



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Đánh giá khả năng của phép lọc hình thái trong phân loại điểm địa hình tự động từ đám mây điểm UAV

Lã Phú Hiến ^{1,*}, Nguyễn Quang Minh ¹, Hoàng Anh Tuấn ¹, Đào Văn Khánh ¹, Trần Anh Tuấn ¹

¹ Khoa Trắc địa Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
 Nhận bài 28/01/2017
 Chấp nhận 16/3/2017
 Đăng online 28/04/2017

Từ khóa:
 Xử lý ảnh UAV
 DEM
 Phép lọc hình thái

TÓM TẮT

Ở Việt Nam, vài năm trở lại đây công nghệ UAV đang dần được ứng dụng rộng rãi trong dân sự nói chung cũng như trong công tác trắc địa – bản đồ nói riêng. Một trong những ưu điểm nổi bật của UAV là chúng ta có thể tạo ra đám mây điểm 3D dày đặc từ các cặp ảnh lập thể chụp bằng UAV, từ đó có thể tạo mô hình số bề mặt (DSM) hay mô hình số địa hình (DEM), trong đó DEM là sản phẩm được ứng dụng nhiều trong trắc địa địa hình. Tuy nhiên, bước đầu tiên để tạo DEM là phải phân loại được điểm địa hình trong đám mây điểm 3D. Hiện nay, một số thuật toán phân loại tự động đám mây điểm đã được nghiên cứu, tuy nhiên việc lựa chọn thuật toán phù hợp là không dễ dàng. Trong nghiên cứu này chúng tôi thử nghiệm lọc đám mây điểm UAV bằng phương pháp tự động dựa trên phép lọc hình thái, phương pháp này đang được ứng dụng trong phần mềm Agisoft PhotoScan Professional. Kết quả cho thấy, ở khu vực quang đãng, thuật toán này cho kết quả rất tốt, sai số trung phương chênh cao giữa DEM và điểm đo là 10.4cm. Tuy nhiên ở những khu vực địa vật phức tạp nhiều cây bụi thì thuật toán này chưa loại bỏ được hết các điểm không thuộc địa hình, sai số trung phương chênh cao là 39.6cm. Sai số này gần như được khắc phục khi sử dụng phương pháp lọc thủ công ở những khu vực này. Như vậy, để lọc đám mây điểm hiệu quả bằng phương pháp lọc hình thái cần phải kết hợp với phương pháp lọc thủ công.

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Ngày nay, các thiết bị bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicles-UAV) đang ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực dân sự cũng như quân sự. Đặc biệt là các loại UAV cỡ nhỏ với giá thành thấp nhưng vẫn có khả năng

cung cấp ảnh chụp với độ phân giải cao, chất lượng tốt. Trong lĩnh vực trắc địa, UAV được ứng dụng chụp ảnh địa hình để tạo mô hình 3D, thành lập bản đồ tỷ lệ lớn. Hiện nay, các phần mềm mã nguồn mở và phần mềm thương mại có khả năng xử lý ảnh chụp bằng UAV hoàn toàn tự động, xây dựng các sản phẩm bản đồ như mô hình số bề mặt, mô hình số độ cao, bản đồ trực ảnh, bản đồ 3D. Do đó, người sử dụng công nghệ này

*Tác giả liên hệ
 E-mail: hien.phu.la@gmail.com

không cần thiết phải có kiến thức quá sâu về công nghệ đo ảnh truyền thống (Bùi Tiến Diệu và nnk, 2016).

Một trong những ưu điểm nổi bật của UAV là chúng ta có thể tạo ra đám mây điểm 3D với mật độ dày đặc từ các ảnh chụp lập thể, từ đó có thể tạo mô hình số bề mặt (DSM) hay mô hình số địa hình (DEM) (Gevaert và nnk, 2016). Như chúng ta đã biết, DEM mô tả bề mặt trái đất khi không có các yếu tố địa vật như nhà, cây, v.v... Do vậy, bước đầu tiên khi tạo DTM là phải loại bỏ các điểm không phải là điểm địa hình khỏi đám mây điểm 3D (Serifoglu và nnk 2016). Có rất nhiều thuật toán lọc điểm địa hình từ đám mây điểm đã được nghiên cứu và phát triển, có thể kể tới một số thuật toán như: lọc khối cực tiểu (Block-minimum filtering), lọc hình thái (Morphological filtering), cô đặc lũy tiến (Progressive densification), lọc dựa trên phương pháp phân mảnh (Segment-based filtering) (Chen và nnk, 2017). Mỗi thuật toán đều có ưu nhược điểm riêng, hơn nữa nếu địa hình có những thay đổi đột ngột thì việc lọc điểm sẽ rất khó khăn (Meng và nnk, 2009). Do vậy việc lựa chọn thuật toán nào cho phù hợp cần cân nhắc nhiều khía cạnh.

Trong nghiên cứu này chúng tôi thử nghiệm tạo DEM từ đám mây điểm UAV phân loại tự động bằng phương pháp dựa trên phép lọc hình thái. DEM này được so sánh với DEM tạo bằng phương pháp thủ công và so sánh với một số điểm đo thực địa để đánh giá độ chính xác, từ đó làm cơ sở để đánh giá khả năng ứng dụng của DEM tạo tự động bằng phương pháp lọc hình thái trong công tác thành lập bản đồ địa hình.

2. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm 55 ảnh chụp lập thể bằng UAV DJI-Phantom 4 với các tham số của camera được thể hiện trong Bảng 1, chụp tại khu vực công viên Ngoại giao đoàn, Xuân Đỉnh, Bắc Từ Liêm, Hà Nội. Ca bay chụp được tiến hành vào ngày 07 tháng 01 năm 2017, trong điều kiện gió nhẹ, nắng nhẹ, độ cao bay chụp là 70m. Sơ đồ ca bay được minh họa trong Hình 1, các chấm đỏ là vị trí tâm chụp ảnh, dấu cộng màu xanh nước biển là vị trí các điểm khống chế ảnh ngoại nghiệp (Ground Control Point-GCP), ảnh nền lấy từ nguồn Google Earth, tuy nhiên đây là ảnh chụp cũ, hiện tại khu Công viên Ngoại giao đoàn đã cơ bản được hoàn thiện (xem Hình 6(d)).

Tọa độ của 5 điểm GCP được đo bằng máy toàn đạc điện tử, tọa độ các điểm này trong hệ tọa độ VN-2000 múi 3 độ, kinh tuyến trực 105^o được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Một số thông số của camera sử dụng trên UAV DJI-Phantom 4.

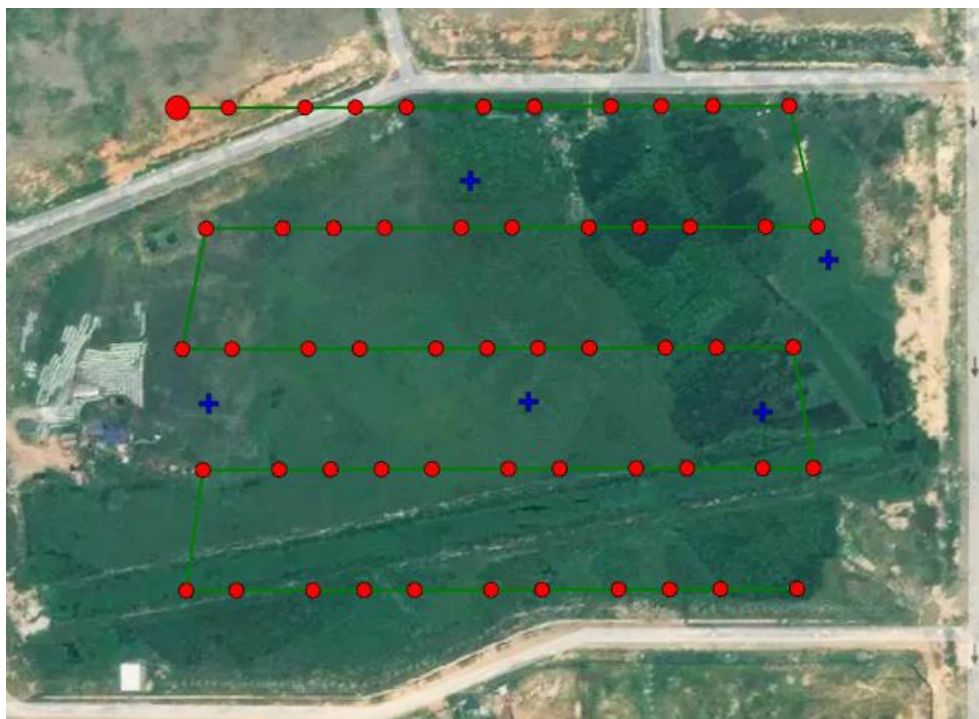
| | |
|-----------------|--|
| Loại cảm biến | 1"CMOS 20M |
| Ống kính | FOV 84° 8.8mm/24mm |
| Tốc độ cửa chớp | 8 - 1/2000s (Chụp cơ) 8 - 1/8000s (Chụp điện) |
| Kích thước ảnh | 5472 × 3648 (Tỷ lệ 3:2) 4864 × 3648 (Tỷ lệ 4:3) 5472 × 3078 (Tỷ lệ 16:9) |
| Định dạng ảnh | JPEG, DNG |

Bảng 1. Tọa độ các điểm GCP trong hệ tọa độ VN-2000 múi 3 độ, kinh tuyến trực 105^o.

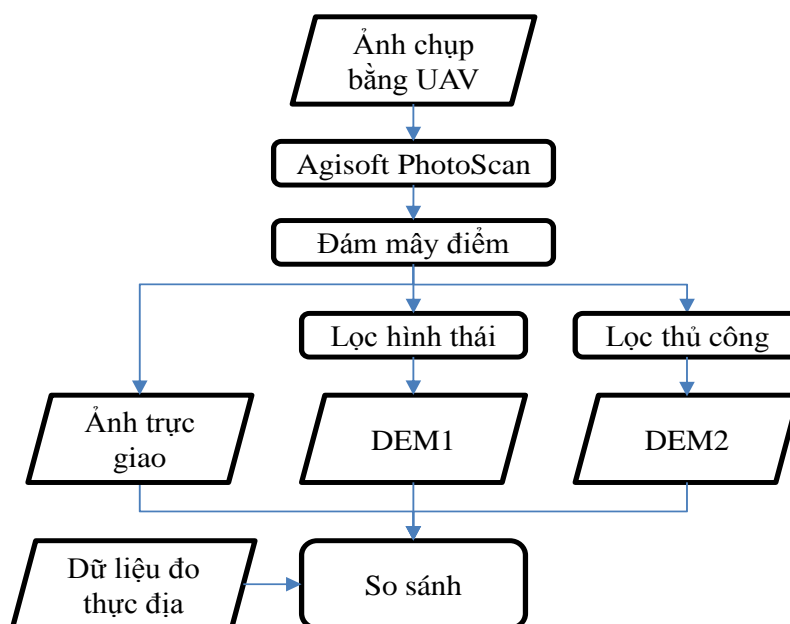
| Điểm | X (m) | Y (m) | H (m) |
|------|-------------|------------|-------|
| 1 | 2330432.594 | 582483.875 | 6.923 |
| 8 | 2330402.727 | 582624.400 | 7.598 |
| 2 | 2330343.854 | 582598.825 | 6.255 |
| 9 | 2330347.390 | 582507.083 | 6.621 |
| 10 | 2330346.000 | 582381.808 | 6.315 |

3. Phương pháp thực nghiệm

Phương pháp lọc hình thái được sử dụng trong phần mềm Agisoft PhotoScan Professional để lọc điểm địa hình từ đám mây điểm UAV, từ đó tạo DEM từ tập hợp các điểm địa hình. Ngoài ra, phần mềm này cũng hỗ trợ phân loại đám mây điểm bằng phương pháp thủ công (Agisoft, 2017). Do đó, trong phần thực nghiệm này chúng tôi sử dụng phần mềm Agisoft PhotoScan Professional để xử lý ảnh UAV. Quá trình thực nghiệm gồm 4 bước chính (xem Hình 2): 1. Xử lý ảnh UAV bằng phần mềm Agisoft PhotoScan Professional tạo đám mây điểm dày đặc (Dense point cloud); 2. Phân loại điểm địa hình từ đám mây điểm bằng phương pháp tự động sử dụng thuật toán lọc hình thái, và bằng phương pháp thủ công. 3. Tạo ảnh trực giao và tạo DEM từ điểm địa hình đã phân loại; 4. So sánh DEM tạo ra từ tập hợp điểm địa hình phân loại tự động bằng thuật toán lọc hình thái (DEM1-DEM tạo tự động), và lọc thủ công (DEM2-DEM thủ công), và tính sai số độ cao của DEM tại một số điểm đo thực địa.



Hình 1. Sơ đồ ca bay chụp bằng UAV DJI-Phantom 4 tại khu vực Công viên Ngoại giao đoàn, Xuân Đình, Bắc Từ Liêm, Hà Nội.



Hình 2. Sơ đồ phương pháp thực nghiệm.

3.1 Phương pháp lọc hình thái (Morphological filtering)

Ban đầu phương pháp lọc hình thái được phát triển cho dữ liệu dạng raster, tuy nhiên nó cũng có

thể được áp dụng trực tiếp trên dữ liệu dạng đám mây điểm mà không cần phải chuyển sang dạng dữ liệu raster (Vosselman và Mass, 2010; Vosselman 2000) đã phát triển một thuật toán có thể sử dụng để lọc đám mây điểm dựa trên

phương pháp lọc hình thái này. Với mỗi điểm, một cửa sổ tìm kiếm sẽ được thiết lập với một kích thước đặt trước. Khoảng cách ngang và chênh cao so với các điểm còn lại trong cửa sổ này sẽ được tính. Chênh cao lớn nhất cho phép được mô tả bởi một hàm của khoảng cách ngang (Vosselman và Mass, 2010). Nếu chênh cao lớn hơn chênh cao lớn nhất tính theo hàm trên thì sẽ được gán là điểm địa vật. Như vậy sau khi cửa sổ tìm kiếm chạy qua tất cả các điểm thì mỗi điểm sẽ được phân loại thành điểm địa hình hoặc điểm địa vật (Vosselman và Mass, 2010).

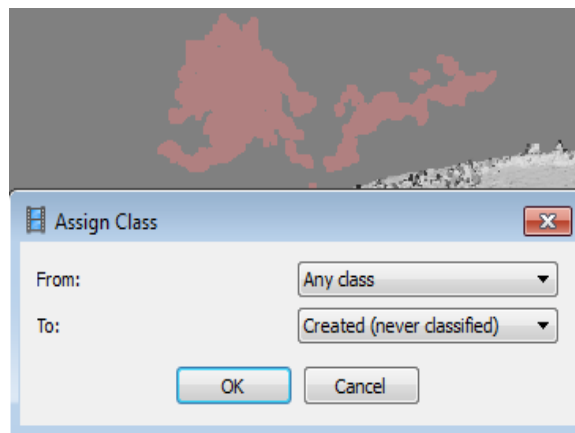
Phương pháp lọc hình thái này cũng được sử dụng trong phần mềm Agisoft PhotoScan Professional để lọc đám mây điểm (Agisoft, 2017). Trong phần mềm này, quá trình phân loại đám mây điểm tự động bao gồm 2 bước. Đầu tiên đám mây điểm sẽ được chia thành các ô vuông, kích thước của ô vuông được xác định bằng tham số Cell size (xem Hình 5), tham số này nên được xác định dựa vào kích thước của đối tượng địa vật lớn nhất hay kích thước của khu vực lớn nhất mà không chứa điểm địa hình nào. Trong mỗi ô vuông, điểm có độ cao thấp nhất sẽ được lọc ra. Mạng tam giác không đều (TIN) tạo bởi các điểm này sẽ tạo nên DEM gần đúng. Bước thứ hai, các điểm mới sẽ được phân loại vào lớp địa hình nếu thỏa mãn hai điều kiện:

-Điều kiện 1: Nằm trong 1 khoảng cách nhất định từ một điểm thuộc lớp địa hình (điểm đang xét), điều kiện này được thể hiện bằng tham số Max distance (Hình 5), tham số này được xác định dựa vào độ thay đổi về độ cao của bề mặt địa hình.

-Điều kiện 2: Góc giữa mặt DEM và đường nối giữa điểm mới này và 1 điểm địa hình nhỏ hơn một góc cho trước, điều kiện này được thể hiện bằng tham số Max angle (Hình 5), với địa hình tương đối bằng phẳng nên sử dụng giá trị mặc định 15° , với địa hình dốc đứng nên đặt giá trị của tham số này lớn hơn; trong trường hợp có nhiều địa vật nhỏ bị phân loại vào lớp địa hình thì nên giảm giá trị Max distance và Max angle (Agisoft, 2017). Bước thứ hai này được lặp đi lặp lại cho đến khi toàn bộ điểm được phân loại.

3.2 Lọc điểm địa hình từ đám mây điểm bằng phương pháp thủ công

Việc lọc điểm địa hình từ đám mây điểm bằng phương pháp thủ công được tiến hành trên phần mềm Agisoft PhotoScan Professional. Các điểm



Hình 3. Lựa chọn đám mây điểm và đưa vào lớp không phải điểm địa hình theo phương pháp thủ công.

địa hình và địa vật được phân biệt bằng cách quan sát đám mây điểm ở nhiều góc nhìn khác nhau, sau đó so sánh với ảnh trực giao để phân biệt đâu là điểm địa hình, đâu là điểm địa vật. Sau đó sử dụng các công cụ đánh dấu điểm sẵn có trong phần mềm Agisoft PhotoScan để lựa chọn các điểm này và đưa chúng vào lớp đã được xác định (Hình 3). Tuy nhiên để giảm bớt khối lượng công việc, chúng tôi chỉ phân loại thủ công ở những khu vực nhiều cây bụi, một số khu vực bờ ngăn giữa đường và khu vực trồng cây cảnh, nơi mà các phương pháp phân loại tự động thường không hiệu quả.

3.3. Đánh giá độ chính xác

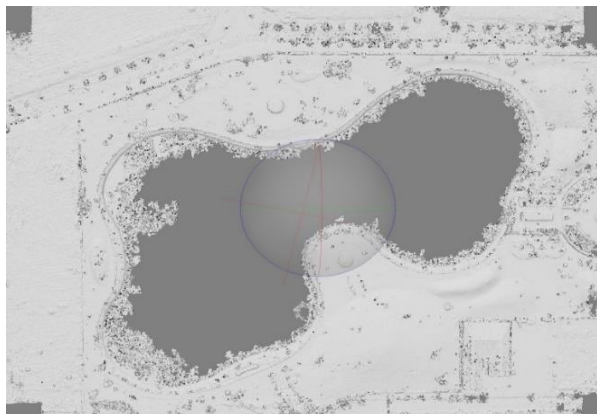
DEM tạo ra từ đám mây điểm phân loại tự động bằng phương pháp lọc hình thái được so sánh với DEM tạo ra từ đám mây điểm phân loại thủ công và một số điểm đo thực địa. Việc đánh giá độ chính xác được tiến hành bằng hai phương pháp: 1. Tính chênh cao giữa DEM1, DEM2 theo phương trình (1), đối chiếu với ảnh trực giao và so sánh chênh cao giữa hai DEM này bằng mắt thường; 2. Tính chênh cao giữa độ cao đo thực địa và độ cao chiết tách từ DEM1, DEM2 tại một số điểm theo phương trình (2), và sai số trung phương (RMSE) được tính bằng phương trình (3).

$$dDEM = DEM1 - DEM2 \quad (1)$$

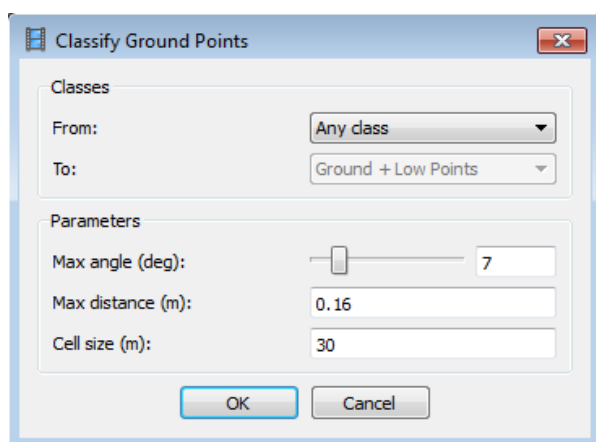
$$dH_i = H_{i_{DTM1}} - H_{i_{td}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{[dH^2]}{n}} \quad (3)$$

4. Kết quả thực nghiệm



Hình 5. Đám mây điểm dày đặc thu được sau khi xử lý ảnh chụp bằng UAV.



Hình 5. Thông số thiết đặt để phân loại tự động đám mây điểm bằng phương pháp lọc hình thái trong phần mềm Agisoft PhotoScan.

4.1. DEM thu được từ kết quả phân loại tự động đám mây điểm UAV bằng phương pháp lọc hình thái

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng phần mềm Agisoft PhotoScan Professional để xử lý ảnh chụp bằng UAV. Sau khi xử lý ảnh với 5 điểm GCP có tọa độ nằm trong hệ tọa độ VN-2000 múi 3 độ, kinh tuyến trực 105⁰ (xem Bảng 2), đám mây điểm dày đặc (xem Hình 4) thu được có mật độ 293 điểm/m². Đám mây điểm này được phân loại tự động bằng phần mềm Agisoft PhotoScan với các thông số được thiết đặt như Hình 5. Các thông số này được coi là tối ưu cho khu vực nghiên cứu, để lựa chọn bộ tham số này chúng tôi đã thay đổi các tham số nhiều lần và so sánh các kết quả thu được với nhau bằng mắt thường, sau đó lựa chọn tham số cho kết quả tốt nhất. Sau khi phân loại, đám

mây điểm sẽ được phân thành 3 lớp: 1. Các điểm địa hình (ground); 2. Các điểm nhiễu (noise); 3. Các điểm thuộc lớp khác (Created). Sau khi phân loại được đám mây điểm, tập hợp các điểm thuộc lớp địa hình sẽ được sử dụng để tạo DEM như Hình 6(a).

4.2. DEM thu được từ kết quả phân loại thủ công đám mây điểm UAV

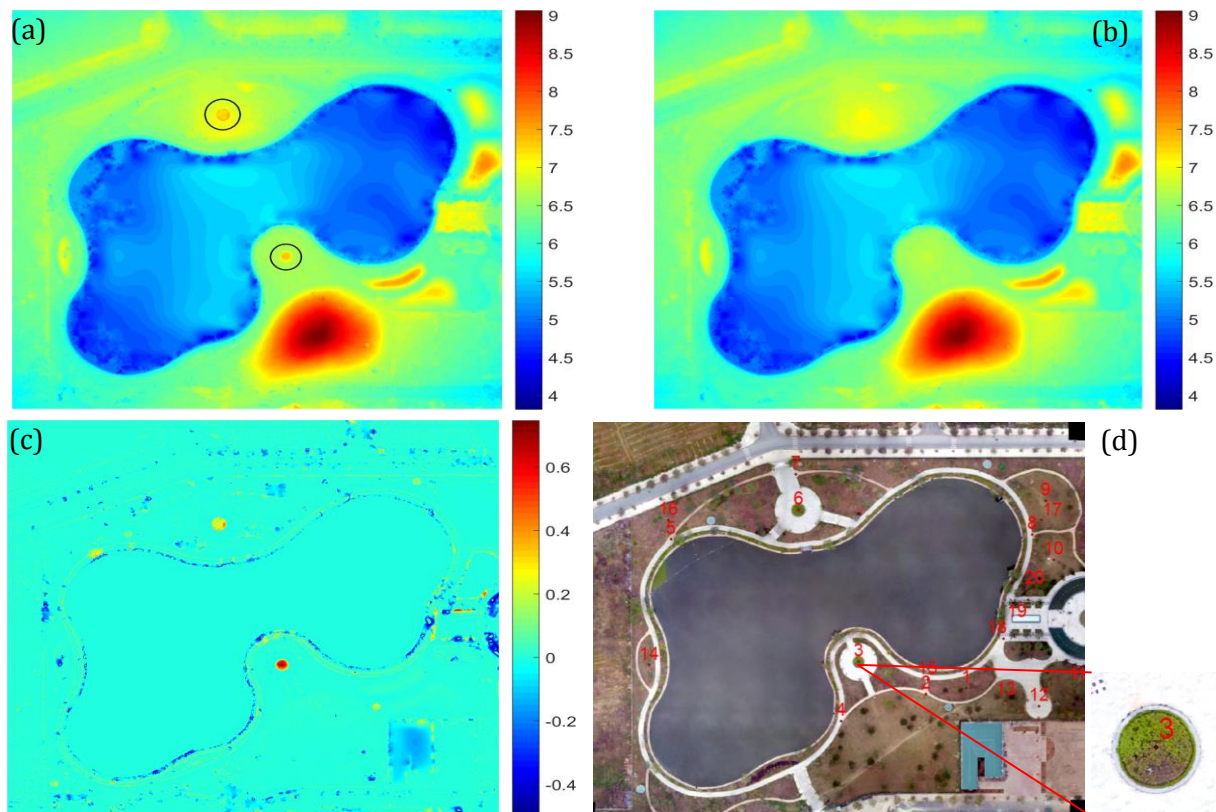
Tương tự như khi phân loại bằng phương pháp tự động, các điểm địa hình cũng được phân loại vào một lớp riêng gọi là lớp Ground, các điểm còn lại sẽ được phân loại vào một lớp gọi là lớp Created. Chỉ các điểm thuộc lớp địa hình mới được sử dụng để tạo DEM. DEM tạo từ đám mây điểm phân loại thủ công được thể hiện ở Hình 6(b).

4.3. Đánh giá độ chính xác

Hình 6(c) thể hiện độ chênh giữa DEM tạo tự động (Hình 6(a)) bằng phương pháp lọc hình thái và DEM tạo thủ công (Hình 6(b)). So sánh bằng mắt thường chúng ta có thể thấy rằng một số điểm lồi lên (khu vực vòng tròn đen) trên DEM tạo tự động đã gần như được loại bỏ hoàn toàn ở DEM tạo thủ công. Đối chiếu với ảnh trực giao (Hình 6(d)) thì các vị trí này chủ yếu nằm ở khu vực cây bụi, hoặc các bờ ngăn thấp giữa đường và khu vực trồng cỏ tạo cảnh quan. Một số khu vực chênh cao có giá trị âm là do một số điểm nhiễu chưa được loại bỏ, hơn nữa việc phân loại đám mây điểm thủ công tốn thời gian nên các tác giả tạm thời bỏ qua một số khu vực.

Bên cạnh việc giải đoán bằng mắt, một số điểm đo thực địa bằng máy toàn đạc điện tử đã được sử dụng để tính sai số chênh cao giữa độ cao chiết tách từ DEM tạo tự động, từ DEM tạo thủ công và độ cao đo thực địa. Kết quả tính toán được thống kê trong Bảng 3. Trong bảng này các giá trị chênh cao lớn nhất (CCLN) và chênh cao nhỏ nhất (CCNN) được tính từ trị tuyệt đối của giá trị chênh cao giữa DEM và điểm đo thực địa.

Kết quả ở Bảng 1 cho thấy hầu hết các điểm ở khu vực quang đãng, có độ cao trên DEM tự động bằng độ cao trên DEM thủ công, và không sai lệch nhiều so với độ cao đo thực địa. Chênh cao lớn nhất 22.1 cm, chênh cao nhỏ nhất 1cm, sai số trung phương 10.4cm. Tuy nhiên ở khu vực có nhiều cây bụi (các điểm 3, 6, 20), thì chênh cao giữa DEM tự động và độ cao đo thực địa tương đối



Hình 6. (a) DEM tạo tự động; (b) DEM tạo thủ công; (c) Chênh cao giữa DEM1 và DEM2; (d) Ảnh trực giao và các điểm kiểm tra.

lớn: lớn nhất lên tới 58.9cm, nhỏ nhất cũng tới 20.3cm, sai số trung phương 39.6cm.

Điều này có thể là do các thông số của phép lọc hình thái áp dụng cho cả khu vực nghiên cứu không phù hợp với một số khu vực cục bộ. Ở các khu vực này sau khi áp dụng phương pháp lọc điểm thủ công thì độ lệch độ cao đã giảm đi nhiều, độ lệch lớn nhất chỉ còn 11.4cm, sai số trung phương cũng giảm xuống chỉ còn 9.4cm. Ở khu vực quang đặng có một số điểm có độ lệch độ cao tương đối lớn, trên 10cm như các điểm 11, 12, nguyên nhân có thể là do các điểm này nằm ở rìa khu vực chụp ảnh, xa các điểm khống chế ảnh ngoại nghiệp. Sau khi áp dụng phương pháp lọc thủ công, sai số trung bình giữa điểm đo thực địa và DEM còn khoảng 10cm, sai số này vẫn tương đối lớn nếu so với một số nghiên cứu nước ngoài: trong nghiên cứu của Roze và nnk (2014) độ chính xác về độ cao của DEM tạo từ dữ liệu UAV là 3.5cm; trong nghiên cứu của Cryderman và nnk (2014) thì độ chính xác về độ cao của DEM thu được từ dữ liệu UAV là 4.4cm. Lý do có thể là do UAV được sử dụng trong nghiên cứu này là một loại UAV giá rẻ, DJI-Phantom 4 có giá khoảng 1199 USD (DIJ

Store), tương đương khoảng 27 triệu VNĐ, có thể nói là một trong những loại rẻ nhất hiện nay, do đó chất lượng dữ liệu thu được có thể không được tốt. Theo Thông tư Số 68/2015/TT-BTNMT về Quy định kỹ thuật đo đạc trực tiếp địa hình phục vụ thành lập bản đồ địa hình và cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, thì với bản đồ tỉ lệ 1:500 khoảng cao đều 0.5m thì sai số độ cao giới hạn là 12.5cm (Bộ TNMT, 2015). Do đó, trong trường hợp này nếu chúng ta chỉ trích các điểm riêng lẻ trên DEM tạo tự động và tránh các điểm trên khu vực nhiều cây bụi, thì độ chính xác về độ cao vẫn rất tốt, hoàn toàn có thể đảm bảo độ chính xác thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:500 với khoảng cao đều 0.5m.

5. Kết luận

Bài báo này đã tiến hành đánh giá khả năng lọc điểm địa hình tự động để tạo DEM từ đám mây điểm UAV bằng phương pháp lọc hình thái có sẵn trong phần mềm Agisoft PhotoScan Professional. Kết quả cho thấy ở khu vực quang đặng, ít địa vật nhỏ như cây bụi, thuật toán này cho kết quả rất tốt,

tuy nhiên ở những khu vực địa vật phức tạp, nhiều cây bụi thì thuật toán này chưa loại bỏ được hết các điểm không thuộc địa hình. Kết quả so sánh DEM tạo tự động bằng phương pháp lọc hình thái với một số điểm đo thực địa cho thấy, sai số trung phương độ cao ở khu vực quang đặng là 10.4cm, ở khu vực có nhiều cây bụi là 39.6cm. Tuy nhiên, sai số DEM tạo tự động ở khu vực có nhiều cây bụi hầu như đã được khắc phục trên DEM tạo thủ công. Như vậy khi sử dụng phần mềm Agisoft PhotoScan Professional để tạo DEM từ ảnh chụp bằng UAV cần kết hợp cả phương pháp phân loại điểm địa hình tự động và phương pháp thủ công nhằm tạo ra DEM có độ chính xác tốt nhất, đặc biệt là ở những khu vực có nhiều địa vật nhỏ hoặc địa hình thay đổi đột ngột. Các thông số để phân loại đám mây điểm tự động bằng phương pháp lọc hình thái không thể phù hợp cho cả một khu vực rộng lớn, nhất là khu vực có địa hình phức tạp, với nhiều đối tượng địa vật nhỏ, hoặc địa hình thay đổi

đột ngột. Đối với những khu vực này, để lọc đám mây điểm hiệu quả bằng phương pháp lọc hình thái cần phải kết hợp với phương pháp lọc thủ công. Tuy nhiên, nếu sử dụng phương pháp trích điểm thủ công để lấy các điểm địa hình thì có thể sử dụng tập hợp điểm này để làm bản đồ địa hình tỉ lệ lớn, có thể đạt tỷ lệ 1:500 với khoảng cao đều 0.5m.

Tài liệu tham khảo

Agisoft, 2017. Tutorial: Dense Cloud Classification and DTM Generation with Agisoft PhotoScan Professional, [http://www.agisoft.com/index.php?id=35].

Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2015. Quy định kỹ thuật đo đạc trực tiếp địa hình phục vụ thành lập bản đồ địa hình và cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000. *Thông tư số 68/2015/TT-BTNM*.

Bảng 3. Thống kê độ cao và chênh cao giữa DEM tạo tự động, DEM tạo thủ công và điểm đo thực địa.

| Tên điểm | Độ cao điểm (m) | | | Chênh cao so với thực địa (m) | |
|------------------------------|-----------------|-------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| | Thực địa | DEM tự động | DEM thủ công | DEM tự động | DEM thủ công |
| Điểm ở khu vực quang đặng | | | | | |
| 1 | 7.500 | 7.519 | 7.519 | -0.019 | -0.019 |
| 2 | 6.400 | 6.487 | 6.487 | -0.087 | -0.087 |
| 4 | 6.300 | 6.404 | 6.404 | -0.104 | -0.104 |
| 5 | 6.200 | 6.298 | 6.242 | -0.098 | -0.042 |
| 7 | 6.790 | 6.700 | 6.705 | 0.090 | 0.085 |
| 8 | 6.100 | 6.002 | 6.002 | 0.098 | 0.098 |
| 9 | 7.200 | 7.096 | 7.096 | 0.104 | 0.104 |
| 10 | 7.670 | 7.585 | 7.585 | 0.085 | 0.085 |
| 11 | 7.300 | 7.079 | 7.079 | 0.221 | 0.221 |
| 12 | 6.250 | 6.093 | 6.093 | 0.157 | 0.157 |
| 13 | 8.300 | 8.200 | 8.200 | 0.100 | 0.100 |
| 14 | 7.200 | 7.289 | 7.289 | -0.089 | -0.089 |
| 15 | 6.250 | 6.338 | 6.338 | -0.088 | -0.088 |
| 16 | 6.500 | 6.490 | 6.490 | 0.010 | 0.010 |
| 17 | 6.670 | 6.591 | 6.591 | 0.079 | 0.079 |
| 18 | 6.210 | 6.198 | 6.190 | 0.012 | 0.020 |
| 19 | 6.150 | 6.025 | 6.002 | 0.125 | 0.148 |
| | | | CCNN | 0.010 | 0.010 |
| | | | CCLN | 0.221 | 0.221 |
| | | | RMSE | 0.104 | 0.104 |
| Điểm ở khu vực nhiều cây bụi | | | | | |
| 3 | 6.805 | 7.394 | 6.885 | -0.589 | -0.080 |
| 6 | 6.980 | 7.267 | 7.065 | -0.287 | -0.085 |
| 20 | 6.450 | 6.653 | 6.564 | -0.203 | -0.114 |
| | | | CCNN | 0.203 | 0.080 |
| | | | CCLN | 0.589 | 0.114 |
| | | | RMSE | 0.396 | 0.094 |

- Bùi Tiến Diêu, Nguyễn Cẩm Vân, Hoàng Mạnh Hùng, Đồng Bích Phương, Nhữ Việt Hà, Trần Trung Anh, Nguyễn Quang Minh, 2016. Xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ trực ảnh sử dụng công nghệ đo ảnh máy bay không người lái (UAV), *Hội nghị Khoa học: Đo đạc Bản đồ với ứng phó biến đổi khí hậu*, Hà Nội, tháng 7 - 2016.
- Chen, Z., Gao, B., and Devereux, B., 2017. State-of-the-Art: DTM Generation Using Airborne LIDAR Data, *Sensors* 17, 1-24.
- Cryderman, C., Bill Mah, S., Shufletoski, A., 2014. Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations, *Geomatica* 68, 309-317.
- Gevaert, C. M., Persello, C., Vosselman, G., 2016. Optimizing Multiple Kernel Learning for the Classification of UAV Data, *Remote Sensing* 8(12), 1-2.
- Meng, X., Wang, L., Silván-Cárdenas, J.L., Currit, N., 2009. A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64(1), 117-124.
- Roze, A., Zufferey, J.-C., Beyeler, A., and McClellan, A., 2014. eBee RTK accuracy assessment, Sensefly, White Paper, 7p [https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/sensefly/documents/eBee-RTK-Accuracy-Assessment.pdf].
- Serifoglu, C., Gungor, O., Yilmaz, V., 2016. Performance evaluation of different ground filtering algorithms for UAV-based point clouds, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLI-B1*, 245-251.
- Vosselman, G., 2000. Slope based filtering of laser altimetry data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33(B3/2: Part 3), 935- 942.
- Vosselman, G., and Hans-Gerd Mass, H.-G., 2010. *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing, UK.

ABSTRACT

Evaluation of morphological filtering in automatically classifying UAV-derived point cloud

Hien Phu La ¹, Minh Quang Nguyen ¹, Tuan Anh Hoang ¹, Khanh Van Dao ¹, Tuan Anh Tran ¹

¹ Faculty of Geomatics and Land administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam.

In Vietnam, in recent years, UAV has been being applied in civil generally and in surveying and mapping particularly. One of the most advantages of UAV is to provide a 3D dense cloud based on stereo image pairs taken by UAV, from which it is possible to obtain Digital Surface Model (DSM) or Digital Elevation Model (DEM), which is popularly used in topographical surveying. However, the very first step of generating a DEM is to classify ground and non-ground points. Recently, several automatic point cloud classification algorithms have been proposed, each method has its own advantages and limitations, therefore it is not easy to select appropriate one. This study conducted an experiment on filtering UAV-derived point cloud using morphological filtering, which is available in Agisoft PhotoScan Professional software. The results showed that, in area without dense shrub, morphological filtering can efficiently separate ground and non-ground points, Root-Mean-Squared Error (RMSE) of DEM generated from automatic classified point cloud and reference points was 10.4cm. However, in dense shrub areas, it is not efficient method, RMSE was 39.6cm. This was almost overcome when applying manual filtering in these areas. Therefore, it is necessary to combine morphological filtering and manual filtering to efficiently filter the point cloud.