



Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



Combination of morphological and distributional filtering for UAV - LiDAR point cloud density to establish the Digital Terrain Model



Anh Trung Tran ^{1,*}, Hanh Hong Tran ¹, Tuan Manh Quach ²

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Ha Noi, Vietnam

² Northern QT Trading and Construction Joint Stock Company, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:
Received 24th Apr. 2022
Revised 11th Aug. 2022
Accepted 05th Sept. 2022

Keywords:
DTM,
Filtering,
Land cover,
Point Cloud,
UAV-LiDAR.

ABSTRACT

Filtering the LiDAR point cloud based the Unmanned Aerial Vehicle (UAV - LiDAR) in the dense land cover areas to build a Digital Terrain Model (DTM) is a basic requirement of large-scale topographic mapping. The aim of this paper is to study the use of the Simple Morphological Filter (SMRF) with suitable parameters to separate the non-terrain points (trees, noise points, etc.) and the topographical points. The methods of this article are algorithmic programming and combining the two filtering algorithms including SMRF and distributed filtering. The various data input was studied in the Ba Be case study. These parameters include the grid width called G_{cell} (m), the radius of filters called n_{wd} and the threshold of the feature elevation called E_{th} (m). The point cloud of the terrain obtained after applying the SMRF continues to be filtered using distributional filter with the algorithm keeping only minimum elevation in the filtering window in order to remove the locations of high density of points. Then, it will contribute to lighten the point capacity to build DTM, to accurately interpolate the contour lines and to ensure the aesthetics of large-scale topographic maps. The results of the study are the formulas to estimate reasonable input parameters ($G_{cell} = 3$ m, $n_{wd} = 3$, $E_{th} = 0.2$ m) of the two filters for the establishment of a topographic map of 1:2000 scale, 1 m level in the Ba Be national forest, Bac Kan province, Vietnam.

Copyright © 2022 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

**Corresponding author*

E - mail: trantrunganh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(5).01



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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

Kết hợp lọc hình thái và lọc phân bố mật độ đám mây điểm UAV-LiDAR để xây dựng mô hình số địa hình

Trần Trung Anh ^{1,*}, Trần Hồng Hạnh ¹, Quách Mạnh Tuấn ²

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

² Công ty Cổ phần Xây dựng và Thương mại QT miền Bắc, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 24/4/2022

Sửa xong 11/8/2022

Chấp nhận đăng 05/9/2022

Từ khóa:

Đám mây điểm,

Lọc điểm,

Mô hình số địa hình

Thực phủ,

UAV-LiDAR.

TÓM TẮT

Việc lọc đám mây điểm LiDAR sử dụng thiết bị bay không người lái (UAV-LiDAR) ở khu vực có thực phủ dày đặc nhằm xây dựng mô hình số địa hình (DTM) là yêu cầu cơ bản của thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn. Bài báo có mục đích nghiên cứu sử dụng bộ lọc hình thái đơn giản (SMRF) với các tham số phù hợp để phân tách các điểm phi địa hình (điểm địa vật: cây cối, điểm nhiễu,...) và các điểm của bề mặt địa hình. Phương pháp nghiên cứu của bài báo là ứng dụng lập trình thuật toán và kết hợp hai thuật toán lọc là SMRF và lọc phân bố, thử nghiệm các tham số đầu vào khác nhau trên phạm vi nghiên cứu ở rừng quốc gia Ba Bể. Các tham số này gồm độ rộng khung lưới ô vuông tham chiếu G_{cell} (m), bán kính cửa sổ lọc n_{wd} và ngưỡng chiều cao địa vật E_{th} (m). Đám mây điểm của mặt đất địa hình sau phép lọc SMRF được tiếp tục lọc phân bố mật độ với thuật toán chỉ giữ điểm có độ cao thấp nhất trong cửa sổ lọc để loại bỏ các vị trí mật độ điểm cao. Từ đó phép lọc này góp phần nhẹ hóa dung lượng điểm để xây dựng DTM nội suy đường bình độ được trơn tru, hài hòa, chính xác và đảm bảo tính thẩm mỹ của bản đồ địa hình tỷ lệ lớn. Kết quả của nghiên cứu là các công thức ước tính tham số đầu vào hợp lý cho hai phép lọc ($G_{cell} = 3$ m, $n_{wd} = 3$, $E_{th} = 0,2$ m) đảm bảo thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:2000, đồng mức 1 m ở rừng quốc gia Ba Bể, tỉnh Bắc Kạn, Việt Nam.

© 2022 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

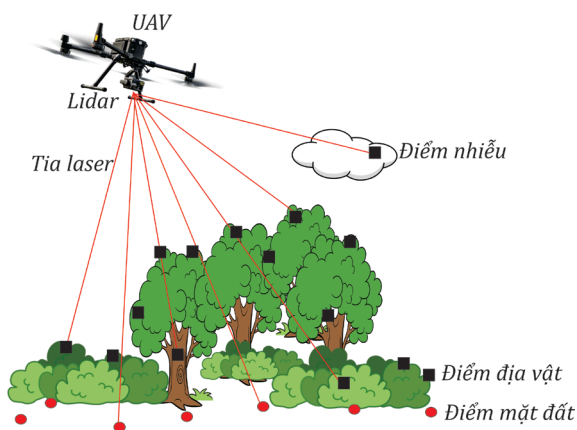
*Tác giả liên hệ

E - mail: trantrunganh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(5).01

1. Mở đầu

Công nghệ quét LiDAR (Light Detection and Ranging) với ưu thế cho ra sản phẩm trực tiếp là vị trí chính xác của các điểm của các đối tượng trên bề mặt (Baudalet, 2014). Tia laser quét có thể xuyên qua nhiều tầng đối tượng để tiếp cận với bề mặt địa hình dưới cùng ở khu vực có địa vật bên trên như nhà cửa, cây cối. Gần đây, phương tiện bay không người lái UAV (Unmanned Aerial Vehicle) mang theo thiết bị quét LiDAR tích hợp chụp ảnh số cung cấp điểm quét độ chính xác cao, vừa cung cấp sản phẩm bình đồ ảnh trực quan. Để thành lập bản đồ địa hình thì bình đồ ảnh cung cấp khả năng làm nền cho công tác số hóa địa vật, còn nội suy đường bình độ thì cần phải xây dựng bề mặt địa hình không có địa vật bên trên (Lin và nnk., 2010; Kraus và Pfeifer, 1998). Thiết bị UAV-LiDAR cung cấp đám mây điểm (Hình 1) của đa tầng thông tin đối tượng, đây chính là vấn đề cần xử lý để phân tách các đối tượng theo yêu cầu, đặc biệt là cần tách được địa vật (nhà cửa, cây cối,...) và điểm nằm trên bề mặt địa hình (Kraus và Pfeifer, 1998; Axelsson, 2000).



Hình 1. Đám mây điểm của UAV-LiDAR.

Trên thế giới, đã có nhiều nghiên cứu về các thuật toán lọc đám mây điểm nhằm thu nhận các điểm thuộc địa hình mặt đất. Các thuật toán lọc có thể chia thành 6 nhóm như: thuật toán phân đoạn/cụm, hình thái, quét hướng, đẳng cao, tam giác TIN, nội suy (Meng và nnk., 2010). Mỗi thuật toán đều có những ưu, nhược điểm riêng, độ chính xác khác nhau, áp dụng ở những khu vực khác nhau (Chen và nnk., 2021). Axelsson (2000) công bố thuật toán lọc dựa trên mô hình mạng tam giác không đều linh hoạt (TIN) với tập hợp các điểm

gốc được lấy từ tập dữ liệu ban đầu và lặp đi lặp lại thêm các điểm từ tập đáp ứng các tiêu chí liên quan đến thay đổi độ cao và hướng. Tỷ lệ sai số trung bình của phép lọc Axelsson đạt 4,82% và điểm Kappa trung bình cao nhất là 84,19%. Thuật toán lọc nội suy mạnh phân cấp (Hierarchical Robust Interpolation algorithm) có tỷ lệ sai số trung bình là 8,03% và Kappa trung bình đạt 75,27% (Kraus và Pfeifer, 1998). Thuật toán bộ lọc hình thái đơn giản SMRF (Simple Morphological Filter) được Pingel cùng cộng sự đã phát triển và công bố năm 2013 thông qua việc sử dụng một cửa sổ tăng tuyến tính và đơn giản ngưỡng độ dốc, cùng với một ứng dụng mới của kỹ thuật ánh xạ hình ảnh. Trong thử nghiệm này, các thông số đầu vào được nhóm tác giả gán với nhiều giá trị khác nhau, đạt được độ chính xác khá tốt (Kappa trung bình đạt 85%) cho địa hình vùng đô thị, chưa thử nghiệm ở khu vực thực phủ dày đặc, sản phẩm đám mây điểm chưa được phân bố mật độ hài hòa. Ưu điểm của thuật toán SMRF là đơn giản, Chen và nnk. (2021) đã hỗ trợ xây dựng hàm tính trên Matlab (Mathworks, 2022) nghiên cứu phát triển về cơ sở tính toán số đầu vào cho phép lọc SMRF và lọc phân bố mật độ cho dữ liệu đám mây điểm UAV-LiDAR.

Ở nước ta, Trần và nnk. (2015) nghiên cứu về khả năng ứng dụng công nghệ LiDAR xây dựng mô hình số địa hình vùng bãi bồi cửa sông ven biển trong điều kiện Việt Nam. Nghiên cứu này phân tích ưu thế của LiDAR và xây dựng quy trình công nghệ tổng quát, nghiên cứu về cơ sở đánh giá độ chính xác DEM thành lập bằng công nghệ LiDAR (Lê và Lương, 2008). Tuy nhiên, nghiên cứu này chưa phân tích sâu các phép lọc đám mây điểm; một số kỹ thuật để khai phá dữ liệu LiDAR để phân loại các đối tượng trên bề mặt địa hình như EM, K-Means, kNN, MCC được áp dụng trên một số phần mềm thương mại xử lý LiDAR (Nguyễn và nnk., 2015). Nhìn chung các nghiên cứu về LiDAR nói chung và các phép lọc đám mây điểm LiDAR nói riêng ở nước ta vẫn còn chưa được phong phú, đặc biệt về UAV-LiDAR.

Các nghiên cứu về LiDAR trong tương lai cần tập trung vào việc phát triển các phương pháp giải quyết ba vấn đề còn lại trong thách thức lọc điểm bề mặt đất gồm (1) bề mặt có địa hình gồ ghề hoặc độ dốc không liên tục, (2) rừng rậm nơi có những tán cây làm giảm sự xâm nhập của chùm tia laser và (3) những vùng có thảm thực vật thấp thường

bị nhiều bộ lọc mặt đất bỏ qua (Meng và nnk., 2010).

Các nghiên cứu đã gợi ý rằng LiDAR có thể là một trong những giải pháp để lập bản đồ địa hình ở các khu vực rừng rậm vì những tia laser có cơ hội tiếp cận mặt đất cao hơn (Meng và nnk., 2010). Do vậy, các tham số đầu vào của phép lọc SMRF được đề xuất cho kết quả lọc hợp lý và xây dựng thuật toán phép lọc phân bố mật độ cho hài hòa của đám mây điểm UAV-LiDAR. Đám mây điểm bề mặt đất sau khi lọc được sử dụng để xây dựng mô hình số địa hình, nội suy đường bình độ và ghi chú điểm độ cao đúng theo yêu cầu của bản đồ địa hình (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2015).

2. Dữ liệu và giải pháp

2.1. Khu vực nghiên cứu

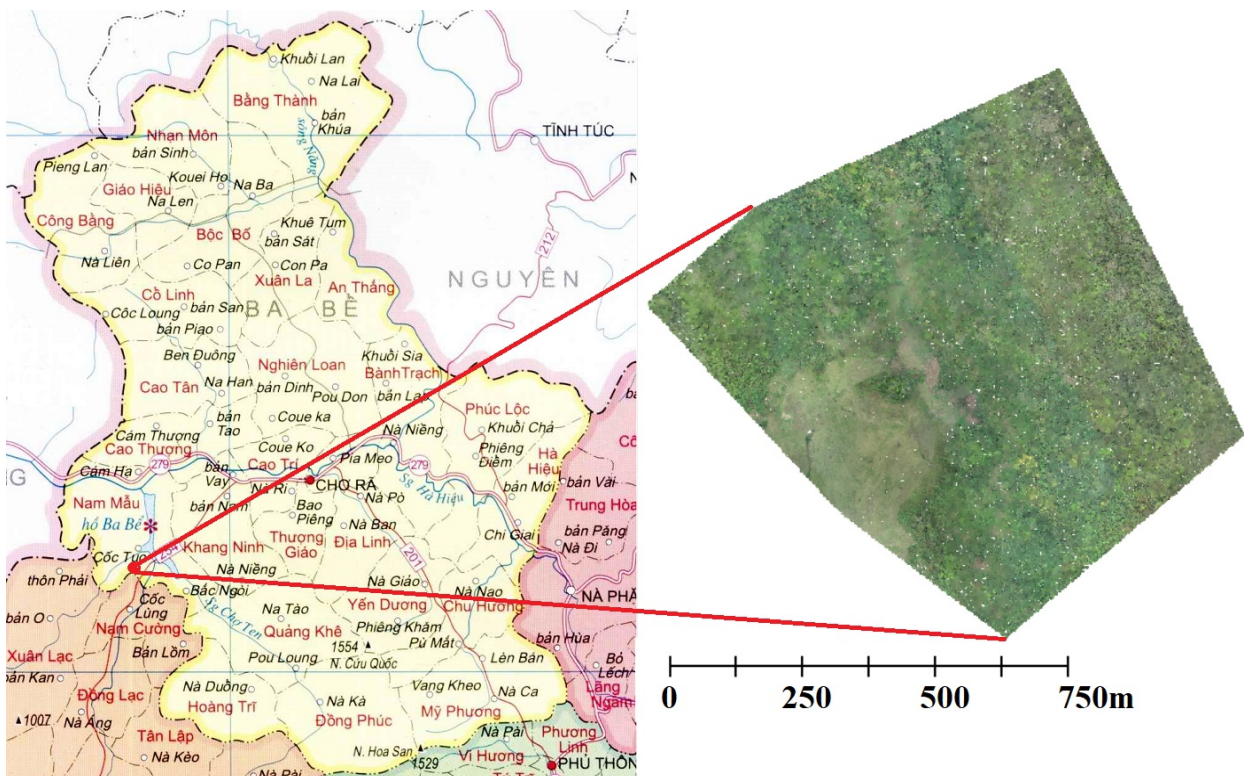
Vườn Quốc gia Ba Bể, tỉnh Bắc Kạn được thành lập theo Quyết định số 83/TTg ngày 10/11/1992 của Thủ tướng Chính phủ. Vườn quốc gia Ba Bể nằm ở phía tây bắc huyện Ba Bể, cách thành phố Bắc Kạn 68 km theo hướng tây bắc và cách thủ đô Hà Nội 250 km về phía bắc. Khu vực vườn quốc gia Ba Bể có tổng diện tích 44.750 ha, trong đó: Vùng lõi 10.048 ha, vùng đệm 34.702 ha.

Vùng lõi bao gồm: phân khu bảo vệ nghiêm ngặt 3.931 ha, phân khu phục hồi sinh thái 6.083 ha, phân khu hành chính dịch vụ 34 ha. Đây là một trong những vườn quốc gia có độ che phủ và tỷ lệ rừng nguyên sinh cao trong hệ thống rừng đặc dụng của Việt Nam và các khu vực núi đá vôi trên thế giới. Khu vực vườn quốc gia Ba Bể được che phủ trên 73,68% diện tích rừng kín, thường xanh, mưa ẩm nhiệt đới, trong đó kiểu rừng nguyên sinh ít bị tác động trên núi đá vôi được coi là mẫu chuẩn của hệ sinh thái rừng trên núi đá vôi đặc trưng cho vùng Đông Bắc Việt Nam và thế giới (Nguyễn, 2011).

Khu vực nghiên cứu thuộc xã Nam Mẫu, huyện Ba Bể, tỉnh Bắc Kạn, trong vườn quốc gia Ba Bể, ở vị trí 22°23'39" vĩ độ Bắc; 105°35'44" kinh độ Đông. Khu vực có đặc điểm địa hình đồi núi, chênh cao lớn 250÷620 m so với mực nước biển với thảm thực vật là rừng cây nguyên sinh dày đặc (Hình 2).

2.2. Thu thập và xử lý dữ liệu UAV-LiDAR

Công tác thu thập số liệu được tiến hành với thiết bị bay không người lái DJI M300 mang bộ tích hợp LiDAR chụp ảnh số Zenmule L1. Quá trình bay



Hình 2. Khu vực nghiên cứu vườn quốc gia Ba Bể, tỉnh Bắc Kạn.

được thiết kế bay theo dáng địa hình với độ cao bay chụp là 120 m, mật độ điểm quét LiDAR trung bình là 400 điểm/m²; diện tích khu thử nghiệm rộng 65 ha; tâm chụp được định vị chính xác trong hệ tọa độ VN2000, kinh tuyến trực 106°30', múi chiếu 3°; xử lý dữ liệu bay quét trên phần mềm DJI Terra; sản phẩm là đám mây điểm UAV-LiDAR gốc định dạng tệp LAS được đưa sang quá trình xử lý bóc tách địa hình mặt đất (Hình 3).

2.3. Thuật toán xử lý đám mây điểm

Mục đích xử lý đám mây điểm UAV-LiDAR là tách được các điểm địa hình mặt đất và giãn đều mật độ cho xây dựng mô hình số địa hình DTM giúp nội suy đường đồng mức chính xác, đảm bảo tính thẩm mỹ của bản đồ (Pingel và nnk., 2013; Meng và nnk., 2010; Chen và nnk., 2021; Nguyễn và nnk., 2015; Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2015).

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tiến hành 2 công đoạn chính, đầu tiên dùng thuật toán SMRF xử lý đám mây điểm UAV-LiDAR gốc để nhận được đám mây điểm mặt đất địa hình; Công đoạn sau tiếp tục xử lý đám mây điểm mặt đất địa hình bằng thuật toán phân bố mật độ để thu nhận kết quả là đám mây điểm bề mặt địa hình có mật độ phù hợp cho mục đích thành lập bản đồ địa

hình (DTM, đường đồng mức, điểm ghi chú độ cao). Quy trình kỹ thuật của quá trình lọc kết hợp 2 thuật toán được trình bày trong Hình 4.

2.3.1. Thuật toán SMRF

Thuật toán bộ lọc hình thái đơn giản (SMRF-Simple Morphological Filter) sử dụng một cửa sổ tăng tuyến tính và đơn giản ngưỡng độ dốc, cùng với một ứng dụng mới của kỹ thuật ánh xạ hình ảnh (Pingel và nnk., 2013) gồm 3 quá trình chính:

Quá trình 1. tạo bề mặt độ cao nhỏ nhất, gồm các bước chính như sau:

Bước 1. chia đám mây điểm vào các ô vuông theo vị trí xy, kích thước ô vuông gọi là G_{cell} .

Bước 2. tìm giá trị độ cao nhỏ nhất gán cho mỗi phần tử ô vuông đó (pixel).

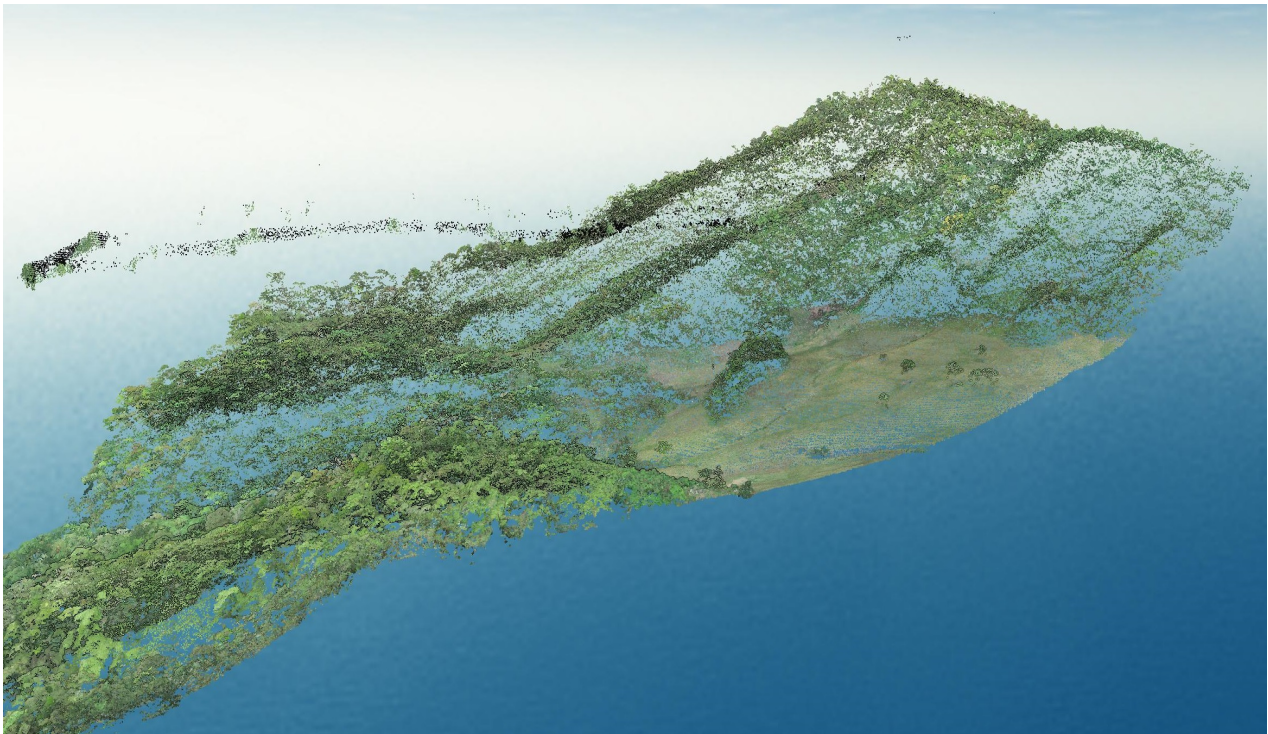
Bước 3. hợp nhất toàn bộ giá trị Z_{min} vào ma trận 2D ảnh raster để tạo bề mặt độ cao nhỏ nhất.

Quá trình 2. phân đoạn bề mặt, gồm các bước chính sau:

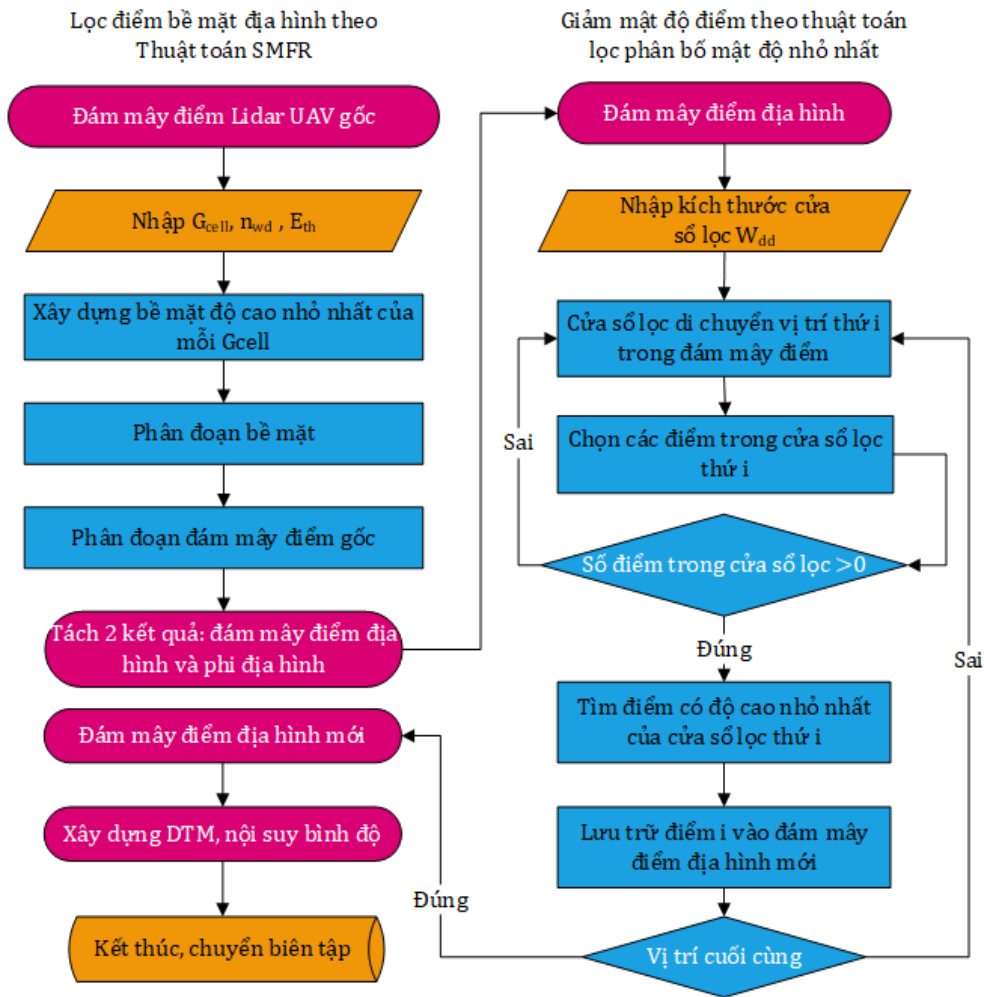
Bước 1. tiến hành mở hình thái trên bề mặt độ cao nhỏ nhất (Stenning và nnk., 2013).

Bước 2. cấu trúc phần tử và bán kính cửa sổ của đối tượng sẽ xác định vùng lân cận tìm kiếm cho hình thái (Stenning và nnk., 2013).

Bước 3. tính toán độ dốc giữa bề mặt độ cao nhỏ nhất và bề mặt mở tại mỗi phần tử lưới ô



Hình 3. Đám mây điểm UAV-LiDAR gốc ở khu vực vườn quốc gia Ba Bể, tỉnh Bắc Kạn.



Ghi chú: G_{cell} là kích thước của ô vuông; n_{wd} là độ rộng lớn nhất của cửa sổ; E_{th} là ngưỡng chênh lệch độ cao địa vật; W_{dd} là độ rộng cửa sổ lọc phân bố mật độ;

Hình 4. Quy trình kết hợp hai thuật toán SMFR và lọc phân bố mật độ trong xử lý đám mây điểm UAV-LiDAR (Pingel và nnk, 2013).

vuông pixel. Nếu sự khác biệt lớn hơn ngưỡng độ cao thì phân loại pixel là phi địa hình.

Thực hiện lặp đi lặp lại các bước từ 1 đến 3. Tăng bán kính cửa sổ lên 1 pixel trong mỗi lần lặp cho đến khi nó đạt đến bán kính cửa sổ lớn nhất.

Bước 4. kết quả cuối cùng của quá trình lặp lại là một kết quả trạng thái phân hai, trong đó mỗi pixel của đám mây điểm được phân loại là địa hình mặt đất hoặc phi địa hình.

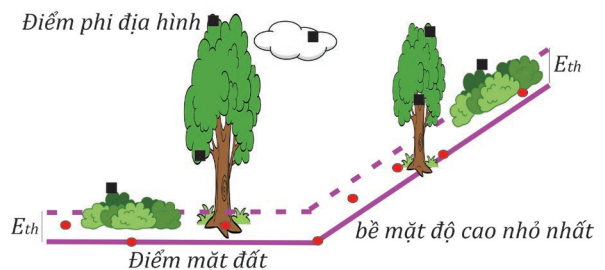
Quá trình 3. phân đoạn đám mây điểm gốc, gồm các bước chính sau:

Bước 1. áp dụng trạng thái phân hai cho bề mặt độ cao nhỏ nhất ban đầu để loại bỏ các điểm lưới phi địa hình.

Bước 2. nội suy giá trị cho các điểm lưới trống bằng kỹ thuật nội suy hình ảnh để tạo mô hình độ

cao ước tính.

Bước 3. tính toán chênh lệch độ cao giữa mỗi điểm trong đám mây điểm gốc và điểm tương ứng trong mô hình độ cao ước tính. Nếu sự khác biệt lớn hơn ngưỡng độ cao (E_{th}) thì phân loại pixel là phi địa hình (Hình 5).

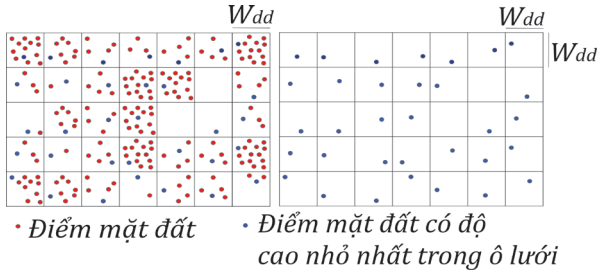


Hình 5. Ngưỡng độ cao E_{th} cho điểm phi địa hình.

Sản phẩm của thuật toán bộ lọc SMFR là đám mây điểm UAV-LiDAR gốc được phân tách thành 2 nhóm: đám mây điểm của bề mặt địa hình và đám mây điểm của đối tượng phi địa hình (nhà cửa, cây cối, điểm nhiễu,...).

2.3.2. Thuật toán lọc phân bố mật độ

Trong thực tế sản phẩm đám mây điểm từ UAV-LiDAR có mật độ cao nhưng phân bố lại không đều vì tia laser phản xạ phụ thuộc vào đối tượng bề mặt như: đặc tính của thực vật (cây cao, tán cây, cây bụi,...), nhà cửa, đường xá, mặt nước (thường hấp thụ 100%, không phản xạ, không tính được tọa độ), đặc tính địa hình,... và vị trí của thiết bị cũng như góc quét của chùm tia Laser. Do vậy, đám mây điểm sau khi lọc bỏ đối tượng phi địa hình sẽ có mật độ không đều, cùng với sự phân bố không đều (Hình 6).



Hình 6. Lọc phân bố mật độ.

Nhóm tác giả đề xuất một phép lọc phân bố mật độ dựa trên cơ sở một cửa sổ lọc có độ rộng W_{dd} , chỉ giữ lại điểm địa hình có độ cao nhỏ nhất (Hình 6). Thuật toán này được diễn giải như sau:

Input: đám mây điểm địa hình

Output: đám mây điểm địa hình được giảm mật độ theo yêu cầu của bản đồ

Initial: nhập giá trị W_{dd}

Lấy giá trị điểm ảo $(x,y,z)_{min}$; $(x,y,z)_{max}$ của đám mây điểm địa hình;

Gán vị trí cửa sổ đầu tiên $x_i=x_{min}$; $y_i=y_{min}$;

Procedure: Lọc phân bố mật độ

Cho cửa sổ lọc chạy lần lượt trên đám mây điểm địa hình theo chiều x và chiều y;

while $x_i \leq x_{max}$

$y_i=y_{min}$; $x_i=x_i + W_{dd}$;

while $y_i \leq y_{max}$

$y_i=y_i + W_{dd}$;

Xác định tọa độ trái dưới, phải trên của cửa sổ lọc thứ i, gán độ cao không gian cho cửa sổ lọc theo độ cao nhỏ nhất (z_{min}) và lớn nhất (z_{max});

$x_{imin}=x_i - W_{dd}/2$; $y_{imin}=y_i - W_{dd}/2$;

$x_{imax}=x_i + W_{dd}/2$; $y_{imax}=y_i + W_{dd}/2$;

Cửa sổ lọc không gian

$W_{roi}=[x_{imin} \ x_{imax} \ y_{imin} \ y_{imax} \ z_{min} \ z_{max}]$;

Đám mây điểm có trong cửa sổ lọc không gian = (Đám mây điểm địa hình, W_{roi});

if Số điểm của đám mây điểm có trong cửa sổ lọc không gian >0

Tìm điểm có độ cao nhỏ nhất trong cửa sổ lọc không gian;

Gán điểm này sang đám mây điểm mới;

end %if

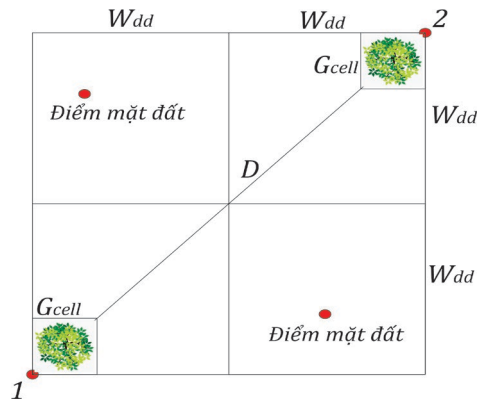
end %while y_i

end %while x_i

End;

2.3.3. Các chỉ số đầu vào để xử lý đám mây điểm UAV-LiDAR

Mục tiêu của bay quét UAV-LiDAR là phục vụ thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn với yêu cầu đạt độ chính xác về đường bình độ. Độ chính xác này phụ thuộc lớn vào mô hình số địa hình được lọc từ đám mây điểm UAV-LiDAR và đương nhiên cũng phụ thuộc vào các chỉ số kỹ thuật đầu vào của các phép lọc. Từ quy định về độ chính xác của bản đồ địa hình, tùy theo tỷ lệ bản đồ, độ dốc địa hình, độ phức tạp của địa hình (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2015) sẽ tính được các sai số vị trí điểm mặt bằng và độ cao của điểm mặt đất. Trên cơ sở đó có thể tính các chỉ số đầu vào cho các phép lọc SMRF và lọc phân bố mật độ (Hình 7).



Hình 7. Cơ sở tính các thông số đầu vào cho phép lọc SMRF và lọc phân bố mật độ.

Những tiêu chí kỹ thuật đầu vào cho phép lọc SMRF và lọc phân bố mật độ cần căn cứ vào yêu cầu của sản phẩm đầu ra, chính là các tiêu chí về độ chính xác của bản đồ địa hình cần thành lập.

Căn cứ vào sai số độ cao, với yêu cầu cao hơn

một cấp để dự phòng độ chính xác có thể xác định ngưỡng chiều cao xác định đối tượng địa vật phi địa hình như sau:

$$E_{th} = \frac{m_h}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Độ rộng cửa sổ lọc phân bố mật độ:

$$W_{dd} \leq \frac{D}{2\sqrt{2}} \quad (2)$$

Độ rộng lớn nhất của bán kính cửa sổ trong phép lọc SMRF để tìm điểm mặt đất:

$$n_{wd} = \text{round} \left(\frac{W_{dd}}{2G_{cell}} \right) \quad (3)$$

Trong đó: D - khoảng cách tối thiểu trong mật độ điểm đo theo quy định (m); m_h - sai số độ cao địa hình (m); E_{th} - ngưỡng chiều cao địa vật (m); W_{dd} - độ rộng cửa sổ lọc phân bố mật độ (m); G_{cell} - kích thước của ô vuông lấy mẫu, có thể coi là đường kính của tán cây nhỏ đại diện nhỏ nhất (m); n_{wd} - độ rộng lớn nhất của bán kính cửa sổ theo số nguyên lần G_{cell} .

3. Kết quả và thảo luận

Từ yêu cầu thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ

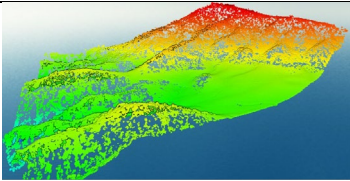
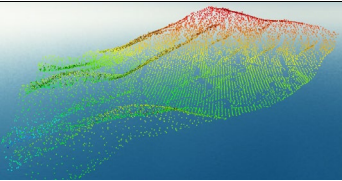
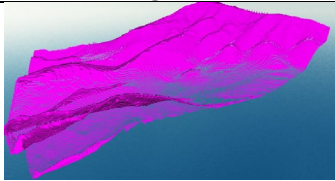
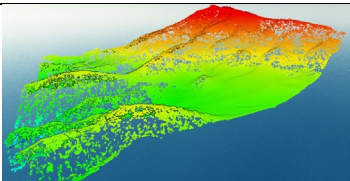
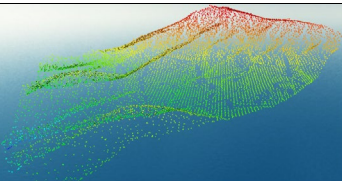
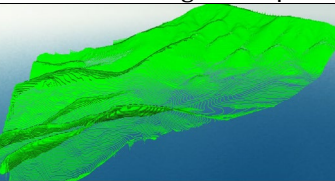
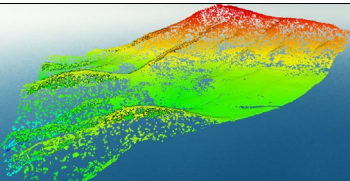
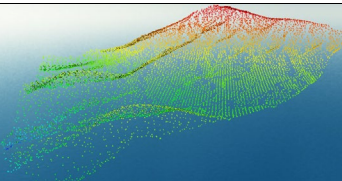
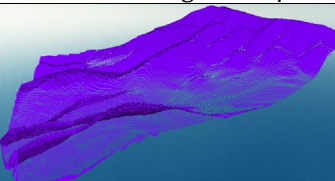
1:2000, đường đồng mức 1 m, sai số độ cao yêu cầu 0,3 m, khoảng cách giữa các điểm đo không vượt quá $D = 40$ m (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2015). Đám mây điểm UAV-LiDAR gốc có 59.145.962 điểm, trên diện tích 65 ha. Từ các công thức (1, 2, 3), ước tính các thông số lọc: $W_{dd}=14$ m; $E_{th}=0,2$ m;

Lần lượt thử nghiệm với đường kính của cây G_{cell} là 1 m, 2 m, 3 m; tính được n_{wd} độ rộng lớn nhất của bán kính cửa sổ là 8, 4, 3.

Kết quả nhận được từ 2 phép lọc SMRF và phân bố mật độ đám mây điểm UAV-LiDAR gốc được trình bày trong Bảng 1.

Từ kết quả của Bảng 1 nhận thấy, bán kính tán cây cho giá trị G_{cell} càng nhỏ thì bán kính tìm điểm mặt đất càng lớn. Đám mây điểm mặt đất sau khi lọc SMRF được đạt tỷ lệ 24%, 19% và 12% so với đám mây điểm UAV-LiDAR gốc. Kết quả cho thấy rằng đường kính tán cây cần nhập tương đối sát với thực tế và trường hợp 3 là phù hợp nhất. Phép lọc SMRF có thể loại bỏ được các điểm nhiễu. Sau đó phép lọc phân bố mật độ đều trả về số điểm trong đám mây điểm mặt đất đều giống nhau (hơn 14.000 điểm), thể hiện phép lọc phân bố mật độ cho kết quả tôn trọng quy định về mật độ điểm đo, cho dù số điểm đầu vào là khác nhau, tiếp tục loại bỏ các điểm nhiễu đột biến.

Bảng 1. Kết quả lọc đám mây điểm.

| TT | Lọc SMRF | | | Lọc phân bố mật độ | | |
|----|----------------|----------|---|--|---|--|
| | G_{cell} (m) | n_{wd} | Kết quả đám mây điểm | Kết quả đám mây điểm | Mô hình số địa hình, nội suy đường bình độ | |
| 1 | 1 | 8 |  14.224.575 điểm. |  14.089 điểm. |  1.871 đường bình độ. | |
| 2 | 2 | 4 |  11.750.881 điểm. |  14.082 điểm. |  2.493 đường bình độ. | |
| 3 | 3 | 3 |  7.108.292 điểm. |  14.036 điểm. |  2.010 đường bình độ. | |

Đám mây điểm địa hình sau khi lọc sẽ có mật độ phân bố không đều (là các điểm độ cao địa hình có vị trí ngẫu nhiên) và có thể có những vùng trắng điểm, nên khi xây dựng mô hình số địa hình cần theo dạng lưới tam giác không đều TIN với phép nội suy tuyến tính là hợp lý. Kết quả xây dựng mô hình số địa hình và nội suy đường bình độ cũng cho thấy đảm bảo tính chính xác, hài hòa và mỹ thuật trong trình bày bản đồ.

Các kết quả kiểm tra điểm lọc mặt đất trực tiếp bằng thủ công một số vị trí như điểm đỉnh, yên ngựa, vùng bằng,... các điểm bề mặt địa hình đều là các điểm đo mặt đất của dữ liệu UAV-LiDAR, các điểm trên ngọn cây, tán cây,... đều bị loại bỏ.

4. Kết luận

Giải pháp kỹ thuật lọc đám mây điểm UAV-LiDAR gồm lọc hình thái đơn giản SMRF và lọc phân bố mật độ cho kết quả là đám mây điểm bề mặt địa hình mặt đất. Đám mây điểm này có mật độ phù hợp, đảm bảo yêu cầu độ chính xác, phục vụ xây dựng mô hình số địa hình và nội suy đường bình độ có tính chính xác và thẩm mỹ cao của bản đồ địa hình khi khu thực nghiệm là có thảm thực vật rừng cây dày đặc. Các hệ số của các phép lọc được ước tính theo các công thức (1, 2, 3) đảm bảo về cơ sở khoa học để cho sản phẩm lọc đám mây điểm UAV-LiDAR. Việc kết hợp hai phép lọc SMRF và lọc phân bố mật độ hỗ trợ tự động hóa cao trong biên tập sản phẩm bản đồ địa hình.

Trong nghiên cứu tiếp theo, cần tối ưu thuật toán lọc SMRF và lọc phân bố mật độ điểm để tăng tốc, đảm bảo xử lý các khối đám mây điểm lớn và có thể thương mại. Cần thử nghiệm thêm ở vùng đô thị hoặc hỗn hợp đa dạng nhiều đối tượng khu đo.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mỏ - Địa chất đã hỗ trợ nghiên cứu này - sản phẩm của đề tài cấp cơ sở T22-45.

Đóng góp của các tác giả

Trần Trung Anh - viết thuật toán, chạy chương trình, xử lý đám mây điểm, biên tập kết quả và lên bản thảo; Trần Hồng Hạnh - chỉnh sửa, kiểm tra, biên dịch tóm tắt bản thảo; Quách Mạnh Tuấn - thực nghiệm hiện trường bay quét LiDAR-UAV, xử lý số liệu thô của LiDAR-UAV.

Tài liệu tham khảo

- Axelsson, P. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International archives of photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 33(Part B4), 110-117.
- Baudelet, M. (eds.). (2014). *Laser spectroscopy for sensing: Fundamentals, techniques and applications*. Elsevier, 292-312. <https://doi.org/10.1533/9780857098733.2.292>.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2015). *Thông tư số 68/2015/TT-BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường: 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*. Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- Chen, C., Guo, J., Wu, H., Li, Y., & Shi, B. (2021). Performance Comparison of Filtering Algorithms for High-Density Airborne LiDAR Point Clouds over Complex LandScapes. *Remote Sensing*, 13, 2663. <https://doi.org/10.3390/rs13142663>.
- Jahromi, A. B., Zoej, M. J. V., Mohammadzadeh, A., & Sadeghian, S. (2011). A novel filtering algorithm for bare-earth extraction from airborne laser scanning data using an artificial neural network. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(4), 836-843. DOI: 10.1109/JSTARS.2011.2132793.
- Kraus, K., & Pfeifer, N. (1998). Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53(4), 193-203. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(98\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(98)00009-4).
- Lê, M., & Lương, C. K., (2008). *Cơ sở đánh giá độ chính xác DEM thành lập bằng công nghệ LiDAR*. Viễn thám và Địa tin học. Trung tâm Viễn thám Quốc gia - Bộ Tài nguyên và Môi trường, số 4-5/2008.
- Lin, Y., Hyypä, J., & Jaakkola, A. (2010). Mini-UAV-borne LIDAR for fine-scale mapping. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(3), 426-430. DOI: 10.1109/LGRS.2010.2079913.

- Mathworks. (2022). *Segment Ground SMRF, Segment ground from LiDAR data using a SMRF algorithm*. Mathworks.com. Available at: <https://www.mathworks.com/help/LiDAR/ref/segmentgroundsmrf.html>. (accessed at 21-April-2022).
- Meng, X., Currit, N., & Zhao, K. (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing*, 2(3), 833-860.
- Nguyễn, N. (2011). *Vườn quốc gia Ba Bể - Tỉnh Bắc Kạn*. Cổng thông tin điện tử tỉnh Bắc Kạn. Tại <https://backan.gov.vn/pages/vuon-quoc-gia-ba-be-tinh-bac-kan.aspx> (truy cập 28/4/2022).
- Nguyễn, T. H. P., Đặng, V. Đ., & Nguyễn, T. X. (2017). Khai phá dữ liệu LiDAR trong nghiên cứu các đối tượng trên bề mặt địa hình. *Kỷ yếu Hội nghị Quốc gia lần thứ X về Nghiên cứu cơ bản và ứng dụng Công nghệ thông tin (FAIR)*, Đà Nẵng, ngày 17-18/08/2017. DOI: 10.15625/vap.2017.00039.
- Pingel, T.J., Clarke, K.C., & McBride, W.A. (2013). An improved simple morphological filter for the terrain classification of airborne LIDAR data. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 77, 21-30.
- Stenning, D., Kashyap, V., Lee T. C. M., Van Dyk, D. A., & Young, C. A. (2013). *Morphological Image Analysis and Its Application to Sunspot Classification*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/265259717_Morphological_Image_Analysis_and_Its_Application_to_Sunspot_Classification (accessed at 21-April-2022) DOI: 10.1007/978-1-4614-3520-4-31.
- Trần, Đ. L., Nguyễn, T. K. D., Lưu, T. T. T., & Trần, H. H., (2015). Khả năng ứng dụng công nghệ LiDAR xây dựng mô hình số địa hình vùng bãi bồi cửa sông ven biển trong điều kiện Việt Nam. *Tạp chí Tài nguyên và Môi trường*, 1, 24-28.