

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ
ΑΛΦΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΩΝ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ**

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Εμίρης

ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΧΑΝΙΑ 1999

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Εμίρη Δημήτριο για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής, αλλά και τη συνεχή επίβλεψη και καθοδήγησή του για την ολοκλήρωσή της.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς φοιτητές του εργαστηρίου Ρομποτικής του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, για την βοήθεια που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδελφή μου για την πολύτιμη συμπαράσταση που μου πρόσφεραν μέχρι τώρα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ρομποτικής του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης.

Κύριο θέμα της είναι η ανάπτυξη ενός προγράμματος για την απομόνωση και αναγνώριση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που εμπεριέχονται σε μία εικόνα γενικής φύσεως.

Ως εφαρμογή του προγράμματος, επιλέχθηκε η αναγνώριση των στοιχείων της πινακίδας κυκλοφορίας ενός οχήματος. Στο πειραματικό κομμάτι χρησιμοποιήθηκε ένα σύγχρονο οπτικό σύστημα, το AIM και δημιουργήθηκε ένα δομημένο περιβάλλον ελεγχόμενου φωτισμού. Για την εκμάθηση του συστήματος, διαμορφώθηκαν γραμματοσειρές που περιέχουν τα στοιχεία για τα οποία γίνεται προσπάθεια αναγνώρισης και δημιουργήθηκε πρόγραμμα οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (O.C.R. Optical Character Recognition). Η εργασία καλύπτει βασικές και προχωρημένες έννοιες ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, λειτουργικά χαρακτηριστικά του οπτικού συστήματος και πειραματικά αποτελέσματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Λήψη και προεπεξεργασία εικόνας	1
1.2 Διδαχή του Συστήματος σε Συγκεκριμένες Γραμματοσειρές	2
1.3 Υλοποίηση του προγράμματος και εξαγωγή αποτελεσμάτων	3
1.4 Πειραματική διάταξη	3
1.5 Δυνατότητες εφαρμογής	5
1.6 Διάρθρωση της διπλωματικής	5
 2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Α.Ι.Μ. ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	
ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	7
2.1 Παρουσίαση βασικών εννοιών	7
2.2 Αποθήκευση των δεδομένων	10
2.3 Δημιουργία νέου αρχείου οπτικής διαδικασίας (new vision record)	12
2.4 Δημιουργία της ακολουθίας επιθεωρήσεων	13
2.5 Παρουσίαση περιβάλλοντος εκτέλεσης σε πραγματικές συνθήκες	15
2.6 Σύγκριση εργαστηριακού και πραγματικού περιβάλλοντος	17
 3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	18
3.1 Τοποθέτηση του προβλήματος	18
3.2 Χρησιμοποιούμενες τεχνικές προεπεξεργασίας	19
3.3 Περιγραφή των μεθόδων επεξεργασίας	20
3.3.1 Η διαδικασία Βελτίωσης Ιστογράμματος (Histogram enhancement)	20
3.3.2 Η διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding)	22
3.3.3 Ορισμός φίλτρων	24
3.3.3.1 Χωρικές μέθοδοι επεξεργασίας (spatial domain methods)	24
3.3.3.2 Χωρικό φιλτράρισμα (spatial filtering)	26
3.3.3.3 Ορισμός βαθυπερατών και υπερατών φίλτρων	28
3.3.3.4 Φίλτρα θόλωσης	29
3.3.3.4.1 Βαθυπερατά φίλτρα (lowpass filters)	29
3.3.3.4.2 Φίλτρα μεσαίων τιμών (Median filters)	30
3.3.3.5 Φίλτρα τόνωσης χαρακτηριστικών	31
3.3.3.5.1 Υπερατά φίλτρα (highpass filters)	31

3.3.3.5.2 High-boost filtering.....	32
3.4 Πρακτική Υλοποίηση	33
3.4.1 Αρχείο κάμερας (camera record)	33
3.4.2 Αρχείο βαθμονόμησης (calibration record)	35
3.4.3 Αρχείο εικόνας (picture record)	37
3.4.4 Image Processing Records (Αρχεία επεξεργασίας εικόνας)	40
3.4.5 Διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας.....	43
3.4.6 Χρήση συνέλιξης βαθυπερατού φίλτρου	44
3.4.7 Χρήση συνέλιξης υπερπερατού φίλτρου	48
3.4.8 Παράδειγμα εφαρμογής	51
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	54
4.1 Παρουσίαση περιβάλλοντος	54
4.2 Πιθανές πηγές αστοχιών	55
4.2.1 Ρύθμιση της φωτεινότητας της εικόνας	55
4.2.1.1 Το αρχείο επιθεώρησης inspect	56
4.2.1.2 Το αρχείο παραθύρου window	57
4.2.2 Αντιμετώπιση της μετακίνησης και περιστροφής του αντικειμένου.....	59
4.2.2.1 Αρχεία μοντέλου πρωτοτύπου (Prototype Model Records)	61
4.2.2.2 Αρχείο εύρεσης πρωτοτύπου (Prototype Finder Record)	65
4.2.2.3 Δημιουργία αρχείου εύρεσης γραμμής (line.finder.record)	67
4.2.2.4 Ορισμός του νέου συστήματος αξόνων μέσω του αρχείου frame1	70
5. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ	
ΓΡΑΜΜΑΤΟΣΕΙΡΩΝ	74
5.1 Ορισμός των γραμματοσειρών που θα χρησιμοποιηθούν	74
5.2 Δημιουργία των αρχείων γραμματοσειρών (OCR Font Records)	76
5.3 Εκτέλεση διαδικασίας OCR με τη χρήση αρχείου OCR Field Record	79
5.4 Δημιουργία των αρχείων επιθεώρησης που συνεργάζονται με τα OCR Field Records	83

6. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ	
ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ.....	86
6.1 Ορισμός της ακολουθίας επιθεωρήσεων	86
6.2 Ορισμός των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται από την ακολουθία επιθεωρήσεων (sequence)	87
6.3 Δημιουργία της ακολουθίας επιθεωρήσεων sequence.....	89
6.4 Γραφική παρουσίαση της ακολουθίας επιθεωρήσεων μέσω του δέντρου εντολών (Statement Tree)	93
 7. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ	
ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	96
7.1 Εκτέλεση της ακολουθίας μέσω της οθόνης Control Panel	96
7.2 Η διαδικασία Logging vision results	98
7.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μέσω της οθόνης Vision Results.....	100
 8. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	103
8.1 Πίνακες Αποτελεσμάτων	103
8.2 Επεξήγηση των αποτελεσμάτων	117
8.3 Παραδείγματα μορφής του αντικειμένου	119
 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	122
9.1 Εισαγωγή	122
9.2 Ανασκόπηση	122
9.3 Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας	124
9.4 Μελλοντικές κατευθύνσεις	124
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	127

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την αναγνώριση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που εμπεριέχονται σε μία γενική εικόνα, η οποία έχει ψηφιοποιηθεί, και στην οποία εφαρμόζονται αλγόριθμοι ψηφιακής επεξεργασίας και αναγνώρισης προτύπων, προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος. Συγκεκριμένα, η εργασία ασχολείται με την αναγνώριση των αλφαριθμητικών στοιχείων της πινακίδας κυκλοφορίας ενός οχήματος. Για το σκοπό αυτό, λαμβάνεται ψηφιακά η εικόνα μίας πινακίδας και εκτελούνται όλες οι απαιτούμενες ενέργειες προεπεξεργασίας ώστε να διευκολυνθεί η χρησιμοποίησή της από το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε. Κατόπιν πραγματοποιείται οπτική αναγνώριση χαρακτήρων (Optical Character Recognition – OCR), με τη βοήθεια του δημιουργηθέντος προγράμματος.

Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση του προγράμματος αναγνώρισης είναι τα εξής:

1. Λήψη εικόνας και προεπεξεργασία της για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων χαρακτηριστικών (θόρυβος) και τη βελτίωση της εμφάνισής της.
2. Διδασχή του συστήματος πάνω στις συγκεκριμένες γραμματοσειρές που θα χρησιμοποιηθούν κατά την εκτέλεση της αναγνώρισης.
3. Δημιουργία προγράμματος και εκτέλεση οπτικής αναγνώρισης των αλφαριθμητικών χαρακτήρων (OCR: Optical Character Recognition).

1.1 Λήψη και Προεπεξεργασία Εικόνας

Η λήψη της εικόνας γίνεται μέσω της κάμερας που διαθέτει το οπτικό σύστημα. Η μορφή της λαμβανόμενης εικόνας πρέπει να βελτιωθεί πριν χρησιμοποιηθεί από το πρόγραμμα αναγνώρισης χαρακτήρων.

Γι' αυτό το λόγο, το αμέσως επόμενο στάδιο μετά τη λήψη της εικόνας είναι η προεπεξεργασία της. Με τον όρο προεπεξεργασία περιγράφονται όλες οι ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιηθούν ώστε η τελική εικόνα να αποκτήσει την επιθυμητή μορφή. Το αποτέλεσμα της προεπεξεργασίας εξαρτάται άμεσα από τη φύση του προβλήματος. Ανάλογα με το στόχο που επιθυμείται κάθε φορά, καθορίζονται τα απαιτούμενα μέσα και τα στάδια που θα χρησιμοποιηθούν. Ειδικά στη διαδικασία οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR),

η μορφή της προς επεξεργασία εικόνας είναι καθοριστικός παράγοντας για το τελικό αποτέλεσμα.

Προκειμένου η εικόνα να έλθει σε κατάλληλη μορφή για τη διαδικασία οπτικής αναγνώρισης, υπόκειται στα εξής στάδια προεπεξεργασίας:

- Στάδιο 1: Ρύθμιση της φωτεινότητας και των αντιθέσεων με την επεξεργασία προς βελτίωση του ιστογράμματος της εικόνας (Histogram enhancement)
- Στάδιο 2: Επεξεργασία για την απόκτηση μίας δίτιμης εικόνας μέσω της διαδικασίας κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding)
- Στάδιο 3: Απομάκρυνση του θορύβου με συνέλιξη των κατάλληλων βαθυπερατών φίλτρων (lowpass filtering)
- Στάδιο 4: Όξυνση κρίσιμων χαρακτηριστικών μέσω συνέλιξης κατάλληλων υψιπερατών φίλτρων (highpass filtering)

Τα στάδια αυτά θα αναλυθούν αναλυτικά στα κεφάλαια που ακολουθούν.

1.2 Διδασχή του Συστήματος σε Συγκεκριμένες Γραμματοσειρές

Πριν τη δημιουργία του προγράμματος αναγνώρισης, το σύστημα πρέπει να διδαχθεί τις γραμματοσειρές που θα χρησιμοποιηθούν κατά την εκτέλεσή του. Με τον όρο γραμματοσειρά περιγράφεται το σύνολο στοιχείων που περιέχει όλους τους χαρακτήρες που θα αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα.

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη γραμματοσειρών. Γραμματοσειρές που περιέχουν τους αριθμούς {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}, και γραμματοσειρές που περιέχουν τα γράμματα {A, B, E, Z, H, I, K, M, N, O, P, T, Y, X}. Το σύστημα πρέπει να διδαχθεί τη μορφή κάθε στοιχείου. Κατά την εκτέλεση του προγράμματος, συγκρίνεται η μορφή των στοιχείων της εικόνας με αυτή των στοιχείων της γραμματοσειράς και εξάγονται τα αποτελέσματα αναγνώρισης.

Για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων αυτών, το πρόγραμμα πρέπει να αναγνωρίζει τα αλφαριθμητικά στοιχεία με όλες τις πιθανές μορφές που μπορεί να έχουν. Για το λόγο αυτό κατά τη διδασχή του συστήματος πάνω στις γραμματοσειρές, τα στοιχεία παρουσιάζονται με όλες τις δυνατές μορφές τους.

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιούνται τρία ζεύγη γραμματοσειρών. Κάθε ζεύγος περιέχει τις γραμματοσειρές των γραμμάτων και των αριθμών για μία ορισμένη απόσταση κάμερας-αντικειμένου. Με τη διαδικασία αυτή επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα αναγνώρισης σε περιπτώσεις μετατόπισης του αντικειμένου ως προς την κάμερα. Κατά την εκτέλεση του προγράμματος γίνονται τρεις διαδικασίες οπτικής αναγνώρισης (μία για κάθε απόσταση), τα ποσοστά αναγνώρισης συγκρίνονται μεταξύ τους και με βάση αυτά επιλέγεται η βέλτιστη τελική λύση. Η όλη διαδικασία περιγράφεται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 5.

1.3 Υλοποίηση του προγράμματος και εξαγωγή αποτελεσμάτων

Το πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του οπτικού συστήματος Adept Vision και με τη χρήση του λογισμικού πακέτου AIM (Adept Assembly and Information Management).

Τα στάδια που ακολουθούνται κατά την εκτέλεση του προγράμματος είναι τα εξής:

- Αρχικά γίνεται αναγνώριση της παύλας που χωρίζει τα αλφαβητικά από τα αριθμητικά στοιχεία της πινακίδας. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με την μέθοδο αναγνώρισης πρωτοτύπου (Prototype Recognition).
- Ορίζεται ένα νέο σύστημα συντεταγμένων, η αρχή του οποίου καθορίζεται ως προς το κέντρο της αναγνωρισμένης παύλας.
- Ορίζονται δύο περιοχές ενδιαφέροντος (AOI – Area Of Interest) που η τοποθέτησή τους γίνεται ως προς το νέο σύστημα αξόνων. Στη μία περιέχονται τα γράμματα και στην άλλη τα αριθμητικά στοιχεία για τα οποία θα γίνει η αναγνώριση.
- Σε κάθε περιοχή εκτελείται οπτική αναγνώριση χαρακτήρων (OCR – Optical Character Recognition) χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες γραμματοσειρές.

Το πρόγραμμα εκτελείται για όλες τις δυνατές περιπτώσεις. Εξετάζονται τα αποτελέσματα για εικόνα απεστιασμένη ή περιστραμμένη, καθώς και για μεταβολή της απόστασης μεταξύ αντικειμένου και κάμερας.

1.4 Πειραματική διάταξη

Για την υλοποίηση του προγράμματος αναγνώρισης των στοιχείων της πινακίδας ενός οχήματος, χρησιμοποιήθηκε το οπτικό σύστημα AdeptVision VME και το λογισμικό πακέτο

A.I.M (Adept Assembly and Information Management). Η κάμερα λήψης των εικόνων είναι τύπου Panasonic GP-MF 602 με ανάλυση 501x485 εικονοστοιχείων (pixels). Τα στοιχεία που αποτελούν το οπτικό σύστημα είναι:

- Ένας ελεγκτής (controller) με επεξεργαστή εικόνας
- Κάμερα
- Έγχρωμη οθόνη υψηλής ευκρίνειας
- Πληκτρολόγιο
- Ποντίκι (trackball)

Η κάμερα που λαμβάνει την εικόνα της πινακίδας είναι σταθερά τοποθετημένη σε απόσταση 7 μέτρων από το αντικείμενο. Η θέση της δεν μεταβάλλεται κατά την εκτέλεση του προγράμματος. Και αυτό γιατί η βαθμονόμησή της (calibration) έχει πραγματοποιηθεί για τη συγκεκριμένη απόσταση λήψης. Με τη διαδικασία της βαθμονόμησης ορίζεται η αναλογία μονάδας μήκους- εικονοστοιχείου (mm/pixel), με βάση την οποία θα σχηματιστούν και θα τοποθετηθούν οι γραμματοσειρές και τα διάφορα οπτικά εργαλεία που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα. Μετακίνηση της κάμερας θα είχε ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των τελικών αποτελεσμάτων, αφού η τιμή του κλάσματος mm/pixel θα μεταβαλλόταν. Για το λόγο αυτό παραμένει πάντα τοποθετημένη πάνω σε μία βάση σε σταθερή απόσταση από το αντικείμενο.

Οι πινακίδες που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό των γραμματοσειρών και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων είναι τοποθετημένες σε επίπεδη επιφάνεια. Η επιφάνεια αυτή κατά την εκτέλεση του προγράμματος περιστράφηκε και μετατοπίστηκε, ώστε να μελετηθούν τα αποτελέσματα αναγνώρισης κατά τη διάρκεια παρόμοιων φαινομένων.

Η όλη εργασία πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες ελεγχόμενου φωτισμού. Κατά τη δημιουργία και την εκτέλεση του προγράμματος έγινε προσπάθεια οι συνθήκες φωτεινότητας να διατηρηθούν όσο το δυνατόν πιο σταθερές. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του τεχνητού φωτισμού που υπήρχε στον κλειστό χώρο του εργαστηρίου.

Τέλος, ένα ακόμα χαρακτηριστικό που πρέπει να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι η κάμερα δεν διαθέτει δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης του διαφράγματος ή εστίασης, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη λήψη της αρχικής εικόνας.

1.5 Δυνατότητες εφαρμογής

Το κίνητρο για την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος διπλωματικής εργασίας είναι το εύρος των εφαρμογών στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η μεθοδολογία οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR) μπορεί να αποτελέσει το βασικό εργαλείο για κάθε οπτικό σύστημα παρακολούθησης. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις υπηρεσίες ασφαλείας, για έλεγχο της ταυτότητας των οχημάτων που διέρχονται από τον προς παρακολούθηση χώρο.

Παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής είναι η αναγνώριση των οχημάτων που διέρχονται από τους σταθμούς διοδίων ή ο εντοπισμός κυκλοφοριακών παραβάσεων (όπως υπερβολικής ταχύτητας, παράνομης εισόδου στο δακτύλιο κτλ). Για την αυτόματη λήψη της εικόνας χρησιμοποιούνται κατάλληλοι αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί κατά μήκος του δρόμου. Όταν οι τροχοί έρχονται σε επαφή μαζί τους, ακαριαία λαμβάνεται η εικόνα και τα στοιχεία του οχήματος αναγνωρίζονται μέσω του προγράμματος OCR.

Γενικά, η συγκεκριμένη μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμογών που διαθέτουν κάποιο οπτικό σύστημα παρακολούθησης. Λόγω της προόδου που παρατηρείται στον τομέα των σύγχρονων οπτικών συστημάτων, η ανάπτυξη παρόμοιων προγραμμάτων αναμένεται να ενταθεί στο άμεσο μέλλον.

1.6 Διάρθρωση της διπλωματικής

Η δομή της διπλωματικής εργασίας είναι η ακόλουθη:

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται μία γενική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του προγράμματος AIM (Adept Assembly and Information Management) και του πραγματικού περιβάλλοντος εκτέλεσης. Εισάγονται οι έννοιες του *οπτικού εργαλείου* (optical tool), του *αρχείου* (record) και της *ακολουθίας* (sequence), όπως αυτές χρησιμοποιούνται από το σύστημα. Επίσης αναφέρεται ο τρόπος δημιουργίας και αποθήκευσης των δεδομένων σε μία *υπομονάδα πόρων* (resource module). Παρουσιάζεται η διάταξη του ρεαλιστικού χώρου μέσα στον οποίο εκτελείται η αναγνώριση των χαρακτήρων και συγκρίνεται με το ιδανικό περιβάλλον του εργαστηρίου.

Στο Κεφάλαιο 3, αναλύονται οι στρατηγικές επεξεργασίας εικόνας. Αρχικά γίνεται μία θεωρητική παρουσίαση της βελτίωσης του ιστογράμματος (Histogram enhancement), της

διαδικασίας κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding) και των χωρικών φίλτρων. Τα φίλτρα που παρουσιάζονται είναι τα βαθυπερατά (lowpass filters), τα φίλτρα μεσαίων συχνοτήτων (median filters), τα υψυπερατά (highpass filters) και τα φίλτρα High-boost. Έπειτα παρουσιάζεται η πρακτική υλοποίηση των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται από την εφαρμογή.

Στο Κεφάλαιο 4, γίνεται αναφορά στη διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη βελτίωση της φωτεινότητας της αρχικής εικόνας και την αντιμετώπιση των προβλημάτων που παρουσιάζονται στην περίπτωση μετατόπισης ή περιστροφής του αντικειμένου. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα οπτικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τις διαδικασίες αυτές.

Στο Κεφάλαιο 5, αναφέρονται τα στάδια που ακολουθούνται για τη δημιουργία και τη χρησιμοποίηση των γραμματοσειρών από το πρόγραμμα αναγνώρισης.

Στο Κεφάλαιο 6, δημιουργείται η ακολουθία επιθεωρήσεων (sequence) που θα χρησιμοποιηθεί από το σύστημα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Η βέλτιστη διαδικασία OCR προκύπτει από τη σύγκριση των σκορ αναγνώρισης για τις έξι γραμματοσειρές και τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε ένα νέο αρχείο. Η ακολουθούμενη μέθοδος για την επίτευξη της διαδικασίας παρουσιάζεται σ' αυτήν την ενότητα.

Στο Κεφάλαιο 7, αναλύεται ο τρόπος εκτέλεσης της ακολουθίας και τα εργαλεία γραφικής αναπαράστασης που παρέχει το σύστημα. Παρουσιάζεται η διαδικασία Logging Results που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε ένα αρχείο, καθώς και η οθόνη παρουσίασης των στατιστικών και των γραφημάτων για τα υπολογισμένα μεγέθη.

Τέλος, στα Κεφάλαια 8 και 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος και τα συμπεράσματα που προκύπτουν. Εξετάζονται όλες οι πιθανές περιπτώσεις μετατόπισης ή περιστροφής ως προς την αρχική θέση του αντικειμένου. Αναφέρονται οι μελλοντικές τροποποιήσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν και παραδείγματα πρακτικών εφαρμογών.

2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Α.Ι.Μ. ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

2.1 Παρουσίαση βασικών εννοιών

Το AIM είναι ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, σχεδιασμένο για χρήση σε περιβάλλον εργασίας V^+ . Αποτελεί ένα σύνολο προγραμμάτων και σελίδων επιλογής, με το οποίο συλλέγονται και τροποποιούνται τα δεδομένα μίας βάσης δεδομένων (Vision Database). Αυτή η βάση περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την εκτέλεση μίας οπτικής εφαρμογής. Μέσω του προγράμματος είναι δυνατή η λήψη εικόνων διαφόρων αντικειμένων και η επεξεργασία της πληροφορίας που παρέχουν. Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιούνται σε περιβάλλον παραθύρων, γεγονός που επιτρέπει την εκτέλεση πολύπλοκων ενεργειών χωρίς να απαιτείται η δημιουργία κώδικα. Χρησιμοποιώντας το ποντίκι και το μενού επιλογών, τοποθετούνται διάφορα οπτικά εργαλεία στο πεδίο ενδιαφέροντος και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής τους. Για πρακτικούς λόγους, στο εξής, η μελέτη ενός χαρακτηριστικού του αντικειμένου θα αναφέρεται ως οπτική επιθεώρηση.

Οι βασικές έννοιες πάνω στις οποίες στηρίζεται το σύστημα είναι τα οπτικά εργαλεία, τα αρχεία, η ακολουθία και η εκτέλεση ακολουθίας. Οι έννοιες αυτές αναλύονται στη συνέχεια.

- Οπτικά εργαλεία (vision tools)

Οι οπτικές εφαρμογές εκτελούνται μέσω των οπτικών εργαλείων που παρέχει το σύστημα. Αυτά τα εργαλεία περιέχουν χάρακες για τον υπολογισμό αποστάσεων, παράθυρα για τον υπολογισμό της φωτεινότητας της εικόνας, ευρεστικά εργαλεία για την τοποθέτηση γραμμών, τόξων και άλλων χαρακτηριστικών του αντικειμένου, καθώς και εργαλεία για την οπτική αναγνώριση χαρακτήρων και τη δημιουργία πρωτοτύπων.

Κάθε εργαλείο χρειάζεται διάφορα είδη δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το είδος των στοιχείων που θα συλλέξει, πώς θα ερμηνεύσει την πληροφορία που του παρέχεται και σε ποια περιοχή του οπτικού πεδίου θα αναζητήσει αυτή

την πληροφορία. Όλα αυτά τα στοιχεία ορίζονται μέσω των κατάλληλων μενού ή χρησιμοποιώντας το ποντίκι του υπολογιστή. Με τη χρήση του ποντικιού τα οπτικά εργαλεία τοποθετούνται και διαμορφώνονται στο οπτικό πεδίο της κάμερας, ενώ με τη βοήθεια των μενού ορίζονται τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά που θα έχουν.

- Αρχεία (records)

Μετά την δημιουργία του οπτικού εργαλείου, το σύστημα αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες σχετικά με αυτό στο αρχείο της οπτικής διαδικασίας (vision record), ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του ξανά στο μέλλον. Τα αρχεία αυτού του είδους είναι βασικά συστατικά στη λειτουργία του συστήματος. Περιέχουν όλα τα χαρακτηριστικά κάθε εργαλείου ή οπτικής διαδικασίας (εκτός από τα εργαλεία, το σύστημα περιέχει και διαδικασίες οι οποίες συντονίζουν και υποστηρίζουν τη λειτουργία των διαφόρων οπτικών εργαλείων όπως συνελίξεις χωρικών φίλτρων, διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας κτλ).

Μία απλή οπτική επιθεώρηση απαιτεί την δημιουργία διάφορων αρχείων για τον καθορισμό του πώς θα χρησιμοποιηθεί η πληροφορία που επιστρέφεται από το εργαλείο, των χαρακτηριστικών του ίδιου του εργαλείου καθώς και της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη της εικόνας. Η δημιουργία, η αποθήκευση και η σύνδεση των αρχείων γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα.

Κάθε ανεξάρτητη επιθεώρηση έχει ένα κύριο αρχείο ή αρχείο επιπέδου κορυφής (toplevel record), το οποίο ορίζει τι είδους διαδικασίες θα πραγματοποιηθούν, τι επιπλέον αρχεία θα χρειαστούν και ποια είναι τα επιτρεπτά όρια μέσα στα οποία μπορεί να θεωρηθεί η επιθεώρηση επιτυχής (όρια επιτρεπτών τιμών). Τα επιπλέον αρχεία που απαιτούνται από το αρχείο κορυφαίου επιπέδου για την επίτευξη της διαδικασίας, ονομάζονται αρχεία πηγής (resource records).

Τα χαρακτηριστικά κάθε εργαλείου διαμορφώνονται με την βοήθεια των σελίδων μενού που παρέχονται από το σύστημα. Τα στοιχεία των σελίδων αυτών καταγράφονται στο αρχείο της διαδικασίας και χρησιμοποιούνται όποτε αυτή εκτελείται.

- Ακολουθία (sequence)

Αν εξετάζονται διάφορα χαρακτηριστικά του αντικειμένου πρέπει να δημιουργηθούν διαφορετικές ανεξάρτητες επιθεωρήσεις για τον έλεγχο κάθε τέτοιου χαρακτηριστικού. Κάθε

τέτοια επιθεώρηση περιγράφεται από το αντίστοιχο αρχείο (vision record). Για να πραγματοποιηθεί μία ολοκληρωμένη επιθεώρηση του αντικειμένου, οι ανεξάρτητες επιθεωρήσεις συνδυάζονται σε μία ακολουθία επιθεωρήσεων. Η ακολουθία αυτή, εξετάζει όλα τα ζητούμενα χαρακτηριστικά, και επίσης καθορίζει τη χρονική σειρά με την οποία θα πραγματοποιηθεί η εκτέλεση των επιμέρους ενεργειών.

- Εκτέλεση ακολουθίας (sequence execution)

Το επόμενο στάδιο, μετά τη δημιουργία των ανεξάρτητων επιθεωρήσεων και τον συνδυασμό τους σε μία ακολουθία, είναι η εκτέλεση της ακολουθίας αυτής. Το πρόγραμμα περιέχει την οθόνη ελέγχου (task control panel). Μέσω αυτής ελέγχεται η εκτέλεση της ακολουθίας και πραγματοποιούνται ρυθμίσεις στη μορφή και την τοποθέτηση των οπτικών εργαλείων.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για την δημιουργία μίας ολοκληρωμένης οπτικής εφαρμογής είναι τα εξής:

1. Δημιουργία του αρχείου επιθεώρησης κορυφαίου επιπέδου (top-level inspection record) κάθε ανεξάρτητης οπτικής επιθεώρησης. Αυτό καθορίζει στο σύστημα τι είδους επιθεώρηση θα πραγματοποιηθεί και τα όρια μέσα στα οποία θα πρέπει να βρίσκεται το τελικό αποτέλεσμα ώστε αυτή να χαρακτηριστεί επιτυχής.
2. Δημιουργία των πρόσθετων αρχείων (αρχεία πηγής), που χρειάζονται για την συμπλήρωση της επιθεώρησης που ορίζεται από το αρχείο κορυφαίου επιπέδου. Αυτά τα αρχεία περιέχουν τα οπτικά εργαλεία που απαιτεί το αρχείο κορυφαίου επιπέδου για την εκτέλεση της εφαρμογής.
3. Συνδυασμό των ανεξάρτητων επιθεωρήσεων σε μία ολοκληρωμένη ακολουθία.
4. Εκτέλεση της ακολουθίας επιθεωρήσεων. Κάθε φορά που το σύστημα εκτελεί μία ακολουθία τα αρχεία κάθε διαδικασίας λαμβάνουν την κατάλληλη εικόνα, τοποθετούν τα ανάλογα οπτικά εργαλεία και παρουσιάζουν τα αποτελέσματα στο αρχείο κορυφαίου επιπέδου (top-level record).

2.2 Αποθήκευση των δεδομένων

Το VisionWare αποτελεί ένα σύστημα αρχιτεκτονικής υψηλής ανάλυσης και σχηματισμού πολύπλοκων εικόνων με πολύ γρήγορες διαδικασίες. Περιλαμβάνει περισσότερες από 100 λειτουργίες που σχετίζονται με όραση για την ανάκτηση και ανάλυση εικόνας. Στο VisionWare υπάρχουν δύο τύποι πληροφορίας που απαιτούνται για την εκτέλεση μίας εφαρμογής. Τα στοιχεία αυτά είναι τα δεδομένα και η λογική.

- *Δεδομένα.* Περιέχουν τα οπτικά εργαλεία που εκτελούν τις επιθεωρήσεις, παραμέτρους της κάμερας που χρησιμοποιείται κατά τη λήψη της εικόνας και άλλες πληροφορίες που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της επιθεώρησης. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του VisionWare.
- *Λογική.* Υποδεικνύει στο σύστημα την κατάλληλη σειρά εκτέλεσης κάθε ανεξάρτητης διαδικασίας. Περιλαμβάνει επίσης τον συγχρονισμό (όπως αναμονή για την άφιξη κάποιου σήματος) και άλλες πληροφορίες που ελέγχουν το 'πότε' της διαδικασίας και όχι το 'τι ή πώς'. Στο σύστημα η λογική αποθηκεύεται στις ακολουθίες.

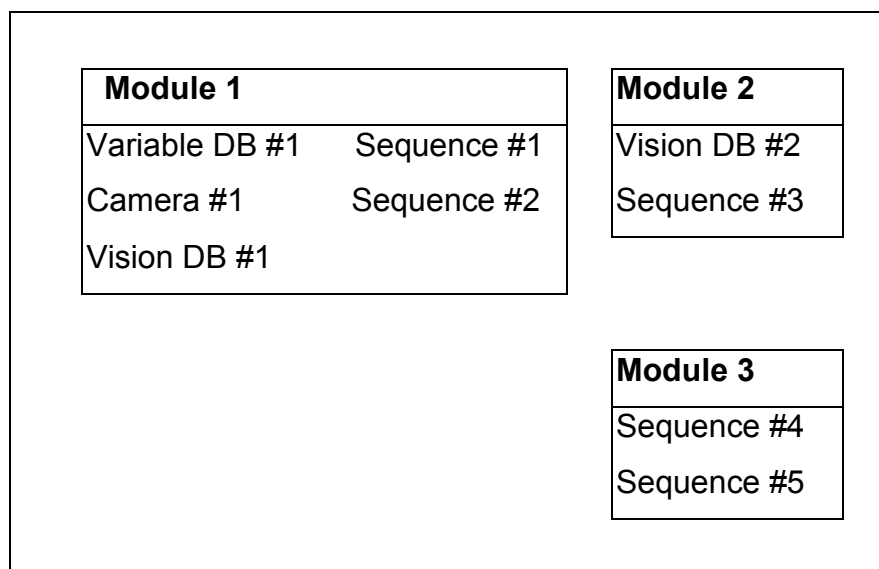
Και τα δύο είδη αυτής της πληροφορίας πρέπει να αποθηκευτούν για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή, έτσι ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους ξανά στο μέλλον. Έστω παράδειγμα εφαρμογής, όπου αρχικά γίνεται εύρεση του κέντρου μίας οπής, έπειτα της ύπαρξης κάποιου πρωτοτύπου για την τοποθέτηση του κέντρου του και τέλος η μέτρηση της μεταξύ τους απόστασης. Εκτελούνται δηλαδή τρεις ανεξάρτητες οπτικές επιθεωρήσεις. Τα οπτικά εργαλεία που χρησιμοποιεί κάθε επιθεώρηση περιγράφονται από το αντίστοιχο αρχείο (vision record), ενώ ο συνδυασμός τους για την επίτευξη της ολοκληρωμένης διαδικασίας γίνεται με την ακολουθία (sequence) που δημιουργείται.

Για την εκτέλεση κάθε εφαρμογής χρειάζονται επομένως οι ακόλουθες βάσεις δεδομένων:

- Μία βάση δεδομένων της οπτικής διαδικασίας (vision data base) για την αποθήκευση των οπτικών εργαλείων.
- Μία βάση δεδομένων (camera data base) όπου αποθηκεύονται τα στοιχεία της κάμερας που θα χρησιμοποιηθεί από τα οπτικά εργαλεία, καθώς και τα δεδομένα για την βαθμονόμησή της.

- Μία ακολουθία για τον καθορισμό της σειράς εκτέλεσης των ανεξάρτητων επιθεωρήσεων.
- Μία βάση δεδομένων για τον τύπο και την τιμή των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται κατά τη δημιουργία της ακολουθίας.

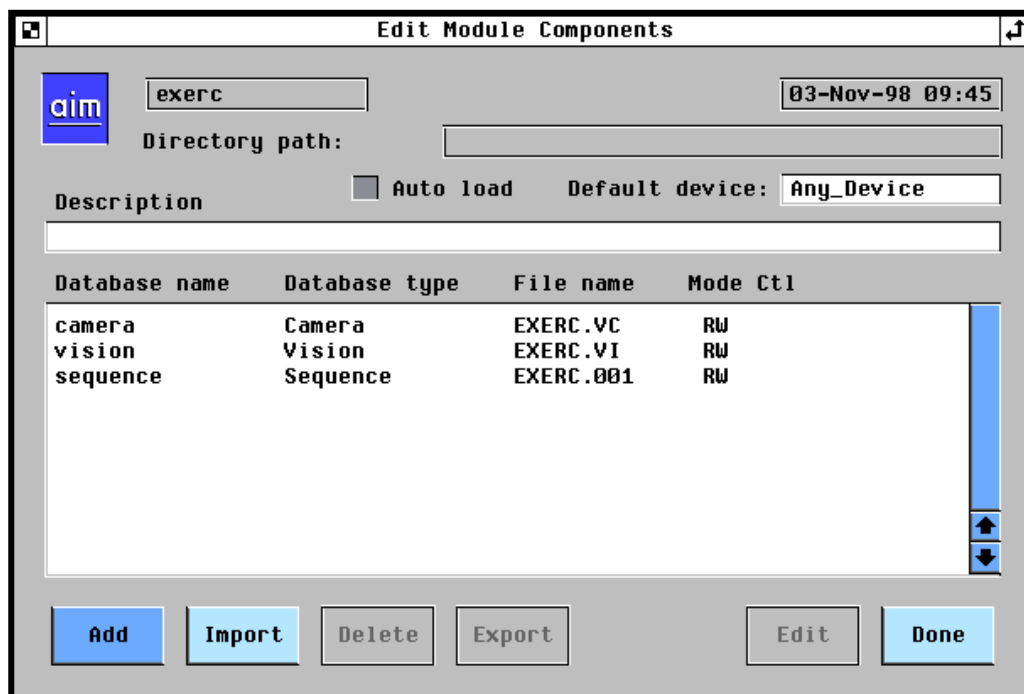
Όλες οι βάσεις δεδομένων της εφαρμογής αποθηκεύονται σε μία υπομονάδα πόρων (resource module). Στην υπομονάδα αυτή καθορίζεται το είδος των βάσεων που χρησιμοποιεί η εφαρμογή. Αν σε αυτήν δεν ορισθεί κάποια από τις παραπάνω βάσεις, τότε η εφαρμογή έχει πρόσβαση της αντίστοιχης βάσης του συστήματος (ολική). Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που απεικονίζει τις υπομονάδες πόρων για τρεις ανεξάρτητες εφαρμογές. Η υπομονάδα 1 έχει δικές της βάσεις δεδομένων και δεν χρησιμοποιεί καμία ολική. Η υπομονάδα 2 χρησιμοποιεί την ολική βάση για τις κάμερες και τις μεταβλητές. Τέλος η υπομονάδα 3 χρησιμοποιεί τις ολικές βάσεις δεδομένων για την κάμερα, τις μεταβλητές και την οπτική διαδικασία.



Σχήμα 2.1: Παραδείγματα Υπομονάδων Πόρων.

Η υπομονάδα πόρων δημιουργείται, διαμορφώνεται και φορτώνεται στη μνήμη μέσω της επιλογής Module, Select/Edit. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, η υπομονάδα πόρων που δημιουργήθηκε είναι η exerc της οποίας τα χαρακτηριστικά φαίνονται στο Σχήμα 2.2. Περιέχει μία βάση δεδομένων για τα οπτικά εργαλεία, μία για τα χαρακτηριστικά της κάμερας και την ακολουθία sequence. Ο ορισμός των εργαλείων, της κάμερας και της

ακολουθίας επιθεωρήσεων που χρησιμοποιούνται από την εφαρμογή πραγματοποιείται σε επόμενες ενότητες.



Σχήμα 2.2: Υπομονάδα πόρων exerc (resource module).

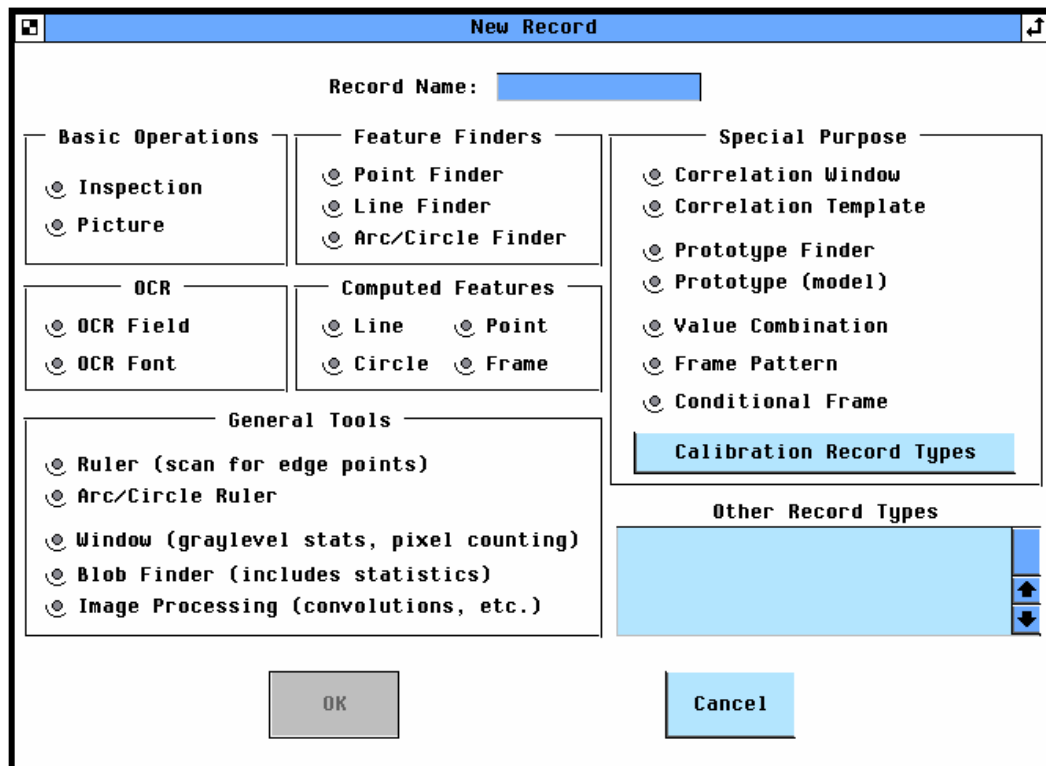
2.3 Δημιουργία νέου αρχείου οπτικής διαδικασίας (new vision record)

Για τη δημιουργία ενός νέου αρχείου οπτικής διαδικασίας, από το μενού επιλέγονται τα Edit, Vision, Edit, New record. Με τη διαδικασία αυτή παρουσιάζεται η οθόνη του σχήματος 2.3 και είναι δυνατός ο ορισμός του νέου αρχείου. Στην κορυφή της σελίδας επιλέγεται το όνομά του και έπειτα καθορίζεται η εργασία που θα περιγράφει. Υπάρχουν έξι γενικές κατηγορίες επιλογών. Ανάλογα με την εφαρμογή επιλέγεται η κατάλληλη τιμή.

Οι γενικές κατηγορίες είναι οι εξής:

- Αρχεία βασικών ενεργειών (Basic operation).
- Αρχεία εύρεσης χαρακτηριστικών (Feature Finders).
- Αρχεία οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR).
- Αρχεία υπολογισμού χαρακτηριστικών (Computed Features).
- Γενικά εργαλεία (General Tools).
- Αρχεία ειδικών διαδικασιών (Special Purpose).

Τα αρχεία που δημιουργήθηκαν για το πρόγραμμα αναγνώρισης των στοιχείων της πινακίδας, περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.



Σχήμα 2.3: Οθόνη δημιουργίας νέου αρχείου.

2.4 Δημιουργία της ακολουθίας επιθεωρήσεων

Η αναγνώριση των στοιχείων της πινακίδας πραγματοποιείται με την εκτέλεση μίας ακολουθίας επιθεωρήσεων. Σ' αυτήν την ενότητα γίνεται μία σύντομη περιγραφή των εντολών που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της ακολουθίας αυτής. Για τον ορισμό μίας νέας ακολουθίας επιλέγονται από το μενού του συστήματος τα Edit, sequence. Έπειτα, με τη χρήση των κατάλληλων εντολών καθορίζονται οι ενέργειες που θα εκτελεί η ακολουθία αυτή. Οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι οι set, inspect, auto_brightness, ocr_output, if,else και end.

Με την εντολή inspect παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αρχείων επιθεώρησης (inspect records). Οι επιθεωρήσεις εκτελούνται ώσπου να πραγματοποιηθεί η πρώτη αστοχία, οπότε η εκτέλεση σταματά και το σήμα OK_SIGNAL παίρνει την τιμή FALSE. Εάν όλες εκτελεστούν επιτυχώς το σήμα παίρνει την τιμή TRUE. Η σύνταξη της εντολής είναι η

```
INSPECT OPERATION --vision--{ & --vision--} { & --vision--}{ & --vision--}{ & --vision--}
-){ & --vision--}{ & --vision--}{ & --vision--}{ & --vision--}}}}}} {OK_SIGNAL -
output--}.
```

Κάθε στοιχείο --vision-- συμπληρώνεται από το όνομα ενός αρχείου επιθεώρησης (Inspection record).

Με την εντολή `set` αντιστοιχείται μία νέα τιμή σε μία μεταβλητή. Η σύνταξή της είναι

$$\text{SET } \neg o_variable = \{\neg uopr\} \neg variable - \{\neg opr \neg variable - \{\neg opr \neg variable - \{\neg opr \neg variable - \{\neg opr \neg variable - \{\neg opr \neg variable - \dots\}\}\}\}\}$$

Για παράδειγμα, αν η μεταβλητή var1 πρέπει να πάρει την τιμή var2+var3-12 χρησιμοποιείται η εντολή SET var1=var2+var3-12 . Τα στοιχεία variable αντικαθίστανται από ονόματα μεταβλητών, ενώ τα opr από τα σύμβολα των πράξεων που εκτελούνται.

Οι εντολές IF , ELSE και END δίνουν τη δυνατότητα εκτέλεσης ενός μπλόκ εντολών έως ότου ισχύει η σχέση μίας υπόθεσης.

Η εντολή OCR_OUTPUT χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα αρχείο αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR Field record) για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της διαδικασίας OCR. Η σύνταξή της είναι η

OCR_OUTPUT FROM `--vision`— { & `--vision--`{ & `--vision--`{ & `--vision--`{ & `--vision--`{
& `--vision--`{ & `--vision--`{ & `--vision--`}}}}}}}

Τα αποτελέσματα αναγνώρισης αποθηκεύονται σε ένα νέο αρχείο. Αναλυτικότερη παρουσίαση της εντολής αυτής θα γίνει στο κεφάλαιο 7, όπου περιγράφεται η ακολουθία που δημιουργήθηκε για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Με την εντολή `AUTO_BRIGHTNESS` καθορίζεται η συνολική φωτεινότητα της λαμβανόμενης εικόνας. Παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο τρίτο κεφάλαιο.

2.5 Παρουσίαση περιβάλλοντος εκτέλεσης σε πραγματικές συνθήκες

Το πρόγραμμα αναγνώρισης των στοιχείων της πινακίδας οχήματος που δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της διπλωματικής εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήθος πρακτικών εφαρμογών.

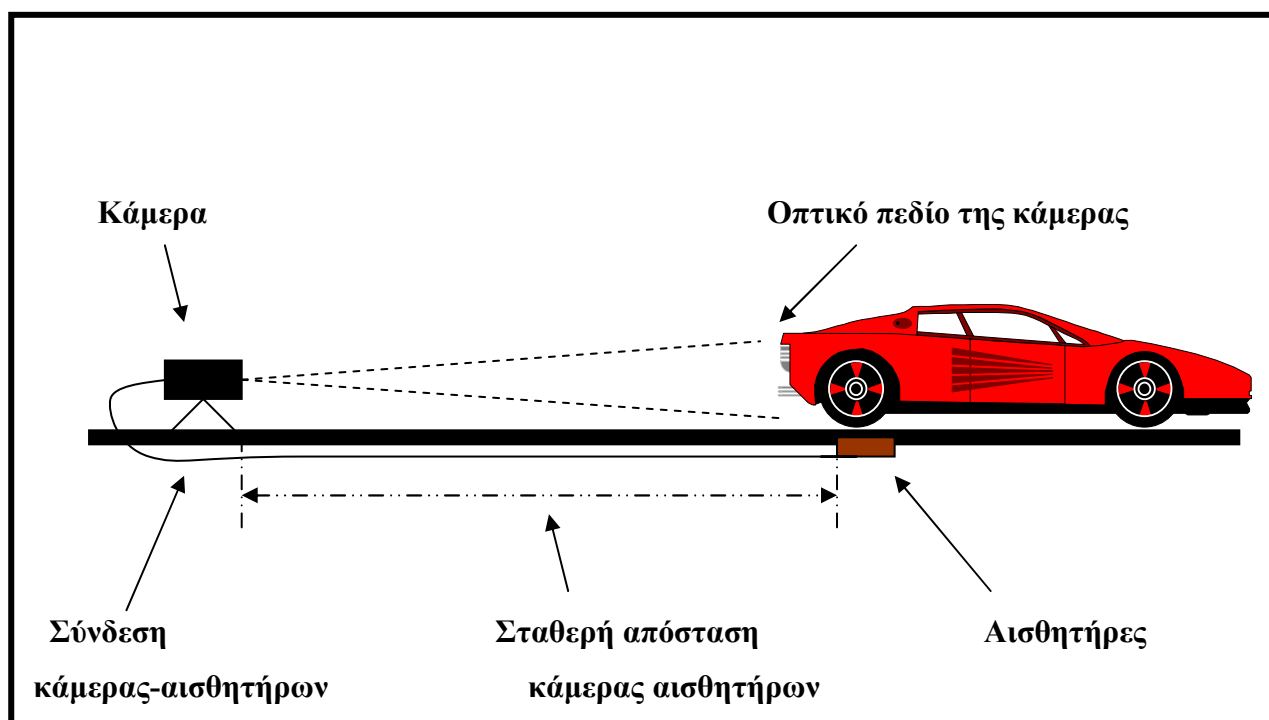
Σε πραγματικές συνθήκες η λήψη της εικόνας πραγματοποιείται αυτόματα με τη βοήθεια ειδικών αισθητήρων που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος του δρόμου. Οι αισθητήρες αυτοί είναι συνδεδεμένοι με την κάμερα λήψης του οπτικού συστήματος. Μόλις οι τροχοί του διερχόμενου οχήματος έρθουν σε επαφή μαζί τους, η κάμερα λαμβάνει την εικόνα και εκτελείται αμέσως το πρόγραμμα αναγνώρισης χαρακτήρων. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο αρχείο 6.log, διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενες ενότητες.

Η κάμερα είναι σταθερά τοποθετημένη σε μία βάση που απέχει καθορισμένη απόσταση από τη θέση των αισθητήρων. Το οπτικό της πεδίο πρέπει να περιέχει την πινακίδα του διερχόμενου αυτοκινήτου. Ωστόσο κατά τη λήψη της εικόνας προκύπτουν διάφορα επιπλέον προβλήματα που δεν παρουσιάζονται στο ιδανικό περιβάλλον του εργαστηρίου.

Ο φωτισμός είναι μη ελεγχόμενος, αφού μεταβάλλεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Το πρόγραμμα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τα στοιχεία της πινακίδας ανεπηρέαστο από τέτοιους παράγοντες. Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρησιμοποιείται από το σύστημα κάμερα με δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης του διαφράγματος. Ανάλογα με την φωτεινότητα που επικρατεί τη χρονική στιγμή που οι τροχοί ενεργοποιούν τους αισθητήρες, η κάμερα ρυθμίζει το άνοιγμα του διαφράγματος πριν προχωρήσει στη λήψη της εικόνας. Έτσι το αποτέλεσμα είναι η αρχική μορφή της εικόνας να περιέχει ευδιάκριτα τα χαρακτηριστικά της προς εξέταση πινακίδας.

Επίσης, για ακόμα πιο βέλτιστα αποτελέσματα η κάμερα διαθέτει δυνατότητα αυτόματης εστίασης. Δηλαδή είναι σε θέση να εστιάζει πάνω στην πινακίδα ανεξάρτητα από τη μετακίνηση του αντικειμένου από την επιθυμητή θέση. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συχνά, αφού λόγω του διαφορετικού μήκους του οχήματος ή της ταχύτητας με την οποία κινείται, η θέση της πινακίδας βρίσκεται λίγο πίσω ή μπροστά από την επιθυμητή. Στην περίπτωση κακής εστίασης η εικόνα που λαμβάνεται είναι θολή και τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου δυσδιάκριτα.

Η όλη διάταξη του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο εκτελείται το πρόγραμμα αναγνώρισης των στοιχείων της πινακίδας, παρουσιάζεται παραστατικά στο Σχήμα 2.4 που ακολουθεί .



Σχήμα 2.4: Διάταξη πραγματικού περιβάλλοντος εκτέλεσης.

Η διάταξη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές περιπτώσεις πρακτικών εφαρμογών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι:

- Η χρήση για έλεγχο των οχημάτων που διέρχονται από τα διόδια.
- Η χρήση για τον έλεγχο της ταυτότητας των οχημάτων που διέρχονται από κρίσιμες περιοχές όπως τράπεζες, πρεσβείες κ.τ.λ.
- Η χρήση για τον εντοπισμό των οδηγών που υπέπεσαν σε κάποια κυκλοφοριακή παράβαση, όπως παράνομη είσοδο στο δακτύλιο, υπερβολική ταχύτητα κ.τ.λ.
- Η χρήση για στρατιωτικούς λόγους, όπως έλεγχος των οχημάτων που εισέρχονται στο χώρο του στρατοπέδου.

2.6 Σύγκριση εργαστηριακού και πραγματικού περιβάλλοντος

Στις προηγούμενες ενότητες έγινε παρουσίαση τόσο του πειραματικού όσο και του πραγματικού περιβάλλοντος εκτέλεσης του προγράμματος αναγνώρισης των στοιχείων της πινακίδας ενός οχήματος. Και στις δύο περιπτώσεις περιγράφηκε αναλυτικά η διάταξη που πρέπει να έχει το σύστημα και τα υπόλοιπα στοιχεία του γύρω χώρου, για την επίτευξη αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν, προκύπτουν σημαντικές διαφορές στις συνθήκες που επικρατούν κατά την εκτέλεση σε πειραματικό και πραγματικό περιβάλλον. Οι διαφορές αυτές αφορούν τα εξής:

- **Συνθήκες φωτισμού.** Στο πειραματικό περιβάλλον του εργαστηρίου υπήρχε δομημένος φωτισμός. Τόσο στην υλοποίηση όσο και στην εκτέλεση του προγράμματος έγινε προσπάθεια να διατηρηθεί ο φωτισμός κατά το δυνατόν σταθερός. Η όλη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στον κλειστό χώρο του εργαστηρίου και με τη βοήθεια του τεχνητού φωτισμού που αυτό είχε. Αντίθετα σε πραγματικό περιβάλλον υπάρχει συχνή μεταβολή στις συνθήκες φωτισμού που επικρατούν. Ο φωτισμός του χώρου επηρεάζεται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια ή συννεφιασμένος καιρός).
- **Δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης του διαφράγματος.** Κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας η κάμερα δεν διέθετε την δυνατότητα αυτή. Ο χειριστής του προγράμματος έπρεπε ανάλογα με το φωτισμό που επικρατούσε κάθε στιγμή, να ρυθμίζει το άνοιγμα του διαφράγματος. Μόνο με αυτόν τον τρόπο η εικόνα που λάμβανε το σύστημα είχε επιθυμητή μορφή. Αντίθετα, απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση σε πρακτικές εφαρμογές είναι η χρησιμοποίηση κάμερας με δυνατότητα αυτόματης εστίασης. Η αναγκαιότητα αυτή προκύπτει και από τις συνθήκες μη δομημένου φωτισμού που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.
- **Δυνατότητα αυτόματης εστίασης.** Στο εργαστήριο η κάμερα δεν διέθετε αυτόματη εστίαση. Τοποθετήθηκε σε σταθερή θέση από το αντικείμενο και έπειτα καθορίστηκε η εστίασή της πάνω σε αυτό. Αντίθετα σε πρακτικές εφαρμογές, η κάμερα πρέπει να είναι σε θέση να ρυθμίζει το ζουμ της στα στοιχεία του αντικειμένου ανεξάρτητα από την απόσταση που έχει από αυτό. Με αυτό τον τρόπο δεν παρουσιάζονται φαινόμενα θόλωσης της εικόνας που οφείλονται στην απεστίαση της κάμερας. Με τη δυνατότητα αυτόματης εστίασης και ρύθμισης του διαφράγματος, η λαμβανόμενη εικόνα έχει βελτιωμένη μορφή και οδηγεί σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα αναγνώρισης.

3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

3.1 Τοποθέτηση του προβλήματος

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναγνώριση των στοιχείων της πινακίδας ενός οχήματος. Για το σκοπό αυτό λαμβάνεται η εικόνα της πινακίδας και αναγνωρίζονται τα στοιχεία της με τη βοήθεια του προγράμματος αναγνώρισης. Ωστόσο, κατά τη λήψη της εικόνας υπεισέρχονται διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την τελική της μορφή. Τέτοιοι παράγοντες είναι ο κακός φωτισμός, η μετατόπιση του αντικειμένου, η απεστίαση της εικόνας κ.τ.λ. Για το λόγο αυτό η εικόνα πρέπει να τύχει κάποιας προεπεξεργασίας πριν τη χρησιμοποίησή της για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Επομένως, το αμέσως επόμενο στάδιο μετά τη λήψη της εικόνας είναι η επεξεργασία της. Με τον όρο επεξεργασία περιγράφονται όλες οι ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιηθούν, ώστε η εικόνα να αποκτήσει την επιθυμητή μορφή για τη χρησιμοποίησή της από μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Ο όρος συγκεκριμένη είναι πολύ σημαντικός, γιατί καθορίζει ότι το αποτέλεσμα της διαδικασίας επεξεργασίας εξαρτάται άμεσα από τη φύση του προβλήματος.

Για παράδειγμα μία διαδικασία επεξεργασίας που χρησιμοποιείται για ακτινολογικές εικόνες μπορεί να μην είναι κατάλληλη για εικόνες από δορυφόρους. Ανάλογα με το αποτέλεσμα που επιδιώκεται καθορίζονται κάθε φορά τα απαιτούμενα μέσα και τα στάδια που θα ακολουθηθούν.

Η διαδικασία απόκτησης μίας όσο το δυνατόν καλύτερης εικόνας, επηρεάζει άμεσα την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων των εφαρμογών στις οποίες χρησιμοποιείται. Ειδικότερα στην αναγνώριση σημαντικών χαρακτηριστικών, το στάδιο της προεπεξεργασίας καθορίζει το τελικό αποτέλεσμα. Εάν η μορφή της λαμβανόμενης εικόνας είναι ακατάλληλη, τότε ο αλγόριθμος αναγνώρισης δίνει λάθος αποτελέσματα ή αποτυγχάνει στην αναγνώριση όλων των στοιχείων. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, το πρόγραμμα συγκρίνει τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου με τα στοιχεία που είναι αποθηκευμένα στη μνήμη και εξάγει το αποτέλεσμα αναγνώρισής τους. Γίνεται επομένως κατανοητό, ότι για την απόκτηση έγκυρων αποτελεσμάτων πρέπει να έχει ακολουθηθεί όλη η απαιτούμενη προεπεξεργασία. Η

τελική εικόνα πρέπει να περιέχει τα στοιχεία σε μορφή που να επιτρέπει την αναγνώρισή τους από το σύστημα.

3.2 Χρησιμοποιούμενες τεχνικές προεπεξεργασίας

Για την προεπεξεργασία της εικόνας χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές, ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο αυτή πραγματοποιείται. Τα κύρια εργαλεία στο στάδιο αυτό είναι τα χωρικά φίλτρα ή μάσκες (spatial filtering). Ανάλογα με τη μορφή της μάσκας που χρησιμοποιείται βελτιώνεται ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της εικόνας. Τα φίλτρα που εφαρμόστηκαν στη συγκεκριμένη εφαρμογή ανήκουν σε δύο κύριες κατηγορίες. Η πρώτη περιέχει φίλτρα για απομάκρυνση ανεπιθύμητων στοιχείων της εικόνας (θόρυβος), ενώ η άλλη για τόνωση των ακμών και άλλων κρίσιμων χαρακτηριστικών της.

Η απομάκρυνση του θορύβου, επιτυγχάνεται με τη συνέλιξη (convolution) των κατάλληλων βαθυπερατών φίλτρων (lowpass filter). Ο θόρυβος αποτελείται από στοιχεία που δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον για επιπλέον επεξεργασία. Η δημιουργία και η χρησιμοποίηση βαθυπερατών φίλτρων περιγράφεται αναλυτικότερα σε επόμενες ενότητες.

Ωστόσο, με τη χρήση βαθυπερατών φίλτρων παρατηρείται μία θόλωση της εικόνας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση ορισμένων σχηματικών χαρακτηριστικών της. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου χρησιμοποιείται μία άλλη κατηγορία φίλτρων, τα λεγόμενα υψιπερατά φίλτρα (highpass filter). Με τη συνέλιξη των φίλτρων αυτής της κατηγορίας, τονώνονται οι ακμές και άλλα κρίσιμα χαρακτηριστικά του αντικειμένου.

Κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας, γίνεται επίσης χρήση των στοιχείων που παρέχει το ιστόγραμμα της εικόνας (Histogram Enhancement). Με βάση τη μορφή του ιστογράμματος ρυθμίζονται η φωτεινότητα και οι αντιθέσεις. Η ρύθμιση πραγματοποιείται με τη μεταβολή δύο παραμέτρων, του offset και του gain. Ανάλογα με τη μορφή της, η εικόνα μπορεί να αποκτήσει ένα σκοτεινότερο ή φωτεινότερο φόντο για την καλύτερη τελική της εμφάνιση.

Τέλος χρησιμοποιείται η μέθοδος κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding) για την απόκτηση μίας δίτιμης εικόνας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σύγκριση της τιμής φωτεινότητας κάθε εικονοστοιχείου με μία τιμή κατωφλίου και την τοποθέτηση του στο αντικείμενο ή το φόντο ανάλογα με το αποτέλεσμα. Σε μία δίτιμη εικόνα η τιμή φωτεινότητας των

εικονοστοιχείων (pixel) μπορεί να είναι μηδέν ή ένα, απεικονίζοντας το μαύρο ή το άσπρο αντίστοιχα. Με τη διαδικασία αυτή παρέχεται η δυνατότητα επιλογής λευκού αντικειμένου σε μαύρο φόντο ή το αντίστροφο, ανάλογα με την τιμή κατωφλίου που θα οριστεί.

Αναλυτικότερη παρουσίαση των μεθόδων που αναφέρθηκαν παραπάνω, πραγματοποιείται στις αμέσως επόμενες ενότητες.

3.3 Περιγραφή των μεθόδων επεξεργασίας

3.3.1 Η διαδικασία Βελτίωσης Ιστογράμματος (Histogram enhancement)

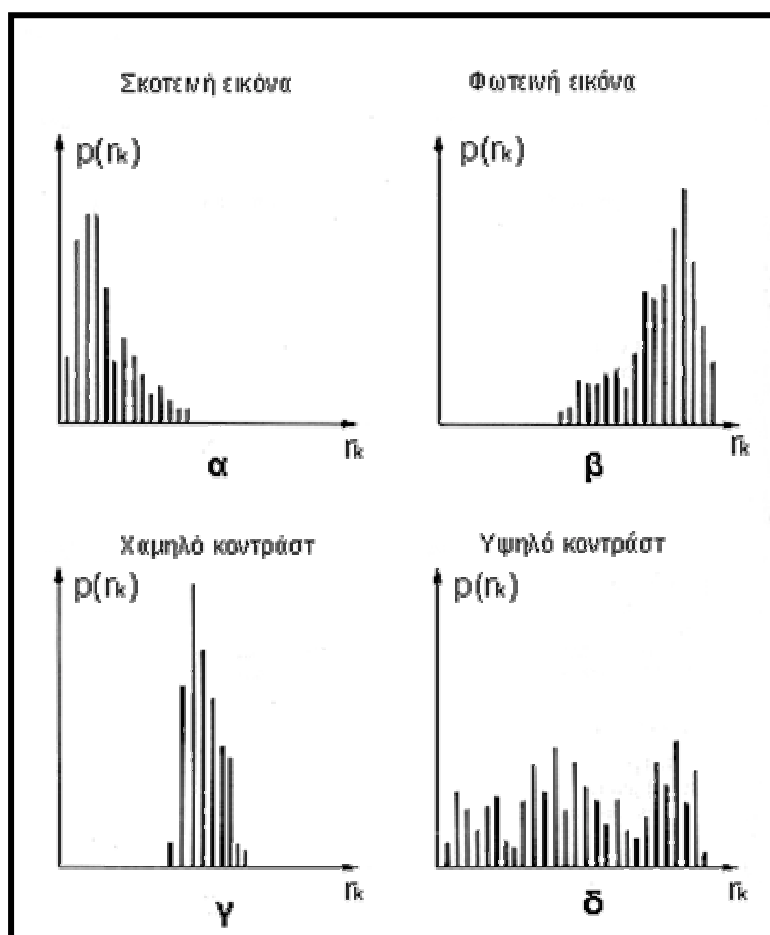
Η μονάδα της παρατηρούμενης ψηφιακής εικόνας είναι το εικονοστοιχείο "pixel" (picture element). Οι τιμές των pixel καλούνται επίπεδα γκριζου (gray levels). Το εύρος τιμών που μπορεί να πάρει ένα εικονοστοιχείο κυμαίνεται από 0 (μαύρο) μέχρι 127 (άσπρο). Η κάθε τιμή αντιπροσωπεύει μία διαβάθμιση του γκριζου.

Μέσω αυτής της διαδικασίας καθορίζεται η συνολική φωτεινότητα της εικόνας με βάση το ιστόγραμμα της. Το ιστόγραμμα μίας εικόνας με επίπεδα γκριζου στο διάστημα $[0, L-1]$ είναι μία διακριτή συνάρτηση $p(r_k) = n_k/n$, όπου r_k είναι το K -οστό επίπεδο γκριζου, n_k είναι το πλήθος των εικονοστοιχείων με αυτό το επίπεδο γκριζου, n είναι ο συνολικός αριθμός εικονοστοιχείων της εικόνας, ενώ το k παίρνει τιμές $k=0, 1, 2, \dots, L-1$.

Στην πραγματικότητα το $p(r_k)$ δίνει μία εκτίμηση της πιθανότητας παρουσίας εικονοστοιχείου με τιμή r_k . Η γραφική απεικόνιση αυτής της συνάρτησης παρέχει μία πλήρη περιγραφή για τη μορφή της εικόνας. Το Σχήμα 3.1 παρουσιάζει τα ιστογράμματα για τέσσερις βασικές μορφές εικόνας. Το ιστόγραμμα του Σχήματος 3.1α παρουσιάζει τα επίπεδα γκριζου συγκεντρωμένα στην αριστερή περιοχή της κλίμακας, η οποία αντιπροσωπεύει τις σκοτεινές περιοχές. Αυτό το ιστόγραμμα αντιστοιχεί σε εικόνα με σκοτεινά χαρακτηριστικά. Ακριβώς το αντίθετο παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1β. Τα εικονοστοιχεία συγκεντρώνονται στην δεξιά περιοχή του διαστήματος, η οποία αντιστοιχεί σε εικόνα με έντονο φωτισμό. Στο Σχήμα 3.1γ οι τιμές έχουν πολύ μικρή διασπορά και επομένως η εικόνα παρουσιάζει χαμηλό κοντράστ, αφού τα εικονοστοιχεία του αντικειμένου και του φόντου έχουν πολύ μικρή διαφορά στην τιμή γκριζου επιπέδου τους. Το αντίθετο συμβαίνει για την εικόνα με ιστόγραμμα σαν αυτό που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1δ. Τα

επίπεδα γκρίζου δεν συγκεντρώνονται σε μία μικρή περιοχή, αλλά αντίθετα παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά και επομένως η εικόνα έχει υψηλό κοντράστ.

Υπάρχουν δύο παράγοντες που επιτρέπουν τη ρύθμιση της μορφής της εικόνας. Αυτοί οι παράγοντες είναι οι παράμετροι του συστήματος offset και gain.



Σχήμα 3.1: Χαρακτηριστικές περιπτώσεις ιστογραμμάτων.

Οι αισθητήρες της κάμερας αναφέρουν μία απόλυτη τιμή φωτεινότητας. Αν η κάμερα λειτουργεί σε ένα περιβάλλον με χαμηλό φωτισμό, οι τιμές φωτεινότητας συγκεντρώνονται σε μία περιορισμένη κλίμακα στις χαμηλές τιμές του διαστήματος $[0,127]$ και η εικόνα θα παρουσιάζεται πολύ σκοτεινή.

Σ' αυτή την περίπτωση, αν μία συγκεκριμένη τιμή προστεθεί σε όλα τα εικονοστοιχεία, η ολική φωτεινότητα θα αυξηθεί και τα χαρακτηριστικά της εικόνας θα είναι κατάλληλα για επεξεργασία. Το Offset είναι η παράμετρος που εκτελεί αυτή τη λειτουργία. Αν η τιμή για το offset είναι υψηλή, όλες οι τιμές φωτεινότητας θα συγκεντρωθούν στο

τέλος του διαστήματος $[0,127]$ δηλαδή στις υψηλές συχνότητες. Με τη μείωση του offset το ιστόγραμμα θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά και η εικόνα θα αποκτήσει μικρότερη φωτεινότητα. Το μέγεθός του ρυθμίζει την τιμή που θα προστεθεί σε αυτές των εικονοστοιχείων. Με κατάλληλη επιλογή βελτιώνεται η συνολική φωτεινότητα της αρχικής εικόνας.

Όμοια, αν όλα τα αντικείμενα στο πεδίο παρατήρησης αντανακλούν φως ομοιόμορφης φωτεινότητας, οι τιμές περιορίζονται σε ένα μικρό τμήμα του διαστήματος συχνοτήτων. Αν όλες οι τιμές πολλαπλασιαστούν από ένα συγκεκριμένο μέγεθος, η σχετική διαφορά ανάμεσα τους θα αυξηθεί και οι ακμές θα είναι πιο εύκολο να αναγνωριστούν. Το Gain είναι η παράμετρος που εκτελεί αυτή τη διαδικασία. Ανάλογα με το μέγεθος που θα πολλαπλασιαστεί στις τιμές των pixel, αυτά αποκτούν μεγαλύτερη διασπορά τιμών. Έτσι τα εικονοστοιχεία του αντικειμένου διακρίνονται ευκολότερα, αφού οι τιμές τους έχουν μικρότερο μέγεθος από αυτών του φόντου της εικόνας.

Η χρησιμοποίηση του Offset και του Gain ταυτόχρονα, επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της φωτεινότητας και του κοντράστ σε μία εικόνα. Η απόκτηση μίας δίτιμης εικόνας με τη διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας, πραγματοποιείται μετά τη ρύθμιση αυτών των παραμέτρων, ώστε η διάκριση φωτεινών και σκοτεινών περιοχών να είναι καλύτερη και η δίτιμη εικόνα να έχει βελτιωμένη μορφή.

3.3.2 Η διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding)

Για τον προσδιορισμό του αντικειμένου πρέπει να καθοριστεί ποια εικονοστοιχεία είναι μέρος του και ποια όχι. Η διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding) είναι μία από τις πιο σημαντικές μεθόδους για κατάτμηση εικόνας. Σ' αυτή την ενότητα θα αναπτυχθούν τεχνικές για διαδικασίες αυτής της μορφής.

Για τον προσδιορισμό των ορίων ενός αντικειμένου σε μία ψηφιακή εικόνα, χρησιμοποιείται ευρύτατα η διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding). Με τη μέθοδο αυτή διακρίνονται τα εικονοστοιχεία που έχουν υψηλές γκρίζες τιμές από αυτά που έχουν χαμηλότερες τιμές. Όσα έχουν τιμή χαμηλότερη του κατωφλίου παίρνουν την τιμή 0 (μαύρο), ενώ τα υπόλοιπα παίρνουν την τιμή 1 (άσπρο). Έτσι παράγεται μία δίτιμη εικόνα (άσπρο-μαύρο).

Το πρόβλημα που παρουσιάζεται στην παραπάνω μεθοδολογία είναι ο καθορισμός της τιμής του κατωφλίου. Η τιμή αυτή διαχωρίζει το σκοτεινό φόντο από τα φωτεινά αντικείμενα ή το αντίστροφο. Επομένως μπορεί να καθοριστεί, αν είναι γνωστή η κατανομή των εικονοστοιχείων. Τότε η ζητούμενη τιμή ορίζεται ως η τιμή διαχωρισμού, για την οποία το κλάσμα των σκοτεινών pixel με υψηλές γκρίζες τιμές ισούται με το κλάσμα των φωτεινών pixel με χαμηλές γκρίζες τιμές. Στην πράξη η κατανομή των pixel είναι σπάνια γνωστή. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι γνωστό το ιστόγραμμα της εικόνας. Το ιστόγραμμα παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πλήθος των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε κάθε τιμή γκρίζου (gray level).

Το ιστόγραμμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα.3.2α αντιστοιχεί σε μία εικόνα $f(x,y)$ που αποτελείται από φωτεινά αντικείμενα σε μαύρο φόντο. Όπως φαίνεται και από το σχήμα τα εικονοστοιχεία του αντικειμένου και του φόντου έχουν τιμές γκρίζου τέτοιες ώστε να βρίσκονται σε δύο ξεχωριστές περιοχές. Ένας προφανής τρόπος για τη διάκριση του αντικειμένου από το φόντο, είναι η επιλογή μίας τιμής κατωφλίου T η οποία να ξεχωρίζει αυτές τις δύο περιοχές. Κάθε σημείο (x,y) για το οποίο $f(x,y) < T$ θεωρείται μέρος του αντικειμένου. Διαφορετικά το σημείο ανήκει στο φόντο.

Το Σχήμα 3.2β παρουσιάζει μία πιο γενική περίπτωση αυτής της μεθόδου. Σ' αυτή την περίπτωση τρεις διακριτές περιοχές χαρακτηρίζουν το ιστόγραμμα (για παράδειγμα δύο τύποι φωτεινών αντικειμένων σε μαύρο φόντο). Η ίδια διαδικασία κατατάσσει ένα σημείο (x,y) ως στοιχείο του ενός αντικειμένου αν $T1 < f(x,y) < T2$, ως στοιχείο του άλλου αντικειμένου αν $f(x,y) < T1$ και ως στοιχείο του φόντου αν $f(x,y) > T2$.

Βασιζόμενοι στην παραπάνω μεθοδολογία, η διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding) μπορεί να θεωρηθεί ως μία διαδικασία η οποία περιέχει ελέγχους μέσω μίας συνάρτησης της μορφής

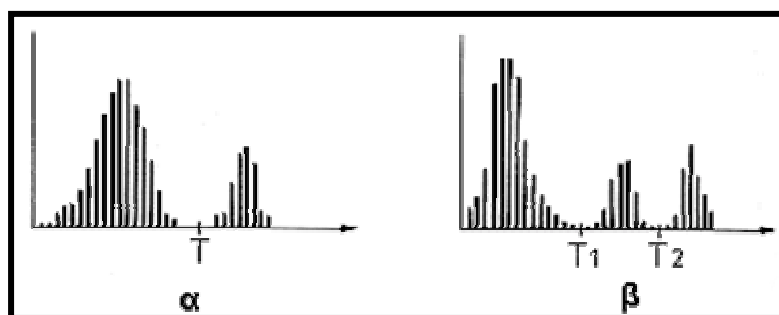
$$T = T[x,y,p(x,y),f(x,y)]$$

όπου $f(x,y)$ είναι η τιμή γκρίζου για το σημείο (x,y) και $p(x,y)$ αντιπροσωπεύει κάποιο τοπικό χαρακτηριστικό του σημείου. Η τελική εικόνα $g(x,y)$ που αποκτάται με τη διαδικασία thresholding, ορίζεται ως

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{αν } f(x,y) > T \\ 0, & \text{αν } f(x,y) < T \end{cases}$$

Τα εικονοστοιχεία που έχουν τιμή 1 αντιστοιχούν στο φόντο, ενώ αυτά που έχουν τιμή 0 αντιστοιχούν στο αντικείμενο. Όταν το T εξαρτάται μόνο από την $f(x,y)$ τότε η διαδικασία ονομάζεται ολική. Εάν η $f(x,y)$ εξαρτάται από τις χωρικές συντεταγμένες x και y η διαδικασία χαρακτηρίζεται δυναμική.

Για την συγκεκριμένη εφαρμογή, η διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας πραγματοποιείται με τη βοήθεια του προγράμματος AIM. Η διαδικασία περιγράφεται στην Ενότητα 3.4.5.



Σχήμα 3.2: Η διαδικασία thresholding.

3.3.3 Ορισμός φίλτρων

3.3.3.1 Χωρικές μέθοδοι επεξεργασίας (spatial domain methods)

Ο όρος “χωρικός” αναφέρεται στο σύνολο των εικονοστοιχείων που αποτελούν μία εικόνα και οι μέθοδοι χωρικής επεξεργασίας είναι διαδικασίες που ενεργούν άμεσα πάνω στα εικονοστοιχεία αυτά. Οι συναρτήσεις επεξεργασίας εικόνας μπορούν να συμβολισθούν ως

$$g(x,y)=T[f(x,y)]$$

όπου $f(x,y)$ είναι η αρχική εικόνα, $g(x,y)$ είναι η επεξεργασμένη εικόνα και T είναι ο επεξεργαστής της f οριζόμενος σε έναν γειτονικό χώρο του σημείου (x,y) (neighborhood).

Η βασική αρχή για να οριστεί ο γειτονικός χώρος (neighborhood) του στοιχείου (x,y) είναι η χρησιμοποίηση ενός τετραγώνου με κέντρο το στοιχείο αυτό. Το κέντρο του τετραγώνου μετακινείται από εικονοστοιχείο σε εικονοστοιχείο και εφαρμόζεται η επεξεργασία σε κάθε υποπεριοχή. Έτσι αντικαθιστάται η τιμή του κέντρου (x,y) από τη νέα τιμή g της επεξεργασμένης εικόνας. Αν και χρησιμοποιούνται και άλλα σχήματα για τον

καθορισμό του γειτονικού χώρου (για παράδειγμα κύκλοι), ωστόσο τα τετράγωνα είναι οι πιο συνηθισμένες μορφές λόγω της εύκολης χρήσης τους.

Η πιο απλή μορφή του επεξεργαστή T παρατηρείται όταν ο γειτονικός χώρος είναι 1×1 . Σ' αυτή την περίπτωση, η τιμή g εξαρτάται μόνο από την τιμή της αρχικής εικόνας f στο σημείο (x,y) και ο T μετασχηματίζεται σε μία συνάρτηση μετασχηματισμού γκριζου επιπέδου (gray-level transformation function) της μορφής

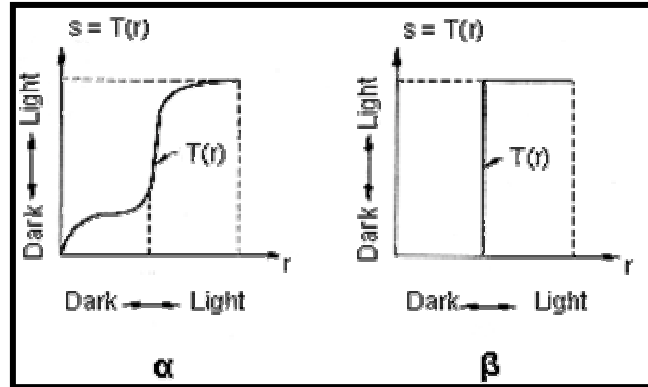
$$s=T(r)$$

όπου για απλούστευση στον συμβολισμό τα r, s είναι μεταβλητές που συμβολίζουν τα επίπεδα γκριζου των $f(x,y)$ και $g(x,y)$ σε κάθε σημείο (x,y) . Για παράδειγμα, αν η $T(r)$ έχει τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 3.3α το αποτέλεσμα της επεξεργασίας είναι η παραγωγή μίας εικόνας με καλύτερο διαχωρισμό αντικειμένου-φόντου. Αυτό επιτυγχάνεται μειώνοντας τα επίπεδα γκριζου κάτω από την τιμή m και αυξάνοντας τη φωτεινότητα για τιμές πάνω του m , στην αρχική εικόνα. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή σαν contrast stretching. Οι τιμές r που είναι μικρότερες από το m συγκεντρώνονται από την συνάρτηση μετασχηματισμού σε μία περιοχή γύρω από το μαύρο. Το αντίθετο συμβαίνει για εκείνες τις τιμές που είναι μεγαλύτερες του m . Στην περίπτωση του Σχήματος 3.3β η $T(r)$ παράγει μία εικόνα δύο επιπέδων (δίτιμη). Λόγω του ότι η επεξεργασία κάθε στοιχείου της εικόνας εξαρτάται μόνο από το επίπεδο γκριζου σ' αυτό το σημείο, οι επεξεργασίες αυτής της κατηγορίας συχνά αναφέρονται ως διαδικασίες σημείου (point processing).

Η χρήση μεγαλύτερων γειτονικών χώρων επιτρέπει την ανάπτυξη περισσότερων συναρτήσεων επεξεργασίας. Ανεξάρτητα από την επιμέρους εφαρμογή, η γενική τεχνική που ακολουθείται είναι οι τιμές της f σε μία προκαθορισμένη γειτονική περιοχή του (x,y) , να καθορίζουν την τιμή της g στο (x,y) . Αυτή η αρχή εφαρμόζεται στη χρήση των αποκαλούμενων масκών (επίσης αναφέρονται και ως πίνακες, παράθυρα ή φίλτρα). Η μάσκα είναι ένα μικρό δισδιάστατο διάνυσμα. Οι τιμές των μεταβλητών της καθορίζουν τη φύση της διαδικασίας που θα εκτελεί. Παράδειγμα τέτοιων εφαρμογών είναι τα φίλτρα απομάκρυνσης θορύβου, τόνωσης ακμών κ.τ.λ.

3.3.3.2 Χωρικό φιλτράρισμα (spatial filtering)

Η χρήση χωρικών масκών (spatial masks) για επεξεργασία εικόνας ονομάζεται χωρικό φιλτράρισμα (spatial filtering) και οι μάσκες χωρικά φίλτρα (spatial filters).



Σχήμα 3.3: Παραδείγματα επεξεργασίας.

Σ'αυτήν την ενότητα θα αναπτυχθούν τα γραμμικά χωρικά φίλτρα επεξεργασίας εικόνας (linear spatial filters). Τα φίλτρα αυτής της κατηγορίας ενεργούν άμεσα στην τιμή των εικονοστοιχείων της περιοχής στην οποία εφαρμόζονται.

Έστω $g(x,y)$ είναι μία εικόνα που προήλθε από την συνέλιξη της εικόνας $f(x,y)$ και ενός γραμμικού επεξεργαστή $h(x,y)$ οπότε

$$g(x,y)=h(x,y)*f(x,y)$$

Από την θεωρία της συνέλιξης ισχύει ότι

$$G(u,v)=H(u,v)F(u,v)$$

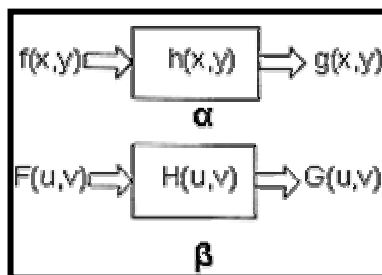
όπου G , H και F είναι οι μετασχηματισμοί Fourier των g , h και f αντίστοιχα. Στον τομέα των γραμμικών συστημάτων η $H(u,v)$ ονομάζεται συνάρτηση μεταφοράς. Στην οπτική η $H(u,v)$ αποκαλείται οπτική συνάρτηση μεταφοράς (optical transfer function).

Σε μία τυπική διαδικασία επεξεργασίας η αρχική εικόνα $f(x,y)$ είναι δεδομένη και αντικειμενικός σκοπός είναι, μετά τον υπολογισμό της $F(u,v)$, να επιλεγεί η $H(u,v)$ ώστε η επιθυμητή εικόνα

$$G(x,y)=F^{-1}[H(u,v)F(u,v)]$$

να έχει ενισχυμένα κάποια χαρακτηριστικά της $f(x,y)$. Για παράδειγμα οι ακμές της $f(x,y)$ μπορεί να γίνουν εντονότερες χρησιμοποιώντας μία συνάρτηση $H(u,v)$ που τονώνει τα στοιχεία υψηλής συχνότητας της $F(u,v)$.

Το σχήμα 3.4 απεικονίζει ένα σύστημα του οποίου η συνάρτηση παράγει μία εικόνα $g(x,y)$ από την εικόνα εισόδου $f(x,y)$. Το σύστημα εκτελεί συνέλιξη της $h(x,y)$ με την εικόνα εισόδου και εξάγει το αποτέλεσμα. Ο ίδιος στόχος μπορεί να επιτευχθεί με τον πολλαπλασιασμό της $F(u,v)$ με την $H(u,v)$ οπότε προκύπτει η $G(u,v)$. Παίρνοντας έπειτα τον αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier του αποτελέσματος αποκτάται η επιθυμητή εικόνα.



Σχήμα 3.4: Σύστημα Επεξεργασίας.

Έστω ότι το σύστημα τροφοδοτείται από μία συνάρτηση παλμού (impulse function). Ο μετασχηματισμός Fourier ενός παλμού ισούται με την μονάδα, οπότε από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι $G(u,v)=H(u,v)$. Ο αντίστροφος μετασχηματισμός της εξόδου $G(u,v)$ είναι τότε η $h(x,y)$. Αυτό το αποτέλεσμα οδηγεί στην παρακάτω διαπίστωση. Ένα γραμμικό σύστημα ορίζεται επακριβώς από την κρουστική του απόκριση, δηλαδή την απόκρισή του σε έναν παλμό.

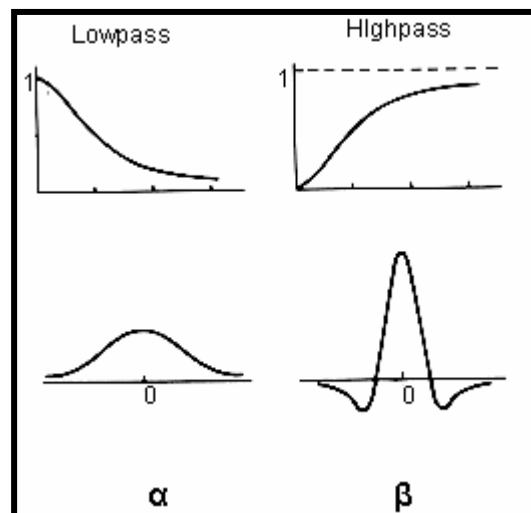
Όταν ένας μετασχηματισμός Fourier ενός παλμού τροφοδοτηθεί στο σύστημα η έξοδος του είναι η συνάρτηση μετασχηματισμού του $H(u,v)$. Εναλλακτικά, τροφοδοτώντας τον παλμό στο σύστημα η έξοδος είναι η $h(x,y)$. Για αυτό το λόγο ο αντίστροφος μετασχηματισμός της συνάρτησης μετασχηματισμού $H(u,v)$ του συστήματος καλείται κρουστική απόκριση (impulse response) στην ορολογία των γραμμικών συστημάτων. Στην οπτική η $h(x,y)$, η αντίστροφη της οπτικής συνάρτησης μετασχηματισμού, ονομάζεται point spread function. Η οπτική συνάρτηση μετασχηματισμού και η point spread function ενός γραμμικού συστήματος είναι οι αντίστροφοι μετασχηματισμοί Fourier η μία της άλλης. Η $h(x,y)$ αποκαλείται μάσκα χωρικής συνέλιξης (spatial convolution mask).

3.3.3.3 Ορισμός βαθυπερατών και υψιπερατών φίλτρων

Η λειτουργία των γραμμικών φίλτρων βασίζεται στα συμπεράσματα της προηγούμενης ενότητας. Τα λεγόμενα βαθυπερατά φίλτρα (lowpass filter) αποκόπτουν ή περιορίζουν τα στοιχεία υψηλών συχνοτήτων στο χώρο συχνοτήτων Fourier (Fourier domain), ενώ αφήνουν τα στοιχεία χαμηλών συχνοτήτων ανέπαφα (το φίλτρο αφήνει να 'περάσουν' χαμηλές συχνότητες). Τα στοιχεία υψηλής συχνότητας περιγράφουν τις ακμές και άλλα σχηματικά χαρακτηριστικά της εικόνας, οπότε το αποτέλεσμα της χρήσης βαθυπερατού φίλτρου είναι το θόλωμα αυτών των στοιχείων.

Εξάλλου τα υψιπερατά φίλτρα (highpass filters) αποκόπτουν ή περιορίζουν τα στοιχεία χαμηλών συχνοτήτων. Επειδή αυτά τα στοιχεία επηρεάζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εικόνας, όπως το γενικό κοντράστ ή η μέση φωτεινότητα, το αποτέλεσμα της χρήσης υψιπερατών φίλτρων είναι η βελτίωση αυτών των μεγεθών.

Το σχήμα 3.5 παρουσιάζει τα υψιπερατά και βαθυπερατά φίλτρα στο πεδίο συχνοτήτων και τα αντίστοιχα χωρικά φίλτρα. Στην πρώτη σειρά, ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην συχνότητα, ενώ στην κάτω σειρά παρουσιάζεται η μορφή των μεταβλητών του αντίστοιχου χωρικού φίλτρου. Τα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται ως βάση στην δημιουργία των γραμμικών χωρικών φίλτρων επεξεργασίας.



Σχήμα 3.5: Ορισμός των α)βαθυπερατών β)υψιπερατών φίλτρων.

Για κάθε γραμμικό φίλτρο υπολογίζεται το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των μεταβλητών της μάσκας με τις τιμές των εικονοστοιχείων που βρίσκονται κάτω από αυτές,

στο συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας. Το Σχήμα 3.6 παρουσιάζει μία μάσκα 3x3. Συμβολίζοντας το επίπεδο γκρίζου κάθε εικονοστοιχείου που βρίσκεται κάτω από αυτή ως z_1, z_2, \dots, z_9 αντίστοιχα, το αποτέλεσμα της γραμμικής μάσκας είναι

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9$$

Αν το κέντρο της μάσκας είναι το σημείο (x, y) της εικόνας, τότε το επίπεδο γκρίζου του εικονοστοιχείου που βρίσκεται στο (x, y) αντικαθίσταται από την τιμή R . Έπειτα η μάσκα μετακινείται στο επόμενο εικονοστοιχείο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Αυτό συνεχίζεται μέχρις ότου τα εικονοστοιχεία να εξαντληθούν. Έτσι παράγεται μία νέα εικόνα με διαφορετικές τιμές γκρίζου από την αρχική.

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Σχήμα 3.6: Ορισμός 3x3 μάσκας.

3.3.3.4 Φίλτρα θόλωσης

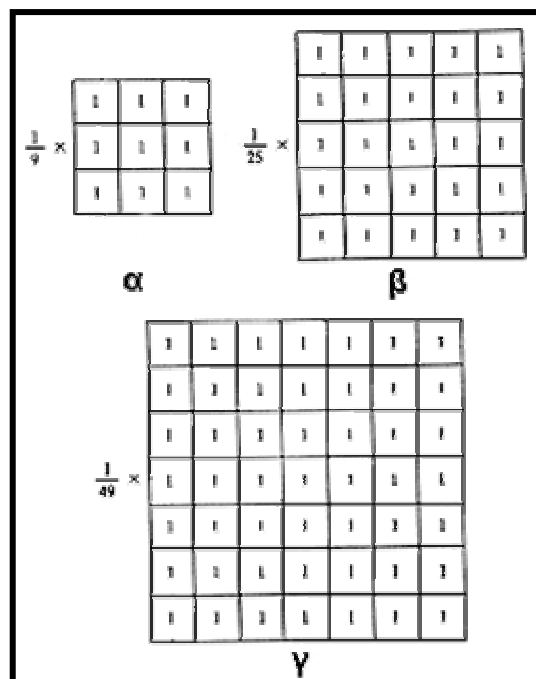
Τα φίλτρα αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται για τη θόλωση ή την απομάκρυνση θορύβου από μία εικόνα. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζονται γραμμικά και μη γραμμικά φίλτρα. Χαρακτηριστικές κατηγορίες τέτοιων φίλτρων είναι τα βαθυπερατά φίλτρα και τα φίλτρα μεσαίων συχνοτήτων.

3.3.3.4.1 Βαθυπερατά φίλτρα (lowpass filters)

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3.7 τα φίλτρα αυτής της κατηγορίας πρέπει να έχουν όλους τους συντελεστές τους θετικούς. Για τάξη μεγέθους 3x3 η πιο απλή μορφή είναι εκείνη στην οποία οι συντελεστές έχουν τιμή ίση με τη μονάδα. Σ' αυτήν την περίπτωση το αποτέλεσμα της μάσκας είναι το άθροισμα των τιμών γκρίζου επιπέδου των εικονοστοιχείων που βρίσκονται στην περιοχή. Το αποτέλεσμα θα αντικαταστήσει την τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου. Επομένως το R θα πρέπει να έχει τιμή στο επιτρεπτό διάστημα τιμών

γκρίζου επιπέδου. Για να επιτευχθεί αυτό, το R διαιρείται με το εννέα. Το Σχήμα 3.7α παρουσιάζει την τελική μορφή της μάσκας.

Μάσκες μεγαλύτερης τάξης μπορούν να δημιουργηθούν με την ίδια διαδικασία. Παραδείγματα τάξης 5x5 και 7x7 απεικονίζονται στα Σχήματα 3.7β και 3.7γ. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, το αποτέλεσμα ισούται με το μέσο όρο των τιμών γκρίζου επιπέδου, για όλα τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται κάτω από την μάσκα. Έτσι για περιοχές με μικρές διαφορές στη φωτεινότητα των εικονοστοιχείων το αποτέλεσμα της μάσκας θα είναι πολύ μικρό. Ο θόρυβος αποτελείται από στοιχεία που παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση στην τιμή φωτεινότητάς τους από τα γειτονικά. Σε αυτά τα σημεία η μάσκα αντιστοιχεί τη μέση τιμή φωτεινότητας. Ο βαθμός θόλωσης που παρατηρείται κατά τη διαδικασία, εξαρτάται από την τάξη της μάσκας που θα χρησιμοποιηθεί. Αυξάνοντας το μέγεθός της επιτυγχάνεται μεγαλύτερη θόλωση της εικόνας και των επιμέρους χαρακτηριστικών.



Σχήμα 3.7: Βαθυπερατή μάσκα α) 3x3 β) 5x5 γ) 7x7.

3.3.3.4.2 Φίλτρα μεσαίων τιμών (Median filters)

Το βασικό μειονέκτημα στη χρήση βαθυπερατών φίλτρων είναι η θόλωση των ακμών και άλλων σχηματικών χαρακτηριστικών της εικόνας. Αν αντικειμενικός στόχος της επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση θορύβου και όχι η θόλωση της εικόνας, τότε ως

εναλλακτική λύση χρησιμοποιούνται τα φίλτρα μεσαίων τιμών. Τα φίλτρα αυτά είναι μη γραμμικά.

Με αυτή την κατηγορία φίλτρων, η τιμή γκρίζου επιπέδου του κεντρικού εικονοστοιχείου αντικαθίσταται από την μεσαία τιμή των εικονοστοιχείων που καλύπτονται από την μάσκα. Η μεσαία τιμή m ενός συνόλου τιμών ορίζεται ως εκείνο το στοιχείο του, για το οποίο τα μισά του στοιχεία έχουν τιμή μεγαλύτερη του m και τα υπόλοιπα μικρότερη του m .

Για να κατασκευαστεί η μάσκα πρέπει οι τιμές γκρίζου επιπέδου των εικονοστοιχείων να ταξινομηθούν. Έπειτα αφού βρεθεί η μεσαία τιμή για τον γειτονικό χώρο του εικονοστοιχείου, αντικαθιστάται η τιμή γκρίζου επιπέδου του από αυτήν. Για παράδειγμα, σε μία περιοχή τάξης 3×3 η μεσαία τιμή είναι το πέμπτο μεγαλύτερο στοιχείο, για τάξη 5×5 το δέκατο τρίτο στοιχείο κ.ο.κ. Αν για παράδειγμα, οι τιμές γκρίζου επιπέδου για μία περιοχή τάξεως 3×3 είναι οι (10, 20, 20, 20, 15, 20, 20, 25, 100), τότε το σύνολο αυτό ταξινομείται και παίρνει τη μορφή (10, 15, 20, 20, 20, 20, 20, 25, 100), οπότε η μεσαία τιμή ισούται με 20. Με την ίδια λογική προσδιορίζεται κάθε φορά η ζητούμενη τιμή.

Η βασική λειτουργία των φίλτρων μεσαίων τιμών είναι να τροφοδοτούν τα στοιχεία με φωτεινότητα που πλησιάζει τη φωτεινότητα των γειτονικών τους. Έτσι στα στοιχεία του θορύβου, τα οποία έχουν μεγάλη διαφορά στην τιμή τους από τα γειτονικά, τοποθετείται μία νέα τιμή που προσεγγίζει αυτή των υπολοίπων. Το βασικό πλεονέκτημα των Median Filters είναι η απομάκρυνση του θορύβου, δίχως το πρόβλημα θόλωσης που παρουσιάζεται με τη χρήση των βαθυπερατών φίλτρων.

3.3.3.5 Φίλτρα τόνωσης χαρακτηριστικών

Ο αντικειμενικός στόχος αυτών των φίλτρων είναι η αποθόλωση της εικόνας και η καλύτερη εμφάνιση των ακμών και άλλων σχηματικών χαρακτηριστικών της.

3.3.3.5.1 Υψιπερατά φίλτρα (highpass filters)

Το Σχήμα 3.5β καθορίζει τη μορφή που θα πρέπει να έχουν οι συντελεστές ενός υψιπερατού φίλτρου. Κοντά στο κεντρικό στοιχείο οι συντελεστές πρέπει να έχουν θετικό πρόσημο, ενώ στην εξωτερική περιφέρεια αρνητικό. Για μάσκα τάξης 3×3 το κεντρικό στοιχείο έχει θετική τιμή ενώ οι υπόλοιποι συντελεστές είναι αρνητικοί.

Το Σχήμα 3.8 παρουσιάζει την κλασσική μορφή μίας 3x3 υψιπερατής μάσκας. Το άθροισμα όλων των συντελεστών ισούται με το μηδέν. Επομένως όταν η μάσκα βρίσκεται πάνω σε περιοχή με σταθερές ή με ελαφρώς διαφορετικές τιμές γκριζου επιπέδου, το αποτέλεσμα της είναι μηδέν ή πολύ μικρό. Αυτό το γεγονός συμφωνεί απόλυτα με το σκοπό χρησιμοποίησής της. Στις γραμμές και τα άλλα χαρακτηριστικά του αντικειμένου, παρατηρείται απότομη αύξηση της φωτεινότητας των στοιχείων. Σε αυτές τις περιοχές το αποτέλεσμα της μάσκας είναι αισθητό. Προκαλεί την τόνωση των στοιχείων αυτών ενώ ταυτόχρονα αποκτάται ένα πιο σκοτεινό φόντο. Αντίθετα σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν ακμές, τα εικονοστοιχεία έχουν παραπλήσιες τιμές με αποτέλεσμα η μάσκα να τα αφήνει σχεδόν ανέπαφα.

Όπως και στην περίπτωση των βαθυπερατών φίλτρων, το αποτέλεσμα θα πρέπει να έχει επιτρεπτή τιμή μέσα στο διάστημα τιμών γκριζου επιπέδου. Για το λόγο αυτό διαιρείται με το εννέα, για τη διόρθωση της τελικής του τιμής.

	-1	-1	-1
1/9 x	-1	8	-1
	-1	-1	-1

Σχήμα 3.8: Υψηπερατή 3x3 μάσκα.

3.3.3.5.2 High-boost filtering

Μία εικόνα που προήλθε από την χρήση υψιπερατών φίλτρων μπορεί να θεωρηθεί ως η διαφορά μεταξύ της αρχικής εικόνας και αυτής που αποκτάται με τη χρήση βαθυπερατού φίλτρου. Δηλαδή

$$\text{Highpass} = \text{Original} - \text{Lowpass}$$

Πολλαπλασιάζοντας την αρχική εικόνα με έναν συντελεστή A ορίζεται η διαδικασία High-boost filtering.

$$\begin{aligned} \text{High boost} &= (A)(\text{Original}) - \text{Lowpass} \\ &= (A-1)(\text{Original}) + \text{Original} - \text{Lowpass} \\ &= (A-1)(\text{Original}) + \text{Highpass} \end{aligned}$$

Αν $A=1$ τότε το αποτέλεσμα είναι το ίδιο με τη χρήση υπερπαρατού φίλτρου. Αν $A>1$ τότε ένα μέρος της αρχικής εικόνας προστίθεται στο αποτέλεσμα της υπερπαρατής μάσκας, με αποτέλεσμα να διατηρηθούν ορισμένα στοιχεία χαμηλών συχνοτήτων που διαφορετικά θα εξαφανίζονταν. Αυτό έχει σαν συνέπεια η τελική εικόνα να προσεγγίζει περισσότερο την αρχική μορφή, με ταυτόχρονη τόνωση των ακμών του αντικειμένου. Η 3×3 μάσκα που χρησιμοποιείται σ' αυτήν τη διαδικασία προκύπτει αν ο κεντρικός συντελεστής του Σχήματος 3.8, έχει την τιμή $w=9A-1$ με $A>1$. Η τιμή του A καθορίζει τη φύση του φίλτρου.

3.4 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Κατά την εκτέλεση της εφαρμογής λαμβάνεται η εικόνα της πινακίδας και έπειτα εκτελούνται όλες οι ακόλουθες επεξεργασίες ώσπου να αποκτηθεί ικανοποιητική μορφή για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Όπως αναλύθηκε στις προηγούμενες ενότητες, το AIM χρησιμοποιεί αρχεία για την αποθήκευση των πληροφοριών που απαιτούνται για την εκτέλεση των οπτικών επιθεωρήσεων που πραγματοποιεί. Τα αρχεία που διαμορφώνονται αρχικά, είναι το ονομαζόμενο αρχείο κάμερας (camera record) και το αρχείο της λαμβανόμενης εικόνας (picture record).

Στο αρχείο κάμερας ορίζεται η φυσική κάμερα που θα χρησιμοποιηθεί για τη λήψη της εικόνας καθώς και πληροφορίες για τη βαθμονόμησή της. Η βαθμονόμηση περιγράφεται από το αντίστοιχο αρχείο βαθμονόμησης. Το αρχείο εικόνας (picture record) καθορίζει τις παραμέτρους του κοντράστ κατά τη λήψη. Η μορφή τους αναλύεται στις αμέσως επόμενες ενότητες.

3.4.1 Αρχείο κάμερας (camera record)

Όπως προαναφέρθηκε, τα αρχεία αυτού του τύπου καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της κάμερας που χρησιμοποιείται για τη λήψη της εικόνας. Όλα τα αρχεία εικόνας (picture record) απαιτούν την δημιουργία αντίστοιχου αρχείου κάμερας. Για τη δημιουργία του αρχείου, από το μενού του προγράμματος επιλέγονται τα Edit, Camera, Edit, New record. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή, το αρχείο που περιγράφει την κάμερα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.9.

Στην κορυφή της οθόνης αναγράφεται το όνομα του αρχείου (camera_1) και η ημερομηνία δημιουργίας του. Στο πεδίο Camera Specification επιλέγεται η φυσική κάμερα

που θα χρησιμοποιηθεί και ο τύπος της. Για την εφαρμογή επιλέχθηκε η φυσική κάμερα 1 με μοντέλο Normal (MF-602, MF-702, XC-77, MF-552, etc.). Με τα μεγέθη Full frame και Field only (half-rez) ορίζεται η ανάλυση της κάμερας. Η half-rez επιτυγχάνει μέγιστη ταχύτητα με επαρκή ανάλυση. Με την επιλογή αυτή βελτιώνεται σημαντικά ο χρόνος λήψης της εικόνας (χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπου ο χρόνος είναι σημαντικό στοιχείο).

The screenshot shows the 'Camera (exerc)' window with a menu bar (Go, Seek, Edit, Help) and a toolbar (Live Video, Snap a Picture). The main area contains the following sections:

- Header:** 'camera_1' and '23-Nov-98 10:27' are displayed. 'Vision System' has radio buttons for 1 (selected) and 2.
- Description:** A text box containing 'Normal camera, full frame acquisition'.
- Camera Specifications:**
 - 'Physical camera:' is set to '1'.
 - 'Camera model number:' is '0', with a 'Select' button.
 - A dropdown menu shows 'Normal (MF-602, MF-702, XC-77, MF-552, etc.)'.
 - 'Full frame' is selected with a radio button.
 - 'Field only (half-rez)' is an option.
 - 'Shutter Use' has 'Synchronous' and 'Asynchronous' checkboxes.
- Device/Conveyor:** Text boxes for 'Device:' and 'Conveyor:'.
- Camera mounted on link:** A checkbox, currently unchecked.
- Use perspective correction:** A checked checkbox.
- Calibration Results:**
 - 'Xscale:' is '0.3455'.
 - 'X/Y ratio:' is '1.0000'.
 - 'Yscale:' is '0.3455'.
 - 'Max error (w/o persp. corr.):' is '0.0000'.
 - A 'Perspective Transform' button is present.
 - Fields for 'To.cam:', 'Loc 1:', and 'Loc 2:' with sub-labels X, Y, Z, y, p, r.
- Usage Specifications:**
 - Text: 'When vision locations are converted into world coordinates, do you want the Z-axis of the location to be pointing TOWARDS the camera or AWAY from the camera?'.
 - Radio buttons for 'TOWARDS the camera (normal)' (selected) and 'AWAY from the camera'.
- Buttons:** 'Load ADVCAL File' and 'Store ADVCAL File' at the bottom.

Σχήμα 3.9: Αρχείο κάμερας (camera record).

Για κάμερα που συνεργάζεται με ρομπότ ορίζεται το όνομά του στο πεδίο (Device). Το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα χρήσης προοπτικής διόρθωσης (Use perspective correction). Αν η κάμερα δεν είναι τοποθετημένη παράλληλα ως προς την επιφάνεια του αντικειμένου που παρατηρείται, τότε η εικόνα παρουσιάζει προοπτική παραμόρφωση. Για

την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου επιλέγεται η χρήση του Use perspective correction. Στην περιοχή Calibration Results παρουσιάζεται η βαθμονόμηση της κάμερας. Η βαθμονόμηση συγκρίνει τη μονάδα μήκους στο οπτικό πεδίο (mm), με το μέγεθος του εικονοστοιχείου pixel (mm/pixel). Πραγματοποιείται με το αρχείο βαθμονόμησης (camera calibration record). Όλες οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται από το σύστημα, χρησιμοποιούν αυτή την αναλογία mm/pixel.

Τέλος, με τις επιλογές Load ADVCAL File και Store ADVCAL File είναι δυνατή η εισαγωγή ή εξαγωγή αρχείων βαθμονόμησης από τη μνήμη του συστήματος. Το αρχείο camera_1 που παρουσιάστηκε περιέχει όλα τα στοιχεία που ορίζουν επακριβώς τα χαρακτηριστικά της κάμερας που χρησιμοποιείται για την λήψη των εικόνων.

3.4.2 Αρχείο βαθμονόμησης (calibration record)

Τα στοιχεία βαθμονόμησης που παρουσιάζονται στο αρχείο κάμερας, διαμορφώθηκαν με τον ορισμό ενός νέου αρχείου. Το αρχείο αυτό ονομάζεται αρχείο βαθμονόμησης (calibration record) και περιγράφει αναλυτικά τη διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την εκτέλεση της βαθμονόμησης. Η μορφή του παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.10.

Στην κορυφή της οθόνης αναγράφεται το όνομα του αρχείου (cal) και το οπτικό σύστημα 1 που χρησιμοποιεί την κάμερα για την οποία πραγματοποιείται η βαθμονόμηση. Τα χαρακτηριστικά της κάμερας αυτής περιγράφονται από το αρχείο camera_1, ενώ το αρχείο εικόνας που συνεργάζεται μαζί της είναι το picture_1. Από την περιοχή Target specification επιλέγεται η μορφή του εργαλείου που θα χρησιμοποιηθεί για τη βαθμονόμηση. Οι δυνατές επιλογές είναι οι:

- Adept Calibration Sheet (nested squares). Το εργαλείο έχει τη μορφή εσωτερικών τετραγώνων.
- Square of known dimension. Το εργαλείο έχει τη μορφή ενός τετραγώνου. Το μέγεθος του διαμορφώνεται έτσι ώστε να περιέχει ένα αντικείμενο τετραγωνικής μορφής με γνωστές διαστάσεις.
- Circle of known dimension. Όμοια διαδικασία με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι το εργαλείο είναι ένας κύκλος.

- Solid bar of known width. Με το εργαλείο αυτό ορίζεται η απόσταση μεταξύ δύο ακμών και το τελικό αποτέλεσμα χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση. Στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε αυτή η επιλογή. Με το εργαλείο υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ των δύο πλάγιων ορίων της πινακίδας. Δίνοντας στο μέγεθος αυτό συγκεκριμένη τιμή εκτελείται η διαδικασία βαθμονόμησης.
- Specify mm/pixel. Αν είναι γνωστή η αντιστοιχία mm ανά pixel που θα έχει η τελική εικόνα, τότε χρησιμοποιείται αυτή η επιλογή. Δεν χρειάζεται η διαμόρφωση κανενός εργαλείου.

Σχήμα 3.10: Αρχείο Βαθμονόμησης.

Στο ζητούμενο Known Dimension δηλώνεται η γνωστή διάσταση. Επίσης ορίζεται το χρώμα του αντικειμένου (object color) καθώς και η παράμετρος Edge strength που χρησιμοποιείται για την εύρεση των ακμών. Η παράμετρος αυτή εκφράζει τη διαφορά φωτεινότητας που πρέπει να υπάρξει για τον προσδιορισμό γραμμής. Αν σε μία περιοχή παρατηρηθεί μεταβολή με τιμή υψηλότερη του Edge strength, τότε στη συγκεκριμένη περιοχή ανιχνεύεται ακμή.

Για να γίνει η απόσταση μεταξύ των ακμών ίση με την επιθυμητή τιμή εκτελείται η διαδικασία βαθμονόμησης. Δηλαδή επανακαθορίζεται η αντιστοιχία mm ανά pixel. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στα Calibration Results. Το νέο κλάσμα mm/pixel ισούται με 0.3455, αντί της αρχικής τιμής 1. Η νέα αυτή αντιστοιχία χρησιμοποιείται από όλα τα οπτικά εργαλεία που συνεργάζονται με το αρχείο εικόνας picture_1. Τα μοντέλα πρωτοτύπου, οι γραμματοσειρές και οι διάφορες μετρήσεις που πραγματοποιούνται χρησιμοποιούν αυτή την αντιστοιχία mm/pixel.

3.4.3 Αρχείο εικόνας (picture record)

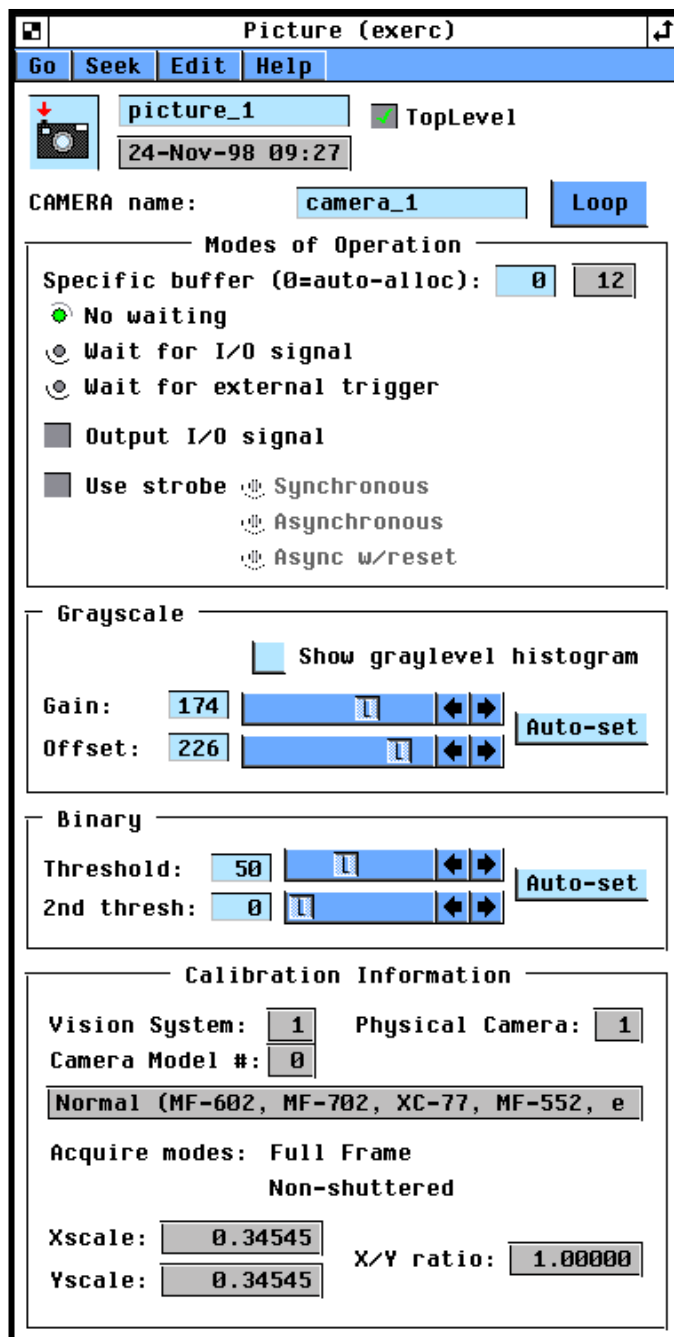
Μετά την εκτέλεση της βαθμονόμησης και τον ορισμό της κάμερας, πρέπει να καθορισθούν οι παράμετροι της αντίθεσης και της φωτεινότητας της λαμβανόμενης εικόνας. Αυτοί ορίζονται στο αρχείο εικόνας picture_1 το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα3.11.

Όποτε χρησιμοποιείται το αρχείο picture_1 για τη λήψη νέας εικόνας, τα χαρακτηριστικά της κάμερας είναι αυτά που περιγράφονται από το αρχείο camera_1. Τα στοιχεία της παρουσιάζονται στο κάτω μέρος της οθόνης στην περιοχή Calibration Information.

Στην περιοχή Modes of Operation καθορίζεται ο τρόπος λήψης της εικόνας. Η λήψη μπορεί να πραγματοποιείται αυτόματα με την επιλογή No waiting. Σε πολλές εφαρμογές είναι αναγκαίο το σύστημα να περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα πριν προχωρήσει στη λήψη της εικόνας. Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα αυτή με τις επιλογές Wait for I/O signal και Wait for external trigger. Για το συγκεκριμένο πρόγραμμα εφαρμόστηκε η τεχνική No waiting.

Μέσα από το αρχείο εικόνας καθορίζονται και οι τιμές των παραμέτρων offset και gain που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη λήψη. Η διαμόρφωση αυτών των τιμών γίνεται με την

επεξεργασία του ιστογράμματος της εικόνας. Όπως προαναφέρθηκε, η μορφή του ιστογράμματος μίας εικόνας παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της. Αν οι τιμές των εικονοστοιχείων συγκεντρώνονται στην περιοχή χαμηλών τιμών (αριστερό τμήμα του διαστήματος), τότε αυτή έχει περιορισμένη φωτεινότητα. Το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση συκέντρωσης στην περιοχή υψηλών τιμών, οπότε η εικόνα είναι υπερβολικά φωτεινή.



Σχήμα 3.11: Αρχείο Εικόνας (picture record).

Άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο είναι η διασπορά των τιμών. Αν όλα τα εικονοστοιχεία συγκεντρώνονται σε μία μικρή περιοχή του διαστήματος φωτεινότητας, η εικόνα έχει χαμηλές αντιθέσεις. Τα εικονοστοιχεία του αντικειμένου με αυτά του φόντου έχουν παραπλήσιες τιμές και επομένως είναι δύσκολος ο διαχωρισμός τους. Αντίθετα αν το ιστόγραμμα έχει μεγάλη διασπορά, τα εικονοστοιχεία έχουν μεγάλο εύρος τιμών και η διάκριση αντικειμένου-φόντου είναι ευκολότερη.

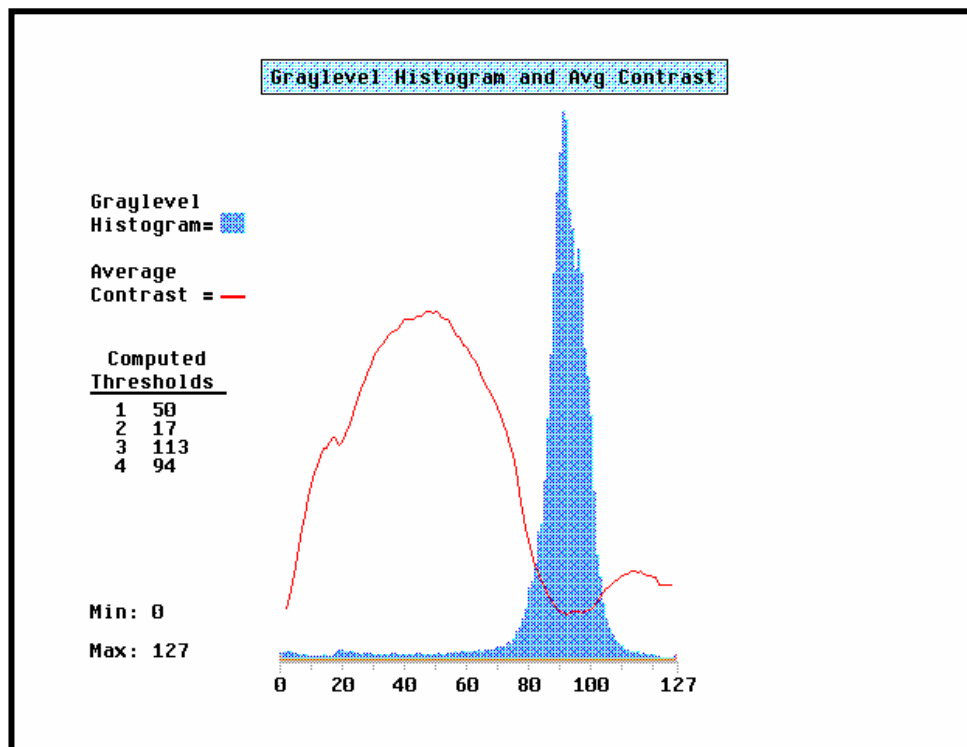
Για την διόρθωση της μορφής του ιστογράμματος χρησιμοποιούνται οι παράμετροι offset και gain. Με την αύξηση της τιμής offset επιτυγχάνεται η μετατόπιση των στοιχείων του προς τα δεξιά, δηλαδή η εικόνα αποκτά μεγαλύτερη φωτεινότητα. Αντίθετα, με τη μείωση της τιμής offset το ιστόγραμμα μετατοπίζεται προς τα αριστερά. Η παράμετρος gain επηρεάζει τη διασπορά. Με την αύξηση της τιμής η διασπορά μεγαλώνει και επομένως τα εικονοστοιχεία παίρνουν ένα μεγαλύτερο εύρος τιμών. Αυτό βελτιώνει τη διάκριση των εικονοστοιχείων μεταξύ τους και η τελική εικόνα αποκτά βελτιωμένο κοντράστ.

Με την επιλογή Auto-set το σύστημα υπολογίζει το ιστόγραμμα της εικόνας. Ανάλογα με τη μορφή του, επιλέγει τις κατάλληλες τιμές ώστε το τελικό ιστόγραμμα να αποκτήσει μικρότερη ή μεγαλύτερη διασπορά, ή να μετατοπιστεί προς μία κατεύθυνση. Έτσι αποκτάται μία εικόνα με μικρότερη ή μεγαλύτερη φωτεινότητα από την αρχική και με βελτιωμένο κοντράστ.

Η διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί αυτόματα από το αρχείο εικόνας (picture record) . Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα υπολογίζει το ιστόγραμμα και επιλέγει τη βέλτιστη τιμή κατωφλίου. Η βέλτιστη αυτή τιμή επιτυγχάνεται υπολογίζοντας το μέσο κοντράστ της εικόνας, που παράγεται από κάθε κατώφλι. Το μέσο κοντράστ για κάθε δυνατό κατώφλι (0 έως 127) παριστάνεται από την κόκκινη καμπύλη πάνω από το ιστόγραμμα της εικόνας, το οποίο έχει χρώμα μπλε. Ένα τέτοιο παράδειγμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.12. Οι κορυφές της κόκκινης καμπύλης αντιστοιχούν σε καλές τιμές κατωφλίου (υψηλό κοντράστ). Από αυτές επιλέγεται η υψηλότερη για τον καθορισμό της βέλτιστης λύσης. Στο παράδειγμα η λύση που επιλέγεται με αυτή τη διαδικασία είναι η τιμή 50.

Με την συμπλήρωση του αρχείου εικόνας καθορίζονται όλοι εκείνοι οι παράγοντες που διαμορφώνουν τη μορφή της λαμβανόμενης εικόνας. Αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων και χρησιμοποιείται από τα διάφορα οπτικά εργαλεία για τη λήψη της εικόνας

πάνω στην οποία θα εφαρμοσθούν. Η αρχική μορφή της μπορεί να τύχει επιπλέον επεξεργασίας για επιπλέον βελτίωση. Οι επεξεργασίες αυτού του είδους πραγματοποιούνται με τη χρήση φίλτρων και άλλων οπτικών εργαλείων.



Σχήμα 3.12: Επιλογή βέλτιστου κατωφλίου threshold.

3.4.4 Image Processing Records (Αρχεία επεξεργασίας εικόνας)

Το AIM κάνει χρήση των αρχείων επεξεργασίας (Image Processing Records) για την διαμόρφωση της τελικής εικόνας. Τα αρχεία αυτά περιέχουν όλα τα χαρακτηριστικά της διαμορφούμενης επεξεργασίας, με σκοπό αυτή να αποθηκευτεί στη βάση δεδομένων για την επαναχρησιμοποίησή της στο άμεσο μέλλον. Τα μενού επεξεργασίας εικόνας επιτρέπουν την εκτέλεση διάφορων εργασιών σε αυτή. Η επεξεργασμένη εικόνα που προκύπτει από τη διαδικασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το σύστημα για την εκτέλεση νέων επιθεωρήσεων. Η οθόνη μέσω της οποίας διαμορφώνεται το αρχείο επεξεργασίας, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.13.

Στην κορυφή της αναγράφεται το όνομα του αρχείου που δημιουργείται και η ημερομηνία δημιουργίας ή τελευταίας μετατροπής που πραγματοποιήθηκε. Στην περιοχή Image Processing Operation επιλέγεται η διαδικασία που θα εκτελεστεί. Οι διαδικασίες που αναφέρονται επιδρούν άμεσα στη μορφή της εικόνας. Τα χαρακτηριστικά κάθε εργαλείου

που χρησιμοποιείται ορίζονται από το χρήστη μέσω των επιλογών που του παρέχει το σύστημα.

The screenshot shows a window titled "Image Processing (exerc)". It has a menu bar with "Go", "Seek", "Edit", and "Help". Below the menu bar, there is a status bar showing a disk icon, the filename "im.proc.rec2", a date and time "01-Dec-98 11:01", and a checkbox labeled "TopLevel" which is checked. The main area is divided into several sections:

- Image Processing Operation:** A list of radio buttons for selecting an operation:
 - ☐ Add two images
 - ☐ Subtract images (A-B)
 - ☒ Convolve
 - ☐ Morphological operation
 - ☐ Edge detection operator
 - ☐ Threshold image
 - ☐ Copy image to new buffer
- Processing Parameters:** A section for configuring the selected operation:
 - Convolution kernel:
 - Number of iterations:
 - Thresholds, 1st: 2nd:
 - Original IMAGE:
- Processing Area Specifications:** A section for specifying the area of interest (AOI):
 - ☐ Specify new AOI
 - ☒ Inherit AOI
- Virtual Frame Buffer Usage:** A section for specifying where to store the result:
 - Store result in: ☐ New frame buffer
 - ☒ Same buffer

Buffer numbers are 11, 21, etc., or use a value of 0 to indicate auto-allocation.

Actual frame buffer used for result:

Σχήμα 3.13: *Image processing record.*

Οι δυνατές επιλογές είναι οι :

- Add two images. Αυτή η διαδικασία προσθέτει δύο εικόνες γκριζας κλίμακας (grayscale images) ή δύο δίτιμες εικόνες (binary images).
- Subtract images (A-B). Αφαίρεση δύο binary ή grayscale εικόνων.

- Convolve. Συνέλιξη χωρικών φίλτρων. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν δύο διαδικασίες αυτού του τύπου. Μία συνέλιξη βαθυπερατού και μία υψιπερατού φίλτρου.
- Morphological operation. Οι μορφολογικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται στην εικόνα είναι διαστολή (dilation) και διάβρωση (erosion).
- Edge detection operator. Επιλογή της διαδικασίας εύρεσης ακμών με τη χρήση των κατάλληλων χωρικών φίλτρων. Χρησιμοποιούνται οι διαδικασίες Cross-gradient operator και Sobel edge operator.
- Threshold image. Με αυτή τη διαδικασία ορίζονται εκ νέου οι τιμές των κατωφλίων threshold για την απόκτηση μίας δίτιμης (binary) εικόνας.
- Copy image to new buffer. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την δημιουργία ενός ακριβούς αντιγράφου της εικόνας. Το νέο αντίγραφο αποθηκεύεται σε μία νέα μονάδα προσωρινής αποθήκευσης (buffer).

Ανάλογα με την επιλογή διαμορφώνεται και η αντίστοιχη περιοχή παραμέτρων Processing Parameters. Οι παράμετροι αυτοί καθορίζουν τον τρόπο που θα εκτελεστεί η επιλεγμένη διαδικασία. Για τη διαδικασία συνέλιξης φίλτρου η οθόνη έχει τη μορφή του σχήματος.

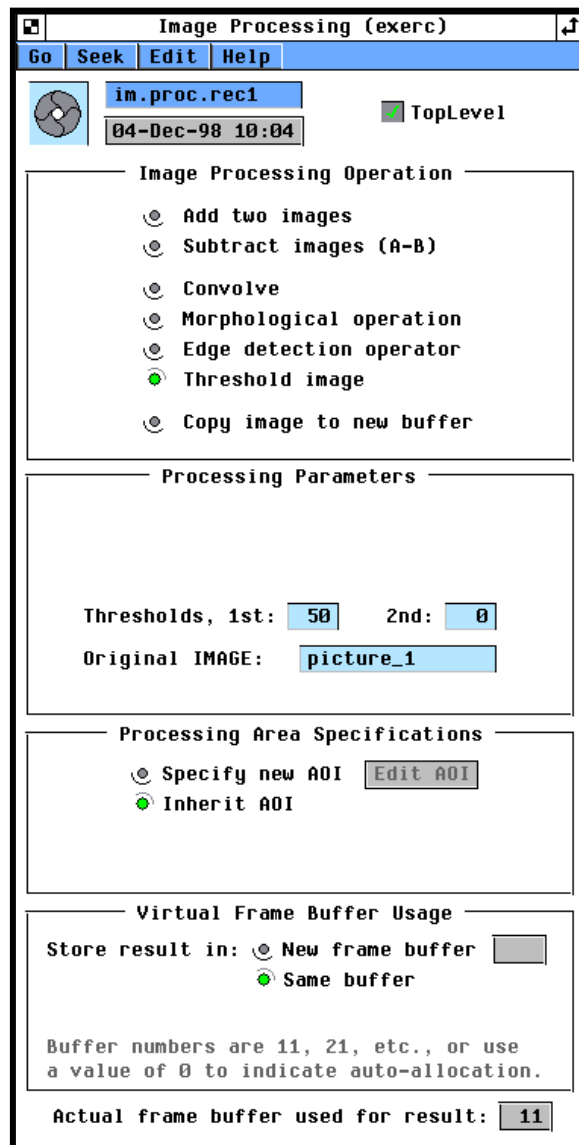
Στην πραγματικότητα με τη χρήση των αρχείων δηλώνονται στο σύστημα ποια εργαλεία θα χρησιμοποιηθούν για τη συγκεκριμένη επεξεργασία. Για διαδικασίες κατωφλίου γκρίζας κλίμακας ορίζονται οι τιμές των κατωφλίων, για συνέλιξη φίλτρων ορίζεται το είδος του φίλτρου που θα χρησιμοποιηθεί, για μορφολογική επεξεργασία το είδος της επεξεργασίας κ.ο.κ.

Για την συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν τρία αρχεία επεξεργασίας εικόνας. Μία για την απόκτηση δίτιμης εικόνας με την διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας, μία για τη συνέλιξη του βαθυπερατού φίλτρου μέσης τιμής (average lowpass-filtering) και μία για τη συνέλιξη υψιπερατού φίλτρου 3x3 (highpass-filtering) για την τόνωση των ακμών του αντικειμένου. Η παρουσίαση των αρχείων αυτών ακολουθεί στις αμέσως επόμενες ενότητες.

3.4.5 Διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας

Η διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας πραγματοποιείται είτε με την χρήση της επιλογής Auto-set threshold από το αρχείο εικόνας, είτε με την δημιουργία ενός νέου αρχείου επεξεργασίας που να εκτελεί τη διαδικασία αυτή. Όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα, με την επιλογή Auto-set το σύστημα υπολογίζει το ιστόγραμμα και επιλέγει έπειτα τη βέλτιστη τιμή για το κατώφλι γκρίζας κλίμακας.

Ωστόσο, η διαδικασία επιλογής κατωφλίου γκρίζας κλίμακας μπορεί να εκτελεστεί με τη δημιουργία ενός νέου αρχείου ειδικά για αυτή τη διαδικασία. Το αρχείο αυτό έχει τη μορφή του Σχήματος 3.14.



Σχήμα 3.14: Διαδικασία Thresholding.

Στην κορυφή αναγράφεται το όνομα του αρχείου (im.proc.rec.1). Από τις προτεινόμενες επιλογές επιλέγεται ως διαδικασία επεξεργασίας η διαδικασία κατωφλίου γκριζας κλίμακας. Μετά την επιλογή αυτή το σύστημα ζητάει δύο τιμές για τον καθορισμό των κατωφλίων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Αυτές οι τιμές αντιστοιχούν στο threshold 1st και 2nd. Όσα εικονοστοιχεία έχουν τιμή φωτεινότητας μεταξύ αυτών των δύο τιμών θεωρούνται μέρος του αντικειμένου, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ταξινομούνται στο φόντο της εικόνας.

Έτσι αποκτάται μία εικόνα με δύο τιμές φωτεινότητας (άσπρο-μαύρο) και γίνεται ευκολότερη η επεξεργασία της. Στην επιλογή Original IMAGE επιλέγεται η αρχική εικόνα που θα δεχθεί την επεξεργασία. Η εικόνα αυτή περιγράφεται από το αρχείο picture_1. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας τοποθετείται στην ίδια μονάδα προσωρινής αποθήκευσης (Same buffer). Η εικόνα που αποκτάται με τη διαδικασία thresholding, επεξεργάζεται εκ νέου με τη συνέλιξη ενός βαθυπερατού και ενός υψιπερατού φίλτρου. Το τελικό αποτέλεσμα χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των οπτικών εργαλείων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αναγνώρισης χαρακτήρων.

3.4.6 Χρήση συνέλιξης βαθυπερατού φίλτρου

Το σύστημα έχει αποθηκευμένες στη μνήμη διάφορες μορφές φίλτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια επεξεργασίας μίας εικόνας. Ωστόσο παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα δημιουργίας νέων χωρικών φίλτρων με την επιλογή των κατάλληλων συντελεστών της μάσκας. Σε κάθε αποθηκευμένο φίλτρο το σύστημα αντιστοιχεί έναν αριθμό, ώστε να είναι δυνατή η διάκρισή του από τα υπόλοιπα. Ο αριθμός αυτός μπορεί να πάρει τιμές στο διάστημα [1,32]. Οι τιμές 1 έως 17 συμβολίζουν τα ήδη υπάρχοντα φίλτρα, ενώ οι αριθμοί 17 έως 32 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ορισμό νέων μασκών.

Συνελίξεις τάξης μεγαλύτερης του 3x3 απαιτούν την ύπαρξη του AdeptVision Enhanced VME Interface. Όταν συνέλιξη τάξης μεγαλύτερης του 3x3 εκτελείται από ένα κοινό σύστημα, μόνο τα στοιχεία της κεντρικής περιοχής 3x3 χρησιμοποιούνται. Όλες οι συνέλιξεις θεωρούνται από το σύστημα μεγέθους 7x7. Κάθε όρος της μάσκας πολλαπλασιάζεται με την τιμή του εικονοστοιχείου που βρίσκεται κάτω από αυτόν και τα 49 αποτελέσματα προστίθενται. Το άθροισμα διαιρείται με το 128. Συνελίξεις μικρότερου μεγέθους (πχ 3x3) ορίζονται σε πίνακες 7x7 με τα επιλέον στοιχεία τους ίσα με το μηδέν. Τα

χαρακτηριστικά των μασκών που χρησιμοποιούνται για τη συνέλιξη καθορίζουν την επεξεργασία που πραγματοποιείται στην αρχική εικόνα.

Τα 16 φίλτρα που προϋπάρχουν ήδη στη μνήμη καθώς και οι αριθμοί που αντιστοιχούν σε αυτά είναι τα:

1: 3x3 flat average

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	14	14	14	0	0
0	0	14	14	14	0	0
0	0	14	14	14	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

2: 3x3 gaussian average

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	5	15	5	0	0
0	0	15	47	15	0	0
0	0	5	15	5	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

3: 3x3 vertical edge

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	-25	0	25	0	0
0	0	-75	0	75	0	0
0	0	-25	0	25	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

4: 3x3 horizontal edge

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	25	75	25	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	-25	-75	-25	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

5: 3x3 diagonal edge

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	30	48	0	0	0
0	0	48	0	-48	0	0
0	0	0	-48	-30	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

6: 3x3 diagonal edge

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	48	30	0	0
0	0	-48	0	48	0	0
0	0	-30	-48	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

7: 5x5 flat average

0	0	0	0	0	0	0
0	5	5	5	5	5	0
0	5	5	5	5	5	0
0	5	5	5	5	5	0
0	5	5	5	5	5	0
0	5	5	5	5	5	0
0	0	0	0	0	0	0

8: 5x5 gaussian average

0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	3	2	0	0
0	2	7	13	7	2	0
0	3	13	20	13	3	0
0	2	7	13	7	2	0
0	0	2	3	2	0	0
0	0	0	0	0	0	0

9: 7x7 vertical edge

0	-1	-1	0	1	1	0
-1	-4	-5	0	5	4	1
-4	-11	-13	0	13	11	4
-5	-14	-17	0	17	14	5
-4	-11	-13	0	13	11	4
-1	-4	-5	0	5	4	1
0	-1	-1	0	1	1	0

10: 7x7 horizontal edge

0	1	4	5	4	1	0
1	4	11	14	11	4	1
1	5	13	17	13	5	1
0	0	0	0	0	0	0
-1	-5	-13	-17	-13	-5	-1
-1	-4	-11	-14	-11	-4	-1
0	-1	-4	-5	-4	-1	0

11: 7x7 diagonal edge

0	2	3	3	1	0	0
2	6	11	10	3	0	0
3	11	17	11	0	-3	-1
3	10	11	0	-11	-10	-3
1	3	0	-11	-17	-11	-3
0	0	-3	-10	-11	-6	-2
0	0	-1	-3	-3	-2	0

12: 7x7 diagonal edge

0	0	1	3	3	2	0
0	0	3	10	11	6	2
-1	-3	0	11	17	11	3
-3	-10	-11	0	11	10	3
-3	-11	-17	-11	0	3	1
-2	-6	-11	-10	-3	0	0
0	-2	-3	-3	-1	0	0

13: 7x7 gaussian average

0	0	1	1	1	0	0
0	1	3	4	3	1	0
1	3	6	9	6	3	1
1	4	9	11	9	4	1
1	3	6	9	6	3	1
0	1	3	4	3	1	0
0	0	1	1	1	0	0

14: 7x7 Laplacian

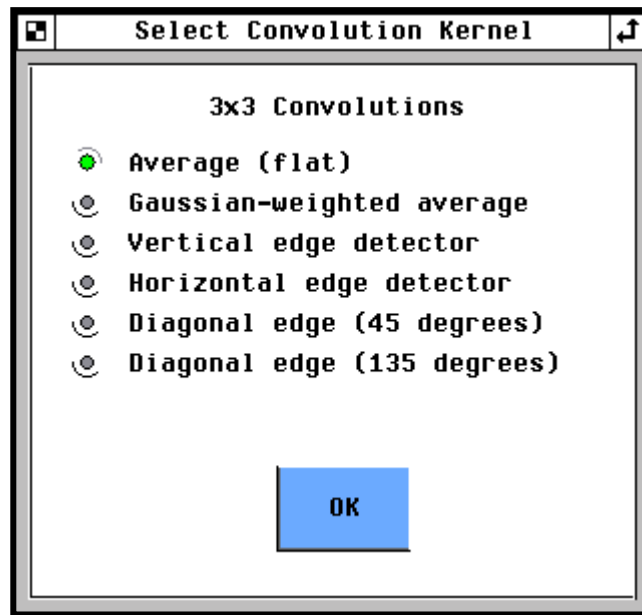
0	1	2	3	2	1	0
1	3	6	7	6	3	1
2	6	0	-17	0	6	2
3	7	-17	-59	-17	7	3
2	6	0	-17	0	6	2
1	3	6	7	6	3	1
0	1	2	3	2	1	0

15,16: Unity (reserved for future)

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	127	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το βαθυπερατό φίλτρο 3x3 flat average που αντιστοιχεί στον αριθμό 1. Η οθόνη που χρησιμοποιείται κατά τον ορισμό της συνέλιξης του βαθυπερατού φίλτρου παρουσιάστηκε στο Σχήμα 3.13.

Το όνομα του νέου αρχείου είναι im.proc.rec2, ενώ η εικόνα που δέχεται την επεξεργασία είναι αυτή που έχει διαμορφωθεί με την μέθοδο κατωφλίου γκρίζας κλίμακας im.proc.rec1. Η διαδικασία που επιλέγεται είναι η convolve και το φίλτρο που χρησιμοποιείται είναι το 1, δηλαδή το βαθυπερατό average. Η οθόνη που παρουσιάζεται με την επιλογή του πλήκτρου select φαίνεται στο Σχήμα 3.15. Μέσω αυτής είναι δυνατή η επιλογή της συνέλιξης που θα πραγματοποιηθεί, ανάλογα πάντα με το αποτέλεσμα που επιδιώκεται.



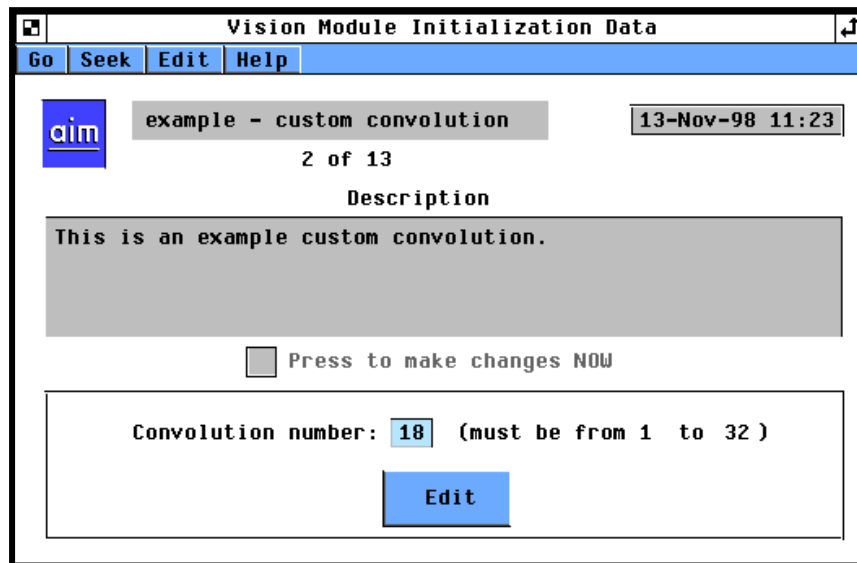
Σχήμα 3.15: Επιλογή τύπου συνέλιξης.

Στην επιλογή Number of iterations καθορίζεται ο αριθμός επαναλήψεων της διαδικασίας συνέλιξης, ενώ δίνεται και η δυνατότητα επαναπροσδιορισμού των κατωφλίων γκρίζου επιπέδου (threshold). Στο τελικό αποτέλεσμα γίνεται συνέλιξη ενός υψιπερατού φίλτρου με τη διαδικασία που περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

3.4.7 Χρήση συνέλιξης υψιπερατού φίλτρου

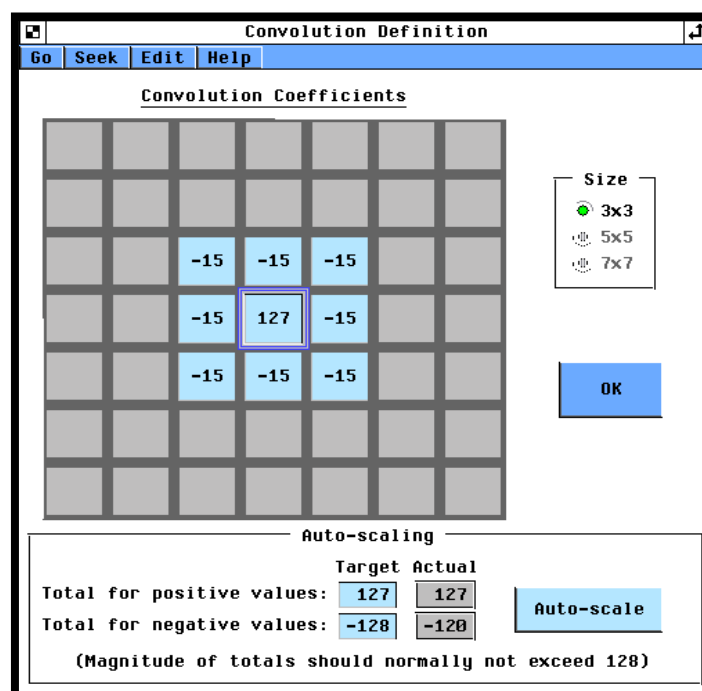
Με τη χρήση βαθυπερατού φίλτρου παρατηρείται μία θόλωση της εικόνας με αποτέλεσμα η παρουσίαση των ακμών και άλλων σχηματικών στοιχείων της να μην είναι η επιθυμητή. Για τη διόρθωση αυτής της κατάστασης χρησιμοποιείται η συνέλιξη ενός υψιπερατού φίλτρου.

Τα φίλτρα που βρίσκονται στη μνήμη δεν περιέχουν κάποιο που να ανήκει στην κατηγορία των υψιπερατών. Πρέπει επομένως να οριστεί ένα νέο. Ο ορισμός των φίλτρων γίνεται στη βάση δεδομένων visini. Από το μενού επιλογών επιλέγονται τα setup, Initialization Data, visini, custom convolution. Η οθόνη που εμφανίζεται παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.16. Στην επιλογή Convolution number τοποθετείται ένας αριθμός στο διάστημα 17 έως 32. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί στη μάσκα που θα ορισθεί. Στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ο αριθμός 18.



Σχήμα 3.16: Ορισμός νέας συνελίξης.

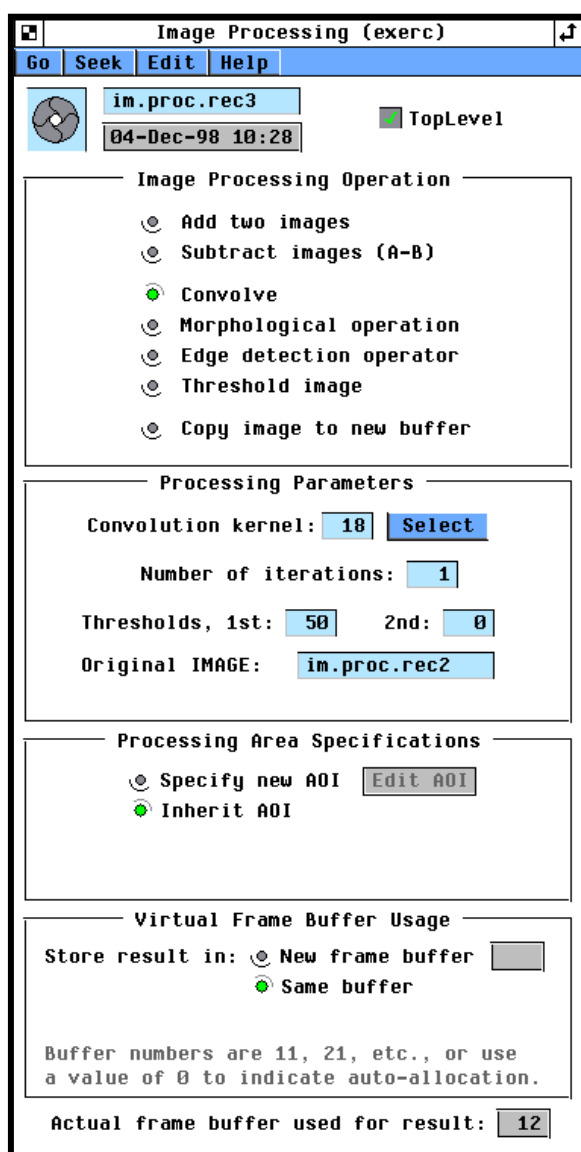
Με την επιλογή Edit παρουσιάζεται η μορφή μίας μάσκας και είναι δυνατή η μεταβολή των συντελεστών της. Η οθόνη έχει τη μορφή του Σχήματος 3.17. Κατά τον σχεδιασμό του φίλτρου το σύστημα ζητάει όλοι οι συντελεστές να αθροίζονται στο 128. Εάν χρησιμοποιούνται θετικοί και αρνητικοί συντελεστές, τότε το άθροισμα των θετικών και των αρνητικών συντελεστών θα πρέπει να είναι περίπου ίσο με 128 και -128 αντίστοιχα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται αυτόματα με την επιλογή Auto-scale.



Σχήμα 3.17: Δημιουργία νέου φίλτρου.

Η μάσκα που ορίστηκε είναι η κλασσική υπερατή τάξης 3x3. Οι συντελεστές της είναι -1 για τα εξωτερικά στοιχεία και 8 για το κεντρικό στοιχείο της (Σχήμα 3.8). Με την επιλογή Auto-scale μετατρέπονται σε αυτούς του Σχήματος 3.17.

Μετά τον ορισμό του υπερατού φίλτρου με αριθμό 18, είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του από το πρόγραμμα. Δημιουργείται ένα νέο αρχείο επεξεργασίας το im.proc.rec3. Η οθόνη δημιουργίας του παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.18. Η νέα επεξεργασία γίνεται στην εικόνα που έχει δεχθεί την συνέλιξη του βαθυπερατού φίλτρου και περιγράφεται από το αρχείο im.proc.rec2. Χρησιμοποιείται το νέο φίλτρο με αριθμό 18.



Σχήμα 3.18: Συνέλιξη υπερατού φίλτρου.

Η εικόνα που περιγράφεται από το αρχείο `im.proc.rec3` είναι αυτή που χρησιμοποιείται για την τελική επεξεργασία και την αναγνώριση των στοιχείων της πινακίδας. Η εικόνα αυτή είναι μία εικόνα δίτιμη (διαδικασία `thresholding`), χωρίς θόρυβο (συνέλιξη βαθυπερατού φίλτρου), με τόνωση των ακμών της (συνέλιξη υψιπερατού φίλτρου). Χρησιμοποιείται στη διαμόρφωση των γραμματοσειρών και την τοποθέτηση των οπτικών εργαλείων κατά τη διαδικασία αναγνώρισης των στοιχείων της πινακίδας OCR.

3.4.8 Παράδειγμα εφαρμογής

Για την καλύτερη κατανόηση των μεθόδων που παρουσιάστηκαν σε αυτή την παράγραφο θα παρατεθεί ένα παράδειγμα εφαρμογής τους. Το παράδειγμα αυτό παρουσιάζει τη μορφή της εικόνας σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας της.

Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζεται η εικόνα που λαμβάνει η κάμερα. Η εικόνα αυτή είναι γκριζου επιπέδου (`grayscale image`). Το επόμενο στάδιο επεξεργασίας είναι η διαδικασία κατωφλίου γκριζας κλίμακας για την απόκτηση μίας δίτιμης εικόνας. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.20. Η εικόνα που προκύπτει έχει δύο καταστάσεις (άσπρο-μαύρο). Η διαφορά της από την αρχική μορφή είναι φανερή στα δύο αυτά σχήματα.

Έπειτα ακολουθεί η απομάκρυνση του θορύβου με τη συνέλιξη του βαθυπερατού φίλτρου. Ο θόρυβος φαίνεται στο Σχήμα 3.20 με τη μορφή μαύρων κουκίδων. Παρουσιάζεται χαρακτηριστικά γύρω από τα αλφαβητικά στοιχεία καθώς και στο δεξί πάνω μέρος της εικόνας. Το αποτέλεσμα του φίλτρου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.21 όπου τα στοιχεία της πινακίδας είναι απαλλαγμένα από το θόρυβο. Ταυτόχρονα όμως παρατηρείται μία θόλωση των στοιχείων. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται πιο καθαρά στο δεξιό κάτω άκρο της εικόνας.

Για την αποθόλωση και την τόνωση των χαρακτηριστικών της εικόνας εφαρμόζεται η συνέλιξη ενός υψιπερατού φίλτρου. Το φίλτρο αυτό βελτιώνει την μορφή της αφού τονίζει τα στοιχεία που περιέχει. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.22. Η εικόνα αυτή είναι και η τελική πάνω στην οποία θα εκτελεστεί ο αλγόριθμος αναγνώρισης των στοιχείων της πινακίδας.



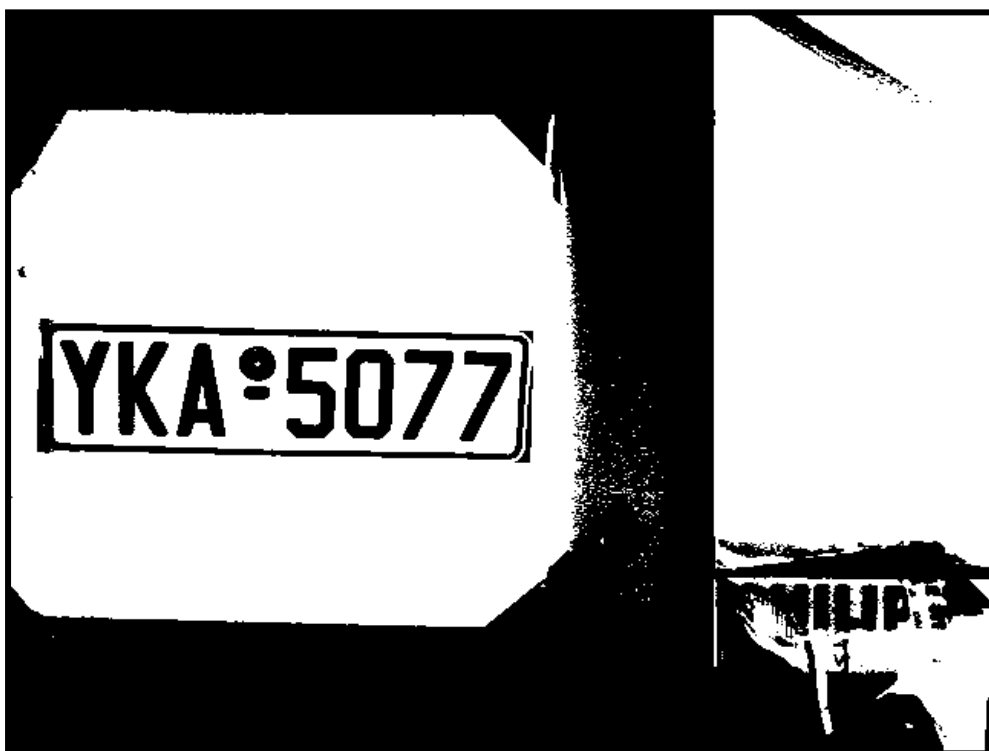
Σχήμα 3.19: Αρχική εικόνα (grayscale image).



Σχήμα 3.20: Διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (binary image).



Σχήμα 3.21: Απομάκρυνση θορύβου με τη συνέλιξη βαθυπερατού φίλτρου.



Σχήμα 3.22: Χρήση υψιπερατού φίλτρου για τόνωση των χαρακτηριστικών.

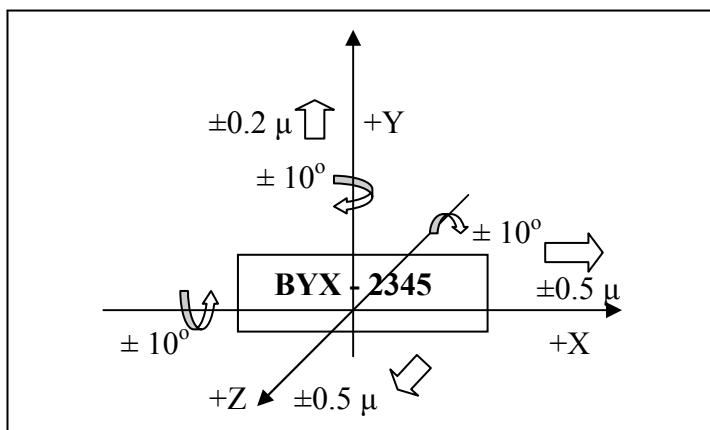
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

4.1 Παρουσίαση περιβάλλοντος

Για τη δημιουργία του προγράμματος χρησιμοποιήθηκε το οπτικό σύστημα Adept Vision και ειδικότερα το λογισμικό πακέτο AIM (Adept Assembly and Information Management).

Η διαδικασία απόκτησης της εικόνας περιγράφεται παρακάτω. Η κάμερα είναι σταθερά τοποθετημένη σε συγκεκριμένη απόσταση από το αντικείμενο. Είναι εστιασμένη στα στοιχεία της πινακίδας. Σε πραγματικές συνθήκες, η λήψη της εικόνας πραγματοποιείται μόλις οι τροχοί του οχήματος έρχονται σε επαφή με τους αισθητήρες που βρίσκονται κατά μήκος του δρόμου. Ωστόσο η πινακίδα ενός οχήματος μπορεί να παρουσιάζει διάφορες μορφές.

Γι' αυτό το λόγο το πρόγραμμα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τα στοιχεία σε περιπτώσεις περιστροφής ή μετατόπισης της πινακίδας ως προς την κάμερα. Ο χώρος μέσα στον οποίο γίνεται η αναγνώριση των στοιχείων ορίζεται από τα επιτρεπτά όρια περιστροφής ή μετατόπισης. Επιτρέπεται μετατόπιση του αντικειμένου κατά 0.5 μέτρο από και προς την κάμερα (Z άξονας). Το αντικείμενο μπορεί να περιστρέφεται $\pm 10^\circ$ μοίρες ως προς τους τρεις άξονές του. Επίσης μπορεί να μετακινείται ± 0.2 μέτρα στο ύψος και 0.5 μέτρο κατά μήκος του οριζόντιου άξονα X. Ο επιτρεπτός χώρος τοποθέτησης παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1. Μέσα σε αυτά τα όρια, η αναγνώριση των στοιχείων πραγματοποιείται επιτυχώς. Σε περιοχές εκτός των ορίων τα αποτελέσματα της διαδικασίας είναι μη αξιόπιστα.



Σχήμα 4.1: Όρια Χώρου Αναγνώρισης.

4.2 Πιθανές πηγές αστοχιών

Κατά τη λήψη της εικόνας υπεισέρχονται διάφοροι παράγοντες που αλλοιώνουν την τελική της μορφή. Ως τέτοιοι μπορούν να αναφερθούν η μεταβολή της φωτεινότητας, η μετακίνηση του αντικειμένου ως προς την κάμερα, ή η ελαφρά περιστροφή του.

Όλα αυτά έχουν επίπτωση στην μορφή που θα πάρει η λαμβανόμενη εικόνα και επηρεάζουν άμεσα τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν από αυτήν. Το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψιν του τις μεταβολές αυτές και εκτελεί τις κατάλληλες ενέργειες για την διόρθωσή τους.

4.2.1 Ρύθμιση της φωτεινότητας της εικόνας

Η ρύθμιση της φωτεινότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτόματα μέσω του αρχείου εικόνας (picture record) με την επιλογή Auto scale, είτε μέσω της δημιουργίας της ακολουθίας επιθεωρήσεων με την εντολή AUTO_BRIGHTNESS.

Στην πρώτη περίπτωση υπολογίζεται το ιστόγραμμα της λαμβανόμενης εικόνας και καθορίζονται βάσει αυτού οι βέλτιστες τιμές για τις παραμέτρους OFFSET και GAIN. Η παράμετρος offset είναι αυτή που ρυθμίζει τη συνολική φωτεινότητα της εικόνας. Η τιμή της προστίθεται ή αφαιρείται από αυτές των εικονοστοιχείων για την αύξηση ή μείωση της συνολικής φωτεινότητας αντίστοιχα. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στην Ενότητα 3.2.3.

Για τη ρύθμιση της φωτεινότητας δυναμικά, δίχως την αλλαγή του αρχείου εικόνας, χρησιμοποιείται η εντολή ακολουθίας AUTO_BRIGHTNESS. Αυτή η εντολή απαιτεί ένα αρχείο επιθεώρησης (inspection record) που αυτό με τη σειρά του χρησιμοποιεί ένα αρχείο παραθύρου (window record). Η διαδικασία του αρχείου επιθεώρησης είναι ο υπολογισμός του μέσου γκριζού επιπέδου (average graylevel) της λαμβανόμενης εικόνας. Η εντολή, επιχειρεί να διατηρήσει την ιδανική τιμή για το μέγεθος αυτό, η οποία αναγράφεται στο παράθυρο δεδομένων nominal, ρυθμίζοντας την παράμετρο OFFSET στο αρχείο εικόνας (picture record). Μεταβάλλοντας δηλαδή τη φωτεινότητα της. Τα όρια τιμών στο αρχείο εικόνας χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση στο OK_SIGNAL της τιμής FALSE εάν ο μέσος γκριζού επιπέδου βρεθεί εκτός του επιτρεπτού διαστήματος. Η σύνταξη της εντολής είναι

```
AUTO_BRIGHTNESS WITH -vision-{AT_FREQUENCY -constant--}{OK_SIGNAL  
-- OUTPUT--}
```

Το στοιχείο vision αντικαθίσταται από το όνομα του αρχείου επιθεώρησης που υπολογίζει τον μέσο γκριζου επιπέδου. Η τιμή constant καθορίζει τον αριθμό των κύκλων που θα περιμένει το σύστημα πριν χρησιμοποιηθεί η νέα τιμή offset. Η παράμετρος OUTPUT είναι το σήμα που δηλώνει αν ο μέσος γκριζου επιπέδου που υπολογίστηκε δεν έχει επιτρεπτή τιμή, δηλαδή βρίσκεται εκτός των ορίων.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή διαμορφώθηκε το αρχείο επιθεώρησης inspect, που σε συνδυασμό με το αρχείο παραθύρου window, μεταβάλλουν μέσω της εντολής ακολουθίας το offset της λαμβανόμενης εικόνας.

4.2.1.1 Το αρχείο επιθεώρησης inspect

Το αρχείο επιθεώρησης inspect παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2. Στην κορυφή της σελίδας αναγράφεται το όνομα του νέου αρχείου. Στην επιλογή Inspection type ορίζεται ο τύπος επιθεώρησης που θα εκτελεί. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή η ζητούμενη εργασία είναι ο έλεγχος της τιμής του μέσου γκριζου επιπέδου, οπότε επιλέγεται η διαδικασία Test a value. Μετά την επιλογή αυτή το σύστημα ζητάει το μέσο απόκτησης του αποτελέσματος. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με τη συμπλήρωση της θέσης Operator name από το όνομα του εργαλείου που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή του αποτελέσματος. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, η ζητούμενη τιμή παρέχεται από τη χρήση ενός παραθύρου, το οποίο περιέχει το οπτικό πεδίο της κάμερας και υπολογίζει διάφορα στοιχεία για τη φωτεινότητα της λαμβανόμενης εικόνας. Το παράθυρο αυτό περιγράφεται από το αρχείο window. Το μέγεθος που επιλέγεται για έλεγχο είναι ο μέσος γκριζου επιπέδου (Average graylevel) .

Στην οθόνη παρουσιάζεται το αποτέλεσμα και η σύγκριση της τιμής του με την ιδανική τιμή nominal. Έτσι υπολογίζεται η απόκλιση deviation. Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται από την εντολή AUTO_BRIGHTNESS και ανάλογα με το μέγεθός της ρυθμίζεται ο παράγοντας offset της εικόνας.

Με την επιλογή Limits καθορίζεται το διάστημα επιτρεπτών τιμών που μπορεί να λάβει ο μέσος γκριζου επιπέδου. Τα όρια αυτά σε συνδυασμό με το αποτέλεσμα διαμορφώνουν την τιμή του σήματος OK_SIGNAL. Τέλος, μέσω της επιλογής Logging Data είναι δυνατή η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε ένα αρχείο ή σε μία σειριακή γραμμή (η διαδικασία αυτή περιγράφεται στο Κεφάλαιο 7).

The screenshot shows a window titled "Inspection (exerc)" with a menu bar containing "Go", "Seek", "Edit", and "Help".

Below the menu bar, there is a search icon and a text field containing "inspect". To the right of this is a checkbox labeled "TopLevel" which is checked.

Below the search field is a date and time field showing "24-Nov-98 09:52".

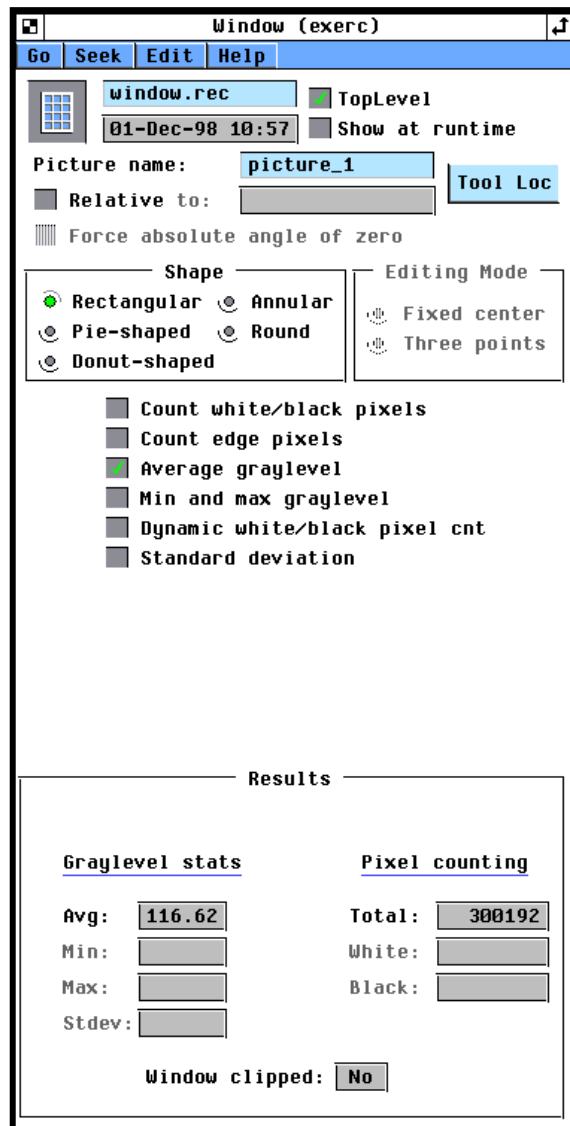
The main area is divided into several sections:

- Inspection Type:** Contains five radio buttons: "Measure", "Test a value" (which is selected), "Combine inspections", "Blob stats", "Window stats", and "OCR results".
- Specific Operation:** Contains a text field with "Average graylevel", a checkbox "Select new value to test" (unchecked), and an "Operator name:" field with "window.rec". Below this are two unchecked checkboxes: "Return error if the Result is FAIL" and "Return error if a source 'not found'".
- Results:** Contains a "Value" field with "101.803", a "Result" field with "Pass", a "Nominal:" field with "95.530", and a "Deviation:" field with "6.273". There is also a "Limits" button. Below these are two checkboxes: "Pass-fail I/O signal" (unchecked) and "Gather stats" (checked). A "Bin size:" field contains the value "5".
- Logging Data:** Contains four radio buttons: "Log all results", "Log warnings and failures only", "Log failures only", and "Log nothing" (which is selected). Below this is a text field labeled "Label for data item in file:".

Σχήμα 4.2: Αρχείο επιθεώρησης inspect.

4.2.1.2 Το αρχείο παραθύρου window

Το παράθυρο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μέσου γκριζου επιπέδου και την παρουσίαση του αποτελέσματος από το αρχείο inspect, περιγράφεται από το αρχείο window. Η μορφή αυτού του αρχείου παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Αρχείο παραθύρου (window).

Στο αρχείο ορίζεται ποια εικόνα θα επεξεραστεί το εργαλείο παραθύρου για τον υπολογισμό του αποτελέσματος. Η εικόνα αυτή περιγράφεται από το αρχείο picture_1 και αντιστοιχεί στη μορφή της εικόνας που θα λάβει η κάμερα. Με την βοήθεια του ποντικιού του υπολογιστή ή με την χρήση της επιλογής Tool Loc είναι δυνατή η τοποθέτηση του παραθύρου σε οποιαδήποτε περιοχή του οπτικού πεδίου. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή υπολογίζεται ο μέσος της όλης εικόνας και το παράθυρο καλύπτει όλο το πεδίο της κάμερας. Οι διάφορες μορφές που μπορεί να λάβει παρουσιάζονται στην επιλογή Shape.

Τα αποτελέσματα που μπορεί να συλλέξει το εργαλείο παραθύρου για την εικόνα είναι τα:

- White/black pixels. Ο αριθμός των άσπρων και μαύρων εικονοστοιχείων μέσα στο παράθυρο. Χρησιμοποιούνται οι τιμές κατωφλίου του αρχείου εικόνας picture.
- Edge pixels. Ο αριθμός των εικονοστοιχείων που ανήκουν στις ακμές. Με την επιλογή αυτού του μεγέθους το σύστημα ζητάει τιμή για το κατώφλι Edge strength trresh βάσει του οποίου καθορίζεται το ποια εικονοστοιχεία ανήκουν στις ακμές.
- Average graylevel. Ο μέσος γκριζου επιπέδου για τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται μέσα στο παράθυρο. Αυτό είναι το μέγεθος που επιλέγεται για την συγκεκριμένη εφαρμογή.
- Min and Max graylevel. Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή εικονοστοιχείου που βρίσκεται μέσα στο παράθυρο.
- Dynamic white/ black pixel. Με την επιλογή αυτή το σύστημα ζητάει από το χρήστη νέες τιμές για τις παραμέτρους κατωφλίου γκριζου επιπέδου και με βάση αυτές υπολογίζεται ο νέος αριθμός άσπρων και μαύρων εικονοστοιχείων της εικόνας.
- Standard deviation. Η απόκλιση της τιμής μέσης φωτεινότητας της εικόνας .

Τα αποτελέσματα της επιλεγμένης διαδικασίας παρουσιάζονται στο κάτω μέρος της οθόνης. Με τη χρήση της επιλογής average graylevel από το αρχείο window, υπολογίζεται ο μέσος γκριζου επιπέδου της εικόνας. Η τιμή του αποτελέσματος συγκρίνεται με την επιθυμητή (nominal) στο αρχείο inspect και υπολογίζεται η απόκλιση (deviation). Ανάλογα με την τιμή αυτή, το σύστημα αυτόματα μεταβάλλει το offset της εικόνας picture_1 για τη βελτίωση της φωτεινότητάς της.

4.2.2 Αντιμετώπιση της μετακίνησης και περιστροφής του αντικειμένου

Το πρόγραμμα αναγνωρίζει τα στοιχεία της πινακίδας για μετατόπιση ± 0.5 μέτρου και κλίση ± 10 μοιρών ως προς τους άξονες του (Σχήμα 4.1). Το αποτέλεσμα αυτό επιτεύχθηκε με τον ορισμό ενός νέου συστήματος συντεταγμένων, του οποίου το κέντρο τοποθετείται σε σχέση με το κέντρο της παύλας που χωρίζει τα αριθμητικά από τα αλφαβητικά στοιχεία της πινακίδας. Για το σκοπό αυτό πρώτα δημιουργήθηκε το μοντέλο πρωτοτύπου της παύλας και το αρχείο για την αναγνώριση του πρωτοτύπου αυτού. Έπειτα

ορίστηκε το νέο σύστημα συντεταγμένων ως προς το κέντρο του αναγνωρισμένου αντικειμένου.

Το σύστημα συντεταγμένων της κάμερας και το νέο σύστημα που ορίστηκε παρουσιάζονται παραστατικά στο Σχήμα 4.4. Το σύστημα συντεταγμένων της κάμερας έχει κίτρινο χρώμα, ενώ το νέο σύστημα είναι πορτοκαλί. Οι άξονες X και Y των δύο συστημάτων συμβολίζονται στο σχήμα. Ο νέος άξονας X και Y έχουν αντίθετη κατεύθυνση από τους άξονες X και Y του συστήματος της κάμερας. Και στα δύο συστήματα ο άξονας Z είναι κάθετος στο επίπεδο της σελίδας και με θετική κατεύθυνση προς τον αναγνώστη (οι άξονες Z δεν συμβολίζονται στο σχήμα).



Σχήμα 4.4: Το νέο σύστημα συντεταγμένων και το σύστημα συντεταγμένων της κάμερας.

Κατά την περιστροφή της πινακίδας αλλάζει η θέση του κέντρου της παύλας. Τοποθετώντας το νέο σύστημα αξόνων ως προς το κέντρο του αναγνωρισμένου πρωτοτύπου, οι περιοχές ενδιαφέροντος και τα εργαλεία που τοποθετούνται σε σχέση με το νέο σύστημα, αποκτούν την μετατόπιση και τον προσανατολισμό της πινακίδας. Έτσι μετακινούνται και περιστρέφονται όποτε γίνεται αλλαγή της θέσης της.

Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι τα εξής:

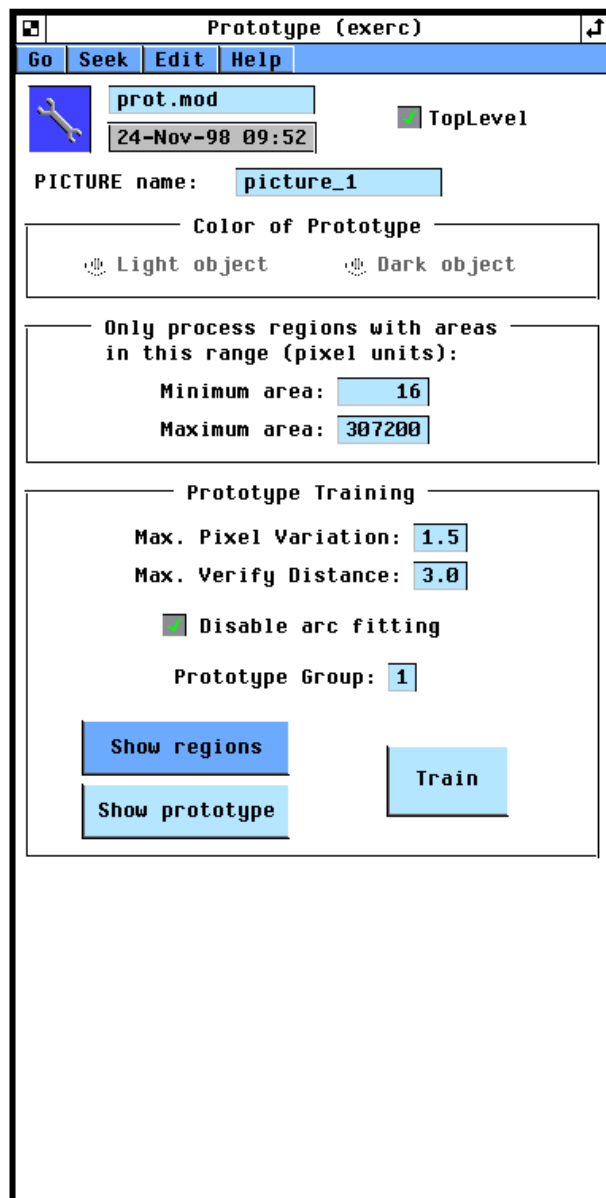
- Δημιουργία του πρωτοτύπου και αποθήκευσή του στο αρχείο `prot.mod1`.
- Αναγνώριση του πρωτοτύπου μέσω της διαδικασίας αναγνώρισης `prot.find`.
- Χρήση εργαλείου εύρεσης γραμμών για την εύρεση του πάνω ορίου της πινακίδας (`line.finder.rec`).
- Ορισμός του νέου συστήματος αξόνων με βάση το κέντρο του αναγνωρισμένου πρωτοτύπου και το πάνω άκρο της πινακίδας.
- Τοποθέτηση των περιοχών ενδιαφέροντος σε σχέση με το νέο σύστημα αξόνων.

4.2.2.1 Αρχεία μοντέλου πρωτοτύπου (Prototype Model Records)

Οι διαδικασίες πρωτοτύπου έχουν δύο κύρια βήματα, την εκπαίδευση (training) και την αναγνώριση (recognition). Το πρώτο βήμα, η εκπαίδευση, περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός εξιδανικευμένου οπτικού μοντέλου για το αντικείμενο που πρέπει να αναγνωρίζεται από το σύστημα. Αυτό το μοντέλο αποθηκεύεται σε ένα αρχείο μοντέλου πρωτοτύπου (Prototype Model Record). Το δεύτερο στάδιο, της αναγνώρισης, περιλαμβάνει την εκπαίδευση του οπτικού συστήματος να αναγνωρίζει αν κάποιο στοιχείο που βρίσκεται στο οπτικό πεδίο ταιριάζει με το μοντέλο. Αυτή η διαδικασία εκτελείται από ένα αρχείο εύρεσης πρωτοτύπου (Prototype Finder Record).

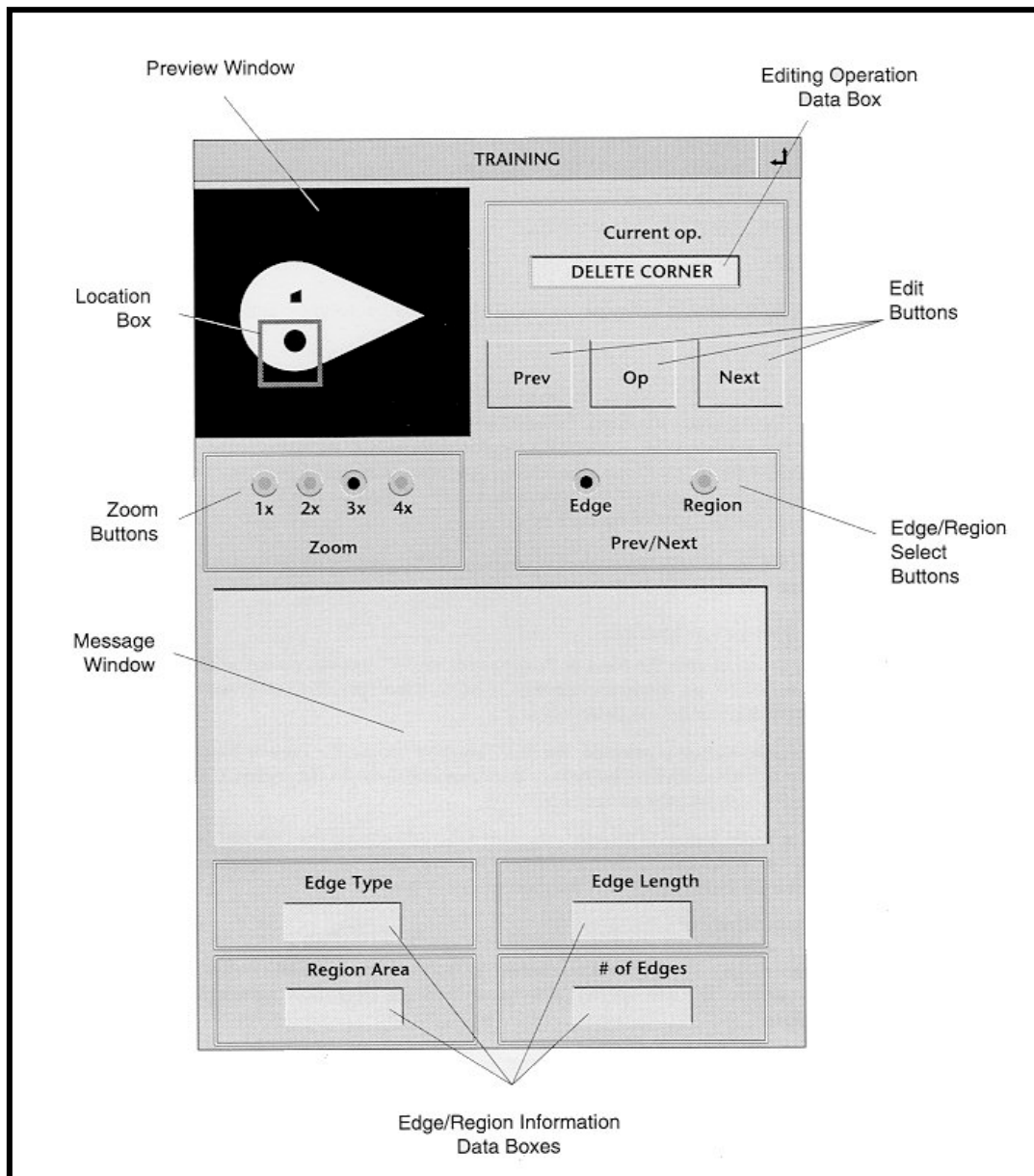
Κατά τη δημιουργία του αρχείου μοντέλου πρωτοτύπου (prototype model record) η οθόνη που παρουσιάζεται έχει τη μορφή του Σχήματος 4.5.

Στην κορυφή της αναγράφεται το όνομα του νέου αρχείου και του αρχείου εικόνας που αυτό θα χρησιμοποιήσει για τη λήψη. Έπειτα επιλέγεται το χρώμα του αντικειμένου. Μπορεί να επιλεγεί μαύρο αντικείμενο σε άσπρο φόντο ή το αντίστροφο, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Με τις παραμέτρους Minimum area και Maximum area ορίζεται στο σύστημα το μικρότερο και το μεγαλύτερο μέγεθος στοιχείου που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη δημιουργία του μοντέλου πρωτοτύπου. Έτσι μπορούν να αγνοηθούν περιοχές μεγάλου ή μικρού μεγέθους και να μην θεωρηθούν μέρος του πρωτοτύπου κατά το σχεδιασμό του μοντέλου.



Σχήμα 4.5: Αρχείο μοντέλου πρωτοτύπου.

Με την επιλογή των Show regions και Show prototype παρουσιάζονται στην οθόνη οι περιοχές που το σύστημα βλέπει στη λαμβανόμενη εικόνα και το μοντέλο πρωτοτύπου που είναι αποθηκευμένο στη μνήμη αντίστοιχα. Με την χρήση του ποντικιού τοποθετείται το παράθυρο ώστε να περικλύει το αντικείμενο του οποίου θα κατασκευαστεί το μοντέλο. Με την επιλογή Train δημιουργείται το μοντέλο πρωτοτύπου. Η οθόνη διαμόρφωσής του παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6: Οθόνη διαμόρφωσης πρωτοτύπου.

Στην αναπαράσταση του μοντέλου τα τόξα έχουν κόκκινο χρώμα, οι γραμμές κίτρινο και οι γωνίες παρουσιάζονται σαν άσπρες τελείες. Οι παρεμβάσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν κατά τη δημιουργία του είναι η μετακίνηση επιπλέον γωνιών, η μετατροπή τόξου σε γραμμή και το αντίστροφο, το σβήσιμο χαρακτηριστικών που δεν είναι σημαντικά ή αποτελούν μέρος του φόντου. Στο παράθυρο Preview Window παρουσιάζεται το πεδίο της κάμερας.

Με τη χρήση των Zoom Buttons το αντικείμενο που βρίσκεται στο παράθυρο επεξεργασίας μεγενθύνεται για τη βελτίωση της παρουσιάσής του. Επίσης υπάρχει το

παράθυρο μηνυμάτων όπου παρουσιάζονται μηνύματα λαθών κατά τη δημιουργία του πρωτοτύπου. Στα Edge ή Region επιλέγεται αν η διαδικασία που αναγράφεται στο Current op θα πραγματοποιείται στην ακμή ή σε ολόκληρη την περιοχή που επιλέγεται. Τα στοιχεία της περιοχής παρουσιάζονται στο πεδίο Edge/Region Information Data Boxes.

Κατά τον σχεδιασμό του μοντέλου πρέπει να πραγματοποιηθούν όλες οι ενέργειες ώστε το τελικό αποτέλεσμα να απεικονίζει όσο το δυνατόν πιστότερα το αντικείμενο. Μετά την ολοκλήρωση της πρώτης επεξεργασίας το σύστημα ζητάει να καθοριστούν και ορισμένες άλλες παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν κατά την προσπάθεια αναγνώρισης του πρωτοτύπου. Αυτές οι παράμετροι είναι οι :

- *Ποσοστό αναγνώρισης (verify percent)*. Αυτή η παράμετρος καθορίζει το ποσοστό της ολικής επιφάνειας (συμπεριλαμβανομένων και των οπών) που θα πρέπει να είναι κοινή στο μοντέλο πρωτοτύπου και το αντικείμενο, πριν η αναγνώριση χαρακτηριστεί επιτυχής. Έτσι ελέγχεται ο αριθμός των κακώς αναγνωρισμένων αντικειμένων καθώς και των αντικειμένων που δεν αναγνωρίζονται από το σύστημα ενώ έχουν τη μορφή του πρωτοτύπου.
- *Επίπεδο λάθους (effort level)*. Η παράμετρος αυτή επηρεάζει την ακρίβεια αναγνώρισης και την ταχύτητα της διαδικασίας. Για πρωτότυπα που περιέχουν πολλά χαρακτηριστικά και οι λεπτομέρειες είναι κρίσιμα στοιχεία του αντικειμένου, απαιτείται υψηλό επίπεδο λάθους και επομένως μειώνεται η ταχύτητα εκτέλεσης.
- *Μέγιστη και Ελάχιστη Περιοχή. (Min/Max Area)*. Μεταβάλλοντας την τιμή της ελάχιστης προς επεξεργασία περιοχής, αγνοούνται μικρά μη κρίσιμα χαρακτηριστικά του αντικειμένου. Αντίστοιχα με την μεταβολή της μέγιστης περιοχής απομακρύνονται μεγάλα μη σημαντικά χαρακτηριστικά .
- *Όρια χώρου (Limit Position)*. Με αυτές τις παραμέτρους καθορίζονται οι πιθανές μετακινήσεις και κλίσεις που μπορεί να έχει ένα αντικείμενο ως προς το μοντέλο πρωτοτύπου και η αναγνώρισή του να είναι επιτυχής.
- *Βάρη ακμών (Edge Weights)*. Σε μερικές περιπτώσεις, η ακρίβεια της αναγνώρισης πρωτοτύπου βελτιώνεται με την αντιστοιχία βαρών σε κάθε ακμή του αντικειμένου. Στα κρίσιμα χαρακτηριστικά του ορίζονται υψηλά βάρη, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τα μη κρίσιμα. Τα βάρη αυτά συνδυάζονται με το ποσοστό αναγνώρισης για τον καθορισμό του πόσο πολύ ένα αντικείμενο πρέπει να ταυτίζεται με το μοντέλο πρωτοτύπου για να αναγνωριστεί από το σύστημα.

Μετά τη δημιουργία του πρωτοτύπου, η διαδικασία σχεδιασμού επαναλαμβάνεται με νέα παραδείγματα για την βελτίωση του τελικού αποτελέσματος. Από την επιλογή New Example λαμβάνεται νέα εικόνα του αντικειμένου. Στην νέα εικόνα πραγματοποιούνται ξανά όλες οι ενέργειες για να αποκτήσει την επιθυμητή μορφή. Μετά και τη δημιουργία του νέου παραδείγματος, το σύστημα συνδυάζει το ήδη υπάρχον μοντέλο πρωτοτύπου με την καινούργια μορφή. Επιλέγεται μία γωνία του αντικειμένου και η αντίστοιχη γωνία στο νέο μοντέλο και το σύστημα προσπαθεί να ταυτίσει τις δύο αυτές μορφές. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας παρουσιάζεται στην οθόνη. Μετά τη δημιουργία όλων των παραδειγμάτων και το συνδυασμό τους, το σύστημα καταλήγει στο τελικό μοντέλο πρωτοτύπου με βάση τα στοιχεία που έχει συλλέξει.

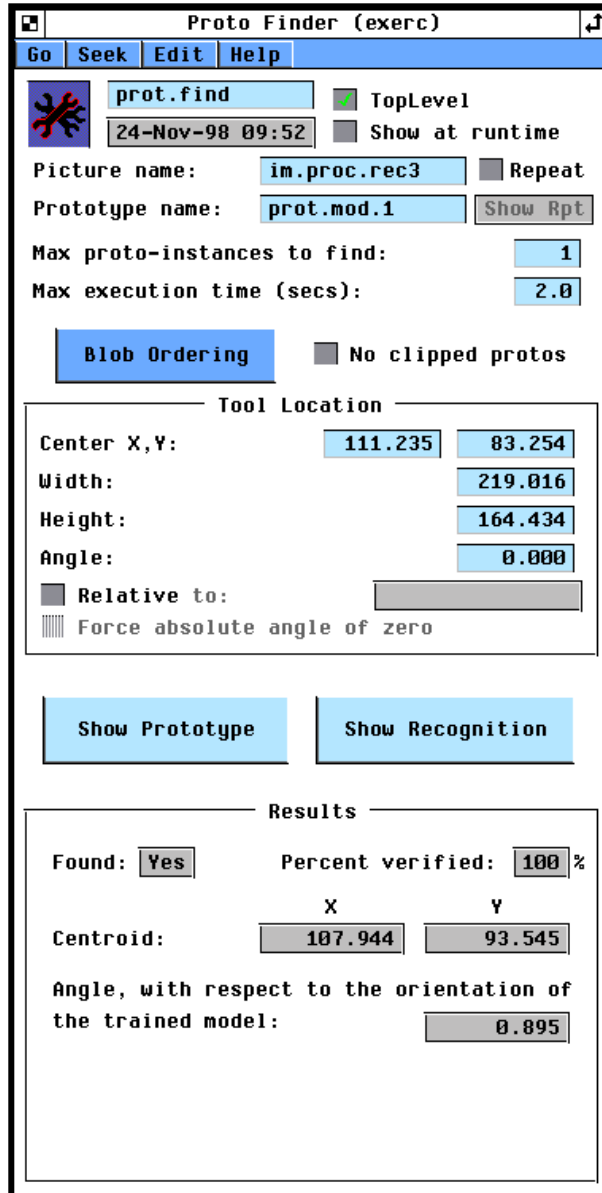
Στην εφαρμογή διαμορφώθηκε το μοντέλο για την παύλα που χωρίζει τα αλφαβητικά από τα αριθμητικά στοιχεία της πινακίδας. Το πρόγραμμα αναγνωρίζει τα στοιχεία αυτά όταν βρίσκονται στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Το απαιτούμενο ποσοστό αναγνώρισης είναι 98% και το επίπεδο λάθους είναι 0. Τα στοιχεία μπορούν να περιστραφούν μέχρι $\pm 30^\circ$ μοίρες ώστε να αναγνωρίζονται ακόμα από το σύστημα. Το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται με την επιλογή Show prototype. Το μοντέλο που διαμορφώθηκε είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί από το αρχείο εύρεσης πρωτοτύπου (prototype finder record) που χρησιμοποιεί σαν αρχείο πηγής το συγκεκριμένο αρχείο μοντέλου πρωτοτύπου (Prototype Model Record).

4.2.2.2 Αρχείο εύρεσης πρωτοτύπου (Prototype Finder Record)

Τα αρχεία αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται στην αναγνώριση μοντέλων πρωτοτύπου που αποθηκεύονται σε κάποιο prototype model record. Στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ένα τέτοιο αρχείο για την αναγνώριση της παύλας που χωρίζει τα αριθμητικά στοιχεία από τα γράμματα της πινακίδας. Το όνομα του αρχείου αυτού είναι prot.find.rec και χρησιμοποιεί το μοντέλο πρωτοτύπου που περιγράφεται από το αρχείο prot.rec. Η μορφή του αρχείου εύρεσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.7.

Το σύστημα ζητάει το όνομα του αρχείου (picture record) που καθορίζει τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται κατά τη λήψη της εικόνας από την κάμερα. Επίσης ορίζεται και το όνομα του μοντέλου πρωτοτύπου (prot.mod) που θα χρησιμοποιηθεί κατά την εκτέλεση της αναγνώρισης. Με το στοιχείο Max proto-instances to find καθορίζεται ο μέγιστος αριθμός πρωτοτύπων που το σύστημα θα προσπαθήσει να αναγνωρίσει, ενώ με το

Max execution time ο μέγιστος χρόνος (σε δευτερόλεπτα) που το σύστημα θα δαπανήσει για την αναγνώριση. Στην εφαρμογή γίνεται αναγνώριση ενός πρωτοτύπου με μέγιστο χρόνο εκτέλεσης δύο δευτερολέπτων.



Proto Finder (exerc)

Go Seek Edit Help

prot.find 24-Nov-98 09:52

☒ TopLevel ☐ Show at runtime

Picture name: im.proc.rec3 ☐ Repeat

Prototype name: prot.mod.1 Show Rpt

Max proto-instances to find: 1

Max execution time (secs): 2.0

Blob Ordering ☐ No clipped protos

Tool Location

Center X,Y: 111.235 83.254

Width: 219.016

Height: 164.434

Angle: 0.000

☐ Relative to: ☐ Force absolute angle of zero

Show Prototype Show Recognition

Results

Found: Yes Percent verified: 100 %

Centroid: X 107.944 Y 93.545

Angle, with respect to the orientation of the trained model: 0.895

Σχήμα 4.7: Αρχείο Εύρεσης Πρωτοτύπου.

Με τη χρήση του Blob Ordering δηλώνεται ο τρόπος που θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία (πχ πρώτα εξετάζονται τα μικρότερα ή μεγαλύτερα αντικείμενα κτλ). Επίσης, με την επιλογή No clipped protos το σύστημα αναγνωρίζει μόνο πρωτότυπα που βρίσκονται εξ ολοκλήρου μέσα στην περιοχή έρευνας.

Η περιοχή αυτή διαμορφώνεται είτε με την χρήση του ποντικιού και την τοποθέτηση της περιοχής στην επιθυμητή θέση, είτε με την επιλογή των συντεταγμένων μέσω του Tool Location. Η θέση της μπορεί να καθοριστεί ως προς το σύστημα αξόνων της κάμερας ή ως προς ένα νέο σύστημα. Στην εφαρμογή η περιοχή έρευνας καλύπτει όλο το πεδίο όρασης της κάμερας. Μέσα σε αυτό γίνεται προσπάθεια εντοπισμού του μοντέλου της παύλας ώστε να είναι δυνατός ο ορισμός δύο περιοχών ενδιαφέροντος (μία για τα αριθμητικά και μία για τα αλφαριθμητικά στοιχεία της πινακίδας). Σ' αυτές τις δύο περιοχές πραγματοποιείται η εκτέλεση της αντίστοιχης διαδικασίας οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων OCR.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αναγνώρισης πρωτοτύπου παρουσιάζονται στο κάτω μέρος της οθόνης όπου αναγράφεται το ποσοστό αναγνώρισης, καθώς και η θέση και ο προσανατολισμός του αναγνωρισμένου πρωτοτύπου.

4.2.2.3 Δημιουργία αρχείου εύρεσης γραμμής (line.finder.record)

Για την τοποθέτηση των παραθύρων και των υπόλοιπων εργαλείων, σε μία θέση σταθερή και ανεξάρτητη από τη μετακίνηση ή την περιστροφή της πινακίδας, πρέπει να οριστεί ένα νέο σύστημα αξόνων. Το σύστημα αυτό θα μετακινεί και θα περιστρέφει τους άξονές του μαζί με την πινακίδα. Για τον ορισμό αυτού πρέπει να καθοριστούν δύο στοιχεία. Ένα σημείο στην θετική κατεύθυνση του νέου Y άξονα και μία γραμμή που να ταυτίζεται με το νέο X άξονα. Το σημείο στη θετική κατεύθυνση του Y άξονα ορίζεται από την εύρεση του πρωτοτύπου που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα. Το ζητούμενο σημείο είναι το κέντρο του αναγνωρισμένου πρωτοτύπου. Ο νέος X άξονας ταυτίζεται με το πάνω όριο της πινακίδας. Για τον ορισμό του χρησιμοποιείται ένα εργαλείο εύρεσης γραμμής, το οποίο περιγράφεται από το αρχείο line.finder.record . Το αρχείο παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.8.

Στην κορυφή της οθόνης αναγράφεται το όνομα του αρχείου και η ημερομηνία δημιουργίας του. Επίσης καθορίζεται το αρχείο εικόνας που θα χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση του εργαλείου εύρεσης. Η όλη διαδικασία πραγματοποιείται στην επεξεργασμένη με φίλτρα εικόνα im.pro.rec3. Με την χρήση του ποντικιού καθορίζεται το μέγεθος που θα έχει το εργαλείο και η θέση του στο επιθυμητό σημείο του οπτικού πεδίου.

Το εργαλείο έχει τη μορφή ενός παραλληλογράμμου. Για την εύρεση της γραμμής θα πρέπει το παραλληλόγραμμο αυτό να περιέχει ένα τμήμα της. Εξ ορισμού, η τοποθέτησή του

πραγματοποιείται ως προς το σύστημα συντεταγμένων της κάμερας, του οποίου η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο κάτω αριστερό άκρο της οθόνης.

Line Finder (exerc)

Go Seek Edit Help

line.find.rec TopLevel

24-Nov-98 09:52 Show at runtime

Picture name: im.proc.rec3 Tool Loc

Relative to: prot.find

Type of Edge Data

☒ Sub-pixel grayscale edges

☐ Binary edges using binary image

☐ Binary (specified threshold)

Edge strength: 20

Use edge points closest to

☐ Dark side ☒ Guide line ☐ Light side

Effort level (%): 50

Iterative Fit Refinement

☐ Enable Max err dist (pixels):

Max std dev (pixels):

Specify nominal angle

Results

Line found: Yes Angle of Line 77.661

Clipped: No

Point on line, X: 119.480 Y: 94.580

Maximum error distance: 7.59

Max error on light side:

Max error on dark side:

Percentage of line with edge pts: 48.48

Percentage of points filtered out:

Σχήμα 4.8: Αρχείο Εύρεσης Γραμμής.

Ωστόσο, η θέση του εργαλείου μπορεί να οριστεί σε σχέση με κάποιο άλλο σύστημα αξόνων με την ενεργοποίηση της επιλογής Relative to. Στην εφαρμογή που παρουσιάζεται, το εργαλείο τοποθετήθηκε σε σχέση με το σύστημα του αναγνωρισμένου πρωτοτύπου prot.find.rec. Ανεξάρτητα από την μετατόπιση ή την κλίση της εικόνας παραμένει πάντα σε σταθερή θέση ως προς το κέντρο της αναγνωρισμένης παύλας. Το εργαλείο προσπαθεί να

αναγνωρίσει τη γραμμή χρησιμοποιώντας τα σημεία του αντικειμένου που βρίσκονται στην περιοχή του. Το αρχείο παρουσιάζει το αποτέλεσμα εύρεσης και την κλίση της γραμμής που αναγνωρίστηκε. Τα αποτελέσματα X και Y είναι οι συντεταγμένες του σημείου που προσεγγίζει καλύτερα την γραμμή που υπολογίστηκε.

Τα άλλα αποτελέσματα της διαδικασίας είναι τα:

- Maximum error distance: Το αποτέλεσμα αυτό παρουσιάζει τη μέγιστη απόκλιση ανάμεσα στα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση και αυτά της γραμμής που υπολογίστηκε (σε εικονοστοιχεία pixel).
- Percentage of line with edge points: Το πλήθος των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση και ταυτίζονται με αυτά της γραμμής που τελικά υπολογίστηκε.

Ο τύπος εικόνας που χρησιμοποιείται για την εύρεση της ακμής καθορίζεται από την επιλογή Type of Edge Data. Οι δυνατές περιπτώσεις είναι τρεις :

- Sub-pixel grayscale edges. Με την επιλογή αυτή το εργαλείο εύρεσης θα αναγνωρίζει γραμμές βασιζόμενο στην πληροφορία της εικόνας γκριζου επιπέδου (gray-level data). Σε αυτήν την περίπτωση η εύρεση ακμών καθορίζεται από την τιμή της παραμέτρου Edge strength. Η τιμή αυτή ορίζει την διαφορά που πρέπει να υπάρχει στην τιμή φωτεινότητας των εικονοστοιχείων, για να αναγνωριστεί μία γραμμή.
- Binary edges using binary images. Με τη διαδικασία αυτή η εύρεση των γραμμών γίνεται χρησιμοποιώντας την πληροφορία της δίτιμης εικόνας που αποκτάται με την επιλογή των κατάλληλων τιμών κατωφλίων γκριζας κλίμακας (threshold). Οι τιμές των κατωφλίων αυτών διαμορφώνονται στο αρχείο εικόνας.
- Binary (specified threshold). Διαδικασία όμοια με την προηγούμενη με την διαφορά ότι οι τιμές των κατωφλίων ορίζονται από τον χρήστη εκ νέου. Με την επιλογή αυτή το σύστημα αυτόματα ζητάει νέες τιμές για τις παραμέτρους threshold και 2 nd threshold.

Σε περίπτωση εύρεσης περισσότερων των ενός γραμμών το σύστημα θα πρέπει να γνωρίζει ποια είναι η ζητούμενη, ώστε να επεξεργαστεί τα χαρακτηριστικά της. Αυτό επιτυγχάνεται με την παράμετρο Use edge points closest to. Με την επιλογή dark side, guide

side και light side αναγνωρίζεται η γραμμή που βρίσκεται πιο κοντά στην μαύρη, την κεντρική ή την φωτεινή γραμμή του εργαλείου αντίστοιχα.

Η παράμετρος Effort level αντιπροσωπεύει το ποσοστό των ανεξάρτητων σημείων που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της γραμμής. Υψηλές τιμές απαιτούν την εύρεση περισσότερων σημείων πριν αναγνωριστεί η γραμμή και επομένως μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας.

Με την ενεργοποίηση της επιλογής Iterative Fit Refinement ο χρήστης καθορίζει την ακρίβεια εύρεσης. Στο Max err dist (pixels) αντιστοιχεί η μέγιστη απόκλιση που επιτρέπεται μεταξύ ενός σημείου που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση και του αντίστοιχου σημείου της αναγνωρισμένης γραμμής. Έτσι απομακρύνονται σημεία που δεν συμφωνούν με αυτό το κριτήριο. Στη Max std dev (pixels) ορίζεται η επιτρεπτή μέγιστη απόκλιση. Η διαδικασία θα φιλτράρει σημεία έως ότου η απόκλιση πέσει κάτω από την καθορισμένη μέγιστη τιμή της.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή οι τιμές των παραμέτρων της διαδικασίας εύρεσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.8. Με τη χρήση του εργαλείου, υπολογίζεται η θέση και η κλίση της ακμής που θα χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση του νέου συστήματος συντεταγμένων.

4.2.2.4 Ορισμός του νέου συστήματος αξόνων μέσω του αρχείου frame1

Σε πολλές περιπτώσεις το αντικείμενο για το οποίο πραγματοποιείται μία επιθεώρηση παρουσιάζεται στην κάμερα σε τυχαία θέση και προσανατολισμό, γεγονός που δυσκολεύει την προσπάθεια τοποθέτησης των οπτικών εργαλείων με ακρίβεια στη σωστή θέση. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τον ορισμό και τη χρήση ενός νέου συστήματος αξόνων, έτσι ώστε να είναι εύκολη η επιθεώρηση αντικειμένων που δεν μένουν σταθερά στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή αντιμετωπίζεται πρόβλημα αυτού του είδους. Σε πολλές περιπτώσεις, η πινακίδα του οχήματος παρουσιάζει μία ελαφρά κλίση. Επίσης, παρά το γεγονός ότι η κάμερα είναι εστιασμένη στην πινακίδα, παρουσιάζεται συχνά μία μετατόπιση της θέσης της ως προς αυτήν. Είναι επομένως αναγκαίο να οριστεί ένα νέο σύστημα αξόνων, τέτοιο ώστε με την τοποθέτηση των οπτικών εργαλείων ως προς αυτό, να αντιμετωπίζονται τα προβλήματα που αναφέρθηκαν.

Κατά τη δημιουργία ενός οπτικού εργαλείου, η θέση του και ο προσανατολισμός του αποθηκεύονται στο αρχείο του (vision-tool record). Όταν μία ακολουθία επιθεωρήσεων, η οποία χρησιμοποιεί αυτό το εργαλείο, εκτελείται, η θέση και προσανατολισμός του ανακτώνται από τη βάση δεδομένων και το εργαλείο παρουσιάζεται στην οθόνη. Εξ ορισμού οι τιμές των δύο αυτών στοιχείων υπολογίζονται σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων της κάμερας. Το σύστημα αυτό είναι ένα Καρτεσιανό σύστημα του οποίου η αρχή των αξόνων συμπίπτει με την κάτω αριστερή γωνία της οθόνης. Οι συντεταγμένες X και Y υπολογίζονται ως οι κάθετες αποστάσεις από αυτό το σημείο, ενώ η κλίση ισούται με τη γωνία μεταξύ του αντικειμένου και του άξονα X του συστήματος.

Το AIM δεν περιορίζεται στη χρήση μόνο του συστήματος αξόνων της κάμερας. Για την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως αυτά που παρουσιάστηκαν παραπάνω ορίζονται νέα συστήματα. Ένα νέο σύστημα ορίζεται από ένα σημείο και μία κλίση ως προς το σύστημα αξόνων της κάμερας. Έχει αρχή των αξόνων σε συγκεκριμένο σημείο, ενώ ο νέος άξονας X έχει ορισμένη κλίση ως προς τον άξονα X του συστήματος της κάμερας. Είναι δηλαδή σχετικό με το αρχικό σύστημα συντεταγμένων. Για τον ορισμό της αρχής των αξόνων και της κλίσης χρησιμοποιούνται διάφορα χαρακτηριστικά του αντικειμένου.

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν ένα αρχείο εύρεσης γραμμής και ένα αρχείο αναγνώρισης πρωτοτύπου της παύλας. Έτσι ορίζονται δύο στοιχεία, το κέντρο της παύλας και το πάνω όριο της πινακίδας, με τη βοήθεια των οποίων διαμορφώνεται το νέο σύστημα αξόνων. Αυτό το σύστημα παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.9, ενώ περιγράφεται από το αρχείο του Σχήματος 4.10

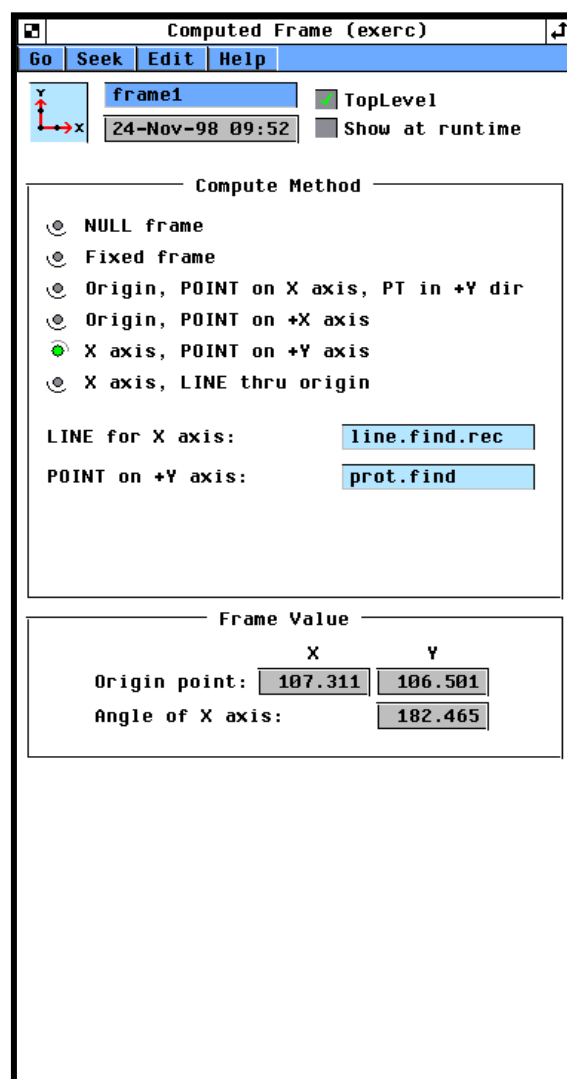


Σχήμα 4.9: Νέο σύστημα αξόνων.

Στην κορυφή αναγράφεται το όνομα του αρχείου και η ημερομηνία δημιουργίας του. Ο τρόπος ορισμού των νέων αξόνων μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας διάφορους τρόπους.

Οι δυνατές επιλογές είναι:

- **Null frame.** Αυτό το σύστημα ταυτίζεται με το σύστημα συντεταγμένων της κάμερας.
- **Fixed frame.** Με την επιλογή αυτή ορίζεται ένα σταθερό νέο σύστημα συντεταγμένων. Με την χρήση του ποντικιού του υπολογιστή τοποθετείται σε οποιοδήποτε σημείο του οπτικού πεδίου.
- **Origin, POINT on X axis, PT in +Y dir.** Η επιλογή αυτή απαιτεί τη χρήση τριών αρχείων. Ένα που να επιστρέφει ένα σημείο για τον ορισμό της αρχής των αξόνων



Σχήμα 4.10: Αρχείο frame1.

του νέου συστήματος, ένα για τον υπολογισμό σημείου πάνω στο νέο X άξονα και ένα τρίτο για την εύρεση σημείου που θα βρίσκεται στη θετική κατεύθυνση του νέου Y άξονα.

- **Origin, POINT on +X axis.** Η επιλογή αυτή χρειάζεται δύο αρχεία. Το πρώτο χρησιμοποιείται για την εύρεση του σημείου αρχής των αξόνων και το δεύτερο στην εύρεση σημείου που να βρίσκεται στην θετική κατεύθυνση του νέου X άξονα.
- **X axis, POINT on +Y axis.** Απαιτούνται δύο αρχεία. Ένα για την εύρεση γραμμής που να ταυτίζεται με το νέο X άξονα και ένα για την εύρεση σημείου στη θετική κατεύθυνση του νέου Y άξονα.
- **X axis, LINE thru origin.** Αυτή η επιλογή κάνει χρήση δύο αρχείων που ορίζουν γραμμές. Το ένα αρχείο ορίζει μία γραμμή που ταυτίζεται με το νέο X άξονα , ενώ το δεύτερο χρησιμοποιείται στην εύρεση μίας γραμμής που διέρχεται από τη νέα αρχή των αξόνων.

Στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η πέμπτη επιλογή. Με τη βοήθεια του αρχείου εύρεσης πρωτοτύπου αναγνωρίζεται η παύλα. Το κέντρο της αναγνωρισμένης παύλας βρίσκεται στη θετική κατεύθυνση του νέου Y άξονα. Ο νέος X άξονας ορίζεται από το αρχείο εύρεσης γραμμής line.find.rec. Οι συντεταγμένες της αρχής των αξόνων του νέου συστήματος καθώς και η κλίση του ως προς το σύστημα συντεταγμένων της κάμερας παρουσιάζονται στις τιμές Frame Value.

Το νέο σύστημα που δημιουργήθηκε, έχει τη μετατόπιση και την κλίση της αναγνωρισμένης παύλας. Τοποθετώντας επομένως τα οπτικά εργαλεία της εφαρμογής ως προς αυτό, επιλύεται το πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά τη μετατόπιση και περιστροφή της πινακίδας.

Η τοποθέτηση των περιοχών ενδιαφέροντος μέσα στις οποίες γίνεται η αναγνώριση των στοιχείων της πινακίδας, πραγματοποιείται ως προς αυτό το σύστημα αξόνων. Ο ορισμός των γραμματοσειρών και των αντίστοιχων διαδικασιών αναγνώρισης OCR παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

5. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΓΡΑΜΜΑΤΟΣΕΙΡΩΝ

5.1 Ορισμός των γραμματοσειρών που θα χρησιμοποιηθούν

Μετά τον ορισμό του νέου συστήματος αξόνων (frame1), διαμορφώνονται δύο περιοχές ενδιαφέροντος στην εικόνα του αντικειμένου. Η πρώτη περιέχει τα αλφαβητικά και η επόμενη τα αριθμητικά στοιχεία της υπό εξέταση πινακίδας. Τα αλφαβητικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στον ορισμό μίας πινακίδας είναι τα γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου που περιέχονται και στο αγγλικό αλφάβητο. Επομένως περιγράφονται από το σύνολο {A, B, E, Z, H, I, K, M, N, O, P, T, Y, X}. Τα αντίστοιχα αριθμητικά στοιχεία περιγράφονται από το σύνολο {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}. Το σύστημα πρέπει να γνωρίζει τη μορφή αυτών των στοιχείων ώστε να είναι σε θέση να τα αναγνωρίζει με τη διαδικασία οπτικής αναγνώρισης OCR. Για το σκοπό αυτό, οι μορφές των γραμματοσειρών που χρησιμοποιούνται, δημιουργούνται και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων με τη μορφή των αρχείων OCR font record.

Η οπτική αναγνώριση χαρακτήρων OCR είναι μία διαδικασία αναγνώρισης που περιορίζεται μόνο σε χαρακτήρες. Η αναγνώριση πραγματοποιείται με τη χρήση των αρχείων αναγνώρισης OCR Field record. Με τη βοήθεια ενός αρχείου της κατηγορίας αυτής, επιχειρείται η αναγνώριση των χαρακτήρων που είναι αποθηκευμένοι σε ένα αρχείο OCR Font record. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στην περιοχή ενδιαφέροντος που έχει οριστεί. Το πρόγραμμα συγκρίνει τα στοιχεία της εικόνας που βρίσκονται σε αυτήν την περιοχή με αυτά που περιγράφονται από το αρχείο OCR Font Record και εξάγει τα αποτελέσματα αναγνώρισης. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από το πόσο πιστά έχουν δημιουργηθεί τα μοντέλα των γραμματοσειρών που χρησιμοποιούνται.

Σημαντικά στοιχεία είναι η μορφή και το μέγεθος του κάθε στοιχείου της γραμματοσειράς. Επίσης, κατά το σχεδιασμό της τα στοιχεία πρέπει να παρουσιάζονται στο σύστημα με όλες τις πιθανές μορφές που μπορεί να έχουν. Αυτό συνδυάζει όλες τις περιπτώσεις και καταλήγει στο τελικό μοντέλο που θα έχει κάθε στοιχείο.

Κατά τη μετακίνηση του αντικειμένου από και προς την κάμερα μεταβάλλεται η μορφή και το μέγεθος των στοιχείων της πινακίδας. Έτσι η αναγνώριση γίνεται δυσκολότερη

και σε πολλές περιπτώσεις καταλήγει σε λανθασμένα αποτελέσματα. Το σύστημα ωστόσο, πρέπει να αναγνωρίζει τα στοιχεία της πινακίδας για μετατόπιση ± 0.5 μέτρου ως προς την κάμερα (άξονας Z, Σχήμα 4.1). Για το σκοπό αυτό, για κάθε σύνολο στοιχείων δημιουργούνται τρεις ανεξάρτητες γραμματοσειρές. Η πρώτη περιέχει τη μορφή που έχουν τα στοιχεία όταν η απόσταση αντικειμένου-κάμερας δεν μεταβληθεί. Οι επόμενες περιέχουν τις αντίστοιχες μορφές για μετατόπιση ± 0.5 μέτρου ως προς την κάμερα. Με αυτό τον τρόπο αναγνωρίζονται τα στοιχεία της πινακίδας, όποτε η μετατόπιση του αντικειμένου κυμαίνεται στα προαναφερόμενα όρια. Για μετατοπίσεις μεγαλύτερες του 0.5 μέτρου τα αποτελέσματα αναγνώρισης δεν είναι αξιόπιστα.

Οι γραμματοσειρές που δημιουργήθηκαν για τα αλφαβητικά στοιχεία είναι οι font1, font3 και font5. Η font1 περιέχει τη μορφή των αλφαβητικών στοιχείων για μηδενική μετατόπιση, ενώ οι font3 και font5 για μετατόπιση +0.5 και -0.5 μέτρου αντίστοιχα. Για τα αριθμητικά στοιχεία οι αντίστοιχες γραμματοσειρές είναι οι font2, font4 και font6. Δημιουργήθηκαν δηλαδή συνολικά έξι γραμματοσειρές. Για κάθε μία από αυτές, διαμορφώθηκε το αντίστοιχο αρχείο OCR Field Record που θα τη χρησιμοποιήσει για την αναγνώριση των στοιχείων της πινακίδας. Έτσι ορίστηκαν τα ocr1, ocr3, ocr5 για την αναγνώριση των αλφαβητικών στοιχείων με βάση τις γραμματοσειρές font1, font3 και font5 αντίστοιχα. Όμοια, για τα αριθμητικά στοιχεία δημιουργήθηκαν τα ocr2, ocr4, ocr6 που χρησιμοποιούν τις γραμματοσειρές font2, font4 και font6.

Οι ανεξάρτητες αυτές διαδικασίες OCR συνδυάζονται στην ακολουθία επιθεωρήσεων. Για κάθε διαδικασία OCR δημιουργείται ένα αρχείο επιθεώρησης (inspect record) το οποίο αναφέρει το ελάχιστο σκορ αναγνώρισης που παρουσιάστηκε κατά την εκτέλεσή της. Για παράδειγμα, το αρχείο επιθεώρησης inspect1 παρουσιάζει το ελάχιστο σκορ αναγνώρισης για την διαδικασία ocr1. Κατά την εκτέλεση της ακολουθίας το αποτέλεσμα του inspect1 συγκρίνεται με αυτά των inspect3 και inspect5 (που συνεργάζονται με τα ocr3 και ocr5). Το μεγαλύτερο από αυτά αντιπροσωπεύει το βέλτιστο ελάχιστο σκορ που παρουσιάζεται κατά την εκτέλεση του προγράμματος για τα αλφαβητικά στοιχεία. Αυτό αντιστοιχεί στη διαδικασία που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα αναγνώρισης. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αναγνώρισης των αλφαβητικών στοιχείων (μέσω της εντολής OCR_OUTPUT FROM). Η ίδια λογική ακολουθείται και για τα αριθμητικά στοιχεία (τα αντίστοιχα αρχεία επιθεωρήσεων είναι τα inspect2, inspect4 και inspect6).

Η δημιουργία των αρχείων OCR Font Records, OCR Field records και inspect records περιγράφεται στις αμέσως επόμενες ενότητες.

5.2 Δημιουργία των αρχείων γραμματοσειρών (OCR Font Records)

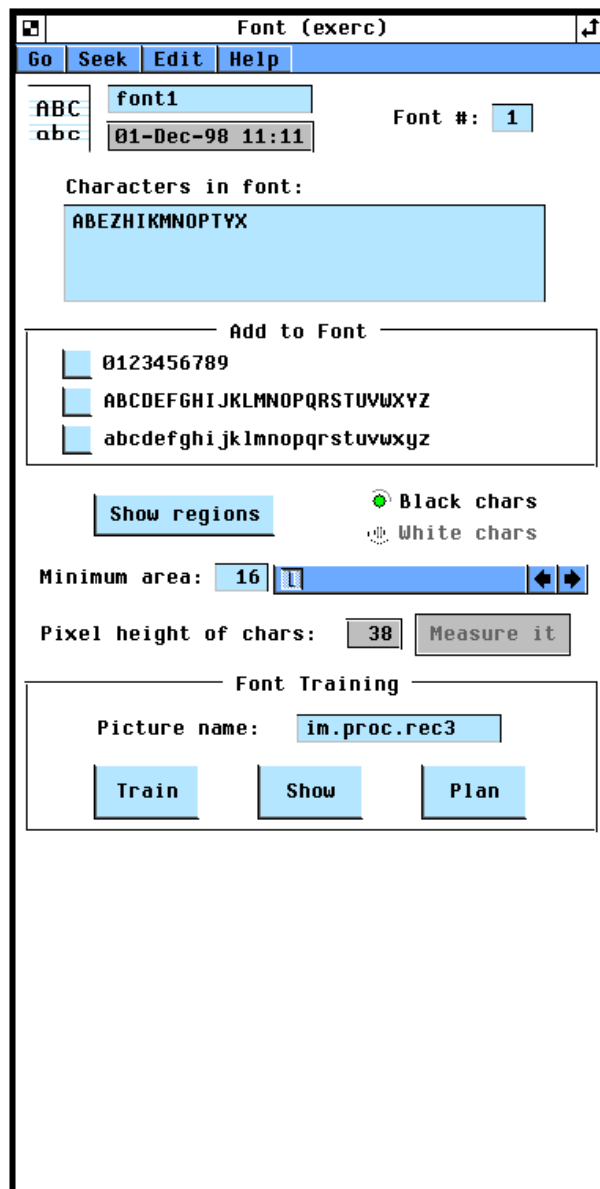
Τα αρχεία αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται για την δημιουργία και την αποθήκευση γραμματοσειρών με τις οποίες θα εκτελεστεί μία διαδικασία OCR. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή διαμορφώθηκαν δύο είδη αρχείων τέτοιας μορφής. Αρχεία για την αποθήκευση αλφαβητικών και αρχεία αποθήκευσης αριθμητικών στοιχείων. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα font1, font3 και font5, ενώ στη δεύτερη τα font2, font4 και font6. Κάθε ένα από αυτά, περιέχει τα στοιχεία της γραμματοσειράς για μία ορισμένη απόσταση κάμερας-αντικειμένου, όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Σ' αυτή την ενότητα θα περιγραφεί το αρχείο font1 (τα υπόλοιπα έχουν παρόμοια με αυτό δομή). Η μορφή του παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1.

Στην κορυφή της οθόνης αναφέρεται το όνομα του αρχείου, η ημερομηνία δημιουργίας του, καθώς και ο αύξοντας αριθμός του. Κατά τη δημιουργία της γραμματοσειράς πρέπει να οριστούν τα στοιχεία που αυτή θα περιέχει. Αυτό πραγματοποιείται είτε αναγράφοντας κάθε στοιχείο στο πεδίο Characters in font, είτε επιλέγοντας έτοιμα σύνολα από την επιλογή Add to font. Το αρχείο font1 (όπως και τα font3, font5) περιέχει τα στοιχεία του συνόλου {A, B, E, Z, H, I, K, M, N, O, P, T, Y, X}. Τα αρχεία font2, font4 και font6 περιέχουν τα {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}.

Έπειτα πρέπει να καθοριστεί το σχήμα κάθε στοιχείου που περιέχεται στη γραμματοσειρά. Στο οπτικό πεδίο της κάμερας τοποθετείται η μορφή κάθε στοιχείου. Με την επιλογή Black chars επιλέγεται μαύρο αντικείμενο σε λευκό φόντο. Το εργαλείο που χρησιμοποιείται είναι ένα παράθυρο επεξεργασίας που με τη βοήθεια του ποντικιού τοποθετείται σε όποια περιοχή του οπτικού πεδίου επιθυμείται. Μέσα σε αυτό πρέπει να υπάρχει το στοιχείο του οποίου εξετάζεται η μορφή. Με την επιλογή Show regions παρουσιάζεται στην οθόνη η μορφή του αντικειμένου που βρίσκεται μέσα στο παράθυρο. Η μορφή αυτή μπορεί να βελτιωθεί με τη διαδικασία Minimum area. Μέσω αυτής επιλέγεται το μικρότερο μέγεθος στοιχείου που θα χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό του μοντέλου. Έτσι είναι δυνατή η απομάκρυνση μικρών σημείων που δεν αποτελούν μέρος της μορφής του μοντέλου του αριθμού ή του γράμματος.

Αφού τοποθετηθεί το παράθυρο πάνω από το μεγαλύτερο στοιχείο της γραμματοσειράς που παρουσιάζεται στην οθόνη, επιλέγεται το Measure it. Με την επιλογή αυτή ορίζεται το ύψος των στοιχείων (Pixel height of chars). Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή το ύψος των στοιχείων κάθε γραμματοσειράς διαφέρει, αφού λόγω της μετατόπισης του αντικειμένου τα στοιχεία εμφανίζονται στην κάμερα με μικρότερο ή μεγαλύτερο μέγεθος.



Σχήμα 5.1: Αρχείο Δημιουργίας γραμματοσειράς.

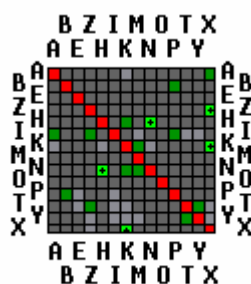
Η δημιουργία της γραμματοσειράς και η αποθήκευση της μορφής της πραγματοποιείται με την επιλογή Train. Αρχικά, στο Picture name ορίζονται τα χαρακτηριστικά της εικόνας που θα χρησιμοποιηθεί από τη διαδικασία. Στην εφαρμογή επιλέγεται η επεξεργασμένη εικόνα που περιγράφεται από το αρχείο im.proc.rec3. Η εικόνα

προήλθε από την αρχική εικόνα picture_1 με τη διαδικασία thresholding και τις συνελίξεις ενός βαθυπερατού και ενός υψιπερατού φίλτρου. Πρόκειται επομένως για μία δίτιμη εικόνα, δίχως θόρυβο και με τονισμένες τις ακμές του υπο εξέταση αντικειμένου.

Με την επιλογή Train στην οθόνη εμφανίζεται το παράθυρο επεξεργασίας. Μέσα σε αυτό τοποθετούνται τα στοιχεία της γραμματοσειράς. Η μορφή κάθε στοιχείου παρουσιάζεται με πράσινο χρώμα στην οθόνη. Αν η μορφή αυτή είναι η επιθυμητή τότε γίνεται δεκτή και αποθηκεύεται στη μνήμη. Το σύστημα αναγνωρίζει χαρακτήρες βασιζόμενο στο σχήμα που αυτοί έχουν. Η μορφή κάθε στοιχείου είναι πολύ σημαντικός παράγοντας γι' αυτό και η διαδικασία ορισμού της πραγματοποιείται πολλές φορές. Για αξιόπιστα αποτελέσματα, η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται 5 έως 15 φορές, ενώ ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων είναι 30.

Κατά τον σχεδιασμό της γραμματοσειράς τα στοιχεία πρέπει να παρουσιαστούν με όλες τις πιθανές μορφές τους. Για τον σκοπό αυτό κάθε στοιχείο μετατοπίζεται και περιστρέφεται ως προς τους άξονές του (Σχήμα 4.1). Έτσι η γραμματοσειρά αποκτά μεγαλύτερη ποικιλία μορφών. Το σύστημα συνδυάζει όλες τις πιθανές περιπτώσεις και διαμορφώνει βάσει αυτών το τελικό μοντέλο του στοιχείου.

Μετά τον ορισμό της μορφής όλων των στοιχείων επιλέγεται η διαδικασία Plan. Με την επιλογή αυτή στην οθόνη παρουσιάζεται η μορφή του Σχήματος 5.2.



Σχήμα 5.2: Πίνακας συσχέτισης.

Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει τη συσχέτιση των στοιχείων κάθε γραμματοσειράς. Το χρώμα κάθε στοιχείου του πίνακα αντιπροσωπεύει το κατά πόσο ο κάθε χαρακτήρας (οριζόντια στήλη) ταυτίζεται με κάποιον άλλο. Η σύγκριση αυτή πραγματοποιείται με βάση τα μοντέλα των υπολοίπων στοιχείων (κάθετες στήλες). Τα χρώματα, τα οποία δηλώνουν το σκορ ταύτισης αναφέρονται στον επόμενο πίνακα.

Χρώμα	Σκορ
Σκούρο γκρι	0 έως 10
Ανοικτό γκρι	10 έως 20
Σκούρο πράσινο	20 έως 30
Πράσινο	30 έως 40
Κίτρινο	40 έως 50
Πορτοκαλί	50 έως 60
Κόκκινο	60 έως 100

Το σκορ 100 αντιστοιχεί σε πλήρη αδυναμία διάκρισης των δύο στοιχείων (ή τέλειας ταύτισης αν πρόκειται για την διαγώνιο, όπου το στοιχείο συγκρίνεται με το δικό του μοντέλο). Για την επίτευξη αξιόπιστων αποτελεσμάτων τα στοιχεία του πίνακα πρέπει να έχουν μέγιστο σκορ 40 (δηλαδή να έχουν χρώμα γκρι ή πράσινο, εκτός της διαγωνίου η οποία θα έχει κόκκινο χρώμα). Για τιμές μεγαλύτερες εκτελούνται νέες διαδικασίες Train, για τη βελτίωση της μορφής των στοιχείων.

Τα χαρακτηριστικά της γραμματοσειράς που διαμορφώθηκε από την όλη διαδικασία παρουσιάζεται με την επιλογή Show. Η γραμματοσειρά αυτή θα χρησιμοποιηθεί από το αντίστοιχο αρχείο OCR Field Record. Η διαδικασία οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων OCR αναλύεται στην επόμενη ενότητα.

5.3 Εκτέλεση διαδικασίας OCR με τη χρήση αρχείου OCR Field Record

Μετά τη δημιουργία των γραμματοσειρών, το σύστημα είναι σε θέση να τις χρησιμοποιήσει για την αναγνώριση χαρακτήρων μέσω της διαδικασίας OCR. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε συγκεκριμένη περιοχή του οπτικού πεδίου της κάμερας (περιοχή ενδιαφέροντος ή Area Of Interest-AOI). Η περιοχή ορίζεται με τη βοήθεια του αρχείου OCR Field Record .

Κάθε αρχείο αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιεί μία γραμματοσειρά που περιγράφεται από κάποιο OCR Font Record και είναι αποθηκευμένη στη βάση δεδομένων. Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες, τα αρχεία που διαμορφώθηκαν για την εκτέλεση του προγράμματος είναι τα ocr1, ocr3 και ocr5 για την αναγνώριση των αλφαβητικών και τα ocr2, ocr4 και ocr6 για την αναγνώριση των αριθμητικών στοιχείων της

πινακίδας. Κάθε ένα από αυτά χρησιμοποιεί το αντίστοιχο αρχείο OCR Font Record. Στην συγκεκριμένη ενότητα θα παρουσιαστεί το αρχείο ocr1. Τα υπόλοιπα έχουν δομή όμοια με αυτό. Το αρχείο έχει τη μορφή του Σχήματος 5.3.

The screenshot shows a window titled "OCR Field (exerc)" with a menu bar containing "Go", "Seek", "Edit", and "Help". The main area contains the following fields and controls:

- ocr1** (text field)
- 24-Nov-98 09:52** (text field)
- ☒ **Top Level**
- ☐ **Show at runtime**
- Picture name:** **im.proc.rec3** (text field)
- Font name:** **font11** (text field)
- Tool Loc** (text field)
- ☒ **Relative to:** **frame1** (text field)
- ☐ **Force absolute angle of zero**
- Mode of Operation** (section header)
 - ☐ **Verify against expected chars**
 - ☐ **Verify against all chars**
 - ☒ **Full text recognition**
- Expected text in field:** (text field)
- Train** (button)
- Show Font** (button)
- Max execution time (secs):** **1.000** (text field)
- Max blob area (in pixels):** **307200** (text field)
- Results** (section header)
 - Number of characters found:** **3** (text field)
 - Avg score of chars found:** **80** (text field)
 - Min score of chars found:** **78** (text field)
 - Text recognized:** **BYX** (text field)

Σχήμα 5.3: *Αρχείο OCR Field Record.*

Στην κορυφή της οθόνης αναφέρεται το όνομά του και η ημερομηνία δημιουργίας του. Η εικόνα πάνω στην οποία θα γίνει η διαδικασία αναγνώρισης περιγράφεται από το αρχείο εικόνας im.proc.rec3. Στην εικόνα αυτή έχουν εφαρμοστεί οι διαδικασίες επεξεργασίας που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3. Το αρχείο OCR Font Record που

περιγράφει τη γραμματοσειρά που χρησιμοποιείται από τη διαδικασία, αναφέρεται στην τιμή Font name. Για την διαδικασία ocr1 χρησιμοποιείται το αρχείο font1. Για τις υπόλοιπες διαδικασίες χρησιμοποιούνται τα ανάλογα αρχεία όπως έχουν παρουσιαστεί στις προηγούμενες ενότητες.

Η διαδικασία αναγνώρισης πραγματοποιείται σε μία περιοχή ενδιαφέροντος του οπτικού πεδίου της κάμερας. Η περιοχή αυτή έχει τη μορφή παραθύρου. Με τη χρήση του ποντικιού ή με την επιλογή Tool Loc, είναι δυνατή η διαμόρφωση του μεγέθους της και η τοποθέτησή της στην επιθυμητή θέση μέσα στο οπτικό πεδίο. Η περιοχή ενδιαφέροντος περιέχει όλα τα στοιχεία που πρέπει να αναγνωριστούν από το πρόγραμμα OCR. Για τις διαδικασίες ocr1, ocr3 και ocr5, η περιοχή έχει διαμορφωθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να περιέχει όλα τα αλφαβητικά στοιχεία της πινακίδας του οχήματος. Για τις ocr2, ocr4 και ocr6 η περιοχή ενδιαφέροντος περιέχει τα αριθμητικά στοιχεία της πινακίδας. Όλα τα στοιχεία που βρίσκονται μέσα σε κάθε περιοχή αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα και τα ανάλογα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο κάτω μέρος της οθόνης (Results).

Με την επιλογή Relative to η περιοχή ενδιαφέροντος τοποθετείται σε σχέση με κάποιο σύστημα αξόνων διαφορετικό από αυτό της κάμερας. Η διαδικασία αυτή είναι αναγκαία σε περιπτώσεις όπου το προς εξέταση αντικείμενο παρουσιάζεται σε τυχαία μορφή. Γίνεται επομένως δύσκολη η ακριβής τοποθέτηση των οπτικών εργαλείων σε κάποια σταθερή θέση μέσα στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή αντιμετωπίζεται παρόμοιο πρόβλημα. Το πρόγραμμα πρέπει να αναγνωρίζει τα στοιχεία της πινακίδας μέσα στα όρια μετατόπισης και περιστροφής που παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 4.1. Για τον λόγο αυτό ορίστηκε το νέο σύστημα που περιγράφεται από το αρχείο frame1 και το οποίο τοποθετεί τα διάφορα οπτικά εργαλεία σύμφωνα με τη μετατόπιση και την περιστροφή της πινακίδας του οχήματος. Η διαδικασία ορισμού του νέου συστήματος περιγράφεται στην ενότητα 4.2.2.

Η τοποθέτηση της περιοχής ενδιαφέροντος πραγματοποιείται σε σχέση με αυτό το σύστημα αξόνων. Κατά την αλλαγή της θέσης της πινακίδας προκαλείται και αντίστοιχη μετατόπιση της περιοχής ενδιαφέροντος, έτσι ώστε να περιέχει πάντα τα στοιχεία για τα οποία γίνεται προσπάθεια αναγνώρισης. Η περιοχή έχει την μορφή παραλληλογράμμου και τοποθετείται αριστερά της αναγνωρισμένης παύλας (για τα αρχεία που χρησιμοποιούνται

στην αναγνώριση των αριθμητικών στοιχείων η περιοχή ενδιαφέροντος τοποθετείται δεξιά της αναγνωρισμένης παύλας).

Η διαδικασία που εκτελείται στην περιοχή ενδιαφέροντος καθορίζεται από την επιλογή Mode of Operation. Οι δυνατές επιλογές είναι τρεις.

- **Verify against expected chars.**

Με τη διαδικασία αυτή το σύστημα προσπαθεί να αναγνωρίσει συγκεκριμένα στοιχεία της γραμματοσειράς στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τα στοιχεία αυτά δηλώνονται στην περιοχή Expected Text. Τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι τα:

Number of character found: Το πλήθος των στοιχείων που βρέθηκαν μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος (όχι αυτών που αναγνωρίστηκαν).

Average score of characters found: Το μέσο σκορ αναγνώρισης των στοιχείων για τα οποία εκτελείται η διαδικασία.

Min score of chars found: Το ελάχιστο σκορ αναγνώρισης των στοιχείων για τα οποία εκτελείται η διαδικασία.

- **Verify against all chars.**

Με τη διαδικασία αυτή, κάθε στοιχείο στην περιοχή ενδιαφέροντος συγκρίνεται με όλα τα στοιχεία της χρησιμοποιούμενης γραμματοσειράς. Τα δύο μοντέλα που το προσεγγίζουν καλύτερα συγκρίνονται εκ νέου μαζί του για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι όμοια με αυτά της διαδικασίας verify against expected chars με επιπλέον τα:

Each char was 1 st choice: Το αποτέλεσμα αυτό παρουσιάζει πότε ένα στοιχείο της περιοχής Expected text in field αναγνωρίζεται σαν το αντίστοιχο στοιχείο της γραμματοσειράς.

Each was 1 st or 2 nd choice: Το αποτέλεσμα αυτό παρουσιάζει πότε ένα στοιχείο της περιοχής Expected text in field αναγνωρίζεται σαν το αντίστοιχο ή το αμέσως κοντινότερο στοιχείο της γραμματοσειράς.

- **Full text recognition.**

Με τη διαδικασία αυτή αναγνωρίζεται η μορφή όλων των στοιχείων που βρίσκονται στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι αυτά της διαδικασίας verify against expected chars με επιπλέον το:

Text Recognized: Το αποτέλεσμα αυτό παρουσιάζει τους χαρακτήρες που αναγνωρίστηκαν μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η επιλογή Full text recognition. Τα αναγνωρισμένα στοιχεία αποθηκεύονται στο αρχείο 6.log με τη διαδικασία logging results που θα αναλυθεί στην Ενότητα 7.2.

Στην περιοχή Max execution time (secs) επιλέγεται ο μέγιστος χρόνος (σε δευτερόλεπτα), που θα δαπανήσει το σύστημα για την αναγνώριση. Επίσης με την Max blob area (in pixels) δίνεται στο σύστημα η δυνατότητα να αναγνωρίζει μόνο στοιχεία με μέγεθος μικρότερο από την τιμή αυτή. Έτσι απομακρύνονται μεγάλες περιοχές που δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την αναγνώριση. Στην περιοχή Results παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της όλης διαδικασίας.

5.4 Δημιουργία των αρχείων επιθεώρησης που συνεργάζονται με τα OCR Field Records

Μετά τον ορισμό των ανεξάρτητων αρχείων αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR Field Records), δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα αρχεία επιθεώρησης (inspect records) που παρουσιάζουν το ελάχιστο σκορ αναγνώρισης. Τα αρχεία αυτά βοηθούν στην σύγκριση των διαδικασιών αναγνώρισης και την εύρεση της βέλτιστης που θα χρησιμοποιηθεί τελικά για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Η σύγκριση αυτή πραγματοποιείται μέσω της ακολουθίας επιθεωρήσεων η οποία θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Για την αναγνώριση των αλφαβητικών στοιχείων συγκρίνονται τα μικρότερα σκορ αναγνώρισης των διαδικασιών ocr1, ocr3 και ocr5. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται μέσω της εντολής ακολουθίας INSPECT. Τα αντίστοιχα αρχεία επιθεώρησης που χρησιμοποιούνται ως στοιχεία αυτής της εντολής είναι τα inspect1, inspect3 και inspect5. Όμοια για την εξέταση των αριθμητικών στοιχείων χρησιμοποιούνται τα inspect2, inspect4 και inspect6.

Στην ενότητα αυτή ορίζεται το αρχείο επιθεώρησης inspect1. Το αρχείο αυτό παρουσιάζει το αποτέλεσμα ελάχιστου σκορ αναγνώρισης της διαδικασίας που περιγράφεται από το αρχείο ocr1. Η μορφή του φαίνεται στο Σχήμα 5.4.

Από τις δυνατές επιλογές Inspection Type επιλέγεται η OCR results. Με τη Select new operation ορίζεται ποιο μέγεθος θα παρουσιάζεται από το αρχείο επιθεώρησης. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή η επιθυμητή τιμή είναι η Min score of chars found. Επίσης δηλώνεται το αρχείο που περιγράφει την εκτέλεση της οπτικής διαδικασίας που υπολογίζει το ζητούμενο αποτέλεσμα. Στο πεδίο OCR Field Record τοποθετείται το όνομα του αρχείου ocr1.

Inspection (exerc)

Go Seek Edit Help

inspect1 24-Nov-98 09:52 TopLevel

Inspection Type

☐ Measure
 ☐ Blob stats
☐ Test a value
 ☐ Window stats
☐ Combine inspections
 ☒ OCR results

Specific Operation

Minimum score

Select new value to test

OCR field name: ocr1

☐ Return error if the Result is FAIL
☐ Return error if a source "not found"

Results

Value	Result
63.000	Pass

Nominal: 50.000

Deviation: 13.000

Limits

☐ Pass-fail I/O signal
☒ Gather stats

Bin size: 5

Logging Data

☐ Log all results
☐ Log warnings and failures only
☐ Log failures only
☒ Log nothing

Label for data item in file:

Σχήμα 5.4: Ορισμός του αρχείου επιθεώρησης inspect1.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην περιοχή Results. Στο πεδίο Nominal ορίζεται η ιδανική τιμή που πρέπει να έχει το μέγεθος που εξετάζεται. Η τιμή αυτή συγκρίνεται με την πραγματική και υπολογίζεται η απόκλιση από αυτήν, Deviation. Με την τοποθέτηση ορίων

Limits καθορίζεται ο επιτρεπτός χώρος τιμών του μεγέθους. Αν το αποτέλεσμα βρεθεί εκτός των ορίων, τότε η μεταβλητή OK_SIGNAL παίρνει την τιμή FALSE και η διαδικασία θεωρείται μη επιτυχής. Για το Min score of chars found το επιτρεπτό διάστημα τιμών είναι το [0,100].

Τα υπόλοιπα αρχεία αυτής της κατηγορίας έχουν παρόμοια δομή. Μετά τον ορισμό τους είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων αναγνώρισης και η επιλογή του αντίστοιχου βέλτιστου αρχείου OCR Field Record. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη χρήση της εντολής OCR_OUTPUT FROM. Η δημιουργία της ακολουθίας επιθεωρήσεων και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ολικής διαδικασίας περιγράφονται στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο.

6. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ

6.1 Ορισμός της ακολουθίας επιθεωρήσεων

Για την ολοκλήρωση της εφαρμογής πρέπει να συνδυαστούν οι ανεξάρτητες εφαρμογές OCR σε μία ακολουθία επιθεωρήσεων. Από τη σύγκριση του αποτελέσματος μικρότερου σκορ αναγνώρισης, επιλέγεται η βέλτιστη διαδικασία και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της.

Για την αναγνώριση των αλφαβητικών στοιχείων της πινακίδας, συγκρίνονται οι τιμές των αρχείων `inspect1`, `inspect3` και `inspect5`. Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν το ελάχιστο σκορ αναγνώρισης για την εφαρμογή της διαδικασίας OCR που περιγράφεται από τα αρχεία `ocr1`, `ocr3` και `ocr5` αντίστοιχα. Οι διαδικασίες αυτές χρησιμοποιούν τις γραμματοσειρές `font1`, `font3` και `font5`. Η `font1` περιέχει τη μορφή των στοιχείων για μηδενική μετατόπιση του αντικειμένου ως προς την κάμερα, ενώ οι `font3` και `font5` για μετατοπίσεις $+0.5$ και -0.5 μέτρου αντίστοιχα (σχήμα 4.1).

Ανάλογα με τη θέση που έχει το αντικείμενο κατά την εκτέλεση της εφαρμογής μεταβάλλονται τα αποτελέσματα των διαδικασιών OCR. Για παράδειγμα, αν κατά τη λήψη της εικόνας το αντικείμενο έχει μετατοπιστεί πιο κοντά στην κάμερα, η οπτική διαδικασία `ocr3` δίνει καλύτερα αποτελέσματα από αυτές των `ocr1` και `ocr5` (δηλαδή το ελάχιστο σκορ αναγνώρισης `inspect3` έχει μεγαλύτερη τιμή από αυτή των `inspect1` και `inspect5`). Αν η απόσταση αντικειμένου-κάμερας αυξηθεί, η βέλτιστη διαδικασία είναι η `ocr5`, ενώ αν το αντικείμενο είναι πιο κοντά στην αρχική θέση η βέλτιστη λύση προκύπτει από την `ocr1`.

Η διαδικασία για την αναγνώριση των αριθμητικών στοιχείων είναι όμοια. Για μετατόπιση του αντικειμένου προς την κάμερα η βέλτιστη λύση αντιστοιχεί στη διαδικασία `ocr4` (`inspect4`). Για απομάκρυνση του αντικειμένου η αντίστοιχη διαδικασία είναι η `ocr6` (`inspect6`) και για την αρχική θέση η `ocr2` (`inspect2`).

Τα επιτρεπτά όρια μετακίνησης είναι ± 0.5 μέτρο από την αρχικά οριζόμενη απόσταση κάμερας-αντικειμένου (7 μέτρα). Για μεγαλύτερες μετακινήσεις το πρόγραμμα δεν παρέχει αξιόπιστες πληροφορίες ως προς το είδος και το ποσοστό αναγνώρισης των στοιχείων που βρέθηκαν.

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος εκτελούνται έξι διαδικασίες οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων. Τρεις για τα αλφαβητικά (ocr1, ocr3 και ocr5) και τρεις για τα αριθμητικά (ocr2, ocr4 και ocr6) στοιχεία της πινακίδας. Για κάθε τριάδα επιλέγεται εκείνη η διαδικασία για την οποία παρατηρείται το βέλτιστο μικρότερο σκορ αναγνώρισης. Τα σκορ αυτά παρουσιάζονται από τα αρχεία inspect. Για παράδειγμα, το αρχείο inspect1 παρουσιάζει το μικρότερο σκορ αναγνώρισης κατά την εκτέλεση της διαδικασίας ocr1.

Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται σε μία μεταβλητή (με όνομα inspect) ώστε να είναι δυνατή η σύγκρισή του με αυτά των υπολοίπων διαδικασιών. Ο ορισμός των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζεται στην Ενότητα 6.2, ενώ η μορφή της ακολουθίας αναλύεται στην Ενότητα 6.3

6.2 Ορισμός των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται από την ακολουθία επιθεωρήσεων (sequence)

Για την σύγκριση των τιμών μικρότερου σκορ αναγνώρισης των διαδικασιών OCR, πρέπει οι τιμές αυτές να αποθηκευτούν σε κάποιες μεταβλητές. Οι τιμές περιέχονται στα αρχεία επιθεώρησης (inspect) τα οποία συνεργάζονται με τα αντίστοιχα αρχεία οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (OCR Field Record). Με τη χρήση της εντολής ακολουθίας INSPECT OPERATION --vision-- το σύστημα υπολογίζει το αποτέλεσμα που ορίζεται από το αρχείο επιθεώρησης vision.

Για παράδειγμα, με την εντολή INSPECT OPERATION inspect1 υπολογίζεται το μικρότερο σκορ αναγνώρισης της διαδικασίας ocr1. Με την εντολή αυτή, το σύστημα αυτόματα εκτελεί το αντίστοιχο πρόγραμμα V^+ που είναι αποθηκευμένο στη μνήμη του (το πρόγραμμα έχει το όνομα της εντολής inspect()). Μέσω αυτού φορτώνονται από τη μνήμη όλα τα απαραίτητα αρχεία που ορίζουν επακριβώς τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας που θα ακολουθηθεί. Χρησιμοποιείται η κατάλληλη γραμματοσειρά και τοποθετείται η περιοχή ενδιαφέροντος μέσα στην οποία θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία OCR. Το πρόγραμμα αποθηκεύει τα αποτελέσματα της διαδικασίας στο διάνυσμα vw.res. Το μικρότερο σκορ αναγνώρισης αντιστοιχεί στο στοιχείο vw.res[vi.db, prec, vw.r.0] του διανύσματος. Η τιμή αυτή τοποθετείται στη μεταβλητή x με την εντολή προγράμματος

x=vw.res[vi.db, prec, vw.r.0]

Όταν η ακολουθία συναντήσει την επόμενη εντολή INSPECT OPERATION inspect2, το σύστημα εκτελεί ξανά το πρόγραμμα inspect() και στην τιμή x τοποθετεί τη νέα τιμή μικρότερου σκορ αναγνώρισης για τη διαδικασία ocr2.

Επομένως η πρώτη τιμή πρέπει να αποθηκευτεί σε μία μεταβλητή ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή της στο μέλλον. Η νέα μεταβλητή χρησιμοποιείται έπειτα από την ακολουθία επιθεωρήσεων για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διαδικασίας οπτικής αναγνώρισης OCR.

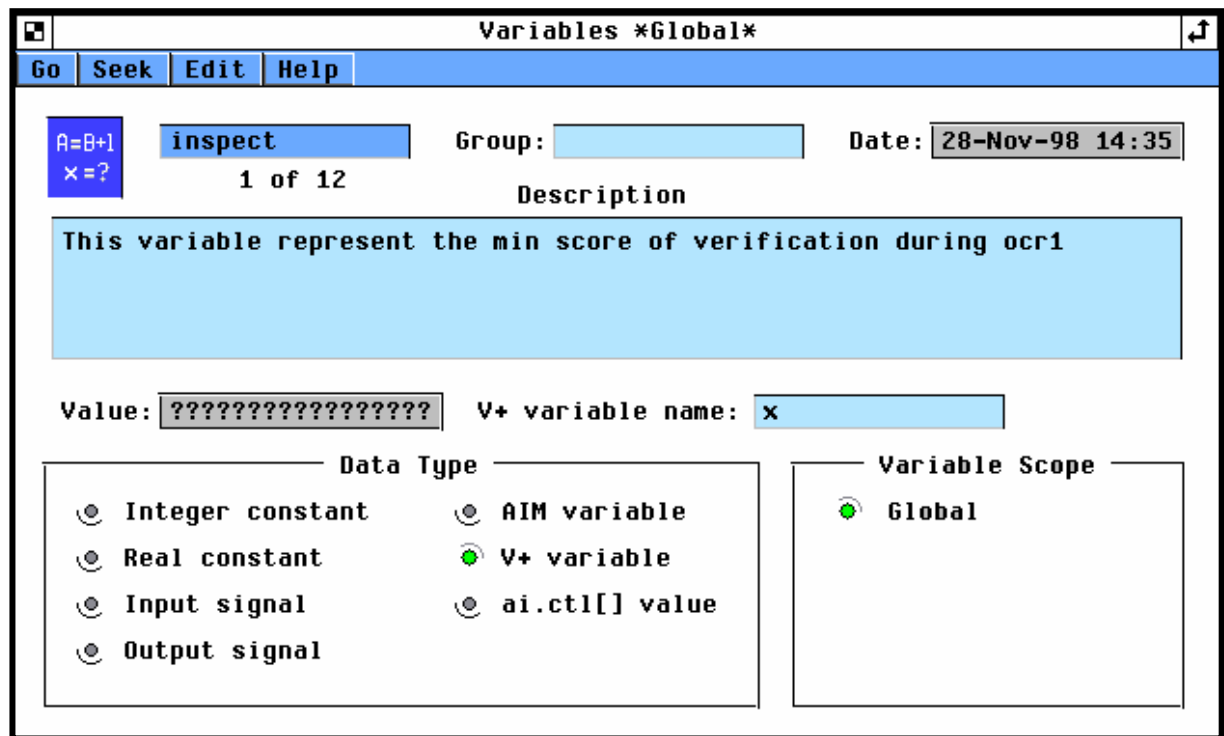
Στην μεταβλητή var1 αντιστοιχεί η τιμή μικρότερου σκορ αναγνώρισης που υπολογίζεται από την εντολή INSPECT OPERATION inspect1, στην var2 αυτή που υπολογίζεται από την INSPECT OPERATION inspect2 κ.ο.κ. Η αντιστοιχία των τιμών γίνεται με την εντολή ακολουθίας SET.

Για τη δημιουργία και την αποθήκευση των νέων μεταβλητών στη βάση δεδομένων, από το μενού της οθόνης επιλέγονται τα Edit, Variables, οπότε και παρουσιάζεται η οθόνη του Σχήματος 6.1.

Στην κορυφή αναγράφεται το όνομα της νέας μεταβλητής και μία σύντομη περιγραφή του μεγέθους που εκφράζει. Από το πεδίο DataType επιλέγεται ο τύπος της. Οι δυνατές περιπτώσεις είναι οι εξής:

- Integer constant. Η νέα μεταβλητή έχει μία σταθερή ακέραια τιμή.
- Real constant. Η νέα μεταβλητή έχει μία σταθερή πραγματική τιμή.
- Input signal. Η νέα μεταβλητή ορίζει ένα σήμα εισόδου.
- Output signal. Η νέα μεταβλητή ορίζει ένα σήμα εξόδου.
- AIM variable. Η νέα μεταβλητή έχει πραγματική τιμή η οποία μεταβάλλεται από την εκτέλεση της ακολουθίας επιθεωρήσεων. Οι μεταβλητές var που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.
- V^+ variable. Η νέα μεταβλητή έχει πραγματική τιμή η οποία μεταβάλλεται από την εκτέλεση προγράμματος V^+ . Οι μεταβλητή inspect που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή ανήκει σε αυτή την κατηγορία. Η τιμή της, που ισούται με τη μεταβλητή x, μεταβάλλεται με την εκτέλεση του προγράμματος inspect().

- ai.ct1[] value. Η νέα μεταβλητή έχει πραγματική τιμή η οποία επηρεάζει τις τιμές των παραμέτρων AIM control. Οι παράμετροι αυτοί είναι υπεύθυνοι για ορισμένα χαρακτηριστικά του συστήματος.



Σχήμα 6.1: Ορισμός των μεταβλητών.

Στην περιοχή V⁺ variable name ορίζεται το όνομα της μεταβλητής x, η τιμή της οποίας αποθηκεύεται στην inspect. Για τις υπόλοιπες μεταβλητές (x, var1, var2, var3, var4, var5 και var6) ακολουθείται η ίδια διαδικασία. Μετά τον ορισμό όλων των μεταβλητών δημιουργήθηκε η ακολουθία επιθεωρήσεων sequence η οποία εκτελεί την εφαρμογή.

6.3 Δημιουργία της ακολουθίας επιθεωρήσεων sequence

Μετά τον ορισμό των αρχείων και των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται από την εφαρμογή, δημιουργήθηκε η ακολουθία επιθεωρήσεων sequence. Στην ακολουθία αυτή γίνεται αρχικά ρύθμιση του offset της εικόνας. Έπειτα το μικρότερο σκορ αναγνώρισης κάθε διαδικασίας αποθηκεύεται στην αντίστοιχη μεταβλητή (η νέα μεταβλητή έχει οριστεί με τη διαδικασία που παρουσιάστηκε στην Ενότητα 6.2). Συγκρίνοντας τις τιμές αυτών των μεταβλητών επιλέγεται η διαδικασία OCR που παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος. Τα αποτελέσματα τοποθετούνται σε ένα αρχείο και αποθηκεύονται στη μνήμη.

Η πρώτη εντολή της ακολουθίας είναι η

AUTO_BRIGHTNESS WITH inspect

Η εντολή αυτή περιγράφεται αναλυτικά στην Ενότητα 4.2.1. Με τη βοήθειά της καθορίζεται η παράμετρος offset της λαμβανόμενης εικόνας. Η παράμετρος αυτή είναι υπεύθυνη για τη φωτεινότητα. Το αρχείο inspect χρησιμοποιεί το αρχείο παραθύρου window. Συγκεκριμένα παρουσιάζει το μέσο γκρίζου επιπέδου της εικόνας (average graylevel) που υπολογίζεται από το αρχείο window. Η τιμή του χρησιμοποιείται στη ρύθμιση της φωτεινότητας μέσω της ρύθμισης του offset από το αρχείο picture_1.

Με την εντολή AUTO_BRIGHTNESS το σύστημα προσπαθεί να διατηρήσει την τιμή average graylevel που βρίσκεται στο πεδίο Nominal value, ρυθμίζοντας την παράμετρο offset του αρχείου picture_1. Έτσι η λαμβανόμενη εικόνα έχει τιμή μέσου γκρίζου επιπέδου που προσεγγίζει τη ζητούμενη Nominal. Με τη διαδικασία αυτή η εικόνα αποκτά την επιθυμητή φωτεινότητα (Ενότητα 3.3.1).

Έπειτα, η ακολουθία υπολογίζει τα μικρότερα σκορ αναγνώρισης και τα τοποθετεί στην κατάλληλη μεταβλητή. Ο υπολογισμός των τιμών αυτών πραγματοποιείται με την εντολή

INSPECT OPERATION --vision--

Με την εντολή αυτή υπολογίζεται το μικρότερο σκορ αναγνώρισης που ορίζεται από το αρχείο vision. Το πρόγραμμα εκτελεί την υπορουτίνα inspect(). Από το όνομα των αρχείων OCR Font Record και OCR Field Record που συνεργάζονται με το αρχείο επιθεώρησης vision, καθορίζεται η γραμματοσειρά και η περιοχή ενδιαφέροντος που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή της τιμής μικρότερου σκορ αναγνώρισης.

Για παράδειγμα, με την εντολή INSPECT OPERATION inspect1 υπολογίζεται το μικρότερο σκορ αναγνώρισης που παρατηρείται κατά την εκτέλεση της διαδικασίας αναγνώρισης των αλφαβητικών στοιχείων μέσω της ocr1 (η αντίστοιχη γραμματοσειρά που χρησιμοποιείται περιγράφεται από το αρχείο font1).

Η τιμή αυτή τοποθετείται στη μεταβλητή var1 με την εντολή

SET var1=inspect

Η μεταβλητή inspect περιέχει τη ζητούμενη τιμή μικρότερου σκορ αναγνώρισης και έχει οριστεί με τη διαδικασία που παρουσιάστηκε στην Ενότητα 6.2.

Οι δύο αυτές εντολές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μικρότερου σκορ αναγνώρισης και την τοποθέτηση του στις μεταβλητές var3 και var5, για τις διαδικασίες ocr3 και ocr5 αντίστοιχα. Οι τρεις αυτές διαδικασίες OCR, εκτελούνται για την αναγνώριση των αλφαβητικών στοιχείων της πινακίδας. Κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί σε ορισμένη απόσταση κάμερας-αντικειμένου. Ανάλογα με τη θέση που έχει η πινακίδα κατά τη λήψη της εικόνας, μεταβάλλονται τα σκορ αναγνώρισης των στοιχείων τους. Η διαδικασία που παρουσιάζει τη βέλτιστη τιμή για το μικρότερο σκορ αναγνώρισης, είναι αυτή που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων.

Η εύρεση της βέλτιστης διαδικασίας πραγματοποιείται με τον έλεγχο των τιμών var1, var3 και var5. Αφού καθοριστεί η βέλτιστη διαδικασία, τα αποτελέσματά της αποθηκεύονται στο αρχείο 6.log μέσω της εντολής

OCR_OUTPUT FROM --vision--

Το στοιχείο vision είναι το αρχείο OCR Field Record που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των χαρακτήρων. Για παράδειγμα, με την εντολή OCR_OUTPUT FROM ocr1 συγκρίνονται τα στοιχεία της περιοχής ενδιαφέροντος με αυτά τις γραμματοσειράς font1 και τα αποτελέσματα αναγνώρισης αποθηκεύονται στο αρχείο 6.log.

Οι εντολές που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της βέλτιστης διαδικασίας αναγνώρισης των αλφαβητικών στοιχείων της πινακίδας και την τοποθέτηση των αποτελεσμάτων στο αρχείο αναφέρονται παρακάτω.

```
IF var1>=var3 AND var1>=var5
OCR_OUTPUT FROM ocr1
ELSE IF var3>var1 AND var3>=var5
OCR_OUTPUT FROM ocr3
ELSE IF var5>var1 AND var5>var3
OCR_OUTPUT FROM ocr5
END
```

Για την αναγνώριση των αριθμητικών στοιχείων της πινακίδας ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τα ανάλογα αρχεία και μεταβλητές που έχουν οριστεί στις προηγούμενες ενότητες.

Η συνολική μορφή της ακολουθίας επιθεωρήσεων που διαμορφώθηκε παρουσιάζεται παρακάτω.

AUTO_BRIGHTNESS WITH inspect : Ρύθμιση του offset της εικόνας

INSPECT OPERATION inspect1	: Υπολογισμός των μικρότερων σκορ
SET var1=inspect	αναγνώρισης για τα αλφαβητικά
INSPECT OPERATION inspect3	στοιχεία (inspect1, inspect3 και inspect5).
SET var3=inspect	Αποθήκευση των αποτελεσμάτων
INSPECT OPERATION inspect5	στις αντίστοιχες μεταβλητές.
SET var5=inspect	

IF var1>=var3 AND var1>=var5	: Εύρεση της διαδικασίας OCR που
OCR_OUTPUT FROM ocr1	δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα για
ELSE IF var3>var1 AND var3>=var5	το μικρότερο σκορ αναγνώρισης
OCR_OUTPUT FROM ocr3	και εξαγωγή αποτελεσμάτων για
ELSE IF var5>var1 AND var5>var3	τα αλφαβητικά στοιχεία.
OCR_OUTPUT FROM ocr5	
END	

INSPECT OPERATION inspect2	: Υπολογισμός των μικρότερων σκορ
SET var2=inspect	αναγνώρισης για τα αριθμητικά
INSPECT OPERATION inspect4	στοιχεία (inspect2, inspect4 και inspect6).
SET var4=inspect	Αποθήκευση των αποτελεσμάτων
INSPECT OPERATION inspect6	στις αντίστοιχες μεταβλητές.
SET var6=inspect	

IF var2>=var4 AND var2>=var6	: Εύρεση της διαδικασίας OCR που
OCR_OUTPUT FROM ocr2	δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα για
ELSE IF var4>var2 AND var4>=var6	το μικρότερο σκορ αναγνώρισης

OCR_OUTPUT FROM ocr4	και εξαγωγή αποτελεσμάτων για
ELSE IF var6>var2 AND var6>var4	τα αριθμητικά στοιχεία.
OCR_OUTPUT FROM ocr6	
END	

6.4 Γραφική παρουσίαση της ακολουθίας επιθεωρήσεων μέσω του δέντρου εντολών (Statement Tree)

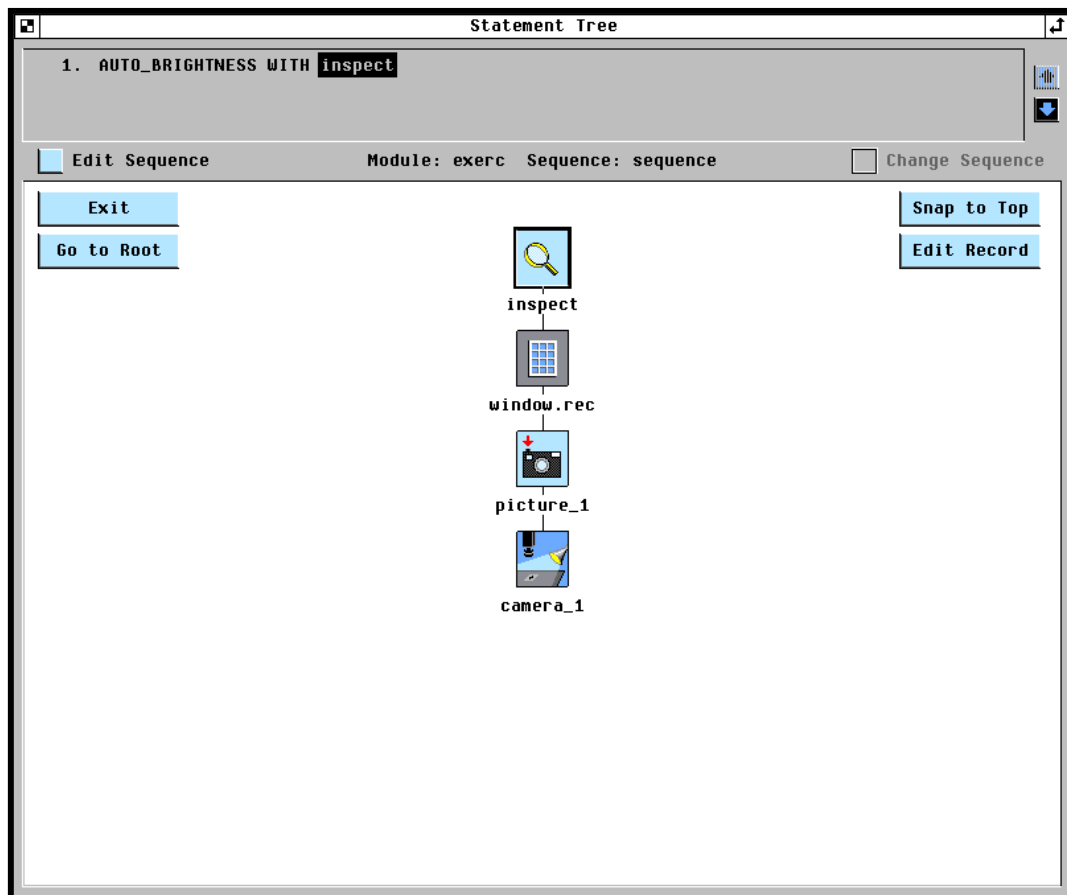
Μία ολοκληρωμένη οπτική επιθεώρηση αποτελείται από διάφορα αρχεία. Επίσης κάθε ακολουθία επιθεωρήσεων αποτελείται από επιμέρους ανεξάρτητες επιθεωρήσεις. Οι επιθεωρήσεις αυτές πολλές φορές χρησιμοποιούν τα ίδια εργαλεία (π.χ. οι επιθεωρήσεις ocr1 έως ocr6 χρησιμοποιούν το ίδιο σύστημα συντεταγμένων frame1). Σε πολλές περιπτώσεις, λόγω της πολυπλοκότητας της εφαρμογής, ο συνδυασμός και ο έλεγχος των αρχείων που χρησιμοποιούνται γίνεται δύσκολος. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος το σύστημα παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης μέσω του δέντρου εντολών (Statement Tree).

Σε κάθε σχηματιζόμενο αρχείο αντιστοιχεί μία εικόνα περιγραφής του. Το δέντρο κάνει χρήση αυτών των εικόνων για να αναπαραστήσει τη σύνδεση και τη σχέση των ανεξάρτητων αρχείων που χρησιμοποιούνται από την οπτική εφαρμογή. Κάθε αρχείο που χρησιμοποιείται σαν στοιχείο εντολής στην ακολουθία, περιγράφεται από ένα μέρος του ολικού δέντρου. Στην κορυφή του δέντρου αναγράφεται το αρχείο της εντολής. Στο δεύτερο επίπεδο παρουσιάζονται τα αρχεία πηγής (resource records) του αρχείου αυτού, στο τρίτο επίπεδο τα αρχεία πηγής αυτών κ.ο.κ. Η μορφή ενός μέρους του δέντρου της συγκεκριμένης εφαρμογής παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2.

Στην κορυφή της οθόνης αναγράφεται η εντολή AUTO_BRIGHTNESS για την οποία γίνεται η γραφική αναπαράσταση και ο αριθμός της στην ακολουθία. Το στοιχείο της εντολής που περιέχει το αρχείο για το οποίο παρουσιάζεται το δέντρο, έχει μαύρο χρώμα. Το δέντρο εμφανίζεται στο κάτω μέρος της οθόνης.

Με την παρατήρησή του γίνεται ευκολότερη η κατανόηση και ο σχεδιασμός της στρατηγικής που ακολουθείται για την υλοποίηση της εφαρμογής. Η ακολουθία

επιθεωρήσεων χρησιμοποιεί αρχεία είτε άμεσα είτε έμμεσα. Τα αρχεία που χρησιμοποιούνται άμεσα είναι τα στοιχεία των εντολών της. Τα αρχεία που χρησιμοποιούνται έμμεσα είναι τα αρχεία πηγής (resource records) που χρησιμοποιούνται από τα αρχεία της πρώτης κατηγορίας.



Σχήμα 6.2: Γραφική αναπαράσταση της εντολής *AUTO_BRIGHTNESS*.

Στο παράδειγμα του σχήματος περιγράφεται το αρχείο *inspect* της εντολής *AUTO_BRIGHTNESS*. Αυτό είναι το αρχείο κορυφαίου επιπέδου, το οποίο παρουσιάζεται στην κορυφή του δέντρου. Το *inspect* περιλαμβάνει την τιμή μέσου γκριζου επιπέδου (average graylevel) της λαμβανόμενης εικόνας. Η τιμή αυτή υπολογίζεται με τη βοήθεια ενός παραθύρου που περικλύει την προς εξέταση εικόνα. Το αρχείο *inspect* έχει επομένως σαν αρχείο πηγής (resource record) το αρχείο παραθύρου *window.rec* το οποίο περιέχει τα χαρακτηριστικά του εργαλείου. Για το λόγο αυτό, το *window.rec* τοποθετείται ακριβώς κάτω από το *inspect*, στο δέντρο αναπαράστασης. Όμοια, το *window.rec* έχει σαν αρχείο πηγής το *picture_1* και το *picture_1* το *camera_1*. Το αρχείο εικόνας *picture_1* περιέχει τα

χαρακτηριστικά της λαμβανόμενης εικόνας, ενώ το camera_1 τα στοιχεία βαθμονόμησης της κάμερας. Η μορφή του δέντρου διαμορφώνεται σε αυτή του Σχήματος 6.2.

Από τη μορφή αυτή εξάγεται το συμπέρασμα ότι για την χρησιμοποίηση του αρχείου inspect από την εντολή, πρέπει να δημιουργηθούν αρχικά τα αρχεία που παρουσιάζονται κάτω από αυτό. Η σειρά δημιουργίας πραγματοποιείται από κάτω προς τα πάνω. Δηλαδή δημιουργείται αρχικά το camera_1, έπειτα τα picture_1 και window.rec και στο τέλος το αρχείο εντολής inspect.

Η μορφή του ολικού δέντρου παρέχει τις αντίστοιχες πληροφορίες για το σύνολο των εντολών που χρησιμοποιούνται κατά το σχεδιασμό της ακολουθίας. Επομένως, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την στρατηγική που πρέπει να ακολουθηθεί για τη σχεδίαση της όλης εφαρμογής. Δηλώνεται στο χρήστη η σειρά δημιουργίας των χρησιμοποιούμενων αρχείων καθώς και η μεταξύ τους σύνδεση.

7. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

7.1 Εκτέλεση της ακολουθίας μέσω της οθόνης Control Panel

Μετά τη δημιουργία της ακολουθίας επιθεωρήσεων, το σύστημα έχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την εκτέλεση της εφαρμογής αναγνώρισης των στοιχείων της πινακίδας. Τα στοιχεία αυτά αποθηκεύονται στην υπομονάδα πόρων (resource module) exerc η οποία έχει παρουσιαστεί στην Ενότητα 2.2.

Σε αυτήν την υπομονάδα πόρων περιέχονται όλες οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση της εφαρμογής αναγνώρισης OCR. Περιλαμβάνει την ακολουθία sequence που εκτελεί τη διαδικασία, τη βάση δεδομένων vision η οποία περιέχει όλα τα αρχεία (records) που χρησιμοποιούνται από την ακολουθία, καθώς και τη βάση δεδομένων camera η οποία περιγράφει όλα τα χαρακτηριστικά της κάμερας που χρησιμοποιείται για τη λήψη της εικόνας (Σχήμα 2.2).

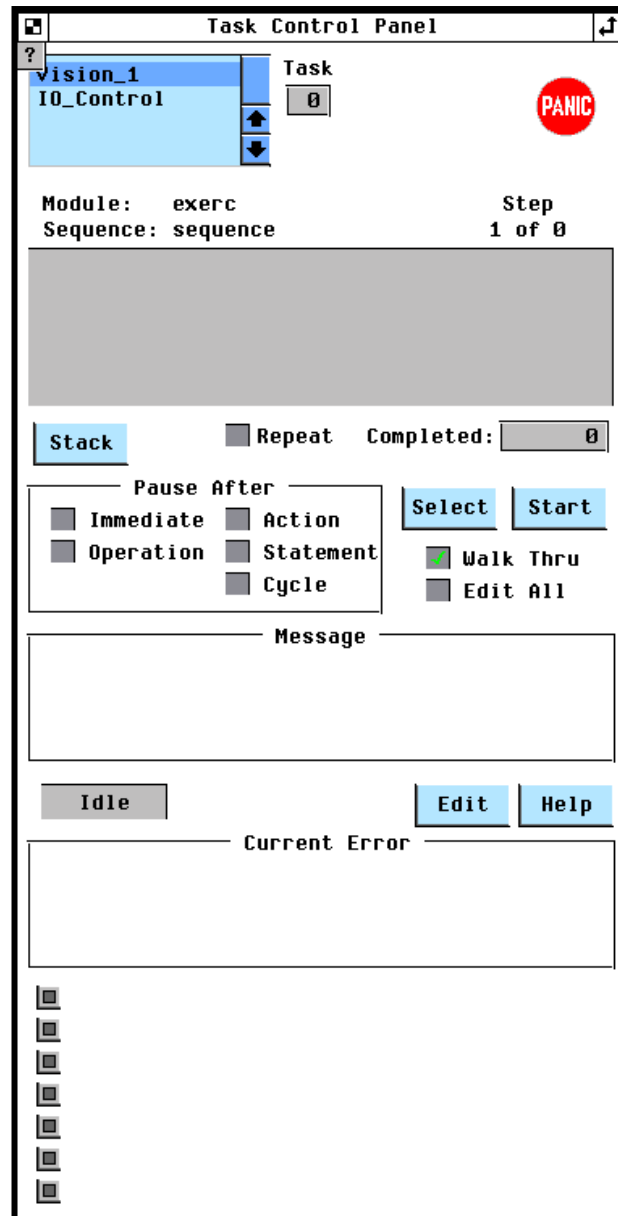
Για την εκτέλεση της εφαρμογής πρέπει να φορτωθεί στη μνήμη η υπομονάδα πόρων exerc. Από το μενού της οθόνης επιλέγονται τα Module, Select/Edit, exerc, Done. Με τη διαδικασία αυτή φορτώνονται στη μνήμη όλες οι βάσεις δεδομένων που είναι αποθηκευμένες στην exerc και το σύστημα είναι έτοιμο να εκτελέσει την εφαρμογή μέσω της ακολουθίας sequence. Η εκτέλεση πραγματοποιείται μέσω της οθόνης Task Control Panel. Η μορφή της παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.1.

Μέσω της δυνατότητας Select επιλέγεται η ακολουθία sequence που θα εκτελεστεί. Το όνομα της ακολουθίας αυτής, καθώς και της υπομονάδας πόρων η οποία την περιέχει, αναγράφεται στο πάνω μέρος της οθόνης στα στοιχεία Module και Sequence. Με την επιλογή Start ξεκινάει η εκτέλεση της ακολουθίας ενώ με την Repeat η εκτέλεση πραγματοποιείται πολλές φορές. Με τη Walk Thru η εκτέλεση της ακολουθίας διακόπτεται και γίνεται έλεγχος για την ύπαρξη πιθανών λαθών σε αυτή. Οι δυνατές περιπτώσεις στο πεδίο Pause After καθορίζουν το πως θα διακόπτεται η ακολουθία κατά την έρευνα λαθών.

Οι δυνατές περιπτώσεις είναι οι:

- Immediate. Η ακολουθία σταματάει αμέσως.

- Operation. Η ακολουθία σταματάει μετά από κάθε ανεξάρτητη οπτική επιθεώρηση.
- Action. Η ακολουθία σταματάει μετά από κάθε ομάδα οπτικών επιθεωρήσεων.
- Statement. Η ακολουθία σταματάει μετά την εκτέλεση κάθε εντολής της.
- Repeat Η ακολουθία σταματάει μετά την εκτέλεση ενός πλήρους κύκλου της.



Σχήμα 7.1: *Task Control Panel.*

Τα λάθη που εντοπίζονται κατά τον έλεγχο παρουσιάζονται στην περιοχή Message. Με την επιλογή Edit παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να διορθώσει το αρχείο στο οποίο παρουσιάστηκε το πρόβλημα, ενώ με τη Help δίνονται οδηγίες σχετικά με τη φύση του προβλήματος και τρόποι αντιμετώπισής του.

Στο κάτω μέρος της οθόνης ενεργοποιούνται οι δυνατές επιλογές έναρξης μετά τη διακοπή της εκτέλεσης της ακολουθίας. Αυτές είναι οι:

- Proceed. Συνέχιση Εκτέλεσης της ακολουθίας από το σημείο που διακόπηκε.
- Retry Action. Επανεκτέλεση της ενέργειας που εφαρμοζόταν πριν διακοπεί η εκτέλεση της ακολουθίας.
- Skip Action. Μη εκτέλεση της αμέσως επόμενης εντολής της ακολουθίας.
- Retry Statement. Επανεκτέλεση της εντολής που σταμάτησε με τη διακοπή της ακολουθίας.
- Skip Statement. Μη εκτέλεση της εντολής που σταμάτησε με τη διακοπή της ακολουθίας.
- Skip Cycle. Τερματισμός της εκτέλεσης του παρόντος κύκλου εκτέλεσης. Έναρξη νέου κύκλου.
- Abort Execution. Τερματισμός της διαδικασίας εκτέλεσης της ακολουθίας.

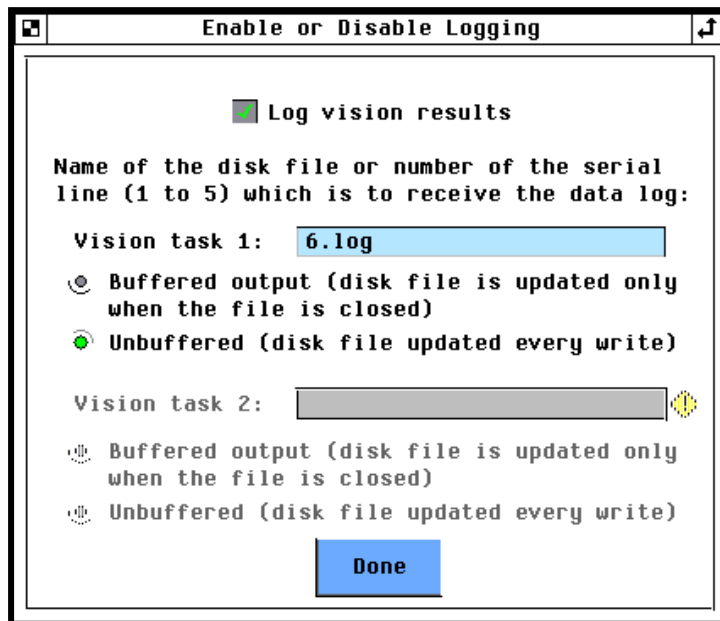
Με την εκτέλεση της ακολουθίας τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο αρχείο 6.log. Το αρχείο αυτό δημιουργήθηκε με την επιλογή logging vision results η οποία παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα. Περιέχει τα στοιχεία που αναγνωρίστηκαν από το πρόγραμμα OCR, καθώς και την ημερομηνία και ώρα που πραγματοποιήθηκε αυτή η αναγνώριση.

7.2 Η διαδικασία Logging vision results

Μέσω της εντολής ακολουθίας OCR_OUTPUT FROM, το σύστημα συγκρίνει τα στοιχεία που βρίσκονται μέσα στη περιοχή ενδιαφέροντος με αυτά της γραμματοσειράς και εξάγει τα αποτελέσματα αναγνώρισης. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται μέσω ενός αρχείου ή μίας σειριακής γραμμής, χρησιμοποιώντας την επιλογή logging vision results.

Από το μενού επιλέγονται τα I/O, Log results και από την οθόνη που παρουσιάζεται ενεργοποιείται η επιλογή Log vision results. Η οθόνη αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 7.2.

Στην οθόνη αυτή καθορίζεται η σειριακή γραμμή ή το αρχείο το οποίο θα περιέχει τα αποτελέσματα της διαδικασίας OCR. Για αριθμούς από το 1 έως το 5, τα αποτελέσματα διοχετεύονται σε μία σειριακή γραμμή του συστήματος. Οι γραμμές 1 έως 3 αντιστοιχούν στις τρεις σειριακές γραμμές του SIO board, ενώ οι γραμμές 4 και 5 στις δύο σειριακές γραμμές του επεξεργαστή του συστήματος που τρέχουν το πρόγραμμα AIM. Με τη σύνδεση οθονών ή εκτυπωτών είναι δυνατή η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 7.2: Η διαδικασία Logging vision results.

Για νούμερα μεγαλύτερα του 5 δημιουργείται ένα νέο αρχείο με κατάληξη log και το οποίο περιέχει τα αποτελέσματα της διαδικασίας αναγνώρισης καθώς και την ημερομηνία και ώρα εκτέλεσής της. Για την εφαρμογή δημιουργήθηκε το αρχείο 6.log. Το αρχείο αυτό αποθηκεύεται στη μνήμη και μπορεί να διαβαστεί μέσω του προγράμματος Word. Η δομή ενός τέτοιου αρχείου είναι η:

```
$Data logging started: 24-Nov-98 08:52:42
The elements are
BYX
6723
$Data logging stopped: 24-Nov-98 08:52:43
```

Για το παράδειγμα, η εκτέλεση του προγράμματος άρχισε στις 24 Νοεμβρίου ώρα 08:52:42 και τελείωσε στις 08:52:43. Τα στοιχεία της πινακίδας που αναγνωρίστηκαν είναι τα BYX-6723. Κάθε φορά που εκτελείται η εφαρμογή, το σύστημα αναζητά το αρχείο 6.log για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων. Αν το πρόγραμμα εκτελείται για πρώτη φορά και το αρχείο δεν έχει ακόμα δημιουργηθεί, το σύστημα ορίζει αυτόματα ένα νέο αρχείο με όνομα 6.log. Όλα τα αποτελέσματα αναγνώρισης έχουν τη μορφή που παρουσιάζεται παραπάνω.

Ο χρόνος εκτέλεσης διαρκεί περίπου 1 δευτερόλεπτο. Ο χρόνος αυτός κατανέμεται στις επιμέρους διαδικασίες ως εξής:

- Υπολογισμός της μέσης φωτεινότητας της εικόνας (window.rec) 14 ms

- Συνέλιξη βαθυπερατού φίλτρου (im.proc.rec2) 104 ms
- Συνέλιξη υψιπερατού φίλτρου (im.proc.rec3) 32 ms
- Διαδικασία εύρεσης πρωτοτύπου (prot.find) 206 ms
- Διαδικασία εύρεσης γραμμής (line.find.rec) 10 ms
- Κάθε διαδικασία οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (ocr) 69 ms

7.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μέσω της οθόνης Vision Results

Τα στατιστικά που υπολογίζονται κατά την εκτέλεση της ακολουθίας παρουσιάζονται μέσω της οθόνης Inspection Results. Με την επιλογή αυτή εμφανίζονται όλα τα στατιστικά για τα αρχεία επιθεώρησης που χρησιμοποιούνται από την εφαρμογή και έχουν ενεργοποιημένη την επιλογή Gather stats. Η οθόνη παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.3.

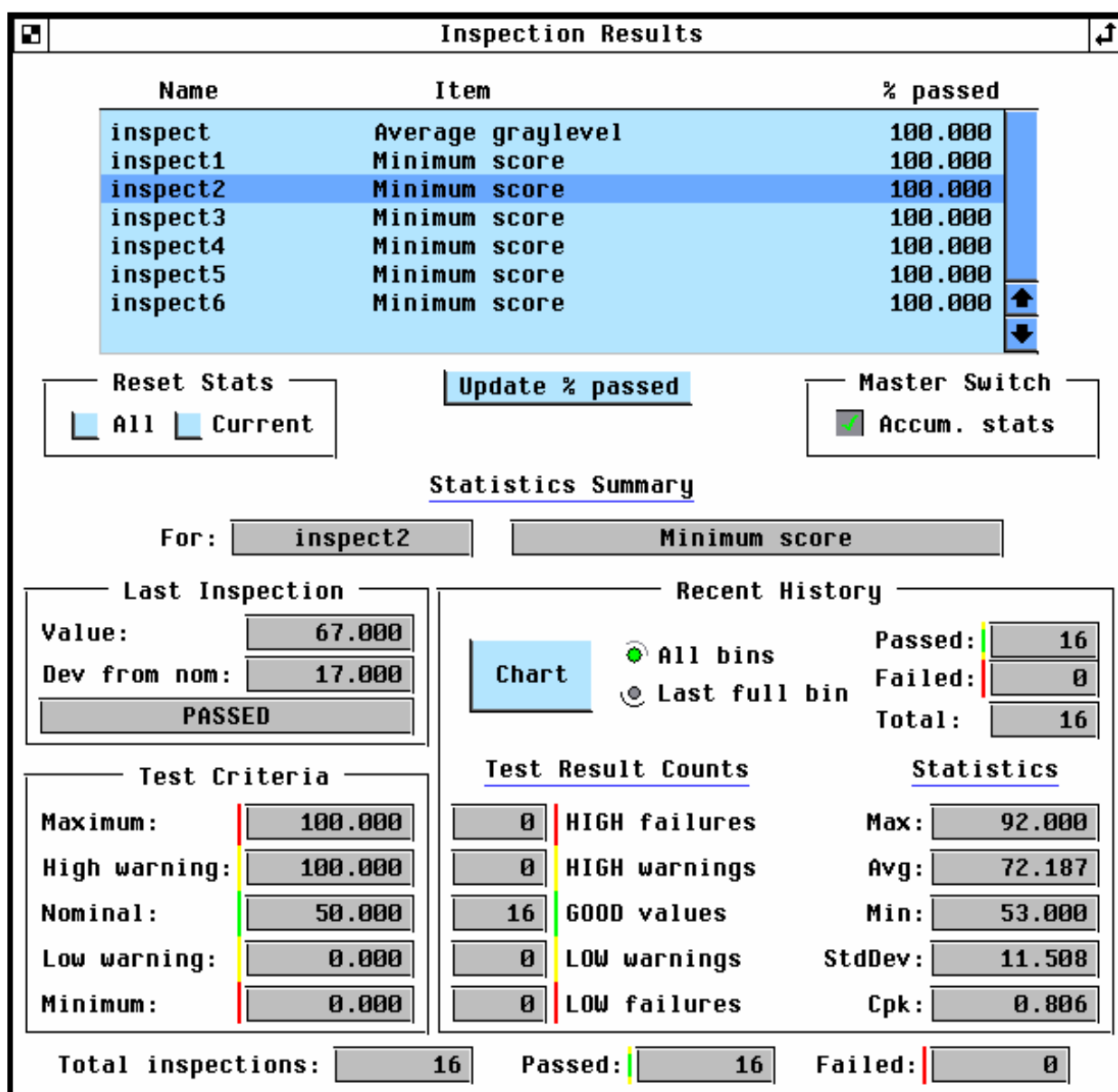
Στο πάνω μέρος της αναγράφεται η λίστα όλων των αρχείων για τα οποία έχουν υπολογιστεί στατιστικά. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή υπολογίζονται στατιστικά για το ελάχιστο σκορ αναγνώρισης από τη διαδικασία OCR. Τα στοιχεία αυτά περιέχονται στα αρχεία επιθεώρησης inspect1 έως inspect6, για τις διαδικασίες ocr1 έως ocr6 αντίστοιχα.

Στην περιοχή Last Inspection παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της τελευταίας επιθεώρησης που πραγματοποιήθηκε με το αντίστοιχο αρχείο inspect. Τα Test Criteria περιέχουν τα επιτρεπτά όρια τιμών που έχουν καθοριστεί με τη διαδικασία της επιλογής Limit από το αρχείο επιθεώρησης. Με βάση αυτά τα όρια καθορίζεται αν το αποτέλεσμα είναι αποδεκτό ή όχι. Ο συνολικός αριθμός επιθεωρήσεων που εκτελέστηκε, ο αριθμός των επιτυχών επιθεωρήσεων, καθώς και ο αριθμός αυτών που βρέθηκαν εκτός των επιτρεπτών ορίων αναφέρονται στο κάτω μέρος της οθόνης.

Τα στατιστικά που υπολογίζονται από το σύστημα για το αρχείο που εξετάζεται, παρουσιάζονται στο πεδίο Statistics. Σε αυτά περιέχονται η μέγιστη, η μέση και η ελάχιστη τιμή του μεγέθους, όπως και η απόκλιση από τη μέση τιμή.

Για την καλύτερη παρατήρηση της διακύμανσης της τιμής του μεγέθους, το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα παρουσίασης των αποτελεσμάτων με τη μορφή διαγραμμάτων. Με την επιλογή Chart, στην οθόνη εμφανίζονται τα διαγράμματα του Σχήματος 7.4.

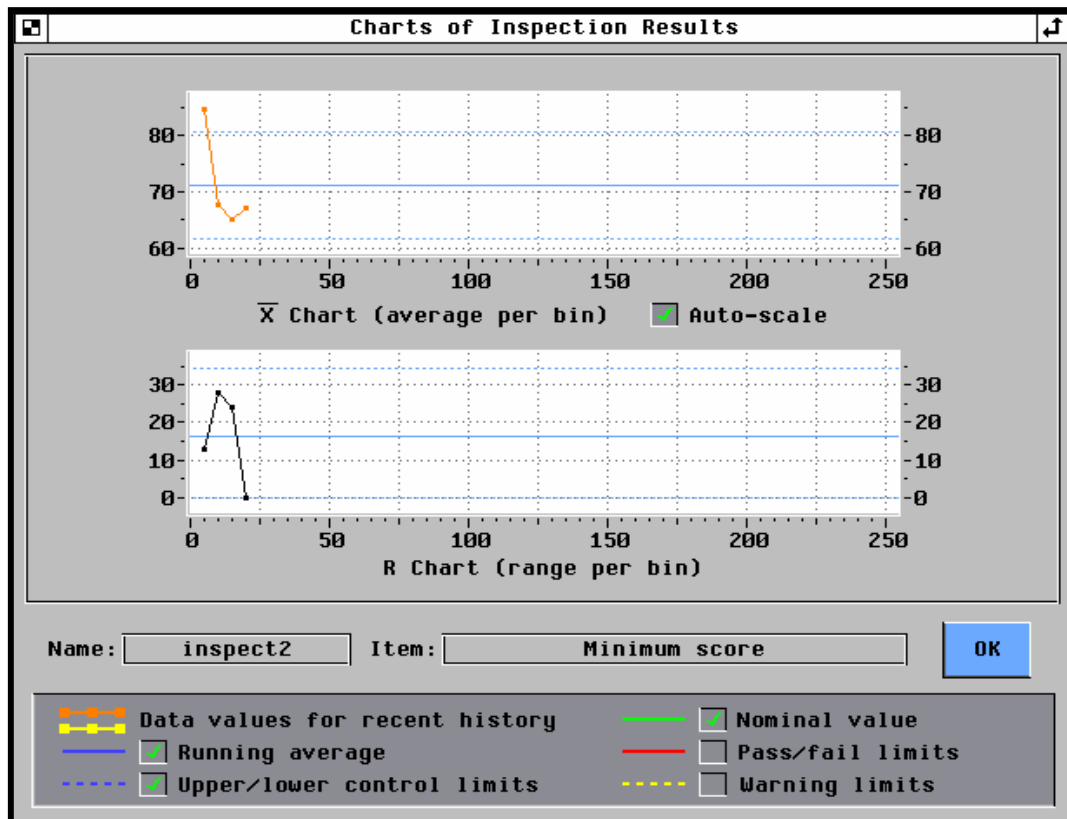
Το πρώτο διάγραμμα παρουσιάζει το μέσο της τιμής επιθεώρησης, ενώ το δεύτερο τη απόκλιση από αυτόν. Ο Χ άξονας αντιπροσωπεύει το συνολικό αριθμό επιθεωρήσεων που πραγματοποιήθηκαν. Στις τιμές Name και Item, εμφανίζονται το όνομα και η λειτουργία της επιθεώρησης που εκτελείται και της οποίας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα.



Σχήμα7.3: *Inspection Results.*

Για παράδειγμα, στο Σχήμα 7.4 απεικονίζονται τα αποτελέσματα για 16 εκτελέσεις της διαδικασίας ocr2 (αρχείο inspect2). Στο πάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι τιμές που πήρε το μέγεθος κατά τη διάρκεια αυτών. Κάθε στοιχείο του διαγράμματος αντιπροσωπεύει τον μέσο για μία ομάδα επιθεωρήσεων (bin). Το μέγεθος της ομάδας αυτής ορίζεται στο

αρχείο inspect με τη συμπλήρωση του μεγέθους bin size. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα η κάθε ομάδα περιέχει 5 επιθεωρήσεις (bin size=5). Η μέγιστη απόκλιση από αυτήν του μέσου, για κάθε ομάδα επιθεωρήσεων (bin), παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα. Με τη βοήθεια του σχήματος γίνεται ευκολότερη η παρατήρηση των αποτελεσμάτων και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για το εύρος τιμών που λαμβάνει το μέγεθος που παρουσιάζεται.



Σχήμα 7.4: *Διαγράμματα αποτελεσμάτων.*

8 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.1 Πίνακες Αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση της ακολουθίας επιθεωρήσεων (sequence). Ο τρόπος εκτέλεσης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων περιγράφεται αναλυτικά στην προηγούμενη ενότητα.

Θεωρητικά η πινακίδα του οχήματος βρίσκεται σε σταθερή απόσταση από την κάμερα. Σε πραγματικές συνθήκες όμως η υπόθεση αυτή δεν ισχύει. Η εικόνα της πινακίδας λαμβάνεται μόλις οι τροχοί του οχήματος έρθουν σε επαφή με τους αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος του δρόμου. Στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της επαφής αυτής και της λήψης της εικόνας, το όχημα ανάλογα με το μήκος του και την ταχύτητα κίνησής του βρίσκεται πιο πίσω ή πιο μπροστά από την επιθυμητή θέση. Επίσης σε πολλά οχήματα η πινακίδα βρίσκεται σε διαφορετικό ύψος ή δεν είναι κάθετα τοποθετημένη αλλά παρουσιάζει κάποια κλίση.

Ωστόσο, τα στοιχεία πρέπει να αναγνωρίζονται από το σύστημα σε όλες αυτές τις περιπτώσεις. Το πρόγραμμα δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα εφόσον η μετακίνηση και η περιστροφή του αντικειμένου κυμαίνεται στα όρια που αναφέρθηκαν στο Σχήμα 4.1. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη αυτού του αποτελέσματος αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα σκορ αναγνώρισης όλων των γραμμάτων και των αριθμών. Αρχικά υπολογίζονται τα αποτελέσματα στην περίπτωση που η πινακίδα είναι τοποθετημένη στην επιθυμητή θέση ($z=0$). Κατά την μετατόπιση του αντικειμένου κατά το ύψος και το μήκος (άξονες X και Y στο Σχήμα 4.1), τα σκορ αναγνώρισης δεν μεταβάλλονται αισθητά, αφού το μέγεθος και η μορφή των στοιχείων παραμένει πρακτικά ανέπαφη. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα αυτών των περιπτώσεων δεν αναγράφονται στους πίνακες. Αντίθετα κατά τη μετατόπιση του αντικειμένου από και προς την κάμερα (άξονας Z), τα σκορ αναγνώρισης μεταβάλλονται σημαντικά. Μεταβολή παρατηρείται επίσης και κατά τις περιπτώσεις κλίσης της πινακίδας ως προς κάποιον άξονά της.

Στους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αναγνώρισης για τις εξής περιπτώσεις:

- Πινακίδα τοποθετημένη στην επιθυμητή αρχική θέση ($z=0$, κλίση $=0$).
- Πινακίδα τοποθετημένη στην αρχική θέση με κλίση $\pm 10^\circ$ κατά την οριζόντια διεύθυνση ($z=0$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον άξονα X).
- Πινακίδα τοποθετημένη στην αρχική θέση με κλίση $\pm 10^\circ$ κατά την κάθετη διεύθυνση ($z=0$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον άξονα Y).
- Πινακίδα τοποθετημένη στην αρχική θέση με κλίση $\pm 10^\circ$ κατά τον άξονα Z ($z=0$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον άξονα Z).
- Πινακίδα τοποθετημένη στην αρχική θέση με κλίση $\pm 10^\circ$ κατά τους άξονες X και Y. ($z=0$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως X και Y).
- Πινακίδα τοποθετημένη στην αρχική θέση με κλίση $\pm 10^\circ$ κατά τους άξονες X και Z. ($z=0$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως X και Z).
- Πινακίδα τοποθετημένη στην αρχική θέση με κλίση $\pm 10^\circ$ κατά τους άξονες Y και Z. ($z=0$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως Y και Z).
- Πινακίδα τοποθετημένη στην αρχική θέση με κλίση $\pm 10^\circ$ κατά τους άξονες X , Y και Z. ($z=0$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως X ,Y και Z).

καθώς και τα ανάλογα αποτελέσματα για μετατόπιση 0,5 μέτρου προς και από την κάμερα ($z=+0.5$ και $z = -0.5$ αντίστοιχα).

Σε όλους τους πίνακες αναγράφεται το μέσο (Avg), το ελάχιστο (Min) και το μέγιστο (Max) σκορ αναγνώρισης που παρουσιάστηκε κατά την εκτέλεση του προγράμματος για 20 φορές. Τα μεγέθη αυτά αναφέρονται ως προς το μοντέλο του πρωτοτύπου του στοιχείου για το οποίο γίνεται η αναγνώριση. Για παράδειγμα, εάν το σκορ αναγνώρισης του στοιχείου A είναι 85%, αυτό συνεπάγεται ότι η μορφή του στοιχείου που αναγνωρίστηκε ως A ταυτίζεται κατά 85% με τη μορφή του μοντέλου του στοιχείου A. Η μορφή αυτή είναι αποθηκευμένη στη γραματοσειρά που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του αποτελέσματος αυτού.

Τα αποτελέσματα όλων των αλφαριθμητικών και αριθμητικών στοιχείων για όλες τις δυνατές περιπτώσεις παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν στις επόμενες σελίδες.

Περίπτωση	z=0 , κλίση=0			z=0, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον Z		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	82,325	69	96	76,980	62	85
B	82,545	75	100	79,750	64	98
E	79,467	71	91	75,678	63	92
Z	88	73	98	74,333	66	85
H	82,466	68	94	74	67	82
I	90,123	88	96	88,500	75	100
K	82	66	97	70	62	87
M	79	67	83	70	58	83
N	83,364	79	91	73,253	71	86
O	86	72	93	79,500	69	90
P	81,254	74	98	74	62	85
T	86,333	73	95	80,425	74	90
Y	79,333	60	88	78,456	65	83
X	83,909	78	90	74	61	83
0	90,917	84	99	70,429	58	88
1	91,222	83	99	83	68	92
2	82,933	66	93	78	64	85
3	89,778	79	100	78,500	68	80
4	80	60	89	75,308	57	90
5	83,456	65	98	76,456	62	81
6	82,459	68	94	79,556	65	89
7	81	72	92	70	64	87
8	83,325	78	98	74,456	72	89
9	91,456	81	98	79	65	86

Περίπτωση	z=0, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον Y			z=0, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον X		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	81	64	96	80,325	60	92
B	81,324	70	95	80	69	91
E	79,333	66	88	76,245	62	84
Z	85,324	69	95	80	68	98
H	81	71	94	78,456	59	91
I	89	76	98	88,567	73	99
K	80	63	96	76,666	62	87
M	72	65	83	70,345	64	84
N	80,322	65	91	80	75	90
O	84	72	95	82,666	74	96
P	80,678	68	98	78,534	65	84
T	84,673	62	97	80	62	91
Y	80	64	92	78,447	56	88
X	81,412	58	87	76,839	66	92
0	87	82	95	73,666	59	91
1	85	66	91	85,663	73	96
2	80,444	73	92	79	63	93
3	82,454	65	97	80	77	89
4	80	58	87	76,897	57	90
5	81	65	95	78	69	82
6	81,452	70	92	80	68	91
7	75,456	72	86	70	56	93
8	83	75	92	76,555	66	89
9	85	77	95	79	62	86

Περίπτωση	z=0, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους X,Y			z=0, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους X,Z		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	75,124	58	88	71	51	90
B	72,341	54	91	71,234	60	85
E	75	65	83	70,524	56	84
Z	71,345	59	81	62	42	76
H	70	61	84	65,234	43	86
I	81,462	77	90	75	66	80
K	73,413	57	87	68,543	52	88
M	70	63	84	65,155	53	89
N	68,355	55	86	63,356	58	87
O	70	56	84	70,357	58	85
P	72	60	89	62,567	51	83
T	76	68	87	70	64	86
Y	78,345	53	87	68,356	53	89
X	71,244	64	85	70,145	58	82
0	69	52	82	60	42	85
1	81,078	76	97	71	58	85
2	70	51	84	65,673	58	87
3	77	59	80	70,564	57	86
4	74,683	55	88	69,453	52	84
5	76	53	90	71,452	66	80
6	80	66	96	70	58	87
7	64	54	79	60,646	52	86
8	72,453	64	86	71	65	88
9	75	57	83	67,444	52	84

Περίπτωση	z=0, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους Y,Z			z=0, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους X,Y,Z		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	73,234	58	85	67,341	48	81
B	72,333	57	87	70,125	54	84
E	70	54	89	65,144	51	79
Z	67,665	48	83	63	54	83
H	70	66	87	68,636	50	77
I	77,121	56	87	72	67	87
K	70,778	56	81	68,224	51	75
M	67	51	81	65	46	85
N	62,143	55	88	59,566	45	74
O	70,449	58	86	66	54	85
P	69,765	52	80	63,123	52	79
T	71,342	50	80	70	51	77
Y	71	60	82	68,122	46	75
X	70,254	59	83	66,635	54	72
0	62	48	77	57	42	72
1	71	52	82	64	54	75
2	67,091	57	84	60,124	52	78
3	70,500	64	84	64,132	56	86
4	70,444	53	88	68,356	49	73
5	73,721	60	86	70,235	58	76
6	72	55	81	71,121	67	81
7	60,342	50	84	54	45	78
8	71,456	58	83	68,566	57	89
9	70,341	56	95	65	54	86

Περίπτωση	$z=+0.5$, κλίση=0			$z=+0.5$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον Z		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	86,132	76	93	75,213	65	94
B	84,273	74	95	81	77	93
E	81,467	66	97	71	63	92
Z	88,500	80	98	80,132	71	97
H	83,466	75	99	79,237	64	95
I	91	79	97	83,678	81	93
K	92,333	72	96	75,647	64	99
M	79,281	67	89	75,112	72	85
N	98,417	81	100	89,750	81	100
O	92	87	98	88	77	95
P	82,556	78	95	81	73	96
T	88,345	71	95	78,927	73	94
Y	79,456	69	90	74	68	80
X	86,226	77	93	81,357	73	88
0	92,158	82	95	81,636	68	95
1	84,145	76	98	80,557	69	86
2	85,500	65	98	71	58	95
3	82	62	95	78,083	61	90
4	91,917	81	99	71,667	64	97
5	94,676	84	98	84,184	78	94
6	86,346	73	94	80	64	90
7	90	82	96	79,638	68	98
8	84	78	97	80,433	74	97
9	86	63	99	82,156	71	93

Περίπτωση	$z=+0.5$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον Y			$z=+0.5$, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον X		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	80,544	65	91	78,465	68	92
B	82,246	74	93	80,134	77	95
E	79,145	64	92	76,124	72	91
Z	83	74	96	81,234	69	98
H	80,128	72	90	81	77	86
I	87,712	79	98	85,137	81	94
K	76,127	63	96	78	61	88
M	78,460	59	91	77,672	62	85
N	95	87	99	91,245	81	97
O	92,455	75	99	91	76	92
P	85,589	62	85	83	72	91
T	85	78	97	80,174	73	84
Y	79,135	56	94	74,778	52	97
X	82,582	72	95	81	74	91
0	90	84	97	82,135	74	95
1	83,621	76	93	82	67	94
2	84	65	98	81,823	73	88
3	81	68	93	78,245	72	90
4	85	77	93	83,107	79	89
5	90,386	83	99	85	74	94
6	82	67	94	80,527	71	92
7	84,568	70	88	80,466	66	91
8	82,144	65	97	82	56	94
9	84,153	78	91	82	63	93

Περίπτωση	z=+0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους X,Y			z=+0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους X,Z		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	74,123	62	88	72	54	86
B	76	58	91	71,123	59	85
E	71,236	59	85	70	51	85
Z	78,344	57	86	73	60	82
H	75,367	63	84	71,351	58	84
I	81,235	71	92	78	64	87
K	73	51	84	67,134	58	81
M	72	66	86	70	67	80
N	84,456	72	89	80	69	84
O	86	74	92	74,662	68	81
P	74,266	53	87	70,736	59	84
T	78,355	61	88	73,666	60	86
Y	70,428	54	79	70	63	81
X	75	64	89	68,535	52	87
0	65	51	81	60,547	54	83
1	79	58	87	77,527	61	85
2	65,455	57	80	60	57	86
3	71,245	64	86	70	59	88
4	80	72	91	78,912	64	87
5	78	68	82	70	66	90
6	71	53	84	70,466	58	82
7	72,513	64	86	71	65	84
8	72,450	59	88	72,626	54	87
9	71	51	83	62	53	83

Περίπτωση	z=+0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους Y,Z			z=+0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους X,Y,Z		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	72,356	54	93	68,342	54	82
B	73	68	81	70	52	83
E	71	60	84	65	50	77
Z	75	65	87	71	56	86
H	71,324	52	90	64	48	79
I	80	72	88	72	65	84
K	71,724	56	83	60,732	52	85
M	70,846	59	81	62	51	77
N	82,174	74	96	74,371	68	79
O	79	58	86	69,565	54	85
P	72,496	51	92	65	59	75
T	75	53	86	66,462	57	80
Y	71,578	63	89	68	51	79
X	70	54	92	61	54	83
0	61,723	56	83	56,745	53	78
1	80	58	94	72,613	62	82
2	63	51	84	58	52	79
3	70,573	61	85	65,195	49	74
4	78,500	68	96	67	52	81
5	71,631	66	87	65	48	87
6	70,391	58	85	64,255	54	72
7	72	65	85	66,244	54	78
8	70	51	88	67	52	74
9	67,413	56	81	58,427	48	81

Περίπτωση	z=-0.5 , κλίση=0			z=-0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον Z		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	82	68	95	73,345	65	89
B	81	71	98	71	65	94
E	78,485	64	93	76	62	87
Z	85	78	98	79,359	61	91
H	81	69	94	75	63	88
I	89,428	76	100	73	61	85
K	78	66	96	70	60	93
M	79	65	91	73,634	68	83
N	80	69	85	74	64	90
O	85	79	93	78,534	69	86
P	80	66	93	73,555	62	91
T	85	79	97	81	70	95
Y	78	67	92	65	49	83
X	82	64	94	75	63	89
0	70	61	93	61	50	80
1	83	63	99	73	61	97
2	81,143	68	92	74,750	60	92
3	81,583	63	94	70,250	58	83
4	78	66	90	71	66	95
5	81,462	72	97	73	65	89
6	80	75	98	73,342	61	95
7	77	69	91	70	64	87
8	81.873	75	94	72,845	62	92
9	82,453	73	93	80	68	93

Περίπτωση	z=-0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον Y			z=-0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τον X		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	78	70	94	76	65	91
B	79,365	69	97	75	62	93
E	76	62	91	73,403	63	90
Z	83	72	96	81,458	65	97
H	80,482	65	95	77	68	92
I	82	68	98	78	69	99
K	74	63	92	72,461	64	92
M	78,482	64	81	77,261	58	93
N	79	61	87	78,183	60	92
O	82	67	91	80	61	93
P	79	59	94	78,348	73	90
T	82,362	70	96	83,823	63	92
Y	73	59	90	69	52	82
X	80,464	65	91	80	70	92
0	68,451	55	82	65,359	48	82
1	80	65	96	75	68	92
2	80,372	71	92	78	69	94
3	78	65	94	75,359	65	90
4	72,173	52	97	72	54	96
5	78,384	64	91	75	63	89
6	80	64	95	78,352	71	95
7	75,352	63	92	72	61	91
8	81	69	92	80	64	92
9	81,575	76	91	80	69	93

Περίπτωση	z=-0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους X,Y			z=-0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους X,Z		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	71	57	81	68,133	58	89
B	68,356	52	83	60	51	90
E	73,274	54	88	71	60	84
Z	76	62	87	71,256	53	87
H	72	60	92	70,636	55	86
I	71,365	62	94	65	59	93
K	67,586	48	87	60	53	83
M	69	52	82	60,152	54	80
N	70,241	61	84	68	50	88
O	78	68	89	70,286	63	85
P	70,135	51	83	71	57	81
T	79	62	90	70,234	54	83
Y	61	48	83	59,738	48	80
X	72,852	57	84	68	55	85
0	60,356	48	80	57	42	80
1	71	59	87	68,524	61	85
2	74,582	60	89	71	62	84
3	64	57	82	61,162	52	82
4	71	63	95	70	54	83
5	70,462	53	88	72	58	81
6	71	60	81	71,524	56	89
7	67,152	56	86	70	51	90
8	72	56	87	70,184	58	82
9	78,467	62	90	74,454	52	87

Περίπτωση	z=-0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους Y,Z			z=-0.5, κλίση $\pm 10^\circ$ ως προς τους X,Y,Z		
Στοιχείο	Avg(%)	Min(%)	Max(%)	Avg(%)	Min(%)	Max(%)
A	70	67	88	67,246	54	83
B	65	49	85	63	57	89
E	71,124	61	84	68,257	51	78
Z	72,346	64	91	70	58	76
H	70	57	86	66	50	81
I	68,578	51	83	63	48	88
K	63	54	89	60	46	85
M	69	57	82	66,724	54	72
N	68,467	54	85	65	51	86
O	74	61	90	68,537	55	80
P	70	52	87	60,468	48	77
T	72,362	52	90	70	61	82
Y	61,123	53	82	59	48	79
X	71	64	85	64	51	84
0	58	49	82	50	42	74
1	70,351	61	85	68,357	48	72
2	71	50	86	65,961	48	87
3	62	59	88	60	48	81
4	71,367	55	86	68	56	85
5	71	54	83	67,564	47	76
6	71	60	82	66,724	49	78
7	70	52	85	68,256	50	75
8	69.672	53	80	65	45	80
9	77,475	65	89	68,735	57	86

8.2 Επεξήγηση των αποτελεσμάτων

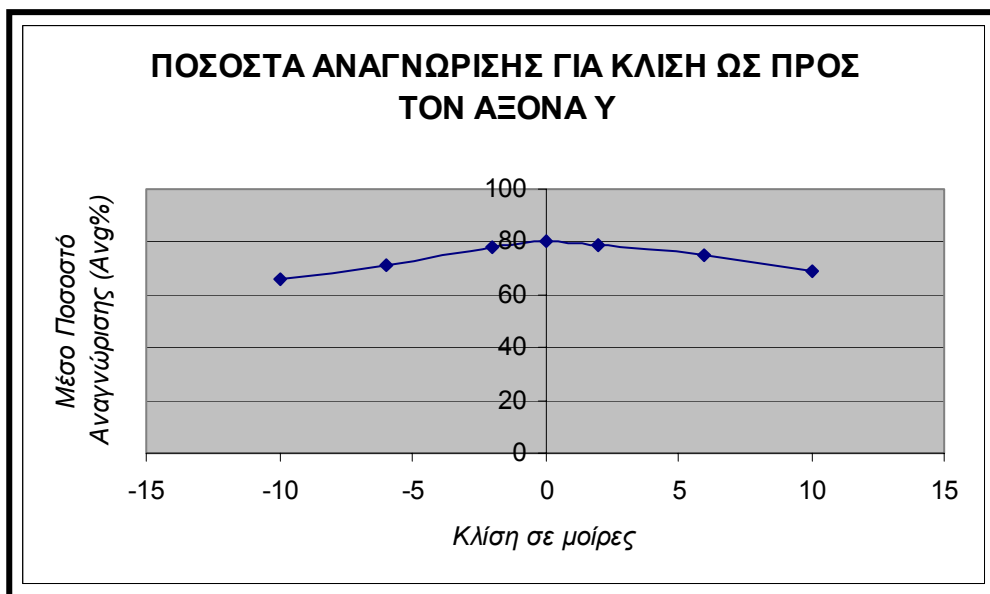
Από την εξέταση των πινάκων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τη διακύμανση των αποτελεσμάτων αναγνώρισης.

- Τα βέλτιστα αποτελέσματα παρατηρούνται όταν το αντικείμενο έχει μηδενική κλίση ως προς και τους τρεις άξονές του.
- Όσο το αντικείμενο απομακρύνεται από την κάμερα, δηλαδή μειώνεται το μέγεθος των στοιχείων, τα αποτελέσματα αποκτούν μικρότερη τιμή. Αντίθετα, για μετατόπιση ως προς τους άξονες X και Y τα αποτελέσματα αναγνώρισης δεν μεταβάλλονται (για το λόγο αυτό δεν αναφέρονται και στους πίνακες).
- Τα σκορ αναγνώρισης μεταβάλλονται ανάλογα με την κλίση της πινακίδας. Όταν το αντικείμενο παρουσιάζει κλίση ως προς δύο άξονές του, τα αποτελέσματα μειώνονται σε σχέση με αυτά που εξάγονται για κλίση μόνο ως προς έναν άξονά του. Επίσης για κλίση και ως προς τους τρεις άξονες τα αποτελέσματα είναι ακόμη μικρότερα.
- Στην περίπτωση που το αντικείμενο παρουσιάζει κλίση μόνο ως προς έναν άξονά του, τα αποτελέσματα μεταβάλλονται ως εξής:
 1. Τα ποσοστά αναγνώρισης είναι μεγαλύτερα όταν το αντικείμενο παρουσιάζει κλίση ως προς τον άξονα Y, από τις περιπτώσεις κλίσης στον X ή στον Z.
 2. Τα ποσοστά αναγνώρισης είναι μεγαλύτερα όταν το αντικείμενο παρουσιάζει κλίση ως προς τον άξονα X, από την περίπτωση κλίσης στον Z.
- Στην περίπτωση που το αντικείμενο παρουσιάζει κλίση ως προς δύο από τους άξονές του, τα αποτελέσματα μεταβάλλονται ως εξής:
 1. Τα ποσοστά αναγνώρισης είναι μεγαλύτερα όταν το αντικείμενο παρουσιάζει κλίση ως προς τους άξονες X και Y, από τις περιπτώσεις κλίσης στους Y και Z ή στους X και Z.
 2. Τα ποσοστά αναγνώρισης είναι μεγαλύτερα όταν το αντικείμενο παρουσιάζει κλίση ως προς τους άξονες Y και Z, από την περίπτωση κλίσης στους X και Z.

Η μείωση του μέσου ποσοστού αναγνώρισης (Avg %) που παρατηρείται κατά την κλίση της πινακίδας κυκλοφορίας ως προς έναν άξονά της, παρουσιάζεται παραστατικά στα δύο σχήματα που ακολουθούν. Τα σχήματα αυτά περιέχουν το διάγραμμα μέσου ποσοστού

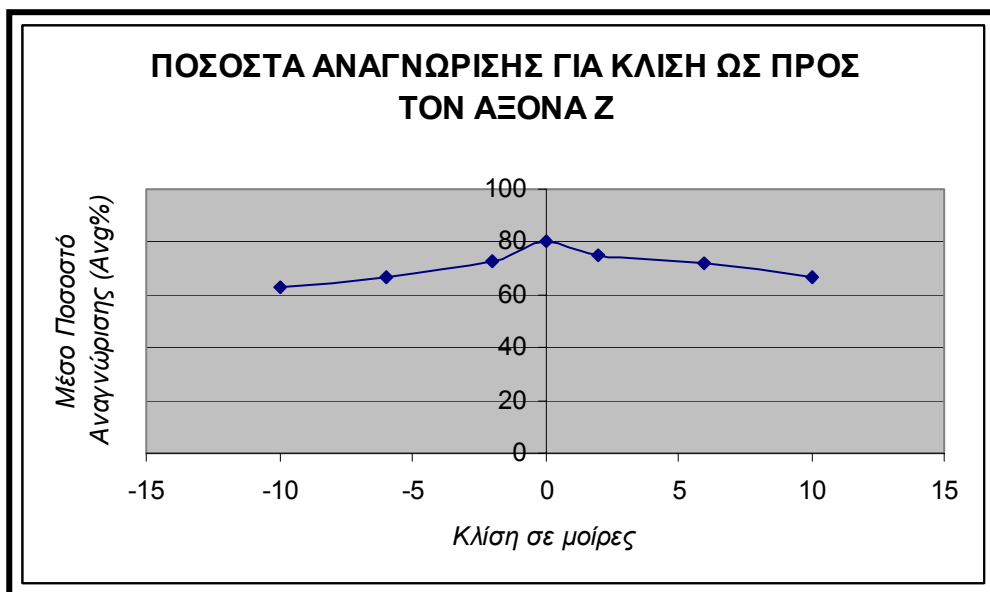
αναγνώρισης (Avg %) σε σχέση με το μέγεθος κλίσης ως προς τους άξονες Y και Z. Τα στοιχεία που εξετάζονται είναι τα αριθμητικά στοιχεία της πινακίδας XNB-4320.

Το μέσο ποσοστό αναγνώρισης για κλίση -10° , -6° , -2° , 0° , $+2^{\circ}$, $+6^{\circ}$ και $+10^{\circ}$ ως προς τον άξονα Y παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.1.



Σχήμα 8.1: Διάγραμμα ποσοστού αναγνώρισης-κλίσης ως προς τον άξονα X.

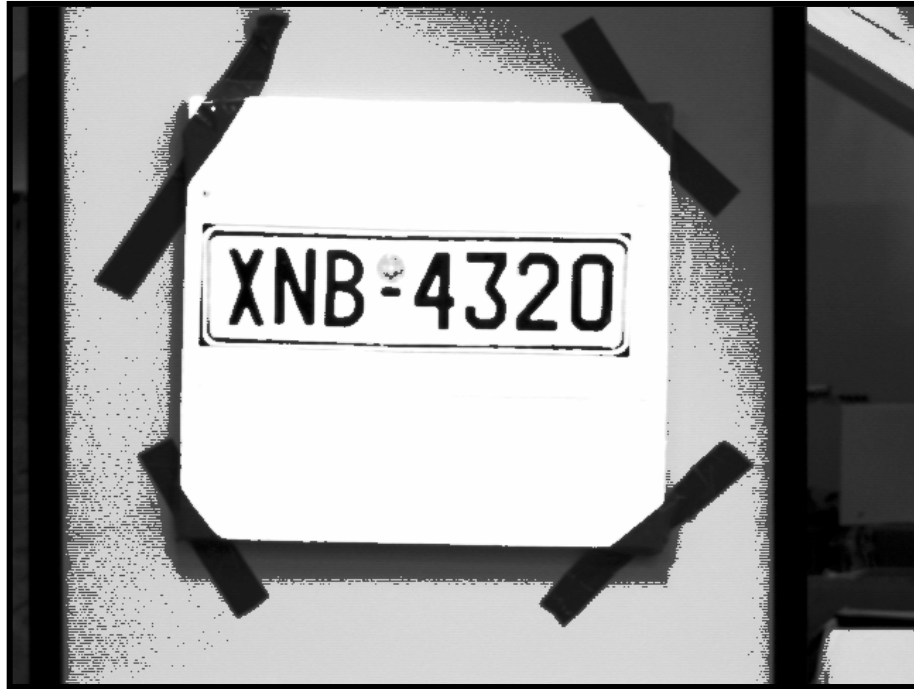
Το αντίστοιχο διάγραμμα για κλίση ως προς τον άξονα Z της πινακίδας, παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.2.



Σχήμα 8.2: Διάγραμμα ποσοστού αναγνώρισης-κλίσης ως προς τον άξονα Z.

8.3 Παραδείγματα μορφής του αντικειμένου

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιασθεί μέσω εικόνων η μορφή που έχει η πινακίδα κυκλοφορίας κατά τη μετακίνηση ή περιστροφή της ως προς κάποιον από τους άξονές της.



Σχήμα 8.3: Επιθυμητή θέση ($z=0$, κλίση=0).



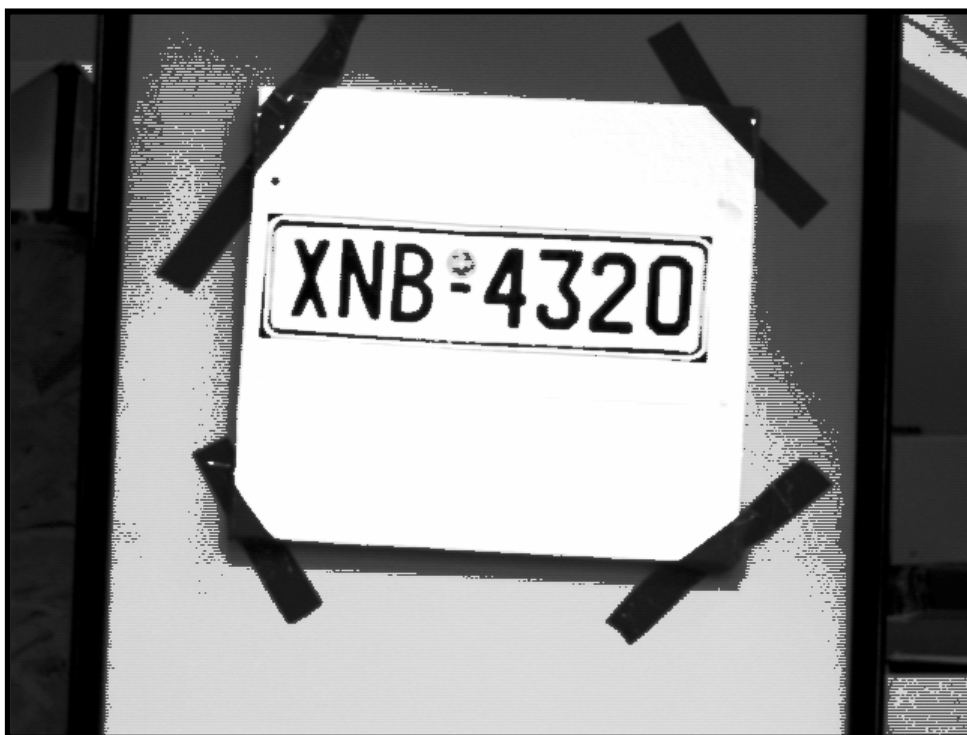
Σχήμα 8.4: Μετακίνηση 0,5μ από την κάμερα ($z = -0.5$, κλίση=0).



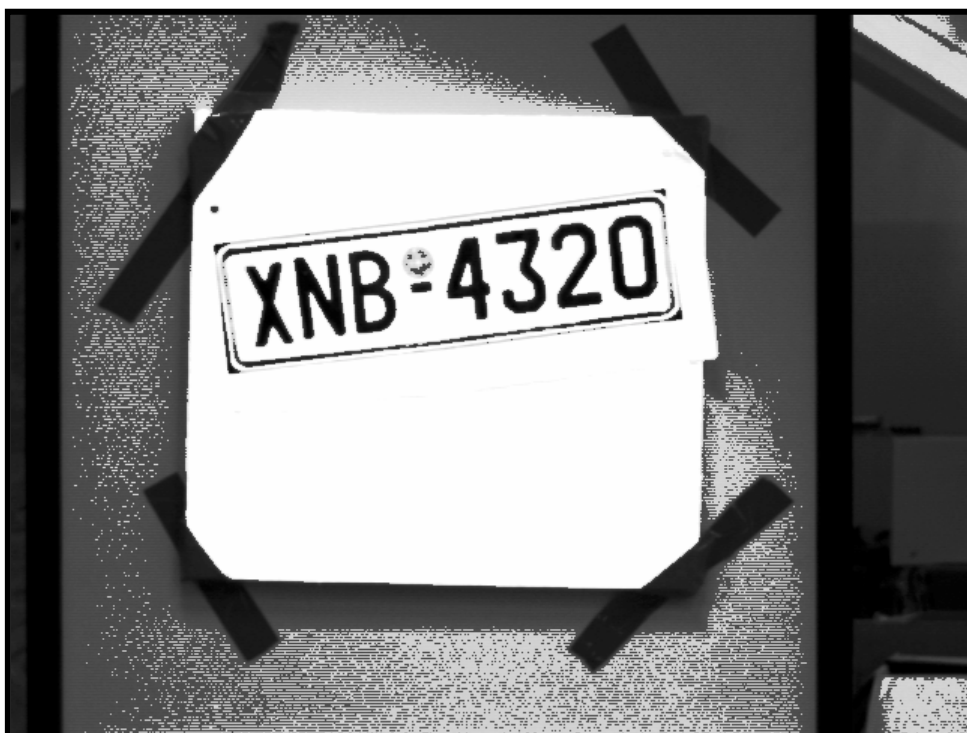
Σχήμα 8.5: Μετακίνηση 0,5μ προς την κάμερα ($z = +0.5$, κλίση=0).



Σχήμα 8.6: Περιστροφή -10° ως προς τον Y ($z=0$, κλίση -10° ως προς Y).



Σχήμα 8.7: Περιστροφή -10° ως προς τον X ($z=0$, κλίση -10° ως προς X).



Σχήμα 8.8: Περιστροφή $+10^\circ$ ως προς τον Z ($z=0$, κλίση $+10^\circ$ ως προς Z).

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 Εισαγωγή

Στο τελευταίο κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν μετά το τέλος της θεωρητικής μελέτης και του πειραματικού σταδίου της εφαρμογής. Αρχικά γίνεται μία σύντομη ανασκόπηση των θεμάτων που αναλύθηκαν σε κάθε κεφάλαιο και έπειτα παρουσιάζονται η συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας και οι μελλοντικές κατευθύνσεις των εφαρμογών στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

9.2 Ανασκόπηση

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η αναγνώριση των αλφαριθμητικών στοιχείων της πινακίδας ενός οχήματος. Η αναγνώριση πραγματοποιείται μέσω ενός προγράμματος που δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του οπτικού συστήματος AdeptVisison VME και πιο συγκεκριμένα του λογισμικού πακέτου A.I.M.

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάστηκε ο σκοπός της εργασίας και τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την επίτευξή του. Πραγματοποιείται μία εισαγωγική παρουσίαση της προεπεξεργασίας της εικόνας, της δημιουργίας των γραμματοσειρών των οποίων τα στοιχεία θα αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα, καθώς και του τρόπου δημιουργίας και εκτέλεσης του προγράμματος.

Στο Κεφάλαιο 2 έγινε μία συνοπτική παρουσίαση των βασικών εννοιών του προγράμματος A.I.M (Adept Assembly and Information Management). Ορίστηκαν τα οπτικά εργαλεία, τα αρχεία και οι ακολουθίες επιθεωρήσεων, βασικά στοιχεία στη δομή του συστήματος. Τέλος, αναλύθηκαν ο τρόπος δημιουργίας και αποθήκευσης των στοιχείων αυτών στη μνήμη, για την επαναχρησιμοποίησή τους ξανά στο μέλλον.

Το Κεφάλαιο 3 ασχολήθηκε με τις στρατηγικές επεξεργασίας εικόνας. Αρχικά έγινε μία θεωρητική παρουσίαση και έπειτα ακολούθησε η πρακτική υλοποίηση των διαδικασιών αυτών με τη βοήθεια των εργαλείων που παρέχει το A.I.M. Στη θεωρητική μελέτη παρουσιάστηκε η επεξεργασία του ιστογράμματος (Histogram enhancement), η διαδικασία κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding) και τα χωρικά φίλτρα. Ορίστηκαν τα

βαθυπερατά (lowpass filters), τα φίλτρα μεσαίων τιμών (median filters), τα υψιπερατά (highpass filters) και τα φίλτρα High-boost. Η πρακτική υλοποίηση των διαδικασιών αυτών πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των αρχείων επεξεργασίας, η παρουσίαση των οποίων ακολουθεί στο ίδιο κεφάλαιο.

Στο Κεφάλαιο 4 έγινε αναφορά στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον ορισμό ενός νέου συστήματος αξόνων. Το σύστημα αυτό τοποθετεί τα διάφορα οπτικά εργαλεία στην επιθυμητή θέση, ανεξάρτητα από τη μετατόπιση ή την περιστροφή της πινακίδας. Αρχικά παρουσιάστηκε ο τρόπος ορισμού της μορφής του πρωτοτύπου της παύλας (αρχείο μοντέλου πρωτοτύπου `prototype.model.record`) και η εύρεσή του μέσω του αρχείου εύρεσης (`prototype.finder.record`). Στη συνέχεια ορίστηκε το αρχείο εύρεσης γραμμής, το οποίο χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση του πάνω ορίου της πινακίδας. Τέλος, με βάση τα αποτελέσματα αυτών των δύο αρχείων ορίστηκε το νέο σύστημα, το οποίο περιγράφεται από το αντίστοιχο αρχείο `frame1`.

Στα Κεφάλαια 5 και 6 που ακολουθούν παρουσιάστηκε η διαδικασία δημιουργίας των γραμματοσειρών και της ακολουθίας επιθεωρήσεων που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα αναγνώρισης. Στο Κεφάλαιο 5, αρχικά έγινε μία θεωρητική παρουσίαση της μορφής κάθε γραμματοσειράς και ορίστηκε ο σκοπός δημιουργίας της καθώς και τι αντιπροσωπεύει. Έπειτα περιγράφηκε η μέθοδος πρακτικής υλοποίησής τους με την παρουσίαση των αντίστοιχων αρχείων (OCR font record και OCR field record). Στο Κεφάλαιο 6 περιγράφηκε η ακολουθία επιθεωρήσεων που χρησιμοποιείται για την σύγκριση των σκορ αναγνώρισης και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Στο Κεφάλαιο 7 αναλύθηκε ο τρόπος εκτέλεσης της ακολουθίας. Παρουσιάστηκε η οθόνη ελέγχου (Task Control Panel), η διαδικασία αποθήκευσης των αποτελεσμάτων (Logging Results) και τα εργαλεία γραφικής απεικόνισης που διαθέτει το σύστημα.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα εκτέλεσης του προγράμματος για όλες τις πιθανές περιπτώσεις. Υπολογίστηκαν αποτελέσματα για μετακινήσεις και περιστροφές ως προς και τους τρεις άξονες του αντικειμένου.

9.3 Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας

Στην εργασία αυτή δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα αναγνώρισης χαρακτήρων για τον έλεγχο της ταυτότητας των οχημάτων. Τα στοιχεία που αναγνωρίζονται είναι τα γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου που περιέχονται και στο αγγλικό αλφάβητο, καθώς και οι ακέραιοι αριθμοί του διαστήματος [0,9]. Το συνολικό αποτέλεσμα περιλαμβάνει στοιχεία από το επιστημονικό πεδίο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, της όρασης με υπολογιστή, της δημιουργίας προγράμματος αναγνώρισης χαρακτήρων OCR.

Εξετάστηκε το πρόβλημα διαμόρφωσης της τελικής εικόνας με την επεξεργασία πάνω στην αρχική της μορφή. Μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά της με βάση το ιστόγραμμα και ρυθμίστηκε η συνολική φωτεινότητα. Επίσης εφαρμόστηκαν διάφορα χωρικά φίλτρα και παρατηρήθηκε η επίπτωση που αυτά είχαν στη μορφή της εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν φίλτρα απομάκρυνσης θορύβου ή τόνωσης των χαρακτηριστικών και παρουσιάστηκαν τα πλεονεκτήματα εφαρμογής τους. Ακόμη εξετάστηκε η μέθοδος κατωφλίου γκρίζας κλίμακας (thresholding) για την τμηματοποίηση της αρχικής εικόνας.

Με τη βοήθεια του οπτικού συστήματος Adeptvision VME αναπτύχθηκε πρόγραμμα αναγνώρισης βασικών στοιχείων που εμπεριέχονται σε μία εικόνα. Διαμορφώθηκαν κατάλληλες γραμματοσειρές και δημιουργήθηκε μία μορφή κώδικα (ακολουθία επιθεωρήσεων), η εκτέλεση της οποίας εξάγει τα αποτελέσματα αναγνώρισης των αλφαριθμητικών στοιχείων της πινακίδας ενός οχήματος. Το βασικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου προγράμματος είναι η απλή μορφή που έχει. Με τη βοήθεια του A.I.M. η υλοποίηση της εφαρμογής πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον παραθύρων και απαιτήθηκε πολύ λίγος προγραμματισμός.

9.4 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Το θέμα της εργασίας αυτής, δηλαδή η ανάπτυξη προγράμματος αναγνώρισης των αλφαριθμητικών στοιχείων της πινακίδας ενός οχήματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις περιπτώσεις οπτικής παρακολούθησης. Στην εργασία αυτή γίνεται μία αρχική παρουσίαση της μεθοδολογίας που πρέπει να ακολουθηθεί για την επίτευξη του στόχου αυτού.

Σε πραγματικές συνθήκες η λήψη της αρχικής εικόνας πραγματοποιείται με τη βοήθεια αισθητήρων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι κατά μήκος του δρόμου. Μόλις οι τροχοί του οχήματος έρθουν σε επαφή μαζί τους, η εικόνα λαμβάνεται αυτόματα και εκτελείται το πρόγραμμα αναγνώρισης των χαρακτήρων της πινακίδας.

Η μορφή της αρχικής εικόνας επηρεάζεται άμεσα από την απότομη μεταβολή της φωτεινότητας. Για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων ο φωτισμός πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερός. Για την διατήρηση της σταθερότητας αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν ισχυροί προβολείς που να εστιάζουν πάνω στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Επίσης, για τον ίδιο σκοπό μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάμερα με δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης του διαφράγματος.

Για ακόμα πιο βελτιωμένα αποτελέσματα η κάμερα θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα αυτόματης εστίασης. Θα μπορεί δηλαδή να ζουμάρει πάνω στην πινακίδα του οχήματος έτσι ώστε να αποφεύγονται τα προβλήματα θόλωσης που παρουσιάζονται πολλές φορές λόγω απεστίασης από το αντικείμενο.

Στο μέλλον μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα πιο αυτοματοποιημένο και εξελιγμένο σύστημα, να γίνει η διαδικασία μέσω νευρωνικών δικτύων, να αναπτυχθούν αλγόριθμοι με μεγαλύτερο φάσμα εφαρμογών κ.τ.λ.

Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα αναγνώρισης των στοιχείων της πινακίδας είναι τα εξής:

- Παρακολούθηση των οχημάτων που διέρχονται από τους σταθμούς διοδίων.
- Χρήση από το τμήμα της τροχαίας για τον εντοπισμό της ταυτότητας των οχημάτων που υπέπεσαν σε κάποια κυκλοφοριακή παράβαση, όπως π.χ. παράνομη είσοδο στο δακτύλιο, υπέρβαση ορίου ταχύτητας κ.τ.λ.
- Χρήση από υπηρεσίες ασφαλείας για τον έλεγχο κρίσιμων περιοχών, όπως τράπεζες, πρεσβείες, οικίες διπλωματών κ.τ.λ.
- Χρήση για στρατιωτικούς λόγους στον έλεγχο της ταυτότητας των οχημάτων που εισέρχονται ή εξέρχονται από το χώρο του στρατοπέδου.

- Χρήση σε ‘έξυπνα’ αυτοματοποιημένα συστήματα, όπως π.χ. αυτόματο άνοιγμα εισόδου γκαράζ μετά από αναγνώριση της ταυτότητας του οχήματος κ.τ.λ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Computer and robot vision / Robert M. Haralick, Linda G, Shapiro
- Digital image processing / Rafael C.Gonzalez and Richard E.Woods
- Introduction to image processing / B.A.Harrison and D.L.B.Jupp.
- Digital image processing / Jan Teuber
- Digital image processing : principles and applications / Gregory A.Baxes
- Digital image processing / Zahid Hussain
- Image processing, analysis and machine vision / Milan Sonka
- Handbook of Pattern Recognition and Image Processing / Tzay Y.Young
- A guide to image processing and picture management / A.E.Cawkell
- Practical Handbook on image processing for scientific applications / Bernd Jahne
- Digital image processing and analysis / Rama Chellappa and Alexander A. Sawchuk
- Applied image processing / G.J.Awcock and R.Thomas
- The image processing handbook / John C.Russ
- Machine vision : automated visual inspection and robot vision / David Vernon