

ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ

Υποψήφιος Διδάκτορας: Ιωάννης Κυριαζής

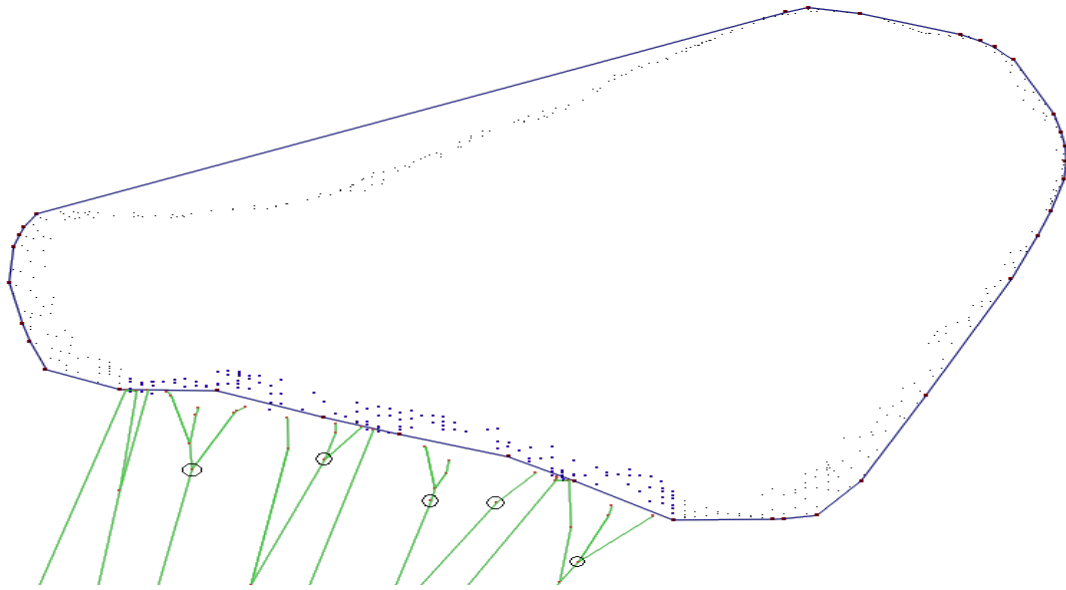
Το πρόβλημα

Το πρόβλημα που καλείται ο υποψήφιος διδάκτορας να επιλύσει είναι η εξαγωγή χαρακτηριστικών (feature extraction) από ένα 3D αντικείμενο, τα οποία θα είναι κατάλληλα για επεξεργασία με σχεδιαστικές εφαρμογές (CAD). Η εξαγωγή των χαρακτηριστικών γίνεται απευθείας από το νέφος σημείων που περιγράφει το 3D αντικείμενο, και το οποίο έχει παραχθεί από τη σάρωση του αντικειμένου με 3D σαρωτή laser ή κάποια παρόμοια τεχνική. Σκοπός είναι η δημιουργία ενός CAD μοντέλου το οποίο θα μπορεί να τροποποιείται ή να επανασχεδιαστεί και θα περιγράφει με ακρίβεια τη δομή και την τοπολογία του νέφους σημείων.

Προηγούμενες περιόδους

Στο παρελθόν είχαν μελετηθεί μέθοδοι ανάστροφης μηχανικής (reverse engineering) που έχουν αναπτυχθεί για διάφορες εφαρμογές και τα διάφορα είδη αναπαράστασης που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση 3D μοντέλων. Πιο διεξοδικά μελετήθηκε η μέθοδος των Wu, Wong, Loh και Zhang [1], η οποία και υλοποιήθηκε. Μεταξύ άλλων παρατηρήθηκε ότι η μέθοδος αυτή είναι αρκετά ευαίσθητη στην διάταξη των σημείων του νέφους, και τα αποτελέσματα που δίνει αποκλίνουν από τα επιθυμητά όταν το νέφος σημείων δεν είναι αρκετά πυκνό σε όλη του την επιφάνεια. Οι δοκιμές της μεθόδου έγιναν με νέφη σημείων της Cyberware [2].

Στη συνέχεια ο υποψήφιος ανέπτυξε μια νέα μέθοδο για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών από το νέφος σημείων, η οποία επίσης χρησιμοποιεί εγκάρσιες τομές για να χωρίσει το 3D νέφος σημείων σε λεπτές φέτες που μπορούν να θεωρηθούν ως ξεχωριστά 2D νέφη σημείων. Για κάθε φέτα υπολογίστηκε το κυρτό περίβλημα (Convex Hull) [3] των σημείων, και για κάθε ευθύγραμμο τμήμα του κυρτού περιβλήματος ορίστηκε μια περιοχή στην οποία ανήκουν τα πιο κοντινά σημεία στο ευθύγραμμο τμήμα αυτό. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών σημείων (feature points) της φέτας υπολογίστηκε για κάθε περιοχή το διάγραμμα Voronoi [3] των σημείων. Από τις κορυφές Voronoi αφαιρέθηκαν εκείνες που βρισκόταν πολύ κοντά στα σημεία της περιοχής, και εκείνες που βρισκόταν στο εσωτερικό της περιοχής. Από τις υπόλοιπες κορυφές επιλέχθηκαν κάποιες αντιπροσωπευτικές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των αντίστοιχων χαρακτηριστικών σημείων. Για τον εντοπισμό των σημείων της φέτας χρησιμοποιήθηκε η ιδιότητα του 'μέγιστου κενού κύκλου' [3] του διαγράμματος Voronoi. Στην Εικόνα 1 φαίνεται το πολύγωνο όπως προσδιορίστηκε για μια περιοχή της φέτας.



Εικόνα 1 Για κάθε περιοχή του κυρτού περιβλήματος υπολογίζουμε το διάγραμμα Voronoi και αφού απορρίψουμε τις κορυφές Voronoi που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιλέγουμε κάποιες κορυφές για να εντοπίσουμε επιπλέον χαρακτηριστικά σημεία.

Κατά την υλοποίηση των μεθόδων παρατηρήθηκε ένα πρόβλημα με την αντιστοίχιση των σημείων της φέτας στην κατάλληλη περιοχή, όπου κάποια σημεία μπορεί να βρίσκονται κοντά σε ένα τμήμα του πολυγώνου, αλλά να πρέπει να αντιστοιχιστούν σε κάποιο άλλο τμήμα του πολυγώνου, που βρίσκεται στην απέναντι πλευρά της φέτας. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με τον ορισμό του ελάχιστου γειτονικού μονοπατιού (*shortest neighbor path*) μεταξύ δυο σημείων [6], και υπολογίζοντας τα αντίστοιχα μονοπάτια αναφοράς για όλα τα σημεία της φέτας, εξασφαλίζοντας έτσι ότι τα αμφισβητούμενα σημεία θα αντιστοιχιστούν στις σωστές περιοχές.

Επίσης υλοποιήθηκαν μέθοδοι για το μετασχηματισμό του νέφους σημείων, για κάθε φέτα ξεχωριστά, αλλά και για περισσότερες επιλεγμένες φέτες. Στα χαρακτηριστικά σημεία κάθε φέτας εφαρμόστηκε ένας 4x4 πίνακας μετασχηματισμού, επιτρέποντας έτσι οποιαδήποτε επεξεργασία στη φέτα αυτή (κλιμάκωση, περιστροφή, μετατόπιση, στρέβλωση, και συνδυασμούς). Επιπλέον, υλοποιήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής μετασχηματισμών σε περισσότερες από μια επιλεγμένες φέτες, με τη χρήση μιας ανεξάρτητης παραμέτρου, η οποία επιτρέπει την μεταβολή του μετασχηματισμού από φέτα σε φέτα, σύμφωνα με συνάρτηση που ορίζεται από το χρήστη.

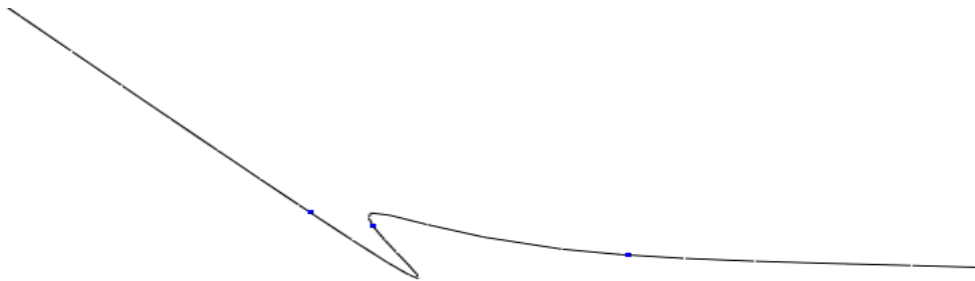
Όσον αφορά το συνδυασμό των χαρακτηριστικών σημείων που ανήκουν σε γειτονικές φέτες, για την ανακατασκευή του 3D μοντέλου, παρατηρήθηκε το πρόβλημα με τις διαφορές που έχουν οι φέτες μεταξύ τους, όταν αυξάνεται σημαντικά η απόστασή τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι απαραίτητο να υπολογιστεί μια ενδιάμεση φέτα από χαρακτηριστικά σημεία, τα οποία θα επιτρέπουν την ομαλή μετάβαση από τη μια φέτα στην άλλη.

Για τη δημιουργία της ενδιάμεσης φέτας έγινε αντιστοίχιση των σημείων της μιας φέτας με τα σημεία της επόμενης, σύμφωνα με κάποιο κριτήριο που μπορεί να μεταβάλλεται (μια απλή περίπτωση μπορεί να είναι η απόσταση των σημείων). Για τη σωστή αντιστοίχιση χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές δυναμικού προγραμματισμού όπου ξεκινώντας πχ από κάποιο σημείο της μιας φέτας βρίσκουμε το αντίστοιχο σημείο του στην επόμενη φέτα (σύμφωνα πάντα με το κριτήριο επιλογής), και αφού κάνουμε την αντιστοίχιση μεταξύ των σημείων, χωρίζουμε και τις δυο φέτες σε δυο τμήματα, για τα οποία επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία αναδρομικά, μέχρι να αντιστοιχίσουμε κάθε σημείο της μιας φέτας με κάποιο σημείο της άλλης.

Έχοντας υπολογίσει την αντιστοίχιση των σημείων μπορούμε να υπολογίσουμε τα σημεία της ενδιάμεσης φέτας, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα Voronoi για τον εντοπισμό των κέντρων των κύκλων που ορίζονται από τριάδες σημείων από τις δυο φέτες (ισοδύναμα υπολογίζεται η τριγωνοποίηση Delaunay για να οριστούν οι τριάδες σημείων). Οι κορυφές Voronoi που προκύπτουν είναι ικανοποιητικά σημεία παρεμβολής για να σχηματιστεί μια νέα φέτα από χαρακτηριστικά σημεία, ανάμεσα στις δυο αρχικές φέτες.

Τρέχουσα Εργασία

Σε προηγούμενη φάση υλοποιήθηκε μια μέθοδος παρεμβολής των χαρακτηριστικών σημείων μιας φέτας από μια κλειστή καμπύλη B-Spline 3^{ου} βαθμού, το σχήμα της οποίας ακολουθεί με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά σημεία της φέτας που είχαν προκύψει με την εφαρμογή των μεθόδων που περιγράφηκαν προηγουμένως. Η περιγραφή των χαρακτηριστικών σημείων της φέτας με μια καμπύλη B-Spline επέτρεψε την εξαγωγή αποτελεσμάτων που είναι πιο ομαλά και ευέλικτα για χρήση σε συστήματα CAD. Όμως σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά σημεία μαζεμένα σε μια μικρή περιοχή παρατηρήθηκαν κάποια προβλήματα στο σχήμα της καμπύλης – όπως φαίνεται και στην εικόνα 2 – που οφείλονται στην ύπαρξη μεγάλου αριθμού κόμβων.



Εικόνα 2 Όταν υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά σημεία σε κοντινές αποστάσεις, μπορεί η καμπύλη να μην περιγράφει σωστά την περιοχή.

Για να αντιμετωπίσει προβλήματα αυτής της μορφής, ο υποψήφιος ακολουθεί αυτή την περίοδο μια διαφορετική προσέγγιση, με την οποία αντί να παρεμβάλλει μια καμπύλη B-Spline στα χαρακτηριστικά σημεία της φέτας, προσεγγίζει τα σημεία αυτά με τμηματικές καμπύλες Bezier 3^{ου} βαθμού [7], ώστε να επιτύχει πιο ομαλά αποτελέσματα, και ταυτόχρονα να απλοποιηθούν οι υπολογισμοί για την καμπύλη. Η ιδέα είναι να ξεκινάει μια νέα καμπύλη Bezier κάθε φορά που αλλάζει η καμπυλότητα του πολυγώνου που ορίζεται από τα χαρακτηριστικά σημεία, και οι διαδοχικές καμπύλες να ενώνονται ομαλά μεταξύ τους (να έχουν δηλαδή την ίδια εφαπτόμενη στα άκρα).

Επόμενοι Στόχοι

Για την ολοκλήρωση της διατριβής απαιτείται η αναπαράσταση του 3D αντικειμένου ως ένα σύνολο επιφανειών που θα ενώνονται ομαλά και θα περιγράφουν με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά σημεία του. Για την ανακατασκευή της επιφάνειας του αντικειμένου θα χρησιμοποιηθούν επιφάνειες Bezier οι οποίες θα ενώνουν τα σημεία μιας φέτας με τα αντίστοιχα σημεία της γειτονικής φέτας. Η μέθοδος είναι παρόμοια με τον προσδιορισμό των τμηματικών καμπυλών Bezier για την αναπαράσταση της φέτας στις 2 διαστάσεις. Για την ομαλή συνένωση των γειτονικών επιφανειών στις 3 διαστάσεις απαιτείται η εφαπτόμενη στα ακραία σημεία να είναι ίδια για τις γειτονικές επιφάνειες [8]. Αυτό σημαίνει ότι για τις 2 επιφάνειες που πρέπει να ενωθούν ομαλά, τα σημεία ελέγχου που είναι γειτονικά στα ακραία σημεία θα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Το επίπεδο αυτό θα ορίζεται από την εφαπτομένη στις 2 επιφάνειες στο σημείο ένωσης.

Η αναπαράσταση του 3D αντικειμένου με επιφάνειες Bezier που ενώνονται ομαλά μεταξύ τους θα επιτρέψει και την επεξεργασία του αντικειμένου τόσο σε τοπικό επίπεδο, όσο και στο σύνολο. Θα υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής μετασχηματισμών στα σημεία ελέγχου μιας συγκεκριμένης καμπύλης, μιας ολόκληρης φέτας, σε επιλεγμένες φέτες, αλλά και σε σημεία ελέγχου καμπυλών ή επιφανειών που ενώνουν ομαλά επιλεγμένες φέτες μεταξύ τους.

Υλοποίηση

Οι μέθοδοι που περιγράφηκαν έχουν υλοποιηθεί σε περιβάλλον Visual C++ με τη χρήση OpenGL για την οπτικοποίηση των δεδομένων και Qt για τη διεπαφή. Για τον υπολογισμό του κυρτού περιβλήματος, αλλά και του διαγράμματος voronoi, όπου απαιτείται, χρησιμοποιήθηκε η υλοποίηση του αλγορίθμου Qhull από τους Barber, Dobkin, και Huhdanpaa [5].

Δημοσιεύσεις

Σχετικές με την εργασία είναι οι παρακάτω δημοσιεύσεις:

I. Kyriazis, I. Fudos, and L. Palios, 'Detecting Features from Sliced Point Clouds'. 2nd International Conference on Computer Graphics Theory and Applications GRAPP, March 2007, <http://www.grapp.org/grapp2007/>.

Kyriazis, I. Fudos and L. Palios. "Extracting CAD Features from Point Cloud Cross Sections". 17-th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2009 WSCG09 <http://wscg.zcu.cz/wscg2009/wscg2009.htm>

Βιβλιογραφία

- [1] Y. Wu, Y. Wong, H. Loh, and Y.F. Zhang. Modelling cloud data using an adaptive slicing approach. *Computer-Aided Design*, 36:231-240, 2004.
- [2] Cyberware. Cyberware Rapid 3D Scanners – Desktop 3D Scanner Samples. 1999. <http://www.cyberware.com/products/scanners/desktopSamples.html>.
- [3] M. e. a. De Berg. *Computational Geometry Algorithms and Applications*. Springer-Verlag, 1997.
- [4] M. A. Said. Polyline approximation of single-valued digital curves using alternating convex hulls. *Computer Graphics and Geometry*, 4:75–99, 2002.
- [5] C.B. Barber, D.P. Dobkin, and H.T. Huhdanpaa. The Quickhull Algorithm for Convex Hulls. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 22, 4, 469-483, 1996. <http://www.qhull.org>.
- [6] I. Kyriazis, I. Fudos and L. Palios. "Extracting CAD Features from Point Cloud Cross Sections". 17-th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2009 WSCG09 <http://wscg.zcu.cz/wscg2009/wscg2009.htm>
- [7] V. Stamati and I. Fudos, "On Reconstructing 3D Feature Boundaries", *Computer Aided Design and Applications*, Vol. 5, No.1-4, 316-324, June 2008
- [8] J. Hoschek and D. Lasser, "Fundamentals of Computer Aided Geometric Design", A K Peters, Ltd, 1993