

SỞ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO HẢI PHÒNG

**CUỘC THI KHOA HỌC KỸ THUẬT CẤP THÀNH PHỐ
DÀNH CHO HỌC SINH TRUNG HỌC NĂM HỌC 2026 - 2027**

Tên dự án:
ROBOT NÔNG NGHIỆP THÔNG MINH
HỖ TRỢ GIEO TRỒNG, CHĂM SÓC VÀ PHÂN TÍCH
BỆNH CÂY TỰ ĐỘNG

Lĩnh vực dự thi: Kỹ thuật cơ khí – Kỹ thuật điện, điện tử
Loại dự án: Dự án khoa học [] Dự án kỹ thuật [X]

MÃ DỰ ÁN: (Sở GDĐT cấp) VỊ TRÍ: (Sở GDĐT cấp)

Hải Phòng, tháng 10 năm 2026

MỤC LỤC

1. Vấn đề nghiên cứu	3
1.1. Mô tả đòi hỏi của thực tế và xác định vấn đề cần giải quyết	3
1.2. Xác định các tiêu chí cho giải pháp kỹ thuật giải quyết vấn đề	3
2. Thiết kế và phương pháp	4
2.1. Quá trình nghiên cứu và tìm tòi, so sánh các giải pháp khác nhau	4
2.2. Lựa chọn giải pháp kỹ thuật tối ưu và tính sáng tạo của đề tài	5
2.3. Thiết kế mô hình, nguyên mẫu và quy trình công nghệ	6
3. Thực hiện chế tạo và kiểm tra.....	9
3.1. Quá trình chế tạo thiết bị và tích hợp quy trình công nghệ	9
3.2. Quá trình thực nghiệm kiểm tra trong các điều kiện khác nhau.....	10
3.3. Hoàn thiện, tinh chỉnh sản phẩm qua quá trình thử nghiệm.....	11
3.4. Đánh giá tính khả thi, hiệu quả giải quyết vấn đề và hướng phát triển.....	12
4. Tài liệu tham khảo	13

1. Vấn đề nghiên cứu

1.1. Mô tả đòi hỏi của thực tế và xác định vấn đề cần giải quyết

Trong sản xuất nông nghiệp, các công việc tạo rãnh, gieo hạt, tưới nước và lấp đất thường cần nhiều thao tác thủ công. Việc thực hiện riêng từng công đoạn làm tăng thời gian đi lại trên luống và khó giữ đồng đều khoảng cách gieo, lượng nước tưới. Bên cạnh đó, kiểm tra cây, tỉa cành và phun thuốc cũng đòi hỏi người nông dân dành nhiều thời gian chăm sóc trực tiếp.

Một khó khăn khác là việc theo dõi tình trạng cây trồng chưa được thực hiện thường xuyên. Dấu hiệu bệnh có thể bị bỏ sót khi diện tích trồng lớn hoặc thiếu nhân công. Người nông dân cần có thêm hình ảnh và cảnh báo để kiểm tra sớm, xác định tình trạng cây và lựa chọn cách xử lý phù hợp. Hoạt động phun thuốc vẫn cần người dùng quyết định, tránh sử dụng thuốc khi chưa xác định rõ nhu cầu.

Các thiết bị nông nghiệp có phạm vi sử dụng khác nhau. Máy lớn phù hợp với diện tích rộng nhưng có thể khó di chuyển trong luống hẹp; thiết bị bay chủ yếu hỗ trợ quan sát hoặc phun từ trên cao. Với mô hình vườn nhỏ và luống trồng, cần một thiết bị mặt đất có thể tiếp cận cây, thay đổi bộ phận làm việc và phối hợp nhiều công đoạn trên cùng một thân xe.

Từ nhu cầu trên, nhóm nghiên cứu lựa chọn thiết kế và chế tạo robot nông nghiệp tự hành 4 bánh, có khả năng bám luống, đi theo lịch trình đã cài đặt và phát hiện vật cản để di chuyển an toàn. Robot có hai module tháo lắp là module gieo hạt và module cánh tay robot. Module gieo hạt phối hợp với hệ thống tưới tích hợp để thực hiện quy trình tạo rãnh, gieo hạt, tưới nước và lấp đất. Module cánh tay hỗ trợ kiểm tra cây, tỉa cành và phun thuốc theo lệnh điều khiển. Hệ thống AI có nhiệm vụ nhận diện dấu hiệu bệnh và cảnh báo người nông dân, không trực tiếp quyết định việc phun thuốc.

1.2. Xác định các tiêu chí cho giải pháp kỹ thuật giải quyết vấn đề

Để đáp ứng yêu cầu hỗ trợ gieo trồng và chăm sóc cây trồng, giải pháp kỹ thuật được xây dựng theo sáu tiêu chí sau:

Tiêu chí 1: Khả năng vận hành và thích ứng địa hình. Robot có kết cấu 4 bánh dẫn động độc lập (4WD), bảo đảm khả năng di chuyển ổn định trên địa hình canh tác. Khoảng sáng gầm xe và khoảng cách giữa hai hàng bánh phải đủ lớn, phù hợp với kích thước và cách bố trí luống cây, giúp robot di chuyển thuận lợi mà không làm sạt lở luống hoặc dập nát cây trồng.

Tiêu chí 2: Khả năng tự hành và bảo đảm an toàn. Robot tích hợp cảm biến LiDAR quét 360 độ, hệ thống định vị GPS và cảm biến quán tính IMU để hỗ trợ xác định vị trí, hướng di chuyển và trạng thái chuyển động. Camera 3D có

nhiệm vụ quét địa hình phía trước, cung cấp thông tin về bề mặt đất và đặc điểm luống cây, giúp robot di chuyển bám theo luống và thực hiện lịch trình đã cài đặt sẵn. Hệ thống phải có cơ chế phát hiện vật cản phía trước, chủ động giảm tốc hoặc dừng di chuyển, đồng thời cảnh báo người dùng để bảo đảm an toàn trong quá trình vận hành.

Tiêu chí 3: Khả năng tháo lắp và thay đổi module công tác. Robot được thiết kế với hai module có thể tháo lắp, gồm module gieo hạt và module cánh tay robot. Các vị trí liên kết cơ khí và kết nối điện phải thuận tiện cho việc lắp đặt, tháo rời và thay đổi module theo mục đích sử dụng, đồng thời bảo đảm độ chắc chắn khi vận hành. Hệ thống tưới nước được tích hợp sẵn trên robot. Module cánh tay hỗ trợ kiểm tra cây, tỉa cành và phun thuốc theo lệnh điều khiển; bộ phận phun thuốc thuộc cấu hình làm việc của cánh tay, không tạo thành module thứ ba.

Tiêu chí 4: Khả năng nhận diện dấu hiệu bệnh và cảnh báo người dùng. Hệ thống sử dụng camera kết hợp AI để thu nhận, xử lý hình ảnh và phát hiện cây có dấu hiệu bệnh. Mục tiêu nhận diện đạt trên 90% trên bộ ảnh kiểm tra riêng, trong phạm vi các loại cây và nhóm bệnh được lựa chọn nghiên cứu. Khi phát hiện dấu hiệu bệnh, hệ thống gửi cảnh báo kèm hình ảnh để người dùng kiểm tra và quyết định biện pháp xử lý. AI không trực tiếp điều khiển cánh tay hoặc tự động bật hệ thống phun thuốc.

Tiêu chí 5: Khả năng thực hiện quy trình gieo trồng 4 trong 1. Robot phải phối hợp thực hiện liên tiếp bốn công đoạn: tạo rãnh, gieo hạt, tưới nước và lấp đất. Cơ cấu tạo rãnh, định lượng hạt và lấp đất thuộc module gieo hạt, hoạt động đồng bộ với hệ thống tưới nước tích hợp trên robot. Quy trình cần bảo đảm hạt được đưa xuống rãnh, cấp nước và phủ đất theo yêu cầu gieo trồng của loại hạt được thử nghiệm, góp phần giảm thao tác thủ công.

Tiêu chí 6: Tính kinh tế, thân thiện với môi trường và khả thi chế tạo. Tổng chi phí gia công, chế tạo nguyên mẫu không vượt quá 8 triệu đồng; ưu tiên sử dụng vật liệu, linh kiện phổ biến, dễ tìm kiếm, bảo trì và thay thế. Robot sử dụng nguồn điện từ pin Lithium-ion, có thể sạc lại để phục vụ nhiều lần vận hành. Hệ thống tưới cần cung cấp nước đúng vị trí, hạn chế lãng phí; chức năng nhận diện và cảnh báo bệnh hỗ trợ người dùng kiểm tra, xử lý kịp thời, hướng tới sử dụng hợp lý tài nguyên và vật tư nông nghiệp.

2. Thiết kế và phương pháp

2.1. Quá trình nghiên cứu và tìm tòi, so sánh các giải pháp khác nhau

Nhóm nghiên cứu so sánh các nhóm thiết bị theo khả năng di chuyển, chăm sóc cây, phát hiện dấu hiệu bệnh và thay đổi nhiệm vụ. Việc so sánh nhằm lựa

chọn giải pháp phù hợp với mục tiêu của đề tài; đặc điểm thực tế của từng thiết bị còn phụ thuộc vào mẫu máy và cấu hình cụ thể.

Tiêu chí	Thiết bị bay nông nghiệp	Máy hoặc robot chuyên dụng	Xe điều khiển từ xa cơ bản	Robot của đề tài
Di chuyển	Hoạt động từ trên cao theo cấu hình thiết bị	Theo thiết kế và hệ thống định vị của từng máy	Chủ yếu theo lệnh người điều khiển	Bám lường bằng LiDAR, camera 3D, GPS và IMU
Kiểm tra cây và AI	Quan sát từ trên cao tùy thiết bị	Tùy camera và phần mềm được trang bị	Cần bổ sung camera, phần mềm	AI phát hiện dấu hiệu bệnh và gửi cảnh báo
Công việc	Thường dùng cho quan sát hoặc phun	Tùy mẫu máy và bộ phận làm việc	Theo cơ cấu được gắn thêm	Gieo 4 trong 1; kiểm tra cây, tia cảnh và phun thuốc
Thay đổi nhiệm vụ	Theo thiết kế của thiết bị	Tùy khả năng thay bộ phận	Cần thiết kế cơ cấu phù hợp	Hai module tháo lắp; tưới tích hợp; phun thuốc cánh tay
Chi phí và phạm vi	Phụ thuộc tải trọng, thiết bị và diện tích	Phụ thuộc chức năng, kích thước và hãng	Phụ thuộc linh kiện và cơ cấu	Mục tiêu chi phí nguyên mẫu không quá 8 triệu đồng

Bảng 2.1: Phân tích so sánh các giải pháp kỹ thuật chăm sóc cây trồng

2.2. Lựa chọn giải pháp kỹ thuật tối ưu và tính sáng tạo của đề tài

Trên cơ sở yêu cầu sử dụng và kết quả so sánh, nhóm lựa chọn robot mặt đất dẫn động 4 bánh, kết hợp LiDAR 360 độ, camera 3D, GPS và IMU để hỗ trợ di chuyển. Robot có hai module tháo lắp, hệ thống tưới tích hợp và chức năng phát hiện dấu hiệu bệnh để cảnh báo người dùng. Các điểm nổi bật của giải pháp được thể hiện qua những nội dung sau:

1. Thiết kế module hóa, dễ thay đổi nhiệm vụ: Robot sử dụng một thân xe chung với module gieo hạt và module cánh tay robot. Người dùng có thể tháo lắp và thay đổi module theo công việc cần thực hiện. Hệ thống tưới nước được tích hợp sẵn; cánh tay hỗ trợ kiểm tra cây, tia cảnh và phun thuốc theo lệnh điều khiển. Cách thiết kế này giúp một robot phục vụ nhiều nhiệm vụ và thuận tiện hơn khi bảo trì.

2. Sử dụng AI để phát hiện dấu hiệu bệnh và cảnh báo: Camera ghi lại hình ảnh cây trồng, sau đó phần mềm AI nhận diện các dấu hiệu bệnh trong phạm vi đã được huấn luyện. Hệ thống gửi cảnh báo kèm hình ảnh để người nông dân kiểm tra và chọn cách xử lý. Việc phun thuốc được thực hiện theo lệnh điều khiển của người dùng, không tự động kích hoạt từ kết quả AI.

3. Kết hợp LiDAR và camera 3D để hỗ trợ tự hành và bảo đảm an toàn: Cảm biến LiDAR quét 360 độ cung cấp thông tin về khoảng cách và vật cản xung quanh, trong khi camera 3D ghi nhận chiều sâu và đặc điểm địa hình phía trước robot. Việc kết hợp hai nguồn dữ liệu, cùng thông tin định vị GPS và trạng thái chuyển động từ IMU, hỗ trợ robot xác định hướng đi, bám theo luống và thực hiện lịch trình đã cài đặt. Khi phát hiện vật cản hoặc khu vực không bảo đảm điều kiện di chuyển, hệ thống chủ động giảm tốc hoặc dừng lại, đồng thời cảnh báo người dùng.

4. Tích hợp quy trình gieo trồng 4 trong 1: Khi lắp module gieo hạt, robot phối hợp thực hiện bốn công đoạn liên tiếp: tạo rãnh, gieo hạt, tưới nước và lấp đất. Các cơ cấu được bố trí theo trình tự làm việc, trong đó bộ phận gieo hạt phối hợp với hệ thống tưới tích hợp sẵn để đưa hạt xuống rãnh, cấp nước và phủ đất. Việc kết hợp các công đoạn trong cùng một lượt di chuyển giúp giảm thao tác thủ công, hạn chế số lần đi lại trên luống và tạo sự đồng bộ trong quá trình gieo trồng.

2.3. Thiết kế mô hình, nguyên mẫu và quy trình công nghệ

a) Bản thiết kế kiến trúc hệ thống và cơ khí nguyên mẫu

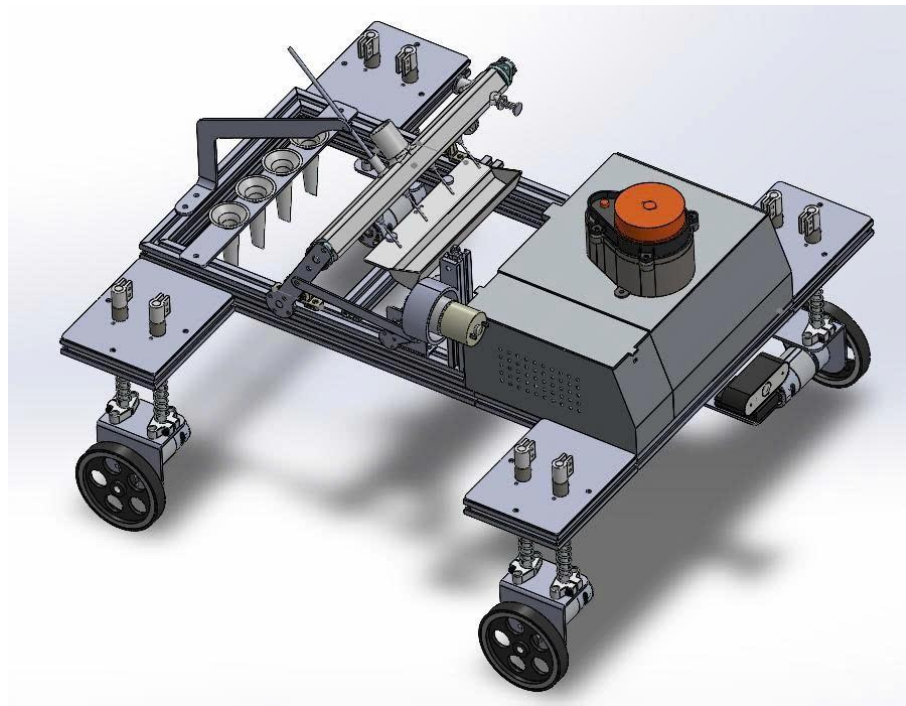
Mô hình robot được thiết kế trên phần mềm SolidWorks với kích thước tổng thể: dài 550 mm × rộng 550 mm × cao 380 mm. Khung gầm sử dụng nhôm định hình 2020, liên kết bằng ke góc và kết hợp tấm sàn nhôm dày 2,5 mm, được thiết kế để mang tải trọng lên tới 15 kg. Khoảng sáng gầm và khoảng cách giữa hai hàng bánh được bố trí phù hợp với luống canh tác, giúp robot di chuyển thuận lợi và hạn chế va chạm với cây trồng.

Hệ thống di chuyển sử dụng 4 động cơ giảm tốc DC kim loại JGB37-520, tỷ số truyền 1:90, điện áp 12V, dẫn động 4 bánh xe. Bánh xe cao su địa hình có đường kính 95 mm, bề mặt có vân gai nhằm tăng độ bám khi di chuyển trên nền đất canh tác.

Cảm biến LiDAR quét 360 độ được bố trí ở vị trí thông thoáng trên thân robot, hạn chế sự che khuất của các bộ phận cơ khí để thu nhận thông tin khoảng cách và vật cản xung quanh. Camera 3D được lắp ở phía trước, có góc quan sát phù hợp để ghi nhận địa hình, đặc điểm luống cây và các chướng ngại vật trên hướng di chuyển. Dữ liệu từ LiDAR và camera 3D được kết hợp với thông tin GPS và IMU nhằm hỗ trợ robot di chuyển bám luống, thực hiện lịch trình đã cài đặt và phát hiện tình huống cần giảm tốc hoặc dừng an toàn.

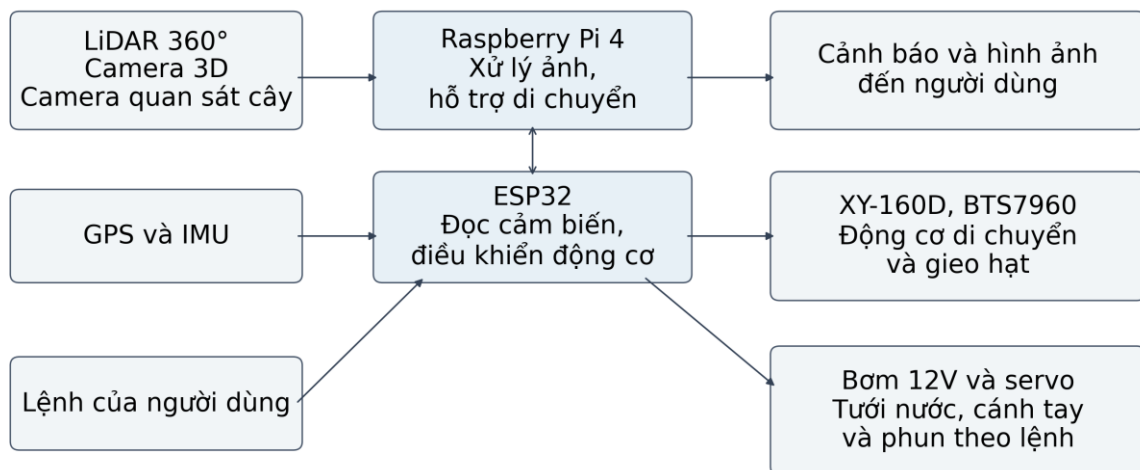
Module gieo hạt gồm bộ phận tạo rãnh, cơ cấu đưa kim hút đến vị trí lấy hạt và nhả hạt, cùng bộ phận lấp đất. Kim lấy hạt nhờ lực hút, giữ hạt trong quá trình di chuyển và nhả xuống rãnh khi ngắt lực hút. Hệ thống tưới cấp nước sau

khi gieo và trước khi lấp đất. Module cánh tay có các vị trí gắn bộ phận kiểm tra cây, tia cảnh và đầu phun thuốc theo nhiệm vụ.



Hình 2.1: Mô hình thiết kế robot nông nghiệp

b) Bản thiết kế hệ thống điều khiển điện tử và cung cấp nguồn



AI cảnh báo; người dùng quyết định việc phun thuốc.

Hình 2.2: Sơ đồ các khối điều khiển của robot

Hệ thống điện tử được phân chia thành các khối chức năng, phối hợp thực hiện nhiệm vụ xử lý hình ảnh, điều khiển di chuyển, thu nhận dữ liệu cảm biến và vận hành các cơ cấu công tác:

- **Khối xử lý trung tâm và trí tuệ nhân tạo:** Sử dụng máy tính nhúng Raspberry Pi 4 để thu nhận, xử lý hình ảnh và chạy mô hình AI phát hiện dấu hiệu bệnh trên cây trồng. Khối này đồng thời tổng hợp dữ liệu phục

vụ tự hành, xử lý thông tin từ LiDAR và camera 3D, phối hợp với hệ thống điều khiển để thực hiện lịch trình đã cài đặt và gửi cảnh báo đến người dùng.

- **Khởi điều khiển động cơ và cảm biến:** Sử dụng vi điều khiển ESP32 để thu nhận tín hiệu cảm biến, tiếp nhận lệnh từ Raspberry Pi 4 và điều khiển các cơ cấu chấp hành. Các driver XY-160D và BTS7960 được sử dụng cho những động cơ khác nhau, lựa chọn theo yêu cầu điện áp, dòng điện và nhiệm vụ của từng cơ cấu. ESP32 phối hợp điều khiển chuyển động của robot, vận hành module công tác và thực hiện lệnh giảm tốc hoặc dừng khi phát hiện tình huống không an toàn.
- **Khởi cơ cấu công tác:** Sử dụng máy bơm 12V cho hệ thống tưới nước và bộ phận phun thuốc; động cơ giảm tốc JGB37 và servo MG996R để vận hành các cơ cấu làm việc. Module gieo hạt dùng đầu kim kết nối với bộ phận tạo lực hút để lấy hạt, đưa hạt đến vị trí gieo và nhả hạt xuống rãnh. Cơ cấu này phối hợp với bộ phận tạo rãnh, tưới nước và lấp đất. Module cánh tay hỗ trợ kiểm tra cây, tỉa cành và đưa đầu phun đến vị trí cần xử lý theo lệnh điều khiển. Hệ thống AI không trực tiếp điều khiển các thao tác của cánh tay hoặc bật bơm phun thuốc.
- **Khởi cung cấp nguồn:** Sử dụng pin Lithium-ion kết hợp mạch quản lý và bảo vệ pin. Nguồn điện được phân phối thành các nhánh cấp cho động cơ, máy bơm và hệ thống điều khiển; các bộ chuyển đổi điện áp được lựa chọn phù hợp với yêu cầu của từng thiết bị. Hệ thống được bố trí dây dẫn, công tắc và phần tử bảo vệ nhằm hạn chế ảnh hưởng của nhiễu, sụt áp khi các cơ cấu công tác hoạt động.

c) Sơ đồ quy trình công nghệ vận hành của hệ thống

Quy trình vận hành của robot được xây dựng theo nhiệm vụ đã cài đặt, kết hợp khả năng tự hành, điều khiển cơ cấu công tác và giám sát tình trạng cây trồng. Các bước thực hiện như sau:

Bước 1: Khởi động và kiểm tra hệ thống. Robot kiểm tra nguồn pin, kết nối giữa Raspberry Pi 4 và ESP32, trạng thái các cảm biến và cơ cấu chấp hành. Hệ thống khởi tạo LiDAR, camera 3D, GPS, IMU và camera phục vụ nhận diện dấu hiệu bệnh trên cây trồng.

Bước 2: Thiết lập nhiệm vụ và lịch trình hoạt động. Người dùng lựa chọn công việc, lắp module gieo hạt hoặc module cánh tay và thiết lập tuyến đường cùng các thông số cần thiết. Nếu thực hiện tưới hoặc phun thuốc, người dùng kiểm tra lượng dung dịch, đường ống và đầu ra trước khi vận hành.

Bước 3: Thu nhận dữ liệu và điều khiển robot di chuyển. LiDAR quét 360 độ để xác định khoảng cách và phát hiện vật cản xung quanh; camera 3D

ghi nhận địa hình và đặc điểm luống cây phía trước. Dữ liệu này được kết hợp với thông tin vị trí từ GPS và hướng chuyển động từ IMU để hỗ trợ robot bám luống, di chuyển theo lịch trình đã cài đặt. Raspberry Pi 4 xử lý thông tin và gửi lệnh đến ESP32 để điều khiển động cơ.

Bước 4: Giám sát an toàn trong quá trình vận hành. Khi phát hiện vật cản phía trước hoặc địa hình không bảo đảm điều kiện di chuyển, hệ thống chủ động giảm tốc hoặc dừng robot, đồng thời cảnh báo người dùng. Robot chỉ tiếp tục hoạt động khi điều kiện an toàn được khôi phục; trường hợp cần thiết, người dùng kiểm tra và điều chỉnh nhiệm vụ.

Bước 5: Thực hiện nhiệm vụ công tác. Khi sử dụng module gieo hạt, robot lần lượt tạo rãnh, dùng kim hút để lấy và nhả hạt, tưới nước rồi lấp đất. Các cơ cấu làm việc được điều khiển đồng bộ với quá trình di chuyển. Khi lắp module cánh tay, người dùng điều khiển các thao tác kiểm tra cây, tỉa cành hoặc phun thuốc theo nhu cầu.

Bước 6: Phân tích hình ảnh và cảnh báo dấu hiệu bệnh. Trong quá trình hoạt động, camera chuyển hình ảnh đến Raspberry Pi 4 để phần mềm AI xử lý. Khi phát hiện dấu hiệu bệnh trong phạm vi nhận diện, hệ thống gửi cảnh báo kèm hình ảnh cho người nông dân kiểm tra. Kết quả này chỉ cung cấp thông tin hỗ trợ; người dùng quyết định việc xử lý và điều khiển phun thuốc khi cần thiết.

Bước 7: Kết thúc nhiệm vụ. Khi hoàn thành lịch trình, robot dừng di chuyển, ngắt các cơ cấu công tác và thông báo trạng thái hoàn thành. Người dùng kiểm tra thiết bị, vệ sinh các bộ phận và chuẩn bị nguồn điện, nước tưới hoặc hạt giống cho lần vận hành tiếp theo.

3. Thực hiện chế tạo và kiểm tra

3.1. Quá trình chế tạo thiết bị và tích hợp quy trình công nghệ

Quá trình chế tạo được thực hiện qua bốn công đoạn, từ lắp ráp khung và các cơ cấu làm việc đến lập trình, kiểm tra và kết nối toàn bộ hệ thống:

Công đoạn 1 - Gia công khung và các module: Cắt nhôm định hình theo bản thiết kế, lắp khung và các vị trí gắn động cơ, cảm biến. In 3D các chi tiết gá đỡ cần thiết, lắp cơ cấu tạo rãnh, kim hút hạt, bộ phận đưa và nhả hạt, cơ cấu lấp đất cùng các vị trí tháo lắp module. Với cánh tay robot, bố trí các bộ phận phục vụ kiểm tra cây, tỉa cành và phun thuốc theo mục đích sử dụng.

Công đoạn 2 - Lắp hệ thống điện, nước và bộ phận hút hạt: Đấu nối Raspberry Pi 4, ESP32, các driver XY-160D, BTS7960, động cơ và cảm biến. Lắp máy bơm 12V, bình chứa, đường ống và các đầu tưới, đầu phun theo bố trí của robot. Kết nối kim hút với bộ phận tạo lực hút, kiểm tra độ kín của đường

hút và khả năng lấy, giữ, nhả hạt. Dây điện và mạch điều khiển được bố trí gọn, có vỏ che và phần tử bảo vệ phù hợp.

Công đoạn 3 - Xây dựng phần mềm nhận diện dấu hiệu bệnh: Thu thập ảnh cây khỏe và cây có dấu hiệu bệnh hoặc bị sâu gây hại trong nhiều điều kiện ánh sáng. Đánh dấu vùng cần nhận diện trên ảnh và chia ảnh thành các nhóm dùng để huấn luyện, điều chỉnh và kiểm tra riêng. Nhóm sử dụng mô hình YOLOv8-Nano, sau đó triển khai trên Raspberry Pi 4. Kích thước ảnh và tần suất xử lý được điều chỉnh theo khả năng của thiết bị. Phần mềm nhận diện dùng để cảnh báo, không điều khiển phun thuốc hoặc thao tác của cánh tay.

Công đoạn 4 - Lập trình và kết nối hệ thống: Lập trình ESP32 bằng C++ trên Arduino IDE để nhận tín hiệu cảm biến và điều khiển động cơ, máy bơm, servo. Raspberry Pi 4 xử lý hình ảnh, dữ liệu phục vụ di chuyển và gửi lệnh đến ESP32 qua kết nối USB-Serial. Các bước xử lý ảnh có thể sử dụng thư viện OpenCV. Nhóm kiểm tra lần lượt việc bám luống, phát hiện vật cản, gửi cảnh báo, vận hành cơ cấu gieo hạt và điều khiển cánh tay trước khi cho robot làm việc kết hợp.

3.2. Quá trình thực nghiệm kiểm tra trong các điều kiện khác nhau

Thử nghiệm được chia thành hai nhóm: kiểm tra từng bộ phận trong điều kiện có kiểm soát và kiểm tra khi robot làm việc trên luống. Nội dung tập trung vào cơ cấu kim hút hạt, hệ thống tưới tích hợp, quy trình gieo trồng 4 trong 1, khả năng di chuyển và cảnh báo dấu hiệu bệnh. Chức năng tưới cảnh, kiểm tra cây và phun thuốc của cánh tay được kiểm tra theo lệnh điều khiển, không gắn với việc AI tự động phun.

a) Thử nghiệm trong phòng thí nghiệm (Laboratory Testing)

- Kiểm tra cơ cấu kim hút hạt: Thử riêng từng loại hạt, điều chỉnh vị trí đầu kim, lực hút và thời gian lấy - nhả hạt. Mỗi chu kỳ được theo dõi từ lúc kim tiếp xúc với hạt đến khi nhả xuống vị trí gieo. Ghi riêng số lượt hút đúng một hạt, không hút được hạt, hút nhiều hạt và rơi hạt trước khi đến vị trí nhả. Tỷ lệ hút đơn thành công được tính bằng số lượt hút đúng một hạt và giữ được hạt đến vị trí nhả, chia cho tổng số chu kỳ, rồi nhân với 100%. Đồng thời ghi số lượt nhả đúng vị trí để đánh giá cả quá trình gieo.

- Kiểm tra hệ thống tưới nước tích hợp: Dùng nước sạch, cho bơm hoạt động theo chu kỳ gieo và hứng nước tại đầu tưới để đo lượng nước mỗi lần. Lặp lại phép đo để kiểm tra mức đồng đều, vị trí nước rơi so với hạt, khả năng ngắt nước và hiện tượng rò rỉ hoặc nhỏ giọt. Khi thay đổi tốc độ di chuyển hoặc thời gian tưới, ghi lại lượng nước và kiểm tra việc cấp nước trước khi lấp đất.

- Kiểm tra di chuyển và phát hiện vật cản: Cho robot đi theo tuyến đã cài đặt, bố trí vật cản tĩnh và vật cản chuyển động để kiểm tra LiDAR, camera 3D

và phản ứng của hệ thống điều khiển. Ghi vận tốc, độ lệch khỏi tuyến, khoảng cách giảm tốc, khoảng cách dừng và thời gian phản hồi. Điều kiện mặt đất, ánh sáng và tốc độ chạy được ghi cùng từng lần thử.

b) Thử nghiệm thực địa ngoài vườn cây (Field Testing)

Robot được kiểm tra trên luống rau cải và cà chua tại nhà vườn ở Hải Phòng, với chiều dài luống thử 25 m. Bề rộng lối đi, khoảng cách giữa các hàng cây và điều kiện mặt đất cần được ghi rõ cho từng lần thử. Khi lắp module gieo hạt, nhóm theo dõi toàn bộ trình tự tạo rãnh, hút và nhả hạt, tưới nước, lấp đất; kiểm tra vị trí hạt, lượng nước và lớp đất phủ. Camera đồng thời ghi ảnh để kiểm tra khả năng phát hiện dấu hiệu bệnh và gửi cảnh báo. Với module cánh tay, việc kiểm tra cây, tia cảnh và phun được thử theo lệnh người dùng; dùng nước sạch để kiểm tra hướng phun, khả năng bật - tắt và rò rỉ. Kết quả tổng hợp được trình bày trong Bảng 3.1.

Nội dung kiểm tra	Yêu cầu hoặc cách đánh giá	Kết quả đã ghi nhận	Nhận xét
Vận tốc di chuyển	0,20 - 0,40 m/s	0,28 m/s	Đạt trong điều kiện đã thử
Độ lệch khi bám luống	Nhỏ hơn 8 cm	$\pm 3,8$ cm	Cần đối chiếu với bề rộng lối đi
Dừng trước vật cản	Khoảng dừng 30 - 50 cm	35 ± 2 cm; phản hồi 0,12 giây	Đạt trong điều kiện đã thử
Nhận diện dấu hiệu bệnh	Mục tiêu trên 90% trên bộ ảnh kiểm tra riêng	93,6% trên 500 mẫu kiểm thử	Cần thống nhất cách tính chỉ số
Kim hút và nhả hạt	Hút một hạt, giữ hạt và nhả đúng vị trí	Tỉ lệ thành công 92%	Ghi riêng lỗi hút, rơi và nhả hạt
Tưới nước tích hợp	Lượng nước mỗi lần, độ đồng đều và đúng vị trí	95%	Đo lặp lại bằng nước sạch
Cánh tay và phun thuốc	Kiểm tra cây, tia cảnh, bật - tắt phun theo lệnh	Độ chính xác 90%	Kiểm tra cơ cấu; dùng nước sạch thử phun

Bảng 3.1: Kết quả đã ghi nhận và các chỉ tiêu cần tiếp tục tổng hợp

3.3. Hoàn thiện, tinh chỉnh sản phẩm qua quá trình thử nghiệm

Trong quá trình thử nghiệm, nhóm nghiên cứu ghi nhận các hạn chế phát sinh và thực hiện điều chỉnh nhằm nâng cao khả năng di chuyển, nhận diện dấu hiệu bệnh và vận hành cơ cấu gieo hạt. Các nội dung tinh chỉnh tập trung vào ba nhóm chính:

Đợt tinh chỉnh 1: Cải thiện khả năng di chuyển và bám luống. Khi vận hành trên nền đất ẩm hoặc không bằng phẳng, hiện tượng trượt bánh có thể khiến robot sai lệch hướng di chuyển. Nhóm hiệu chỉnh tốc độ và các tham số điều khiển động cơ, kết hợp thông tin từ IMU để hỗ trợ điều chỉnh hướng. Đồng thời, dữ liệu LiDAR và camera 3D được sử dụng để nhận biết đặc điểm luống và địa hình phía trước, giúp robot lựa chọn hướng di chuyển phù hợp, hạn chế lệch khỏi tuyến đường đã cài đặt.

Đợt tinh chỉnh 2: Nâng cao khả năng nhận diện dấu hiệu bệnh trên cây trồng. Sự thay đổi ánh sáng giữa các thời điểm trong ngày, đặc biệt là hiện tượng chói sáng trên bề mặt lá, ảnh hưởng đến kết quả nhận diện của mô hình AI. Nhóm bổ sung hình ảnh trong các điều kiện chiếu sáng khác nhau, điều chỉnh bước tiền xử lý ảnh và huấn luyện lại mô hình. Việc tinh chỉnh hướng tới tăng độ ổn định của kết quả nhận diện, giảm cảnh báo nhầm và cung cấp hình ảnh phù hợp để người nông dân kiểm tra, lựa chọn phương án xử lý.

Đợt tinh chỉnh 3: Tối ưu cơ cấu hút và gieo hạt. Trong quá trình thử nghiệm, đầu kim hút hạt có thể không hút được hạt hoặc hút chưa ổn định, gây bỏ sót vị trí gieo. Nhóm tập trung điều chỉnh vị trí tiếp xúc của đầu kim với hạt, lực hút và thời gian hút – nhả, đồng thời đồng bộ chuyển động của cơ cấu với chu kỳ gieo. Các thông số được hiệu chỉnh theo loại hạt sử dụng nhằm tăng tỷ lệ đầu kim hút hạt thành công, hạn chế hút nhiều hạt cùng lúc và bảo đảm hạt được nhả đúng vị trí. Cơ cấu sau điều chỉnh tiếp tục được kiểm tra qua nhiều chu kỳ để đánh giá độ ổn định trước khi phối hợp với các công đoạn tạo rãnh, tưới nước và lấp đất.

3.4. Đánh giá tính khả thi, hiệu quả giải quyết vấn đề và hướng phát triển

1. Đánh giá về khả năng làm việc: Robot được thiết kế để kết hợp di chuyển tự hành, gieo trồng và hỗ trợ chăm sóc cây. Hai module tháo lắp giúp thay đổi nhiệm vụ; hệ thống tưới tích hợp phối hợp với module gieo hạt để thực hiện bốn công đoạn trong cùng một lượt di chuyển. LiDAR, camera 3D, GPS và IMU hỗ trợ bám luống và phát hiện vật cản. AI cung cấp cảnh báo dấu hiệu bệnh; cánh tay thực hiện kiểm tra cây, tỉa cành và phun thuốc theo lệnh điều khiển. Mức độ đáp ứng của từng chức năng cần được đánh giá theo kết quả thử nghiệm tương ứng.

2. Đánh giá về kinh tế và giảm công việc thủ công: Quy trình tạo rãnh, gieo hạt, tưới nước và lấp đất giúp giảm số thao tác và số lượt đi lại trên luống. Cánh tay hỗ trợ thực hiện một số công việc chăm sóc và phun thuốc, góp phần giảm khối lượng thao tác trực tiếp của người nông dân. Thiết kế dùng chung thân xe và linh kiện phổ biến thuận tiện cho sửa chữa, thay thế. Chi phí chế tạo cần được tổng hợp theo danh mục linh kiện; mức tiết kiệm thời gian và chi phí sử dụng cần so sánh với cách làm thủ công trên cùng diện tích, cùng nhiệm vụ.

3. Đánh giá về xã hội và môi trường: Tưới nước đúng vị trí có thể hạn chế nước cấp ngoài vùng cần tưới. Cảnh báo dấu hiệu bệnh giúp người nông dân có thêm thông tin để kiểm tra và lựa chọn biện pháp chăm sóc. Hệ thống phun thuốc trên cánh tay hỗ trợ đưa đầu phun đến vị trí cần xử lý theo lệnh người dùng; không tự động phun dựa trên kết quả AI. Người vận hành vẫn cần sử dụng thuốc đúng hướng dẫn và giữ khoảng cách phù hợp khi phun. Hiệu quả giảm lượng thuốc hoặc giảm tiếp xúc trực tiếp cần được đo thực tế, chưa quy đổi thành tỷ lệ tiết kiệm khi chưa có số liệu đối chứng.

4. Hướng hoàn thiện và phát triển: Tiếp tục tăng độ ổn định của kim hút hạt, điều chỉnh lượng nước tưới phù hợp với từng loại hạt và hoàn thiện sự phối hợp giữa bốn công đoạn gieo trồng. Bổ sung ảnh trong các điều kiện ánh sáng khác nhau để cải thiện nhận diện dấu hiệu bệnh, đồng thời giảm cảnh báo nhầm. Hoàn thiện khả năng bám luống và phát hiện vật cản trên nhiều dạng mặt đất; cải tiến thao tác kiểm tra cây, tỉa cành và phun thuốc của cánh tay. Các bước phát triển tiếp theo được lựa chọn dựa trên kết quả thử nghiệm, nhu cầu sử dụng và chi phí thực tế.

4. Tài liệu tham khảo

Các tài liệu kỹ thuật được dùng để tham khảo về phân cứng, lập trình, xử lý ảnh và triển khai mô hình nhận diện:

- [1] Bộ Giáo dục và Đào tạo. Sách giáo khoa Công nghệ 11 - Chuyên đề Công nghệ Nông nghiệp công nghệ cao. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, 2023.
- [2] Bộ Giáo dục và Đào tạo. Sách giáo khoa Tin học 12 - Định hướng Khoa học máy tính (Chuyên đề Trí tuệ nhân tạo). Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, 2024.
- [3] Bradski, G., & Kaehler, A. Learning OpenCV 4: Computer Vision with Python. O'Reilly Media, 2018.
- [4] Redmon, J., & Farhadi, A. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. arXiv preprint arXiv:2004.10934, 2020.
- [5] Slamtec Co. RPLIDAR A1 Standard 360 Degree 2D Laser Range Scanner - User Manual & Development Protocol. Shanghai Slamtec, 2023.
- [6] Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet & Technical Reference Manual (Version 4.2). Espressif Systems Co., 2024.
- [7] Viện Cơ điện Nông nghiệp và Công nghệ sau thu hoạch. Báo cáo nghiên cứu ứng dụng cơ giới hóa, tự động hóa và chuyển đổi số trong sản xuất nông nghiệp thông minh tại Việt Nam. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, 2023.