

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ ĐỊA CHẤT**

**BÁO CÁO HỌC THUẬT
HỌC KỲ 1
Năm học 2020-2021**

**NGHIÊN CỨU SO SÁNH CÁC PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY
MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO DẠNG GRID**

GIẢNG VIÊN: NGUYỄN THỊ THU HƯƠNG

**ĐƠN VỊ: BỘ MÔN TRẮC ĐỊA PHỔ THÔNG VÀ SAI SỐ
- KHOA TRẮC ĐỊA BẢN ĐỒ & QLDD-**

HÀ NỘI - 2020

MỤC LỤC

MỤC LỤC	2
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY	3
1.1. Khái niệm về nội suy	3
1.2. Ứng dụng của các phương pháp nội suy	4
1.3. Một số ví dụ minh họa về các phương pháp nội suy.....	7
CHƯƠNG 2: CÁC PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO DẠNG GRID PHỔ BIẾN	11
2.1. Phương pháp nội suy song tuyến Bilinear	11
2.2. Phương pháp nội suy Bi-cubic.....	13
2.3. Phương pháp nội suy Kriging	13
CHƯƠNG 3: THỰC NGHIỆM VÀ SO SÁNH KẾT QUẢ CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY GRID DEM	16
3.1. Dữ liệu thực nghiệm	16
3.2. Các kết quả thực nghiệm	17
3.2.1. Thực nghiệm 1:.....	17
3.2.2. Thực nghiệm 2:.....	18
3.2.3. Thực nghiệm 3:.....	19
3.2.4. Thực nghiệm 4:.....	22
3.2. So sánh kết quả của các phương pháp nội suy grid DEM.....	23
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	24
TÀI LIỆU THAM KHẢO	25

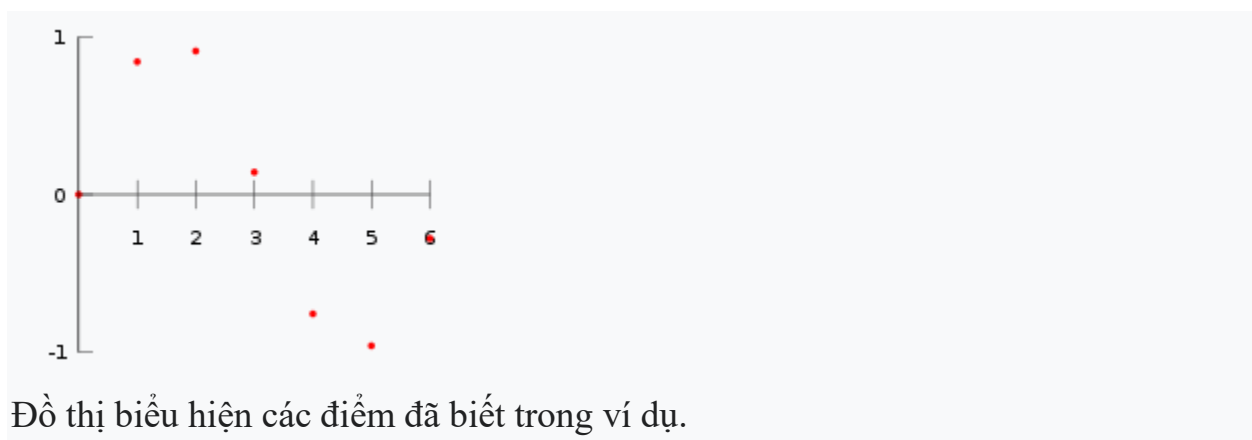
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY

1.1. Khái niệm về nội suy

Nội suy là phương pháp ước tính giá trị của các điểm dữ liệu chưa biết trong phạm vi của một tập hợp rời rạc chứa một số điểm dữ liệu đã biết.

Trong khoa học kỹ thuật, người ta thường tiến hành nội suy từ một số điểm dữ liệu mẫu (những điểm dữ liệu đã biết giá trị bằng cách lấy mẫu qua thực nghiệm). Những điểm này là giá trị đại diện của một hàm số của một biến số độc lập có một lượng giới hạn các giá trị. Thường chúng ta phải nội suy (hoặc ước tính) giá trị của hàm số này cho một giá trị trung gian của một biến độc lập. Điều này có thể thực hiện bằng các phương pháp nội suy phù hợp hoặc phân tích hồi quy.

Ví dụ, chúng ta có một số giá trị của hàm số chưa biết f như sau.



x	$f(x)$
0	0
1	.8415
2	.9093
3	.1411
4	-0.7568
5	-0.9589
6	-0.2794

Nội suy là phương pháp để ước tính hàm f tại các điểm trung gian, chẳng hạn như điểm $x = 2.5$.

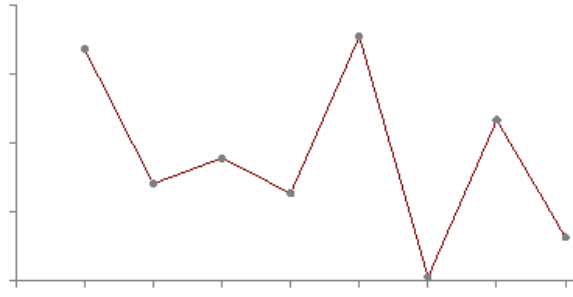
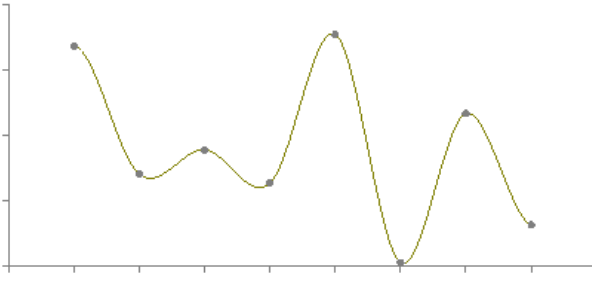
Có rất nhiều phương pháp nội suy khác nhau. Một số những lưu ý khi lựa chọn phương pháp phù hợp là: Độ chính xác của nó như thế nào? Chi phí của nó có cao không? Bao nhiêu điểm dữ liệu là cần thiết?

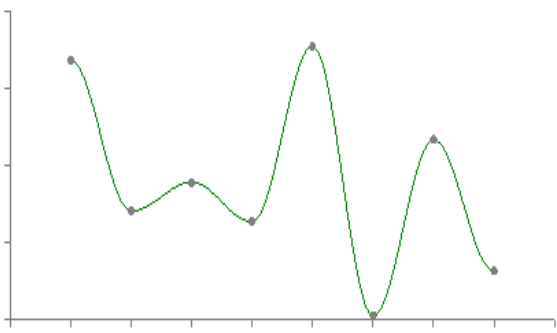
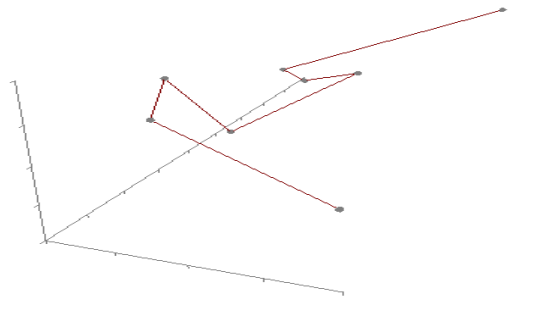
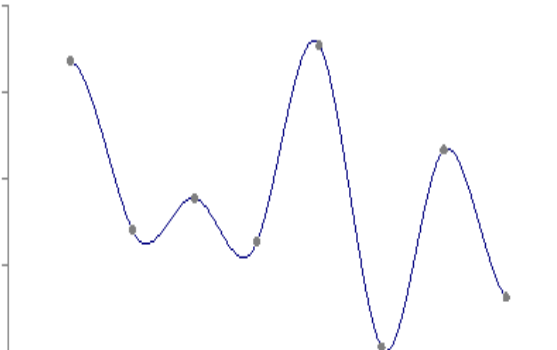
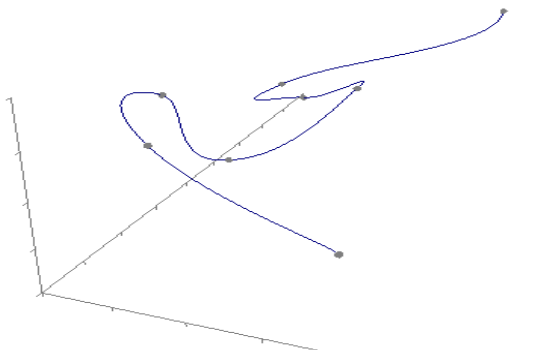
1.2. Ứng dụng của các phương pháp nội suy

Nội suy là một công cụ toán học cơ bản được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ngành thực nghiệm như công nghệ thông tin, kinh tế, tài chính, dầu khí, xây dựng, y học, truyền hình, điện ảnh và những ngành cần xử lý dữ liệu số khác như trong ngành trắc địa, bản đồ...

Chúng ta sẽ nghiên cứu nguyên lý cơ bản của một số phương pháp nội suy phổ biến sau đây.

Các thuộc tính chính là chúng dễ tính toán và ổn định. Nội suy như được sử dụng ở đây khác với "làm mịn", các kỹ thuật được thảo luận ở đây có đặc điểm là đường cong ước lượng đi qua tất cả các điểm đã cho. Ý tưởng là các điểm theo một nghĩa nào đó là đúng và nằm trên một đường cong cơ bản nhưng chưa biết, vấn đề là có thể ước lượng các giá trị của đường cong tại bất kỳ vị trí nào giữa các điểm đã biết.

<p>Nội suy tuyến tính</p> 	<p>Nội suy Hermite</p> 
<p>Nội suy Cosine</p>	<p>Nội suy 3D linear</p>

	
Nội suy Cubic	3D cubic
	
.....

Nội suy tuyến tính là phương pháp đơn giản nhất để lấy giá trị tại các vị trí giữa các điểm dữ liệu. Các điểm được nối đơn giản bằng các đoạn thẳng. Mỗi phân đoạn (được giới hạn bởi hai điểm dữ liệu) có thể được nội suy độc lập. Một đoạn mã C thuần túy sẽ phục vụ để mô tả toán học.

Double LinearInterpolate (

nhân đôi y1, nhân đôi y2,

đôi mu)

{

return (y1 * (1-mu) + y2 * mu);

}

Nội suy tuyến tính dẫn đến sự gián đoạn tại mỗi điểm. Thường thì một hàm nội suy mượt mà hơn là mong muốn, có lẽ đơn giản nhất là nội suy cosin. Một phân được định hướng phù hợp của một hàm cosin phục vụ cho việc chuyển đổi suôn sẻ giữa các phân đoạn liên kề.

Nội suy khối là phương pháp đơn giản nhất mang lại sự liên tục thực sự giữa các đoạn. Như vậy, nó không chỉ yêu cầu hai điểm cuối của đoạn mà còn cả hai điểm ở hai bên của chúng.

Phép nội suy Hermite như hình khối yêu cầu 4 điểm để nó có thể đạt được mức độ liên tục cao hơn. Ngoài ra, nó có các điều khiển độ căng và xu hướng đẹp mắt. Lực căng có thể được sử dụng để thắt chặt độ cong tại các điểm đã biết. Độ lệch được sử dụng để xoắn đường cong về các điểm đã biết.

Trong khi bạn có thể nghĩ các trường hợp trên là 2 chiều, chúng chỉ là nội suy 1 chiều (trục hoành là tuyến tính). Trong hầu hết các trường hợp, phép nội suy có thể được mở rộng thành các chiều cao hơn chỉ đơn giản bằng cách áp dụng nó cho từng tọa độ x, y, z một cách độc lập.

Hồi quy tuyến tính là một phương pháp để phù hợp nhất một phương trình tuyến tính (đường thẳng) có dạng $y(x) = a + b x$ với tập hợp N điểm (x_i, y_i) . Trong đó b là hệ số góc và a là điểm giao nhau trên trục y.

Kết quả sẽ được trình bày dưới đây mà không cần dẫn xuất, yêu cầu tối thiểu hóa tổng bình phương khoảng cách từ các điểm dữ liệu và đường được đề xuất. Hàm này được tối thiểu hóa bằng cách tính đạo hàm đối với a và b và đặt chúng bằng 0. Để có một dẫn xuất đầy đủ hơn, hãy xem "Công thức số trong C".

$$s_{xx} = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})^2$$

$$s_{yy} = \sum_{i=0}^{N-1} (y_i - \bar{y})^2$$

$$s_{xy} = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Then

$$\text{slope (b)} = \frac{s_{xy}}{s_{xx}}$$

and

$$y \text{ intercept (a)} = \bar{y} - b \bar{x}$$

Giải pháp rõ ràng hơn nếu chúng ta xác định những điều sau

$$r = \frac{s_{xy}}{\sqrt{s_{xx} s_{yy}}}$$

Đây là 0 nếu không có xu hướng tuyến tính, 1 cho phù hợp tuyến tính hoàn hảo.

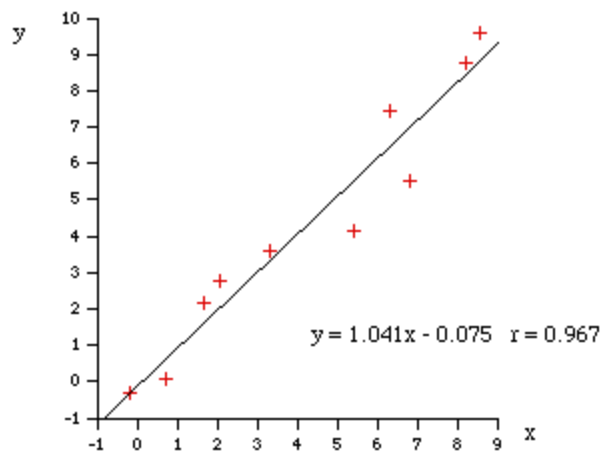
• Chú ý: Công thức trên với giả định rằng không có phương sai nào được biết cho các giá trị x và y. Có những giải pháp có thể tính đến điều này, điều này đặc biệt quan trọng nếu một số giá trị được biết với ít lỗi hơn những giá trị khác.

1.3. Một số ví dụ minh họa về các phương pháp nội suy

- Phương pháp nội suy đa thức:

Sau đây giới thiệu một phương pháp lấy ngay một đa thức đi qua một số điểm tùy ý. Tức là tìm một đa thức $f(x)$ đi qua N điểm, cho thấy các điểm và đường phù hợp nhất được xác định bằng cách sử dụng các kỹ thuật nội suy được thảo luận ở đây.

x	y
-0.20707	-0.319029
0.706672	0.0931669
1.63739	2.17286
2.03117	2.76818
3.31874	3.56743
5.38201	4.11772
6.79971	5.52709
6.31814	7.46613
8.20829	8.7654
8.53994	9.58096



Muốn có một sự phù hợp chính xác tại các điểm đã cho và không quan tâm điều gì xảy ra giữa các điểm đó. Giải pháp chung là tính giá trị của hàm $y = f(x)$.

Xét N mẫu chiều cao, tức là chúng ta có N bộ ba (x_i, y_i, z_i) . Chúng ta muốn ước lượng độ cao z cho một vị trí trên mặt phẳng (x, y) . Dạng tổng quát của cái gọi là "nội suy có trọng số lân cận gần nhất" đôi khi cũng được gọi là "phương pháp khoảng cách nghịch đảo" để ước lượng z được đưa ra như sau.

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_{N-1}, y_{N-1})$$

$$f(x) = \sum_{i=0}^{N-1} y_i \prod_{j=0, j \neq i}^{N-1} \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

Để xem hàm này hoạt động như thế nào, hãy xem xét khi $x = x_i$, số hạng tích có cùng mẫu số và tử số, do đó bằng 1 và do đó đóng góp y_i vào tổng. Tất cả các số hạng khác trong tổng đóng góp 0 vì tồn tại $(x_j - x_j)$ trong tử số. Đây được biết đến như một Đa thức Lagrange.

Hãy xem xét đa thức đi qua các điểm sau như trong hình sau. Bằng cách thay các giá trị của x cho các điểm mà hàm phải đi qua ($x = 0, 1, 3, 4, 6$), dễ dàng thấy rằng biểu thức trên đạt được kết quả, cụ thể là $y = 2, 1, 3, 0, 5$ tương ứng.

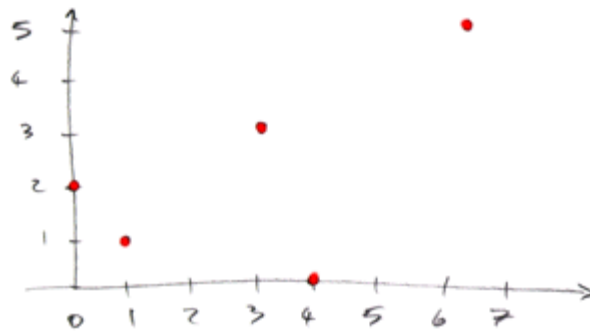
(0,2)

(1,1)

(3,3)

(4,0)

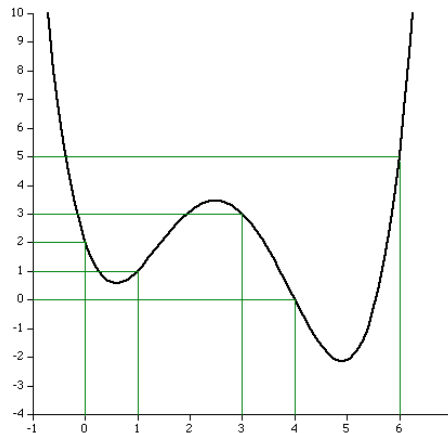
(6,5)



$$\begin{aligned} f(x) = & 2 * (x-1) * (x-3) * (x-4) * (x-6) / [(0-1) * (0-3) * (0-4) * (0-6)] \\ & + 1 * (x-0) * (x-3) * (x-4) * (x-6) / [(1-0) * (1-3) * (1-4) * (1-6)] \\ & + 3 * (x-0) * (x-1) * (x-4) * (x-6) / [(3-0) * (3-1) * (3-4) * (3-6)] \\ & + 0 * (x-0) * (x-1) * (x-3) * (x-6) / [(4-0) * (4-1) * (4-3) * (4-6)] \\ & + 5 * (x-0) * (x-1) * (x-3) * (x-4) / [(6-0) * (6-1) * (6-3) * (6-4)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(x) = & (x-1) * (x-3) * (x-4) * (x-6) / 36 \\ & - (x-0) * (x-3) * (x-4) * (x-6) / 30 \\ & + (x-0) * (x-1) * (x-4) * (x-6) / 6 \\ & + (x-0) * (x-1) * (x-3) * (x-4) / 36 \end{aligned}$$

$$f(x) = 17 * x^4 / 90 - 181 * x^3 / 90 + 563 * x^2 / 90 - 163 * x / 30 + 2$$



- Phương pháp nội suy Nearest Neighbor (nội suy có trọng số lân cận gần nhất hay phương pháp khoảng cách nghịch đảo) :

Phương pháp này thường xác định tầm quan trọng tương đối của các mẫu ở xa. Lưu ý rằng mẫu số ở trên cho phép đo mức độ gần của điểm được ước lượng từ các mẫu. Đương nhiên, nếu một mẫu ở gần thì nó có ảnh hưởng lớn hơn đến ước tính so với nếu mẫu ở xa.

$$z = \begin{cases} \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{z_i}{[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]^{p/2}}}{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]^{p/2}}} & x_i \neq x \text{ or } y_i \neq y \\ z_i & x_i = x \text{ and } y_i = y \end{cases}$$

CHƯƠNG 2: CÁC PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO

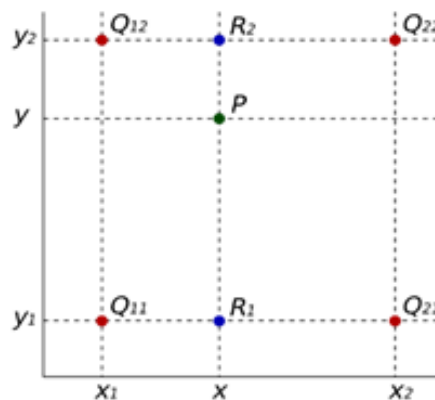
DẠNG GRID PHỔ BIẾN

Hiện nay, có nhiều phương pháp nội suy mô hình số độ cao (DEM) khác nhau. Phương pháp nội suy có thể là phương pháp trung bình có trọng số từ các pixel xung quanh. Trọng số phụ thuộc vào khoảng cách giữa vị trí của pixel mới và các pixel lân cận. Phương pháp nội suy đơn giản nhất là phương pháp Láng giềng gần nhất (nearest neighbor); một số các phương pháp khác cho độ chính xác cao hơn bằng việc xét thêm các điểm dữ liệu xung quanh để tạo ra kết quả chính xác hơn. Nhưng phổ biến hơn cả là các phương pháp nội suy song tuyến Bilinear, phương pháp nội suy Bi-cubic và phương pháp nội suy Kriging.

2.1. Phương pháp nội suy song tuyến Bilinear

Trong toán học, phép nội suy song tuyến là một phần mở rộng của phép nội suy tuyến tính để nội suy các hàm có hai biến (ví dụ: x và y) trên lưới mặt phẳng 2D. Nội suy song tuyến được thực hiện bằng cách sử dụng phép nội suy tuyến tính theo một hướng trước, sau đó lại theo hướng khác. Mặc dù mỗi bước là tuyến tính trong các giá trị được lấy mẫu và ở vị trí nhất định nhưng khi nội suy trên toàn bộ khu vực lấy mẫu thì lại không phải là tuyến tính mà là bậc hai.

Giả sử giá trị của một hàm f chưa biết tại điểm (x, y) , ví dụ giá trị độ cao của điểm (x, y) được tính từ bốn điểm $Q11 = (x1, y1)$, $Q12 = (x1, y2)$, $Q21 = (x2, y1)$ và $Q22 = (x2, y2)$ (Hình 2.1).



Hình 2.1. Nội suy song tuyến để ước tính giá trị f của điểm $P(x, y)$ từ điểm $Q11 = (x1, y1)$, $Q12 = (x1, y2)$, $Q21 = (x2, y1)$ và $Q22 = (x2, y2)$. Trong hình trên, bốn điểm màu đỏ là các điểm dữ liệu để nội suy và điểm màu xanh lá cây P là điểm cần nội suy.

Để tính giá trị của điểm nội suy (x, y):

- Đầu tiên phải tính toán nội suy theo hướng x theo công thức (2.1):

$$f(x, y_1) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}),$$

$$f(x, y_2) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}). \quad (2.1)$$

- Sau đó tính toán nội suy theo hướng y ta được giá trị của điểm (x, y) theo công thức (2.2):

$$f(x, y) = \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} [x_2 - x \quad x - x_1] \begin{bmatrix} f(Q_{11}) & f(Q_{12}) \\ f(Q_{21}) & f(Q_{22}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_2 - y \\ y - y_1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

* Ví dụ minh họa về nội suy song tuyến (Hình 2.22.2):

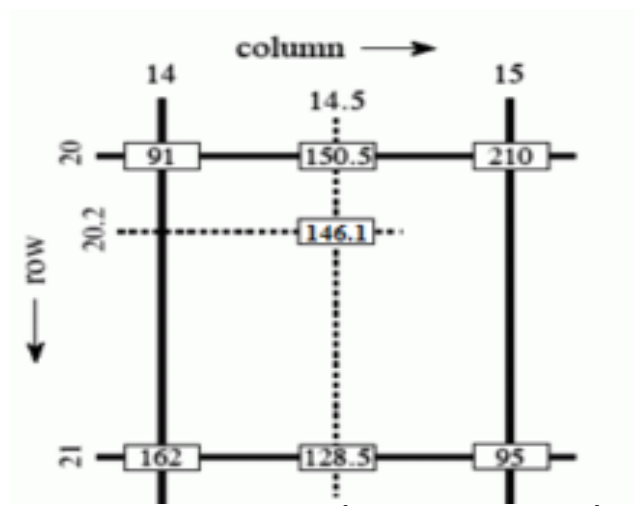
- Tính toán nội suy theo hướng x:

$$f(20, 14.5) = \frac{15 - 14.5}{15 - 14} \cdot 91 + \frac{14.5 - 14}{15 - 14} \cdot 210 = 150.5$$

$$f(21, 14.5) = \frac{15 - 14.5}{15 - 14} \cdot 162 + \frac{14.5 - 14}{15 - 14} \cdot 950 = 128.5$$

- Tính toán nội suy theo hướng y ta được giá trị của điểm cần nội suy là:

$$f(20.2, 14.5) = \frac{21 - 20.2}{21 - 20} \cdot 150.5 + \frac{20.2 - 20}{21 - 20} \cdot 128.5 = 146.1$$

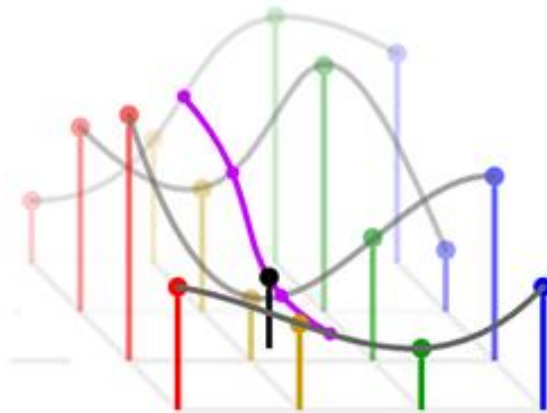


Hình 2.2. Ví dụ minh họa về nội suy song tuyến

2.2. Phương pháp nội suy Bi-cubic

Khác với phương pháp nội suy song tuyến, giá trị của một hàm chưa biết f tại điểm (x, y) , ví dụ độ cao của điểm (x, y) , được tính từ 16 điểm dữ liệu liền kề.

Việc tính toán phức tạp hơn và giá trị của điểm dữ liệu bị ảnh hưởng không chỉ bởi các điểm dữ liệu gần nhất. Hình 2.3 cho thấy giá trị dữ liệu của các điểm được ước tính bằng cách sử dụng 16 điểm xung quanh.



Hình 2.3. Trong phương pháp tái chia mẫu Bi-cubic, điểm độ cao được tính từ 16 điểm độ cao xung quanh. (Nguồn: https://en.wikipedia.org/wiki/Bicubic_interpolation)

2.3. Phương pháp nội suy Kriging

Kriging là một kỹ thuật nội suy địa lý khi xét cả khoảng cách và mức độ biến đổi giữa các điểm dữ liệu đã biết để ước tính giá trị các điểm ở các khu vực không

xác định. Một ước tính có giá trị là một tổ hợp tuyến tính có trọng số của các giá trị mẫu đã biết xung quanh điểm cần ước tính.

Bản chất của phương pháp nội suy Kriging là dự đoán giá trị của hàm tại một điểm nhất định bằng cách tính trung bình trọng số của các điểm đã biết nằm trong vùng lân cận của điểm nội suy.

Phương pháp nội suy Kriging gần giống với phương pháp tỷ lệ nghịch khoảng cách. Nhưng trong phương pháp tỷ lệ nghịch khoảng cách, trọng số chỉ phụ thuộc vào khoảng cách tới vị trí của điểm nội suy, còn trong phương pháp nội suy Kriging, các trọng số được tính toán không chỉ dựa vào khoảng cách giữa các điểm đo và vị trí của điểm nội suy mà còn dựa vào mối quan hệ không gian giữa các điểm đo xung quanh điểm nội suy (các tương quan không gian phải được định lượng).

Phép nội suy Kriging thường gồm hai bước chính là:

- Bước 1: Tìm ra sự tương quan không gian của các điểm dữ liệu và tính toán định lượng sự tương quan này thông qua các giá trị phương sai (variance) và hiệp phương sai (covariance).
- Bước 2: Tính toán nội suy dữ liệu.

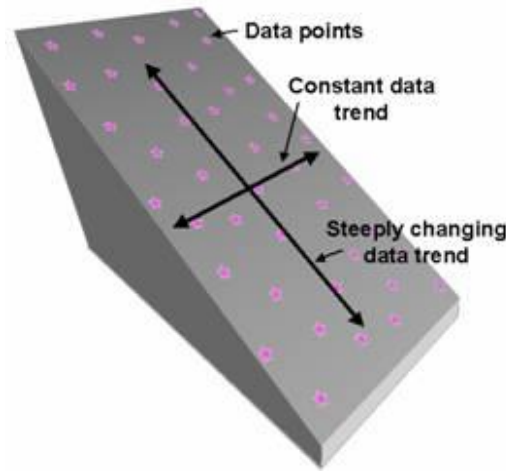
Kriging sử dụng hàm trọng số khác nhau tùy thuộc vào cả khoảng cách và hướng địa lý của điểm mẫu đến nút được tính toán. Vấn đề là người dùng không thể, ngay từ cái nhìn đầu tiên, có thể biết chính xác cách thức một bộ dữ liệu thay đổi từ bất kỳ một vị trí nào liên quan đến khoảng cách và hướng. Tuy nhiên, có nhiều kỹ thuật có sẵn để giúp xác định điều này, phổ biến nhất là phân tích phương sai.

Phương pháp Kriging sử dụng một thông số để thể hiện mức độ tương quan giữa các điểm trên một bề mặt được gọi là semi-variogram. Semi-variogram chỉ đơn giản là một nửa phương sai của sự khác biệt giữa tất cả các điểm có thể cách nhau một khoảng cách không đổi.

Semi-variogram ở khoảng cách $d = 0$ sẽ bằng 0, vì không có sự khác biệt giữa các điểm được so sánh với chính chúng. Tuy nhiên, khi các điểm được so sánh với các điểm ngày càng xa, thì giá trị semi-variogram sẽ tăng lên. Ở một khoảng cách nào đó, được gọi là phạm vi (range), semi-variogram sẽ xấp xỉ bằng với phương sai của toàn bộ bề mặt. Đây là khoảng cách lớn nhất mà giá trị tại một điểm trên bề mặt có liên quan đến giá trị tại một điểm khác. Phạm vi này sẽ xác định vùng lân cận tối

đa mà các điểm dữ liệu nằm trong vùng này mới được chọn để ước tính cho điểm nút lưới, dựa trên mối tương quan thống kê giữa các điểm.

Phương pháp này liên quan chặt chẽ về mặt toán học với phương pháp phân tích hồi quy. Phương pháp Kriging nhằm mục đích rút ra được một cách ước lượng tuyến



Hình 2.4. Ví dụ về dữ liệu không có phương sai theo chiều ngang nhưng thay đổi rất nhiều dọc theo trục dọc của tập dữ liệu.

(Nguồn: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kriging>)

tính tốt nhất không sai số hệ thống, dựa trên các giả định về hiệp phương sai, sử dụng lý thuyết của Gauss-Markov để chứng minh tính độc lập của ước lượng và sai số, sử dụng các công thức rất giống nhau.

Kriging dựa trên giá trị semi-variogram như sau:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_1^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_j)]^2 \quad (2.3)$$

Trong đó: (h) là giá trị variogram, N là số điểm dữ liệu mẫu, h là khoảng cách giữa hai điểm dữ liệu, $Z(x_i)$ và $Z(x_j)$ lần lượt là giá trị dữ liệu của điểm x_i và x_j .

Giá trị semi-variogram đầu tiên được ước tính từ các điểm dữ liệu mẫu và sau đó sử dụng nó để ước tính giá trị dữ liệu của điểm dự đoán dựa trên công thức sau:

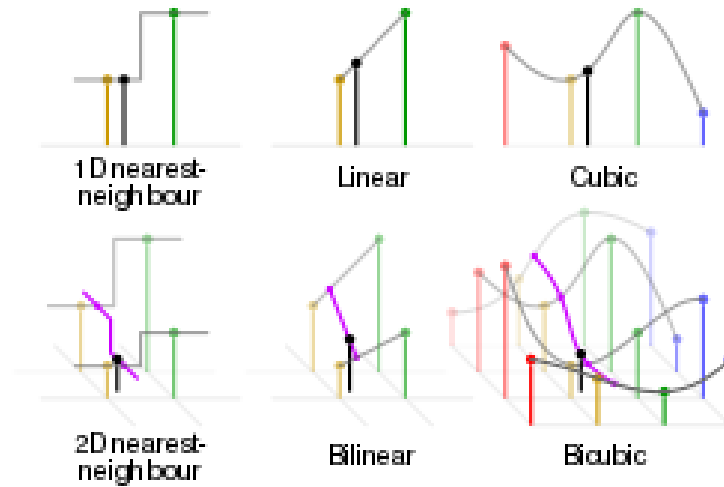
$$Z(x_0) = \sum_1^n w_i(x_0) Z(x_i) \quad (2.4)$$

Trong đó: $w_i(x_0)$ là giá trị trọng số được tính toán dựa trên hàm semi-variogram.

Hiệu quả của phương pháp nội suy Kriging phụ thuộc vào độ chính xác của các tham số semivariogram và mô hình của sự thay đổi của địa hình (tức là, giá trị trung bình

thay đổi theo khoảng cách như thế nào). (Nguồn: http://planet.uwc.ac.za/nisl/gis/spatial/chap_1_14.htm)

- So sánh trực quan giữa các phương pháp nội suy một chiều và hai chiều (Hình 2.5):



Hình 2.5. Hình ảnh so sánh giữa các phép nội suy một chiều và hai chiều. Các điểm màu đen là các điểm được nội suy, các điểm màu xanh, vàng, đỏ là các điểm dữ liệu lân cận quanh điểm nội suy. Độ cao của chúng trên mặt đất tương ứng với giá trị của chúng. (Nguồn: <https://en.wikipedia.org/wiki/Interpolation>)

PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY GRID DEM

3.1. Dữ liệu thực nghiệm

Hai loại dữ liệu đã được sử dụng để đánh giá độ chính xác của các DEM kết quả của các phương pháp nội suy phổ biến trên: DEM mẫu là grid DEM được nội suy bằng phương pháp Người láng giềng gần nhất (Nearest neighbor) (hoặc phương pháp lấy trung bình) để tạo nguồn dữ liệu không có sai số để kiểm tra kết quả. Không có sai số trong trường hợp này có nghĩa là các giá trị độ cao của các pixel trong DEM không chứa sai số nội suy và sai số đo. Các thuật toán nội suy được sử dụng để nội suy các độ cao này từ dữ liệu các điểm độ cao hoặc đường bình độ nên độ cao của pixel trong các grid DEM thực là độ cao trung bình của tất cả các điểm trong đường biên của điểm ảnh (footprint) của pixel này với một số lỗi ước tính.

Để thực hiện việc đánh giá một cách toàn diện hơn các thuật toán, các DEM được lấy mẫu (DEM thực) được tạo ra bằng cách nội suy các điểm độ cao và dữ liệu đường bình độ đã được sử dụng.

Độ phân giải không gian cho cả bốn bộ dữ liệu DEM thử nghiệm trong nghiên cứu này đã được chọn trong khoảng từ 5 m đến 90 m và theo đó giá trị hệ số thu phóng là 3 hoặc 4.

3.2. Các kết quả thực nghiệm

3.2.1. Thực nghiệm 1:

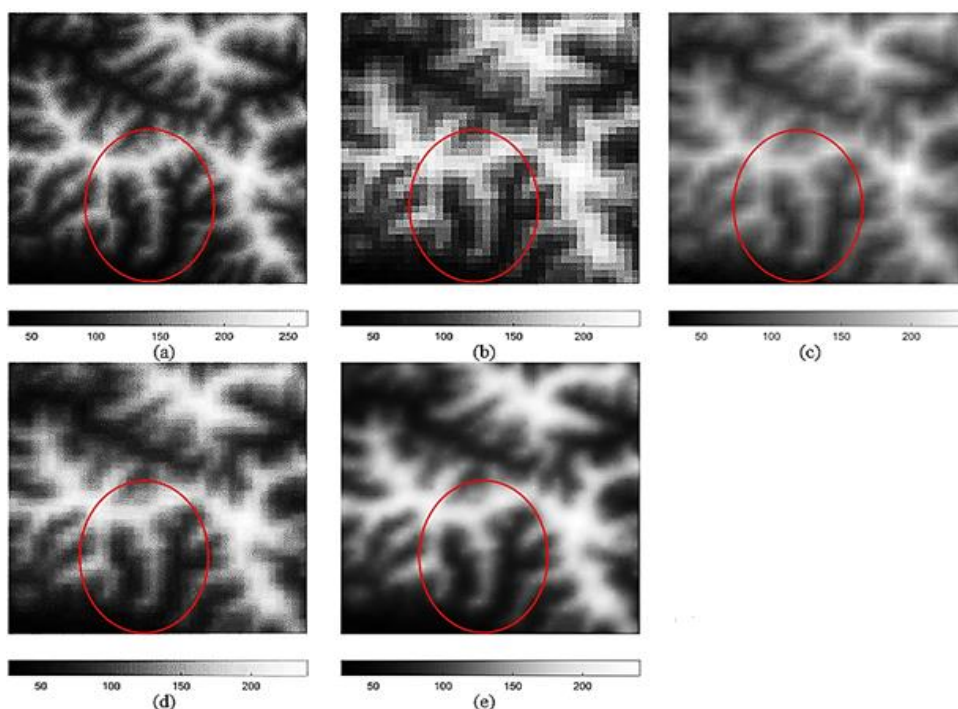
Bộ dữ liệu DEM có diện tích khoảng 3,5 km x 3,5 km và được thu thập tại huyện Yên Thành, tỉnh Nghệ An, Bắc Trung Bộ. Khu vực này nằm ở vị trí (18°58'57.03" N, 105°22'44.87" E), cách thành phố Vinh khoảng 45 km. Dữ liệu DEM này được sản xuất từ các bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 10.000.

DEM mẫu là grid DEM gốc, có độ phân giải không gian là 20 m (Hình 3.1(a)).

DEM đầu vào là grid DEM được giảm độ phân giải từ 20m thành 60m làm dữ liệu đầu vào cho các thuật toán nội suy. (hình (b))

Các grid DEM kết quả của các phương pháp nội suy song tuyến Bilinear, phương pháp nội suy Bi-cubic và phương pháp nội suy Kriging lần lượt được thể hiện trong các hình (c), (d), (e).

Và sau khi nội suy, tác giả đã tiến hành so sánh các grid DEM kết quả này với DEM tham chiếu ở độ phân giải 5m.



Hình 0.1. Tăng độ phân giải không gian của DEM từ độ phân giải 60 m đến 20 m. (a)

3.2.2. Thực nghiệm 2:

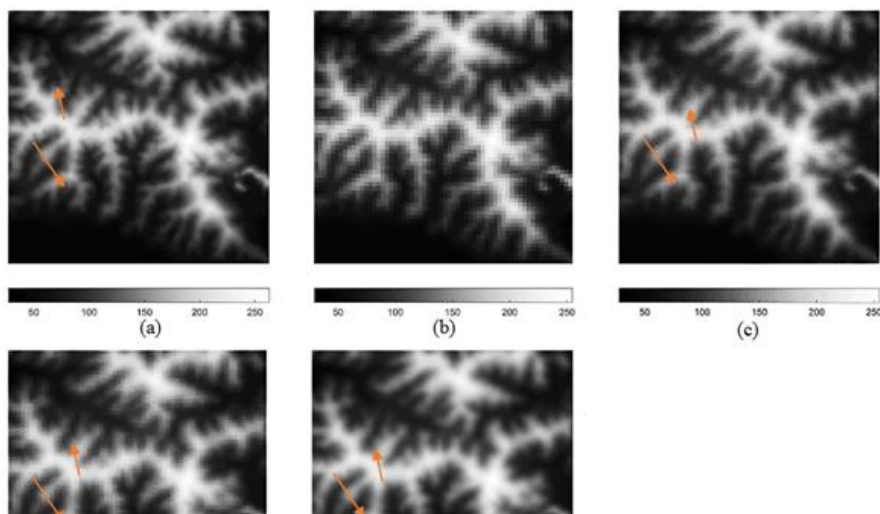
Bộ dữ liệu DEM (được gọi là bộ dữ liệu D2) được cung cấp bởi Mission Radar Topography Mission (SRTM) của USGS Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) (Hình 3.2(a)). Bộ dữ liệu này cũng bao phủ ở cùng một khu vực với bộ dữ liệu DEM thứ nhất nhưng với độ phân giải không gian là 30 m.

DEM mẫu là grid DEM gốc, có độ phân giải không gian là 30 m (Hình 3.12(a)).

DEM đầu vào là grid DEM được giảm độ phân giải từ 30m thành 90m làm dữ liệu đầu vào cho các thuật toán nội suy. (Hình 3.2 (b))

Các grid DEM kết quả của các phương pháp nội suy song tuyến Bilinear, phương pháp nội suy Bi-cubic và phương pháp nội suy Kriging lần lượt được thể hiện trong các hình Hình 3.2 (c), Hình 3.2 (d), Hình 3.2 (e).

Và sau khi nội suy, tác giả đã tiến hành so sánh các grid DEM kết quả này với DEM tham chiếu ở độ phân giải 30 m.



3.2.3. Thực nghiệm 3:

Bộ dữ liệu DEM được thu thập bằng phương pháp đo đạc trực tiếp trên thực địa ở tỉnh Lạng Sơn của Việt Nam. Khu vực thực nghiệm có diện tích khoảng 200 m x 200 m thuộc phường Mai Pha, thành phố Lạng Sơn, cách Hà Nội khoảng 150 km.

Một tập hợp gồm 533 điểm độ cao được thu thập theo phương pháp đo đạc trực tiếp ngoài thực địa, sau đó sử dụng phép nội suy Kriging để tạo ra một bộ dữ liệu DEM có độ phân giải không gian 5 m dùng làm dữ liệu DEM tham chiếu như trong Hình 3.3(a). Độ chính xác của DEM tham chiếu này được đánh giá dựa trên Tiêu chuẩn ASPRS 1990 (Tiêu chuẩn dữ liệu không gian địa lý kỹ thuật số)[12] với một bộ gồm 234 điểm kiểm tra. Kết quả đánh giá (Bảng 0.1) cho thấy chất lượng của DEM tham chiếu tốt hơn một chút so với các lớp DEM trong tiêu chuẩn ASPRS 1990.

Bảng 0.1. Đánh giá độ chính xác dựa trên tiêu chuẩn ASPRS cho dữ liệu không gian địa lý kỹ thuật số

	Độ chính xác tuyệt đối	
--	------------------------	--

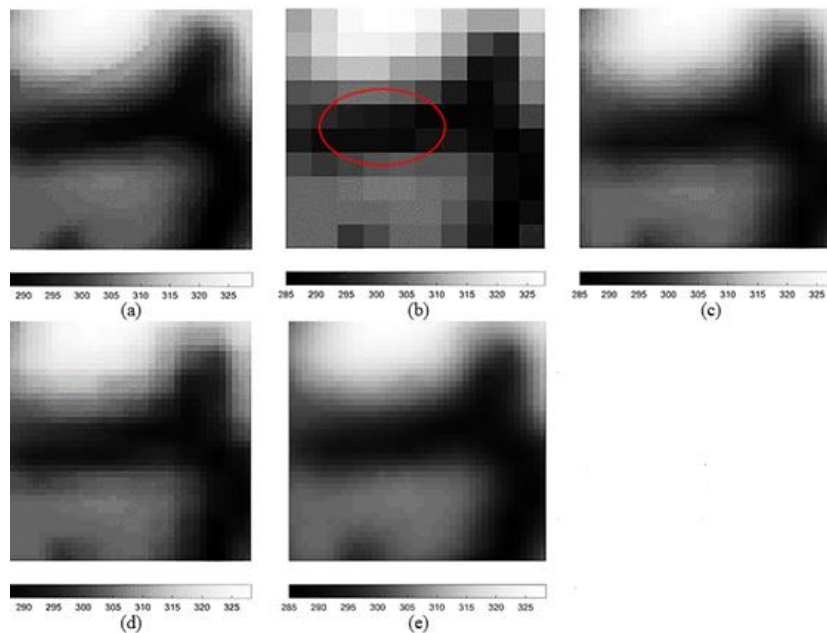
Bộ dữ liệu và tiêu chuẩn				Khoảng cao
	Sai số trung phương khi không có lớp phủ thực vật (m)	Sai số giới hạn 95% trong vùng không có thực phủ (NVA at 95%) (cm)	Sai số giới hạn 95% trong vùng có thực phủ (VVA at 95%) (cm)	đều đường bình độ thích hợp tương ứng với giá trị của sai số trung phương
DEM Mai Pha, Lạng Sơn	0.483	1.449-mét	1.449	1.449-mét
Tiêu chuẩn ASPRS class VIII (66.7-cm)	0.667	2-mét	200	2-mét

DEM mẫu là grid DEM gốc, có độ phân giải không gian là 5 m (Hình 3.13(a)).

DEM đầu vào là bộ dữ liệu DEM gốc có độ phân giải 20 m này được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho các thuật toán nội suy grid DEM trong nghiên cứu này. (Hình 3.3 (b))

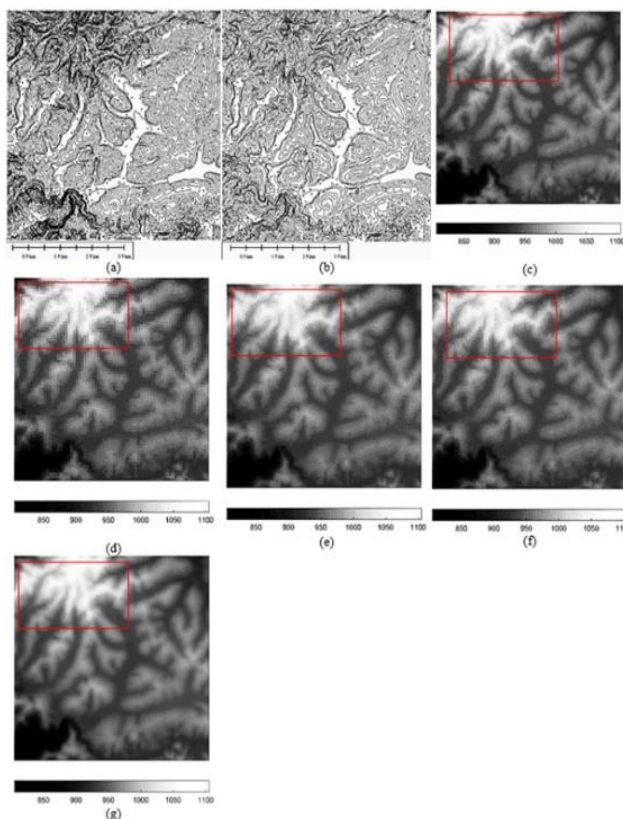
Các grid DEM kết quả của các phương pháp nội suy song tuyến Bilinear, phương pháp nội suy Bi-cubic và phương pháp nội suy Kriging lần lượt được thể hiện trong các hình Hình 3.3 (c), Hình 3.3 (d), Hình 3.3 (e).

Và sau khi nội suy, tác giả đã tiến hành so sánh các grid DEM kết quả này với DEM tham chiếu ở độ phân giải 5m.



Hình 0.3. Dữ liệu DEM sau khi tăng độ phân giải không gian từ 20 m lên 5 m. (a) Dữ liệu DEM tham chiếu ở độ phân giải 5 m; (b) Dữ liệu DEM giảm độ phân giải xuống 20 m (lưu ý: điều này tạo thành đầu vào duy nhất cho các thuật toán); (c) DEM ở độ phân giải 5 m được nội suy theo phương pháp song tuyến; (d) DEM ở độ phân giải 5 m được nội suy theo phương pháp Bi-cubic; (e) DEM ở độ phân giải 5 m được nội suy theo phương pháp Kriging.

3.2.4. Thực nghiệm 4:



Hình 0.4. Dữ liệu DEM sau khi tăng độ phân giải không gian từ 90 m lên 30 m. (a) Dữ liệu đường bình độ với khoảng cao đều 5 m; (b) Dữ liệu đường bình độ với khoảng cao đều 10 m; (c) Dữ liệu DEM tham chiếu ở độ phân giải 20 m (được tạo từ dữ liệu đường bình độ với khoảng cao đều 5 m); (d) Dữ liệu DEM đầu vào ở độ phân giải 90 m (được tạo từ dữ liệu đường bình độ với khoảng cao đều 10 m) (lưu ý: điều này tạo thành đầu vào duy nhất cho các thuật toán); (e) DEM ở độ phân giải 30 m sau khi tái chia mẫu theo phương pháp song tuyến; (f) DEM ở độ phân giải 30 m sau khi tái chia mẫu theo phương pháp Bi-cubic; và (g) DEM ở độ phân giải 30 m được nội suy theo phương pháp Kriging.

Bộ dữ liệu DEM được tạo từ dữ liệu đường bình độ ở khu vực huyện Đắc Hà, tỉnh Kontum, Việt Nam. Vị trí của khu vực thu thập bộ dữ liệu DEM này là (14.671794 ° N và 107,967292 ° E). Diện tích của vùng thực nghiệm là khoảng 6,6 km x 6,6 km.

Từ dữ liệu đường bình độ gốc với khoảng cao đều 5 m (Hình 3.4 (a)), đã tạo ra một DEM ở độ phân giải 30 m và được sử dụng làm dữ liệu DEM tham chiếu (Hình 3.4 (c)). Dữ liệu DEM thô ở độ phân giải không gian 90 m (Hình 3.4 (d)), sau đó được nội suy từ các đường bình độ với khoảng cao đều 10 m của cùng một khu vực (Hình 3.4 (b)).

Sau đó, việc đánh giá được thực hiện bằng cách so sánh các grid DEM kết quả ở độ phân giải 30 m với dữ liệu DEM tham chiếu (DEM mẫu).

3.2. So sánh kết quả của các phương pháp nội suy grid DEM

So sánh trực quan cho thấy các grid DEM kết quả của các phương pháp nội suy: phương pháp song tuyến, Bi-cubic và Kriging nhìn trực quan thấy giống với DEM tham chiếu hơn so với các DEM giảm độ phân giải và bộ dữ liệu DEM mẫu. Sự cải thiện về độ giống nhau khi trực quan giữa các DEM sau khi tái chia mẫu và DEM tham chiếu rất rõ ràng khi so sánh giữa các DEM 20 m và 30 m trong các bộ dữ liệu giảm độ phân giải ở khu vực Nghệ An (Hình 3.1 và Hình 3.2) và các DEM sau khi nội suy ở độ phân giải 5 m và 30 m với các DEM tham chiếu (Hình 3.3 và Hình 3.4). Trong khi đó, hình ảnh của các DEM gốc và các DEM sau khi nội suy, đặc biệt là theo phương pháp nội suy Bi-cubic, ảnh đã bị mờ đi do nhiễu và hình dạng của các thuộc tính địa hình trong trường hợp này cũng đã bị méo. Hình ảnh của phép nội suy Kriging khi giảm độ phân giải DEM trong Hình 3.1(e), Hình 3.2(e), Hình 3.3(e) và Hình 3.4(g) nhìn có vẻ không có nhiễu và rất giống với DEM tham chiếu trong Hình 3.1(a), Hình 3.2(a), Hình 3.3(a) và Hình 3.4(c). Sự cải thiện rõ ràng nhất của việc tái cấu trúc hình dạng địa hình từ dữ liệu DEM độ phân giải thô có thể được nhìn thấy trong các khu vực được đánh dấu trong Hình 3.1, Hình 3.2, Hình 3.3 và Hình 3.4.

Việc lựa chọn các phương pháp nội suy phù hợp cho mục đích nói chung và cho mô hình số độ cao dạng grid nói riêng có ý nghĩa quan trọng trong công tác xử lý dữ liệu để có thể cho ra một kết quả tối ưu nhất.

Trong báo cáo khoa học này, tác giả đã nghiên cứu cơ sở lý thuyết của các phương pháp nội suy nói chung và các phương pháp nội suy mô hình số độ cao dạng grid nói riêng. Sau đó đã tiến hành thực nghiệm trên các bộ dữ liệu khác nhau để từ đó so sánh giữa các phương pháp nội suy và tìm ra một phương pháp nội suy phù hợp nhất với các loại dữ liệu trên các loại địa hình khác nhau. Các dữ liệu grid Dem dùng làm tham chiếu (DEM mẫu) để so sánh kết quả được thu thập từ các bộ dữ liệu thực, được so sánh độ chính xác theo tiêu chuẩn ARPRS của Mỹ với độ chính xác cao. Các kết quả thực nghiệm đáng tin cậy.

Nếu như có thể tiến hành nghiên cứu và thực nghiệm thêm trên các loại dữ liệu ở các dạng địa hình khác nhau theo các phương pháp nội suy khác nữa thì nghiên cứu này sẽ mang lại rất nhiều ý nghĩa và đóng góp về mặt khoa học phục vụ cho các mục đích nghiên cứu, phân tích và sử dụng DEM.

- [1] P. V. Bolstad and T. Stowe, "An evaluation of DEM accuracy: elevation, slope, and aspect," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 60, no. 11, pp. 1327-1332, 1994.
- [2] I. Chaubey, A. S. Cotter, T. A. Costello, and T. S. Soerens, "Effect of DEM data resolution on SWAT output uncertainty," *Hydrological Processes: An International Journal*, vol. 19, no. 3, pp. 621-628, 2005.
- [3] R. F. Vázquez and J. Feyen, "Assessment of the effects of DEM gridding on the predictions of basin runoff using MIKE SHE and a modelling resolution of 600 m," *Journal of Hydrology*, vol. 334, no. 1-2, pp. 73-87, 2007.
- [4] J. M. Schoorl, M. P. W. Sonneveld, and A. Veldkamp, "Three-dimensional landscape process modelling: the effect of DEM resolution," *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, vol. 25, no. 9, pp. 1025-1034, 2000.
- [5] D. Kidner, M. Dorey, and D. Smith, "What's the point? Interpolation and extrapolation with a regular grid DEM."
- [6] W. Shi, B. Wang, and Y. Tian, "Accuracy analysis of digital elevation model relating to spatial resolution and terrain slope by bilinear interpolation," *Mathematical Geosciences*, vol. 46, no. 4, pp. 445-481, 2014.
- [7] W. G. Rees, "The accuracy of digital elevation models interpolated to higher resolutions," *International journal of remote sensing*, vol. 21, no. 1, pp. 7-20, 2000.
- [8] C. H. Grohmann and S. S. Steiner, "SRTM resample with short distance-low nugget kriging," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 22, no. 8, pp. 895-906, 2008.
- [9] S. Fadnavis, "Image interpolation techniques in digital image processing: an overview," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, no. 10, pp. 70-73, 2014.
- [10] S. Fadnavis, "Image Interpolation Techniques in Digital Image Processing: An Overview," *Int. J. Eng. Res. Appl*, pp. 70-73, 2014.
- [11] Q. Weng, "An evaluation of spatial interpolation accuracy of elevation data," in *Progress in spatial data handling*: Springer, 2006, pp. 805-824.
- [12] W. a. Hugenholtz, "ASPRS," 2015.

