

XÂY DỰNG PHẦN MỀM NỘI SUY VÀ MÔ PHỎNG QUỶ ĐẠO DAO BẰNG CÁC GIẢI THUẬT NURBS

BUILDING INTERPOLATION PROGRAM AND SIMULATING THE CUTTING TOOL CONTOUR BY NURBS ALGORITHMS

Lê Hiếu Giang

Lê Minh Tài

ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

TÓM TẮT

Bộ nội suy là một trong những bộ phận quan trọng nhất của máy CNC, có chức năng tìm xây dựng phần mềm nội suy và mô phỏng quỹ đạo dao gia công thô. Dữ liệu nội suy của phần ra các điểm trung gian để hình thành nên biên dạng mong muốn. Hiện nay có nhiều giải thuật nội suy; một trong các giải thuật đó là giải thuật NURBS. Giải thuật này có thể được sử dụng để nội suy các biên dạng phức tạp. Bài báo trình bày kết quả của việc ứng dụng NURBS để phần mềm này có thể được dùng làm dữ liệu đầu vào của nội suy tinh sử dụng các giải thuật tích phân số (DDA), xấp xỉ bậc thang (SA) hay tìm kiếm trực tiếp (DS)....

ABSTRACT

The interpolator is one of the most important components in CNC machines, having function of finding out intermediate points to make desired contours of cutting tools. There are many algorithms to interpolate; among of those is NURBS algorithm that can be used to interpolate rough complex contours. The paper presents the result of NURBS application to build an interpolation software and to simulate cutting tool contours. Data of the interpolation software can be used as input data for fine interpolation softwares that use algorithms such as Digital Differential Analyzer (DDA), Step Approximation (SA), Direct Search (DS)....

1. MỞ ĐẦU

NURBS là một khái niệm trong kỹ thuật đồ họa máy tính, viết tắt của cụm từ tiếng Anh: “Non-uniform rational B-spline”, là một mô hình toán học để biểu diễn lại đường cong và bề mặt.

Để cho những chức năng gia công đạt tốc độ cao và độ chính xác cao thì những chức năng nội suy khác nhau chẳng hạn như spline, những đường cong phức tạp như nội suy xoắn ốc được sử dụng. Trong hệ thống điều khiển số CNC, những đường cong có hình dáng bất kỳ có thể được xấp xỉ bởi một tập các đoạn thẳng hoặc cung tròn. Tuy nhiên, để có được một xấp xỉ chính xác của đường cong thì đường thẳng hoặc cung tròn xấp xỉ thường là những đoạn rất ngắn. Những đoạn ngắn này dẫn

đến kết quả không thống nhất về tốc độ ăn dao và làm giảm chất lượng bề mặt. Ngoài ra, nhiều khối chương trình được yêu cầu để xác định những đoạn ngắn này dẫn đến kích thước của chương trình gia công tăng lên đáng kể. Để khắc phục hạn chế này, nội suy NURBS được phát triển.

Trong nội suy NURBS, hệ thống điều khiển số CNC sẽ trực tiếp chuyển đổi dữ liệu đường cong NURBS từ chương trình gia công thành những đoạn thẳng nhỏ dùng những vị trí được tính toán từ dữ liệu đường cong NURBS. Bằng cách này có thể giảm đi kích thước của chương trình gia công và có thể tăng tốc độ của máy bởi vì tốc độ chạy dao phụ thuộc vào bộ nội suy.

NURBS là công cụ tiêu chuẩn cho công nghiệp, là công cụ quan trọng trong lĩnh vực thiết kế hình học.

2. LƯU ĐỒ GIẢI THUẬT VÀ MÔ PHỎNG NỘI SUY NURBS

2.1 Lý thuyết nội suy NURBS [1-4]

Cho (n+1) điểm dữ liệu $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_k$ ($0 \leq k \leq n$) tìm đường cong NURBS $C(u)$ có bậc là p , xây dựng dựa trên các điểm điều khiển P_i (chưa biết).

Với chuỗi điểm dữ liệu $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_k$ ($0 \leq k \leq n$) cho trước thì luôn có một đường cong NURBS $C(u)$ bậc p đi qua chuỗi điểm đó.

Từ đó ta có:

$$Q_k = C(t_k) = \frac{1}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(t_k) w_i} \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t_k) w_i P_i$$

Hay:

$$Q = N.P$$

trong đó:

$$Q = \begin{bmatrix} Q_0 \\ Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix}; P = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix}; N \text{ là hàm B-Spline}$$

$$N = \begin{bmatrix} \frac{w_0 N_{0,p}(t_0)}{A_0(t_0)} & \frac{w_1 N_{1,p}(t_0)}{A_0(t_0)} & \frac{w_2 N_{2,p}(t_0)}{A_0(t_0)} & \dots & \frac{w_n N_{n,p}(t_0)}{A_0(t_0)} \\ \frac{w_0 N_{0,p}(t_1)}{A_1(t_1)} & \frac{w_1 N_{1,p}(t_1)}{A_1(t_1)} & \frac{w_2 N_{2,p}(t_1)}{A_1(t_1)} & \dots & \frac{w_n N_{n,p}(t_1)}{A_1(t_1)} \\ \frac{w_0 N_{0,p}(t_2)}{A_2(t_2)} & \frac{w_1 N_{1,p}(t_2)}{A_2(t_2)} & \frac{w_2 N_{2,p}(t_2)}{A_2(t_2)} & \dots & \frac{w_n N_{n,p}(t_2)}{A_2(t_2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_0 N_{0,p}(t_n)}{A_n(t_n)} & \frac{w_1 N_{1,p}(t_n)}{A_n(t_n)} & \frac{w_2 N_{2,p}(t_n)}{A_n(t_n)} & \dots & \frac{w_n N_{n,p}(t_n)}{A_n(t_n)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

với:

$$A = \begin{bmatrix} A_0(t_0) \\ A_1(t_1) \\ A_2(t_2) \\ \vdots \\ A_n(t_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{0,p}(t_0) & N_{1,p}(t_0) & N_{2,p}(t_0) & \dots & N_{n,p}(t_0) \\ N_{0,p}(t_1) & N_{1,p}(t_1) & N_{2,p}(t_1) & \dots & N_{n,p}(t_1) \\ N_{0,p}(t_2) & N_{1,p}(t_2) & N_{2,p}(t_2) & \dots & N_{n,p}(t_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ N_{0,p}(t_n) & N_{1,p}(t_n) & N_{2,p}(t_n) & \dots & N_{n,p}(t_n) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Thông qua phép toán ma trận ta dễ dàng tìm được chuỗi điểm điều khiển.

2.2 Quy trình tính toán nội suy

Bước 1: Tính các giá trị tham số

Để tính t_i , có thể sử dụng các phương pháp sau:

+ Phương pháp khoảng cách không đổi (Uniformly Spaced Method): Phương pháp này là phương pháp đơn giản nhất. Với một khoảng $[a,b]$ cho trước, giá trị t_i tương ứng với (n+1) điểm dữ liệu là:

$$t_0 = a$$

$$t_i = a + i \frac{b-a}{n} \quad ; \text{ với: } (0 \leq i \leq n-1)$$

$$t_n = b$$

Với mong muốn đường cong sẽ đi qua điểm dữ liệu đầu và cuối thì khi ấy $t_1=0$, $t_n=1$ và khi ấy $[a,b] = [0,1]$

$$t_0 = 0$$

$$t_i = \frac{i}{n} \quad ; \text{ với: } (0 \leq i \leq n-1)$$

$$t_n = 1$$

+ Phương pháp hướng tâm (Centripetal method):

Với (n+1) điểm dữ liệu $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ và hệ số a cho trước ta có:

$$L = \sum_{i=1}^n |Q_i - Q_{i-1}|^a$$

Suy ra :

$$L_k = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - Q_{i-1}|^a}{L} \quad (4)$$

Như vậy các giá trị t_i tương ứng với (n+1) điểm dữ liệu $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ là:

$$t_0 = 0$$

$$t_k = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^k |Q_i - Q_{i-1}|^a$$

$$t_n = 1$$

Với $t_1 = 0$, $t_n = 1$ thì đường cong sẽ đi qua điểm dữ liệu đầu Q_0 và cuối Q_n

+ Phương pháp độ dài cung (Chord Length Method):

Cho các điểm dữ liệu $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_n$, khoảng cách từ Q_{i-1} đến Q_i là $Q_i - Q_{i-1}$ và tổng chiều dài các đoạn thẳng nối các điểm dữ liệu là:

Tỉ số giữa tổng chiều dài từ điểm dữ liệu Q_0 đến Q_k trên tổng chiều dài các đoạn thẳng nối các điểm dữ liệu là:

$$L = \sum_{i=1}^n |Q_i - Q_{i-1}|$$

$$L_k = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^k |Q_i - Q_{i-1}|$$

Nếu xét trên đoạn $[0,1]$ thì các giá trị t_i là:

$$t_0 = 0$$

$$t_k = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^k |Q_i - Q_{i-1}|$$

$$t_n = 1$$

Nếu xét trên đoạn $[a,b]$ thì các giá trị t_i là:

$$t_0 = a$$

$$t_k = a + \frac{(b-a)}{L} \sum_{i=1}^k |Q_i - Q_{i-1}|$$

$$t_n = b$$

Bước 2: Tính vector nút

Có nhiều phương pháp tính vector nút, tuy nhiên trong bài báo trình bày hai phương pháp:

+ Phương pháp khoảng cách không đổi (Uniformly Spaced Method)

$$u_0 = u_1 = \dots = u_p = 0$$

$$u_{j+p} = \frac{j}{n-p+1}$$

$$u_{m-p} = u_{m-p+1} = \dots = u_m = 1$$

+ Phương pháp trung bình (Average Method): Phương pháp này do Boor đề nghị.

$$u_0 = u_1 = \dots = u_p = 0$$

$$u_{j+p} = \frac{1}{p} \sum_{i=j}^{j+p-1} u_i$$

$$u_{m-p} = u_{m-p+1} = \dots = u_m = 1; (m = n + p + 1)$$

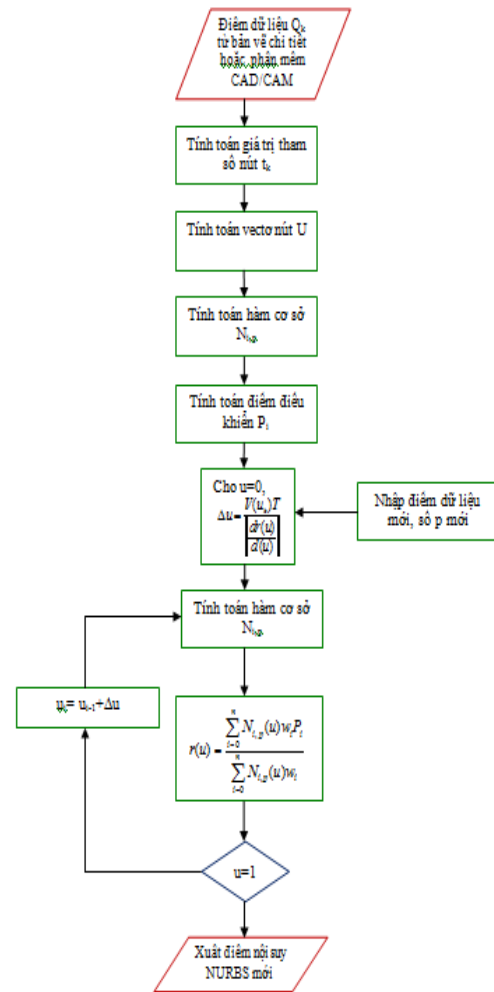
Bước 3: Tính các hàm B-Spline cơ sở theo công thức

$$N_{i,p}(u) = \frac{u-u_i}{u_{i+p}-u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1}-u}{u_{i+p+1}-u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u) \quad (5)$$

Với:

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1 & u \in [u_i, u_{i+1}) \\ 0 & u \notin [u_i, u_{i+1}) \end{cases}$$

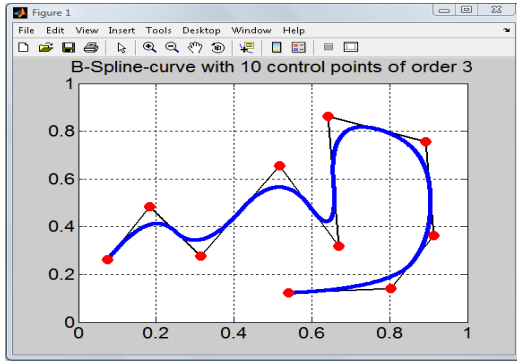
2.3 Giải thuật nội suy NURBS



Hình 1. Lưu đồ giải thuật nội suy NURBS

2.4 Mô phỏng giải thuật nội suy NURBS

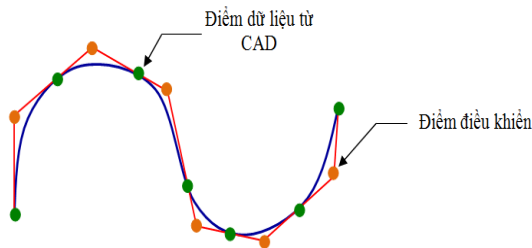
Từ lưu đồ giải thuật nội suy NURBS ở trên, nhóm tác giả đã xây dựng được các phần mềm nội suy dùng giải thuật NURBS bằng ngôn ngữ Matlab và C++.



Hình 2. Mô phỏng nội suy Nurbs dùng ngôn ngữ Matlab

III. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH ĐIỀU KHIỂN VÀ MÔ PHỎNG QUỸ ĐẠO DAO TRÊN MÁY CNC

Từ bản vẽ CAD ta có được các điểm dữ liệu. Với các dữ liệu này, giải thuật NURBS cho ta các điểm điều khiển.



Hình 3. Cách thức nội suy các điểm trung gian giữa 2 điểm dữ liệu kế cận của đường cong NURBS.

— Đường nội suy thô NURBS là những phân đoạn thẳng đi qua các điểm điều khiển.

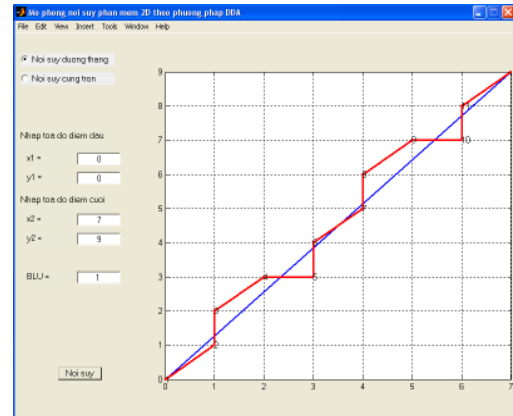
— Đường nội suy tinh NURBS là những phân đoạn đường cong.

Từng đoạn giữa các điểm dữ liệu có thể được nội suy theo phương pháp xung chuẩn [1,5] để tìm các điểm trung gian giữa 2 điểm dữ liệu kế cận có được từ CAD.

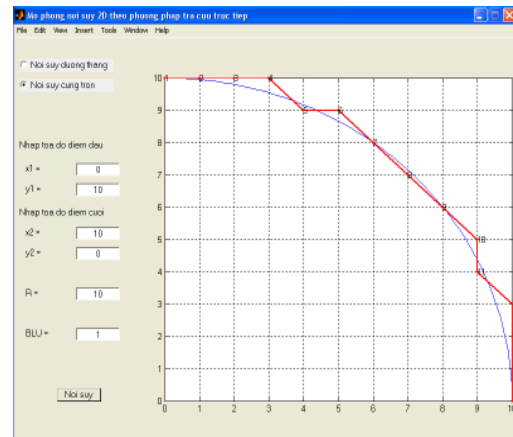
Các phương pháp nội suy xung chuẩn bao gồm: giải thuật phân mềm DDA, giải thuật nội suy xấp xỉ bậc thang (SAA) và giải thuật tra cứu trực tiếp (DSA).

Như vậy trong từng đoạn nhỏ của đường nội suy thô NURBS là những đoạn thẳng (hình 4) ta có thể áp dụng giải thuật DDA phân mềm để nội suy các đoạn thẳng nối các điểm dữ liệu và điểm điều khiển với

nhau, còn để nội suy tinh là những phân đoạn đường cong ta (hình 5) dùng giải thuật nội suy xấp xỉ bậc thang (Stairs Approximation) hoặc giải thuật tra cứu trực tiếp (Direct Search) cho những đoạn là cung tròn, còn nếu là đường cong bậc cao hơn như parabol hay spline thì lại chia nhỏ để nội suy cục bộ cũng dùng các giải thuật nội suy theo phương pháp xung chuẩn.



Hình 4. Phần mềm nội suy các điểm trung gian giữa 2 điểm dữ liệu kế cận của đường cong NURBS bằng giải thuật DDA đường thẳng.



Hình 5. Phần mềm nội suy các điểm trung gian giữa 2 điểm dữ liệu kế cận của NURBS bằng giải thuật DSA cung tròn.

IV.

Bài báo đã trình bày lý thuyết về nội suy NURBS và ứng dụng của giải thuật này kết hợp với các giải thuật nội suy theo phương pháp xung chuẩn để mô phỏng quỹ đạo gia công của đường Spline 2D.

V. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Suk-Hwan Suh, Seong-Kyoon Kang, Dae-Hyuk Chung Lan Stroud, *Theory and Design of CNC System*. Springer 2008.
- [2]. Piegl, L. and W. Tiller, *The NURBS Book*. Springer-Verlag, New York, 1996.
- [3]. Lancaster, P. and K. Salkauskas, *Curve and Surface Fitting*. Academic Press, 1990.
- [4]. Boor – De, *A Practical Guide to Splines*. Springer-Verlag; New York, 1978.
- [5]. Đặng Minh Phụng (HV), Lê Hiếu Giang (HD), “Nghiên cứu thiết kế chế tạo bộ nội suy phần cứng và xây dựng bộ nội suy phần mềm 2D”, LVTN Cao học, 10-2009.