

DOI:10.22144/ctu.jvn.2018.033

## PHÂN TÍCH TÀI LIỆU TRỌNG LỰC 2-D VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG BẰNG CÁC THUẬT GIẢI TỐI ƯU TOÀN CỤC

Lương Phước Toàn\*

Khoa Khoa học Cơ bản, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Lương Phước Toàn (email: luongphuoctoan@gmail.com)

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 14/08/2017

Ngày nhận bài sửa: 11/10/2017

Ngày duyệt đăng: 27/04/2018

### Title:

A comparison of global optimization techniques for solving the inversion of gravity problem

### Từ khóa:

Bồn trầm tích, thuật giải di truyền, thuật giải memetic

### Keywords:

Genetic algorithm, memetic algorithm, sedimentary basin

### ABSTRACT

The memetic algorithm, the genetic algorithm (global optimization algorithms) are applied to determine the thickness of a 2-D sedimentary basin whose density contrast varies with depth as a parabolic function. This memetic algorithm is a combination of the genetic algorithm and the Quasi-Newton local search. These algorithms have been tested on a synthetic model and the interpretable results are coincident with model. Then, they are applied on the Bac Lieu gravity anomaly in the Mekong Delta. The results showed that the calculated depths by two methods above are coincident together. The minimum and maximum computed depths are 0.3 km – 0.4 km and 1.6 km, respectively. Furthermore, the memetic algorithm reaches to a solution faster than the genetic algorithm

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả tính bề dày bồn trầm tích 2-D bằng thuật giải di truyền và thuật giải memetic. Mô hình bồn trầm tích được chọn là tập hợp các tấm hình chữ nhật thẳng đứng đặt liền kề có hiệu mật độ thay đổi theo độ sâu theo qui luật hàm parabol. Hai thuật giải áp dụng thuộc nhóm thuật giải tối ưu toàn cục. Trong đó, thuật giải memetic là sự kết hợp của thuật giải di truyền và phương pháp tìm kiếm địa phương Quasi-Newton. Hai thuật giải được kiểm tra trên mô hình; sau đó, áp dụng tính bề dày bồn trầm tích từ dữ liệu trọng lực ở Bạc Liêu vùng đồng bằng sông Cửu Long. Kết quả độ sâu cực đại và cực tiểu tính bằng hai thuật giải hầu như trùng khớp nhau và có giá trị cực tiểu là 0,3 km – 0,4 km và độ sâu cực đại là 1,6 km; thời gian tính bằng thuật giải memetic nhanh hơn thời gian tính bằng thuật giải di truyền.

Trích dẫn: Lương Phước Toàn, 2018. Phân tích tài liệu trọng lực 2-D vùng Đồng bằng sông Cửu Long bằng các thuật giải tối ưu toàn cục. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 54(3A): 1-11.

## 1 GIỚI THIỆU

Trong Địa Vật lý, xác định bề dày bồn trầm tích 2-D là xác định hình dạng và kích thước của lớp trầm tích phủ lên mặt móng kết tinh từ tài liệu trọng lực quan sát. Phương pháp phổ biến để giải bài toán vừa nêu là phương pháp mô hình tiên, gồm ba bước tính (Blakely, 1995): (1) xây dựng mô hình; (2) xét độ chính xác mô hình bằng hàm sai số bình phương

trung bình của dị thường tính và dị thường quan sát (hàm mục tiêu); (3) điều chỉnh độ sâu mô hình. Bước 2 và bước 3 lặp lại cho đến khi số vòng lặp hoặc hàm mục tiêu đạt được giá trị định trước. Phương pháp vừa nêu được các tác giả sử dụng để tính bề dày bồn trầm tích 2-D (Rao *et al.*, 1993, 1994; Bott, 1995). Ưu điểm của phương pháp là thời gian tính toán nhanh; nhược điểm là chỉ cho ra một kết quả vì ban đầu chỉ có một mô hình được tạo ra

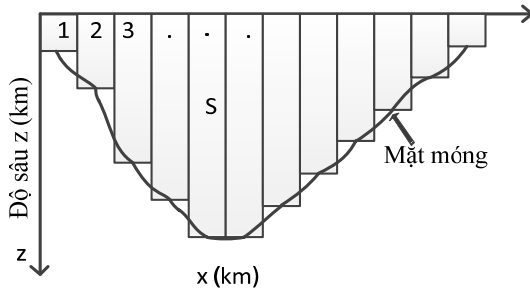
nên lời giải bài toán mang tính chủ quan. Để khắc phục khuyết điểm trên, trong những năm gần đây, người ta sử dụng thuật giải tối ưu toàn cục trong đó có thuật giải di truyền (genetic algorithm, viết tắt là GA) để giải bài toán ngược trọng lực vừa nêu. Kỹ thuật này dựa trên mô phỏng sự tiến hóa của sinh vật trong tự nhiên; theo đó, trong một quần thể, những cá thể nào có độ thích nghi cao sẽ có nhiều cơ hội sống sót hơn những cá thể có độ thích nghi thấp trước những điều kiện chọn lọc của môi trường (Holland, 1975). Ban đầu, thuật giải tạo ra một quần thể (*population*) ngẫu nhiên gồm nhiều cá thể, mỗi cá thể hay nhiễm sắc thể (*chromosomes*) là một lời giải của bài toán. Mức độ thích nghi của mỗi cá thể được định lượng bằng hàm thích nghi (*fitness function*). Các cá thể có độ thích nghi cao được chọn ra để lai ghép (*crossover*), đột biến (*mutation*) và thay thế các cá thể có độ thích nghi kém. Sau nhiều thế hệ tiến hóa (*generations*), độ thích nghi của các cá thể được cải thiện dần (Hoàng Kiếm, 2000; Haupt *et al.*, 2004). Chương trình dừng lại khi điều kiện bài toán được thỏa (số thế hệ tiến hóa hay độ thích nghi của một cá thể đạt được giá trị định trước); khi đó, thuật giải chọn ra một lời giải tốt nhất trong nhiều bộ lời giải. Với các bước tính vừa nêu cho thấy thuật giải này có không gian tìm kiếm giải pháp lớn do đó thuật giải không bị rơi vào cực tiểu hay cực đại địa phương và lời giải đạt được là phong phú và khách quan. Với các ưu điểm vừa nêu, thuật giải di truyền được các tác giả sử dụng để giải bài toán ngược trọng lực, trong đó mô hình được chọn là những ô hay các khối hình hộp chữ nhật có kích thước và mật độ không đổi (Boschetti *et al.*, 1997; Krahenbuhl *et al.*, 2005). Ở Việt Nam, cũng có các tác giả sử dụng thuật giải di truyền, thuật giải tiến hóa để tính mật móng kết tinh (Đặng Văn Liệt 2005, 2009) với mô hình được chọn là một đa giác; Lương Phước Toàn và *ctv.*, (2013), (2014) dùng thuật giải

di truyền liên tục và thuật giải di truyền nhị phân để tính bề dày bồn trầm tích với mô hình là tập hợp những tấm chữ nhật có hiệu mật độ không đổi và thay đổi theo độ sâu theo qui luật hàm parabol (Lương Phước Toàn và Đặng Văn Liệt, 2015). Chương trình giải bài toán ngược trọng lực bằng thuật giải di truyền thường hội tụ chậm (hội tụ sau nhiều thế hệ tiến hóa). Để giảm số vòng lặp, thời gian tính, trong bài này, thuật giải memetic (viết tắt là MA) (Moscato, 2003; Neri, 2012) – kết hợp giữa thuật giải di truyền và phương pháp tìm kiếm địa phương Quasi-Newton (the genetic algorithm and Quasi-Newton local search, viết tắt là GA-QN) được dùng để giải bài toán ngược trọng lực; và mô hình được chọn là tập hợp những tấm chữ nhật đặt liền kề có hiệu mật độ giảm theo độ sâu theo qui luật hàm parabol. Thuật giải di truyền và thuật giải memetic vừa nêu được kiểm tra trên mô hình, sau đó áp dụng để tính bề dày bồn trầm tích 2-D trên tuyến đo địa thường trọng lực Bạc Liêu vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). So sánh các kết quả tính như độ sâu, độ chính xác, thời gian tính từ hai thuật giải áp dụng.

**2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

**2.1 Mô hình địa thường trọng lực**

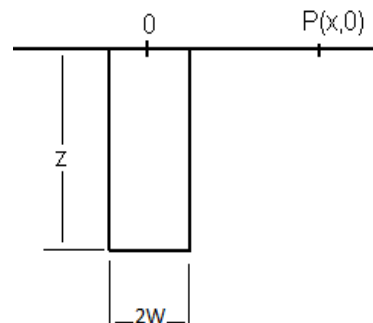
Bồn trầm tích 2-D được xem như dài vô hạn theo phương y; mặt cắt của bồn trầm tích theo phương x được mô hình hóa bằng *N* tấm hình chữ nhật thẳng đứng đặt kề nhau, độ sâu của mỗi tấm là  $z_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, N$ ); các tấm có bề rộng bằng nhau và hiệu mật độ thay đổi theo độ sâu theo qui luật hàm parabol, mặt trên trùng với mặt đất và điểm đo đặt tại trung điểm cạnh trên của mỗi tấm hình chữ nhật (Hình 1) nên số tấm hình chữ nhật bằng với số điểm quan sát. Bài toán xác định bề dày của bồn trầm tích là xác định độ sâu  $z_j$  của các tấm chữ nhật từ các giá trị của địa thường quan sát.



**Hình 1: Mô hình bồn trầm tích**

**\* Hàm hiệu mật độ**

Hàm này thay đổi theo độ sâu theo qui luật hàm parabol như sau (Rao *et al.*, 1993):



**Hình 2: Tấm chữ nhật và P là điểm quan sát**

$$\Delta\rho(z) = \frac{\Delta\rho_0^3}{(\Delta\rho_0 - \lambda z)^2} \tag{1}$$

trong đó,  $\Delta\rho(z)$  ( $\text{g/cm}^3$ ) là hiệu mật độ ở độ sâu  $z$  (km),  $\Delta\rho_0$  ( $\text{g/cm}^3$ ) là hiệu mật độ tại mặt quan sát,  $\lambda$  ( $\text{g/cm}^3/\text{km}$ ) là hằng số.

**\* Dị thường trọng lực của mô hình**

$$\Delta g(x) = 2G\Delta\rho_0^3 \left[ (T_1\theta_4 - T_2\theta_3) - (T_3\theta_1 - T_4\theta_2) + \ln((\Delta\rho_0 - \lambda z) / \Delta\rho_0)(T_5 - T_6) - (T_5 \ln \frac{r_3}{r_2} - T_6 \ln \frac{r_4}{r_1}) \right] \quad (2)$$

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{\lambda(x+w)^2 + \Delta\rho_0 z}{(\Delta\rho_0 - \lambda z)(\Delta\rho_0^2 + \lambda^2(x+w)^2)}, \\ T_2 &= \frac{\lambda(x-w)^2 + \Delta\rho_0 z}{(\Delta\rho_0 - \lambda z)(\Delta\rho_0^2 + \lambda^2(x-w)^2)}, \\ T_3 &= \frac{\lambda(x+w)^2}{\Delta\rho_0(\Delta\rho_0^2 + \lambda^2(x+w)^2)}, \\ T_4 &= \frac{\lambda(x-w)^2}{\Delta\rho_0(\Delta\rho_0^2 + \lambda^2(x-w)^2)}, \\ T_5 &= \frac{x-w}{(\Delta\rho_0^2 + \lambda^2(x-w)^2)}, \\ T_6 &= \frac{x+w}{(\Delta\rho_0^2 + \lambda^2(x+w)^2)}, \end{aligned} \quad (3a)$$

Dị thường trọng lực  $g(x)$  của một tấm hình chữ nhật, bề rộng là  $w$ , bề dày là  $z$ , mật độ thay đổi theo qui luật hàm parabol (1) (Hình 2) tại điểm bất kỳ  $P(x, 0)$  nằm trên mặt đất được cho bởi (Rao *et al.*, 1993):

$$\begin{aligned} r_1^2 &= (x+w)^2, r_2^2 = (x-w)^2, \\ r_3^2 &= (x-w)^2 + z^2, r_4^2 = (x+w)^2 + z^2, \\ \theta_1 &= \begin{cases} \pi \text{ khi } x \geq 0 \\ 0 \text{ khi } x < 0 \end{cases}, \\ \theta_2 &= \begin{cases} \pi \text{ khi } x > 0 \\ 0 \text{ khi } x \leq 0 \end{cases}, \\ \theta_3 &= \pi/2 + \tan^{-1}((x-w)/z), \\ \theta_4 &= \pi/2 + \tan^{-1}((x+w)/z). \end{aligned} \quad (3b)$$

trong đó,  $G$  là hằng số hấp dẫn, trong hệ SI  $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ .

Tấm thứ  $j$  tác dụng lên điểm đo thứ  $i$  một giá trị trọng lực là  $g_{ji}$  cho bởi công thức (2); do đó, giá trị trọng lực tại điểm thứ  $i$  do mô hình gồm  $N$  tấm hình chữ nhật gây ra là:

$$\Delta g_i = \sum_{j=1}^N g_{ji} \quad (j=1,2,\dots,N) \text{ với } i \text{ lần lượt là } 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

**2.2 Hàm thích nghi**

Trong GA và MA, hàm thích nghi đánh giá độ thích nghi của các cá thể và có dạng như sau (Krahenbuhl *et al.*, 2005):

$$\Phi(m) = \Phi_d(m) + \beta_T \cdot \Phi_m(m) \quad (5)$$

trong đó,  $m = (z_1, z_2, \dots, z_N)$  và  $\Phi_d(m)$  hàm sai số dữ liệu được cho bởi:

$$\phi_d(m) = \sum_{i=1}^N \frac{(g_{obs}^i - g_{cal}^i)}{N} \quad (6a)$$

với  $g_{obs}$  và  $g_{cal}$  lần lượt là dị thường quan sát và dị thường tính từ mô hình,  $N$  là số điểm đo dị thường trọng lực bằng với số tấm hình chữ nhật tạo nên bồn trầm tích

$$\text{và, } \phi_m(m) = \sum_{i=1}^N (z_{i-1} - z_i)^2 \quad (6b)$$

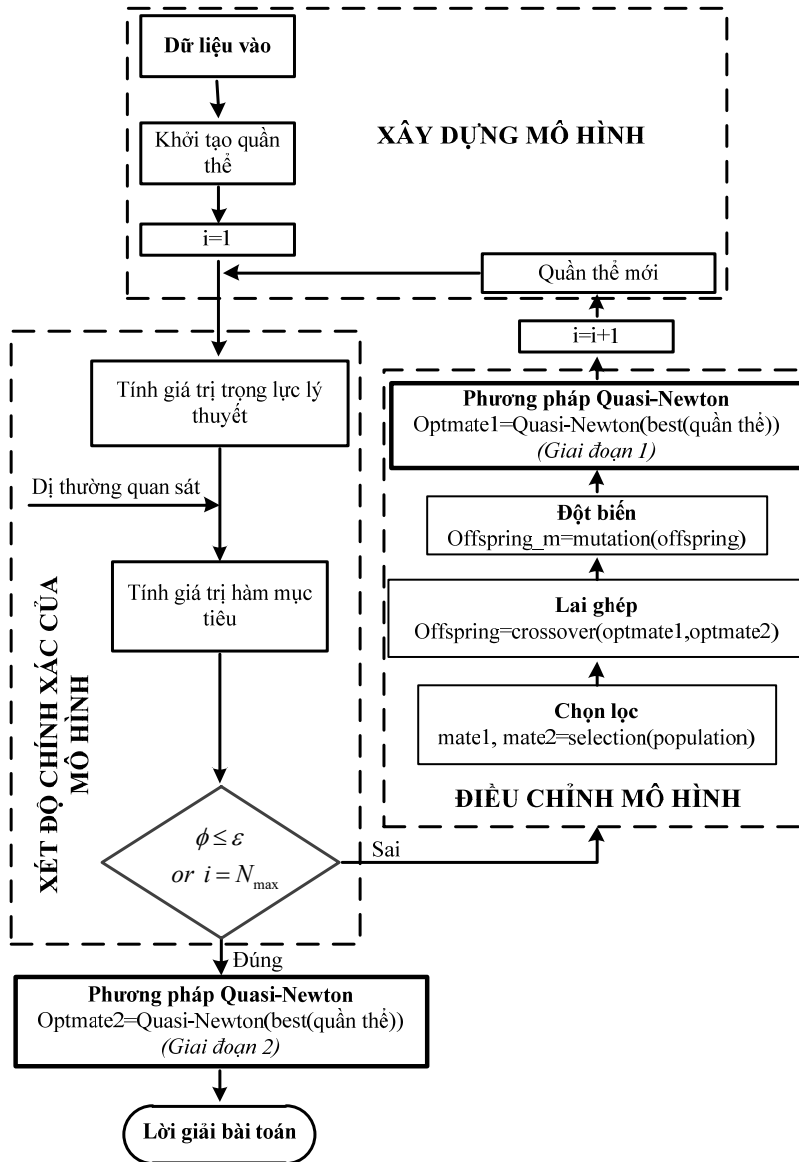
là sai số “chuẩn” của mô hình nhằm mục đích làm trơn mô hình,  $\beta_T$  là hệ số chỉnh hóa Tikhonov nhằm cân bằng giữa hai giá trị sai số  $\Phi_d(m)$  và  $\Phi_m(m)$ . Hệ số  $\beta_T$  đã được tác giả Toan *et al.*, (2016) tính bằng phương pháp “đường cong  $L$ ” và có giá trị là 0,05.

**2.3 Thuật giải di truyền và thuật giải memetic**

Lý thuyết thuật giải di truyền đã giới thiệu trong phần mở đầu và cũng được nhiều tác giả trình bày (Krahenbuhl, 2005; Đặng Văn Liệt, 2015; Lương Phước Toàn và *ctv.*, 2013; Lương Phước Toàn và Đặng Văn Liệt, 2015). Thuật giải memetic sử dụng trong bài báo có lưu đồ như Hình 3, gồm ba bước tính:

– *Xây dựng mô hình:* Ban đầu, thuật giải tạo ra ngẫu nhiên  $M$  bộ lời giải, mỗi bộ lời giải là một mô hình - tập hợp độ sâu các tấm hình chữ nhật thẳng đứng đặt liền kề.

– *Xét độ chính xác:* Sử dụng công thức (4) để tính dị thường của mỗi mô hình. Từ dị thường này và dị thường quan sát, tính giá trị thích nghi của mỗi mô hình bằng hàm mục tiêu (5) (hàm thích nghi); kiểm tra xem có mô hình nào đạt điều kiện bài toán. Nếu thỏa điều kiện thì mô hình đó là kết quả cần tìm; ngược lại, thì chuyển sang bước tiếp theo:



Hình 3: Lưu đồ thuật giải memetic

– *Điều chỉnh mô hình*: Sắp xếp các cá thể (mô hình) có độ thích nghi tăng dần, chọn ra 50% cá thể có độ thích nghi tốt nhất (giá trị hàm mục tiêu nhỏ nhất) để lai ghép, đột biến nhằm thay thế 50% cá thể có độ thích nghi kém (giá trị hàm mục tiêu lớn nhất). Phương thức lựa chọn để lai ghép là kết đôi ngẫu nhiên theo trọng số (Haupt *et al.*, 2004). Cách thức lai ghép, đột biến là đơn điểm với xác suất lai ghép, đột biến lần lượt là  $P_c, P_m$  (Haupt *et al.*, 2004). Các bước vừa trình bày là một thể hệ của thuật giải di truyền. Sau  $N_{gene}$  thế hệ tiến hóa, phương pháp tìm kiếm địa phương Quasi-Newton sẽ thực hiện  $N_{Q-N}$  lần lặp – *Giai đoạn 1* lên cá thể có độ thích nghi tốt nhất nhằm cải thiện nhanh giá trị thích nghi của nó. Khi thuật giải đạt được  $N_{max}$  thế hệ tiến hóa thì phương pháp Quasi-Newton một lần nữa

thực hiện  $N_{Q-N}$  lần lặp – *Giai đoạn 2* (Hình 3) lên cá thể tốt nhất (lời giải bài toán).

Lý thuyết phương pháp tìm kiếm địa phương Quasi-Newton vừa nêu được trình bày tóm tắt trong mục tiếp theo.

### 2.4 Phương pháp tìm kiếm địa phương Quasi-Newton

Phương pháp này dùng để giải các bài toán tối ưu phi tuyến không ràng buộc (Unconstrained nonlinear optimization) (Nocedal *et al.*, 2006) đặt cơ sở trên đạo hàm. Trong giải bài toán ngược trọng lực, phương pháp dùng để cực tiểu hàm mục tiêu  $\Phi(m)$ . Phương pháp bắt đầu từ lời giải ban đầu,  $m^0 = (z_1^0, z_2^0, \dots, z_N^0)$ ; sau đó tạo ra một chuỗi các bước lặp liên tiếp

$\{m^k\}_{k=0}^\infty$  sao cho giá trị hàm mục tiêu (5) giảm dần và nó hội tụ về lời giải tối ưu  $m^*$ . Để áp dụng phương pháp này, cần giải quyết ba yếu tố sau: (1) chọn điều kiện dừng (Stopping criterium); (2) tìm hướng giảm,  $d_k$  (Descent direction); (3) chọn độ dài bước,  $\alpha_k$  (Steplength) thích hợp.

2.4.1 Chọn điều kiện dừng

Thông thường có ba điều kiện được chọn là: (1) số lần lặp của chương trình đạt số lần cho phép; (2) giá trị hàm mục tiêu đạt được giá trị định trước; (3) tốc độ hội tụ của bài toán chậm đến một giới hạn cho phép.

2.4.2 Tìm hướng giảm  $d_k$  và độ dài bước  $\alpha_k$

\* Xác định  $d_k$

Cực tiểu hàm  $\Phi(m^k)$  tức là tìm  $m^{k+1} = m^k + \alpha_k d_k$  sao cho  $\Phi(m^{k+1}) < \Phi(m^k)$  với  $\alpha_k > 0$ . Để tìm hướng giảm  $d_k$ , bước đầu tiên là xấp xỉ chuỗi Taylor của hàm  $\Phi(m^k + d_k)$  đến đạo hàm bậc hai như sau (Nocedal et al., 2006):

$$\Phi(m^k + d_k) \approx \Phi(m^k) + d_k^T \nabla \Phi(m^k) + \frac{1}{2} d_k^T \nabla^2 \Phi(m^k) d_k \quad (7)$$

Từ phương trình (7) lấy đạo hàm bậc một với biến là  $d_k$  và giải phương trình sau:

$$\nabla \Phi(m^k) + d_k \nabla^2 \Phi(m^k) = 0 \quad (8)$$

Khi đó, biểu thức  $d_k$  tìm được là:

$$d_k = -[\nabla^2 \Phi(m^k)]^{-1} \nabla \Phi(m^k) \quad (9)$$

Các ký hiệu  $\nabla \Phi(m^k)$  và  $\nabla^2 \Phi(m^k)$  lần lượt được gọi là Gradient (ma trận đạo hàm riêng bậc nhất) và Hessian (ma trận đạo hàm riêng bậc hai) của hàm  $\Phi$  và  $T$  ký hiệu ma trận chuyển vị.

Phương pháp Quasi-Newton chỉ tính xấp xỉ ma trận đạo hàm riêng bậc hai, Hessian trong biểu thức hướng giảm  $d_k$  (biểu thức (9)) thay vì tính ma trận chính xác (phương pháp Newton). Có hai thuật toán chính để tính xấp xỉ ma trận này là thuật toán DFP (Davidon, Fletcher, Powell) và BFGS (Broyden, Fletcher, Goldfarb, and Shanno) (Nocedal et al., 2006); trong đó, thuật toán BFGS được áp dụng rộng rãi và được sử dụng trong bài báo, có biểu thức sau:

$$H_{k+1} = (I - \rho_k s_k y_k^T) H_k (I - \rho_k y_k s_k^T) + \rho_k s_k s_k^T, \quad (10)$$

$$\rho_k = \frac{1}{y_k^T s_k} \quad (11)$$

$$s_k = m^{k+1} - m^k = \alpha_k d_k, \quad y_k = \nabla \Phi_{k+1} - \nabla \Phi_k \quad (12)$$

Trong công thức (12),  $I$  là ma trận đơn vị,  $N \times N$  ( $N$  là số biến bài toán);  $\rho_k$  được cho bởi công thức (11);  $y_k, s_k$  được cho bởi công thức (12);  $H_k$  là ma trận Hessian ban đầu. Như vậy, ma trận Hessian trong phương trình (10) sẽ được tính trong mỗi vòng lặp, dựa vào ma trận Hessian trong lần lặp trước và các phương trình đạo hàm riêng bậc nhất.

\* Xác định  $\alpha_k$

Độ dài bước  $\alpha_k$  có giá trị lớn hơn 0 và bé hơn 1. Giá trị hệ số này thay đổi qua các vòng lặp, phụ thuộc vào độ lớn của hướng giảm  $d_k$  (Nocedal et al., 2006).

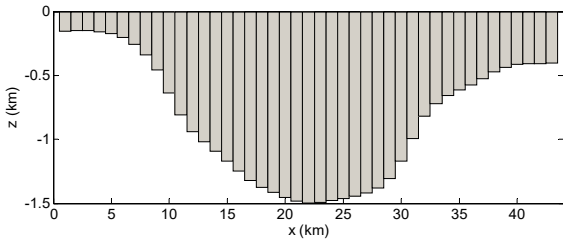
Phương pháp Quasi-Newton vừa trình bày sẽ kết hợp với thuật giải di truyền nhằm cải thiện nhanh giá trị thích nghi của cá thể - rút ngắn thời gian tính (giải bài toán ngược trọng lực). Phần tiếp sẽ kiểm tra việc sử dụng GA và GA-QN trên mô hình và áp dụng phân giải tài liệu trọng lực trên dữ liệu thực.

3 GIẢI BÀI TOÁN NGƯỢC TRỌNG LỰC BẰNG GA VÀ GA-QN

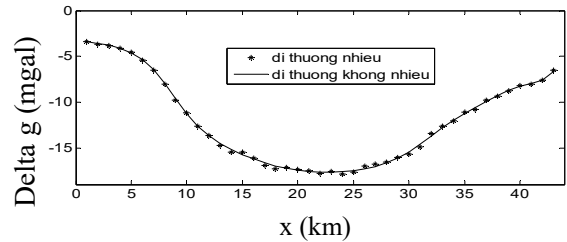
3.1 Kiểm tra trên mô hình

\* Các tham số trong hàm hiệu mật độ: Muốn tính dị thường trọng lực của mô hình (công thức 4) thì các tham số trong hàm hiệu mật độ như  $\Delta \rho_0, \lambda$  phải được xác định. Các tham số này được xác định dựa vào dữ liệu thực - mật độ của các lớp trầm tích của lỗ khoan Cửu Long-1 (sâu 2,1 km) (Phan Quang Quyết, 1985). Căn cứ trên cột địa tầng của lỗ khoan này và các tài liệu liên quan đến bồn trũng Cửu Long kết hợp với phương pháp hồi qui phi tuyến để xác định hai tham số trong hàm hiệu mật độ. Từ đó, các tham số trên được xác định như sau:  $\Delta \rho_0 = -0,55$  ( $g/cm^3$ );  $\lambda = 0,2828$  ( $g/cm^3/km$ ) (Lương Phước Toàn và Đặng Văn Liệt, 2015). Hai tham số này dùng chung cho giải bài toán ngược trên mô hình và trên dữ liệu thực.

\* Mô hình trọng lực: Mô hình gồm 43 tấm chữ nhật và có độ sâu từ 0 – 1,5 km được biểu diễn trong Hình 4. Tuyến đo trọng lực dài 43 km và độ sâu cực đại là 1,5 km tại km thứ 22. Sử dụng công thức (4) để tính giá trị dị thường trọng lực không nhiều và sau đó cộng nhiều vào dị thường vừa tính ( $+0.2 * \text{randn}(\text{size}(g_{cal}))$ ). Hình 5 biểu diễn hai dị thường này trên cùng một đồ thị, trong đó “đường liền” là dị thường mô hình (không nhiều) và “đấu \*” là dị thường được cộng nhiều. Hai dị thường này xem là dị thường quan sát để tính lại độ sâu của mô hình bằng thuật giải di truyền và thuật giải memetic đã trình bày ở trên; hàm thích nghi (5) dùng chung cho hai thuật giải.



Hình 4: Mô hình bồn trầm tích 2-D



Hình 5: Địa thường không nhiều (đường liền) và địa thường chứa nhiều (dấu chấm)

3.1.1 Trường hợp địa thường quan sát không có nhiều

\* Giải bằng GA

– Các tham số của GA

Quần thể: Gồm 16 cá thể, mỗi cá thể là một tập hợp các độ sâu của các tấm hình chữ nhật (lời giải) của một mô hình, các độ sâu này được tạo ngẫu nhiên trong khoảng từ 0 km đến 3 km.

Chọn lọc: Sử dụng phương pháp chọn lọc kết đôi ngẫu nhiên theo trọng số.

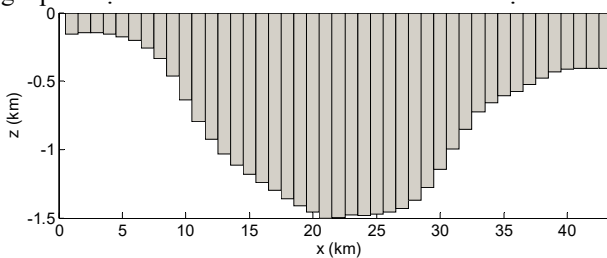
Lai ghép và đột biến: Chọn phương pháp lai ghép và đột biến là đơn điểm với xác suất lần lượt là

$p_c = 0,5$  và  $p_m = 0,1$ .

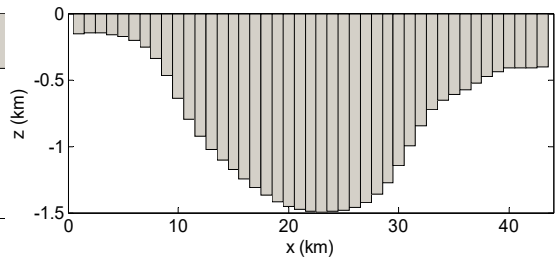
Số thế hệ tiến hóa: 1352.

– Kết quả:

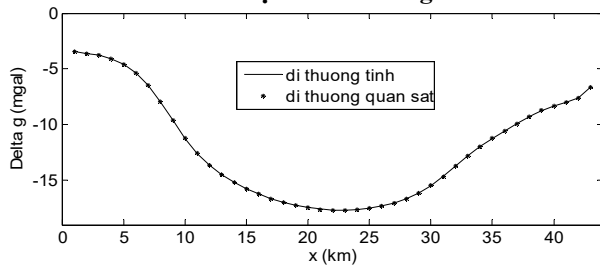
Gọi  $g$  và  $g_{obs}$  là địa thường quan sát (đường liền trong Hình 5), với các tham số của thuật giải di truyền vừa trình bày thì kết quả tính được tổng hợp trong Bảng 1. Từ bảng này cho thấy bài toán hội tụ về giá trị hàm mục tiêu  $\Phi(m) = 0,0125$ , sai số của địa thường  $\Phi_d(m) = 3,0357 \times 10^{-4}$  và sai số “chuẩn” của mô hình  $\Phi_m(m) = 0,2436$ . Hình 6a là độ sâu tính được có hình dạng và độ sâu cực đại (1,5 km, ở km thứ 22) gần như trùng khớp với hình dạng và độ sâu cực đại của mô hình (Hình 4).



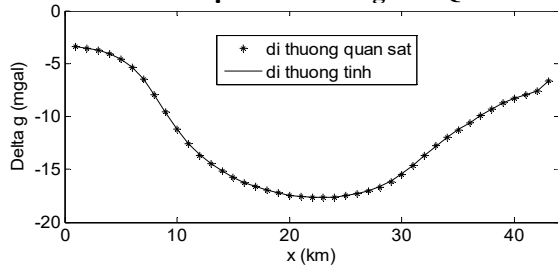
Hình 6a: Độ sâu tính bằng GA



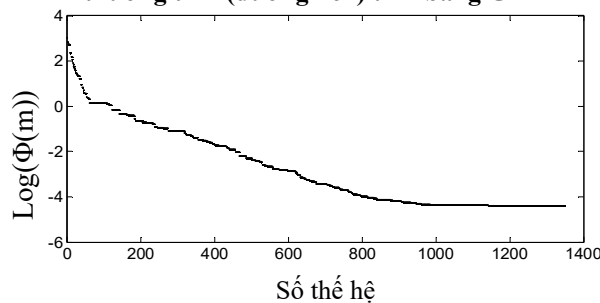
Hình 6b: Độ sâu tính bằng GA-QN



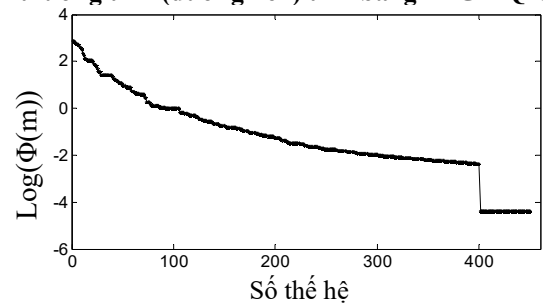
Hình 6c: Địa thường quan sát (dấu chấm) và địa thường tính (đường liền) tính bằng GA



Hình 6d: Địa thường quan sát (dấu chấm) và địa thường tính (đường liền) tính bằng GA-QN



Hình 6e: Giá trị thích nghi của cá thể tốt nhất qua 1352 thế hệ



Hình 6g: Giá trị thích nghi của cá thể tốt nhất qua 450 thế hệ

Hình 6c biểu diễn dị thường quan sát (“*dấu \**”)  $g_{obs}$  và dị thường tính (“*đường liền*”)  $g_{cal}$  từ mô hình kết quả, hai dị thường này trùng khít nhau (sai số  $\Phi_d(m) = 3,0357 \times 10^{-4}$ ). Hình 6e biểu diễn giá trị thích nghi ( $\log(\Phi(m))$ ) của cá thể tốt nhất qua các thế hệ tiến hóa cho thấy bài toán hội tụ sau 1070 thế hệ tiến hóa.

**\* Giải bằng GA-QN**

– Các tham số của GA-QN bao gồm các tham số của thuật giải di truyền vừa nêu ngoại trừ số thế hệ tiến hóa được chọn là 450, đồng thời cứ sau  $N_{gene} = 50$  thế hệ tiến hóa thì phương pháp tìm kiếm địa phương Quasi-Newton thực hiện  $N_{Q-N} = 5$  lần lặp lên cá thể có độ thích nghi tốt nhất (*giai đoạn 1*). Trong *giai đoạn 2*, khi thế hệ tiến hóa đạt được  $N_{max} = 450$  thì phương pháp Quasi-Newton một lần nữa thực hiện 5 lần lặp lên cá thể có độ thích nghi tốt nhất và nó là lời giải của bài toán cần tìm.

– Kết quả:

Cũng với dị thường quan sát  $g_{obs}$  như trên (đường liền trong Hình 5) và tham số của thuật giải memetic vừa trình bày thì các kết quả tính được trình bày trong Bảng 1. Trong đó, giá trị hàm mục tiêu đạt được sau 450 thế hệ tiến hóa là  $\Phi(m) = 0,0123$ , sai số của dị thường  $\Phi_d(m) = 1,93 \times 10^{-4}$  và sai số “*chuẩn*” của mô hình  $\Phi_m(m) = 0,2415$ . Hình 6b là độ sâu tính được có độ sâu cực đại là 1,5 km, ở km thứ 22; hình dạng và độ sâu cực đại của kết quả tính trùng khớp của mô hình ban đầu (Hình 4). Hình 6d biểu diễn dị thường quan sát (“*dấu \**”) và dị thường tính (“*đường liền*”)  $g_{cal}$  từ mô hình kết quả, hai dị thường này trùng khít nhau. Hình 6g biểu diễn giá trị thích nghi ( $\log(\Phi(m))$ ) của cá thể tốt nhất qua các

thế hệ tiến hóa cho thấy bài toán hội tụ sau 400 thế hệ tiến hóa. Thời gian tính toán là 15 giây.

Các tham số của GA và GA-QN vừa sử dụng cũng được dùng để tính bề dày bồn trầm tích trên dữ liệu thực – tuyến đo dị thường trọng lực Bạc Liêu ở mục 3.2.

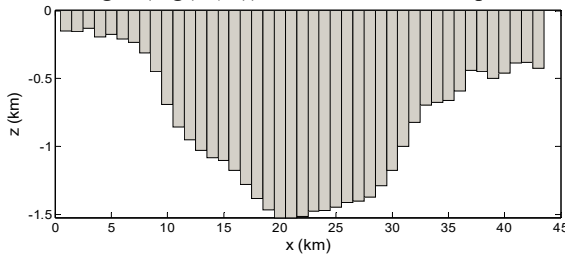
**3.1.2 Trường hợp dị thường quan sát có nhiều**

Tương tự như việc giải bài toán ở mục 3.1.1; ở đây dị thường quan sát có nhiều  $g_{obs}$  được biểu diễn bằng các “*dấu \**” trong Hình 5. Các tham số của thuật giải GA và thuật giải GA-QN được chọn trùng với các tham số thuật giải sử dụng trong trường hợp dị thường không nhiều (mục 3.1.1).

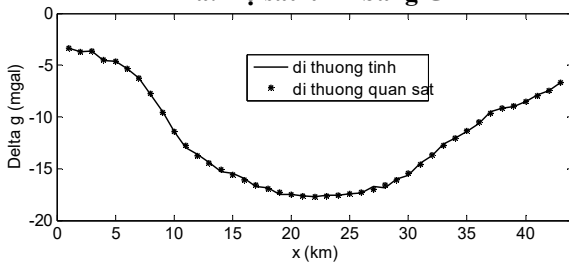
**\* Kết quả giải bằng GA**

Sau 1352 thế hệ tiến hóa thì mô hình tốt nhất có giá trị hàm mục tiêu  $\Phi(m) = 0,0295$ , sai số của dị thường  $\Phi_d(m) = 0,0138$  và sai số “*chuẩn*” của mô hình  $\Phi_m(m) = 0,3134$ . Độ sâu tính được biểu diễn trong Hình 7a cho thấy hình dạng bồn trầm tích gần giống với mô hình lý thuyết, nhưng do dị thường quan sát được cộng nhiễu nên độ sâu của các tấm chữ nhật liền kề tính được không tròn như độ sâu các tấm trong mô hình; độ sâu cực đại tính được là 1,52 km nằm ở km thứ 20, 21, 22.

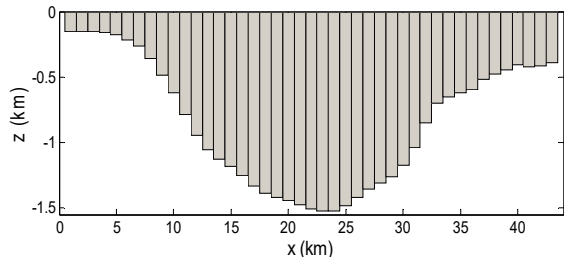
Hình 7c biểu diễn dị thường quan sát (“*dấu \**”) và dị thường tính (“*đường liền*”)  $g_{cal}$ , kết quả gần như trùng khít nhau. Hình 7e biểu diễn giá trị thích nghi ( $\log(\Phi(m))$ ) của cá thể tốt nhất qua các thế hệ tiến hóa cho thấy bài toán hội tụ sau 1040 thế hệ tiến hóa. Thời gian tính trong trường hợp này khoảng 30 giây (Bảng 1).



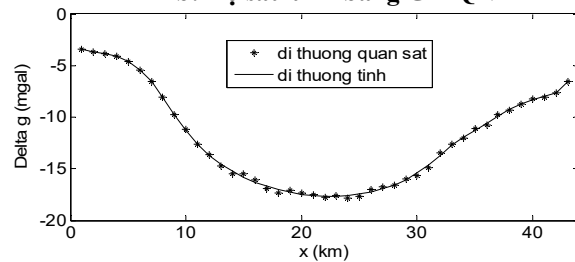
**Hình 7a: Độ sâu tính bằng GA**



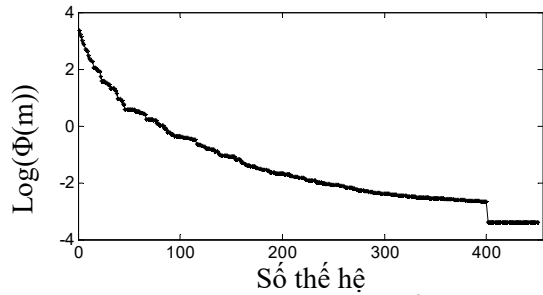
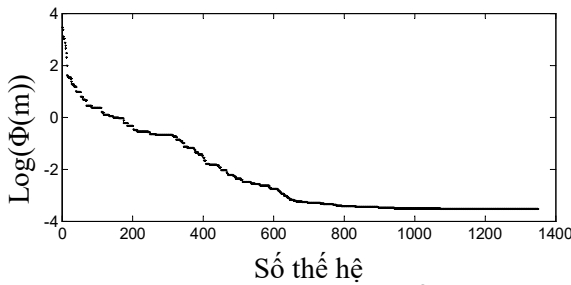
**Hình 7c: Dị thường trọng lực quan sát (dấu chấm) và dị thường tính (đường liền) bằng GA**



**Hình 7b: Độ sâu tính bằng GA-QN**



**Hình 7d: Dị thường trọng lực quan sát (dấu chấm) và dị thường tính (đường liền) bằng GA-QN**



**Hình 7c: Giá trị thích nghi của cá thể tốt nhất qua 1352 thế hệ**

**Hình 7g: Giá trị thích nghi của cá thể tốt nhất qua 450 thế hệ**

**\* Kết quả giải bằng GA-QN**

Kết quả tính cũng được tổng hợp trong Bảng 1. Sau 15 giây tính toán thì bài toán hội tụ với hàm mục tiêu  $\Phi(m) = 0,0339$  sai số của dị thường  $\Phi_d(m) = 0,0212$  và sai số “chuẩn” của mô hình  $\Phi_m(m) = 0,2543$ . Độ sâu tính được biểu diễn trong Hình 7b cho thấy hình dạng bồn trâm tích gần giống với mô hình lý thuyết. Độ sâu cực đại tính được là 1,51 km nằm ở km thứ 23, 24. Hình 7d biểu diễn dị thường quan sát (“dấu \*”) và dị thường tính (“đường liền”)  $g_{cal}$ , kết quả gần như trùng khít nhau. Hình 7g biểu diễn giá trị thích nghi ( $\log(\Phi(m))$ ) của cá thể tốt nhất qua các thế hệ tiến hóa cho thấy bài toán hội tụ sau 400 thế hệ tiến hóa.

**3.1.3 So sánh kết quả giải bài toán ngược trọng lực bằng GA và GA-QN trên mô hình**

Kết quả tính bằng 2 thuật giải được tổng hợp trong Bảng 1. Từ bảng này cho thấy, khi áp dụng GA và GA-QN để tính lại độ sâu của mô hình trong trường hợp dị thường quan sát không nhiều và có nhiều thì có thể rút ra các kết luận sau:

- Về độ sâu tính: Cả hai thuật giải đều cho kết quả gần như trùng khớp nhau và trùng khớp với mô hình. Cụ thể là độ sâu cực đại tính bằng GA và GA-QN trong trường hợp dị thường quan sát không có nhiều là 1,5 km (độ sâu cực đại của mô hình là 1,5 km); trường hợp dị thường quan sát có nhiều thì độ sâu cực đại tính bằng GA và GA-QN lần lượt là 1,52 km và 1,51 km, sai biệt này không đáng kể.
- Về độ chính xác của phương pháp: Sai số dữ liệu,  $\Phi_d(m)$  của cả hai thuật giải có độ chính xác cao và khác biệt không đáng kể (hàng thứ 5 của Bảng 1).
- Số thế hệ tiến hóa: Khi giải bài toán ngược bằng GA-QN thì số thế hệ tiến hóa là 400, ít hơn nhiều so với số thế hệ tiến hóa giải bằng GA (từ 1040 đến 1070).
- Về thời gian tính: Thời gian tính bằng GA-QN là 15 giây, nhanh hơn thời gian tính bằng thuật giải GA (30 giây). Đây là ưu điểm quan trọng của thuật giải GA-QN trong giải bài toán ngược trọng lực.

**Bảng 1: Kết quả kiểm tra thuật giải GA và GA-QN trên mô hình trọng lực 2-D**

Dị thường	THUẬT GIẢI GA		THUẬT GIẢI GA-QN	
	Không nhiều	Có nhiều	Không nhiều	Có nhiều
<b>Kết quả</b>				
$\Phi(m)$	0,0125	0,0295	0,0123	0,0339
$\Phi_d(m)$	$3,0357 \times 10^{-4}$	0,0138	$1,93 \times 10^{-4}$	0,0212
$\Phi_m(m)$	0,2436	0,3134	0,2415	0,2543
$z_{max} (km)$	1,5	1,52	1,5	1,51
Số thế hệ	1070	1040	400	400
Thời gian (giây)	30	30	15	15

Việc giải bài toán ngược trọng lực bằng thuật giải GA và GA-QN đã được kiểm tra trên mô hình. Các kết quả đạt được của hai thuật giải tương đồng nhau; ngoại trừ, thời gian tính của GA-QN nhanh hơn khoảng gấp 2 lần so với thời gian tính bằng GA. Phần tiếp theo là áp dụng hai thuật giải này để tính bề dày bồn trâm tích 2-D từ tài liệu trọng lực Bạc Liêu.

**3.2 Áp dụng trên dữ liệu thực - tính bề dày bồn trâm tích 2-D từ dị thường trọng lực Bạc Liêu bằng GA và GA-QN**

- Dữ liệu: Bản đồ Bouguer của vùng ĐBSCL tỉ lệ 1/500.000 do Đoàn Dầu khí ĐBSCL đo từ năm 1976 đến năm 1981 (Phan Quang Quyết (1985)). Do công tác đo thực hiện ở tỉ lệ 1/100.000, nên dữ liệu sử dụng là dị thường trọng lực Bughê được nội suy về tỉ lệ 1/200.000. Sau đó tính bản đồ dị thường



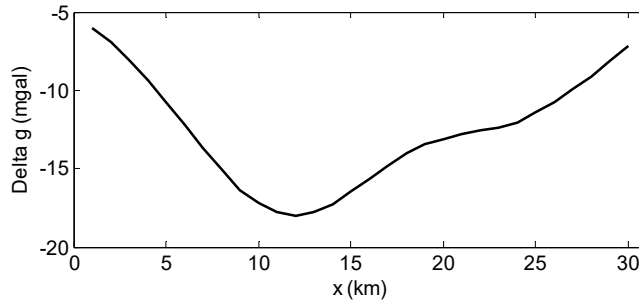
trọng lực địa phương qua việc tính trường trọng lực khu vực là đa thức bậc hai theo kinh độ và vĩ độ (tính bằng phương pháp bình phương tối thiểu). Từ bản đồ này, chọn lát cắt 2-D bằng phần mềm Surfer, sau đó dùng Matlab để nội suy giá trị về khoảng cách 1 km.

Tuyến dữ liệu 2-D của dị thường Bạc Liêu đi từ tọa độ (105,55° Đ; 9,53° B) đến tọa độ (105,31° Đ; 9,37° B) có phương Đông Bắc – Tây Nam dài 30 km có 30 giá trị dị thường trọng lực địa phương cách

nhau 1 km được trình bày trong Hình 8. Dị thường có giá trị - 6 mgal về phía Đông Bắc, giảm dần đến giá trị cực tiểu là -18 mgal ở km thứ 12 và tăng từ từ về phía Tây Nam đạt giá trị - 7 mgal.

– Hàm mục tiêu (5) dùng làm hàm thích nghi và sử dụng chung cho hai thuật giải là GA và GA-QN trong phân giải tài liệu trọng lực.

– Các tham số trong hàm hiệu mật độ (1) được chọn như sau:  $\Delta\rho_0 = - 0,55 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ;  $\lambda = 0,2828 \text{ (g/cm}^3\text{/km)}$  (đã trình bày trong mục 3.1).



Hình 8: Tuyến dị thường trọng lực Bạc Liêu

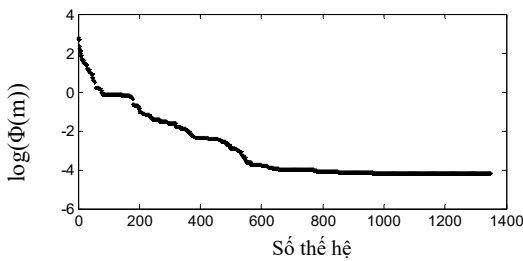
3.2.1 Tính độ sâu bồn trầm tích bằng GA

– Các tham số thuật giải di truyền trong trường hợp này được chọn giống với các tham số thuật giải di truyền sử dụng để kiểm tra trên mô hình ở mục 3.1.1.

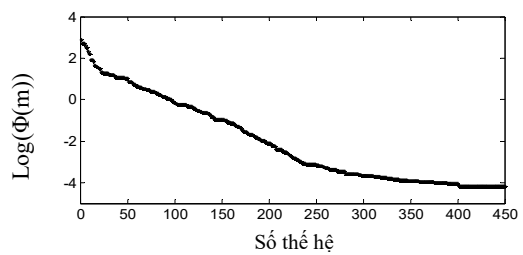
– Kết quả:

Sau 1.352 thế hệ tiến hóa thì giá trị thích nghi  $\Phi(m)$  là 0,0154 với sai số dữ liệu  $\Phi_d(m) = 8,5 \times 10^{-4}$ , sai số “chuẩn” của mô hình  $\Phi_m(m) = 0,2917$ , thời gian tính là 22,7 giây. Hình 9a biểu diễn giá trị thích

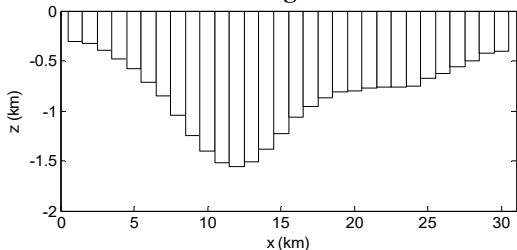
nhghi của cá thể tốt nhất qua các thế hệ tiến hóa cho thấy bài toán hội tụ sau 970 thế hệ tiến hóa. Kết quả của bề dày bồn trầm tích tính được biểu diễn trong Hình 9c, mặt móng có độ sâu cực tiểu là 0,3 km ở phía Đông Bắc, tăng dần đến độ sâu cực đại là 1,6 km ở km thứ 12 rồi dốc ngược về phía Tây Nam và đạt được độ sâu khoảng 0,4 km. Hình 9e biểu diễn giá trị của dị thường trọng lực tổng hợp từ mô hình tính được (đường liền) và dị thường quan sát (dấu \*); kết quả cho thấy hai dị thường này hầu như trùng khít nhau với giá trị sai số bình phương trung bình  $RMS = 0,0291$  (Bảng 2).



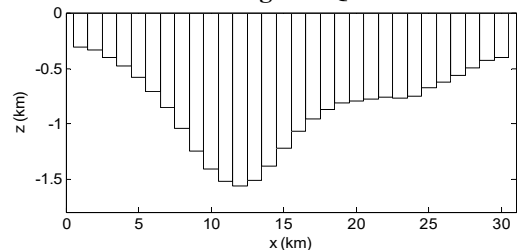
Hình 9a: Giá trị thích nghi theo số thế hệ tiến hóa tính bằng GA



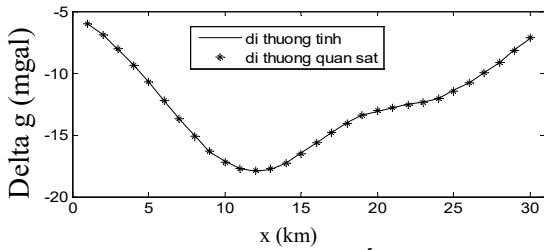
Hình 9b: Giá trị thích nghi theo số thế hệ tiến hóa tính bằng GA-QN



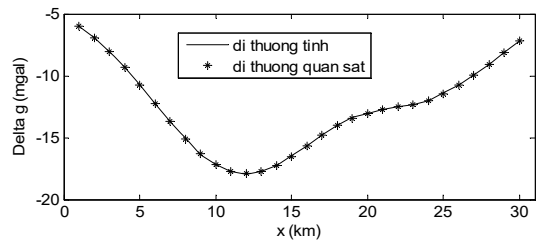
Hình 9c: Kết quả phân tích độ sâu (2-D) của dị thường trọng lực Bạc Liêu tính bằng GA



Hình 9d: Kết quả phân tích độ sâu (2-D) của dị thường trọng lực Bạc Liêu tính bằng GA-QN



**Hình 9e: Dị thường quan sát (đấu \*) và dị thường tổng hợp (đường liền) Bạc Liêu tính bằng GA**



**Hình 9g: Dị thường quan sát (đấu \*) và dị thường tổng hợp (đường liền) Bạc Liêu tính bằng GA-QN**

3.2.2 *Tình độ sâu bốn trăm tích bằng GA-QN*

– Các tham số của GA-QN được chọn trùng với các tham số của GA-QN dùng để kiểm tra trên mô hình ở mục 3.1.1

– *Kết quả:* Chương trình dừng lại sau 450 thế hệ tiến hóa. Hình 9b biểu diễn giá trị thích nghi của cá thể tốt nhất qua các thế hệ tiến hóa, cho thấy lời giải hội tụ sau vòng lặp thứ 400. Khi đó, giá trị thích nghi

$$\Phi(m) = 0,0153 \text{ với sai số dữ liệu}$$

$\Phi_d(m) = 7,3 \times 10^{-4}$ , sai số “chuẩn” của mô hình  $\Phi_m(m) = 0,2923$ , thời gian tính là 11,2 giây. Độ sâu mặt móng trầm tích được biểu diễn trong Hình 9d, cực tiểu là 0,3 km ở phía Đông Bắc, 0,4 km ở phía Tây Nam; độ sâu cực đại là 1,6 km ở km thứ 12. Hình 9g biểu diễn dị thường tổng hợp (đường liền) tính từ mô hình lời giải và dị thường quan sát (đấu \*) hầu như trùng khít nhau với sai số RMS là 0,0270 (Bảng 2).

3.2.3 *So sánh kết quả giải bài toán ngược trong lực bằng GA và GA-QN*

Kết quả sử dụng thuật giải GA và GA-QN để tính bề dày bốn trăm tích Bạc Liêu được tổng hợp

**Bảng 2: Kết quả phân tích dị thường trọng lực Bạc Liêu bằng GA và GA-QN**

Thuật giải	Kết quả							
	$\Phi(m)$	$\Phi_d(m)$	RMS	$\Phi_m(m)$	$z_{max} (km)$	$z_{min} (km)$	Số thế hệ	Thời gian (giây)
GA	0,0154	$8,5 \times 10^{-4}$	0,0291	0,2917	1,6	0,3-0,4	970	22,7
GA-QN	0,0153	$7,3 \times 10^{-4}$	0,0270	0,2923	1,6	0,3-0,4	400	11,2

4 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

4.1 *Kết luận*

Áp dụng thành công hai thuật giải tối ưu toàn cục là thuật giải di truyền và thuật giải memetic (thuật giải di truyền lai) trong giải bài toán ngược trọng lực – tính bề dày bốn trăm tích 2-D. Việc lồng ghép phương pháp tìm kiếm địa phương Quasi-Newton vào trong các bước tính của thuật giải di truyền làm giảm đáng kể thời gian tính nhưng vẫn đảm bảo được tính chất tối ưu hóa toàn cục của thuật giải. Độ sâu cực tính từ hai thuật giải giống nhau và bằng 1,6 km. Kết quả này phù hợp với tài liệu và độ sâu tính

trong Bảng 2. Từ bảng này có thể đưa ra một số kết luận sau:

– Về độ sâu tính: Độ sâu cực đại (1,6 km), độ sâu cực tiểu (0,3 km – 0,4 km) và hình dạng bốn trăm tích tính bằng hai thuật giải giống nhau.

– Về độ chính xác của phương pháp: Giá trị hàm mục tiêu,  $\Phi_d(m)$ ; sai số dữ liệu,  $\Phi_d(m)$ ; sai số mô hình  $\Phi_d(m)$  của hai thuật giải không có sự khác biệt lớn. Sai số bình phương trung bình, RMS của GA là 0,2917 và sai số RMS của GA-QN là 0,270 cho thấy hai thuật giải áp dụng có độ chính xác cao (sai số nhỏ) và sự sai biệt không đáng kể.

– Số thế hệ tiến hóa: Thuật giải GA-QN hội tụ sau 400 thế hệ tiến hóa, trong khi thuật giải GA hội tụ sau 970 thế hệ tiến hóa cho thấy khác biệt lớn về số vòng lặp trong chương trình tính của hai thuật giải.

– Về thời gian tính: Thời gian tính bằng GA-QN là 15 giây, nhanh hơn khoảng 2 lần thời gian tính bằng thuật giải GA (30 giây). Đây có thể nói là ưu điểm quan trọng nhất của thuật giải GA-QN so với GA trong giải bài toán ngược trọng lực.

của các tác giả trước đây (Phan Quang Quyết, 1985; Toan *et al.*, 2015). Hình dạng bốn trăm tích tính tương quan tốt với hình dạng dị thường quan sát. Xem xét hiệu mật độ trầm tích với mật móng giảm theo độ sâu theo qui luật hàm parabol, điều này phù hợp với thực tế hơn vì mật độ trầm tích tăng theo độ sâu do quá trình lắng đọng và áp suất gây ra giữa chúng.

4.2 *Đề xuất*

Tiếp tục sử dụng thuật giải GA-QN trong giải bài toán ngược trọng lực 3-D, trong đó, mô hình được chọn là tập hợp những khối hình hộp chữ nhật đặt

liền kề có hiệu mật độ giảm theo độ sâu theo qui luật hàm parabol.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Blakely, R.J. (1995). Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge University Press, New-York.
- Boschetti, F., Dentith, M. and List, R., 1997. Inversion of potential field data by Genetic algorithms. Geophysical Prospecting 45(3): 461-478.
- Bott M. H. P. (1960). The use of rapid digital computing methods for direct gravity interpretation of sedimentary basins. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 3(1): 63-7.
- Đặng Văn Liệt, Ông Duy Thiện, Phạm Văn Lành, Phan Nguyệt Thuận, Ngô Văn Chinh (2009). Áp dụng thuật toán tiến hóa cải tiến để giải bài toán ngược trọng lực. Tạp chí Các Khoa học về Trái đất 31(4): 397 - 402.
- Đặng Văn Liệt (2005). Ứng dụng thuật giải di truyền để xác định mật mỏng kết tinh từ tài liệu trọng lực. Tạp chí Phát triển Khoa học Công nghệ đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh 8(12): 21- 26.
- Hoàng Kiếm, Lê Hoàng Thái (2000). Thuật giải di truyền – cách giải tự nhiên các bài toán trên máy tính. NXB Giáo dục.
- Haupt, R.L. and Haupt, S.E., (2004). Practical Genetic Algorithms. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Holland J. H (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence. The University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Krahenbuhl, R.A and Yaoguo, L., (2005). Inversion of gravity data using a binary formulation. Geophys 167(2): 543–556.
- Nocedal, J. and Wright, S.J., (2006). Numerical Optimization, Springer Series in Operations Research. Springer Science.
- Lương Phước Toàn, Nguyễn Anh Hào, Bùi Thị Nhanh, Đặng Văn Liệt (2013). Giải bài toán ngược trọng lực dùng thuật giải di truyền. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển 13 (3A): 24-33.
- Lương Phước Toàn, Đặng Văn Liệt (2015). Sử dụng thuật toán di truyền xác định bề dày của bồn trầm tích 2-D với hiệu mật độ thay đổi theo hàm parabol. Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, Đại học Quốc gia TP. HCM 18(4): 36-46.
- Lương Phước Toàn, Đỗ Đăng Trình (2014). Xác định mật mỏng kết tinh của một số dị thường trọng lực ở vùng Đồng bằng sông Cửu Long bằng thuật giải di truyền nhị phân. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ 32A: 1-9.
- Moscato P., Cotta C. (2003). A gentle introduction to memetic algorithms. Computer Science Department, University of Newcastle.
- Neri F. and Cotta C., (2012). Memetic algorithms and memetic computing optimization: A literature review. Swarm and Evolutionary Computation 2: 1–14.
- Phan Quang Quyết (1985). Ứng dụng phương pháp thăm dò trọng lực để nghiên cứu cấu trúc địa chất ở Đồng bằng sông Cửu Long. Luận án PTS Khoa học, ĐH Mô Địa Chất Hà Nội.
- Rao C.V., Chakravarthi V., Raju M.L. (1993). Parabolic Density Function in Sedimentary Basin Modelling. Pageoph 140(3): 493-501.
- Rao C.V., Chakravarthi V., Raju M. L. (1994). Forward modeling: gravity anomalies of two-dimensional bodies of arbitrary shape with hyperbolic and parabolic density functions. Computers & Geosciences 20(5): 873-880.
- Toan, L.P. and Liet, D.V., (2015), Using the memetic algorithm to determine the depths of sedimentary basins by 2-D gravity modeling, Lowland Technology International, Japan, 17(3): 167-178.
- Toan, L.P and Liet, D.V., (2016). Determining the optimal Tikhonov parameters for 2-D and 3-D gravity inverse problems. Proceedings, Publishing house for Science and Technology Ha Noi, ISBN: 978-604-913-499-9.