

TÁI TẠO ĐỐI TƯỢNG BA CHIỀU TỪ HÌNH ẢNH HAI CHIỀU

ĐỖ NĂNG TOÀN

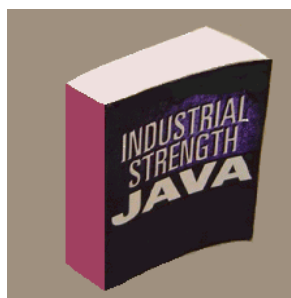
Viện Công nghệ thông tin, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Abstract. 3D Objects are usually deformed after capturing process by electronic or optical devices. By considering, human sees 3D objects from the general to the detail. This paper dealt with an approach to reconstruct 3D image objects by combining 2 main steps: applying morphing technique to represent surfaces and projection technique. Besides, the paper also shows types of objects that can be reconstructed by using this method such as: books, tables, walls and electric home equipments etc.

Tóm tắt. Hình ảnh 3 chiều trong thế giới thực thường bị biến dạng sau quá trình thu nhận bởi các thiết bị quang học và điện tử. Xuất phát từ quan niệm cho rằng con người nhìn đối tượng từ khái quát đến chi tiết, bài báo này đề xuất một cách tiếp cận trong việc tái tạo hình ảnh 3 chiều thông qua việc kết hợp hai bước cơ bản: ứng dụng kỹ thuật Morphing trong biểu diễn bề mặt và kỹ thuật nắn chỉnh dựa trên phép chiếu. Bên cạnh đó, bài báo cũng chỉ ra một số kiểu đối tượng có thể tái tạo theo cách tiếp cận này như: sách, bàn, tường, và các thiết bị điện tử gia dụng...

1. GIỚI THIỆU

Sự ra đời và phát triển của Internet có tác động đến mọi mặt của xã hội đặc biệt là lĩnh vực thương mại điện tử. Ngày càng có nhiều công ty có nhu cầu quảng bá các sản phẩm kinh doanh thông qua mạng Internet. Để làm được điều đó, họ phải đưa hình ảnh của các sản phẩm lên mạng. Tuy nhiên, hình ảnh 3 chiều thu bằng các thiết bị thu nhận ảnh thường bị biến dạng so với thực tế. Vì vậy, người ta thường chỉ đưa các hình ảnh “bẹt” 2 chiều lên trang web (đối với sách thường là bìa 1). Do đó, một nhu cầu đặt ra là làm sao tái tạo lại được hình ảnh thực từ ảnh thu nhận được (Hình 1).



a) Ảnh thu nhận



b) Ảnh mong muốn

Hình 1. Ảnh thu nhận và ảnh mong muốn

*Công trình này được hỗ trợ từ đề tài 2.007.06

Thông thường, con người nhìn nhận đối tượng thông qua hình dạng và quá trình nhìn được bắt đầu từ khái quát cho đến chi tiết. Chẳng hạn, khi con người nhìn căn phòng thì bước đầu sẽ cho rằng căn phòng là hình hộp chữ nhật, một bức tường được xem như là một mặt phẳng. Đến bước tiếp theo, khi quan sát kỹ bức tường con người lại thấy rằng bức tường như một hình khối với các mặt được tạo bởi các đường gờ của nó, quá trình đó cứ tiếp tục cho đến khi đủ độ chi tiết thì dừng.

Xuất phát từ quan điểm đó, bài báo này đề cập đến việc sử dụng các điểm điều khiển và kỹ thuật Morphing trong biểu diễn bề mặt. Trên cơ sở đó kết hợp với các kỹ thuật nắn chỉnh khác để có thể tái tạo được hình ảnh 3 chiều sau quá trình thu nhận thông qua hai pha hiệu chỉnh: nắn chỉnh hình học cho cấu trúc khung đối tượng ban đầu và biểu diễn bề mặt cho các bước chi tiết tiếp theo.

Mục 2 của bài báo trình bày cơ sở lý thuyết của thuật toán. Mục 3 trình bày thuật toán nắn chỉnh hình học dựa vào các điểm điều khiển ([2, 5, 6]) và kỹ thuật nắn chỉnh bề mặt dựa vào kỹ thuật Morphing ([1, 3]). Mục 4 là kết quả thực nghiệm của thuật toán và cuối cùng là kết luận về kỹ thuật nắn chỉnh đề xuất.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA THUẬT TOÁN

2.1. Nắn chỉnh biến dạng hình học trong ghép ảnh

Trong thực tế khi thu nhận ảnh đối với các đối tượng có kích thước lớn, người ta thường phải tiến hành thu nhận từng phần. Việc thu nhận từng phần sẽ gây ra sự biến dạng hình học của đối tượng, thường do nguyên nhân bởi các thiết bị điện tử và quang học. Để khắc phục người ta thường sử dụng các kỹ thuật nắn chỉnh, thông qua các phép chiếu bởi các cặp điểm điều khiển ([2]) và kỹ thuật này cũng đã được cài đặt thành thư viện trong bộ công cụ xử lý ảnh của MathLab 3.2, phiên bản 6.5 trở lên.

Giả sử có n cặp điểm điều khiển trên hai ảnh cần ghép: Các điểm điều khiển trên ảnh thứ nhất tương ứng là $P_1(x_1, y_1), \dots, P_n(x_n, y_n)$ và trên ảnh thứ hai tương ứng là $Q_1(u_1, v_1), \dots, Q_n(u_n, v_n)$. Phương pháp bình phương tối thiểu là phương pháp xây dựng một ánh xạ $F(x, y) \rightarrow (u, v)$ sao cho:

$$\sum |F(P_i) - Q_i|^2 \rightarrow \min \quad \text{với } i = 1, \dots, n.$$

Điều này tương đương với đạo hàm bậc nhất của $\Sigma |F(P_i) - Q_i|^2$ là 0.

Nếu F là hàm bậc nhất thì ta có:

$$F(x, y) = \begin{cases} u = \beta_0 x + \beta_1 y + \beta_2, \\ v = \beta_3 x + \beta_4 y + \beta_5. \end{cases}$$

Các hệ số β được tính toán như sau:

Ta đặt:

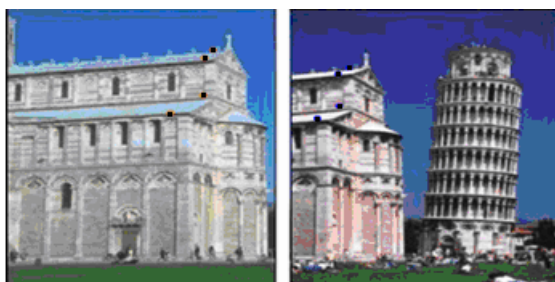
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n};$$

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{và} \quad q = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.$$

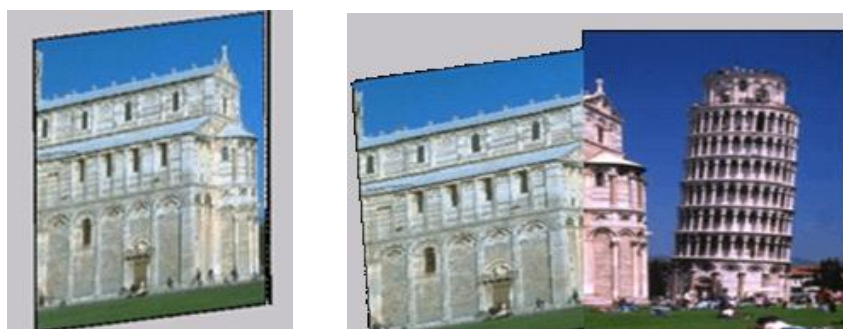
Ta có

$$\begin{aligned} \beta_0 &= 1 - q\beta_1 \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(u_i - x_i)]}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \\ \beta_1 &= \frac{\sum_{i=1}^n [(y_i - \bar{y})(u_i - x_i)] - q \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} - q \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})], \\ \beta_2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - x_i) + \bar{x} - \beta_0 \bar{x} - \beta_1 \bar{y}, \\ \beta_3 &= \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(v_i - y_i)] - p \sum_{i=1}^n [(y_i - \bar{y})(v_i - y_i)]}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} - p \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})], \\ \beta_4 &= 1 - p\beta_3 - \frac{\sum_{i=1}^n [(y_i - \bar{y})(v_i - y_i)]}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \\ \beta_5 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - y_i) + \bar{y} - \beta_4 \bar{y} - \beta_2 \bar{y}. \end{aligned}$$

Sau khi đã xác định được các hệ số β_i hàm $F(x, y)$ hoàn toàn xác định. Ta sử dụng hàm biến đổi tìm được này để thực hiện việc biến đổi ảnh thứ nhất và sau đó thực hiện việc ghép với ảnh thứ hai. Hình 2 dưới đây minh họa việc ghép hai ảnh dựa trên tập các điểm điều khiển. Hình 2.a là ảnh thứ nhất với các điểm điều khiển P_i , Hình 2.b là ảnh thứ hai với tập các điểm điều khiển. Từ tập các điểm điều khiển ta tìm được hàm biến đổi F xác định bởi các hệ số β_i . Hình 2.c là ảnh thứ nhất (2.a) sau khi thực hiện phép biến đổi F . Hình 2.d là ảnh kết quả ghép của Hình 2.b và Hình 2.c.



a) Ảnh thứ nhất và các điểm điều khiển b) Ảnh thứ hai và các điểm điều khiển



c) Ảnh thứ nhất sau khi nắn chỉnh d) Ảnh ghép kết quả

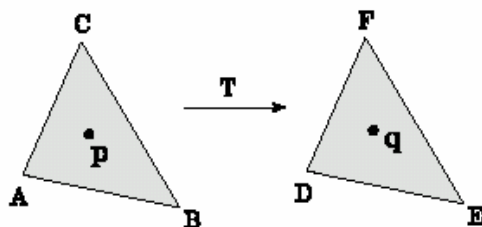
Hình 2. Nắn chỉnh biến dạng và ghép ảnh

2.2. Kỹ thuật nội suy Morphing

Kỹ thuật Morphing là kỹ thuật nội suy nhằm hiệu chỉnh bề mặt trên cơ sở các điểm điều khiển. Với mỗi điểm M trên bề mặt đối tượng gốc sẽ được ánh xạ sang ảnh đích bằng cách xác định n điểm điều khiển có ảnh hưởng đến M nhiều nhất và điểm M thuộc đa giác tạo bởi n điểm đó. Sau đó sử dụng các phép nội suy để xác định vị trí M' của M ở ảnh đích. Thông thường người ta hay dùng $n = 3$ hoặc $n = 4$. Nếu $n = 3$ ta sử dụng phép nội suy Affine, nếu $n = 4$ ta sử dụng phép nội suy Bilinear ([4, 5, 6]).

2.2.1. Phép nội suy Affine

Đây là phép nội suy hai tam giác trong hệ tọa độ Euclide. Giả sử chúng ta có hai tam giác và muốn nội suy hai tam giác này cho nhau. Một cách đơn giản nhất là sử dụng kỹ thuật ánh xạ dựa trên hệ tọa độ Barycentric được minh họa như sau:



Hình 3. Phép nội suy Affine

Trước tiên chúng ta định nghĩa một ánh xạ T cho các đỉnh của tam giác: $T(A) =$

$D, T(B) = E, T(C) = F$. Với các điểm còn lại chúng ta sẽ ánh xạ chúng theo tọa độ Barycentric $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ nghĩa là:

$$P = \alpha_1 A + \alpha_2 B + \alpha_3 C,$$

trong đó, $\alpha_i \geq 0$ và $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$.

Một điểm Q là ánh xạ của P qua T được tính toán như sau:

$$\begin{aligned} Q &= T(P) = T(\alpha_1 A + \alpha_2 B + \alpha_3 C) \\ &= \alpha_1 T(A) + \alpha_2 T(B) + \alpha_3 T(C) \\ &= \alpha_1 D + \alpha_2 E + \alpha_3 F. \end{aligned} \tag{1}$$

Như vậy, để sử dụng phép nội suy Affine thì ta phải chuyển từ hệ tọa độ Euclide sang hệ tọa độ Barycentric. Cách chuyển được thực hiện như sau:

Với mỗi điểm $M(x_m, y_m)$ nằm trong tam giác ABC thì chúng ta đều có thể biểu diễn tọa độ của nó theo tọa độ các đỉnh của tam giác như sau:

$$\begin{cases} x_m = ux_a + vx_b + wx_c, \\ y_m = uy_a + vy_b + wy_c, \\ u + v + w = 1, \\ u, v, w \geq 0. \end{cases}$$

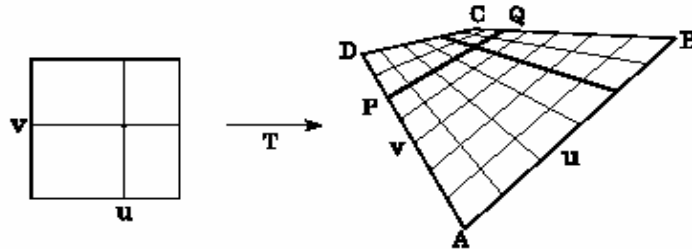
Giải hệ phương trình này ta được một nghiệm duy nhất:

$$\begin{cases} v = \frac{(y_a - y_c)(x_a - x_m) - (x_a - x_c)(y_a - y_m)}{(y_a - y_c)(x_a - x_b) - (x_a - x_c)(y_a - y_b)}, \\ w = \frac{(y_a - y_m)(x_a - x_b) - (x_a - x_m)(y_a - y_b)}{(y_a - y_c)(x_a - x_b) - (x_a - x_c)(y_a - y_b)}, \\ u = 1 - v - w. \end{cases}$$

2.2.2. Phép nội suy Bilinear

Đây là kỹ thuật xác định một hàm biến đổi từ một hình vuông kích thước $[0, 1] \times [0, 1]$ tới một tứ giác trong không gian (tứ giác này không nhất thiết phải đồng phẳng). Nếu chúng ta giả sử tọa độ của khối hình vuông là u và v thì phép biến đổi B được thực hiện như sau:

$$B(u, v) = (1 - u \quad u) \begin{pmatrix} A & D \\ B & C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 - v \\ v \end{pmatrix}$$



Hình 4. Phép nội suy Bilinear

Phép biến đổi được thực hiện tương đương với hai bước. Bước thứ nhất là nội suy trên các cạnh AD và BC thu được điểm P và Q .

$$P = (1 - v)A + vD,$$

$$Q = (1 - v)B + vC.$$

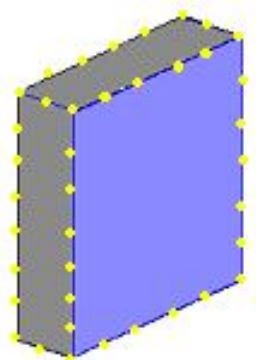
Bước tiếp theo là nội suy trên đoạn PQ sử dụng thông số u

$$B(u, v) = (1 - u)P + uQ.$$

3. THUẬT TOÁN NẮN CHỈNH DỰA TRÊN CÁC ĐIỂM ĐIỀU KHIỂN VÀ KỸ THUẬT MORPHING

3.1. Thuật toán tìm hàm nắn chỉnh khung đối tượng

Kỹ thuật nắn chỉnh biến dạng hình học trong ghép ảnh được trình bày trong Mục 2.1 thực hiện biến đổi ảnh thứ nhất dựa vào cặp các điểm điều khiển trên ảnh thứ nhất và ảnh thứ hai, sau đó tiến hành ghép với ảnh thứ hai. Trong phạm vi bài báo này, đối tượng ảnh bị biến dạng khi thu nhận cần nắn chỉnh tương ứng với ảnh thứ nhất và không có ảnh thứ hai để biến đổi tương ứng mà thay vào đó ta sẽ có khung cần nắn chỉnh. Khung này thường là hình dáng và kích thước mong muốn của đối tượng khi được thể hiện trên trang web giới thiệu do đó được xác định từ trước. Các khung này thường được thể hiện dưới dạng các mẫu (template). Các mẫu thường được xác định trước số điểm điều khiển tùy thuộc theo đối tượng (Hình 5 thể hiện khung mẫu và các điểm điều khiển).



Hình 5. Ví dụ về khung mẫu và các điểm điều khiển



Hình 6. Gắn mẫu và chính xác hóa các điểm điều khiển

Thuật toán xác định hàm nắn chỉnh khung đối tượng gồm các bước cơ bản sau:

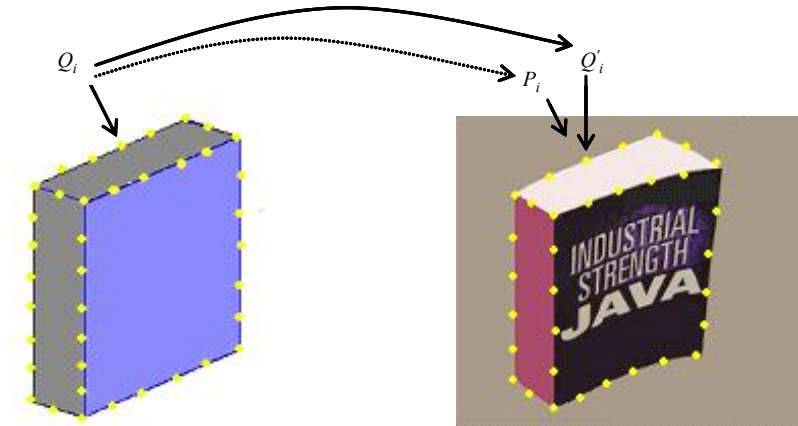
Bước 1: Gắn mẫu và chính xác hóa điểm điều khiển

Với đối tượng thu nhận cần hiệu chỉnh, ta cần chỉ ra khung mẫu cần nắn chỉnh tương ứng với một mẫu cần thực hiện. Các điểm điều khiển trong khung mẫu khi được tải vào khung ảnh cần được nắn chỉnh và cần thực hiện việc chính xác hóa. Do ảnh đối tượng thu nhận được đặt trên nền đồng nhất (mặt bàn đồng nhất hoặc phủ vải) và các điểm điều khiển nằm trên khung của đối tượng (trên cạnh) nên việc chính xác hóa các điểm điều khiển được thực hiện tự động bằng kỹ thuật dò biên. Để đảm bảo độ chính xác cũng có thể thực hiện thủ công bằng cách bấm chuột và di chuyển (Hình 6).

Bước 2: Tìm hàm nắn chỉnh

Với các điểm điều khiển đã xác định, thay vì việc tìm hàm F bởi phương pháp bình

phương tối thiểu đã trình bày ở trên, từ tập P_i trên ảnh cần nắn chỉnh sang Q_i thuộc khung mẫu, ta đi tìm hàm F^{-1} từ tập Q_i thuộc khung mẫu sang P_i trên ảnh cần nắn chỉnh. Sở dĩ ta tìm hàm nắn chỉnh như vậy vì hàm F tìm được thông thường không phải là song ánh. Do vậy, có thể có một số điểm trong ảnh đích không được ánh xạ tới, dẫn đến ảnh kết quả sẽ có các lỗ thủng không mong muốn.

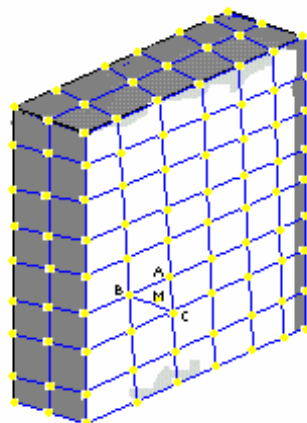


Hình 7. Điểm điều khiển đích thay đổi khi đã xác định được hàm F^{-1}

3.2. Thuật toán biểu diễn bề mặt dựa trên kỹ thuật Morphing

Việc biến đổi ảnh thu nhận bị biến dạng về ảnh mong muốn dựa vào khung mẫu sẽ được tiến hành nhờ việc biến đổi các bề mặt trên khung mẫu dựa vào ảnh thu nhận. Quá trình được thực hiện bằng cách: với mỗi điểm trên bề mặt ảnh khung mẫu, ta cần xác định giá trị cho nó từ các giá trị tương ứng từ ảnh thu nhận. Giá trị cần xác định của điểm này sẽ được thực hiện nhờ vào kỹ thuật Morphing trên lưới các điểm.

Cũng như các điểm điều khiển khung, các điểm lưới điều khiển sẽ được xác định trên bề mặt của khung lưới. Tùy theo đối tượng và yêu cầu về chất lượng biểu diễn mà sử dụng lưới với độ chi tiết khác nhau (Hình 8 thể hiện khung mẫu đối tượng và lưới các điểm điều khiển bề mặt).



Hình 8. Khung mẫu và lưới điểm điều khiển bề mặt

Xuất phát từ ảnh ban đầu tương ứng với khung mẫu (ảnh trắng), thuật toán biểu diễn

bề mặt dựa vào kỹ thuật Morphing với lưới các điểm điều khiển bề mặt sẽ tính và gán giá trị cho từng điểm của ảnh trắng dựa vào ảnh thu nhận. Cụ thể, thuật toán bao gồm các bước cơ bản sau:

Bước 1: Với mỗi điểm M trên bề mặt ảnh khung mẫu (Hình 8).

Bước 2: Tìm 3 điểm lưới điều khiển ([4]).

Việc tìm 3 điểm này dựa theo một nguyên tắc vật lý là: lực hút giữa hai vật tỉ lệ nghịch với khoảng cách giữa chúng. Trong số các điểm lân cận của điểm M , điểm nào gần M nhất thì ảnh hưởng của nó tới M sẽ là lớn nhất. Trên cơ sở đó chúng ta tìm 3 điểm thỏa mãn:

- + Tổng khoảng cách từ 3 điểm này tới M là nhỏ nhất;
- + M thuộc tam giác tạo bởi 3 điểm này.

Gọi 3 điểm vừa tìm được là A, B, C (Hình 8).

Bước 3: Xác định 3 điểm tương ứng A', B', C' ở ảnh thu nhận cần khôi phục.

Dùng hàm nắn chỉnh khung đối tượng F^{-1} tìm được theo thuật toán trong Mục 3.1 nhờ khung mẫu với các cặp điểm điều khiển.

Bước 4: Tìm M' thuộc tam giác $A' B' C'$ tương ứng với điểm M trong tam giác ABC dựa vào phép nội suy tam giác ABC thành tam giác $A' B' C'$ và gán giá trị của M' cho M .

3.3. Thuật toán nắn chỉnh hình học đối tượng 3 chiều

Thuật toán nắn chỉnh hình học đối tượng 3 chiều dựa vào khung mẫu thông qua các điểm điều khiển khung và lưới các điểm điều khiển bề mặt. *CorrectOBJECT* được tổng hợp từ hai thuật toán tìm hàm nắn chỉnh khung trong Mục 3.1 và biểu diễn bề mặt trong Mục 3.2, gồm các bước cơ bản sau:

Bước 1: Gắn mẫu và chính xác hóa điểm điều khiển.

Bước 2: Tìm hàm nắn chỉnh F^{-1} từ khung mẫu sang ảnh thu nhận cần nắn chỉnh.

Bước 3: Xây dựng ảnh kết quả có kích thước bằng kích thước khung mẫu, độ phân giải, mức xám và màu giống ảnh thu nhận cần nắn chỉnh, rồi gán giá trị nền cho tất cả các điểm thuộc ảnh.

Bước 4: Lấy điểm M thuộc ảnh kết quả, lấy điểm M_1 có tọa độ tương ứng từ khung mẫu và xác định 3 điểm lưới bề mặt A, B, C trên khung mẫu tạo thành tam giác chứa điểm M_1 .

Bước 5: Tìm 3 điểm tương ứng A', B', C' trên ảnh cần nắn chỉnh dựa vào hàm F^{-1} tìm được ở Bước 2.

Bước 6: Tìm M' thuộc tam giác $A' B' C'$ tương ứng với điểm M_1 trong tam giác ABC dựa vào phép nội suy tam giác ABC thành tam giác $A' B' C'$ và gán giá trị màu của M' cho M .

Bước 7: Kiểm tra, nếu đã xét hết các điểm thuộc ảnh kết quả xây dựng ở Bước 3 thì kết thúc và lưu lại ảnh kết quả, nếu không quay lại Bước 4.

Nhận xét

Thuật toán nắn chỉnh *CorrectOBJECT* dựa trên cơ sở cấu tạo vật lý của một đối tượng 3 chiều nói chung bao gồm “khung” và “bề mặt”. Vì thế muốn nắn chỉnh đối tượng phải thực hiện từng giai đoạn đối với từng bộ phận của đối tượng. Thuật toán nắn chỉnh đề xuất ở đây đã tuân thủ đúng quy tắc này. Cụ thể, hàm nắn chỉnh tìm được ở Bước 2 sẽ cho ta điểm có tác dụng nắn chỉnh cấu trúc khung, kỹ thuật Morphing dùng để tính giá trị cho một điểm bề mặt dựa trên các điểm lưới bề mặt có tác dụng hiệu chỉnh lại bề mặt. Việc tính toán được thực hiện cho tất cả các điểm trên ảnh theo khung mẫu đích tạo ở Bước 3, vì thế

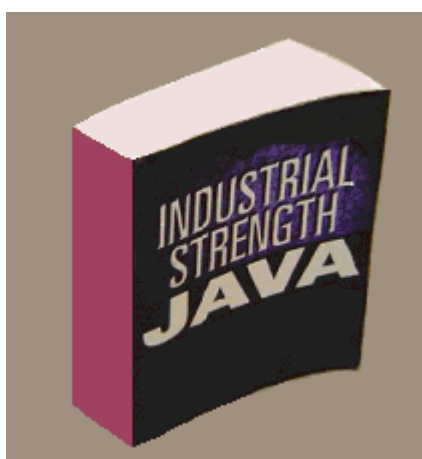
thuật toán xử lý được vấn đề tái tạo đối tượng 3 chiều theo đúng khung mẫu đã đề ra.

4. THỬ NGHIỆM

Chúng tôi đã cài đặt thử nghiệm thuật toán CorrectOBJECT trong phần mềm BookMorphing và đã thu được kết quả khá tốt với hình ảnh là một cuốn sách.

Trong Hình 9.a, 9.c thể hiện ảnh thu nhận bị biến dạng hình học xô và chéo góc theo cả 3 chiều. Hình 9.b, 9.d thể hiện ảnh kết quả thu được sau thuật toán với 46 điểm khung điều khiển và 93 điểm điều khiển lưới bề mặt. Hình ảnh kết quả đã khắc phục được hiện tượng xô và chéo góc của ảnh thu nhận theo cả 3 hướng.

Kết quả thực nghiệm cho thấy chương trình đã xử lý khá tốt đối với các đối tượng sách với yêu cầu đầu ra có kích thước không thay đổi, trong trường hợp đưa lên trang WEB.



a)



b)



c)



d)

Hình 9. Một số kết quả thực hiện thuật toán nắn chỉnh

a),c) Ảnh thu nhận bị biến dạng; b),d) Ảnh kết quả

5. KẾT LUẬN

Ảnh thu nhận trong máy tính thường bị biến dạng bởi các thiết bị điện tử và quang học đặc biệt là đối với ảnh 3 chiều. Xuất phát từ quá trình nhận biết đối tượng của con người là đi từ khái quát đến chi tiết, bài báo này đề xuất một thuật toán hiệu chỉnh đối tượng 3 chiều sau quá trình thu nhận thông qua sự kết hợp hai kỹ thuật cơ bản: nắn chỉnh biến dạng khung của đối tượng dựa trên tập các cặp điểm điều khiển và biểu diễn bề mặt dựa trên kỹ thuật Morphing với lưới điểm bề mặt.

Thuật toán CorrectOBJECT đề xuất đã được cài đặt thử nghiệm trong phần mềm Book-Morphing dùng trong việc nắn chỉnh sách thu nhận. Thuật toán có ý nghĩa đối với việc nắn chỉnh nhiều đối tượng có cùng kích thước và các bề mặt tương đối phẳng như sách, bàn, ghế, tường, tủ hoặc các sản phẩm điện tử gia dụng...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Johan, Y.Koiso, T. Nishita, “Morphing using curve and shape interpolation techniques”, Dept of Information Science Technical Report, University of Tokyo, 2000 (53–62)
- [2] Đặng Văn Đức, *Hệ thống thông tin địa lý*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2001.
- [3] Morphing page, Website <http://www.asahi-net.or.jp>
- [4] Huỳnh Quyết Thắng, Nguyễn Đức Long, Xây dựng thuật toán và phần mềm biến hình BKMORPH trên tập các điểm đặc trưng, *Chuyên san Các công trình nghiên cứu-triển khai viễn thông và công nghệ thông tin, Tạp chí Bưu chính viễn thông số 7 (2002) (102–107)*.
- [5] Mirco Pieper, Anton Kummert, Image prediction for virtual environments by means of background image warping and 3D object tracking, *Proceedings of the Eighth IASTED International Conference on Computer Graphics and Imaging, CGIM*, Honolulu, Hawaii, USA, August 15-17, 2005 (156–161).
- [6] Warping page, Website <http://www.imagewarp.com>

Nhận bài ngày 30 - 8 - 2006

Nhận lại sau sửa ngày 16 - 10 - 2006