

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟΥ

Διπλωματική Εργασία

**“Ανάπτυξη Εφαρμογής Αναγνώρισης Νομισμάτων για Κινητά
Android ”**



Θεοδωρογλάκη Ιωάννα

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων	:	Καθ. Απόστολος Δόλλας
Μέλος Επιτροπής	:	Καθ. Μιχάλης Ζερβάκης
Μέλος Επιτροπής	:	Αν. Καθ. Ιωάννης Παπαευσταθίου (ΑΠΘ)

Χανιά, Κρήτη

2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σχήματα	3
Abstract.....	5
Περίληψη.....	6
Κεφάλαιο 1	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Κίνητρο.....	7
1.3 Συνεισφορά.....	7
1.4 Δομή.....	8
Κεφάλαιο 2.....	9
2.1 Λειτουργικό Σύστημα Android.....	9
2.2 Επίπεδα Αρχιτεκτονικής του Android.....	9
2.3 Linux Kernel.....	10
2.4 Native Libraries (Βασικές Βιβλιοθήκες).....	10
2.5 Android Runtime.....	11
2.6 Application Framework (Βασικό πλαίσιο εφαρμογών).....	11
2.7 Εφαρμογές.....	11
2.8 Ανάπτυξη Εφαρμογών για Android.....	11
Κεφάλαιο 3.....	13
3.1 Ο Αλγόριθμος Δισδιάστατης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης.....	13
3.1.1 Ετεροσυσχέτιση (Cross Correlation).....	13
3.1.2 Αλγόριθμος Αναγνώρισης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης.....	14
3.2 Αναγνώριση Νομισμάτων και η Κανονικοποιημένη Ετεροσυσχέτιση.....	18
3.2.1 Δειγματοληψία Προτύπων.....	18
3.2.2 Βάθος Δειγματοληψίας.....	18
3.2.3 Γωνία Περιστροφής.....	19
3.2.4 Βήμα Γωνίας Περιστροφής.....	20
3.2.5 Μετατόπιση.....	20
3.2.6 Ακρίβεια.....	20
3.3 Διαδικασία Αναγνώρισης.....	21
3.3.1 Στάδιο Προεπεξεργασίας Δειγμάτων.....	23
3.3.2 Στάδιο Συσχέτισης.....	25
3.3.3 Στάδιο Αναγνώρισης.....	26
3.4 Σύνοψη.....	26
Κεφάλαιο 4.....	27
4.1 Εφαρμογή ANDROID.....	27
4.2 Αρχιτεκτονική Εφαρμογής.....	27
4.3 Υποσύστημα Αποθήκευσης Δεδομένων (Data Storage).....	28
4.4 Υποσύστημα Κλάσεων Δεδομένων (Data Classes).....	28
4.5 Κλάση Coin.....	29
4.6 Κλάση Coin Samples.....	29
4.7 Υποσύστημα Γραφικής Διεπαφής (Activities).....	30

4.8 Υποσύστημα Αναγνώρισης και Διαχείρισης (Recognition & Control).....	31
4.8.1 Coin Recognition Application.....	31
4.8.2 Image Processing.....	33
4.9 Λειτουργικότητα και Γραφικό Περιβάλλον της Εφαρμογής.....	35
4.9.1 Σενάρια χρήσης (Use Cases).....	35
4.9.2 Αλλαγή Βασικών Ρυθμίσεων.....	35
4.9.3 Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση Νομίσματος.....	37
4.9.4 Αλλαγή Ρυθμίσεων Χώρας.....	38
4.9.5 Διαγραφή Νομίσματος.....	39
4.9.6 Αλλαγή Εικόνας Νομίσματος.....	40
4.9.7 Εισαγωγή Προτύπου σε Εικόνα.....	41
4.9.8 Προβολή Λεπτομερειών Προτύπου.....	42
4.9.9 Αλλαγή Λεπτομερειών Νομίσματος.....	42
4.9.10 Προβολή Λίστας Νομισμάτων.....	43
4.9.11 Προβολή Λίστας Χωρών.....	44
4.9.12 Προβολή Ρυθμίσεων.....	44
4.9.13 Λήψη Φωτογραφίας.....	45
4.9.14 Αναγνώριση Νομίσματος.....	45
4.9.15 Φόρτωση Αρχικών Ρυθμίσεων.....	46
4.9.16 Αποθήκευση Νομισμάτων.....	47
4.9.17 Φόρτωση Αποθηκευμένων Νομισμάτων.....	47
4.10 Σύνοψη.....	47
Κεφάλαιο 5.....	48
5.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	48
5.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων - Σκέψεις, Δυσκολίες και Μαθήματα.....	50
5.2.1 Υλοποίηση.....	51
5.2.2 Γραφικό Περιβάλλον.....	51
5.2.3 Αποσφαλμάτωση (Debugging).....	51
5.2.4 Ευκρίνεια της Κάμερας και Φωτισμός.....	52
Κεφάλαιο 6.....	53
6.1 Συμπεράσματα.....	53
6.2 Μελλοντική Εργασία.....	53
Αναφορές.....	55

ΣΧΗΜΑΤΑ

2.1	Η αρχιτεκτονική του λειτουργικού συστήματος Android.....	10
3.1	Γραφική αναπαράσταση της Ετεροσυσχέτισης.....	13
3.2	Παράδειγμα δισδιάστατης συσχέτισης. [2].....	14
3.3	Κύρια Εικόνα και Εικόνα Δείγματος.....	16
3.4	Πείραμα Matlab - Αποτελέσματα περιοχών που συμπίπτουν.....	16
3.5	Πείραμα Matlab - Γραφική Παράσταση Συσχέτισης.....	16
3.6	Matlab - Γραφική Παράσταση Συσχέτισης με την Σκοτεινότερη Εικόνα.....	17
3.7	Matlab - Σκοτεινότερη Εικόνα.....	17
3.8	Matlab - Γραφική Παράσταση Συσχέτισης με την Φωτεινότερη Εικόνα.....	17
3.9	Matlab - Φωτεινότερη Εικόνα.....	17
3.10	Δειγματοληψία Προτύπων.....	18
3.11	Πλακίδια Προτύπου κατά Βάθος.....	19
3.12	Γωνία Περιστροφής (30° - Πράσινη Γραμμή) και Βήμα Περιστροφής (10° - Κόκκινες Γραμμές).....	19
3.13	Μετατόπιση - Πλακίδιο Δείγμα (Πράσινο) και Πλακίδιο Συσχέτισης (Κόκκινο).....	20
3.14	Ιεραρχία Χρήσης Δειγμάτων.....	22
3.15	Στάδιο Προεπεξεργασίας Δειγμάτων.....	23,24
3.16	Στάδιο Συσχέτισης Δειγμάτων.....	25
3.17	Στάδιο Διαδικασίας Αναγνώρισης Εικόνας.....	26
4.1	Η Αρχιτεκτονική της εφαρμογής.....	28
4.2	Δομή Δεδομένων «Λίστας Νομισμάτων (Coin List)».....	31
4.3	Βάση Δεδομένων Εφαρμογής - Δομή Δεδομένων «Λίστας Νομισμάτων (Coin List)».....	32
4.4	Δομή Δεδομένων «Δεδομένα Νομίσματος (Coin Data)».....	32,33
4.5	Το σενάριο Αλλαγή βασικών ρυθμίσεων.....	36
4.6	Η οθόνη των βασικών ρυθμίσεων, χωρισμένη σε δύο κομμάτια (γιατί χρειαζόταν scrolling για να παρθούν όλα τα πεδία της στο screenshot).....	36
4.7	Σενάριο χρήσης Ενεργοποίηση/ Απενεργοποίηση νομίσματος.....	38
4.8	Η οθόνη της διεπαφής με τα ενεργοποιημένα (Μπλε 'ON') και τα απενεργοποιημένα νομίσματα (Γκρι 'OFF').....	38
4.9	Το σενάριο χρήσης για την αλλαγή των ρυθμίσεων μιας χώρας.....	39
4.10	Η οθόνη για την αλλαγή ρυθμίσεων μιας χώρας.....	39
4.11	Τα βήματα για την διαγραφή ενός νομίσματος.....	40
4.12	Η οθόνη του νομίσματος, στο κάτω μέρος της οποίας παρατηρείται το κουμπί διαγραφής (κίτρινο βέλος).....	40
4.13	Τα βήματα του σεναρίου για την αλλαγή της εικόνας ενός νομίσματος.....	41
4.14	Η οθόνη του νομίσματος, ο σταυρός δίπλα στην εικόνα του νομίσματος προωθεί τον χρήστη στην επιλογή της καινούριας εικόνας (κίτρινο βέλος).....	41
4.15	Τα βήματα του σεναρίου για την αλλαγή της εικόνας ενός προτύπου νομίσματος.....	42

4.16	Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης για να δει τις λεπτομέρειες ενός νομίσματος.....	42
4.17	Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης για να αλλάξει τις λεπτομέρειες ενός νομίσματος.....	42
4.18	Η σελίδα με τις λεπτομέρειες ενός νομίσματος (κίτρινα βέλη).....	43
4.19	Η διαδικασία για την προβολή της λίστας νομισμάτων.....	43
4.20	Η λίστα με τα νομίσματα.....	44
4.21	Τα βήματα για την προβολή της λίστας των χωρών.....	44
4.22	Η διαδικασία της προβολής των ρυθμίσεων.....	44
4.23	Τα βήματα για την λήψη μιας φωτογραφίας.....	45
4.24	Η διαδικασία για την αναγνώριση ενός νομίσματος και όλα τα ενδιάμεσα στάδια και οι επιλογές που έχει ο χρήστης.....	45
4.25	Στοιχεία Νομίσματος κατά τη λήψη της φωτογραφίας.....	46
4.26	Στοιχεία Νομίσματος μετά την αναγνώριση.....	46
4.27	Η διαδικασία για την φόρτωση των αρχικών ρυθμίσεων.....	46
4.28	Η διαδικασία ενημέρωσης της βάσης δεδομένων.....	47
4.29	Τα βήματα για την φόρτωση των νομισμάτων από την βάση δεδομένων.....	47

ABSTRACT

This project aims at the classification of coins as true or counterfeit. The key requirement for this thesis was that the recognition should be done efficiently, and, that the resulting system should be readily available to a broad range of different devices and platforms. After extensive research in the existing literature we have chosen the 2D Normalised Correlation or Cross-correlation algorithm to address the efficiency criterion. This algorithm is widely used for pattern recognition, electronic tomography, cryptanalysis and neuropsychology. In order to have a system which is readily available on many devices we chose the Android platform. This platform is an implementation of the Linux kernel for mobile devices (it is widely used in mobile phones, tablets, TVs and wearable devices such as smart watches). The system was fully developed and tested in a laboratory environment, with very good results. The present thesis briefly presents the 2D Normalised Correlation algorithm and the Android system. Subsequently, MATLAB models of the specific use of the algorithm for coin detection are presented, followed by the newly developed Android application. The hierarchy of menus is also presented in detail, as it matches the structure of the software. Performance results with an analysis of how various parameters of the application affect its performance, and conclusions from this work are presented as well.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η δημιουργία ενός συστήματος αναγνώρισης γνησίων κερμάτων από πλαστά. Οι βασικές προϋποθέσεις (requirements) για την υλοποίηση της εργασίας ήταν η αποδοτική αναγνώριση, αλλά και πως αυτή η μέθοδος θα γινόταν διαθέσιμη για μια πληθώρα διαφορετικών συσκευών. Έπειτα από έρευνα στη βιβλιογραφία, επιλέχθηκε ο αλγόριθμος «Δισδιάστατης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης» (2D Normalised Correlation ή Cross-correlation). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιείται ευρέως για αναγνώριση προτύπων, ηλεκτρονική τομογραφία, κρυπτανάλυση αλλά και στην νευροψυχολογία. Όσον αφορά την ευρεία διαθεσιμότητα της μεθόδου αναγνώρισης σε διάφορες συσκευές, επιλέχθηκε η πλατφόρμα Android η οποία αποτελεί μία υλοποίηση του πυρήνα Linux για φορητές συσκευές (κινητά τηλέφωνα, Tablet, τηλεοράσεις και συσκευές που μπορούν να φορεθούν – όπως ρολόγια). Η μέθοδος αναπτύχθηκε πλήρως και δοκιμάστηκε πειραματικά σε εργαστηριακά πειράματα με πάρα πολύ καλά αποτελέσματα. Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει εν συντομία τον αλγόριθμο Δισδιάστατης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης και το σύστημα Android. Κατόπιν, μοντέλα MATLAB παρουσιάζονται για την συγκεκριμένη εφαρμογή του αλγορίθμου σε αναγνώριση κερμάτων, καθώς και η νέα εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Η ιεραρχική δομή των οθονών επιλογής παρουσιάζεται με λεπτομέρεια, καθώς ταυτίζεται με την δομή του αναπτυχθέντος λογισμικού. Παρατίθενται αποτελέσματα από την εφαρμογή, καθώς και πως οι διάφορες παράμετροι του συστήματος αλληλοσυσχετίζονται, και συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. Εισαγωγή

Αυτή η εργασία έχει τίτλο «Ανάπτυξη Εφαρμογής Αναγνώρισης Νομισμάτων για Κινητά Android» και υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μικροεπεξεργαστών & Υλικού του Πολυτεχνείου Κρήτης και στοχεύει στην αναγνώριση γνήσιων κερμάτων από πλαστά, μέσα από την δυνατότητα χρησιμοποίησης απλών τεχνικών αναγνώρισης μοτίβων με τη χρήση σύγχρονων ενσωματωμένων συστημάτων μικροεπεξεργαστών – όπως είναι τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smartphones). Ως εκ τούτου, στα πλαίσια της εργασίας, αναπτύχθηκε μια εφαρμογή η οποία μπορεί να κάνει αναγνώριση νομισμάτων με την χρήση έξυπνων κινητών. Ο χρήστης δίνει είσοδο στην εφαρμογή ένα νόμισμα φωτογραφίζοντας το και η εφαρμογή κάνει ταυτοποίηση από μια συλλογή προτύπων νομισμάτων που έχει αποθηκευμένα. Οι περιορισμοί της συγκεκριμένης εργασίας συνίστανται κυρίως στην επεξεργαστική ισχύ αυτών των συσκευών αλλά και στην πληθώρα των συσκευών που είναι διαθέσιμες. Δεδομένων των πειραμάτων που διεξήχθησαν η παρούσα εργασία προτείνει περεταίρω επεκτάσεις και βελτιώσεις.

1.2. Κίνητρο

Σκοπός της συγγραφής της παρούσας εργασίας είναι η χρήση του αλγορίθμου της Δισδιάστατης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης με σκοπό την αναγνώριση νομισμάτων. Με βάση τους περιορισμούς που ήδη είδαμε νωρίτερα, η παρούσα εργασία προσπαθεί να λύσει το πρόβλημα της αναγνώρισης προτύπων σε συσκευές με λειτουργικό σύστημα Android, υλοποιώντας με έναν αποδοτικό τρόπο μια εφαρμογή που θα μπορεί να εγκατασταθεί σε διαφορετικές συσκευές. Ο αλγόριθμος που έχει επιλεγεί είναι από μόνος του χαμηλών απαιτήσεων σε επεξεργαστική ισχύ, επομένως η χρήση του είναι αρκετά φυσιολογική σαν επιλογή.

1.3. Συνεισφορά

Η διαφορά της συγκεκριμένης διπλωματικής σε σχέση με άλλες που έχουν υλοποιηθεί στο παρελθόν πάνω στο ίδιο αντικείμενο εστιάζεται στην χρήση του αλγορίθμου σε συγκεκριμένη κατηγορία υλικού (έξυπνες συσκευές). Η χρήση του συγκεκριμένου αλγορίθμου, της Δισδιάστατης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης, σε αυτού του τύπου τις συσκευές αποδείχθηκε δυνατή, λόγω των χαμηλών απαιτήσεων του σε επεξεργαστική ισχύ. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές είναι η Samsung Galaxy Grand Prime με επεξεργαστή Quad-core 1.2 GHz Cortex-A53, μνήμη RAM 1 GB και λειτουργικό Android 5.1 .

1.4. Δομή

Η παρούσα διπλωματική χωρίζεται σε έξι κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή της διπλωματικής. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η δομή του Λειτουργικού συστήματος Android. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύουμε την μορφή του αλγορίθμου της Δισδιάστατης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης. Στο τέταρτο κεφάλαιο δείχνουμε αναλυτικά την υλοποίηση του αλγορίθμου σε εφαρμογή για Android και την λειτουργικότητα της. Στο κεφάλαιο πέντε γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών χρήσης της εφαρμογής που υλοποιήθηκε αλλά και τις σκεψεις και τις δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν κατά την διάρκεια της υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής. Τέλος στο κεφάλαιο έξι βλέπουμε τα συμπεράσματα, καθώς και την μελλοντική δουλειά που θα μπορούσε να γίνει. Ολοκληρώνουμε την διπλωματική αυτή με την παράθεση των πηγών στο τελευταίο μέρος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. Λειτουργικό Σύστημα Android

Η υλοποίηση του έργου αναπτύχθηκε για το λειτουργικό Android και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε συσκευή τρέχει αυτό το λειτουργικό σύστημα. Το Android είναι το πλέον ευρέως διαδεδομένο, όντας εγκατεστημένο στο 86.2% [5] των smartphones που πουλήθηκαν το 2016.

Το παρόν λειτουργικό αποτελεί ένα ασφαλές, εύκολα προσαρμόσιμο, επεκτάσιμο και ευρέως υποστηριζόμενο λειτουργικό. Το λειτουργικό σύστημα Android αναπτύσσεται και διανέμεται από την «Google». Διαχειρίζεται το υλικό της συσκευής και προσφέρει όλες τις τεχνολογίες που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη τοπικών εφαρμογών. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη εφαρμογών στο Android είναι η «Java», ίσως η πιο διαδεδομένη αντικειμενοστραφής γλώσσα (τουλάχιστον στην βιομηχανία).

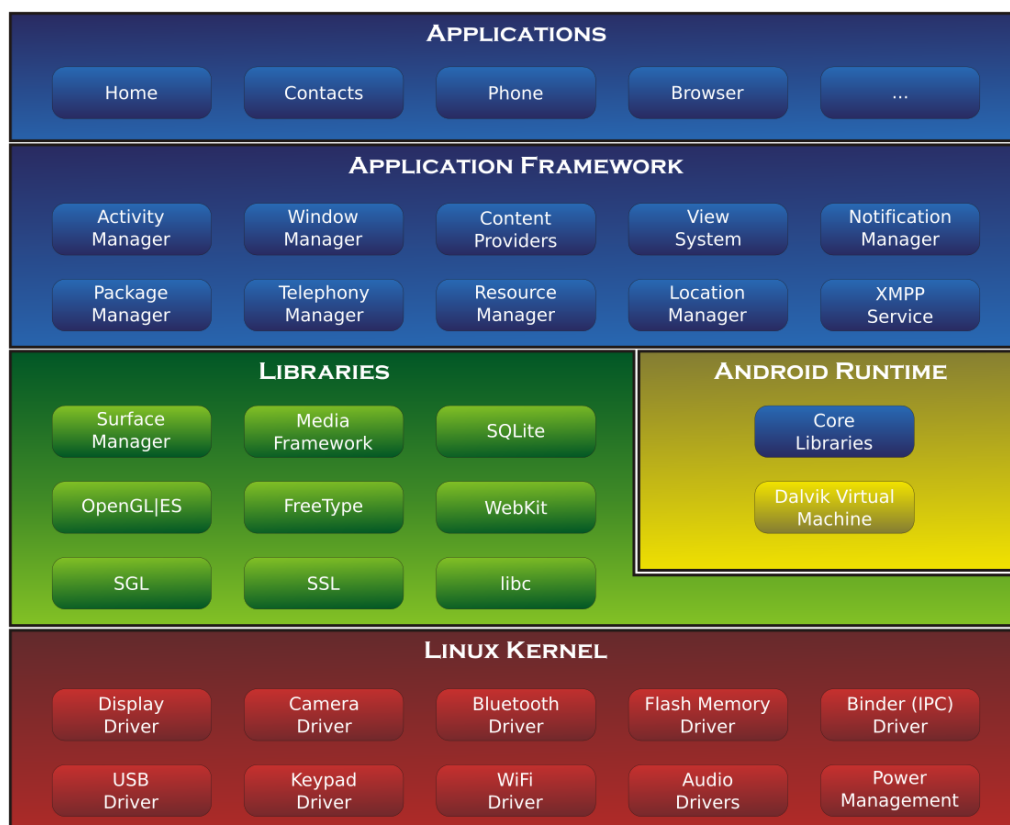
Το android ανανεώνεται συνεχόμενα από την Google και έχει φτάσει μέχρι σήμερα τις 29 εκδόσεις. Σε κάθε έκδοση που γίνεται διαθέσιμη, το Android παρέχει ένα καινούριο API (Διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών) με το οποίο γίνονται γνωστές οι κλάσεις και οι συναρτήσεις του πυρήνα, οι οποίες είναι διαθέσιμες στον προγραμματιστή. Επίσης, σε κάθε καινούρια έκδοση επανασχεδιάζεται το γραφικό περιβάλλον και οι βασικές εφαρμογές, και επίσης μπορεί να προστεθούν νέες εφαρμογές.

2.2. Επίπεδα Αρχιτεκτονικής του Android

Το σύστημα Android βασίζεται σε έναν πυρήνα Linux επάνω στον οποίο χτίζεται όλο το υπόλοιπο σύστημα όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Επίπεδα της αρχιτεκτονικής του Android είναι τα εξής:

1. Linux Kernel
2. Native Libraries (Βασικές Βιβλιοθήκες)
3. Android Runtime
4. Application Framework (Βασικό πλαίσιο εφαρμογών)
5. Εφαρμογές

Κάθε επίπεδο είναι βασισμένο στο προηγούμενο του και παρέχει λειτουργίες στο επόμενο του. Επάνω από το πρώτο επίπεδο βρίσκεται το υλικό (Hardware) και κάτω από το τελευταίο ο χρήστης.



Σχήμα 2.1 - Η αρχιτεκτονική του λειτουργικού συστήματος Android. Κάθε επίπεδο είναι βασισμένο στο από κάτω του και παρέχει λειτουργίες στο από πάνω του. Επάνω από το πρώτο επίπεδο βρίσκεται ο χρήστης και κάτω από το τελευταίο το υλικό (Hardware) [6]

2.3. Linux Kernel

Το Android βασίζεται στον πυρήνα Linux για όλες τις βασικές λειτουργίες όπως drivers των επιμέρους ενσωματωμένων συσκευών (κάμερα, USB, κλπ), τη διαχείριση της μνήμης, τη δρομολόγηση και διαχείριση των εφαρμογών, την διαχείριση των διεπαφών του δικτύου.

2.4. Native Libraries (Βασικές Βιβλιοθήκες)

Οι βασικές βιβλιοθήκες του Android είναι είναι γραμμένες σε C και C++ και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω του κατάλληλου interface της Java. Οι βιβλιοθήκες αυτές χρησιμοποιούνται για βασικές λειτουργίες απαραίτητες από τις εφαρμογές, όπως η δημιουργία παραθύρων, η αναπαράσταση γραφικών, η αναπαραγωγή αρχείων ήχου και εικόνας, υποστήριξη βάσεων δεδομένων και η υποστήριξη της πλοήγησης στο internet μέσω browser.

2.5. Android Runtime

Το επίπεδο αυτό αποτελεί ένα ενδιάμεσο επίπεδο που συνδέει τα υπόλοιπα. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι γιατί αυτό το επίπεδο έχει ένα Virtual Machine (εικονικό λειτουργικό σύστημα), το Dalvik. Επειδή η Java, στην οποία είναι γραμμένες οι εφαρμογές, δεν είναι αναγνωρίσιμη από το Linux Kernel, το Dalvik διαμεσολαβεί και δημιουργεί εκτελεί τα προγράμματα. Κάθε εκτελέσιμο πρόγραμμα, τρέχει σε διαφορετικό instance του Dalvik, ακόμα και όταν εκτελούνται παράλληλα. Με αυτό τον τρόπο, διασφαλίζεται η ασφάλεια και η ευρωστία του συστήματος (σε περίπτωση που τερματιστεί μια εφαρμογή δεν επηρεάζει τις υπόλοιπες).

Εκτός από το Dalvik, αυτό το επίπεδο επίσης έχει και κάποιες βασικές βιβλιοθήκες σε java οι οποίες χρησιμοποιούνται από το υψηλότερο επίπεδο.

2.6. Application Framework (Βασικό πλαίσιο εφαρμογών)

Το αμέσως επόμενο επίπεδο αποτελεί την βάση για την λειτουργία των εφαρμογών. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από ένα βασικό πλαίσιο υπηρεσιών «υψηλού επιπέδου». Αυτές οι οποίες παρέχουν στον προγραμματιστή τη δυνατότητα διαχείρισης πολύπλοκων διεργασιών με έναν απλοποιημένο τρόπο. Ο προγραμματιστής μπορεί να χειριστεί διαφορετικές ομάδες λειτουργιών (όπως διαχείριση κλήσεων, παραθύρων, αρχείων, ενημερώσεων κλπ) μέσω προκαθορισμένων εντολών και κλάσεων.

2.7. Εφαρμογές

Το υψηλότερο επίπεδο είναι αυτό των εφαρμογών το οποίο περιέχει όλες τις υλοποιημένες και έτοιμες για τον χρήστη εφαρμογές. Όλες οι προεγκατεστημένες εφαρμογές, όλες οι εφαρμογές που ο χρήστης έχει κατεβάσει από το Android Play Store (εφαρμογή για να κατεβάζεις εγκεκριμένες εφαρμογές) και οι εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί από τον χρήστη βρίσκονται όλες σε αυτό το επίπεδο.

2.8. Ανάπτυξη Εφαρμογών για Android

Όλες οι εφαρμογές που προορίζονται για το λειτουργικό σύστημα Android γράφονται σε Java μέσω εργαλείων τα οποία δημιουργεί (επεκτείνοντας υπάρχουσες πλατφόρμες όπως το IntelliJ και το Eclipse) και διανέμει δωρεάν η Google. Τα εν λόγω εργαλεία είναι Kit Ανάπτυξης Λογισμικού (Software development kit – SDK) τα οποία δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να γράψει κώδικα μέσω γραφικού περιβάλλοντος, το οποίο συνδέεται και με το Application programming interface παρέχοντας υποστήριξη, ευκολία και επεξήγηση για τις συναρτήσεις και τις βιβλιοθήκες που μπορεί να χρησιμοποιήσει (API - Application programming interface [7]). Επίσης τα KIT αυτά, δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να σχεδιάσει το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής μέσω direct manipulation

μεθόδων, όπως drag & drop. Τέλος, τα KIT αυτά, μπορούν να συνδεθούν με μια φυσική συσκευή η οποία τρέχει Android ή με virtual machine το οποίο προσομοιώνει μια συσκευή Android· με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να ελέγξει και να δοκιμάσει την εφαρμογή του (ολόκληρη ή σε κομμάτια) πριν την τελειοποιήσει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. Ο Αλγόριθμος Δισδιάστατης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης

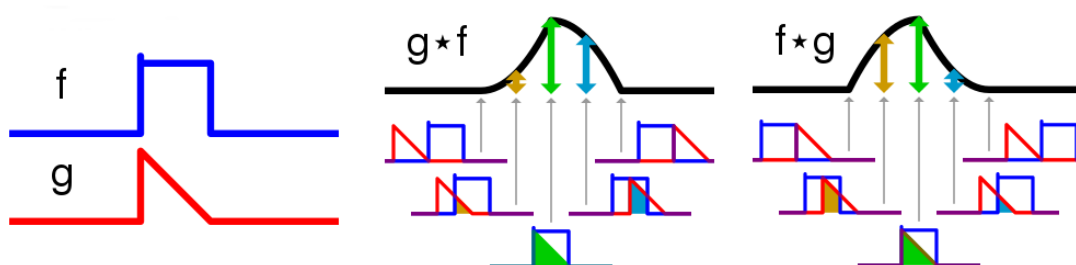
Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται ο αλγόριθμος αναγνώρισης αντικειμένων «Δισδιάστατης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης» (ΔΚΕ) και η προσαρμοσμένη υλοποίησή του που εφαρμόστηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Ο αλγόριθμος ΔΚΕ είναι μια επέκταση του αλγορίθμου «Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης» που χρησιμοποιείται στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος τροποποιημένου για χρήση σε εικόνες. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει το πλεονέκτημα ότι έχει μικρή χρονική πολυπλοκότητα και είναι αρκετά ακριβής [8].

3.1.1. Ετεροσυσχέτιση (Cross-Correlation)

Η Ετεροσυσχέτιση είναι μια πράξη/υπολογισμός που παρέχει ένα μέτρο ομοιότητας μεταξύ δύο σημάτων. Ως είσοδο της παίρνει τα δύο προς εξέταση σήματα και ως έξοδο μας δίνει μια αναπαράσταση (σήμα) του πως μοιάζουν δύο σήματα. Ο υπολογισμός της Ετεροσυσχέτισης σε κάθε σημείο γίνεται πολλαπλασιάζοντας το πρώτο σήμα στο εν λόγω σημείο και το δεύτερο σήμα μετατοπισμένο. Η τιμή της Ετεροσυσχέτισης σε κάθε σημείο του χρόνου(ή «χώρου» στην περίπτωση μιας εικόνας) είναι ίση με το άθροισμα όλων των πολλαπλασιασμών του πρώτου σήματος με κάθε μετατόπιση του δεύτερου σήματος. Ο τύπος της Ετεροσυσχέτισης για διακριτά σήματα είναι ο παρακάτω:

$$(f \star g)[n] = R_{fg} = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} f[m]g[m+n]$$

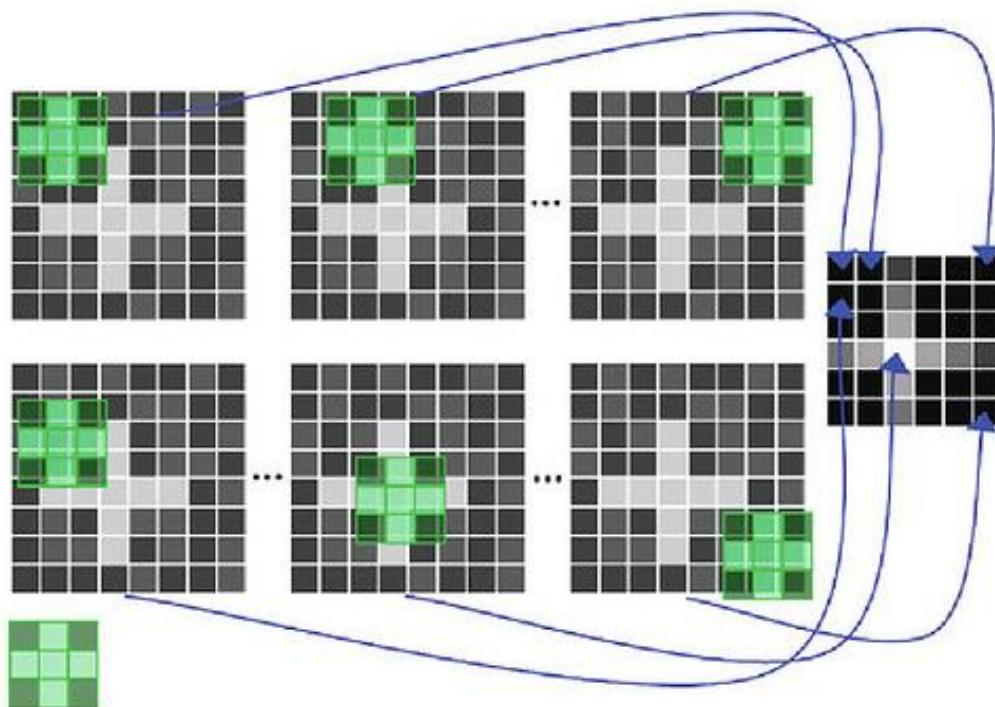
Όπου f είναι το πρώτο σήμα, g το δεύτερο σήμα και n είναι ο παράγοντας του «χρόνου».



Σχήμα 3.1 - Γραφική αναπαράσταση της Ετεροσυσχέτισης

Η δισδιάστατη ετεροσυσχέτιση είναι μια παρόμοια με την μονοδιάστατη, απλώς αντί για δύο μονοδιάστατα σήματα (μιας μεταβλητής) χρησιμοποιείται σε δισδιάστατα σήματα (δύο μεταβλητών όπως οι εικόνες). Σε κάθε εικονοστοιχείο/pixel, υπολογίζεται η συσχέτιση της εικόνας «πρότυπου» με την δεύτερη εικόνα (συνήθως η εικόνα που

αναζητείται). Ένα παράδειγμα της δισδιάστατης συσχέτισης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 3.2:



Σχήμα 3.2 - Παράδειγμα δισδιάστατης συσχέτισης. [2]

3.1.2. Αλγόριθμος Αναγνώρισης Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης

Η ετεροσυσχέτιση αποτελεί μια πολύ καλή υποψήφια μέθοδο για να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο εικόνων διότι είναι εύκολη στην υλοποίηση είτε σε μορφή λογισμικού είτε σε μορφή hardware. Παρόλα αυτά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί γιατί δεν είναι εξαρτημένη από την φωτεινότητα της εικόνας. Έτσι, δύο ολόιδιες εικόνες με διαφορετική φωτεινότητα μπορεί να μην αναγνωριστούν ως όμοιες από την ετεροσυσχέτιση [3].

Ως εκ τούτου, για την ταυτοποίηση εικόνων χρειαζόμαστε μια βελτιωμένη μορφή, η οποία δε θα επηρεάζεται από την φωτεινότητα της εικόνας. Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα μας την δίνει η Κανονικοποιημένη Ετεροσυσχέτιση. Η συγκεκριμένη υλοποίηση, κανονικοποιεί όλα τα εικονοστοιχεία της κάθε εικόνας με τον μέσο όρο κάθε εικόνας πριν την υπολογίσει την συσχέτιση· έπειτα κανονικοποιεί και με το γινόμενο της απόκλισης των δύο σημάτων. Με αυτόν τον τρόπο αφ' ενός εξαλείφεται ο παράγοντας της φωτεινότητας και αφετέρου κανονικοποιείται το αποτέλεσμα (με τις τυπικές αποκλίσεις) ώστε να δίνει αποτελέσματα μεταξύ -1 και 1. Η τιμή 1 μας δίνει απόλυτη ομοιότητα, ενώ η τιμή -1 μας δίνει απόλυτη μη ομοιότητα.

Μολονότι οι διαφορές της φωτεινότητας ξεπερνιούνται με την παραπάνω μέθοδο, η κανονικοποιημένη αλληλοσυσχέτιση δεν είναι ανεξάρτητη της γωνιακής περιστροφής και της μεγέθυνσης των εικόνων. Συγκεκριμένα, δυο πανομοιότυπες εικόνες με διαφορετική

γωνιακή περιστροφή ή/και διαφορετική κλίμακα μεγέθυνσης δεν θα δώσουν μεγάλη τιμή όταν συγκριθούν [4].

Ο μαθηματικός τύπος του αλγόριθμου «Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης», για ένα δισδιάστατο σήμα $f(x,y)$ μιας κύριας εικόνας-πρότυπο πρότυπο και ένα δυσδιάστατο σήμα $g(x,y)$ μιας υποεικόνας, είναι ο παρακάτω:

$$NCC_{f,g}(t) = \frac{\sum_{i=0}^{N+M} (f_i - \bar{f}) * (g_{i+t} - \bar{g})}{\sigma_f * \sigma_g} \quad (1)$$

σ_f και σ_g είναι οι τυπικές αποκλίσεις της εικόνας-πρότυπο f και της υποεικόνας g . N είναι το μέγεθος του σήματος x και M είναι το μέγεθος του σήματος y

Ο παραπάνω τύπος (1) αναλύεται στον εξής τύπο:

$$NCC_{f,g}(x,y) = \frac{\sum_{i=0}^A \sum_{j=0}^B (f_{i+x,j+y} - \bar{f}) * (g_{i,j} - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (f_{i,j} - \bar{f})^2 * \sum_{i=0}^A \sum_{j=0}^B (g_{i,j} - \bar{g})^2}} \quad (2)$$

Στην παραπάνω σχέση (2) f είναι η κύρια εικόνα με μέγεθος (M,N) και g είναι η υποεικόνα, προς αναγνώριση, με μέγεθος (A,B). Οι μεταβλητές x και y είναι οι μεταβλητές της θέσης του εικονοστοιχείου γύρω από το οποίο γίνεται η αναγνώριση. Παραδείγματος χάρη, για $x=0$ και $y=0$ θα γίνει η αναγνώριση του κατά πόσο η εικόνα g βρίσκεται στο τετράγωνο εικονοστοιχείων με συντεταγμένες $[(0,0), (0,B), (A,0), (A,B)]$.

Για να βεβαιωθούμε για το κατά πόσο η κανονικοποιημένη ετεροσυσχέτιση είναι όντως αποτελεσματική υλοποιήθηκε μια εφαρμογή σε Matlab.

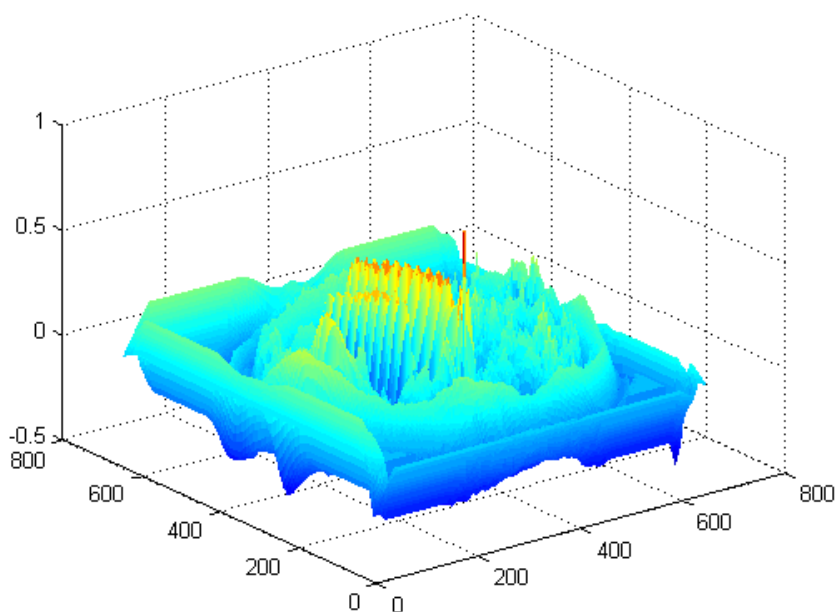
Αρχικά προσπαθήθηκε να αναγνωριστεί σε ποιο σημείο της κύριας εικόνας στο Σχήμα 3.3 βρίσκεται η υποεικόνα της (το τονισμένο με κόκκινο σημείο) χρησιμοποιώντας την Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης προκύπτει η κατανομή στο Σχήμα 3.5. Στο Σχήμα 3.4 η πιο φωτεινή περιοχή αντιστοιχεί στην περιοχή με τις υψηλότερες τιμές (κόκκινα στο Σχήμα 3.5) και είναι η περιοχή που όντως ταιριάζει.



Σχήμα 3.3 - Πείραμα Matlab - Κύρια Εικόνα και Εικόνα Δείγματος



Σχήμα 3.4 - Πείραμα Matlab - Αποτελέσματα περιοχών που συμπίπτουν

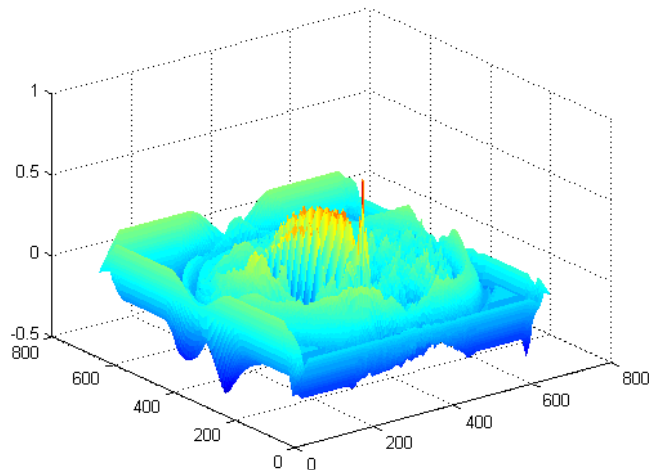


Σχήμα 3.5 - Πείραμα Matlab - Γραφική Παράσταση Συσχέτισης. Οι δυο οριζόντιοι άξονες δείχνουν τις συντεταγμένες του κάθε εικονοστοιχείου, και ο κάθετος άξονας δείχνει την τιμή της συσχέτισης.

Όπως προαναφέρθηκε, στον αλγόριθμο «2Δ κανονικοποιημένης ετεροσυσχέτισης», η αφαίρεση από το κάθε εικονοστοιχείο της μέσης τιμής προκαλεί κανονικοποίηση της φωτεινότητας, η οποία είναι πολύ σημαντική στην επεξεργασία εικόνας. Η φωτεινότητα επηρεάζει τις τιμές του σήματος της εικόνας παρόλο που δεν προσφέρει περισσότερη χρήσιμη πληροφορία. Οι διαφορές στην φωτεινότητα μεταξύ δύο όμοιων εικόνων είναι ένας ακόμα παράγοντας περιορισμού που πρέπει να επιλυθεί. Η κανονικοποίηση βοηθά στην επίλυση αυτού του προβλήματος.

Δοκιμάζοντας το κατά πόσο η κανονικοποιημένη ετεροσυσχέτιση απαλείφει τον παράγοντα της φωτεινότητας, χρησιμοποιήθηκε η ίδια κύρια εικόνα με διαφορετικά επίπεδα φωτεινότητας. Το Σχήμα 3.6 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της κανονικοποιημένης ετεροσυσχέτισης της εικόνας που φαίνεται στο Σχήμα 3.7 όπου το τμήμα που ταιριάζει φαίνεται πιο φωτεινό. Σχήμα Σχήμα 3.8 Σχήμα.

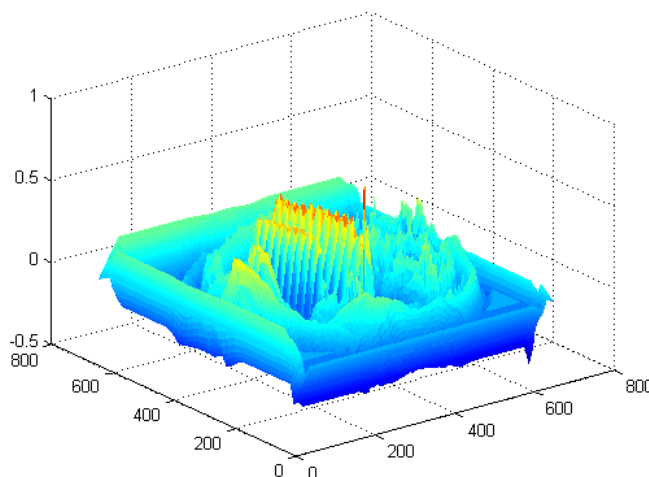
Όπως παρατηρούμε τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά και έτσι αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η κανονικοποιημένη ετεροσυσχέτιση.



Σχήμα 3.6 - Matlab - Γραφική Παράσταση Συσχέτισης με την Σκοτεινότερη Εικόνα



Σχήμα 3.7 - Matlab - Σκοτεινότερη Εικόνα



Σχήμα 3.8 - Matlab - Γραφική Παράσταση Συσχέτισης με την Φωτεινότερη Εικόνα



Σχήμα 3.9 - Matlab - Φωτεινότερη Εικόνα

3.2. Αναγνώριση Νομισμάτων και η Κανονικοποιημένη Ετεροσυσχέτιση

Η «Κανονικοποιημένη Ετεροσυσχέτιση» αποτελεί μια μέθοδο γενικής χρήσης η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό ομοιότητας και κατ' επέκταση ταίριασμα μοτίβων. Στα πλαίσια της εργασίας επιλέχθηκε να απλοποιηθεί η μέθοδος, προσαρμογή για τον συγκεκριμένο σκοπό – την αναγνώριση νομισμάτων. Πιο συγκεκριμένα, καθ' ότι ένας από τους στόχους (requirements) της εργασίας ήταν η αποδοτικότητα, η μέθοδος προσαρμόστηκε ανάλογα, ώστε να επιταχύνεται διαδικασία της αναγνώρισης (σε βάρος της απόδοσης). Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν περιγράφονται οι παράμετροι της προσαρμοσμένης υλοποίησης πριν αναφερθούμε στην διαδικασία της αναγνώρισης.)

3.2.1. Δειγματοληψία Προτύπων

Αρχικά, φορτώνουμε στην εφαρμογή μια σειρά από πρότυπες εικόνες. Αυτές οι πρότυπες εικόνες αποτελούν την «βάση δεδομένων» με τα νομίσματα τα οποία «γνωρίζει» η εφαρμογή. Αυτές οι πρότυπες εικόνες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την αναγνώριση/ταίριασμα της κάθε εισόδου που θα παρέχει ο χρήστης. Η κάθε εικόνα χωρίζεται αρχικά σε τετράγωνα πλακίδια συγκεκριμένου αριθμού και αυτά τα πλακίδια αποτελούν τα δείγματα των πρότυπων εικόνων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν αργότερα στην διαδικασία της αναγνώρισης. Η εφαρμογή παρέχει δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει το μέγεθος αυτών των πλακιδίων· το μέγεθος αυτό επιδρά στην απόδοση της εφαρμογής (Κεφάλαιο «Αποτελεσματικότητα αναγνώρισης»).



Σχήμα 3.10 - Δειγματοληψία Προτύπων

3.2.2. Βάθος Δειγματοληψίας

Ο αριθμός των πλακιδίων-δειγμάτων που λαμβάνεται από μια πρότυπη εικόνα νομίσματος αποφασίζεται από τον χρήστη στο μενού «Ρυθμίσεις (Settings)» στην παράμετρο «Βάθος (Depth)». Η εν λόγω παράμετρος ορίζει την μέγιστη απόσταση των πλακιδίων-δειγμάτων από το κεντρικό πλακίδιο (εν είδη ομόκεντρων κύκλων). Μια πρότυπη εικόνα στην οποία πραγματοποιείται δειγματοληψία με βάθος 1 παράγει ένα

πλακίδιο στο κέντρο της εικόνας το οποίο αντιστοιχεί με το κέντρο του νομίσματος. Το κύριο πλακίδιο κάθε πρότυπης εικόνας είναι πάντα το κεντρικό πλακίδιο. Στο Σχήμα η παράμετρος του βάθους είναι 3. Τα πλακίδια στο βάθος N είναι όλα τα πλακίδια με ελάχιστο ή ίσο αριθμό N . Στην διαδικασία αναγνώρισης, όπως θα περιγραφεί και σε παρακάτω κεφάλαιο, δεν είναι βέβαιη η χρήση όλων των πλακιδίων. Όσο μεγαλύτερη είναι η παράμετρος βάθους τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια έχουμε κατά την διαδικασία αναγνώρισης σε βάρος του όγκου των δεδομένων που θα πρέπει να αποθηκευτούν στην βάση δεδομένων της εφαρμογής.



Σχήμα 3.11 - Πλακίδια Προτύπου κατά Βάθος

3.2.3. Γωνία Περιστροφής

Όπως προαναφέρθηκε, η ΔΚΕ δεν είναι ανεξάρτητη από την γωνιακή περιστροφή των εικόνων (πρότυπων και προς αναγνώριση). Έτσι επιλέχθηκε να δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ορίζει την μέγιστη γωνιακή περιστροφή η οποία θα ελεγχθεί. Έτσι η εικόνα είσοδος, πριν από κάθε διαδικασία αναγνώρισης περιστρέφεται από 0 έως τη μέγιστη γωνία που επέλεξε ο χρήστης. Η μέγιστη γωνιακή περιστροφή που μπορεί να επιλέξει ο χρήστης είναι οι 15° . Για κάθε επιλογή x° του χρήστη ως μέγιστη γωνία περιστροφής, ο αλγόριθμος θα ελέγξει από $-x^\circ$ έως $+x^\circ$. Η παράμετρος αυτή μπορεί να ορισθεί στην επιλογή «Γωνία Περιστροφής (Rotation Angle)». Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η παράμετρος τόσο πιο αργή είναι η διαδικασία αναγνώρισης, διότι εκτελούνται περισσότεροι έλεγχοι.



Σχήμα 3.12 - Γωνία Περιστροφής (30° - Πράσινη Γραμμή) και Βήμα Περιστροφής (10° - Κόκκινες Γραμμές)

3.2.4. Βήμα Γωνίας Περιστροφής

Επιπρόσθετα της μέγιστης γωνιακής περιστροφής δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα να επιλέξει και το «βήμα» της γωνίας περιστροφής (Βήμα Γωνίας - Angle Step). Η συγκεκριμένη παράμετρος ενημερώνει τον αλγόριθμο τον ρυθμό/βήμα με τον οποίο πρέπει να αυξάνει την γωνία περιστροφής πριν από κάθε επανάληψη. Αυτό σημαίνει ότι αν έχουμε την παράμετρο «Βήμα Γωνίας (Angle Step)» ορισμένη στις «5°» και την παράμετρο «Γωνία Περιστροφής (Rotation Angle)» στις «15°», η διαδικασία αναγνώρισης θα συσχετίσει την εικόνα του νομίσματος στραμμένη κατά 0°, ±5°, ±10° και ±15° μοίρες σε σχέση με την πρότυπη εικόνα. Όσο μικρότερη είναι αυτή η παράμετρος τόσο μεγαλύτερη θα είναι η απόδοση αλλά θα προκαλέσει περισσότερες επαναλήψεις της διαδικασίας συσχέτισης, αυξάνοντας έτσι τον συνολικό χρόνο που χρειάζεται η διαδικασία.

3.2.5. Μετατόπιση

Η εικόνα προς αναγνώριση, δίνεται ως είσοδος από τον χρήστη. Ο τρόπος με τον οποίον ο χρήστης λαμβάνει τις εικόνες, είναι φωτογραφίζοντας ένα νόμισμα με το κινητό τηλέφωνο. Επειδή είναι αρκετά δύσκολο ο χρήστης να κεντράρει τέλεια το νόμισμα κατά την διαδικασία της λήψης της φωτογραφίας, μια ακόμα παράμετρος έπρεπε να εισαχθεί. Αυτή η παράμετρος είναι η «Μετατόπιση (Padding)», η οποία ορίζει τη μέγιστη δυνατή απόσταση που πιθανόν αποτελεί το κέντρο πραγματικό κέντρο του νομίσματος. Έτσι ο αλγόριθμος σε κάθε του επανάληψη, θα μετατοπίσει την εικόνα πριν ελέγξει, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα το νόμισμα να μην είναι σωστά κεντραρισμένο μέσα στην φωτογραφία. Για μια τιμή «Μετατόπισης (Padding)» «20» κάθε δείγμα θα συσχετιστεί με ένα πλακίδιο μεγαλωμένο κατά 20 εικονοστοιχεία σε όλες τις κατευθύνσεις.



Σχήμα 3.13 - Μετατόπιση - Πλακίδιο Δείγμα (Πράσινο) και Πλακίδιο Συσχέτισης (Κόκκινο)

3.2.6. Ακρίβεια

Η παράμετρος «Ακρίβεια (Accuracy)» αποτελεί μια παράμετρο η οποία χρησιμοποιείται για να επιταχύνει την διαδικασία αναγνώρισης. Κάθε πλακίδιο της εικόνας εισόδου, ελέγχεται όλα τα πλακίδια της κάθε εικόνας πρότυπο. Έτσι, μετά το έλεγχο ενός πλακιδίου της εικόνας εισόδου με ένα πλακίδιο μιας εικόνας προτύπου παίρνουμε ως

αποτέλεσμα της συσχέτισης έναν αριθμό. Η παράμετρος «Ακρίβεια (Accuracy)» αποτελεί ουσιαστικά ένα κατώφλι (threshold) με βάση το οποίο απορρίπτουμε εξ' αρχής ένα πλακίδιο, με βάση την τιμή που πήραμε από την συσχέτιση.

Έτσι, η παράμετρος «Ακρίβεια (Accuracy)» ορίζει την τιμή της ομοιότητας που πρέπει να επιτυγχάνεται από ένα πρότυπο για να προκριθεί στην επόμενη συσχέτιση πλακιδίων.

3.3. Διαδικασία Αναγνώρισης

Εφόσον εξηγήσαμε τις παραμέτρους της διαδικασίας αναγνώρισης μπορούμε τώρα να εξηγήσουμε την διαδικασία αναγνώρισης νομισμάτων χρησιμοποιώντας τον «Αλγόριθμο Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης».

Αρχικά, εκτελείται μια διαδικασία προεπεξεργασίας στην εικόνα που ο χρήστης δίνει ως είσοδο. Ο χρήστης μπορεί να λάβει την εικόνα του νομίσματος χρησιμοποιώντας την κάμερα της συσκευής ή να επιλέξει μια εικόνα από τις ήδη αποθηκευμένες στη συσκευή. Η ποιότητα της εικόνας είναι κατά κύριο λόγο ευθύνη του χρήστη. Επίσης ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί την εικόνα πριν την δώσει ως είσοδο στο πρόγραμμα. Αφού εισάγει ο χρήστης την προς αναγνώριση εικόνα, η εφαρμογή αλλάζει την διάσταση της εικόνας ώστε να ταιριάζει με την διάσταση των πρότυπων εικόνων και την μετατρέπει σε ασπρόμαυρη χρησιμοποιώντας 8bit πληροφορίας για κάθε εικονοστοιχείο. Μετέπειτα αρχίζει ο αλγόριθμος ΔΚΕ ο οποίος χωρίζεται στα εξής βήματα:

1. Η εφαρμογή προσπαθεί να ταυτοποιήσει την εικόνα με μια τοπική στρατηγική συσχέτισης. Συγκεκριμένα, χωρίζει τις δύο εικόνες (είσοδο και πρότυπο) σε πλακίδια για να υπολογίζει την συσχέτιση μεταξύ τους. Το μέγεθος των πλακιδίων, όπως προαναφέρθηκε, ορίζεται από τα πλακίδια των πρότυπων εικόνων και από την παράμετρο της μετατόπισης.
2. Τα πρώτα πλακίδια για τα οποία εκτελείται ο υπολογισμός είναι πάντα τα κύρια πλακίδια (Τα πλακίδια στο κέντρο της κάθε εικόνας).
3. Αφότου τα κύρια πλακίδια των προτύπων συσχετιστούν με το αντίστοιχο πλακίδιο του νομίσματος, η εικόνα του νομίσματος περιστρέφεται κατά μία γωνία ίση με την γωνία της παραμέτρου «Βήμα Γωνίας (Angle Step)» και η προηγούμενη διαδικασία (βήμα 2) επαναλαμβάνεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα βήματα γωνίας μέχρις ότου να φτάσουμε την μέγιστη «Γωνία Περιστροφής».
4. Μετά το πέρας του προηγούμενου βήματος, όλα τα κύρια πλακίδια έχουν χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση του νομίσματος, ξεπερνώντας τις αναντιστοιχίες μετατόπισης και περιστροφής. Σε αυτό το στάδιο η εφαρμογή χρησιμοποιεί τις μεγαλύτερες τιμές συσχέτισης που προέκυψαν σε κάθε πρότυπο (ανεξάρτητα από την περιστροφή και την μετατόπιση) για να απορρίψει τις ελάχιστες τιμές και να κρατήσει τις μέγιστες. Τα πρότυπα που θα χρησιμοποιηθούν στο επόμενο στάδιο είναι αυτά που

είχαν υψηλότερα αποτελέσματα συσχέτισης από την παράμετρο «Ακρίβεια (Accuracy)».

5. Τα προηγούμενα στάδια (2-4) επαναλαμβάνονται για τα υπόλοιπα πλακίδια με την ιεραρχία που φαίνεται στο Σχήμα 3.14. Η διαδικασία της συσχέτισης συνεχίζεται έως ότου ένα μόνο πρότυπο είναι μεγαλύτερο από την «Ακρίβεια (Accuracy)» ή έως ότου όλα τα πρότυπα έχουν χρησιμοποιηθεί. Στην δεύτερη περίπτωση το πρότυπο με την υψηλότερη μέση τιμή συσχέτισης ορίζεται σαν εκείνο που ταιριάζει.



Σχήμα 3.14 - Ιεραρχία Χρήσης Δειγμάτων

Όπως εξηγήθηκε η διαδικασία αναγνώρισης καταλήγει σε ένα αποτέλεσμα ελέγχοντας τμηματικά τις εικόνες και απορρίπτοντας εικόνες πρότυπα με χαμηλή συσχέτιση κατά την διαδικασία. Παρακάτω περιγράφεται με εικόνες η προαναφερθείσα διαδικασία.

3.3.1. Στάδιο Προεπεξεργασίας Δειγμάτων

Επιλογή Εικόνας από την Βιβλιοθήκη
Φωτογραφιών



Λήψη Εικόνας με την Κάμερα



Χειροκίνητη η Αυτόματη Περικοπή Εικόνας στο
μέγεθος κάδρου του νομίσματος



Προσαρμογή διαστάσεων εικόνας σύμφωνα με την ρύθμιση εικόνας «Μέγεθος Προτύπου (Template Size)» (αρχική ρύθμιση 140x140 εικονοστοιχεία)



Μετατροπή εικόνας σε ασπρόμαυρο φορμάτ

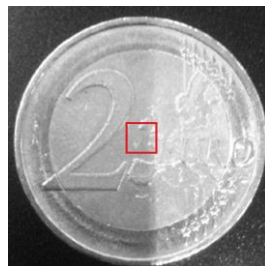


Σχήμα 3.15 - Στάδιο Προεπεξεργασίας Δειγμάτων

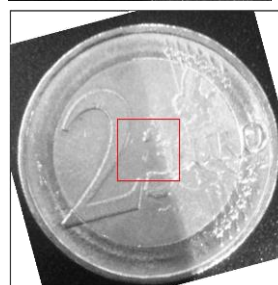
Στην ενότητα αυτή φαίνεται βήμα-βήμα και με τις σχετικές εικόνες (βλ. Σχήμα 3.15) η προεπεξεργασία των δειγμάτων.

3.3.2. Στάδιο Συσχέτισης

Από το Πλακίδιο 1 έως το N (σύμφωνα με την επιλογή «Βάθος (Depth)»)

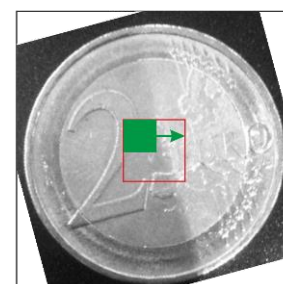


Από «Γωνία (Angle)» έως «Γωνία (Angle)» με βήμα «Βήμα Γωνίας (Angle Step)»

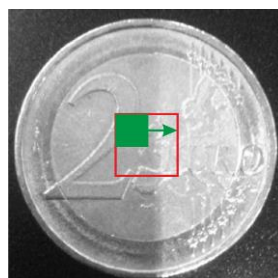


1. περιστροφή εικόνας σε μοίρες Γωνίας
2. περικοπή εικόνας στο πλακίδιο N με μετατόπιση

3. συσχέτιση τεμαχισμένου πλακιδίου εικόνας με το αντίστοιχο πλακίδιο του νομίσματος



Επανάληψη σταδίων 1 έως 3



4. Στάδιο Επιλογής

1. Εύρεση του νομίσματος με την μέγιστη συσχέτιση
2. Απόρριψη νομισμάτων με συσχέτιση μικρότερη από \maxCorrelation^* «Ακρίβεια (Accuracy)» από την λίστα
3. Εάν μόνο ένα νόμισμα έχει απομείνει στην λίστα πήγαινε στο Στάδιο Αναγνώρισης διαφορετικά επανέλαβε το στάδιο Συσχέτισης για το επόμενο πλακίδιο

Σχήμα 3.16 - Στάδιο Συσχέτισης Δειγμάτων

Στην ενότητα αυτή φαίνεται βήμα-βήμα και με τις σχετικές εικόνες (βλ. Σχήμα 3.16) η συσχέτιση των δειγμάτων.

3.3.3. Στάδιο Αναγνώρισης

- Εάν μόνο ένα νόμισμα έχει απομείνει μετά το Στάδιο Επιλογής τότε αυτό είναι το αναγνωρισμένο νόμισμα
- Εάν περισσότερα από ένα νομίσματα παραμένουν στην σειρά τότε επέλεξε εκείνο που έχει την μέγιστη μέση τιμή συσχέτισης



Σχήμα 3.17 - Στάδιο Διαδικασίας Αναγνώρισης Εικόνας

Στην ενότητα αυτή φαίνεται βήμα-βήμα και με τις σχετικές εικόνες (βλ. Σχήμα 3.17) η αναγνώριση της εικόνας.

3.4. Σύνοψη

Το παρόν κεφάλαιο δείχνει λειτουργικά τα στάδια της αναγνώρισης, και κυρίως τον τρόπο με τον οποίο η μοντελοποίηση με Matlab μας επέτρεψε να καθορίσουμε τα αλγοριθμικά χαρακτηριστικά του τρόπου επεξεργασίας των εικόνων. Στα επόμενα κεφάλαια θα δούμε το ίδιο θέμα αλλά από πλευράς ενός συστήματος λογισμικού – μίας εφαρμογής Android που υλοποιεί την παραπάνω λειτουργικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. Εφαρμογή ANDROID

Το παρόν κεφάλαιο εξηγεί τις τεχνικές λεπτομέρειες οι οποίες σχετίζονται με την υλοποίηση της τεχνικής αναγνώρισης κανονικοποιημένης ετεροσυσχέτισης για Android. Ένας από τους βασικούς στόχους για την υλοποίηση της εφαρμογής ήταν η ευχρηστία της γραφικής διεπαφής. Έτσι η εφαρμογή αναπτύχθηκε ώστε να προσφέρει στον χρήστη την δυνατότητα να αναγνωρίσει ένα νόμισμα, απλά φωτογραφίζοντας το ή επιλέγοντας το από τις εικόνες που βρίσκονται αποθηκευμένες στη συσκευή του. Ο αλγόριθμος αναγνωρίζει το νόμισμα, προσπαθώντας να το ταιριάξει με ένα σύνολο προαποθηκευμένων φωτογραφιών νομισμάτων, τα οποία έχει ήδη συμπεριλάβει στη βάση δεδομένων της η εφαρμογή. Η εφαρμογή, έχοντας προεπεξεργαστεί τις εικόνες των νομισμάτων που έχει αποθηκευμένες, έχει εξάγει και αποθηκεύσει κάποια δείγματα/κομμάτια από τις εικόνες, και προσπαθεί να βρει ποια από αυτά συναντώνται στην εικόνα-είσοδο. Για την αναζήτηση των δειγμάτων και το ταίριασμα τους, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος κανονικοποιημένης ετεροσυσχέτισης. Τα αποτελέσματα της συσχέτισης αυτής ταξιθετούνται και τα υψηλότερα από αυτά αποτελούν τα υποψήφια νομίσματα στα οποία μπορεί να ανήκει η εικόνα είσοδος.

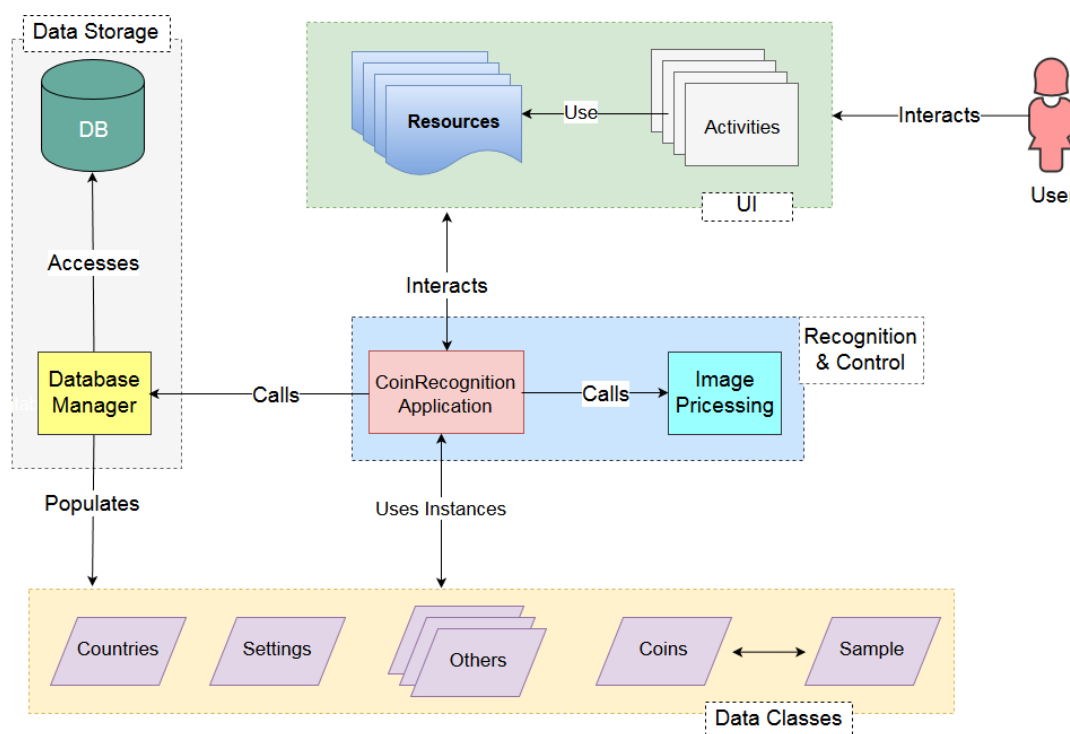
Η συγκεκριμένη εφαρμογή αναπτύχθηκε κυρίως για πειραματικούς σκοπούς και έτσι διατίθεται με την *βάση δεδομένων* της «ανοιχτή», ώστε οι εικόνες πρότυπα να μπορούν να τροποποιούνται όπως θέλει ο χρήστης. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης είναι ελεύθερος να προσθέσει ή να αφαιρέσει νομίσματα και τα δείγματά τους από την βάση. Ο χρήστης μπορεί να προσθέσει τα δικά του δείγματα εικόνες και να πειραματιστεί ο ίδιος. Η εφαρμογή είναι επίσης σχεδιασμένη για να χρησιμοποιείται για κάθε είδους πειράματα αναγνώρισης εικόνας χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο «κανονικοποιημένης ετεροσυσχέτισης» και δεν περιορίζεται μόνο στην αναγνώριση νομισμάτων.

4.2. Αρχιτεκτονική Εφαρμογής

Η Αρχιτεκτονική της εφαρμογής αποτελεί μια ολοκλήρωση πολλών υποσυστημάτων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με την βάση δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, τα υποσυστήματα είναι τα εξής:

- Υποσύστημα Αποθήκευσης Δεδομένων (Data Storage).
- Υποσύστημα Γραφικής Διεπαφής (UI)
- Υποσύστημα Αναγνώρισης και Διαχείρισης (Recognition & Control)
- Υποσύστημα Κλάσεων Δεδομένων (Data Classes).

Μία συνοπτική (πιο υψηλού επιπέδου) περιγραφή της αρχιτεκτονικής παρουσιάζει το Σχήμα 4.1. Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν περιγράφεται το κάθε είδος κλάσης και εξηγείται ο σκοπός και η χρησιμοποίηση της.



Σχήμα 4.1. Η Αρχιτεκτονική της εφαρμογής

4.3. Υποσύστημα Αποθήκευσης Δεδομένων (Data Storage)

Το παρόν υποσύστημα χρησιμεύει για την αποθήκευση, την ανάκτηση/φόρτωση και την αλλαγή των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα μόνιμα στην εφαρμογή. Καταρχήν υπάρχει μια βάση δεδομένων (DB στο σχήμα) η οποία αποθηκεύει όλα τα δεδομένα σε μορφή .dat αρχεία. Αυτή η βάση δεδομένων διαχειρίζεται από την κλάση *Database Manager*. Αυτή η κλάση έχει την δυνατότητα να φορτώνει, να αλλάζει και να αποθηκεύει τα δεδομένα από και προς τη βάση.

Τα δεδομένα που ανακτά η *Database Manager* φορτώνονται στο υποσύστημα των κλάσεων δεδομένων, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετέπειτα από την java.

4.4. Υποσύστημα Κλάσεων Δεδομένων (Data Classes)

Οι κλάσεις δεδομένων αποτελούν κλάσεις με βασική λειτουργικότητα που χρησιμεύουν κυρίως ως κλάσεις αποθήκευσης. Παραδείγματος χάρη, η κλάση *Coins* περιέχει όλες τις μεταβλητές που χρειάζεται να «γνωρίζει» η εφαρμογή για ένα νόμισμα (π.χ. όνομα, χώρα, εικόνα). Ουσιαστικά αποτελεί την περιγραφή που αποτελεί ένα νόμισμα, πάντα όσο αναφορά την εφαρμογή. Έτσι για κάθε νόμισμα που υπάρχει στην βάση δεδομένων, δημιουργείται ένα στιγμιότυπο της κλάσης *Coin*. Το ίδιο συμβαίνει και τις κλάσεις *Countries* και *Settings*, οι οποίες αποθηκεύουν τις χώρες με τις οποίες σχετίζονται τα νομίσματα και τις ρυθμίσεις της εφαρμογής. Αυτές οι κλάσεις παρουσιάζονται με μωβ παραλληλόγραμμα στο Σχήμα 16.

4.5. Κλάση Coin

Ο βασικός «τύπος» δεδομένων που χειρίζεται της εφαρμογής είναι το Νόμισμα (Coin). Η κλάση Coin αποτελεί μια κλάση η οποία περιγράφει το τι αποτελεί ένα νόμισμα. Πιο συγκεκριμένα η Coin περιέχει τις παρακάτω μεταβλητές, για να περιγράψει ένα νόμισμα:

```
private String name;
private String country;
private Bitmap image;
private Bitmap templateImage;
private Bitmap icon;
private ArrayList<Sample> samples;
private boolean isActive;
```

Όλες οι μεταβλητές είναι private και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο μέσω των getter και setter συναρτήσεων τους (οι οποίες έχουν **public** εμβέλεια).

Οι μεταβλητές **name** και **country** δηλώνουν το όνομα και την χώρα στην οποία ανήκει το νόμισμα και είναι τύπου *συμβολοσειρά* (String). Η μεταβλητή **image** αποθηκεύει την αρχική –ανεπεξεργαστη– εικόνα του νομίσματος και είναι τύπου Bitmap. Η μεταβλητή **templateImage** αποθηκεύει την εικόνα του νομίσματος επεξεργασμένη και έτοιμη για να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή των προτύπων· είναι επίσης τύπου Bitmap. Η μεταβλητή **icon** είναι τύπου Bitmap και αποθηκεύει το εικονίδιο του νομίσματος που θα εμφανίζεται στην διεπαφή της εφαρμογής. Η μεταβλητή **isActive** είναι μια βοηθητική μεταβλητή που μας αποθηκεύει true ή false, ανάλογα με το αν το συγκεκριμένο νόμισμα είναι ενεργό για την εφαρμογή.

Τέλος, η μεταβλητή **samples** αποτελεί μια δομή δεδομένων και πιο συγκεκριμένα μια λίστα (ArrayList<Sample>). Σε αυτή την λίστα αποθηκεύονται όλα τα πρότυπα τα οποία έχουν εξαχθεί/δημιουργηθεί για αυτό εν λόγω νόμισμα.

4.6. Κλάση Coin Samples

Η κλάση *Coin Samples* αποθηκεύει ένα πρότυπο/δείγμα από μια συγκεκριμένη υποεικόνα του νομίσματος. Η συνάρτηση που κατασκευάζει το δείγμα (Constructor) υπολογίζει με βάση το συγκεκριμένο δείγμα και κάποιες στατιστικές μεταβλητές που χρησιμεύουν αργότερα στην ταυτοποίηση.

Οι μεταβλητές που περιγράφουν ένα Sample, είναι οι εξής:

```
private Bitmap sampleImage;  
private int width;  
private int height;  
private Float mean;  
private Float variance;  
private int [] data;  
private int [] eight_bit_data;  
private float[] correlation;  
private int i;  
private int j;
```

Το **sampleImage** είναι η εικόνα του δείγματος (υπο κομμάτι της αρχικής εικόνας). Οι μεταβλητές **width** και **height** αποθηκεύουν πληροφορία για τις διαστάσεις του δείγματος. Οι μεταβλητές **mean** και **variance** αποθηκεύουν τη μέση τιμή και τη διασπορά των τιμών των εικονοστοιχείων. Οι μεταβλητές **i** και **j** αποθηκεύουν την θέση της υποεικόνας στην αρχική εικόνα του νομίσματος.

4.7. Υποσύστημα Γραφικής Διεπαφής (Activities)

Το παρόν υποσύστημα αποτελείται από τις κλάσεις δραστηριοτήτων της διεπαφής και τα βοηθητικά αρχεία (resources στο σχήμα). Σκοπός αυτού του υποσυστήματος είναι να διαχειρίζεται την αλληλεπίδραση του χρήστη με την εφαρμογή.

Οι κλάσεις δραστηριοτήτων είναι οι κλάσεις αυτές οι οποίες διαχειρίζονται την είσοδο από τον χρήστη και παράγουν την έξοδο προς τον χρήστη, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες κλάσεις από την εφαρμογή ή τις συναπτόμενες σε αυτές βιβλιοθήκες. Για την ακρίβεια, κάθε κλάση τρέχει ως ξεχωριστή υπό-εφαρμογή πάνω στην κύρια εφαρμογή. Έτσι, όπως προαναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ακόμα και αν αστοχήσει μια από αυτές η εφαρμογή συνεχίζει να τρέχει.

Αυτές οι κλάσεις είναι η κλάση Main Activity, η οποία εκτελείται πρώτη όταν ξεκινάει η εφαρμογή και αυτή καλεί τις υπόλοιπες κλάσεις δραστηριοτήτων. Στο Σχήμα 16 παρουσιάζονται στην ομάδα “Activities” και αποτελούνται από την “Main Activity” και τις κλάσεις UI.

Το γραφικό περιβάλλον δημιουργείται από τις κλάσεις αυτές με βάση τα βοηθητικά αρχεία των resources (μπλε χρώμα στο Σχήμα 16). Τα αρχεία των resources αποτελούν ένα σύνολο από αρχεία γραφικών (εικόνες, εικονίδια) και αρχεία περιγραφής της γραφικής διεπαφής. Τα τελευταία, είναι ουσιαστικά αρχεία .xml τα οποία καθοδηγούν την εφαρμογή στο πως θα δημιουργήσει το γραφικό περιβάλλον – κάτι σαν τα .html για τις ιστοσελίδες.

Επίσης οι εν λόγω κλάσεις χειρίζονται την είσοδο του χρήστη και παράγουν τις εξόδους προς τον χρήστη.

4.8. Υποσύστημα Αναγνώρισης και Διαχείρισης (Recognition & Control)

Αυτό το υποσύστημα αποτελεί τον πυρήνα της εφαρμογής διότι περιέχει την κλάση διαχειριστή (Coin Recognition Application) και την κλάση Image Processing που περιέχει τον αλγόριθμο δισδιάστατης κανονικοποιημένης ετεροσυσχέτισης.

Αυτές οι κλάσεις είναι ουσιαστικά δύο αλληλοεξαρτώμενες κλάσεις: η κλάση Image processing (γαλάζιο στο σχήμα) που περιέχει τον αλγόριθμο καθ' εαυτό, και η κλάση Coin Recognition Application (κίτρινο στο σχήμα) που εκτελεί καθήκοντα διαχειριστή και διαμεσολαβητή μεταξύ του αλγορίθμου και των υπολοίπων κλάσεων (δεδομένων και δραστηριοτήτων). Οι δύο αυτές κλάσεις θα επεξηγηθούν ξεχωριστά στα παρακάτω δύο υπο κεφάλαια.

4.8.1. Coin Recognition Application

Η κλάση Coin Recognition Application (=Αναγνώριση Νομισμάτων) χρησιμοποιείται για την φόρτωση από την βάση δεδομένων, την προ επεξεργασία, την διαχείριση των νομισμάτων (σύγκριση μέσω της κλάσης Image Processing) αλλά και άλλες διαχειριστικές δραστηριότητες όπως η φόρτωση και αποθήκευση των ρυθμίσεων και η επικοινωνία με τις κλάσεις των δραστηριοτήτων της διεπαφής. Αποτελεί ουσιαστικά τον πυρήνα της εφαρμογής που συντονίζει και διαχειρίζεται τα περισσότερα υποσυστήματα, όπως φαίνεται καθαρά στο Σχήμα 16 όπου είναι στο κέντρο και συνδέεται με όλα τα υποσυστήματα.

Η Coin Recognition Application, περιέχει τρεις δομές δεδομένων οι οποίες ομαδοποιούν κι αποθηκεύουν στιγμιότυπα από τις κλάσεις του υποσυστήματος Data Classes. Οι τρεις αυτές δομές είναι η *Λίστα Χωρών (Country List)*, η *Λίστα Νομισμάτων (Coins List)* και τα *Δεδομένα των Νομισμάτων*. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι τρεις αυτές δομές και το τι δεδομένα ακριβώς περιέχουν:

Λίστα Χωρών (Country List): Είναι η λίστα των χωρών (κατηγορίες) στις οποίες τα νομίσματα (εικόνες) κατηγοριοποιούνται: Είναι απλά μια λίστα πίνακα, αποθηκευμένη στην μνήμη της συσκευής. Η δομή των δεδομένων της φαίνεται στο Σχήμα 4.2.

Δομή Δεδομένων	X	Παράδειγμα	Europe
	ώρα #1		an Union
	X		ΗΠΑ
	ώρα #2		...
	...		

Σχήμα 4.2 - Δομή Δεδομένων «Λίστας Νομισμάτων (Coin List)»

Η Λίστα Νομισμάτων (Coins List): Αποτελεί μια λίστα πίνακα (Arraylist) η οποία χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των νομισμάτων που χρησιμοποιούνται από την εφαρμογή. Οι πληροφορίες που περιέχει είναι το όνομα του νομίσματος, η χώρα στην οποία ανήκει και μια εγγραφή σχετικά με το αν το νόμισμα είναι ενεργό ή όχι. Η δομή δεδομένων αυτού του σετ δεδομένων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.3).

Δομή Δεδομένων	Νόμισμα #1	Όνομα	Παράδειγμα	Νόμισμα #1	1 Ευρώ
		Χώρα			Ευρωπαϊκή Ένωση
		Ενεργό			ΝΑΙ
	Νόμισμα #2	Όνομα		Νόμισμα #2	1 Δολάριο
		Χώρα			ΗΠΑ
		Ενεργό			ΟΧΙ

Σχήμα 4.3 - Βάση Δεδομένων Εφαρμογής - Δομή Δεδομένων «Λίστας Νομισμάτων (Coin List)»

Τα Δεδομένα των Νομισμάτων: Για κάθε νόμισμα, που χρησιμοποιεί η εφαρμογή, υπάρχει ένα αρχείο δεδομένων στη βάση δεδομένων με στοιχεία αυτού το νομίσματος. Τα πεδία/μεταβλητές που καθορίζουν ένα νόμισμα περιγράφονται στην προηγούμενη υποενότητα *Coin* υπό την ενότητα 4.2 *Υποσύστημα Κλάσεων Δεδομένων (Data Classes)*. Στο Σχήμα 4.4 περιέχονται αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με αυτή τη δομή δεδομένων, καθώς και παραδείγματα. Η χρησιμότητα αυτής της κλάσης είναι στο φόρτωμα, την ανανέωση και την αποθήκευση τέτοιου είδους δεδομένων.

Δομή Δεδομένων		
Όνομα		
Χώρα		
Δείγματα (Πίνακας)	Δείγμα #1	Πλάτος
		Ύψος
		Απόκλιση
		Μέση Τιμή
		Δεδομένα
		Συσχέτιση
	Δείγμα #2	...
Εικόνα	Πλάτος	
	Ύψος	
	Δεδομένα Εικόνας	
Εικόνα Πρότυπο	Πλάτος	
	Ύψος	
	Δεδομένα Εικόνας	

Παράδειγμα		
Νόμισμα 1 Ευρώ		
Ευρωπαϊκή Ένωση		
Δείγματα (Πίνακας)	Δείγμα #1	20
		20
		234.67
		146,53
		Πίνακας Εικονοστοιχείων
		Πίνακας (Εικονοστοιχείων – Μέσης Τιμής)
	Δείγμα #2	...
Εικόνα	150	
	150	
	Πίνακας Εικονοστοιχείων	
Εικόνα Πρότυπο	160	
	160	
	Πίνακας Εικονοστοιχείων	

Σχήμα 4.4 - Δομή Δεδομένων «Δεδομένα Νομίσματος (Coin Data)»

Όλα τα δεδομένα που φορτώνονται στις κλάσεις του υποσυστήματος Data Classes (και μετέπειτα στις προαναφερθείσες τρεις δομές δεδομένων) αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων με την μορφή αρχείων .dat .

Τέλος, για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ταχύτητα στον αλγόριθμο αναγνώρισης κάθε φορά που προστίθεται ένα νόμισμα η εφαρμογή υπολογίζει τα βασικά στατιστικά του στοιχείων: τη μέση τιμή, την απόκλιση και τον πίνακά συσχέτισής του (συσχέτιση[i] = τιμή εικονοστοιχείου[i] - μέση τιμή). Επίσης υπολογίζει και αποθηκεύει τα δείγματα (Coin Samples) ώστε να είναι έτοιμα για την αναγνώριση μετέπειτα.

4.8.2. Image Processing

Η κλάση Image Processing (=Επεξεργασία Εικόνας) είναι η κλάση η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο «Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης». Άρα, είναι η κλάση η οποία εκτελεί την αναγνώριση, συγκρίνοντας τα δείγματα.

Επιπροσθέτως περιέχει μια σειρά από χρήσιμες συναρτήσεις για την περικοπή, την αλλαγή διαστάσεων, την περιστροφή, την μετατροπή των RGB έγχρωμων εικόνων σε μορφή βαθμίδων του γκρι και την μετατροπή των εικόνων από 24 ή 32 bit ανά εικονοστοιχείο σε 8 bit ανά εικονοστοιχείο. Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για την μετατροπή των έγχρωμων εικόνων σε μορφή βαθμίδων του γκρι είναι η παρακάτω:

$$RGB_to_Grey(i,j) = \frac{Red(i,j) + Green(i,j) + Blue(i,j)}{3}$$

Όπου $Red(i,j)$, $Green(i,j)$, $Blue(i,j)$ είναι οι τιμές για το κόκκινο το πράσινο και το μπλε στο εικονοστοιχείο (i,j) . Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι τιμή για το κάθε χρώμα (στο μοντέλο κωδικοποίησης χρωμάτων RGB) κυμαίνονται από 0 έως 255.

Η διαδικασία αναγνώρισης περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου «Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης» που χρησιμοποιείται από αυτή την κλάση για την αναγνώριση ενός πλακιδίου (κομμάτι μιας εικόνας).

Πίνακας 4.1 - Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου «Κανονικοποιημένης Ετεροσυσχέτισης» που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση ενός πλακιδίου

<code>Initialise Image image_tile</code>	Ένα πλακίδιο του νομίσματος που πρέπει να αναγνωριστεί
<code>Initialise List samples_List</code>	Λίστα όλων των πλακιδίων (που βρίσκονται στις ίδιες συντεταγμένες) από όλα τα νομίσματα που είναι αποθηκευμένα στην εφαρμογή.
<pre>foreach (pixel in image_tile) { pixel.tile_mean += pixel.value } tile_mean /= image_tile.size</pre>	$M = \frac{\sum_{i=0}^{i=N} x_i}{N}$
<pre>foreach (pixel in image_tile) { pixel.correlation = pixel.value - tile_mean image_tile.deviance += pixel.correlation * pixel.correlation }</pre>	$C_i = (x_i - M)$ $\sigma^2 = \sum_{i=0}^{i=N} (\chi_i - M)^2 = C^2$
<pre>foreach (sample in sample_list) { foreach (pixel in image_tile) { sample.NCC += pixel.correlation * sample.correlation } sample.NCC /= sqrt(image_tile.deviance * sample.deviance) sample.NCC = (1 + sample.NCC) * 50 }</pre>	$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{i=N} (\chi_i - M)^2 = C^2$ $NCC = \frac{\sum_{i=0}^{i=N} C_{i^{tile}} \square C_{i^{sample}}}{\sqrt{\sigma_{tile}^2 \square \sigma_{sample}^2}}$

4.9. Λειτουργικότητα και Γραφικό Περιβάλλον της Εφαρμογής

4.9.1. Σενάρια χρήσης (Use Cases)

Στην παρούσα ενότητα παραθέτουμε διάφορα ενδεικτικά σενάρια χρήσης. Η λειτουργικότητα της εφαρμογής μπορεί να συνοψιστεί στα εξής σενάρια:

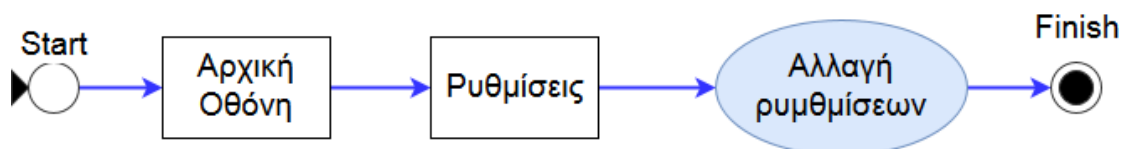
1. Αλλαγή βασικών ρυθμίσεων
2. Ενεργοποίηση/ Απενεργοποίηση νομίσματος
3. Αλλαγή ρυθμίσεων χώρας
4. Διαγραφή νομίσματος
5. Αλλαγή εικόνας νομίσματος
6. Εισαγωγή προτύπου σε εικόνα
7. Προβολή λεπτομερειών προτύπου
8. Αλλαγή λεπτομερειών νομίσματος
9. Προβολή λίστας νομισμάτων
10. Προβολή λίστας χωρών
11. Προβολή ρυθμίσεων
12. Λήψη φωτογραφίας
13. Αναγνώριση Νομίσματος
14. Φόρτωση αρχικών ρυθμίσεων
15. Αποθήκευση νομισμάτων
16. Φόρτωση Αποθηκευμένων νομισμάτων

Παρακάτω, για κάθε σενάριο χρήσης θα παρουσιαστεί αναλυτικά τα βήματα εκτέλεσης του (διαγράμματα πλοήγησης) και μερικά στιγμιότυπα(screenshots) από το γραφικό περιβάλλον. Η γενική διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 4.5.

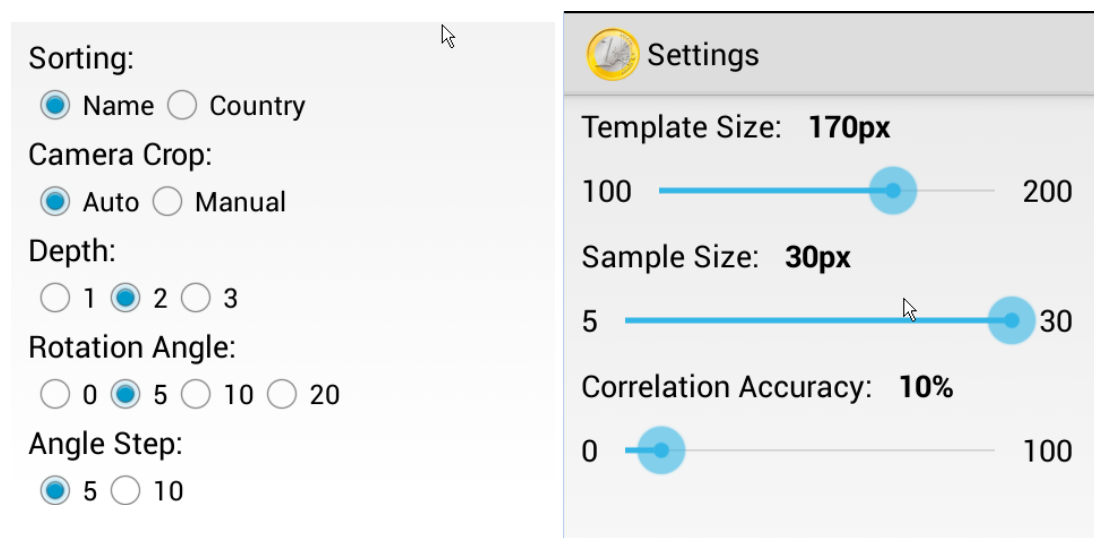
Σημειώνεται ότι με άσπρο ορθογώνιο παρουσιάζονται οι «σελίδες/οθόνες» της εφαρμογής, με κύκλους η αρχή και το τέλος του σεναρίου, με γαλάζια έλλειψη οι ενέργειες του χρήστη, και τα βέλη υποδηλώνουν τις μεταβάσεις από μια οθόνη σε μια άλλη (μέσω κουμπιών που πατάει ο χρήστης).

4.9.2. Αλλαγή βασικών ρυθμίσεων

Σε αυτό το σενάριο χρήσης, ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τις ρυθμίσεις που αφορούν τις παραμέτρους της διαδικασίας αναγνώρισης (π.χ. Μέγεθος παραθύρου ή γωνία περιστροφής), τις παραμέτρους που αφορούν την ταξινόμηση των νομισμάτων στο σύστημα (με βάση όνομα ή χώρα), βλ. Σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.5 - Το σενάριο Αλλαγή βασικών ρυθμίσεων



Σχήμα 4.6 - Η οθόνη των βασικών ρυθμίσεων, χωρισμένη σε δύο κομμάτια (γιατί χρειαζόταν scrolling για να παρθούν όλα τα πεδία της στο screenshot)

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε συνοπτικά το τι σημαίνουν οι ρυθμίσεις που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.6, παραπάνω, και αυτό γιατί αποτελούν τις παραμέτρους της αναγνώρισης που αναφέραμε στο 1^ο κεφάλαιο.

Περικοπή Κάμερας (Camera Crop): Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει εάν θα επεξεργαστεί ο ίδιος τις εικόνες που λαμβάνει ή θα το κάνει η εφαρμογή. Όταν η επιλογή «Αυτόματο (Auto)» είναι επιλεγμένη ένας κύκλος χρυσού χρώματος καθοδηγεί τον χρήστη στο να λάβει την εικόνα του νομίσματος εντός του . Εάν η επιλογή «Χειροκίνητα (Manual)» είναι επιλεγμένη το μενού επεξεργασίας εικόνας θα εμφανίζεται αμέσως μετά την λήψη της εικόνας.

Βάθος (Depth): Αυτή η επιλογή καθορίζει το βάθος των δειγμάτων. Ένα βάθος τιμής «1» σημαίνει ότι μόνο το δείγμα από το κέντρο του νομίσματος θα χρησιμοποιηθεί για την συσχέτιση. Μια τιμή «2» σημαίνει ότι όλες οι περιοχές μεγέθους δείγματος που γειτνιάζουν με το κεντρικό δείγμα μπορούν επίσης να διατεθούν για την συσχέτιση αν αυτό είναι αναγκαίο.

Γωνία Περιστροφής (Rotation Angle): όταν μια εικόνα λαμβάνεται είναι προφανές ότι μπορεί να υπάρχουν αναντιστοιχίες περιστροφής. Η επιλογή «Έλεγχος Γωνίας (Angle Check)» ορίζει την τιμή της γωνίας περιστροφής που ο χρήστης επιθυμεί να ελέγξει η

εφαρμογή. Εάν για παράδειγμα η επιλογή 10ο μοιρών επιλεγεί, η εφαρμογή θα συσχετίσει επίσης τις εικόνες των νομισμάτων με τα πρότυπα των νομισμάτων με περιστροφή τουλάχιστον ± 10 ο μοιρών.

Βήμα Γωνίας (Angle Step): Η επιλογή βήματος γωνίας ορίζει το βήμα περιστροφής μέχρι και το όριο του «Ελέγχου Γωνίας». Έτσι, εάν για παράδειγμα ο χρήστης βάλει το «Βήμα Γωνίας» στην επιλογή «5» και τον «Έλεγχο Γωνίας» στην επιλογή «20», η εικόνα του νομίσματος θα συσχετιστεί με τα πρότυπα των νομισμάτων με περιστροφή 0 ο, ± 5 ο, ± 10 ο, ± 15 ο και ± 20 ο μοίρες.

Μετατόπιση (Padding): Μία ακόμα αναντιστοιχία η οποία είναι σίγουρο ότι θα προκύψει είναι η ολίσθηση του νομίσματος από το κέντρο της εικόνας. Η επιλογή «Μετατόπιση (Padding)» ορίζει την ακτίνα αυτής της πιθανής αναντιστοιχίας γύρω από το κέντρο της εικόνας. Εάν για παράδειγμα επιλεγεί η τιμή «10» για αυτήν την επιλογή, η εφαρμογή θα συσχετίσει κάθε δείγμα ενός προτύπου σε μια περιοχή μεγαλύτερη κατά 10 εικονοστοιχεία προς κάθε διεύθυνση.

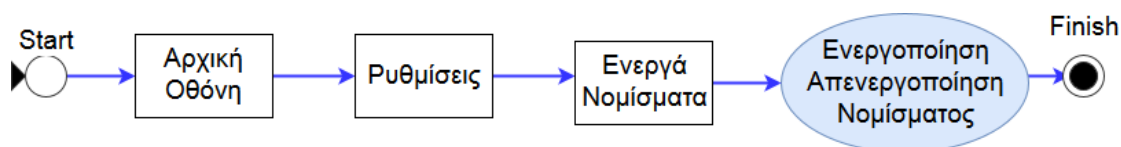
Μέγεθος Προτύπου (Template Size): Η επιλογή αυτή ορίζει το μέγεθος της εικόνας προτύπου που θα χρησιμοποιηθεί για την συσχέτιση

Μέγεθος Δείγματος (Sample Size): Αυτή η επιλογή έχει ακριβώς την ίδια λειτουργικότητα με την προηγούμενη, ορίζοντας αυτήν την φορά το μέγεθος της εικόνας δείγματος. Είναι φυσικά εύκολα κατανοητό ότι το Μέγεθος Δείγματος πολλαπλασιασμένο με το Βάθος δεν μπορεί να ξεπερνά το Μέγεθος Προτύπου

Ακρίβεια (Accuracy): Αυτή είναι η παράμετρος που ορίζει την ελάχιστη ποσοστιαία διαφορά από το αποτέλεσμα του νομίσματος με την μέγιστη συσχέτιση που θα πρέπει να επιτύχουν τα υπόλοιπα νομίσματα για να προκριθούν στην επόμενη συσχέτιση πλακιδίων (Κεφάλαιο «Στάδιο Επιλογής»). Εάν για παράδειγμα η παράμετρος «Ακρίβεια» οριστεί ως 80 όλα τα νομίσματα που θα επιτύχουν τιμή συσχέτισης μεγαλύτερη από το 80% της μέγιστης θα συσχετιστούν με το επόμενο πλακίδιο. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα νομίσματα τα οποία έχουν επιτύχει αποτέλεσμα συσχέτισης μικρότερο του 80% δεν θα χρησιμοποιηθούν στο επόμενο στάδιο. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η παράμετρος, τόσο πιο πολλά νομίσματα δεν θα περνάνε στην επόμενη συσχέτιση πλακιδίου. Αυτό θα κάνει την διαδικασία ταχύτερη. Από την άλλη πλευρά μια πολύ υψηλή τιμή «Ακρίβειας» μπορεί να οδηγήσει σε μη ακριβή αποτελέσματα.

4.9.3. Ενεργοποίηση/ Απενεργοποίηση νομίσματος

Μέσω της παρακάτω αλληλουχίας ενεργειών και οθονών ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει ένα ή πολλά νομίσματα, και έτσι αυτά να ή να μην συμπεριληφθούν στην διαδικασία της αναγνώρισης.



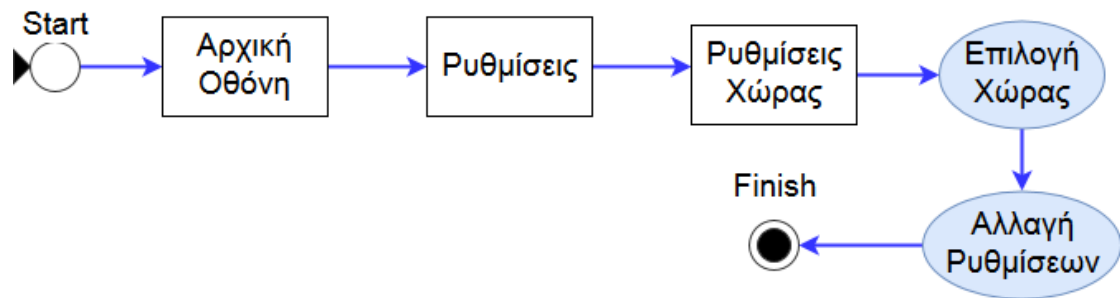
Σχήμα 4.7 - Σενάριο χρήσης Ενεργοποίηση/ Απενεργοποίηση νομίσματος



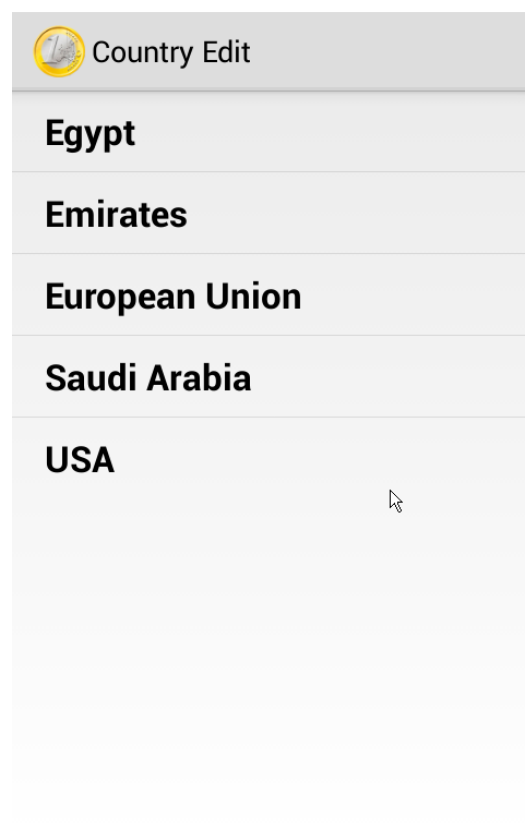
Σχήμα 4.8 - Η οθόνη της διεπαφής με τα ενεργοποιημένα (Μπλε 'ON') και τα απενεργοποιημένα νομίσματα (Γκρι 'OFF')

4.9.4. Αλλαγή ρυθμίσεων χώρας

Κατά το σενάριο χρήσης αυτό (βλ. Σχήματα 4.9 και 4.10), ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τις ρυθμίσεις μιας συγκεκριμένης χώρας (ουσιαστικά μόνο το όνομα της χώρας στην οποία ανήκουν ένα ή περισσότερα νομίσματα).



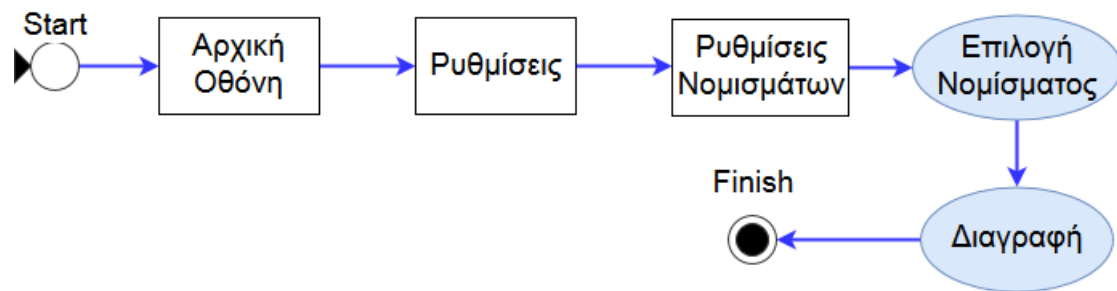
Σχήμα 4.9 - Το σενάριο χρήσης για την αλλαγή των ρυθμίσεων μιας χώρας



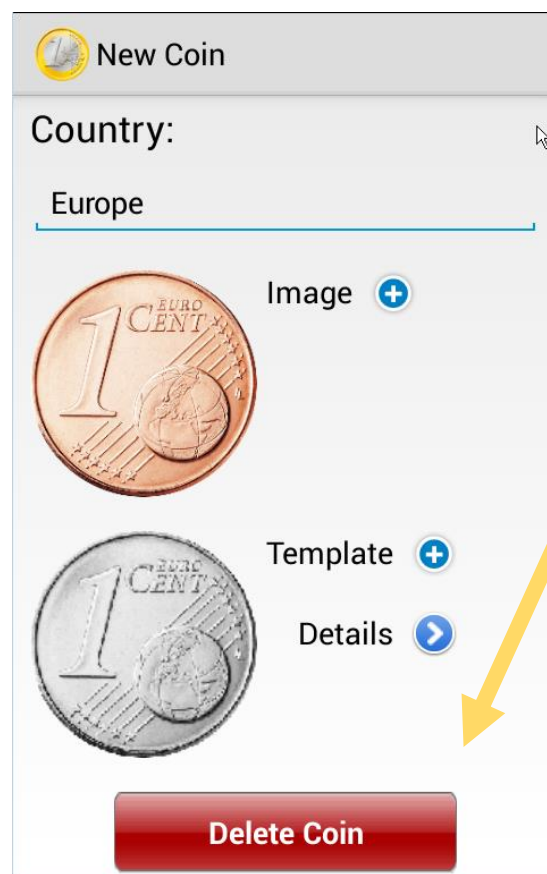
Σχήμα 4.10 - Η οθόνη για την αλλαγή ρυθμίσεων μιας χώρας

4.9.5. Διαγραφή νομίσματος

Το παρόν σενάριο χρήσης επιτρέπει στον χρήστη να διαγραφεί ένα νόμισμα. Ο χρήστης πρέπει πρώτα να πλοηγηθεί στην λίστα με τα νομίσματα, να επιλέξει το συγκεκριμένο νόμισμα, και μετέπειτα να επιλέξει την διαγραφή του (Σχήματα 4.11 και 4.12).



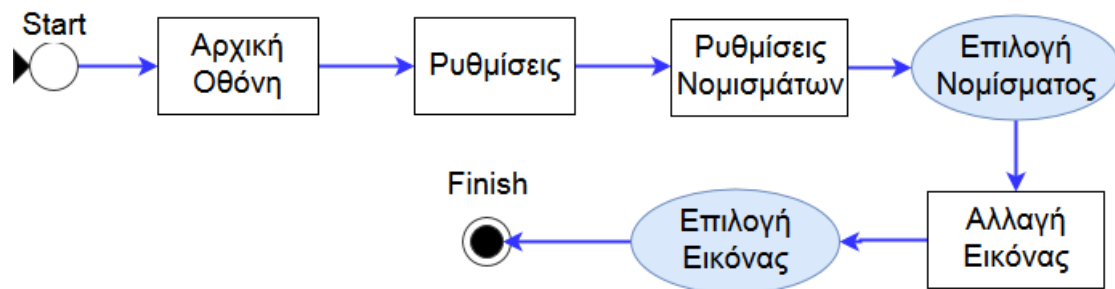
Σχήμα 4.11 Τα βήματα για την διαγραφή ενός νομίσματος



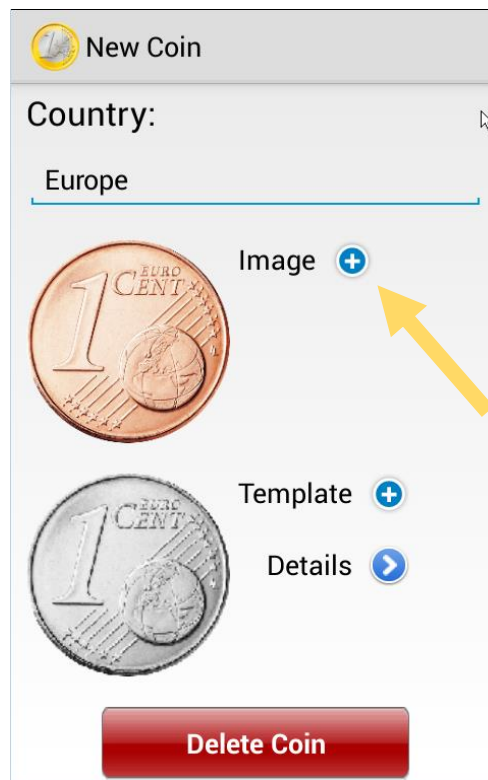
Σχήμα 4.12 - Η οθόνη του νομίσματος, στο κάτω μέρος της οποίας παρατηρείται το κουμπί διαγραφής (κίτρινο βέλος)

4.9.6. Αλλαγή εικόνας νομίσματος

Μέσω αυτού του σεναρίου ο χρήστης μπορεί να αλλάξει την εικόνα του νομίσματος. Αφού πλοηγηθεί ο χρήστης στο συγκεκριμένο νόμισμα (μέσω της λίστας νομισμάτων) και το επιλέξει, μετά πατάει αλλαγή εικόνας και διαλέγει την εικόνα από τις αποθηκευμένες στη συσκευή του (Σχήματα 4.13 και 4.14).



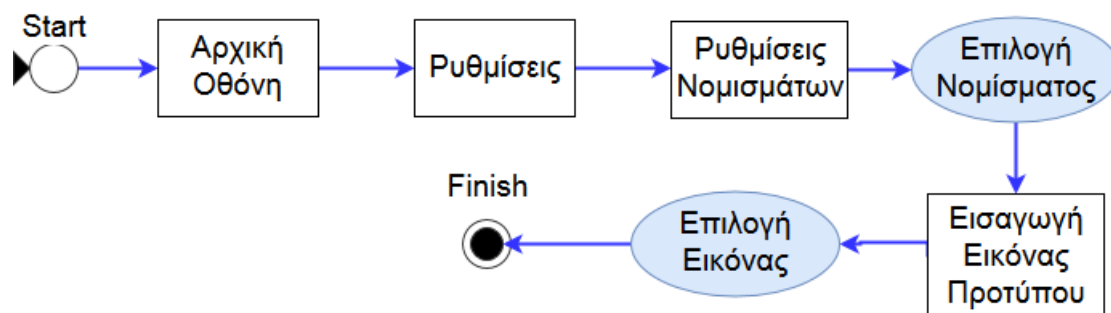
Σχήμα 4.13 - Τα βήματα του σεναρίου για την αλλαγή της εικόνας ενός νομίσματος



Σχήμα 4.14. - Η οθόνη του νομίσματος, ο σταυρός δίπλα στην εικόνα του νομίσματος προωθεί τον χρήστη στην επιλογή της καινούριας εικόνας (κίτρινο βέλος)

4.9.7. Εισαγωγή προτύπου σε εικόνα

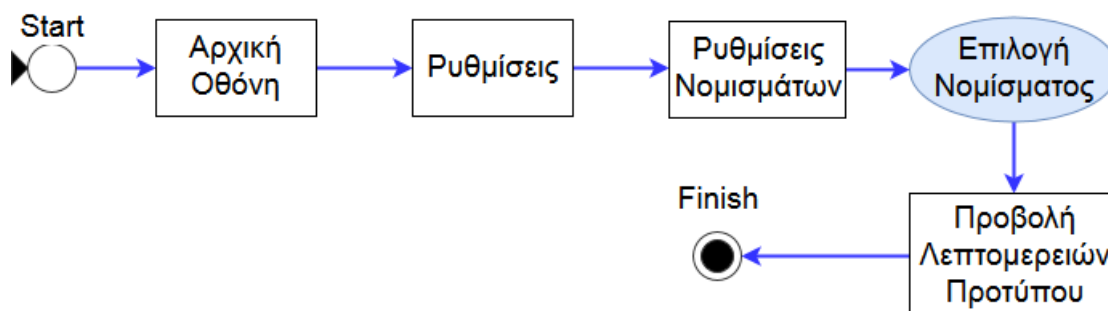
Αντίστοιχα με το προηγούμενο σενάριο χρήσης, ο Χρήστος μπορεί ν' αλλάξει και την εικόνα του προτύπου. Η διαδικασία είναι σχεδόν ίδια απλά ο χρήστης επιλέγει το κουμπί που αλλάζει την εικόνα του προτύπου (Σχήμα 4.15).



Σχήμα 4.15 - Τα βήματα του σεναρίου για την αλλαγή της εικόνας ενός προτύπου νομίσματος

4.9.8. Προβολή λεπτομερειών προτύπου

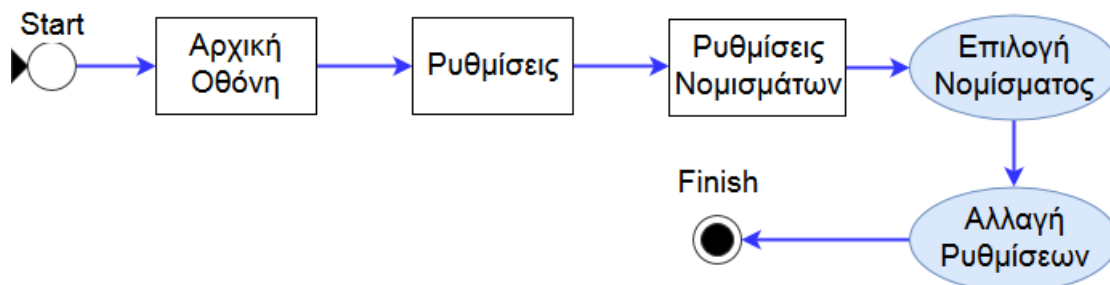
Αυτό το σενάριο επιτρέπει στον χρήστη να δει τις λεπτομέρειες που είναι αποθηκευμένες σε ένα νόμισμα. Σ' αυτό το σενάριο, καθώς και στα δύο πρότερα, ο χρήστης πλοηγείται από την λίστα των νομισμάτων στην σελίδα του νομίσματος που θέλει και βλέπει όλες τις λεπτομέρειες του (Σχήμα 4.16).



Σχήμα 4.16 - Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης για να δει τις λεπτομέρειες ενός νομίσματος

4.9.9. Αλλαγή λεπτομερειών νομίσματος

Ο χρήστης αφού πλοηγηθεί σε ένα συγκεκριμένο νόμισμα, μπορεί να αλλάξει τις λεπτομέρειες του (όνομα και χώρα). Η διαδικασία είναι και σε αυτό το σενάριο παρόμοιο με τα προηγούμενα (Σχήματα 4.17 και 4.18).



Σχήμα 4.17 - Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης για να αλλάξει τις λεπτομέρειες ενός νομίσματος

New Coin

Coin Name:
1_cent_sample

Country:
Europe

Image +

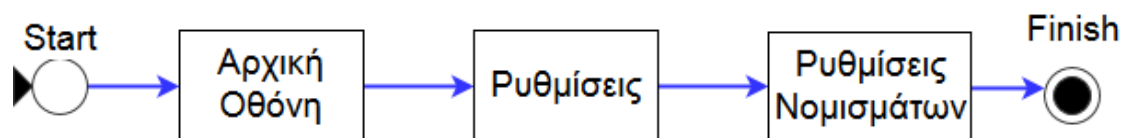
Template +

Details >

Σχήμα 4.18 - Η σελίδα με τις λεπτομέρειες ενός νομίσματος (κίτρινα βέλη)

4.9.10. Προβολή λίστας νομισμάτων

Το παρόν σενάριο επιτρέπει στον χρήστη να δει τη λίστα με όλα τα νομίσματα (Σχήματα 4.19 και 4.20).



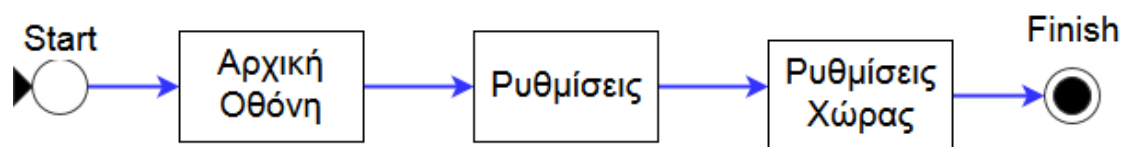
Σχήμα 4.19 - Η διαδικασία για την προβολή της λίστας νομισμάτων



Σχήμα 4.20 - Η λίστα με τα νομίσματα

4.9.11. Προβολή λίστας χωρών

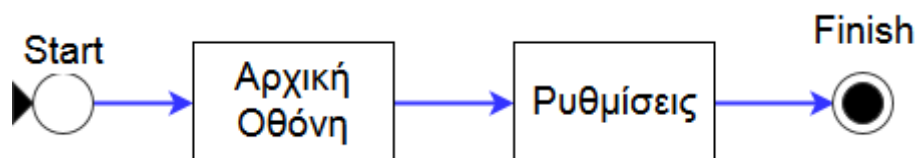
Αντίστοιχα με τα νομίσματα, ο χρήστης μπορεί να δει και τις χώρες που είναι αποθηκευμένες στο σύστημα (Σχήμα 4.21).



Σχήμα 4.21 - Τα βήματα για την προβολή της λίστας των χωρών

4.9.12. Προβολή ρυθμίσεων

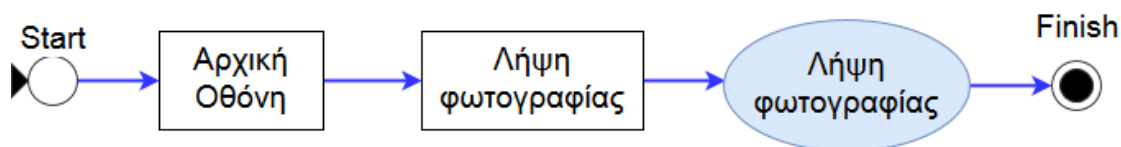
Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δει όλες τις ρυθμίσεις (Σχήμα 4.22).



Σχήμα 4.22 - Η διαδικασία της προβολής των ρυθμίσεων

4.9.13. Λήψη φωτογραφίας

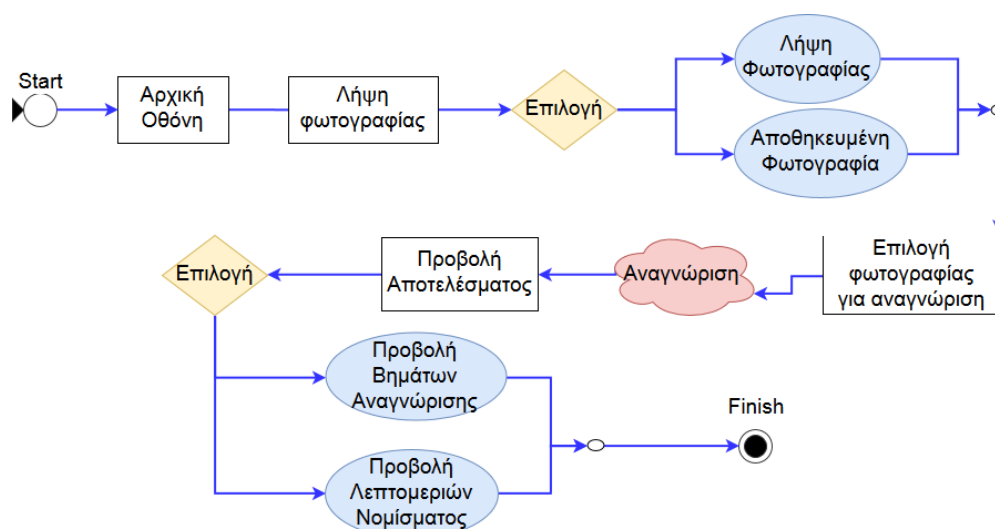
Η λήψη της φωτογραφίας είναι το προαπαιτούμενο βήμα για την αναγνώριση. Ο χρήστης από την αρχική οθόνη επιλέγει λήψη φωτογραφίας και μετά φωτογραφίζει το νόμισμα που επιθυμεί (Σχήμα 4.23).



Σχήμα 4.23 Τα βήματα για την λήψη μιας φωτογραφίας

4.9.14. Αναγνώριση Νομίσματος

Μέσω αυτού του σεναρίου, ο χρήστης μπορεί να αναγνωρίσει ένα νόμισμα. Ο χρήστης ξεκινάει διαλέγοντας από την αρχική οθόνη τη «Λήψη Φωτογραφίας»· μετέπειτα, διαλέγει αν θα χρησιμοποιήσει μιας ήδη αποθηκευμένη φωτογραφία ή αν θα κάνει λήψη καινούριας από την κάμερα. Ανεξαιρέτως της επιλογής του επιλέγει μια φωτογραφία και η εφαρμογή ξεκινάει την διαδικασία της αναγνώρισης. Όταν γίνει η αναγνώριση, η εφαρμογή δείχνει στον χρήστη το αναγνωρισμένο νόμισμα και τα στοιχεία της διαδικασίας (όνομα νομίσματος, χώρα προέλευσης, ποσοστό συσχέτισης και χρόνος αναγνώρισης –βλέπε Σχήμα 4.24) και παραθέτει στον χρήστη την επιλογή να δει τα στοιχεία του συγκεκριμένου νομίσματος αναλυτικά ή να δει τα στάδια της αναγνώρισης (βλέπε Σχήματα 4.25 και 4.26).



Σχήμα 4.24 Η διαδικασία για την αναγνώριση ενός νομίσματος και όλα τα ενδιάμεσα στάδια και οι επιλογές που έχει ο χρήστης.



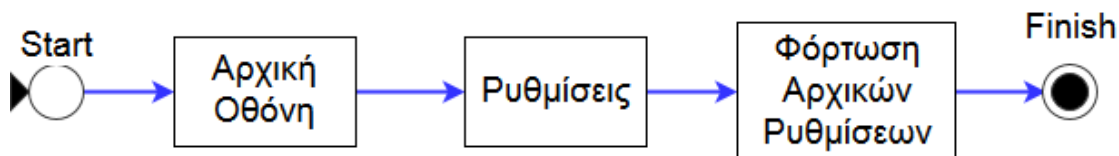
Σχήμα 4.25 Στοιχεία Νομίσματος κατά τη λήψη της φωτογραφίας



Σχήμα 4.26 Στοιχεία νομίσματος μετά την αναγνώριση

4.9.15. Φόρτωση αρχικών ρυθμίσεων

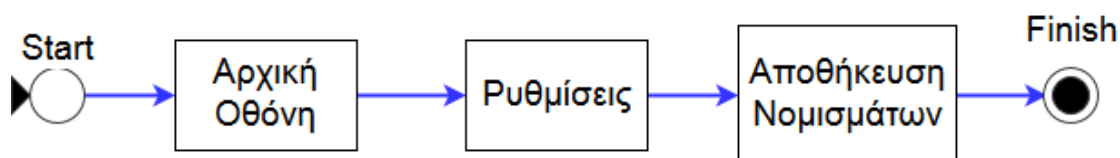
Το παρόν σενάριο χρήσης, επιτρέπει στον χρήστη να φορτώσει τις αρχικές ρυθμίσεις που αφορούν τις παραμέτρους της διαδικασίας αναγνώρισης (πχ. Μέγεθος παραθύρου ή γωνία περιστροφής), τις παραμέτρους που αφορούν την ταξινόμηση των νομισμάτων στο σύστημα (με βάση όνομα ή χώρα), όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.27.



Σχήμα 4.27 Η διαδικασία για την φόρτωση των αρχικών ρυθμίσεων

4.9.16. Αποθήκευση νομισμάτων

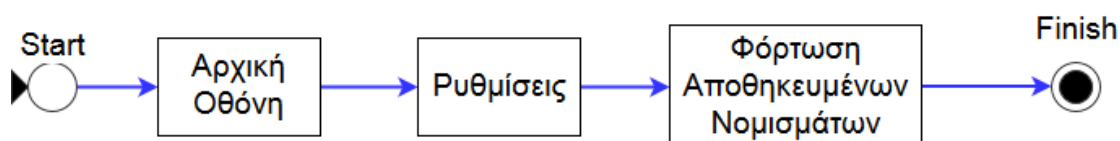
Αυτό το σενάριο χρήσης επιτρέπει στον χρήστη να αποθηκεύσει όλα τα νομίσματα τα οποία είναι φορτωμένα στην εφαρμογή, στην βάση δεδομένων. Το παρόν σενάριο συνήθως χρησιμοποιείται αν ο χρήστης αλλάξει κάτι στις παραμέτρους των νομισμάτων (βλ. Σχήμα 4.28).



Σχήμα 4.28 – Η διαδικασία ενημέρωσης της βάσης δεδομένων.

4.9.17. Φόρτωση Αποθηκευμένων νομισμάτων

Μέσω αυτού του σεναρίου χρήσης, ο χρήστης μπορεί να ξαναφορτώσει στην εφαρμογή, από την βάση δεδομένων, τα αποθηκευμένα νομίσματα, σε περίπτωση που κάτι γίνει λάθος (πχ διαγραφή νομίσματος) και θέλει να επανέλθει στην αρχική κατάσταση η εφαρμογή (βλ. Σχήμα 4.29).



Σχήμα 4.29 - Τα βήματα για την φόρτωση των νομισμάτων από την βάση δεδομένων

4.10. Σύνοψη

Στο παρόν Κεφάλαιο δείξαμε την πλήρη λειτουργικότητα του συστήματος. Παρότι σημαντικό μέρος καταδείχθηκε μέσω της διαδικασίας πλοήγησης, εξυπακούεται ότι η αντιστοιχία κώδικα σε κάθε μία από τις περιγραφείσες διαδικασίες δείχνει την ιεραρχική δομή των υποσυστημάτων της εφαρμογής, τις δυνατότητές της για εισαγωγή στοιχείων, αποθήκευση στην βάση δεδομένων, και επεξεργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Η διάρκεια της διαδικασίας αναγνώρισης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι υψηλής ανάλυσης εικόνες, τα πολλά ενεργά νομίσματα στην βάση δεδομένων της εφαρμογής και τα πολλά πλακίδια που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση του νομίσματος είναι οι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν αρνητικά στον χρόνο αναγνώρισης, αυξάνοντας τον.

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο οι παράμετροι της αναγνώρισης αλληλεπιδρούν. Για παράδειγμα, βλέπουμε ότι η παράμετρος «Βάθος (Depth)» επηρεάζεται αναλογικά από την παράμετρο «Ακρίβεια (Accuracy)». Δηλαδή, αν η παράμετρος «Ακρίβεια (Accuracy)» είναι υψηλή δεν χρειάζεται η εφαρμογή να ελέγξει στην μέγιστη απόσταση των πλακιδίων-δειγμάτων από το κεντρικό πλακίδιο (δηλαδή το depth). Έτσι, περισσότερα νομίσματα θα απορρίπτονται σε κάθε στάδιο της διαδικασίας αναγνώρισης και μπορεί να μην χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν όλα τα πλακίδια. Για παράδειγμα στη μέγιστη τιμή της «Ακρίβειας» (100%) μόνο το κύριο πλακίδιο (0,0) θα χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από την παράμετρο βάθους. Από την άλλη πλευρά θέτοντας την παράμετρο «Ακρίβεια (Accuracy)» στο 0% είναι σαν να απενεργοποιούμε την διαδικασία απόρριψης χρησιμοποιώντας όλα τα πρότυπα σε όλα τα στάδια και αναγνωρίζοντας το νόμισμα με την τιμή της μέσης συσχέτισης.

Προσπαθώντας να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο του χρόνου της διαδικασίας χωρίς να αυξήσουμε την τιμή της παραμέτρου *Ακρίβεια* (η οποία έχει απρόβλεπτη συμπεριφορά καθώς εξαρτάται από την ομοιότητα μεταξύ των νομισμάτων που είναι αποθηκευμένα στην βάση δεδομένων) μπορούμε να καταλήξουμε στην παρακάτω θεωρητική σχέση:

$$T = Coins \cdot Depth \cdot \left(\frac{2 \cdot Rotation}{AngleStep} + 1 \right) \cdot (2 \cdot Padding + 1)^2 \cdot \frac{Sample}{Sample_{MIN}} \cdot T_{MIN}$$

Η μεταβλητή $Sample_{MIN}$ αναπαριστά την ελάχιστη τιμή δείγματος και η T_{MIN} τον χρόνο που χρειάζεται για την συσχέτιση αυτού του δείγματος με τις υπόλοιπες μεταβλητές να έχουν την ελάχιστη τιμή.

Πίνακας 5.1 - Διαδικασία Αναγνώρισης Νομίσματος – Αλληλοσυσχέτιση των Παραμέτρων

Παράμετροι	Ελάχιστο	Μέγιστο	Ακρίβεια (Μέγιστο)	Προεπιλογές
Ενεργά Νομίσματα	Επιτάχυνση	Επιβράδυνση	Καμία επίδραση	10
Βάθος	Πιθανή επιτάχυνση (Εξαρτάται από την ακρίβεια)	Πιθανή επιβράδυνση (Εξαρτάται από την ακρίβεια)	Αύξηση	2 (9 πλακίδια)
Γωνία Περιστροφής	Επιτάχυνση	Επιβράδυνση	Αύξηση	10 (± 10)
Βήμα Γωνίας	Επιβράδυνση	Επιτάχυνση	Αύξηση	5
Μετατόπιση	Επιτάχυνση	Επιβράδυνση	Αύξηση	10
Μέγεθος Προτύπου	Καμία επίδραση	Καμία επίδραση	Αύξηση (Εξαρτάται από το Μέγεθος Δείγματος)	140
Μέγεθος Δείγματος	Επιτάχυνση	Επιβράδυνση	Αύξηση	20
Ακρίβεια	Επιβράδυνση	Επιτάχυνση	Μείωση	80%

Όπως παρατηρήθηκε από μετά από αρκετές δοκιμές που έγιναν σε φορητή συσκευή Samsung Galaxy S4, η παράμετρος της μετατόπισης είναι αυτή που επηρεάζει περισσότερο την ταχύτητα του αλγορίθμου. Έπειτα από την *Μετατόπιση* είναι η *Γωνία Περιστροφής*.

Το παρόν συμπέρασμα είναι λογικό γιατί και οι δύο αυτές παράμετροι εισάγουν μια επανάληψη στην αναγνώριση καθώς η μεν *μετατόπιση* μετατοπίζει το πρότυπο της εικόνας εισόδου, προς κάθε κατεύθυνση, κατά μια σταθερή τιμή μέχρις ότου να φτάσει την τιμή της μεταβλητής μετατόπιση και κάθε φορά εκτελεί τον αλγόριθμο, ενώ η *γωνία περιστροφής* κάνει ακριβώς το ίδιο απλά περιστρέφοντας την εικόνα κατά μια γωνία αντί να μετατοπίζει.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν (με το ίδιο νόμισμα εισόδου αλλά διαφορετικές ρυθμίσεις σε κάθε δοκιμή) παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 5.2. Όπως προαναφέρθηκε, η τιμή της μεταβλητής *Ακρίβεια* τέθηκε στο 0%. Παρατηρούμε ότι οι χρόνοι εκτέλεσης έχουν πολύ μεγάλη διακύμανση, από 0,1 sec έως 18,9sec, και οι χρόνοι αυτοί είναι για αναγνώριση ενός νομίσματος. Αυτό σημαίνει ότι σε μία ενδεχόμενη εκτεταμένη χρήση της εφαρμογής θα πρέπει να υπάρχουν κάποιες προεπιλεγμένες τιμές παραμέτρων ώστε να φράσσεται επαρκώς ο χρόνος εκτέλεσης, κάτι που ενδεχόμενα έχει την αρνητική διάσταση του βαθμού ελευθερίας στις παραμέτρους, όπως π.χ. μέχρι πόσο μπορεί να περιστραφεί το νόμισμα ή από πόσο μακριά μπορεί να φωτογραφηθεί και με τι συνθήκες φωτισμού.

Πίνακας 5.2 - Τα αποτελέσματα των δοκιμών για το νόμισμα του 1 Ευρώ, με διαφορετικές ρυθμίσεις για τις παραμέτρους της αναγνώρισης, χρησιμοποιώντας μια φορητή συσκευή Samsung Galaxy S4

Ακρίβεια	Νομίσματα	Βάθος Δειγματοληψίας	Δείγμα Μέγεθος	Πρότυπο Μέγεθος	Μετατόπιση	Βήμα Γωνίας	Περιστροφή	Χρόνος (sec)
0%	10	9	20	140	10	5	10	18,9
0%	10	9	20	140	10	5	5	11,3
0%	10	9	20	140	0	5	10	0,68
0%	10	9	20	140	10	5	0	4,00
0%	10	9	20	140	0	5	0	0,14
0%	10	9	20	140	0	5	20	1,30
0%	10	9	20	100	10	5	0	3,90
0%	10	9	10	100	0	5	20	0,77
0%	10	9	10	100	0	5	0	0,09
0%	10	9	10	100	20	5	0	11,4
0%	10	9	10	200	0	5	0	0,10
0%	10	9	30	200	0	5	0	0,20
0%	10	9	30	200	0	5	20	2,59

Παρά το μεγάλο εύρος του χρόνου εκτέλεσης του αλγορίθμου, η εφαρμογή από λειτουργικής απόψεως επιβεβαιώνει το μοντέλο που αναπτύχθηκε σε MATLAB και περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.

5.2. Ανάλυση Αποτελεσμάτων - Σκέψεις, Δυσκολίες και Μαθήματα

Στην παρούσα διπλωματική αποκτήθηκε σημαντική τεχνογνωσία στην ανάπτυξη εφαρμογών Android, και υλοποιήθηκε πλήρως μία τέτοια εφαρμογή. Σαν πρωτότυπο σύστημα όμως, η εφαρμογή αυτή έχει περιορισμούς, ατέλειες, και σε κάποια σημεία της λειτουργία δεν είναι αντιστοιχη με την αναμενόμενη (π.χ. στον χρόνο εκτέλεσης). Στην παρούσα ενότητα γίνεται η ανάλυση ολόκληρου του συστήματος από την οπτική της αξιολόγησής του ως σχεδιαστική διαδικασία, μαζί με τα σχετικά «μαθήματα» που εξάχθηκαν από την διπλωματική αυτή εργασία.

5.2.1. Υλοποίηση

Το πιο δύσκολο κομμάτι της εργασίας ήταν η υλοποίηση για την πλατφόρμα Android. Παρά την όποια σχετική εμπειρία/εξοικείωση μπορεί να έχει κάποιος με την γλώσσα προγραμματισμού Java, είναι αρκετά διαφορετικό να γράψει κώδικα για Android. Το Android παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιεί την Java, έχει το δικό του σύνολο συναρτήσεων και κλάσεων (API) το οποίο χρειάζεται σίγουρα αρκετή προσπάθεια για να εξοικειωθείς μαζί του.

Για παράδειγμα, η χρήση της κάμερας (τουλάχιστον στις εκδόσεις για τις οποίες γράφτηκε η εφαρμογή αυτής της εργασίας) είναι αρκετά δύσχρηστες και πολύπλοκες – μεταγενέστερες εκδόσεις σε μεγάλο βαθμό αντιμετωπίζουν το θέμα αυτό.

Παρά τα προβλήματα αυτά, υπάρχει πάρα πολύ διαθέσιμο υλικό στο διαδίκτυο και αρκετές κοινότητες προγραμματιστών που μπορούν να προσφέρουν βοήθεια και αποτελούν πλούσια πηγή γνώσης (όπως παράδειγμα η σελίδα [stackoverflow](#)).

5.2.2. Γραφικό περιβάλλον

Το γραφικό περιβάλλον της διεπαφής με τον χρήστη αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της εφαρμογής. Εκτός της λειτουργικότητας της εφαρμογής (τον αλγόριθμο που εκτελείται από πίσω), το γραφικό περιβάλλον παίζει σημαντικό ρόλο και πρέπει να είναι εύχρηστο, ώστε η εφαρμογή να είναι αποτελεσματική. Στη συγκεκριμένη πλατφόρμα, το Android, η δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος είναι περίπλοκη. Συγκεκριμένα γίνεται μέσω από την δημιουργία αρχείων XML με παρόμοιο τρόπο όπως γίνεται για την σχεδίαση ιστοσελίδων με την HTML. Αυτός ο τρόπος είναι σχετικά δύσχρηστος. Παρόλα ταύτα η δομή αυτή ταιριάζει με την ιεραρχική και δομημένη ανάπτυξη του κώδικα, και από αυτήν την άποψη «δένει» καλά με το υπολογιστικό κομμάτι της εφαρμογής.

5.2.3. Αποσφαλμάτωση (Debugging)

Ένα ακόμα δύσκολο κομμάτι αποτελεί αυτό της αποσφαλμάτωσης (debugging). Όταν γράφεται μια εφαρμογή στο Android υπάρχουν δύο τρόποι να εκτελεστεί η εφαρμογή. Ο πρώτος είναι μέσω ενός ειδικού προγράμματος που προσομοιώνει μια συσκευή Android. Ο δεύτερος τρόπος είναι να φορτωθεί η συγκεκριμένη εφαρμογή σε ένα κινητό με Android. Και οι δύο αυτοί τρόποι έχουν κάποια προβλήματα.

Αρχικά, ο προσομοιωτής, δεν έχει πρόσβαση στην κάμερα του υπολογιστή. Έτσι, για εφαρμογές όπως αυτής της εργασίας, δεν μπορεί κάποιος να δει αν όντως δουλεύουν όλα τα κομμάτια του κώδικα.

Κατά δεύτερον, όσο αναφορά τη φόρτωση της εφαρμογής στο κινητό, είναι δύσκολο κάποιος να κάνει live debugging (την στιγμή που τρέχει ο κώδικας, να βλέπεις τι γίνεται). Αυτό συμβαίνει γιατί αν μεταφορτωθεί η εφαρμογή μέσω Bluetooth τότε ο υπολογιστής επικοινωνεί ασύγχρονα με τη συσκευή.

Στη παρούσα διπλωματική, αρχικά έτρεχε η εφαρμογή στον προσομοιωτή. Όταν έφτασα στο σημείο που έπρεπε να δοκιμάσω την κάμερα στράφηκα στο κινητό. Εκεί αρχικά μετέφερα την εκτελέσιμη εφαρμογή μέσω Bluetooth. Έτσι, δε μπορούσα να κάνω live

debugging. Το πρόβλημα λύθηκε όταν διάβασα ότι το εργαλείο στο οποίο γράφεις τον κώδικα, μπορεί να συνδεθεί με το τηλέφωνο (μέσω usb καλωδίου) και να βλέπει live την εφαρμογή να τρέχει. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί ο προγραμματιστής να βάζει breakpoints στον κώδικα του και η εφαρμογή να σταματάει όταν φτάνει ο κώδικας σε αυτά.

5.2.4. Ευκρίνεια της κάμερας και φωτισμός

Ένα τελευταίο πρόβλημα που μπορεί να αντιμετωπίσει κάποιος που φτιάχνει η χρησιμοποιεί μια τέτοια εφαρμογή είναι η αλλοίωση του αποτελέσματος λόγω της λήψης της φωτογραφίας. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρατηρήθηκε, αν η φωτογραφία είναι τραβηγμένη σε πολύ χαμηλό φωτισμό είναι πολύ πιθανό η εφαρμογή να κάνει λάθος. Το παρόν πρόβλημα σε συνδυασμό με την χαμηλή ευκρίνεια της κάμερας του κινητού μπορεί να δημιουργήσουν σε αστοχίες την εφαρμογή.

Όταν η εφαρμογή δοκιμάστηκε σε παλαιότερου τύπου κινητό τηλέφωνο Android με όχι τόσο καλή κάμερα, πολύ συχνά έβρισκε λάθος αποτέλεσμα – ειδικά σε πιο χαμηλούς φωτισμούς. Φυσικά αυτό έχει να κάνει και με τις ρυθμίσεις που βάζει ο χρήστης. Αν ο χρήστης επιλέξει πιο ψηλές ρυθμίσεις για την ακρίβεια, τη γωνία περιστροφή και το βάθος δειγματοληψίας κλπ αυξάνεται ο αριθμός των σωστών αποτελεσμάτων (εις βάρος της ταχύτητας όμως).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ανάπτυξη Εφαρμογής Αναγνώρισης Νομισμάτων για Κινητά Android» αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Μικροεπεξεργαστών & Υλικού της Σχολής ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης, είχε ως σκοπό να εξεταστεί η δυνατότητα χρησιμοποίησης απλών τεχνικών αναγνώρισης και μοτίβων με τη χρήση σύγχρονων ενσωματωμένων συστημάτων μικροεπεξεργαστών – όπως είναι τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smartphones).

Ως εκ τούτου, στα πλαίσια της εργασίας, αναπτύχθηκε μια εφαρμογή η οποία μπορεί να κάνει αναγνώριση νομισμάτων με την χρήση φορητών συσκευών ενσωματωμένων μικροεπεξεργαστών (κινητά ή τάμπλετ) που τρέχουν την πλατφόρμα Android. Ο χρήστης δίνει είσοδο στην εφαρμογή ένα νόμισμα φωτογραφίζοντας το και η εφαρμογή το ταυτοποιεί από μια συλλογή προτύπων νομισμάτων που έχει αποθηκευμένα.

Απώτερος σκοπός της εργασίας ήταν να παραχθεί μια εφαρμογή η οποία γρήγορα και αξιόπιστα θα αναγνώριζε πιο νόμισμα εισήγαγε ο χρήστης. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε, ώστε να επιτευχθεί αυτός ο διττός στόχος, ήταν ο αλγόριθμος κανονικοποιημένης ετεροσυσχέτισης. Όπως παρατηρήθηκε οι δύο παράμετροι οι οποίες αυξάνουν την χρονική πολυπλοκότητα είναι η μετατόπιση και η γωνία περιστροφής· αυτό είναι λογικό γιατί και οι δύο αυτές παράμετροι εισάγουν μια χωρική αβεβαιότητα και ο αλγόριθμος πρέπει να υπολογίζει περισσότερες περιπτώσεις, κάθε φορά μετακινώντας το πρότυπο ή/και περιστρέφοντας το αντίστοιχα.

Όπως παρατηρήθηκε κατά τις δοκιμές που έγιναν με διαφορετικές φορητές συσκευές Android (διαφορετικών κατασκευαστών και δυνατοτήτων), η εφαρμογή ήταν αποτελεσματική στην εύρεση όλων των νομισμάτων, απλά με διαφορετική χρονική απόδοση. Η διαφορετική χρονική απόδοση, οφείλεται στην διαφορετικότητα των δυνατοτήτων κάθε συσκευής.

6.2. Μελλοντική Εργασία

Ως μελλοντική εργασία και ερευνητικές προεκτάσεις, προτείνονται τα παρακάτω:

1. Η χρησιμοποίηση μιας ακόμα τεχνικής (αλγόριθμου) αναγνώρισης σε συνδυασμό με την παρούσα, η οποία είναι ανεξάρτητη του παράγοντα της χωρικής μετατόπισης, όπως η ανίχνευσης ακμών, ώστε να μειωθεί ο χρόνος αναγνώρισης για χωρική και γωνιακή μετατόπιση.

2. Η υλοποίηση κάποιας άλλης τεχνικής αναγνώρισης και η σύγκριση της με την παρούσα εφαρμογή, ώστε να ελεγχθεί αν όντως υπερτερεί η παρούσα υλοποίηση έναντι των εναλλακτικών. Εναλλακτικά να βρεθούν έτοιμες εφαρμογές αναγνώρισης και να συγκριθεί μαζί τους η εφαρμογή.
3. Η έρευνα για την χρησιμοποίηση πιο αποδοτικών τεχνικών για τις δομές δεδομένων που χρησιμοποιεί η εφαρμογή, όπως για παράδειγμα τα HashMaps, που πιθανώς να αυξήσουν την ταχύτητα της αναγνώρισης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-correlation>
- [2] <https://www.flickr.com/photos/55811397@N02/5167775729/>
- [3] Lewis, J. P., "Fast Template Matching", Vision Interface, pp. 120-123,1995, σε On-line εκτενέστερη έκδοση: <http://scribblethink.org/Work/nvisionInterface/nip.pdf>
- [4] Zhao F., and Huang Q., Gao W. (2006) Image Matching by Multiscale Oriented Corner Correlation. In: Narayanan P.J., Nayar S.K., Shum HY. (eds) Computer Vision – ACCV 2006. ACCV 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol 3851. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [5] <https://9to5mac.com/2016/08/18/android-ios-smartphone-market-share/>
- [6] <https://developer.android.com/guide/platform/index.html>
- [7] <https://developer.android.com/about/index.html>
- [8] Briechle, K. and Hanebeck, U.. *Template matching using fast normalized cross correlation*, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 4387. 10.1117/12.421129. (2001), διαθέσιμο on-line: http://isas.uka.de/Material/AltePublikationen/briechle_spie2001.pdf
- [9] Tsai, D. M., and Lin, C. T., *Fast Normalized Cross Correlation for Defect Detection*, Pattern Recognition Letters, Vol. 24, No. 15, pp. 2625-2631, 2003. διαθέσιμο on-line: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.103.3968&rep=rep1&type=pdf>
- [10] [Betke M., and Makris N.C., "Fast object recognition in noisy images using simulated annealing", Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision, Page 523, June 20 - 23, IEEE Computer Society, 1995.](#)