

ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ

Υποψήφιος Διδάκτορας: Ιωάννης Κυριαζής

Το πρόβλημα

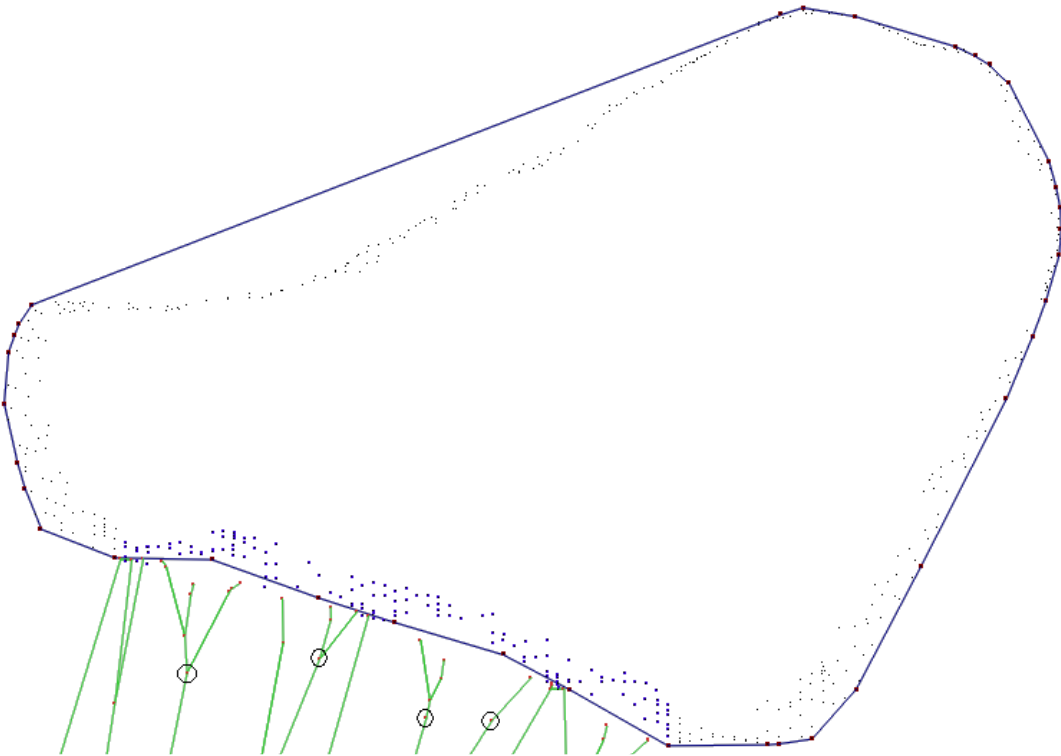
Το πρόβλημα που καλείται ο υποψήφιος διδάκτορας να επιλύσει είναι η εξαγωγή χαρακτηριστικών (feature extraction) από ένα 3D αντικείμενο, τα οποία θα είναι κατάλληλα για επεξεργασία με σχεδιαστικές εφαρμογές (CAD). Η εξαγωγή των χαρακτηριστικών γίνεται απευθείας από το νέφος σημείων που περιγράφει το 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 δικό της κυρτό περίβλημα, και συνδυάστηκαν τα ευθύγραμμα τμήματα του αρχικού περιβλήματος με αυτά των επιμέρους περιοχών, ώστε να προκύψει ένα πολύγωνο το οποίο βρίσκεται κοντά στα σημεία της φέτας σε αρκετές περιοχές. Για να πλησιάσει το πολύγωνο τα σημεία σε όλες τις περιοχές υπολογίστηκαν εκ νέου οι περιοχές για κάθε τμήμα το πολυγώνου και εφαρμόστηκε η μέθοδος επαναληπτικά, έως ότου όλες οι περιοχές της φέτας να περιγράφονται επαρκώς τα σημεία που αντιστοιχίζονται σε αυτές (Το κριτήριο τερματισμού περιγράφεται αναλυτικά από τον Said [4]).

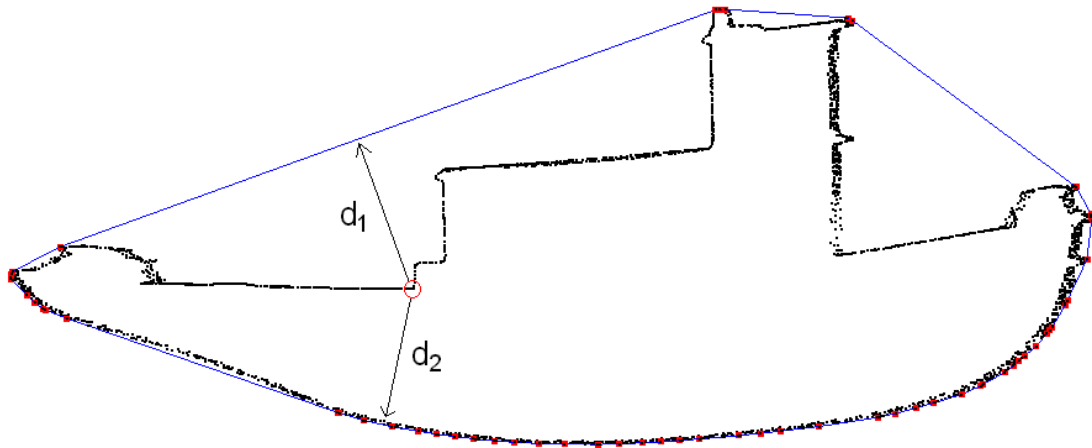
Η μέθοδος αυτή οδήγησε σε αποτελέσματα μη ικανοποιητικά σε περιπτώσεις που τα σημεία των περιοχών παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Για το λόγο αυτό ακολουθήθηκε μια νέα προσέγγιση, όπου υπολογίστηκε αρχικά το κυρτό περίβλημα, και στη συνέχεια για κάθε περιοχή το διάγραμμα Voronoi [3] των σημείων. Από τις 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. Η μέθοδος μπορεί να εκτελεστεί επαναληπτικά, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, αλλά σε πολλές περιπτώσεις με την κατάλληλη επιλογή των κορυφών Voronoi αυτό δεν είναι απαραίτητο, αφού οδηγεί σε ικανοποιητικά αποτελέσματα ακόμα κι αν τα σημεία της φέτας παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Στην Εικόνα 1 φαίνεται το πολύγωνο όπως προσδιορίστηκε με την τελευταία μέθοδο για μια περιοχή.



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.

Τρέχουσα Εργασία

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, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2 Η απόσταση d_2 ενός σημείου από μια περιοχή είναι μικρότερη από την απόσταση d_1 του ίδιου σημείου από την απέναντι περιοχή, όμως η δεύτερη περιοχή είναι εκείνη στην οποία ανήκει το σημείο.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος θεωρούμε τα παρακάτω:

αυτού ορίζουμε τη γειτονιά ενός σημείου το σύνολο των σημείων που απέχουν από το σημείο απόσταση μικρότερη ενός ορίου e . Επίσης ορίζουμε την ποσότητα $d > e$ ως την ελάχιστη απόσταση δυο σημείων του νέφους τα οποία ανήκουν σε διαφορετικές και μη γειτονικές περιοχές.

Ορισμός 1. Ένα σημείο p_N είναι γειτονικό ενός σημείου p αν απέχει απόσταση μικρότερη ή ίση με μια χαρακτηριστική σταθερά e .

Το e που καλείται *ακτίνα γειτονικότητας* (*neighborhood radius*) είναι χαρακτηριστικό του νέφους σημείων και προκύπτει από τη στατιστική ανάλυση της τοπολογίας της φέτας.

Ορισμός 2. Ορίζουμε την ποσότητα $d > e$ την οποία ονομάζουμε *ανοχή διαχωριστικότητας* (*separability tolerance*) του νέφους σημείων, ως τον ελάχιστο αριθμό με την ιδιότητα για οποιοδήποτε ζεύγος σημείων p_1, p_2 που ανήκουν σε διαφορετικές και μη γειτονικές περιοχές να ισχύει $\|p_1 - p_2\| \leq d$.

Η ποσότητα d είναι επίσης χαρακτηριστικό του νέφους σημείων και προκύπτει από τη στατιστική ανάλυση της τοπολογίας της φέτας.

Τότε έχουμε,

Ορισμός 3. Το *ελάχιστο γειτονικό μονοπάτι* (*shortest neighbor path*) μεταξύ δυο σημείων s_1 και s_n της φέτας του νέφους σημείων είναι μια ακολουθία σημείων $[s_1, s_2, \dots, s_n]$ τέτοια ώστε κάθε σημείο να είναι γειτονικό του επόμενου και η ποσότητα

$$\sum_{i=1}^{n-1} \|s_i - s_{i+1}\|$$

είναι η ελάχιστη.

Τότε, για μια ακολουθία σημείων $P = [p_1, p_2, \dots, p_k]$ που χωρίζει τη φέτα σε περιοχές $[r_1, r_2, \dots, r_k]$ υπολογίζουμε τα ελάχιστα γειτονικά μονοπάτια μεταξύ των ζευγών των διαδοχικών σημείων $(p_i, p_{(i+1) \bmod n})$.

Ορισμός 4. Το *μονοπάτι αναφοράς* μιας περιοχής r_i είναι το ελάχιστο γειτονικό μονοπάτι μεταξύ των σημείων p_i και $p_{(i+1) \bmod n}$.

Τέλος, αντιστοιχίζουμε κάθε σημείο q του νέφους σημείων σε μια περιοχή r_i τέτοια ώστε το μονοπάτι αναφοράς της περιοχής r_i να περιέχει ένα σημείο s_j για το οποίο το μήκος του ελάχιστου γειτονικού μονοπατιού από το q να είναι το ελάχιστο.

Ορισμός 5. Για ένα σημείο q του νέφους σημείων η περιοχή του q ορίζεται ως η περιοχή r_i για την οποία το μονοπάτι αναφοράς της περιέχει ένα σημείο s_j για το οποίο το μήκος του ελάχιστου γειτονικού μονοπατιού από το q να είναι το ελάχιστο.

Έτσι λοιπόν εξασφαλίζουμε ότι κάθε σημείο του νέφους σημείων θα αντιστοιχιστεί στη σωστή περιοχή, αποφεύγοντας περιπτώσεις παρόμοιες με αυτή της εικόνας 2. Την τρέχουσα περίοδο ο υποψήφιος υλοποιεί τους παραπάνω περιορισμούς με σκοπό την πειραματική μελέτη των ορισμών σε πραγματικά παραδείγματα.

Επόμενοι Στόχοι

Οι μέθοδοι βελτιώνονται συνεχώς για την πιο αποδοτική εκτέλεσή τους, και εμπλουτίζονται με νέες δυνατότητες και χαρακτηριστικά. Ένα θέμα το οποίο ήδη απασχολεί τον υποψήφιο είναι η παρεμβολή μιας καμπύλης στα χαρακτηριστικά σημεία για να εξάγει αποτελέσματα πιο ομαλά και ευέλικτα για χρήση σε συστήματα CAD. Μπορούν πχ να χρησιμοποιηθούν κυβικές καμπύλες B-Spline ή ακόμα και καμπύλες Bezier, ανάλογα με τη διάταξη των χαρακτηριστικών σημείων. Αναμένεται να επιτευχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα, και σε κάθε περίπτωση η απεικόνιση θα είναι καλύτερη σε σχέση με τη γραμμική παρεμβολή που χρησιμοποιείται μέχρι τώρα.

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

Σχετική με την εργασία είναι η δημοσίευση που έγινε στο συνέδριο GRAPP 07 με τίτλο:

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/>.

Επίσης η τρέχουσα εργασία έχει υποβληθεί για δημοσίευση στο συνέδριο *5th Annual International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering, September, 2008*.

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>.