

Bài báo khoa học

Phân tích chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất sử dụng hàm ANN từ kết quả xử lý chuỗi dữ liệu GNSS theo thời gian

Dương Văn Phong¹, Nguyễn Gia Trọng^{1,2*}, Nguyễn Văn Chiến³, Nguyễn Hà Thành⁴, Lý Lâm Hà⁵, Nguyễn Viết Quân⁶, Phạm Ngọc Quang^{1,2}

¹ Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất;
duongvanphong@humg.edu.vn; nguyengiatrong@humg.edu.vn;
phamngocquang@humg.edu.vn

² Nhóm nghiên cứu Trắc địa cao cấp - môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất;
nguyengiatrong@humg.edu.vn

³ Công ty cổ phần địa ốc Phú Long; mchoangchien@gmail.com

⁴ Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;
hathanh5984@gmail.com

⁵ Phòng Kinh tế hạ tầng huyện Cam Lâm, tỉnh Khánh Hòa; funnylams@gmail.com

⁶ Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam; vietquan2407@gmail.com

*Tác giả liên hệ: nguyengiatrong@humg.edu.vn; Tel.: +84-963124980

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2023; Ngày phản biện xong: 29/7/2023; Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Chuyển dịch thẳng đứng là sự thay đổi độ cao của bề mặt đất mà nguyên nhân chính là do các hoạt động kiến tạo gây ra. Sự thay đổi độ cao của bề mặt do chuyển dịch thẳng đứng có liên hệ mật thiết với các hiện tượng tai biến thiên nhiên như mực nước biển dâng, ngập lụt hoặc xâm nhập mặn. Để xác định chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất có các phương pháp như sử dụng dữ liệu đo cao thủy chuẩn hình học, sử dụng dữ liệu định vị bằng vệ tinh (GNSS), dữ liệu giao thoa ra đa. Nghiên cứu này xác định chuyển dịch thẳng đứng cho điểm CTHO thuộc mạng lưới VNGEONET thông qua phân tích chuỗi dữ liệu GNSS sử dụng phần mềm Gamit/Globk. Để phân tích chuỗi kết quả chuyển dịch thẳng đứng trên, các tác giả đề xuất phương pháp dự báo chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất sử dụng mô hình mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) với dữ liệu đầu vào là kết quả phân tích dữ liệu GNSS sử dụng phần mềm Gamit/Globk. Kết quả tính thực nghiệm cho thấy, các đặc trưng về sai số dự báo sử dụng mô hình ANN cho độ chính xác cao thể hiện qua các chỉ tiêu sai số đó là giá trị MAE là 0,005, giá trị MSE là 0,0004 và giá trị RMSE là 0,006.

Từ khóa: Chuyển dịch thẳng đứng; Sụt lún mặt đất; GNSS; AI; ANN.

1. Mở đầu

Vỏ Trái đất không phải là một khối thống nhất mà được tạo thành từ các mảng khác nhau. Theo thời gian, các mảng liên tục chuyển dịch theo các hướng khác nhau mà nguyên nhân chủ yếu đó là sự chuyển dịch của các lớp vật chất bên trong lòng Trái đất. Chuyển dịch của các mảng được chia thành chuyển dịch ngang (theo hướng Bắc và hướng Đông) và chuyển dịch thẳng đứng. Bên cạnh sự nâng lên của lớp vỏ Trái đất, còn có hiện tượng sụt lún bề mặt đất gây ra bởi cả tự nhiên và con người. Sụt lún bề mặt đất có thể sinh ra do quá trình khai thác nước ngầm, khai thác mỏ,... hoặc quá trình nén trầm tích tại châu thổ của các con sông mà đồng bằng sông Cửu Long là trường hợp điển hình. Chuyển dịch thẳng đứng có liên quan mật thiết với mực nước biển dâng tại các vùng ven biển giúp xác định được giá trị tuyệt

đối sự dâng lên của mực nước biển. Bên cạnh đó, nghiên cứu sự nâng lên và sụt lún bề mặt đất có ý nghĩa lớn đối với công tác quy hoạch trong bối cảnh biến đổi khí hậu đặc biệt đối với các vùng có địa hình thấp so với mực nước biển như Đồng bằng sông Cửu Long, thành phố Hồ Chí Minh của Việt Nam.

Tác giả [1] đã phân tích dữ liệu đo GNSS liên tục tại các trạm nghiệm triều để xác định giá trị chuyển dịch thẳng đứng của vỏ Trái đất tại các điểm có dữ liệu qua đó xác định được chính xác giá trị dâng lên của mực nước biển bằng cách sử dụng hỗn hợp dữ liệu GNSS và dữ liệu nghiệm triều. Nhằm phát huy tối đa ưu điểm của các loại dữ liệu trong xác định sụt lún bề mặt, cần sử dụng kết hợp dữ liệu đo GNSS, InSAR và dữ liệu đo thủy chuẩn hình học; Tác giả [2] đã xác định sụt lún bề mặt cho khu vực Jakarta (Indonexia) giai đoạn 1982-2010. Tuy nhiên, dữ liệu GNSS trong nghiên cứu này cũng là dữ liệu đo tương đối tính theo chu kỳ.

Trên cơ sở kết hợp dữ liệu viễn thám, đo thủy chuẩn hình học, dữ liệu địa chất thủy văn, tác giả [3] đã xác định sụt lún cho khu vực Bắc Kinh của Trung Quốc. Trí tuệ nhân tạo đã được ứng dụng khá hiệu quả trong nghiên cứu xác định sụt lún bề mặt, trong số đó có thể kể đến một số công trình tiêu biểu như các công trình [4-5]. Trong công trình nghiên cứu [6], các tác giả đã sử dụng phần mềm GipsyX để phân tích dữ liệu GNSS nhằm xác định chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất khu vực bờ biển Texas trong mối liên hệ với mực nước biển dâng và đã xác định được chuyển dịch thẳng đứng với độ chính xác lên tới 0,3 mm/ năm.

Tác giả [7] đã giới thiệu tổng quan về ứng dụng học máy trong công nghệ GNSS, tuy nhiên hầu hết các mô hình và ứng dụng tương ứng được đề cập trong công trình này chủ yếu trong lĩnh vực xử lý tín hiệu GNSS chứ không phải ứng dụng trong xử lý và phân tích dữ liệu đo GNSS cũng như sản phẩm sau đó. Tác giả [8] đã sử dụng hàm mạng chức năng cơ sở xuyên tâm (Radial Basic function network) để phân tích chuỗi dữ liệu chuyển dịch xác định được bằng công nghệ GNSS trong khoảng 2 năm cho độ chính xác tốt hơn so với kết quả sử dụng hàm hồi quy truyền thống.

Công nghệ GNSS cho phép xác định chuyển dịch thẳng đứng mặt đất với độ chính xác rất cao nhưng có nhược điểm là chỉ xác định tại điểm có đặt máy thu tín hiệu vệ tinh. Để có thể xác định giá trị sụt lún trên phạm vi rộng (bề mặt), nghiên cứu sử dụng dữ liệu giao thoa radar là một hướng nghiên cứu đang được quan tâm trong giai đoạn hiện nay. Tác giả [9] đã sử dụng dữ liệu TerraSAR-X và Cosmos SkyMed xác định sụt lún cho khu vực trung tâm của Hà Nội trong giai đoạn từ năm 2011 đến năm 2014 với kết quả xác định vận tốc chuyển dịch lên tới -10mm/năm.

Trên cơ sở sử dụng dữ liệu GNSS đo theo phương pháp định vị tương đối tĩnh truyền thống kết hợp sử dụng phần mềm Bernese phiên bản 5.0 để phân tích dữ liệu, tác giả [10] đã xác định độ lớn và hướng chuyển dịch theo phương nằm ngang của đới đứt gãy Lai Châu - Điện Biên. Hà Nội là một đô thị lớn của Việt Nam, nơi xảy ra hiện tượng sụt lún bề mặt khá mạnh do ảnh hưởng của hiện tượng khai thác nước ngầm nên đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu. Ngoài kết quả đã công bố trong [2], còn có một số nghiên cứu khác sử dụng dữ liệu giao thoa radar xác định sụt lún cho khu vực Hà Nội như các nghiên cứu của [11-13]. Các kết quả nghiên cứu của các tác giả cho thấy, bề mặt của Hà Nội sụt lún ở mức vài cm với các khu vực khác nhau. Sử dụng kết hợp dữ liệu GNSS, viễn thám và dữ liệu quan trắc mực nước ngầm của các hố khoan, tác giả [14] đã xác định sụt lún bề mặt khu vực Hà Nội giai đoạn 2016-2020. Dữ liệu GNSS trong trường hợp này được phân tích sử dụng phần mềm Gipsy-Oasis.

Sử dụng phần mềm Gamit/Globk để phân tích chuỗi dữ liệu đo GNSS liên tục từ năm 2010 đến năm 2020, tác giả [15] đã xác định chuyển dịch cho khu vực Tây Bắc của Việt Nam. Đây là một trong những công trình đầu tiên tại Việt Nam sử dụng dữ liệu GNSS theo chuỗi thời gian (đo liên tục) để xác định chuyển dịch. Tuy nhiên, công trình này chưa ứng dụng các mô hình toán học để phân tích chuỗi kết quả chuyển dịch xác định được bằng công nghệ GNSS. Ứng dụng phương pháp tương tự như trong công trình nghiên cứu [15], tác giả [16-17] đã phân tích dữ liệu thu nhận được của một số trạm CORS thuộc mạng lưới

VNGEONET để xác định chuyển dịch vỏ Trái đất trên lãnh thổ Việt Nam. Bên cạnh đó, các tác giả cũng quan tâm đến xác định vận tốc chuyển dịch thẳng đứng cho khu vực thực nghiệm.

Bên cạnh phương pháp xử lý dữ liệu theo lưới bằng các phần mềm đã đề cập như Gamit/Globk, Gipsy-Oasis, Bernese, đã có một số công trình nghiên cứu sử dụng phương pháp định vị tuyệt đối chính xác để xác định lượng chuyển dịch của vỏ Trái đất. Tác giả [18] đã sử dụng hàm tuyến tính đơn giản để xấp xỉ chuỗi đại lượng dịch chuyển xác định được từ dữ liệu đo GNSS tại một số trạm thu tín hiệu liên tục trong giai đoạn từ năm 2016 đến năm 2018. Tác giả [19–20] đã phân tích chuỗi đại lượng chuyển dịch để tìm ra quy luật chuyển dịch theo mùa từ dữ liệu đo GNSS.

Tác giả [21] đã đánh giá độ chính xác kết quả quan trắc chuyển dịch thời gian thực sử dụng công nghệ GNSS với kết quả xác định được chuyển dịch với độ chính xác ± 3 mm về vị trí mặt bằng và ± 5 mm theo phương độ cao. Tác giả [22–23] là một trong số ít các tác giả đã có công bố sử dụng trí tuệ nhân tạo trong dự báo chuyển dịch lún tại Việt Nam. Trong nghiên cứu [22], tác giả đã ứng dụng trí tuệ nhân tạo để phân tích chuyển dịch của một số công trình cầu dây văng, trong khi tác giả [23] ứng dụng để phân tích chuyển dịch bề mặt mỏ do ảnh hưởng của quá trình khai thác.

Như vậy có thể thấy rằng, chưa có công trình nào tại Việt Nam ứng dụng trí tuệ nhân tạo phân tích chuỗi kết quả chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất xác định được bằng công nghệ GNSS để dự báo chuyển dịch. Xuất phát từ các phân tích nêu trên, nhóm tác giả đặt ra mục tiêu ứng dụng thành công mô hình mạng nơ ron nhân tạo để dự báo chuyển dịch thẳng đứng từ dữ liệu đầu vào là kết quả phân tích dữ liệu đo GNSS bằng các phần mềm chuyên dụng.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này là dữ liệu được kế thừa từ kết quả nghiên cứu của công trình [16]. Theo đó, sử dụng phần mềm Gamit/Globk để phân tích chuỗi dữ liệu GNSS thu được bởi một số trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET trong giai đoạn từ tháng 8 năm 2019 đến tháng 3 năm 2022. Đây là các trạm thu tín hiệu GNSS được xây dựng và quản lý bởi Cục Đo đạc - Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam bao gồm 2 loại là các trạm Geodetic CORS và NTRIP với các mốc được chôn tới tầng đá gốc. Kết quả của quá trình phân tích xác định được giá trị các thành phần tọa độ điểm của các ngày liên tiếp nhau trên cơ sở đó có thể xác định được chuyển dịch của điểm. Trong số các điểm đã được phân tích, nhóm nghiên cứu lựa chọn kết quả chuyển dịch của điểm CTHO (đặt tại thành phố Cần Thơ) làm dữ liệu đầu vào của nghiên cứu này. Đây là điểm có lượng chuyển dịch về độ cao khá lớn và nằm trong vùng nghiên cứu sụt lún trọng điểm tại Việt Nam. Do ảnh hưởng của hiện tượng sụt lún mà tại Cần Thơ nói riêng và Đồng bằng sông Cửu Long nói chung thường xuyên xảy ra ngập lụt do triều cường và xâm nhập mặn. Dữ liệu đầu vào của nghiên cứu này được thể hiện như trong bảng 1.

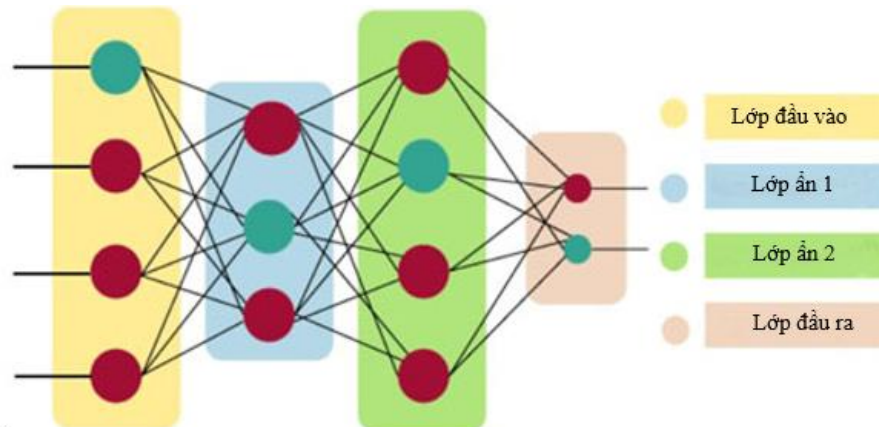
Bảng 1. Dữ liệu chuyển dịch đầu vào của điểm CTHO (Tọa độ điểm trong hệ ITRF, độ cao sử dụng là độ cao trắc địa).

Năm	Tháng	Ngày	Giờ	Phút	X (m)	Y (m)	H (m)
2019	8	20	11	59	1116180.8186	11594258.3294	3.53097
2019	8	21	11	59	1116180.8209	11594258.3314	3.53605
2019	8	22	11	59	1116180.8178	11594258.3289	3.53313
2019	8	23	11	59	1116180.8183	11594258.3301	3.53434
2019	8	24	11	59	1116180.8195	11594258.3344	3.53365
2019	8	25	11	59	1116180.8183	11594258.3318	3.53124

Năm	Tháng	Ngày	Giờ	Phút	X (m)	Y (m)	H (m)
2019	8	26	11	59	1116180.8170	11594258.3314	3.52258
2019	8	27	11	59	1116180.8198	11594258.3297	3.52514
2019	8	28	11	59	1116180.8192	11594258.3314	3.53134
2019	8	29	11	59	1116180.8180	11594258.3319	3.53964
2019	8	30	11	59	1116180.8199	11594258.3319	3.53323
2019	8	31	11	59	1116180.8185	11594258.3312	3.53309
2019	9	1	11	59	1116180.8187	11594258.3332	3.52444
2019	9	2	11	59	1116180.8192	11594258.3296	3.53421
2019	9	3	11	59	1116180.8210	11594258.3301	3.52647
2019	9	4	11	59	1116180.8129	11594258.3322	3.52494
2019	9	5	11	59	1116180.8145	11594258.3332	3.52028
2019	9	6	11	59	1116180.8168	11594258.3331	3.52521

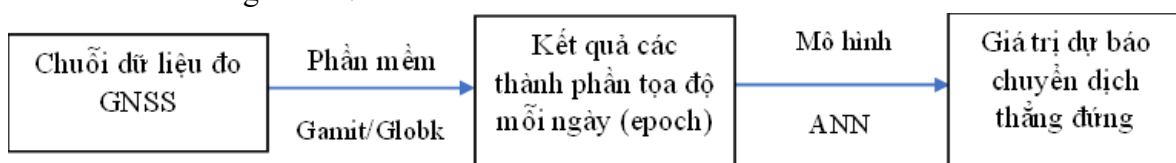
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Mạng lưới thần kinh nhân tạo (ANN) là một hệ thống tạo ra bằng cách bắt chước bộ não của con người. Trong mạng lưới thần kinh nhân tạo cũng có các nơ ron được kết nối với nhau trong các lớp khác nhau của mạng. Nguyên lý hoạt động của mạng lưới ANN được minh họa như trong hình 1.



Hình 1. Nguyên lý hoạt động của mô hình ANN.

Từ hình 1 có thể thấy, với lớp dữ liệu đầu vào đã có, trải qua các lớp ẩn là các lớp xử lý sẽ có được lớp kết quả đầu ra. Quy trình tính toán dự báo chuyển dịch thẳng đứng có thể được biểu diễn như trong hình 2.



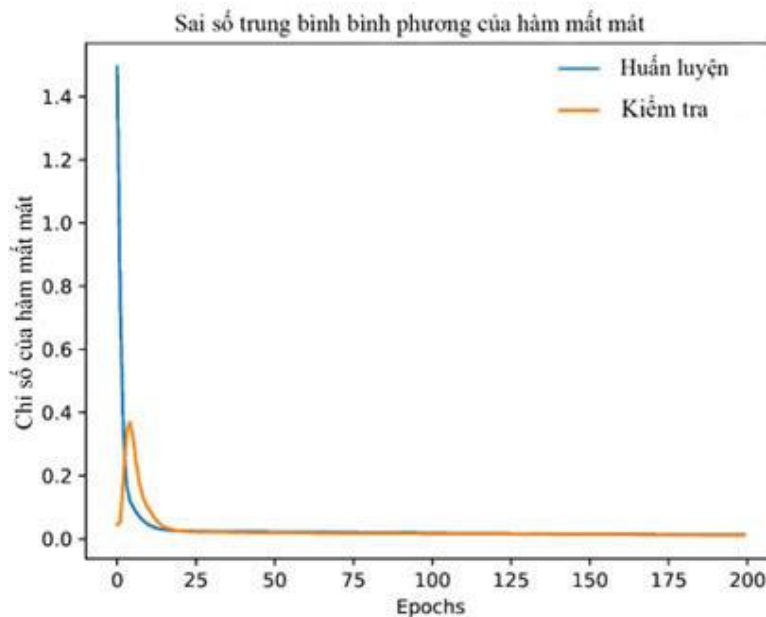
Hình 2. Quy trình dự báo chuyển dịch thẳng đứng với mô hình ANN.

Trong nghiên cứu này, dữ liệu đầu vào bao gồm các nhóm thời gian, thành phần tọa độ theo hướng Bắc, thành phần tọa độ theo hướng Đông và thành phần độ cao. Số lượng bước thời gian được lựa chọn là 10 có nghĩa là mô hình ANN sẽ học các dữ liệu mức độ chuyển dịch vỏ trái đất theo phương thẳng đứng được thu thập trong 10 ngày để dự báo cho ngày tiếp theo.

Giải thuật huấn luyện được sử dụng đó là giải thuật “Adam”, hàm mục tiêu sai số bình phương trung bình (*MSE - Mean Square Error*) được sử dụng để đánh giá hiệu suất của mô hình huấn luyện. Trong nghiên cứu này, cấu trúc mạng nơ ron chỉ gồm 1 lớp ẩn với 10 nút trong lớp với số lần tính lặp được lựa chọn là 200 lần.

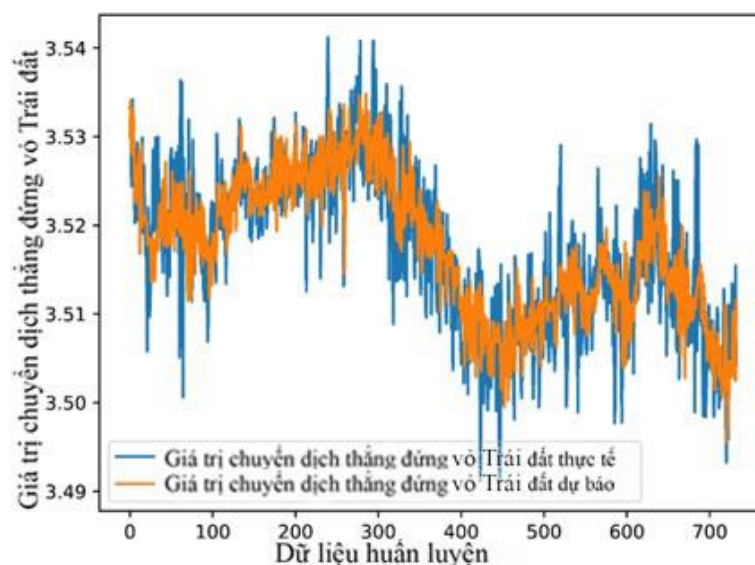
3. Kết quả và thảo luận

Để có thể sử dụng mô hình ANN dự báo chuyển dịch thẳng đứng trong trường hợp này, chia bộ dữ liệu ban đầu thành hai tập hợp là dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm tra. Bộ dữ liệu huấn luyện chiếm 80% và bộ dữ liệu kiểm tra chiếm 20% tổng dữ liệu ban đầu. Kết quả huấn luyện mô hình ANN và sai số MSE tương ứng được cho như trong hình 3.

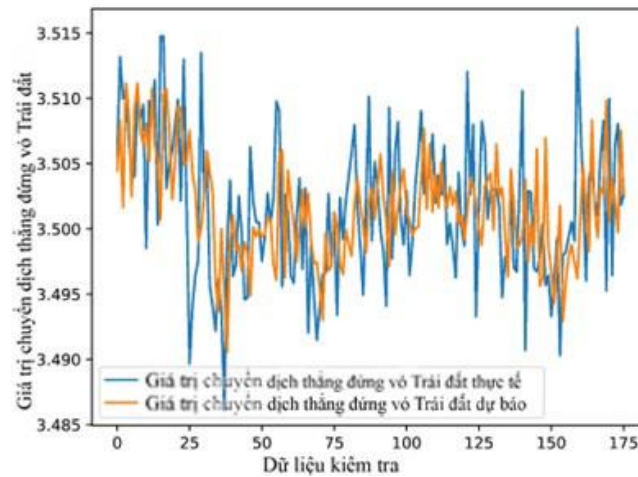


Hình 3. Kết quả huấn luyện mô hình ANN và giá trị độ chính xác sai số bình phương trung bình.

Hình 3 có thể thấy mô hình ANN đã được huấn luyện rất tốt, các đường cong hiệu suất huấn luyện và kiểm tra có mức độ phù hợp rất cao, có mức độ hội tụ cao và không xảy ra hiện tượng quá mức (*over fitting*). Kết quả dự báo chuyển dịch thẳng đứng tại điểm CTHO đối với tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra được cho tương ứng như trong hình 4 và hình 5.

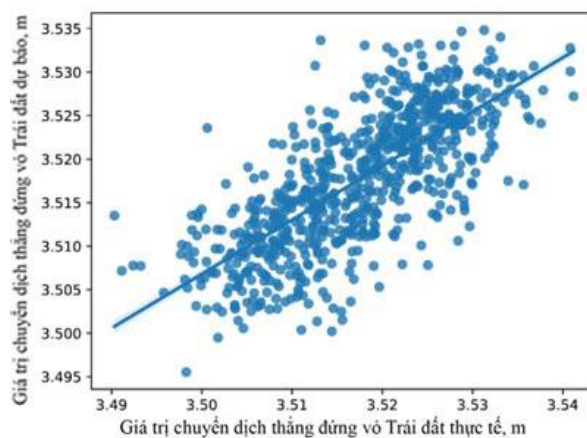


Hình 4. Kết quả dự báo chuyển dịch thẳng đứng đối với tập dữ liệu huấn luyện.

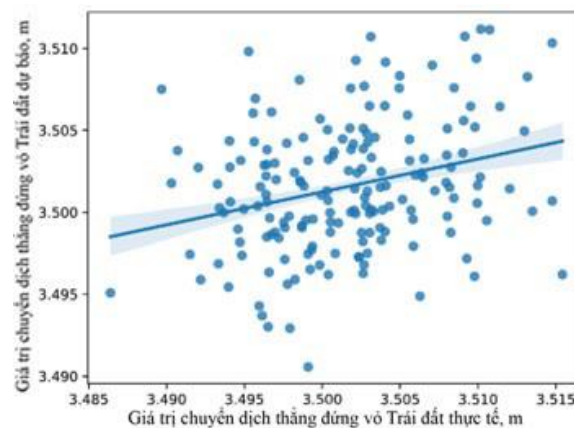


Hình 5. Kết quả dự báo chuyển dịch thẳng đứng đối với tập dữ liệu kiểm tra.

Từ kết quả dự báo chuyển dịch với tập dữ liệu kiểm tra cho thấy mô hình ANN được phát triển rất phù hợp để dự báo chuyển dịch thẳng đứng thể hiện qua độ lệch giữa giá trị dự báo và giá trị thực tế không quá lớn. Tuy nhiên, từ kết quả dự báo trong hình 4 và hình 5 có thể thấy, độ lệch giữa giá trị chuyển dịch dự báo so với giá trị chuyển dịch đã biết ở một số thời điểm có thể lên tới đơn vị cm. Độ lệch như vậy tồn tại do trong chuỗi dữ liệu chuyển dịch xác định được bằng công nghệ GNSS có thể vẫn còn nhiều chưa được ước tính và loại trừ. Để có thể đánh giá toàn diện về khả năng ứng dụng mô hình ANN trong dự báo chuyển dịch thẳng đứng, các tác giả đã tiến hành phân tích hồi quy trên cả tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra. Kết quả phân tích hồi quy được cho như trong hình 6 và hình 7.



Hình 6. Phân tích hồi quy trên tập dữ liệu huấn luyện.



Hình 7. Phân tích hồi quy trên tập dữ liệu kiểm tra.

Với kết quả phân tích hồi quy sử dụng mô hình ANN như trong hình 6 và hình 7 có thể thấy, mức độ tương quan của cả tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra là rất tốt. Từ các phân tích trên cho thấy, mô hình ANN có độ tin cậy rất cao trong dự báo chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất dựa trên chuỗi dữ liệu GNSS theo thời gian.

Các chỉ số về độ chính xác như sai số tuyệt đối trung bình (*Mean Absolute Error - MAE*), sai số bình phương trung bình (*Mean Squared Error - MSE*) và sai số trung phương (*Root Mean Squared Error - RMSE*) được xác định cho cả tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra. Các chỉ số này được xác định theo các công thức:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y - \hat{y}| \quad (1) \quad MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2 \quad (2) \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2} \quad (3)$$

Với kết quả được cho như trong bảng 2.

Bảng 2. Thống kê các đặc trưng sai số.

Mô hình	Tập dữ liệu huấn luyện			Tập dữ liệu kiểm tra		
	MAE	MSE	RMSE	MAE	MSE	RMSE
ANN	0,005	0,00040	0,006	0,005	0,00034	0,006

Từ các thống kê trong bảng 2 có thể thấy, các đặc trưng về sai số khi phân tích dữ liệu chuyển dịch thẳng đứng sử dụng mô hình ANN rất nhỏ chứng tỏ kết quả dự báo chuyển dịch thẳng đứng là chính xác và tin cậy.

Kết quả của nghiên cứu này mới chỉ ứng dụng mô hình ANN để dự báo lượng chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất mà chưa xác định được lượng chuyển dịch theo chu kỳ (ví dụ lượng chuyển dịch theo năm). Ưu điểm của phương pháp đã đề xuất đó là có thể dự báo được lượng chuyển dịch cho khoảng thời gian tương đối dài (175 ngày - tương ứng với 175 epoch như trong hình 3) có thể được sử dụng để dự báo chuyển dịch đặc biệt trong quan trắc chuyển dịch của các công trình.

4. Kết luận

Chuyển dịch thẳng đứng bề mặt đất có liên quan mật thiết đối với tai biến thiên nhiên như mực nước biển dâng, ngập lụt và xâm nhập mặn cũng như ảnh hưởng đến các công trình trong trường hợp giá trị nâng lên/ sụt lún vượt quá giới hạn cho phép, do đó nghiên cứu phương pháp để dự đoán chuyển dịch nâng lên/ sụt lún bề mặt một cách chính xác và tin cậy luôn được đặt ra.

Trong số các loại dữ liệu phục vụ xác định chuyển dịch thẳng đứng bề mặt thì dữ liệu GNSS cho kết quả xác định chuyển dịch với độ chính xác cao nhất. Bên cạnh đó, với chuỗi dữ liệu GNSS theo thời gian cho phép nâng cao độ chính xác xác định chuyển dịch cũng như quy luật chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất.

Sử dụng mô hình ANN để dự báo chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất cho độ chính xác cao thể hiện qua các chỉ tiêu sai số như trong nghiên cứu này đó là giá trị MAE là 0,005, giá trị MSE là 0,0004 và giá trị RMSE là 0,006. Tuy nhiên, độ lệch giá trị chuyển dịch thẳng đứng xác định được trong nghiên cứu này vẫn còn lớn, có thể còn tồn tại nhiều trong chuỗi giá trị chuyển dịch xác định được thông qua phân tích chuỗi dữ liệu GNSS theo thời gian. Trong thời gian tới cần tiếp tục nghiên cứu lọc bỏ nhiễu trong chuỗi dữ liệu đầu vào để nâng cao hơn nữa độ chính xác và độ tin cậy của việc dự báo chuyển dịch thẳng đứng sử dụng mô hình ANN cũng như các mô hình học máy, trí tuệ nhân tạo khác.

Nghiên cứu này mới chỉ dự báo chuyển dịch thẳng đứng thuần túy dựa vào các giá trị tọa độ theo thời gian mà chưa xét đến các yếu tố liên quan ví dụ như các yếu tố khí tượng, sự thay đổi của mực nước ngầm Trong thời gian tới, cần tiếp tục nghiên cứu phát triển mô hình

ANN đã đề xuất đề dự báo chuyển dịch thẳng đứng với nhiều loại dữ liệu đầu vào hơn. Tuy nhiên, với những kết quả đã đạt được, mô hình ANN đã được đề xuất trong bài báo này hoàn toàn có thể được áp dụng để dự báo chuyển dịch thẳng đứng vỏ Trái đất dựa trên dữ liệu GNSS-CORS tại Việt Nam; đặc biệt là đối với vùng đồng bằng sông Cửu Long và thành phố Hồ Chí Minh, những nơi mà hiện tượng sụt lún có ảnh hưởng khá nghiêm trọng đối với các yếu tố kinh tế - xã hội nơi đây.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.G.T., D.V.P., N.V.C., N.H.T., L.L.H., N.V.Q., P.N.Q.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.G.T., P.N.Q., N.V.C., L.L.H.; Xử lý số liệu: N.G.T., P.N.Q., N.V.Q., N.V.C., L.L.H.; Viết bản thảo bài báo: N.G.T., L.L.H.; Chỉnh sửa bài báo: N.G.T., D.V.P., N.H.T., L.L.H., N.V.Q., P.N.Q., N.V.C.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Teferle, F.N.; Bingley, R.M.; Williams, S.D.P.; Baker, T.F.; Dodson, A.H. Using continuous GPS and absolute gravity to separate vertical land movements and changes in sea-level at tide-gauges in the UK, *Phil. Trans. R. Soc. A* **2006**, *364*, 917–930. Doi:10.1098/rsta.2006.1746.
2. Hasanuddin, Z.A.; Heri, A.; Irwan, G.; Yoichi, F.; Yusuf, E.P.; Deguchi, T. Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Nat. Hazards* **2011**, *59*, 1753–1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>.
3. Beibei, C.; Huili, G.; Xiaojuan, L.; Kunchao, L.; Lin, Z.; Mingliang, G.; Chaofan, Z. Characterization and causes of land subsidence in Beijing, China. *Int. J. Remote Sens.* **2016**, *38*(3), 808–826. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2016.1259674>.
4. Hai-Min, L.; Shui-Long, S.; Annan, Z.; Jun, Y. Risk assessment of mega-city infrastructures related to land subsidence using improved trapezoidal FAHP. *Sci. Total Environ.* **2019**, 135310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135310>.
5. Omid, R.; Fatemeh, F.; Seyed, A.N.; Trent, B.; Milad, S.; Ravinesh, C.D.; Artemi, C.; Farnoush, M.; Dieu, T.B. Land subsidence modelling using tree-based machine learning algorithms. *Sci. Total Environ.* **2019**, 239–252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.496>.
6. Xiaojun, Q.; Tianxing, C.; Philippe, T.; Jason, L. Land subsidence with tide gauge, radar altimetry and GNSS: A case study at subsiding coast in Texas. Proceedings of the 34th International technical meeting of the satellite division of the institute of navigation, 2021, 3956–3962.
7. Siemuri, A.; Kuusniemi, H.; Elmusrati, M.S.; Välisuo, P.; Shamsuzzoha, A. Machine Learning Utilization in GNSS—Use Cases, Challenges and Future Applications. Proceeding of the 2021 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), Tampere, Finland, 2021, pp. 1–6. Doi: 10.1109/ICL-GNSS51451.2021.9452295.
8. Kiani, M. On GNSS residual position time series prediction and analysis using radial basic function networks machine learning. Second international conference on Development of Materials engineering technology, mining, and geology, 2020.
9. Duy, N.B.; Dinh, H.T.M.; Francesco, S.; Steffen, D.; Ramon, H. Measuring Land subsidence in Ha Noi city by means of Radar Interferometry technique Using TerraSAR-X and Cosmos SkyMed Data. Proceeding of the 7th FIG Regional Conference, Spatial Data Serving People: Land Governance and the Environment - Building the Capacity, 2009.

10. Dương, N.A.; Fumiaki, K.; Tô, T.Đ.; Xuyên, N.Đ.; Nguyễn, P.Đ.; Hải, V.Q.; Công, D.C. Đánh giá chuyển động hiện đại đới đứt gãy Lai Châu - Điện Biên sử dụng chuỗi số liệu đo GPS 2002 - 2010. *Tạp chí Các khoa học về trái đất* **2011**, 33(3), 690–694.
11. Khắc, Đ.V.; Kiên, N.C.; Teferle, F.N.; Bingley, R.M.; Williams, S.D.P.; Baker, T.F.; Dodson, A.H. Using continuous GPS and absolute gravity to separate vertical land movements and changes in sea-level at tide-gauges in the UK. *Phil. Trans. R. Soc. A* **2006**, 364, 917–930. Doi:10.1098/rsta.2006.1746.
12. Anh, T.V.; Cuong, T.Q.; Anh, N.Đ.; Dinh, H.T.M.; Anh, T.T.; Hung, N.N.; Linh, L.T.T. Application of PSInSAR method for determining of land subsidence in Hanoi city by Cosmo-SkyMed imagery. International Conference on GeoInformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth & Allied Sciences (GIS-IDEAS), 2016.
13. Dinh, H.T.M.; Cuong, T.Q.; Nhan, P.Q.; Trung, D.T.; Anh, N.D.; El-Moussawi, I.; Thuy L.T. Measuring Ground Subsidence in Ha Noi Through the Radar Interferometry Technique Using TerraSAR-X and Cosmos SkyMed Data. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2019**, 2(10), 3874–3884. Doi:10.1109/JSTARS.2019.2937398.
14. Luyen, B.K.; Phong, L.V.V.; Phuong, D.D.; Long, N.Q.; Hai, P.V.; Ha, T.H.; Lei, X. Recent land deformation detected by Sentinel-1A InSAR data (2016–2020) over Hanoi, Vietnam, and the relationship with groundwater level change. *GISci. Remote Sens.* **2021**, 58(2), 161–179. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1868198>.
15. Minh, L.H.; Hung, V.T.; Jyr-Ching, H.; Minh, N.L.; Bor-Shouh, H.; Horng-Yue, C.; Thang, N.C.; Thanh, N.H.; Thanh, L.T.; Mai, N.T.; Hong, P.T.T. Contemporary movement of earth's crust in the northwestern Vietnam by continuous GPS data. *VN J. Earth Sci.* **2020**, 42(4), 334–350. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/4/15282>.
16. Trọng, N.G.; Nghĩa, N.V.; Khải, P.C.; Thành, N.H.; Hà, L.L.; Dũng, V.T.; Quân, N.V.; Quang, P.N. Xác định chuyển dịch trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam dựa vào dữ liệu của các trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 739, 59–66. Doi: 10.36335/VNJHM.2022(739).59-66.
17. Trọng, N.G.; Nghĩa, N.V.; Hà, L.L.; Thành, N.H.; Dũng, V.T.; Quân, N.V.; Trong, B.H. Nghiên cứu đề xuất mô hình tính vận tốc chuyển dịch thẳng đứng được xác định bằng công nghệ GNSS. Kỷ yếu Hội nghị khoa học toàn quốc Trái đất, Mỏ, Môi trường bền vững lần thứ V, 2022, tr. 392–399. Doi: 10.15625/vap.2022.0192.
18. Lau, N.N.; Richard, C.; Hoa, H.M. Determination of tectonic velocities of some continuously operating reference stations (CORS) in Vietnam 2016 - 2018 by using precise point positioning. *VN J. Earth Sci.* **2020**, 43(1), 1–12. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/15571>.
19. Trong, T.D.; Huy, N.D.; Quang, V.N.; Long, N.Q. Crustal displacement in Vietnam using CORS data during 2018 - 2021. *Earth Sci. Res. J.* **2023**, 27(1), 27–36. <https://doi.org/10.15446/esrj.v27n1.102630>.
20. Trong, T.Đ.; Long, N.Q.; Huy, N.Đ. (2021). General geometric model of GNSS position time series for crustal deformation studies - A case study of CORS station in Vietnam. *J. Pol. Miner. Eng. Soc.* **2021**, 2(1), 183–198. <https://doi.org/10.29227/IM-2021-02-16>.
21. Khai, P.C.; Trong, T.Đ.; Hai, N.V. GNSS-CORS-Based technology for real-time monitoring of landslides on water dump - A case study at the Deo Nai south dump, Vietnam. *J. Pol. Miner. Eng. Soc.* **2020**, 1(2), 181–191. <http://doi.org/10.29227/IM-2020-02-23>.
22. Linh, N.T. Nghiên cứu giải pháp công nghệ quan trắc chuyển vị công trình cầu trong điều kiện Việt Nam. Luận án tiến sĩ Kỹ thuật trắc địa - bản đồ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2022.

23. Long, N.Q. Đánh giá khả năng ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo dự báo lún bề mặt mỏ do khai thác hầm lò. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2016**, 55, 79–88.
24. Robert, J.S. Artificial Neural Networks. McGraw-Hill New York, 1997.
25. Jacek, M.Z. Introduction to artificial neural systems. West publishing company St. Paul, 1992, 8, pp. 754.

Analysis of land vertical movement using ANN function from the results of processing GNSS time series data

**Dương Văn Phong¹, Nguyễn Gia Trọng^{1,2*}, Nguyễn Văn Chiên³, Nguyễn Hà Thanh⁴,
Lý Lam Hà⁵, Nguyễn Việt Quan⁶, Phạm Ngọc Quang^{1,2}**

¹ Faculty of Geomatics and Land administration, Hanoi University of Mining and Geology;
nguyengiatrong@humg.edu.vn; duongvanphong@humg.edu.vn;
phamngocquang@humg.edu.vn

² Geodesy and Environment research group, Hanoi University of Mining and Geology;
nguyengiatrong@humg.edu.vn

³ Phu Long Real Estate Joint Stock Company; mchoangchien@gmail.com

⁴ Vietnam Academy of Science and Technology; hathanh5984@gmail.com

⁵ Department of Economy and Infrastructure of Cam Lam district, Khanh Hoa province;
funnylams@gmail.com

⁶ Department Of Survey, Mapping and Geographic Information Vietnam;
vietquan2407@gmail.com

Abstract: Vertical displacement is the change in elevation of the land surface which is mainly caused by tectonic activities. The variation of surface's height is closely related with the natural disaster phenomena such as sea level rise, inundation or saline intrusion. There are many ways of determining the vertical displacement such as geometric elevation, using GNSS data and SAR. In this research, the authors determine the vertical displacement of CTHO station that belong to VNGEONET network through analysing the GNSS data series by using Gamit/Globk software package. To analyze the above data series, a new method for predicting the land vertical displacement using ANN (Artificial Neuron Network) model with input data is the GNSS data analysis results from Gamit/Globk. The experimental results show that the characteristics of the prediction error using the ANN model for high accuracy are expressed through the error criteria which are the MAE value of 0.005, the MSE value of 0.0004 and the RMSE value of 0.0004.

Keywords: Land vertical movement; Land subsidence; GNSS time series; AI; ANN.