

PHÂN TÍCH CẤU TRÚC VÀ NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG TÀI LIỆU ĐỊA CHẤN

Tạ Quang Minh, Bùi Thị Hạnh, Nguyễn Tiến Thịnh

Viện Dầu khí Việt Nam

Email: minhqtq@vpi.pvn.vn

Tóm tắt

Phân tích cấu trúc và nâng cao chất lượng tài liệu địa chấn được ứng dụng nhiều trong minh giải cấu trúc xác định các tập địa chấn với các kiểu kiến trúc phân xạ đặc trưng cũng như xác định các vị trí đứt gãy, phân xạ không liên tục trên mặt cắt địa chấn. Trong bài báo này, nhóm tác giả giới thiệu việc ứng dụng tensor cấu trúc trong phân tích các thuộc tính hình học của tài liệu địa chấn cũng như trong việc nâng cao chất lượng tín hiệu địa chấn thông qua lọc khuếch tán bất đẳng hướng.

Từ khóa: Xử lý địa chấn, thuộc tính địa chấn, lọc hướng cấu trúc, nhận dạng địa chấn, chất lượng tài liệu địa chấn.

1. Mở đầu

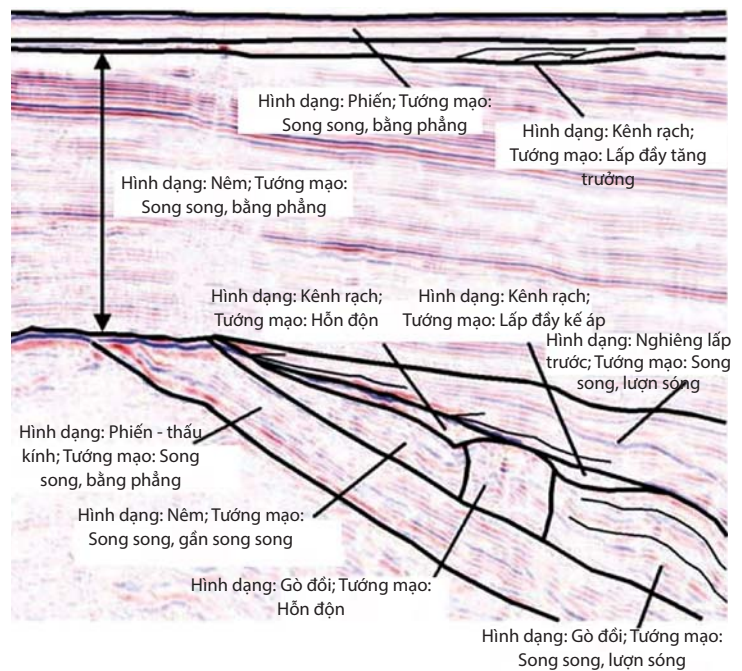
Phân tích cấu trúc tự động dựa trên tài liệu địa chấn đã có bước tiến dài với các ứng dụng như: xác định tương địa chấn, trợ giúp minh giải, xác định đứt gãy... Đây cũng là công nghệ triển vọng với mục tiêu tiến tới minh giải tài liệu địa chấn tự động, theo đó máy tính có thể tự động phân tách (automatic segmentation) mặt cắt địa chấn thành các tập riêng biệt với các đặc trưng riêng như Hình 1 [1]. Bản chất của quá trình này có thể xác định các thuộc tính hình học theo vùng cũng như các dạng kiến trúc phân xạ (texture) của các tập địa chấn. Do đó, phân tích cấu trúc địa chấn/đặc tính hình học đóng vai trò quan trọng trong minh giải tài liệu địa chấn, cho phép xác định được các cấu trúc địa phương dựa trên tài liệu địa chấn.

Các nghiên cứu về thuộc tính hình học của mặt cắt/khối (cube) địa chấn đã được xử lý bắt đầu phát triển từ cuối thập niên 80, đầu thập niên 90 của thế kỷ XX như: các nghiên cứu về thuộc tính liên kết địa chấn (coherence) của Bahorich [2], Finn [3], Marfurt [4, 5], Chopra [6]... hay thuộc tính curvature của Lisle [7], Robert [8], Massafiero [9]... Các nghiên cứu này cho phép xác định tự động các vị trí pha phân xạ không liên tục, đứt gãy, kênh rạch, tại đó tính liên kết địa chấn bị phá vỡ, hay xác định các thuộc tính hình học đơn giản (độ dốc, độ uốn nếp).

Bước sang đầu thế kỷ XXI, các nghiên cứu của Raden [10], Bakker [11]... đã đi sâu phân tích định lượng, định hướng các thuộc tính hình học này. Nghiên cứu của Raden về phân tích cấu trúc địa chấn cho phép phát triển công cụ phát hiện đứt gãy thuộc tính hỗn loạn (chaos) (Hình 2), mở đầu cho

khái niệm tensor cấu trúc - công cụ quan trọng đóng vai trò nền tảng trong phân tích các thuộc tính hình học của tài liệu địa chấn.

Tensor cấu trúc đã mở đầu cho phương hướng nâng cao chất lượng tài liệu địa chấn, thông qua phương pháp xử lý tín hiệu đa chiều - lọc phi tuyến mới với tên gọi lọc khuếch tán bất đẳng hướng (anisotropic diffusion). Lọc khuếch tán bất đẳng hướng được phát triển từ cuối thập niên 80 bởi Pietro Perona và Jitendra Malik [12] và được sử dụng trong lĩnh vực xử lý hình ảnh. Khuếch tán bất đẳng hướng cho phép lọc nhiễu các khu vực tương đối đồng nhất, đồng thời bảo tồn các khu vực có sự biến đổi tính chất hình học địa phương. Fehmers và Höcker [13] sớm nhận ra việc kết hợp thông tin có được từ tensor cấu trúc của Raden với lọc khuếch tán bất đẳng hướng sẽ cho phép khử nhiễu hiệu quả đồng thời bảo tồn cấu trúc địa chất, do đó nâng cao chất lượng



Hình 1. Minh họa minh giải mặt cắt tự động: phân tách được các kiểu kiến trúc phân xạ khác nhau [1]

tài liệu địa chấn so với các phương pháp lọc thông thường khác. Do lọc hướng cấu trúc cho phép gia tăng tỷ số tín hiệu trên nhiễu đồng thời bảo tồn các đứt gãy, tài liệu sau khi lọc có thể được sử dụng tăng độ phân giải và chất lượng tài liệu trong cả miền không gian và thời gian.

Việc nâng cao chất lượng tài liệu địa chấn cả về tín hiệu và phổ tần đã giúp các kiện phản xạ địa chấn trở nên rõ ràng, các pha chồng chập được phân tách, giúp ích cho công tác minh giải tài liệu địa chấn (Hình 3).

Bài báo giới thiệu ứng dụng của tensor cấu trúc trong việc nâng cao chất lượng tín hiệu địa chấn thông qua lọc khuếch tán bất đẳng hướng; lọc hướng cấu trúc và các ứng dụng phân tích hình học của tensor cấu trúc.

2. Lọc hướng cấu trúc

Lọc hướng cấu trúc (structure-oriented filtering) là một lớp bộ lọc phi tuyến hướng tới việc khử nhiễu và bảo tồn cấu trúc. Một phương pháp triển vọng cho lọc hướng cấu trúc được phát triển từ phương pháp xử lý hình ảnh khuếch tán bất đẳng hướng.

Khuếch tán (diffusion) là quá trình vật lý cân bằng sự khác biệt về nồng độ vật chất (hoặc nhiệt độ) mà không sinh thêm hay làm mất đi vật chất (hoặc nhiệt) dựa trên nguyên lý dịch chuyển vật chất (nhiệt) từ nơi có nồng độ cao (nhiệt độ cao) đến nơi có nồng độ thấp (nhiệt độ thấp). Quá trình khuếch tán tuân theo phương trình vi phân:

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = c^2 \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

Trong đó:

$u(x,t)$: Hàm nồng độ (nhiệt độ) theo không gian, thời gian;

c^2 : Hệ số khuếch tán.

Nghiệm của phương trình (1) là tích chập của hàm phân bố nồng độ (nhiệt độ) ban đầu $u(x,0)$ với hàm Gauss:

$$u(x,t) = u(x,0) * G(x,t) \quad (2)$$

Trong đó:

$G(x,t)$ là hàm Gauss:

$$G(x,t) = \frac{1}{2c\sqrt{\pi t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4c^2 t}\right) \quad (3)$$

Khi áp dụng cho ảnh 2 chiều $u(x,y,0)$, phương trình vi phân khuếch tán có dạng:

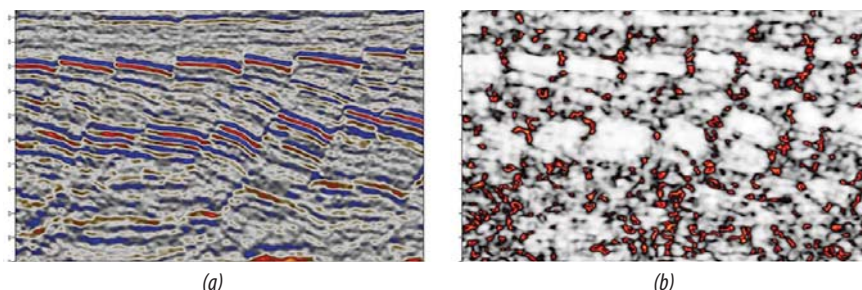
$$\frac{\partial u(x,y,t)}{\partial t} = c^2 \Delta u \quad (4)$$

Trong đó Δu là Laplacian của trường u . Nghiệm của phương trình (4), tương tự như trong trường hợp một chiều, là tích chập của ảnh gốc $u(x,y,0)$ với hàm Gauss 2 chiều $G(x,y,t)$. Lưu ý:

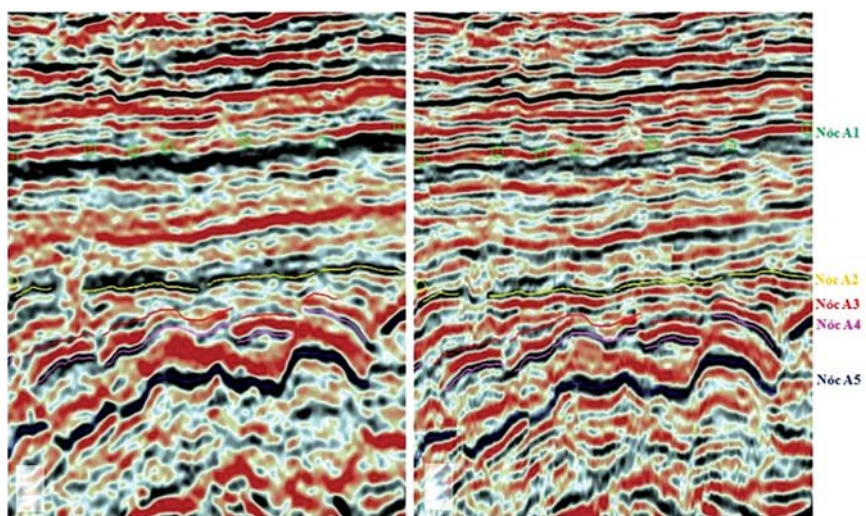
- Tích chập với hàm Gauss là một dạng lọc “trung bình hóa” với trọng số, cho phép lọc nhiễu và làm “trơn” (smooth) các chi tiết;

- Lọc Gauss - “trung bình hóa” - về nguyên tắc làm giảm nhiễu nhưng đồng thời làm nhòe (blur) các chi tiết cạnh biên, đứt đoạn, không liên tục (discontinuities) trong tín hiệu;

- Khi t tăng, hàm $G(x,y,t)$ mở “độ rộng” (deviation), do đó trung bình hóa diễn ra trên diện tích rộng hơn, có khả năng lọc nhiễu, trơn/mượt hơn, nhưng cũng làm nhòe nhiều chi tiết hơn. Nói cách khác, gia tăng thời gian t cho kết quả là hình ảnh gốc ban đầu $u(x,y,0)$ được lọc bởi hàm Gauss $G(x,y,t)$.



Hình 2. Mặt cắt gốc (a), xử lý đặc biệt phát hiện đứt gãy ứng dụng tensor cấu trúc (b)



Hình 3. Kết quả minh giải cấu trúc tại một khu vực khác trên tài liệu đã được xử lý nâng cao chất lượng tại Viện Dầu khí Việt Nam (b) so với trên tài liệu gốc (a)

Tác dụng của lọc Gauss (Hình 4a) áp dụng cho ảnh 2 chiều. Nguyên nhân chính khiến các chi tiết không liên tục, chi tiết biên trong tín hiệu không được bảo tồn và bị làm nhòe là do tính chất đẳng hướng “isotropic diffusion” của phương trình khuếch tán (4).

Để bảo tồn các chi tiết biên đồng thời đảm bảo tính chất làm trơn các khu vực đồng nhất, phương trình (4) được biến đổi sao cho biến thiên của ảnh $\partial u(x,y,t)/\partial t$ là nhỏ nhất tại các vị trí cạnh biên của tín hiệu. Tại các khu vực đồng nhất, độ biến thiên $\partial u(x,y,t)/\partial t$ cần tương đương với trường hợp khuếch tán đẳng hướng.

Thành phần Laplacien trong phương trình (4) có dạng tương đương: $\Delta u = \text{div}(\nabla u)$. Do đó, phương trình khuếch tán có dạng chung:

$$\frac{\partial u(x,y,t)}{\partial t} = \text{div}[g(|\nabla u|)\nabla u] \quad (5)$$

Trong đó ∇u là trường vector gradient của ảnh $u(x,y,t)$.

Hàm $g(|\nabla u|)$ trong phương trình khuếch tán bất đẳng hướng (5) đóng vai trò là hàm kiểm soát khuếch tán. Hocker và Gijs Fehmers [7] nhận xét $g(|\nabla u|)$ có thể có một số dạng sau:

Ở dạng đơn giản nhất, $g(|\nabla u|)$ là hằng số, có khuếch tán đẳng hướng (isotropic diffusion) với kết quả đã thảo luận ở trên.

Khi $g(|\nabla u|)$ là một hàm vô hướng (scalar function), có lọc khuếch tán phi tuyến của Pietro Perona và Jitendra Malik [15]. Khi đó, $g(|\nabla u|)$ đóng vai trò như một hàm tìm kiếm các đường biên “edges” của tín hiệu địa chấn. Tại các vị trí cạnh biên, $g(|\nabla u|) \approx 0$ hoặc càng nhỏ càng tốt, khiến cho thay đổi $\partial u(x,y,t)/\partial u$ nhỏ (ít làm thay đổi $u(x,y)$). Do $|\nabla u| \gg 0$ tại các chi tiết biên, gờ, rìa (edge) và $|\nabla u| \approx 0$ tại các vùng đồng nhất, một lựa chọn phổ biến là $g(|\nabla u|) = 1/|\nabla u|$. Các lựa chọn phức tạp hơn của hàm

$g(|\nabla u|)$ cho phép phân tách các chi tiết mang tính lựa chọn hơn.

Với sự thay đổi này, lọc khuếch tán phi tuyến (nonlinear diffusion) sẽ bảo tồn được các chi tiết biên, gờ, rìa trong khi tín hiệu bên trong đường biên đó sẽ được làm trơn/mượt hóa. Điều này có thể thấy rõ trong Hình 4: lọc khuếch tán phi tuyến (Hình 4c) có sự cải tiến rõ rệt, bảo tồn chi tiết biên so với lọc khuếch tán đẳng hướng (Hình 4a).

Thay đổi lớn nhất xảy ra khi Hocker và Gijs Fehmers [13] lựa chọn hàm kiểm soát khuếch tán $g(|\nabla u|) = D$ là một ma trận tại mỗi điểm (ma trận khuếch tán). Trường ma trận khuếch tán được gọi tensor khuếch tán. Khi đó, quá trình khuếch tán được phép diễn ra theo một số hướng còn một số hướng khác thì bị chặn lại (bảo tồn cấu trúc), do đó, quá trình khuếch tán được gọi bất đẳng hướng (anisotropic diffusion). Các hướng này được xác định thông qua vector riêng (eigenvector) của ma trận khuếch tán:

$$D = \sum_{i=1}^d \mu_i \vec{v}_i \vec{v}_i^T \quad (6)$$

Trong đó:

d : Số chiều của ảnh;

$\vec{v}_i$: Các vector riêng;

μ_i : Các giá trị riêng.

Để bảo tồn cấu trúc địa chất, các hướng của vector riêng này cần nằm cùng hướng với hướng địa phương của cấu trúc địa chất. Khi đó, các hướng song song với cấu trúc địa chất được lọc, khử nhiễu, còn các hướng vuông góc với cấu trúc thì được bảo tồn, dẫn tới sự bảo tồn ranh giới các pha địa chấn. Việc xác định các hướng cấu trúc địa phương đóng vai trò quan trọng trong lọc khuếch tán bất đẳng hướng.

Phương pháp ước lượng hướng cấu trúc địa phương đã được phát triển trước đó bởi Randen [10] trong công trình nghiên cứu về tensor cấu trúc. Khi tensor cấu trúc



Hình 4. Lọc khuếch tán đẳng hướng thông thường (a), hình chụp gốc (b), lọc khuếch tán phi tuyến (c) [14]

Random đã được xác định (trình bày ở mục 3), ma trận cấu trúc S tại mỗi điểm có thể viết dưới dạng vector riêng/giá trị riêng (eigenvectors/values) như sau:

$$S = \sum_{i=1}^d \lambda_i \vec{v}_i \vec{v}_i^T \quad (7)$$

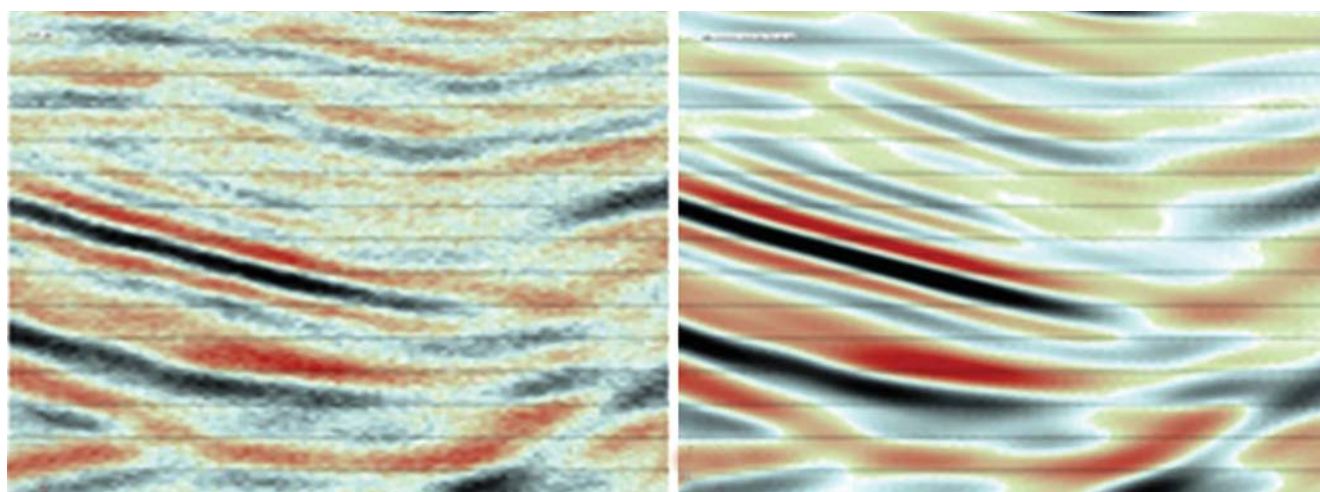
Các vector riêng $\vec{v}_i$ của ma trận cấu trúc hợp thành một hệ vuông góc trong đó vector chính (tương ứng với λ_i lớn nhất) chỉ về hướng vuông góc với mặt dốc của địa chất và các vector còn lại nằm trên mặt địa chất (song song với cấu trúc). Do đó, hướng chặn diffusion và hướng cho phép (lọc) đã được xác định từ các vector chính này. Vì lý do này Hocker và Gijs Fehmers lựa chọn ma trận khuếch tán D có cùng vector riêng $\vec{v}_i$ với ma trận cấu trúc S và sửa đổi nhỏ ở các giá trị riêng:

- Trường hợp các vector riêng $\vec{v}_i$ song song với cấu trúc thì giá trị riêng $\mu_i = 1$;
- Trường hợp các vector riêng $\vec{v}_i$ vuông góc với cấu trúc thì giá trị riêng $\mu_i = 0$.

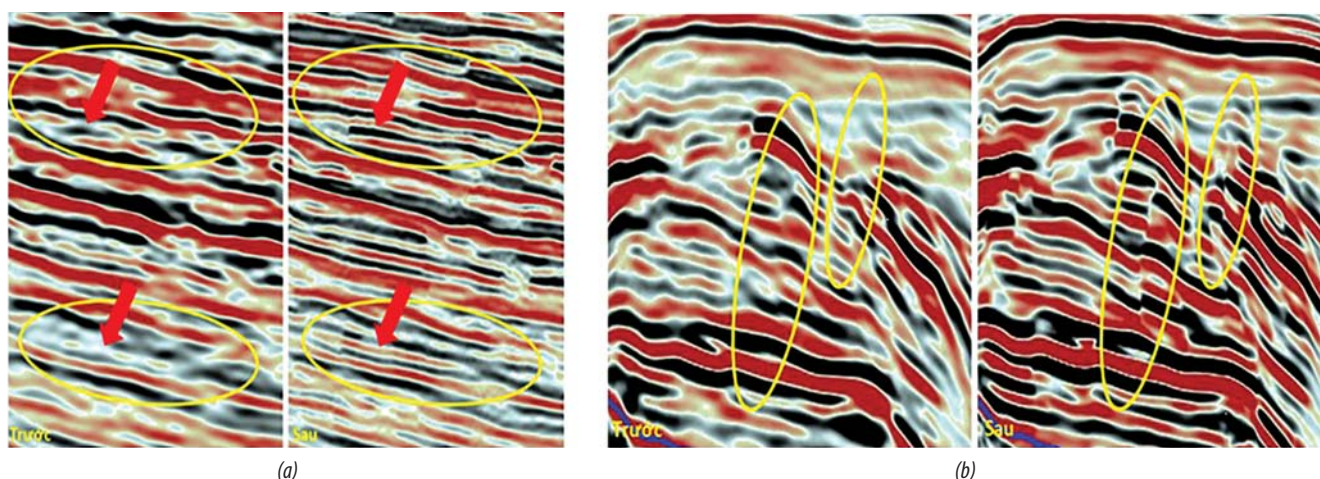
Sự lựa chọn ma trận khuếch tán này đã gia tăng rõ rệt chất lượng lọc khuếch tán bất đẳng hướng. Kết quả lọc khuếch tán bất đẳng hướng ứng dụng cho tài liệu địa chấn được thể hiện trên Hình 5 khi các nhiễu ngẫu nhiên được lọc bỏ còn các ranh giới pha địa chấn trở nên liên tục, sắc nét hơn mà cấu trúc vẫn được bảo tồn.

Chất lượng mặt cắt được gia tăng khiến cho tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) tăng, năng lượng của nhiễu suy giảm. Điều này cho phép áp dụng các phương pháp gia tăng băng thông phổ biên độ, tăng độ phân giải (ví dụ làm trắng hóa phổ - spectral whitening). Kết quả gia tăng chất lượng tài liệu địa chấn có thể thấy rõ thông qua một số mặt cắt được nhóm tác giả xử lý (Hình 6).

Sau khi xử lý gia tăng chất lượng các pha phản xạ địa chấn nhỏ trong tài liệu gốc được phân tách rõ ràng hơn (Hình 6a), các vị trí đứt gãy và vị trí pha phản xạ không liên tục trên mặt cắt cũng trở nên rõ ràng hơn (Hình 6b).



Hình 5. Mặt cắt gốc bị ảnh hưởng bởi nhiễu (a), xử lý lọc khuếch tán bất đẳng hướng tại Viện Dầu khí Việt Nam (b)



Hình 6. Mặt cắt địa chấn trước và sau xử lý lọc cấu trúc phi tuyến và trắng hóa phổ (whitening) tại Viện Dầu khí Việt Nam

3. Tensor cấu trúc và ứng dụng

3.1. Vector gradient và tensor cấu trúc

Với một khối địa chấn 3 chiều $u(x,y,z)$, vector gradient ∇u luôn luôn chỉ theo hướng tăng theo trường giá trị của hàm và có phương vuông góc với mặt phản xạ. ∇u mang thông tin về hướng cấu trúc của các tín hiệu phản xạ trên mặt cắt địa chấn.

Do tín hiệu địa chấn luôn có sự đảo pha, vector gradient địa phương có thể chỉ theo các hướng ngược nhau. Ngoài ra, do vector gradient là đạo hàm của trường địa chấn, ∇u luôn bao gồm thành phần nhiễu (Hình 7).

Tập hợp các vector gradient lân cận một điểm, do đó, hợp thành một sơ đồ phân tán (scattered plot) có hướng chủ đạo trùng hướng chính của gradient. Sử dụng công cụ phân tích thành phần chính (Principal Component Analysis - PCA), hướng này có thể bóc tách được từ việc phân tích vector riêng của ma trận covariance của tập hợp vector gradient địa phương:

$$S = \text{trung bình}\{\nabla u(\nabla u)^T\}$$

Việc phân tích ma trận covariance thành vector riêng và giá trị riêng (phương trình 7) được viết lại dưới đây:

$$S = \sum_{i=1}^d \lambda_i \vec{v}_i \vec{v}_i^T$$

Do tính chất của phân tích vector riêng, các vector riêng $\vec{v}_i$ của S hợp thành một hệ vuông góc, trong đó theo

PCA, vector chính (ứng với giá trị riêng λ_i lớn nhất) trùng hướng chủ đạo của gradient (vuông góc với mặt phản xạ). Căn cứ vào các vector này, Randen [10] xác định được hướng đổ của mặt phản xạ địa phương. Trường ma trận covariance này được gọi là tensor cấu trúc.

3.2. Phân tích cấu trúc địa chất sử dụng tensor cấu trúc

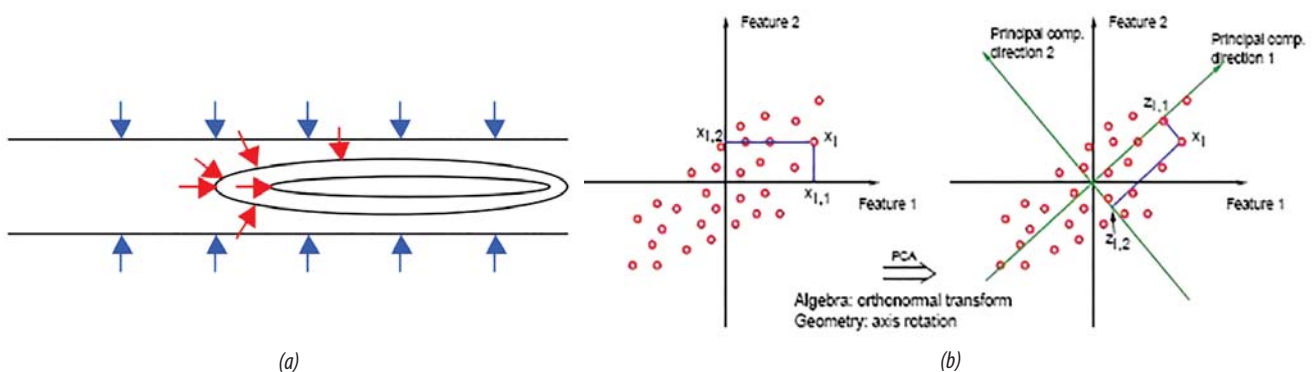
Với trường hợp ảnh (tài liệu địa chấn) 3 chiều, tensor cấu trúc S tương ứng có 3 giá trị riêng $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, có 3 trường hợp lý tưởng sau (Hình 8):

- $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 > 0$: Không có hướng chủ đạo. Bất kỳ một vector nào cũng là một vector riêng. Các vector riêng không mang bất kỳ thông tin nào về hướng cấu trúc của các mặt phản xạ trên mặt cắt địa chấn. Đây là trường hợp đại diện cho cấu trúc hỗn loạn;

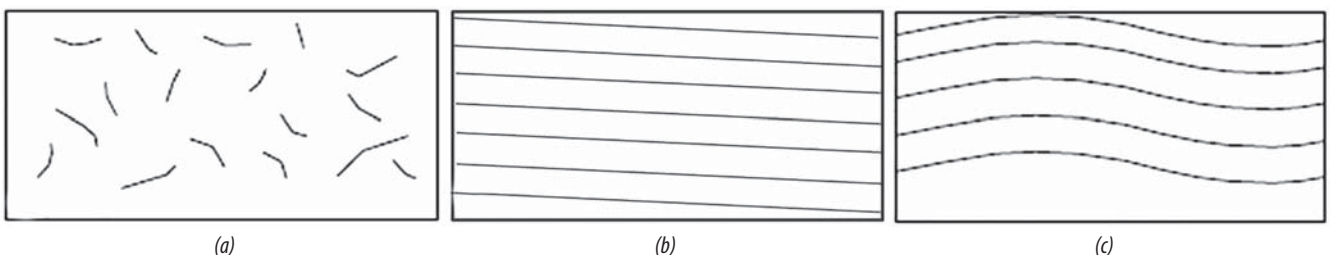
- $\lambda_1 > \lambda_2 = \lambda_3 = 0$: Địa chất địa phương có một hướng cấu trúc chủ đạo không thay đổi (là hướng đổ vuông góc với vector riêng $\vec{v}_1$), trường hợp này tương ứng với trầm tích phân lớp song song;

- $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 = 0$: Địa chất địa phương có hướng cấu trúc chủ đạo thay đổi (vuông góc với vector riêng $\vec{v}_1$ và $\vec{v}_2$). Trường hợp này tương ứng với các cấu trúc như nếp lồi hoặc nếp lõm. Hướng vector riêng $\vec{v}_3$ ứng với giá trị riêng nhỏ nhất song song với nếp uốn.

Việc phân loại cấu trúc địa chất xác định hướng đổ địa chất cho phép minh giải dựa trên texture và hướng cấu trúc địa phương.



Hình 7. Minh họa vector gradient địa phương (a) và xác định hướng chính của các vector gradient bằng phương pháp thành phần chính (b)



Hình 8. Các kiểu kiến trúc phản xạ đặc trưng: hỗn loạn (a), song song (b), uốn nếp (c) [8]

3.3. Ứng dụng đặc biệt của tensor cấu trúc

Tensor cấu trúc có nhiều ứng dụng quan trọng trong phân tách (segmenting) và xác định các cấu trúc của tài liệu địa chấn; được sử dụng rộng rãi trong quá trình ước lượng các cấu trúc địa phương và hướng địa phương của các mặt phản xạ địa chấn.

3.3.1. Lọc bảo tồn đứt gãy

Lọc khuếch tán bất đẳng hướng thể hiện rõ ưu điểm vượt trội trong việc bảo tồn các pha địa chấn thông qua tính liên tục của các pha này. Tuy nhiên, các cấu trúc đứt gãy lại thường cắt xuyên qua các pha địa chấn và không có cấu trúc dạng “pha liên tục” như các mặt phản xạ. Điều này khiến cho lọc khuếch tán bất đẳng hướng có khuynh hướng làm trơn trượt các pha xuyên qua các đứt gãy.

Để giải quyết vấn đề này, Fehmer và Hocker [13] đưa ra khái niệm tensor cấu trúc tại các quy mô địa chấn (scale) khác nhau. Tensor địa chấn tại một quy mô khoảng cách σ nào đó lân cận một điểm có thể được hiểu là định hướng cấu trúc chung khi quan sát khối địa chấn kích thước (mỗi chiều bằng) σ xung quanh điểm đó. Do vậy, đại lượng này được định nghĩa là tensor địa chấn từng điểm được lọc (tích chập*) bởi một hàm Gauss với “độ rộng” σ :

$$S_{\sigma} = S * G_{\sigma} = \nabla u (\nabla u)^T * G_{\sigma} \quad (8)$$

Định nghĩa (8) cho phép Fehmer và Hocker (2003) thiết kế một hệ số liên tục (continuity factor) như sau:

$$\varepsilon = \frac{Tr(S_{\sigma} S_{\rho})}{Tr(S_{\sigma}) Tr(S_{\rho})} \quad (9)$$

Trong đó S_{σ} và S_{ρ} tensor cấu trúc tại hai quy mô σ và ρ khác nhau, Tr là toán tử vết (trace) của ma trận. Hệ số liên tục ε đo độ sai khác của S_{σ} tại 2 quy mô khác nhau và có giá trị rất nhỏ tại các đứt gãy. Với thiết kế này, hàm kiểm soát khuếch tán g được sửa đổi thành:

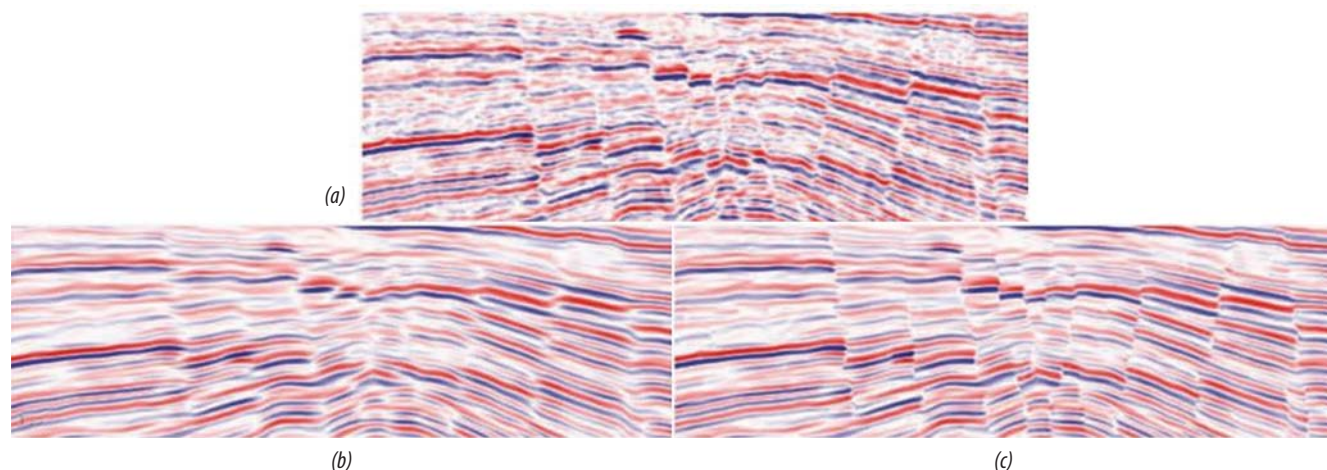
$$g(|\nabla u|) = \varepsilon D \quad (10)$$

Có thể thấy tại các đứt gãy $g(|\nabla u|)$ cũng rất nhỏ, do đó đứt gãy cũng được bảo tồn trong quá trình lọc khuếch tán.

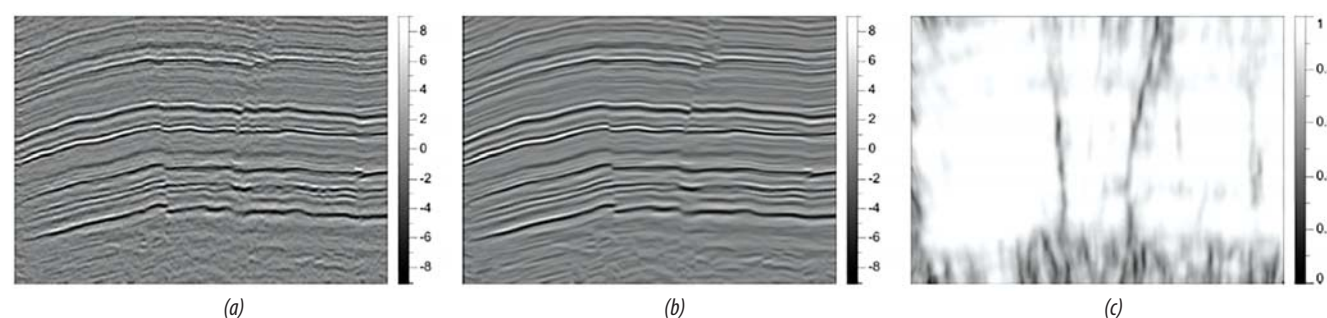
Các sửa đổi sau này của lọc khuếch tán (ví dụ thuật toán của Dave Hall [15]) đưa ra các hàm ước lượng đứt gãy khác ngày càng chính xác hơn và được biết dưới tên chung là tương quan cấu trúc (structure semblance).

3.3.2. Phát hiện đứt gãy tự động

Tensor cấu trúc còn có ứng dụng rất hiệu quả trong việc phát hiện đứt gãy tự động thông qua thuộc tính phản xạ hỗn độn (chaos) trong các nghiên cứu của Randen [13].



Hình 9. Minh họa lọc không bảo tồn, lọc bảo tồn [13]



Hình 10. Mật cắt gốc (a), lọc hướng cấu trúc có sử dụng (b), ước lượng đứt gãy bằng lọc tương quan cấu trúc (c) [5]

Tương tự như phân tích cấu trúc (mục 3.2), giả thiết tensor cấu trúc địa phương tương ứng với 3 giá trị riêng $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$. Randen et.al. quan tâm đến các trường hợp điển hình sau của các mặt phản xạ (Hình 11).

Trường hợp việc ước lượng hướng địa phương liên quan đến mặt phản xạ liên tục (Hình 11a) thì các giá trị riêng sẽ tương ứng với λ_1 lớn hơn rất nhiều so với λ_2 và λ_3 : $\lambda_1 \gg \lambda_2 \approx \lambda_3$.

Trường hợp việc ước lượng hướng địa phương được tiến hành qua các vị trí đứt gãy (Hình 11b và c), khi đó các giá trị riêng sẽ tương ứng với λ_2 và/hoặc λ_3 có độ lớn tương đương λ_1 : $\lambda_1 \approx \lambda_2 \gg \lambda_3$ hoặc $\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \lambda_3$.

Randen et. al. đưa ra tỷ số sau nhằm xác định vị trí bất liên tục:

$$J = \frac{2\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_3} - 1 \quad (11)$$

Theo đó, trong trường hợp $\lambda_1 \gg \lambda_2$, hướng cấu trúc rõ ràng, chỉ số J tiến tới -1. Nếu $\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \lambda_3$, $J \approx 0$. Cuối cùng, nếu $\lambda_1 \approx \lambda_2$, nhưng $\lambda_3 \approx 0$ (theo phân tích của Bakker [11]), J tiến tới +1.

Thuộc tính hỗn độn (chaos) có tính chất không phụ thuộc vào độ dốc và hướng phương vị (azimuth), đồng thời không phụ thuộc vào biên độ địa chấn.

Dựa trên các vector riêng và giá trị riêng của tensor cấu trúc có thể ước lượng được hướng địa phương của các mặt phản xạ địa chấn. Từ đó, khu vực có độ liên tục kém (đứt gãy, nứt nẻ, bất liên tục) sẽ tương ứng với khu vực có tín hiệu phản xạ hỗn độn, như vậy các đứt gãy có thể được tự động phát hiện. Hình 12 minh họa các bước từ nâng cao chất lượng địa chấn tới tính toán thuộc tính hỗn độn (chaos).

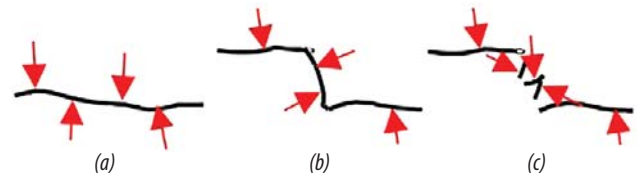
3.3.3. Phân tích tự động tương địa chấn

Tensor cấu trúc có ứng dụng quan trọng trong minh giải và nhận dạng tương địa chấn tự động, ví dụ Hình 1 (một số bài viết, nguyên lý và ứng dụng có thể được tham khảo từ khảo sát năm 2005 của Iske [8]). Các phương pháp nhận dạng đều căn cứ vào nguyên tắc chung bao gồm:

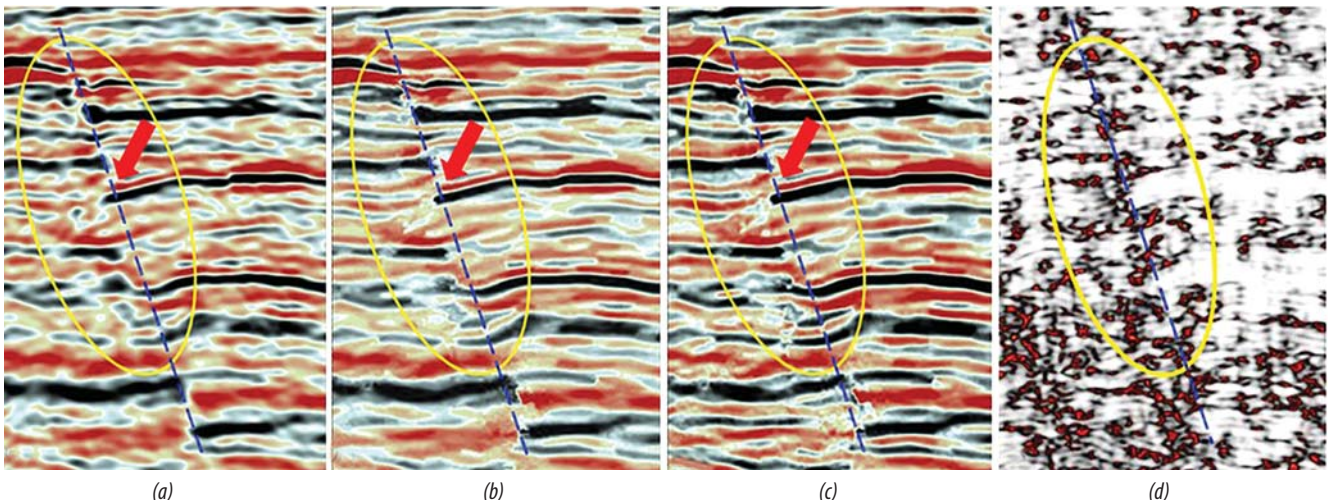
- Phân tách các dạng đặc trưng (Feature extraction): Phân tích các thể/đối/tướng địa chấn đáng quan tâm thành các thành phần đặc trưng cơ bản.
- Học máy (Machine learning): Phát hiện sự tương quan (phi tuyến) giữa tập hợp các đặc trưng thành phần và các tướng địa chấn đã biết trước, thường là thông qua các mạng neural nhân tạo.
- Ứng dụng kết quả học máy tại các khu vực cụ thể, nhận dạng mẫu (Pattern Recognition).

Trong chuỗi chu trình này (Hình 13a), tensor cấu trúc đóng vai trò chủ đạo cho khâu phân tách (Hình 13b), đồng thời là đơn vị cơ bản xuyên suốt các khâu nhận dạng do bản chất hình học có tính tương quan cao với các dạng tương địa chấn khác nhau.

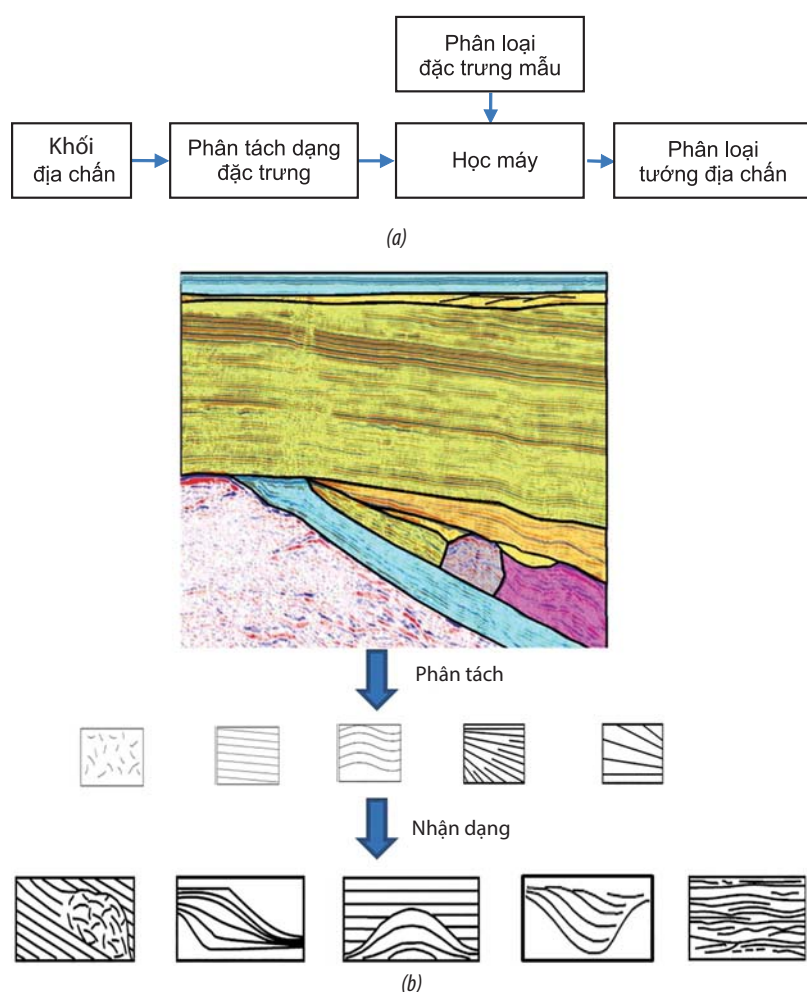
Minh giải địa chấn tự động, hiểu theo nghĩa rộng, sẽ liên quan đến việc sử dụng, đúc rút (extract) từ nhiều



Hình 11. Mặt phản xạ liên tục (smooth) sẽ có một hướng chủ đạo tương ứng với trường hợp $\lambda_1 \gg \lambda_2 \approx \lambda_3$ (a), mặt phản xạ bị gãy khúc (bent) sẽ có 2 hướng chính tương ứng với trường hợp $\lambda_1 \approx \lambda_2 \gg \lambda_3$ (b), một đứt gãy với đối phá hủy với vector gradient chỉ theo tất cả các hướng sẽ tương ứng với trường hợp $\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \lambda_3$ (c)



Hình 12. Mặt cắt gốc (a), lọc hướng cấu trúc (b), lọc cấu trúc và trắng hóa phổ (c), xử lý đặc biệt (thuộc tính hỗn độn - chaos) phát hiện đứt gãy ứng dụng tensor cấu trúc (các bước xử lý tiến hành tại EPC-VPI) (d)



Hình 13. Minh giải tự động dựa trên nhận dạng tương địa chấn chu trình nhận dạng mẫu (a), minh họa chu trình (b)

thuộc tính địa chấn khác nhau, trong đó tensor cấu trúc đóng vai trò quan trọng. Lĩnh vực này đang được phát triển nhanh chóng trong thời gian gần đây.

4. Kết luận

Tensor cấu trúc là công cụ quan trọng đóng vai trò nền tảng trong xử lý phân tích cấu trúc, góp phần nâng cao chất lượng tài liệu địa chấn (đã xử lý hoặc tích hợp trong chu trình xử lý). Trong đó, ứng dụng lọc hướng cấu trúc phi tuyến giúp giảm nhiễu, tín hiệu địa chấn sắc nét, liên tục đồng thời vẫn bảo tồn được cấu trúc. Bên cạnh đó, các ứng dụng đặc biệt như lọc bảo tồn đứt gãy và phát hiện đứt gãy tự động của tensor cấu trúc giúp xác định các hệ thống đứt gãy, không liên tục cũng như phân tách các cấu trúc địa chất (phân lớp bằng, uốn nếp, hỗn độn...).

Tài liệu tham khảo

1. Armin Iske, Trygve Randen. *Mathematical methods and modelling in hydrocarbon exploration and production*. Springer and Schlumberger. 2005.

2. Mike S.Bahorich, John Lopez, Norman L.Haskell, Susan E.Nissen, Alan Poole. *Stratigraphic and structural interpretation with 3-D coherence*. Society of Exploration Geophysicists. 1995.

3. C.J.Finn. *Estimation of three dimensional dip and curvature from reflection seismic data*. Society of Exploration Geophysicists. 1986.

4. Kurt J.Marfurt, R. Lynn Kirilin, Steven L.Farmer, Michael S.Bahorich. *3-D seismic attributes using a semblance-based coherency algorithm*. Geophysics. 1998; 63(4): p. 1150 - 1165.

5. Kurt J.Marfurt, V.Sudhaker, Adam Gersztenkorn, Kelly D.Crawford, Susan E.Nissen. *Coherency calculations in the presence of structural dip*. Geophysics. 1999; 64(1): p. 104 - 111.

6. Satinder Chopra. *Coherence cube and beyond*. First Break. 2002; 20(1): p. 27 - 33.

7. Richard J.Lisle. *Detection of zones of abnormal strains in structures using Gaussian curvature analysis*. AAPG Bulletin. 1994; 78: p. 1811 - 1819.

8. Andy Roberts. *Curvature attributes and their application to 3D interpreted horizons*. First Break. 2001; 19(2): p. 85 - 100.

9. José L.Massaferro, Mayte Bulnes, Josep Poblet, Neil Casson. *Kinematic evolution and fracture prediction of the Valle Morado structure inferred from 3D seismic data, Salta Province, northwest Argentina*. AAPG Bulletin. 2003; 87(7): p. 1083 - 1104.

10. Trygve Raden, Erik Monsen, Claude Signer, Arve Abrahamsen, Jan Ove Hansen, Toril Sæter, Jürgen Schlaf. *Three-dimensional texture attributes for seismic data analysis*. Schlumberger Stavanger Research. 2000.

11. Peter Bakker. *Image structure analysis for seismic interpretation*. Technische Universiteit Delft. 2002.

12. Pietro Perona, Jitendra Malik.

Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. Proceedings of IEEE Computer Society Workshop on Computer Vision. 1987.

13. Gijs C.Fehmers, Christian F.W.Höcker. *Fast structural interpretation with structure-oriented filtering.* Geophysics. 2003; 68(4).

14. Guillermo. *Digital image processing: p054 - Anisotropic diffusion.* Anisotropic diffusion from online

Coursera course "Image and Video Processing: From Mars to Hollywood with a Stop at the Hospital". https://www.youtube.com/watch?v=B_TiVX7zN8U. 2011.

15. Dave Hale. *Structure-oriented smoothing and semblance.* Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines, Golden CO 80401, USA. 2009.

Structure analysis and quality enhancement of seismic data

Ta Quang Minh, Bui Thi Hanh, Nguyen Tien Thinh
Vietnam Petroleum Institute
Email: minhqtq@vpi.pvn.vn

Summary

Structure analysis and quality enhancement of seismic data have many applications in structure interpretation, specification of seismic sequences with different reflection patterns, as well as finding the location of faults and discontinuities in seismic sections. In this paper, the authors analyse structure and geometric properties - a seismic attribute known as structure tensor - and its application in seismic data quality enhancement via anisotropic diffusion filtering.

Key words: Seismic processing, seismic attributes, structure-oriented filtering, seismic pattern recognition, seismic data quality.