MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ 2
DANH MỤC CÁC BẢNG 2
1. Tính cấp thiết 3
2. Mục tiêu 5
3. Cách tiếp cận 5
4. Phương pháp nghiên cứu: 5
5. Phạm vi nghiên cứu 6
6. Nội dung nghiên cứu và kết quả đạt được: 6
6.1 Kiến trúc hệ thống LiDAR 6
6.1.1 Định nghĩa 6
6.1.2 Bài toán phân loại dữ liệu LiDAR 8
6.1.3 Đặc trưng điểm dữ liệu LiDAR 10
6.1.4 Phương pháp phân loại ĐMĐ LiDAR dựa trên đặc trưng điểm 13
6.1.5 Thử nghiệm và đánh giá 17
6.2 Kết luận và kiến nghị 21
7. TÀI LIỆU THAM KHẢO 21

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 6-1 Cấu trúc hệ thống LiDAR 7
Hình 6-2 Tiến trình xử lý dữ liệu LiDAR 9
Hình 6-3 Phương pháp phân loại dữ liệu LiDAR dựa trên điểm 14
Hình 6-4 Đặc trưng của điểm LiDAR được lưu trong file .las 14
Hình 6-5 Tổng hợp giá trị min, max đặc trưng intensity và return number của điểm LiDAR 17
Hình 6-6 Giá trị đặc trưng điểm được trích xuất để thực hiện phân lớp 18
Hình 6-7 Một phần đồ thị Voronoi được tạo với giá trị độ cao của điểm 18
Hình 6-8 Tỉ lệ nhiễu của bộ dữ liệu 19
Hình 6-9 Mô hình DEM 20
Hình 6-10 Mô hình DSM 20
Hình 6-11 Mô hình 3D 20

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 6-1 Sự phân bố số điểm trong các cụm theo EM 19
Bảng 6-2 Gán nhãn cho các cụm theo thứ tự tia phản xạ và EVI 19
Bảng 6-3 Điểm được phân lớp với đặc trưng cường độ 19
Bảng 6-4 Kết quả đánh giá kết phân lớp với các độ đo 19

1. Tính cấp thiết

Công nghệ LiDAR ngày càng được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như trắc địa – bản đồ, khoa học trái đất, xây dựng, nông nghiệp, …. LiDAR với khả năng thu nhận được dữ liệu trên một khu vực rộng lớn, thời gian thu nhận nhanh chóng và kết quả đầu ra là bộ dữ liệu đám mây điểm có độ cao, tọa độ, giá trị độ xám, cường độ phản xạ, …. Ngày nay, với sự tác động của người, Trái đất ngày càng biến đổi theo chiều hướng xấu khi tài nguyên thiên nhiên bị khai thác cạn kiệt, nguồn nước và không khí bị ô nhiễm, bề mặt Trái đất bị thay đổi, …. Yêu cầu cấp thiết là cần phải nâng cao khả năng quản lý, có hiểu biết về Trái đất. Từ những kiến thức về Trái đất cho phép chúng ta có những hành động thích hợp và quyết định đúng đắn để bảo vệ môi trường sống của chính chúng ta. Có nhiều nhánh giúp cho các nhà khoa học có thể quan sát, mô tả và phân loại các vấn đề liên quan đến Trái đất như: Địa chất, Trắc địa – Bản đồ, Khí hậu và khí tượng, Khoa học môi trường, Vũ trụ, …. Trong đó Trắc địa – Bản đồ có đóng ghóp quan trọng và liên quan mật thiết đến nhiều ngành và lĩnh vực của xã hội vì cung cấp thông tin chính xác về vị trí tọa độ, độ cao, hình dáng và đặc trưng của các điểm bề mặt cũng như trong không gian.

Công nghệ LiDAR (Light Detection and Ranging) là một công nghệ tiên tiến trong lĩnh vực Trắc địa – bản đồ. Đây là công nghệ viễn thám chủ động không phụ thuộc vào thời tiết cũng như thời gian giúp thu thập dữ liệu không gian Trái đất. LiDAR có khả năng thu thập thông tin về đối tượng bằng cách phát tia laser tới mục tiêu và thu nhận tia phản xạ. Sự khác biệt về thời gian đi và về của tia laser cùng với thông tin từ tia phản xạ ta có thể thu được các thông tin về đối tượng và tạo ra mô hình số 3 chiều của nó. LiDAR là một trong số ít loại cảm biến có thể tạo ảnh nhiều lớp một cách đáng tin cậy. Với những ưu điểm vượt trội của mình trong lĩnh vực nghiên cứu khí quyển và bề mặt Trái đất, LiDAR ngày càng được sử dụng rộng rãi [1].

Từ những năm đầu của thập niên 60 của thế kỷ 20, sự ra đời của bộ khuếch đại ánh sáng bằng phát xạ kích thích – Laser đã mở rất nhiều ứng dụng mới, trong đó phải kể đến kĩ thuật khảo sát từ xa sử dụng nguồn kích thích bằng tia laser gọi là LiDAR. Công nghệ LiDAR là sự phát triển và ứng dụng các thiết bị laser, định vị vệ tinh và đo quán tính để thu thập dữ liệu địa lý trên bề mặt Trái đất [2]. Bản chất của công nghệ LiDAR là kỹ thuật đo dài laser, định vị không gian GPS/INS và sự nhận biết cường độ phản xạ ánh sáng [2]. Sóng laser được phản hồi từ ground hay từ các bề mặt đối tượng như là cây, đường hoặc nhà ..., với mỗi xung sẽ đo được thời gian đi và về của tín hiệu, từ đó ta tính được khoảng cách từ nguồn phát laser tới đối tượng. Các đối tượng trên bề mặt Trái đất khác nhau có khả năng phản xạ tia quét laser với cường độ khác nhau. Ở mỗi thời điểm phát xung laser, hệ thống định vị vệ tinh GNSS và INS sẽ xác định vị trí không gian của điểm phát, góc định hướng trong không gian của tia quét sẽ được xác định từ máy phát laser. Một tia laser phát đi, sẽ có một hay nhiều tín hiệu phản xạ. Với các trị đo tổng hợp đó tính được vị trí (tọa độ không gian) của các điểm trên bề ground. Số lượng tia phản xạ từ bề mặt Trái đất phụ thuộc vào tính không gian của các đối tượng trên đó. Với số lượng tia phản xạ từ hàng trăm đến trăm ngàn được thu nhận trong một giây, LiDAR thực hiện quét bề mặt Trái đất với mật độ điểm dày đặc, kết quả cho ra dữ liệu đám mây điểm (ĐMĐ) biểu thị chi tiết bề mặt vùng quét. ĐMĐ là tập hợp các điểm dữ liệu tương tự thế giới thực theo ba chiều. Mỗi điểm được xác định bởi vị trí và màu sắc của chính nó, các điểm trong ĐMĐ được đặc trưng bởi tọa độ (x, y) và độ cao (z). Các điểm sau đó có thể được hiển thị dưới dạng pixel để tạo mô hình 3D có độ chính xác cao của đối tượng. Các ĐMĐ có thể mô tả các vật thể có kích thước chỉ vài milimet hoặc các vật thể lớn như cây cối, tòa nhà và thậm chí toàn bộ thành phố [3]. Các ĐMĐ có nguồn gốc từ dữ liệu thô được quét từ các đối tượng vật lý như bên ngoài tòa nhà, nhà máy, địa hình, …. Sau khi

thu thập dữ liệu thô, ĐMĐ phải được chuyển đổi thành các tệp máy tính có thể đọc được ... Dữ liệu ĐMĐ là rất lớn. Tùy theo mục đích sử dụng cụ thể, số lượng điểm và lớp điểm được sử dụng là khác nhau. Ngoài dữ liệu ĐMĐ, LiDAR còn tạo ra ảnh cường độ xám dựa trên cường độ phản xạ khác nhau của các đối tượng trên Trái đất [4]. Với mỗi bài toán ứng dụng khác nhau, mỗi giá trị này sẽ là đầu vào có giá trị cho bài toán phân lớp, xây dựng mô hình hay nhận dạng. Sử dụng dữ liệu LiDAR trong nghiên cứu giúp tăng cường độ chính xác và tăng khả năng cập nhật nhanh chóng của dữ liệu. Chính vì thế, khi nghiên cứu bài toán phân loại dữ liệu LiDAR, lựa chọn được dữ liệu đặc trưng là cần thiết và giúp nâng cao độ chính xác của bài toán phân loại này.

2. Mục tiêu

Nghiên cứu phương pháp phân lớp đám mây điểm LiDAR dựa trên đặc trưng điểm

3. Cách tiếp cận

Nghiên cứu sử dụng cách tiếp cận dựa trên các đặc trưng của dữ liệu ĐMĐ LiDAR, phân tích, đánh giá để đưa ra đặc trưng phù hợp với bài toán ứng dụng sử dụng trong đề tài. Để thực hiện được cần có những nghiên cứu, đánh giá phù hợp.

4. Phương pháp nghiên cứu:

- Phương pháp nghiên cứu phân tích, tổng hợp: Thu thập và nghiên cứu các các bài báo, tài liệu đã được công bố có liên quan đến công nghệ LiDAR, bài toán phân loại ĐMĐ LiDAR. Thông qua đó có thể chọn lọc các nội dung, vấn đề nghiên cứu, tiến hành đề xuất và cải tiến thuật toán/phương pháp và đưa ra hướng giải quyết bài toán.

- Phương pháp thực nghiệm: Để đánh giá độ chính xác thuật toán/phương pháp cũng như các đặc trưng sử dụng trong phương pháp, thực hiện cài đặt, chạy thử nghiệm trên nhiều bộ dữ liệu và so sánh với kết quả

nghiên cứu lý thuyết. Thông qua đó chứng minh được độ chính xác của kết quả nghiên cứu.

- Phương pháp viễn thám: Sử dụng các kỹ thuật xử lý dữ liệu viễn thám để thành lập mô hình DEM/DSM/DTM, mô hình mô phỏng, … phục vụ cho các thực nghiệm của nghiên cứu.

5. Phạm vi nghiên cứu

Để hoàn thành mục tiêu nghiên cứu của đề tài, đối tượng nghiên cứu của luận án tập trung vào dữ liệu ĐMĐ LiDAR cũng như các đặc trưng của dữ liệu điểm LiDAR.

6. Nội dung nghiên cứu và kết quả đạt được:

6.1 Kiến trúc hệ thống LiDAR

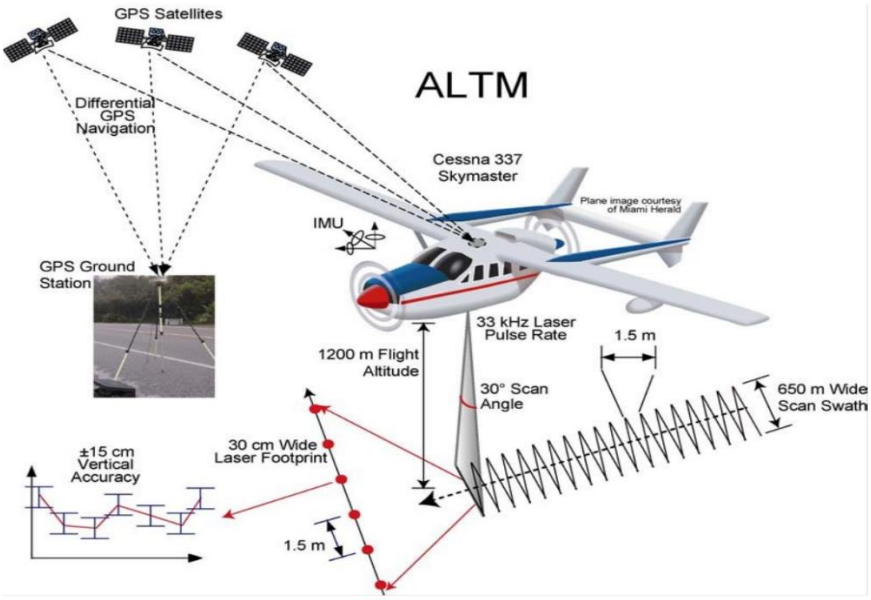
6.1.1 Định nghĩa

LiDAR là phương pháp viễn thám thực hiện đo khoảng cách đến Trái đất bằng xung tia laser, là một cảm biến quang chủ động. Thiết bị LiDAR phát tia laser về phía mục tiêu trên mặt đất, sau đó đo các tia phản xạ. Tổ hợp các xung laser này và dữ liệu khác lưu trữ trên hệ thống LiDAR chứa các thông tin 3D chính xác về hình dạng Trái đất và các đặc trưng các đối tượng trên đó [2]. LiDAR đôi khi còn được gọi là ToF (Time of Flight) là phương pháp phát hiện các đối tượng và ánh xạ khoảng cách của chúng [5].

Các máy tín hiệu phản xạ sẽ ghi lại chính xác từ lúc tia laser rời khỏi máy phát cho đến khi phản hồi trở lại để có thể tính toán khoảng cách giữa điểm phát và mục tiêu. Thông tin này được kết hợp với thông tin vị trí sẽ được tính toán thành các tọa độ 3D thực tế của mục tiêu phản hồi trong không gian đối tượng. LiDAR cho phép xác định tọa độ (x, y) và độ cao (z) của một điểm có độ chính xác cao [1].

Hệ thống LiDAR có 3 thành phần chính là: Hệ thống khuyếch đại ánh sáng Laser (Light amplification by stimulated emission of radiation), hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu GNSS/GPS (Global Navigation Sattelite

System/Global Postioning System) và hệ thống đạo hàng/dẫn đường quán tính INS (Inertial Navigation System). Tổ hợp các thiết bị này trong mối quan hệ hữu cơ, tác động chi phối lẫn nhau, tạo nên hệ thống LiDAR [1], [3].



Hình 6-1 Cấu trúc hệ thống LiDAR

Các hệ thống LiDAR truyền ánh sáng laser từ các hệ thống di động khác nhau (ô tô, máy bay, máy bay không người lái) qua không khí và thảm thực vật (laser trên không) và thậm chí cả nước (laser độ sâu). Cơ chế quét được thiết kế để tạo ra một luồng xung laser nhất quán. Các xung laser được phản xạ khỏi gương (quay hoặc quét) [6].

Hệ thống GNSS cung cấp thông tin địa lý chính xác liên quan đến vị trí của cảm biến (vĩ độ, kinh độ, chiều cao) và IMU xác định tại vị trí này hướng chính xác của cảm biến (Pitch, Roll, Yaw). Dữ liệu được ghi lại bởi 2 thiết bị này sau đó được sử dụng để tạo dữ liệu thành các điểm tĩnh: cơ sở của ĐMĐ ánh xạ 3D [5]. GPS cung cấp thông tin địa lý chính xác liên quan đến vị trí của cảm biến và đơn vị đo lường quán tính ghi lại hướng chính xác của cảm biến tại vị trí đó [6]. Cùng với GPS, IMU ghi lại vị trí X, Y, Z chính xác của máy quét. IMU chứa một cảm biến gia tốc kế, con quay hồi chuyển và cảm biến từ kế để đo vận tốc, định hướng và lực hấp dẫn [4].

Sau khi khảo sát, dữ liệu được tải xuống và xử lý bằng phần mềm xử lý dữ liệu ĐMĐ LIDAR. Đầu ra cuối cùng là chính xác, bao gồm kinh độ được đăng ký theo địa lý (X), vĩ độ (Y) và độ cao (Z) cho mọi điểm dữ liệu. Với dữ liệu điểm độ cao ta có thể tạo bản đồ địa hình chi tiết của vùng nghiên cứu [3].

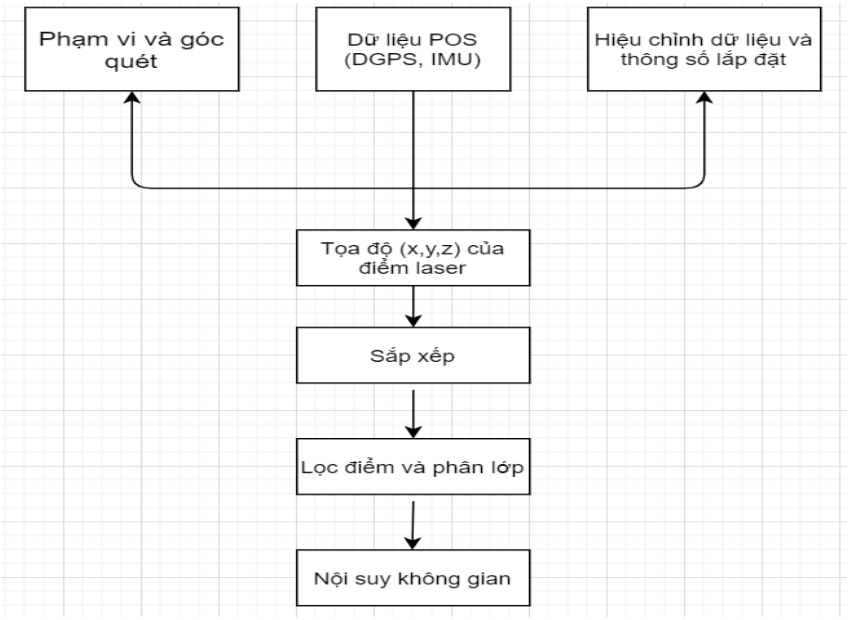
6.1.2 Bài toán phân loại dữ liệu LiDAR

Mỗi điểm LiDAR có thể có một phân loại được gán cho nó xác định loại đối tượng đã phản xạ xung laser. Các lớp khác nhau được định nghĩa bằng cách sử dụng mã số nguyên trong các tệp LAS.

Phân loại điểm LiDAR có nghĩa là xác định loại bề mặt Trái đất hay đối tượng phản xạ tia laser [21]. Với công nghệ LIDAR quá trình phân loại chỉ dựa vào vị trí hình học của tia phản xạ so với các lân cận và loại tia phản xạ đầu tiên/cuối cùng (nếu có nhiều lần trả về cho một xung, có thể chỉ phản xạ cuối cùng là điểm ground). Do đó, quá trình phân loại dữ liệu LiDAR là quá trình gán nhãn cho từng điểm trong ĐMĐ [15].

Trong nhiều bài toán dữ liệu điểm LiDAR trước tiên cần được phân loại thành hai lớp ground và non-ground. Đây là bài toán xử lý dữ liệu LiDAR đầu tiên được thực hiện [1]. Mỗi xung phản xạ của LiDAR đều là những mẫu cần thiết cho nghiên cứu đối tượng, thậm chí nhiều khu vực cần phải có mật độ điểm cao. Phép nội suy được sử dụng để tạo mô hình số liên tục hay bản đồ từ những điểm còn lại. Mặc dù có nhiều phương pháp nội suy sử dụng trong các phần mềm, nhưng vẫn cần phải có phương pháp phân loại đủ mạnh

để dự đoán độ cao tại những vị trí không phải mẫu [3], [10]. Bài toán phân loại dữ liệu LiDAR thường được thực hiện qua các bước sau [1]:



Hình 6-2 Tiến trình xử lý dữ liệu LiDAR

Quá trình lọc điểm được thực hiện để loại bỏ những điểm non-ground ra khỏi đám mây điểm LiDAR. Thuật toán lọc điểm thường dựa trên hai tiêu chí:

- Điểm ground có độ cao thấp hơn so với những đối tượng trên bề mặt
- Độ cao và độ dốc ít thay đổi rõ rệt

Các điểm non-ground sau khi được tách ra khỏi đám mây điểm có thể phân loại vào các lớp chuyên biệt hơn như nhà cao tầng, đường, thực vật, mặt nước, …. Do các điểm non-ground có thể thuộc về nhiều lớp khác nhau, tính chất mỗi lớp có thể được thể hiện thông qua độ cao, tính chất hình học, cường độ phản xạ, … nên quá trình phân loại thường phức tạp hơn so với quá trình lọc điểm ground. Có rất nhiều phương pháp được đề xuất để phân loại điểm non-ground bao gồm phương pháp phân loại không giám sát, phương pháp Naïve Bayes Classification (NVC), cây quyết định, SVM, …. Thêm vào đó, dữ liệu cường độ xám và ảnh đa phổ có thể được kết hợp với dữ liệu đám mây điểm cho quá trình phân loại.

6.1.3 Đặc trưng điểm dữ liệu LiDAR

Các thuộc tính dữ liệu LiDAR có thể khác nhau, tùy thuộc vào cách dữ liệu được thu thập và xử lý. Chúng ta có thể xác định những thuộc tính nào có sẵn cho mỗi điểm LiDAR bằng cách xem siêu dữ liệu. Tất cả các điểm dữ liệu LiDAR sẽ có giá trị vị trí X, Y và Z (độ cao) được liên kết. Hầu hết các điểm dữ liệu LiDAR sẽ có giá trị cường độ, đại diện cho lượng năng lượng ánh sáng được cảm biến ghi lại [10].

Đặc trưng điểm LiDAR được công bố trong nghiên cứu của tác giả Bao Yunfei và cộng sự [11] giới thiệu cách tiếp cận có thể phân chia lớp thực vật từ điểm ground trong khu vực đồi núi. Cách tiếp cận này chủ yếu dựa trên sự thay đổi về độ lệch của mật độ dữ liệu LiDAR từ các tín hiệu phản hồi. Với khu vực thử nghiệm ở phía nam của Đức và trung tâm thành phố Stuttgart, các tác giả đã đề xuất cách tiếp cận thống kê để lọc điểm ground dựa trên mối quan hệ mật độ trong đám mây điểm LiDAR. Trong đó, độ lệch và độ nhọn của sự phân bố này là hai đặc trưng, được sử dụng trong thống kê, và sự thay đổi của hai thông số được sử dụng để có thể biết được sự thay đổi của thực vật và ground. Kết quả phân loại được sử dụng để tạo ra DTM, DSM và CHM (Canopy Height Model). Tác giả Rodriguez [12] đã sử dụng thuật toán phát hiện điểm để phát hiện và phân loại các đối tượng đô thị và cây cối từ dữ liệu 3D MLS (Mobile Laser Scanning) và TLS (Terrestrial Laser Scanning). Phương pháp bao gồm cả việc phân đoạn tự động để loại bỏ đi những phần không liên quan đến quá trình phân đoạn dọc đối tượng. Những đối tượng này được phân đoạn bằng thuật toán RX và sau đó được phân cụm để chia lớp đối tượng thành các lớp như cây cối, hồ nhân tạo, ….

Cũng chung ý tưởng phân loại đám mây điểm LiDAR sử dụng phương pháp phân loại điểm, tác giả Fanlin [13] đã có những kết quả của riêng mình. Để thực hiện quá trình phân loại, các tác giả đã sử dụng đám mây điểm 3D, đám mây điểm này sẽ được phân đoạn thành các đoạn độc lập, sau đó một

vài đặc trưng của đối tượng được tính toán và cuối cùng các điểm sẽ được tự động phân loại theo các đặc trưng này. Trong nghiên cứu [14], tác giả sử dụng phương pháp phân loại đám mây điểm LiDAR đa mặt được gọi là SE-PointNet ++ được đề xuất thông qua tích hợp khối Squeeze-and-Excitation (SE) với mạng phân đoạn ngữ nghĩa PointNet ++ được cải tiến. PointNet ++ trích xuất các đối tượng địa phương từ các điểm được lấy mẫu không đồng đều và đại diện cho địa phương mối quan hệ hình học giữa các điểm thông qua nhóm nhiều tỷ lệ. Khối SE được nhúng vào PointNet ++ để củng cố các kênh quan trọng nhằm tăng độ nhạy của tính năng cho đám mây điểm tốt hơn sự phân loại.

Dựa trên các đặc điểm của đám mây điểm LiDAR trong trong đô thị, nghiên cứu [15] dựa trên từ điển saliency và mô hình Phân bổ Dirichlet tiềm ẩn (LDA) để phân loại đám mây điểm LiDAR. Phương pháp sử dụng thẻ thông tin về dữ liệu huấn luyện và nguồn thẻ của từng mục từ điển để xây dựng mô hình huấn luyện từ điển quan trọng trong mã rời rạc để thể hiện tính năng của điểm được đặt chính xác hơn. Và nó cũng sử dụng trình phân loại AdaBoost đa đường để thực hiện các tính năng của bộ tích điểm đa cấp.

Qua những nghiên cứu của các tác giả được đề cập trong bài báo, có thể thấy đặc trưng điểm là dữ liệu đầu vào quan trọng của bài toán phân lớp đám mây điểm LiDAR. Dựa trên đặc trưng điểm sẽ thực hiện bài toán phân lớp chính xác và ứng dụng cho các bài toán khác nhau. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng đặc trưng của điểm như độ cao, giá trị phản xạ, cường độ phản xạ là đầu vào thực hiện cho bài toán phân lớp đám mây điểm LiDAR.

Dữ liệu chính được tạo ra trong quá trình quét tia laser của LiDAR là điểm. Điểm LiDAR được hình thành khi cảm biến quang học truyền chùm tia laser về phía mục tiêu trong khi di chuyển qua các tuyến đường khảo sát cụ thể. Sự phản xạ của tia laser từ mục tiêu được máy thu trong cảm biến LiDAR phát hiện và phân tích. Các máy thu này ghi lại thời gian chính xác

từ khi xung laser rời khỏi hệ thống đến khi nó được quay trở lại để tính toán khoảng cách giữa cảm biến và mục tiêu. Kết hợp với thông tin vị trí các phép đo khoảng cách này được chuyển đổi thành phép đo các điểm ba chiều thực tế của mục tiêu phản xạ trong không gian đối tượng. Dữ liệu điểm sau khi thu thập được đặc trưng bởi tọa độ x, y, z tham chiếu đến vị trí địa lý chính xác bằng cách phân tích phạm vi thời gian laser, góc quét laser, vị trí GPS và thông tin đạo hàng quán tính INS.

Các đặc trưng điểm LiDAR sau đây được duy trì cho mỗi xung laser được ghi lại [16]:

- Giá trị (x, y, z): thể hiện tọa độ (x, y) và độ cao (z) thể hiện vị trí chính xác của điểm. Trong đó, giá trị độ cao của điểm là giá trị quan trọng thể hiện cấu trúc bề mặt và thường được sử dụng nhiều nhất trong bài toán phân lớp đám mây điểm LiDAR.

- Cường độ (Intensity): cường độ của tia phản laser phản xạ, được cung cấp dưới dạng số nguyên từ 1-256. Con số này thay đổi theo thành phần của vật thể bề mặt phản xạ chùm tia laze. Số thấp cho biết hệ số phản xạ thấp trong khi số cao cho biết hệ số phản xạ cao. Cường độ của chùm tia laser quay trở lại cũng có thể bị ảnh hưởng bởi góc tới (góc quét), phạm vi, thành phần bề mặt, độ nhám và độ ẩm. Đây là giá trị thường được sử dụng để phân loại bề mặt [17]

- Thứ tự tia phản xạ (Return number): Bất kỳ xung laser phát ra nào gặp nhiều bề mặt phản xạ khi nó truyền về phía mặt đất sẽ được chia thành nhiều lần quay trở lại như có các bề mặt phản xạ. Tia phản hồi đầu tiên sẽ được đánh số 1, tia phản hồi thứ hai sẽ được đánh số 2, …. Xung laser được trả về đầu tiên là xung quan trọng nhất và sẽ được liên kết với đối tượng địa lý cao nhất trong quá trình thu thập như ngọn cây hoặc đỉnh của một tòa nhà. Lần trả lại đầu tiên cũng có thể đại diện cho mặt đất, trong trường hợp đó chỉ có một lần trả lại sẽ được phát hiện bởi hệ thống LiDAR. Những tia phản hồi

tiếp theo có khả năng ghi nhận độ cao của một số đối tượng trong quá trình quét laser của một xung laser phát đi.

- Tổng số tia phản hồi: Tổng số tia phản hồi cho một xung laser

- Giá trị phân loại điểm: Điểm sau khi thu nhận có thể sẽ được gán nhãn (thường ít). Các lớp khác nhau được xác định bằng cách sử dụng mã số nguyên trong các tệp LAS.

- Cạnh của đường bay: Các điểm sẽ được ký hiệu dựa trên giá trị 0 hoặc 1. Các điểm được gắn cờ ở rìa của đường bay sẽ có giá trị là 1 và tất cả các điểm khác sẽ có giá trị là 0.

- Giá trị RGB: đặc trưng này thường đến từ hình ảnh được thu thập cùng lúc với cuộc khảo sát lidar.

- Thời gian GPS

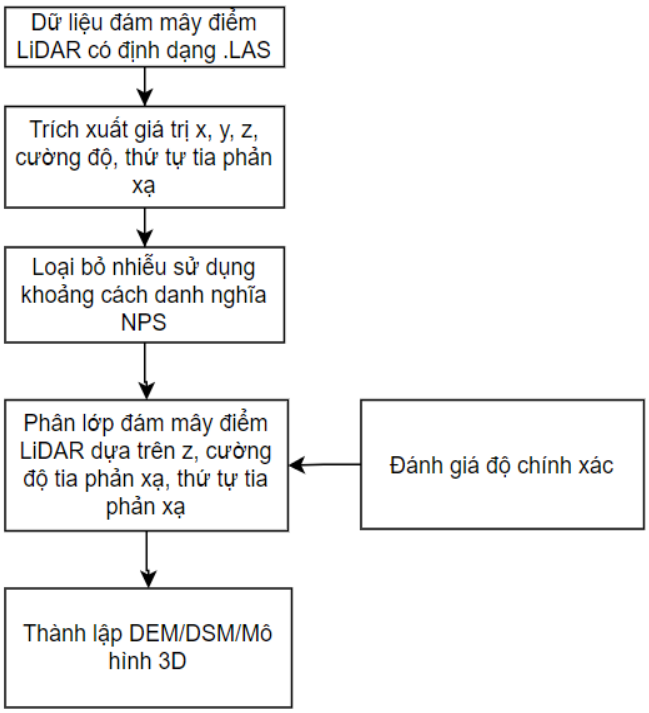
- Góc quét và hướng quét.

Với những đặc trưng này của dữ liệu điểm LiDAR nếu xử lý và sử dụng vào những bài toán cụ thể sẽ là thông tin có giá trị về khu vực khảo sát như phân lớp, phân đoạn, mô hình hóa hay tạo mô phỏng.

Để nghiên cứu và thực hiện bài toán phân lớp đám mây điểm LiDAR dựa trên đặc trưng điểm, nhóm tác giả đã sử dụng giá trị tọa độ điểm (x, y, z), cường độ phản xạ (intensity) và thứ tự tia phản hồi (returns number) làm dữ liệu đầu vào cho bài toán của mình.

6.1.4 Phương pháp phân loại ĐMĐ LiDAR dựa trên đặc trưng điểm

Phương pháp được thể hiện trong hình 6-3:



Hình 6-3 Phương pháp phân loại dữ liệu LiDAR dựa trên điểm

A. Trích xuất giá trị x, y, z, cương độ tia phản xạ và thứ tự tia phản xạ

Sau khi thực hiện quá trình bay quét/ quét LiDAR, dữ liệu sẽ được lưu trữ dưới định dạng file .LAS. Thông tin được lưu trữ trong file .LAS gồm có: thông số kỹ thuật của tuyến bay/quét, tọa độ x, y, z của điểm, cường độ, diện tích khu vực, số tia phản xạ, thứ tự tia phản xạ. Thông tin được thể hiện trong hình 6-4:

Included Attributes

X positions	yes
Y positions	yes
Z positions	yes
Intensity	yes
Return Number	yes
Number of Returns	yes
Scan Direction Flag	yes
Edge of Flight Line	yes
Classification	yes
Scan Angle Rank	yes
User Data	yes
Point Source ID	yes
GPS Time	yes

Hình 6-4 Đặc trưng của điểm LiDAR được lưu trong file .las

Từ những thông tin này, thực hiện trích xuất x, y, z, cường độ, thứ tự tia phản xạ để thực hiện các bước tiếp theo trong phương pháp.

B. Loại bỏ nhiễu sử dụng khoảng cách danh nghĩa NPS (Nominal Point Spacing)

Nhiễu là giá trị không mong muốn khi thu nhận dữ liệu, giá trị này có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của bài toán phân lớp.

Trong bài báo, nhóm tác giả sử dụng NPS – khoảng cách danh nghĩa là giá trị đặc trưng chỉ có của dữ liệu LiDAR. NPS thể hiện khoảng cách giữa điểm với điểm trong đám mây điểm. NPS là một giá trị thường được dự đoán bởi phần mềm lập kế hoạch chuyến bay của nhà sản xuất hệ thống để chỉ ra khoảng cách lưới của các điểm được thu thập dựa trên các tham số kế hoạch chuyến bay đầu vào. NPS cũng có thể được ước tính bằng cách xác định căn bậc hai nghịch đảo của mật tia phản xạ đầu tiên trả về, không có điểm trung bình, trên một km2 hoặc diện tích lớn hơn [18].

Để thực hiện loại bỏ nhiễu, nhóm tác giả sử dụng đồ thị Voronoi hỗ trợ tìm kiếm NPS sau đó kết hợp với kNN để thực hiện loại bỏ nhiễu cho đám mây điểm.

C. Phân lớp đám mây điểm

Đám mây điểm sau khi loại bỏ nhiễu sẽ được thực hiện phân lớp. Đặc trưng được sử dụng để phân lớp gồm có:

- Độ cao z của điểm
- Cường độ phản xạ của điểm
- Thứ tự của tia phản xạ

Trong đó, độ cao sẽ là thuộc tính chính được sử dụng để gán nhãn các điểm.

Phân lớp được thực hiện như sau:

+ Điểm sẽ được phân cụm dựa trên độ cao các điểm theo thuật toán EM với mô hình xác suất theo công thức:

$$P(Z_i) = \sum_{k=1}^{K} \Pi_k Gaussian(Z_i|\mu, \Sigma_{k,}, \mathrm{Ck})^{\beta}$$

Với, Zi độ cao của điểm thứ i, n là tổng số điểm đám mây điểm

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} Z_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(r_i)^2}$$

$$\Sigma_k = V(L - r_i^2 I)^{1/2} R$$

$$C_k = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} \gamma_k(Z_i)$$

+ Sử dụng kết hợp thông tin về thứ tự tia phản xạ và các cụm sau khi thực hiện ở bước 1 để tách những điểm thuộc tia phản xạ đầu tiên để gán nhãn cho nó Building và sử dụng chỉ số nâng cao độ chính xác xác định thực vật để gán nhãn cho điểm thuộc lớp Vegetation theo công thức:

$$EVI = \frac{G * (NIR - R)}{(NIR + C_1 * R - C_2 * B + L)}$$

Trong đó, G = 2.5, C1 = 6, C2 = 7, L = 1, NIR là sóng cận hồng ngoại, R, B là kênh màu đỏ và xanh nước biển trong tổ hợp (R, G, B)

Lấy ngưỡng để xác định các điểm là vegatation trong khoảng 0 đến 1, những điểm không phải vegatation sẽ có giá trị nhỏ hơn 0.

+ Trong bước 2 có khả năng có những điểm thuộc tia phản xạ đầu tiên nhưng lại thuộc vào lớp ground hoặc vegetation. Chính vì thế để tăng khả năng chính xác của quá trình phân lớp, thông tin cường độ được thêm vào để nhằm phân biệt lớp mặt đất, lớp building hay vegetation.

Để thực hiện việc phân tách, nhóm tác giả thống kê giá trị cường độ và phân tích độ lệch của dữ liệu cường độ. Cùng với đó sử dụng mô hình ML (Maximum Likelihood) để quyết định điểm thuộc lớp ground, building hay vegetation theo công thức [13]:

$$\Psi^*(x) = j \Rightarrow p_j f_j(x) = max_{k \in M} p_k f_k(x),$$

Trong đó, pj là xác suất lớp thuộc về lớp nào đó với điều kiện pj > 0.5; x là điểm cần gán nhãn; f(x) là hàm mật độ.

D. Đánh giá độ chính xác của quá trình phân lớp

Để thực hiện đánh giá độ chính xác của quá trình phân lớp, nhóm tác giả sử dụng độ đo Precision, Recall và F1 để thực hiện đánh giá.

E. Thành lập DEM/DSM và mô hình 3D bề mặt

Dữ liệu đám mây điểm sau phân lớp và đánh giá độ chính xác sẽ được xử lý với ArcGIS để thành lập mô hình số độ cao (DEM), mô hình số bề mặt (DSM) và mô hình 3D bề mặt

6.1.5 Thử nghiệm và đánh giá

A. Dữ liệu thử nghiệm

Dữ liệu thử nghiệm của bài báo là dữ liệu LiDAR hàng không (ALS) quét tại khu vực thành phố Uông Bí, tỉnh Quảng Ninh vào năm 2020. Đám mây điểm có định dạng file .LAS chuẩn 1.2, với 1.458.323 điểm, mật độ điểm là 10.20pt/m2. Với các đặc trưng intensity, return number của điểm được thể hiện trong hình 6-5:

Return Number	0, 4
Return Count	0, 4
Flightline Edge	0, 1
Intensity	0, 255

Hình 6-5 Tổng hợp giá trị min, max đặc trưng intensity và return number của điểm LiDAR

B. Phân lớp

- Trích xuất giá trị x, y, z, cường độ, thứ tự phản xạ trong đám mây điểm thể hiện trong hình 6-6.

*123.txt - Notepad

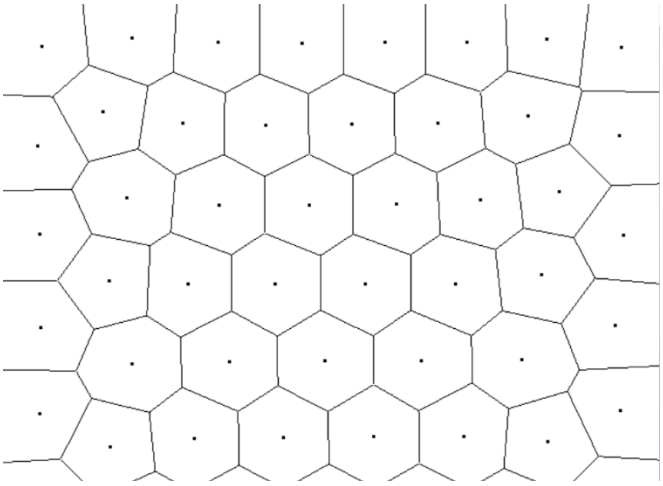
File Edit Format View Help

```
717068.79 4366595.37 2253.23 2  255  1
717069.10 4366595.51 2253.28 2  155  1
717069.49 4366595.66 2253.11 2  255  1
717069.52 4366595.59 2253.17 2  255  1
717069.20 4366595.46 2253.22 2  175  1
717068.87 4366595.33 2253.27 2  175  1
717068.59 4366595.20 2253.21 2  165  1
717069.31 4366594.11 2253.44 2  165  1
717069.72 4366594.28 2253.28 2  255  1
717070.08 4366594.42 2253.22 2  155  1
717070.40 4366594.56 2253.25 2  255  1
717070.65 4366594.68 2253.45 2  175  1
717070.76 4366594.75 2254.00 1  165  3
```

Hình 6-6 Giá trị đặc trưng điểm được trích xuất để thực hiện phân lớp

Với ba cột đầu tiên thể hiện giá trị x, y, z, cột thứ 4 thể hiện giá trị phân lớp của điểm với 1 – Unclassified, 2 – lớp Ground, cột thứ 5 là giá trị cường độ của tia laser phản xạ và cột cuối cùng thể hiện thứ tự tia phản hồi.

- Loại bỏ nhiễu với NPS và kNN



Hình 6-7 Một phần đồ thị Voronoi được tạo với giá trị độ cao của điểm

Dựa trên đồ thị Voronoi, sắp xếp điểm theo thứ tự tăng dần của độ cao, thực hiện tính toán mật độ điểm và sử dụng kNN theo bộ dữ liệu đã được sắp xếp ta có tỉ lệ nhiễu trong bộ dữ liệu được thể hiện trong hình 6-8

Valid	1452134	100.0%
Excluded	6189	
Total	1458323	

Hình 6-8 Tỉ lệ nhiễu của bộ dữ liệu

- Phân cụm dữ liệu theo EM, kết quả số lượng điểm trong mỗi cụm được thể hiện trong bảng 6-1:

Bảng 6-1 Sự phân bố số điểm trong các cụm theo EM

	Cụm 1	**Cụm 2**	**Cụm 3**	**Cụm 4**
Số điểm	563,890	53,692	768,432	72,309

- Sử dụng thứ tự tia phản xạ, cụm đã được phân cụm và công thức tính chỉ số thực vật các cụm được gán nhãn cho kết quả như sau:

Bảng 6-2 Gán nhãn cho các cụm theo thứ tự tia phản xạ và EVI

	Ground	**Building**	**Vegatation**	**Unclassified**
Số điểm	563,890	53,692	768,432	72,309

- Thực hiện phân tách và tăng cường độ chính xác của quá trình gán nhãn với giá trị cường độ phản xạ, ta có kết quả được thể hiện trong bảng 6-3.

Bảng 6-3 Điểm được phân lớp với đặc trưng cường độ

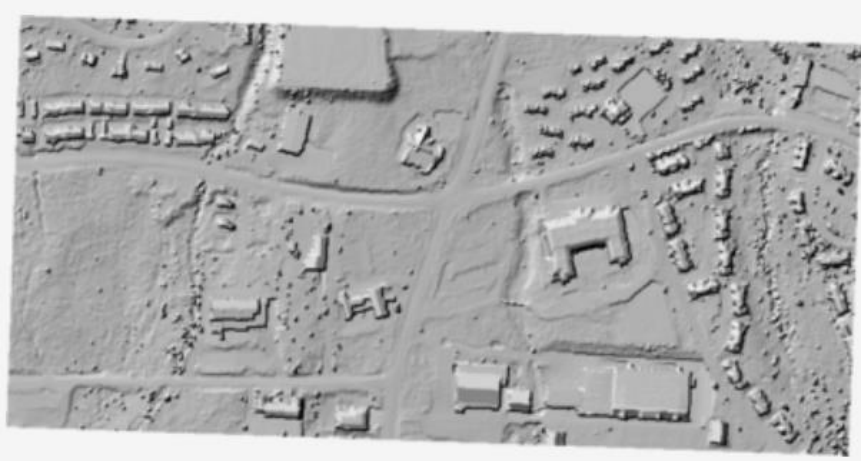
	Ground	**Building**	**Vegatation**	**Unclassified**
Số điểm	563,802	53,245	769,255	72,201

- Đánh giá độ chính xác của quá trình phân lớp với Pecision, Recall và F1 được thể hiện trong bảng 6-4

Bảng 6-4 Kết quả đánh giá kết phân lớp với các độ đo

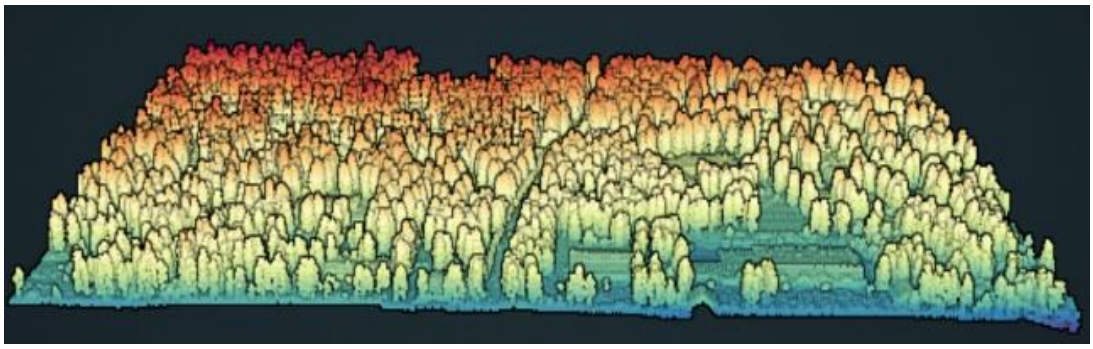
	Ground	**Building**	**Vegetation**	**Unclassified**
Precision	93.80%	91.00%	93.70%	89.20%
Recall	94.00%	90.50%	92.80%	89.70%
F1	93.90%	90.75%	93.25%	89.45%

Qua kết quả đánh giá với các độ đo, có thể thấy các điểm sau phân lớp đảm bảo độ chính xác cho các bài toán ứng dụng như tạo DEM/DSM, mô hình 3D.



Hình 6-9 Mô hình DEM

Hình 6-10 Mô hình DSM



Hình 6-11 Mô hình 3D

Qua kết quả thử nghiệm thấy rằng các đặc trưng của điểm trong đám mây điểm là thuộc tính rất quan trọng trong quá trình thu thập dữ liệu LiDAR. Khi được sử dụng và áp dụng thuật toán phù hợp có thể phục vụ cho nhiều bài toán khác nhau.

6.2 Kết luận và kiến nghị

LiDAR từ khi ra đời đến hiện nay ngày càng được sử dụng một cách rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như Khoa học Trái đất, Bản đồ, Địa chất, Khảo cổ, …. Với khả năng thu nhận về dữ liệu trên một khu vực rộng lớn, thu được tại những khu vực có địa hình phức tạp hay có sự phân bố phức tạp của đối tượng. Với những thông tin về khu vực như dữ liệu đám mây điểm, thông số của hệ thống, … đặc biệt là những thông tin về đặc trưng của điểm trong file .LAS là thông tin quan trọng và có giá trị khi cung cấp đặc trưng và là dữ liệu đầu vào để thực hiện được bài toán phân lớp. Trong bài báo, nhóm tác giả đã đưa ra phương pháp phân lớp dựa trên đặc trưng của điểm như tọa độ x, y, z, cường độ phản xạ, thứ tự tia phản xạ, …. Qua dữ liệu thử nghiệm, những đặc trưng này giúp quá trình phân lớp đạt được độ chính xác để thành lập DEM/DSM/mô hình 3D.

7. TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Pinliang Dong, Qi Chen, LiDAR remote sensing and applications, Boca Raton: CRC Press, 2018

2. Jie Shan, Charles K. Toth, Topographic laser ranging and scanning, CRC Press, 2008.

3. Patrick Chazette, Julien Totems, Laurent Hespel, Jean - Sptepane Bailly, Principle and physics of the LiDAR Measurement, Optical Remote Sensing of Land Surfaces, ISTE Press Ltd Published by Elsevier Ltd, 2016.

4. T. Fuj2, Laser remote sensing, CRC Press, 2005.

5. Motaz Khader, Samir Cherian, An Introduction to Automotive LiDAR, Texas Instruments, Texas , 2020.

6. Jamie Carter, Keil Schmid, Kirk Waters, Lindy Betzhold, et al, An Introduction to LiDAR technology, data and applications, NOAA, Mid Atlantic, 2012.

7. Z. Chen, The application of Airborne LiDAR data in the modelling of 3D urban Landscape Ecology, UK: Cambridge Scholars Publishing , 2017
8. Bharat Lohani, Suddhasheel Ghosh, Airborne LiDAR technology A review of data collection and processing systems, Spinger, 2018.
9. Juan Carlos Fernandez Diaz, William E Carter, Ramesh L. Shrestha, Craig L.Glennie, LiDAR remote sensing, Handbook of Satellite Application, New York, Springer, 2013.
10. Steven K. Fillippelli, Micheal A.Lefsky, Monique E.Rocca, Comparison and integration of lidar and photogrammetric point clouds for mapping pre-fire forest structure, Remote Sensing of Environment, 224, 2019.
11. Bao Yunfei, Li Guoping, Cao Chunxiang, Li Xiaowen, Zhang Hao, "Classification of LiDAR point cloud and generation of DTM form LiDAR heigth and intensity data in forest area," The International Archives of the Photogrammetry, RS and Spatial Information Sciences, tập XXXVII, số B3b, pp. 314-318, 2008.
12. Borja Rodriguez - Cuenca, Silverio Garcia Cortes, Celestino Ordonez, Maria C.Alonso, "Automatic detection and classification of pole-like objects in urban point cloud data using an anomaly detection algorithm," Remote Sensing, tập 7, pp. 12680-12703, 2015.
13. Keng FanLin, Chi Pei Wang, Pai Hui Sui, "Object-based classification for LiDAR point cloud," 2012.
14. Zhuangwei Jing, Haiyan Guan, Peiran Zhao, Dilong Li, "Multispectral LiDAR Point Cloud Classification Using SE-PointNet++," MDPI Remote Sensing, tập 13, số 2516, pp. 1-19, 2021.
15. Yuan Gao1,*,Mingchu Li1, "airborne lidar point cloud classification based on multilevel point cluster features," trong International Conference on Geomatics in the Big Data Era (ICGBD), Guangxi, China, 2020.

16. Geodetics, “LiDAR intensity: What is it and What are it's application?,” 2020. [Trực tuyến]. Available: https://geodetics.com/lidar-intensity-applications/.
17. ESRI, “ArcGIS for Desktop,” 2016. [Trực tuyến]. Available: http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm. [Đã truy cập 12 6 2019].
18. Micheal Ty Naus, Furgo Horizon, “LiDAR density and spacing speci,” ASPRS, 2010.
19. P. Tymkow, A. Borkowski, “LAND COVER CLASSFICATION USING AIRBORNE LASER SCANNING DATA AND PHOTOGRAPHS,” Research Gate, 2009.