

Phép biến đổi wavelet liên tục trong xử lý tài liệu thăm dò điện từ tần số cao

- **Dương Quốc Chánh Tín**
- **Dương Hiếu Đầu**
Trường Đại học Cần Thơ
- **Nguyễn Thành Vấn**
- **Nguyễn Văn Thuận**
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 22 tháng 06 năm 2015, nhận đăng ngày 14 tháng 04 năm 2016)

TÓM TẮT

Ra đa xuyên đất là phương pháp thăm dò điện từ tần số cao (10 đến 3000 MHz) đã và đang phát triển rất nhanh trong những thập niên gần đây, là phương tiện hữu ích để phát hiện các dị vật dưới mặt đất với nhiều ưu điểm: không phá hủy cấu trúc, tốc độ thu nhận dữ liệu nhanh, độ phân giải tín hiệu và độ tin cậy cao trong xử lý. Với các ưu điểm đó, ra đa xuyên đất được sử dụng rộng rãi để nghiên cứu cấu trúc tầng nông như: dự báo sạt lở, sụt lún, vẽ bản đồ công trình ngầm đô thị, giao thông, xây dựng, khảo cổ và nhiều lĩnh vực kỹ thuật khác, ... Việc xử lý dữ liệu ra đa xuyên đất đã trở thành một yêu cầu đa dạng và cấp bách. Hiện nay, biến đổi wavelet là một trong những công cụ hiện đại và hiệu quả

trong việc xử lý tín hiệu, xử lý ảnh, đồ họa, nén dữ liệu [1], phân tích tài liệu thăm dò từ, trọng lực, điện từ, ... Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng biến đổi wavelet liên tục (CWT – Continuous Wavelet Transform) và kỹ thuật phân tích biên đa tỉ lệ với các hàm wavelet được chọn thích hợp với hình dạng của tín hiệu ra đa xuyên đất để xác định các dị vật trong địa chất tầng nông. Độ chính xác của phương pháp được kiểm nghiệm trên các mô hình lý thuyết trước khi áp dụng vào thực tế. Kết quả phân tích cho thấy phương pháp được đề xuất là khả thi và độ chính xác đáng tin cậy để xác định kích thước và vị trí các dị vật.

Từ khóa: thăm dò điện từ, Ra đa xuyên đất, phép biến đổi wavelet liên tục, xác định vị trí và kích thước dị vật

MỞ ĐẦU

Quá trình xử lý và phân tích số liệu ra đa xuyên đất (GPR – Ground Penetrating Radar) tốn rất nhiều thời gian vì trải qua nhiều công đoạn như: định dạng số liệu, hiệu chỉnh địa hình, lọc nhiễu, khuếch đại [2]... trong đó vị trí, kích thước và độ sâu của dị vật là các thông số cần xác định trong bước phân tích hay giải đoán cuối cùng. Việc xác định kích thước của dị vật theo các phương pháp minh giải số liệu GPR truyền thống gặp không ít khó khăn vì nó phụ thuộc vào

vận tốc truyền sóng điện từ trong môi trường vật chất - là đại lượng biến thiên rất phức tạp theo mọi hướng [2].

Phép biến đổi wavelet rời rạc thường được áp dụng để lọc nhiễu và tách trường nhằm tăng cường độ tương phản cho việc phân tích hình ảnh, hầu như chưa có tác giả nào sử dụng wavelet rời rạc để xác định kích thước, vị trí, và độ sâu đối tượng nghiên cứu. Trong khi đó, nhiều công trình sử dụng wavelet liên tục xử lý định lượng

tài liệu để xác định các thông số vị trí, độ sâu và kích thước đối tượng nghiên cứu đạt được nhiều kết quả khả quan [3-6]. Qua nghiên cứu chúng tôi nhận thấy dữ liệu GPR và dữ liệu trường thế có sự tương đồng trong cấu trúc dữ liệu: thể hiện sự thay đổi cường độ tín hiệu theo vị trí. Do đó, việc áp dụng phép biến đổi wavelet liên tục để xử lý dữ liệu GPR là hoàn toàn hợp lý. Sử dụng các hàm wavelet sẵn có trong Matlab như wavelet Harr, wavelet Daubechies hay wavelet Mexican Hat... kết quả đạt được không đáng kể. Thực ra việc phân tích dữ liệu bằng biến đổi wavelet sẽ đạt kết quả tốt nếu dữ liệu đầu vào có dạng tương đồng với dạng của wavelet được chọn để phân tích. Dữ liệu GPR theo một tuyến đo thì phức tạp và hầu như không giống với dạng của các wavelet sẵn có trong Matlab. Tuy nhiên, nếu qua phép lọc trọng tuyến thì dạng dữ liệu đầu ra gần giống với hàm wavelet Poisson – Hardy nên dữ liệu sau phép lọc trọng tuyến được phân tích bằng wavelet Poisson – Hardy sẽ cho kết quả tốt.

Mục tiêu của nghiên cứu này là giới thiệu một phương pháp xử lý dữ liệu GPR bằng phép biến đổi wavelet liên tục trên tín hiệu ra đa xuyên đất đã được lọc nhiễu bằng hàm trọng tuyến (LWF - Line Weight Function) sau đó dùng phương pháp xác định biên đa tỉ lệ (MED – Multiscale – Edge - Detection) để xác định vị trí và kích thước của các dị vật mà không xét đến vận tốc truyền sóng điện từ trong môi trường khảo sát.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Ra đa xuyên đất

Năm 1960, Cook JC lần đầu tiên đề xuất việc thăm dò các đối tượng dưới bề mặt ranh giới bằng cách sử dụng sóng điện từ phản xạ [7]. Sau đó, Cook và CCS đã nghiên cứu và phát triển các hệ thống thu phát sóng điện từ mới nhằm phát hiện những đối tượng dị vật khá bé bị phản xạ dưới mặt đất [8]. Lý thuyết cơ bản của GPR được

mô tả chi tiết bởi Benson AK [9]. Nói ngắn gọn, GPR sử dụng một anten phát sóng điện từ dưới dạng xung trong khoảng tần số từ 10 đến 3000 MHz, lan truyền trong vật chất bên dưới mặt đất với vận tốc phụ thuộc vào cấu trúc môi trường. Khi sóng điện từ lan truyền qua các bất đồng nhất hoặc các mặt ranh giới giữa hai môi trường có tính chất điện khác nhau, một phần năng lượng sóng sẽ phản xạ hoặc tán xạ trở lại mặt đất, trong khi phần năng lượng còn lại tiếp tục truyền qua vật cản xuống phía dưới. Sóng phản xạ được ghi nhận bởi anten thu và lưu trữ trong bộ nhớ của thiết bị sử dụng cho việc phân tích và xử lý về sau. Các kênh ghi sóng phản xạ trên một tuyến đo được sắp xếp theo chiều dọc và được xem như mặt cắt phản xạ hai chiều theo phương thẳng đứng của địa tầng hoặc các đặc tính bên dưới bề mặt. Khi đối tượng dị vật ở phía trước hoặc ở phía sau anten của ra đa xuyên đất, phải mất nhiều thời gian cho các sóng điện từ phản xạ trở lại anten; trong khi anten quét ngang qua dị vật, thời gian sóng phản xạ quay lại máy thu sẽ ngắn hơn nhiều. Hiện tượng này tạo ra hình ảnh của sóng phản xạ thu bởi anten có dạng một "hyperbol". Hyperbol này thực chất là hình ảnh của một dị vật nhỏ (như mặt cắt của ống trụ) nằm ở tâm của đường cong.

Tốc độ của sóng điện từ V_m trong môi trường được cho bởi (1) [10].

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\left(\frac{\epsilon_r \mu_r}{2}\right) \left((1+P^2)^{\frac{1}{2}} + 1 \right)}} \quad (1)$$

trong đó P: hệ số tổn thất phụ thuộc tần số của sóng điện từ, nó là hàm theo độ dẫn điện và độ điện thẩm môi trường, $c = 0,2998$ m/ns: tốc độ của ánh sáng trong chân không, ϵ_r : hằng số điện môi tương đối, μ_r : độ từ thẩm tương đối ($\mu_r = 1$ đối với vật liệu không từ tính).

Độ xuyên sâu D được xác định từ biểu thức liên hệ giữa tốc độ truyền sóng qua môi trường và thời gian truyền của các tín hiệu GPR. Điều này cho ta tính D theo phương trình (2) [10]:

$$D = \frac{\sqrt{(t \cdot V_m)^2 - S^2}}{2} \quad (2)$$

trong đó S là khoảng cách cố định giữa anten phát và thu của hệ thống GPR.

Biến đổi wavelet liên tục và hàm wavelet Poisson – Hardy

Phép biến đổi wavelet liên tục trên tín hiệu một chiều $f(x)$ cho bởi:

$$W(s, b) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \bar{\psi} \left(\frac{b-x}{s} \right) dx = \frac{1}{\sqrt{s}} (f * \bar{\psi}) \quad (3)$$

với, $s \in \mathbb{R}^+$: tham số tỉ lệ và $b \in \mathbb{R}$: tham số vị trí, $\bar{\psi}(x)$: liên hiệp phức của $\psi(x)$, là hàm wavelet dùng trong biến đổi, $f * \bar{\psi}$: ký hiệu tích chập của hàm $f(x)$ và $\bar{\psi}(x)$. Biến đổi wavelet có ưu điểm là có thể sử dụng nhiều hàm wavelet khác nhau tùy theo dạng thông tin sử dụng trong phân tích.

Để xác định các biên dị vật từ đó xác định vị trí và kích thước, chúng tôi sử dụng hàm wavelet phức Poisson - Hardy [7] có dạng như sau:

$$\psi^{(PH)}(x) = \psi^{(P)}(x) + i\psi^{(H)}(x) \quad (4)$$

$$\text{trong đó, } \psi^{(P)}(x) = -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{1-3x^2}{(1+x^2)^3} \quad (5)$$

$$\psi^{(H)}(x) = \text{Hilbert}(\psi^{(P)}(x)) = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{-3x+x^3}{(1+x^2)^3} \quad (6)$$

Xác định biên đa tỉ lệ

Trong xử lý ảnh, việc xác định biên là yêu cầu cơ bản. Theo lý thuyết xử lý ảnh, các biên của hình ảnh là những vùng có cường độ sáng thay đổi nhanh hay màu sắc tương phản mạnh. Đối với dữ liệu có dạng tín hiệu biến thiên theo không gian (như GPR) thì những điểm mà biên độ của tín hiệu có sự thay đổi mạnh (hay thay đổi

đột ngột) được xem là các biên. Khi áp dụng lý thuyết xử lý ảnh vào việc phân tích tín hiệu GPR, xác định các biên sẽ tương ứng với việc xác định vị trí và kích thước tương đối của dị vật. Để xác định biên dị vật, biến đổi wavelet được thực hiện ở nhiều tỉ lệ khác nhau nên biên cần xác định là một hàm số theo tỉ lệ và gọi là biên đa tỉ lệ. Vì vậy, phương pháp xác định biên sử dụng phép biến đổi wavelet còn gọi là phương pháp xác định biên đa tỉ lệ [3].

Phương pháp xác định biên đa tỉ lệ theo đề xuất của Grossmann và CCS [11] liên quan đến việc xây dựng những đường đẳng trị của thành phần độ lớn và thành phần pha của biến đổi wavelet liên tục trên tín hiệu được phân tích. Những đường đẳng trị của biến đổi wavelet phức với thành phần độ lớn (hay góc pha) không đổi là các đường thẳng cắt nhau tại các giao điểm-zero tương ứng với vị trí của các điểm kỳ dị và có liên quan đến vị trí của tâm (hay các biên) nguồn. Điều kiện áp dụng là các hàm wavelet thực thi phải được xác định từ các đạo hàm bậc nhất hay đạo hàm bậc hai của một hàm đặc trưng cho phép chuyển trường trong bài toán trường thế. Trong bài báo này, hàm wavelet có tên là Poisson - Hardy được kiểm chứng là thỏa mãn các yêu cầu của phương pháp Grossmann, vì thế việc tính toán, phân tích và minh giải vị trí cũng như kích thước của các dị vật đều dựa trên thành phần độ lớn và thành phần pha của biến đổi wavelet này.

Phép lọc sử dụng hàm trọng tuyến (Line Weight Function –LWF)

Năm 1966, Fiorentini và Mazzatini [12] đã giới thiệu phép lọc sử dụng hàm trọng tuyến để loại nhiễu và tăng độ tương phản ở biên. Đây là sự kết hợp tuyến tính giữa hàm Gauss và đạo hàm bậc hai theo không gian của hàm Gauss:

$$l\left(\frac{x}{\sigma}\right) = C_0 h_0\left(\frac{x}{\sigma}\right) + C_2 h_2\left(\frac{x}{\sigma}\right) \quad (7)$$

trong đó hàm Gauss $h_0\left(\frac{x}{\sigma}\right)$ có dạng:

$$h_0\left(\frac{x}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8)$$

và $h_2\left(\frac{x}{\sigma}\right)$ là đạo hàm bậc hai của hàm Gauss:

$$h_2\left(\frac{x}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{8\pi\sigma^2}} \left(-\exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] + \frac{x^2}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \right) \quad (9)$$

Hàm lọc trọng tuyến theo các phân tích trên các mô hình của Đ.V. Liệt và cs [13] có thể dùng lọc hiệu quả cho các dữ liệu từ và trọng lực. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng hàm trọng tuyến để lọc dữ liệu trước khi xử lý bằng wavelet kết hợp với kỹ thuật xác định biên đa tỉ lệ. Với các phân tích thử nghiệm trên số liệu mô hình, nhóm nghiên cứu nhận thấy các thông số lọc được chọn thích hợp là $c_0 = 7$ và $c_2 = -1$.

Quy trình phân tích số liệu GPR bằng phép biến đổi wavelet

Bước 1: Chọn lớp cắt dữ liệu GPR tối ưu. Sau khi xử lý số liệu thô, thu được một mặt cắt GPR tương đối rõ ràng và hoàn chỉnh. Dữ liệu của mặt cắt là một ma trận $[m, n]$ gồm m hàng (tương ứng với số mẫu trên mỗi trace sóng) và n cột (tương ứng với số trace sóng). Số trace sóng n tùy thuộc vào chiều dài của tuyến thu số liệu và bước mẫu dx . Số mẫu trên mỗi trace sóng cũng tùy thuộc vào độ sâu khu vực khảo sát và bước mẫu dt . Từ mặt cắt GPR, người xử lý dữ liệu bằng phương pháp wavelet phải chọn ra một lớp cắt dữ liệu tối ưu tương ứng với một hàng trong ma trận $[m, n]$. Việc chọn lớp cắt dữ liệu này phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm của người xử lý, phải thử với nhiều lớp khác nhau trên các mô hình lý thuyết cũng như mô hình thực nghiệm. Việc chọn lớp cắt dữ liệu phù hợp sẽ giúp cho việc phân tích wavelet để xác định biên được chính xác.

Bước 2: Lọc dữ liệu bằng hàm trọng tuyến nhằm tăng cường độ phân giải cho phép xác định

biên đa tỉ lệ thực hiện với biến đổi wavelet liên tục.

Bước 3: Xử lý số liệu không mong muốn sau phép lọc. Bộ số liệu mới sau các phép lọc có chứa thêm các số liệu nội suy gần các biên, chúng là số liệu không mong muốn vì thế cần phải loại bỏ để độ dài dữ liệu giống như ban đầu và hạn chế các hiệu ứng biên.

Bước 4: Thực hiện biến đổi wavelet với hàm wavelet Poisson – Hardy trên số liệu đã qua lọc. Các dữ liệu sau biến đổi wavelet phức gồm 4 bộ dữ liệu khác nhau gồm các thành phần là thành phần thực, thành phần ảo, thành phần độ lớn và thành phần góc pha. Dữ liệu của thành phần độ lớn và thành phần góc pha sẽ được tiếp tục xử lý ở bước 6.

Bước 5: Thay đổi các tỉ lệ s khác nhau và thực hiện lại các biến đổi wavelet đa tỉ lệ.

Bước 6: Kết hợp về đẳng trị và đẳng pha của các hệ số biến đổi wavelet theo các tỉ lệ s khác nhau. Các bước từ 1 đến 6 được thực thi bằng các chương trình con, chạy trên phần mềm Matlab.

Bước 7: Xác định vị trí và kích thước dị vật từ kết quả vẽ đẳng trị và đẳng pha ở bước 6.

Vị trí xác định từ kết quả vẽ đẳng trị:

$$x = \text{tọa độ tâm } x \text{ bước đo} \quad (10)$$

Kích thước xác định từ kết quả vẽ đẳng pha:

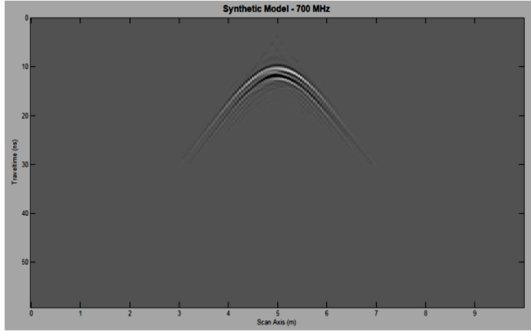
$$D = (\text{tọa độ biên phải} - \text{tọa độ biên trái}) \times \text{bước đo} \quad (11)$$

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

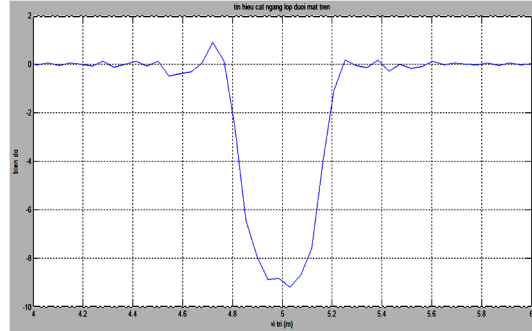
Mô hình lý thuyết

Mô hình 1

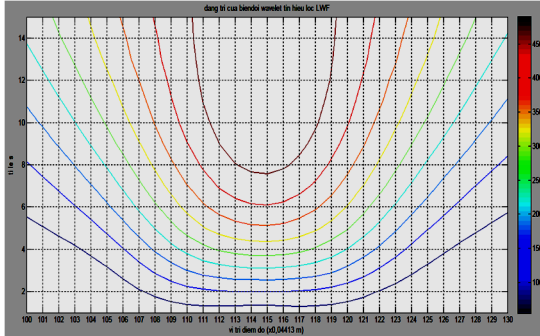
Sử dụng anten tần số 700 MHz, môi trường đồng nhất: cát khô dày khoảng 5 m có độ dẫn điện $\sigma = 0,01$ mS/m; $\epsilon_r = 5$; $\mu_r = 1$; $v = 0,13407$ m/ns. Dị vật bên dưới là trụ bê tông: $\sigma = 0,1$ mS/m; $\epsilon_r = 6$; $\mu_r = 1$; $v' = 0,12239$ m/ns, bên trong là không khí; có tâm đặt tại vị trí $x = 5$ m; $z = 0,8$ m, đường kính trong $d = 0,240$ m, đường kính ngoài $D = 0,320$ m.



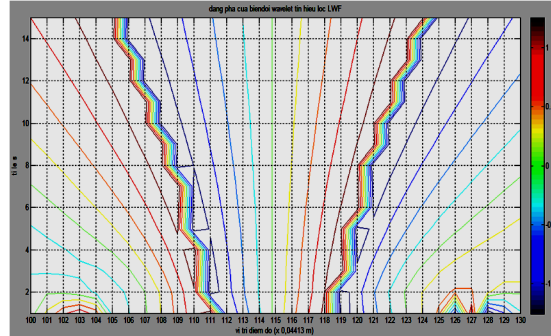
Hình 1. Mặt cắt GPR mô hình 1



Hình 2. Tín hiệu của lớp nằm dưới mặt trên



Hình 3. Đăng trị của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF



Hình 4. Đăng pha của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF

Dựa vào kết quả về đăng trị và đăng pha trên Hình 3 và Hình 4, tọa độ tâm, biên trái và biên phải của dị vật lần lượt nằm ở vị trí 114,5; 111,5; 118,5. Từ đó, có thể xác định được vị trí và kích thước theo công thức (10) và (11).

Kết quả minh giải:

Vị trí: $x = 114,5 \times 0,04413 = 5,05289 \text{ m}$

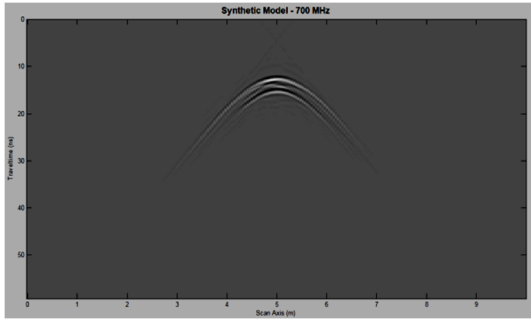
Sai số so với mô hình: 1,1 %

Kích thước: $D = (118,5 - 111,5) \times 0,04413 = 0,30891 \text{ m}$

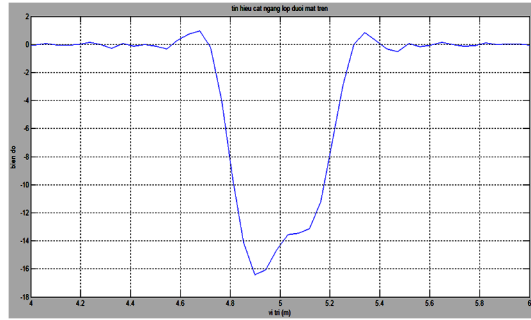
Sai số so với mô hình: 3,5 %

Mô hình 2

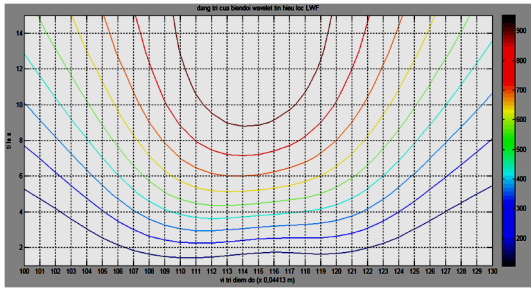
Sử dụng anten tần số 700 MHz, môi trường đồng nhất: cát khô dày khoảng 5 m có suất dẫn điện $\sigma = 0,01 \text{ mS/m}$; $\epsilon_r = 5$; $\mu_r = 1$; $v = 0,13407 \text{ m/ns}$. Dị vật bên dưới là trụ bê tông: $\sigma = 0,1 \text{ mS/m}$; $\epsilon_r = 6$; $\mu_r = 1$; $v' = 0,12239 \text{ m/ns}$, bên trong là không khí; có tâm đặt tại vị trí $x = 5 \text{ m}$; $z = 1 \text{ m}$, đường kính trong $d = 0,320 \text{ m}$, đường kính ngoài $D = 0,400 \text{ m}$.



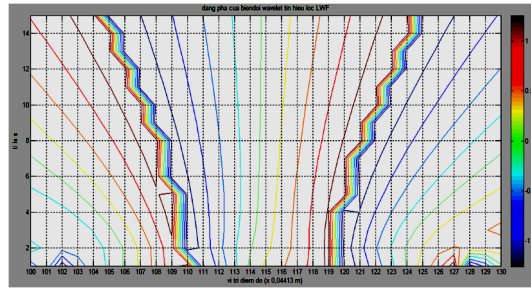
Hình 5. Mặt cắt GPR mô hình 2



Hình 6. Tín hiệu của lớp nằm dưới mặt trên



Hình 7. Đẳng trị của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF



Hình 8. Đẳng pha của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF

Kết quả minh giải:

Vị trí: $x = 114,5 \times 0,04413 = 5,05289 \text{ m}$

Sai số so với mô hình: 1,1 %

Kích thước: $D = (119,5 - 110,5) \times 0,04413 = 0,39717 \text{ m}$

Sai số so với mô hình: 0,7 %

Mô hình 3

Sử dụng anten tần số 700 MHz, môi trường đồng nhất: cát khô dày khoảng 5 m có suất dẫn điện $\sigma = 0,01 \text{ mS/m}$; $\epsilon_r = 5$; $\mu_r = 1$; $v = 0,13407 \text{ m/ns}$. Dị vật bên dưới là trụ kim loại: $\sigma = 100000$

mS/m ; $\epsilon_r = 81$; $\mu_r = 1$; $v' = 0,03331 \text{ m/ns}$, bên trong là không khí; có tâm đặt tại vị trí $x = 5 \text{ m}$; $z = 0,8 \text{ m}$, đường kính trong $d = 0,200 \text{ m}$, đường kính ngoài $D = 0,220 \text{ m}$.

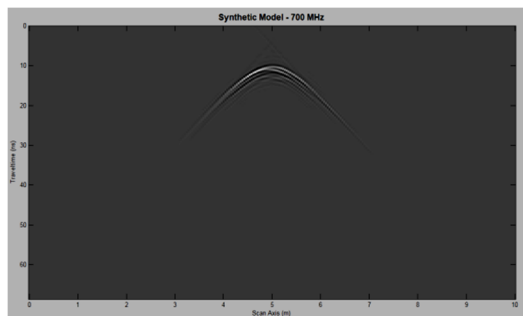
Kết quả minh giải:

Vị trí: $x = 133 \times 0,03813 = 5,07129 \text{ m}$

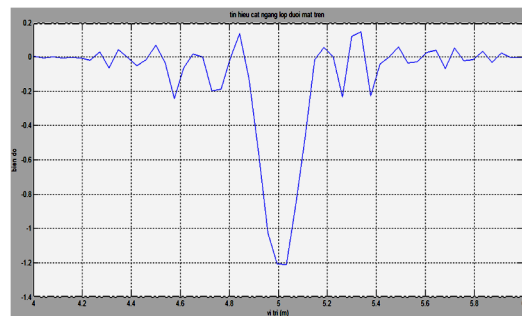
Sai số so với mô hình: 1,4 %

Kích thước: $D = (135,5 - 130,5) \times 0,03813 = 0,19065 \text{ m}$

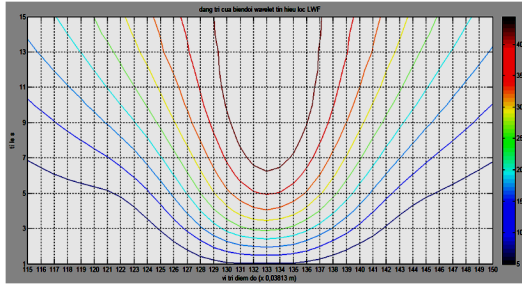
Sai số so với mô hình: 13,3 %



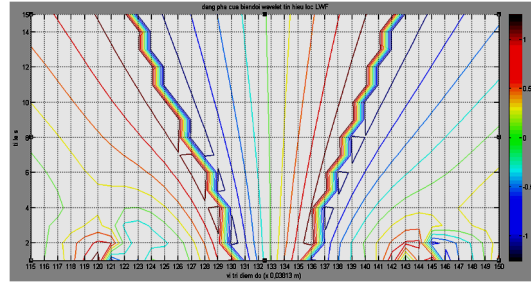
Hình 9. Mặt cắt GPR mô hình 3



Hình 10. Tín hiệu của lớp nằm dưới mặt trên



Hình 11. Đẳng trị của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF

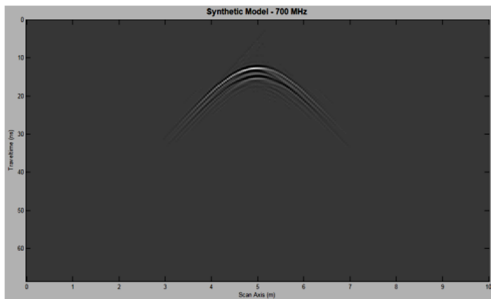


Hình 12. Đẳng pha của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF

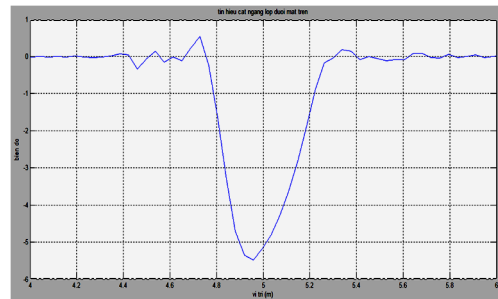
Mô hình 4

Sử dụng anten tần số 700 MHz, môi trường đồng nhất: cát khô dày 5 m có suất dẫn điện $\sigma = 0,01$ mS/m; $\epsilon_r = 5$; $\mu_r = 1$; $v = 0,13407$ m/ns. Dị vật bên dưới là trụ kim loại: $\sigma = 100000$ mS/m; ϵ_r

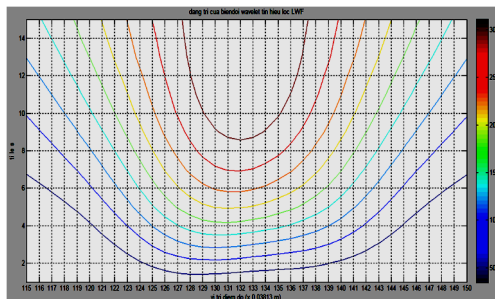
$= 81$; $\mu_r = 1$; $v' = 0,03331$ m/ns, bên trong là không khí; có tâm đặt tại vị trí $x = 5$ m; $z = 0,8$ m, đường kính trong $d = 0,300$ m, đường kính ngoài $D = 0,324$ m.



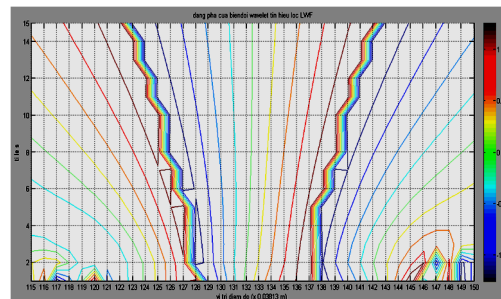
Hình 13. Mặt cắt GPR mô hình 4



Hình 14. Tín hiệu của lớp nằm dưới mặt trên



Hình 15. Đẳng trị của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF



Hình 16. Đẳng pha của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF

Kết quả minh giải:

- Vị trí: $x = 132 \times 0,02813 = 5,03316$ m
- Sai số so với mô hình: 0,7 %
- Kích thước: $D = (137,5-128,5) \times 0,02813 = 0,34317$ m

Sai số so với mô hình: 5,9 %

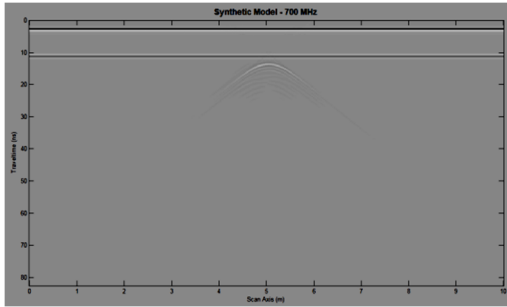
Mô hình 5

Sử dụng anten tần số 700 MHz, môi trường không đồng nhất gồm 3 lớp:

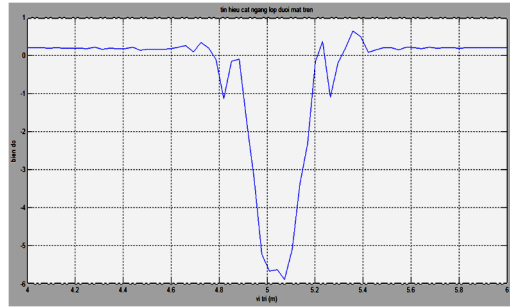
- Lớp 1: nhựa đường dày 0,2 m; $\sigma = 0,001$ mS/m; $\epsilon_r = 4$; $\mu_r = 1$; $v_1 = 0,14990$ m/ns.
- Lớp 2: đá dăm dày 0,4 m; $\sigma = 1$ mS/m; $\epsilon_r = 10$; $\mu_r = 1$; $v_2 = 0,09481$ m/ns.

- Lớp 3: đất sét dày 4,4 m; $\sigma = 200$ mS/m; $\epsilon_r = 16$; $\mu_r = 1$; $v_3 = 0,07495$ m/ns.

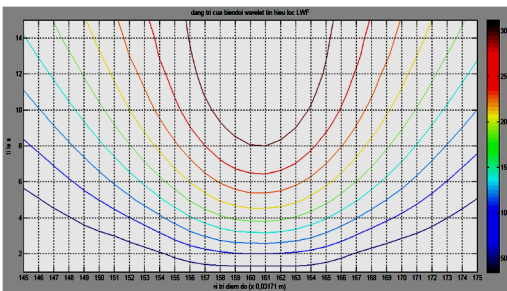
Dị vật bên dưới là trụ kim loại: $\sigma = 100000$ mS/m; $\epsilon_r = 81$; $\mu_r = 1$; $v' = 0,03331$ m/ns, bên trong là không khí; có tâm đặt tại vị trí $x = 5$ m; $z = 0,8$ m, đường kính trong $d = 0,200$ m, đường kính ngoài $D = 0,220$ m.



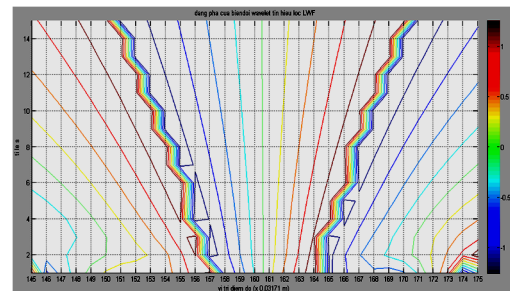
Hình 17. Mặt cắt GPR mô hình 5



Hình 18. Tín hiệu của lớp nằm dưới mặt trên



Hình 19. Đăng trị của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF



Hình 20. Đăng pha của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF

Kết quả minh giải:

Vị trí: $x = 160,5 \times 0,03171 = 5,08946$ m

Sai số so với mô hình: 1,8 %

Kích thước: $D = (164,5-157,5) \times 0,03171 = 0,22197$ m

Sai số so với mô hình: 0,9 %

Mô hình 6

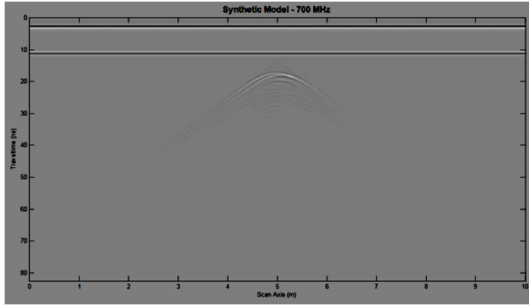
Sử dụng anten tần số 700 MHz, môi trường không đồng nhất gồm 3 lớp:

- Lớp 1: nhựa đường dày 0,2 m; $\sigma = 0,001$ mS/m; $\epsilon_r = 4$; $\mu_r = 1$; $v_1 = 0,14990$ m/ns.

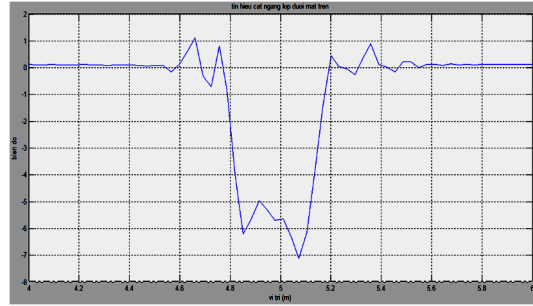
- Lớp 2: đá dăm dày 0,4 m; $\sigma = 1$ mS/m; $\epsilon_r = 10$; $\mu_r = 1$; $v_2 = 0,09481$ m/ns.

- Lớp 3: đất sét dày 4,4 m; $\sigma = 200$ mS/m; $\epsilon_r = 16$; $\mu_r = 1$; $v_3 = 0,07495$ m/ns.

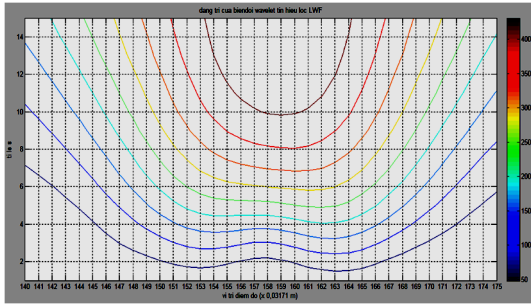
Dị vật bên dưới là trụ kim loại: $\sigma = 100000$ mS/m; $\epsilon_r = 81$; $\mu_r = 1$; $v' = 0,03331$ m/ns, bên trong là không khí; có tâm đặt tại vị trí $x = 5$ m; $z = 0,8$ m, đường kính trong $d = 0,300$ m, đường kính ngoài $D = 0,324$ m.



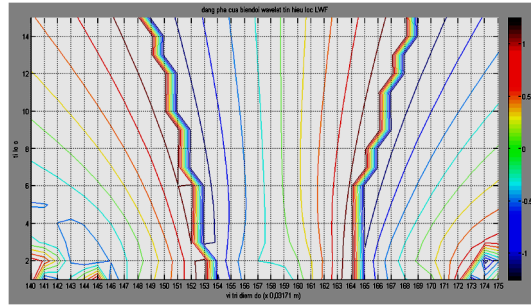
Hình 21. Mặt cắt GPR mô hình 6



Hình 22. Tín hiệu của lớp nằm dưới mặt trên



Hình 23. Đồ thị của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF



Hình 24. Đồ thị pha của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF

Kết quả minh giải:

- Vị trí: $x = 158,5 \times 0,03171 = 5,02604 \text{ m}$
- Sai số so với mô hình: 0,5 %
- Kích thước: $D = (164,5 - 153,5) \times 0,03171 = 0,34881 \text{ m}$
- Sai số so với mô hình: 7,7 %

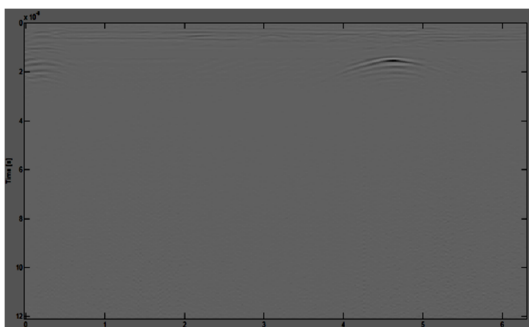
Dữ liệu thực tế

Để kiểm chứng độ tin cậy của phương pháp trên số liệu mô hình, chúng tôi đã áp dụng phân

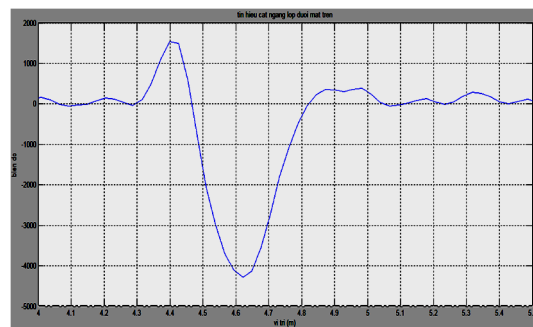
tích nhiều dữ liệu GPR thu thập trên địa bàn thành phố Hồ Chí Minh và có được các kết quả khả quan. Trong giới hạn của bài báo, chúng tôi trình bày kết quả xử lý hai tuyến đo cắt ngang vị trí công trình ngầm tiêu biểu và so sánh với thông tin được cung cấp.

Ống cấp nước 009, Mạc Đĩnh Chi, Quận 1, Tp. HCM

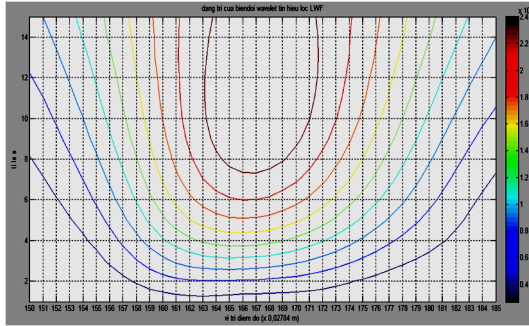
Theo tiên nghiệm từ nhà thiết kế và lắp đặt thì ống cấp nước có đường kính $\Phi = 0,25 \text{ m}$.



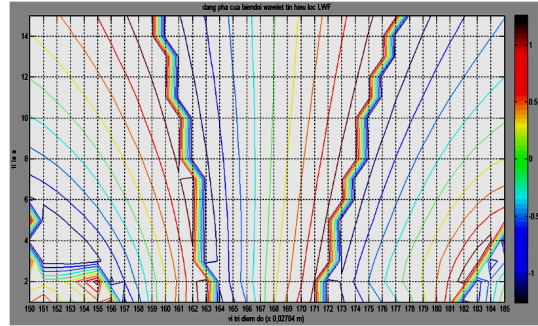
Hình 25. Mặt cắt GPR dữ liệu ống cấp nước



Hình 26. Tín hiệu của lớp nằm dưới mặt trên



Hình 27. Đẳng trị của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF



Hình 28. Đẳng pha của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF

Kết quả minh giải:

Vị trí: $167,5 \times 0,02784 = 4,66320$ m

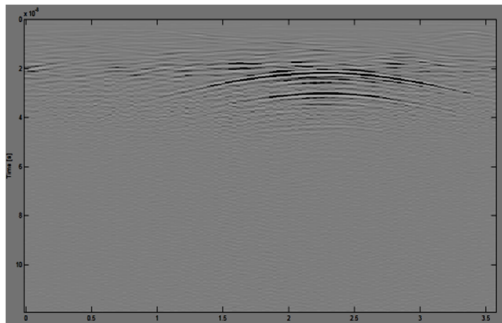
Sai số: 1,0 %

Kích thước: $(171,5-163,5) \times 0,02784 = 0,22272$ m

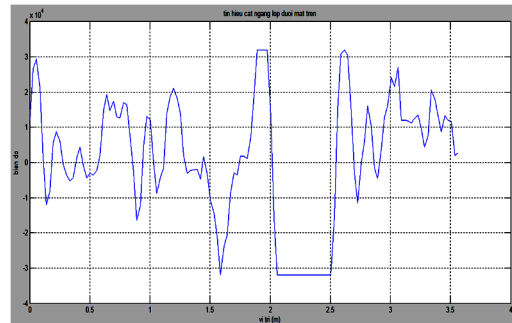
Sai số: 10,9 %

Ông cấp nước, Lê Văn Sỹ, Quận Phú Nhuận, Tp. HCM

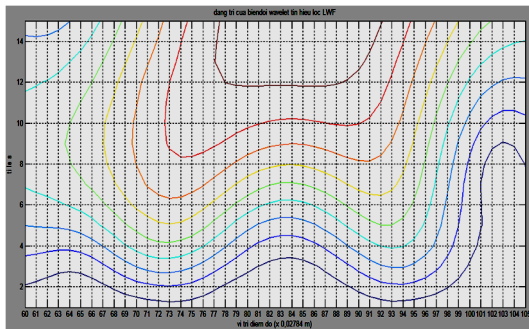
Theo tiên nghiệm từ nhà thiết kế và lắp đặt thì ống cấp nước có đường kính $\Phi = 0,55$ m.



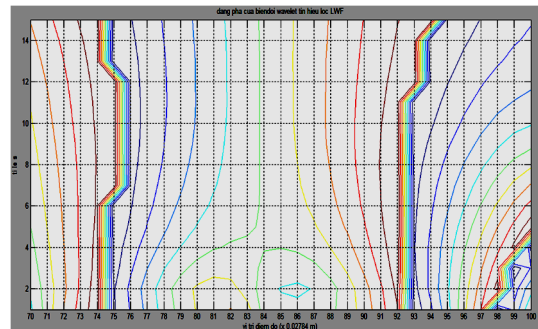
Hình 29. Mặt cắt GPR dữ liệu ống cấp nước



Hình 30. Tín hiệu của lớp nằm dưới mặt trên



Hình 31. Đẳng trị của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF



Hình 32. Đẳng pha của biến đổi wavelet trên tín hiệu đã lọc bằng LWF

Kết quả minh giải:

Vị trí: $83,5 \times 0,02784 = 2,32464$ m

Sai số: 3,3 %

Kích thước: $(92,5-74,5) \times 0,02784 = 0,50112$ m

Sai số: 8,9 %

Bảng 1. Tổng hợp các kết quả phân tích

Mô hình	Thông số		Kết quả phân tích		Sai số	
	Vị trí	Kích thước	Vị trí	Kích thước	Vị trí	Kích thước
1. Trụ bê tông	5 m	0,320 m	5,05289 m	0,30891 m	1,1 %	3,5 %
2. Trụ bê tông	5 m	0,400 m	5,05289 m	0,39717 m	1,1 %	0,7 %
3. Trụ kim loại	5 m	0,220 m	5,07129 m	0,19065 m	1,4 %	13,3 %
4. Trụ kim loại	5 m	0,324 m	5,03316 m	0,34317 m	0,7 %	5,9 %
5. Trụ kim loại	5 m	0,220 m	5,08946 m	0,22197 m	1,8 %	0,9 %
6. Trụ kim loại	5 m	0,324 m	5,02604 m	0,34881 m	0,5 %	7,7 %
Dữ liệu thực tế						
1. Ống cấp nước 009, đường Mạc Đĩnh Chi	4,62 m	0,250 m	4,66320 m	0,22272 m	1,0 %	10,9 %
2. Ống cấp nước, đường Lê Văn Sỹ	2,25 m	0,550 m	2,32464 m	0,50112 m	8,9 %	3,3 %

KẾT LUẬN

Quy trình minh giải số liệu GPR bằng phép biến đổi wavelet liên tục với hàm wavelet Poisson – Hardy để xác định vị trí và kích thước của dị vật đã được xây dựng và áp dụng. Chúng tôi thử nghiệm phân tích 6 mô hình lý thuyết và 2 dữ liệu thực tế (Bảng 1). Các mô hình lý thuyết được xây dựng ở đây rất gần với các đối tượng cần nghiên cứu trên thực tế nhằm kiểm chứng độ tin cậy của phương pháp trước khi áp dụng vào các số liệu thực. Kết quả chung cho các mô hình lý thuyết trong việc xác định vị trí và kích thước có độ sai số tương đối trong khoảng từ 0,7 % (mô

hình 6) đến 13,3 % (mô hình 3). Với hai mô hình thực tế, độ sai số tương đối trong khoảng từ 3,3 % (ống cấp nước đường Lê Văn Sỹ) đến 10,9 % (ống cấp nước 009). Các kết quả này cho thấy phương pháp dùng biến đổi wavelet liên tục và phân tích biên đa tỉ lệ cho định hướng phân giải số liệu ra đa xuyên đất rất hiệu quả. Nếu có thể phối hợp tốt phương pháp được đề xuất và các phương pháp minh giải truyền thống cho ra đa xuyên đất thì việc xác định dị vật trong địa chất tầng nông hiệu quả hơn.

The continuous wavelet transform in processing data of high frequency electromagnetic prospecting

- **Duong Quoc Chanh Tin**
- **Duong Hieu Dau**
Can Tho University
- **Nguyen Thanh Van**
- **Nguyen Van Thuan**
University of Science, VNU-HCM

ABSTRACT

Ground Penetrating Radar (GPR), a high frequency electromagnetic prospecting method (10 to 3000 MHz) has been rapidly developed in recent decades. With many advantages such as non-destructive, fast data collection, high precision and resolution, this method is a useful means to detect underground targets. It is currently used in the research of studying the shallow structure for examples: forecast landslide, subsidence, mapping urban underground works, traffic, construction, archaeology and other various fields of engineering, GPR data processing is becoming increasingly urgent. Wavelet transform is one of the new signal analysis tools, plays a vital role in

Keywords: *electromagnetic prospecting, GPR, CWT, detecting underground targets*

numerous domains like image processing, graphics, data compression, gravitational, electromagnetic and geomagnetic data processing, GPR and some others. In this study, we used the continuous wavelet transform (CWT) and multiscale edge detection (MED) with the wavelet functions which were appropriately selected to determine underground targets. The accuracy of this technique was tested on some theoretical models before being applied on experimental data. The obtained results showed that this was a feasible method that could be used to detect the size and position of the anomaly objects.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. N.H. Hải, N.V Anh, P.M. Toàn, H.T. Đức, Công cụ phân tích wavelet và ứng dụng trong matlab, NXB KH & KT, ĐHQG Hà Nội (2005).
- [2]. N.T. Vân, N.V. Giảng, Ra đa xuyên đất – Phương pháp & ứng dụng, NXB ĐHQG TPHCM (2013).
- [3]. D.H. Đầu, Phân tích tài liệu từ và trọng lực sử dụng biến đổi wavelet liên tục, NXB ĐHQG TPHCM (2013).
- [4]. F. Moreau, D. Gibert, M. Holschneider, G. Saracco, Identification of sources of potential fields of with the continuous wavelet transform: Basic theory, *Journal of Geophysical Research*, 104, B3, 5003-5013 (1999).
- [5]. P. Silliac, A. Galdeano, D. Gibert, F. Moreau, C. Delor. Identification of sources of potential fields with the continuous wavelet transform: Complex wavelets and applications to magnetic profiles in French Guiana, *J. Geophy. Res.*, 105, 19455-19475 (2000).

- [6]. L.T. Thanh, Xác định các thông số của nguồn trường bằng biến đổi wavelet liên tục, Hội nghị KHKT Địa Vật lý VN – Lần 5, NXB KHKT, 148-158 (2007).
- [7]. J.C. Cook, Proposed monocycle-pulse VHF radar for airborne ice and snow measurements, *AIEE Trans Commun Electron*, 79, 2, 588-94 (1960).
- [8]. D.L. Moffatt, R.J. Puskar, Subsurface electromagnetic pulse radar, *Geophysics*, 41, 3, 506-18 (1976).
- [9]. A.K. Benson, Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards—examples of groundwater contamination, faults, cavities, *J Appl Geophys*, 33, 1-3, 177-93 (1995).
- [10]. H.N. Sheng, H.H. Yan, F.L. Kuo, C.L. Da, Buried pipe detection by ground penetrating rada using the discrete wavelet transform, Elsevier, *Computers and Geotechnics*, 37, 440-448 (2010).
- [11]. A. Grossmann, M. Holschneider, R.M. Kronland, J. Morlet, Detection of abrupt changes in sound signals with the help of wavelet transforms In verse Problems, *An Interdisciplinary Study (Adv. Electron. Electron. Phys. 19)*, San Diego, CA: Academic, 298–306 (1987).
- [12]. A. Fiorentine, L.Mazzantini, Neuron inhibition in the human fovea: A study of interaction between two line stimuli, *Atti Fond G Ronchi*, 21, 738-747 (1966).
- [13]. Đ.V. Liệt, L.P. Toàn, D.H. Đầu, Sử dụng hàm trọng lượng tuyến nhằm tăng cường độ phân giải trong việc phân tích tài liệu từ và trọng lực bằng phép biến đổi Wavelet, *Hội thảo toàn Quốc của Hội Địa vật lý Việt Nam*, Vũng Tàu (2009).