

## ỨNG DỤNG PHÉP BIẾN ĐỔI WAVELET LIÊN TỤC ĐỂ XỬ LÝ DỮ LIỆU RA ĐA XUYÊN ĐẤT

DƯƠNG QUỐC CHÁNH TÍN<sup>1</sup>, DƯƠNG HIẾU ĐÀU<sup>1</sup>,  
NGUYỄN THÀNH VĂN<sup>2</sup>, NGUYỄN VĂN THUẬN<sup>2</sup>, NGUYỄN THỊ HƯƠNG<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Đại học Cần Thơ; <sup>2</sup>Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Tp HCM

**Tóm tắt:** Wavelet là một trong những công cụ phân tích tín hiệu mới, đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực như: xử lý ảnh, đồ họa, nén dữ liệu, xử lý dữ liệu từ và trọng lực,... Trong nghiên cứu này, phép biến đổi wavelet liên tục với hàm wavelet được chọn thích hợp và phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet được sử dụng để xác định các đối tượng dưới mặt đất từ dữ liệu thu được do máy ra đa xuyên đất. Kết quả phân tích trên các mô hình lý thuyết và trên dữ liệu thực tế bằng phương pháp được đề xuất đã chỉ ra rằng đây là một phương pháp khả thi để xác định vị trí, kích thước và độ sâu của các vật thể bị chôn vùi mà không xét đến vận tốc truyền sóng điện từ trong môi trường vật chất. Phương pháp phân tích dữ liệu ra đa xuyên đất này có thể được ứng dụng để nghiên cứu cấu trúc tầng nông.

### I. MỞ ĐẦU

Ra đa xuyên đất là một trong những loại thiết bị được phát triển với tốc độ khá nhanh trong những năm gần đây. Nó là một phương tiện hữu hiệu để xác định các đối tượng dưới mặt đất với nhiều ưu điểm như: không phá hủy cấu trúc, tốc độ thu thập số liệu nhanh, có độ phân giải và độ chính xác cao. Nó được ứng dụng 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. Do đó, phương pháp xử lý dữ liệu ra đa xuyên đất luôn được cải tiến và không ngừng phát triển.

Việc phân tích dữ liệu ra đa xuyên đất mất nhiều thời gian và phải trải qua nhiều giai đoạn như định dạng dữ liệu, hiệu chỉnh địa hình, lọc nhiễu, khuếch đại,... [9]. Trong bước minh giải cuối cùng, ba thông số quan trọng cần được xác định chính xác gồm vị trí, kích thước và độ sâu của dị vật.

Xác định kích thước và độ sâu của các vật thể chôn vùi bằng các phương pháp

truyền thống để xử lý dữ liệu GPR gặp rất nhiều khó khăn vì nó phụ thuộc rất nhiều vào vận tốc truyền của sóng điện từ trong môi trường khảo sát là đại lượng biến thiên rất phức tạp theo mọi hướng. Gần đây, Sheng và CCS (2010) [10] đã sử dụng phép biến đổi wavelet rời rạc để lọc nhiễu và tăng cường độ tương phản của dữ liệu thô nhằm nâng cao chất lượng hình ảnh mặt cắt của tuyến đo. Tuy nhiên, các kết quả phân tích vẫn còn phụ thuộc vận tốc truyền sóng điện từ. Hơn nữa, các mô hình thực nghiệm trong nghiên cứu ấy được xây dựng khá lý tưởng - dị vật đồng nhất, trong môi trường đồng nhất. Vì vậy, nghiên cứu chi thực hiện trong phòng thí nghiệm, rất khó ứng dụng cho các số liệu thực tế.

Năm 2016, tập thể tác giả đã sử dụng phép biến đổi wavelet liên tục với hàm wavelet Poisson-Hardy để xác định vị trí và kích thước của các đường ống bị chôn vùi mà không xét đến vận tốc truyền sóng điện từ trong môi trường khảo sát, kết quả đó đã đánh dấu một bước tiến mới trong việc xử lý dữ liệu ra đa xuyên đất. Tuy

nhiên, độ sâu của dị vật vẫn chưa được xác định từ các kết quả nghiên cứu ấy.

Trong bài báo này, tập thể tác giả giới thiệu một họ wavelet mới, cho phép xác định hiệu quả vị trí, kích thước và độ sâu của các đường ống bị chôn vùi sử dụng phương pháp cực đại độ lớn của biến đổi wavelet.

## II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 1. Ra đa xuyên đất

Sử dụng sóng điện từ phản xạ để thăm dò các đối tượng dưới bề mặt đất được đề xuất đầu tiên bởi Cook J.C. (1960) [2]. Sau đó, Cook và nhóm nghiên cứu khác (Moffatt and Puskar (1976) [7]) đã tiếp tục nghiên cứu và phát triển các hệ thống thu phát sóng điện từ để phát hiện những dị vật khá bé bị phản xạ sóng điện từ bên dưới bề mặt đất. Nguyên lý cơ bản của ra đa xuyên đất được trình bày chi tiết bởi Benson (1995) [1]. Nguyên lý ấy có thể tóm lược ngắn gọn là GPR sử dụng một anten phát sóng điện từ dưới dạng xung, thông thường trong khoảng tần số 10-3.000 MHz, lan truyền trong vật chất bên dưới mặt đất với vận tốc phụ thuộc vào cấu trúc môi trường. Khi sóng điện từ di chuyển, nếu gặp các dị vật hoặc các mặt ranh giới có sự bất đồng nhất về tính chất điện với môi trường xung quanh, một phần năng lượng sóng sẽ bị phản xạ lại mặt đất hoặc tán xạ ra môi trường xung quanh. Phần năng lượng còn lại tiếp tục di chuyển vào trong và lặp lại quá trình phản xạ cũng như tán xạ nói trên cho tới khi năng lượng bị hấp thụ hết bởi môi trường. Sóng phản xạ được ghi nhận bởi anten thu và được lưu trữ trong bộ nhớ của thiết bị để phục vụ cho quá trình xử lý và phân tích về sau. Các kênh ghi sóng phản xạ dọc theo một tuyến đo được sắp xếp theo chiều dọc và chúng 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 dị vật ở trước hoặc ở sau

anten của máy ra đa xuyên đất, phải mất nhiều thời gian cho các sóng điện từ phản xạ trở lại anten; trong khi nếu 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 (Hình 1a, 2a, 3a, 4a).

Tốc độ truyền sóng điện từ ( $v$ ) trong môi trường vật chất cho bởi biểu thức sau (Sheng và CCS (2010) [10]):

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

Trong đó:  $P$ : hệ số tổn thất, nó phụ thuộc vào tần số sóng điện từ và là hàm theo độ dẫn điện và độ điện thẩm của môi trường;  $c = 0,2998$  m/ns chỉ tốc độ sóng điện từ trong chân không;  $\epsilon_r$  biểu diễn hằng số điện môi tương đối;  $\mu_r$ : độ từ thẩm tương đối ( $\mu_r = 1,0$  cho các vật liệu không có từ tính).

Độ xuyên sâu  $h$  được xác định từ vận tốc truyền của sóng điện từ trong môi trường và thời gian  $t$  tín hiệu truyền từ anten phát đến anten thu. Điều này cho ta tính  $h$  từ hệ thức sau [10]:

$$h = \frac{\sqrt{(t.v)^2 - S^2}}{2} \quad (2)$$

Ở đây:  $S$ : khoảng cách giữa anten phát và anten thu trong hệ thống GPR.

### 2. Phép biến đổi wavelet liên tục và hàm wavelet phức Farshad-Sailhac

Phép biến đổi wavelet một chiều của tín hiệu  $f(x) \in L^2(R)$  cho bởi:

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



Ở đây:  $a, b \in R^+$  lần lượt là tham số tỉ lệ và tham số dịch chuyển;  $L^2(R)$  chỉ không gian Hilbert của hàm sóng một chiều có năng lượng hữu hạn;  $\bar{\psi}(x)$  biểu diễn hàm liên hợp phức của wavelet  $\psi(x)$ , là hàm phân tích trong biểu thức tích phân (3),  $f * \bar{\psi}$  mô tả tích chập của  $f(x)$  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 mà ta phân tích.

Để xác định biên của dị vật, từ đó ước lượng vị trí, kích thước và độ sâu của chúng, hàm wavelet phức có tên Farshad-Sailhac do tập thể tác giả thiết kế có dạng sau:

$$\psi^{(FS)}(x) = \psi^{(F)}(x) + i\psi^{(S)}(x) \quad (4)$$

Trong đó:

$$\psi^{(F)}(x) = \frac{4 - 2x^2}{(x^2 + 2)^{\frac{5}{2}}} - \frac{1 - 2x^2}{(x^2 + 1)^{\frac{5}{2}}} \quad (5)$$

$$\psi^{(S)}(x) = \text{Hilbert}(\psi^{(F)}(x)) \quad (6)$$

### 3. Phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet

Trong xử lý ảnh, xác định biên là một bước rất quan trọng. Theo lý thuyết xử lý ảnh, biên của ảnh là những vùng mà tại đó cường độ sáng có sự thay đổi đột ngột hoặc màu sắc có sự tương phản mạnh. Với những tín hiệu biến đổi theo không gian giống như dữ liệu GPR, những điểm mà biên độ của tín hiệu thay đổi nhanh hoặc đột ngột được xem là biên của tín hiệu. Phương pháp xác định biên sử dụng biến đổi wavelet dựa trên việc tìm vị trí trên tỉ lệ đồ mà tại đó hệ số biến đổi wavelet đạt cực đại. Do đó kỹ thuật xác định biên bằng phép biến đổi wavelet còn được gọi là: "Phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet". Ứng dụng phương pháp này phân tích dữ liệu GPR để xác định vị trí, kích thước và độ sâu của các vật thể bị chôn vùi.

Thật vậy, hầu hết trong các kỹ thuật xử lý tín hiệu, tín hiệu gốc đều bị tách ra làm nhiều thành phần theo những tần số hay tỉ lệ khác nhau, tương tự trong xử lý tín hiệu bằng wavelet. Việc khai triển tín hiệu thành các khối cơ bản vừa cho biết thông tin về tần số vừa giúp định vị không gian chính xác đã góp phần tích cực và làm đơn giản việc xác định các điểm kỳ dị địa phương của tín hiệu thông qua các cực đại về độ lớn của các hệ số khai triển wavelet trên tín hiệu. Phát hiện các điểm kỳ dị sẽ góp phần tích cực để tìm ra những thông tin còn ẩn chứa bên trong tín hiệu như vị trí, độ sâu hay kích thước của nguồn trường. Theo Mallat S., Hwang W.L. (1992) [6], với các dạng tín hiệu trường thể như tín hiệu trọng lực, tín hiệu địa từ, hoặc tín hiệu sóng điện từ, ra đa xuyên đất,... các điểm kỳ dị sẽ là nơi mà tốc độ thay đổi biên độ tín hiệu lớn nhất cho nên về mặt toán học, vị trí của các điểm kỳ dị sẽ tương ứng với vị trí ở nơi đạo hàm bậc nhất của tín hiệu đạt cực trị hay nói cách khác là điểm kỳ dị được xác định qua vị trí mà độ lớn đạo hàm bậc nhất của tín hiệu (đã được làm tròn ở tỉ lệ  $a$ ) là cực đại. Nó được tính bởi các cực đại về độ lớn của các hệ số khai triển wavelet của tín hiệu ứng với một số hàm wavelet được thiết kế phù hợp. Đây là hướng nghiên cứu phổ biến cho tất cả các ngành thăm dò địa vật lý hiện nay, sử dụng phép biến đổi wavelet kết hợp phương pháp tìm các cực đại độ lớn dọc theo các tỉ lệ khác nhau của tín hiệu.

### 4. Phép lọc sử dụng hàm trọng tuyến

Hàm trọng tuyến là tổ hợp tuyến tính của hàm Gauss và đạo hàm bậc hai theo không gian của hàm Gauss [5]:

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

ở đây: 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  $h_2\left(\frac{x}{\sigma}\right)$  chỉ đạo hàm bậc hai theo không gian 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 trọng tuyến vừa có tác dụng khử nhiễu vừa có tác dụng tăng cường độ tương phản biên khi sử dụng kết hợp với phép biến đổi wavelet liên tục [3].

#### 5. Quy trình xử lý dữ liệu ra đa xuyên đất sử dụng phép biến đổi wavelet

Việc xác định vị trí, kích thước và độ sâu của dị vật sử dụng phép biến đổi wavelet có thể tóm lược trong quy trình gồm các bước sau:

*Bước 1:* Chọn lớp cắt dữ liệu tối ưu.

Sau khi xử lý số liệu thô, ta 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 nhiễu dữ liệu bằng hàm trọng tuyến.

Dữ liệu thích hợp được chọn ở bước 1 được lọc nhiễu sử dụng hàm trọng tuyến nhằm tăng cường độ tương phản biên khi sử dụng với phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet.

*Bước 3:* Loại bỏ dữ 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 tác dụng hiệu ứng biên.

*Bước 4:* Thực hiện phép biến đổi wavelet Farshad-Sailhac với dữ liệu GPR đã được lọc nhiễu bằng hàm trọng tuyến.

Các dữ liệu sau biến đổi wavelet phức sẽ 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  $a$  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  $a$  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, độ sâu và kích thước của đường ống bị chôn vùi.

Trên đồ thị đẳng trị của hệ số biến đổi wavelet, chúng ta sẽ xác định tọa độ của điểm có hệ số biến đổi wavelet đạt giá trị cực đại. Hoành độ và tung độ của điểm này tương ứng là  $B$  và  $A$ . Khi đó, vị trí và độ sâu của đường ống bị chôn vùi được xác định bởi các biểu thức sau:

$$x = B \times dx \quad (10)$$

$$z = A \times dx \quad (11)$$



Tương tự, tọa độ biên trái và biên phải của dị vật cũng sẽ được xác định từ đồ thị đẳng pha và kích thước của dị vật cũng được ước lượng bằng hệ thức:

$$D = (\text{tọa độ biên phải} - \text{tọa độ biên trái}) \times dx \quad (12)$$

### III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 1. Các mô hình lý thuyết

Để kiểm chứng độ tin cậy của phương pháp được đề xuất, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thử nghiệm trên nhiều mô hình lý thuyết khác nhau bao gồm: dị vật là các ống 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 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, điều đó chứng tỏ phương pháp phân tích đáng tin cậy. Tuy nhiên, trong bài báo này, tập thể tác giả chỉ giới thiệu kết quả xử lý trên ba mô hình lý thuyết điển hình, gồm mô hình 1 là ống trụ kim loại trong môi trường đồng nhất, mô hình 2 cũng là ống trụ kim loại với kích thước khác mô hình trước nhưng được chôn vùi trong môi trường có 03 phân lớp ngang và cuối cùng là ống bê tông hình vuông trong môi trường phân lớp có dạng hình sine.

##### a) Mô hình 1

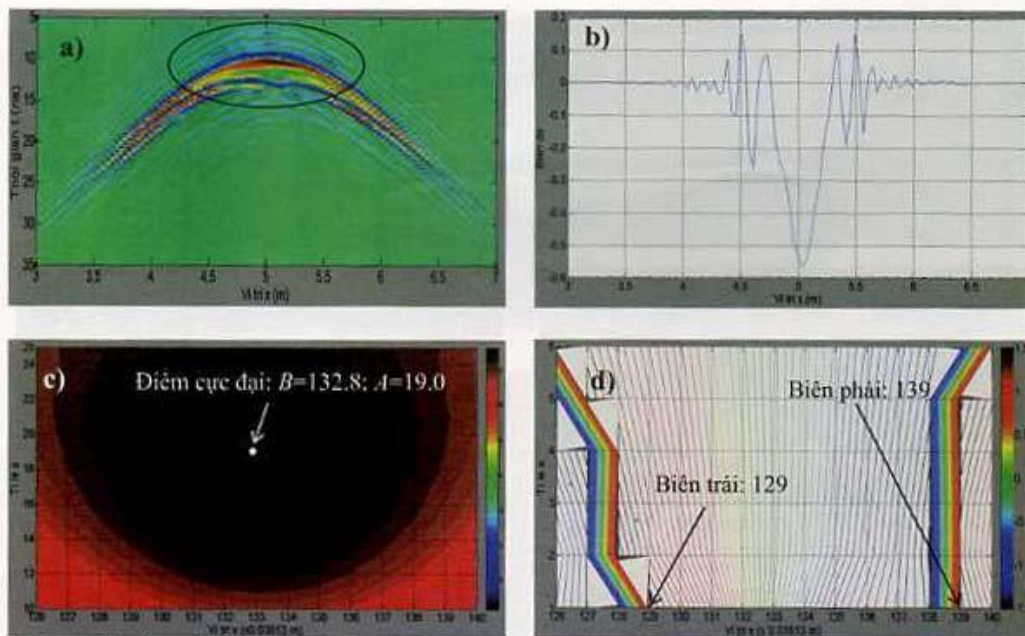
Sử dụng anten tần số 700 MHz có môi trường đồng nhất, cát khô dày khoảng 5,0 m, điện dẫn suất  $\sigma = 0,01$  mS/m, hằng số điện môi tương đối  $\epsilon_r = 5,0$ , độ từ thẩm tương đối  $\mu_r = 1,0$ , tốc độ truyền sóng điện từ  $v = 0,13407$  m/ns [9]. Dị vật bên dưới là ống trụ bằng kim loại với các

thông số:  $\sigma = 100$  S/m,  $\epsilon_r = 81,0$ ,  $\mu_r = 1,0$ ,  $v' = 0,0082$  m/ns, bên trong là không khí; tâm của dị vật có tọa độ ngang là  $x = 5,0$  m và độ sâu  $z = 0,8$  m, đường kính trong  $d = 0,320$  m, đường kính ngoài  $D = 0,400$  m.

Hình 1a là đồ thị xung sóng điện từ xử lý từ mô Hình 1. Đồ thị này thể hiện mặt cắt GPR được chọn bởi anten tần số 700 MHz. Dựa vào đồ thị ta thấy, một hyperbol có điểm ở tọa độ  $t = 8,97$  ns và  $x = 5$  m thể hiện tín hiệu bị phản xạ từ trụ kim loại bị chôn vùi trong môi trường đồng nhất. Từ biểu đồ xung sóng điện từ trong hình 1a, tác giả chọn một lớp cắt dữ liệu tối ưu ngay bên dưới đỉnh hyperbol. Kết quả thu được trong Hình 1b, thể hiện tín hiệu của lớp cắt. Sau khi thực hiện phép biến đổi wavelet liên tục phức, ta thu được bốn bộ dữ liệu khác nhau, trong đó thành phần dữ liệu về độ lớn và pha sẽ được sử dụng để vẽ đẳng trị và đẳng pha. Kết quả vẽ đẳng trị và đẳng pha được mô tả lần lượt trên Hình 1c và 1d.

Từ kết quả vẽ đẳng trị trong Hình 1c, chúng ta dễ dàng tìm được điểm cực đại của hệ số biến đổi wavelet, và nó nằm ở vị trí có tọa độ là  $(B = 132,8; A = 19,0)$ . Tương tự, tọa độ biên trái và biên phải của dị vật cũng được xác định trong Hình 1d tương ứng là 129 và 139. Do đó, vị trí, độ sâu và kích thước của đường ống bị chôn vùi có thể được xác định từ các biểu thức (10), (11), và (12). Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 1.

Kết quả phân tích trong Bảng 1 đã chỉ ra rằng việc xác định các thông số cơ bản của đường ống bị chôn vùi trong môi trường đồng nhất có độ chính xác khá cao. Tiếp theo, tập thể tác giả sẽ tiếp tục thử nghiệm với mô hình kế tiếp để khẳng định độ tin cậy của phương pháp được đề xuất. Các thông số của mô hình này được xây dựng khá gần với các dữ liệu thực tế.



Hình 1. Các dạng đồ thị của mô hình 1: a) Mật cắt GPR; b) Tín hiệu của lớp cắt được chọn; c) Đẳng trị của biến đổi wavelet; d) Đẳng pha của biến đổi wavelet.

Bảng 1. Kết quả phân tích các mô hình

Thứ tự mô hình	Vị trí (m)	Sai số (%)	Độ sâu (m)	Sai số (%)	Kích thước (m)	Sai số (%)
1	5,064	1,3	0,724	9,5	0,381	4,8
2	5,050	1,0	0,924	7,6	0,637	6,2
3	7,047	0,7	1,020	2,0	0,779	2,6

### b) Mô hình 2

Sử dụng anten tần số 700 MHz, môi trường không đồng nhất gồm 03 phân lớp ngang:

**Lớp 1:** cát khô dày 0,2 m, các thông số tương ứng là:  $\sigma = 0,001$  mS/m,  $\epsilon_r = 4,0$ ,  $\mu_r = 1,0$ ,  $v_1 = 0,15$  m/ns.

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

**Lớp 3:** đất sét dày 4,4 m,  $\sigma = 200$  mS/m,  $\epsilon_r = 16,0$ ,  $\mu_r = 1,0$ ,  $v_3 = 0,07$  m/ns.

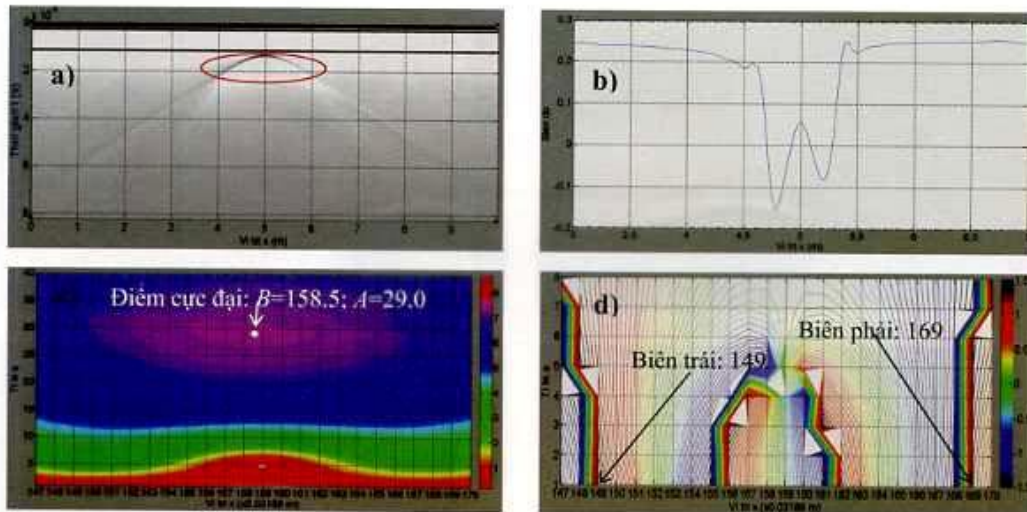
Dị vật bên dưới là ống kim loại có  $\sigma = 100$  S/m,  $\epsilon_r = 81$ ,  $\mu_r = 1,0$ ,  $v' = 0,0082$  (m/ns), bên trong là không khí; tâm của dị vật có tọa độ theo phương

ngang là  $x = 5,0$  m và độ sâu  $z = 1,0$  m, đường kính trong  $d = 0,56$  m, đường kính ngoài  $D = 0,60$  m.

Dựa vào kết quả vẽ đẳng trị và đẳng pha trong Hình 2c và 2d, điểm cực đại của hệ số biến đổi wavelet có tọa độ ( $B = 158,5$ ;  $A = 29,0$ ), biên trái và biên phải của dị vật lần lượt có tọa độ là 149,0 và 169,0.

Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 1 chỉ ra rằng việc xác định các thông số cơ bản của đường ống bị chôn vùi trong môi trường không đồng nhất của mô hình 2 có sai số nằm trong giới hạn cho phép (1,0%, 7,6%, và 6,2% tương ứng cho việc xác định vị trí, độ sâu và kích thước).





Hình 2. Các dạng đồ thị của mô hình 2: a) Mặt cắt GPR; b) Tín hiệu của lớp cắt được chọn; c) Đăng trị của biến đổi wavelet; d) Đăng pha của biến đổi wavelet.

Như vậy, khi sử dụng phép biến đổi wavelet liên tục vào mô hình phức tạp hơn - môi trường không đồng nhất với 03 phân lớp ngang, cùng một vật thể bị chôn vùi bằng kim loại nhưng kích thước của nó là lớn hơn kích thước của dị vật trong mô hình 1, tương ứng với ống cấp nước trong thực tế thì vị trí theo phương ngang, độ sâu và kích thước của dị vật được xác định là hợp lý. Do đó, môi trường không đồng nhất với phân lớp ngang và các vật thể chôn vùi có kích thước khác nhau không ảnh hưởng đến kết quả phân tích.

Tiếp theo, nhóm nghiên cứu tiếp tục thử nghiệm phương pháp trên mô hình khác với mặt ranh giới hình sine, chất liệu và hình dạng của dị vật cũng được thay đổi để kiểm chứng sự phù hợp của phép biến đổi wavelet liên tục trên các mô hình khác nhau.

### c) Mô hình 3

Sử dụng anten tần số 700 MHz, môi trường không đồng nhất với ranh giới hình sine gồm hai lớp:

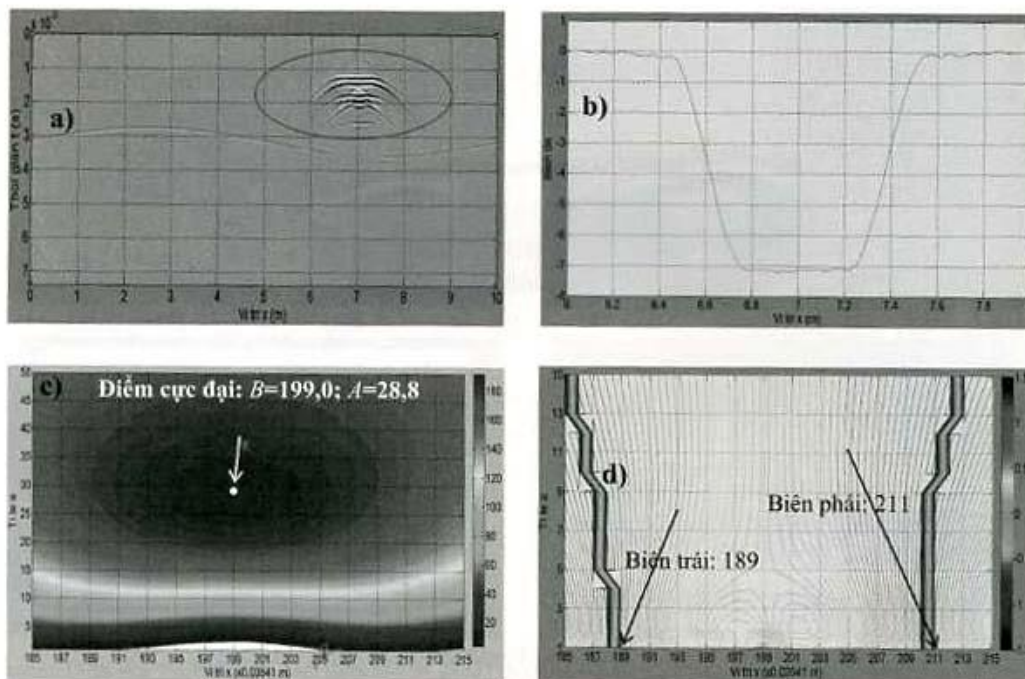
*Lớp 1:* nhựa đường dày 1,5 m, với các thông số tương ứng là  $\sigma = 0,001$  mS/m,  $\epsilon_r = 4,0$ ,  $\mu_r = 1,0$ ,  $v_1 = 0,15$  m/ns.

*Lớp 2:* đất sét dày 3,5 m,  $\sigma = 200$  mS/m,  $\epsilon_r = 16,0$ ,  $\mu_r = 1,0$ ,  $v_2 = 0,07$  m/ns.

Dị vật bên dưới ống bê tông có tiết diện vuông, với các thông số:  $\sigma = 1$  mS/m,  $\epsilon_r = 6$ ,  $\mu_r = 1,0$ ,  $v' = 0,12$  (m/ns), bên trong là không khí; tâm của đường ống nằm ở tọa độ  $x = 7,0$  m theo phương ngang và có độ sâu  $z = 1,0$  m, đường kính trong  $d = 0,60$  m, đường kính ngoài  $D = 0,80$  m.

Theo kết quả vẽ đăng trị trong Hình 3c, chúng ta dễ dàng tìm thấy điểm cực đại của hệ số biến đổi wavelet nằm ở tọa độ ( $B = 199,0$ ;  $A = 28,8$ ). Bên cạnh đó, biên trái và biên phải của dị vật được thể hiện trên Hình 3d lần lượt là 189 và 211. Vì vậy, vị trí, độ sâu và kích thước của đường ống cũng được xác định từ các biểu thức (10), (11), và (12). Các kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 1.

Trong mô hình 3, tập thể tác giả đã thay đổi từ mặt ranh giới nằm ngang sang mặt ranh giới dạng sine, chất liệu của dị vật cũng được thay đổi từ kim loại thành bê tông và hình dáng của dị vật cũng được thay đổi từ ống trụ sang ống vuông nhưng kết quả thu được vẫn có độ tin cậy cao với sai số nằm trong giới hạn cho phép.



Hình 3. Các dạng đồ thị của mô hình 3: a) Mặt cắt GPR; b) Tín hiệu của lớp cắt được chọn; c) Đăng trị của biến đổi wavelet; d) Đăng pha của biến đổi wavelet.

Vì vậy, tính chính xác của phương pháp được đề xuất đã được khẳng định qua việc phân tích dữ liệu trên 03 mô hình lý thuyết. Công việc tiếp theo các tác giả sẽ ứng dụng phương pháp đã nêu vào phân tích dữ liệu ra đa xuyên đất trên thực tế được đo bởi nhóm nghiên cứu của Bộ môn Vật lý địa cầu, Khoa Vật lý và Vật lý kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học quốc gia Tp. Hồ Chí Minh.

## 2. Dữ liệu thực tế - Ống cấp nước

Dữ liệu GPR được thu bởi máy Duo (IDS, Italia), sử dụng anten tần số 700 MHz. Tuyến đo TZZ10030 được thực hiện ở trước nhà số 57, đường Ngô Nhân Tịnh, Quận 6, Thành phố Hồ Chí Minh vào thứ ba, ngày 19 tháng 01 năm 2016

bởi nhóm nghiên cứu của Bộ môn Vật lý địa cầu.

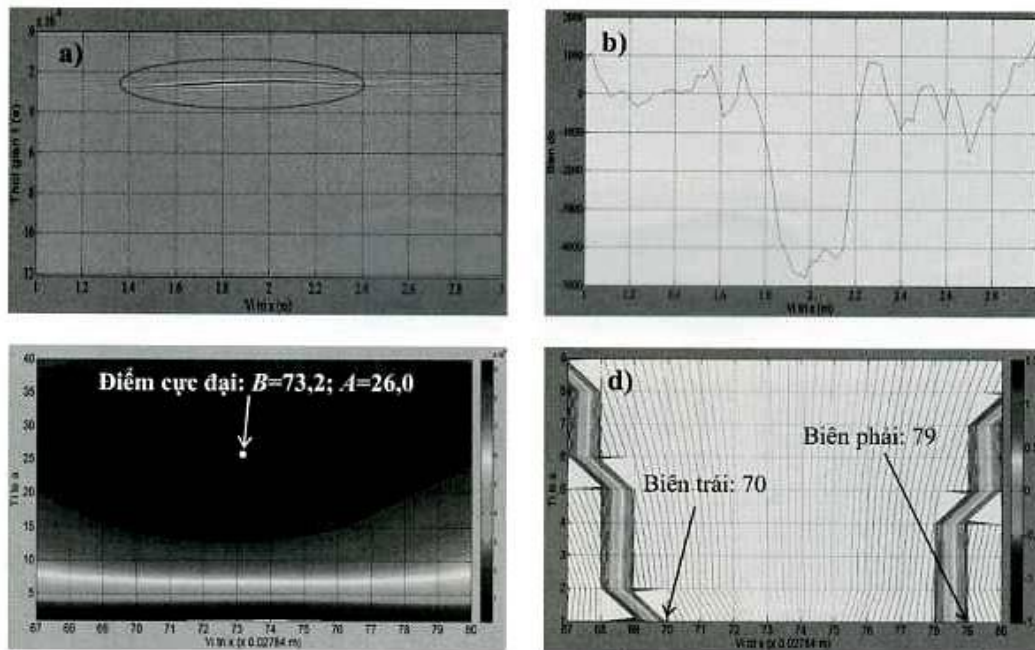
Theo thông tin tiên nghiệm từ nhà thiết kế và lắp đặt đường ống thì kích thước đường ống này là 0,280 m và nó được đặt ở vị trí có tọa độ  $x = 2,000$  m dọc theo tuyến đo, với độ sâu tương ứng là  $z = 0,800$  m.

Dựa vào kết quả vẽ đăng trị trên Hình 4c và kết quả vẽ đăng pha trên Hình 4d ta xác định được vị trí của dị vật tại  $x = 2.038$  m (sai lệch 1,9% so với vị trí chính xác của dị vật) với độ sâu là  $z = 0,724$  m (sai lệch 9,5% so với độ sâu chính xác của dị vật), và kích thước tương ứng là 0,251 m (sai lệch 10,3% so với kích thước chính xác của dị vật) (Bảng 2).

Bảng 2. Kết quả phân tích tuyến đo ra đa thực tế

Vị trí (m)	Sai số (%)	Độ sâu (m)	Sai số (%)	Kích thước (m)	Sai số (%)
2.038	1,90	0,724	9,50	0,251	10,30





Hình 4. Các dạng đồ thị của dữ liệu thực tế: a) Mặt cắt GPR; b) Tín hiệu của lớp cắt được chọn; c) Đăng trị của biến đổi wavelet; d) Đăng pha của biến đổi wavelet.

Tóm lại phân tích dữ liệu ra đa xuyên đất dựa trên phép biến đổi wavelet liên tục giữ một vai trò quan trọng trong việc xác định vị trí, độ sâu và kích thước của các dị vật được chôn ở các tầng đất nông trong môi trường không đồng nhất và điều này rất khó thực hiện được bởi bản thân của máy ra đa xuyên đất. Sau đó, công việc tiếp theo sẽ là lấy các dị vật ra khỏi môi trường hoặc đặt thêm các đường ống khác vào trong lòng đất. Điều này sẽ được thực hiện khá nhanh chóng, tiết kiệm thời gian đào bới và góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế.

#### IV. KẾT LUẬN

Quy trình minh giải số liệu GPR bằng phép biến đổi wavelet liên tục với hàm wavelet Farshad-Sailhac để xác định vị trí, độ sâu và kích thước của dị vật đã được xây dựng và áp dụng. Tập thể tác giả đã thử nghiệm quy trình vào việc phân tích dữ liệu trên ba mô hình lý thuyết và một tuyến đo ra đa thực tế. Các mô hình lý thuyết được xây dựng trong bài báo

này rất gần với các đường ống bị chôn vùi được nghiên cứu trong thực tế để kiểm chứng tính khả thi của phương pháp được đề xuất trước khi áp dụng vào phân tích các dữ liệu thực tế. Sự phù hợp của các kết quả phân tích chỉ ra rằng sử dụng phép biến đổi wavelet liên tục và phương pháp cực đại độ lớn cung cấp cho các chuyên gia Địa Vật lý một định hướng minh giải số liệu ra đa xuyên đất hiệu quả. Nếu các nhà nghiên cứu chuyên sâu có thể kết hợp giữa phương pháp được trình bày trong nghiên cứu này với các phương pháp truyền thống để xử lý dữ liệu GPR thì việc xác định các dị vật trong các tầng địa chất nông sẽ trở nên hiệu quả hơn.

#### VĂN LIỆU

1. Benson A.K., 1995. Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards-examples of groundwater contamination, faults, cavities. *J. of Applied Geophysics*. 33, pp. 177-193.

2. Cook J.C., 1960. Proposed monocycle-pulse VHF radar for airborne ice and snow measurements. *Journal of the American Institute of Electrical Engineers, Transactions on Communication and Electronics*. 79, pp. 588-594.
3. Dương Hiếu Đầu, 2013. Phân tích tài liệu từ và trọng lực sử dụng biến đổi wavelet liên tục. *Nxb Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh*.
4. Dương Quốc Chánh Tín, Dương Hiếu Đầu, Nguyễn Thành Vân, Nguyễn Văn Thuận, 2016. Phép biến đổi wavelet liên tục trong xử lý tài liệu thăm dò điện từ tần số cao. *TC Phát triển Khoa học - Công Nghệ, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh*. 19, pp. 81-93.
5. Fiorentine A. and Mazzantini L., 1966. Neuron inhibition in the human fovea: A study of interaction between two line stimuli. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*. 21, pp. 738-747.
6. Mallat S., Hwang W.L., 1992. Singularity Detection and Processing with Wavelets. *IEEE Transactions on information Theory*, 38, 2, pp. 617-643.
7. Moffatt D.L., Puskar R.J., 1976. A subsurface electromagnetic pulse radar. *Geophysics*, 41, pp. 506-518.
8. Ouadfeul S., Aliouane L., Eladj S., 2010. Multiscale analysis of geomagnetic data using the continuous wavelet transform. *Application to Hoggar (Algeria), SEG Expanded Abstracts 29*, pp. 1222-1225.
9. Nguyễn Thành Vân, Nguyễn Văn Giảng, 2013. Ra đa xuyên đất - Phương pháp và ứng dụng. *Nxb ĐHQG Tp. HCM*.
10. Sheng H.N., Yan H.H., Kuo F.L., Da C.L., 2010. Buried pipe detection by ground penetrating radar using the discrete wavelet transform. *Elsevier, Computers and Geotechnics*, 37, pp. 440-448.

## SUMMARY

### Application of the continuous Wavelet transform in processing of ground penetrating radar data

*Dương Quốc Chánh Tín, Dương Hiếu Đầu,  
Nguyễn Thành Vân, Nguyễn Văn Thuận, Nguyễn Thị Hương*

Wavelet transform is one of new signal analysis tools, it plays an important role in numerous fields such as image and graphic processing, data compression, gravitational and geomagnetic data processing... In this study, the continuous wavelet transform and the wavelet transform modulus maxima method with appropriate wavelet functions were used to determine the underground targets from ground penetrating radar data. Results of this technique from the testing on theoretical models and experimental data indicated that this procedure was a feasible method; and it can be used for detecting the depth, size and position of the buried objects without the consideration of electromagnetic wave velocity in the material. This ground penetrating radar analysis can be also applied for the detection of natural resources in shallow structure researches.

*Người biên tập: TS. Nguyễn Văn Nam.*