισμός ταχύτητας στατικού στρώματος

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία και για την κάτω καμπύλη του περιγράμματος υπολογίσαμε την ταχύτητα του στατικού στρώματος. Οι μετατοπίσεις της καμπύλης από στιγμιότυπο σε στιγμιότυπο απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.



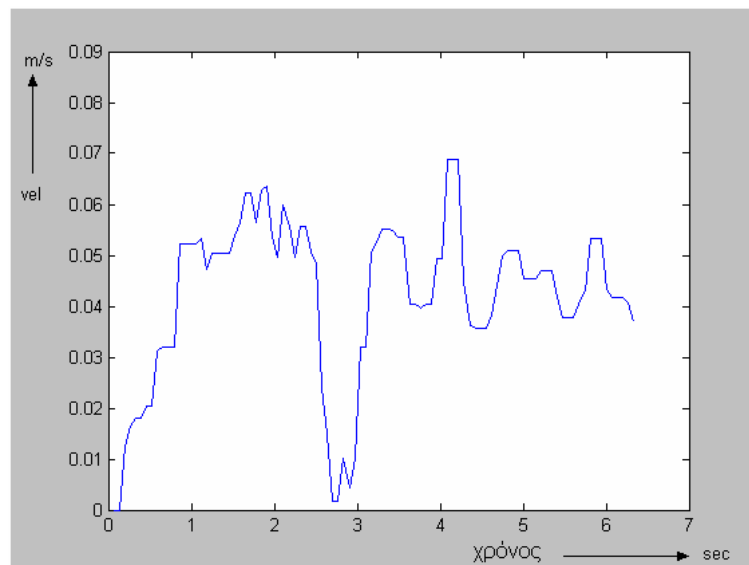
Σχήμα 4.59. Οι μετατοπίσεις του κάτω περιγράμματος

Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι ταχύτητες που προκύπτουν από τις μετατοπίσεις.



Σχήμα 4.60. Οι ταχύτητες που προκύπτουν από τις μετατοπίσεις του κάτω περιγράμματος

Και τέλος εφαρμόσαμε φίλτρο mean με παράθυρο 5 θέσεων για να ομαλοποιήσουμε τις τιμές και να καταλήξουμε στις τελικές ταχύτητες.



Σχήμα 4.61. Τελικές ταχύτητες για το κάτω περίγραμμα

Η μέση τιμή της ταχύτητας για το στατικό στρώμα ισούται με **0.0422 m/s** (τυπική απόκλιση 0,0016). Οι τιμές των ταχυτήτων περιέχονται στον πίνακα B-7 στο Παράρτημα Β.

4.9.6 Παρατηρήσεις για τον άμεσο τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας

Μελετώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον άμεσο τρόπο υπολογισμού, παρατηρούμε ότι το κάτω στρώμα κινείται με μικρότερη ταχύτητα από το πάνω. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ακολουθία των στιγμιότυπων που λήφθηκε με συχνότητα δειγματοληψίας 15 Hz επαληθεύουν τις τιμές που υπολογίστηκαν με οπτικές μεθόδους, που κυμαίνονται μεταξύ 0.03-0.05 m/s (Kelesidis & Bandelis (2004)). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ακολουθία που λήφθηκε με δειγματοληψία 20 Hz προσεγγίζει τις τιμές αυτές αλλά με απόκλιση 0.03 m/s.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του άμεσου τρόπου μπορούμε να πούμε ότι η μεθολογία που ακολουθήσαμε για να υπολογίσουμε την ταχύτητα των στερεών σε διφασικό μίγμα είναι αξιόπιστη και μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε συσσωμάτωμα.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Συμπεράσματα μελλοντική εργασία

5.1 Συμπεράσματα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε σύστημα συλλογής σήματος κάμερας και μεθοδολογία ανίχνευσης κίνησης στερεών σωματιδίων κατά την διφασική ροή στερεών-υγρού σε οριζόντιο δακτύλιο. Η μεθοδολογία ψηφιακής ανάλυσης της λαμβανόμενης εικόνας δίδει τα πρώτα ενθαρρυντικά αποτελέσματα για την κίνηση ροής των συσσωμάτων, παρέχοντας την δυνατότητα για τον προσδιορισμό των καμπυλών των διεπιφανειών υγρού/στερεών και περαιτέρω, του υπολογισμού της ταχύτητας κίνησης των συσσωμάτων των στερεών.

Το σύστημα αποτελείται από αναλογική μονοχρωματική κάμερα (Hitachi, μοντέλο KP-M1A), 2/3in CCD υψηλής ευαισθησίας και μεγάλης ανάλυσης με 30 στιγμιότυπα ανά δευτερόλεπτο (fps), κάρτα ψηφιοποίησης PCI-1411 της NI και το πακέτο λογισμικού Labview-Vision, μέσω του οποίου αναπτύχθηκε 'λήπτης στιγμιότυπων - frame grabber' με δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας λήψης του οπτικού σήματος. Το αναλογικό οπτικό σήμα φτάνει στην εγκατεστημένη στον υπολογιστή κάρτα, μετατρέπεται σε ψηφιακό και ενεργοποιώντας το frame grabber, τμηματοποιείται το σήμα με τη δοθείσα συχνότητα και αποθηκεύεται στο σκληρό δίσκο σε συνεχόμενα στιγμιότυπα κατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία.

Με βάση τα λαμβανόμενα στιγμιότυπα αναπτύχθηκε μεθοδολογία ψηφιακής ανάλυσης εικόνας σε MATLAB 6.5, η οποία περιλαμβάνει φιλτράρισμα της εικόνας με τελεστές Sobel και υπερπερατά φίλτρα για την εύρεση του κινούμενου στρώματος, εύρεση του περιγράμματος του κινούμενου και στατικού στρώματος χρησιμοποιώντας αλγόριθμους εντοπισμού σημείου αλλαγής στην κατανομή των εντάσεων σε κάθε στήλη. Παραμετροποιούνται τα περιγράμματα του στατικού και κινούμενου στρώματος, υπολογίζεται το πάχος των δύο στρωμάτων, γίνεται η αποτύπωση της εξέλιξης σε χωροχρονική εικόνα και προσδιορίζεται η ταχύτητα του κινούμενου στρώματος με δύο τρόπους. Ο άμεσος τρόπος

βασίζεται στην μετατόπιση της καμπύλης του περιγράμματος κατά την διάρκεια του χρόνου και ο έμμεσος, στη χρονική μετατόπιση του κέντρου βάρους του χρονικού προφίλ από σημείο σε σημείο.

Όπως αποδείχτηκε, η αποτύπωση του συσσωμάτος σε χωροχρονική εικόνα είναι μια καλή μέθοδος για την μελέτη και εξαγωγή συμπερασμάτων για την κίνηση των στερεών σε διφασικό μίγμα, καθώς και για τον καθορισμό διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν την κίνηση αυτή.

Ο έμμεσος τρόπος, δίδει ταχύτητες που έχουν πολύ μεγάλη απόκλιση από αυτές που μετρήθηκαν από τον Γρηγόρη Μπανδέλη με οπτικές μεθόδους και έτσι δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστος τρόπος υπολογισμού της ταχύτητας. Ο άμεσος τρόπος είναι καταλληλότερος για τον υπολογισμό της ταχύτητας, τα αποτελέσματα προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις μετρούμενες τιμές και στην περίπτωση της ακολουθίας που λήφθηκε με δειγματοληψία 15 Hz επαλήθευσε τις τιμές αυτές.

Η μεθοδολογία της επεξεργασίας που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας μας έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε δύο διαφορετικές ακολουθίες στιγμιότυπων αποδεικνύοντας ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ταχύτητας οποιουδήποτε συσσωματόματος.

5.2 Μελλοντική Εργασία

Αν και η συγκεκριμένη εργασία έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, υπάρχουν πολλές προτάσεις για βελτιστοποίηση του συστήματος καθώς και επέκταση της επεξεργασίας για περεταίρω έρευνα της κίνησης των στερεών σε οριζόντιο δακτύλιο.

Χρησιμοποιώντας την μεθολογία που αναπτύχθηκε για την παρούσα εργασία μπορεί να γίνει η μελέτη της κίνησης και για διαφορετικές συνθήκες στον σωλήνα καθώς επίσης και η μελέτη τριφασικής ροής (αέρας, στερεά , υγρό).

Οι τρόποι υπολογισμού της ταχύτητας που εφαρμόστηκαν μας δίνουν στιγμιαίες ταχύτητες του φαινομένου χωρίς να υπολογίζονται οι σημειακές ταχύτητες και μετατοπίσεις των σωματιδίων, οι οποίες μπορούν να μας οδηγήσουν σε παιρετέρω συμπεράσματα. Αυτό μπορεί να γίνει με την χρήση

του άμεσου τρόπου υπολογισμού της ταχύτητας, αν γίνει ο εντοπισμός της μετατόπισης για το κάθε σημείο του περιγράμματος, έτσι ώστε να προσεγγίζει βέλτιστα το αντίστοιχο σημείο του στο περίγραμμα του επόμενου frame.

Κατά την διάρκεια λήψης του σήματος από την κάμερα, αντιμετωπίστηκαν προβλήματα όπως η αντανάκλαση των ακτίνων ηλίου, οι οποίες κρύβουν σημαντική πληροφορία από την εικόνα, η σωστή ρύθμιση της θέσης της κάμερας από το σωλήνα παρατήρησης (ύψος και απόσταση) και τέλος, είναι δύσκολο να επιτευχθεί από ένα άτομο ο συγχρονισμός κάμερας-frame grabber-συστήματος ροής, για να γίνει σωστά η λήψη. Για την αποφυγή των προβλημάτων αυτών προτείνουμε τα ακόλουθα:

- Δημιουργία ενός κλειστού συστήματος παρατήρησης στο οποίο θα βρίσκεται η κάμερα σε μόνιμη βάση, στο σωστό ύψος και απόσταση από το σωλήνα, το οποίο θα φωτίζεται σωστά χωρίς την παρενέργεια του φυσικού φωτός.
- Να εξοπλιστεί το σύστημα με συσκευή αποθήκευσης του οπτικοακουστικού σήματος έτσι ώστε να καταγράφεται πρώτα το σήμα και μετά να περνάει στην κάρτα για να ψηφιοποιηθεί και να τμηματοποιηθεί.

Βιβλιογραφία

Azar, J. J., Sanchez, R. A.: Important Issues in Cuttings Transport for Drilling Directional Wells, SPE 39020, 5th Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference and Exhibition, Rio de Janeiro, Brazil, Aug. 30–Sept. 3, (1997).

Cho, H., Shah, S. N., Osisanya S. O., 2001, 'Selection of Optimum Coil tubing Parameters Through the Cuttings Bed Characterization', SPE 68436, presented at the 2001 SPE / IcoTA Coil Tubing round Table, Houston, Texas, USA, 7 – 8 March.

Dewsbury, K., Karamanev, D., Margaritis, A., Hydrodynamic characteristics of free rise of light solid particles and gas bubbles in non-Newtonian liquids, *Chemical Engineering Science*, 54, 4825-4830, (1999)

Doron, P. and Barnea, D., 1996, 'Flow Pattern Maps for Solid – Liquid Flow in Pipes', *Int. J. of Multiphase Flow*, 22 (2), 273 – 283

Gonzales, R.C. and Woods, R.E., Digital Image processing, Addison-Wesley Pub.Co, USA (1993).

Govier, G. W., and Aziz, K., 1972, 'The Flow of Complex Mixtures in Pipes', R.E. Krieger Pub. Co., Florida

IMAQ PCI/PXI-1411, User Manual

IMAQ Vision for LabVIEW, User Manual

Kamp A. M., Rivero S., 1999, 'Layer Modeling for Cuttings Transport in Highly Inclined Wellbores', SPE 53942, presented at the 1999 Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference and Exhibition, Caracas, Venezuela, 21 – 23 April.

Kapsalas, P., Implementation of Non-Destructive Methods for Estimating the Deterioration effects on Marble Surfaces, *Diploma Thesis*, Chania, (2004)

Kelessidis, V. C. and Bandelis, G.E., Flow patterns and minimum suspension velocity for efficient cuttings transport in horizontal and deviated wells in coiled–tubing drilling, *SPE Dril. & Compl.*, December, 213-227, (2004).

Kendoush, A.A. and Sakris, Z.A, A Nonintrusive Auto-Transformer Technique for the Measurement of Void Fraction, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 13:92-97, (1996)

KP-M1A, B/W CCD Camera, Operation Guide

LabVIEW 7 Express, User Manual

Iyoho, A. W., and Takahashi, H., 1993, 'Modeling Cuttings Transport in Horizontal, Eccentric Wellbores', unsolicited paper SPE 27416.

Manikis, G., Optimization Methods for Multiple-Source Image Fusion, *Diploma Thesis*, Chania, (2004)

Martins, A. L., and Santana, C. C., 1990, 'Modeling and Simulation of Annular Axial Flow of Solids and Non – Newtonian Mixtures', paper presented at the 1990 III Encontro Nacional de Ciencias Termicas, Itapema, SC, Brazil

Mast, J., Roes, C.B., Robust Individuals Control Chart for Exploratory Analysis, *QUALITY ENGINEERING*, vol.16, No.3, pp.407-421, (2004)

Nechval, N.A. and Nechval, N.C, Detecting a change point in a sequence of small area statistics, *Statistics in Transition*, 4(4), 699-710, (2000).

Pilehvari, A. A., Azar, J. J.: State of the art cuttings transport in horizontal wellbores, *SPE Dril. & Compl.*, 14(3), 196–200, (1999).

Ratnam, R., Goense, J.B.M., Nelson, M.E., Change-point detection in neuronal spike train activity, *Neurocomputing*, 52-54, 849-855, (2003)

Seeger, A., Affeld, K., Kertzscher, U., Goubergrits, L. and Wellnhofer, E., Assessment of Flow Structures in Bubble Columns by X-ray Based Particle Tracking Velocimetry, Paper presented at the 4th International Symposium on Particle Image Velocimetry, September 17-19, Gottingen, Germany, (2001)

Siris, V.A., Papagalou, F., Application of Anomaly Detection Algorithms for Detecting SYN Flooding Attacks

Sun, H., Dong, H., Player, M.A., Watson, J., Paterson, D.M. and Perkins, R., In Line digital video holography for the study of erosion processes in sediments, *Measurement Science and Technology*, 13, L7-L12, (2002)

US Air Force, Method and System for Analyzing a two phase flow, 1994

Tran, K.C, Testing for structural change in the dynamic adjustment model with autoregressive errors, *Empirical Economics*, 24:61-76,(1999)

Wang, H., Zhang, D. and Shin, K.G, SYN-dog: Sniffing SYN Flooding Sources, Proceedings of the 22nd International Conference on Distributed Computing Systems, (2002)

Κουτρούλης Γ., Μιχαλάκης Α., Σχεδιασμός ,Μελέτη, Κατασκευή συστήματος ροής για τη μεταφορά θραυσμάτων με ρευστά γεώτρησης σε οριζόντιο και κεκλιμένο δακτύλιο. Επίδραση διαφόρων παραμέτρων στην ικανότητα μεταφοράς και πρώτα αποτελέσματα, *Διπλωματική εργασία*, Χανιά, (2002)

Μπανδέλης Γ.Ε., Μεταφορά θραυσμάτων γεωτρήσεων με σπειροειδή σωλήνα, σε οριζόντιες γεωτρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου. Πειραματικά αποτελέσματα και μοντελοποίηση φαινομένου, *Μεταπτυχιακή Διατριβή*, Χανιά, (2004)

Πήπτας, Ι., Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας, Θεσσαλονίκη,(2001)

<http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf>

<http://www.edmundoptics.com/techsupport>

<http://www.theimagingsource.com/resources>

<http://digital.ni.com/csma.nsf>

<http://www.mellesgriot.com>

<http://www.machinevisiononline.org>

<http://www.cs.wisc.edu>

Παράρτημα Α

Στο παράρτημα αυτό παρατίθενται οι συναρτήσεις που υλοποιήθηκαν σε Matlab 6.5 .

1.Φιλτράρισμα της εικόνας με τον τελεστή ανίχνευσης ακμών Sobel και γέμισμα των γραμμών με μαθηματική μορφολογία

```
function [BW2] = filtpic(x);  
  
[I]=imread(x);  
f= ([-1 2 -1; -1 2 -1; -1 2 -1]);  
y=f';  
Y1=imfilter(I,y);  
SE = strel('disk',1);  
BW2 = imdilate(Y1,SE);
```

2.Φιλτράρισμα της εικόνας με υψηλοπερατό φίλτρο και γέμισμα των γραμμών με μαθηματική μορφολογία

```
function [BW2] = filtpic2(x);  
  
[I]=imread(x);  
hp= ([1 1 1; 1 -8 1; 1 1 1]);  
Y1=imfilter(I,hp);  
SE = strel ('disk', 1);  
BW2 = imdilate (Y1,SE);
```

3.Φιλτράρισμα της εικόνας με τελεστή ανίχνευσης ακμών Kirsch και γέμισμα των γραμμών με μαθηματική μορφολογία

```
function [BW2] = filtKirsch(x);
```

```

[I]=imread(x);
kirx=[-5 3 3 ; -5 0 3 ; -5 3 3 ];
kiry=kirx'
Y1=imfilter(I,kiry);
SE = strel('disk',1);
BW2 = imdilate(Y1,SE);

```

4.Ο κώδικας για την υλοποίηση του μετασχηματισμού Hough. Διαβάζει την εικόνα εξόδου από την συνάρτηση filtKirsch και δίνει το πολικό πλέγμα συντεταγμένων.

```

I = imread(x);
%BW = edge(I);
theta = 0:179;
[R,xp] = radon(I,theta);
figure, imagesc(theta, xp, R); colormap(hot);
xlabel('\theta (degrees)'); ylabel('X\prime');
title('R_{\theta} (X\prime)');grid on
colorbar

```

5. Η συνάρτηση του τρίτου αλγόριθμου εντοπισμού σημείου αλλαγής. Παίρνει σαν είσοδο μια από τις εξόδους των συναρτήσεων filtpic, filtpic2 και δίνει σαν έξοδο το πάνω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος.

```

function F = myRobust(x);

F=zeros(576,768);
temp=[];
temp2=[];
y=[];
y1=[];
y2=[];
ze=[];

```

```

for j=1:768
    t_sub=[];
    z=[];
    zup=[];
    zdown=[];

    for i=7:570
        temp(i)=x(i,j);
    end

    for h=2:564
        y(1)=0;
        ze(h)=temp(h)-100;
        if (y(h-1)+ze(h))>0
            y(h)=y(h-1)+ze(h);
        else
            y(h)=0;
        end
    end
end

a=0;
b=0;
c=0;
y1=y(1:564);
while (sum(y1)>0)

    d=find(y1>0);
    tf1=isempty(d);
    if tf1==1,
        break,
    end
    a=a+1;
    b=b+1;

```



```

z(a)=min(d);
zup(b)=min(d);
z1=z(a);

y1(1:z1)=0;
d1=find(y1==0);
tf2=isempty(d1);
if tf2==1,
    break,
end
a=a+1;
c=c+1;
g=d1>z1;
d2=find(g);
zq=min(d2);
z(a)=d1(zq);
zdown(c)=d1(zq);
z2=z(a);
y1(1:z2)=0;
sum(y1);
end

w=length(zup);
w1=length(zdown);

for fn=1:w1
    t_sub(fn)=zdown(fn)-zup(fn);
end
w3=max(t_sub);

if t_sub(fn)>30

    w4=find(t_sub==w3);
    display(w4);

```

```

    F(zup(w4),j)=1;
end
end

```

6. Η συνάρτηση του τρίτου αλγόριθμου εντοπισμού σημείου αλλαγής. Παίρνει σαν είσοδο μια από τις εξόδους των συναρτήσεων `filtpic`, `filtpic2` και δίνει σαν έξοδο το κάτω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος.

```

function[F] =myRobust2(x);

```

```

F=zeros(576,768);

```

```

temp2=[];

```

```

y=[];

```

```

y1=[];

```

```

y2=[];

```

```

ze=[];

```

```

for j=1:768

```

```

    t_sub=[];

```

```

    z=[];

```

```

    zup=[];

```

```

    zdown=[];

```

```

for ze=7:570

```

```

    temp2(ze)=x((576-ze),j);

```

```

end

```

```

for h=2:564

```

```

    y(1)=0;

```

```

    ze(h)=temp2(h)-85;

```

```

    if (y(h-1)+ze(h))>0

```

```

        y(h)=y(h-1)+ze(h);

```

```

else
    y(h)=0;
end
end
end

```

```

a=0;
b=0;
c=0;
y1=y(1:564);
while (sum(y1)>0)

```

```

    d=find(y1>0);
    tf1=isempty(d);
    if tf1==1,
        break,
    end
    a=a+1;
    b=b+1;
    z(a)=min(d);
    zup(b)=min(d);
    z1=z(a);

```

```

    y1(1:z1)=0;
    d1=find(y1==0);
    tf2=isempty(d1);
    if tf2==1,
        break,
    end
    a=a+1;
    c=c+1;
    g=d1>z1;
    d2=find(g);
    zq=min(d2);
    if zq > 576,

```

```

        break,
    end
    z(a)=d1(zq);
    zdown(c)=d1(zq);
    z2=z(a);
    y1(1:z2)=0;
    sum(y1);
end

w=length(zup);
w1=length(zdown);

for fn=1:w1
    t_sub(fn)=zdown(fn)-zup(fn);
end
w3=max(t_sub);
if t_sub(fn)>30
    w4=find(t_sub==w3);
    display(w4);
    F(576-(zup(w4)),j)=1;
end
end
end

```

7. Η συνάρτηση του δεύτερου αλγόριθμου εντοπισμού σημείου αλλαγής. Παίρνει σαν είσοδο μια από τις εξόδους των συναρτήσεων `filtpic`, `filtpic2` και δίνει σαν έξοδο το πάνω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος.

```

function F = robustest(x);
F=zeros(576,768);
for j=1:768
    temp=[];
    temp2=[];
    m1=[];

```

```

m2=[];
sigma=[];
ISigma=[];
Z1=[]
Z1t=[];
Z2=[]
Z2t=[];
Z2_t=[];
Z1tSum=[];
Z1tSum1=[];
Z2tSum=[];
Z2tSum1=[];
s0=[];
s0temp=[];
s01=[];
s01temp=[];

for i=7:570
    temp(i)=x(i,j);
end
s0=mad(temp);
for f=2:562
    m1(f)=(1/(9*f))*sum(temp(1:f));
    m2(f)=(1/(564-f))*sum(temp((f+1):564));
    sigma(f)=((1/564).*(sum((temp(1:f)-m1(f)).^2)+sum((temp((f+1):564)-
m2(f)).^2)));
    ISigma(f)=log(sigma(f));
end
f=min(ISigma(2:562));
d=find(ISigma==f);

for s=2:562
    Z2(s)=(temp(s)-m2(s))/(9*s0);

```

```

    if abs(Z2(s))<=1
        Z2t(s)=Z2(s)*((1-Z2(s)^2)^2);
    else
        Z2t(s)=0;
    end
end
for c=2:562

    Z1(c)=(temp(c)-m1(c))*(9*s0);

    if abs(Z1(c))<=1
        Z1t(c)=Z1(c)*((1-Z1(c)^2)^2);
    else
        Z1t(c)=0;
    end

end

for v=2:562

sigmatemp(v)=sqrt(562)*9*s0*(sqrt(sum(Z1t(1:v).^2)+sum(Z2t((v+1):562).^2)))
/abs(sum((Z1t(1:v)))+sum((Z2t((v+1):562))));
end

ISigma2=log(sigmatemp);
f1=min(ISigma2(2:562));
d1=find(ISigma2==f1);
F(d1,j)=1;

end

```

8. Η συνάρτηση του δεύτερου αλγόριθμου εντοπισμού σημείου αλλαγής. Παίρνει σαν είσοδο μια από τις εξόδους των συναρτήσεων filtpic,

filtpic2 και δίνει σαν έξοδο το κάτω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος.

```
function F = robustest2(x);
```

```
F=zeros(576,768);
```

```
for j=1:768
```

```
temp=[];
```

```
temp2=[];
```

```
m1=[];
```

```
m2=[];
```

```
sigma=[];
```

```
ISigma=[];
```

```
Z1=[]
```

```
Z1t=[];
```

```
Z2=[]
```

```
Z2t=[];
```

```
Z2_t=[];
```

```
Z1tSum=[];
```

```
Z1tSum1=[];
```

```
Z2tSum=[];
```

```
Z2tSum1=[];
```

```
s0=[];
```

```
s0temp=[];
```

```
s01=[];
```

```
s01temp=[];
```

```
for i=7:570
```

```
    temp(i)=x((576-i),j);
```

```
end
```

```
s0=mad(temp);
```

```
for f=2:562
```

```
    m1(f)=(1/(9*f))*sum(temp(1:f));
```

```

m2(f)=(1/(564-f))*sum(temp((f+1):564));
sigma(f)=((1/564).*(sum((temp(1:f)-m1(f)).^2)+sum((temp((f+1):564)-
m2(f)).^2)));
lSigma(f)=log(sigma(f));
end
f=min(lSigma(2:562));
d=find(lSigma==f);

for s=2:562
    Z2(s)=(temp(s)-m2(s))/(9*s0);

    if abs(Z2(s))<=1
        Z2t(s)=Z2(s)*((1-Z2(s)^2)^2);
    else
        Z2t(s)=0;
    end

end

for c=2:562

    Z1(c)=(temp(c)-m1(c))*(9*s0);

    if abs(Z1(c))<=1
        Z1t(c)=Z1(c)*((1-Z1(c)^2)^2);
    else
        Z1t(c)=0;
    end

end

for v=2:562

sigmatemp(v)=sqrt(562)*9*s0*(sqrt(sum(Z1t(1:v).^2)+sum(Z2t((v+1):562).^2)))
/abs(sum((Z1t(1:v)))+sum((Z2t((v+1):562))));

```



```

end

ISigma2=log(sigmatemp);
f1=min(ISigma2(2:562));
d1=find(ISigma2==f1);
F((576-d1),j)=1;
end

```

9. Το φίλτρο median για το πάνω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος

```
function [F] = UpperCurvemedian(r);
```

```
F=zeros(576,768);
```

```

temp=[];
c=[];
t=[];
x=[];
a=0;
xmed=[];

```

```

for j=1:768
    c=0;
    for i=1:576
        c=c+1;

        if r(i,j)==1
            a=a+1;
            x(a)=c;
        end
    end
    if r((1:576),j)~=1
        a=a+1;
    end
end

```

```

        x(a)=0;
    end
end

z1=find(x);
z2=max(z1);

if x(1)~=0
    F(x(1),1)=1;
end
if x(2)~=0
    F(x(2),2)=1;
end
if x(3)~=0
    F(x(3),3)=1;
end
if x(4)~=0
    F(x(4),4)=1;
end
if x(z2-3)~=0
    F(x(z2-3),(z2-3))=1;
end
if x(z2-2)~=0
    F(x(z2-2),(z2-2))=1;
end
if x(z2-1)~=0
    F(x(z2-1),(z2-1))=1;
end
if x(z2)~=0
    F(x(z2),z2)=1;
end

```

```

for e=5:z2-4
    t(1)=x(e-4);
    t(2)=x(e-3);
    t(3)=x(e-2);
    t(4)=x(e-1);
    t(5)=x(e);
    t(6)=x(e+1);
    t(7)=x(e+2);
    t(8)=x(e+3);
    t(9)=x(e+4);
    c=median(t);

    if c~=0
        F(c,e)=1;
    end
end
end

```

10. Το φίλτρο mean για το πάνω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος

```
function [F] = UpperCurvemean(r);
```

```
F=zeros(576,768);
```

```
temp=[];
```

```
c=[];
```

```
t=[];
```

```
x=[];
```

```
a=0;
```

```
for j=1:768
```

```
    c=0;
```

```
    for i=1:576
```

```

        c=c+1;

        if r(i,j)==1
            a=a+1;
            x(a)=c;
        end
    end
    if r((1:576),j)~=1
        a=a+1;
        x(a)=0;
    end
end

z1=find(x);
z2=max(z1);

if x(1)~=0
    F(x(1),1)=1;
end
if x(2)~=0
    F(x(2),2)=1;
end
if x(3)~=0
    F(x(3),3)=1;
end
if x(4)~=0
    F(x(4),4)=1;
end
if x(5)~=0
    F(x(5),5)=1;
end
if x(z2-4)~=0
    F(x(z2-4),(z2-4))=1;
end

```

```

if x(z2-3)~=0
    F(x(z2-3),(z2-3))=1;
end
if x(z2-2)~=0
    F(x(z2-2),(z2-2))=1;
end
if x(z2-1)~=0
    F(x(z2-1),(z2-1))=1;
end
if x(z2)~=0
    F(x(z2),z2)=1;
end

for e=6:z2-5
    t(1)=x(e-5);
    t(2)=x(e-4);
    t(3)=x(e-3);
    t(4)=x(e-2);
    t(5)=x(e-1);
    t(6)=x(e);
    t(7)=x(e+1);
    t(8)=x(e+2);
    t(9)=x(e+3);
    t(10)=x(e+4);
    t(11)=x(e+5);

    d=find(t);
    d1=length(d);

    if d1~=0
        c=round((1/d1)*sum(t));

        if c~=0

```

```

        F(c,e)=1;

    else
        F(c,e)=0;
    end
end

end

```

11. Το φίλτρο median για το κάτω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος

```
function [F] = LowerCurvemedian(r);
```

```
F=zeros(576,768);
```

```
temp=[];
```

```
c=[];
```

```
t=[];
```

```
x=[];
```

```
a=0;
```

```
xmed=[];
```

```
for j=1:768
```

```
    c=0;
```

```
    for i=1:576
```

```
        c=c+1;
```

```
        if r(i,j)==1
```

```
            a=a+1;
```

```
            x(a)=c;
```

```
        end
```

```
    end
```

```
        if r((1:576),j)~=1
```

```

        a=a+1;
        x(a)=0;
    end
end
z1=find(x);
z2=max(z1);

if x(1)~=0
    F(x(1),1)=1;
end
if x(2)~=0
    F(x(2),2)=1;
end
if x(3)~=0
    F(x(3),3)=1;
end
if x(4)~=0
    F(x(4),4)=1;
end
if x(5)~=0
    F(x(5),5)=1;
end
if x(z2-4)~=0
    F(x(z2-4),(z2-4))=1;
end
if x(z2-3)~=0
    F(x(z2-3),(z2-3))=1;
end
if x(z2-2)~=0
    F(x(z2-2),(z2-2))=1;
end
if x(z2-1)~=0
    F(x(z2-1),(z2-1))=1;
end
end

```

```

if x(z2)~=0
    F(x(z2),z2)=1;
end

```

```

for e=6:z2-5
    t(1)=x(e-5);
    t(2)=x(e-4);
    t(3)=x(e-3);
    t(4)=x(e-2);
    t(5)=x(e-1);
    t(6)=x(e);
    t(7)=x(e+1);
    t(8)=x(e+2);
    t(9)=x(e+3);
    t(10)=x(e+4);
    t(11)=x(e+5);
    c=median(t);

```

```

    if c~=0
        F(c,e)=1;
    end
end

```

12. Το φίλτρο mean για το κάτω περίγραμμα του κινούμενου στρώματος

```

function [F] = LowerCurvemean(r);

```

```

F=zeros(576,768);

```

```

temp=[];
c=[];
t=[];
x=[];
a=0;

```



```

xmed=[];

for j=1:768
    c=0;
    for i=1:576
        c=c+1;

        if r(i,j)==1
            a=a+1;
            x(a)=c;
        end
    end
    if r((1:576),j)~=1
        a=a+1;
        x(a)=0;
    end
end

z1=find(x);
z2=max(z1);

if x(1)~=0
    F(x(1),1)=1;
end
if x(2)~=0
    F(x(2),2)=1;
end
if x(3)~=0
    F(x(3),3)=1;
end
if x(4)~=0
    F(x(4),4)=1;
end
if x(5)~=0

```

```

    F(x(5),5)=1;
end
if x(z2-4)~=0
    F(x(z2-4),(z2-4))=1;
end
if x(z2-3)~=0
    F(x(z2-3),(z2-3))=1;
end
if x(z2-2)~=0
    F(x(z2-2),(z2-2))=1;
end
if x(z2-1)~=0
    F(x(z2-1),(z2-1))=1;
end
if x(z2)~=0
    F(x(z2),z2)=1;
end

```

```

for e=6:z2-5
    t(1)=x(e-5);
    t(2)=x(e-4);
    t(3)=x(e-3);
    t(4)=x(e-2);
    t(5)=x(e-1);
    t(6)=x(e);
    t(7)=x(e+1);
    t(8)=x(e+2);
    t(9)=x(e+3);
    t(10)=x(e+4);
    t(11)=x(e+5);
    d=find(t);
    d1=length(d);

    if d1~=0

```

```

c=round((1/d1)*sum(t));

if c~=0
    F(c,e)=1;

else
    F(c,e)=0;
end
end
end
end

```

13. Η συνάρτηση υλοποίησης της προσέγγισης καμπύλης (Curve Approximation)

```

function [p,d1,d2]= CApprox(Z);

x=[];
y=[];
b=0;
a=0;
for j=1:768
    b=b+1;
    c=0;

    for i=1:576
        c=c+1;

        if Z(i,j)==1
            a=a+1;
            x(a)=576-c;
            y(a)=b;
        end
    end
end
end

```

```

end
z=find(x);
z1=min(z);
z2=max(z);
d1=y(min(z));
d2=y(max(z));
p = polyfit(y(z1:z2),x(z1:z2),3);

```

14. Ο υπολογισμός του ύψους (χρονικό προφίλ) του συνολικού φαινομένου για κάθε στήλη και ο υπολογισμός του κέντρου βάρους για κάθε προφίλ

```

gr=[]
for i=1:768
temp=[];
a=0;
for j=26:91
    a=a+1;
    jpgname=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j),'.jpg'];
    Z=filtpic(jpgname);
    Z1=myRobustf(Z);
    W1=UpperCurvemedian(Z1);
    W2=UpperCurvemean(W1);
    [P,f1,f2]=CAprox(f(W2);
    Z2=polyval(P,(f1:f2));

    if ((f1<=i) & (f2>=i))& (j > 29 & j < 88)
        zen=i-f1+1;
        temp(a)=Z2(zen)-110;
    else

        temp(a)=0;
    end
end

```

```

end

d=[];

for s=1:66
    d(s)=s*temp(s);
end
d1=sum(d);
d2=sum(temp)
gin=d1/d2;
gr(i)=gin
end
display(gr)

```

15. Ο υπολογισμός του ύψους (χρονικό προφίλ) του στατικού στρώματος, για κάθε στήλη και ο υπολογισμός του κέντρου βάρους για κάθε προφίλ.

```

gr=[]
for i=1:768
    temp=[];
    a=0;
    for j=26:91
        a=a+1;
        jpgname=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j),'.jpg']; %
        Z=filtpic(jpgname);
        Z1=myRobust2(Z);
        W1=LowerCurvemedian(Z1);
        W2=LowerCurvemean(W1);
        [P,f1,f2]=CAprox(W2);
        Z2=polyval(P,(f1:f2));

        if ((f1<=i) & (f2>=i))& j < 88
            zen=i-f1+1;

```

```

        temp(a)=Z2(zen)-110;
    else

        temp(a)=0;
    end
end

d=[];

for s=1:66
    d(s)=s*temp(s);
end
d1=sum(d);
d2=sum(temp)
gin=d1/d2;
gr(i)=gin;
end

```

16. Ο υπολογισμός του ύψους (χρονικό προφίλ) του κινούμενου στρώματος, για κάθε στήλη και ο υπολογισμός του κέντρου βάρους για κάθε προφίλ.

```

gr=[]
for i=1:100
    temp=[];
    a=0;
    for j=26:91
        a=a+1;
        jpgname=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j),'.jpg']; %
        Z=filtpic(jpgname);
        Z1=myRobustf(Z);
        W1=UpperCurvemedian(Z1);
        W2=UpperCurvemmean(W1);
    end
end

```

```

U1=myRobust2(Z);
H1=LowerCurvemedian(U1);
H2=LowerCurvemean(H1);

[P,f1,f2]=CAprox(W2);
[P1,f11,f22]=CAprox(H2);
Z2=polyval(P,(f1:f2));
Z3=polyval(P1,(f11:f22));

    zen1=i-f1+1;
    zen=i-f11+1;
    if f11<=i & f22>=i & ((f1<=i) & (f2>=i))& (Z2(zen1)>Z3(zen)) & j >29

        temp1 (a) =Z2 (zen1)-Z3(zen);

    else
        temp1(a)=0;

    end

end

d=[];

for s=1:66
    d(s)=s*temp1(s);
end
d1=sum(d);
d2=sum(temp1)
gin=d1/d2;
gr(i)=gin;
end
display(gr)

```

17. Ο υπολογισμός της ταχύτητας από τα κέντρα βάρους. Παίρνει σαν είσοδο τα κέντρα βάρους των χρονικών προφίλ και δίνει την ταχύτητα και για τα τρία ύψη.

```
S=gr;  
gr3=[];  
temp3=[];  
temp=[];  
  
for w=11:730  
  
if S(w)-S(w-1)>0  
    gr3(w)=S(w)-S(w-1);  
    else  
        gr3(w)=gr3(w-1);  
    end  
end  
  
for c=16:725  
    temp3(1)=gr3(c-5);  
    temp3(2)=gr3(c-4);  
    temp3(3)=gr3(c-3);  
    temp3(4)=gr3(c-2);  
    temp3(5)=gr3(c-1);  
    temp3(6)=gr3(c);  
    temp3(7)=gr3(c+1);  
    temp3(8)=gr3(c+2);  
    temp3(9)=gr3(c+3);  
    temp3(10)=gr3(c+4);  
    temp3(11)=gr3(c+5);  
    met(c)=median(temp3);  
    temp3=[];  
end  
for a=16:725
```



```

    vel(a)=(1.575*(10^(-4)))/(met(a)*0.05);
end
velocity=sum(vel(16:725))/710;
plot(vel);

```

18. Ο Υπολογισμός των μετατοπίσεων της πάνω καμπύλης (άμεσος τρόπος). Παίρνει σαν είσοδο την ακολουθία των εικόνων και επιστρέφει τις μετατοπίσεις.

```

zen=[];
b=0;
for j=36:88
    fz=[];
    sfz=[];
    criterion=[];
    b=b+1;
    jpgname=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j),'.jpg']; %
    W=filtpic(jpgname);
    W1=myRobustf(W);
    W2=UpperCurvemedian(W1);
    W3=UpperCurvemean(W2);

    jpgname1=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j+1),'.jpg']; %
    R=filtpic(jpgname1);
    R1=myRobustf(R);
    R2=UpperCurvemedian(R1);
    R3=UpperCurvemean(R2);

    jpgname2=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j+2),'.jpg']; %
    Q=filtpic(jpgname2);
    Q1=myRobustf(Q);
    Q2=UpperCurvemedian(Q1);
    Q3=UpperCurvemean(Q2);

```

```

jpgname3=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j+3),'.jpg']; %
Z=filtpic(jpgname3);
Z1=myRobustf(Z);
Z2=UpperCurvemedian(Z1);
Z3=UpperCurvemean(Z2);

jpgname4=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j-1),'.jpg']; %
V=filtpic(jpgname4);
V1=myRobustf(V);
V2=UpperCurvemedian(V1);
V3=UpperCurvemean(V2);

jpgname5=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j-2),'.jpg'];
K=filtpic(jpgname5);
K1=myRobustf(K);
K2=UpperCurvemedian(K1);
K3=UpperCurvemean(K2);

jpgname6=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j-3),'.jpg'];
L=filtpic(jpgname6);
L1=myRobustf(L);
L2=UpperCurvemedian(L1);
L3=UpperCurvemean(L2);

[L4,f11,f21]=CAprox(L3);
[K4,f12,f22]=CAprox(K3);
[V4,f13,f23]=CAprox(V3);
[W4,f14,f24]=CAprox(W3);
[R4,f15,f25]=CAprox(R3);
[Q4,f16,f26]=CAprox(Q3);
[Z4,f17,f27]=CAprox(Z3);

L5=polyval(L4,(f11:f21));

```

```

K5=polyval(K4,(f12:f22));
V5=polyval(V4,(f13:f23));
R5=polyval(R4,(f15:f25));
Q5=polyval(Q4,(f16:f26));
Z5=polyval(Z4,(f17:f27));

for a=1:100

    er=[];
    q=0;
    for i=f14:f24

        y=polyval(W4,(i-a));

        if i>=f15 & i<=f25 %(i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
            q=q+1;
            er(q)=(y-R5(i-f15+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;
        end
        % er(i)=(R5(i)-y)^2;
        % display(i);
        % display(y);
    end

    d=length(er);
    criterion1(a)=sum(er)/d;

end

fz(1)=find(criterion1==min(criterion1));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for a=1:100

    er=[];

```

```

q=0;

for i=f14:f24

    y=polyval(W4,(i-a));

    if i>=f16 & i<=f26 %(i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
        q=q+1;
        er(q)=(y-Q5(i-f16+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

    end
    % er(i)=(R5(i)-y)^2;
    % display(i);
    % display(y);
end

d=length(er);
criterion2(a)=sum(er)/d;

end
fz(2)=find(criterion2==min(criterion2))/2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for a=1:100

    er=[];
    q=0;
    for i=f14:f24

        y=polyval(W4,(i-a));

        if i>=f17 & i<=f27 %(i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
            q=q+1;
            er(q)=(y-Z5(i-f17+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

```

```

        end
        % er(i)=(R5(i)-y)^2;
        % display(i);
        % display(y);
    end

    d=length(er);
    criterion3(a)=sum(er)/d;
end
fz(3)=find(criterion3==min(criterion3))/3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

for a=1:100

    er=[];
    q=0;
    for i=f14:f24

        y=polyval(W4,(i+a));

        if i>=f11 & i<=f21 % (i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
            q=q+1;
            er(q)=(y-L5(i-f11+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

        end
        % er(i)=(R5(i)-y)^2;
        % display(i);
        % display(y);
    end

    d=length(er);
    criterion4(a)=sum(er)/d;

```

```

end
fz(4)=find(criterion4==min(criterion4))/3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for a=1:100

    er=[];
    q=0;
    for i=f14:f24

        y=polyval(W4,(i+a));

        if i>=f12 & i<=f22 %(i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
            q=q+1;
            er(q)=(y-K5(i-f12+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

        end
        % er(i)=(R5(i)-y)^2;
        % display(i);
        % display(y);
    end

    d=length(er);
    criterion5(a)=sum(er)/d;
end
fz(5)=find(criterion5==min(criterion5))/2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for a=1:100

    er=[];
    q=0;
    for i=f14:f24

        y=polyval(W4,(i+a));

```

```

if i>=f13 & i<=f23 %(i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
    q=q+1;
    er(q)=(y-V5(i-f13+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

end
% er(i)=(R5(i)-y)^2;
% display(i);
% display(y);
end

d=length(er);
criterion6(a)=sum(er)/d;
end
fz(6)=find(criterion6==min(criterion6));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
sfz=sort(fz);
zen(b)=(sfz(2)+sfz(3)+sfz(4)+sfz(5))/4;

%zen(b)=sum(fz)/6;

end
display(zen);
plot(zen);

```

19. Ο Υπολογισμός των μετατοπίσεων της κάτω καμπύλης (άμεσος τρόπος). Παίρνει σαν είσοδο την ακολουθία των εικόνων και επιστρέφει τις μετατοπίσεις.

```

zen=[];
b=0;
for j=36:86
    fz=[];

```

```

sfz=[];
criterion=[];
b=b+1;
jpgname=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j),'.jpg']; %
W=filtpic(jpgname);
W1=myRobust2(W);
W2=LowerCurvemedian(W1);
W3=LowerCurvemean(W2);

jpgname1=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j+1),'.jpg']; %
R=filtpic(jpgname1);
R1=myRobust2(R);
R2=LowerCurvemedian(R1);
R3=LowerCurvemean(R2);

jpgname2=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j+2),'.jpg']; %
Q=filtpic(jpgname2);
Q1=myRobust2(Q);
Q2=LowerCurvemedian(Q1);
Q3=LowerCurvemean(Q2);

jpgname3=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j+3),'.jpg']; %
Z=filtpic(jpgname3);
Z1=myRobust2(Z);
Z2=LowerCurvemedian(Z1);
Z3=LowerCurvemean(Z2);

jpgname4=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j-1),'.jpg']; %
V=filtpic(jpgname4);
V1=myRobust2(V);
V2=LowerCurvemedian(V1);
V3=LowerCurvemean(V2);

jpgname5=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j-2),'.jpg'];

```



```

K=filtpic(jpgname5);
K1=myRobust2(K);
K2=LowerCurvemedian(K1);
K3=LowerCurvemean(K2);

jpgname6=['D:\MATLAB6p5\work\20\picture',num2str(j-3),'.jpg'];
L=filtpic(jpgname6);
L1=myRobust2(L);
L2=LowerCurvemedian(L1);
L3=LowerCurvemean(L2);

[L4,f11,f21]=CAprox(f(L3));
[K4,f12,f22]=CAprox(f(K3));
[V4,f13,f23]=CAprox(f(V3));
[W4,f14,f24]=CAprox(f(W3)); % Give the polynomial coefficients of curve
[R4,f15,f25]=CAprox(f(R3));
[Q4,f16,f26]=CAprox(f(Q3));
[Z4,f17,f27]=CAprox(f(Z3));

L5=polyval(L4,(f11:f21));
K5=polyval(K4,(f12:f22));
V5=polyval(V4,(f13:f23));
R5=polyval(R4,(f15:f25));
Q5=polyval(Q4,(f16:f26));
Z5=polyval(Z4,(f17:f27));

for a=1:100

er=[];
q=0;
for i=f14:f24

```

```

y=polyval(W4,(i-a));

if i>=f15 & i<=f25 %(i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
    q=q+1;
    er(q)=(y-R5(i-f15+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;
end
% er(i)=(R5(i)-y)^2;
% display(i);
% display(y);
end

d=length(er);
criterion1(a)=sum(er)/d;

end
fz(1)=find(criterion1==min(criterion1));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for a=1:100

er=[];
q=0;

for i=f14:f24

    y=polyval(W4,(i-a));

    if i>=f16 & i<=f26 %(i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
        q=q+1;
        er(q)=(y-Q5(i-f16+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

    end
    % er(i)=(R5(i)-y)^2;

```

```

    % display(i);
    % display(y);
end

d=length(er);
criterion2(a)=sum(er)/d;

end
fz(2)=find(criterion2==min(criterion2))/2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for a=1:100

    er=[];
    q=0;
    for i=f14:f24

        y=polyval(W4,(i-a));

        if i>=f17 & i<=f27 % (i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
            q=q+1;
            er(q)=(y-Z5(i-f17+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

        end

        % er(i)=(R5(i)-y)^2;
        % display(i);
        % display(y);
    end

    d=length(er);
    criterion3(a)=sum(er)/d;
end
fz(3)=find(criterion3==min(criterion3))/3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

for a=1:100

    er=[];
    q=0;
    for i=f14:f24

        y=polyval(W4,(i+a));

        if i>=f11 & i<=f21 %(i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
            q=q+1;
            er(q)=(y-L5(i-f11+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

        end
        % er(i)=(R5(i)-y)^2;
        % display(i);
        % display(y);
    end

    d=length(er);
    criterion4(a)=sum(er)/d;
end
fz(4)=find(criterion4==min(criterion4))/3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for a=1:100

    er=[];
    q=0;
    for i=f14:f24

        y=polyval(W4,(i+a));

        if i>=f12 & i<=f22 %(i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
            q=q+1;

```

```

er(q)=(y-K5(i-f12+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

end

% er(i)=(R5(i)-y)^2;
% display(i);
% display(y);
end

d=length(er);
criterion5(a)=sum(er)/d;
end
fz(5)=find(criterion5==min(criterion5))/2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for a=1:100

er=[];
q=0;
for i=f14:f24

y=polyval(W4,(i+a));

if i>=f13 & i<=f23 % (i-f1+1)>=f11 & (i-f1+1)<=f22
q=q+1;
er(q)=(y-V5(i-f13+1))^2; %er(i)=(abs(R5(i-f1+1)-y))^2;

end

% er(i)=(R5(i)-y)^2;
% display(i);
% display(y);
end

d=length(er);

```

```

        criterion6(a)=sum(er)/d;
    end
    fz(6)=find(criterion6==min(criterion6));
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    sfz=sort(fz);
    zen(b)=(sfz(2)+sfz(3)+sfz(4)+sfz(5))/4;

    %zen(b)=sum(fz)/6;

end
    display(zen);
    plot(zen);

```

20. Παίρνει σαν είσοδο τις μετατοπίσεις των καμπυλών και δίνει τις ταχύτητες

```

S1=load('test1.txt');

for i=1:51
    temp1(i)=(S1(i)*1.575*10^(-4))/(0.05);
end

temp=[];
a=0;

for f=3:49
    a=a+1;
    temp(1)=temp1(f-2);
    temp(2)=temp1(f-1);
    temp(3)=temp1(f);
    temp(4)=temp1(f+1);
    temp(5)=temp1(f+2);
    med3(a)=median(temp);
end

```

```
av=sum(med3)/49;  
display(av);  
Q=1*0.05:1*0.05:49*0.05;  
plot(Q,med3);
```

Παράρτημα Β

Στο παράρτημα αυτό δίνονται οι τιμές των ταχυτήτων.

Πίνακας Β-1: Ταχύτητες ολόκληρου του φαινομένου (από χρονικά προφίλ) σε m/sec

0	0,133029	0,14628	0,132979	0,174903
0	0,13242	0,146491	0,127458	0,175458
0	0,131821	0,146696	0,127458	0,175458
0	0,131206	0,146901	0,127458	0,175458
0	0,130586	0,1471	0,157666	0,175458
0	0,129972	0,147293	0,157934	0,175458
0	0,129348	0,147493	0,157934	0,175458
0	0,128724	0,147679	0,157934	0,176007
0	0,12809	0,147873	0,157934	0,17655
0	0,127458	0,148061	0,157934	0,177096
0	0,127458	0,148249	0,157934	0,177635
0	0,127458	0,148431	0,147971	0,178167
0	0,15897	0,148613	0,147971	0,178703
0	0,159163	0,148788	0,147971	0,150595
0	0,15934	0,148971	0,147971	0,150754
0,145061	0,159526	0,149141	0,147971	0,150898
0,145061	0,159704	0,14931	0,147971	0,151036
0,144828	0,15989	0,149487	0,148256	0,151188
0,144675	0,160061	0,149644	0,14855	0,151326
0,144396	0,16024	0,149815	0,148831	0,151464
0,14427	0,160411	0,149979	0,149127	0,151595
0,143868	0,160575	0,150136	0,149409	0,151727
0,143868	0,160747	0,150286	0,149693	0,151866
0,143449	0,160911	0,150451	0,149979	0,151866
0,143449	0,161076	0,123811	0,149979	0,151983
0,143449	0,161233	0,12383	0,149979	0,152115
0,143032	0,161389	0,123845	0,149979	0,15224
0,142948	0,161547	0,123865	0,149979	0,152358
0,142598	0,161704	0,123874	0,149979	0,152476
0,142457	0,161846	0,123874	0,144026	0,170898
0,142161	0,162004	0,123874	0,142244	0,171158
0,141943	0,162145	0,123874	0,140449	0,17141
0,141433	0,162287	0,123874	0,138657	0,171662
0,140914	0,162287	0,123597	0,138657	0,171906
0,140914	0,162287	0,123597	0,138657	0,172159
0,140381	0,162287	0,123297	0,140449	0,172414
0,139857	0,162287	0,123297	0,141003	0,17265
0,139313	0,162287	0,123297	0,141313	0,172887
0,138773	0,145215	0,123297	0,141003	0,173134
0,138219	0,145215	0,123297	0,141003	0,173372
0,137669	0,145215	0,123297	0,141313	0,173611
0,1371	0,145215	0,133362	0,141618	0,173841
0,136535	0,145215	0,133362	0,14193	0,174081
0,135963	0,145215	0,133362	0,142231	0,174312
0,135385	0,145436	0,133362	0,142231	0,174535
0,134805	0,145651	0,133362	0,17321	0,174535
0,134214	0,145867	0,133362	0,173784	0,174535
0,133622	0,146077	0,133164	0,174341	0,174535

0,174535	0,183257	0,170086	0,128871	0,112605
0,174535	0,183257	0,170086	0,128813	0,112605
0,167153	0,183257	0,162179	0,128761	0,112605
0,167153	0,183257	0,16207	0,128713	0,112605
0,167153	0,183257	0,146138	0,128666	0,112605
0,167153	0,17169	0,146138	0,128629	0,118823
0,167153	0,17169	0,146138	0,128587	0,118823
0,167153	0,17169	0,145935	0,12855	0,118823
0,167393	0,17169	0,145935	0,128519	0,118823
0,167642	0,17169	0,145725	0,128488	0,118823
0,167875	0,17169	0,145523	0,128467	0,118823
0,168117	0,17169	0,145523	0,12844	0,118062
0,16835	0,17169	0,134168	0,12844	0,117301
0,168584	0,17169	0,134168	0,12844	0,116529
0,16881	0,17169	0,134168	0,12844	0,115758
0,169046	0,17169	0,134168	0,12844	0,114984
0,169046	0,159542	0,134168	0,1	0,114213
0,169282	0,159542	0,134168	54715	0,13995
0,169282	0,159542	0,134426	0,154087	0,140037
0,169382	0,159542	0,134679	0,153464	0,146525
0,169492	0,159542	0,134938	0,152816	0,146593
0,169501	0,159542	0,135187	0,152159	0,146662
0,169592	0,159939	0,135443	0,151493	0,146737
0,169702	0,160322	0,135694	0,151493	0,146798
0,169702	0,160698	0,135946	0,150819	0,14686
0,132799	0,161084	0,136193	0,150129	0,146915
0,13262	0,161447	0,136446	0,149431	0,146976
0,132448	0,161812	0,136689	0,133633	0,147025
0,132281	0,162171	0,136933	0,133142	0,147079
0,132114	0,162522	0,137183	0,132637	0,147121
0,131948	0,162866	0,137423	0,132125	0,147169
0,131794	0,163212	0,137669	0,131601	0,147203
0,131639	0,163543	0,137669	0,131064	0,147244
0,131491	0,163866	0,13791	0,131064	0,147279
0,131349	0,164182	0,138152	0,130527	0,147313
0,131201	0,164499	0,138389	0,129977	0,147341
0,131064	0,164809	0,138626	0,129417	0,147362
0,130928	0,165103	0,138864	0,128845	0,147389
0,130798	0,165398	0,147238	0,128273	0,14741
0,130673	0,165685	0,147238	0,127685	0,147424
0,130548	0,165955	0,147238	0,127088	0,147437
0,130429	0,166236	0,147238	0,126491	0,147451
0,130311	0,166499	0,147238	0,125884	0,147451
0,130203	0,166755	0,147238	0,125263	0,147451
0,13009	0,166994	0,139845	0,124644	0,147451
0,129983	0,167251	0,139845	0,124011	0,147451
0,129886	0,167251	0,139845	0,123375	0,147458
0,129785	0,167251	0,139752	0,12273	0,147458
0,129688	0,167251	0,139752	0,122084	0,147465
0,129598	0,167251	0,139752	0,11851	0,147465
0,1	0,167251	0,139845	0,117872	0,153009
79232	0,169702	0,129507	0,117235	0,153031
0,179743	0,169702	0,129427	0,116585	0,153054
0,180268	0,169793	0,129342	0,115932	0,153061
0,180775	0,169894	0,129268	0,115279	0,153076
0,181274	0,169985	0,129188	0,115279	0,153076
0,181787	0,170086	0,129125	0,114616	0,153076
0,182281	0,170086	0,129051	0,113953	0,153076
0,182768	0,170086	0,128987	0,113281	0,153076
0,183257	0,170086	0,128924	0,112605	0,153076

0,144158	0,134754	0,146525	0,141287	0,123457
0,144059	0,134782	0,146525	0,141167	0,123505
0,143967	0,134811	0,146525	0,14106	0,123549
0,143868	0,134834	0,146246	0,14094	0,123592
0,143763	0,1	0,145962	0,14082	0,123631
0,143665	13432	0,145962	0,1407	0,12367
0,143665	0,112653	0,145962	0,140581	0,123704
0,143567	0,111869	0,147134	0,140462	0,123733
0,143469	0,111088	0,155417	0,140343	0,123758
0,143358	0,110302	0,155655	0,140224	0,123792
0,14326	0,109516	0,155871	0,1401	0,123792
0,143156	0,108729	0,156095	0,139975	0,134875
0,143052	0,107943	0,156095	0,139851	0,134875
0,142948	0,10715	0,156095	0,139733	0,134909
0,142844	0,106361	0,15632	0,139603	0,134944
0,142734	0,105574	0,15653	0,139485	0,134985
0,142624	0,104783	0,156755	0,139356	0,135037
0,128419	0,103991	0,156958	0,139227	0,135037
0,128419	0,103201	0,15717	0,139104	0,135077
0,132867	0,102409	0,157382	0,138975	0,139251
0,132867	0,101619	0,157595	0,138846	0,139263
0,132867	0,100832	0,157792	0,138724	0,139263
0,132867	0,100041	0,15799	0,138589	0,139276
0,134117	0,099253	0,158196	0,138462	0,1393
0,134117	0,098465	0,158387	0,138328	0,140481
0,134117	0,097677	0,158586	0,1382	0,140493
0,134117	0,096893	0,158778	0,138067	0,140493
0,134117	0,096893	0,142521	0,13794	0,140493
0,134117	0,096893	0,142412	0,137801	0,140493
0,134105	0,096893	0,142302	0,137669	0,140481
0,134105	0,096893	0,142193	0,123297	0,140481
0,134105	0,096893	0,142084	0,123297	0,140518
0,134105	0,146525	0,141969	0,123297	0,140569
0,134105	0,146525	0,141854	0,123297	0,140569
0,134105	0,146525	0,141751	0,123297	0,140569
0,134702	0,146525	0,14163	0,123297	0,149822
0,134719	0,146525	0,141516	0,123355	
0,134736	0,146798	0,141408	0,123408	

Πίνακας Β-2 Οι ταχύτητες του στατικού στρώματος (από χρονικά προφίλ) σε m/sec

0	0	0,115596	0,117083	0,099864
0	0,099914	0,116667	0,1169	0,099864
0	0,101342	0,116667	0,116559	0,100919
0	0,102756	0,116801	0,116129	0,100919
0	0,104153	0,117083	0,115613	0,100919
0	0,105531	0,11727	0,115014	0,113236
0	0,106881	0,117375	0,114329	0,114396
0	0,108207	0,117375	0,113563	0,115622
0	0,109497	0,117314	0,112725	0,1169
0	0,109497	0,11727	0,111805	0,118252
0	0,109497	0,11727	0,102871	0,119663
0	0,113297	0,117157	0,101925	0,121149
0	0,114475	0,117083	0,100919	0,122711
0	0,114475	0,117083	0,099864	0,124349

0,126076	0,143162	0,143071	0,10486	0,224727
0,127893	0,142857	0,142915	0,10437	0,224727
0,129801	0,142521	0,142747	0,103875	0,224727
0,131816	0,142161	0,129817	0,103377	0,224727
0,133934	0,141771	0,129731	0,102871	0,224727
0,136181	0,141363	0,12963	0,102362	0,224727
0,138535	0,133221	0,129523	0,102362	0,191909
0,141041	0,132799	0,12947	0,102362	0,191909
0,143678	0,132353	0,129395	0,102362	0,191909
0,146471	0,131887	0,129263	0,102362	0,191909
0,149445	0,131398	0,12912	0,102362	0,191909
0,152579	0,130895	0,128966	0,228642	0,191909
0,155925	0,130359	0,128808	0,230871	0,192613
0,159478	0,122898	0,128624	0,233143	0,193323
0,163272	0,122392	0,128446	0,235444	0,194037
0,167304	0,121876	0,128252	0,23779	0,194745
0,171625	0,121336	0,128044	0,240201	0,195458
0,176244	0,120782	0,127825	0,242644	0,196164
0,181212	0,120215	0,127603	0,245117	0,196863
0,186545	0,120215	0,127365	0,24768	0,197566
0,192284	0,119622	0,127119	0,24768	0,198275
0,198488	0,119021	0,118774	0,24768	0,198964
0,205212	0,118403	0,118573	0,24768	0,199658
0,212522	0,11777	0,118359	0,24768	0,200356
0,220449	0,117118	0,118137	0,24768	0,20106
0,220449	0,11646	0,117907	0,221784	0,201729
0,229158	0,115779	0,117669	0,221784	0,202429
0,238691	0,11509	0,117669	0,21942	0,203108
0,249189	0,114392	0,117419	0,217122	0,203791
0,260826	0,113673	0,117161	0,214841	0,204479
0,27377	0,112948	0,116896	0,169903	0,205145
0,286676	0,112207	0,116623	0,169903	0,205815
0,303001	0,111461	0,116339	0,169903	0,20649
0,303001	0,110701	0,116048	0,169903	0,207169
0,303001	0,109932	0,115749	0,169903	0,207825
0,303001	0,109151	0,11544	0,169903	0,208485
0,303001	0,108363	0,115119	0,171559	0,209136
0,303001	0,107571	0,1148	0,173229	0,20979
0,170575	0,106762	0,114466	0,174942	0,210449
0,168135	0,10595	0,114126	0,176669	0,211098
0,165772	0,10513	0,113776	0,17844	0,211736
0,1635	0,104305	0,11342	0,180237	0,212379
0,144761	0,103469	0,113057	0,18207	0,213011
0,144761	0,102633	0,112685	0,183942	0,213646
0,144801	0,101787	0,112307	0,185852	0,214271
0,144794	0,101787	0,11192	0,187779	0,214885
0,144761	0,101787	0,111528	0,189759	0,215517
0,144754	0,100936	0,111131	0,189759	0,215517
0,144701	0,100936	0,110721	0,189759	0,216124
0,144701	0,100936	0,11031	0,191781	0,216733
0,144701	0,100936	0,109886	0,193834	0,217346
0,144701	0,143672	0,109459	0,19592	0,217948
0,144688	0,143672	0,109027	0,198063	0,218538
0,144588	0,143672	0,108591	0,200254	0,226521
0,144469	0,143672	0,10814	0,20706	0,227076
0,144317	0,143672	0,107692	0,209428	0,227618
0,144138	0,143573	0,10723	0,211836	0,228129
0,143941	0,143469	0,106769	0,2143	0,228659
0,143704	0,143469	0,1063	0,216823	0,229191
0,143449	0,143345	0,105825	0,219405	0,229676
0,143162	0,143221	0,105348	0,222034	0,230196

0,230685	0,138297	0,215621	0,284862	0,161092
0,230685	0,138407	0,216198	0,283707	0,15667
0,230685	0,138504	0,216793	0,282537	0,15667
0,230685	0,138608	0,217391	0,281451	0,152624
0,230685	0,138699	0,217963	0,280374	0,148936
0,230685	0,138791	0,218568	0,27928	0,145557
0,16345	0,138871	0,21913	0,19062	0,14245
0,16345	0,138956	0,219727	0,189759	0,139609
0,163441	0,139036	0,220311	0,18894	0,136992
0,163441	0,139104	0,220898	0,188127	0,134587
0,163441	0,139171	0,221488	0,187322	0,132381
0,163441	0,139239	0,222066	0,186534	0,130348
0,163441	0,139294	0,222631	0,186534	0,128488
0,163441	0,139356	0,22323	0,185764	0,126776
0,163433	0,139399	0,223817	0,185	0,125204
0,163416	0,139448	0,224391	0,184254	0,123772
0,16339	0,139492	0,224968	0,183524	0,122468
0,163382	0,139529	0,225548	0,18281	0,121275
0,163348	0,139566	0,226114	0,182102	0,120192
0,163322	0,139566	0,226717	0,18142	0,113772
0,16328	0,139591	0,227273	0,180723	0,112996
0,163255	0,139615	0,227865	0,180072	0,112307
0,163212	0,13964	0,228443	0,179416	0,111706
0,16317	0,139652	0,229008	0,179416	0,111178
0,163111	0,139665	0,229592	0,179416	0,110728
0,163069	0,143273	0,230162	0,179416	0,110728
0,163018	0,143273	0,230735	0,179416	0,110352
0,133407	0,143273	0,231328	0,179416	0,110051
0,133407	0,143273	0,231873	0,187511	0,109821
0,133407	0,143273	0,232455	0,187511	0,109821
0,133407	0,143273	0,23304	0,187511	0,109821
0,133407	0,14311	0,23304	0,187511	0,109821
0,133407	0,142954	0,23361	0,187511	0,109821
0,133639	0,142786	0,234166	0,187511	0,109821
0,133855	0,142618	0,234742	0,186038	0,109844
0,134071	0,127914	0,23532	0,184621	0,110078
0,134283	0,127639	0,235884	0,183246	0,110383
0,134489	0,127639	0,312872	0,181892	0,110748
0,134696	0,127639	0,312872	0,180588	0,111186
0,134898	0,127639	0,312872	0,179324	0,111686
0,1351	0,127639	0,312872	0,178077	0,112259
0,135286	0,127914	0,312872	0,176877	0,112899
0,135478	0,131381	0,312872	0,176877	0,113616
0,135659	0,132643	0,31105	0,176877	0,114408
0,135846	0,205533	0,309309	0,176877	0,115271
0,136022	0,206138	0,307617	0,176877	0,116219
0,136193	0,20672	0,305944	0,176877	0,117244
0,136364	0,207332	0,304289	0,229525	0,118363
0,136529	0,207921	0,30271	0,229525	0,119563
0,136689	0,208513	0,301147	0,229525	0,119563
0,136849	0,209108	0,299601	0,229525	0,131277
0,136998	0,209706	0,298126	0,229525	0,133237
0,137147	0,210294	0,296638	0,229525	0,135338
0,137291	0,2109	0,29522	0,217662	0,137597
0,137435	0,21148	0,293843	0,207237	0,140025
0,137573	0,212078	0,292452	0,198026	0,142624
0,137699	0,212665	0,291101	0,189839	0,142624
0,137831	0,213256	0,289815	0,183759	0,145429
0,137952	0,213849	0,288541	0,177205	0,148445
0,138073	0,214446	0,287278	0,171298	0,151698
0,138188	0,215032	0,286078	0,165947	0,155188

0,15897	0,124891	0,011294	0,127836	0,128158
0,17184	0,124891	0,010639	0,127836	0,128158
0,176946	0,124891	0,010639	0,128158	0,123573
0,182503	0,12081	0,010639	0,128482	0,123573
0,182503	0,12081	0,013838	0,128824	0,123573
0,182503	0,106236	0,013838	0,129178	0,123573
0,182503	0,013838	0,04043	0,128824	0,123573
0,182503	0,012401	0,04043	0,128482	0,123573
0,182503	0,012401	0,125678	0,128158	0,158029

Πίνακας Β-3 Οι ταχύτητες του κινούμενου στρώματος (από χρονικά προφίλ) σε m/sec

0	6,43E-03	6,17E-01	2,46E-01	2,36E-01
0	6,43E-03	6,02E-01	2,47E-01	2,33E-01
0	6,43E-03	5,88E-01	2,49E-01	2,31E-01
0	6,43E-03	5,75E-01	2,51E-01	2,31E-01
0	6,43E-03	5,63E-01	2,53E-01	2,28E-01
0	6,43E-03	5,52E-01	2,56E-01	2,25E-01
0	6,43E-03	5,42E-01	2,58E-01	2,23E-01
0	2,13E+00	5,33E-01	2,60E-01	2,20E-01
0	2,13E+00	5,24E-01	2,63E-01	2,18E-01
0	2,13E+00	5,16E-01	3,17E-01	2,15E-01
0	2,13E+00	5,09E-01	6,50E-01	2,13E-01
0	2,44E+00	5,02E-01	6,50E-01	2,10E-01
0	2,44E+00	4,96E-01	6,50E-01	2,08E-01
0	2,13E+00	4,90E-01	6,50E-01	2,08E-01
0	2,07E+00	2,89E-01	6,50E-01	2,08E-01
8,18E-03	1,82E+00	2,88E-01	6,50E-01	2,08E-01
1,60E-02	1,80E+00	2,88E-01	6,32E-01	2,08E-01
1,60E-02	1,60E+00	2,88E-01	6,15E-01	2,08E-01
1,60E-02	1,60E+00	2,87E-01	5,99E-01	3,20E-01
1,60E-02	1,44E+00	2,87E-01	5,83E-01	5,21E-01
1,60E-02	1,31E+00	2,88E-01	5,68E-01	5,51E-01
1,60E-02	1,31E+00	2,87E-01	5,53E-01	5,86E-01
1,60E-02	1,21E+00	2,87E-01	5,39E-01	6,24E-01
1,60E-02	1,12E+00	2,87E-01	5,25E-01	6,69E-01
1,60E-02	1,05E+00	2,87E-01	5,12E-01	7,22E-01
1,60E-02	9,88E-01	2,87E-01	3,64E-01	7,83E-01
1,60E-02	9,33E-01	2,37E-01	3,58E-01	8,57E-01
1,60E-02	8,86E-01	2,37E-01	3,52E-01	8,57E-01
6,43E-03	8,44E-01	2,37E-01	3,46E-01	8,57E-01
6,43E-03	8,07E-01	2,37E-01	3,41E-01	8,57E-01
6,43E-03	7,74E-01	2,37E-01	3,35E-01	8,57E-01
6,43E-03	7,44E-01	2,37E-01	3,35E-01	8,57E-01
6,43E-03	7,17E-01	2,38E-01	3,29E-01	2,23E-01
6,43E-03	6,93E-01	2,40E-01	3,24E-01	2,20E-01
6,43E-03	6,72E-01	2,41E-01	2,44E-01	2,18E-01
6,43E-03	6,52E-01	2,42E-01	2,41E-01	2,16E-01
6,43E-03	6,34E-01	2,44E-01	2,38E-01	2,14E-01

2,11E-01	1,20E-01	1,81E-01	3,08E-01	1,99E-01
2,11E-01	1,19E-01	1,80E-01	3,08E-01	1,99E-01
2,11E-01	1,18E-01	1,80E-01	3,08E-01	1,99E-01
2,11E-01	1,16E-01	1,79E-01	3,08E-01	1,99E-01
2,11E-01	1,15E-01	1,78E-01	3,08E-01	1,99E-01
2,09E-01	1,14E-01	1,78E-01	3,09E-01	1,99E-01
2,07E-01	1,12E-01	1,77E-01	3,09E-01	2,43E-01
2,05E-01	1,11E-01	1,76E-01	3,09E-01	2,43E-01
2,03E-01	1,10E-01	1,76E-01	3,09E-01	2,43E-01
2,00E-01	1,09E-01	1,75E-01	3,09E-01	2,43E-01
1,72E-01	1,07E-01	1,75E-01	3,34E-01	2,43E-01
1,71E-01	1,06E-01	1,74E-01	3,63E-01	2,43E-01
1,69E-01	1,05E-01	1,73E-01	3,63E-01	2,42E-01
1,68E-01	1,04E-01	1,73E-01	3,63E-01	2,40E-01
1,66E-01	1,03E-01	1,72E-01	3,63E-01	2,39E-01
1,65E-01	1,02E-01	1,71E-01	3,63E-01	2,38E-01
1,65E-01	1,00E-01	1,71E-01	3,63E-01	2,37E-01
1,63E-01	9,92E-02	1,70E-01	3,62E-01	2,36E-01
1,62E-01	9,81E-02	1,70E-01	3,62E-01	2,35E-01
1,61E-01	9,70E-02	1,69E-01	3,62E-01	2,35E-01
1,59E-01	9,59E-02	1,69E-01	3,62E-01	2,35E-01
1,58E-01	9,59E-02	1,68E-01	3,62E-01	2,35E-01
1,56E-01	9,59E-02	1,67E-01	3,62E-01	2,35E-01
1,55E-01	9,59E-02	1,67E-01	3,63E-01	2,35E-01
1,55E-01	9,59E-02	1,67E-01	3,63E-01	2,44E-01
1,54E-01	9,59E-02	1,67E-01	3,63E-01	2,44E-01
1,54E-01	9,70E-02	1,67E-01	3,63E-01	2,44E-01
1,53E-01	9,70E-02	1,67E-01	3,63E-01	2,44E-01
1,52E-01	9,70E-02	1,67E-01	3,63E-01	2,44E-01
1,51E-01	9,70E-02	2,00E-01	3,60E-01	2,44E-01
1,51E-01	9,79E-02	3,07E-01	3,58E-01	2,44E-01
1,49E-01	9,88E-02	3,07E-01	3,55E-01	2,44E-01
1,49E-01	9,88E-02	3,07E-01	3,53E-01	2,44E-01
1,48E-01	9,79E-02	3,07E-01	3,51E-01	2,44E-01
1,48E-01	9,79E-02	3,07E-01	3,48E-01	2,44E-01
1,46E-01	9,79E-02	3,07E-01	3,46E-01	2,44E-01
1,45E-01	1,22E-01	3,07E-01	3,44E-01	2,44E-01
1,43E-01	1,22E-01	3,07E-01	3,42E-01	2,44E-01
1,42E-01	1,22E-01	3,07E-01	3,39E-01	2,44E-01
1,40E-01	1,23E-01	3,07E-01	3,37E-01	2,44E-01
1,39E-01	1,73E-01	3,07E-01	3,35E-01	2,44E-01
1,37E-01	1,74E-01	3,07E-01	3,33E-01	2,44E-01
1,36E-01	1,74E-01	3,07E-01	3,31E-01	2,44E-01
1,34E-01	1,75E-01	3,07E-01	3,29E-01	2,44E-01
1,33E-01	1,83E-01	3,07E-01	3,27E-01	2,06E-01
1,31E-01	1,83E-01	3,07E-01	3,25E-01	2,06E-01
1,30E-01	1,83E-01	3,07E-01	3,22E-01	2,06E-01
1,28E-01	1,83E-01	3,07E-01	3,20E-01	2,06E-01
1,27E-01	1,83E-01	3,08E-01	3,18E-01	2,06E-01
1,26E-01	1,83E-01	3,08E-01	3,16E-01	2,06E-01
1,24E-01	1,83E-01	3,08E-01	3,15E-01	2,06E-01
1,23E-01	1,82E-01	3,08E-01	3,13E-01	2,06E-01
1,22E-01	1,81E-01	3,08E-01	3,11E-01	2,06E-01

2,07E-01	1,03E-01	1,01E-01	6,90E-02	1,24E-01
2,07E-01	1,03E-01	1,01E-01	6,90E-02	1,24E-01
2,07E-01	1,03E-01	1,02E-01	7,05E-02	1,23E-01
2,07E-01	1,03E-01	1,02E-01	7,19E-02	1,23E-01
2,07E-01	1,03E-01	1,02E-01	7,34E-02	1,22E-01
2,07E-01	1,03E-01	1,02E-01	7,48E-02	1,21E-01
2,07E-01	1,03E-01	1,02E-01	7,83E-02	1,20E-01
2,07E-01	1,03E-01	1,03E-01	8,02E-02	1,18E-01
2,07E-01	1,03E-01	1,03E-01	8,22E-02	1,17E-01
2,08E-01	1,03E-01	1,03E-01	8,42E-02	1,17E-01
2,08E-01	1,29E-01	1,03E-01	8,62E-02	1,17E-01
2,08E-01	1,29E-01	1,04E-01	8,62E-02	1,17E-01
2,09E-01	1,29E-01	1,04E-01	8,82E-02	1,17E-01
2,09E-01	1,29E-01	1,04E-01	9,03E-02	1,15E-01
2,09E-01	1,29E-01	1,04E-01	9,24E-02	1,15E-01
2,58E-01	1,29E-01	1,04E-01	9,45E-02	1,14E-01
2,60E-01	1,29E-01	1,05E-01	9,66E-02	1,12E-01
2,62E-01	1,29E-01	1,05E-01	9,66E-02	1,12E-01
2,62E-01	1,29E-01	1,05E-01	9,66E-02	1,12E-01
2,62E-01	1,29E-01	1,05E-01	9,66E-02	1,12E-01
2,62E-01	1,29E-01	1,05E-01	9,66E-02	1,12E-01
2,62E-01	1,29E-01	1,05E-01	9,66E-02	1,12E-01
2,62E-01	1,29E-01	1,06E-01	8,94E-02	1,12E-01
2,21E-01	1,29E-01	1,06E-01	8,94E-02	1,12E-01
2,20E-01	1,29E-01	1,06E-01	8,94E-02	1,12E-01
2,20E-01	1,29E-01	1,06E-01	8,94E-02	1,83E-01
1,49E-01	1,29E-01	1,06E-01	8,94E-02	1,83E-01
1,48E-01	1,29E-01	1,06E-01	8,94E-02	1,83E-01
1,06E-01	1,29E-01	1,06E-01	9,15E-02	1,83E-01
1,06E-01	1,29E-01	8,29E-02	9,36E-02	1,83E-01
1,06E-01	9,58E-02	8,29E-02	9,57E-02	1,83E-01
1,06E-01	9,58E-02	8,29E-02	9,78E-02	1,83E-01
1,06E-01	9,58E-02	8,29E-02	9,98E-02	5,09E-03
1,06E-01	9,58E-02	8,29E-02	1,02E-01	5,09E-03
1,05E-01	9,58E-02	8,29E-02	1,04E-01	4,61E-03
1,05E-01	9,58E-02	8,34E-02	1,06E-01	4,61E-03
1,05E-01	9,61E-02	8,39E-02	1,08E-01	4,14E-03
1,05E-01	9,64E-02	8,43E-02	1,10E-01	4,14E-03
1,05E-01	9,67E-02	8,48E-02	1,11E-01	4,61E-03
1,05E-01	9,70E-02	8,53E-02	1,13E-01	5,09E-03
1,05E-01	9,73E-02	8,57E-02	1,15E-01	6,00E-03
1,05E-01	9,76E-02	8,62E-02	1,16E-01	6,62E-03
1,05E-01	9,79E-02	8,66E-02	1,18E-01	7,40E-03
1,05E-01	9,82E-02	8,66E-02	1,19E-01	2,13E-01
1,05E-01	9,85E-02	8,66E-02	1,20E-01	2,31E-01
1,04E-01	9,88E-02	8,66E-02	1,21E-01	3,65E-01
1,04E-01	9,91E-02	8,66E-02	1,22E-01	3,65E-01
1,04E-01	9,94E-02	8,66E-02	1,23E-01	3,65E-01
1,04E-01	9,97E-02	6,90E-02	1,24E-01	3,87E-01
1,04E-01	1,00E-01	6,90E-02	1,24E-01	6,02E-01
1,04E-01	1,00E-01	6,90E-02	1,24E-01	6,02E-01
1,04E-01	1,00E-01	6,90E-02	1,24E-01	6,02E-01
1,03E-01	1,01E-01	6,90E-02	1,24E-01	6,02E-01

6,02E-01	5,09E-01	2,52E-01	2,52E-01	2,52E-01
6,02E-01	2,52E-01	2,52E-01	2,52E-01	2,52E-01

Πίνακας B-4: Οι ταχύτητες του κινούμενου στρώματος (από μετατόπιση καμπύλης) σε m/sec

9,86E-02	6,90E-02	1,21E-01	9,91E-02	9,06E-02
7,00E-02	6,90E-02	1,21E-01	1,01E-01	8,82E-02
7,00E-02	7,07E-02	1,09E-01	1,07E-01	8,82E-02
7,00E-02	7,07E-02	1,09E-01	9,91E-02	8,82E-02
7,53E-02	7,07E-02	1,08E-01	1,01E-01	9,20E-02
8,57E-02	5,41E-02	1,08E-01	1,09E-01	9,20E-02
8,57E-02	5,41E-02	1,02E-01	1,01E-01	9,20E-02
8,57E-02	5,41E-02	1,02E-01	1,00E-01	8,87E-02
8,09E-02	8,53E-02	1,02E-01	1,01E-01	5,71E-02
6,90E-02	1,21E-01	1,01E-01	1,00E-01	

Πίνακας B-5: Οι ταχύτητες του στατικού στρώματος (από μετατόπιση καμπύλης) σε m/s

6,50E-02	8,33E-02	1,11E-01	9,23E-02	7,74E-02
6,50E-02	8,66E-02	1,06E-01	9,87E-02	5,79E-02
6,50E-02	9,15E-02	9,41E-02	1,06E-01	5,79E-02
6,67E-02	9,23E-02	9,41E-02	1,06E-01	5,75E-02
6,94E-02	1,06E-01	9,67E-02	1,06E-01	5,75E-02
6,94E-02	1,08E-01	9,67E-02	1,03E-01	5,51E-02
6,94E-02	1,12E-01	8,33E-02	1,02E-01	4,17E-02
6,94E-02	1,19E-01	8,33E-02	9,69E-02	8,87E-02
7,56E-02	1,19E-01	8,33E-02	8,81E-02	5,71E-02
8,28E-02	1,19E-01	8,33E-02	7,74E-02	

Πίνακας B-6: Οι ταχύτητες του κινούμενου στρώματος (από μετατόπιση καμπύλης) σε m/sec

1,19E-02	5,94E-02	4,10E-02	5,49E-02	5,33E-02
1,83E-02	5,94E-02	4,10E-02	5,27E-02	6,42E-02
2,09E-02	5,64E-02	4,28E-02	3,84E-02	6,42E-02
2,09E-02	5,13E-02	4,75E-02	3,84E-02	6,42E-02
2,32E-02	4,80E-02	4,87E-02	3,84E-02	7,10E-02
2,32E-02	4,80E-02	4,88E-02	3,84E-02	7,10E-02
2,32E-02	4,80E-02	5,22E-02	4,60E-02	7,30E-02
3,42E-02	4,80E-02	5,27E-02	4,60E-02	8,84E-02
3,86E-02	4,10E-02	5,49E-02	5,33E-02	8,84E-02
5,64E-02	4,10E-02	5,49E-02	5,33E-02	8,32E-02

8,32E-02	3,80E-02	4,23E-02	3,83E-02	2,26E-02
7,66E-02	5,85E-02	4,23E-02	3,83E-02	2,26E-02
7,44E-02	5,91E-02	4,23E-02	6,13E-02	2,26E-02
7,33E-02	5,91E-02	4,23E-02	6,13E-02	7,02E-02
6,74E-02	5,91E-02	6,89E-02	5,06E-02	7,02E-02
6,74E-02	5,91E-02	6,89E-02	5,06E-02	7,02E-02
5,15E-02	5,91E-02	4,64E-02	2,83E-02	6,32E-02
3,80E-02	4,23E-02	4,17E-02	2,45E-02	4,35E-02
3,80E-02	4,23E-02	4,64E-02	2,38E-02	

Πίνακας B-7: Οι ταχύτητες του στατικού στρώματος (από μετατόπιση καμπύλης) σε m/sec

1,24E-02	5,05E-02	2,41E-02	3,95E-02	5,10E-02
1,65E-02	5,05E-02	1,49E-02	4,04E-02	4,54E-02
1,80E-02	5,37E-02	1,79E-03	4,04E-02	4,54E-02
1,80E-02	5,65E-02	1,79E-03	4,93E-02	4,54E-02
2,04E-02	6,21E-02	1,01E-02	4,93E-02	4,70E-02
2,04E-02	6,21E-02	4,37E-03	6,88E-02	4,70E-02
3,11E-02	5,65E-02	1,01E-02	6,88E-02	4,70E-02
3,20E-02	6,28E-02	3,20E-02	6,88E-02	4,18E-02
3,20E-02	6,34E-02	3,20E-02	4,49E-02	3,79E-02
3,20E-02	5,36E-02	5,06E-02	3,62E-02	3,79E-02
5,22E-02	4,97E-02	5,26E-02	3,56E-02	3,79E-02
5,22E-02	6,00E-02	5,51E-02	3,56E-02	4,03E-02
5,22E-02	5,56E-02	5,51E-02	3,56E-02	4,30E-02
5,22E-02	4,97E-02	5,48E-02	3,82E-02	5,33E-02
5,33E-02	5,56E-02	5,36E-02	4,41E-02	5,33E-02
4,73E-02	5,56E-02	5,36E-02	4,99E-02	5,33E-02
5,05E-02	5,06E-02	4,04E-02	5,10E-02	
5,05E-02	4,83E-02	4,04E-02	5,10E-02	
4,33E-02	4,18E-02	4,08E-02		
4,18E-02	4,18E-02	3,71E-02		

