

Nghiên cứu hiện tượng tán xạ để xác định vận tốc lan truyền của các trường sóng vật lý trong môi trường địa chất

Lê Văn Anh Cường^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Khoa Vật lý - Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Thành phố Hồ Chí Minh

²Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh

Liên hệ

Lê Văn Anh Cường, Khoa Vật lý - Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Thành phố Hồ Chí Minh

Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh

Email: lvacuong@hcmus.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 04-01-2023
- Ngày chấp nhận: 25-4-2023
- Ngày đăng: 31-5-2023

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjns.v7i2.1263>



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Hiện tượng tán xạ sóng là hiện tượng vật lý tồn tại trong thế giới tự nhiên và đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong hình thành một số cơ sở lý thuyết của các phương pháp phân tích số liệu Địa Vật lý như địa chấn phản xạ và điện từ tần số cao, radar xuyên đất nhằm nghiên cứu các đối tượng địa chất. Trong hiện tượng này, một trường sóng lan truyền từ nguồn phát bất kỳ đến đối tượng dị vật có kích thước nhỏ hoặc bề mặt thô nhám thì các điểm nhận năng lượng dao động đóng vai trò nguồn phát thứ cấp và gửi một phần các trường sóng mới trở ngược lại máy đo bố trí trên bề mặt. Mối liên hệ giữa thời gian truyền sóng tán xạ và tọa độ các máy đo này được biểu diễn dưới dạng đường hyperbol tán xạ. Bài báo trình bày về hiện tượng tán xạ trường sóng điện từ trong phương pháp radar xuyên đất và trường sóng địa chấn trong phương pháp địa chấn nông phân giải cao để xác định vận tốc lan truyền của các trường sóng vật lý này. Vị trí dị vật công trình ngầm dân sự và độ sâu đáy biển có thể xác định được từ thông tin vận tốc và thời gian lan truyền sóng. Nghiên cứu hiện tượng tán xạ cho sóng Ra đa xuyên đất đã được biết và ứng dụng rộng rãi; tuy nhiên, nghiên cứu mô hình vận tốc của sóng cơ học tán xạ trong môi trường biển bằng phương pháp địa chấn nông phân giải cao cho hệ thiết bị khoảng cách thu nỗ không đối có thể được xem là đầu tiên tại Việt Nam và trên thế giới đến thời điểm này. Để xác định vận tốc truyền sóng, đã sử dụng hai biểu đồ năng lượng và hệ số entropy (độ bất ổn định) của dữ liệu Địa Vật lý được xử lý bằng kỹ thuật dịch chuyển Kirchoff với các dải vận tốc khác nhau trong tìm kiếm hai cực trị phản ánh giá trị vận tốc tương ứng. Lát cắt dịch chuyển Địa Vật lý với vận tốc truyền sóng môi trường thể hiện vị trí các điểm tán xạ (còn gọi là nguồn thứ cấp) có năng lượng cực đại và vùng không gian bao quanh các điểm này có độ bất ổn định thấp nhất. Các dữ liệu Địa Vật lý này được đo đạc tại khu vực đô thị và vùng biển huyện Cần Giờ, Thành phố Hồ Chí Minh.

Từ khoá: dịch chuyển Kirchoff, Entropy, phương pháp địa chấn nông phân giải cao, phương pháp radar xuyên đất, hiện tượng tán xạ

MỞ ĐẦU

Phương pháp radar xuyên đất (GPR) chủ yếu hỗ trợ việc tìm hiểu các tầng địa chất hoặc xây dựng bản đồ công trình ngầm ở độ sâu 1–10 m tùy vào tính chất của môi trường và tần số anten khảo sát¹⁻⁵. Trong khi đó, phương pháp địa chấn phản xạ nông phân giải cao ứng dụng hiệu quả trong việc nghiên cứu các tầng địa chất nông ở các vùng biển, sông, đầm phá có độ sâu từ vài mét đến vài trăm mét⁶⁻¹⁰.

Cả hai phương pháp Địa Vật lý này giống nhau về việc bố trí thiết bị phát nguồn sóng và thiết bị ghi nhận tín hiệu (sóng âm hoặc sóng điện từ tần số cao) không thay đổi trong suốt quá trình đo đạc chiều dài tuyến. Sự khác biệt về các đặc tính môi trường giữa hai phân lớp hoặc hai đối tượng địa chất là điều kiện quan trọng nhất để có các sóng phản xạ hoặc tán xạ trở ngược lại các máy đo lắp đặt trên bề mặt. Đối với phương pháp địa chấn, sự thay đổi về trở kháng âm học (tích của mật độ khối lượng và vận tốc truyền sóng) chi phối hệ

số phản xạ và truyền qua của trường sóng, trong khi đó điều kiện phản xạ và tán xạ trong phương pháp Ra đa xuyên đất bị ảnh hưởng bởi sự khác biệt của độ điện thẩm và độ dẫn điện của môi trường. Độ dẫn điện của đất đá càng lớn sẽ hấp thụ càng nhiều năng lượng sóng điện từ được ghi nhận ở hiệu ứng “lớp da”^{9,10}.

Hiện tượng tán xạ sóng tồn tại trong thế giới tự nhiên là nguồn cảm hứng để các nhà Địa Vật lý như là Claerbout^{11,12}, Yilmaz¹³ và Fomel cùng cộng sự¹⁴ nghiên cứu các kỹ thuật dịch chuyển giúp xây dựng các lát cắt địa chất bằng các hình ảnh của trường dao động sóng địa chấn và tính toán các mô hình vận tốc truyền sóng trong các môi trường địa chất khác nhau. Theo nguyên lý Huygens-Fresnel^{15,16} một vị trí điểm bất kỳ trong môi trường khi nhận năng lượng sóng ánh sáng (nguồn sơ cấp) truyền đến thì chất điểm này được xem là một nguồn sáng thứ cấp có cùng tần số với nguồn sinh ra nó và dao động sáng tại một điểm bất kỳ là tổng hợp của các dao động sáng do các nguồn thứ cấp nằm trên mặt kín (mặt sóng) tưởng tượng bao

Trích dẫn bài báo này: Cường L V A. Nghiên cứu hiện tượng tán xạ để xác định vận tốc lan truyền của các trường sóng vật lý trong môi trường địa chất. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 2023, 7(2):2608-2622.

quanh nguồn sơ cấp.

Khi các trường sóng địa chấn và GPR này xuất phát từ nguồn phát lan truyền xuống môi trường địa chất bên dưới, các quá trình năng lượng sóng bị hấp thụ, phản xạ, tán xạ xảy ra trước khi quay trở lại máy đo. Những tín hiệu có ích thu nhận được biểu diễn theo miền thời gian - không gian dù chứa đựng những thông tin về môi trường địa chất nhưng vẫn bị ảnh hưởng bởi sự mất mát năng lượng và nhiễu bởi các yếu tố bên ngoài (nhiều ngẫu nhiên hoặc tín hiệu từ các đối tượng không quan tâm). Do đó, quy trình xử lý tín hiệu cho cả hai phương pháp có nhiều điểm tương đồng ở việc khuếch đại tín hiệu có ích có thể bao gồm các bước xử lý như lọc nhiễu, tăng biên độ, tính vận tốc truyền sóng và dịch chuyển. Vận tốc nước biển là đại lượng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như mùa, áp suất, thời gian, vị trí, dòng chảy, và độ sâu, ...^{17,18}.

Đối với phương pháp GPR và địa chấn, yếu tố vận tốc đóng vai trò quan trọng trong tính toán độ sâu và kích thước dị vật ngầm thông qua các lát cắt dịch chuyển. Thông thường, các dị vật tán xạ có kích thước đường kính lớn sẽ gây sai lệch trong ước tính vận tốc nhiều hơn các dị vật kích thước nhỏ (bé hơn 10 cm đối với phương pháp GPR)⁴. Trong phương pháp địa chấn, mô hình địa chất có thể được biểu diễn chính xác nhờ vào kỹ thuật dịch chuyển dữ liệu theo miền độ sâu với thông tin chính xác của mô hình vận tốc đầu vào¹³. Do đó, kết quả biểu diễn các đối tượng địa chất sâu bên dưới có thể sai lệch theo chiều sâu ít nhất là 100 m nếu vận tốc truyền sóng trong lớp nước biển (lớp đầu tiên trong mô hình địa chất) bị sai lệch¹⁹. Do đó, vận tốc trung bình nước biển có thể ước tính là 1500 m/s được tính từ khoảng 1440 m/s đến 1570 m/s khi không có thông tin thực địa từ các máy đo (sensor) đặt ở đáy biển trong giếng khoan¹⁹.

Nội dung bài báo này tập trung làm rõ các hiện tượng tán xạ có thể ghi nhận được ở các phương pháp Địa Vật lý, sử dụng trường sóng điện từ và trường sóng địa chấn tại TP. Hồ Chí Minh qua hai mục tiêu: (i) Xác định vị trí các đối tượng ngầm và vận tốc truyền sóng điện từ tại một khu vực đô thị TP. Hồ Chí Minh dựa trên các kỹ thuật phân tích các thuộc tính năng lượng và entropy của dữ liệu dịch chuyển GPR; (ii) Xác định được hiện tượng tán xạ sóng trong vùng biển huyện Cần Giờ, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam và ước tính vận tốc truyền sóng địa chấn trong lớp nước biển từ dữ liệu địa chấn nông phân giải cao cũng thông qua việc phân tích các thuộc tính năng lượng và Entropy của dữ liệu dịch chuyển. Kỹ thuật dùng để dịch chuyển dữ liệu GPR và địa chấn là phương pháp dịch chuyển Kirchhoff^{4,13}.

PHƯƠNG PHÁP

Việc xác định vận tốc truyền sóng đối với dữ liệu đo đạc theo kiểu điểm giữa chung (Common Mid Point, CMP) hoặc điểm nổ chung (Common Shot Point) cho cả phương pháp địa chấn và GPR¹³ dựa trên phân tích đồ thị hyperbol của sóng phản xạ phản ánh mối liên hệ giữa thời gian truyền sóng phản xạ và khoảng cách thu nổ. Như vậy, theo quy tắc truyền thống, một điểm phát sóng tại vị trí x phải có nhiều máy đo thì có thể tính toán được vận tốc truyền sóng phản xạ. Tuy nhiên, trong phạm vi bài này, dữ liệu đo bao gồm tập hợp các đường ghi với đặc tính là tại một vị trí phát sóng thì chỉ có một vị trí thu sóng (dữ liệu khoảng cách chung). Về cơ bản, phương pháp tính vận tốc địa chấn phản xạ theo kiểu truyền thống (CMP) không thể áp dụng cho các dữ liệu khoảng cách chung (khoảng cách thu nổ là hằng số). Cho nên, việc tính toán được vận tốc truyền sóng đối với dữ liệu khoảng cách chung này chỉ có thể thực hiện được nếu phát hiện ra các vị trí có hyperbol tán xạ điểm trong tuyến đo đạc Địa Vật lý^{4,20}.

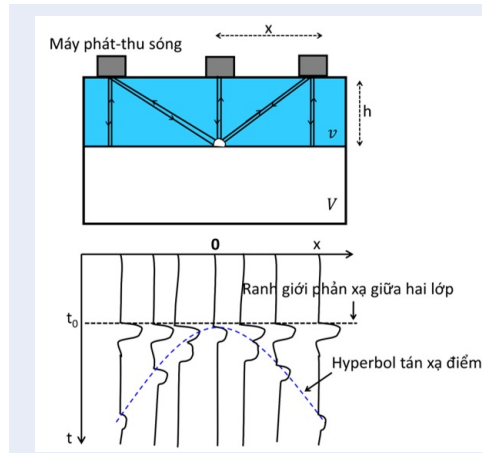
Cách tiếp cận tính vận tốc môi trường là tập trung phân tích các lát cắt dịch chuyển dựa trên hai tiêu chuẩn: (i) sự thay đổi dáng hình của đường hyperbol tán xạ sau dịch chuyển so với trước khi dịch chuyển và (ii) giá trị đại lượng vật lý (năng lượng và entropy) cho vùng không gian lân cận chứa đỉnh hyperbol tán xạ. Phương pháp dịch chuyển số liệu Địa Vật lý như địa chấn và GPR đo đạc theo khoảng cách chung là phương pháp dịch chuyển Kirchhoff.

Tập hợp các tín hiệu tán xạ thu được từ các dị vật tán xạ điểm được ghi nhận là dạng hyperbol trên giản đồ sóng địa chấn và radar xuyên đất. Phương trình hyperbol (1) thông dụng có thể dễ dàng rút ra dựa trên Hình 1:

$$t^2 = \frac{4}{v^2}x^2 + t_0^2, \quad (1)$$

với, giá trị x là khoảng cách giữa tọa độ tán xạ điểm theo phương ngang và vị trí máy đo. t_0 là thời gian truyền ngắn nhất giữa tán xạ điểm và hình chiếu của nó trên mặt đất. v là vận tốc truyền của trường sóng trong môi trường. t là thời gian truyền sóng tán xạ giữa nguồn phát đến tán xạ điểm và trở lại máy đo.

Ý tưởng của phương pháp dịch chuyển Kirchhoff dựa vào nguyên lý Huygens – Fresnel và bài toán Kirchhoff khi cho rằng các ranh giới phản xạ là tập hợp các điểm tán xạ đóng vai trò nguồn thứ cấp và việc xác định vị trí các tán xạ điểm ấy nằm ở việc tính tổng tất cả các biên độ tán xạ xuất phát từ từng tán xạ điểm để có thể xây dựng mặt ranh giới phản xạ. Biên độ của tán xạ



Hình 1: Bố trí đo đạc hệ thiết bị máy đo địa vật lý khoảng cách chung (khoảng cách thu nổ là hằng số) và biểu đồ dữ liệu sóng phản xạ và tán xạ trong mô hình phân lớp: (a) Mô hình truyền sóng phản xạ và tán xạ; (b) Giải đồ GPR với vị trí sóng tại A, x là khoảng cách máy phát và thu, h là độ sâu dị vật, v là vận tốc truyền sóng, t_0 là thời gian truyền sóng ghi nhận ở điểm giữa A.

điểm trong bài toán Kirchhoff được Sneider (1978) và Scales (1995)²¹ có dạng sau:

$$P_{Dj}(x_{Dj}, z_{Dj}, t) = \frac{1}{2\pi} \int \left[\frac{\cos \theta}{r^2} P\left(x - x_{Dj}, z = 0, t - \frac{r}{v}\right) + \frac{\cos \theta}{rv} \frac{\partial}{\partial t} P\left(x - x_{Dj}, z = 0, t - \frac{r}{v}\right) \right] dx, \quad (2)$$

trong đó,

r là khoảng cách từ các điểm quan sát đến điểm tán xạ: $r^2 = (x - x_{Dj})^2 + z_{Dj}^2$.

θ là góc giữa tia ló và phương pháp tuyến đến mặt quan sát.

P(x, z = 0, t) là trường sóng đo được trên mặt đất (Hình 1).

Trong phương trình (2), độ rộng đáy cộng được thể hiện qua khoảng cận tích phân của biến x. Độ rộng là số các cộng sóng (mạch ghi dữ liệu) tham gia vào quá trình cộng hyperbol. Khoảng cách độ rộng được chọn dựa trên khoảng cách lớn nhất ước tính của hyperbol tán xạ điểm, thường là 5 m.

Sự thay đổi dáng hình của đường hyperbol tán xạ sau dịch chuyển so với trước khi dịch chuyển

Đối với điểm tán xạ kích thước nhỏ, dịch chuyển vận tốc đúng đem đến điểm có năng lượng cao nhất ở đỉnh của nó là kết quả của quá trình tổng của các xung sóng đồng pha tương tự nhau¹³. Dịch chuyển với vận tốc sai sẽ tạo nên các kết quả đường cong hướng ngược

lên (hiện tượng ‘miệng cười’ với vận tốc dịch chuyển lớn hơn vận tốc thực) hoặc hướng xuống (hiện tượng ‘miệng khóc’ với vận tốc dịch chuyển bé hơn vận tốc thực) (Hình 2)¹³.

Trong trường hợp tán xạ của các dị vật kích thước lớn, sự hội tụ của hyperbol cũng dẫn đến các điểm nhỏ, chính điều này phản ánh sự sai lệch hình học của các dị vật này. Do đó, một giả thiết được thiết lập cho rằng: hình dạng phẳng nhất của tín hiệu pha sóng đầu tiên trong các cộng sóng, gần đỉnh của hyperbol, có thể đem đến sự ước lượng tốt nhất vận tốc khi mà các thông tin kích thước và độ sâu dị vật hoàn toàn không biết⁴. Hoặc là, tính giá trị entropy (độ hỗn loạn) của vùng không gian chỉ có chứa tín hiệu tán xạ (sau khi đã loại trừ khu vực chỉ chứa tín hiệu phản xạ xuất phát từ dị vật lớn) cũng sẽ đem đến ước tính hiệu quả cho kích thước dị vật và vận tốc môi trường trong lát cắt dịch chuyển⁴.

Tiêu chuẩn năng lượng và giá trị Entropy (độ hỗn loạn) trong xác định vận tốc

Quá trình chọn vận tốc dựa theo hình dáng dữ liệu dịch chuyển “miệng khóc”, hội tụ, và “miệng cười” là quá trình thử sai phụ thuộc vào khả năng nhà Địa Vật lý. Để quá trình này biến thành quá trình tính vận tốc truyền sóng tự động, hai tiêu chuẩn về giá trị cực trị được đề nghị:

+ Năng lượng: $D(j) = \sum_{i=1}^M X^2(i)$ với M là số các vị trí điểm bao quanh một vị trí nguồn tán xạ điểm (là đỉnh hyperbol). Khi bước dịch chuyển được áp dụng với vận tốc đúng đến dạng tín hiệu hyperbol thể hiện điểm hội tụ có năng lượng lớn nhất tại vị trí đỉnh của hyperbol¹³.

+ Entropy: $Entropy = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (-\ln P_{i,j})$. Entropy được gọi là đại lượng đo mức độ hỗn loạn của hệ trong Vật lý thống kê. Trong xử lý một ảnh (được xem là một ma trận số 2D), sự hỗn loạn của một vùng ảnh là tổng của các hỗn loạn các giá trị biên độ xij tại vị trí (i, j). Vì giá trị logarithm của giá trị biên độ 0 là không xác định được, một công thức xấp xỉ giá trị entropy được đề nghị bởi Wiggins, De Vries và Berkhout, và Sava cùng cộng sự²²⁻²⁴.

$$Entropy = \frac{\left(\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M x_{ij}^2 \right)^2}{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M x_{ij}^4}$$

Khi hyperbol hội tụ thành một điểm tán xạ điểm cho thấy rằng các vùng không gian bao quanh điểm tán xạ sẽ không tồn tại các tín hiệu nhiễu mới do việc dịch chuyển với vận tốc sai. Một cách suy nghĩ tương đương, vùng dữ liệu chứa nhiễu tồn tại do việc dịch chuyển sai vận tốc (hiệu ứng “miệng cười” và “miệng khóc”) có giá trị entropy (độ hỗn loạn) cao trong khi

vùng dữ liệu chứa hội tụ năng lượng do dịch chuyển với vận tốc đúng sẽ có giá trị entropy nhỏ nhất. Biểu đồ giá trị năng lượng cho vị trí đỉnh hyperbol (hình chữ nhật màu đỏ gạch đứt) và biểu đồ entropy cho vùng không gian chứa đỉnh hyperbol (hình chữ nhật màu đỏ gạch đứt) ở Hình 2.

Phát triển ý tưởng năng lượng tín hiệu sóng tại vị trí đỉnh hyperbol là cực đại nếu dịch chuyển đúng vận tốc môi trường, Nguyen T.V. *et al.*⁵ đã đề xuất xây dựng lát cắt sai phân năng lượng cực đại được tạo thành bởi giá trị sai phân năng lượng lớn nhất cho từng điểm (x,t) trong miền không gian khoảng cách – thời gian. Các cực trị địa phương của thuộc tính này giúp phát hiện ra các vị trí dị vật trong tài liệu GPR. Để hỗ trợ việc tính toán vận tốc môi trường, một biểu đồ sai phân năng lượng phụ thuộc vào vận tốc xét cho vị trí cực đại năng lượng (thông thường là đỉnh hyperbol) có hình dáng tương tự như hình vẽ biểu đồ giá trị năng lượng (phụ thuộc vào vận tốc).

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Vị trí đo đạc các tuyến địa chấn phản xạ nông phân giải cao và tuyến Ra đa xuyên đất thuộc thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam được thể hiện ở Hình 3. Hiện tượng tán xạ của hai số liệu Địa Vật lý được trình bày theo các bước sau: (i) Xác định vận tốc truyền sóng theo hai biểu đồ năng lượng và entropy trích xuất từ tập hợp các lát cắt dịch chuyển; (ii) Nghiên cứu hiện tượng tán xạ tồn tại trong thực tế dựa trên việc đánh giá trực quan 3 đường cong tán xạ hyperbol lý thuyết ứng tính từ các vận tốc khác nhau với hình dáng tín hiệu thực tế. Các vận tốc khác nhau là vận tốc dựa trên cực đại năng lượng, vận tốc dựa trên cực tiểu entropy và vận tốc truyền sóng trung bình (vận tốc địa chấn trong nước biển trung bình 1500 m/s và vận tốc điện từ GPR là 0.1 m/ns đối với môi trường đất đá tại TP. Hồ Chí Minh) và (iii) đánh giá trực quan đáng điệu kết quả tín hiệu GPR hoặc địa chấn trong lát cắt dịch chuyển để phát hiện các dấu hiệu dịch chuyển “miệng khóc”, hội tụ năng lượng, và “miệng cười”.

Phân tích dị vật ngầm trong môi trường đô thị bằng phương pháp radar xuyên đất

Dữ liệu đo đạc GPR bằng máy IDS Duo Detector (sản xuất tại Ý) tần số 700 MHz trong khu vực nội đô TP. Hồ Chí Minh được xử lý, với mục đích phát hiện ra các dị vật ngầm nhân tạo bên dưới đất.

Hình 4 và Hình 5 cho thấy hai dị vật hyperbol rõ nét (1 và 2). Biểu diễn 3 hyperbol (đường cong màu đỏ, đen và xanh) xác định từ đường cong năng lượng và entropy và một hằng số 0,1m/ns nhằm giúp thấy rõ hơn trong việc phân tích hiện tượng tán xạ. Hình cho

thấy có sự khác biệt nhỏ từ các đường cong hyperbol ở dị vật 1 và dị vật 2. Xác định dị vật ngầm và vận tốc truyền sóng đã được nghiên cứu nhiều trong các nghiên cứu có trước của nhiều tác giả trên thế giới và trong nước^{4,5,25}. Một lần nữa, hiện tượng tán xạ sóng GPR được xác định trong thí dụ đo đạc thực tế này. Các lát cắt dịch chuyển GPR ứng với vận tốc khác nhau có thể hiện các đường cong “miệng cười” và “miệng khóc” tại vị trí dị vật 2 (Hình 6). Một hình sai phân năng lượng cực đại có thể phát hiện ra hai dị vật 1 và 2 dựa trên các giá trị cực đại (cực trị địa phương) (Hình 6). Vậy, độ sâu của dị vật 1 và 2 lần lượt khoảng 0,50 m và 0,60 m với vận tốc truyền sóng GPR là $1,0 \times 10^8$ m/s (giá trị trung bình).

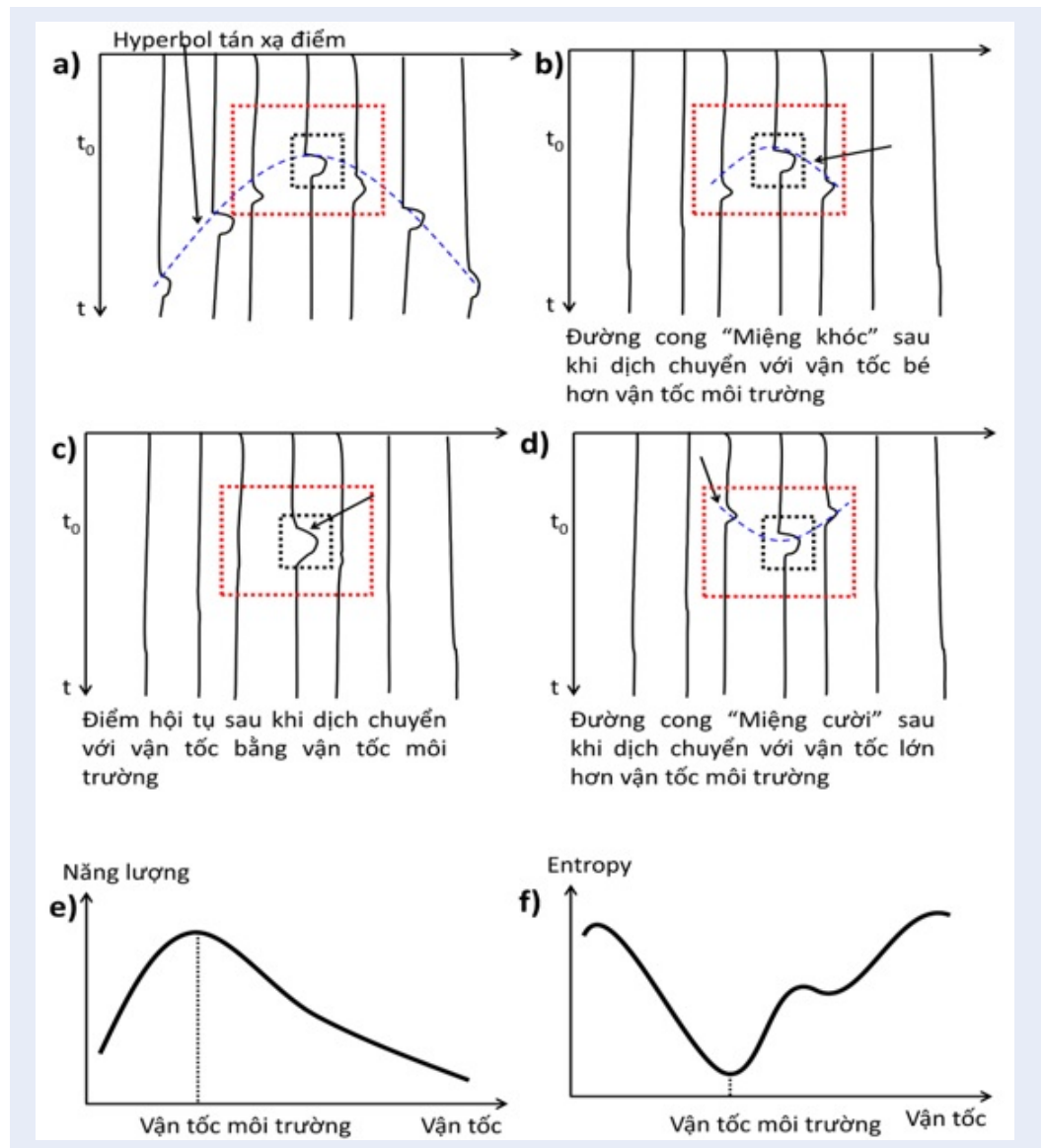
Dữ liệu Địa chấn nông phân giải cao ở địa phận huyện Cần Giò, TP. HCM

Hệ thống máy Subbottom profiler được lắp đặt trên chiếc tàu di chuyển dọc tuyến trong dự án nghiên cứu trầm tích trẻ Holocen tại huyện Cần Giò, TP. Hồ Chí Minh. Quá trình xử lý số liệu đo đạc thô sang số liệu có thể minh giải được bao gồm quá trình lọc nhiễu và tăng biên độ⁸. Từ dữ liệu đã xử lý, ranh giới đáy biển có thể được xác định dễ dàng dựa vào biên độ phản xạ mạnh và liên tục trong suốt chiều dài tuyến đo địa chấn (Hình 3).

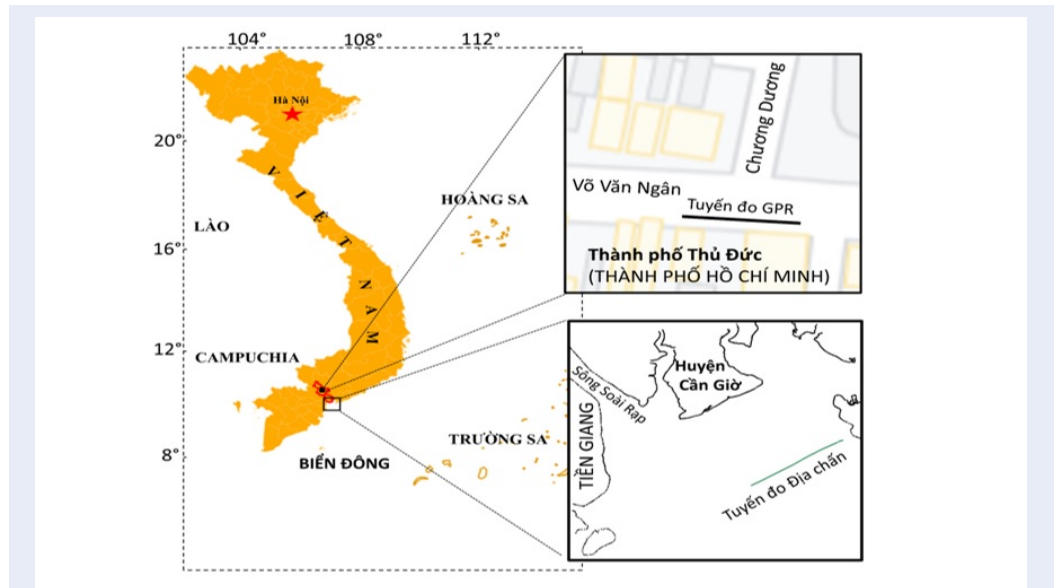
Mục đích của việc phân tích là phát hiện các tín hiệu tán xạ sóng địa chấn trong dữ liệu địa chấn đo kiểu khoảng cách chung và tính toán vận tốc truyền sóng địa chấn từ dữ liệu này. Đây là sự phát hiện mới trong nghiên cứu Địa Vật lý ứng dụng tại Việt Nam và hiếm được đề cập trên thế giới (theo kiến thức hiện nay của tác giả bài này).

Phương pháp xác định vận tốc của sóng tán xạ trong nước biển bao gồm (i) kỹ thuật ước lượng giá trị vận tốc truyền sóng tương ứng với cực trị biên độ (năng lượng hoặc entropy) trong lát cắt dịch chuyển địa chấn và (ii) so sánh hình dáng hyperbol mô hình ứng với các vận tốc và hyperbol số liệu đo đạc. Khảo sát đã tiến hành dịch chuyển số liệu đo đạc với dải vận tốc từ 800 m/s đến 1800 m/s để có tập hợp các lát cắt dịch chuyển địa chấn (gọi là lát cắt dịch chuyển). Để tăng tốc độ tính toán trong phương pháp dịch chuyển Kirchhoff, cách thức chạy song song được thiết lập trên hệ máy Intel® i7-6700HQ với xung nhịp 2,6 GHz và 4 nhân. Sau đó, các lát cắt năng lượng được tính bằng bình phương biên độ của mỗi điểm trên lát cắt dịch chuyển.

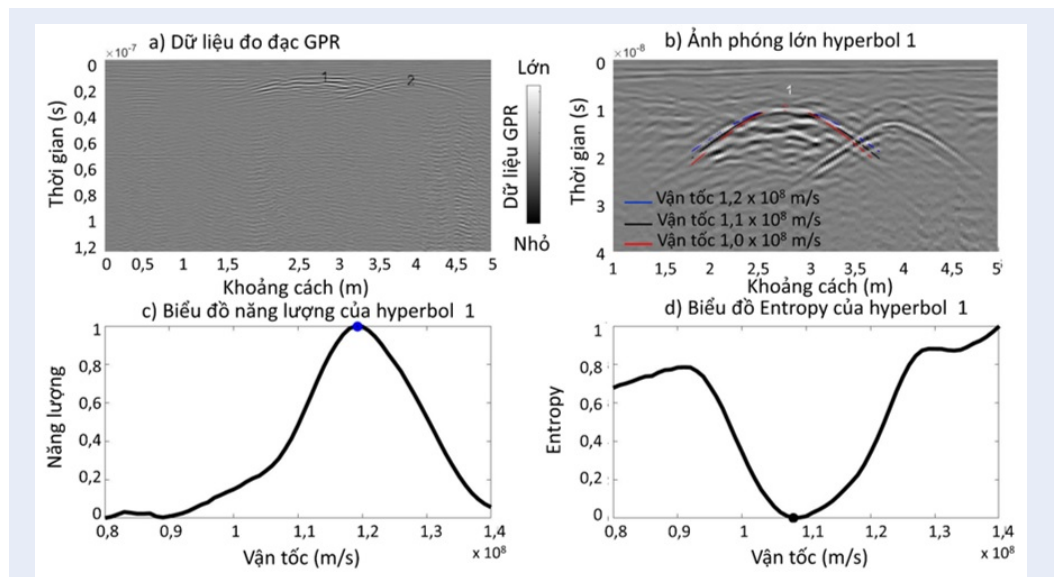
13 vị trí trong vùng không gian lớp nước biển có biểu hiện nghi ngờ có hiện tượng tán xạ sóng đã được xác định. Sau đó, áp dụng phương pháp tính các giá trị năng lượng và entropy tại các đỉnh đường cong biểu



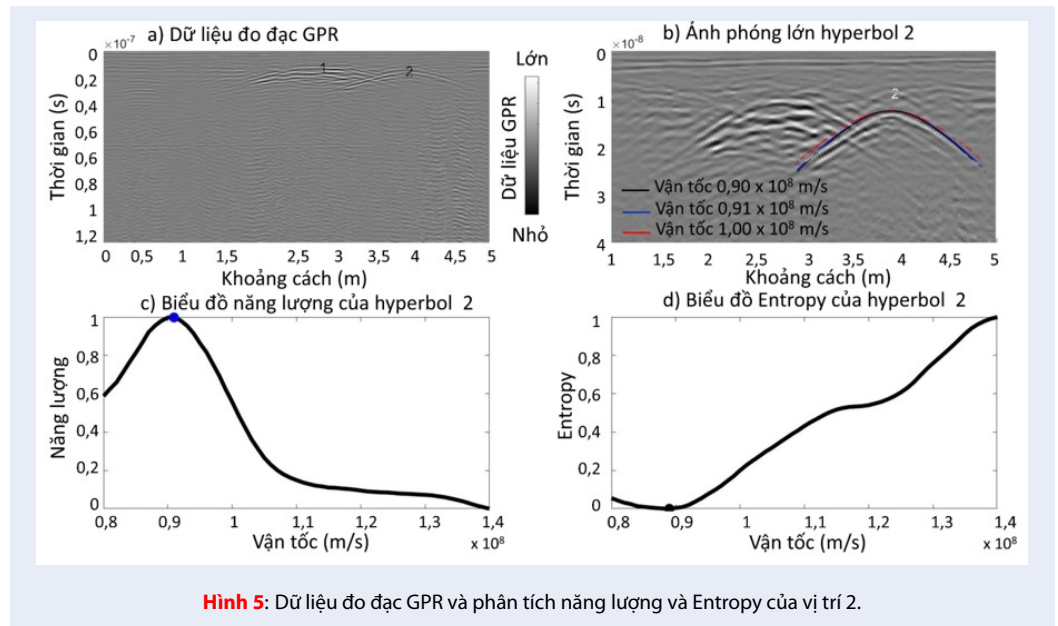
Hình 2: Biểu diễn biểu đồ giá trị năng lượng và entropy theo vận tốc. (a) Lát cắt GPR trước dịch chuyển (b) Lát cắt dịch chuyển với vận tốc bé hơn vận tốc môi trường gây hiệu ứng “miệng khóc” (c) Lát cắt dịch chuyển với vận tốc bằng vận tốc môi trường gây năng lượng hội tụ tại vị trí đỉnh hyperbol (d) Lát cắt dịch chuyển với vận tốc lớn hơn vận tốc môi trường gây hiệu ứng “miệng cười” (e) Biểu đồ năng lượng biểu diễn các giá trị năng lượng trong khu vực đỉnh của hyperbol (khu vực hình chữ nhật màu đen gạch đứt) tính từ các lát cắt dịch chuyển (f) Biểu đồ entropy biểu diễn các giá trị Entropy trong khu vực bao quanh đỉnh của hyperbol (khu vực hình chữ nhật màu đỏ gạch đứt) tính từ các lát cắt dịch chuyển.



Hình 3: Sơ đồ vị trí đo đặc địa chấn và GPR tại khu vực nội thành và biển huyện Cần Giờ, Thành phố Hồ Chí Minh (vùng ranh giới màu đỏ).



Hình 4: Dữ liệu đo đặc GPR và phân tích năng lượng và Entropy của vị trí 1.



hiện tán xạ để suy luận ra vận tốc truyền sóng. Các đường biểu diễn năng lượng tại vị trí đỉnh tán xạ và giá trị entropy tại vùng không gian chứa vị trí đỉnh được biểu diễn ở các Hình 7, 8 và 9. Ở mỗi điểm tán xạ, hai biểu đồ năng lượng và entropy với một hình ảnh phóng lớn bao gồm đường cong tán xạ và được biểu diễn (thí dụ: Điểm tán xạ 4 có 3 hình tương ứng là 7b, 7c và 7d).

13 điểm có đường cong này được chia thành hai nhóm:

- Nhóm 1: gồm các điểm có biểu hiện năng lượng và entropy tương ứng với vận tốc khoảng 1450 m/s: vị trí 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12 và 13 (Xem Bảng 1). Các hyperbol lý thuyết sử dụng các vận tốc tính từ cực trị là 1400–1600 m/s (Bảng 1 và Hình 7 và 8).

- Nhóm 2: vị trí 1, 2, 3 và 8. Đây là các điểm mà vị trí năng lượng và entropy nằm lệch khỏi khoảng ước lượng vận tốc 1400 m/s đến 1600 m/s. Các hyperbol lý thuyết sử dụng các vận tốc tính từ cực trị là 1400–1600 m/s (Hình 9).

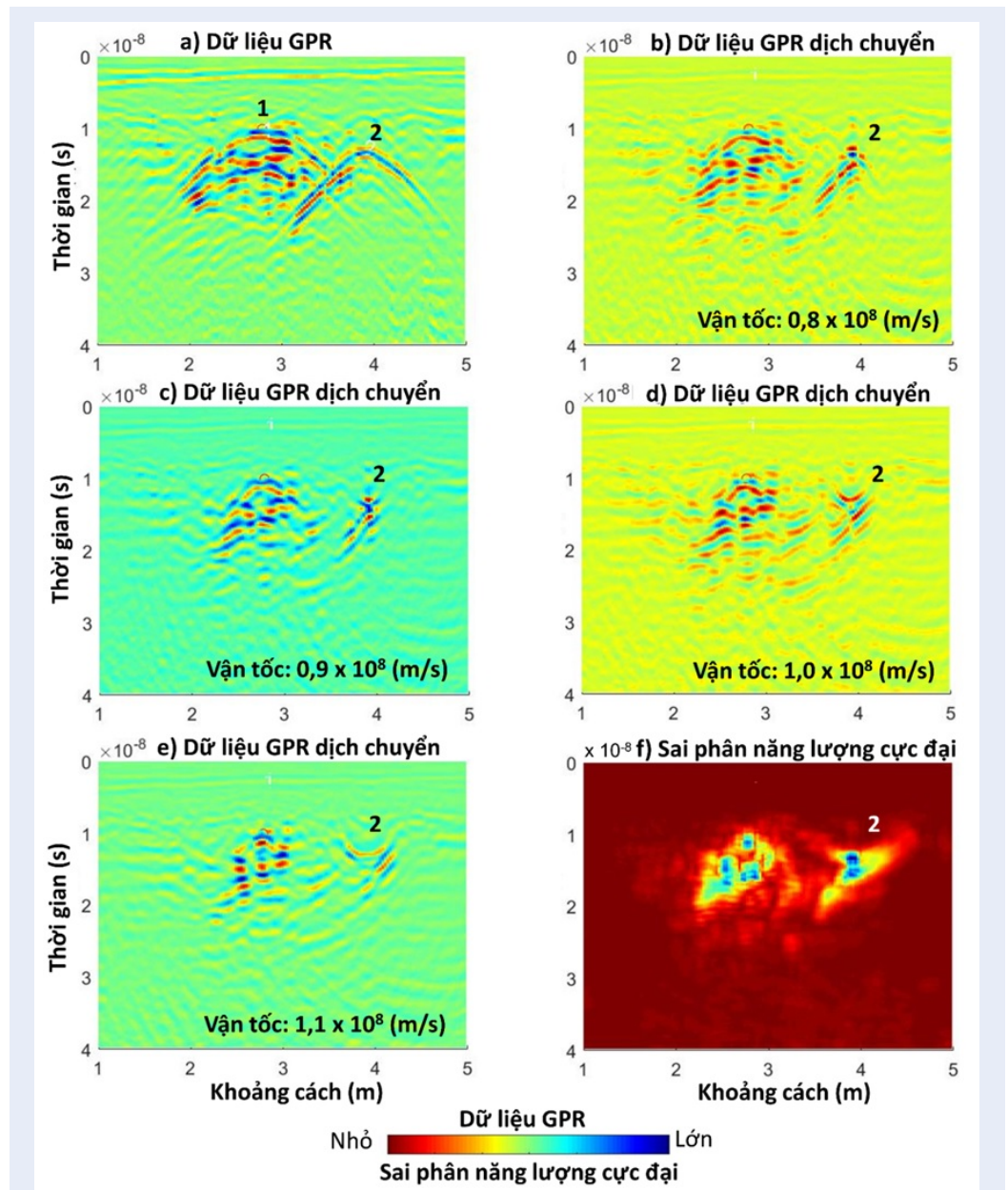
Hyperbol lý thuyết với vận tốc trung bình nước biển 1500 m/s cũng được biểu diễn để so sánh cả hai nhóm (Thí dụ, đường hyperbol màu trắng ở tán xạ điểm 4 tại Hình 7d).

Các hyperbol với vận tốc ước tính của nhóm 1 và nhóm 2 được xác định trên đường cong các giá trị entropy và năng lượng và một giá trị vận tốc nước trung bình 1500 m/s^{8,26} được biểu diễn trên các Hình 7, 8 và 9. Chú ý là, giá trị vận tốc trung bình nước biển được ước tính là 1500 m/s, được tính là 1440–1570 m/s khi không có thông tin thực địa từ các máy đo (sensor) đặt ở đáy biển trong giếng khoan¹⁹.

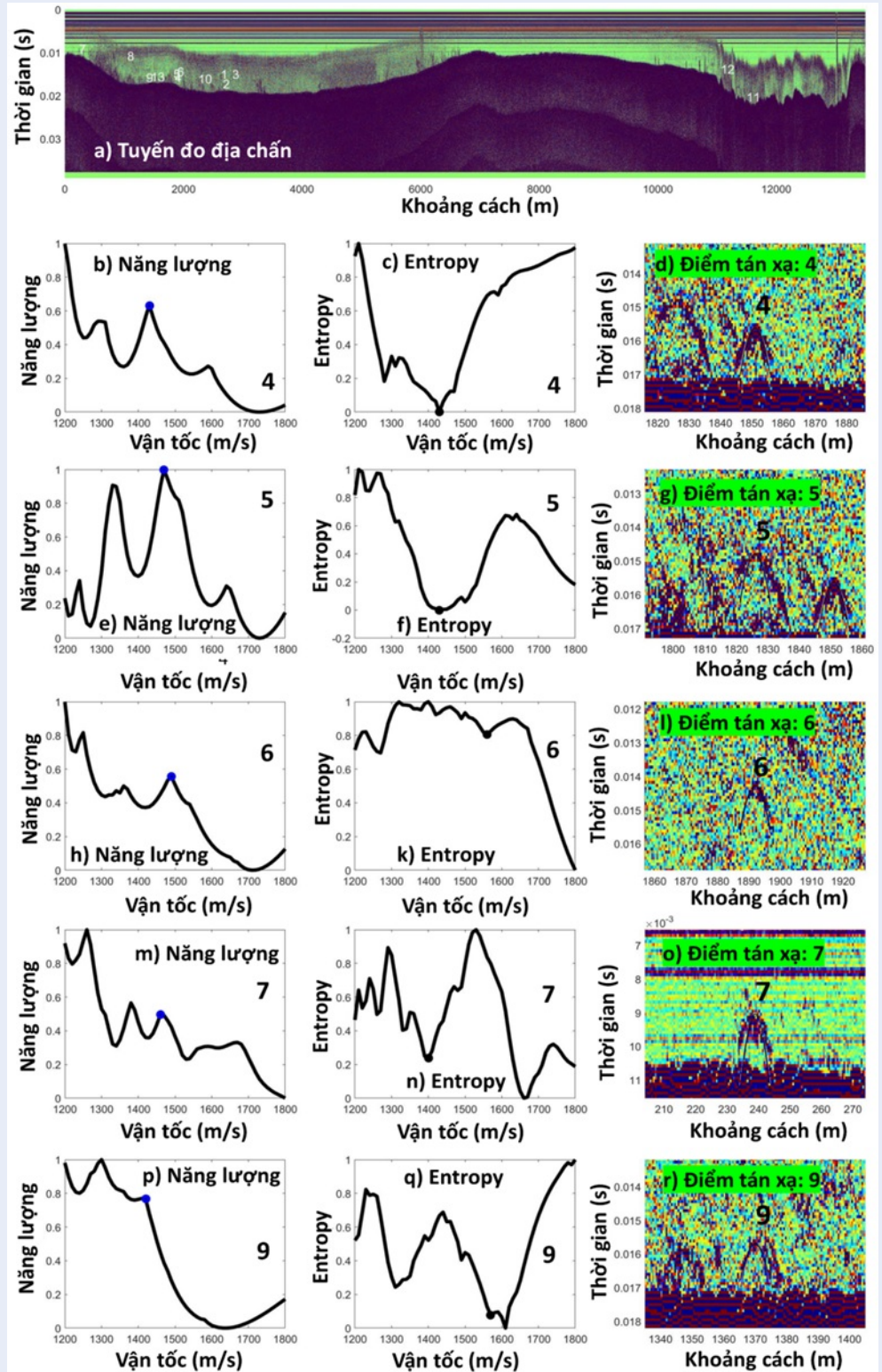
Nhận xét, đường biểu diễn hyperbol lý thuyết tán xạ đều có khuynh hướng bám theo các đường cong có dáng điệu hyperbol đo đạc thực tế. Đây là minh chứng của hiện tượng tán xạ sóng trong môi trường nước được ghi nhận bởi thiết bị Subbottom Profiler²⁷ cho điều kiện đo đạc tại Việt Nam.

Trong việc phân tích các đường cong hyperbol tán xạ địa chấn ở các Hình 7 (d, g, l, o, r), Hình 8 (d, g, l, o), và Hình 9 (d, g, l, o), các đường cong tán xạ biểu diễn 1445 m/s và 1500 m/s không khác biệt nhau bằng trực quan mắt thường. Chú ý là, đường cong hyperbol lý thuyết có màu trắng ứng với vận tốc 1500 m/s, đường cong hyperbol lý thuyết có màu xanh ứng với vận tốc xác định được từ biểu đồ năng lượng, và đường cong hyperbol lý thuyết có màu đen ứng với vận tốc xác định được từ biểu đồ entropy. Tuy nhiên nếu xét về biên độ năng lượng hay entropy thì các chỉ số này có thể giúp ích cho vấn đề tính vận tốc nước biển trong các nghiên cứu trong tương lai. Trong nội dung bài này, dựa trên số liệu vận tốc Bảng 1, vận tốc trung bình tại khu vực nghiên cứu là 1450 m/s thuộc khoảng vận tốc truyền sóng Địa chấn được ghi nhận [1440 m/s, 1570 m/s].

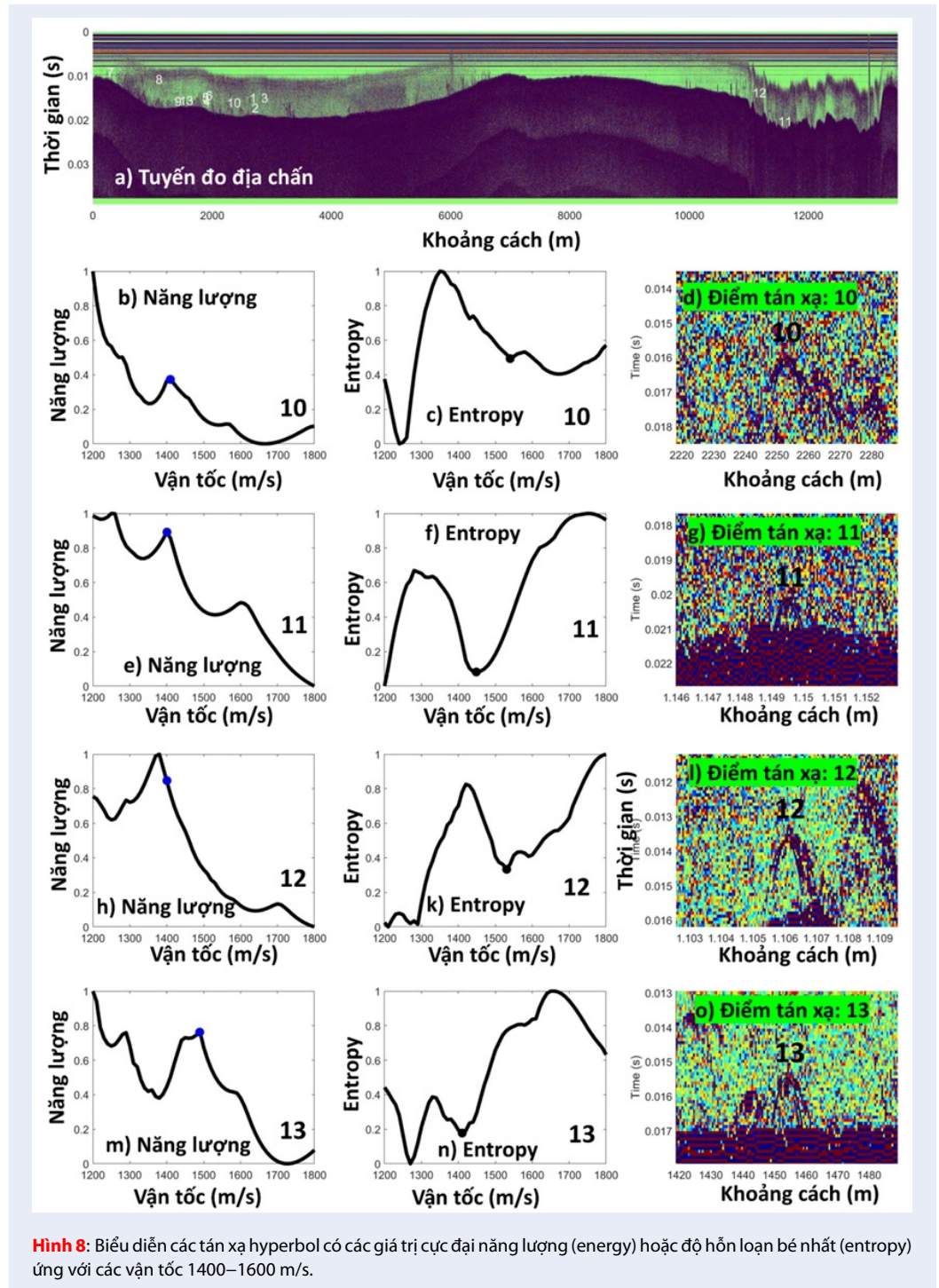
Khi sử dụng các lát cắt dịch chuyển địa chấn ứng với các vận tốc khác nhau, nhận thấy rằng quy luật “miệng khóc” và “miệng cười” không được nhận thấy rõ rệt dù cách biệt về vận tốc dịch chuyển khá lớn (800 m/s và 1800 m/s) (Hình 10b, c, và d). Lát cắt sai phân năng lượng cục đại cũng không giúp ích nhiều cho trường hợp điểm tán xạ số 4 (Hình 10e).



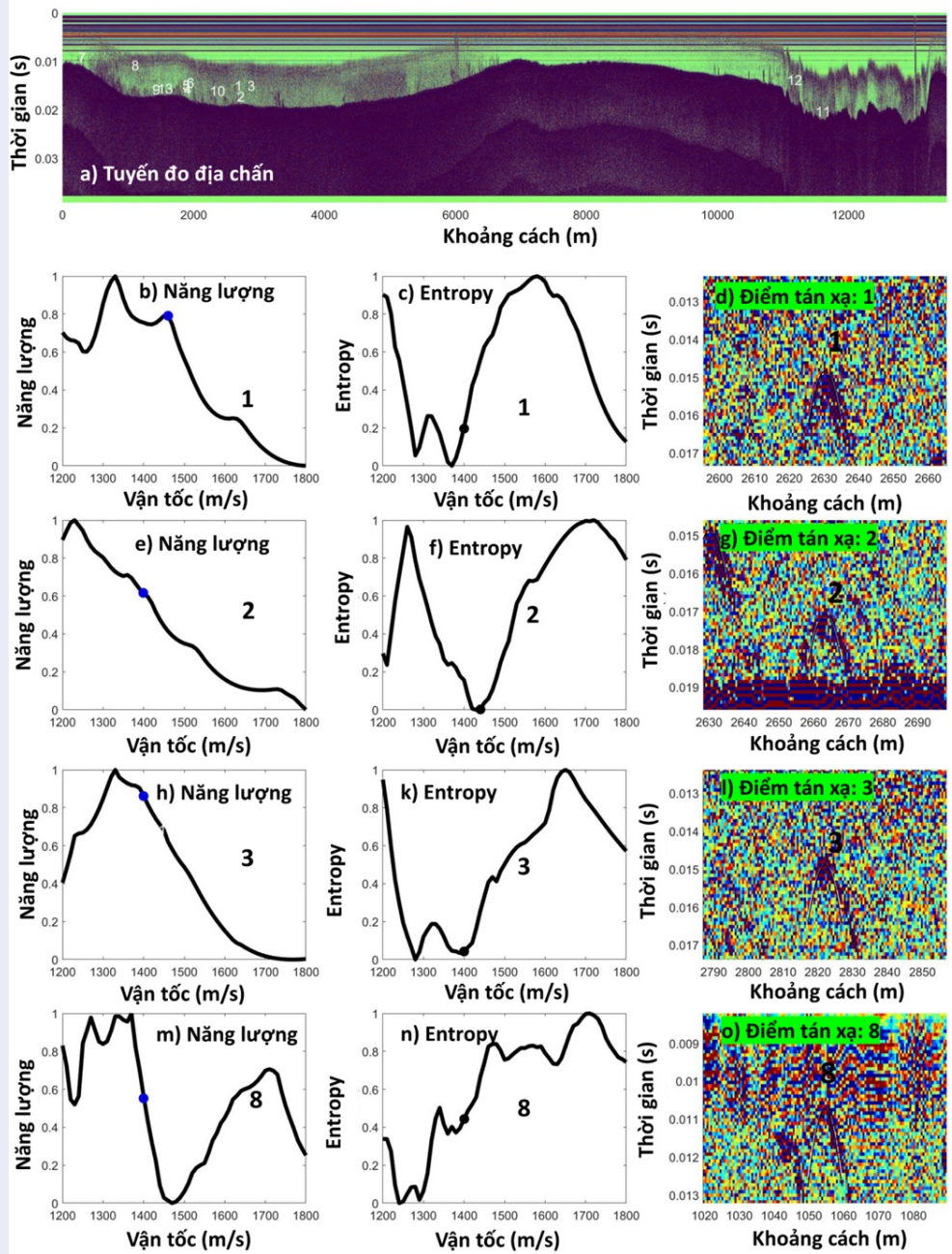
Hình 6: Các lát cắt GPR trước dịch chuyển, sau dịch chuyển GPR và sai phân năng lượng cực đại. Tại vị trí dị vật 2, dịch chuyển dữ liệu GPR đầu vào (a) bằng các vận tốc tăng dần đã tạo nên các lát cắt dịch chuyển có hình dáng “miệng khóc” (b), hội tụ (c), và “miệng cười” (d,e). Một lát cắt sai phân năng lượng hữu hạn cũng có thể biểu diễn hai dị vật 1 và 2 (f).



Hình 7: Biểu diễn các tán xạ hyperbol có các giá trị cực đại năng lượng (energy) hoặc độ hỗn loạn bé nhất (entropy) ứng với các vận tốc 1400–1600 m/s. Ở mỗi điểm tán xạ, hai biểu đồ năng lượng và entropy với một hình ảnh phóng lớn bao gồm đường cong tán xạ và được biểu diễn (Thí dụ: Điểm tán xạ 4 có 3 hình tương ứng là 7b, 7c và 7d).



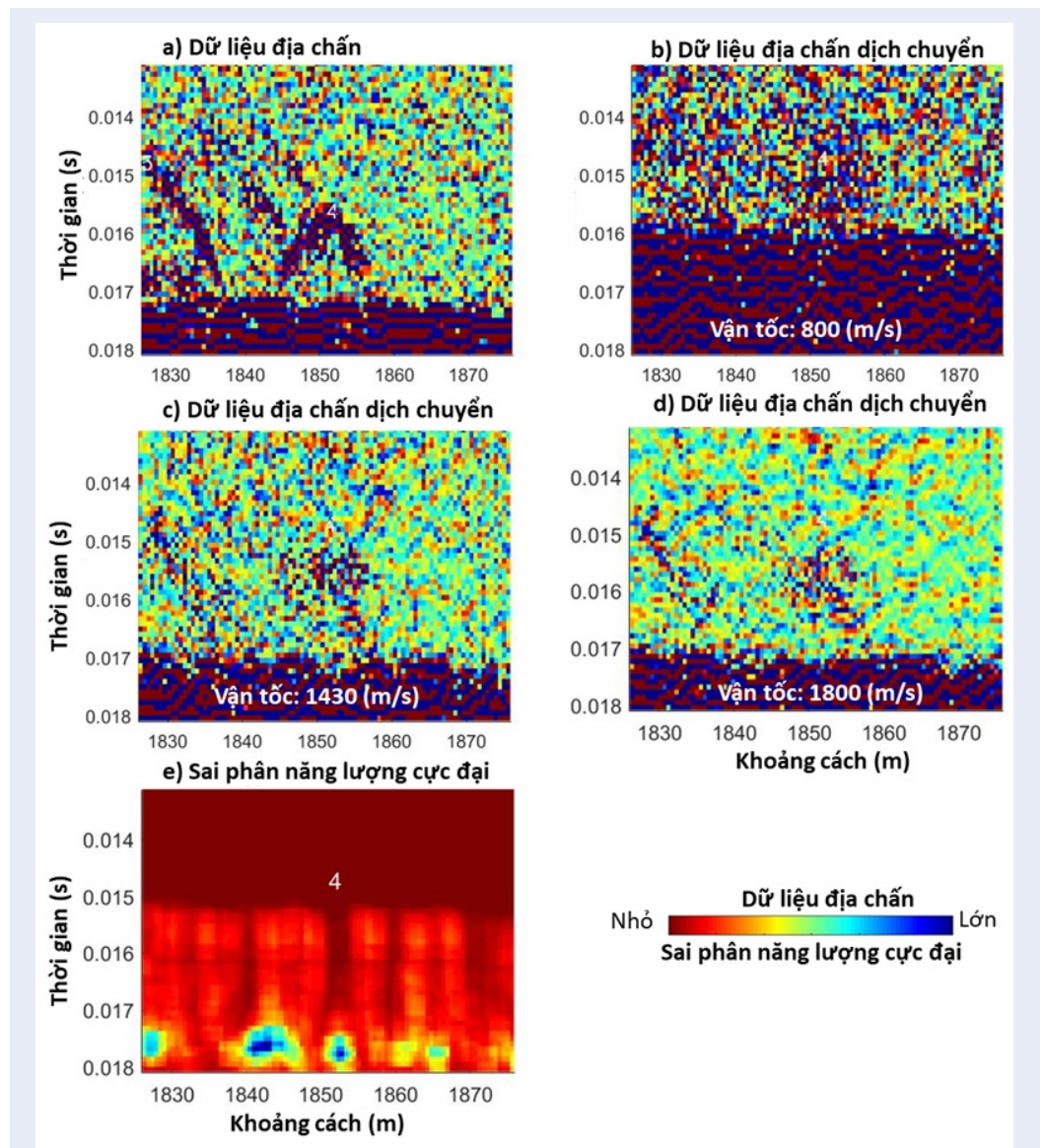
Hình 8: Biểu diễn các tán xạ hyperbol có các giá trị cực đại năng lượng (energy) hoặc độ hỗn loạn bé nhất (entropy) ứng với các vận tốc 1400–1600 m/s.



Hình 9: Biểu diễn các tán xạ hyperbol có các giá trị cực đại năng lượng (energy) và độ hỗn loạn bé nhất (entropy) ứng với các vận tốc không thuộc khoảng 1400–1600m/s.

Bảng 1: Các giá trị vận tốc xác định từ các biểu đồ năng lượng và Entropy (Hình 7, 8 và 9).

| | Điểm 4 | Điểm 5 | Điểm 6 | Điểm 7 | Điểm 9 | Điểm 10 | Điểm 11 | Điểm 12 | Điểm 13 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Vận tốc theo năng lượng cực đại (m/s) | 1430 | 1470 | 1490 | 1461 | 1420 | 1410 | 1401 | 1401 | 1489 |
| Vận tốc theo cực tiểu Entropy (m/s) | 1430 | 1430 | 1560 | 1400 | 1569 | 1540 | 1449 | 1531 | 1410 |



Hình 10: Các lát cắt địa chấn trước dịch chuyển, sau dịch chuyển và sai phân năng lượng cực đại đối với điểm 4.

KẾT LUẬN

Bài báo trình bày lý thuyết tán xạ sóng thể hiện cho hai thí dụ về dữ liệu địa chấn nông phân giải cao và dữ liệu điện từ tần số cao. Sự so sánh các hyperbol tán xạ điểm theo lý thuyết và số liệu thực tế đã được khảo sát để xác định sự tồn tại hiện tượng tán xạ trong dữ liệu GPR và địa chấn nông phân giải cao. Phương pháp xác định vận tốc dựa trên các biểu đồ năng lượng và entropy đã cho thấy (i) đối với dữ liệu GPR, kết quả ứng dụng là khả quan và hiệu quả trong xác định các đối tượng dị vật ngầm và (ii) đối với trường hợp dữ liệu địa chấn, mặc dù việc thể hiện vận tốc chính xác còn nhiều khó khăn nhưng vẫn có đến 9/13 trường hợp (chiếm 69%) thể hiện được qua các giá trị entropy và năng lượng. Có lưu ý là cả 13 trường hợp đều thể hiện các đường cong hyperbol bám sát đường cong thực tế nếu sử dụng vận tốc trung bình nước biển 1500 m/s. Tuy nhiên, phân tích các lát cắt dịch chuyển cho số liệu địa chấn nông phân giải cao theo hiệu ứng “miệng khóc”, hội tụ và “miệng cười” không thật sự hiệu quả và cần thêm những nghiên cứu khác để xác định vận tốc địa chấn trong nước biển đối với kiểu số liệu địa chấn này.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2022-18-06. Tác giả xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ của các Thạc sỹ Nguyễn Văn Thuận, Dương Bá Mẫn và Nguyễn Quang Dũng trong việc thu thập số liệu Địa Vật lý.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

GPR: Ground Penetrating Radar

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Tác giả đồng ý không có xung đột lợi ích nào liên quan đến các kết quả đã công bố.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Lê Văn Anh Cường thực hiện tất cả các việc phân tích, minh giải dữ liệu và viết bản thảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Conyers LB. Analysis and interpretation of GPR datasets for integrated archaeological mapping. *Near Surface Geophysics*. 2015;13(6):645-51; Available from: <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2015018>.
2. Kang M-S, Kim N, Im SB, Lee J-J, An Y-K. 3D GPR Image-based UcNet for enhancing underground cavity detectability. *Remote Sensing*. 2019;11(21):2545; Available from: <https://doi.org/10.3390/rs11212545>.
3. Doetsch J, Linde N, Pessognelli M, Green AG, Günther T. Constraining 3-D electrical resistance tomography with GPR reflection data for improved aquifer characterization. *Journal of Applied Geophysics*. 2012;78:68-76; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2011.04.008>.
4. Le CVA, Nguyen TV. Detection of underground anomalies using analysis of ground penetrating radar attribute. *Inżynieria Mineralna - Journal of the Polish Mineral Engineering Society*. 2020;1:23-34; Available from: <https://doi.org/10.29227/IM-2020-01-04>.
5. Nguyen TV, Le CVA, Nguyen VT, Dang TH, Vo TM, Vo LNL. Energy Analysis in Semiautomatic and Automatic Velocity Estimation for Ground Penetrating Radar Data in Urban Areas: Case Study in Ho Chi Minh City, Vietnam. *International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth resources*. Ha Noi, Vietnam: Springer; 2017; Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-68240-2_3.
6. Hofmann M, Hendrix M, Moore J, Sperazza M. Late Pleistocene and Holocene depositional history of sediments in Flathead Lake, Montana: Evidence from high-resolution seismic reflection interpretation. *Sedimentary Geology*. 2006;184(1-2):111-31; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2005.09.019>.
7. Novak B, Björck S. Late Pleistocene-early Holocene fluvial facies and depositional processes in the Fehmarn Belt, between Germany and Denmark, revealed by high-resolution seismic and lithofacies analysis. *Sedimentology*. 2002;49(3):451-65; Available from: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2002.00454.x>.
8. Le CVA, Duong MB, Kieu TD. High-Resolution Seismic Reflection Survey of Holocene Sediment Distribution at Thi Vai River, Ho Chi Minh City, Vietnam. *Lecture Notes in Civil Engineering. Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining*. 2: Springer; 2020. p. 290-304; Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-030-60269-7_15.
9. Berdichevsky MN, Dmitriev VI. *Models and methods of Magnetotellurics*: Springer; 2008; Available from: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77814-1>.
10. Le CVA, Harris BD, Pethick AM, Takam Takougang EM, Howe B. Semiautomatic and automatic cooperative inversion of seismic and magnetotelluric data. *Surveys in Geophysics*. 2016;37(5):845-96; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10712-016-9377-z>.
11. Claerbout JF. *Fundamentals of geophysical data processing*: McGraw-Hill, New York; 1976.
12. Claerbout JF. *Imaging the earth's interior*: Blackwell scientific publications Oxford; 1985.
13. Yilmaz O. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. Doherty SM, editor. United States of America: Society of Exploration Geophysicists; 2001; Available from: <https://doi.org/10.1190/1.9781560801580>.
14. Fomel S, Landa E, Taner MT. Poststack velocity analysis by separation and imaging of seismic diffractions. *Geophysics*. 2007;72(6):U89-U94; Available from: <https://doi.org/10.1190/1.2781533>.
15. Huygens C, Young T, Fresnel AJ, Arago F. *The wave theory of light: memoirs of Huygens, Young and Fresnel*: American Book Company; 1900.
16. Born M, Wolf E. *Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light*: Elsevier; 2013.
17. Han F-X, Sun J-G, Wang K. The influence of sea water velocity variation on seismic traveltimes, ray paths, and amplitude. *Applied Geophysics*. 2012;9(3):319-25; Available from: <https://doi.org/10.1007/s11770-012-0344-2>.
18. Chen CT, Millero FJ. Speed of sound in seawater at high pressures. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1977;62(5):1129-35; Available from: <https://doi.org/10.1121/1.381646>.
19. Li Y, Hewett B. Measurement of seawater average velocity using water bottom multiples from vertical seismic profile surveys. *Interpretation*. 2016;4(4):SQ13-SQ22; Available from: <https://doi.org/10.1190/INT-2016-0022.1>.

20. Van Nguyen T, Le CVA. Energy Difference Of High Frequency Electromagnetic Waves Amplitude In Detecting Buried Objects At Ho Chi Minh City, Vietnam. Science and Technology Development Journal-Natural Sciences. 2021;5(1):925-32;Available from: <https://doi.org/10.32508/stdjns.v5i1.923>.
21. Margrave GF, Lamoureux MP. Numerical methods of exploration seismology: With algorithms in MATLAB®. Cambridge University Press; 2019;Available from: <https://doi.org/10.1017/9781316756041>.
22. Wiggins RA. Minimum entropy deconvolution. Geoplotation. 1978;16(1-2):21-35;Available from: [https://doi.org/10.1016/0016-7142\(78\)90005-4](https://doi.org/10.1016/0016-7142(78)90005-4).
23. De Vries D, Berkhout A. Velocity analysis based on minimum entropy. Geophysics. 1984;49(12):2132-42;Available from: <https://doi.org/10.1190/1.1441629>.
24. Sava P, Biondi B, Etgen J. Diffraction-focusing migration velocity analysis with application to seismic and GPR data. Stanford Exploration Project report-115; 2004;Available from: <https://doi.org/10.1190/1.1845226>.
25. Le CVA, Nguyen TV. Ground penetrating radar attributes analysis for detecting underground artificial structures in urban areas, Vietnam. Lowland Technology International. 2020;22(2):249-57;.
26. Bui Viet D, Stattegger K, Unverricht D, Phung Van P, Nguyen Trung T. Late Pleistocene-Holocene seismic stratigraphy of the Southeast Vietnam Shelf. Global and Planetary Change. 2013;110:156-69;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.09.010>.
27. EdgeTech. Edgetech introduces new Portable Sub-Bottom Profiling System 2005 [15/04/2020];Available from: <https://www.edgetech.com/edgetech-introduces-new-portable-sub-bottom-profiling-system/>.

Study of the wave scattering in geological environments for the propagation velocity estimation

Cuong Van Anh Le^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Faculty of Physics and Engineering Physics, University of Science, Ho Chi Minh City

²Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Cuong Van Anh Le, Faculty of Physics and Engineering Physics, University of Science, Ho Chi Minh City

Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: lvacuong@hcmus.edu.vn

History

- Received: 04-01-2023
- Accepted: 25-4-2023
- Published: 31-5-2023

DOI : <https://doi.org/10.32508/stdjns.v7i2.1263>



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

Diffraction is a naturally physical phenomenon which plays an extremely key role in forming some theoretical foundations of analyzing geophysical data such as seismic reflection and high frequency electromagnetic, Ground Penetrating Radar to study geological objects. In this phenomenon, when a wave field propagates from a source to an object with small size or a rough surface, its wave energy receivers act as the secondary sources and send their energy parts back to geophones on the ground surface. The relationship between the wave propagation time and the receiver coordinates is formulated as a diffraction hyperbola. This paper reported examples of the high frequency electromagnetic and seismic scattering phenomena with their applications in the study of the wave propagation velocity, location of civil underground objects and seabed depth. The research on scattering phenomenon for the electromagnetic waves has been known and widely applied; however, studying the wave velocity model by the diffraction analysis from the high resolution reflection seismic data for a fixed source receiver distance can be firstly considered in Vietnam and in the world. To determine the two wave velocity types, two graphs of their energy and entropy attributes were built and then calculated from their Kirchhoff migrated data in velocity ranges in order to find out their attributes' extremes versus velocity variables. Their migrated sections with correct wave velocities could correctly locate diffractors as underground anomalies and produced the maximum energy and minimum entropy values in the peaks of diffraction hyperbolae and the surrounding zones of the diffractors, respectively. These geophysical data were measured at the urban and coastal area of Can Gio district, Ho Chi Minh city, Vietnam.

Key words: Kirchhoff migration, Entropy, High-Resolution Reflection Seismic Method, Ground Penetrating Radar Method, diffraction

Cite this article : Le C V A. Study of the wave scattering in geological environments for the propagation velocity estimation. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 2023, 7(2):2608-2622.