

NGHIÊN CỨU DỊCH CHUYỂN KIRCHHOFF ĐỂ XÁC ĐỊNH MÔ HÌNH VẬN TỐC TRONG PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TỬ TẦN SỐ CAO

LÊ VĂN ANH CƯỜNG¹, NGUYỄN THÀNH VẤN¹,
NGUYỄN VĂN GIẢNG², ĐẶNG HOÀI TRUNG¹, VÕ MINH TRIẾT¹

E-mail: cuongtunhien@gmail.com

¹ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Tp. HCM

² Viện Vật lý Địa cầu - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài: 31-3-2011

1. Mở đầu

Phương pháp Radar xuyên đất với khả năng cho những lát cắt địa chất chính xác và độ phân giải cao. Sóng Radar là sóng điện từ có các đặc tính khúc xạ, phản xạ và tán xạ, do đó, có những nguyên lý xử lý đối với đối tượng sóng địa chấn có thể áp dụng cho trường hợp Radar xuyên đất. Dựa vào sự tương thích của số liệu đo đạc Radar khoảng cách đều với số liệu địa chấn sau cộng, đã áp dụng phép dịch chuyển này để xử lý các số liệu điện từ trên mô hình và thực tế ở thành phố Hồ Chí Minh. Từ đó, đánh giá hiệu quả của phép dịch chuyển Kirchhoff trong xử lý số liệu điện từ để xây dựng và lựa chọn mô hình vận tốc địa chất.

2. Tổng quan về phương pháp Radar xuyên đất

Phương pháp Radar xuyên đất (GPR) dựa trên cơ sở lý thuyết của sóng điện từ ở dải tần số rất cao từ 1 đến 2000 MHz phát sóng dưới dạng xung xuống đất và thu lại các tín hiệu phản xạ của sóng khi lan truyền qua ranh giới vận tốc của các cấu tạo khác nhau bằng thiết bị thu đặt trên mặt đất. Trong môi trường đồng nhất và đẳng hướng, sóng Radar tuân theo hệ phương trình Maxwell và có các dạng phương trình sóng (hay phương trình Helmholtz) dạng phức:

$$\nabla^2 \hat{E} = j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)\hat{E};$$

$$\nabla^2 \hat{H} = j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)\hat{H}.$$

đặt: $\gamma^2 = \alpha + j\beta = j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon),$

Nghiệm của hệ phương trình trên đối với sóng phẳng đơn sắc theo chiều thuận, trong miền thời gian:

$$\begin{aligned} E_x(z, t) &= E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z); \\ H_y(z, t) &= H_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) \end{aligned} \quad (1)$$

Từ đó ta tính được:

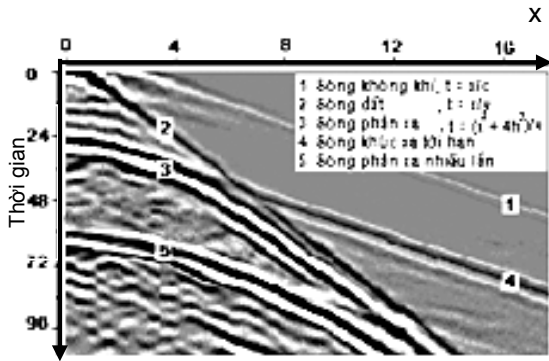
$$\begin{aligned} \alpha &= \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1 \right)}; \\ \beta &= \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1 \right)}, \end{aligned}$$

Với: σ : độ dẫn điện (mS/m); ω : tần số góc (rad/s); ϵ : độ điện thẩm (F/m); μ : độ từ thẩm (H/m); α : hằng số tắt dần (dB/m); β : hằng số pha; γ : hằng số truyền sóng; Vận tốc truyền sóng điện từ:

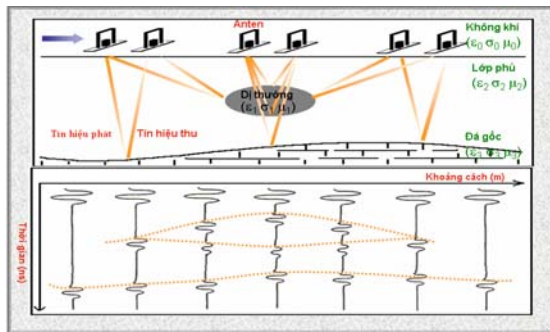
$$v = \frac{\omega}{\beta} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

Tính vận tốc truyền sóng bằng phương trình (2) có thể dẫn đến sai số lớn do môi trường địa chất là môi trường bất đồng nhất không đẳng hướng. Để khắc phục điều này, ngoài thực địa, người ta có thể tính vận tốc bằng các cách sau: sử dụng vật thể đã biết độ sâu phân bố, sử dụng hai lần vận tốc truyền sóng hoặc giải đồ CMP (hình 1).

Ở đây, chúng tôi nghiên cứu có thể dùng phương pháp dịch chuyển địa chấn Kirchhoff để xác định vận tốc đối với dạng số liệu khoảng cách chung trong phương pháp Radar xuyên đất (hình 2).



Hình 1. Giải đồ CMP thể hiện các loại sóng thu được từ một nguồn phát

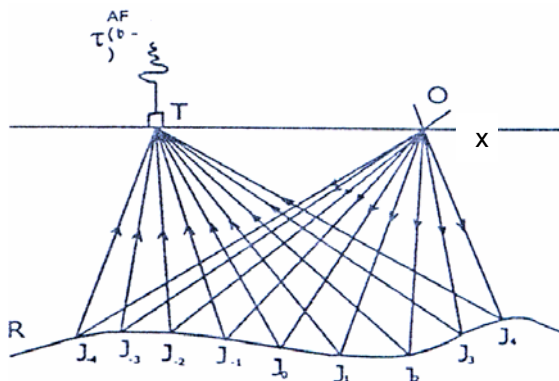


Hình 2. Sơ đồ nguyên lý đo khoảng cách đều và giải đồ tín hiệu thu được

3. Phương pháp dịch chuyển Kirchhoff

Phương pháp này tiến hành dựa vào nguyên lý Huyghen-Fresnel và bài toán Kirchhoff. Các ranh giới phản xạ được xem như tập hợp các điểm tán xạ, khi sóng tới kích động vào, chúng trở thành các trung tâm phát sóng cầu thứ cấp, phát ra các dao động tán xạ truyền về các điểm khác nhau dọc theo tuyến quan sát x [1-3].

Các dao động sóng của các điểm tán xạ khác nhau (nằm trong lát cắt địa chất) khi truyền đến mặt đất, chúng giao thoa với nhau và tạo thành trường sóng tổng ghi được dọc tuyến quan sát dưới dạng các sóng phản xạ (hình 3).

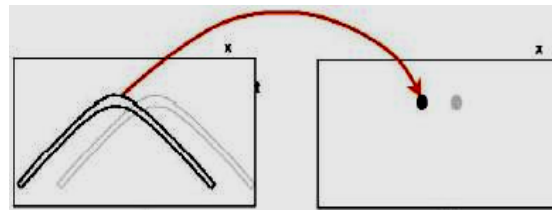


Hình 3. Sự tích lũy biên độ của các điểm tán xạ

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 phần tích lũy do các điểm tán xạ khác nhau nằm trên ranh giới phản xạ sóng truyền đến điểm quan sát.

Bản chất phương pháp dịch chuyển Kirchhoff

là tiến hành cộng các năng lượng tán xạ nằm trên đường hyperbol ở các mạch đo và đặt biên độ tổng đó vào đỉnh các hyperbol đó và tạo thành lát cắt dịch chuyển (hình 4).



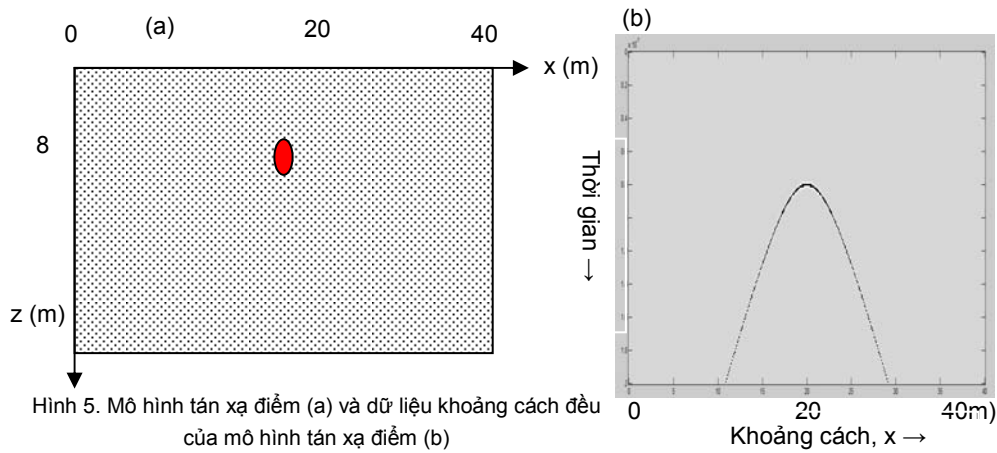
Hình 4. Sơ đồ nguyên lý phép biến đổi Kirchhoff cộng biên độ tán xạ

4. Nghiên cứu và áp dụng

4.1. Mô hình tán xạ điểm

Mô hình có vận tốc $v_{RMS} = 0,1m/ns$ (xem v_{RMS} là vận tốc của môi trường) với một điểm dị thường tại tọa độ $x = 20m$ $z = 8m$ (hình 5a). Sau khi giải bài toán thuận với số liệu mô hình tán xạ điểm, ta có dữ liệu trên hình 5, tín hiệu về điểm dị thường là một hyperbol có đỉnh tại thời gian $8,10^{-8}s$ và khoảng cách 20m (hình 5b).

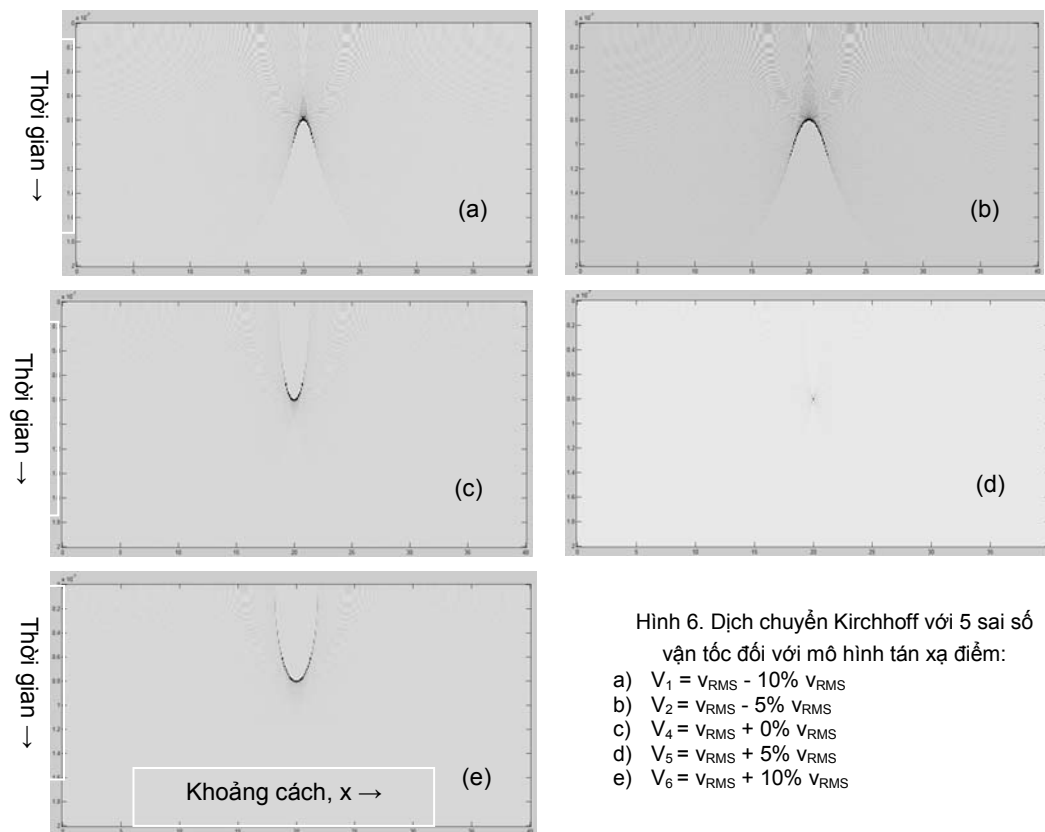
Sử dụng phần mềm tính toán dịch chuyển Kirchhoff trên ngôn ngữ Matlab, ta thay đổi vận tốc dao động quanh giá trị tối ưu: bé hơn 10%, bé hơn 5%, 0% (đúng vận tốc tối ưu), lớn hơn 5%, lớn hơn 10%. Trong phép dịch chuyển này ta cùng chọn tham số khoảng cách $L = 20m$ (vì khoảng máy đo thu nhận được năng lượng tán xạ là 20m); hình 6 biểu diễn các kết quả của 5 trường sóng dịch chuyển tương ứng với 5 giá trị vận tốc khác nhau cho phép rút ra các nhận xét:



Hình 5. Mô hình tán xạ điểm (a) và dữ liệu khoảng cách đều của mô hình tán xạ điểm (b)

Khi vận tốc bé hơn vận tốc v_{RMS} tối ưu thì xuất hiện đường cong dạng hyperbol có đỉnh hướng xuống dưới, và đường cong này càng giảm kích thước thiết diện ngang khi v_{RMS} tiến sát về vận tốc tối ưu (hình 6a, 6b), và hội tụ tại một điểm như

hình 6c. Trong trường hợp vận tốc lớn hơn vận tốc v_{RMS} tối ưu thì xuất hiện đường cong có đỉnh hướng lên trên, và đường cong này tăng kích thước thiết diện ngang khi v_{RMS} càng lớn hơn vận tốc tối ưu (hình 6d, 6e).



Hình 6. Dịch chuyển Kirchhoff với 5 sai số vận tốc đối với mô hình tán xạ điểm:

- a) $V_1 = v_{RMS} - 10\% v_{RMS}$
- b) $V_2 = v_{RMS} - 5\% v_{RMS}$
- c) $V_4 = v_{RMS} + 0\% v_{RMS}$
- d) $V_5 = v_{RMS} + 5\% v_{RMS}$
- e) $V_6 = v_{RMS} + 10\% v_{RMS}$

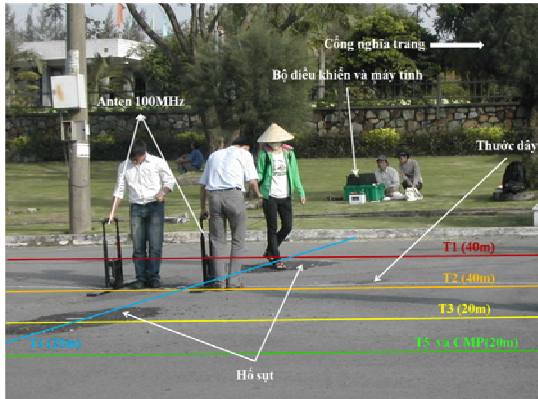
Do đó, ta có thể dựa vào đường cong lên hay cong xuống cùng với sự hội tụ năng lượng của tín

hiệu sóng khi chọn dải vận tốc dịch chuyển để tìm ra vận tốc chính xác của môi trường.

4.2. Kết quả áp dụng cho số liệu thực tế

4.2.1. Tại nghĩa trang liệt sĩ Tp. Hồ Chí Minh

Việc triển khai đo Radar xuyên đất tại nghĩa trang liệt sĩ Tp. HCM được thể hiện trên hình 7.



Hình 7. Hình ảnh đo Radar xuyên đất ở nghĩa trang liệt sĩ Tp. HCM

Trên mặt cắt GPR T2, thể hiện rất rõ hyperbol tại vị trí khoảng 22 mét (hình 8) gồm 2 hyperbol trên và dưới. Thông tin từ người quản lý ở đây cho biết vị trí của các hyperbol là nơi có hố sụt đã xuất hiện trước đây, nhưng đã được lấp lại. Như vậy, dị thường phát hiện được theo kết quả khảo sát bằng phương pháp Radar xuyên đất hoàn toàn trùng khớp với các thông tin tiên nghiệm.

Còn tín hiệu một hyperbol thiết diện lớn có

đỉnh tại $t = 0,6 \cdot 10^{-7}$ (s) và $x = 16$ m lại cho kết quả tính toán vận tốc dịch chuyển $c = 3,10^8$ (m/s). Xem xét điều kiện thực địa và máy đo Radar không màn chắn, cho phép nhận định rằng nhiễu này là do cột điện cạnh đó gây ra.

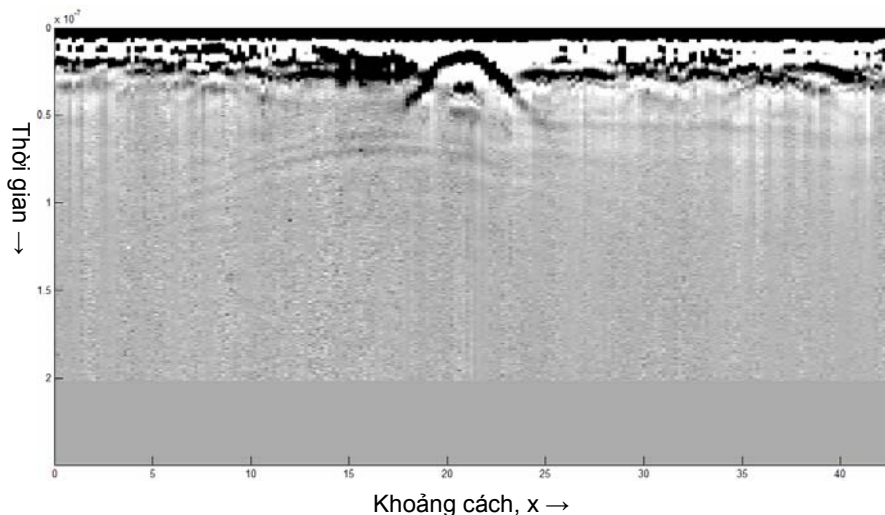
Như vậy điều cần quan tâm là vùng không gian hai hyperbol. Áp dụng phần mềm tính toán dịch chuyển Kirchhoff trên ngôn ngữ Matlab, thay đổi vận tốc dao động quanh giá trị tối ưu được chọn $v_{RMS} = 0,11$ m/ns (giá trị vận tốc đã được xác định bằng hệ thống Pulse Ekko 100, theo kiểu đo CMP); bé hơn 20%; 0% (đúng vận tốc tối ưu); lớn hơn 20% với cùng tham số khoảng cách $L = 20$ m, cho kết quả trên hình 9, 10, 11.

Khi mô hình tốc độ thấp (-20%) so với mô hình vận tốc tối ưu xuất hiện đường cong có đỉnh hướng xuống dưới. Hyperbol vẫn chưa thu gọn lại (hình 9).

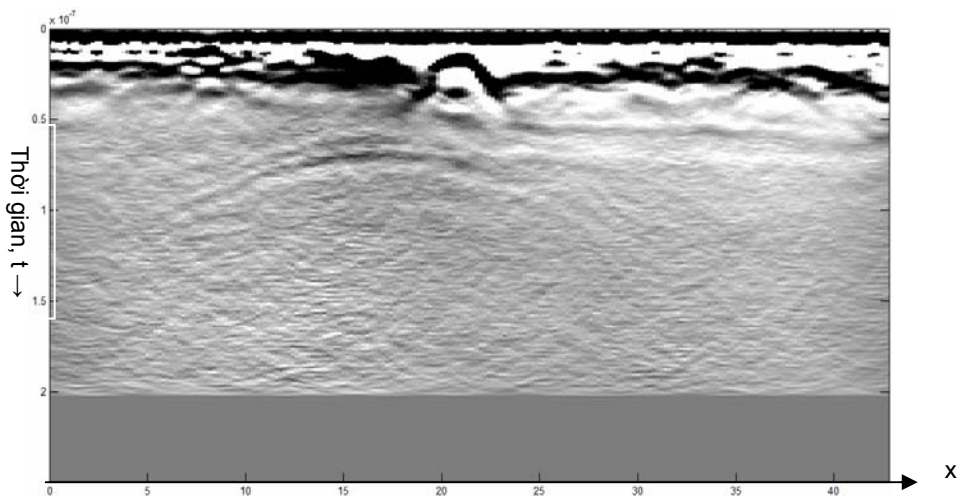
Khi vận tốc dịch chuyển bằng vận tốc tối ưu lựa chọn thì đối tượng rõ nét và tập trung hơn (hình 10).

Khi mô hình tốc độ càng lớn (+20%) so với vận tốc tối ưu lựa chọn thì kết quả dịch chuyển có hiện tượng tín hiệu ở phần sâu bị nhòe trên toàn tuyến. Tín hiệu về đối tượng vẫn khá rõ nét (hình 11).

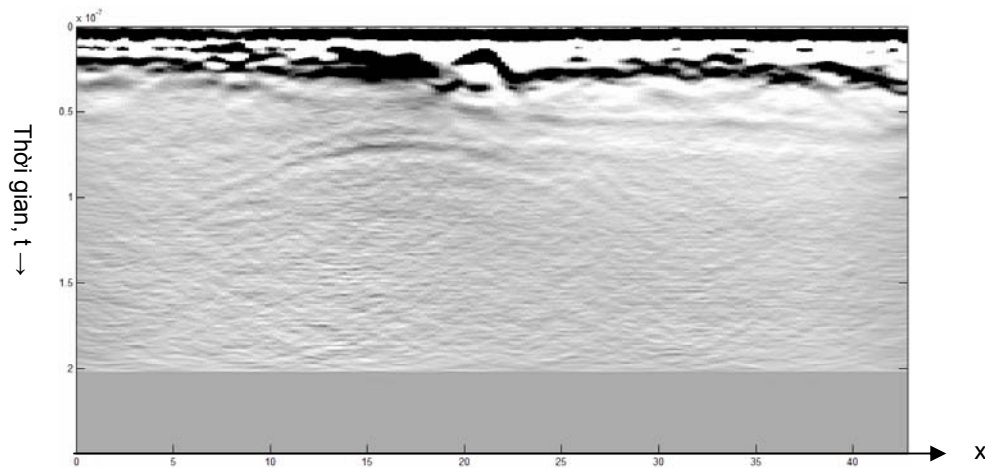
Vận tốc tối ưu v_{RMS} được tính gần đúng so với vận tốc $v = 0,1084$ m/ns trong lát cắt CMP [4]. Do đó kết quả dịch chuyển $v_{RMS} = 0,11$ (m/ns) này là đáng tin cậy.



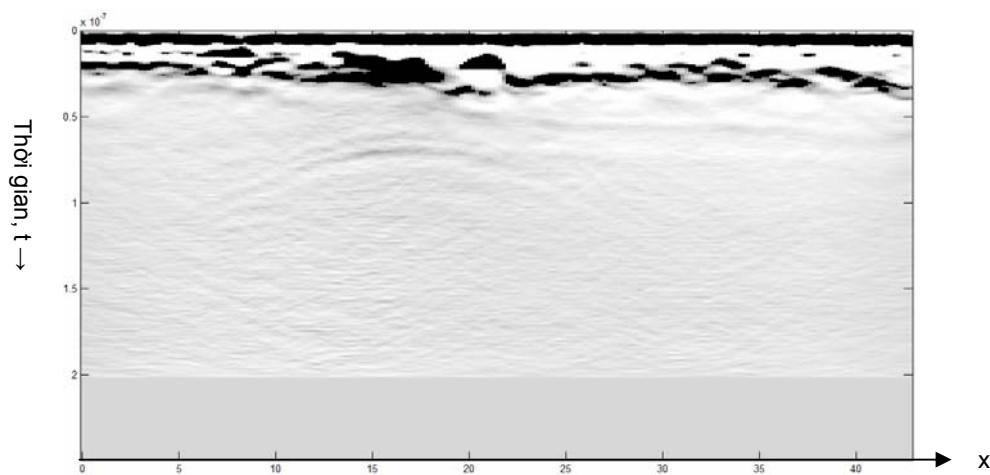
Hình 8. Mặt cắt kết quả đo tuyến GPR T2



Hình 9. Dịch chuyển Kirchhoff tuyến đo GPR T2 với $V_1 = V_{RMS} - 20\% V_{RMS}$



Hình 10. Dịch chuyển Kirchhoff tuyến đo GPR T2 với $V_2 = V_{RMS} + 0\% V_{RMS}$

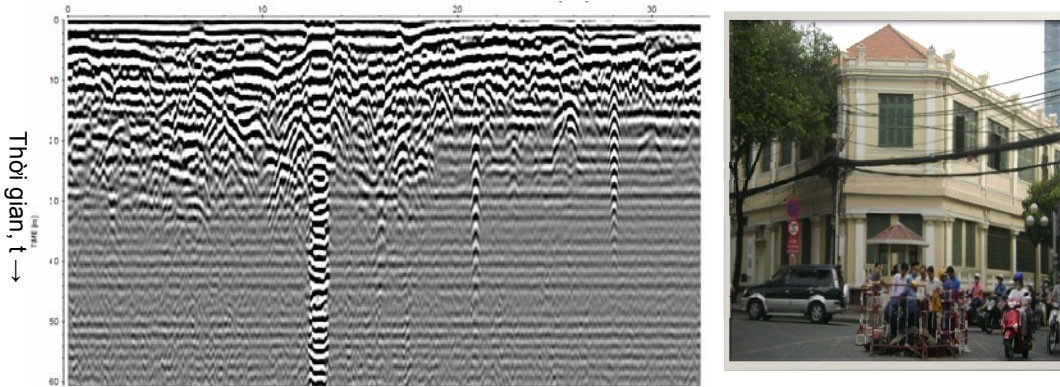


Hình 11. Dịch chuyển Kirchhoff tuyến đo GPR T2 với $V_3 = V_{RMS} + 20\% V_{RMS}$

4.2.2. Khu vực UBND Tp. HCM (giao lộ Lê Thánh Tôn - Pasteur, quận 1)

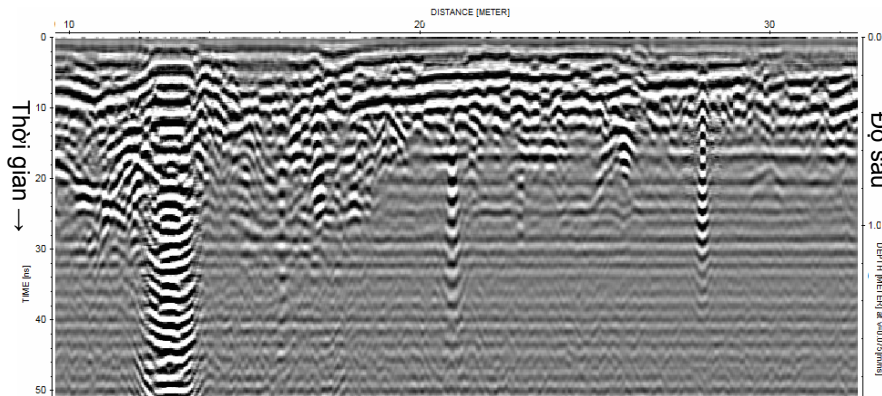
Từ mặt cắt GPR, ta thấy sự xuất hiện rất rõ nhiều hyperbol tại vị trí khoảng 28m trên tuyến

khảo sát ở Ủy ban Nhân dân, Tp. HCM (hình 12). Do đó ta sẽ quan tâm đến vị trí này để xác định vận tốc đối với những khoảng thời gian xác định thể hiện đỉnh hyperbol.

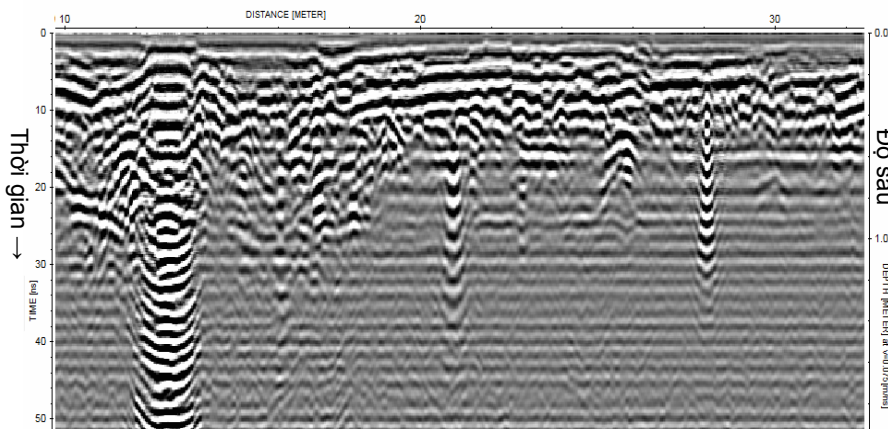


Hình 12. Mặt cắt kết quả đo Radar

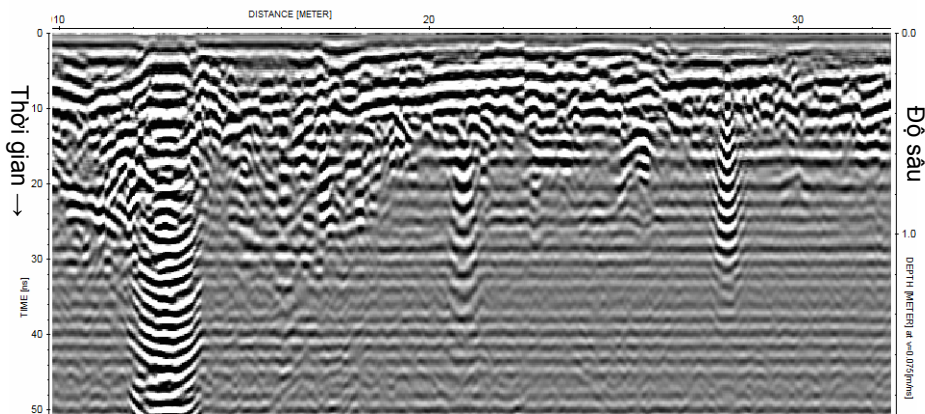
Từ số liệu hình 12, ta áp dụng phép dịch chuyển 0,08m/ns; 0,09m/ns; 0,10m/ns; 0,11m/ns. Kết quả lần lượt với các vận tốc $v=0,06\text{m/ns}$; $0,07\text{m/ns}$; nhận được thể hiện trên các hình 13-18.



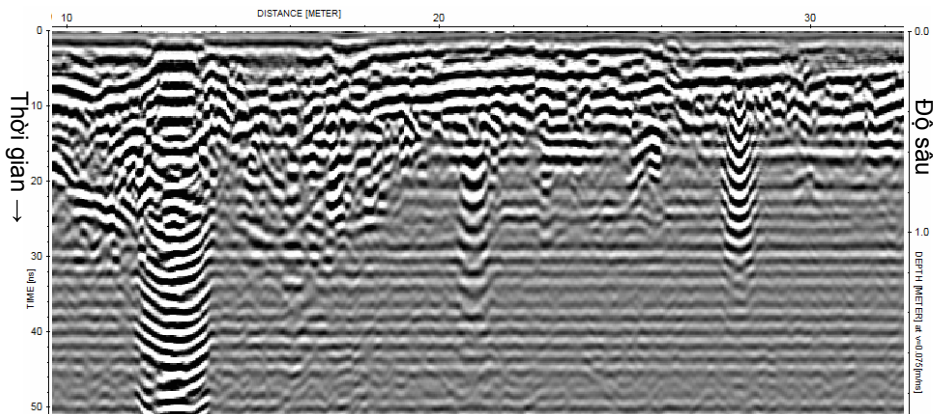
Hình 13. Kết quả tính dịch chuyển với $v=0,06\text{m/ns}$



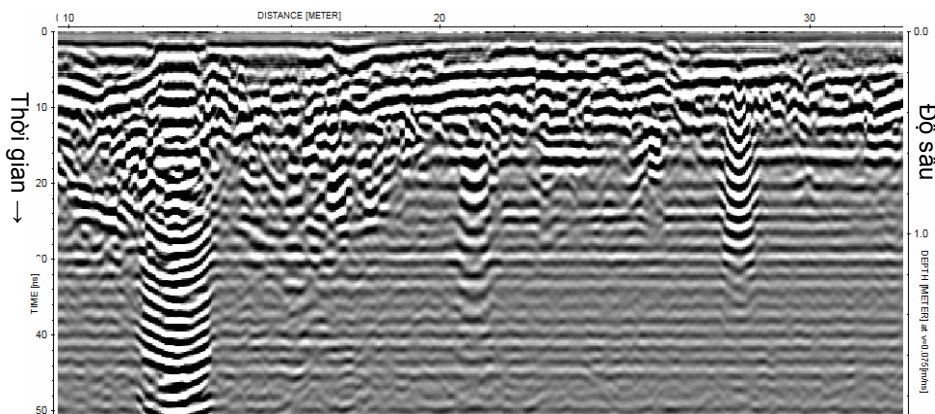
Hình 14. Kết quả tính dịch chuyển với $v=0,07\text{m/ns}$



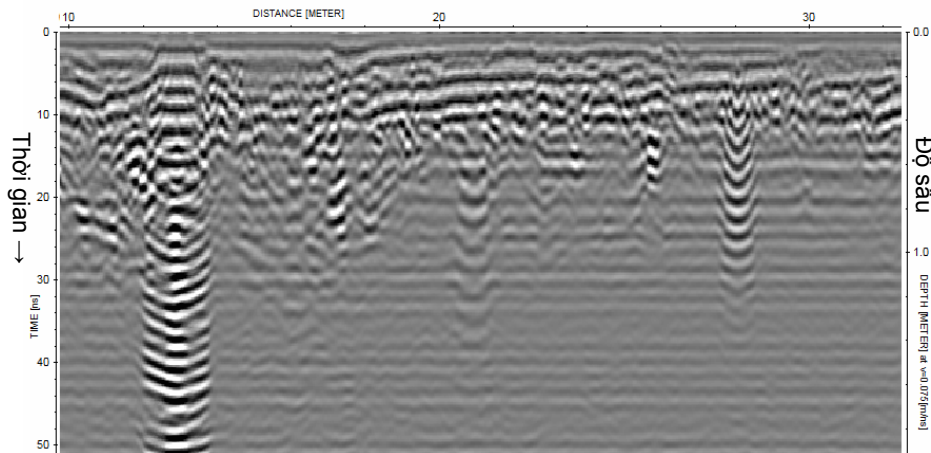
Hình 15. Kết quả tính dịch chuyển với $v=0,08\text{m/ns}$



Hình 16. Kết quả tính dịch chuyển với $v=0,09\text{m/ns}$



Hình 17. Kết quả tính dịch chuyển với $v=0,10\text{m/ns}$



Hình 18. Kết quả tính dịch chuyển với $v=0,11\text{m/ns}$

4.2.3. Nhận xét kết quả

Hyperbol đã dịch chuyển thành điểm tại thời gian 16ns, với $v=0,06\text{m/ns}$ (hình 13). Với thời gian lớn hơn 16ns, xuất hiện các mặt cong lên thể hiện vận tốc bên dưới lớn hơn $0,06\text{m/ns}$. Còn với thời gian nhỏ hơn 16ns, xuất hiện các mặt cong xuống thì thể hiện vận tốc tại các vị trí này nhỏ hơn $0,06\text{m/ns}$.

Hyperbol đã dịch chuyển thành điểm tại thời gian 12ns, với $v=0,07\text{m/ns}$ (hình 14). Với thời gian lớn hơn 12ns, xuất hiện các mặt cong lên thể hiện vận tốc bên dưới lớn hơn $0,07\text{m/ns}$. Còn với thời gian nhỏ hơn 12ns, xuất hiện các mặt cong xuống thì thể hiện vận tốc tại các vị trí này nhỏ hơn $0,07\text{m/ns}$.

Hyperbol đã dịch chuyển thành điểm tại thời gian 11ns, với $v=0,08\text{m/ns}$ (hình 15). Với thời gian lớn hơn 11ns, xuất hiện các mặt cong lên thể hiện vận tốc bên dưới lớn hơn $0,08\text{m/ns}$. Còn với thời gian nhỏ hơn 11ns, xuất hiện các mặt cong xuống thì thể hiện vận tốc tại các vị trí này nhỏ hơn $0,08\text{m/ns}$.

Hyperbol đã dịch chuyển thành điểm tại thời gian 9ns, với $v=0,09\text{m/ns}$ (hình 16). Với thời gian lớn hơn 9ns, xuất hiện các mặt cong lên thể hiện vận tốc bên dưới lớn hơn $0,09\text{m/ns}$. Còn với thời gian nhỏ hơn 9ns, xuất hiện các mặt cong xuống thể hiện vận tốc tại các vị trí này nhỏ hơn $0,09\text{m/ns}$.

Hyperbol đã dịch chuyển thành điểm tại thời gian 6ns, với $v=0,10\text{m/ns}$ (hình 17). Với thời gian lớn hơn 6ns, xuất hiện các mặt cong lên thể hiện vận tốc bên dưới lớn hơn $0,10\text{m/ns}$. Còn với thời gian nhỏ hơn 6ns, xuất hiện các mặt cong xuống thì thể hiện vận tốc tại các vị trí này nhỏ hơn $0,10\text{m/ns}$.

Kết quả số liệu dịch chuyển đã bị mờ và nhòe với $v=0,11\text{m/ns}$ (hình 18). Vận tốc này không đại diện cho môi trường này.

Theo kết quả dịch chuyển thì ứng với vận tốc càng thấp thì độ hội tụ điểm của các hyperbol càng ở thời gian dài hơn tức độ sâu lớn. Vậy, kết quả dịch chuyển cho ta một cái nhìn tổng quát: vận tốc giảm theo chiều sâu [(6ns $0,10\text{m/ns}$), (9ns $0,09\text{m/ns}$), (11ns $0,08\text{m/ns}$), (12ns $0,07\text{m/ns}$), (16ns $0,06\text{m/ns}$)]. Theo giải đoán, có thể những vị trí các hyperbol này thể hiện những bó dây cáp ngầm.

Dịch chuyển với vận tốc đúng thì các hyperbol sẽ hội tụ thành một điểm, với vận tốc dịch chuyển bé hơn vận tốc đúng thì tạo thành những mặt cong xuống, và với vận tốc dịch chuyển lớn hơn vận tốc thực thì tạo thành những mặt cong lên.

5. Kết luận

Áp dụng chương trình tính toán dịch chuyển Kirchhoff trên ngôn ngữ Matlab, có thể tiếp cận đến giá trị vận tốc tối ưu bằng cách tính cho các trường hợp tiệm cận bé hơn 10% hay bé hơn 5% và lớn hơn 5% hay lớn hơn 10%. Trong phép dịch

chuyển này cùng chọn tham số khoảng cách $L = 20\text{m}$.

Tham số vận tốc truyền sóng điện từ ở dải tần số cao như tần số Radar đóng vai trò rất quan trọng trong việc minh giải số liệu để tìm ra kích thước của nguồn gây ra dị thường Radar trên giản đồ thu được. Trong điều kiện thực địa thu thập số liệu Georadar không cho phép thực hiện đo theo CMP thì việc tiếp nhận một giá trị vận tốc truyền sóng là cần thiết. Để nhận biết thì thường ta phán đoán mô hình vận tốc đúng sẽ nằm trong khoảng giữa các mô hình vận tốc gây nên hiện tượng đường cong hướng lên và đường cong hướng xuống của các điểm tán xạ hoặc là chất lượng của lát cắt dịch chuyển. Đây là giải pháp tiếp cận vận tốc tối ưu có thể chấp nhận được do bảo đảm độ chính xác và thời gian tính toán nhanh.

TÀI LIỆU DẪN

[1] Gary F. Margrave, 2003: Numerical Methods of Exploration Seismology with algorithms in MATLAB, Department of Geology and Geophysics, The University of Calgary, 30-136.

[2] Ozdogan Yilmaz, 1987: Seismic Data Processing. Society of Exploration Geophysics, tr. 258-260.

[3] Phạm Năng Vũ, 2007: Tập bài giảng cơ sở lý thuyết xử lý số liệu địa chấn, Hà Nội, tr. 175-190.

[4] Đặng Hoài Trung, 2011: Luận văn Thạc sỹ Vật lý Địa cầu: Phương pháp điện từ tần số cao trong nghiên cứu địa vật lý tầng nông, Bộ môn Vật lý Địa cầu, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Tp. Hồ Chí Minh, tr.18-25.

SUMMARY

Kirchhoff migration for specifying velocity model in high frequency electromagnetic method

The Kirchhoff migration plays an important role in converting seismic data into images of geological layers according to viewpoint in the geophysics. In this paper, the theory of the high frequency electromagnetic method, the Kirchhoff migration and its application in the high frequency electromagnetic method (Ground Penetration Radar) to specifying velocity model are illustrated. The studied results of modelling of a diffraction point are applied for processing data of GPR measurements in Ho Chi Minh City.