

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ PHOM GIẤY TỪ DỮ LIỆU SỐ HÓA 3D

Phạm Ngọc Tuấn

Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 18 tháng 1 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 19 tháng 4 năm 2005)

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu những kết quả nghiên cứu và thực hiện qui trình được đề nghị để thiết kế phom giấy từ các dữ liệu số hóa 3D nhận được. Các dữ liệu này được đọc, tinh chế và chuyển đổi từ dạng .gws sang .pts, được xuất vào phần mềm Pro/Engineer, từ đó các đường cong và mặt NURB được thiết kế, kiểm tra sơ bộ lỗi, phân tích và đánh giá sai số để hoàn thiện thiết kế. Những kết quả nghiên cứu có thể là cơ sở để triển khai một số nghiên cứu khác được đề cập ở phần kết luận của bài báo.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong giai đoạn đầu của quá trình áp dụng kỹ thuật ngược (KTN), việc số hóa 3D phom giấy được thực hiện và xuất ra các kết quả dưới dạng một tập hợp điểm ba chiều được số hóa hay còn gọi là đám mây điểm. Các dữ liệu số hóa 3D này cần được xử lý, tinh chế, chuyển đổi và qua nhiều công đoạn nữa trước khi có một thiết kế phom giấy hoàn chỉnh. Bài báo này đề cập đến việc nghiên cứu và thực nghiệm thiết kế phom giấy từ các dữ liệu số hóa 3D.

Mật độ đo và số lượng điểm đo trên chi tiết được trình bày trong một bài báo về số hóa 3D phom giấy của tác giả. Trong đó mật độ đo theo phương vuông góc với các mặt phẳng V cắt đứng là 7 mm, còn mật độ đo (bước đo) trên những đường cong thuộc các mặt phẳng V là 3 mm hoặc 7 mm, tùy vị trí của mặt phẳng V.

2. CÁC CÔNG CỤ VÀ QUI TRÌNH THIẾT KẾ

2.1 Các công cụ

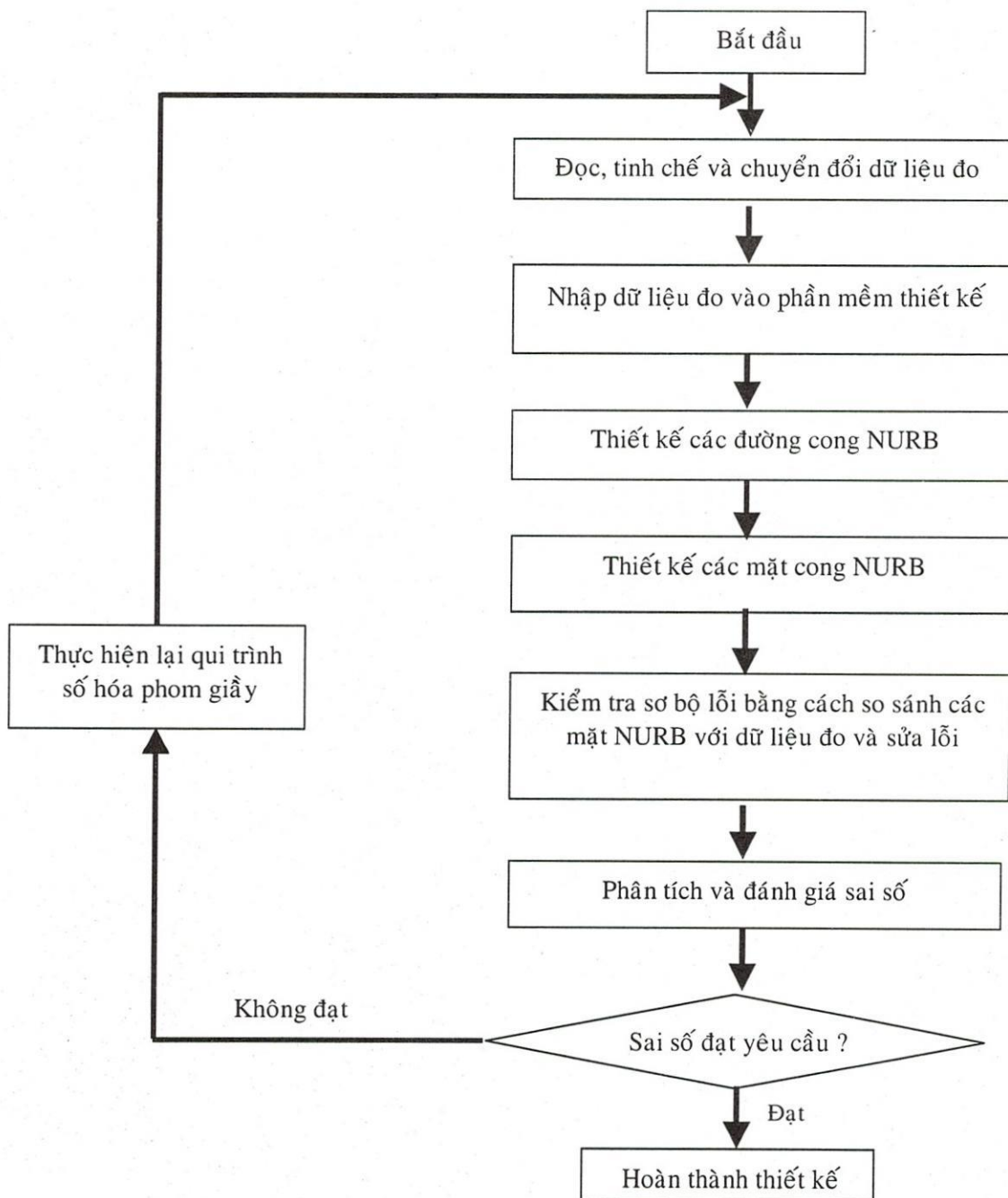
- **Phần mềm CAD/CAM Pro/Engineer**
 - Là phần mềm thiết kế mô hình cấu trúc khối thể hiện đối tượng ba chiều chính xác hơn những phần mềm thiết kế mô hình cấu trúc khung dây.
 - Cho phép đọc vào/ xuất ra các file dữ liệu có định dạng như .igs, .stl, ...của các hệ thống CAD/CAM.
 - Có chức năng lập trình NC phục vụ gia công.
- **Phần mềm Excel**
 - Được dùng để tinh chế và chuyển đổi dữ liệu từ .gws sang .pts.
- **Phần mềm Mechanical Desktop**
 - Hỗ trợ việc kiểm tra, đánh giá độ chính xác của mẫu thiết kế.

2.2 Qui trình thiết kế

Dựa vào khả năng của máy đo tọa độ Mitutoyo Beyond A504, đặc điểm của phần mềm Pro/Engineer, có thể xây dựng qui trình thiết kế phom giấy từ dữ liệu số hóa 3D gồm các bước theo trình tự như sau:

- Đọc, tinh chế và chuyển đổi dữ liệu đo.
- Nhập dữ liệu đo vào phần mềm thiết kế.
- Thiết kế các đường cong NURB.
- Thiết kế các mặt cong NURB.
- Kiểm tra sơ bộ lỗi bằng cách so sánh các mặt NURB với dữ liệu đo và sửa lỗi.
- Phân tích và đánh giá sai số. Nếu không đạt thực hiện lại qui trình số hóa phom giấy; nếu đạt thì hoàn thành thiết kế.

Qui trình thiết kế mô tả ở trên được biểu diễn ở dạng sơ đồ khối như hình 1.



Hình 1: Qui trình thiết kế phom giấy từ dữ liệu số hóa.

3. THỰC HIỆN QUI TRÌNH THIẾT KẾ

3.1. Chuyển đổi và tinh chế dữ liệu phù hợp với phần mềm Pro/Engineer

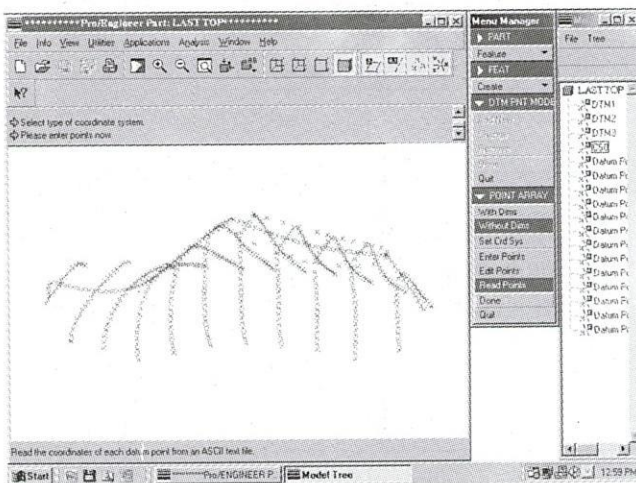
Dùng phần mềm Excel để:

- Đọc các file dữ liệu điểm đã đo được dưới dạng .gws.
- Tinh chế và chuyển đổi các dữ liệu đo 3D sang dạng .pts để tương thích với phần mềm Pro/Engineer.
- Ghi lại file dữ liệu dưới dạng .pts.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	156.9295	152.0214	235.3542							
2	156.9295	152.0203	225.4607							
3	156.9300	151.8930	239.2596							
4	156.9300	155.0791	232.1353							
5	156.9300	156.0180	233.2263							
6	156.9310	160.2519	234.1799							
7	156.9300	163.7174	235.0331							
8	156.9300	166.5822	235.8471							
9	156.9295	169.4804	236.5933							
10	156.9295	172.3765	237.3268							
11	156.9295	175.2819	238.0251							
12	156.9295	178.2011	238.6977							
13	156.9290	181.1113	239.3737							
14	156.9295	184.0324	240.0174							
15	156.9290	186.9564	240.6206							
16	156.9300	189.9136	241.1308							
17	156.9310	192.8360	241.7258							
18	156.9295	195.7957	242.1883							
19	156.9305	198.7453	242.6816							
20	156.9300	201.6854	243.2331							
21	156.9295	204.6426	243.6907							
22	156.9290	207.5953	244.1718							

Hình 2: File dữ liệu đo được tinh chế và chuyển đổi sang dạng .pts.

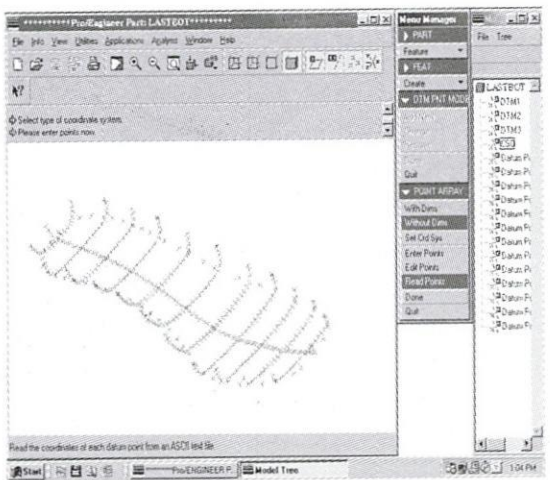
3.2. Nhập dữ liệu đo vào phần mềm thiết kế



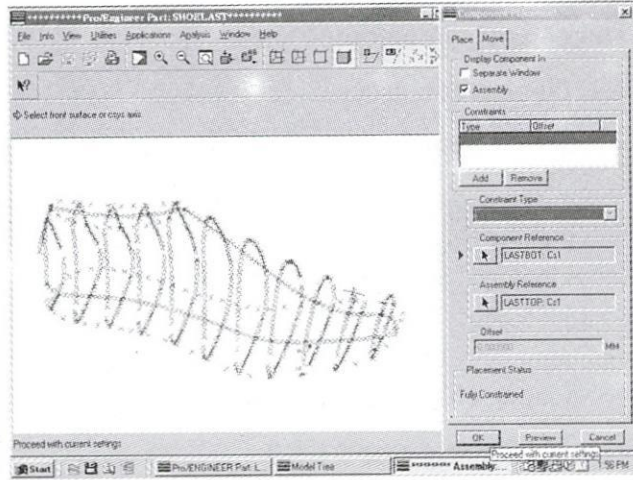
Hình 3: Nhập và xử lý file các tập hợp điểm của phần trên phom giấy.

Với phương án đo lần lượt phần trên và phần dưới phom giấy, có thể dùng phần mềm thiết kế Pro/Engineer để:

- Nhập và xử lý file các tập hợp điểm của phần trên phom giấy (Hình 3).
- Nhập và xử lý file các tập hợp điểm của phần dưới phom giấy (Hình 4).
- Liên kết hai tập điểm nói trên để hình thành file dữ liệu của toàn bộ phom giấy dưới dạng .igs (Hình 5).



Hình 4: Nhập và xử lý file các tập hợp điểm của phần dưới phom giày.



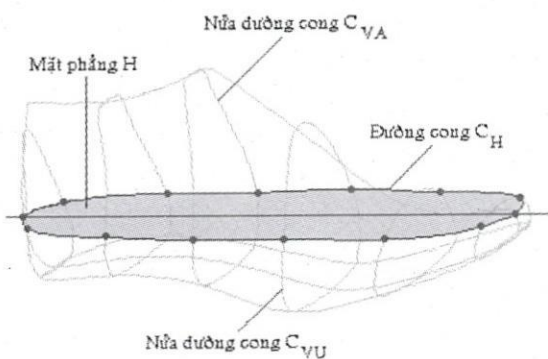
Hình 5: Hoàn thành file dữ liệu của toàn bộ phom giày

3.3. Thiết kế các đường cong NURB

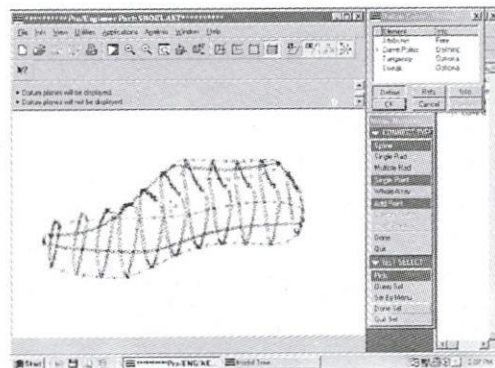
Dùng phần mềm Pro/Engineer để thiết kế các đường cong NURB tương ứng với các đường cong đã được số hóa.

a. Thiết kế các đường cong đặc biệt

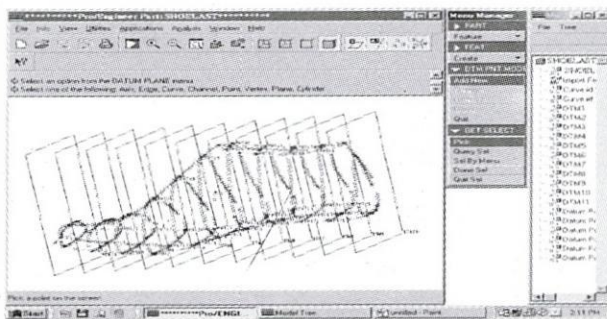
Là các đường cong được số hóa trong khi đo. Để tạo đường cong đi qua các điểm, chọn lệnh: Menu Manager => Part => Feature => Create => Datum => Curve => Through Points => Done => Spline => Single Point => Pick => [Kích chuột vào từng điểm cần nối] => Done => OK (Hình 6b).



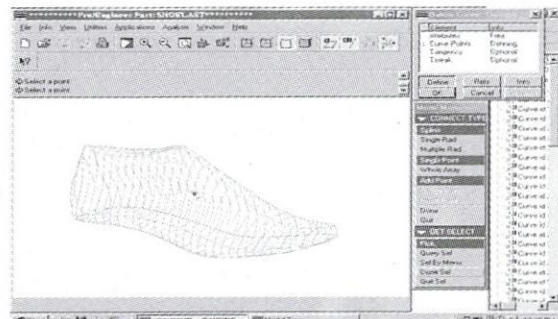
Hình 6: a. Các đường cong đã được số hóa.



b. Các đường cong thiết kế.



Hình 7: Xác định giao điểm của các đường cong đã tạo với các mặt phẳng chứa chuỗi điểm.



Hình 8: Giao diện hoàn chỉnh các đường cong đã số hoá.

b. Thiết kế các đường cong khác

Xác định giao điểm của các mặt phẳng Vi ($i = 2, 3, \dots, 30$) với các đường cong đặc biệt:

- Tạo mặt phẳng chứa chuỗi điểm : chọn Menu Manager \Rightarrow Part \Rightarrow Feature \Rightarrow Create \Rightarrow Datum \Rightarrow Plane \Rightarrow Through \Rightarrow Pick \Rightarrow [Lần lượt kích chuột vào ba điểm của chuỗi] \Rightarrow Done.
- Xác định giao điểm của các đường cong đã tạo với các mặt phẳng chứa chuỗi điểm: chọn Menu Manager \Rightarrow Part \Rightarrow Feature \Rightarrow Create \Rightarrow Datum \Rightarrow Point \Rightarrow Curve x Srf \Rightarrow Add New \Rightarrow Pick \Rightarrow [Kích chuột vào đường cong - Sau đó kích chuột mặt phẳng] \Rightarrow Done (Hình 7).
- Tạo đường cong đi qua các điểm: chọn lệnh: Menu Manager \Rightarrow Part \Rightarrow Feature \Rightarrow Create \Rightarrow Datum \Rightarrow Curve \Rightarrow Through Points \Rightarrow Done \Rightarrow Spline \Rightarrow Single Point \Rightarrow Pick \Rightarrow [Kích chuột vào từng điểm cần nối] \Rightarrow Done \Rightarrow OK (Hình 8).

3.4. Thiết kế các mặt cong NURB

Dùng phần mềm Pro/Engineer để thiết kế các mặt cong NURB tương ứng với các mảnh mặt cong được chia nhỏ của ba mặt cong thành phần của phom giấy.

Thiết kế các mặt cong phần thân phom giấy

Để tạo các mặt cong NURB: chọn Menu Manager \Rightarrow Part \Rightarrow Feature \Rightarrow Create \Rightarrow Surface \Rightarrow New \Rightarrow Advanced \Rightarrow Done Boundaries \Rightarrow Done \Rightarrow Blended Surf \Rightarrow Done

\Rightarrow First Dir \Rightarrow [Kích chuột chọn các đường cong biên theo hướng thứ nhất] \Rightarrow Done Sel.

\Rightarrow Second Dir \Rightarrow [Kích chuột chọn các đường cong biên theo hướng thứ hai] \Rightarrow Done Sel.

\Rightarrow Chọn Done Curves \Rightarrow OK.

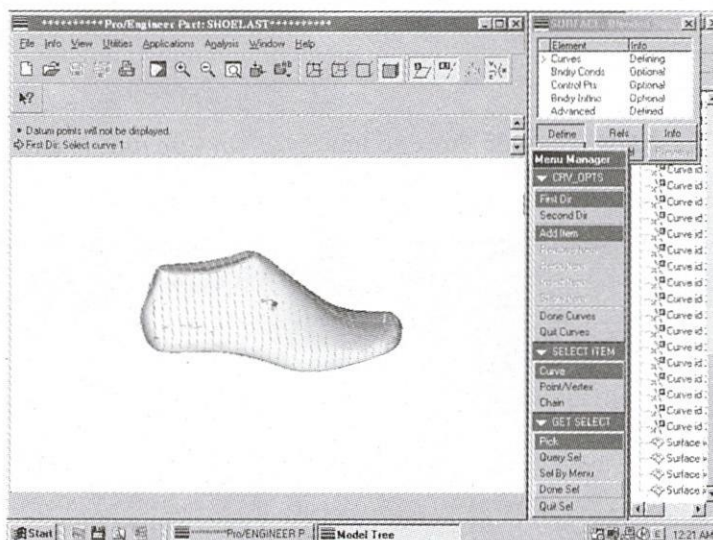
Thiết kế các mặt cong phần đầu mũi phom giấy

Thực hiện tương tự như trên.

Thiết kế các mặt cong phần cuối gót phom giấy

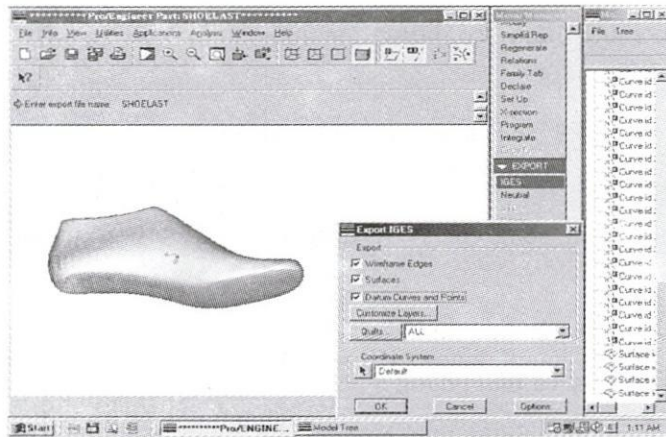
Thực hiện tương tự như trên.

Kết quả thiết kế các mặt cong NURB cho ba mặt cong thành phần của phom giấy được trình bày trên hình 9.



Hình 9: Kết quả thiết kế các mặt cong NURB cho ba mặt cong thành phần của phom.

3.5. So sánh các mặt NURB với các dữ liệu đo



Hình 10: Xuất mặt cong thiết kế sang dạng .igs.

- Dùng lệnh: View \ Spin / Pan / Zoom để xoay, kéo, phóng to tìm các lỗi trên mặt cong thiết kế.
- Để sửa lỗi, dùng lệnh: Menu Manager ⇒ Part ⇒ Feature Create ⇒ Redefine ⇒ [Kích chuột vào đối tượng muốn sửa lỗi].

Sau khi kiểm tra sơ bộ và chỉnh sửa các lỗi (lỗi thiết kế đường cong, lỗi thiết kế mặt cong), xuất các mặt cong sang dạng .igs.

3.6. Phân tích và đánh giá sai số thiết kế

Có thể xác định sai số thiết kế bằng cách so sánh trực tiếp dữ liệu đo của từng đường đã số hóa (gồm một chuỗi tọa độ các điểm) với từng điểm tương ứng trên bề mặt thiết kế. Hướng giải quyết như sau:

a. Tính khoảng cách giữa điểm đo và điểm tương ứng trên mặt thiết kế

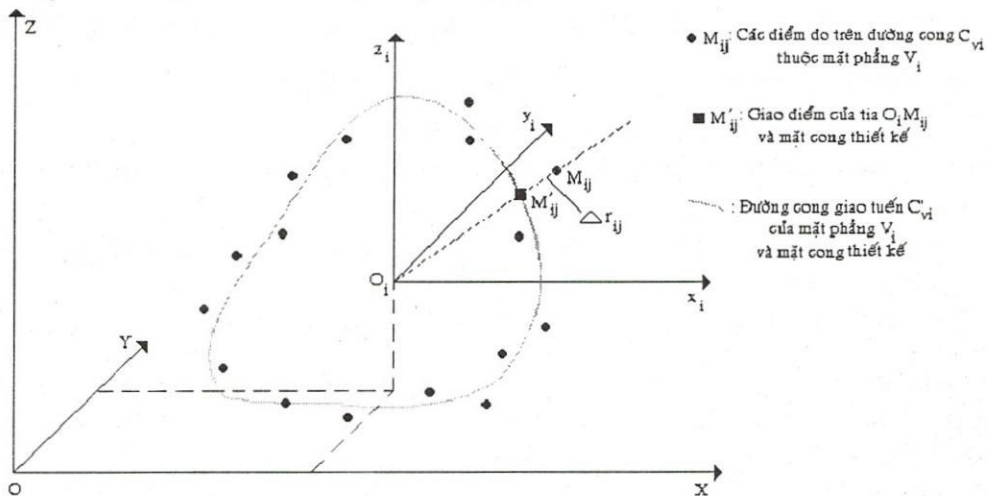
- Giả sử cắt ngang qua bề mặt phom giầy thiết kế bằng các mặt phẳng V_i song song nhau và đi qua các điểm của mỗi đường cong đã số hoá C_{vi} . Giao tuyến của chúng với bề mặt phom giầy là các đường cong C'_{vi} . Do mặt cong thiết kế là mặt xấp xỉ nên đường cong C'_{vi} sẽ không trùng với đường cong đã số hoá C_{vi} . Hay để đơn giản bài toán, có thể nói rằng đường cong C'_{vi} không đi qua chính xác tất cả các điểm dữ liệu đã đo (Hình 11).

- Xét tại một mặt phẳng V_i :

Gọi các điểm đo của đường cong C_{vi} là M_{ij} với $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

- Gọi O_i là một điểm thuộc mặt phẳng V_i , nối $O_i M_{ij}$. Tia $O_i M_{ij}$ cắt đường cong giao tuyến tại điểm M'_{ij} . Tọa độ của điểm M'_{ij} được biểu diễn bởi: $M'_{ij}(X', Y', Z')$.

Sai số thiết kế của mặt cong tại vị trí mặt phẳng xét là các sai khác của điểm M_{ij}' (điểm trên mặt cong) và M_{ij} (điểm đo), tức là các đoạn $\Delta r_{ij} = M_{ij} M_{ij}'$.



Hình 11: Các giao điểm của tia $O_i M_{ij}$ với mặt cong không trùng với các điểm đo.

- Gọi y là đường thẳng đi qua một điểm $A(X_A, Y_A, Z_A)$ cho trước đã biết và vuông góc với các mặt phẳng V_i tại các điểm O_i .
- Gọi số mặt phẳng là m (cũng là số chuỗi điểm), số điểm trong mỗi chuỗi điểm là n . Từ đó, trình tự tính các sai số Δr_{ij} được đề xuất như sau:

- **Bước 1:** Dựng mặt phẳng V_1 đi qua ba điểm bất kỳ của chuỗi điểm thứ nhất.

- **Bước 2:** Dựng đường thẳng y đi qua một điểm $A(X_A, Y_A, Z_A)$ và vuông góc với các mặt phẳng V_1 .

- **Bước 3:** Dựng các mặt phẳng V_i ($i = 2, 3, \dots, m$) song song với V_1 và đi qua một điểm bất kỳ của chuỗi điểm tương ứng.

- **Bước 4:** Với mỗi chuỗi điểm i ($i = 1 \dots m$), thực hiện:

1. Xác định giao điểm O_i của đường thẳng y và mặt phẳng V_i .
2. Với mỗi điểm $M_{ij}(X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})$ ($j = 1..n_i$) của chuỗi, thực hiện:

+ Dựng các tia $O_i M_{ij}$.

+ Xác định giao điểm M'_{ij} của $O_i M_{ij}$ với mặt cong thiết kế.

+ Đọc tọa độ điểm $M'_{ij}(X'_{ij}, Y'_{ij}, Z'_{ij})$.

+ Tính $\Delta r_{ij} = M_{ij} M'_{ij} = \sqrt{(X_{ij} - X'_{ij})^2 + (Y_{ij} - Y'_{ij})^2 + (Z_{ij} - Z'_{ij})^2}$

- **Bước 5:** Xuất kết quả tính Δr_{ij} .

b. Tính các sai số bằng phần mềm

Dùng các lệnh của phần mềm Pro/Engineer để xác định các giao điểm, kết hợp với phần mềm Mechanical Desktop để đọc tọa độ giao điểm, rồi tính sai số giữa điểm thiết kế và điểm đo (trong các file .pts). Trình tự này có thể thực hiện như sau:

- **Bước 1:** Dựng mặt phẳng DMT1 đi qua ba điểm của C_{v1} .

- **Bước 2:** Chọn một điểm A trên tập hợp điểm của contour C_H . Dựng đường thẳng A-1 đi qua điểm A và vuông góc với DMT1.

- **Bước 3:** Dựng các mặt phẳng DMT2, DMT3, ..., DMT31 song song với mặt phẳng DMT1 và đi qua một điểm thuộc chuỗi điểm tương ứng $C_{v2}, C_{v3}, \dots, C_{v31}$.

- **Bước 4:** Tại mỗi mặt phẳng i , thực hiện:

1. Xác định các giao điểm PNT $_i$ của đường thẳng A-1 và các mặt phẳng DNT $_i$ (H 61).

2. Với mỗi điểm M_{ij} ($j = 1..n_i$) của chuỗi điểm i , thực hiện:

+ Vẽ các tia đi qua PNT $_i$ và từng điểm M_{ij} .

+ Xác định giao điểm M'_{ij} của từng tia với mặt cong thiết kế (Hình 12).

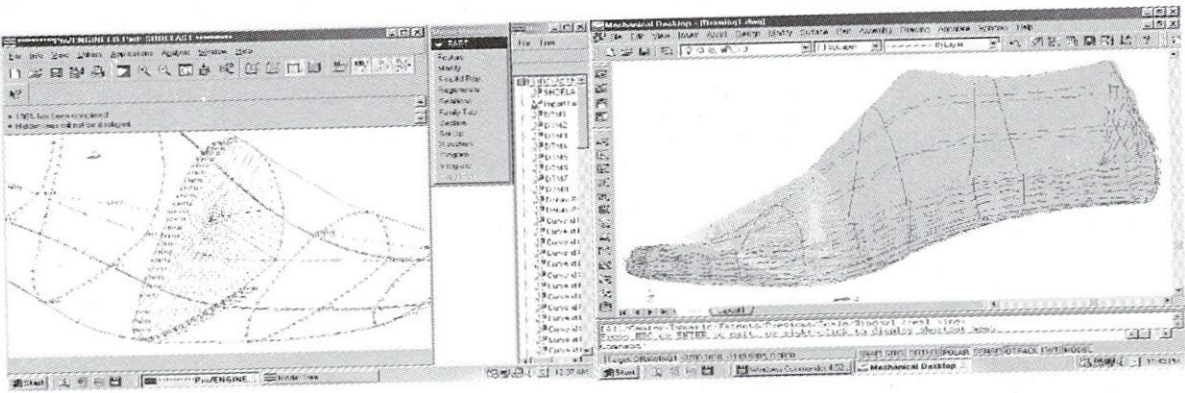
+ Xuất file sang dạng .igs.

+ Đọc tọa độ các giao điểm M'_{ij} bằng phần mềm Mechanical Desktop (Hình 13).

▪ Lập bảng tọa độ của M_{ij} và M'_{ij} .

▪ Tính sai số Δr_{ij} tại mỗi điểm thiết kế so với tọa độ đo.

- **Bước 5:** Lập bảng tổng hợp các sai số Δr_{ib} của mỗi chuỗi điểm.



Hình 12: Xác định các giao điểm trong phần mềm Pro/Engineer.

Hình 13: Đọc tọa độ các giao điểm bằng phần mềm Mechanical Desktop.

c. Ví dụ minh họa bước 4, với chuỗi điểm thứ 11

- Từ các bảng tổng hợp các sai số, có thể tính cho tất cả các điểm đo tại vị trí mặt phẳng 11:

- Sai số trung bình theo phương X:

$$\Delta X_{tb} = \frac{37 \times 0.0049 + 31 \times 0.0183}{37 + 31} = 0.01105 \text{ (mm)}$$

- Sai số trung bình theo phương Y:

$$\Delta Y_{tb} = \frac{37 \times (-0.0012) + 31 \times 0.0013}{37 + 31} = -0.00002 \text{ (mm)}$$

- Sai số trung bình theo phương Z:

$$\Delta Z_{tb} = \frac{37 \times 0.0042 + 31 \times 0.1333}{37 + 31} = 0.08374 \text{ (mm)}$$

- Sai số trung bình hướng tâm O_i :

$$\Delta r_{tb} = \frac{37 \times 0.04702 + 31 \times 0.18127}{37 + 31} = 0.10822 \text{ (mm)}$$

- Tại mặt phẳng cắt V_{11} , dùng Mechanical Desktop có thể tìm được các khoảng cách hướng kính lớn nhất và nhỏ nhất:

Khoảng cách lớn nhất giữa là hai điểm với tọa độ:

(196.5345, 231.0005, 233.2670) và (120.5425, 231.0005, 228.4570)

$$\Rightarrow 2r_{\max} = \sqrt{(196.5345 - 120.5425)^2 + (233.2670 - 228.4570)^2} = 76.1531 \text{ (mm)}$$

Khoảng cách nhỏ nhất giữa là hai điểm với tọa độ:

(156.0630, 231.0005, 214.8785) và (156.5305, 231.0005, 246.9950)

$$\Rightarrow 2r_{\min} = \sqrt{(156.0630 - 156.5305)^2 + (214.8785 - 246.9950)^2} = 32.1199 \text{ (mm)}$$

- Sai số trung bình hướng tâm $\Delta r_{tb} = 0.10822 \text{ (mm)} \Rightarrow 2\Delta r_{tb} = 0.21644 \text{ (mm)}$.

- Tính theo phần trăm:

Sai số kích thước trung bình lớn nhất:

$$\delta_{\max} = \frac{2\Delta r_{tb}}{2r_{\min}} = \frac{0.21644}{32.1199} = 0.6738\%$$

Sai số kích thước trung bình nhỏ nhất:

$$\delta_{\min}^- = \frac{2\Delta r_{tb}}{2r_{\max}} = \frac{0.21644}{76.1531} = 0.2842\%$$

d. Kết luận về độ chính xác thiết kế

Qua các bảng và các sai số đã tính có thể nhận thấy:

- Các sai số $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta r$ của từng điểm thiết kế so với điểm đo rất nhỏ:

$$\Delta X = 0.00135 \div 0.01105 \quad (\text{mm})$$

$$\Delta Y = -0.00002 \div 0.00208 \quad (\text{mm})$$

$$\Delta Z = 0.04195 \div 0.08374 (\text{mm})$$

$$\Delta r = 0.10822 \div 0.10950 (\text{mm})$$

- Sai số tính theo phần trăm của kích thước hướng kính (nguyên mẫu) cũng rất nhỏ $\delta_{\max} = 0.6738\%, \delta_{\min} = 0.2842\%$.
- Độ chính xác của mặt cong thiết kế tại mặt cắt của các chuỗi điểm có thể đạt khoảng $99.3262\% \div 99.7158\%$.
- So với yêu cầu đặt ra ban đầu so với nguyên mẫu: Sai số trung bình về toạ độ $\Delta_{tb}(X,Y,Z) = 0.25 \text{ mm}$ và sai số trung bình về kích thước $\delta_{tb} = 98\%$, thì các giá trị sai số tính toán ở trên chứng tỏ phom giầy được thiết kế đạt yêu cầu kỹ thuật.

4. ỨNG DỤNG

Các kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng nhằm:

- Ứng dụng trong thiết kế lại phom giầy.
- Ứng dụng trong gia công CNC phom giầy.
- Ứng dụng trong nhẩy cỡ phom giầy.
- Ứng dụng trong thiết kế mẫu 2D.
- Ứng dụng trong thiết kế khuôn đúc đế giầy.

5. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu và thực nghiệm thiết kế phom giầy từ các dữ liệu số hóa 3D là cơ sở để xây dựng một hệ thống CAD/CAM cho ngành công nghiệp giầy dép. Các kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng để triển khai thiết kế các chi tiết 2D của đôi giầy từ mô hình phom giầy 3D, thiết kế khuôn đúc đế giầy trực tiếp từ thiết kế phom giầy đã có, nhân cỡ số tự động phom giầy, gia công phom giầy trên máy công cụ điều khiển số, và rộng hơn là nghiên cứu xây dựng phần mềm tự động chuyển đổi dữ liệu đo của một tập hợp điểm thành những đường cong hoặc mặt cong B - Spline, phần mềm tự động đánh giá sai số của điểm trên mặt cong thiết kế so với các dữ liệu đo, phát triển các phương pháp và qui trình áp dụng kỹ thuật ngược để thiết kế những sản phẩm ba chiều khác.

STUDY ON DESIGN OF SHOE LAST FROM 3D DIGITIZED DATA

Pham Ngoc Tuan

Faculty of Machanics, Ho Chi Minh City University of Technology-VNU-HCMC

ABSTRACT: *The paper introduces results on studying and implementing the suggested design process of shoe last from received 3D digitized data. These data are read, refined and converted from .gws file to .pts file., exported to Pro/Engineer software, then NURBS curves and surfaces are designed, primarily detected faults, analyzed and evaluated errors to improve last design. Results may be fundamentals to develop other studies mentioned in the conclusion of the paper.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. **G. Greinier.** *Representation And Processing Of Surface Data.*
- [2]. **Kwan H. Lee and H. Woo.** *Efficient Point Cloud Data Handling For Rapid Prototyping.*
- [3]. **Lê Trung Thực.** *Hướng Dẫn Thực Hành Pro/Engineer 2001.* Thành phố Hồ Chí Minh (2001).
- [4]. **Robert B. Borchers, David A. Boone, Aaron W. Joseph, Douglas G. Smith, Gayle B. Reiber.** *Numerical Comparison of 3-D Shapes: Potential for Application to the Insensate Foot.*
- [5]. **S. Karbacher, S. Seeger, G. Hausler.** *Refining Triangle Meshes By Non-Linear Subdivision.*
- [6]. **S. Karbacher, X. Laboureux, N. Schon, G. Hausler.** *Processing Range Data for Reverse Engineering and Virtual Reality.*