



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων**



Πτυχιακή Εργασία

Τίτλος: Skin Detection

Γιακουμάκης Ευάγγελος AM:1868

Επιβλέπων Καθηγητής: Τριανταφυλλίδης Γεώργιος

Επιτροπή Αξιολόγησης:

Ημερομηνία παρουσίασης: 27/04/2012

Abstract

In this thesis we will deal with the identification of skin. The detection of skin has become in the recent years a very big issue and has multiple applications and implementations. Each and every person has a unique type and skin color and based on it we will try to create a program that detects skin. This application can have many different developments e.g. (comparison-identification, image filtering, security systems, recognition technology etc) as we will analyze below. The method we will be using is a non-parametric and with the help of Matlab will be able to derive to our results.

Σύνοψη

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με τον εντοπισμό του δέρματος. Η ανίχνευση του δέρματος έχει καταστεί τα τελευταία χρόνια ως ένα πολύ μεγάλο ζήτημα καθώς έχει πολλαπλές εφαρμογές και χρήσεις. Κάθε άνθρωπος έχει ένα μοναδικό τύπο και χρώμα δέρματος και βασιζόμενοι πάνω σε αυτό θα προσπαθήσουμε να φτιάξουμε ένα πρόγραμμα που θα ανιχνεύει το δέρμα. Αυτή η εφαρμογή μπορεί να έχει πολλές διαφορετικές εξελίξεις πχ. (σύγκριση-ταυτοποίηση, φιλτράρισμα εικόνων, συστήματα ασφαλείας, τεχνολογία αναγνώρισης κτλ) τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιήσουμε ανήκει στις μη παραμετρικές και με τη βοήθεια του Matlab θα εξάγουμε τα αποτελέσματά μας.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	8
1.1 Εφαρμογές και μελέτες.....	8
1.2 Color models.....	9
2. Χρήσεις Skin Detection.....	13
3. Εισαγωγή στο Matlab.....	16
3.1 Ξεκινώντας με το Matlab.....	17
3.2 Μεταβλητές.....	19
3.3 Βαθμωτές συναρτήσεις βιβλιοθήκης.....	22
3.4 Εντολές διαχείρισης του χώρου εργασίας.....	23
3.5 Πίνακες.....	24
3.6 Συναρτήσεις βιβλιοθήκης για διανύσματα.....	28
4. Τεχνικές Ανίχνευσης Δέρματος.....	30
4.1 Skin Modeling.....	34
4.2 Συγκριτική Αξιολόγηση.....	40
4.3 Different approach to Skin Detection.....	42
5. Υλοποίηση.....	47
5.1 Επεξήγηση κώδικα Skin Detection.....	49
5.2 Αποτελέσματα.....	52
5.3 Απαιτήσεις.....	103
5.4 Συμπεράσματα.....	104
5.5 Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	105
Βιβλιογραφία.....	106

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Grayscale συνιστώσες χρώματος.....	9
Εικόνα 2: Ανάλυση εικόνας RGB.....	10
Εικόνα 3: RGB χρωματικός χώρος.....	11
Εικόνα 4: Γεωμετρία των pixel.....	12
Εικόνα 9: Εικονίδιο Matlab.....	17
Εικόνα 10: Αρχικό παράθυρο Matlab.....	17
Εικόνα 11: Αποτελεσματικότητα Μεθόδων.....	41
Εικόνα 5: Σχεδιάγραμμα μεθόδου ανίχνευσης.....	43
Εικόνα 6: Φάση εκπαίδευσης του ανιχνευτή.....	44
Εικόνα 7: Ιστόγραμμα δέρματος και μη δέρματος.....	45
Εικόνα 8: Αποτελέσματα εκπαίδευσης νευρωνικού δικτύου.....	45
Εικόνα 12: Αρχική εικόνα.....	52
Εικόνα 13: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	53
Εικόνα 14: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	54
Εικόνα 15: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	55
Εικόνα 16: Αρχική εικόνα.....	56
Εικόνα 17: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	57
Εικόνα 18: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	58
Εικόνα 19: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	59
Εικόνα 20: Αρχική εικόνα.....	60
Εικόνα 21: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	61
Εικόνα 22: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	62

Εικόνα 23: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	63
Εικόνα 24: Αρχική εικόνα.....	64
Εικόνα 25: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	65
Εικόνα 26: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	66
Εικόνα 27: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	67
Εικόνα 28: Αρχική εικόνα.....	68
Εικόνα 29: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	69
Εικόνα 30: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	70
Εικόνα 31: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	71
Εικόνα 32: Αρχική εικόνα.....	72
Εικόνα 33: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	73
Εικόνα 34: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	74
Εικόνα 35: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	75
Εικόνα 36: Αρχική εικόνα.....	76
Εικόνα 37: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	77
Εικόνα 38: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	78
Εικόνα 39: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	79
Εικόνα 40: Αρχική εικόνα.....	80
Εικόνα 41: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	81
Εικόνα 42: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	82
Εικόνα 43: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	83
Εικόνα 44: Αρχική εικόνα.....	84
Εικόνα 45: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	85
Εικόνα 46: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	86
Εικόνα 47: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	87
Εικόνα 48: Αρχική εικόνα.....	88
Εικόνα 49: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος.....	89
Εικόνα 50: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	90
Εικόνα 51: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	91
Εικόνα 52: Αρχική εικόνα.....	92
Εικόνα 53: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	93
Εικόνα 54: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	94
Εικόνα 55: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	95
Εικόνα 56: Αρχική εικόνα.....	96
Εικόνα 57: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	97
Εικόνα 58: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	98
Εικόνα 59: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	99
Εικόνα 60: Αρχική εικόνα.....	100
Εικόνα 61: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	101
Εικόνα 62: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	102
Εικόνα 63: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.....	103

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 2: Βασικές πράξεις	18
Πίνακας 3: Βασικές Συναρτήσεις και ερμηνεία τους	22
Πίνακας 4: Εντολές διαχείρισης χώρου εργασίας.....	23
Πίνακας 5: Πράξεις πινάκων	25
Πίνακας 6: Συναρτήσεις και ερμηνεία τους.....	26
Πίνακας 7: Συναρτήσεις διανυσμάτων	28
Πίνακας 8: Βασικές συναρτήσεις επεξεργασίας εικόνων	28
Πίνακας 9: Συγκριτική αξιολόγηση μοντέλων	40
Πίνακας 1: True positive and false positive για τον ανιχνευτή δέρματος	46

1. Εισαγωγή

Η ανίχνευση του δέρματος αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο στην πληροφορική. Με τη συνεχή βελτίωση των υπολογιστών αλλά και με την αναβάθμιση των συστημάτων καταγραφής (κάμερες, φωτογραφικές μηχανές) και την ψηφιοποίηση τους μπορούμε τώρα πια να διακρίνουμε σχεδόν όλες τις λεπτομέρειες και κινήσεις που διακρίνουμε και δια γυμνού οφθαλμού. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα να τις εισάγουμε και να τις επεξεργαστούμε μέσω του υπολογιστή μας. Αυτή η δυνατότητα μας προσφέρει τρομερά οφέλη τα οποία αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια.

Σε αυτήν εδώ την πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την ανίχνευση των pixels του ανθρώπινου δέρματος σε μια εικόνα. Κάθε εικόνα ουσιαστικά είναι ένας δυαδικός πίνακας. Το κάθε κελί αυτού του πίνακα λέγεται pixel και πολλά pixel το ένα δίπλα στο άλλο σχηματίζουν την εικόνα. Εμείς λοιπόν θα προσπαθήσουμε να εντοπίσουμε τα pixel των εικόνων που αποτελούν δέρμα και να τα διαχωρίσουμε από αυτά που δεν περιέχουν δέρμα.

1.1 Εφαρμογές και μελέτες

Πολλές ευρετικές στρατηγικές καθώς επίσης και στρατηγικές αναγνώρισης προτύπων έχουν προταθεί για την επίτευξη ισχυρής και ακριβής λύσης. Μεταξύ των μεθόδων ανίχνευσης δέρματος αυτές που χρησιμοποιούν το χρώμα του δέρματος ως σύνθημα ανίχνευσης, έχουν κερδίσει μεγάλη δημοτικότητα. Η εμπειρία μας δείχνει ότι το ανθρώπινο δέρμα έχει ένα χαρακτηριστικό χρώμα, που είναι εύκολα αναγνωρίσιμο από τον άνθρωπο.

Η ανίχνευση του δέρματος παίζει σημαντικό ρόλο σε διάφορες εφαρμογές όπως face detection, την αναζήτηση και το φιλτράρισμα περιεχομένου εικόνας στο διαδίκτυο καθώς και ως προ-επεξεργαστικό εργαλείο για την επεξεργασία του ανιχνευμένου δέρματος. Η έρευνα έχει πραγματοποιηθεί για την ανίχνευση του ανθρώπινου δέρματος σε pixels έγχρωμων εικόνων με τη χρήση διαφόρων στατιστικών μοντέλων χρώματος. Μερικοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τα χρωματικά μοντέλα του δέρματος, όπως το Gaussian, μείγμα Gaussian ή τα ιστογράμματα. Στα περισσότερα πειράματα, τα pixels δέρματος αποκτήθηκαν από ένα περιορισμένο αριθμό ανθρώπων κάτω από ένα περιορισμένο φάσμα συνθηκών φωτισμού.

Κατά την οικοδόμηση ενός συστήματος, που χρησιμοποιεί το χρώμα του δέρματος ως χαρακτηριστικό για την ανίχνευση, ο ερευνητής αντιμετωπίζει συνήθως τρία βασικά προβλήματα. Πρώτον, ποιο χρωματικό χώρο να επιλέξει, δεύτερον, πώς ακριβώς το χρώμα του δέρματος και η κατανομή του θα πρέπει να διαμορφωθούν, και τέλος, ποιος θα είναι ο τρόπος της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων της κατάτμησης του χρώματος για την ανίχνευση προσώπου.

Δυστυχώς, οι συνθήκες φωτισμού είναι συχνά άγνωστες σε μια αυθαίρετη εικόνα, έτσι η διακύμανση στα χρώματα του δέρματος είναι πολύ λιγότερο περιορισμένη στην πράξη. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για εικόνες web που έχουν καταγραφεί κάτω από μια μεγάλη ποικιλία συνθηκών. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη μια μεγάλη συλλογή επισημασμένων pixels συμπεριλαμβανομένων όλων των ειδών ανθρώπινου δέρματος (Καυκάσιοι, Αφρικανοί, Ασιάτες) μπορούμε ακόμα και να εντοπίσουμε την κατανομή του

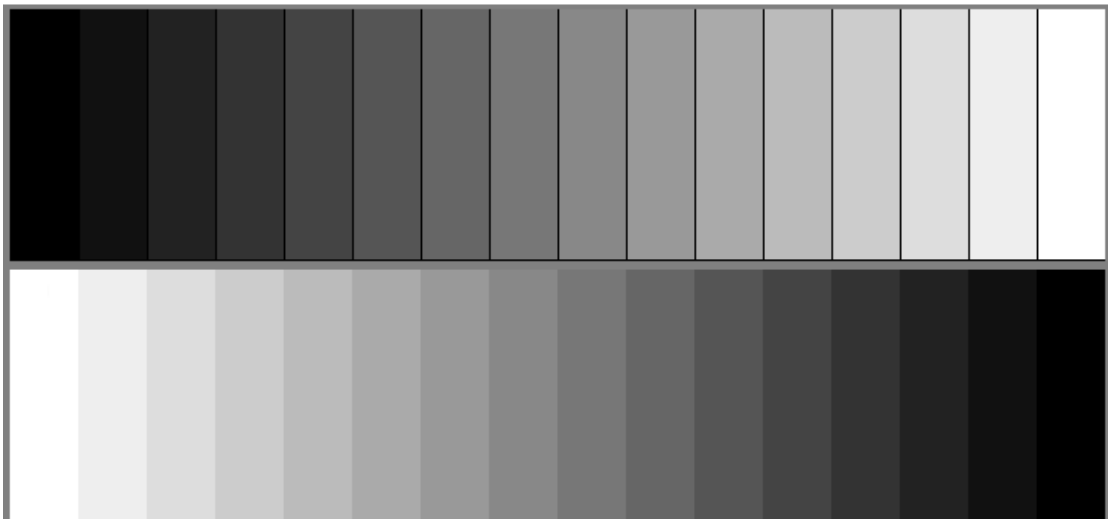
δέρματος στο χρωματικό χώρο. Πρόσφατα οι Jones και Rehg πρότειναν τεχνικές για την ανίχνευση του χρώματος του δέρματος από την εκτίμηση της κατανομής του δέρματος και μη δέρματος στο χρωματικό χώρο χρησιμοποιώντας χαρακτηρισμένα δεδομένα εκπαίδευσης. Με τη σύγκριση των μοντέλων ιστογράμματος και των Gaussian μοντέλων πυκνότητας αποκαλύφθηκε πως τα μοντέλα ιστογράμματος είναι ελαφρώς ανώτερα από τα Gaussian μοντέλα μείγματος από την άποψη της ταξινόμησης των pixel δέρματος για το χρωματικό χώρο των 24 bits RGB.

Ένα σύστημα ανίχνευσης δέρματος δεν είναι ποτέ τέλει και διαφορετικοί χρήστες χρησιμοποιούν διαφορετικά κριτήρια για την αξιολόγηση του. Η γενική εμφάνιση των ζωνών δέρματος που εντοπίστηκαν, ή άλλων παγκόσμιων κριτηρίων μπορεί να είναι σημαντική για την περαιτέρω επεξεργασία.

1.2 Color models

Πριν συνεχίσουμε θα πρέπει να μιλήσουμε για τα 3 χρωματικά μοντέλα¹ που μπορεί να συναντήσουμε. Το πρώτο είναι το binary λεγόμενο και ασπρόμαυρο black & white. Η εικόνα σε αυτή την περίπτωση αποτελείται από 2 μόνο χρώματα, το λευκό και το μαύρο. Στην ψηφιακή της απεικόνιση έχουμε ένα δυαδικό πίνακα που αποτελείται από pixel τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από 2 bit με τιμές 1 ή 0. Το 1 συμβολίζει το άσπρο χρώμα ενώ το 0 το μαύρο και με αυτό τον τρόπο γεμίζει ο πίνακας δημιουργώντας έτσι την ασπρόμαυρη εικόνα.

Το δεύτερο μοντέλο που ίσως συναντήσουμε είναι το λεγόμενο grayscale κλίμακα του γκρι χρώματος. Αυτό το μοντέλο έχει ως βάση του το λευκό και το μαύρο όπως και το παραπάνω μοντέλο αλλά η διαφορά του έγκειται στο γεγονός ότι περιέχει και όλα τα ενδιάμεσα χρώματα ανάμεσά τους, δηλαδή τις διάφορες αποχρώσεις του γκρι. Η εικόνα απεικονίζεται και πάλι μέσω ενός πίνακα με τη διαφορά όμως πως σε αυτή την περίπτωση το κάθε pixel αποτελείται από 8 bits δίνοντας τη δυνατότητα για 256 συνδυασμούς χρώματος ξεκινώντας από το 0 για το μαύρο και καταλήγοντας στο 255 για το άσπρο.



Εικόνα 1: Grayscale συνιστώσες χρώματος

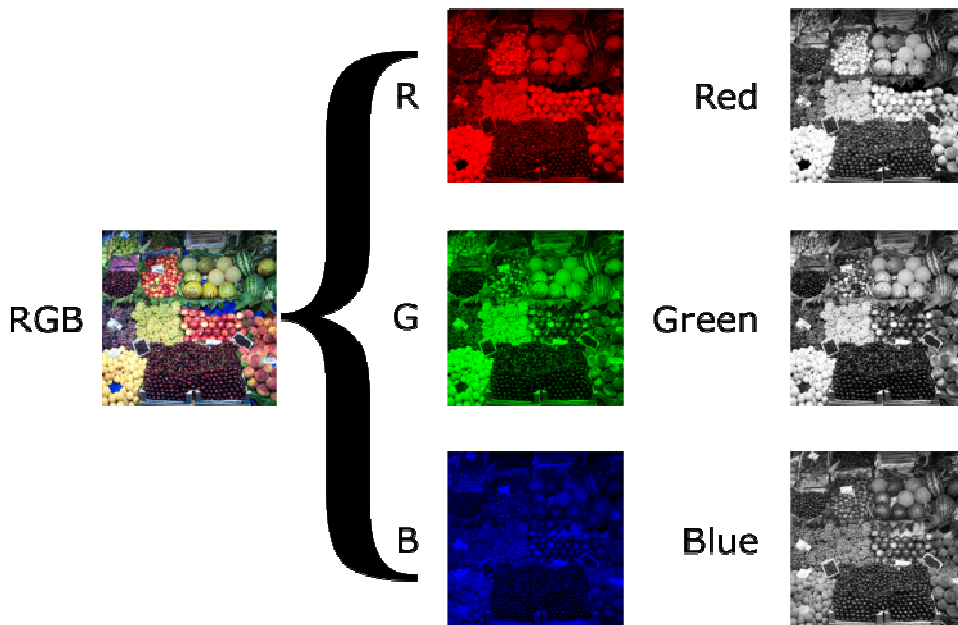
Τέλος θα μιλήσουμε για το RGB χρωματικό μοντέλο. Το RGB είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο μοντέλο και χρησιμοποιείται σήμερα κατά κόρον. Το μοντέλο

χρωμάτων RGB είναι ένα μοντέλο χρωμάτων στο οποίο το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε φως, προστίθεται μαζί με διάφορους τρόπους έτσι ώστε να αναπαράγουν ένα ευρύ φάσμα χρωμάτων. Το όνομα του μοντέλου προέρχεται από τα αρχικά των τριών βασικών χρωμάτων, κόκκινο, πράσινο και μπλε (Red ,Green ,Blue).

Ο κύριος σκοπός του είναι η απεικόνιση των εικόνων σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως τηλεοράσεις και υπολογιστές, αν και έχει επίσης χρησιμοποιηθεί στη συμβατική φωτογραφία. Πριν από την ηλεκτρονική εποχή, το μοντέλο χρωμάτων RGB είχε ήδη μια σταθερή θεωρία πίσω από αυτό, που βασίζεται στην ανθρώπινη αντίληψη των χρωμάτων.

Για να σχηματιστεί ένα χρώμα με το RGB, οι τρεις χρωματιστές ακτίνες φωτός (κόκκινη, πράσινη και μπλε) πρέπει να τοποθετηθούν σε οθόνη. Κάθε μία από τις τρεις δέσμες ονομάζεται ένα συστατικό αυτού του χρώματος, και καθεμία από αυτές μπορεί να έχει αυθαίρετη ένταση. Το μοντέλο χρωμάτων RGB είναι προσθετικό με την έννοια ότι οι τρεις ακτίνες φωτός αθροίζονται, με συνέπεια να αθροίζεται και το φως των φασμάτων τους και το μήκος κύματος τους, για να δημιουργηθεί το φάσμα του τελικού χρώματος.

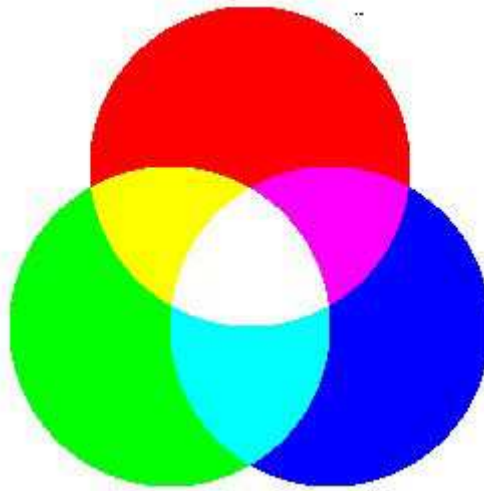
Η εικόνα μας λοιπόν αποτελείται από ένα τρισδιάστατο πίνακα. Έχουμε δηλαδή τρεις πίνακες, τον έναν πάνω στον άλλο ο καθένας από τους οποίους συμβολίζει το κάθε βασικό χρώμα. Οι πίνακες αυτοί αποτελούνται από 8 bits δίνοντάς μας τη δυνατότητα για 256 αποχρώσεις του κάθε χρώματος. Το 0 συμβολίζει το πολύ σκούρο ενώ το 1 το πολύ ανοικτό. Συνδυάζοντας αυτούς τους 3 πίνακες έχουμε συνολικά 24 bits και 16.777.216 συνδυασμούς χρωμάτων.



Εικόνα 2: Ανάλυση εικόνας RGB

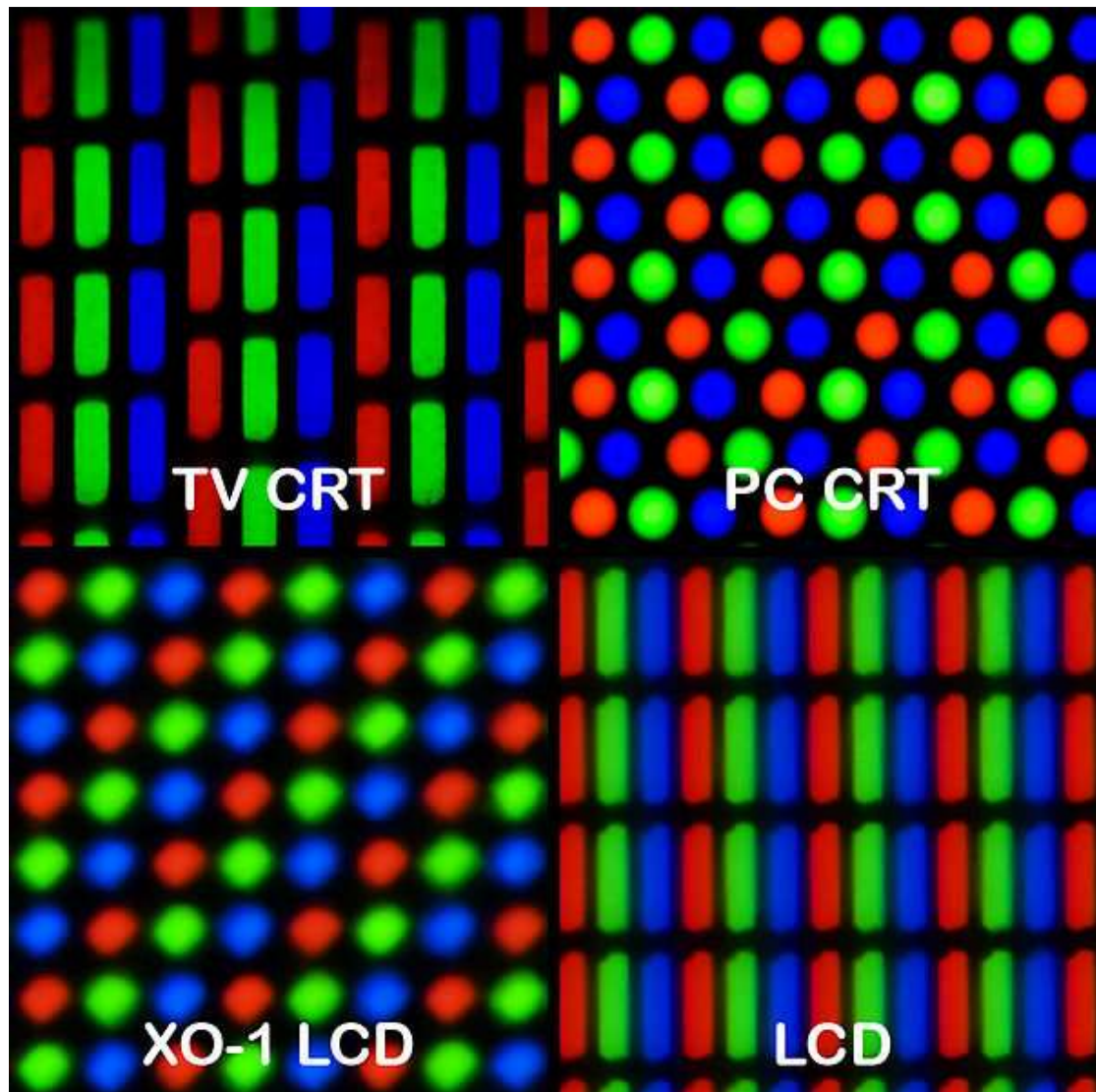
Όταν οι εντάσεις για όλες τις συνιστώσες είναι ίδιες, το αποτέλεσμα είναι μια απόχρωση του γκρι, σκούρα ή πιο ανοιχτή ανάλογα με την ένταση. Όταν οι εντάσεις είναι διαφορετικές, το αποτέλεσμα είναι μια colorized απόχρωση, περισσότερο ή λιγότερο κορεσμένη, ανάλογα με τη διαφορά από τις ισχυρότερες και πιο αδύναμες εντάσεις των βασικών χρωμάτων που χρησιμοποιούμε. Όταν ένα από τα συστατικά έχει την ισχυρότερη ένταση, το χρώμα είναι μια απόχρωση κοντά σε αυτό το πρωτεύον χρώμα (κόκκινο, πράσινο, μπλε), και όταν δύο στοιχεία έχουν την ίδια

ένταση, τότε το χρώμα είναι μια απόχρωση του συνδυασμού τους. Ένα δευτερεύον χρώμα σχηματίζεται από το άθροισμα δύο βασικών χρωμάτων της ίσης έντασης: κόκκινο + μπλε μας δίνει μοβ, κόκκινο και πράσινο μας δίνει κίτρινο ενώ πράσινο + μπλε μας δίνει κυανό.



Εικόνα 3: RGB χρωματικός χώρος

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η διάταξη των pixels σε διάφορες συσκευές που χρησιμοποιούμε καθημερινά (παλιές και νέες τηλεοράσεις καθώς και οθόνες υπολογιστών)



Εικόνα 4: Γεωμετρία των pixel

2. Χρήσεις Skin Detection

Το skin detection είναι μια τεχνική που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας και συγκεκριμένα των Η/Υ. Έχει μια πληθώρα χρήσεων οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

1. Skin filtering

Με την έλευση των συνδέσεων υψηλής ταχύτητας στο Internet και τα 3G κινητά τηλέφωνα, η σχετική ευκολία της πρόσβασης σε ακατάλληλο υλικό έχει γίνει μια πολύ σημαντική ανησυχία. Η ανίχνευση των ακατάλληλων εικόνων σε πραγματικό χρόνο που κοινοποιούνται μέσω τηλεφώνου και Διαδικτύου είναι ένα ενδιαφέρον πρόβλημα. Ειδικά στην περίπτωση που υπάρχουν ανήλικα παιδιά στο σπίτι και οι γονείς επιθυμούν την προφύλαξη τους από τέτοιου είδους περιεχόμενα.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα έρχεται με την δημιουργία των skin detection filtering προγραμμάτων τα οποία έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν το περιεχόμενο που διακινείται μέσω του διαδικτύου και της συσκευής μας και να το φιλτράρουν απαγορεύοντας με αυτό τον τρόπο την μεταφορά και εμφάνισή εικόνων ή βίντεο ακατάλληλου υλικού. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές και color spaces που χρησιμοποιούνται για το skin filtering όπου η κάθε μια υποστηρίζει πως έχει καλύτερα αποτελέσματα, αλλά λόγω της έλλειψης στοιχείων (έρευνες, αποτελέσματα) δεν γνωρίζουμε τι ισχύει πραγματικά.

Αρχικά για το φιλτράρισμα των απαγορευμένων σελίδων χρησιμοποιούταν μια διαφορετική προσέγγιση. Αντί για φιλτράρισμα εικόνων πραγματοποιούταν φιλτράρισμα λέξεων. Αυτή η τεχνική ήταν μεν σαφώς γρηγορότερη αλλά είχε το μεγάλο μειονέκτημα ότι απαγόρευε πολλές φορές την είσοδο σε ασφαλές περιεχόμενο. Έτσι λοιπόν αναπτύχθηκε η μέθοδος του skin filtering που προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα.

2. Gesture recognition

Η αναγνώριση χειρονομιών είναι ένα θέμα της επιστήμης των υπολογιστών και της γλωσσικής τεχνολογίας με στόχο την ερμηνεία των ανθρώπινων χειρονομιών μέσω μαθηματικών αλγορίθμων. Οι χειρονομίες μπορεί να προέρχονται από οποιαδήποτε κίνηση του σώματος ή κατάσταση, αλλά συνήθως προέρχονται από το πρόσωπο ή το χέρι. Ο τρέχον εστιασμός του τομέα περιλαμβάνει την αναγνώριση συναισθημάτων από το πρόσωπο και την αναγνώριση χειρονομιών. Πολλές προσεγγίσεις έχουν γίνει με τη χρήση φωτογραφικών μηχανών και αλγορίθμων υπολογιστικής όρασης για την ερμηνεία της νοηματικής γλώσσας. Ωστόσο, ο εντοπισμός και η αναγνώριση της στάσης του σώματος, το βάδισμα, και τις ανθρώπινες συμπεριφορές είναι επίσης θέμα των τεχνικών αναγνώρισης χειρονομίας.

Η αναγνώριση χειρονομιών μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρόπος για τους υπολογιστές να αρχίσουν να καταλαβαίνουν τη γλώσσα του σώματος, χτίζοντας έτσι μια πλουσιότερη γέφυρα ανάμεσα σε μηχανές και ανθρώπους από ότι οι πρωτόγονες διεπαφές χρήστη κειμένου ή ακόμα και GUIs (γραφικά περιβάλλοντα χρήστη), που ακόμα περιορίζουν την πλειοψηφία των εισροών όπως το πληκτρολόγιο και το ποντίκι.

Η αναγνώριση χειρονομίας δίνει τη δυνατότητα στους ανθρώπους να διασυνδέονται με το μηχάνημα (HMI) και να αλληλεπιδρούν φυσικά χωρίς μηχανικές συσκευές. Χρησιμοποιώντας την έννοια της αναγνώρισης χειρονομιών, είναι δυνατόν δείχνοντας με το δάχτυλο στην οθόνη του υπολογιστή ο δείκτης θα κινηθεί ανάλογα. Αυτό θα μπορούσε να κάνει ενδεχομένως τις συμβατικές συσκευές εισόδου όπως το πληκτρολόγιο, το ποντίκι, και ακόμη και τις οθόνες αφής περιττά. Η αναγνώριση χειρονομιών μπορεί να πραγματοποιηθεί με τεχνικές από την computer vision και την επεξεργασία εικόνας.

3. Biometrics

Μια άλλη χρήση του skin – face detection βασίζεται στα συστήματα ασφαλείας. Τα χαρακτηριστικά του προσώπου καθώς και του δέρματος του κάθε ανθρώπου είναι μοναδικά, έτσι λοιπόν αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος ασφαλείας η οποία βασίζεται σε αυτή τη μοναδικότητα των χαρακτηριστικών του κάθε ανθρώπου (πρόσωπο, ίριδα, δέρμα). Σκοπός αυτής της μεθόδου είναι να διευκολύνει τον χρήστη εφόσον πλέον δεν θα χρειάζεται να εισάγει πολύπλοκους κωδικούς για την είσοδο σε κάποιο σύστημα αλλά πολύ απλά με μια φωτογραφία που θα λαμβάνεται εκείνη τη στιγμή και με την ταυτοποίησή της από ειδικό πρόγραμμα ο χρήστης θα μπορεί να εισέρχεται αυτομάτως στο σύστημα. Με αυτή τη μέθοδο αυξάνεται και η ασφάλεια του συστήματος καθώς δεν υπάρχει πλέον ένας κωδικός που μπορεί να υποκλαπεί αλλά ένα φυσικό πρόσωπο.

Μια νέα προσέγγιση αναπτύσσεται αυτή τη στιγμή που έχει σκοπό να αντικαταστήσει όλους τους κωδικούς που χρησιμοποιούμε για την είσοδό μας σε κάθε υπηρεσία. Το νέο αυτό πρόγραμμα θα αποτελείται από μια πλατφόρμα πάνω στην οποία θα κάνουμε link όλους τους λογαριασμούς μας (Hotmail, Gmail, Facebook, Tweeter, MySpace κτλ) και με την είσοδο μας σε αυτό το universal account θα μπορούμε να εισερχόμαστε σε όλα τα άλλα χωρίς την υποχρέωση να κάνουμε login σε κάθε υπηρεσία ξεχωριστά. Αυτή η πλατφόρμα θα χρησιμοποιεί τεχνικές skin detection και face recognition σαν κωδικό πρόσβασής της. Με αυτό τον τρόπο ευελπιστούν ότι θα καταφέρουν να λύσουν το πρόβλημα της ύπαρξης και απομνημόνευσης της σωρείας των κωδικών που χρησιμοποιεί ο κάθε ένας από εμάς.

4. Facial Recognition Technology

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η εισαγωγή της στα θέματα ασφαλείας είναι πολύ σημαντική. Πλέον υπάρχουν πολλές κάμερες που καταγράφουν σημεία αυξημένης επικινδυνότητας (τράπεζες, μαγαζιά, πολυσύχναστους δρόμους) για ύποπτες δραστηριότητες. Όταν κάποια τέτοια δραστηριότητα πραγματοποιηθεί (π.χ. ληστεία) τότε οι Αρχές καταφεύγουν αμέσως στην ανασκόπηση των καταγεγραμμένων δεδομένων από τις κάμερες ασφαλείας και με χρήση ειδικού λογισμικού (Facial Recognition Technology) επιτυγχάνουν την ανίχνευση του υπόπτου και πολλές φορές ακόμα και στην ταυτοποίησή του αν αυτός είναι καταγεγραμμένος στις βάσεις δεδομένων της αστυνομίας εξαιτίας παλαιότερης παραβατικής συμπεριφοράς.

Στην Αγγλία συγκεκριμένα έχουν τοποθετηθεί κάμερες σε όλες τις διασταυρώσεις των μεγαλουπόλεων οι οποίες καταγράφουν συνεχώς και είναι συνδεδεμένες με τις Αρχές βοηθώντας κατά πολύ στην ταχύτερη δράση τους, την αύξηση της αποτελεσματικότητάς τους καθώς και στη μείωση της εγκληματικότητας.

Το μεγάλο τεστ αυτής της τεχνολογίας θα αποτελέσουν οι Ολυμπιακοί αγώνες του 2012 που θα πραγματοποιηθούν στο Λονδίνο.

5. Προεπεξεργαστικό Εργαλείο

Άλλη χρήση του skin detection είναι η λειτουργία του ως ένα προεπεξεργαστικό εργαλείο, δηλαδή το χρησιμοποιούμε για να πραγματοποιήσουμε εντοπισμό του δέρματος σε μια εικόνα ή βίντεο, το οποίο στη συνέχεια μπορούμε να επεξεργαστούμε με διάφορους τρόπους (αλλαγή χρώματος δέρματος, διόρθωση ατελειών, φωτισμού).

Αυτή η διαδικασία θα μπορούσε να εισαχθεί σε ένα πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων (Photoshop) και να διευκολύνει κατά πολύ τις διαδικασίες αλλαγής του φωτισμού και της επεξεργασίας του προσώπου και του δέρματος εφόσον θα γίνεται αυτόματος εντοπισμός και επιλογή τους.

6. Αρχαιοθέτηση και Εύρεση

Η αρχαιοθέτηση εικόνων και βίντεο καθώς επίσης και η γρήγορη εύρεσή τους για επαναχρησιμοποίηση είναι μια άλλη χρήση του skin detection. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε αρχαιοθέτηση των δεδομένων με βάση τα χαρακτηριστικά του προσώπου και του δέρματος του κάθε ανθρώπου. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε πολύ εύκολα να εντοπίσουμε και να επαναχρησιμοποιήσουμε δεδομένα κάποιου συγκεκριμένου προσώπου.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στην ανίχνευση των παρουσιαστών στα δελτία ειδήσεων, την αυτόματη αποθήκευση, αρχαιοθέτησή και επαναχρησιμοποίησή τους.

3. Εισαγωγή στο Matlab

Το ²**MATLAB** είναι ένα σύγχρονο ολοκληρωμένο μαθηματικό λογισμικό πακέτο που χρησιμοποιείται σε πανεπιστημιακά μαθήματα αλλά και ερευνητικές και άλλες εφαρμογές με επιστημονικούς υπολογισμούς (scientific computing). Το όνομά του προέρχεται από τα αρχικά γράμματα των λέξεων **MAT**rix **LAB**oratory (εργαστήριο πινάκων). Το MATLAB είναι ένα διαδραστικό (interactive) πρόγραμμα για αριθμητικούς υπολογισμούς και οπτικοποίηση δεδομένων (data visualization) με δυνατότητες προγραμματισμού που το καθιστούν ένα ισχυρό και χρήσιμο εργαλείο στις μαθηματικές και φυσικές επιστήμες. Σε αντίθεση με τα λογισμικά Maple και Mathematica, το MATLAB στις αρχικές του εκδοχές δεν έκανε συμβολικούς υπολογισμούς. Στις νεότερες εκδοχές του, το πακέτο περιλαμβάνει εργαλεία που επιτρέπουν συμβολικούς υπολογισμούς.

Όπως υποδηλώνεται και από το όνομά του, το MATLAB είναι ειδικά σχεδιασμένο για υπολογισμούς με πίνακες, όπως η επίλυση γραμμικών συστημάτων, η εύρεση ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων, η αντιστροφή τετραγωνικών πινάκων κλπ. Επιπλέον το πακέτο αυτό είναι εφοδιασμένο με πολλές επιλογές για γραφικά (δηλ. την κατασκευή γραμμικών παραστάσεων) και προγράμματα γραμμένα στη δική του γλώσσα προγραμματισμού για την επίλυση άλλων προβλημάτων όπως η εύρεση των ριζών μη γραμμικής εξίσωσης, η επίλυση μη γραμμικών συστημάτων, η επίλυση προβλημάτων αρχικών τιμών με συνήθεις διαφορικές εξισώσεις κτλ.

Η γλώσσα προγραμματισμού του MATLAB δίνει την ευχέρεια στον χρήστη να το επεκτείνει με δικά του προγράμματα. Συχνά θα γράφουμε στη MATLAB (εννοώντας τη γλώσσα προγραμματισμού) και όχι το (πακέτο) MATLAB. Το MATLAB είναι σχεδιασμένο για την αριθμητική επίλυση προβλημάτων σε *αριθμητική πεπερασμένη ακρίβειας* (finite-precision arithmetic), δηλαδή δεν βρίσκει την ακριβή αλλά μια προσεγγιστική λύση ενός προβλήματος. Αυτή είναι και η βασική του διαφορά από τα συστήματα συμβολικών υπολογισμών όπως η Maple και το Mathematica.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η εξοικείωση του αναγνώστη με τα βασικά χαρακτηριστικά της MATLAB. Κάποια θέματα θα τα δούμε μόνο επιφανειακά αφού θα τα συζητήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος σε επόμενα κεφάλαια.

Ας σημειωθεί ότι ο καλύτερος (και ουσιαστικά ο μόνος) τρόπος εκμάθησης της MATLAB είναι η συστηματική ενασχόληση με αυτή και η διερεύνησή της από τον ίδιο τον χρήστη. Το πακέτο είναι εφοδιασμένο με ένα εκτενές σύστημα βοήθειας όπου κάθε εντολή επεξηγείται αναλυτικά και με αντιπροσωπευτικά παραδείγματα. Η πιο σημαντική εντολή της MATLAB είναι η **help** (βοήθεια)! Επίσης, στην επίσημη ιστοσελίδα της MATLAB:

<http://www.mathworks.com>

μπορεί κάποιος να βρει μια πληθώρα πληροφοριών τόσο για αρχάριους όσο και για προχωρημένους.

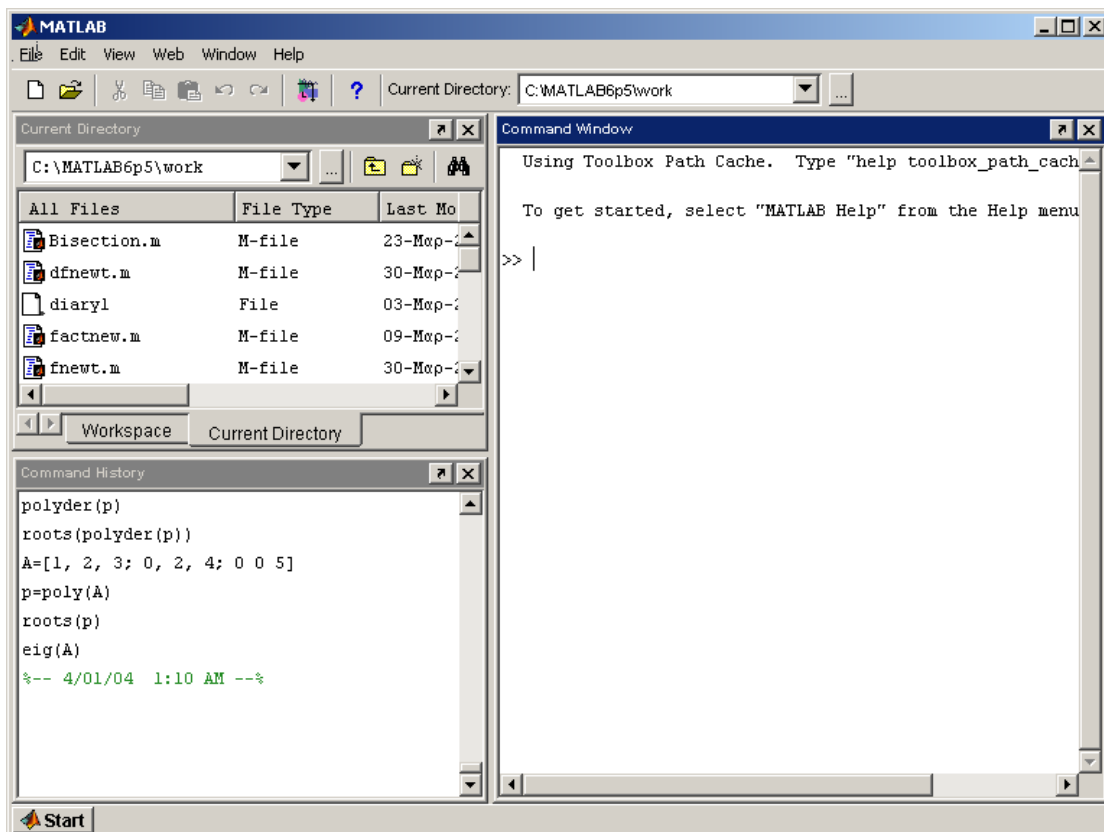
3.1 Ξεκινώντας με το Matlab

Για να χρησιμοποιήσουμε το MATLAB πρέπει να το εγκαταστήσουμε πρώτα στον υπολογιστή μας. Το εικονίδιο του πακέτου φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 5: Εικονίδιο Matlab

Μπορούμε να ξεκινήσουμε το πρόγραμμα με διπλό κλικ πάνω στο εικονίδιο αυτό. Μετά από λίγο, αφού το πρόγραμμα φορτώσει, θα εμφανιστεί στην οθόνη μας το παράθυρο έναρξης της MATLAB (MATLAB opening window):



Εικόνα 6: Αρχικό παράθυρο Matlab

Γενικά εμφανίζονται τέσσερα παράθυρα:

1) Το μεγάλο παράθυρο εντολών (Command Window) στα δεξιά. Οι εντολές της MATLAB εισάγονται σ' αυτό το παράθυρο μετά την προτροπή (prompt) `>>`. Τα αποτελέσματα επίσης τυπώνονται στο παράθυρο αυτό (προεπιλογή).

2) Ένα μικρό παράθυρο πάνω αριστερά που δείχνει τον τρέχοντα φάκελο (Current Directory) και τα αρχεία που εμφανίζονται σ' αυτόν. Αν το παράθυρο είναι κρυμμένο, επιλέξτε *Current Directory*.

3) Ένα παράθυρο που εναλλάσσεται με το παράθυρο τρέχοντα φακέλου ανάλογα με την επιλογή *Workspace* ή *Current Directory* είναι το παράθυρο του χώρου εργασίας (*workspace*). Αν το παράθυρο είναι κρυμμένο, επιλέξτε *Workspace*.

4) Ένα παράθυρο κάτω αριστερά που δείχνει το ιστορικό εντολών (*Command History*). Αν δεν εμφανιστεί το παράθυρο αυτό επιλέξτε *Command History* στην επιλογή *View*. Με τον ίδιο τρόπο μπορείτε να κλείσετε το παράθυρο αυτό.

Κατά τη διάρκεια μιας εργασίας στη MATLAB μπορεί να εμφανιστούν αυτόματα και άλλα παράθυρα όταν αυτό απαιτείται όπως παράθυρα κειμένων (*document windows*), παράθυρα γραφικών (*graphics windows*) και παράθυρα σύνταξης αρχείων (*editing windows*).

Η έξοδος από το πρόγραμμα μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

- με την εντολή **quit** ή την εντολή **exit** στο παράθυρο εντολών,
- με κλικ στο τετραγωνίδιο [x] που βρίσκεται πάνω δεξιά στο παράθυρο της MATLAB, και
- με την επιλογή *File* → *Exit MATLAB* στο παράθυρο εργασίας.

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε πως μπορούμε να αποθηκεύσουμε την εργασία μας και τις μεταβλητές που υπολογίσαμε σε αρχείο (για να μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε αργότερα).

Με την εντολή *version* μπορούμε να μάθουμε την έκδοση της MATLAB που χρησιμοποιούμε. Με την εντολή *ver* παίρνουμε περισσότερες πληροφορίες, όπως το λειτουργικό σύστημα (*operating system*), την έκδοσή του μεταγλωττιστή (*compiler*) και τις εκδοχές των εργαλειοθηκών (*toolboxes*) του πακέτου.

Το MATLAB μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν απλή αριθμομηχανή. Για τις βασικές πράξεις χρησιμοποιούνται τα σύμβολα που φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα:

Σύμβολο	Πράξη
+	Πρόσθεση
-	Αφαίρεση
*	Πολλαπλασιασμός
/	Διαίρεση
^	Ύψωση σε δύναμη

Πίνακας 1: Βασικές πράξεις

Παράδειγμα 1

```
>> 1+2
ans = 3
>> 3.14567-3
ans = 0.1457
>> 8/2.2
ans = 3.6364
>> 3*4
```

```
ans = 12
>> 3^4
ans = 81
```

Ο επιστημονικός συμβολισμός

Εκτός από το δεκαδικό συμβολισμό (decimal notation) η MATLAB (όπως και μια αριθμομηχανή) χρησιμοποιεί το λεγόμενο επιστημονικό συμβολισμό (scientific notation). Ας πάρουμε σαν παράδειγμα τους (σε δεκαδική μορφή) αριθμούς

0.0001234 και 4567.89

Στον επιστημονικό συμβολισμό γράφουμε τους πιο πάνω αριθμούς σαν
1.234 10⁻⁴ και 4.56789 10³.

Στη MATLAB γράφουμε τους δύο αριθμούς ως εξής:

1.234e-4 και 4.56789e3

δηλ. χρησιμοποιούμε το γράμμα e για να δείξουμε ότι ακολουθεί ο εκθέτης του 10. Θα μπορούσαμε ακόμα να γράψουμε

0.1234e-3 και 0.456789e4

Ο επιστημονικός συμβολισμός είναι ιδιαίτερα βολικός όταν χρησιμοποιούμε πολύ μεγάλους ή πολύ μικρούς αριθμούς. Για παράδειγμα, για τον αριθμό Avogadro είναι προτιμότερο να γράψουμε ότι αυτός είναι ίσος με

6.022 10²³

και όχι

60220000000000000000000!!!

3.2 Μεταβλητές

Η εκχώρηση τιμής σε μια μεταβλητή γίνεται με το σύμβολο =.

Παράδειγμα 2

```
>> x=1
x = 1
>> y=2
y = 2
>> w=x^y
w = 1
```

Για τα ονόματα μεταβλητών χρησιμοποιούνται κυρίως γράμματα του αγγλικού αλφαβήτου. Η MATLAB κάνει διάκριση μεταξύ κεφαλαίων και μικρών γραμμάτων. Για παράδειγμα οι μεταβλητές y και Y είναι διαφορετικές μεταξύ τους.

Για τα ονόματα μεταβλητών ισχύουν οι πιο κάτω κανόνες:

- Το όνομα αρχίζει με γράμμα (του αγγλικού αλφαβήτου).
- Το όνομα περιέχει μόνο γράμματα, αριθμούς και υποπαύλες (underscore).
- Δεν χρησιμοποιούνται ονόματα που έχουν δεσμευτεί από τη MATLAB (π.χ. συναρτήσεις βιβλιοθήκης και εργαλείοι).
- Προτιμούνται μικρά ονόματα για πρακτικούς λόγους αν και δεν υπάρχει

περιορισμός στο μήκος των ονομάτων.

Παράδειγμα 3

```
>> Y=20.2
Y = 20.2000
>> y=2;
:>> Y+y
ans = 22.2000
```

Παρατηρούμε ότι η MATLAB επιστρέφει μετά από κάθε εντολή το αποτέλεσμά της. Αν δεν θέλουμε να εμφανίζεται στο παράθυρο εργασίας το αποτέλεσμα μιας εντολής γράφουμε στο τέλος της εντολής το ερωτηματικό ';' (semicolon). Οποτεδήποτε θέλουμε να δούμε στο παράθυρο εργασίας την τιμή μιας ενεργής μεταβλητής, γράφουμε απλώς το όνομά της.

Μπορούμε να γράψουμε περισσότερες από μια εντολές σε μια γραμμή τις οποίες χωρίζουμε είτε με κόμματα είτε με ερωτηματικά (αν δεν θέλουμε να τυπωθεί το αποτέλεσμα στο παράθυρο εντολών).

Παράδειγμα 4

```
>> x=1; y=2, z=3; sum=x+y+z, w=x*y*z;
y = 2
sum = 6
```

Παρατηρούμε ότι στο παράθυρο εντολών τυπώθηκαν μόνο τα y και sum αφού μετά τις αντίστοιχες εντολές χρησιμοποιήσαμε κόμμα και όχι ερωτηματικό.

Θα έχετε ήδη προσέξει ότι όταν το αποτέλεσμα μιας εντολής δεν εκχωρείται σε μια μεταβλητή, τότε αυτό εκχωρείται στην προεπιλεγμένη μεταβλητή **ans**. Η μεταβλητή αυτή ανακυκλώνεται κάθε φορά που δίνουμε εντολή το αποτέλεσμα της οποίας δεν εκχωρείται σε κάποια άλλη μεταβλητή.

Παράδειγμα 5

```
>> y-2000
ans = 6
>> ans^2
ans = 36
>> ans/10
ans = 3.6000
```

Οι μεταβλητές στη MATLAB μπορεί να είναι όχι μόνο πραγματικές αλλά και μιγαδικές ή αλφαριθμητικές, δηλ. να έχουν ως τιμές ακολουθίες χαρακτήρων (strings)1, ή ακόμα λογικές (logical), δηλ. να παίρνουν τις τιμές true (αληθής) και false (ψευδής).

Η MATLAB επεξεργάζεται με φυσικό τρόπο και μιγαδικούς αριθμούς. Αυτοί ορίζονται απλά ως εξής: $a+bi$ όπου οι a και b είναι πραγματικοί αριθμοί και το i συμβολίζει τη φανταστική μονάδα: $i = -1$. Ο συζυγής ενός μιγαδικού αριθμού z είναι ο z' .

Οι πίνακες και τα διανύσματα αποτελούν τις κύριες μεταβλητές της MATLAB όπως δηλώνεται και από το όνομά της. Μάλιστα στις αρχικές εκδοχές της MATLAB (μέχρι και την εκδοχή 3) όλες οι μεταβλητές ήταν πίνακες, αφού οι αριθμοί αντιμετωπίζονται σαν 1×1 πίνακες και τα διανύσματα σαν $1 \times n$ πίνακες.

Οι πίνακες στη MATLAB εισάγονται με βάση τους εξής κανόνες:

1. Τα στοιχεία του πίνακα γράφονται ανάμεσα σε αγκύλες [.....]. Μόνο στην περίπτωση 1×1 πινάκων, δηλ. μόνο στην περίπτωση αριθμών (!), οι αγκύλες είναι προαιρετικές.

2. Τα στοιχεία μιας γραμμής του πίνακα χωρίζονται είτε με κόμματα είτε με κενό.

3. Η αλλαγής γραμμής στον πίνακα δηλώνεται είτε με ερωτηματικό (;) είτε με αλλαγή γραμμής στο παράθυρο εντολών της MATLAB.

Τα πιο πάνω θα φανούν πολύ πιο εύκολα αν δούμε τα παραδείγματα που ακολουθούν.

Παράδειγμα 6

Θα προσθέσουμε τα διανύσματα $u = (4, 0, -1, 2)$ και $v = (1, 2, -3, 1)$.

```
>> u=[4 0 -1 2];
>> v=[1, 2, -3, 1];
>> u+v
ans = 5 2 -4 3
```

Προσέξτε ότι στο u χωρίσαμε τα στοιχεία με κενά ενώ στο v τα χωρίσαμε με κόμματα. Οι δύο τρόποι είναι ισοδύναμοι.

Παράδειγμα 7

Θα βρούμε τα γινόμενα uv και vu όπου

$$u = [1 \ -1 \ 4] \text{ και } v = \begin{matrix} 3 \\ 0 \\ 2 \end{matrix}$$

```
>> u=[1 -1 4];
>> v=[-3;0;2];
>> u*v
ans = 5
>> v*u
ans =
-3 3 -12
```

0 0 0
2 -2 8

Η MATLAB χρησιμοποιεί επίσης αλφαριθμητικές μεταβλητές οι οποίες έχουν σαν τιμές ακολουθίες χαρακτήρων οι οποίες εισάγονται ανάμεσα σε τόνους όπως φαίνεται και στο παράδειγμα που ακολουθεί.

Παράδειγμα 8

```
>> stringvar='Keimeno se 1 grammi'  
stringvar = Keimeno se 1 grammi
```

Τέλος η MATLAB χρησιμοποιεί λογικές μεταβλητές. Στην τιμή true (αληθής) η MATLAB αντιστοιχεί τη μονάδα 1 ενώ στην τιμή false (ψευδής) αντιστοιχεί το 0. Έτσι οι παραστάσεις true, logical(1) και logical(true) μας δίνουν την τιμή 1, ενώ οι παραστάσεις false, logical(0) και logical(false) μας δίνουν την τιμή 0.

3.3 Βαθμωτές συναρτήσεις βιβλιοθήκης

Η MATLAB είναι εφοδιασμένη με αρκετές συναρτήσεις βιβλιοθήκης οι οποίες περιλαμβάνουν τους λογαρίθμους, τις εκθετικές συναρτήσεις, τις τριγωνομετρικές, τις υπερβολικές συναρτήσεις, συναρτήσεις στατιστικής ανάλυσης και άλλες. Στον πίνακα φαίνονται μόνο μερικές από αυτές.

Συνάρτηση	Ερμηνεία
sin	ημίτονο
cos	συνημίτονο
tan	εφαπτομένη
asin	τόξο ημιτόνου
acos	τόξο συνημίτονου
atan	τόξο εφαπτομένης
exp	εκθετική συνάρτηση
log	φυσικός λογάριθμος
abs	απόλυτη τιμή
sqrt	τετραγωνική ρίζα
round	στρογγυλοποίηση στον πλησιέστερο ακέραιο
floor	στρογγυλοποίηση στον μείον άπειρο

Πίνακας 2: Βασικές Συναρτήσεις και ερμηνεία τους

Αρκετά από τα ονόματα των συναρτήσεων βιβλιοθήκης στην MATLAB είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται στη γλώσσα C αλλά και τη FORTRAN, όπως sin, exp, sqrt, log κα.

Με την εντολή **help** μπορούμε να βρούμε πληροφορίες για τις παραπάνω εντολές καθώς και για όλες τις εντολές του προγράμματος αυτού. Η help αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο στην εκμάθηση και κατανόηση της MATLAB.

Παράδειγμα 9

>> help dir

DIR List directory.

DIR directory_name lists the files in a directory. Pathnames and wildcards may be used. For example, DIR *.m lists all the M-files in the current directory.

D = DIR('directory_name') returns the results in an M-by-1 structure with the fields:

name -- Filename
 date -- Modification date
 bytes -- Number of bytes allocated to the file
 isdir -- 1 if name is a directory and 0 if not
 datenum -- Modification date as a MATLAB serial date number.
 This value is locale-dependent.

3.4 Εντολές διαχείρισης του χώρου εργασίας

Στην παράγραφο αυτή θα συζητήσουμε χρήσιμες εντολές για τη διαχείριση του παραθύρου εργασίας και των ενεργών μεταβλητών που έχουμε δημιουργήσει. Αυτές φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Εντολή	Ερμηνεία
exit , quit	έξοδος από το πρόγραμμα
clear	διαγραφή ενεργών μεταβλητών
clc	καθαρισμός παραθύρου εργασίας
help	βοήθεια
who , whos	κατάλογος ενεργών μεταβλητών εργασίας
load	φόρτωση από αρχείο των μεταβλητών εργασίας
save	αποθήκευση σε αρχείο των μεταβλητών εργασίας

Πίνακας 3: Εντολές διαχείρισης χώρου εργασίας

Αξίζει τον κόπο να θυμόμαστε τις εξής βασικές οδηγίες για το παράθυρο εντολών:

- Στην MATLAB υπάρχει διάκριση μεταξύ μικρών και κεφαλαίων γραμμάτων (οι μεταβλητές A και a είναι διαφορετικές μεταξύ τους).
- Όταν γράψουμε το όνομα μιας μεταβλητής, η MATLAB τυπώνει στην οθόνη την τιμή της.
- Αν γράψουμε το σύμβολο ';' στο τέλος μιας εντολής, το αποτέλεσμα της δεν τυπώνεται στην οθόνη.
- Μπορούμε να γράψουμε μια ακολουθία εντολών της MATLAB σε μια γραμμή χωρίζοντάς τις με κόμματα ή ερωτηματικά.
- Πατώντας τα πλήκτρα με τα πάνω και κάτω βέλη ([↑] και [↓]) μπορούμε να διατρέξουμε όλες τις προηγούμενες εντολές. Επίσης μια προηγούμενη εντολή μπορεί να επαναληφθεί αν γράψουμε τα πρώτα γράμματα και μετά πατήσουμε το πλήκτρο με το πάνω βέλος [↑].

3.5 Πίνακες

Στις αρχικές εκδοχές της MATLAB (μέχρι και την εκδοχή 3) κάθε μεταβλητή ήταν ένας δισδιάστατος, δηλ. $m \times n$, πίνακας με (μιγαδικούς) αριθμούς διπλής ακρίβειας. Τα διανύσματα και οι αριθμοί ήταν απλώς ειδικές περιπτώσεις ($1 \times n$ ή $n \times 1$ και 1×1 πίνακες αντίστοιχα). Από την εκδοχή 4, η MATLAB δέχεται επιπλέον n -διάστατους πίνακες καθώς και άλλους τύπους δεδομένων. Οι νέοι αυτοί τύποι δεδομένων περιλαμβάνουν τις δομές (structures), τις τάξεις (classes) και τους πίνακες κελιών (cell arrays), οι οποίοι είναι πίνακες με στοιχεία όχι αναγκαστικά του ίδιου τύπου. Για παράδειγμα σ' ένα μονοδιάστατο πίνακα, το πρώτο στοιχείο μπορεί να είναι ένας αριθμός, το δεύτερο ένα αλφαριθμητικό (string), το τρίτο ένα διάνυσμα κ.ο.κ.

Για να ορίσουμε έναν πίνακα δίνουμε τα στοιχεία κάθε γραμμής και για να υποδείξουμε την αλλαγή γραμμής χρησιμοποιούμε το σύμβολο ';' ή απλά αλλάζουμε γραμμή.

Παράδειγμα 10

```
>> a = [-3, 4, 0]
a = -3 4 0
>> a = [-3 4 0]
a = -3 4 0
```

```
>> b = [ 1
        2
       -4
        3]
```

b =

1

2

-4

3

```
>> b = [1; 2; -4; 3]
```

b =

1

2


```
-4
3
>> A=[ 1 2 3 4
      1 0 1 0
      -1 2 -2 1
      4 1 0 0]
A =
  1 2 3 4
  1 0 1 0
 -1 2 -2 1
  4 1 0 0
```

Οι πράξεις μεταξύ πινάκων γίνονται με τα σύμβολα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Σύμβολο	Πράξη
+	Πρόσθεση
-	Αφαίρεση
*	Πολλαπλασιασμός
\	Αριστερή Διαίρεση
/	Δεξιά Διαίρεση
^	Ύψωση σε Δύναμη

Πίνακας 4: Πράξεις πινάκων

Εννοείται βέβαια ότι οι χρησιμοποιούμενοι πίνακες πρέπει να είναι συμβιβάσιμοι ως προς την πράξη που κάνουμε. Έτσι, η ύψωση σε δύναμη είναι δυνατή μόνο για τετραγωνικούς πίνακες. Ο ανάστροφος A^T ενός πραγματικού πίνακα A , συμβολίζεται με A' ενώ ο A'' είναι ο συζυγής του A (χωρίς αναστροφή).

Παράδειγμα 11

```
>> a=[-3 4 0];

>> a'
ans =
    -3
     4
     0

>> (-3)*a
ans = 9 -12 0

>> a-1
ans = -4 3 -1
```

Αρκετοί στοιχειώδεις πίνακες μπορούν να παραχθούν με τις συναρτήσεις της MATLAB. Οι σημαντικότερες από αυτές φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Συνάρτηση	Ερμηνεία
eye	πίνακας με 1 στη κύρια διαγώνιο και 0 αλλού
zeros	μηδενικός πίνακας
ones	πίνακας με 1 σε όλες τις θέσεις
rand	ομοιόμορφα ψευδό-τυχαίος πίνακας

Πίνακας 5: Συναρτήσεις και ερμηνεία τους

Στις παραπάνω συναρτήσεις πρέπει να ορίσουμε και τις επιθυμητές διαστάσεις του πίνακα. eye(m,n) ή eye([m n]).

Παράδειγμα 12

Ας δούμε τι μας δίνουν οι eye(2,3), zeros(4,5), ones(4,2) και rand(4)

```
>> eye(2,3)
ans =
    1 0 0
    0 1 0
```

```
>> eye(3,3)
ans =
    1 0 0
    0 1 0
    0 0 1
```

```
>> zeros(4,5)
ans =
    0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0
```

```
>> ones(4,2)
ans =
    1 1
    1 1
    1 1
    1 1
```

```
>> rand(4)
ans =
    0.9501 0.8913 0.8214 0.9218
```

```
0.2311 0.7621 0.4447 0.7382
0.6068 0.4565 0.6154 0.1763
0.4860 0.0185 0.7919 0.4057
```

Ορισμός πινάκων με βήμα

Η MATLAB μας δίνει τη δυνατότητα να ορίσουμε τα στοιχεία ενός διανύσματος με κάποιο βήμα:

$$u = [u1 : b : u_{last}]$$

πρώτο στοιχείο βήμα τελευταίο στοιχείο

Αν το βήμα b είναι ίσο με τη μονάδα, τότε αυτό μπορεί να παραλειφθεί:

$$u = [u1 : u_{last}]$$

Εδώ τονίζουμε πως το βήμα μπορεί να είναι και αρνητικό.

Παράδειγμα 13

Θα κατασκευάσουμε πρώτα το $u = (-1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)$ με δύο τρόπους:

```
>> u=[-1:1:10]
u =
-1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

```
>> u=[-1:10]
u =
-1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

Θα κατασκευάσουμε τώρα το $u = (-1, 1, 3, 5, 7, 9)$.

```
>> u=[-1:2:9]
u =
-1 1 3 5 7 9
```

3.6 Συναρτήσεις βιβλιοθήκης για διανύσματα

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται κάποιες από τις συναρτήσεις βιβλιοθήκης για διανύσματα.

Συνάρτηση	Ερμηνεία
max	μέγιστο στοιχείο διανύσματος
min	ελάχιστο στοιχείο διανύσματος
length	μήκος διανύσματος
sort	ταξινόμηση σε αύξουσα σειρά
sum	άθροισμα στοιχείων
prod	γινόμενο στοιχείων
norm	νόρμα διανύσματος
median	διάμεσος
mean	μέση τιμή
std	τυπική απόκλιση

Πίνακας 6: Συναρτήσεις διανυσμάτων

Μπορείτε να μάθετε περισσότερα για τις πιο πάνω συναρτήσεις και τη χρήση τους με την εντολή **help**.

Τέλος θα μιλήσουμε για εντολές image manipulation οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε διαδικασίες όπου απαιτείται επεξεργασία εικόνας στο MATLAB.

Συνάρτηση	Ερμηνεία
imread	Διαβάζει εικόνα που είναι αποθηκευμένη στον Y/H
imshow	Εμφανίζει την εικόνα που θέλουμε
imhist	Εμφανίζει ιστόγραμμα της εικόνας που ορίζουμε
plot	Εμφανίζει συνάρτηση των μεταβλητών που ορίζουμε στους άξονες x,y
imcrop	Μας επιτρέπει να κόψουμε μια εικόνα
imresize	Μας επιτρέπει να επαναορίσουμε τις διαστάσεις διαστάσεις μιας εικόνας

Πίνακας 7: Βασικές συναρτήσεις επεξεργασίας εικόνων

Παράδειγμα 14

Ας δούμε πως συντάσσονται οι παραπάνω εντολές.

```
A=imread('rice.png');
```

```
Imshow(A)
```

```
Imhist(A)
```

```
Plot(A)
```

`Imcrop(A)`

`Imresize(A,[300,300])`

Αυτό το κεφάλαιο αφιερώθηκε στην εισαγωγή μας στον κόσμο της MATLAB έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί μια ομαλότερη μετάβαση στο πρόγραμμα αυτό καθώς η εργασία του skin detection βασίζεται πάνω σε αυτό. Οι όροι που αναλύθηκαν παραπάνω θα βοηθήσουν πολύ στην ευκολότερη κατανόηση του κώδικα που χρησιμοποιείται στο 5^ο Κεφάλαιο για την πραγματοποίηση της ανίχνευσης δέρματος.

4. Τεχνικές Ανίχνευσης Δέρματος

Το χρώμα του δέρματος έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα χρήσιμο και ισχυρό εργαλείο για την ανίχνευση προσώπων, τον εντοπισμό και την παρακολούθηση, του φιλτραρίσματος του περιεχομένου της εικόνας, της συμπίεσης βίντεο καθώς και οι εφαρμογές εξισορρόπησης έγχρωμης εικόνας μπορούν επίσης να επωφεληθούν από την αυτόματη ανίχνευση του δέρματος σε εικόνες.

Πολυάριθμες τεχνικές για την μοντελοποίηση του χρώματος του δέρματος και της αναγνώρισης του έχουν προταθεί κατά τη διάρκεια προηγούμενων ετών. Εμείς σε αυτό το κεφάλαιο θα σας παρουσιάσουμε μερικές από τις πιο ευρέως διαδεδομένες τεχνικές skin detection.

Αρχικά θα μιλήσουμε για την χρωματομετρία, τα computer graphics και τα πρότυπα μετάδοσης σημάτων βίντεο που έχουν γεννήσει πολλά colorspace με διαφορετικές ιδιότητες. Μια μεγάλη ποικιλία από αυτά έχουν εφαρμοστεί στο πρόβλημα της μοντελοποίησης χρώματος δέρματος. Θα εξετάσουμε εν συντομία τα πιο δημοφιλή colorspace και τις ιδιότητές τους.

1. RGB

Το RGB είναι ένα colorspace που προήλθε από την εφαρμογή απεικόνισης CRT, όταν ήταν βολικό να περιγράψουμε το χρώμα ως συνδυασμό από τρεις χρωματικές συνιστώσες (κόκκινη, πράσινη και μπλε). Είναι ένα από τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα colorspace για την επεξεργασία και αποθήκευση των ψηφιακών δεδομένων εικόνας. Ωστόσο, η υψηλή συσχέτιση μεταξύ των καναλιών, η μη ομοιομορφία, η ανάμειξη του chrominance και τα δεδομένα φωτεινότητας κάνουν το RGB να μην είναι μια πολύ ευνοϊκή επιλογή για την ανάλυση χρώματος.

2. Normalized RGB

Normalized (κανονικοποιημένο) RGB είναι μια παράσταση που είναι εύκολο να βρεθεί από τις τιμές του RGB μετά από μια απλή διαδικασία εξομάλυνσης:

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad g = \frac{G}{R+G+B} \quad b = \frac{B}{R+G+B}$$

Δεδομένου ότι το άθροισμα των τριών κανονικοποιημένων συστατικών είναι γνωστό ($r + g + b = 1$), το τρίτο συστατικό δεν κατέχει καμία σημαντική πληροφορία και μπορεί να παραληφθεί, προκαλώντας τη μείωση των διαστάσεων στο χώρο. Τα υπόλοιπα συστατικά συχνά αποκαλούνται «καθαρά χρώματα», για την εξάρτησή τους (r και g) με τη φωτεινότητα της πηγής RGB μειώνεται από την εξομάλυνση. Μια αξιοσημείωτη ιδιότητα αυτής της εκπροσώπησης είναι ότι για ματ επιφάνειες, αγνοώντας το φως του περιβάλλοντος, το κανονικοποιημένο RGB είναι αναλλοίωτο (υπό ορισμένες προϋποθέσεις) στις αλλαγές του προσανατολισμού της επιφάνεια σχετικά με την πηγή του φωτός. Αυτό, σε συνδυασμό με την απλότητα του μετασχηματισμού βοήθησε αυτό το colorspace να αποκτήσει μεγάλη δημοτικότητα μεταξύ των ερευνητών.

3. HSI, HSV, HSL - Hue Saturation Intensity

Απόχρωση-κορεσμός με βάση τα colorspaces εισήχθησαν όταν παρατηρήθηκε ανάγκη στο χρήστη να καθορίσει τις ιδιότητες του χρώματος αριθμητικά. Περιγράφουν χρώμα με διαισθητικές αξίες, με βάση την ιδέα του καλλιτέχνη για την απόχρωση, τον κορεσμό και τον τόνο. Το Hue καθορίζει το κυρίαρχο χρώμα (όπως το κόκκινο, το πράσινο, το μοβ και το κίτρινο) μιας περιοχής. Ο κορεσμός μετράει την colorfulness (χρωματικότητα) μιας περιοχής, ανάλογα με τη φωτεινότητα της. Η "ένταση", "ελαφρότητα" ή "αξία" έχει σχέση με τη φωτεινότητα. Η διαίσθηση των συστατικών του colorspace και η ρητή διάκριση μεταξύ φωτεινότητας και ιδιότητας chrominance κάνει αυτά τα colorspaces δημοφιλή στα έργα για την κατάτμηση του χρώματος του δέρματος. Μερικά σημαντικά στοιχεία για το Hue είναι ότι είναι αμετάβλητο σε φωτισμό από πηγές λευκού φωτός και επίσης για ματ επιφάνειες, με το φως του περιβάλλοντος και τον προσανατολισμό του στην επιφάνεια σε σχέση με τη φωτεινή πηγή.

Ωστόσο μας επισημαίνονται αρκετά ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά αυτών των colorspaces, συμπεριλαμβανομένων ασυνέχειες απόχρωσης και τον υπολογισμό της "φωτεινότητας" (ελαφρότητα, αξία), που έρχεται σε αντίθεση με τις ιδιότητες του color vision.

$$H = \arccos \frac{\frac{1}{2}((R-G)+(R-B))}{\sqrt{((R-G)^2+(R-B)(G-B))}}$$

$$S = 1 - 3 \frac{\min(R, G, B)}{R+G+B}$$

$$V = \frac{1}{3}(R+G+B)$$

Ένας εναλλακτικός τρόπος για τον υπολογισμό της απόχρωσης και του κορεσμού χρησιμοποιώντας τιμές log opponent εισήχθη από [Fleck 1996], όπου η επιπρόσθετη παροχή λογαριθμικής μετατροπής RGB τιμών είχαν ως στόχο τη μείωση την εξάρτησης του chrominance στο επίπεδο φωτισμού.

4. TSL - Tint, Saturation, Lightness

Μια κανονικοποιημένη chrominance- luminance στο χώρο TSL είναι ένας μετασχηματισμός της κανονικοποιημένης RGB σε πιο διαισθητικές αξίες, κοντά στην απόχρωση και τον κορεσμό.

$$S = [9/5(r^2 + g^2)]^{1/2}$$

$$T = \begin{cases} \arctan(r'/g')/2\pi + 1/4, g' > 0 \\ \arctan(r'/g')/2\pi + 3/4, g' < 0 \\ 0, g' = 0 \end{cases}$$

$$L = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

Ο [Terrillon 2000] έχει συγκρίνει εννέα διαφορετικά colorspaces για τη μοντελοποίηση του δέρματος και υποστηρίζει ότι ο κανονικοποιημένος TSL χώρος είναι ανώτερος από τα άλλα colorspaces για το έργο αυτό.

5. YCrCb

Το YCrCb είναι ένα κωδικοποιημένο μη γραμμικό RGB σήμα, που χρησιμοποιείται συνήθως από Ευρωπαϊκά στούντιο τηλεόρασης για τη συμπίεση εικόνας. Το χρώμα εκπροσωπείται από τη luma (η οποία είναι φωτεινότητα που υπολογίζεται από μη γραμμική RGB [Poynton 1995]), κατασκευάστηκε ως ένα σταθμισμένο άθροισμα των RGB αξιών, και δύο έγχρωμες διαφορές τιμών Cr και Cb που σχηματίζονται αφαιρώντας τη luma από το RGB κόκκινο και μπλε στοιχεία όπως φαίνεται παρακάτω:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$C_r = R - Y$$

$$C_b = B - Y$$

Η απλότητα στη μετατροπή και ο διαχωρισμός της φωτεινότητας και των συστατικών του chrominance κάνει αυτό το χρωματικό χώρο εξαιρετικά ελκυστικό για τη μοντελοποίηση του χρώματος του δέρματος.

6. Perceptually uniform color systems

Ο όρος "χρώμα του δέρματος» δεν είναι μια φυσική ιδιότητα ενός αντικειμένου, αλλά ένα φαινόμενο αντίληψης και ως εκ τούτου μια υποκειμενική ανθρώπινη αντίληψη. Ως εκ τούτου, η απεικόνιση των χρωμάτων παρόμοια με τη χρωματική ευαισθησία της ανθρώπινης όρασης πρέπει να βοηθήσει ώστε να επιτεχθούν υψηλές επιδόσεις στον αλγόριθμο ανίχνευσης δέρματος.

Τα CIELAB και CIELUV είναι αντιληπτικά ομοιόμορφα colorspace που προτάθηκαν από τον [Γ. Wyszecki] και τυποποιήθηκαν από τον CIE (Διεθνής Επιτροπή de L'Eclairage). Αντιληπτική ομοιομορφία σημαίνει ότι μια μικρή διαταραχή σε μια τιμή ενός στοιχείου είναι περίπου εξίσου αισθητή σε όλο το εύρος της τιμής αυτής.

Ο γνωστός RGB colorspace απέχει πολύ από το να είναι αντιληπτικά ομοιόμορφος, ο μη-γραμμικός μετασχηματισμός των CIELAB και CIELUV προσπαθήσει να διορθώσει την κατάσταση αυτή. Η τιμή για καλύτερη αντιληπτική ομοιομορφία είναι πολύπλοκες λειτουργίες μετασχηματισμών από και προς τον RGB χώρο, απαιτώντας πολλούς περισσότερους υπολογισμούς από τα άλλα colorspace.

7. RGB channels ratio

Παρατηρήθηκε, ότι το δέρμα περιέχει πάντοτε ένα σημαντικό επίπεδο κόκκινου χρώματος. Χρησιμοποιώντας αυτή την παρατήρηση, ορισμένες αξίες της R / G αναλογίας χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες της παρουσίας του δέρματος [Wark και Sridharan 1998]. Η χρησιμότητα των άλλων αναλογιών στον RGB χώρο (R / B και G / B) για την ανίχνευση του δέρματος έχουν επίσης ελεγχθεί και αξιολογηθεί.

8. Other colorspace

Εκτός του YCrCb, αρκετές άλλες γραμμικές μεταμορφώσεις χρησιμοποιήθηκαν στο χώρο του RGB για την ανίχνευση του δέρματος - YES [Saber και Tekalp 1998], YUV [Marques και Vilaplana 2000] και YIQ [Brand και Mason 2000]. Μεταξύ των λιγότερο χρησιμοποιούμενων colorspace μπορούμε να αναφέρουμε το CIE-XYZ [Terrillon et al. 2000].

4.1 Skin Modeling

Ο τελικός στόχος της ανίχνευσης χρώματος του δέρματος είναι να δημιουργήσει έναν κανόνα, που θα κάνει διακρίσεις μεταξύ των pixels του δέρματος και των pixels του μη δέρματος. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με την εισαγωγή ενός μετρικού, το οποίο μετρά την απόσταση (σε γενική έννοια) από το χρώμα του pixel ως τον τόνο του δέρματος. Ο τύπος αυτού του μετρικού καθορίζεται από τη μέθοδο μοντελοποίησης του χρώματος του δέρματος.

1. Explicitly defined skin region

Μια μέθοδος για την κατασκευή ενός ταξινομητή δέρματος είναι να οριστεί ρητά (μέσω μιας σειράς κανόνων) τα όρια του συμπλέγματος του δέρματος για συγκεκριμένο χρωματικό χώρο. Π.χ.

$$\begin{aligned} (R, G, B) \text{ is classified as skin if:} \\ R > 95 \text{ and } G > 40 \text{ and } B > 20 \text{ and} \\ \max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\} > 15 \text{ and} \\ |R - G| > 15 \text{ and } R > G \text{ and } R > B \end{aligned}$$

Η απλότητα αυτής της μεθόδου έχει προσελκύσει (και εξακολουθεί να κάνει) πολλούς ερευνητές [Peer 2003], [Ahlberg 1999], [Fleck 1996]. Το προφανές πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η απλότητά των κανόνων ανίχνευσης του δέρματος που οδηγεί στην κατασκευή ενός πολύ γρήγορου ταξινομητή. Η κύρια δυσκολία στην επίτευξη υψηλών ποσοστών αναγνώρισης με αυτή τη μέθοδο είναι ότι πρέπει να εξευρεθεί καλό colorspace καθώς και επαρκής κανόνας για την λήψη της απόφασης. Πρόσφατα, έχει προταθεί μια μέθοδος που χρησιμοποιεί αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για να βρεθεί το κατάλληλο colorspace και ένας απλός κανόνας απόφασης που θα επιτυγχάνουν υψηλά ποσοστά αναγνώρισης.

Οι συγγραφείς [Gomez και ο Morάλες 2002] ξεκινούν σε έναν κανονικοποιημένο RGB χώρο και στη συνέχεια εφαρμόζουν έναν αλγόριθμο εποικοδομητικής επαγωγής για να δημιουργήσουν μια σειρά από νέες ομάδες των τριών χαρακτηριστικών οι οποίοι είναι μια υπέρθεση των R, G, B και μιας σταθερής $1/3$, που κατασκευάστηκε από βασικές αριθμητικές πράξεις. Ένας κανόνας απόφασης παρόμοιος με τον παραπάνω που επιτυγχάνει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα αναγνώρισης υπολογίζεται για κάθε σύνολο γνωρισμάτων. Οι συγγραφείς απαγορεύουν την κατασκευή υπερβολικά πολύπλοκων κανόνων, το οποίο βοηθά στην αποφυγή του over-fitting των δεδομένων το οποίο είναι δυνατό σε περίπτωση έλλειψης της αντιπροσωπευτικότητας του συνόλου εκπαίδευσης. Έχουν επιτύχει αποτελέσματα που ξεπερνούν τον Bayes skin probability map που θα αναλυθεί παρακάτω.

2. Nonparametric skin distribution modeling

Η βασική ιδέα της μη-παραμετρικής μεθόδου μοντελοποίησης του δέρματος είναι η εκτίμηση της διανομής του χρώματος από τα δεδομένα εκπαίδευσης, χωρίς να προκύπτει ρητό μοντέλο χρώματος του δέρματος. Το αποτέλεσμα αυτών των μεθόδων μερικές φορές αναφέρεται και ως κατασκευή χάρτη πιθανοτήτων δέρματος (SPM) [Brand και Mason 2000] αποδίδοντας μια πιθανότητα τιμής σε κάθε σημείο ενός discretized χρωματικού διαστήματος. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που έγκειται σε αυτή την κατηγορία που αναλύονται παρακάτω.

2.1 Normalized lookup table (LUT)

Αρκετοί αλγόριθμοι ανίχνευσης προσώπων [Schumeyer και Barner 1998] χρησιμοποιούν ένα ιστόγραμμα based approach στο δέρμα για την κατάτμηση των pixels. Το χρωματικό διάστημα (συνήθως, το επίπεδο chrominance μόνο) είναι κβαντισμένο σε μια σειρά από bins, που το κάθε ένα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο ζεύγος φάσματος τιμών χρώματος (για 2D περίπτωση) ή τριάδες (για 3D περίπτωση). Αυτά τα bins, που σχηματίζουν ένα 2D ή 3D ιστόγραμμα αναφέρονται ως πίνακες αναζήτησης (LUT). Κάθε bin καταχωρεί τον αριθμό των φορών που το συγκεκριμένο χρώμα εμφανίστηκε στην εκπαίδευση της εικόνας. Μετά την εκπαίδευση, οι μετρήσεις του ιστογράμματος, ομαλοποιούνται, μετατρέποντας τις τιμές του ιστογράμματος σε διακριτή κατανομή πιθανότητας.

$$P_{skin}(c) = \frac{skin[c]}{Norm}$$

Το $skin[c]$ δίνει την τιμή του ιστογράμματος bin, η οποία αντιστοιχεί στο χρώμα του διανύσματος c και $Norm$ είναι ο συντελεστής εξομάλυνσης (άθροισμα όλων των ιστογράμμων bin [Jones και Rehg 1999], ή το ανώτατο όριο της αξίας των bin. Οι κανονικοποιημένες τιμές των πινάκων αναζήτησης bins αποτελούν την πιθανότητα ότι τα αντίστοιχα χρώματα θα αντιστοιχούν στο δέρμα.

2.2 Bayes classifier

Ένας αφελής ταξινομητής Bayes είναι μια απλή ταξινόμηση βασισμένη σε εφαρμογή του θεωρήματος του Bayes με ισχυρές υποθέσεις ανεξαρτησίας. Ένας πιο περιγραφικός όρος για το υποκείμενο μοντέλο πιθανότητας θα είναι "ανεξάρτητο μοντέλο χαρακτηριστικών". Με απλά λόγια, ένας αφελής ταξινομητής Bayes υποθέτει ότι η παρουσία (ή απουσία) κάποιου ιδιαίτερου χαρακτηριστικού μιας τάξης δεν σχετίζεται με την παρουσία (ή απουσία) οποιοδήποτε άλλου χαρακτηριστικού, που δίνεται στη μεταβλητή κλάσης. Για παράδειγμα, ένα φρούτο μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μήλο εάν είναι κόκκινο, στρογγυλό, και περίπου 4" σε διάμετρο. Ακόμα κι αν αυτά τα χαρακτηριστικά εξαρτώνται το ένα από το άλλο ή από την ύπαρξη των άλλων χαρακτηριστικών, ένας αφελής ταξινομητής Bayes παίρνει το σύνολο των ιδιοτήτων ανεξαρτήτως υπολογίζοντας την πιθανότητα ότι αυτό το φρούτο είναι ένα μήλο.

Ανάλογα με την ακριβή φύση του μοντέλου πιθανότητας, ο αφελής ταξινομητής Bayes μπορεί να εκπαιδευτεί πολύ αποτελεσματικά σε ελεγχόμενο

περιβάλλον μάθησης. Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, η εκτίμηση των παραμέτρων για τα αφελή μοντέλα Bayes χρησιμοποιεί τη μέθοδο της μέγιστης πιθανότητας. Με άλλα λόγια, κάποιος μπορεί να συνεργαστεί με το αφελές μοντέλο Bayes χωρίς πίστη στη Μπεϋζιανή πιθανότητα ή τη χρήση οποιωνδήποτε Bayesian μεθόδων. Ένα πλεονέκτημα του αφελούς ταξινομητή Bayes είναι ότι απαιτεί μόνο μια μικρή ποσότητα των δεδομένων εκπαίδευσης για την εκτίμηση των παραμέτρων.

2.3 Self Organizing Map

Ο Αυτοοργανωτικός Χάρτης (ή SOM), επινοήθηκε από τον Kohonen το 1980 και είναι τώρα ένα από τα πιο δημοφιλή είδη για την χωρίς επίβλεψη τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Στον [Brown 2001] ένα SOM με βάση ανιχνευτή δέρματος προτάθηκε. Δύο SOM ένα για δέρμα και ένα χωρίς δέρμα εκπαιδεύτηκαν από ένα σύνολο περίπου 500 εικόνων. Η απόδοση των ανιχνευτών έχει δοκιμαστεί στις εικόνες κατάρτισης / δοκιμής του συγγραφέα.

Αρκετά colorspace (κανονικοποιημένη RGB, Hue-Saturation, καρτεσιανή Hue- Saturation και chrominance plane του TSL) εξετάστηκαν με SOM ανιχνευτή. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι οι SOM ανιχνευτές του δέρματος δεν παρουσιάζουν αλλαγές στις επιδόσεις τους κατά τη χρήση διαφορετικών colorspace. Η SOM απόδοση για το σύνολο δεδομένων είναι οριακά καλύτερη από το πρότυπο μίγμα Gaussian. Οι συγγραφείς τονίζουν ότι η SOM μέθοδος χρειάζεται σημαντικά λιγότερους πόρους από ότι το ιστόγραμμα και τα μοντέλα μείγματος και μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά για run-time εφαρμογές.

2.4 Non-parametric methods summary

Δύο σαφή πλεονεκτήματα των μη-παραμετρικών μεθόδων είναι i. ότι είναι γρήγορα στην κατάρτιση και τη χρήση και ii. ότι είναι θεωρητικά ανεξάρτητα με το σχήμα της κατανομής του δέρματος (το οποίο δεν ισχύει για δεδομένο δέρμα cluster ορισμού και παραμετρική μοντελοποίηση του δέρματος). Τα μειονεκτήματα είναι ότι απαιτείται μεγάλος αποθηκευτικός χώρος καθώς και η ανικανότητα να παρεμβάλει ή να γενικεύσει τα δεδομένα εκπαίδευσης. Αν, για παράδειγμα, θεωρούμε RGB εικόνες κβαντισμένες με 8 bit ανά χρώμα, θα χρειαστεί μια σειρά από 224 στοιχεία για να αποθηκευτεί η πιθανότητα του δέρματος. Για να μειώσουμε την ποσότητα μνήμης που απαιτείται και για να καλυπτόμαστε από την κατάρτιση των δεδομένων sparsity, coarser colorspace και δειγματοληψίας χρησιμοποιούνται 128x128x128, 64x64x64 και 32x32x32. Η αξιολόγηση των διαφόρων δειγματοληψιών RGB [Jones και Rehg 1999] έχει δείξει, ότι ο 32x32x32 παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση.

3. Parametric skin distribution modelling

Τα πιο δημοφιλή ιστογράμματα με βάση τα μη-παραμετρικά μοντέλα του δέρματος απαιτούν πολύ χώρο αποθήκευσης και η απόδοσή τους εξαρτάται άμεσα από την αντιπροσωπευτικότητα που οι εικόνες της κατάρτισης προσφέρουν. Η ανάγκη για πιο συμπαγή αναπαράσταση του μοντέλου του δέρματος για ορισμένες εφαρμογές μαζί με τη δυνατότητα να γενικευθεί και να παρεμβάλει τα δεδομένα εκπαίδευσης διεγείρει την ανάπτυξη των παραμετρικών μοντέλων διανομής του δέρματος.

3.1 Single Gaussian

Η κατανομή χρώματος δέρματος μπορεί να μοντελοποιηθεί από μια ελλειπτική Gaussian λειτουργία κοινής πυκνότητας πιθανότητας όπως φαίνεται παρακάτω:

$$p(c|skin) = \frac{1}{2\pi|\Sigma_c|^{1/2}} \cdot e^{-\frac{1}{2}(c-\mu_c)^T \Sigma_c^{-1}(c-\mu_c)}$$

$$\mu_c = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_j; \quad \Sigma_c = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (c_j - \mu_c)(c_j - \mu_c)^T$$

Εδώ, c είναι ένα διάνυσμα χρώματος και μ_c και Σ_c οι παράμετροι κατανομής του (μέσος όρος διάνυσμα και συνδιακύμανση πίνακα αντίστοιχα). Το μοντέλο παραμέτρων υπολογίζεται από τα δεδομένα εκπαίδευσης (δεύτερη γραμμή συνάρτησης), όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων του χρώματος του δέρματος c_j . Η πιθανότητα $p(c|skin)$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως το μέτρο του πόσο "το δέρμα μοιάζει με" το χρώμα c [Menser και Wien 2000], ή εναλλακτικά, η απόσταση Mahalanobis από το διάνυσμα χρώματος c να σημαίνει το φορέα μ_c , δεδομένου του covariance πίνακα Σ_c που μπορεί να χρησιμεύσει για τον ίδιο σκοπό.

3.2 Mixture of Gaussians

Ένα πιο εξελιγμένο μοντέλο, ικανό να περιγράψει ένα σύνθετο σχήμα διανομών είναι το Gaussian μοντέλο μείγματος. Αυτό είναι η γενίκευση της ενιαίας Gaussian, σε αυτή την περίπτωση:

$$p(c|skin) = \sum_{i=1}^k \pi_i \cdot p_i(c|skin)$$

Ο k είναι ο αριθμός των συστατικών μείγματος, π_i είναι η ανάμειξη παραμέτρων, υπακούοντας τον περιορισμό εξομάλυνσης $\sum_{i=1}^k \pi_i = 1$ και $\pi_i(c|skin)$ το καθένα με δικό του μέσο όρο συνδιακύμανσης πίνακα. Η εκπαίδευση του μοντέλου γίνεται με μια πολύ γνωστή επαναληπτική τεχνική που ονομάζεται αλγόριθμος μεγιστοποίησης προσδοκίας (EM), η οποία υποθέτει πως ο αριθμός των στοιχείων k είναι γνωστός εκ των προτέρων. Η επιλογή του αριθμού στοιχείων k είναι πολύ σημαντική, το μοντέλο πρέπει να ερμηνεύσει τα δεδομένα εκπαίδευσης αρκετά καλά στο συγκεκριμένο μοντέλο, έτσι ώστε να αποφύγουν την υπέρ-τοποθέτηση των δεδομένων.

Ο αριθμός των στοιχείων που χρησιμοποιούνται από διαφορετικούς ερευνητές ποικίλλει σημαντικά από 2 [Yang και Ahuja 1999] έως 16 [Jones και Rehg 1999]. Από τον [Terrillon 2000] το $k = 8$ επιλέχθηκε ως ένα "πολύ καλό συμβιβασμό μεταξύ της ακρίβειας των εκτιμήσεων των διανομών και του υπολογιστικού φόρτου για thresholding.

3.3 Multiple Gaussian clusters

Η προσέγγιση των cluster χρώματος του δέρματος με τρεις 3D Gaussians σε YCbCr χώρο περιγράφεται από τον [Phung 2002]. Μια παραλλαγή του αλγορίθμου k-means clustering για Gaussian clusters εκτελεί την εκπαίδευση του μοντέλου. Τα pixel ταξινομούνται ως δέρμα εάν η απόσταση Mahalanobis από το διάνυσμα χρώματος c προς το πλησιέστερο κέντρο μοντέλου cluster είναι κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο.

3.4 Elliptic boundary model

Εξετάζοντας τις διανομές δέρματος και μη σε διάφορα colorspace οι [Lee και Yoo 2002] κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το χρώμα του δέρματος διασποράς έχει ένα ελλειψοειδές σχήμα που δεν μπορεί να προσεγγιστεί καλά από το ενιαίο μοντέλο Gaussian. Λόγω της ασυμμετρίας του το σύμπλεγμα δέρματος σε σχέση με την πυκνότητά αιχμής του, η χρήση του συμμετρικού Gaussian μοντέλου οδηγεί σε υψηλό ποσοστό ψευδών θετικών αποτελεσμάτων. Προτείνουν λοιπόν μια εναλλακτική λύση που αποκαλούν «ελλειπτικό μοντέλο ορίου», το οποίο είναι εξίσου γρήγορο και απλό στην κατάρτιση και αξιολόγηση με το ενιαίο Gaussian μοντέλο.

Η διαδικασία εκπαίδευσης του μοντέλου έχει δύο στάδια αφενός, μέχρι 5% των δειγμάτων χρώματος με μικρή συχνότητα εξαλείφονται για να αφαιρεθεί ο θόρυβος και τα αμελητέα δεδομένα και στη συνέχεια, οι παράμετροι του μοντέλου (F και L).

$$\Phi(c) = (c - \phi)^T \Lambda^{-1} (c - \phi)$$

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i & \Lambda &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i \cdot (c_i - \mu)(c_i - \mu)^T \\ \mu &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i c_i & N &= \sum_{i=1}^n f_i \end{aligned}$$

όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των φορέων χρώματος εκπαίδευσης c_i των pixel του δέρματος εκπαίδευσης (όχι του συνολικού αριθμού δειγμάτων!) και f_i είναι ο αριθμός των δειγμάτων δέρματος του χρώματος του διανύσματος c_i . Το Pixel με χρώμα c έχει χαρακτηριστεί ως δέρμα, σε περίπτωση όπου το $F(c) < q$, όπου q είναι ένα όριο αξίας. Οι συγγραφείς ισχυρίζονται ότι το μοντέλο τους προσεγγίζει το cluster δέρματος καλύτερα, γιατί η κλίση των δεδομένων δεν επηρεάζει το κέντρο βάρους του μοντέλου f .

3.5 Parametric methods summary

Όλες οι παραμετρικές μέθοδοι που περιγράφονται λειτουργούν σε επίπεδο chrominance colorspace, αγνοώντας την πληροφορία της φωτεινότητας. Φυσικά, αφού ένα ρητό μοντέλο διανομής χρησιμοποιείται, μια ερώτηση επικύρωσης του

υποδείγματος προκύπτει. Προφανώς, το ταίριασμα εξαρτάται από το σχήμα διανομής, και ως εκ τούτου του colorspace που χρησιμοποιείται για παραμετρικά από ότι για μη παραμετρικά μοντέλα του δέρματος. Αυτό είναι σαφώς ορατό στα αποτελέσματα των [Lee και Yoo 2002], όπου οι επιδόσεις του μοντέλου διαφέρουν σημαντικά από colorspace σε colorspace.

Μόνο μερικοί συγγραφείς έχουν συμπεριλάβει θεωρητική δικαιολογία για την ισχύς των μοντέλων που χρησιμοποιούν. Ο [Yang 1998] έχει δείξει ότι η διανομή χρώματος του δέρματος ενός και μόνο προσώπου κάτω από σταθερές συνθήκες φωτισμού σε κανονικοποιημένο χώρο RGB υπακούει την Gaussian διανομή. Οι [Yang και Ahuja 1999] για να δικαιολογήσουν τις υποθέσεις των στοιχείων περί της ομαλότητας του δέρματος στο διάστημα CIELuv και την εγκυρότητα των Gaussian μοντέλων μείγματος από τις στατιστικές δοκιμές. Άλλοι βασίζονταν για την παρατήρηση στο σχεδόν ελλειπτικό σχήμα του δέρματος της chrominance, στο colorspace που χρησιμοποίησαν (απασχολεί μόνο μοντέλα Gaussian ή παρόμοια), ή της καθαρά μη-ελλειπτικής τους μορφής (χρησιμοποιείται μίγμα Gaussians ή περισσότερων συστάδων Gaussian).

3.5 Dynamic skin distribution models

Μια οικογένεια μοντέλων δέρματος σχεδιάστηκαν για να ταιριάζουν στην ανίχνευση του δέρματος κατά τη διάρκεια του εντοπισμού προσώπου. Το έργο αυτό κάνει την ανίχνευση του δέρματος διαφορετική από τη στατική ανάλυση εικόνων από διάφορες πλευρές. Κατ' αρχήν, το μοντέλο του δέρματος μπορεί να είναι γενικότερα λιγότερο δηλαδή συντονισμένο για ένα συγκεκριμένο πρόσωπο, φωτογραφική μηχανή ή φωτισμό. Δεύτερον, το στάδιο προετοιμασίας είναι δυνατό όταν η περιοχή του προσώπου υφίσταται διακρίσεις από το φόντο από διαφορετικούς ταξινομητές ή από το χέρι. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο δέρμα να αποκτήσει μοντέλο κατάταξης, που είναι το βέλτιστο για τις συνθήκες (πρόσωπο, φωτογραφική μηχανή, φωτισμός, φόντο).

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει ανάγκη για γενίκευση μοντέλου, είναι δυνατόν να αυξηθούν τα ποσοστά ανίχνευσης του δέρματος με χαμηλότερα ψευδώς θετικά αποτελέσματα για το συγκεκριμένο μοντέλο, από ότι με τα γενικά μοντέλα χρώματος του δέρματος, τα οποία προορίζονται για την ταξινόμηση του δέρματος σε σύνολο εικόνων χωρίς περιορισμούς [Jones και Rehg 1999]. Από την άλλη πλευρά η διανομή χρώματος του δέρματος μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο, μαζί με το φωτισμό ή τη φωτογραφική μηχανή έτσι ώστε το μοντέλο θα πρέπει να είναι σε θέση να ταιριάζει με τις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Επίσης η ταξινόμηση του χρόνου και της κατάρτισης μοντέλου είναι εξαιρετικά σημαντικά εδώ, καθώς το σύστημα ανίχνευσης του δέρματος πρέπει να εργάζεται σε πραγματικό χρόνο, καταναλώνοντας λίγη υπολογιστική ισχύ.

Για να συνοψίσουμε τις πιο σημαντικές ιδιότητες του μοντέλου χρώματος του δέρματος για την ανίχνευση προσώπου: πρώτον, θα πρέπει να είναι γρήγορος και στις δύο περιπτώσεις για την κατάρτιση και την ταξινόμηση και δεύτερον, θα πρέπει να είναι σε θέση να ενημερώσετε για τις αλλαγές των συνθηκών. Πολλοί ερευνητές απευθύνονται πλέον σε απλές μεθόδους μοντελοποίησης του δέρματος ενημερώνονται εύκολα στις αλλαγές της διανομής, είναι αποδεκτά γρήγορες (εκτός από πολλά μείγματα Gaussians) και χρειάζονται λίγο χώρο αποθήκευσης. Το ποσοστό των υψηλά ψευδώς θετικών αποτελεσμάτων ένας συνηθισμένος σύντροφος των παραμετρικών μοντέλων δέρματος, είναι το μικρότερο πρόβλημα εδώ. Η ανάγκη για συγκεκριμένο και όχι γενικό πρότυπο

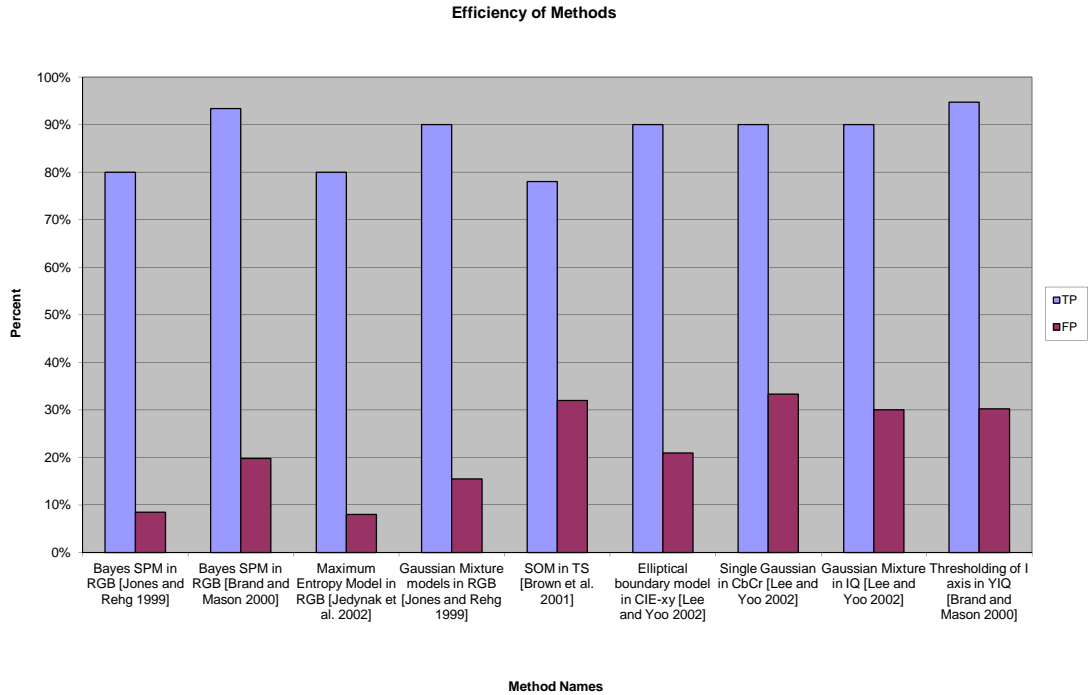
χρώματος δέρματος επιτρέπει την επίτευξη καλής απόδοσης ταξινόμησης. Μεταξύ μη παραμετρικών μοντέλων, το ιστόγραμμα LUT είναι δημοφιλές για εργασίες εντοπισμού προσώπου, χάρη στην απλότητά του και την υψηλή κατάρτιση και ταχύτητα εργασίας.

4.2 Συγκριτική Αξιολόγηση

Για μια δίκαιη αξιολόγηση των επιδόσεων των διάφορων μοντέλων χρώματος του δέρματος προτιμώνται μέθοδοι με πανομοιότυπες συνθήκες δοκιμών. Δυστυχώς πολλές μέθοδοι ανίχνευσης του δέρματος παρέχουν αποτελέσματα από μόνες τους, Η πιο γνωστή βάση δεδομένων για την κατάρτιση και την ανίχνευση του δέρματος είναι η βάση δεδομένων Compaq [Jones και Rehg 1999]. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα καλύτερα αποτελέσματα των διαφόρων μεθόδων που αναφέρθηκαν από τους συγγραφείς. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα αληθώς θετικά (TP) και τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα (FP) για διαφορετικές μεθόδους. Αν και διαφορετικές χρησιμοποιούν ελαφρώς διαφορετικούς διαχωρισμούς της βάσης δεδομένων, στην κατάρτιση και τις δοκιμές της εικόνας και εφαρμόζουν διαφορετικές στρατηγικές μάθησης, ο πίνακας θα μας δώσει μια συνολική εικόνα της απόδοσης των μεθόδων.

Method	TP	FP
Bayes SPM in RGB [Jones and Rehg 1999]	80%	8.5%
Bayes SPM in RGB [Brand and Mason 2000]	93.4%	19.8%
Maximum Entropy Model in RGB [Jedynak et al. 2002]	80%	8%
Gaussian Mixture models in RGB [Jones and Rehg 1999]	90%	15.5%
SOM in TS [Brown et al. 2001]	78%	32%
Elliptical boundary model in CIE-xy [Lee and Yoo 2002]	90%	20.9%
Single Gaussian in CbCr [Lee and Yoo 2002]	90%	33.3%
Gaussian Mixture in IQ [Lee and Yoo 2002]	90%	30.0%
Thresholding of I axis in YIQ [Brand and Mason 2000]	94.7%	30.2%

Πίνακας 8: Συγκριτική αξιολόγηση μοντέλων



Εικόνα 7: Αποτελεσματικότητα Μεθόδων

Η καλύτερη επίδοση (χαμηλότερων ψευδώς θετικών αποτελεσμάτων για μια σωστή διάγνωση) αποδεικνύεται από τον Bayes SPM και του απόγονου του μοντέλο μέγιστης εντροπίας [Jedynak 2002]. Οι παραμετρικές τεχνικές μοντελοποίησης (Gaussian, μίγμα Gaussians, ελλειπτικό μοντέλο) μένουν πίσω, μαζί με την SOM ανίχνευση. Οι υψηλές επιδόσεις από το μείγμα των Gaussians που χρησιμοποιούνται [Jones και Rehg 1999] οφείλονται στο γεγονός ότι διαμορφώνονται από δύο $p(\text{RGB}|\text{skin})$ και $p(\text{RGB}|\neg\text{skin})$ pdfs (σε αντίθεση με άλλες παραμετρικές εργασίες μοντελοποίησης του δέρματος). Δεν μας παρέχουν όμως μια σαφή ένδειξη σχετικά με το πώς ακριβώς υπολογίζεται η τελική πιθανότητα δέρματος έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο κατά Bayes κανόνας χρησιμοποιήθηκε. Αυτό, μαζί με το μεγάλο αριθμό συστατικών μείγματος (δεκαέξι) κάνει αυτό το μοντέλο μια προσέγγιση του Bayes SPM. Πιστεύουμε ότι αυτή είναι η εξήγηση της υψηλής απόδοσης του μοντέλου μείγματος Gaussian των [Jones και Rehg]. Ένα γεγονός που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η απλή thresholding της I συνιστώσας του χώρου YIQ, προτάθηκε από τους [C. Wang και M. Brandstein 1999] και αξιολογήθηκε από τους [Brand και Mason 2000] μας δείχνει αποτελέσματα συγκρίσιμα με τα πιο εξελιγμένα μοντέλα Gaussian και μείγματος Gaussian.

Μία άλλη πολλά υποσχόμενη μέθοδος, εμφανίστηκε προσφάτως, αλλά δεν περιλαμβάνεται σε αυτόν τον πίνακα, είναι η αυτόματη κατασκευή ενός colorspace και ορίζει το σύμπλεγμα του δέρματος μέσα σε αυτό [Gomez 2000]. Οι συγγραφείς έχουν επιτύχει αποτελέσματα που ξεπερνούν τον Bayes SPM ταξινομητή σε RGB χώρο για το σύνολο των δεδομένων τους, δίνοντας σημαντικά χαμηλότερα ψευδώς θετικά ποσοστά (περίπου 6% έναντι 22%) και σχεδόν ίσα ψευδώς αρνητικά αποτελέσματα (περίπου 5%).

Η μέθοδος εντοπισμού που θα χρησιμοποιήσω για την ανίχνευση του δέρματος παρακάτω ανήκει στην κατηγορία των μη-παραμετρικών μεθόδων. Η βασική ιδέα της μη-παραμετρικής μεθόδου μοντελοποίησης του δέρματος είναι η

εκτίμηση της διανομής του χρώματος από τα δεδομένα εκπαίδευσης, χωρίς να προκύπτει ρητό μοντέλο χρώματος του δέρματος. Το αποτέλεσμα αυτών των μεθόδων μερικές φορές αναφέρεται και ως κατασκευή χάρτη πιθανοτήτων δέρματος (SPM) αποδίδοντας μια πιθανότητα τιμής σε κάθε σημείο ενός discretized χρωματικού διαστήματος.

Όπως είδαμε και παραπάνω αυτή η μέθοδος μας προσφέρει 2 πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα. Το πρώτο είναι η μεγάλη ταχύτητα στην κατάρτιση και τη χρήση και το δεύτερο ότι είναι θεωρητικά ανεξάρτητο με το σχήμα της κατανομής του δέρματος. Τα μειονεκτήματά της είναι ότι απαιτείται μεγάλος αποθηκευτικός χώρος καθώς και η ανικανότητα να παρεμβάλει ή να γενικεύσει τα δεδομένα εκπαίδευσης. Στην υλοποίησή μου χρησιμοποίησα τρισδιάστατους πίνακες των 32 bits (32x32x32) για να επιτύχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση.

4.3 Different approach to Skin Detection

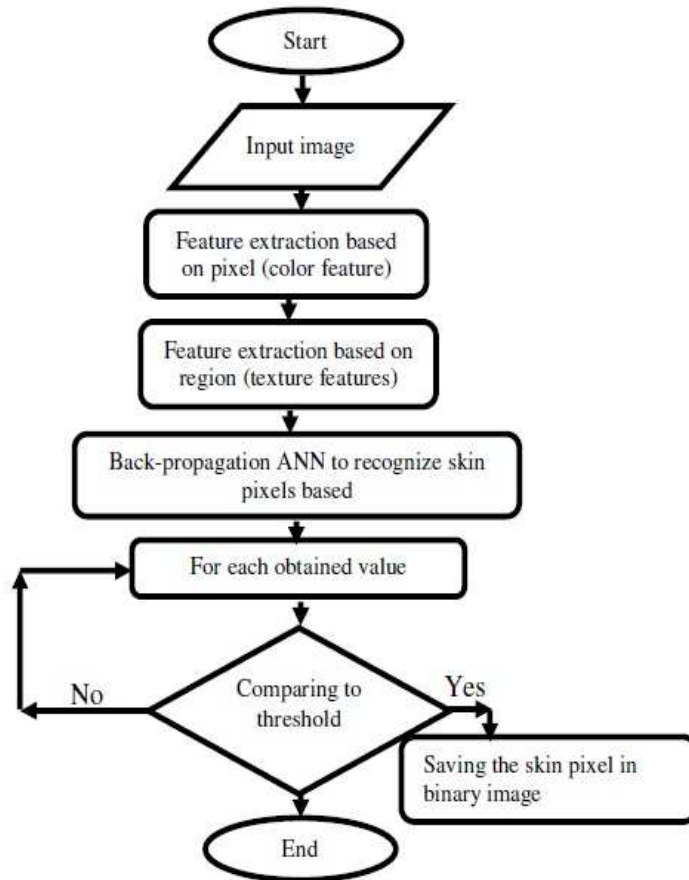
Η ανίχνευση του δέρματος είναι μία από τις σημαντικότερες τεχνικές στην επεξεργασία εικόνας και το κλειδί για πολλές εφαρμογές, όπως η ανίχνευση προσώπου, η ανάλυση της κίνησης, φίλτρο για γυμνές εικόνες και άλλα. Η ανίχνευση του δέρματος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των pixel της εικόνας που αφορούν το ανθρώπινο δέρμα. Το χρώμα είναι ένα χρήσιμο στοιχείο για τον εντοπισμό των pixels δέρματος. Ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα της ανίχνευσης του δέρματος είναι το πώς να επιλέξουμε ένα κατάλληλο color space. Επίσης οι συνθήκες φωτισμού και τα περίπλοκα backgrounds που περιέχουν επιφάνειες και αντικείμενα χρώματος ίδιο με το δέρμα προκαλούν μεγάλα προβλήματα στην απόδοση των ανιχνευτών.

Μια πολύ καλή μέθοδος ανίχνευσης του δέρματος είναι αυτή του τεχνητού νευρωνικού δικτύου (ANNSD) που ενσωματώνει τόσο το χρώμα όσο και τα χαρακτηριστικά υφής που αφορούν τις πληροφορίες ενός pixel και των γειτόνων της. Για να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά του κανόνα απόφασης χρησιμοποιείται ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ANN). Για να επιλέξετε τη σημαντικότερη συμβολή στην αύξηση της ακρίβειας του ανιχνευτή του δέρματος 2 διαφορετικοί τύποι ανιχνευτών δέρματος κατασκευάστηκαν. Αυτοί που χρησιμοποιούν χρώματα με βάση προκαθορισμένους κανόνες και ένας συνδυασμός των χαρακτηριστικών υφής με τα χαρακτηριστικά χρώματα. Έτσι κατασκευάζεται ένας εξαιρετικά αξιόπιστος ανιχνευτής δέρματος.

Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε μια ποικιλία προβλημάτων στον κόσμο της βιομηχανίας, των επιχειρήσεων, και την επιστήμη. Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στην ανίχνευση του δέρματος ANN συνδυάζοντας το χρώμα και τα χαρακτηριστικά υφής. Για να αυξηθεί η αξιοπιστία της διαδικασίας εντοπισμού, οι πληροφορίες των γειτονικών pixel έχουν ενσωματωθεί στην προτεινόμενη μέθοδο. Τα χαρακτηριστικά χρώματος εξάγονται απευθείας από τα pixels, και τα χαρακτηριστικά υφής των σαρωμένων παραθύρων πάνω από την εικόνα έχουν εξαχθεί χρησιμοποιώντας μια στατιστική προσέγγιση και στη συνέχεια παράγεται το χαρακτηριστικό διάλυμα. Για να καθοριστεί ο κανόνας απόφασης αυτών των χαρακτηριστικών, ένα backpropagation ANN χρησιμοποιείται.

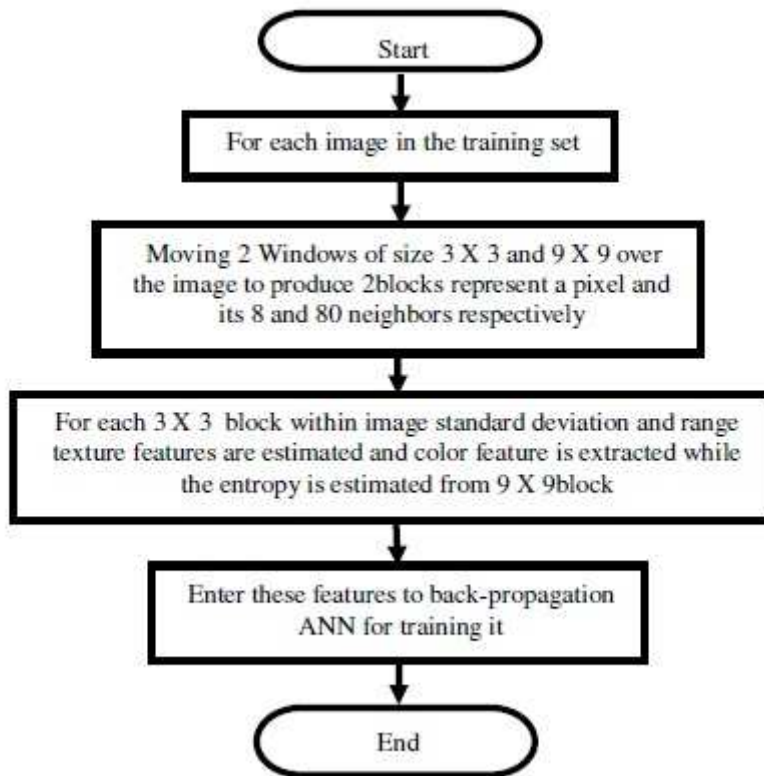
Στη συνέχεια έχουμε τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με τα ανιχνευμένα και μη pixel. Αυτό επιτυγχάνεται με τη λεγόμενη διαδικασία εκπαίδευσης στην οποία χρησιμοποιείται πληθώρα εικόνων με δέρμα και χωρίς κάτω από διαφορετικές

συνθήκες φωτισμού και background έτσι ώστε να βελτιωθεί η ικανότητα διάκρισης του αλγόριθμου μας.



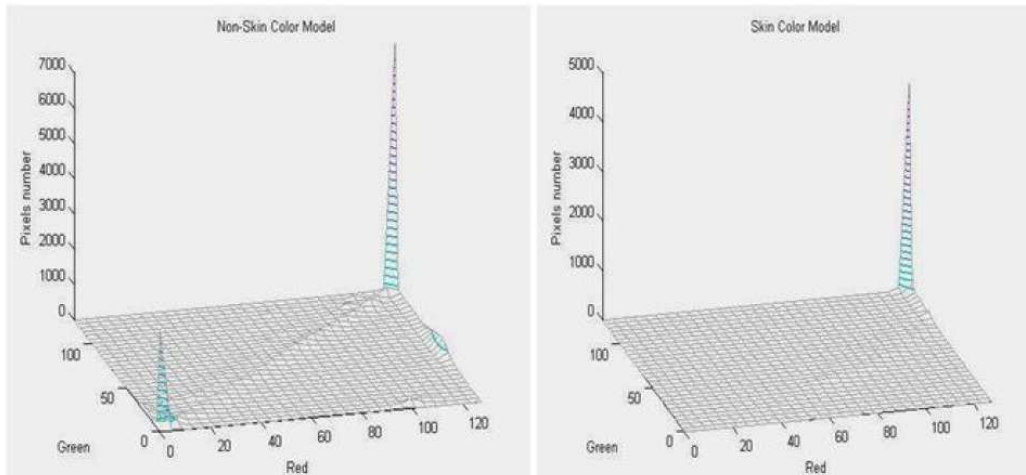
Εικόνα 8: Σχεδιάγραμμα μεθόδου ανίχνευσης

Στη συνέχεια περνάμε στη φάση του testing όπου το κάθε pixel της εικόνας ελέγχεται, ανάλογα με τα δεδομένα εκπαίδευσης. Αν ένα pixel ανιχνευτεί ως δέρμα, τότε αυτό αποθηκεύεται σε μια νέα εικόνα στην ίδια θέση που είχε και στην αρχική εικόνα. Αφού εξεταστούν όλα τα pixels της εικόνας, μια νέα δυαδική εικόνα δημιουργείται η οποία περιλαμβάνει μόνο pixel δέρματος.



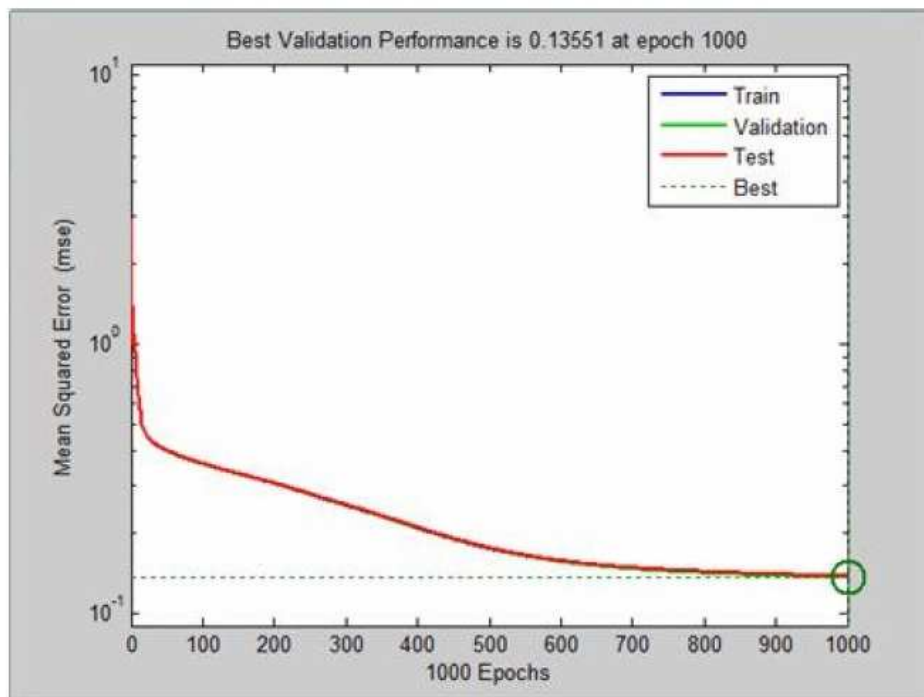
Εικόνα 9: Φάση εκπαίδευσης του ανιχνευτή

Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται για να δούμε την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου ανιχνευτή δέρματος, η οποία βασίζεται στην ενσωμάτωση της υφής και του χρώματος. Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει την επικάλυψη μεταξύ του δέρματος και μη δέρματος, γεγονός που υποδηλώνει ότι το πρόβλημα ανίχνευσης του δέρματος βασισμένο στα χαρακτηριστικά χρώματος είναι ένα δύσκολο θέμα επειδή υπάρχει σημαντική επικάλυψη μεταξύ των μοντέλων δέρματος και μη δέρματος. Ωστόσο, η επικάλυψη αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα μόνο αν οι μετρήσεις στα πλαίσια των κοινών bins είναι συγκρίσιμες στις περιπτώσεις του δέρματος και μη δέρματος. Η επίδραση αυτού του προβλήματος μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με βάση την ανάλυση των χαρακτηριστικών της υφής.



Εικόνα 10: Ιστόγραμμα δέρματος και μη δέρματος

Παρακάτω βλέπουμε τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης του τεχνητού νευρωνικού δικτύου.



Εικόνα 11: Αποτελέσματα εκπαίδευσης νευρωνικού δικτύου

Για να πολιτικοποιηθεί αξιολόγηση των επιδόσεων, True Positive (TP) και False Positive (FP) υπολογίζονται για όλα τα pixels του ανιχνευτή δέρματος κατά το testing. Το FP είναι το ποσοστό των λανθασμένα εντοπισμένων pixel μη δέρματος ως δέρματος, ενώ το TP είναι η αναλογία των pixel του δέρματος που ταξινομούνται σωστά ως pixel δέρματος.

Skin detector	TP(%)	FP (%)
Skin detector based on combing texture and colour features	95.6176	0.8795

Πίνακας 9: True positive and false positive για τον ανιχνευτή δέρματος

Λαμβάνοντας υπόψη την αβίαστη φύση των εικόνων στο Διαδίκτυο η απόδοση του ανιχνευτή δέρματος είναι πολύ καλή. Ο ανιχνευτής μπορεί να ανιχνεύσει 95,6176% των pixels δέρματος με ποσοστό λανθασμένων pixel FP 0,8795%, συνδυάζοντας τα δύο χαρακτηριστικά της υφής και του χρώματος.

5. Υλοποίηση

Παρακάτω θα σας παρουσιάσω τη δική μου υλοποίηση γύρω από το Skin Detection η οποία βασίζεται στον κώδικα του Computer Vision Source Code³. Το πρόγραμμα αποτελείται από 3 m-files. Το πρώτο m-file που θα αναλύσουμε (Test Model) είναι το κύριο αρχείο του προγράμματος στο οποίο γίνεται η ανάγνωση των εικόνων και εμφάνιση των αποτελεσμάτων. Το δεύτερο αρχείο (Compute Skin Probability) αποτελεί ουσιαστικά μια συνάρτηση η οποία καλείται από το κύριο αρχείο μας και υπολογίζει τα pixel του δέρματος της εικόνας μας. Τέλος το τρίτο αρχείο (Normalise) προκαλεί μετατόπιση και αλλαγή κλίμακας της εικόνας.

Κώδικας

Test Model

```
% List all JPGs in current folder
froot = '.'
list = dir(sprintf('%s\\*.jpg', froot));

% Process each image
for index = 1:length(list)
    % load image and compute skin likelihood
    fn = sprintf('%s\\%s', froot, list(index).name);
    im = double(imread(fn));
    skinprob = computeSkinProbability(im);

    image(im/255);
    title('Input Image');
    pause;

    % show skin-likelihood image

    image(normalise(skinprob)*64);
    colormap('default');
    title(sprintf('Skin likelihood of each pixel: Min=%2.2f, Max=%2.2f',
min(min(skinprob)), max(max(skinprob))));
    pause;

    % compute and display a binary skin map using a threshold of 0

    image((skinprob>0)*64);
    colormap('gray');
    title('Likelihood thresholded at zero');
    pause;

    % show the original image, but replace the red band with the binary skin image
```

```

im2=im;
im2(:,:,1) = (skinprob>0)*255;
image(im2/255);
title('Overlay');
pause;
end

```

Compute Skin Probability

```

function skinprob = computeSkinProbability(im)

persistent smodel;

if (isempty(smodel))
    % load skin model
    skinmodfn = 'skinmodel.bin';
    fid = fopen(skinmodfn, 'rb');
    tmp = fread(fid, inf, 'real*4');
    fclose(fid);
    K = 32;
    smodel = zeros(K,K,K);
    smodel(:) = tmp(:);
    clear tmp
end

if (size(im,3) ~= 3)
    warning('Input image does not have 3 bands. RGB image required. ');
    skinprob = [];
    return
end

im = double(im);
im2 = 1 + floor(im(:,:,1)/8)+floor(im(:,:,2)/8)*32+floor(im(:,:,3)/8)*32*32; % 32 bins

skinprob = smodel(im2);

```


Normalise

```
function im2 = normalise(im)

% linear shift + scale
% to fit from 0 to 1

im2 = im - min(min(min(im)));
if (max(max(max(im2))) ~= 0)
    im2 = im2 / max(max(max(im2)));
end
```

5.1 Επεξήγηση κώδικα Skin Detection

Test Model

Αρχικά δημιουργούμε μια μεταβλητή με το όνομα `froot` και της δίνουμε τον χαρακτήρα `‘.’`

Δημιουργούμε έναν πίνακα με το όνομα `list` στον οποίο τοποθετούμε όλα τα στοιχεία του φακέλου τα οποία είναι αποθηκευμένα στο `project` μας. Με την εντολή `dir` τοποθετούνται σε μια λίστα όλα τα στοιχεία του φακέλου μας. Με την `sprintf` μετατρέπουμε τα δεδομένα μας σε συμβολοσειρές και πιο συγκεκριμένα όποιο αρχείο έχει κατάληξη `.jpg` δηλαδή είναι εικόνα.

Στη συνέχεια καλούμε ένα βρόγχο `for` με αριθμό επανάληψης το μέγεθος της λίστας που δημιουργήσαμε παραπάνω. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζουμε την επεξεργασία της κάθε εικόνας του φακέλου.

Φορτώνουμε την κάθε εικόνα από τη λίστα στη μεταβλητή `fn`.

Μετατρέπουμε την εικόνα σε `double` αφού πρώτα τη διαβάσουμε.

Χρησιμοποιούμε την εξίσωση `computeSkinProbability` η οποία θα αναλυθεί παρακάτω για να υπολογίσουμε την πιθανότητα εμφάνισης `pixel` δέρματος στην εικόνα και την αποθηκεύουμε στη μεταβλητή `skinprob`.

Στη συνέχεια εμφανίζουμε την εικόνα μας διαιρεμένη με το 255.

Προσθέτουμε πάνω από την εικόνα τον τίτλο `‘Input Image’`

Και τέλος παγώνουμε τη διαδικασία μας έτσι ώστε να μπορούμε να παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα. Με το πάτημα οποιουδήποτε πλήκτρου συνεχίζουμε στην παρακάτω εικόνα.

Στην εικόνα που θα εμφανιστεί φορτώνουμε το αποτέλεσμα της εξίσωσης `skinprob` που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω πολλαπλασιασμένο `*64` το οποίο και εισάγουμε σε μια νέα εξίσωση πριν την εμφάνιση στην εικόνα, την `normalize`.

Με την εντολή `colormap(default)` αντικαθιστούμε τον χρωματικό χάρτη της εικόνας μας με τον βασικό χρωματικό χάρτη του συστήματος.

Τέλος με την εντολή `title` εμφανίζουμε το κείμενο που βρίσκεται μέσα στην παρένθεση πάνω από την εικόνα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε και 2

μεταβλητές (min,max) για να εμφανίσουμε τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές της εκάστοτε εικόνας.

Ξανά με την εντολή pause παγώνουμε τη διαδικασία για να μπορέσουμε να παρατηρήσουμε καλύτερα τα αποτελέσματα.

Στην επόμενη περίπτωση χρησιμοποιούμε πάλι την εξίσωση $\text{skinprob} > 0$ πολλαπλασιασμένη $*64$. Ο χρωματικός χάρτης που θα χρησιμοποιήσουμε αυτή τη φορά είναι ο ασπρόμαυρος.

Στον τίτλο πάνω από την εικόνα εμφανίζουμε 'Likelihood thresholded at zero'

Και τέλος ξαναπαγώνουμε τη διαδικασία.

Στην τελευταία περίπτωση θα εμφανίσουμε την αρχική εικόνα πάνω στην οποία θα αντικαταστήσουμε την κόκκινη συνιστώσα χρώματος με αυτή της παραπάνω περίπτωσης (δυναδική). Αυτό γίνεται με τον εξής τρόπο, δημιουργούμε μια νέα μεταβλητή im2 και τοποθετούμε μέσα σε αυτή την εικόνα της μεταβλητής im.

Παίρνουμε όλες τις γραμμές και τις στήλες της εικόνας αυτής αλλά μόνο της κόκκινης χρωματικής συνιστώσας και τα κάνουμε ίσα με την δυναδική διαδικασία που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω $\text{im2}(:, :, 1) = (\text{skinprob} > 0) * 64$.

Χωρίζουμε την εικόνα σε 255 ίσα κομμάτια $\text{im2}/255$, τοποθετούμε στον τίτλο της εικόνας 'Overlay' και παγώνουμε τη διαδικασία.

Εδώ κλείνει το πρόγραμμα μας όμως επειδή χρησιμοποιήσαμε for θα ξαναεκτελεστεί όλη η διαδικασία από την αρχή αφού πρώτα αυξηθεί ο μετρητής +1 μέχρι να ικανοποιηθεί η συνθήκη $\text{index} = 1:\text{length}(\text{list})$

δηλαδή ο μετρητής να γίνει ίσος με το πλήθος της λίστας.

Compute skin Probability

Ορίζουμε μια συνάρτηση με το όνομα skinprob και την κάνουμε ίση με το compute skin probability το οποίο παίρνει ως είσοδο το im.

Με την εντολή persistent αποθηκεύουμε τις μεταβλητές (x,y,z) του προγράμματος στη μνήμη του συστήματος για μελλοντική επαναχρησιμοποίηση τους σε περίπτωση που ξανακαλέσουμε τη συνάρτηση.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το βρόγχο if για να μπορέσουμε να διακρίνουμε περιπτώσεις. Σε αυτή την περίπτωση αν η μεταβλητή smodel είναι άδεια εισερχόμαστε στο βρόγχο και εκτελούμε τις παρακάτω εντολές.

Κάνουμε τη μεταβλητή skinmodfn ίση με το αντικείμενο skinmodel.bin

Με την εντολή $\text{fid} = \text{fopen}(\text{skinmodfn}, 'rb');$

ανοίγουμε το αρχείο που βρίσκεται μέσα στην παρένθεση με τα δικαιώματα που ορίζουμε δίπλα του. Εδώ έχουμε δικαίωμα ανάγνωσης και αποθήκευση bit σε μορφή Big Endian.(όρος που περιγράφει τον τρόπο αποθήκευσης των bytes στον υπολογιστή. Η αποθήκευση γίνεται με τον τρόπο που και εμείς οι άνθρωποι σκεφτόμαστε τους αριθμούς. Δηλαδή πρώτα γράφεται το μεγαλύτερο byte.)

Η εντολή $\text{tmp} = \text{fread}(\text{fid}, \text{inf}, 'real*4');$ Αποθηκεύει στη μεταβλητή tmp έναν πίνακα ο οποίος περιέχει τα περιεχόμενα του fid τα οποία έχουμε πρώτα διαβάσει με την fread μέχρι το τέλος τους inf και στη συνέχεια έχουμε αποθηκεύσει σε πίνακα 32 bit real*4.

Με την fclose κλείνουμε την fid. Δίνουμε στη μεταβλητή K την τιμή 32.

Ορίζουμε έναν τρισδιάστατο πίνακα 32*32*32 τον οποίο γεμίζουμε με μηδενικά.

Κάνουμε όλο τον πίνακα smodel ίσο με τον tmp.

Αδειάζουμε τον tmp και κλείνουμε την if.

Ανοίγουμε νέα if με συνθήκη ότι αν το im είναι διάφορο του 3 να μας εμφανίσει το εξής μήνυμα 'Input image does not have 3 bands. RGB image required.'

Ξανακαλούμε το skinprob και εξερχόμαστε απο την if.

Τέλος κλείνουμε την if.

Μετατρέπουμε τον πίνακα im σε πίνακα με δεδομένα σε μορφή double.

Δίνουμε στη μεταβλητή την τιμή 1 συν τα δεδομένα της κόκκινης χρωματικής συνιστώσας /8 στρογγυλοποιημένα προς το μείον άπειρο συν τα δεδομένα της πράσινης χρωματικής συνιστώσας /8 στρογγυλοποιημένα προς το μείον άπειρο συν τα δεδομένα της μπλε χρωματικής συνιστώσας /8 στρογγυλοποιημένα προς το μείον άπειρο πολλαπλασιασμένα με το 32 και ξανά το 32.

Τέλος κάνουμε το skinprob ίσο με το smodel το οποίο εμπεριέχει το im2.

Normalize

Στο τελευταίο m file ορίζουμε μια άλλη συνάρτηση im2 η οποία ουσιαστικά αυτό που κάνει είναι γραμμική μετατόπιση και αλλαγή κλίμακας του κανονικοποιημένου im έτσι ώστε να χωράει στο εύρος τιμών 0 έως 1.

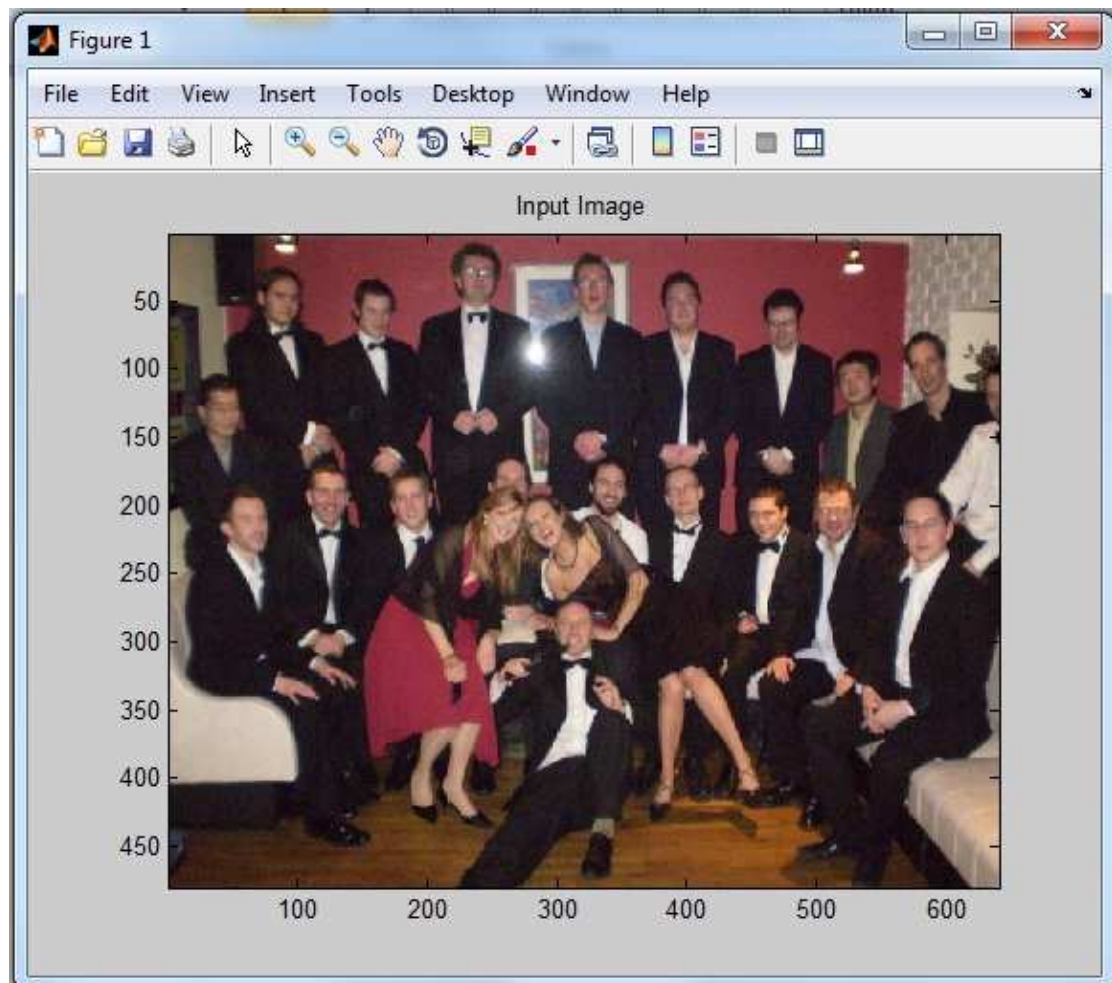
Στη μεταβλητή im2 δίνουμε την τιμή της im μείον το ελάχιστο του ελαχίστου το ελάχιστο του πίνακα im.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το βρόγχο if με συνθήκη ότι εφόσον το μέγιστο του μεγίστου το μέγιστο του im2 είναι διάφορο του μηδενός τότε κάνουμε το im2 ίσο με im2 / το μέγιστο του μεγίστου το μέγιστο του im2.

Τέλος με την end κλείνουμε τη συνάρτηση.

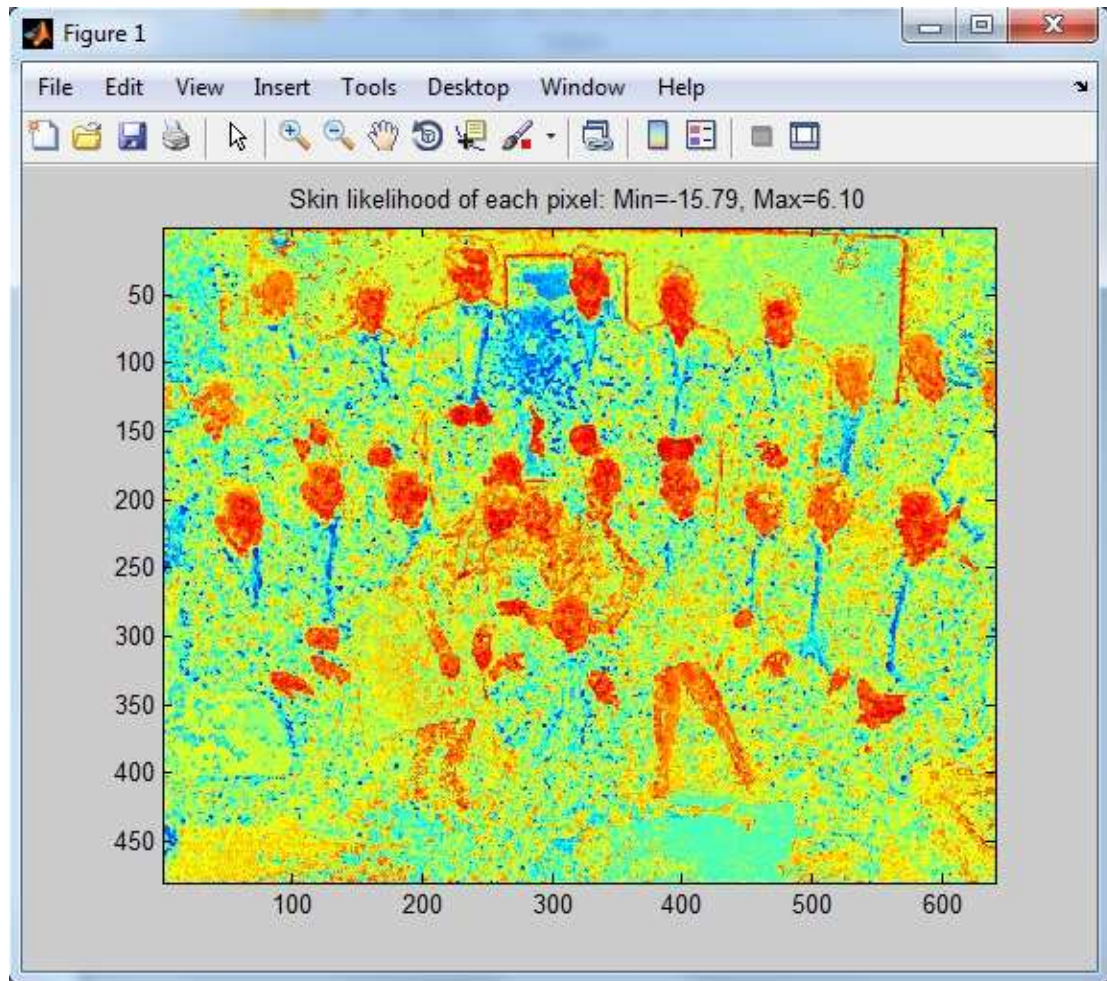
5.2 Αποτελέσματα

Παρακάτω θα σας παραθέσω μια σειρά από εικόνες στις οποίες φαίνεται ο τρόπος εφαρμογής της όλης διαδικασίας. Η πρώτη εικόνα αποτελεί την ακατέργαστη φωτογραφία την οποία θα επεξεργαστούμε.



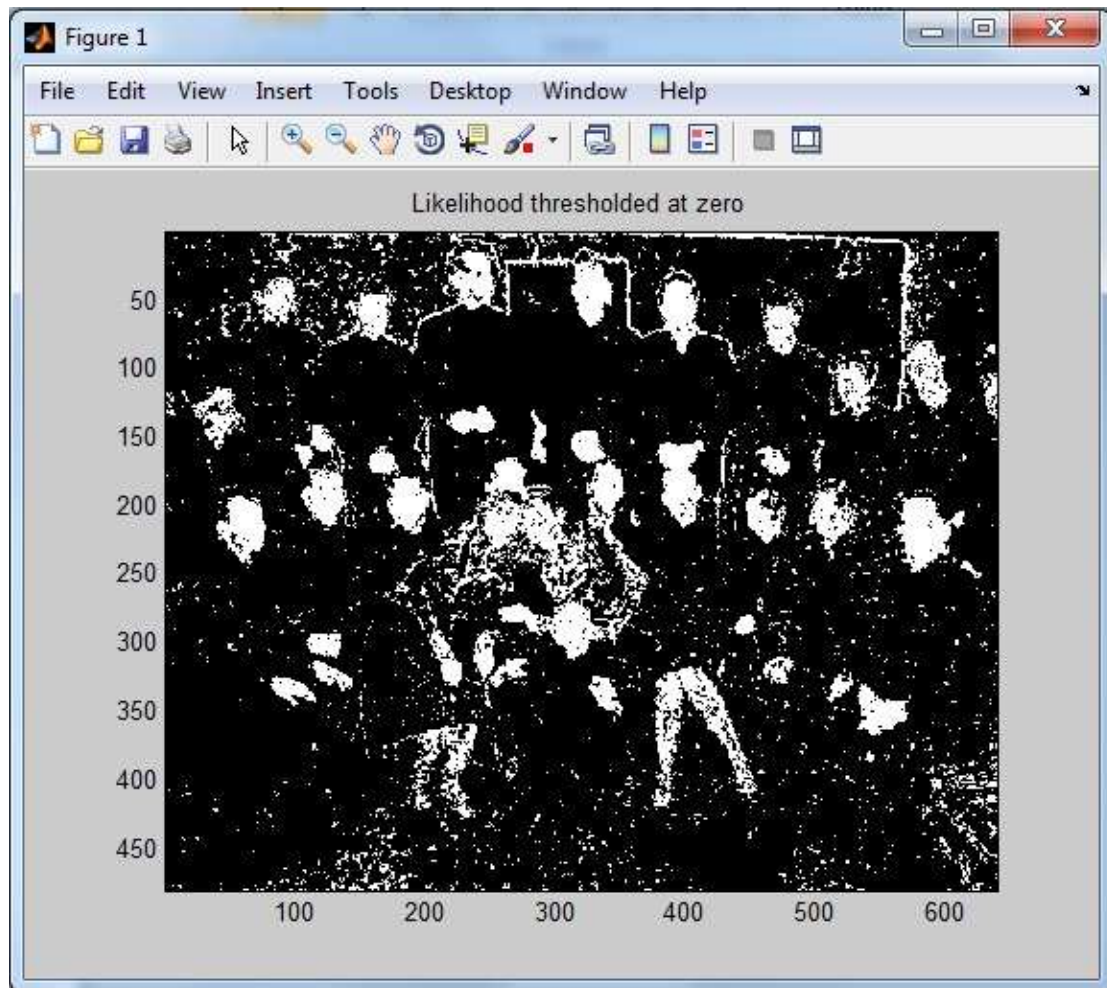
Εικόνα 12: Αρχική εικόνα

Στη δεύτερη εικόνα εμφανίζουμε την πιθανότητα εμφάνισης pixel δέρματος. Τα κόκκινα pixel αποτελούν αυτά που το πρόγραμμα έχει διαχωρίσει ως pixel δέρματος.



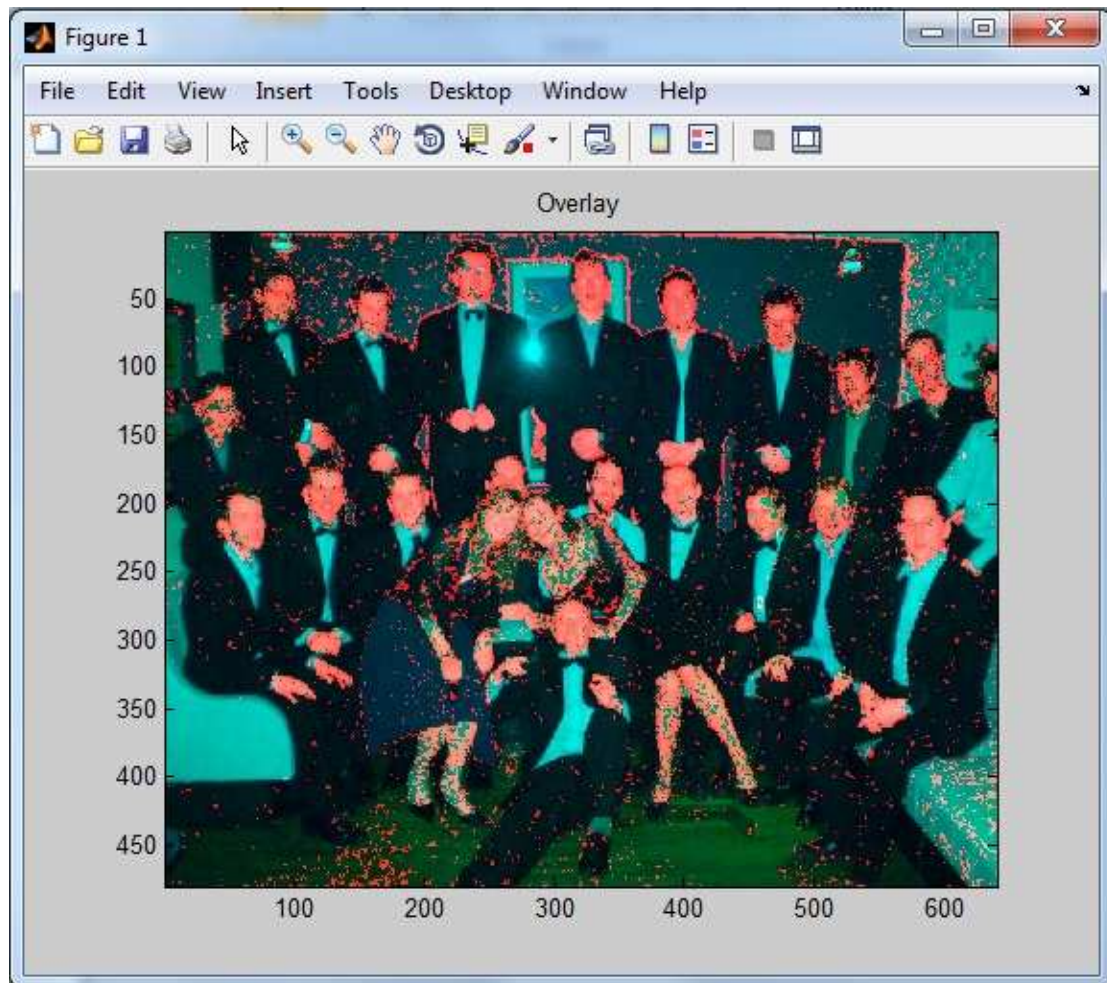
Εικόνα 13: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Η τρίτη εικόνα αποτελεί την ίδια διαδικασία με τη διαφορά ότι πραγματοποιείται σε ασπρόμαυρη εικόνα με αποτέλεσμα την καλύτερη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 14: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

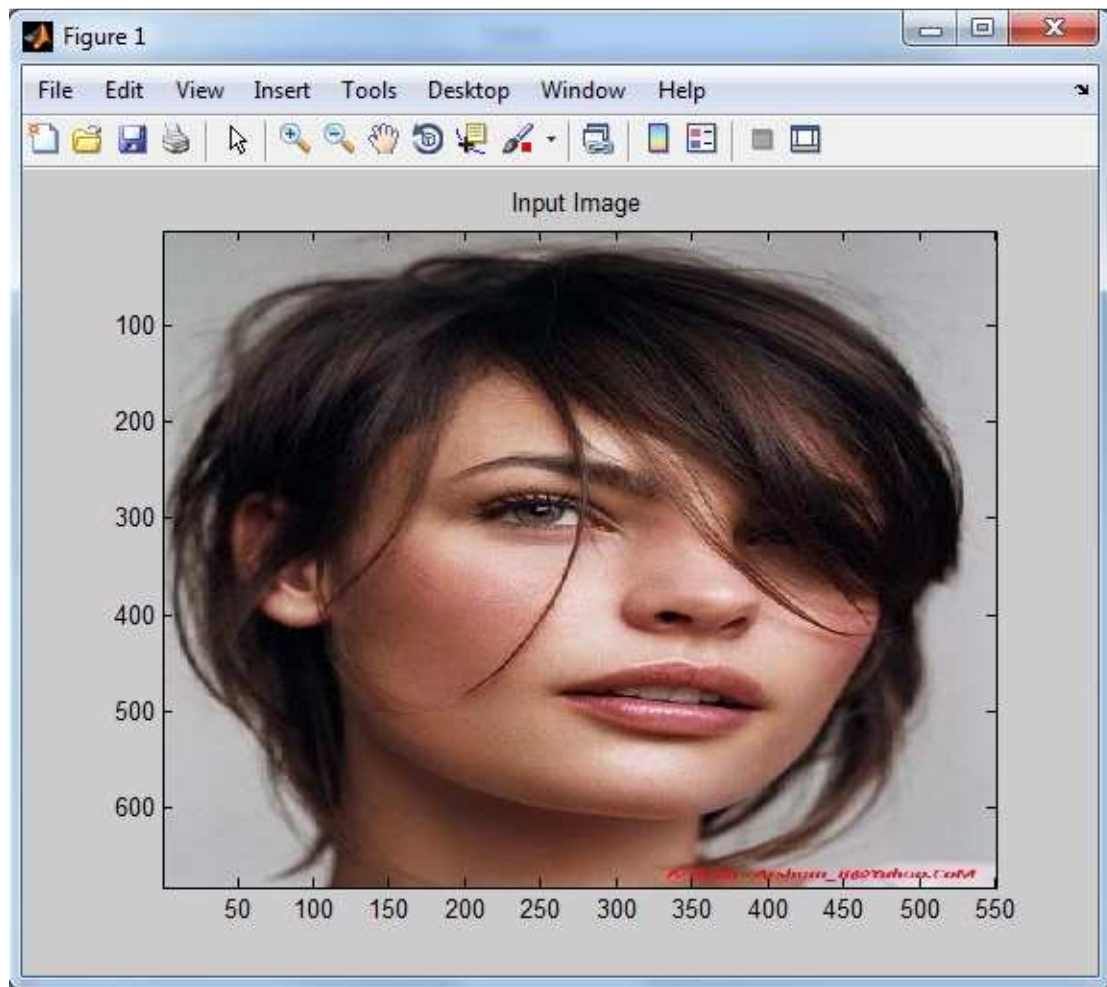
Τέλος η τέταρτη εικόνα αποτελεί ένα συνδυασμό εμφάνισης της πρώτης ακατέργαστης εικόνας με τη διαδικασία που πραγματοποιήσαμε παραπάνω για την ασπρόμαυρη εικόνα. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η νέα εικόνα μας είναι έγχρωμη οπότε και αντικαθιστούμε την κόκκινη χρωματική συνιστώσα με τη διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε στην παραπάνω περίπτωση.



Εικόνα 15: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

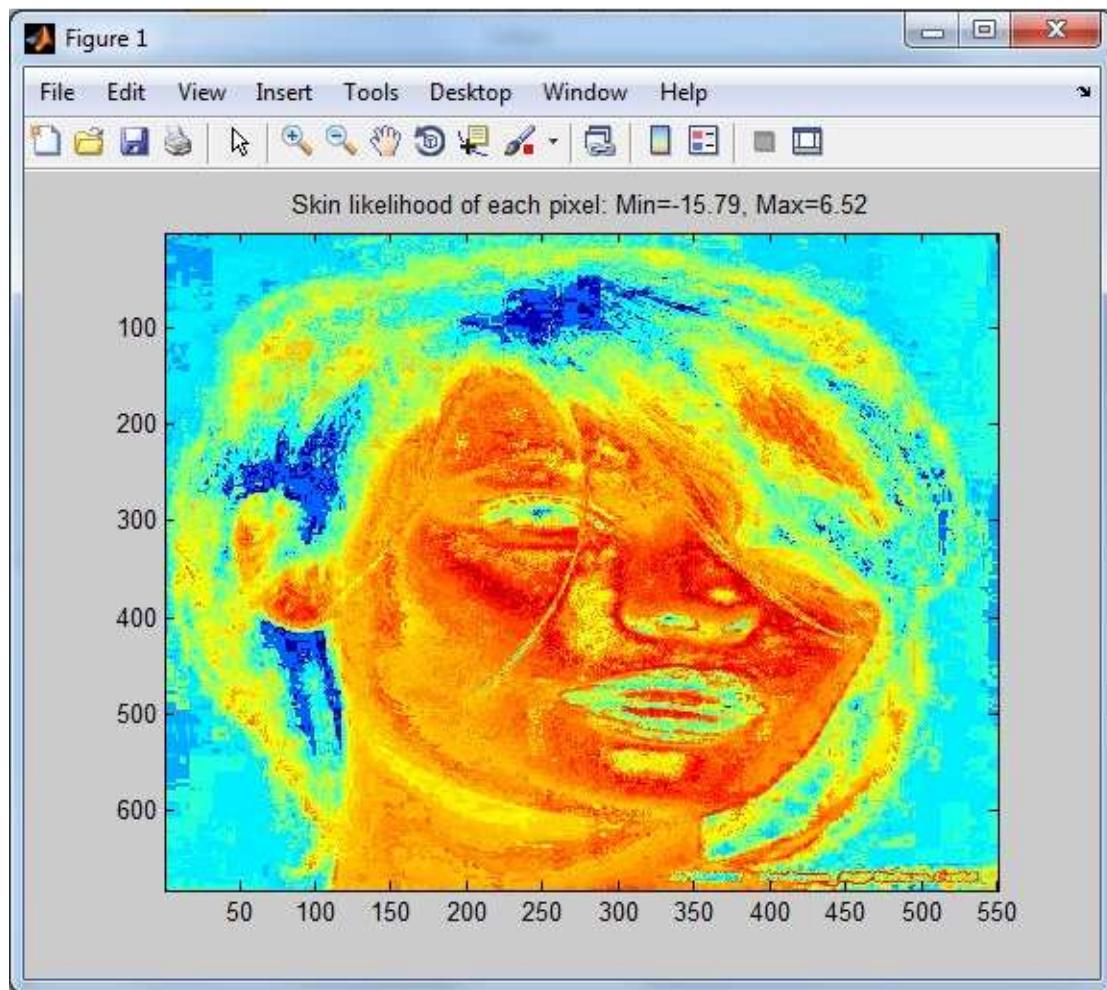
Παρακάτω βλέπουμε ένα άλλο παράδειγμα Skin Detection.

Ξεκινάμε με την αρχική ακατέργαστη εικόνα μας.



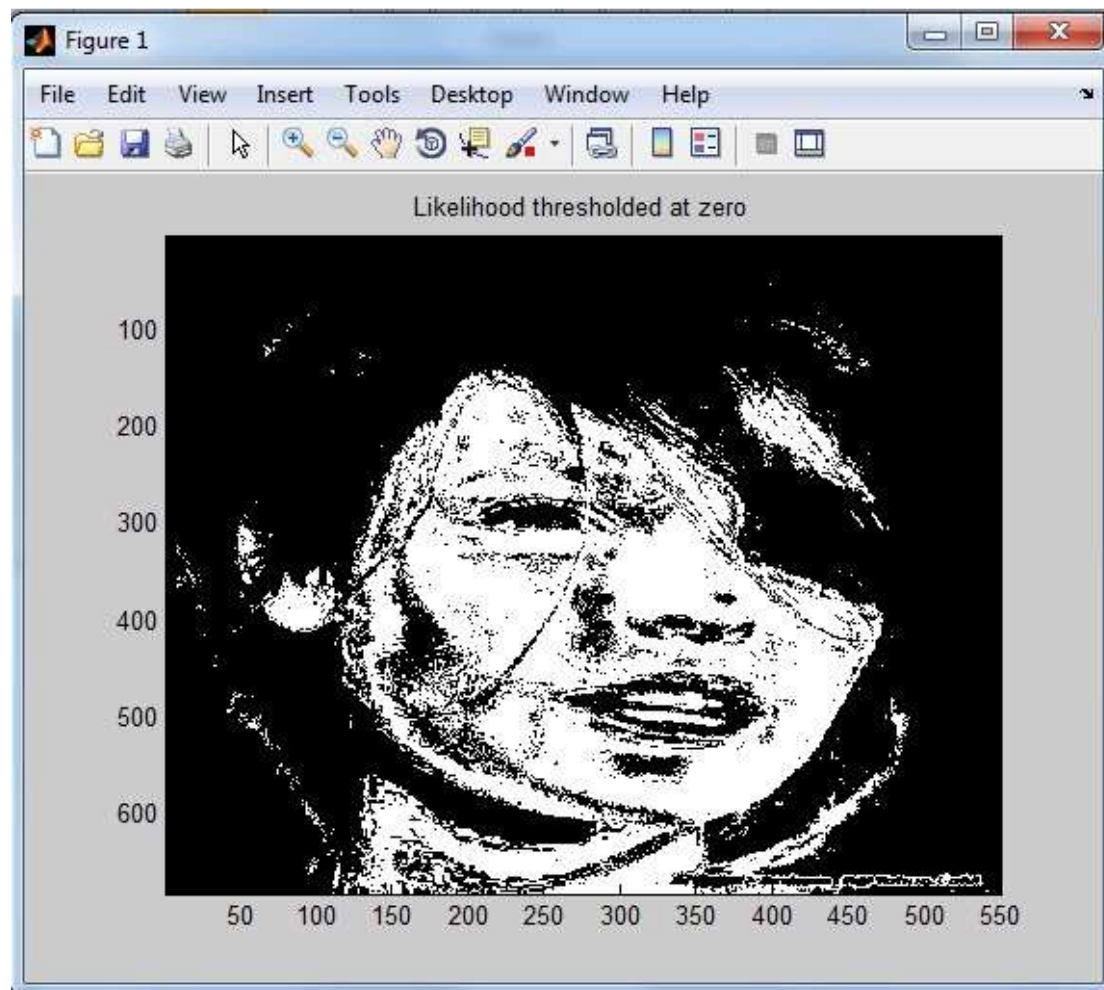
Εικόνα 16: Αρχική εικόνα

Στη συνέχεια έχουμε την πιθανότητα εμφάνισης pixel δέρματος.



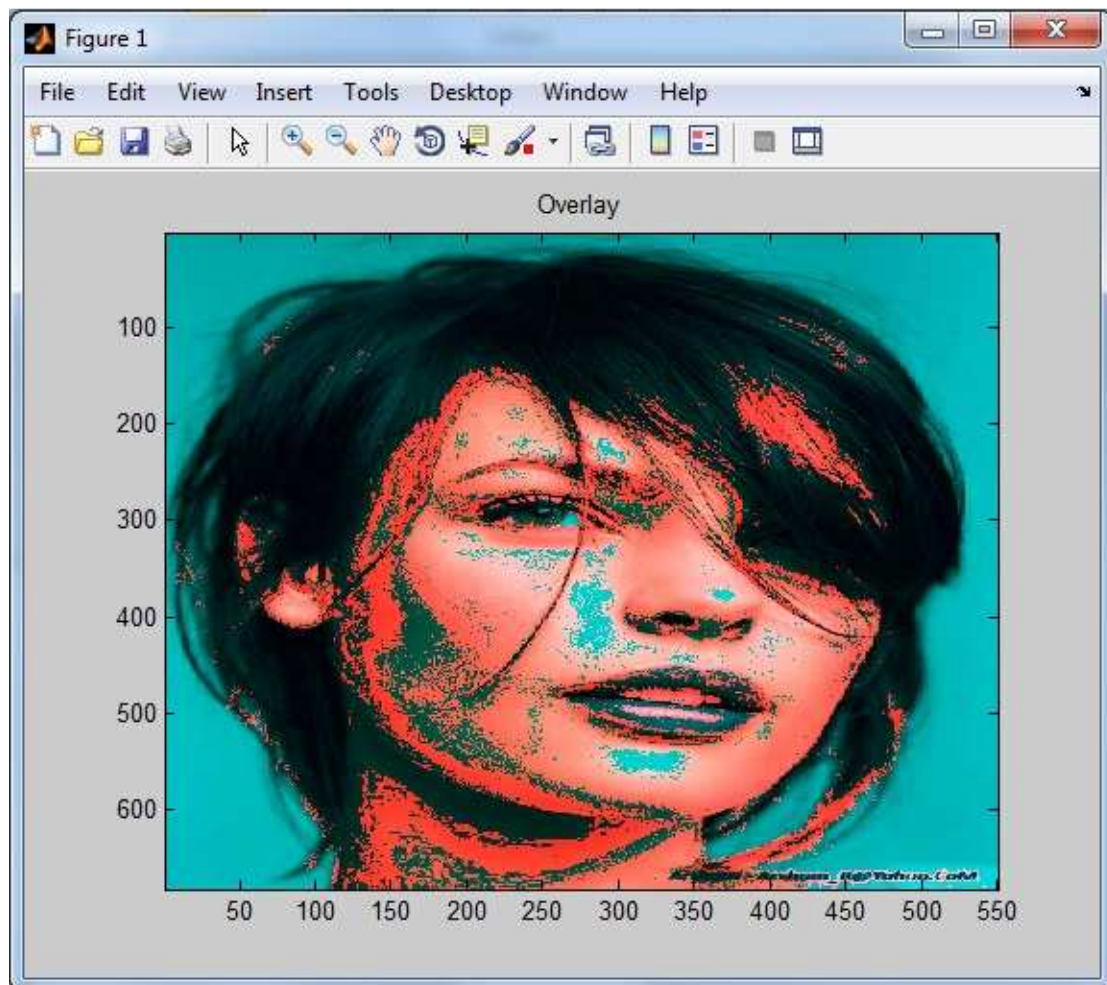
Εικόνα 17: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Εδώ έχουμε τα pixel δέρματος που έχουν εντοπιστεί σε ασπρόμαυρη εικόνα.



Εικόνα 18: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

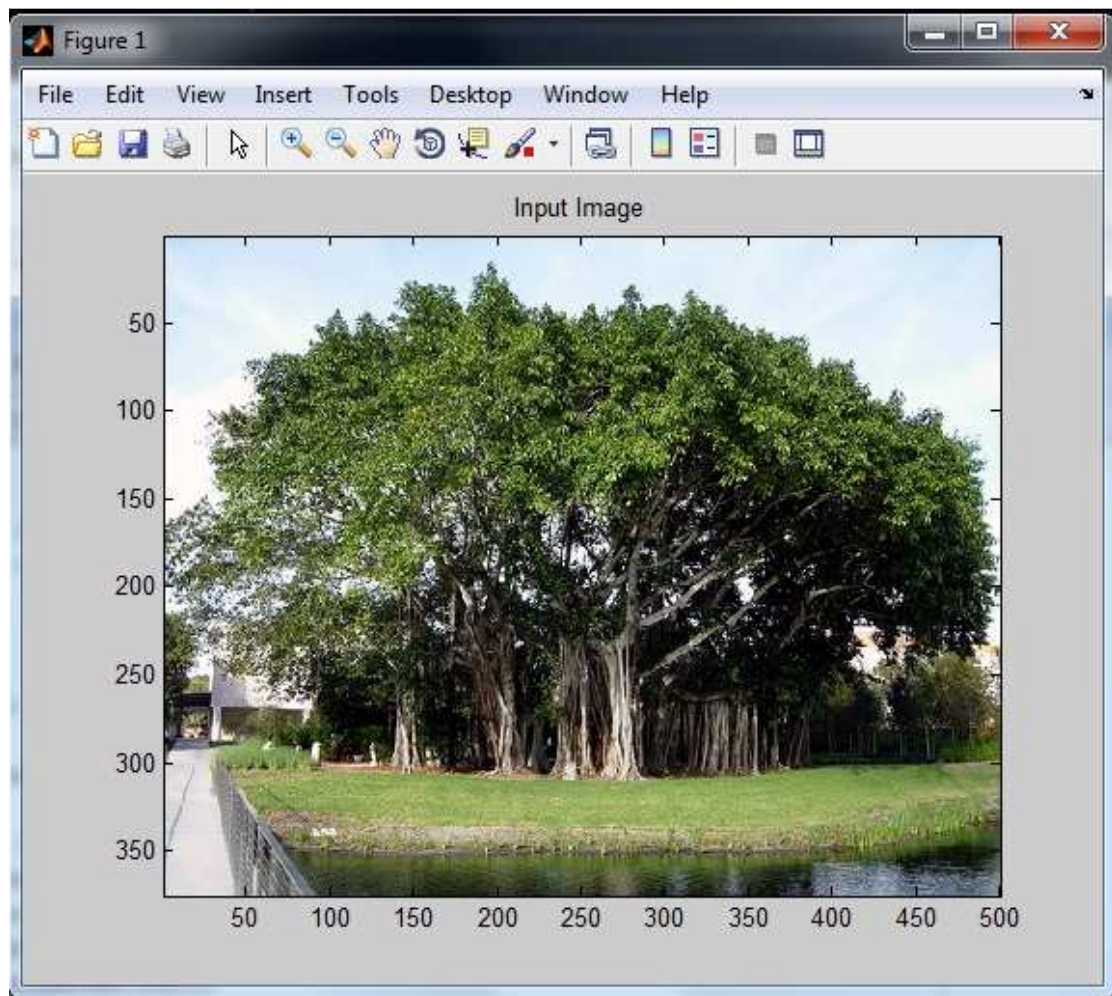
Τέλος έχουμε τα pixel δέρματος που ανιχνεύσαμε πάνω στην αρχική εικόνα.



Εικόνα 19: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

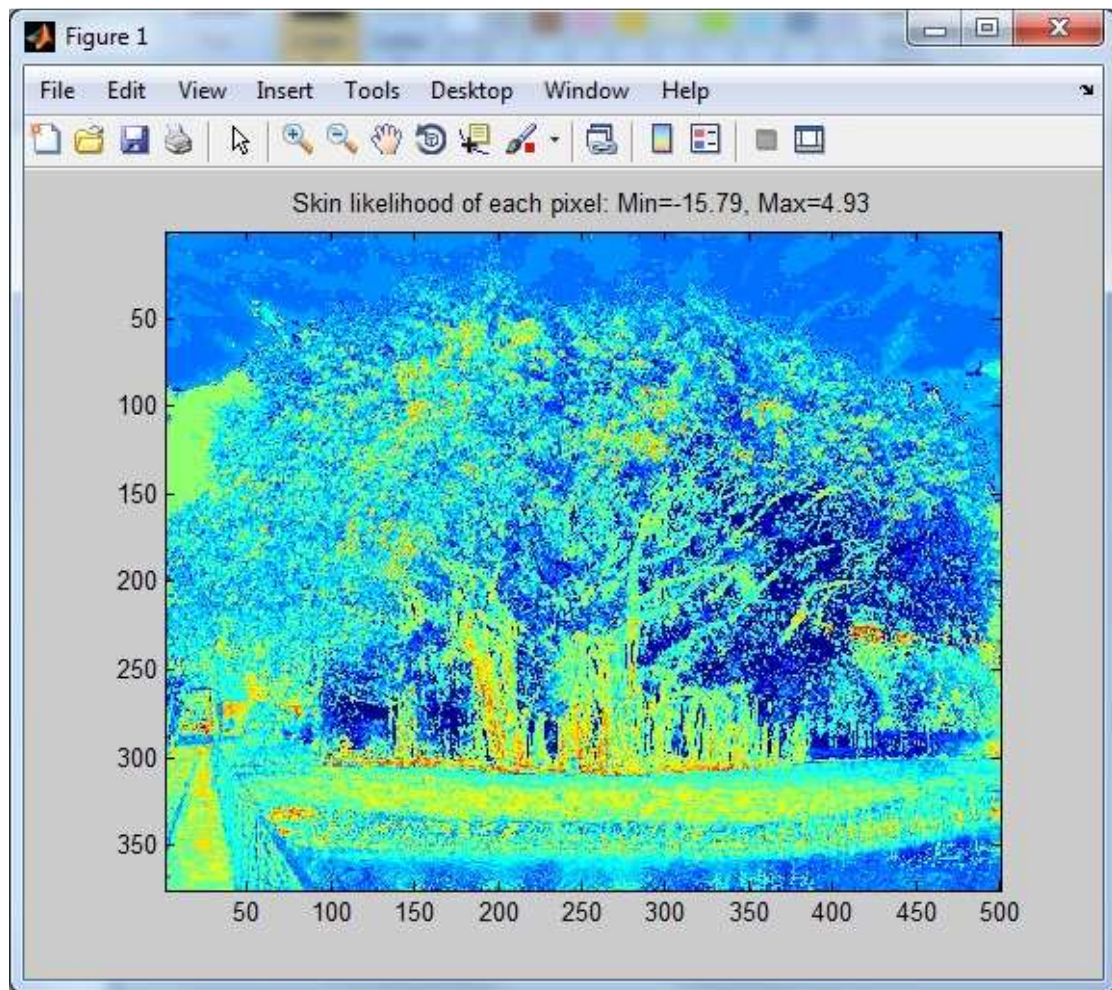
Στη συνέχεια παραθέτω ένα παράδειγμα εικόνας η οποία δεν περιέχει δέρμα έτσι ώστε να παρατηρήσουμε πως λειτουργεί το πρόγραμμα σε αυτή την περίπτωση.

Η αρχική μας εικόνα η οποία απεικονίζει ένα δέντρο.



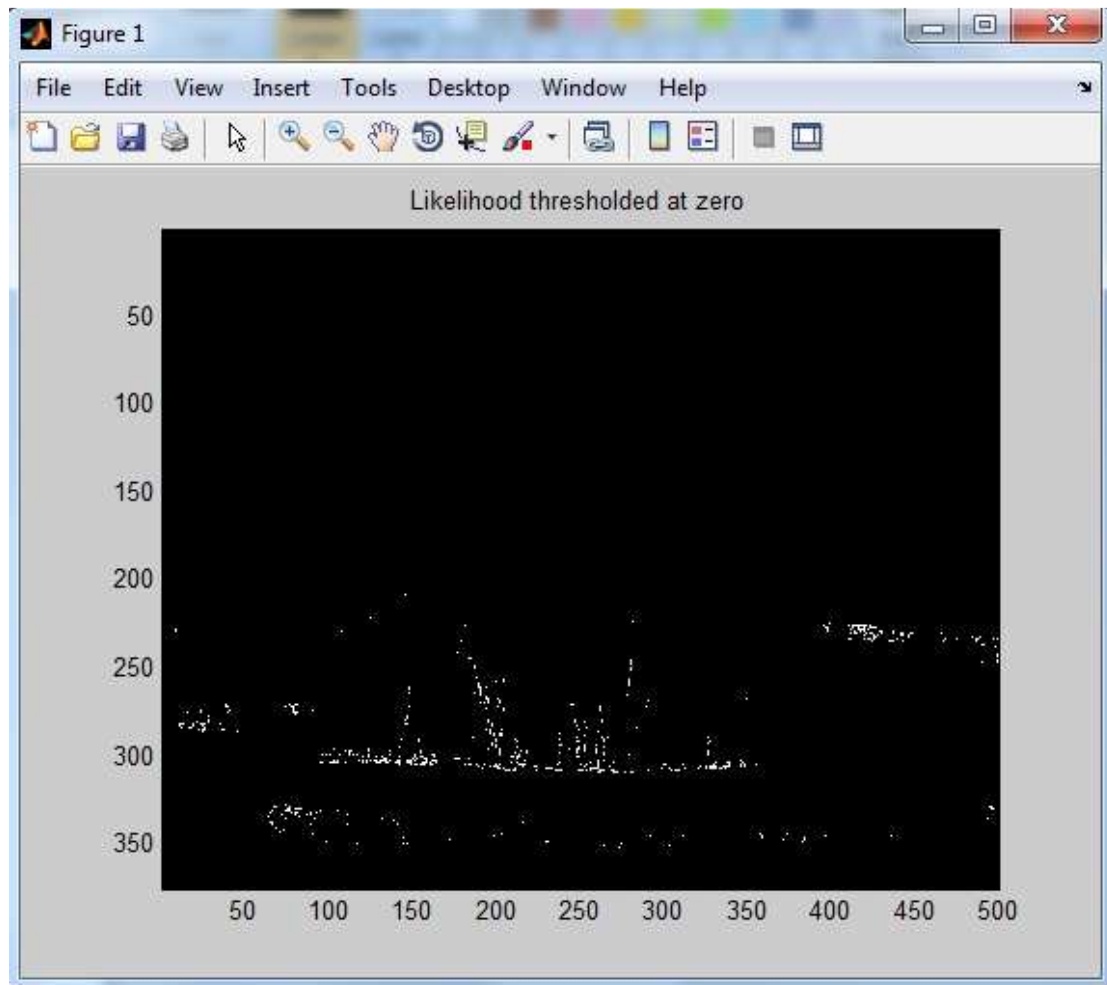
Εικόνα 20: Αρχική εικόνα

Η εικόνα μας πάνω στην οποία έχει εφαρμοστεί η εξίσωσή skindetection για την ανίχνευση των pixel δέρματος που σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχουν.



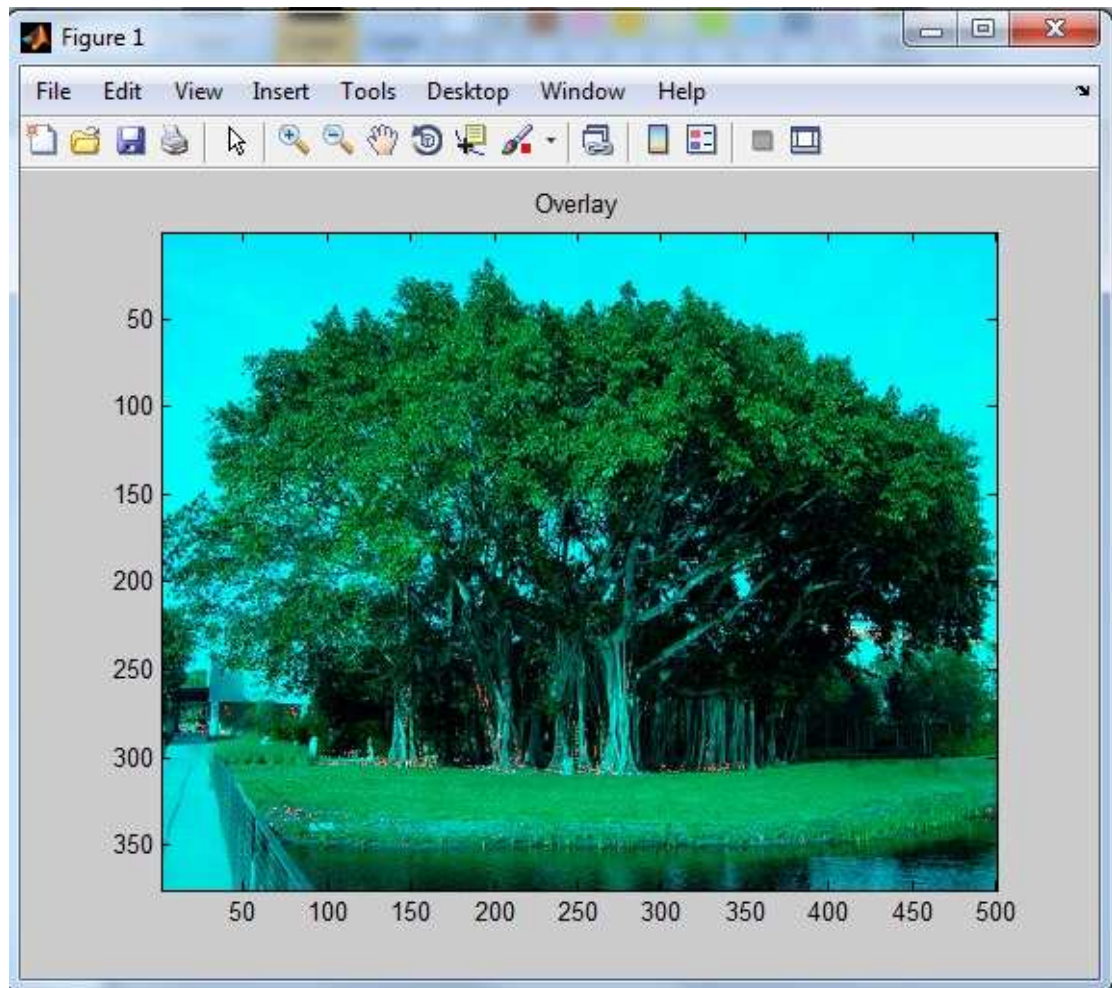
Εικόνα 21: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Κάποια ελάχιστα pixel που εντοπίστηκαν λανθασμένα ως pixel δέρματος.



Εικόνα 22: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

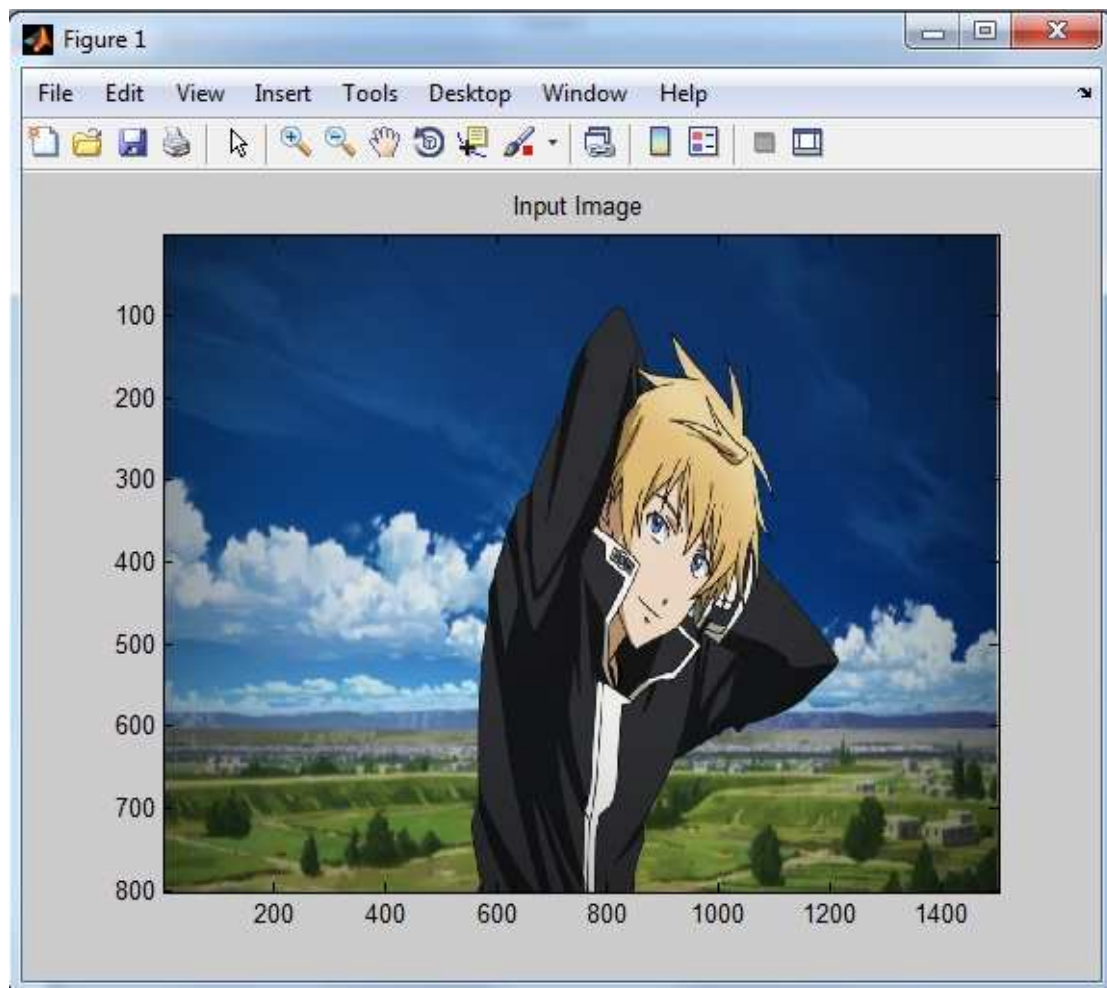
Η υβριδική φωτογραφία που μας δείχνει τα εντοπισμένα pixel δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα.



Εικόνα 23: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

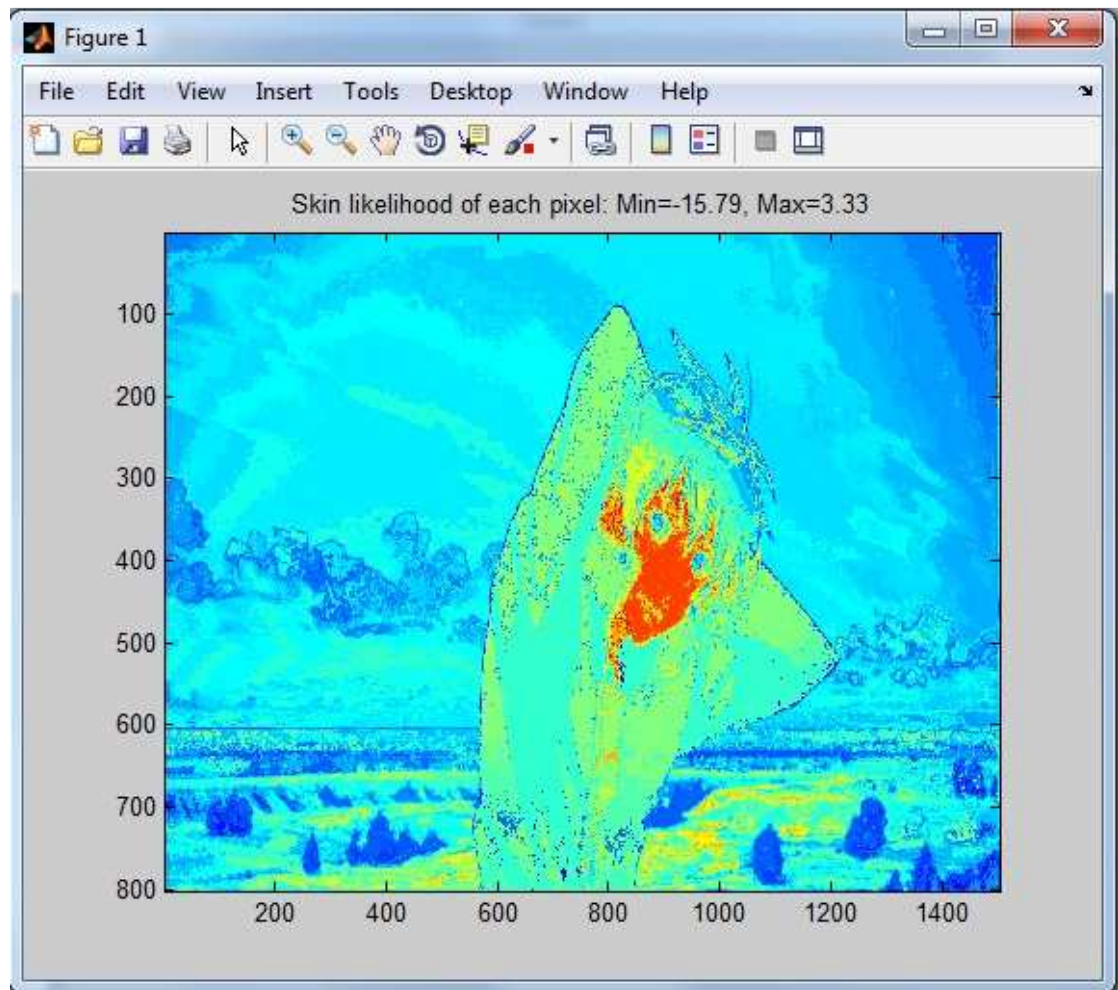
Ως επόμενο παράδειγμα χρησιμοποιούμε μια εικόνα σχεδιασμένη στο χέρι για να δούμε πως λειτουργεί υπο αυτές τις συνθήκες το πρόγραμμα.

Η αρχική μας εικόνα που απεικονίζει ένα τοπίο με έναν αρσενικό χαρακτήρα.



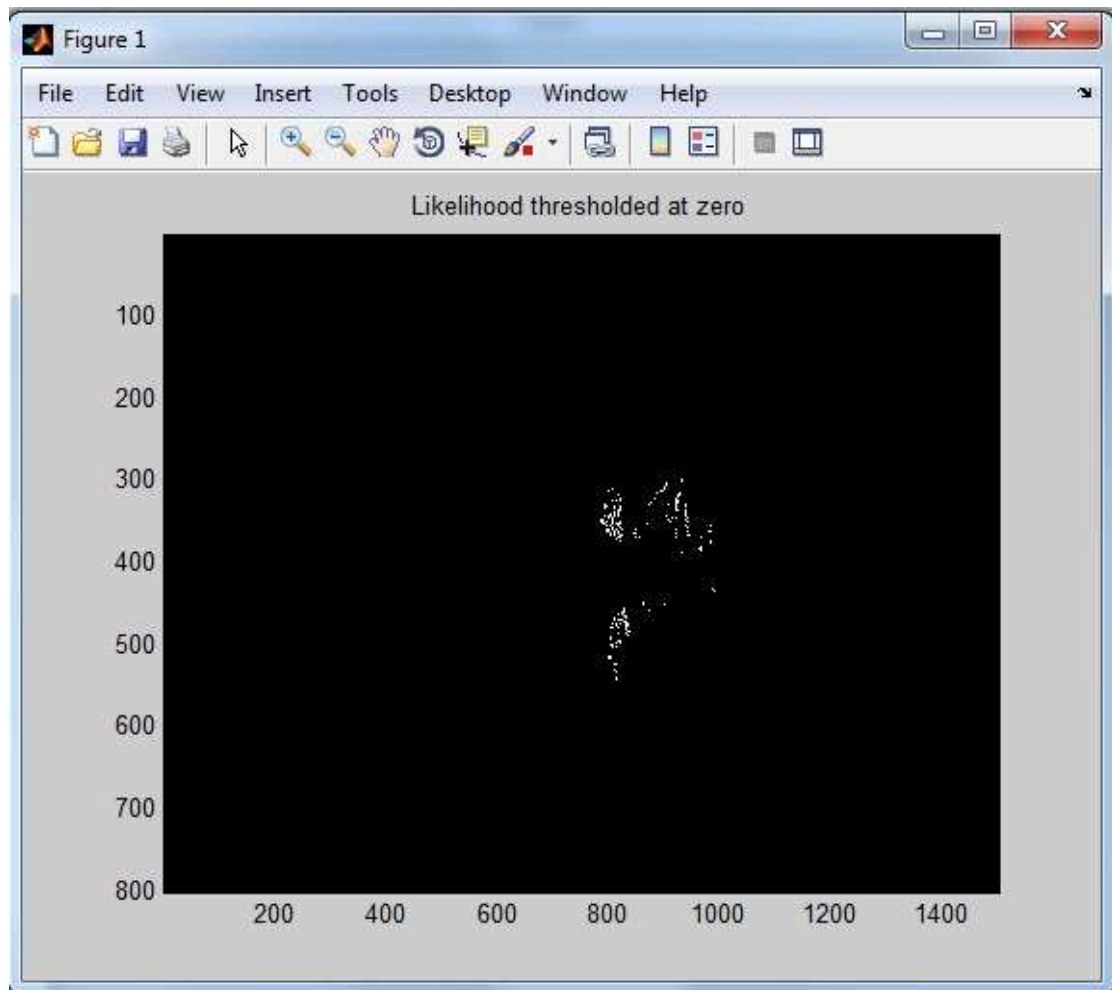
Εικόνα 24: Αρχική εικόνα

Η πιθανότητα εμφάνισης ριchel δέρματος πάνω στην εικόνα μας. Εδώ βλέπουμε πως το πρόγραμμα κάνει πολύ σωστή δουλειά.



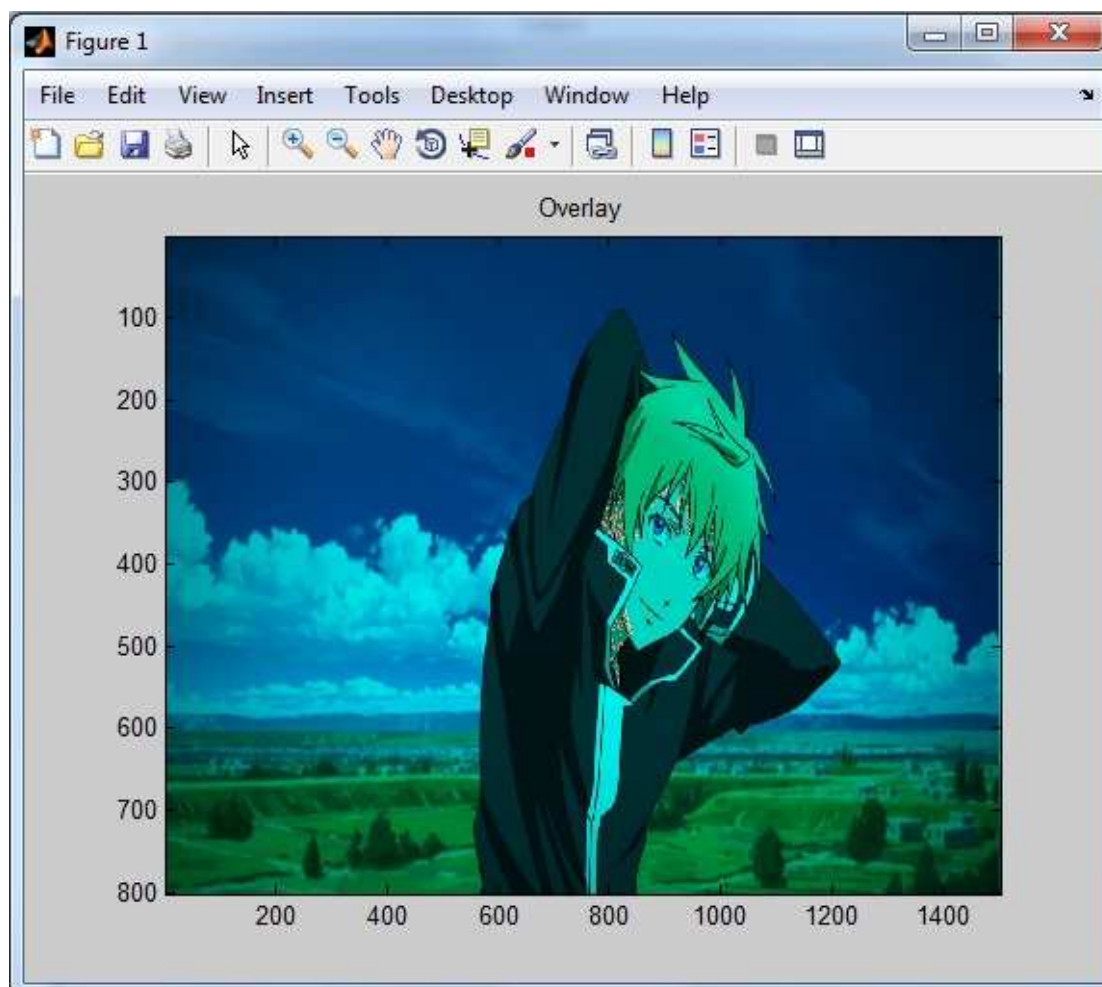
Εικόνα 25: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Τα pixel που τελικά χαρακτηρίστηκαν ως pixel δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα. Εδώ παρατηρούμε πως το πρόγραμμα δεν τα έχει εντοπίσει όλα.



Εικόνα 26: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

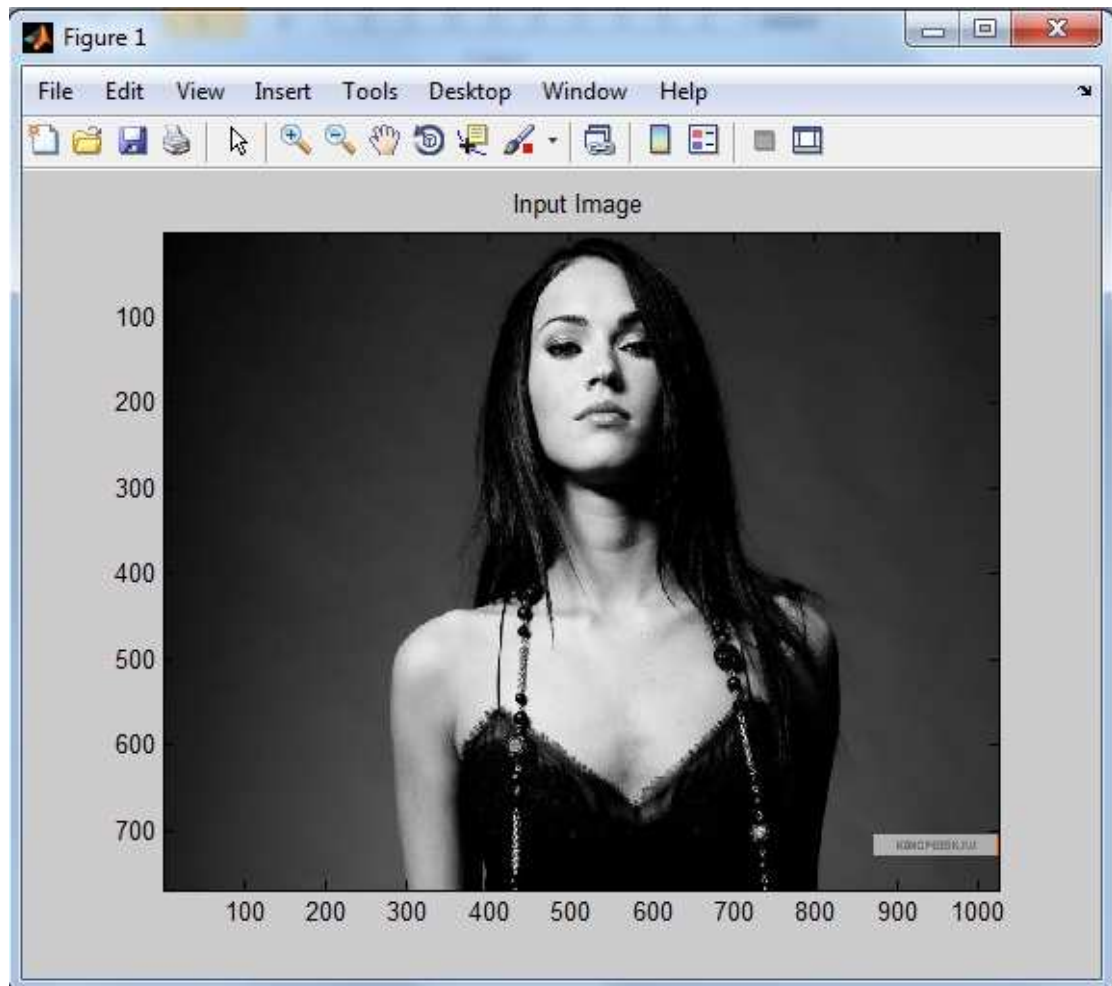
Τέλος η τελική εικόνα που μας παραθέτει τα εντοπισμένα pixel δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα αφού πρώτα αντικατασταθεί η κόκκινη χρωματική συνιστώσα με αυτήν της παραπάνω διαδικασίας.



Εικόνα 27: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

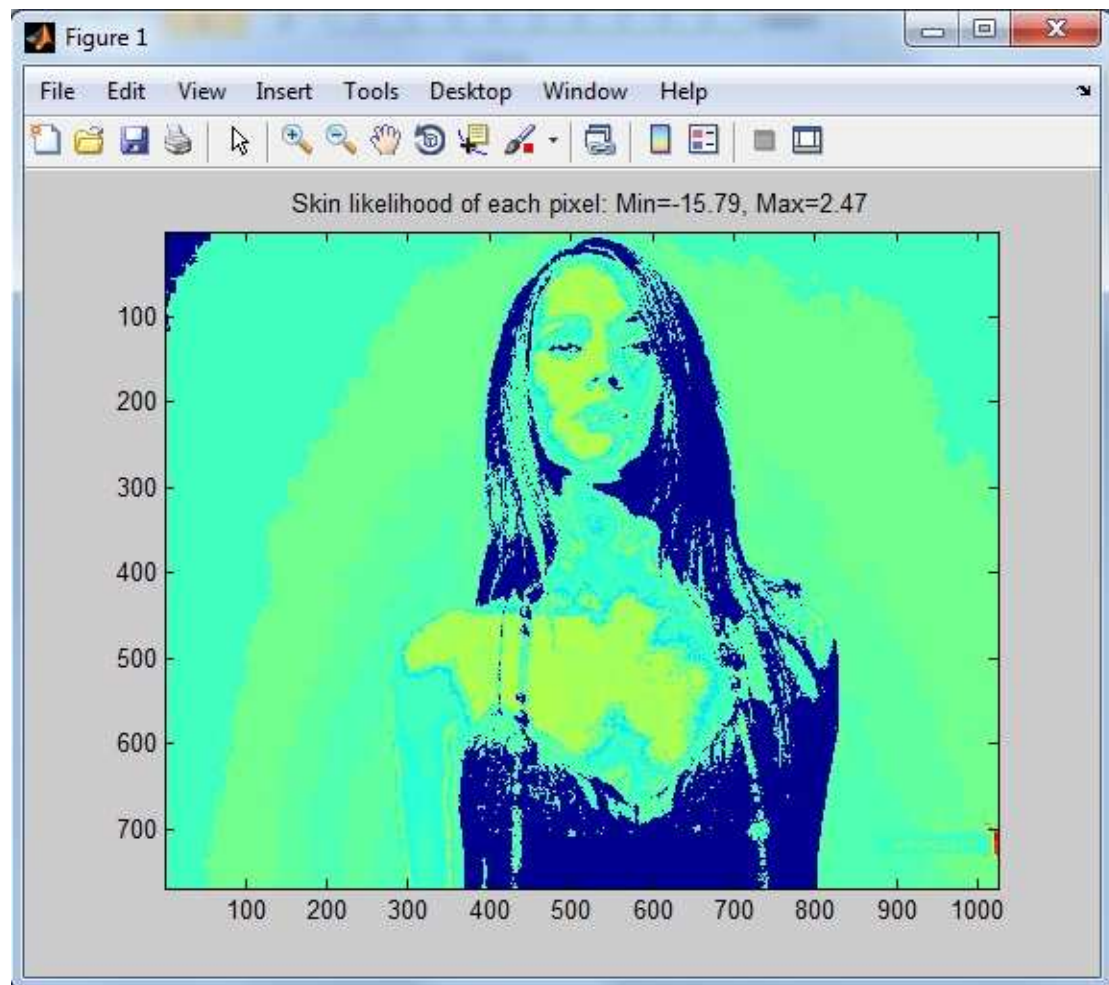
Άλλο παράδειγμα θα αποτελέσει μια ασπρόμαυρη εικόνα.

Η αρχική εικόνα απεικονίζει μια κοπέλα χωρίς χρώμα.



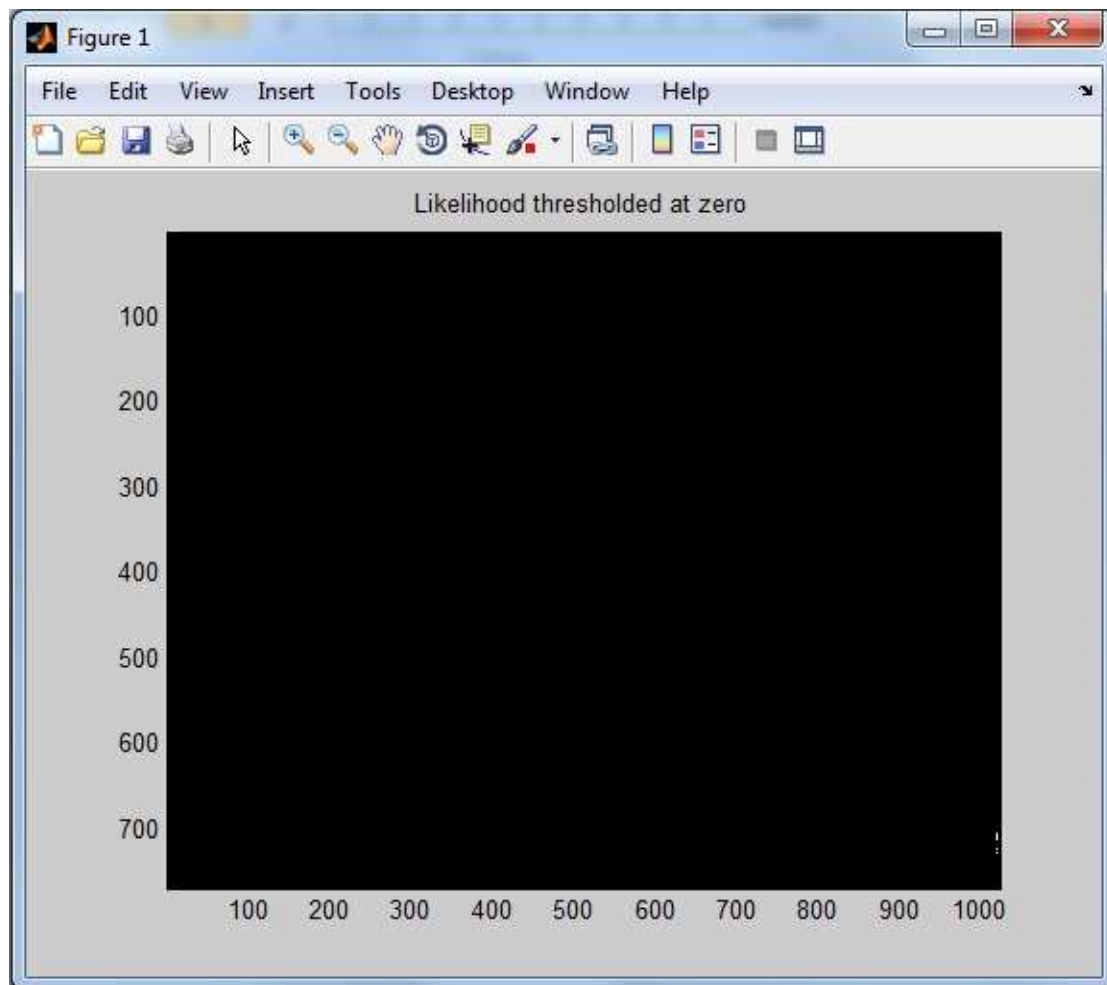
Εικόνα 28: Αρχική εικόνα

Στη συνέχεια βλέπουμε την πιθανότητα εμφάνισης δέρματος. Παρατηρούμε πως το πρόγραμμα λανθασμένα δεν καταφέρνει να εντοπίσει τα pixel δέρματος.



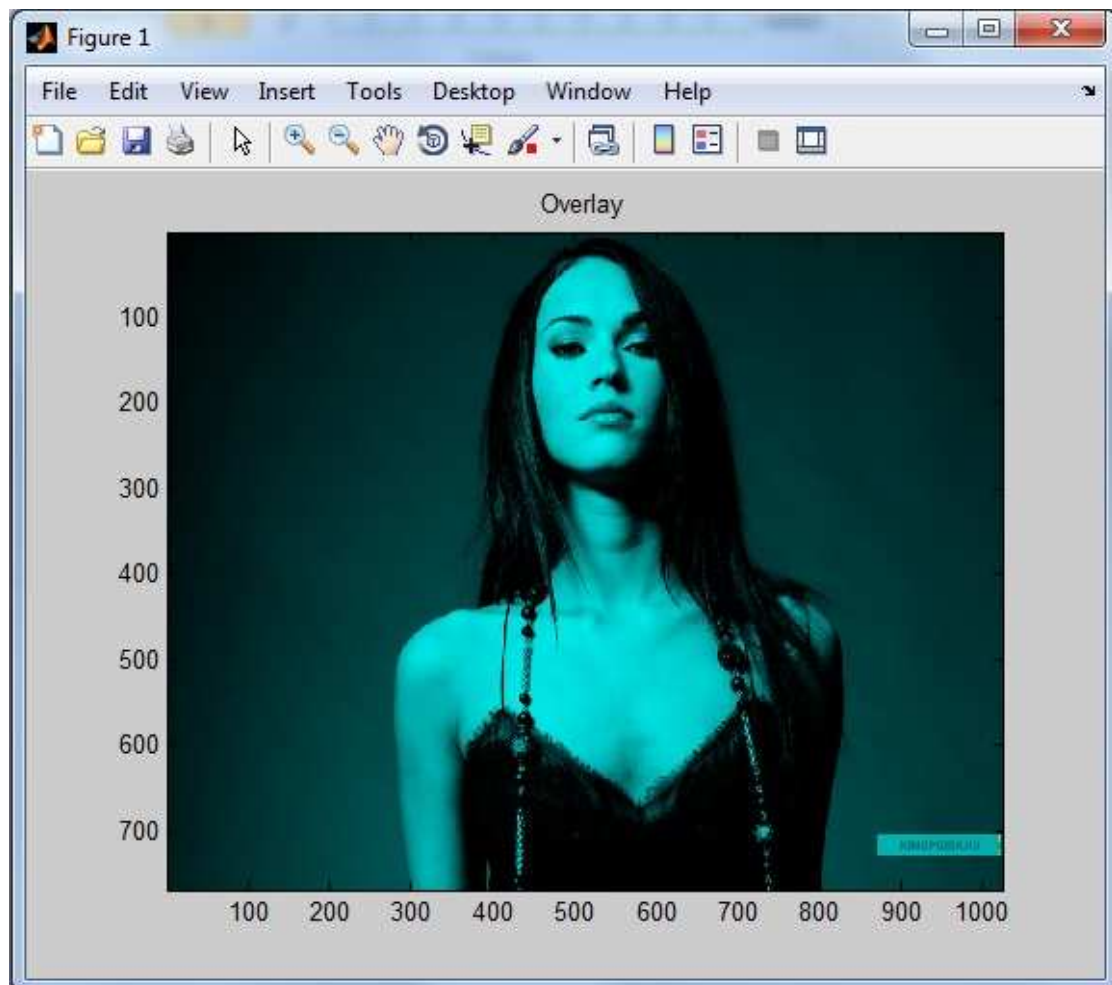
Εικόνα 29: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Εδώ θα έπρεπε να βλέπουμε τα pixel δέρματος της εικόνας αλλά όπως παρατηρούμε αυτό δεν γίνεται.



Εικόνα 30: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

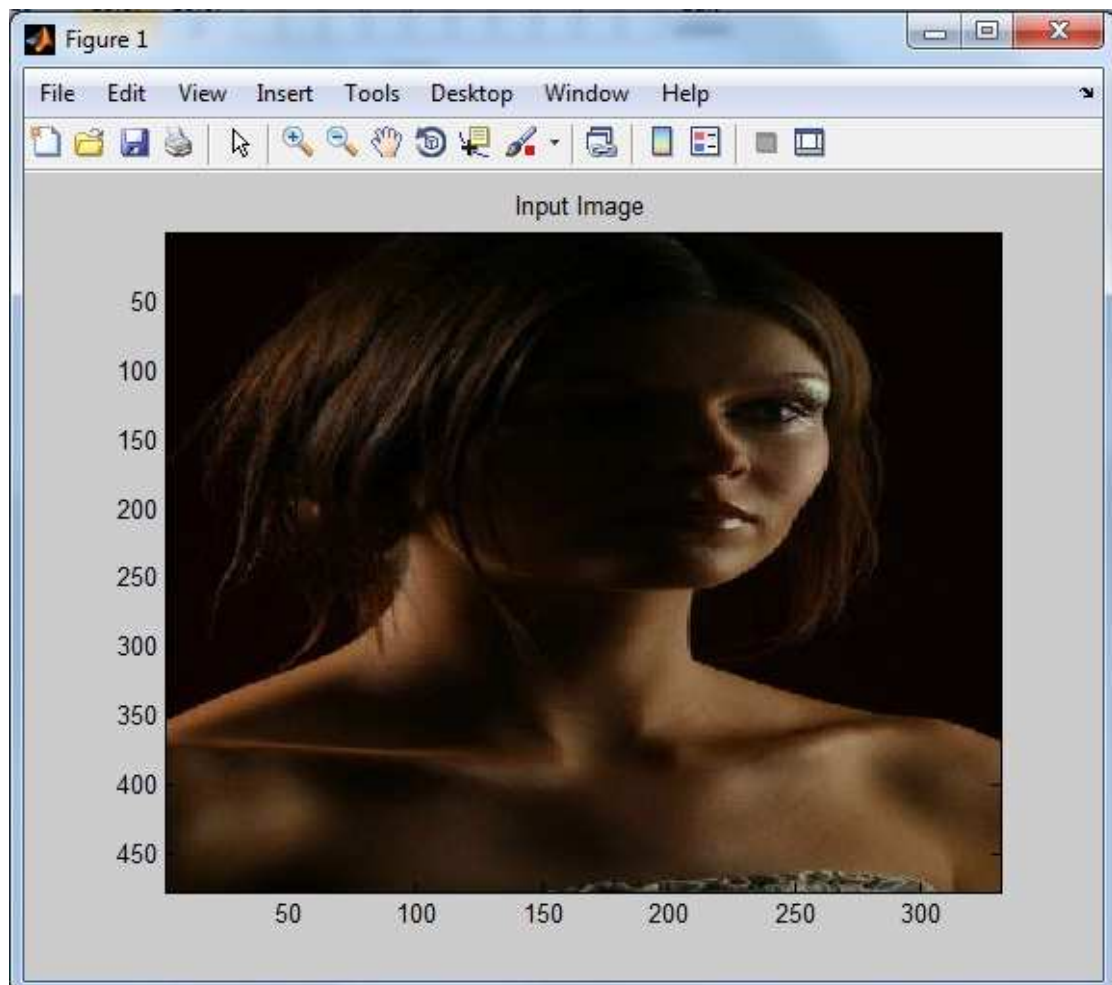
Τέλος έχουμε την αρχική μας εικόνα πάνω στην οποία φαίνονται τα pixel δέρματος.



Εικόνα 31: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

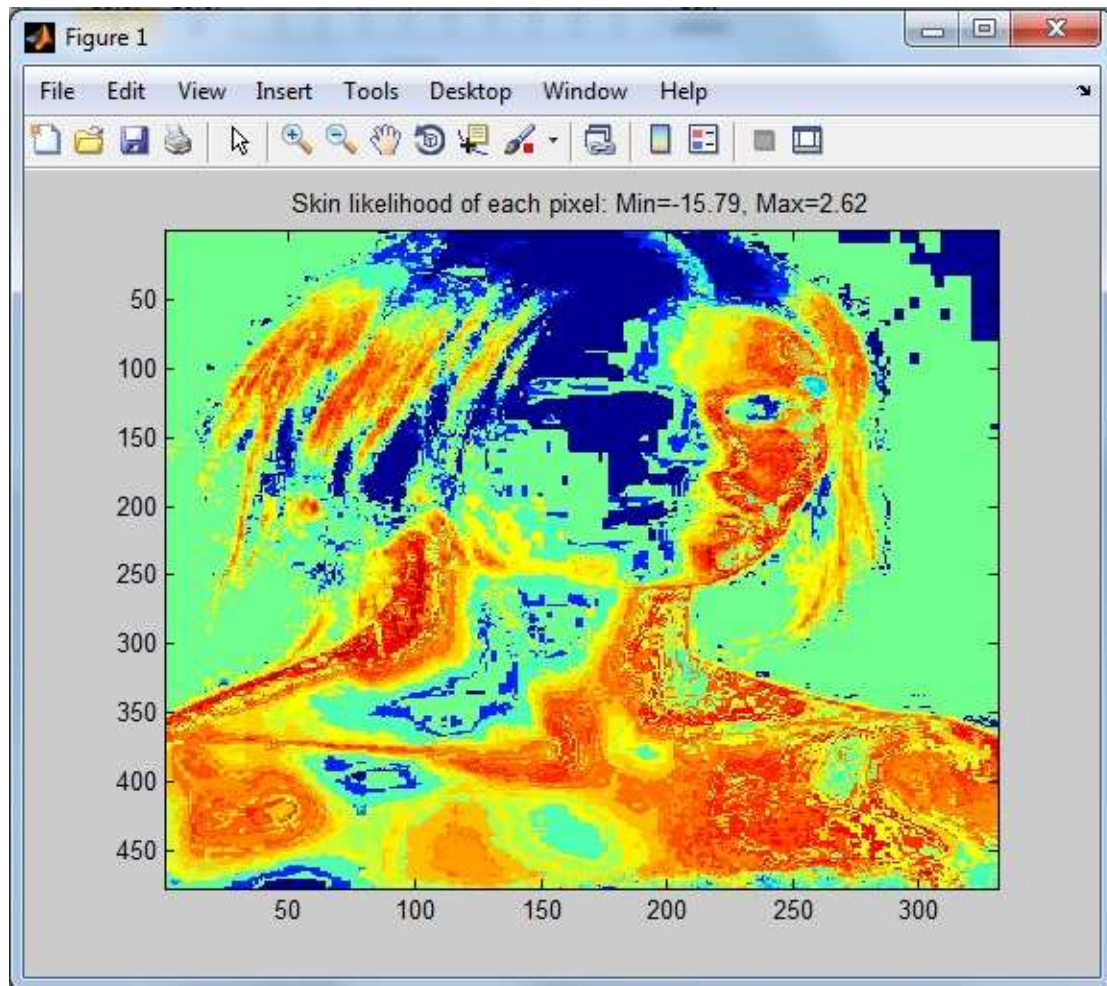
Παρακάτω θα παρατηρήσουμε ένα παράδειγμα σε εικόνα με πολύ χαμηλό φωτισμό.

Η αρχική μας εικόνα η οποία είναι πολύ σκοτεινή.



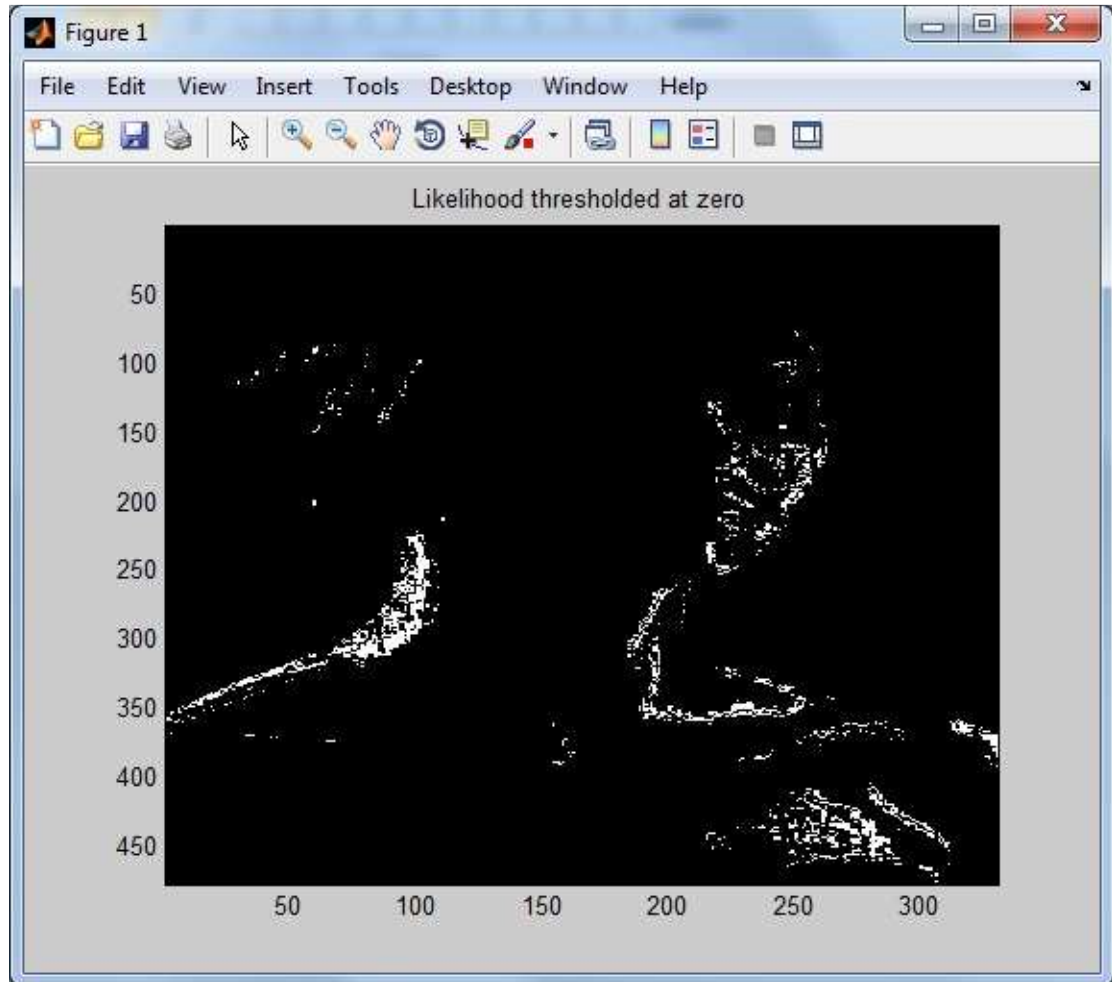
Εικόνα 32: Αρχική εικόνα

Η πιθανότητα εμφάνισης pixel δέρματος ,όπως παρατηρούμε το πρόγραμμα δεν κατάφερε να ανιχνεύσει τις πολύ σκοτεινές περιοχές.



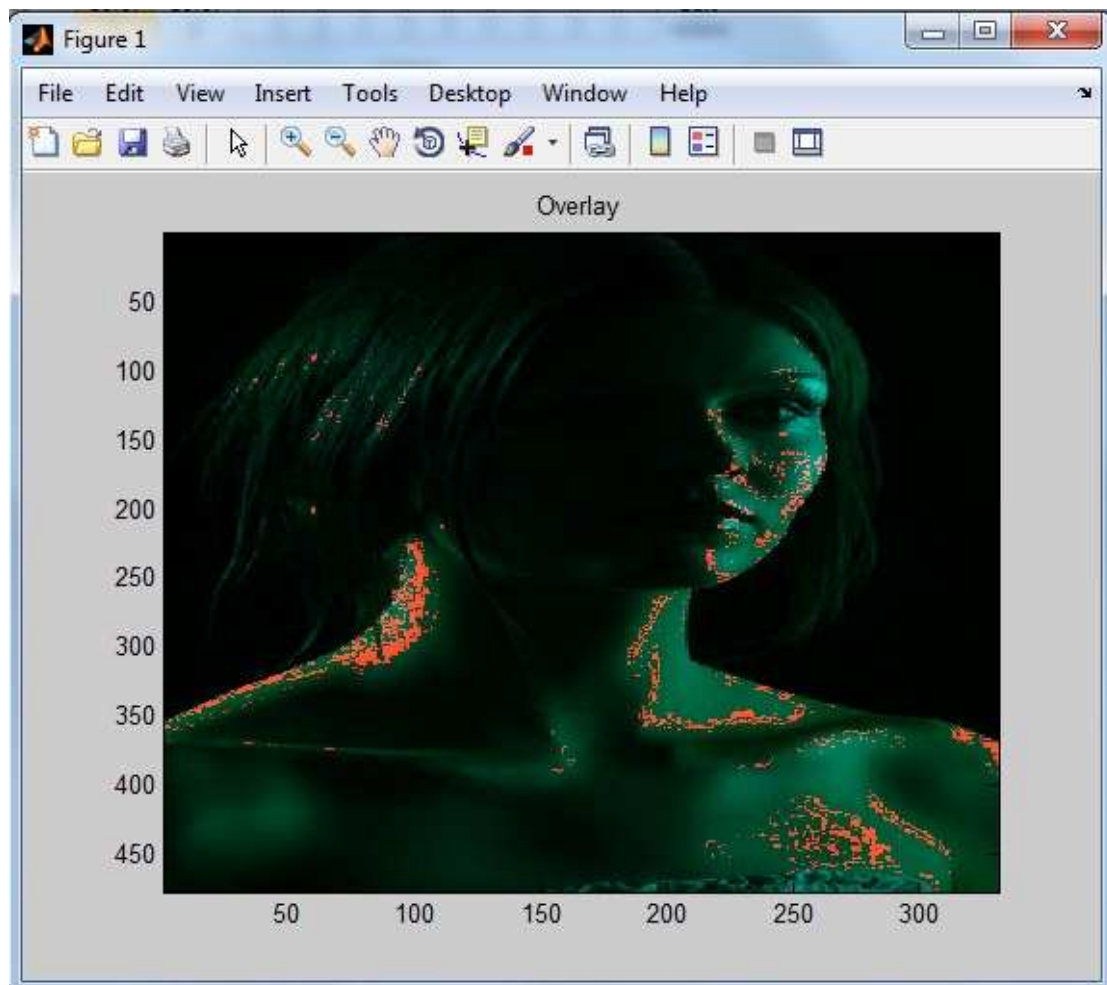
Εικόνα 33: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Εδώ πάλι βλέπουμε τα pixel που τελικά χαρακτηρίστηκαν ως δέρματος. Παρατηρούμε πως το λάθος μεγεθύνεται καθώς έχουν εντοπιστεί πολύ λίγα pixel δέρματος.



Εικόνα 34: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

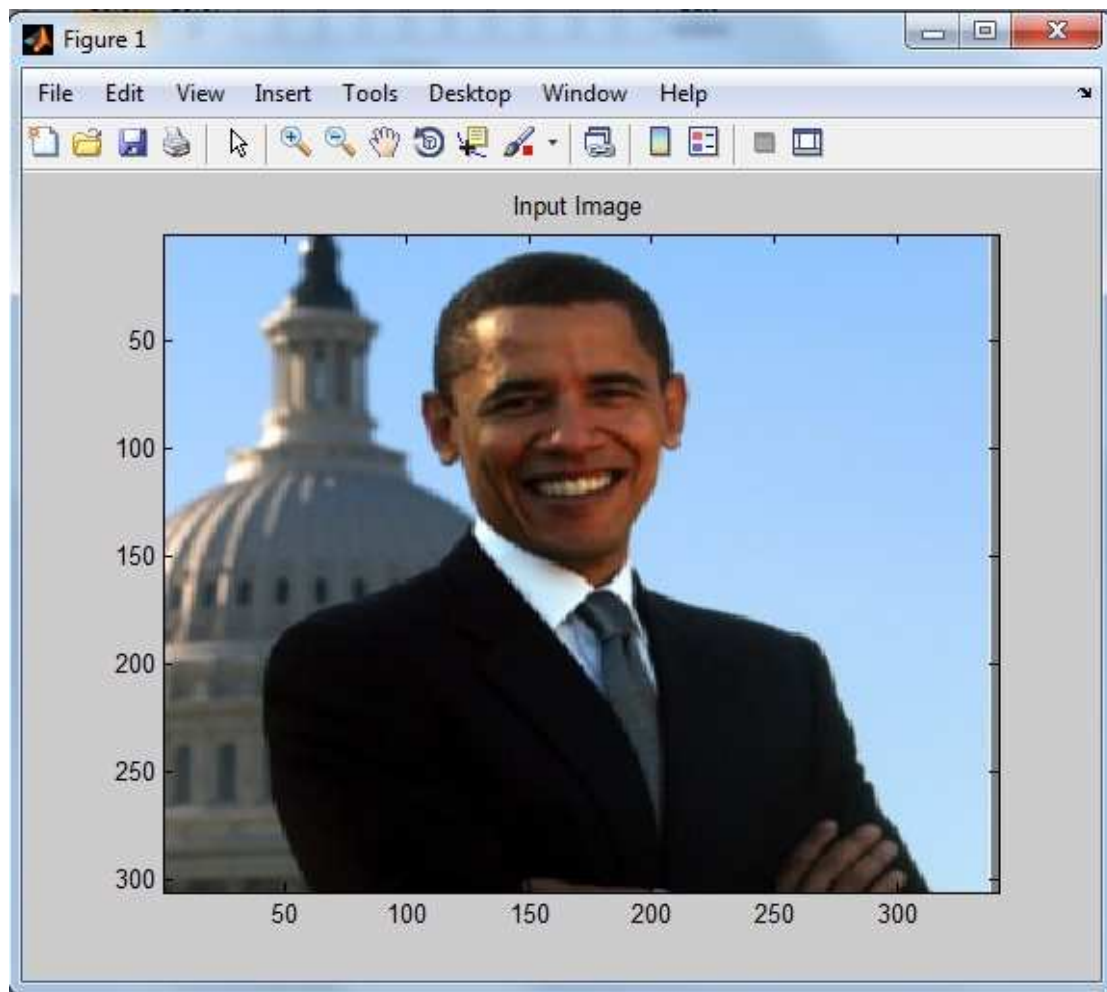
Στη συνέχεια βλέπουμε την αρχική μας εικόνα πάνω στην οποία προστίθενται τα pixel δέρματος που ανιχνεύτηκαν. Εδώ φαίνεται καλύτερα η έκταση του λάθους.



Εικόνα 35: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

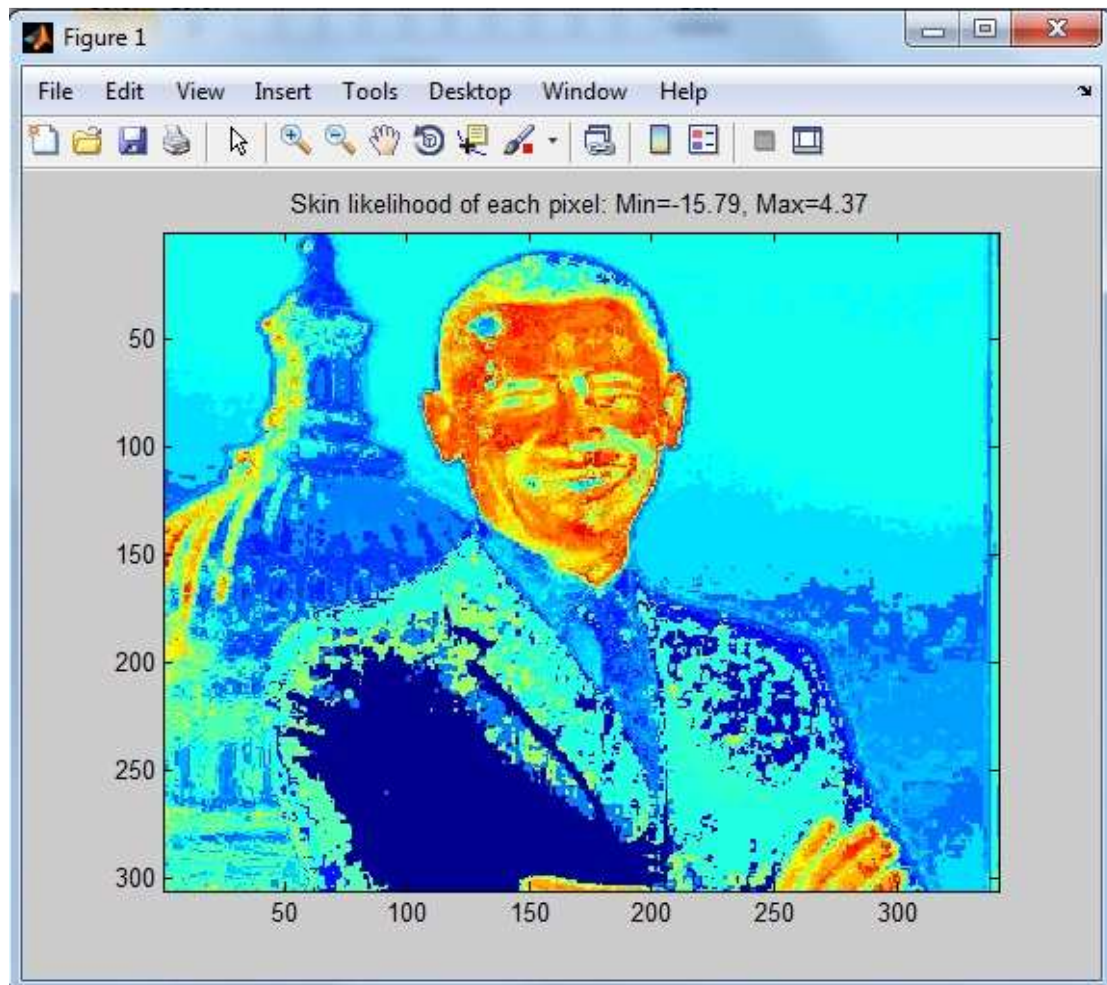
Επόμενο παράδειγμα έχει να κάνει με φωτογραφία έγχρωμου ανθρώπου.

Η αρχική μας εικόνα που απεικονίζει τον πρόεδρο των Η.Π.Α.



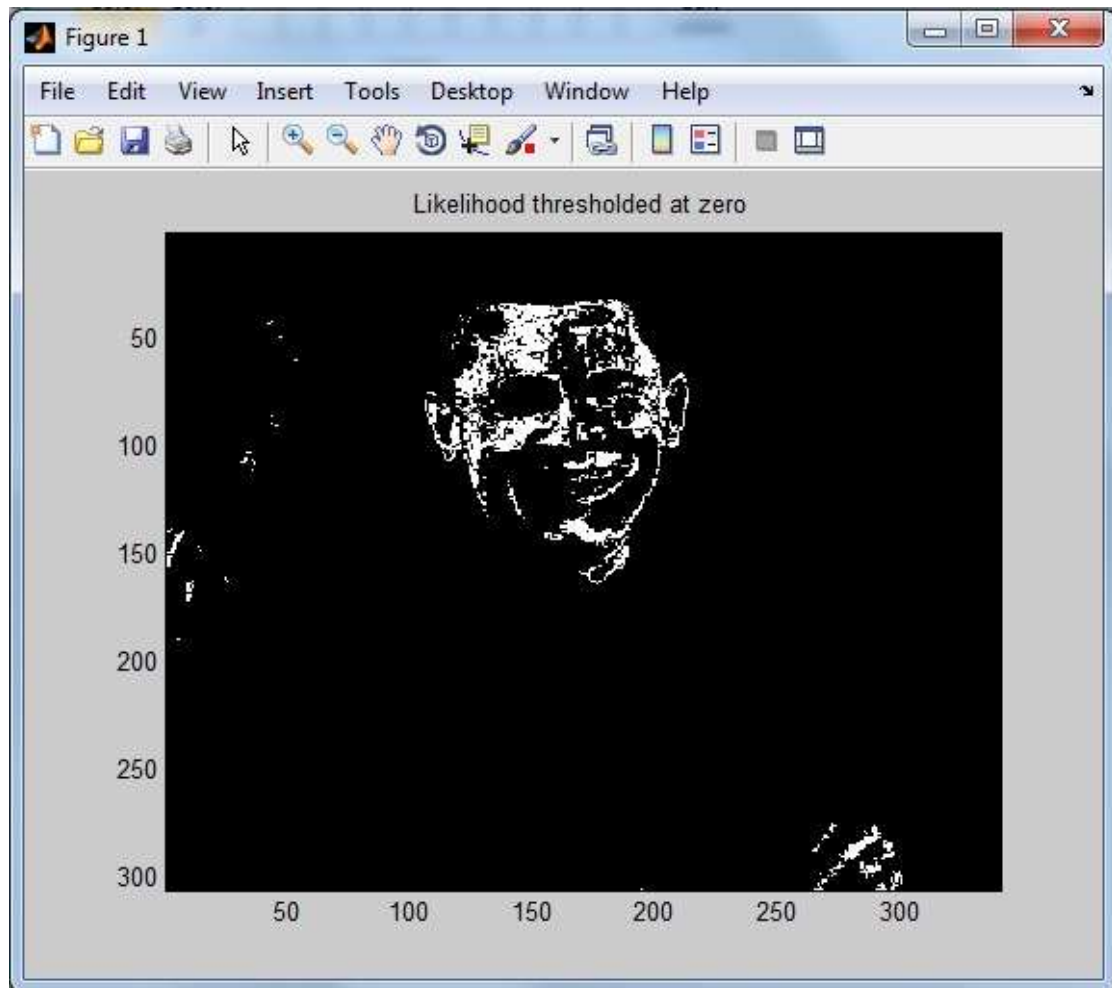
Εικόνα 36: Αρχική εικόνα

Ανίχνευση των ριchel δέρματος που γίνεται επιτυχώς με εξαίρεση ενός κομματιού του Λευκού Οίκου στο φόντο.



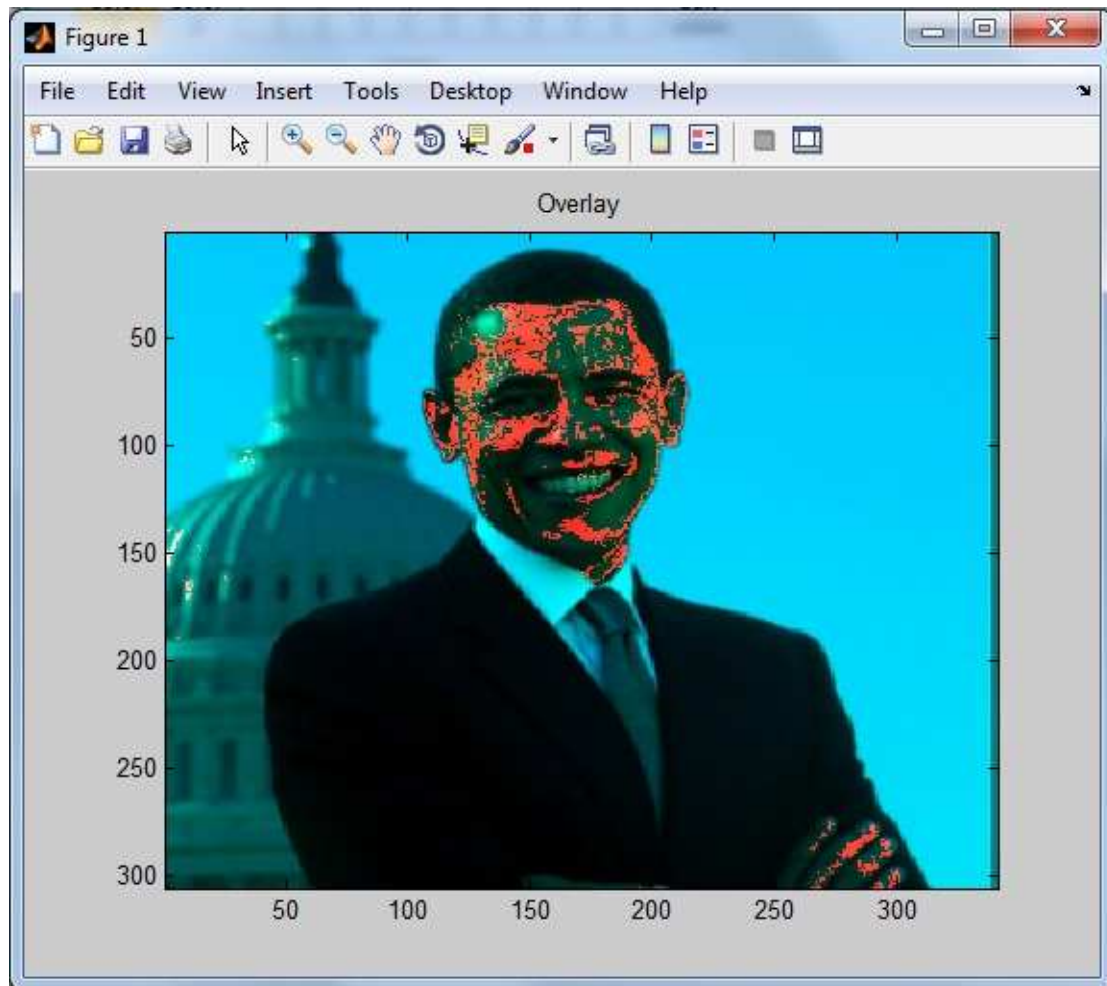
Εικόνα 37: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Οριστική επιλογή pixel δέρματος που μειώνει τα λάθη (επιλογή Λευκού Οίκου) αλλά προκαλεί κάποιες μικρό-απώλειες και στα πραγματικά pixel δέρματος.



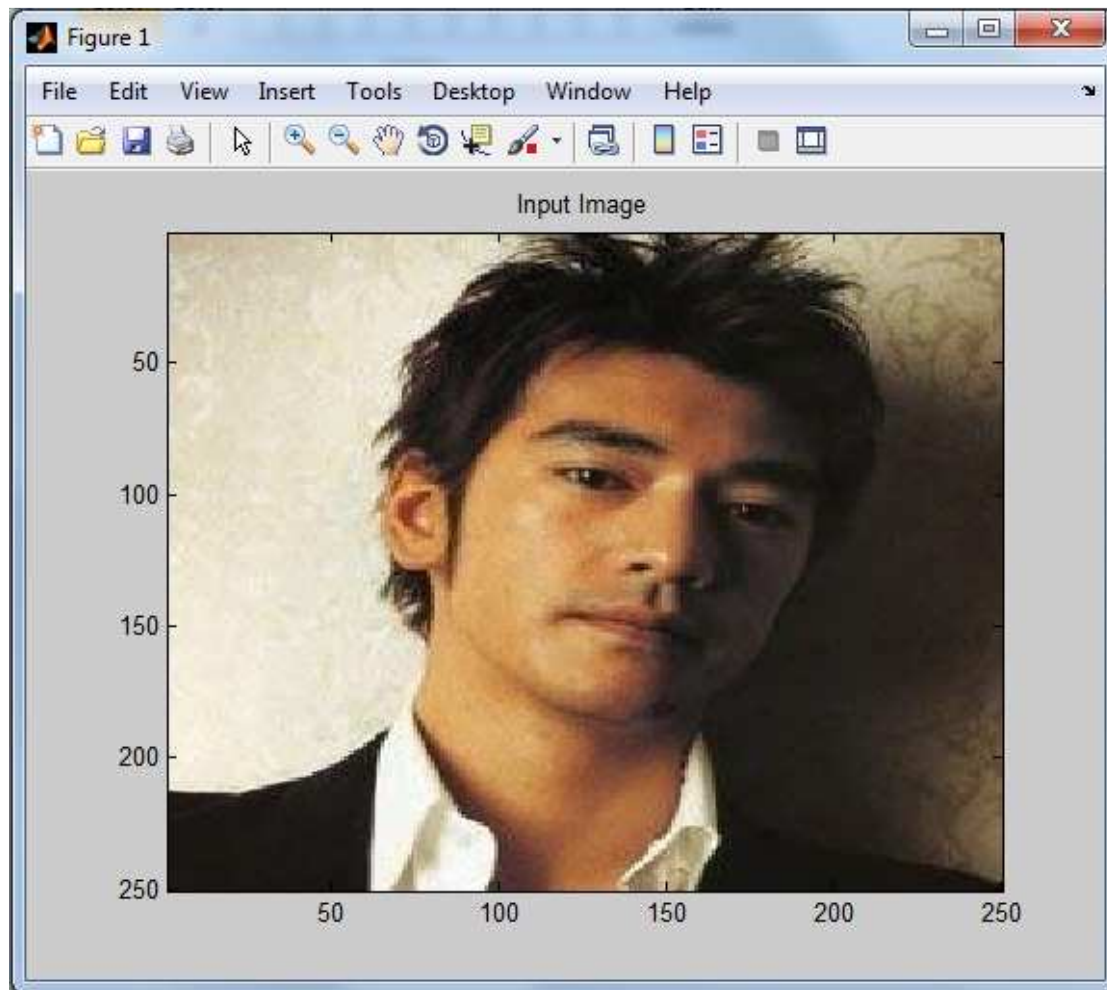
Εικόνα 38: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

Επικάλυψη της αρχικής εικόνας από την 3^η.



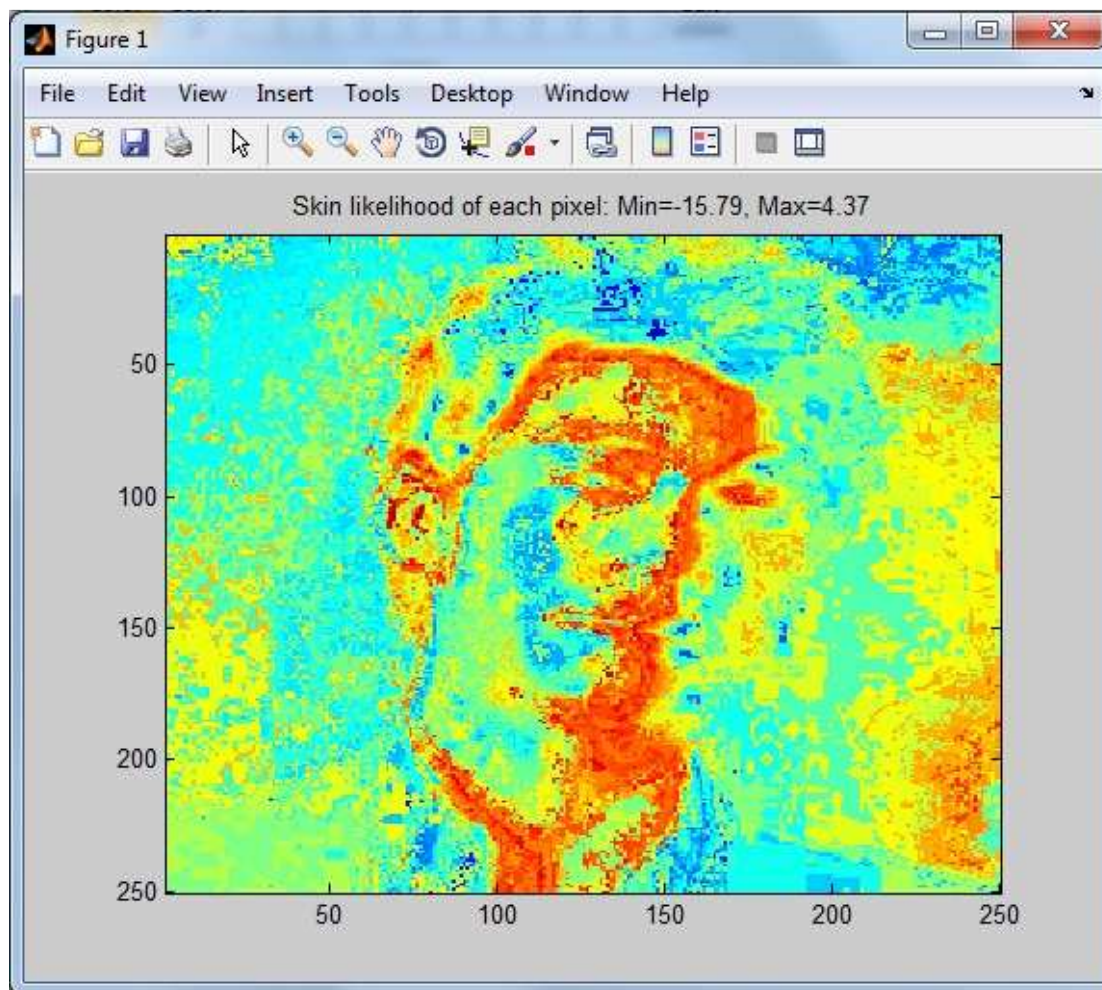
Εικόνα 39: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

Σε αυτό το παράδειγμα θα παρατηρήσουμε τη λειτουργία του προγράμματος σε φωτογραφία ασιάτη με συνθήκες κακού φωτισμού.



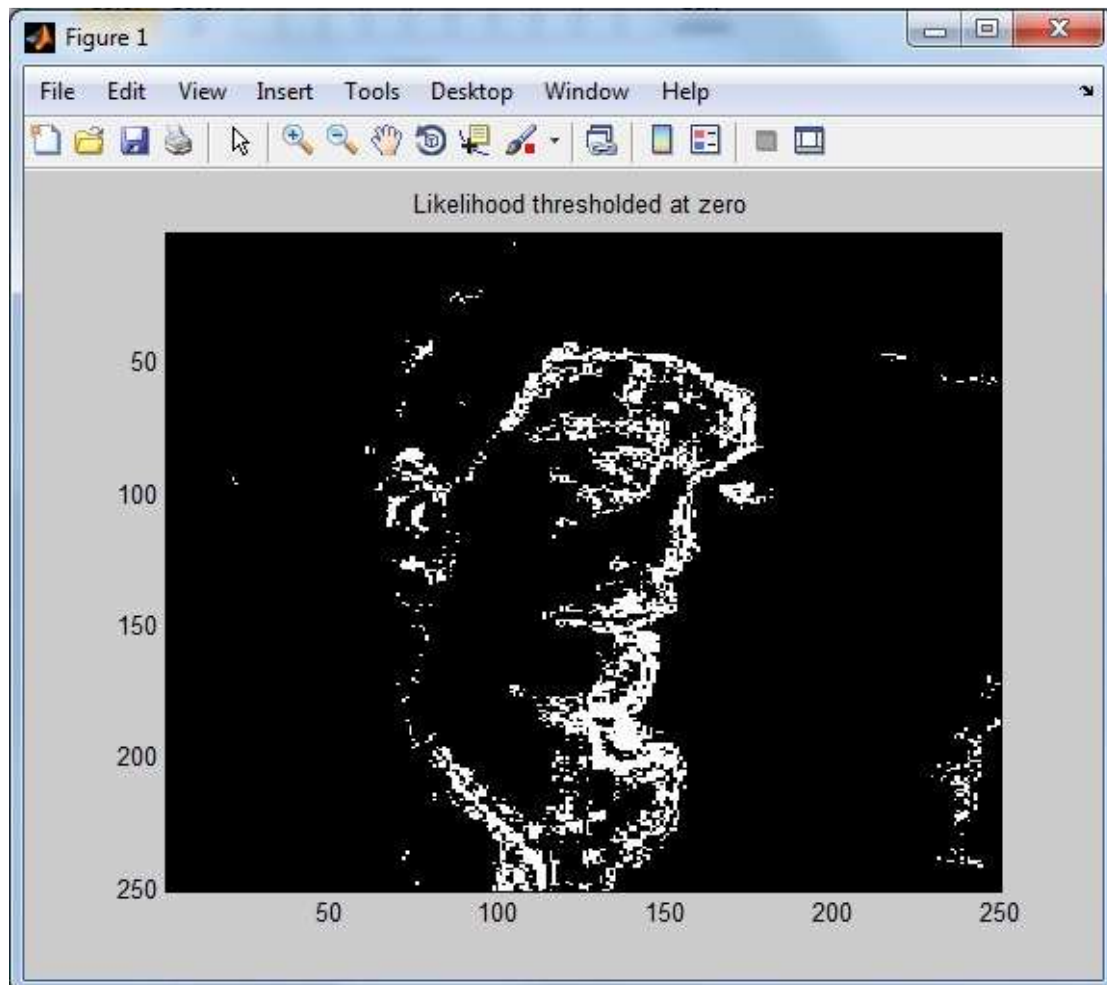
Εικόνα 40: Αρχική εικόνα

Αρχικός εντοπισμός pixel. Βλέπουμε μεγάλα λάθη εξαιτίας κακού φωτισμού και φόντου.



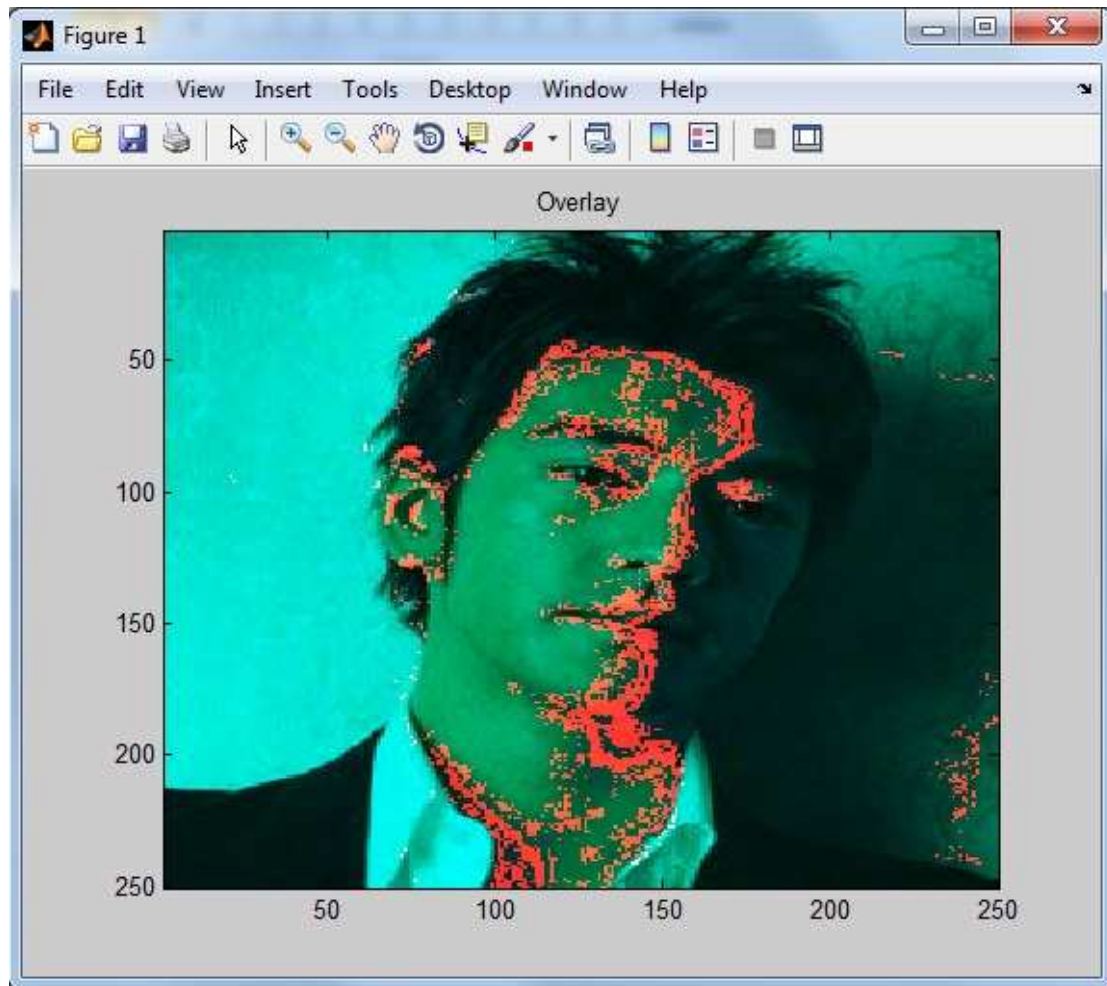
Εικόνα 41: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Τελική επιλογή pixel δέρματος. Τα λάθη του φόντου μειώνονται αλλά επίσης χάνονται και αρκετά pixel του προσώπου.



Εικόνα 42: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

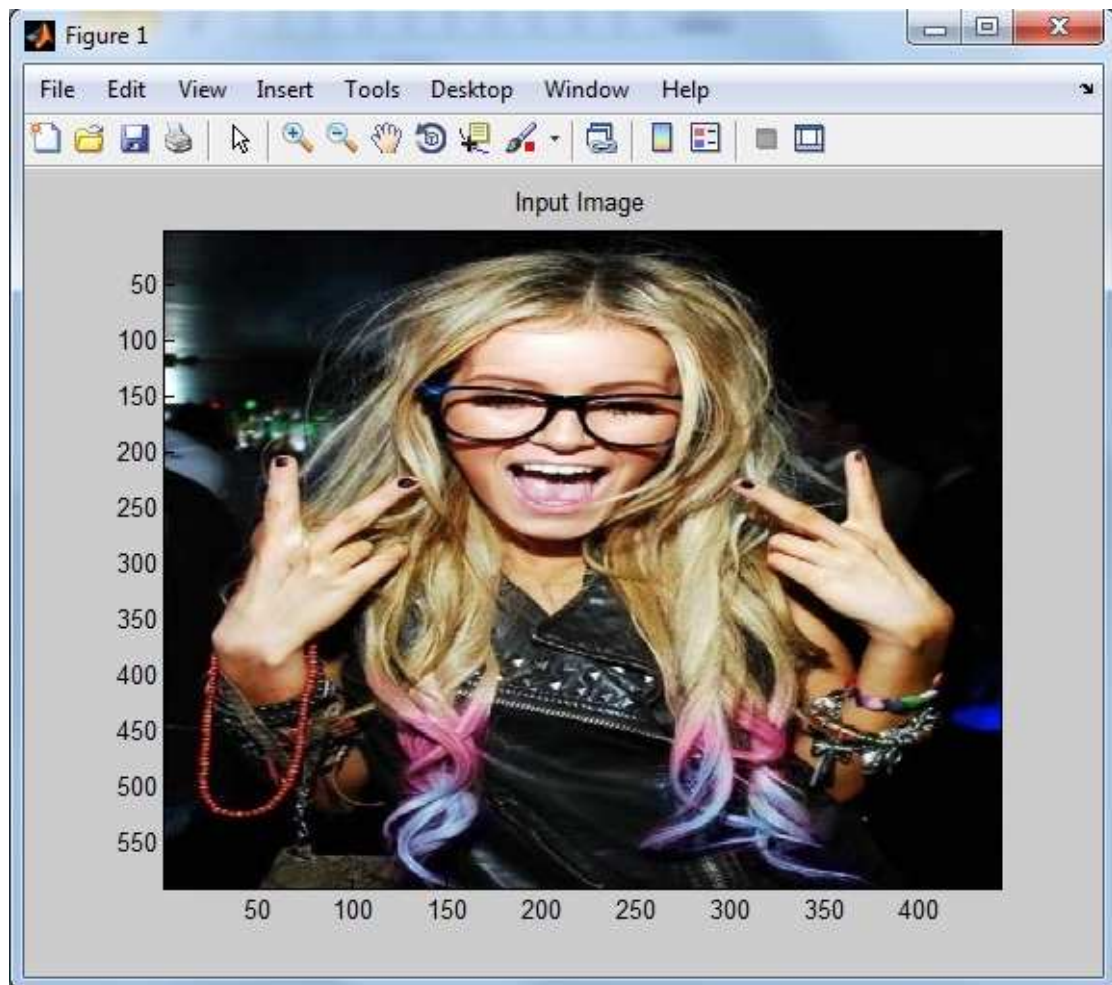
Επικάλυψη πάνω στην αρχική εικόνα των εντοπισμένων pixel. Κατανοείτε καλύτερα το λάθος του προγράμματος.



Εικόνα 43: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

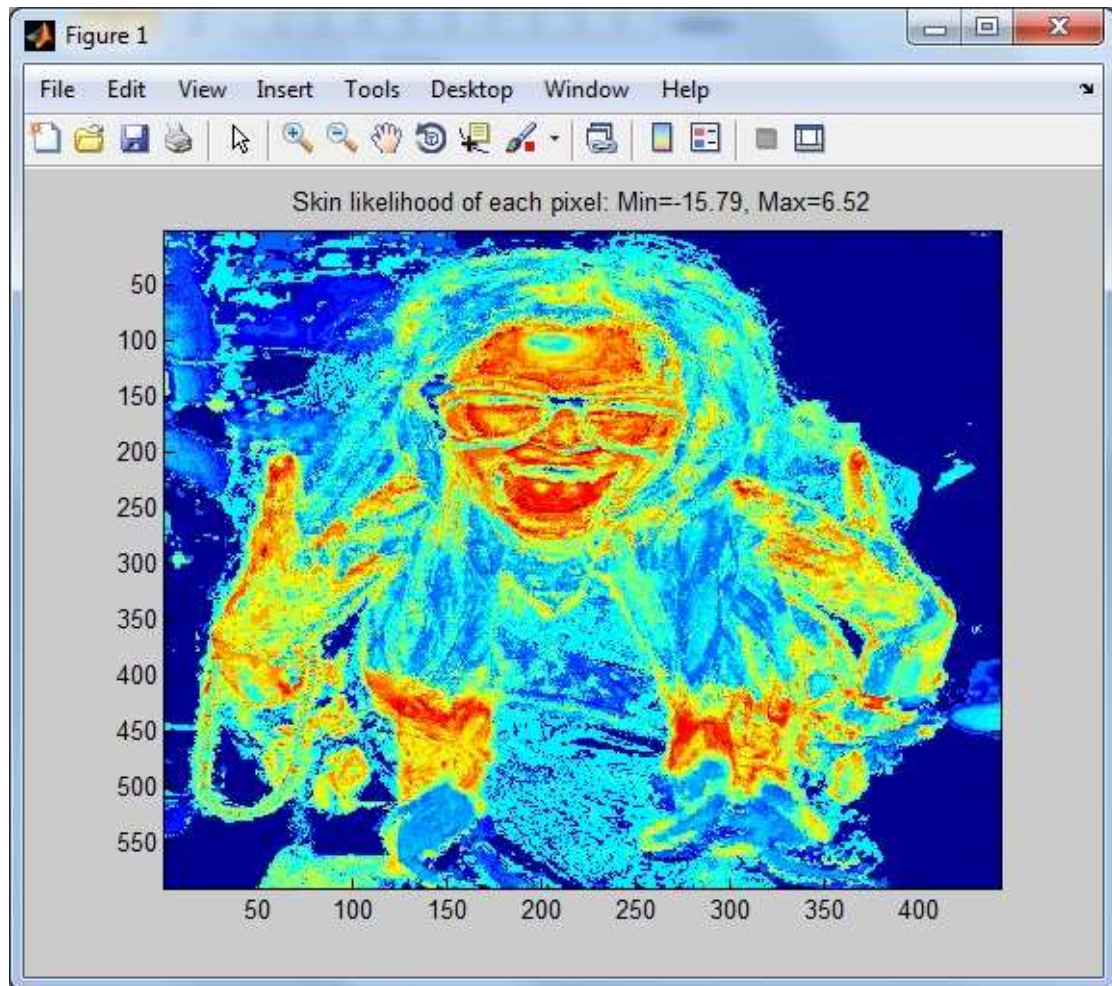
Το επόμενο παράδειγμα έχει να κάνει με μια εικόνα γυναίκας με γυαλιά και διάφορα αξεσουάρ. Ας δούμε πως θα επηρεαστεί το πρόγραμμα σε αυτή την περίπτωση.

Η αρχική εικόνα της γυναίκας με τα γυαλιά και τα αξεσουάρ.



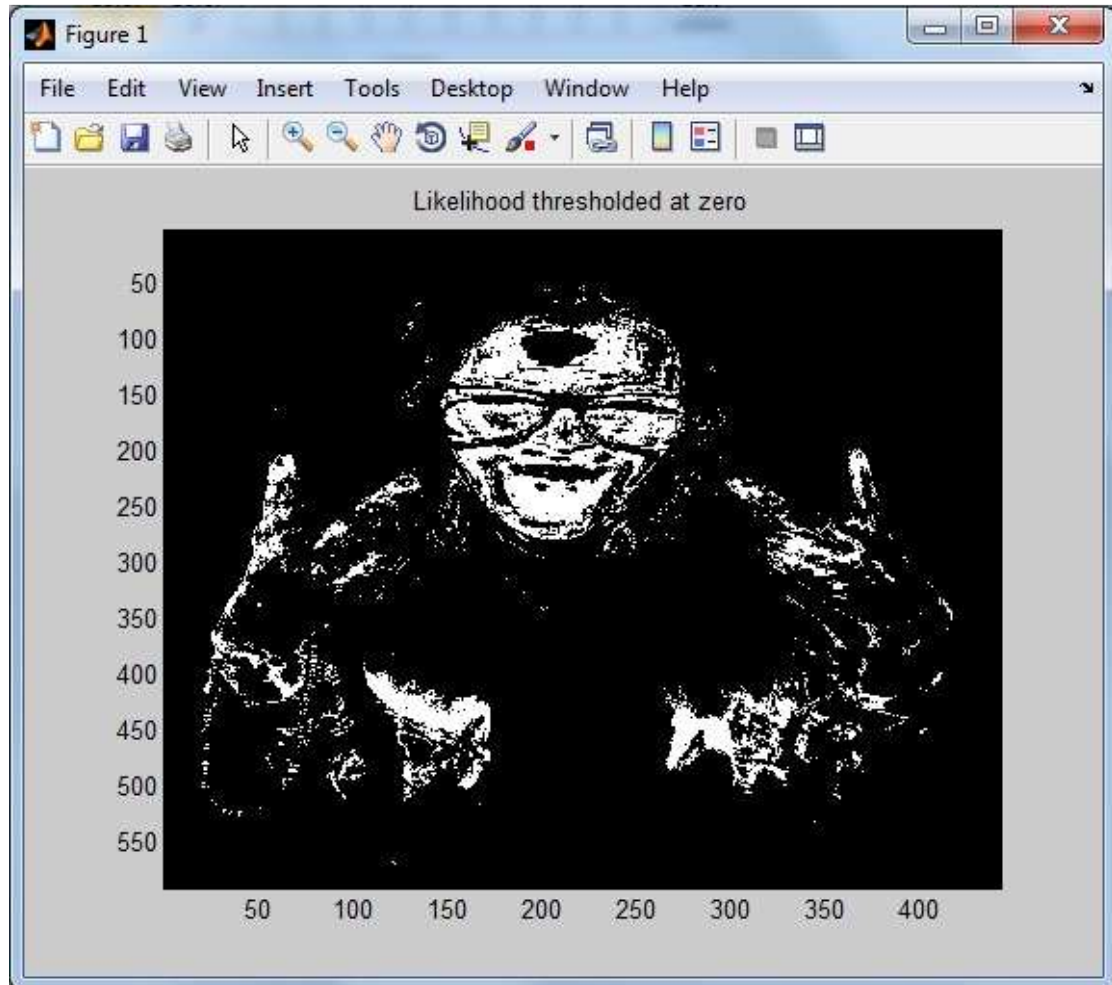
Εικόνα 44: Αρχική εικόνα

Εδώ βλέπουμε τα πιθανά ριxel δέρματος. Το πρόγραμμα κάνει πολύ καλή δουλειά.



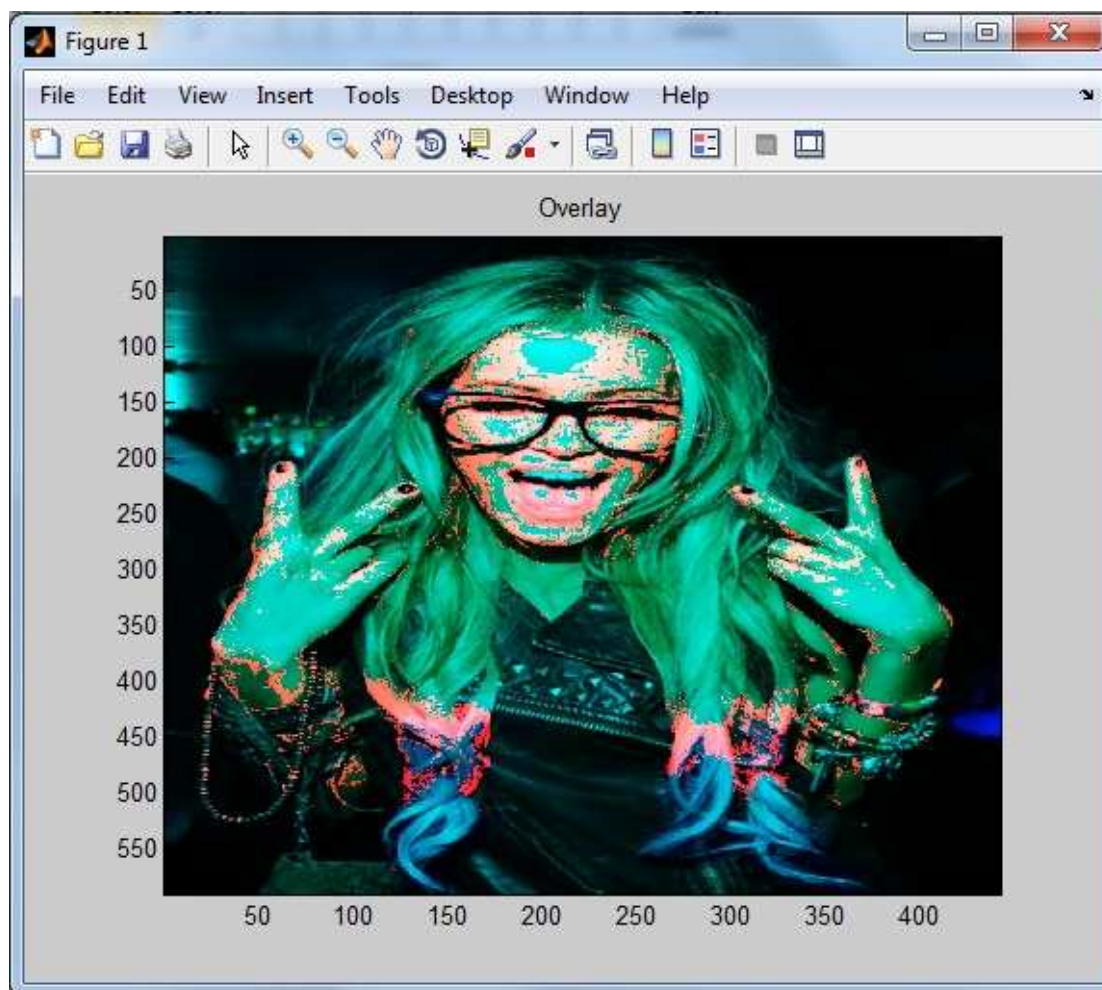
Εικόνα 45: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Στη συνέχεια βλέπουμε τα pixels που τελικά επιλέγονται ως δέρματος. Με εξαίρεση ένα μικρό λάθος που γίνεται στα μαλλιά της κοπέλας εξαιτίας κάποιων περιέργων χρωματισμών το πρόγραμμα κάνει καλή δουλειά.



Εικόνα 46: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

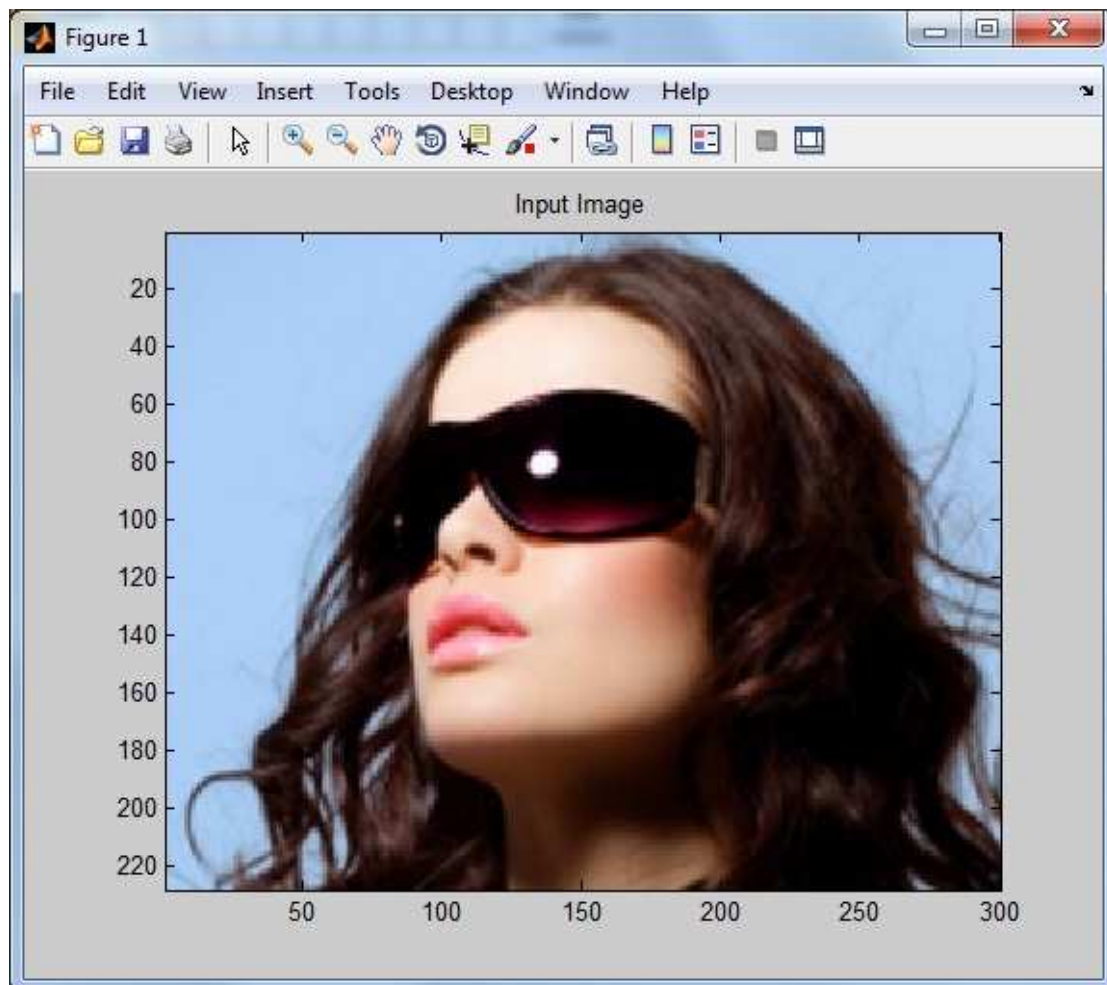
Τέλος έχουμε την επικάλυψη των αποτελεσμάτων πάνω στην αρχική εικόνα. Παρατηρούμε κάποια σημεία στα χέρια όπου το δέρμα δεν εντοπίστηκε.



Εικόνα 47: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

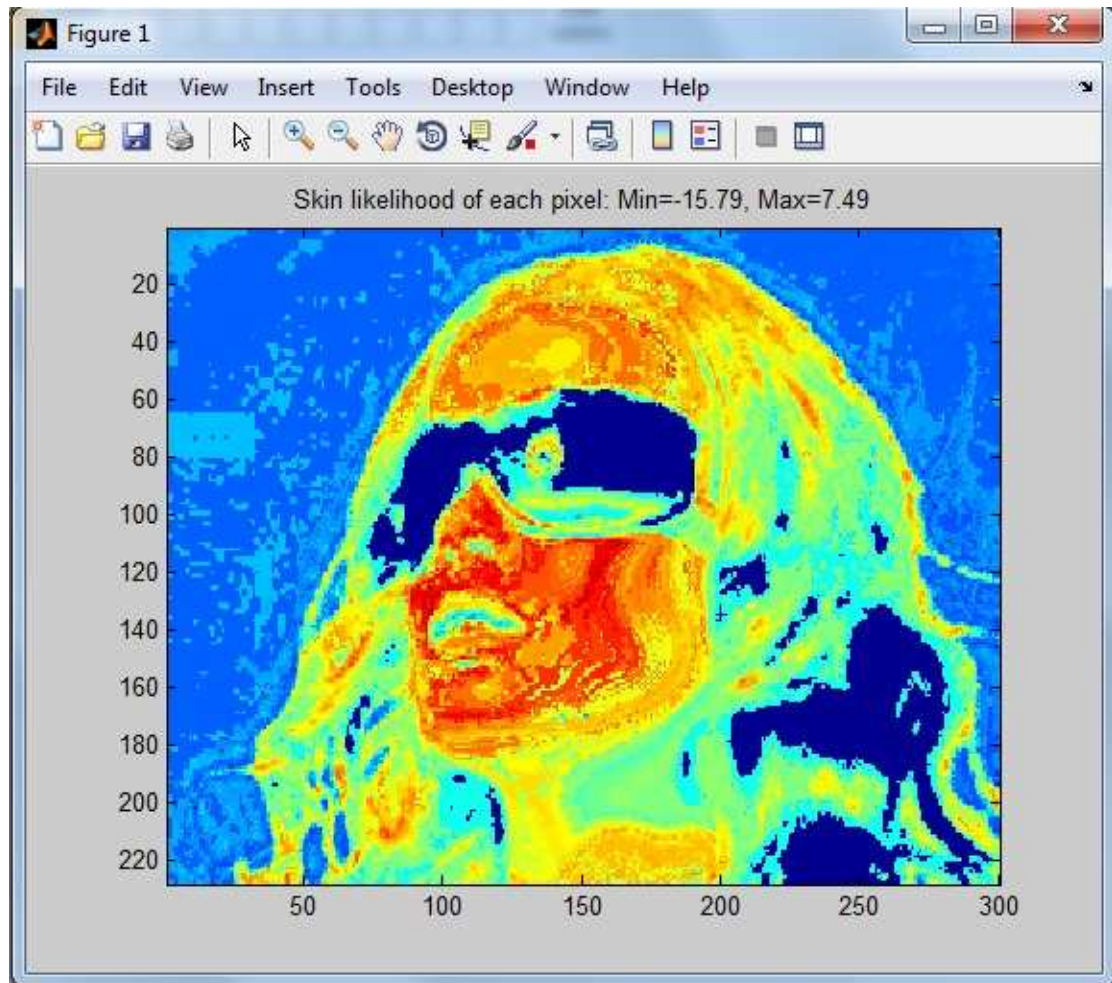
Για επόμενο παράδειγμα έχουμε μια γυναίκα με γυαλιά ηλίου.

Η αρχική εικόνα της γυναίκας με τα γυαλιά ηλίου.



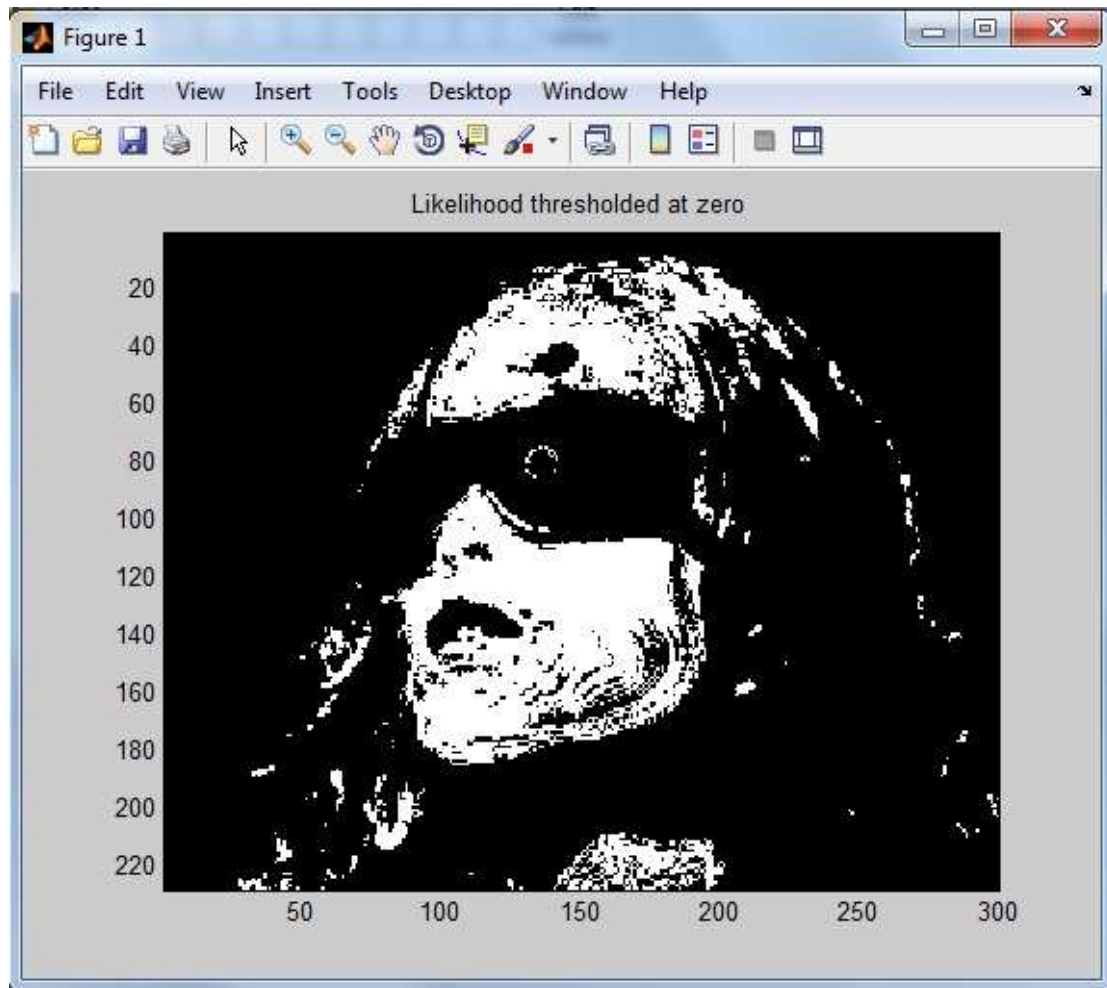
Εικόνα 48: Αρχική εικόνα

Η πιθανότητα εμφάνισης pixel δέρματος. Παρατηρούμε ένα μικρό λάθος στην κορυφή της κεφαλής αλλά πέρα από αυτό όλα φαίνονται σωστά.



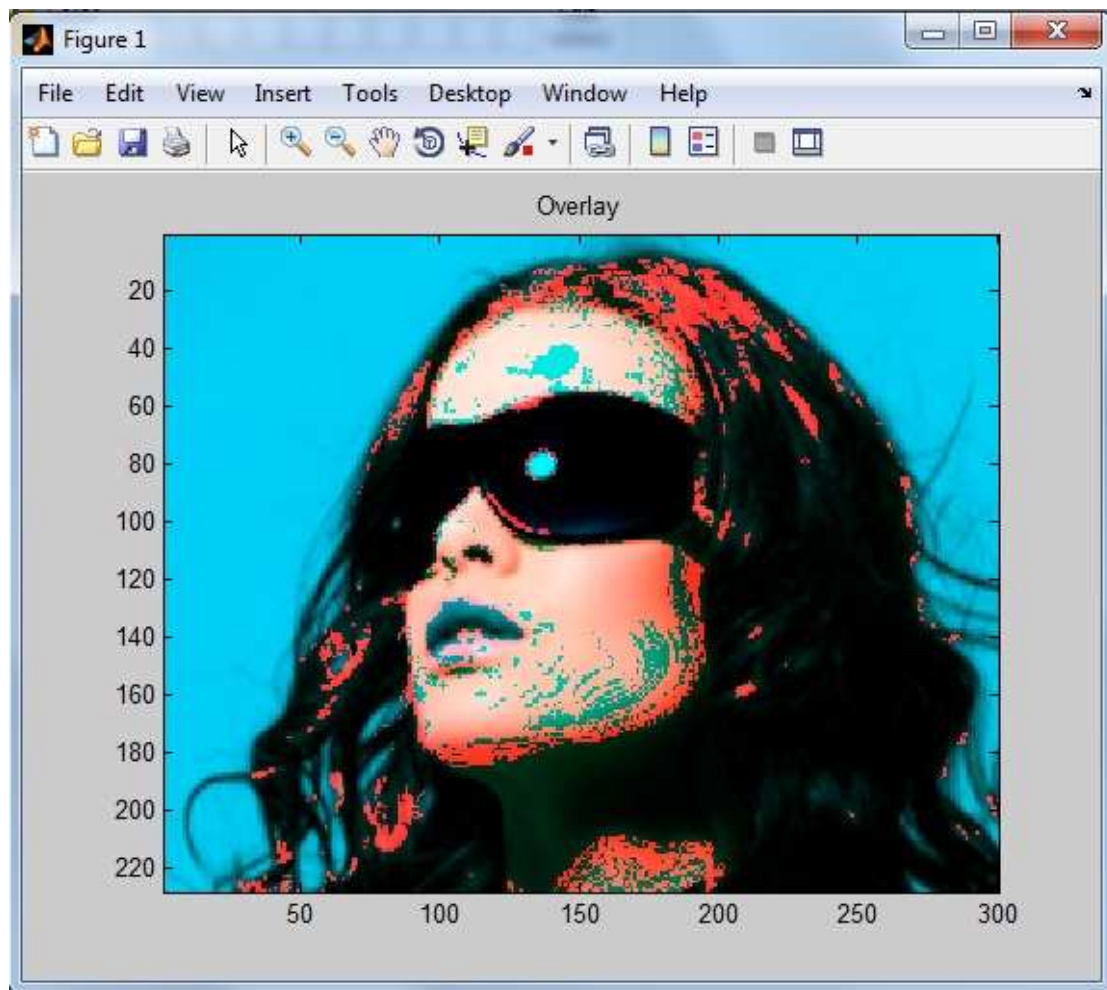
Εικόνα 49: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος

Η τελική επιλογή των pixel δέρματος. Το λάθος στην κορυφή της κεφαλής που οφείλεται σε πολύ δυνατό - έντονο φωτισμό μειώνεται.



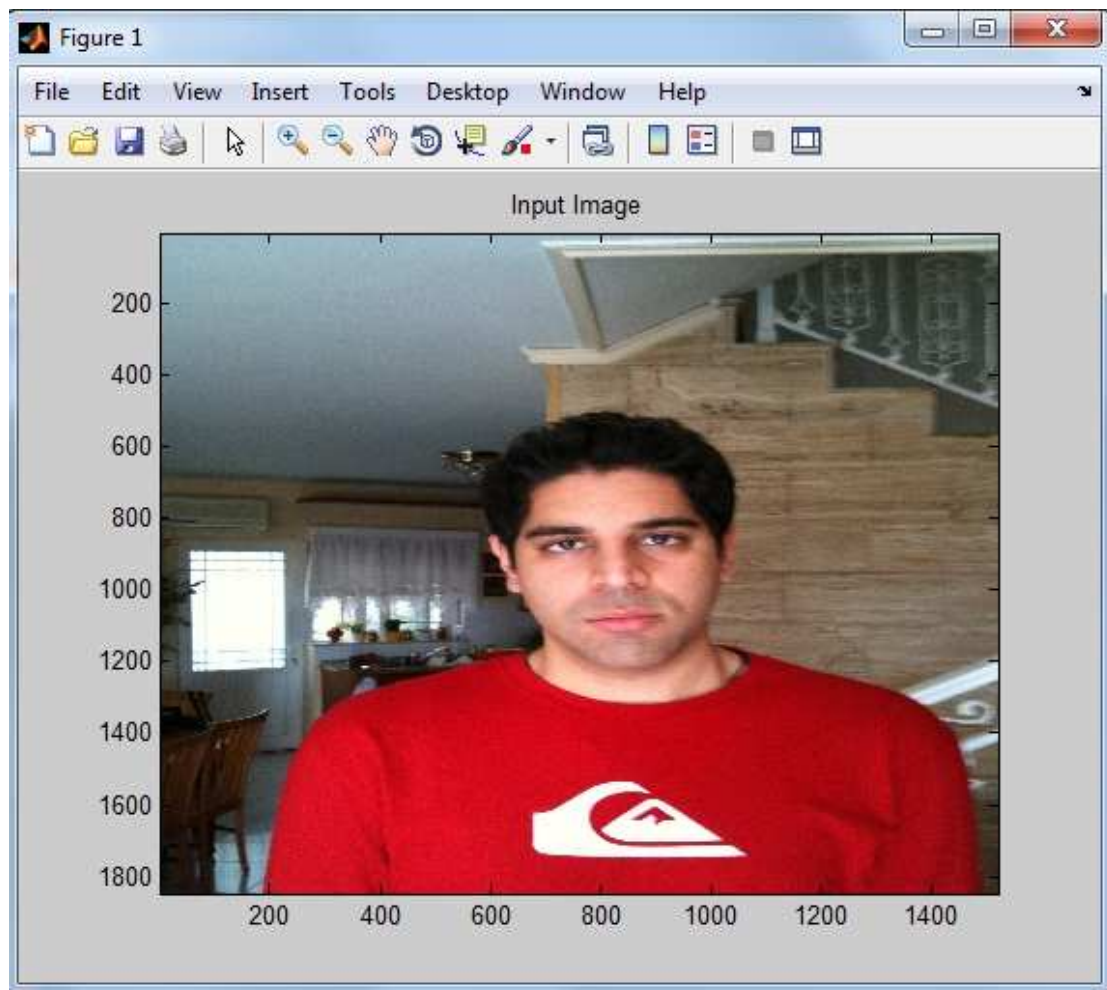
Εικόνα 50: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

Τέλος έχουμε την επικάλυψη των ανιχνευμένων pixel δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα. Παρατηρούμε κάποια σημεία στην κορυφή της κεφαλής όπου εντοπίστηκε λανθασμένα δέρμα.



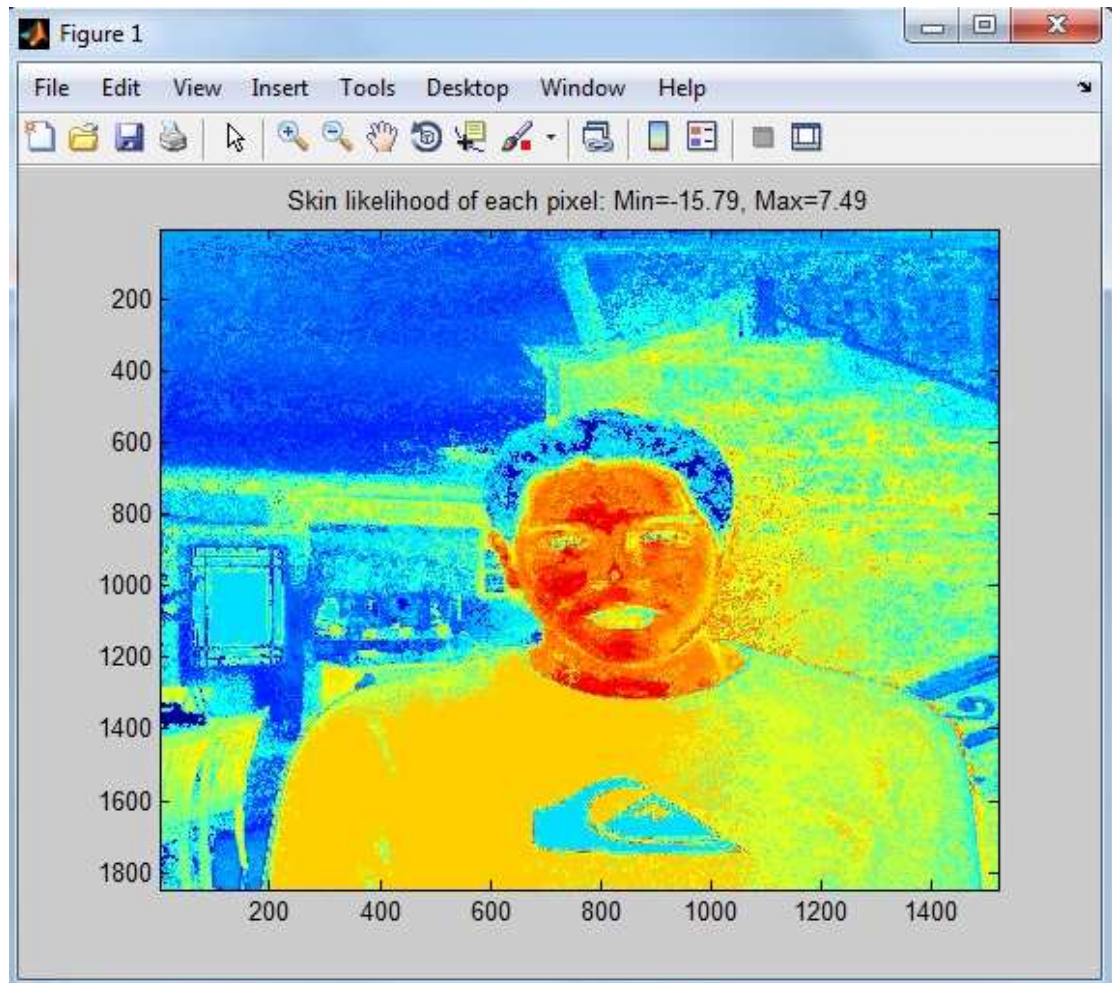
Εικόνα 51: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

Στη συνέχεια έχουμε μια φωτογραφία του εαυτού μου υπό φυσιολογικές συνθήκες φωτισμού.



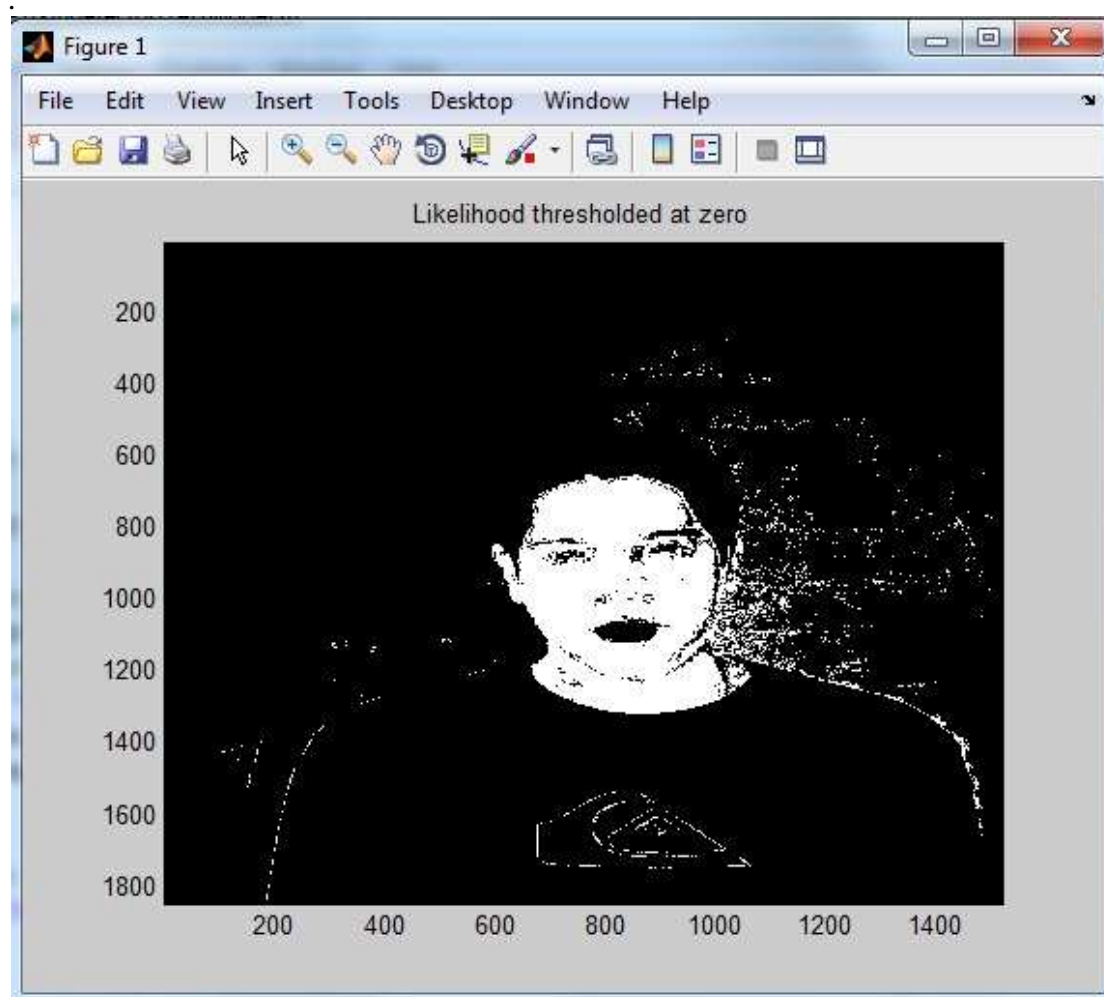
Εικόνα 52: Αρχική εικόνα

Στη συνέχεια έχουμε την πιθανότητα εμφάνισης pixel δέρματος.



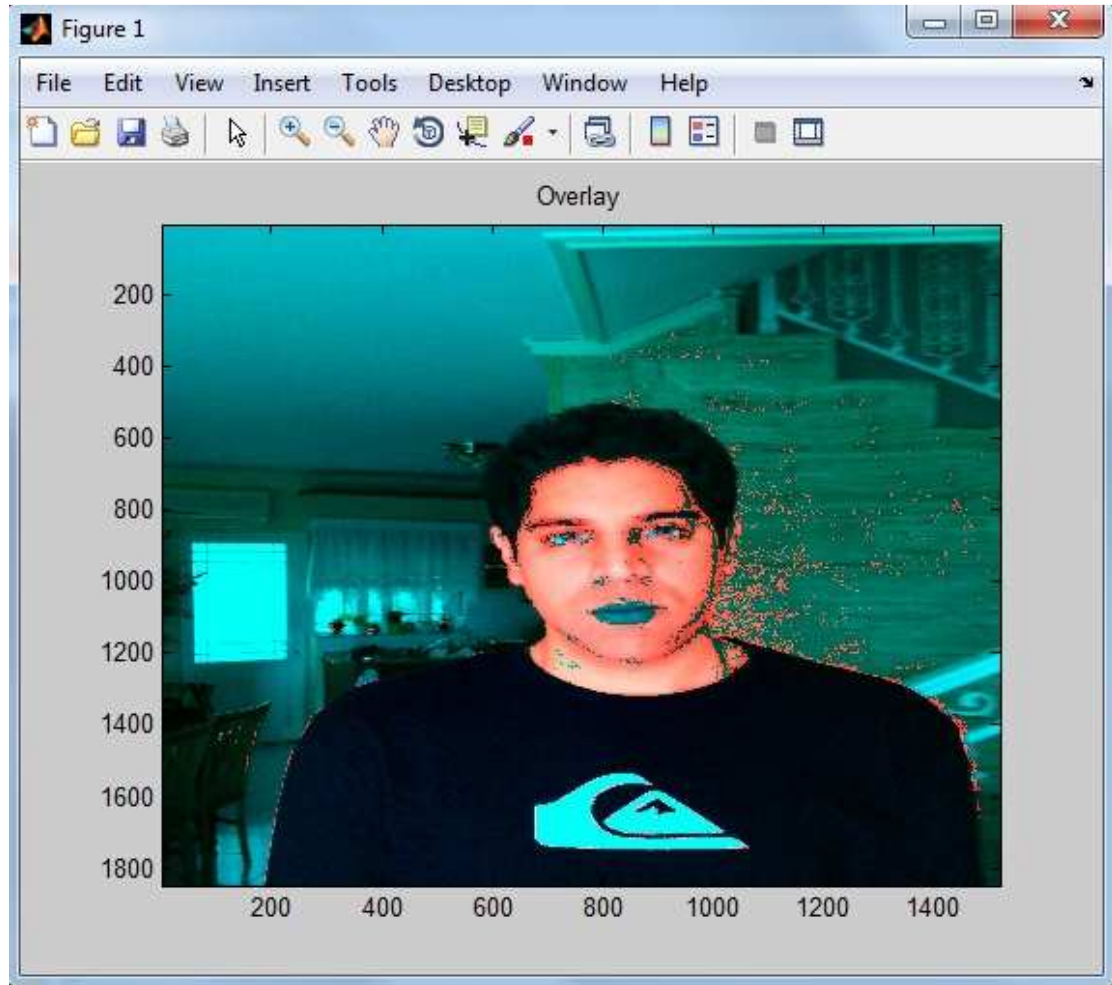
Εικόνα 53: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

Έπειτα έχουμε την τελική επιλογή των pixel δέρματος. Παρατηρούμαι ένα λαθάκι στα χείλη.



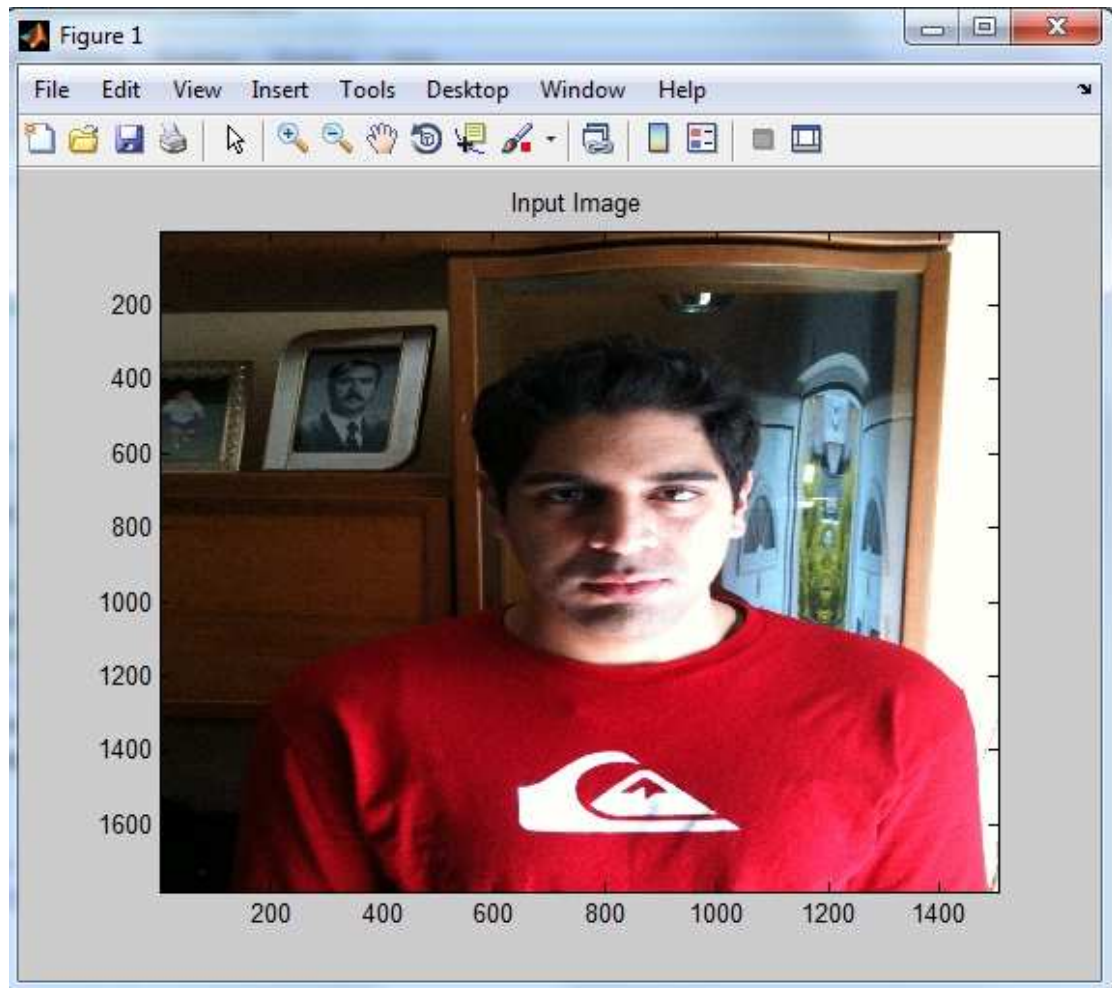
Εικόνα 54: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

Τέλος έχουμε την επικάλυψη των ανιχνευμένων pixel δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα. Το λάθος στα χείλη είναι εμφανές.



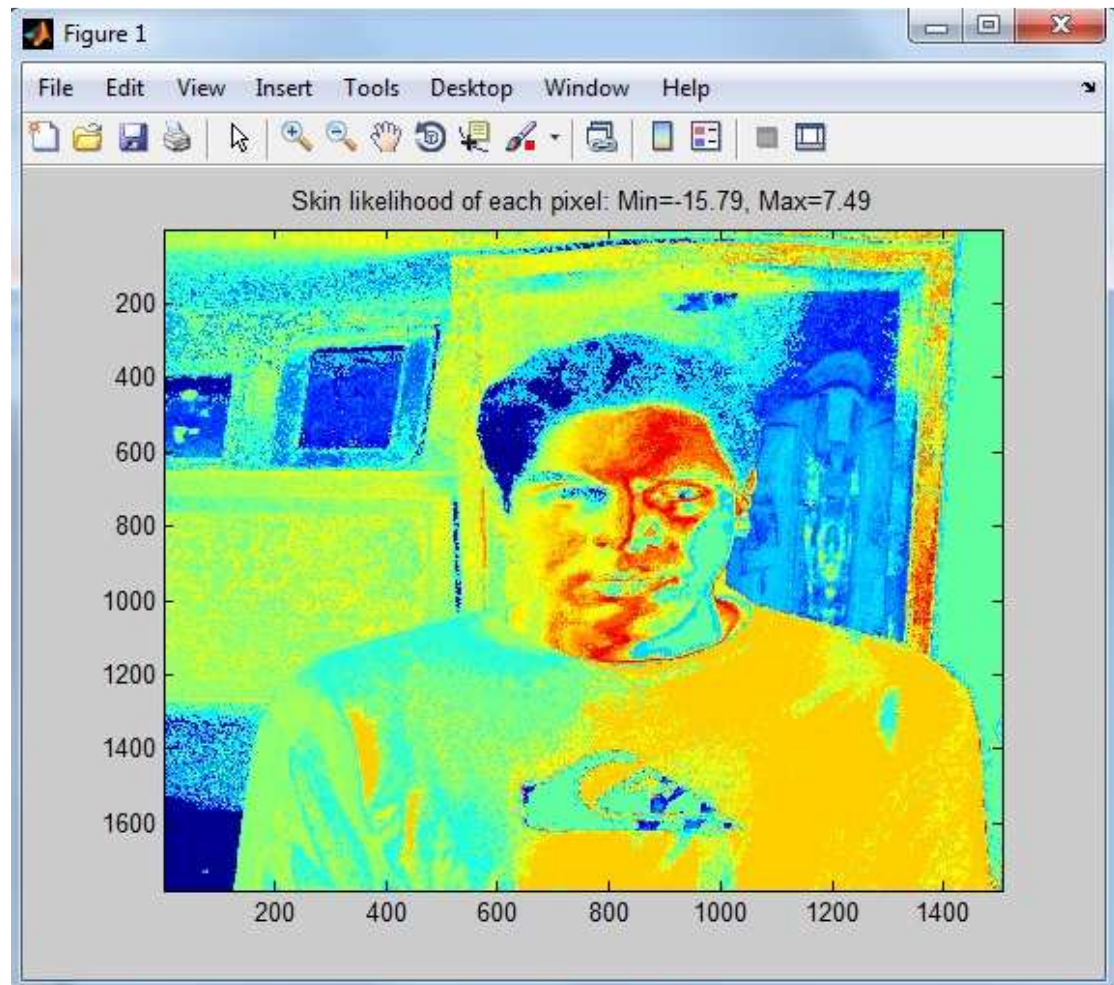
Εικόνα 55: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

Εδώ έχουμε μια φωτογραφία του εαυτού μου και πάλι υπό συνθήκες χαμηλού φωτισμού (σκιά από τη μια πλευρά και πολύ φωτεινή από την άλλη).



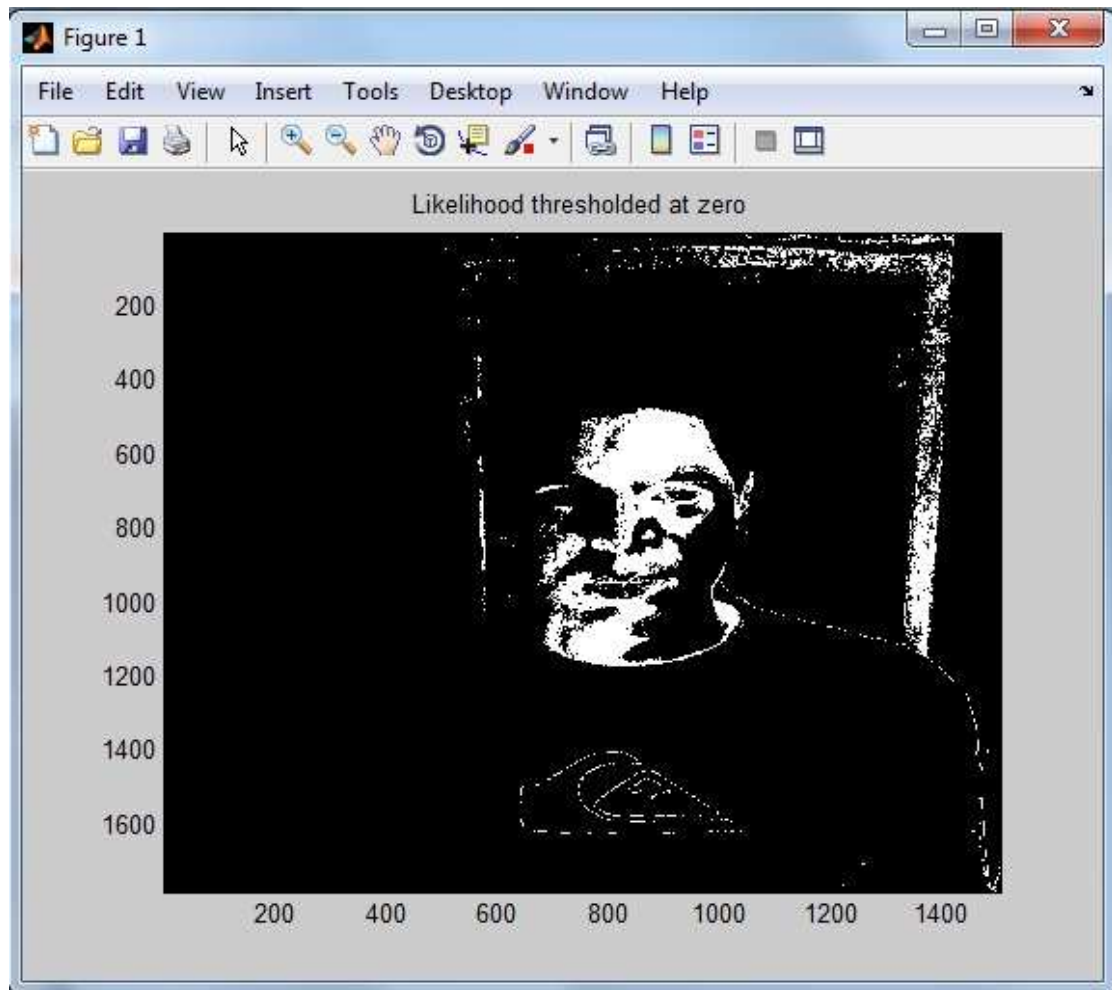
Εικόνα 56: Αρχική εικόνα

Εδώ έχουμε το πρώτο στάδιο της ανίχνευσης του δέρματος. Παρατηρούμε πως μόνο το μεσαίο κομμάτι εντοπίζεται σωστά εφόσον ο ανιχνευτής επηρεάζεται από τον πολύ χαμηλό και υψηλό φωτισμό στις άκρες της εικόνας.



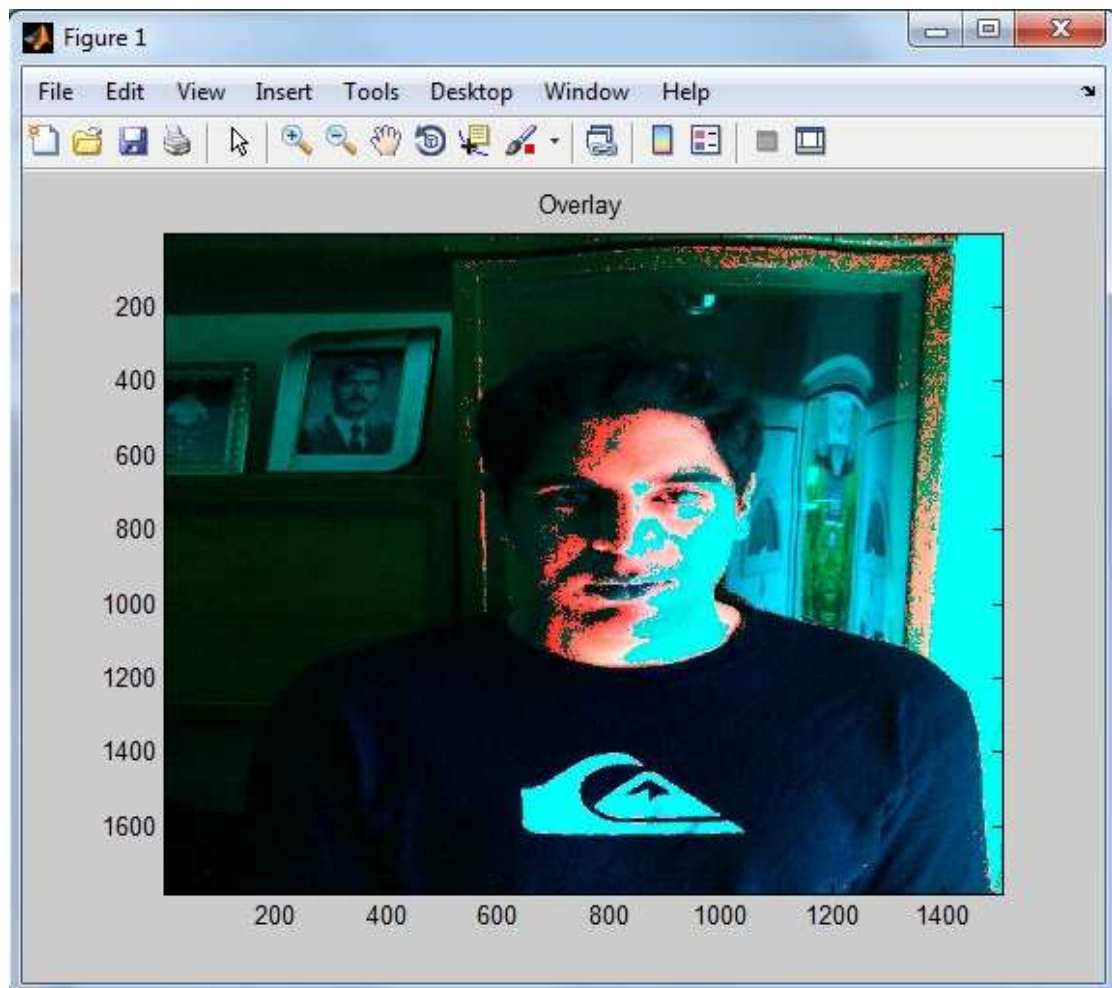
Εικόνα 57: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

Στη συνέχεια έχουμε την τελική επιλογή των pixel δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα για να φαίνονται τα αποτελέσματα καλύτερα.



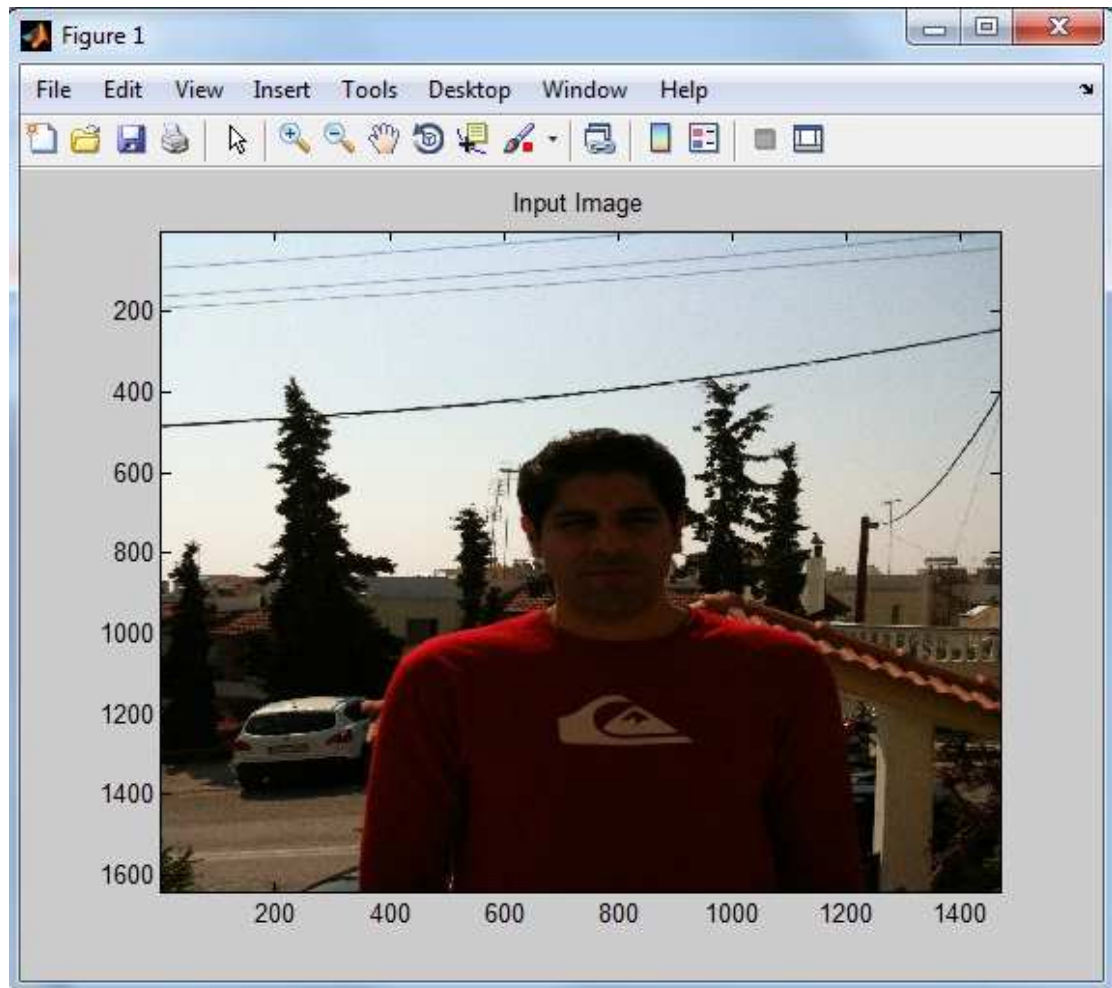
Εικόνα 58: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

Τέλος έχουμε την επικάλυψη των ανιχνευμένων pixel δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα. Το λάθος φαίνεται πάνω στην αρχική εικόνα.



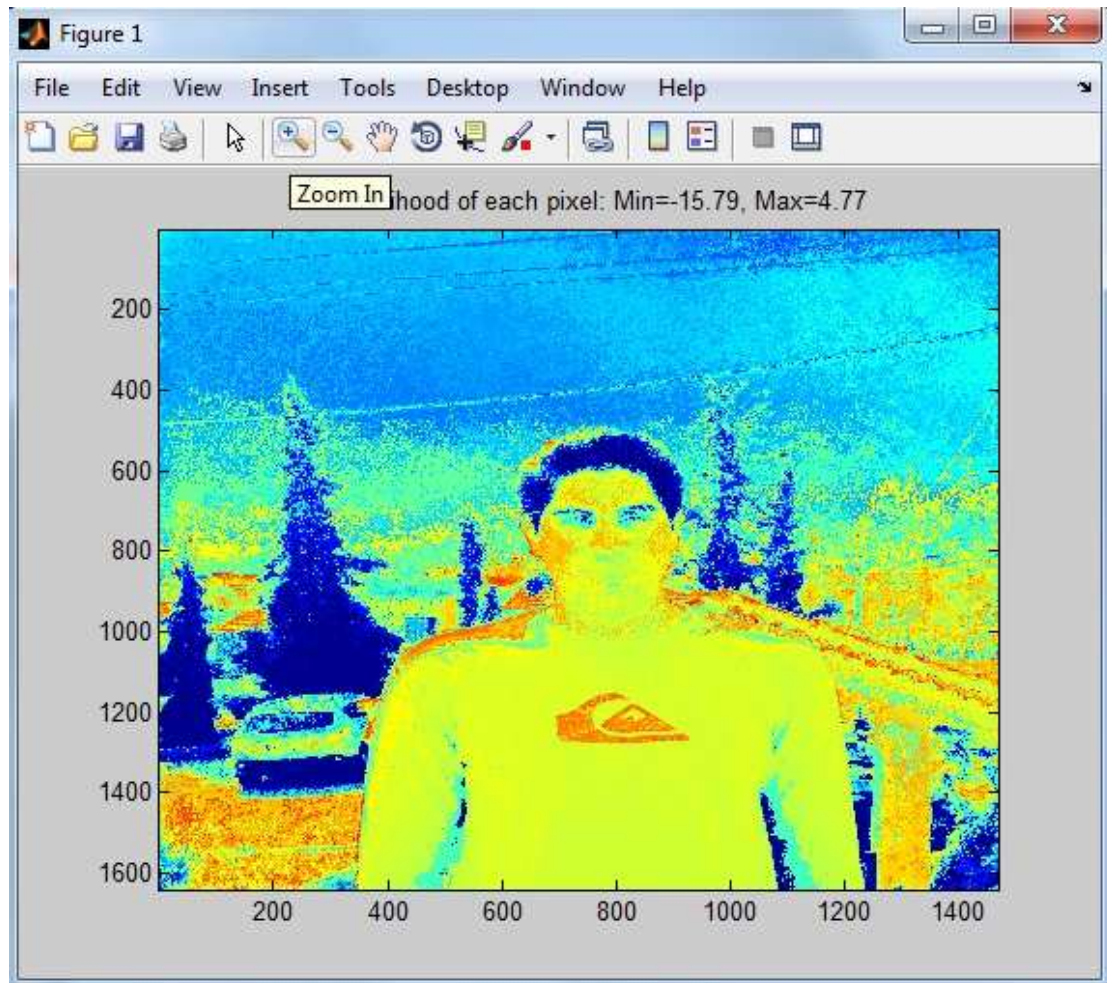
Εικόνα 59: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

Ως τελευταίο παράδειγμα έχουμε μια φωτογραφία μου τραβηγμένη κάτω από συνθήκες κακού φωτισμού σε εξωτερικό περιβάλλον



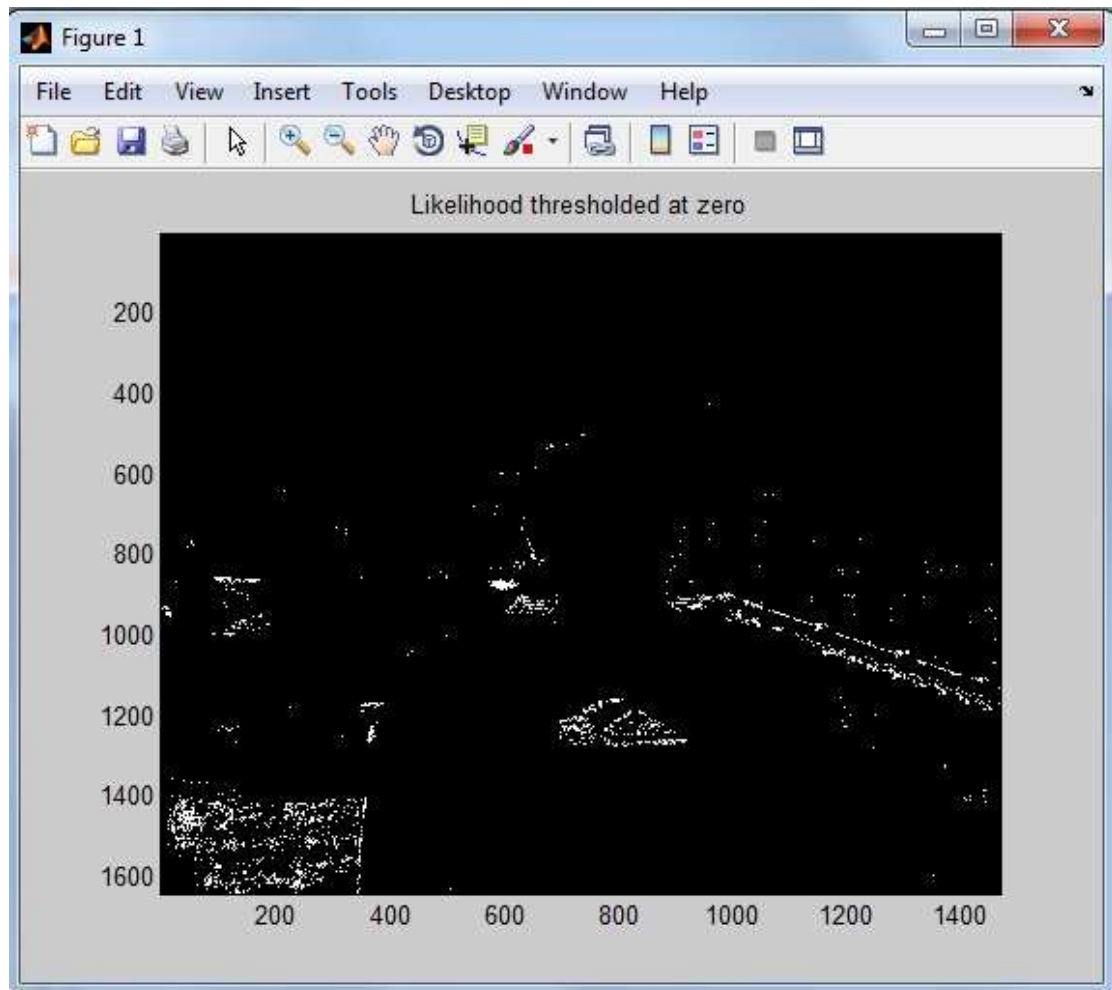
Εικόνα 60: Αρχική εικόνα

Στη συνέχεια έχουμε την πρώτη ανίχνευση των pixel δέρματος στη φωτογραφία μας. Παρατηρούμε πως έχουμε πολύ μεγάλη απόκλιση από την πραγματικότητα λόγω των πολύ άσχημων συνθηκών φωτισμού.



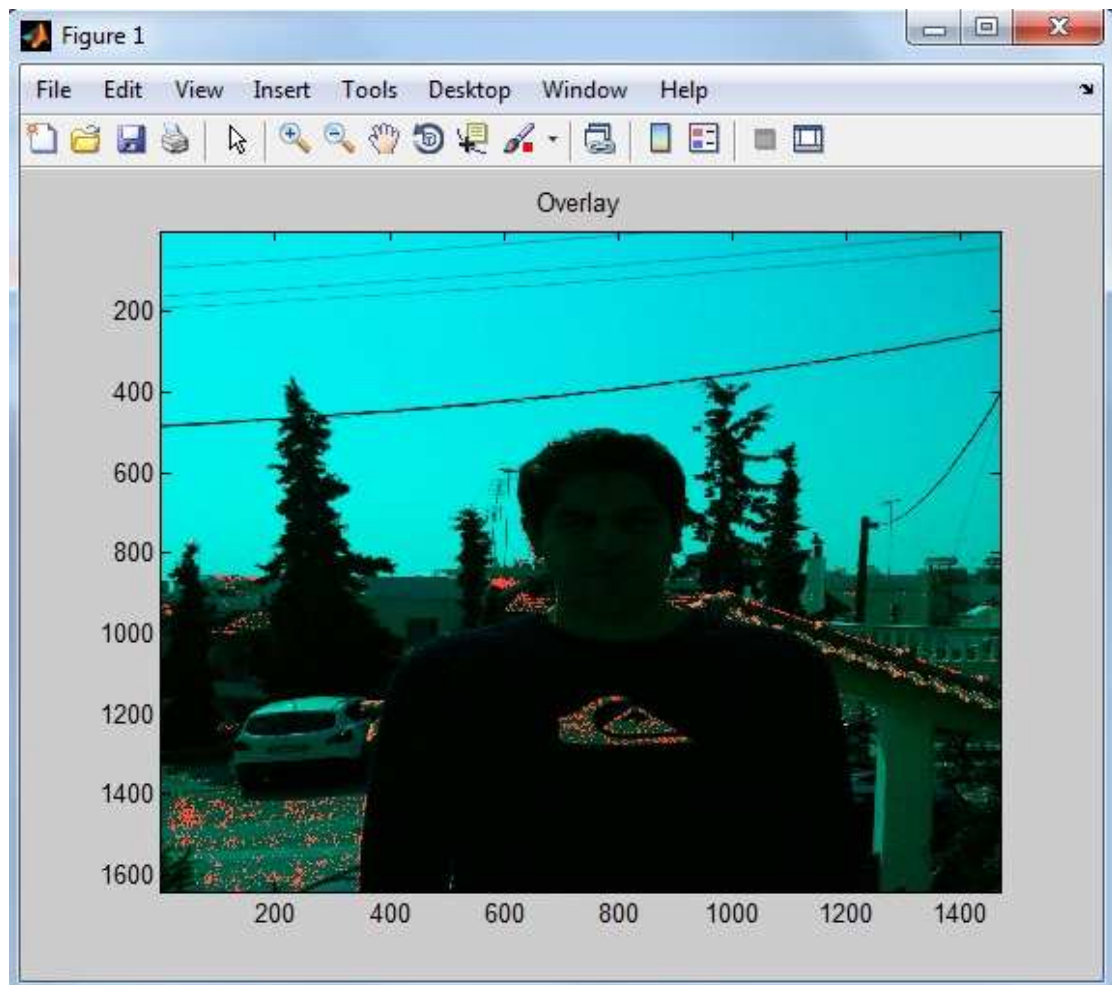
Εικόνα 61: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

Έπειτα έχουμε την τελική επιλογή των pixel δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα για να φαίνονται τα αποτελέσματα καλύτερα. Βλέπουμε πως δεν έχει ανιχνευτεί ουσιαστικά κανένα σωστό pixel δέρματος.



Εικόνα 62: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος σε ασπρόμαυρη εικόνα

Τέλος έχουμε την επικάλυψη των ανιχνευμένων pixel δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα. Η λανθασμένη ανίχνευση είναι εμφανείς πάνω στην αρχική εικόνα.



Εικόνα 63: Πιθανότητα εμφάνισης δέρματος πάνω στην αρχική εικόνα

5.3 Απαιτήσεις

Το πρόγραμμα αυτό όπως και όλα έχει μια σειρά από κριτήρια τα οποία και πρέπει να πληρούνται έτσι ώστε να διασφαλιστεί η εύρυθμη λειτουργία του. Εδώ λοιπόν θα παρουσιάσουμε αυτά τα κριτήρια.

Πρώτο και κύριο κριτήριο για τη σωστή λειτουργία του προγράμματος είναι η χρησιμοποίηση μιας εικόνας την οποία θα πρέπει να αποθηκεύσουμε στον ίδιο φάκελο που βρίσκεται και το αρχείο μας έτσι ώστε να μπορέσει να ξεκινήσει η επεξεργασία.

Δεύτερον η εικόνα αυτή θα πρέπει να είναι RGB δηλαδή μια έγχρωμη εικόνα που αποτελείται από τις 3 βασικές χρωματικές συνιστώσες Κόκκινη – Πράσινη – Μπλε και όχι ασπρόμαυρη ή grayscale (κλίμακας γκρι) όπως αυτή του τελευταίου παραδείγματος.

Τρίτον η εικόνα θα πρέπει να περιέχει δέρμα και όχι να είναι κάποιο τοπίο η κάτι άσχετο όπως σας δείχνω στο 3^ο παράδειγμα γιατί σε αυτή την περίπτωση πιθανότατα θα έχουμε λάθος στην ανίχνευση.

Τέταρτον η εικόνα θα πρέπει να είναι πραγματική (φωτογραφία) και όχι σχεδιασμένη στο χέρι ή σε υπολογιστή γιατί τότε θα παρουσιαστεί πάλι κάποιο λάθος στην ανίχνευση δέρματος.

Πέμπτον οι συνθήκες φωτισμού παίζουν τεράστιο ρόλο στη σωστή ανίχνευση των pixel δέρματος καθώς επηρεάζουν άμεσα την ανίχνευση όπως φαίνεται και στο 5^ο παράδειγμα όπου έχουμε πολύ χαμηλό φωτισμό και το πρόγραμμα αδυνατεί να ανιχνεύσει μεγάλο μέρος του δέρματος.

Έκτον το χρώμα του δέρματος παίζει και αυτό το ρόλο του όπως παρατηρούμε και στα παραδείγματα 6 και 7 καθώς δεν γίνεται πλήρης ανίχνευση όλου του δέρματος στον σκουρόχρωμο άντρα αλλά ούτε και στον ασιάτη. Ένα άλλο πρόβλημα που παρατηρείται στην 7^η εικόνα (ασιάτης) είναι αυτό του ανοιχτόχρωμου φόντου που πλησιάζει κατά πολύ το δέρμα. Αυτό οδηγεί το πρόγραμμα μας να χάσει πολλά pixel δέρματος κατά την ανίχνευση.

Έβδομον όπως προαναφέραμε και παραπάνω το χρώμα του φόντου παίζει πολύ σπουδαίο ρόλο στη σωστή ανίχνευση των pixel δέρματος καθώς ένας πολύ σκουρόχρωμος φόντος ευνοεί την ανίχνευση των ανοιχτόχρωμων κομματιών δέρματος ενώ ένας ανοιχτόχρωμος ή κοντά στο χρώμα του δέρματος φόντος δυσκολεύει κατά πολύ την ανίχνευσή τους και συχνά προκαλεί λάθη στην επεξεργασία του προγράμματος.

Τέλος ασχολούμαστε με την περίπτωση στην οποία υπάρχουν διάφορα αξεσουάρ που καλύπτουν το δέρμα (γυαλιά ,σκουλαρίκια ,ρολόγια κτλ.) και όπως περιμέναμε τα σημεία που καλύπτονται δεν ανιχνεύονται ως δέρμα. Όμως σε μερικές περιπτώσεις επηρεάζεται και όλη η τριγύρω περιοχή γύρω από το αξεσουάρ μην επιτρέποντας τη σωστή ανίχνευση του δέρματος.

5.4 Συμπεράσματα

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία μελετήσαμε το θέμα γύρω από την ανίχνευση δέρματος. Εντοπίσαμε τα βασικά προβλήματα που δημιουργούνται και προσπαθήσαμε να τα λύσουμε χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους και αλγόριθμους

που βρήκαμε στο διαδίκτυο. Αφού εξετάσαμε όλα τα παραπάνω κάναμε και στη συνέχεια εισαγωγή στις βασικές ιδιότητες του Matlab εφόσον πάνω σε αυτό θα γινόταν η υλοποίησή μας και τέλος παρουσιάσαμε την υλοποίηση μας παραθέτοντας τον κώδικα και αρκετά παραδείγματα προβάλλοντας τα πλεονεκτήματα αλλά και τις αδυναμίες του ανιχνευτή μας. Το τελικό συμπέρασμα για τον ανιχνευτή μας είναι ότι παρόλο που δεν είναι τέλειος κάνει μια αρκετά καλή δουλειά και αν χρησιμοποιηθεί σωστά, λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη τις απαιτήσεις που αναφέρονται παραπάνω τότε έχουμε τεράστια ποσοστά επιτυχίας με ελάχιστα λάθη.

5.5 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και συγκεκριμένα την επέκταση του ιντερνέτ και τη βελτίωση των συσκευών καταγραφής, το πρόγραμμα αυτό μπορεί να έχει πολλές επεκτάσεις στην καθημερινότητά μας.

Είναι γεγονός πως η τεχνολογία έχει εισαχθεί για τα καλά στη ζωή μας και τη διευκολύνει αφάνταστα. Οπότε το επόμενο λογικό βήμα επέκτασης ενός τέτοιου είδους προγράμματος θα ήταν προς αυτή την κατεύθυνση. Όλοι μας αναγκαζόμαστε να απομνημονεύουμε σωρεία από κωδικούς για να ανοίξουμε τον υπολογιστή μας, για να ελέγξουμε τα email μας, για να εισαχθούμε σε σελίδες κοινωνικής δικτύωσης ή αγορών οπότε όπως καταλαβαίνετε ο καθένας μας αναγκάζεται να απομνημονεύει πολλούς κωδικούς ή απλά να χρησιμοποιεί τον ίδιο κωδικό παντού που δημιουργεί σοβαρά προβλήματα ασφαλείας. Ένας τρόπος λοιπόν που θα μπορούσε το πρόγραμμα μας να επηρεάσει όλες αυτές τις διαδικασίες και να διευκολύνει τη ζωή μας θα ήταν η χρήση του ως ένα master password. Δηλαδή η ανάπτυξη μιας εφαρμογής βασισμένης στο skin detection που θα χρησιμοποιούνταν κατά την είσοδό μας στο λογισμικό του υπολογιστή μας για ταυτοποίηση και κατόπιν δεν θα χρειαζόταν η εισαγωγή κανενός άλλου κωδικού για να εισέλθουμε στους διάφορους λογαριασμούς μας. Ένα τέτοιο πρόγραμμα θα απαιτούσε μια βάση δεδομένων με πολύ ισχυρή κρυπτογράφηση έτσι ώστε να αποθηκεύονται με ασφάλεια εκεί οι κωδικοί μας καθώς επίσης και έναν πολύ καλό αλγόριθμο ταυτοποίησης-σύγκρισης της ταυτότητάς μας σε συνδυασμό με κάμερα υψηλής ανάλυσης. Ο χρήστης θα εγγραφόταν στην υπηρεσία μας και θα εισήγαγε τους κωδικούς που αντιστοιχούν σε κάθε πρόγραμμα – σελίδα και αφού θα δημιουργούσε λογαριασμό και θα γινόταν ταυτοποίησή του, θα αποθηκευόταν μια φωτογραφία του υψηλής ανάλυσης στη βάση δεδομένων και με βάση αυτή θα γινόταν η ταυτοποίησή του κάθε φορά που θα εισερχόταν στο πρόγραμμά μας και έτσι δεν θα χρειαζόταν να εισάγει κανέναν άλλο κωδικό.

Μια άλλη χρήση της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι ως φίλτρο εικόνων. Δηλαδή το πρόγραμμά μας μπορεί να βοηθήσει στην προστασία των ανηλίκων από πορνογραφικό υλικό. Αυτή η διαδικασία θα απαιτούσε από το πρόγραμμά μας να τρέχει σε πραγματικό χρόνο και να ελέγχει όλες τις εισερχόμενες εικόνες για το ποσοστό του δέρματός που περιέχουν. Αν αυτό υπερβαίνει το όριο που έχουμε θέσει τότε η εικόνα αυτή δεν θα εμφανίζεται.

Ακόμα μια πιθανή χρήση του ανιχνευτή μας είναι αυτή ως ένα προεπεξεργαστικό εργαλείο σε λογισμικό τύπου Photoshop για την αυτόματη ανίχνευση δέρματος και μετέπειτα επεξεργασία του αποφεύγοντας έτσι την επώδυνη διαδικασία της επιλογής του δέρματος manually που είναι χρονοβόρα και δύσκολη.

Τέλος άλλη μια χρήση του προγράμματος θα ήταν η ανίχνευση δέρματος και ειδικότερα προσώπου σε video. Δηλαδή ο συνδυασμός του με σύστημα καταγραφής

εικόνων (ασφαλείας) σε διάφορους οργανισμούς (τράπεζες , χρυσοχορεία και γενικά επιχειρήσεις) για τη διασφάλιση της ασφάλειάς τους από την ανίχνευση των υπόπτων που μπορεί να γίνει.

Βιβλιογραφία

- [1] <http://www.cs.rutgers.edu/~elgammal/pub/skin.pdf>
- [2] <http://citeseerx.ist.psu.edu/.../download?>
- [3] http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5360613
- [4] <http://www.slideshare.net/alimadooei/seminar-on-skin-detection>
- [5] <http://www.academicjournals.org/sre/PDF/pdf2010/4Sep/Taqa%20and%20Jalab.pdf>

- [6] Γ. Γεωργίου & Χρ. Ξενοφώντος βιβλίο Matlab Book
- [7] Vladimir Vezhnevets , Vassili Sazonov , Alla Andreeva A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques
- [8] D.J. Ingham and N.J. Ingham, *MATLAB Guide* (2nd Ed.), SIAM, 2005
- [9] *The MathWorks*, <http://www.mathworks.com>
- [10] Computer Vision Source Code, <http://clickdamage.com/sourcecode/index.php>
- [11] http://dSPACE.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3911/1/asteriadiss_userattention.pdf

¹ Περισσότερες πληροφορίες και παραδείγματα για καλύτερη κατανόηση μπορούν να βρεθούν στη σελίδα http://en.wikipedia.org/wiki/Color_model

² Περισσότερες πληροφορίες για το Matlab μπορούν να βρεθούν στην επίσημη σελίδα <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

³ Ο κώδικας άρθηκε από τη σελίδα <http://clickdamage.com/sourcecode/index.php> την οποία μπορείτε να συμβουλευτείτε για περαιτέρω ανάλυση.