

Εξαγωγή Περιγράμματος Χειλιών από Εικόνες Προσώπου

Η Μεταπτυχιακή Εργασία Εξειδίκευσης

υποβάλλεται στην ορισθείσα

από τη Γενική Συνέλευση Ειδικής Σύνθεσης

του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

Εξεταστική Επιτροπή

από τον

Άγγελο Φάρες Σαϊντ

ως μέρος των υποχρεώσεων για την απόκτηση του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ

ΜΕ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ

ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Σεπτέμβριος 2017

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στην οικογένεια μου και στους φίλους μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Αριστείδη Λύκα για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας. Η συνεργασία μας θα αποτελεί ένα μεγάλο προσόν στην μελλοντική επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Παναγιώτα Σπυρίδωνος, Επίκουρη Καθηγήτρια Ιατρικής Πληροφορικής του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για την σημαντική συμβολή της και την προθυμία της σε κάθε ζήτημα που αφορούσε την παρούσα εργασία.

Ακόμα, τις ευχαριστίες μου θέλω να εκφράσω στους κ. Ιωάννη Μπασούκα, Καθηγητή Δερματολογίας και κ. Γεώργιο Γαϊτάνη, Επίκουρο Καθηγητή Δερματολογίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφεραν.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και στους φίλους μου για όλα αυτά που μου έχουν προσφέρει.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ
ΑΦΙΕΡΩΣΗ	ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	vi
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	viii
EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1. Το πρόβλημα της εξαγωγής περιγράμματος χειλιών και η χρησιμότητά του	13
1.2. Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας	15
1.3. Δομή και συνεισφορά της εργασίας	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΥΠΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ	18
2.1. Η χρωματική συνιστώσα Q	18
2.2. Η μέθοδος κατωφλίωσης του Otsu	19
2.3. Ο αλγόριθμος K-μέσων (K-means)	23
2.4. Active contours	24
2.5. Εξαγωγή περιγράμματος από δυαδική εικόνα	27
2.6. Ενδεικτικά αποτελέσματα	28
2.6.1. Active contours	28
2.6.2. Αλγόριθμος K-μέσων	28
2.6.3. Μέθοδος του Otsu	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	31
3.1. Ο χωρισμός σε άνω και κάτω χείλος	31
3.2. Η κατωφλίωση και η δημιουργία των κατωφλίων	32
3.2.1. Η πρώτη προσέγγιση της δημιουργίας κατωφλίων	34
3.2.2. Η δεύτερη προσέγγιση της δημιουργίας κατωφλίων	34
3.3. Έλεγχος πολλών κατωφλίων με το κριτήριο της ζώνης	35
3.4. Συνένωση των περιγραμμάτων σε ένα συνολικό περίγραμμα	37
3.5. Ψευδοκώδικας μεθόδου ΕΠΚ	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	40
4.1. Περιγραφή της βάσης των εικόνων με ground truth	40
4.2. Απόσταση Hausdorff	41
4.3. Ο χωρισμός σε άνω και κάτω χείλος	43
4.4. Πειραματική αξιολόγηση της μεθόδου των πολλών κατωφλίων	44
4.4.1. Αξιολόγηση των παραμέτρων step και range της μεθόδου ΕΠΚ	44
4.4.2. Αξιολόγηση της παραμέτρου w της μεθόδου ΕΠΚ	46
4.4.3. Ταχύτητα εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ	47
4.4.4. Ταχύτητα εκτέλεσης όλων των μεθόδων	50

4.5. Ενδεικτικά αποτελέσματα	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΧΕΙΛΟΥΣ ΣΕ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ ΒΙΝΤΕΟ	54
5.1. Πρώτη προσέγγιση	54
5.2. Δεύτερη προσέγγιση	56
5.2.1. Αλγόριθμος Kanade-Lucas-Tomasi	56
5.2.2. Εφαρμογή της μεθόδου	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	63
6.1. Συμπεράσματα	63
6.2. Μελλοντική εργασία	63
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	65
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ	68

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Σελ
Πίνακας 1 Αποτελέσματα της εφαρμογής των μεθόδων σε ολόκληρο το χείλος και ξεχωριστά σε άνω και κάτω χείλος νέων ατόμων	43
Πίνακας 2 Αποτελέσματα της εφαρμογής των μεθόδων σε ολόκληρο το χείλος και ξεχωριστά σε άνω και κάτω χείλος ηλικιωμένων ατόμων	44
Πίνακας 3 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.001 και διάφορες τιμές του range σε εικόνες νέων ατόμων	45
Πίνακας 4 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.002 και διάφορες τιμές του range σε εικόνες νέων ατόμων	45
Πίνακας 5 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.001 και διάφορες τιμές του range σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων	45
Πίνακας 6 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.002 και διάφορες τιμές του range σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων	46
Πίνακας 7 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για διάφορες τιμές πλάτους ζώνης w σε εικόνες νέων ατόμων	47
Πίνακας 8 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για διάφορες τιμές πλάτους ζώνης w σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων	47
Πίνακας 9 Μέσος χρόνος εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.001 σε εικόνες νέων ατόμων	48
Πίνακας 10 Μέσος χρόνος εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.002 σε εικόνες νέων ατόμων	48
Πίνακας 11 Μέσος χρόνος εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.001 σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων	48
Πίνακας 12 Μέσος χρόνος εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.002 σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων	49
Πίνακας 13 Μέσος χρόνος εκτέλεσης όλων των μεθόδων σε εικόνες νέων ατόμων	50
Πίνακας 14 Μέσος χρόνος εκτέλεσης όλων των μεθόδων σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων	50

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα	Σελ
Εικόνα 1 Αναγνώριση περιγράμματος χειλιών σε εικόνες νεαρών ατόμων	14
Εικόνα 2 Αναγνώριση περιγράμματος χειλιών σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων	14
Εικόνα 3 Μετατροπή του χρωματικού χώρου της εικόνας από RGB σε YIQ	19
Εικόνα 4 Ενδεικτικά αποτελέσματα των μεθόδων Active contours, K-μέσων, Otsu	30
Εικόνα 5 Αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου Otsu	32
Εικόνα 6 Διαχωρισμός αντικειμένου από το υπόβαθρο με κατωφλίωση	33
Εικόνα 7 Τα όρια των δύο ζωνών (μπλε) του περιγράμματος (κόκκινο) του άνω χείλους	35
Εικόνα 8 Τα όρια των ζωνών (μπλε) του περιγράμματος (κόκκινο) του κάτω χείλους	35
Εικόνα 9 Δημιουργία των ζωνών πάνω και κάτω από το περίγραμμα	36
Εικόνα 10 Τα περιγράμματα του άνω και του κάτω χείλους και τα σημεία διέλευσης	37
Εικόνα 11 Αποτέλεσμα συνένωσης των περιγραμμάτων άνω και κάτω χείλους	38
Εικόνα 12 Ενδεικτικές χαρακτηρισμένες εικόνες (ground truth) ηλικιωμένων και νέων ατόμων	41
Εικόνα 13 Τιμές της μετρικής Hausdorff για κακή και καλή προσέγγιση του περιγράμματος	42
Εικόνα 14 Προσαρμογή περιγράμματος μεθόδου με βάση το ground truth	43
Εικόνα 15 Ενδεικτικά αποτελέσματα των μεθόδων ΕΠΚ και κατωφλίωσης του Otsu σε εικόνες νέων ατόμων	52
Εικόνα 16 Ενδεικτικά αποτελέσματα των μεθόδων ΕΠΚ και κατωφλίωσης του Otsu σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων	53
Εικόνα 17 Αποτελέσματα της πρώτης προσέγγισης σε γυναικεία χείλη	55
Εικόνα 18 Αποτελέσματα της πρώτης προσέγγισης στο ήμισυ του προσώπου	55
Εικόνα 19 Αποτελέσματα της πρώτης προσέγγισης σε αντρικά χείλη	56
Εικόνα 20 Παρακολούθηση σημείων μεταξύ γειτονικών εικονοπλαισίων ενός βίντεο	60
Εικόνα 21 Ενδεικτικά αποτελέσματα της δεύτερης προσέγγισης σε γυναικεία χείλη	61
Εικόνα 22 Ενδεικτικά αποτελέσματα της δεύτερης προσέγγισης στο ήμισυ του προσώπου	61
Εικόνα 23 Ενδεικτικά αποτελέσματα της δεύτερης προσέγγισης σε αντρικά χείλη	62

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Άγγελος Φάρες Σαϊντ

MSc, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Σεπτέμβριος 2017

Τίτλος: Εξαγωγή Περιγράμματος Χειλιών από Εικόνες Προσώπου

Επιβλέπων: Αριστείδης Λύκας

Η εξαγωγή χαρακτηριστικών του προσώπου από εικόνες παίζει σημαντικό ρόλο στην ιατρική, στη βιολογία, στην επιστήμη των υπολογιστών και κυρίως στον τομέα της Υπολογιστικής Όρασης. Από τα χαρακτηριστικά του προσώπου, η περιοχή του στόματος έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων, στο πλαίσιο ποικίλων εφαρμογών, επειδή η μορφή και το σχήμα του μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με τα συναισθήματα ή τον λόγο του ομιλητή. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν αναγνώριση ομιλίας με διάβασμα χειλιών, διάγνωση ασθενειών που σχετίζονται με τα χείλη, καθώς και αναγνώριση εκφράσεων του προσώπου. Επίσης, σημαντική εφαρμογή της ανίχνευσης του περιγράμματος χειλιών αποτελεί η ακτινική χειλίτιδα, μια νόσος εκφυλισμού των χειλιών η οποία πρόκειται για ένα προκαρκινικό στάδιο που οφείλεται στην έκθεση των χειλιών στον ήλιο.

Σε αυτή την εργασία, μελετάμε μια νέα μεθοδολογία που βασίζεται στον έλεγχο πολλών κατωφλίων με σκοπό τον διαχωρισμό των χειλιών από το υπόβαθρο. Αρχικά, η εικόνα των χειλιών χωρίζεται αυτόματα σε δύο εικόνες που περιλαμβάνουν το άνω και το κάτω χείλος και πραγματοποιείται εξαγωγή του περιγράμματος σε κάθε εικόνα ξεχωριστά, με σκοπό την αναζήτηση καλύτερου αποτελέσματος. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της χρωματικής συνιστώσας Q γίνεται επεξεργασία των εικόνων του άνω και του κάτω χείλους. Ο λόγος είναι ότι η συνιστώσα Q αναδεικνύει ικανοποιητικά την περιοχή των χειλιών συγκριτικά με το υπόβαθρο, όπως είναι τα δόντια, η γλώσσα ή το

δέρμα. Η μέθοδος εξαγωγής του περιγράμματος αρχικά ορίζει ένα σύνολο από κατώφλια, τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα δυαδικές εικόνες, και καθορίζει το περίγραμμα του χείλους για κάθε κατώφλι, το οποίο αποτελεί το σύνορο μεταξύ των δύο διακριτών περιοχών φωτεινότητας. Στο επόμενο βήμα, για κάθε περίγραμμα υπολογίζεται η διαφορά φωτεινότητας των εικονοστοιχείων σε μια ζώνη πάνω από το περίγραμμα σε σχέση με τα εικονοστοιχεία σε μία ζώνη κάτω από το περίγραμμα, αποσκοπώντας στην αξιολόγηση του περιγράμματος ως προς τη διακριτική του ικανότητα. Ως αποτέλεσμα επιλέγεται το περίγραμμα με την καλύτερη διακριτική ικανότητα.

Η μέθοδος εξαγωγής του περιγράμματος συγκρίνεται με άλλες προσεγγίσεις με σκοπό την αξιολόγησή της. Στην αξιολόγηση αυτή, χρησιμοποιήθηκε μια χαρακτηρισμένη, από ειδικούς γιατρούς, βάση εικόνων η οποία αποτελείται από νεαρά άτομα και ηλικιωμένα άτομα με πιθανές παθήσεις. Επίσης, η μέθοδος εφαρμόστηκε σε ακολουθίες βίντεο με σκοπό την εξαγωγή του περιγράμματος των χειλιών των ομιλητών.

EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH

Aggelos Fares Saint

MSc, Computer Science and Engineering, University of Ioannina, Greece

September 2017

Title: Lip contour extraction from face images

Supervisor: Aristidis Likas

The extraction of facial features from images is of great significance in medicine, biology, computer science and particularly in the field of Computer Vision. From all facial features, the area of the mouth has attracted the interest of scientists, in a great variety of applications, because its shape can provide information about the feelings or speech of the speaker. Applications include speech recognition with lip reading, diagnosis of lip-related diseases, and facial expressions recognition. Also, a significant application of lip detection is solar cheilosis, a lip degenerative disease, which is a precancerous stage due to the exposure of the lips to the sun.

We examine a methodology based on image thresholding that considers several candidate threshold values in order to separate the lips from the background. First, the image of the lips is automatically split into two images that include the upper and lower lip respectively. The lip extraction is made on each image separately in order to obtain a better result. We analyze the images considering the component Q from YIQ color space, because this component satisfactorily enhances the region of the lips relative to the background (teeth, tongue or skin). The contour extraction method applies thresholding for several candidate threshold values, and determines the contour for each threshold, which is the boundary between the two distinct luminance regions. In the next step, for each contour, is calculates the brightness difference of the pixels in a zone above the contour relative to the pixels in a zone below the contour, aiming at the assessment of the contour in terms of discrimination. As a result, the contour is selected with the best separation ability.

The contour extraction method has been comparatively evaluated using a database of lip images, consisting of young people and elderly people with possible solar cheilosis. The lip contour in those images has been specified by expert dermatologists. Also, the method has been applied to video sequences to extract the contour of the speaker's lips.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

-
- 1.1 Το πρόβλημα της εξαγωγής περιγράμματος χειλιών και η χρησιμότητά του
 - 1.2 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας
 - 1.3 Δομή και συνεισφορά της εργασίας
-

1.1. Το πρόβλημα της εξαγωγής περιγράμματος χειλιών και η χρησιμότητά του

Η εξαγωγή χαρακτηριστικών του προσώπου έχει προσελκύσει την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας και κυρίως των επιστημόνων που ασχολούνται με την υπολογιστική όραση. Ανάμεσα στα χαρακτηριστικά του προσώπου, η περιοχή του στόματος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο αφού η μορφή και η δυναμική του περιγράμματος περιγράφουν μηνύματα επικοινωνίας και συναισθήματα του ομιλητή. Για το λόγο αυτό, το πρόβλημα της ανίχνευσης και της παρακολούθησης των χειλιών έχει μελετηθεί εντατικά στο πλαίσιο διαφορετικών εφαρμογών. Αυτές μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν την ανάγνωση των χειλιών για την αυτόματη αναγνώριση ομιλίας με σκοπό τη μετάδοση σε ανθρώπους οι οποίοι αντιμετωπίζουν προβλήματα ακοής, αναγνώριση της έκφρασης του ομιλητή με σκοπό τον καθορισμό των συναισθημάτων και εξαγωγή των χαρακτηριστικών του προσώπου για εφαρμογές ανάκτησης παρόμοιων προσώπων από βάσεις δεδομένων εικόνας και βίντεο.

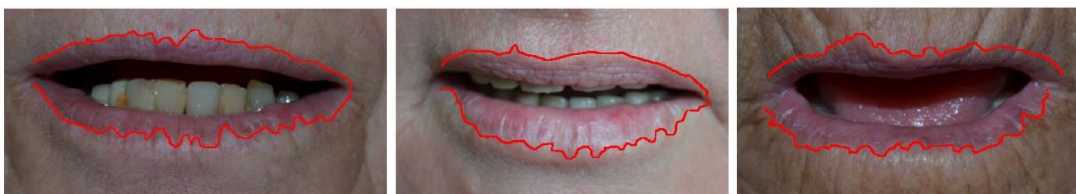
Μια σημαντική ιατρική εφαρμογή της ανίχνευσης του περιγράμματος των χειλιών αποτελεί η ακτινική χειλίτιδα. Πρόκειται για μια νόσο εκφυλισμού των χειλιών η οποία οφείλεται στον ήλιο. Η ακτινική χειλίτιδα προκαλείται από μακροχρόνια έκθεση στον ήλιο και συνιστά προκαρκινική κατάσταση που οφείλεται στην επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο ερυθρό δέρμα του κάτω χείλους. Τις περισσότερες φορές επηρεάζει

το κάτω χείλος και μόνο σπάνια το άνω χείλος, πιθανώς επειδή το κάτω χείλος είναι πιο εκτεθειμένο στον ήλιο λόγω έκτασης. Στις περιπτώσεις όπου επηρεάζει το άνω χείλος, αυτό μπορεί να οφείλεται στην προεξοχή του άνω χείλους. Οι γωνίες του στόματος συνήθως δεν επηρεάζονται από τη νόσο. Σύμφωνα με την κλινική εικόνα το χείλος χάνει το κόκκινο χρώμα του και μετατρέπεται σε λευκό-γκρίζο, στην όψη είναι ξηρό, ζαρωμένο και ρυτιδωμένο, ενώ χάνει τις χαρακτηριστικές του γραμμώσεις κυρίως σε ηλικιωμένα άτομα.

Η ακριβής εξαγωγή περιγράμματος χείλους είναι ένα δύσκολο πρόβλημα λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων που προκαλούνται εξαιτίας του ότι υπάρχουν διαφορετικά σχήματα χείλους, διαφορετικό χρώμα χείλους, συνθήκες φωτισμού, εμφάνιση ή μη δοντιών και γλώσσας. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι η αναγνώριση του περιγράμματος των χειλιών σε ασθενείς με ακτινική χειλίτιδα αποτελεί ένα περίπλοκο πρόβλημα ακόμα και για τους γιατρούς. Είναι πολύ πιθανό το περίγραμμα που θα εκτιμήσουν διαφορετικοί γιατροί στον ίδιο ασθενή να είναι διαφορετικό. Παραδείγματα παρουσιάζονται στις Εικόνες 1 και 2.



Εικόνα 1 Αναγνώριση περιγράμματος χειλιών σε εικόνες νεαρών ατόμων



Εικόνα 2 Αναγνώριση περιγράμματος χειλιών σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

1.2. Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις και μεθοδολογίες οι οποίες μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες. Η πρώτη αφορά μεθόδους κατωφλίωσης, οι οποίες προσφέρουν έναν εύκολο τρόπο κατάτμησης χειλιών. Για παράδειγμα, η κατάτμηση χειλιών η οποία προτείνεται στο [1] χρησιμοποιεί δύο τιμές κατωφλίων στο κανάλι Q με σκοπό να αποκτήσει τα υποψήφια pixels των χειλιών. Η εργασία η οποία περιγράφεται στα [2] και [3] επίσης εφαρμόζει μέθοδο κατωφλίωσης ώστε να ανακαλύψει τις περιοχές των χειλιών.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει μεθόδους που βασίζονται στην κλίση (gradient) και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην εξαγωγή του περιγράμματος των χειλιών [4]-[6] λόγω της αποτελεσματικότητάς τους στην ανίχνευση ορίων-συνόρων. Ωστόσο, η ακρίβεια των μεθόδων αυτών επηρεάζεται εύκολα από λανθασμένες ακμές.

Η τρίτη κατηγορία περιέχει μεθόδους που βασίζονται σε πρότυπα σχήματα (shape template) όπως τα active contour models (ACM), τα active shape models (ASM) και τα active appearance models (AAM). Τα ACM τα οποία είναι γνωστά και ως “snake” μοντέλα, βασίζονται στην ελαχιστοποίηση της ενέργειας μιας ευέλικτης καμπύλης. Η ενέργεια επηρεάζεται από περιορισμούς (π.χ. εσωτερική ενέργεια) και δυνάμεις εικόνας (π.χ. εξωτερικές δυνάμεις) οι οποίες έλκουν την καμπύλη προς τα όρια του αντικειμένου [7],[8]. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν active shape models (ASM) δημιουργούν ένα μοντέλο κατανομής των σημείων ώστε να αναπαριστά το σχήμα μιας κατηγορίας αντικειμένων και προσαρμόζουν το μοντέλο αυτό ώστε να ταιριάζει σε ένα αντικείμενο της νέας εικόνας. Παρόμοια, οι μέθοδοι που βασίζονται στα active appearance models (AAM) δημιουργούν, επίσης, ένα στατιστικό μοντέλο αναπαράστασης ενός αντικειμένου. Το μοντέλο δεν βασίζεται μόνο στο σχήμα αλλά και σε χαρακτηριστικά εμφάνισης του αντικειμένου [9],[10],[11].

Στην τέταρτη κατηγορία υπάρχουν οι μέθοδοι κατάτμησης με τεχνικές ομαδοποίησης. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι fuzzy C-means (FCM) και K-means χρησιμοποιούνται για κατάτμηση χειλιών [12]-[14]. Επιπλέον, η εργασία η οποία περιγράφεται στα [15]-[17] χρησιμοποιεί στατιστικά μοντέλα όπως Gaussian mixture model (GMM) και FCM, ώστε να εκτιμήσουν τον χάρτη των μελών των χειλιών. Στο [18] προτάθηκε ένας

αλγόριθμος ασαφούς ομαδοποίησης λαμβάνοντας υπόψη χωρικούς περιορισμούς. Αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τόσο τη κατανομή δεδομένων στο χώρο των χαρακτηριστικών όσο και τις χωρικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων κατά τη διάρκεια της ομαδοποίησης. Μια άλλη μέθοδος κατάτμησης χειλιών που χρησιμοποιεί ασαφή ομαδοποίηση προτάθηκε στο [19] και επιτυγχάνει τους περιορισμούς χωρικής συνέχειας θεωρώντας έναν δείκτη ανομοιότητας που επιτρέπει χωρικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των pixels της εικόνας. Όμοια, τα [20] και [21] ασχολούνται με κατάτμηση της περιοχής των χειλιών χρησιμοποιώντας ασαφή ομαδοποίηση με χωρικούς περιορισμούς. Ωστόσο η ακρίβειά τους εξαρτάται αρκετά από τον προκαθορισμένο αριθμό τμημάτων, των οποίων η επιλογή είναι συχνά μια μη τετριμμένη διαδικασία στην πράξη.

Μια τελευταία κατηγορία είναι οι μέθοδοι που βασίζονται στα Markov Random Fields (MRF) και προσφέρουν εναλλακτικές προσεγγίσεις για την κατάτμηση των χειλιών λαμβάνοντας υπόψη τους χωρικούς περιορισμούς. Επιπλέον, έχουν παρουσιαστεί μερικές αρχιτεκτονικές τροποποιήσεις στα κλασικά MRF. Για παράδειγμα, στα [22],[23],[24] χρησιμοποιείται πολυεπίπεδο MRF μοντέλο, όπου τα επίπεδα αντιστοιχούν σε γειτονικά πλαίσια (frames) σε μια ακολουθία βίντεο, για να αντιμετωπιστούν προβλήματα κατάτμησης και προβλήματα παρακολούθησης (tracking). Από τη στιγμή που κάθε MRF δημιουργείται από χρωματικά χαρακτηριστικά του αντίστοιχου frame, αυτό το μοντέλο ενσωματώνει τόσο πληροφορίες απόχρωσης όσο και χρονική δυναμική. Επιπλέον, στα [3],[25] έχει χρησιμοποιηθεί μοντέλο MRF, στο οποίο η συνάρτηση ενέργειας αποτελείται από τις πληροφορίες χρώματος και ακμών. Ακόμα, οι μέθοδοι οι οποίες παρουσιάζονται στα [26] και [27] έχουν επίσης βασιστεί στα MRF για να ανακαλύψουν τις περιοχές των χειλιών.

1.3. Δομή και συνεισφορά της εργασίας

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, μελετάμε το πρόβλημα της εξαγωγής του περιγράμματος των χειλιών από εικόνες νέων ατόμων και ηλικιωμένων ατόμων με παθολογίες. Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τυπικές προσεγγίσεις για την επίλυση του προβλήματος όπως η μέθοδος του Otsu, ο αλγόριθμος K-μέσων

και η μέθοδος Active contours καθώς και μερικά ενδεικτικά αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων.

Στο Κεφάλαιο 3, το οποίο αποτελεί την βασική συνεισφορά της εργασίας, παρουσιάζουμε μια εναλλακτική μεθοδολογία για την επίλυση του προβλήματος της εξαγωγής του περιγράμματος των χειλιών. Πρόκειται για μια μέθοδο σύμφωνα με την οποία χωρίζουμε την εικόνα των χειλιών σε δύο εικόνες άνω και κάτω χείλους και εργαζόμαστε ξεχωριστά σε κάθε εικόνα. Στη συνέχεια, με την χρήση μεθόδου κατωφλίωσης προσπαθούμε να εξάγουμε πιθανά περιγράμματα των χειλιών. Για να το επιτύχουμε αυτό προτείνουμε μια μέθοδο δημιουργίας κατωφλίων καθώς και έναν τρόπο ελέγχου της καταλληλότητας των πιθανών περιγραμμάτων. Ο συγκεκριμένος τρόπος ελέγχου αποτελεί μια νέα μεθοδολογία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους σε μελλοντική έρευνα.

Το Κεφάλαιο 4 παραθέτει πειραματικά αποτελέσματα σε εικόνες νέων και ηλικιωμένων ατόμων για να εξεταστεί η αποδοτικότητα της μεθόδου. Επιπλέον, στο κεφάλαιο αυτό γίνεται και σύγκριση των επιδόσεων της μεθόδου σε σχέση με τις τυπικές προσεγγίσεις.

Στο Κεφάλαιο 5, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο η μέθοδος εφαρμόστηκε σε ακολουθίες βίντεο και παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται γενικά συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΥΠΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

- 2.1 Η χρωματική συνιστώσα Q
 - 2.2 Η μέθοδος κατωφλίωσης του Otsu
 - 2.3 Ο αλγόριθμος K-μέσων
 - 2.4 Active contours
 - 2.5 Εξαγωγή περιγράμματος από δυαδική εικόνα
 - 2.6 Ενδεικτικά αποτελέσματα
-

2.1. Η χρωματική συνιστώσα Q

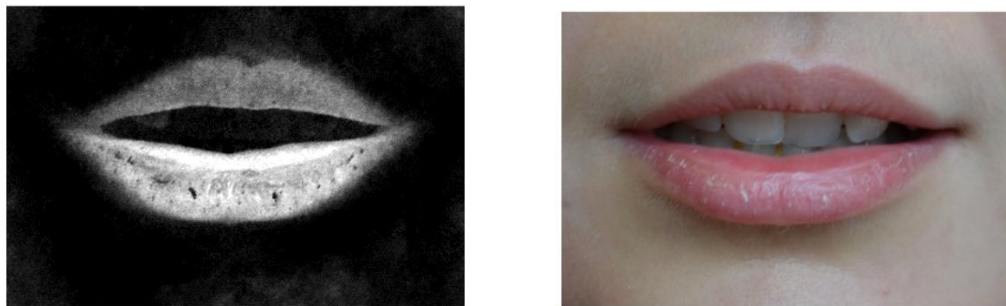
Το πρότυπο χρώματος RGB χρησιμοποιείται γενικά για την αναπαράσταση των εικόνων ενώ κατά καιρούς έχουν προταθεί πολλοί μετασχηματισμοί. Ένας εξ' αυτών είναι η αναπαράσταση YIQ. Το YIQ είναι η χρωματική περιοχή η οποία χρησιμοποιείται από το NTSC TV χρωματικό σύστημα. Το NTSC αποτελεί το αρκτικόλεξο του National Television System Committee και αποτελεί το αναλογικό σύστημα τηλεόρασης το οποίο μέχρι την ψηφιακή μετατροπή χρησιμοποιούταν από τις περισσότερες χώρες της Αμερικής. Στο YIQ το I αντιπροσωπεύει την in-phase, ενώ το Q αντιπροσωπεύει τον τετραγωνισμό (quadrature), ο οποίος αναφέρεται στα συστατικά τα οποία χρησιμοποιούνται στην ορθογώνια διαμόρφωση πλάτους (quadrature amplitude modulation). Πρακτικά πρόκειται για περιστροφή του χώρου χρώματος RGB, έτσι ώστε ο άξονας Y να περιέχει τις πληροφορίες φωτεινότητας (luma). Στα βίντεο ο παράγοντας luma αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα μιας εικόνας (το "ασπρόμαυρο" ή αχρωματικό τμήμα της εικόνας). Από την άλλη πλευρά, τα I (πορτοκαλί-μπλε) και Q (μωβ-πράσινο) αντιπροσωπεύουν τις πληροφορίες χρώματος. Το μοντέλο YIQ εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι το ανθρώπινο μάτι είναι πιο ευαίσθητο στις μεταβολές της φωτεινότητας, δηλαδή στην περιοχή πορτοκαλί-μπλε (I), από τις αλλαγές της απόχρωσης, δηλαδή στην περιοχή μωβ-πράσινο (Q). Επομένως απαιτείται μικρότερο εύρος ζώνης για το Q από ότι για το I.

Η μετατροπή από RGB σε YIQ ορίζεται ως:

Υποθέτουμε ότι $R, G, B, Y \in [0,1]$, $I \in [-0.5957, 0.5957]$, $Q \in [-0.5226, 0.5226]$

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Η μετατροπή από RGB σε YIQ είναι η χρήσιμη για την τμηματοποίηση των χειλιών και την εύρεση του περιγράμματος. Στην Εικόνα 3 η μετατροπή χρωματικού χώρου από RGB σε YIQ μας δίνει ως αποτέλεσμα την εικόνα στα αριστερά. Όπως παρατηρούμε η περιοχή των χειλιών γίνεται πιο εμφανής και έντονη ενώ το χρώμα του δέρματος έχει γίνει μαύρο. Επιπλέον το σημαντικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μετατροπής είναι ότι το εσωτερικό του στόματος έχει λάβει, επίσης, μαύρη απόχρωση. Η συγκεκριμένη ιδιότητα είναι πολύ χρήσιμη διότι τα δόντια και η γλώσσα δεν δημιουργούν πρόβλημα στον εντοπισμό των χειλιών.



Εικόνα 3 Μετατροπή του χρωματικού χώρου της εικόνας από RGB σε YIQ

2.2. Η μέθοδος κατωφλίωσης του Otsu

Η μέθοδος κατωφλίωσης του Otsu [28] εντοπίζει μια βέλτιστη τιμή κατωφλίου για την μετατροπή μιας μονοχρωματικής εικόνας σε δυαδική.

Ας συμβολίσουμε με $\{0,1,2,\dots,L-1\}$ τα L διακριτά επίπεδα έντασης μιας ψηφιακής εικόνας μεγέθους $M \times N$ εικονοστοιχείων και ας συμβολίσουμε με n_i το πλήθος των εικονοστοιχείων με τιμή έντασης i . Ο συνολικός αριθμός MN των εικονοστοιχείων της εικόνας θα είναι ίσος με

$$MN = n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_{L-1}.$$

Το κανονικοποιημένο ιστόγραμμα ως συνιστώσες θα έχει τις $p_i = n_i/MN$ από όπου προκύπτει ότι

$$\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad p_i \geq 0$$

Έστω ότι επιλέγουμε ένα κατώφλι $T(k) = k$ ($0 < k < L - 1$) το οποίο εφαρμόζουμε στην επιθυμητή εικόνα και διαχωρίζουμε τα εικονοστοιχεία σε δύο κλάσεις C_1 και C_2 . Η κλάση C_1 αποτελείται από τα εικονοστοιχεία της εικόνας με τιμές έντασης στην περιοχή $[0, k]$ και η κλάση C_2 τα εικονοστοιχεία με τιμές έντασης στην περιοχή $[k+1, L-1]$. Χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο κατώφλι, η πιθανότητα κατάταξης $P_1(k)$ ενός εικονοστοιχείου στην κλάση C_1 δίνεται από το άθροισμα

$$P_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i$$

Με παρόμοιο τρόπο, η πιθανότητα εμφάνισης της κλάσης C_2 δίνεται από την εξίσωση

$$P_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i = 1 - P_1(k)$$

Η μέση τιμή της έντασης των εικονοστοιχείων που σχετίζονται με την κλάση C_1 είναι ίση με

$$m_1(k) = \sum_{i=0}^k iP(i/C_1)$$

ή

$$m_1(k) = \sum_{i=0}^k iP(C_1/i)P(i)/P(C_1)$$

ή

$$m_1(k) = \frac{1}{P_1(k)} \sum_{i=0}^k ip_i$$

Με ανάλογο τρόπο, η μέση τιμή της έντασης των εικονοστοιχείων που κατατάσσονται στην κλάση C_2 ισούται με

$$m_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} iP(i/C_2)$$

ή

$$m_2(k) = \frac{1}{P_2(k)} \sum_{i=k+1}^{L-1} ip_i$$

Ο συσσωρευτικός μέσος όρος (δηλαδή η μέση ένταση) μέχρι το επίπεδο k , προκύπτει από τη σχέση

$$m(k) = \sum_{i=0}^k ip_i$$

ενώ η μέση ένταση ολόκληρης της εικόνας (δηλαδή ο ολικός μέσος όρος) υπολογίζεται ως

$$m_G = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i$$

Για να αξιολογήσουμε ένα κατώφλι στο επίπεδο k , χρησιμοποιούμε την κανονικοποιημένη μετρική

$$n = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_G^2}$$

όπου σ_G^2 είναι η ολική μεταβλητότητα (δηλαδή η διακύμανση την έντασης όλων των εικονοστοιχείων της εικόνας) και περιγράφεται από τη σχέση

$$\sigma_G^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - m_G)^2 p_i$$

ενώ σ_B^2 είναι η μεταβλητότητα ανάμεσα στις κλάσεις (between-class variance) η οποία ορίζεται ως

$$\sigma_B^2 = P_1(m_1 - m_G)^2 + P_2(m_2 - m_G)^2$$

Η παραπάνω έκφραση μπορεί ακόμα να γραφεί και ως

$$\sigma_B^2 = P_1 P_2 (m_1 - m_2)^2$$

ή

$$\sigma_B^2 = \frac{(m_G P_1 - m)^2}{P_1(1 - P_1)}$$

με τις παραμέτρους m_G και m να ορίζονται με τον τρόπο που περιγράψαμε προηγουμένως.

Διαπιστώνουμε πως όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ανάμεσα στις τιμές των δύο μέσων όρων m_1 και m_2 , τόσο πιο μεγάλη θα είναι η τιμή της μεταβλητότητας σ_B^2 . Το γεγονός αυτό δηλώνει πως η μεταβλητότητα ανάμεσα στις κλάσεις (between-class variance) αποτελεί ένα μέτρο διαχωρισιμότητας ανάμεσα στις κλάσεις. Επειδή η μεταβλητότητα σ_G^2 είναι μια σταθερά, αποδεικνύεται πως η παράμετρος n θα αποτελεί

και αυτή ένα μέτρο διαχωρισιμότητας και πως η μεγιστοποίηση αυτής της μετρικής είναι ισοδύναμη με τη μεγιστοποίηση της παραμέτρου σ_B^2 . Συνεπώς, ο στόχος είναι να προσδιορίσουμε την τιμή κατωφλίου k που μεγιστοποιεί τη μεταβλητότητα σ_B^2 .

Προχωρώντας στην επανεισαγωγή την μεταβλητής k , θα λάβουμε το τελικό αποτέλεσμα που έχει τη μορφή

$$n(k) = \frac{\sigma_B^2(k)}{\sigma_G^2}$$

και

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[m_G P_1(k) - m(k)]^2}{P_1(k)[1 - P_1(k)]}$$

Στην περίπτωση αυτή, η βέλτιστη τιμή κατωφλίου είναι η k^* η οποία μεγιστοποιεί τη συνάρτηση $\sigma_B^2(k)$ θα είναι λοιπόν

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{0 \leq k \leq L-1} \sigma_B^2(k)$$

Για να προσδιορίσουμε την τιμή k^* , υπολογίζουμε την παραπάνω εξίσωση για όλες τις ακέραιες τιμές του k και επιλέγουμε εκείνη την τιμή για το k που οδήγησε στη μέγιστη τιμή της μεταβλητότητας $\sigma_B^2(k)$.

Έχοντας υπολογίσει την τιμή του k^* , μπορεί να πραγματοποιηθεί κατάτμηση της εικόνας $f(x,y)$ με τον παρακάτω τρόπο

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{εάν είναι } f(x,y) > k^* \\ 0 & \text{εάν είναι } f(x,y) \leq k^* \end{cases}$$

για τις τιμές συντεταμένων $x = 0,1,2, \dots, M-1$ και $y = 0,1,2, \dots, N-1$.

Ο αλγόριθμος του Otsu μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

1. Υπολογίζουμε το οριζόντιο ιστόγραμμα της εικόνας εισόδου και συμβολίζουμε τις συνιστώσες αυτού του ιστογράμματος ως p_i ($i = 1, \dots, L-1$)
2. Υπολογίζουμε τα συσσωρευτικά αθροίσματα $P_1(k)$ για τις τιμές της παραμέτρου $k = 1, \dots, L-1$.
3. Υπολογίζουμε τα συσσωρευτικά αθροίσματα $m(k)$ για τις τιμές της παραμέτρου $k = 1, \dots, L-1$.
4. Υπολογίζουμε τον ολικό μέσο όρο έντασης της εικόνας m_G .
5. Υπολογίζουμε τη μεταβλητότητα ανάμεσα στις κλάσεις $\sigma_B^2(k)$ για τις τιμές της παραμέτρου $k = 1, \dots, L-1$.

6. Υπολογίζουμε το κατώφλι του Otsu k^* , ως την τιμή του k που μεγιστοποιεί τη μεταβλητότητα $\sigma_B^2(k)$. Εάν το μέγιστο αυτό δεν είναι μοναδικό, υπολογίζουμε την τιμή του k^* από το μέσο όρο των τιμών του k που αντιστοιχούν στα διάφορα μέγιστα που ανιχνεύσαμε.

Προσδιορίζουμε το μέτρο της διαχωρισιμότητας n^* , με υπολογισμό της τιμής της

$$n(k) = \frac{\sigma_B^2(k)}{\sigma_G^2} \text{ στη θέση } k = k^*.$$

Το αποτέλεσμα που επιστρέφει η μέθοδος του Otsu είναι μια εικόνα δυαδικής μορφής.

2.3. Ο αλγόριθμος K-μέσων (K-means)

Έστω το σύνολο εκπαίδευσης $X = \{x^n\}$ που περιλαμβάνει τα διανύσματα x^n διάστασης d . Σκοπός μας είναι η ομαδοποίηση των δεδομένων του συνόλου X σε M ομάδες έτσι ώστε δεδομένα στην ίδια ομάδα να είναι «κοντά» μεταξύ τους και «μακριά» από τα δεδομένα άλλων ομάδων.

Ο αλγόριθμος K-μέσων [29] αποτελεί τον πιο απλό και πιο διαδεδομένο αλγόριθμο ομαδοποίησης. Ο αλγόριθμος αυτός είναι κατάλληλος για την εύρεση ομάδων σε μορφή «νεφών» και χρησιμοποιεί ως αντιπρόσωπο για κάθε ομάδα j ένα διάνυσμα

$$\mu_j = (\mu_{j1}, \dots, \mu_{jd})^T \text{ που περιέχει τις συντεταγμένες του κέντρου (μέσου όρου) των}$$

σημείων που ανήκουν στην ομάδα. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή προϋποθέτει ότι ο αριθμός M των ομάδων είναι σταθερός και καθορισμένος εξαρχής.

Στην παρακάτω περιγραφή, με O_j συμβολίζουμε το σύνολο των δεδομένων της ομάδας j ($j = 1, \dots, M$) και με μ_j το κέντρο της ομάδας j .

Ο αλγόριθμος K-μέσων μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

1. Αρχικοποίηση: αρχικοποίηση του μετρητή επαναλήψεων $l:=0$ και των M κέντρων $\mu_j(0)$, $j = 1, \dots, M$.
2. Σε κάθε επανάληψη l
 - a. Για όλα τα δεδομένα εκπαίδευσης x^n ($n = 1, \dots, N$)
 - i. Υπολογισμός της Ευκλείδειας απόστασης $d(x^n, \mu_j)$ του x^n από όλα τα κέντρα.

- ii. Τοποθέτηση του x^n στο σύνολο O_j με τη μικρότερη απόσταση από το κέντρο μ_j της αντίστοιχης ομάδας, για την οποία ισχύει:

$$d(x^n, \mu_j) = \min_m d(x^n, \mu_m)$$

- b. Για κάθε ομάδα j υπολογίζουμε το νέο κέντρο της $\mu_j(l+1)$ ως το μέσο όρο των στοιχείων του συνόλου O_j :

$$\mu_{ji}(l+1) = \frac{1}{N_j} \sum_{x^m \in O_j} x_{mi}, \quad i = 1, \dots, d$$

όπου N_j είναι ο αριθμός των δεδομένων του συνόλου O_j .

- c. Έλεγχος τερματισμού: Τα διανύσματα μ_j έχουν μεταβληθεί μεταξύ των επαναλήψεων; Εάν ναι, τότε $l:=l+1$ και μετάβαση στο βήμα (2), αλλιώς τερματισμός.

Ο αλγόριθμος K-μέσων είναι πολύ διαδεδομένος, κυρίως λόγω της απλότητας και της ευκολίας υλοποίησής του. Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι εξαρτάται σημαντικά από τις αρχικές θέσεις των κέντρων $\mu_j(0)$. Για το λόγο αυτό καλό είναι να εκτελείται αρκετές φορές από τυχαίες αρχικές θέσεις των κέντρων και να κρατάμε εκείνη από τις τελικές λύσεις (μ_1, \dots, μ_M) που αντιστοιχεί στις πιο «συμπαγείς ομάδες», δηλαδή στις ομάδες με την ελάχιστη διασπορά:

$$S(\mu_1, \dots, \mu_M) = \sum_{j=1}^M \sum_{x^n \in O_j} \|x^n - \mu_j\|^2$$

όπου διασπορά μιας ομάδας j ονομάζουμε τη μέση Ευκλείδεια απόσταση των παραδειγμάτων της ($x^n \in O_j$) από το κέντρο μ_j της ομάδας.

Το αποτέλεσμα που επιστρέφει ο αλγόριθμος K-μέσων για $K=2$ είναι μια εικόνα δυαδικής μορφής.

2.4. Active contours

Το **Active contour model** [30], το οποίο καλείται επίσης και **snake**, αποτελεί μια δομή στον τομέα της υπολογιστικής όρασης για τον καθορισμό του περιγράμματος ενός αντικειμένου. Τα snakes έχουν ευρεία χρήση σε εφαρμογές όπως η ανίχνευση περιγράμματος αντικειμένων, η αναγνώριση σχήματος και η ανίχνευση ακμών.

Το snake είναι μια καμπύλη ελαχιστοποίησης ενέργειας η οποία καθοδηγείται από περιοριστικές δυνάμεις, επηρεάζεται από δυνάμεις της εικόνας οι οποίες την έλκουν προς χαρακτηριστικά όπως γραμμές και άκρες και από εσωτερικές δυνάμεις που αντιστέκονται στην παραμόρφωση. Πιο αναλυτικά, το βασικό snake model είναι μία προσαρμοσμένη και συνεχής καμπύλη η οποία ελέγχεται από δυνάμεις της εικόνας καθώς και από εξωτερικές περιοριστικές δυνάμεις. Οι δυνάμεις της εικόνας ωθούν το snake προς χαρακτηριστικά τα οποία εξέχουν όπως ακμές. Οι εξωτερικές περιοριστικές δυνάμεις είναι υπεύθυνες για την τοποθέτηση του snake στο κοντινότερο επιθυμητό τοπικό ελάχιστο. Ένα απλό ελαστικό snake ορίζεται ως ένα σύνολο από n σημεία v_i , όπου $i = 0, \dots, n - 1$, την εσωτερική ενέργεια $E_{interval}$ και την εξωτερική ενέργεια $E_{external}$. Ο σκοπός της εσωτερικής ενέργειας είναι ο έλεγχος της παραμόρφωσης του snake, ενώ ο σκοπός της εξωτερικής ενέργειας είναι ο έλεγχος της προσαρμογής του περιγράμματος πάνω στην εικόνα. Η εξωτερική ενέργεια είναι συνήθως ένας συνδυασμός δυνάμεων, της E_{image} η οποία αποτελεί την ενέργεια της ίδιας της εικόνας καθώς και των δυνάμεων που εισάγονται από τον χρήστη E_{con} . Η συνάρτηση της ενέργειας του snake είναι το άθροισμα της εξωτερικής της ενέργειας καθώς και της εσωτερικής ή

$$E_{snake}^* = \int_0^1 E_{snake}(v(s)) ds$$

ή

$$E_{snake}^* = \int_0^1 E_{interval}(v(s)) + E_{image}(v(s)) + E_{con}(v(s)) ds$$

Η εσωτερική ενέργεια ενός snake εξαρτάται από τη συνέχεια E_{cont} και την ομαλότητα E_{curv} του περιγράμματος.

$$E_{interval} = E_{cont} + E_{curv}$$

ή αλλιώς

$$E_{interval} = \frac{1}{2} (a(s)|v_s(s)|^2 + \beta(s)|v_{ss}(s)|^2)$$

όπου $a(s)$ και $\beta(s)$ είναι βάρη τα οποία ορίζονται από τον χρήστη.

Είναι απαραίτητο να ορίσουμε κάποιες ενεργειακές λειτουργίες οι οποίες έλκουν τα snakes στα προεξέχοντα χαρακτηριστικά της εικόνας όπως γραμμές, άκρες και τερματισμούς. Η συνολική ενέργεια μιας εικόνας μπορεί να εκφραστεί ως ο έμβαρος συνδυασμός των τριών ενεργειακών λειτουργιών

$$E_{image} = w_{line}E_{line} + w_{edge}E_{edge} + w_{term}E_{term}$$

όπου w_{line} , w_{edge} , w_{term} τα βάρη των προεξεχόντων χαρακτηριστικών. Ρυθμίζοντας τα βάρη το snake αποκτά ένα ευρύ φάσμα συμπεριφοράς. Οι υψηλότερες τιμές βαρών δηλώνουν ότι το αντίστοιχο χαρακτηριστικό γνώρισμα θα έχει μεγαλύτερη συμβολή στη δύναμη της εικόνας.

Η **line functional** είναι η ένταση της εικόνας, η οποία μπορεί να αναπαρασταθεί ως

$$E_{line} = I(x, y)$$

Το βάρος w_{line} καθορίζει αν η γραμμή θα μετακινείται προς σκοτεινότερες ή φωτεινότερες ακμές. Υπό την επιφύλαξη των άλλων περιορισμών, το snake θα προσπαθήσει να ευθυγραμμίσει τον εαυτό του με το φωτεινότερο ή σκοτεινότερο πιο κοντινό περίγραμμα.

Η **edge functional** βασίζεται στην κλίση της εικόνας (image gradient). Αν ορίσουμε ως

$$E_{edge} = -|\nabla I(x, y)|^2$$

τότε το snake έλκεται από περιγράμματα με μεγάλη κλίση εικόνας. Ένα snake το οποίο αρχικοποιήθηκε μακριά από το επιθυμητό περίγραμμα αντικειμένου μπορεί να συγκλίνει εσφαλμένα σε κάποιο τοπικό ελάχιστο. Η συνέχεια της κλίμακας χώρου (scale space) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθούν αυτά τα τοπικά ελάχιστα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός φίλτρου θολώματος (blur filter) στην εικόνα και τη μείωση της ποσότητας θολώματος καθώς ο υπολογισμός εξελίσσεται για την βελτίωση της προσαρμογής του snake. Η edge functional με τη χρήση της συνέχειας κλίμακας χώρου είναι

$$E_{edge} = -|G_{\sigma} * \nabla^2 I|^2$$

όπου G_{σ} είναι Gaussian με τυπική απόκλιση σ .

Προκειμένου να βρεθούν τερματισμοί τμημάτων γραμμών και γωνιών, χρησιμοποιείται η καμπυλότητα των γραμμών σε μια ελαφρώς λεία εικόνα. Έστω $C(x, y)$ η εικόνα η οποία έχει εξομαλυνθεί από

$$C(x, y) = G_{\sigma} * I(x, y)$$

με γωνία κλίσης

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{C_y}{C_x}\right)$$

διανύσματα κατά μήκος της κατεύθυνσης κλίσης

$$n = (\cos \theta, \sin \theta)$$

και διανύσματα κάθετα προς την κατεύθυνση της κλίσης

$$n_{\perp} = (-\sin \theta, \cos \theta)$$

Η λειτουργία τερματισμού (**termination functional**) της ενέργειας μπορεί να αναπαρασταθεί ως

$$E_{term} = \frac{\partial \theta}{\partial n_{\perp}}$$

ή

$$E_{term} = \frac{\frac{\partial^2 C}{\partial n_{\perp}^2}}{\frac{\partial C}{\partial n}}$$

ή

$$E_{term} = \frac{C_{yy}C_x^2 - 2C_{xy}C_xC_y + C_{xx}C_y^2}{(C_x^2 + C_y^2)^{3/2}}$$

Το αποτέλεσμα που επιστρέφει η μέθοδος Active contours είναι ένα σύνολο σημείων τα οποία αποτελούν το περίγραμμα.

2.5. Εξαγωγή περιγράμματος από δυαδική εικόνα

Η εξαγωγή του περιγράμματος των χειλιών από τη δυαδική εικόνα με λευκά και μαύρα pixels που δίνουν ως αποτέλεσμα η μέθοδος του Otsu και ο αλγόριθμος K-μέσων έγινε με βάση τον αλγόριθμο παρακολούθησης (tracing) **Moore-Neighbor**.

Ως γειτονιά Moore ορίζεται σε ένα δισδιάστατο τετράγωνο πλέγμα και αποτελείται από ένα κεντρικό στοιχείο και τα οκτώ κελιά που το περιβάλλουν.

Περίληπτικά, ο αλγόριθμος ξεκινάει σαρώνοντας ένα προς ένα τα pixel της εικόνας αρχίζοντας από την πάνω αριστερή γωνία μέχρι να φτάσει στην κάτω δεξιά με κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω. Έστω ότι το περίγραμμα θα είναι μαύρου χρώματος. Μόλις ο αλγόριθμος εντοπίσει μαύρο εικονοστοιχείο, προσπαθεί να καθορίσει το περίγραμμα ελέγχοντας τους 8 γείτονες του τρέχοντος εικονοστοιχείου,

με σκοπό τον εντοπισμό του επόμενου μαύρου εικονοστοιχείου. Οι γείτονες ελέγχονται δεξιόστροφα. Η διαδικασία γίνεται επαναληπτικά μέχρις ότου ο αλγόριθμος να διατρέξει όλα τα εικονοστοιχεία του περιγράμματος.

Ο αλγόριθμος τερματίζει μετά την επίσκεψη στο εικονοστοιχείο, από το οποίο εκκίνησε, για δεύτερη φορά. Όμως, η συγκεκριμένη συνθήκη περιορίζει το σύνολο των περιγραμμάτων τα οποία θα εξετάσει ο αλγόριθμος. Μια βελτιωμένη συνθήκη τερματισμού προτάθηκε αργότερα. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη συνθήκη ο αλγόριθμος τερμάτιζε όταν επισκεπτόταν το εικονοστοιχείο από το οποίο ξεκίνησε για δεύτερη φορά και με ίδια κατεύθυνση με αυτή με την οποία ξεκίνησε.

Για την εξαγωγή του περιγράμματος χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `bwboundaries` της MATLAB. Να σημειωθεί ότι από τα περιγράμματα που επιστρέφει η συνάρτηση ως αποτέλεσμα επιλέγεται το μεγαλύτερο σε μέγεθος.

2.6. Ενδεικτικά αποτελέσματα

2.6.1. Active contours

Η συγκεκριμένη μέθοδος αναλύει την εικόνα σε περιοχές του προσκηνίου (αντικείμενο) και του υποβάθρου χρησιμοποιώντας μια επαναληπτική διαδικασία των 100 επαναλήψεων. Επιπλέον, η μέθοδος χρησιμοποιεί μια μάσκα η οποία αποτελεί την αρχική κατάσταση που ξεκινάει η μέθοδος και πρόκειται για μια περιοχή πιο κοντά στο αντικείμενο που επιθυμούμε να εντοπίσουμε. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος `activecontour` της MATLAB με προεπιλεγμένη την μέθοδο Chan-Vese.

2.6.2. Αλγόριθμος K-μέσων

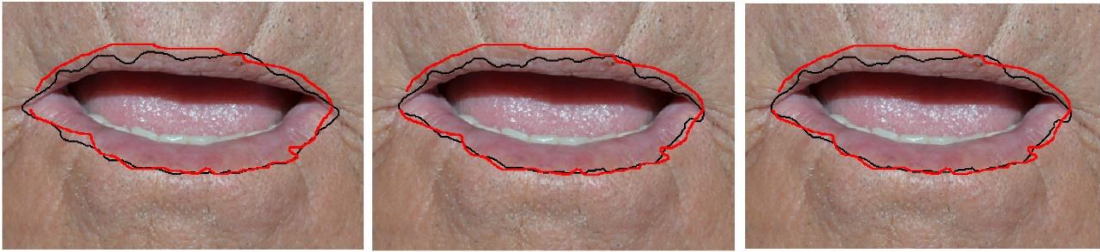
Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εφαρμόστηκε στις φωτεινότητες των εικονοστοιχείων με σκοπό την κατάτμηση σε δύο ομάδες ($K=2$). Χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `kmeans` της MATLAB για δύο ομάδες και Ευκλείδεια απόσταση.

2.6.3. Μέθοδος του Otsu

Η μέθοδος του Otsu επιλέγει ένα κατώφλι με σκοπό να ελαχιστοποιήσει την intraclass διακύμανση των λευκών και μαύρων εικονοστοιχείων. Χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση της MATLAB graythresh.

Μερικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 4 όπου με μαύρο χρώμα απεικονίζεται το περίγραμμα που έδωσε ως αποτέλεσμα η εκάστοτε μέθοδος (Active contours, K-μέσων, Otsu από αριστερά προς τα δεξιά) ενώ με κόκκινο παρουσιάζεται το πραγματικό περίγραμμα του χείλους. Η ανάλυση των εικόνων έγινε στη χρωματική συνιστώσα Q.





Εικόνα 4 Ενδεικτικά αποτελέσματα των μεθόδων Active contours, K-μέσων, Otsu

Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 4 τα αποτελέσματα της μεθόδου του Otsu προσεγγίζουν περισσότερο το πραγματικό περίγραμμα σε σχέση με τις μεθόδους Active contours και K-μέσων. Σε κάποιες περιπτώσεις τόσο ο αλγόριθμος K-μέσων όσο και η μέθοδος Active contours απομακρύνονται αρκετά από την περιοχή των χειλιών. Όμως, αξίζει να σημειωθεί ότι ούτε η μέθοδος του Otsu δίνει ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Συνεπώς, το πρόβλημα δεν φαίνεται να αντιμετωπίζεται επαρκώς με την χρήση ενός κατωφλίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

-
- 3.1 Ο χωρισμός σε άνω και κάτω χείλος
 - 3.2 Η κατωφλίωση και η δημιουργία των κατωφλίων
 - 3.3 Έλεγχος πολλών κατωφλίων με το κριτήριο της ζώνης
 - 3.4 Συνένωση των περιγραμμάτων σε ένα συνολικό περίγραμμα
 - 3.5 Ψευδοκώδικας μεθόδου ΕΠΚ
-

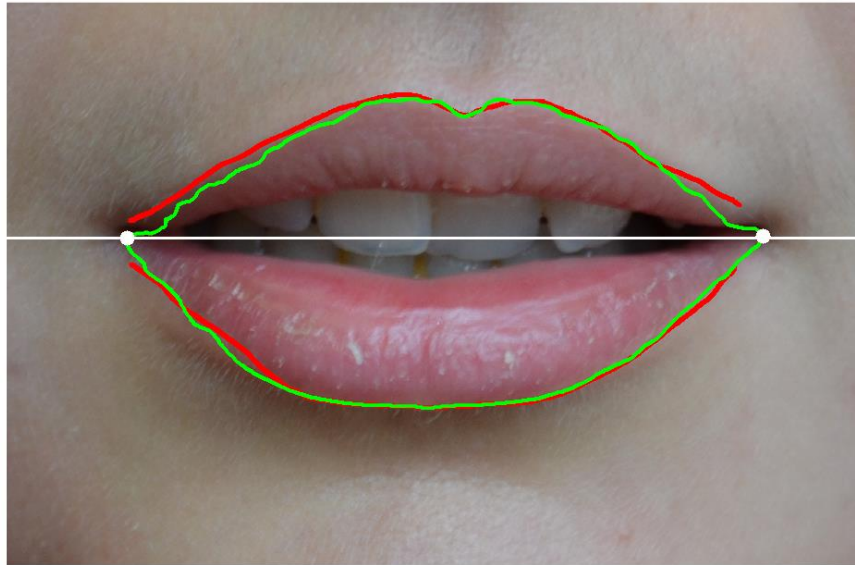
Όπως είδαμε ως τώρα, το πρόβλημα του εντοπισμού του περιγράμματος χειλιών σε πολλές περιπτώσεις δεν λύνεται ικανοποιητικά με την χρήση ενός κατωφλίου. Για αυτό τον λόγο προτείνουμε μια μέθοδο που βασίζεται στον έλεγχο πολλών κατωφλίων (ΕΠΚ).

3.1. Ο χωρισμός σε άνω και κάτω χείλος

Όπως φάνηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η αναζήτηση του περιγράμματος των χειλιών σε ολόκληρη την εικόνα του χείλους αποτελεί ένα δύσκολο πρόβλημα το οποίο δεν αποφέρει καλό αποτέλεσμα. Συνεπώς, χωρίσαμε την εικόνα σε δύο εικόνες οι οποίες περιλαμβάνουν το άνω και το κάτω χείλος αντίστοιχα και αναζητήσαμε την λύση σε κάθε εικόνα ξεχωριστά.

Αρχικά, μετατρέψαμε τον χρωματικό χώρο της εικόνας από RGB σε YIQ και επιλέξαμε την συνιστώσα Q. Ο τρόπος με τον οποίο χωρίσαμε την αρχική εικόνα σε άνω και κάτω χείλος έγινε με τη μέθοδο του Otsu την οποία εφαρμόσαμε στη συνιστώσα Q. Η εφαρμογή των μεθόδων που εξετάστηκαν μας υπέδειξε ότι καλύτερα αποτελέσματα στην αρχική εικόνα επέστρεφε η συγκεκριμένη μέθοδος συγκριτικά με τον αλγόριθμο των K-μέσων και τα Active contours. Ένα παράδειγμα αποτελεί η Εικόνα 5. Στη συγκεκριμένη εικόνα απεικονίζεται με πράσινο χρώμα το αποτέλεσμα που επέστρεψε η μέθοδος του Otsu και με κόκκινο το ιδανικό επιθυμητό αποτέλεσμα που σκοπεύουμε να πετύχουμε. Από το περίγραμμα που επιστρέφει η μέθοδος επιλέγουμε το δεξιότερο

$Corner_{right}$ και το αριστερότερο σημείο $Corner_{left}$. Τα σημεία αυτά παρουσιάζονται με λευκό χρώμα. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της νοητής ευθείας που ενώνει αυτά τα σημεία έγινε ο διαχωρισμός της εικόνας σε άνω και κάτω χείλος. Ύστερα από τη συγκεκριμένη διαδικασία, εργαστήκαμε χωριστά σε άνω και κάτω χείλος.



Εικόνα 5 Αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου Otsu

Με την ανάλυση του προβλήματος σε υποπροβλήματα καταφέραμε να πετύχουμε δύο βασικούς στόχους. Ο πρώτος ήταν η βελτίωση των αποτελεσμάτων του περιγράμματος του κάτω χείλους σε σχέση με παλαιότερες εκδόσεις της έρευνάς μας. Ο δεύτερος στόχος ήταν η εύρεση ικανοποιητικού περιγράμματος στο άνω χείλος.

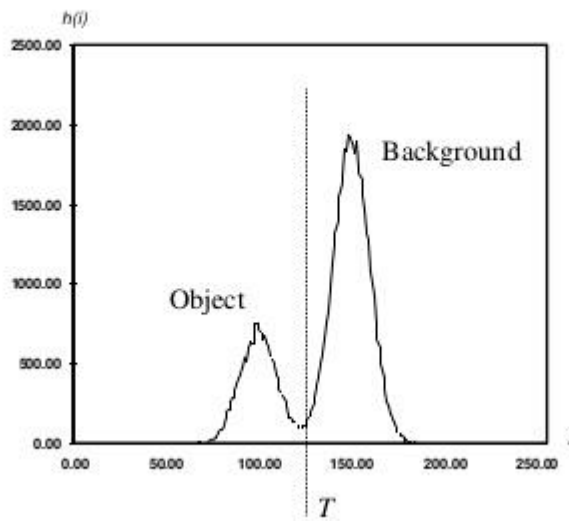
Συνεχίζοντας, η βασική ιδέα της μεθόδου ΕΠΚ ήταν η δημιουργία ενός συνόλου κατωφλίων με σκοπό την κατάτμηση της εικόνας και την εξαγωγή του περιγράμματος των χειλιών.

3.2. Η κατωφλίωση και η δημιουργία των κατωφλίων

Η κατωφλίωση μιας εικόνας [28], έχει κεντρική θέση στις εφαρμογές κατάτμησης εικόνας, εξαιτίας της διαισθητικότητάς της, της απλότητας που χαρακτηρίζει την υλοποίησή της και της ταχύτητας των υπολογισμών.

Υποθέτουμε πως το ιστόγραμμα έντασης της παρακάτω εικόνας, αντιστοιχεί σε μία εικόνα $f(x,y)$ που αποτελείται από φωτεινά αντικείμενα τα οποία βρίσκονται πάνω σε

ένα σκοτεινό υπόβαθρο, με τέτοιο τρόπο, ώστε τα εικονοστοιχεία των αντικειμένων και του υποβάθρου να έχουν τιμές έντασης οι οποίες να είναι ομαδοποιημένες σε δύο βασικές ομάδες.



Εικόνα 6 Διαχωρισμός αντικειμένου από το υπόβαθρο με κατωφλίωση

Ένας τρόπος εξαγωγής των αντικειμένων από το υπόβαθρο, είναι να επιλέξουμε ένα κατώφλι T που επιτρέπει το διαχωρισμό αυτών των ομάδων. Στην περίπτωση αυτή, το κάθε σημείο (x,y) της εικόνας στη θέση του οποίου είναι $f(x,y) < T$, ονομάζεται σημείο του αντικειμένου, ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι γνωστό ως σημείο του υποβάθρου. Με άλλα λόγια, η κατατημημένη εικόνα $g(x,y)$, περιγράφεται από την εξίσωση

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

Σκοπός μας είναι η εξαγωγή του αντικειμένου, δηλαδή των χειλιών, από το υπόβαθρο, δηλαδή την περιοχή του δέρματος. Αυτό συνεπάγεται ότι το κατώφλι αντιστοιχεί σε έναν τέτοιο διαχωρισμό ή αλλιώς σε ένα υποψήφιο περίγραμμα χειλιών.

3.2.1. Η πρώτη προσέγγιση της δημιουργίας κατωφλίων

Στην πρώτη προσέγγιση που χρησιμοποιήσαμε, το σύνολο των κατωφλίων είχε ως αρχή την χαμηλότερη φωτεινότητα της συνιστώσας Q της εικόνας και ως τέλος την υψηλότερη. Δηλαδή, ήταν της μορφής

$$thresholds = [\min(Q), \max(Q)]$$

Για τη δημιουργία του συνόλου των κατωφλίων χρησιμοποιήσαμε μια μεταβλητή βήματος $step$. Έστω $t_i \in thresholds$, για το t_i ισχύει

$$t_i = t_{i-1} + step$$

με

$$t_1 = \min(Q)$$

Οι τιμές που λάμβανε η μεταβλητή $step$ ποικίλουν. Ο λόγος είναι ότι οι μικρές τιμές προσέφεραν εξονυχιστικό έλεγχο των κατωφλίων και συνεπώς καλύτερα αποτελέσματα, από την άλλη οι μεγάλες τιμές προσέφεραν μικρότερο χρόνο ολοκλήρωσης του αλγορίθμου.

3.2.2. Η δεύτερη προσέγγιση της δημιουργίας κατωφλίων

Ύστερα από εφαρμογή των μεθόδων που εξετάσαμε παρατηρήσαμε ότι η μέθοδος του Otsu επέστρεφε καλά αποτελέσματα οπότε αποφασίσαμε να εκμεταλλευτούμε το κατώφλι που επιστρέφει η μέθοδος. Πιο συγκεκριμένα, το κατώφλι της μεθόδου Otsu ($Otsulevel$) αποτελεί το κέντρο του νέου συνόλου κατωφλίων και το εύρος του συνόλου ($range$) καθορίζεται από τον χρήστη. Συνεπώς το σύνολο των κατωφλίων ορίζεται ως

$$thresholds = [\minThreshold, \maxThreshold]$$

όπου

$$\minThreshold = Otsulevel - range * step$$

και

$$\maxThreshold = Otsulevel + range * step$$

Έστω $t_i \in thresholds$, για το t_i ισχύει

$$t_i = t_{i-1} + step$$

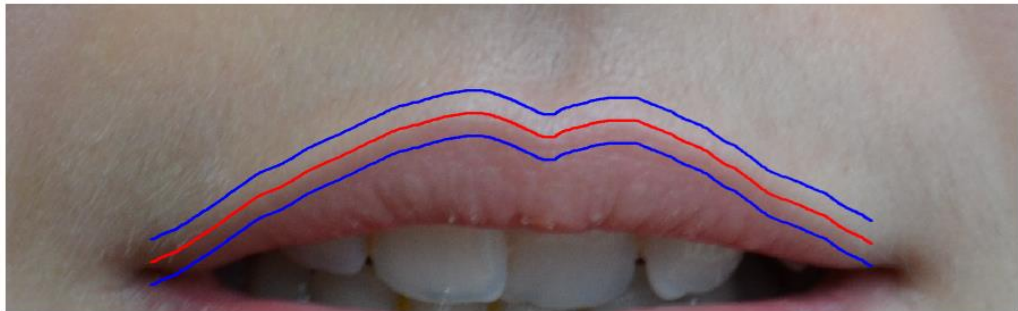
με

$$t_1 = \minThreshold$$

Τέλος, περιορίσαμε το μέγεθος του συνόλου $thresholds$ απορρίπτοντας προφανώς τις τιμές που είναι μικρότερες του $\min(Q)$ και μεγαλύτερες του $\max(Q)$.

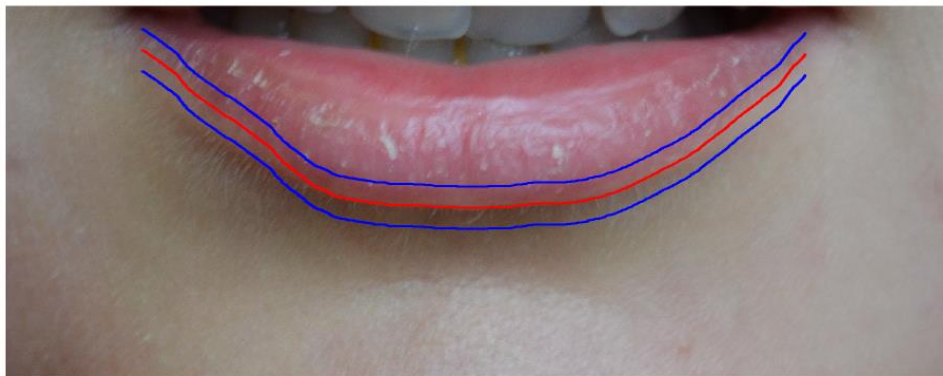
3.3. Έλεγχος πολλών κατωφλίων με το κριτήριο της ζώνης

Με σκοπό να αξιολογήσουμε την ποιότητα του περιγράμματος που προκύπτει για κάθε τιμή κατωφλίου ορίσαμε δύο ζώνες γύρω από το περίγραμμα. Πρόκειται για δύο περιοχές μήκους όσο το μήκος του υποψήφιου περιγράμματος και πλάτους ίσου με w εικονοστοιχεία. Η πρώτη ζώνη βρίσκεται πάνω από το υποψήφιο περίγραμμα και η δεύτερη από κάτω. Στόχος είναι να επιλεγεί το περίγραμμα για το οποίο οι φωτεινότητες των εικονοστοιχείων της πάνω ζώνης να διαφέρουν όσο το δυνατόν περισσότερο από τις φωτεινότητες της κάτω ζώνης.



Εικόνα 7 Τα όρια των δύο ζωνών (μπλε) του περιγράμματος (κόκκινο) του άνω χείλους

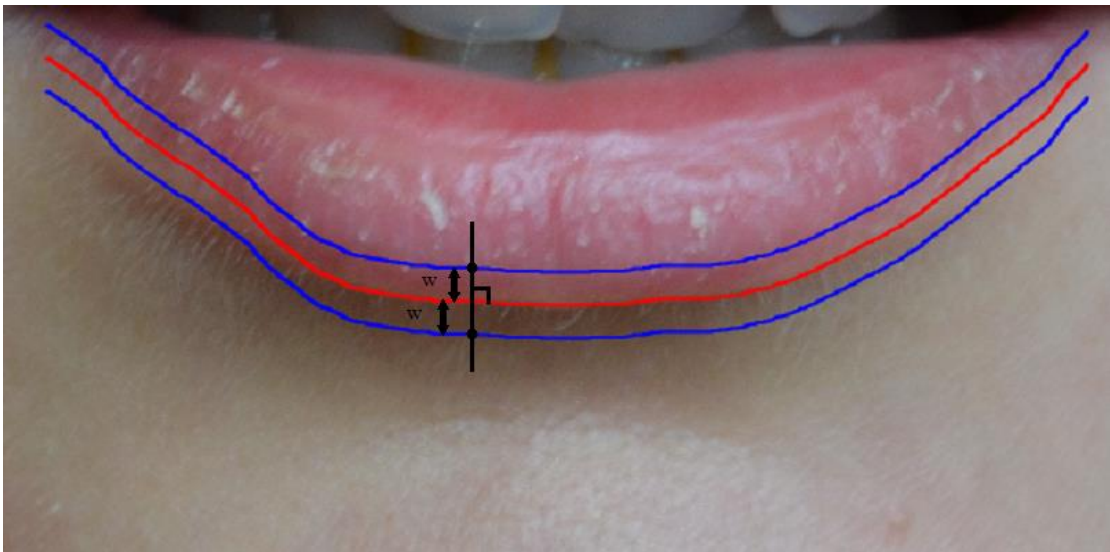
Στην Εικόνα 7 παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα το περίγραμμα που εξετάζουμε. Η πρώτη ζώνη που ορίζουμε έχει όρια από το κόκκινο περίγραμμα μέχρι το μπλε περίγραμμα που βρίσκεται στην πάνω πλευρά ενώ η δεύτερη ζώνη οριοθετείται από το κόκκινο περίγραμμα μέχρι το μπλε που βρίσκεται από κάτω της.



Εικόνα 8 Τα όρια των ζωνών (μπλε) του περιγράμματος (κόκκινο) του κάτω χείλους

Όμοια διαδικασία ακολουθούμε και στην περίπτωση του κάτω χείλους όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.

Για να δημιουργήσουμε τις παραπάνω ζώνες, για κάθε σημείο του περιγράμματος που εξετάζουμε φέρουμε την κάθετη στην καμπύλη στο συγκεκριμένο σημείο και επιλέγουμε w pixels πάνω από το περίγραμμα και w pixels κάτω από το περίγραμμα. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 9. Για ένα συγκεκριμένο σημείο του κόκκινου (υποψήφιου) περιγράμματος δημιουργήσαμε την μαύρη ευθεία (κάθετη) και σε απόσταση w πάνω και κάτω από το περίγραμμα οριοθετήσαμε με μαύρα σημεία τα όρια των δύο ζωνών. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για κάθε σημείο του κόκκινου (υποψήφιου) περιγράμματος και το αποτέλεσμα της είναι οι δύο ζώνες που περιεγράφηκαν παραπάνω.



Εικόνα 9 Δημιουργία των ζωνών πάνω και κάτω από το περίγραμμα

Έστω $strip_{up}$ ο πίνακας με τις φωτεινότητες των pixel της πάνω ζώνης και $strip_{down}$ ο πίνακας με τις φωτεινότητες των pixel της κάτω ζώνης. Έστω, επίσης, $x \in strip_{up}$ ένα pixel το οποίο βρίσκεται στη ζώνη $strip_{up}$ και $y \in strip_{down}$ ένα pixel το οποίο βρίσκεται στη ζώνη $strip_{down}$. Υπολογίζουμε την Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ κάθε ζεύγους pixel (x,y) των δύο πινάκων:

$$\delta(x, y) = (Q(x) - Q(y))^2$$

και στη συνέχεια, υπολογίζουμε τον μέσο όρο των παραπάνω διαφορών για όλα τα ζεύγη. Πιο συγκεκριμένα,

$$\Delta = \frac{1}{N} \sum_{x \in \text{strip}_{up}} \sum_{y \in \text{strip}_{down}} \delta(x, y)$$

Ή

$$\Delta = \frac{1}{N} \sum_{x \in \text{strip}_{up}} \sum_{y \in \text{strip}_{down}} (Q(x) - Q(y))^2$$

όπου, N είναι ο αριθμός των ζευγών (x, y) με $x \in \text{strip}_{up}$ και $y \in \text{strip}_{down}$.

Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται για κάθε υποψήφιο περίγραμμα i και ως αποτέλεσμα έχουμε ένα σύνολο από τιμές Δ_i . Το τελικό περίγραμμα προκύπτει επιλέγοντας το περίγραμμα για το οποίο το Δ_i είναι το μέγιστο, διότι έχει τη μέγιστη μέση διαφορά φωτεινότητας μεταξύ των pixels της πάνω και της κάτω ζώνης.

3.4. Συνένωση των περιγραμμάτων σε ένα συνολικό περίγραμμα

Με σκοπό να έχουμε ως τελικό αποτέλεσμα ένα συνολικό περίγραμμα των χειλιών ενώνουμε το άνω και το κάτω χείλος που δίνει ως αποτέλεσμα η μέθοδος ΕΠΚ. Προκειμένου να το επιτύχουμε αυτό αξιοποιήσαμε τα σημεία Corner_{right} και Corner_{left} τα οποία παρουσιάζονται με λευκό χρώμα στην Εικόνα 10. Πρόκειται για τα σημεία που χρησιμοποιήσαμε στο πρώτο στάδιο της μεθόδου για να χωρίσουμε την εικόνα σε δύο εικόνες, άνω και κάτω χείλους. Η συνένωση πραγματοποιείται σε δύο βήματα όπου στο πρώτο ενώνουμε τα δεξιά σημεία των περιγραμμάτων του άνω και του κάτω χείλους με το δεξί άκρο ενώ στο δεύτερο εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία για το αριστερό άκρο.



Εικόνα 10 Τα περιγράμματα του άνω και του κάτω χείλους και τα σημεία διέλευσης

Η διαδικασία συνένωσης υλοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός πολυωνύμου το οποίο προσαρμόζεται στα σημεία των περιγραμμάτων και διέρχεται υποχρεωτικά από το ένα άκρο. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι ένα ενιαίο συνολικό περίγραμμα των χειλιών όπως φαίνεται και στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11 Αποτέλεσμα συνένωσης των περιγραμμάτων άνω και κάτω χείλους

3.5. Ψευδοκώδικας μεθόδου ΕΠΚ

Η μέθοδος μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

Είσοδος: RGB εικόνα Im_{RGB} διάστασης $M \times N$

Έξοδος: Περίγραμμα χειλιών $Contour_{final}$

1. Διόρθωση φωτισμού οριζόντιας κλίσης στην εικόνα εισόδου Im_{RGB} .
2. Μετατροπή του χρωματικού χώρου της εικόνας Im_{RGB} από RGB σε YIQ και επιλογή της Q συνιστώσας (Im).
3. Εφαρμογή της μεθόδου του Otsu στην εικόνα Im . Αποτέλεσμα της διαδικασίας ένα κατώφλι $Otsulevel$.
4. Διαχωρισμός των τμημάτων της εικόνας Im_Q με βάση το κατώφλι $Otsulevel$. Αποτέλεσμα είναι μια εικόνα δυαδικής μορφής Im_{binary} .
5. Με τη βοήθεια του αλγορίθμου Moore-Neighbor λαμβάνουμε το περίγραμμα $Contour_{total}$ από την εικόνα Im_{binary} .

6. Από το περίγραμμα $\text{Contour}_{\text{total}}$ παίρνουμε το δεξιότερο $\text{Corner}_{\text{right}}$ και το αριστερότερο σημείο $\text{Corner}_{\text{left}}$. Με τη βοήθεια της ευθείας που ενώνει αυτά τα δύο σημεία χωρίζουμε την εικόνα ImRGB σε άνω χείλος ImRGB_{up} και κάτω χείλος $\text{ImRGB}_{\text{low}}$.

7. Για κάθε εικόνα $\text{Im}_i \in \{\text{Im}_{\text{up}}, \text{Im}_{\text{low}}\}$:

a. Υπολογίζεται το σύνολο κατώφλιων thresholds_i που θα εξεταστούν:

i. Μετατροπή του χρωματικού χώρου της εικόνας από RGB σε YIQ και δημιουργία εικόνας Q.

ii. Στην εικόνα Q εφαρμόζεται η μέθοδος του Otsu και ως αποτέλεσμα προκύπτει ένα κατώφλι Otsulevel .

iii. Δημιουργία συνόλου κατώφλιων thresholds

$$\text{thresholds} = [\text{minThreshold}, \text{maxThreshold}]$$

όπου

$$\text{minThreshold} = \text{Otsulevel} - \text{range} * \text{step}$$

και

$$\text{maxThreshold} = \text{Otsulevel} + \text{range} * \text{step}$$

Από το σύνολο thresholds απορρίπτονται οι τιμές που είναι μεγαλύτερες από το $\max(Q)$ και μικρότερες από το $\min(Q)$.

b. Για κάθε κατώφλι $t_i \in \text{thresholds}$

i. Δημιουργείται μια ζώνη strip_{up} πάνω από το πιθανό περίγραμμα και μια από κάτω $\text{strip}_{\text{down}}$ μεγέθους w εικονοστοιχείων.

ii. Για κάθε εικονοστοιχείο $x \in \text{strip}_{\text{up}}$ της ζώνης strip_{up} υπολογίζεται η Ευκλείδεια απόσταση από κάθε εικονοστοιχείο $y \in \text{strip}_{\text{down}}$ της ζώνης $\text{strip}_{\text{down}}$. Δηλαδή,

$$\delta(x, y) = (Q(x) - Q(y))^2.$$

iii. Υπολογισμός του μέσου όρου των αποστάσεων

$$\Delta_i = \frac{1}{N} \sum_{x \in \text{strip}_{\text{up}}} \sum_{y \in \text{strip}_{\text{down}}} \delta(x, y)$$

c. Επιλέγεται το περίγραμμα $\text{Contour}_{\text{final}}$ με $\max(\Delta_i)$.

8. Συνένωση των περιγραμμάτων του άνω χείλους $\text{Contour}_{\text{final_up}}$ και του κάτω χείλους $\text{Contour}_{\text{final_low}}$ με τη βοήθεια των σημείων $\text{Corner}_{\text{left}}$ και $\text{Corner}_{\text{right}}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

-
- 4.1 Περιγραφή της βάσης των εικόνων με ground truth
 - 4.2 Απόσταση Hausdorff
 - 4.3 Ο χωρισμός σε άνω και κάτω χείλος
 - 4.4 Πειραματική αξιολόγηση της μεθόδου των πολλών κατωφλίων
 - 4.5 Ενδεικτικά αποτελέσματα
-

4.1. Περιγραφή της βάσης των εικόνων με ground truth

Προκειμένου να αξιολογήσουμε τις μεθόδους χρησιμοποιήσαμε εικόνες με περιγράμματα (ground truth) τα οποία ορίστηκαν χειρωνακτικά. Πρόκειται για δύο σετ χαρακτηρισμένων εικόνων ανάλυσης περίπου 1600×900 εικονοστοιχείων. Το πρώτο σετ αποτελείται από 30 εικόνες νέων ατόμων χωρίς παθολογίες ενώ από την άλλη το δεύτερο σετ περιλαμβάνει 57 εικόνες ηλικιωμένων ατόμων με πιθανή ακτινική χειλίτιδα οι οποίες ελήφθησαν στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Ιωαννίνων. Στη δεύτερη περίπτωση επειδή ήταν πολύ δύσκολος ο χαρακτηρισμός των εικόνων, πραγματοποιήθηκε από ειδικούς δερματολόγους.

Η υλοποίηση των μεθόδων έγινε σε Matlab και η εκτέλεση σε υπολογιστή με τετραπύρηνο επεξεργαστή χρονοσμένο στα 2.6GHz και 4GB μνήμης RAM. Επίσης, πριν την επεξεργασία έγινε σμίκρυνση των εικόνων ώστε να έχουν μέγεθος περίπου 900×500 εικονοστοιχεία.

Μερικά ενδεικτικά παραδείγματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12 Ενδεικτικές χαρακτηρισμένες εικόνες (ground truth) ηλικιωμένων και νέων ατόμων

4.2. Απόσταση Hausdorff

Με σκοπό να αξιολογήσουμε την ποιότητα των αποτελεσμάτων των μεθόδων υπολογίσαμε την απόσταση Hausdorff κάθε περιγράμματος από το ground truth.

Η απόσταση Hausdorff [31] υπολογίζει πόσο απέχουν μεταξύ τους δύο σύνολα σημείων ενός μετρικού χώρου. Η βασική ιδέα είναι ότι, δύο σύνολα σημείων είναι κοντά, σύμφωνα με την απόσταση Hausdorff, αν κάθε σημείο από κάθε σύνολο βρίσκεται κοντά σε κάποιο σημείο του άλλου συνόλου.

Έστω δύο σύνολα από σημεία C και G τα οποία αποτελούν καμπύλες. Ορίζουμε ως απόσταση Hausdorff $H(C,G)$:

$$H(C, G) = \max(h_{avg}(C, G), h_{avg}(G, C))$$

όπου

$$h_{avg}(C, G) = \frac{1}{|C|} \sum_{c \in C} \min_{g \in G} \|c - g\|$$

$$h_{avg}(G, C) = \frac{1}{|G|} \sum_{g \in G} \min_{c \in C} \|g - c\|$$

Η μετρική που χρησιμοποιήσαμε είναι η Ευκλείδεια απόσταση και το $|C|$ είναι το πλήθος των στοιχείων του συνόλου C . Η Hausdorff απόσταση είναι ένα εύχρηστο μέτρο το οποίο χρησιμοποιείται στην υπολογιστική όραση με σκοπό τον προσδιορισμό του βαθμού ομοιότητας μεταξύ δύο αντικειμένων τα οποία είτε συμπίπτουν είτε βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Μεταξύ των πολλών παραλλαγών της απόστασης Hausdorff, η παραλλαγή του μέσου όρου έχει αναφερθεί ως μια αποτελεσματική

μετρική στις εφαρμογές επεξεργασίας εικόνας, καθώς μειώνει την επίδραση των ακραίων τιμών.

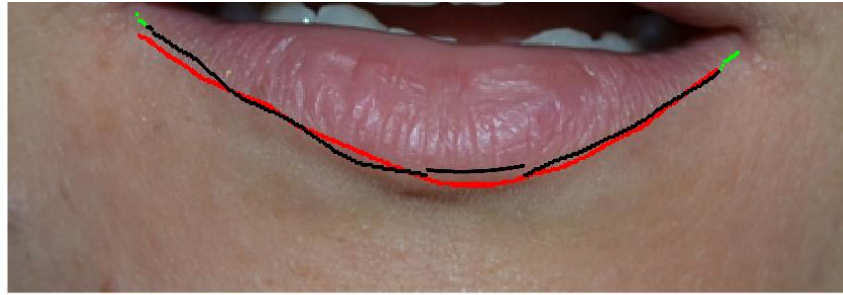
Ένα παράδειγμα χρήσης της μετρικής Hausdorff παρουσιάζει η Εικόνα 13. Με μαύρο χρώμα παρουσιάζεται το περίγραμμα το οποίο έχει βρει κάποια μέθοδος ενώ με κόκκινο χρώμα το πραγματικό περίγραμμα των χειλιών που επιθυμούμε να προσεγγίσει η μέθοδος. Στην αριστερή εικόνα, όπου έχουμε μια καλή προσέγγιση του περιγράμματος του κάτω χείλους παρατηρούμε ότι η τιμή της Hausdorff είναι περίπου 0.18. Ενώ, στην ίδια εικόνα έχουμε κακή προσέγγιση του περιγράμματος του πάνω χείλους με τιμή Hausdorff 3.28. Η δεξιά εικόνα η οποία περιλαμβάνει καλή προσέγγιση τόσο του πάνω όσο και του κάτω χείλους έχει τιμή Hausdorff μικρότερη του 0.2. Συνεπώς, η μετρική Hausdorff αποτελεί μια αρκετά αξιόπιστη μετρική στον υπολογισμό της απόστασης δύο περιγραμμάτων χειλιών αφού οι καλές προσεγγίσεις λαμβάνουν αρκετά χαμηλές τιμές (κοντά στο 0), ενώ οι κακές προσεγγίσεις υψηλές τιμές.



Εικόνα 13 Τιμές της μετρικής Hausdorff για κακή και καλή προσέγγιση του περιγράμματος

Είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί ότι το μήκος του περιγράμματος του ground truth είχε διαφορά από τα περιγράμματα των μεθόδων. Η διαφορά αυτή επηρέαζε την μετρική Hausdorff και τα αποτελέσματα δεν ήταν αντικειμενικά. Για το λόγο αυτό προσαρμόσαμε το περίγραμμα των μεθόδων με βάση το ground truth. Στην Εικόνα 14 με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται το ground truth περίγραμμα, με μαύρο το

αποτέλεσμα του αλγορίθμου ενώ με πράσινο η διαφορά των δύο περιγραμμάτων η οποία αφαιρέθηκε.



Εικόνα 14 Προσαρμογή περιγράμματος μεθόδου με βάση το ground truth

4.3. Ο χωρισμός σε άνω και κάτω χείλος

Η εφαρμογή των αλγορίθμων Otsu, K-μέσων ($K=2$) και Active contours (μέθοδος Chan-Vese, 100 επαναλήψεις) στα σύνολα δεδομένων είχε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2. Ο πρώτος πίνακας περιλαμβάνει τα αποτελέσματα (μέσες τιμές της απόστασης από το ground truth) για το σύνολο δεδομένων με εικόνες νέων ατόμων ενώ ο δεύτερος πίνακας για το σύνολο δεδομένων ηλικιωμένων ατόμων.

Εικόνες νέων ατόμων

Πίνακας 1 Αποτελέσματα της εφαρμογής των μεθόδων σε ολόκληρο το χείλος και ξεχωριστά σε άνω και κάτω χείλος νέων ατόμων

	Ολόκληρο χείλος	Άνω χείλος	Κάτω χείλος
Otsu	3.969	0.677	0.337
K-Means	8.416	0.781	0.325
Active contours	7.927	0.754	0.316

Όπως φαίνεται ξεκάθαρα στον Πίνακα 1 και στις τρεις περιπτώσεις η μετρική έχει αρκετά υψηλότερη τιμή στην περίπτωση ολόκληρου του χείλους σε σχέση με το άνω και το κάτω ξεχωριστά. Συνεπώς, ο διαχωρισμός της εικόνας σε άνω και κάτω χείλος δίνει καλύτερα αποτελέσματα.

Εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

Πίνακας 2 Αποτελέσματα της εφαρμογής των μεθόδων σε ολόκληρο το χείλος και ξεχωριστά σε άνω και κάτω χείλος ηλικιωμένων ατόμων

	Ολόκληρο χείλος	Άνω χείλος	Κάτω χείλος
Otsu	3.747	0.596	0.611
K-Means	9.525	1.465	0.999
Active contours	11.714	1.374	1.063

Ανάλογα αποτελέσματα προκύπτουν και για το σύνολο δεδομένων με φωτογραφίες ηλικιωμένων ατόμων. Η Hausdorff του άνω και του κάτω χείλους είναι μικρότερη συγκριτικά με ολόκληρο το χείλος.

Τα τελικά συμπεράσματα των παραπάνω πειραμάτων είναι ότι:

- ο χωρισμός σε άνω και κάτω χείλος βοηθάει στην καλύτερη επίλυση του προβλήματος
- η καλύτερη από τις τρεις τεχνικές είναι η μέθοδος του Otsu

4.4. Πειραματική αξιολόγηση της μεθόδου των πολλών κατωφλίων

Με σκοπό να αξιολογήσουμε τη μέθοδο ΕΠΚ διενεργήσαμε πειράματα για διάφορες τιμές των παραμέτρων *step* και *range*. Επιπλέον, συγκρίναμε τις επιδόσεις της μεθόδου ΕΠΚ με αυτές της μεθόδου του Otsu.

4.4.1. Αξιολόγηση των παραμέτρων step και range της μεθόδου ΕΠΚ

Μεγάλο ενδιαφέρον στην αναζήτηση του βέλτιστου περιγράμματος παρουσιάζει ο ορισμός του συνόλου των κατωφλίων *thresholds*. Να υπενθυμίσουμε ότι το σύνολο των κατωφλίων εξαρτάται άμεσα από το κατώφλι που επιστρέφει η μέθοδος του Otsu καθώς και από τις παραμέτρους *range* και *step*. Στους Πίνακες 3,4,5 και 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου για διάφορες τιμές των παραμέτρων *range* και *step* για τις εικόνες των νέων και ηλικιωμένων ατόμων. Τα αποτελέσματα είναι μέσες τιμές της απόστασης Hausdorff μεταξύ της λύσης και του *ground truth*. Να σημειωθεί ότι η μέθοδος ΕΠΚ εφαρμόστηκε με πλάτος ζώνης $w = 7$ εικονοστοιχεία.

Τέλος, να τονίσουμε ότι για $\text{range} = 0$ τα αποτελέσματα της μεθόδου αντιστοιχούν στα αποτελέσματα της μεθόδου του Otsu.

Εικόνες νέων ατόμων

Πίνακας 3 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.001 και διάφορες τιμές του range σε εικόνες νέων ατόμων

range	Άνω χείλος	Κάτω χείλος
0 (Otsu)	0.677	0.337
2	0.620	0.327
4	0.571	0.324
8	0.475	0.322
10	0.439	0.313
12	0.438	0.313
16	0.417	0.298

Πίνακας 4 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.002 και διάφορες τιμές του range σε εικόνες νέων ατόμων

range	Άνω χείλος	Κάτω χείλος
0 (Otsu)	0.677	0.337
2	0.581	0.333
4	0.474	0.322
8	0.418	0.304
10	0.399	0.305

Εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

Πίνακας 5 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.001 και διάφορες τιμές του range σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

range	Άνω χείλος	Κάτω χείλος
0 (Otsu)	0.596	0.611

2	0.591	0.588
4	0.581	0.585
8	0.603	0.592
10	0.633	0.621
12	0.601	0.642
16	0.615	0.661

Πίνακας 6 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.002 και διάφορες τιμές του range σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

range	Άνω χείλος	Κάτω χείλος
0 (Otsu)	0.596	0.611
2	0.581	0.582
4	0.594	0.596
8	0.606	0.665
10	0.886	0.692

Όπως παρατηρούμε βέλτιστα αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ, τόσο σε ηλικιωμένα όσο και σε νέα άτομα, προκύπτουν με τιμές των παραμέτρων step = 0.002 και range = 4. Επίσης, ικανοποιητικά αποτελέσματα, πολύ κοντινά στο βέλτιστο, δίνει η μέθοδος ΕΠΚ για τιμές παραμέτρων step = 0.001 και range = 8. Ακόμα, όπως παρατηρούμε η μέθοδος ΕΠΚ με τιμές παραμέτρων step = 0.002 και range = 4 συγκριτικά με την μέθοδο του Otsu δίνει βελτιωμένα αποτελέσματα για την περίπτωση των ηλικιωμένων ατόμων, ενώ μεγαλύτερη βελτίωση παρατηρείται στην περίπτωση των νέων ατόμων.

4.4.2. Αξιολόγηση της παραμέτρου w της μεθόδου ΕΠΚ

Μια δευτερεύουσα παράμετρος της μεθόδου ΕΠΚ είναι το πλάτος w της ζώνης. Στους Πίνακες 7 και 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για διάφορες τιμές της παραμέτρου w με τιμές παραμέτρων step = 0.002 και range = 4.

Εικόνες νέων ατόμων

Πίνακας 7 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για διάφορες τιμές πλάτους ζώνης w σε εικόνες νέων ατόμων

w	Άνω χείλος	Κάτω χείλος
3	0.595	0.361
5	0.491	0.324
7	0.474	0.322
9	0.482	0.329

Εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

Πίνακας 8 Αποτελέσματα της μεθόδου ΕΠΚ για διάφορες τιμές πλάτους ζώνης w σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

w	Άνω χείλος	Κάτω χείλος
3	0.701	0.594
5	0.607	0.601
7	0.594	0.596
9	0.607	0.597

Είναι προφανές ότι η μέθοδος ΕΠΚ προσεγγίζει καλύτερα το περίγραμμα τόσο του άνω όσο και του κάτω χείλους για πλάτος ζώνης $w = 7$ εικονοστοιχεία τόσο στην περίπτωση των νέων όσο και των ηλικιωμένων ατόμων.

4.4.3. Ταχύτητα εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ

Εκτός από την ποιότητα του εξαγόμενου περιγράμματος πολύ σημαντική παράμετρος μιας μεθόδου αποτελεί και ο χρόνος εκτέλεσης. Ιδιαίτερο ρόλο στον χρόνο εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ διαδραματίζουν οι παράμετροι *step* και *range* οι οποίες δημιουργούν το σύνολο κατωφλίων. Για διάφορες τιμές των παραμέτρων *step* και *range* τα

αποτελέσματα παραθέτονται στους Πίνακες 9, 10, 11 και 12. Να σημειωθεί ότι στα παρακάτω πειράματα η παράμετρος του πλάτους της ζώνης ήταν $w = 7$ εικονοστοιχεία.

Εικόνες νέων ατόμων

Πίνακας 9 Μέσος χρόνος εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.001 σε εικόνες νέων ατόμων

range	Μέσος χρόνος εκτέλεσης (sec)
0 (Otsu)	0.41
2	1.91
4	3.37
8	6.53
10	7.97
12	9.61
16	12.67

Πίνακας 10 Μέσος χρόνος εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.002 σε εικόνες νέων ατόμων

range	Μέσος χρόνος εκτέλεσης (sec)
0 (Otsu)	0.41
2	1.86
4	3.48
8	6.35
10	7.79

Περίπτωση ηλικιωμένων ατόμων

Πίνακας 11 Μέσος χρόνος εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.001 σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

range	Μέσος χρόνος εκτέλεσης (sec)
0 (Otsu)	0.41

2	1.96
4	3.33
8	6.22
10	7.51
12	8.85
16	11.61

Πίνακας 12 Μέσος χρόνος εκτέλεσης της μεθόδου ΕΠΚ για step 0.002 σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

range	Μέσος χρόνος εκτέλεσης (sec)
0 (Otsu)	0.41
2	1.77
4	3.19
8	5.73
10	6.85

Όπως γίνεται εμφανές από όλες τις περιπτώσεις όσο πιο μεγάλη είναι η παράμετρος range, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το σύνολο κατωφλίων, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος εκτέλεσης. Επιπλέον, όσο πιο εξονυχιστικός είναι ο έλεγχος του συνόλου των κατωφλίων τόσο αυξάνεται ο χρόνος ολοκλήρωσης της μεθόδου. Δηλαδή, η παράμετρος step είναι αντιστρόφως ανάλογη του χρόνου. Στόχος είναι η επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων ώστε η μέθοδος να αποδίδει το καλύτερο αποτέλεσμα στον λιγότερο δυνατό χρόνο. Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα οι παράμετροι step = 0.002 και range = 4 δίνουν το καλύτερο αποτέλεσμα. Συγκριτικά με άλλες τιμές των παραμέτρων, όπως για παράδειγμα step = 0.001 και range = 8, είναι ιδανικότερες επειδή έχουν μικρότερο χρόνο εκτέλεσης.

4.4.4. Ταχύτητα εκτέλεσης όλων των μεθόδων

Ένας ακόμα έλεγχος της επίδοσης της μεθόδου ΕΠΚ είναι η σύγκριση με τις μεθόδους Active contours, K-μέσων και Otsu σχετικά με τον χρόνο εκτέλεσης. Ο μέσος χρόνος εκτέλεσης κάθε μεθόδου παρουσιάζεται στους Πίνακες 13 και 14.

Περίπτωση νέων ατόμων

Πίνακας 13 Μέσος χρόνος εκτέλεσης όλων των μεθόδων σε εικόνες νέων ατόμων

Μέθοδος	Μέσος χρόνος εκτέλεσης (sec)
Active contours	2.83
K-μέσων	3.55
Otsu	0.40
ΕΠΚ (range=4, step=0.002, w=7)	3.48

Περίπτωση ηλικιωμένων ατόμων

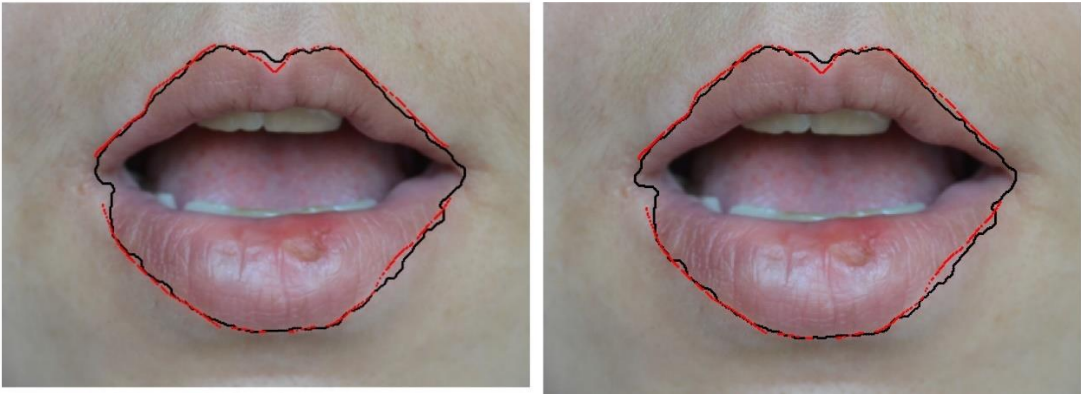
Πίνακας 14 Μέσος χρόνος εκτέλεσης όλων των μεθόδων σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

Μέθοδος	Μέσος χρόνος περαίωσης (sec)
Active contours	2.57
K-μέσων	2.83
Otsu	0.41
ΕΠΚ (range=4, step=0.002, w=7)	3.19

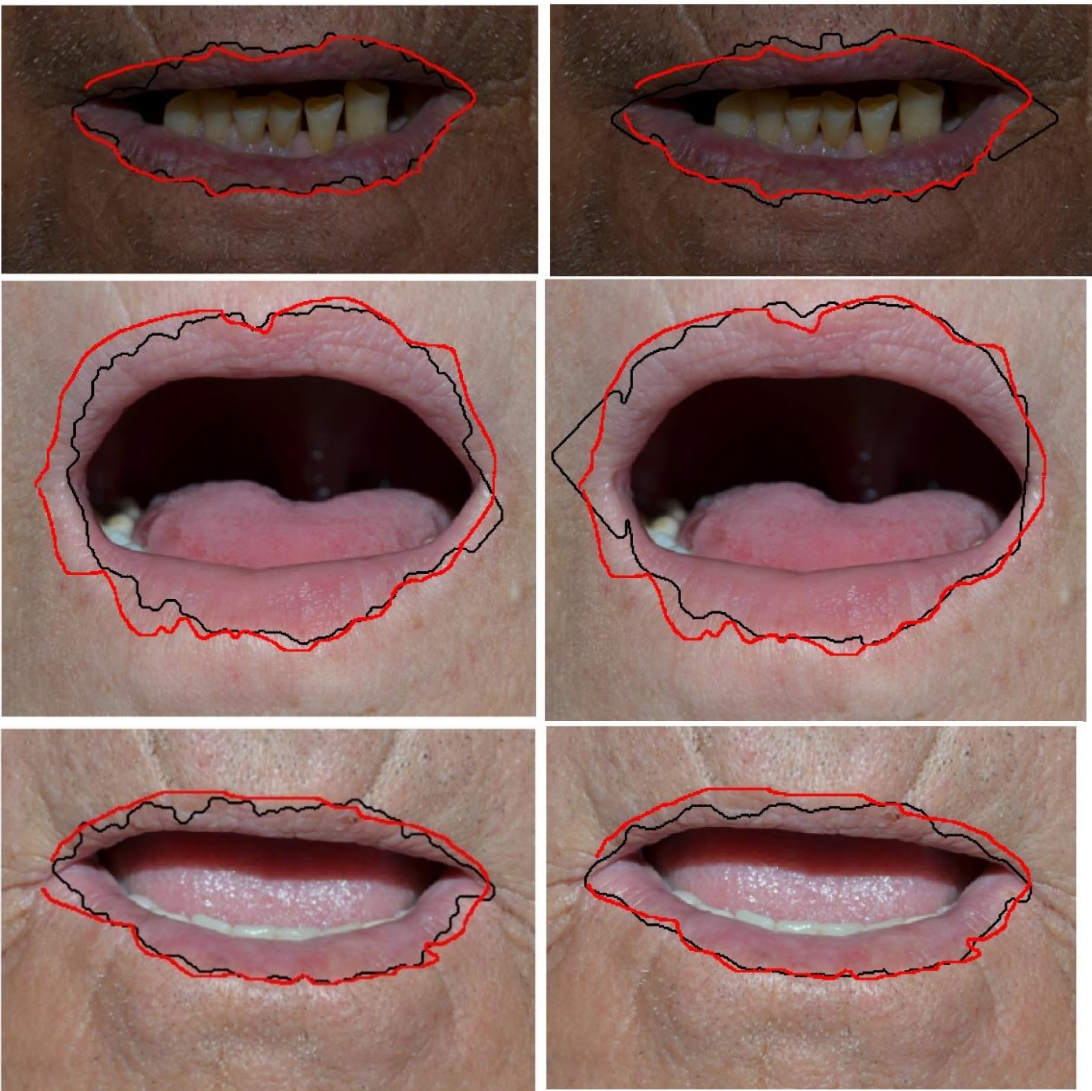
Συνοψίζοντας, η μέθοδος ΕΠΚ επιστρέφει τα βέλτιστα αποτελέσματα για τιμές των παραμέτρων $step = 0.002$, $range = 4$ και $w = 7$. Με αυτές τις παραμέτρους η μέθοδος ΕΠΚ υπολογίζει καλύτερα το άνω χείλος και βελτιώνει ελάχιστα το κάτω συγκριτικά με την μέθοδο κατωφλίωσης του Otsu, στην περίπτωση των νέων ατόμων. Στις εικόνες των ηλικιωμένων ατόμων παρατηρείται ότι η μέθοδος ΕΠΚ προσεγγίζει καλύτερα τόσο το άνω όσο και το κάτω χείλος σε σχέση με την μέθοδο του Otsu, όμως η διαφορά δεν είναι μεγάλη. Τέλος, όσον αφορά το υπολογιστικό κόστος κάθε μεθόδου, ταχύτερη αναδεικνύεται η μέθοδος του Otsu ενώ τελευταία βρίσκεται η μέθοδος ΕΠΚ.

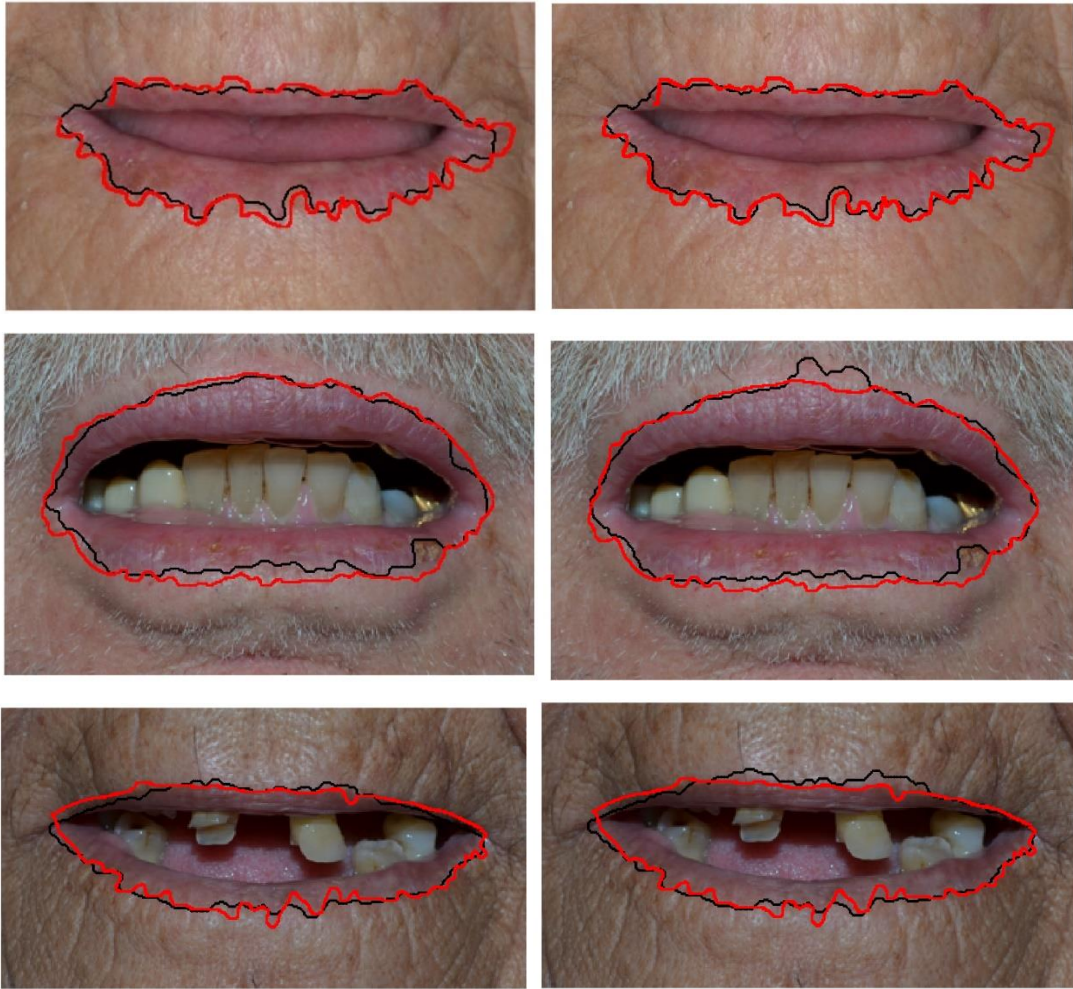
4.5. Ενδεικτικά αποτελέσματα





Εικόνα 15 Ενδεικτικά αποτελέσματα των μεθόδων ΕΠΚ και κατωφλίωσης του Otsu σε εικόνες νέων ατόμων





Εικόνα 16 Ενδεικτικά αποτελέσματα των μεθόδων ΕΠΚ και κατωφλίωσης του Otsu σε εικόνες ηλικιωμένων ατόμων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΧΕΙΛΟΥΣ ΣΕ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ ΒΙΝΤΕΟ

5.1 Πρώτη προσέγγιση

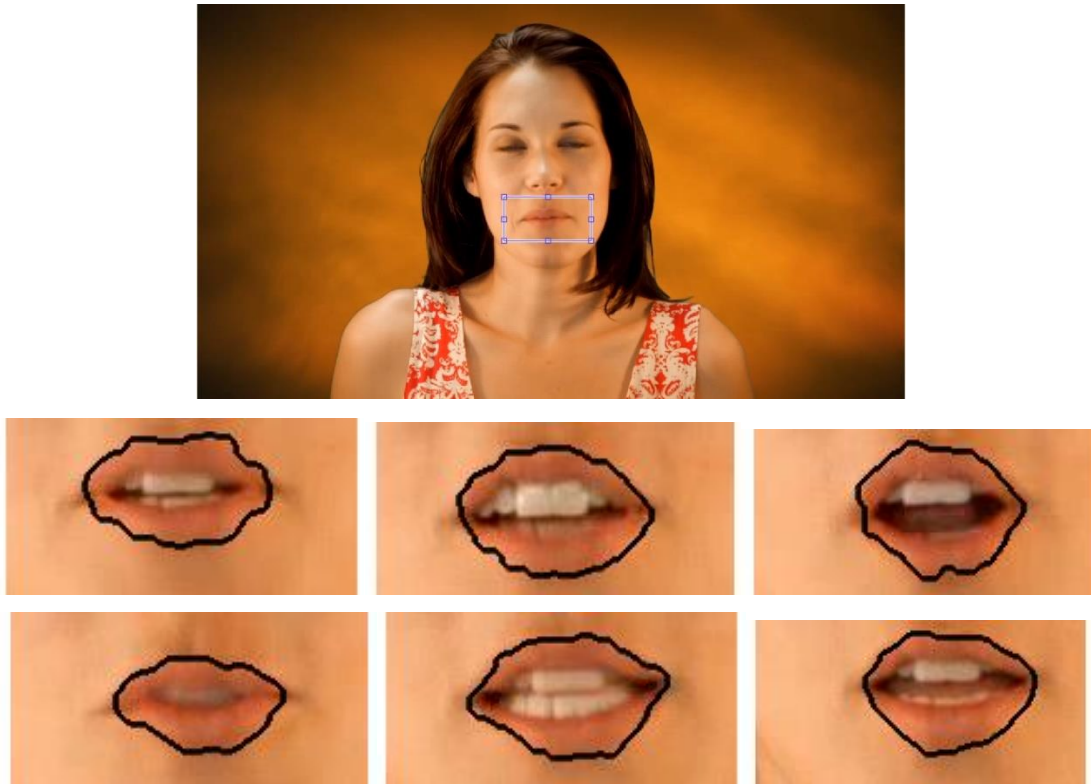
5.2 Δεύτερη προσέγγιση

Για την εξαγωγή του περιγράμματος χείλους από ακολουθίες βίντεο υλοποιήθηκαν δύο προσεγγίσεις.

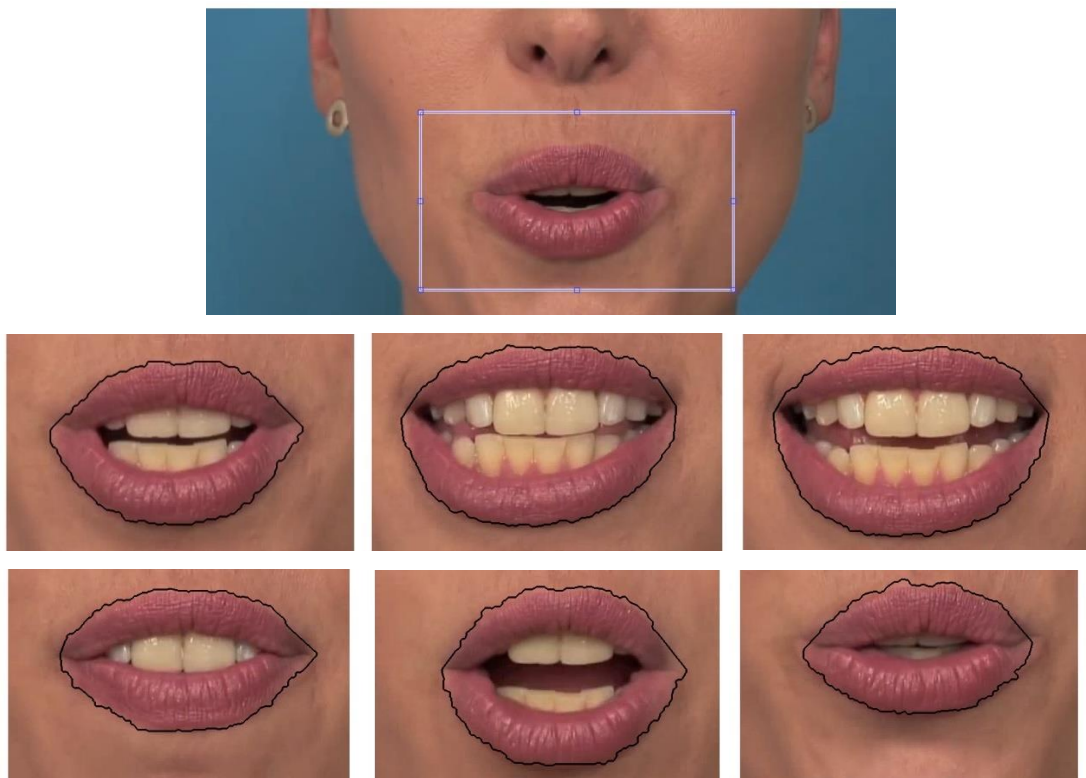
5.1. Πρώτη προσέγγιση

Ο πρώτος τρόπος που εφαρμόσαμε την μέθοδο ΕΠΚ σε ακολουθίες βίντεο ξεκινούσε επιλέγοντας την περιοχή του στόματος στην οποία επιθυμούμε να ανιχνεύσουμε τα χείλη με παραμέτρους της μεθόδου $step = 0.001$ και $range = 8$. Στη συνέχεια, για κάθε frame του βίντεο, στη συγκεκριμένη περιοχή που επελέγη, εφαρμοζόταν η μέθοδος ΕΠΚ. Η επιλεγμένη περιοχή μετατοπιζόταν σε ενδεχόμενες μετακινήσεις του κεφαλιού με βάση την απόσταση των άκρων των χειλιών από τα όρια της περιοχής. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι η καθυστέρηση στην ολοκλήρωση της διαδικασίας. Ο λόγος είναι ότι η μέθοδος είναι αργή συνεπώς η εφαρμογή του σε κάθε frame του βίντεο απαιτεί αρκετό χρόνο. Από την άλλη πλευρά, η συγκεκριμένη προσέγγιση έχει ακριβή αποτελέσματα.

Στις Εικόνες 17,18 και 19 παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου.



Εικόνα 17 Αποτελέσματα της πρώτης προσέγγισης σε γυναικεία χείλη



Εικόνα 18 Αποτελέσματα της πρώτης προσέγγισης στο ήμισυ του προσώπου



Εικόνα 19 Αποτελέσματα της πρώτης προσέγγισης σε αντρικά χείλη

5.2. Δεύτερη προσέγγιση

5.2.1. Αλγόριθμος Kanade-Lucas-Tomasi

Στην υπολογιστική όραση ο αλγόριθμος Kanade–Lucas–Tomasi (KLT) [32] χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση αντικειμένων (tracking). Προτείνεται κυρίως για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα ότι οι παραδοσιακές τεχνικές υπέρθεσης εικόνας (image registration) είναι γενικά δαπανηρές.

Το πρόβλημα της υπέρθεσης εικόνας μπορεί να αναλυθεί ως εξής:

Έστω δύο συναρτήσεις $F(x)$ και $G(x)$, οι οποίες αναπαριστούν τιμές pixel στο σημείο x σε δύο εικόνες, όπου x ένα διάνυσμα. Στόχος είναι η εύρεση ενός διανύσματος μετατόπισης h το οποίο ελαχιστοποιεί κάποιο μέτρο της διαφοράς μεταξύ $F(x+h)$ και $G(x)$, για x σε κάποια περιοχή ενδιαφέροντος R .

5.2.1.1. Μονοδιάστατη περίπτωση

Αν h είναι η μετατόπιση μεταξύ δύο εικόνων $F(x)$ και $G(x)=F(x+h)$ τότε με βάση την προσέγγιση:

$$F'(x) \approx \frac{F(x+h) - F(x)}{h} = \frac{G(x) - F(x)}{h}$$

προκύπτει ότι

$$h \approx \frac{G(x) - F(x)}{F'(x)}$$

Αυτή η προσέγγιση είναι ακριβής μόνο αν η μετατόπιση της τοπικής περιοχής μεταξύ των δύο εικόνων δεν είναι πολύ μεγάλη. Η προσέγγιση του h εξαρτάται από το x . Για τον συνδυασμό των διαφόρων εκτιμήσεων του h για διάφορες θέσεις του x χρησιμοποιείται ο μέσος όρος και προκύπτει:

$$h \approx \frac{\sum_x \frac{G(x) - F(x)}{F'(x)}}{\sum_x 1}$$

Ο μέσος όρος μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με τη στάθμιση της συνεισφοράς κάθε όρου σε αυτό, ο οποίος είναι αντιστρόφως ανάλογος προς την εκτίμηση του x , όπου

$$F''(x) \approx \frac{G'(x) - F'(x)}{h}$$

Για την απλοποίηση της έκφρασης ορίζεται μια συνάρτηση βάρους

$$w(x) = \frac{1}{|G'(x) - F'(x)|}$$

Συνεπώς,

$$h = \frac{\sum_x \frac{w(x)[G(x) - F(x)]}{F'(x)}}{\sum_x w(x)}$$

Έχοντας λάβει αυτή την εκτίμηση, μπορούμε να μετακινήσουμε την $F(x)$ σύμφωνα με την εκτίμηση h , και να επαναλάβουμε αυτή τη διαδικασία, χρησιμοποιώντας έναν τύπο

επανάληψης Newton-Raphson. Η ακολουθία των εκτιμήσεων ιδανικά θα συγκλίνει προς το καλύτερο h . Η επανάληψη εκφράζεται ως:

$$\begin{cases} h_0 = 0 \\ h_{k+1} = h_k + \frac{\sum_x \frac{w(x)[G(x) - F(x + h_k)]}{F'(x + h_k)}}{\sum_x w(x)} \end{cases}$$

Η παραπάνω παραδοχή δεν είναι εύκολο να γενικευτεί στον διδιάστατο χώρο. Αυτό μπορεί να διορθωθεί εφαρμόζοντας τη γραμμική προσέγγιση στη σχέση

$$F(x + h) \approx F(x) + hF'(x)$$

με σκοπό το h το οποίο ελαχιστοποιεί την L_2 νόρμα της διαφοράς (ή σφάλματος) μεταξύ των καμπυλών, όπου το σφάλμα εκφράζεται ως:

$$E = \sum_x [F(x + h) - G(x)]^2$$

Για να ελαχιστοποιήσουμε το σφάλμα σε σχέση με το h :

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{\partial E}{\partial h} \\ &\approx \frac{\partial}{\partial h} \sum_x [F(x) + hF'(x) - G(x)]^2 \\ &= \sum_x 2F'(x)[F(x) + hF'(x) - G(x)] \\ &\Rightarrow h \approx \frac{\sum_x F'(x)[G(x) - F(x)]}{\sum_x F'(x)^2} \end{aligned}$$

Πρόκειται για ίδια περίπτωση με την μονοδιάστατη περίπτωση, με εξαίρεση τη συνάρτηση $w(x) = F'(x)^2$. Η επανάληψη εκφράζεται ως:

$$\begin{cases} h_0 = 0 \\ h_{k+1} = h_k + \frac{\sum_x w(x)F'(x + h_k)[G(x) - F(x + h_k)]}{\sum_x w(x)F'(x + h_k)^2} \end{cases}$$

Η εφαρμογή απαιτεί τον υπολογισμό των σταθμισμένων αθροισμάτων των ποσοτήτων $F'G$, $F'F$, και $(F')^2$. Αν και η ποσότητα $F'(x)$ δεν μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς, μπορεί να προσεγγιστεί από:

$$F'(x) \approx \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x}$$

όπου το Δx επιλέγεται κατάλληλα να είναι μικρό.

5.2.1.2. Γενίκευση σε πολλαπλές διαστάσεις

Για να πραγματοποιηθεί η γενίκευση σε πολλαπλές διαστάσεις πρέπει να γίνει ελαχιστοποίηση της L_2 νόρμας του σφάλματος:

$$E = \sum_{x \in R} [F(x+h) - G(x)]^2$$

όπου τα x και h είναι διανύσματα n διαστάσεων.

Μια γραμμική προσέγγιση:

$$F(x+h) \approx F(x) + h \left(\frac{\partial}{\partial x} F(x) \right)^T$$

Συνεχίζοντας,

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{\partial E}{\partial h} \\ &\approx \frac{\partial}{\partial h} \sum_x [F(x) + h \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^T - G(x)]^2 \\ &= \sum_x 2 [F(x) + h \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^T - G(x)] \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right) \\ \Rightarrow h &\approx \left[\sum_x [G(x) - F(x)] \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right) \right] \left[\sum_x \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^T \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right) \right]^{-1} \end{aligned}$$

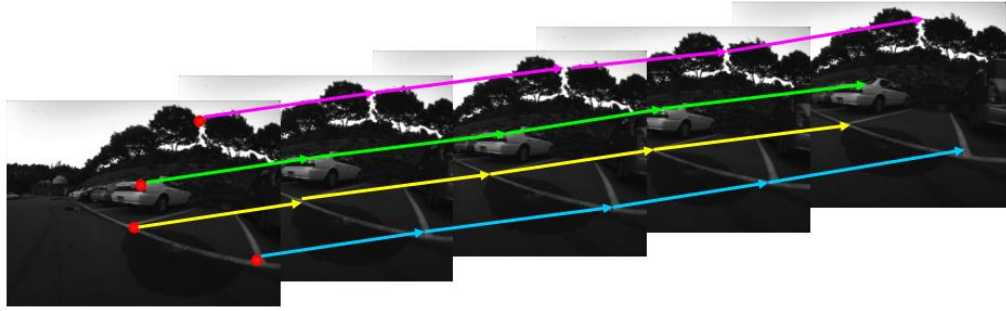
5.2.1.3. Βελτιώσεις και παραλλαγές

Οι Tomasi και Kanade [33] χρησιμοποίησαν την ίδια βασική μέθοδο υπέρθεσης, αλλά βελτίωσαν την τεχνική εντοπίζοντας χαρακτηριστικά που είναι κατάλληλα για τον αλγόριθμο παρακολούθησης. Τα προτεινόμενα χαρακτηριστικά επιλέγονται εάν και οι δύο ιδιοτιμές του πίνακα κλίσης είναι μεγαλύτερες από κάποιο όριο.

Το πρόβλημα διατυπώνεται ως:

$$\nabla d = e$$

όπου ∇ είναι η κλίση. Μία περιοχή θεωρείται καλό χαρακτηριστικό προς παρακολούθηση αν και οι δύο ιδιοτιμές (λ_1 και λ_2) του ∇ είναι μεγαλύτερες από κάποιο κατώφλι.



Εικόνα 20 Παρακολούθηση σημείων μεταξύ γειτονικών εικονοπλαισίων ενός βίντεο

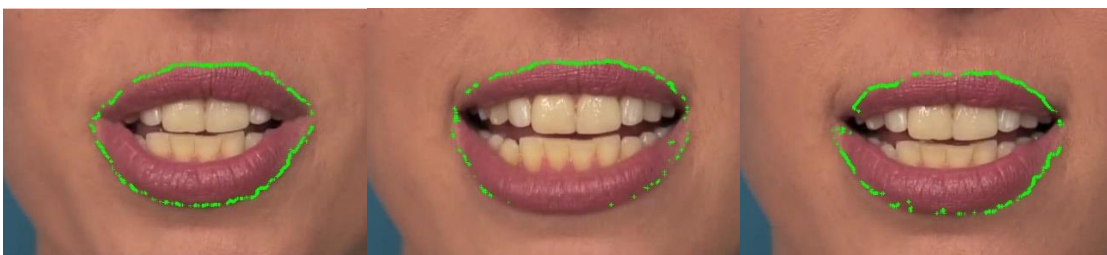
5.2.2. Εφαρμογή της μεθόδου

Ο δεύτερος τρόπος που χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ΕΠΚ σε ακολουθίες βίντεο ήταν με τη χρήση του αλγορίθμου KLT με παραμέτρους της μεθόδου ΕΠΚ $step = 0.001$ και $range = 8$. Η διαδικασία ξεκινάει επιλέγοντας την περιοχή του στόματος στην οποία επιθυμούμε να βρούμε το περίγραμμα των χειλιών. Στη συγκεκριμένη περιοχή εφαρμόζουμε την μέθοδο ΕΠΚ και ως αποτέλεσμα έχουμε τα σημεία που αποτελούν το περίγραμμα των χειλιών. Αυτά τα σημεία δίνονται ως είσοδος στον αλγόριθμο KLT με σκοπό την αναζήτηση του περιγράμματος στο βίντεο. Συνεχίζοντας, ο αλγόριθμος KLT χρησιμοποιεί τα σημεία του περιγράμματος και προσπαθεί να εκτιμήσει την θέση των σημείων αυτών στο επόμενο frame του βίντεο. Στην περίπτωση όπου ο αλγόριθμος KLT αδυνατεί να εντοπίσει ικανοποιητικό αριθμό σημείων του περιγράμματος τότε γίνεται κλήση της μεθόδου ΕΠΚ και η διαδικασία ξεκινάει από την αρχή. Πιο συγκεκριμένα, αν ο αλγόριθμος KLT αδυνατεί να εντοπίσει ένα συγκεκριμένο ποσοστό των σημείων του περιγράμματος τότε καλείται ξανά η μέθοδος ΕΠΚ ώστε να εντοπιστεί το περίγραμμα των χειλιών. Η ταχύτητα ολοκλήρωσης της διαδικασίας καθώς και η ακρίβεια του αποτελέσματος εξαρτάται από την συγκεκριμένη συνθήκη. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των σημείων, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα του περιγράμματος, αλλά αυξάνεται και ο χρόνος ολοκλήρωσης της μεθόδου. Ομοίως, όσο μειώνεται το ποσοστό των σημείων, μειώνεται ανάλογα και η ακρίβεια του αποτελέσματος καθώς και ο χρόνος περάτωσης. Συγκριτικά με την προηγούμενη μέθοδο, η προσέγγιση αυτή είναι ταχύτερη όμως μπορεί να υστερεί στην ποιότητα του αποτελέσματος.

Στις Εικόνες 21, 22 και 23 με λευκό χρώμα παρουσιάζεται το περίγραμμα που έχει εντοπίσει η μέθοδος ΕΠΚ στο πρώτο βήμα πριν εισαχθεί ως είσοδος στον αλγόριθμο ΚΛΤ καθώς και μερικά ενδεικτικά αποτελέσματα με πράσινο χρώμα.



Εικόνα 21 Ενδεικτικά αποτελέσματα της δεύτερης προσέγγισης σε γυναικεία χείλη



Εικόνα 22 Ενδεικτικά αποτελέσματα της δεύτερης προσέγγισης στο ήμισυ του προσώπου



Εικόνα 23 Ενδεικτικά αποτελέσματα της δεύτερης προσέγγισης σε αντρικά χείλη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

6.1 Συμπεράσματα

6.2 Μελλοντική εργασία

6.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετήσαμε διάφορες μεθόδους, όπως η μέθοδος του Otsu, ο αλγόριθμος K-μέσων και η μέθοδος Active contours, για την εξαγωγή του περιγράμματος των χειλιών από εικόνες προσώπου. Προέκυψε ότι ο αλγόριθμος K-μέσων και η μέθοδος Active contours δεν έχουν ικανοποιητική επίδοση, ενώ η μέθοδος του Otsu παράγει βελτιωμένα αποτελέσματα. Επίσης, παρατηρήσαμε ότι ο διαχωρισμός σε εικόνες άνω και κάτω χείλους βελτιώνει τις επιδόσεις.

Στη συνέχεια, προτείναμε την μέθοδο ελέγχου πολλών κατωφλίων (ΕΠΚ) όπου εισήγαμε έναν τρόπο δημιουργίας κατωφλίων με σκοπό την κατάτμηση της εικόνας καθώς και έναν τρόπο αξιολόγησης των κατωφλίων. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο πετύχαμε να προσεγγίσουμε το περίγραμμα των χειλιών των νέων ατόμων με ικανοποιητική ακρίβεια καθώς και την απαιτητική περίπτωση των χειλιών με παθολογία των ηλικιωμένων ατόμων.

Τέλος, εφαρμόσαμε την μέθοδο ΕΠΚ σε ακολουθίες βίντεο και πετύχαμε μια ικανοποιητική παρακολούθηση του περιγράμματος σε λογικό χρόνο χρησιμοποιώντας συνδυασμό της μεθόδου ΕΠΚ με τη γνωστή μέθοδο KLT.

6.2. Μελλοντική εργασία

Δεδομένων των δύο νέων ιδεών των οποίων εισήχθησαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, δηλαδή του τρόπου δημιουργίας των κατωφλίων και του τρόπου αξιολόγησης

τους, δημιουργείται σημαντικό περιθώριο μελλοντικής έρευνας. Αρχικά, η μέθοδος των ζωνών γύρω από το περίγραμμα προσφέρει την ευελιξία για εισαγωγή και εξέταση νέων τρόπων αξιολόγησης των περιγραμμάτων ενώ σημαντικό θέμα υπό αναζήτηση αποτελεί και ο τρόπος δημιουργίας του συνόλου των υπό εξέταση κατωφλίων. Ένα ακόμα, σημαντικό ζήτημα το οποίο μπορεί να διερευνηθεί αποτελούν οι παράμετροι της μεθόδου ΕΠΚ οι οποίες οδηγούν στο ιδανικότερο περίγραμμα. Επίσης, αξίζει να μελετηθεί το πρόβλημα της εύρεσης του εσωτερικού περιγράμματος των χειλιών. Τέλος, επειδή η μέθοδος είναι γενική, μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες εφαρμογές κατάτμησης εικόνων που απαιτούν την εξαγωγή περιγραμμάτων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] T. Wark, S. Sridharan, and V. Chandran, “An approach to statistical lip modelling for speaker identification via chromatic feature extraction,” in Proc. 14th Int. Conf. Pattern Recognit., Brisbane, Australia, Aug. 1998, pp. 123–125.
- [2] G. I. Chiou and J.-N. Hwang, “Lipreading from color video,” IEEE Trans. Image Process., vol. 6, no. 8, pp. 1192–1195, Aug. 1997.
- [3] X. Zhang and R. M. Mersereau, “Lip feature extraction towards an automatic speechreading system,” in Proc. Int. Conf. Image Process., Vancouver, BC, Canada, 2000, pp. 226–229.
- [4] M. Pardàs and E. Sayrol, “Motion estimation based tracking of active contours,” Pattern Recognit. Lett., no. 22, no. 13, pp. 1447–1456, 2001.
- [5] P. Delmas, N. Eveno, and M. Liévin, “Towards robust lip tracking,” in Proc. 16th Int. Conf. Pattern Recognit., Quebec, QC, Canada, 2002, pp. 528–531.
- [6] N. Eveno, A. Caplier, and P.-Y. Coulon, “Accurate and quasi-automatic lip tracking,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 14, no. 5, pp. 706–715, May 2004.
- [7] N. Eveno, A. Caplier, and P.-Y. Coulon, “Jumping snakes and parametric model for lip segmentation,” in Proc. Int. Conf. Image Process., Barcelona, Spain, Sep. 2003, pp. 867–870.
- [8] H. Seyedarabi, W. Lee, and A. Aghagolzadeh, “Automatic lip tracking and action units classification using two-step active contours and probabilistic neural networks,” in Proc. Can. Conf. Elect. Comput. Eng., Ottawa, ON, Canada, May 2006, pp. 2021–2024.
- [9] I. Matthews, T. F. Cootes, J. A. Bangham, S. Cox, and R. Harvey, “Extraction of visual features for lipreading,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 24, no. 2, pp. 198–213, Feb. 2002.
- [10] Z. Zheng, J. Jiong, D. Chunjiang, X. H. Liu, and J. Yang, “Facial feature localization based on an improved active shape model,” Inform. Sci., vol. 178, no. 9, pp. 2215–2223, May 2008.
- [11] Q. Nguyen and M. Milgram, “Online active feature model for lip tracking,” in Proc. 12th Int. Conf. Comput. Vis. Workshops, Kyoto, Japan, Sep./Oct. 2009, pp. 368–375.
- [12] B. Beaumesnil and F. Luthon, “Real time tracking for 3D realistic lip animation,” in Proc. 18th Int. Conf. Pattern Recognit., Hong Kong, China, 2006, pp. 219–222.

- [13] R. Rohani, S. Alizadeh, F. Sobhanmanesh, and R. Boostani, "Lip segmentation in color images," in Proc. Int. Conf. Innov. Inform. Technol., Al Ain, UAE, Dec. 2008, pp. 747–750.
- [14] E. Skodras and N. Fakotakis, "An unconstrained method for lip detection in color images," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process., Prague, Czech Republic, May 2011, pp. 1013–1016.
- [15] P. Gacon, P.-Y. Coulon, and G. Bailly, "Non-linear active model for mouth inner and outer contours detection," in Proc. 13th Eur. Signal Process. Conf., Antalya, Turkey, 2005, pp. 473–476.
- [16] C. Bouvier, P.-Y. Coulon, and X. Maldague, "Unsupervised lips segmentation based on ROI optimisation and parametric model," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Process., San Antonio, TX, USA, Sep./Oct. 2007, pp. IV-301–IV-304.
- [17] M. Li and Y.-M. Cheung, "Automatic segmentation of color lip images based on morphological filter," in Proc. 20th Int. Conf. Artif. Neural Netw., Thessaloniki, Greece, 2010, pp. 384–387.
- [18] A. W.-C. Liew, S. H. Leung, and W. H. Lau, "Segmentation of color lip images by spatial fuzzy clustering," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 11, no. 4, pp. 542–549, Aug. 2003.
- [19] A. W.-C. Liew and H. Yan, "An adaptive spatial fuzzy clustering algorithm for 3-D MR image segmentation," IEEE Trans. Med. Imag., vol. 22, no. 9, pp. 1063–1075, Sep. 2003.
- [20] S.-H. Leung, S.-L. Wang, and W.-H. Lau, "Lip image segmentation using fuzzy clustering incorporating an elliptic shape function," IEEE Trans. Image Process., vol. 13, no. 1, pp. 51–62, Jan. 2004.
- [21] S. Wang, W. Lau, W. Liew, and S. Leung, "Robust lip region segmentation for lip images with complex background," Pattern Recognit., vol. 40, no. 12, pp. 3481–3491, Dec. 2007.
- [22] M. Liévin and F. Luthon, "Nonlinear color space and spatio temporal MRF for hierarchical segmentation of face features in video," IEEE Trans. Image Process., vol. 13, no. 1, pp. 63–71, Jan. 2004.
- [23] M. Liévin, P. Delmas, P. Y. Coulon, F. Luthon, and V. Fristol, "Automatic lip tracking: Bayesian segmentation and active contours in a cooperative scheme," in Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Comput. Syst., Barcelona, Spain, Jul. 1999, pp. 691–696.
- [24] M. Liévin and F. Luthon, "Unsupervised lip segmentation under natural conditions," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process., Phoenix, AZ, USA, Mar. 1999, pp. 3065–3068.

- [25] X. Zhang, R. M. Mersereau, M. Clements, and C. C. Broun, “Visual speech feature extraction for improved speech recognition,” in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process., Orlando, FL, USA, May 2002, pp. II-1993–II-1996.
- [26] I. Maglogiannis, D. Vouyioukas, and C. Aggelopoulos, “Face detection and recognition of natural human emotion using Markov random fields,” *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 13, no. 1, pp. 95–101, Jan. 2009.
- [27] S. Bakshi, R. Raman, and P. K. Sa, “Lip pattern recognition based on local feature extraction,” in Proc. Annu. IEEE India Conf., Dec. 2011, pp. 1–4.
- [28] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας”, 3^η Έκδοση.
- [29] P. Tan, M. Steinbach and V. Kumar, “Introduction to Data Mining”, Addison-Wesley 2006.
- [30] M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos, “Snakes: Active contour models”. *International Journal of Computer Vision*, 1988.
- [31] D.P. Huttenlocher, G.a. Klanderman, W.J. Rucklidge, “Comparing images using the Hausdorff distance”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 15 (1993) 850–863.
- [32] Lucas, Bruce D. and Takeo Kanade. "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision," *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, April, 1981, pp. 674–679.
- [33] Tomasi, Carlo and Takeo Kanade. *Detection and Tracking of Point Features*, Computer Science Department, Carnegie Mellon University, April, 1991.

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

Ο Άγγελος Σαϊντ γεννήθηκε στην Αθήνα το 1989. Το 2007 εισήχθη στο Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και το 2014 έλαβε το Δίπλωμα του Μηχανικού. Συνεχίζοντας τις σπουδές του, το 2015 εισήχθη στο ίδιο Τμήμα στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στην Πληροφορική. Από το 2014 μέχρι το 2016 εργάστηκε ως προγραμματιστής λογισμικού στην εταιρεία clickdelivery.gr.

