

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA TRẮC ĐỊA – BẢN ĐỒ VÀ QUẢN LÝ ĐẤT ĐAI
BỘ MÔN ĐO ẢNH VÀ VIỄN THÁM

BÁO CÁO HỌC THUẬT
XÂY DỰNG THUẬT TOÁN THỬ NGHIỆM PHÂN LOẠI
ĐÁM MÂY ĐIỂM MÀU

BÁO CÁO VIÊN:

TS. TRẦN TRUNG ANH

BỘ MÔN ĐO ẢNH VÀ VIỄN THÁM
KHOA TRẮC ĐỊA – BẢN ĐỒ VÀ QUẢN LÝ ĐẤT ĐAI

HÀ NỘI – 6/2026

MỤC LỤC

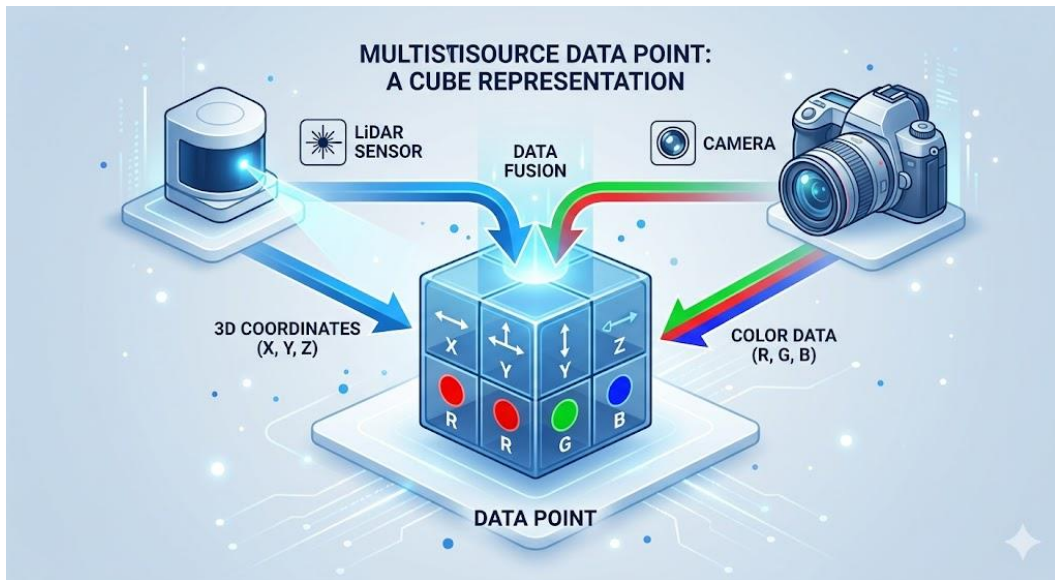
MỤC LỤC	1
1. Chương 1 CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN.....	2
1.1 ĐÁM MÂY ĐIỂM LIDAR MÀU.....	2
1.1.1 Khái niệm và cấu trúc dữ liệu.....	2
1.1.2 Vai trò của thông tin màu trong phân loại đám mây điểm.....	3
1.1.3 Thách thức khi sử dụng dữ liệu LiDAR màu để phân loại thực vật	4
1.2 CHỈ SỐ THỰC VẬT TỪ KÊNH RGB	5
1.2.1 Nguyên lý cơ bản.....	5
1.2.2 Các chỉ số thực vật RGB	6
1.2.3 Xác định khoảng giá trị của các chỉ số.....	10
2. Chương 2 QUY TRÌNH XỬ LÝ VÀ XÂY DỰNG THUẬT TOÁN	12
2.1 QUY TRÌNH XỬ LÝ, XÂY DỰNG PHẦN MỀM.....	12
2.2 THỬ NGHIỆM PHÂN LOẠI ĐÁM MÂY ĐIỂM LIDAR MÀU	13
2.2.1 Phân loại điểm mặt đất và điểm phi địa hình (địa vật).....	14
2.2.2 Đám mây điểm các chỉ số của thực vật theo ngưỡng.....	15
2.3 KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN	21
2.3.1 Kết quả.....	21
2.3.2 Bàn luận	22
KẾT LUẬN	23
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	24

Chương 1 CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN

1.1 Đám mây điểm LIDAR MÀU

1.1.1 Khái niệm và cấu trúc dữ liệu

Đám mây điểm (point cloud) là tập hợp các điểm trong không gian ba chiều, mỗi điểm được xác định bởi tọa độ (X, Y, Z) . Trong ứng dụng viễn thám và địa không gian, đám mây điểm thường được tạo ra từ công nghệ LiDAR (Light Detection and Ranging) hoặc từ phương pháp ảnh lập thể (photogrammetry). Khi đám mây điểm được bổ sung thông tin màu sắc từ ảnh chụp đồng thời, mỗi điểm sẽ có thêm ba kênh phổ (R, G, B) – tương ứng với cường độ phản xạ ở bước sóng đỏ, lục và lam. Tập dữ liệu này được gọi là **đám mây điểm LiDAR màu** (colored LiDAR point cloud) hoặc đám mây điểm RGB-XYZ.



Hình 1.1 Cấu trúc của điểm đối tượng trong đám mây điểm

Cấu trúc dữ liệu của một điểm có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$P_i = (x_i, y_i, z_i, R_i, G_i, B_i)$$

Trong đó:

x_i, y_i, z_i : tọa độ không gian (thường theo hệ tọa độ quốc gia hoặc tương đối).

R_i, G_i, B_i : giá trị số nguyên từ 0 đến 255 (hoặc đã được chuẩn hóa về $[0,1]$), thể hiện màu sắc của đối tượng tại vị trí điểm.

Có hai phương pháp chính để tạo ra đám mây điểm LiDAR màu:

Phương pháp 1: Tích hợp LiDAR và máy ảnh RGB đồng bộ

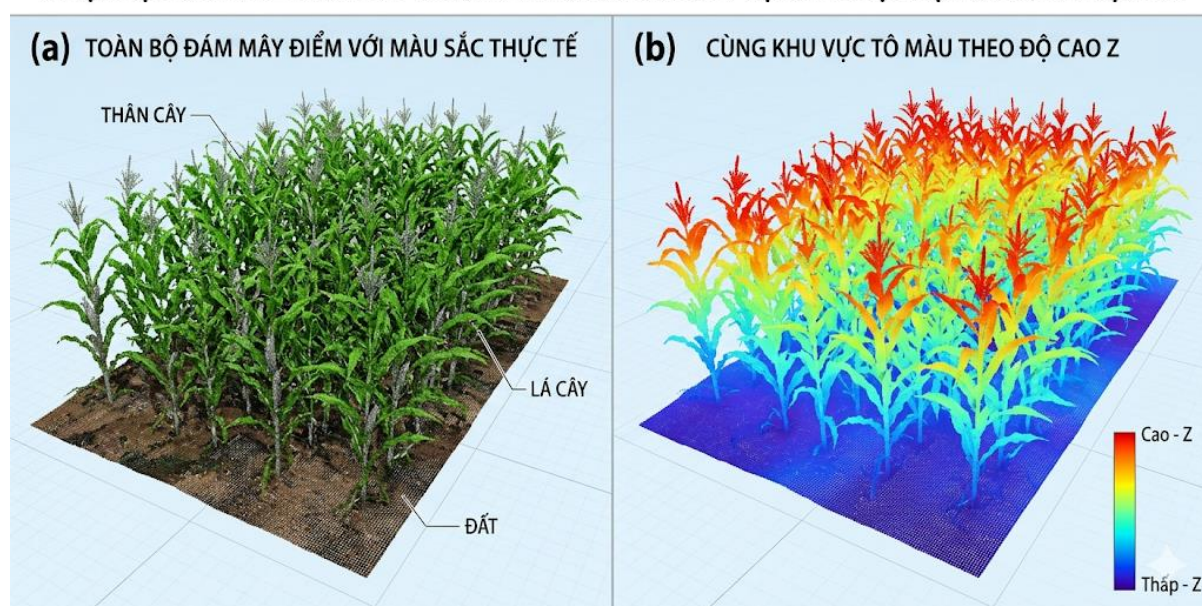
Hệ thống LiDAR (thường gắn trên UAV hoặc xe mặt đất) quét đồng thời với máy ảnh RGB có độ phân giải cao. Sau đó, phần mềm chuyên dụng (ví dụ: Agisoft Metashape, CloudCompare, hoặc thư viện Python laspy + open3d) sẽ nội suy giá trị màu từ ảnh cho từng điểm LiDAR dựa trên hình học chiếu camera. Kết quả là mỗi điểm có cả tọa độ chính xác và màu sắc tương ứng.

Phương pháp 2: Chồng khớp ảnh RGB lên đám mây điểm LiDAR

Với đám mây điểm LiDAR chỉ có cường độ phản xạ (intensity), người ta có thể ghi nhận ảnh RGB của cùng khu vực (từ UAV hoặc vệ tinh) và thực hiện căn chỉnh (registration) để gán màu. Phương pháp này chi phí thấp hơn nhưng dễ phát sinh sai số do sai lệch hình học giữa hai nguồn dữ liệu.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi giả định dữ liệu đầu vào là đám mây điểm LiDAR màu **đã được căn chỉnh hoàn chỉnh**, mỗi điểm chứa đầy đủ thông tin XYZ và RGB.

VÍ DỤ TRỰC QUAN VỀ ĐÁM MÂY ĐIỂM LiDAR MÀU CỦA KHU VỰC CÓ THỰC VẬT (NGÔ) VÀ MẶT ĐẤT



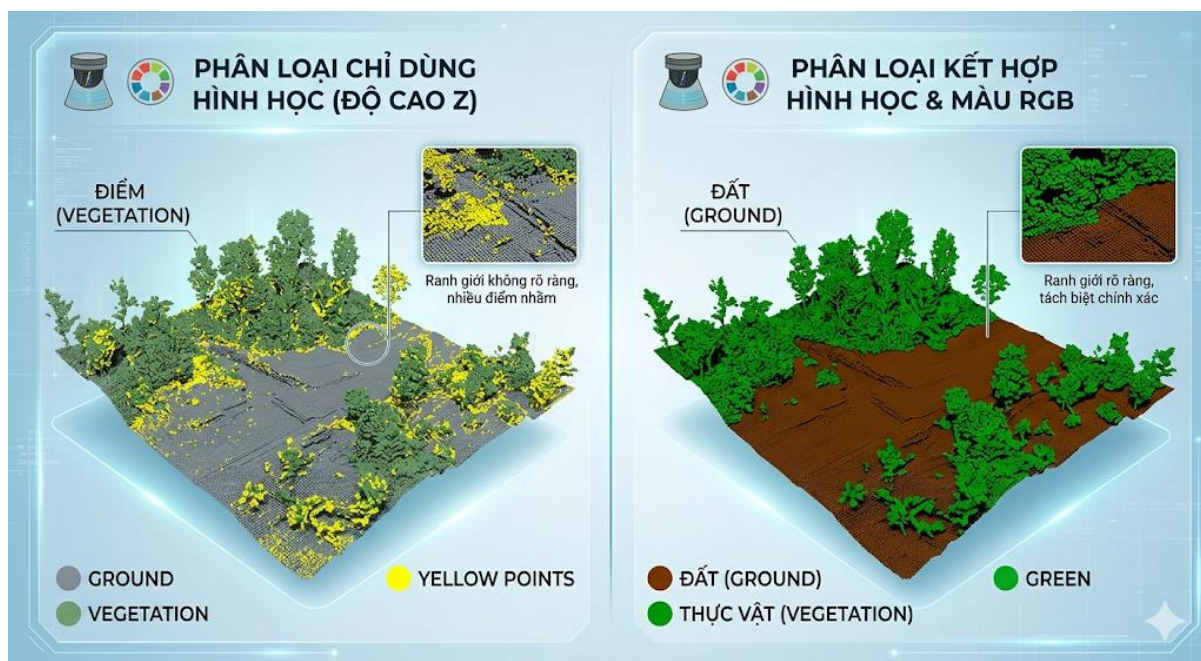
Hình 1.2 Đám mây điểm

1.1.2 Vai trò của thông tin màu trong phân loại đám mây điểm

Trong phân loại đám mây điểm, thông tin hình học (X, Y, Z) thường được sử dụng để trích xuất các đặc trưng cấu trúc như độ cao, độ dốc, độ gồ ghề, hoặc eigenvalue từ ma trận hiệp phương sai cục bộ. Tuy nhiên, với các đối tượng có cấu trúc hình học tương tự nhau (ví dụ: thực vật và mặt đất gồ ghề), thông tin hình học thuần túy không

đủ để phân tách. Chính vì vậy, thông tin **màu sắc phổ (RGB)** đóng vai trò bổ sung vô cùng quan trọng, đặc biệt trong các bài toán:

- Phân loại thực vật / phi thực vật
- Tách tán lá khỏi thân cây và mặt đất
- Phân biệt thực vật khỏi các đối tượng nhân tạo có màu sắc tương tự



Hình 1.3 Nguyên lý phân loại

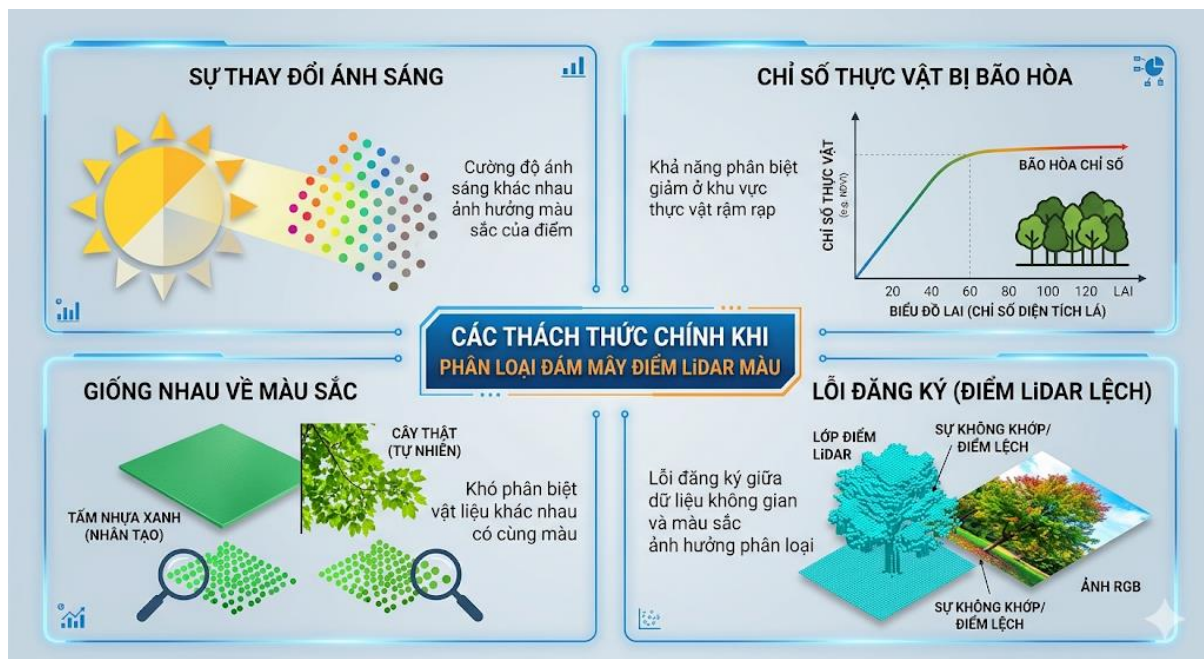
Thông qua các **chỉ số thực vật từ kênh RGB**, chúng ta có thể chuyển đổi không gian màu (R, G, B) thành một hoặc nhiều chỉ số đơn giản nhưng giàu thông tin về sinh khối, hàm lượng diệp lục và độ che phủ. Những chỉ số này đã được chứng minh có tương quan cao với chỉ số diện tích lá (LAI) trong bài báo gốc (de Magalhaes & Rossi, 2024), và hoàn toàn có thể ứng dụng để phân loại thực vật trong đám mây điểm LiDAR màu.

1.1.3 Thách thức khi sử dụng dữ liệu LiDAR màu để phân loại thực vật

Mặc dù thông tin RGB mang lại nhiều lợi ích, vẫn tồn tại một số thách thức chính:

1. **Ảnh hưởng của điều kiện ánh sáng:** Giá trị (R, G, B) phụ thuộc mạnh vào cường độ sáng lúc chụp ảnh, góc chiếu sáng và bóng đổ. Cùng một đối tượng thực vật có thể có giá trị RGB khác nhau giữa lúc sáng và chiều.

2. **Hiện tượng bão hòa chỉ số:** Một số các chỉ số RGB như VEG, ExGR, COM trở nên bão hòa khi LAI (chỉ số diện tích lá) vượt quá $3 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Khi thực vật quá dày, tín hiệu phân biệt giữa nhiều lớp lá và một lớp lá bị suy giảm.
3. **Sự tương đồng phổ giữa thực vật và một số vật liệu nhân tạo:** Cỏ nhựa, màng phủ nông nghiệp màu xanh có thể gây nhầm lẫn.
4. **Sai số căn chỉnh giữa LiDAR và ảnh RGB:** Nếu căn chỉnh không chính xác, điểm LiDAR của thân cây có thể bị gán màu của mặt đất hoặc ngược lại.



Hình 1.4 Màu của đám mây điểm Lidar

Do đó, việc chỉ dựa vào màu sắc thô (R, G, B) là chưa đủ. Cần xây dựng các **chỉ số thực vật chuẩn hóa** và kết hợp với các **thuật toán học máy mạnh mẽ như Random Forest** để tăng độ chính xác phân loại.

1.2 CHỈ SỐ THỰC VẬT TỪ KÊNH RGB

1.2.1 Nguyên lý cơ bản

Thực vật có đặc tính phổ riêng biệt so với các đối tượng khác (đất, bê tông, nước, bóng râm). Cụ thể, thực vật hấp thụ mạnh bức xạ ở vùng phổ đỏ (R) do sắc tố diệp lục (chlorophyll a và b) và phản xạ mạnh ở vùng phổ lục (G). Trong trường hợp chỉ có ảnh RGB (không có kênh cận hồng ngoại), người ta vẫn có thể tận dụng sự chênh lệch giữa

các kênh đỏ, lục, lam để xây dựng các **chỉ số thực vật** (vegetation indices) nhằm tách biệt thực vật khỏi nền.

Các chỉ số này thường được tính từ giá trị phổ đã **chuẩn hóa** theo tổng ba kênh:

$$R_n = \frac{R}{R + G + B}$$

$$G_n = \frac{G}{R + G + B}$$

$$B_n = \frac{B}{R + G + B}$$

Hoặc sử dụng giá trị thô (R, G, B) tùy theo công thức của từng chỉ số

1.2.2 Các chỉ số thực vật RGB

Theo Magalhaes & Rossi (2024) – Bảng 1, có 14 chỉ số RGB được sử dụng. Dưới đây là công thức của từng chỉ số.

Nhóm 1: Chỉ số dựa trên kênh đơn chuẩn hóa

Rn – Normalized Red

$$R_n = \frac{R}{R + G + B}$$

Gn – Normalized Green

$$G_n = \frac{G}{R + G + B}$$

Bn – Normalized Blue

$$B_n = \frac{B}{R + G + B}$$

Nhóm 2: Chỉ số dựa trên hiệu và tổng các kênh

ExG – Excess Green Index (Woebbecke et al., 1995)

Dạng chuẩn hóa:

$$ExG = 2G_n - R_n - B_n$$

Dạng giá trị thô:

$$ExG = 2G - R - B$$

ExGR – Excess Green minus Excess Red (Meyer & Neto, 2008)

$$ExGR = ExG - (1.4R_n - G_n)$$

GLI – Green Leaf Index (Louhaichi et al., 2001)

$$GLI = \frac{2G - R - B}{2G + R + B}$$

VARI – Visible Atmospherically Resistant Index (Gitelson et al., 2002)

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B}$$

MPRI (hay NGRDI) – Modified Photochemical Reflectance Index (Yang et al., 2008)

$$MPRI = \frac{G - R}{G + R}$$

RGBVI – Red-Green-Blue Vegetation Index (Bendig et al., 2015)

$$RGBVI = \frac{G^2 - R \cdot B}{G^2 + R \cdot B}$$

MGVRI – Modified Green Red Vegetation Index

$$MGVRI = \frac{G^2 - R^2}{G^2 + R^2}$$

TGI – Triangular Greenness Index (Hunt et al., 2013)

$$TGI = G - 0.39R - 0.61B$$

VEG – Vegetative Index (Hague et al., 2006)

$$VEG = \frac{G_n}{R_n^{0.667} \cdot B_n^{0.333}}$$

Nhóm 3: Chỉ số tổ hợp phức tạp

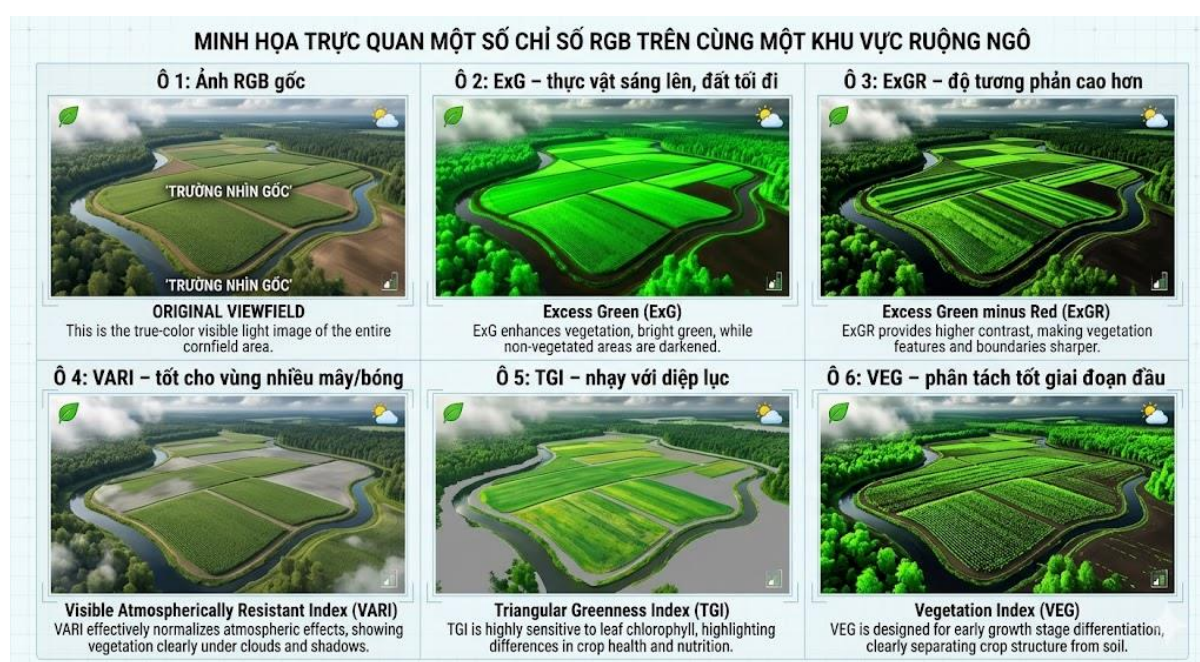
CIVE – Color Index of Vegetation (Kataoka et al., 2003)

$$CIVE = 0.441R_n - 0.881G_n + 0.385B_n + 18.78745$$

COM – Combination Index (Montalvo et al., 2013)

$$COM = 0.25 \cdot ExG + 0.3 \cdot ExGR + 0.33 \cdot CIVE + 0.12 \cdot VEG$$

Lưu ý: Các giá trị R, G, B trong công thức trên có thể là giá trị thô (0-255) hoặc đã chuẩn hóa (0-1), tùy theo từng chỉ số. Trong nghiên cứu này, chúng tôi chuẩn hóa R, G, B về khoảng [0,1] trước khi tính toán tất cả các chỉ số



Hình 1.5 Minh họa một số chỉ số

Dưới đây là bảng tóm tắt 15 chỉ số RGB theo bài báo gốc (de Magalhaes & Rossi, 2024) [1-9]:

STT	Tên chỉ số	Công thức
1	Bn (Normalized Blue)	$B/(R + G + B)$
2	Gn (Normalized Green)	$G/(R + G + B)$

STT	Tên chỉ số	Công thức
3	Rn (Normalized Red)	$R/(R + G + B)$
4	CIVE (The index Color Index of Vegetation)	$(0.441 \times Rn) - (0.881 \times Gn) + (0.385 \times Bn) + 18.78745$
5	COM (Combination)	$(0.25 \times ExG) + (0.3 \times ExGR) + (0.33 \times CIVE) + (0.12 \times VEG)$
6	ExG (Excess of Green)	$(2 \times Gn) - Rn - Bn$
7	ExGR (Excess of Green and Red)	$ExG - ((1.4 \times Rn) - Gn)$
8	GLI (Green Leaf Index)	$((2 \times G) - R - B)/((2 \times G) + R + B)$
9	MGVRI (Modified Green Red Vegetation Index)	$((G \times G) - (R \times R))/((G \times G) + (R \times R))$
10	MPRI (or NDRI) (Modified Photochemical Reflectance Index)	$(G - R)/(G + R)$
11	RGBVI (Red–Green–Blue Vegetation Index)	$((G \times G) - (R \times B))/((G \times G) + (R \times B))$
12	RGBVI (Red–Green–Blue Vegetation Index)	$(G - (B \times R))/((G \times G) + (B \times R))$

STT	Tên chỉ số	Công thức
13	TGI (Triangular Greenness Index)	$G - (0.39 \times R) - (0.61 \times B)$
14	VARI (Visible Atmospherically Resistant Index)	$(G - R) / ((G + R) - B)$
15	VEG (Vegetative Index)	$Gn / ((Rn^{0.667}) \times (Bn^{0.333}))$

1.2.3 Xác định khoảng giá trị của các chỉ số

Để thuận lợi cho việc lập trình phân loại điểm, cần xác định khoảng giá trị của các công thức. Với đám mây điểm màu của Lidar thì R, G, B thường mã hóa 8 bit sẽ nằm trong khoảng [0,255]. Trên cơ sở các công thức ở Bảng 1, xác định khoảng giá trị của các chỉ số được trình bày ở Bảng 2. Vì các công thức có khoảng giá trị min, max, nên đề xuất chuyển về giá trị chuẩn hóa theo công thức:

$$\text{normalizedValue} = (\text{value} - \text{min}) / (\text{max} - \text{min});$$

Giá trị normalizedValue luôn nằm trong khoảng [0, 1], thuận lợi cho việc phân ngưỡng phân loại.

Bảng 1.2 Khoảng giá trị và phân ngưỡng chuẩn hóa

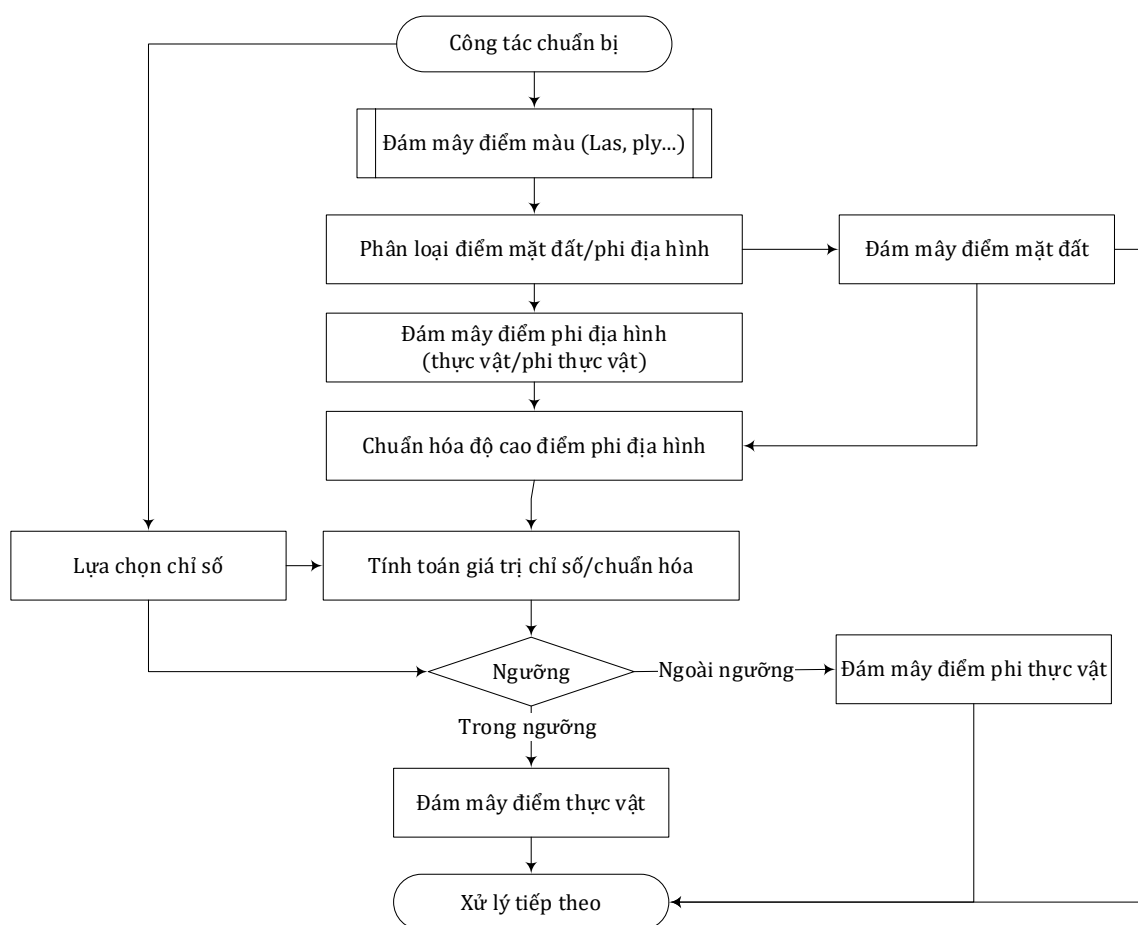
STT	Tên chỉ số	Khoảng giá trị [min, max]	Ngưỡng chuẩn hóa [0,1] đề xuất thử nghiệm (thực vật/phi thực vật)
1	Bn	[0, 1]	0.25
2	Gn	[0, 1]	0.35
3	Rn	[0, 1]	0.35

STT	Tên chỉ số	Khoảng giá trị [min, max]	Ngưỡng chuẩn hóa [0,1] đề xuất thử nghiệm (thực vật/phi thực vật)
4	CIVE	[17.9064, 19.2284]	0.64
5	COM	[4.939, 9.065]	0.33
6	ExG	[-1, 2]	0.35
7	ExGR	[-2.4, 3.4]	0.40
8	GLI	[-1, 1]	0.52
9	MGVRI	[-1, 1]	0.50
10	MPRI	[-1, 1]	0.50
11	RGBVI (1)	[-1, 1]	0.55
12	RGBVI (2)	Không cố định	Không dùng
13	TGI	[-1, 1]	0.52
14	VARI	Không cố định	Không dùng
15	VEG	Không cố định	Không dùng

Chương 2 QUY TRÌNH XỬ LÝ VÀ XÂY DỰNG THUẬT TOÁN

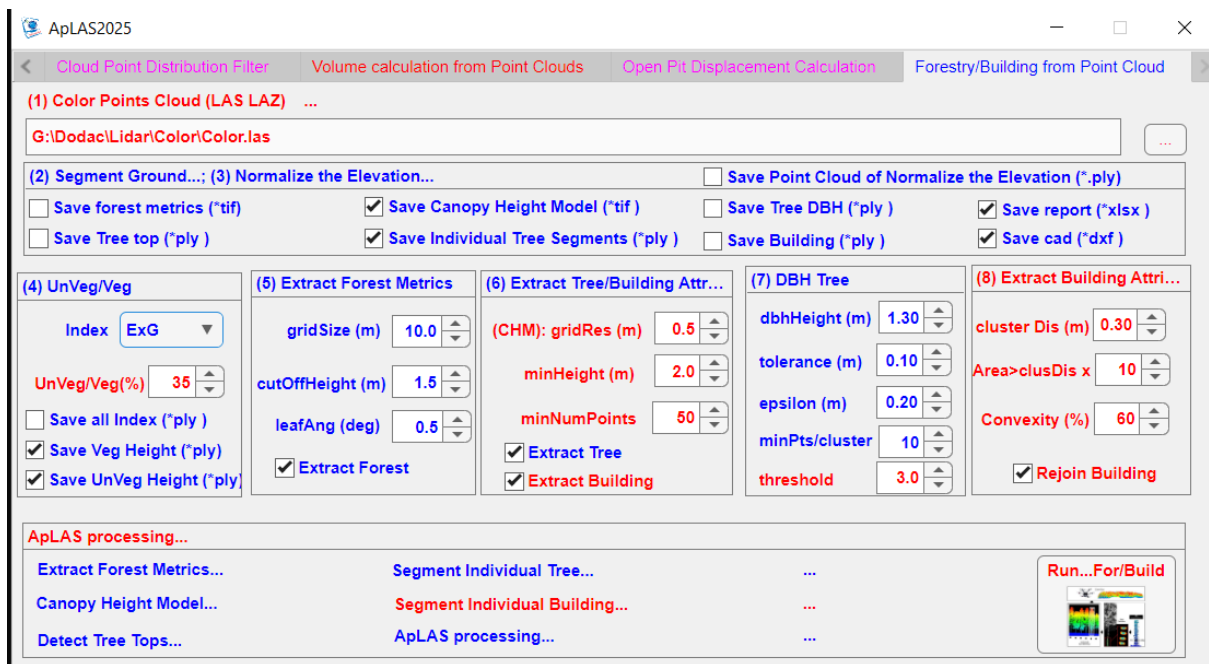
2.1 QUY TRÌNH XỬ LÝ, XÂY DỰNG PHẦN MỀM

Đám mây điểm địa hình có màu từ công nghệ quét laser 3D (LiDAR) hoặc phương pháp đo vẽ ảnh số (Photogrammetry) của nhiều đối tượng (cây cối, nhà cửa, mặt đất, đường xá, sông ngòi...). Để thử nghiệm thuật toán, tác giả phân loại thành 3 đối tượng chính: 1. ground mặt đất, 2- unground địa vật [11,12] (phân tách tiếp: 2 thực vật và 3 phi thực vật). Quy trình xử lý và thuật toán cơ bản trình bày trong sơ đồ hình 2.1.



Hình 2.1 Quy trình xử lý và thuật toán chính

Từ thuật toán đã trình bày ở chương 1, tác giả tiến hành xây dựng phần mềm ApLAS (modul phần xử lý có tính theo các chỉ số)



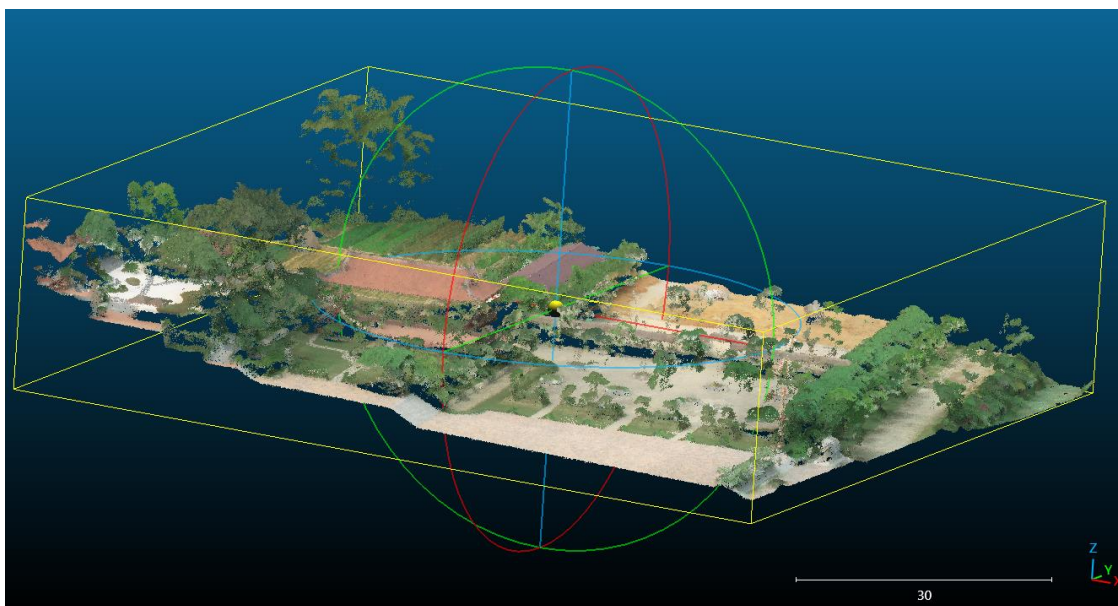
Hình 2.2 Giao diện phần mềm ApLAS

2.2 THỬ NGHIỆM PHÂN LOẠI ĐÁM MÂY ĐIỂM LIDAR MÀU

Để tiến hành thử nghiệm, tác giả lấy một tập điểm đám mây nhỏ gồm 3 triệu điểm:



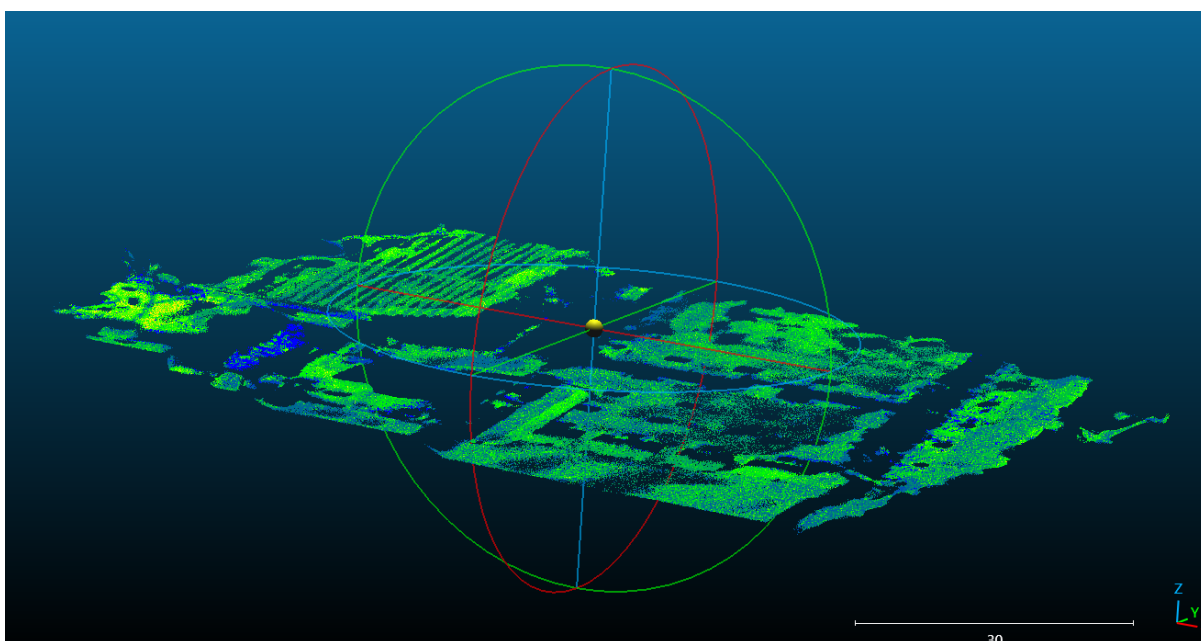
Hình 2.3 Đám mây điểm gốc



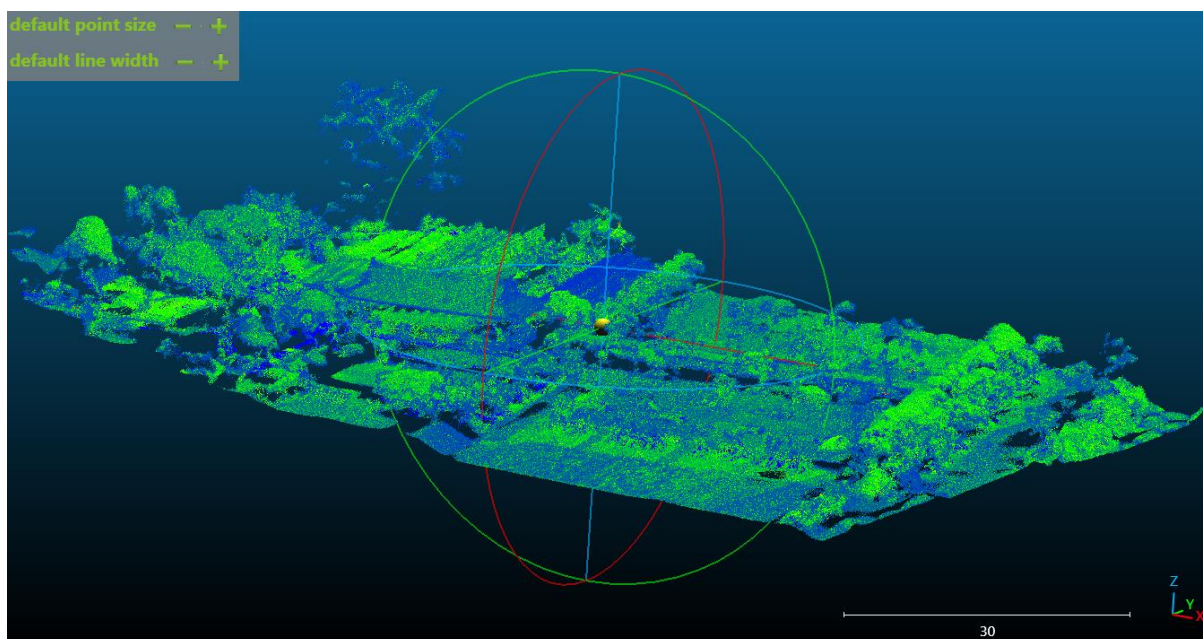
Hình 2.4 Đám mây điểm gốc

2.2.1 Phân loại điểm mặt đất và điểm phi địa hình (địa vật)

Dùng thuật toán của công bố [] tiến hành phân loại điểm mặt đất và địa vật

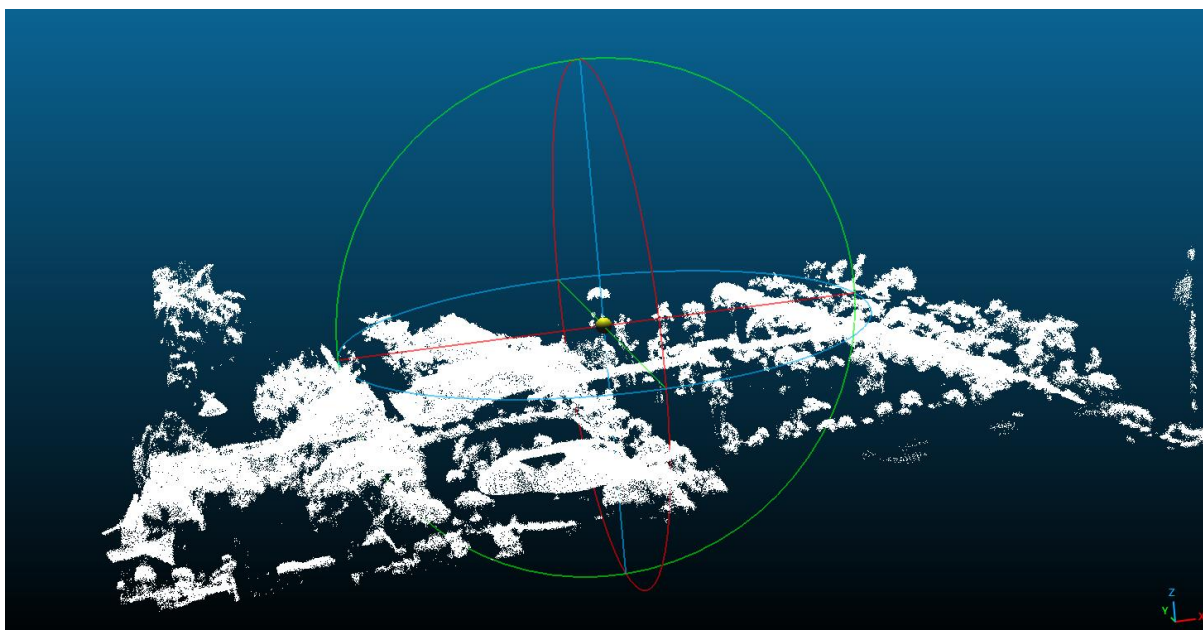


Hình 2.5 Đám mây điểm mặt đất

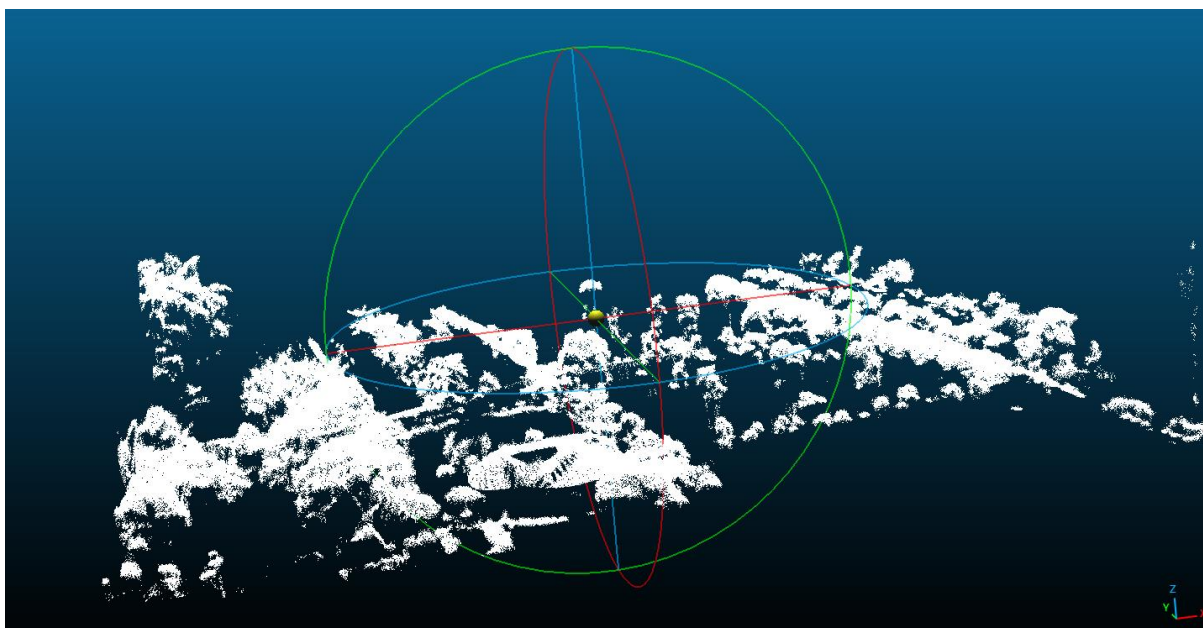


Hình 2.6 Đám mây điểm địa vật

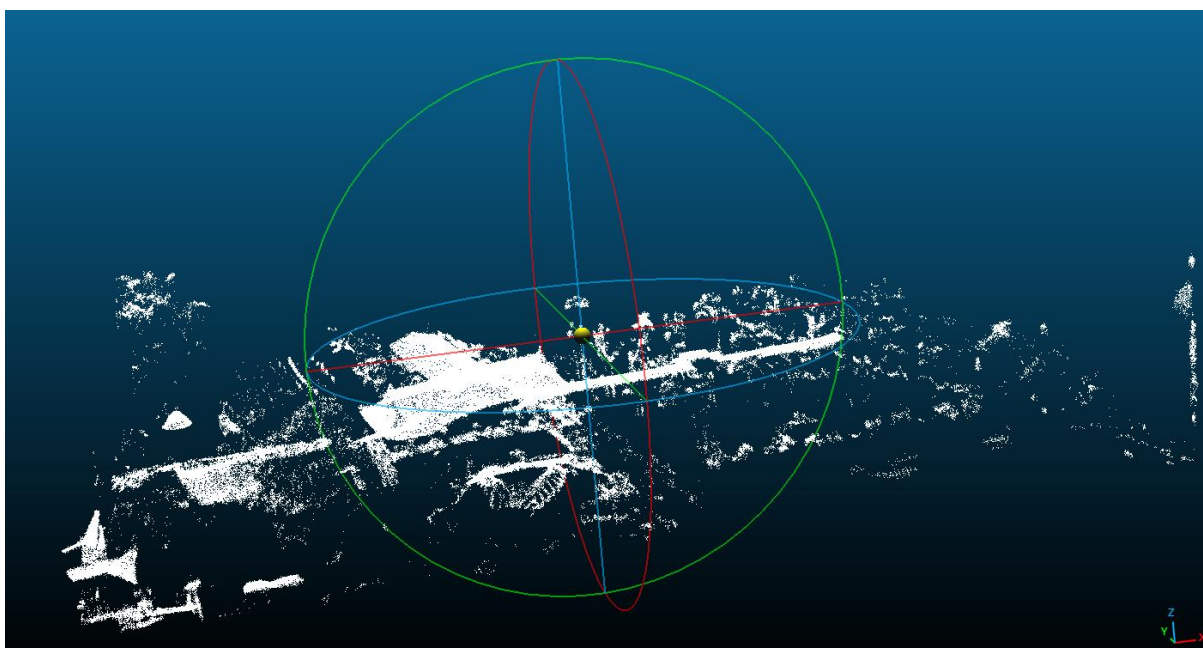
2.2.2 Đám mây điểm các chỉ số của thực vật theo ngưỡng



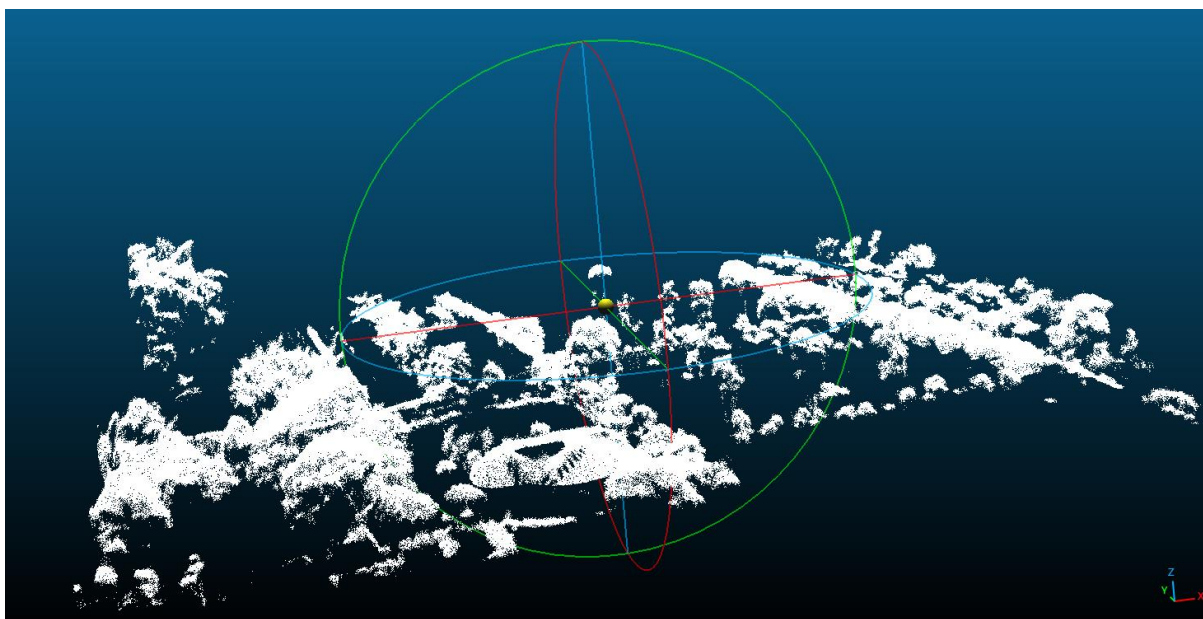
Hình 2.7 Đám mây điểm chỉ số Bn



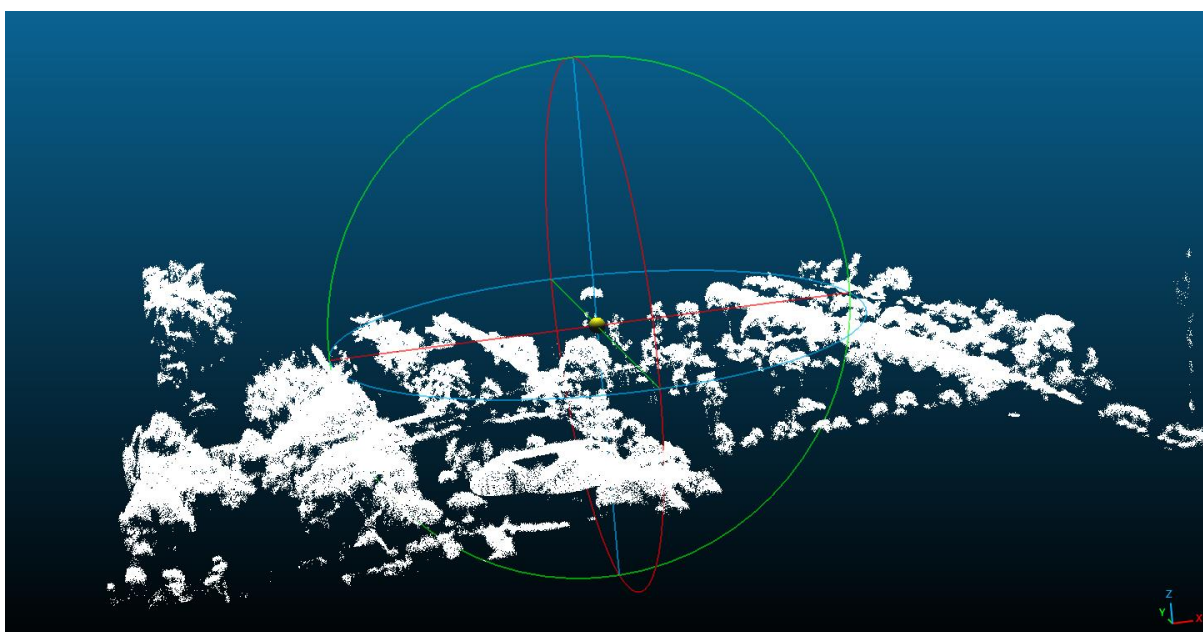
Hình 2.8 Đám mây điểm chỉ số G_n



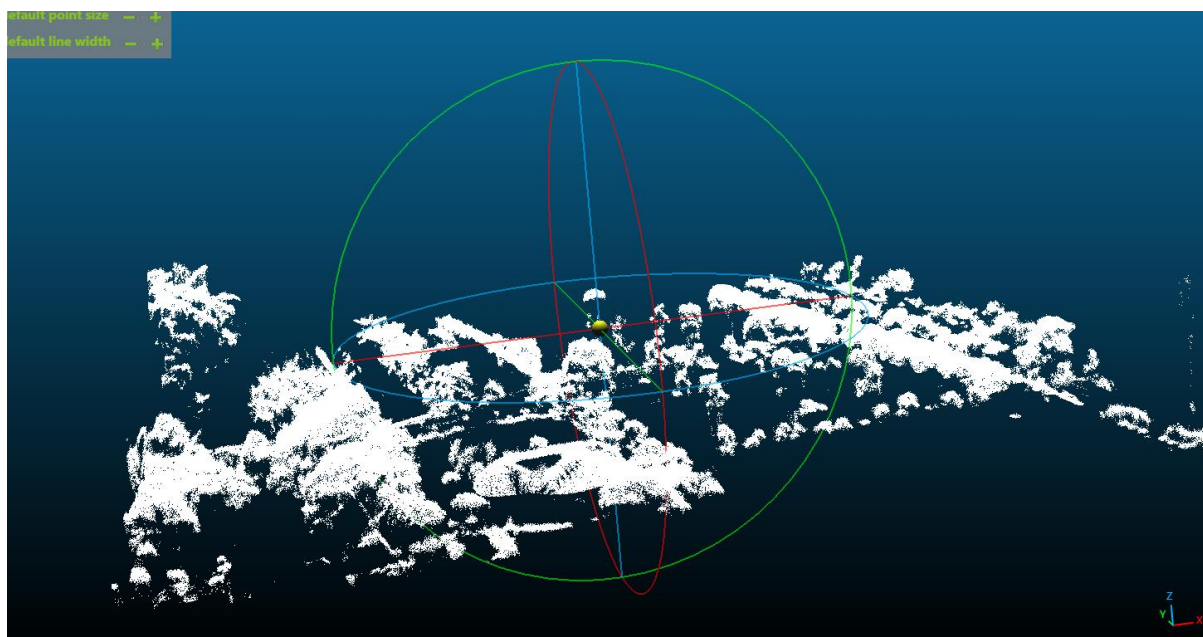
Hình 2.9 Đám mây điểm chỉ số R_n



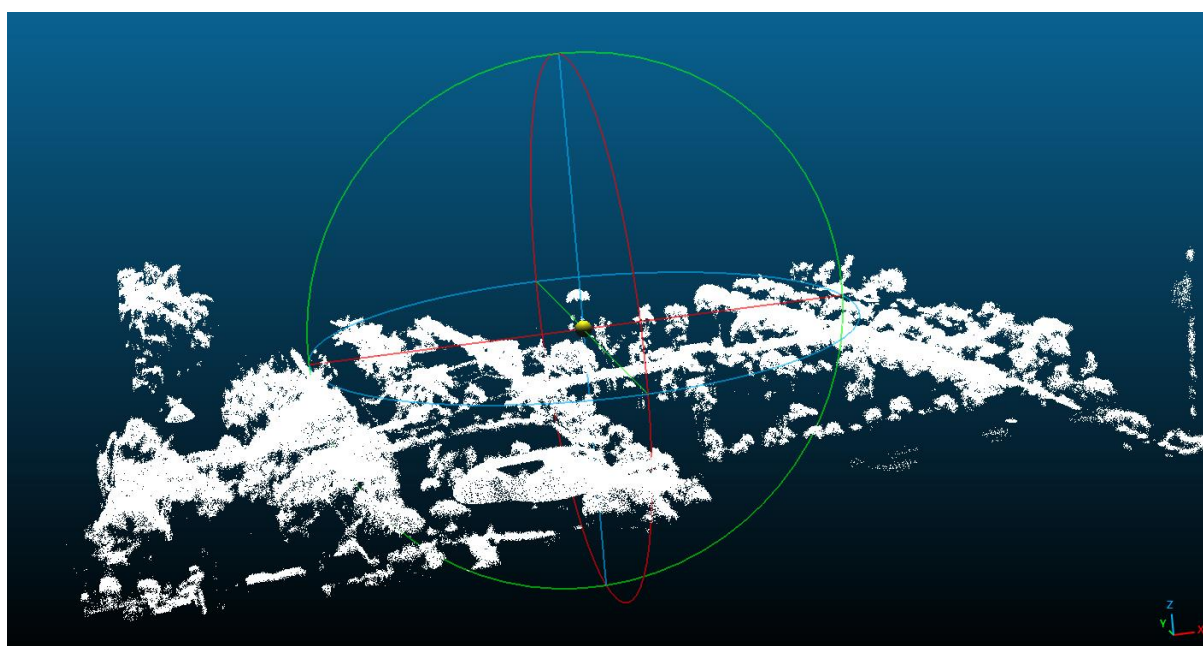
Hình 2.10 Đám mây điểm chỉ số ExG



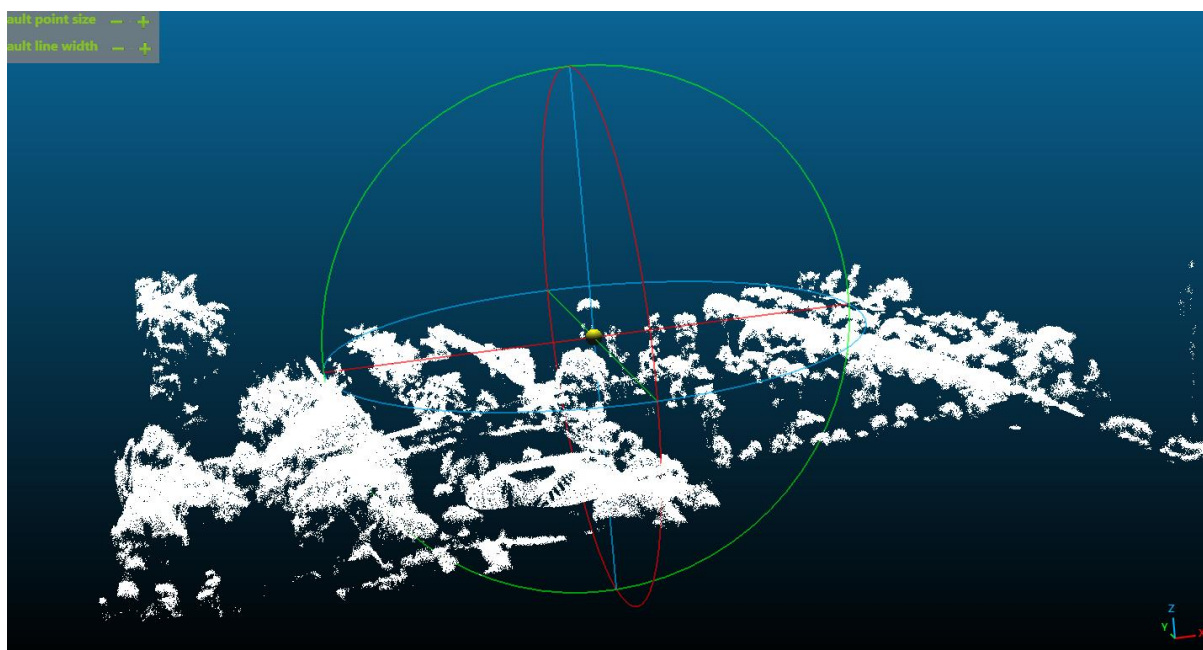
Hình 2.11 Đám mây điểm chỉ số CIVE



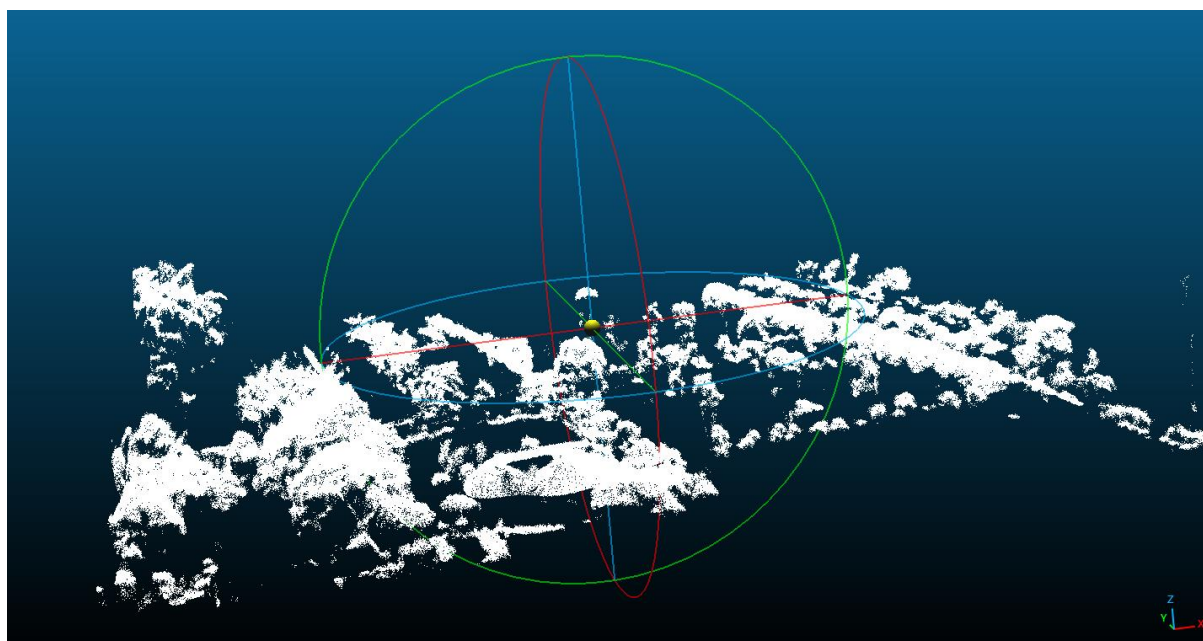
Hình 2.12 Đám mây điểm chỉ số COM



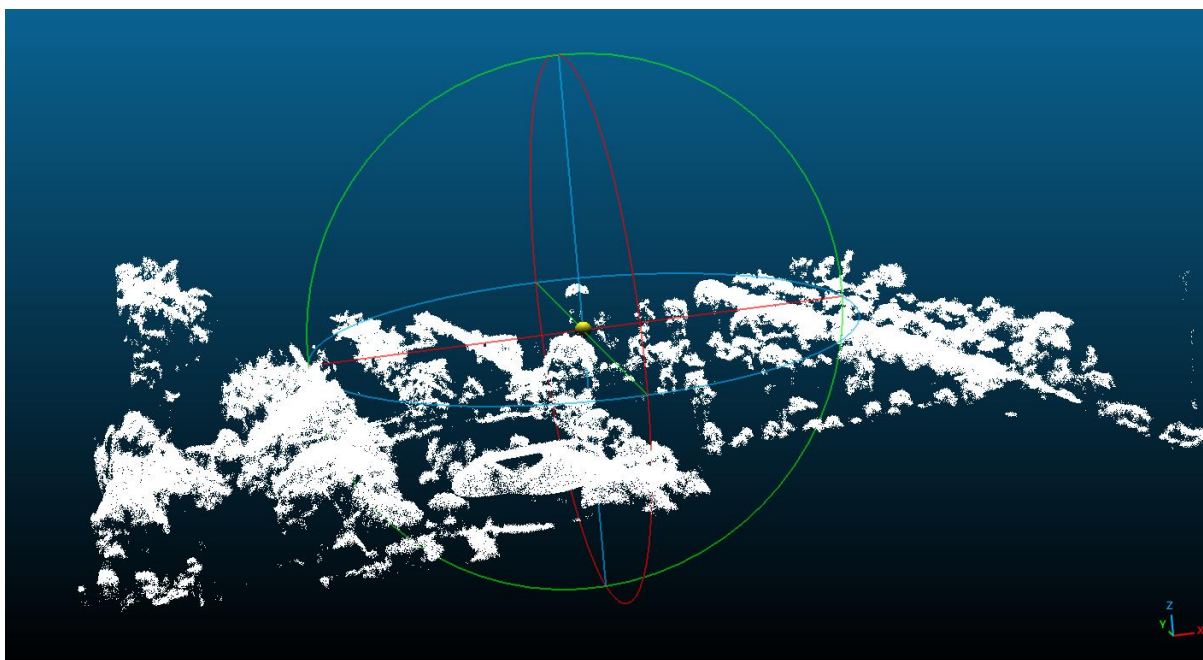
Hình 2.13 Đám mây điểm chỉ số ExGR



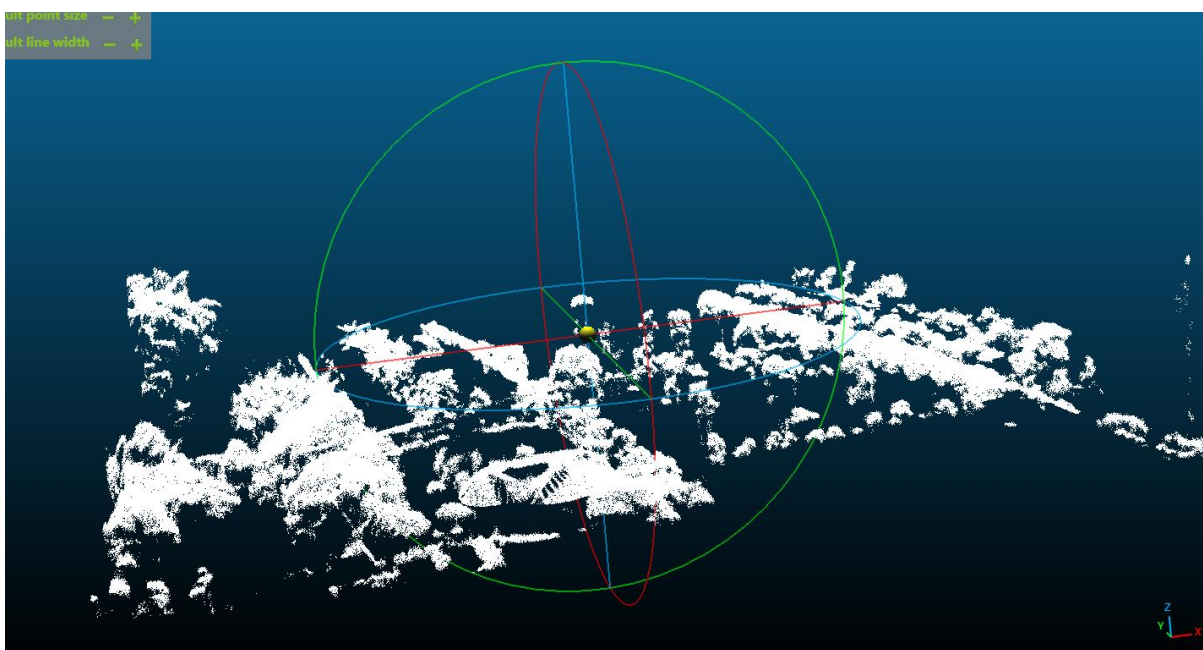
Hình 2.14 Đám mây điểm chỉ số GLI



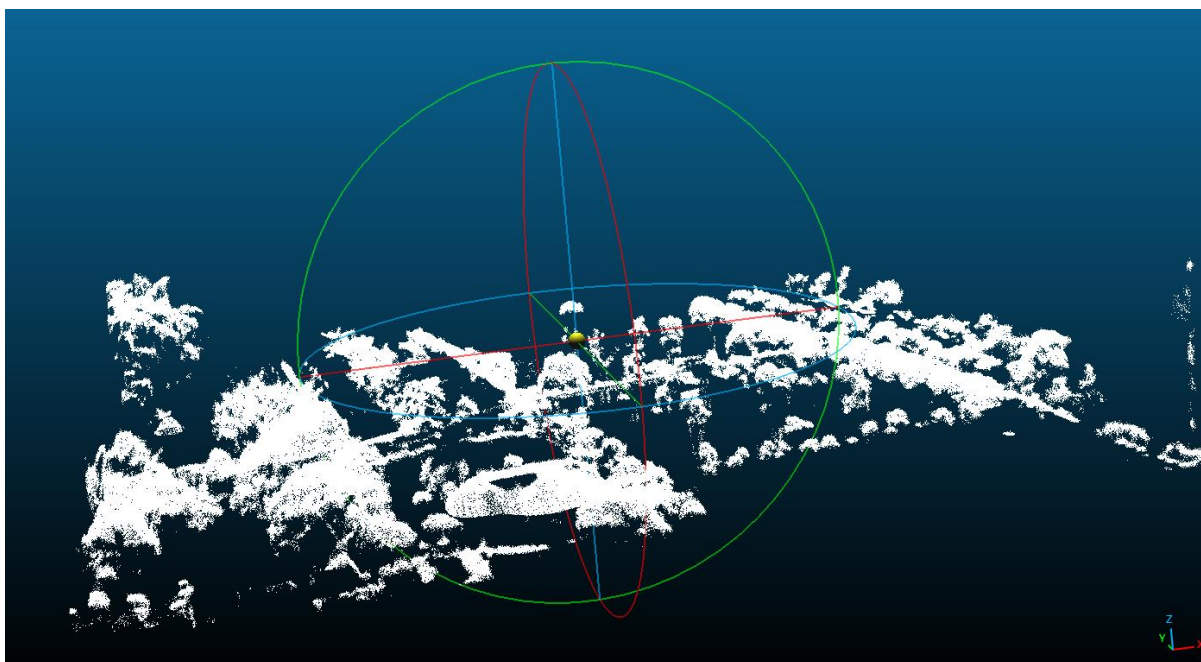
Hình 2.15 Đám mây điểm chỉ số MGVRI



Hình 2.16 Đám mây điểm chỉ số MPRI



Hình 2.17 Đám mây điểm chỉ số RGBVI



Hình 2.18 Đám mây điểm chỉ số TGI

2.3 KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

2.3.1 Kết quả

Kết quả thử nghiệm trên tập dữ liệu đám mây điểm LiDAR màu gồm khoảng 3 triệu điểm cho thấy việc sử dụng các chỉ số thực vật RGB kết hợp ngưỡng phân loại đã mang lại hiệu quả ban đầu rõ rệt trong việc tách biệt thực vật khỏi các đối tượng khác.

Về phân loại mặt đất và phi địa hình: Thuật toán phân loại mặt đất (ground) và phi địa hình (non-ground) hoạt động ổn định, tách được lớp mặt đất khá sạch. Tuy nhiên, một số điểm thuộc tán cây thấp hoặc bụi rậm gần mặt đất vẫn bị nhầm lẫn vào lớp ground do độ cao tương đối thấp và độ gồ ghề nhỏ.

Về phân loại thực vật theo các chỉ số RGB: Các chỉ số cho kết quả khác nhau rõ rệt:

- **Gn (Normalized Green)** và **ExG (Excess Green)** thể hiện hiệu quả cao nhất trong việc phát hiện tán lá. Hầu hết các điểm thuộc tán cây đều có giá trị $Gn > 0.35$ và $ExG > 0.35$, cho phép tách biệt tốt thực vật với mặt đất và các vật liệu nhân tạo (bê tông, mái nhà). Hình ảnh đám mây điểm sau phân loại bằng ExG cho thấy tán cây được giữ lại khá liền mạch.
- **COM (Combination Index)** và **ExGR** cũng cho kết quả tốt, đặc biệt trong việc giảm nhiễu từ các điểm có màu xanh nhạt hoặc bóng râm. COM là chỉ số tổ hợp

nên có khả năng cân bằng giữa nhiều đặc trưng, giảm hiện tượng漏 điểm (missing points) ở vùng rìa tán.

- **TGI (Triangular Greenness Index)** cho kết quả khá tốt ở vùng tán dày, ít bị bão hòa hơn so với ExG, phù hợp với nhận xét trong bài báo gốc [de Magalhães & Rossi, 2024] rằng TGI duy trì độ nhạy ở LAI cao hơn.
- Các chỉ số **VEG**, **GLI**, **MGVRI** và **MPRI** cho kết quả trung bình đến tốt, nhưng dễ bị ảnh hưởng bởi điều kiện ánh sáng (đặc biệt vùng có bóng đổ mạnh).
- **Bn**, **Rn**, **CIVE** và **RGBVI** cho hiệu suất thấp hơn, nhiều điểm thực vật bị loại nhầm hoặc ngược lại, do các chỉ số này nhạy cảm hơn với biến động màu đỏ và xanh lam.

2.3.2 Bàn luận

Phương pháp ngưỡng đơn (thresholding) trên các chỉ số RGB đã chứng minh được tính khả thi với chi phí tính toán thấp, dễ triển khai. Tuy nhiên, độ chính xác vẫn còn hạn chế do:

- Phụ thuộc mạnh vào điều kiện ánh sáng lúc thu ảnh.
- Khó xử lý các đối tượng chuyển tiếp (cây thưa, cỏ thấp, vật liệu nhân tạo màu xanh).
- Chưa khai thác được thông tin không gian 3D (độ cao, mật độ điểm lân cận).
- Ngưỡng chọn cần phải phù hợp, thêm nhiều các tập mẫu.

Để khắc phục, cần kết hợp thêm các đặc trưng hình học (eigenvalue, độ cao chuẩn hóa, độ gồ ghề cục bộ) và có thể áp dụng mô hình học máy như **Random Forest Regression/Classification** hoặc có bộ mẫu chuẩn để áp dụng thêm Học sâu. Việc xây dựng mô hình RFR trên tập đặc trưng kết hợp (RGB indices + geometric features) sẽ là hướng cải tiến quan trọng tiếp theo.

KẾT LUẬN

Báo cáo đã xây dựng thành công quy trình và thuật toán thử nghiệm phân loại đám mây điểm LiDAR màu dựa trên các chỉ số thực vật RGB. Các chỉ số **ExG**, **COM**, **ExGR**, **Gn** và **TGI** cho kết quả phân loại thực vật tương đối tốt trên dữ liệu thử nghiệm.

Nghiên cứu khẳng định vai trò quan trọng của thông tin màu RGB trong việc bổ sung cho phân loại đám mây điểm, đặc biệt trong bối cảnh thiếu kênh cận hồng ngoại. Tuy nhiên, các hạn chế về bão hòa chỉ số, ảnh hưởng của ánh sáng và độ chính xác của phương pháp ngưỡng đơn cho thấy cần tiếp tục nghiên cứu theo hướng kết hợp đa đặc trưng và áp dụng học máy (Random Forest, SVM...) để nâng cao độ chính xác và độ robust của thuật toán.

Các hướng phát triển tiếp theo:

1. Xây dựng mô hình Random Forest Classification trên tập đặc trưng kết hợp (RGB indices + geometric features).
2. Thu thập và kiểm chứng trên nhiều khu vực khác nhau (rừng, nông nghiệp, đô thị).
3. Tích hợp vào phần mềm ApLAS để tự động hóa quy trình xử lý đám mây điểm LiDAR màu.

Kết quả của đề tài góp phần vào việc phát triển các giải pháp xử lý dữ liệu viễn thám 3D phục vụ giám sát tài nguyên thực vật, lập bản đồ sinh thái và quản lý đô thị thông minh tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. de Magalhães, L. P., & Rossi, F. (2024). Use of Indices in RGB and Random Forest Regression to Measure the Leaf Area Index in Maize. *Agronomy*, 14(4), 750. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040750>.
2. Woebbecke, D.M.; Meyer, G.; Von Bargen, K.; Mortensen, D.A. Shape Features for Identifying Young Weeds Using Image Analysis. *Trans. ASAE* **1995**, 38, 271–281.
3. Meyer, G.E.; Neto, J.C. Verification of Color Vegetation Indices for Automated Crop Imaging Applications. *Comput. Electron. Agric.* **2008**, 63, 282–293.
4. Louhaichi, M.; Borman, M.M.; Johnson, D.E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. *Geocarto Int.* **2001**, 16, 65–70.
5. Yang, Z.; Willis, P.; Mueller, R. Impact of Band-Ratio Enhanced Awifs Image to Crop Classification Accuracy. 2008. Available online: <http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0041.pdf> (accessed on 25 January 2024).
6. Bendig, J.; Yu, K.; Aasen, H.; Bolten, A.; Bennertz, S.; Broscheit, J.; Gnyp, M.L.; Bareth, G. Combining UAV-Based Plant Height from Crop Surface Models, Visible, and near Infrared Vegetation Indices for Biomass Monitoring in Barley. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2015**, 39, 79–87.
7. Hunt, E.R.; Doraiswamy, P.C.; McMurtrey, J.E.; Daughtry, C.S.T.; Perry, E.M.; Akhmedov, B. A Visible Band Index for Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content at the Canopy Scale. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2013**, 21, 103–112.
8. Gitelson, A.A.; Kaufman, Y.J.; Stark, R.; Rundquist, D. Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction. *Remote Sens. Environ.* **2002**, 80, 76–87.
9. Hague, T.; Tillett, N.D.; Wheeler, H. Automated Crop and Weed Monitoring in Widely Spaced Cereals. *Precis. Agric.* **2006**, 7, 21–32.

10. Trần Trung Anh và nnk (2022), Nghiên cứu công nghệ bay quét lidar-uav không người lái trong xây dựng bản đồ nền địa hình tỷ lệ lớn ở khu vực thực phủ dày đặc, Đề tài cấp cơ sở 2022, Trường Đại học Mở - Địa chất.
11. Trần Trung Anh, Trần Hồng Hạnh và Quách Mạnh Tuấn, 2022. Kết hợp lọc hình thái và lọc phân bố mật độ đám mây điểm UAV-LiDAR để xây dựng mô hình số địa hình, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mở - Địa chất, số 63, kỳ 5, tr. 1-10. DOI:10.46326/JMES.2022.63(5).01