

# Đề xuất thuật toán giảm tích lũy dòng chảy ứng dụng trong công tác giảm ngập

- Khuu Minh Cảnh
- Lê Trung Chơn
- Trần Văn Hoài

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 02 tháng 04 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 08 tháng 05 năm 2015)

## TÓM TẮT

*Ngập lụt là vấn đề nghiêm trọng của các thành phố, đặc biệt tại thành phố Hồ Chí Minh trong những năm gần đây. Về ngập do địa hình, các nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra nhiều phương pháp tính toán tích lũy dòng chảy. Theo đó, dòng chảy được tính tích lũy theo các ô lưới được phân chia. Theo đó, những nơi có dòng chảy tích lũy lớn là những nơi bị ngập nhiều. Vấn đề là các đô thị thường nâng đường hoặc đào*

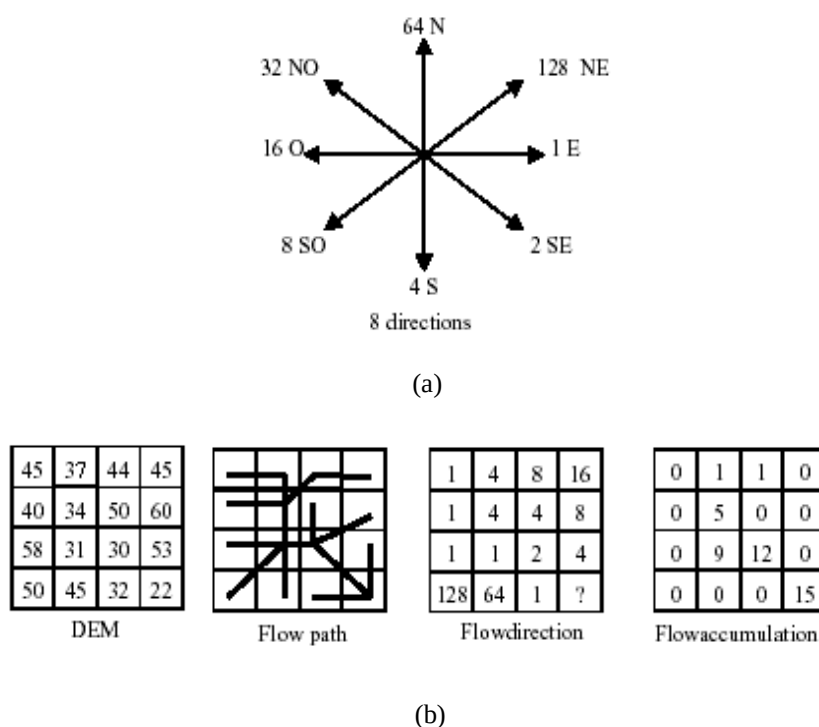
*kênh để giảm ngập. Tuy vậy những việc đó sẽ gây ảnh hưởng và tác động toàn cục hay cục bộ là một vấn đề cần xem xét. Trong bài báo này, các tác giả đề xuất một hướng giải quyết bằng thuật toán gần đúng phân tích không gian tích hợp lý thuyết đồ thị với mục đích định hướng dòng chảy để đạt được mục tiêu các tích lũy dòng trong địa hình phải nhỏ hơn một giá trị ngưỡng ngập lụt xác định.*

**Từ khóa:** GIS, phân tích không gian, lý thuyết đồ thị, thuật toán tích lũy dòng chảy.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và thời tiết bất thường, vấn đề ngập, đặc biệt là ngập đô thị do mưa và triều cường là một trong những vấn đề lớn. Hiện tại, các giải pháp chống ngập, về kỹ thuật liên quan đến địa hình, được đề xuất như: nâng đường, đào kênh, khai thông dòng chảy, giảm lượng rác,... Tựu chung lại, các giải pháp đề hướng đến việc khơi thông dòng chảy và thay đổi độ cao địa hình nhằm đến định hướng giảm ngập. Tuy vậy, việc nâng đường hay đào kênh sẽ tác động đến cục bộ hay toàn cục địa hình, nghĩa là việc giảm ngập sẽ hết hay sẽ chuyển từ nơi này sang nơi khác là một vấn đề cần nghiên cứu.

Từ vấn đề trên, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất phương pháp giải quyết vấn đề giảm thiểu tích lũy dòng chảy trên bề mặt địa hình bằng thuật toán đồ thị. Thuật toán sẽ tiếp cận với giả định một định hình và một ngưỡng ngập xác định. Khi đó, thuật toán do nhóm tác giả sẽ tiếp cận và đề xuất thay đổi địa hình nhằm giảm các tích lũy dòng chảy để mỗi tích lũy không vượt quá ngưỡng ngập. Theo đó, thuật toán gần đúng được mô tả dưới đây sẽ được minh họa tính toán trên một địa hình đơn giản với phương pháp tích lũy dòng chảy đơn (D8).



**Hình 1.** Các định nghĩa sơ bộ về dòng chảy tích lũy

Hình (a): 8 hướng dòng chảy ghi chú trên một địa hình (1: hướng đông,...);

Hình (b): Minh họa về phân tích dòng chảy tích lũy trên một địa hình (được sử dụng trong thuật toán của bài viết)  
 với: DEM: mô hình độ cao số (địa hình giả định), Flow path: dòng chảy, Flowdirection: hướng dòng chảy,  
 Flowaccumulation: giá trị tích lũy dòng chảy tại mỗi ô trên địa hình;

## 2. PHÂN TÍCH VÀ GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

Bao gồm các nội dung: sơ lược về thuật toán tính tích lũy dòng chảy, lý thuyết đồ thị, mô tả thuật toán.

### 2.1. Thuật toán tích lũy dòng chảy

Với một địa hình cho sẵn. Việc tính tích lũy dòng chảy trên địa hình ngày nay có nhiều nhóm thuật toán khác nhau. Cụ thể là: các thuật toán tính toán dòng đơn (single flow) và các thuật toán tính toán đa dòng (multi flows). Theo đó, thuật toán tính toán dòng đơn nghĩa là mỗi ô trong địa hình sẽ có duy nhất một hướng dòng (nước) chảy sang

1 trong 8 ô liền kề. Nổi bật và lâu đời là thuật toán D8 được cài đặt trong nhiều phần mềm tính toán

Tương tự thuật toán đa dòng chảy là mỗi ô trong địa hình có thể có nhiều hướng dòng chảy sang ô lân cận. Tùy vào các thuật toán, việc tính toán chảy sang ô lân cận sẽ là phần trăm theo độ cao địa hình. Và các thuật toán khác nhau sẽ định nghĩa các ô lân cận khác nhau. Hiện tại các thuật toán này được biết đến bao gồm: thuật toán MFD, D16,...

### 2.2. Lý thuyết đồ thị

Lý thuyết đồ thị (graph theory) là lý thuyết về tương quan giữa các đỉnh và các cạnh (mối liên hệ

hoặc kết nối giữa các “đỉnh”). Theo đó, một đồ thị sẽ gồm tập đỉnh và tập các “cạnh” kết nối. Ngày nay, nhiều ứng dụng sử dụng lý thuyết đồ thị như: tìm đường đi ngắn nhất, tính các đồ thị đặc trưng... Các thuật toán tính dòng chảy tích lũy cũng xây dựng các đồ thị đặc biệt (gọi là cây, tree). Các cây tích lũy với mỗi nốt cây mang giá trị dòng chảy tích lũy trên đó.

Trong một đồ thị, các định nghĩa sau được thiết lập:

- Giá trị khoảng cách (distance) giữa hai nốt là đường đi ngắn nhất có thể giữa hai nốt của đồ thị, kí hiệu là  $d(u,v)$ .
- Giá trị lệch tâm (eccentricity) của một đỉnh là giá trị xa nhất từ đỉnh  $v$  đến các đỉnh khác, kí hiệu là  $ecc(v)$ .
- Bán kính của đồ thị  $G$  là giá trị  $ecc$  nhỏ nhất, kí hiệu là  $rad(G)$ .
- Đường kính của đồ thị là giá trị  $ecc$  lớn nhất, kí hiệu là  $diam(G)$ .
- Tâm (center) của đồ thị là tập các đỉnh  $v$  sao cho giá trị lệch tâm của chúng bằng bán kính đồ thị, nghĩa là:  $ecc(v) = rad(G)$ .
- Chu vi (periphery) của đồ thị là tập các đỉnh thỏa  $ecc(v) = diam(G)$ .

Trong bảng trên, chúng ta có 16 đỉnh của đồ thị (cây) tương ứng với kết nối dòng chảy (flow path) của địa hình trên, theo đó:

- Giá trị độ lệch tâm thấp nhất: đỉnh J (bảng  $ecc(J) = 3$ ). Tại đỉnh J, giá trị tích lũy dòng chảy là 9 và hướng dòng chảy từ đỉnh J sang đỉnh K
- Giá trị độ lệch tâm cao nhất: đỉnh O và L (bảng 6).
- Theo bảng này, giá định đỉnh P là nơi rút nước (kênh), do đó, tích lũy nước tại đỉnh có thể bằng tổng các vị trí còn lại của định hình.

### 2.3. Bài toán và thuật toán đề xuất

Với địa hình trên và giả định ngưỡng ngập là một giá trị số. Khi đó, ta phải điều chỉnh địa hình (giá trị các ô DEM) để dòng chảy tích lũy không vượt quá. Thuật toán đề xuất là thực hiện việc lặp lại tiến trình khi tích lũy dòng vẫn chưa đạt được giá trị thấp hơn ngưỡng như sau: Với mỗi đỉnh là tâm của đồ thị:

- Giảm độ lệch tâm cho ô láng giềng có độ lệch tâm cao nhất, và
- (Bằng cách) Giảm dòng tích lũy dòng cho láng giềng có tích lũy dòng cao.

**Bảng 1.** Bảng dòng chảy tích lũy, bảng độ lệch tâm từ mỗi nốt của đồ thị (cây) với thứ tự các đỉnh

| Dòng chảy tích lũy và hướng dòng chảy*<br>*: giá trị trong ngoặc đơn |              |        |        | Giá trị độ lệch tâm<br>(ecc) các đỉnh của đồ<br>thị |          |          |   | Tên đỉnh của đồ thị (cây) |   |   |   |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|--------|--------|-----------------------------------------------------|----------|----------|---|---------------------------|---|---|---|
| 0 (1)                                                                | 1 (4)        | 1 (8)  | 0 (16) | 5                                                   | 4        | 4        | 5 | A                         | B | C | D |
| 0 (1)                                                                | 5 (4)        | 0 (4)  | 0 (8)  | 4                                                   | 4        | 5        | 5 | E                         | F | G | H |
| 0 (1)                                                                | <b>9</b> (1) | 12 (2) | 0 (4)  | 4                                                   | <b>3</b> | <b>4</b> | 6 | I                         | J | K | L |
| 0 (128)                                                              | 0 (64)       | 0 (1)  | 15     | 4                                                   | 4        | <b>6</b> | 5 | M                         | N | O | P |

**Bảng 2.** Bảng dòng chảy tích lũy, bảng độ lệch tâm từ mỗi nốt của đồ thị (cây) với thứ tự các đỉnh.

| Dòng chảy tích lũy và hướng dòng chảy*<br>*: giá trị trong ngoặc đơn |        |               |        | Giá trị độ lệch tâm<br>(ecc) các đỉnh của đồ<br>thị |          |          |   | Tên đỉnh của đồ thị (cây) |   |   |   |
|----------------------------------------------------------------------|--------|---------------|--------|-----------------------------------------------------|----------|----------|---|---------------------------|---|---|---|
| 0 (1)                                                                | 1 (4)  | 1 (8)         | 0 (16) | 5                                                   | 4        | 4        | 5 | A                         | B | C | D |
| 0 (1)                                                                | 5 (4)  | 0 (4)         | 0 (8)  | 5                                                   | <b>3</b> | <b>6</b> | 7 | E                         | F | G | H |
| 0 (1)                                                                | 9 (2)  | 2 (2)         | 0 (4)  | 5                                                   | 4        | 5        | 6 | I                         | J | K | L |
| 0 (128)                                                              | 0 (64) | <b>10</b> (1) | 15     | 5                                                   | 5        | 4        | 5 | M                         | N | O | P |

**Bảng 3.** Bảng dòng chảy tích lũy, bảng độ lệch tâm từ mỗi nốt của đồ thị (cây) với thứ tự các đỉnh

| Dòng chảy tích lũy và hướng dòng chảy*<br>(*: giá trị trong ngoặc đơn) |        |       |        | Giá trị độ lệch tâm<br>(ecc) các đỉnh của đồ<br>thị |   |          |   | Tên đỉnh của đồ thị (cây) |   |   |   |
|------------------------------------------------------------------------|--------|-------|--------|-----------------------------------------------------|---|----------|---|---------------------------|---|---|---|
| 0 (1)                                                                  | 1 (4)  | 1 (8) | 0 (16) | 8                                                   | 7 | 7        | 8 | A                         | B | C | D |
| 0 (1)                                                                  | 5 (1)  | 6 (4) | 0 (8)  | 7                                                   | 6 | 5        | 5 | E                         | F | G | H |
| 0 (1)                                                                  | 3 (2)  | 7 (2) | 0 (4)  | 8                                                   | 7 | <b>4</b> | 6 | I                         | J | K | L |
| 0 (128)                                                                | 0 (64) | 4 (1) | 15     | 8                                                   | 8 | 6        | 5 | M                         | N | O | P |

Giả định ngưỡng ngập lụt có giá trị là 8. Khi đó, khi đó, trong bảng 1, ta có đỉnh J là đỉnh trọng

tâm (có giá trị ecc nhỏ nhất) và lân cận là đỉnh N (làm cho N trở nên trọng tâm hơn) và đồng thời

điểm K là điểm có tích lũy dòng cao nhất xung quanh điểm J. Do đó, ta sẽ chọn hướng dòng chảy từ J sang N thay vì từ J sang K. Sau khi tính toán, ta được giá trị bảng 2. Trong bảng 2, ta có:

- Giá trị tích lũy dòng của J là 9
- Giá trị tích lũy dòng của N là 10
- Và giá trị tích lũy dòng tại K là 2 (đã giảm)

Theo đó, một đồ thị mới được lập với các giá trị độ lệch tâm mới. Thực hiện lặp lần nữa, ta thay đổi hướng dòng chảy từ F sang G thay vì từ F sang J. Khi đó, ta được kết quả bảng 3 với giá trị dòng chảy tích lũy đều nhỏ hơn giá trị ngưỡng (là 8). Khi đó, ta dừng thuật toán.

Tuy nhiên, đối với trường hợp dòng đơn (single flow), một điều kiện về đồ hình dòng chảy phải được xét đến, đó là không có dòng chảy chéo. Điều này có nghĩa là nếu có 4 điểm  $I(x,y)$ ,  $J(x+1,y)$ ,  $M(x, y+1)$  và  $N(x+1, y+1)$  thì không thể có dòng chảy đơn đồng thời từ I sang N và J sang M vì sẽ vi phạm các luật của dòng chảy, nghĩa là không thể cùng lúc có hai bất đẳng thức về dòng. Do đó, thuật toán phải thêm bước kiểm tra để loại bỏ những trường hợp trên và tiếp tục tìm kiếm vị trí có giá trị ecc nhỏ kế tiếp để điều chỉnh dòng. Và nếu thuật toán không tìm được vị trí đảo dòng thì thuật toán sẽ trả về giá trị không thể tìm được cách thức đảo dòng và đề nghị thêm điểm hút, nghĩa là phải đào kênh trên địa hình. Khi đó, chúng ta có thể hình thành những “rừng” (gồm nhiều cây riêng lẻ) trên một địa hình thay vì chỉ là một “cây” (tree).

### 3. NHẬN XÉT VỀ THUẬT TOÁN ĐỀ XUẤT

Thuật toán đề xuất sau khi thực hiện các bước lặp sẽ tạo ra các đồ thị (cây) có giá trị độ lệch tâm tăng. Thật vậy, khi giá trị độ lệch tâm tăng nghĩa là các kết nối sẽ phân cụm hơn so với các kết nối các đỉnh (cạnh) tập trung vào một số tâm. Vì khi tập trung các tâm của đồ thị sẽ là những nơi có giá trị tích lũy dòng lớn và có khả năng vượt ngưỡng ngập. Thuật toán đề nghị phương pháp tính toán đơn giản hơn so với việc tạo ra các tổ hợp tính toán thay đổi dòng bất kì trên mạng do thuật toán có sử dụng thông tin các không gian lân cận và đồng thời thuật toán cũng sử dụng thông tin toàn cục dựa trên cây (đồ thị).

### 4. KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC VÀ KẾT LUẬN

Thuật toán trên cần thử nghiệm trên nhiều địa hình khác nhau. Trong thuật toán trên, các thông tin địa hình được sử dụng nhằm phục vụ trong quá trình xây dựng cây dòng chảy tích lũy. Theo đó, thuật toán sử dụng phương pháp hướng heuristics thay vì tổ hợp các thay đổi hướng dòng chảy sẽ làm phức tạp tổ hợp tính toán.

Tuy nhiên, để thuật toán được ứng dụng thực tiễn, việc chuẩn bị dữ liệu địa hình, phân tích địa hình (ánh xạ địa hình) và chọn phương pháp tính tích lũy dòng chảy là một vấn đề cần giải quyết trong thực tiễn. Vì ứng với mỗi phương pháp tính tích lũy dòng chảy, việc đổi hướng hoặc thay đổi tỉ lệ dòng chảy là sẽ ảnh hưởng đến tiêu chí thay đổi địa hình, cụ thể là các vấn đề thực hiện trong thực tiễn như: đào kênh hoặc nâng cao đường.

**LỜI CẢM ƠN:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số C2014-48-01

# Proposed an algorithm to reducing flow accumulation in terrain for flooding avoidance

- **Khưu Minh Cảnh**
- **Lê Trung Chơn**
- **Trần Văn Hoài**

Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM

## ABSTRACT

*Flooding is a serious urban problem, especially in HoChiMinh city in recent years. Many researches for flow accumulation by terrain have been proposed. Accordingly, terrains are splitted to grids. Single or multiflow algorithms will theoretically show the accumulated water trend. So that, to reduce flooding, increasing road or extending drainage*

*system is common work. However, the consider things is what will be influence and impact: locally or globally on the whole calculated areas. In this paper, the authors propose the firstly heuristics graph-theoretical spatial analysis algorithm to redirecting the flow for archiving the accumulation beyond one determined threshold value.*

**Key words:** GIS, spatial analysis, graph theory, flow accumulation algorithm.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Chaudhry, M.H., Open-Channel Flow, Second Edition, Springer, New York, NY, 2007, 523 pp
- [2]. Hiep-Thuan Do, S'ébastien Limet, Emmanuel Melin, "Parallel Computing Flow Accumulation in Large Digital Elevation Models", ICCS 2011.
- [3]. O'Callaghan & Mark, Thuật toán D8 về tích lũy dòng chảy, 1984.
- [4]. Croos, sách "Theory and algorithms for linear optimization".
- [5]. Wikipedia về Centered tree: [http://en.wikipedia.org/wiki/Centered\\_tree](http://en.wikipedia.org/wiki/Centered_tree)
- [6]. ESRI, Phần mềm ArcHydro trên môi trường ArcMap.
- [7]. Phan Quốc Khánh, Trần Huệ Nương, sách "Quy hoạch tuyến tính", Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia, 2000.
- [8]. Nguyễn Duy Tiến, giáo trình "Các mô hình xác suất và ứng dụng – Phần 1: Xích Markov và ứng dụng", Đại học Quốc Gia Hà Nội.