



XÂY DỰNG THUẬT TOÁN VÀ CÔNG CỤ PHẦN MỀM MÔ HÌNH HÓA BỀ MẶT TỰ DO TRONG THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Hoàng Văn Quý^{1,2}, Bùi Ngọc Tuyên^{1*}

¹ Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

² Trường Đại học Hải Phòng

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 08/06/2018

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 06/08/2018

Ngày bài báo được duyệt đăng: 10/08/2018

Tóm tắt:

Mặt tự do là một mặt cong trơn, được sử dụng để biểu diễn các mô hình phức tạp. Hiện nay bề mặt tự do được sử dụng vô cùng rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật. Trong các hệ thống CAD/CAM hiện đại cũng đã được tích hợp các module mô hình hóa các mặt tự do. Tuy nhiên trong hầu hết các hệ thống này các module thiết kế bề mặt tự do thường thể hiện dưới dạng là module đóng. Người dùng khó can thiệp hoặc lấy dữ liệu của mặt tự do sau khi thiết kế để sử dụng cho các mục đích nghiên cứu như phân rã bề mặt tự do thành đám mây điểm phục vụ cho việc phân vùng bề mặt, hoặc hiệu chỉnh các mặt tự do, ... Trong bài báo này, các tác giả trình bày một thuật toán xây dựng bề mặt tự do dựa trên đa giác điểm điều khiển. Nghiên cứu cũng đã xây dựng được một công cụ phần mềm để mô hình hóa bề mặt tự do viết bằng Matlab. Đây là tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo của các tác giả như là phân vùng bề mặt tự do, tối ưu hóa gia công mặt tự do trên máy phay CNC 3 trục.

Từ khóa: Bề mặt tự do, mô hình hóa, điểm điều khiển.

1. Đặt vấn đề

Mặt tự do là một dạng bề mặt phức tạp, có thể gọi bằng các tên như: Sculpture surface, Freeform surface, Non uniform Rational B-spline surface (NURBS). Không giống các bề mặt cơ bản như: mặt trụ, mặt cầu, mặt nón... có phương trình toán học và cách tạo hình đơn giản (Hình 1), mặt tự do được hình thành dựa trên lưới điểm điều khiển $\{P_{i,j}\}$ (Hình 3). Khi thay đổi vị trí các điểm điều khiển trong lưới điểm điều khiển sẽ làm thay đổi bề mặt sang các dạng khác nhau. Điều này làm cho bề mặt tự do có tính linh hoạt, hiệu quả cho thiết kế hơn so với các dạng bề mặt cơ bản rất nhiều. Do vậy, hiện nay bề mặt tự do được sử dụng phổ biến trong thiết kế các sản phẩm thuộc nhiều lĩnh vực công nghiệp khác nhau từ đơn giản, không cần độ chính xác cao như: bàn, ghế, đồ gia dụng đến các sản phẩm liên quan đến nghệ thuật như: các công trình xây dựng, tượng đài... cho đến các sản phẩm công nghiệp, các chi tiết khí động học yêu cầu kỹ thuật khắt khe về độ chính xác hình học như: khuôn mẫu, vỏ ô tô, cánh máy bay, cánh tuốc bin... Mô hình hóa bề mặt tự do cũng được rất nhiều tác giả nghiên cứu và đã được ứng dụng trong các hệ thống CAD/CAM thương mại. Tuy vậy hiện nay hầu hết các module xây dựng hoặc hiệu chỉnh bề mặt tự do đều được phát hành dưới dạng module đóng, không thể can thiệp hoặc hiệu chỉnh mã lệnh vì lý do bản quyền. Điều này khiến cho việc tiếp cận khai thác cơ sở dữ liệu các dạng bề mặt tự do là rất hạn chế.

Trong nghiên cứu này, các tác giả đã xây dựng được một thuật toán và công cụ phần mềm trên Matlab 2016a nhằm thiết kế, hiệu chỉnh, chuyển đổi các bề mặt tự do thành các hình dạng khác nhau một cách tự động khi thay đổi vị trí hay trọng số của các điểm điều khiển. Điều này thể hiện tính linh hoạt của bề mặt tự do, hiệu quả cho thiết kế các mô hình phức tạp. Kết quả của nghiên cứu này có thể sử dụng để trích xuất đám mây điểm thực hiện cho việc phân vùng thành các mảnh mặt trong các nghiên cứu tiếp theo của các tác giả.

2. Nghiên cứu liên quan

Có nhiều nghiên cứu để mô hình hóa các bề mặt tự do theo nhiều cách khác nhau. Mục đích của mô hình hóa bề mặt tự do không chỉ là để xây dựng các bề mặt tự do trong quá trình thiết kế, hiệu chỉnh các chi tiết máy theo yêu cầu mà còn là để hiểu sâu hơn về quá trình hình thành các bề mặt tự do. Qua đó, ta có thể kiểm soát hoàn toàn quá trình này.

J. Dan và W. Lancheng [1] nghiên cứu thuật toán xây dựng mặt NURBS trên cơ sở thiết kế ngược. Các tác giả đã xây dựng thuật toán để mô hình hóa mặt tự do từ tập các điểm rời rạc. Đây là hướng đi mới khác với các nghiên cứu cũ khi xây dựng các bề mặt tự do dựa trên mối liên kết các mảnh mặt.

Ochiai và Yoshihiro [2] nghiên cứu xây dựng mặt tự do dựa trên tích phân biên. Các tác giả áp dụng để xây dựng các bề mặt tự do khi thiết kế

các chi tiết khuôn.

Lesile A Piegl và cộng sự [3] nghiên cứu thuật toán để cắt xén bề mặt NURBS trong miền tham số dựa trên giới hạn đạo hàm bậc hai. Trong nghiên cứu này các tác giả thu được mặt tự do bằng cách xấp xỉ mảnh phẳng 3D khi ánh xạ các đa giác trong không gian 2D. Với phương pháp này các tác giả cho rằng số lượng đa giác tạo lên bề mặt sẽ lớn. Tuy nhiên phương pháp này lại có ưu điểm là tốc độ tạo ra bề mặt sẽ cao hơn. Kết quả đã được chứng minh qua thử nghiệm.

Zhongwei Yin [4] nghiên cứu một phương pháp mới xây dựng mặt NURBS dựa trên tập hợp đám mây điểm thay vì các điểm điều khiển và hiệu chỉnh chúng thông qua các điều kiện biên. Kết quả có thể áp dụng với các mặt B-spline hoặc Bezier.

G. Aumann [5] nghiên cứu một thuật toán để thiết kế mặt Bezier thông qua một đường cong Bezier có hình dáng và bậc tùy ý.

Trong bài báo này, các tác giả dựa trên phương pháp xây dựng mặt tự do theo lưới điểm điều khiển để thiết lập thuật toán và xây dựng chương trình mô hình hóa các bề mặt tự do viết bằng MATLAB. Chương trình này cũng cho phép thực hiện một số chuyển đổi giữa các dạng bề mặt tự do, từ đó làm rõ hơn quá trình hình thành các bề mặt tự do này.

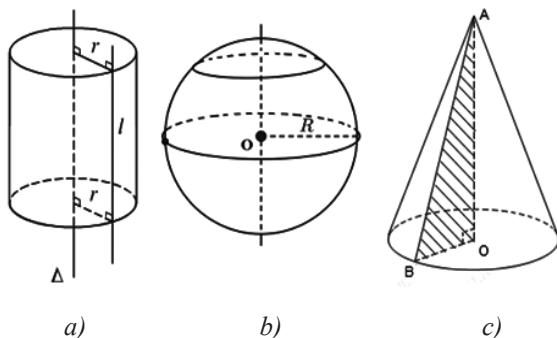
3. Nội dung nghiên cứu

3.1. Mô hình toán học mặt tự do

Phương trình mặt cong tổng quát trong hệ tọa độ Decarter như sau [6][7]:

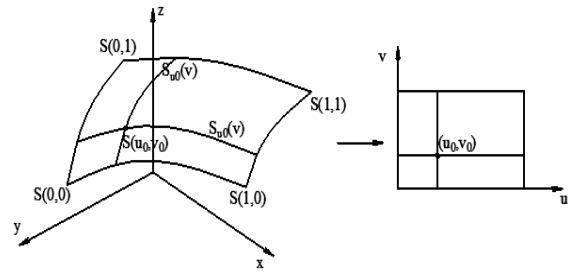
$$S = \{X, Y, Z, (x, y, z) \in \mathbb{R}^3\} \quad (1)$$

Phương trình này có thể biểu diễn những mặt cơ bản như mặt cầu, mặt trụ, mặt nón... (Hình 1). Khi biểu diễn mặt tự do thường sử dụng phương trình dạng tham số hai hướng u, v (các điểm trên bề mặt được ánh xạ từ ánh xạ từ không gian $\mathbb{R}^3$ sang không gian $\mathbb{R}^2$ (Hình 1).



Hình 1. Một số mặt cơ bản

a) Mặt trụ b) Mặt cầu c) Mặt nón



Hình 2. Điểm $S(x, y, z)$ ánh xạ sang không gian tham số theo 2 hướng u, v

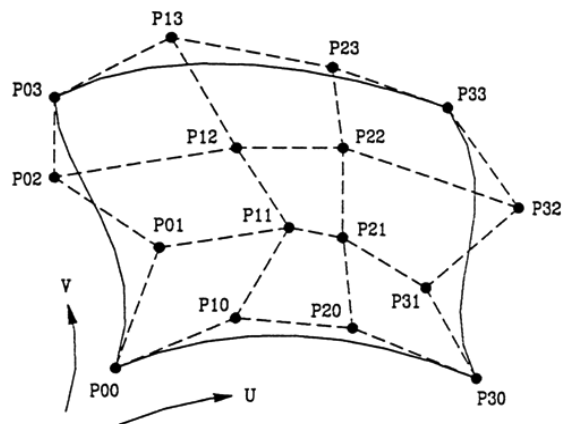
Tham số hóa các tọa độ x, y, z (theo phương trình 2) để chuyển các điểm của mặt theo phương trình 1 sang không gian tham số u, v :

$$\begin{cases} x = X(u, v) \\ y = Y(u, v) \\ z = Z(u, v) \end{cases} \quad u, v \in \mathbb{R}^2 \quad (2)$$

Phương trình tổng quát mặt tự do được biểu diễn lại như sau [6][7][8]:

$$\begin{aligned} S(u, v) &= [X(u, v), Y(u, v), Z(u, v)] \\ &= \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) \cdot N_{j,q}(v) \cdot w_{i,j} \cdot P_{i,j}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) \cdot N_{j,q}(v) \cdot w_{i,j}} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} N_{i,p}(u) &= \frac{p!}{i!(p-i)!} u^i \cdot (1-u)^{(p-i)} \\ N_{j,q}(v) &= \frac{q!}{j!(q-j)!} v^j \cdot (1-v)^{(q-j)} \end{aligned} \right\}$$



Hình 3. Lưới điểm điều khiển tổng quát

Trong đó:

$S(u, v)$ mặt tự do biểu diễn trong không gian u, v

$N_{i,p}(u), N_{j,q}(v)$ là đa thức Bearnstein

$P_{i,j}$ là điểm điều khiển theo hướng u, v (Hình 3)

$w_{i,j}$ là trọng số điều khiển theo hướng u, v

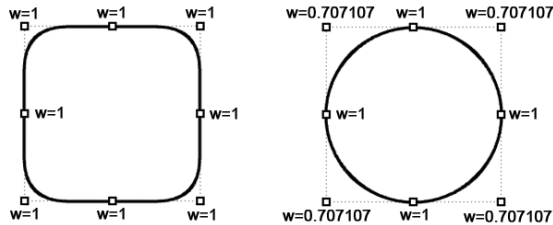
$$0 \leq u \leq 1; 0 \leq v \leq 1$$

Các điểm điều khiển $\{P_{i,j}\}$ xác định hình dạng của mặt tự do. Khi điểm điều khiển thay đổi vị trí thì hình dạng mặt tự do cũng sẽ thay đổi theo (Hình 3). Tổng quát, điểm điều khiển được biểu diễn dưới dạng một ma trận [4].

$$\{P_{i,j}\} = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0n} \\ P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m0} & P_{m1} & \dots & P_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$



Hình 4. Mặt tự do hình thành theo lưới điểm điều khiển 4x4



Hình 5. Ảnh hưởng của trọng số w tới dáng của đường cong tự do

Trọng số $w_{i,j}$ là một đại lượng đặc trưng cho tầm quan trọng của từng điểm điều khiển. Mỗi điểm điều khiển có một trọng số tương ứng. Độ lớn của trọng số $w_{i,j}$ tương ứng với mỗi điểm điều khiển sẽ cho thấy rằng bề mặt bị hút về phía điểm điều khiển nhiều hay ít. Để hiểu rõ hơn tác động của trọng số $w_{i,j}$ lên hình dáng của mặt tự do chúng ta có thể xem xét ảnh hưởng trọng số w đối với đường cong tự do, vì ảnh hưởng này có tính chất tương đương nhau. Trong Hình 5 thể hiện ảnh hưởng của độ lớn trọng số w đến hình dáng của một đường cong tự do kín. Với giá trị $w = 0,707107$ đường cong thể hiện dưới dạng một đường tròn, khi $w = 1$, đường cong bị hút về phía điểm điều khiển gây ra cung tròn bị biến dạng. Khi đó đường tròn bị biến thành hình vuông với góc vuông bo tròn (Hình 5).

3.2. Thuật toán và chương trình biểu diễn mặt tự do

Ứng dụng công thức xây dựng mặt tự do tổng quát (3) thuật toán xây dựng công cụ biểu diễn mặt tự do được trình bày trên Hình 6.

Sơ đồ thuật toán này tuân theo các bước sau:

Bước 1: Khởi tạo tập điểm điều khiển $\{P_{i,j}\}$

Bước 2: Cho đối số i, j chạy theo hai hướng tham số u và v với giá trị $i = 1..n, j = 1..m$.

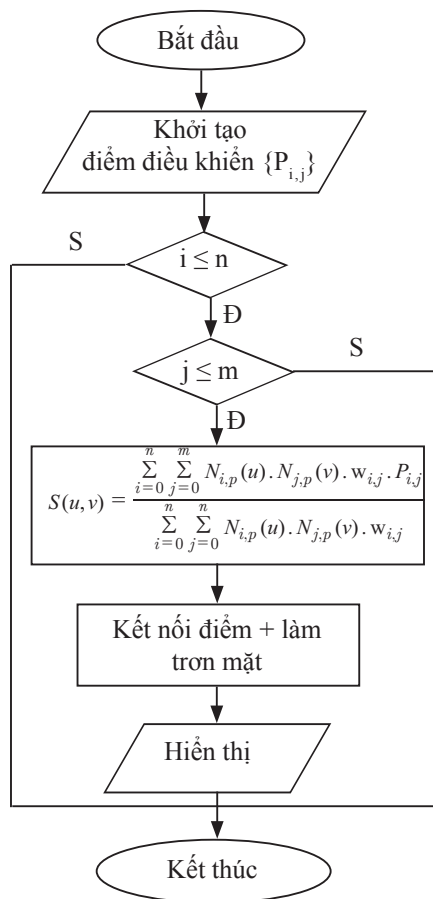
Bước 3: Xác định $S(u, v)$ theo (3)

Bước 4: Kết nối điểm theo đa giác tạo lưới bề mặt

Bước 5: Làm trơn mặt

Bước 6: Hiển thị kết quả

Bước 7: Kết thúc chương trình



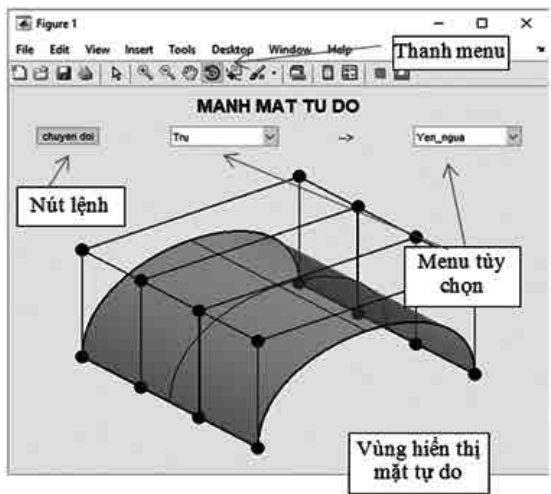
Hình 6. Sơ đồ thuật toán xây dựng công cụ thiết kế và hiệu chỉnh đường cong tự do

Ứng dụng thuật toán này các tác giả xây dựng một công cụ trực quan mô hình hóa bề mặt tự do viết bằng Matlab (Hình 7). Công cụ này gồm một số thành phần chính như sau:

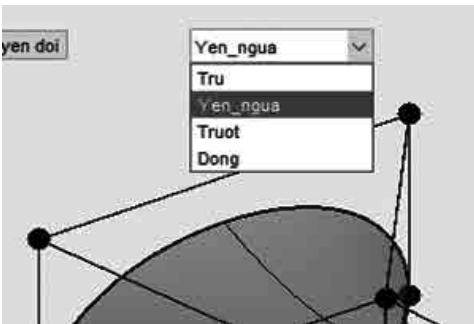
Thanh menu: Gồm các lệnh có sẵn trong Gui của Matlab.

Vùng hiển thị mặt tự do: Là vùng không gian hiển thị mặt tự do được nhập vào của công cụ.

Menu tùy chọn: Gồm 2 menu sổ xuống cho phép lựa chọn các kiểu mặt tự do thông dụng (Hình 8).
Nút lệnh: Mô phỏng quá trình chuyển từ mặt tự do dạng này sang dạng khác có trong chương trình.



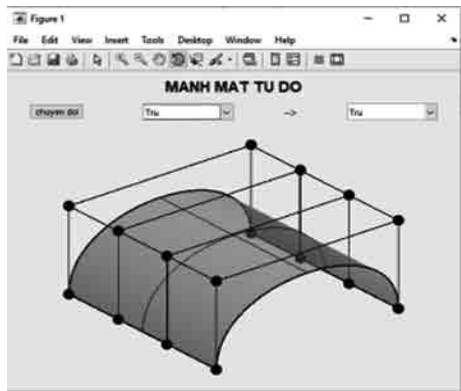
Hình 7. Công cụ biểu diễn mặt tự do



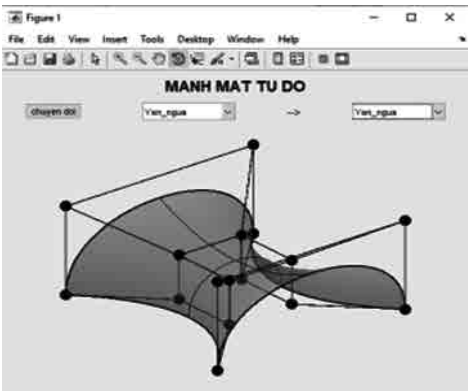
Hình 8. Menu tùy chọn mặt tự do

Chương trình cho phép mô hình hóa 4 loại bề mặt cơ bản: Mặt trụ (cylinder surface); Mặt yên ngựa (Saddle surface); Mặt trượt (slide surface) và Mặt tự do kín (Close surface). Có thể thay đổi kiểu hiển thị các dạng bề mặt trong chương trình tương đối linh hoạt, tùy vào mục đích của người dùng.

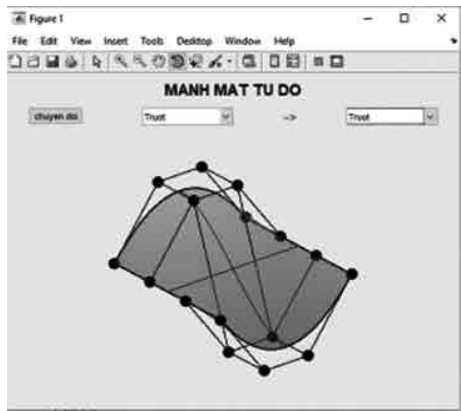
Một số hình ảnh kết quả hiển thị các bề mặt tự do bằng công cụ phần mềm đã xây dựng được trình bày trong Hình 9.



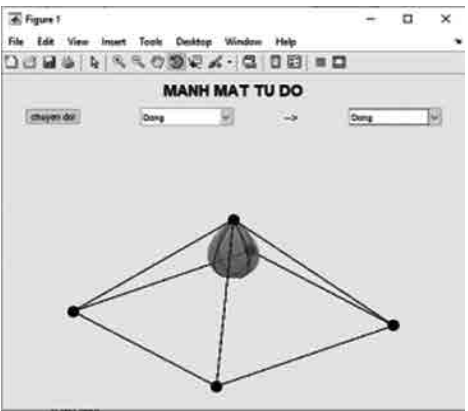
a)



b)



c)



d)

Hình 9. Một số hình ảnh mô hình hóa bề mặt tự do bằng công cụ đã xây dựng
a) Mặt trụ b) Mặt yên ngựa
c) Mặt trượt d) Mặt tự do kín

4. Kết luận

Trong nội dung nghiên cứu này các tác giả đã trình bày mô hình toán học của bề mặt tự do tổng quát. Trên cơ sở đó đã xây dựng được thuật toán và công cụ mô hình hóa bề mặt tự do thông qua lưới điểm điều khiển viết bằng Matlab. Công cụ phần mềm này cho phép khi thay đổi vị trí hoặc giá trị trọng số các điểm điều khiển sẽ làm thay đổi hình dạng của bề mặt tự do. Kết quả chạy phần mềm cho thấy mô hình bề mặt tự do thiết kế chính xác theo dữ liệu điểm điều khiển và linh hoạt trong chuyên

đổi hình dáng bề mặt khi thay đổi vị trí điểm điều khiển hay thay đổi giá trị trọng số của các điểm điều khiển. Kết quả của nghiên cứu này sẽ được sử dụng để trích xuất đám mây điểm trên các bề mặt tự do phục vụ cho quá trình phân vùng bề mặt để lựa chọn dụng cụ và đường dụng cụ hợp lý trong gia công mặt tự do trên máy CNC. Ngoài ra kết quả này cũng có thể làm tài liệu nghiên cứu, minh họa trực quan cho giảng dạy về CAD/CAM trong các trường đại học kỹ thuật.

Tài liệu tham khảo

- [1]. J. Dan and W. Lancheng, "An algorithm of NURBS surface fitting for reverse engineering," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2006, **vol. 31**, **no. 1–2**, pp. 92–97.
- [2]. Y. Ochiai, "Generation of Free-Form Surface in Cad for Dies," *Seimitsu Kogaku Kaishi/Journal Japan Soc. Precis. Eng.*, 1995, **vol. 61**, **no. 8**, pp. 1087–1091.
- [3]. L. A. Piegl and A. M. Richard, "Tessellating trimmed nurbs surfaces," *Comput. Des.*, 1995, **vol. 27**, **no. 1**, pp. 16–26.
- [4]. Z. Yin, "Reverse engineering of a NURBS surface from digitized points subject to boundary conditions," *Comput. Graph.*, 2004, **vol. 28**, **no. 2**, pp. 207–212.
- [5]. G. Aumann, "A simple algorithm for designing developable Bézier surfaces," *Comput. Aided Geom. Des.*, 2003, **vol. 20**, **no. 8–9**, pp. 601–619.
- [6]. L. Piegl and W. Tiller, *The NURBS Book*. Springer, 1996.
- [7]. G. T. B. T. Long, T. B. N. Tuyên, *Lý thuyết tạo hình bề mặt và ứng dụng trong kỹ thuật cơ khí*, 2013.
- [8]. S. P. Radzevich, *Geometry Kinematic Geometry Machining*. Taylor & Francis Groups, LLC, 2008.

AN ALGORITHM AND A SOFTWARE TOOL OF MODELING FREEFORM SURFACES FOR MECHANICAL ENGINEERING

Abstract:

Freeform surfaces (or sculpture surfaces) are smooth surfaces which are used to describe complex models. Nowadays, freeform surfaces are widely used in many domains of engineering. Modules of modeling and editing freeform surfaces are also integrated in the modern CAD/CAM systems. However, in most systems this module is nontransparent. The user difficultly accesses the database of freeform surface models to use it for the targets as partitioning freeform surface into points cloud or editing it... In this paper, the authors present an algorithm for construction of freeform surfaces based on polygon of control points. A software tool of modeling freeform surfaces written by Matlab has been built, too.. This is the base for researches in future as partitioning the surfaces, optimizing the process of machining free surfaces on the 3 axis CNC milling machine.

Keywords: Freeform surface, modeling, control point.