

VỀ KHẢ NĂNG ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP MẠNG NEURON NHÂN TẠO TRONG DỰ BÁO TRUNG HẠN ĐỘNG ĐẤT

CAO ĐÌNH TRỌNG¹, CAO ĐÌNH TRIỀU²

¹Đại học Tổng hợp Hữu nghị các Dân tộc Nga, Moskva, Liên bang Nga

²Viện Vật lý Địa cầu, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội.

Tóm tắt: Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả bước đầu xây dựng thuật toán xử lý số liệu đầu vào, lựa chọn mạng neuron và lựa chọn thời khoảng trong dự báo trung hạn động đất (ví dụ ở Tây Bắc Bộ). Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- Để áp dụng có hiệu quả bài toán mạng neuron trong nghiên cứu dự báo trung hạn động đất, cần thiết phải phân tích đánh giá số liệu đầu vào là danh mục động đất, nhằm mục đích lựa chọn khoảng độ dài và giá trị chấn cấp động đất trung bình nhỏ nhất phục vụ tính toán hàm Gutenberg-Richter và lựa chọn mạng thích hợp.

- Đối với khu vực Tây Bắc Bộ thì chỉ có danh mục động đất từ năm 1976 đến 2011 là khá đầy đủ và có thể sử dụng được trong dự báo trung hạn động đất bằng mạng neuron; giá trị chấn cấp động đất trung bình nhỏ nhất bằng 3,5; mạng neuron FBP là mạng phù hợp nhất trong bài toán dự báo trung hạn động đất; khoảng dự báo động đất 5,0-6,0 là 3 năm và động đất 6,0-7,0 là 4 năm.

MỞ ĐẦU

Vấn đề dự báo trung hạn động đất (dự báo trước một động đất mạnh sắp xảy ra trong vòng từ 1 đến 10 năm) được các nhà địa chấn trên thế giới đặc biệt quan tâm [2, 4, 5]. Hiện tại, phần mềm M8 (dựa trên thuật toán cùng tên) đang được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu dự báo trung hạn động đất tại rất nhiều nước trên thế giới (Liên bang Nga, Mỹ, Nhật Bản, Trung Quốc,...) và được Viện Hàn lâm Khoa học thế giới thứ ba (Trieste, Italia) chấp nhận như một phần mềm chủ đạo trong dự báo trung hạn động đất. Thuật toán M8 được V.I. Keilis-Borok và V.G. Kosobokov phát triển trên cơ sở dấu hiệu nhận dạng những trận động đất mạnh đã xảy ra trong quá khứ, để dự báo nguy cơ phát sinh động đất mạnh trong tương lai [4, 6-11].

Đã có một số nhà địa chấn trên thế giới sử dụng mạng neuron trong nghiên cứu dự báo động đất [1, 5, 12-14, 16]. Có ba dạng mô hình mạng neuron thường được sử dụng gồm: 1/ Mạng neuron lan truyền ngược, dạng FBP (Feedforward backpropagation network); 2/ Mạng neuron lan truyền ngược hồi quy RNN (Recurrent neural network); và 3/ Mạng neuron lan truyền ngược hàm tỏa tia RBF (Radial basis function).

Trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi trình bày một số cơ sở lý luận về khả năng áp dụng mạng neuron nhân tạo trong nghiên cứu dự báo trung hạn động đất và bước đầu áp dụng tại Việt Nam. Nội dung chính là: 1) Vấn đề lựa chọn danh mục động đất phục vụ nghiên cứu dự báo trung hạn động đất; 2) Lựa chọn dạng mạng thích hợp nhất cho bài toán dự báo; và 3) Lựa chọn khoảng thời gian dự báo (khoảng thời gian sắp tới sẽ xảy ra động đất mạnh).

I. CÁC CHỈ THỊ ĐỊA CHẤN PHỤC VỤ DỰ BÁO TRUNG HẠN ĐỘNG ĐẤT

Các chỉ thị tiềm năng địa chấn của một khu vực chấn cấp bao gồm 8 đại lượng sau: 1/ Khoảng thời gian (T) xảy ra số trận động đất (n); 2/ Chấn cấp trung bình của n động đất (Mmean); 3/ Vận tốc giải phóng năng lượng ($dE^{1/2}$); 4/ Giá trị b (hàm Gutenberg-Richter); 5/ Độ lệch bình phương tối thiểu (mean square deviation) η hàm Gutenberg-Richter; 6/ Giá trị khoảng chia chấn cấp động đất trong tính toán hàm Gutenberg-Richter ΔM ; 7/ Khoảng thời gian trung bình yên tĩnh địa chấn μ ; và 8/ Độ lệch chuẩn thời gian quan sát trên thời gian trung bình yên tĩnh địa chấn c [14, 16].

1. Giá trị T

Khoảng thời gian T được xác định theo công thức sau:

$$T = t_n - t_1 \quad (1)$$

trong đó: t_1 là thời điểm xảy ra động đất đầu tiên và t_n là thời điểm xảy ra động đất thứ n. T cũng có thể xem như là tần suất xảy ra tiền chấn (nếu dùng tiền chấn để dự báo chấn động chính, là thời gian từ tiền chấn đầu tiên đến chấn động chính) hoặc là tần suất của động đất tiếp theo nếu dự báo động đất mạnh trên cơ sở danh mục động đất trước đó.

2. Chấn cấp trung bình

Chấn cấp, hay còn gọi là độ lớn động đất, trung bình (mean magnitude, Mmean) được xác định theo công thức:

$$M_{\text{mean}} = \sum M_i / n \quad (2)$$

3. Vận tốc giải phóng năng lượng ($dE^{1/2}$)

Được xác định theo hàm:

$$dE^{1/2} = \sum E^{1/2} / T \quad (3)$$

Nếu sử dụng thang chấn cấp theo độ Richter ta có:

$$E = 10^{(11,8 + 1,5M)} \text{ergs} \quad (4)$$

4. Giá trị b

Được xác định theo hàm phân bố Gutenberg-Richter, có dạng:

$$\log N/T = a - bM \quad (5)$$

trong đó N là số trận động đất có chấn cấp bằng M hoặc lớn hơn.

Giá trị a và b hàm phân bố Gutenberg-Richter cũng có thể được xác định theo những công thức như sau:

$$b = [(n \sum (M_i \log_{10} N_i) - \sum M_i \sum \log_{10} N_i)] / [(\sum M_i)^2 - n \sum M_i^2] \quad (6)$$

$$a = \sum (\log N_i + b M_i) / n \quad (7)$$

trong đó M_i là chấn cấp thứ i, N_i là số động đất có chấn cấp lớn hơn hoặc bằng M_i .

5. Giá trị η

Được xác định trên cơ sở hàm Gutenberg-Richter:

$$\eta = \sum (\log N_i - (a - b M_i))^2 / (n - 1) \quad (8)$$

6. Độ chia ΔM

Được xác định bằng:

$$\Delta M = M_{\text{max}} (\text{quan sát}) - M_{\text{max}} (\text{dự báo}) \quad (9)$$

ở đây: M_{max} (quan sát) là giá trị chấn cấp động đất tối đa quan sát được của n động đất; M_{max} (dự báo) là giá trị chấn cấp tối đa trong số n động đất cuối cùng trên cơ sở xác định theo hàm phân bố Gutenberg-Richter. Vì $N = 1$, $\log N = 0$ (từ công thức 3) nên:

$$M_{max} \text{ (dự báo)} = a/b \quad (10)$$

7. Khoảng thời gian trung bình của yên tĩnh địa chấn μ

Được xác định gần đúng bởi:

$$\mu = \sum t_i \text{ (đặc trưng)} / n \text{ (đặc trưng)} \quad (11)$$

trong đó: t_i (đặc trưng) là khoảng thời gian giữa hai trận động đất đặc trưng có chấn cấp M_i , và n (đặc trưng) là tổng số động đất đặc trưng có M_i .

8. Hệ số c

Là độ lệch chuẩn thời gian quan sát trên thời gian trung bình yên tĩnh địa chấn:

$$c = \text{Độ lệch chuẩn thời gian quan sát} / \mu \quad (12)$$

Giá trị c càng lớn chứng tỏ sự khác biệt càng lớn giữa thời gian trung bình theo tính toán và thời gian trung bình theo quan sát và ngược lại.

II. XỬ LÝ SỐ LIỆU ĐẦU VÀO VÀ LỰA CHỌN MẠNG NEURON

1. Xử lý danh mục động đất

Tính đầy đủ của một danh mục động đất (độ chi tiết về chấn cấp, khoảng thời gian của danh mục, mức độ đại diện của chấn cấp) phụ thuộc nhiều vào hệ thống mạng lưới trạm quan trắc của mỗi quốc gia. Chính vì lẽ đó, các nước với trình độ khoa học và công nghệ khác nhau lại thiết lập cho lãnh thổ của quốc gia mình một danh mục động đất khác nhau về mức độ chi tiết. Trong khi đó, về nguyên lý chung thì bài toán thống kê, nhận dạng động đất lại đòi hỏi một danh mục động đất đủ lớn về độ dài và mức độ chi tiết cao của một danh mục động đất. Chính vì vậy, việc xử lý danh mục động đất phục vụ tính toán dự báo là cần thiết được tiến hành. Mục đích của việc xử lý danh mục động đất phục vụ tính toán dự báo là tìm kiếm một khoảng độ dài của danh mục động đất thỏa mãn điều kiện ban đầu của bài toán dự báo. Cụ thể trong bài toán dự báo trung hạn động

đất là phân bố hàm Gutenberg-Richter riêng có dạng $\log \frac{N}{T} = a - bM$, (a và b là các thông số cần xác định). Nói cách khác là tìm kiếm:

- Giá trị chấn cấp đại diện trung bình nhỏ nhất (M_0);
- Độ dài (khoảng thời gian đầy đủ của danh mục động đất (T)).

sao cho phân bố Gutenberg-Richter phản ánh trung thực nhất đặc trưng hoạt động động đất của khu vực nghiên cứu.

Thuật toán xử lý danh mục động đất được đề xuất trong bài báo này dựa trên cơ sở xác định giá trị nhỏ nhất của sai số xác định hàm Gutenberg-Richter, từ đó ta xác định được chấn cấp tin cậy nhỏ nhất và khoảng độ dài của một danh mục động đất đầy đủ nhất (tốt nhất). Thông tin đầu vào của quy trình tính toán xác định hàm Gutenberg-Richter được hiểu như sau: t_0 là thời điểm sớm nhất của danh mục động đất, t_n là thời điểm kết thúc của danh mục động đất, $T_N = t_n - t_0$ là khoảng độ dài của danh mục động đất. Việc xác định giá trị độ lớn động đất đại diện trung bình nhỏ nhất M_0 và khoảng độ dài của danh mục động đất đầy đủ nhất (T_N) dựa trên cơ sở xác định được hàm phân bố Gutenberg-Richter tối ưu. Khoảng độ chia chấn cấp ΔM được chọn sao

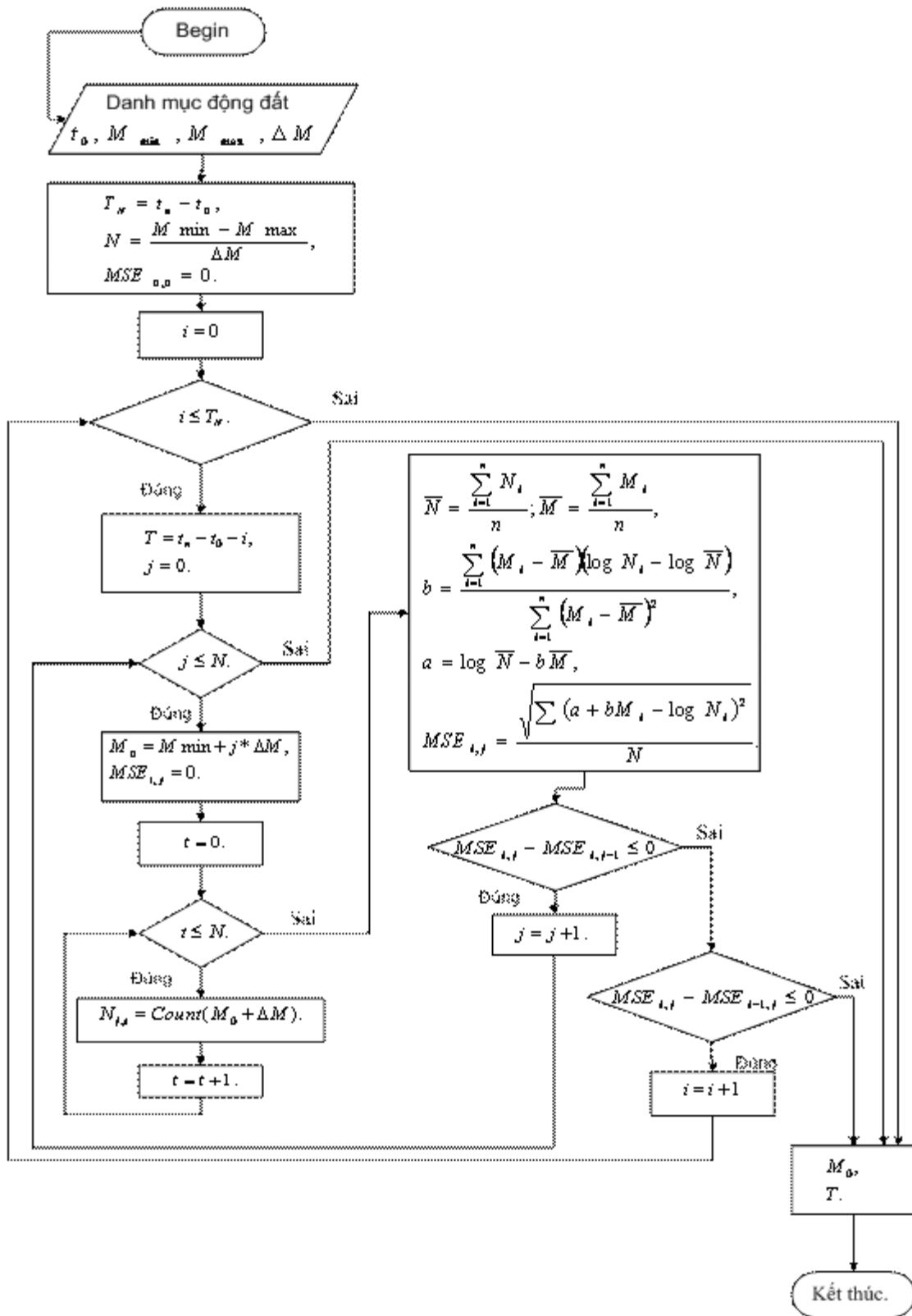
cho $\frac{M_{\max} - M_{\min}}{\Delta M}$ là một số nguyên, trong đó: M_{\min} là độ lớn nhỏ nhất và M_{\max} là độ lớn lớn nhất của động đất có được trong danh mục.

Để thuận tiện cho việc thiết lập chương trình tính xác định hàm Gutenberg-Richter đại diện tối ưu trong một khoảng danh mục động đất, ta gán biến i và j vào các thông số đầu vào và thiết lập sơ đồ khối như trong Hình 1, trong đó ta có:

- $T_{Ni} = t_n - t_i$ (i thay đổi từ 1 đến n)

- M_{ij} (j thay đổi từ 1 đến $\frac{M_{\max} - M_{\min}}{\Delta M}$)

Kết quả tính toán giúp xác định được hàm chuẩn phân bố Gutenberg-Richter, và từ đó xác định được M_0 và T .



Hình 1. Sơ đồ khối thuật toán tìm giá trị chuẩn cấp tin cậy nhỏ nhất và khoảng thời gian đầy đủ của danh mục động đất theo hàm Gutenberg-Richter.

2. Lựa chọn mạng neuron phù hợp với bài toán dự báo trung hạn động đất

Mạng FBP được các nhà địa chấn sử dụng sớm nhất trong dự báo trung hạn động đất. Sau đó, các mạng neuron khác như RNN, RBF cũng đã được đưa vào sử dụng trong bài toán dự báo động đất và nhận được những kết quả khả quan [1-5, 12-13, 16]. Tuy vậy, đối với một vùng nghiên cứu cụ thể, do sự khác biệt về biểu hiện hoạt động động đất, không phải lúc nào cũng cho kết quả giống nhau khi sử dụng cùng một loại mạng. Vì vậy việc khảo sát, lựa chọn một mạng neuron phù hợp phục vụ nghiên cứu dự báo trung hạn động đất là cần thiết. Mặc dầu các nhà địa chấn đã khẳng định rằng chỉ cần sử dụng đến mạng neuron có 3 lớp, gồm: 1 lớp đầu vào, 1 lớp đầu ra và 1 lớp ẩn. Nhận định này được khẳng định dựa trên khả năng xấp xỉ hàm phi tuyến bất kỳ của mạng neuron 3 lớp và các kết quả đã thu được theo định hướng dự báo động đất bằng mạng neuron. Nhưng việc lựa chọn cấu hình mạng neuron, loại mạng neuron phụ thuộc vào đặc trưng dữ liệu của từng khu vực nghiên cứu cụ thể vẫn cần phải tuân theo quy trình sau:

Bước 1: Phân tích đối sánh để tìm ra loại mạng neuron có khả năng đáp ứng nhu cầu của bài toán đặt ra (ví dụ như FBP, RNN, RBF) tại khu vực nghiên cứu.

Bước 2: Đối với từng loại mạng cần thiết, phải tiến hành lựa chọn cấu hình tối ưu phục vụ cho bài toán dựa trên sai số khi huấn luyện mạng neuron. Có thể sử dụng những sai số giữa giá trị thực tiễn và giá trị dự báo sau: R (Regression) – chỉ số hồi quy, MSE (Mean squared error) – sai số trung bình bình phương, RMSE (Root mean squared error) – sai số gốc trung bình bình phương.

Bước 3: Tiến hành so sánh các loại mạng tối ưu đã thu được ở bước 2 theo một trong hai phương pháp sau:

1/ Nếu dữ liệu để huấn luyện mạng ít thì sử dụng 2 thông số: sai số lớn nhất và sai số trung bình trong kết quả chạy mạng [16].

2/ Ngược lại thì sử dụng các giá trị Real skill (R score) hoặc Frequency bias (FB) [14]. Giá trị R score nằm trong khoảng đóng $(-1, 1)$ là hiệu của tỷ lệ số lượng dự báo đúng so với kết quả thực tế và tỷ lệ số lượng hiện tượng có xảy ra trong thực tế nhưng không dự báo được, và giá trị của R càng gần 1 thì các kết quả dự báo càng chính xác. Còn giá trị Frequency bias là tỷ lệ giữa số lượng hiện tượng theo dự báo có xảy ra so với số lượng hiện tượng xảy ra trong thực tế, nằm trong khoảng $(0, \infty)$ và giá trị FB càng gần 1 thì kết quả dự báo càng cao.

Cho đến nay vẫn chưa có bất kỳ một giải pháp nào thật sự hiệu quả cho việc lựa chọn lượng neuron trong lớp ẩn, nhưng thông thường số neuron lớp ẩn bằng trung bình của tổng số neuron lớp vào và lớp ra. Trong quy trình lựa chọn số neuron lớp ẩn luôn phải lưu ý: nếu số neuron lớp ẩn quá cao sẽ làm chậm quá trình huấn luyện và tính toán; nếu số neuron quá ít sẽ không tìm được phương án tối ưu.

Việc lựa chọn sử dụng phương pháp 1 hay phương pháp 2 nói trên phụ thuộc vào số lượng dữ liệu mẫu huấn luyện mạng và nhu cầu của bài toán. Nếu là bài toán dự báo ngắn hạn động đất thì tốt nhất nên dùng 2. Ngược lại, nếu dự báo trung hạn động đất thì sử dụng 1. Trong trường hợp nếu dữ liệu mẫu để huấn luyện mạng nhiều thì dùng 2, nếu ít thì dùng 1.

3. Lựa chọn khoảng thời gian dự báo trung hạn

Có 3 mức độ dự báo động đất: ngắn hạn, trung hạn và dài hạn. Phương pháp mạng neuron có khả năng áp dụng cho cả 3 loại hình dự báo trên. Khoảng thời gian dành cho dự báo trung hạn động đất là từ 1 năm đến 10 năm, lý tưởng nhất là 1 năm.

Quy trình lựa chọn khoảng thời gian dự báo trung hạn động đất phù hợp với khu vực nghiên cứu được tiến hành như sau:

- *Bước 1:* Lựa chọn khoảng thời gian dự báo trung hạn hợp lý, trong khoảng từ 10 năm đến 1 năm. Nguyên tắc lựa chọn ở đây là dựa trên số lượng trận động đất trong khoảng thời gian dự báo, số trận động đất phải lớn hơn hoặc bằng 2.

- *Bước 2:* Tính toán giá trị sai số huấn luyện và giá trị dự báo được đưa ra và tiến hành nhận định kết quả.

Như vậy, có nghĩa là việc lựa chọn khoảng thời gian dự báo tối thiểu phải đáp ứng được yêu cầu xác định khả năng xảy ra lớn nhất của một động đất có chấn cấp nhất định.

III. BƯỚC ĐẦU ÁP DỤNG MẠNG NEURON NHÂN TẠO TRONG DỰ BÁO TRUNG HẠN ĐỘNG ĐẤT Ở VIỆT NAM

Chúng tôi đã áp dụng thuật toán như đã trình bày trong nghiên cứu dự báo trung hạn động đất khu vực Tây Bắc Bộ. Danh mục động đất được sử dụng trong nghiên cứu này là từ năm 1960 đến năm 2011. Đây là khoảng danh mục động đất được xem như là khá đầy đủ đối với khu vực nghiên cứu [2]. Các động đất trong danh mục này có chấn cấp nhỏ nhất bằng 3,0 và lớn nhất bằng 6,7. Kết quả tính toán phục vụ lựa chọn hàm Gutenberg-Richter đặc trưng nhất cho khu vực Tây Bắc Bộ cũng như việc lựa chọn mạng dự báo và thời khoảng dự báo được lần lượt trình bày trong các Bảng từ 1 đến 4. Trên cơ sở kết quả thu được ta thấy:

Bảng 1. Giá trị trung bình bình phương tối thiểu (mse) theo bước chấn cấp sử dụng thuật toán III.1 cho Tây Bắc Bộ.

Thời gian t_0	Khoảng chấn cấp			
	1960	1961	...	1976
3,1-6,5	0,0109	0,0102	...	0,0174
3,2-6,5	0,0084	0,0082	...	0,0146
3,3-6,5	0,0081	0,0080	...	0,0142
3,4-6,5	0,0071	0,0071	...	0,0130
3,5-6,5	0,0051	0,0050	...	0,0104
3,6-6,5	0,0060	0,0061	...	0,0118

Bảng 2. Giá trị trung bình bình phương tối thiểu (mse) theo thời gian, sử dụng thuật toán III.1 cho Tây Bắc Bộ.

Năm	mse
1960	0,000600
1961	0,000497
1962	0,000480
...	...
1975	0,000353
1976	0,000317

1977	0,000350
1978	0,000421

Bảng 3. Sai số với mỗi loại mạng neuron trong bài toán dự báo trung hạn động đất ở Tây Bắc Bộ.

Loại mạng neuron	Sai số lớn nhất	Sai số trung bình
FBP	1,47	0,34
RNN	2,95	0,94
RBF	0,2	0,03

Chấn cấp động đất đại diện trung bình nhỏ nhất khu vực Tây Bắc Bộ có giá trị bằng 3,5 ($M_0 = 3,5$) (Bảng 1).

Tính đầy đủ của danh mục động đất Tây Bắc Bộ có độ dài từ 1960 đến 2076 (Bảng 2). Kết quả này cũng tương đồng với các kết quả của một số nhà nghiên cứu địa chấn Việt Nam [2], cho rằng với số lượng mạng trạm có được từ 1975 thì khả năng ghi được động đất có độ lớn từ 3,0 trở lên trên toàn lãnh thổ Việt Nam.

Như vậy hàm Gutenberg-Richter đặc trưng nhất cho khu vực Tây Bắc Bộ được xác định trên cơ sở danh mục động đất từ năm 1976 đến 2011 có dạng:

$\log N/T = 3,76 - 0,89 M$. Đây là hàm phân bố cơ sở phù hợp nhất cho khu vực nghiên cứu và có thể sử dụng trong nghiên cứu dự báo trung hạn động đất.

Các kết quả khảo sát trong Bảng 3 cho thấy mạng RBF thu được sau quá trình huấn luyện là tối ưu. Tuy vậy, khi tiến hành dự báo bằng mạng này thì kết quả dự báo là 4,9 (M), khác xa so với kết quả dự báo đã được công bố [2, 15]. Nguyên do ở đây chính là lượng dữ liệu dùng trong huấn luyện mạng quá ít, chưa tìm ra được giá trị của các liên kết trong mạng tương thích với hàm Gaus của các neuron, nên kết quả nhận dạng chưa chính xác. Cũng qua Bảng 3 chúng ta thấy được việc sử dụng mạng RNN trong bài toán này không hiệu quả, đây cũng chính là dấu hiệu cho thấy sự kém đầy đủ của danh mục động đất ở Việt Nam.

Do tính địa chấn không cao ở Việt Nam nên mạng neuron chỉ có thể áp dụng cho bài toán dự báo trung hạn động đất trong thời khoảng từ 3 đến 5 năm. Khoảng thời gian dự báo sẽ được xác định bằng khoảng thời gian phân tích danh mục động đất. Trong công bố gần đây nhất của chính các tác giả [15] thì khoảng thời gian 5 năm được lựa chọn để dự báo động đất cho khu vực Tây Bắc Bộ trong thời gian từ năm 2011 đến năm 2015. Câu hỏi đặt ra là liệu khoảng thời gian 5 năm đã là khoảng thời gian tối ưu cho dự báo động đất ở khu vực Tây Bắc Bộ chưa? Để trả lời câu hỏi ta sử dụng mạng neuron BBP tối ưu đã tìm ra cho khu vực này đưa vào tính toán với các khoảng thời gian 3,4 và 5 năm. Kết quả được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả lựa chọn khoảng thời gian dự báo cho Tây Bắc Bộ.

Khoảng thời gian dự báo \ Thông số đánh giá	R	Mse	Chân cấp dự báo
5 năm	0,72	0,3740	6,6991
4 năm	0,89	0,1750	6,6997
3 năm	0,92	0,0307	5,1573

Theo kết quả trên: khoảng thời gian dự báo động đất với chân cấp trên 6,0 (6,0 đến 7,0) là 4 năm, còn với chân cấp 5,0-6,0 là 3 năm.

KẾT LUẬN

Trên cơ sở thuật toán phân tích số liệu, lựa chọn mạng và bước đầu áp dụng bài toán mạng neuron trong dự báo trung hạn động đất khu vực Tây Bắc Bộ có thể rút ra một số nhận định sau:

1/ Đề áp dụng có hiệu quả bài toán mạng neuron trong nghiên cứu dự báo trung hạn động đất, cần thiết phải phân tích đánh giá số liệu đầu vào là danh mục động đất, nhằm mục đích lựa chọn khoảng độ dài và giá trị chân cấp đại diện của động đất trung bình nhỏ nhất phục vụ tính toán hàm Gutenberg-Richter và lựa chọn mạng thích hợp.

2/ Đối với khu vực Tây Bắc Bộ thì chỉ có danh mục động đất từ năm 1976 đến 2011 là khá đầy đủ và có thể sử dụng được trong dự báo trung hạn động đất bằng mạng neuron; giá trị chân cấp động đất trung bình nhỏ nhất bằng 3,5; mạng neuron FBP là mạng phù hợp nhất trong bài toán dự báo trung hạn động đất; khoảng dự báo động đất 5,0-6,0 là 3 năm và động đất 6,0-7,0 là 4 năm.

VĂN LIỆU

- 1. Adeli Hojjat, Ashif Panakkat, 2009.** A probabilistic neural network for earthquake magnitude prediction. *Neural Network*, 22 : 1018-1024.
- 2. Cao Dinh Trieu, 2010.** Seismic hazards in Vietnam. *Sci. and Techn. Publ. House, Hà Nội*. 182. pp.
- 3. Cao Dinh Trieu, G.F. Panza, A. Peresan, F. Vaccari, F. Romanelli, Nguyen Huu Tuyen, Pham Nam Hung, Le Van Dung, Mai Xuan Bach, Thai Anh Tuan, Cao Dinh Trong, 2008.** Some new outcomes of the intermediate term earthquake prediction in Việt Nam. *J. of Geology, B/31-32 : 231-240. Hà Nội*.
- 4. Gabrielov A.M., Dmitrieva O.E., Keilis-Borok V.I., Kosobokov V.G., Kouznetsov I.V., Levshina T.A., Mirzoev K.M., Molchan G.M., Negmatullaev S.Kh., Pisarenko V.F., Prozoroff 5. A.G., Renhart W., Rotwain I.M., Shebalin P.N., Shnirman M.G., Schreider S.Yu., 1986.** Algorithms of long-term earthquake prediction. *CERESIS, Lima (Peru), pp. 61.*

6. Ivo [Alves E.](#), 2006. Earthquake forecasting using neural networks: Results and future work. *Nonlinear Dynamics*, 44 : 341-349.
7. Keilis-Borok V.I. and Kosobokov V.G., 1990. Premonitory activation of seismic flow: Algorithm M8. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 61 : 73-83.
8. Keilis-Borok V.I. and Kosobokov V.G., 1990. Times of increased probability of strong earthquakes (Mo 7.5) diagnosed by algorithm M8 in Japan and adjacent territories. *J. Geophys. Res.*, 95/8 : 12413-12422.
9. Kosobokov V.G., Healy J.H., Keilis-Borok V.I. and Lee W.H.K., 1997. Algorithm for earthquake statistics and prediction. *IASPEI Software Library*, 6. *Seismol. Soc. Am., El Cerrito, CA*.
10. Kosobokov V.G., Healy J.H. and Dewey J.W., 1997. Testing an earthquake prediction algorithm. *Pure Appl. Geophys.*, 149 : 219-232.
11. Kosobokov V.G., Romashkova L.L., Panza G.F. and Perecan A., 2002. Stabilizing intermediate-term medium-range earthquake prediction. *J. Seism. Earthqu. Engineering*, 4/2&3 : 11-19.
12. Keilis-Borok V.I. and Soloviev A.A. (Editor), 2003. Nonlinear dynamics of the lithosphere and earthquake prediction. *Springer, Heidelberg*.
13. Ma L.L. Zhu and Y. Shi, 1999. Attempts at using seismicity indicators for the prediction of large earthquakes by Genetic Algorithm-Neural Network method. *Asia-Pacific Econ. Coop. for Earthquake Simulation, Brisbane, Australia*.
14. Maria, Marios Avraamides, Chris Christodoulou, 2011. Artificial neural network for earthquake prediction using time series magnitude data or seismic electric signals. *Expert Syst. Appl.* 38/12: 15032-15039.
15. Panakkat Ashif and Hojjat Adeli, 2007. Neural Network Model for Earthquake Magnitude Prediction using multiple seismicity indicator. *Intern. J. System.* 17/1 : 13-33.
16. Pupkov K.A., Cao Dinh Trong, Cao Dinh Trieu, Pham Nam Hung, 2011. Prognoz vozmojno maksimalnykh zemletrjasenii v Severo-zapadnom raione B'etnama. *Vestnik RVDH*, 3 (tiếng Nga).