NỘI SUY GIÁ TRỊ ĐỘ XÁM TRONG BÀI TOÁN NẮN CẶP ẢNH LẬP THỂ SỐ

ThS. TRẦN TRUNG ANH
Trường Đại học Mỏ Địa chất

Tóm tắt:

Bài báo trình bày thuật toán nội suy giá trị độ xám dựa trên các hàm trọng số khoảng cách khác nhau, đây là một công đoạn quan trọng của nắn ảnh số nói chung và nắn cặp ảnh lập thể số nói riêng. Các phân tích cụ thể về hàm trọng số được sử dụng trong nội suy độ xám và sự ảnh hưởng của chúng đến chất lượng ảnh nắn và thời gian thực thi. Từ đó lựa chọn được hàm oMoms phù hợp nhất để xây dựng thuật toán nội suy độ xám để được chất lượng ảnh nắn tốt nhất với thời gian thực thi hợp lý.

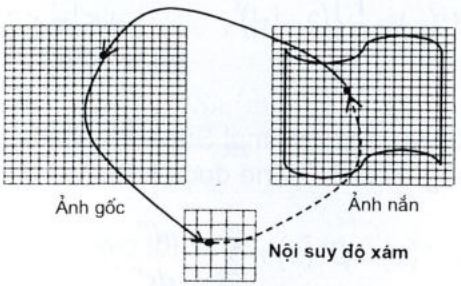
1. Mở đầu

Nội suy giá trị độ xám là một công đoạn rất quan trọng trong nhiều bài toán đo ảnh số như thu phóng ảnh, xoay ảnh, nắn ảnh trực giao, nắn cặp ảnh lập thể... Thuật toán nội suy độ xám ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm và thời gian thực hiện quá trình đó. Trong bài toán đơn giản như thu phóng ảnh, xoay ảnh chỉ phục vụ mục đích quan sát bằng mắt nên chỉ cần các thuật toán đơn giản sao cho thời gian thực thi nhanh nhất. Trong bài toán nắn ảnh trực giao nhằm mục đích tạo ra bình đồ trực ảnh có yêu cầu cao hơn về mặt chất lượng, tuy nhiên sản phẩm bình đồ trực ảnh dùng để in ra để đi đối soát, điều vẽ hoặc dùng để số hóa địa vật cũng được quan sát bằng mắt người nên có thể sử dụng thuật toán đơn giản hoặc thuật toán có độ phức tạp ở mức trung bình. Đối với bài toán nắn cặp ảnh lập thể [1] với mục tiêu tạo ra cặp ảnh lập thể lý tưởng (có thị sai dọc bằng 0, sai số méo hình kính vật bằng 0), phục vụ quan sát lập thể nhanh, đo vẽ chi tiết và tự động tìm kiếm điểm ảnh cùng tên... có ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác của kết quả đo vẽ, nên rất cần một thuật toán nội suy độ xám cho kết quả tốt nhất, hạn chế nhiễu và thời gian thực thi hợp lý.

Bài báo trình bày thuật toán nội suy độ xám thường dùng dựa trên các hàm trọng số theo khoảng cách nội suy khác nhau, có sự phân tích cụ thể. Từ đó lựa chọn ra thuật toán hợp lý nhất dùng cho bài toán nắn cặp ảnh lập thể.

2. Nội suy độ xám trong bài toán nắn ảnh

2.1. Nguyên lý cơ bản



Hình 1: Quá trình nắn ảnh và nội suy độ xám

Người phản biện: TS. Đào Ngọc Long

Nắn ảnh số ngày nay thường tiến hành theo phép nắn gián tiếp, từ vị trí pixel trên ảnh nắn tìm ngược lại vị trí của chúng trên pixel ảnh gốc thông qua mối quan hệ nắn ảnh. Vị trí tìm được thường có tọa độ là số thực, từ vị trí này tiến hành nội suy giá trị độ xám dựa trên độ xám của các pixel lân cận theo thuật toán nội suy được lựa chọn. Quá trình nắn ảnh và nội suy độ xám được tiến hành lần lượt cho từng pixel [1]. Chất lượng ảnh nắn phụ thuộc rất lớn vào phương pháp nội suy độ xám với hàm trọng số khoảng cách nội suy.

2.2. Các hàm trọng số khoảng cách nội suy

Thực chất của phép nội suy độ xám là lấy tổng độ xám của các pixel lân cận vị trí cần nội suy theo trọng số về khoảng cách từ vị trí đó (ký hiệu là x) đến tâm của các pixel tham gia vào nội suy. Do vậy giá trị nội suy độ xám phụ thuộc chủ yếu vào hàm trọng số của khoảng cách x tương ứng với số lượng pixel tham gia nội suy. Sau đây sẽ trình bày một số hàm toán học thường dùng.

a. Hàm toán học "người láng giềng gần nhất" (Nearest-neighbour) [5]

$$\varphi^0(x)=\begin{cases}0; & x<-0.5\\ 1; & -0.5\le x<0.5\\ 0; & 0.5\le x\end{cases} \tag{1}$$

b. Hàm toán học tuyến tính (Linear, tương đương với hàm B-Spline bậc 0, hoặc hàm song tuyến khi nội suy 2 chiều) [5].

$$\beta^0(x)=\begin{cases}1-|x|; & |x|<1\\ 0; & 1\le|x|\end{cases} \tag{2}$$

c. Hàm B-Spline bậc n [5]

$$\beta^n(x)=\sum_{k=0}^{n+1}(-1)^k\frac{(n+1)}{(n+1-k)!k!}\left(\frac{n+1}{2}+x-k\right)_+^n \qquad \forall x\in R,\quad \forall n\in N; \tag{3}$$

Trong đó $(x)_+^n=[\max(0,x)]^n \qquad n>0$

Trong các ứng dụng thực tế thường dùng hàm B-Spline bậc 3 [5].

$$\beta^3(x)=\frac{1}{6}\begin{cases}4-3x^2(2-|x|); & 0\le|x|<1\\ (2-|x|)^3; & 1\le|x|<2\\ 0 & 2\le|x|\end{cases} \tag{4}$$

d. Hàm Moms (Maximal Order and Minimal Support) bậc n: từ công thức B-Spline cộng thêm giá trị đạo hàm của công thức B-Spline được hàm Moms bậc n [2,3]:

$$Moms^n(x)=\beta^n(x)+\sum_{m=1}^{n}c_m\frac{d^m}{dx^m}\beta^n(x) \tag{5}$$

Trong đó giá trị đạo hàm bậc 1 tính như sau (và tính tương tự cho đạo hàm bậc m)

$$\frac{d}{dx}\beta^n(x)=\beta^{n-1}(x+0.5)-\beta^{n-1}(x-0.5) \qquad n>0 \tag{6}$$

c_m là hằng số trong phép lặp thứ m;

Trong các hàm Moms phụ thuộc vào bậc n và hằng số cm; nếu dùng hàm Moms bậc 3 với $c_1=c_3=0$; $c_2=1/42$ nhận được hàm oMoms [2,3] có giá trị như sau:

$$oMoms^3(x)=\beta^3(x)+\frac{1}{42}\frac{d^2}{dx^2}\beta^3(x)=\frac{1}{42}\begin{cases}21|x|^3-42x^2+3|x|+26; & 0\le|x|<1\\ -7|x|^3+42x^2-85|x|+58; & 1\le|x|<2\\ 0 & 2\le|x|\end{cases} \tag{7}$$

e. Hàm Schaum [7] tương tự hàm oMoms nhưng lấy $c_2=-1/6$:

$$Schaum^3(x)=\beta^3(x)-\frac{1}{6}\frac{d^2}{dx^2}\beta^3(x) \tag{8}$$

g. Hàm Keys [6]

$$u_a(x)=\begin{cases}(a+2)|x|^3-(a+3)x^2+1; & 0\le|x|<1\\ a|x|^3-5ax^2+8a|x|-4a; & 1\le|x|<2\\ 0 & 2\le|x|\end{cases} \tag{9}$$

Trong đó a là hằng số tự chọn.

h. Hàm Dodgson [4] được xây dựng từ hàm B-Spline bậc 2 và bậc 1;

$$Dodgson^2(x)=2\beta^2(x)-\frac{1}{2}\left[\beta^1(x-0.5)+\beta^1(x+0.5)\right] \tag{10}$$

i. Hàm Sinc [5] (khai triển chọn a=-1 dựa vào hàm Keys)

$$Sinc(\pi x)=\frac{Sin(\pi x)}{\pi x}\cong u_{-1}(x)=\begin{cases}|x|^3-2x^2+1; & 0\le|x|<1\\ -|x|^3+5x^2-8|x|+4; & 1\le|x|<2\\ 0 & 2\le|x|\end{cases} \tag{11}$$

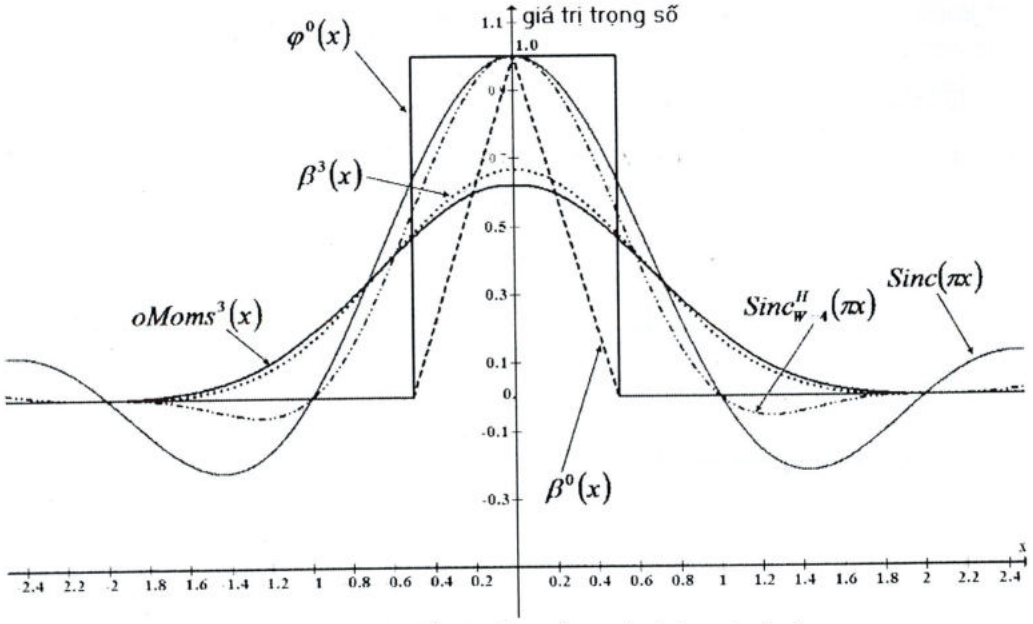
k. Hàm Sinc thay đổi theo Dirichlet [5]

$$Sinc_W^D(\pi x)=\frac{Sin(\pi x)}{\pi x}\beta^0\left(\frac{x}{W}\right) \tag{12}$$

W là một hằng số chẵn

l. Hàm Sinc thay đổi theo Hanning [5]

$$Sinc_W^H(\pi x)=Sinc_W^D(\pi x)\left[\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos\left(\frac{2\pi x}{W}\right)\right] \tag{13}$$



Hình 2: Sự biến thiên của các hàm toán học

Từ hình 2 nhận thấy đồ thị hàm "người láng giềng gần nhất" 0(x) gán trọng số bằng 1 cho pixel gần nhất các pixel còn lại có trọng số bằng 0, do vậy hàm này chỉ cần lấy 1 pixel tham gia tính (thực chất không cần nội suy). Hàm tuyến tính 0(x) thì là sự cân bằng trọng số của 2 pixel lân cận theo 1 chiều (4 pixel theo 2 chiều thì gọi là hàm song tuyến). Hàm Sinc và Sinc biến đổi có sự biến đổi trọng số linh hoạt nhưng với các tâm pixel có khoảng cách tử 1 đến 2 pixel đối với vị trí nội suy lại có trọng số âm nên đây là hàm số không hợp lý cho phép nội suy. Hàm Bspline bậc 3 và hàm oMoms bậc 3 có sự biến thiên về trọng số khoảng cách uyển chuyển, nhìn vào đồ thị thì thấy hợp lý hơn cả.

2.3. Tỷ số nhiễu và thời gian thực thi của nội suy độ xám

Nội suy độ xám để xây dựng ảnh mới có độ xám mới thay đổi về giá trị so với độ xám trên ảnh gốc. Điều này gây nên một tỷ số nhiễu khi nội suy độ xám tính theo công thức sau [5]:

$$SNR = 10\log_{10}\left\{\frac{\sum_u\sum_v G^2(u,v)}{\sum_u\sum_v [G(u,v)-I(u,v)]^2}\right\} \qquad (14)$$

Trong đó:

SNR - là tỷ số nhiễu (Signal to Noise Ratio) tính theo đơn vị dB;

G(u,v) - là giá trị độ xám của ảnh gốc ở vị trí (u,v);

I(u,v) - là giá trị độ xám của ảnh nắn ở vị trí (u,v);

Khi lựa chọn các công thức trọng số khác nhau sẽ cho giá trị SNR khác nhau. Với tỷ số SNR càng thấp thì nhiễu tính chuyển càng cao và ngược lại, tỷ số SNR có giá trị càng lớn thì phép tính chuyển càng ít nhiễu. Muốn tỷ số SNR cao thì phải chọn hàm trọng số bậc

cao để nội suy.

Thời gian thực thi phép nội suy độ xám phụ thuộc vào hàm trọng số được lựa chọn cùng với số lượng pixel lân cận tham gia vào phép nội suy. Thông thường hàm trọng số có bậc thấp sẽ thực thi phép tính nhanh và ngược lại, hàm trọng số có bậc cao sẽ thực thi chậm hơn.

Để cân bằng giữa mục tiêu hạn chế nhiễu và phép thực thi nhanh, tiến hành khảo sát trên các công thức trọng số đã trình bày áp dụng cho hai tấm ảnh chuẩn. Số liệu thống kê nhận được như sau:

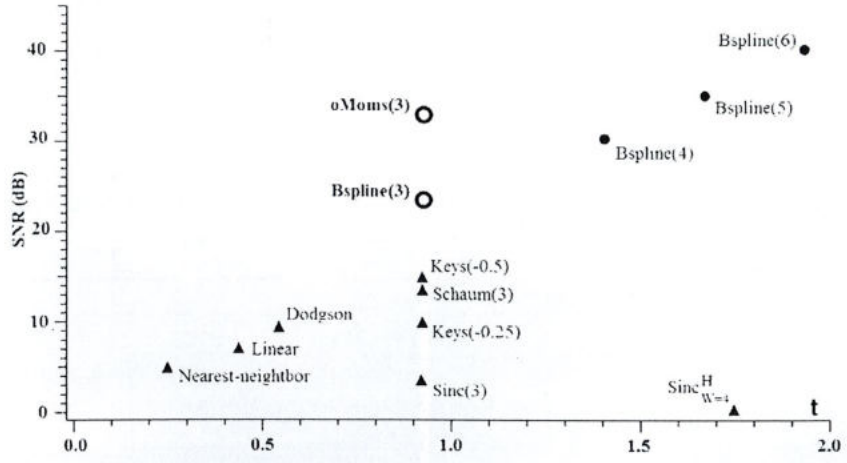
Bảng 1: Thống kê về tỷ số nhiễu SNR và thời gian xử lý trên ảnh chuẩn

Hàm trọng số	Số pixel tham gia trên 1 chiều	Thời gian (s)	SNR (dB)	
			Circular	Lena
φ^0 (nearest)	1	0.24	4.96	18.57
Dodgson	3	0.54	9.49	24.23
Sinc (u_{-1})	4	0.92	3.60	19.33
$u_{-0.5}$	4	0.92	15.00	28.16
$u_{-0.25}$	4	0.92	10.06	24.73
Schaum	4	0.92	14.09	27.61
β^3	4	1.19	23.22	31.98
oMoms^3	4	1.21	32.76	34.29
β^4	5	1.40	30.25	33.90
β^5	6	1.66	35.01	34.81
SincH (W=4)	4	1.74	0.38	0.41
β^6	7	1.93	40.17	35.54

2.4. Lựa chọn hàm trọng số khoảng cách nội suy độ xám hợp lý

Sự có mặt của nhiều hàm trọng số khoảng cách mà chưa có sự phân tích để lựa chọn cho mục đích phù hợp. Tùy thuộc vào yêu cầu chất lượng, thời gian thực thi và mục đích sử dụng của ảnh nắn sau khi thực hiện phép nội suy mà lựa chọn cho phù hợp. Đối với công tác nắn cặp ảnh lập thể thì rất cần một hàm trọng số khoảng cách cho chất lượng tốt nhất và thời gian thực thi phù hợp.

Do vậy từ số liệu của bảng 1, xây dựng đồ thị phân bố với trục hoành là thời gian thực thi (t), trục tung là tỷ số SNR như hình vẽ 3.



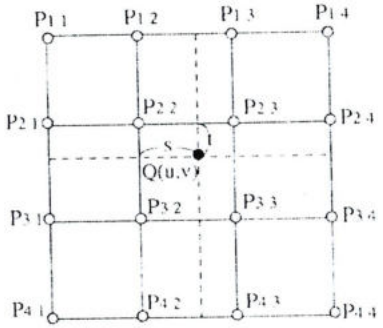
Hình 3: Sự phân bố thời gian thực thi (s) và tỷ số SNR trên ảnh chuẩn Cicular

Từ hình 3, nhận thấy rằng thời gian thực thi nhanh nhất là nội suy theo hàm "người láng giềng gần nhất" nhưng cũng cho giá trị tỷ số nhiễu SNR thấp nhất. Các hàm nội suy bậc 3 có thời gian thực thi tương đương nhau nhưng lại cho tỷ số nhiễu SNR khác nhau, nội suy theo hàm Sinc (bậc 3) cho giá trị tỷ số nhiễu SNR thấp, hàm Bspline bậc 3 và hàm oMoms bậc 3 cho SNR cao. Các hàm Bspline bậc cao (4,5,6) có thời gian thực thi chậm (dùng nhiều hơn 4 pixel liền kề theo 1 chiều) nhưng cho tỷ số SNR cao, tuy không cao hơn là bao so với hàm oMoms bậc 3.

Do vậy cách chọn để cân bằng giữa chất lượng (SNR cao) và thời gian (nhanh) thì chọn hàm oMoms bậc 3 dùng để tính trọng số nội suy là hợp lý. Các hàm dạng Sinc trước đây vẫn thường dùng nên tuyệt đối loại bỏ vì cho tỷ số SNR thấp, thời gian thực thi chậm và có sự vô lý khi trọng số của pixel liền kề còn báo giá trị âm (theo hình 2)

3. Xây dựng thuật toán nội suy độ xám theo hàm oMoms bậc 3

Hàm oMoms bậc 3 sử dụng 4 pixel liền kề với vị trí nội suy theo 1 chiều, trong ảnh 2 chiều sẽ dùng 4x4 pixel theo 2 chiều. Việc tính nội suy theo từng chiều 1 riêng rẽ, tuy nhiên với khả năng tính toán của máy tính hiện nay tính luôn trên 2 chiều cùng một lúc theo thuật toán sau.



Hình 4: Nội suy độ xám cho vị trí (u,v) dùng 4x4 pixel lân cận

$$Q(u,v)=\begin{bmatrix} oMoms(1+t) \\ oMoms(t) \\ oMoms(1-t) \\ oMoms(2-t) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} oMoms(1+s) \\ oMoms(s) \\ oMoms(1-s) \\ oMoms(2-s) \end{bmatrix} \quad (15)$$

Trong đó: $\begin{cases} s=u-\text{int}[u] \\ t=v-\text{int}[v] \end{cases} \quad s,t\in[0,1)$

Nếu kí hiệu biến y đại diện cho giá trị t (theo chiều dọc) và s (theo chiều ngang), thì hàm trọng số oMoms bậc 3 được viết dưới dạng tường minh như sau:

$$\begin{cases} oMoms(1+y)=-\frac{1}{6}y^3-2y^2-\frac{11}{21}y+\frac{4}{21} \\ oMoms(y)=\frac{1}{2}y^3-y^2+\frac{1}{14}y+\frac{13}{21} \\ oMoms(1-y)=-\frac{1}{2}y^3-\frac{35}{14}y^2+\frac{5}{14}y+\frac{4}{21} \\ oMoms(2-y)=\frac{1}{6}y^3+2y^2-\frac{169}{42}y-\frac{170}{21} \end{cases}$$

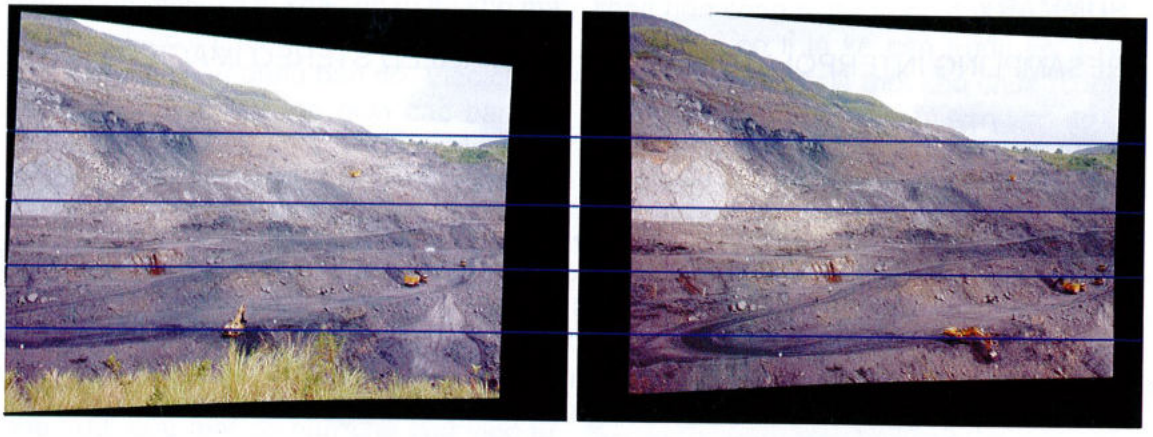
Đối với các vị trí cần nội suy khi trên ảnh nắn khi tìm lại vị trí trên ảnh gốc mà rơi ra ngoài thì gán luôn giá trị độ xám là 0 (màu đen), nếu nằm trên pixel biên thì lấy độ xám theo nguyên tắc hàm "người láng giềng gần nhất", nếu nằm ở cận biên thì nội suy theo hàm tuyến tính, còn nếu nằm trong tấm ảnh thì nội suy theo hàm oMoms bậc 3 như thuật toán đã trình bày (công thức 15).

4. Thực nghiệm

Để kiểm chứng lý thuyết đã trình bày, kết hợp với bài toán nắn cặp ảnh lập thể [1], tiến hành nắn cặp ảnh lập thể về cặp ảnh lập thể lý tưởng, phép nội suy độ xám được chọn theo hàm oMoms bậc 3. Đây là một công đoạn quan trọng trong các bài toán đo ảnh số được thực hiện trong phần mềm viết bằng ngôn ngữ C++ Buider của tác giả. Sau công đoạn nắn ảnh (có bước nội suy giá trị độ xám), sẽ tiến hành đo vẽ tự động cũng nằm trong phần mềm này.

Hình 5 là cặp ảnh màu chụp từ máy chụp ảnh số Sony F707, quá trình nội suy giá trị độ xám được tiến hành trên 3 kênh màu riêng biệt R (Red), G (Green), B (Blue). Chất lượng của ảnh sau khi nắn (hình 6) gần như giữ nguyên gốc về độ xám, ảnh có chất lượng cao phục vụ tốt cho quá trình đo vẽ lập thể, tự động hóa tìm kiếm điểm ảnh cùng tên.

Hình 5: Cặp ảnh lập thể mỏ lộ thiên Cọc Sáu trước khi nắn



Hình 6: Cặp ảnh lập thể sau khi nắn với thuật toán nội suy độ xám oMoms3

5. Kết luận

Để có sản phẩm ảnh nắn có chất lượng tốt và thời gian thực thi hợp lý cần sử dụng thuật toán nội suy giá trị độ xám với hàm trọng số khoảng cách oMoms bậc 3. Hàm Sinc vẫn thường hay dùng không nên tiếp tục sử dụng vì có hệ số nhiễu SNR thấp (gây giá trị nhiễu cao), thời gian thực thi chậm, trọng số của các pixel tham gia không hợp lý. Hàm "người láng giềng gần nhất" và hàm song tuyến chỉ nên dùng trong các bài toán thu phóng ảnh, các sản phẩm có yêu cầu chất lượng không cao, đối với ảnh nắn có yêu cầu chất lượng cao thì dùng 2 hàm này để nội suy trên các pixel biên và cận biên của ảnh số.❍

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Trần Trung Anh (2008). Phương pháp nắn cặp ảnh lập thể theo đường đáy chụp ảnh. Tuyển tập báo cáo Hội nghị khoa học lần thứ 18, quyển 5 Trắc địa, tr3-10, Đại học Mỏ Địa chất, Hà Nội.

[2]. Blu T, Thévenaz P and Unser M (1998). MOMS: Maximal Order and Minimal Support. IEEE Trans.Signal Processing. Vol 47, N010, pp 2783-2795.

[3]. Blu T, Thévenaz P and Unser M (1998). Minimum Support Interpolators with Optimum Approximation Properties. In Proc IEEE International Conference on Image Processing, Chicago, Illinois, U.S.A.

[4]. Dodgson N.A (1997). Quadratic Interpolation for Image Resampling. IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6, pp. 1322-1326.

[5]. Isaac N. Ban Kman (2000). Handbook of Medical Imaging: Processing and Analysis. Chapter 25 Image Interpolation and Resampling, pp393-424. Academic Press, USA.

[6]. Keys R.G (1981). Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. ASSP 29, N06, pp. 1153-1160.

[7]. Schaum A(1993). Theory and Design of Local Interpolators. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, vol. 55, pp. 464-481.❍

SUMMARY

RESAMPLING INTERPOLATION IN THE NORMALIZED STEREO IMAGE PAIR

MSc. Tran Trung Anh

Hanoi University of Mining and Geology

This paper refers to the resampling interpolation algorithm based on difference weight distance functions. This is an extremely important process of image rectifier and normalized stereo image pair. The specific weight function analyses are used in resampling interpolation method. These analyses also affect the quality of the image rectifier and duration of time. Hence, the most suitable oMoms function is used to build the resampling interpolation method, reducing time and increasing the quality of image rectifier.❍