

NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO DEM BẰNG MẠNG NƠ RON HOPFIELD VỚI TẬP DỮ LIỆU ĐIỂM ĐỘ CAO BỔ SUNG

NGUYỄN QUANG MINH⁽¹⁾, NGUYỄN THỊ THU HƯƠNG⁽¹⁾

HOÀNG THỊ THỦY⁽¹⁾, LÃ PHÚ HIẾN⁽²⁾

NGUYỄN VĂN CHỨC⁽³⁾, ĐỖ VĂN DƯƠNG⁽⁴⁾

⁽¹⁾Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý Đất đai, Trường Đại học Mở - Địa chất

⁽²⁾Khoa Kỹ thuật Tài nguyên Nước, Trường Đại học Thủy lợi

⁽³⁾Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

⁽⁴⁾Khoa Trắc địa - Bản đồ, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt:

Bài báo đề cập đến việc cải thiện độ chính xác của mô hình số độ cao (Digital Elevation Model - DEM). Mặc dù, các thuật toán tái chia mẫu song tuyến, bicubic, Kriging và mô hình tăng độ phân giải bằng mạng nơ ron Hopfield (HNN) cho phép nâng cao độ chính xác cho mô hình số độ cao, đặc biệt là mô hình số độ cao từ các nguồn dữ liệu toàn cầu như SRTM, ASTER, v.v., sự tham gia của dữ liệu độ cao bổ sung cũng có thể cải thiện hơn nữa độ chính xác của mô hình số độ cao. Bài báo này đề xuất một mô hình HNN với sự tham gia của hàm hiệu chỉnh độ cao và sự thay đổi của điều kiện ràng buộc. Mô hình được thử nghiệm đánh giá tại Cao Bằng với dữ liệu DEM SRTM 30 m tại một khu vực có kích thước 1650 m × 1344 m, với 130 điểm độ cao được sử dụng để nâng cao độ chính xác và 64 điểm được sử dụng để đánh giá. Kết quả thử nghiệm cho thấy độ chính xác của DEM tăng lên tới 30% nhờ các điểm độ cao bổ sung. Kết quả cho thấy mô hình có khả năng được áp dụng trên thực tế để nâng cao độ chính xác của mô hình số độ cao DEM, đặc biệt là các DEM toàn cầu.

Từ khóa: Mô hình số độ cao; Mạng nơ ron Hopfield; Nâng cao độ phân giải.

1. Giới thiệu

Độ chính xác của DEM là một trong những yếu tố quan trọng trong việc định vị và phân tích địa hình. Tuy nhiên, một số DEM phổ biến trên toàn cầu hiện nay như Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) với độ phân giải không gian 30 m thường bị hạn chế về độ chính xác khi biểu thị địa hình, đặc biệt là

trong các khu vực có địa hình phức tạp và độ cao chênh lệch lớn [1]. Chính vì vậy, đã có nhiều phương pháp khác nhau nhằm mục đích nâng cao độ chính xác của các mô hình số độ cao trên như tái chia mẫu (resampling) song tuyến, bi-cubic [2], Kriging [3], hoặc mạng nơ ron Hopfield (HNN) [4]. Dữ liệu DEM cũng có thể được nâng cao độ chính xác bằng cách trộn nhiều DEM có độ chính xác thấp thành

DEM có độ chính xác cao hơn như sử dụng kết hợp DEM SRTM và DEM ASTER [5].

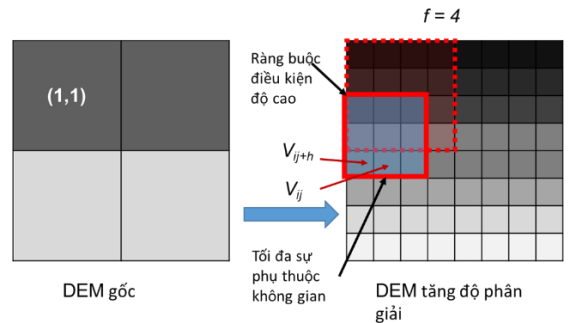
Một trong các phương pháp được ứng dụng nhiều trong cải thiện độ chính xác của dữ liệu DEM toàn cầu là sử dụng dữ liệu bổ sung, đặc biệt là dữ liệu điểm độ cao để làm chính xác hóa dữ liệu DEM sẵn có. Dữ liệu bổ sung có thể là dữ liệu về lớp phủ để hiệu chỉnh sai số độ cao địa hình do cây cối như trong nghiên cứu của Yamazaki và nnk [6], hay dữ liệu thông tin về hệ thống sông và kênh rạch đóng vai trò là các điểm tụ thủy (điểm thấp nhất tại một khu vực nhất định) được sử dụng để hiệu chỉnh DEM như trong nghiên cứu của Bhuyian và nnk [7]. Tương tự như nghiên cứu của Bhuyian và nnk, Jana và nnk [8] sử dụng hệ thống mạng tiêu thoát nước để tăng cường độ chính xác cho DEM nhằm biểu thị bề mặt địa hình một cách chính xác hơn.

Một trong các nguồn dữ liệu giúp nâng cao độ chính xác DEM là tập điểm độ cao bổ sung. Paredes-Hernández và nnk [9] đã sử dụng phương pháp địa thống kê để hiệu chỉnh cho các DEM toàn cầu như ASTER GDEM, Inegi DEM, SRTM DEM. Kết quả cho thấy sai số trung phương của DEM giảm từ 0.5 m cho đến 2 m tùy thuộc vào loại DEM đầu vào. Tương tự, nhóm nghiên cứu của Tang và nnk [10] cũng sử dụng phương pháp kết hợp địa thống kê đa điểm (multi-point geostatistical) với 250 điểm độ cao để nâng cao độ chính xác cho DEM SRTM tại Thành phố Zhangye, Trung quốc. Kết quả cho thấy khi sử dụng các điểm độ cao bổ sung sai số trung phương của DEM SRTM 30 m đã giảm từ 0.5 m cho đến 3 m tùy thuộc vào phương pháp Kriging.

Trong các phương pháp nâng cao độ chính xác cho DEM bằng tái chia mẫu, phương pháp sử dụng HNN có nhiều ưu điểm và cho kết quả cao hơn các phương pháp kinh

điển như song tuyến, bi-cubic hoặc Kriging [4]. Một trong những điểm mạnh của HNN là khả năng cho phép tích hợp với các mô hình nâng cao độ chính xác khác thông qua việc thêm các hàm mục tiêu hay điều kiện ràng buộc [11] để tạo ra các DEM có độ phân giải cao hơn độ phân giải ban đầu. Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đề xuất thuật toán mới cho phép tích hợp các điểm độ cao có độ chính xác cao vào mô hình tăng cường độ phân giải bằng HNN để nâng cao độ chính xác cho mô hình số độ cao và thử nghiệm cho một khu vực thuộc tỉnh Cao Bằng, Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu



Hình 1: Mô hình nâng độ phân giải DEM bằng mạng nơ ron Hopfield

Phương pháp mới được phát triển trên mô hình tăng độ phân giải của DEM bằng HNN tuyến tính được đề xuất bởi Nguyễn Quang Minh và nnk [4] trong đó các điểm ảnh trên mỗi mô hình số độ cao gốc được chia thành $f \times f$ điểm ảnh nhỏ hơn tương ứng với một nơ ron trong mô hình HNN (f gọi là hệ số thu phóng). Hình 1 trình bày mô hình nâng độ phân giải của một DEM tại khu vực có kích thước là 2×2 điểm ảnh. Ở đây, mỗi điểm ảnh sẽ được chia nhỏ thành 4×4 điểm ảnh, và DEM mới được nâng độ phân giải sẽ có kích thước là 8×8 điểm ảnh tương ứng với 8×8 nơ ron trong HNN.

Mô hình nâng cao độ phân giải hoạt động dựa trên các hàm mục tiêu và điều kiện ràng buộc

độ cao. Hàm mục tiêu của mạng nơ ron này dựa trên nguyên tắc *tối đa sự phụ thuộc không gian* trong đó các điểm ảnh gần nhau trong mô hình DEM sẽ có xu hướng có độ cao giống nhau, từ đó xác định mức độ giống nhau về độ cao của các điểm ảnh trên mô hình DEM dựa vào hàm bán phương sai (variogram) như sau:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_1^{N(h)} [v_{ij} - v_{ij+h}]^2 \quad (1)$$

Trong đó, $\gamma(h)$ là giá trị bán phương sai với mỗi khoảng cách giữa hai điểm là h , h là khoảng cách giữa các cặp điểm, v_{ij} và v_{ij+h} là các giá trị độ cao tương ứng tại các điểm i , j và $(i, j) + h$, $N(h)$ là số cặp điểm. Nếu các điểm này có xu thế giống nhau, giá trị của hàm bán phương sai trên sẽ có giá trị nhỏ. Như vậy, để tối đa hóa sự phụ thuộc không gian thì cần thay đổi các giá trị độ cao v_{ij} và v_{ij+h} sao cho giá trị bán phương sai $\gamma(h)$ là nhỏ nhất. Giá trị nhỏ nhất của hàm bán phương sai được xác định thông qua đạo hàm như sau:

$$\frac{\partial \gamma(h)}{\partial v} = 0 \quad (2)$$

Từ đó suy ra mỗi giá trị độ cao tương ứng của điểm ảnh (i, j) sẽ được hiệu chỉnh một giá trị bằng

$$du_{ij}^{sd} = v_{ij}^{kỳ\ vọng} - v_{ij} \quad (3)$$

Việc hiệu chỉnh sẽ lặp đi lặp lại theo nhiều vòng lặp cho đến khi các giá trị bán phương sai sẽ đạt giá trị cực tiểu tại mọi điểm ảnh (i, j) . Kết quả này tương ứng với trường hợp giá trị độ cao của mọi điểm trong mô hình số độ cao sẽ có giá trị bằng với trung bình của các điểm độ cao xung quanh.

Ngoài hàm mục tiêu như trên, mạng HNN cần một hàm số khác gọi là điều kiện ràng buộc độ cao. Nguyên tắc của điều kiện này là trung bình độ cao của các điểm ảnh được chia nhỏ nằm trong phạm vi của một điểm ảnh trên ảnh gốc sẽ phải bằng giá trị độ cao của điểm

ảnh trên mô hình số độ cao gốc. Như vậy, hàm điều kiện ràng buộc độ cao sẽ có giá trị:

$$du_{ij}^{ep} = Dcao_{x,y} - \frac{\sum_{(x-1)f}^{xf} \sum_{(y-1)f}^{yf} v_{pq}}{f \times f} \quad (4)$$

Với $Dcao_{x,y}$ là độ cao của pixel (x, y) trên DEM gốc có chứa pixel (i, j) , (p, q) là các điểm ảnh được chia nhỏ nằm trong phạm vi phủ trùm của pixel (x,y) . Như vậy, giá trị hiệu chỉnh về độ cao của mỗi điểm ảnh trên mô hình số độ cao được nâng cao độ phân giải sau mỗi vòng lặp sẽ bằng:

$$du_{ij} = du_{ij}^{sd} + du_{ij}^{ep} \quad (5)$$

Các giá trị độ cao của các điểm ảnh sau mỗi vòng lặp t sẽ bằng:

$$v_{ij}^t = g(v_{ij}^{t-1}) = au_{ij} + b \quad (6)$$

Với g là hàm kích hoạt (activation function) trong các mô hình mạng nơ ron. Đối với mô hình này, hàm g là hàm tuyến tính.

Mạng nơ ron Hopfield là dạng mạng hồi quy và chạy theo nhiều vòng lặp cho đến khi đạt được giá trị mục tiêu kỳ vọng. Trong mô hình HNN được đề xuất bởi Nguyễn Quang Minh và nnk [4], mục tiêu kỳ vọng được xác định bằng

$$E = \sum_i \sum_j (du_{ij}^{sd} + du_{ij}^{ep}) = \min \quad (7)$$

Trong đó, E gọi là hàm năng lượng. Hàm năng lượng có ý nghĩa là khi tổng các số hiệu chỉnh từ hàm mục tiêu (Công thức 5) và hàm điều kiện ràng buộc (Công thức 6) là nhỏ nhất thì mạng nơ ron sẽ không tiếp tục thực hiện các vòng lặp nữa và giá trị độ cao ở thời điểm mạng nơ ron ngừng quá trình lặp sẽ được lấy làm độ cao cuối cùng cho các điểm ảnh trên mô hình số độ cao.

Mô hình HNN được đề xuất cho trường hợp sử dụng điểm độ cao bổ sung dựa trên mô hình HNN được sử dụng ở trên. Giả sử, tại mỗi điểm độ cao bổ sung tại vị trí điểm ảnh (k,l) có độ cao là H_{bs} , trong khi độ cao tương ứng trên

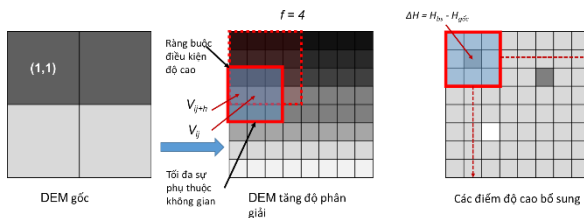
mô hình số độ cao là $H_{gốc}$. Tại mỗi vị trí điểm ảnh chứa điểm độ cao bổ sung, có thể xác định được số hiệu chỉnh về độ cao bằng

$$\Delta H^{kỳ\ vọng} = H_{bs} - H_{gốc} \quad (8)$$

Tại các điểm ảnh còn lại của mô hình số độ cao, giá trị độ cao sẽ được hiệu chỉnh bằng một mô hình với hàm mục tiêu được xác định trên nguyên tắc các giá trị hiệu chỉnh độ cao của các điểm ảnh ở gần nhau sẽ giống nhau tương tự như Công thức (4). Như vậy, các giá trị số hiệu chỉnh độ cao của một điểm ảnh (i, j) sẽ được xác định bằng

$$\Delta H_{ij}^{kỳ\ vọng} = \frac{\sum_1^{N(h)} \Delta H_{ij+h}}{N(h)} \quad (9)$$

Trong đó $\Delta H_{ij}^{kỳ\ vọng}$ là giá trị hiệu chỉnh độ cao được xác định từ nhóm các điểm độ cao bổ sung, h là khoảng cách giữa điểm ảnh (i, j) và các điểm lân cận, trong mô hình này sử dụng $h = 1$ nghĩa là chỉ sử dụng các điểm ảnh có tiếp xúc với điểm ảnh (i, j), ΔH_{ij+h} là số hiệu chỉnh độ cao của các điểm lân cận, $N(h)$ là số cặp điểm, trong trường hợp chỉ sử dụng các điểm ảnh có tiếp xúc với điểm (i, j) thì số cặp điểm tối đa là 8. Lưu ý, các điểm (i, j) này không bao gồm các điểm ảnh tại vị trí có điểm độ cao bổ sung.



Hình 2: Mô hình tăng độ phân giải bằng HNN có sử dụng điểm độ cao bổ sung

Và giá trị hiệu chỉnh độ cao từ các điểm độ cao bổ sung ở mỗi vòng lặp t cho mỗi điểm ảnh là

$$du_{ij}^{\Delta H} = \Delta H_{ij}^{kỳ\ vọng} - \Delta H_{ij}^t \quad (10)$$

Trong đó, du_{ij}^{hc} là giá trị hiệu chỉnh tính được từ các điểm độ cao bổ sung, ΔH_{ij}^t là giá trị hiệu chỉnh độ cao cho mỗi điểm ảnh tại vòng lặp thứ t .

Do sự xuất hiện của hàm hiệu chỉnh độ cao từ các điểm độ cao bổ sung, hàm điều kiện ràng buộc cũng cần được hiệu chỉnh. Giả thiết rằng tất cả các điểm ảnh nằm trong phạm vi của một điểm ảnh (x, y) thuộc mô hình số độ cao gốc được hiệu chỉnh một giá trị là ΔH_{pq}^t , như vậy giá trị độ cao của điểm ảnh (x, y) sẽ được hiệu chỉnh một giá trị là

$$\Delta H_{x,y} = \frac{\sum_{(x-1)f}^{xf} \sum_{(y-1)f}^{yf} \Delta H_{pq}^t}{f \times f} \quad (11)$$

Thì giá trị điều kiện ràng buộc độ cao sẽ được xác định bằng

$$du_{ij}^{ep} = Elevation_{x,y} - \frac{\sum_{(x-1)f}^{xf} \sum_{(y-1)f}^{yf} v_{pq}}{f \times f} + \frac{\sum_{(x-1)f}^{xf} \sum_{(y-1)f}^{yf} \Delta H_{pq}^t}{f \times f} \quad (12)$$

Theo đó, tổng giá trị hiệu chỉnh độ cao từ Công thức 7 sẽ được xác định bằng

$$du_{ij} = du_{ij}^{sd} + du_{ij}^{ep} + du_{ij}^{\Delta H} \quad (13)$$

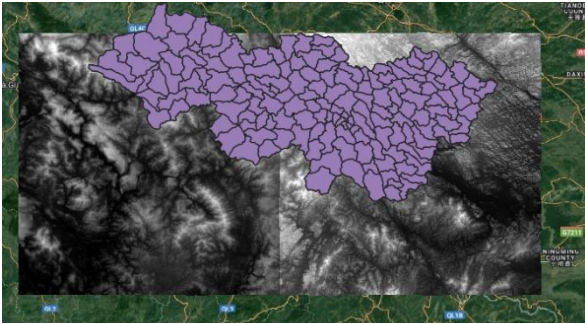
Và hàm năng lượng E của mạng nơ ron Hopfield được điều chỉnh được sử dụng làm điều kiện để hoàn thiện quá trình lặp sẽ là:

$$E = \sum_i \sum_j (du_{ij}^{sd} + du_{ij}^{ep} + du_{ij}^{\Delta H}) = \min \quad (14)$$

3. Thục nghiệm

Để đánh giá mô hình tăng độ phân giải cho DEM được đề xuất, một mô hình DEM cho một khu vực nhỏ tại tỉnh Cao Bằng đã được sử dụng để thử nghiệm. Dữ liệu được tải về từ website của Cục Địa chất Mỹ (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) cho khu vực tỉnh Cao Bằng gồm 2 mảnh mô hình số độ cao dưới dạng file GeoTIFF với phiên hiệu n22_e105_1arc_v3 và n22_e106_1arc_v3. Vị

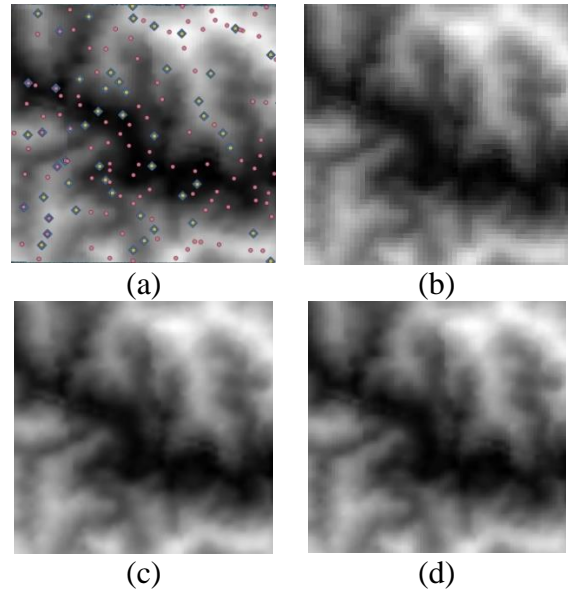
trí và độ phủ của các mô hình số độ cao này được trình bày trong hình 3. Dữ liệu được gắn hệ tọa độ EPSG:32648 - WGS 84 / UTM zone 48N múi chiếu thứ 48 và hệ độ cao sử dụng Geoid toàn cầu theo mô hình EGM96. Dữ liệu được thành lập vào năm 2011 với độ phân giải không gian 30 m.



Hình 3: Dữ liệu mô hình số độ cao SRTM 30 m

Độ chính xác về độ cao của nguồn dữ liệu này được khảo sát tại nhiều khu vực tương đối khác nhau trong khoảng từ ± 6 m tới ± 9 m. Với khu vực vùng núi tương tự như Cao Bằng, sai số trung phương thông thường sấp xỉ ± 9 m. Dữ liệu mô hình số độ cao từ hệ độ cao sử dụng Geoid toàn cầu được hiệu chỉnh về hệ độ cao theo Geoid của Việt Nam với mốc độ cao đặt tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu, Hải Phòng dựa vào thông số chênh lệch độ cao được xác định bởi Hà Minh Hòa năm 2017 [12] trong đó độ cao theo mô hình toàn cầu được hiệu chỉnh giá trị chênh $D_0 = 0.890$ m. Dữ liệu điểm độ cao được lấy từ dữ liệu nền địa lý 1:10.000 được thành lập năm 2012 bằng đo vẽ ảnh với khoảng cao đều 5 m và sai số trung phương xác định điểm độ cao được xác định tại Quyết định 12/2005/QĐ-BTNMT bằng 1/3 khoảng cao đều (trong điều kiện đặc biệt khó khăn thì được tăng lên 1.5 lần). Độ chính xác về độ cao của các điểm độ cao sẽ tương ứng với sai số trung phương = ± 2.5 m.

Thuật toán đề xuất được thử nghiệm trên một phần của dữ liệu mô hình số nói trên tại khu vực có diện tích $1650 \text{ m} \times 1344 \text{ m}$ (hình 4 (a)) tại với trung tâm tại tọa độ 106.71580E, 22.553640N (theo hệ tọa độ EPSG:32648 - WGS 84/UTM zone 48N).



Hình 4: (a) Dữ liệu điểm độ cao thực nghiệm: \blacklozenge Các điểm độ cao sử dụng để nâng cao độ chính xác mô hình số độ cao; \blacksquare Các điểm độ cao sử dụng để kiểm tra; (b) Dữ liệu mô hình số độ cao ban đầu ở độ phân giải 30 m; (c) Dữ liệu mô hình số độ cao sau khi nâng cao độ phân giải bằng thuật toán HNN; (d) Dữ liệu mô hình số độ cao sau khi nâng cao độ phân giải có sử dụng 130 điểm độ cao

Các điểm độ cao trong khu vực thực nghiệm được trích xuất từ dữ liệu các điểm độ cao đặc trưng địa hình của dữ liệu thông tin địa lý cơ sở tỷ lệ 1:10.000. Các điểm độ cao được chia thành 2 nhóm bao gồm: nhóm điểm sử dụng để nâng cao độ chính xác của mô hình số độ cao gồm 130 điểm độ cao, và nhóm điểm sử dụng để đánh giá độ chính xác cho mô hình gồm 64 điểm. Phân bố các nhóm điểm này như hình 4(a).

Để đánh giá được thuật toán, dữ liệu mô hình số độ cao SRTM 30 m (hình 4(b)) được đưa vào mô hình HNN để tăng độ phân giải cùng với 130 điểm độ cao. Việc tăng độ phân giải được thực hiện với hệ số thu phóng $f = 4$, tương ứng với độ phân giải trên DEM được tạo ra là 7.5 m. Kết quả của việc tăng độ phân giải bằng mô hình HNN mới được trình bày trong hình 4(d) Ngoài ra, dữ liệu mô hình số độ cao cũng được tăng độ phân giải bằng mô hình mạng nơ ron Hopfield thông thường (không có sự tham gia của các điểm độ cao) để đánh giá và cho kết quả như hình 4(c).

4. Kết quả và phân tích

Để đánh giá được thuật toán nâng cao độ chính xác của mô hình số độ cao bằng HNN có sử dụng các điểm độ cao bổ sung, bộ dữ liệu độ cao gồm 64 điểm được sử dụng để tính toán các tham số bao gồm: sai số trung phương (Root Mean Square Error-RMSE), sai số trung bình trị tuyệt đối (MAE). Kết quả đánh giá được trình bày trong bảng 1. Trong bảng dữ liệu này, độ cao của các điểm kiểm tra sẽ được so sánh với độ cao có được trên bề mặt mô hình số độ cao SRTM 30 m, mô hình số độ cao 7.5 m do HNN tăng độ phân giải tạo

ra và mô hình số độ cao 7.5 m bằng HNN có sử dụng điểm độ cao bổ sung.

Kết quả trong bảng 1 cho thấy nếu so sánh giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của sai số thì sau khi được bổ sung dữ liệu độ cao thì giá trị tuyệt đối của cả sai số nhỏ nhất và sai số lớn nhất đều giảm. Mặt khác, sai số trung phương và sai số trung bình tuyệt đối đều cho thấy việc sử dụng thêm điểm độ cao vào mô hình HNN đã cải thiện độ chính xác đáng kể so với trường hợp không có điểm độ cao khi sai số trung phương lần lượt giảm từ ± 9.122 m của DEM được từ mô hình nâng cao độ phân giải bằng thuật toán HNN và ± 9.197 m của DEM gốc. Như vậy, độ chính xác của mô hình số độ cao đã tăng tới gần 30% so với mô hình số độ cao gốc và 29% so với mô hình số độ cao là kết quả của HNN nhờ sự tham gia của các điểm độ cao bổ sung.

Tương tự, việc so sánh các giá trị sai số trung bình tuyệt đối - MAE của các DEM cũng cho thấy giá trị sai số trung bình tuyệt đối của dữ liệu mô hình số độ cao ở độ phân giải 7.5 m từ HNN có sử dụng điểm độ cao bổ sung giảm tương đối nhiều so với DEM gốc (SRTM 30 m) và DEM có độ phân giải 7.5 m từ HNN không sử dụng điểm độ cao.

Bảng 1: Kết quả đánh giá độ chính xác của thuật toán nâng độ chính xác mô hình số độ cao sử dụng mạng nơ ron Hopfield và các điểm độ cao bổ sung

Dữ liệu	Sai số			
	Min (m)	Max (m)	RMSE (m)	MAE (m)
Dữ liệu SRTM 30 m	-28.5	18.6	± 9.197	7.431
Dữ liệu DEM 7.5 m từ SRTM 30 m sử dụng HNN	-28.231	19.294	± 9.122	7.319
Dữ liệu DEM 7.5 m kết quả của HNN + điểm độ cao bổ sung	-15.371	13.987	± 6.490	5.140

Mặc dù DEM được tăng độ phân giải bằng HNN có những cải thiện về độ chính xác khi so sánh với mô hình số độ cao SRTM gốc, giá trị sai số trung bình tuyệt đối chỉ giảm 0.12 m

mô hình số độ cao này với mô hình số độ cao gốc. Tuy nhiên, khi sử dụng điểm độ cao bổ sung, sai số trung bình tuyệt đối đã giảm tới 2.2 m từ 7.319 m của DEM có được bằng

HNN không sử dụng điểm độ cao bổ sung xuống còn 5.140 m.

5. Kết luận và kiến nghị

Mặc dù HNN đã cho thấy khả năng cải thiện độ chính xác cho mô hình số độ cao khi sử dụng để tăng độ phân giải của mô hình số độ cao dạng grid, việc cải tiến mô hình HNN để tích hợp thêm dữ liệu độ cao bổ sung khi các dữ liệu này có sẵn là cần thiết. Kết quả của nghiên cứu cho thấy việc sử dụng mô hình HNN được đề xuất nhằm bổ sung dữ liệu độ cao đã cải thiện đáng kể độ chính xác của mô hình số độ cao. Giá trị sai số trung phương cũng như sai số trung bình tuyệt đối giảm đáng kể và độ chính xác của DEM tăng tới gần 30% so với DEM gốc.

Mặc dù việc tiến hành thử nghiệm mô hình đề xuất mới được trên tập dữ liệu chưa lớn, kết quả khả quan của việc sử dụng mô hình HNN để tích hợp dữ liệu độ cao sẵn có nhằm cải thiện độ chính xác cho các mô hình số độ cao, đặc biệt là đối với các dữ liệu toàn cầu như dữ liệu SRTM 30 m cho thấy phương pháp mới có thể áp dụng trên thực tế sau khi thử nghiệm với nhiều loại địa hình khác nhau. ○

Lời cảm ơn

Nội dung khoa học được trình bày trong bài báo này là kết quả nghiên cứu của Đề tài Cấp Bộ, Bộ Giáo dục và Đào tạo mã số B2021-MDA-04. Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo, Trường Đại học Mở - Địa chất đã tạo điều kiện cho nhóm hoàn thành nghiên cứu

Tài liệu tham khảo

[1]. L. G. Courty, J. C. Soriano-Monzalvo, and A. Pedrozo-Acuña, “Evaluation of open-access global digital elevation models (AW3D30, SRTM, and

ASTER) for flood modelling purposes,” *J. Flood Risk Manag.*, vol. 12, no. S1, pp. 1–14, 2019.

[2]. S. Wu, J. Li, and G. H. Huang, “A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: Sensitivity to elevation data resolution,” *Appl. Geogr.*, 2008.

[3]. C. H. Grohmann and S. S. Steiner, “SRTM resample with short distance-low nugget kriging,” *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 22, no. 8, pp. 895–906, 2008.

[4]. Q. M. Nguyen, T. T. H. Nguyen, P. H. La, H. G. Lewis, and P. M. Atkinson, “Downscaling Gridded DEMs Using the Hopfield Neural Network,” *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 12, no. 11, pp. 4426–4437, 2019.

[5]. H. T. Pham, L. Marshalla, F. Johnsona, and A. Sharmaa, “A method for combining SRTM DEM and ASTER GDEM2 to improve topography estimation in regions without reference data,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 210, pp. 229–241, Jun. 2018.

[6]. D. Yamazaki *et al.*, “A high-accuracy map of global terrain elevations,” *Geophys. Res. Lett.*, vol. 44, no. 11, pp. 5844–5853, Jun. 2017.

[7]. B. M. N. M., K. A. J., and N. Fernando, “Approach to Digital Elevation Model Correction by Improving Channel Conveyance,” *J. Hydrol. Eng.*, vol. 20, no. 5, p. 4014062, May 2015.

[8]. R. Jana, T. V Reshmidevi, P. S. Arun, and T. I. Eldho, “An enhanced technique in construction of the discrete drainage network from low-resolution spatial database,” *Comput. Geosci.*, vol. 33, no. 6, pp. 717–727, 2007.

- [9]. C. U. Paredes-Hernández, N. J. Tate, K. J. Tansey, P. F. Fisher, and W. E. Salinas-Castillo, “Increasing the Accuracy of Low Spatial Resolution Digital Elevation Models using Geostatistical Conflation,” in *Ninth International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, 2010, pp. 413–416.
- [10]. Y. Tang, J. Zhang, H. Li, H. Ding, J. Liu, and L. Jing, “A multiple-point geostatistical method for digital elevation models conflation,” in *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2014, pp. 4299–4302.
- [11]. M. Q. Nguyen, P. M. Atkinson, and H. G. Lewis, “Superresolution mapping using a hopfield neural network with fused images,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 44, no. 3, pp. 736–749, 2006.
- [12]. H. M. Hoa, “Construction of initial national quasi-geoid model VIGAC2017, first step to national spatial reference system in Vietnam,” *Vietnam J. Earth Sci. 2017a*, vol. 39, no. 2, pp. 155–166, 2017. ○

Summary

Improvement of DEM accuracy using Hopfield Neural Network downscaling with additional point elevation data

Nguyen Quang Minh, Nguyen Thi Thu Huong, Hoang Thi Thuy

*Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology
La Phu Hien*

Faculty of Water Resource Engineering, Thuyloi University

Nguyen Van Chuc

Vietnam Institute of Geodesy and Mapping

Do Van Duong

Faculty of Surveying and Mapping, Hanoi University of Natural Resources and Environment

The paper proposes a method to accurately improve the digital elevation model (DEM) using additional point elevation data. Although the resampling methods such as bilinear, bicubic, Kriging and especially the Hopfield Neural Network downscaling showed the improvement in accuracy of the DEM, the additional data such as point elevation data is useful for DEM's accuracy increase for the free global DEM data such as SRTM, ASTER and so on. The proposed approach used a new elevation gain function and a modified elevation constraint for the HNN. This newly proposed model was tested using SRTM 30 m DEM in Cao Bang, Vietnam, in an area of 1650 m × 1344 m with 130 elevation points for accuracy improvement and 64 elevation points for validation. The result showed that the accuracy has increased by 30% regarding Root Mean Square Error (RMSE) compared with the original DEM and the downscaled DEM by HNN (without additional elevation data). It means that the new methods can be applicable after further evaluation. ○

Keywords: DEM; Hopfield Neural Network; Downscaling.