

ỨNG DỤNG THUẬT GIẢI DI TRUYỀN ĐỂ XÁC ĐỊNH MẶT MÓNG KẾT TINH TỪ TÀI LIỆU TRỌNG LỰC

Đặng Văn Liệt

Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 15 tháng 10 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 24 tháng 12 năm 2005)

TÓM TẮT : Thuật giải di truyền được sử dụng cho các bài toán tìm kiếm và tối ưu với khả năng giảm bớt các tính toán phức tạp. Áp dụng thuật giải di truyền với kỹ thuật không gian con và sử dụng ngôn ngữ Matlab, chúng tôi giải bài toán ngược trọng lực, cụ thể là xác định mặt móng kết tinh nằm bên dưới các lớp trầm tích từ các giá trị dị thường trọng lực đo được – một bài toán địa vật lý thông dụng trong thăm dò dầu khí.

Trước tiên, thuật giải được áp dụng trên mô hình hai chiều, sử dụng công thức của đa giác để tạo 33 giá trị dị thường trọng lực lý thuyết và xác định mặt móng trong hai trường hợp chưa biết mật độ và biết mật độ với quần thể là 500 cá thể, phép lặp tối đa là 500 lần; sau đó, thuật giải được áp dụng để phân tích một tuyến đo dị thường trọng lực Bouguer ở Nam Bộ.

1. MỞ ĐẦU

Trong ngành Địa Vật lý, việc giải bài toán ngược về trường thế (từ và trọng lực), đặc biệt là bài toán xác định hình dạng mặt móng kết tinh - mặt ranh giới giữa các lớp trầm tích và mặt móng kết tinh - rất thông dụng trong thăm dò dầu khí. Đây là một bài toán phi tuyến và đã có nhiều phương pháp giải được đưa ra. Thông dụng nhất là phương pháp lặp sử dụng mô hình bên dưới các tấm hình chữ nhật thẳng đứng (Bott, M.H.P, 1960) [3] cho trường hợp hai chiều và các khối chữ nhật (Cordell, L and Henderson, R.G., 1968, Cordell, L. et al., 1992) [3] cho trường hợp ba chiều; hoặc mô hình là đa giác nhiều cạnh (Talwani, M., 1965; Al - Chalabi, M., 1972; Rao, D.B. et al., 1991) [3]. Cả hai phương pháp trên đều sử dụng thuật giải thử và sửa sai. Do đó, để phép tính được hội tụ nhanh, mô hình ban đầu phải được chọn gần với thực tế và đó là một vấn đề không đơn giản khi các tham số của vùng chưa được biết rõ. Ngoài ra, khi vùng nghiên cứu lớn việc tính toán trở nên phức tạp, tốn nhiều thời gian và kết quả thường khó hội tụ tốt.

Trong những năm gần đây, với sự phát triển mạnh của máy tính, người ta chọn các phương pháp có thuật giải không phức tạp và mang tính toàn cục của để giải các bài toán phi tuyến và thuật giải di truyền là một trong các phương pháp đó. Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng thuật giải di truyền để giải bài toán ngược trọng lực, cụ thể là bài toán xác định mặt móng kết tinh của bồn trầm tích. Thuật giải được áp dụng trên mô hình trong hai trường hợp mật độ của lớp trầm tích và của mặt móng kết tinh biết trước và không biết trước; sau đó, phân tích một tuyến đo qua một dị thường âm Cà Mau thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long với mật độ của các lớp đá biết trước.

2. THUẬT GIẢI DI TRUYỀN VỚI BÀI TOÁN NGƯỢC TRỌNG LỰC

2.1. Tóm tắt thuật giải

Thuật giải di truyền (Genetic Algorithms, viết tắt là GA) là phương pháp để giải bài toán tối ưu. Việc tìm lời giải được tiến hành trên cơ sở tìm kiếm ngẫu nhiên mô phỏng theo

quá trình tiến hóa sinh học tự nhiên dựa trên nguyên lý “tồn tại với độ thích nghi cao nhất”. Mục đích chính của GA là tập hợp lại các cá thể có sự thích nghi cao hơn để tạo ra các cá thể tốt hơn (Krahenbuhl, R.A., Li, Y., 2002).

Cá thể: Đơn vị cơ sở của GA là cá thể; mỗi cá thể biểu diễn cho lời giải của bài toán (mô hình, trong bài toán này là độ sâu). Trong mô hình của GA, mỗi cá thể gồm một chuỗi các nhiễm sắc thể, mỗi nhiễm sắc thể là một tế bào biểu diễn một mắt lưới của mô hình. Do đó, mỗi cá thể gồm một chuỗi các nhiễm sắc thể dưới dạng các số nhị phân – mỗi nhiễm sắc thể biểu diễn nhị phân của giá trị độ sâu tại một tọa độ tương ứng – đặc trưng cho lời giải của bài toán.

Các cá thể có thể được gán giá trị ban đầu ngẫu nhiên hoặc theo một quy luật nào đó. Việc bắt đầu ngẫu nhiên sẽ giúp các cá thể phân bố khắp không gian lời giải, tạo ra nhiều nhiễm sắc thể. Tuy nhiên, trong những bài toán mà mỗi cá thể có số nhiễm sắc thể lớn (trong bài báo này, số nhiễm sắc thể tối đa của một cá thể bằng với số điểm đo trọng lực trên một tuyến đo) quá trình ngẫu nhiên làm cho bài toán hội tụ chậm nên cần sử dụng một số kỹ thuật tăng tốc độ hội tụ như kỹ thuật không gian con (sub-space).

Quần thể ban đầu: Để áp dụng GA vào bài toán ngược trọng lực, bước đầu tiên là tạo quần thể ban đầu gồm nhiều cá thể mà mỗi cá thể biểu diễn một mô hình. Khi không có điều kiện đầu, quần thể được khởi tạo ngẫu nhiên bằng cách gán ngẫu nhiên các số 0 và 1. Trong bài báo này, do sử dụng kỹ thuật không gian con nên mỗi cá thể có số lượng nhiễm sắc thể bằng với số điểm phải tính độ sâu của mô hình tương ứng.

Thích nghi - Chọn lựa - Lai ghép - Đột biến: Đầu tiên, tính độ thích nghi cho các cá thể trong quần thể dựa vào một hàm thích nghi – hàm thực hiện tối ưu hóa. Ở đây, sử dụng giá trị sai số trung bình bình phương tương đối (thường dùng trong phương pháp bình phương tối thiểu):

$$E_j = \sum_{i=1}^N \left| \frac{\Delta g_{it}^i - \Delta g_{qs}^i}{\Delta g_{qs}^i} \right|^2 / N \quad (1)$$

để tính độ thích nghi cho mỗi cá thể (thứ j); cá thể có độ thích nghi cao ứng với giá trị E_j cực tiểu. Trong công thức (1), N là số điểm quan sát trên tuyến đo, Δg_{qs}^i là giá trị dị thường trọng lực Bouguer đo tại điểm thứ i trên tuyến đo và Δg_{it}^i là giá trị dị thường trọng lực tính toán theo mô hình tại điểm tương ứng với điểm đo thứ i.

Trong tự nhiên các cá thể có độ thích nghi cao sẽ có khả năng sống sót cao hơn; do đó, các cá thể có độ thích nghi cao sẽ được lựa chọn đem lai ghép với nhau tạo ra các cá thể trong quần thể đời sau. Áp dụng cho bài toán trọng lực đặt ra, để đảm bảo cá thể tốt nhất sẽ được sống sót tới đời sau, chúng tôi chọn trực tiếp hai cá thể có độ thích nghi cao nhất để đưa vào thế hệ sau và lai ghép hai cá thể này; các cá thể còn lại trong thế hệ mới này được chọn lựa bằng phương pháp quay trên vòng tròn và sau đó cho lai ghép giữa các cá thể để sinh ra các cá thể mới.

Quá trình thích nghi tốt có thể dẫn đến mất nhiễm sắc thể vì các cá thể xấu đã bị loại. Để tránh hiệu ứng này, phải thực hiện đột biến bằng cách thay đổi giá trị tại một vị trí

của nhiễm sắc thể để tạo ra nhiễm sắc thể mới, việc này làm giảm sự hội tụ quá nhanh của thuật giải và duy trì sự đa dạng nhiễm sắc thể. Xác suất đột biến được chọn rất thấp để tránh làm lời giải bị sai lệch, ảnh hưởng lớn đến toàn bộ quần thể, làm cho GA không bị bẫy trong các cực trị địa phương như các thuật giải trước đây. Trong bài báo này, sau 10 lần lai ghép sẽ có một lần đột biến và các cá thể đột biến mang độ thích nghi cao hơn sẽ được giữ lại.

Thế hệ mới: Sau khi thực hiện việc chọn lựa, lai ghép và đột biến để có các cá thể tốt hơn các cá thể trước đó, đây là một thế hệ mới (thế hệ con) được đưa vào quần thể để thay thế thế hệ trước (thế hệ cha). Trong quần thể mới này, cá thể có độ thích nghi tốt nhất sẽ tiêu biểu cho lời giải của bài toán. Một thế hệ mới được mở ra và một chu trình GA được lặp lại cho tới khi lời giải của bài toán hội tụ hoặc đạt tới số lần lặp tối đa.

2.2. Áp dụng cho bài toán ngược trọng lực

Mục đích của bài toán ngược trọng lực là tìm độ sâu của nguồn gây ra dị thường trọng lực khi có giá trị dị thường đo trên mặt đất. Trong bài báo này chúng tôi dùng phương pháp GA để xác định hình dạng mặt ranh giới giữa các lớp trầm tích và mặt móng kết tinh nằm bên dưới (hai lớp đá có mật độ khác nhau).

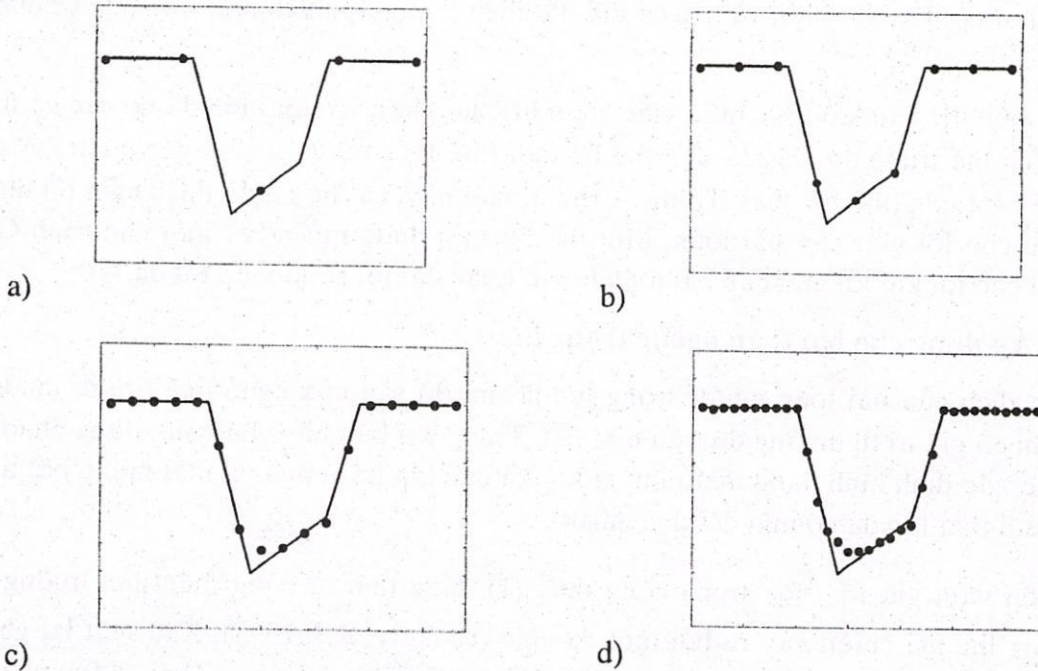
Muốn vậy, giá trị Δg_{it}^1 trong công thức (1) được tính từ công thức tính trường dị thường trọng lực hai chiều gây ra bởi một đa giác (Blakely, R.J., 1995). Xác suất lai ghép được chọn là 0,85 và xác suất đột biến là 0,05 (Hoàng Kiếm, Lê Hoàng Thái, 2000) và sau mười lần lai ghép sẽ có một lần đột biến; các cá thể đột biến có độ thích nghi mới cao hơn độ thích nghi của nó trước khi đột biến sẽ được giữ lại; nếu không, giữ lại cá thể cũ. Độ dài của nhiễm sắc thể là một chuỗi nhị phân 25 bit, số lượng cá thể là 500 và số lần lặp được dừng lại khi có một cá thể đạt được $E_i = 10^{-5}$ hoặc khi thực hiện đủ 500 lần lặp.

Chương trình được viết bằng ngôn ngữ Matlab với các hàm: *code* – mã hóa nhị phân; *decode* – giải mã nhị phân sang thập phân; *initpop* – khởi tạo quần thể ban đầu; *hamthichnghi* – tính độ thích nghi, cần đưa vào giá trị cực đại và cực tiểu; *scalepop* – tính toán và điều chỉnh độ thích nghi; *select* – lựa chọn cá thể theo tái tạo quay trên vòng tròn; *crossover* – lai ghép hai cá thể được chọn; *mutation* – thực hiện quá trình đột biến; *generate* – tạo thế hệ đời sau; *gen* – thực hiện thuật giải di truyền với kỹ thuật không gian con.

Thường trong các bài toán trọng lực, số điểm quan sát N tùy thuộc vào chiều dài của tuyến đo và khoảng cách giữa hai điểm đo (tỉ lệ đo), thường N khá lớn nên thời gian để GA hội tụ lâu. Để giải quyết vấn đề này chúng tôi sử dụng kỹ thuật không gian con (Boschetti, F. et al, 1996).

Kỹ thuật không gian con: Các biến trong bài toán này là độ sâu của nguồn tại N điểm đo; thay vì, bắt đầu bằng cách tạo ra các cá thể có N nhiễm sắc thể ứng với độ sâu tại N điểm quan sát trên toàn tuyến đo; người ta chỉ chọn một số ít điểm quan sát - trong đó có điểm đầu và điểm cuối của tuyến đo - thí dụ chọn 5 điểm (các cá thể trong bước này chỉ có 5 nhiễm sắc thể) (Hình 1a) để tính độ sâu theo phương pháp đa giác và dùng GA để tối ưu các độ sâu tại các điểm này. Bước tiếp theo, chèn vào giữa các điểm tính cũ một số các điểm tính độ sâu mới (chèn thêm 4 điểm để tổng số điểm là 9 nên trong bước này mỗi cá thể có 9 nhiễm sắc thể) và giá trị độ sâu tại các điểm mới này được nội suy từ các điểm có trước (Hình 1b) rồi áp dụng GA để tìm độ sâu tối ưu của mô hình mới. Quá trình được tiếp

tục (Hình 1c) cho đến khi mô hình có các điểm tính độ sâu bằng với N điểm quan sát trên tuyến đo (Hình 1d). Kỹ thuật này giảm bớt sự phân kỳ của lời giải và giúp chương trình có hiệu suất cao.



Hình 1: Các bước thực hiện của kỹ thuật không gian con
: Độ sâu tính bằng GA và — : Mô hình

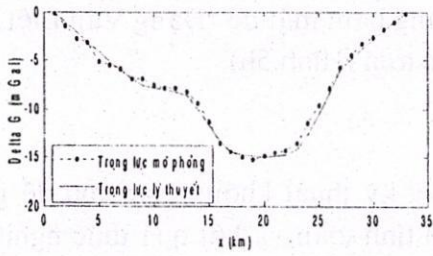
3. ỨNG DỤNG

3.1. Mô hình

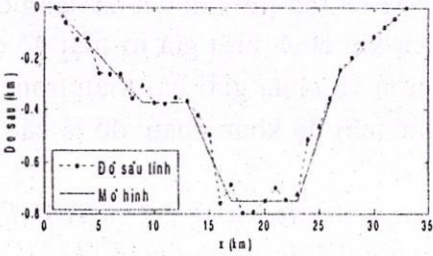
Mô hình là mặt ranh giới của lớp trầm tích (mật độ = 2200kg/m^3) và móng kết tinh (mật độ = 2700kg/m^3) biểu diễn bằng một đa giác; giá trị dị thường trọng lực lý thuyết được tính nhờ công thức tính trường dị thường trọng lực hai chiều gây ra bởi một đa giác; số lượng điểm tính trên một tuyến là 33 điểm, mỗi điểm cách nhau 1km. Dùng giá trị dị thường trọng lực này làm dữ liệu rồi áp dụng GA để tính lại độ sâu của mặt móng kết tinh trong hai trường hợp biết giá trị mật độ và không biết giá trị mật độ.

Trường hợp biết giá trị hiệu mật độ ($\Delta\rho = -500\text{kg/m}^3$), đây là một bài toán một biến – độ sâu; chọn độ sâu cực tiểu là 0 km và độ sâu cực đại là 1 km. Kết quả được vẽ trên Hình 2, cho thấy kết quả tính toán độ sâu mặt móng kết tinh phù hợp với mô hình lý thuyết, nhưng kết quả tính bằng GA dao động quanh mô hình. Có thể xem mô hình là giá trị làm trơn của các giá trị tính được bằng GA với sai số bình phương trung bình $E_i = 0,005$.

Trường hợp không biết giá trị mật độ, đây là bài toán hai biến – mật độ và độ sâu; chọn hiệu mật độ cực tiểu là -600kg/m^3 và hiệu mật độ cực đại là -400kg/m^3 ; độ sâu cực tiểu là 0km và độ sâu cực đại là 1km. Kết quả được vẽ trên Hình 3, cho thấy hầu hết kết quả tính toán độ sâu mặt móng kết tinh bằng GA phù hợp với mô hình lý thuyết, trừ tại nơi sâu nhất của mô hình, kết quả thu được bằng GA cho thấy giá trị lớn hơn, điều này cũng dễ hiểu vì giá trị hiệu mật độ tính được là -450kg/m^3 (giá trị lý thuyết là -500kg/m^3). Sai số bình phương trung bình $E_i = 0,002$.

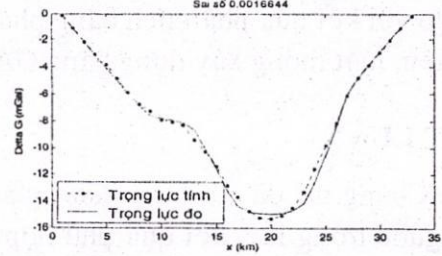


a)

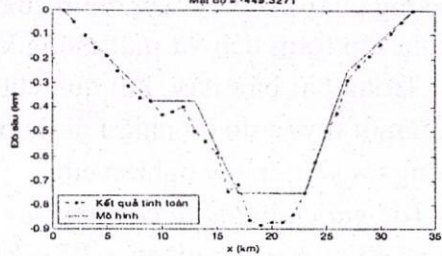


b)

Hình 2: Kết quả tính trên mô hình khi biết hiệu mật độ $\Delta\rho = -500\text{kg/m}^3$



a)

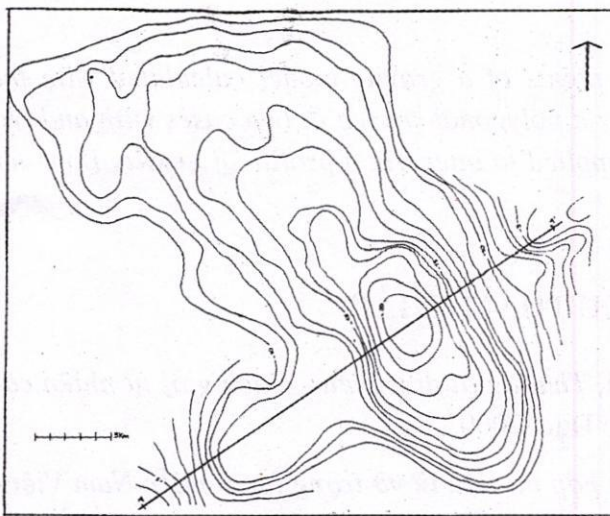


b)

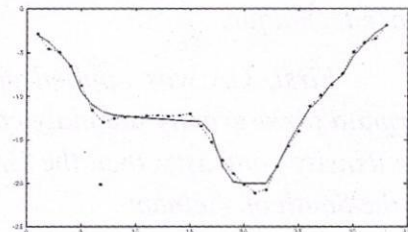
Hình 3: Kết quả tính trên mô hình khi không biết mật độ

3.2. Dự thường trọng lực âm Cà Mau

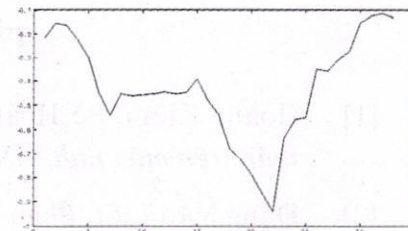
Dự thường trọng lực âm Cà Mau nằm trong bồn trầm tích đồng bằng sông Cửu Long, có phương Tây Bắc – Đông Nam, rộng trung bình khoảng 20km và dài 40km, giá trị cực tiểu của dị thường là -20 mgal, phía Đông của dị thường tiếp giáp với dị thường dương Sóc Trăng. Tuyến khảo sát có 33 giá trị Δg , các điểm cách nhau 1km, chạy qua vùng trung tâm của dị thường và cắt thẳng góc với trục của dị thường (Hình 4). Dị thường nằm trong vùng phù sa mới nên chọn mật độ của lớp trầm tích là $\rho_0 = 1950\text{kg/m}^3$ và mật độ của mặt móng kết tinh là $\rho_1 = 2600\text{kg/m}^3$ (hiệu mật độ $\Delta\rho_0 = -650, \text{kg/m}^3$).



Hình 4: Dị thường trọng lực Bouguer Δg âm ở Cà Mau



a)



b)

Hình 5: a) — : Δg đo; : Δg tính
b) Mặt móng tính bằng GA

Áp dụng GA với dữ liệu là các giá trị trọng lực trong tuyến khảo sát (Hình 5a); chọn độ sâu cực tiểu là 0 km và độ sâu cực đại là 1km. Kết quả với sai số trung bình bình phương $E_i = 0,008$ cho thấy mặt móng kết tinh có độ sâu 0,2 km ở phía Tây ($x = 1$ km) sâu dần từ từ đến độ sâu cực đại khoảng 0,9 km ($x = 22\text{km}$) và dốc ngược về phía Đông để đạt độ sâu khoảng 0,05 km ($x = 33\text{km}$). Kết quả này phù hợp với hình dạng của dị thường và

phù hợp với kết quả phân tích bằng phương pháp dùng hàm mật độ (Đặng Văn Liệt, 1995); tuy nhiên, mật móng xây dựng bằng GA không được trơn (Hình 5b).

4. KẾT LUẬN

Chúng tôi đã sử dụng thuật giải di truyền và kỹ thuật không gian con để giải bài toán ngược trọng lực, kết quả phù hợp với mô hình tính toán và kết quả thực nghiệm của các phương pháp cổ điển. Ưu điểm của phương pháp là có thể tìm được hình dạng của mặt phân chia lớp trầm tích và mật móng kết tinh ngay cả khi chưa biết giá trị mật độ của các lớp đá. Trong bài báo này, kết quả chưa được làm trơn và chưa giải bài toán trong trường hợp trên một tuyến đo có nhiều dị thường ứng với các mật độ khác nhau; đó là các vấn đề mà chúng tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu.

Tác giả chân thành cảm ơn Hội đồng Chuyên ngành các Khoa học về Trái đất thuộc Hội đồng Khoa học Tự nhiên – Bộ Khoa học và Công nghệ đã tài trợ kinh phí cho tác giả thực hiện bài báo này (Mã số 732105).

DETERMINATION OF THE CRYSTAL-BASEMENT FROM GRAVITY DATA USING GENETIC ALGORITHMS

Dang Van Liet

Faculty of Physics, University of Natural Sciences, VNU-HCM

ABSTRACT: *The genetic algorithms (GA) are frequently used for searching and optimizing problems for excluding of computational complexity. In this paper we use Matlab and GA are used to compute the inversion problem of gravity Bouguer data with the sub-space technique.*

First, GA was applied upon 33 points of a gravity model calculated with the 2-D formula for a gravity anomaly caused by a polygonal source in two cases with and without the density contrast; then the GA was applied to interpret a profile of gravity Bouguer data in the South of Vietnam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Kiếm, Lê Hoàng Thái, *Thuật giải di truyền - Cách giải tự nhiên các bài toán trên máy tính*, NXB Giáo Dục, 2000.
- [2]. Đặng Văn Liệt, *Phân tích kết hợp tài liệu từ và trọng lực ở miền Nam Việt Nam*, Luận án PTS, Đại học Tổng hợp TP. Hồ Chí Minh, 1995.
- [3]. Blakely, R. J., *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA, 1995.
- [4]. Boschetti, F., Dentith, M., List, R., *Inversion of seismic refraction data using Genetic Algorithms*, Geophysics, V. 61, pp 1715-1727, 1996.
- [5]. Krahenbuhl, R. A., Li Y., *Gravity inversion using a binary formulation*, SEG Technical Program Expanded, Abstracts 21, 755, 2002.