

HAI THUẬT TOÁN TÍNH DIỆN TÍCH VÀ THỂ TÍCH TRONG HỆ THÔNG TIN ĐỊA LÝ

NGUYỄN XUÂN HUY, LÊ QUỐC HUNG

Viện Công nghệ thông tin

Abstract. Geographical Information System (GIS) is an integrated system in which each function of data input and verification, data output and presentation, data transformation... is implemented by a set of graphic and spatial algorithms. This paper presents two algorithms in raster data structure for finding out the maximum inscribed rectangle in a polygon, and for calculating the volume of water in a flooded area.

Tóm tắt. Trong hệ thông tin địa lý, việc xây dựng các chức năng của hệ thống như khởi tạo, lưu trữ, khai thác, phân tích dữ liệu địa lý... đều sử dụng một hệ thống các thuật toán đồ họa và thuật toán không gian. Bài báo này giới thiệu hai thuật toán ứng dụng trong mô hình dữ liệu Raster: Thuật toán tìm hình chữ nhật có diện tích lớn nhất (hình chữ nhật tối đại) nội tiếp trong một đa giác và Thuật toán tính thể tích nước ngập trong một vùng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay hệ thông tin địa lý (*Geographical Information System - GIS*) được sử dụng rất rộng rãi và hiệu quả trong nhiều lĩnh vực của cuộc sống đặc biệt trong việc giúp con người lập kế hoạch và ra quyết định trong các hoạt động về quy hoạch, bảo vệ môi trường,... Khi xây dựng hệ thông tin địa lý, ứng với mỗi chức năng tạo lập, lưu trữ, hỏi đáp, phân tích dữ liệu địa lý,... là một hệ thống các thuật toán đồ họa và thuật toán không gian. Các thuật toán ứng dụng để xây dựng hệ thông tin địa lý có thể chia làm ba lớp chính:

- Lớp thuật toán hiệu chỉnh bản đồ, thường được sử dụng trong quá trình tạo lập dữ liệu để loại bỏ các dữ liệu dư thừa, những lỗi khi vẽ hay ghép nối bản đồ,... Ví dụ như các thuật toán: loại bỏ điểm dư thừa, đơn giản hóa đường biên, tìm và loại bỏ đường giao nhau, co giãn bản đồ, quay bản đồ, ghép nối các bản đồ, tạo quan hệ tô pô giữa các đối tượng,...

- Lớp thuật toán trình diễn bản đồ, được sử dụng trong quá trình biểu diễn bản đồ. Các thuật toán thuộc lớp này bao gồm: các phép chiếu bản đồ, phóng to/thu nhỏ bản đồ, dịch chuyển, quan sát bản đồ, xác định vị trí hiển thị thông tin,...

- Lớp thuật toán khai thác không gian, được sử dụng để xây dựng các chức năng khai thác, phân tích dữ liệu không gian. Ví dụ như các thuật toán: tìm kiếm, trích chọn đối tượng, tạo bản đồ chuyên đề, tạo vùng đệm, nạp chồng bản đồ,...

Bài báo trình bày hai thuật toán trong lớp thuật toán khai thác không gian dựa trên mô hình dữ liệu địa lý raster: thuật toán tìm hình chữ nhật tối đại trong đối tượng bản đồ vùng và thuật toán tính thể tích nước ngập trong một vùng.

2. TÌM HÌNH CHỮ NHẬT TỐI ĐẠI TRONG MÔ HÌNH DỮ LIỆU RASTER

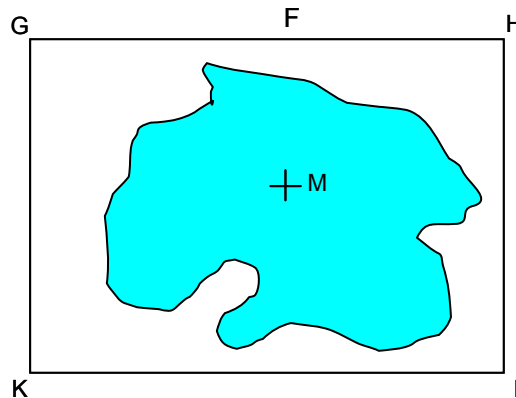
CSDL địa lý ngoài các dữ liệu hình học còn lưu trữ các dữ liệu thống kê, đó là các thuộc tính liên quan đến dữ liệu hình học tương ứng. Một trong các chức năng quan trọng của hệ thống GIS là khả năng thể hiện các kết quả thao tác trên CSDL địa lý dưới hình thức dễ hiểu, dễ đọc cho người dùng. Các dữ liệu dưới dạng số hay đồ họa của một đối tượng điểm hoặc đường thường được thể hiện xung quanh đối tượng đó, tài liệu [3, 5] trình bày một số cách tiếp cận để xác định các vị trí này một cách tự động. Đối với các đối tượng vùng (thí dụ một đơn vị hành chính), các dữ liệu thống kê thường được biểu diễn ngay trong thực thể đó.

Vấn đề nghiên cứu đặt ra ở đây giới hạn trong việc tìm một hình chữ nhật theo chiều thẳng có diện tích lớn nhất nội tiếp trong miền đa giác (hình chữ nhật tối đại) để thể hiện dữ liệu thống kê. Ngoài ra việc tìm vùng lớn nhất còn được áp dụng trong bài toán quy hoạch xây dựng như tìm vùng lớn nhất để xây dựng sân vận động, xây dựng khu tập thể,....

Trong mô hình dữ liệu vectơ, thuật toán tìm hình chữ nhật tối đại trong đa giác lồi đã được giới thiệu trong [4] và đã được mở rộng cho đa giác không lồi trong [1].

Mô hình dữ liệu raster chia toàn bộ vùng bản đồ nghiên cứu thành các tế bào đều nhau (thông thường là ô vuông) theo trình tự riêng tạo thành một lưới tế bào. Mỗi tế bào được đánh số theo thứ tự từ góc trên bên trái. Mỗi tế bào sẽ chứa một giá trị. Mỗi vị trí trong vùng nghiên cứu tương ứng với một tế bào. Tập các tế bào có cùng giá trị tạo thành một lớp bản đồ (*layer*) [2].

Bài toán 1. Trong mô hình dữ liệu raster, bài toán tìm hình chữ nhật tối đại trong một miền đa giác được phát biểu như sau: Cho vùng ảnh hình chữ nhật $F(G,H,I,K)$, hãy xác định hình chữ nhật đồng màu lớn nhất trong F (Hình 1).



Hình 1. Ảnh bản đồ F

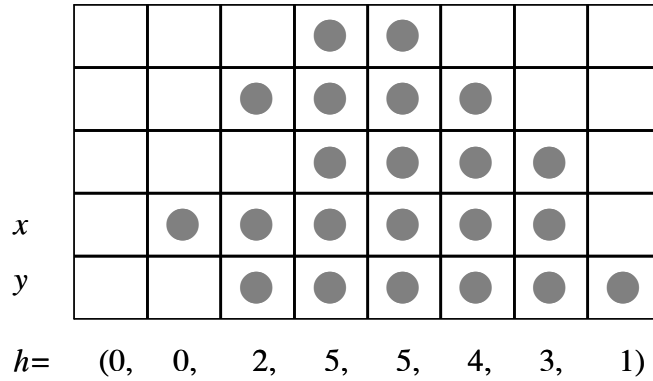
Mô tả thuật toán

Gọi C là màu của vùng cần khảo sát trong ảnh F . Ta sẽ sử dụng kỹ thuật quét ngang tại mỗi điểm ảnh. Lần lượt đọc từng dòng ảnh của F . Gọi dòng đọc trước là x , dòng hiện tại là y . So sánh các điểm tương ứng giữa x và y ta có thể tích lũy số lượng điểm cùng màu theo chiều dọc và ghi vào mảng h . Mảng h được khởi trị bằng 0 tại mọi cột.

Nếu $x[i] = y[i] = C$ thì ta tăng $h[i]$ thêm một đơn vị, ngược lại, khi $x[i] \neq y[i]$ nhưng

$y[i] = C$ ta gán $h[i] = 1$.

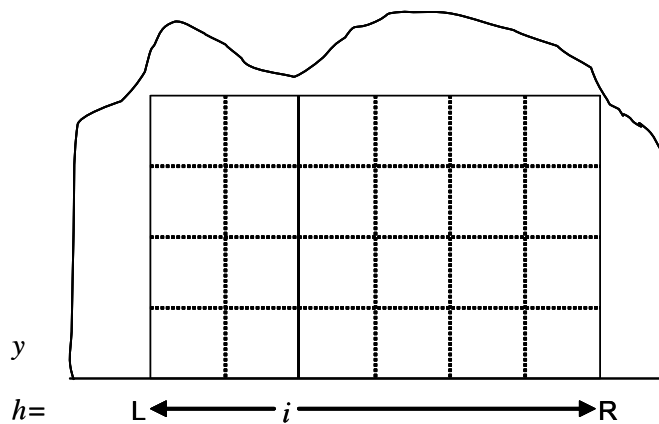
Duyệt ngang mỗi dòng ảnh y ta thu được mảng h với tính chất: $h[i] =$ số lượng điểm ảnh màu C nằm liên tiếp nhau tính từ dòng y trở lên (Hình 2).



Hình 2. Ảnh bản đồ và mảng độ cao h tại dòng thứ y

Theo ý nghĩa trên ta gọi h là mảng độ cao, $h[i]$ cho biết độ cao của các cột i màu C tính từ dòng y ngược lên.

Tiếp theo với mỗi $i = 1, 2, \dots, n$ (n là chiều rộng của ảnh F) thoả điều kiện $h[i] > 0$ ta quét cột $h[i]$ về hai phía trái và phải để thu được hai điểm L và R (Hình 3) và tính được diện tích (số điểm) của hình chữ nhật lớn nhất trong F và chứa điểm $y[i]$, diện tích $h[i] \times (R - L + 1)$.



Hình 3. Hình chữ nhật lớn nhất tìm được tại dòng ảnh thứ y

So sánh với S_{max} là biến chứa diện tích của hình chữ nhật lớn nhất tìm được trong vùng đã khảo sát ta có thể cập nhật lại S_{max} và các thông số cần thiết về tọa độ góc trên trái và góc dưới phải của hình chữ nhật.

Thuật toán CNTD_R

Algorithm CNTD_R

Chức năng: tìm hình chữ nhật tối đại trong đối tượng ảnh

Input: - Ảnh F chứa đối tượng cần khảo sát

- Điểm M trong đối tượng cần khảo sát

Output: Tọa độ điểm trên trái P và điểm dưới phải Q của hình chữ nhật tối đại trong đối tượng cần khảo sát.

Các biến và hằng

- S_{max} diện tích của hình chữ nhật tối đại trong vùng đã khảo sát
- n số điểm ảnh trên một dòng
- C màu nền của vùng cần khảo sát

Method

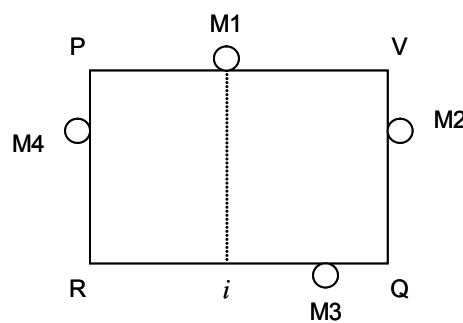
1. Khởi trị $S_{max}:=0$;
2. $C:=\text{GetPixel}(M)$;
3. Đọc dòng ảnh đầu tiên:
 $\text{GetLine}(x)$;
4. $m := 1$; //chỉ số dòng
5. For $i := 1$ To n Do
 If $x[i] = C$ Then $h[i] := 1$
 Else $h[i] := 0$;
 Endif
Endfor;
6. While (còn dòng ảnh) Do
7. $\text{GetLine}(y)$;
8. $m := m + 1$;
9. For $i := 1$ To n Do
 If $y[i] = C$ Then $h[i] := h[i] + 1$
 Else $h[i] := 0$;
 Endif;
Endfor;
10. For $i := 1$ To n Do
 $L := i$;
11. Quét trái
 While $h[L - 1] \geq h[i]$ Do $L := L - 1$;
 Endwhile;
 $R := i$;
12. Quét phải
 While $h[R + 1] \geq h[i]$ Do $R := R + 1$;
 Endwhile;
13. $S := h[i] \times (R - L + 1)$
14. If $S \geq S_{max}$ Then
 $S_{max} := S$;
 $P := (m - h[i] + 1, L)$;
 $Q := (m, R)$;
 Endif;
15. Endfor;
16. End CNTD_R

Mệnh đề 1. Thuật toán CNTD_R xác định đúng hình chữ nhật tối đại với độ phức tạp $O(m \times n^2)$ trong đó m là số dòng ảnh, n là số điểm ảnh trên một dòng.

Chứng minh:

Gọi PVQR là hình chữ nhật tối đại tồn tại trong vùng cần khảo sát, trong đó P là điểm trên trái và Q là điểm dưới phải của hình (Hình 4). Ta sẽ chứng minh rằng tại bước nào đó của thuật toán hình PVQR đã được tìm.

Giả sử $P=(Px, Py)$, $Q=(Qx, Qy)$ trong đó Px là tọa độ dòng, Py là tọa độ cột của điểm P và tương tự Qx là tọa độ dòng, Qy là tọa độ cột của điểm Q. Vì là hình chữ nhật tối đại nên các cạnh của PVQR phải bị chặn bởi 4 điểm M1, M2, M3, M4 ở ngoài vùng khảo sát, nghĩa là bốn điểm nói trên phải có màu khác màu C.



Hình 4. Hình chữ nhật tối đại và các điểm biên

Sau khi đọc dòng thứ Qx bằng lệnh `GetLine(y)` và sau khi cập nhật mảng độ cao h ta sẽ có $h[i] = Qy - Py + 1$, trong đó i là tọa độ cột của điểm M1.

Khi quét $h[i]$ về bên trái ta sẽ dừng ở sát điểm M4, về bên phải ta sẽ dừng ở sát điểm M2, tức là ở vùng này ta đã thu được hình PVQR. Tính đúng đắn của thuật toán được chứng minh.

Giả sử ảnh F có m dòng và n cột, khi đó kích thước của dữ liệu sẽ là $m.n$ (số điểm cần khảo sát). Thuật toán duyệt m dòng, mỗi dòng duyệt 3 lần tương ứng với các dòng lệnh:

Lần thứ nhất: Cập nhật độ cao h (dòng lệnh 9).

Lần thứ hai: Quét trái (dòng lệnh 11).

Lần thứ ba: Quét phải (dòng lệnh 12).

Các thủ tục quét trái và quét phải đòi hỏi n thao tác cho mỗi chỉ số i , do đó riêng phần quét cho cả dòng đòi hỏi n^2 thao tác. Tổng cộng thuật toán đòi hỏi $m \times (n + n^2) \approx O(m \times n^2)$.

Mệnh đề được chứng minh. ■

3. THUẬT TOÁN TÍNH THỂ TÍCH NƯỚC NGẬP

Trong mô hình dữ liệu raster, nếu mỗi tế bào có thêm thông tin độ cao, khi đó sẽ có một bản đồ địa hình. Trong bản đồ địa hình này giả sử mỗi tế bào là một ô hình chữ nhật, khi đó các đối tượng địa lý được mô hình hóa thành tập các cột hình hộp, mỗi cột có một độ cao xác định (Hình 5). Để đơn giản ta giả thiết các độ cao được làm tròn đến số nguyên gần nhất. Dựa trên bản đồ địa hình, nhiều bài toán phân tích địa hình được nghiên cứu ứng

dụng như bài toán tính dòng chảy, tính thể tích đối tượng, tính thể tích nước ngập,...

Bài báo nghiên cứu và đề xuất thuật toán tính thể tích nước ngập trên bản đồ địa hình được mô hình hóa như trên.

F	2	1	1	0	3	8	6
	1	9	12	20	30	0	4
	48	7	0	1	40	0	0
	3	52	1	2	80	79	0
	5	37	26	13	80	76	2

$h_{min}=0, h_{max}=80$

Hình 5. Bản đồ raster được bổ sung thông tin độ cao của mỗi tế bào và bản đồ địa hình

Bài toán 2. Giả sử trên bản đồ địa hình nước ngập đến độ cao h_{max} , hãy xác định dung tích nước ngập tại vùng đó.

Bài toán được mô hình hoá như sau: Trên nền đất rắn hình chữ nhật, tại mỗi tế bào có một cột hình hộp có độ cao h_i , đáy là ô vuông đơn vị. Giả thiết là đáy và các hình hộp không thấm nước và giữa các cạnh, các mặt đều hàn kín. Nước bị ngập đến độ cao lớn nhất h_{max} . Hãy tính dung tích nước bị giam trong mô hình.

Giả thiết không thấm nước là tự nhiên, thí dụ với một ngọn đồi được chia trong mô hình thành các cột hình hộp thì vì các cột đó là thành phần của ngọn đồi cho nên ta cần giả thiết là các thành phần đó được gắn kết với nhau.

Sau khi tính toán được dung tích nước bị giam là V , biết hệ số thấm nước là k ta có thể tính được dung tích nước tổng cộng, bao gồm lượng nước bị giam và lượng nước đã ngấm.

Gọi kích thước đáy của vùng khảo sát là $m \times n$ (m cột và n hàng). Chỉ số $i = 1, 2, \dots, m$ xác định chỉ số cột; Chỉ số $j = 1, 2, \dots, n$ xác định chỉ số hàng. Độ cao tương ứng với mỗi tế bào (i, j) là $h[i, j]$, h_{min} và h_{max} tương ứng là độ cao nhỏ nhất và lớn nhất trong vùng khảo sát.

Bài toán được giải bằng phương pháp đếm theo lớp. Xét các lớp C tính theo độ cao từ h_{min} đến $h_{max} - 1$. Tại lớp i đầu tiên dùng thuật toán loang từ đường biên vào trong để thay các ô (i, j) có trị $h[i, j] = C$ bằng trị $C+1$. Dễ thấy, ở độ cao C , nước sẽ thoát ra khỏi vùng khảo sát vì tại các vị trí đó không có vách ngăn.

Tiếp theo duyệt lại lớp C để tính khối lượng nước bị giam tại lớp đó.

Dung tích tổng cộng của lượng nước bị giam sẽ là tổng dung tích tính theo từng lớp.

Thuật toán tính thể tích nước ngập

Algorithm NGAP

Chức năng: Tính dung tích nước ngập trong một vùng

Input:

Ma trận độ cao h kích thước $m \times n$ chia theo lưới vuông đơn vị; $h[i, j]$ là những số nguyên

không âm, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$.

Output: Dung tích V

Các biến và hằng:

- $hmin$: độ cao nhỏ nhất trong vùng khảo sát

- $hmax$: độ cao lớn nhất trong vùng khảo sát

Method

1. $V:=0$;
 2. For $C:=hmin$ To $hmax - 1$ Do
 $V:=V+VLop(C)$;
 3. Endfor;
 4. Return V ;
- End NGAP.

Algorithm $VLop(C)$

Chức năng: Tính dung tích nước bị giam tại lớp C

Input: - ma trận độ cao h

- trị C

Output: dung tích d

Method

1. Loang các đường viền dọc
 For $i := 1$ To m Do
 If $h[i, 1]=C$ Then Loang($i, 1, C$); Endif;
 If $h[i, n]=C$ Then Loang(i, n, C); Endif;
 Endfor;
 2. Loang các đường viền ngang
 For $i := 1$ To n Do
 If $h[1, i]=C$ Then Loang($1, i, C$); Endif;
 If $h[m, i]=C$ Then Loang(m, i, C); Endif;
 Endfor;
 3. $d := 0$;
 4. For $i := 1$ To m Do
 For $j := 1$ To n Do
 If $h[i, j]=C$ Then
 $d := d + 1$;
 $h[i, j]:=C+1$;
 Endif;
 Endfor;
 Endfor;
- End $VLop$;

Thủ tục Loang(i, j, C) thay trị $h[i, j]=C$ bằng $C+1$, sau đó xác định 4 ô kề cạnh với ô (i, j). Nếu ô nào liên thông, tức là có trị C sẽ tiếp tục gọi đệ quy với ô đó.

Algorithm Loang(i, j, C)

Chức năng: Thay trị của ô (i, j) và toàn bộ các ô liên thông với ô (i, j) bằng $C+1$.

Input: - Tọa độ (i, j) của ô đang xét

- C trị cũ của ô (i, j)
 Method
 1. $h[i, j] := C + 1$;
 2. If $i > 1$ Then
 If $h[i - 1, j] = C$ Then
 Loang($i - 1, j, C$);
 Endif;
 Endif;
 3. If $i < m$ Then
 If $h[i + 1, j] = C$ Then
 Loang($i + 1, j, C$);
 Endif;
 Endif;
 4. If $j > 1$ Then
 If $h[i, j - 1] = C$ Then
 Loang($i, j - 1, C$);
 Endif;
 Endif;
 5. If $i < n$ Then
 If $h[i, j + 1] = C$ Then
 Loang($i, j + 1, C$);
 Endif;
 Endif;
 End Loang;

Mệnh đề 2. Thuật toán NGAP tính đúng dung tích ngập nước với độ phức tạp tính toán $O(m \times n \times (h_{max} - h_{min}))$, trong đó m và n là kích thước lưới đơn vị đáy, h_{max} là chiều cao lớn nhất, h_{min} là chiều cao nhỏ nhất của vùng khảo sát.

Chứng minh:

- Tại mỗi lớp $C = h_{min}, h_{min} + 1, \dots, h_{max} - 1$ thuật toán VLop chỉ đếm những ô bị giam tại lớp đó. Thao tác gán trị $h[i, j] := C + 1$ cho những ô mang trị C thực chất là nâng độ cao của lớp để bước sau không tính lại.

- Bước 2 của thuật toán NGAP thực hiện $h_{max} - h_{min}$ lần gọi thủ tục VLop. Mỗi lần thủ tục VLop duyệt ma trận h hai lần, một lần qua thủ tục Loang và một lần đếm số ô bị giam. Vậy tổng cộng thuật toán NGAP thực hiện $2 \times m \times n \times (h_{max} - h_{min})$ thao tác, do đó độ phức tạp tính toán sẽ là $O(m \times n \times (h_{max} - h_{min}))$.

Mệnh đề được chứng minh. ■

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày thuật toán tìm hình chữ nhật tối đại nội tiếp trong một đa giác và thuật toán tính thể tích nước ngập trong một vùng trong mô hình dữ liệu raster.

Thuật toán tìm hình chữ nhật tối đại ứng dụng cho lớp bản đồ có các đối tượng kiểu vùng. Trong thực tế, để ứng dụng thuật toán hiệu quả và tìm được hình chữ nhật tối đại

cho mỗi đối tượng trong bản đồ thì các đối tượng vùng phải được xác định trước. Với mỗi đối tượng vùng sẽ xác định hình chữ nhật bao đối tượng đó. Như vậy với một bản đồ lớn thuật toán được áp dụng cho mỗi đối tượng vùng chính là vùng ảnh giới hạn bởi hình chữ nhật bao của đối tượng đó. Điều này tránh được việc với mỗi đối tượng đều phải duyệt toàn bộ bản đồ dẫn đến làm tăng tốc độ xử lý.

Độ chính xác của các thuật toán phụ thuộc vào việc chia lưới tế bào trên mô hình raster. Lưới chia càng mịn thì độ chính xác càng cao.

Các thuật toán đã được cài đặt thử nghiệm, tuy nhiên để ứng dụng hiệu quả các thuật toán này trong quá trình xây dựng hệ thống tin địa lý lớn, nhiều vấn đề cần được tiếp tục nghiên cứu như: tối ưu tốc độ tính toán đối với bản đồ có nhiều đối tượng, tạo ra một bản đồ địa hình trong mô hình raster như trên từ một ảnh chụp địa hình (ảnh vệ tinh) hay từ bản đồ đường bình độ,...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đặng Văn Đức, Lê Quốc Hưng, Trần Cẩm Ngân, Một phương pháp xác định vị trí hiển thị thông tin phi hình học trong hệ thống tin địa lý, *Tap chí Tin học và Điều khiển học* **13** (4) (1997) 53–62.
- [2] Arthur H. Robinson, Joel L. Morrison, Phillip C. Muehrcke, A. Jon Kimerling, Stephen C. Guphill, *Elements of Cartography* (the 6th Edition), John Wiley & Sons, Inc., USA, 1995, p. 674.
- [3] Atsushi Koike, Shin-ichi Nakano, Takao Nishizeki, Takeshi Tokuyama, Shuhei Watanabe, Labeling Points with Rectangles of Various Shapes, *International Journal of Computational Geometry & Applications* **12** (6) (2002) 511–528.
- [4] Jan W. van Roessel, An algorithm for locating candidate labeling boxes within a polygon, *The American Cartographer* **16** (3) (1989) 201–209.
- [5] Konstantinos G. Kakoulis, Ioannis G. Tollis, A Unified Approach to Labeling Graphical Features, *Proceedings of the Fourteenth Annual Symposium on Computational Geometry* (ACM, ISBN:0-89791-973-4), USA, 1998, 347–356.

Nhận bài ngày 29 - 6 - 2004

Nhận lại sau sửa ngày 07 - 9 - 2005