



Đánh giá khả năng ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo dự báo lún bề mặt mỏ do khai thác hầm lò

Nguyễn Quốc Long*

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 25/7/2016

Chấp nhận 5/8/2016

Đăng online 30/8/2016

Từ khóa:

Mạng nơ-ron nhân tạo

Dự báo sụt lún

Khai thác mỏ hầm lò

TÓM TẮT

Bài báo đánh giá khả năng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo trong dự báo sụt lún bề mặt do khai thác hầm lò trên cơ sở xây dựng mô hình mạng nơ-ron truyền thẳng 2 lớp. Dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm tra được lấy từ mô hình dự báo lún đã được chứng minh phù hợp với điều kiện địa chất - khai thác mỏ ở Việt Nam. Đánh giá khả năng dự báo của mạng sau khi huấn luyện được tiến hành trong 3 điều kiện địa chất - khai thác hoàn toàn khác trong tệp huấn luyện. Độ lệch dự báo lún từ mạng và thực tế lớn nhất trong 3 trường hợp lần lượt là 0.127m, 0.212m và 0.019m. Độ lệch trung phương RMS lớn nhất trong 3 trường hợp là 0.106m, tương đương 5% độ lún cực đại. Kết quả này là cơ sở để xuất một mô hình mạng nơ-ron dự báo lún trong thực tế cho các mỏ khai thác hầm lò ở Quảng Ninh.

© 2016 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Cho đến nay, các lý thuyết dự báo dịch chuyển và biến dạng bề mặt mỏ được chia làm ba hướng chính: dựa vào nguyên lý hình học, dựa trên môi trường cơ học liên tục và dựa vào lý thuyết ngẫu nhiên. Các nhà khoa học trên thế giới đã phát triển nhiều phương pháp dự báo dựa trên các lý thuyết này, có thể nhóm thành 5 nhóm phương pháp như: nhóm phương pháp quan hệ thực nghiệm, hàm mặt cắt, hàm ảnh hưởng, giải tích và mô hình vật lý (David J. Reddish, Barry N. Whittaker, 2012).

Với sự phát triển của khoa học máy tính, mạng nơ-ron nhân tạo đã được ứng dụng rộng

rãi trong nhiều lĩnh vực, trong đó có khoa học dự báo. Mạng nơ-ron nhân tạo có khả năng liên kết, tích hợp các thông số khác nhau để xác định và dự báo trong nhiều ứng dụng (Guoqiang Zhang, et al., 1998). Điểm mạnh của mạng nơ-ron nhân tạo là khả năng dự báo tốt với những dữ liệu phức tạp mà người dự báo không có các thông tin và kiến thức cụ thể về tính quy luật của dữ liệu. Đối với những dữ liệu này, mạng nơ-ron nhân tạo cho khả năng tổng quát hóa cao trong dự báo, hơn nữa, nó còn có khả năng dự báo cho các đại lượng xuất hiện không tuyến tính.

Việc dự báo các đại lượng dịch chuyển do ảnh hưởng quá trình khai thác mỏ hầm lò bằng mạng nơ-ron nhân tạo đã được thực hiện bởi khá nhiều tác giả nước ngoài như

*Tác giả liên hệ.

E-mail: nguyenquoclong@humg.edu.vn

nghiên cứu của (Ambrožič và Turk, 2003) để dự đoán mức độ sụt lún bề mặt do khai thác than tại mỏ Velenje, Slovenia; (Ki-Dong Kim và nnk, 2009) nghiên cứu dự báo mức độ sụt lún của thành phố Samcheok, Hàn Quốc do ảnh hưởng của mỏ than đã khai thác; nghiên cứu của (Saro Lee và nnk 2012) sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo để dự báo ảnh hưởng sụt lún tại khu mỏ Jeong-am, Hàn Quốc; nghiên cứu của (Yang và Xia, 2013) về dự báo mức độ sụt lún bề mặt đối khi khai thác các mỏ nằm dưới lớp đá mỏng và lớp đất muren dày.

So với các phương pháp dự báo mức độ sụt lún đã được sử dụng trước dựa vào các công thức và tham số được xác định thì phương pháp dự báo lún sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo được coi là phương pháp dự báo không sử dụng tham số và có khả năng dự báo cho các khu vực với các đặc điểm địa chất, địa hình đặc biệt. Đây là vấn đề cần được giải quyết trong bài toán dự báo các đại lượng dịch chuyển do ảnh hưởng của quá trình khai thác mỏ. Dự báo mức độ sụt lún bằng mạng nơ-ron nhân tạo là phương pháp hiện đại, phương pháp này cần có dữ liệu thực tế quan trắc lún trên các khu vực khai thác để làm dữ liệu đầu vào huấn luyện mạng, tuy vậy điều này có thể dễ dàng thu nhận được hơn nhiều so với việc thu thập các yếu tố ảnh hưởng cần thiết với độ chính xác cao cho các nhóm phương pháp đề cập ở trên.

Bài báo đánh giá khả năng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo trong dự báo sụt lún bề mặt do khai thác hầm lò, trên cơ sở đó đề xuất một mô hình mạng nơ-ron dự báo lún bề mặt phù hợp với điều kiện khai thác mỏ hầm lò ở Việt Nam.

2. Mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp (MLP)

Mạng nơ-ron nhân tạo được thiết kế tương tự như nơ-ron sinh học được ứng dụng rộng trong nhiều lĩnh vực, nó có khả năng liên kết, tích hợp các thông số khác nhau để xác định và dự báo hiện tượng theo nguyên lý nhân-quả. Mạng nơ-ron nhân tạo là thuật toán mô phỏng hoạt động của hệ thần kinh sinh học

trong việc giải quyết các bài toán kỹ thuật và công nghệ.

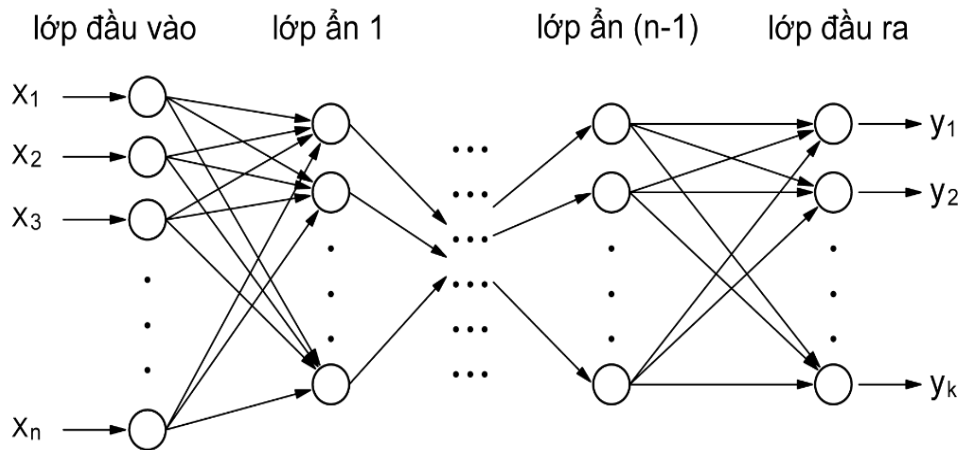
Mô hình mạng nơron được sử dụng rộng rãi nhất là mô hình mạng truyền thẳng nhiều lớp (MLP: Multi Layer Perceptron). Một mạng MLP tổng quát là mạng có n ($n \geq 2$) lớp (thông thường tầng đầu vào không được tính đến): trong đó gồm một tầng đầu ra (tầng thứ n) và $(n-1)$ tầng ẩn (Hình 1).

Hoạt động của mạng MLP như sau: tại tầng đầu vào các nơron nhận tín hiệu vào xử lý (tính tổng trọng số, gửi tới hàm truyền) rồi cho ra kết quả (là kết quả của hàm truyền); kết quả này sẽ được truyền tới các nơ-ron thuộc lớp ẩn thứ nhất; các nơron tại đây tiếp nhận như là tín hiệu đầu vào, xử lý và gửi kết quả đến lớp ẩn thứ 2;...; quá trình tiếp tục cho đến khi các nơ-ron thuộc tầng ra cho kết quả.

Để một mạng nơ-ron nhân tạo mô phỏng chính xác một hiện tượng, cần phải có quá trình huấn luyện mạng. Trong quá trình này, các thông số khác của mạng không thay đổi, trong khi giá trị các trọng số liên kết được điều chỉnh sao cho đầu ra của mạng gần với giá trị mong muốn. Mỗi một trường hợp tham gia trong quá trình huấn luyện là một véc-tơ dữ liệu biểu diễn số liệu quan trắc của hiện tượng. Quá trình học của mạng có thể chia ra thành 2 loại là học có giám sát và học không giám sát. Trong trường hợp xây dựng mô hình dự báo biến dạng mỏ thì hầu hết sử dụng quá trình học có giám sát, trong đó, để xác định trọng số của các liên kết trong mạng cần có các véc-tơ dữ liệu đầu vào, các giá trị và yêu cầu của kết quả làm đầu ra.

Như vậy, trong quá trình học có giám sát, mỗi ví dụ học bao gồm hai phần: véc-tơ dữ liệu x_n ở đầu vào và véc-tơ y_k ở đầu ra.

Hoạt động của mạng MLP như sau: Tại tầng đầu vào các nơron nhận tín hiệu vào xử lý (tính tổng trọng số, gửi tới hàm truyền) rồi cho ra kết quả (là kết quả của hàm truyền); kết quả này sẽ được truyền tới các nơ-ron thuộc lớp ẩn thứ nhất; các nơron tại đây tiếp nhận như là tín hiệu đầu vào, xử lý và gửi kết quả đến lớp ẩn thứ 2; quá trình tiếp tục cho đến khi các nơ-ron thuộc tầng ra cho kết quả.



Hình 1: Mạng MLP tổng quát

Để một mạng nơ-ron nhân tạo mô phỏng chính xác một hiện tượng, cần phải có quá trình huấn luyện mạng.

Trong quá trình này, các thông số khác của mạng không thay đổi, trong khi giá trị các trọng số liên kết được điều chỉnh sao cho đầu ra của mạng gần với giá trị mong muốn. Mỗi một trường hợp tham gia trong quá trình huấn luyện là một véc-tơ dữ liệu biểu diễn số liệu quan trắc của hiện tượng. Quá trình học của mạng có thể chia ra thành 2 loại là học có giám sát và học không giám sát. Trong trường hợp xây dựng mô hình dự báo biến dạng mỏ thì hầu hết sử dụng quá trình học có giám sát, trong đó, để xác định trọng số của các liên kết trong mạng cần có các véc-tơ dữ liệu đầu vào, các giá trị và yêu cầu của kết quả làm đầu ra. Như vậy, trong quá trình học có giám sát, mỗi ví dụ học bao gồm hai phần: Véc-tơ dữ liệu x_n ở đầu vào và véc-tơ y_k ở đầu ra.

3. Đánh giá khả năng ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo dự báo lún bề mặt do khai thác hầm lò

3.1. Các yếu tố trong tập dữ liệu huấn luyện

Dữ liệu đầu vào huấn luyện mạng bao gồm 11 yếu tố đặc trưng cho yếu tố địa chất - khai thác của vỉa than: Góc dốc vỉa (α , độ), chiều dày khấu vỉa (M , m), độ sâu khai thác ranh giới trên lò chợ (h , m), góc dịch chuyển xuôi dốc (β , độ), góc dịch chuyển ngược dốc (γ , độ), góc lún cực đại; (θ , độ), kích thước khoảng trống

khai thác theo hướng dốc (l , m), kích thước khoảng trống khai thác theo hướng đường phương (w , m), kích thước bồn dịch chuyển theo hướng ngược dốc (L_1 , m), kích thước bồn dịch chuyển theo hướng ngược dốc (L_2 , m), khoảng cách từ biên giới bồn tới điểm (s , m).

3.2. Xác định các thông số góc dịch chuyển trong tập huấn luyện

Để xây dựng một tập huấn luyện cho mạng thì cần rất nhiều số liệu quan trắc lún trên các vỉa khai thác có các điều kiện địa chất - khai thác khác nhau. Tuy nhiên trong thực tế tại Việt Nam, tại bể than Quảng Ninh mới chỉ xây dựng được một số trạm quan trắc tại các mỏ Hà Lầm, Nam Mẫu, Mạo Khê, Thống Nhất, Mông Dương (Phạm Văn Chung, 2010). Số liệu lún quan trắc được hầu hết chưa phải là độ lún khi khai thác toàn phần, vì vậy đường cong lún trên mặt cắt chính của bồn dịch chuyển thu được chưa phản ánh hết mức độ ảnh hưởng của quá trình khai thác lên bề mặt. Vì vậy để xây dựng tập huấn luyện tác giả sử dụng phương pháp vùng tương tự do giáo sư Kazakovski đề xuất để xác định các thông số góc dịch chuyển. Phương pháp này dựa trên sự so sánh hệ số kiên cố đất đá f để xác định các góc dịch động cho vùng mỏ chưa nghiên cứu. Phân loại nhóm mỏ theo độ kiên cố (độ cứng) đất đá bằng phương pháp vùng tương tự được thể hiện trên Bảng 1 (Quy phạm ngành mỏ, 1981).

Bảng 1. Phân loại nhóm mỏ theo độ cứng đất đá

Nhóm mỏ	Hệ số kiên cố đất đá f		δ°	γ°
	Trung bình	Khoảng giao động		
I	0.1	đến 0.3	45	45
II	0.5	0.3 ÷ 0.7	55	55
III	1.0	0.8 ÷ 1.2	60	60
IV	1.5	1.3 ÷ 2.0	65	65
V	2.5	2.1 ÷ 3.5	70	70
VI	4.0	3.6 ÷ 4.5	75	75
VII	5.5	5.0 ÷ 6.0	80	80
VIII	8.0	6.1 ÷ 12.0	85	85

Theo số liệu địa chất thăm dò bể than Quảng Ninh, địa tầng chứa than của các mỏ Hà Lầm, Mạo Khê, Nam Mẫu, Mông Dương, Thống Nhất... bao gồm: cát kết, bột kết, sét kết, cuội kết, sét than và các vỉa than, chúng nằm xen kẽ và phân nhip. Các lớp đá có độ gắn kết rắn chắc, thuộc loại đá cứng bền vững. Độ kiên cố đất đá trung bình tại các mỏ đã được thăm dò nằm trong khoảng từ 4÷7 (Nguyễn Đình Bé. 1997), do vậy khi lựa chọn các góc dịch động để đưa vào tập huấn luyện tác giả chọn bể than Quảng Ninh thuộc nhóm VII, góc dịch chuyển theo phương δ bằng góc dịch chuyển theo hướng ngược dốc $\gamma = 80^{\circ}$. Góc dịch chuyển theo hướng xuôi dốc phụ thuộc góc dốc của vỉa khai thác và được xác định dựa trên Bảng 2 (Quy phạm ngành mỏ, 1981).

Góc lún cực đại θ được xác định theo công thức thực nghiệm $\theta = 90^{\circ} - k_1\alpha$, trong đó giá trị k_1 xác định tùy thuộc vào nhóm khoáng

sàng và tỷ số tổng chiều dày đất phủ và lớp nằm ngang mêzodoi với chiều sâu khai thác trung bình. Để xây dựng tập dữ liệu huấn luyện và kiểm định phục vụ cho việc đánh giá khả năng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo trong bài toán dự báo biến dạng ở mỏ thì không cần thiết phải thay đổi các giá trị k_1 , do vậy với điều kiện khai thác mỏ ở Quảng Ninh tác giả cũng chọn giá trị $k_1 = 0.77$ (Phạm Văn Chung, 2010).

3.3. Xác định các yếu tố khác trong tập huấn luyện mạng

Để xây dựng tập dữ liệu huấn luyện, 3 kích thước khác nhau của vùng khai thác ($L \times W$) được đưa vào tập huấn luyện (50x100m, 100x200m, 150x300m). Các ranh giới trên của lò chợ nằm ở 3 độ sâu khác nhau (100m, 200m, 300m), độ dày khẩu vỉa là 4m, 6m và 8m. Góc dốc của vỉa là 10° , 20° , 30° , các góc θ , β , γ xác định như trên mục 2.2 đối với nhóm mỏ VII. Các thông số địa chất - khai thác đưa vào tập huấn luyện mạng như trong Bảng 3.

Độ lún của các điểm trên trên mặt cắt cơ bản đi qua tâm bồn dịch chuyển phía trên các vỉa khai thác có các thông số như Bảng 3 được xác định theo hàm được mô tả trong Phương trình (2) dưới đây, Phương trình (2) đã được chứng minh phù hợp với số liệu quan trắc lún thực tế tại mỏ Thống Nhất, Quảng Ninh (Nguyễn Quốc Long, 2015) vì vậy có thể coi độ lún xác định từ phương trình này tương đương với độ lún thực tế ở mỏ.

Bảng 2. Xác định góc dịch chuyển β theo nhóm mỏ

Nhóm mỏ	Góc dốc vỉa α°																
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90
II	55	51	47	44	42	40	39	38	37	37	35	34	33	32	32	30	30
III	60	56	52	49	46	44	42	40	38	37	36	35	34	33	32	30	30
IV	65	60	56	53	50	48	46	42	40	38	36	34	33	33	32	30	30
V	70	65	61	58	54	51	48	46	43	40	38	36	33	31	30	30	30
VI	75	70	66	62	58	54	50	48	46	42	38	34	31	30	30	30	35
VII	80	75	70	66	62	58	53	49	46	42	38	34	30	30	30	30	35
VIII	85	80	75	70	65	61	57	52	47	42	38	34	30	30	30	30	35

Bảng 3. Các thông số địa chất – khai thác trong tệp huấn luyện mạng

TT	Góc dốc vĩa	Chiều dày khẩu vĩa	Độ sâu khai thác	Kích thước khai thác (lò chợ)		Góc dịch chuyển		Góc lún cực đại
	(α)	(M)	(h)	(L)	(W)	β	γ	θ
1	10	4	100	50	100	70°	80°	82°
		6	200	100	200	70°	80°	82°
		8	300	150	300	70°	80°	82°
2	20	4	100	50	100	62°	80°	75°
		6	200	100	200	62°	80°	75°
		8	300	150	300	62°	80°	75°
3	30	4	100	50	100	53°	80°	67°
		6	200	100	200	53°	80°	67°
		8	300	150	300	53°	80°	67°

$$\eta(s) = \eta_{\max} \left[ce^{-6.30\left(\frac{-s}{L_1}\right)^{2.64}} + de^{-4.36\left(\frac{s}{L_2}\right)^{1.72}} \right] \quad (2)$$

trong đó:

L_1 và L_2 lần lượt là kích thước bán bồn dịch chuyển theo hướng ngược dốc và xuôi dốc, xác định theo (3) và (4);

$$L_1 = h \cot(\alpha) + 0.5l \cos(\alpha) + (h + 0.5l \sin(\alpha)) \cot(\theta); \quad (3)$$

$$L_2 = 0.5l \cos(\alpha) - (h + 0.5l \sin(\alpha)) \cot(\theta) + (h + l \sin(\alpha)) \cot(\beta); \quad (4)$$

s là khoảng cách từ điểm cần dự báo tới điểm có độ lún cực đại, s mang giá trị âm khi nằm trên phía ngược dốc và dương khi nằm dưới phía xuôi dốc;

c và d là các hệ số điều kiện, xác định theo phương trình (5);

$$\begin{cases} c = 1; d = 0 & (s < 0) \\ c = 0; d = 1 & (s > 0) \\ c = 0.5; d = 0.5 & (s = 0) \end{cases} \quad (5)$$

η_{\max} là độ lún cực đại của bồn dịch chuyển, xác định theo (6);

$$\eta_{\max} = a \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot N; \quad (6)$$

Với a là hệ số lún tương đối, xác định theo số liệu quan trắc thực địa, trong điều kiện các mỏ ở Việt Nam thì $a = 0.8$ (Nguyễn Văn chung, 2010), N là hệ số mức độ khai thác, trong trường hợp khai thác toàn phần thì $N=1$ (Nguyễn Đình Bé và nnk, 2000).

Sử dụng các tham số đầu vào như trong Bảng 3, kết hợp với độ lún tính được khi thay

các tham số này vào phương trình (2) ta có được một tệp huấn luyện và một tệp đích tương ứng. Bộ dữ liệu huấn luyện bao gồm 3402 mẫu, mỗi mẫu được lưu trong 1 cột của file, mỗi cột bao gồm 11 hàng tương ứng với 11 yếu tố đầu vào của mạng. Định dạng tệp huấn luyện mạng như hình 2.

3.4. Khảo sát khả năng dự báo lún của mạng nơ-ron nhân tạo

Theo Jeff Heaton (Jeff Heaton, 2008) mạng nơ-ron có hai lớp ẩn có thể thể hiện các hàm với đáng điệu bất kỳ, nên về lý thuyết, không có lý do nào sử dụng các mạng có nhiều hơn hai lớp ẩn. Cũng theo (Jeff Heaton, 2008), có 3 phương pháp để xác định số lượng nơ-ron trong mỗi lớp ẩn, đó là: số nơ-ron trong mỗi lớp ẩn nên nằm trong khoảng giữa số lượng nơ-ron ở lớp đầu vào và đầu ra; số nơ-ron trong mỗi lớp ẩn nên bằng tổng 2/3 số lượng nơ-ron lớp đầu vào và đầu ra; số nơ-ron trong mỗi lớp ẩn nên nhỏ hơn 2 lần số lượng nơ-ron ở lớp đầu vào. Do vậy trong nghiên cứu này tác giả sử dụng mô hình mạng nơ-ron truyền thẳng 2 lớp ẩn với 8 nơ-ron mỗi lớp.

Để huấn luyện mạng nơ-ron và dự báo độ lún, tác giả đã lập trình một mô-đun trên nền phần mềm Matlab R2014a, trong chương trình

có sử dụng một số hàm của về mạng nơ-ron trong bộ công cụ Neural Network Toolbox. Việc sử dụng các hàm có sẵn trong Matlab cho kết quả tin cậy và tiết kiệm được thời gian lập trình.

Kiểm tra khả năng dự báo của mạng nơ-ron sau huấn luyện được tiến hành trên 3 vỉa khai thác có các tham số độ dốc, kích thước khai thác, kích thước bồn dịch chuyển, góc dịch chuyển, góc lún cực đại và độ sâu khai thác khác hoàn toàn khác dữ liệu trong tệp huấn luyện ở Bảng 3. Các thông số tệp kiểm định dùng để đánh giá khả năng của mạng như trên Bảng 4.

Kết hợp các thông số trong 3 trường hợp vỉa khai thác 15°, 25°, 35° trên Bảng 4 với biểu thức (2) ta xác định được độ lún các điểm trên bề mặt, độ lún này được coi là độ lún thực tế

để so sánh với độ lún dự báo từ mạng, kết quả so sánh giá trị độ lún thể hiện trên các Bảng 5. Biểu đồ so sánh đường 2 cong lún như trên các Hình 3, 4, 5.

Trong trường hợp 1, độ lệch dự báo và thực tế lớn nhất là 0.127m, nhỏ nhất là -0.204m, RMS = 0.086m, tương đương 2% độ lún cực đại. Trường hợp 2 độ lệch lớn nhất là 0.212m, nhỏ nhất là -0.163m, RMS = 0.106m, tương đương 2% độ lún cực đại. Trường hợp 3, độ lệch lớn nhất là 0.019m, nhỏ nhất là -0.183m, RMS = 0.095m, tương đương 5% độ lún cực đại (Bảng 6). Với độ lệch giữa đường cong dự báo và thực tế thể hiện qua chỉ số RMS rất nhỏ thì trên các biểu đồ so sánh dễ dàng nhận thấy các đường cong lún rất sát nhau, chứng tỏ kết quả dự báo đạt độ chính xác cao.

Hình 2: Định dạng tệp huấn luyện mạng

Bảng 4. Thông số tệp kiểm định mạng

Trường hợp	Góc dốc vỉa	Chiều dày khẩu vỉa	Độ sâu khai thác	Kích thước khai thác		Góc dịch chuyển		Góc lún cực đại
	(α)	(M)	(h)	(L)	(W)	β	γ	θ
1	15	5,0	150	120	250	66°	80°	78°
2	25	6,7	230	195	350	58°	80°	71°
3	35	3,0	250	200	280	49°	80°	63°

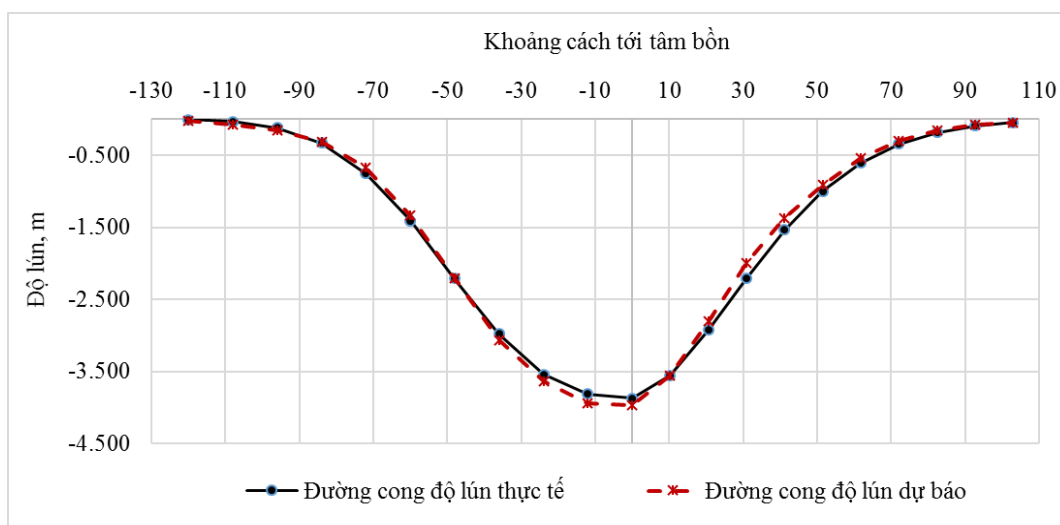
Bảng 5. So sánh giá trị độ lún dự báo bởi mạng nơ-ron và thực tế

Trường hợp 1			
Khoảng cách	Độ lún thực tế	Độ lún dự báo	Độ lệch
-120.000	-0.007	-0.015	0.008
-108.000	-0.033	-0.071	0.038
-96.000	-0.117	-0.153	0.036
-84.000	-0.331	-0.315	-0.017
-72.000	-0.754	-0.670	-0.084
-60.000	-1.408	-1.330	-0.077
-48.000	-2.208	-2.201	-0.006
-36.000	-2.975	-3.064	0.089
.....
30.900	-2.202	-1.998	-0.204
41.200	-1.535	-1.374	-0.161
51.500	-0.996	-0.905	-0.091
61.800	-0.604	-0.543	-0.062
72.100	-0.344	-0.294	-0.050
82.400	-0.184	-0.152	-0.032
92.700	-0.093	-0.081	-0.012
103.000	-0.044	-0.051	0.006
Trường hợp 2			
-222.000	-0.009	-0.007	-0.002
-199.800	-0.041	-0.159	0.118
-177.600	-0.147	-0.360	0.212
-155.400	-0.416	-0.622	0.206
-133.200	-0.947	-1.007	0.061
-111.000	-1.768	-1.807	0.039
-88.800	-2.773	-2.866	0.093
-66.600	-3.737	-3.747	0.010
.....
57.000	-2.765	-2.866	0.101
76.000	-1.928	-1.955	0.027
95.000	-1.251	-1.231	-0.020
114.000	-0.759	-0.756	-0.003
133.000	-0.432	-0.474	0.043
152.000	-0.231	-0.315	0.084
171.000	-0.117	-0.226	0.109
190.000	-0.056	-0.175	0.120

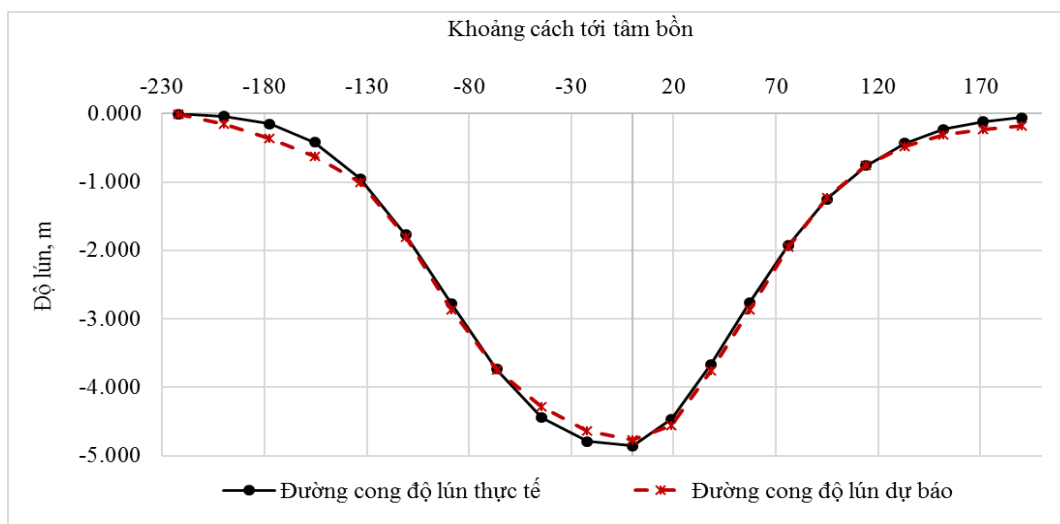
Trường hợp 3			
-283.000	-0.004	0.001	-0.005
-255.000	-0.017	-0.010	-0.006
-226.000	-0.060	-0.052	-0.007
-198.000	-0.168	-0.159	-0.009
-170.000	-0.383	-0.328	-0.056
-142.000	-0.716	-0.635	-0.081
-113.000	-1.122	-0.997	-0.125
-85.000	-1.512	-1.367	-0.146
.....
73.000	-1.119	-0.980	-0.139
97.000	-0.780	-0.661	-0.119
121.000	-0.506	-0.477	-0.030
145.000	-0.307	-0.326	0.019
169.000	-0.175	-0.166	-0.009
194.000	-0.094	-0.077	-0.017
218.000	-0.047	-0.030	-0.017
242.000	-0.023	-0.004	-0.018

Bảng 6. So sánh kết quả dự báo với thực tế

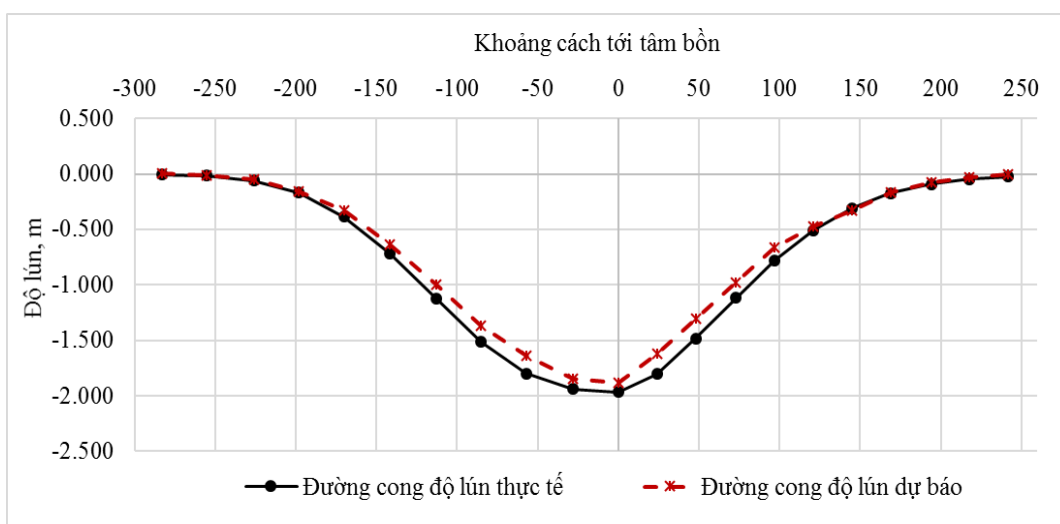
Góc dốc vỉa (α)	Độ lệch lớn nhất (ΔH_{max})	Độ lệch nhỏ nhất (ΔH_{min})	Sai số RMS
15°	0.127	-0.204	0.086
25°	0.212	-0.163	0.106
35°	0.019	-0.183	0.095



Hình 3. So sánh đường cong dự báo và thực tế trong trường hợp 1



Hình 4. So sánh đường cong dự báo và thực tế trong trường hợp 2



Hình 5. So sánh đường cong dự báo và thực tế trong trường hợp 3

5. Kết luận

Kết quả thực nghiệm cho thấy việc sử dụng mạng nơ-ron truyền thẳng MLP áp dụng phương pháp học có giám sát vào dự báo lún cho mặt cắt bồn lún lý thuyết đạt chất lượng tốt, thể hiện qua giá trị sai số RMS lớn nhất trong các trường hợp thử nghiệm chỉ xấp xỉ 5% so với độ lún thực tế cực đại.

Với mạng nơ-ron truyền thẳng sau khi thử nghiệm nhiều lần cho thấy mạng nơ-ron có cấu trúc hai lớp ẩn với số lượng từ 8÷10 nơ-ron mỗi lớp là mạng có cấu trúc phù hợp để dự báo lún bề mặt do khai thác các mỏ than hầm lò.

Khi dữ liệu quan trắc dùng để huấn luyện mạng phong phú, hoàn toàn có thể sử dụng mô hình mạng nơ-ron nhân tạo để dự báo sụt lún bề mặt mỏ do khai thác hầm lò gây ra tại vùng Quảng Ninh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Ambrožič, T., and Turk, G. (2003). Prediction of subsidence due to underground mining by artificial neural networks. *Computers & Geosciences*, 29 (5):627-637.

- Jeff Heaton (2008). Introduction to Neural Networks with Java. *Healdton Research, USA*.
- Kim, K. D., Lee, S., and Oh, H. J. (2009). Prediction of ground subsidence in Samcheok City, Korea using artificial neural networks and GIS. *Environmental Geology*, 58(1):61-70.
- Lee, S., Park, I., and Choi, J. K. (2012). Spatial Prediction of Ground Subsidence Susceptibility Using an Artificial Neural Network. *Environmental Management*, 49(2):347-58.
- Nguyễn Đình Bé (1977). Nghiên cứu dịch động đất đá khi khai thác vỉa than nghiêng, thoải có đứt gãy kiến tạo. *Đại học Mỏ Leningrad*.
- Nguyễn Đình Bé và Vương Trọng Kha (2000). *Dịch chuyển và biến dạng đất đá trong khai thác mỏ*. NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
- Nguyễn Quốc Long (2015). Xây dựng hàm dự báo lún bề mặt do khai thác vỉa dốc tại mỏ than Thống Nhất. *Tạp chí Công nghiệp mỏ*, 4.
- Phạm Văn Chung (2010). Nghiên cứu xác định các thông số dịch chuyển biến dạng bề mặt đất trong điều kiện địa chất đặc biệt khi khai thác hầm lò bể than Quảng Ninh, *Báo cáo đề tài Bộ Công Thương*.
- Quy phạm ngành mỏ (1981). *Qui tắc bảo vệ công trình và đối tượng thiên nhiên chống ảnh hưởng có hại của khai thác hầm lò*. Viện VNIMI.
- Reddish, D. J., and Whittaker, B. N. (2012). *Subsidence: occurrence, prediction and control*. Elsevier, England.
- Yang, W., and Xia, X. H. (2013). Prediction of mining subsidence under thin bedrocks and thick unconsolidated layers based on field measurement and artificial neural networks. *Computers & Geosciences*, 49:199-203.
- Zhang, G. Q., Patuwo, B. E., and Hu, M. Y. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, 14:35-62.

ABSTRACT

Valuating usability of artificial neural networks for subsidence prediction in underground coal mining

Long Quoc Nguyen

Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

This paper presents the results of assessing the artificial neural network usability to predict surface subsidence, caused by underground coal mining. In this paper, a 2-layer feedforward network are used. Training and testing data are taken from the subsidence forecast model that has been demonstrated to fit with geological - mining conditions in Quang Ninh coal seams. Assessment of predictability of the neural network after training period was conducted in 3 geological - mining conditions which are absolutely different from the training conditions. The largest differences between predicted and real values, corresponding to 3 cases of prediction, are 0.127m, 0.212m and 0.019m respectively. The largest RMS of 3 cases is 0.106, equivalent to 5% of maximum subsidence. This result is a premise to propose a neural network model for prediction of subsidence due to underground mining in Quang Ninh coal basin.