

EFFECTS OF FLIGHT ALTITUDES ON THE DETERMINATION OF POMELO FRUIT TREE LOCATIONS AND HEIGHTS USING UNMANNED AERIAL VEHICLE

Nguyen Huy Trung*, Bui Thi Hao, Nguyen Duy Hai, Duong Minh Ngoc, Nguyen Quang Thi
 Nguyen Ngoc Anh, Ngo Thi Hong Gam, Phan Dinh Binh, Hoang Huu Chien
 TNU - University of Agriculture and Forestry

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 03/4/2023 Revised: 19/6/2023 Published: 19/6/2023	Determination of an appropriate flying altitude is a crucial task when using unmanned aerial vehicles (UAV) for tree monitoring. This study tested and evaluated the influence of different UAV flight altitudes (30 m and 50 m) on the computation of pomelo fruit tree locations and heights. The results indicated that pomelo fruit trees were detected from the UAV images captured at a flight altitude of 30 m obtained an accuracy of 92.2%, higher than data captured at a flight altitude of 50 m (87.4%). Tree heights extracted from UAV data achieved high accuracies for both flight altitudes but 30 m flight altitude produced more accurate results than 50 m flight altitude; with an mean squared error (MSE) of 0.27 versus 0.33, respectively. A total of 353 pomelo trees were identified within the study area. The average tree height was 3.3 m, with the lowest and highest trees were 0.5 and 6.2 m, respectively. Decreasing the flight altitude from 50 m to 30 m results in an increased accuracy, but not significant. Thus, UAV applications for large areas could set a height of 50 m and should still obtain reliable results. This paper will be an important reference for future studies on UAV applications for fruit tree monitoring.
KEYWORDS UAV Flight altitudes Tree locations Tree heights Canopy height model	

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ CAO BAY ĐẾN VIỆC XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ VÀ CHIỀU CAO CÂY BƯỞI SỬ DỤNG THIẾT BỊ BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI

Nguyễn Huy Trung*, Bùi Thị Hảo, Nguyễn Duy Hải, Dương Minh Ngọc, Nguyễn Quang Thi
 Nguyễn Ngọc Anh, Ngô Thị Hồng Gấm, Phan Đình Bình, Hoàng Hữu Chiến
 Trường Đại học Nông lâm – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 03/4/2023 Ngày hoàn thiện: 19/6/2023 Ngày đăng: 19/6/2023	Việc xác định độ cao bay phù hợp là yêu cầu rất quan trọng khi ứng dụng thiết bị bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) trong theo dõi cây trồng. Nghiên cứu này đánh giá sự ảnh hưởng của độ cao bay của UAV (30 m và 50 m) đến việc xác định vị trí và chiều cao cây bưởi. Kết quả cho thấy vị trí cây được xác định từ dữ liệu UAV ở độ cao bay 30 m có độ chính xác là 92,2%, cao hơn so với dữ liệu thu thập ở độ cao bay 50 m (87,4%). Dữ liệu ở độ cao bay 30 m cũng cho kết quả tính toán chiều cao cây chính xác hơn so với độ cao bay 50 m; sai số toàn phương trung bình (MSE) lần lượt là 0,27 so với 0,33. Tổng số 353 cây bưởi được xác định tại khu vực nghiên cứu với chiều cao cây trung bình là 3,3 m, cây thấp nhất và cao nhất lần lượt là 0,5 m và 6,2 m. Việc giảm độ cao bay của thiết bị UAV từ 50 m xuống 30 m sẽ cải thiện độ chính xác của kết quả, nhưng không đáng kể. Do đó, độ cao bay 50 m có thể được áp dụng khi khảo sát UAV trên diện rộng mà vẫn thu được kết quả đáng tin cậy. Bài báo này sẽ là nguồn tham khảo quan trọng cho các nghiên cứu ứng dụng công nghệ UAV trong theo dõi cấu trúc cây ăn quả trong tương lai.
TỪ KHÓA Thiết bị bay không người lái Độ cao bay Vị trí cây Chiều cao cây Mô hình chiều cao đối tượng	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7667>

* Corresponding author. Email: nguyenhuytrung@tauf.edu.vn

1. Giới thiệu

Thiết bị bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicle, viết tắt là UAV) là thuật ngữ chỉ những phương tiện bay được điều khiển tự động theo chương trình định trước, hoặc được điều khiển từ xa bởi trạm mặt đất hoặc máy bay có người lái, có thể thu hồi hoặc tự hủy sau khi hoàn thành nhiệm vụ mà không cần phi công điều khiển trực tiếp [1]. Tại nhiều nước có nền nông nghiệp phát triển, công nghệ UAV đang trở thành công cụ hữu ích trong các hoạt động đánh giá, khảo sát vườn trồng nhằm cung cấp thông tin chính xác góp phần nâng cao năng suất và chất lượng nông sản [2]. Các ứng dụng chủ yếu của công nghệ UAV trong nông nghiệp bao gồm tính toán các thông số cấu trúc cây trồng (vị trí, chiều cao, cấu trúc tán), phát hiện cỏ dại, hạn hán và sâu bệnh, và ước tính sản lượng nông sản [3]-[5]. Tại Việt Nam, những năm gần đây công nghệ UAV bước đầu được ứng dụng trong nông nghiệp, nhưng chủ yếu cho các chức năng phân phối như phun thuốc, bón phân. Số lượng nghiên cứu về khảo sát, đánh giá cây trồng còn rất hạn chế. Kết quả từ một số nghiên cứu gần đây cho thấy tiềm năng và hiệu quả của công nghệ UAV trong theo dõi cây trồng ở nước ta [6]-[8]. Tác giả Võ Quốc Tuấn [6] đã ứng dụng công nghệ UAV thu ảnh đa phổ để theo dõi và hỗ trợ cảnh báo sớm dịch hại vùng canh tác lúa tại tỉnh Sóc Trăng. Ngoài ra, tác giả Nguyễn Trường Sơn [7] đã thử nghiệm hệ thống kết hợp công nghệ UAV và thiết bị cảm biến không dây để giám sát cây trồng và chỉ ra tiềm năng ứng dụng của công nghệ UAV trong tự động giám sát cây trồng trên quy mô lớn.

Quá trình trích xuất các thông tin về cấu trúc cây trồng như vị trí, chiều cao và cấu trúc tán từ dữ liệu ảnh UAV thường dựa trên các mô hình số bề mặt (Digital Surface Model, viết tắt là DSM) và mô hình số địa hình (Digital Terrain Model, viết tắt là DTM). DSM và DTM được xây dựng trong quá trình xử lý ảnh UAV sau khi thu thập [9]. DSM là mô hình số thể hiện độ cao bề mặt (bao gồm toàn bộ các đối tượng vật thể trên bề mặt đất như cây, nhà, đường,...), trong khi đó DTM là mô hình số thể hiện số độ cao của bề mặt đất. Các mô hình này được sử dụng để tính toán mô hình thể hiện chiều cao đối tượng trên bề mặt đất (Canopy Height Model, viết tắt là CHM) theo công thức sau:

$$CHM = DSM - DTM \quad (1)$$

Các thông tin về cấu trúc cây trồng sau đó có thể được tính toán tự động từ CHM bằng nhiều phương pháp khác nhau như thuật toán tìm kiếm tối ưu dựa trên giá trị cực đại địa phương (Local Maxima) và phân đoạn ảnh (Segmentation) [9], [10]. Do đó, mức độ chi tiết và chính xác của các mô hình số độ cao có ý nghĩa quyết định tới độ chính xác của kết quả xác định vị trí và cấu trúc cây trồng.

Chất lượng và mức độ chi tiết của các mô hình DSM và DTM phụ thuộc trước hết vào độ cao bay thiết lập khi thu thập ảnh UAV. Do vậy, việc xác định độ cao bay phù hợp là một trong những yêu cầu quan trọng khi ứng dụng UAV trong nông nghiệp [10]. Độ cao bay không chỉ quyết định đến chất lượng và mức độ chi tiết của ảnh mà còn tới thời gian bay (liên quan đến khả năng đáp ứng của pin UAV), phạm vi khảo sát và chi phí cho quá trình xử lý dữ liệu. Giảm độ cao bay sẽ cho ảnh có độ phân giải cao hơn, từ đó tạo ra các sản phẩm có mức độ chi tiết và chính xác cao hơn, nhưng lại tạo ra lượng dữ liệu lớn, đòi hỏi quá trình xử lý lâu và phức tạp hơn [10]. Các nghiên cứu trước đây thường xác định các độ cao bay trong giám sát cây trồng khác nhau, từ 30-70 m. Do đó, việc đánh giá và lựa chọn được độ cao bay phù hợp là hết sức quan trọng nhằm tối ưu hóa chất lượng sản phẩm, tiết kiệm thời gian và chi phí trong vận hành bay cũng như xử lý dữ liệu.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi thử nghiệm và đánh giá kết quả xác định vị trí và chiều cao cây ăn quả từ dữ liệu UAV thu thập ở các độ cao bay khác nhau (30 m và 50 m). Nghiên cứu được thực hiện trên đối tượng là cây bưởi tại Mô hình bưởi diễn ở trường Đại học Nông lâm – Đại học Thái Nguyên. Kết quả trình bày trong bài báo này sẽ là nguồn tham khảo quan trọng cho các nghiên cứu ứng dụng UAV trong theo dõi cấu trúc cây ăn quả.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là Mô hình bưởi diển tại trường Đại học Nông lâm – Đại học Thái Nguyên, thuộc xã Quyết Thắng, thành phố Thái Nguyên, tỉnh Thái Nguyên (Hình 1). Tọa độ trung tâm khu vực nghiên cứu là $21^{\circ}35'48''\text{B}$ $105^{\circ}48'04''\text{Đ}$. Vườn bưởi chuyên canh có tổng diện tích khoảng 0,7 ha, địa hình tương đối bằng phẳng, độ cao trung bình từ 9,7-12,5 m. Cây bưởi được trồng theo hàng với mật độ khá đồng đều và được chia làm hai khu vực với độ khác nhau. Một khu vực có độ tuổi từ 1-2 năm và khu vực còn lại có độ tuổi từ 4-5 năm (Hình 1).



Hình 1. Ranh giới khu vực nghiên cứu trên nền ảnh ghép trực giao

2.2. Thu thập dữ liệu

Vật liệu phục vụ nghiên cứu bao gồm dữ liệu ảnh UAV và số liệu đo đặc khảo sát trên cây mẫu, được thu thập trên hiện trường vào ngày 23/02/2023. Dữ liệu ảnh được thu thập bằng thiết bị bay không người lái Phantom 4 Multispectral được sản xuất bởi hãng DJI. Dữ liệu ảnh được thu thập trong khoảng từ 10:00 – 13:00 giờ (hạn chế bóng đối tượng trên ảnh) dưới điều kiện thời tiết tốt (trời không mây, tốc độ gió dưới 4 m/s).

Các thông số kỹ thuật được sử dụng cho quá trình bay chụp được thể hiện tại Bảng 1. Để đánh giá vai trò và sự ảnh hưởng của độ cao bay chụp tới kết quả nghiên cứu, chúng tôi thực hiện thu ảnh ở hai độ cao bay lần lượt là 30 m và 50 m so với bề mặt đất (sau đây gọi là B30 và B50). Đây là những độ cao bay chụp được khuyến cáo khi ứng dụng UAV trong nông nghiệp [10]. Kế hoạch bay chi tiết và hoạt động điều khiển bay tại hiện trường được thực hiện trên bộ điều khiển từ xa tích hợp với phần mềm DJI Ground Station Pro cài đặt trên máy tính bảng iPad. Tổng số lượng ảnh thu thập được tại khu vực nghiên cứu là 633 ảnh đối với B30 và 251 ảnh đối với B50. Kích thước mỗi ảnh là 1.600x1.300 điểm ảnh (pixels). Độ chồng phủ giữa các ảnh theo cả chiều ngang và chiều dọc là 80%.

Để đánh giá độ chính xác của kết quả nghiên cứu, chúng tôi lựa chọn ngẫu nhiên 40 cây mẫu tại khu vực nghiên cứu và tiến hành thu thập, đo đặc các thông số về vị trí và chiều cao cây trồng.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật sử dụng trong quá trình thu thập dữ liệu ảnh UAV

STT	Thông số	B30	B50
1	Độ cao bay	30 m	50 m
2	Tổng thời gian bay	40 phút 52 giây	16 phút 03 giây
3	Tổng diện tích bay	1,3 ha	1,3 ha
4	Tốc độ bay	1,3 m/s	2,2 m/s
5	Góc chụp	90 độ	90 độ
6	Tỷ lệ chồng phủ giữa các ảnh	80%	80%
7	Độ phân giải ảnh gốc	1,6 cm	2,8 cm
8	Tổng số ảnh thu được	633	251

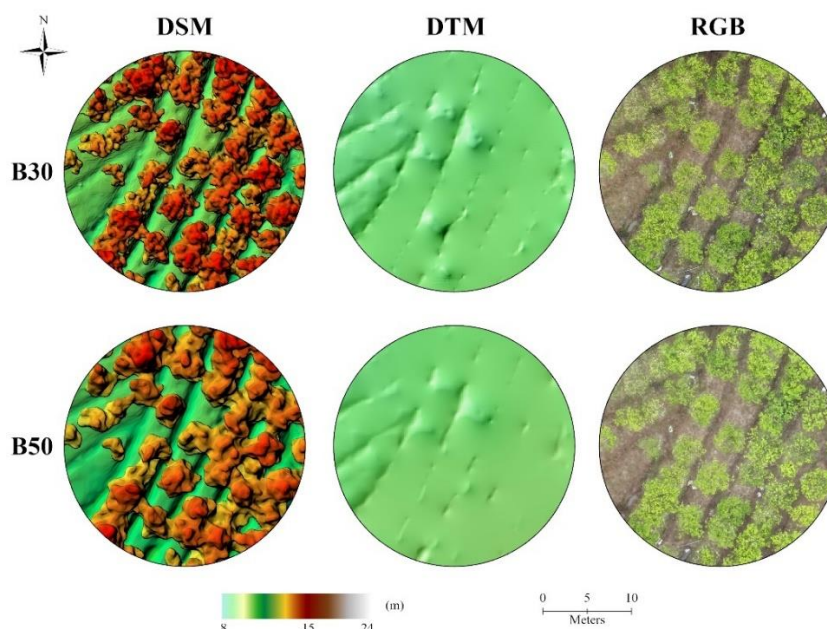
2.3. Xử lý dữ liệu ảnh UAV

Dữ liệu ảnh UAV sau khi thu thập được tự động xử lý sử dụng phần mềm Pix4Dmapper. Quá trình xử lý ảnh bao gồm 03 bước chính sau:

- *Xử lý sơ bộ*: Sau khi nhập và chuẩn hóa các điểm khống chế ảnh và các tham số có liên quan, phần mềm sẽ tự động tìm kiếm các điểm chung (điểm giống nhau, còn gọi là keypoint) giữa các ảnh có độ chồng phủ cao, tạo ra đám mây điểm sơ bộ. Các ảnh riêng biệt sẽ được ghép lại với nhau dựa vào các điểm chung tìm được giữa chúng.

- *Tạo đám mây điểm dày đặc (densified point cloud)*: Từ đám mây điểm sơ bộ, phần mềm sẽ tính toán và tăng dày mật độ điểm để xây dựng đám mây điểm dày đặc. Đám mây điểm cũng được tự động phân loại theo một trong các nhóm xác định trước (gồm bề mặt đất, mặt đường, thảm thực vật, nhà cửa và các đối tượng nhân tạo khác).

- *Tạo ảnh ghép trực giao (bình đồ ảnh) và các mô hình số độ cao*: Phần mềm sử dụng phương pháp nội suy để xây dựng các mô hình DSM và DTM (Hình 2). Quá trình xử lý ở bước này còn tạo ảnh ghép trực giao (RGB orthomosaic) thể hiện màu sắc thực của các đối tượng trên bề mặt đất. Mô hình số độ cao (DSM và DTM) và ảnh trực giao được trích xuất theo ranh giới vườn bưởi với độ phân giải không gian 2,8 cm đối với B50 và 1,6 cm đối với B30 (Hình 2), và được chuyển đổi về hệ tọa độ quốc gia VN2000 để sử dụng cho các bước xử lý tiếp theo.

**Hình 2.** Mô hình DSM, DTM và ảnh ghép trực giao sau khi xử lý dữ liệu ảnh UAV

2.4. Xác định vị trí và chiều cao cây trồng

Vị trí, chiều cao và cấu trúc tán của cây bưởi được tự động xác định sử dụng phần mềm R Programming với các bộ công cụ ForestTools, raster và rgdal [11]. Các bước thực hiện được áp dụng độc lập đối với các CHM thu được từ B30 và B50, bao gồm:

- *Tính toán mô hình CHM*: CHM là mô hình thể hiện chiều cao (m) của các đối tượng trên bề mặt đất, được xác định bằng hiệu số giữa các mô hình DSM và DTM theo công thức (1). Sau khi tính toán, một bước xử lý lọc được sử dụng để loại bỏ các đối tượng (các điểm ảnh) trên CHM có giá trị chiều cao nhỏ hơn 0,5 m hoặc lớn hơn 6,5 m (tương ứng với giá trị chiều cao nhỏ nhất và lớn nhất của cây bưởi trong khu vực nghiên cứu).

- *Xác định vị trí và chiều cao cây trồng*: Vị trí và chiều cao của cây trồng được tự động xác định và tính toán từ CHM bằng phương pháp tìm kiếm tối ưu dựa trên giá trị cực đại địa phương (local maxima). Phương pháp này sử dụng một “cửa sổ lọc” (filter window) với kích cỡ cửa sổ tùy biến theo giá trị của điểm ảnh trung tâm để phát hiện điểm có giá trị chiều cao cực đại (ngọn cây) của mỗi cây trồng từ mô hình CHM [12]. Để hạn chế việc xác định các giá trị cực đại địa phương giả (thường do các cành cây gây ra), mô hình CHM được làm nhẵn (smooth) trước khi áp dụng thuật toán để xác định vị trí cây. Kết quả của bước này là tọa độ vị trí cây (x,y) và chiều cao tương ứng của mỗi cây.

2.5. Đánh giá độ chính xác

Kết quả xác định vị trí cây từ dữ liệu UAV được so sánh với vị trí và số lượng cây trên thực tế (xác định bằng phương pháp khảo sát thực tế và giải đoán ảnh bằng mắt). Độ chính xác tổng thể (F score) được tính toán như sau [3], [10]:

$$F = 2rp/(r + p) \times 100 \quad (2)$$

Trong đó, r là tỷ lệ phát hiện cây trên thực tế và p là độ chính xác trong phát hiện cây, được tính toán như sau:

$$r = \text{Tổng số cây xác định đúng} / \text{Tổng số cây trên thực tế} \quad (3)$$

$$p = \text{Tổng số cây xác định đúng} / \text{Tổng số cây xác định từ dữ liệu UAV} \quad (4)$$

Độ chính xác của chiều cao cây được đánh giá bằng cách so sánh với số liệu đo đạc trên cây mẫu thông qua hệ số tương quan (R^2) và sai số toàn phương trung bình (mean squared error - MSE).

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Vị trí cây

Kết quả khảo sát thực địa xác định vườn bưởi có tổng số 353 cây tại thời điểm bay chụp dữ liệu UAV (tháng 02/2023). Kết quả xác định vị trí cây từ ảnh UAV cho thấy dữ liệu B30 cho độ chính xác cao hơn so với B50; cụ thể 92,2% so với 87,4% (Bảng 2). Tổng số vị trí cây xác định được từ dữ liệu B30 là 376, trong đó có 336 vị trí xác định đúng (89,4%), 40 vị trí xác định sai (10,6%). Tổng số vị trí cây xác định được từ dữ liệu B50 là 361 vị trí, ít hơn so với B30, nhưng trong đó chỉ có 312 vị trí được xác định đúng (86,4%) và có tới 49 vị trí xác định sai (13,6%). Các vị trí xác định sai thường là các điểm trùng lặp (nhiều điểm được xác định trên cùng một cây). Do cấu trúc tán cây bưởi trong khu vực nghiên cứu thường không liên tục (phân tán), nhiều cành lớn tạo ra các mảng tán độc lập trên cùng một cây. Do đó, khi tìm kiếm giá trị cực đại địa phương (local maxima) từ CHM, thuật toán thường nhầm lẫn và xác định các mảng tán độc lập là cây (thường gọi là giá trị cục bộ giả). Vấn đề này đã phần nào được hạn chế khi mô hình CHM được làm nhẵn (smooth) trước khi áp dụng thuật toán local maxima để tự động xác định vị trí cây.

So sánh kết quả từ ảnh UAV và tổng số cây trên thực tế cho thấy dữ liệu B30 bỏ sót (thuật toán không xác định đối tượng là cây) 17 cây (336/353 cây); trong khi đó dữ liệu B50 bỏ sót tới 41 cây (312/353 cây). Kết quả nghiên cứu cho thấy một số cây bị bỏ sót do cây thấp và có bề mặt tán nhỏ, dễ bị nhầm lẫn với cây bụi có cùng chiều cao. Một số cây cao tại các khu vực có mật độ cây trồng cao, tán cây thường đan xen và nối tiếp nhau dẫn tới việc phân biệt từng cây trở nên khó khăn.

Bảng 2. Kết quả và độ chính xác trong phát hiện cây

STT	Chỉ tiêu	B30	B50
1	Tổng số cây trên thực tế	353	353
2	Tổng số cây xác định từ dữ liệu UAV	376	361
3	Số cây xác định đúng từ dữ liệu UAV	336	312
4	Số cây xác định sai từ dữ liệu UAV	40	49
5	Số cây bị bỏ sót bởi dữ liệu UAV	17	41
6	Độ chính xác tổng thể (F score)	92,2%	87,4%

Kết quả cho thấy vị trí cây xác định được từ dữ liệu B30 cho độ chính xác cao hơn nên sau đó được rà soát trên phần mềm ArcGIS nhằm loại bỏ những vị trí sai và bổ sung những cây bị bỏ sót, từ đó tạo ra sản phẩm cuối cùng (Hình 3).

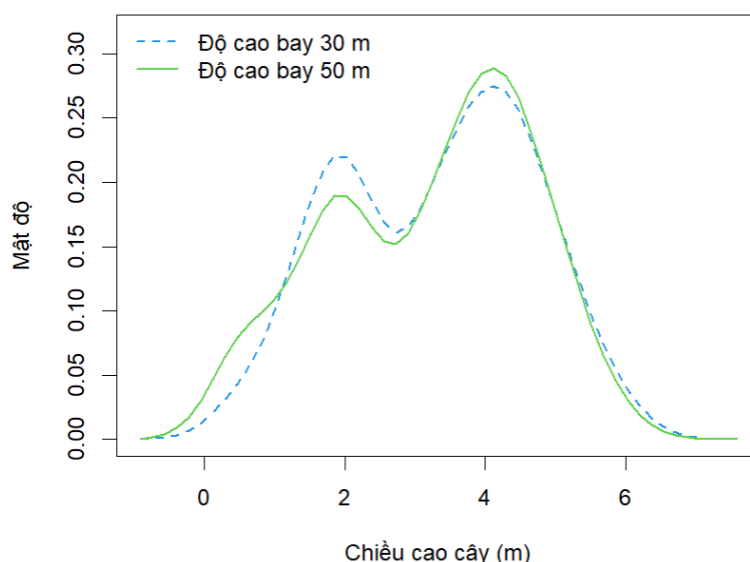
**Hình 3. Bản đồ vị trí (353 cây) và chiều cao cây trồng (trích xuất từ dữ liệu B30 CHM)**

3.2. Chiều cao cây

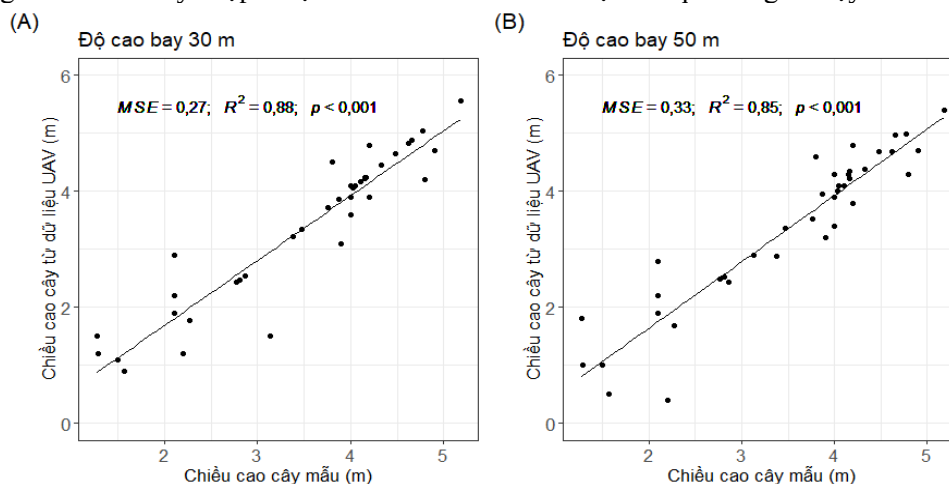
Chiều cao cây trích xuất từ các CHM của dữ liệu B30 và B50 cho kết quả tương đối giống nhau (Bảng 3 và Hình 4). Chiều cao cây trung bình là 3,3 m từ dữ liệu B30 và 3,2 m từ dữ liệu B50, với độ lệch chuẩn là 1,4 m cho cả hai độ cao bay (Bảng 3). Khoảng chiều cao (cây thấp nhất đến cao nhất) xác định được từ B30 là 0,5-6,2 m, rộng hơn so với kết quả từ B50 (0,6-6,1 m). Kết quả từ dữ liệu B30 và B50 đều cho thấy đa số cây bụi trong khu vực nghiên cứu có chiều cao trong khoảng từ 2,0 - 4,4 m. Tuy nhiên, dữ liệu B50 cho số lượng cây có chiều cao trong các khoảng 0,5 - 1,0 m và 4,0 - 4,5 m nhiều hơn so với B30. Ngược lại, dữ liệu B30 cho tỷ lệ cây có chiều cao trong khoảng 2,0 m lớn hơn so với B50 (Hình 4).

Bảng 3. Thống kê chiều cao cây trích xuất từ CHM

STT	Thông số	B30	B50
1	Chiều cao cây trung bình	3,3	3,2
2	Độ lệch chuẩn	1,4	1,4
3	Cây thấp nhất	0,5	0,6
4	Cây cao nhất	6,2	6,1
5	Tứ phân vị Q1 và Q3	2,0 – 4,4	1,9 – 4,3

**Hình 4. Mật độ phân phối chiều cao cây trích xuất từ CHM**

Hình 5 thể hiện kết quả đánh giá độ chính xác của số liệu chiều cao cây tính toán từ dữ liệu UAV so với chiều cao cây thực tế đo đạc trên 40 cây mẫu. Chiều cao cây trích xuất từ dữ liệu B30 và B50 đều có độ chính xác cao, tuy nhiên dữ liệu B30 cho kết quả chính xác hơn so với B50. Chiều cao cây tính toán từ dữ liệu B30 có sai số MSE là 0,27 m; trong khi đó sai số MSE từ dữ liệu B50 là 0,33 m. Tương tự, hệ số R^2 tương ứng với B30 (0,88) cũng cao hơn một chút so với B50 (0,85). Kết quả này cho thấy thông tin về chiều cao cây trồng có thể được tính toán chính xác từ dữ liệu ảnh UAV. Việc tăng độ cao bay của thiết bị UAV từ 30 m lên 50 m có ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả nhưng không quá lớn. Các nghiên cứu hoặc ứng dụng UAV khảo sát trên các khu vực rộng hơn có thể bay chụp ở độ cao 50 m mà vẫn thu được kết quả đáng tin cậy.

**Hình 5. Tương quan về chiều cao cây trồng đối với độ cao bay 30 m (A) và 50 m (B), với N = 40**

4. Kết luận

- Các thông tin về vị trí và chiều cao cây trồng có thể được xác định chính xác từ dữ liệu UAV thu thập ở độ cao bay 30 m và 50 m. Tổng số 353 cây bưởi được xác định tại khu vực nghiên cứu. Chiều cao cây trung bình tại khu vực nghiên cứu là 3,3 m, cây thấp nhất là 0,5 m và cây cao nhất là 6,2 m.

- Vị trí cây xác định từ dữ liệu ảnh UAV thu thập ở độ cao bay 30 m cho độ chính xác 92,2%, cao hơn so với dữ liệu có độ cao bay 50 m (87,4%). Vị trí một số cây có thể bị xác định nhiều lần do sự phân mảnh của tán cây bưởi trong khu vực nghiên cứu (các mảnh tán độc lập do cành lớn gây ra). Dữ liệu với độ cao bay 30 m cũng cho kết quả tính toán chiều cao cây chính xác hơn so với độ cao bay 50 m; với sai số MSE lần lượt là 0,27 so với 0,33.

- Độ chính xác của kết quả được tăng lên khi giảm độ cao bay của thiết bị UAV từ 50 m xuống 30 m, nhưng không quá lớn. Các nghiên cứu ứng dụng UAV khảo sát trên diện rộng có thể bay chụp ở độ cao 50 m mà vẫn thu được kết quả đáng tin cậy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] J. Valente, R. Almeida, and L. Kooistra, "A Comprehensive Study of the Potential Application of Flying Ethylene-Sensitive Sensors for Ripeness Detection in Apple Orchards," *Sensors*, vol. 19, no. 2, p. 372, 2019.
- [2] Ihuoma, O. Samuel, and C. A. Madramootoo, "Crop reflectance indices for mapping water stress in greenhouse grown bell pepper," *Agricultural Water Management*, vol. 219, pp. 49-58, 2019.
- [3] G. Roggi, A. Niccolai, F. Grimaccia, and M. Lovera, "A Computer Vision Line-Tracking Algorithm for Automatic UAV Photovoltaic Plants Monitoring Applications," *Energies*, vol. 13, no. 4, p. 838, 2020.
- [4] J. Cuaran and J. Leon, "Crop Monitoring using Unmanned Aerial Vehicles: A Review," *Agricultural Reviews*, vol. 42, no. 2, pp. 121-132, 2021.
- [5] K. Neupane and F. Baysal-Gurel, "Automatic Identification and Monitoring of Plant Diseases Using Unmanned Aerial Vehicles: A Review," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 19, pp. 3841-3864, 2021.
- [6] Q. T. Vo, T. L. Nguyen, T. D. Quang, C. Q. Truong, and Q. V. Pham, "Application of UAV (drones) technology for monitoring and early warning of pests in rice cultivated area in Soc Trang province," *Can Tho University Journal of Science*, vol. 57, no. 2A, pp. 28-38, 2021.
- [7] T. S. Nguyen, C. H. Quach, T. H. G. Dang, M. T. Vu, Q. H. Vuong, and A. T. Mai, "Developing system of wireless sensor network and unmaned aerial vehicle for agriculture inspection," *Journal of Science and Technology - Hanoi University of Industry*, vol. 56, no. 6, pp. 46-51, 2020.
- [8] T. D. Pham, H. H. Nguyen, T. M. S. Tran, and T. X. T. Nguyen, "Application of unmanned aerial vehicle to mangrove forest management, a case study in Xuan Thuy national park, Nam Dinh," *Journal of Water Resource and Environmental Engineering*, vol. 68, pp. 59-66, 2020.
- [9] M. Miraki, H. Sohrabi, P. Fatehi, and M. Kneubuehler, "Individual tree crown delineation from high-resolution UAV images in broadleaf forest," *Ecological Informatics*, vol. 61, pp. 77-95, 2021.
- [10] I. de Castro, Y. Shi, J. M. Maja, and J. M. Peña, "UAVs for Vegetation Monitoring: Overview and Recent Scientific Contributions," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 11, pp. 2139-2152, 2021.
- [11] Plowright Andrew, "ForestTools Analyzing Remotely Sensed Forest Data. R Package Version 0.2.0," 2018. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/package=ForestTools>. [Accessed Feb. 14, 2023].
- [12] Popescu, C. Sorin, and R. H. Wynne, "Seeing the trees in the forest: Using lidar and multispectral data fusion with local filtering and variable window size for estimating tree height," *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 70, no. 5, pp. 589-604, 2004.