



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία



Πειραματική εφαρμογή client-server
αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων

Βασιλείου Δημήτριος Α.Μ. 2010002

Δημητρίου Γεώργιος Α.Μ. 2010011

Επιβλέπων καθηγητής
Πλατής Νικόλαος



Τρίπολη, Μάιος 2012

Ευχαριστούμε ιδιαίτερα για την αρωγή, τους καθηγητές μας,
κύριους **Πλατή Νικόλαο** και **Δημητρουλάκο Γρηγόριο**,
καθώς και τις οικογένειές μας για την υποστήριξη που μας παρείχαν
στην προσπάθεια ολοκλήρωσης της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Βασιλείου Δημήτριος

Δημητρίου Γεώργιος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΩΝ.....	12
1.1 Εξέλιξη της δακτυλοσκοπίας ως σήμερα.....	12
2011 - σήμερα.....	22
1.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα.....	24
1.3 Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισης Δακτυλικών Αποτυπωμάτων (Α.Σ.Α.Δ.Α.)	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΑΚΤΥΛΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ.....	30
2.1 Δέσμες η Συστήματα Θηλοειδών Γραμμών.....	31
2.2 Κεντρικά σημεία δακτυλικών αποτυπωμάτων	31
2.3 Άλλες ταξινομήσεις.....	33
2.4 Εντοπισμός δακτυλικών αποτυπωμάτων.....	35
2.5 Τεχνικές αναζήτησης και αποτύπωσης	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΕΤΡΙΑΣ.....	37
3.1 Είδη συστημάτων βιομετρίας	37
3.2 Ταυτοποίηση (Identification – ταύτιση 1:N)	38
3.3 Πιστοποίηση (Verification – ταύτιση 1:1).....	38
3.4 Θετική και αρνητική αναγνώριση.....	39
3.5 Ταξινόμηση εφαρμογών	40
3.5.1 Αναγνωρισμένο / μη αναγνωρισμένο περιβάλλον λειτουργίας	40
3.5.2 Ανοικτό / κλειστό σύστημα	40
3.5.3 Δημόσιο / Ιδιωτικό σύστημα	41
3.5.4 Εξοικειωμένη / μη-εξοικειωμένη χρήση.....	41
3.5.5 Παρακολουθούμενη / μη-παρακολουθούμενη ταξινόμηση	41
3.5.6 Συνεργατική / μη-συνεργατική προσέγγιση	42
3.5.7 Φανερό / κρυφό σύστημα	42

3.6 Αρχιτεκτονική και χρήση συστημάτων βιομετρίας	42
3.6.1 Αισθητήρας	43
3.6.2 Μονάδα αποτίμησης ποιότητας και εξαγωγής χαρακτηριστικών	43
3.6.3 Μονάδα αντιστοίχισης και λήψης απόφασης.....	44
3.6.4 Μονάδα βάσης δεδομένων συστήματος.....	44
3.7 Βιομετρική αναγνώριση.....	45
3.8 Το σύστημα αναγνώρισης.....	45
3.9 Δημιουργία και αποθήκευση προτύπου	46
3.9.1 Χρήση συστήματος.....	46
3.9.2 Εφαρμογές.....	47
3.10 Πλεονεκτήματα βιομετρικών συστημάτων.....	48
3.11 Μειονεκτήματα βιομετρικών συστημάτων	48
3.12 Παράμετροι βιομετρικών χαρακτηριστικών	50
3.13 Απόδοση των βιομετρικών συστημάτων	50
3.14 Πολυτροπικά βιομετρικά συστήματα	52
3.15 Το μέλλον των βιομετρικών συστημάτων.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας.....	54
4.1 Σχετικοί Τομείς Μελέτης και Έρευνας	54
4.2 Ψηφιακή Εικόνα	56
4.2.1 Ιστόγραμμα Γκρι-Επιπέδων	57
4.2.2 Επεξεργασία Δυαδικής Εικόνας	57
4.3 Ανίχνευση ακμών (Edge Detection)	71
Κλίση (Gradient)	72
Αριθμητικοί υπολογισμοί	73
Βήματα της ανίχνευσης ακμών	74
Roberts Operator	75
Sobel Operator.....	75
Canny Edge Detector	76
Nonmaxima Suppression (Καταστολή των μη μεγίστων σημείων).....	77
Thresholding (Κατωφλίωση).....	78
Συνοπτικά ο αλγόριθμος του ανιχνευτή ακμών Canny.....	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	80
5.1 Ιστορική Αναδρομή.....	80
5.2 Βιολογικοί νευρώνες.....	81
5.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα	83
5.3.1 Ο Τεχνητός Νευρώνας.....	83
5.3.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα	84
5.3.2.1 MLP–Back Error Propagation.....	86
5.3.2.2 RBF (Radial Basis Function).....	93
5.3.2.3 Σύγκριση MLP–RBF	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: CLIENT SERVER.....	100
6.1 Γενικά Στοιχεία	101
6.2 Κατανομή Πληροφορίας.....	104
6.3 Διατύπωση Αιτήσεων	105
6.4 SQL-RPC	106
6.5 Fat Server-Fat Client.....	107
6.6 Two Tier – Three Tier.....	109
6.7 Κατηγορίες Server.....	111
6.7.1 Βασικά Στοιχεία Server	113
6.7.2 Sockets.....	115
6.7.3 GNU Sockets	117
6.7.4 Διευθυνσιοδότηση Sockets	119
6.7.5 INTERNET Sockets.....	119
6.7.6 Threads	123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ SIGNATURE PROJECT	128
7.1 Γενικά Στοιχεία	128
7.2 Προ-επεξεργασία (Ανάλυση εικόνας)	130
Skeletonization	130
7.3 Εξαγωγή χαρακτηριστικών.....	131
7.4 Γενικά χαρακτηριστικά.....	132
7.5 Χαρακτηριστικά πλέγματος	134
7.6 Χαρακτηριστικά υφής	135
7.7 Ταξινόμηση	136

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: FINGERPRINT SERVER.....	138
8.1 Λήψη αρχικών προτύπων.....	138
8.2 Επεξεργασία εικόνας.....	139
8.2.1 Προτεινόμενη σειρά φίλτρων.....	140
8.3 Εντοπισμός περιοχής προτύπου	140
8.4 Ανίχνευση ακμών	141
8.4.1 Feature Extraction	143
8.5 Νευρωνικό Δίκτυο Αναγνώρισης.....	144
8.6 Πρότυπα εκπαίδευσης	145
8.7 Ανάλυση νευρωνικού δικτύου	146
8.7.1 Πρώτο τμήμα δικτύου αναγνώρισης.....	146
8.7.2 Δεύτερο τμήμα δικτύου αναγνώρισης.....	148
8.8 Εκπαίδευση Δικτύου	148
8.8.1 Πρώτη φάση εκπαίδευσης	149
8.8.2 Δεύτερη φάση εκπαίδευσης.....	149
8.9 Ανάκληση δικτύου	150
8.10 Client Server	151
8.10.1 Client.....	151
8.10.2 Server	152
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ FINGERPRINT SERVER.....	154
9.1 Client.....	154
9.2 Εισαγωγή αποθηκευμένης εικόνας	155
9.3 Επεξεργασία εικόνας.....	156
9.4 Δημιουργία αρχείου προτύπων.....	157
9.5 Επικοινωνία Client	158
9.6 Κεντρικό Σύστημα Fingerprint Server.....	160
9.7 Υποσύστημα εκπαίδευσης νευρωνικού δικτύου.....	160
9.8 Εξυπηρετητής	163
9.9 Fingerprint.....	163
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	165
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	166
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	167

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ170

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη δημιουργία ενός συστήματος ψηφιοποίησης και αρχειοθέτησης με δυνατότητα αποθήκευσης δακτυλικών αποτυπωμάτων, σαν μέρος του ευρύτερου τομέα των βιομετρικών συστημάτων ασφαλείας, το οποίο θα είναι ευέλικτο για τοπική χρήση.

Στο 1^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων, με την εξέλιξή της δακτυλοσκοπίας από την αρχαιότητα ως σήμερα, καθώς και η ελληνική πραγματικότητα.

Το 2^ο Κεφάλαιο αναφέρεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δακτυλικού αποτυπώματος, τις διάφορες ταξινομήσεις καθώς και τις γενικές τεχνικές εντοπισμού, αποτύπωσης, βιομετρικής αναγνώρισης και χρήσης.

Το 3^ο Κεφάλαιο πραγματεύεται τα διάφορα είδη συστημάτων βιομετρίας, με τις διαφορετικές ταξινομήσεις τους, τη γενική αρχιτεκτονική τους μαζί με αναφορές στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν και με τι μέλλει γενέσθαι στον ευρύτερο τομέα.

Στο 4^ο Κεφάλαιο εξηγείται η ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας ως βασικός τρόπος αναγνώρισης του συστήματος το οποίο έχουμε αναπτύξει.

Στο 5^ο Κεφάλαιο αναλύεται η έννοια του νευρωνικού δικτύου και ο τρόπος ανάκτησης πληροφορίας μέσα από ένα αφηρημένο αλγοριθμικό κατασκεύασμα, το οποίο εμπίπτει στον τομέα της υπολογιστικής νοημοσύνης.

Στο 6^ο Κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων client-server, σαν βασικό μέρος του συστήματος το οποίο υλοποιήθηκε

Στο 7^ο Κεφάλαιο εμφανίζεται ο τρόπος λειτουργίας ενός Signature Project, όπου αποτέλεσε την πηγή έμπνευσης και αρχή για τη χρήση στο πειραματικό σύστημα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Στο 8^ο Κεφάλαιο αναλύεται η δομή λειτουργίας μεταξύ του client και του server για την επίτευξη εκπαίδευσης και ανάσυρσης αποτελεσμάτων.

Το 9^ο Κεφάλαιο ολοκληρώνει τη δομή της παρούσης εργασίας, επεξηγώντας τη δομή ενός fingerprint server συστήματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σημερινή εποχή η χρήση των διαφόρων συστημάτων ασφαλείας κρίνεται απαραίτητη για την διασφάλιση και την προστασία από κακόβουλες ενέργειες. Η τεχνολογία δεν θα μπορούσε να απουσιάζει, αφού θεωρείται ο κύριος παράγοντας δημιουργίας και εξέλιξης καινοτόμων τεχνικών, οι οποίες μπορούν να μας εξασφαλίσουν ασφάλεια, προστασία, πρόληψη εγκληματικότητας ή εξακρίβωση στοιχείων. Συνεχώς εμφανίζονται συστήματα ασφαλείας, που μας εξασφαλίζουν στο μέγιστο δυνατό βαθμό από εισβολή, επίθεση, παραπλάνηση και λοιπές κακόβουλες ενέργειες. Έτσι, αναζητείται συνεχώς η τεχνολογική εφαρμογή που να εξασφαλίζει την μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία. Η παράλληλη εξέλιξη και εφαρμογή αντίστοιχης τεχνολογίας στην τέλεση εγκληματικών ενεργειών π.χ. τρομοκρατικές ενέργειες, έχουν αλλάξει τα δεδομένα τα τελευταία χρόνια, ώστε να γίνεται προσπάθεια για επίτευξη τεχνολογικών εφαρμογών που να μας εξασφαλίζουν όσο το δυνατό περισσότερο.

Ένας από τους ευρύτερους τομείς που αφορούν το παρόν θέμα είναι και η εξασφάλιση ενός αξιόπιστου συστήματος διαχείρισης ταυτότητας, με χρήση σε πεδία όπως η αναγνώριση αποτυπωμάτων για αρχεία αστυνομίας, ο έλεγχος αποτυπώματος σαν ατομικό στοιχείο πρόσβασης σε κτίρια, η εξακρίβωση της ταυτότητας κάποιου για άνοιγμα χρηματοκιβωτίου κτλ. Ιδιαίτερα οι διευθύνσεις εγκληματολογικών ερευνών σκοπό έχουν την εξακρίβωση των ιδιοκτητών των διαφόρων στοιχείων. Με τον τρόπο αυτό, πέραν της αποδείξεως ενοχής κάποιου, ταυτόχρονα αποδεικνύεται και η αθωότητα ενός πλήθους υπόπτων. Η αναζήτηση, η ανάλυση και η αξιοποίηση των ιχνών οδηγεί τελικά στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα αποτελέσματα των εγκληματολογικών ερευνών είναι γνωστά για την εντιμότητα και την αξιοπιστία τους.

Στην περίπτωση του δακτυλικού αποτυπώματος έχουμε να αντιμετωπίσουμε ένα ατομικό χαρακτηριστικό, μοναδικό για άνθρωπο, που δεν μπορεί να χαθεί, να αντιγραφεί, να παραποιηθεί, πλην της περίπτωσης αλλοίωσης από ορισμένες εργασίες. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα βιομετρικό χαρακτηριστικό, σαν έναν μοναδικό αριθμό που χαρακτηρίζει κάθε άνθρωπο π.χ. αριθμός ταυτότητας. Ο έλεγχος ενός τέτοιου χαρακτηριστικού μπορεί να γίνεται με αυτοματοποιημένες διαδικασίες και από τις αντίστοιχες συσκευές.

Ο τομέας των δακτυλικών αποτυπωμάτων ίσως δεν αποτελεί τον πρώτο που θα ερχόταν στο νου ενός φοιτητή για μελέτη ή έρευνα σε οποιοδήποτε στάδιο (προπτυχιακό, μεταπτυχιακό, διδακτορικό) κι αν βρίσκεται. Εμπνευστήκαμε το θέμα αυτό μέσα από συζητήσεις μας σχετικά με τα διάφορα θέματα ασφαλείας, εγχώρια και μη. Μάλιστα το ένα μέλος της ομάδας μας επαγγέλλεται αστυνομικός στην ΕΛ.ΑΣ. και το παρόν θέμα έχει άμεση σχέση τόσο με τα προσωπικά και ερευνητικά του ενδιαφέροντα, όσο και σαν προσόν για επαγγελματικής ανέλιξη. Επίσης, το έτερο μέλος της ομάδας ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για μια πιθανή μελλοντική πρόσληψη σε τομείς ειδικού επιστημονικού προσωπικού της ΕΛ.ΑΣ., με την παρούσα διπλωματική να αποτελεί ένα σημαντικότερο επιπλέον προσόν του μεταπτυχιακού τίτλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΩΝ

Με τη φυσική και λογική ασφάλεια να διαδραματίζουν όλο και καθοριστικότερο ρόλο στην καθημερινότητά μας, αναζητούνται συνεχώς καινοτόμες μέθοδοι ταυτοποίησης. Το βιομετρικό σύστημα με το οποίο ασχοληθήκαμε στην παρούσα εργασία είναι η δυνατότητα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων, το οποίο και θα δούμε αναλυτικότερα.

Η αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι μια βιομετρική μέθοδος που βασίζεται σε φυσικά χαρακτηριστικά. Η ακρίβεια αντιστοίχισης (π.χ. αναγνώριση) που χρησιμοποιεί δακτυλικά αποτυπώματα φαίνεται να είναι πολύ υψηλή. Το σύστημα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων (automatic Fingerprint identification system) βασίζεται στο γεγονός ότι κάθε άτομο έχει μοναδικά δακτυλικά αποτυπώματα.

1.1 Εξέλιξη της δακτυλοσκοπίας ως σήμερα

Η μελέτη της δακτυλοσκοπίας δείχνει ότι μέσα από μια μακρόχρονη εμπειρία αιώνων, τηρούνται κάποιες συγκεκριμένες βασικές αρχές ακόμα και πριν από την επιστημονική ενασχόληση με τον τομέα αυτό. Ο ιστορικός διαχωρισμός της δακτυλοσκοπίας αφορά την περίοδο της εμπειρικής γνώσης και χρήσης ως το 1600 μ.Χ. ενώ έκτοτε ξεκινά η περίοδος της επιστημονικής έρευνας, γνώσης και χρήσης των δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Ένα αποτύπωμα σε ευνοϊκές συνθήκες, μπορεί να διατηρηθεί μέχρι και 40 χρόνια. Παρ'όλ'αυτά μια αρχαία γραπτή αναφορά ενός χεριού με ανάγλυφη αποτύπωση των δακτύλων του ανακαλύφθηκε σε ερείπια της Νέας Σκωτίας, στον Ατλαντικό, στις ακτές του Καναδά. Επίσης, στην προϊστορική Βαβυλώνα, δακτυλικά αποτυπώματα βρέθηκαν πάνω σε πήλινα πινάκια, που σκοπό είχαν τη διευκόλυνση των εμπορικών συναλλαγών, ενώ πρόσφατα στη Γιεσίλοβα (την αρχαιότερη γνωστή θέση ανθρώπινης κατοίκησης) κοντά στη Σμύρνη, ανακαλύφθηκαν δακτυλικά αποτυπώματα παιδιών και γυναικών, κατασκευαστών των πήλινων αγγείων πάνω στα οποία και βρέθηκαν, τα οποία χρονολογούνται 8.500 ετών. Στην πλειοψηφία τους, ήταν οι λαοί της ευρύτερης ανατολής που είχαν αποκτήσει εμπειρική γνώση και χρησιμοποιούσαν τη μέθοδο της δακτυλοσκοπίας, ενώ έχουν βρεθεί αρκετά δικαιопρακτικά έγγραφα, χωρίς υπογραφή, αλλά αντ'αυτού με δακτυλικό αποτύπωμα.

Στην Κίνα η πρώτη σχετική αναφορά ανήκει στον Kia Yung Sen το 650 μ.Χ. ο. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του διαζυγίου, όπου ένας άντρας μπορούσε να πάρει διαζύγιο από τη γυναίκα του, με την προϋπόθεση της συμφωνίας της συζύγου. Σε πολλές περιπτώσεις όμως οι σύζυγοι εμφάνιζαν κάποια άλλη γυναίκα, συχνά την ερωμένη τους, σαν τη σύζυγό τους. Οι Κινέζοι είχαν παρατηρήσει ότι το ανάγλυφο αποτύπωμα του κάθε δακτύλου είναι μοναδικό. Έτσι μια από τις απαιτήσεις των κινεζικών αρχών ήταν η υπογραφή στο διαζύγιο να γίνεται με την αποτύπωση του δακτυλικού αποτυπώματος. Παραμένοντας στην άπω ανατολή, ο Ιαπωνικός οικογενειακός νόμος του 702 μ.Χ. όριζε ότι οι αναλφάβητοι αντί για υπογραφή, όφειλαν να επιθέτουν το αποτύπωμα και των πέντε δακτύλων του χεριού τους.

Ειδικότερα την περίοδο 700-800 μ.Χ. είναι χαρακτηριστική η χρήση των δακτυλικών αποτυπωμάτων σε δανειστικές, εμπορικές ή άλλους είδους συμβάσεις. Έτσι η απόδειξη ταυτότητας και η ταυτοπροσωπία γινόταν πιο εύκολη διαδικασία, χρήσιμη για την εγγύηση της παρουσίας των συναλλασσομένων μεταξύ τους.

Από το 10^ο ως το 14^ο αιώνα μ.Χ. οι Κινέζοι φαίνεται μάλιστα να είχαν προχωρήσει στη διάκριση των διαφόρων τύπων και σχημάτων τα οποία διαμορφώνουν οι θηλοειδείς γραμμές των ακροδακτύλων. Μέχρι την περίοδο αυτή στον ευρωπαϊκό χώρο δεν παρατηρείται κάποια χρήση των δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Το 14ο αιώνα στην Περσία, ορισμένα επίσημα κυβερνητικά έγγραφα βρέθηκαν να φέρουν αποτυπώματα. Τότε ένας κρατικός γιατρός -από έγγραφα και σημειώσεις που έχουν βρεθεί- μελέτησε το θέμα για να διαπιστώσει ότι ποτέ δύο αποτυπώματα δεν είναι ίδια.

1686 – Μαρτσέλο Μαλπίγκι

Το 1686, έτος αναγνωρισμένης έναρξης της επιστημονικής έρευνας, γνώσης και χρήσης των δακτυλικών αποτυπωμάτων, ο Μαρτσέλο Μαλπίγκι, καθηγητής ανατομίας στο Πανεπιστήμιο της Μπολόνια και ιδρυτής της επιστήμης της μικροσκοπικής ανατομικής, επισήμανε σε έκθεσή του τις ζάρες, τις καμπύλες και τις περιστροφές (κύκλους) στα δακτυλικά αποτυπώματα. Δεν έκανε όμως καμία αναφορά στη χρησιμότητά τους ως εργαλείου αναγνώρισης και ταυτοποίησης. Μάλιστα, ένα στρώμα δέρματος που έχει πάχος περίπου 1,8 χιλιοστό πήρε το όνομά του από τον καθηγητή και λέγεται «μαλπίγκι».

1823 – Γιαν Εβαγγελίσα Πούρκινιε

Το 1823, πάλι ένας καθηγητής ανατομίας, ο Τσέχος Γιαν Εβαγγελίσα Πούρκινιε στο Πανεπιστήμιο του Μπρέσλο, δημοσίευσε τη δική του διατριβή στην οποία ανέλυε εννέα πατέντες δακτυλικών αποτυπωμάτων. Κι αυτός όμως, όπως ο Μαλπίγκι, δεν αναφέρθηκε καθόλου στην αξία των αποτυπωμάτων όσον αφορά την ταυτοποίηση.

1856 – Σερ Ουίλιαμ Χέρσελ

Οι Άγγλοι ξεκίνησαν να αξιοποιούν τα αποτυπώματα τον Ιούλιο του 1858, όταν ο σερ Ουίλιαμ Χέρσελ, ανώτατος άρχοντας της περιοχής Χούγκλι στο Τζανγκιπούρ της Βεγγάλης στην Ινδία πρωτοχρησιμοποίησε τα αποτυπώματα των δακτύλων σε συμβόλαια που έκλεινε με τον ντόπιο πληθυσμό. Κι αυτό καθαρά από εκκεντρικότητα και σε καμία περίπτωση για λόγους ταυτοποίησης. Την πρώτη φορά που ο Χέρσελ ζήτησε αποτύπωμα ήταν από έναν επιχειρηματία της περιοχής, τον Ραζιαδάρ Κονάι. Του ζήτησε να αποτυπώσει με μελάνι το πίσω μέρος του χεριού του (την παλάμη) στο οπισθόφυλλο του συμβολαίου. Η ιδέα είχε σκοπό ίσα που να «...(τον) τρομάξει και να σβήσει από το μυαλό του κάθε σκέψη άρνησης πληρωμής του δημόσιου χρέους του». Ο ντόπιος εντυπωσιάστηκε με την επισιμότητα της διαδικασίας και από εκείνη τη στιγμή ο Χέρσελ καθιέρωσε την εφαρμογή. Η διαδικασία αποτύπωσης των παλαμών και αργότερα μόνο του αντίχειρα και του μεσαίου δακτύλου του δεξιού χεριού, έγινε υποχρεωτική. Κάθε συμβόλαιο με ντόπιο πολίτη έπρεπε να φέρει αποτυπώματα. Τόσο ο Χέρσελ όσο και οι ντόπιοι κάτοικοι πίστευαν ότι αυτή η προσωπική επαφή με το έγγραφο έκανε τους δεσμούς με το συμβόλαιο πιο δυνατούς από αυτούς που δημιουργούσε η υπογραφή. Έτσι, η πρώτη χρήση των αποτυπωμάτων -σε μεγάλους πληθυσμούς- στηριζόταν σε δεισιδαιμονίες και όχι σε επιστημονικές αποδείξεις.



Εικόνα 1: Συμβόλαιο Χέρσελ - Κονάι

Λίγο αργότερα, το 1858, εισήγαγε τη χρήση δακτυλοσκόπησης δοκιμαστικά στις τοπικές φυλακές για τον καθορισμό της ταυτότητας των κρατουμένων. Τελικά όμως, όσο εμπλουτιζόταν η συλλογή των αποτυπωμάτων, ο Χέρσελ άρχισε να συνειδητοποιεί ότι τα αποτυπώματα από μελάνι θα μπορούσαν να αποδείξουν ή και να διαψεύσουν την ταυτότητα του προσώπου. Κι ενώ η εμπειρία του με τη δακτυλική αποτύπωση ήταν περιορισμένη, η προσωπική του πεποίθηση ήταν ότι κάθε δακτυλικό αποτύπωμα είναι μοναδικό στον ιδιοκτήτη του, καθώς και μόνιμο στη ζωή του. Αυτή η πεποίθηση τον έκανε να συνεχίσει την εφαρμογή της διαδικασίας που είχε εφεύρει. Μάλιστα το 1877 έχοντας περισσότερες αποδείξεις για την αρτιότητα της μεθόδου που εφάρμοζε, πρότεινε την εφαρμογή της στην ευρύτερη περιοχή της Βεγγάλης.

1880 – Δρ Χένρι Φολντς

Το 1870 ο Βρετανός διευθυντής χειρουργός του νοσοκομείου Τσακίτζι στο Τόκιο της Ιαπωνίας, δρ Χένρι Φολντς, ξεκίνησε μια μελέτη για τις ρυτίδες του δέρματος. Αφορμή για την έρευνα αυτή στάθηκε η καταγραφή των δακτυλικών αποτυπωμάτων που βρέθηκαν στα διάφορα προϊστορικά κεραμικά αντικείμενα που ο ίδιος ανακάλυψε. Ο διαβασμένος, μεθοδικός και επιμελής Φολντς όχι μόνο αναγνώρισε τη σημαντικότητα των δακτυλικών αποτυπωμάτων ως μέσου ταυτοποίησης αλλά επινόησε και μια μέθοδο ταξινόμησης και αρχειοθέτησής τους. Το 1880 ο Φολντς απέστειλε μια ανάλυση του συστήματος ταξινόμησης που είχε εφεύρει, καθώς και ένα δείγμα της φόρμας που είχε σχεδιάσει για την καταγραφή και αρχειοθέτηση των αποτυπωμάτων από μελάνι, στον σερ Κάρολο Δαρβίνο. Ο τελευταίος, λόγω της προχωρημένης ηλικίας του και των προβλημάτων υγείας που αντιμετώπιζε, τον ενημέρωσε ότι δεν θα μπορέσει να του φανεί χρήσιμος, όμως υποσχέθηκε στον Φολντς ότι θα προωθήσει το υλικό του στον ξάδερφό του Φράνσις Γκάλτον. Ο δρ Φολντς την ίδια χρονιά δημοσίευσε ένα άρθρο στο επιστημονικό περιοδικό «Nature». Σε αυτό έγραφε για τα αποτυπώματα ως στοιχείο προσωπικής αναγνώρισης, καθώς και τη χρήση μελανιού ως μέθοδο κατασκευής τέτοιων αποτυπωμάτων. Ο ίδιος πιστώνεται και με την πρώτη ταυτοποίηση ατόμου μετά την εξέταση ενός λαδωμένου αποτυπώματος σε ένα σχεδόν άδειο μπουκάλι μπράντι. Ανάμεσα σε ένα πλήθος ανθρώπων μπόρεσε να βρει ποιος ήταν ο ιδιοκτήτης του αποτυπώματος, πάντα για χάρη της επιστήμης και όχι για διωκτικούς λόγους. Όμως λόγω της εφαρμογής εκείνη την περίοδο του ανθρωπομετρικού συστήματος Μπερτιγιόν (με τα δύο ερωτήματα α.«ποιος είχε

συμφέρον για να εγκληματίσει;» και β.«αναζητείστε τη γυναίκα!»), η ανάπτυξη και χρήση της δακτυλοσκοπίας έμεινε στάσιμη.

1882 – Γκίλμπερτ Τόμσον

Το 1882 ο Γκίλμπερτ Τόμσον, επιστήμονας του Αμερικανικού Γεωλογικού Κέντρου Έρευνας στο Νέο Μεξικό, χρησιμοποίησε τα δικά του αποτυπώματα σε ένα έγγραφο ώστε να αποφευχθεί η πλαστογραφία. Αυτή είναι και η πρώτη γνωστή χρήση αποτυπωμάτων στις ΗΠΑ.

1883 – Μαρκ Τουέιν (Σάμιουελ Λ. Κλέμενς)

Στο βιβλίο του Μαρκ Τουέιν «Η ζωή στο Μισισσιπή», ένας δολοφόνος αναγνωρίζεται με τη χρήση της μεθόδου ταυτοποίησης μέσω αποτυπωμάτων. Σε άλλο, μετέπειτα βιβλίο του, «Ο Γουίλσον ο σαΐνης», ο Μαρκ Τουέιν διηγείται την εξέλιξη μιας δραματικής δίκης με βασικό αποδεικτικό στοιχείο τα δακτυλικά αποτυπώματα. Η διαμάχη των δύο αντίπαλων υπερασπιστικών ομάδων, για το αν είναι αξιόπιστο στοιχείο ή όχι, βρίσκει τα αποτυπώματα νικητή στην ενοχοποίηση του κατηγορουμένου.

1885 – καθηγητές Φλοράνς και Έμπερτ

Ο Γάλλος Φλοράνς είχε μια μικρή ενασχόληση με δακτυλοσκοπικές μεθόδους, ενώ ο Γερμανός συναδέλφός του, κατάφερε με αποδείξεις να εξακριβώσει την ταυτότητα των δακτυλικών αποτυπωμάτων συναδέλφων του, αλλά το (τότε) Πρωσικό Υπουργείο Εσωτερικών απέρριψε την πρότασή του για υιοθέτηση της μεθόδου του.

1888 – Σερ Φράνσις Γκάλτον

Ο Βρετανός ανθρωπολόγος και ξάδερφος του Κάρολου Δαρβίνου, σερ Φράνσις Γκάλτον, ξεκίνησε τις δικές του παρατηρήσεις στα δακτυλικά αποτυπώματα ως μέσο ταυτοποίησης στα 1880. Το 1892 δημοσίευσε το βιβλίο του «Δακτυλικά Αποτυπώματα» αποδεικνύοντας τη μοναδικότητα και τη μονιμότητα των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Το βιβλίο περιλάμβανε το πρώτο σύστημα ταξινόμησης δακτυλικών αποτυπωμάτων. Κύριο ενδιαφέρον του Γκάλτον, όσον αφορά τα δακτυλικά αποτυπώματα, ήταν να προσδιορίσει αν ισχύει η κληρονομικότητα και η φυλετική προέλευση. Κι ενώ σύντομα συνειδητοποίησε ότι τα δακτυλικά αποτυπώματα δεν προσέφεραν σαφή στοιχεία για το φύλο, την εθνικότητα ή τις

ρίζες του ατόμου, κατάφερε να αποδείξει επιστημονικά αυτό που ο Χέρσελ και ο Φολντς ήδη υποψιάζονταν: ότι τα δακτυλικά αποτυπώματα δεν αλλάζουν στη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου και ότι ποτέ δύο αποτυπώματα διαφορετικών ατόμων δεν είναι ακριβώς τα ίδια. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του, οι πιθανότητες τα αποτυπώματα δύο ανθρώπων να είναι ίδια είναι μία στα 64 δισεκατομμύρια. Ο Γκάλτον προσδιόρισε τα χαρακτηριστικά των αποτυπωμάτων που είναι σημαντικά για την αναγνώριση του ιδιοκτήτη τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά (που ονομάζονται minutia: λεπτομέρειες) χρησιμοποιούνται ακόμα και στις μέρες μας. Συχνά γίνεται αναφορά σε αυτά ως «Λεπτομέρειες του Γκάλτον». Δυστυχώς για τον ίδιο την περίοδο εκείνη κανείς στην Ευρώπη δεν δέχτηκε την μέθοδό του κι έτσι την εφάρμοσε στη μακρινή Αργεντινή.

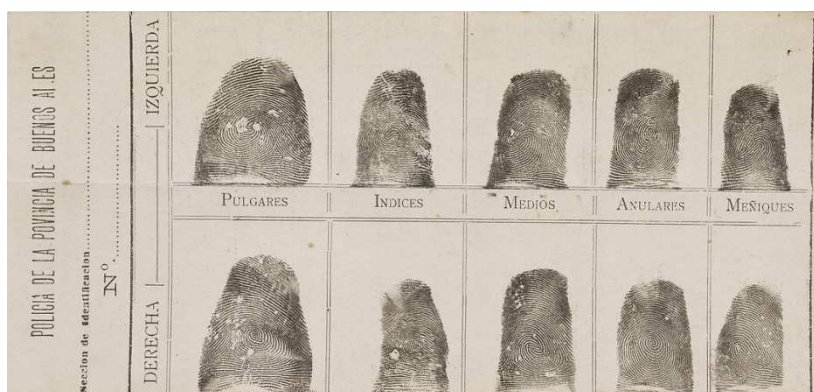
Χουάν Βουσετίτς

Το **1891** ο Αργεντίνος-Γιουγκοσλάβος αξιωματικός της Αστυνομίας, Χουάν Βουσετίτς, ξεκίνησε να φτιάχνει τους πρώτους φακέλους δακτυλικών αποτυπωμάτων, ακολουθώντας τις οδηγίες του Γκάλτον. Επιπλέον, ο Βουσετίτς ήταν ο πρώτος που εφάρμοσε το σύστημα Μπερτιγιόν.



Εικόνα 2: Αποτύπωμα δεξιού αντίχειρα και υπογραφή του Βουσετίτς

Το **1892** ο αξιωματικός έκανε την πρώτη αναγνώριση εγκληματία μέσω δακτυλικών αποτυπωμάτων. Κατάφερε να αναγνωρίσει μια γυναίκα ονόματι Ρόχας, η οποία είχε σκοτώσει τους δυο γιους της και έπειτα, προκειμένου να ενοχοποιήσει κάποιον τρίτο, έκοψε το λαιμό της, ώστε να γίνει πιστευτό ότι είχε δεχτεί και η ίδια επίθεση από το δράστη. Το ματωμένο όμως δακτυλικό αποτύπωμά της βρέθηκε στην πόρτα και σύντομα ο Βουσετίτς απέδειξε ότι η ίδια ήταν ο δολοφόνος.



Εικόνα 3: Τα αποτυπώματα της κας. Ρόχας

1901

Παρά τις αρχικές ενδείξεις ότι η αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων ήταν ένα εξαιρετο σύστημα καταγραφής, πιστοποίησης και ταυτοποίησης, έπρεπε να φτάσουμε στις αρχές του 20ού αιώνα ώστε να γίνει αποδεκτή σαν μια μέθοδος εξακρίβωσης ταυτότητας.

Η αρχή αναγνώρισης – ταυτοποίησης εγκληματιών μέσω δακτυλικών αποτυπωμάτων σε Αγγλία και Ουαλία, με τη χρήση των παρατηρήσεων του Γκάλτον τις οποίες μελέτησε και συνέταξε ο σερ Ρίτσαρντ Χένρι Εντουαρντς, έγινε το 1901 με το Σύστημα Ταξινόμησης του Εντουαρντς, το οποίο χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα από τις αγγλόφωνες χώρες, ενώ ως το 1946 εφαρμόστηκε και στην Ελλάδα.

1902

Πρώτη συστηματική χρήση των δακτυλικών αποτυπωμάτων στις ΗΠΑ έγινε το 1902 από την Επιτροπή Αστικών Υπηρεσιών. Αν και η εφαρμογή αυτή ήταν μόνο δοκιμαστική, ο δρ Χένρι Π. ντε Φόρεστ (ο οποίος και την πρότεινε) θεωρείται πρωτοπόρος στη χρήση του συστήματος ταξινόμησης δακτυλικών αποτυπωμάτων.

1903

Το Σωφρονιστικό Κέντρο της Νέας Υόρκης οργάνωσε την πρώτη συστηματική καταγραφή δακτυλικών αποτυπωμάτων για τους έγκλειστους εγκληματίες του.

1904

Το Ομοσπονδιακό Σωφρονιστικό Κέντρο στο Λίβενουορθ στο Κάνσας και το Αστυνομικό Τμήμα του Σεντ Λούις εισήγαγαν το σύστημα των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Σε αυτό τους βοήθησε ένας υπαξιωματικός της Σκότλαντ Γιαντ, ο οποίος βρισκόταν σε εντεταλμένη υπηρεσία στην έκθεση του Σεντ Λούις όπου φυλούσε τη βρετανική αποστολή.

1905

Ο αμερικανικός στρατός εισάγει το σύστημα των αποτυπωμάτων. Δύο χρόνια αργότερα το αμερικανικό ναυτικό ξεκινά κι αυτό και ακολουθούν οι ειδικές δυνάμεις. Στα 25 χρόνια που ακολούθησαν όλο και περισσότερες κυβερνητικές υπηρεσίες εφαρμογής των νόμων ακολούθησαν το παράδειγμα, εισάγοντας τη χρήση των δακτυλικών αποτυπωμάτων ως μέσου προσωπικής ταυτοποίησης. Πολλές από αυτές τις υπηρεσίες ξεκίνησαν να στέλνουν αντίγραφα των φακέλων δακτυλικών αποτυπωμάτων στο Εθνικό Γραφείο Ταυτοποίησης Εγκληματιών, που ιδρύθηκε από τη Διεθνή Ένωση Αστυνομικών Διευθυντών.

Το **1918**, ο Εντμοντ Λόκαρντ έγραψε ότι αν 12 σημεία (Λεπτομέρειες του Γκάλτον) είναι ίδια μεταξύ δύο αποτυπωμάτων, αρκεί για να γίνει θετική αναγνώριση του ιδιοκτήτη τους. Από εκεί προέρχεται η πολυχρησιμοποιημένη στο χώρο φράση «12 σημεία». Σημειώνουμε ότι δεν υπάρχει ένας ορισμένος αριθμός που απαιτείται για την αναγνώριση. Μερικές χώρες έχουν θέσει τους δικούς τους κανόνες, που περιλαμβάνουν ένα ελάχιστο αριθμητικό όριο ίδιων σημείων.

Το **1924** ιδρύεται ο τομέας Ταυτοποίησης του FBI ύστερα από νόμο που ψηφίζει το Κογκρέσο. Το Εθνικό Γραφείο και το Λίβενσουορθ συμβουλεύουν και βοηθούν να δημιουργηθεί το αρχείο δακτυλικών αποτυπωμάτων και πυρήνας αυτών από το FBI.

Μέχρι το **1946** το FBI είχε επεξεργαστεί 100 εκατομμύρια κάρτες δακτυλικών αποτυπωμάτων και δημιούργησε χειρόγραφο αρχείο, ενώ το 1971 οι κάρτες είχαν γίνει 200 εκατομμύρια. Με την εισαγωγή του τεχνολογικού συστήματος AFIS οι φάκελοι χωρίστηκαν σε μηχανογραφημένους φακέλους εγκληματιών αλλά και χειρόγραφους, που διατηρήθηκαν.

2002

Το 2002 σε διάσκεψη της Διεθνούς Κοινωνίας για την Οπτική Μηχανική τέθηκαν υπό αμφισβήτηση οι διάφορες συσκευές αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων, από το διπλό πείραμα του Ιάπωνα καθηγητή κρυπτογραφίας και μαθηματικών κ. Tsutomu Matsumoto. Με χρήση καθημερινών υλικών που βρίσκονται σε ένα νοικοκυριό, αξίας λιγότερο από 10 ευρώ, απέδειξε ότι η εξαπάτηση συσκευών ελέγχου βιομετρικών χαρακτηριστικών είναι δυνατή.

Ο καθηγητής μαζί με φοιτητές του από το πανεπιστήμιο της Γιοκοχάμα, απέδειξαν τη δυνατότητα εξαπάτησης χρησιμοποιώντας ένα αντίγραφο δακτυλικού αποτυπώματος από ζελατίνη. Το πλέον ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι η ομάδα κατάφερε να εξαπατήσει τις διάφορες συσκευές με αντίγραφα από δακτυλικά αποτυπώματα από ένα ποτήρι, γεγονός που έκανε τους ειδικούς να προβληματιστούν ιδιαίτερα και να εγερθούν αμφιβολίες για την αξιοπιστία των βιομετρικών συσκευών.

Για το πρώτο πείραμα, ο καθηγητής κ. Matsumoto δημιούργησε ένα καλούπι ασκώντας πίεση με το δάκτυλο σε εύπλαστο πλαστικό. Μετά έλιωσε ζελατίνη ζαχαροπλαστικής, την οποία και έχυσε στο καλούπι. Βάσει δοκιμών, το δάκτυλο από ζελατίνη εξαπάτησε τους ανιχνευτές δακτυλικών αποτυπωμάτων στο εντυπωσιακό ποσοστό του 80%!

Στο δεύτερο πείραμα ο καθηγητής με την ομάδα του προσπάθησαν να αντιγράψουν ένα οποιοδήποτε δακτυλικό αποτύπωμα από ένα καθημερινό αντικείμενο. Το αφανές δακτυλικό αποτύπωμα ενισχύθηκε με την χρήση ειδικής κόλλας η οποία κολλάει πάνω στα νεκρά κύτταρα και κατόπιν φωτογραφήθηκε με ψηφιακή μηχανή. Με χρήση προγράμματος επεξεργασίας εικόνας βελτιώθηκε η αντίθεση και η τελική εικόνα εκτυπώθηκε σε μια διαφάνεια. Η διαφάνεια με τη σειράς της αποτυπώθηκε σε μια φωτοευαίσθητη πλακέτα, η οποία είχε αγοραστεί από κατάστημα ηλεκτρονικών υλικών για χομπίστες, με σκοπό να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο εκμαγείο. Έπειτα, ξανά με χρήση ζελατίνης δημιουργήθηκε το τελικό αντίγραφο. Και αυτή τη φορά, οι συσκευές παραπλανήθηκαν σε ποσοστό 80%! Ο καθηγητής δοκίμασε τα αντίγραφα σε 11 διαφορετικά μοντέλα του εμπορίου και τα "εξαπάτησε" όλα. Ακόμη και τα συστήματα τεχνικών εντοπισμού "ζωντανών δακτύλων" εξαπατήθηκαν μετά από λίγες δοκιμές με την εφύγραση του προπλάσματος.

2003 - Ενιαίο ηλεκτρονικό σύστημα αναγνώρισης Eurodac

Eurodac ονομάζεται το νέο ηλεκτρονικό σύστημα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων που εφαρμόζεται σε όλες της χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος του, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, είναι η αντιπαραβολή των δακτυλικών αποτυπωμάτων όσων αιτούνται άσυλο στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.). Δηλαδή, όλων όσοι φτάνουν στην Ελλάδα και στις άλλες χώρες τις Ε.Ε. από χώρες του Τρίτου Κόσμου και ζητούν άσυλο σε περισσότερες από μία χώρες. Σύμφωνα με το μέτρο, όλοι όσοι είναι από 14 χρόνων και πάνω και ζητούν άσυλο θα δίνουν τα δακτυλικά αποτυπώματα όλων των δαχτύλων τους έτσι ώστε να αποφεύγονται οι διπλές αιτήσεις. Αν και εφόσον οι ενδιαφερόμενοι έχουν υποβάλει περισσότερες από μία αιτήσεις, θα γίνεται δεκτή μόνο εκείνη που υποβλήθηκε πρώτη. Με το Eurodac ελέγχονται και οι λαθρομετανάστες.

2005

Το αυτόματο σύστημα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων της Ιντερπόλ ξεπέρασε τα 50.000 αποτυπώματα σημαντικών εγκληματιών από 184 χώρες, παρέχοντας παράλληλα συνεχόμενη πρόσβαση στα αρχεία της στις αστυνομικές υπηρεσίες 170 χωρών.

2008

Βρετανοί επιστήμονες ανέπτυξαν μια νέα τεχνική για την καταπολέμηση του εγκλήματος. Με τη μέθοδο αυτή η αστυνομία έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει δακτυλικά αποτυπώματα ακόμα και σε σφαίρες τις οποίες έχει σκουπίσει ένας εγκληματίας προκειμένου να κρύψει τα ίχνη του. Η τεχνική δημοσιεύτηκε στην επιστημονική επιθεώρηση Journal. Ο φυσικός που ανέπτυξε την τεχνική, Dr John Bond από το Πανεπιστήμιο του Leicester αναφέρει «πως ειδικά σε μία περίπτωση υπήρξαν αρκετά στοιχεία που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στον εντοπισμό του παραβάτη». Η συμβατική μέθοδος λήψης δακτυλικών αποτυπωμάτων χρονολογείται από τις αρχές του 1900 και περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας χημικής αντίδρασης με τον ιδρώτα που μένει σε ένα αντικείμενο προκειμένου να δημιουργηθεί εικόνα διαθέσιμη για την αστυνομία. Όμως, εάν ένας εγκληματίας σκουπίσει τον ιδρώτα, τότε παραμένει στην επιφάνεια του αντικειμένου λίγη ποσότητα για τον προσδιορισμό της ταυτότητας με τη συμβατική μέθοδο και ουσιαστικά δεν είναι δυνατή η δημιουργία της απαραίτητης εικόνας.

Η νέα τεχνική επιτρέπει στην αστυνομία να διαλευκάνει ένα έγκλημα και να παράγει ένα δακτυλικό αποτύπωμα ακόμα κι αν δεν υπάρχει καθόλου ποσότητα ιδρώτα για να χρησιμοποιήσει. Οι βρετανοί εμπειρογνώμονες εστίασαν σε διαβρωμένα τμήματα, πλάτους τρίχας, που ο ιδρώτας αφήνει συχνά σε ορισμένα μέταλλα, στις σφαίρες και στις βόμβες. Καλύπτουν το μέταλλο με λεπτή σκόνη και εφαρμόζουν ισχυρή ηλεκτρική τάση 2500 βολτ που κάνει τη σκόνη να κολλήσει στις διαβρωμένες περιοχές, παράγοντας ένα πιθανό δακτυλικό αποτύπωμα. «Η πολύ λεπτή σκόνη κολλά μόνο στο μέταλλο όπου είναι διαβρωμένο, δηλ. μόνο στα σημεία όπου υπάρχει δακτυλικό αποτύπωμα σχηματίζοντας την απαιτούμενη εικόνα» καταλήγει ο Bond. Και συνεχίζει: «Η τεχνική δεν είναι αλάθητη, ενώ μερικοί άνθρωποι δεν εκκρίνουν αρκετό άλας στον ιδρώτα τους για να διαβρώσουν το μέταλλο ώστε να δημιουργηθεί το αποτύπωμα. Αλλά για μερικές φαινομενικά αδιέξοδες περιπτώσεις μπορεί να παράσχει τα κρίσιμα στοιχεία και να δείξει το πρόσωπο που όπλισε ένα πυροβόλο όπλο που χρησιμοποιήθηκε σε ένα έγκλημα».

2011 - σήμερα

Στις ΗΠΑ λειτουργεί το σύστημα της **US-VISIT** (Visitor and Immigrant Status Indicator Technology), ένα σύστημα που περιέχει πάνω από 100 εκατομμύρια καταχωρήσεις. Οι περισσότερες αφορούν αρχεία αποτυπωμάτων δύο δακτύλων, του δείκτη και του αντίχειρα. Βέβαια δεν υπάρχει αντιστοίχιση με συστήματα του FBI και της Ιντερπόλ, αλλά η χρήση των δύο αυτών δακτύλων κρίθηκε σημαντική, αφού είναι τα δύο με τις περισσότερες εμφανίσεις στο σύνολο των κακόβουλων ενεργειών.

Νοέμβριος 2011

Η εταιρία Intelligent Fingerprint σε συνεργασία με το βρετανικό University of East Anglia δημιούργησε μια πρωτότυπη φορητή συσκευή με στόχο την μαζική παραγωγή της το 2012, η οποία μπορεί να ανιχνεύσει ναρκωτικά ή άλλες παράνομες ουσίες στον ανθρώπινο οργανισμό, με την ανάλυση και μόνο του ιδρώτα που αφήνει ένα αποτύπωμα. Η συσκευή χρησιμοποιεί κασέτες μιας χρήσης, οι οποίες όπως αναφέρεται δεν απαιτούν ειδικό χειρισμό ή προφύλαξη από βιολογικό κίνδυνο. Η διαδικασία εκτός από ολιγόλεπτη, θεωρείται και ανεπηρέαστη αφού διατηρεί μαζί τα αποτελέσματα του ελέγχου χρήσης ναρκωτικών και το οπτικό αποτέλεσμα των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να

εφαρμοστεί χώρους εργασίας, στον εγκληματολογικό έλεγχο που διενεργούν οι αστυνομικές υπηρεσίες, στην εθνική ασφάλεια, αλλά ακόμα και για την ανίχνευση μη παράνομων ουσιών ή άλλων δεικτών για την υγεία.

Σύστημα Αναγνώρισης Δακτυλικών Αποτυπωμάτων σε πραγματικό χρόνο (Live scan Fingerprintprint identification system)

Είναι ένα σύστημα πληροφορικής για την ηλεκτρονική κωδικοποίηση, καταχώρηση και την αναζήτηση δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Πολλά κράτη τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν εφοδιάσει τις αστυνομικές υπηρεσίες τους και ειδικά τις συνοριακές με αυτό το σύστημα. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην ταυτοποίηση στοιχείων υπόπτων που στερούνται παντελώς εγγράφων με άμεση αναγνώριση των στοιχείων ταυτότητός τους, αφού θα ληφθούν αποτυπώματα για μια και μοναδική φορά. Αυτά καταχωρούνται αυτόματα στην κεντρική βάση δεδομένων και σε δευτερόλεπτα όλες οι υπόλοιπες περιφερειακές υπηρεσίες είναι ενήμερες και έχουν τη δυνατότητα σε μελλοντικό χρόνο να ταυτοποιήσουν τα στοιχεία αγνώστου ατόμου χωρίς ταυτότητα.

Οι περισσότερες αστυνομίες υπηρεσίες του κόσμου είναι εφοδιασμένες με το σύστημα αυτό το οποίο μπορεί να προσφέρει πολλά οφέλη, μεταξύ άλλων:

- Μειώνει τη γραφειοκρατία της εγκληματολογικής σήμανσης των συλληφθέντων υπόπτων αφού καταχωρούνται όλα τα στοιχεία της εγκληματολογικής του σήμανσης ηλεκτρονικά.
- Καταργεί τη λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων με μελάνι.
- Πραγματοποιεί έλεγχο της ποιότητας των δακτυλικών αποτυπωμάτων σε πραγματικό χρόνο.
- Κάνει ευκολότερη διόρθωση κακών σαρώσεων.
- Εξαλείφει τη διπλή λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων από διαφορετικές υπηρεσίες άρα μειώνει τη γραφειοκρατία στις αρμόδιες υπηρεσίες εγκληματολογικών ερευνών.
- Μειώνει την φυσική επαφή με τον δακτυλοσκοπούμενο ύποπτο.
- Η έγκαιρη εξέταση της ποινικής κατάστασης του υπόπτου και των στοιχείων ταυτότητός του μέσα από τη βάση δεδομένων.
- Εξακρίβωση στοιχείων υπόπτου σε πραγματικό χρόνο και αποφυγή άσκοπων προσαγωγών αφού είναι φορητή συσκευή.

- Άμεση ενημέρωση της ποινικής κατάστασης του υπόπτου.
- Βοηθά την επιβολή του νόμου αφού εξασφαλίζει την άμεση ταυτοποίηση των συλληφθέντων δραστών.
- Δίνει τη δυνατότητα στους δικαστικούς λειτουργούς να έχουν άμεση ενημέρωση του ιστορικού της ποινικής του κατάστασης.
- Η διαδικασία σάρωσης των δακτυλικών αποτυπωμάτων δεν ξεπερνά τα δέκα λεπτά.

1.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Εγχώρια, το πρώτο σύστημα δακτυλοσκοπίας εφαρμόστηκε το 1912 από τον καθηγητή της Ιατροδικαστικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, Ιωάννη Γεωργιάδη, σε συνδυασμό με χαρακτηριστικά του ανθρωπομετρικού συστήματος Μπερτιγιόν. Ένα χρόνο αργότερα η Γαλλική αποστολή οργάνωσης των φυλακών εισήγαγε τη δακτυλοσκόπηση των εγκλείστων. Το 1914 με την αναδιοργάνωση της χωροφυλακής, ιδρύθηκε στη Θεσσαλονίκη από τον Ιταλό Καροσίνι ειδικό γραφείο Σημάνσεως, με ταξινόμηση και αρχειοθέτηση δακτυλικών αποτυπωμάτων, το οποίο όμως καταστράφηκε από πυρκαγιά έπειτα από δύο χρόνια. Αργότερα, το 1918 η Βρετανική οργανωτική αποστολή, επελήφθη της οργάνωσης των Εγκληματολογικών Υπηρεσιών και εισήγαγε την ταξινόμηση των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Με ειδικό νόμο και διάταγμα του 1919 ιδρύθηκε το πρώτο «Κεντρικό Γραφείο Εγκληματολογικής Σημάνσεως», μετονομασθέν το 1925 σε «Κεντρικό Γραφείο Εγκληματολογικών Αναζητήσεων» και ορίζοντας την ίδρυση παραρτημάτων σε μεγάλες πόλεις, έδρες πρωτοδικείων και περιοχές με καταστήματα σωφρονισμού. Έκτοτε μια σειρά από μετονομασίες που δεν χρειάζεται να αναφέρουμε, δεν άλλαξαν κάτι ιδιαίτερο στον τρόπο λειτουργίας της Υπηρεσίας, παρά μόνο το 1972 όπου συγκροτήθηκε μια ενιαία υπηρεσία πανελλαδικά, με όνομα «Διεύθυνση Εγκληματολογικών Υπηρεσιών Ελλάδας». Η αλλαγή του κανονισμού λειτουργίας το 1977, απλά όρισε τον τρόπο δράσης της κεντρικής αλλά και των περιφερειακών υπηρεσιών.

1.3 Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισης Δακτυλικών Αποτυπωμάτων (Α.Σ.Α.Δ.Α.)

Το Α.Σ.Α.Δ.Α. αποτελεί λειτουργικό της Διεύθυνσης Εγκληματολογικών Ερευνών της Ελληνικής Αστυνομίας (ΕΛ.ΑΣ.). Το σύστημα λειτουργεί από το 1987 έπειτα από την απόφαση για τη λειτουργία του από την ανεξάρτητη Αρχή Προστασίας Προσωπικών Δεδομένων. Έχει αγοραστεί από εταιρία καταξιωμένη στο χώρο, που έχει διαθέσει το ίδιο σύστημα και σε άλλες χώρες. Δεν είχε τη μορφή που έχει σήμερα καθόσον έχει αναβαθμιστεί από την αρμόδια εταιρία με την οποία έχει υπογραφεί η σύμβαση. Η πρόοδος του τομέα των υπολογιστών βοήθησε στο έπακρο για τη σημερινή του εξέλιξη.

Σύστημα

Το σύστημα χρησιμοποιεί έναν server που βρίσκεται στην έδρα της κεντρικής υπηρεσίας (Αθήνα) και πρόσβαση σε αυτόν έχουν οι χειριστές της Δ.Ε.Ε. Αθηνών και Υ.Δ.Ε.Ε. Θεσσαλονίκης μέσω τερματικών, χωρίς ακόμα να έχει δοθεί πρόσβαση σε άλλους περιφερειακούς χρήστες. Ο λόγος είναι το ότι η πλειοψηφία των αστυνομικών στα περιφερειακά τμήματα δεν διαθέτει τον απαιτούμενο υψηλό βαθμό εξειδίκευσης και ίσως έτσι πληττόταν η αξιοπιστία των εκθέσεων που χρησιμοποιούνται στην ποινική αξιολόγηση των εγκληματιών.

Επειδή το αυτοματοποιημένο σύστημα δεν μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τον ανθρώπινο παράγοντα, αυτός επεμβαίνει για να δίνει τα πλέον αξιόπιστα αποτελέσματα και με υψηλή ταχύτητα έκδοσης.

Η παρούσα συμφωνία με τη συνεργαζόμενη εταιρεία εξασφαλίζει αναβαθμίσεις που επιτρέπουν την εξέλιξη ακολουθώντας τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις, επομένως δεν προβλέπεται μία πλήρης αντικατάσταση στα επόμενα χρόνια, ειδικά αφού καλύπτει το σύνολο των περιπτώσεων που αντιμετωπίζονται.

Χρησιμοποιούμενες τεχνικές δακτυλοσκοπικής σήμανσης

Τα δακτυλικά αποτυπώματα λαμβάνονται σε καθορισμένο έντυπο, το δακτυλοσκοπικό δελτίο, το οποίο περιέχει και επιπλέον πληροφορίες για το άτομο που δακτυλοσκοπείται. Η μέθοδος αφορά επίστρωση αραιής τυπογραφικής μελάνης με ειδικό ελαστικό κύλινδρο σε λεία πλάκα 10x30 εκ. από μέταλλο, γυαλί ή πλαστικό. Τα βοηθητικά υλικά αφορούν ένα

τραπέζι ύψους 1,2 μ., βενζίνη ή καθαρό οινόπνευμα σαν υλικό καθαρισμού τόσο των δακτύλων όσο και των διαφόρων οργάνων και έναν μεγεθυντικό φακό για έλεγχο της ορθότητας λήψης του αποτυπώματος.

Προπαρασκευή

Με χρήση βρεγμένου προσοπίου με βενζίνη ή καθαρό οινόπνευμα καθαρίζονται τα δάκτυλα ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος ιδρώτα ή άλλης ρυπαρής ουσίας που ενδέχεται να επηρεάσουν την ορθή λήψη του αποτυπώματος. Σε περίπτωση που το δέρμα των δακτύλων είναι σκληρό (π.χ. λόγω επαγγέλματος), τα χέρια τίθενται για μικρό χρονικό διάστημα σε ζεστό νερό ώστε να μαλακώσουν και έπειτα σφουγγίζονται ελαφρά. Ακολουθώς, τοποθετείται ισομερώς η μελάνη με τον κύλινδρο στην πλάκα, προσέχοντας να διατηρείται ένα λεπτότατο στρώμα, στην ιδανική περίπτωση στο μισό ύψος μιας θηλοειδούς γραμμής. Αν τοποθετηθεί επιπλέον ποσότητα, απομακρύνεται εφαρμόζοντας στον κύλινδρο ένα λεπτό απορροφητικό χαρτί.

Λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων

Λαμβάνονται τα αποτυπώματα πρώτα του δεξιού χεριού και έπειτα αυτά του αριστερού, εκκινώντας κάθε φορά από τον αντίχειρα. Ο δακτυλοσκοπούμενος πρέπει να έχει σε χαλαρή στάση τα χέρια του, ώστε ο υπάλληλος δακτυλοσκόπησης αφού τοποθετήσει το κάθε δάκτυλο στη μελάνη, να χρωματίσει σε κάθε δάκτυλο την κάτω επιφάνεια από τη μία άκρη του όνυχα ως την άλλη, περιλαμβάνοντας ολόκληρη την πρώτη φάλαγγα και μέρος της δεύτερης. Έπειτα το κάθε δάκτυλο τοποθετείται πάνω στο ειδικό δελτίο, φροντίζοντας να αποτυπωθεί όλη η αντίστοιχη χρωματισμένη επιφάνεια, χωρίς να λείπει κάποιο κρίσιμο σημείο του αποτυπώματος, π.χ. το «Δέλτα». Στο κάτω μέρος του δελτίου αποτυπώνεται το πλήρες αποτύπωμα και των πέντε ενωμένων δακτύλων, ώστε να ελεγχθεί αν κάθε αποτύπωμα λήφθηκε ορθά στην κατάλληλη θέση. Για να κριθεί άρτια μια δακτυλοσκόπηση πρέπει να περιλαμβάνει την πρώτη φάλαγγα και μέρος της δεύτερης, από τη μία πλευρά του όνυχα κάθε δακτύλου ως την άλλη, μαζί με τα βασικά σημεία του, το «Κέντρο» και το (ή τα) «Δέλτα». Η απουσία δακτύλου ή χεριού δηλώνεται με υποσημείωση στο δελτίο, καθώς και σε περίπτωση τραυματισμένου δακτύλου και αποτυπώματος, αν το τραύμα είναι μόνιμο ή θεραπεύεται. Τυχόν επιπλέον δάκτυλα, δεν λαμβάνονται υπόψιν, σημειώνοντας απλά επίσης στην πίσω

πλευρά του δελτίου τον αριθμό τους, ενώ λαμβάνονται τα αποτυπώματα μόνο του αντίχειρα και των επόμενων τεσσάρων δακτύλων. Στο πίσω μέρος του δελτίου λαμβάνεται μόνο του το αποτύπωμα του δεξιού δείκτη μαζί με την υπογραφή του δακτυλοσκοπούμενου.

Προσωπικό

Όλοι οι χειριστές-αστυνομικοί της Δ.Ε.Ε. έχουν περάσει ειδικό σεμινάριο από εξειδικευμένους αστυνομικούς με ανάλογη εκπαίδευση. Μετά το 2002 και με αφορμή την ανάληψη των Ολυμπιακών Αγώνων προσελήφθηκαν αξιωματικοί ειδικών καθηκόντων σε διάφορους τομείς οι οποίοι είναι κάτοχοι πτυχίων ΑΕΙ, μεταπτυχιακών τίτλων αλλά και διδακτορικών. Το προσωπικό που απασχολείται στο σύστημα Α.Σ.Α.Δ.Α. είναι πλέον περισσότερο ως προς παρελθούσες φάσεις, αλλά οι υποθέσεις έχουν αυξηθεί πάρα πολύ και έτσι υπάρχει τόσο προσωπικό, ώστε να διεκπεραιώνονται οι υποθέσεις σε φυσιολογικούς χρόνους και με τα καλύτερα αποτελέσματα.

Οι τεχνικές του Α.Σ.Α.Δ.Α. εξοικονομούν αρκετό χρόνο ως προς το παρελθόν, αλλά από την άλλη έχει παρατηρηθεί ότι ο μέσος χρόνος εργασίας ενός αστυνομικού στο σύστημα δεν μπορεί να είναι παραπάνω από δύο ώρες την ημέρα. Αφού όμως τα περιστατικά τα τελευταία χρόνια ακολουθούν αυξητική τάση, το σύστημα κρίνεται σαν ένα από τα πλέον απαραίτητα και απλά το χειρίζονται περισσότεροι αστυνομικοί στη διάρκεια της ημέρας. Η διαδικασία δεν μπορεί να γίνει περισσότερο γρήγορα, παρά μόνο με την αγορά πιο εξελιγμένων και άρα ταχύτερων μηχανημάτων. Ανασταλτικό παράγοντα σε αυτό αποτελεί φυσιολογικά το κόστος.

Επειδή η εξέλιξη της τεχνολογίας είναι ραγδαία, φαίνεται ότι μελλοντικά η υπηρεσία θα αναγκαστεί στην πρόσληψη εξειδικευμένου προσωπικού ανεβάζοντας έτσι ακόμα περισσότερο το επίπεδο των προσφερομένων υπηρεσιών.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Ο μεγάλος όγκος των δεδομένων που αρχειοθετούνται, η μεγάλη ταχύτητα αναζήτησης και η σημαντική ποιότητα ως προς την ορθότητα των αποτελεσμάτων είναι τα κύρια πλεονεκτήματα που εκδηλώνονται σε κάθε έκφραση της λειτουργίας του συστήματος.

Επίσης παρά το ότι οι χρησιμοποιούμενες δικλίδες ασφαλείας είναι τόσες πολλές, τα αποτελέσματα πρέπει να ελεγχθούν και από τον ανθρώπινο παράγοντα για να δοθεί επίσημη απάντηση, εξαλείφοντας έτσι κάθε πιθανότητα λάθους.

Πιθανοί κίνδυνοι

Δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος για τον δότη των αποτυπωμάτων και αυτό έχει επιβεβαιωθεί με την άδεια που έλαβε το σύστημα από την Αρχή Προστασίας Προσωπικών δεδομένων.

Μετρήσιμα μεγέθη

Το τμήμα Δακτυλοσκοπίας εξακρίβωσε την ταυτότητα 170.243 περιπτώσεων από τον Ιανουάριο του 2008 έως και τον Οκτώβριο του 2010, ενώ ελέγχθηκαν και 92.058 δακτυλικά αποτυπώματα αιτούντων πολιτικό άσυλο. Στο ίδιο χρονικό διάστημα η ταυτότητα 4.923 άγνωστων δραστών επιβεβαιώθηκε δακτυλοσκοπικά παρέχοντας σημαντική συνδρομή στο έργο της ανάκρισης.

Συνδρομή σε σημαντικές υποθέσεις

1991: Αεροπορικό δυστύχημα στο όρος Όθρυς

Δακτυλοσκοπήθηκαν οι 63 επιβαίνοντες στο C-130 έπειτα από σύγκριση των αποτυπωμάτων με αυτά των αστυνομικών αρχείων.

2005: Αεροπορικό δυστύχημα εταιρίας Helios

Η δυσκολότερη των περιπτώσεων όπου αρχικά έγινε δακτυλοσκοπική εξακρίβωση ταυτότητας για όσους ήταν δυνατό και έπειτα με τη διαδικασία του DNA.

Διακρατικές συνεργασίες

Στην Ελλάδα υπάρχει τμήμα της Interpol με το οποίο υπάρχει συνεργασία αν και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι ανώτερες και διαφορετικές. Μία από τις αιτίες είναι Νόμοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης π.χ. η αντιπαραβολή εδώ γίνεται μόνο μέσω εντύπου ενώ σε άλλες χώρες χρησιμοποιούν ηλεκτρονικό αρχείο (φωτογραφία ψηφιακή). Ήδη μελετάται η σύγκλιση στα πρότυπα της Interpol.

Νομοθεσία

Το Α.Σ.Α.Δ.Α. για μέγιστη λειτουργικότητα θα ευνοούνταν από τη νομοθέτηση της ταυτοποίησης μέσω ψηφιακών φωτογραφιών. Μάλιστα ο τομέας της Δ.Ε.Ε. που ασχολείται με το DNA μόλις πρόσφατα έλαβε άδεια για τη δημιουργία βάσης δεδομένων και τη συλλογή στοιχείων.

Α.Σ.Α.Δ.Α. και παρούσα διπλωματική εργασία

Πρόκειται για ανόμοια μεγέθη, αλλά η λειτουργικότητα του συστήματος που πραγματεύεται η παρούσα εργασία κρίνεται θετικά ακόμα και από εργαζόμενους στο Α.Σ.Α.Δ.Α. αφού οι στατιστικές δείχνουν ότι οι εγκληματίες (με εξαίρεση τις σπείρες) κινούνται τοπικά.

Εξασφαλίζοντας ότι τα αποτελέσματα του παρόντος συστήματος είναι ακριβή και τηρώντας τους κανόνες ασφαλείας στη μεταφορά δεδομένων, κρίνεται ότι θα ήταν χρήσιμο στα κατά τόπους τμήματα εγκληματολογικών ερευνών. Αυτό θα βοηθούσε ιδιαίτερα αφού θα εξασφάλιζε πιο στοχευμένη έρευνα και άρα εξοικονόμηση χρόνου. Μάλιστα η πρότασή μας στην υπηρεσία για μια παρουσίαση του συστήματος που εφαρμόζουμε έγινε δεκτή με ενδιαφέρον, τόσο για τον τρόπο λειτουργίας, όσο και για το συνολικό αποτέλεσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΑΚΤΥΛΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ

Ένα δακτυλικό αποτύπωμα είναι το ίχνος από την αναπαράσταση των θηλοειδών γραμμών της τελευταίας φάλαγγας του εσωτερικού ενός δακτύλου. Με μηδενική απόκλιση όσο κανένα άλλο ανθρώπινο χαρακτηριστικό, τα ανθρώπινα αποτυπώματα δεν ταυτίζονται σε δύο πρόσωπα ή ακόμα και σε άλλο δάκτυλο του ίδιου ατόμου. Κληρονομική επίδραση των θηλοειδών γραμμών δεν υπάρχει, ενώ η μόνη ομοιότητα μπορεί να αφορά τον γενικότερο τύπο των αποτυπωμάτων.

Τα αποτυπώματα μορφοποιούνται κατά τον 3^ο με 4^ο μήνα της ανάπτυξης του εμβρύου κι έπειτα τα κουβαλάμε μεγεθυσμένα για όλη μας τη ζωή. Ακόμα και στην περίπτωση καταστροφής της κερατινής στοιβάδας, ή βλάβης στη διάφανη στιβάδα ή το κοκκιώδες στρώμα (επιστημονικές ονομασίες των διαφόρων εξωτερικών στρωμάτων της ανθρώπινης επιδερμίδας) από παθολογικά αίτια ή εξωτερικές επιδράσεις, οι θηλοειδείς γραμμές των ακροδακτύλων παραμένουν αναλλοίωτες. Τα αναγεννητικά κύτταρα σύντομα μπορούν να σχηματίσουν νέες στιβάδες, όμοιες με τις πρόσκαιρα κατεστραμμένες με χαρακτηριστικό τους την πανομοιότυπη αναπαραγωγή. Μόνο σε σοβαρότερες βλάβες με καταστροφή της βλαστικής στιβάδας, εξαλείφονται οι θηλοειδείς γραμμές και σχηματίζεται διαρκής ράγα στο ακροδάκτυλο. Οι διάφορες παθήσεις του δέρματος στο ακροδάκτυλο δεν συνεπάγονται καταστροφή των θηλοειδών γραμμών, πλην της ασθένειας της λέπρας, ενώ η ηθελημένη καταστροφή τους με μικροεγχειρήσεις και προστριβή σε σκληρή και ανώμαλη επιφάνεια, δεν καθίστανται ικανές να επιφέρουν κάποια αλλοίωση.

Η μικρότερη, λοιπόν, επιδερμική επιφάνεια στις παλάμες ή στα πέλματα του ανθρώπου περιέχει αρκετές, πάντα μοναδικές πληροφορίες, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει διαχωρισμός ακόμα και ανάμεσα σε δύο πανομοιότυπα δίδυμα αδέρφια, ενώ είναι διαφορετικά σε κάθε δάκτυλο ακόμα και του ίδιου ατόμου.



Εικόνα 4: Δακτυλικό αποτύπωμα

2.1 Δέσμες η Συστήματα Θηλοειδών Γραμμών

Κάθε αποτύπωμα αποτελείται από ένα σύνολο γραμμών, διατεταγμένων σε διάφορες κατευθύνσεις. Κάθε σύνολο που ακολουθεί μία κατεύθυνση, καλείται Δέσμη ή Σύστημα και αφορά τρία είδη:

α) τις οριζόντιες, **β)** τις καμπύλες και **γ)** τις περιστροφικές Δέσμες.

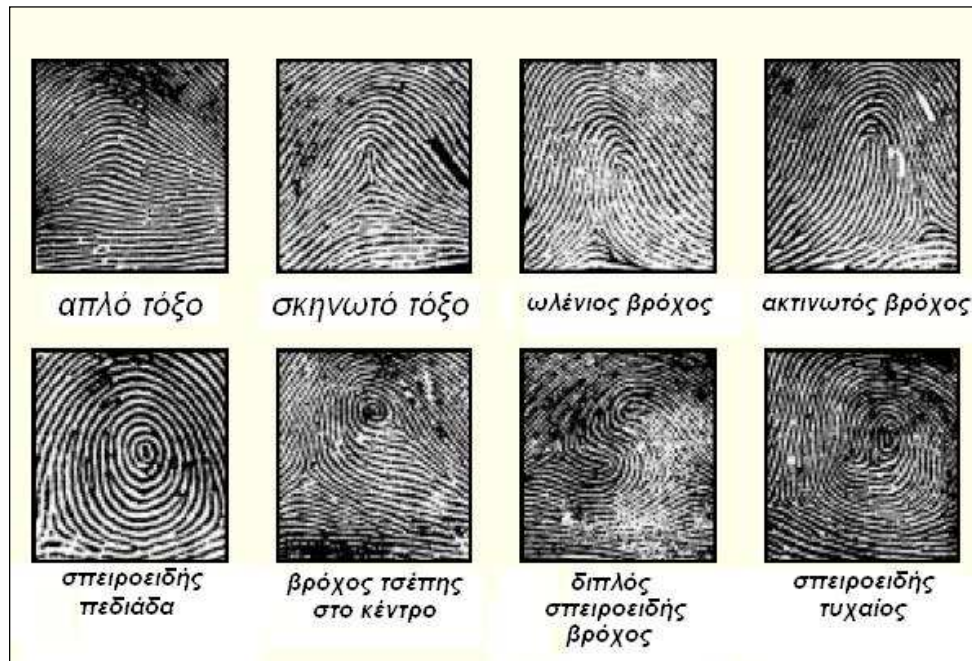


Εικόνα 5: Οριζόντιες, καμπύλες και περιστροφικές Δέσμες

2.2 Κεντρικά σημεία δακτυλικών αποτυπωμάτων

Για την καλύτερη ταξινόμηση των δακτυλικών αποτυπωμάτων μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα η διάκριση και ο ακριβής προσδιορισμός των ιδιαίτερων σημείων (αν αυτά υπάρχουν), τα οποία καλούνται Κεντρικά. Αυτά είναι το Δέλτα και το Κέντρο.

Δέλτα είναι το σημείο στο οποίο συναντώνται (ή τείνουν να συναντηθούν) ή διαχωρίζονται η πρώτη οριζόντια γραμμή με την πρώτη καμπύλη γραμμή, με σημείο εκκίνησης αυτό προ του σημείου συνάντησης με την περιστροφική Δέσμη. Κέντρο είναι το κεντρικότερο σημείο της περιστροφικής Δέσμης.



Εικόνα 6: Κύριοι σχηματισμοί δακτυλικού αποτυπώματος

Ένας σημαντικός διαχωρισμός αποτυπώματος είναι είτε ο “inner” (1) είτε ο “outer” (0) και αφορά μόνο τις περιπτώσεις του ωλένιου και ακτινωτού βρόχου. Για την κατάταξή τους σε μία εκ των δύο κατηγοριών μετρούνται οι θηλοειδείς γραμμές από το «Δέλτα» ως το «Κέντρο» στο δείκτη, το μεσαίο και τον παράμεσο χωρίς όμως να υπολογίζουμε το «Δέλτα» και το «Κέντρο» στο σύνολο. Ο παρακάτω πίνακας εξηγεί αναλυτικά το που ανήκει κάθε δακτυλικό αποτύπωμα, ανάλογα το πλήθος των ενδιάμεσων θηλοειδών γραμμών.

Δείκτης	Μεσαίος	Παράμεσος
1 ως 9 γραμμές = Inner (1)	1 ως 10 γραμμές = Inner (1)	1 ως 13 γραμμές = Inner (1)
10 και άνω = Outer (0)	10 και άνω = Outer (0)	10 και άνω = Outer (0)

Πίνακας 1: Κατανομές Inner και Outer

Αν και αποτελούν εξαίρεση, υπάρχουν αποτυπώματα τα οποία συνδυάζουν χαρακτηριστικά από δύο ή περισσότερες κατηγορίες και έτσι η κατάταξή τους γίνεται ιδιαίτερα δύσκολη. Αυτά τα δακτυλικά αποτυπώματα καλούνται διφορούμενα ή αμφισβητούμενα και κατά την ταξινόμηση τους προτιμάται ο τύπος με την πλειοψηφία των χαρακτηριστικών, με υποσημείωση όμως της δευτερεύουσας κατηγορίας ή κατηγοριών.

2.3 Άλλες ταξινομήσεις

Αριθμητική: ισχύει μόνο για τα αποτυπώματα με σπειροειδή σχηματισμό. Στην περίπτωση αυτή κάθε δάκτυλο έχει μια διαφορετικά βαρύτητα, ανάλογα αν είναι κάποιου σπειροειδούς τύπου ή όχι.

Αρχικά προσθέτουμε τους συντελεστές των δακτύλων 1,3,5,7,9, αν αυτά είναι σπειροειδή, με την προσθήκη 1 επιπλέον μονάδας στο τέλος. Το σύνολο αυτό καλείται Α. Έπειτα προσθέτουμε τους συντελεστές των δακτύλων 2,4,6,8,10, επίσης μόνο των δακτύλων με σπειροειδές αποτύπωμα, προσθέτοντας κι εδώ άλλη 1 μονάδα στο τέλος. Έτσι έχουμε και το σύνολο Β.

Το κλάσμα (B/A) μας δίνει την αριθμητική ταξινόμηση του συγκεκριμένου δεκαδακτυλικού συνόλου. Έτσι το παράδειγμα χωρίς αποτύπωμα σπειροειδούς τύπου έχει αριθμητική ταξινόμηση 1/1, επειδή $A=(0+0+0+0+0)+1=1$ και $B=(0+0+0+0+0)+1=1$. Αντίστοιχα στην περίπτωση που όλα τα δάκτυλα έχουν σπειροειδές αποτύπωμα, η ταξινόμηση φτάνει στο 32/32, αφού $A=(16+8+4+2+1)+1=32$ και $B=(16+8+4+2+1)+1=32$. Σε παράδειγμα που μας αφορά, με μόνο τον αριστερό παράμεσο να παρουσιάζει σπειροειδή σχηματισμό, έχουμε $A=(0+0+0+1+0)+1=2$, $B=(0+0+0+0+0)+1=1$, άρα αριθμητική ταξινόμηση 1/2. Η αριθμητική ταξινόμηση αφορά το πλαίσιο 1/1 μέχρι 32/32, δηλαδή περιλαμβάνει 1024 διαφορετικούς συνδυασμούς.

	1. Δεξιός αντίχειρας	2. Δεξιός δείκτης	3. Δεξιός μεσαίος	4. Δεξιός παράμεσος	5. Δεξιός μικρός
Συντελεστής	Ναι = 16	Ναι = 16	Ναι = 8	Ναι = 8	Ναι = 4
	Όχι = 0	Όχι = 0	Όχι = 0	Όχι = 0	Όχι = 0
	6. Αριστερός αντίχειρας	7. Αριστερός δείκτης	8. Αριστερός μεσαίος	9. Αριστερός παράμεσος	10. Αριστερός μικρός
Συντελεστής	Ναι = 4	Ναι = 2	Ναι = 2	Ναι = 1	Ναι = 1
	Όχι = 0	Όχι = 0	Όχι = 0	Όχι = 0	Όχι = 0

Πίνακας 2: Συντελεστές δακτυλικών αποτυπωμάτων στην αριθμητική ταξινόμηση

Ταξινόμηση δεικτών: όμοια με την παραπάνω περίπτωση, η ταξινόμηση εξαρτάται επίσης από το κλάσμα B/A, όπου όμως σημειώνεται δεξιά του αριθμητή και του παρονομαστή ο τύπος του δακτυλικού αποτυπώματος με το αρχικό γράμμα στα αγγλικά, π.χ. σπειροειδής (w από whorl), κτλ.

Αξίζει εδώ να αναφερθούμε στις ενέργειές μας, σε περίπτωση απώλειας ή φθοράς του δακτυλικού αποτυπώματος. Ο γενικός κανόνας ορίζει να αναγράφουμε αυτόν του αντίστοιχου δακτύλου του άλλου χεριού. Σε περίπτωση απώλειας ή φθοράς και των δύο, αναγράφονται αμφότερα σαν «σπειροειδή».

Στην περίπτωση που έχει καταστραφεί το «Κέντρο» ενός αποτυπώματος, αλλά τα σημεία «Δέλτα» είναι ευκρινή, τότε το αναγράφουμε επίσης σαν «σπειροειδές».

Επίσης, αν το «Κέντρο» είναι εμφανές μαζί με ένα σημείο «Δέλτα», σημειώνεται σαν «σπειροειδές».

Στις περιπτώσεις που υπάρχει βρόχος, αλλά δεν είναι ευδιάκριτο αν είναι ωλένιος ή ακτινωτός, τότε απλά σημειώνουμε ότι πρόκειται περί «βρόχου». Έπειτα με βάση το ευκρινές «Δέλτα» και δευτερευόντως το αντίστοιχο αποτύπωμα στο άλλο χέρι, σημειώνεται είτε σαν ωλένιος, είτε σαν ακτινωτός.

Σε περιπτώσεις εξαδακτυλίας ή περισσότερων δακτύλων, δεν λαμβάνεται υπόψιν το περιττό δάκτυλο, πλην της υποσημείωσης σε ξεχωριστό χώρο. Η διχάλωση δακτύλου ή η συνένωση με ατροφικό δάκτυλο επίσης δεν μας επηρεάζει, αφού λαμβάνεται υπόψιν μόνο το κύριο δάκτυλο σε κάθε περίπτωση.

2.4 Εντοπισμός δακτυλικών αποτυπωμάτων

Ο εντοπισμός μπορεί να γίνει με ένα πλήθος επιστημονικών μεθόδων. Η χρήση πλάγιου φωτός ή φωτός διαφορετικών συχνοτήτων μπορεί να κάνει ορατό ένα αποτύπωμα, το οποίο έπειτα θα εμφανιστεί και θα φωτογραφηθεί. Στο επόμενο στάδιο πρέπει να γίνει σύγκριση με τα δεδομένα της βάσης δεδομένων αποτυπωμάτων, η οποία περιλαμβάνει τα αποτυπώματα όσων έχουν διαπράξει εγκληματικές πράξεις. Με τη χρήση ενός απλού scanner, εφαρμόζεται το ληφθέν αποτύπωμα στην επιφάνεια ανάγνωσης, το οποίο αφού «διαβαστεί», έρχεται σε ηλεκτρονική μορφή στην οθόνη του υπολογιστή, από όπου και ακολουθεί η ταυτοποίηση με συγκεκριμένες τεχνικές. Η ταυτοποίηση μπορεί να γίνει με συγκεκριμένη κωδικοποίηση και αφού ληφθούν υπόψη ορισμένα χαρακτηριστικά των αποτυπωμάτων. Κάθε κρατική αστυνομική υπηρεσία επιλέγει διαφορετική κωδικοποίηση π.χ. στις ΗΠΑ προτιμάται η ταύτιση 8 συγκεκριμένων σημείων του αποτυπώματος, ενώ στην Ελλάδα εφαρμόζεται πιο αυστηρή μέθοδος με 12 κοινά σημεία. Ο μέσος χρόνος ταυτοποίησης ενός αποτυπώματος σε μεγάλη βάση είναι πλέον μικρότερος των 2 λεπτών, ενώ λίγο παλιότερα έφτανε και τους 6 μήνες.

2.5 Τεχνικές αναζήτησης και αποτύπωσης

Με βάση συγκεκριμένες τεχνικές γίνεται η αναζήτηση δακτυλικών αποτυπωμάτων σε χώρους διενέργειας παρανόμων πράξεων. Στα «ύποπτα» σημεία χρησιμοποιείται ειδική σκόνη δύο ειδών, είτε συμβατική είτε μαγνητική, ώστε να εμφανιστούν.

Μαγνητική σκόνη

Με χρήση πινέλου εφαρμόζεται η σκόνη πάνω στην περιοχή που θεωρείται ότι βρίσκονται τα αποτυπώματα, τα οποία εμφανίζονται αργά, αλλά σταθερά. Ρινίσματα σιδήρου, άνθρακας και άλλες ουσίες αποτελούν το περιεχόμενο της σκόνης, η οποία αντιδρά με το «νερό» που αφήνει το δάχτυλο κατά την επαφή, π.χ. ιδρώτας. Με ειδικούς μαγνήτες η σκόνη αυτή απομακρύνεται, αφήνοντας πίσω μόνο την επιφάνεια αντίδρασης με το «νερό» του δακτύλου, δηλαδή το ανάγλυφο του αποτυπώματος. Έπειτα με ειδική ζελατίνη αντιγραφής «ξεσηκώνονται» τα αποτυπώματα και τοποθετούνται σε επιφάνεια συνήθως λευκού

χρώματος, που πιθανότατα είναι μια κάρτα αντιγραφής αποτυπωμάτων διπλής όψεως. Η μία πλευρά περιλαμβάνει τα αποτυπώματα και η άλλη τα στοιχεία λήψης, ιδιοκτησίας και χώρου που ελήφθησαν τα αποτυπώματα.

Συμβατική σκόνη

Η διαδικασία είναι όμοια με αυτή της μαγνητικής σκόνης, πλην της απομάκρυνσής της με χρήση μαγνητών, αλλά με συμβατικές μεθόδους.

Θάλαμοι ύγρυνσης με κόλλα στιγμής

Ένα αντικείμενο με δακτυλικό αποτύπωμα εισάγεται σε ένα ειδικό θάλαμο ύγρυνσης, στον οποίο εξατμίζεται ειδική κόλλα στιγμής. Η κόλλα επικάθεται στο ανάγλυφο του αποτυπώματος το οποίο και εμφανίζεται.

Ανάλογα με τον τρόπο αποτύπωσης, τα δακτυλικά αποτυπώματα διακρίνονται σε θετικά και αρνητικά. Θετικά καλούνται αυτά που σχηματίζονται από την αποτύπωση ενός δακτύλου χρωσμένου με μελάνη σε φύλλο χαρτιού, ενώ αρνητικά αυτά που λαμβάνονται από πλαστικά, σκονισμένα αντικείμενα, βούτυρο, σαπούνι, στόκο, κτλ με απεικόνιση των γραμμών και των αυλακώσεων τους να είναι η αντίθετη της πραγματικής.

Μια διαφορετική ομαδοποίηση αφορά την ορατότητα τους. Στην περίπτωση που γίνονται αντιληπτά με γυμνό οφθαλμό καλούνται εμφανή ή ορατά, ενώ σε περίπτωση που πρέπει να εναποθέσουμε ειδική σκόνη ή άλλες χημικές ουσίες ώστε να εμφανιστούν, καλούνται αφανή ή λανθάνοντα. Τα αφανή είναι τα κρίσιμα για την εξακρίβωση της ταυτότητας του δράστη στις περισσότερες των περιπτώσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΕΤΡΙΑΣ

Η χρήση της βιομετρίας (biometrics) αφορά μια μεθοδολογία μέτρησης και ανάλυσης μοναδικών φυσικών χαρακτηριστικών ή χαρακτηριστικών συμπεριφοράς και στοχεύει στην αναγνώριση - ταυτοποίηση (identification) και επικύρωση (verification) της ταυτότητας. Ένα σύστημα βιομετρίας είναι ουσιαστικά ένα πρότυπο σύστημα ταυτοποίησης αναγνώρισης ατόμων προσδιορίζοντας την αυθεντικότητα ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού που έχει ένα άτομο. Παραδείγματα τέτοιων χαρακτηριστικών είναι τα δακτυλικά αποτυπώματα, το αποτύπωμα παλάμης, τα χαρακτηριστικά και η γεωμετρία προσώπου, η γεωμετρία χεριού/δακτύλου, η γεωμετρία του αυτιού, η ίριδα του ματιού, ο αμφιβληστροειδής χιτώνας, η υπογραφή, το βάδισμα, η φωνή, οι φλέβες της παλάμης, η μυρωδιά καθώς και πληροφορίες DNA. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά αναφέρονται συνολικά ως γνωρίσματα, δείκτες, αναγνωριστές ή φόρμες. Καθώς τα συστήματα βιομετρίας έχουν τους δικούς τους περιορισμούς, τα παραπάνω βιομετρικά χαρακτηριστικά έχουν ένα βασικό πλεονέκτημα ως προς τις διάφορες παραδοσιακές ταυτοποιητικές μεθόδους: δύσκολα υποκλέπτονται ή διαμοιράζονται. Εκτός της ασφάλειας που παρέχουν τα συστήματα βιομετρίας αυξάνουν παράλληλα την ευχρηστία, αφού δεν απαιτούν δημιουργία ή απομνημόνευση πολύπλοκων κωδικών πρόσβασης.

3.1 Είδη συστημάτων βιομετρίας

Υπάρχουν δύο είδη συστημάτων βιομετρίας. Τα συμπεριφορικά και τα φυσικών χαρακτηριστικών. Το πρώτο είδος χρησιμοποιείται για εξακρίβωση (πιστοποίηση), ενώ το δεύτερο είδος τόσο για αναγνώριση (ταυτοποίηση) όσο και για εξακρίβωση.

Βιομετρικές τεχνολογίες ορίζονται οι αυτοματοποιημένες τεχνικές εντοπισμού ή επιβεβαίωσης αυθεντικότητας της ταυτότητας ενός ατόμου, βασιζόμενες σε ένα ή περισσότερα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά φυσιολογίας ή συμπεριφοράς. Κρίσιμο σημείο για τη δημιουργία ενός πρακτικού συστήματος βιομετρίας αποτελεί ο καθορισμός του τρόπου αναγνώρισης ενός ατόμου. Το περιβάλλον εφαρμογής διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο σε αυτό, αφού ένα σύστημα βιομετρίας είτε ανήκει στα συστήματα επικύρωσης, είτε στα συστήματα προσδιορισμού.

3.2 Ταυτοποίηση (Identification – ταύτιση 1:N)

Στόχος είναι η αναγνώριση της ταυτότητας του ατόμου. Μόλις γίνει η μέτρηση του βιομετρικού χαρακτηριστικού (π.χ. δακτυλικού αποτυπώματος), τότε ξεκινάει η σύγκριση μεταξύ αυτής της μέτρησης και όλων των άλλων μετρήσεων, των ήδη αποθηκευμένων στη βάση δεδομένων. Διεξάγει δηλαδή μία προς πολλές συγκρίσεις για να βρει την ταυτότητα του ατόμου. Αν κάποια από αυτές τις συγκρίσεις είναι θετική, τότε η αναγνώριση είναι επιτυχής. Σε ένα σύστημα προσδιορισμού το σύστημα επαληθεύει την ταυτότητα ενός πολίτη (ή αποτυγχάνει εάν ο πολίτης δεν είναι καταγεγραμμένος στη βάση δεδομένων του συστήματος) χωρίς να χρειάζεται ο πολίτης να ισχυριστεί μία ταυτότητα (*Ποιός είμαι;*). Αυτή η μέθοδος απαιτεί χρόνο και μεγάλη υπολογιστική ισχύ, ειδικά αν η βάση δεδομένων είναι πολύ μεγάλη.

3.3 Πιστοποίηση (Verification – ταύτιση 1:1)

Στόχος είναι η εξακρίβωση-πιστοποίηση της ταυτότητας που ισχυρίζεται ο χρήστης. Μόλις γίνει η μέτρηση του χαρακτηριστικού, γίνεται σύγκριση μεταξύ αυτής και της προηγούμενης καταγεγραμμένης στο σύστημα του ίδιου χρήστη, για να επιβεβαιωθεί ότι είναι το ίδιο πρόσωπο. Αν η σύγκριση είναι επιτυχής, το σύστημα πιστοποιεί ότι πρόκειται για έναν εξουσιοδοτημένο χρήστη. Πραγματοποιείται ένα-προς-ένα σύγκριση για να διαπιστωθεί αν η ισχυριζόμενη ταυτότητα είναι αληθινή. Ένα σύστημα επικύρωσης αρνείται ή δέχεται τον υποβληθέντα ισχυρισμό ταυτότητας (*Είμαι αυτός που ισχυρίζομαι ότι είμαι;*). Ο τρόπος αυτός απαιτεί λιγότερη υπολογιστική ισχύ και χρόνο, χρησιμοποιείται για έλεγχο πρόσβασης και είναι ασφαλέστερος, ενώ δεν κρίνεται απαραίτητο να αποκαλυφθεί η πραγματική ταυτότητα.

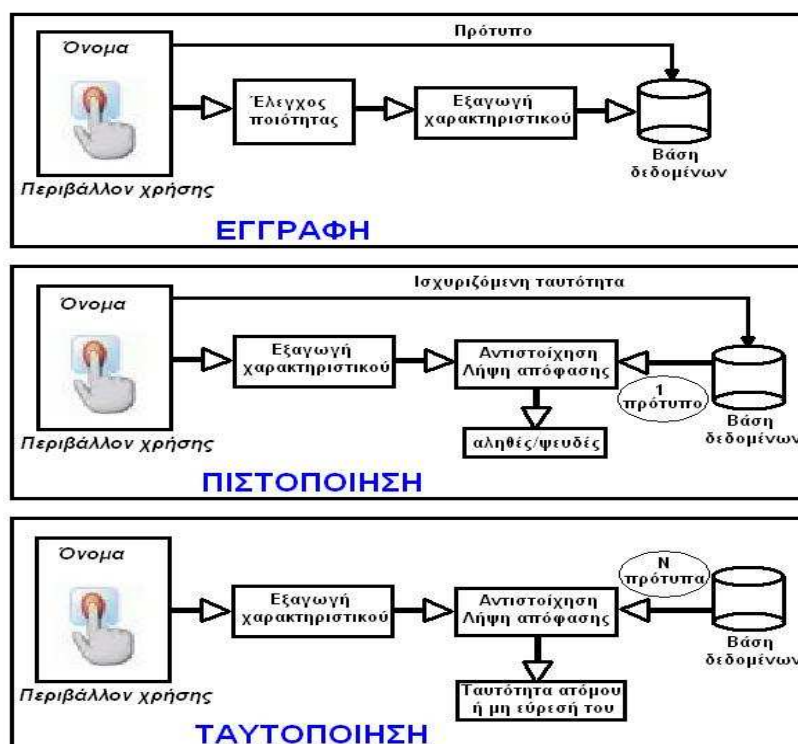
Ο όρος αυθεντικότητα χρησιμοποιείται συχνά στο βιομετρικό πεδίο, μερικές φορές ως συνώνυμο της επικύρωσης. Στην πραγματικότητα, στη γλώσσα της τεχνολογίας πληροφοριών, πιστοποίηση ενός χρήστη σημαίνει να επιτρέψει στο σύστημα να γνωρίζει την ταυτότητα του χρήστη ανεξάρτητα από τη μέθοδο (επικύρωση ή προσδιορισμός).

3.4 Θετική και αρνητική αναγνώριση

Ένα σύστημα μπορεί να λειτουργεί είτε με θετικό είτε με αρνητικό τρόπο αναγνώρισης:

- μία εφαρμογή με θετικό τρόπο αναγνώρισης καθορίζει αν το άτομο είναι αυτό που (αναμφιβόλα ή ρητά) ισχυρίζεται ότι είναι. Σκοπός είναι η παρεμπόδιση πολλών ανθρώπων από τη χρήση μιας κοινής ταυτότητας.
- μία εφαρμογή με αρνητικό τρόπο αναγνώρισης καθορίζει αν το άτομο είναι αυτό που (αναμφιβόλα ή ρητά) αρνείται ότι είναι. Σκοπός είναι η παρεμπόδιση ενός μοναδικού ατόμου από τη χρήση πολλαπλών ταυτοτήτων.

Παρά το ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι πιστοποίησης χρήστη όπως οι κωδικό πρόσβασης, κλειδιά/σύμβολα μπορούν να δουλεύουν για θετική αναγνώριση, η αρνητική αναγνώριση μπορεί να επαληθευτεί μόνο με χρήση συστημάτων βιομετρίας. Επίσης, εφαρμογές θετικής αναγνώρισης μπορούν να λειτουργήσουν με τρόπο επικύρωσης και προσδιορισμού, αλλά εφαρμογές αρνητικής αναγνώρισης δεν μπορούν να δουλέψουν με τρόπο επικύρωσης. Μάλιστα το σύστημα πρέπει να ψάξει ολόκληρο το αρχείο για να αποδείξει ότι τα δοσμένα δεδομένα εισόδου δεν είναι ήδη παρόντα.



Εικόνα 7: Εγγραφή, Πιστοποίηση, Ταυτοποίηση σε ένα σύστημα βιομετρίας

3.5 Ταξινόμηση εφαρμογών

Ένα σύστημα βιομετρίας μπορεί να ταξινομηθεί σύμφωνα με έναν αριθμό άλλων χαρακτηριστικών εξαρτώμενων από την εφαρμογή. Ο Wayman προτείνει οι βιομετρικές εφαρμογές να ταξινομούνται σε κατηγορίες με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά:

3.5.1 Αναγνωρισμένο / μη αναγνωρισμένο περιβάλλον λειτουργίας

Τα αναγνωρισμένα περιβάλλοντα ως προς τα μη-αναγνωρισμένα αφορούν στο αν το σύστημα λειτουργεί σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον (με χαρακτηριστικά όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία, οι συνθήκες φωτισμού, κλπ.). Τυπικά εσωτερικά συστήματα, π.χ. η πρόσβαση σε δίκτυο υπολογιστών, λειτουργούν σε ελεγχόμενο περιβάλλον, ενώ εξωτερικά συστήματα π.χ. η είσοδος σε αυτοκίνητο χωρίς κλειδί, λειτουργούν σε ένα μη-αναγνωρισμένο περιβάλλον. Αυτός ο διαχωρισμός είναι σημαντικός στο σχεδιασμό, αφού απαιτείται ένας πιο αξιόπιστος αισθητήρας για ένα μη-αναγνωρισμένο περιβάλλον.

3.5.2 Ανοικτό / κλειστό σύστημα

Τα κλειστά συστήματα σε σχέση με τα ανοιχτά αφορούν στο αν το βιομετρικό αποτύπωμα κάποιου χρησιμοποιείται για μία ή πολλές εφαρμογές. π.χ. ένας χρήστης ενδέχεται να χρησιμοποιεί ένα σύστημα αναγνώρισης με βάση τα δακτυλικά αποτυπώματα για είσοδο σε εγκαταστάσεις ασφαλείας, σε δίκτυο υπολογιστών, στην εφαρμογές e-banking και ATM. Αυτές οι εφαρμογές είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούν ξεχωριστές βάσεις δεδομένων για κάθε εφαρμογή ή εναλλακτικά να έχουν πρόσβαση στην ίδια βάση δεδομένων. Ένα κλειστό σύστημα μπορεί να βασίζεται σε μία ιδιόκτητη βάση δεδομένων ενώ ένα ανοικτό σύστημα θα χρειαστεί συγκεκριμένες διατάξεις δεδομένων και μεθόδους συμπίεσης για ανταλλαγή και σύγκριση πληροφοριών ανάμεσα σε διαφορετικά συστήματα.

3.5.3 Δημόσιο / Ιδιωτικό σύστημα

Η δημόσια ή ιδιωτική χρήση αφορά στο αν οι χρήστες του συστήματος είναι πελάτες ή εργαζόμενοι της εταιρίας ανάπτυξης του συστήματος βιομετρίας. π.χ. ένα σύστημα πρόσβασης σε δίκτυο υπολογιστών χρησιμοποιείται από τους εργαζόμενους, ενώ πιθανότατα ελέγχεται από το IT τμήμα της εταιρείας, άρα είναι ένα ιδιωτικό σύστημα, ή όχι. Η χρήση βιομετρικών στοιχείων σε ηλεκτρονικά δελτία ταυτότητας είναι ένα παράδειγμα δημόσιας εφαρμογής.

3.5.4 Εξοικειωμένη / μη-εξοικειωμένη χρήση

Η εξοικειωμένη ως προς τη μη-εξοικειωμένη χρήση ενός συστήματος βιομετρίας αναφέρεται στη συχνότητα υποβολής των διαφόρων καταγεγραμμένων ατόμων σε βιομετρική αναγνώριση. π.χ. ένα σύστημα δικτύου υπολογιστών τυπικά έχει εξοικειωμένους χρήστες (μετά από μια αρχική περίοδο «εξοικείωσης») εξαιτίας της τακτικής χρήσης του συστήματος. Ωστόσο π.χ. ένα σύστημα διπλώματος οδήγησης τυπικά έχει μη-εξοικειωμένους χρήστες, αφού η ανανέωσή του πραγματοποιείται περιοδικά, με σημαντικό χρονικό διάστημα να μεσολαβεί. Ένας τέτοιος διαχωρισμός πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στο σχεδιασμό, αφού η εξοικείωση στη χρήση του, αποτελεί μείζων παράγοντα λειτουργίας και αναγνώρισης.

3.5.5 Παρακολουθούμενη / μη-παρακολουθούμενη ταξινόμηση

Η παρακολουθούμενη ως προς τη μη-παρακολουθούμενη ταξινόμηση αφορά στο αν η διαδικασία απόκτησης των βιομετρικών χαρακτηριστικών σε ένα σύστημα πραγματοποιείται, ελέγχεται ή παρακολουθείται από τον χειριστή. Επίσης, ένα σύστημα είναι πιθανό να διαθέτει μία παρακολουθούμενη καταγραφή αλλά μη-παρακολουθούμενη αναγνώριση. π.χ. μία τραπεζική εφαρμογή μπορεί να διαθέτει μία επιβλεπόμενη καταγραφή όταν μία κάρτα αναλήψεων εκδίδεται σε έναν χρήστη, αλλά οι διαδοχικές χρήσεις του βιομετρικού συστήματος για συναλλαγές με χρεωστική/πιστωτική κάρτα είναι μη-παρακολουθούμενες. Τα μη-συνεργατικά συστήματα χρειάζονται παρακολουθούμενο χειρισμό.

3.5.6 Συνεργατική / μη-συνεργατική προσέγγιση

Η συνεργατική αντί της μη-συνεργατικής ταξινόμησης αναφέρεται στη συμπεριφορά ενός ατόμου στην προσπάθεια του να παραπλανήσει το σύστημα κατά την αλληλεπίδραση με αυτό π.χ. σε ένα σύστημα θετικής αναγνώρισης, αυτό που ενδιαφέρει τον «κατεργάρη» είναι η συνεργασία με το σύστημα ώστε να εγκριθεί από αυτό. Από την άλλη, σε ένα σύστημα αρνητικής αναγνώρισης, τον «κατεργάρη» απασχολεί η μη συνεργασία με το σύστημα έτσι ώστε να αποφευχθεί η αναγνώρισή του π.χ. το e-banking αποτελεί μια κλασσική περίπτωση συνεργάσιμης εφαρμογής ενώ ένα σύστημα αναγνώρισης τρομοκρατών είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μη-συνεργάσιμης εφαρμογής.

3.5.7 Φανερό / κρυφό σύστημα

Όταν το άτομο γνωρίζει ότι υπόκειται σε βιομετρική αναγνώριση, το σύστημα κατατάσσεται στα φανερά. Όταν όμως το άτομο δεν το γνωρίζει, το σύστημα κατατάσσεται στα κρυφά. Η αναγνώριση ενός προσώπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα κρυφό σύστημα, ενώ αντίθετα η αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων, όπως στην περίπτωση μας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί τοιούτοτρόπως (εκτός από την αναγνώριση ενός ενόχου βασισμένη σε λανθάνοντα δακτυλικά αποτυπώματα). Πολλά εμπορικά συστήματα βιομετρίας είναι φανερά, ενώ κρατικά και συστήματα επιτήρησης είναι συνήθως κρυφά. Επιπλέον, αρκετά συστήματα επικύρωσης είναι φανερά ενώ συστήματα προσδιορισμού γενικά ανήκουν στα κρυφά.

Τα δημοφιλέστερα εμπορικά συστήματα έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: αναγνωρισμένο περιβάλλον, κλειστά, ιδιωτικά, εξοικειωμένα, παρακολουθούμενης καταγραφής και μη-παρακολουθούμενης αναγνώρισης, συνεργατικά και φανερά.

3.6 Αρχιτεκτονική και χρήση συστημάτων βιομετρίας

Κάθε σύστημα βιομετρίας αποτελείται από τέσσερις βασικές υπομονάδες:

3.6.1 Αισθητήρας

Ένας βιομετρικός αναγνώστης ή μια απλή συσκευή σάρωσης απαιτείται για την απόκτηση των ακατέργαστων βιομετρικών χαρακτηριστικών κάποιου. Στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει, για την απόκτηση εικόνων δακτυλικών αποτυπωμάτων απαιτείται ένας οπτικός αισθητήρας δακτυλικών αποτυπωμάτων για να απεικονίσει το ανάγλυφο της επιφάνειας επαφής του δακτυλικού αποτυπώματος. Ο αισθητήρας προσδιορίζει την αλληλεπίδραση ανθρωπίνου χαρακτηριστικού και του μηχανήματος, γι' αυτό και είναι κρίσιμος στην απόδοση του βιομετρικού συστήματος. Μία κακώς σχεδιασμένη διασύνδεση μπορεί να επιφέρει αποτυχία αποτελέσματος και άρα χαμηλή αποδοχή του χρήστη. Από τη στιγμή που οι περισσότερες βιομετρικές φόρμες αποκτώνται ως εικόνες, η ποιότητα των ακατέργαστων χαρακτηριστικών επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας της φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποιείται.

3.6.2 Μονάδα αποτίμησης ποιότητας και εξαγωγής χαρακτηριστικών

Η ποιότητα των βιομετρικών χαρακτηριστικών που λαμβάνει ο αισθητήρας αρχικά αποτιμάται για να διαπιστωθεί ο βαθμός καταλληλότητάς της εν όψει της μετέπειτα επεξεργασίας. Τα ληφθέντα χαρακτηριστικά συνήθως υπόκεινται σε έναν αλγόριθμο ενίσχυσης για βελτίωση της ποιότητάς τους. Βέβαια μπορεί η ποιότητα των ληφθέντων δεδομένων να είναι τόσο κακή, που να απαιτείται η επανεισαγωγή τους από το χρήστη. Τα βιομετρικά χαρακτηριστικά έπειτα επεξεργάζονται και μία ομάδα κυρίαρχων χαρακτηριστικών εξάγεται για να αντιπροσωπεύσει το βασικό γνώρισμα. Στην περίπτωσή μας, η θέση και η προσαρμογή κάποιων συγκεκριμένων λεπτομερειακών σημείων σε μία εικόνα δακτυλικού αποτυπώματος εξάγονται από την υπομονάδα εξαγωγής χαρακτηριστικών σε ένα σύστημα βιομετρίας που βασίζεται σε δακτυλικά αποτυπώματα. Κατά την καταγραφή αυτή η ομάδα των κυρίαρχων χαρακτηριστικών αποθηκεύεται σε μία βάση δεδομένων.

3.6.3 Μονάδα αντιστοίχισης και λήψης απόφασης

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά συγκρίνονται με τα ήδη αποθηκευμένα δεδομένα στη βάση δεδομένων για να παράγουν μονάδες αντιστοίχισης. Σε ένα σύστημα βιομετρίας για δακτυλικά αποτυπώματα, ο αριθμός των αντιστοιχιζόμενων λεπτομερειακών σημείων ανάμεσα στα δεδομένα εισόδου και αυτά που είναι αποθηκευμένα στις βάσεις δεδομένων, προσδιορίζεται και δημιουργείται μια μονάδα αντιστοίχισης. Η κάθε μονάδα μπορεί να υποβαθμίζεται από την ποιότητα των παρουσιαζομένων βιομετρικών στοιχείων. Η υπομονάδα αντιστοίχισης διαθέτει επίσης μία υπομονάδα λήψης απόφασης, στην οποία οι λογαριασμοί αντιστοίχισης χρησιμοποιούνται είτε για να επικυρώσουν μία ισχυριζόμενη ταυτότητα είτε για να παρέχουν μία πρόταση εκτίμησης ταυτότητας με βάση τις ήδη καταγεγραμμένες ταυτότητες.

3.6.4 Μονάδα βάσης δεδομένων συστήματος

Η βάση δεδομένων λειτουργεί σαν μια αποθήκη βιομετρικών πληροφοριών. Στη φάση της καταγραφής, η ομάδα των χαρακτηριστικών που εξάγεται από το ακατέργαστο βιομετρικό δείγμα αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων μαζί με ορισμένες ατομικές πληροφορίες (π.χ όνομα, διεύθυνση) του χρήστη. Η σύλληψη των δεδομένων κατά τη φάση καταγραφής ενδέχεται να έχει ανθρώπινη επίβλεψη, κάτι που εξαρτάται από το σύστημα. π.χ. ένας χρήστης που θέλει να δημιουργήσει ένα νέο λογαριασμό σε ένα τερματικό εργασίας με βιομετρική εξουσιοδότηση μπορεί να προβεί στην καταγραφή των βιομετρικών του χαρακτηριστικών χωρίς επίβλεψη. Στην περίπτωση όμως που ένας χρήστης επιθυμεί τη χρήση ενός βιομετρικά εξουσιοδοτημένου ATM, οφείλει να καταχωρήσει τα βιομετρικά του χαρακτηριστικά παρουσία του υπευθύνου λειτουργίας ATM και μετά από έγκριση που θα λάβει.

Η φόρμα κάποιου είναι δυνατό να ληφθεί από ένα απλό βιομετρικό δείγμα ή να δημιουργηθεί από την επεξεργασία πολλαπλών δειγμάτων. π.χ. η φόρμα ενός δακτύλου μπορεί να αποθηκευθεί αφού ληφθούν και επεξεργαστούν πολλαπλά δείγματα από το ίδιο δάκτυλο. Ορισμένα συστήματα αποθηκεύουν πολλαπλές φόρμες για να υπερκεράσουν τα εμπόδια που ενδέχεται να προκαλέσουν οι αποκλίσεις ενός και μόνο ατομικού δείγματος.

3.7 Βιομετρική αναγνώριση

Δύο είναι τα βήματα για τη διενέργεια βιομετρικής αναγνώρισης:

- Εγγραφή: με βάση ένα βιομετρικό πρότυπο που χαρακτηρίζει ένα συγκεκριμένο άτομο
- Χρήση: αποδοχή ή απόρριψη εισόδου σε ένα άτομο ανάλογα με το αποτέλεσμα ταυτοποίησης

3.8 Το σύστημα αναγνώρισης

Πρόκειται για ένα σύστημα επαλήθευσης, το οποίο με βάση μια επίπεδη φωτογραφία του δακτύλου από ειδική κάμερα ή σαρωτή εικόνας, πραγματοποιεί έλεγχο σημείο προς σημείο. Το πιο σύγχρονο σύστημα σάρωσης δακτύλου μπορεί να κάνει την επαλήθευση ακόμη και στην περίπτωση που ο χρήστης φορά γάντια ή έχει λερωμένα χέρια.

Πιστοποίηση	Αναγνώριση	Ακρίβεια	Ευχρηστία	Κόστος	Υλικά	Κανονισμοί
Ναι	Ναι	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλό	Ειδικά Φτηνά	Ναι

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά ενός τυπικού συστήματος αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων

Σήμερα, οι περισσότεροι σαρωτές δακτυλικών αποτυπωμάτων δεν κοστίζουν περισσότερο από 50 ευρώ σε μαζικές παραγγελίες, ενώ και το κόστος ενσωμάτωσης βιομετρικής τεχνολογίας αναγνώρισης δακτυλικού αποτυπώματος σε ένα απλό σύστημα (π.χ. PDA), έχει γίνει προσιτό οικονομικά. Η ακρίβεια των διαθέσιμων συστημάτων είναι επαρκής για συστήματα πιστοποίησης σε αρκετές εφαρμογές. Πολλά δακτυλικά αποτυπώματα ενός μόνο ανθρώπου, μπορούν να προσφέρουν επιπλέον πληροφορία που επιτρέπει αναγνώριση ακόμα και σε βάση δεδομένων εκατομμυρίων καταχωρήσεων.



Εικόνα 8: Συσκευές καταγραφής δακτυλικών αποτυπωμάτων

3.9 Δημιουργία και αποθήκευση προτύπου

Για να γίνει η βιομετρική αναγνώριση ενός ανθρώπου ξεκινάμε με τη λήψη του βιομετρικού δείγματος. Αρχικά ο σαρωτής εικόνας καταγράφει τα εκάστοτε μοναδικά φυσικά χαρακτηριστικά που έχουν επιλεγεί, π.χ. το δακτυλικό αποτύπωμα και τα μετατρέπει σε ψηφιακό αρχείο κωδικοποιημένα.

Συλλέγεται δηλαδή από τον άνθρωπο ένας συγκεκριμένος αριθμός δειγμάτων (συνήθως από 1 έως 3), των οποίων ο συνδυασμός αλληλοσυμπληρώνει τα όποια κενά, με αποτέλεσμα την πληρότητα του συνολικού δείγματος. Δημιουργείται έτσι το ζητούμενο πρότυπο που αφορά έναν συγκεκριμένο άνθρωπο, με βάση το οποίο θα ελέγχεται κάθε φορά η έγκρισή του από το σύστημα. Η ποιότητα του προτύπου καθορίζει το βαθμός αξιοπιστίας του συστήματος βιομετρίας.

Εν συνεχεία, το πρότυπο αποθηκεύεται είτε σε μια συσκευή αναγνώρισης, είτε σε ένα φορητό μέσο, είτε συνηθέστερα σε μια βάση δεδομένων.

3.9.1 Χρήση συστήματος

Στο επόμενο στάδιο, τον εκάστοτε χρήστη αφορά η διαδικασία αίτησης εισόδου στο σύστημα, η κύρια δηλαδή λειτουργία του συστήματος. Ο έλεγχος ταυτότητας απαιτεί τη λήψη ενός δείγματος, το οποίο και θα συγκριθεί με το ήδη αποθηκευμένο πρότυπο για τον συγκεκριμένο χρήστη. Το σύστημα προβαίνει σε αποδοχή ή απόρριψη της αίτησης εισόδου. Αν το δείγμα ταιριάζει με ελάχιστες αποκλίσεις, η είσοδος ενδέχεται να επιτρέπεται, αναλόγως φυσικά των ορισθέντων κριτηρίων ακρίβειας κατά περίπτωση.

3.9.2 Εφαρμογές

Οι βιομετρικοί μηχανισμοί αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτόματα τραπεζικά μηχανήματα, προσωπικούς υπολογιστές, τερματικά, κινητά τηλέφωνα, ασύρματες συσκευές, βάσεις δεδομένων, δίκτυα υπολογιστών, εφαρμογές e-banking, διαμοιραζόμενους πόρους δικτύων υπολογιστών, πρόσβαση σε εγκαταστάσεις ασφαλείας, έλεγχο εισόδου σε μεταφορικά μέσα, κτήρια, υπεραγορές, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα, εγκαταστάσεις, οργανισμούς και δημόσιους χώρους. Φυσικά πρωταρχική χρήση τους παραμένει η εφαρμογή στα αρχεία των αστυνομικών υπηρεσιών παγκοσμίως.

Σε ορισμένες χώρες (π.χ. Η.Π.Α, Αγγλία, Βέλγιο, Σουηδία) εφαρμόζονται και στα σχολεία, είτε αντί απουσιολογίου, είτε για καταβολή διδάκτρων, είτε για σκοπούς της βιβλιοθήκης. Επίσης υπάρχουν παραδείγματα παγκοσμίως για εφαρμογή σε δημοσίας φύσεως διαδικασίες π.χ. δίπλωμα οδήγησης, έλεγχος ψηφοφόρου, διάσχιση συνόρων, έγκριση εισόδου σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις, αστυνομικές υπηρεσίες (π.χ. δελτίο ταυτότητας), εμπορικούς οργανισμούς, δικανικές υπηρεσίες (π.χ. αναγνώριση πτώματος), εγκληματική έρευνα και ελέγχου πατρότητας.

Στην καθημερινότητα, χαρακτηριστική είναι η χρήση τους στα πρατήρια της Shell στο Σικάγο όπου οι οδηγοί μπορούν να πληρώνουν μέσω των δακτυλικών τους αποτυπωμάτων, ακουμπώντας το δάχτυλό τους πάνω στην οθόνη. Στην Ισπανία εφαρμόζεται εθνικό σύστημα δακτυλοσκόπησης για υπηρεσίες προς ανέργους και στο σύστημα υγείας. Στη Ρωσία θα εφαρμόζεται παρόμοιο σύστημα από τις τράπεζες. Στη Τζαμάικα υπάρχει η υποχρέωση των ψηφοφόρων να τοποθετούν τον αντίχειρά τους σε ειδικές οθόνες όταν ασκούν το εκλογικό τους δικαίωμα. Οι υπεραγορές Kroger στις ΗΠΑ παρέχουν στους πελάτες τους δυνατότητα πληρωμής με αναγνώριση σε σαρωτές αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων, αφού προηγηθεί η καταχώρησή τους στο σύστημα με πιστοποιητικό επιβεβαίωσης το δίπλωμα οδήγησής τους.

Στη χώρα μας η πιο πρόσφατη εφαρμογή της χρήσης των δακτυλικών αποτυπωμάτων αφορά τη νέα βιομετρική κάρτα παραμονής μεταναστών, σύμφωνα με νομοσχέδιο που κατατέθηκε τον Αύγουστο του 2011 στη Βουλή από το υπουργείο Εσωτερικών και θα περιέχει τα αποτυπώματα των δεικτών των δύο χεριών του αλλοδαπού, που θα είναι αποθηκευμένα σε κύκλωμα ραδιοσυχνότητας.

3.10 Πλεονεκτήματα βιομετρικών συστημάτων

Η βιομετρία έγινε ευρύτερα γνωστή σαν ορολογία, έπειτα και από την εισαγωγή και χρήση της στα διαβατήρια αρκετών κρατών. Βέβαια, τα βιομετρικά χαρακτηριστικά έχουν χρησιμοποιηθεί ευρεία εδώ και καιρό σε διάφορα συστήματα ελέγχου πρόσβασης, εκμεταλλεόμενα σημαντικά πλεονεκτήματα σε επίπεδο ασφάλειας, αλλά εγείροντας και συζητήσεις προβληματισμού.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των συστημάτων βιομετρίας είναι η ακρίβεια, η ταχύτητα και η αξιοπιστία. Επιπλέον διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό και τον ίδιο το χρήστη αφού δεν απαιτούν χρήση κλειδιού, κάρτας ή άλλης συσκευής εύκολα απολεσθείσας ή κλαπέισας, ούτε την απομνημόνευση ενός συνθηματικού. Η ορθή αναγνώριση βασίζεται αποκλειστικά σε μοναδικά ατομικά χαρακτηριστικά. Η πιθανότητα για δύο άτομα να έχουν ίδια βιομετρικά χαρακτηριστικά τείνει στο μηδέν. Τα βιομετρικά χαρακτηριστικά δεν υπόκεινται σε αντιγραφή, ή πλαστογραφία και ειδικά σήμερα με τα πλέον εξελιγμένα τεχνολογικά μέσα αποτροπής τέτοιων φαινομένων. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι μόνιμα και δεν απαιτούν ανανέωση.

Η βιομετρία έχει τη δυνατότητα να προσφέρει κι άλλα πλεονεκτήματα όπως αρνητική αναγνώριση και μη-αποκήρυξη τα οποία δεν παρέχονται από τη χρήση συμβόλων ή κωδικών πρόσβασης. Η αρνητική αναγνώριση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα σύστημα κρίνει αν ένας άνθρωπος είναι καταγεγραμμένος στο σύστημα παρά την άρνηση του ιδίου. Αυτό είναι σημαντικό ειδικά σε συστήματα όπου ένας «κατεργάρης» μπορεί να θέλει να διεκδικήσει πολλαπλά οφέλη με χρήση διαφορετικών ονομάτων. Η μη-αποκήρυξη είναι μια μέθοδος διασφάλισης του ότι ένας άνθρωπος που έχει πρόσβαση κάπου, δεν μπορεί αργότερα να αρνηθεί τη χρήση της (π.χ. κάποιος που χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο αρχείο σε έναν υπολογιστή και αργότερα διατείνεται ότι ένας «κατεργάρης» θα μπορούσε να προβεί σε μία κακόβουλη ενέργεια με πλαστά διαπιστευτήρια, με χρήση κλεμμένου κωδικού, κτλ).

3.11 Μειονεκτήματα βιομετρικών συστημάτων

Τα συστήματα βιομετρίας παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα π.χ. κόστος, χρόνος απόκρισης, μεγάλες βάσεις δεδομένων, υψηλές απαιτήσεις συντήρησης, χρονοβόρα καταχώρηση, η κοινωνική αντίληψη ότι η λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων στιγματίζει ακόμα και κάποιον αθώο ή ότι η ακτινοβολία βλάπτει την υγεία.

Με εξαίρεση την ταυτοποίηση DNA, κάθε βιομετρική τεχνολογία, λόγω κάποιων χαρακτηριστικών ορισμένων ανθρώπων, τους αποκλείει από την εφαρμογή της. π.χ. πολλοί τυφλοί δεν έχουν τη δυνατότητα ελέγχου σε σαρωτή ίριδας.

Στην περίπτωση μας, ενδέχεται να γίνει αλλοίωση δακτυλικού αποτυπώματος από τραύματα, εγκαύματα, γενετικούς παράγοντες, γήρας ή άλλους περιβαλλοντικούς και επαγγελματικούς λόγους, δυσχεραίνοντας ιδιαίτερα τις περιπτώσεις ταυτοποίησης ήδη καταχωρημένων ατόμων. Ο αριθμός των ατόμων μπορεί να είναι μικρός, αλλά δυστυχώς προβληματίζει αφού αυτά δύσκολα μπορούν να αναγνωριστούν από το σύστημα. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση ατόμων με αδερματογλυφία, μια ιατρική κατάσταση στην οποία το άτομο δεν διαθέτει δακτυλικό ανάγλυφο στα ακροδάχτυλα και η οποία έχει διαπιστωθεί σε μόλις 4 ευρείες ομάδες ανθρώπων ανά τον κόσμο.

Εξαιτίας παρόμοιων περιορισμών τα συστήματα βιομετρίας που απευθύνονται σε μεγάλους πληθυσμούς οφείλουν να τοποθετούνται και με άλλους εφεδρικούς τρόπους αναγνώρισης.

Όπως συμβαίνει και με άλλα συστήματα, μείζον θέμα παραμένει η πρακτικότητα. π.χ. συστήματα διαφορετικών εταιριών δύσκολα μπορούν να είναι συμβατά, λόγω της μικρής πιθανότητας χρήσης ίδιων τρόπων λειτουργίας ή κωδικοποίησης και αλγορίθμων, αν θέλουμε να το εξειδικεύσουμε. Επίσης ένα σύστημα ευρεία χρησιμοποιούμενο, είναι περισσότερο εύχρηστο από ένα που έχει μοναδική εφαρμογή, αλλά είναι περισσότερο ανοιχτό σε οποιαδήποτε κατάχρηση. Παρόλ'αυτά η αποθήκευση πολλαπλών στοιχείων σε μία μόνο κάρτα μπορεί να προσφέρει διαχωρισμό ενώ ταυτόχρονα θα διατηρεί απλότητα στη χρήση.

Ένα ακόμα μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι οι πολλοί υπολογιστικοί πόροι που απαιτούνται, κυρίως για τη λειτουργία με τον τρόπο αναγνώρισης.

Επίσης σε περιπτώσεις σάρωσης του δακτυλικού αποτυπώματος ένα άλλο αρνητικό είναι η απαίτηση για φυσική επαφή καθώς και ότι πρέπει να είναι καθαρή η επιφάνεια του δακτύλου.

Τα συστήματα βιομετρίας παρά την υψηλή ασφάλεια, δεν είναι τέλεια. Η αξιοπιστία εξαρτάται από τη λήψη των διαφόρων βιομετρικών χαρακτηριστικών που σαρώνονται και πρέπει να είναι ευδιάκριτα, αλλιώς υπάρχει πιθανότητα λάθους από το σύστημα, τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, τη μέθοδο κωδικοποίησης ή το αποδεκτό ποσοστό σφάλματος.

Όσο αυστηρότερο είναι ένα σύστημα στην απόρριψη των ταυτοτήτων που δεν ταιριάζουν, τόσο πιο απίθανη γίνεται η απόρριψη μιας αληθούς ταυτότητας.

3.12 Παράμετροι βιομετρικών χαρακτηριστικών

Δεν υπάρχει σύστημα βιομετρίας που να είναι ιδανικό για όλες τις εφαρμογές, κάτι που ισχύει και για τα συστήματα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων. Κάθε βιομετρική τεχνολογία, σε όποιο χαρακτηριστικό και να βασίζεται, έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσον αφορά παράγοντες όπως: ακρίβεια, κόστος, ευχρηστία, πιθανότητα παρείσφρησης, δυνατότητα αναγνώρισης και πιστοποίησης, επίπεδο ασφάλειας κτλ.

Ένα ανθρώπινο χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται όταν τηρεί την καθολικότητα, τη μοναδικότητα, τη μονιμότητα, την εύκολη συλλεξιμότητα και επεξεργασία, την απόδοση, την αποδοχή, την αβλαβή χρήση καθώς και τη δυνατότητα αποφυγής παραπλάνησης. Κανένα σύστημα βιομετρίας δεν είναι το ιδανικό, αλλά ορισμένα όπως τα συστήματα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι παραδεκτά.

Καθολικότητα	Μοναδικότητα	Μονιμότητα	Συλλεξιμότητα	Απόδοση	Αποδοχή	Παραπλάνηση
Μεσαία	Υψηλή	Υψηλή	Μεσαία	Υψηλή	Μεσαία	Μεσαία

Πίνακας 4: Παράμετροι συστημάτων αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων

Ένα επίσης σημαντικό θέμα σχετικά με τα δακτυλικά αποτυπώματα, είναι η χωρητικότητα που καταλαμβάνουν σε βάσεις αποθήκευσης δεδομένων κάθε μορφής π.χ. σκληρούς δίσκους, PDA, κάρτες (smart cards). Τα συνήθη μεγέθη δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι ανάμεσα στα 256 bytes και τα 1,5 Kbytes.

3.13 Απόδοση των βιομετρικών συστημάτων

Τα βιομετρικά συστήματα, όπως κάθε σύστημα, δεν μπορούν να λειτουργούν στην εντέλεια. Τα δύο είδη συνήθων λαθών είναι είτε η απόρριψη ενός εξουσιοδοτημένου χρήστη,

είτε η αποδοχή μιας πλαστής υποβληθείσας ταυτότητας. Φυσικά ο βαθμός επιτρεπόμενων λαθών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε αυτό, επομένως ο μόνιμος στόχος είναι η επίτευξη ελάχιστου ή μηδενικού ποσοστού λαθών.

False Rejection Rate (FRR)

Η μέτρηση του λόγου των περιπτώσεων απόρριψης ενός ανθρώπου του οποίου το βιομετρικό χαρακτηριστικό είναι καταχωρημένο στη βάση δεδομένων, ως προς το σύνολο των αναγνωρίσεων.

False Acceptance Rate (FAR)

Η μέτρηση του λόγου των περιπτώσεων αποδοχής ανθρώπων οι οποίοι γίνονται αποδεκτοί ενώ τα βιομετρικά τους στοιχεία δεν είναι καταχωρημένα στη βάση δεδομένων, ως προς το σύνολο των αναγνωρίσεων.

Equal error rate (EER)

Όταν τα ποσοστά λάθους FAR και FRR είναι ίσα. Χρησιμοποιείται για να συγκριθούν μεταξύ τους διαφορετικά συστήματα βιομετρίας. Ακριβέστερο κάθε φορά είναι αυτό με το μικρότερο EER.

Failure to enroll rate (FTE or FER)

Είναι το ποσοστό των περιπτώσεων εκείνων που μετά την αρχική καταχώρηση το σύστημα τα χαρακτηρίζει άκυρα ή κακής ποιότητας και αδυνατεί να τα επεξεργαστεί.

Failure to capture rate (FTC)

Πρόκειται για την αδυναμία ενός συστήματος να εντοπίσει ένα βιομετρικό χαρακτηριστικό, ακόμα κι αν αυτό είναι ορθό.

Στα περισσότερα συστήματα αν εμφανιστεί μια λάθος απόρριψη, δοκιμάζεις ξανά π.χ. με σάρωση του δακτύλου σου. Επομένως ακόμα και ένα υψηλό ποσοστό λάθος απορρίψεων, μπορεί να σημαίνει χάσιμο κάποιου χρόνου και ίσως εκνευρισμού.

Αξιοπιστία	Ρυθμός Λαθών	Είδος λαθών
Υψηλή	0.002	Ξηρασία, ακαθαρσία, γήρας

Πίνακας 5: Αξιοπιστία, ρυθμός και είδος λαθών σε ένα σύστημα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων

3.14 Πολυτροπικά βιομετρικά συστήματα

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν ένα μόνο χαρακτηριστικό για την αναγνώριση καλούνται μονοτροπικά, ενώ όσα χρησιμοποιούν περισσότερα ονομάζονται πολυτροπικά. Τα μονοτροπικά κατά τη διάρκεια λήψης των χαρακτηριστικών ενδέχεται να επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, κάτι που ξεπερνούν τα πολυτροπικά, αφού ακόμα κι αν εμφανιστεί κάποιος παράγοντας που παρεμποδίζει την αναγνώριση ενός χαρακτηριστικού, δύσκολα θα επηρεάζει κάποιο από τα υπόλοιπα. Μάλιστα ενδέχεται να χρησιμοποιούνται πολλοί αισθητήρες πολλαπλούς αισθητήρες για συλλογή δεδομένων ακόμα και ενός βιομετρικού χαρακτηριστικού, ώστε οι διαφορετικές μορφές που λαμβάνονται να συνθέτουν ένα πλήρες πρότυπο ή ακόμα και να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί αλγόριθμοι για τη δημιουργία ενός προτύπου βάσει βαθμού ομοιότητας.

Αυτή η τεχνολογία καταφέρνει τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια και αξιοπιστία, κάτι χρήσιμο όπως στις περιπτώσεις φθαρμένων, αλλοιωμένων ή μη αναγνωρίσιμων δακτυλικών αποτυπωμάτων που αναφέραμε παραπάνω. Έτσι είναι δυνατή η χρήση ενός συστήματος δύο, τριών ή και περισσότερων βιομετρικών χαρακτηριστικών.

Επίσης, μπορεί να τροποποιηθεί το επίπεδο ασφάλειας π.χ. για πολύ υψηλή ασφάλεια να ζητηθούν τα τρία χαρακτηριστικά, ενώ για ασφάλεια χαμηλότερου επιπέδου ένα ή δύο.

3.15 Το μέλλον των βιομετρικών συστημάτων

Η έλευση της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος έδειξε στην κατεύθυνση της σχεδίασης αυτοματοποιημένων συστημάτων στις δεκαετίες του 1960 και 1970 που ήταν ικανά να

επεξεργάζονται δεδομένα δακτυλικών αποτυπωμάτων, φωνής, χεριού και προσώπου. Η διαθεσιμότητα ταχύτερων υπολογιστών και βελτιωμένης τεχνολογίας αισθητήρων, συνδεδεμένη με σημαντικές προόδους στον τομέα της στατιστικής αναγνώρισης προτύπων και την υπολογιστική όραση, έχει προκαλέσει την ανάπτυξη ιδιαίτερα έξυπνων και αποτελεσματικών σχημάτων επεξεργασίας και αντιστοίχισης βιομετρικών δεδομένων πολλών μορφών. Επιπλέον, η πρόοδος στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση και τα γραφικά τα τελευταία χρόνια, έχουν προετοιμάσει το δρόμο για επεξεργασία τρισδιάστατων δεδομένων. Ταυτόχρονα η συνεχής μείωση του κόστους και η αύξηση των αποθηκευτικών χώρων για δεδομένα βιομετρικών χαρακτηριστικών διευκολύνουν ακόμα περισσότερο τη σύντομη μελλοντικά βελτίωση της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Δεν πρέπει όμως να παραμερίζεται και η συζήτηση για το βαθμό ελέγχου από τέτοιες τεχνολογίες, αφού πέρα από την εξάλειψη του εγκλήματος που στοχεύει κάθε κοινωνία, σημαντικό ζήτημα αποτελεί και η προστασία των προσωπικών δεδομένων. Τα βιομετρικά συστήματα από μια οπτική γωνία, αποτελούν «απειλή» για τα προσωπικά δεδομένα και την ιδιωτικότητα, δυσχεραίνοντας έτσι την γρηγορότερη εξάπλωση και εφαρμογή τους. Επί παραδείγματι, η κακή χρήση από κρατικούς ή αστυνομικούς λειτουργούς, μπορούν να εκθέσουν στο κοινό ή σε κακόβουλα άτομα τα προσωπικά δεδομένα του καθενός. Αν μάλιστα κλαπούν βιομετρικές πληροφορίες κάποιου, τότε θεωρείται ότι έχουμε παραβίαση στα προσωπικά δεδομένα του. Ωστόσο, αν τηρηθούν συγκεκριμένοι κανόνες στη συλλογή και την προστασία, τότε ενδέχεται να αποκτήσουμε ένα νέο όπλο στην κατεύθυνση της προστασίας των προσωπικών δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Οι εικόνες που βλέπει ο άνθρωπος καθημερινά γύρω του περιέχουν ένα τεράστιο και πολύ σημαντικό όγκο πληροφοριών που τον βοηθούν να αποτυπώσει κάτι στη μνήμη του και να βγάλει κάποιες σημαντικές αποφάσεις σχετικά με το περιβάλλον του. Η αίσθηση της όρασης λοιπόν είναι μια απ' τις σημαντικότερες στην καθημερινή μας δραστηριότητα. Οι εικόνες όμως στη σημερινή εποχή παίζουν και ένα άλλο διαφορετικό ρόλο. Από τότε που ο άνθρωπος μπόρεσε να τις αποθηκεύσει όχι μόνο στον εγκέφαλο του αλλά και σε αντικείμενα γύρω του (φωτογραφίες), τις χρησιμοποιεί για να μεταδώσει μια εμπειρία, η ακόμα και να επηρεάσει κάποιες αποφάσεις γύρω του. Εξαιτίας λοιπόν της σημαντικότητας της αλλά και του τεράστιου όγκου πληροφορίας οι επιστήμονες οδηγήθηκαν στην εξερεύνηση μέσω ψηφιακής αποθήκευσης της εικόνας και επεξεργασίας της με ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η όλη αυτή εξερεύνηση μας οδήγησε στον κλάδο της Πληροφορικής που ονομάζεται Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας.

Ο κλάδος αυτός ασχολείται κυρίως με την ψηφιακή καταγραφή εικόνων και με την επεξεργασία τους από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Το κομμάτι της επεξεργασίας ασχολείται με την βελτίωση της ποιότητας μιας εικόνας, την αφαίρεση θορύβου απ' αυτήν, τη συμπίεση του όγκου πληροφορίας, την αποθήκευση της καθώς και την ψηφιακή της μετάδοση.

Το παρόν κεφάλαιο θα προσπαθήσει να εξηγήσει τον τρόπο που χρησιμοποιούνται τα διάφορα φίλτρα στην επεξεργασία εικόνας έτσι ώστε να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό θα αναλυθούν διάφορα βασικά φίλτρα που χρησιμοποιούνται για ανίχνευση ακμών, αλλαγή φωτεινότητας και αντίθεσης, smoothing και αφαίρεσης θορύβου.

4.1 Σχετικοί Τομείς Μελέτης και Έρευνας

Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας συνδέεται με διάφορες άλλες περιοχές λόγω του επιστημονικού αντικειμένου της. Σήμερα τείνει, από άποψη εφαρμογών τουλάχιστον, να γίνει ένας διεπιστημονικός κλάδος. Οι περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά της είναι οι εξής:

- Ψηφιακή επεξεργασία σήματος (Digital Signal Processing)
- Γραφική (Graphics)
- Αναγνώριση προτύπων (Pattern Recognition)

- Τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence)
- Τηλεπικοινωνίες και Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης (Telecom, TV)
- Βάσεις Δεδομένων νέας γενιάς (Multimedia Systems)

Η εικόνα είναι ένα δισδιάστατο σήμα. Επομένως για την ανάλυση και την επεξεργασία του μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας σήματος.

Η γραφική ασχολείται με την ψηφιακή σύνθεση εικόνας. Έτσι η είσοδος της είναι μια συμβολική περιγραφή και η έξοδος της είναι εικόνα. Για το σκοπό αυτό γίνεται γεωμετρική μοντελοποίηση του υπό απεικόνιση αντικειμένου, ψηφιακή περιγραφή των συνθηκών φωτισμού και τέλος ψηφιακή παραγωγή των φωτεινοτήτων του αντικειμένου στην υποθετική θέση της κάμερας.

Η αναγνώριση προτύπων ασχολείται με την κατάταξη (classification) ενός αντικειμένου σε μια κατηγορία προτύπων (class pattern). Για παράδειγμα, προσπαθεί να αναγνωρίσει αν ένα καινούριο αντικείμενο είναι αντίσταση, πυκνωτής, ή ολοκληρωμένο κύκλωμα. Για το σκοπό αυτό προσπαθεί να περιγραφεί ένα αντικείμενο με ορισμένα χαρακτηριστικά (features) κυρίως νούμερα π.χ. διάμετρο, εμβαδόν, και μετά να κατατάξει το καινούριο αντικείμενο με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά.

Η τεχνητή νοημοσύνη και η κατανόηση εικόνας (image understanding) ασχολούνται με τη μετατροπή μιας συμβολικής παράστασης μιας εικόνας σε μια άλλη πιο πολύπλοκη ή πιο εύκολα κατανοητή στον άνθρωπο. Συνήθως, τεχνικές αναπαράστασης της ανθρώπινης γνώσης (knowledge representation) και συλλογιστικής (inference) χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.

Οι τηλεπικοινωνίες έχουν σχέση με την ψηφιακή μετάδοση εικόνας σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μαζί με φωνή και δεδομένα. Τα προκύπτοντα δίκτυα ονομάζονται ψηφιακά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών (ISDN).

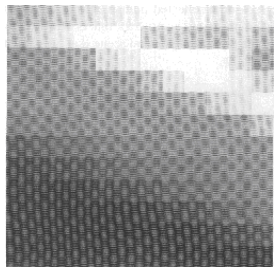
Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την τηλεόραση, υψηλής ευκρίνειας (High Definition TV). Ο ρόλος της έγκειται στη συμπίεση του τεράστιου όγκου πληροφορίας και στη βελτίωση της ποιότητας της εικόνας στο δέκτη.

Τέλος, η νέα γενιά βάσεων δεδομένων περιλαμβάνει αποθήκευση εικόνων, σήματος (φωνής) και δεδομένων. Εδώ η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας ασχολείται με την

κωδικοποίηση της εικόνας και η ανάλυση με την εύρεση έξυπνων τρόπων ανάκτησης (retrieval) των εικόνων.

4.2 Ψηφιακή Εικόνα

Με τον όρο εικονοστοιχείο (pixel) ορίζεται η μικρότερη δυνατή μονάδα σε μια εικόνα. Ψηφιακή εικόνα χαρακτηρίζεται ένας δισδιάστατος πίνακας που κάθε κελί του αναπαριστά ένα pixel της εικόνας. Οι τιμές που μπορεί να πάρει το pixel ορίζουν και το τι θα δείχνει η εικόνα. Έτσι για τιμές pixel 0 και 1 έχουμε δυαδική εικόνα, για τιμές 0–255 έχουμε εικόνα που κάθε εικονοστοιχείο έχει την τιμή ενός γκρι επιπέδου (ασπρόμαυρη εικόνα), ενώ αν το pixel έχει τρεις τιμές 0-255, 0-255, 0-255 αυτές δείχνουν το βάθος χρώματος του Red, Green, Blue αντίστοιχα έτσι έχουμε έγχρωμη εικόνα. Σημαντικό είναι να παρατηρήσουμε ότι και τα τρία παραδείγματα αναφέρονται στην περίπτωση που δεν έχουμε ορίσει μια παλέτα χρωμάτων. Μια παλέτα χρωμάτων είναι μια ομάδα από αντιστοιχίσεις τιμών με χρώματα. Έτσι θα μπορούσαμε ορίζοντας μια παλέτα 256 χρωμάτων με τιμές από 0-255 να έχουμε μια έγχρωμη εικόνα αφού η τιμή του κάθε pixel δεν θα αντιστοιχούσε στην τιμή γκρι επιπέδου, αλλά στο αντίστοιχο χρώμα που αντιστοιχίζεται στην τιμή αυτή από την παλέτα.

	195	209	221	235	249	251	254	255	250	241	247	248
	210	236	249	254	255	254	225	226	212	204	236	211
	164	172	180	182	241	251	265	255	255	255	235	190
	167	164	171	170	179	189	208	244	254	255	251	234
	162	167	166	169	169	170	176	185	196	232	249	254
	159	157	160	162	169	170	168	189	171	176	185	218
	128	135	143	147	156	157	160	166	167	171	168	170
	103	107	118	125	133	145	151	156	158	159	163	164
	095	095	097	101	115	124	132	142	117	122	124	161
	093	093	093	093	095	099	106	118	125	135	143	119
	093	093	093	093	093	093	095	097	101	109	119	132
	095	093	093	093	093	093	093	093	093	093	093	119

Πίνακας 6

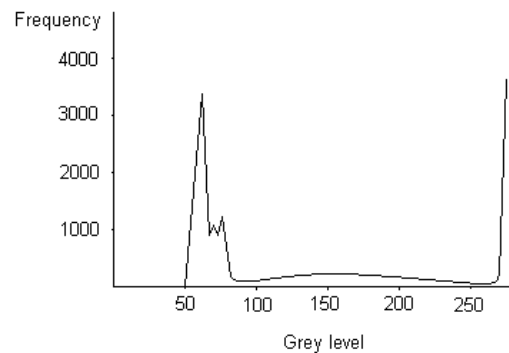
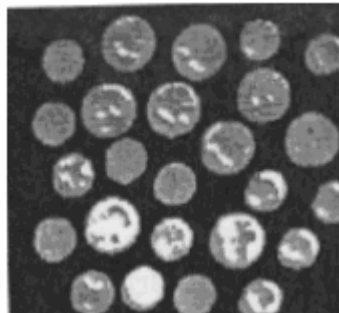
Παράδειγμα εικόνας (γκρι επιπέδων) και δίπλα ο δισδιάστατος πίνακας με τις τιμές των pixel

4.2.1 Ιστόγραμμα Γκρι-Επιπέδων

Ένα ιστόγραμμα γκρι επιπέδων μιας εικόνας δείχνει την γκρι-επιπέδων κατανομή των εικονοστοιχείων μέσα στην εικόνα. Το ιστόγραμμα της εικόνας m ορίζεται ως ένα σύνολο M αριθμών (ο αριθμός των δυνατών γκρι-επιπέδων) που ορίζουν το ποσοστό της εικόνας σε μία συγκεκριμένη τιμή γκρι επιπέδου. Το ιστόγραμμα της εικόνας ορίζεται ως:

$$h_i = \frac{n_i}{n_t} \quad \text{για } i=0 \text{ μέχρι } (M-1)$$

όπου n_i είναι ο αριθμός των εικονοστοιχείων μέσα στο εύρος της εικόνας στην i -στη γκρι-επιπέδου τιμή και n_t ο ολικός αριθμός των εικονοστοιχείων της εικόνας.



Εικόνα 9

Ιστόγραμμα εικόνας

4.2.2 Επεξεργασία Δυαδικής Εικόνας

Δυαδικές εικόνες ονομάζονται αυτές που έχουν μόνο δύο χρώματα 0 (μαύρο) και 1 (άσπρο). Είναι οι απλούστερες και πιο εύκολες στην επεξεργασία, αφού έχουμε να δουλέψουμε μόνο με δύο χρώματα. Παρ' όλα αυτά όμως έχουν πολύ μεγάλη σημαντικότητα αφού μας επιτρέπουν να αντιμετωπίσουμε προβλήματα που χωρίς την ύπαρξη τους δεν θα μπορούσαμε (ανίχνευση ακμών, σκελετοποίηση αντικειμένων). Κάποια φίλτρα που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους εικόνες είναι:

- Thresholding (Κατωφλίωση)
- Projections
- Δυαδική Διαστολή

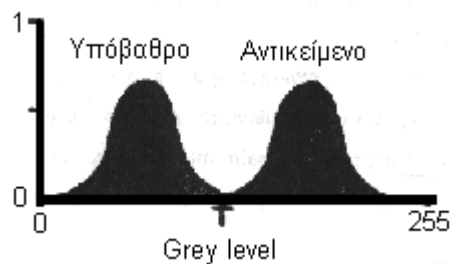
- Διαδική Διάβρωση
- Διαδική Σκελετοποίηση

Στη συνέχεια ακολουθεί μια συνοπτική αναφορά σε αυτά τα φίλτρα.

Tresholding (Κατωφλίωση)

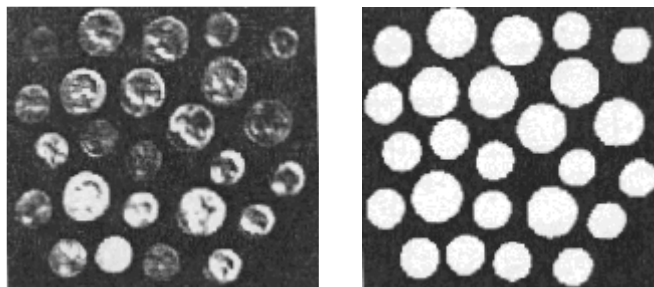
Tresholding ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία από μια εικόνα γκρι επιπέδων καταλήγουμε σε μια δυαδική. Στην ουσία αυτό που κάνουμε είναι να ξεχωρίζουμε το background από το κυρίως αντικείμενο της εικόνας. Μια συνηθισμένη διαδικασία για να το καταφέρουμε αυτό είναι η βέλτιστη κατωφλίωση.

Κατά τη διαδικασία αυτή δεχόμαστε ότι μέσα στο ιστόγραμμα της εικόνας υπάρχουν δυο εξέχοντες κορυφές, μια για το υπόβαθρο (background) και μια για το αντικείμενο.



Εικόνα 10
Κατωφλίωση

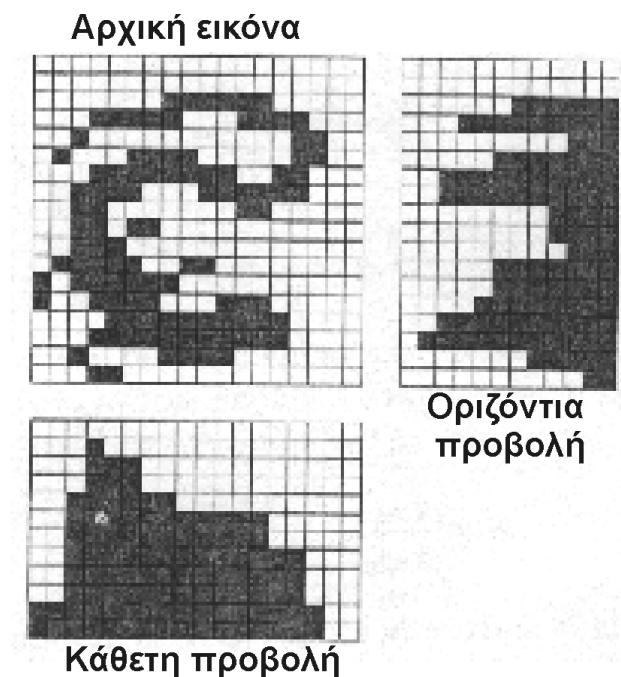
Αυτό που κάνει ο αλγόριθμος είναι να βρίσκει το ελάχιστο ανάμεσα στις δυο αυτές εξέχοντες κορυφές και να μετατρέπει τα ρικελ με φωτεινότητα αριστερά αυτής της τιμής σε 0 και τα υπόλοιπα σε 1. Χαρακτηριστική περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου της κατωφλίωσης είναι η μετατροπή της εικόνας που παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11
Παράδειγμα εντοπισμού αντικειμένου-υπόβαθρου με την χρήση κατωφλίωσης

Projections

Η προβολή μιας δυαδικής εικόνας μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί με τον παρακάτω τρόπο. Έστω ότι θέλουμε την οριζόντια προβολή μιας δυαδικής εικόνας. Το μόνο που έχουμε να κάνουμε για κάθε γραμμή είναι να μετρήσουμε πόσα ρixel με τιμή 1 έχει και στην συνέχεια να δημιουργήσουμε το αντίστοιχο διάγραμμα από ρixel. Αν θέλουμε την κάθετη προβολή θα κάνουμε το ίδιο με τις στήλες και ούτω καθ' εξής. Σαν παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα 12 η οριζόντια και κάθετη προβολή μιας εικόνας:



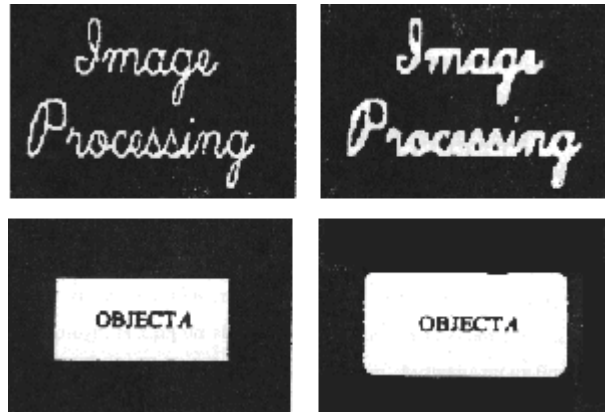
Εικόνα 12
Οριζόντια και κάθετη προβολή εικόνας

Δυαδική Διαστολή

Η δυαδική διαστολή αυξάνει την γεωμετρική περιοχή ενός αντικειμένου, θέτοντας την τιμή των εικονοστοιχείων στο υπόβαθρο τα οποία είναι προσκείμενα με το περίγραμμα του, ίση με τη γκρι-επιπέδου τιμή του αντικειμένου. Η διαστολή ορίζεται ως η ένωση όλων των αθροισμάτων των αντισμάτων από όλα τα εικονοστοιχεία a στο αντικείμενο A με όλα τα εικονοστοιχεία b στη δομική συνάρτηση B .

$$A \oplus B = \{ t \in Z^2 : t = a + b, a \in A, b \in B \}$$

όπου το άνωσμα t είναι ένα στοιχείο του (δισδιάστατου ακεραίου) χώρου Z^2 της εικόνας. Ακολουθούν παραδείγματα στην εικόνα 13, όπου οι δυαδικές εικόνες αριστερά μετατρέπονται στις διασταλμένες εικόνες δεξιά.

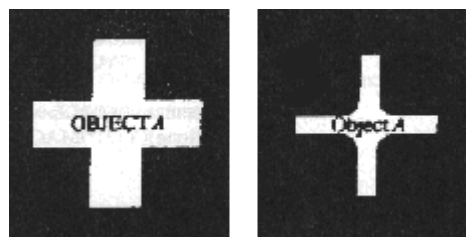


Εικόνα 13
Δυαδική διαστολή

Δυαδική Διάβρωση

Η δυαδική διάβρωση ενός αντικειμένου μειώνει τη γεωμετρική περιοχή του θέτοντας την τιμή των εικονοστοιχείων του περιγράμματος, ίση με την τιμή του υπόβαθρου. Η διάβρωση ορίζεται ως το δυαδικό συμπλήρωμα (compliment) της διαστολής που προκύπτει από το δυαδικό συμπλήρωμα του αντικειμένου A με τη δομική συνάρτηση B .

$$A \ominus B = (A^c \oplus B)^c$$



Εικόνα 14
Δυαδική διάβρωση

Δυαδική Σκελετοποίηση

Η σκελετοποίηση (skeletonization) ενός αντικειμένου, που προτάθηκε αρχικά από τον H.Blum, ορίζει μια μοναδική συμπιεσμένη γεωμετρική αναπαράσταση ενός αντικειμένου. Η σκελετοποίηση ενός αντικειμένου συχνά αναφέρεται ως ο Μετασχηματισμός Διάμεσου Άξονα.

Η μορφολογική σκελετοποίηση ορίζεται ως η ένωση του συνόλου των εικονοστοιχείων που υπολογίζεται από την διαφορά την n-στής διαβρωμένης εικόνας και το άνοιγμα της n-στής διαβρωμένης εικόνας. Άνοιγμα μιας εικόνας ορίζεται η διάβρωση της εικόνας ακολουθούμενη από τη διαστολή της.

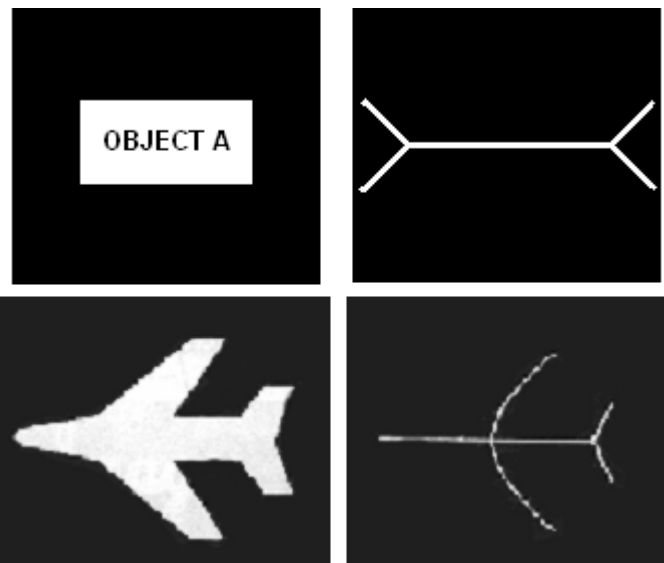
$$K_n(A) = \text{Erode}_n(A) - \text{open}(\text{Erode}_n(A), B)$$

όπου $\text{Erode}_n(A) = A \oplus \overline{nB}$ και είναι η n-στη διάβρωση της αρχικής εικόνας A με την δομική συνάρτηση B.

Η εικόνα σκελετού τότε δίνεται από την ένωση όλων των $K_n(A)$ σε όλες τις διαβρώσεις. Ο ολικός αριθμός των διαβρώσεων N που απαιτείται από τον αλγόριθμο σκελετού είναι ο αριθμός των διαβρώσεων της αρχικής εικόνας A από την δομική συνάρτηση B που δίνει την μηδενική εικόνα.

$$0 = \text{Erode}_n(A) = A \oplus \overline{nB}$$

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται δυο χαρακτηριστικές περιπτώσεις σκελετοποίησης.



Εικόνα 15
Σκελετοποίηση

Φίλτρα για γκρι επιπέδου εικόνες

Όταν μια εικόνα έχει προέλθει από κάμερα ή από άλλο σύστημα λήψης εικόνας, συχνά το οπτικό σύστημα για το οποίο προορίζεται δεν μπορεί να την χρησιμοποιήσει κατ' ευθείαν. Η εικόνα μπορεί να διακόπτεται από τυχαίες μεταβολές της φωτεινότητας ή ανεπαρκή αντίθεση που πρέπει να αντιμετωπιστούν από τα πρώτα στάδια της οπτικής επεξεργασίας.

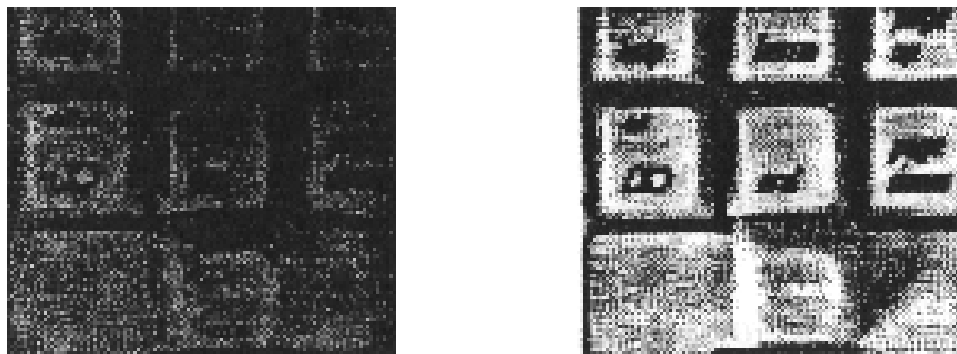
Στην συνέχεια θα αναφερθούν διάφορα φίλτρα που μπορούν να επιτύχουν τέτοιου είδους διορθώσεις στην εικόνα έτσι ώστε να επιτύχουμε την εικόνα, την οποία χρειάζεται το οπτικό μας σύστημα.

Εξισορρόπηση Ιστογράμματος

Η εξισορρόπηση ιστογράμματος ανακατανέμει ομοιόμορφα τις γκρι-επιπέδου τιμές των εικονοστοιχείων μέσα στην εικόνα έτσι ώστε ο αριθμός των εικονοστοιχείων σε κάθε ένα γκρι-επίπεδο να είναι περίπου ο ίδιος. Ο μετασχηματισμός γκρι-επιπέδων για την εξισορρόπηση του ιστογράμματος μιας εικόνας είναι:

$$g_i = \frac{M - 1}{n_t} \sum_{j=0}^i n_j$$

όπου n_t είναι ο συνολικός αριθμός των εικονοστοιχείων στην εικόνα, n_i είναι ο αριθμός των εικονοστοιχείων στο i -στο γκρι-επίπεδο, και M είναι ο συνολικός αριθμός των δυνατών γκρι-επιπέδων.



Εικόνα 16
Εξισορρόπηση

Διόρθωση φωτεινότητας

Η διόρθωση φωτεινότητας χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την οπτική εμφάνιση μιας εικόνας. Η τροποποίηση μιας εικόνας ορίζεται ως:

$$s_i = g_i + \text{brightness}$$

όπου s_i είναι το i -στο γκρι-επίπεδο της εικόνας διορθωμένης φωτεινότητας και g_i είναι η i -στη τιμή γκρι-επιπέδου της αρχικής εικόνας.

Διόρθωση αντίθεσης

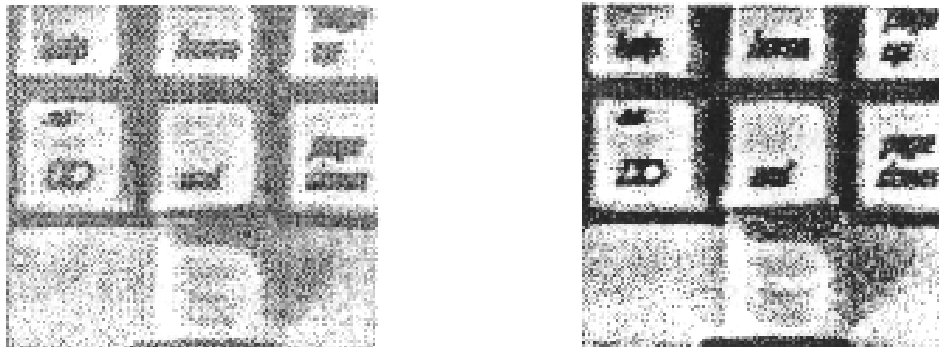
Η διόρθωση αντίθεσης χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την οπτική εμφάνιση μιας εικόνας. Η τροποποίηση της αντίθεσης μιας εικόνας ορίζεται ως:

$$s_i = Contrast \cdot (g_i - average) + average$$

Όπου s_i είναι η i -στη τιμή γκρι-επιπέδου της εικόνας διορθωμένης αντίθεσης, g_i είναι η i -στη τιμή γκρι-επιπέδου της αρχικής εικόνας, και **average** είναι η μέση τιμή φωτεινότητας της αρχικής εικόνας η οποία δίνεται από:

$$average = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{x=0}^{N_x} \sum_{y=0}^{N_y} P(x, y)$$

όπου N_x και N_y είναι οι διαστάσεις της εικόνας στις διευθύνσεις x και y , αντίστοιχα, και $P(x,y)$ είναι η τιμή γκρι-επιπέδων του εικονοστοιχείου στη συντεταγμένη x,y .



Εικόνα 17
Διόρθωση Αντίθεσης

Διακριτή Συνέλιξη

Η διακριτή συνέλιξη περιγράφεται ως μια συνδυαστική διαδικασία που αντιγράφει μια εικόνα σε μια άλλη και είναι το βασικό αποτέλεσμα μιας διαδικασίας φιλτραρίσματος. Οποιοσδήποτε αριθμός φίλτρων μπορεί να εφαρμοστεί σε μια εικόνα μέσω συνέλιξης της μάσκας του φίλτρου με την αρχική εικόνα. Η εξίσωση για τη δισδιάστατη διακριτή συνέλιξη δίνεται από:

$$Out(i, j) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} In(m, n) Mask(i - m, j - n)$$

όπου **In** είναι η εικόνα εισόδου, **Mask** είναι η μάσκα συνέλιξης, και **Out** είναι η εικόνα εξόδου. Η διάσταση των εικόνων είναι $M \times N$, σε αντίθεση ορισμένες φορές με την μάσκα, η οποία γεμίζεται με μηδενικά για να επιτρέψει συνέπεια στους δείκτες.

Ο αλγόριθμος συνέλιξης θα παράγει αποτελέσματα που είναι μεγαλύτερα από τις αρχικές τιμές της εικόνας εισόδου. Έτσι μια διαδικασία κλιμάκωσης απαιτείται για την αποθήκευση του αποτελέσματος στο ίδιο εύρος γκρι-επιπέδων της αρχικής εικόνας.

Το παράδειγμα παρακάτω δείχνει την αρχική εικόνα (256 x 256) στα αριστερά και το αποτέλεσμα της συνέλιξης με μια μάσκα 5 x 5 έντονης αντίθεσης στα δεξιά. Σημειώστε τα όρια γύρω από το αποτέλεσμα της συνέλιξης. Αυτό είναι μια παρενέργεια του αλγόριθμου καθώς η επικαλύπτουσα μάσκα περνάει πάνω από τα όρια της αρχικής εικόνας.



Εικόνα 18
Διακριτή συνέλιξη

Εξαιτίας της σημαντικότητας της διαδικασίας θα εξηγήσουμε ακόμα περισσότερο τον αλγόριθμο. Η τιμή φωτεινότητας κάθε pixel της νέας εικόνας υπολογίζεται με την εξής διαδικασία:

- Τοποθετείται το κεντρικό σημείο της μάσκας πάνω από το αντίστοιχο pixel της παλαιάς εικόνας
- Υπολογίζουμε το άθροισμα όλων των γινομένων των τιμών μέσα στη μάσκα και των τιμών φωτεινότητας της παλαιάς εικόνας που βρίσκονται από κάτω τους.
- Υπολογίζουμε το άθροισμα των τιμών της μάσκας.
- Διαιρούμε το πρώτο άθροισμα με το δεύτερο, αυτό μας δίνει την τιμή του αντίστοιχου εικονοστοιχείου στη φιλτραρισμένη εικόνα

Φίλτρο Αριθμητικού Μέσου

Το φίλτρο αριθμητικού μέσου πραγματοποιείται με μια διαδικασία εύρεσης τοπικών μέσων όρων, έτσι ώστε η τιμή κάθε pixel να αντικατασταθεί από το μέσο όρο των τιμών στην τοπική γειτονία. Ο ορισμός του φίλτρου αριθμητικού μέσου σε σχέση με μια εικόνα A είναι:

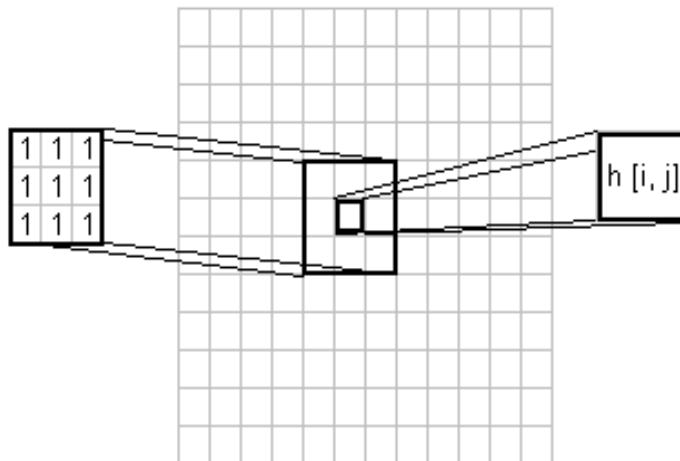
$$Mean(A) = \frac{1}{N^2} \sum_{(i,j) \in M} A(x+i, y+j)$$

όπου η συντεταγμένη $x+i$, $y+j$ ορίζεται στην εικόνα A και η συντεταγμένη i,j ορίζεται στην μάσκα M . Ο ολικός αριθμός των εικονοστοιχείων που ορίζεται από τη μάσκα και περιλαμβάνεται στη διαδικασία μέσου όρου δίνεται από το N^2 . Συνήθως το N είναι περιττός ακέραιος οπότε η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφτεί ως

$$Mean(A) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{j=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} A(x+i, y+j)$$

Για παράδειγμα, διαλέγουμε για 3×3 γειτονιά ($N=3$):

$$Mean(A) = \frac{1}{3^2} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 A(x+i, y+j)$$



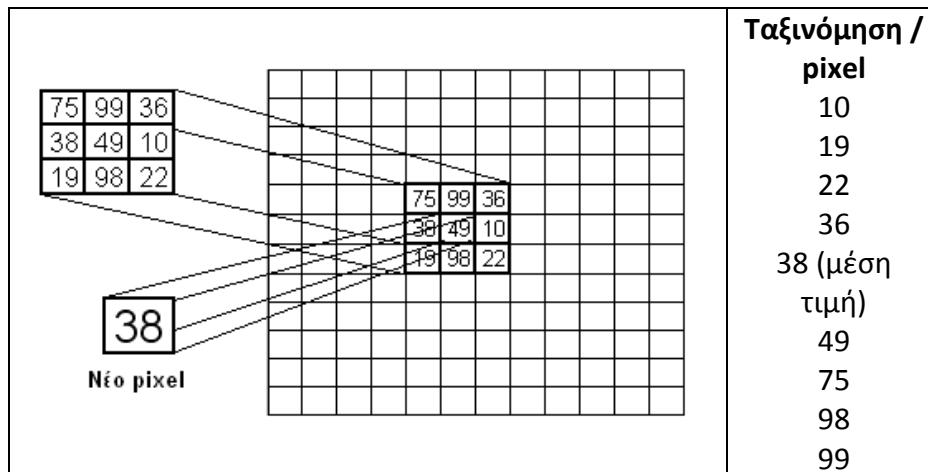
Εικόνα 19
Παράδειγμα μάσκας αριθμητικού μέσου

Φίλτρο Μεσαίου

Μια διαδικασία φίλτρου μεσαίου σε μια εικόνα αφαιρεί θόρυβο μακριάς ουράς, αρνητικά εκθετικού και αλατοπίπερου με ένα ελάχιστο θόλωμα της εικόνας. Το φίλτρο μεσαίου ορίζεται ως ο μεσαίος από όλα τα εικονοστοιχεία μέσα σε μια τοπική περιοχή μιας εικόνας. Εικονοστοιχεία τα οποία συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό του μεσαίου καθορίζονται από τη μάσκα. Το φίλτρο μεσαίου αποδίδει πολύ καλύτερα από το φίλτρο αριθμητικού μέσου στην αφαίρεση θορύβου αλατοπίπερου από μια εικόνα και στην διατήρηση των χωρικών λεπτομερειών που υπάρχουν μέσα στην εικόνα. Το φίλτρο μεσαίου μπορεί εύκολα να αφαιρέσει ακανόνιστο (outlier) θόρυβο από εικόνες που περιέχουν λιγότερο από 50% των εικονοστοιχείων τους ως ακανόνιστα. Ο ορισμός του φίλτρου μεσαίου σε σχέση με μια εικόνα A είναι:

$$\text{Median}(A) = \text{Median}[A(x+i, y+j)]$$

όπου η συντεταγμένη $x+i, y+j$ ορίζεται στην εικόνα A και η συντεταγμένη i, j ορίζεται στη μάσκα M . Η μάσκα M καθορίζει ποια εικονοστοιχεία πρόκειται να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό του μεσαίου.



Πίνακας 7
Φίλτρο Μεσαίου

Γκαουσιανή Ομαλοποίηση

Τα Γκαουσιανά φίλτρα ανήκουν στα γραμμικά φίλτρα ομαλοποίησης με τα βάρη της μάσκας επιλεγμένα σύμφωνα με μια γκαουσιανή συνάρτηση. Το ότι ανήκουν στα γραμμικά φίλτρα μας βοηθάει να καταλάβουμε ότι εφόσον έχουμε τη μάσκα, αρκεί να

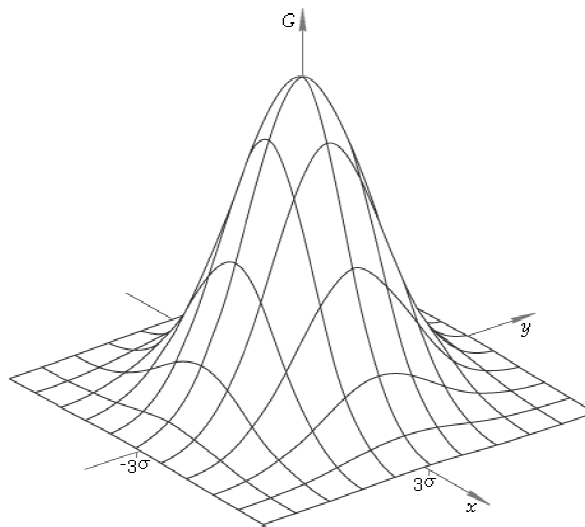
χρησιμοποιήσουμε τη Διακριτή Συνέλιξη για να παράγουμε την τελική εικόνα. Τα φίλτρα αυτά είναι πολύ καλά για την αφαίρεση θορύβου που έχει παραχθεί από μια κανονική κατανομή. Η γκαουσιανή συνάρτηση για μία διάσταση είναι:

$$g(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

όπου σ είναι το πλάτος της Γκαουσιανής συνάρτησης. Για την επεξεργασία εικόνων, η δισδιάστατη συνάρτηση Gauss με μηδενικό μέσο είναι,

$$g[i, j] = e^{-\frac{(i^2 + j^2)}{2\sigma^2}},$$

ένα γράφημα αυτής της συνάρτησης εμφανίζεται αμέσως παρακάτω.



Εικόνα 20
Γκαουσιανή συνάρτηση

Τα γκαουσιανά φίλτρα έχουν πέντε ιδιότητες που τα κάνουν ιδιαιτέρως χρήσιμα στα πρώτα στάδια της επεξεργασίας εικόνων. Αυτές οι ιδιότητες δείχνουν ότι τα φίλτρα αυτά είναι αποτελεσματικά φίλτρα απ' την πλευρά και της χωρικής πληροφορίας και του πεδίου των συχνοτήτων. Επειδή είναι αποτελεσματικά στην υλοποίηση χρησιμοποιούνται κατά κόρον από αναλυτές σε πρακτικές εφαρμογές οπτικής ανάλυσης με πολύ καλά αποτελέσματα. Οι πέντε αυτές ιδιότητες είναι:

1. Στις δύο διαστάσεις, τα γκαουσιανά φίλτρα είναι περιστροφικά συμμετρικά. Αυτό σημαίνει ότι το ποσό της ομαλοποίησης που πραγματοποιείται από το φίλτρο θα είναι το ίδιο σε όλες τις κατευθύνσεις. Έτσι δεν χρειάζεται να επαναλάβουμε τη διαδικασία και σε άλλη

κατεύθυνση πέραν της αρχικής, και ακόμα δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα της ανίχνευσης ακμών προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

2. Η συνάρτηση Gauss έχει μια κορυφή. Αυτό σημαίνει ότι τα φίλτρα αυτά ομαλοποιούν, αντικαθιστώντας κάθε pixel της εικόνας με ζυγισμένο μέσο όρο των γειτονικών pixel τέτοιο, που το βάρος που δίνεται σε μια γειτονιά αυξάνεται μονοτονικά, συναρτήσει της απόστασης από το κεντρικό pixel. Αυτή η ιδιότητα είναι απαραίτητη αφού μια ακμή είναι ένα τοπικό μέγιστο σε μια εικόνα, και μια διαδικασία ομαλοποίησης που δίνει πιο πολύ σημασία στα απομακρυσμένα pixel θα διαστρέψει το αποτέλεσμα.
3. Ο μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης Gauss έχει μια κορυφή στο φάσμα συχνοτήτων. Αυτή η ιδιότητα είναι αποτέλεσμα του ότι ο μετασχηματισμός Fourier μιας γκαουσιανής συνάρτησης είναι η ίδια μια γκαουσιανή συνάρτηση. Η μια κορυφή στον μετασχηματισμό Fourier μιας συνάρτησης Gauss σημαίνει ότι η ομαλοποιημένη εικόνα δεν θα διαστρεβλωθεί από μη επιθυμητά σήματα υψηλών συχνοτήτων, ενώ τα περισσότερα από τα επιθυμητά σήματα θα διατηρηθούν.
4. Το εύρος, με αποτέλεσμα και το βαθμό της ομαλοποίησης, ενός γκαουσιανού φίλτρου παραμετροποιείται από το σ , και η σχέση μεταξύ σ και βαθμού ομαλοποίησης είναι πολύ απλή. Ένα μεγαλύτερο σ συνεπάγεται ένα διευρυμένο γκαουσιανό φίλτρο και περισσότερη ομαλοποίηση. Οι αναλυτές μπορούν να προσαρμόσουν το βαθμό της ομαλοποίησης για να επιτύχουν ένα συμβιβασμό ανάμεσα σε υπερβολικό θόλωμα των στοιχείων της επιθυμητής εικόνας (πολύ θόλωμα) και υπερβολική ανεπιθύμητη ποικιλία στην ομαλοποιημένη εικόνα εξαιτίας θορύβου και λεπτής υφής (λίγο θόλωμα).
5. Μεγάλα γκαουσιανά φίλτρα μπορούν να υλοποιηθούν πολύ ικανοποιητικά γιατί οι γκαουσιανές συναρτήσεις είναι διασπασίμες. Δισδιάστατη γκαουσιανή συνέλιξη μπορεί να πραγματοποιηθεί περνώντας την εικόνα από ένα μονοδιάστατο γκαουσιανό φίλτρο και στη συνέχεια περνώντας το αποτέλεσμα από ένα παρόμοιο μονοδιάστατο φίλτρο προσανατολισμένο ορθογώνια, σε σχέση με το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο στάδιο. Έτσι το ποσό των υπολογισμών που χρειάζεται ένα δισδιάστατο γκαουσιανό φίλτρο αυξάνεται γραμμικά σε σχέση με το πλάτος της μάσκας αντί να αυξάνεται τετραγωνικά.

Σχεδιασμός Γκαουσιανών Φίλτρων

Μια πολύ καλή προσέγγιση γκαουσιανών φίλτρων παρέχεται από τους συντελεστές της πολυωνυμικής διαστολής:

$$(1 + x)^n = \binom{n}{0} + \binom{n}{1}x + \binom{n}{2}x^2 + \dots + \binom{n}{n}x^n$$

Έτσι, χρησιμοποιούμε τη γραμμή n του τριγώνου του Pascal σαν μονοδιάστατη, n -σημείων προσέγγιση σε ένα γκαουσιανό φίλτρο. Για παράδειγμα, μια 5-σημείων προσέγγιση είναι:

1	4	6	4	1
---	---	---	---	---

που ανταποκρίνεται στην πέμπτη γραμμή του τριγώνου του Pascal, το οποίο παριστάνει την σχέση των διωνυμικών συντελεστών (για την πέμπτη γραμμή έχουμε

$$(\alpha + \beta)^4 = \alpha^4 + 4\alpha^3\beta + 6\alpha^2\beta^2 + 4\alpha\beta^3 + \beta^4).$$

Μια άλλη προσέγγιση για το σχεδιασμό αυτό είναι να υπολογίσουμε τα βάρη της μάσκας απευθείας από την γκαουσιανή κατανομή:

$$g[i, j] = ce^{-\frac{(i^2+j^2)}{2\sigma^2}},$$

όπου c είναι μια σταθερά κανονικοποίησης. Αν ξαναγράψουμε αυτή τη σχέση:

$$\frac{g[i, j]}{c} = e^{-\frac{(i^2+j^2)}{2\sigma^2}}$$

και διαλέξουμε μια τιμή για το σ^2 μπορούμε να το εφαρμόσουμε πάνω από ένα $n \times n$ πίνακα για δημιουργήσουμε ένα πυρήνα ή μάσκα, για τον οποίο η τιμή στη θέση $[0,0]$ ισούται με 1. Για παράδειγμα, διαλέγοντας $\sigma^2=2$ και $n=7$, η παραπάνω έκφραση παράγει τον πίνακα:

[i, j]	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	.011	.039	.082	.105	.082	.039	.011
-2	.039	.135	.287	.368	.287	.135	.039
-1	.082	.287	.606	.779	.606	.287	.082
0	.105	.368	.779	1.000	.779	.368	.105
1	.082	.287	.606	.779	.606	.287	.082
2	.039	.135	.287	.368	.287	.135	.039
3	.011	.039	.082	.105	.082	.039	.011

Πίνακας 8

Πίνακας με $\sigma^2=2$ και $n=7$

Παρ' όλα αυτά επιθυμούμε τα βάρη του φίλτρου να είναι ακέραιοι για ευκολία στους υπολογισμούς. Γι' αυτό παίρνουμε την τιμή μιας απ' τις γωνίες του πίνακα, και διαλέγουμε k έτσι ώστε αυτή η τιμή να γίνει 1. Χρησιμοποιώντας το παραπάνω παράδειγμα, παίρνουμε:

$$\frac{g[3,3]}{k} = e^{-\frac{(3^2+3^2)}{2(2)^2}} = 0.011 \Rightarrow k = \frac{g[3,3]}{0.011} = \frac{1.0}{0.011} = 91$$

Τώρα, πολλαπλασιάζοντας τα υπόλοιπα βάρη με το k , έχουμε

[i, j]	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	1	4	7	10	7	4	1
-2	4	12	25	33	25	12	4
-1	7	26	55	71	55	26	7
0	10	33	71	91	71	33	10
1	7	26	55	71	55	26	7
2	4	12	26	33	26	12	4
3	1	4	7	10	7	4	1

Πίνακας 9

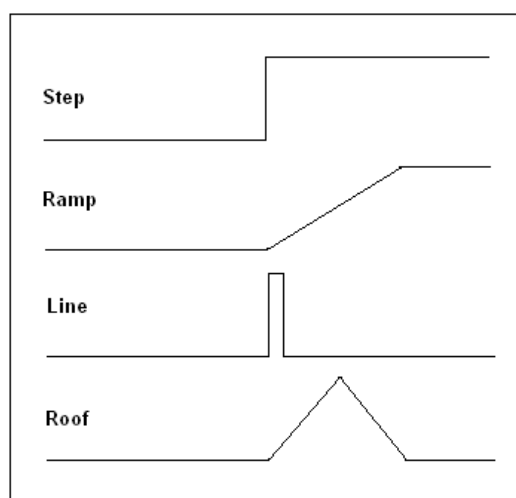
Πίνακας μετά τον πολλαπλασιασμό βαρών με k

Αυτή είναι η μάσκα για $\sigma^2=2$ και $n=7$ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο γκαουσιανό φίλτρο για να αποκτήσουμε την τελική εικόνα.

4.3 Ανίχνευση ακμών (Edge Detection)

Τα πρώτα στάδια της οπτικής επεξεργασίας αναγνωρίζουν χαρακτηριστικά στις εικόνες που είναι σχετικά με τον υπολογισμό της δομής και των ιδιοτήτων των αντικειμένων σε μια σκηνή. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό είναι και οι ακμές οι οποίες είναι σημαντικές αλλαγές στην εικόνα και αποτελούν σημαντικά χαρακτηριστικά για την ανάλυση εικόνων. Ακμές τυπικά προκύπτουν στο όριο μεταξύ δύο διαφορετικών περιοχών σε μια εικόνα. Η ανίχνευση ακμών είναι συχνά το πρώτο βήμα στην ανάκτηση πληροφοριών από εικόνες. Λόγω της αναγκαιότητας της, η ανίχνευση ακμών συνεχίζει να είναι μια ενεργή περιοχή έρευνας.

Μια ακμή είναι σημαντική τοπική όταν η αλλαγή στη φωτεινότητα της εικόνας, συνδέεται με μια ασυνέχεια είτε της φωτεινότητας είτε της πρώτης παραγώγου της. Ασυνέχειες της φωτεινότητας της εικόνας μπορεί να είναι βηματικές ασυνέχειες, όπου η φωτεινότητα αλλάζει απότομα από μια τιμή στη μια πλευρά της ασυνέχειας σε μια διαφορετική τιμή στην άλλη πλευρά ή γραμμικές ασυνέχειες, που η φωτεινότητα της εικόνας απότομα αλλάζει τιμή, αλλά επιστρέφει στην αρχική τιμή μέσα σε μικρή απόσταση. Παρόλα αυτά, βηματικές και γραμμικές ακμές είναι σπάνιες σε πραγματικές εικόνες. Εξαιτίας της χαμηλής συχνότητας συστατικών ή της ομαλοποίησης που παρουσιάζεται στις περισσότερες ευαίσθητες συσκευές, απότομες ασυνέχειες σπάνια υπάρχουν σε πραγματικά σήματα. Οι βηματικές ακμές γίνονται *ακμές με κλίση (ramp edges)* και οι γραμμικές γίνονται *ακμές με στέγη (roof edges)* όπου οι αλλαγές της φωτεινότητας δεν είναι ακαριαίες, αλλά προκύπτουν σε μετρήσιμη απόσταση. Παρουσιάσεις αυτών των ακμών παρέχονται αμέσως μετά.



Εικόνα 21
Είδη ακμών

Πριν προχωρήσουμε στην ανίχνευση ακμών, μερικοί όροι πρέπει να οριστούν προσεκτικά:

1. Σημείο ακμής (edge point) είναι ένα σημείο σε μια εικόνα με συντεταγμένες $[i,j]$ όπου έχουμε σημαντική αλλαγή της τοπικής φωτεινότητας.
2. Ένα μέρος ακμής (edge fragment) ανταποκρίνεται στις i,j συντεταγμένες μιας ακμής και στον προσανατολισμό της θ , που μπορεί να είναι η γωνία κλίσης.
3. Ένας ανιχνευτής ακμών (edged detector) είναι ένας αλγόριθμος που παράγει ένα σύνολο ακμών (σημεία ακμών ή μέρη ακμών) από μια εικόνα.
4. Το περίγραμμα (contour) είναι μια λίστα ακμών ή η μαθηματική καμπύλη που μοντελοποιεί τη λίστα των ακμών.
5. Η σύνδεση ακμών (edge linking) είναι η διαδικασία μορφοποίησης μιας ταξινομημένης λίστας ακμών από μία μη ταξινομημένη λίστα. Από σύμβαση, οι ακμές ταξινομούνται σύμφωνα με τη διεύθυνση τους με δεξιόστροφη επιλογή τους.
6. Ακολουθία ακμών (edge following) είναι η διαδικασία ανίχνευσης της (φιλτραρισμένης) εικόνας για περιγράμματα.

Κλίση (Gradient)

Η ανίχνευση ακμών είναι ουσιαστικά η διαδικασία ανίχνευσης σημαντικών τοπικών αλλαγών σε μια εικόνα. Σε μία διάσταση, μια βηματική ακμή συνδέεται με ένα τοπικό μέγιστο της πρώτης παραγώγου. Η κλίση είναι μια μέτρηση αλλαγής σε μια συνάρτηση και μια εικόνα μπορεί να θεωρηθεί σαν πίνακας παραδειγμάτων μιας συνεχόμενης συνάρτησης της φωτεινότητας της εικόνας. Κατά αναλογία, σημαντικές αλλαγές στις τιμές γκρι-επιπέδου μιας εικόνας μπορούν να ανιχνευθούν χρησιμοποιώντας μια ξεχωριστή στρογγυλοποίηση της κλίσης. Η κλίση είναι το δισδιάστατο ισοδύναμο της πρώτης παραγώγου και ορίζεται σαν το άνυσμα:

$$G[f(x, y)] = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (\text{f.1})$$

Αυτές είναι δυο σημαντικές ικανότητες που συνδέονται με την κλίση: (1) το διάνυσμα $G[f(x, y)]$ δείχνει στην κατεύθυνση της μέγιστης τιμής της αύξησης της συνάρτησης $f(\mathbf{x}, \mathbf{y})$, και (2) το μέγεθος της κλίσης, που δίνεται από:

$$G[f(x, y)] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2},$$

ισοδυναμεί στη μέγιστη τιμή αύξησης της $f(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ ανά μονάδα απόστασης στην κατεύθυνση \mathbf{G} . Είναι όμως συνηθισμένη τακτική, να στρογγυλοποιείται το μέγεθος της κλίσης από απόλυτες τιμές:

$$G[f(x, y)] \approx |G_x| + |G_y|$$

ή

$$G[f(x, y)] \approx \max(|G_x|, |G_y|)$$

Για ανάλυση διανύσματος, η διεύθυνση της κλίσης ορίζεται ως:

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

όπου η γωνία α υπολογίζεται σε σχέση με τον x άξονα.

Εδώ να σημειώσουμε ότι το μέγεθος της κλίσης είναι ανεξάρτητο της διεύθυνσης της ακμής. Τέτοιοι τελεστές ονομάζονται *ισοτροπικοί τελεστές (isotropic operators)*.

Αριθμητικοί υπολογισμοί

Για ψηφιακές εικόνες, οι παράγωγοι της ισότητας (f.1) υπολογίζονται από διαφορές. Η πιο απλή στρογγυλοποίηση κλίσης είναι:

$$G_x \cong f[i, j + 1] - f[i, j]$$

$$G_y \cong f[i, j] - f[i + 1, j]$$

Υπενθυμίζουμε ότι το j ανταποκρίνεται στην x διεύθυνση και το i στην αρνητική y διεύθυνση. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με απλές μάσκες συνέλιξης όπως δείχνεται παρακάτω:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Όταν υπολογίζεται μια προσέγγιση στην κλίση, είναι κρίσιμο ότι οι x και y μερικοί παράγωγοι υπολογίζονται ακριβώς στην ίδια θέση στο χώρο. Παρ' όλα αυτά, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω στρογγυλοποιήσεις, το G_x είναι στην πράξη η στρογγυλοποίηση της κλίσης στο παρεμβαλλόμενο σημείο $[i, j + \frac{1}{2}]$ και G_y στο σημείο $[i + \frac{1}{2}, j]$. Γι' αυτό το λόγο συνήθως, χρησιμοποιούνται για τις x και y παραγώγους, 2×2 πρώτες διαφορές, παρά 2×1 και 1×2 μάσκες,:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Βήματα της ανίχνευσης ακμών

Οι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών συμπεριλαμβάνουν τρία βήματα:

- **Φιλτράρισμα (Filtering):** Αφού οι υπολογισμοί κλίσης που βασίζονται στις τιμές έντασης φωτεινότητας δύο μόνο σημείων είναι ευάλωτες σε θόρυβο και άλλες ιδιαιτερότητες, το φιλτράρισμα συνήθως χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την απόδοση ενός ανιχνευτή ακμών με σεβασμό στο θόρυβο. Ωστόσο, υπάρχει μια εξισορρόπηση ανάμεσα στην ένταση της ακμής και στη μείωση του θορύβου. Περισσότερο φιλτράρισμα για τη μείωση θορύβου έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης της ακμής.
- **Τονισμός (Enhancement):** Για να διευκολύνουμε την ανίχνευση ακμών, είναι απαραίτητο να ανιχνευθούν αλλαγές της φωτεινότητας στην γειτονιά ενός σημείου. Ο τονισμός δίνει έμφαση σε $pixel$ που υπάρχει μια σημαντική αλλαγή στις τοπικές τιμές φωτεινότητας και συνήθως πραγματοποιείται υπολογίζοντας το μέγεθος της κλίσης.
- **Ανίχνευση (Detection):** Θέλουμε μόνο σημεία με έντονο περιεχόμενο ακμής. Ωστόσο, πολλά σημεία σε μια εικόνα έχουν μια μη μηδενική τιμή κλίσης, και δεν είναι όλα αυτά τα σημεία ακμές για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Γι' αυτό, μια μέθοδος πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να ανιχνευθούν ποια σημεία ανήκουν σε ακμή. Συχνά, η κατωφλίωση παρέχει ένα κριτήριο που χρησιμοποιείται για ανίχνευση.

Πολλοί αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών περιέχουν ένα τέταρτο βήμα την **Εντόπιση (Localization)**, κατά το οποίο η τοποθεσία της ακμής μπορεί να υπολογιστεί με την ανάλυση υπό-εικονοστοιχείου αν χρειάζεται από την εφαρμογή, όπως επίσης και ο προσανατολισμός της.

Roberts Operator

Ο σταυρωτός τελεστής του Robert παρέχει μια απλή προσέγγιση του μεγέθους της κλίσης:

$$G[f[i, j]] = |f[i, j] - f[i + 1, j + 1]| + |f[i + 1, j] - f[i, j + 1]|$$

Χρησιμοποιώντας μάσκες συνέλιξης, αυτό γίνεται:

$$G[f[i, j]] = |G_x| + |G_y|$$

που τα G_x και G_y υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες μάσκες:

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Sobel Operator

Ένας τρόπος για να αποφύγουμε να υπολογίσουμε την κλίση ενός παρεμβαλλόμενου σημείου ανάμεσα στα pixel είναι να χρησιμοποιήσουμε μια 3x3 γειτονιά για τους υπολογισμούς της κλίσης. Ο τελεστής Sobel είναι ένα μέγεθος της κλίσης υπολογισμένο από:

$$M = \sqrt{s_x^2 + s_y^2},$$

που οι μερικές παράγωγοι υπολογίζονται από,

$$s_x = (a_2 + ca_3 + a_4) - (a_0 + ca_7 + a_6)$$

$$s_y = (a_0 + ca_1 + a_2) - (a_6 + ca_5 + a_4)$$

με τη σταθερά $c=2$.

Όπως και στους άλλους τελεστές κλίσης, τα s_x και s_y μπορούν να υλοποιηθούν χρησιμοποιώντας μάσκες συνέλιξης:

$$s_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad s_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 0 \\ -1 & -2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_0 & a_1 \\ a_7 & [i, j] \\ a_6 & a_5 \end{bmatrix}$$

Η ονομασία των γειτονικών ρixel που χρησιμοποιείται για την εξήγηση του τελεστή Sobel.

Canny Edge Detector

Ο ανιχνευτής ακμών Canny είναι η πρώτη παράγωγος μια γκαουσιανής συνάρτησης και υπολογίζει τον τελεστή που βελτιστοποιεί την αναλογία του σήματος-θορύβου και την εντόπιση. Ο αλγόριθμος αυτός συνοψίζεται απ' την παρακάτω σημείωση. Ας πούμε ότι το $I[i, j]$ δηλώνει την εικόνα. Το αποτέλεσμα απ' τη συνέλιξη της εικόνας με ένα γκαουσιανό φίλτρο ομαλοποίησης χρησιμοποιώντας διασπασίμο φιλτράρισμα είναι ένας πίνακας από ομαλοποιημένα δεδομένα,

$$S[i, j] = G[i, j; \sigma] * I[i, j],$$

που το σ είναι το πλάτος της γκαουσιανής και ελέγχει το βαθμό ομαλοποίησης.

Η κλίση του ομαλοποιημένου πίνακα $S[i, j]$ μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις 2x2 πρώτες διαφοροποιήσεις στρογγυλοποίησης για να παραχθούν δύο πίνακες $P[i, j]$ και $Q[i, j]$ για τις x και y μερικές παραγώγους:

$$P[i, j] \approx \frac{(S[i, j+1] - S[i, j]) + S[i+1, j+1] - S[i+1, j])}{2}$$

$$Q[i, j] \approx \frac{(S[i, j] - S[i+1, j]) + S[i, j+1] - S[i+1, j+1])}{2}$$

Οι μετρήσιμες διαφορές φτιάχνουν ένα μέσο όρο πάνω απ' το 2x2 τετράγωνο έτσι ώστε οι x και y μερικές παράγωγοι να υπολογιστούν στο ίδιο σημείο της εικόνας. Το μέγεθος και η κατεύθυνση της κλίσης μπορεί να υπολογιστεί απ' τις καθιερωμένες φόρμουλες μετατροπής ορθογώνιας σε πολική:

$$M[i, j] = \sqrt{P[i, j]^2 + Q[i, j]^2}$$

$$\theta[i, j] = \arctan(Q[i, j], P[i, j]) ,$$

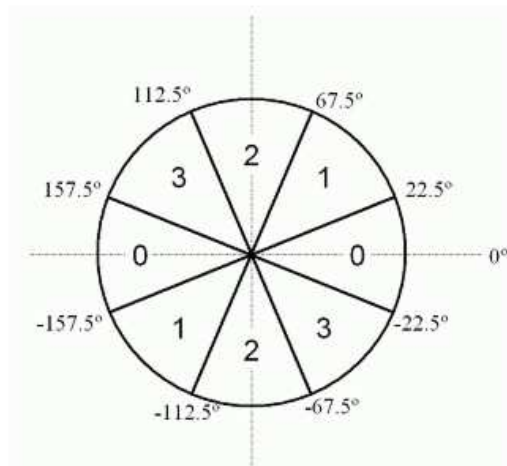
όπου η συνάρτηση \arctan παίρνει δυο παραμέτρους και παράγει μια γωνία πάνω απ' ολόκληρο τον κύκλο των πιθανών κατευθύνσεων. Αυτές οι συναρτήσεις πρέπει να υπολογιστούν αποτελεσματικά, κατά προτίμηση χωρίς να κάνουμε πράξεις πραγματικών αριθμών.

Nonmaxima Suppression (Καταστολή των μη μεγίστων σημείων)

Ο πίνακας $M[i, j]$ της έντασης της κλίσης θα έχει μεγάλες τιμές όπου η κλίση της εικόνας είναι μεγάλη, αλλά αυτό δεν είναι αρκετό για να αναγνωριστούν οι ακμές, αφού το πρόβλημα να βρούμε μέρη στον πίνακα της εικόνας που υπάρχει γρήγορη αλλαγή έχει μετατραπεί στο να βρούμε μέρη στον πίνακα $M[i, j]$ που είναι τοπικά μέγιστα. Για να αναγνωριστούν οι ακμές, οι φαρδιές ανυψώσεις στον πίνακα M πρέπει να εξασθενίσουν έτσι ώστε μόνο τα μεγέθη των σημείων των μεγαλύτερων τοπικών αλλαγών να παραμείνουν. Αυτή η διαδικασία, ονομάζεται *nonmaxima suppression*, που σ' αυτή την περίπτωση έχει ως αποτέλεσμα εξασθενημένες ακμές.

Ο αλγόριθμος αυτός αρχίζει απ' τη μείωση της γωνίας κλίσης $\theta[i, j]$ σε ένα απ' τους τέσσερις τομείς που δείχνονται στην παρακάτω εικόνα.

$$\zeta[i, j] = \text{Sector}(\theta[i, j])$$



Εικόνα 22

Διαμελισμός πιθανών κατευθύνσεων της κλίσης σε τομείς
(αλγόριθμος *nonmaxima suppression*)

Υπάρχουν τέσσερις τομείς, αριθμημένοι από το 0 έως το 3, που ανταποκρίνονται στους τέσσερις πιθανούς συνδυασμούς των στοιχείων σε μια 3x3 γειτονιά που μια γραμμή πρέπει να περάσει καθώς διαπερνά το κέντρο της γειτονιάς. Οι υποδιαίρέσεις του κύκλου των πιθανών γραμμικών κατευθύνσεων της κλίσης ονοματίζονται με μοίρες

Ο αλγόριθμος περνά μια 3x3 γειτονιά κατά μήκος του πίνακα $M[i, j]$. Σε κάθε σημείο, το κεντρικό στοιχείο $M[i, j]$ της γειτονιάς συγκρίνεται με τα δυο του γειτονικά κατά μήκος της

γραμμής της κλίσης που δίνεται απ' την τιμή του τομέα $\zeta[i, j]$ στο κέντρο της γειτονιάς. Αν η τιμή αυτή $M[i, j]$ στο κέντρο δεν είναι μεγαλύτερη και απ' τις δυο γειτονικές κλίσεις κατά μήκος της γραμμής κλίσης, τότε το $M[i, j]$ γίνεται 0. Αυτή η διαδικασία εξουθενώνει τις φαρδιές ανυψώσεις του μεγέθους της κλίσης στο $M[i, j]$ τόσο ώστε κάθε ανύψωση έχει μόνο ένα pixel φάρδος.

Ας πούμε ότι το

$$N[i, j] = nms (M [i, j], \zeta [i, j])$$

δηλώνει τη διαδικασία του *nonmaxima suppression*. Οι μη μηδενικές τιμές στο $N[i, j]$ ανταποκρίνονται στην ποσότητα αντίθεσης μιας βηματικής αλλαγής της φωτεινότητας της εικόνας. Παρ' όλη τη διαδικασία ομαλοποίησης, στο πρώτο βήμα της ανίχνευσης ακμών η τελική εικόνα $N[i, j]$ θα περιέχει πολλά λάθος τμήματα ακμών εξαιτίας θορύβου και λεπτής υφής. Η αντίθεση των τμημάτων των λάθος ακμών είναι μικρή.

Thresholding (Κατωφλίωση)

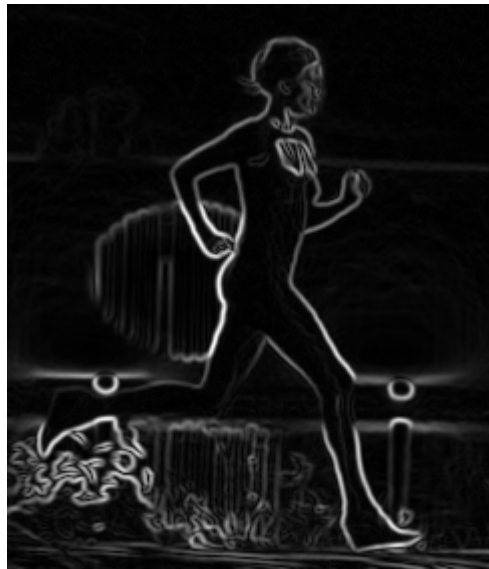
Η τυπική διαδικασία που χρησιμοποιείται για τη μείωση του αριθμού των λάθος τμημάτων ακμών είναι να εφαρμόσουμε ένα κατώφλι στο $N[i, j]$. Όλες οι τιμές κάτω απ' αυτό το κατώφλι αλλάζουν σε μηδέν και οι υπόλοιπες γίνονται ένα. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής ενός τέτοιου κατωφλίου είναι ένας πίνακας με τις ακμές που ανιχνεύθηκαν στην εικόνα $I[i, j]$. Θα υπάρχουν ακόμα μερικές λάθος ακμές γιατί το κατώφλι τ ήταν πολύ μικρό, και τμήματα από αληθή περιγράμματα μπορεί να λείπουν επειδή το κατώφλι τ ήταν πολύ μεγάλο. Η επιλογή του σωστού κατωφλίου είναι δύσκολη και εμπεριέχει μια μέθοδο δοκιμής και λάθους. Μια πιο λειτουργική διαδικασία είναι η χρήση δυο κατωφλίων.

Ο αλγόριθμος της διπλής κατωφλίωσης παίρνει την εικόνα $N[i, j]$, και εφαρμόζει δυο κατώφλια τ_1 και τ_2 , με $\tau_1 \approx 2\tau_2$, για να παραχθούν δυο εικόνες ακμών $T_1[i, j]$ και $T_2[i, j]$. Αφού η εικόνα φτιάχτηκε με μεγαλύτερο κατώφλι, θα περιέχει λιγότερες λάθος ακμές, αλλά η εικόνα T_2 μπορεί να έχει κενά στα περιγράμματα. Ο αλγόριθμος διπλής κατωφλίωσης συνδέει τις ακμές της T_2 σε περιγράμματα. Όταν φτάσει στο τέλος ενός περιγράμματος, ο αλγόριθμος κοιτάει στην T_1 στην τοποθεσίες των οχτώ γειτονικών εικονοστοιχείων για ακμές που μπορούν

να συνδεθούν στο περίγραμμα. Ο αλγόριθμος συνεχίζει να μαζεύει ακμές απ' την T_1 μέχρι το διάκενο να έχει γεφυρωθεί με μια ακμή της T_2 .

Συνοπτικά ο αλγόριθμος του ανιχνευτή ακμών Canny

1. Ομαλοποίηση της εικόνας με ένα γκαουσιανό φίλτρο.
2. Υπολογισμός του μεγέθους κλίσης και προσανατολισμού χρησιμοποιώντας πεπερασμένης διαφοράς στρογγυλοποιήσεις για τις μερικές παραγώγους.
3. Εφαρμογή του αλγόριθμου nonmaxima suppression στο μέγεθος της κλίσης.
4. Χρησιμοποίηση του αλγόριθμου διπλής κατωφλίωσης για την ανίχνευση και σύνδεση των ακμών.

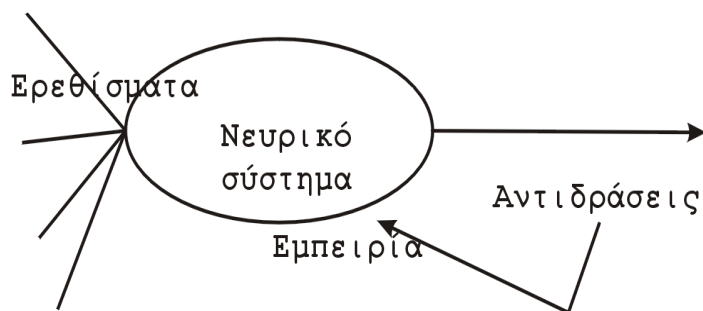


*Εικόνα 23
Εικόνα ανιχνευμένων ακμών*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

5.1 Ιστορική Αναδρομή

Το νευρικό σύστημα αποτελεί το σημαντικότερο και ίσως πιο σύνθετο βιοχημικό εργαστήριο ενός ανθρώπινου οργανισμού. Από την αρχαιότητα αποτελούσε ένα μυστήριο και η μελέτη του απασχόλησε πολλούς διανοητές από όλα σχεδόν τα πεδία της επιστήμης. Φιλόσοφοι, όπως ο Αριστοτέλης, προσπάθησαν να μελετήσουν την ικανότητα ενός ανθρώπου να κάνει συλλογισμούς δεχόμενος ερεθίσματα του περιβάλλοντος τα οποία και προσλαμβάνει με τα αισθητήρια όργανα του. Τα ερεθίσματα σε συνδυασμό με την εμπειρία του οργανισμού μετατρέπονται σε αντιδράσεις. Ο άνθρωπος έχει και μια άλλη σημαντική δυνατότητα, την δυνατότητα της μάθησης. Έτσι κάθε φορά που κάνει ένα συλλογισμό, το αποτέλεσμα της σκέψης λειτουργεί θετικά αυξάνοντας την εμπειρία του οργανισμού.

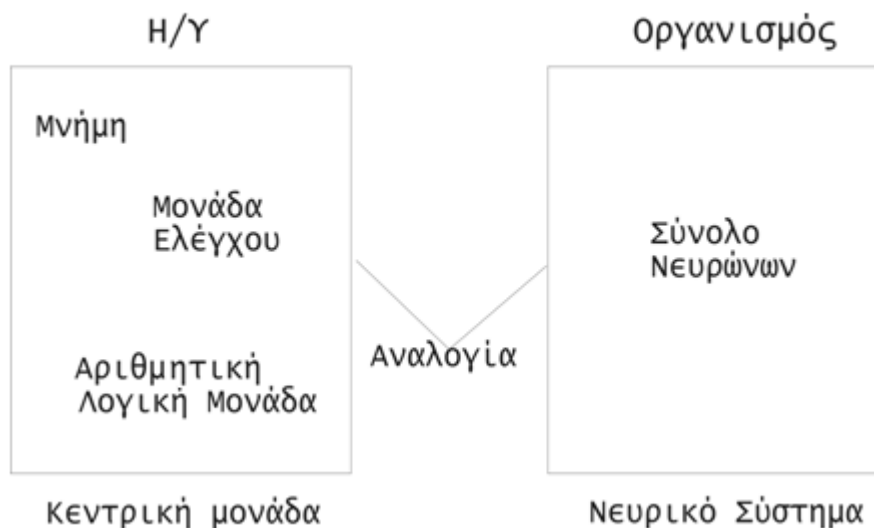


Εικόνα 24
Τυπικός Νευρώνας

Αυτή η θαυμάσια λειτουργία αποτέλεσε ένα σημαντικό πεδίο μελέτης από την αρχή του εικοστού αιώνα. Οι «νεφελώδεις» αρχικές θεωρίες άρχισαν να οργανώνονται σε ένα ξεχωριστό κλάδο της επιστήμης, αυτό των τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Ιδιαίτερα την δεκαετία του 1980 άρχισε να γίνεται φανερό ότι ο δρόμος προς την δημιουργία «σκεπτόμενων» μηχανών περνά από τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Μαζί με επιστημονικά πεδία όπως η τεχνητή νοημοσύνη, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα χαρίζουν στους Η/Υ όλο και πιο πολλές δυνατότητες εκμεταλλευόμενα λογικές λειτουργίας του νευρικού συστήματος.

5.2 Βιολογικοί νευρώνες

Το νευρικό σύστημα ενός οργανισμού συντίθεται από εκατομμύρια νευρικά κύτταρα που αποτελούν και τις θεμελιώδεις δομικές του μονάδες. Τα νευρικά κύτταρα ή νευρώνες είναι ένα είδος κυττάρων που παρέχουν την δυνατότητα της μνήμης σε ένα οργανισμό.



Εικόνα 25
Αναλογία τεχνητού & φυσικού Νευρώνα

Βασικό χαρακτηριστικό του βιολογικού νευρώνα είναι η ερεθιστικότητα δηλαδή η δυνατότητα αντίδρασης στα ερεθίσματα (ηλεκτρομαγνητικά, θερμικά, μηχανικά, χημικά κτλ) που προέρχονται από το περιβάλλον.

Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα ενός οργανισμού αποτελείται από δισεκατομμύρια νευρικά κύτταρα που είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους δημιουργώντας με ένα δαιδαλώδες δίκτυο επικοινωνίας, κατά αναλογία με τα δίκτυα των Η/Υ. Η λογική μετάβασης της πληροφορίας είναι η διαδοχική μεταφορά του «σήματος» από τις ερεθισμένες προς τις ανερέθιστες περιοχές. Η διάδοση αυτή των ερεθισμάτων μπορεί να παρομοιαστεί με ένα είδος λαμπαδηδρομίας, όπου η φλόγα κάθε λαμπαδηδρόμου σβήνει μόλις ανάψει την δάδα του επόμενου, έτσι ώστε να είναι έτοιμη να δεχτεί νέα ερεθίσματα.

Οι νευρώνες καταλαμβάνουν το 10% του συνολικού αριθμού των εγκεφαλικών κυττάρων. Αποτελούν ένα τρισδιάστατο δίκτυο το οποίο βυθίζεται σε υγρό από κύτταρα που επιτελούν επικουρικές εργασίες για την λειτουργία του νευρικού συστήματος λειτουργίες (π.χ. καθαρισμός υπολειμμάτων κατεστραμμένων νευρώνων, ωρίμανση, γήρανση, μάθηση κτλ).

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος καταναλώνει το 15% της ενέργειας που παράγεται από τον οργανισμό και αποτελεί το 2% του ανθρώπινου βάρους. Κάθε νευρώνας περιέχει εκατοντάδες μόρια περίπλοκων χημικών ενώσεων. Τα κύτταρα (νευρικά, μυϊκά, αδενικά) συνδέονται με ένα πλήθος από νευρικούς άξονες που εξασφαλίζουν την μεταφορά των ερεθισμάτων προς τις περιοχές λήψης απόφασης των αντιδράσεων.

Η επαφή του άξονα αυτού με το κύτταρο ονομάζεται σύνοψη. Μέσω της σύνοψης προωθείται το ερέθισμα στο επόμενο κύτταρο. Στα θηλαστικά οι συνόψεις είναι χημικής φύσης, ενώ σ' άλλα είδη είναι ηλεκτρικής μορφής. Όσο πιο συχνά χρησιμοποιείται μια σύνοψη γίνεται πιο αποδοτική και αξιόπιστη, άρα «μαθαίνει» όσο πιο πολύ χρησιμοποιείται.

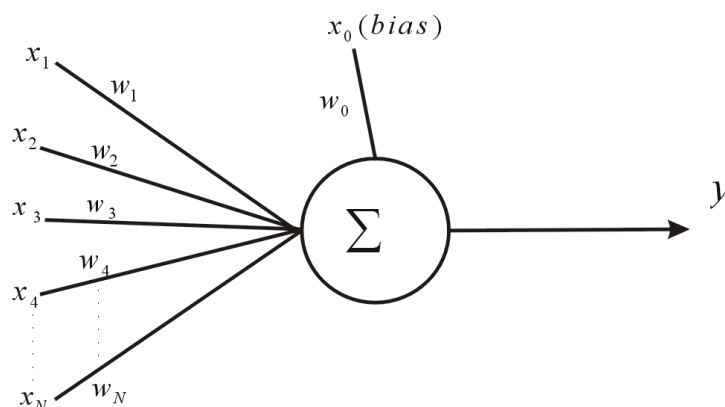
Οι νευρώνες όπως προαναφέρθηκε δημιουργούν ένα περίπλοκο δίκτυο που ονομάζεται Κεντρικό Νευρικό Σύστημα. Με μια άλλη αντιμετώπιση θα μπορούσαμε να πούμε ότι το ΚΝΣ αποτελείται από ομάδες νευρώνων που συναποτελούν τα νευρικά δίκτυα. Κατασκευαστικά γι' αυτά τα δίκτυα δεν υπάρχουν όρια στο πλήθος των συνάψεων που περιλαμβάνουν. Ο άνθρωπος έχει 10^{11} νευρώνες με 1000 συνόψεις περίπου ο καθένας, δηλαδή συνολικά 10^{14} συνόψεις. Η ταχύτητα λειτουργίας του εγκεφάλου είναι 100 Hz, άρα μπορούμε να πούμε ότι η ταχύτητα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι 10^{16} συνόψεις /δευτερόλεπτο. Αυτή η τεράστια ταχύτητα οφείλεται στην παράλληλη επεξεργασία των πληροφοριών.

Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα είναι μια περίπλοκη βιοχημική μηχανή που είναι φανερό ότι μπορεί να προσφέρει αρκετές συγκινήσεις και εκπλήξεις σε όποιον προσπαθήσει να την μελετήσει.

5.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

5.3.1 Ο Τεχνητός Νευρώνας

Μια προσέγγιση της λειτουργίας των βιολογικών νευρώνων είναι οι τεχνητοί νευρώνες.



Εικόνα 26
Τεχνητός Νευρώνας

Ένας τεχνητός νευρώνας αποτελείται από το διάνυσμα εισόδου \vec{x} τα βάρη (συνόψεις) \vec{w} για καθένα από τα στοιχεία του διανύσματος αυτού και την έξοδο του νευρώνα y . Επιπλέον μπορούμε να έχουμε την παρουσία μιας σταθερής εισόδου στον νευρώνα με τιμή $x_0 = 1$ ή $x_0 = -1$ με δικιά του σύνοψη w_0 η οποία ονομάζεται κατώφλι (bias). Στην έξοδο του τεχνητού νευρώνα εφαρμόζεται μια συνάρτηση η οποία και μας δίνει την τελική έξοδο. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται συνάρτηση μεταφοράς.

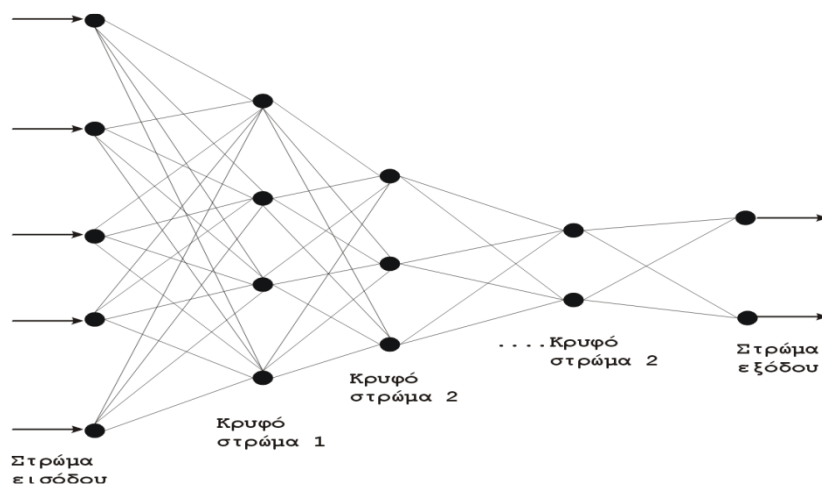
Αναλυτικότερα στον νευρώνα έχουμε την έξοδο να προκύπτει από το άθροισμα sum των γινομένων εισόδου και αντιστοίχου βάρους

$$sum = \left(\sum_i x_i w_i \right) + bias w_0$$

και το πέρασμα αυτού από την συνάρτηση μεταφοράς, ώστε να έχουμε το αποτέλεσμα του νευρώνα.

5.3.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Οι τεχνητοί νευρώνες μπορούν να αποτελέσουν κατά αντιστοιχία με τους βιολογικούς νευρώνες, βάση για την δημιουργία ενός συνόλου – δικτύου παρόμοιου με το Κεντρικό Νευρωνικό Σύστημα, το οποίο ονομάζεται Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (ΤΝΔ). Οι τεχνητοί νευρώνες που αποτελούν τα δίκτυα αυτά είναι οργανωμένοι σε αλληπάλγηλα επίπεδα, όπου η έξοδος του νευρώνα ενός επιπέδου μπορεί να αποτελέσει είσοδο σε ένα δεύτερο επίπεδο κ.ο.κ. . Αυτή η ιεραρχία μπορεί να συνεχιστεί για αρκετά επίπεδα.



Εικόνα 27
Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο

Αυτά τα επίπεδα ονομάζονται κρυφά στρώματα. Το πλήθος των επιπέδων και οι νευρώνες ανά επίπεδο δεν έχουν όριο στο πλήθος τους. Ο μόνος περιορισμός είναι ότι αυξάνοντας τα επίπεδα και τους νευρώνες αυξάνουμε τις συνόψεις κάνοντας το δίκτυο κατά την υλοποίηση του δαπανηρό, όσο αφορά την μνήμη και την επεξεργαστική ικανότητα που απαιτείται.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα στατικά και τα δυναμικά. Στατικά ονομάζονται τα δίκτυα η έξοδος των οποίων είναι συνάρτηση μόνο του τρέχοντος διανύσματος εισόδου ενώ δυναμικά τα δίκτυα που η έξοδος προκύπτει από εξισώσεις διαφορών.

Το βασικότερο στοιχείο μετά την μορφολογία του δικτύου, είναι ο αλγόριθμος εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου ο οποίος αποτελεί και τον τρόπο «εμφύτευσης» της γνώσης στο δίκτυο. Η εκπαίδευση έχει σαν στόχο να δώσει στις συνόψεις τις καταλληλότερες τιμές, ώστε αποθηκεύοντας αυτές να μπορούμε να προχωρήσουμε στην διαδικασία της ανάκλησης η οποία είναι και ο τρόπος με τον οποίο εκμεταλλευόμαστε την γνώση του δικτύου. Συγκεκριμένα υπάρχει ένα σύνολο από διανύσματα εισόδου για καθένα από τα οποία γνωρίζουμε και το ορθό διάνυσμα εξόδου. Αυτά λειτουργώντας με την εκάστοτε λογική εκπαίδευσης τα χρησιμοποιούμε για να βρούμε μια προσεγγιστική τιμή για τις συνόψεις, τέτοια ώστε να θέτουμε οποιοδήποτε διάνυσμα εισόδου και να μας επιστρέφει το δίκτυο με την ανάκληση μια σωστή τιμή. Κατορθώνουμε λοιπόν με την εκπαίδευση να τμηματοποιούμε τον χώρο των διανυσμάτων εισόδου σε δυο ή και περισσότερες κατηγορίες διανυσμάτων. Γενικά προσπαθούμε να δημιουργήσουμε μια συνάρτηση η οποία θα παράγει την επιθυμητή έξοδο σαν αποτέλεσμα ενός διανύσματος εισόδου. Μεγάλο ρόλο παίζει και το πλήθος των εκπαιδευτικών διανυσμάτων εισόδου, αφού όσο πιο μεγάλο είναι τόσο πιο λεπτομερή εκπαίδευση θα έχουμε. Οι βασικότερες μεθοδολογίες εκπαίδευσης που χρησιμοποιούνται είναι:

- Με εποπτεία από εξωτερική πηγή (Supervised).
- Χωρίς εποπτεία (Unsupervised).
- Με ανταγωνισμό.

Στην εκπαίδευση με εποπτεία από εξωτερική πηγή έχουμε ένα σταθερό σύνολο διανυσμάτων εισόδου τα οποία αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα διανύσματα εξόδου. Το δίκτυο με μια επαναληπτική διαδικασία προσπαθεί να προσεγγίσει μια σχέση μεταξύ των διανυσμάτων εισόδου και εξόδου, μεταβάλλοντας σταδιακά τις συνόψεις και ελέγχοντας τις επιπτώσεις της μεταβολής αυτής. Βασικό στοιχείο για μια επιτυχή εκπαίδευση είναι, να θέτουμε στις συνόψεις αρχικές τιμές, τέτοιες ώστε να μπορούμε με ευκολία να προσεγγίσουμε τις επιθυμητές. Αυτό γίνεται θέτοντας τις τυχαία σε κάποιο διάστημα ή ακολουθώντας κάποια λογική, όπως π.χ. στο RBF όπου μπορούμε ακολουθώντας την λογική k -means να αρχικοποιήσουμε τα βάρη σε ένα εκπαιδευτικό διάνυσμα. Στην εκπαίδευση με εποπτεία έχουμε την διακοπή του αλγορίθμου όταν ελαχιστοποιηθεί, κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα, μια συνάρτηση σφάλματος που δίνει την απόκλιση των επιθυμητών εξόδων από τα εξαγόμενα

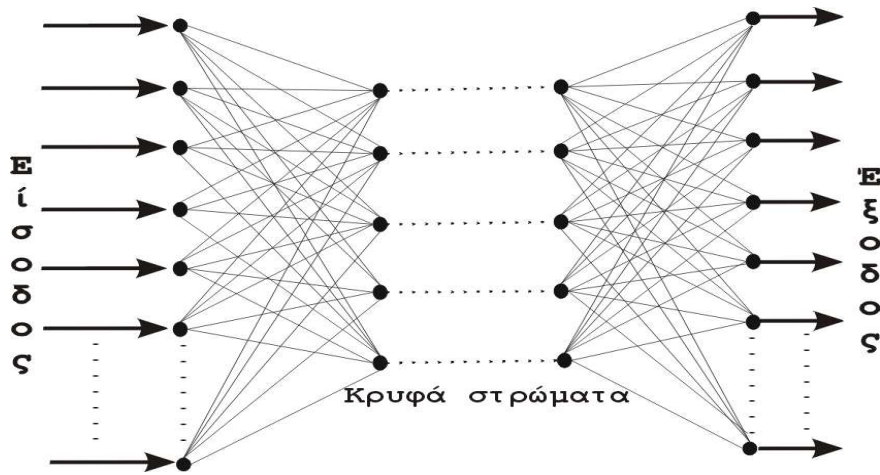
του δικτύου. Το πρόβλημα που προκύπτει συχνά είναι ο εγκλωβισμός της συνάρτησης σφάλματος σε κάποιο τοπικό ελάχιστο που μοιάζει να είναι ολικό.

Στην περίπτωση εκπαίδευσης χωρίς εποπτεία εισάγονται στο δίκτυο ομάδες διανυσμάτων εισόδου. Πριν από την εκπαίδευση έχουμε την κατηγοριοποίηση των διανυσμάτων εισόδου, βάση των κοινών χαρακτηριστικών που αυτά παρουσιάζουν. Στόχος είναι πάντα η ελαχιστοποίηση μιας συνάρτησης σφάλματος.

Από την άλλη, στην εκπαίδευση με ανταγωνισμό νευρώνων όλα τα εκπαιδευτικά διανύσματα εισάγονται και παρατηρείτε το κατά πόσο συμμετέχουν στην εκπαίδευση. Όσα παρατηρηθεί ότι δεν συμμετέχουν καθίστανται ανενεργά και στην ιδανική περίπτωση επικρατεί τελικά ένας μόνο νευρώνας. Επειδή το πεδίο των νευρωνικών δικτύων στηρίζεται σε ευριστικές μεθόδους είναι πιθανή η πολλαπλή χρήση των παραπάνω μεθόδων σε μια εκπαίδευση. Έτσι μπορούμε να έχουμε την εκπαίδευση με εποπτεία σε ένα στρώμα και την εκπαίδευση με ανταγωνισμό σε ένα άλλο κ.ο.κ. .

5.3.2.1 MLP-Back Error Propagation

Ένα από τα γνωστότερα και ευρύτερα χρησιμοποιημένα δίκτυα είναι το Back Error Propagation. Ανήκει στην κατηγορία των πολυεπίπεδων perceptrons (Multi Layer Perceptrons) και είναι αλγόριθμος εκπαίδευσης με εποπτεία. Αποτελείται ως πολυεπίπεδο από 3 τουλάχιστον στρώματα, ένα στρώμα εισόδου, ένα κρυφό στρώμα και ένα στρώμα εξόδου. Το όνομα του δικτύου προδίδει και την φιλοσοφία του, η οποία δεν είναι άλλη από τον αρχικό υπολογισμό της εξόδου κάθε νευρώνα έως το τελικό στρώμα και την επιστροφή από τον τελικό προς τον αρχικό νευρώνα της διόρθωσης των βαρών - συνόψεων. Αρχικά έχουμε τον ορισμό των βαρών σε τυχαίες τιμές και το δίκτυο προσπαθεί με την διαδικασία επιστροφής της διόρθωσης προς τα πίσω, να μετατοπίσει τις τυχαίες αυτές τιμές σε εκείνες που θα μας επιτρέψουν να έχουμε δίκτυο εκπαιδευμένο με την τελική ακρίβεια που επιθυμούμε. Το πλήθος των επιπέδων του δικτύου, οι νευρώνες ανά επίπεδο, καθώς και η συνδεσμολογία των κρυφών στρωμάτων ποικίλουν ανάλογα με την πολυπλοκότητα και την φύση του προβλήματος που κάθε φορά καλείται να επιλύσει ο αλγόριθμος.

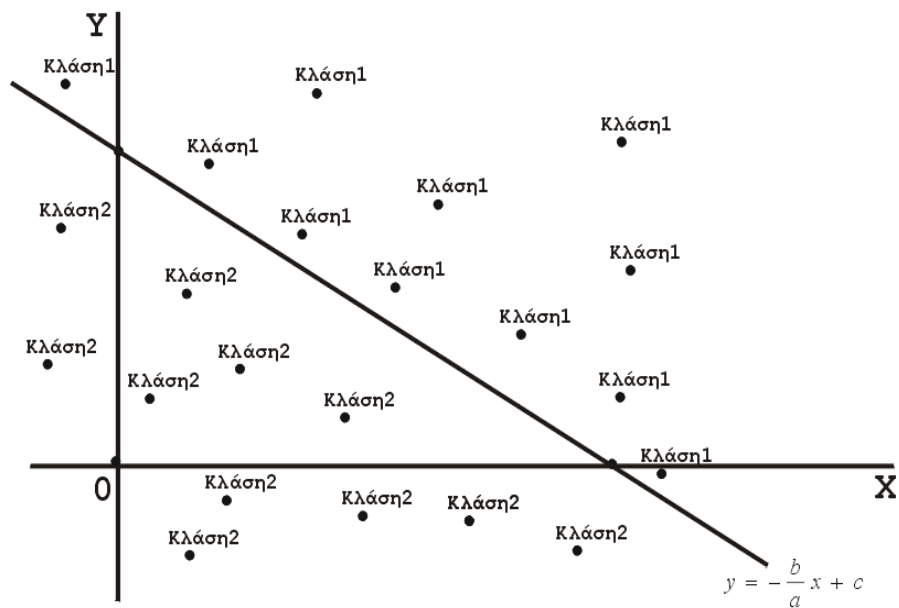


Εικόνα 28
MLP-Back Error Propagation

Εξαιρετικά σημαντικός είναι ο ρόλος που παίζουν τα κρυφά επίπεδα σε ένα νευρωνικό δίκτυο. Στην περίπτωση των γραμμικών συναρτήσεων ο διαχωρισμός των προτύπων είναι απλή υπόθεση. Αυτό γίνεται φανερό από την γραφική παράσταση μιας τυπικής γραμμικής συνάρτησης όπως η παρακάτω:

$$ay + bx = c \Rightarrow y = -\frac{b}{a}x + c$$

όπου εύκολα μπορούμε να αντιληφτούμε ότι έχουμε δύο κλάσεις (πάνω και κάτω από την ευθεία).



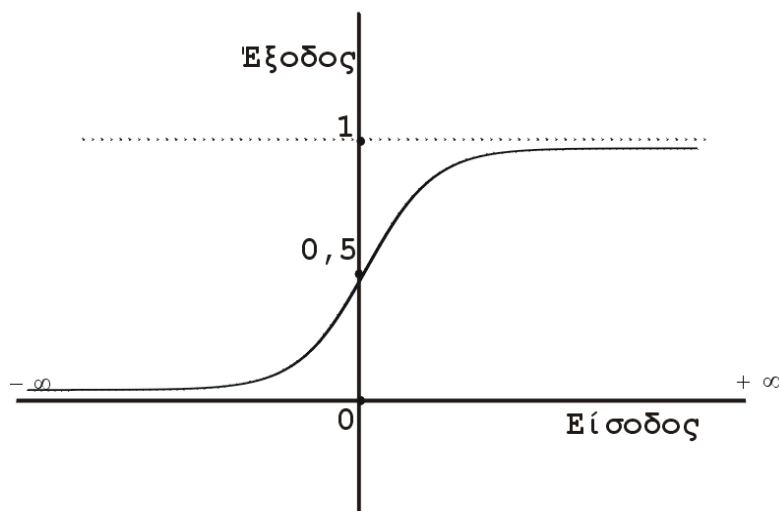
Εικόνα 29
Γραμμικός διαχωρισμός προτύπων

Ένα πρόβλημα μπορεί να είναι ή να μην είναι γραμμικά διαχωρίσιμο. Ειδικά όταν έχουμε διανύσματα εισόδου με πολλά χαρακτηριστικά, γίνεται αντιληπτό ότι δεν μπορούμε να ξέρουμε από την αρχή αν είναι δυνατός ο διαχωρισμός τους σε δυο κατηγορίες με χρήση της παραπάνω γραμμικής μεθόδου. Σε αυτό το σημείο έρχονται να δώσουν λύση τα στρώματα με κρυφούς νευρώνες. Αυτή η δομή δημιουργεί πολυεπίπεδους χώρους οι οποίοι μας προσφέρουν περισσότερες κατηγορίες κλάσεων δημιουργώντας εσωτερική αναπαράσταση στο δίκτυο μας.

Στο Back Error Propagation σαν συνάρτηση ενεργοποίησης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια συνάρτηση από την οικογένεια των σιγμοειδών όπως π.χ. :

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Κύριο χαρακτηριστικό των συναρτήσεων αυτών, όπως γίνεται φανερό από την γραφική τους παράσταση, είναι το πεδίο τιμών τους το οποίο εμπεριέχεται στο διάστημα 0 έως 1. Η παραπάνω ιδιότητα των σιγμοειδών μας εξασφαλίζει ότι η έξοδος δεν παίρνει ακραίες τιμές, αφού όπως εύκολα μπορούμε να δούμε από την εικόνα, για μεγάλες τιμές εισόδου δίνει τιμές που προσεγγίζουν το 1, ενώ για πολύ μικρές τιμές προσεγγίζει το 0.



Εικόνα 30
Σιγμοειδής Συνάρτηση

Ακόμα ένα σημαντικό στοιχείο των σιγμοειδών συναρτήσεων είναι και η παράγωγος της, η οποία βοηθά στην εκπαίδευση με την ομαλότητα που παρουσιάζει.

$$f'(x) = f(x)(1 - f(x))$$

Σκόπιμο θα ήταν, για την ορθότερη ανάπτυξη του αλγορίθμου να παρουσιαστεί στην συνεχεία ένα παράδειγμα υλοποίησης του σε ένα πραγματικό δίκτυο. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα δίκτυο Back Error Propagation με $rf=3$ χαρακτηριστικά στο στρώμα εισόδου, $rh=2$ νευρώνες στο κρυφό στρώμα, $rl=1$ νευρώνα στο στρώμα εξόδου και συνολικά pp εκπαιδευτικά διανύσματα.

Συμβολίζουμε :

$eisodos(pf,pp)$: Πίνακας εκπαιδευτικών διανυσμάτων.

$outH(rh,pp)$: Πίνακας εξόδων κρυφού στρώματος.

$outL(rl,pp)$: Πίνακας εξόδων τελικού στρώματος.

$des(rl,pp)$: Πίνακας στόχων / εκπαιδευτικό διάνυσμα.

$WH(pf,rh)$: Πίνακας βαρών κρυφού στρώματος.

$WL(rh,rl)$: Πίνακας βαρών τελικού στρώματος.

$mts(pp)$: Πίνακας μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων / διάνυσμα.

$smts$: Συνολικό ΜΤΣ εποχής.

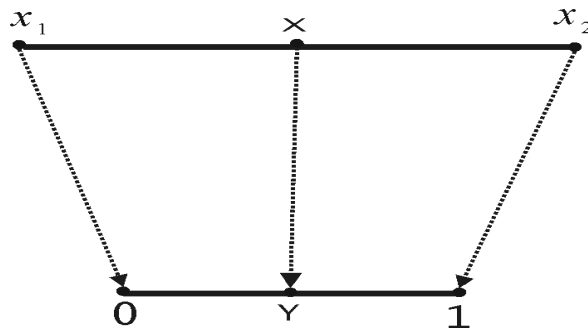
$dL(rl,pp)$: Πίνακας σφαλμάτων τελικού στρώματος.

$dH(rh,pp)$: Πίνακας σφαλμάτων κρυφού στρώματος.

$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$: Συνάρτηση ενεργοποίησης (σιγμοειδής).

Το διάνυσμα εισόδου θα πρέπει να είναι κανονικοποιημένο. Η διαδικασία της κανονικοποίησης είναι εξαιρετικά απλή. Στόχος είναι η προσαρμογή των τιμών του διανύσματος εισόδου οι οποίες συνήθως είναι πραγματικοί αριθμοί, σε ένα συγκεκριμένο διάστημα. Τα χαρακτηριστικά ενός διανύσματος έχουν δυο ακραίες τιμές οι οποίες είναι γνωστές λόγω της φύσης τους ή είναι συνήθως εξαιρετικά εύκολο να εντοπιστούν. Έστω λοιπόν ότι έχουμε μια μεταβλητή x με ακραίες τιμές x_1 και x_2 την οποία θέλουμε να προβάλουμε στο διάστημα $(0..1)$ σαν y . Είναι προφανές ότι για να γίνει αυτό θα πρέπει να ισχύουν οι αναλογίες :

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - 0}{1 - 0} \Rightarrow y = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$



Εικόνα 31
Κανονικοποίηση διανύσματος

Στην εκτέλεση του ο αλγόριθμος Back Error Propagation στο πρώτο βήμα αρχικοποιεί τα βάρη του κρυφού στρώματος και του στρώματος εξόδου. Αναλυτικά λοιπόν το εκπαιδευτικό διάνυσμα εισέρχεται στο δίκτυο και σε κάθε νευρώνα έχουμε την άθροιση των γινόμενων των εισόδων του επί τα αντίστοιχα βάρη και την δημιουργία της εξόδου, η οποία διερχόμενη από την σιγμοειδή συνάρτηση δημιουργεί την τελική έξοδο με τιμές μεταξύ 0-1. Αυτό γίνεται βάση των παρακάτω τύπων για το κρυφό και το στρώμα εξόδου:

$$\text{outH}(ph, pp) = \sum^{pf} (\text{eisodos}(pf, pp)WH(pf, ph))$$

$$\text{outL}(pl, pp) = \sum^{pl} (\text{outH}(ph, pp)WH(ph, pl))$$

λαμβάνοντας πάντα και το bias στις εισόδους (συνήθως το bias είναι ίσο με -1).

Στο τέλος του περάσματος κάθε προτύπου από το σύνολο του δικτύου, υπολογίσουμε το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα του προτύπου το οποίο προκύπτει από το σύνολο των αποτελεσμάτων των νευρώνων εξόδου και τους αντίστοιχους στόχους του εκπαιδευτικού διανύσματος με χρήση του παρακάτω τύπου:

$$\text{mts}[pp] = \frac{1}{2} \sum^{pl} (\text{outL}(pl, pp) - (\text{des}(pl, pp)))^2$$

Το ΜΤΣ είναι δηλαδή το μισό άθροισμα των τετραγώνων της διαφοράς των στόχων και των εξόδων που υπολογίζονται με βάση το τρέχον διάνυσμα εισόδου. Ο παραπάνω τύπος

είναι το μισό του τετράγωνου της ευκλείδειας απόστασης του διανύσματος εξόδου ανά πρότυπο και των αντίστοιχων στόχων.

$$\|\vec{x} - \vec{y}\| = \sqrt{\sum_i^N (x_i - y_i)^2}$$

Το πέρασμα του συνόλου των εκπαιδευτικών αθροισμάτων το ονομάζουμε εποχή. Σε κάθε εποχή υπολογίζεται το συνολικό ΜΤΣ όλων των προτύπων:

$$smts = \sum^{pl} mts(pl, pp)$$

το οποίο συγκρίνεται με το επιθυμητό σφάλμα εκπαίδευσης και αποτελεί ένα από τα δυο κριτήρια για την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης. Το άλλο είναι ένα συγκεκριμένο πλήθος εποχών (μέγιστος αριθμός). Μαζί με τον υπολογισμό του ΜΤΣ υπολογίζεται για κάθε νευρώνα εξόδου το σφάλμα του. Αυτό προκύπτει για κάθε νευρώνα (στην περίπτωση μας $pl=1$) από τον παρακάτω τύπο:

$$dL(pl, pp) = outL(pl, pp)(1 - outL(pl, pp)(outL(pl, pp) - des(pl, pp)))$$

Αυτός ο τύπος προκύπτει αν διαφορίσουμε την συνάρτηση σφάλματος ως προς $outL$.

Με παρόμοια λογική προκύπτει και ο τύπος σφάλματος στους νευρώνες του κρυφού στρώματος:

$$dH(ph, pp) = outH(ph, pp)(1 - outH(ph, pp)) \sum^{pl} dL(pl, pp) * WL(ph, pl)$$

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τα παραπάνω σφάλματα για να κάνουμε τις διορθώσεις στα βάρη. Οι διορθώσεις μπορούν να γίνουν είτε στο πέρασμα κάθε προτύπου είτε σε κάθε εποχή. Αν έχουμε μικρό σχετικά ρυθμό εκπαίδευσης συνίσταται η αλλαγή του βάρους ανά πρότυπο. Αυτή η αλλαγή μπορεί να γίνει για τα βάρη του κρυφού και του στρώματος εξόδου αντίστοιχα, σύμφωνα με τον τύπους:

$$WH(pf, pl)_{new} = WH(pf, pl)_{old} - lr(dH(ph, pp) * eisodos(pf, pp))$$

$$WL(pf, pl)_{new} = WL(pf, pl)_{old} - lr(dL(ph, pp) * outH(ph, pp))$$

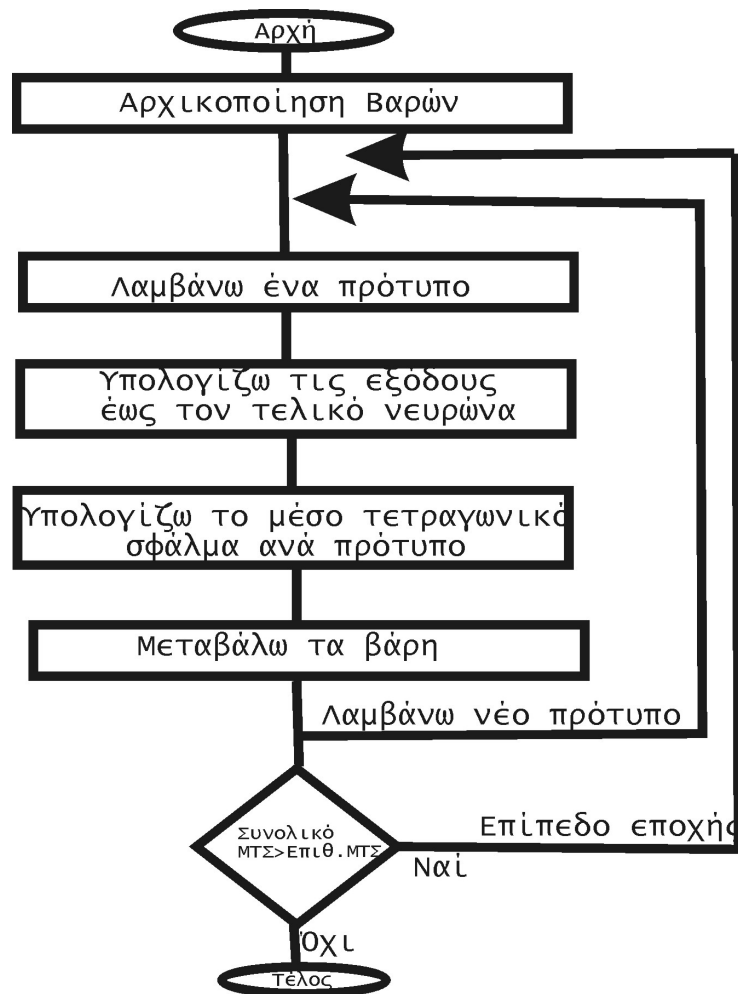
Το lr είναι ο ρυθμός εκπαίδευσης, που δηλώνει στο δίκτυο την πρόθεση μας όσο αφορά την εκπαίδευση. Συγκεκριμένα δηλώνει το αν επιθυμούμε μια γρήγορη μα λιγότερο ακριβή ή μια αργή και πιο καλή εκπαίδευση. Μεγάλος ρυθμός εκπαίδευσης σημαίνει μεγάλες μετατοπίσεις στα βάρη άρα μικρή ακρίβεια. Η τιμή του ρυθμού εκπαίδευσης εξαρτάται από το πρόβλημα και μόνο με πειραματισμό μπορούμε να εντοπίσουμε την βέλτιστη τιμή.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να αναφέρουμε μια γενικά αποδεκτή ευριστική μέθοδο που μπορεί να βοηθήσει στην σύγκλιση του δικτύου μας. Είναι ο παράγοντας ορμής (momentum) που βοηθά ως καθοδηγητής στην μετακίνηση των βαρών, ώστε να αποφεύγονται τα τοπικά ελάχιστα που εγκλωβίζουν την βελτίωση των βαρών. Συγκεκριμένα βοηθά σαν «μνήμη» που θυμάται την τελευταία μεταβολή και διορθώνει μια άστοχη αλλαγή βάρους. Η βαρύτητα του εξαρτάται από τον συντελεστή ορμής, που είναι μια σταθερά με τιμές ανάλογες της εκπαίδευσης. Έτσι οι αλλαγές στα βάρη με χρήση momentum απαιτούν την αποθήκευση επιπλέον πληροφορίας, που δεν είναι άλλη από την προηγούμενη τιμή των βαρών (προηγούμενη εποχή). Έτσι τα βάρη με την χρήση του συντελεστή ορμής αλλάζουν σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$WH(pf, ph)_{new} = WH(pf, ph)_{old} - lr(dH(ph, pp) * eisodos(pf, pp) + a(WH(pf, ph)^{t_{rexonEpoX} i} - WH(pf, ph)^{t_{rexvnEpoX} i-1}))$$

$$WL(ph, pl)_{new} = WL(ph, pl)_{old} - lr(dL(ph, pp) * outH(ph, pp)) + a(WL(ph, pl)^{t_{rexonEpoX} i} - WL(ph, pl)^{t_{rexonEpoX} i-1})$$

Αναλυτικά στην εικόνα που ακολουθεί παρακολουθούμε το διάγραμμα ροής του αλγόριθμου.



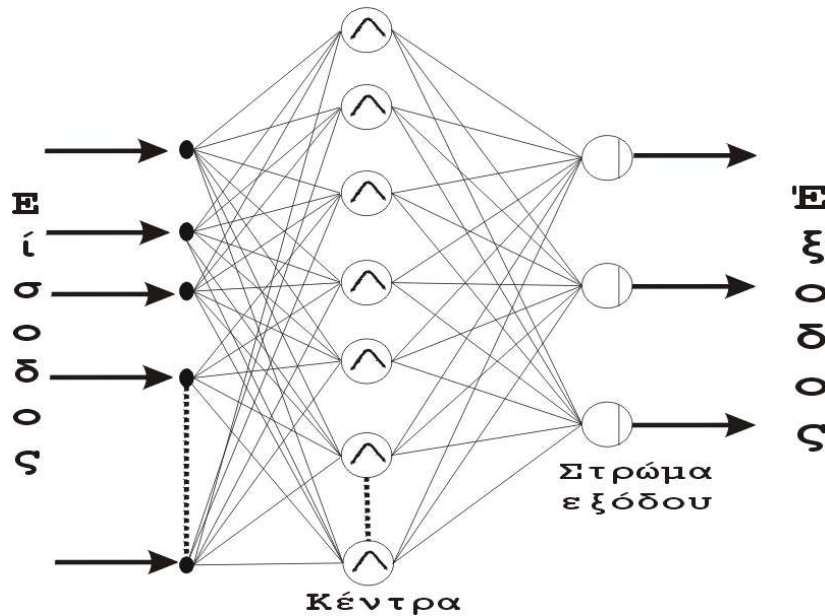
Εικόνα 32
Διάγραμμα ροής Back Error Propagation

Στην ενότητα αυτή έγινε προσπάθεια να παρουσιαστεί ένας από τους πολλούς αλγόριθμους για το δίκτυο Back Error Propagation με στόχο την επεξήγηση της μεθόδου στην γενικότητα της. Λόγω της εκτεταμένης χρήσης του, έχουν αναπτυχθεί αρκετές παραλλαγές και εφαρμόστηκαν πολλές ευριστικές μέθοδοι η ανάπτυξη των οποίων ξεφεύγει από τους στόχους του συγκεκριμένου κειμένου.

5.3.2.2 RBF (Radial Basis Function)

Το Radial Basis Function (RBF) είναι αλγόριθμος με τρία στρώματα, ένα στρώμα εισόδου, ένα κρυφό και ένα στρώμα εξόδου. Το πρώτο στρώμα αποτελείται από τα χαρακτηριστικά του διανύσματος εισόδου, ενώ οι νευρώνες του κρυφού στρώματος έχουν ένα ειδικό τύπο ενεργοποίησης ο οποίος είναι ορισμένος στο κεντρικό διάνυσμα μιας περιοχής ή

υπό-περιοχής στο σύνολο των διανυσμάτων εισόδου. Οι νευρώνες εξόδου στο τελικό στρώμα, αθροίζουν τις εξόδους του κρυφού που αντιστοιχούν σε αυτούς, χρησιμοποιώντας για την τελική έξοδο μια γραμμική συνάρτηση. Το RBF είναι ένα δίκτυο που εκπαιδεύεται χωρίς εποπτεία στο κρυφό στρώμα και με εποπτεία στο στρώμα εξόδου.



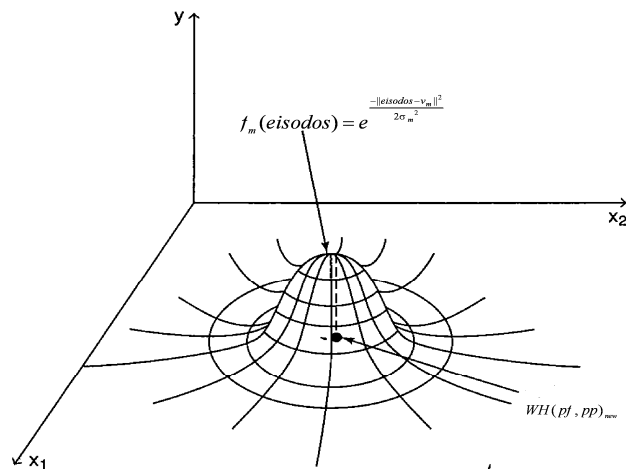
Εικόνα 33
Δίκτυο RBF

Στο επίπεδο του κρυφού στρώματος έχουμε τον υπολογισμό των εξόδων με βάση την παρακάτω συνάρτηση:

$$f_m(eisodos) = e^{-\frac{\|eisodos - v_m\|^2}{2\sigma_m^2}}$$

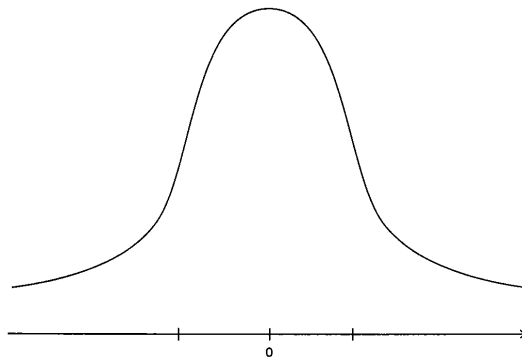
όπου m είναι ο αντίστοιχος νευρώνας του κρυφού στρώματος και $eisodos$ ο νευρώνας εισόδου. Η εύκολη εκπαίδευση του δικτύου εξαρτάται από το πλήθος των νευρώνων στο κρυφό στρώμα. Συγκεκριμένα το πλήθος αυτό θα πρέπει να είναι σίγουρα μεγαλύτερο από τα χαρακτηριστικά του διανύσματος εισόδου και γενικά όσο πιο πολύ μεγαλώνει, όπως είναι και λογικό, τόσο περισσότερο ακριβές και ευκολότερα εκπαιδευσιμο γίνεται το δίκτυο μας.

Ο συντελεστής σ^2 ονομάζεται παράμετρος κανονικοποίησης και χρησιμοποιείται για να ελέγξει το κατά πόσο θα έχουμε αργή ή γρήγορη εκπαίδευση του δικτύου. Κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης του RBF, παρουσιάζεται η τιμή της παραπάνω συνάρτησης να κινείται στον τρισδιάστατο χώρο, στην επιφάνεια μια «καμπάνας»



Εικόνα 34
Κίνηση RBF στον χώρο

ενώ στον m-ιοστό νευρώνα βλέπουμε μια κάθετη τομή της «καμπάνας» αυτής.



Εικόνα 35
Κίνηση RBF στο επίπεδο

Αναλυτικότερα η λογική του αλγορίθμου προτείνει το πέρασμα όλων των προτύπων μαζικά σε μία εποχή στο νευρωνικό δίκτυο. Ας θέσουμε όμως τα τυπικά μεγέθη ενός παραδείγματος RBF δικτύου:

- eisodos(pf,pp) : Πίνακας εκπαιδευτικών διανυσμάτων.
- outH(ph,pp) : Πίνακας εξόδων κρυφού στρώματος.
- outL(pl,pp) : Πίνακας εξόδων τελικού στρώματος.
- des(pl,pp) : Πίνακας στόχων τελικού στρώματος / εκπαιδευτικό διάνυσμα.
- WH(pf,ph) : Πίνακας βαρών –κέντρων κρυφού στρώματος.
- WL(ph,pl) : Πίνακας βαρών τελικού στρώματος.
- smts : Συνολικό ΜΤΣ εποχής.
- lr1=1.6 ,lr2=1,lr3=1 : Ρυθμοί εκπαίδευσης (αρχικοποιημένες τιμές).

Από τα πιο βασικά σημεία του αλγορίθμου είναι η αρχικοποίηση των βαρών- κέντρων. Μια από τις αρκετές λογικές αρχικοποίησης που έχουν αναπτυχθεί είναι να θέσουμε τα κέντρα ίσα με τα αντίστοιχα εκπαιδευτικά διανύσματα. Οι νευρώνες στο στρώμα εξόδου μπορούν να αρχικοποιηθούν σε τιμές στο διάστημα $-0,5$ έως $0,5$.

Βασικός στόχος όπως και στο Back Error Propagation είναι η ελαχιστοποίηση του ολικού τετραγωνισμένου μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Στην διάρκεια της εκπαίδευσης έχουμε την αλλαγή της παραμέτρου κανονικοποίησης σ^2 δυναμικά. Το ίδιο συμβαίνει και με τον ρυθμό εκπαίδευσης. Όπως έχει ήδη ειπωθεί η φύση των νευρωνικών δικτύων έχει σαν βάση την δοκιμή και την χρήση εμπειρικών μεθόδων. Έτσι ο τρόπος μεταβολής του σ^2 και του ρυθμού εκπαίδευσης, που επηρεάζει απόλυτα την ποιότητα και την ταχύτητα της εκπαίδευσης, αλλά και εν' γένει ο τρόπος εξέλιξης όλου του αλγορίθμου εξαρτάται καθαρά από το εκάστοτε πρόβλημα.

Μια προσέγγιση για εκπαίδευση του δικτύου παρουσιάζεται παρακάτω. Στην πρώτη φάση αρχικοποιούμε τα κέντρα (βάρη του κρυφού στρώματος) και τα βάρη του στρώματος εξόδου. Αμέσως μετά υπολογίζουμε τις εξόδους του κρυφού στρώματος με βάση τον τύπο :

$$\text{outH}(ph, pp) = e^{-\frac{\|eisodos - WH(pf, pp)\|^2}{2\sigma^2}} \quad \text{για κάθε } ph \text{ διάφορο του } pp.$$

Για τις περιπτώσεις όπου $ph=pp$, το outH γίνεται 1. Επόμενη κίνηση είναι να υπολογιστούν οι έξοδοι και το ολικό ΜΤΣ.:

$$\text{outL}(pl, pp) = \frac{1}{M} \sum^{ph} \text{outH}(ph, pp) WL(ph, pl)$$

$$smts = \sum^{pl} (\text{outL}(pl, pp) - des(pl, pp))^2$$

Στο στρώμα εξόδου έχουμε και την παρουσία bias σε κάθε νευρώνα με τιμή συνήθως ίση με -1 . Η διόρθωση για τα βάρη του στρώματος εξόδου προκύπτουν από τους τύπους:

$$WL(ph, pl)_{new} = WL(ph, pl)_{old} + (2lr1/M) \sum^{pp} (\text{outL}(pl, pp) - des(pl, pp)) \text{outH}(ph, pp)$$

όπου $lr1$ είναι ο ρυθμός εκπαίδευσης για τον συγκεκριμένη διόρθωση των βαρών και M το πλήθος των κρυφών νευρώνων.

Υπολογίζουμε ξανά τις εξόδους και το ολικό ΜΤΣ ακολουθώντας τους προηγούμενους τύπους με στόχο την αναβάθμιση του $lr1$ σύμφωνα με τον εμπειρικό κανόνα: αν το ολικό ΜΤΣ

είναι μικρότερο του επιθυμητού (σφάλμα εκπαίδευσης), τότε το $lr1$ να γίνει $lr1*0.92$, ενώ αν είναι μεγαλύτερο να γίνει $lr1*1.04$. Ο κανόνας αυτός και οι σταθερές που χρησιμοποιεί, σαν εμπειρικός δεν έχει κάποια μαθηματική απόδειξη, απλά δουλεύει στην πράξη και για αυτό τον χρησιμοποιούμε. Σε κάποιο πρόβλημα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι δεν μας χρησιμεύει ή το ότι δεν βρίσκουμε τιμές που να τον κάνουν να λειτουργεί οπότε απλά τον απενεργοποιούμε.

Το κύριο βήμα του αλγορίθμου είναι ο επανυπολογισμός των κέντρων του κρυφού στρώματος, όπου άλλωστε επικεντρώνεται και το μεγαλύτερο ποσοστό της γνώσης που εμφυτεύουμε στο δίκτυο:

$$WH(pf, pp)_{new} = WH(pf, pp)_{old} + (2lr2 / M) \sum_{pp} \sum_{pl} (des(pl, pp) - outL(pl, pp)) WL(ph, pp) outH(ph, pp) eisodos(pf, pp) WH(pf, ph)$$

Μετά από τα παραπάνω βρίσκουμε το νέο ΜΤΣ και αναβαθμίζουμε το $lr2$ σύμφωνα με τον ευριστικό κανόνα που αναπτύξαμε και για το $lr1$.

Βασική ιδιαιτερότητα του αλγορίθμου είναι η αλλαγή της παραμέτρου κανονικοποίησης σ_m^2 σύμφωνα με τον τύπο:

$$\sigma_{m_{new}}^2 = \sigma_{m_{old}}^2 + \frac{lr3}{ph} * allagi \quad \text{αν το } allagi > 0$$

όπου m είναι ο νευρώνας του κρυφού και $allagi$ προκύπτει από τον τύπο:

$$allagi = \sum_{pp} \sum_{pl} ((des(pl, pp) - outL(pl, pp)) * WL(pf, ph)) outH \frac{\|eisodos(pf, ph) - WH(pf, ph)\|^2}{(\sigma_{m_{old}}^2)^2}$$

Τέλος ακολουθώντας την προηγούμενη λογική υπολογίζουμε τα νέα $outL$, ΜΤΣ και $lr3$. Ο αλγόριθμος ολοκληρώνεται όταν το συνολικό ΜΤΣ που υπολογίζουμε γίνει μικρότερο του επιθυμητού ή όταν οι εποχές φτάσουν να είναι περισσότερες από ένα όριο που θέτουμε.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι έχουμε να κάνουμε με ένα αλγόριθμο εξαιρετικά ισχυρό, κάτι που οφείλεται στην συνεχή «αναδιοργάνωση» του. Αυτή η αναδιοργάνωση γίνεται εφικτή με τον διαρκή υπολογισμό των «σταθερών» μεγεθών του. Η δυναμική προσαρμογή του αλγορίθμου δίνει γρήγορες και εξαιρετικά ακριβείς εκπαιδεύσεις.

5.3.2.3 Σύγκριση MLP-RBF

Στα προηγούμενα παρουσιάστηκαν δύο σημαντικοί αλγόριθμοι για τα νευρωνικά δίκτυα. Το δίκτυο RBF είναι εξαιρετικά πιο γρήγορο στην εκπαίδευση του MLP κάτι που οφείλεται στην δυνατότητα του να αλλάζει συμπεριφορά ανάλογα με την πορεία του. Οι

ρυθμοί εκπαίδευσης, αλλάζουν συνεχώς κατά την εκπαίδευση, ανάλογα με το συνολικό ΜΤΣ που υπολογίζεται και αυτό συνέχεια. Αντίθετα στο MLP ο υπολογισμός αυτός γίνεται μια μόνο φορά στο τέλος της εκπαίδευσης με μόνο στόχο την διακοπή ή όχι του βρόχου επανάληψης, χωρίς να έχουμε την αλλαγή του ρυθμού εκπαίδευσης. Ακόμα το RBF δεν χρειάζεται επιπλέον πληροφορία για τα βάρη της προηγούμενης εποχής για να αντιληφθεί την πορεία της εκπαίδευσης, όπως γίνεται με το MLP (momentum). Στο MLP είναι συχνό το φαινόμενο εγκλωβισμού του δικτύου σε τοπικά ελάχιστα της συνάρτησης σφάλματος που μοιάζουν να είναι τα ολικά, κάτι που δεν εμφανίζεται στο RBF. Ο αλγόριθμος RBF στην περίπτωση «ατυχούς» εκπαίδευσης, δηλαδή όταν έχουμε διακοπή του βρόχου επανάληψης λόγω υπέρβασης του μέγιστου πλήθους εποχών που έχει θέσει ο χρήστης χωρίς να έχουμε πετύχει την επιθυμητή ακρίβεια, δίνει αποτελέσματα στην ανάκληση τα οποία είναι αρκετά πιο ακριβή από ότι συμβαίνει στο MLP σε μια παρόμοια περίπτωση.

Από την άλλη το MLP δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις σε αποθηκευτικό χώρο για τα βάρη, σε αντίθεση με το RBF του οποίου τα βάρη του κρυφού στρώματος(κέντρα) είναι κατά κανόνα αρκετά. Αυτή η ιδιαιτερότητα κάνει και το RBF πιο αργό κατά την διαδικασία της ανάκλησης και καθιστά εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή την δημιουργία hardware κυκλωμάτων που να το υλοποιούν. Το MLP είναι απαλλαγμένο από την αναγκαιότητα του RBF για αλγόριθμο επιλογής των αρχικών βαρών στο κρυφό νευρώνα, καθώς και από την άμεση εξάρτηση του από ευριστικές μεθόδους για την ορθή, κατά περίπτωση προβλήματος αλλαγή των ρυθμών εκπαίδευσης και της παραμέτρου κανονικοποίησης.

Γενικότερα θα μπορούσαμε να συνοψίσουμε λέγοντας ότι το RBF είναι ένα καλό δίκτυο, που θέλει να ασχοληθούμε περισσότερο με την εύρεση του καλύτερου τρόπου εκπαίδευσης για να το εκμεταλλευτούμε, σε σχέση με το παλαιότερο και σίγουρα πιο δοκιμασμένο MLP το οποίο υλοποιείται με μικρότερο κόστος.

Χαρακτηριστικό	RBF	MLP
Ταχύτητα εκπαίδευσης	+++	---
Ταχύτητα ανάκλησης	---	+++
Κόστος σε μνήμη	---	+++
Εγκλωβισμός σε τοπικά ακρότατα	+++	---
Ανάγκη αποθήκευσης προηγούμενων βαρών	+++	---
Αλγόριθμος για επιλογή κέντρων - νευρώνων κρυφού	---	+++
Υλοποίηση σε hardware	---	+++
Χρήση ευριστικών κανόνων για αλλαγές «σταθερών»	---	+++
Αποτελέσματα σε περίπτωση «ατυχούς» εκπαίδευσης	+++	---

Πίνακας 10
Σύγκριση RBF-MLP

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: CLIENT SERVER

Τα Client Server συστήματα αποτελούν σήμερα μια βασική επιλογή για ένα μεγάλο μέρος εφαρμογών. Στο παρελθόν η απαίτηση, για κεντρική διαχείριση, συλλογή, επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων, ικανοποιούνταν από μεγάλα κεντρικά συστήματα και εφαρμογές που είχαν εξαιρετικό κόστος για μια επιχείρηση, κάτι που καθιστούσε απαγορευτική την χρήση ολοκληρωμένων υπολογιστικών συστημάτων. Οι εταιρίες και οι οργανισμοί κάλυπταν τις ανάγκες τους με διάφορες custom εφαρμογές που λειτουργούσαν σε διαφορετικούς Η/Υ, καθιστώντας την πληροφορία δύσκολα προσπελάσιμη. Από την άλλη μεριά οι δυνατότητες των δικτύων Η/Υ περιορίζονταν σε δύσκαμπτες, ακριβές και αναξιόπιστες λογικές και υλοποιήσεις, καθότι τα πιο αξιόπιστα δικτυακά συστήματα, αποτελούσαν εξαιρετικά ακριβές λύσεις που μόνο κρατικοί οργανισμοί όπως π.χ. ο στρατός, μπορούσαν να καρπώνονται.

Αυτή η κατάσταση άρχισε να ανατρέπεται από της τέλη της δεκαετίας του 80 με δύο μεγάλες εξελίξεις. Το κόστος της υπολογιστικής ισχύς άρχισε να μειώνεται δραματικά, καθιστώντας τις δυνατότητες των τεράστιων σε διαστάσεις και κόστους υπολογιστικών συστημάτων προσιτές μέσω των προσωπικών υπολογιστών. Η τιμή ενός Η/Υ σήμερα είναι σε πολλές περιπτώσεις μικρότερη από την τιμή μια τηλεόρασης 29 ιντσών και οι διαστάσεις του σε τίποτα δεν θυμίζουν τους mainframe που μέχρι πριν από λίγα χρόνια καταλάμβαναν ένα ολόκληρο δωμάτιο. Από την άλλη η ισχύς και τα περιφερειακά τους είναι ασύγκριτα πιο ισχυρά από αρκετούς υπερυπολογιστές του παρελθόντος.

Η δεύτερη σημαντική εξέλιξη αφορά τα δίκτυα των Η/Υ. Η ραγδαία παγκόσμια ανάπτυξη του INTERNET και η τυποποίηση των δικτύων, έκανε δυνατή την διασύνδεση σε παγκόσμια επίπεδο μικρών και μεγάλων υπολογιστικών συστημάτων και την πρόσβαση σε υπηρεσίες όπως π.χ. το http, προσιτές στους περισσότερους πολίτες που βρίσκονται πάνω από το όριο της φτώχειας. Οι εξαιρετικές δυνατότητες του διαδικτύου χρησιμοποιήθηκαν άλλωστε και από τους κρατικούς οργανισμούς σαν μέσο εξυπηρέτησης του πολίτη, ενώ για τομείς όπως το μάρκετινγκ ξεδιπλώθηκε ένας νέος κόσμος για την προώθηση υπηρεσιών και προϊόντων. Είναι χιλιάδες οι διαδικτυακές εφαρμογές που μπορούμε να απαριθμήσουμε και οι οποίες καλούνται να ικανοποιήσουν θεμελιώδεις ανάγκες όπως η μάθηση και η ελεύθερη διακίνηση των ιδεών ή λιγότερο βασικές όπως η διασκέδαση.

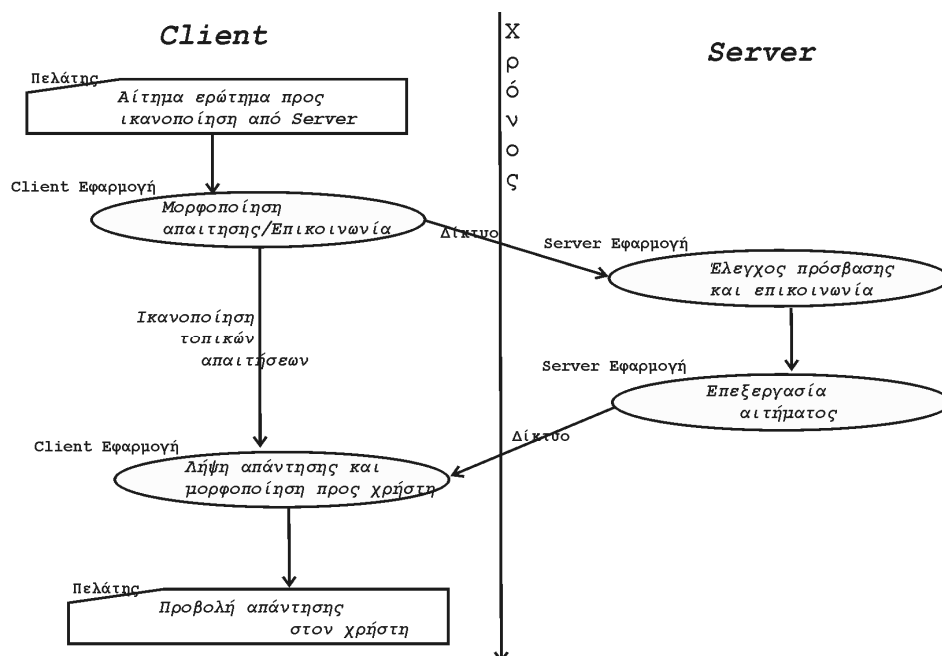
6.1 Γενικά Στοιχεία

Βασικό μέσο για την παροχή των παραπάνω υπηρεσιών, είναι η τεχνολογία Client Server που πρωτοεμφανίστηκε στην αρχή της δεκαετίας του 80 και που ανδρώθηκε με την ολοκλήρωση του εικοστού αιώνα, αποτελώντας σήμερα καθεστώς για ένα τεράστιο σύνολο εφαρμογών. Η ιδέα μοιάζει αρκετά στην λογική των mainframe συστημάτων, στα οποία πολλοί χρήστες χρησιμοποιούν ταυτόχρονα ένα κεντρικό υπέρ-υπολογιστή προσεγγίζοντας το με κουτά τερματικά, που το μόνο που μπορούν να κάνουν είναι να χρησιμοποιούνται σαν απλές συσκευές I/O για το κεντρικό σύστημα. Αυτό είναι και το αδύναμο σημείο των mainframe συστημάτων. Ο χρήστης ακόμα και για απλές ενέργειες, όπως π.χ. η ανάγνωση ενός αρχείου αναγκάζονταν να εργαστεί στο κεντρικό σύστημα, χωρίς να έχει την δυνατότητα της επεξεργασίας ή της αποθήκευσης του τοπικά. Αν το κεντρικό σύστημα κατέρρεε όλοι οι χρήστες του συστήματος καθίστανταν ανενεργοί. Με την λογική Client Server ο Client έχει δικτυακή σύνδεση με τον Server, αποτελώντας όμως ένα πλήρες υπολογιστικό σύστημα που δεν έχει την ανάγκη του Server για να εργαστεί. Φέρει το δικό του λειτουργικό σύστημα και έχει την δικιά του μονάδα επεξεργασίας και τα δικά του περιφερειακά. Η ιδιαιτερότητα που κάνει τον Server σημαντικό για ένα Client είναι η απαίτηση του για μια παροχή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας ή πόρων που ο Server διαθέτει. Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφερθούμε στην δυνατότητα που προσφέρεται σε ένα Client να μοιραστεί με άλλους Client ακριβούς πόρους ενός κεντρικού συστήματος, όπως είναι ένας εκτυπωτής δικτύου.

Γενικά στόχος του Client Server Computing, είναι η κατανομή της επεξεργασίας σε πολλούς Client, με τον γενικό συντονισμό από ένα ή περισσότερους Server που προσφέρουν υπηρεσίες ή δεδομένα. Ο Server βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής περιμένοντας μια αίτηση από ένα Client. Οι αιτήσεις αυτές καλούνται να ικανοποιηθούν από τον Server άμεσα ή βάση κάποιου αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης των αιτήσεων. Στην περίπτωση που δεν έχουμε άμεση απάντηση, η αίτηση του πελάτη τοποθετείτε σε ένα buffer, που υλοποιεί μια ουρά και που ανάλογα με τον εκάστοτε αλγόριθμο που έχει επιλεγεί (π.χ. FIFO First In First Out) ικανοποιεί την αίτηση. Σήμερα υπάρχουν εναλλακτικές λογικές, όπως π.χ. η πολυνηματική επεξεργασία (multithread), οι οποίες προσφέρουν την δυνατότητα παράλληλης επεξεργασίας.

Οι Client Server εφαρμογές αποτελούνται πάντα από δύο τουλάχιστον τμήματα που δεν είναι απαραίτητο να είναι γραμμένα στην ίδια γλώσσα ή να εκτελούνται στο ίδιο λειτουργικό σύστημα. Όπως προαναφέρθηκε ο κεντρικός υπολογιστής περιμένει μια αίτηση

για επικοινωνία από ένα πελάτη, με στόχο την παροχή μιας υπηρεσίας. Πάντα ο πελάτης καλεί το κεντρικό σύστημα και ποτέ δεν συμβαίνει το αντίθετο. Ο χρήστης αλληλεπιδρά με την εφαρμογή χρησιμοποιώντας τον τρόπο πρόσβασης προς τον Client που του προσφέρεται και διατυπώνει ένα αίτημα προς ικανοποίηση. Το αίτημα αυτό αποτελείται από τμήματα που μπορούν να ικανοποιηθούν τοπικά και τμήματα που χρειάζονται την συνδρομή του Server. Τα αιτήματα του χρήστη που απαιτούν την χρήση του Server, μετατρέπονται σε κατάλληλη μορφή από τον Client και ξεκινά η επικοινωνία με το κεντρικό σύστημα με στόχο την ικανοποίηση αυτών των απομακρυσμένων απαιτήσεων, ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούνται όσες τοπικές απαιτήσεις είναι δυνατό (ικανοποιεί εκείνες που δεν χρειάζονται πόρους και απαντήσεις από τον Server). Ο Client ζητάει πρόσβαση στον Server και αυτός καλείται να ελέγξει αν ο χρήστης την δικαιούται. Στην περίπτωση που έχουμε ένα εξουσιοδοτημένο πελάτη το κεντρικό σύστημα ικανοποιεί το αίτημα που του διατυπώνει ο πελάτης. Στο τέλος αν υπάρχει απάντηση την στέλνει στον πελάτη ή αν απαιτείται τον τροφοδοτεί με μηνύματα επιβεβαίωσης. Το παραπάνω σχήμα επαναλαμβάνεται, έως ότου να ικανοποιηθεί συνολικά η απαίτηση του χρήστη, στον οποίο ο πελάτης αναλαμβάνει την προβολή της βαθμιαίας εξέλιξης του αιτήματος καθώς και την τελική απάντηση.



Εικόνα 36
Δομή Λειτουργίας Client Server συστήματος

Πριν προχωρήσουμε όμως στην περαιτέρω ανάλυση θα πρέπει να γίνει σαφές ότι ένας Server δεν είναι όπως πολλοί πιστεύουν το υλικό μέρος ενός υπέρ-υπολογιστή. Είναι απαραίτητο να γίνει διακριτή η διαφορά συστήματος (hardware) και λογισμικού (software). Η σύγχυση μεταξύ των δυο εννοιών οφείλεται στο ότι οι εφαρμογές τύπου Server φιλοξενούνται κατά κανόνα, λόγω της απαίτησης τους για μεγάλη υπολογιστική ισχύ και για μεγάλους αποθηκευτικούς χώρους, σε ειδικούς Η/Υ που είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν τις παραπάνω ανάγκες. Θα πρέπει να γίνει σαφές ότι μια εφαρμογή τύπου Server μπορεί να φιλοξενηθεί σε οποιοσδήποτε σύστημα, αρκεί να είναι δυνατό να δημιουργήσουμε το εκτελέσιμο αρχείο για την συγκεκριμένη πλατφόρμα. Άλλωστε εφαρμογές τύπου Server μπορούν να φιλοξενηθούν και σε συσκευές που δεν είναι Η/Υ με χαρακτηριστικές περιπτώσεις τηλεφωνικά κέντρα και switch που μπορούν να προσεγγιστούν με την υπηρεσία telnet που συχνά προσφέρουν στους χρήστες. Αντίστοιχο καθεστώς έχουμε και στην περίπτωση του προγράμματος Client.

Οι ελάχιστες απαιτήσεις για να μπορεί μια συσκευή να φιλοξενήσει ένα Client είναι:

- Να διαθέτει ένα τρόπο επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης με τον χρήστη.
- Να έχει την δυνατότητα κλήσης του Server και αποκατάστασης συνόδου με αυτόν.
- Να στέλνει αιτήματα και να δέχεται απαντήσεις.

Πολλές είναι και οι περιπτώσεις όπου Client και Server υλοποιούνται στο ίδιο υπολογιστή. Σαν παράδειγμα θα μπορούσαμε να αναφέρουμε την περίπτωση κατά την οποία ενεργοποιούμε στον υπολογιστή μας ένα HTTP Server τον οποίο μπορούμε να προσπελάσουμε χρησιμοποιώντας διευθύνσεις από το loop back δίκτυο του υπολογιστή μας (127.0.0.x / 255.255.255.0).

Για τον Server οι ελάχιστες απαιτήσεις είναι:

- Να μπορεί να δέχεται αιτήσεις ενός Client αποκαθιστώντας σύνοδο μαζί του
- Να μπορεί να εξυπηρετεί την αίτηση για την οποία είναι κατασκευασμένος.

Βασικό στοιχείο για μια Client Server εφαρμογή είναι η επικοινωνία των δυο στοιχείων τους συστήματος. Αν επικεντρώσουμε την προσοχή μας στην υλοποίηση με Η/Υ, αυτή η επικοινωνία γίνεται εφικτή με την χρήση ενός δικτύου που συνδέει με κάποια λογική τους δύο επεξεργαστές που αναλαμβάνουν την εκτέλεση των εφαρμογών Client και Server. Κυριότερο χαρακτηριστικό για ένα δίκτυο είναι η διαφάνεια του ως προς τον χρήστη, ο οποίος δεν θα πρέπει να επωμίζεται το βάρος της υλοποίησης της επικοινωνίας σε χαμηλό επίπεδο (π.χ. ροή

ηλεκτρικών σημάτων κτλ). Ακόμα σημαντικό στοιχείο είναι η ορθή και ακέραια μεταφορά των δεδομένων που συνιστούν την αξιοπιστία του δικτύου.

6.2 Κατανομή Πληροφορίας

Οι πληροφορίες ενός Client Server συστήματος μπορούν να κατανεμηθούν με του εξής τρόπους:

- Επικεντρωμένες στον Server
- Πολλαπλά αντίγραφα (όμοια) σε διάφορες περιοχές (σε Client και Server)
- Κατανεμημένα αντίγραφα σε διάφορες περιοχές (η πληροφορία «διασπαρμένη» σε πολλά κομμάτια)

Στη λογική της επικέντρωσης της πληροφορίας στο κεντρικό σύστημα, τα δεδομένα διαχειρίζονται πιο εύκολα και μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας backup (π.χ. RAID), που είναι σημαντικές για την ασφαλή διατήρηση των δεδομένων. Αν όμως το κεντρικό σύστημα σταματήσει να λειτουργεί λόγω κάποιας βλάβης, το συνολικό σύστημα συντήρησης εγγράφων παραλύει, αφού κανείς πια δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα έως ότου επιλυθεί η βλάβη στον Server. Αρκετές εταιρίες άλλωστε που χρησιμοποιούν αυτό το πρότυπο, αναγκάζονται να πληρώνουν υπέρογκα ποσά σε ειδικά συμβόλαια υποστήριξης που προβλέπουν την εντός ολίγων ωρών αντικατάσταση του κεντρικού μηχανήματος με στόχο την όσο το δυνατό συντομότερη επαναφορά της λειτουργίας του πληροφοριακού συστήματος που υποστηρίζει η Client Server εφαρμογή. Σημαντικό μειονέκτημα της παραπάνω μεθόδου είναι και η μεγάλη επιβάρυνση που επιβάλλει το μοντέλο στο δίκτυο επικοινωνίας Client και Sever. Στην περίπτωση των πολλαπλών αντιγράφων έχουμε μικρή επιβάρυνση του δικτύου και σε περίπτωση βλάβης είναι δυνατή η έστω και προβληματική λειτουργία του συστήματος. Βασικό όμως πρόβλημα στην μέθοδο πολλαπλών αντιγράφων, είναι ο συγχρονισμός των καταμερισμένων αντιγράφων. Για τον συγχρονισμό αυτό επικρατούν δυο λογικές προσεγγίσεις:

- Κάθε χρήστης αντιγράφει στο Η/Υ του, τις πληροφορίες που επιθυμεί και δουλεύει τοπικά
- Ένα ολοκληρωμένο σύστημα DBMS αναλαμβάνει τον συγχρονισμό των αντιγράφων των χρηστών ανά τακτά χρονικά διαστήματα

Είναι προφανές ότι η δεύτερη μέθοδος είναι και πιο ασφαλής, αφού η αυτοματοποιημένη διαχείριση περιορίζει τις ανθρώπινες παραλείψεις.

Η κατανομή διαφορετικών αντιγράφων είναι και η πιο «άτσαλη» μέθοδος, αφού είναι σημαντικά προβληματική η συλλογή των στοιχείων που απαιτούνται από μια εφαρμογή, όταν αυτά βρίσκονται διαμοιρασμένα σε πολλά σημεία.

6.3 Διατύπωση Αιτήσεων

Η αίτηση σε ένα Server από ένα Client μπορεί να έχει τις παρακάτω μορφές:

- Απόμακρη αίτηση.
- Απόμακρη συναλλαγή.
- Κατανεμημένη αίτηση.
- Κατανεμημένη συναλλαγή.

Απόμακρη αίτηση είναι μια απλή μεμονωμένη αίτηση προς ένα Server για την εκτέλεση μιας λειτουργίας, η οποία μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την αποστολή δεδομένων στον Client. Η απόμακρη συναλλαγή αποτελεί μια ομάδα πολλών απλών αιτήσεων που δημιουργούν ένα ευρύτερο σύνολο, που αναφέρεται και αυτό σε ένα Server. Στην περίπτωση της κατανεμημένης συναλλαγής έχουμε πολλαπλές αιτήσεις από ένα Client για πληροφορίες που ανήκουν σε πολλούς Server, ενώ στην κατανεμημένη αίτηση παρουσιάζεται ένα μεμονωμένο αίτημα που αναφέρεται σε πολλούς Server.

Οι αιτήσεις που υποβάλει ένας Client θα πρέπει να υποβληθούν στο ACID έλεγχο. Ο όρος ACID προκύπτει από το αρκτικόλεξο:

Atomic (Ατομικότητα)

Consistency (Συνέπεια)

Isolation (Απομόνωση)

Durability (Αντοχή)

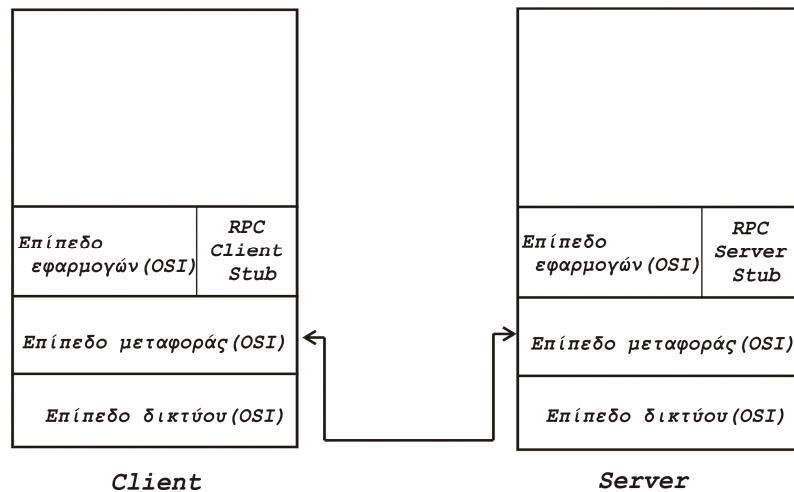
- **Ατομικότητα:** Η συναλλαγή όπως προαναφέρθηκε, αποτελείται από πολλές αιτήσεις. Αυτές οι αιτήσεις θα εκτελεστούν όλες μαζί ή θα αποτύχουν όλες μαζί.
- **Συνέπεια:** Το σύστημα μεταβαίνει από ένα σταθερό σημείο σε ένα άλλο σταθερό σημείο.
- **Απομόνωση:** Κάθε συναλλαγή που ολοκληρώνεται με επιτυχία έχει μη ορατά τα αποτελέσματα της στις άλλες συναλλαγές.
- **Αντοχή:** Αν έχουμε ολοκλήρωση μια συναλλαγής θεωρούμε ότι ενδεχόμενες αποτυχίες άλλων συναλλαγών δεν θα επηρεάσουν την συναλλαγή που ολοκληρώθηκε.

6.4 SQL-RPC

Για την διατύπωση των αιτήσεων δυο από τις πιο γνωστές μεθόδους, είναι η SQL (Structured Query Language) και οι RPC (Remote Procedure Calls). Στην περίπτωση της διατύπωσης ερωτημάτων SQL προς ένα DBMS, ο προγραμματιστής έχει την δυνατότητα διατύπωσης των απαιτήσεων του που αφορούν την βάση δεδομένων, με την χρήση μιας γλώσσας που μοιάζει με την καθομιλουμένη. Οι εντολές SQL έχουν την δυνατότητα να σχεδιάσουν τον τρόπο αποθήκευσης και συνδεσμολογίας των δεδομένων στην βάση, καθώς και να επιδράσουν σε αυτά αλλάζοντας τα ή παρουσιάζοντας τα στον χρήστη με τον τρόπο που αυτός επιθυμεί. Στην περίπτωση ενός Client Server συστήματος οι απαιτήσεις του πελάτη περιγράφονται με σύντομες και περιεκτικές εντολές SQL, που παραλαμβάνει το κεντρικό σύστημα και τις υλοποιεί, επιστρέφοντας αν ζητηθεί από τον χρήστη το αποτέλεσμα της επεξεργασίας στο πρόγραμμα πελάτη. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου, είναι ότι μπορούμε να μεταφέρουμε στον Client το τμήμα της πληροφορίας που επιθυμεί ο χρήστης και δεν αναγκάζομαστε να φέρουμε το σύνολο της, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο καθυστερήσεις και επιβαρύνοντας το δίκτυο επικοινωνίας. Από την άλλη τα δεδομένα μας είναι συγκεντρωμένα και ταξινομημένα, μειώνοντας φαινόμενα επανάληψης της πληροφορίας που οδηγούν σε πολυάριθμα προβλήματα.

Οι RPC είναι συναρτήσεις που καλούνται από τον Client με συγκεκριμένες παραμέτρους και εκτελούνται στον Server επιστρέφοντας τα αποτελέσματα τους (όταν φυσικά αυτά αφορούν τον χρήστη). Είναι κατασκευασμένες σύμφωνα με μια αρχιτεκτονική που ορίζει ο εκάστοτε συγγραφέας τους. Στην πράξη όταν στον πηγαίο κώδικά του πελάτη γίνεται αναφορά σε μια τέτοια διαδικασία, δημιουργούνται δυο στελέχη (stub) ένα για τον Server και

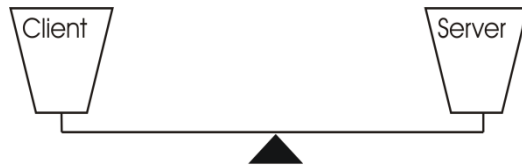
ένα για τον Client. Αυτά τα στελέχη εξασφαλίζουν την λειτουργία των αιτήσεων προς την εκάστοτε RPC. Η επικοινωνία τους γίνεται με συνδέσεις που υλοποιούνται στο στρώμα μεταφοράς του προτύπου OSI. Για τον χρήστη βέβαια οι διαδικασίες αποτελούν μέρος του επιπέδου εφαρμογών. Από τις πλέον γνωστές RPC είναι οι Sun RPC που δημιουργήθηκαν από την Netwisc μέρος της ομάδας ONC (Open Network Computing) που παρέχει η εταιρεία Sun.



*Εικόνα 37
Λειτουργία RPC στα επίπεδα του προτύπου OSI*

6.5 Fat Server-Fat Client

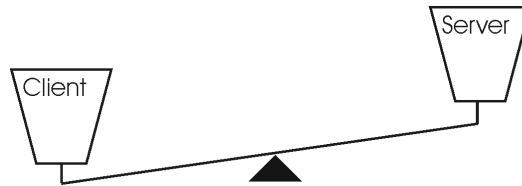
Για την υλοποίηση ενός Client Server συστήματος δεν υπάρχουν περιορισμοί στο υλικό μέρος του Client ή του Server. Μια εφαρμογή τύπου Server μπορεί να έχει μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ ή σε αποθηκευτικούς χώρους (κεντρική μνήμη, σκληρός δίσκος κτλ), κάτι που σημαίνει ότι το σύστημα που θα φιλοξενεί τον Server θα πρέπει να έχει ανάλογες δυνατότητες. Είναι φανερό ότι στην παραπάνω περίπτωση έχουμε ένα Server ισχυρό, ζητώντας συνήθως λιγότερη επεξεργαστική ισχύ στον Client. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι έχουμε μια υλοποίηση Client Server με ισχυρό Server (Fat Server). Ανάλογα θα μπορούσαμε να αποκεντρώσουμε ισχύ και πόρους από το κεντρικό σύστημα προς τις εφαρμογές πελάτες, μετατρέποντας το σύστημα μας σε ισχυρό Client (Fat Client). Όταν έχουμε ισχυρό Client είναι φανερή η πλήρης εκμετάλλευση της καινοτομίας του Client Server σε σχέση με τα συστήματα κεντρικής επεξεργασίας και τερματικών που δεν είναι άλλη από την τοπική επεξεργασία, ενώ στα Fat Server οδηγούμαστε περισσότερο στην λογική των ισχυρών κεντρικών συστημάτων Η/Υ.



Client Server

Εικόνα 38

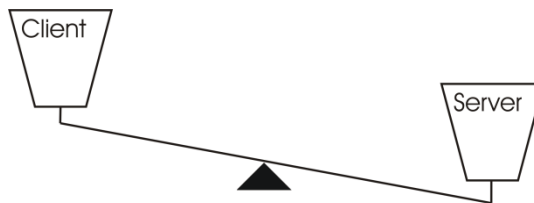
Κατάσταση ισορροπημένου Client Server συστήματος



Fat Client

Εικόνα 39

Κατάσταση Fat Client συστήματος



Fat Server

Εικόνα 40

Κατάσταση Fat Server συστήματος

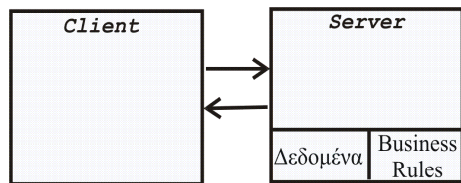
Κύριος γνώμονας για την επιλογή του κατάλληλου τύπου για την εφαρμογή μας θα πρέπει να είναι η γνώση ότι το μοντέλο Fat Server εξασφαλίζει την ελαττωμένη χρήση του δικτύου επικοινωνίας, με κόστος την απαίτηση ενός ακριβού συστήματος Server μεγάλης ισχύος. Το παραπάνω κόστος όμως είναι φανερό ότι αντισταθμίζεται από την ταυτόχρονη απαίτηση για φτηνά και απλά Client συστήματα. Στην περίπτωση Fat Client έχουμε συχνότερες επικοινωνίες, άρα απαιτείται γρήγορο και συνεπές δίκτυο επικοινωνίας.

6.6 Two Tier – Three Tier

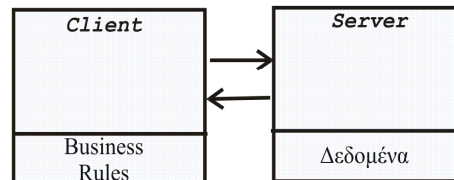
Μια Client Server εφαρμογή στην απλούστερη περίπτωση μπορεί να αποτελείται από δυο τμήματα τα οποία ονομάζονται tier, το tier του Server και το αντίστοιχο tier του Client. Η προσέγγιση αυτή είναι και η πιο παλιά χρονικά και ορίζει την διακριτότητα των δυο εφαρμογών ανάλογα με ένα ποσοστό διαίρεσης που είναι προφανές ότι εξαρτάται από τον χαρακτήρα του συστήματος. Αν έχουμε ένα Fat Client σύστημα είναι πρόδηλο ότι το tier του Client είναι μεγαλύτερο από αυτό του Server, ενώ αντίστοιχα έχουμε ένα μεγάλο tier Server και ένα μικρό tier Client στην περίπτωση μιας Fat Server προσέγγισης. Η λογική γενικά πάντως προβλέπει την διάσπαση του συστήματος σε δυο κομμάτια.

Αυτή η αρχιτεκτονική πρόταση για Client Server εφαρμογές αποτελεί και την πιο απλή περίπτωση συστήματος. Εναλλακτικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε περισσότερα από δυο tier, με συχνότερη περίπτωση αυτή των three tier συστημάτων. Βασική διαφορά των δυο συστημάτων είναι ότι στα multi-tier συστήματα έχουμε απαραίτητα την ύπαρξη ενός επιπλέον στρώματος λογισμικού στην πλευρά του Server. Αυτό το επιπλέον στρώμα συνήθως χρησιμοποιείται για την διαχείριση των δεδομένων που ο Server καλείται να χειριστεί και ενδεχομένως να διαθέσει στον Client. Στα πιο σύγχρονα συστήματα το παραπάνω στρώμα που διαχειρίζεται τα δεδομένα είναι ένα Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (Data Base Management System).

Η two tier λογική έχει προσανατολισμό Fat Client ή Fat Server ανάλογα με το που θέλουμε να μετατοπίζεται το βάρος της εφαρμογής. Π.χ. είναι φανερό ότι μια Fat Client προσέγγιση χρησιμοποιεί περισσότερο το δίκτυο για την μεταφορά του συνόλου της πληροφορίας, ώστε να την επεξεργαστεί τοπικά, ενώ εναλλακτικά μια Fat Server δέχεται αιτήσεις που τις ικανοποιεί τοπικά, διαχειριζόμενη τα δεδομένα και αποστέλλοντας μόνο τα αποτελέσματα της επεξεργασίας. Στην περίπτωση tree-tier ή multi-tier χρησιμοποιείται η αποστολή μηνυμάτων μεταξύ των tier Client και Server. Το tier Server εφαρμόζει την λογική της εφαρμογής (Business Rules) και στην συνέχεια προχωρά στις υπόλοιπες ενέργειες της απαίτησης που καλείται να ικανοποιήσει με την χρήση αλλού tier (π.χ. με χρήση DBMS) σε αντίθεση με την two tier, όπου απλά τοποθετούμε την λογική της εφαρμογής στον Client ή στον Server.



Fat Server



Fat Client

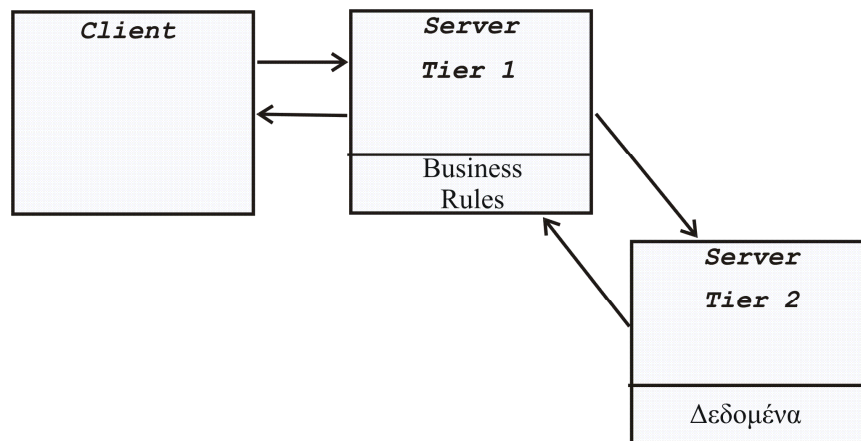
Εικόνα 41

Two Tier Client Server Συστήματα Fat Client & Fat Server

Η three ή multi tier υλοποίηση κάνουν την εφαρμογή πιο σύνθετη, αφού προσθέτουν ένα τουλάχιστον κομμάτι κώδικα. Αυτό το επιπλέον τμήμα επίστρωσης στον Server μπορεί να οδηγήσει σε περίπλοκες εφαρμογές, προσφέροντας όμως και σημαντικά πλεονεκτήματα όπως:

- Κλιμάκωση της εφαρμογής.
- Λιγότερα δικτυακά προβλήματα επικοινωνίας.
- Ευλυγισία.

Η κλιμάκωση βελτιστοποιείται, αφού ο καταμερισμός στον Server μπορεί να οδηγήσει στην χρήση σχημάτων όπως π.χ. ένας Server να ικανοποιεί πολλούς Client που θέλουν να προσπελάσουν δεδομένα, αφήνοντας την ικανοποίηση των πολλαπλών αιτημάτων σε ένα DBMS. Το πέρασμα μηνυμάτων από την άλλη, οδηγεί σε μικρότερο όγκο διακινούμενης πληροφορίας μέσω του δικτύου που μοιραία συνεπάγεται και ελαχιστοποίηση των προβλημάτων της. Η ευλυγισία τέλος έγκειται στο γεγονός ότι ο Client και ο Server, καθώς και τα υπόλοιπα tier μπορούν να αντικατασταθούν, χωρίς να επηρεάζει το ένα το άλλο, αφού η διασύνδεση τους είναι γενική και δεν αλλάζει. Έτσι π.χ. σε ένα Client Sever ERP σύστημα, αν δεν αλλάξουμε τους τύπους και την συνδεσμολογία των στοιχείων της βάσης, μπορούμε να μετατρέψουμε το DBMS που χρησιμοποιούμε από π.χ. ORACLE σε SQL Server, χωρίς να χρειάζεται να αλλάξουμε τον Client και τον Server. Βασικότερο μειονέκτημα της two tier λογικής, είναι το keep alive μήνυμα που στέλνει ο Client συνέχεια στον Server δημιουργώντας ένα περιορισμό χρηστών που μπορεί να χειριστεί ο Server ταυτόχρονα.



Εικόνα 42
Three Tier Client Server Συστήματα

Γενικότερα η φιλοσοφία multi-tier τείνει να κυριαρχήσει. Ο Client αποτελεί μια εύχρηστη μέθοδο για την δημιουργία ερωτημάτων προς τον Server και ένα φιλικό τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τα ερωτήματα αυτά. Αυτή η λογική εφαρμογής από την πλευρά του Client ονομάζεται Front End. Από την άλλη μεριά η ευθύνη του Server για την ικανοποίηση των ερωτημάτων και την εκτέλεση των ενεργειών που αυτά επιβάλουν, καθώς και η τροφοδοσία με την επεξεργασμένη πληροφορία στον Client δίνει τον χαρακτηρισμό Back End, στον Server.

6.7 Κατηγορίες Server

Η εξάπλωση των Client Server συστημάτων υπήρξε ραγδαία και οδήγησε σε μια πανσπερμία υλοποιήσεων που καλούνται να εξυπηρετήσουν το ευρύτερο φάσμα της πληροφορικής. Έτσι βασικές κατηγορίες Server είναι:

- Server Αρχείων (File Server)
- Server Εφαρμογών (Application Server).
- Server Πληροφοριών (Information Server).
- Server Υπολογισμών (Compute Server).
- Server Βάσεων Δεδομένων (Database Server).
- Server Πόρων – Επικοινωνίας (Resource – Communication Server).

Οι παραπάνω τύποι Server μπορούν να δρουν αυτόνομα σε διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα ή κάποιος συνδυασμός τους να βρίσκεται σε ένα σύστημα.

- **Server Αρχείων.** Χρησιμοποιούνται σαν μεγάλες δεξαμενές δεδομένων στις οποίες μπορούν να έχουν πρόσβαση πολλοί χρήστες ταυτόχρονα. Βασική ιδιαιτερότητα είναι ότι μόνο ένας χρήστης μπορεί να προσπελάσει ένα αρχείο μια δεδομένη στιγμή.
- **Server Εφαρμογών.** Λειτουργούν σαν υπολογιστές που εκτελούν συγκεκριμένες εφαρμογές εκμεταλλεόμενες συνήθως ακριβούς πόρους του κεντρικού συστήματος ή δεδομένα που ο κεντρικός υπολογιστής διαχειρίζεται. Πολλοί πελάτες είναι δυνατό, με την χρήση μεθόδων όπως οι RPC, να χρησιμοποιούν το υλικό μέρος του κεντρικού συστήματος για την εκτέλεση μιας λειτουργίας. Το λειτουργικό σύστημα και γενικότερα η φύση του Server είναι αδιάφορο στον Client ο οποίος εκμεταλλεόμενος καθολικές μεθόδους μπορεί να έχει στην διάθεση του την επεξεργαστική ισχύ και τους πόρους του κεντρικού συστήματος.
- **Server Πληροφοριών.** Ασχολούνται κυρίως με την αξιόπιστη αποθήκευση των πληροφοριών. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι η αποθήκευση πληροφοριών που παρέχουν ενώ σε συνδυασμό με ένα Server Υπολογισμών, μπορεί να προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα για τα δεδομένα που φιλοξενεί.
- **Server Υπολογισμών.** Κύρια χρήση τους είναι η ικανοποίηση αιτήσεων για πρόσβαση και εκμετάλλευση πληροφοριών με σκοπό την παρουσίαση στην μορφή που επιθυμεί ο χρήστης.
- **Server Βάσεων Δεδομένων.** Είναι ένας τύπος όμοιος με τους Server Πληροφοριών, μόνο που έχει μια πιο οργανωμένη διαχείριση της πληροφορίας, αφού κάνει χρήση ενός εξελιγμένου συστήματος διαχείρισης. Βασικό στοιχείο του είναι η πρόσβαση στην βάση με χρήση κύρια SQL ερωτημάτων που προσφέρουν ένα εύκολο και με μικρό σχετικά κόστος για το δίκτυο, τρόπο πρόσβασης στα δεδομένα. Ένας από τους πιο δημοφιλής εξυπηρετητές είναι ο συνδυασμός Server βάσεων δεδομένων και ενός Server εφαρμογών, που σαν σύνολο ονομάζεται Server συναλλαγών (Transaction Sever).
- **Server Πόρων – Επικοινωνιών.** Οι Server πόρων προσφέρουν ακριβούς πόρους του κεντρικού συστήματος (π.χ. Print Sever) με τους οποίους δεν θα ήταν δυνατό να εφοδιάσουμε τον κάθε χρήστη. Οι Server Επικοινωνιών φροντίζουν για τον συντονισμό και την επικοινωνία σε ένα δίκτυο, υλοποιώντας πρωτόκολλα (π.χ. DNS, SMTP, POP) ή με άλλους τρόπους (π.χ. Access Server, CAPI Server).

Γενικότερα θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι εξυπηρετητές είναι οι Server εφαρμογών και βάσεων δεδομένων ή ο συνδυασμός τους. Οι Server εφαρμογών απλά χρησιμοποιούν την βάση δεδομένων ενώ οι Server βάσεων δεδομένων απαντούν στα ερωτήματα που διατυπώνονται μεμονωμένα από τους χρήστες. Σε αντίθεση με τις παραπάνω προσεγγίσεις οι εξυπηρετητές συναλλαγών επιστρέφουν την πληροφορία σαν απάντηση σε μια επιτυχημένη εκτέλεση ενός συνόλου ερωτήσεων SQL (συναλλαγή).

6.7.1 Βασικά Στοιχεία Server

Από τα σημαντικά στοιχεία ενός Server σαν υλικό είναι η αξιοπιστία, η επεξεργαστική ισχύς και η μικρού κόστους επεκτασιμότητα. Τα βασικά στοιχεία στην επιλογή ενός υπολογιστικού συστήματος που θα προορίζεται για την φιλοξενία υπηρεσιών τύπου Server είναι:

- Παρεχόμενη και μέγιστη διαθέσιμη ταχύτητα κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (CPU).
- Πλήθος επεξεργαστών.
- Κεντρική μνήμη.
- Χωρητικότητα και ταχύτητα πρόσβασης αποθηκευτικού χώρου
- Συστήματα άμεσης αντικατάστασης (π.χ. Hot Swap σκληροί δίσκοι).
- Επεκτασιμότητα.
- Κόστος.
- Υποστήριξη αξιοπιστία κατασκευαστή (π.χ. άμεση αντικατάσταση).

Πέρα από το υλικό του Η/Υ θα πρέπει να γίνει και προσεκτική επιλογή του λειτουργικού συστήματος. Βασικές απαιτήσεις για το λειτουργικό είναι:

- Πολυχρηστικότητα (Multi-user).
- Πολυεπεξεργασία (Multi-tasking).
- Προτεραιότητα.
- Υποστήριξη πολυνηματικής επεξεργασίας (Multi-thread).
- Ορθολογική διαχείριση μνήμης.
- Ασφάλεια.
- Δυνατότητες δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας.
- Κόστος.

Ένα πολυχρηστικό περιβάλλον είναι από τα στοιχεία που θα πρέπει να παρέχει το λειτουργικό σύστημα, δίνοντας την δυνατότητα ύπαρξης πολλών χρηστών-πελατών για το σύστημα. Η πολυεπεξεργασία επεκτείνει την παραπάνω παροχή προσφέροντας την δυνατότητα «ταυτόχρονης» ικανοποίησης πολλαπλών διεργασιών από τον επεξεργαστή. Η πολυεπεξεργασία θα πρέπει να συνοδεύεται από διαδικασίες αποκλεισμού της μονοπώλησης του συστήματος από μια διεργασία, η οποία θα εγκλώβιζε το σύστημα. Ακόμα οι πολλαπλές διεργασίες θα πρέπει να εκτελούνται αυτόνομα, χωρίς να επηρεάζει η μια την άλλη. Οι διεργασίες θα πρέπει να ξεχωρίζουν για το σύστημα με βάση την προτεραιότητα- κρισιμότητα τους. Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την προτεραιότητα που θα πρέπει να δοθεί από ένα σύστημα στην καταχώριση ενός παραστατικού σε σχέση με την δημιουργία μιας αναφοράς για τις πωλήσεις του μήνα. Βασικό στοιχείο είναι και η πολυνηματική επεξεργασία που δίνει την δυνατότητα στον εξυπηρετητή να ικανοποιεί πολλές αιτήσεις, δημιουργώντας πολλά νήματα εκτέλεσης (threads), ένα για κάθε αίτηση. Αυτά τα νήματα δίνουν την δυνατότητα για μια πιο ορθολογική διαχείριση των εργασιών ενός Server.

Κρίσιμο στοιχείο είναι και ο τρόπος αποθήκευσης σε μόνιμα μέσα καθώς και η ανάκληση, αλλά και η διαχείριση της πληροφορίας στην κεντρική μνήμη. Δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις που δυο ή και περισσότερες αιτήσεις απαιτούν πρόσβαση στα ίδια δεδομένα. Μια ορθολογική διαχείριση της εκάστοτε μνήμης, είναι φανερό ότι κρίνεται απαραίτητη για την γρήγορη και έγκυρη ολοκλήρωση των εργασιών που καλείτε να υλοποιήσει ο εξυπηρετητής. Τα δεδομένα που συντηρούνται σε ένα Server είναι κρίσιμα για την λειτουργία του οργανισμού ή της εταιρίας που συντηρεί ένα πληροφορικό σύστημα με μια Client Server εφαρμογή. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει τα δεδομένα του Server κατά κύριο λόγο, να μπορούν να αποθηκεύονται σε εναλλακτικά μέσα, δημιουργώντας αντίγραφα ασφαλείας που αναπαριστούν την κατάσταση λειτουργίας και τα δεδομένα έως την στιγμή που τα λάβαμε, δίνοντας την δυνατότητα επαναφοράς του συστήματος στην συγκεκριμένη στιγμή.

Στα δεδομένα που καλείται να φιλοξενήσει ένας Server είναι και εμπιστευτικές πληροφορίες στις οποίες θα πρέπει να έχουμε διαβαθμισμένη πρόσβαση και γενικά να τις προστατεύουμε από τα αδιάκριτα μάτια. Δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις προσβολής συστημάτων από εισβολείς, που είτε απλά αποκτούν μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση (Hacker), είτε εκμεταλλεύονται την πρόσβαση αυτή με στόχο την αποκόμιση κερδών (Cracker). Ένα πρόσφατο παράδειγμα είναι η διαρροή αριθμών- κωδικών του συστήματος πιστωτικών

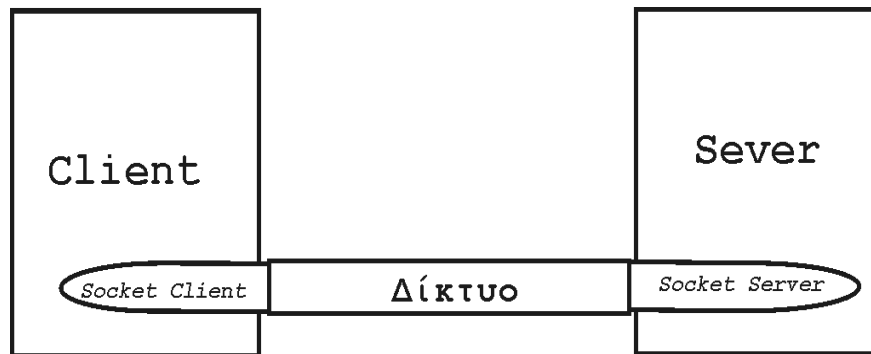
καρτών VISA, που οδήγησε στην ακύρωση χιλιάδων καρτών και στην απώλεια μεγάλων χρηματικών ποσών. Μεγάλος λόγος άλλωστε γίνεται παγκόσμια και για την προστασία των προσωπικών δεδομένων, οι διαρροές των οποίων σε πολλές περιπτώσεις προκαλούν την καταδυνάστευση των πιο αυτονόητων συνταγματικών ελευθεριών.

Σε όλα τα παραπάνω θα πρέπει να συνυπολογίσουμε και το κόστος του λειτουργικού συστήματος που σε πολλές περιπτώσεις τείνει να συναγωνιστεί το κόστος του απαιτητικότητας συνήθως υλικού. Σε αυτό τον τομέα σημαντικό πλεονέκτημα παρουσιάζουν τα λεγόμενα συστήματα ανοικτού κώδικα (Open Source), όπως π.χ. το Linux. Αυτά τα συστήματα έχουν μηδενικό κόστος και τεράστιες δυνατότητες που συνεχώς αναπτύσσονται από τους χιλιάδες προγραμματιστές που ασχολούνται αφιλοκερδώς συνήθως, με στόχο την συνεχώς εξελισσόμενη παροχή υπηρεσιών υψηλού επιπέδου. Με την μεγάλη προσπάθεια που γίνεται για την παραγωγή ισχυρής τεκμηρίωσης και την προώθηση του συστήματος στην εκπαίδευση (σχολεία και ανώτατα ιδρύματα), το Linux και γενικά τα συστήματα ανοικτού κώδικα αναμένεται να γνωρίζουν αλματώδη πρόοδο στο εγγύς μέλλον.

6.7.2 Sockets

Οι Sockets (υποδοχές) αποτελούν ένα από τους πιο δημοφιλείς τρόπους υλοποίησης ενός καναλιού επικοινωνίας μεταξύ δύο ανεξάρτητων διαδικασιών που υφίστανται στο ίδιο ή σε διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα και τα οποία συνέχονται με ένα δίκτυο. Οι υποδοχές χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν την επικοινωνία σε πολλές γνωστές εφαρμογές τύπου Client Server όπως είναι: HTTP, Telnet, Rlogin, SSH, Ftp, IRC. Οι υποδοχές δεν υποστηρίζονται από όλα τα λειτουργικά συστήματα. Υπάρχουν βιβλιοθήκες (π.χ. GNU) που υλοποιούν υποδοχές ανεξάρτητα από το λειτουργικό σύστημα χρησιμοποιώντας συναρτήσεις που απλά αποτυγχάνουν σε λειτουργικά που δεν υποστηρίζουν αυτή την λογική επικοινωνίας.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται σε μια επικοινωνία με ένα εξαιρετικό απλό τρόπο. Για κάθε στοιχείο της επικοινωνίας έχουμε την χρήση ενός Socket. Έτσι στην Client Server υλοποίηση μια Socket δημιουργείται για τον πελάτη και μια για το κεντρικό σύστημα, πραγματοποιώντας με αυτό τον τρόπο την επικοινωνία των δύο στελεχών της εφαρμογής.



Εικόνα 43
Λειτουργία Sockets σε Client Server συστήματα

Για να χρησιμοποιήσουμε τις υποδοχές θα πρέπει να επιλέξουμε δυο βασικές έννοιες, που είναι το communication style και ο τύπος πρωτοκόλλου επικοινωνίας που θα χρησιμοποιήσουμε. Οι ιδιαιτερότητες της επικοινωνίας (communication style) αποτελούν και την μορφή στην οποία θα μετατρέψουμε τα δεδομένα μας με στόχο την μεταφορά τους. Για να οριστούν θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ορισμένες παραμέτρους, μια από τις οποίες είναι και το ποιες είναι οι ελάχιστες μονάδες (κύτταρα) που θα διακινούνται κατά την επικοινωνία. Η φύση της εφαρμογής καθορίζει και την μονάδα επικοινωνίας, η οποία αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την γρήγορη και ασφαλή διακίνησης της. Χαρακτηριστική επιλογή μονάδας πληροφορίας είναι το πακέτο που χρησιμοποιείται ευρύτητα σαν έννοια και αποτελείται από δυο βασικά κομμάτια: την πληροφορία που διακινούμε και τις πληροφορίες ελέγχου για την ροή (π.χ. IP παραλήπτη στο TCP-IP), καθώς και τις πληροφορίες που αφορούν τον έλεγχο της ακεραιότητας (π.χ. FCS – Frame Check Sequence στα bit-oriented πρωτόκολλα).

Ακόμα σημαντικό ρόλο στην επιλογή του communication style θα παίξει και το κατά πόσο μπορούμε να ανεχτούμε απώλειες στην επικοινωνία ή το αν θα πρέπει να έχουμε απόλυτη και ακέραια μεταφορά της πληροφορίας. Σαν παράδειγμα μπορούμε αναφέρουμε εφαρμογές όπως το Voice-Over-Ip, όπου σημαντικότερο είναι να έχουμε άμεση επικοινωνία με μικρά σφάλματα τα οποία η φυσιολογία της ανθρώπινης ομιλίας είναι δυνατό να καλύψει, παρά να έχουμε ακριβή μεταφορά των λεγομένων με κόστος όμως μια αργή επικοινωνία που γίνεται όλο και περισσότερο ασύγχρονη.

Από τα πιο βασικά στοιχεία επιλογής είναι και το αν η εφαρμογή αφορά τον ίδιο πάντα χρήστη ή αν προσφέρεται σε ένα ευρύτερο σύνολο χρηστών. Π.χ. στην περίπτωση που

αναφερόμαστε πάντα στον ίδιο χρήστη, δεν θα χρειαστεί να προβληματιστούμε για θέματα όπως είναι η διευθυνσιοποίηση του συστήματος επικοινωνίας που χρησιμοποιούμε.

Για την ονομασία μιας υποδοχής θα πρέπει να οριστεί ένα όνομα από μια συγκεκριμένη και σαφώς ορισμένη περιοχή ονομάτων (namespace). Ένα όνομα έχει διαφορετική έννοια ανάλογα με το namespace στο οποίο εντάσσεται. Εναλλακτικά το namespace αναφέρεται στην βιβλιογραφία σαν Domain, έννοια η οποία όμως έχει φορτιστεί με διαφορετική σημασία. Κάθε namespace έχει ένα συμβολικό όνομα που αρχίζει με την χαρακτηριστική συμβολοσειρά «PF_» και ένα δεύτερο χαρακτηρισμό που αρχίζει με το «AF_», ο οποίος χρησιμοποιείται για την περιγραφή της εικόνας που ακολουθούν οι διευθύνσεις που το συναποτελούν.

Επόμενη επιλογή για την δόμηση μιας Socket είναι το πρωτόκολλο που θα εφαρμόσουμε για την υλοποίηση της επικοινωνίας. Το πρωτόκολλο δηλώνει τον τρόπο επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθεί για την λήψη και την αποστολή των δεδομένων από την μια υποδοχή στην άλλη. Οι κανόνες που επιβάλλονται από ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας εφαρμόζονται στα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ των εφαρμογών. Οι περισσότεροι από αυτούς υλοποιούνται και ελέγχονται από το λειτουργικό σύστημα, χωρίς να απασχολούν τον χρήστη. Η μόνη μέριμνα που θα πρέπει να λάβει ο χρήστης όσο αφορά τους κανόνες του εκάστοτε πρωτοκόλλου επικοινωνίας είναι:

- Για να έχουμε επικοινωνία θα πρέπει και τα δυο μέρη να χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο.
- Κάθε πρωτόκολλο συνδέεται με ένα συγκεκριμένο communication style και ένα συγκεκριμένο namespace. Στο TCP πρωτόκολλο σαν παράδειγμα χρησιμοποιούμε byte stream σαν communication style και το INTERNET namespace.
- Για κάθε συνδυασμό communication style και namespace, υπάρχει και ένα default πρωτόκολλο το οποίο χαρακτηρίζεται με τον αριθμό «0_» και το οποίο χρησιμοποιείτε σαν προεπιλογή.

6.7.3 GNU Sockets

Οι GNU βιβλιοθήκες υποστηρίζουν ένα πλήθος από Socket που υλοποιούνται στο λειτουργικό σύστημα Linux. Θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια τα γενικά στοιχεία ενός Socket

με υλοποίηση GNU, με στόχο να αναφερθούμε στην συνέχεια στις INTERNET υποδοχές που αποτελούν και το πιο ευρύτερα διαδεδομένο τύπο Socket.

Όπως προαναφέρθηκε βασικό στοιχείο για την υλοποίηση των υποδοχών είναι και το communication style. Στην περίπτωση των GNU Sockets υποστηρίζονται οι παρακάτω τύποι:

- SOCK_STREAM
- SOCK_DGRAM
- SOCK_RAW

Στην περίπτωση SOCK_STREAM έχουμε μια συνεχή ροή στοιχείων μεταξύ δυο υποδοχών, τηρώντας πάντα την σειρά με την οποία ο αποστολέας στέλνει τα δεδομένα στον παραλήπτη (λογική FIFO- First In First Out). Πρακτικά μπορούμε να παρομοιάσουμε το σύστημα σαν ένα σωλήνα μεταξύ των επικοινωνούντων ο οποίος απλά μεταβιβάζει τις πληροφορίες από την μια άκρη στην άλλη.

Από την άλλη με το ύφος SOCK_DGRAM η λογική αλλάζει. Τα στοιχεία της επικοινωνίας οργανώνονται σε πακέτα που φέρουν διευθύνσεις και άλλες πληροφορίες για την δρομολόγηση τους μέσω του δικτύου με τελικό στόχο τον παραλήπτη τους. Συγκεκριμένα έχουμε την ενθυλάκωση της πληροφορίας σε ένα πακέτο και την προσθήκη της διεύθυνσης παραλήπτη και του αποστολέα, καθώς και άλλων πληροφοριών σχετικών με την μεταφορά. Ο αποστολέας αποθέτει το πακέτο στο δίκτυο που τον συνδέει με τον παραλήπτη και αυτό αναλαμβάνει να κάνει την μεταγωγή του πακέτου, βάση της εκάστοτε λογικής η οποία διέπει το δίκτυο επικοινωνίας. Η μόνη εγγύηση που μας παρέχεται από το δίκτυο για την μεταφορά των πακέτων, είναι το ότι θα γίνει το καλύτερο δυνατό για την μεταφορά τους. Έτσι δεν γνωρίζουμε με απόλυτη βεβαιότητα, ότι τα πακέτα θα φτάσουν στον παραλήπτη με την σειρά που τα θέτουμε στο δίκτυο. Γενικά είναι αποδεκτό να έχουμε επιτυχή αποστολή ενός πακέτου με την παραλαβή του από τον παραλήπτη, χωρίς να είναι σίγουρο ότι έχουν φτάσει την δεδομένη στιγμή τα πακέτα που έχουμε αποδώσει στο δίκτυο, πριν από αυτό. Το ύφος επικοινωνίας αυτό είναι αποδεκτό σε εφαρμογές στις οποίες μπορούμε χωρίς κόστος να έχουμε επαναποστολή της πληροφορίας αν αυτή δεν φτάσει σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα.

Το τελευταίο communication style που μας προσφέρουν οι GNU βιβλιοθήκες είναι το SOCK_RAW. Το ύφος αυτό μας δίνει την δυνατότητα για πρόσβαση στα πρωτόκολλα και στα interface των χαμηλότερων επιπέδων. Συνήθως δεν χρησιμοποιείται από τα απλά

προγράμματα χρηστών, με την εξαίρεση εφαρμογών που απαιτούν για την υλοποίησή τους επαυξημένες δυνατότητες πρόσβασης στο χαμηλό επίπεδο υλοποίησης της επικοινωνίας με υποδοχές.

6.7.4 Διευθυνσιοδότηση Sockets

Η ονομασία μιας υποδοχής αναφέρεται συνήθως σαν διεύθυνση. Όταν δημιουργούμε μια υποδοχή αυτή δεν φέρει καμία ονομασία. Για να της δώσουμε όνομα χρησιμοποιούμε την συνάρτηση `bind`, κάνοντας μια δέσμευση ονόματος (`bin bind`). Θα πρέπει να φροντίσουμε ώστε το όνομα που θα δοθεί το `Socket` να διευκολύνει την επικοινωνία. Το όνομα ενός `Socket` μας αποδίδεται με την συνάρτηση `getsockname`.

Οι συναρτήσεις `bind` και `getsockname` που παρουσιάστηκαν χρησιμοποιούν την γενικού τύπου δομή `sockaddr` που ορίζεται σαν δείκτης στην διεύθυνση της υποδοχής. Βασικό μέλος της παραπάνω δομής είναι και το πεδίο `sa_family` το οποίο δηλώνει το `format` της διεύθυνσης και το πεδίο `sa_data` που περιέχει την διεύθυνση. Το είδος της διεύθυνσης δηλώνεται με μια συμβολοσειρά που ξεκινά με το πρόθεμα «AF_» και που αντιστοιχεί σε ένα `namespace` το οποίο δηλώνεται με την σειρά του με το πρόθεμα «PF_». Τα διαθέσιμα είδη διευθύνσεων με τα αντίστοιχα `namespace` τους είναι:

- AF_FILE – PF_FILE
- AF_UNIX – PF_UNIX
- AF_INET – PF_INET
- AF_UNSPEC – PF_UNSPEC

Το AF_FILE αναφέρεται στο σύστημα αρχείων και για λόγους συμβατότητας έχει δημιουργηθεί για το σύστημα αρχείων του UNIX ο ειδικός τύπος AF_UNIX. Στην περίπτωση του AF_UNSPEC έχουμε την δημιουργία συνεχούς ροής που σπάνια χρησιμοποιείται από τις εφαρμογές. Για λόγους συμβατότητας φέρει το εικονικό `namespace` PF_UNSPEC.

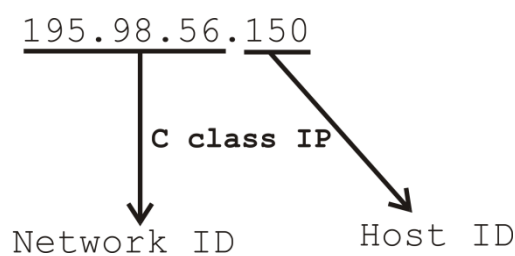
6.7.5 INTERNET Sockets

Το βασικότερο ίσως GNU είδος διευθύνσεων είναι το AF_INET που αναφέρεται στις διευθύνσεις του INTERNET. Το INTERNET `namespace` στο οποίο και αναφέρεται, αποτελεί την ευρύτερη και πλέον δημοφιλή διευθυνσιοδότηση στον χώρο των δικτύων Η/Υ. Φέρει το

συμβολικό όνομα PF_INET και είναι το μόνο που μπορεί να συναγωνιστεί σε εξάπλωση το μεγαλύτερο σύστημα διεθυνσιοδότησης, που δεν είναι άλλο από αυτό των τηλεφωνικών συσκευών.

Μια υποδοχή που φέρει INTERNET διεύθυνση αποτελείται από δυο τμήματα την IP και το port. Η IP με την σειρά της δηλώνει το δίκτυο στο οποίο ανήκει ο υπολογιστής, καθώς και προσδιορίζει τον ίδιο τον υπολογιστή στο δίκτυο αυτό. Αναλυτικότερα το πεδίο διεύθυνσης αποτελείται από τέσσερις ομάδες των 8 bit η καθεμία, έχοντας συνολικά μέγεθος 32 bit. Κάθε IP διεύθυνση αποτελείται από δύο μέρη την διεύθυνση δικτύου (Network ID) και την διεύθυνση του υπολογιστή ή της συσκευής μέσα στο δίκτυο αυτό (Host ID). Ανάλογα με το τύπο του δικτύου έχουμε τις διευθύνσεις του διαδικτύου να χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- A Class: 8 bit για διεύθυνση δικτύου-24 bit για διεύθυνση υπολογιστή
- B Class: 16 bit για διεύθυνση δικτύου-16 bit για διεύθυνση υπολογιστή
- C Class: 24 bit για διεύθυνση δικτύου-8 bit για διεύθυνση υπολογιστή



Εικόνα 44
IP διεύθυνση

Ο διαχωρισμός των διευθύνσεων γίνεται εξαιρετικά απλά, με την χρήση δεσμευμένων για αυτό τον σκοπό bit στο πεδίο της διεύθυνσης δικτύου. Αναλυτικά ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει το πλήθος των διευθύνσεων που δημιουργούνται με βάση την παραπάνω λογική και τις επιμέρους λεπτομέρειες της, οι οποίες δεν κρίνεται σκόπιμο να αναπτυχθούν στο παρών κείμενο.

ΤΥΠΟΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΗΘΟΣ Η/Υ ΑΝΑ ΔΙΚΤΥΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ
A	126	16.777.124	2.113.917.624
B	16.384	65.543	1.073.709.065
C	2.097.152	254	532.676.608

Πίνακας 11
Class A, B, C διευθύνσεις διαδικτύου

Το σύνολο των διευθύνσεων μπορούν να φτάσουν τα 3,5 δισεκατομμύρια αριθμός που φάνταζε υπερβολικός για την εποχή δημιουργίας της διευθυνσιοδότησης. Σήμερα με την καθολική εξάπλωση του διαδικτύου στο σύνολο του κόσμου γίνεται φανερό ότι οι παραπάνω διευθύνσεις δεν επαρκούν. Για την εξοικονόμηση διευθύνσεων έχουν εφευρεθεί μέθοδοι όπως το subnet, που μειώνουν την έκταση του παραπάνω προβλήματος.

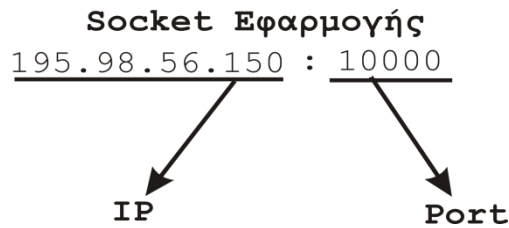
Πολλές από τις παραπάνω διευθύνσεις είναι δεσμευμένες για συγκεκριμένους σκοπούς. Συγκεκριμένα έχουμε :

- Όλα τα bit=0 στο πεδίο διεύθυνσης του δικτύου σημαίνει το δίκτυο αυτό.
- Όλα τα bit=0 στο πεδίο διεύθυνσης του υπολογιστή σημαίνει ο υπολογιστής αυτός δίκτυο.
- Όλα τα bit=1 στο πεδίο διεύθυνσης του δικτύου σημαίνει όλα τα δίκτυα (multicast).
- Όλα τα bit=1 στο πεδίο διεύθυνσης του υπολογιστή σημαίνει όλοι οι υπολογιστές (multicast).

Χαρακτηριστικές διευθύνσεις αποτελούν και εκείνες που ξεκινούν με 127 στα πρώτα 8 bit. Αυτές οι διευθύνσεις αποτελούν εσωτερικές διευθύνσεις για κάθε υπολογιστή (loop back). Το δεύτερο βασικό στοιχείο μιας υποδοχής που αναφέρεται στο INTERNET είναι το port. Ένα port χαρακτηρίζει μια υπηρεσία και δίνει με αυτό τον τρόπο την δυνατότητα να φιλοξενούμε διαφορετικές εφαρμογές σε ένα υπολογιστή. Τα διαθέσιμα port είναι 65.536. Τα πρώτα 1024 είναι δεσμευμένα από συγκεκριμένες εφαρμογές, ενώ τα υπόλοιπα ελεύθερα για χρήση. Κάθε εφαρμογή συνδέεται με ένα port. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε τα port των παρακάτω υπηρεσιών:

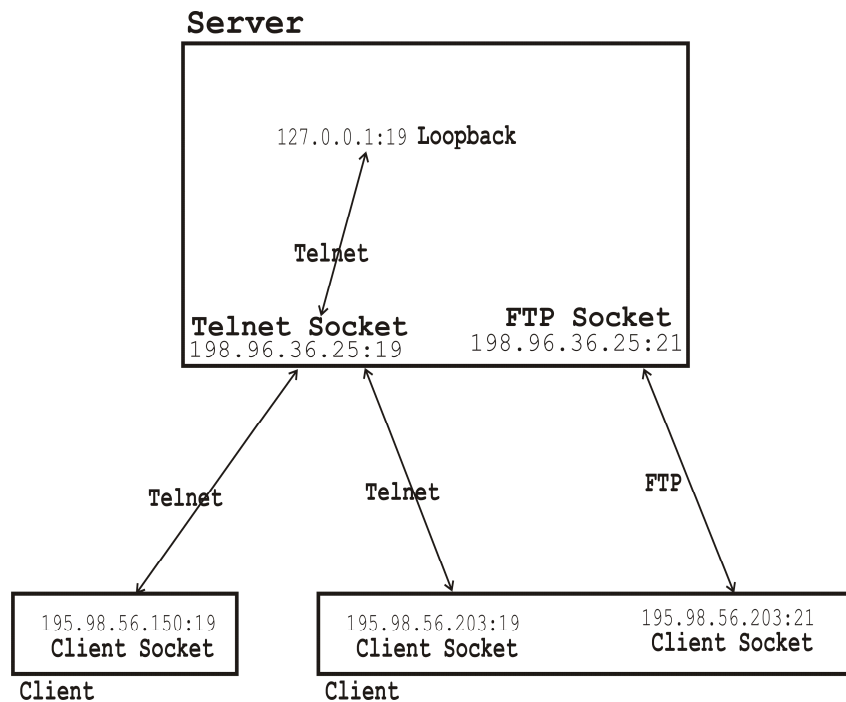
- 80 WWW (World Wide Web)
- 21 FTP (File Transfer Protocol)
- 22 SSH (Secure Shell)
- 23 Telnet
- 25 SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)

Για τις εφαρμογές μας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιο από τα ελεύθερα port, χωρίς να μας εγγυάται κανείς την μοναδικότητα του ή να δεσμεύσουμε ένα port για την εφαρμογή μας πληρώνοντας ένα οικονομικό αντίτιμο. Αν δεσμεύσουμε το port ο συνδυασμός IP και port είναι μοναδικός για όλες τις υπηρεσίες που διατίθενται παγκόσμια.



*Εικόνα 45
Ανάλυση IP Socket*

Στην περίπτωση Client Server επικοινωνίας μέσω διαδικτύου (ή γενικότερα TCP/IP) με χρήση υποδοχών, τόσο πελάτης όσο και το κεντρικό σύστημα διαθέτουν δύο μοναδικές IP. Η υπηρεσία η οποία θα προσφέρει ο Server μετά από σχετικό αίτημα του Client δεσμεύει ένα port που είναι γνωστό και στα δυο ενδιαφερόμενα μέρη. Προφανώς ο συνδυασμός IP και port στην περίπτωση του κεντρικού συστήματος μας δίνει την δυνατότητα να φιλοξενηθούν πολλές υπηρεσίες (με διαφορετικά port) στο ίδιο μηχάνημα. Ανάλογα ο πελάτης μπορεί να κάνει κρούσεις σε ένα σύνολο από διαφορετικούς εξυπηρετητές ταυτόχρονα. Μπορούμε λοιπόν στο ίδιο μηχάνημα να έχουμε ενεργούς ένα Telnet, ένα FTP και ένα HTTP Server. Ακόμα με την χρήση του loop back δικτύου μας δίνεται η δυνατότητα να έχουμε Client και Server στον ίδιο υπολογιστή. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφερθούμε στο IIS Server του λειτουργικού συστήματος WINDOWS που μας προσφέρει υπηρεσίες HTTP,FTP κ.α., τις οποίες μπορούμε να διαθέτουμε και στις οποίες να έχουμε πρόσβαση από τον ίδιο υπολογιστή ταυτόχρονα.

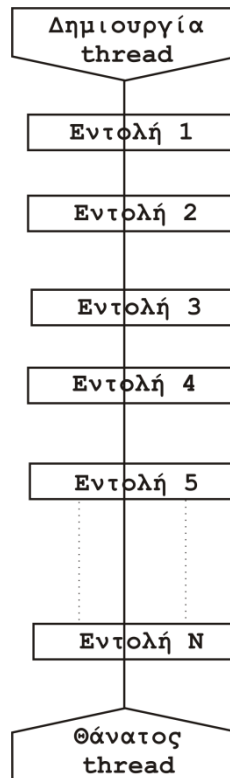


Εικόνα 46
Server σύστημα με εξωτερικούς & εσωτερικούς Client

Οι βιβλιοθήκες GNU μας δίνουν ένα σύνολο συναρτήσεων που επιτρέπουν στον χρήστη να ορίσει εύκολα τα παραπάνω στοιχεία και να δημιουργήσει τις δικές τους υποδοχές, για εφαρμογές του λειτουργικού συστήματος Linux. Λόγω της εξάπλωσης του INTERNET οι περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού υποστηρίζουν με διάφορους τρόπους την υλοποίηση υποδοχών διαδικτύου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εύκολου χειρισμού των Sockets εμφανίζονται σε γλώσσες, όπως η Java, η C++ και η Delphi.

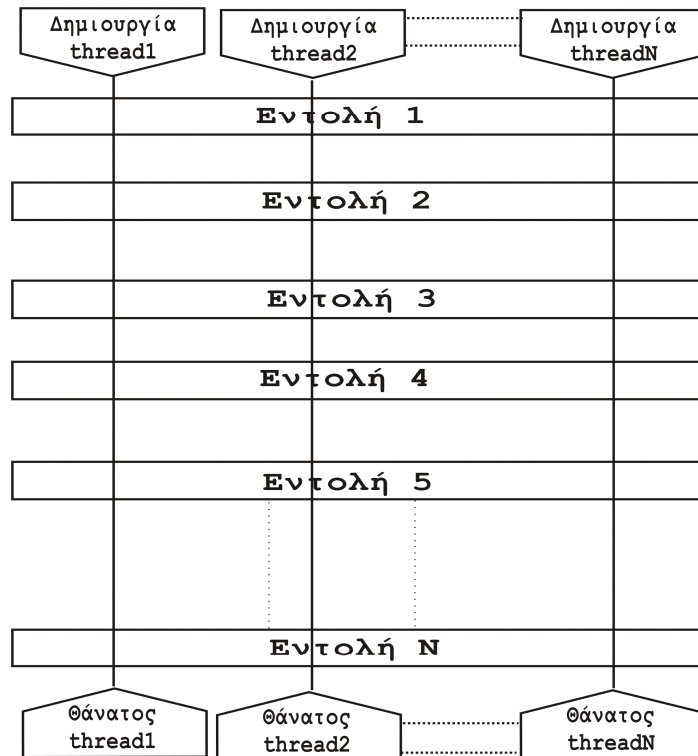
6.7.6 Threads

Από τα βασικά στοιχεία επικοινωνίας ενός Server είναι και η πολυνηματική επεξεργασία. Το νήμα εκτέλεσης αποτελείται από μια αλληλουχία εκτέλεσης εντολών που συνθέτουν ένα πρόγραμμα. Στην πράξη η αλληλουχία αυτή μπορεί να έχει ένα ευρύ σύνολο υλοποιήσεων, αφού τα προγράμματα έχουν αρκετές διακλαδώσεις (πιθανές διαφορετικές εξελίξεις). Είναι λοιπόν φανερό ότι ένα νήμα εκτέλεσης thread δεν συναποτελείται πάντα από ένα σταθερό σύνολο εντολών. Τα νήματα εκτέλεσης προκαλούν μικρότερη επιβάρυνση στο σύστημα, αφού καθένα από αυτά μοιράζονται τον ίδιο χώρο διευθύνσεων μαζί με τα υπόλοιπα. Αυτή είναι και η βασική διαφορά μεταξύ ενός νήματος εκτέλεσης και ενός νήματος διεργασίας (process) που απαιτεί για κάθε υλοποίηση ένα κλώνο των δεδομένων και των εντολών, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο μια σημαντική επιβάρυνση στο σύστημα.



Εικόνα 47
Τυπικό δείγμα thread

Η παρουσία πολλών νημάτων εκτέλεσης στο ίδιο πρόγραμμα μας προσφέρει την δυνατότητα της πολυεπεξεργασίας. Με τα νήματα στην περίπτωση αυτή μπορούμε να έχουμε την δυνατότητα ταυτόχρονης επεξεργασίας. Αν διαθέτουμε ένα επεξεργαστή τότε σε κάθε νήμα αποδίδουμε ένα τμήμα χρόνου (κβάντο) του επεξεργαστή, δημιουργώντας έτσι την δυνατότητα στα νήματα να εκτελούνται ταυτόχρονα. Είναι φανερό ότι η έννοια την ταυτόχρονης εκτέλεσης δεν είναι ακριβής, αφού ένας επεξεργαστής εκτελεί μόνο μια εντολή σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Πραγματικά ταυτόχρονη (παράλληλη) επεξεργασία, μπορούμε να έχουμε μόνο στην περίπτωση που διαθέτουμε ένα σύνολο επεξεργαστών, όπου οι εντολές που μπορούν να εκτελούνται παράλληλα σε μια δεδομένη χρονική στιγμή είναι ίσες με το πλήθος των επεξεργαστών που διαθέτουμε. Η εφαρμογή πολυνηματικών προγραμμάτων σε παράλληλους επεξεργαστές είναι ιδανική.



Εικόνα 48
Μαζική εκτέλεση thread

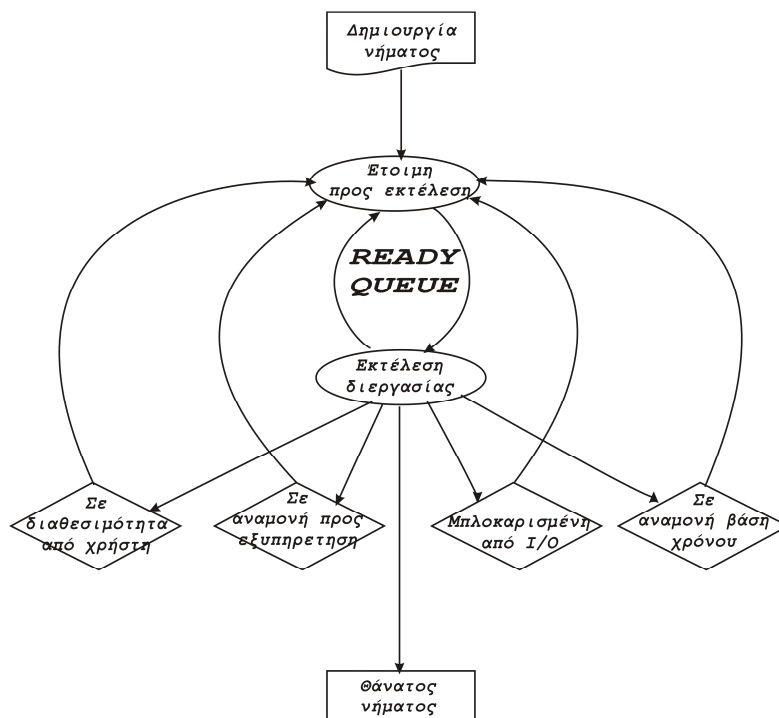
Και στην περίπτωση όμως συστημάτων με ένα επεξεργαστή μας δίνεται η δυνατότητα παράλληλης εξυπηρέτησης πολλαπλών αιτήσεων, με μια διαδικασία που μοιάζει να είναι παράλληλη εκτέλεση. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε λογικές προσεγγίσεις, όπως η χρονοδρομολόγηση διεργασιών κτλ.. Η δυνατότητα πολυνηματικής επεξεργασίας είναι πολύτιμη στην περίπτωση ενός Client Server συστήματος, αφού μας προσφέρει την δυνατότητα να σχεδιάζουμε ένα εξυπηρετητή για ένα πελάτη και με την δημιουργία πολλών νημάτων στον εξυπηρετητή αυτό, να έχουμε παράλληλη επεξεργασία πολλαπλών αιτήσεων προς τον Server. Στην πράξη δημιουργούμε μια εφαρμογή για το κεντρικό σύστημα, όπου κάθε αίτηση από οποιοδήποτε πελάτη που δέχεται, δημιουργεί και ένα νέο νήμα εκτέλεσης στην εφαρμογή μας για τον συγκεκριμένο χρήστη. Ο χειρισμός και ο χρονισμός των νημάτων εκτέλεσης δεν απασχολεί τον προγραμματιστή, αλλά επιβαρύνει το λειτουργικό σύστημα που φιλοξενεί τον εξυπηρετητή, το οποίο θα πρέπει απαραίτητα να υποστηρίζει πολυνηματική επεξεργασία. Το λειτουργικό σύστημα άλλωστε είναι και αυτό που αναλαμβάνει την ορθή παροχή των πόρων που απαιτούνται από τα νήματα με στόχο την ακεραιότητα και την αυτονομία στην εκτέλεση τους. Από την άλλη όπως προαναφέρθηκε, τα

νήματα εκτέλεσης δίνουν την δυνατότητα σε ένα σύστημα με πολλούς επεξεργαστές να επιμερίσει τις εργασίες στο σύνολο των επεξεργαστών, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ταχύτητα εκτέλεσης. Στην περίπτωση συστημάτων με ένα επεξεργαστή έχουμε καλύτερη διαχείριση του ανενεργού χρόνου, με αποτέλεσμα και εδώ την γρηγορότερη εξυπηρέτηση του χρήστη (μείωση χρόνου ανακύκλωσης και αύξηση της ρυθμοαπόδοσης του επεξεργαστή).

Ζωή ενός Νήματος Εκτέλεσης

Η ζωή ενός νήματος εκτέλεσης περνά από τρία στάδια: την δημιουργία , την εκτέλεση και τον θάνατο. Οι φάσεις δημιουργίας και θανάτου είναι αυτονόητες. Στα ενδιάμεσα στάδια υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις:

- Waiting (Σε αναμονή προς εξυπηρέτηση)
- Suspend (Σε διαθεσιμότητα από τον χρήστη)
- Blocked (Μπλοκαρισμένη από I/O)
- Sleeping (Σε αναμονή βάση χρόνου)



Εικόνα 49
Κύκλος ζωής thread

Τα νήματα που είναι έτοιμα για εκτέλεση (κατάσταση *Waiting*) εισάγονται σε μια ουρά που ονομάζεται *Ready Queue*. Στην ουρά αυτή έχουμε την υλοποίηση ενός αλγορίθμου που αναλαμβάνει την είσοδο κάθε νήματος στον επεξεργαστή με βάση την προτεραιότητα που έχει οριστεί από τον χρήστη. Αφού το νήμα χρησιμοποιήσει το κβάντο χρόνου που του αναλογεί, μεταβαίνει στην κατάσταση αναμονής προς εξυπηρέτηση (*Waiting*) επανατοποθετούμενο στην *Ready Queue*. Υπάρχουν και οι περιπτώσεις όμως που η παραπάνω ενέργεια δεν επιτελείται. Μια από αυτές είναι και η μετάβαση στην κατάσταση *Blocked* κατά την οποία το νήμα εκτέλεσης απαιτεί την χρήση κάποιας συσκευής εισόδου εξόδου (*I/O*). Μόλις ικανοποιηθεί αυτή του η απαίτηση μεταβαίνει στην κατάσταση αναμονής προς εξυπηρέτηση και τοποθετείται στην *Ready Queue*. Στην περίπτωση της κατάστασης *Suspend* έχουμε τον χρήστη να θέτει το νήμα σε κατάσταση διαθεσιμότητας, μη επιτρέποντας να συμμετέχει τον ενεργό ανταγωνισμό για εκτέλεση. Η επαναφορά του *thread* επαφίεται στον χρήστη. Τέλος η κατάσταση *Sleeping* μας δίνει την δυνατότητα εξαίρεσης του νήματος από την διαδικασία ανταγωνισμού, για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που ορίζεται από τον χρήστη.

Υλοποιήσεις *thread* συναντάμε στις πιο γνωστές γλώσσες προγραμματισμού όπως είναι η *Java*, η *Delphi* και η *C++* με χρήση βιβλιοθηκών όπως η *GNU Portable thread (p-th)* για το λειτουργικό σύστημα *Linux* (η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη δεν χρησιμοποιείται σε συστήματα πολλών επεξεργαστών).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ SIGNATURE PROJECT

Το σύστημα αναγνώρισης αποτυπωμάτων Fingerprint Server στηρίχτηκε σε συστήματα αναγνώρισης και επιβεβαίωσης υπογραφών (τύπου SRVS), που αναπτύχθηκαν σε διάφορα Πανεπιστήμια.

7.1 Γενικά Στοιχεία

Καθώς η υπολογιστική ισχύς αυξάνεται και οι αλγόριθμοι γίνονται εξυπνότεροι, οι εφαρμογές που πριν από λίγα χρόνια φάνταζαν εντελώς ανέφικτες, επανέρχονται σταδιακά στο προσκήνιο. Αυτή η τάση εξηγεί γιατί έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στην έρευνα μεθόδων και τεχνικών συσχετισμένων με προβλήματα, όπως η αναγνώριση και η επιβεβαίωση χειρόγραφων υπογραφών (SRVS). Ένα SRVS (Signature Recognition Verification System) είναι ένα σύστημα ικανό να πραγματοποιήσει ικανοποιητικά δυο ανεξάρτητες, αλλά στενά συνδεδεμένες εργασίες:

- Αναγνώριση του κατόχου μιας υπογραφής.
- Επιβεβαίωση της γνησιότητας της υπογραφής.

Ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες του εκάστοτε προβλήματος τα SRVS κατηγοριοποιούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα on-line και τα off-line. Τα off-line συστήματα χρειάζονται μόνο την εικόνα της υπογραφής για να την αναγνωρίσουν, ενώ τα on-line επεξεργάζονται επιπλέον πληροφορίες που προκύπτουν την στιγμή που λαμβάνεται η υπογραφή, όπως είναι π.χ. η ταχύτητα ή η πίεση του χεριού που ασκεί ο υπογράφων. Για την συλλογή αυτών των στοιχείων απαιτούνται επιπλέον περιφερειακές συσκευές.

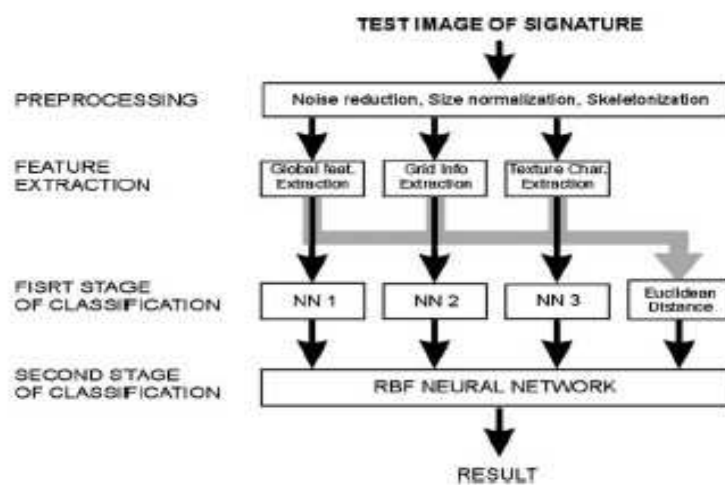
Το παρουσιαζόμενο σύστημα είναι βασισμένο σε τρεις ισχυρές ομάδες χαρακτηριστικών σε συνδυασμό με ένα νευρωνικό δίκτυο πολλαπλών στρωμάτων. Η σημαντικότερη καινοτομία του συστήματος έγκειται στην δομή του δικτύου που κάνει τον διαχωρισμό των κλάσεων, καθώς και στον τρόπο που αυτό χρησιμοποιείται. Αυτό το δίκτυο – κατηγοριοποιητής αποτελείται από δύο επίπεδα διαχωρισμού. Γενικά έχει εντοπιστεί ότι για να θεωρείται ένα δίκτυο λειτουργικό σε πρακτικές εφαρμογές, θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα εύκολης προσθήκης και αφαίρεσης υπογραφών τόσο στον παλιό όσο και το νέο κάτοχο. Η προσέγγιση που οδηγεί προς τον στόχο αυτό, είναι η υλοποίηση του σχήματος Ένα Δίκτυο – Μια Κλάση (One Network - One Class). Αυτή η προσέγγιση σημαίνει ότι για κάθε κάτοχο μιας υπογραφής, έχουμε την υλοποίηση ενός διαφορετικού δικτύου. Κάθε φορά που

οι υπογραφές ενός νέου κατόχου προστίθενται στο σύστημα, μόνο ένα μικρό δεδομένου μεγέθους νευρωνικό δίκτυο πρέπει να δημιουργηθεί και να επανεκπαιδευτεί.

Επιπλέον σημαντικό στοιχείο είναι η προσεκτική επιλογή της ομάδας χαρακτηριστικών που θα εισαχθούν στο δίκτυο (feature extraction). Στην περίπτωση του συγκεκριμένου SRVS, επιλέγεται ένα σύνολο τριών ομάδων χαρακτηριστικών, που παρουσιάζουν και τρεις διαφορετικές μεταξύ τους κατηγορίες χαρακτηριστικών οι οποίες συμπεριλαμβάνουν λίγα μόνο στοιχεία η κάθε μια, κάτι που οδηγεί σε ελάττωση του μεγέθους του νευρωνικού δικτύου. Για κάθε μια από τις παραπάνω ομάδες χαρακτηριστικών πραγματοποιείται ένα διαφορετικό MLP (Multi Layer Perceptron). Αυτά τα τρία, σχετικά μικρά και δεδομένα νευρωνικά δίκτυα, αποτελούν και την πρώτη φάση του κατηγοριοποιητή. Η διαδικασία της δεύτερης φάσης διαχωρισμού πραγματοποιείται με την χρήση ενός RBF (Radial Basis Function) νευρωνικού. Η εργασία αυτού του δικτύου είναι να συνθέσει τα αποτελέσματα της πρώτης φάσης, με στόχο την έκδοση της τελικής απόφασης. Η απόφαση του νευρωνικού δικτύου είναι μια θετική ή μια αρνητική απάντηση, για το αν η συγκεκριμένη υπογραφή ανήκει στον κάτοχο στον οποίο αναφέρεται το υπό εξέταση δίκτυο.

Αναλυτικά τα επιμέρους στάδια της εφαρμογής είναι:

1. Προ-επεξεργασία (Preprocessing)
2. Εξαγωγή χαρακτηριστικών (Feature Extraction)
3. Πρώτη φάση κατηγοριοποίησης (First Stage of Classification)
4. Δεύτερη φάση κατηγοριοποίησης (Second Stage of Classification)



Εικόνα 50
Βασική Δομή Εφαρμογής SRVS

7.2 Προ-επεξεργασία (Ανάλυση εικόνας)

Το στάδιο της προ-επεξεργασίας εστιάζεται στην επεξεργασία της εικόνας της υπογραφής με την χρήση κατάλληλων φίλτρων, που θα οδηγήσει στην εξαγωγή των χαρακτηριστικών της. Η επεξεργασία αυτή γίνεται εφικτή στα παρακάτω σταδία:

- Noise Reduction
- Data Area Cropping
- Width Normalization
- Skeletonization

Noise Reduction

Η δυαδική εικόνα που αποτελεί το πρότυπο της υπογραφής, υπόκειται σε ένα φίλτρο το οποίο πραγματοποιεί μείωση θορύβου. Για να γίνει αυτό εφαρμόζουμε στην εικόνα μια μάσκα 3x3 ακολουθώντας ένα απλό κανόνα: «εάν ο αριθμός των 8-γειτονικών pixel που έχουν το ίδιο χρώμα με το κεντρικό pixel της εικόνας, είναι μικρότερος από δυο, τότε αντιστρέφουμε το κεντρικό pixel».

Data Area Cropping

Η περιοχή της υπογραφής ξεχωρίζει από το υπόβαθρο, χρησιμοποιώντας την γνωστή μέθοδο των οριζόντιων και κάθετων προβολών. Έτσι η άσπρη περιοχή γύρω από την υπογραφή αποβάλλεται (θεωρούμε ότι έχουμε άσπρο υπόβαθρο με μαύρο χρώμα για την υπογραφή).

Width Normalization

Το μέγεθος της εικόνας ρυθμίζεται, ώστε το πλάτος να φτάσει μια προκαθορισμένη τιμή, ενώ η αναλογία πλάτους και ύψους παραμένει σταθερή («ζουμάρισμα» εικόνας).

Skeletonization

Για τη διαδικασία σκελετοποίησης χρησιμοποιείται μια απλοποιημένη έκδοση του βασικού αλγόριθμου, η οποία αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Επισημαίνονται τα σημεία της υπογραφής που είναι υποψήφια για απομάκρυνση.
2. Εξετάζονται ένα προς ένα τα σημεία αυτά ακολουθώντας το περίγραμμα της υπογραφής και απομακρύνονται τα σημεία, η αφαίρεση των οποίων δεν προκαλεί διακοπές στο περίγραμμα.
3. Εάν ένα τουλάχιστο σημείο έχει σβηστεί εκτελείται ξανά το βήμα 1 και επαναλαμβάνουμε την διαδικασία.



Εικόνα 51
Σκελετοποιημένη Υπογραφή

7.3 Εξαγωγή χαρακτηριστικών

Η επιλογή ενός ισχυρού συνόλου χαρακτηριστικών είναι απαραίτητη για να επιτύχουμε ορθή αναγνώριση ενός πρότυπου. Τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν, επιβάλλεται να είναι κατάλληλα για την εκάστοτε κατηγοριοποίηση. Στο παρόν σύστημα χρησιμοποιούνται όπως προαναφέρθηκε τρεις ομάδες χαρακτηριστικών:

- Γενικά χαρακτηριστικά (Global).
- Χαρακτηριστικά πλέγματος (Grid).
- Χαρακτηριστικά υφής (Texture).

Ενώ τα γενικά χαρακτηριστικά δίνουν πληροφορίες σχετικά με συγκεκριμένες περιπτώσεις που αφορούν την δομή της υπογραφής, τα χαρακτηριστικά πλέγματος και υφής προορίζονται για να δώσουν πληροφορία για τις ιδιαιτερότητες της υπογραφής σε δυο διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας. Για τα χαρακτηριστικά πλέγματος η εικόνα τμηματοποιείται σε 96 τετράγωνες περιοχές. Μόνο η περιοχή, δηλαδή ο αριθμός των σημείων της υπογραφής, σε κάθε τετράγωνο χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει την ομάδα των χαρακτηριστικών πλέγματος. Τέλος για να δημιουργηθεί η ομάδα των χαρακτηριστικών υφής έχει υιοθετηθεί μια λογική κατά την οποία η εικόνα της υπογραφής τμηματοποιείται σε 6 ίσα τετράγωνα κομμάτια αυτή την φορά. Αυτά χρησιμοποιούνται για την άντληση της πληροφορίας που δηλώνει την μετάβαση άσπρων και μαύρων pixel ανά κατεύθυνση.

7.4 Γενικά χαρακτηριστικά

Signature Height

Το ύψος της εικόνας της υπογραφής μετά την κανονικοποίηση πλάτους, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας τρόπος αναπαράστασης της αναλογίας ύψους και πλάτους.

Image Area

Περιοχή της εικόνας είναι ο αριθμός των μαύρων pixel στην εικόνα (με την σύμβαση πάντα ότι το υπόβαθρο είναι άσπρο και η υπογραφή μαύρη). Στη σκελετοποιημένη εικόνα της υπογραφής, το μέγεθος αυτό αναπαριστά την πυκνότητα του ίχνους της υπογραφής.

Pure Width

Καθαρό πλάτος, ονομάζουμε το πλάτος της εικόνας μετά από την απομάκρυνση των οριζόντιων λευκών διαστημάτων.

Pure Height

Καθαρό ύψος είναι το ύψος της εικόνας μετά από την απομάκρυνση των κάθετων λευκών διαστημάτων.

Baseline Shift

Είναι η εξισορρόπηση μεταξύ των κάθετων κέντρων βαρύτητας του αριστερού και του δεξιού τμήματος της εικόνας και χρησιμοποιείται σαν μέτρο για τον προσανατολισμό της υπογραφής.

Vertical Center of the Signature

Το κάθετο κέντρο C_y δίνεται από τον τύπο :

$$C_y = \frac{\sum_{y=1}^{y_{\max}} y \sum_{x=1}^{x_{\max}} b[x, y]}{\sum_{x=1}^{x_{\max}} \sum_{y=1}^{y_{\max}} b[x, y]}$$

Horizontal Center of Signature

Το οριζόντιο κέντρο C_x δίνεται από τον τύπο :

$$C_x = \frac{\sum_{x=1}^{x_{\max}} x \sum_{y=1}^{y_{\max}} b[x, y]}{\sum_{x=1}^{x_{\max}} \sum_{y=1}^{y_{\max}} b[x, y]}$$

Maximum Vertical Projection

Είναι η κάθετη προβολή της σκελετοποιημένης υπογραφής και προκύπτει από την υψηλότερη τιμή του ιστογράμματος κάθετης προβολής.

Maximum Horizontal Projection

Είναι η οριζόντια προβολή της σκελετοποιημένης υπογραφής και προκύπτει από την υψηλότερη τιμή του ιστογράμματος οριζόντιας προβολής.

Vertical Projection Pix

Ταυτίζεται με τον αριθμό των τοπικών μέγιστων του ιστογράμματος κάθετης προβολής.

Horizontal Projection Pix

Ταυτίζεται με τον αριθμό των τοπικών μέγιστων του ιστογράμματος οριζόντιας προβολής.

Global Slant Angle

Η εικόνα περιστρέφεται από -30° έως 40° με βήμα 1° . Για κάθε βήμα υπολογίζεται ο αριθμός των κάθετων ενώσεων τριών pixel. Η γωνία με τις περισσότερες τέτοιες συνδέσεις είναι η Global Slant Angle (ολική γωνία κλίσης).

Local Slant Angle

Η εικόνα περιστρέφεται με παρόμοιο τρόπο με πριν. Για κάθε γωνία περιστροφής υπολογίζεται το ιστόγραμμα κάθε προβολής και οι 70 υψηλότερες τιμές του ιστογράμματος αθροίζονται. Η Local Slant Angle (τοπική γωνία κλίσης), είναι η γωνία που παρουσιάζει το μεγαλύτερο από τα προηγούμενα αθροίσματα.

Number of Edge Points

Είναι το πλήθος των σημείων ακμής. Σαν σημείο ακμής ορίζεται ένα σημείο της υπογραφής που έχει μόνο ένα γείτονα (από τα 8 γειτονικά pixel που βρίσκονται γύρω από το κεντρικό pixel).

Number of Cross Point

Είναι το πλήθος των σημείων διασταύρωσης. Σαν σημείο διασταύρωσης ορίζεται ένα σημείο της υπογραφής που έχει τουλάχιστον τρεις γείτονες (από τα 8 γειτονικά pixel που βρίσκονται γύρω από το κεντρικό pixel).

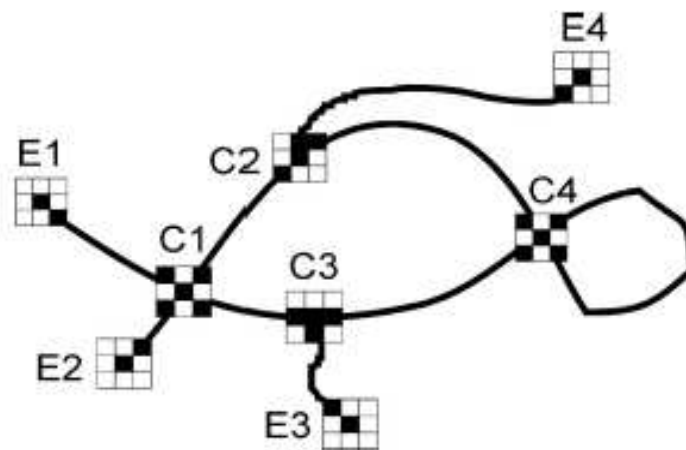
Number of Closed Loops

Ο αριθμός κλειστών βρόχων CL ορίζεται από τον τύπο:

$$CL = 1 + \frac{EL - EP}{2}$$

όπου EL είναι ο αριθμός των σημείων ακμής της εικόνας και EP ο αριθμός των επιπλέον «αναχωρήσεων» (departures) και προκύπτει από τον τύπο:

$$EL = \sum_{All_cross_points} [(8 - \acute{\alpha}\delta\alpha - \gamma\acute{\alpha}\tau\omicron\nu\omega\nu) - 2]$$



Εικόνα 52

Διασταυρώσεις (C1,C2,C3,C4) και Ακμές (E1,E2,E3,E4)

Πρέπει να σημειωθεί ότι, εάν η σκελετοποιημένη εικόνα δεν είναι συμπαγής (η υπογραφή χωρίζεται σε δυο ή περισσότερα μη επικαλυπτόμενα τμήματα), ο αριθμός των κλειστών βρόχων δεν έχει φυσική ερμηνεία. Ακόμα και σ' αυτή την περίπτωση ο αριθμός αυτός είναι χρήσιμος, αφού περιγράφει την πολυπλοκότητα που περιέχουν οι γραμμές της υπογραφής.

7.5 Χαρακτηριστικά πλέγματος

Η σκελετοποιημένη εικόνα χωρίζεται σε 96 τετράγωνα τμήματα (12x8) και για κάθε τμήμα υπολογίζεται η περιοχή (περιοχή είναι το άθροισμα των pixel στο παρασκήνιο). Τα αποτελέσματα κανονικοποιούνται, έτσι ώστε η χαμηλότερη τιμή (για το τετράγωνο με τον μικρότερο αριθμό μαύρων pixel) να είναι μηδέν και η υψηλότερη τιμή (για το τετράγωνο με το μεγαλύτερο αριθμό μαύρων pixel) να είναι ένα. Οι 96 τιμές που προκύπτουν σχηματίζουν τα χαρακτηριστικά πλέγματος. Η παρακάτω εικόνα αποτελεί μια παράσταση του συνόλου χαρακτηριστικών πλέγματος μιας υπογραφής.



Εικόνα 53
Χαρακτηριστικά Πλέγματος Υπογραφής

7.6 Χαρακτηριστικά υφής

Για να εξετάσουμε την ομάδα χαρακτηριστικών υφής, χρησιμοποιούμε τους πίνακες συνύπαρξης $p_d[i, j]$. Σε μια εικόνα απόχρωσης γκρι ο πίνακας συνύπαρξης ορίζεται καθορίζοντας πρώτα ένα διάνυσμα εκτοπίσματος $d=(dx,dy)$, μετρώντας όλα τα ζευγάρια των pixels που χωρίζονται με απόσταση d και έχουν τιμές διαβάθμισης του γκρι το i και το j . Στην περίπτωση που έχουμε μια δυαδική εικόνα ο πίνακας συνύπαρξης έχει μέγεθος 2×2 και περιγράφει τις μεταβολές μαύρων και άσπρων pixel. Στην περίπτωση αυτή ο πίνακας συνύπαρξης ορίζεται σαν :

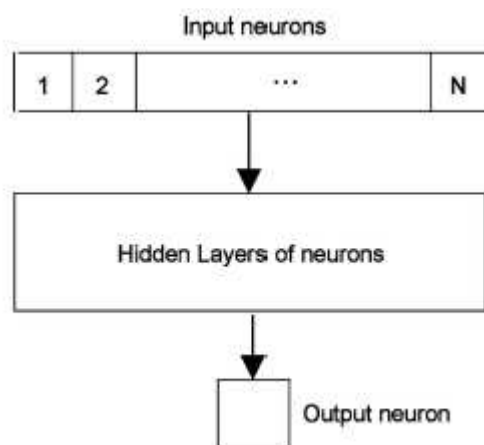
$$p_d[i, j] = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{bmatrix}$$

όπου p_{00} είναι το πλήθος των επαναλήψεων δυο άσπρων pixel με απόσταση d , το p_{01} είναι ο αριθμός των συνδυασμών ενός άσπρου και ενός μαύρου pixel με απόσταση d . Το p_{10} έχει την ίδια τιμή με το p_{01} και το p_{11} τέλος, είναι ο αριθμός των επαναλήψεων εμφάνισης δυο μαύρων εικονοστοιχείων με απόσταση d . Για κάθε περιοχή υπολογίζονται τα παραπάνω μεγέθη και τα στοιχεία p_{01} και το p_{11} αυτών των πινάκων, χρησιμοποιούνται σαν χαρακτηριστικά υφής της υπογραφής. Η παραπάνω διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα 48 χαρακτηριστικά (6 τμήματα \times 4 πίνακες \times 2 στοιχεία).

7.7 Ταξινόμηση

Τα MLP (Multi Layer Perceptron) είναι από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα νευρωνικά δίκτυα για την αναγνώριση προτύπων. Παρόλα τα πλεονεκτήματά τους όμως, παρουσιάζουν και μερικούς περιορισμούς που κάνουν προβληματική την χρήση τους σε ορισμένα προβλήματα. Ο πρώτος περιορισμός είναι το μέγεθος του νευρωνικού δικτύου, αφού απαιτούνται μεγάλα δίκτυα που δύσκολα μπορούν να εκπαιδευτούν. Όσο αυξάνονται τα δεδομένα εκπαίδευσης (πρότυπα) αυτή η δυσκολία γίνεται ένα σημαντικό εμπόδιο για την διαδικασία εκπαίδευσης του δικτύου. Η δεύτερη δυσκολία έγκειται στο ότι η γεωμετρία, το μέγεθος και οι παράμετροι του δικτύου, εξαρτώνται και από το πλήθος των δεδομένων που θα αντιμετωπίσει το δίκτυο. Ακόμα η δομή και το μέγεθος εξαρτώνται και από το πλήθος των κλάσεων που εμφανίζονται στο δίκτυο. Δυστυχώς όταν αναφερόμαστε σ' ένα χρήσιμο SRVS, δεν είναι δυνατή η εκ των προτέρων γνώση για το πλήθος των υπογραφών και των κατόχων τους.

Αυτό γίνεται εφικτό με την ελάττωση του χώρου των χαρακτηριστικών σε τρεις υποομάδες. Λόγω της διαφορετικής φύσης και της μη συσχέτισης των ομάδων χαρακτηριστικών, ο συνδυασμός των τριών διανυσμάτων που δημιουργούν καλύπτει τις απαιτούμενες πληροφορίες. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η δομή ενός απλού OCON δικτύου που περιγράφει τη λογική των νευρωνικών δικτύων.



Εικόνα 54

Τυπικό OCON (One Class One Network) νευρωνικό δίκτυο

Λόγω της ύπαρξης πολλών δικτύων θα πρέπει να επιλέξουμε ένα αλγόριθμο εκπαίδευσης, που να έχει την δυνατότητα να αποφεύγει τα τοπικά ελάχιστα της συνάρτησης σφάλματος. Ένα τέτοιος αλγόριθμος είναι το MLP ALOPEX, η στοχαστική φύση του οποίου του δίνει μια εκπληκτική ικανότητα αποφυγής των τοπικών ελαχίστων. Το κύριο μειονέκτημα του αλγορίθμου ALOPEX είναι ο χρόνος σύγκλισης του, ο οποίος για προβλήματα χωρίς τοπικά ελάχιστα, αλλά με δυνατό ολικό ελάχιστο είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο σύγκλισης του Back Error Propagation. Αυτό το μειονέκτημα έχει μικρή σημασία για το σύστημα SRVS που εξετάζουμε, λόγω των μικρών διαστάσεων του χρησιμοποιούμενου δικτύου. Από τα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι ότι σε συνδυασμό με τα τρία νευρωνικά δίκτυα, εφαρμόζεται και ένας απλός διαχωριστής μέσης ευκλείδειας απόστασης που στην ουσία συγχωνεύει τις ιδιαιτερότητες όλων των χαρακτηριστικών.

Τα αποτελέσματα των τεσσάρων προηγούμενων δομών προωθούνται στο δεύτερο στάδιο ταξινόμησης, όπου ένα δεύτερο νευρωνικό δίκτυο RBF (Radial Basis Function) παίρνει την τελική απόφαση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: FINGERPRINT SERVER

Ο Fingerprint Sever αποτελεί μια προσπάθεια για την δημιουργία ενός συστήματος τύπου Client Server, που θα παρέχει πρόσβαση μέσω ενός ή περισσότερων κεντρικών εξυπηρετητών (Server), σε μια συνεχώς επεκτεινόμενη βάση πληροφοριών σχετικών με αποτυπώματα. Δίνεται η δυνατότητα για την εξάπλωση του συστήματος σε μια εκτεταμένη γεωγραφικά περιοχή, κάτι που είναι δυνατό να επιτευχθεί με την ραγδαία ανάπτυξη του Internet, το οποίο χρησιμοποιεί. Η συγκεκριμένη πειραματική εφαρμογή θα έχει ως κύριο πεδίο εφαρμογής την αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων από υπηρεσίες για την τήρηση της δημόσιας ασφάλειας μιας χώρας.

Σημαντικό χαρακτηριστικό της εφαρμογής είναι το ότι κατά την ανάπτυξη της έγινε προσπάθεια για την όσο το δυνατό πιο εκτεταμένη χρήση Open Source κώδικα. Αυτή η τάση οδήγησε και στην επιλογή του λειτουργικού συστήματος Linux για την φιλοξενία του Server. Στόχος ήταν η όσο το δυνατό πιο ευρεία εξάπλωση του συστήματος, με απώτερο σκοπό την εξέλιξη της αρχικής προσπάθειας. Η λογική ανάπτυξης του Fingerprint Server με την προσέγγιση ανοικτού κώδικα, είναι το μέσο το οποίο προσφέρει την δυνατότητα σε όποιον το επιθυμεί να εκμεταλλευτεί την πρώτη υλοποίηση του συστήματος και να την αναπτύξει επιπλέον. Είναι κοινά αποδεκτό άλλωστε ότι η γνώση δεν θα πρέπει να είναι κτήμα λίγων, αλλά θα πρέπει τα αποτελέσματα κάθε προσπάθειας μικρής ή μεγάλης, να προσφέρονται σε οποιοδήποτε επιθυμεί να εκμεταλλευτεί το θεμελιώδες δικαίωμα πρόσβασης στην γνώση.

8.1 Λήψη αρχικών προτύπων

Βάση της εφαρμογής είναι οι στατικές εικόνες που αποτελούν και τα πρότυπα. Η εισαγωγή των προτύπων-εικόνων στο σύστημα γίνεται από την πλευρά του Client. Ο χρήστης για την είσοδο του προτύπου μπορεί να χρησιμοποιήσει τη δυνατότητα να επιλέξει μια εικόνα που είναι ήδη αποθηκευμένη στον υπολογιστή του ή εναλλακτικά να χρησιμοποιήσει ένα σαρωτή και να ψηφιοποιήσει το πρότυπο. Ο Client παρέχει την δυνατότητα αυτόνομης χρήσης οποιουδήποτε σαρωτή ή ακόμα και web cam που διαθέτει ο χρήστης. Αυτή η ιδιαιτερότητα προσφέρει στην εφαρμογή Client ανεξαρτησία από εξωτερικά προγράμματα.

Και στις δύο περιπτώσεις μετά την εισαγωγή του προτύπου, έχουμε την μετατροπή του σε εικόνα απόχρωσης γκρι με στόχο την περαιτέρω επεξεργασία της με φίλτρα επεξεργασίας,

τα οποία με διαδοχικές μετατροπές θα κάνουν την εικόνα απόχρωσης γκρι, δυαδική με ανιχνευμένες ακμές. Είναι προφανές λοιπόν ότι κατά την λήψη της εικόνας θα πρέπει να λάβουμε τα μέτρα μας, ώστε να πετύχουμε την μέγιστη δυνατή ποιότητα.

8.2 Επεξεργασία εικόνας

Αμέσως μετά την είσοδο του προτύπου και την μετατροπή του σε εικόνα απόχρωσης γκρι, μπορούμε να προχωρήσουμε στη δημιουργία της εικόνας που θα αποτελέσει βάση για την λήψη των χαρακτηριστικών που ορίζουν το εκάστοτε πρότυπο. Όσο πιο ακριβής είναι η χρήση των φίλτρων που μας παρέχονται για αυτό τον σκοπό, τόσο πιο ακριβής θα είναι και η αναγνώριση που θα έχουμε από το δίκτυο μας.

Η εφαρμογή των φίλτρων στην πρότυπη εικόνα γίνεται ανάλογα με την ποιότητα της. Το σύστημα προσφέρει ένα μεγάλο σχετικά σύνολο από φίλτρα επεξεργασίας εικόνας που ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει. Τα φίλτρα που υλοποιούνται στην εφαρμογή, εκτείνονται σε μια αρκετά ευρεία περιοχή του γνωστικού πεδίου της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας. Στόχος αυτών των φίλτρων είναι:

- Διόρθωση οπτικής εμφάνισης του προτύπου.
- Καθαρισμός της εικόνας από την περιττή πληροφορία.
- Εντοπισμός του αντικειμένου στην εικόνα.
- Ανίχνευση ακμών.

Τα φίλτρα που παρέχονται από τον Client στον χρήστη της εφαρμογής είναι:

- Negative.
- Brightness.
- Contrast.
- Middle.
- Sharpness.
- Gauss Smooth.
- Skeletonization.
- Edge Detector Sobel.
- Edge Detector Canny.

Ακόμα παρέχονται και χρήσιμα εργαλεία που επιδρούν στην εικόνα και την τροποποιούν ανάλογα:

- Double Icon (διπλασιάζει το μέγεθος της εικόνας).
- Noise Reduction (συνδυασμός φίλτρων που στοχεύει στην μείωση του θορύβου).
- Scaling 200x200 - Scaling 400x400 (αλλαγή μεγέθους εικόνας–Zoom).
- Reconstruction (επανασύνδεση κενών διαστημάτων).
- Find Width Height (εντοπισμός άκρων προτύπου).

Η ποικιλία των συνδυασμών που μπορούμε να έχουμε χρησιμοποιώντας τα παραπάνω φίλτρα και εργαλεία κάνει δύσκολη την χρήση τους από τον απλό χρήστη. Για αυτό τον λόγο πέρα από την ελεύθερη πρόσβαση στα φίλτρα που προσφέρεται στον χρήστη, παρέχεται και μια προτεινόμενη αλληλουχία φίλτρων. Αυτή η αλληλουχία έχει προκύψει από την πρακτική εφαρμογή στην περίπτωση των αποτυπωμάτων και τις δοκιμές οι οποίες έγιναν πάνω στο πειραματικό σύστημα. Οι απαραίτητες πληροφορίες για την ιδιαιτερότητα των φίλτρων που προτείνονται, αναφέρονται στο θεωρητικό υπόβαθρο που παρατίθεται στα προηγούμενα κεφάλαια του κειμένου (ψηφιακή επεξεργασία εικόνας).

8.2.1 Προτεινόμενη σειρά φίλτρων

Η συγκεκριμένη σειρά - μέθοδος αποτελείται από δυο βασικά στάδια:

- Εντοπισμός περιοχής προτύπου
- Ανίχνευση ακμών

8.3 Εντοπισμός περιοχής προτύπου

Αρχικά θα πρέπει να εντοπιστεί η περιοχή στην οποία βρίσκεται το αποτύπωμα, απομονώνοντας με αυτό τον τρόπο το αντικείμενο-πρότυπο από το υπόβαθρο. Με αυτή την διαδικασία εστιάζουμε στο πρότυπο αποφεύγοντας τις καθυστερήσεις στις οποίες οδηγεί η επίδραση των φίλτρων στο υπόβαθρο της εικόνας (background), η οποία δεν μας προσφέρει καμία πληροφορία.

Αναλυτικά ενεργούμε στην δυαδική εικόνα απόχρωσης γκρι με τον ανιχνευτή ακμών (Edge Detector) Canny και περιορίζοντας τα κατώφλια προσπαθούμε να εντοπίσουμε με όσο το δυνατό καλύτερο τρόπο το αντικείμενο, ξεχωρίζοντας το από το υπόβαθρο. Αν απαιτείται χρησιμοποιούμε κάποιο φίλτρο θόλωσης (περισσότερα για τα φίλτρα θόλωσης αναφέρονται

στην συνέχεια). Έπειτα χρησιμοποιούμε το τυποποιημένο εργαλείο Find Width Height που μας παρέχεται από την εφαρμογή με σκοπό τον εντοπισμό των άκρων του προτύπου. Το εργαλείο αυτό σαρώνει την επιφάνεια της εικόνας προς όλες τις διευθύνσεις βρίσκοντας τα άκρα που ορίζουν την περιοχή του προτύπου.



*Εικόνα 55
Περιοχή προτύπου*

8.4 Ανίχνευση ακμών

Αφού εντοπίσουμε την περιοχή του πρότυπου στην εικόνα, θα προσπαθήσουμε να κάνουμε ανίχνευση ακμών στην συγκεκριμένη περιοχή χρησιμοποιώντας την αρχική γκρι απόχρωσης εικόνα.

Σε πρώτη φάση θολώνουμε την εικόνα, χρησιμοποιώντας τα φίλτρα μέσου, όξυνσης και Gauss Smooth που μας παρέχονται. Στόχος της θόλωσης που προκαλούμε είναι η δημιουργία μιας εικόνας με ομαλή κατανομή των αποχρώσεων του γκρι, χωρίς όμως να προκύπτει απώλεια χρήσιμης πληροφορίας από το πρότυπο. Πιο απλά στόχος μας είναι η αποφυγή μεμονωμένων pixel που δεν μας είναι χρήσιμα, κάνοντας με αυτόν τον τρόπο πιο εύκολη την ανίχνευση των ακμών που ανήκουν πραγματικά στο πρότυπο.

Στην συνέχεια χρησιμοποιούμε έναν από τους δύο ανιχνευτές ακμών (Sobel-Canny) που μας διατίθενται. Στις πιο πολλές περιπτώσεις εμπειρικά προέκυψε ότι για την περίπτωση των αποτυπωμάτων τα καλύτερα αποτελέσματα μας τα δίνει ο αλγόριθμος Canny. Στην περίπτωση που τον επιλέξουμε η εφαρμογή μας δίνει την δυνατότητα αλλαγής των ορίων της κατωφλίωσης του αλγορίθμου Canny δυναμικά, με στόχο την βελτιστοποίηση του αποτελέσματος ανίχνευσης. Αυτή η αλληλεπίδραση με τον χρήστη είναι και το πλεονέκτημα του αλγορίθμου του Canny, που δίνει τις περισσότερες φορές εξαιρετικά αποτελέσματα.



Εικόνα 56
Εικόνα με ανιχνευμένες ακμές

Έπειτα από τον ανιχνευτή ακμών η σειρά των φίλτρων και των εργαλείων που χρησιμοποιούμε, ακολουθούν μια προκαθορισμένη αλληλουχία, η οποία και είναι:

- Scaling 400x400.
- Skeletonization.
- Scaling 200x200.
- Reconstruction.

Όπως προαναφέρθηκε η παραπάνω διαδικασία λειτουργεί εξαιρετικά καλά στην περίπτωση των αποτυπωμάτων. Στην περίπτωση όπου παρατηρείται χαμηλή ή κακή ποιότητα εικόνας, η εφαρμογή μας επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε συνδυασμού εξυπηρετεί τον χρήστη, αρκεί να τηρούνται οι παρακάτω τρεις κανόνες:

- Δεν προχωράμε στο επόμενο στάδιο (feature extraction), χωρίς την εκτέλεση του Scaling 200x200.
- Πάντα το Scaling 200x200 γίνεται μετά από το Scaling 400x400.
- Η διαδικασία σκελετοποίησης ενεργεί μόνο σε δυαδικές εικόνες (εκτελείται πάντα μετά τον ανιχνευτή ακμών).

8.4.1 Feature Extraction

Από τα προηγούμενα στάδια προκύπτουν πρότυπα δυαδικών εικόνων με ανιχνευμένες ακμές. Από τις εικόνες αυτές θα εξάγουμε τα απαραίτητα για την αναγνώριση χαρακτηριστικά, τα οποία χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Γενικά χαρακτηριστικά.
- Χαρακτηριστικά πλέγματος.
- Χαρακτηριστικά υφής.



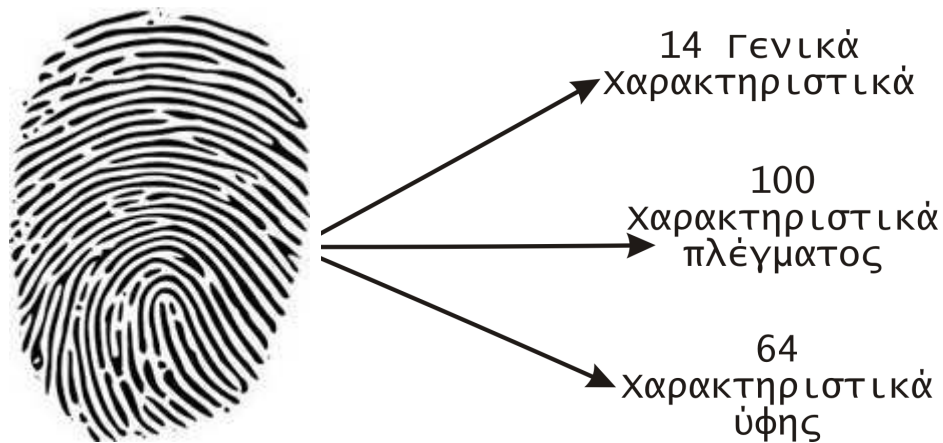
*Εικόνα 57
Αποτύπωμα εγγεγραμμένο σε τετράγωνο*

Το σύνολο των χαρακτηριστικών που προκύπτει για κάθε πρότυπο από την παραπάνω διαδικασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους:

- Δημιουργία αρχείου για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου.
- Διάνυσμα για την ανάκληση (χρήση του συστήματος αναγνώρισης)

Στην περίπτωση δημιουργίας ενός αρχείου με διανύσματα εκπαίδευσης για το νευρωνικό δίκτυο, έχουμε την αποθήκευση των επιμέρους διανυσμάτων χαρακτηριστικών των προτύπων, εμπλουτισμένων με επιπλέον στοιχεία. Αυτά τα στοιχεία είναι το ID του αποτυπώματος, σχόλια σχετικά με το αποτύπωμα και ένας χαρακτηρισμός από τον χρήστη για το αν πρόκειται για ένα «καλό» ή «κακό» πρότυπο. Το ID αποτυπώματος είναι ένας μοναδικός

αριθμός που χορηγείται από το σύστημα, με στόχο την ταυτοποίηση του αποτυπώματος. Ο χαρακτηρισμός σαν «καλό» ή «κακό» πρότυπο, ανάλογα με την ποιότητα του οπτικού αποτελέσματος αναγνώρισης από τον χρήστη, χρησιμοποιείται στη διαδικασία της εκπαίδευσης (εύρεση ευκλείδειας απόστασης).



Εικόνα 58
Αποτέλεσμα εξαγωγής χαρακτηριστικών

8.5 Νευρωνικό Δίκτυο Αναγνώρισης

Η καρδιά του συστήματος αναγνώρισης αποτυπωμάτων Fingerprint Server είναι το νευρωνικό δίκτυο που αναλαμβάνει την αναγνώριση. Η λογική ανάπτυξης του δικτύου αυτού στηρίζεται στην προσέγγιση OCON (One Class One Network), σύμφωνα με την οποία κάθε αποτύπωμα-κλάση έχει το δικό του δίκτυο. Το νευρωνικό δίκτυο αναγνώρισης χωρίζεται σε δυο επίπεδα. Το πρώτο αποτελείται από 3 MLP, ένα για κάθε ομάδα χαρακτηριστικών (γενικά, πλέγματος, υφής). Τα αποτελέσματα των τριών αυτών δικτύων τροφοδοτούν το δεύτερο επίπεδο, στο οποίο έχουμε την σύνθεση τους, με την χρήση ενός RBF δικτύου, καθώς και την παραγωγή μιας απάντησης, θετικής ή αρνητικής αναγνώρισης.

8.6 Πρότυπα εκπαίδευσης

Το αρχικό σύνολο προτύπων υπόκειται σε μια διαδικασία τυχαίας ανάμειξης των διανυσμάτων που περιέχονται σε αυτό. Αυτή η ενέργεια αποσκοπεί στην εξασφάλιση μιας διασπαρμένης κατανομής των κλάσεων στην αρχική ομάδα προτύπων.

Από αυτό το σύνολο εκπαιδευτικών διανυσμάτων δημιουργούνται δυο ομάδες προτύπων, η ομάδα MLPTS και η RBFTS. Η MLPTS αποτελείται από το 75% των αρχικών προτύπων, ενώ η RBFTS από το 25%. Στην περίπτωση που τα αρχικά πρότυπα είναι λιγότερα από τέσσερα, η κατανομή των προτύπων στις παραπάνω ομάδες γίνεται σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί:

Πλήθος προτύπων	MLPTS	RBFTS
1	1 πρότυπο (όμοιο και στα δυο)	1 πρότυπο (όμοιο και στα δυο)
2	2 πρότυπα (όμοια και στα δυο)	2 πρότυπα (όμοια και στα δυο)
3	3 πρότυπα	1 πρότυπό (όμοιο με MLPTS)

Πίνακας 12
Κατανομή προτύπων

Οι συγκεκριμένες ομάδες περιέχουν θετικά και αρνητικά πρότυπα. Σαν θετικό πρότυπο μιας κλάσης ορίζουμε το πρότυπο που ανήκει στην συγκεκριμένη κλάση και σαν αρνητικό το πρότυπο που δεν ανήκει σε αυτή. Μπορούμε να αναφέρουμε ένα παράδειγμα για να γίνουν πιο κατανοητά όσα προαναφέρθηκαν. Έστω ότι έχουμε αρχικά δυο πρότυπα το α και το β που ανήκουν στην κλάση 1 και άλλα τρία τα γ, δ, ε που ανήκουν στην κλάση 2. Ως προς την κλάση 1 τα α, β είναι θετικά, ενώ τα γ, δ, ε πρότυπα αρνητικά. Αντίθετα για την κλάση 2 τα α, β είναι αρνητικά, ενώ τα γ, δ, ε θετικά. Με την χρήση του παραπάνω τεχνάσματος παράγουμε ένα σύνολο αρνητικών προτύπων που χρησιμοποιούνται στην φάση της εκπαίδευσης. Η χρήση των αρνητικών προτύπων μας εξασφαλίζει την εκπαίδευση του δικτύου της εκάστοτε κλάσης για την περίπτωση της μη αναγνώρισης (απόρριψη).

8.7 Ανάλυση νευρωνικού δικτύου

Το δίκτυο όπως έχει προαναφερθεί αποτελείται από δύο τμήματα. Στο πρώτο τμήμα έχουμε τρία MLP ένα για κάθε ομάδα χαρακτηριστικών του προτύπου, που πραγματοποιούν την κατηγοριοποίηση των προτύπων και ένα δεύτερο τμήμα με ένα δίκτυο RBF που επανασυνθέτει τα αποτελέσματα που παράγονται στο πρώτο τμήμα.

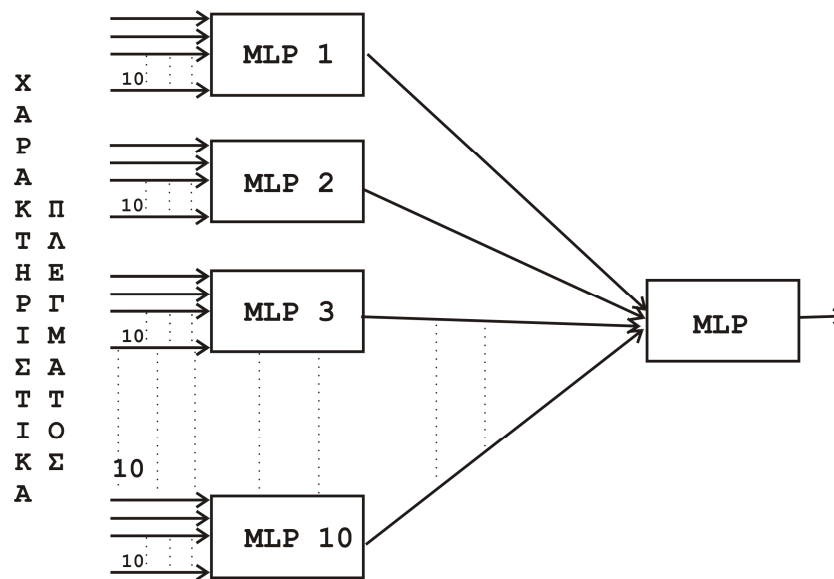
8.7.1 Πρώτο τμήμα δικτύου αναγνώρισης

Τα κανονικοποιημένα πρότυπα θετικά και αρνητικά που συνθέτουν την ομάδα MLPTS, χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του δικτύου στην πρώτη φάση. Για κάθε μια από τις τρεις ομάδες χαρακτηριστικών έχουμε και ένα νευρωνικό δίκτυο MLP με ανάλογες εισόδους. Σαν αλγόριθμος εκπαίδευσης των συγκεκριμένων δικτύων έχει επιλεγεί ο Back Error Propagation. Η υλοποίηση του αλγορίθμου αυτού που ακολουθούμε προβλέπει την διόρθωση των βαρών ανά πρότυπο και είναι πλήρως παραμετροποιήσιμη όσο αφορά τους επιμέρους παράγοντες εκπαίδευσης.

Το MLP δίκτυο των γενικών χαρακτηριστικών έχει 14 εισόδους και ένα νευρώνα εξόδου. Αντίστοιχης λογικής είναι και το δίκτυο των χαρακτηριστικών υψής, το οποίο έχει 64 εισόδους και ένα νευρώνα εξόδου. Και στα δυο δίκτυα έχουμε κρυφό στρώμα, το πλήθος των νευρώνων του οποίου είναι πλήρως παραμετροποιήσιμο.

Η διαφοροποίηση στην δομική κατασκευή των επιμέρους MLP, εμφανίζεται στην περίπτωση των χαρακτηριστικών πλέγματος που είναι 100 σε πλήθος. Από την εφαρμογή της μεθόδου αποδείχτηκε ότι για το συγκεκριμένο δίκτυο οι 100 είσοδοι του έκαναν εξαιρετικά επίπονη την διαδικασία εκπαίδευσης του και συχνά οδηγούσαν σε μια χρονοβόρα και τις περισσότερες φορές λανθασμένη εκπαίδευση. Σαν λύση για το παραπάνω πρόβλημα προτάθηκε η διάσπαση του δικτύου σε 10 επιμέρους MLP. Συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά πλέγματος χωρίστηκαν σε 10 ομάδες των 10 στοιχείων η κάθε μια. Αυτές οι 10 ομάδες αποτέλεσαν τις εισόδους σε ένα MLP που εκπαιδεύτηκε όπως και όλα τα άλλα με την χρήση του αλγορίθμου Back Error Propagation. Το δίκτυο κάθε ομάδας παραγάγει μια έξοδο η οποία οδηγείται μαζί με τις υπόλοιπες 9 σε ένα άλλο MLP με μια έξοδο και αυτό, που στην ουσία πραγματοποιεί την σύνθεση των αποτελεσμάτων που παρήγαγε το παραπάνω σχήμα. Με την χρήση του τεχνάσματος αυτού κατορθώνουμε εξαιρετική ποιότητα εκπαίδευσης, με μόνο

κόστος μια μικρή σχετικά με το όφελος επιβάρυνση του χρόνου εκπαίδευσης. Παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα η δομή του δικτύου των χαρακτηριστικών πλέγματος.



Εικόνα 59

Δομή νευρωνικού δικτύου χαρακτηριστικών πλέγματος

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή σε επίπεδο υλοποίησης έχει κατασκευαστεί με τέτοια λογική που επιτρέπει με απλό τρόπο τροποποιήσεις σαν την παραπάνω, κάτι που μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμο στην προσαρμογή του συστήματος για αντικείμενα εκτός των αποτυπωμάτων.

Σε κάθε περίπτωση ομάδας χαρακτηριστικών το αντίστοιχο MLP έχει ένα νευρώνα εξόδου, που δίνει αποτελέσματα εντός της περιοχής τιμών 0 έως 1. Αντίθετα στην περίπτωση ενός αρνητικού προτύπου ως προς την κλάση του δικτύου, έχουμε τιμές κοντά στο 0.

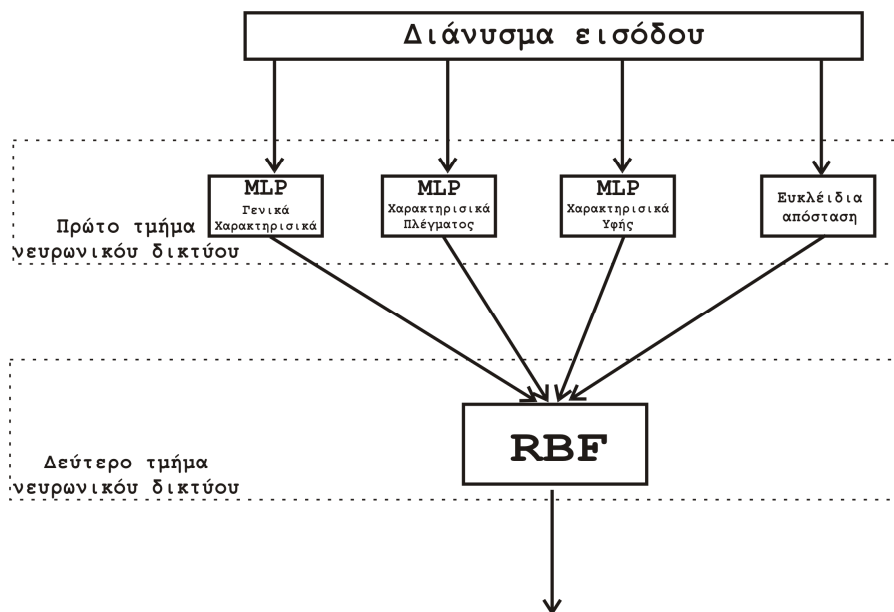
Βασικό στοιχείο του πρώτου τμήματος εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου είναι και το μέγεθος της ευκλείδειας απόστασης του διανύσματος ανάκλησης από ένα θετικό για την εξεταζόμενη κλάση πρότυπο. Το θετικό πρότυπο που επιλέγουμε για την εύρεση της ευκλείδειας απόστασης, θα πρέπει να ανήκει στην κλάση που εξετάζουμε και να έχει χαρακτηριστεί σαν «καλό» πρότυπο κατά την διαδικασία δημιουργίας του αρχείου εκπαιδευτικών διανυσμάτων. Η ευκλείδεια απόσταση βοηθά στην ελαχιστοποίηση των περιπτώσεων αστοχίας του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των χαρακτηριστικών, χωρίς να δημιουργεί η χρήση του σε περίπτωση αστοχίας σημαντικά προβλήματα στο δεύτερο στάδιο εκπαίδευσης, στο οποίο και τροφοδοτείται σε συνδυασμό με τις εξόδους των MLP.

8.7.2 Δεύτερο τμήμα δικτύου αναγνώρισης

Στο δεύτερο τμήμα του νευρωνικού δικτύου επιτελείται η σύνθεση των αποτελεσμάτων που έχουν παραχθεί κατά την πρώτη φάση ταξινόμησης. Γι' αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούμε ένα δίκτυο RBF με τέσσερις εισόδους, δυο νευρώνες στο κρυφό στρώμα και ένα νευρώνα εξόδου. Ο νευρώνας εξόδου έχει κατώφλι (bias) με τιμή -1 και σαν πιθανές τιμές εξόδου έχουμε:

Τιμή 0 που συνεπάγεται αρνητική απάντηση (το πρότυπο δεν ανήκει στην συγκεκριμένη κλάση).

Τιμή 1 που συνεπάγεται θετική απάντηση (το πρότυπο ανήκει στην εξεταζόμενη κλάση).



Εικόνα 60

Τα δυο τμήματα που συνθέτουν το νευρωνικό δίκτυο της εφαρμογής

8.8 Εκπαίδευση Δικτύου

Από τα σημαντικότερα σημεία του Fingerprint Server είναι η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου αναγνώρισης, η οποία ορίζει και την επιτυχία της μεθόδου. Η εκπαίδευση του δικτύου κάθε κλάσης αποτελείται από δυο φάσεις, μια για κάθε τμήμα του νευρωνικού δικτύου. Στην πρώτη φάση χρησιμοποιούμε το MLPTS για την εκπαίδευση του πρώτου τμήματος και στην δεύτερη το RBFTS για το δεύτερο τμήμα.

8.8.1 Πρώτη φάση εκπαίδευσης

Στην πρώτη φάση έχουμε την εκπαίδευση των δικτύων MLP του πρώτου τμήματος τους δικτύου. Συγκεκριμένα κάθε επιμέρους MLP δέχεται σαν εκπαιδευτικό διάνυσμα το σύνολο χαρακτηριστικών του αρχικού διανύσματος που ανήκουν στην συγκεκριμένη ομάδα χαρακτηριστικών που το καθορίζουν.

Τα διανύσματα των προτύπων εκπαίδευσης της πρώτης φάσης προκύπτουν από το σύνολο εκπαιδευτικών διανυσμάτων MLPTS. Για ένα δεδομένο πρότυπο του παραπάνω συνόλου έχουμε τον διαχωρισμό των χαρακτηριστικών σε ομάδες (γενικά, πλέγματος, υφής) και την ταυτόχρονη εκπαίδευση των δικτύων που υλοποιούν την κάθε ομάδα. Σε κάθε νευρωνικό δίκτυο, σαν στόχο κατά την εκπαίδευση λαμβάνουμε την τιμή 1 στην περίπτωση θετικού προτύπου εκπαίδευσης ως προς την κλάση που εξετάζουμε και 0 στην περίπτωση αρνητικού.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση του δικτύου της ομάδας χαρακτηριστικών πλέγματος εκπαιδεύουμε το δίκτυο τμηματικά για κάθε MLP που το συναποτελεί, χρησιμοποιώντας τα ίδια διανύσματα εκπαίδευσης για κάθε επιμέρους δίκτυο.

8.8.2 Δεύτερη φάση εκπαίδευσης

Η δεύτερη φάση εκπαίδευσης του συστήματος πραγματοποιείται σε κάθε περίπτωση έπειτα από την πρώτη φάση. Αυτό συμβαίνει γιατί οι έξοδοι του πρώτου τμήματος είναι είσοδοι στο δεύτερο, οπότε θα πρέπει να έχουμε εκπαιδευμένο το πρώτο τμήμα για να τροφοδοτήσουμε το δεύτερο. Σαν εκπαιδευτικά διανύσματα λαμβάνουμε τα στοιχεία του συνόλου RBFTS. Αναλυτικά τα διανύσματα του παραπάνω συνόλου εισάγονται στα εκπαιδευμένα MLP του πρώτου επιπέδου (ανάκληση) και παράγουν στην έξοδο τους τιμές στο διάστημα 0 έως 1. Επιπλέον για κάθε ένα από τα παραπάνω εκπαιδευτικά διανύσματα υπολογίζεται η ευκλείδεια απόσταση του από ένα διάνυσμα «καλού» προτύπου που ανήκει στην κλάση του δικτύου που εξετάζουμε.

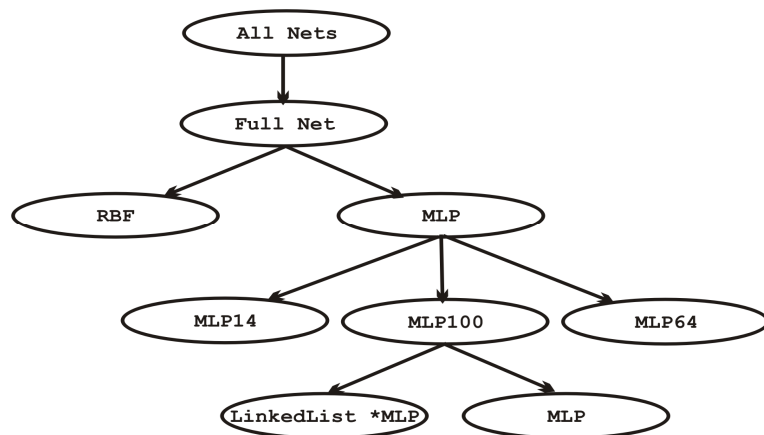
Οι τέσσερις τιμές που παράγονται οδηγούνται σαν είσοδοι στο δίκτυο RBF που αποτελεί το δεύτερο τμήμα του νευρωνικού δικτύου. Σαν στόχο στην περίπτωση εκπαίδευσης αυτού του δικτύου λαμβάνουμε μια από τις τιμές 0 ή 1 χρησιμοποιώντας λογική παρόμοια με αυτή της πρώτης φάσης.

8.9 Ανάκληση δικτύου

Από την εκπαίδευση των δυο προαναφερθέντων τμημάτων προκύπτει ένα εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο, που είναι έτοιμο για την διαδικασία ανάκλησης. Η πορεία που ακολουθούμε για την ανάκληση ενός προτύπου στο δίκτυο, μοιάζει όπως συμβαίνει στα περισσότερα νευρωνικά δίκτυα με την φάση της εκπαίδευσης. Αρχικά έχουμε την ανάκληση των δικτύων MLP, την εύρεση της ευκλείδειας απόστασης και τέλος την προώθηση των αποτελεσμάτων για ανάκληση στο δίκτυο RBF που αποδίδει την τελική απάντηση.

Στην περίπτωση του εξυπηρετητή Fingerprint Server το διάλυμα του προτύπου τίθεται σαν είσοδος στο δίκτυο κάθε αποτυπώματος-κλάσης. Είναι προφανές ότι από την διαδικασία ανάκλησης προκύπτει για κάθε πρότυπο μια αλληλουχία θετικών ή αρνητικών απαντήσεων για το σύνολο των αποτυπωμάτων-κλάσεων για τα οποία έχει εκπαιδευτεί το σύστημα. Στην περίπτωση επιτυχούς αναγνώρισης, εύκολα μπορούμε να αντιληφθούμε ότι θα πρέπει να έχουμε θετική απάντηση από ένα μόνο δίκτυο (που δηλώνει και την κλάση στην οποία ανήκει το αποτύπωμα) και αρνητικές απαντήσεις από το σύνολο των υπολοίπων δικτύων.

Η υλοποίηση του παραπάνω συστήματος ανάκλησης, αλλά και του συστήματος εκπαίδευσης πραγματοποιείται με την χρήση κατάλληλων κλάσεων που έχουν κατασκευαστεί για τον σκοπό αυτό. Αυτές οι κλάσεις δημιουργήθηκαν ακολουθώντας τις βασικές αρχές του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, εκμεταλλευόμενες τις δυνατότητες που προσφέρονται, με στόχο την όσο το δυνατό πιο οργανωμένη παρουσίαση των δομών και των λειτουργιών που επιτελούν. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένας χάρτης των κλάσεων που αντικατοπτρίζει την ιεραρχία των κλάσεων σε επίπεδο υλοποίησης της εφαρμογής.



Εικόνα 61
Ιεραρχία κλάσεων δικτύου ανάκλησης & εκπαίδευσης Fingerprint Sever

8.10 Client Server

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η δυναμικότητα του συστήματος Fingerprint Server έγκειται στην δυνατότητα επέκτασης του σε απομακρυσμένα γεωγραφικά σημεία, με την χρήση της Client Server λογικής και του διαδικτύου. Στο σύνολο της κατασκευής του συστήματος επικοινωνίας γίνονται σεβαστές οι βασικότερες αρχές που διέπουν τα Client Server συστήματα, με στόχο την επαρκή ικανοποίηση πολλών χρηστών ταυτόχρονα, σε χρόνους όσο το δυνατό πιο ικανοποιητικούς. Οι εργασίες που εκτελούνται στα δυο μέρη του συστήματος (Client & Server) είναι διακριτές και βοηθούν στην αρμονική συνεργασία πελάτη και εξυπηρετητή, με στόχο την όσο το δυνατό καλύτερη εκμετάλλευση των πόρων που διατίθενται στο σύστημα.

8.10.1 Client

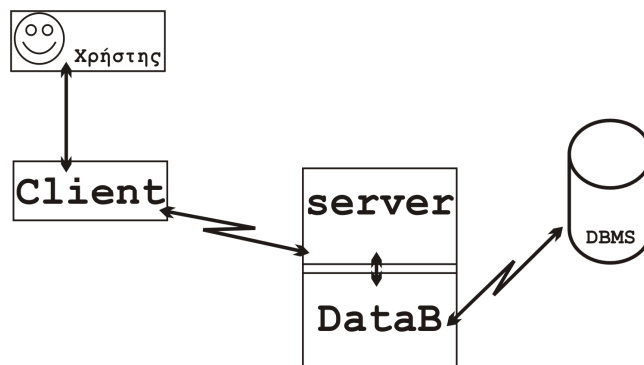
Ο χρήστης του Fingerprint Server μέσω της εφαρμογής-πελάτη που του διατίθεται, έχει την δυνατότητα να εισάγει στο σύστημα μια εικόνα που προέρχεται από οποιοδήποτε μέσο αποθήκευσης. Αυτή την εικόνα μπορεί να την επεξεργαστεί με την χρήση φίλτρων που του διατίθεται, με στόχο την δημιουργία ενός διανύσματος χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης εικόνας. Η επόμενη δυνατότητα που του παρέχεται είναι η σύνδεση με οποιοδήποτε Fingerprint Server εξυπηρετητή επιθυμεί. Το πρόγραμμα πελάτη έχει υλοποιηθεί για το λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows και χρησιμοποιεί αντικείμενα του περιβάλλοντος αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού Delphi, στο οποίο και έχει υλοποιηθεί. Τα αντικείμενα αυτά προσφέρουν την δυνατότητα δημιουργίας TCP/IP sockets για οποιοδήποτε τοπικό δίκτυο TCP/IP και φυσικά για το Internet. Η υποδοχή (socket) υλοποιείται από ένα ζευγάρι IP και port. Η διεύθυνση IP χαρακτηρίζει τον Η/Υ του χρήστη, καθώς και το δίκτυο στο οποίο ανήκει, ενώ το port την εφαρμογή την οποία ζητά να χρησιμοποιήσει. Το port ορίζεται δυναμικά από τον χρήστη, καθώς η υπηρεσία Fingerprint Server δεν διαθέτει κατοχυρωμένο port.

Παρότι το πρόγραμμα πελάτη έχει κατασκευαστεί για το λειτουργικό σύστημα Windows είναι συμβατό με τον εξομοιωτή Wine του λειτουργικού συστήματος Linux, όσο αφορά τη δικτυακή του λειτουργία και την επεξεργασία εικόνας. Ακόμα έχει σχεδιαστεί με εκτεταμένη χρήση νημάτων εκτέλεσης (thread) που παρέχονται από το προγραμματιστικό περιβάλλον υλοποίησης του, με στόχο την απρόσκοπτη εκτέλεση των παράλληλων

λειτουργιών που υποστηρίζει. Σαν χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης νημάτων εκτέλεσης μπορούμε να αναφέρουμε την δυναμικά επαναοριζόμενη γραμμή προόδου που διαθέτει.

8.10.2 Server

Από την άλλη ο εξυπηρετητής του συστήματος έχει κατασκευαστεί για να φιλοξενείται στο λειτουργικό σύστημα Linux. Μπορεί να αποτελείται από δυο τμήματα. Το πρώτο από αυτά είναι η εφαρμογή Fingerprint, η οποία είναι υπεύθυνη για την δημιουργία των συνόδων με τον πελάτη και εκείνη που εξυπηρετεί τις αιτήσεις που θέτονται από τον χρήστη στο σύστημα. Το δεύτερο ενδέχεται να είναι ένα πρόγραμμα βάσης δεδομένων, που να ικανοποιεί τις αιτήσεις προς την βάση δεδομένων, στην οποία φιλοξενούνται οι πληροφορίες σχετικά με τα αποτυπώματα για τα οποία είναι εκπαιδευμένος ο εξυπηρετητής. Αυτή η επιπλέον επίστρωση λογισμικού (database) δίνει τον χαρακτηρισμό tree-tier στο Client Server τμήμα του συστήματος Fingerprint Server.



Εικόνα 62

Δομή Client Server για το σύστημα Finger Server

Η επικοινωνία του κεντρικού συστήματος με τα προγράμματα πελάτες είναι εφικτή με την υλοποίηση GNU Sockets στην εφαρμογή Fingerprint, χρησιμοποιώντας το Internet namespace. Εκτός από την πρόσβαση του χρήστη, η εφαρμογή του εξυπηρετητή υλοποιεί το νευρωνικό δίκτυο του συστήματος και μας δίνει την δυνατότητα για την ικανοποίηση των αιτήσεων (ανάκληση). Ακόμα υπάρχει η δυνατότητα φιλοξενίας πολλών χρηστών ταυτόχρονα με την υλοποίηση thread στον εξυπηρετητή, τα οποία δημιουργήθηκαν με την χρήση της GNU βιβλιοθήκης Portable Threads.

Στο παρόν κείμενο δεν κρίθηκε σκόπιμη η παρουσίαση των τεχνικών που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του συστήματος Fingerprint Server σε επίπεδο υλοποίησης της εφαρμογής. Στο παράρτημα αναφέρονται ορισμένες λεπτομέρειες για την υλοποίηση αυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ FINGERPRINT SERVER

Στο κυρίως τμήμα αυτού του κειμένου καταβλήθηκε προσπάθεια για μια ως το δυνατό πιο εμπειρισταωμένη και ακριβή ανάλυση του συστήματος Fingerprint Server, με τρόπο γενικό και αποκεντρωμένο από την εφαρμογή. Στόχος ήταν η παροχή των κυριότερων θεωρητικών εφοδίων γύρω από τα επιστημονικά πεδία της πληροφορικής στα οποία εκτείνεται ο Fingerprint Server, καθώς και η ανάλυση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος. Σε αυτό το παράρτημα γίνεται προσπάθεια για αναφορά των κυριότερων ιδιαιτεροτήτων της εφαρμογής όσον αφορά την εγκατάσταση και την χρήση των επιμέρους στοιχείων που αποτελούν το σύστημα οπτικής αναγνώρισης αποτυπωμάτων Fingerprint Server.

9.1 Client

Το πρόγραμμα που υλοποιεί το Client τμήμα του συστήματος Fingerprint Server προσφέρει τέσσερις βασικές δυνατότητες στο εκάστοτε χρήστη του:

- Video Capture από οποιαδήποτε Web Cam ανεξάρτητα από εξωτερικά προγράμματα.
- Επεξεργασία εικόνας.
- Δικτυακή επικοινωνία Client Server διαμέσου TCP/IP δικτύου.
- Αποστολή, λήψη και ερμηνεία δεδομένων με οποιοδήποτε εξυπηρετητή Fingerprint Server.

Ο Client έχει δημιουργηθεί στο προγραμματιστικό περιβάλλον Delphi. Το λειτουργικό σύστημα στο οποίο εγκαθίσταται η εφαρμογή αυτή είναι το Microsoft Windows σε οποιαδήποτε 32bit έκδοση. Η δικτυακή λειτουργία, καθώς και η χρήση των εργαλείων και των φίλτρων επεξεργασίας εικόνας που παρέχει, είναι διαθέσιμη και στο λειτουργικό σύστημα Linux, μέσω του εξομοιωτή Wine. Το εκτελέσιμο αρχείο που υλοποιεί τον Client λειτουργεί χωρίς καμία επιπλέον ρύθμιση. Οι επιμέρους λεπτομέρειες που αναφέρονται στην συνέχεια (όπως π.χ. εγκατάσταση συστατικών της Delphi), αφορούν την φάση της μεταγλώττισης του προγράμματος και απαιτούνται μόνο στην περίπτωση που ο αναγνώστης επεξεργαστεί τον πηγαίο κώδικα της εφαρμογής.

Η προβολή της εικόνας γίνεται με την χρήση αντικειμένων και δομών που προσφέρει το περιβάλλον προγραμματισμού Delphi. Ο χρήστης πέρα από την δυνατότητα ρύθμισης της ποιότητας της ζωντανής εικόνας, μπορεί να απομονώσει ένα στιγμιότυπο της ροής video και να την μεταφέρει για επεξεργασία.

Τα αποτυπώματα στην συντριπτική τους πλειοψηφία έχουν κάποιες αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούνται για την προβολή ενός μοτίβου. Αυτή η αναπαράσταση έχει φτιαχτεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αναγνωρίσιμη από οποιοδήποτε άνθρωπο.

Η εφαρμογή λοιπόν απαιτεί οι εικόνες που εισάγονται στο σύστημα να έχουν την διεύθυνση σύμφωνα με την οποία ένας άνθρωπος θα αναγνώριζε την μορφή του θέματος της εικόνας και σύμφωνα με το πρότυπο ορθού προσανατολισμού αποτυπώματος. Από την πρακτική εφαρμογή της μεθόδου έχει προκύψει ότι το σύστημα παρουσιάζει την δυνατότητα αναγνώρισης αποτυπωμάτων τα οποία έχουν απόκλιση έως 10° από την κάθετη θέση του αποτυπώματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η στρέψη τόσο περισσότερο μειώνεται η δυνατότητα αναγνώρισης του αποτυπώματος. Αυτή η λεπτομέρεια είναι σημαντική στην περίπτωση λήψης εικόνας ενός αποτυπώματος μέσω σαρωτή. Στην παρακάτω εικόνα γίνεται φανερό ότι για το ανθρώπινο μάτι, η εικόνα στα δεξιά είναι περισσότερο αναγνωρίσιμη από ότι η εικόνα στα αριστερά.



*Εικόνα 63
Παράδειγμα στρέψης εικόνας*

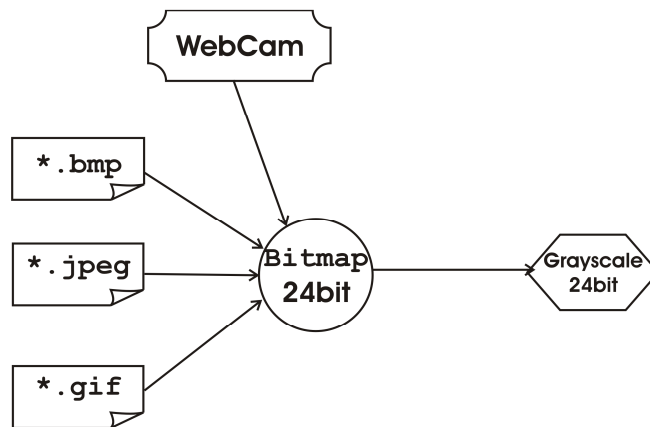
9.2 Εισαγωγή αποθηκευμένης εικόνας

Η εφαρμογή έχει την δυνατότητα εισαγωγής μιας εικόνας που είναι αποθηκευμένη σε ένα αρχείο. Οι διαθέσιμες μορφοποιήσεις αρχείων εικόνας που αναγνωρίζονται από την εφαρμογή είναι:

- Windows bitmap (*.bmp)
- JPEG (*.jpg,*.jpeg)
- GIF (*.gif)

Οι περιπτώσεις αρχείων bitmap και JPEG υποστηρίζονται από την πλατφόρμα υλοποίησης του προγράμματος, ενώ για την περίπτωση της μορφοποίησης GIF θα πρέπει να

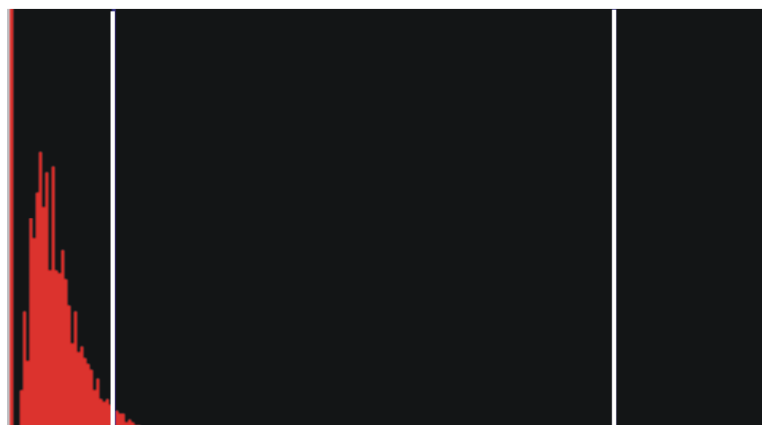
γίνει εγκατάσταση ενός εξωτερικού συστατικού (component) του TGIF Image 2.2. Οποιοδήποτε και αν είναι το format του αρχείου που επιλέγεται από τον χρήστη, η εφαρμογή το μετατρέπει σε bitmap με βάθος χρώματος 24bit. Η εικόνα αυτή στην συνέχεια μετατρέπεται σε εικόνα γκρι επιπέδου (grayscale), η οποία είναι η αρχική μορφή στην οποία θα ενεργήσουν τα φίλτρα, με στόχο την δημιουργία της δυαδικής εικόνας με τις ανιχνευμένες ακμές.



Εικόνα 64
Εισαγωγή εικόνας στον Client

9.3 Επεξεργασία εικόνας

Η εφαρμογή διαθέτει μια σειρά φίλτρων και εργαλείων που προσφέρουν την δυνατότητα στον χρήστη να μετατρέψει την εικόνα γκρι επιπέδου που διαθέτει, σε μια εικόνα με ανιχνευμένες ακμές. Επιπλέον έχει εφοδιαστεί με ένα σύστημα παρουσίασης με εποπτικό τρόπο (δυναμική αναπαράσταση) του ιστογράμματος γκρι επιπέδου, με προβολή των κατωφλιών. Αυτό το εργαλείο βοηθά σημαντικά στην επεξεργασία της ψηφιακής εικόνας παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες.



Εικόνα 65

Προβολή ιστογράμματος γκρι επιπέδου από τον Client

Τα φίλτρα που παρέχονται στον χρήστη έχουν σαν στόχο τους τον καθαρισμό της εικόνας, τον εντοπισμό της περιοχής του αντικειμένου και γενικά την βελτίωση της οπτικής εμφάνισης του αποτυπώματος. Αυτές οι ενέργειες γίνονται πάντα με την συμμετοχή και την αλληλεπίδραση του χρήστη. Αυτή η επιλογή επιβάλλονταν από την φύση της εφαρμογής, η οποία προέβλεπε την χρήση του σαρωτή. Παρότι η τεχνολογία των σαρωτών έχει εξελιχθεί σημαντικά παρέχοντας ένα ακριβές και αξιόπιστο περιφερειακό, είναι γεγονός ότι η ποιότητα των φωτογραφιών που προσφέρει, εξαρτάται από το θέμα και τις συνθήκες σάρωσης. Ειδικά όταν αυτό το θέμα είναι ένα αποτύπωμα, το αποτέλεσμα των παραγόμενων αποτυπώσεων επηρεάζεται σημαντικά και από άλλους παράγοντες, όπως είναι η καθαρότητα σάρωσης και το χρώμα του υποβάθρου.

Με δεδομένη την παραπάνω ιδιαιτερότητα, ο χρήστης του συστήματος Fingerprint Server θα πρέπει να έχει την δυνατότητα ελεύθερης χρήσης ενός μεγάλου σχετικά πλήθους φίλτρων και εργαλείων. Εκτός από την εν δυνάμει χρήση των εργαλείων επεξεργασίας υπάρχει και μια τυποποιημένη διαδικασία η οποία έχει ένα αρκετά καλό αποτέλεσμα στις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις. Αν παρόλα αυτά ο χρήστης επιλέξει να επεξεργαστεί μόνος του την εικόνα, θα πρέπει να ακολουθήσει μια συγκεκριμένη σειρά φίλτρων-εργαλείων αμέσως μετά την εύρεση της βέλτιστης δυαδικής εικόνας ανιχνευμένων ακμών. Η εκτέλεση της σειράς αυτή κρίνεται απαραίτητη για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών και αναλυτικά είναι:

- Scaling 400x400
- Skeletonization
- Scaling 200x200
- Reconstruction

Κατά την διάρκεια χρήσης των φίλτρων θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι η διαδικασία σκελετοποίησης ενεργεί μόνο σε δυαδικές εικόνες (εκτελείται πάντα μετά τον ανιχνευτή ακμών). Αναλυτικά οι περιορισμοί και οι δυνατότητες στον τομέα αυτό αναφέρονται στο κεφάλαιο που περιγράφει την γενικότερη δομή του συστήματος.

9.4 Δημιουργία αρχείου προτύπων

Από την δυαδική εικόνα ανιχνευμένων ακμών που προέκυψε από το στάδιο της επεξεργασίας εικόνας, θα πρέπει να εξάγουμε τα 178 χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα

για την επεξεργασία. Βασική δυνατότητα που έχει ο Client είναι η δημιουργία ενός αρχείου κειμένου με επέκταση *.dcmf , που αποτελεί το αρχείο προτύπων για την εκπαίδευση. Στο αρχείο αυτό εμπεριέχονται για κάθε πρότυπο και άλλες πληροφορίες εκτός από τα 178 χαρακτηριστικά. Αυτές είναι το ID του αποτυπώματος στο οποίο ανήκει το πρότυπο, σχόλια και ο χαρακτηρισμός «καλό» ή «κακό» πρότυπο. Ο χαρακτηρισμός «καλό» πρότυπο θα πρέπει να δοθεί από τον χρήστη σε ένα πρότυπο (χωρίς να δημιουργεί πρόβλημα αν δοθεί και σε δεύτερο) ανά κλάση και χαρακτηρίζει το καλύτερο πρότυπο της κλάσης, ανάλογα με το οπτικό αποτέλεσμα μετά την μετατροπή του σε δυαδική εικόνα ανιχνευμένων ακμών.

Το ID είναι ένας μοναδικός αριθμός που θα πρέπει να ζητηθεί από τον διαχειριστή του συστήματος και που καλείται να χαρακτηρίσει την συγκεκριμένη κλάση για το σύνολο των Fingerprint Server.

Η συνάρτηση που εντοπίζει τα χαρακτηριστικά σε μια κατάλληλη εικόνα είναι το εργαλείο Find Parameters που εντοπίζεται στο μενού Edit. Το εργαλείο αυτό πραγματοποιεί ταυτόχρονα με την λήψη των χαρακτηριστικών και την κανονικοποίηση τους στην περιοχή 0 έως 1. Στο ίδιο μενού υπάρχουν εργαλεία δημιουργίας, επιλογής και χειρισμού οποιοδήποτε αρχείου προτύπων. Μετά την τελική επεξεργασία, το αρχείο με τα πρότυπα και μια λίστα αντιστοίχισης ID με περιγραφή του αποτυπώματος αποστέλλεται με ευθύνη του χρήστη, προς τον διαχειριστή του Fingerprint Server, ο οποίος αναλαμβάνει και την ενημέρωση του συστήματος.

9.5 Επικοινωνία Client

Το πρόγραμμα πελάτης όπως προαναφέρθηκε έχει την δυνατότητα να συνδεθεί με οποιοδήποτε εξυπηρετητή Fingerprint Server. Για την πραγματοποίηση αυτής της σύνδεσης έχει γίνει χρήση του component TCPClient. Αυτό το συστατικό είναι ενσωματωμένο στην Delphi και υλοποιεί υποδοχές (sockets) για τοπικά δίκτυα TCP/IP και για το Internet. Οι παράμετροι που δέχεται είναι η IP του εξυπηρετητή που θα χρησιμοποιηθεί και το port της υπηρεσίας Fingerprint Server στο συγκεκριμένο Η/Υ που αναφερόμαστε. Ο χρήστης επιλέγει τις συγκεκριμένες παραμέτρους αμέσως μετά το πάτημα του πλήκτρου Connect, που βρίσκεται στο μενού Server. Από το ίδιο μενού μπορεί να επιλέξει και την αποσύνδεση του (Disconnect) από το κεντρικό σύστημα στο οποίο είναι συνδεδεμένος.

Η αποστολή των χαρακτηριστικών προς τον εξυπηρετητή μετά την σύνδεση, γίνεται εφικτή με το κουμπί Send Data, το οποίο θα πρέπει προφανώς να χρησιμοποιηθεί μετά από τη εξαγωγή των χαρακτηριστικών (Find Parameters).

Κατά την διάρκεια της επικοινωνίας μπορούν να εμφανιστούν δυσλειτουργίες, κάθε μια από τις οποίες συνεπάγεται την έκδοση ενός κωδικού σφάλματος. Οι κωδικοί σφάλματος είναι γενικοί και τυποποιημένοι για κάθε TCP/IP επικοινωνία που πραγματοποιείται για το λειτουργικό σύστημα Windows. Το πρόγραμμα πελάτης αναλαμβάνει την παρουσίαση στον χρήστη των κωδικών σφαλμάτων, την στιγμή που έχουμε την εκδήλωση τους. Στην συνέχεια ακολουθεί πλήρης πίνακας με τα σφάλματα Windows TCP Error Codes, που προσφέρουν χρήσιμα συμπεράσματα για τα προβλήματα επικοινωνίας Client και Server.

10004	Interrupted function call.
10013	Permission denied.
10014	Bad Address.
10022	Invalid argument.
10024	Too many open files. Actually, it's too many open sockets.
10035	Resource temporarily unavailable.
10036	Operation now in progress. A blocking operation is in progress.
10037	Operation already in progress.
10038	Socket operation on non-socket.
10039	Destination address required.
10040	Message too long.
10041	Protocol wrong type for socket.
10042	Bad protocol option.
10043	Protocol not supported.
10044	Socket type not supported.
10045	Operation not supported.
10046	Protocol family not supported.
10047	Address family not supported by protocol family.
10048	Address is already in use. If you attempt to set up a server on a port that is already is in use, you will get this error.
10049	Cannot assign requested address.
10050	Network is down.
10051	Network is unreachable.
10052	Network dropped connection on reset.
10053	Software caused the connection to abort. A connection that has been made was aborted, usually due to connection or protocol error.
10054	Connection reset by peer. This occurs when an established connection is shut down for some reason by the remote computer.
10055	No buffer space available.

10056	Socket is already connected.
10057	Socket is not connected.
10058	Cannot send after socket shutdown.
10060	Connection timed out.
10061	Connection refused. You will usually see this error when a server refuses a connection from a client, because the server is not listening on that port.
10064	Host is down.
10065	No route to host.
10067	Too many processes.
10091	Network subsystem is unavailable.
10092	Unsupported version of WINSOCK.DLL.
10093	Successful WSASStartup not yet performed. TCP networking has not been initialized on your computer.
10094	Graceful shutdown in progress.
11001	Host not found. (DNS error.)
11002	Non-authoritative host not found. Temporary DNS error.
11003	Non-recoverable error. (DNS error).
11004	Valid name, no data record of requested type. (DNS error).

Πίνακας 13

Σφάλματα Windows TCP Error Codes

9.6 Κεντρικό Σύστημα Fingerprint Server

Το κεντρικό σύστημα του Fingerprint Server αποτελείται από δυο μονάδες, τον εξυπηρετητή και το υποσύστημα εκπαίδευσης του δικτύου αναγνώρισης. Ο εξυπηρετητής αναλαμβάνει την ικανοποίηση αιτήσεων πραγματοποιώντας ανάκληση στο νευρωνικό δίκτυο και αντλώντας στοιχεία από την βάση δεδομένων. Από την άλλη το υποσύστημα εκπαίδευσης αναλαμβάνει την εμφύτευση της ικανότητας αναγνώρισης στο νευρωνικό δίκτυο. Οι οδηγίες που παρέχονται στην συνέχεια είναι ενδεικτικές όσο αφορά τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται και επιδιώκουν την παρουσίαση των ιδιοτήτων υλοποίησης της εφαρμογής για έκδοση Ubuntu Linux 10.04 LTS. Θα πρέπει να γίνει απόλυτα σαφές ότι ο χρήστης μπορεί για την υλοποίηση του συστήματος Fingerprint Server, να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε εργαλείο και οποιαδήποτε έκδοση του λειτουργικού συστήματος Linux.

9.7 Υποσύστημα εκπαίδευσης νευρωνικού δικτύου

Για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου έχουν κατασκευαστεί ένα πλήθος από προγράμματα γραμμένα σε C++ και shell Script (LINUX) με στόχο την όσο το δυνατό πιο απλή ένταξη νέων αποτυπωμάτων, καθώς και την εύκολη εκπαίδευση του συστήματος. Το σύνολο των εφαρμογών αυτών βρίσκονται στον φάκελο FingerprintServerTraining.

Βάση για το συγκεκριμένο τμήμα είναι το αρχείο προτύπων dcmf, που έχει κατασκευαστεί στον Client. Το υποσύστημα εκπαίδευσης αναλαμβάνει την ερμηνεία του αρχείου και την προσαρμογή των κατάλληλων στοιχείων – παραμέτρων του νευρωνικού δικτύου αναγνώρισης. Έχοντας σαν στόχο την όσο το δυνατό πιο εύκολη χρήση, έχουν δημιουργηθεί δυο προγράμματα κελύφους (shell script), το makefile και το script-train. Το script makefile χρησιμοποιείται για την μεταγλώττιση των προγραμμάτων και την δημιουργία των τελικών εκτελέσιμων. Αναλυτικά η σειρά των εντολών του makefile είναι :

```
gcc -o createEuclFile createEuclFile.cpp -lstdc++
gcc -o createFirstTwoFiles createFirstTwoFiles.cpp -lstdc++
gcc -o createCNFiles createCNFiles.cpp -lstdc++
gcc -o trainMLPs trainMLPs.cpp -lstdc++
gcc -o separateRbfPro separateRbfPro.cpp -lstdc++
gcc -o createRbfPro createRbfPro.cpp -lstdc++
gcc -o trainRBFs trainRBFs.cpp -lstdc++
gcc -o createMLPfiles createMLPfiles.cpp -lstdc++
gcc -o createRandomOrder createRandomOrder.cpp -lstdc++
```

Το δεύτερο script (script-train) δέχεται σαν παράμετρο το όνομα του αρχείου dcmf, που περιέχει τα διανύσματα εκπαίδευσης εμπλουτισμένα με τις απαραίτητες πληροφορίες και υλοποιεί την παρακάτω αλληλουχία εκτελέσιμων προγραμμάτων και εντολών κελύφους:

```
rm -fr Templates
rm -fr WeightsDir
rm -f MLPTemplate.dat
rm -f RBFTemplate.dat
rm -f MLP.dat
rm -f RBF.dat
mkdir WeightsDir
./createEuclFile $1
./createFirstTwoFiles $1
./createCNFiles MLPTemplate.dat MLP.dat
./createRandomOrder MLP.dat
```

```
./createCNFiles RBFTemplate.dat RBF.dat
./createRandomOrder RBF.dat
mkdir Templates
./createMLPfiles MLP.dat
./trainMLPs
./separateRbfPro RBF.dat
./createRBFPro
./trainRBFS
```

Από την ανάγνωση των παραπάνω εντολών εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε την ροή εκτέλεσης του προγράμματος, που υλοποιεί το υποσύστημα εκπαίδευσης FingerprintServerTraining.

Αρχικά έχουμε την απομάκρυνση των φακέλων Templates και WeightDir που περιέχουν τα επιμέρους στοιχεία της προηγούμενης εκπαίδευσης. Στην συνέχεια διαγράφονται τα αρχεία MLPTemplate.dat, RBFTemplate.dat, MLP.dat και RBF.dat, που προκύπτουν μετά τον διαχωρισμό των προτύπων του αρχείου dcmf. Έπειτα δημιουργείται ο φάκελος WeightDir στον οποίο θα φιλοξενηθούν τα αρχεία βαρών ανά κλάση. Στον συγκεκριμένο φάκελο θα δημιουργηθεί και το αρχείο idfile που θα περιέχει τα ID των κλάσεων, για τις οποίες θα εκπαιδευτεί το δίκτυο.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι σε κάθε επανεκπαίδευση του δικτύου, έχουμε την επαναδημιουργία του συστήματος για τις κλάσεις που περιέχονται στο εκάστοτε αρχείο προτύπων που χρησιμοποιούμε. Για να μην έχουμε απώλεια γνώσης (προηγούμενες κλάσεις), η σωστή διαδικασία που προβλέπεται για την ενσωμάτωση νέων αποτυπωμάτων στο σύστημα, επιβάλλει την προσθήκη των περιεχομένων του νέου αρχείου προτύπων στο παλιό.

Ο φάκελος Templates περιέχει ένα σύνολο αρχείων, καθένα από τα οποία αναφέρεται σε ένα τμήμα του νευρωνικού δικτύου ανά κλάση. Τα στοιχεία που περιέχονται στα αρχεία αυτά είναι η δομή του εκάστοτε δικτύου, οι παράμετροι του, και τα πρότυπα (με τις επιμέρους πληροφορίες που τους προσθέτει ο Client) εμπλουτισμένα με τον στόχο. Ο στόχος για κάθε ένα από τα προηγούμενα διανύσματα, είναι 0 ή 1 ανάλογα με τον αν έχουμε αρνητικό ή θετικό πρότυπο ως προς την εξεταζόμενη κλάση.

Με την κατάλληλη εκτέλεση των `createEuclFile`, `createFirstTwoFiles`, `createCNFiles`, `createRandomOrder` και `createCNFiles` δημιουργούνται τα επιμέρους αρχεία του φακέλου `WeightDir`. Αμέσως μετά έχουμε την δημιουργία του φακέλου `Templates` και τον σχηματισμό των αρχείων του.

Αφού γίνουν οι παραπάνω προσαρμογές έχουμε την εκπαίδευση των τμημάτων του δικτύου MLP (`trainMLPs`) και των RBF (`trainRBFs`).

9.8 Εξυπηρετητής

Η λειτουργία του εξυπηρετητή του κεντρικού συστήματος συνδέεται με την γνώση που προκύπτει από την εκπαίδευση μέσω του φακέλου `WeightDir`. Ο συγκεκριμένος φάκελος μετά από κάθε επιτυχή εκπαίδευση αντιγράφεται από την θέση `fingerServerTraining` στον φάκελο `fingerServerRun`, όπου και υλοποιείται ο εξυπηρετητής.

Το εκτελέσιμο αρχείο `Finger` αποτελεί τον πυρήνα του προγράμματος του εξυπηρετητή. Το συγκεκριμένο αρχείο δημιουργείται από τον πηγαίο κώδικα με τη χρήση ενός `makefile` που περιέχεται στον φάκελο `fingerServerRun`.

9.9 Fingerprint

Ο πυρήνας του εξυπηρετητή υλοποιείται με το πρόγραμμα `Finger`. Στην εφαρμογή αυτή έχουμε εκτεταμένη χρήση νημάτων εκτέλεσης (`threads`). Αυτά τα νήματα υλοποιούνται μέσω της βιβλιοθήκης `GNU Portable Thread (pth)`, που αναφέρονται στο λειτουργικό σύστημα `Linux` και στην γλώσσα προγραμματισμού `C++`. Θα πρέπει λοιπόν να ενσωματώσουμε στο σύστημα μας την βιβλιοθήκη `pth`. Για το σκοπό αυτό το αρχείο `pth-1.4.1.tar.gz`, απαιτείται να αποσυμπιεστεί σε ένα προσωρινό φάκελο. Μετά από αυτή την ενέργεια θα πρέπει να γίνει η μεταγλώττιση της βιβλιοθήκης και η προσαρμογή της στο σύστημα (ενσωμάτωση στις βιβλιοθήκες του μεταγλωττιστή `gcc`). Η ενέργεια αυτή πραγματοποιείται με την εκτέλεση της παρακάτω αλληλουχίας εντολών στον φάκελο αποσυμπίεσης του προηγούμενου αρχείου:

```
./configure  
make  
make trust  
make install
```

Αμέσως μετά προσθέτουμε την συμβολοσειρά `"/usr/local/lib"` στο αρχείο `"/etc/ld.so.conf"`.

Μετά την εκτέλεση του προγράμματος Finger, η υπηρεσία Finger Server αναμένει αιτήσεις στην socket που δημιουργεί το IP του Η/Υ στον οποίο είναι εγκατεστημένο και το port που δίνεται σαν παράμετρος. Σε περίπτωση κλήσης του από ένα Client, αποκαθιστά την σύνοδο και αναμένει το διάνυσμα των χαρακτηριστικών του προς αναγνώριση αποτυπώματος. Στην συνέχεια πραγματοποιεί ανάκληση για κάθε κλάση, χρησιμοποιώντας το υπό εξέταση διάνυσμα. Ανάλογα με τα αποτελέσματα επιστρέφει στον χρήστη τις περιγραφές των κλάσεων που αναγνώρισε έπειτα από την ανάκληση. Σε περίπτωση που το διάνυσμα δεν αναγνωρίζεται από το σύστημα, επιστρέφεται ανάλογο μήνυμα προς τον χρήστη.

Ο εξυπηρετητής μπορεί να ικανοποιήσει παράλληλα 10 χρήστες. Κατά την διάρκεια σύνδεσης ενός χρήστη και ικανοποίησης της αίτησης του, παρουσιάζονται στην κονσόλα του Server τα αποτελέσματα από την ανάκληση του διανύσματος κάθε χρήστη για κάθε κλάση. Αυτή η ικανότητα του συστήματος προσφέρει στον διαχειριστή την δυνατότητα αξιολόγησης του συστήματος αναγνώρισης Finger Server. Ακόμα παρουσιάζεται με κωδικοποιημένο τρόπο η παρουσία ενός χρήστη στο σύστημα.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία καταφέραμε να υλοποιήσουμε το περιεχόμενο της απασχόλησης του ενός και τα ενδιαφέροντα του άλλου μέλους της ομάδας, καλύπτοντας αμφότερους. Κάτι που ξεκίνησε σαν μια απλή συζήτηση, μετεξελίχθηκε στο παραπάνω θέμα που αναλύσαμε στην παρούσα διπλωματική εργασία και μας οδήγησε στο συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Φυσικά, ιδιαίτερη ικανοποίηση θα μας προσέφερε αν από πειραματική εφαρμογή, γινόταν ένα πλήρως λειτουργικό πρόγραμμα ισάξιο των ελάχιστων που κυκλοφορούν, βοηθώντας παράλληλα το σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε.

Επιπλέον, η ανάγκη για μεγαλύτερη ασφάλεια με όσο το δυνατόν λιγότερη παρείσφρηση σαν προϊόν κακόβουλης προσπάθειας, οδηγεί σε τομείς όπου τα αποτυπώματα χρησιμοποιούνται σαν κλειδί πρόσβασης, αποκλείοντας κάθε περίπτωση αντιγραφής. Από τη στιγμή που κάθε άνθρωπος έχει μοναδικό DNA, είκοσι μοναδικά αποτυπώματα άκρων, δύο μάτια (ίριδες) και δύο αυτιά, ένα σύστημα αναγνώρισης αποτυπωμάτων, πέρα από την ατομική του αξία σε ένα μονοτροπικό βιομετρικό σύστημα, μπορεί να έχει εφαρμογή σε ένα πολυτροπικό σύστημα, συνδυάζοντας δύο ή περισσότερα εκ των παραπάνω χαρακτηριστικών.

Θεωρούμε ότι ο στόχος της συγγραφής του κειμένου μας επιτεύχθηκε, αφού έγινε η όσο το δυνατό πληρέστερη παρουσίαση της μεθόδου αναγνώρισης αποτυπωμάτων Finger Server, σε συνδυασμό με την προσπάθειά μας για μια εμπειριστατωμένη αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την κατανόηση της εφαρμογής.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Σελίδα
1: Κατανομές Inner και Outer	33
2: Συντελεστές δακτυλικών αποτυπωμάτων στην αριθμητική ταξινόμηση	34
3: Χαρακτηριστικά ενός τυπικού συστήματος αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων	45
4: Παράμετροι συστημάτων αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων	50
5: Αξιοπιστία, ρυθμός και είδος λαθών σε ένα σύστημα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων	52
6: Παράδειγμα εικόνας (γκρι επιπέδων) και δίπλα ο δισδιάστατος πίνακας με τις τιμές των pixel	56
7: Φίλτρο μεσαίου	66
8: Πίνακας με $\sigma^2=2$ και $n=7$	70
9: Πίνακας μετά τον πολλαπλασιασμό βαρών με k	70
10: Σύγκριση RBF-MLP	99
11: Class A, B, C διευθύνσεις διαδικτύου	121
12: Κατανομή προτύπων	145
13: Σφάλματα Windows TCP Error Codes	159-160

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα	Σελίδα
1: Συμβόλαιο Χέρσελ - Κονάι	14
2: Αποτύπωμα δεξιού αντίχειρα και υπογραφή του Βουσετίτς	17
3: Τα αποτυπώματα της κας Ρόχας	18
4: Δακτυλικό αποτύπωμα	31
5: Οριζόντιες, καμπύλες και περιστροφικές Δέσμες	31
6: Κύριοι σχηματισμοί δακτυλικού αποτυπώματος	32
7: Εγγραφή, Πιστοποίηση, Ταυτοποίηση σε ένα σύστημα βιομετρίας	39
8: Συσκευές καταγραφής δακτυλικών αποτυπωμάτων	46
9: Ιστόγραμμα εικόνας	57
10: Κατωφλίωση	58
11: Παράδειγμα εντοπισμού αντικειμένου-υπόβαθρου με τη χρήση κατωφλίωσης	58
12: Οριζόντια και κάθετη προβολή εικόνας	59
13: Δυναμική διαστολή	60
14: Δυναμική διάβρωση	60
15: Σκελετοποίηση	61
16: Εξισορρόπηση	62
17: Διόρθωση αντίθεσης	63
18: Διακριτή συνέλιξη	64
19: Παράδειγμα μάσκας αριθμητικού μέσου	65
20: Γκαουσιανή συνάρτηση	67
21: Είδη ακμών	71

22: Διαμελισμός πιθανών κατευθύνσεων της κλίσης σε τομείς (αλγόριθμος nonmaxima suppression)	77
23: Ανιχνευμένες ακμές	79
24: Τυπικός νευρώνας	80
25: Αναλογία τεχνητού & φυσικού νευρώνα	81
26: Τεχνητός νευρώνας	83
27: Τεχνητό νευρωνικό δίκτυο	84
28: MLP-Back Error Propagation	87
29: Γραμμικός διαχωρισμός προτύπων	87
30: Σιγμοειδής Συνάρτηση	88
31: Κανονικοποίηση διανύσματος	90
32: Διάγραμμα ροής Back Error Propagation	93
33: Δίκτυο RBF	94
34: Κίνηση RBF στον χώρο	95
35: Κίνηση RBF στο επίπεδο	95
36: Δομή Λειτουργίας Client Server συστήματος	102
37: Λειτουργία RPC στα επίπεδα του προτύπου OSI	107
38: Κατάσταση ισορροπημένου Client Server συστήματος	108
39: Κατάσταση Fat Client συστήματος	108
40: Κατάσταση Fat Server συστήματος	108
41: Two Tier Client Server Συστήματα Fat Client & Fat Server	110
42: Three Tier Client Server Συστήματα	111
43: Λειτουργία Sockets σε Client Server συστήματα	116
44: IP διεύθυνση	120
45: Ανάλυση IP Socket	122

46: Server σύστημα με εξωτερικούς & εσωτερικούς Client	123
47: Τυπικό δείγμα thread	124
48: Μαζική εκτέλεση thread	125
49: Κύκλος ζωής thread	126
50: Βασική Δομή Εφαρμογής SRVS	129
51: Σκελετοποιημένη Υπογραφή	131
52: Διασταυρώσεις (C1,C2,C3,C4) και Ακμές (E1,E2,E3,E4)	134
53: Χαρακτηριστικά Πλέγματος Υπογραφής	135
54: Τυπικό OCON (One Class One Network) νευρωνικό δίκτυο	136
55: Περιοχή προτύπου	141
56: Εικόνα με ανιχνευμένες ακμές	142
57: Αποτύπωμα εγγεγραμμένο σε τετράγωνο	143
58: Αποτέλεσμα εξαγωγής χαρακτηριστικών	144
59: Δομή νευρωνικού δικτύου χαρακτηριστικών πλέγματος	147
60: Τα δυο τμήματα που συνθέτουν το νευρωνικό δίκτυο της εφαρμογής	148
61: Ιεραρχία κλάσεων δικτύου ανάκλησης & εκπαίδευσης Fingerprint Sever	150
62: Δομή Client Server για το σύστημα Finger Server	152
63: Παράδειγμα στρέψης εικόνας	155
64: Εισαγωγή εικόνας στον Client	156
65: Προβολή ιστογράμματος γκρι επιπέδου από τον Client	157

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.] Νικόλαος Παπαμάρκος, “Ψηφιακή Επεξεργασία & Ανάλυση Εικόνας”, ISBN: 9603873527, Β. Γκιούρδας Εκδοτική, 2005
- [2.] Sergios Theodoridis, Konstantinos Koutroumbas, “Pattern Recognition”, ISBN: 0-126-85875-6, Academic Press, 3rd edition, 2006
- [3.] Anil K. Jain, Arun Ross and Salil Prabhakar, “An Introduction to Biometric Recognition”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.14, issue 1, pp. 4-20, January 2004.
- [4.] Kresimir Delac, Mislav Grgic, “A Survey Of Biometric Recognition Methods”, *in Proc. of the 46th International Symposium on Electronics in Marine (ELMAR 2004)*, pp.184-193, June 2004.
- [5.] Davide Maltoni, Jain Anil, James Wayman, Maio Dario, “Biometric Systems: Technology, Design and Performance Evaluation”, Springer-Verlag London, Oct 2002.
- [6.] Davide Maltoni, Maio Dario, Anil K. Jain, Salil Prabhakar, “Handbook of Fingerprintprint Recognition”, Springer-Verlag New York Inc. July 2003.
- [7.] Ενημερωτικό φυλλάδιο Διεύθυνσης Εγκληματολογικών Ερευνών, Ελληνική Αστυνομία, 2011.
- [8.] Nimalan Solayappan, Shahram Latifi, “A Survey of Unimodal Biometric Methods”, *in Proc. of the 2006 World Congress in Computer Science Computer Engineering, and Applied Computing*, Las Vegas, Nevada, USA, July 2006.
- [9.] Arun A. Ross, Anil K. Jain, Karthik Nandakumar, David Zhanq, “Handbook of Multibiometrics: Human Recognition Systems”, Springer-Verlag New York Inc, June 2005.
- [10.] Δακτυλοσκοπικό Τμήμα Διεύθυνσης Εγκληματολογικών Υπηρεσιών, «Στοιχεία Δακτυλοσκοπίας», Αθήνα, Ιούνιος 1983
- [11.] “Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας” Σεραφείμ Ν. Ευστρατιάδης
- [12.] “Artificial Intelligence, a Modern Approach” Stuart Russell, Peter Norvig Prentice Hall International Editions
- [13.] “Machine Vision” Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G. Schunk
- [14.] “Pattern Recognition and Image Analysis” Earl Gose, Richard Johnsonbaugh, Steve Jost
- [15.] “Pattern Recognition Using Neural Networks” Carl G. Looney
- [16.] “Pattern Recognition With Neural Networks in C ++” Adhijit S. Pandya – Robert B. Macy

- [17.] "Pattern Recognition & Neural Networks" R.D. Riply
- [18.] "Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα- Θεωρία και εφαρμογές» Δρ. Γεώργιος Ρίζος
- [19.] "Neural Networks: A Comprehensive Foundation" Simon Haykin.
- [20.] "Fuzzy- Logic & Control on Personal Computer& Workstations" G. Ranino – A. Korn
- [21.] Σημειώσεις μαθήματος «Παράλληλα και κατανομημένα» του Πανεπιστημίου Μακεδονίας
<http://www.uom.gr>
- [22.] «Λειτουργικά συστήματα. Μέρος I Αρχές Λειτουργίας» Γ.Κ. Παπακωνσταντίνου –Ν.Α. Μπιλάλης- Π.Δ. Τσανάκας
- [23.] «Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών» Α. Αλεξόπουλος – Γ. Λαγογιάννης
- [24.] "CLIENT/SERVER PROGRAMMING WITH RPC AND DCE" David Gunter
- [25.] "CLIENT/SERVER Survival Guide" Robert Orfail, Dan Harkley, Jen Edwards

WEB SITES

- [26.] <http://galton.org/Fingerprintprints/faulds.htm>
- [27.] <http://seds.org/MESSIER/xtra/similar/herschel.html>
- [28.] http://en.wikipedia.org/wiki/Francis_Galton#Biography
- [29.] <http://www.biometricnewsportal.com>
- [30.] <http://www.biometrics.gov>
- [31.] http://archive.enet.gr/online/online_text/c=112,dt=15.01.2003,id=13833696
- [32.] http://archive.enet.gr/online/online_text/c=112,dt=28.08.2002,id=74571624
- [33.] www.biometricnewsportal.com/multimodal-biometrics.asp
- [34.] http://www.biometrics.org/bc2004/CD/PDF_PROCEEDINGS/new_4%20ThiemeBrief.pdf
- [35.] <http://www.tovima.gr/culture/article/?aid=418783>
- [36.] <http://www.gizmag.com/Fingerprintprint-drug-testing-device/20465/>
- [37.] <http://www.policenet.gr/portal/arhra-dimosieymata/general-articles/27112011-6.html>
- [38.] <http://www.cl.cam.ac.uk/~rja14/Papers/SE-13.pdf>
- [39.] <http://www.eff.org/wp/biometrics-whos-watching-you>
- [40.] <http://www.bromba.com/fag/biofage.htm#enrolment>
- [41.] <http://biometrics.cse.msu.edu/info.html>
- [42.] <http://www.ccip.govt.nz/newsroom/information-notes/2006/biometrics-technologies-palmhand.pdf>
- [43.] http://scgwww.epfl.ch/courses/Biometrics-Lectures-2006-2007/10_Biometrics-Lecture-10-Part2-2007-01-08.pdf