

CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊNH LƯỢNG KHÔNG GIAN ĐIỂM (NỘI SUY) VÀ VẤN ĐỀ THÀNH LẬP BẢN ĐỒ ĐẲNG TRỊ BẰNG MÁY TÍNH

TRƯƠNG XUÂN LUẬN, TRƯƠNG XUÂN QUANG

I. KHÁI QUÁT VỀ BÀI TOÁN MÔ HÌNH HOÁ

Để giải những bài toán bằng máy tính rất quan trọng là mô hình hoá chúng. Đường cong và mặt không gian được sử dụng để mô tả hình học (mô hình hoá) đối tượng nghiên cứu (ĐTNC) nói chung, các đối tượng địa chất nói riêng. Đường, mặt không gian có thể biểu diễn bằng phương pháp toán học ở ba dạng mà có thể viết dưới dạng tổng quát :

- Dạng không tường minh :

$$F(x, y, z) = 0 ; (x, y, z) \in D \subset R^3$$

- Dạng tường minh (đối với z) :

$$z = F(x, y) ; (x, y, z) \in D \subset R^3$$

- Biểu diễn tham số :

$$* z = z(t) ; y = y(t) ; x = x(t) ; \\ t \in [0, 1] \quad (\text{dạng đường cong})$$

$$* z = z(t, u) ; y = y(t, u) ; x = x(t, u) ; \\ t, u \in [0, 1] \quad (\text{dạng mặt cong})$$

Giả sử, trường hợp nghiên cứu là mặt cong không gian, có thể phân lớp các mặt để biểu diễn ở dạng các phương trình toán học : mặt dạng ống (surface of revolution), mặt bậc hai các dạng (parabolic, hyperboloid, elliptic, ellipsoid), mặt trải lượn (sweep surface)... Tuy nhiên, trong thực tế mô hình hoá đối tượng địa chất, do tính đặc thù, các mặt giải tích nêu trên không tồn tại. Thực chất, các mặt được xác định bằng các thuật toán nội suy và xấp xỉ hàm số. Bề mặt của ĐTNC được "xấp xỉ" bằng tập hợp các "mảnh" với hàm số bề mặt biểu diễn theo tham số nhờ các hàm trộn của mảnh (blending surface). Như vậy, kết quả nghiên cứu theo hướng này phụ thuộc rất nhiều vào các thuật toán nội suy.

II. NỘI DUNG VÀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Xây dựng ô lưới

Như chúng ta đã biết, các ĐTNC chỉ có thể được lấy mẫu (đo đạc) ở những vị trí rời rạc (hữu hạn vị trí được xác định [1], hình 1a). Giả sử ta có bộ số liệu thực tế gồm n mẫu (x_i, y_i, z_i) : trong đó : $\{(x_i, y_i)$ với $i = 1, n\}$ là tọa độ của các điểm lấy mẫu; z_i ($i = 1, n$) là thuộc tính tại điểm lấy mẫu thứ i đó (hàm lượng thành phần có ích hoặc độ cao mái tầng chứa nước, vỉa dầu...) có thể biểu diễn :

$$\{(x_i, y_i, z_i) \text{ với } i = \overline{1, n}\} \\ \Rightarrow z = F(x, y); \quad x, y \in D.$$

Trên thực tế $F(x, y)$ được xác định một cách rời rạc bằng các thuật toán nội suy.

Ta tiến hành chia ĐTNC thành các mảnh con đều nhau (có thể là hình vuông hoặc hình chữ nhật, tùy thuộc vào tính biến đổi đẳng hướng hay dị hướng của ĐTNC) bằng cách dựng n mặt phẳng song song với trục OX và m mặt phẳng song song với trục OY. Như vậy, D là tập hợp $n \times m$ mảnh, thường gọi là các ô lưới. Để thành lập các bản đồ đẳng trị bằng máy tính phải làm giàu dữ liệu bằng cách nội suy cho các mắt ô lưới đó.

2. Các thuật toán nội suy

Hiện có nhiều phương pháp nội suy. Chúng đều sử dụng thuật toán theo trọng số. Giả sử có n điểm với các giá trị là $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, giá trị nội suy tại nút lưới (z_0) nào đó được xác định như sau :

$$z_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i$$

n - số lần cận của mắt lưới nội suy, λ_i - trọng số (lượng gia quyền) thứ i nào đó, z_i - giá trị đã biết tại điểm i ở lân cận mắt lưới cần xác định.

Trọng số có giá trị trong khoảng 0-1, phụ thuộc vào khoảng cách giữa mắt lưới cần nội suy đến các lân cận đã biết của nó, còn phụ thuộc vào phương pháp nội suy. Hiện nay có nhiều phương pháp nội suy [2] : *phương pháp nghịch đảo khoảng cách* (Inverse Distance to a Power), *phương pháp độ cong tối thiểu* (Minimum Curvature), *phương pháp hồi quy đa giác* (Polygonal Regression), *phương pháp Sheprad* (Sheprard's Method), *phương pháp nội suy tam giác* (Triangulation with Linear Interpolation), *phương pháp Kriging*. Qua nhiều tài liệu và kinh nghiệm thấy : phương pháp Kriging là khó song rất mềm dẻo, sử dụng tốt cho hầu hết các loại dữ liệu đầu vào, rất hiệu quả, nên thường được sử dụng và là phương pháp nội suy mặc định của nhiều phần mềm : Surfer, Datamine..., Hơn nữa, bằng phương pháp này, với các hàm cấu trúc, xác định được tính đẳng hướng hay dị hướng của ĐTNC mà bằng các phương pháp nội suy khác rất khó hoặc không thể xác định được.

Các thuật toán nội suy nêu trên đều xét đến bộ tham số, mỗi một chúng ảnh hưởng rất lớn đến kết quả thực hiện bài toán thực tế. Bộ tham số này gồm :

- Bán kính tìm kiếm (Search Radius), phù hợp với bán kính ảnh hưởng mẫu. Để nâng cao độ chính xác, theo chúng tôi, bán kính nghiên cứu chỉ nên lấy bằng 2/3 bán kính ảnh hưởng mẫu tính toán được. Tất cả các thông tin z_i nằm trong bán kính này mới được tham gia nội suy cho z_0 nào đó (hình 1c).

- Hình dạng vùng tìm kiếm phải phù hợp với tính đẳng hướng hay dị hướng của ĐTNC. Hình 1c minh họa cho trường hợp đẳng hướng.

- Hướng tìm kiếm (hướng biến đổi mạnh nhất của ĐTNC), cho trường hợp có biến đổi dị hướng.

3. Hệ thống đứt gãy

Ta đã biết, trong thực tế các thể địa chất thường có các đứt gãy. Các thuật toán vừa nêu nói chung chưa thể hiện được. Để giải quyết vấn đề này, trong mô hình tính toán, theo chúng tôi cần phải xem xét hệ thống đứt gãy như là tham số của thuật toán, nghĩa là phải khảo sát, mô tả, thể hiện được các đứt gãy trong thuật toán nội suy.

Hệ thống đứt gãy có thể mô tả như các "mặt" chia các lớp đá, hình chiếu của nó theo phương $z \uparrow$ có thể là đường (lines) hoặc là miền đa giác khép kín (polygons) nếu là phức tạp. Ta xét mối quan hệ

giữa các đứt gãy, tập hợp điểm lấy mẫu đã biết và vị trí ô lưới cần ước lượng giá trị ; giả sử hệ thống gồm n_f đứt gãy được xác định như sau :

$$\text{fault} = \{ z = F_i(x, y) / (x, y) \in D_i \} \\ (i = \overline{1, n_f}),$$

Khi đó với $(x_0, y_0) \in D$ - toạ độ của giá trị cần ước lượng, xây dựng họ các đoạn thẳng nối (x_0, y_0) với các n điểm mẫu (x_i, y_i) :

$$\text{Lines} = \{ (x, y) \in D / y = x_0 + (x - x_0) * (y - y_0) / (y_i - y_0) ; \text{Min}(x_0, x_1) \leq x \leq \text{Max}(x_0, x_1) \}$$

Với $i = \overline{1, n}$.

Nếu miền D không có hệ thống đứt gãy, khi đó mỗi điểm mẫu (x_i, y_i) trong bán kính tìm kiếm có ảnh hưởng bởi trọng số nội suy tới các giá trị (x_0, y_0) . Nếu hệ thống đứt gãy tồn tại, khi đó tại (x_i, y_i) bán kính tìm kiếm có trọng số ảnh hưởng bằng 0 tới giá trị tại (x_0, y_0) nếu đoạn thẳng nối (x_i, y_i) không tham gia vào trọng số trung bình để ước lượng giá trị tại (x_0, y_0) . Về mặt hình học, đứt gãy chia miền số liệu (các điểm mẫu) thành hai miền con so với vị trí tương đối điểm cần ước lượng : một miền gồm những điểm mẫu "cùng phía" với điểm ước lượng, miền kia là những điểm còn lại. Ở đây các tác giả sử dụng thuật toán tìm giao điểm của các đoạn thẳng [1].

4. Hàm số xấp xỉ

Bài toán : $\{(x_i, y_i) ; i = \overline{1, \dots, n}\}$

$$\Rightarrow z = F(x); z \in [x_1, x_n]$$

Trong đó $\{x_i\}$ là dãy đơn điệu tăng, $z = F(x)$ là hàm giải tích trong từng đoạn của tập $[x_1, x_n]$. Mục đích của ta là biểu diễn các đường đẳng trị ở dạng đường cong liên tục (hàm $z = F(x)$) không nhất thiết phải là hàm đi qua các điểm đã biết).

Về lý thuyết tồn tại, $z = F(x)$ là đa thức bậc $(n + 1)$ đi qua n điểm mẫu (đo đạc). Tuy nhiên với đa thức bậc cao, giá trị biến thiên rất phức tạp, thường rất khó phù hợp với thực tế. Do đó, thường tìm cách xấp xỉ (n) điểm mẫu bằng các hàm đa thức bậc thấp trong từng tập con liên tục của tập $[x_1, x_n]$. Bậc của đa thức phụ thuộc vào số điểm mẫu của mỗi đoạn con. Hàm bậc ba (Cubic spline) và hàm trộn bậc hai (Parabolic blending) là những xấp xỉ điển hình được sử dụng trong các phần mềm hiện nay trên thế giới.

5. ứng dụng

Bài toán thực tế: ở một mỏ, được thăm dò bằng 117 giếng khoan, gặp khoáng công nghiệp và một số gặp đứt gãy địa chất, các giếng khoan này được bố trí trong không gian mỏ theo mạng lưới rời rạc. Tại mỗi vị trí, các giếng khoan gặp khoáng đạt giá trị công nghiệp đã xác định được các tọa độ x, y và nhiều thông số phản ảnh chất lượng cùng các đặc tính kỹ thuật (các thuộc tính). Để có dữ liệu phục vụ thiết kế kỹ thuật khai thác mỏ, dự báo chiều sâu gặp khoáng công nghiệp..., cần thiết thành lập bản đồ chiều cao mái tầng khoáng công nghiệp.

Để bài toán có kết quả thoả đáng, trong ứng dụng cần làm rõ:

- **Mục tiêu:** mô hình hoá đối tượng địa chất; mô tả hình học, xác định dạng các thuộc tính cần nghiên cứu..., vẽ bản đồ đẳng trị.

- **Đối tượng nghiên cứu:** trường địa hoá, mỏ khoáng các loại, tầng (lớp) khoáng có giá trị công nghiệp...

- **Yếu tố hình học:** ranh giới ĐTNC: mỏ, thân quặng, các đứt gãy...

- **Thuộc tính:** các thành phần phản ánh chất lượng ĐTNC bằng các tính chất, hoá, lý, kỹ thuật: hàm lượng, chiều dày, độ cao mái (trụ) vỉa; độ thấm...

- **Công cụ thực hiện:** thuật toán và các chương trình máy tính.

- **Cơ sở dữ liệu:** nhận thức ĐTNC dựa trên cơ sở tập hợp những giá trị tại các điểm quan sát rời rạc (kết quả đo đạc, phân tích mẫu...):

$$SCT = \{ x_i, y_i, z_i \}; \quad i = 1 \dots n \quad [4-1]$$

Tập hợp [4-1] gọi là tập hợp các điểm mẫu (Set of Control Points) trong đó:

+ Các cặp (x_i, y_i) là các tọa độ, xác định vị trí điểm quan sát trên bề mặt của ĐTNC trong không gian, chiếu theo phương thẳng đứng.

+ Z_i - thuộc tính của đối tượng

Thực chất của bài toán là xác định thuộc tính nào đấy tại các mắt ô lưới và xây dựng đường mặt cong (S) sao cho là một xấp xỉ tốt nhất đồng thời biểu diễn chúng dưới dạng hình học. Bài toán được thực hiện trên cơ sở các thuật toán nội suy và xấp xỉ hàm số. Kết quả là biểu đạt ĐTNC bằng việc mô

tả hình học bởi thủ tục Mapping. Có hai hình thức thể hiện Mapping: 2 chiều và 3 chiều.

Để giải quyết thủ tục Mapping (giải quyết bài toán thực tế), khi xây dựng phần mềm ứng dụng, các tác giả đề nghị thực hiện một số thủ tục chương trình cơ sở sau:

1. Xây dựng lưới điểm trong không gian ĐTNC (thủ tục GENGRID)

Ví dụ: tạo lưới đều theo hai hướng x và y (hình 1b).

- Gọi thủ tục: GENGRID (xgr, ygr, xmin, xmax, nx, ny);

+ (xmin, ymin) (xmax, ymax) là hình đa giác chứa tập [4-1].

+ nx - số đường lưới theo hướng vĩ độ x.

+ ny - số đường lưới theo hướng kinh độ y.

- Kết quả trong 2 mảng 1 chiều lưu tọa độ của các nút lưới:

$$+ xgr(i) = x_i \quad (i = 1, nx);$$

$$x_i = xmin + i*(xmax - xmin)/nx$$

$$+ ygr(j) = y_j \quad (j = 1, ny);$$

$$y_j = ymin + j*(ymax - ymin)/ny$$

2. Xác định giá trị tại các nút lưới (thủ tục INTERGR)

- Gọi thủ tục INTERGR (xgr, ygr, SCT, Parameters, z)

- Số liệu vào:

+ xgn(i), ygr(j) - tọa độ các nút lưới (i, j)

+ SCT - tập hợp các giá trị của điểm mẫu [4-1]

+ Parameters - bộ các tham số này phụ thuộc vào việc lựa chọn các phương pháp nội suy đã nêu.

• **Bán kính tìm kiếm (Search Radius):**

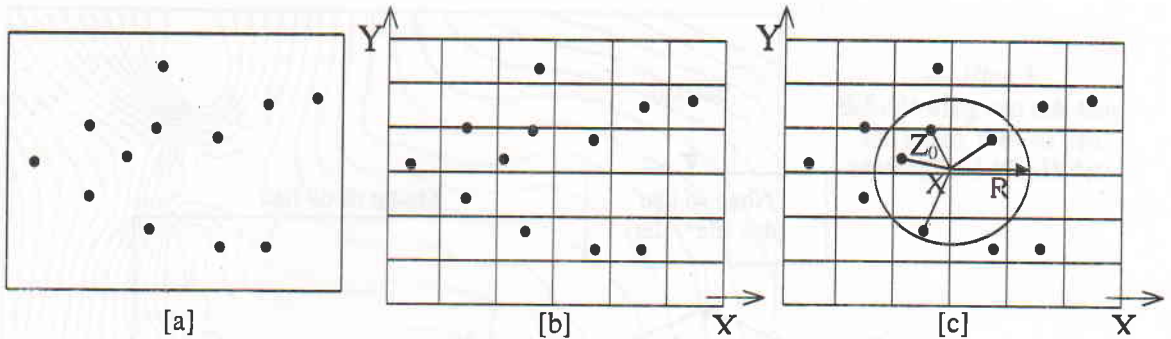
• **Giới hạn các SCT tham gia thuật toán nội suy** tại mỗi nút lưới.

Hình dạng vùng tìm kiếm: (hình tròn/ ellipse...)

Mô tả ảnh hưởng có "hướng" của các thuộc tính.

• **Hàm trọng số (thuật toán nội suy).**

Đánh giá mức độ phụ thuộc giữa các SCT với nút lưới nội suy.



Hình 1. a - các điểm lấy mẫu (đo đạc) đã được xác định, b - tạo lưới điểm, c- bán kính tìm kiếm (nội suy) R, trong trường hợp đẳng hướng

• Hệ thống đứt gãy trong đối tượng (Faulted) :

- Sự ảnh hưởng của hệ thống đứt gãy (Faults) đóng vai trò như ràng buộc giới hạn các SCT tham gia ước lượng giá trị tại mỗi nút của lưới.

- Kết quả thực hiện giá trị ước lượng cho các nút lưới điểm giữa của ô lưới thường được lưu trong mảng 2 chiều $z(i,j)$.

3. Biểu diễn đối tượng dạng 2D (GR2D) xây dựng các đường đẳng trị - Contouring dựa theo nguyên tắc tìm điểm "lân cận" trên các cạnh của ô lưới.

- Gọi thủ tục : GR2D (xgr, ygr, z, Smooth, c)

- Số liệu vào :

+ xgr(i), ygr(i) - tọa độ các nút lưới (i,j)

+ Z(i,j) - giá trị đã ước lượng của thuộc tính tại các nút lưới.

+ Smooth - tham số lựa chọn hàm xấp xỉ để vẽ các đường đẳng trị.

- Kết quả : vẽ các đường đẳng trị cho thuộc tính nghiên cứu và lưu chúng vào mảng $c(i,j,k)$.

Tùy thuộc vào yêu cầu thực tế, nhiều khi cần :

4. Biểu diễn đối tượng ở dạng 3D (GR3D). Xây dựng các khung dựa theo nguyên tắc xấp xỉ hàm số dọc theo các cạnh của ô lưới.

- Gọi thủ tục : GR3D (xgr, ygr, z, Smooth)

- Số liệu vào :

+ xgr(i), ygr(i) - tọa độ các nút lưới (i,j)

+ Z(i,j) - giá trị đã ước lượng của thuộc tính tại các nút lưới.

+ Smooth - tham số mô tả hàm xấp xỉ để vẽ các đường đẳng trị.

- Kết quả : biểu diễn đối tượng không gian 3 chiều.

Sơ đồ tổng quát thuật toán được đưa ra ở hình 2. Số liệu đầu vào Grid1.dat được định dạng trong tệp như sau :

0	0	4888	5828
3036		2136	-1
2844		2520	-1
2388		3264	100
1560		3492	130
...	

Hàng thứ nhất lưu trữ giá trị dạng Text, ứng với các giá trị $X_{min}, Y_{min}, X_{max}, Y_{max}$.

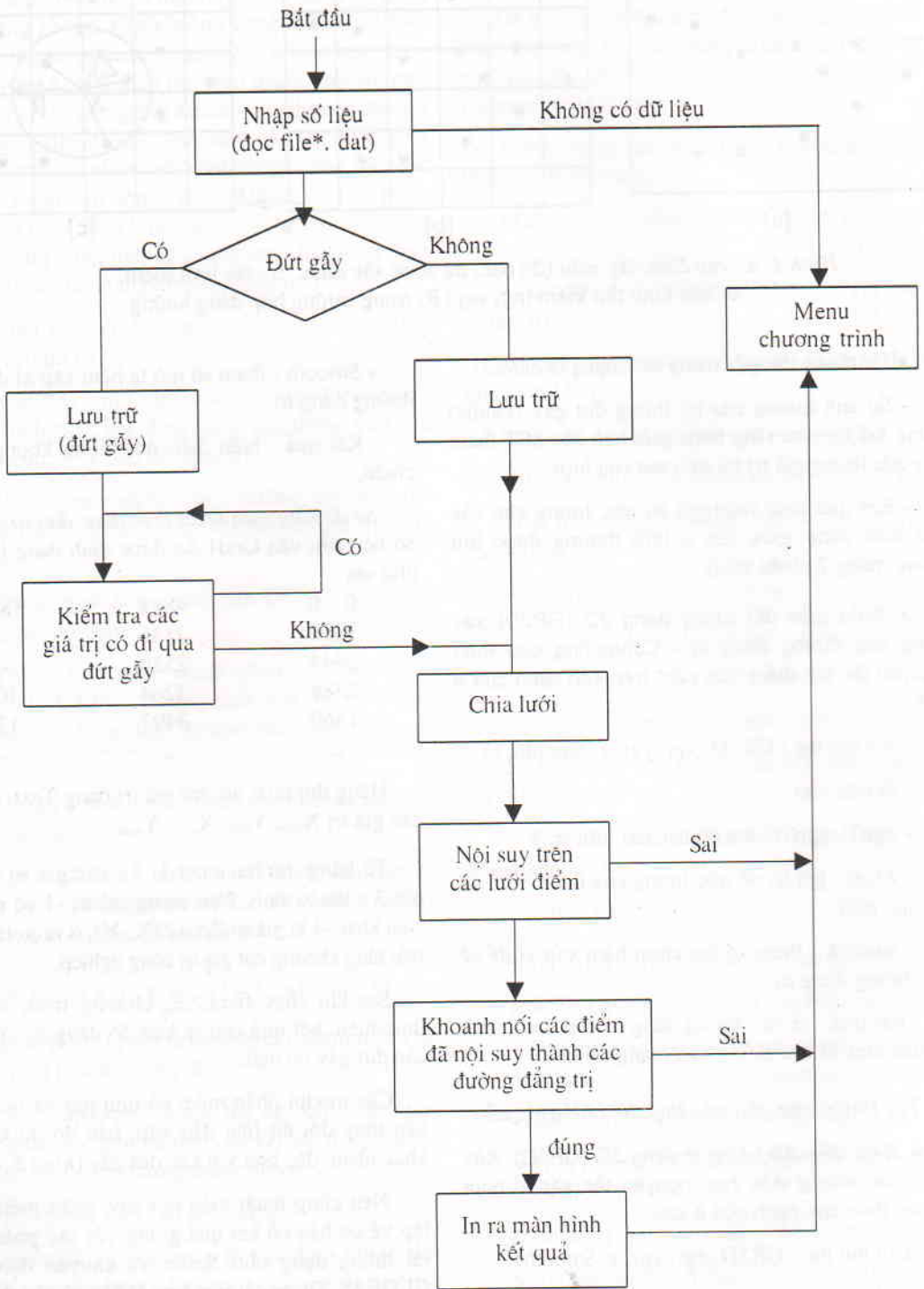
Từ hàng thứ hai : cột 1, 2 : các giá trị X_i, Y_i ; cột 3 : thuộc tính. Nếu mang giá trị -1 có đứt gãy. Nếu khác -1 là giá trị Z_i tại $Z(X_i, Y_i)$, ở ví dụ là độ cao mái tầng khoáng đạt giá trị công nghiệp.

Sau khi chạy file.EXE, chương trình sẽ được thực hiện, kết quả cho ta bản đồ đẳng trị cùng với các đứt gãy có mặt.

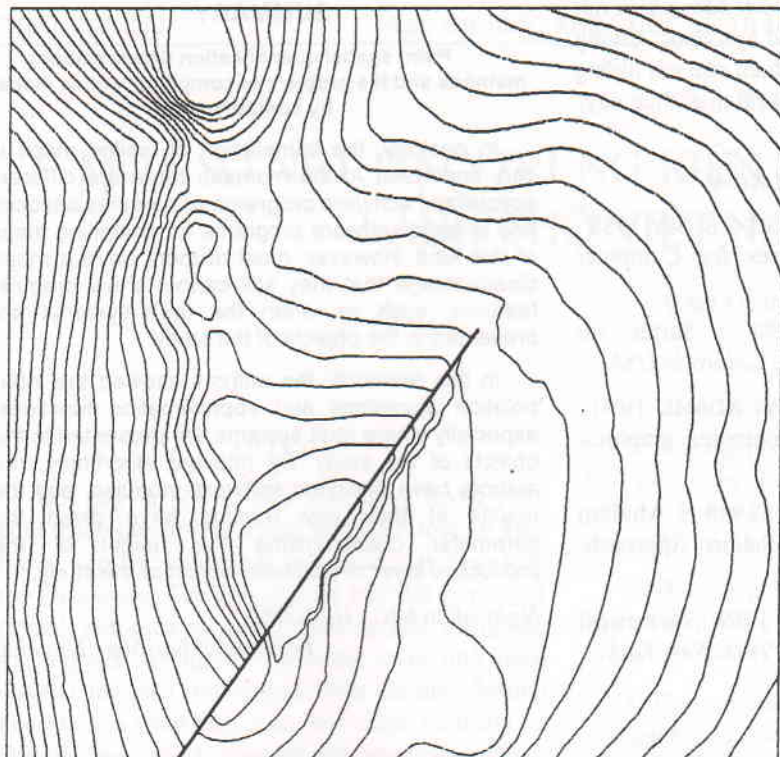
Các modul phần mềm có tính mở và linh hoạt, nếu thay đổi dữ liệu đầu vào, bản đồ được vẽ sẽ khác nhau, đặc biệt với các đứt gãy (hình 3, 4).

Nếu cùng thuật toán nội suy, phần mềm được lập về cơ bản có kết quả giống với các phần mềm rất thông dụng như Surfer và chuyên dụng như GEOEAS. Được cải tiến hơn là khi có các đứt gãy, hơn nữa các đường đẳng trị được thể hiện mềm mại và khá sát với thực tế.

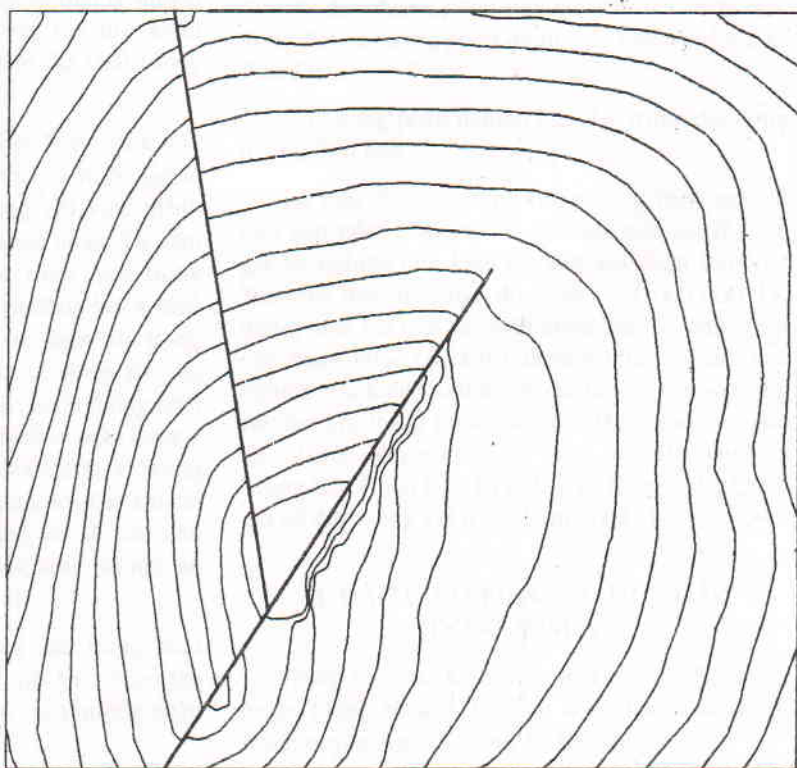
Các modul phần mềm này đang được cài đặt tại Trung Công nghệ Tin học, trường Đại học Mở -



Hình 2. Sơ đồ thuật toán



← *Hình 3.*
 Biểu đồ đẳng cao mái tâng
 sản phẩm, theo số liệu
 phương án 1 (Grid1.dat)



Hình 4. →
 Biểu đồ đẳng cao mái tâng
 sản phẩm, theo số liệu
 phương án 2 (Grid2.dat)

Địa chất. Trong khuôn khổ của bài báo, nhiều nội dung chúng tôi không thể làm rõ hơn được. Chúng tôi sẵn sàng trao đổi, hợp tác nghiên cứu với những ai quan tâm về lĩnh vực lý thú và rất thiết thực này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] BERNARD KOLMAN, ROBERT C. BUSBY, 1988 : Discrete Mathematical Structures for Computer Science. *New Delhi, India*
- [2] DOUG KECKLER, 1994 : Surfer for Windows. *Golden software INC. Colorado. USA*
- [3] DAVID F. ROGERS, J ALAN ADAMS, 1990 : Mathematical Elements for Computer graphics. *McGraw-Hill, New York.*
- [4] HENRY B. CRICLOW; 1988 : Modern Reservoir Engineering-A. simulation Approach, *Prentice - Hall. Inc*
- [5] WILLIAM H. PRESS et al, 1989 : Numerical Recipes, *Cambridge University Press, New York.*

SUMMARY

Point spatial quantification (Interpolation) methods and the problem of compiling isoline maps by computers

In geology, the compilation of isoline maps is very important. At the moment, there are different specialized software programs or modules associating to large software programs for compiling maps of this kind. However, most of them have a major disadvantage that they still cannot show irregular features, such as when the fault systems are presented in the objects of the study.

In this research, the authors showed the interpolation algorithms and approximation functions, especially where fault systems are presented in the objects of the study. By relevant algorithms, the authors have designed software modules, and the results of their test running have given the parameter characterising the height of the productive layer of particular object of the study...

Ngày nhận bài : 10-4-2002

Trường đại học Mở - Địa chất

