

XÂY DỰNG QUỸ ĐẠO BAY CHO UAV PHUN THUỐC TRONG NÔNG NGHIỆP

Nguyễn Thị Hiền*, Nguyễn Hoàng Nam

Khoa Cơ - Điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

*Tác giả liên hệ: nthien@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 10.01.2024

Ngày chấp nhận đăng: 23.05.2024

TÓM TẮT

Nghiên cứu trình bày phương pháp định tuyến bay cho máy bay không người lái (UAV) phun thuốc bảo vệ thực vật trong nông nghiệp đảm bảo các yêu cầu về độ phủ kín, giảm độ phun chồng, không bỏ sót, cũng không phun quá diện tích khu vực cần phun. Đường bay được xác định dựa trên các vĩ tuyến/kinh tuyến trong lưới địa lý, có thể áp dụng ở mọi vị trí trên trái đất. Thuật toán được kiểm nghiệm qua mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink kết hợp với QGroundControl. Kết quả mô phỏng cho thấy, các tuyến bay chính được định tuyến song song với khoảng cách nhỏ hơn 2,73% so với độ rộng phun của UAV. Việc giảm đường biên khu vực cần phun thuốc trước khi định tuyến giúp hạn chế thuốc bảo vệ thực vật bị phun ra ngoài khu vực, từ đó tránh lãng phí thuốc và hạn chế ô nhiễm môi trường.

Từ khóa: Quỹ đạo bay, định tuyến, UAV nông nghiệp.

Establishing Flight Trajectory for UAV Spraying in Agriculture

ABSTRACT

This paper presented route planning method for agricultural spraying UAV that ensures the requirements of full coverage, low overlap, no leaving-out, and no spraying outside the working area. The routes were determined based on latitudes/longitudes in the geographical grid, which can be applied to any location on earth. The algorithm was validated by simulation on Matlab/Simulink combined with QGroundControl software. Simulation results show that the main lines were routed parallelly with a distance 2.73% smaller than the spraying width of the UAV. A margin reduction of the working area before route planning helped limit pesticides being sprayed outside the operational area, avoiding pesticide waste and environmental pollution.

Keywords: Flight trajectory, route planning, agricultural UAV.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dân số thế giới dự kiến sẽ đạt đến 9,6 tỷ người vào năm 2050, dẫn đến nhu cầu về lương thực sẽ tăng thêm khoảng 50% (Ehrlich & cs., 2015; Srivastava & cs., 2020). Theo Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên hợp quốc (FAO), năm 2020, thế giới có khoảng 815 triệu người thiếu lương thực, trong đó có 64% là người dân ở châu Á (FAO, 2020). Trong bối cảnh này, việc áp dụng các công nghệ tiên tiến, trong đó có ứng dụng máy bay không người lái (UAV - Unmanned Aerial Vehicle) trong nông nghiệp nhằm nâng cao năng suất, chất lượng nông sản là xu thế tất yếu và đã đạt được kết quả nhất định.

Trong lĩnh vực bảo vệ thực vật, sử dụng UAV để phun thuốc bảo vệ thực vật đang trở nên ngày càng phổ biến nhờ những ưu điểm nổi bật: nhỏ gọn, tính linh hoạt cao, dễ di chuyển, hiệu suất làm việc lớn, tiết kiệm chi phí công lao động và bảo vệ sức khỏe cho nông dân (Tian & cs., 2020; Yu & cs., 2023). Nghiên cứu phát triển công nghệ UAV, trong đó có bài toán xây dựng quỹ đạo bay cho UAV phun thuốc trừ sâu phù hợp với địa hình thực tế là cần thiết và mang ý nghĩa lớn. Việc định tuyến bay cho UAV phun thuốc phù hợp sẽ đảm bảo bao phủ diện tích cần phun, tránh phun thừa, phun thiếu, tiết kiệm thời gian, công sức, vật tư, giảm thiểu tồn dư thuốc bảo vệ thực vật trên sản phẩm nông nghiệp.

Những năm gần đây, bài toán xây dựng quỹ đạo bay cho UAV nhận được sự quan tâm của rất nhiều nhà nghiên cứu. Tian & cs. (2020) đã phát triển thuật toán A* kết hợp thuật toán tìm lực hấp dẫn để tối ưu hóa đường bay, áp dụng cho các khu vực phun có hình dạng phức tạp. Kết quả nghiên cứu cho thấy, thuật toán có thể giúp làm giảm quãng đường chạy không cũng như giảm độ phun chồng của UAV so với một số thuật toán trước đó. Trong nghiên cứu của Li & cs. (2023), diện tích khu vực bay trước tiên được tối ưu, sau đó, quỹ đạo bay được xây dựng với góc hướng tối ưu và khoảng cách bay phù hợp nhằm giảm tổng chiều dài đường bay, giảm độ phun phủ bổ sung, từ đó tiết kiệm năng lượng và tránh lãng phí thuốc bảo vệ thực vật. Thuật toán có thể áp dụng với các vùng diện tích có dạng đa giác lồi hoặc đa giác lõm. Yu & cs. (2023) lại nghiên cứu phương pháp xây dựng quỹ đạo bay 3D sử dụng cho UAV làm việc với địa hình đất dốc, trên cơ sở phát triển các thuật toán xây dựng quỹ đạo bay 2D đã có trước đó. Một thuật toán khác được Xu & cs. (2015) xây dựng nhằm tối ưu hóa năng lượng tiêu thụ của UAV, bằng cách quay lại trạm nạp thường xuyên trong quá trình làm việc.

Là một quốc gia có thế mạnh về nông nghiệp, nhưng thực trạng nông nghiệp Việt Nam nhiều nơi còn lạc hậu, việc phun thuốc bảo vệ thực vật hầu như được thực hiện thủ công, gây tốn thời gian, công sức, đặc biệt là không hiệu quả (mật độ phun không đều, lượng phun không được kiểm soát). Điều này gây lãng phí vật tư, ảnh hưởng đến đất đai, cây trồng và nghiêm trọng hơn là tồn dư thuốc bảo vệ thực vật trong nông sản. Những năm gần đây, UAV phun thuốc đã được sử dụng ở một số địa phương, hiệu suất lao động và chất lượng nông sản đã được cải thiện, hạn chế được việc con người phải tiếp xúc trực tiếp với thuốc bảo vệ thực vật, gây hại cho sức khỏe. Tại Thái Bình, 200ha lúa vụ xuân được phun thuốc bằng UAV được đánh giá là vừa nhanh, vừa kịp thời dập dịch bệnh, đồng thời giúp người dân tiết kiệm khoảng 55 triệu đồng cho một lần phun thuốc (Ngân Huyền, 2020). Tại Phú Yên, phun thuốc bảo vệ thực vật trên 150ha lúa bằng UAV giảm chi phí thuê dịch vụ phun khoảng 10%, năng

suất dự kiến tăng từ 7% đến 15% (Phú Yên, 2023). Tuy nhiên, hầu hết các UAV nông nghiệp trên thị trường Việt Nam hiện nay được nhập khẩu từ nước ngoài, thông tin về công nghệ sử dụng trên các thiết bị nhập khẩu này hầu như không có, dẫn đến chúng ta đang phải phụ thuộc, gây ra nhiều vấn đề và tiềm ẩn nhiều nguy cơ về an ninh, kinh tế. Hiện nay, các nghiên cứu về UAV nông nghiệp trong nước còn rất ít, đòi hỏi chúng ta cần phải đẩy mạnh đầu tư nghiên cứu để sớm làm chủ được công nghệ này.

Trên cơ sở nghiên cứu của Li & cs. (2023), chúng tôi phát triển thuật toán để xây dựng quỹ đạo bay cho một UAV phun thuốc đảm bảo bao quát toàn bộ khu vực cần phun, tránh phun chồng, phun quá, gây lãng phí vật tư và tồn dư thuốc bảo vệ thực vật. Thuật toán được kiểm nghiệm thông qua mô phỏng bằng công cụ Matlab/Simulink kết hợp với phần mềm QGroundControl (QGC).

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Tiếp cận và tìm hiểu UAV nông nghiệp DJI AGRAS T40 của Tập đoàn công nghệ DJI, Trung Quốc (DJI, 2023), đặc biệt là tính năng tự động bay và phun thuốc bảo vệ thực vật, kết hợp tham khảo các tài liệu, nghiên cứu về UAV nông nghiệp và các phương pháp định tuyến quỹ đạo bay của các loại UAV để xây dựng quỹ đạo bay cho UAV phun thuốc bảo vệ thực vật phù hợp. Thuật toán được kiểm nghiệm thông qua mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink kết hợp với QGroundControl. Ngoài ra, công cụ lập bản đồ web Mapbox's Geojson.io cũng được sử dụng để hỗ trợ quan sát quỹ đạo bay mô phỏng một cách trực quan.

2.1. Định tuyến bay cho UAV phun thuốc trừ sâu

Để đảm bảo độ che phủ thuốc khi phun đơn giản và hiệu quả, UAV phun thuốc sử dụng các đường bay song song (Hình 1) (Tian & cs., 2020; Li & cs., 2023). Đầu tiên, khu vực phun được xác định, bằng cách nối các điểm tham chiếu thuộc đường bao diện tích phun, điểm tham chiếu được xác định bằng cách chọn vị trí trên bản đồ hiển thị trên bộ điều khiển cầm tay. Với diện

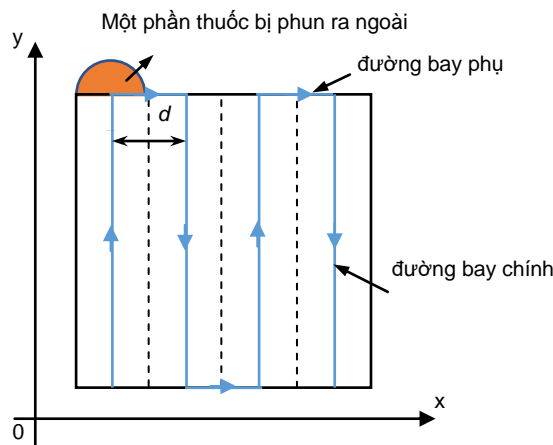
tích phun được xác định, các đường bay song song sẽ được xây dựng sao cho khoảng cách giữa chúng chính là độ rộng phun d (Hình 1). Thuốc được phun khi UAV di chuyển trên đường bay chính, còn ở các đường bay phụ, UAV ngừng phun thuốc, tuy nhiên vẫn có một phần thuốc bảo vệ thực vật bị phun ra ngoài khu vực cần phun (Hình 1). Quỹ đạo định tuyến có thể được điều chỉnh (thay đổi góc hướng, khoảng cách tuyến đường,...) nhằm tránh vật cản và phù hợp với địa hình thực tế.

Diện tích khu vực phun thuốc còn có thể tạo ra bằng cách: người điều khiển UAV mang theo bộ điều khiển cầm tay và di chuyển xung quanh diện tích cần phun, hệ thống sẽ tự tạo các điểm

tham chiếu trên đường đi. Phương pháp này có độ chính xác cao hơn, nhưng cũng tốn thời gian và công sức hơn.

Kết quả nghiên cứu cho thấy cho thấy UAV nông nghiệp nói chung, hay DJI AGRAS nói riêng định tuyến bay cho việc phun thuốc bảo vệ thực vật theo hai cách (DJI, 2023):

(i) Các đường bay chính song song được sắp xếp dọc theo chiều dài của khu vực phun (Hình 2a). Cách định tuyến này đơn giản, giúp UAV hạn chế việc thay đổi hướng bay, từ đó tiết kiệm thời gian và nhiên liệu. Tuy nhiên, cách định tuyến này chỉ phù hợp với các khu vực phun thuốc có hình dạng đơn giản, ít điểm tham chiếu.



Hình 1. Định tuyến bay của UAV phun thuốc trừ sâu



a) Dựa theo chiều dài khu vực phun



b) Dựa theo kinh tuyến

Hình 2. Định tuyến quỹ đạo bay của UAV DJI AGRAS (DJI, 2023)

(ii) Các đường bay chính được sắp xếp theo đường kinh tuyến (Hình 2b) hoặc vĩ tuyến. Cách này phù hợp với khu vực có hình dạng phức tạp bất kỳ và không quá phụ thuộc vào điểm, đường tham chiếu.

2.2. Phần mềm QGroundControl

QGroundControl (QGC) là phần mềm mã nguồn mở cung cấp khả năng kiểm soát chuyển bay và lập kế hoạch bay cho mọi máy bay không người lái hỗ trợ MAVLink (MAVLink, 2023) và Matlab/Simulink. Các tính năng chính của QGC (Cambra & cs., 2015; QGC, 2023):

- Giao thức nguồn mở
- Xây dựng bản đồ 2D/3D trên không với thao tác kéo và thả các điểm tham chiếu
- Thay đổi các thông số điều khiển trong khoảng thời gian bay của UAV
- Giám sát thời gian thực các dữ liệu cảm biến, video và đo từ xa
- Hoạt động trên nền tảng hệ điều hành Windows, Linux và MacOS.

Mặt khác, MAVLink (Micro Air Vehicle Link) là một giao thức liên lạc của các phương tiện hàng không nói chung, UAV nói riêng, cụ thể, đây là giao thức liên lạc giữa thiết bị điều khiển từ xa và các phương tiện bay, sử dụng ngôn ngữ lập trình C (MAVLink, 2023).

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng QGC và Matlab/Simulink thông qua giao thức MAVLink để xây dựng và mô phỏng quỹ đạo bay cho UAV DJI AGRAS T40, sử dụng trong phun thuốc trừ sâu trong nông nghiệp. Để quan sát một cách trực quan quỹ đạo bay mô phỏng, chúng tôi sử dụng Mapbox's Geojson.io, công cụ lập bản đồ web hỗ trợ làm việc với nhiều định dạng dữ liệu không gian địa lý phổ biến (Dougherty & cs., 2021).

2.3. Mapbox's Geojson.io

Mapbox's Geojson.io (Dougherty & cs., 2021) là một công cụ cung cấp các ứng dụng bản đồ số dựa trên định dạng dữ liệu đầu vào GeoJson, với khả năng mở rộng linh hoạt, dễ dàng tùy chỉnh cho các ứng dụng. Mapbox's

Geojson.io cho phép đơn giản hóa quá trình định vị trên bản đồ, tạo tùy chỉnh và dễ dàng xử lý các sự kiện trên bản đồ. Trong nghiên cứu này, Mapbox's Geojson.io được sử dụng để nhanh chóng thiết lập quỹ đạo bay cho UAV một cách trực quan và quan trọng nhất là dễ dàng lấy dữ liệu địa lý của các điểm tham chiếu, phục vụ cho việc lập trình mô phỏng quỹ đạo bay của UAV với Matlab/Simulink và QGC.

2.4. Xây dựng bài toán

Thuật toán định tuyến bay cho UAV phun thuốc trong nông nghiệp cần đảm bảo đạt các yêu cầu:

- Có thể định tuyến quỹ đạo cho khu vực có hình dạng, địa điểm bất kỳ.
- Các đường bay được xây dựng sao cho đảm bảo phun phủ toàn bộ diện tích cần phun (khoảng cách giữa các đường bay chính \leq độ rộng phun của UAV), độ phun chồng thấp, tiết kiệm vật tư và năng lượng.

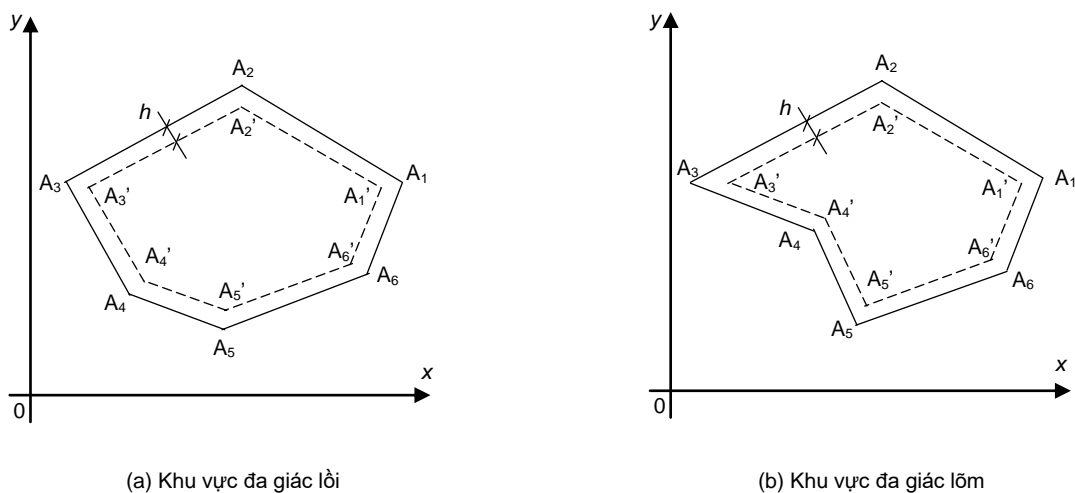
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Xây dựng thuật toán định tuyến quỹ đạo bay cho UAV nông nghiệp

Để định tuyến quỹ đạo bay cho một khu vực bất kỳ, chúng tôi sử dụng cách định tuyến quỹ đạo có tuyến đường bay song song theo vĩ tuyến hoặc kinh tuyến do cách này đảm bảo có thể định tuyến cho khu vực có hình dạng bất kỳ, ít phụ thuộc vào các đường tham chiếu.

3.1.1. Xác định khu vực cần phun thuốc

Như trình bày trong mục 2.1, khu vực phun thuốc được xác định bằng cách nối các điểm tham chiếu thuộc đường bao diện tích phun, điểm tham chiếu được xác định bằng cách chọn vị trí trên bản đồ hiển thị trên bộ điều khiển cầm tay hoặc người điều khiển UAV mang theo bộ điều khiển cầm tay và di chuyển xung quanh diện tích cần phun, hệ thống sẽ tự tạo các điểm tham chiếu trên đường đi. Khu vực cần phun có hình đa giác với đỉnh chính là các điểm tham chiếu A_i và các cạnh là đường nối giữa hai điểm tham chiếu liên kế (Hình 3).



Hình 3. Tối ưu hóa đường biên khu vực phun thuốc

Theo nghiên cứu của Li & cs. (2023), giả thiết khu vực phun có dạng đa giác lõm (Hình 3a), để tối ưu hóa quá trình phun (tránh thuốc phun ra ngoài khu vực cần thiết), ta có các đỉnh A_i của đa giác xác định khu vực phun tới các đỉnh A_i' sao cho $\overrightarrow{A_i A_{i-1}'}$ phải song song và cùng chiều với vector \vec{C} được xác định:

$$\vec{C} = \frac{\overrightarrow{A_i A_{i-1}}}{|\overrightarrow{A_i A_{i-1}}|} + \frac{\overrightarrow{A_i A_{i+1}}}{|\overrightarrow{A_i A_{i+1}}|} \quad (1)$$

Góc trong tương ứng θ_i của đỉnh A_i được xác định theo công thức (2):

$$\theta_i = \arccos \left(\frac{\overrightarrow{A_i A_{i-1}} \cdot \overrightarrow{A_i A_{i+1}}}{|\overrightarrow{A_i A_{i-1}}| |\overrightarrow{A_i A_{i+1}}|} \right) \quad (2)$$

$$\overrightarrow{A_i A_i'} = \frac{h}{\sin\left(\frac{\theta_i}{2}\right)} \frac{\vec{C}}{|\vec{C}|} \quad (3)$$

Trong đó khoảng cách h có thể được người dùng tùy chỉnh theo địa hình và hướng của cây trồng sao cho phù hợp.

Trường hợp khu vực cần phun có dạng đa giác lõm (Hình 3b), việc tối ưu hóa đường biên khu vực cần phun thuốc tương tự trường hợp khu vực có dạng đa giác lõm, tuy nhiên điểm lõm sẽ được co vào theo hướng ngược với hướng của các điểm lõm, nghĩa là, trong trường hợp này,

chúng ta cần đảo ngược hướng của $\overrightarrow{A_i A_i'}$ (Li & cs., 2023).

3.1.2. Xác định đường bay cho UAV

Giả thiết khu vực phun có dạng đa giác lõm $A_1 A_2 \dots A_n$, sau khi tối ưu hóa đường biên khu vực phun được đa giác $A_1' A_2' \dots A_n'$ với n đỉnh và n cạnh (Hình 3). Sử dụng phép chiếu bản đồ hình trụ, trong hệ tọa độ xOy , cạnh $A_i' A_{i-1}'$ của đa giác được xác định theo phương trình (Li & cs., 2023):

$$\frac{y - y_{A_i'}}{y_{A_i'} - y_{A_{i-1}'}} = \frac{x - x_{A_i'}}{x_{A_i'} - x_{A_{i-1}'}} \quad (4)$$

Trong đó:

$$x \in \left[\min(x_{A_i'}, x_{A_{i-1}'}), \max(x_{A_i'}, x_{A_{i-1}'}) \right]$$

Số đường bay m (số nguyên) của UAV được xác định:

$$m \geq \frac{y_{\max} - y_{\min}}{d} \quad (5)$$

Với y_{\max} và y_{\min} là tọa độ lớn nhất và nhỏ nhất của khu vực phun theo trục Oy , d là chiều rộng phun của UAV. Trường hợp, phép chia theo công thức (5) có dư, m sẽ được làm tròn lên, khi đó các đường bay chính sẽ được điều chỉnh với độ rộng phun d' :

$$d' = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{m + 1} \quad (6)$$

Giả thiết các đường bay chính song song với trục Ox, cách nhau khoảng cách d, đường bay đầu tiên của UAV được xác định:

$$y = y_{\min} + \frac{d}{2} \quad (7)$$

Để xác định các điểm mà tại đó UAV thay đổi hướng bay, chúng ta xác định giao điểm giữa đường bay m_i với đường biên diện tích phun tối ưu theo hệ phương trình:

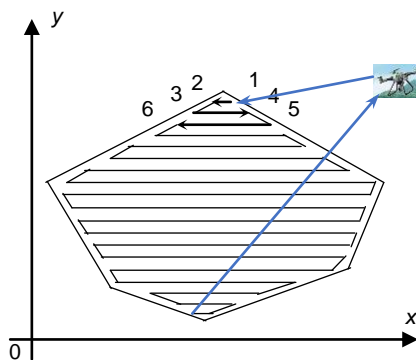
$$\begin{cases} y = y_{\min} + m_i \frac{d}{2} \\ \frac{y - y_{A_i'}}{y_{A_i'} - y_{A_{i-1}'}} = \frac{x - x_{A_i'}}{x_{A_i'} - x_{A_{i-1}'}} \end{cases} \quad (8)$$

Thực hiện đánh số cho các đường bay chính từ điểm bắt đầu (và kết thúc) bay của UAV. Với các đường bay lẻ, đánh dấu các giao điểm từ phía gần điểm bay xuất phát của UAV, còn với

các đường bay chẵn, đánh dấu các giao điểm theo hướng ngược lại. Nối lần lượt các giao điểm lại, chúng ta được toàn bộ quỹ đạo bay của UAV đối với diện tích khu vực cần phun (Hình 4).

3.2. Kết quả mô phỏng

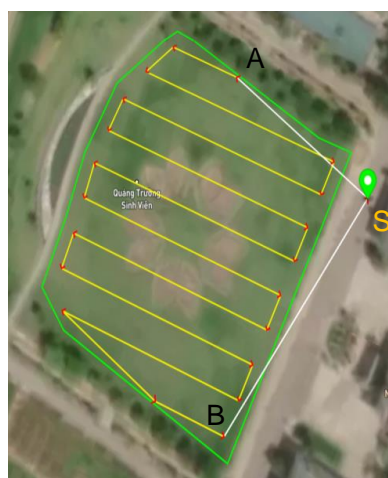
Để quan sát một cách trực quan quỹ đạo bay của UAV, công cụ Mapbox's Geojson.io được sử dụng để lập bản đồ web hỗ trợ quan sát quỹ đạo bay mô phỏng, giao diện của Mapbox's Geojson.io lập bản đồ đối với khu vực phun thuốc giả định là Quảng trường Sinh viên của Học viện Nông nghiệp Việt Nam, có kinh độ từ $105^{\circ}55'49''E$ đến $105^{\circ}55'52''E$, vĩ độ từ $21^{\circ}00'16.3''N$ đến $21^{\circ}00'19.8''N$ được thể hiện ở hình 5a. Các điểm tham chiếu được xác định trực tiếp trên bản đồ để tạo khu vực cần phun.



Hình 4. Quỹ đạo bay của UAV phun thuốc

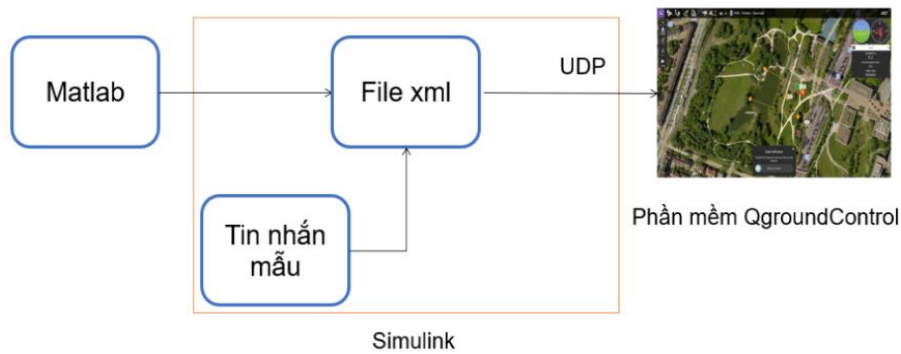


(a) Khu vực cần phun thuốc

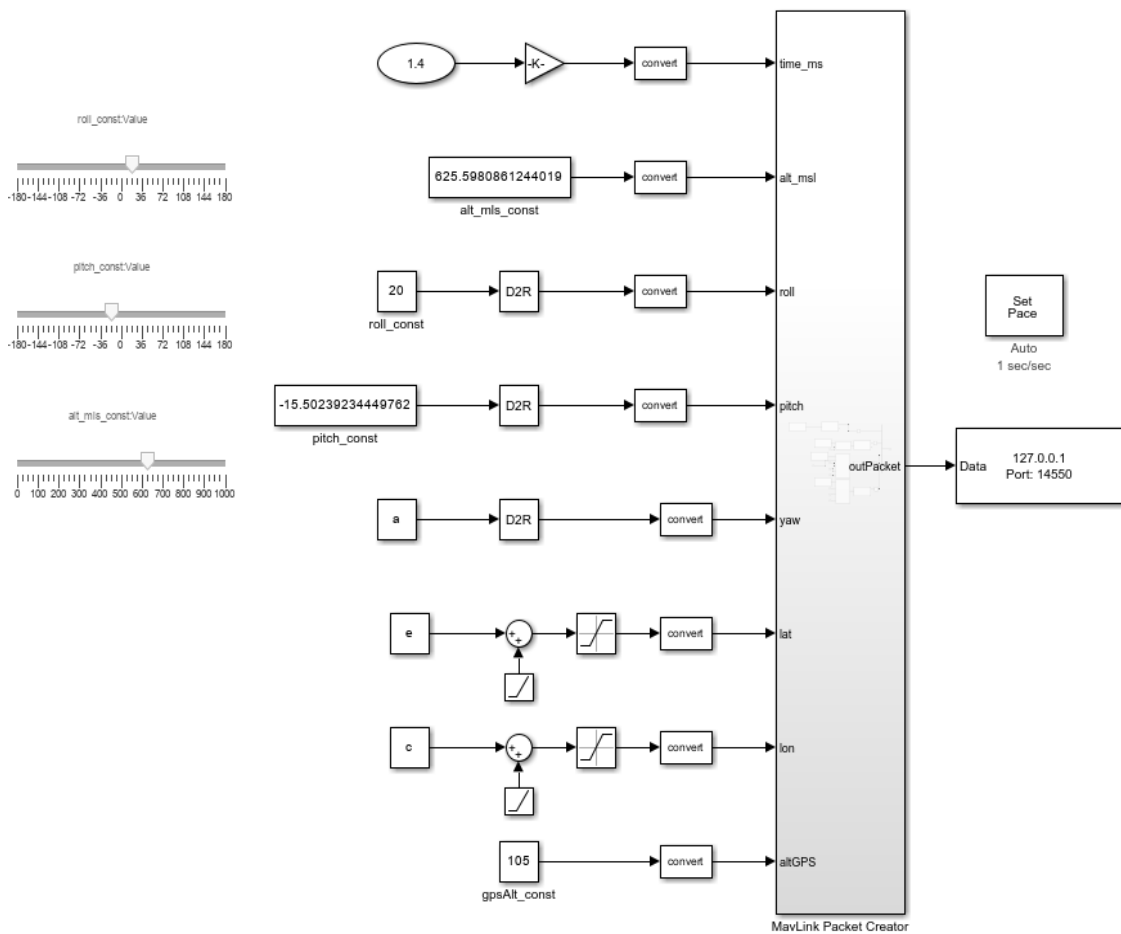


(b) Quỹ đạo được định tuyến

Hình 5. Kết quả định tuyến bay của UAV trên Mapbox's Geojson.io



Hình 6. Cấu trúc mô phỏng hệ thống với Matlab/Simulink và QGC



Hình 7. Chương trình truyền dữ liệu MAVlink

Chọn chiều rộng phun tối đa để tính toán là $d = 11\text{m}$ (trên cơ sở mô phỏng theo khoảng bay của DJI AGRAS T40). Sử dụng thuật toán đã xây dựng, quỹ đạo bay của UAV được xác định như trong hình 5b. UAV từ vị trí trạm (điểm S), tiến đến vị trí A và bắt đầu phun thuốc với hướng bay được thể hiện theo chiều các mũi tên.

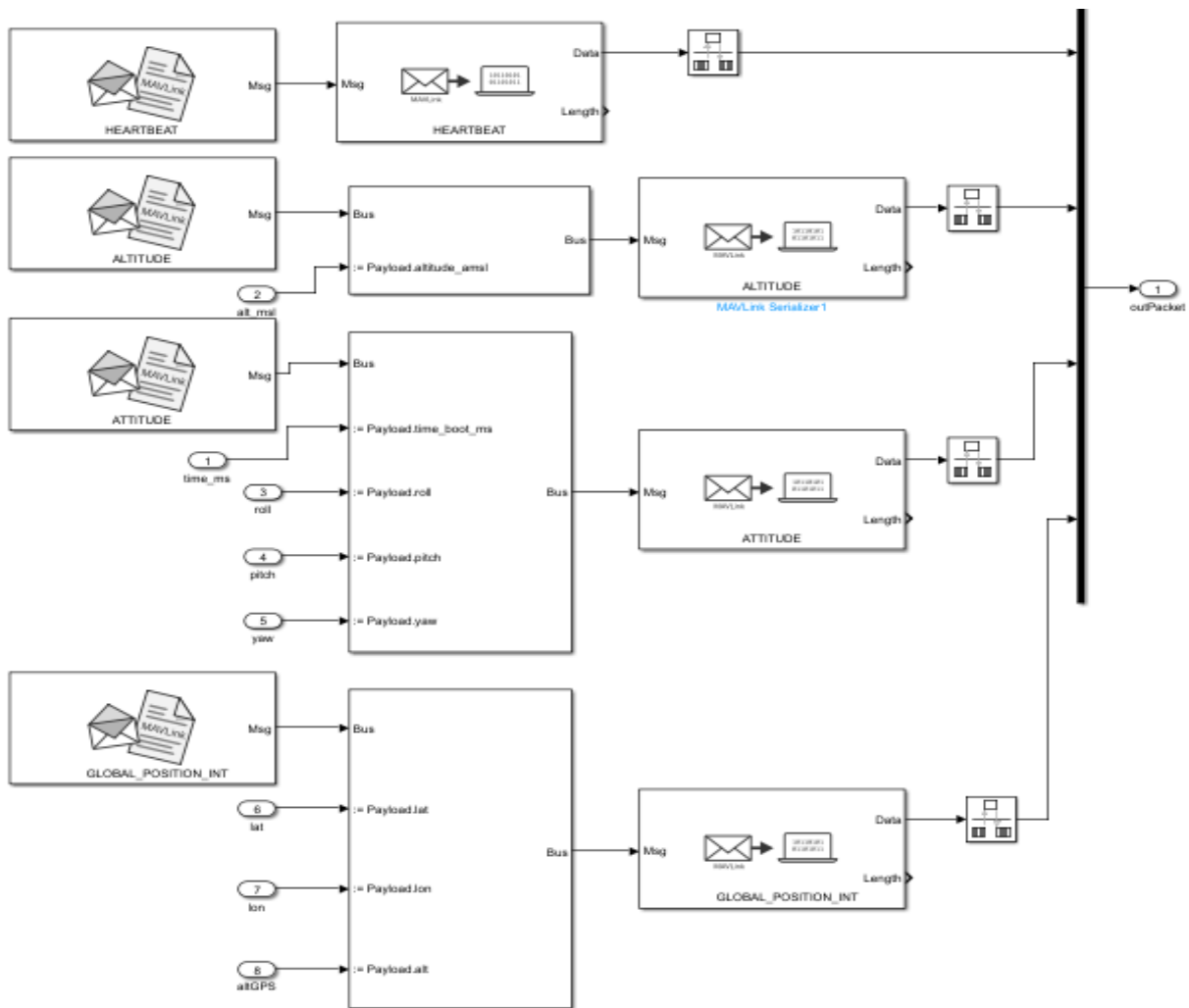
Hành trình phun thuốc kết thúc ở điểm B, UAV bay về trạm S. Tiến hành kiểm tra khoảng cách bay tại một số vị trí trên Mapbox's Geojson.io, bằng cách tạo các đoạn thẳng có 2 đầu là 2 điểm cần đo khoảng cách, kết quả cho thấy chiều rộng phun thực tế là $10,7\text{m}$, nhỏ hơn $2,73\%$ so với chiều rộng phun tối đa (11m) của UAV.

Tiến hành mô phỏng quỹ đạo bay của UAV với phần mềm QGC và Matlab/Simulink có sự hỗ trợ của chức năng kết nối MAVlink của thư viện UAV Toolbox. Cấu trúc của hệ thống mô phỏng được thể hiện ở hình 6.

Chương trình truyền tham số sẽ truyền lần lượt các thông tin điểm đến (các điểm đã xác định được) tới Simulink. Ở đây, các thông số được điền vào các mẫu tin nhắn có sẵn và tạo thành một tệp định dạng “.xml” duy nhất, tệp này chứa các dữ liệu theo tiêu chuẩn MAVLink và được gửi đến phần mềm QGC bằng giao thức UDP (User Datagram Protocol), đây là một giao thức gửi thông tin dạng tin nhắn qua IP mà không cần kết nối trực tiếp với hệ thống nhận (MAVLink, 2023). Hình 7 thể hiện chương trình truyền dữ liệu MAVlink trên Matlab/Simulink.

Các tham số mô phỏng một UAV như độ cao, vị trí, định hướng, thời gian bay,... được thông qua hệ thống con MavLink Packet Creator (Hình 8) để tạo thành một tệp tin theo tiêu chuẩn MAVLink. Khối UDP send chịu trách nhiệm gửi đi tệp tin tới phần và vị trí GPS được cung cấp từ chương trình định tuyến sẽ được truyền lần lượt tới Simulink.

Trong hình 8, các khối Bus Assignment điền các tham số nhận được vào các tin nhắn MAVlink trống (MAVlink Blank Message), đây là các mẫu tin nhắn được tạo sẵn trong thư viện UAV Toolbox. Tiếp theo, khối MAVlink Serializer và Rate Transition lần lượt tuần tự hóa các tin nhắn và điều khiển tốc độ truyền dữ liệu để kết hợp các tin nhắn thành một tệp duy nhất.



Hình 8. Hệ thống con chương trình tạo gói dữ liệu MAVlink Packet Creator



Hình 9. Kết quả mô phỏng quỹ đạo bay của UAV

Hình 9 thể hiện kết quả mô phỏng các đường bay của UAV phun thuốc bảo vệ thực vật đã xây dựng, mũi tên đại diện cho UAV và hướng bay của nó. Trong quá trình mô phỏng, UAV được mô phỏng bay với tốc độ 8 m/s và có thể tùy chỉnh các tốc độ khác. Kết quả mô phỏng cho thấy, UAV bay chính xác theo quỹ đạo và hướng bay đã xây dựng. Các tuyến bay chính được định tuyến song song, không chồng chéo nhau đảm bảo thuốc được phun đều. UAV không bay ra ngoài khu vực cần phun, đảm bảo tính an toàn, hạn chế thuốc bảo vệ thực vật bị phun ra khu vực khác, gây lãng phí và ô nhiễm môi trường.

3.3. Nhận xét

Từ kết quả mô phỏng ở mục 3.2 có thể nhận thấy:

(i) Đường của UAV phun thuốc đã được xây dựng đảm bảo phun phủ toàn bộ diện tích cần phun. Các đường bay chính song song với nhau, với khoảng cách giữa các đường bay là 10,7m, nhỏ hơn 2,73% so với chiều rộng phun tối đa của UAV. Việc giảm đường biên của khu vực cần phun trước khi định tuyến bay cho UAV giúp hạn chế thuốc bảo vệ thực vật bị phun ra ngoài khu vực, từ đó tránh lãng phí thuốc và ô nhiễm môi trường.

(ii) Đường bay chính được định tuyến theo vĩ tuyến giúp việc xác định quỹ đạo bay dễ dàng ở mọi vị trí trên mặt đất. Đối với khu vực có diện tích trải dài theo kinh tuyến, để giảm thiểu sự thay đổi hướng bay trong quá trình bay, các đường bay chính nên được định tuyến theo kinh tuyến (góc hướng 90°). Khi đó, ta thay tọa độ $y_{\min/\max}$ bằng tọa độ $x_{\min/\max}$ tương ứng trong các công thức (5) ÷ (8).

(iii) Đối với khu vực có hình dáng phức tạp bất kỳ, việc định tuyến theo vĩ tuyến/kinh tuyến có thể không còn phù hợp, dẫn đến UAV phải đổi hướng bay thường xuyên, làm tăng thời gian bay và tổn năng lượng. Việc nghiên cứu điều chỉnh các đường bay với góc hướng phù hợp là cần thiết.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã xây dựng thành công quỹ đạo bay cho UAV sử dụng phun thuốc trong nông nghiệp, kết quả mô phỏng cho thấy quỹ đạo bay đáp ứng được các yêu cầu: UAV bay phủ đều diện tích khu vực cần phun, khoảng cách giữa các đường bay nhỏ hơn 2,73% so với độ rộng phun tối đa của UAV đảm bảo không phun sót diện tích, UAV cũng không phun thừa ra ngoài diện tích khu vực cần

phun. Chương trình định tuyến có thể xây dựng đường bay cho khu vực cần phun thuốc ở mọi địa điểm trên trái đất do các đường bay chính được sắp xếp theo vĩ tuyến hoặc kinh tuyến. Tuy nhiên, thuật toán định tuyến mới chỉ áp dụng với khu vực phun có hình dáng đơn giản, địa hình bằng phẳng và không có chướng ngại vật, việc mở rộng thuật toán với các khu vực có hình dáng và địa hình phức tạp, cũng như vấn đề tối ưu góc hướng của UAV, trong môi trường có gió với tốc độ gió và hướng gió khác nhau cần được tiếp tục quan tâm ở các nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- DJI (2023). AGRAS T40 - One for all. Retrieved from <https://www.dji.com/global/t40> on March 30, 2023.
- Cambra C., Diaz J.R. & Lloret J. (2015). Deployment and performance study of an Ad Hoc network protocol for intelligent video sensing in precision agriculture. Proceedings of International Conference on Ad-Hoc Networks and Wirelless. doi: 10.1007/978-3-662-46338-3_14.
- Dougherty J. & Ilyankou I. (2021). Draw and Edit with GeoJson.io. Hands-On Data Visualization. Retrieved from <https://handsondataviz.org/geojsonio.html> on March 15, 2023.
- Ehrlich P.R. & Harte J. (2015). To feed the world in 2050 will require a global revolution. PNAS. 112(48): 14743–14744.
- FAO (2020). The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/sofi/2020/en> on Oct 30, 2023.
- Li J., Sheng H., Zhang J. & Zhang H. (2023). Coverage path planing method for agricultural spraying UAV in Arbitrary Polygon Area. Aerospace. 10(755). doi: 10.3390/aerospace10090755.
- MAVLink (2023). MAVLink Developer Guide. Retrieved from <https://mavlink.io/en/> on May 15, 2023.
- Ngân Huyền (2020). Sử dụng máy bay không người lái phun thuốc trừ sâu. Truy cập từ <https://baothaibinh.com.vn/tin-tuc/0/102440/su-dung-may-bay-khong-nguoi-lai-phun-thuoc-tru-sau> ngày 30/7/2023.
- Rosencrance L., Lawton G. & Moozakis C. (2021). User Datagram Protocol (UDP). Retrieved from <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/UDP-User-Datagram-Protocol> on May 15, 2023.
- Srivastava K., Pandey P.C. & Sharma J.K. (2020). An Approach for Route Optimization in Applications of Precision Agriculture Using UAVs. Drones. 4(58). doi: 10.3390/drones4030058.
- Tian R, Cao M., Ma F. & Ji P. (2020). Agricultural UAV Path Planning Based on Improved A* and Gravity Search Mixed Algorithm. Journal of Physics: Conference Series. 1631: 012082. doi: 10.1088/1742-6596/1631/1/012082.
- Trung tâm Khuyến nông Quốc gia (2023). Phú Yên: Hội thảo đầu bờ trình diễn phun thuốc bảo vệ thực vật bằng máy bay không người lái. Truy cập từ <https://khuyennongvn.gov.vn/hoat-dong-khuyen-nong/chuyen-giao-tbkt/phu-yen-trinh-dien-may-bay-khong-nguoi-lai-phun-thuoc-bvtv-22424.html> ngày 30/10/2023.
- Xu B., Chen L. P., Tan Y. & Xu M. (2015). Path planning based on minimum energy consumption for plant protection UAVs in sorties. Journal of Agricultural Machinery. 46(11): 36-42.
- Yu S., Zhu J., Shen J., Yang X. & Wang P. (2023). A Three-Dimensional Full-Coverage Operation Path Planning Method for Plant Protection Unmanned Aerial Vehicles Based on Energy Consumption Modeling. Electronics. 12(4051). doi: 10.3390/electronics12194051.