

# MỘT KỸ THUẬT TĂNG TỐC BIỂU DIỄN TÓC

ĐỖ NĂNG TOÀN<sup>1</sup>, NGUYỄN VĂN HUÂN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Viện Công nghệ thông tin, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

<sup>2</sup>*Khoa công nghệ thông tin - Đại học Thái Nguyên*

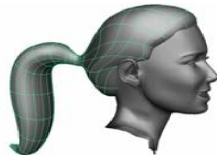
**Abstract.** This paper deals with a technique to speed up hair representation that modeled by NURBS. The technique is based on editing to minimize effect areas of control points on a considering point and increase localism. Besides, the paper also specifies some models which are based on the NURBS technique as fur, hair models,...

**Tóm tắt.** Bài báo đề xuất kỹ thuật tăng tốc biểu diễn tóc được mô hình hóa bởi kỹ thuật NURBS. Trên cơ sở hiệu chỉnh giảm miền ảnh hưởng của các điểm điều khiển lên một điểm đang xét, tăng tính cục bộ. Bên cạnh đó, bài báo cũng chỉ ra một số dạng mô hình được xây dựng dựa trên kỹ thuật NURBS có thể sử dụng kỹ thuật này, như: lông, tóc...

## 1. GIỚI THIỆU

Tóc là một đối tượng quan trọng trong một hệ thống mô phỏng con người ảo, nó là một thành phần không thể thiếu trong bất kỳ đối tượng con người ảo nào. Hơn nữa, tóc là đối tượng phức tạp với số lượng lớn lên tới hàng trăm nghìn sợi trên mỗi con người, với những độ cong, lồi lõm cục bộ khác nhau tùy thuộc vào từng vị trí tóc mọc [8, 10].

Trong một vài năm gần đây, một cách tiếp cận trong xây dựng mô hình tóc là sử dụng mô hình bề mặt NURBS [1, 8, 11, 12, 14] (Hình 1). NURBS (Non-uniform Rational B-spline) là phương pháp biểu diễn bề mặt dựa trên cơ sở biểu diễn toán học của những đường cong không đồng nhất (hệ số bậc). NURBS được sử dụng vào quá trình dựng ảnh tương tác thời gian thực lần đầu bởi máy trạm làm việc silicon vào năm 1989. Ngày nay hầu hết các ứng dụng đồ họa máy tính chuyên nghiệp đều sử dụng kỹ thuật NURBS.



Hình 1. Biểu diễn tóc theo mô hình NURBS

Trong biểu diễn tóc, vấn đề về tốc độ luôn luôn được đặt ra, vì số lượng tóc cần biểu diễn của mỗi người thường là rất lớn, theo Ward[8] và Anna Sokol[11] con người có trên 100.000 sợi tóc. Có thể thấy một số cách tiếp cận về tăng tốc độ biểu diễn tóc 3D như Biểu diễn những sợi tóc dưới dạng các bó tóc [3, 4, 7]; Phương pháp đơn giản hoá ad-hoc và những tham số non-physical [5] đối với tóc, hạn chế phương pháp này là không biểu diễn

được những thuộc tính vật lý của sợi tóc; Biểu diễn tóc bằng sử dụng nhiều rải tia sáng [6]; Phương pháp giảm mật độ những sợi tóc không giống với tóc mẫu [2];

Biểu diễn tóc bằng phương pháp che phủ [8], hạn chế của phương pháp này là thường gây ra những biến dạng do mô hình da đầu 3D là mô hình bề mặt cong. Trong công trình [1], tác giả và cộng sự mới tập trung nghiên cứu về biểu diễn mô hình tóc bởi NURBS, còn trong bài báo này nhóm tác giả tập trung vào tăng tốc độ biểu diễn mô hình tóc được mô hình hoá bởi NURBS.

Dựa vào đặc điểm, khi mái tóc chuyển động hay bị tác động, thì luôn có những bộ phận tóc gần như không bị ảnh hưởng. Hay bản thân trong một sợi tóc thì phần gốc thường ít có sự dịch chuyển hơn phần ngọn. Xuất phát từ thực tế này, bài báo đề xuất một kỹ thuật tăng tốc độ biểu diễn tóc được xây dựng bởi mô hình NURBS trên cơ sở giảm số điểm điều khiển tác động lên điểm đang xét.

Phần còn lại của bài báo được thể hiện như sau. Mục 2 trình bày một số vấn đề về xây dựng mô hình đối tượng nói chung và mô hình tóc nói riêng bởi kỹ thuật NURBS. Mục 3 đề cập đến việc tăng tốc độ biểu diễn tóc được xây dựng bởi mô hình NURBS. Tiếp theo là thử nghiệm và cuối cùng là kết luận về kỹ thuật đề xuất.

## 2. BIỂU DIỄN MÔ HÌNH ĐỐI TƯỢNG VÀ MÔ HÌNH TÓC BẰNG KỸ THUẬT NURBS

Về mặt toán học, NURBS là một mô hình bề mặt được biểu diễn bởi công thức [8, 10, 11, 13] sau.

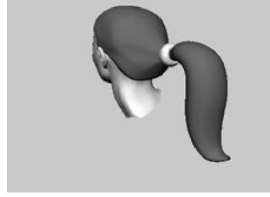
$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_i N_{(i, k_u)}(u) N_{(j, k_v)}(v) P(i, j)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_i N_{(i, k_u)}(u) N_{(j, k_v)}(v)} \quad (1)$$

trong đó,

- +  $P(i, j)$ : là các điểm điều khiển;
- +  $W_i$ : là độ rộng của vector knots;
- +  $N_{(i, k_u)}(u), N_{(j, k_v)}(v)$ : là các hàm cơ bản tương ứng theo hướng  $u$  và  $v$ ;
- +  $n, m$ : là số điểm điều khiển;
- +  $k_u, k_v$ : là bậc của các hàm cơ bản tương ứng theo hướng  $u$  và  $v$ ;
- +  $N_{(i, k_u)}(u)$  và  $N_{(j, k_v)}(v)$  được biểu diễn bằng hàm đệ quy **Cox-de Boor** [13].

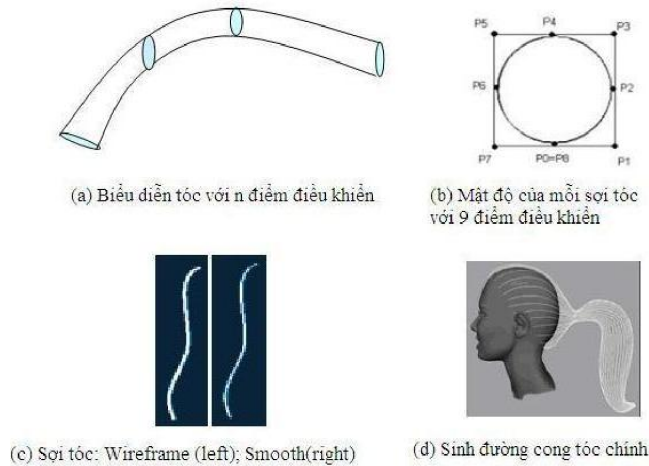
NURBS được đưa ra để xây dựng các mô hình đối tượng, các đối tượng được xây dựng từ các đối tượng nguyên thủy cơ bản thông qua việc điều khiển các đỉnh điều khiển để điều khiển hình dạng đường cong cũng như bề mặt đối tượng.

Bên cạnh đó NURBS được đưa ra nhằm biểu diễn những đường và bề mặt có độ cong bất kỳ cục bộ tức là không đều, không tuần hoàn nhưng chúng vẫn có độ trơn cần thiết như lông, tóc,... Trong bài báo này, nhóm tác giả tập trung vào biểu diễn tóc. Vì tóc là đối tượng

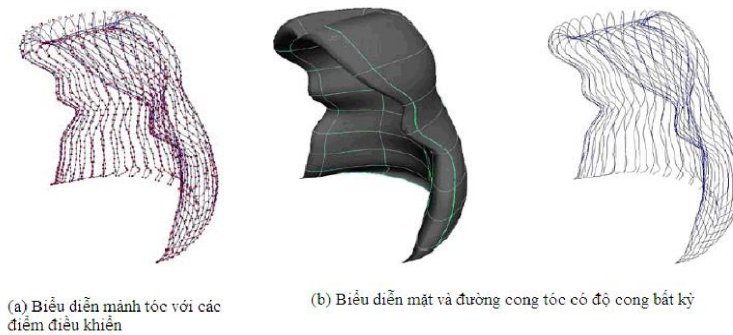


Hình 2. Xây dựng mô hình tóc dựa vào NURBS

phức tạp với số lượng sợi tóc nhiều tới hàng trăm nghìn sợi. Vì vậy, trong biểu diễn tóc đòi hỏi không những phải đảm bảo về chất lượng mô hình mà còn phải tăng tốc độ mô phỏng.



Hình 3. Biểu diễn sợi tóc theo mô hình NURBS



Hình 4. Biểu diễn mảnh tóc theo mô hình NURBS

Trong vài năm gần đây đã có một số tác giả sử dụng NURBS vào biểu diễn mô hình tóc [8, 10, 11]. Khi đó mỗi bề mặt NURBS có thể được dùng để biểu diễn những sợi tóc [10, 11] (Hình 3), những mảnh tóc [8] (Hình 4) khác nhau phù hợp với kiểu tóc và chúng đều được định nghĩa bởi công thức (1). Mỗi sợi tóc, mảnh tóc nó được thiết lập một vị trí trên da đầu, định hướng cho các knot để xác định hình dạng và kiểu dáng tóc.

Nhìn chung, những cách tiếp cận trên của một số tác giả đáp ứng được yêu cầu chất lượng về biểu diễn tóc, thể hiện tính chất hiện thực trong mô phỏng. Tuy nhiên, từ công thức (1) ta có thể thấy với mỗi một điểm  $P(i, j)$  đang xét, nó được tính toán từ tập tất cả

các điểm điều khiển, trong khi tóc lại có tính chất cục bộ [8, 9, 10], như vậy dẫn tới tốc độ mô phỏng chậm. Vấn đề đặt ra là làm sao để có thể thu nhỏ miền ảnh hưởng của các điểm điều khiển lên điểm đang xét và làm cho tính chất cục bộ của tóc được thể hiện rõ ràng hơn và tăng tốc độ mô phỏng tóc mà không làm ảnh hưởng nhiều tới chất lượng của tóc.

### 3. TĂNG TỐC ĐỘ BIỂU DIỄN MÔ HÌNH TÓC NURBS

Để giải quyết vấn đề trên, nhóm tác giả đề xuất cải tiến kỹ thuật biểu diễn tóc được mô hình bởi kỹ thuật NURBS ở công thức (1) nhằm tăng tốc độ mô phỏng, tăng tính cục bộ.

Trước hết, chúng ta hãy xét hàm đệ quy Cox-de Boor đại lượng chính ảnh hưởng lớn tới giá trị của  $P(u, v)$ . Hàm đệ quy Cox-de Boor được biểu diễn theo công thức sau:

$$N_{(i,1)}(u) = \begin{cases} 1 : knot_i \leq u < knot_{i+1}, \\ 0 : u \notin [knot_i, knot_{i+1}), \end{cases}$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{u - knot_i}{knot_{i,k-1} - knot_i} N_{i,k-1}(u) + \frac{knot_{(i+k)} - u}{knot_{(i+k)} - knot_{i+1}} N_{i+1,k-1}(u), \quad (2)$$

với  $knot_i$  là các giá trị của vector knot. Một vector knot là một vector với  $n + k$  phần tử.

Giá trị của hàm cơ bản  $N_{(i,k)}(u)$  thể hiện sự ảnh hưởng của điểm điều khiển  $P(i)$  tới điểm đang xét  $P(u)$ . Theo công thức (2) cho thấy với một vector knot không giảm và trong khoảng  $[0, 1]$  thì giá trị  $N_{(i,k)}(u)$  sẽ giảm dần theo khoảng cách giữa điểm đang xét với một điểm điều khiển bất kỳ. Tức là sự ảnh hưởng của các điểm điều khiển càng xa điểm đang xét thì sự ảnh hưởng của nó càng nhỏ  $knot_i$  là giá trị tại nút  $p(u)$  với biến số là  $u$  được gọi là các vector nút.

Trường hợp tối ưu, với giá trị của một vector knot và bậc của hàm cơ bản  $N_{(i,k)}(u)$  là  $k$  thì sẽ có  $2k$  giá trị của hàm cơ bản  $N_{(i,k)}(u) <> 0$  nằm đều về hai bên của điểm đang xét, còn lại các giá trị khác đều bằng không. Vấn đề ở đây là việc xây dựng vector knot thỏa mãn được tính chất trên như thế nào?

Vector knots là một tập giá trị kiểm soát độ cong của sợi tóc, nó thể hiện kiểu sợi tóc cong là đều hay không đều, tuần hoàn hay không tuần hoàn... Số phần tử của một vector knot được tính bằng tổng  $(n + k + 1)$  với  $n$  là số điểm điều khiển,  $k$  là bậc của đường cong tóc [13].

Một vector knot sẽ có dạng như  $Knots = u_0, u_1, \dots, u_{n+k-2}, u_{n+k-1}$ .

Trương ứng với ba kiểu đường cong tóc:

- Đều tuần hoàn (periodic).
- Không tuần hoàn (open or unperodic).
- Không đều (non-uniform).

Sẽ có 3 loại vector knot:

- *Knot đều tuần hoàn*

Vector knot là đều khi giá trị của chúng cách đều nhau một khoảng  $k$  xác định. Tức là  $u_{i+1} - u_i = k$ . Trong các bài toán thực tế thông thường thì khoảng xác định của tham biến

nằm trong khoảng từ 0 đến 1 hay từ  $0^0$  đến  $360^0$  thì việc chọn giá trị của các vector knot được chuẩn hoá trong khoảng  $[0\ 1]$  hay  $[0^0\ 360^0]$  đó.

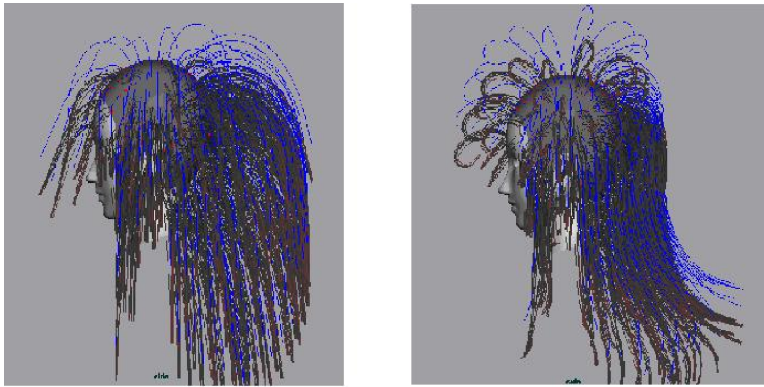
Ví dụ  $knots = (0, 0, 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1, 1)$ .

- *Knot không tuần hoàn*

Một vector không tuần hoàn hoặc mở là vector knot có giá trị nút tại các điểm đầu cuối lặp lại với số lượng các giá trị lặp lại này bằng chính cấp  $k$  của đường cong tóc và các giá trị nút trong mỗi điểm lặp này là bằng nhau. Nếu một trong hai điều kiện này hoặc cả hai điều kiện không được thoả mãn thì vector nút không tuần hoàn.

Ví dụ,  $knots = (0, 0, 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1, 1)$ .

Nhưng trong thực tế khi biểu diễn sợi tóc 3D, không phải sợi tóc nào cũng cần trơn, hay cong đều. Có những sợi tóc trơn nhưng lại có những độ cong bất kỳ cục bộ. Hình 5 dưới đây minh hoạ biểu diễn những sợi tóc với độ cong cục bộ khác nhau.



Hình 5. Biểu diễn sợi tóc 3D với độ cong khác nhau

Với những sợi tóc có độ cong, lồi lõm cục bộ như trên, thì đòi hỏi khi thay đổi vị trí của một điểm điều khiển thì yêu cầu phải có sự thay đổi cục bộ chứ không phải toàn cục trên các sợi tóc. Để đáp ứng yêu cầu trên người ta đưa ra một kiểu vector knot không đều.

- *Knot không đều*

Trong vector knot không tuần hoàn, giá trị các nút xuất hiện tại các biên được lặp lại và các nút bên trong các bước nút bằng nhau. Nếu một trong hai điều kiện này hoặc cả hai điều kiện này không được thoả mãn thì vector nút là không đều,  $knots = (0.1, 0.3, 0.4, 0.6, 0.7, 0.9, 1)$ .

Tuy nhiên, trong thực tế việc biểu diễn các sợi tóc 3D với các độ cong, lồi lõm khác nhau phù hợp với những chỗ tóc, kiểu tóc có độ cong, lồi lõm khác nhau là rất cần thiết mà dùng NURBS tổng quát thì rất khó có thể đáp ứng được cả về 2 mặt thẩm mỹ cũng như thời gian biểu diễn tóc.

### Kỹ thuật biểu diễn tóc NURBS cải tiến

Trên cơ sở các phân tích ở trên, nhằm tăng tốc độ mô phỏng tóc, chúng tôi đề xuất làm giảm miền ảnh hưởng của các điểm điều khiển lên điểm đang xét vì số lượng tóc là rất nhiều, nên việc ảnh hưởng của sợi tóc chỉ xảy ra có tính chất cục bộ chứ không xảy ra trên toàn bộ mái tóc. Việc giảm ảnh hưởng này trên cơ sở xây dựng các vectơ knots.

Với vector knots đều tuần hoàn hoặc không đều thì tại một nút đang xét, nút đó sẽ chịu sự ảnh hưởng của toàn bộ các điểm điều khiển, tức là  $N_{(i,k)}(u) \llcorner 0$  với mọi  $i$ , với vector knots là không tuần hoàn, thì giá trị của  $N_{(i,k)}(u)$  chỉ khác 0 với  $nowU - k < i < nowU + k$ .

Qua thực nghiệm chúng tôi đưa ra công thức tính vector knot như sau

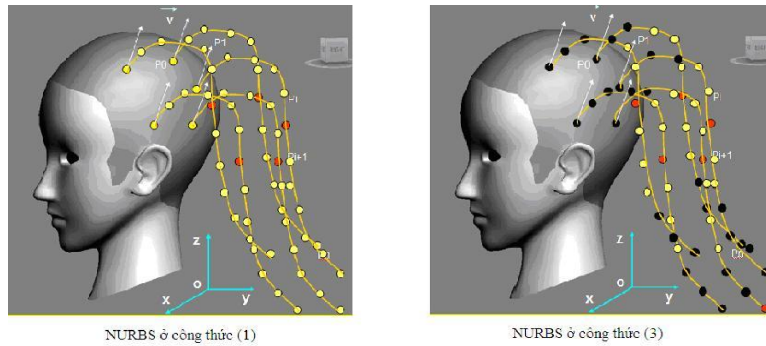
$$Knots_i = \begin{cases} 0 : 0 \leq i < k, \\ (i - k + 1)/(n - k + 1) : k \leq i < n, \\ 1 : n \leq i < n + k - 1. \end{cases}$$

Khi đó công thức biểu diễn NURBS (1) trở thành (3) như sau

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=nowU-k-u}^{nowU+k-u} \sum_{j=nowV-k-v}^{nowV+k-v} w_i N_{(i,k-u)}(u) N_{(j,k-v)}(v) P(i, j)}{\sum_{i=nowU-k-u}^{nowU+k-u} \sum_{j=nowV-k-v}^{nowV+k-v} w_i N_{(i,k-u)}(u) N_{(j,k-v)}(v)}, \tag{3}$$

trong đó  $nowU$  và  $nowV$  là các giá trị thứ tự của điểm đang xét theo hai miền  $u$  và  $v$  tương ứng. Với công thức biểu diễn NURBS (3), khi thay đổi vị trí của một điểm điều khiển, nó chỉ ảnh hưởng tới  $2k$  điểm khác. Hơn nữa, nó lại đáp ứng được yêu cầu chỉ thay đổi cục bộ các điểm đang xét trên tóc. Nó có thể đáp ứng biểu diễn những sợi tóc có độ cong mong muốn, kể cả những sợi tóc có độ cong phức tạp.

Hình 6 dưới đây minh họa các miền ảnh hưởng của các điểm điều khiển lên một điểm đang xét giữa NURBS ở công thức (1) và NURBS ở công thức (3).



Hình 6

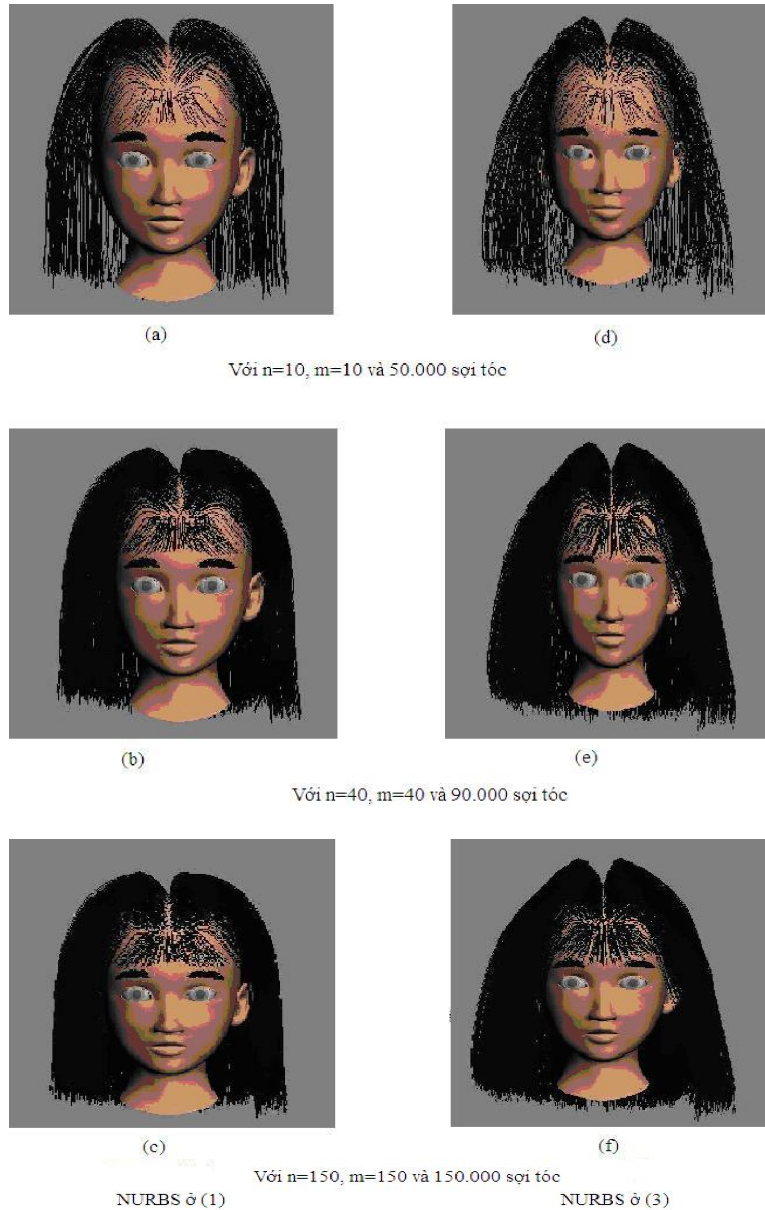
Hình 6 là miền ảnh hưởng của các điểm điều khiển (điểm màu vàng) lên một điểm đang xét (điểm màu đỏ).

**Đánh giá độ phức tạp**

Giả sử  $O(k), O(l)$  lần lượt là độ phức tạp của hàm tính Cox-de Boor theo  $u$  và  $v$  tương ứng. Khi đó độ phức tạp tính toán của một điểm trên bề mặt NURBS ở công thức (1) là  $m \times n \times (O(k) + O(l))$ , trong khi độ phức tạp tính toán của một điểm trên bề mặt NURBS ở công thức (3) là  $k_u \times k_v \times (O(k) + O(l))$ . Vì  $k_u \leq n, k_v \leq m$ , ta luôn có  $k_u \times k_v \times (O(k) + O(l)) < m \times n \times (O(k) + O(l))$ .

#### 4. THỬ NGHIỆM

Kỹ thuật biểu diễn tóc NURBS cải tiến đã được cài đặt biểu diễn tóc 3D trong mô phỏng con người ảo với số lượng các điểm điều khiển, số lượng sợi tóc khác nhau (từ 50000 đến 150000 sợi tóc), có cùng miền nội suy  $u, v$  và có cùng bậc  $k$ . Kết quả chất lượng mô hình thử nghiệm giữa NURBS ở công thức (1) được so sánh với NURBS ở công thức (3) được minh hoạ trong Hình 7.



Hình 7

Hình 7 là một số kết quả minh hoạ chất lượng mô hình biểu diễn tóc 3D trong mô phỏng con người ảo với cùng miền nội suy  $u = 10, v = 10$  và cùng bậc  $k = 3$

Thực nghiệm cho thấy, kết quả công thức cải tiến NURBS ở (3) có lợi thế hơn hẳn về mặt thời gian so với công thức NURBS ở (1) do giảm vùng ảnh hưởng của các điểm điều khiển lên một điểm đang xét.

Do việc đưa ra công thức cải tiến NURBS ở (3) từ công thức NURBS ở (1), thực chất là giảm vùng ảnh hưởng của các điểm điều khiển lên một điểm đang xét, do đó thay đổi chỉ mang tính cục bộ chứ không ảnh hưởng lên toàn bộ mái tóc, nên chất lượng hình ảnh mô hình tóc kết quả ở công thức cải tiến NURBS ở (3) (Hình 7d, 7e, 7f) có giảm nhưng không đáng kể so với công thức NURBS ở (1) (Hình 7a, 7b, 7c), vì vậy, kết quả mà NURBS ở (3) đưa ra có thể chấp nhận được (Hình 7d, 7e, 7f).

Bên cạnh đó việc cải tiến NURBS ở (3) từ NURBS ở (1) không chỉ đáp ứng yêu cầu về tăng tốc độ mô phỏng mà còn đáp ứng yêu cầu biểu diễn những đối tượng có bề mặt với độ cong, lồi lõm cục bộ khác nhau. Chẳng hạn, như những yêu cầu về các đặc điểm về lỗ thủng, gờ cho cơ bám trên xương.

## 5. KẾT LUẬN

Biểu diễn chất liệu tóc 3D là một khâu quan trọng trong hệ thống mô phỏng con người ảo 3D. Trong biểu diễn chất liệu tóc 3D ngoài vấn đề biểu diễn chất liệu tóc đảm bảo chất lượng còn phải đáp ứng yêu cầu về thời gian mô phỏng.

Bài báo đã đề xuất một kỹ thuật tăng tốc độ biểu diễn tóc được mô hình bởi kỹ thuật NURBS nhằm nâng cao chất lượng biểu diễn bằng cách giảm miền ảnh hưởng của các điểm điều khiển lên điểm đang xét, tăng tính cục bộ để tạo ra những sợi tóc có độ cong khác nhau phù hợp. Đề xuất này góp phần tăng tốc độ biểu diễn những sợi tóc 3D, kể cả những sợi tóc có độ cong cục bộ mà không làm ảnh hưởng nhiều đến chất lượng của tóc. Kỹ thuật đề xuất đã được cài đặt thử nghiệm trong biểu diễn tóc 3D trong mô phỏng con người ảo và tỏ ra khá hiệu quả đối với mái tóc có sợi dài, nhất là tóc nữ.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N.V. Huan, D.N. Toan, A hair material simulation approach in Virtual reality and application, *Proceedings of The 7th Asian Control Conference*, Hong Kong, China, 2009 (541–546).
- [2] Aleka McAdams, Andrew Selle, Kelly Ward, Eftychios Sifakis, and Joseph Teran, Detail preserving continuum simulation of straight hair, *ACM SIGGRAPH Conference Proceedings*, University of California, Los Angeles, 2009.
- [3] Lvdi Wang, Yizhou Yu, Kun Zhou, and Baining Guo, Example-Based Hair Geometry Synthesis, *ACM Trans. Graph.* **28** (3) (2009).
- [4] P. Kmoch, U. Bonanni and N. Magnenat-Thalmann, Hair simulation model for real-time environments, *Proceedings of the Computer Graphics International Conference (CGI 2009)*, ACM, University of Geneva, Switzerland, 2009 (5–12).
- [5] Cem Yuksel and John Keyser, Deep opacity maps, Computer Graphics Forum, *Proc. of EUROGRAPHICS 2008*, Texas A,M University, College Station, 2008.
- [6] Arno Zinke, Cem Yuksel, Andreas Weber, and John Keyser, Dual scattering approximation for fast multiple scattering in hair, *ACM Trans. on Graph.* **27** (3) (2008) 1-10.
- [7] N. Sedaghat and T. Fevens, “Towards realistic hair simulation in real time”, Concordia University, 2008.



- [8] Ward, Bertails, Kim, arschner, Cani, Ming C.Lin (2007), “A survey on hair modeling: styling, simulation, and rendering”, University of North Carolina at Chapel Hill, 2007.
- [9] Hongbo Fu, Yichen Wei, Chiew-Lan Tai, Long Quan, Sketching hairstyles, Eurographics, “Workshop on sketch-based interfaces and modeling”, University of California, August, 23,2007.
- [10] P. Noble and W. Tang, Modelling and animating cartoon hair with nurbs surfaces, *Proceedings of the Computer Graphics International (CGI'04)*, Washington, Jun. 2004 (60–67).
- [11] Anna Sokol, “Modeling Hair and Fur with NURBS”, Computer Science Department, SUNY Stony Brook,(2004).
- [12] C. Koh and Z. Huang, *Real-time animation of human hair modeled in strips*, Springer-Verlag, 2000 (101– 110).
- [13] Thomas Sederberg, *BYU NURBS*, <http://cagd.cs.byu.edu/~557/text/ch6.pdf>.
- [14] <http://en.infinisys.co.jp/product>, <http://www.hairstylesdesign.com>, <http://hairstyleonline.com>

*Nhận bài ngày 20 - 5 - 2010*

*Nhận lại sau sửa ngày 20 - 9 -2010*