



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Διπλωματική Εργασία

ΝΕΥΡΩΝΙΚΗ ΕΥΦΥΙΑ ΣΤΗΝ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΣΚΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Δημήτρης Γ. Σιδέρης



Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Αναστάσιος Δουλάμης

Χανιά 2011

**ΝΕΥΡΩΝΙΚΗ ΕΥΦΥΙΑ ΣΤΗΝ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ
ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΣΚΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

Δημήτρης Γ. Σιδέρης

Εξεταστική Επιτροπή

**Δουλάμης Αναστάσιος (Επιβλέπων)
Επίκουρος Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης**

**Σταυρουλάκης Γεώργιος
Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης**

**Μαρινάκης Ιωάννης
Λέκτορας Πολυτεχνείου Κρήτης**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την παρούσα διπλωματική εργασία , θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα και Επίκουρο Καθηγητή Τάσο Δουλάμη για το επιστημονικό υπόβαθρο και την καθοδήγηση που μου προσέφερε, αλλά κυρίως για τα μαθήματα ζωής και αξιών που θα με συνοδεύουν στην μετέπειτα πορεία μου. Επίσης ευχαριστώ όλους τους φίλους μου και τη Μυρτώ στα Χανιά για τα ανεπανάληπτα φοιτητικά μου χρόνια. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στη γιαγιά μου Ειρήνη για την καθοδήγηση και ψυχολογική υποστήριξη σε κάθε εμπόδιο της ζωής μου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφιερώνεται
στους γονείς μου Γιώργο, Κατερίνα
και στην αδερφή μου Ελίζα

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Εισαγωγή	5
1.1 Περιγραφή Διπλωματικής	8
Γραμμή Παραγωγής στη Βιομηχανία Φαρμάκων.....	9
2.1 Ιστορική αναδρομή	10
2.2 Κατηγορίες φαρμακευτικών ουσιών	11
2.3 Στάδια παραγωγικής διαδικασίας	11
2.4 Στάδια ελέγχου ποιότητας.....	14
2.5 Προγραμματισμός παραγωγής.....	15
2.6 Κοινωνική προσφορά της Φαρμακοβιομηχανίας	16
Ψηφιακή Ανάλυση και Επεξεργασία Εικόνας.....	17
3.1 Ψηφιακή ανάλυση εικόνας.....	18
3.1.1 Ψηφιακή εικόνα	18
3.1.2 Μετατροπή εικόνας από αναλογική σε ψηφιακή.....	19
3.1.3 Η μαθηματική υπόσταση	20
3.1.4 Ανάπτυξη και εφαρμογή.....	23
3.2 Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας.....	24
3.2.1 Βασικές μαθηματικές έννοιες	25
3.3 Διαχείριση εικόνας σε περιβάλλον MATLAB	29
3.3.1 Βασικοί ορισμοί.....	30
3.3.2 Ανάλυση και αξιολόγηση της εικόνας.....	31
3.3.3 Κατηγορίες εικόνας.....	32
3.3.4 Χρήσιμες συναρτήσεις.....	34
3.3.5 Φιλτράρισμα και μορφολογικοί τελεστές εικόνας.....	34
3.3.6 Κατάτμηση εικόνας.....	39
Επιλογή Χαρακτηριστικών για την Αναγνώριση Δισκίων.....	41
4.1 Ροπές (Moments)	42
4.1.1 Μαθηματική Συνάρτηση Ροπών	43
4.2 Μετασχηματισμός Fourier	44
4.2.1 Μετασχηματισμός Fourier στην επεξεργασία εικόνας	44

4.2.2 Ταχύς μετασχηματισμός Fourier	49
Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο	53
5.1 Ορισμός του τεχνητού νευρωνικού δικτύου	54
5.1.1 Διαφορές τεχνητού και βιολογικού νευρώνα	55
5.1.2 Μάθηση των νευρωνικών δικτύων	56
5.1.3 Νευρωνικά δίκτυα προσοτροφοδότησης	57
5.1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των νευρωνικών δικτύων	58
5.1.5 Εφαρμογές νευρωνικών δικτύων	60
5.2 Νευρωνικά δίκτυα και MATLAB	61
5.2.1 Δημιουργία εκπαίδευση και προσομοίωση του δικτύου.....	62
Πείραμα - Αποτελέσματα.....	65
6.1 Προεπεξεργασία.....	71
6.2 Εξαγωγή χαρακτηριστικών	72
6.3 Εκπαίδευση νευρωνικού δικτύου.....	73
6.4 Αποτελέσματα – Βελτιώσεις.....	74
Συμπεράσματα – Μελλοντικές Εξελίξεις	77
Βιβλιογραφία	81

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός ελεγκτικού μηχανισμού κατά την παραγωγική διαδικασία δισκίων, πριν την συσκευασία τους, ο οποίος δίνει τη δυνατότητα εντοπισμού ελαττωματικών δισκίων. Στόχος της εργασίας αυτής είναι όσο το δυνατόν ο πιο πρόωρος εντοπισμός σφαλμάτων στην διαδικασία παραγωγής δισκίων. Πιο συγκεκριμένα δημιουργήθηκε πρόγραμμα το οποίο λαμβάνει ως είσοδο μία φωτογραφία κατά την έξοδο των δισκίων από την μηχανή παραγωγής και στη συνέχεια διακρίνει σαν ελαττωματικά δισκία εκείνα τα οποία φέρουν ανομοιόμορφο εξωτερικό περίβλημα σε σχέση με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αρχικά δημιουργήθηκε συνάρτηση η οποία αναλύει την εικόνα μέσω κατάλληλων φίλτρων και υπολογίζει τον αριθμό των δισκίων. Στη συνέχεια μία άλλη συνάρτηση εντοπίζει τις ροπές του κάθε δισκίου και κάνει μετασχηματισμό Fourier στο περίγραμμα του, με σκοπό να αναγνωρίσει τις συνιστώσες του σε σχέση με τα βασικά σχήματα του περιγράμματος του. Τα παραπάνω δεδομένα εισάγονται σαν είσοδοι σε νευρωνικό δίκτυο που κατασκευάστηκε και εκπαιδεύτηκε με σκοπό την πρόβλεψη και τον εντοπισμό ελαττωματικών δισκίων. Τέλος δοκιμάστηκε η εύρεση ενός βέλτιστου νευρωνικού δικτύου, όσον αφορά τον αριθμό των νευρώνων και εποχών του, που μας προσέφερε ιδιαίτερα υψηλά αποτελέσματα επιτυχίας.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Το φάρμακο αποτελεί ένα υλικό αγαθό πολύ σημαντικό για την υγεία του ανθρώπου. Στις μέρες μας, τα φάρμακα χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς της ιατρικής και είναι προϊόντα καθημερινής χρήσης από ένα μεγάλο ποσοστό του ανθρώπινου πληθυσμού. Το γεγονός αυτό καθιστά τον φαρμακευτικό τομέα ως έναν από τους σημαντικότερους βιομηχανικούς κλάδους.

Η παραγωγή φαρμάκων περιλαμβάνει διαδικασίες ιδιαίτερα προσεκτικές καθώς το προϊόν συνδέεται άμεσα με την υγεία του ανθρώπου. Η παραγωγική διαδικασία χωρίζεται σε δύο βασικούς τομείς: την παραγωγή και τη συσκευασία του φαρμάκου. Κατά τη διαδικασία της συσκευασίας, το φάρμακο τοποθετείται με κατάλληλες γραμμές παραγωγής σε ειδικές συσκευασίες προτού κυκλοφορήσει στην αγορά. Στο στάδιο αυτό, όπως και στα περισσότερα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, ο ποιοτικός έλεγχος είναι απαραίτητος. Το αποτέλεσμα αυτού είναι ιδιαίτερα σημαντικό κυρίως για την υγεία του καταναλωτή όπως επίσης και για την ομαλή λειτουργία του εργοστασίου.

Τα φάρμακα στο εργοστάσιο χωρίζονται ανάλογα με τη στατική τους δομή (χάπια, κάψουλες, αλοιφές κλπ). Τούτο διότι, οι μηχανές παραγωγής διαφέρουν ανάλογα με το προϊόν που θέλουμε να παράγουμε. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τους ελεγκτικούς μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία. Ο βασικότερος και πιο σημαντικός έλεγχος που πραγματοποιείται είναι ο δειγματοληπτικός έλεγχος φαρμάκων, όπου λαμβάνονται τυχαία φάρμακα από την παραγωγή και στη συνέχεια εξετάζονται σε εργαστήρια τα συστατικά τους εάν βρίσκονται στις επιτρεπόμενες ποσότητες, όπως έχει ορίσει ο κατασκευαστής. Στην παραγωγική διαδικασία εντοπίζονται και διαφόρων ειδών αυτόματοι ελεγκτικοί μηχανισμοί, που αφορούν κυρίως την ομαλή λειτουργία της. Πολλές μηχανές παραγωγής έχουν αισθητήρες που ελέγχουν την ορθότητα του παραγόμενου προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα, στην παραγωγή χαπιών, οι έλεγχοι που εφαρμόζονται για την ορθότητα των χαπιών όσον αφορά τα εξωτερικά χαρακτηριστικά τους (ρωγμές, μη ομαλή επιφάνεια ή άκρες κλπ) γίνονται στο στάδιο της συσκευασίας μετά την τοποθέτηση τους στα blisters. Ο έλεγχος συνήθως εφαρμόζεται με αισθητήρες αφής(χτένια κλπ), ενώ στις πιο σύγχρονες μηχανές συσκευασίας με την λήψη και επεξεργασία φωτογραφίας.

Στο συγκεκριμένο είδος ελέγχου εντοπίζονται διαφόρων ειδών προβλήματα. Βασικό πρόβλημα είναι ότι όταν εντοπίζεται ελαττωματικό χάπι σε ένα blister, απομονώνεται όλο το blister. Αυτό σημαίνει ότι τοποθετούνται σαν ελαττωματικά

τουλάχιστον 8 χάπια (περιλαμβάνονται στο κάθε blister) ενώ αυτό που έχει το πρόβλημα μπορεί να είναι ένα. Επίσης αν το χάπι είναι κατά μήκος κομμένο στη μέση και η σωστή εξωτερικά πλευρά είναι από πάνω, ο αισθητήρας λαμβάνει σωστή μορφή και δεν το απομονώνει μιας που η πλευρά που εντοπίζεται είναι ορθή κατά τον έλεγχο του.

Οι παραπάνω αυτοματοποιημένοι έλεγχοι εκτός από το να μειώσουν την πιθανότητα να προωθηθεί ένα ελαττωματικό φάρμακο στη αγορά, όπου οι συνέπειες θα είναι πιθανότατα επιβλαβείς για την υγεία του ανθρώπου, θα είναι καταστροφικές οικονομικά για την υγεία της εταιρίας του εργοστασίου, μιας που ο αρμόδιος κρατικός ελεγκτικός μηχανισμός θέτει αυστηρές νομικά και οικονομικά ποινές σε τέτοιες περιπτώσεις. Εστιάζοντας όμως στην παραγωγική διαδικασία καθώς έχει, θα παρατηρούσαμε μεγάλες καθυστερήσεις στην υλοποίηση των χρονοδιαγραμμάτων που θέτει η εταιρεία, καθώς μία μεγάλη απομόνωση χαπιών που δεν ελαττωματικά θα προξενούσε καθυστέρηση στην αποδέσμευση μίας παρτίδας φαρμάκου. Αντίστοιχα στην περίπτωση που δεν εντοπίζονταν όλα τα ελαττωματικά χάπια, όπως αναφέραμε παραπάνω και περιμέναμε να εντοπιστούν από τον δειγματοληπτικό έλεγχο, το πρόβλημα θα ήταν μεγαλύτερο μιας που μέχρι να ολοκληρωθεί τα χάπια θα βρίσκονταν ήδη μέσα στις συσκευασίες τους και αυτές αντίστοιχα σε κούτες στην αποθήκη του εργοστασίου. Έτσι ο χρόνος που θα χρειάζονταν θα ήταν πάρα πολύ επώδυνος, μιας που θα χρειάζονταν τα χάπια της παρτίδας να περάσουν επανέλεγχο, για την ομαλή λειτουργία του εργοστασίου.

1.1 Περιγραφή Διπλωματικής

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια να εντοπισθούν τα χάπια που είναι ελαττωματικά ακριβώς μετά τη παραγωγή τους από την μηχανή παραγωγής και πριν περάσουν στο στάδιο συσκευασίας, όπου τοποθετούνται σε άλλη γραμμή παραγωγής. Τα σφάλματα των χαπιών αφορούν τη γεωμετρία τους και ο εντοπισμός αυτών γίνεται με λήψη φωτογραφίας και στη συνέχεια ανάλυση αυτής. Στη συνέχεια γίνεται πρόβλεψη της ορθότητας των χαπιών που περιλαμβάνονται στη φωτογραφία με την βοήθεια νευρωνικών δικτύων. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κανένας έλεγχος ορθότητας των χαπιών από την μηχανή παραγωγής στην μηχανή συσκευασίας. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η συγκεκριμένη έρευνα ως θέμα της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Η διπλωματική εργασία επιτελέστηκε σε περιβάλλον MATLAB, καθώς η χρήση των βιβλιοθηκών της στο τομέα αυτό κρίθηκαν απαραίτητες. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα καθαρισμού εικόνας με κατάλληλη χρήση, για να εντοπιστεί με ακρίβεια ο αριθμός των χαπιών καθώς και η γεωμετρία τους, για να βρεθεί σε επεξεργάσιμη μορφή και να ληφθούν στην συνέχεια με μεγαλύτερη ακρίβεια τα δεδομένα (Κεφάλαιο 3). Στη συνέχεια περιγράφηκε το χάπι όσον αφορά την μορφή και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (Κεφάλαιο 4). Για την πρόβλεψη και τον εντοπισμό ελαττωματικών χαπιών έγινε δημιουργία κατάλληλου νευρωνικού δικτύου και η βελτιστοποίησή του (Κεφάλαιο 5). Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικά το πείραμα και τα αποτελέσματά του (Κεφάλαιο 6), καθώς και τα συμπεράσματα και μελλοντικές εξελίξεις από την διπλωματική αυτή εργασία (Κεφάλαιο 7).

Κεφάλαιο 2

Γραμμή Παραγωγής στη Βιομηχανία Φαρμάκων

2.1 Ιστορική αναδρομή

Αναζητώντας τις ρίζες της βιομηχανίας με την έννοια της παραγωγικής οργάνωσης υπήρξε η οικιακή παραγωγή που παρήγαγε αγαθά για κατανάλωση μέσα στην ίδια την οικογένεια. Γρήγορα αυτή εξελίχτηκε στην βιοτεχνική παραγωγή (Εικ.2.2α) με την δημιουργία μικρών ομάδων και την χρήση μηχανικών μέσων. Με την δημιουργία μεγαλουπόλεων με τεράστιους πληθυσμούς να απαιτούν συνεχή τροφοδοσία δημιούργησε την ανάγκη για μαζική παραγωγή οργάνωση και εκβιομηχανισμό του μέχρι τότε βιοτεχνικού συστήματος.

Το 19ο αιώνα δημιουργήθηκαν πολλές προτάσεις για την οργάνωση της εργασίας σε επιστημονική βάση που συμπυκνώθηκαν στις αρχές που διατύπωσε το 1911 ο αμερικανός Frederick Taylor (Εικ.2.1β) το λεγόμενο αμερικανικό σύστημα παραγωγής ή επιστημονική διαχείριση. Αποτέλεσμα της εφαρμογής του ήταν να προκύψει σταδιακά μια βελτιστοποίηση των διαδικασιών και των λειτουργιών στις παραγωγικές μονάδες.

Σήμερα η λειτουργία και η οργάνωση μιας σύγχρονης βιομηχανίας καθορίζεται από οικονομοτεχνικές παραμέτρους αλλά και πλήθος άλλων ρυθμιστικών κανόνων για την λειτουργία της. Κάθε βιομηχανική μονάδα οργανώνει την γραμμή παραγωγής της ανάλογα με το είδος των προϊόντων που παράγει. Οι ειδικές συνθήκες και απαιτήσεις παραγωγής κάθε προϊόντος καθώς και η υπάρχουσα τεχνολογία καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται τα επιμέρους τμήματα της παραγωγής από την υποδοχή και αποθήκευση των πρώτων υλών έως την διανομή του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 2.1^α Βιοτεχνική παραγωγή



Εικόνα 2.1^β Frederick Taylor

2.2 Κατηγορίες φαρμακευτικών ουσιών

Στη βιομηχανία φαρμάκων παράγονται κυρίως στερεές φαρμακευτικές μορφές, δηλαδή δισκία και κάψουλες (Εικ.2.2α) καθώς επίσης και υγρές φαρμακευτικές μορφές (Εικ. 2.2β) .

Γενικά στις αναπτυγμένες κοινωνίες το φάρμακο χαρακτηρίζεται ως κοινωνικό αγαθό άρα οι απαιτήσεις της κοινωνίας είναι υψηλές τόσο σε επίπεδο ποιότητας όσο και σε επίπεδο κόστους, δηλαδή το φάρμακο θα πρέπει να είναι προσβάσιμο από κάθε ασθενή [22].

Οι ποιοτικές προδιαγραφές φαρμάκων στην Ελλάδα ελέγχονται από τον Εθνικό Οργανισμό Φαρμάκων, ο οποίος με την σειρά του ακολουθεί τους κανόνες που καθορίζονται από τον ΙΑΑ ευρωπαϊκό οργανισμό φαρμάκων.



Εικόνα 2.2^α Διάφορες μορφές δισκίων



Εικόνα 2.2β Σιρόπια

2.3 Στάδια παραγωγικής διαδικασίας

Τα στάδια παραγωγικής διαδικασίας φαρμάκων και συγκεκριμένα στερεών δισκίων, ακολουθούν συγκεκριμένη σειρά (Διαγ.2.3). Η παραγωγή φαρμάκων ξεκινάει από την λήψη των πρώτων υλών και από την επιλογή των προμηθευτών και τον έλεγχο των πρώτων υλών. Οι προμηθευτές επιλέγονται με ποιοτικά κριτήρια. Οι πρώτες ύλες που εισάγονται στο εργοστάσιο ελέγχονται από τον τομέα Ποιοτικού Ελέγχου και όταν οι ύλες αυτές πληρούν όλες τις προδιαγραφές μπορούν να

μεταφερθούν στην παραγωγή για να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή φαρμάκων.

Οι πρώτες ύλες ερχόμενες στο τμήμα παραγωγής θα περάσουν από το ζυγιστήριο εκεί θα ζυγιστούν οι απαιτούμενες ποσότητες σύμφωνα με την φόρμουλα που έχει εγκριθεί για το προϊόν που πρόκειται να παραχθεί και θα οδηγηθεί στο πρώτο στάδιο.

Στην περίπτωση στερεών φαρμακευτικών μορφών μετά την ζύγιση των πρώτων υλών οδηγούνται στο χώρο της κοκκοποίησης όπου σκοπός είναι να διαμορφωθούν κόκκοι ομογενείς στην μάζα τους.

Στην περίπτωση που δεν έχουμε κοκκώδης πρώτες ύλες αυτές οδηγούνται σε κατάλληλα ζυμωτήρια όπου αναμιγνύονται με κάποιο πολυμερές σε διάλυμα, το οποίο έχει τη δυνατότητα να συσσωματώνει την σκόνη σε κόκκους. Πριν γίνει αυτό που χαρακτηρίζουμε ως ζύμωμα η υγρή μάζα οδηγείται σε κατάλληλο υγραντήρα όπου ξεραίνεται με σκοπό να αφαιρεθεί η υγρασία για να μπορεί να συμπιεστεί σε δισκίο τους κόκκους και να περιοριστούν οι δυνατότητες να αντίδραση με την δραστική ουσία του προϊόντος και να την διάσπαση.

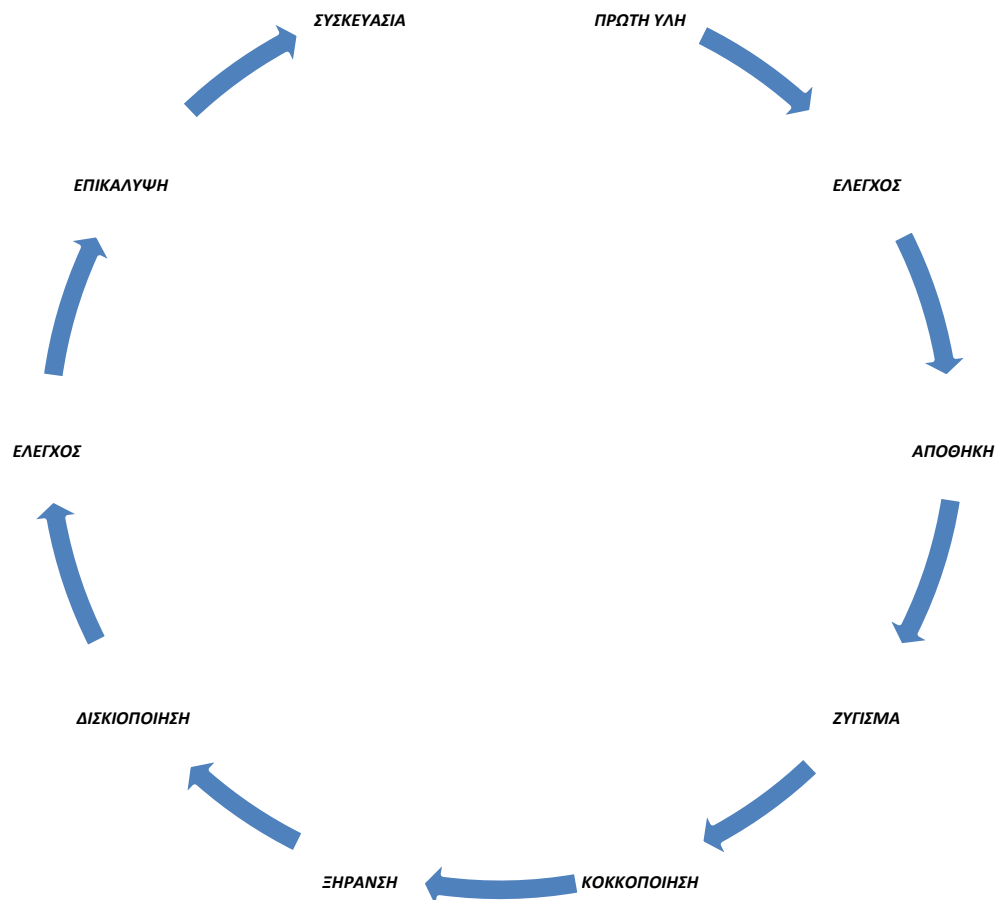
Στη δισκιοποίηση η σκόνη συμπιέζεται σε κατάλληλο σχήμα δισκίο έτσι ώστε να πάρουμε ένα προϊόν το οποίο θα έχει ανά φαρμακευτική δόση ανά δισκίο σταθερή ποσότητα δραστικής ουσίας. Αφού ξεκινήσει η παραγωγή ενός προϊόντος αυτή ελέγχεται για την ποιότητα της σε κάθε στάδιο της, όπου λαμβάνονται δείγματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα σε όλα τα στάδια παραγωγής και αυτά τα δείγματα ελέγχονται για την ποιότητα τους.

Στην δισκιοποίηση τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία ελέγχονται κατά την διάρκεια της παραγωγής είναι η εμφάνιση του δισκίου, ελέγχεται η σκληρότητα του δισκίου έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι στα επόμενα στάδια είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί χωρίς να σπάσει. Ελέγχεται το πόσο εύθραυστο είναι αυτό το δισκίο κάτω από μηχανική καταπόνηση μπορούν να αποσπαστούν τμήματα αυτού του στοιχείου. Επίσης ελέγχεται ο χρόνος που χρειάζεται να διαλυθεί ένα δισκίο σε κάποιο υγρο. Ελέγχεται το βάρος του δισκίου αφού είναι η κύρια παράμετρος που βλέπουμε την δραστική ουσία του δισκίου. Το επόμενο στάδιο είναι η συσκευασία στην περίπτωση των απλών δισκίων ή η επικάλυψη των επικαλυμμένων δισκίων.

Η επικάλυψη χρησιμοποιείται ως μέσο σταθεροποίησης του δισκίου, μπορεί να δοθεί χρώμα στο δισκίο ώστε να αποκτήσει “ταυτότητα” οπτική το δισκίο καθώς μπορεί να κάνει ευκολότερη την κατάποση του.

Η συσκευασία γίνεται σε φιαλίδια ή στα blister. Πρέπει να αναγράφεται στο

φύλλο αλουμινίου του blister η ημερομηνία. Κόβονται τα blisters στο μέγεθος που θέλουμε αφού πρώτα έχουν τοποθετηθεί τα δισκία μέσα και στη συνέχεια τοποθετούνται στο κουτί μαζί με τις οδηγίες χρήσης. Το κουτί κλείνεται και ζυγίζεται έτσι ώστε να ελεγχθεί ότι έχει ακριβώς αυτά που πρέπει σωστό αριθμό blister και μία οδηγία. Μετά οδηγείται σε μια μηχανή που επικολλούνται ετικέτες κατόπιν τα κουτιά οδηγούνται σε μια μηχανή ομαδοποίησης που κλείνει σε ταινία αριθμού πολυαιθυλενίου, σε συγκεκριμένο αριθμό, για να κλειστούν τελικά σε χαρτοκιβώτια.



Διάγραμμα 2.3 Στάδια παραγωγής

2.4 Στάδια ελέγχου ποιότητας

Κάθε ένα στάδιο της παραγωγής από τα προηγούμενα, χαρακτηρίζεται από την απαίτηση για διασφάλιση της ποιότητας του, αυτή την διασφάλεια της ποιότητας έχει αναλάβει το τμήμα της ελέγχου ποιότητας του εργοστασίου, το οποίο είναι αρμόδιο να σχεδιάσει τέτοιες διαδικασίες παραγωγής οι οποίες στο τέλος διασφαλίζουν την υψηλή ποιότητα τελικού προϊόντος.

Διαδικασίες ξεκινάμε από τον σχεδιασμό του εργοστασίου ώστε να εκμηδενίζονται η πιθανότητες ανάμειξης προϊόντος, έτσι απαγορεύεται η παραγωγή διαφορετικών προϊόντων στον ίδιο χώρο-δωμάτιο απομονωμένο. Αυτό διότι να μην μπορεί να μεταφερθεί σκόνη από το έναν χώρο στον άλλο γιατί ο αέρας που παρέχεται σε κάθε δωμάτιο έχει συγκεκριμένη πίεση και διείσδυση για να αποκλείεται η μεταφορά αυτή. Κάθε στάδιο ακολουθεί συγκεκριμένες διαδικασίες που είναι γραπτές και έχουν ελεγχθεί ότι παρέχουν υψηλή ποιότητα προϊόντος. Το προσωπικό που χρησιμοποιείται έχει εκπαιδευτεί κατάλληλα, ώστε να μπορεί να ακολουθεί αυτές τις διαδικασίες και να μην θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα του προϊόντος. Κάθε μηχάνημα μετά το τέλος της παραγωγής καθαρίζεται κατάλληλα και ελέγχεται ότι έχει καθαριστεί αποτελεσματικά. Σε κάθε στάδιο παραγωγής υπάρχουν αυτοματισμοί που ελέγχουν την ποιότητα του προϊόντος. Το τελευταίο στάδιο του ποιοτικού ελέγχου (Εικ.2.4) έρχεται να βεβαιώσει ότι όλα πραγματοποιήθηκαν σωστά κατά την διάρκεια παραγωγής και το προϊόν το οποίο ελέγχεται συμμορφώνεται με τις προδιαγραφές του.



Εικόνα 2.4 Εργαστήρια Ελέγχου Ποιότητας

Από τον τρόπο και την συχνότητα των ελέγχων αντιλαμβανόμαστε ότι βρίσκονται στην άμεση προτεραιότητα της Φαρμακοβιομηχανίας. Αναλογίζοντας το κόστος το κοινωνικό αλλά και εταιρικό σε περίπτωση ελαττωματικής παρτίδας, αντιλαμβανόμαστε το λόγο αυτό. Τα περιθώρια των ελέγχων σε κάθε μορφής βιομηχανίας, πόσο μάλλον στον τομέα της Φαρμακοβιομηχανίας συνεχώς εξελίσσοντας μειώνοντας ή περιορίζοντας το ποσοστό ελαττωματικού προϊόντος. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία δίδεται καινοτόμα πρόταση ως προς την ύπαρξη ενός παραπάνω ελέγχου στην παραγωγική διαδικασία δισκίων. Ο έλεγχος αυτός έχει ως στόχο τον πρόωρο εντοπισμό ελαττωματικών δισκίων σε σχέση με τη γεωμετρική του μορφή.

2.5 Προγραμματισμός παραγωγής

Είναι σημαντικό να καθορίσει το εργοστάσιο την γραμμή παραγωγής του σύμφωνα με τις ανάγκες της αγοράς. Παράδειγμα σε μια ασθένεια που συναντάται συχνά θα πρέπει να παραχθούν μεγάλες ποσότητες δισκίων τα οποία είναι κατάλληλα

για την θεραπεία αυτής της ασθένειας. Έτσι ακολουθείται η λογική παραγωγή σύμφωνα με τις παραγγελίες, άρα ο όγκος παραγωγής είναι τέτοιος ώστε να ικανοποιηθούν οι ανάγκες της αγοράς χωρίς να δημιουργηθούν αποθέματα πλεονασματικά τα οποία μπορεί να φτάσουν στο όριο ζωής τους και θα πρέπει να καταστραφούν ως ακατάλληλα για την δημόσια υγεία.

2.6 Κοινωνική προσφορά της Φαρμακοβιομηχανίας

Η Ελληνική Φαρμακοβιομηχανία έχει προχωρήσει σε σημαντικές επενδύσεις ώστε να δημιουργήσουν τμήματα Έρευνας και ανάπτυξης τα οποία μπορούν να δημιουργούν νέα ή καινοτόμα προϊόντα που θα ικανοποιήσουν απαιτήσεις πελατών σε χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι έντονη εξαγωγική δραστηριότητα πολλές θέσεις εργασίας (Εικ.2.6) στη ελληνική φαρμακοβιομηχανία, οι περισσότερες νέες θέσεις απασχολούν επιστημονικό προσωπικό. Έτσι η φαρμακοβιομηχανία ως ένας βιομηχανικός κλάδος, με την ανάπτυξη της συμβάλει στην γενικότερη ανάπτυξη της χώρας.



Εικόνα 2.6 Αναζήτηση εργασίας

Κεφάλαιο 3

Ψηφιακή Ανάλυση και Επεξεργασία Εικόνας

3.1 Ψηφιακή ανάλυση εικόνας

Μια εικόνα αξίζει όσο χίλιες λέξεις...

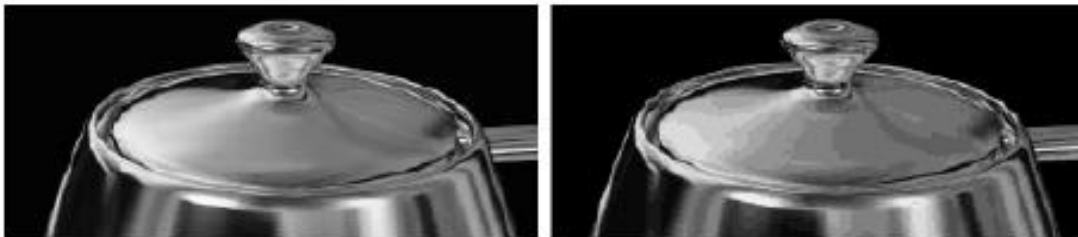
(Κινέζικη παροιμία)

3.1.1 Ψηφιακή εικόνα

Τι είναι η εικόνα;

- Οτιδήποτε μπορούμε να δούμε ή να απεικονίσουμε
- Ένα δισδιάστατο σήμα

Κάθε εικόνα για να υποστεί ψηφιακή επεξεργασία θα πρέπει κατ' αρχήν να μετατραπεί σε ψηφιακή. Η ψηφιοποίηση μιας εικόνας, περιλαμβάνει δύο στάδια τη δειγματοληψία της αναλογικής εικόνας και στην συνέχεια την κβάντιση των δειγμάτων(Εικ. 3.1.1^α).



Εικόνα 3.1.1^α Παράδειγμα κβαντισμένης εικόνας

Ορισμός ψηφιακής εικόνας

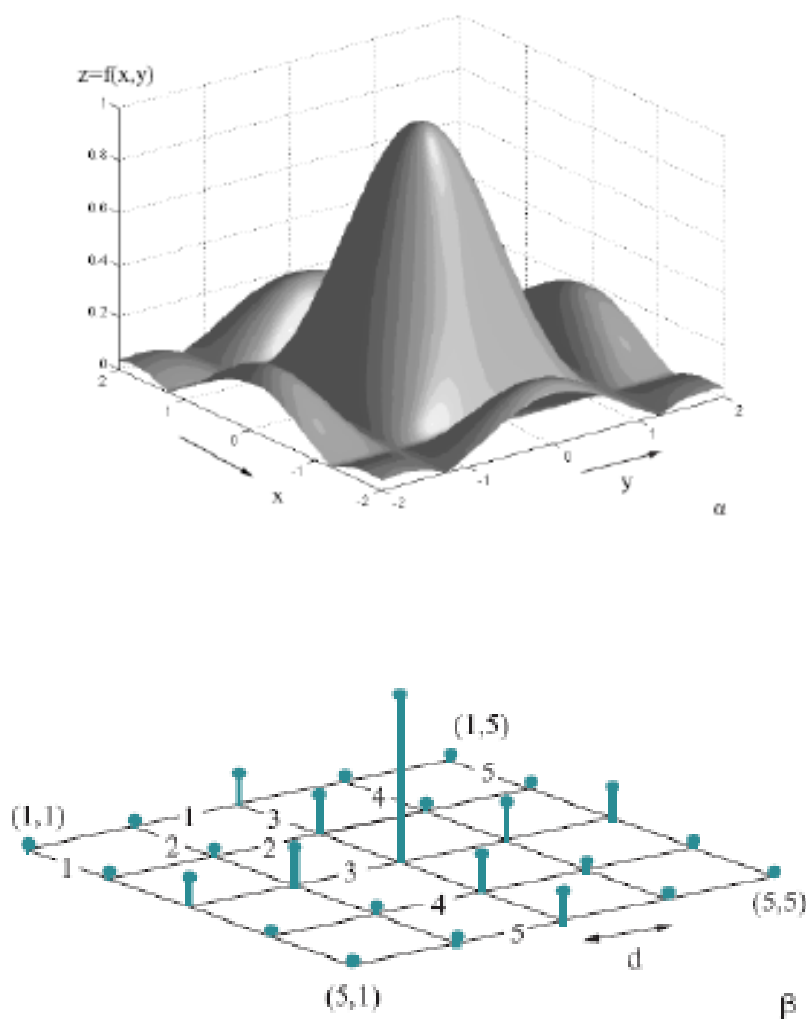
Ως ψηφιακή εικόνα ορίζεται μία συνάρτηση δύο μεταβλητών, $f(x,y)$, όπου x και y είναι οι χωρικές συντεταγμένες και η τιμή της f για οποιαδήποτε ζεύγος συντεταγμένων (x,y) ονομάζεται ένταση ή επίπεδο γκριζου της εικόνας σε εκείνο το σημείο. Όταν τα x , y και η τιμή της f αποτελούν πεπερασμένες, διακριτές ποσότητες, τότε η εικόνα ονομάζεται ψηφιακή. Αξίζει να σημειωθεί η ψηφιακή φωτογραφία αποτελείται από πεπερασμένο αριθμό στοιχείων, καθένα από αυτά έχει συγκεκριμένη θέση στο χώρο και τιμή. Τα στοιχεία αυτά ονομάζονται εικονοστοιχεία (pixel elements – pixels) [9].

3.1.2 Μετατροπή εικόνας από αναλογική σε ψηφιακή

Δειγματοληψία

Ορίζεται ένα πλέγμα από ευθείες παράλληλες προς τους άξονες των μεταβλητών x, y και μήκος πλευράς d . Στη συνέχεια λαμβάνονται οι τιμές της εικόνας για κάθε κορυφή του πλέγματος, όπου αποτελούν τα στοιχεία ενός πίνακα E (Εικ.3.1.2α). Κάθε στοιχείο του πίνακα E είναι γνωστό ως *pixel* της ψηφιακής εικόνας [2].

Παρατήρηση: Αν η εικόνα είναι έγχρωμη, σε κάθε *pixel* αντιστοιχούν τρεις πραγματικές τιμές (R,G,B).



Εικόνα 3.1.2α

Κβαντισμός

Τα δείγματα του πίνακα E , που ορίσαμε παραπάνω, μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή σε ένα συνεχές διάστημα πραγματικών αριθμών. Ως συνέπεια ένα μη πεπερασμένο αλφάβητο, είναι αδύνατο να αποθηκευτεί σε ψηφιακό μέσο. Έτσι τα δείγματα κβαντίζονται και αντικαθίστανται από προσεγγίσεις τους με διακριτό και πεπερασμένο πεδίο τιμών (bits), ώστε να αποθηκευτούν. Η διαδικασία αυτής της προσεγγίσεις ονομάζεται κβαντισμός [19].

Η μαθηματική του έννοια:

Έστω X μια τυχαία μεταβλητή που παριστάνει το δείγμα ενός αναλογικού σήματος το οποίο υφίσταται δειγματοληψία. Τότε $\tilde{X} = f_Q(X)$ είναι η κβαντισμένη τιμή της X .

Ένας κβαντιστής έχει M επίπεδα κβαντισμού:

$$\tilde{X} = \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_M\} \quad (1)$$

Τα όρια των ζωνών κβαντισμού ορίζονται από τις $M + 1$ τιμές:

$$\{x_0, x_1, \dots, x_M\}, \text{ όπου } x_0 = -\infty, x_M = \infty$$

Έτσι για κάθε επίπεδο κβαντισμού μπορεί να αντιστοιχισθεί σε έναν $\log_2 M$ –bit δυαδικό αριθμό.

3.1.3 Η μαθηματική υπόσταση

Μαθηματικά, η ασπρόμαυρη εικόνα μπορεί να οριστεί ως μία συνάρτηση δύο μεταβλητών, με πεδίο ορισμού το $\mathbb{R}$ και πεδίο τιμών το $\mathbb{R}^+$, εφόσον οι τιμές της έντασης φωτεινότητας είναι θετικές. Επομένως ισχύει η σχέση:

$$0 \leq f(x, y) \leq +\infty$$

Κάθε πηγή, εκπέμπει με διαφορετικό τρόπο ακτινοβολία. Οι τιμές έντασης της πηγής ακτινοβολίας, χαρακτηρίζονται κυρίως από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Τον τύπο της πηγής και το ποσό της ακτινοβολίας της.
2. Το ποσό της ακτινοβολίας που απορροφάται και ανακλάται από τα αντικείμενα της φυσικής σκηνής.

Επομένως, αν η συνάρτηση της έντασης ακτινοβολίας οριστεί ως $I(x, y)$ και η συνάρτηση ανάκλασης ή απορρόφησης οριστεί ως $R(x, y)$, τότε η εικόνα $f(x, y)$ δίνεται από το τύπο:

$$f(x, y) = I(x, y)R(x, y), \text{ με } 0 \leq I(x, y) \leq +\infty, 0 \leq R(x, y) \leq +\infty. \quad (2)$$

Η τιμή $I = f(x_0, y_0)$, μπορεί να οριστεί ως η ένταση φωτεινότητας για το συγκεκριμένο σημείο της εικόνας. Η ένταση ενός σημείου, θεωρητικά παίρνει τιμές από 0 έως $+\infty$, αλλά πρακτικά οι τιμές φράσσονται στο κλειστό διάστημα:

$$[L_{min}, L_{max}], \text{ όπου } L_{min} = I_{min}R_{min} \text{ και } L_{max} = I_{max}R_{max}.$$

Τα τελευταία χρόνια, η πιο δημοφιλής κατηγορία εικόνας είναι η ψηφιακή. Αυτό συμβαίνει, διότι οι σημερινές φωτογραφικές μηχανές είναι ψηφιακές, αλλά και γιατί ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία τους, μπορεί να επεξεργάζεται εικόνες αυτής της μορφής. Οι ψηφιακές εικόνες, δεν είναι μία δισδιάστατη συνάρτηση, αλλά μία δισδιάστατη ακολουθία αριθμών. Τα σημεία (συντεταγμένες) της ψηφιακής εικόνας, είναι γνωστά και ως εικονοστοιχεία. Η ψηφιακή εικόνα, μπορεί να εκφραστεί με την βοήθεια ενός μητρώου. Αν οι διαστάσεις της είναι N εικονοστοιχεία σε μήκος και M εικονοστοιχεία κατά πλάτος, τότε η εικόνα δίνεται από τον μητρώο:

$$F = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1, 0) & f(M-1, 1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Δηλαδή, η ψηφιακή εικόνα προκύπτει από την συνάρτηση $f(x; Y)$, για $x = 0, \dots, N - 1$. Μία πιο απλή και γενική αναπαράσταση της εικόνας, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$H = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1N} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{M1} & \alpha_{M2} & \dots & \alpha_{MN} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Πολλές φορές, είναι χρήσιμο η εικόνα να εκφραστεί ως διάνυσμα. Αυτό μπορεί να γίνει αν όλες οι γραμμές της τοποθετηθούν σε μία σειρά ή αν όλες οι στήλες της συνενωθούν απλά σε μία στήλη, όπως φαίνεται στην επόμενη σχέση:

$$h = [\alpha_{11} \quad \dots \quad \alpha_{1N} \quad \alpha_{21} \quad \dots \quad \alpha_{2N} \quad \dots \quad \alpha_{M1} \quad \dots \quad \alpha_{MN}]^T \quad (5)$$

Οι τιμές των εικονοστοιχείων μίας εικόνας, μπορούν να θεωρηθούν και ως τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν συγκεκριμένες κατανομές. Η πιθανότητα (ή συχνότητα) εμφάνισης της τιμής κάθε έντασης δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

Σε κάθε περίπτωση, είναι προφανές ότι οι εικόνες έχουν σημαντική θέση στη ζωή του ανθρώπου, γιατί με αυτές:

$$P_k = \frac{k}{NM} \quad (6)$$

Δηλαδή αν η εικόνα έχει μέγεθος $N \times M$, η πιθανότητα του k -ιστού επιπέδου έντασης φωτεινότητας, είναι το πλήθος των εικονοστοιχείων που έχουν την τιμή αυτή, προς το πλήθος όλων των εικονοστοιχείων. Η κατανομή των εντάσεων φωτεινότητας, απεικονίζει τις τιμές των εντάσεων που χρησιμοποιούνται και με ποια συχνότητα [20].

3.1.4 Ανάπτυξη και εφαρμογή

Η ψηφιακή ανάλυση μιας εικόνας καθορίζει το πόσο καλά μπορούμε να βλέπουμε τις λεπτομέρειες μιας εικόνας. Ισούται με το πλήθος των pixels ανά μονάδα επιφάνειας και συνήθως μετρείται σε ppi (pixels per inch). Η λεπτομέρεια σε μια εικόνα εξαρτάται από τις διαστάσεις της σε εικονοστοιχεία, ενώ η ανάλυση εικόνας ελέγχει σε πόσο χώρο τυπώνονται τα εικονοστοιχεία. Εικόνες ψηλότερης ανάλυσης αναπαράγουν συνήθως περισσότερες λεπτομέρειες και λεπτότερες μεταβάσεις χρώματος από εικόνες χαμηλότερης ανάλυσης. Εντούτοις, αυξάνοντας την ανάλυση μιας εικόνας χαμηλής ανάλυσης, το μόνο που γίνεται είναι να διαδίδει την πληροφορία του αρχικού εικονοστοιχείου σε ένα μεγαλύτερο αριθμό εικονοστοιχείων. Σπάνια βελτιώνει την ποιότητα της εικόνας. Η χρησιμοποίηση μιας πάρα πολύ χαμηλής ανάλυσης για μια τυπωμένη εικόνα οδηγεί σε pixelation - αποτέλεσμα σε μεγάλα, χονδροειδή εικονοστοιχεία. Χρησιμοποίηση μιας πάρα πολύ υψηλής ανάλυσης (εικονοστοιχεία μικρότερα από ό,τι μπορεί να παράγει η συσκευή εξόδου) αυξάνει το μέγεθος αρχείου και επιβραδύνει την εκτύπωση της εικόνας. Επιπλέον, η συσκευή θα είναι ανίκανη να αναπαράξει την πρόσθετη λεπτομέρεια που παράγεται από την εικόνα υψηλότερης ανάλυσης.

Σε κάθε περίπτωση, είναι προφανές ότι οι εικόνες έχουν σημαντική θέση στη ζωή του ανθρώπου, γιατί με αυτές:

- Σε ατομικό επίπεδο
 - ✓ Κινείται, σκέφτεται, ενεργεί, διασκεδάζει κλπ.
- Σε κοινωνικό επίπεδο
 - ✓ Ενημερώνεται, επικοινωνεί, κλπ.
- Στην εργασία
 - ✓ Εξάγει συμπεράσματα, κλπ.

Συγκεκριμένα στον τομέα της βιομηχανίας, η προσφορά της εικόνας δεν έχει να κάνει μόνο με την προώθηση του προϊόντος ως έχει στην αγορά, αλλά και με την παραγωγική του διαδικασία. Αυτό συμβαίνει με την κατάλληλη επεξεργασία εικόνων σε διάφορα στάδια της παραγωγής, που ελέγχουν κυρίως την ποιότητα του προϊόντος, επεξεργάζοντας τα δεδομένα που προσφέρουν.

Ανάπτυξη της Ψηφιακής Επεξεργασίας και Ανάλυση Εικόνας τα τελευταία χρόνια

- Ανάπτυξη αποδοτικών τεχνικών επεξεργασίας και ανάλυσης
- Διαθεσιμότητα φθηνού και ισχυρού υπολογιστικού εξοπλισμού
- Σημαντική πρόοδος στις τεχνολογίες των συστημάτων πρόσληψης (καταγραφής) των εικόνων
- Συνεχής ανάδειξη νέων εφαρμογών

3.2 Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων (ΨΕΕ) είναι η εφαρμογή της ψηφιακής επεξεργασίας σημάτων πάνω σε συγκεκριμένα σήματα (εικόνες). Η επεξεργασία, μετάδοση και κατανόηση των εικόνων αποτελούν πεδία συνεχώς αναπτυσσόμενης έρευνας. Η επεξεργασία μιας υψηλής ποιότητας εικόνας απαιτεί τεράστια ταχύτητα υλοποίησης των αλγορίθμων για την εκτέλεση της σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων πολύ μεγάλης κλίμακας, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη αρχιτεκτονικών συνεχούς ροής με μεγάλο βαθμό παραλληλισμού, βοήθησε στη δυνατότητα υλοποίησης πολλών πολύπλοκων αλγορίθμων. Η ταυτόχρονη ελάττωση του κόστους των μνημών, επεξεργασιών, και γενικά της υπολογιστικής ισχύος, έχει κάνει οικονομικά βιώσιμη την ανάπτυξη συστημάτων επικοινωνίας και, επεξεργασίας εικόνων ακόμα και για οικιακή χρήση.

Ψηφιακή επεξεργασία εικόνων

- Ένα σύστημα επεξεργασίας εικόνων:
 - ✓ Καταγράφει εικόνες (μία προς μία ή/και ακολουθία)
 - ✓ Επεξεργάζεται εικόνες με ψηφιακό τρόπο
 - ✓ Εξάγει νέες εικόνες
- Παραδείγματα επεξεργασιών εικόνων:
 - ✓ Βελτίωση ποιότητας
 - ✓ Φιλτράρισμα θορύβου
 - ✓ Αποκατάσταση υποβαθμισμένων εικόνων
 - ✓ Συμπίεση

Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνων εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς όπως:

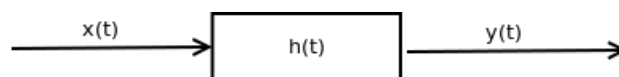
- α) την βελτίωση της ποιότητας των εικόνων, με χρήση κατάλληλων φίλτρων ή την αποκατάσταση τους στην αρχική τους μορφή μετά από αλλοίωση τους λόγω επίδρασης θορύβου.
- β) την κωδικοποίηση τους, έτσι ώστε η πληροφορία τους να μπορεί να περιγραφεί από μία σειρά όσο γίνεται μικρότερου αριθμού bit (συμπίεση δεδομένων) Ν με σκοπό την γρήγορη μετάδοση τους μέσω διαύλων περιορισμένης χωρητικότητας (bandwidth), ή την αποτελεσματική αποθήκευση τους σε περιορισμένο αποθηκευτικό χώρο με ικανοποιητική ποιότητα εικόνας.
- γ) την μετατροπή φωτογραφιών σε εικόνες δύο μόνο αποχρώσεων (μαύρου-άσπρου), για εκτύπωση ή επίδειξη σε δυαδική μορφή.
- δ) την τροποποίηση των εικόνων εφαρμόζοντας έτσι επάνω τους «καλλιτεχνικές» φόρμες και απόψεις.

3.2.1 Βασικές μαθηματικές έννοιες

Επειδή η ψηφιακή εικόνα είναι δισδιάστατο σήμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετασχηματισμοί και τεχνικές από το πεδίο της θεωρίας σημάτων και συστημάτων.

Συνέλιξη και Συσχέτιση

Μία από τις πιο βασικές έννοιες στην θεωρία συστημάτων, είναι τα γραμμικά συστήματα και η πράξη της γραμμικής συνέλιξης. Τα γραμμικά συστήματα, είναι τα πιο απλά και η θεωρία τους ευρέως γνωστή. Το γραμμικό σύστημα επιδρά στο σήμα εισόδου, με την κρουστική απόκριση που το χαρακτηρίζει (Εικ.3.2^α), η επίδραση αυτή εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:



Εικόνα 3.2^α Γραμμικό σύστημα με κρουστική απόκριση $h(t)$

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} h(t - \tau)x(\tau)d\tau$$

(7)

Για διακριτό σύστημα, η πράξη της συνέλιξης ορίζεται ως:

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(n-k)x(k) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(n)x(k-n) \quad (8)$$

Η γραμμική συνέλιξη, είναι μία πολύ συχνή πράξη στην θεωρία σημάτων και συνήθως συμβολίζεται ως:

$$y = h * x = x * h, \quad (9)$$

Η ετεροσυσχέτιση είναι μία παρόμοια πράξη με την συνέλιξη και ορίζει ένα μέτρο ομοιότητας, για τα δύο σήματα στα οποία εφαρμόζεται. Η ετεροσυσχέτιση ορίζεται ως :

$$r_{hx}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t+\tau)d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} h(t+\tau)x(\tau)d\tau \quad (10)$$

Αντίστοιχα η ετεροσυσχέτιση, για διακριτά σήματα ορίζεται ως:

$$r_{hx}(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(n+k)x(k) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(n)x(k+n) \quad (11)$$

Στην περίπτωση που το γραμμικό σύστημα, είναι διακριτού χρόνου και η κρουστική του απόκριση έχει πεπερασμένη διάρκεια, το άθροισμα της διακριτής συνέλιξης, μπορεί να εκφραστεί με γραμμικές εξισώσεις. Επομένως η συνέλιξη μπορεί να εκφραστεί και με την βοήθεια μητρώων και να γραφεί στην ακόλουθη μορφή:

$$y = Hx \quad (12)$$

Το μητρώο H , ονομάζεται μητρώο συνέλιξης. Αν $h_1, \dots, h_m$, είναι οι συντελεστές της

κρουστικής απόκρισής του γραμμικού συστήματος,

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ \vdots \\ y_{k-2} \\ y_{k-1} \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & & & \vdots & \vdots \\ \vdots & h_1 & \dots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ h_m & \vdots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & h_m & \dots & h_1 & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \vdots & 0 & \dots & \vdots & h_1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & \vdots & \dots & h_m & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & h_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ \vdots \\ x_{n-2} \\ x_{n-1} \\ x_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

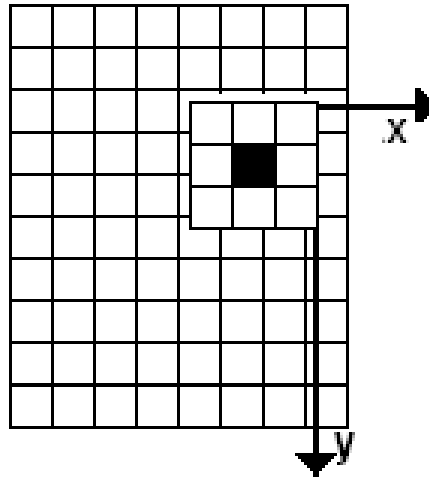
Η έκφραση της συνέλιξης, στην παραπάνω μορφή, είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι με αυτό τον τρόπο η συνέλιξη εκφράζεται ως ένα γραμμικό σύστημα εξισώσεων. Επομένως, η μοντελοποίηση της συνέλιξης, απλοποιείται και επιπλέον μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνικές της γραμμικής άλγεβρας για την επίλυση του.

Χρήση γραμμικών φίλτρων

Η διαδικασία της συνέλιξης, όταν εφαρμόζεται σε διακριτού χρόνου γραμμικά συστήματα, που έχουν κρουστική απόκριση πεπερασμένης διάρκειας, είναι γνωστή και ως φιλτράρισμα. Η κρουστική απόκριση, συνήθως είναι μικρού μεγέθους και ονομάζεται φίλτρο. Η δισδιάστατη συνέλιξη ορίζεται από:

$$h(n, m) * f(n, m) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) h(i - m, j - n) \quad (14)$$

Σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας τοποθετείται η μάσκα (μεγέθους $N \times M$). Το εικονοστοιχείο της εικόνας, που βρίσκεται σε επεξεργασία συμπίπτει, με το αντίστοιχο κεντρικό στοιχείο του φίλτρου(Εικ.3.2β). Υπολογίζεται το άθροισμα σύμφωνα με την παραπάνω σχέση και τελικά τοποθετείται στο εικονοστοιχείο, το αποτέλεσμα του αθροίσματος. Επειδή κατά την διαδικασία του φιλτραρίσματος, το φίλτρο εφαρμόζεται και στα όρια της εικόνας, υπάρχουν στοιχεία του φίλτρου που τοποθετούνται εκτός των ορίων της. Επομένως, πρέπει να επεκταθεί η εικόνα στα όρια της, ώστε όλα τα στοιχεία του φίλτρου να πολλαπλασιάζονται με το αντίστοιχο εικονοστοιχείο της εικόνας.



Εικόνα 3.2β Διαδικασία Φιλτραρίσματος

Χρήση μη γραμμικών φίλτρων

Σε μία εικόνα μπορούν να εφαρμοστούν και μη γραμμικά φίλτρα στην εικόνα, όπως είναι τα στατιστικά φίλτρα διάταξης. Τα πιο δημοφιλή φίλτρα αυτής της κατηγορίας είναι :

- Φίλτρο μεγίστου: Σε μπλοκ $N \times M$ εικονοστοιχείων επιλέγεται η μέγιστη τιμή.
- Φίλτρου ελαχίστου: Σε μπλοκ $N \times M$ εικονοστοιχείων επιλέγεται η ελάχιστη τιμή.

- Φίλτρο μεσαίου : Σε μπλοκ $N \times M$ εικονοστοιχείων επιλέγεται η τιμή του μεσαίου. Ο μεσαίος προκύπτει, ως η τιμή που βρίσκεται στην μεσαία θέση του διανύσματος των ταξινομημένων τιμών. Σε περίπτωση που το πλήθος των εικονοστοιχείων είναι άρτιος αριθμός, επιλέγεται η μέση τιμή των δύο μεσαίων εικονοστοιχείων.

Ο κρουστικός θόρυβος, επιδρά σε ένα ποσοστό των εικονοστοιχείων, στα οποία μεταβάλλεται η τιμή τους στις δύο πιο ακραίες τιμές (πχ 0 και 255). Αν εφαρμοστεί το φίλτρο του μεσαίου, τότε επιλέγεται σε κάθε γειτονιά εικονοστοιχείων η μεσαία τιμή και επομένως εξαλείφονται οι ακραίες τιμές. Το φίλτρο του μεσαίου μπορεί να αφαιρέσει εντελώς τον κρουστικό θόρυβο. Φυσικά για να λειτουργήσει ικανοποιητικά, θα πρέπει στην κάθε γειτονιά, το πλήθος των εικονοστοιχείων που περιέχουν ακραίες τιμές να είναι το πολύ κατά ένα λιγότερα από τα υπόλοιπα. Αν και η εφαρμογή του φίλτρου του μεσαίου, απομακρύνει δραστικά τον κρουστικό θόρυβο, απομακρύνει και τις λεπτομέρειες τις εικόνες. Επομένως όταν απαιτείται αρκετά μεγάλο μέγεθος φίλτρου (πχ 11×11), οι ακμές αλλοιώνονται και χάνονται οι λεπτομέρειες,

3.3 Διαχείριση εικόνας σε περιβάλλον MATLAB

Η MATLAB είναι ένα εύχρηστο και αρκετά ευέλικτο υπολογιστικό περιβάλλον για υλοποίηση επιστημονικών εφαρμογών σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων, όπως η Γραμμική Άλγεβρα, η Στατιστική και η Επεξεργασία Σήματος και Εικόνες. Το περιβάλλον της MATLAB υποστηρίζει την εκτέλεση απλών μαθηματικών υπολογισμών αλλά και πιο σύνθετων λειτουργιών πάνω σε εξειδικευμένες περιοχές εφαρμογών καθώς περιέχει ένα σύνολο συναρτήσεων και εξωτερικών βιβλιοθηκών (Tool-boxes) για εφαρμογές όπως η στατιστική ανάλυση δεδομένων κ.α.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία η επεξεργασία των εικόνων βασίστηκε στην πλατφόρμα του MATLAB. Η επεξεργασία και η ανάλυση εικόνων των φαρμακευτικών δισκίων βασίστηκε σε προγράμματα που υλοποιήθηκαν σε MATLAB.

3.3.1 Βασικοί ορισμοί

Μια ψηφιακή εικόνα είναι ένα ψηφιακό αρχείο που αποτελείται από μια ακολουθία bits με τιμές 1 ή 0. Η ακολουθία των ψηφίων αυτών μετατρέπεται στην απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται για να εμφανιστεί η εικόνα σε οθόνη υπολογιστή ή να εκτυπωθεί από ένα εκτυπωτή. Η ακολουθία των ψηφίων αυτών δεν είναι τυχαία. Αποτελείται από ομάδες ψηφίων, διατεταγμένων στη σειρά. Η κάθε ομάδα ψηφίων είναι αρκετή για να περιγράψει με απόλυτη πληρότητα το ελάχιστο δομικό στοιχείο της εικόνας, το pixel ή εικονοστοιχείο.

Pixel

Η ψηφιακή εικόνα αναλύεται με βάση κάποιο ορθογώνιο πλέγμα που λέγεται bitmap. Το πλέγμα αυτό είναι σε μερικούς χώρους γνωστό, όχι απόλυτα σωστά, και σαν Raster. Με βάση αυτό το πλέγμα, η εικόνα μοιράζεται σε μια κάθετη ακολουθία από οριζόντιες σειρές με μικρές υποδιαιρέσεις, που ονομάζονται εικονοστοιχεία ή pixels (picture elements). Κάθε pixel του πλέγματος καθορίζεται από τη θέση του στο πλέγμα (x και y). Συνήθως τα pixels χαρακτηρίζονται ξεκινώντας από την πάνω αριστερή γωνία (0,0) χωρίς αυτό να ισχύει πάντα.

Ψηφιακή έγχρωμη εικόνα

Μετατροπή εικόνας από αναλογική σε ψηφιακή απεικόνιση (βλ. 3.1.2)

Grey-scale εικόνα

Ψηφιακή εικόνα που έχει μόνο ένα μήκος κύματος καλείται και μονοχρωματική εικόνα.

Binary image

Ψηφιακή εικόνα που έχει μόνο δυο τιμές φωτεινότητας (0,1 ή 0,255).

Black-and-white εικόνα

grey-scale ή binary

2D image

Ψηφιακή εικόνα 2D : $I(x,y,l)$ or $I(x,y)$

3D image

Ψηφιακή εικόνα 3D : $I(x,y,z,l)$ or $I(x,y,z)$

Voxel

Περιοχή pixel στη 3D ψηφιακή εικόνα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες χωρικές συντεταγμένες $[x_0, y_0, z_0]$

Image size

Αριθμός pixels (voxels) N_x -μήκος, N_y -ύψος, (N_z -βάθος)

Αριθμός μηκών κύματος N_I

Αριθμός χρονικών σημείων N_t

Αριθμός bit για την αποθήκευση μιας εικόνας

Αν η εικόνα έχει διαστάσεις $N \times N$ με 2^m διαφορετικά grey levels τότε ο απαιτούμενος αριθμός bit θα είναι $\beta = N * N * m$

Bit depth

Αριθμός των bits ανά pixel ανά μήκος κύματος (8 bit, 12 bit, 16 bit) = $\log_2(N_I)$

Συνολικός αριθμός των bits ανά pixel (8 bit, 24 bit, 32 bit) = $\log_2(NI)$

3.3.2 Ανάλυση και αξιολόγηση της εικόνας

Κάθε pixel μιας εικόνας περιέχει ένα αριθμό που περιγράφει την ένταση του συγκεκριμένου pixel. Σε ένα σύστημα τριών χρωμάτων των 24 bit, κάθε χρώμα θα καθορίζεται από ένα αριθμό 8bit και θα έχει μία τιμή ανάμεσα στο 0 και το 255. Το Μαύρο ορίζεται σαν 0,0,0 και το άσπρο σαν 255,255,255. Το μέσο του εύρους χρωμάτων είναι το 128,128,128 ενώ το κόκκινο είναι 255,0,0 το πράσινο είναι 0,255,0 και το μπλε είναι 0,0,255. Ανάμεσα στο 000 και το 255,255,255 υπάρχουν περίπου 16,7 εκατομμύρια χρωματικές διαβαθμίσεις. Ο αριθμός αυτός είναι και το σύνολο των πληροφοριών που αναφέρεται στο ορισμένο pixel. Η τιμή αυτή καθαυτή σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες τιμές γειτονικών ή και απομακρυσμένων pixels επιτρέπει τον χαρακτηρισμό της εικόνας στο σύνολό της και τον καθορισμό των χαρακτηριστικών της όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Τα βασικά χαρακτηριστικά μιας εικόνας είναι:

- Η Φωτεινότητα
- Η Αντίθεση
- Η Ασάφεια
- Η Ανάλυση
- Ο Θόρυβος που περιέχει η εικόνα

•
Η Φωτεινότητα (Brightness) περιγράφει το γενικό ποσό φωτός που υπάρχει σε μία εικόνα. Είναι μία αποτύπωση του κατά πόσο η εικόνα είναι φωτεινή ή σκοτεινή.

Η Αντίθεση (Contrast) είναι η αποτύπωση των διαφορών ανάμεσα στα ακραία pixels, δηλαδή ανάμεσα στο πιο φωτεινό και το πιο σκοτεινό pixel μιας εικόνας. Μια εικόνα έχει φτωχή αντίθεση εάν περιέχει τιμές pixel σε ένα στενό εύρος (μία εικόνα της οποίας τιμές κυμάνθηκαν από 100 έως 140 θα είχε φτωχή αντίθεση). Μια εικόνα έχει καλή αντίθεση (υψηλό contrast) εάν αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα τιμών φωτεινότητας που εκτείνεται από το μαύρο μέχρι το λευκό.

3.3.3 Κατηγορίες εικόνας

Το MATLAB υποστηρίζει 3 βασικούς τύπους εικόνας:

- Ενδεικτικές εικόνες (indexed images)
- Ασπρόμαυρες εικόνες (grayscale /intensity images)
- Έγχρωμες εικόνες RGB

Ενδεικτικές εικόνες (indexed images)

Μια indexed εικόνα αποτελείται από ένα πίνακα δεδομένων X , και ένα πίνακα χρωμάτων-παλέτα (color map), map . Ο map είναι ένας $m \times 3$ πίνακας κλάσης `double` ο οποίος περιέχει κινητής υποδιαστολής (floating-point) τιμές εύρους $[0,1]$ και υπάρχει αποθηκευμένος μέσα στο MATLAB. Κάθε μια από τις γραμμές του map καθορίζει τα κόκκινα, πράσινα και μπλε συστατικά κάθε χρώματος αντίστοιχα. Μια ενδεικτική εικόνα χρησιμοποιεί “direct mapping” των τιμών του pixel σε color map τιμές. Το χρώμα κάθε pixel της εικόνας καθορίζεται χρησιμοποιώντας την ανταποκρινόμενη τιμή του X σαν ένδειξη στον map . Η τιμή 1 δείχνει την πρώτη γραμμή του map , η 2 την δεύτερη.

Ασπρόμαυρες εικόνες (grayscale /intensity images)

Μια ασπρόμαυρη εικόνα (εικόνα έντασης) είναι ένας πίνακας δεδομένων I του οποίου οι τιμές αναπαριστούν την ένταση του φωτός. Το MATLAB αποθηκεύει μια εικόνα έντασης σε ένα απλό πίνακα, του οποίου κάθε στοιχείο αναφέρεται σε ένα και μοναδικό pixel. Ο πίνακας μπορεί να είναι κλάσης double, uint8 ή uint16. Τα στοιχεία του πίνακα αναπαριστούν διάφορες εντάσεις του φωτός (επίπεδα του γκρι) όπου η ένταση 0 αναπαριστά το μαύρο και η ένταση 1, 255 αναπαριστά το λευκό.

Ένα ειδικό είδος ασπρόμαυρης εικόνας η οποία όμως περιέχει μόνο μαύρο και άσπρο είναι η δυαδική. Σε μια δυαδική εικόνα κάθε pixel προέρχεται από μια από τις δυο διακριτές τιμές (0 ή 1). Βασικά αυτές οι δυο τιμές αναφέρονται σε on ή off. Μια δυαδική εικόνα αποθηκεύεται σε ένα δισδιάστατο πίνακα μηδενικών (off pixels) και μονάδων (on pixels).

Έγχρωμες εικόνες RGB

Μια RGB εικόνα, ορισμένες φορές αναφέρεται και σαν “truecolor” (πραγματικού χρώματος) εικόνα, αποθηκεύεται στο MATLAB σαν ένα πίνακα δεδομένων $m \times n \times 3$ ο οποίος καθορίζει τα κόκκινα, πράσινα και μπλε χρωματιστά στοιχεία κάθε ανεξάρτητου pixel. Οι RGB εικόνες δεν χρησιμοποιούν χάρτη χρωμάτων (color map). Το χρώμα του κάθε pixel καθορίζεται από τον συνδυασμό των κόκκινων, πράσινων και μπλε εντάσεων. Ένας RGB MATLAB πίνακας μπορεί να είναι κλάσης double, uint8 ή uint16. Σε ένα πίνακα κλάσης double κάθε χρώμα είναι μια τιμή στον πίνακα μεταξύ 0 και 1. Ένα pixel του οποίου το χρώμα έχει τιμή (0,0,0) παρουσιάζει το μαύρο ενώ ένα pixel το οποίο έχει τιμή μέσα στον πίνακα (1,1,1) παρουσιάζει το λευκό. Τα στοιχεία των τριών χρωμάτων για κάθε pixel αποθηκεύονται στις τρεις διαστάσεις του πίνακα.

3.3.4 Χρήσιμες συναρτήσεις

- Εισαγωγή εικόνας:

`imread('filename')`

- Εμφάνιση εικόνας:

`imshow(f,G)`

Όπου f η εικόνα και G ο αριθμός των επιπέδων της έντασης της εικόνας, αν το G παραληφθεί αυτόματα χρησιμοποιούνται 256 επίπεδα.

- Αποθήκευση εικόνας σε αρχείο:

`imwrite(f,'filename')`

- Η εντολή μετατροπής μιας εικόνας αποθηκευμένη σ'ένα πίνακα f σε ασπρόμαυρη είναι :

`rgb2gray(f)`

3.3.5 Φιλτράρισμα και μορφολογικοί τελεστές εικόνας

Η Βελτίωση της ποιότητας της εικόνας (image enhancement) αποσκοπεί στο να δώσει στην εικόνα μια μορφή περισσότερο κατάλληλη για περαιτέρω επεξεργασία ή ανάλυση. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι μεθόδων βελτίωσης ποιότητας, που επεξεργάζονται την εικόνα είτε στο πεδίο του χώρου (spatial domain) ή της συχνότητας (frequency domain). Στο πεδίο του χώρου, οι τεχνικές εκμεταλλεύονται τις γεωμετρικές ιδιότητες της εικόνας, ενώ στο πεδίο της συχνότητας επεξεργάζονται το φάσμα της εικόνας. Οι σημαντικότερες τεχνικές βελτιστοποίησης αναπτύσσονται σύντομα στη συνέχεια.

Οι ψηφιακές εικόνες επηρεάζονται από διάφορους τύπους θορύβου, και ιδιαίτερα αυτές που προέρχονται από κάποια ιατρική συσκευή. Ο θόρυβος μπορεί να παρουσιαστεί σε μια εικόνα με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τη κατασκευή της εικόνας. Για να αφαιρεθεί ο θόρυβος από μια εικόνα χρησιμοποιούμε διάφορα φίλτρα, ανάλογα με το είδος του θορύβου.

Φιλτράρισμα εικόνας

Φιλτράρισμα είναι μια τεχνική με την οποία τροποποιούμε ή προβάλλουμε μία εικόνα. Για παράδειγμα, μπορείς να φιλτράρεις μια εικόνα για να τονίσεις ορισμένα χαρακτηριστικά ή για να αφαιρέσεις άλλα. Το φιλτράρισμα είναι μια λειτουργία γειτονικών pixel, στην οποία η τιμή κάθε pixel της εικόνα που έχει περάσει από το φίλτρο καθορίζεται τοποθετώντας κάποιον αλγόριθμο στις τιμές των γειτονικών pixel της εικόνας πριν αυτή περάσει από το φίλτρο [14].

Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται περισσότερο για την αφαίρεση θορύβου είναι:

- Τα γραμμικά φίλτρα (Linear filtering)
- Ενδιάμεσης τιμής (Median filtering)
- Προσαρμοζόμενα (Adaptive filtering)

Γραμμικά φίλτρα (Linear filtering)

Με τον όρο γραμμικό φιλτράρισμα εννοούμε το φιλτράρισμα στο οποίο η τιμή κάθε εξερχόμενου pixel είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των τιμών των εισερχομένων γειτονικών pixel. Για παράδειγμα, ένας αλγόριθμος που υπολογίζει ένα σταθμισμένο μέσο όρο από τα γειτονικά pixel είναι ένας τύπος από τη λειτουργία των γραμμικών φίλτρων.

Τα γραμμικά φίλτρα χρησιμοποιούνται για να αφαιρεθούν διάφοροι τύποι θορύβου. Συγκεκριμένα φίλτρα όπως τα φίλτρα Gaussian ή “averaging”, χρησιμοποιούνται γι’ αυτό το σκοπό. Για παράδειγμα, ένα “averaging filter” είναι χρήσιμο για να αφαιρεί κόκκους θορύβου από μια εικόνα. Κάθε pixel τοποθετείται στο μέσο των γειτονικών pixels, και οι τοπικές αποκλίσεις λόγω των κόκκων μειώνονται.

Φίλτρα ενδιάμεσης τιμής (Median filtering)

Στο Φιλτράρισμα με Median Filter (είναι παρόμοιο με ένα averaging filter) κάθε pixel παίρνει την μέση τιμή των γειτονικών pixel. Ωστόσο με median filtering η τιμή ενός

εξερχόμενου pixel καθορίζεται από το median των γειτονικών pixel. Η εντολή medfilt2 θέτει σε εφαρμογή το median filtering. Η εντολή medfilt2 αφαιρεί το θόρυβο ‘salt & pepper’ πολύ καλά, χωρίς να θολώσει την εικόνα [1].

Προσαρμοζόμενα φίλτρα (Adaptive filtering)

Η εντολή wiener2 τροποποιεί τοπικές αντιθέσεις της εικόνας. Όταν οι αντιθέσεις είναι μεγάλες, η wiener2 εκτελεί λίγη εξομάλυνση ενώ όταν είναι μικρές περισσότερη. Αυτή η προσέγγιση συχνά δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τα γραμμικά φίλτρα. Τα προσαρμοστικά φίλτρα είναι πιο επιλεκτικά από ένα γραμμικό φίλτρο προστατεύοντας ακμές και άλλα υψηλής συχνότητας κομμάτια της εικόνας. Η εντολή wiener2 χρησιμοποιεί προκαταρκτικούς υπολογισμούς και εφαρμόζει το φίλτρο στην εισερχόμενη εικόνα. Όμως χρειάζεται περισσότερο χρόνο για υπολογισμούς από το γραμμικό φιλτράρισμα. Η wiener2 δουλεύει καλύτερα όταν ο θόρυβος είναι συνεχής και αυξανόμενος (“white”) όπως ο θόρυβος τύπου Gaussian.

Μορφολογική επεξεργασία εικόνας

Η θεωρία της μορφολογίας στα μαθηματικά μπορεί να αναπτυχθεί με πολλούς τρόπους. Εμείς θα ασχοληθούμε με τη μέθοδο εκείνη που χρησιμοποιεί λειτουργίες σε ένα σετ σημείων. Οι μορφολογικοί τελεστές είναι μέθοδοι για την επεξεργασία δυαδικών ή grayscale εικόνων βασισμένοι στη γεωμετρία. Αυτοί οι τελεστές παίρνουν μια εικόνα ως είσοδο, εφαρμόζουν σε αυτήν ένα τελεστή, και επιστρέφουν την επεξεργασμένη εικόνα ίδιων διαστάσεων με την αρχική. Η τιμή κάθε pixel της εικόνας εξόδου βασίζεται στη σχέση του pixel εισόδου και του γειτονικού του. Ένα ουσιαστικό μέρος των μορφολογικών τελεστών είναι το δομικό στοιχείο (structure element- se). Αυτό μπορεί να είναι αυθαιρέτου σχήματος και μεγέθους. Οι μορφολογικοί τελεστές επεξεργάζονται μια εικόνα εφαρμόζοντας το δομικό στοιχείο (σαν μάσκα) στην εικόνα αυτή και χρησιμοποιώντας έναν set operator(τομή, ένωση, κλπ). Οι βασικοί μορφολογικοί τελεστές είναι οι: erosion, dilation, opening και closing.

Erosion(Διάβρωση) και Dilation(Διαστολή)

Erosion (Διάβρωση): Η βασική επίδραση αυτού του τελεστή είναι να διαβρώνει τα σύνορα της περιοχής των pixels που βρίσκονται στο προσκήνιο (π.χ. λευκά pixels), έτσι μικραίνει τα αντικείμενα αφαιρώντας pixel στα σύνορα του αντικειμένου.

Dilation (Διαστολή): Η βασική επίδραση πάνω στην εικόνα είναι η διεύρυνση των συνόρων των περιοχών των pixels που βρίσκονται στο προσκήνιο (π.χ. λευκά pixels), έτσι μεγαλώνει τα αντικείμενα προσθέτοντας pixel στα σύνορα των αντικειμένων.

Τα δομικά στοιχεία διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν η εικόνα στην οποία εφαρμόζονται είναι δυαδική ή γκρι κλίμακας.

Στο MATLAB το δομικό στοιχείο δημιουργείται με την εντολή strel:

```
>>se=strel(shape,parameters)
```

Τα μη-επίπεδα δομικά στοιχεία δημιουργούνται βάζοντας στην εντολή strel 2 πίνακες, ο πρώτος ορίζει τη γειτονιά(neighborhood), και ο δεύτερος ορίζει το ύψος σε κάθε σημείο της γειτονιάς. Στο MATLAB, η διάβρωση και η διαστολή των δυαδικών και των γκρι εικόνων επιτυγχάνονται με τις εντολές:

```
>>dst=imerode(src,se);
```

```
>>dst=imdilate(src, se);
```

Άνοιγμα (opening) και κλείσιμο(closing)

Opening (Άνοιγμα): Η βασική επίδραση είναι μία erosion η οποία ακολουθείται από μία dilation. Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι επιδρά πάνω σε όλες τις περιοχές των pixels σε προσκήνιο, αδιάκριτα

Closing (Κλείσιμο): Η βασική επίδραση είναι μία dilation η οποία ακολουθείται από μία erosion.

Αν χρησιμοποιήσουμε opening και closing μαζί σε μια grayscale εικόνα μπορούμε να επιτύχουμε ομαλοποίηση(smoothing) σε κάποιο βαθμό.

Στο MATLAB οι λειτουργίες opening και closing επιτυγχάνονται με τις παρακάτω εντολές:

```
>>dst=imopen(src,se);
```

```
>>dst=imclose(src,se);
```

Βασικές μορφολογικές συναρτήσεις

Η συνάρτηση δυαδικών εικόνων bwmorph

Η bwmorph χρησιμοποιεί μια ποικιλία από χρήσιμες λειτουργίες βασισμένες σε συνδυασμό διαστολών και διαβρώσεων. Συντάσσεται ως εξής:

$$g=bwmorph(f,operation,n)$$

όπου f είναι μια δυαδική εικόνα, $operation$ είναι η λειτουργία που επιθυμούμε να κάνει, και το n είναι ένας θετικός ακέραιος που προσδιορίζει πόσες φορές θα εφαρμοστεί η λειτουργία.

Ετικέτες σε συνδεδεμένα αντικείμενα δυαδικών εικόνων

Η συνάρτηση που βάζει ετικέτες στα ξεχωριστά αντικείμενα μιας εικόνας είναι η bwlabel:

$$[L,num]=bwlabel(f,conn)$$

όπου f είναι η δυαδική εικόνα και $conn$ είναι ο τρόπος σύνδεσης (4 ή 8). Το L είναι ο πίνακας με τις ετικέτες και το num περιέχει τον αριθμό των αντικειμένων που αναγνωρίστηκαν.

3.3.6 Κατάτμηση εικόνας

Εισαγωγή

Κατάτμηση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία μια εικόνα χωρίζεται στα αντικείμενα ή μέρη από τα οποία αποτελείται και το φόντο της. Είναι το σημαντικό και δυσκολότερο κομμάτι στην επεξεργασία εικόνας και είναι καθοριστικό για την επιτυχία ή μη της τελικής ανάλυσης. Για το λόγο αυτό, ο αριθμός των μεθόδων κατάτμησης εικόνας που έχουν αναπτυχθεί είναι σχεδόν ο ίδιος με τον αριθμό των προβλημάτων κατάτμησης που υπάρχουν. Η αυτόματη κατάτμηση σε δισδιάστατες ή τρισδιάστατες εικόνες επιτρέπει τη μελέτη των ανεξάρτητων στοιχείων στο φυσικό τους χώρο. Η αυτόματη κατάτμηση εικόνων είναι προτιμότερη από τη ‘χειροκίνητη’ χάραξη των ορίων κάθε πυρήνα με τη χρήση ποντικιού, αφού είναι πιο αντικειμενική. Ακόμη ένα πλεονέκτημα του αυτοματισμού είναι ότι αυξάνεται η ποσότητα των δεδομένων στα οποία μπορεί να εφαρμοστεί η κάθε μέθοδος, αφού ο ίδιος αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις εικόνες, ανεξάρτητα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους [11].

Στην αυτόματη κατάτμηση εικόνων δισκίων συχνά εμφανίζονται προβλήματα, και οφείλονται κυρίως στα εξής:

- α) Ανομοιομορφία έντασης φωτεινότητας του φόντου, εξαιτίας του πάχους του δείγματος.
- β) Πολλές φορές τα δισκία είναι πολύ κοντά και δυσκολεύει το διαχωρισμό τους σε ανεξάρτητα δισκία.

Στη συνέχεια αναλύονται μερικές από τις πιο βασικές μεθόδους κατάτμησης εικόνας.

Κατωφλίωση

Η κατωφλίωση είναι ένα χρήσιμο και απλό εργαλείο στην κατάτμηση γκριζών εικόνων και βασίζεται στο γεγονός ότι τα αντικείμενα μίας εικόνας μπορούν να διακριθούν από το φόντο βάσει του χρώματός τους (επίπεδο του γκριζου). Χρησιμοποιώντας το ιστόγραμμα της εικόνας, γίνεται κατάλληλη επιλογή κάποιου ή κάποιων επιπέδων του γκριζου, που θα χρησιμοποιηθεί ως κατώφλι ανάμεσα στις

τιμές των pixels των αντικειμένων και του φόντου. Η αρχική, γκριζα, εικόνα μπορεί να μετατραπεί σε δυαδική, έτσι ώστε τα τμήματα της εικόνας που αντιστοιχούν σε αντικείμενα να εμφανίζονται στη δυαδική εικόνα άσπρα, ενώ τα υπόλοιπα τμήματα (φόντο) να εμφανίζονται στη δυαδική εικόνα μαύρα (ή το αντίθετο). Μπορεί η μέθοδος αυτή να φαίνεται απλή, είναι όμως πολύ βασική στην επεξεργασία εικόνας [10].

Απλή γενική κατωφλίωση

Έστω η ιδανική περίπτωση, όπου στο ιστόγραμμα μιάς γκριζας εικόνας $f(x,y)$ υπάρχει μία βαθιά και απότομη ‘κοιλιάδα’ ανάμεσα στις δύο κορυφές που αντιστοιχούν στα αντικείμενα (η μία) και το φόντο (η άλλη), και το επιθυμητό κατώφλι T επιλέγεται να είναι η μικρότερη τιμή της κοιλιάδας αυτής. Τότε κάθε σημείο (x,y) για το οποίο ισχύει $f(x,y) \geq T$ θα είναι σημείο αντικειμένου αλλιώς θα είναι σημείο του φόντου. Ένας τρόπος επιλογής του κατωφλίου είναι με οπτική παρατήρηση του ιστογράμματος της εικόνας. Η κατωφλίωση υλοποιήθηκε με τη συνάρτηση `im2bw(f,T)` του MATLAB με το T στη περιοχή 0-1 .

Κατάτμηση με χρήση τεχνικών ταξινόμησης

Με τη διαδικασία ταξινόμησης επιτυγχάνεται η μείωση δεδομένων, ομαδοποιώντας δεδομένα με κοινά χαρακτηριστικά. Τέτοιες ομαδοποιήσεις διευκολύνουν τον ανθρώπινο εγκέφαλο να επεξεργαστεί την παρεχόμενη πληροφορία με τρόπο πιο αποτελεσματικό και ακριβή. Η ομαδοποίηση στο χώρο των χαρακτηριστικών των δεδομένων πραγματοποιείται αυτόματα με χρήση αλγορίθμων ταξινόμησης (classification) τους ιεραρχικούς και τους διαμεριστικούς. Οι ιεραρχικοί αλγόριθμοι αρχικοποιούνται με τυχαίο προσδιορισμό των κατηγοριών (κλάσεων) και αναπτύσσονται διασπώντας μεγάλες μη ομογενείς κατηγορίες ή ενώνοντας μικρές κατηγορίες με μεγάλη ομοιότητα. Οι διαμεριστικοί αλγόριθμοι επιχειρούν να διαιρέσουν άμεσα τα δεδομένα σε ένα σύνολο διακριτών κατηγοριών, ελαχιστοποιώντας ένα μέτρο ανομοιότητας μεταξύ δεδομένων που ανήκουν στην ίδια κατηγορία και μεγιστοποιώντας το μέτρο αυτό για δεδομένα που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες..

Κεφάλαιο 4

Επιλογή Χαρακτηριστικών για την Αναγνώριση Δισκίων

4.1 Ροπές (Moments)

Ορισμός

Χαρακτηριστικά ροπών ονομάζουμε στατιστικές εικόνων οι οποίες είναι ανεξάρτητες της περιστροφής, της μετακίνησης και της μεγέθυνσης. Είναι αμφίδρομα ορισμένες από τις εικόνες. Αυτές οι ιδιότητες δίνουν την δυνατότητα της οπτικής ανάκτησης πληροφορίας στο οπτικό πεδίο που είναι ανεξάρτητο μεγέθους, θέσης και προσανατολισμού [16].

Οι ροπές είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα στοιχεία περιγραφής μιας περιοχής, γιατί:

- Απεικονίζουν συμμετρίες ή ασυμμετρίες της περιοχής
- Κάνουν δυνατό τον ορισμό χαρακτηριστικών ευθειών (αξόνων) της περιοχής, ο εντοπισμός των οποίων φανερώνει τον προσανατολισμό της περιοχής στο επίπεδο
- Οι ροπές είναι στοιχεία περιγραφής αναλλοίωτα σε μετασχηματισμούς παράλληλης μεταφοράς, περιστροφής και αλλαγής κλίμακας.

4.1.1 Μαθηματική Συνάρτηση Ροπών

Εισαγωγή

Οι ροπές των κατανομών προσφέρουν πληροφορίες όσον αφορά τη γενικότερη συμπεριφορά της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας και κατ' επέκταση της τυχαίας μεταβλητής. Συνήθως για ένα φαινόμενο που υπόκειται σε τυχαιότητα το σύνολο των πληροφοριών που είναι διαθέσιμο προέρχεται από τις ροπές και μόνον. Η γνώση επαρκούς αριθμού ροπών προσφέρει και τον απαραίτητο όγκο πληροφοριών ως προς τη γενικότερη συμπεριφορά του υπό εξέταση φαινομένου. Η n-τάξεως ροπή δίδεται:

$$E(|X^n|) = \int_{-\infty}^{\infty} |x^n| dF(x) = \infty, \quad (15)$$

Μέση τιμή – Διακύμανση – Λοξότητα – Κύρτωση

Η μέση τιμή και η διασπορά των τιμών σε σχέση με τη μέση τιμή, είναι τα δύο πιο σημαντικά μεγέθη μιας τυχαίας μεταβλητής. Η μέση τιμή (n=1, πρώτη ροπή) ορίζεται:

$$\eta = \eta_X = E[x] = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f_x(x) dx \quad (16)$$

Η διακύμανση (2^η ροπή) δηλώνει το πόσο συγκεντρωμένες γύρω από τη μέση τιμή οι τιμές τυχαίας μεταβλητής και η θετική τετραγωνική ρίζα της, ονομάζεται τυπική απόκλιση και συμβολίζεται με σ .

$$Var[X] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 dF(x) = E[(X - \mu)^2], \quad (17)$$

Η λοξότητα (3^η ροπή) εμπεριέχει πληροφορίες για τη συμμετρία της τυχαίας μεταβλητής περιμετρικά από τη μέση τιμή.

$$\beta_1 = \int \left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma} \right)^3 f(x) dx, \quad (18)$$

Η κύρτωση (4^η ροπή) εμπεριέχει πληροφορίες για την «κορύφωση» της κατανομής πιθανοτήτων

$$\alpha_4 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{s^4} \quad (19)$$

Οι υπόλοιπες ροπές μαθηματικά υπολογίζονται από τον αρχικό τύπο. Όσο περισσότερες ροπές γνωρίζουμε για το αριθμητικό σύνολο που μας απασχολεί, τόσο περισσότερο μπορούμε να προσεγγίσουμε γεωμετρικά το σύνολο αυτό, χωρίς να το γνωρίζουμε.

4.2 Μετασχηματισμός Fourier

Θεώρημα Fourier

Σύμφωνα με το θεώρημα Fourier κάθε συνάρτηση $f(x)$ μπορεί να παρασταθεί με το άθροισμα μιας σειράς ημιτονικών όρων διαφορετικών χωρικών συχνοτήτων.

4.2.1 Μετασχηματισμός Fourier στην επεξεργασία εικόνας

Εφόσον μία εικόνα είναι ψηφιακή δυο διαστάσεων (ασπρόμαυρη), χρησιμοποιείται ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier δυο διαστάσεων, ο οποίος δίνει το μετασχηματισμό των διακριτών τιμών έντασης εικόνας σε διακριτές χωρικές συχνότητες και εφαρμόζεται σε κάθε δίαυλο χωριστά [13].

Συγκεκριμένα στην επεξεργασία εικόνας, ο μετασχηματισμός Fourier είναι ένα χρήσιμο εργαλείο. Ο μετασχηματισμός Fourier ορίζεται από την σχέση:

$$F(j\Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-j\Omega x} dx$$

(20)

ενώ ο αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier από την σχέση:

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega)e^{j\omega x} d\omega$$

(21)

Οι παραπάνω ορισμοί ισχύουν για συνεχούς χρόνου σήματα. Ο διακριτού χρόνου μετασχηματισμός Fourier (DTFT), ορίζεται από την σχέση:

$$F(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(n)e^{-j\omega n}$$

(22)

Στην περίπτωση σημάτων διακριτού χρόνου πεπερασμένης διάρκειας N δειγμάτων, ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier (DFT) ορίζεται από:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{j2\pi}{N} kn}, k = 0, \dots, N-1$$

(23)

με αντίστροφο μετασχηματισμό:

$$x_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j\frac{2\pi}{N}kn}, n = 0, \dots, N-1 \quad (24)$$

Οι ψηφιακές εικόνες είναι διακριτά πεπερασμένων διαστάσεων δισδιάστατα σήματα. Επομένως ο δισδιάστατος διακριτός μετασχηματισμός Fourier (2D DFT), που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία τους (Εικ. 4.2α), ορίζεται ως:

$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(n, m) e^{-2j\pi(\frac{km}{M} + \frac{ln}{N})} \quad (25)$$

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι μία μιγαδική συνάρτηση. Επομένως μπορεί να εκφραστεί στην μορφή:

$$F(k, l) = |F(k, l)| e^{-j\varphi(k, l)} \quad (26)$$

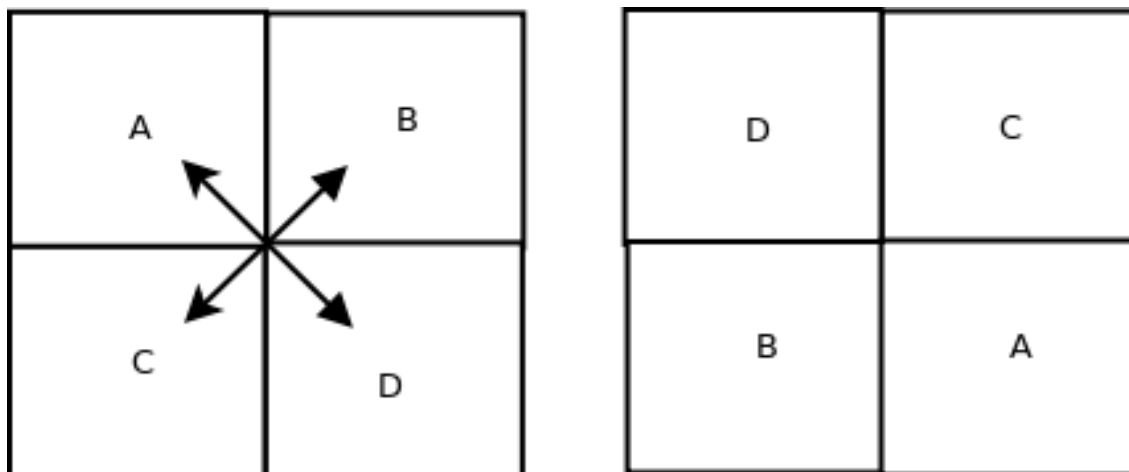
όπου $|F(k, l)|$ το μέτρο του μετασχηματισμού Fourier:

$$|F(k, l)|^2 = R^2(k, l) + I^2(k, l), F(k, l) = R(k, l) + jI(k, l) \quad (27)$$

και $\varphi(k, l)$ η φάση του μετασχηματισμού Fourier που ισούται με :

$$\varphi(k, l) = \tan^{-1} \left(\frac{I(k, l)}{R(k, l)} \right) \quad (30)$$

Η τιμή του μετασχηματισμού Fourier, στη θέση (0,0) ονομάζεται DC (Direct Current). Η DC συνιστώσα ουσιαστικά εκφράζει το μέσο όρο του σήματος. Ο μετασχηματισμός Fourier, έχει στις χρήσιμες ιδιότητες γι' αυτό χρησιμοποιείται για εργαλείο στην επεξεργασία σημάτων. Οι ιδιότητες ισχύουν τόσο για το μονοδιάστατο, όσο και για τον διδιάστατο μετασχηματισμό Fourier.



Εικόνα 4.2^α Μετατοπίσεις τεταρτημορίων για τον DFT

Η πλήρης απεικόνιση του διδιάστατου μετασχηματισμού Fourier, απαιτεί την απεικόνιση στις συνάρτησης του μέτρου και στις φάσης. Ωστόσο στις περισσότερες εφαρμογές, αρκεί η απεικόνιση του μέτρου, που εκφράζει την ισχύ του σήματος:

$$(P(k, l) = |F(k, l)|) \quad (31)$$

Ωστόσο για να απεικονιστεί ο DFT με μεγαλύτερη ευκρίνεια, απαιτούνται δύο απλές μετατροπές:

1. Επειδή στις χαμηλές συχνότητες, οι συντελεστές του μετασχηματισμού έχουν υψηλή τιμή και δεν διακρίνονται άλλες μικρότερες τιμές, προτιμάται η απεικόνιση της λογαριθμικής τιμής του μέτρου του μετασχηματισμού Fourier:

$$L_F(k, l) = c \log(|1 + F(k, l)|) \quad (32)$$

2. Σε πολλά περιβάλλοντα (πχ MATLAB), οι τιμές του DFT δεν απεικονίζονται με τον ορθό τρόπο. Το αποτέλεσμα είναι οι συντελεστές του μετασχηματισμού, να απεικονίζονται σε διαφορετική θέση και να παρουσιάζεται το παράδοξο, όπου το σημείο (0,0) να εμφανίζεται στα τέσσερα άκρα της εικόνας. Ωστόσο με την απλή μετατόπιση των τεταρτημορίων, οι συντεταγμένες μετατοπίζονται στα σωστά σημεία, και το σημείο (0,0) τοποθετείται στο κέντρο της απεικόνισης του μετασχηματισμού Fourier [17].

Ιδιότητες μετασχηματισμού Fourier για επεξεργασία εικόνας

1. Ο μετασχηματισμός Fourier, μπορεί να υπολογιστεί πολύ γρήγορα, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του ταχύ μετασχηματισμού Fourier (FFT: Fast Fourier Transform). Το μεγάλο πλεονέκτημα του DFT, είναι ότι είναι διαχωρίσιμος μετασχηματισμός. Αυτό σημαίνει ότι ο διδιάστατος μετασχηματισμός, μπορεί να προκύψει με την χρήση του μονοδιάστατου DFT, εφαρμόζοντας τον μονοδιάστατο μετασχηματισμό πρώτα στις γραμμές της εικόνας και στο αποτέλεσμα που προκύπτει, εφαρμόζεται μονοδιάστατος DFT στις στήλες.
2. Η συνέλιξη στο πεδίο του χρόνου, μετατρέπεται σε πολλαπλασιασμό στο πεδίο της συχνότητας και αντίστροφα.
3. Ο μετασχηματισμός Fourier μίας gaussian συνάρτησης είναι gaussian.
4. Η μετατόπιση της συνάρτησης στο πεδίο του χρόνου, δηλαδή μια χρονική ολίσθηση, συνεπάγεται μια ολίσθηση φάσης στο πεδίο της συχνότητας.

4.2.2 Ταχύς μετασχηματισμός Fourier

Ο ταχύς μετασχηματισμός Fourier (FFT) είναι ένας γρήγορος και αποτελεσματικός αλγόριθμος υπολογισμού του διακριτού μετασχηματισμού Fourier (DFT) και του αντίστροφου του. Οι αλγόριθμοι FFT βασίζονται στις ιδιότητες των πινάκων και σε περιορισμούς επί των σημάτων. Ο FFT χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές όπως στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος, στην επίλυση μερικών διαφορικών εξισώσεων, σε αλγορίθμους για γρήγορο υπολογισμό πολλαπλασιασμού μεγάλων ακεραίων [8].

Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier, όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, αναφέρεται σε μια πεπερασμένου μήκους ακολουθία N σημείων και ορίζεται ως εξής:

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \mathcal{W}^{mn} \quad 0 \leq m \leq N-1 \quad (33)$$

Και ο αντίστροφος μετασχηματισμός (inverse DFT):

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X(m) \mathcal{W}^{-mn} \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (34)$$

Ο υπολογισμός του DFT βάσει του ορισμού του απαιτεί για κάθε m , N μιγαδικούς πολλαπλασιασμούς και $N-1$ προσθέσεις. Επομένως συνολικά για όλα τα m απαιτούνται N^2 μιγαδικοί πολλαπλασιασμοί και $N(N-1)$ προσθέσεις. Δηλαδή οι πράξεις υπολογισμού του DFT έχουν πολυπλοκότητα N^2 .

Με τη χρήση όμως των αλγορίθμων FFT η υλοποίηση του DFT γίνεται με διάσπαση των ακολουθιών σε μικρότερες ομάδες και υπολογισμό της συνολικής εξόδου από συνδυασμό των επιμέρους (divide and combine). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται η πολυπλοκότητα σε $(N/2) \log_2 N$.

Οι δύο βασικοί αλγόριθμοι FFT είναι:

1. διάσπαση στο πεδίο του χρόνου – decimation in time (DIT - FFT).

2. διάσπαση στο πεδίο της συχνότητας – decimation in frequency (DIF-FFT).

Βασίζονται σε δύο χαρακτηριστικές ιδιότητες της ποσότητας w :

- Της περιοδικότητας: $w^{nm+N} = w^{nm}$ (35)

- Της συμμετρίας: $w^{nm+N/2} = -w^{nm}$ (36)

Διάσπαση στο πεδίο του χρόνου – decimation in time (DIT-FFT)

Μια ακολουθία $x(n)$ N σημείων έχει DFT:

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) w^{mn} \quad 0 \leq m \leq N-1$$

(37)

και μπορεί να διασπαστεί για άρτιους και περιττούς όρους ως εξής:

$$\begin{aligned} X(m) &= \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n) w_N^{m(2n)} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1) w_N^{m(2n+1)} = \\ &= \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n) w_{N/2}^{nm} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1) w_{N/2}^{nm} \end{aligned}$$

(38)

Ορίζοντας τις υποακολουθίες ως:

$$\begin{cases} g(n) = x(2n) \\ h(n) = x(2n+1) \end{cases}, \quad 0 \leq n \leq \frac{N}{2}-1$$

(39)

και τους αντίστοιχους DFT:

$$G(m) = \sum_{n=0}^{N/2-1} g(n) \mathcal{W}_{N/2}^{mn}, k=0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1 \quad (40)$$

$$H(m) = \sum_{n=0}^{N/2-1} h(n) \mathcal{W}_{N/2}^{mn}, k=0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1 \quad (41)$$

$$\text{Έχουμε: } X(m) = G(m) + \mathcal{W}_N^m H(m), 0 \leq m \leq N-1 \quad (42)$$

Αυτός είναι ο βασικός τύπος συγκερασμού (merging formula) όπου με συνδυασμό 2 DFTs $N/2$ σημείων υπολογίζεται ο DFT N σημείων.

Υπολογιστικό κόστος FFT

Με βάση αυτό τον τύπο για κάθε επίπεδο υπολογισμού απαιτούνται $N/2$ πολλαπλασιασμοί.

Για $N=2^B$ σημεία τα επίπεδα B είναι:

$$B = \log_2 N \quad (43)$$

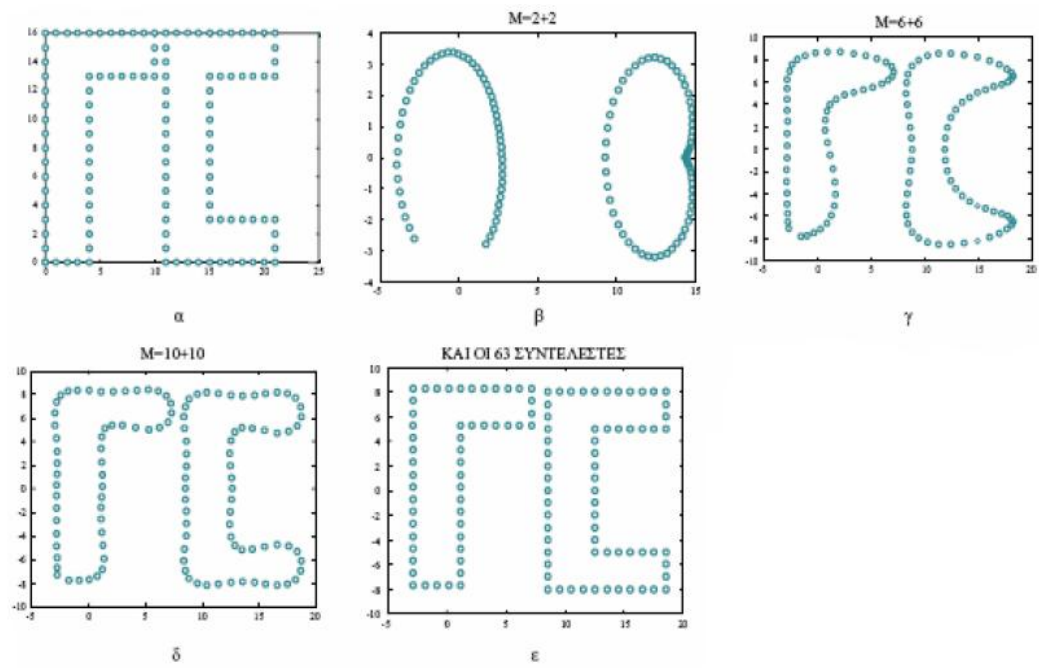
Συνολικά για τον υπολογισμό του FFT_N απαιτείται αριθμός πολλαπλασιασμών ίσος με:

$$\frac{1}{2} N \log_2 N \quad (44)$$

Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια είναι ο αριθμός των σημείων N να είναι δύναμη του 2: $N=2^B$.

Με άλλα λόγια, το ανάπτυγμα Fourier έχει την ιδιότητα συμπίκνωσης της πληροφορίας σε ένα μικρό αριθμό από τους συντελεστές, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την επεξεργασία εικόνας (Εικ.4.2β).

Επιλογή Χαρακτηριστικών για την Αναγνώριση Δισκίων



Εικόνας 4.2β Παράδειγμα FFT σε εικόνα (αυξάνοντας τους συντελεστές)

Κεφάλαιο 5

Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο

Τεχνητή νοημοσύνη

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι το πεδίο της επιστήμης των υπολογιστών που αφορά στο συνδυασμό της υπολογιστικής ευφυΐας και της βιολογικής νοημοσύνης. Έχει τις ρίζες της στην βιολογική κατανόηση και χρησιμοποιεί «αρχές» από τη φύση προκειμένου να καταφέρει να δώσει λύσεις. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν, αυτή την κατανόηση της φύσης ο βασικός στόχος της τεχνητής νοημοσύνης είναι να καταφέρει να κάνει τους υπολογιστές πιο χρήσιμους στην επίλυση προβλημάτων. Μία από τις βασικές μεθοδολογίες της τεχνητής νοημοσύνης είναι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

5.1 Ορισμός του τεχνητού νευρωνικού δικτύου

Μια αρχιτεκτονική δομή (δίκτυο) αποτελούμενη από ένα πλήθος διασυνδεδεμένων μονάδων (τεχνητοί νευρώνες). Κάθε μονάδα χαρακτηρίζεται από εισόδους και εξόδους και υλοποιεί τοπικά έναν απλό υπολογισμό. Κάθε σύνδεση μεταξύ δυο μονάδων χαρακτηρίζεται από μια τιμή βάρους. Οι τιμές των βαρών των συνδέσεων αποτελούν τη γνώση που είναι αποθηκευμένη στο δίκτυο και καθορίζουν τη λειτουργικότητά του. Η έξοδος κάθε μονάδας καθορίζεται από τον τύπο της μονάδας, τη διασύνδεση με τις υπόλοιπες μονάδες και πιθανώς κάποιες εξωτερικές εισόδους. Πέρα από μια πιθανή δεδομένη (εκ κατασκευής) λειτουργική ικανότητα ενός δικτύου, συνήθως ένα δίκτυο αναπτύσσει μια συνολική λειτουργικότητα μέσω μιας μορφής εκπαίδευσης.

Η συνολική λειτουργικότητα ενός Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου (ΤΝΔ) καθορίζεται από την τοπολογία του δικτύου, τα χαρακτηριστικά των νευρώνων, τη μέθοδο εκπαίδευσης και από τα δεδομένα με τα οποία γίνεται η εκπαίδευση (Εικ.5.1). Παρότι δεν το απαιτεί ο προηγούμενος ορισμός, ο υπολογισμός που εκτελεί κάθε νευρώνας είναι απλός και κοινός για όλους τους νευρώνες. Επειδή οι νευρώνες λειτουργούν παράλληλα (ταυτόχρονα) και ο αριθμός τους μπορεί να είναι πολύ μεγάλος, τα ΤΝΔ αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα μαζικά παράλληλου υπολογισμού [12].

- Κάθε **νευρώνας** υλοποιεί μια συνάρτηση τοπικά και ολόκληρο το δίκτυο υλοποιεί μια συγκεκριμένη λειτουργία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η εφαρμογή είναι αυτή που μέσω των προδιαγραφών της καθορίζει την

απαιτούμενη λειτουργία. Ο καθορισμός των παραμέτρων του δικτύου (τιμών των βαρών) που θα ικανοποιούν αυτές τις προδιαγραφές επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας μάθησης.

- Η γνώση, η εμπειρία και η εκπαίδευση του δικτύου αποθηκεύεται στις διασυνδέσεις των νευρώνων και στις τιμές των βαρών. Η εκπαίδευση επιτυγχάνεται με τη συνεχή τροποποίηση των τιμών των βαρών.

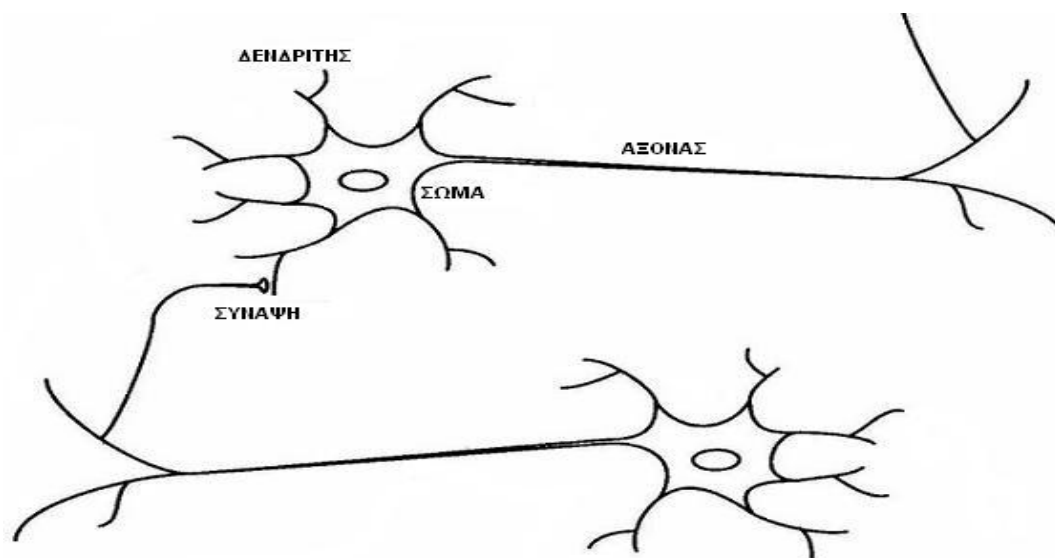
Εικόνα 5.1 Δομή Νευρωνικού Δικτύου

5.1.1 Διαφορές τεχνητού και βιολογικού νευρώνα

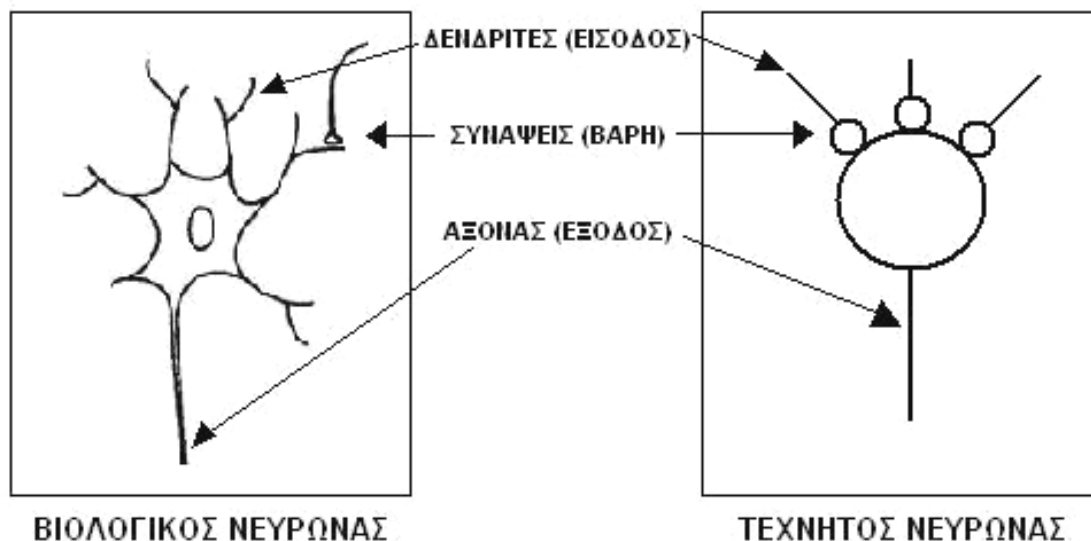
Η λειτουργία του βιολογικού συστήματος βασίζεται στη διασύνδεση εξειδικευμένων φυσικών κυττάρων που ονομάζονται νευρώνες. Οι σημαντικές ιδιότητες των βιολογικών συστημάτων, όπως η προσαρμοστικότητα, η ικανότητα αναγνώρισης από τα συμφραζόμενα, η ανοχή στα λάθη, η μεγάλη χωρητικότητα μνήμης, η ικανότητα επεξεργασίας βιολογικών πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο (κυρίως από τον εγκέφαλο), μας κατευθύνουν στην μελέτη και την προσπάθεια προσομοίωσης αυτών των εναλλακτικών βιολογικών αρχιτεκτονικών. Ωστόσο, δεν είναι ακόμα επαρκώς γνωστός ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Επιπλέον, παρά το γεγονός ότι το βασικό στοιχείο υπολογισμού του ανθρώπινου συστήματος επεξεργασίας είναι σχετικά αργό (σε σύγκριση με τα ηλεκτρονικά στοιχεία), η συνολική επεξεργασία επιτυγχάνεται σε μερικές εκατοντάδες msecs. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η βάση του βιολογικού υπολογισμού είναι ένας μικρός αριθμός ακολουθιακών βημάτων, καθένα από τα οποία εκτελείται με μεγάλο παραλληλισμό. Επιπλέον, στην έμφυτη αυτή παράλληλη αρχιτεκτονική, κάθε μονάδα επεξεργασίας είναι σχετικά απλή και τοπικά συνδεδεμένη.

Στην Εικόνα 5.1.1^a παρουσιάζεται η βασική δομή του βιολογικού νευρώνα, ο οποίος αποτελείται από το σώμα, τον άξονα, τους δενδρίτες και τις συνάψεις. Η βασική λειτουργία που επιτελεί ένας νευρώνας είναι η συσσώρευση των σημάτων που δέχεται από τους νευρώνες με τους οποίους συνδέεται η είσοδός του, το φιλτράρισμα και η ενίσχυση αυτών των σημάτων, και η παραγωγή ενός σήματος

εξόδου το οποίο στη συνέχεια μεταδίδεται μέσω των συνάψεων προς τους νευρώνες με τους οποίους συνδέεται η έξοδός του. Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο είναι ότι η επίδραση ενός νευρώνα στους γειτονικούς του μπορεί να είναι είτε διεγερτική (θετική σύνδεση) είτε ανασταλτική (αρνητική σύνδεση). Σε πλήρη αντιστοιχία με το απλοποιημένο αυτό μοντέλο του βιολογικού νευρώνα αναπτύχθηκε το μοντέλο του τεχνητού νευρώνα (Εικ.5.1.1β).



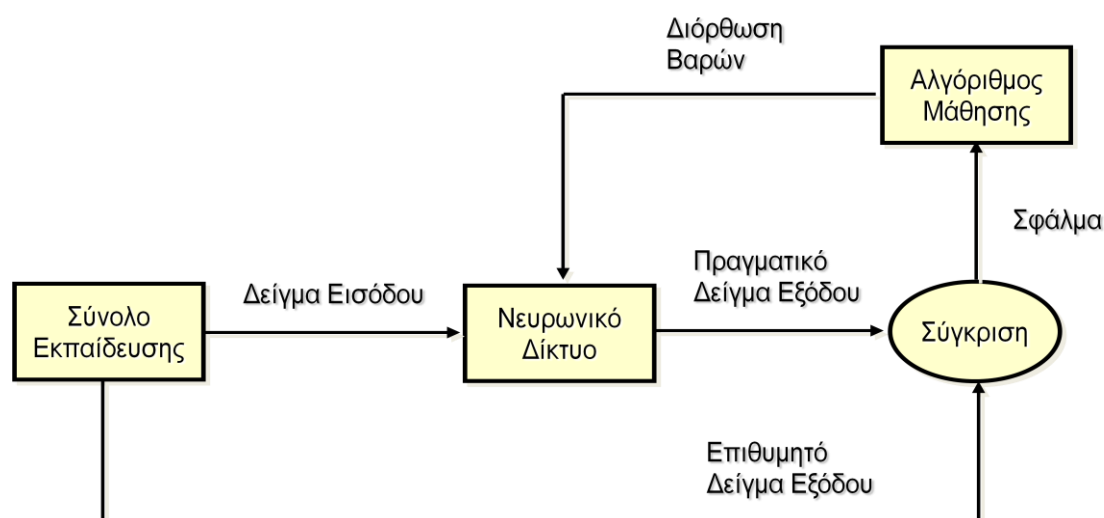
Εικόνα 5.1.1^α Δομή του βιολογικού νευρώνα



Εικόνα 5.1.1β Παραλληλισμός Τεχνητού-Νευρωνικού Νευρώνα

5.1.2 Μάθηση των νευρωνικών δικτύων

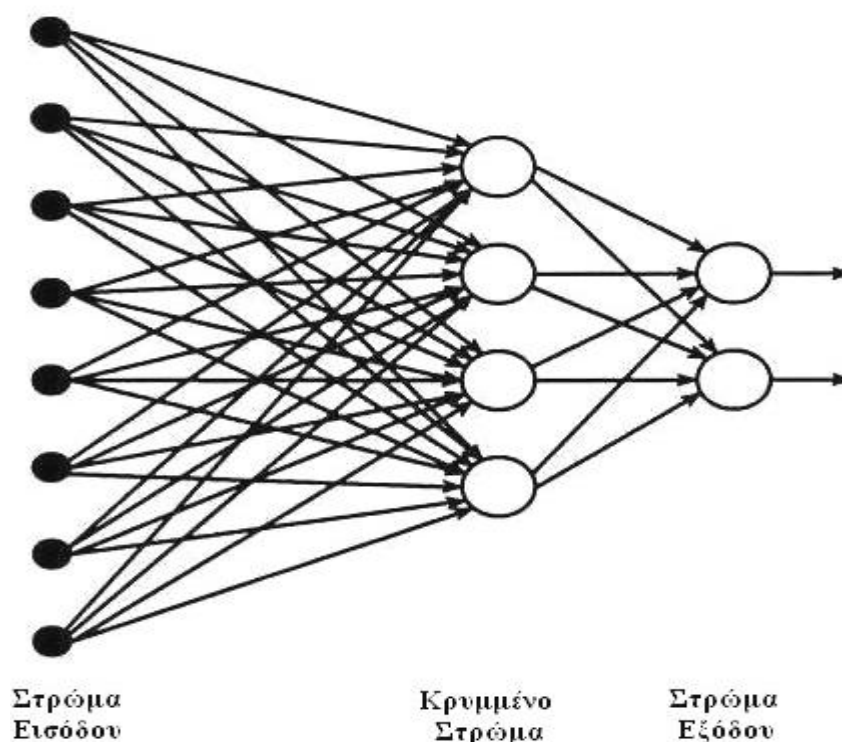
Η μάθηση είναι μια θεμελιακή ικανότητα των ΤΝΔ η οποία τους επιτρέπει να μαθαίνουν από το περιβάλλον τους και να βελτιώνουν τη συμπεριφορά τους με το πέρασμα του χρόνου. Η μάθηση είναι μια γενική έννοια της επιστήμης των συστημάτων και ορίζεται με ποικίλους τρόπους ανάλογα με το εκάστοτε πεδίο εφαρμογής. Στα ΤΝΔ, η μάθηση αναφέρεται στη διεργασία επίτευξης μιας επιθυμητής συμπεριφοράς μέσω ανανέωσης της τιμής των συναπτικών βαρών. Έτσι, ένα ΤΝΔ μαθαίνει για το περιβάλλον του μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας ανανέωσης (αλλαγής) των συναπτικών βαρών και κατωφλίων [7].



Εικόνα 5.1.2 Διάγραμμα ροής εκπαίδευσης

5.1.3 Νευρωνικά δίκτυα προσοτροφοδότησης

Στην απλούστερη περίπτωση ένα διαστρωματωμένο νευρωνικό δίκτυο (δηλαδή ένα ΤΝΔ του οποίου οι νευρώνες είναι οργανωμένοι σε στρώματα) έχει ένα στρώμα εισόδου από «κόμβους πηγής» (source nodes) το οποίο προβάλλεται πάνω σε ένα στρώμα νευρώνων εξόδου (κόμβων υπολογισμού), αλλά όχι αντίστροφα. Ένα τέτοιο ΤΝΔ είναι αυστηρά του τύπου «προσοτροφοδότησης» (feedforward) (Σχήμα 4.8) και καλείται «νευρωνικό δίκτυο προσοτροφοδότησης ενός μοναδικού στρώματος, όπου βέβαια το μοναδικό στρώμα είναι το στρώμα των νευρώνων εξόδου. Αυτό σημαίνει ότι το στρώμα των κόμβων πηγής δεν προσμετράται γιατί δεν λαμβάνει χώρα κανένας υπολογισμός σε αυτό (Εικ.5.1.3) [21].



Εικόνα 5.1.3 Παράδειγμα εμπρόσθιου νευρωνικού δικτύου

5.1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των νευρωνικών δικτύων

Επειδή τα ΤΝΔ αποτελούν ένα σχετικά πρόσφατο μοντέλο υπολογισμού, θα πρέπει να πούμε ότι τα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και η σχέση τους με τις κλασσικές μεθόδους υπολογισμού δεν είναι πλήρως ξεκαθαρισμένα. Οι προσδοκίες σε αυτόν τον τομέα είναι μεγάλες. Σε γενικές γραμμές τα ΤΝΔ είναι κατάλληλα να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένες κατηγορίες προβλημάτων και ειδικότερα προβλήματα εκπαίδευσης που αντιμετωπίζονται με συσχέτιση προτύπων. Η αντίληψη ότι τα ΤΝΔ μπορούν να λύσουν όλα τα προβλήματα αυτόματης απόκτησης γνώσης είναι μη ρεαλιστική [3].

Πλεονεκτήματα

- Έμφυτος παραλληλισμός.

- Ανοχή σε βλάβες (λόγω του παραλληλισμού).
- Σχεδιασμένα να είναι προσαρμοζόμενα.
- Δεν υπάρχει η ανάγκη για χαρακτηρισμό του προβλήματος πέρα από το σύνολο των προτύπων εκπαίδευσης.

Μειονεκτήματα

- Δεν υπάρχουν σαφείς κανόνες για την ανάπτυξη ΤΝΔ για οποιαδήποτε εφαρμογή.
- Δεν υπάρχει γενικός τρόπος για την ερμηνεία της εσωτερικής λειτουργίας του δικτύου.
- Η εκπαίδευση μπορεί να είναι δύσκολη ή αδύνατη.
- Η ικανότητα γενίκευσης είναι δύσκολα προβλέψιμη.

5.1.5 Εφαρμογές νευρωνικών δικτύων

Η εξομοίωση των βιολογικών υπολογιστικών παραδειγμάτων που πραγματοποιείται μέσω των ΤΝΔ έχει πολύ καλά αποτελέσματα για πολλές κατηγορίες προβλημάτων.

Παραδείγματα:

- Επεξεργασία εικόνας και μηχανική όραση (π.χ. ταίριασμα εικόνας, προεπεξεργασία, κατάτμηση, ανάλυση, συμπίεση εικόνας και επεξεργασία χρονικά μεταβαλλόμενων εικόνων).
- Επεξεργασία σήματος (π.χ. ανάλυση και μορφολογία σεισμικού σήματος).
- Αναγνώριση προτύπων (π.χ. εξαγωγή χαρακτηριστικών, ανάλυση και κατηγοριοποίηση σήματος radar, αναγνώριση φωνής, κειμένου, χειρονομιών και πιστοποίηση ταυτότητας).
- Ιατρική (π.χ. ανάλυση ηλεκτροκαρδιογραφήματος, ιατρική διάγνωση και επεξεργασία ιατρικής εικόνας).
- Αμυντικά συστήματα (π.χ. υποβρύχια ανίχνευση ναρκών).
- Οικονομία (π.χ. ανάλυση αγοράς μετοχών, ασφάλεια συναλλαγών, εκτίμηση φερεγγυότητας δανειζόμενου πελάτη, εκτίμηση ακίνητης περιουσίας).
- Σχεδίαση, έλεγχος και αναζήτηση (π.χ. παράλληλη υλοποίηση NP-πλήρων προβλημάτων, αυτόματος έλεγχος, ρομποτική).
- Τεχνητή νοημοσύνη (π.χ. υλοποίηση έμπειρων συστημάτων).
- Δυναμικά εξελισσόμενα συστήματα, πρόβλεψη χρονοσειρών (π.χ. εκτίμηση κατάστασης συστήματος, ανίχνευση βλαβών και ανάκαμψη).
- Επικοινωνία ανθρώπου – υπολογιστή.

5.2 Νευρωνικά δίκτυα και MATLAB

Το Neural Network Toolbox, που προσφέρει η MATLAB, είναι μια εξαιρετική συλλογή από συναρτήσεις για σχεδιασμό, εκπαίδευση και προσομοίωση νευρωνικών δικτύων. Υποστηρίζει πληθώρα αρχιτεκτονικών δικτύων, με τον αριθμό των υπολογιστικών μονάδων (νευρώνων) και των διασυνδέσεων να περιορίζεται μόνο από την υπολογιστική ισχύ του συστήματος του χρήστη. Οι αρχιτεκτονικές και μορφές εκπαίδευσης που υποστηρίζονται περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων την υπό επίβλεψη εκπαίδευση feedforward δικτύων με χρήση του κανόνα διόρθωσης σφάλματος που χρησιμοποιήθηκε στη διπλωματική εργασία. Το Neural Network Toolbox περιλαμβάνει ποιοτικότατο οδηγό χρήσης, διδακτικά βοηθήματα και πολλά παραδείγματα για ευκολότερη κατανόηση της λογικής, του σχεδιασμού και της χρησιμότητας κάθε διαφορετικής αρχιτεκτονικής. Το Toolbox παραδίδεται υπό τη μορφή M-files επιτρέποντας στο χρήστη να δει με περισσότερη λεπτομέρεια τους αλγορίθμους, να κάνει αλλαγές ή να δημιουργήσει νέες συναρτήσεις ώστε να διευθετηθούν συγκεκριμένες εφαρμογές. Ο συνδυασμός όλων αυτών των χαρακτηριστικών κάνουν την MATLAB ένα από τα πλέον διαδεδομένα εργαλεία στο χώρο των νευρωνικών δικτύων και είναι το εργαλείο που και εμείς χρησιμοποιήσαμε στα πλαίσια αυτής της εργασίας [4].

Ο τρόπος εργασίας που ακολουθείται στην δημιουργία και χρήση ενός νευρωνικού δικτύου, που ακολουθήθηκε και στην διπλωματική εργασία, είναι η εξής:

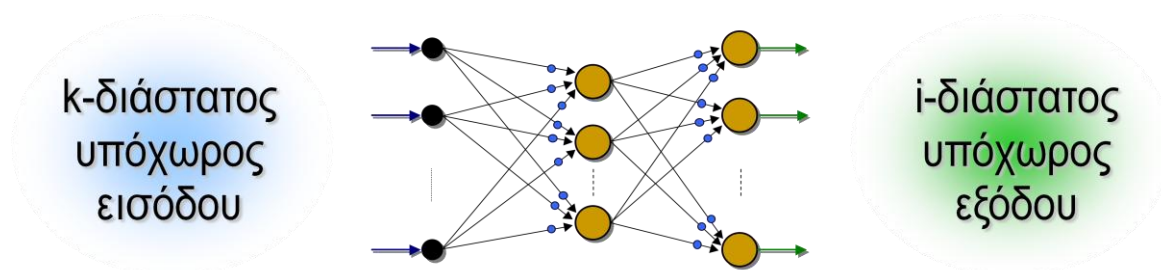
- i. Επιλογή της αρχιτεκτονικής του δικτύου (αριθμός νευρώνων, κρυμμένα επίπεδα, συνάρτηση μάθησης, συνάρτηση ενεργοποίησης).
- ii. Αρχικοποίηση του δικτύου.
- iii. Έλεγχος και προεπεξεργασία δεδομένων.
- iv. Παρουσίαση του συνόλου των δεδομένων
- v. Εκπαίδευση δικτύου
- vi. Επαναλήψεις έως κάποιο καθορισμένο σημείο με βάση προκαθορισμένα κριτήρια
- vii. Παρουσίαση του συνόλου ελέγχου
- viii. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και αν χρειαστεί, αλλαγή παραμέτρων και αρχιτεκτονικής και εκ νέου εκπαίδευση του δικτύου (Βέλτιστο δίκτυο)

5.2.1 Δημιουργία εκπαίδευση και προσομοίωση του δικτύου

Για τη δημιουργία, εκπαίδευση και προσομοίωση του δικτύου σε άγνωστα δεδομένα, έχουμε τη δυνατότητα να γράψουμε κώδικα καλώντας έτοιμες συναρτήσεις της MATLAB. Εδώ παρουσιάζονται εν συντομία της 3 βασικές εντολές που χρησιμοποιήσαμε στην διπλωματική εργασία, και τις οποίες χρησιμοποιήσουμε επίσης στο επερχόμενο κεφάλαιο [15].

newff (Δημιουργία feed-forward δικτύου)

Είναι η συνάρτηση που δημιουργεί ένα νευρωνικό δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης και δέχεται σαν παραμέτρους τον πίνακα εκπαίδευσης, τον πίνακα των θέσεων των κλάσεων εκπαίδευσης, τον αριθμό των κλάσεων που θέλουμε να αναγνωριστούν, τη μέθοδο εκπαίδευσης, καθώς και αρκετά ακόμη στοιχεία ώστε να παραμετροποιηθεί πλήρως η συγκεκριμένη τεχνική (Εικ.5.2.1).



$$O_i = g\left(\sum_j W_{ij} g\left(\sum_k w_{jk} \xi_k\right)\right)$$

Εικόνα 5.2.1 Feed-forward δίκτυο

train (εκπαίδευση δικτύου)

Η συγκεκριμένη συνάρτηση δέχεται σαν όρισμα το προηγούμενο δίκτυο και αναλαμβάνει να το εκπαιδεύσει ανάλογα με τις παραμέτρους που έχουν προηγουμένως ορισθεί. Η διαδικασία της εκπαίδευσης ελαχιστοποιεί την *συνάρτηση κόστους*:

(45)

$$E[w] = \frac{1}{2} \sum_{\mu} [\zeta_i^{\mu} - O_i^{\mu}]^2$$

ή

$$E[w] = \frac{1}{2} \sum_{\mu} \left[\zeta^{\mu} - g \left(\sum_{k=1}^2 w_k \zeta_k^{\mu} \right) \right]^2$$

(46)

Η συνάρτηση κόστους αποτελεί μέτρο του μέσου τετραγωνικού σφάλματος του νευρωνικού δικτύου.

Συγκεκριμένα στη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήσαμε, *traingda*, *traingdx*: Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των αλγορίθμων είναι ο μεταβλητός ρυθμός μάθησης. Στον βασικό αλγόριθμο ανάστροφης διάδοσης (*traingd* ή *traingdm*) η τιμή του ρυθμού μάθησης διατηρείται σταθερή σε όλη τη διάρκεια της εκπαίδευσης με συνέπεια η απόδοση του αλγορίθμου να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή που θα επιλέξει ο χρήστης. Μεγάλη τιμή του ρυθμού μάθησης μπορεί να κάνει το σύστημα ασταθές ενώ από την άλλη μικρή τιμή οδηγεί σε πολλή αργή σύγκλιση. Αυτό ακριβώς το πρόβλημα προσπαθούν να λύσουν οι αλγόριθμοι *traingda* και *traingdx*. Μεταβάλλουν κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης το ρυθμό μάθησης προσπαθώντας να τον κρατήσουν στη μεγαλύτερη δυνατή τιμή που θα εξασφαλίζει ευσταθές σύστημα. Η διαφορά της *traingdx* από την *traingda* είναι ότι συνυπολογίζει και τον όρο ορμής [18].

Sim (Παρουσίαση αποτελεσμάτων)

Δέχεται σαν εισόδους το εκπαιδευμένο δίκτυο και τον πίνακα δοκιμών και αποδίδει το αποτέλεσμα της αναγνώρισης.

Όλες οι παραπάνω συναρτήσεις, πρέπει να επιλεγούν με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να προσφέρουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Οπότε πριν επιλέξουμε τους συντελεστές ή τους κατάλληλους αλγορίθμους για τις συναρτήσεις αυτές, πρέπει να έχουμε πλήρη εικόνα του προβλήματος μας. Πολλές φορές είναι απαραίτητη η δημιουργία ολόκληρης συνάρτησης για την εύρεση των κατάλληλων συντελεστών στην εντολή newff. Όσον αφορά την βέλτιστη εκπαίδευση του δικτύου, μπορεί εξίσου να γίνει μία ταξινόμηση των αποτελεσμάτων που προσφέρει το κάθε είδος εκπαίδευσης.

Κεφάλαιο 6

Πείραμα - Αποτελέσματα

Γενικά

Όλοι γνωρίζουμε ότι η τεχνολογία στις μέρες μας, μας διευκολύνει σε πολλές καθημερινές μας ασχολίες. Τα περισσότερα καινοτόμα προϊόντα έχουν ξεκινήσει δοκιμαστικά από την ανάγκη επίλυσης ή διευκόλυνσης προβλημάτων στο τομέα της βιομηχανίας. Το αντικείμενο της διπλωματικής αυτής, έχει εφαρμογή στους ελεγκτικούς μηχανισμούς που χρησιμοποιεί η Φαρμακοβιομηχανία στο τομέα της παραγωγής. Ο αλγόριθμος αυτός έχει χώρο εφαρμογής, στη παραγωγική διαδικασία φαρμακευτικών δισκίων και έχει ως στόχο του τον εντοπισμό ελαττωματικών προϊόντων. Τα δισκία που μπορούν να χαρακτηριστούν ως ελαττωματικά με την μέθοδο της οπτικής αναγνώρισης είναι τα δισκία εκείνα τα οποία φέρουν ανομοιόμορφο εξωτερικό περίβλημα σε σχέση με το επιθυμητό αποτέλεσμα

Η εφαρμογή του αλγορίθμου προσδιορίζεται στην έξοδο της μηχανής δισκιοποίησης. Στο σημείο αυτό λαμβάνεται φωτογραφία που περιλαμβάνει τυχαίο αριθμό δισκίων, καθώς τα δισκία παράγονται με μεγάλη ταχύτητα και βρίσκονται σε τυχαίες θέσεις στην έξοδο. Η φωτογραφία αυτή εισάγεται σαν είσοδος στον αλγόριθμο και στη συνέχεια επεξεργάζεται δίνοντας σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη ελαττωματικού δισκίου προσδιορίζοντας την θέση του. Το γεγονός αυτό μας παρέχει τη δυνατότητα πρόωρου εντοπισμού ελαττωματικών δισκίων καθώς μέχρι σήμερα ο οπτικός έλεγχος δισκίων γίνεται στο στάδιο συσκευασίας. Λόγω της μη δυνατότητας τοποθέτησης φωτογραφικής μηχανής στη μηχανή δισκιοποίησης σε εργοστάσιο, συλλέχτηκαν δισκία από το χώρο του εργοστασίου και αναμείχθηκαν με ελαττωματικά δισκία που είχαν εντοπισθεί. Στη συνέχεια λήφθηκαν φωτογραφίες(Εικ.6.1) σε χώρο προσομοίωσης της εξόδου της μηχανής.



Εικόνα 6.1 Αρχική εικόνα

Ανάλυση αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος χωρίζεται σε τρεις βασικές συναρτήσεις. Στην αρχή καλείται η συνάρτηση “photo” με στόχο την βελτίωση της ποιότητας της εικόνας, στην συνέχεια καλείται η συνάρτηση “criteria_fft” η οποία κάνει χρήση περιγραφέων εικόνας (image descriptors) και τέλος καλείται η συνάρτηση “neural” που περιλαμβάνει το νευρωνικό δίκτυο που δίνει το αποτέλεσμα. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε τον ακριβή ρόλο των συναρτήσεων που αποτελούν το πρόγραμμα.

Συνάρτηση “photo”

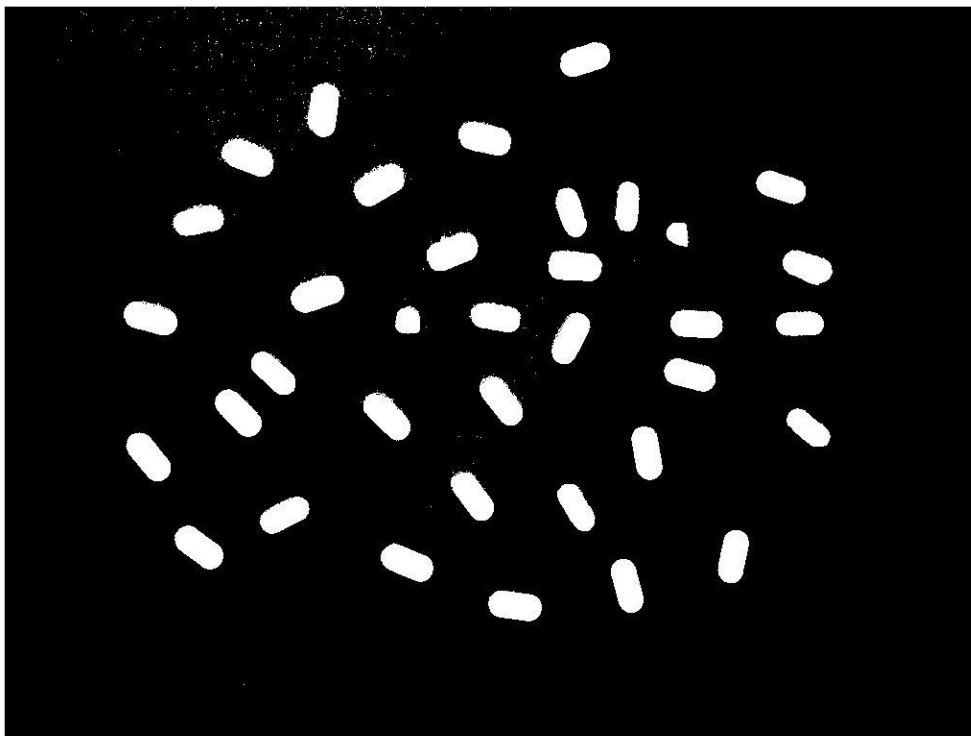
Στη συνάρτηση αυτή γίνεται προσπάθεια βελτίωσης της ήδη υπάρχουσας εικόνας με τεχνικές τοπικής επεξεργασίας, για τον βέλτιστο εντοπισμό του αριθμού των δισκίων και της επιφάνειας κάθε δισκίου. Αρχικά με την εντολή “” μετατρέπεται η εικόνα από έγχρωμη σε ασπρόμαυρη(Εικ.6.2^α) και με την εντολή κατωφλίωσης “im2bw” το κάθε pixel λαμβάνει τιμή 0 (άσπρο) ή 1 (μαύρο) ώστε να είναι έτοιμη η

εικόνα για επεξεργασία(Εικ.6.2β). Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τους μορφολογικούς τελεστές erosion και dilation, οι εντολές αυτές εφαρμόζονται με την εντολή `imopen`, ώστε στην εικόνα να αφαιρεθούν τα όποια μικρά στοιχεία (θόρυβος) υπήρχαν και να παραμείνουν μόνο τα δισκία χωρίς να μεταβληθεί η επιφάνειά τους(Εικ.6.2γ) . Τέλος υπολογίζεται ο ακριβής αριθμός δισκίων καθώς και το μέγεθος του πίνακα της εικόνας.

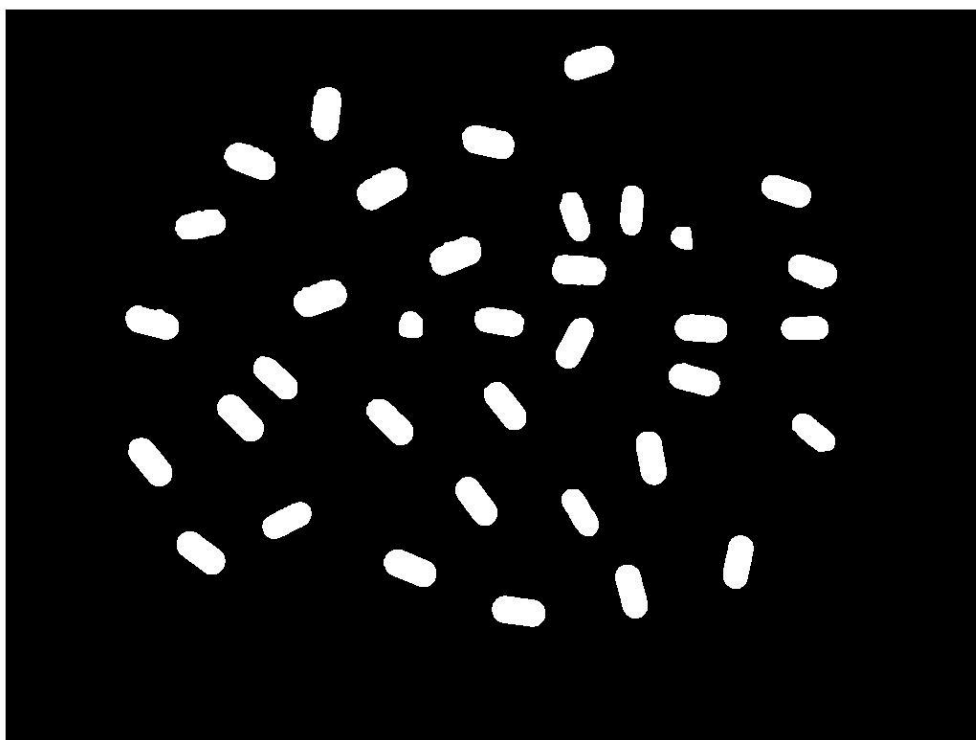


Εικόνα 6.2^α Εντολή `rgb2gray`

(Μικρή η διαφορά λόγω φόντου και αντικειμένου της αρχικής)



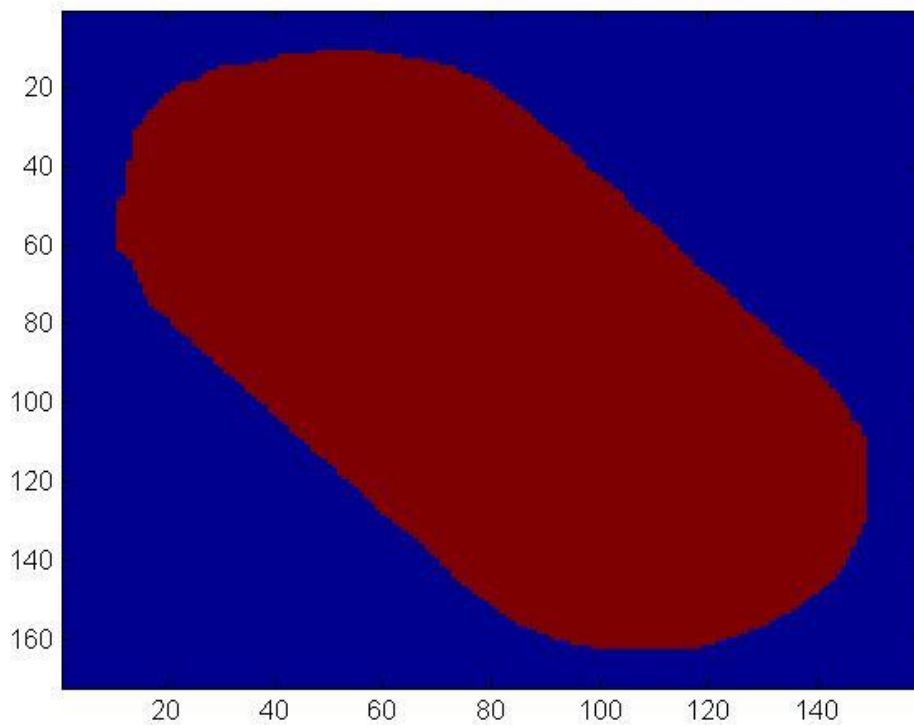
Εικόνα 6.2β Εντολή `im2bw`



Εικόνα 6.2γ Εντολή `imopen`

Συνάρτηση “criteria_fft”

Η συνάρτηση “criteria_fft” έχει ως στόχο να οριστούν ορισμένα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κάθε δισκίου. Αρχικά γίνεται αρίθμηση των δισκίων ώστε το κάθε δισκίο να αντιστοιχεί σε έναν αριθμό. Λόγο του μεγάλου μεγέθους της εικόνας και του όγκου δεδομένων γίνεται ένας περιορισμός της εικόνας περιμετρικά από το κάθε δισκίο, ώστε να εξεταστεί γεωμετρικά(Εικ.6.2δ). Με την εντολή `contourc` λαμβάνουμε το περίγραμμα του κάθε δισκίου όπου θα χρησιμοποιηθεί στη συνάρτηση “make_fft_sec” που εφαρμόζει ταχύ μετασχηματισμό Fourier (FFT) σε κάθε δισκίο. Τέλος εντοπίζουμε ορισμένες ροπές (moments) μεμονωμένα σε κάθε δισκίο, δηλαδή την λοξότητα, κύρτωση καθώς και την 5^η & 6^η ροπή. Όλα τα παραπάνω δεδομένα που συλλέχτηκαν συνοψίζονται σε έναν πίνακα, όπου και θα είναι τα κριτήρια- είσοδοι του νευρωνικού δικτύου.



Εικόνα 6.2δ Απομόνωση δισκίου

Συνάρτηση “neural”

Το νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε για να δώσει τα αποτελέσματα του αλγορίθμου βρίσκεται στη συνάρτηση “neural”. Δημιουργήθηκε κατάλληλο νευρωνικό δίκτυο με την εντολή “newff” το οποίο εκπαιδεύτηκε με πλήθος εικόνων. Η εκπαίδευση του δικτύου έγινε με “traingdx” αφού είναι η πιο γρήγορη εκπαίδευση δικτύου και μεταβάλλει το ρυθμό μάθησης κατά την διάρκεια του και έχουμε γρήγορη σύγκλιση. Αυτό διότι ο αλγόριθμος μας πρέπει να είναι πολύ γρήγορος, μιας που ο ρυθμός παραγωγής δισκίων είναι πολύ μεγάλος. Έτσι στόχος του νευρωνικού δικτύου είναι να προβλέπει τα ελαττωματικά δισκία.

6.1 Προεπεξεργασία

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας τα δεδομένα-δείγματα που ελήφθησαν, υφίστανται επεξεργασία για να επιτύχουμε τη βέλτιστη εκμετάλευσή τους. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνεται στη συνάρτηση “photo”, τα παρακάτω εφαρμόστηκαν για να αποκτήσουμε στιβαρή περιγραφή των δισκίων, επιτυγχάνοντας τις καλύτερες δυνατές συνθήκες για την εξαγωγή χαρακτηριστικών. Αυτό συνεπάγεται:

- Κατάτμηση της εικόνας
- Μορφικό φιλτράρισμα

Κατωφλίωση

Η εικόνα περιλαμβάνει τα δισκία και το φόντο αυτών. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται για να διακριθούν τα δισκία από το φόντο βάσει του χρώματος του . Για την κατάτμηση της εικόνας χρησιμοποιείται απλή γενική κατωφλίωση με επιθυμητό κατώφλι το 0,5. Έτσι επιτυγχάνεται μια απότομη διαφορά μεταξύ των pixels για τα δισκία και του φόντου.

Απομάκρυνση ανεπιθύμητων περιοχών

Από την κατωφλίωση που έγινε παρατηρούμε ότι παραμένουν περιοχές, οι οποίες δεν ανήκουν στην περιοχή ενδιαφέροντος κάτι που μπορεί να οφείλεται σε υψηλές τιμές θορύβου (πχ. Έλλειψη σταθερότητας της κάμερας). Για την εξαφάνιση αυτών των μεμονωμένων περιοχών, σε συνδυασμό με την μορφή και το εμβαδό που διατηρούν, εφαρμόζουμε ένα είδος μορφικών τελεστών. Σκοπός αυτής της λογικής είναι η διατήρηση των συνεκτικών περιοχών μεγαλύτερες από ένα ορισμένο εμβαδό. Έτσι όλες οι μη μηδενικές περιοχές μικρότερες από 11 pixels μηδενίζονται. Διατηρούνται μόνο οι συνεκτικές περιοχές όπου εμφανίζονται τα δισκία

6.2 Εξαγωγή χαρακτηριστικών

Μετά το στάδιο της εξομάλυνσης και επεξεργασίας των εικόνων ακολουθεί το στάδιο της εξαγωγής χαρακτηριστικών, όπου βρίσκονται στη συνάρτηση “criteria_fft”, τα δεδομένα που αντλούνται χρησιμοποιούνται σαν είσοδοι στο νευρωνικό δίκτυο. Τα χαρακτηριστικά για την περιγραφή που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- Ροπές (Moments)
- Περιγραφέας Fourier

Χαρακτηριστικά από ροπές

Οι ροπές χρησιμοποιήθηκαν για να προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με την “συμπεριφορά” του κάθε δισκίου. Γνωρίζοντας ότι οι ροπές είναι αναρίθμητες, έγιναν δοκιμές στον αριθμό ροπών καθώς η εύρεση της κάθε ροπής είναι χρονοβόρα για το σύστημα υπολογισμού και το αποτέλεσμα της δεν είναι απαραίτητα χρήσιμο για την σωστή πρόβλεψη του νευρωνικού δικτύου. Έτσι μετά της δοκιμές καταλήξαμε ότι το βέλτιστο αποτέλεσμα πρόβλεψης προσφέρεται όταν εντοπίζουμε την λοξότητα (3η ροπή), κύρτωση (4η ροπή), 5η & 6η ροπή.

Περιγραφέας Fourier

Η συνάρτηση αυτή αντλήθηκε από την ηλεκτρονική βιβλιοθήκη του MATLAB. Τα χαρακτηριστικά που προσφέρει ο ταχύς μετασχηματισμός Fourier που χρησιμοποιήθηκε έχει να κάνει με την ιδιότητα “συμπύκνωσης” της πληροφορίας σε ένα μικρό αριθμό από τους συντελεστές. Έτσι προσφέρουμε μία γρήγορη πληροφορία σε σχέση με το περίγραμμα του κάθε δισκίου. Τα δεδομένα που συλλέγονται περιγράφουν τις διαφορές των δισκίων μεταξύ τους, έτσι ώστε το νευρωνικό δίκτυο να μπορεί να διαχωρίσει τα ελαττωματικά δισκία.

6.3 Εκπαίδευση νευρωνικού δικτύου

Μετά το στάδιο της προεπεξεργασίας και την εξαγωγή των κατάλληλων χαρακτηριστικών, ακολουθεί η δημιουργία και εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου. Για το σκοπό αυτό χωρίζουμε τα δεδομένα σε ομάδες:

- Δεδομένα εκπαίδευσης (training data)
- Δεδομένα ελέγχου (test data)

Τα ποσοστά κατανομής είναι περίπου 70 τοις εκατό για τα δεδομένα εκπαίδευσης και το υπόλοιπο περίπου 30 τοις εκατό για τον έλεγχο, η μέθοδος αυτή είναι ευρύτερα προτιμητέα για την εκπαίδευση νευρωνικών δικτύων. Εξαιτίας του μη ομοιόμορφου γεωμετρικού σχήματος των δισκίων στην αγορά, εμείς επιλέξαμε να μελετήσουμε δισκία που έχουν ωοειδές σχήμα. Συγκεκριμένα η εικόνες που επεξεργάζεται περιέχουν το φάρμακο Brufen. Έτσι το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύτηκε με τη μέθοδο “traingdx”. Αρχικά η επιλογή των εποχών και νευρώνων έγινε αυθαίρετα και ορίσαμε 7 νευρώνες και 1000 εποχές. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε τις δοκιμές για την βελτίωση των αποτελεσμάτων [6].

6.4 Αποτελέσματα – Βελτιώσεις

Επειδή η διαδικασία δεν έγινε real-time, η εκπαίδευση και τα αποτελέσματα είναι προϊόν μιας “προσομοίωσης” σε μια πιθανή εφαρμογή του μοντέλου στην φαρμακοβιομηχανία. Έτσι οι εικόνες που δόθηκαν στο πρόγραμμα ήταν φωτογραφίες με δισκία τυχαία τοποθετημένα σε μαύρη επίπεδη επιφάνεια, τα οποία ορισμένα από αυτά είχαν τις πιθανές μορφές ελαττωματικού δισκίου. Οι φωτογραφίες περιελάμβαναν 36 δισκία στο σύνολό τους και τα 11 από αυτά ήταν ελαττωματικά. Οι εικόνες που δόθηκαν στον αλγόριθμο ήταν στο σύνολο τους 10. Αυτό διότι ο αλγόριθμος δεν επηρεάζονταν από την τυχαία σειρά που θα βρίσκονταν τα δισκία μέσα στο επίπεδο αλλά από τη συγκεκριμένη μορφή ελαττωματικών δισκίων.

Ως ποσοστό επιτυχίας ορίζουμε το λόγο:

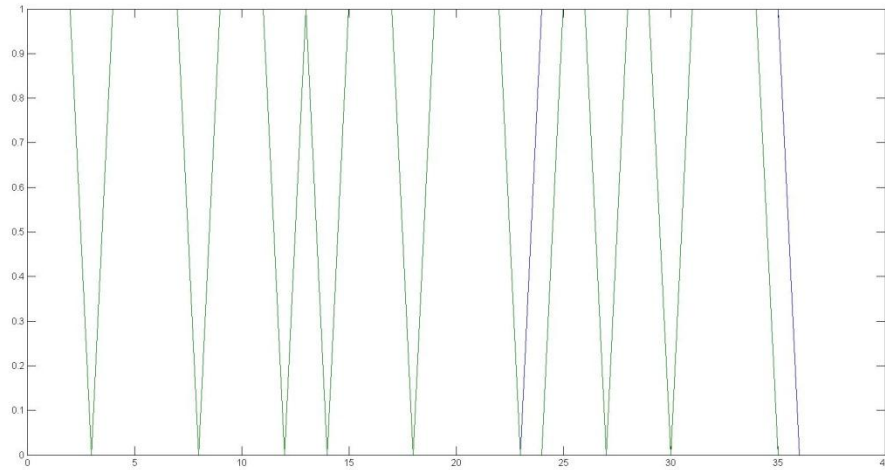
Συνολικός αριθμός σωστά αναγνωρισθέντων δισκίων

Συνολικός αριθμός δισκίων που χρησιμοποιήθηκαν

Το ποσοστό επιτυχίας άγγιξε το 91,6%. 33 από τα 36 δισκία προβλέφθηκαν σωστά.

Τα 3 σφάλματα που παρουσιάστηκαν, εμφανίστηκαν αποκλειστικά, μεταξύ των ελαττωματικών δισκίων.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα αποτελεσμάτων του νευρωνικού δικτύου(μπλε γραμμή) και πραγματικών τιμών(πράσινη γραμμή). Στην τιμή 1 βρίσκονται τα υγιή δισκία ενώ στη τιμή 0 τα ελαττωματικά. Συγκεκριμένα τα δισκία με αριθμό 7(δεν φαίνεται γιατί εφάπτεται με το πάνω όριο του διαγράμματος),24,36 εντοπίζονται για υγιή και είναι ελαττωματικά(Εικ.6.2^ε).



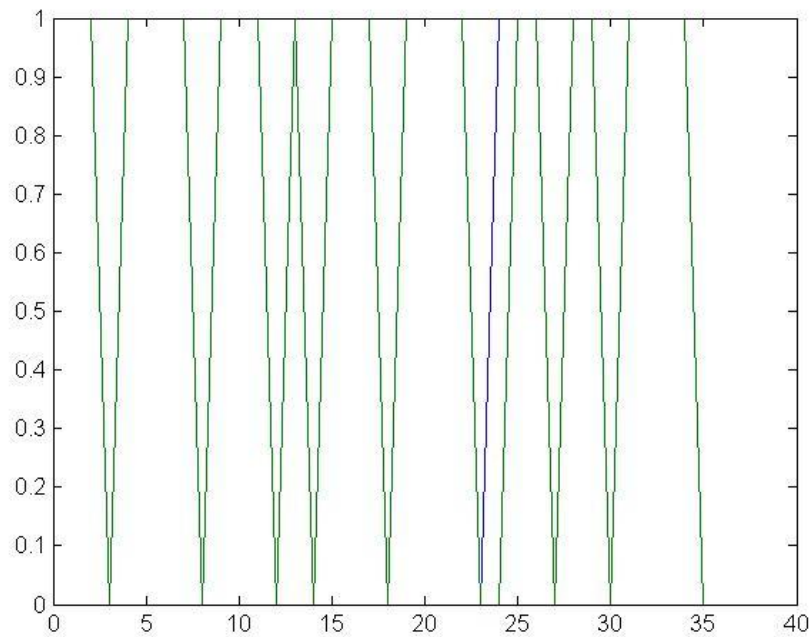
Εικόνα 6.2^ε Διάγραμμα Νευρωνικού Δικτύου(M)-Στόχων(Π)

Βελτιστοποίηση νευρωνικού δικτύου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η επιλογή του αριθμού εποχών και νευρώνων επιλέχθηκε τυχαία. Για την βελτίωση του νευρωνικού μη αλλάζοντας τα δεδομένα εισόδου, αποτελεί η αλλαγή του αριθμού νευρώνων και εποχών [5]. Για το σκοπό αυτό, τροποποιήθηκε ο αρχικός αλγόριθμος καθώς και η συνάρτηση “neural”. Έτσι στον αρχικό αλγόριθμο προστέθηκαν δύο επαναλήψεις η μία μέσα στην άλλη. Η νέα συνάρτηση “neural” έχει ως εισόδους πέρα από τον πίνακα με τα χαρακτηριστικά των δισκίων, τον αριθμό των νευρώνων και εποχών του νευρωνικού δικτύου και επιστρέφει το ποσοστό επιτυχίας όπως ορίστηκε παραπάνω. Οι δοκιμές του αριθμού των νευρώνων έγιναν με βήμα 5 από τους 5 μέχρι τους 50, ενώ ο κάθε αριθμός νευρώνων δοκιμάστηκε στις εποχές από 1000 με βήμα 500 μέχρι 5000.

Το αποτέλεσμα αυτών έδειξε ότι ο αλγόριθμος με το μέγιστο ποσοστό επιτυχίας ήταν ο αλγόριθμος με 10 νευρώνες και από 1000 κ πάνω εποχές. Το γεγονός αυτό συμβαίνει λόγω του μικρού αριθμού σφάλματος και τον σωστό προσδιορισμό εισόδων (χαρακτηριστικών αναγνώρισης). Η προσπάθεια βελτιστοποίησης του αλγορίθμου οδήγησε στην σωστή πρόβλεψη ενός ακόμη δισκίου(Εικ3.2ζ).

Έτσι το τελικό ποσοστό επιτυχίας άγγιξε το 94,44%.



Εικόνα 3.2ζ Τελικό Διάγραμμα Νευρωνικού Δικτύου(M)-Στόχων(Π)

Τα 2 που σφάλματα που εντοπίστηκαν έχουν να κάνουν με ιδιαίτερες μορφές ελαττωματικών δισκίων. Συγκεκριμένα δεν μπόρεσε να εντοπιστεί το δισκίο που ήταν “κομμένο” κατά μήκος. Το δεύτερο δισκίο είχε μικρή κοπή στην πάνω πλευρά, που δεν έχει καταγραφεί στην φωτογραφία και έτσι είναι σχεδόν αδύνατο να εντοπιστεί από το πρόγραμμα. Στο σημείο αυτό να τονισθεί ότι τα ελαττωματικά δισκία είναι επιλεγμένα από εργοστάσιο φαρμάκων και αποτελούν αληθινά σφάλματα παραγωγικής διαδικασίας.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα – Μελλοντικές Εξελίξεις

Συμπεράσματα πειράματος

Από την ανάλυση που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το ποσοστό επιτυχίας άγγιξε το 94,44% 34 από τα 36 δισκία. Αυτό αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα των συνολικών επιλογών που κάναμε στον αλγόριθμό μας. Η ανάλυση εικόνας, η εξαγωγή των χαρακτηριστικών του κάθε δισκίου και το νευρωνικό δίκτυο ήταν επαρκή για την επίτευξη υψηλής επιτυχίας.

Οι δοκιμές που έγιναν, με διαφοροποιήσεις της κάθε συνάρτησης αποτέλεσαν τον πυρήνα για να υλοποιήσουμε την θεωρητική σκέψη στον αλγόριθμό μας. Έτσι γνωρίζαμε ότι κάθε μία από τις τρεις συναρτήσεις μας προσφέρει τη μέγιστη δυνατή απόδοση. Με το δεδομένο αυτό προχωρούσαμε στο επόμενο στάδιο χωρίς να χρειαστεί να ξαναγυρίσουμε πίσω. Βασικό κριτήριο στις επιλογές μας ήταν οι απαιτήσεις που έχει από το μηχάνημα η εκάστοτε εντολή, καθώς και η ταχύτητα εκτέλεσης της. Αυτό διότι η εφαρμογή του προγράμματος θα πρέπει να είναι σε μηχανή παραγωγής δισκίων που παράγονται χιλιάδες την ώρα.

Λόγω της διαφοροποίησης του γεωμετρικού σχήματος των φαρμακευτικών δισκίων, η προσέγγιση έγινε σε ωοειδές δισκίο, καθώς δοκιμάστηκε στο μετά την ολοκλήρωση του αλγορίθμου κυκλικό δισκίο, αλλά δεν έδειξε ίδια αποτελέσματα πιθανόν λόγω των διαφορετικών φίλτρων καθαρισμού εικόνας.

Η μεγαλύτερη προσπάθεια βελτίωσης χρόνου αλλά και αποτελέσματος έγινε στη βέλτιστη μορφή του νευρωνικού δικτύου που κατασκευάσαμε. Αυτό έγινε με την δοκιμή πολλών διαφορετικών νευρωνικών δικτύων σε σχέση με τα αποτελέσματα του. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκε εντολή για να μην διακόπτεται η εκπαίδευση του δικτύου από τα validate errors. Η βελτιστοποίηση του νευρωνικού δικτύου μας προσέφερε την αύξηση επιτυχίας του αλγορίθμου.

Επειδή οι εσφαλμένες προβλέψεις του προγράμματος γίνονταν σε 2 ελαττωματικά δισκία ανεξάρτητα του σημείου που βρίσκονταν στην εικόνα, περιοριστήκαμε σε 10 φωτογραφίες. Έτσι το ενδιαφέρον εστιάστηκε κατεξοχήν στην δομή του αλγορίθμου και όχι στα δείγματα-φωτογραφίες. Καθώς τα ελαττωματικά δείγματα κάλυπταν σχεδόν όλο το πλήθος των ελαττωματικών δισκίων που εντοπίζονται σε μία φαρμακοβιομηχανία, αφού είχαν επιλεγεί σε προσωπικό επίπεδο από εργοστάσιο φαρμάκων σε διάστημα ενός μήνα.

Μελλοντικές εξελίξεις

Οι μελλοντικές εξελίξεις στο συγκεκριμένο τομέα είναι πολλές και μπορούν να διευρυνθούν σε πολλές κατηγορίες, καθώς ο εντοπισμός ελαττωματικών δισκίων μετά την δισκιοποίηση τους δεν έχει ακόμη εφαρμογή στην φαρμακοβιομηχανία. Έτσι οι επεκτάσεις μπορεί να διαχωριστούν σε προγραμματιστικές επεκτάσεις και σε πρακτικές εφαρμογές για την απομόνωση των ελαττωματικών δισκίων.

Ξεκινώντας από τον παράγοντα που δεν λήφθηκε σε μεγάλο βαθμό υπόψη στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι η βελτίωση των αποτελεσμάτων στην διάρκεια χρόνου απόδοσης του αποτελέσματος και πιθανές αλλαγές για μείωση του χρόνου αυτού. Βασική προϋπόθεση είναι να βρεθεί το βέλτιστο μέγεθος φωτογραφίας καθώς και την ποιότητα αυτής. Έτσι μπορεί να μην χρειαστεί η κοπή της φωτογραφίας πριν την εφαρμογή του ταχύ μετασχηματισμού Fourier που καθυστερεί κυρίως τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. Δυστυχώς δεν καταφέραμε στη διπλωματική αυτή να υλοποιήσουμε την παρατήρηση αυτή διότι δεν δόθηκε άδεια από το εργοστάσιο που συλλέξαμε τα ελαττωματικά δισκία, να βγουν εκτός αυτού και μία προσπάθεια μείωσης τους από υπολογιστή ήταν αποτυχημένη.

Όσον αφορά την βελτίωση του αλγορίθμου, θα ήταν αρχικό μέλημα να εξεταστούν η πιθανές αλλαγές που χρειάζονται τα φίλτρα καθαρισμού εικόνας ανάλογα με την γεωμετρική μορφή του φαρμάκου. Δεν ασχοληθήκαμε παραπάνω με το πρόβλημα αυτό λόγω μικρού δείγματος από διαφορετικά δισκία, πέραν αυτού που εξετάστηκε.

Ενδιαφέρον τομέας είναι η δοκιμή διαφορετικών χαρακτηριστικών για την αναγνώριση δισκίων, όπως για παράδειγμα το MPEG-7. Στα χαρακτηριστικά αυτά θα μπορούσε να προστεθεί ένα που θα εντόπιζε και χρωματικές αλλαγές πάνω στο δισκίο, εντοπίζοντας πιθανά στίγματα από λάδι της μηχανής δισκιοποίησης.

Βιβλιογραφία

- [1] **Anoraganingrum D.**, *Cell segmentation with median filter and Mathematical Morphology Operation*, *Proceedings*, International Conference on Image Analysis and Processing, pp. 1043-1046, 1999.
- [2] **C.R Appledorn**, *A new approach to the interpolation of sampled data*, *Medical Imaging*, IEEE Transactions, 1996.
- [3] **Christopher M. Bishop**, *Neural Networks for Pattern Recognition*, Published in 1995.
- [4] **Howard Demuth, Mark Beale**. *MATLAB Neural Network Toolbox*.
- [5] **Anastasios D. Doulamis, Nikolaos D. Doulamis, Stefanos D. Kollias**, *On-line retrainable neural networks: improving the performance of neural networks in image analysis problems*, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 11, no. 1, pp. 137-155, 2000.
- [6] **N. Doulamis, A. Doulamis, A. Panagakis, K. Dolkas, T. Varvarigou and E. Varvarigos**, *A Combined Fuzzy -Neural Network Model for Non-Linear Prediction of 3D Rendering Workload in Grid Computing*, IEEE Trans On Systems Man and Cybernetics Part-B, Vol. 34, No. 2, pp. 1235-1247, April 2004
- [7] **N. Doulamis, A. Doulamis and T. Varvarigou**, *Adaptive Relevance Feedback Algorithms for Interactive Multimedia Content Personalization*, IEEE Multimedia Magazine, Vol. 10, No. 4, pp. 38-47, Oct-Nov 2003
- [8] **Matteo Frigo, Steven G. Johnson**, *FFTW: AN ADAPTIVE SOFTWARE ARCHITECTURE FOR THE FFT*, International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing - ICASSP , 1998.
- [9] **Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods**. *Digital Image Processing*. s.l. : Addison-Wesley, 1992.
- [10] **Mark Granovetter**, *Threshold Models of Collective Behavior*, American Journal of Sociology - AMER J SOCIOL , vol. 83, no. 6, 1978
- [11] **R. M. Haralick, L. G. Shapiro**, *Image Segmentation Techniques*, Comp. Vis.Graph Image Process., Vol. 29, pp 100-132,1985.
- [12] **S.Haykin**, *Neural Networks – A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall, 1999.
- [13] **Yongwon Jeong and Richard J. Radke**, *Reslicing axially-sampled 3D shapes*

using elliptic Fourier descriptors.

- [14] **J. S Lee**, *Refined filtering of image noise using local statistics*, Journal: Graphical Models /graphical Models and Image Processing /computer Vision, Graphics, and Image Processing - CVGIP , vol. 15, no. 4, pp. 380-389, 1981
- [15] **McAndrew A.**, *An Introduction to Digital Image Processing with MATLAB*, Notes for SCM2511 Image Processing 1 Semester 1, Victoria University of Technology, 2004.
- [16] **Cho-huak Teh, Roland T. Chin**, *On Image Analysis by the Methods of Moments*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence - PAMI , vol. 10, no. 4, pp. 496-513, 1988
- [17] **Ε. ΚΛΑΡΟΥΔΑΣ**, *Μέθοδοι σύνθεσης εικόνων υψηλής ανάλυσης από εικόνες χαμηλότερης ανάλυσης*, Σχολή ΗΜΜΥ, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2010.
- [18] **Νικόλαος Ι. Παπαδόπουλος**, *Εφαρμογές εφνιών τεχνικών στον προγραμματισμό παραγωγής*, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ, Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2004.
- [19] **Ν.Παπαμάρκος**, *Ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση εικόνας*, Αθήνα, Β.Γκιούρδας Εκδοτική, 2005.
- [20] **Ιωάννης Πήτας**, *Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας*, Θεσσαλονίκη, 2001.
- [21] **Σ.Τζαφέστας**, *Υπολογιστική Νοημοσύνη*, Τόμος Α: Μεθοδολογίες, Αθήνα, 2002.
- [22] <http://en.wikipedia.org/wiki/Pill>