

**Δημιουργία κεφαλής εικονικού οδοντιατρικού ασθενούς και προσομοίωση τροχισμού των δοντιών του σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας**  
**Μαρράς Ιωάννης\*, Μόσχος Γεώργιος\*, Μικρογεώργης Γεώργιος\*\*, Λυρούδια Κλεονίκη\*\*, Νικολαΐδης Νικόλαος\*, Πήτας Ιωάννης\***  
**\*Εργαστήριο Τεχνητής Νοημοσύνης και Ανάλυσης Πληροφοριών, Τμήμα Πληροφορικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**  
**\*\*Εργαστήριο Ενδοδοντολογίας, Τμήμα Οδοντιατρικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**

**Σκοπός:** Η δημιουργία κεφαλής εικονικού οδοντιατρικού ασθενούς, κατάλληλης για προσομοίωση τροχισμού των δοντιών του σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας, με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

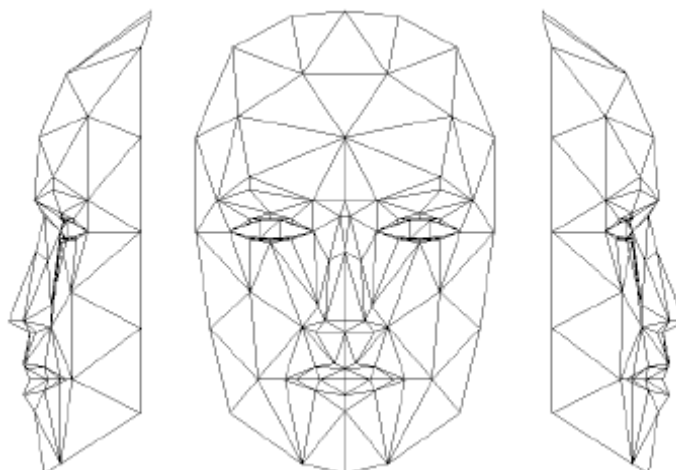
**Υλικά-Αποτελέσματα:** Κατασκευάστηκε ένα γενικό πρότυπο της εξωτερικής επιφάνειας της ανθρώπινης κεφαλής με τη βοήθεια πλέγματος τριγώνων. Στο εξωτερικό αυτό πρότυπο συνδέθηκε ένα σύνολο από διακριτά πρότυπα ιστών της στοματογοναθικής περιοχής, δηλαδή: παρειές, χείλη, γλώσσα, υπερώα, σταφυλή, φάρυγγας, ούλα, δόντια, κ.α. Αυτά κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας ανατομικά δεδομένα (εν σειρά τομές από ανθρώπινο πτώμα), τα οποία πάρθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος Visible Human Project του National Institute of Health των Η.Π.Α. Πιο αναλυτικά λήφθηκαν χειροκίνητα κρίσιμα σημεία σε κάθε εικόνα του συνόλου του κεφαλιού με σκοπό να δημιουργηθούν τα παραπάνω τρισδιάστατα μοντέλα. Το δε εξωτερικό πλέγμα του προσώπου πάρθηκε χειροκίνητα διαλέγοντας σημεία στο χώρο που προέκυπτε μετά την πλήρη αναπαράσταση (visualization) των παραπάνω εικόνων σε κατάλληλο λογισμικό πακέτο (EIKONA 3D). Έπειτα έγινε η αντίστροφη δουλειά, δηλαδή τα παραγόμενα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν ώστε να αναπαρασταθούν μαζί με το ογκομετρικό δεδομένο του κεφαλιού, από το οποίο και προέκυψαν, ώστε να φανεί το κατά πόσο ταιριάζουν μεταξύ τους (Registration), με πολύ καλά αποτελέσματα. Τα δε ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα δοντιών που χρησιμοποιήθηκαν, κατασκευάστηκαν με χρήση στερεομικροσκοπικών εικόνων εν σειρά εγκάρσιων τομών φυσικών δοντιών και τη χρήση αλγορίθμων εξαγωγής των επιφανειών (Marching Cubes) καθώς και αλγόριθμοι βελτιστοποίησης των τρισδιάστατων αποτελεσμάτων (smoothing).

Το MPEG-4 ορίζει ένα μοντέλο προσώπου στην ουδέτερη στάση, ένα αριθμό FPs σε αυτό το ουδέτερο πρόσωπο και ένα σύνολο από FAPs, το καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη ενέργεια προσώπου, που παραμορφώνει το ουδέτερο μοντέλο προσώπου. Η παραμόρφωση ενός ουδέτερου προσώπου σύμφωνα με κάποιες τιμές FAPs σε κάθε χρονική στιγμή, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μιας αλληλουχίας κίνησης (animation sequence). Η τιμή ενός FAP δείχνει το μέγεθος της συγκεκριμένης ενέργειας, για παράδειγμα ένα μικρό ή μεγάλο χαμόγελο. Για να κατανοήσει ένα σύστημα σχεδιοκίνησης προσώπου τις τιμές των FAP χρησιμοποιώντας το μοντέλο προσώπου του, είναι αναγκαίο να έχει προκαθορισμένους κανόνες για το συγκεκριμένο μοντέλο, που να αντιστοιχούν στο κάθε FAP. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε τους δικούς του κανόνες, είτε να κατεβάσει ένα μοντέλο και τα αντίστοιχα FAT. Αφού τα FAP χρησιμοποιούνται για την κίνηση προσώπων διαφορετικών μεγεθών και αναλογιών, οι τιμές τους είναι κανονικοποιημένες και ορισμένες σε μονάδες μέτρησης παραμέτρων προσώπου (Face Animation Parameter Units – FAPUs). Τα FAPU υπολογίζονται από τις αποστάσεις ανάμεσα σε σημαντικά χαρακτηριστικά του μοντέλου του προσώπου όταν αυτό βρίσκεται στην ουδέτερη στάση

Τα τρισδιάστατα μοντέλα που χρησιμοποιούνται από την εφαρμογή, είναι τριγωνικά πλέγματα τα οποία είναι αποθηκευμένα σε αρχεία σύμφωνα με το πρότυπο VRML 2.0. Τα μοντέλα έχουν ιδιότητες υλικού και μπορούν να υποστηρίξουν ύψη, ενώ προσαρμόζονται στο σχήμα του προσώπου για ρεαλιστικότερη σχεδιοκίνηση (Βλέπε Κεφάλαιο 4). Το κάθε μοντέλο, το οποίο αναπαριστά ένα μέρος του προσώπου (πρόσωπο, γλώσσα, ούλα κτλ.) είναι αποθηκευμένο σε ένα ξεχωριστό αρχείο, δίνοντας έτσι την δυνατότητα στον χρήστη, αν αυτός το επιθυμεί, να αντικαταστήσει ένα από τα προκαθορισμένα μοντέλα. Αυτό καθιστά την εφαρμογή πιο ευέλικτη και παραμετροποιήσιμη. Συνολικά η εφαρμογή χρησιμοποιεί μοντέλα για το πρόσωπο, τη γλώσσα, τα δόντια, τα ούλα, τον λάρυγγα και τις αμυγδαλές, αν και η επέκτασή του για χρησιμοποίηση περισσότερων μοντέλων είναι πολύ εύκολη. Το μοντέλο του προσώπου συνοδεύεται από ένα αρχείο το οποίο ορίζει τις παραμέτρους που είναι αναγκαίες για την σχεδιοκίνηση του μοντέλου. Παρακάτω παρουσιάζεται η γλώσσα VRML και αναλυτικά το καθένα από τα μοντέλα αυτά.

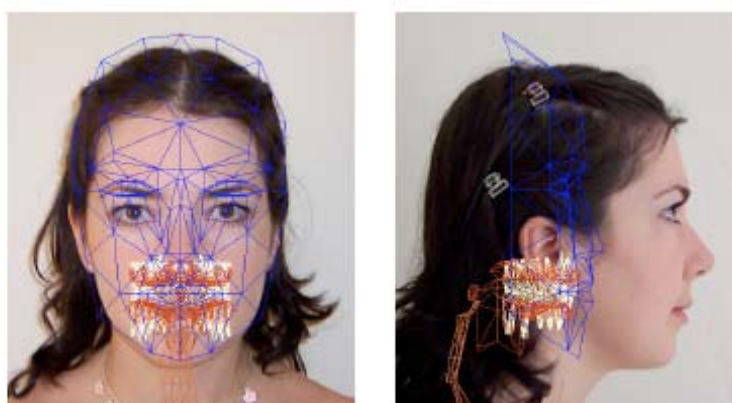
Το Candide είναι μια παραμετροποιημένη μάσκα προσώπου, η οποία έχει σχεδιαστεί ειδικά για την κωδικοποίηση ανθρώπινων προσώπων. Ο χαμηλός αριθμός τριγώνων που το αποτελούν το καθιστούν κατάλληλο για γρήγορη ανακατασκευή χρησιμοποιώντας πολύ λίγη υπολογιστική ισχύ. Για τον λόγο αυτό, δηλαδή την απλότητα του, αλλά και το γεγονός ότι είναι δημοσίως διαθέσιμο, χρησιμοποιείται σε πολλά εργαστήρια σε όλο τον κόσμο.

Το αρχικό μοντέλο Candide-1 είχε δημιουργηθεί το 1987 στο πανεπιστήμιο Linköping της Σουηδίας. Από τότε το μοντέλο έχει δεχθεί δυο αναθεωρήσεις, με την πιο πρόσφατη να είναι το Candide-3



Για την προσαρμογή του πλέγματος, έχει επιλεγεί ένας ημιαυτόματος τρόπος, που στηρίζεται εν μέρει στο διδιάστατο FEM (Finite Element Model). Η μέθοδος αυτή έχει επιλεγεί επειδή προσφέρει ταχύτητα, αξιοπιστία και απαιτεί μικρή αλληλεπίδραση με το χρήστη. Για να πετύχει τον σκοπό της, είναι απαραίτητες δυο φωτογραφίες του προσώπου οι οποίες να είναι τραβηγμένες με διάφορα γωνίας 90 μοιρών (μια από μπροστά και μια από το πλάι). Η διαδικασία της προσαρμογής ολοκληρώνεται σε 3 κύρια στάδια, ενώ προσφέρονται λειτουργίες για περαιτέρω προσαρμογή των δοντιών. Παρακάτω επεξηγούνται τα βήματα που ακολουθούνται για την προσαρμογή.

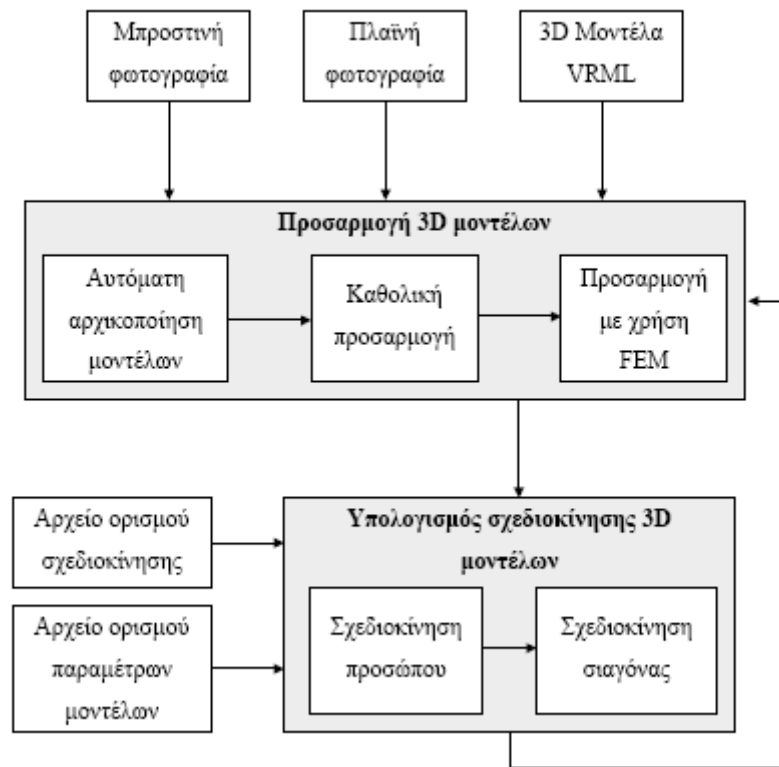
Αρχικά, το μοντέλο του προσώπου και τα μοντέλα της εσωτερικής στοματικής κοιλότητας τοποθετούνται αυτόματα στο κέντρο των φωτογραφιών και κλιμακώνονται έτσι ώστε να έχουν ύψος ίσο με τα 4/5 των φωτογραφιών, μια προσέγγιση του συνήθους μεγέθους προσώπου σε μια φωτογραφία. Τα τρισδιάστατα μοντέλα υπερθέτονται πάνω στις φωτογραφίες.



Για να προσαρμοστεί το πλέγμα λεπτομερώς πάνω στις φωτογραφίες, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική διδιάστατου FEM [28][29] η οποία εκτελείται σε πραγματικό χρόνο. Η λειτουργία της τεχνικής

αυτής, βασίζεται στην αναπαράσταση του πλέγματος του μοντέλου σαν ένα σύστημα ελατηρίων τα οποία υπακούν στους νόμους της Φυσικής. Τα FEM μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν παραμορφώσιμα αντικείμενα εκμεταλλευόμενα τόσο το περίγραμμα όσο και το εμβαδό των αντικειμένων.

Ο μικρός αριθμός κορυφών και τριγώνων στο μοντέλο Candide, αλλά και στα μοντέλα της εσωτερικής κοιλότητας του στόματος, μπορεί να διευκολύνουν την διαχείριση τους, άλλα τα καθιστούν ακατάλληλα για ρεαλιστική απόδοση ενός ανθρώπινου προσώπου. Για τον λόγο αυτό, έχει εφαρμοστεί μια τεχνική υποδιαίρεσης, η οποία αυξάνει σημαντικά την οπτική ποιότητα των μοντέλων. Η υποδιαίρεση εκτελείται σε πραγματικό χρόνο, σε κάθε πλαίσιο της σχεδιοκίνησης.



Το πρότυπο αυτό μπορεί να εκτελέσει διάφορες κινήσεις, π.χ. ανάσπαση-κατάσπαση κάτω γνάθου, κινήσεις γλώσσας, κ.α. Σε μεταγενέστερο στάδιο ο χρήστης θα μπορεί να προσαρμόσει αυτό το γενικό πρότυπο κεφαλής-ένδοστοματικών ιστών στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του στοματογναθικού συστήματος οποιουδήποτε ασθενούς, εξατομικεύοντας έτσι το πρότυπο.

Σαν επέκταση της εφαρμογής, έχει δοθεί η δυνατότητα συνεργασίας του με μια εφαρμογή εικονικής οδοντιατρικής, η οποία προσφέρει εικονικά οδοντιατρικά εργαλεία για το σφράγισμα ή το τρύπημα των δοντιών. Τα δόντια προέρχονται με εφαρμογή του αλγόριθμου discrete marching cubes σε ογκομετρικά δεδομένα, που με τη σειρά τους προέρχονται από τομές αληθινών δοντιών. Η εφαρμογή επιτρέπει την αντικατάσταση ενός από τα προκαθορισμένα δόντια, με ένα δόντι που προέρχεται από τομές, και την αυτόματη τοποθέτηση του στην σωστή θέση. Στην συνέχεια, γίνεται αυτόματη ενημέρωση του δοντιού από το πρόγραμμα της εικονικής οδοντιατρικής κατά τη διάρκεια της χρήσης των εργαλείων σε πραγματικό χρόνο.

Το πρότυπο μπορεί να διασυνδέεται με τη συσκευή αφής Phantom Desktop (SensAble Technologies Inc., Woburn, USA), η οποία παρέχει στον χρήστη ανάδραση δύναμης. Η συσκευή αυτή έχει ένα μοχλό, ο οποίος κινούμενος από τον χρήστη στις τρεις διαστάσεις ελέγχει αντιστοίχως την κίνηση

εικονικών εργαλείων που προσομοιάζουν σε σχήμα, μέγεθος και λειτουργία τους διάφορους τύπους οδοντιατρικών εγγλυφίδων. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να προσομοιώσει σε πραγματικό χρόνο και με ρεαλισμό διεργασίες τροχισμού στα εικονικά δόντια που είναι τοποθετημένα εντός της στοματικής κοιλότητας του εικονικού ασθενούς, λαμβάνοντας ταυτόχρονα ανάδραση δύναμης από την συσκευή αφής, αισθανόμενος δηλαδή αντίσταση κάθε φορά που η εικονική εγγλυφίδα έρχεται σε επαφή με κάποιο δόντι.

**Συμπεράσματα:** Ο εικονικός οδοντιατρικός ασθενής σε συνδυασμό με τη δυνατότητα προσομοίωσης τροχισμού των δοντιών του, συνθέτουν μια πλήρη και φιλική στον χρήστη εφαρμογή, η οποία μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο στην οδοντιατρική έρευνα και εκπαίδευση.

*Η παρούσα εργασία υποστηρίχθηκε από το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Αριστείας (Network of Excellence) για τις Πολύτροπες Διεπαφές "SIMILAR" του προγράμματος IST της Ευρωπαϊκής Ένωσης ([www.similar.cc](http://www.similar.cc)).*