

XÁC ĐỊNH CÁC VẬT THỂ BỊ CHÔN VÙI TRONG ĐẤT BẰNG RA ĐA XUYỀN ĐẤT DỰA TRÊN SỰ KẾT HỢP GIỮA PHƯƠNG PHÁP DỊCH CHUYỂN VÀ THUẬT TOÁN TỐI ƯU

Nguyễn Lê Hoài Phương^{1*}, Võ Thu Hương² và Nguyễn Văn Thuận³

¹*Trường Đại học Tây Đô*

²*Trường Đại học Cần Thơ*

³*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP. Hồ Chí Minh*

(*Email: nlhphuong@tdu.edu.vn)

Ngày nhận: 01/11/2022

Ngày phản biện: 26/02/2023

Ngày duyệt đăng: 20/4/2023

TÓM TẮT

Trong những thập niên gần đây, ra đa xuyên đất (GPR) được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như dự báo sụt lún, sạt lở, vẽ bản đồ công trình ngầm đô thị,... Việc xử lý dữ liệu GPR đã trở thành một yêu cầu cấp bách. Trong đó vị trí, kích thước và độ sâu của dị vật là các thông số quan trọng cần xác định chính xác trong bước giải đoán cuối cùng. Việc xác định các thông số của dị vật gặp không ít khó khăn vì nó phụ thuộc vào tốc độ truyền sóng điện từ trong môi trường khảo sát - là đại lượng biến thiên rất phức tạp theo mọi hướng. Trong nghiên cứu này sử dụng kết hợp chuẩn năng lượng cực đại và entropy cực tiểu trong phương pháp dịch chuyển Kirchhoff để xác định tốc độ truyền sóng điện từ trong các lớp đất đá tầng nông dựa trên quy trình tối ưu hóa phương pháp dịch chuyển khi xây dựng mô hình lý thuyết và dữ liệu thực tế để xác định tốc độ truyền sóng điện từ trong môi trường. Từ đó, ước lượng được độ sâu và kích thước của vật thể bị chôn vùi. Phương pháp được kiểm chứng độ tin cậy trên dữ liệu mô hình, sau đó áp dụng phân tích dữ liệu thực tế ở một số tuyến đo thuộc thành phố Cần Thơ.

Từ khóa: Entropy cực tiểu, năng lượng cực đại, phương pháp dịch chuyển, ra đa xuyên đất, tốc độ truyền sóng điện từ

Trích dẫn: Nguyễn Lê Hoài Phương, Võ Thu Hương và Nguyễn Văn Thuận, 2023. Xác định các vật thể bị chôn vùi trong đất bằng ra đa xuyên đất dựa trên sự kết hợp giữa phương pháp dịch chuyển và thuật toán tối ưu. Tạp chí Nghiên cứu khoa học và Phát triển kinh tế Trường Đại học Tây Đô. 17: 314-329.

*Ths. Nguyễn Lê Hoài Phương – Giảng viên Khoa Cơ bản, Trường Đại học Tây Đô

1. GIỚI THIỆU

Trong quá trình xử lý dữ liệu GPR, việc xác định chính xác vận tốc truyền sóng điện từ trong môi trường khảo sát cho phép thu được mặt cắt dịch chuyển tốt nhất, phản ánh đầy đủ nhất các thông tin cần thiết của môi trường bên dưới mặt đất cần khảo sát. Trong thực tế, việc xác định vận tốc này là vấn đề rất khó khăn vì khi vận tốc thay đổi ở các giá trị gần nhau, các mặt cắt thu được sau dịch chuyển thường có dạng khá giống nhau. Vì vậy, việc lựa chọn hình ảnh mặt cắt sau dịch chuyển khá phức tạp, cần có chuẩn tối ưu.

Ở Việt Nam, thuật toán dịch chuyển đã được sử dụng nhiều trong xử lý dữ liệu GPR trong những năm gần đây. Năm 2011, dịch chuyển Kirchhoff đã được sử dụng để xác định mô hình vận tốc truyền sóng cho GPR (Lê Văn Anh Cường, 2011). Năm 2013, dịch chuyển sai phân hữu hạn đã được áp dụng để xử lý số liệu GPR (Đặng Hoài Trung và ctv., 2013). Kết quả nghiên cứu giúp xác định được độ sâu và kích thước ống cấp nước, cáp ngầm bên dưới mặt đất, có sai số nhỏ. Năm 2014, kỹ thuật entropy cực tiểu trong xử lý ảnh được sử dụng kết hợp với dịch chuyển để xác định vận tốc truyền sóng tối ưu (Nguyễn Thành Ván và ctv., 2014), bước đầu đã giải quyết bài toán xử lý định lượng dữ liệu GPR.

Dương Quốc Chánh Tín và ctv., (2019) đã sử dụng phép biến đổi wavelet liên tục để xác định một số thuộc tính các vật thể bị chôn vùi (gồm vị trí, độ sâu và kích thước của dị vật) ở các lớp đất đá tầng nông. Tuy nhiên, các kết quả nghiên

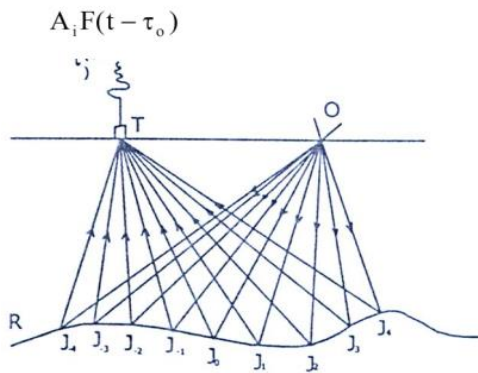
cứ chưa cho phép xác định tốc độ truyền sóng điện từ trong lòng đất.

Trong nghiên cứu này, sử dụng kết hợp chuẩn năng lượng cực đại và entropy cực tiểu trong phương pháp dịch chuyển Kirchhoff để xác định tốc độ truyền sóng điện từ trong các lớp đất đá tầng nông dựa trên quy trình tối ưu hóa phương pháp dịch chuyển khi xây dựng mô hình lý thuyết và dữ liệu thực tế. Để xác định vận tốc truyền sóng điện từ trên dữ liệu mô hình và dữ liệu đo GPR ở một số tuyến đường thuộc thành phố Cần Thơ.

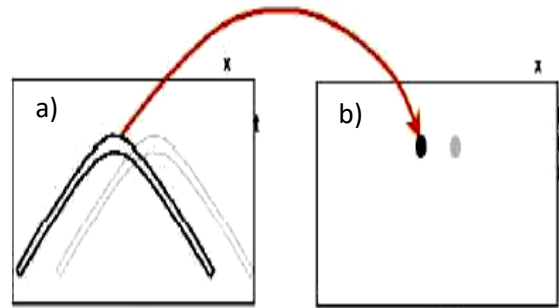
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp dịch chuyển Kirchhoff

Phương pháp này được thực hiện dựa trên nguyên lý Huygens – Fresnel và bài toán Kirchhoff (Yilmaz, 2001; Lê Văn Anh Cường và ctv., 2009; Vardy et al., 2010; Nguyễn Thành Ván và ctv., 2013). Sóng điện từ khi truyền vào môi trường nếu gặp sự khác biệt về tính chất điện từ, chúng sẽ phản xạ trở lại. Mỗi điểm trên mặt biên phản xạ được xem là một nguồn phát sóng thứ cấp, tạo ra các xung tín hiệu có dạng nửa đường tròn trong mặt phẳng $x - z$ hoặc dạng hyperbol trong mặt phẳng $x - t$ và truyền về máy thu trên mặt đất (Lê Văn Anh Cường và ctv., 2011). Các dao động sóng này sẽ tạo thành trường sóng tổng ghi được dọc tuyến quan sát như Hình 1. Trong Hình 1 sóng truyền từ O bị tán xạ ở các điểm $J_4, J_3, \dots$ gửi về điểm T. Năng lượng sóng thu được tại T là tổng năng lượng của sóng tại các điểm tán xạ $J_4, J_3, \dots$ gửi về T.



Hình 1. Sự đóng góp năng lượng của các điểm tán xạ



Hình 2. Phép biến đổi Kirchhoff cộng biên độ tán xạ

Như vậy, có thể xem các xung sóng phản xạ ghi được tại điểm x_i bất kỳ trên tuyến quan sát là tổng của các sóng do sự đóng góp từ các điểm tán xạ khác nhau nằm trên biên phản xạ gửi về điểm quan sát.

Về nguyên tắc dịch chuyển Kirchhoff là sự cộng năng lượng các tín hiệu tán xạ để làm rõ tín hiệu có ích (tăng tỷ lệ tín hiệu so với nhiễu) và đưa mặt biên phản xạ về đúng hình dạng của nó như Hình 2 (Hình 2a là mặt cắt chưa dịch chuyển, tín hiệu có dạng hyperbol, Hình 2b là mặt cắt đã dịch chuyển với vận tốc đúng, tín hiệu hội tụ phản ánh đúng hình dạng của địa vật).

2.2. Entropy cực tiểu

Trong vật lý thống kê, entropy được định nghĩa là đại lượng đo lường khả năng “hỗn loạn” của một hệ ứng với một trạng thái vĩ mô nào đó. Trong lý thuyết thông tin, entropy dùng để đo lường tin không chắc chắn (hay lượng ngẫu nhiên) của một sự kiện hay một phân phối ngẫu nhiên cho trước. Trong công nghệ gen di

truyền, entropy là độ tự do di truyền. Trong xử lý ảnh, entropy chỉ độ hỗn loạn của điểm ảnh (Xu et al., 2003; Flores et al., 2010; Zhou et al., 2011). Giá trị entropy lớn tương ứng với độ hỗn loạn cao. Giả sử rằng ảnh X nhận các giá trị rời rạc 1, 2, 3,... với xác suất tương ứng $p_1, p_2, p_3, \dots$, khi đó, entropy của ảnh X được cho bởi (Benedetto et al., 2017; Candra et al., 2013):

$$E(X) = -\sum_i p_i \log p_i \quad (1)$$

Sử dụng phương trình (1) để tính entropy sẽ xuất hiện hai vấn đề. Đầu tiên, đối với ảnh lớn sẽ tốn nhiều thời gian để tính xác suất p_i . Thứ hai, đối với những giá trị rời rạc của X, có khả năng xảy ra trường hợp $p_i = 0$ ứng với một vài giá trị i và $\log 0$ thì không xác định. Để giải quyết hai vấn đề trên, entropy của ảnh X được tính gần đúng bởi biểu thức (Xu et al., 2002):

$$E(X) = -\sum_{j=1}^N \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}^4}{\left[\sum_{i=1}^m x_{ij}^2 \right]^2} \right\} \quad (2)$$

Ta định nghĩa giá trị lớn nhất của entropy bằng 1 đối với đường ghi chỉ có một xung tín hiệu, có giá trị là N đối với tập hợp N đường ghi. Entropy càng lớn thì độ hỗn loạn (nhiều) trong ảnh càng lớn. Ngược lại, cực tiểu hóa entropy của ảnh sau khi xử lý dịch chuyển có thể tăng độ hội tụ đến mức tối ưu của nó, do đó hiệu quả xử lý dịch chuyển sẽ cao hơn khi kết hợp với kỹ thuật entropy cực tiểu.

2.3. Năng lượng cực đại

Theo Yilmaz và các cộng sự, bước dịch chuyển sẽ giúp hội tụ tín hiệu và lọc nhiễu (Yilmaz et al., 2001). Vì vậy, mặt cắt GPR sau dịch chuyển ứng với năng lượng cực đại sẽ có độ tin cậy cao nhất. Khi đó, vận tốc tính toán sẽ tiệm cận với vận tốc thực nhất. Tuy nhiên, năng lượng tín hiệu trên mặt cắt GPR còn phụ thuộc vào sự tồn tại của các loại nhiễu trong vùng khảo sát. Do đó, để nâng cao chất lượng hình ảnh và tăng độ chính xác khi tính năng lượng, cần tiến hành các bước lọc nhiễu trên mặt cắt GPR trước khi dịch chuyển. Sau khi loại nhiễu bằng các phương pháp khác nhau trong chuỗi xử lý, năng lượng tín hiệu được ghi nhận bởi hệ thức (Nguyễn Văn Thuận và ctv., 2017):

$$D(j) = \sum_{i=1}^M X^2(i, j) \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3)$$

Cách tính năng lượng như trên sẽ mất nhiều thời gian và gây ra những sai lệch trong kết quả, do vậy, cần phải lựa chọn vùng tín hiệu quan tâm Y để hạn chế

nhiều và loại bỏ những khu vực không cần thiết. Từ đây, quá trình tính toán năng lượng tín hiệu thực hiện nhanh chóng, giúp quá trình xử lý chính xác hơn. Quá trình lựa chọn vùng quan tâm được thực hiện như sau (Nguyễn Thành Ván và ctv., 2015):

Từ mặt cắt thu thập X, ta có thể chọn vùng quan tâm có chứa tín hiệu hyperbol. Từ đây, ta xác định số lượng bước mẫu vùng quan tâm, sau đó biểu diễn chúng thành mặt cắt Y. Tương tự mặt cắt X, vùng quan tâm Y ($Y \subseteq X$) được biểu diễn thành mảng hai chiều có kích thước K x Q ($K < M, Q < N$).

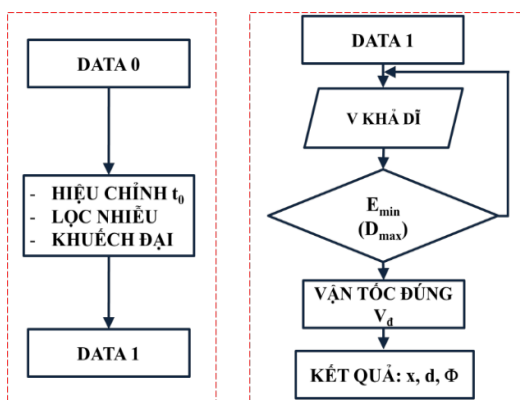
Năng lượng tín hiệu của vùng Y xác định theo hệ thức:

$$D_Y(j) = \sum_{i=1}^K Y^2(i, j) \quad j = 1, 2, 3, \dots, Q \quad (4)$$

Tương tự entropy, ứng với mỗi thông số vận tốc thì mặt cắt sau dịch chuyển sẽ có một giá trị năng lượng nhất định. Bằng phép so sánh, ta có thể xác định giá trị năng lượng cực đại và vị trí tương ứng của vật thể trên hình ảnh hiển thị. Từ đó, suy ra giá trị vận tốc dịch chuyển tương ứng.

2.4. Kết hợp dịch chuyển, entropy và năng lượng trong xử lý số liệu GPR

Bài toán tối ưu hóa phương pháp dịch chuyển Kirchhoff kết hợp với chuẩn entropy cực tiểu và năng lượng cực đại được mô tả theo lưu đồ (Hình 3).



Hình 3. Quy trình xử lý dữ liệu GPR

Trước tiên, ta xác định tín hiệu của dị vật trong mặt cắt GPR (vùng quan tâm). Để đạt được điều này, số liệu GPR phải được xử lý các bước cơ bản như hiệu chỉnh, lọc nhiễu và khuếch đại. Sau đó, dịch chuyển số liệu GPR với vận tốc v_1 , cho phép tính được giá trị entropy E_1 (năng lượng D_1) tương ứng của mặt cắt. Tiếp tục thay đổi vận tốc, dễ dàng xác định các giá trị entropy và năng lượng thứ i (E_i, D_i) tương ứng với các vận tốc v_i ($i = 1, 2, 3, \dots$).

Tiếp theo, xây dựng biểu đồ biểu diễn sự thay đổi của giá trị entropy và năng lượng theo vận tốc dịch chuyển. Nếu dịch chuyển với vận tốc đúng v_d , tín hiệu trên mặt cắt sẽ được hội tụ rõ nhất. Tại đó, giá trị entropy đạt cực tiểu, và năng lượng đạt cực đại nên các điểm ảnh không còn phân bố hỗn loạn như ban đầu. Như vậy, giá trị vận tốc dịch chuyển được xác định chính xác, thể hiện đúng tốc độ lan truyền sóng điện từ trong môi trường bên trên dị vật (tính từ mặt đất đến mặt ranh giới dị vật).

Thực hiện các bước tương tự đối với những hyperbol khác nhau, ta sẽ xác định

được sự biến thiên vận tốc theo phương ngang và phương thẳng đứng tại khu vực khảo sát.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để kiểm chứng độ tin cậy của phương pháp được đề xuất, nhiều mô hình lý thuyết khác nhau được thử nghiệm bao gồm: dị vật là các ống hình trụ cũng như hình vuông, được làm từ các vật liệu khác nhau như nhựa, kim loại, bê tông,... Các dị vật này cũng được thiết kế với nhiều kích thước khác nhau, có cấu trúc rất gần với các ống cấp, thoát nước, ống bảo vệ cáp viễn thông, cáp điện lực, hộp kỹ thuật,... trên thực tế và chúng được chôn vùi trong các môi trường không giống nhau từ đơn giản đến phức tạp. Sai số tương đối thu được từ kết quả phân tích các dữ liệu mô hình ấy là chấp nhận được và nằm trong giới hạn cho phép chứng tỏ phương pháp phân tích là đáng tin cậy. Trong khuôn khổ bài viết này, một mô hình lý thuyết điển hình được giới thiệu để minh họa cho phương pháp.

3.1. Mô hình lý thuyết

Sử dụng Anten tần số 700 MHz, môi trường không đồng nhất gồm ba phân lớp ngang:

Lớp 1: Cát khô dày 0,2 m, các thông số điện từ tương ứng là điện trở suất $\rho = 10^6 \Omega m$, hằng số điện môi tương đối $\epsilon_r = 4$, độ cảm từ tương đối $\mu_r = 1$, tốc độ truyền sóng $v_1 = 0,150$ m/ns.

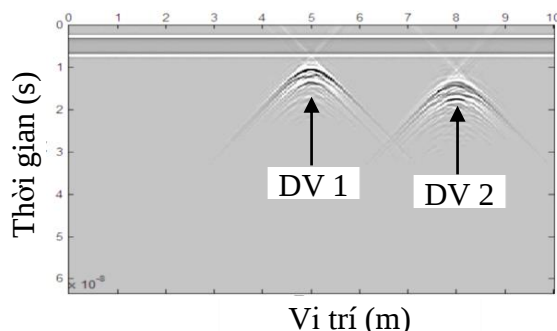
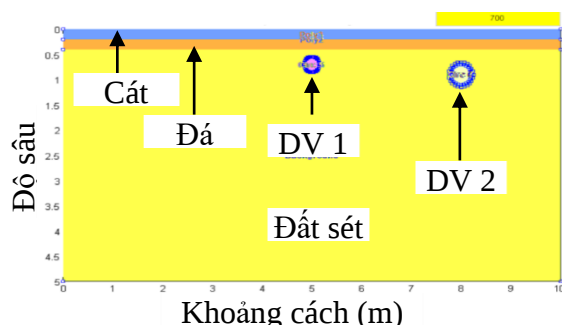
Lớp 2: Đá dăm dày 0,4 m, $\rho = 10^3 \Omega m$, $\epsilon_r = 10$, $\mu_r = 1$, $v_2 = 0,0695$ m/ns.

Lớp 3: Đất sét dày 4,4 m, $\rho = 800 \Omega m$, $\epsilon_r = 16$, $\mu_r = 1$, $v_3 = 0,074$ m/ns.

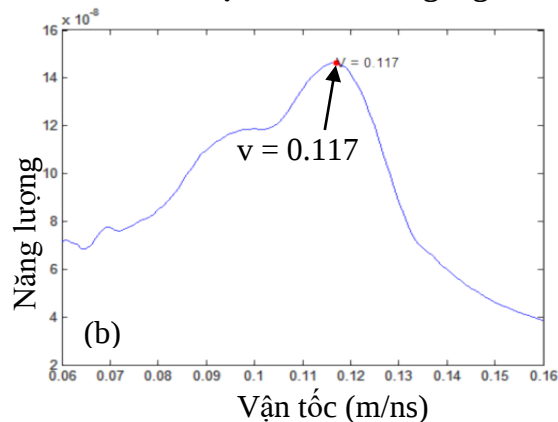
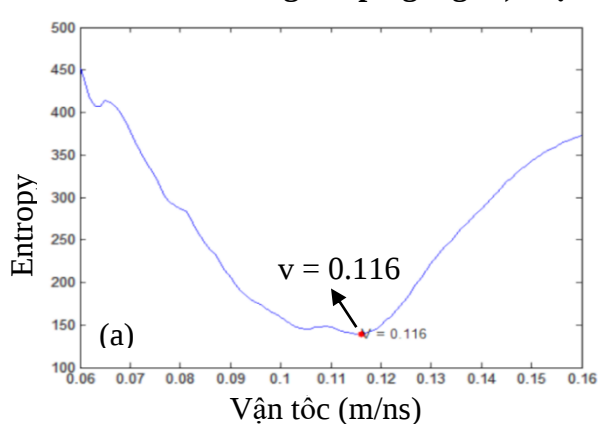
Trong môi trường có hai dị vật với các thông số tương ứng:

Dị vật 1: Là ống trụ bằng nhựa nằm ngang có: $\rho = 10^3 \Omega m$, $\epsilon_r = 3$; $\mu_r = 1$, $v' = 0,17$ m/ns, bên trong là không khí có $\rho = 10^6 \Omega m$, $\epsilon_r = 1$, $\mu_r = 1$ có tâm đặt tại vị trí $x_1 = 5,0$ m, $z_1 = 0,7$ m, đường kính trong $d_1 = 0,3$ m, đường kính ngoài $D_1 = 0,32$ m.

Dị vật 2: Là ống trụ bằng bê tông với các thông số: $\rho = 10^3 \Omega m$, $\epsilon_r = 6$, $\mu_r = 1$, $v'' = 0,122$ m/ns, bên trong là không khí có $\rho = 10^6 \Omega m$, $\epsilon_r = 1$, $\mu_r = 1$, tâm của dị vật có tọa độ ngang là $x_2 = 8,0$ m, độ sâu $z_2 = 0,9$ m, đường kính trong $d_2 = 0,4$ m, đường kính ngoài $D_2 = 0,5$ m.



Hình 4. a) Mô hình ống trụ bằng nhựa và ống trụ bê tông nằm ngang trong môi trường 3 lớp ngang; b) Mặt cắt GPR sau khi loại nhiễu nằm ngang

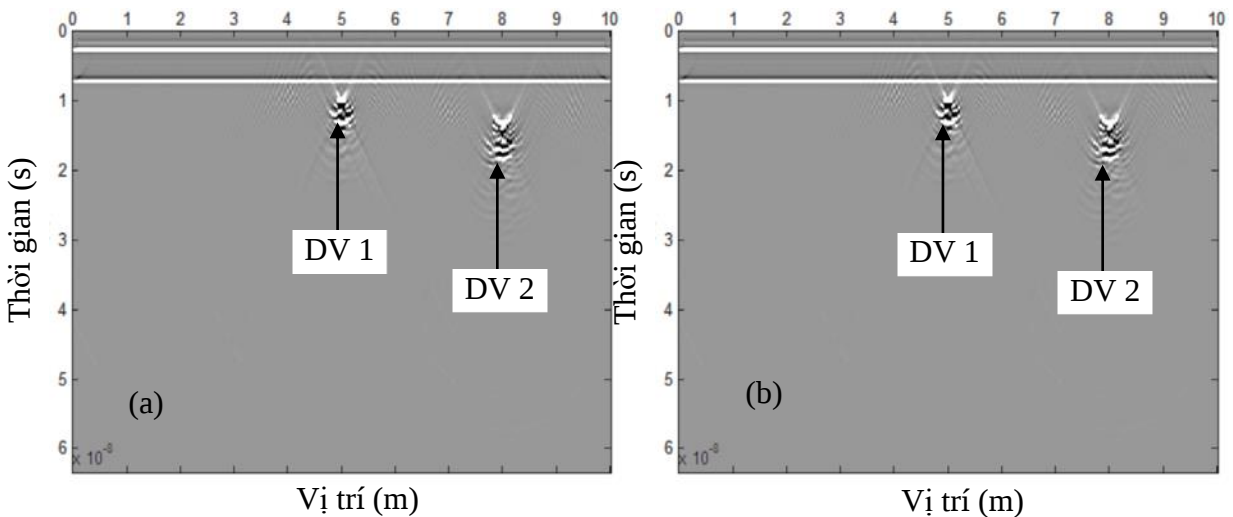


Hình 5. a) Đồ thị biểu diễn sự thay đổi giá trị entropy theo vận tốc; b) Đồ thị biểu diễn sự thay đổi giá trị năng lượng theo vận tốc

Sử dụng bộ lọc khử các tín hiệu phản xạ ngang trên mặt cắt GPR trước khi tiến hành dịch chuyển, được thể hiện như Hình 4b. Dịch chuyển với dải vận tốc từ 0,06 (thấp hơn vận tốc lớp 3) đến 0,16 m/ns (lớn hơn vận tốc lớp 1) bước nhảy 0,001 m/ns xung quanh vùng quan tâm đối với DV1. Kết quả tính entropy và năng lượng được biểu diễn như Hình 5, cho thấy vận tốc truyền sóng trung bình vào khoảng 0,116 – 0,117 m/ns độ sai lệch về vận tốc là rất nhỏ khoảng 0,001

m/ns. Nên chọn $v = 0,161$ m/ns theo entropy làm vận tốc truyền sóng điện từ.

Lần lượt dịch chuyển với giá trị vận tốc $v = 0,116$ m/ns, $v = 0,117$ m/ns, đồng thời đánh giá sự hội tụ của tín hiệu như Hình 6a và Hình 6b. Theo kết quả dịch chuyển như Hình 6a, kích thước của dị vật tính được là 0,324 m. Độ sai lệch kết quả tính toán với số liệu được thiết lập từ mô hình lý thuyết là 1,3%, kết quả này khá hợp lý.

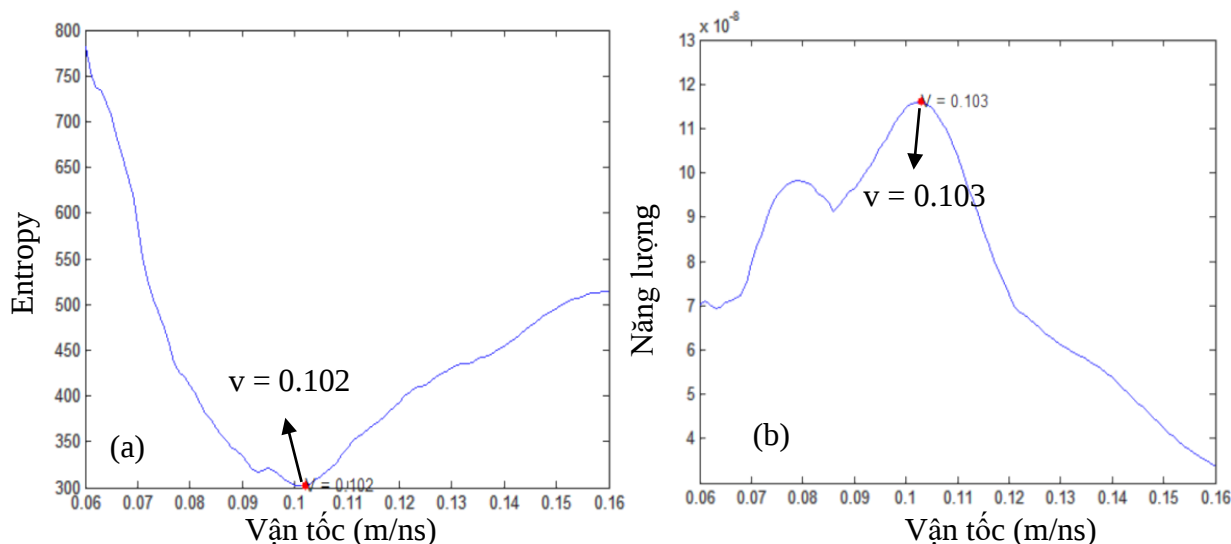


**Hình 6. a) Mặt cắt dịch chuyển với vận tốc $v = 0,116$ m/ns;
b) Mặt cắt dịch chuyển với vận tốc $v = 0,117$ m/ns**

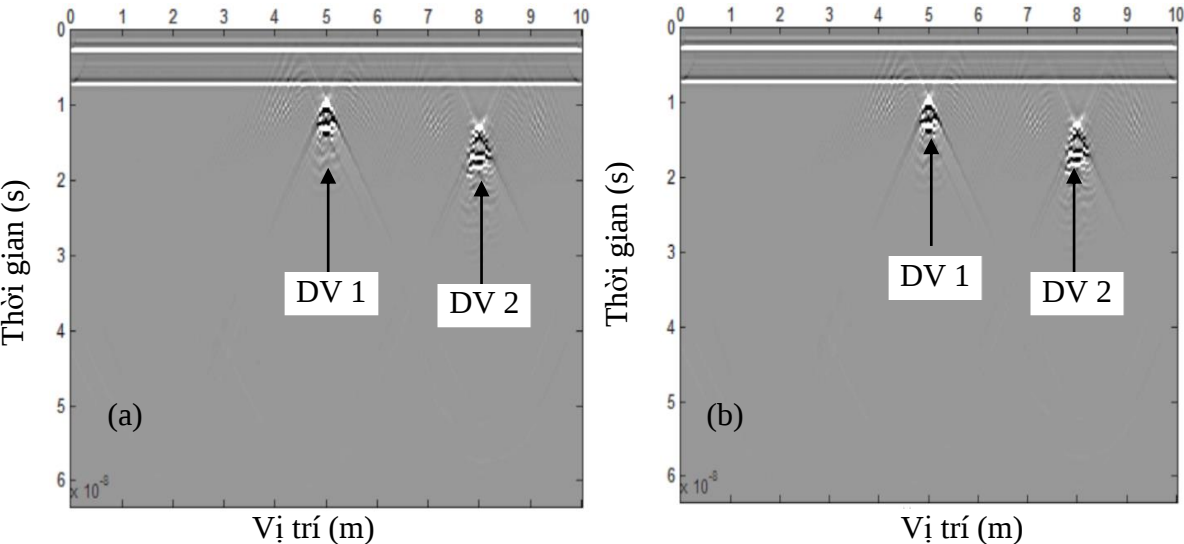
Quan sát kết quả mặt cắt ở Hình 6a và 6b, hai mặt cắt có dạng khá tương đồng chứng tỏ kết quả tính toán là chính xác.

Tương tự, dịch chuyển với dải vận tốc từ 0,06 m/ns đến 0,16 m/ns bước nhảy 0,001 m/ns khi chọn vùng quan tâm xung

quanh DV2, vận tốc truyền sóng điện từ tính được là $v = 0,102$ m/ns. Dịch chuyển số liệu với vận tốc vừa tìm được, được kết quả như Hình 7a và 7b. Với vận tốc này, có thể thu được phần dịch chuyển tốt nhất, từ đó tính được các thông số của hai dị vật như kích thước, vị trí, độ sâu.



**Hình 7. a) Đồ thị biểu diễn sự thay đổi giá trị entropy theo vận tốc;
b) Đồ thị biểu diễn sự thay đổi giá trị năng lượng theo vận tốc**



**Hình 8. a) Mặt cắt dịch chuyển với vận tốc $v = 0,102$ m/ns;
b) Mặt cắt dịch chuyển với vận tốc $v = 0,103$ m/ns**

Dịch chuyển số liệu với vận tốc vừa tìm được, thu được kết quả như Hình 8a và 8b. Với kết quả này kích thước của DV2 tính được là 0,486 m. Độ sai lệch kết quả tính toán với số liệu về kích thước cho trước từ mô hình lý thuyết là 2,8%,

kết quả này là phù hợp. Điều này thể hiện việc tối ưu hóa kỹ thuật dịch chuyển Kirchhoff kết hợp với chuẩn entropy cực tiểu và năng lượng cực đại được sử dụng mang lại hiệu quả và độ tin cậy cao.

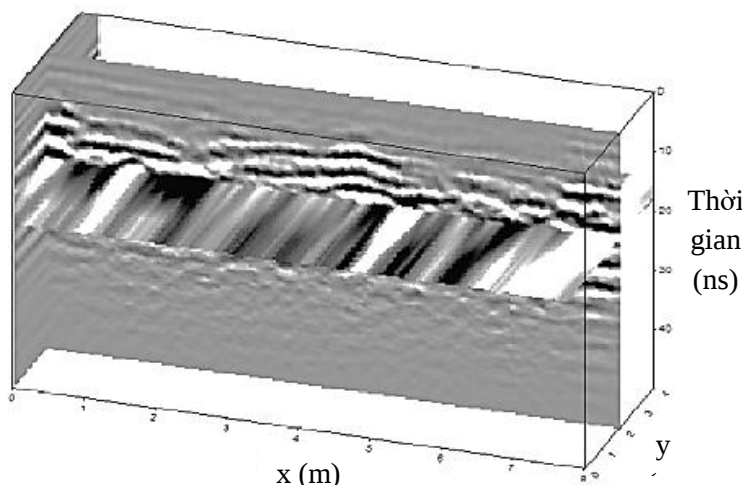
Để đánh giá tính khả dụng của phương pháp này, dữ liệu đo GPR ở một số tuyến đường thuộc thành phố Cần Thơ đã được phân tích cho kết quả khả quan. Trong bài báo này, một tuyến dữ liệu tiêu biểu được chọn để minh giải.

3.2. Dữ liệu thực tế - Ống thoát nước và ống bảo vệ cáp điện lực

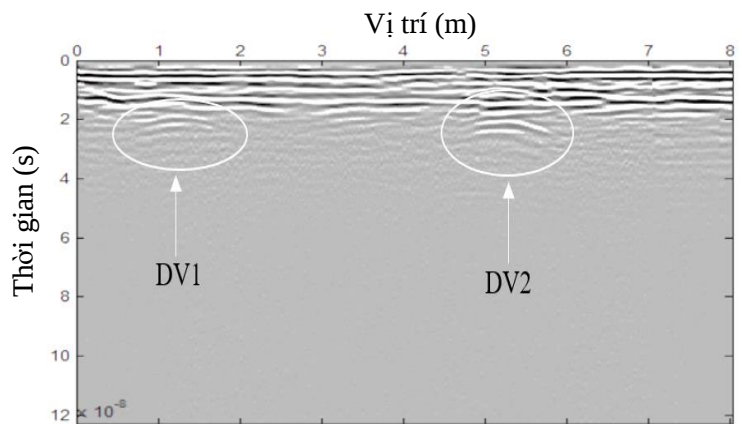
Dữ liệu GPR được thu bởi máy Duo (IDS, Italia), sử dụng anten tần số 700

MHz. Ba tuyến LZZ20015, LZZ20016, LZZ20017 song song và cách nhau 1,5 m, mỗi tuyến đo dài 8,0 m, bước đo $\Delta x = 0,02784$ m, khu vực đo đạc được thực hiện tại đường B25, khu Hưng Phú, quận Cái Răng, thành phố Cần Thơ.

Dữ liệu số ở mỗi tuyến đo là tín hiệu sóng phản xạ theo thời gian và khoảng cách nhận được bởi anten thu của máy Duo.



Hình 9. Dữ liệu GPR 3D đường B25, khu Hưng Phú, quận Cái Răng

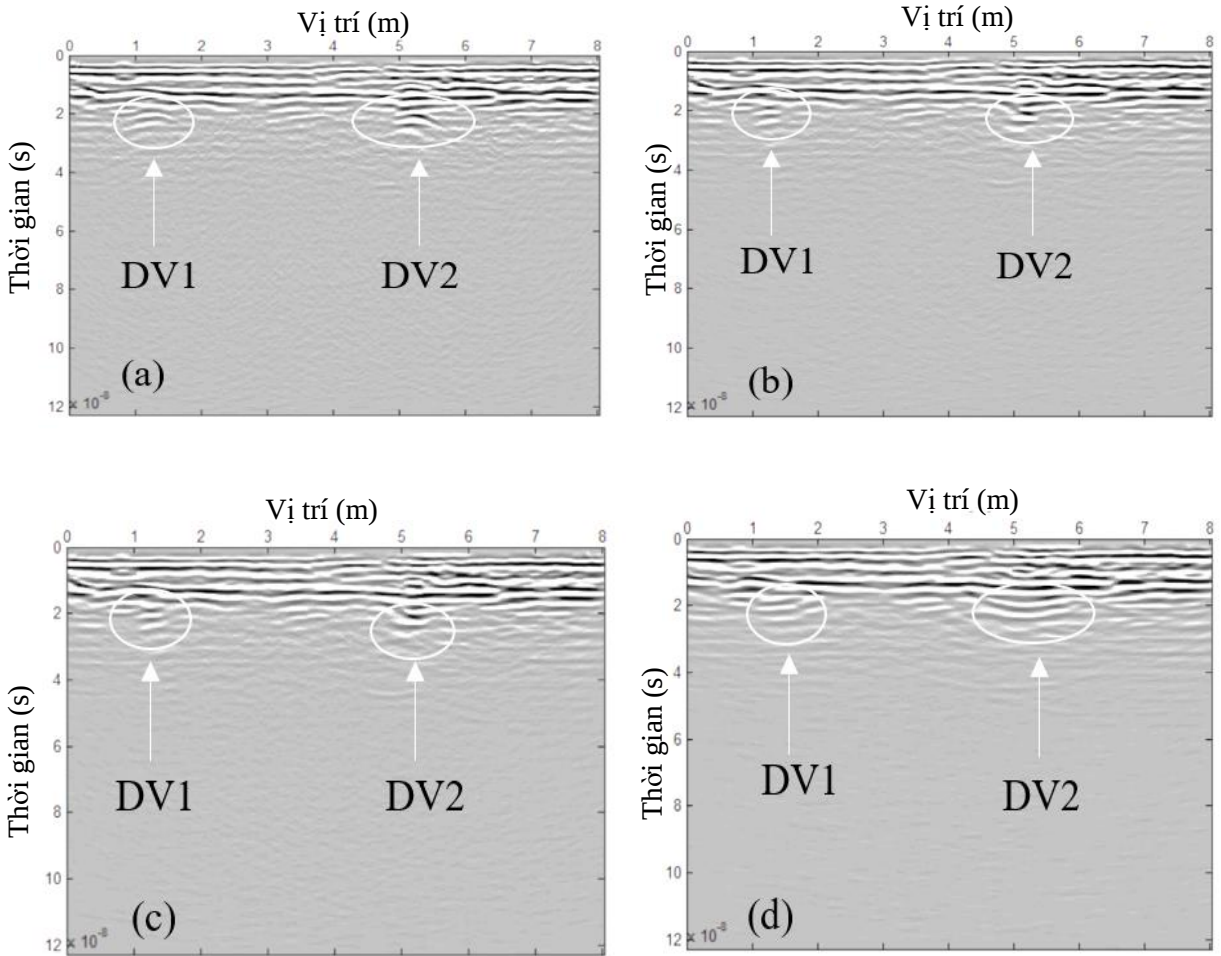


Hình 10. Mặt cắt GPR tuyến đường B25, khu Hưng Phú sau lọc nhiễu

Hình 9 thể hiện dữ liệu GPR ba chiều của tuyến đường B25. Bắt đầu phân tích với tuyến đo LZZ20015. Kết quả phân tích tuyến LZZ20015 được trình bày trên hình 10.

Quan sát mặt cắt GPR tuyến B25, Khu Hưng Phú (Hình 10), phát hiện tín hiệu

hyperbol tương ứng dị vật 1 tại vị trí $x_1 = 1,0 \text{ m}$, $t_1 = 13 \text{ ns}$, và dị vật 2 tại vị trí $x_2 = 5,3 \text{ m}$ và $t_2 = 21 \text{ ns}$. Áp dụng dịch chuyển Kirchhoff với các vận tốc $v = 0,08 \text{ m/ns}$, $0,09 \text{ m/ns}$, $0,102 \text{ m/ns}$, $0,16 \text{ m/ns}$, kết quả thu được hiển thị như Hình 11.



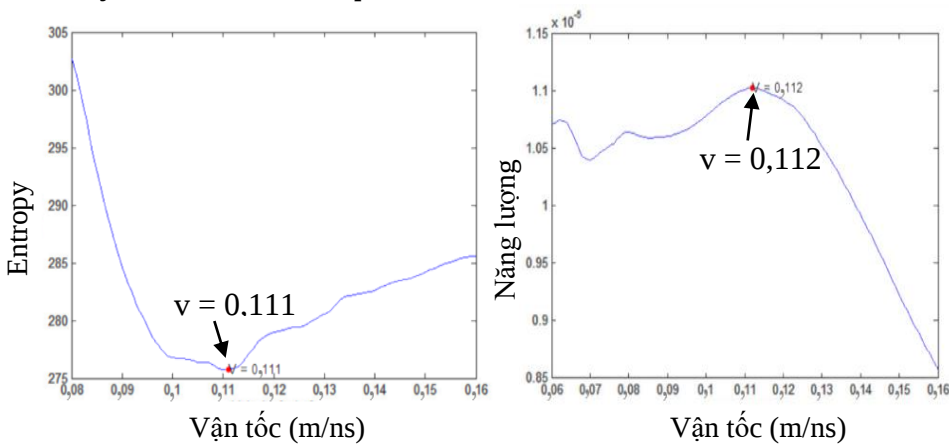
Hình 11. Mặt cắt dịch chuyển với các vận tốc khác nhau
 $v = 0,080 \text{ m/ns}$; b) $v = 0,094 \text{ m/ns}$; c) $v = 0,102 \text{ m/ns}$; d) $v = 0,16 \text{ m/ns}$

Mặt cắt dịch chuyển như Hình 11a có hyperbol dạng khum lõm (vận tốc dịch chuyển bé hơn vận tốc môi trường), ở Hình 11d xuất hiện hyperbol dạng khum lồi (vận tốc dịch chuyển lớn hơn vận tốc môi trường). Do vậy, vận tốc dịch chuyển $v = 0,08$ m/ns và $0,16$ m/ns không phải là vận tốc truyền sóng trong môi trường. Kết quả dịch chuyển như Hình 11b và Hình 11c có dạng khá giống nhau. Vì vậy, gây khó khăn khi xác định chính xác tốc độ truyền sóng trong môi trường.

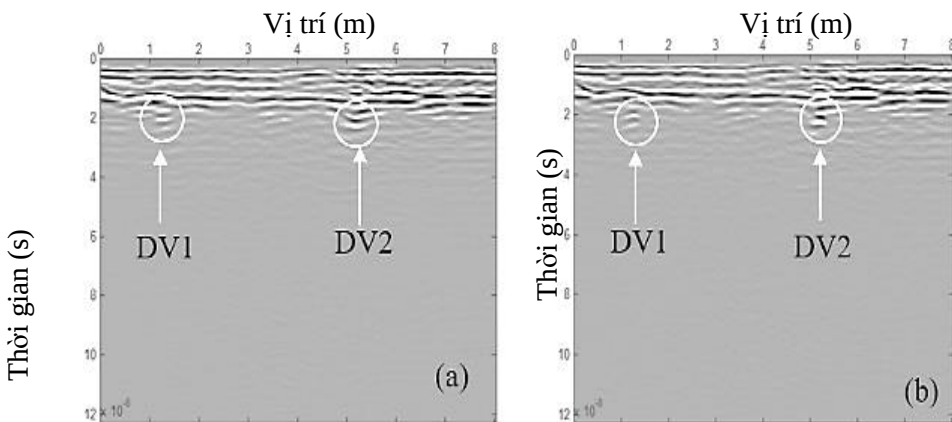
Tính toán entropy và năng lượng mặt cắt tuyến B25 (vùng quan tâm xung quanh dị vật 1) với dải vận tốc từ $0,08$ m/ns đến $0,16$ m/ns bước nhảy $0,001$ m/ns, kết quả được

hiển thị như ở Hình 12 cho phép xác định entropy đạt cực tiểu khi vận tốc truyền sóng là $v = 0,111$ m/ns, và giá trị năng lượng đạt cực đại $v = 0,112$ m/ns, hai chuẩn sử dụng ở đây cho kết quả xấp xỉ bằng nhau. Điều này cho thấy, vận tốc $v = 0,111$ m/ns chính là vận tốc truyền sóng điện từ trong môi trường đối với dị vật 1.

Quan sát mặt cắt sau dịch chuyển với vận tốc $0,111$ m/ns, tín hiệu dị vật 1 khá rõ nét và hội tụ (Hình 13a), nhưng tín hiệu ở vị trí $5,3$ m thì hyperbol dạng khum lồi (Hình 13a). Như vậy, có thể dự đoán rằng vận tốc truyền sóng từ mặt đất tới đỉnh dị vật 2 nhỏ hơn $0,111$ m/ns.



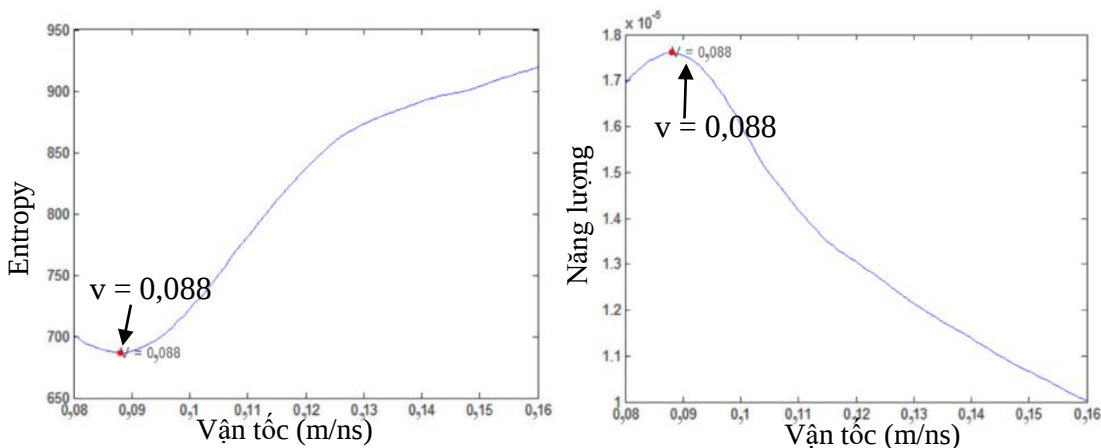
Hình 12. a) Biểu đồ entropy; b) Biểu đồ năng lượng đối với dị vật 1



Hình 13. a) Mặt cắt dịch chuyển với vận tốc $0,111$ m/ns;
b) Mặt cắt dịch chuyển với vận tốc $0,088$ m/ns

Thực hiện dịch chuyển với mảng vận tốc khả dĩ đối với dị vật 2, đồng thời xác định entropy, năng lượng tương ứng với từng mặt cắt, và xây dựng đồ thị biểu diễn sự thay đổi giá trị entropy, năng lượng theo vận tốc tính toán. Ở đây, ta chọn giá trị vận tốc thay đổi từ 0,08 m/ns đến 0,16 m/ns với bước nhảy là 0,001 m/ns. Kết quả tính toán biểu diễn mối quan hệ của chúng theo đồ thị Hình 14.

Để kiểm chứng dự đoán, thực hiện tương tự các bước trên nhưng chọn vùng quan tâm xung quanh hyperbol thứ hai để tính entropy và năng lượng. Kết quả trên Hình 14a và Hình 14b hoàn toàn tương đồng, cho thấy vận tốc truyền sóng trong môi trường bên trên dị vật 2 là 0,088 m/ns (phù hợp dự đoán ban đầu). Sau khi dịch chuyển Kirchhoff dị vật 2 đã thể hiện rõ sự hội tụ của tín hiệu tại tọa độ 5,3 m như Hình 13b, không còn ở dạng hyperbol nữa.



Hình 14. a) Biểu đồ entropy; b) Biểu đồ năng lượng đối với dị vật 2

Như vậy, sử dụng chuẩn entropy cực tiểu kết hợp năng lượng cực đại nhằm tối ưu hóa bài toán dịch chuyển đã thể hiện được sự thay đổi theo phương ngang của vận tốc trong khu vực này. Đây là kết quả khá chính xác, chứng tỏ tính đúng đắn của phương pháp nghiên cứu được đề xuất.

Tiếp theo, độ sâu và kích thước hai đường ống được tính dựa trên giá trị vận tốc vừa thu được ở trên. Kết quả tính toán được thể hiện thông qua Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả minh giải số liệu GPR

Kí hiệu	Công trình ngầm	Vị trí x (m)	Kích thước D (m)	Độ sâu z (m)
DV1	Cáp điện lực	1,04	0,167	0,83
DV2	Ống thoát nước	5,17	0,501	1,05

Theo thông tin tiên nghiệm về kích thước cáp điện lực và đường ống thoát nước ở đường B25, khu Hưng Phú, quận Cái Răng được thể hiện qua Bảng 2.

Bảng 2. Thông tin về hệ thống công trình ngầm cáp điện lực và đường ống thoát nước (được cung cấp bởi nhà thiết kế và lắp đặt)

Kí hiệu	Công trình ngầm	Vị trí x (m)	Kích thước D (m)	Độ sâu z (m)
DV1	Ống bảo vệ cáp điện lực	1,0	0,160	
DV2	Ống thoát nước	5,3	0,530	

Từ kết quả Bảng 1 và thông tin tiên nghiệm ở Bảng 2 có thể thấy rằng sự sai lệch giữa số liệu tính toán và số liệu thực tế < 10 % là chấp nhận được. Sự sai lệch đó được thể hiện qua Bảng 3.

Bảng 3. Sự sai lệch giữa số liệu tính toán và số liệu thực tế

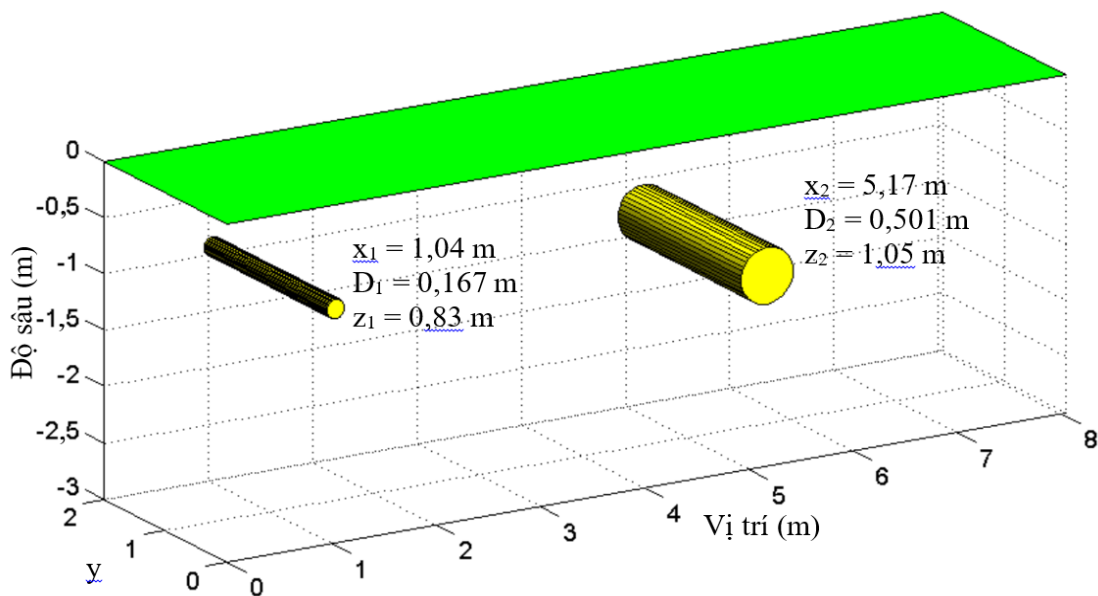
Kí hiệu	Công trình ngầm	Sai lệch vị trí x (m)	Sai lệch kích thước D (m)	Sai lệch độ sâu z (m)
DV1	Ống bảo vệ cáp điện lực	4,3 %	4,3 %	
DV2	Ống thoát nước	2,3 %	5,4 %	

Như vậy, sai lệch giữa kết quả tính toán kích thước và giá trị thực tế rất nhỏ chỉ khoảng 4,3% đối với dị vật 1 và 5,4% đối với dị vật 2.

Ngoài ra, khi khảo sát tuyến tuyến đường B25, phương pháp biến đổi wavelet liên tục cũng được áp dụng để minh giải tuyến đo LZZ20015 như Bảng 4 (Tín và ctv., 2019). Do đó, khi so sánh với kết quả phân tích của phương pháp wavelet với phương pháp tối ưu dịch chuyển Kirchhoff kết hợp chuẩn entropy cực tiểu và năng lượng cực đại trên cùng tập dữ liệu của bài báo. Kết quả từ Bảng 1 và Bảng 4 cho thấy cả hai phương pháp đều cho kết quả tương đồng.

Bảng 4. Kết quả minh giải số liệu GPR bằng phương pháp wavelet

Kí hiệu	Công trình ngầm	Vị trí x (m)	Kích thước D (m)	Độ sâu z (m)
DV1	Ống bảo vệ cáp điện lực	1,03	0,167	0,87
DV2	Ống thoát nước	5,23	0,479	1,31



Hình 15. Ảnh 3D ống bảo vệ cáp điện lực và ống thoát nước đường B25, khu Hưng Phú, quận Cái Răng

Tiếp tục phân tích các tuyến đo còn lại: LZZ20016, LZZ20017 ta cũng thu được các kết quả tương tự. Liên kết các kết quả phân tích ở ba tuyến LZZ20015, LZZ20016, LZZ20017 biểu đồ 3D do cáp điện lực và ống thoát nước trên đường B25 được xây dựng và trình bày như Hình 15.

4. KẾT LUẬN

Các tính toán trên mô hình lý thuyết và thực tế đều cho thấy chuẩn entropy cực tiểu và năng lượng cực đại có kết quả xác định tốc độ truyền sóng điện từ tương đồng nhau. Đối với vị vật khảo sát ở tuyến đường B25, Khu Hưng Phú Quận Cái Răng, Thành phố Cần Thơ. Giá trị kích thước, vị trí và độ sâu của cáp viễn thông, ống bê tông khá phù hợp với thông tin tiên nghiệm trong thực tế (sai số

4,3%-5,4%). Nếu ảnh GPR đồng nhất, nghĩa là không còn sự nhiễu loạn, thì giá trị entropy của nó đạt cực tiểu, tín hiệu sau dịch chuyển sẽ hội tụ, khi đó năng lượng đạt giá trị cực đại, qua đó có thể xác định chính xác tốc độ truyền sóng trong môi trường với độ tin cậy cao.

Như vậy, phương pháp tối ưu hóa kỹ thuật dịch chuyển Kirchhoff kết hợp với chuẩn entropy và năng lượng mang lại hiệu quả rất cao trong xử lý số liệu GPR, giúp xác định tương đối chính xác vận tốc truyền sóng trong môi trường, từ đó tính được kích thước, vị trí và độ sâu di vật với sai số nằm trong giới hạn cho phép. Ngoài ra việc xác định tốc độ truyền sóng điện từ trong lòng đất sẽ định hướng cho những nghiên cứu tiếp theo như dự báo sụt lún, sạt lở,...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Benedetto, F., Tosti, F., Alani, A.M., 2017. An Entropy-Based Analysis of GPR Data for the assessment of Railway Ballast Conditions, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 55(7), 3900 - 3908.
2. Candra, P., Huston, D. R., Xia, T., & Wang, G., 2013. 2D Entropy and Short Time Fourier Transform for Ground Penetrating Radar Data Analysis, Proceedings of Nondestructive Characterization or Composite Materials, Aerospace engineering, Civil Infrastructure, and Homeland Security, SPIE.
3. Dương Quốc Chánh Tín, Nguyễn Cao Sang, Nguyễn Lê Anh Thư, 2019. Xác định các vật thể bị chôn vùi ở các lớp đất đá tầng nông bằng ra đa xuyên đất sử dụng phép biến đổi wavelet liên tục. Báo cáo nghiệm thu đề tài cấp Trường, mã số T2018-70, Đại học Cần Thơ.
4. Đặng Hoài Trung, Đỗ Thị Thanh Hải, Nguyễn Thành Ván, 2013. Sử dụng phương pháp dịch chuyển sai phân hữu hạn để xử lý số liệu GPR, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, ISSN 1859-3097, 13(3A), 120-126.
5. Flores-Tapia D., & Pistorius S., 2010. An Entropy-Based Propagation Speed Estimation Method for Near-Field Subsurface Radar Imaging, Advances in Signal Processing.
6. Lê Văn Anh Cường, Đặng Hoài Trung, Nguyễn Thành Ván, Nguyễn Văn Giảng, Võ Minh Triết, 2009. Dịch chuyển Kirchhoff: Tác động của tham số độ rộng, Tạp chí các khoa học Trái Đất, 31(4), 307-310.
7. Lê Văn Anh Cường, Đặng Hoài Trung, Nguyễn Thành Ván, Nguyễn Văn Giảng, Võ Minh Triết, 2011. Nghiên cứu dịch chuyển Kirchhoff để xác định mô hình vận tốc trong phương pháp điện từ tần số cao, Tạp chí các Khoa học về Trái Đất, 33(2), 142-150.
8. Nguyễn Thành Ván, Nguyễn Văn Giảng, 2013. Ra đa xuyên đất: phương pháp và ứng dụng, NXB ĐHQG TP.HCM.
9. Nguyễn Văn Thuận, Lê Văn Anh Cường, Nguyễn Thành Ván, Đặng Hoài Trung, Võ Minh Triết, Võ Nguyễn Như Liễu, 2017. Energy Analysis in Semiautomatic and Automatic Velocity Estimation for Ground Penetrating Radar Data in Urban Areas: Case Study in Ho Chi Minh City, Vietnam, Advances and Applications in Geospatial Technology and Earth Resources, Springer International Publishing.
10. Nguyễn Thành Ván, Nguyễn Văn Thuận, Đặng Hoài Trung, 2014. Dịch chuyển F-K và entropy cực tiểu trong xử lý tài liệu GPR, Tạp chí Địa chất, Series A (341-345), 273-282.
11. Nguyễn Thành Ván, Nguyễn Văn Thuận, Đặng Hoài Trung, 2015. Kết hợp phương pháp dịch chuyển Kirchhoff và biểu đồ năng lượng trong xử lý tài liệu GPR, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ ĐHQG-HCM, 18(5), 42-50.

12. Vardy, M.E., & Henstock, T.J., 2010. A frequency-approximated approach to Kirchhoff migration, *Geophysics*, 75(6), 211-218.

13. Xu, X., & Miller, E.L., 2002. Entropy Optimized Contrast Stretch to Enhance Remote Sensing Imagery, *Proceedings of 16th International Conference on Pattern Recognition*, 3, 915-918.

14. Xu, X., Miller, E.L., & Rappaport, C.M., 2003. Minimum Entropy Regularization in Frequency-

Wavenumber Migration to Localize Subsurface Objects, *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 41(8), 1804-1812.

15. Yilmaz, O., 2001. *Seismic data analysis*, USA, Society of Exploration Geophysicists.

16. Zhou, H., Wan, X., Li, W., & Jiang, Y., 2011. Combining F-K filter with minimum entropy Stolt migration algorithm for subsurface object imaging and background permittivity estimation, *Procedia Engineering*, 23(5), 636-641.

IDENTIFICATION OF BURIED OBJECTS USING GROUND PENETRATING RADAR BASED ON A COMBINATION OF MIGRATION METHOD AND OPTIMAL ALGORITHM

Nguyen Le Hoai Phuong^{1*}, Vo Thu Huong² and Nguyen Van Thuan³

¹Tay Do University

²Can Tho University

³Ho Chi Minh University of Science

(*Email: nlhphuong@tdu.edu.vn)

ABSTRACT

In recent decades, Ground Penetrating Radar (GPR) has been widely used in many fields such as forecasting landslides and subsidence, mapping urban underground works and some others. Therefore, the method for GPR processing has been increasingly developed. Processing GPR data takes a lot of time because it has gone through many stages. In this process, important parameters including depth, position, and size of the buried objects need to be determined. It is difficult to determine the parameters of the buried objects since it depends on electromagnetic wave propagation velocity in the material environment, and the manner in which this velocity varies is very complex in all different directions. In this paper, the Kirchhoff migration method is optimized by the minimum entropy and the maximum energy standards, making it possible to determine the electromagnetic wave velocity in the material. Then the depth and size of the buried object are also estimated. The proposed accuracy of this method is tested on the modeling data, and then applied for analyzing the GPR data in some places of Can Tho city.

Keywords: *Electromagnetic wave velocity, ground penetrating radar, maximum energy, minimum entropy, migration method*