

# Sử dụng bộ lọc Karhunen - Loeve trong xử lý số liệu radar xuyên đất (GPR)

Phạm Ngọc Thảo<sup>1,2</sup>, Đặng Hoài Trung<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Lưu Gia Bảo<sup>3</sup>



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

## TÓM TẮT

Radar xuyên đất (GPR) là phương pháp địa vật lý hiện đại, dùng để nghiên cứu cấu trúc tầng nông bên dưới mặt đất, dựa vào nguyên lý phát và thu sóng điện từ ở dải tần số cao 10 - 3000 MHz. Tín hiệu thu được biểu diễn dưới dạng hình ảnh, tương tự phương pháp siêu âm trong y học, để nghiên cứu cấu trúc địa chất tầng nông bên dưới mặt đất. Để mặt cắt GPR phản ánh chính xác môi trường bên dưới mặt đất, công tác xử lý số liệu luôn đóng vai trò rất quan trọng, nhằm loại bỏ các loại nhiễu nằm ngang, nhiễu thường trực..., thường làm nhòe hoặc che mờ các đối tượng cần quan tâm. Nhiều phương pháp xử lý tín hiệu đã được nghiên cứu và áp dụng, nhưng việc cải tiến các phương pháp xử lý luôn nhận được nhiều sự quan tâm từ các nhà khoa học. Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết và cách thức áp dụng bộ lọc Karhunen - Loeve vào mặt cắt GPR mô hình và thực tế, nhằm loại bỏ các nhiễu thường trực và nhiễu nằm ngang. Kết quả thử nghiệm trên mô hình lý thuyết và thực tế cho thấy các tín hiệu cần quan tâm được làm nổi bật hơn, một số dạng nhiễu bị làm mờ đi. Đây là một bộ lọc mạnh mẽ và có tiềm năng ứng dụng rộng rãi. Thành công bước đầu này là tiền đề để phát triển hơn bài toán xử lý và nhận dạng tự động trong phương pháp GPR của nhóm nghiên cứu.

**Từ khoá:** Bộ lọc Karhunen - Loeve, khử nhiễu nằm ngang, khử nhiễu tín hiệu lớn, GPR

## MỞ ĐẦU

Radar xuyên đất (GPR) là phương pháp nguồn chủ động, có thiết bị gọn nhẹ, để thu thập số liệu, không phá hủy, độ chính xác và độ phân giải cao. Chính vì thế, GPR đang được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như tìm kiếm bom, mìn, khảo cổ học, nghiên cứu cấu trúc địa chất nông, khảo sát môi trường, đánh giá chất lượng công trình xây dựng, đo vẽ bản đồ công trình ngầm<sup>1</sup>.

Trong các phương pháp địa vật lý, bài toán xử lý số liệu luôn là nhận được nhiều sự quan tâm từ các nhà khoa học. Nhờ sự phát triển của công nghệ máy tính, hiện nay, các nhà khoa học đã thử nghiệm ứng dụng rất nhiều thuật toán nhằm cải thiện chất lượng hình ảnh trước mình giải, trong đó có biến đổi Karhunen - Loeve (K - L). Phép biến đổi Karhunen - Loeve đã được quan tâm để nâng cao tỉ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) của dữ liệu địa chấn từ rất lâu. Năm 1978, Hemon và Mace<sup>2</sup> đã sử dụng phép biến đổi K - L zero-lag để nâng cao các tín hiệu nằm ngang. Năm 1987, Jones và Levy<sup>3</sup> đã đưa ra độ trễ trong tương quan chéo khi có các tín hiệu giảm dần theo tuyến tính. Năm 1991, Al-Yahya<sup>4</sup> đã thực hiện cả quét nhúng và phân chia các mặt cắt địa chấn thành các khối để giảm thời gian tính toán bằng cách sử dụng biến đổi K - L một phần để tăng cường cả tín hiệu nằm ngang và tín hiệu mặt

ngiêng.

Do sự tương đồng về việc thu phát tín hiệu, nên các nhà khoa học thường áp dụng các thuật toán đã phát triển trong xử lý số liệu địa chấn cho GPR. Năm 2007, Zang và cộng sự<sup>5</sup> đã đề xuất sử dụng biến đổi Ridgelet để loại bỏ nhiễu nằm ngang và sóng trực tiếp. Trong khi đó, để tăng cường tín hiệu trên nhiễu, Zhao và cộng sự<sup>6</sup> đã thử áp dụng biến đổi K - L trên số liệu mô hình và thực tế, mặt cắt sau xử lý đã đượ loại bỏ khá tốt các nhiễu nền. Yonghui Zhao và cộng sự<sup>7</sup> đã đề xuất sử dụng các bộ lọc Tiên đoán ngược, F-K và K - L để loại bỏ các tín hiệu không mong muốn nhưng vẫn chưa loại được các tín hiệu nằm ngang. Năm 2021, Yulianita và các cộng sự [8] đã sử dụng kết hợp nhiều bộ lọc khác nhau trong xử lý tín hiệu GPR, trong đó có K - L để làm nổi bật các tín hiệu từ đới thẩm nước.

## PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### Cơ sở lý thuyết bộ lọc Karhunen - Loeve

Phép biến đổi Karhunen - Loeve (K - L) là một phương pháp biến đổi một tập vector hoặc ảnh nhiều chiều dựa trên các thành phần hay không gian có chiều nhỏ hơn. Phương pháp K - L sử dụng biến đổi SVD (Singular Value Decomposition) để phân tách tập dữ liệu thành nhiều thành phần được gọi là các

<sup>1</sup>Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Công nghệ Sài Gòn, Việt Nam

<sup>3</sup>Trường Quốc tế Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

### Liên hệ

**Đặng Hoài Trung**, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM, Việt Nam

Email: dhtrung@hcmus.edu.vn

### Lịch sử

- Ngày nhận: 13-9-2022
- Ngày chấp nhận: 23-6-2023
- Ngày đăng: 30-6-2023

### DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjns.v7i2.1233>



### 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.



**Trích dẫn bài báo này:** Thảo P N, Trung D H, Bảo N L G. **Sử dụng bộ lọc Karhunen - Loeve trong xử lý số liệu radar xuyên đất (GPR).** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 2023, 7(2):2635-2641.

ảnh đặc trưng. Các thành phần đó được xác định theo các giá trị suy biến N và vector suy biến của dữ liệu<sup>8</sup>. SVD là một dạng phân tích ma trận. Đây là phương pháp phân tích suy biến nhằm tách một ma trận ban đầu thành tích của ba ma trận thành phần, bao gồm hai ma trận trực giao và một ma trận đường chéo<sup>9-11</sup>. Phép biến đổi SVD biến đổi ma trận A (hay  $A_{mn}$ ) thành tích của ba ma trận Y, U, O theo công thức sau:

$$A = YUO^T$$

trong đó: Y là ma trận trực giao cấp m; O là ma trận trực giao cấp n; U là ma trận đường chéo của A. Như vậy, Y là ma trận gồm các vectơ suy biến trái của A, O là ma trận gồm các vectơ suy biến phải của A. U là ma trận đường chéo với mỗi phần tử trên đường chéo của U được gọi là một giá trị suy biến<sup>11,12</sup>. Mỗi tập dữ liệu có một giá trị N tối ưu khác nhau. Giá trị N được xác định dựa trên kinh nghiệm thực nghiệm. Sau khi ánh xạ dữ liệu, các tín hiệu sóng mặt đất trở nên giống như một tín hiệu nằm ngang. Như Jones và Levy (1987)<sup>3</sup> đã mô tả, ma trận hiệp phương sai 0 độ trễ K được xây dựng bằng cách sử dụng dữ liệu trong miền được ánh xạ, được biểu thị bằng ma trận X:

$$K = XX^T$$

với hệ số  $x_{ij}$  của ma trận dữ liệu là mẫu thứ j trên dấu vết thứ i.

Bởi vì ma trận K đối xứng với kích thước n' x n', với n là số lượng mạch ghi trong tập dữ liệu, nên K có thể được biểu diễn như sau:

$$K = FVF^T$$

Trong đó, các cột của F là giá trị riêng của K và V là ma trận chéo của các giá trị riêng của F. Các giá trị riêng được sắp xếp theo thứ tự từ lớn nhất đến nhỏ nhất dọc theo đường chéo chính của V và các ký hiệu riêng tương ứng được đặt trong các cột của F theo thứ tự như nhau. Các thành phần chính của dữ liệu là các hàng của ma trận:

$$P = F^T X$$

Nếu ma trận  $P^{\wedge}$  được tạo ra bằng cách chọn m hàng trên cùng của P (tức là, các thành phần chính cho m giá trị riêng lớn nhất) và đặt các số không trong n - m hàng còn lại, sóng mặt đất được giả định là được đại diện trong miền được ánh xạ bởi:

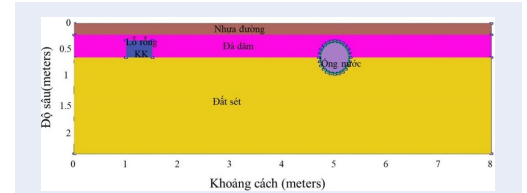
$$X' = FP'$$

Sóng mặt đất X' được trừ khỏi dữ liệu X và ánh xạ nghịch đảo được thực hiện bằng cách nén và dịch chuyển dọc theo trục thời gian cho mỗi mạch ghi để bù đắp chính xác cho ánh xạ chuyển tiếp<sup>3,9,13</sup>.

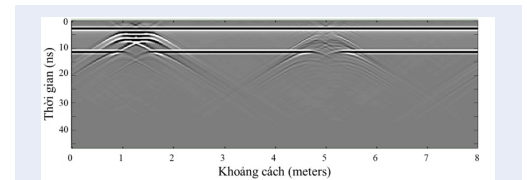
## Thử nghiệm bộ lọc K - L trên mô hình

### Mô hình 1

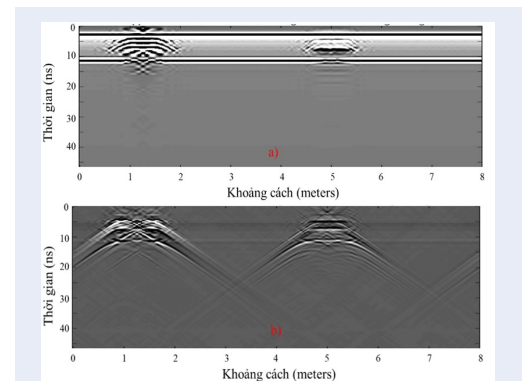
Mô hình hai chiều có độ dài 8,0 m, độ sâu tối đa 2,3 m, gồm ba lớp: nhựa đường bề dày 0,2 m, đá dăm bề dày 0,4 m và đất sét, các mặt ranh giới đều có dạng phẳng. Mô hình này có tổng cộng hai dị thường: lỗ rỗng hình vuông chứa không khí, nằm trong lớp đá dăm và ống nước có vỏ bằng kim loại đường kính 0,3 m nằm giữa lớp đá dăm và lớp đất sét (Hình 1). Thiết bị GPR được sử dụng có tần số 700 MHz, có màn chắn.



Hình 1: Mô hình 1



Hình 2: Mặt cắt GPR của mô hình 1 chưa lọc K - L

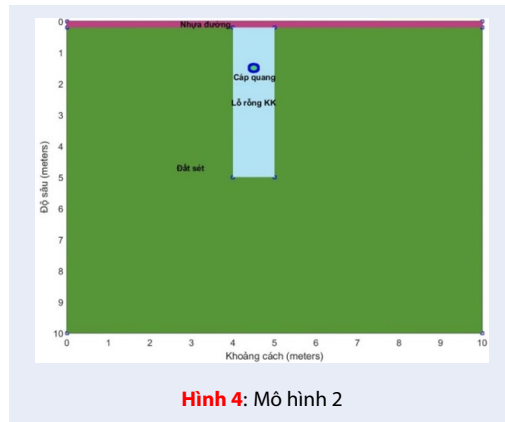


Hình 3: Mặt cắt GPR của mô hình 1 sau khi lọc K - L với N = 5. a: Phần lọc; b: Phần giữ lại.

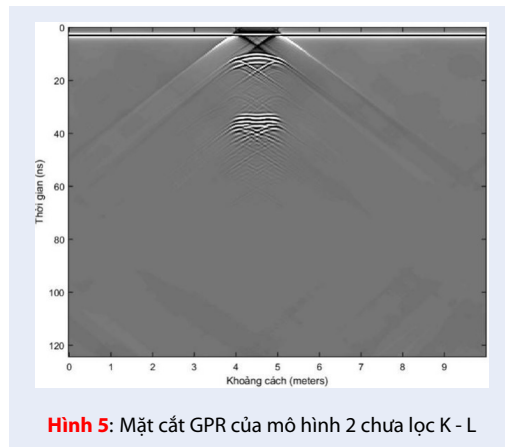
Hình 2 thể hiện mặt cắt GPR của mô hình 1. Tín hiệu tại các mặt ranh giới địa chất rất rõ nét và chồng chập lên tín hiệu của hai dị thường. Mục tiêu của nghiên cứu là loại bỏ hai ranh giới ngang và giữ lại tín hiệu hai dị thường quan tâm là lỗ rỗng và đường ống dẫn nước.

Để thực hiện điều này, nhóm nghiên cứu tiến hành áp dụng bộ lọc K - L với  $N = 5$ . Hình 3 biểu diễn các mặt cắt của phần lọc (3a) và phần giữ lại (3b). Trên mặt cắt giữ lại, tín hiệu mặt ranh giới ngang đã gần như bị loại bỏ, tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu được tăng cường và tín hiệu phân xạ từ hai dị thường được làm nổi bật hơn trước khi xử lý.

### Mô hình 2



Hình 4: Mô hình 2



Hình 5: Mặt cắt GPR của mô hình 2 chưa lọc K - L

Mô hình hai chiều có độ dài tuyến đo 10 m, độ sâu tối đa 10 m, gồm hai lớp: nhựa đường bề dày 0,2 m bên trên và đất sét bên dưới, bề mặt ranh giới giữa hai lớp có dạng phẳng. Trong khu vực khảo sát có tổng cộng hai dị thường: lỗ rỗng hình vuông chứa không khí nằm trong lớp đất sét và cáp quang có vỏ bằng kim loại, ruột cáp bằng thủy tinh, đường kính 0,1 m (Hình 4). Antene được sử dụng vẫn có tần số 700 MHz, có màn chắn.

Hình 5 biểu diễn mặt cắt GPR của mô hình 2. Tín hiệu tại mặt ranh giới địa chất rất rõ nét và chồng chập lên tín hiệu có ích. Mục tiêu của bài toán là loại bỏ tín

hiệu nằm ngang và giữ lại tín hiệu hai dị thường quan tâm là lỗ rỗng và cáp quang bên dưới.

Để loại bỏ tín hiệu các mặt ranh giới địa chất, bộ lọc K - L với  $N = 2$  đã được áp dụng. Hình ảnh phần lọc và phần giữ lại sau khi áp dụng K - L được biểu diễn trong Hình 6. Hình 6b cho thấy các tín hiệu mặt ranh giới đã được loại bỏ gần như hoàn toàn. Tỉ lệ tín hiệu có ích trên nhiễu tăng, tín hiệu hai dị thường vẫn được giữ nguyên và có phần rõ nét hơn trước (Hình 6).

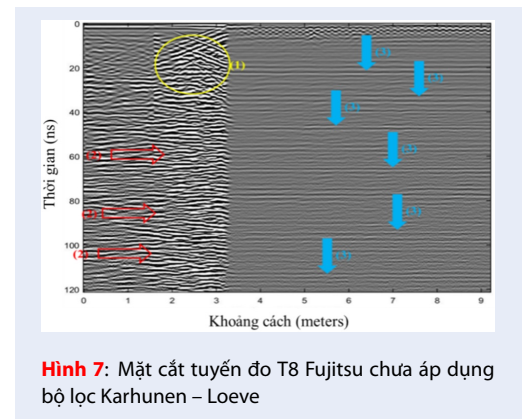
## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### Áp dụng bộ lọc K - L vào số liệu thực tế

Phần này trình bày một số kết quả áp dụng bộ lọc K - L vào số liệu thực tế. Mặt cắt GPR trước khi áp dụng bộ lọc K - L đã được xử lý bằng một số bộ lọc cơ bản như: Dewow, move starttime, gain, bandpassbutterworth<sup>1</sup>. Hai số liệu thực tế đều được thu thập bằng thiết bị Detector Duo với tần số 700 MHz có màn chắn của hãng IDS, Ý.

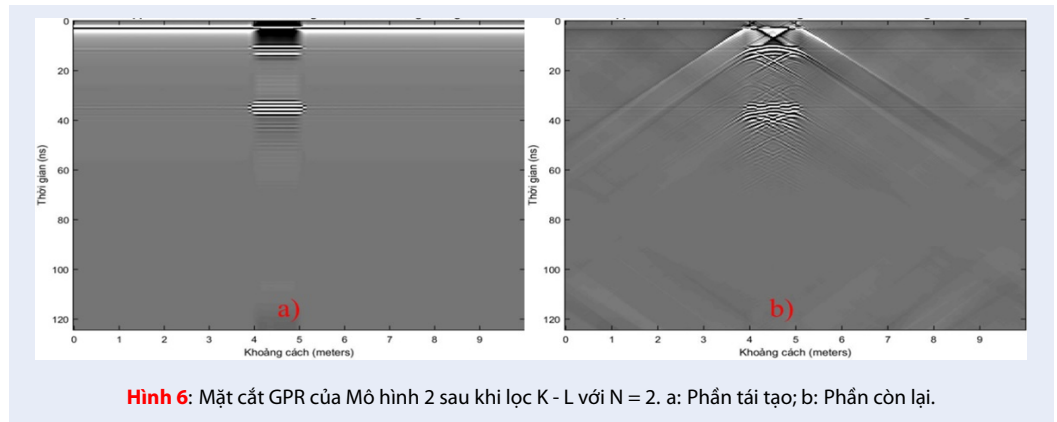
### Khảo sát hệ thống công trình ngầm tại nhà máy Fujitsu

Tuyến đo được thực hiện tại khu vực xưởng mạ bên trong công ty Fujitsu, KCN Biên Hòa 2, tỉnh Đồng Nai. Mục đích khảo sát là xác định các vị trí sụt lún trên sàn nhà máy.

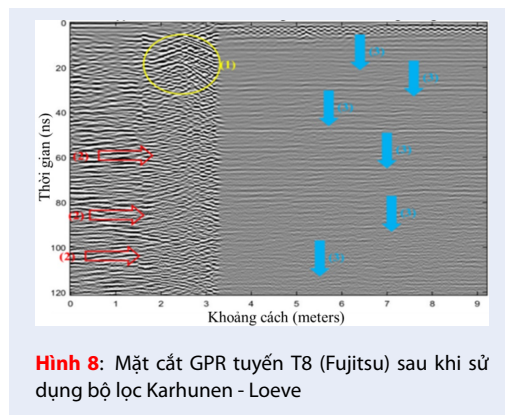


Hình 7: Mặt cắt tuyến đo T8 Fujitsu chưa áp dụng bộ lọc Karhunen - Loeve

Mặt cắt GPR tuyến đo T8 được biểu diễn trên Hình 7. Các tín hiệu hyperbol liên tục từ vị trí khoảng 3,2 m đến cuối tuyến, độ sâu 0 - 50 ns, là từ các cốt thép bên trong nền bê tông. Từ vị trí 1,8 - 3,2 m là tín hiệu khi đi qua một nắp hố ga. Có thể thấy, mặt cắt GPR vẫn tồn tại nhiều nhiễu nằm ngang (2) và (3). Ngoài ra, dị thường (1) bên trong hố ga có thể là một cáp điện theo thông tin từ ban quản lý nhà máy. Tín hiệu từ cáp điện bị che mờ và đứt đoạn do tác động từ các tín hiệu phản xạ nhiều lần bên trong hố ga.



**Hình 6:** Mặt cắt GPR của Mô hình 2 sau khi lọc K - L với  $N = 2$ . a: Phần tái tạo; b: Phần còn lại.



**Hình 8:** Mặt cắt GPR tuyến T8 (Fujitsu) sau khi sử dụng bộ lọc Karhunen - Loeve

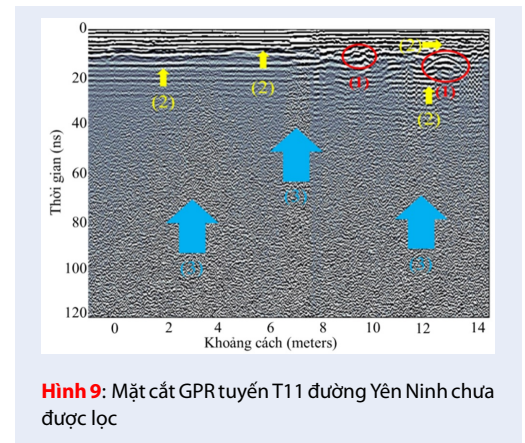
Hình 8 là mặt cắt GPR phần giữ lại sau khi áp dụng bộ lọc K - L với  $N = 8$ . Quan sát mặt cắt này nhận xét thấy: (i) Các nhiễu thường trực và nhiễu nằm ngang (3) đã được giảm cường độ và có vị trí đã được loại bỏ hoàn toàn, nhưng có nhiều tín hiệu (2) đã bị đứt đoạn, mặt cắt GPR sau khi lọc hơi nhòe hơn so với trước; (ii) Dị thường số (1) đã nổi bật hơn và không còn bị đứt đoạn như trước khi lọc.

Trong các nghiên cứu về phương pháp GPR, việc lọc các tín hiệu phản xạ mạnh trong các hố ga, lỗ rỗng để nhận biết các đối tượng bên trong luôn là bài toán khó, và chưa có phương pháp nào thực sự đạt yêu cầu. Trong kết quả bên trên, tín hiệu bên trong được nổi bật hơn nhưng vẫn không thể tách rời khỏi nhiễu. Ngoài ra, trong mặt cắt sau lọc, một số tín hiệu đã bị đứt đoạn. Tuy nhiên, bộ lọc K - L đã giúp cải thiện được chất lượng hình ảnh, tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu được tăng cường.

### Khảo sát hệ thống công trình ngầm tại thành phố Phan Rang - Tháp Chàm Tỉnh Ninh Thuận

Tuyến đo được thực hiện trên đường Yên Ninh, thành phố Phan Rang - Tháp Chàm, Tỉnh Ninh Thuận. Mục đích khảo sát là xác định vị trí, độ sâu của hệ thống công trình ngầm bên dưới tuyến đường này, nhằm vẽ bản đồ toàn bộ hệ thống công trình ngầm của thành phố Phan Rang - Tháp Chàm, tỉnh Ninh Thuận.

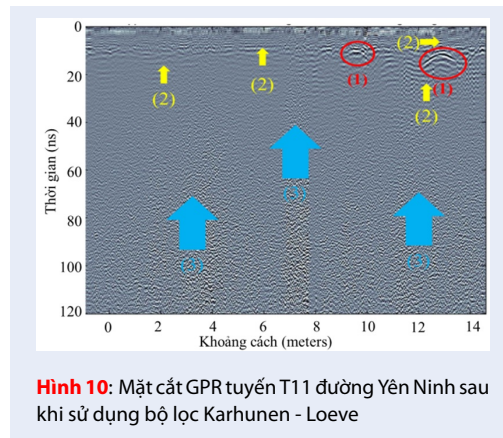
Mặt cắt GPR (Hình 9) tuy đã qua tiền xử lý nhưng vẫn còn nhiều nhiễu nằm ngang (2) cũng như nhiễu thường trực (3). Các tín hiệu (1) có thể là phản xạ từ các công trình ngầm cần tìm kiếm, chúng bị che mờ và méo mó do các nhiễu nằm ngang (2).



**Hình 9:** Mặt cắt GPR tuyến T11 đường Yên Ninh chưa được lọc

Với số liệu này, sử dụng bộ lọc K - L với  $N = 22$ . Mặt cắt GPR phần giữ lại sau khi lọc được thể hiện ở Hình 10. Quan sát kết quả sau xử lý, có một số nhận xét sau đây: (i) Các nhiễu nằm ngang (2) và nhiễu thường trực đã được loại bỏ gần như hoàn toàn, tuy nhiên do tín hiệu có cường độ khác nhau nên vẫn còn vài đường thẳng nằm ngang đặt trưng, nhiễu thường





**Hình 10:** Mặt cắt GPR tuyến T11 đường Yên Ninh sau khi sử dụng bộ lọc Karhunen - Loeve

trực (3) đã được loại bỏ một phần nhưng chúng vẫn còn khá nhiều trong mặt cắt GPR; (ii) Tín hiệu dị thường (1) đã rõ rõ không còn méo mó, mờ nhạt như trước khi lọc.

Như vậy, bộ lọc K - L đã làm tăng tỉ lệ tín hiệu trên mặt cắt GPR. Các đối tượng quan tâm trở nên rõ nét hơn. Đặc biệt, dị thường ở độ sâu 10 ns và vị trí 1.0 m đã được làm nổi bật hơn rõ so với trước khi lọc K - L. Đây là kết quả thể hiện ưu điểm lớn của phương pháp này.

## KẾT LUẬN

Các kết quả xử lý trên mô hình lý thuyết và số liệu thực tế cho thấy phương pháp K - L có khả năng lọc các nhiễu có dạng tuyến tính tốt, có thể giúp nhận diện rõ các mặt ranh giới địa chất. Đây là phương pháp lọc nhiễu dựa trên cường độ của tín hiệu chứ không dựa trên tần số, nên dễ dàng cho việc lọc các tín hiệu có cường độ rất lớn hoặc rất nhỏ qua một lần lọc và khoảng trung bình qua nhiều lần lọc hơn. Các dạng nhiễu không tuyến tính sẽ khó được loại bỏ hơn so với nhiễu có dạng tuyến tính. Khi môi trường càng bất đồng nhất, các nhiễu tuyến tính có cường độ thay đổi mạnh, thì không thể loại bỏ hoàn toàn các nhiễu này chỉ bằng bộ lọc K - L. Hơn nữa, kết quả sau khi lọc K - L đôi khi sẽ làm méo mó tín hiệu quan tâm khi các tín hiệu này bị che phủ bởi nhiễu có cường độ quá lớn. Việc lựa chọn giá trị suy biến N tối ưu cho một tập dữ liệu cụ thể đóng vai trò quan trọng trong bài toán lọc nhiễu bằng phương pháp K - L. Qua thử nghiệm trên nhiều số liệu mô hình và thực tế khác nhau, nhóm nghiên cứu thấy rằng cần phải lựa chọn giá trị N sao cho dữ liệu phần dư loại bỏ được tín hiệu không mong muốn và không có sự thay đổi các tín hiệu còn lại (hoặc thay đổi càng ít càng tốt), thì giá trị N đó được xem là tối ưu. Trong các dữ liệu bao gồm nhiễu nhiễu nằm ngang với cường độ khác nhau, giá

trị N tối ưu thông thường sẽ nằm trong khoảng từ 1 - 20. Các dạng nhiễu không tuyến tính hoặc tín hiệu quan tâm bị che bởi các nhiễu có cường độ lớn hơn thì giá trị N tối ưu sẽ lớn hơn 20. Còn nếu tín hiệu quan tâm có cường độ bé hơn nhiễu so với nhiễu, giá trị N tối ưu thường rất lớn

Trong một mặt cắt GPR thực tế bao gồm nhiễu nhiễu thường trực thể nhưng trong mô hình vẫn chưa mô phỏng được dạng nhiễu này, vì thế cần nghiên cứu thêm để tìm cách tạo ra nhiễu ngẫu nhiên trong mô hình sau đó thử loại bỏ nhiễu này bằng bộ lọc K - L. Nên áp dụng bộ lọc Karhunen - Loeve cùng với các bộ lọc khác và trước khi thực hiện các thuật toán nhận dạng dị thường tự động trên mặt cắt GPR. Các kết quả đạt được cho thấy bộ lọc K - L có thể được ứng dụng tốt vào công tác xử lý số liệu GPR. Đặc biệt, trong các kỹ thuật nhận dạng tín hiệu tự động hiện nay, việc tăng cường tỉ lệ tín hiệu / nhiễu, tăng cường độ mạnh tín hiệu đường biên luôn đóng vai trò quan trọng. Khi đó, bộ lọc K - L cần được sử dụng trước khi thực hiện áp dụng các thuật toán nhận dạng tín hiệu để tăng độ chính xác.

## XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

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

## ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Phạm Ngọc Thảo xử lý trên mô hình lý thuyết và các dữ liệu thực tế bằng bộ lọc Karhunen - Loeve và viết bản thảo.

Đặng Hoài Trung định hướng nghiên cứu, thu thập dữ liệu thực tế, xử lý thô các dữ liệu, góp phần thảo luận và hoàn chỉnh bản thảo.

Nguyễn Lưu Gia Bảo mô phỏng các mặt cắt GPR và góp phần thảo luận.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Thành VN, Văn GN. Ra đa xuyên đất - Phương pháp & ứng dụng. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2014;.
2. Hemon D, CH, Mace. 'The use of the Karhunen-Loeve transformation in seismic data processing', vol. Geophysica. 1978:600-26; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1978.tb01620.x>.
3. Jones IF, Levy S. Signal-to-noise ratio enhancement in multichannel seismic data via the Karhunen - Loeve transform. Geophys Prospect. 1987;35(1):12-32; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1987.tb00800.x>.
4. Al-Yahya KM. 'Application of the partial Karhunen-Loeve transform to suppress random noise in seismic sections: Geophys', vol. Geophysica. 1991:77-93; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1991.tb00302.x>.
5. Zhang ZY, Zhang JL, Yu HY, Lu YJ. Ridgelet transform with application in ground penetrating radar processing. Proceedings of the 2007 international conference wavelet anal, ICWAPR'07. Vol. 3; 2007. p. 1054-9; Available from: <https://doi.org/10.1109/ICWAPR.2007.4421588>.

6. Zhao A, Jiang Y, Wang W. 'Signal-to-noise ratio enhancement in multichannel GPR data via the karhunen-loève transform,' PIERS 2005 - Prog. PIERS Online. Electromagn Res Symp. proc., no. 2. 2005;1(6):754-7;Available from: <https://doi.org/10.2529/PIERS041210090705>.
7. Zhao S, Y, Wu J, Chen J, Chen J. Multiple suppression in GPR image for testing back-filled grouting within shield tunnel. IEEE Publications; 2010;Available from: <https://doi.org/10.1109/ICGPR.2010.5550123>.
8. Tzanis A. matGPR Release 2: A freeware MATLAB package for the analysis & interpretation of common and single offset GPR data; 2010,.
9. Liu X. Ground roll suppression using the Karhunen-Loeve transform. Geophysics. 1999;64(2):564-6;Available from: <https://doi.org/10.1190/1.1444562>.
10. Baker K. Singular value decomposition tutorial. The Ohio State University; 2005. p. 24;.
11. Thu HN, Hiếu CN. Nghiên cứu phương pháp phân tích SVD và ứng dụng trong xử lý ảnh. Khoa Học Công Nghệ. 2021;06:149-52,.
12. Tiệp VH. p. 02-Sep; 2017 [online]. "Machine Learning Cơ Bản," [cited Nov 03, 2022];Available from: <https://machinelearningcoban.com/2017/06/07/svd/#-singular-value-decomposition>.
13. Yilmaz Ö. 6. Noise and multiple attenuation. In: Seismol. data anal.; 2001. p. 887-96;Available from: <https://doi.org/10.1190/1.9781560801580.ch6>.

# Using Karhunen - Loeve filter in the processing of ground penetrating radar data (GPR)

Thao Ngoc Pham<sup>1,2</sup>, Trung Hoai Dang<sup>1,\*</sup>, Bao Nguyen<sup>3</sup>



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

## ABSTRACT

Ground - penetrating radar (GPR), a modern geophysical method, is used to study the shallow structure below the ground, based on the principle of electromagnetic wave generation and reception in the high frequency range of 10 - 3000 MHz. The received signal could be presented in the form of images, similar to the ultrasound method in medicine, to study the shallow geological structure below the ground. In order for the GPR cross - section to accurately reflect the environment below the ground, data processing always plays a very important role, in order to eliminate horizontal noise, permanent noise, etc., which often blur or obscure objects of interest. Many signal processing methods have been studied and applied, but the improvement of processing methods has always received much attention from scientists. This paper presented the theoretical basis and how to apply the Karhunen - Loeve filter to the model and practical GPR cross - section, in order to remove the standing and horizontal noises. Experimental results on the theoretical and practical models showed that the interested signals were highlighted and some noise forms were blurred. This initial success would be a promise to develop the problem of automatic processing and identification in the GPR method of the research team.

**Key words:** Karhunen – Loeve filter, horizontal noise reduction, large signal noise reduction, GPR

<sup>1</sup>University of Science, VNU-HCM, Vietnam

<sup>2</sup>Saigon Technology University, Vietnam

<sup>3</sup>International School of Ho Chi Minh City

## Correspondence

**Trung Hoai Dang**, University of Science, VNU-HCM, Vietnam

Email: dhtrung@hcmus.edu.vn

## History

- Received: 13-9-2022
- Accepted: 23-6-2023
- Published: 30-6-2023

DOI : <https://doi.org/10.32508/stdjns.v7i2.1233>



## Copyright

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



Cite this article : Pham T N, Dang T H, Nguyen B. **Using Karhunen - Loeve filter in the processing of ground penetrating radar data (GPR)**. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 2023, 7(2):2635-2641.