

DẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA KHOA HỌC & KỸ THUẬT MÁY TÍNH



Đồ án liên ngành (CO4041 - CO4029)

BÁO CÁO DỰ ÁN:

HỆ THỐNG QUẢN LÝ NÔNG TRẠI THÔNG MINH

GVHD: PGS.TS. Thoại Nam
ThS. Hoàng Lê Hải Thành
CN. Trần Nguyễn Minh Duy

Sinh viên: Lê Hoàng Việt 2252903
Chế Minh Đức 2210783
Nguyễn Phú Quý 2212871

Mục lục

Danh sách hình vẽ	3
Danh sách bảng	3
Lời cảm ơn	4
Danh sách phân chia công việc	6
1 Giới thiệu	7
1.1 Bối cảnh và bài toán	7
1.2 Tính cấp thiết của đề tài	7
1.3 Tình hình nghiên cứu và các giải pháp hiện có	7
1.4 Mục tiêu và câu hỏi nghiên cứu	7
1.5 Phạm vi và giới hạn của đề tài	8
2 Cơ sở lý thuyết	8
2.1 Kiến trúc hệ thống và Công nghệ nền tảng	8
2.1.1 Kiến trúc tổng thể	8
2.1.2 Nền tảng ứng dụng	9
2.1.3 Hạ tầng Backend và Quy trình DevOps	9
2.1.4 Phần cứng IoT và Giao thức truyền thông	10
2.2 Bài toán phát hiện lỗi cảm biến trong hệ thống IoT	10
2.2.1 Tổng quan về lỗi cảm biến trong môi trường IoT	10
2.2.2 Các phương pháp tiếp cận hiện có và hạn chế	10
2.2.3 Cơ sở lý thuyết của phương pháp Robust Feature Extractor (RFE)	10
2.2.4 Sơ đồ Luồng xử lý tổng thể	11
3 Khảo sát các giải pháp đã có	13
3.1 Khảo sát các ứng dụng, sản phẩm hoặc hệ thống liên quan	13
3.2 Khảo sát các mô hình, thuật toán, phương pháp	13
3.3 Bảng tổng hợp và phân tích khoảng trống	13
4 Phân tích yêu cầu	14
4.1 Mục đích	14
4.2 Phương pháp thu thập yêu cầu	14
4.3 Kết quả thu thập yêu cầu	14
4.4 Yêu cầu chức năng	14
4.5 Yêu cầu phi chức năng	15
4.6 Các mô hình phân tích UML	16
4.6.1 Use case: Giám sát Nông trại	16
4.6.2 Use case: Giám sát Thiết bị	20
4.6.3 Use case: Giám sát và Phân tích Hệ thống	23
4.6.4 Use case: Quản lý Báo cáo	25
5 Giải pháp đề xuất	27
5.1 Mục tiêu của giải pháp	27
5.1.1 Mục tiêu 1: Tự động hóa quá trình thu thập và xử lý dữ liệu môi trường	27
5.1.2 Mục tiêu 2: Phát hiện và cảnh báo sớm các sự cố hệ thống	27
5.1.3 Mục tiêu 3: Cung cấp giao diện quản lý trực quan và dễ sử dụng	27
5.1.4 Mục tiêu 4: Đảm bảo khả năng mở rộng và hiệu năng cao	27
5.1.5 Mục tiêu 5: Tối ưu hóa chi phí vận hành và bảo trì	27
5.1.6 Mục tiêu 6: Đảm bảo tính bảo mật và độ tin cậy	27
5.2 Thiết kế kiến trúc (Mức khái niệm)	28
5.2.1 Phân hệ Quản lý Nông trại:	28
5.2.2 Phân hệ IoT và Thu thập dữ liệu:	29
5.2.3 Phân hệ Người dùng và Phân quyền:	30



5.2.4	Phân hệ Kinh doanh	31
5.3	Thiết kế Kiến trúc Hệ thống	32
5.3.1	Kiến trúc Phân lớp (Layered Architecture)	32
5.3.2	Kiến trúc Triển khai (Deployment Architecture)	35
5.4	Phân tích đánh đổi kiến trúc và Quản lý rủi ro	36
5.5	Tại sao không chọn kiến trúc Monolithic đơn giản?	36
5.6	Dánh đổi kỹ thuật	37
5.7	Rủi ro và Chiến lược giảm thiểu	37
5.8	Dề xuất hiện thực và lựa chọn công nghệ	37
5.8.1	Quản lý lược đồ dữ liệu cảm biến từ xa	37
5.8.2	Dề xuất cải tiến cho thuật toán RFE	39
5.8.2.a	Vấn đề và hạn chế của RFE nguyên bản	39
5.8.2.b	Giải pháp đề xuất:	39
5.8.2.c	Cơ chế hoạt động	40
5.8.2.d	Kết luận	40
5.9	Thiết kế các thành phần chính	41
5.9.1	Software	41
5.9.1.a	Luồng Giám sát và Phân tích Hệ thống:	41
5.9.1.b	Quy trình quản lý Farm:	42
5.9.1.c	Quy trình quản lý thiết bị:	43
5.9.2	Firmware	44
5.9.2.a	Activity Diagram	44
5.9.2.b	Sequence Diagram	45
5.9.2.c	Timing Diagram	46
5.9.2.d	State Machine Diagram	49
5.10	Cách đánh giá giải pháp	50
5.10.1	Dánh giá Hiệu năng Hệ thống (Performance Evaluation)	50
5.10.2	Dánh giá Hiệu quả Thuật toán Phát hiện lỗi (Algorithmic Evaluation)	50
5.10.3	Dánh giá Trải nghiệm và Chức năng (Functional & UX Evaluation)	50
6	Kế hoạch thực hiện	51
6.1	Mục tiêu theo từng giai đoạn	51
6.1.0.a	Firmware	51
6.1.0.b	Software	51
6.2	Lịch trình và mốc thời gian	52
6.2.0.a	Firmware	52
6.2.0.b	Software	53
6.3	Rủi ro và phương án giảm thiểu	54
6.3.0.a	Firmware	54
6.3.0.b	Software	54
7	Kết luận	55
7.1	Tóm tắt vấn đề và hướng tiếp cận	55
7.2	Công việc đã hoàn thành trong giai đoạn Dồ án Chuyên ngành	55
7.3	Dịnh hướng thực hiện Dồ án Tốt nghiệp	55
7.4	Bài học kinh nghiệm và Góc nhìn phản tư	56
A	Sơ đồ Cơ sở dữ liệu vật lý (Physical ERD)	57
B	Danh sách các API chính (API Specifications)	57
C	Danh sách linh kiện phần cứng (Bill of Materials)	58
D	Bảng so sánh các giải pháp tham khảo	59
	Tài liệu tham khảo	60

Danh sách hình vẽ

1	Sơ đồ luồng xử lý phát hiện lỗi cảm biến với RFE	12
2	Sơ đồ quản lý farm	16
4	Sơ đồ luồng quản lý và tạo báo cáo	23
5	Sơ đồ luồng quản lý và tạo báo cáo	25
6	Sơ đồ thực thể quan hệ của phân hệ Quản lý Nông trại	29
7	Sơ đồ thực thể quan hệ của phân hệ IoT và Thu thập dữ liệu	30
8	Sơ đồ thực thể quan hệ của phân hệ Người dùng và Phân quyền	31
9	Sơ đồ thực thể quan hệ của phân hệ Kinh doanh	32
10	Sơ đồ Kiến trúc Phân lớp của Hệ thống	33
11	Deployment Diagram	35
12	Activity Diagram mô tả luồng giám sát và tương tác trên Dashboard	41
13	Activity Diagram mô tả luồng quản lý farm	42
14	Activity Diagram mô tả luồng quản lý thiết bị	43
15	Activity Diagram	44
16	Sequence Diagram	45
17	Timing Diagram for sensor processing and control tasks	46
18	Timing Diagram for camera task	48
19	State Machine Diagram	49
20	Sơ đồ thực thể quan hệ chi tiết (Physical Data Model)	57
21	Dặc tả API Module Quản lý Nông trại (Farms Endpoint) [Nguồn: Swagger UI Hệ thống] .	58
22	Dặc tả API Module Quản lý Thiết bị (Devices Endpoint) [Nguồn: Swagger UI Hệ thống] .	58

Danh sách bảng

1	Bảng phân chia công việc	6
2	Yêu cầu chức năng - Nhóm 1: Tổng quan Dashboard	14
3	Yêu cầu chức năng - Nhóm 2: Quản lý Nông trại và Người dùng	14
4	Yêu cầu chức năng - Nhóm 3: Quản lý và Giám sát Thiết bị	15
5	Tóm tắt phân loại ưu tiên các yêu cầu chức năng	15
6	Bảng phân tích đánh đổi khi lựa chọn công nghệ	37
7	Các kịch bản đánh giá thuật toán phát hiện lỗi	50
8	Bảng phân bố lịch trình thực hiện đồ án 15 tuần	52
10	Bảng phân tích rủi ro và phương án giảm thiểu	54
11	Phân tích rủi ro phần mềm và phương án xử lý	54
12	Bill of Materials (BOM)	59



Lời cảm ơn

Lời đầu tiên, nhóm chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Ban Giám hiệu trường Đại học Bách Khoa - DHQG TP.HCM và quý Thầy Cô khoa Khoa học và Kỹ thuật Máy tính đã tạo điều kiện thuận lợi, cung cấp môi trường học tập và nghiên cứu hiện đại để chúng em có thể thực hiện đề tài này.

Đặc biệt, chúng em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến **PGS. TS. Thoại Nam, ThS. Hoàng Lê Hải Thanh** và **CN. Trần Nguyễn Minh Duy**. Các Thầy và Anh đã tận tình hướng dẫn, định hướng giải pháp và đưa ra những lời khuyên quý báu về mặt chuyên môn cũng như kỹ năng nghiên cứu trong suốt quá trình thực hiện Đề án chuyên ngành. Những kiến thức nền tảng và kinh nghiệm thực tế mà các Thầy chia sẻ chính là kim chỉ nam giúp nhóm vượt qua những khó khăn kỹ thuật để hoàn thiện hệ thống.

Chúng em cũng xin cảm ơn các bạn bè và anh chị đi trước đã nhiệt tình hỗ trợ, đóng góp ý kiến và chia sẻ tài liệu tham khảo hữu ích.

Mặc dù đã nỗ lực hết mình, nhưng do giới hạn về thời gian và kiến thức, đề án khó tránh khỏi những thiếu sót. Chúng em rất mong nhận được sự đóng góp ý kiến từ quý Thầy Cô và Hội đồng đánh giá để đề tài được hoàn thiện và phát triển tốt hơn trong tương lai.

Chúng em xin chân thành cảm ơn!

TP. Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2025
Nhóm sinh viên thực hiện



TÓM TẮT ĐỒ ÁN

Tên đề tài: Hệ thống quản lý nông trại thông minh

Tóm tắt:

Trong bối cảnh chuyển đổi số mạnh mẽ của ngành nông nghiệp Việt Nam, mô hình "Nông trại thông minh" đang trở thành xu hướng tất yếu để nâng cao năng suất và chất lượng nông sản. Tuy nhiên, việc triển khai thực tế đang đối mặt với thách thức lớn về sự phân mảnh của các thiết bị IoT đa nguồn gốc, độ tin cậy của dữ liệu cảm biến trong môi trường khắc nghiệt và rào cản kỹ thuật đối với những nhà quản lý không chuyên. Xuất phát từ thực tiễn đó, đề tài tập trung nghiên cứu và phát triển một hệ thống quản lý nông trại tập trung, nhằm cung cấp giải pháp vận hành thống nhất, đơn giản hóa trải nghiệm người dùng và đảm bảo tính toàn vẹn của dữ liệu giám sát.

Để giải quyết bài toán trên, nhóm nghiên cứu đề xuất xây dựng hệ thống dựa trên kiến trúc phân lớp (Layered Architecture) kết hợp với hướng dịch vụ, đảm bảo khả năng mở rộng linh hoạt. Về mặt công nghệ, hệ thống tích hợp các giải pháp tiên tiến như NestJS cho Backend, RabbitMQ để xử lý hàng đợi thông điệp hiệu năng cao và TimescaleDB tối ưu cho lưu trữ dữ liệu chuỗi thời gian lớn. Tại lớp thiết bị biên, vi điều khiển ESP32 được vận hành trên hệ điều hành thời gian thực FreeRTOS với cơ chế đa luồng, giúp tối ưu hóa tác vụ đọc cảm biến và truyền tải dữ liệu. Điểm nổi bật trong hướng tiếp cận của đề tài là việc tích hợp thuật toán trích xuất đặc trưng mạnh (Robust Feature Extractor - RFE) và các quy tắc thống kê, cho phép hệ thống tự động phát hiện sớm các lỗi cảm biến phổ biến như trôi số liệu (drift), mất kết nối hoặc giá trị bất thường.

Kết quả đạt được trong giai đoạn Đồ án chuyên ngành bao gồm việc hoàn thiện thiết kế kiến trúc tổng thể, xây dựng cơ sở dữ liệu vật lý chi tiết và đặc tả kỹ thuật cho các giao thức truyền thông lai (Hybrid Protocol MQTT/HTTP). Các phân tích và thiết kế này tạo nền tảng vững chắc cho giai đoạn hiện thực hóa sản phẩm, hướng tới mục tiêu triển khai một hệ thống thực tế có khả năng chịu tải trên 50 thiết bị đồng thời với độ trễ thấp và độ ổn định cao. Đề tài không chỉ mang ý nghĩa khoa học trong việc ứng dụng thuật toán phát hiện lỗi tại biên, mà còn có giá trị thực tiễn cao, góp phần tháo gỡ điểm nghẽn về công nghệ cho các mô hình kinh doanh nông nghiệp vừa và nhỏ.

Từ khóa: Nông nghiệp thông minh, Quản lý tập trung, IoT, Phát hiện lỗi cảm biến.



Danh sách phân chia công việc

STT	Họ tên	MSSV	Vai trò	Distribution
1	Lê Hoàng Việt	2252903	Backend	100%
2	Ché Minh Đức	2210783	Frontend	100%
3	Nguyễn Phú Quý	2212871	Firmware	100%

Bảng 1: Bảng phân chia công việc



1 Giới thiệu

1.1 Bối cảnh và bài toán

Trong xu thế nông nghiệp hiện đại, mô hình "Nông trại thông minh" (Smart Farm) đang trở thành tiêu chuẩn để đảm bảo năng suất và chất lượng nông sản thông qua việc ứng dụng công nghệ IoT và AI [1].

Tuy nhiên, thị trường hiện nay đang hình thành một nhóm đối tượng quản lý mới: các thương lái hoặc nhà đầu tư sở hữu nhiều nông trại (hoặc thuê lại để kinh doanh) nhưng không có chuyên môn sâu về công nghệ thông tin.

Mô hình kinh doanh của họ thường bao gồm việc quản lý chuỗi các nông trại phân tán hoặc cho khách hàng thuê ngắn hạn để trải nghiệm và canh tác. Từ thực tế này, bài toán đặt ra bao gồm:

- Sự phân mảnh thiết bị:** Các nông trại này thường tích hợp thiết bị IoT từ nhiều nhà cung cấp khác nhau, dẫn đến việc thiếu đồng bộ về giao thức và khó khăn trong quản lý tập trung [2].
- Rào cản kỹ thuật:** Người dùng (thương lái) gặp khó khăn khi phải thao tác trên nhiều ứng dụng rời rạc hoặc tự mình xử lý các sự cố kỹ thuật phức tạp.
- Yêu cầu về minh bạch chất lượng:** Khi kinh doanh dịch vụ, họ cần một công cụ tin cậy để chứng minh chất lượng môi trường canh tác (nhiệt độ, độ ẩm ổn định) cho khách hàng.

1.2 Tính cấp thiết của đề tài

Đề tài trở nên cấp thiết xuất phát từ nhu cầu thực tế của việc vận hành chuỗi nông trại quy mô thương mại và xu hướng chuyển đổi số mạnh mẽ tại Việt Nam:

- Xu hướng tắt yếu của chuyển đổi số:** Theo thống kê, tốc độ tăng trưởng GDP ngành nông nghiệp trong nửa đầu năm 2024 đạt 3.38%, mức cao nhất trong 5 năm qua, nhờ vào việc đẩy mạnh ứng dụng công nghệ cao [3]. Tuy nhiên, phần lớn các giải pháp hiện tại vẫn còn rời rạc, chưa tạo thành hệ sinh thái thống nhất.
- Nhu cầu quản lý tập trung (All-in-one):** Một trong những thách thức lớn nhất của nông nghiệp công nghệ cao hiện nay là sự thiếu liên kết chuỗi giá trị và sự manh mún trong quản lý [4]. Đối với các mô hình canh tác phân tán, việc thiếu một nền tảng quản lý hợp nhất dẫn đến lãng phí nguồn lực giám sát. Chủ đầu tư cần một giao diện duy nhất để quản lý hàng loạt nông trại.
- Độ tin cậy của dữ liệu cảm biến:** Các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng cảm biến IoT trong môi trường nông nghiệp khắc nghiệt thường xuyên gặp lỗi trôi số liệu (drift) hoặc mất kết nối. Nếu không phát hiện sớm bằng các thuật toán thông minh (Data-driven), dữ liệu sai lệch sẽ dẫn đến các quyết định sai lầm [5].

1.3 Tình hình nghiên cứu và các giải pháp hiện có

Hiện nay trên thị trường tồn tại hai nhóm giải pháp chính:

- Giải pháp trọn gói từ các hãng lớn (Israel, Nhật Bản):** Có độ ổn định cao nhưng chi phí rất đắt đỏ, hệ sinh thái đóng (không cho phép tích hợp thiết bị hãng khác), khó phù hợp với quy mô vừa và nhỏ tại Việt Nam [6].
- Giải pháp lắp ráp nhỏ lẻ (DIY):** Giá thành rẻ nhưng thiếu tính năng quản lý tập trung, giao diện sơ sài và đặc biệt là thiếu cơ chế cảnh báo lỗi thông minh.

Khoảng trống nghiên cứu: Chưa có nhiều giải pháp tập trung vào việc chuẩn hóa thiết bị đa nguồn kết hợp với thuật toán phát hiện lỗi cảm biến dành riêng cho phân khúc người dùng không chuyên kỹ thuật.

1.4 Mục tiêu và câu hỏi nghiên cứu

Mục tiêu tổng quát: Nghiên cứu và phát triển hệ thống quản lý tập trung và nhận diện lỗi cho các thiết bị IoT, hướng tới việc cung cấp giải pháp vận hành đơn giản, tin cậy cho các mô hình nông trại thông minh đa thiết bị.



Mục tiêu cụ thể:

- Xây dựng kiến trúc hệ thống thống nhất có khả năng tích hợp thiết bị từ nhiều nguồn khác nhau.
- Phát triển module Sensor Fault Detection ứng dụng thuật toán để tự động phát hiện các lỗi thường (mất kết nối, dữ liệu sai lệch, trỗi cảm biến).
- Thiết kế giao diện người dùng (Dashboard) trực quan, thân thiện với đối tượng thương lái/chủ vườn, hỗ trợ giám sát đa nông trại và cảnh báo thời gian thực.

Câu hỏi nghiên cứu:

- Làm thế nào để xây dựng một cơ chế định danh và quản lý thống nhất cho các thiết bị IoT đa dạng về giao thức?
- Thuật toán nào là tối ưu để phát hiện lỗi cảm biến trong môi trường dữ liệu thời gian thực với độ trễ thấp?
- Làm thế nào để thiết kế trải nghiệm người dùng tối giản hóa các thao tác kỹ thuật phức tạp?

1.5 Phạm vi và giới hạn của đề tài

Phạm vi:

- *Đối tượng nghiên cứu:* Các thiết bị IoT cảm biến môi trường phổ biến và các thiết bị chấp hành cơ bản trong mô hình nhà kính.
- *Nền tảng công nghệ:* Hệ thống quản lý tập trung trên nền tảng Web (Web-based platform), sử dụng Cơ sở dữ liệu chuỗi thời gian (Time-series Database) tối ưu cho lưu trữ dữ liệu lớn IoT, và các giao thức truyền thông điệp nhẹ (Lightweight messaging protocols).
- *Triển khai:* Thủ nghiệm trên mô hình nông trại mẫu (Pilot testing) với dữ liệu mô phỏng và thực tế.

Giới hạn:

- Hệ thống tập trung vào việc phát hiện lỗi phần cứng/cảm biến dựa trên phân tích dữ liệu, chưa bao gồm việc chẩn đoán sâu bệnh cây trồng bằng hình ảnh (Computer Vision).
- Các thuật toán phát hiện lỗi sẽ được kiểm nghiệm trên một số loại cảm biến đặc thù, có thể cần điều chỉnh lại khi áp dụng cho các loại cảm biến công nghiệp mới lạ.

2 Cơ sở lý thuyết

2.1 Kiến trúc hệ thống và Công nghệ nền tảng

2.1.1 Kiến trúc tổng thể

Hệ thống Xanh Market được thiết kế theo mô hình kiến trúc phân lớp (Layered Architecture) kết hợp với hướng dịch vụ (Service-oriented Architecture), đảm bảo tính mô-đun hóa cao và khả năng mở rộng độc lập từng thành phần. Hệ thống được tổ chức thành 5 tầng logic chính:

- **Lớp thiết bị (Device Layer):** Là tầng thấp nhất bao gồm các thiết bị IoT triển khai tại hiện trường nông trại:
 - *Trạm quan trắc (IoT Gateway):* Sử dụng ESP32 làm bộ xử lý trung tâm, tích hợp các cảm biến môi trường (DHT11, DS18B20, Soil Moisture, Light Sensor) và module truyền thông (WiFi, RS485).
 - *Thiết bị chấp hành (Actuators):* Bao gồm hệ thống tưới tiêu tự động với van điện từ, máy bơm và các cơ cấu điều khiển khác.
 - *Giao thức truyền thông:* Sử dụng MQTT qua WiFi để truyền dữ liệu thời gian thực và HTTP cho tải lên hình ảnh/video.
- **Lớp tích hợp (Integration Layer):** Dóng vai trò là cầu nối giữa thiết bị và hệ thống backend:



- *API Gateway*: Điểm vào duy nhất cho tất cả các yêu cầu từ phía client, thực hiện xác thực, định tuyến và cân bằng tải.
- *Message Broker (RabbitMQ)*: Hệ thống hàng đợi thông điệp để xử lý dữ liệu IoT bất đồng bộ, đảm bảo tính reliable và decoupling giữa producer và consumer.
- *Data Ingestion Service*: Tiếp nhận và tiền xử lý dữ liệu từ MQTT broker trước khi lưu trữ.
- **Lớp nghiệp vụ (Business Layer)**: Chứa toàn bộ logic xử lý cốt lõi của hệ thống:
 - *User Management Service*: Quản lý tài khoản người dùng, phân quyền và xác thực.
 - *Farm Management Service*: Xử lý logic quản lý nông trại, thiết bị và cấu hình giám sát.
 - *IoT Data Processor*: Service chuyên biệt để xử lý dữ liệu cảm biến, áp dụng thuật toán phát hiện lỗi (RFE) và tạo cảnh báo.
 - *Analytics Engine*: Phân tích dữ liệu lịch sử để đưa ra insights và khuyến nghị cho người dùng.
- **Lớp dữ liệu (Data Layer)**: Quản lý lưu trữ và truy xuất dữ liệu với chiến lược đa mô hình:
 - *PostgreSQL*: Cơ sở dữ liệu quan hệ lưu trữ thông tin cấu trúc (users, farms, devices, configurations).
 - *TimescaleDB*: Cơ sở dữ liệu chuỗi thời gian chuyên dụng cho dữ liệu cảm biến với hiệu năng truy vấn cao.
 - *AWS S3*: Lưu trữ file tĩnh như hình ảnh, log files và báo cáo.
- **Lớp ứng dụng (Application Layer)**: Giao diện người dùng cuối:
 - *Web Admin Portal*: Giao diện quản trị chính với dashboard thời gian thực, biểu đồ trực quan hóa dữ liệu và công cụ quản lý hệ thống.
 - *RESTful APIs*: Cung cấp các endpoint chuẩn cho tích hợp với hệ thống bên thứ ba.
 - *Real-time Notifications*: Hệ thống cảnh báo tức thì qua WebSocket cho các sự kiện quan trọng.

Kiến trúc này đảm bảo tính linh hoạt cao với khả năng mở rộng ngang (horizontal scaling) thông qua containerization (Docker) và orchestration tự động. Mô hình phân tán giúp hệ thống chịu tải tốt với hàng trăm thiết bị IoT đồng thời, đồng thời đảm bảo tính bảo mật với cơ chế xác thực đa lớp và mã hóa dữ liệu.

2.1.2 Nền tảng ứng dụng

Hệ thống sử dụng giao diện Web Admin làm nền tảng chính cho việc quản trị và giám sát. Thiết kế web-based mang lại các ưu điểm sau:

- **Truy cập đa nền tảng**: Web Admin có thể được truy cập từ bất kỳ thiết bị nào có trình duyệt web hiện đại (desktop, laptop, tablet), không yêu cầu cài đặt phần mềm đặc biệt.
- **Định danh và xác thực**: Sử dụng cơ chế đăng nhập dựa trên tài khoản quản trị viên với phân quyền chi tiết (Role-Based Access Control), đảm bảo tính bảo mật cao.
- **Thông báo thời gian thực**: Hệ thống tích hợp WebSocket để gửi cảnh báo và cập nhật dữ liệu thời gian thực trực tiếp trên giao diện web.
- **Công nghệ phát triển**: Giao diện được xây dựng bằng ReactJS với Vite, kết hợp với các thư viện trực quan hóa dữ liệu như Chart.js để tạo dashboard tương tác.

2.1.3 Hạ tầng Backend và Quy trình DevOps

Hệ thống Backend được xây dựng trên nền tảng điện toán đám mây riêng (Private Cloud) tại phòng thí nghiệm HPC Lab để đảm bảo tính bảo mật và chủ quyền dữ liệu. Quy trình triển khai áp dụng các tiêu chuẩn công nghiệp:

- **Áo hóa và Container hóa**: Sử dụng Docker để đóng gói các dịch vụ, đảm bảo môi trường vận hành đồng nhất giữa phát triển và sản xuất.



- **CI/CD Pipeline:** Tích hợp quy trình Tích hợp liên tục và Triển khai liên tục (CI/CD) để tự động hóa việc cập nhật phần mềm.
- **Kiểm soát chất lượng mã nguồn:** Sử dụng SonarQube để tự động quét và phân tích mã nguồn, phát hiện các lỗ hổng bảo mật và đảm bảo chất lượng code trước khi triển khai.
- **Giám sát hệ thống (Monitoring):** Sử dụng bộ công cụ Grafana và Prometheus để theo dõi hiệu năng server, tài nguyên hệ thống (CPU, RAM, Disk) và trạng thái các dịch vụ theo thời gian thực.

2.1.4 Phần cứng IoT và Giao thức truyền thông

Hệ thống phần cứng được thiết kế để hoạt động bền bỉ trong môi trường nông nghiệp:

- **Datalogger:** được đặt trong một hộp điện được chế tạo riêng, được thiết kế để sử dụng ngoài trời trong nông nghiệp.
- **Cảm biến:** Hỗ trợ đa dạng các loại cảm biến từ cơ bản (DHT11, cảm biến mưa, ánh sáng) cho mô hình hộ gia đình đến các cảm biến chuyên dụng công nghiệp (pH, EC) cho trang trại lớn.
- **Giao thức:** Sử dụng giao chuẩn RS485 cho việc kết nối cảm biến nhằm giảm thiểu nhiễu và đảm bảo truyền tin ổn định trên khoảng cách xa trong trang trại.

2.2 Bài toán phát hiện lỗi cảm biến trong hệ thống IoT

2.2.1 Tổng quan về lỗi cảm biến trong môi trường IoT

Trong bối cảnh Công nghiệp 4.0, các hệ thống Internet vạn vật (IoT) đóng vai trò trụ cột trong việc thu thập dữ liệu thời gian thực cho các ứng dụng từ sản xuất thông minh đến thiết bị bay không người lái (drones). Tuy nhiên, đặc thù của các thiết bị IoT là thường xuyên phải hoạt động trong các môi trường khắc nghiệt (nhiệt độ cao, độ ẩm lớn, nhiễu điện từ). Điều này dẫn đến vấn đề suy giảm chất lượng dữ liệu, biểu hiện qua các dạng lỗi cảm biến phổ biến như:

- **Giá trị bất thường (Outliers/Spikes):** Các giá trị nhảy vọt đột ngột không phản ánh thực tế.
- **Trôi tín hiệu (Drift):** Giá trị đọc sai lệch dần theo thời gian so với giá trị thực.
- **Kẹt giá trị (Stuck-at):** Cảm biến trả về một giá trị không đổi trong thời gian dài.

Việc phát hiện sớm các lỗi này là tối quan trọng để đảm bảo độ tin cậy của toàn hệ thống.

2.2.2 Các phương pháp tiếp cận hiện có và hạn chế

Hiện nay, bài toán phát hiện lỗi cảm biến thường được giải quyết theo ba hướng chính, tuy nhiên mỗi hướng đều tồn tại những hạn chế khi áp dụng cho các thiết bị IoT có tài nguyên hạn chế (Low-power IoT devices):

- **Học máy cổ điển (Classic ML):** Thường gặp khó khăn trong việc nắm bắt các mẫu lỗi phức tạp hoặc phi tuyến tính trong chuỗi thời gian.
- **Học sâu (Deep Learning - DL):** Các mô hình như Autoencoder hay LSTM dù mạnh mẽ nhưng lại là những "hộp đen" (black-box), thiếu tính giải thích. Quan trọng hơn, chúng đòi hỏi tài nguyên tính toán và năng lượng lớn, không phù hợp để triển khai tại biên (Edge/Node).
- **Phương pháp dựa trên tương quan:** Hoạt động kém hiệu quả trong môi trường động và thường bỏ qua các thông tin nội tại của từng dòng dữ liệu riêng lẻ.

Từ những phân tích trên, đặt ra yêu cầu về một phương pháp trích xuất đặc trưng (Feature Extraction) chuyên biệt, vừa đảm bảo độ chính xác cao, vừa tối ưu hóa tài nguyên tính toán.

2.2.3 Cơ sở lý thuyết của phương pháp Robust Feature Extractor (RFE)

Để giải quyết bài toán trên, nghiên cứu đề xuất phương pháp Robust Feature Extractor (RFE). Thay vì tăng độ phức tạp của mô hình phân loại, RFE tập trung RFE hoạt động như một bộ lọc đa tầng biến đổi tín hiệu đầu vào x_t tại thời điểm t thành vector đặc trưng F_t . Các thành phần cốt lõi của RFE bao gồm:



- **Tốc độ thay đổi (Speed of Change):** Để nắm bắt sự thay đổi đột ngột (thường gặp ở lỗi Spike), RFE tính toán đạo hàm bậc nhất rồi rặc:

$$v_t = x_t - x_{t-1}$$

Giá trị này đại diện cho "vận tốc" của tín hiệu.

- **Độ biến động cục bộ (Local Variance):** Đây là điểm cải tiến quan trọng của RFE. Thuật toán tính toán độ lệch chuẩn trượt (Rolling Standard Deviation) trên chính giá trị vận tốc v_t trong cửa sổ w :

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{w} \sum_{i=0}^{w-1} (v_{t-i} - \bar{v})^2}$$

Đặc trưng này giúp phân biệt nhiều môi trường (biến động thấp) với lỗi cảm biến (biến động bất thường).

- **Xu hướng dài hạn (Smoothed Trends):** Sử dụng Trung bình động lũy thừa (EWMA) để làm mượt tín hiệu, giúp mô hình nhận diện các lỗi trôi (Drift) diễn ra từ từ:

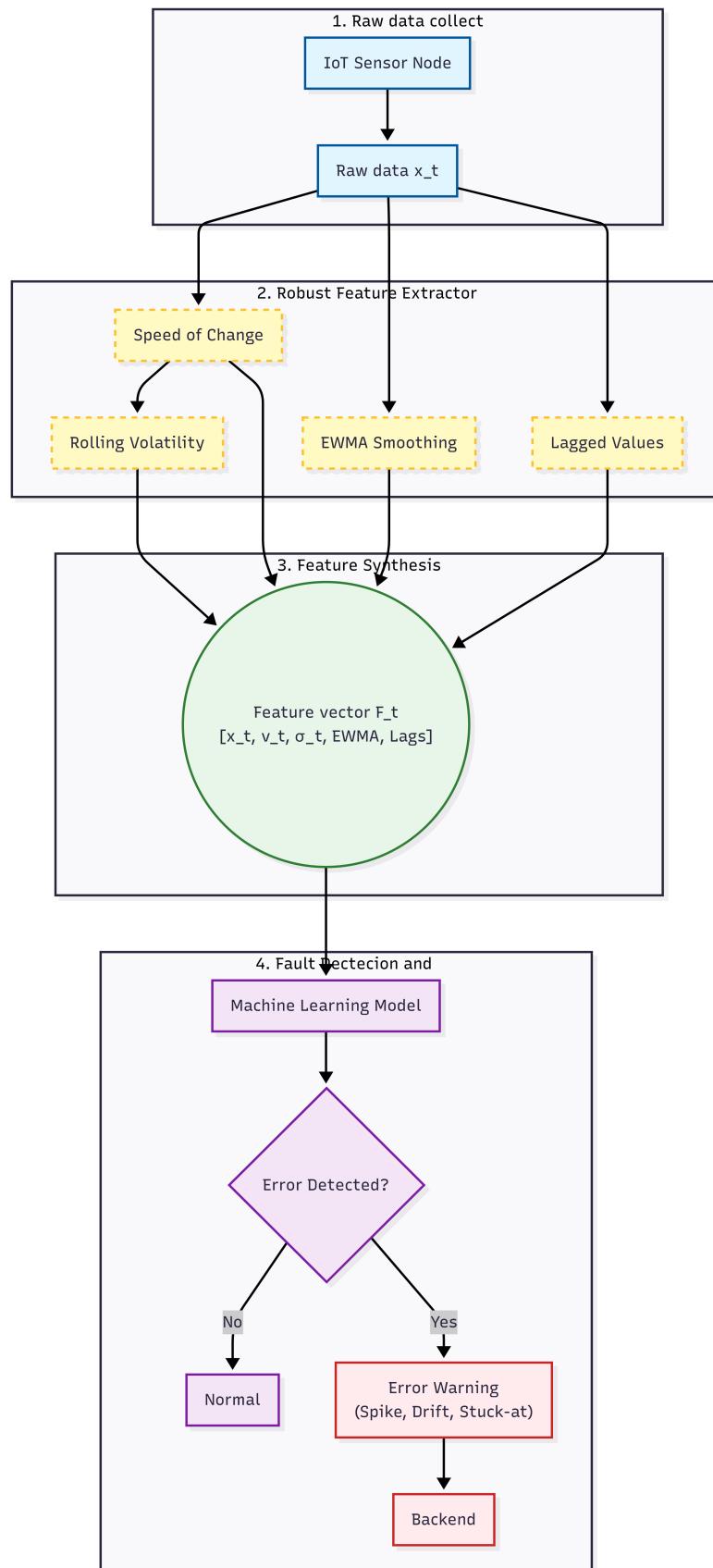
$$EWMA_t = \alpha \cdot x_t + (1 - \alpha) \cdot EWMA_{t-1}$$

- **Bộ nhớ thời gian (Temporal Memory):** Bổ sung các giá trị trễ (Lag features: x_{t-1}, x_{t-2}, \dots) để cung cấp ngữ cảnh quá khứ cho mô hình phân loại tại thời điểm hiện tại.

2.2.4 Sơ đồ Luồng xử lý tổng thể

Để giải quyết bài toán phát hiện lỗi cảm biến trong hệ thống IoT tài nguyên hạn chế, chúng em đề xuất một luồng xử lý khép kín bao gồm 4 giai đoạn chính: Thu thập dữ liệu thô,

- **Thu thập dữ liệu thô (Input):** Dữ liệu chuỗi thời gian x_t (nhiệt độ, độ ẩm...) được thu thập từ các node cảm biến (như DHT11, cảm biến đất) theo thời gian thực.
- **Trích xuất đặc trưng (RFE):** Dữ liệu thô đi qua khối RFE. Tại đây, thay vì dùng trực tiếp giá trị thô, thuật toán sẽ tính toán các đặc trưng dẫn xuất (derived features) như tốc độ thay đổi, độ biến động cục bộ và xu hướng dài hạn.
- **Phân lớp lỗi:** Bộ đặc trưng đầu ra được đưa vào mô hình Học máy (ví dụ: Random Forest hoặc XGBoost) để phân loại trạng thái hiện tại là Normal (Bình thường) hay Fault (Lỗi: Spike, Drift, Stuck-at).
- **Cảnh báo:** Nếu phát hiện lỗi, hệ thống kích hoạt cơ chế cảnh báo, gửi thông báo đến backend và hiển thị trên giao diện quản trị.



Hình 1: Sơ đồ luồng xử lý phát hiện lỗi cảm biến với RFE



3 Khảo sát các giải pháp đã có

- 3.1 Khảo sát các ứng dụng, sản phẩm hoặc hệ thống liên quan
- 3.2 Khảo sát các mô hình, thuật toán, phương pháp
- 3.3 Bảng tổng hợp và phân tích khoảng trống



4 Phân tích yêu cầu

- 4.1 Mục đích
- 4.2 Phương pháp thu thập yêu cầu
- 4.3 Kết quả thu thập yêu cầu
- 4.4 Yêu cầu chức năng

Phân loại mức độ ưu tiên

Để đảm bảo tính khả thi trong giai đoạn Đề án Chuyên ngành, các yêu cầu chức năng được phân loại theo mức độ ưu tiên như sau:

- [CORE] - Chức năng tối thiểu bắt buộc: Đây là tập chức năng cốt lõi phải được hiện thực đầy đủ trong Đề án Tốt nghiệp, bao gồm các tính năng thiết yếu cho hệ thống hoạt động cơ bản và điểm khác biệt chính của đề tài.
- [OPTIONAL] - Chức năng mở rộng: Đây là các tính năng nâng cao giao diện người dùng, sẽ được bổ sung nếu còn thời gian và nguồn lực sau khi hoàn thành các chức năng CORE.

Dựa trên phân tích hiện trạng và mô hình nghiệp vụ, các yêu cầu chức năng được nhóm và phân loại như sau:

Nhóm 1: Tổng quan (Dashboard Overview)

Mã YC	Độ ưu tiên	Mô tả chi tiết
FR-03	CORE	Hệ thống phải hiển thị thông số tổng quan ngay khi đăng nhập, bao gồm: Tổng số người dùng, Số nông trại đang hoạt động (Active Farms), Số thiết bị đang kết nối (Connected Devices) và Thời gian hoạt động của hệ thống (System Uptime).
FR-04	OPTIONAL	Hệ thống phải trực quan hóa dữ liệu hoạt động hàng tuần (Weekly Activity) dưới dạng biểu đồ cột hoặc đường , cho phép Admin so sánh nhanh số lượng người dùng mới, thiết bị mới và bài viết mới.
FR-05	CORE	Hệ thống phải hiển thị danh sách Cảnh báo hệ thống (System Alerts) gần nhất (ví dụ: Nhiệt độ cao, Lịch bảo trì) ngay trên màn hình chính để Admin xử lý kịp thời.
FR-06	OPTIONAL	Hệ thống phải cung cấp các nút Thao tác tiện lợi cho phép Admin tạo nhanh Người dùng mới, Nông trại mới hoặc Thêm thiết bị mới chỉ với 1 thao tác.

Bảng 2: Yêu cầu chức năng - Nhóm 1: Tổng quan Dashboard

Nhóm 2: Quản lý Nông trại và Người dùng

Mã YC	Độ ưu tiên	Mô tả chi tiết
FR-07	CORE	(Quản lý Nông trại) Hệ thống phải cho phép Admin thực hiện đầy đủ các chức năng (CRUD): Tạo mới, Xem chi tiết, Cập nhật thông tin và Xóa (hoặc vô hiệu hóa) một nông trại khỏi hệ thống.
FR-08	CORE	(Quản lý Người dùng) Hệ thống phải cho phép quản lý danh sách người dùng (Thương lái/Chủ vườn), bao gồm việc cấp phát tài khoản và phân quyền truy cập (Role-based Access Control) vào từng nông trại cụ thể.
FR-09	CORE	(Gán thiết bị) Hệ thống phải cho phép Admin thực hiện thao tác gán (assign) một hoặc nhiều thiết bị IoT cụ thể vào một nông trại đã định.

Bảng 3: Yêu cầu chức năng - Nhóm 2: Quản lý Nông trại và Người dùng



Mã YC	Độ ưu tiên	Mô tả chi tiết
FR-01	CORE	(Phát hiện lỗi) Hệ thống phải có khả năng tự động giám sát dòng dữ liệu thời gian thực từ các cảm biến và phát hiện các trạng thái bất thường (ví dụ: mất kết nối quá 5 phút, giá trị vượt ngưỡng an toàn, hoặc dữ liệu bị "đóng băng").
FR-02	CORE	(Cảnh báo) Hệ thống phải gửi cảnh báo tức thì đến người quản trị (qua giao diện Dashboard, Email hoặc thông báo đẩy) ngay khi một lỗi cảm biến được xác nhận.
FR-10	CORE	(Đăng ký thiết bị) Hệ thống phải cho phép đăng ký thiết bị ESP32 mới vào hệ thống thông qua mã định danh duy nhất (Device ID/MAC Address).
FR-11	CORE	(Giám sát trạng thái) Hệ thống phải hiển thị trạng thái kết nối thời gian thực (Online/Offline) của từng thiết bị. Nếu thiết bị mất kết nối quá thời gian quy định (ví dụ: 5 phút), hệ thống phải tự động cập nhật trạng thái sang Offline.
FR-12	OPTIONAL	(Diều khiển từ xa) Hệ thống phải cho phép người dùng gửi lệnh điều khiển (Bật/Tắt) xuống các thiết bị chấp hành (Actuators) thông qua giao diện Web.

Bảng 4: Yêu cầu chức năng - Nhóm 3: Quản lý và Giám sát Thiết bị

Nhóm 3: Quản lý và Giám sát Thiết bị

Tóm tắt phân loại ưu tiên

Mức ưu tiên	Số lượng	Các chức năng bao gồm
CORE	8 chức năng	Tập tối thiểu bắt buộc cho Đề án Tốt nghiệp: phát hiện lỗi cảm biến (FR-01, FR-02), quản lý nông trại/người dùng (FR-07, FR-08, FR-09), quản lý thiết bị cơ bản (FR-10, FR-11), và thông số tổng quan với cảnh báo (FR-03, FR-05).
OPTIONAL	3 chức năng	Các tính năng nâng cao giao diện: biểu đồ thống kê (FR-04), thao tác nhanh (FR-06), và điều khiển từ xa (FR-12) - sẽ triển khai nếu còn thời gian.

Bảng 5: Tóm tắt phân loại ưu tiên các yêu cầu chức năng

4.5 Yêu cầu phi chức năng

NFR-01: Hiệu năng và Khả năng chịu tải

- Môi trường triển khai:** Hệ thống phải hoạt động ổn định trên hạ tầng thử nghiệm bao gồm 01 thiết bị phần cứng thực (ESP32) kết hợp với mạng lưới thiết bị mô phỏng (Simulated Devices).
- Khả năng chịu tải đồng thời:** Hệ thống phải duy trì kết nối và xử lý dữ liệu ổn định từ **50 thiết bị mô phỏng** gửi dữ liệu liên tục (tần suất 5 giây/bản tin) thông qua giao thức MQTT.
- Độ trễ xử lý (Latency):**
 - Đối với thiết bị thực: Độ trễ hiển thị dữ liệu lên Dashboard **dưới 5 giây** (trong điều kiện mạng tiêu chuẩn).
 - Đối với thiết bị mô phỏng: Đảm bảo không xảy ra hiện tượng mất gói tin (packet loss) tại Message Broker khi tải đạt đỉnh.
- Thời gian phản hồi Web:** Các thao tác truy xuất dữ liệu lịch sử hoặc tải danh sách thiết bị trên Web Admin phải hoàn tất trong vòng **dưới 2 giây**.

NFR-02: Khả năng mở rộng

Hệ thống phải hỗ trợ việc thêm mới thiết bị hoặc nông trại mà không cần tắt server để bảo trì

(Zero-downtime scaling). Kiến trúc Microservices cho phép mở rộng độc lập module IoT Data Processor.

NFR-03: Độ tin cậy và Tính sẵn sàng

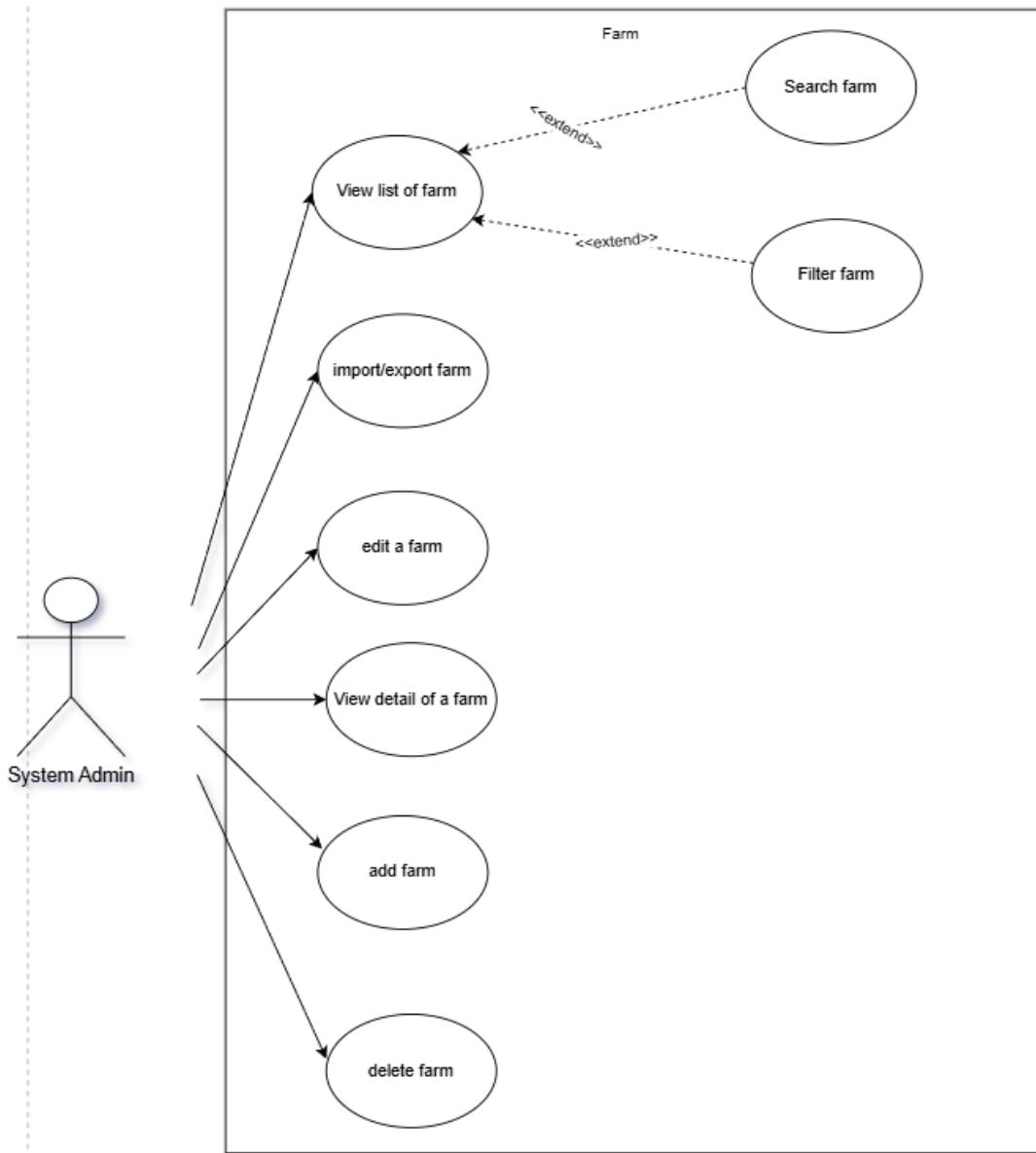
Hệ thống phải đảm bảo thời gian hoạt động (Uptime) đạt **99%**. Cơ chế **Auto-reconnect** phải hoạt động hiệu quả để Dashboard và Thiết bị tự động kết nối lại ngay khi đường truyền internet được khôi phục.

NFR-04: Bảo mật

Dữ liệu truyền từ thiết bị về Server phải được mã hóa hoặc xác thực quyền truy cập. Mật khẩu người dùng phải được băm (hashing) trước khi lưu vào cơ sở dữ liệu.

4.6 Các mô hình phân tích UML

4.6.1 Use case: Giám sát Nông trại



Hình 2: Sơ đồ quản lý farm



Mã số usecase	UC-01: Add Farm
Tên usecase	Tạo farm
Mô tả	Admin tạo 1 Farm
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Tài khoản Admin đã đăng nhập và có quyền truy cập module Farm.
Hậu điều kiện	Farm mới tạo được hiển thị trên danh sách farm
Trigger	Admin nhấn chọn menu “Farm” trên thanh điều hướng.
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin truy cập màn hình Farm.Hệ thống kiểm tra quyền xem của Admin.Admin chọn nút “Add Farm”.Hệ thống hiển thị Form để nhập thông tin.Admin điền thông tin cho farm rồi ấn nút “Save”Hệ thống hiển thị cập nhật Farm mới vào danh sách
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01 (Authorization): Chỉ tài khoản có vai trò System Admin mới được phép tạo Farm.BR-02 (Required Fields): Các thông tin bắt buộc của Farm (ví dụ: Tên Farm, Vị trí) không được để trống.BR-03 (Unique Farm Name): Tên Farm phải là duy nhất và không được trùng lặp với các Farm đã tồn tại trong hệ thống.BR-04 (Data Validation): Dữ liệu nhập vào phải đúng định dạng và nằm trong phạm vi cho phép theo quy định của hệ thống.
Luồng thay thế / Mở rộng	<ul style="list-style-type: none">E-01 (Cancel Create Farm): Tại bước 4-5, Admin nhấn nút mũi tên “Back” ở góc bên trái hoặc nút “Cancel” cạnh nút “Save” → Hệ thống hủy thao tác tạo Farm và quay về màn hình danh sách Farm, không lưu dữ liệu.

Mã số usecase	UC-02: View Farm List
Tên usecase	Xem danh sách Farm
Mô tả	Admin xem danh sách các Farm có trong hệ thống
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Tài khoản Admin đã đăng nhập và có quyền truy cập module Farm
Hậu điều kiện	Danh sách Farm được hiển thị trên màn hình
Trigger	Admin nhấn chọn menu “Farm” trên thanh điều hướng
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin truy cập menu Farm.Hệ thống kiểm tra quyền truy cập của Admin.Hệ thống truy vấn dữ liệu Farm từ cơ sở dữ liệu.Hệ thống hiển thị danh sách Farm.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01 (Authorization): Chỉ tài khoản có vai trò System Admin mới được phép xem danh sách Farm.BR-02 (Pagination): Danh sách Farm được phân trang để đảm bảo hiệu năng hiển thị.



Mã số usecase	UC-05: Edit Farm
Tên usecase	Chỉnh sửa Farm
Mô tả	Admin chỉnh sửa thông tin Farm
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Farm tồn tại trong hệ thống
Hậu điều kiện	Thông tin Farm được cập nhật
Trigger	Admin chọn nút “Edit”
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin chọn Farm cần chỉnh sửa.Hệ thống hiển thị form chỉnh sửa.Admin cập nhật thông tin.Admin nhấn “Save”.Hệ thống lưu và cập nhật danh sách Farm.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01 (Authorization): Chỉ System Admin được phép chỉnh sửa Farm.BR-02 (Validation): Dữ liệu chỉnh sửa phải hợp lệ.

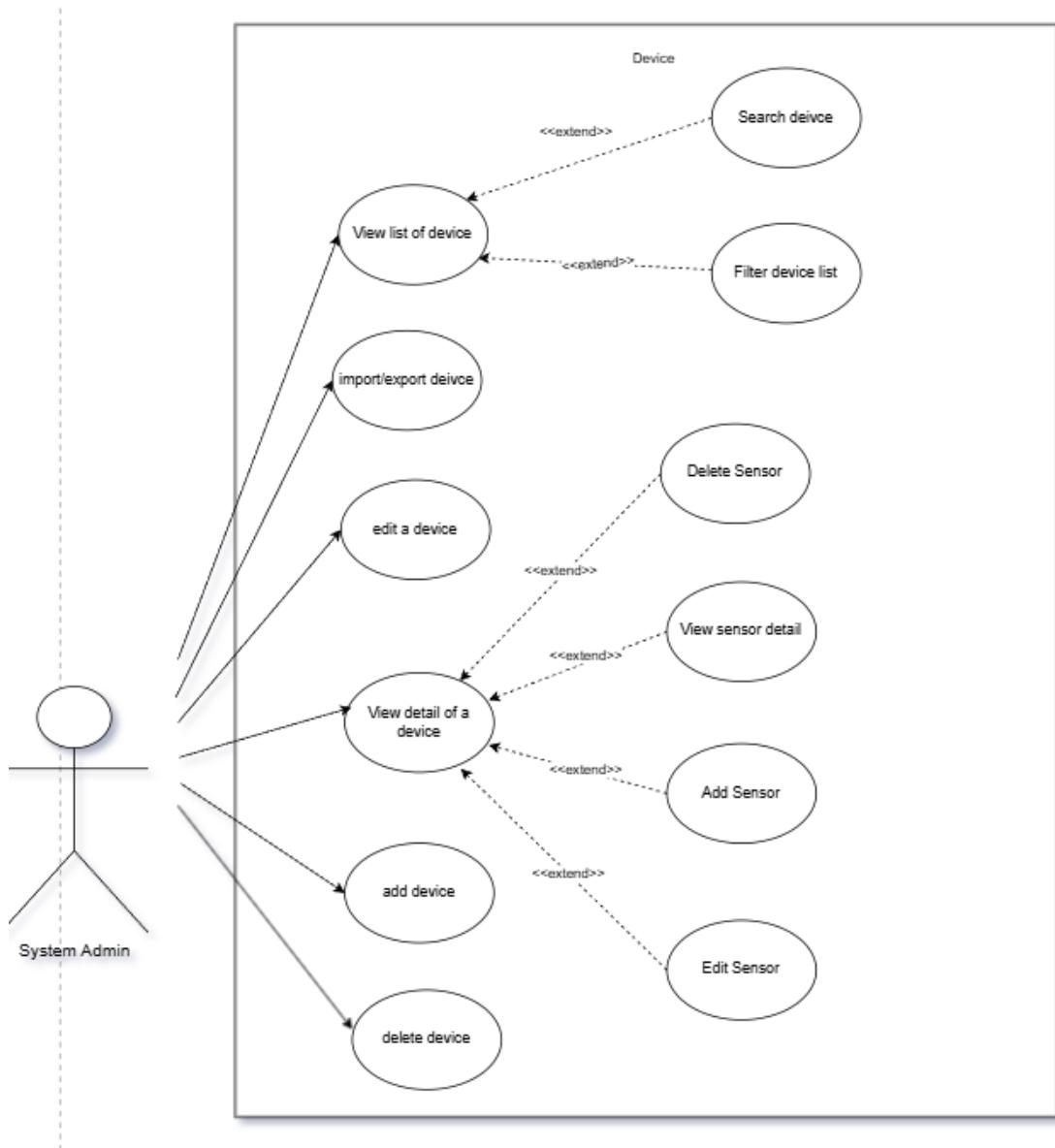
Mã số usecase	UC-06: Delete Farm
Tên usecase	Xóa Farm
Mô tả	Admin xóa Farm khỏi hệ thống
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Farm tồn tại
Hậu điều kiện	Farm bị xóa khỏi danh sách
Trigger	Admin chọn nút “Delete”
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin chọn Farm cần xóa.Hệ thống hiển thị hộp thoại xác nhận.Admin xác nhận xóa.Hệ thống xóa Farm và cập nhật danh sách.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01 (Confirmation): Phải xác nhận trước khi xóa.

Mã số usecase	UC-07: Import/Export Farm
Tên usecase	Import / Export Farm
Mô tả	Admin nhập hoặc xuất dữ liệu Farm
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Admin có quyền truy cập module Farm
Hậu điều kiện	Dữ liệu Farm được nhập hoặc xuất thành công
Trigger	Admin chọn chức năng Import hoặc Export
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin chọn Import hoặc Export.Hệ thống hiển thị tùy chọn file.Admin xác nhận thao tác.Hệ thống xử lý dữ liệu.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01 (File Format): Chỉ hỗ trợ định dạng cho phép (CSV, Excel).



Mã số usecase	UC-08: View Farm Detail
Tên usecase	Xem chi tiết Farm
Mô tả	Admin xem thông tin chi tiết của một Farm trong hệ thống
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	<ul style="list-style-type: none">• Admin đã đăng nhập• Danh sách Farm đang được hiển thị
Hậu điều kiện	Thông tin chi tiết của Farm được hiển thị
Trigger	Admin nhấn chọn một Farm trong danh sách
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">1. Admin xem danh sách Farm.2. Admin nhấn chọn một Farm bất kỳ.3. Hệ thống kiểm tra quyền truy cập của Admin.4. Hệ thống truy vấn thông tin chi tiết của Farm.5. Hệ thống hiển thị màn hình chi tiết Farm.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">• BR-01 (Authorization): Chỉ tài khoản có vai trò System Admin mới được phép xem chi tiết Farm.• BR-02 (Data Integrity): Farm phải tồn tại trong hệ thống tại thời điểm truy vấn.
Luồng thay thế / Mở rộng	<ul style="list-style-type: none">• E-01 (Back to List): Tại màn hình chi tiết, Admin nhấn nút mũi tên “Back” ở góc trên bên trái → Hệ thống quay về màn hình danh sách Farm.

4.6.2 Use case: Giám sát Thiết bị



(a) Sơ đồ quản lý thiết bị



Mã số usecase	UC-01: View device list
Tên usecase	Xem danh sách thiết bị
Mô tả	Admin xem danh sách các thiết bị trong hệ thống
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Admin đã đăng nhập và có quyền truy cập module Device
Hậu điều kiện	Danh sách thiết bị được hiển thị
Trigger	Admin chọn menu “Device”
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin truy cập module Device.Hệ thống kiểm tra quyền truy cập.Hệ thống hiển thị danh sách thiết bị.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01 (Authorization): Chỉ System Admin được phép xem danh sách thiết bị.

Mã số usecase	UC-02: View device detail
Tên usecase	Xem chi tiết thiết bị
Mô tả	Admin xem thông tin chi tiết của một thiết bị
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Danh sách thiết bị đã được hiển thị
Hậu điều kiện	Thông tin chi tiết thiết bị được hiển thị
Trigger	Admin chọn một thiết bị trong danh sách
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin nhấn chọn một thiết bị.Hệ thống tải dữ liệu chi tiết thiết bị.Hệ thống hiển thị màn hình chi tiết thiết bị.
Luồng thay thế / Mở rộng	<ul style="list-style-type: none">E-01 (Back): Admin nhấn nút “Back” → hệ thống quay lại danh sách thiết bị.

Mã số usecase	UC-03: Add device
Tên usecase	Thêm thiết bị
Mô tả	Admin tạo mới một thiết bị
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Admin có quyền quản lý thiết bị
Hậu điều kiện	Thiết bị mới được lưu và hiển thị trong danh sách
Trigger	Admin nhấn nút “Add Device”
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin mở màn hình Device.Admin chọn “Add Device”.Hệ thống hiển thị form nhập thông tin.Admin nhập thông tin và nhấn “Save”.Hệ thống lưu thiết bị và cập nhật danh sách.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01: Các trường bắt buộc không được để trống.

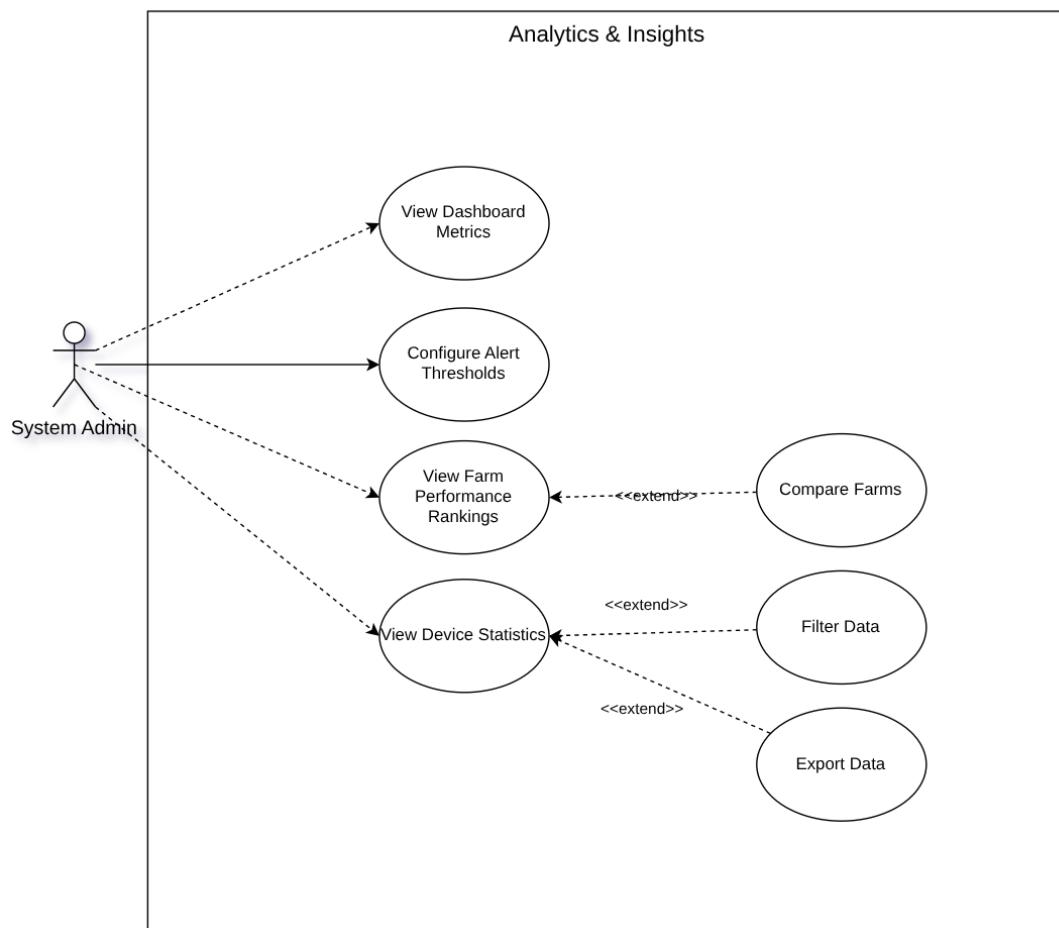


Mã số usecase	UC-04: Edit device
Tên usecase	Chỉnh sửa thiết bị
Mô tả	Admin cập nhật thông tin thiết bị
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Thiết bị đã tồn tại
Hậu điều kiện	Thông tin thiết bị được cập nhật
Trigger	Admin chọn “Edit” tại thiết bị
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin chọn thiết bị cần chỉnh sửa.Hệ thống hiển thị form chỉnh sửa.Admin cập nhật thông tin và nhấn “Save”.Hệ thống lưu thay đổi.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01 (Authorization): Chỉ tài khoản có vai trò System Admin mới được phép chỉnh sửa thiết bị.BR-02 (Data Integrity): Thiết bị phải tồn tại trong hệ thống tại thời điểm chỉnh sửa.BR-03 (Data Validation): Dữ liệu chỉnh sửa phải đúng định dạng và nằm trong phạm vi cho phép của hệ thống.
Luồng thay thế / Mở rộng	<ul style="list-style-type: none">E-01 (Cancel Edit): Tại bước 3–4, Admin nhấn nút “Cancel” hoặc “Back” → Hệ thống hủy thao tác chỉnh sửa và không lưu dữ liệu.

Mã số usecase	UC-05: Delete device
Tên usecase	Xóa thiết bị
Mô tả	Admin xóa thiết bị khỏi hệ thống
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Thiết bị tồn tại trong hệ thống
Hậu điều kiện	Thiết bị bị xóa khỏi danh sách
Trigger	Admin chọn “Delete” tại thiết bị
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin chọn thiết bị cần xóa.Hệ thống hiển thị hộp thoại xác nhận.Admin xác nhận xóa.Hệ thống xóa thiết bị.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01 (Authorization): Chỉ tài khoản có vai trò System Admin mới được phép xóa thiết bị.BR-02 (Data Integrity): Thiết bị phải tồn tại trong hệ thống tại thời điểm xóa.
Luồng thay thế / Mở rộng	<ul style="list-style-type: none">E-01 (Cancel Delete): Tại bước xác nhận, Admin chọn “Cancel” → Hệ thống hủy thao tác xóa thiết bị.E-02 (Delete Not Allowed): Nếu thiết bị còn sensor liên kết → Hệ thống hiển thị thông báo không thể xóa thiết bị.

Mã số usecase	UC-06: Import/Export device
Tên usecase	Import / Export thiết bị
Mô tả	Admin nhập hoặc xuất danh sách thiết bị
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Admin có quyền quản lý thiết bị
Hậu điều kiện	Dữ liệu thiết bị được nhập hoặc xuất thành công
Trigger	Admin chọn “Import/Export Device”
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none"> 1. Admin chọn chức năng Import hoặc Export. 2. Hệ thống xử lý dữ liệu. 3. Hệ thống thông báo kết quả.

4.6.3 Use case: Giám sát và Phân tích Hệ thống



Hình 4: Sơ đồ luồng quản lý và tạo báo cáo



Mã số usecase	UC-01: Giám sát và Phân tích Hệ thống
Tên usecase	Giám sát Phân tích Hệ thống
Mô tả	Admin theo dõi tổng quan các chỉ số hoạt động, xếp hạng hiệu suất nông trại và thống kê thiết bị trên Dashboard.
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Tài khoản Admin đã đăng nhập và có quyền truy cập module Giám sát.
Hậu điều kiện	Dữ liệu thống kê được hiển thị đầy đủ và cập nhật mới nhất.
Trigger	Admin nhấn chọn menu “Giám sát & Thống kê” trên thanh điều hướng.
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin truy cập màn hình Analytics.Hệ thống kiểm tra quyền xem của Admin.Hệ thống tải dữ liệu tổng hợp từ cơ sở dữ liệu.Hệ thống hiển thị Dashboard Metrics (doanh thu, sản lượng, nhiệt độ trung bình).Hệ thống hiển thị Farm Performance Rankings (xếp hạng hiệu suất).Hệ thống hiển thị Device Statistics (biểu đồ trạng thái Online/Offline).
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-01 (Data Latency): Dữ liệu hiển thị trên Dashboard phải được cập nhật gần thời gian thực (Real-time), độ trễ tối đa không quá 30 giây.BR-02 (Default View): Mặc định hiển thị dữ liệu tổng hợp của toàn hệ thống trong 7 ngày gần nhất.BR-03 (Access Control): Chỉ tài khoản Admin có quyền “Manage” mới hiển thị nút cấu hình “Configure Alert Thresholds”.BR-04 (Ranking Logic): Xếp hạng nông trại dựa trên chỉ số KPI tổng hợp (tỷ lệ sản lượng / mức tiêu thụ năng lượng).
Luồng thay thế / Mở rộng	<ul style="list-style-type: none">E-01 (Filter): Tại bước 4-6, Admin chọn bộ lọc thời gian hoặc khu vực → Hệ thống truy vấn lại và cập nhật hiển thị.E-02 (Export): Admin bấm “Export” → Hệ thống kiểm tra định dạng file (PDF/CSV) và tiến hành tải xuống.E-03 (Alert Config): Admin thay đổi ngưỡng cảnh báo → Hệ thống lưu quy tắc mới vào cơ sở dữ liệu và áp dụng ngay lập tức.

4.6.4 Use case: Quản lý Báo cáo



Hình 5: Sơ đồ luồng quản lý và tạo báo cáo

Hình thể hiện quy trình xem danh sách báo cáo, tạo mới, lập lịch hoặc tạo báo cáo tùy chỉnh và cập nhật lại danh sách.



Mã số usecase	UC-03: Manage Reports
Tên usecase	Quản lý và tạo báo cáo
Mô tả	Admin xem danh sách báo cáo đã lưu, tạo báo cáo mới tức thì hoặc lập lịch gửi báo cáo tự động.
Actor	System Admin
Tiền điều kiện	Admin đã đăng nhập thành công.
Hậu điều kiện	Danh sách báo cáo được cập nhật; file báo cáo được tạo ra.
Trigger	Admin truy cập trang “Reports”.
Luồng chính	<ol style="list-style-type: none">Admin mở trang Reports.Hệ thống truy vấn cơ sở dữ liệu báo cáo.Hệ thống hiển thị danh sách Recent Reports (bao gồm: Tên, Ngày tạo, Người tạo, Loại báo cáo).Admin xem thông tin hoặc tải về các báo cáo cũ.
Quy tắc nghiệp vụ	<ul style="list-style-type: none">BR-08 (Retention Policy): Báo cáo chỉ được lưu trữ trực tuyến trong 90 ngày. Sau thời gian này, dữ liệu sẽ được chuyển sang lưu trữ lạnh (Archive).BR-09 (File Format): Hệ thống phải hỗ trợ xuất báo cáo ra hai định dạng: PDF (để in ấn/trình ký) và Excel/CSV (để phân tích số liệu).BR-10 (Schedule Limit): Mỗi tài khoản Admin chỉ được thiết lập tối đa 5 lịch báo cáo tự động để đảm bảo hiệu năng hệ thống.
Luồng thay thế / Mở rộng	<ul style="list-style-type: none">E-01 (Generate): Admin bấm “Generate New” → Hệ thống thu thập dữ liệu hiện tại và tạo file báo cáo ngay lập tức.E-02 (Schedule): Admin bấm “Schedule” → Hệ thống hiển thị form chọn tần suất (hàng ngày/tuần) → Lưu lịch chạy tự động (Cron job).E-03 (Custom Report): Admin chọn các trường dữ liệu tùy chỉnh → Bấm “Create” → Hệ thống tạo báo cáo theo mẫu riêng.



5 Giải pháp đề xuất

5.1 Mục tiêu của giải pháp

Giải pháp được đề xuất nhằm xây dựng một hệ thống giám sát nông nghiệp thông minh dựa trên công nghệ Internet vạn vật (IoT), với mục tiêu chính là cung cấp một hệ thống quản lý tích hợp cho các nông trại hiện đại. Hệ thống được thiết kế để đáp ứng các mục tiêu cụ thể sau:

5.1.1 Mục tiêu 1: Tự động hóa quá trình thu thập và xử lý dữ liệu môi trường

Hệ thống phải có khả năng tự động thu thập dữ liệu từ mạng lưới cảm biến phân tán (nhiệt độ, độ ẩm không khí, độ ẩm đất, ánh sáng) và xử lý chúng theo thời gian thực mà không cần sự can thiệp thủ công. Mục tiêu này nhằm giảm thiểu công sức quản lý của người nông dân, đồng thời đảm bảo tính liên tục và chính xác của dữ liệu giám sát.

5.1.2 Mục tiêu 2: Phát hiện và cảnh báo sớm các sự cố hệ thống

Hệ thống phải tích hợp các cơ chế phát hiện lỗi tự động (như mất kết nối thiết bị, dữ liệu bất thường, hoặc giá trị vượt ngưỡng an toàn) và gửi cảnh báo tức thì đến người quản trị. Mục tiêu này giúp giảm thiểu thời gian phản ứng khi xảy ra sự cố, từ đó hạn chế thiệt hại về năng suất cây trồng và tài sản.

5.1.3 Mục tiêu 3: Cung cấp giao diện quản lý trực quan và dễ sử dụng

Hệ thống phải cung cấp một Dashboard Web Admin với các tính năng trực quan hóa dữ liệu (biểu đồ, bảng thống kê) và các thao tác quản lý tiện lợi, giúp người quản trị nắm bắt tình trạng hệ thống một cách nhanh chóng và thực hiện các tác vụ quản lý hiệu quả.

5.1.4 Mục tiêu 4: Đảm bảo khả năng mở rộng và hiệu năng cao

Hệ thống phải được thiết kế với kiến trúc có khả năng mở rộng (Scalable Architecture), cho phép thêm mới thiết bị hoặc nông trại mà không cần tắt server để bảo trì. Đồng thời, hệ thống phải đảm bảo xử lý ổn định dữ liệu từ hàng chục thiết bị đồng thời với độ trễ thấp.

5.1.5 Mục tiêu 5: Tối ưu hóa chi phí vận hành và bảo trì

Hệ thống phải sử dụng các công nghệ mã nguồn mở và kiến trúc tiết kiệm tài nguyên, giúp giảm thiểu chi phí triển khai và vận hành. Việc sử dụng các giao thức nhẹ như MQTT và cơ sở dữ liệu chuyên dụng cho Time-series (TimescaleDB) nhằm tối ưu hóa hiệu năng xử lý dữ liệu lớn.

5.1.6 Mục tiêu 6: Đảm bảo tính bảo mật và độ tin cậy

Hệ thống phải tích hợp các cơ chế bảo mật đa lớp (xác thực người dùng, phân quyền truy cập, mã hóa dữ liệu) và đảm bảo thời gian hoạt động (Uptime) đạt 99%, với khả năng tự động kết nối lại khi mất kết nối mạng.



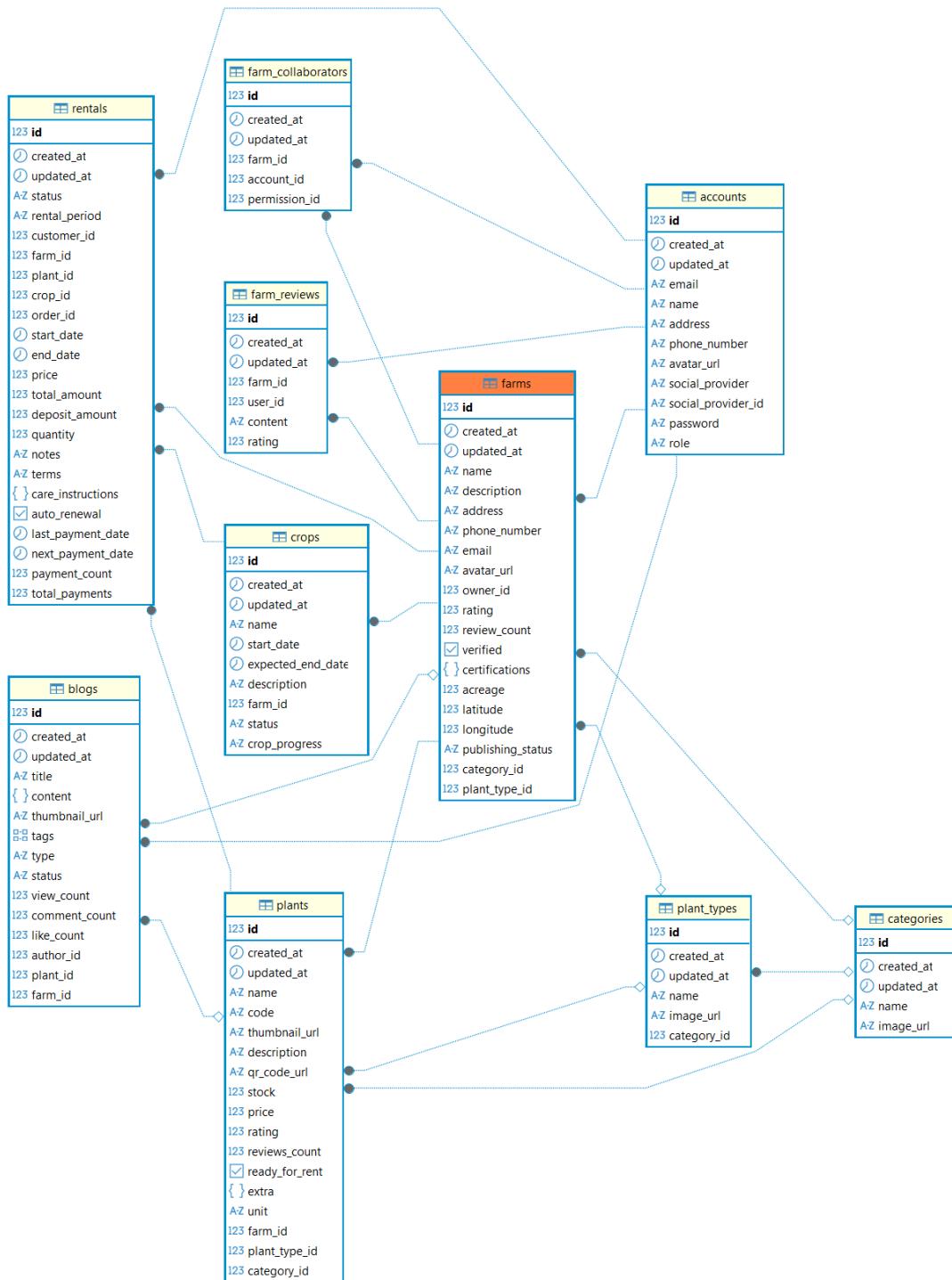
5.2 Thiết kế kiến trúc (Mức khái niệm)

Mô hình Quan hệ Thực thể (ERD) chi tiết của hệ thống được trình bày tại Phụ lục A. Thiết kế này đảm bảo tính toàn vẹn dữ liệu và khả năng mở rộng cho các nghiệp vụ giám sát nông nghiệp thông minh.

Hệ thống cơ sở dữ liệu được tổ chức thành các phân hệ chính như sau:

5.2.1 Phân hệ Quản lý Nông trại:

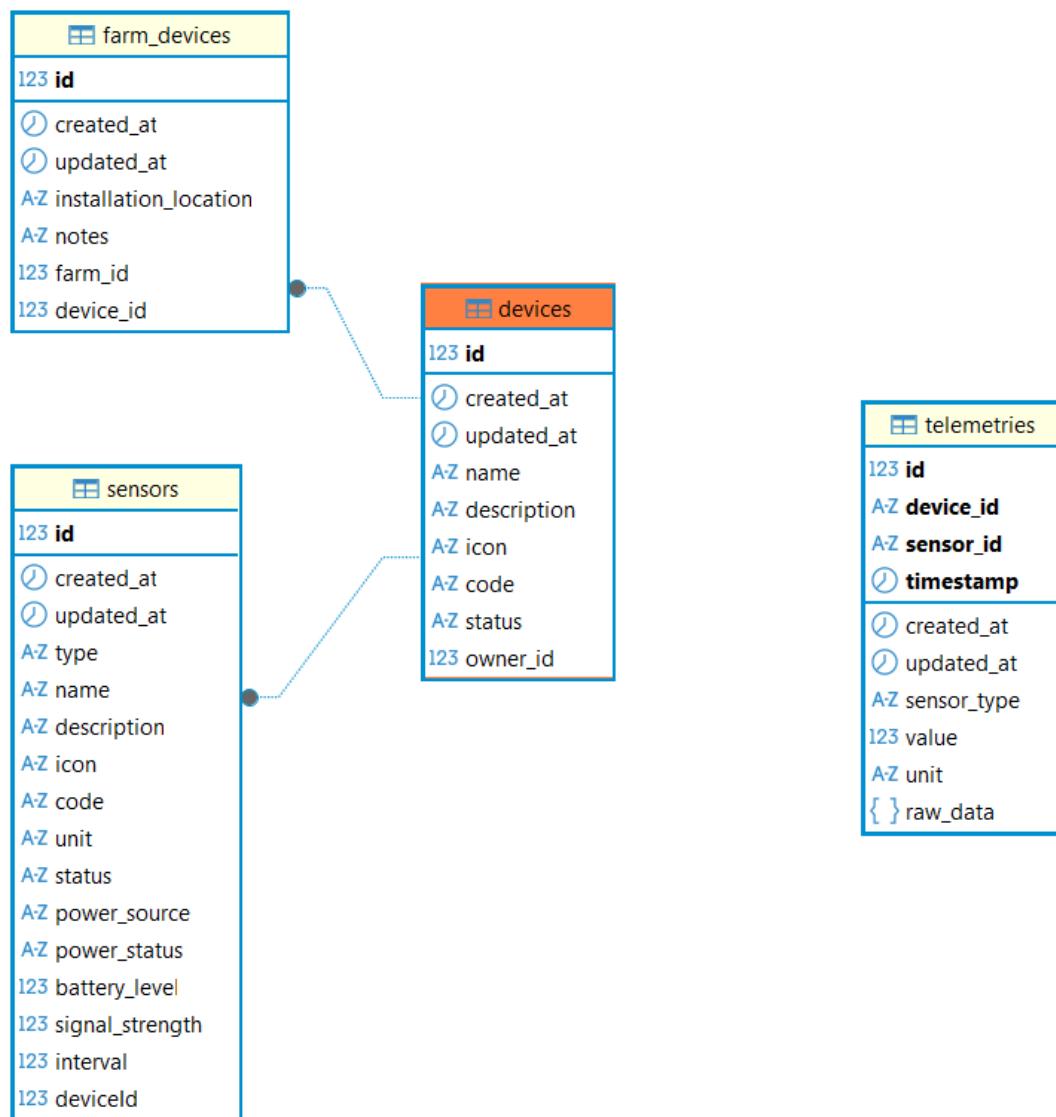
Đây là nhóm thực thể trung tâm, bao gồm bảng **farms** (lưu thông tin nông trại) liên kết 1-nhiều với **plants** (cây trồng) và **crops** (mùa vụ). Cấu trúc này cho phép quản lý chi tiết quy trình canh tác từ lúc xuồng giống đến khi thu hoạch, bao gồm cả việc theo dõi sức khỏe cây trồng qua bảng **plant_health_statuses**.



Hình 6: Sơ đồ thực thể quan hệ của phân hệ Quản lý Nông trại

5.2.2 Phân hệ IoT và Thu thập dữ liệu:

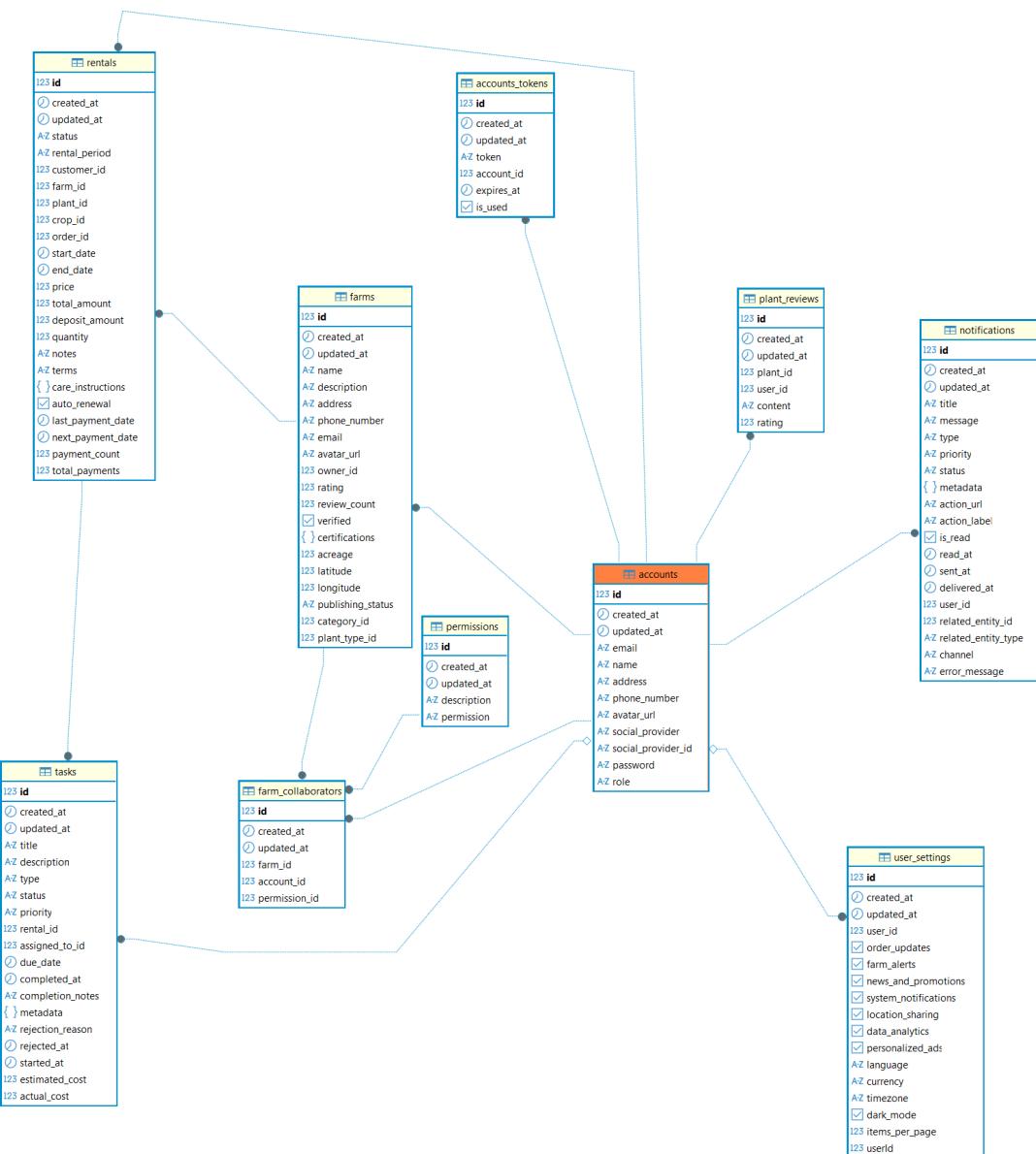
Các thiết bị phần cứng được quản lý qua bảng **devices** và **sensors**. Dữ liệu quan trọng nhất của hệ thống là **telemtries**, nơi lưu trữ hàng triệu bản ghi dữ liệu cảm biến (nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng) được gửi về liên tục. Quan hệ giữa **devices** và **farms** giúp xác định thiết bị nào đang hoạt động tại khu vực nào.



Hình 7: Sơ đồ thực thể quan hệ của phân hệ IoT và Thu thập dữ liệu

5.2.3 Phân hệ Người dùng và Phân quyền:

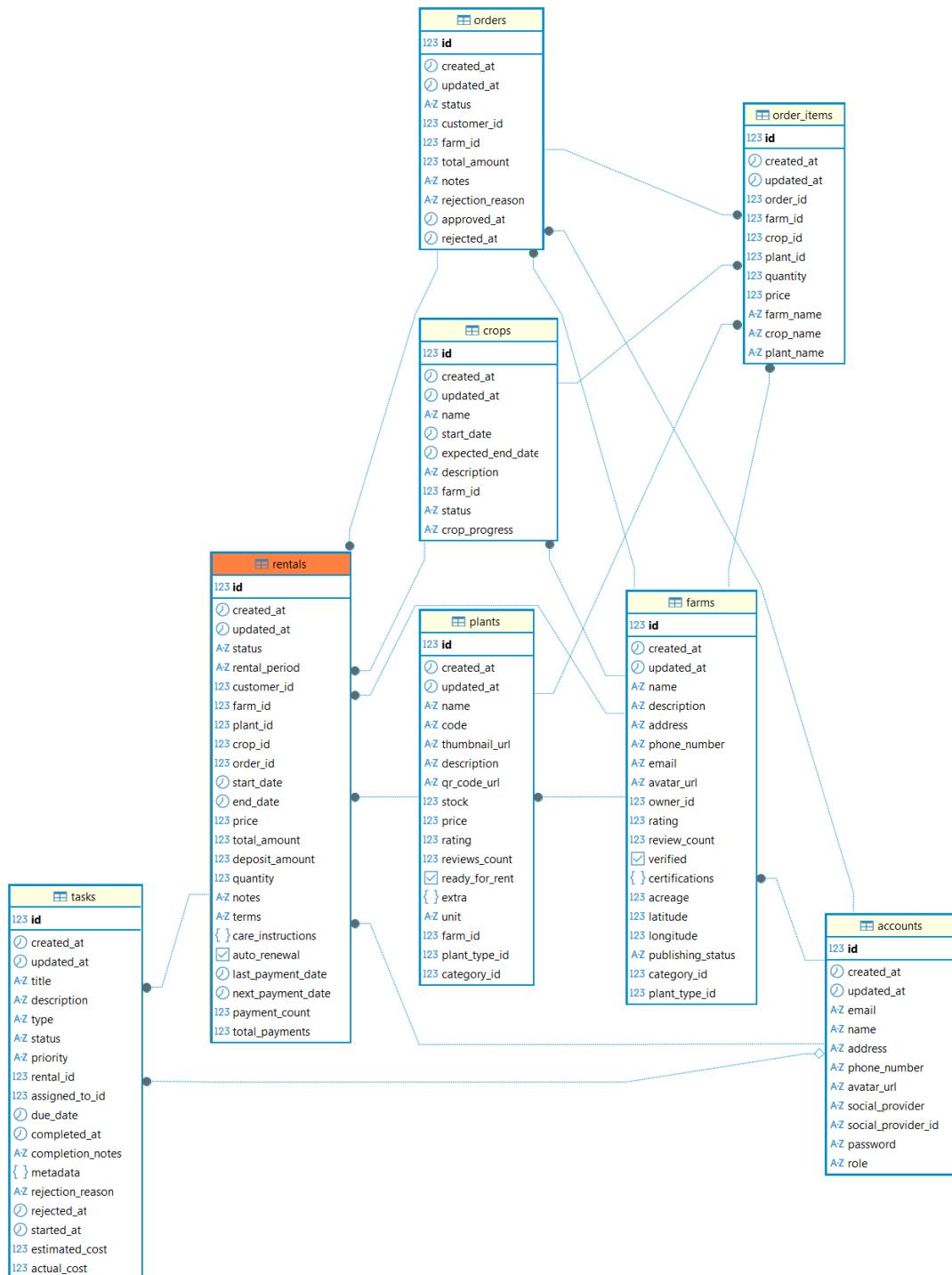
Hệ thống sử dụng bảng accounts để quản lý người dùng, kết hợp với permissions và user_settings để thực hiện cơ chế phân quyền, đảm bảo chỉ Admin hoặc chủ nông trại mới có quyền truy cập các dữ liệu nhạy cảm hoặc thực hiện cấu hình thiết bị.



Hình 8: Sơ đồ thực thể quan hệ của phân hệ Người dùng và Phân quyền

5.2.4 Phân hệ Kinh doanh

Các nghiệp vụ kinh doanh như thuê thiết bị, đặt hàng, thanh toán được quản lý thông qua bảng **rentals** và **orders**.



Hình 9: Sơ đồ thực thể quan hệ của phân hệ Kinh doanh

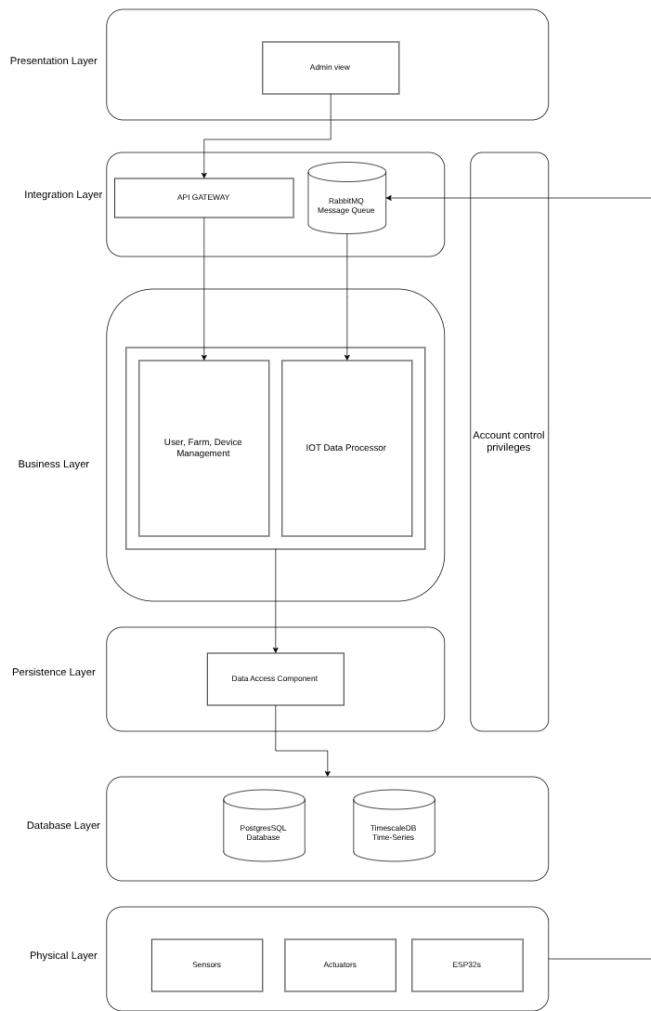
Và các bảng khác được trình bày tại Phụ lục A.

5.3 Thiết kế Kiến trúc Hệ thống

5.3.1 Kiến trúc Phân lớp (Layered Architecture)

Kiến trúc hệ thống được thiết kế theo mô hình Phân lớp (Layered Architecture) kết hợp với hướng dịch vụ (Service-oriented). Việc phân chia này giúp tách biệt các mối quan tâm (Separation of Concerns), dễ dàng bảo trì và mở rộng độc lập từng thành phần.

Sơ đồ dưới đây minh họa các tầng logic và luồng dữ liệu trong hệ thống:



Hình 10: Sơ đồ Kiến trúc Phân lớp của Hệ thống

Hệ thống được tổ chức thành 6 tầng chính và 1 module bảo mật xuyên suốt:

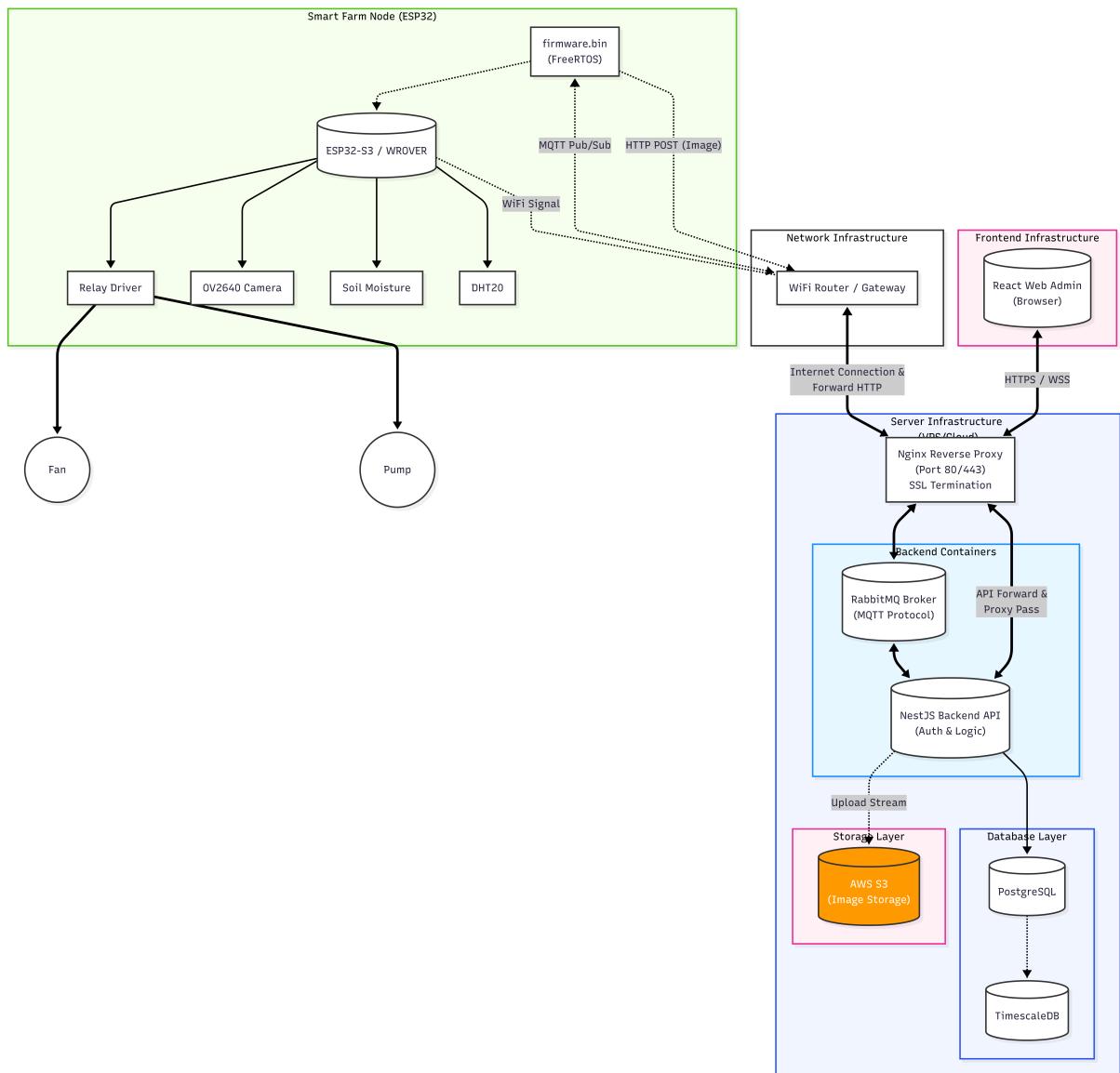
- **Presentation Layer (Tầng Giao diện):** Là điểm tiếp xúc với người dùng cuối (System Admin). Tầng này gửi các yêu cầu HTTP đến hệ thống thông qua giao diện Web Admin để thực hiện các tác vụ quản lý.
- **Integration Layer (Tầng Tích hợp):** Đóng vai trò là cổng vào duy nhất (Entry Point) và điều phối luồng dữ liệu, bao gồm 2 thành phần:
 - *API Gateway:* Tiếp nhận và định tuyến các yêu cầu RESTful từ Web Admin xuống các dịch vụ nghiệp vụ tương ứng.
 - *RabbitMQ Message Queue:* Đóng vai trò Broker trung gian, tiếp nhận hàng loạt dữ liệu bất đồng bộ từ các thiết bị IoT (Sensors/ESP32), giúp giảm tải cho hệ thống xử lý chính (Decoupling).
- **Business Layer (Tầng Nghiệp vụ):** Nơi chứa toàn bộ logic xử lý của hệ thống:
 - *User & Farm Management:* Xử lý các logic về quản lý người dùng, nông trại, và cấu hình thiết bị.



- **IoT Data Processor:** Service chuyên biệt (Worker) để tiêu thụ dữ liệu từ RabbitMQ, xử lý tính toán, cảnh báo và chuẩn hóa dữ liệu trước khi lưu trữ.
- **Persistence Layer (Tầng Truy xuất Dữ liệu):** Cung cấp lớp trừu tượng hóa (Abstraction) để giao tiếp với cơ sở dữ liệu (Data Access Component), giúp tách biệt logic nghiệp vụ khỏi các câu lệnh truy vấn SQL cụ thể.
- **Database Layer (Tầng Dữ liệu):** Sử dụng chiến lược lưu trữ đa mô hình (Polyglot Persistence):
 - *PostgreSQL:* Lưu trữ dữ liệu quan hệ có cấu trúc (Users, Farms, Devices).
 - *TimescaleDB:* Cơ sở dữ liệu chuyên dụng cho Time-series để lưu trữ hàng triệu bản ghi nhật ký cảm biến (Telemetries) với hiệu năng cao.
 - *AWS S3:* Lưu trữ các file tĩnh (hình ảnh cây trồng, log files).
- **Physical Layer (Tầng Vật lý):** Bao gồm các thiết bị phần cứng (ESP32, Sensors, Actuators) thu thập dữ liệu môi trường và thực thi các lệnh điều khiển từ server.

5.3.1.1 Module Bảo mật (Cross-cutting Concern): Thành phần *Account Control Privileges* bao quát từ tầng Integration xuống tầng Business, đảm bảo mọi yêu cầu đi qua API Gateway đều được xác thực (Authentication) và phân quyền (Authorization) chặt chẽ trước khi được xử lý.

5.3.2 Kiến trúc Triển khai (Deployment Architecture)



Hình 11: Deployment Diagram

Sơ đồ triển khai (Hình 11) mô tả cách thức ánh xạ các thành phần phần mềm vào hạ tầng phần cứng vật lý và môi trường mạng. Hệ thống được triển khai theo mô hình tập trung (Centralized Cloud Architecture) kết hợp với các thiết bị biên (Edge Devices).

Các thành phần triển khai chính bao gồm:

- **Field Node (Nút thiết bị tại nông trại):**

- *Vị trí điều khiển:* Sử dụng ESP32-S3 chạy Firmware dựa trên hệ điều hành thời gian thực FreeRTOS, đảm bảo khả năng xử lý đa nhiệm (đọc cảm biến và gửi mạng song song).
- *Kết nối vật lý:* Các cảm biến (DHT20, Soil Moisture) và camera (OV2640) được kết nối trực tiếp qua các giao tiếp I2C, Analog và DVP. Các thiết bị chấp hành (Máy bơm, Quạt) được điều khiển qua Module Relay.

- **Server Infrastructure (Hệ thống Backend):** Toàn bộ hệ thống Backend được đóng gói và triển khai trên nền tảng Docker, giúp đảm bảo tính nhất quán giữa môi trường phát triển và vận hành (Production). Hệ thống bao gồm các Container chính:



- *Nginx Reverse Proxy*: Dóng vai trò lớp bảo mật đầu tiên, tiếp nhận mọi yêu cầu từ Internet (Port 80/443), chấm dứt SSL (SSL Termination) và điều phối traffic vào các dịch vụ bên trong.
- *Application Container*: Chạy NestJS Backend để xử lý API và logic nghiệp vụ.
- *Message Broker Container*: Chạy RabbitMQ để tiếp nhận dữ liệu IoT qua giao thức MQTT.
- *Database Cluster*: Chạy PostgreSQL tích hợp Extension TimescaleDB, phục vụ lưu trữ dữ liệu lai (Hybrid Storage).

- **Cơ chế Giao tiếp (Communication Protocols):**

- *Device - Server*: Sử dụng giao thức **MQTT** qua WiFi/4G để truyền tải dữ liệu cảm biến (nhẹ, thời gian thực) và giao thức **HTTP** để tải lên hình ảnh (dữ liệu lớn).
- *Client - Server*: Web Admin giao tiếp với hệ thống thông qua **HTTPS** (bảo mật) và **Web-Socket** (để nhận cập nhật dữ liệu thời gian thực trên Dashboard).

5.3.2.1 Đánh đổi kiến trúc và Rủi ro Mặc dù kiến trúc phân lớp mang lại nhiều lợi ích về tính mô-đun và khả năng mở rộng, việc triển khai đòi hỏi đánh đổi về độ phức tạp. Nhóm đã cân nhắc kỹ lưỡng giữa lợi ích dài hạn (scalability, maintainability) và chi phí triển khai ban đầu. Chi tiết về phân tích đánh đổi được trình bày ở phần riêng sau.

5.4 Phân tích đánh đổi kiến trúc và Quản lý rủi ro

Việc lựa chọn kiến trúc phân lớp (Layered Architecture) kết hợp với các thành phần Microservices (như Worker tách rời) và Polyglot Persistence (đa cơ sở dữ liệu) mang lại khả năng mở rộng lớn, nhưng đồng thời cũng đặt ra bài toán về độ phức tạp khi triển khai. Dưới đây là phân tích chi tiết các đánh đổi (Trade-offs) và biện pháp giảm thiểu rủi ro của nhóm.

5.5 Tại sao không chọn kiến trúc Monolithic đơn giản?

Mặc dù kiến trúc nguyên khối (Monolithic) đơn giản, dễ triển khai (chỉ cần 1 Server + 1 DB), nhưng nhóm quyết định chọn kiến trúc phân tán hướng dịch vụ vì các lý do sau:

- **Khả năng mở rộng độc lập (Scalability)**: Module xử lý dữ liệu IoT (Worker) cần tài nguyên CPU cao để chạy thuật toán RFE, trong khi Web Server phục vụ API chỉ cần ít tài nguyên. Việc tách rời giúp nhóm có thể nhân bản (scale) Worker mà không ảnh hưởng đến Web API.
- **Phù hợp làm việc nhóm**: Với 3 thành viên (Firmware, Backend, Frontend/AI), kiến trúc phân lớp giúp phân chia ranh giới công việc rõ ràng (Decoupling), tránh việc code chồng chéo (Merge conflicts) quá nhiều.
- **Chuẩn bị cho Đò án Tốt nghiệp**: Đò án chuyên ngành là bước đệm. Việc xây dựng khung kiến trúc chuẩn ngay từ đầu giúp giai đoạn 2 chỉ cần tập trung phát triển tính năng mà không phải đập đi xây lại (Refactoring).



5.6 Dánh đổi kỹ thuật

Bảng 6: Bảng phân tích đánh đổi khi lựa chọn công nghệ

Quyết định kiến trúc	Lợi ích (Pros)	Cái giá phải trả (Cons)
Sử dụng Message Queue (RabbitMQ)	Dảm bảo tính bất đồng bộ, không mất dữ liệu khi Server quá tải (Back-pressure), giảm độ trễ phản hồi API.	Tăng độ phức tạp vận hành. Phải quản lý thêm một service Broker, khó debug luồng dữ liệu hơn so với gọi HTTP trực tiếp.
Polyglot Persistence (TimescaleDB + PostgreSQL)	Tối ưu hóa truy vấn chuỗi thời gian (nhanh hơn 10x), nén dữ liệu tốt.	Phải quản lý schema phức tạp hơn. Cần kiến thức chuyên sâu về cả Relational và Time-series DB.
Containerization (Docker)	Môi trường đồng nhất giữa Dev và Prod, dễ dàng triển khai.	Tốn tài nguyên hệ thống (RAM/CPU) hơn so với chạy Native trên máy ảo đơn giản.

5.7 Rủi ro và Chiến lược giảm thiểu

Với quy mô của một đồ án sinh viên, việc vận hành hệ thống phức tạp tiềm ẩn nhiều rủi ro. Nhóm đã xác định và có phương án cụ thể:

Rủi ro 1: Quá tải về mặt triển khai (DevOps Overhead)

Việc cấu hình Nginx, Docker, RabbitMQ tốn nhiều thời gian.

→ **Giải pháp:** Nhóm sử dụng Docker Compose để đóng gói toàn bộ môi trường (Infrastructure as Code). Chỉ cần 1 lệnh docker-compose up là dựng được toàn bộ hệ thống, giúp thành viên phát triển Frontend/Firmware không cần cài đặt phức tạp.

Rủi ro 2: Khó kiểm soát lỗi (Debugging)

Luồng dữ liệu đi qua nhiều trạm (MQTT → RabbitMQ → NestJS → DB) khiến việc tìm nguyên nhân lỗi khó khăn.

→ **Giải pháp:** Nhóm xây dựng cơ chế Centralized Logging đơn giản, ghi log tập trung tại mỗi điểm nút quan trọng để truy vết (Traceability).

Kết luận: Kiến trúc này tuy có độ phức tạp cao hơn mức trung bình của một đồ án sinh viên, nhưng là sự đầu tư cần thiết để giải quyết bài toán "Real-time" và "Big Data" của Nông nghiệp thông minh, đồng thời tiệm cận với quy chuẩn thực tế của doanh nghiệp.

5.8 Đề xuất hiện thực và lựa chọn công nghệ

5.8.1 Quản lý lược đồ dữ liệu cảm biến từ xa

- Mục tiêu:** đảm bảo rằng mọi dữ liệu (telemetry) gửi từ hàng ngàn cảm biến về máy chủ đều:
 - Thống nhất (Consistent):** Dữ liệu luôn tuân theo một định dạng chuẩn.
 - Chất lượng (Valid):** Dữ liệu không bị sai, thiếu hoặc lỗi định dạng.
 - Dễ dàng mở rộng (Extensible):** Dễ dàng thêm cảm biến mới hoặc phiên bản firmware mới mà không làm sập hệ thống.
 - Dễ bảo trì (Maintainable):** Khi schema thay đổi (ví dụ: thêm cảm biến đo độ pH), máy chủ biết cách xử lý phiên bản cũ và mới.
- Đề xuất cấu trúc:** Sử dụng định dạng JSON vì tính linh hoạt và dễ tiếp cận. Cấu trúc được chia thành 3 schema chính:
 - Schema chung (device_base):** Tất cả các gói tin (packet) đều phải chứa các thông tin cơ bản này để định tuyến và nhận diện.



- * `device_id(String)`: Mã định danh thiết bị.
- * `timestamp(int64)`: Thời gian gửi dữ liệu.
- * `schema_id(String)`: Tên của schema mà gói tin này đang sử dụng.
- * `schema_version(String)`: Phiên bản của schema.

– **Schema 1 (env_data):** Dữ liệu môi trường.

```
{  
    "device_id": "env-sensor-zone-a-01",  
    "timestamp": 1678886400000,  
    "schema_id": "env_data",  
    "schema_version": "v1.1",  
    "data": {  
        "temperature_celsius": 28.5,  
        "humidity_percent": 75.2  
    }  
}
```

– **Schema 2 (camera_data):** Dữ liệu hình ảnh từ camera.

```
{  
    "device_id": "cam-zone-a-01",  
    "timestamp": 1678887000000,  
    "schema_id": "camera_event",  
    "schema_version": "v1.0",  
    "data": {  
        "image_url": "https://storage.server.com/images/12345.jpg",  
        "file_size": 51200  
    }  
}
```

– **Schema 3 (device_health):** Dữ liệu tình trạng thiết bị.

```
{  
    "device_id": "cam-zone-a-01",  
    "timestamp": 1678886500000,  
    "schema_id": "device_health",  
    "schema_version": "v1.0",  
    "data": {  
        "status": "online", // "online", "offline", "error"  
        "battery_percent": 85.0, // If battery-powered  
        "uptime_seconds": 3600,  
        "error_code": 0 // 0 = OK, optional error codes  
    }  
}
```

• **Đề xuất hệ thống quản lý:** Cách máy chủ biết `env_data v1.0` và `v1.1` khác gì nhau:

– **Kho lưu trữ Schema (Schema Registry):**

- * Là một cơ sở dữ liệu (hoặc một Git repository) chứa các tệp tin định nghĩa schema.
- * Sẽ có các tệp như là "`env_data_v1.0.0.json`", "`camera_event_v1.0.0.json`",....
- * **Ưu điểm:** Cả team phát triển thiết bị (firmware) và team phát triển phần mềm (software) đều nhìn vào đây để làm việc.



- **Quản lý Phiên bản (Versioning):** Sử dụng Semantic Versioning (vMAJOR.MINOR.PATCH).

- * PATCH (v1.0.1): Sửa lỗi nhỏ, không ảnh hưởng cấu trúc.
- * MINOR (v1.1.0): Thêm trường dữ liệu mới, vẫn tương thích ngược.
- * MAJOR (v2.0.0): Thay đổi lớn, không tương thích ngược.

- **Xác thực Schema (Schema Validation)**

- * Dữ liệu từ cảm biến gửi đến (ví dụ: qua MQTT Broker).
- * Một dịch vụ "Ingestor" (bộ tiếp nhận) sẽ đọc gói tin.
- * Nó thấy **schema_id**: "env_data" và **schema_version**: "v1.1".
- * Nó lập tức tra cứu trong Schema Registry để lấy tệp định nghĩa **env_data_v1.1.json**.
- * Nó dùng tệp định nghĩa này để xác thực (validate) gói tin nhận được.
 - Nếu hợp lệ: Đẩy dữ liệu vào database (ví dụ: TimeScaleDB, InfluxDB).
 - Nếu không hợp lệ: Gói tin bị loại bỏ và gửi cảnh báo (ví dụ: "Thiết bị 'env-sensor-zone-a-01' đang gửi dữ liệu rác!").

- **Ưu điểm của đề xuất này:**

- **Ngăn chặn dữ liệu rác:** Hệ thống tự động loại bỏ dữ liệu sai định dạng ngay từ đầu vào.
- **Gỡ lỗi dễ dàng:** Biết chính xác thiết bị nào đang gửi sai phiên bản schema.
- **Dễ dàng mở rộng:** Khi muốn thêm cảm biến độ ẩm đất (v1.1), các thiết bị v1.0 cũ vẫn hoạt động bình thường song song với các thiết bị v1.1 mới.
- **Tính độc lập:** Xử lý camera (dữ liệu nặng) riêng biệt với telemetry (dữ liệu nhẹ) giúp hệ thống nhanh và ổn định.

5.8.2 Đề xuất cải tiến cho thuật toán RFE

5.8.2.a Vấn đề và hạn chế của RFE nguyên bản

Thuật toán Robust Feature Extractor (RFE) nguyên bản hoạt động dựa trên cơ chế phân tích chuỗi thời gian đơn biến (Univariate Time-series Analysis). Tức là, việc đánh giá trạng thái của một cảm biến chỉ dựa vào dữ liệu quá khứ của chính nó. Mặc dù hiệu quả trong việc phát hiện các lỗi cục bộ (như gai nhiễu, kẹt giá trị), phương pháp này tồn tại một hạn chế lớn khi gặp các biến động môi trường đồng loạt.

- Ví dụ: Khi hệ thống nhà màng mở lưới che nắng vào buổi trưa, nhiệt độ của toàn bộ khu vườn sẽ tăng vọt trong thời gian ngắn.
- Vấn đề: RFE cơ bản sẽ ghi nhận "Tốc độ thay đổi" (v_t) tăng cao đột ngột và có thể nhầm lẫn đây là lỗi trôi (Drift) hoặc gai (Spike), dẫn đến cảnh báo sai (False Positive).

5.8.2.b Giải pháp đề xuất:

Để khắc phục hạn chế trên, nghiên cứu đề xuất mở rộng vector đặc trưng bằng cách bổ sung thông tin tương quan không gian. Ý tưởng cốt lõi là so sánh hành vi của cảm biến mục tiêu với các cảm biến lân cận trong cùng một khu vực canh tác. Vector đặc trưng đầu ra F_t của thuật toán cải tiến sẽ có dạng:

$$F_t = \underbrace{[x_t, v_t, \sigma_t, EWMA_t, Lags]}_{\text{Temporal}}, \underbrace{S_t}_{\text{Spatial}}$$

Trong đó, S_t là chỉ số Độ lệch Không gian (Spatial Deviation), được tính toán nhằm lượng hóa mức độ khác biệt của cảm biến hiện tại so với tập thể.



5.8.2.c Cơ chế hoạt động

Giả sử tại thời điểm t , ta có giá trị của cảm biến mục tiêu là x_t và tập hợp giá trị của k cảm biến lân cận là $N_t = \{y_t^{(1)}, y_t^{(2)}, \dots, y_t^{(k)}\}$. Chỉ số S_t được tính toán đơn giản theo công thức:

$$S_t = |x_t - \text{median}(N_t)|$$

Trong đó:

$$\text{median}(N) = \begin{cases} y_{(\frac{k+1}{2})} & \text{nếu } k \text{ lẻ} \\ \frac{1}{2}(y_{(\frac{k}{2})} + y_{(\frac{k}{2}+1)}) & \text{nếu } k \text{ chẵn} \end{cases}$$

(Sử dụng trung vị (median) thay vì trung bình (mean) để tăng cường khả năng chịu đựng giá trị ngoại lai (Outliers).).

Về lí do sử dụng median thay vì mean:

- Mean tính toán dựa trên độ lớn của tất cả các phần tử, nên nó rất nhạy cảm với nhiễu. Một giá trị nhiễu lớn có thể kéo lệch toàn bộ giá trị tham chiếu.
- Median là một đại lượng thống kê thứ tự, có tính kháng nhiễu cao hơn hẳn. Nó coi các giá trị lỗi đột biến là các phần tử nằm ở rìa của phân phối và loại bỏ chúng, giúp thuật toán không bị báo động giả.

5.8.2.d Kết luận

Việc chuyển đổi từ phân tích đơn biến sang đa biến thông qua chỉ số S_t mang lại hai lợi ích thiết thực cho hệ thống Smart Farm:

- **Giảm tỷ lệ báo động giả:** Phân biệt rõ ràng giữa sự cố thiết bị và các hiện tượng thời tiết cực đoan.
- **Tăng độ tin cậy:** Hệ thống tận dụng được lợi thế của mạng lưới thiết bị IoT dày đặc để tự kiểm chứng chéo dữ liệu lẫn nhau ngay tại biên trước khi gửi về máy chủ.

Hạn chế của phương pháp cải tiến đề xuất:

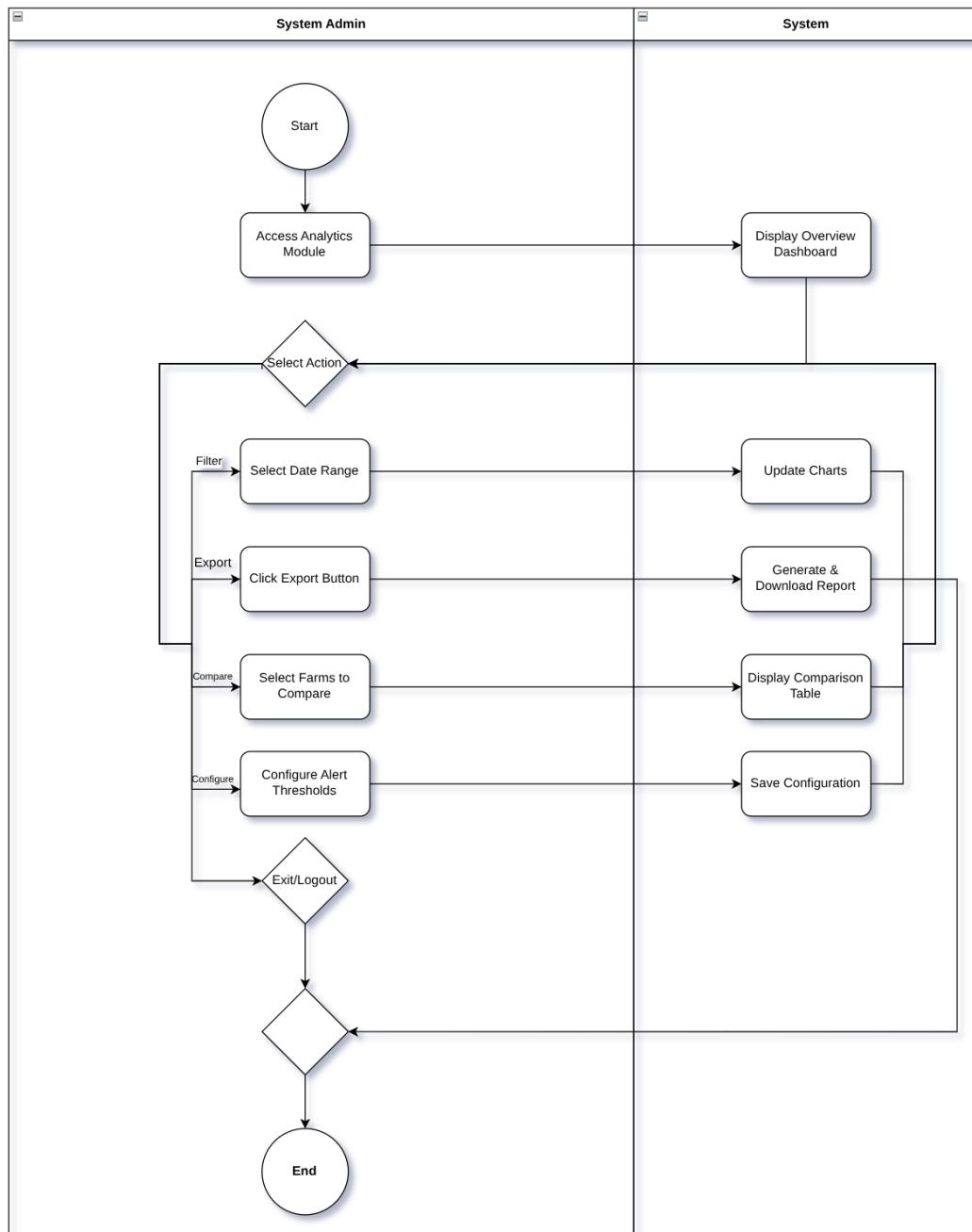
- Mặc dù sử dụng bộ lọc trung vị (Median Filter) giúp tăng cường khả năng kháng nhiễu so với trung bình cộng, phương pháp này vẫn tồn tại giới hạn về điểm gãy. Theo lý thuyết thống kê, điểm gãy của trung vị là 50%. Điều này có nghĩa là nếu hơn 50% số lượng cảm biến tham chiếu trong mạng lưới gặp sự cố đồng thời và sai lệch theo cùng một hướng, giá trị trung vị sẽ bị sai lệch theo, dẫn đến khả năng tính toán chỉ số tương quan không gian S_t không còn chính xác.
- Tuy nhiên, trong thực tế vận hành hệ thống IoT nông nghiệp:
 - Các lỗi cảm biến phần cứng thường mang tính ngẫu nhiên và độc lập, xác suất xảy ra đồng thời trên diện rộng là thấp.
 - Trường hợp các giá trị thay đổi đồng loạt thường là dấu hiệu của sự thay đổi môi trường thực tế hoặc sự cố cấp hệ thống (mất nguồn), lúc này hệ thống giám sát cần chuyển sang cơ chế cảnh báo mức độ cao hơn thay vì phát hiện lỗi mức node.

Hướng khắc phục: Để giải quyết triệt để vấn đề này, các nghiên cứu tiếp theo có thể tích hợp cơ chế trọng số tin cậy. Hệ thống sẽ đánh giá độ tin cậy của từng node lân cận dựa trên lịch sử hoạt động của chúng. Các node có tiền sử lỗi thường xuyên sẽ bị giảm trọng số hoặc loại bỏ khỏi tập tham chiếu khi tính toán Median.

5.9 Thiết kế các thành phần chính

5.9.1 Software

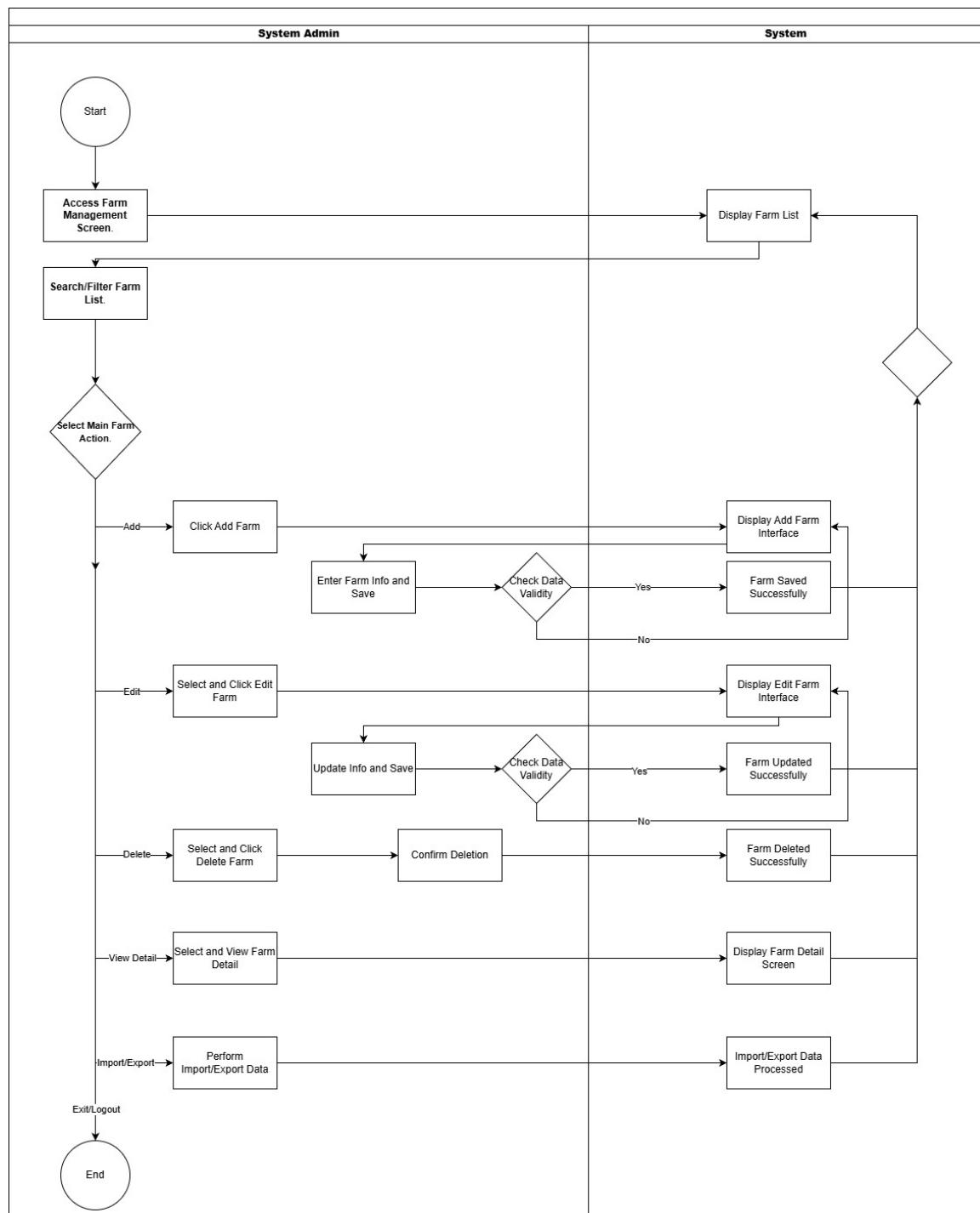
5.9.1.a Luồng Giám sát và Phân tích Hệ thống:



Hình 12: Activity Diagram mô tả luồng giám sát và tương tác trên Dashboard

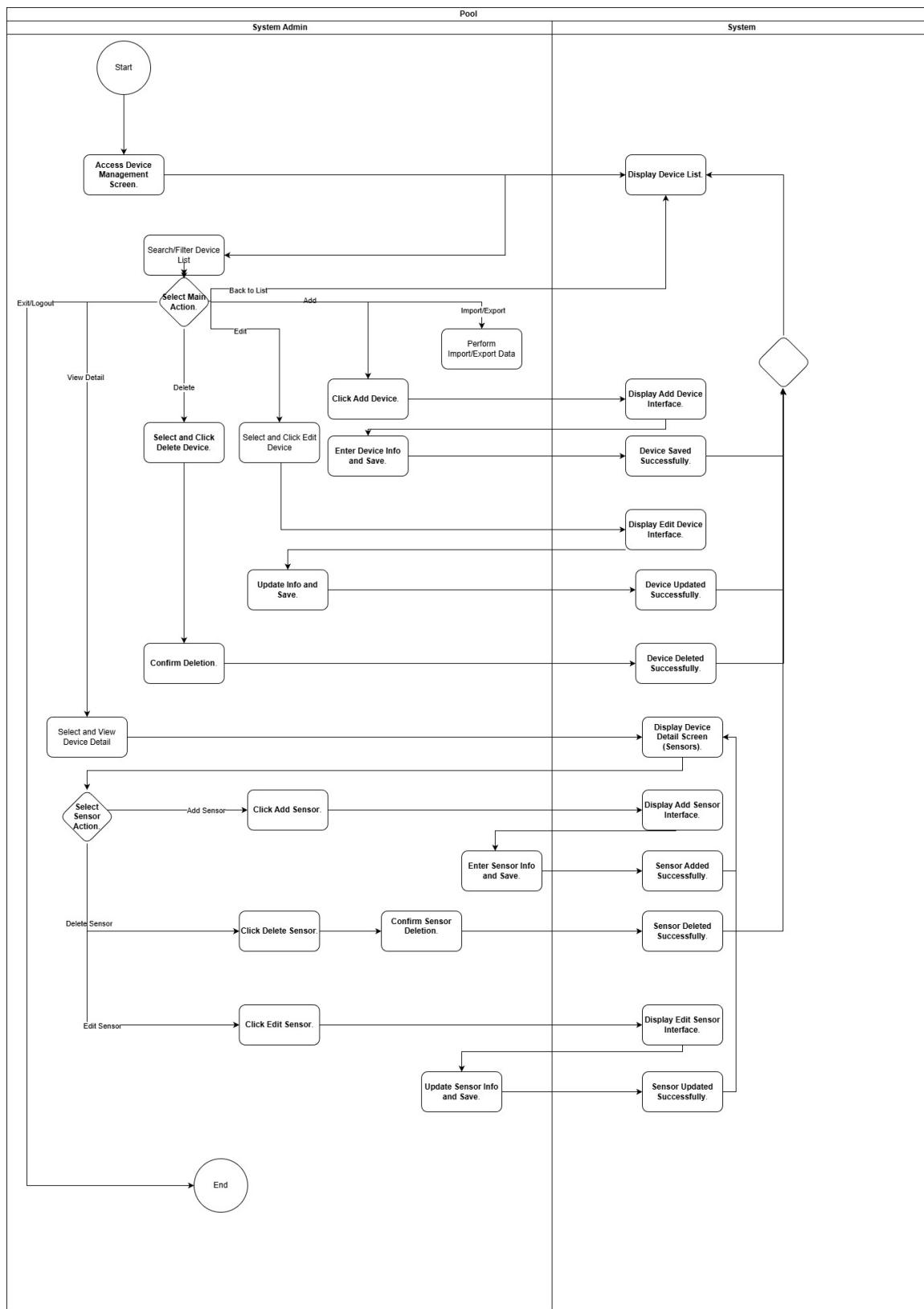
Sơ đồ thể hiện tính tương tác liên tục: Admin có thể thực hiện nhiều tác vụ (Lọc, Xuất, Cấu hình) và quay lại màn hình chính mà không bị ngắt quãng phiên làm việc.

5.9.1.b Quy trình quản lý Farm:



Hình 13: Activity Diagram mô tả luồng quản lý farm

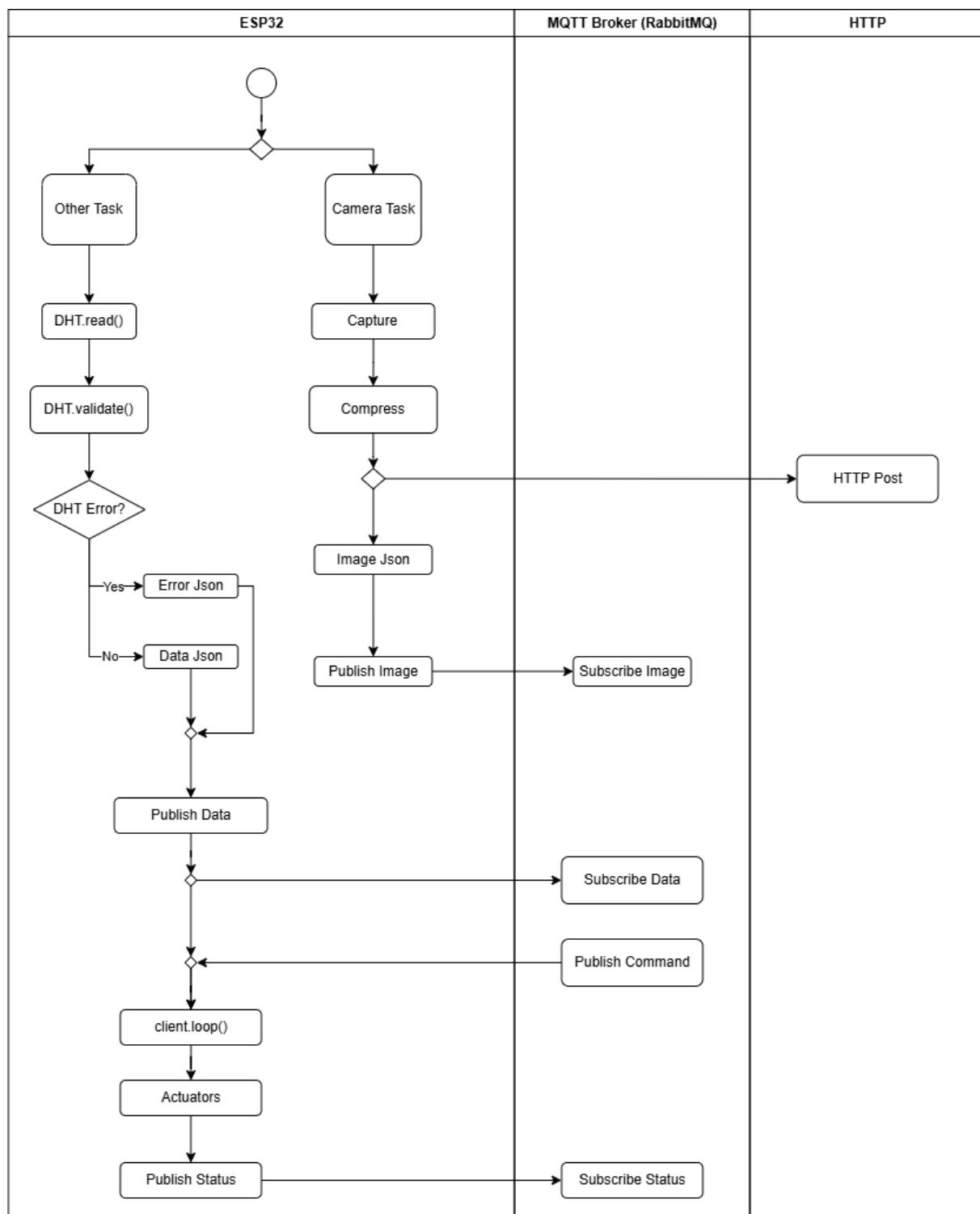
5.9.1.c Quy trình quản lý thiết bị:



Hình 14: Activity Diagram mô tả luồng quản lý thiết bị

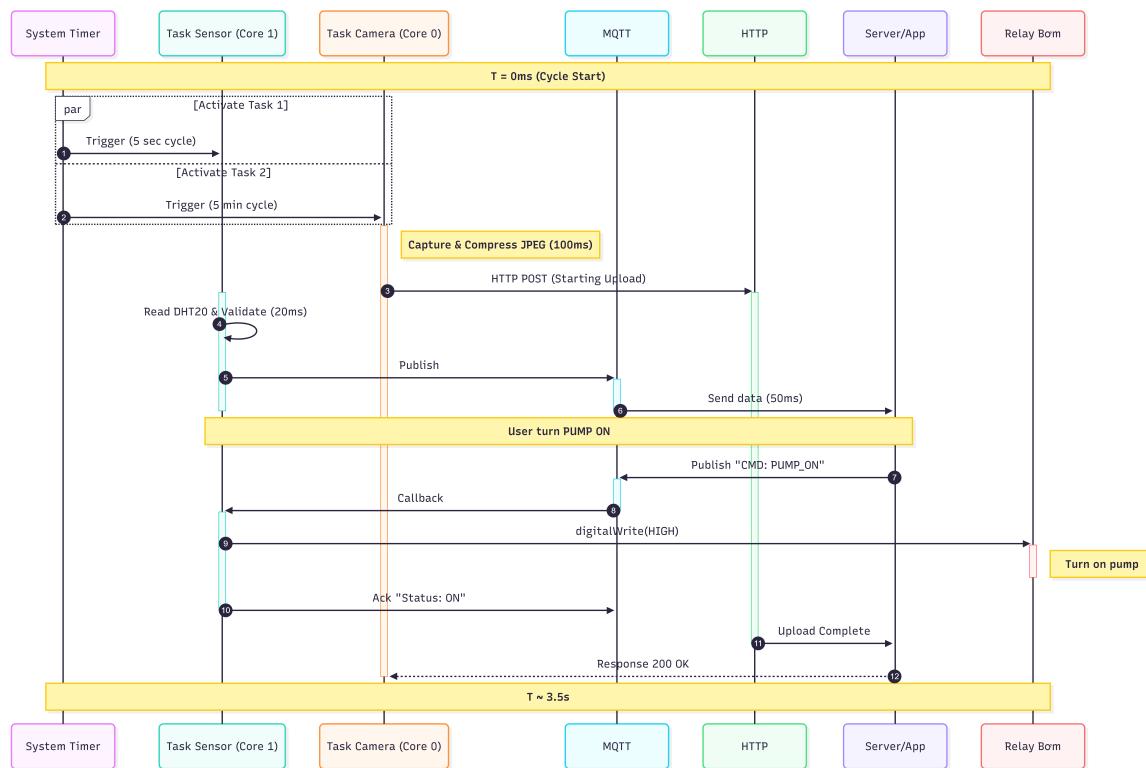
5.9.2 Firmware

5.9.2.a Activity Diagram



Hình 15: Activity Diagram

5.9.2.b Sequence Diagram



Hình 16: Sequence Diagram

Hệ thống bao gồm 7 thực thể chính:

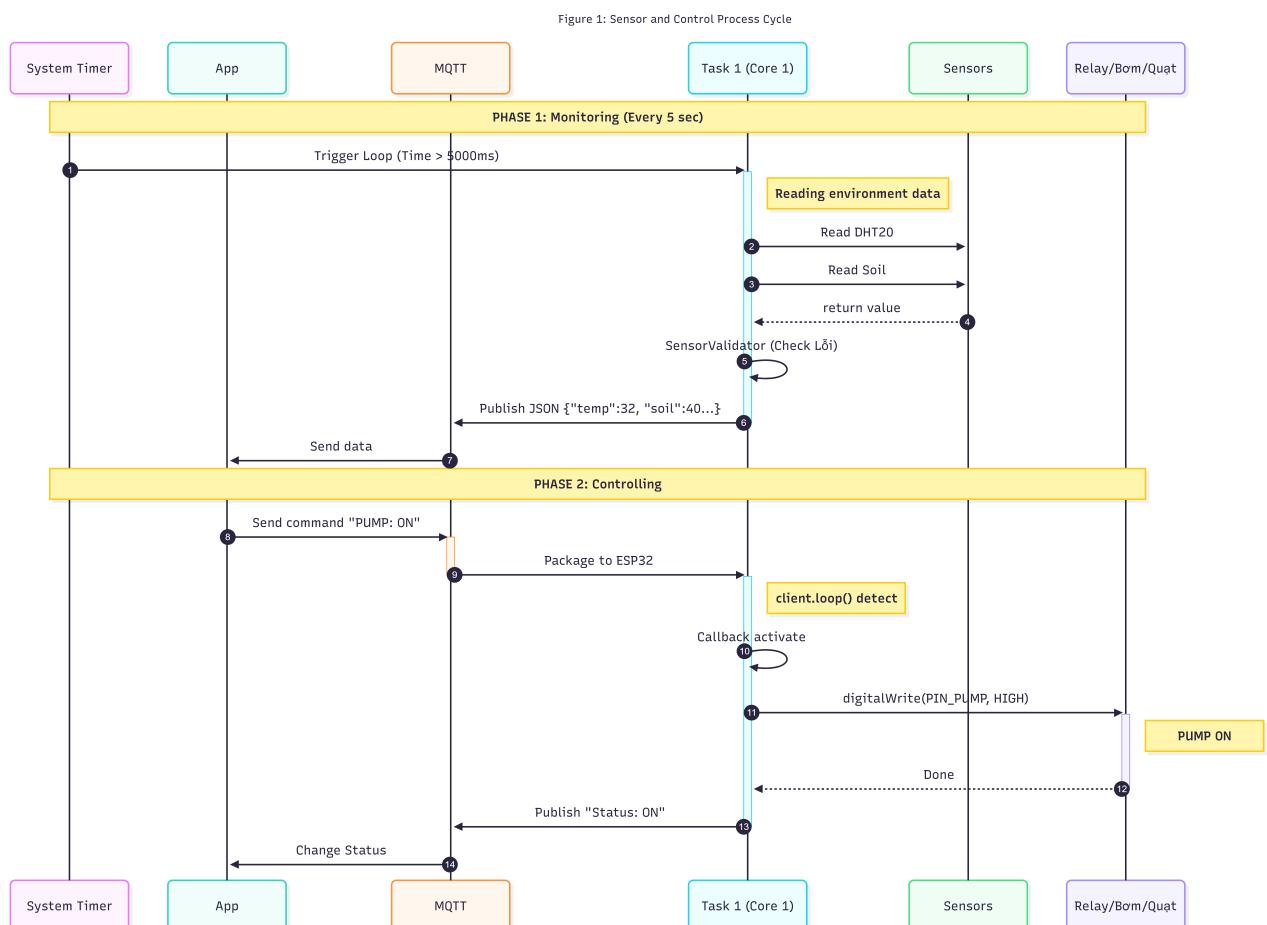
- **System Timer:** Bộ định thời hệ thống, đóng vai trò kích hoạt các tác vụ theo chu kỳ.
- **Task Sensor (Core 1):** Tác vụ xử lý cảm biến, chạy trên lõi 1 của vi điều khiển.
- **Task Camera (Core 0):** Tác vụ xử lý camera (nặng về tính toán), chạy trên lõi 0.
- **MQTT:** Giao thức truyền tin nhắn nhẹ, dùng để gửi dữ liệu cảm biến và nhận lệnh điều khiển.
- **HTTP:** Giao thức dùng để tải dữ liệu lớn (hình ảnh JPEG) lên server.
- **Server/App:** Nơi nhận dữ liệu và là giao diện để người dùng tương tác.
- **Relay Bom:** Thiết bị ngoại vi thực hiện hành động vật lý (bật/tắt bom).

Quy trình được chia thành các giai đoạn chính trong một chu kỳ từ T = 0ms đến T = 3500ms như sau:

- Kích hoạt và Xử lý dữ liệu tại chỗ (T = 0ms)
 - System Timer gửi tín hiệu Trigger song song để kích hoạt hai tác vụ:
 - * Task 1 (Sensor): Chu kỳ 5 giây/lần.
 - * Task 2 (Camera): Chu kỳ 5 phút/lần.
 - Tại Task Camera: Thực hiện chụp và nén ảnh JPEG (Capture & Compress). Quá trình này mất khoảng 100ms.
 - Tại Task Sensor: Thực hiện đọc dữ liệu từ cảm biến DHT20 và xác thực dữ liệu. Quá trình này mất khoảng 20ms.
- Truyền tải dữ liệu lên Server (Upstream)
 - **Dữ liệu ảnh:** Task Camera sử dụng giao thức HTTP POST để bắt đầu tải ảnh lên Server.

- **Dữ liệu cảm biến:** Task Sensor sử dụng giao thức MQTT để Publish (xuất bản) dữ liệu lên broker, sau đó dữ liệu được chuyển đến Server/App trong khoảng 50ms.
- Tương tác người dùng và Điều khiển (Downstream)
 - Người dùng thực hiện hành động "User turn PUMP ON" trên App.
 - Server gửi một tin nhắn MQTT với nội dung CMD: PUMP_ON.
 - MQTT Broker gửi một tín hiệu Callback về cho Task Sensor trên ESP32.
 - Task Sensor thực hiện lệnh digitalWrite(HIGH) gửi đến Relay Bơm.
 - Relay Bơm phản hồi trạng thái bằng cách thực hiện hành động "Turn on pump".
 - Sau khi bật thành công, Task Sensor gửi một gói tin xác nhận (Ack "Status: ON") ngược lại phía MQTT để cập nhật lên Server.
- Kết thúc chu kỳ ($T \approx 3.5s$)
 - Quá trình tải ảnh lên (HTTP) hoàn tất (Upload Complete).
 - Server phản hồi mã trạng thái 200 OK cho tác vụ Camera.
 - Toàn bộ chu kỳ kết thúc tại mốc xấp xỉ 3.5 giây.

5.9.2.c Timing Diagram



Hình 17: Timing Diagram for sensor processing and control tasks



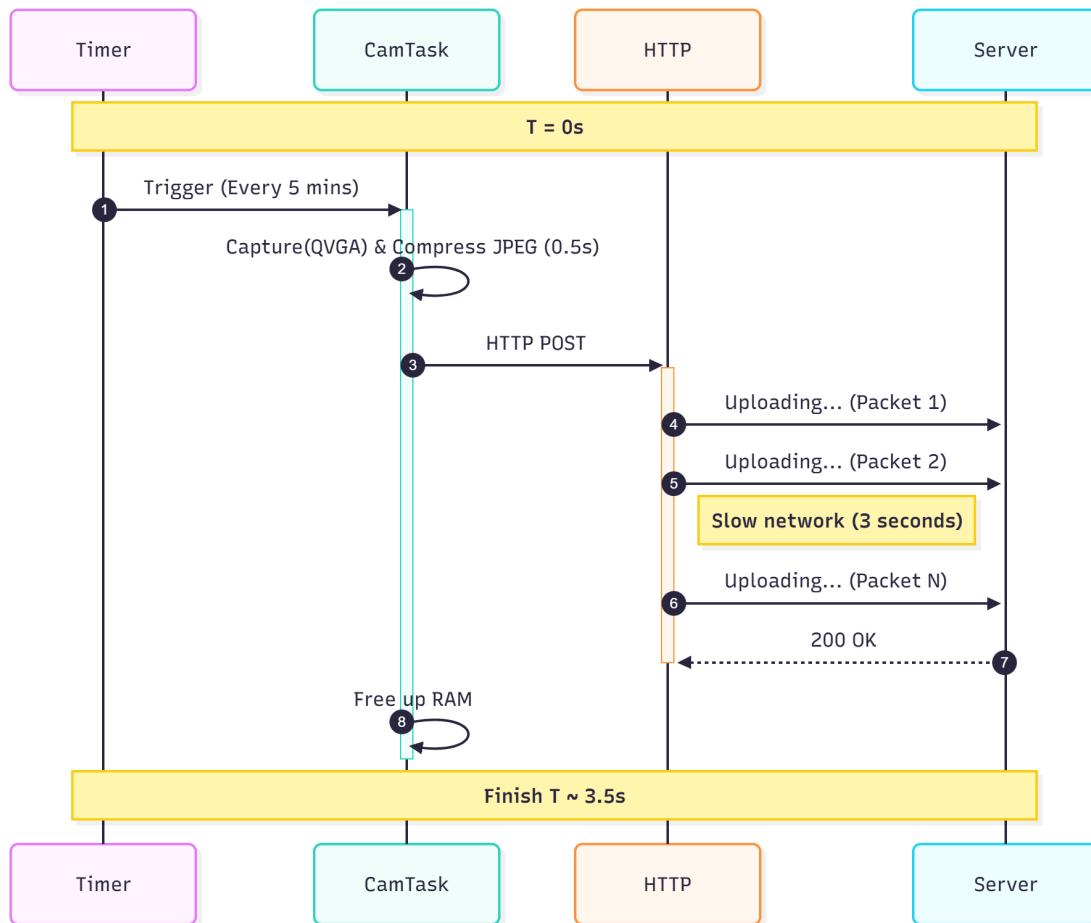
Các thành phần tham gia:

- **System Timer:** Bộ định thời kích hoạt vòng lặp Monitoring.
- **App:** Giao diện người dùng trên điện thoại hoặc máy tính.
- **MQTT:** Broker đóng vai trò trung gian truyền tin.
- **Task 1 (Core 1):** Tác vụ xử lý chính chạy trên lõi 1 của vi điều khiển.
- **Sensors:** Các cảm biến vật lý (DHT20 cho nhiệt độ/độ ẩm và Soil cho độ ẩm đất).
- **Relay/Bơm/Quạt:** Các thiết bị chấp hành.

Chi tiết quy trình:

- PHASE 1: Monitoring (Giám sát - Chu kỳ 5 giây)
 - **Kích hoạt:** System Timer gửi tín hiệu Trigger Loop sau mỗi 5000ms (5 giây).
 - **Đọc dữ liệu:** Task 1 thực hiện đọc liên tiếp hai loại cảm biến: DHT20 và Soil (cảm biến đất).
 - **Xử lý dữ liệu:** Sau khi nhận giá trị (return value), hệ thống chạy bước SensorValidator. Đây là điểm quan trọng để kiểm tra dữ liệu có bị lỗi (NULL hoặc giá trị ảo) hay không trước khi gửi đi.
 - **Truyền tin:** Dữ liệu sau khi kiểm tra được đóng gói thành định dạng JSON (ví dụ: "temp":32, "soil":40...) và Publish lên MQTT.
 - **Cập nhật:** MQTT chuyển dữ liệu này tới App để người dùng theo dõi thời gian thực.
- PHASE 2: Controlling (Điều khiển - Theo sự kiện)
 - **Lệnh từ người dùng:** Từ App, người dùng nhấn nút bật bơm, gửi lệnh "PUMP: ON" tới MQTT.
 - **Nhận lệnh:** MQTT chuyển gói tin này tới ESP32.
 - **Cơ chế Callback:** Tại Task 1, hàm client.loop() liên tục kiểm tra tín hiệu đến. Khi thấy tín hiệu, nó kích hoạt hàm Callback.
 - **Thực thi vật lý:** Task 1 thực hiện lệnh digitalWrite(PIN_PUMP, HIGH) để đóng Relay, kích hoạt bơm.
 - **Xác nhận (Feedback Loop):**
 - * Sau khi Relay phản hồi "Done", Task 1 gửi ngược lại MQTT một bản tin Publish "Status: ON".
 - * MQTT cập nhật trạng thái này lên App để hiển thị nút bấm đã chuyển sang màu xanh (hoặc trạng thái ON).

Figure 2: Camera Process Cycle



Hình 18: Timing Diagram for camera task

Các thành phần tham gia:

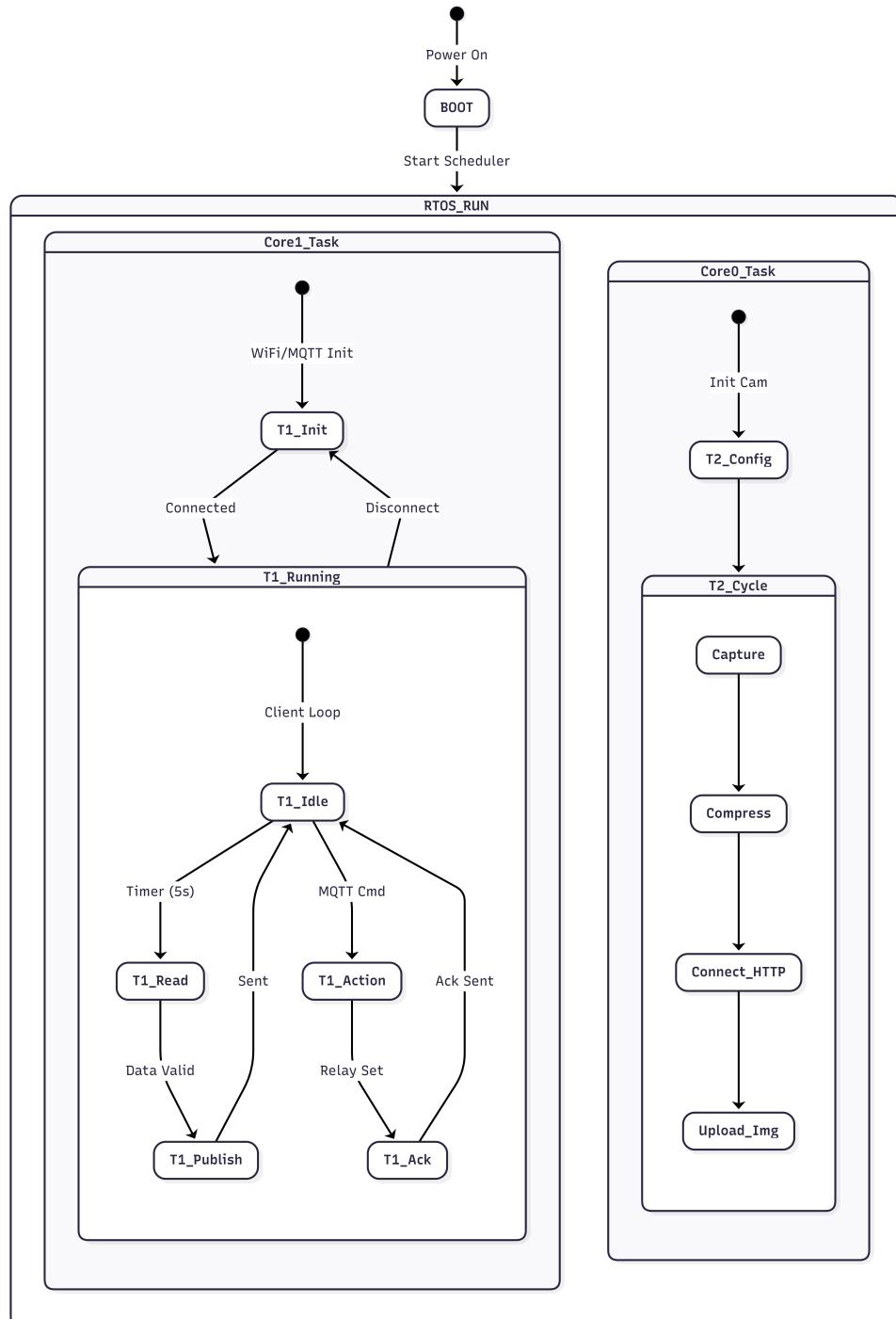
- **Timer:** Bộ định thời, đóng vai trò kích hoạt sự kiện theo chu kỳ.
- **CamTask:** Tác vụ xử lý camera (chụp ảnh, nén dữ liệu).
- **HTTP:** Giao thức/Thành phần đảm nhận việc truyền tải dữ liệu qua mạng.
- **Server:** Máy chủ từ xa tiếp nhận và lưu trữ hình ảnh.

Chi tiết quy trình xảy ra trong một chu kỳ mỗi 3500ms:

- **Trigger (Every 5 mins):** Cứ mỗi 5 phút, Timer gửi một tín hiệu kích hoạt cho CamTask. Đây là cơ chế tiết kiệm năng lượng, thay vì chạy liên tục, thiết bị chỉ thức dậy để làm việc rồi có thể nghỉ (Deep Sleep).
- **Capture (QVGA) & Compress JPEG (0.5s):** CamTask thực hiện chụp ảnh ở độ phân giải QVGA (320×240 pixel) và nén sang định dạng JPEG. Quá trình này tiêu tốn 0.5s.
- **HTTP POST:** Sau khi có file ảnh đã nén, CamTask chuyển dữ liệu cho thành phần HTTP để chuẩn bị gửi đi bằng phương thức POST.
- **Uploading... (Packet 1):** Dữ liệu ảnh được chia nhỏ thành nhiều gói tin (Packets) để gửi đi. Gói tin đầu tiên được gửi tới Server.
- **Slow network (3 seconds):** Đây là điểm đáng chú ý nhất. Sơ đồ giả định một tình huống mạng chậm. Việc gửi các gói tin (từ Packet 2 đến Packet N) kéo dài tới 3 giây.

- **Uploading... (Packet N):** Gói tin cuối cùng được gửi hoàn tất.
- **200 OK:** Sau khi nhận đủ các gói tin và xử lý xong, Server phản hồi mã trạng thái 200 OK, xác nhận việc tải ảnh lên đã thành công.
- **Free up RAM:** Sau khi nhận xác nhận từ server, CamTask thực hiện giải phóng bộ nhớ (RAM) đã dùng để chứa bức ảnh. Đây là bước cực kỳ quan trọng trong lập trình nhúng (như ESP32) để tránh lỗi tràn bộ nhớ (Memory Leak).

5.9.2.d State Machine Diagram



Hình 19: State Machine Diagram



5.10 Cách đánh giá giải pháp

Để đảm bảo tính khoa học và thực tiễn của đề tài, nhóm nghiên cứu đề xuất phương pháp đánh giá hệ thống dựa trên 3 trụ cột chính: Hiệu năng hệ thống (System Performance), Độ chính xác của thuật toán (Algorithmic Accuracy) và Trải nghiệm người dùng (User Experience).

5.10.1 Đánh giá Hiệu năng Hệ thống (Performance Evaluation)

Phần này tập trung vào khả năng chịu tải và độ ổn định của hạ tầng IoT (RabbitMQ, NestJS, TimescaleDB). Nhóm sẽ sử dụng các công cụ kiểm thử tự động (như JMeter hoặc Script mô phỏng) để giả lập tải.

- Kích bản thử nghiệm:** Giả lập 50 thiết bị ảo gửi dữ liệu liên tục với tần suất 5 giây/gói tin trong thời gian 60 phút.
- Các chỉ số đo lường (Metrics):**
 - Throughput (Thông lượng):* Số lượng bản tin xử lý được trên giây (msg/s).
 - End-to-End Latency:* Thời gian trễ từ khi thiết bị gửi dữ liệu đến khi hiển thị trên Dashboard (Mục tiêu: < 5 giây).
 - Resource Usage:* Mức tiêu thụ CPU và RAM của Server (Docker Containers) khi chịu tải đỉnh.
 - Packet Loss Rate:* Tỷ lệ gói tin bị mất tại Message Broker.

5.10.2 Đánh giá Hiệu quả Thuật toán Phát hiện lỗi (Algorithmic Evaluation)

Đối với module *Sensor Fault Detection*, nhóm sẽ đánh giá dựa trên phương pháp "Tiêm lỗi" (Fault Injection) - chủ động tạo ra các dữ liệu sai lệch để kiểm tra khả năng phát hiện của hệ thống.

Bảng 7: Các kịch bản đánh giá thuật toán phát hiện lỗi

STT	Loại lỗi giả lập	Tiêu chí Đạt (Pass Criteria)
1	Mất kết nối (Hard Fault): Ngắt nguồn thiết bị đột ngột.	Hệ thống cập nhật trạng thái "Offline" và gửi cảnh báo trong vòng 3 chu kỳ gửi tin (khoảng 15s).
2	Dữ liệu bất thường (Outlier): Gửi giá trị nhiệt độ đột biến (ví dụ: 100°C).	Hệ thống phát hiện giá trị vượt ngưỡng (Threshold) và ghi nhận cảnh báo.
3	Dữ liệu đóng băng (Stuck): Gửi liên tục một giá trị không đổi trong 30 phút.	Hệ thống phát hiện phương sai (Variance) bằng 0 và cảnh báo lỗi cảm biến bị kẹt.

5.10.3 Đánh giá Trải nghiệm và Chức năng (Functional & UX Evaluation)

Đánh giá mức độ hoàn thiện của sản phẩm đối với người dùng cuối (System Admin/Thương lái) thông qua kiểm thử chấp nhận (UAT - User Acceptance Testing).

- Phương pháp:** Thực hiện danh sách kiểm tra (Checklist) các chức năng nghiệp vụ cốt lõi trên giao diện Web Admin.
- Các chỉ số đánh giá:**
 - Tỷ lệ hoàn thành tác vụ (Task Completion Rate):* Người dùng có thực hiện được các thao tác (Thêm Farm, Gán thiết bị, Xem báo cáo) mà không gặp lỗi không?
 - Thời gian phản hồi giao diện (UI Response Time):* Các thao tác chuyển trang, load dữ liệu lịch sử phải hoàn tất dưới 2 giây.
 - Tính trực quan:* Biểu đồ dữ liệu và các cảnh báo lỗi có dễ hiểu và dễ nhận biết hay không.



6 Kế hoạch thực hiện

6.1 Mục tiêu theo từng giai đoạn

6.1.0.a Firmware

- **Giai đoạn 1:** Nghiên cứu và Chuẩn bị (Tuần 1 - Tuần 4)
 - Nghiên cứu lý thuyết về kiến trúc ESP32 (Dual-core), giao thức Camera DVP, MQTT và FreeRTOS.
 - Lựa chọn và mua sắm linh kiện phần cứng (ESP32-S3/Wrover, OV2640, DHT20, Relay, cảm biến đất).
 - Thiết kế sơ đồ nguyên lý và lắp ráp mạch thử nghiệm trên Breadboard.(Bên thứ 3 hỗ trợ)
- **Giai đoạn 2:** Phát triển và Tích hợp hệ thống (Tuần 5 - Tuần 11)
 - Phần cứng: Hoàn thiện mạch in (PCB) hoặc mạch hàn thủ công chắc chắn.(Bên thứ 3 hỗ trợ)
 - Firmware: Viết chương trình điều khiển trung tâm sử dụng FreeRTOS. Tách tác vụ xử lý ảnh (Core 0) và tác vụ điều khiển/kết nối (Core 1).
 - Kết nối: Xây dựng giao thức truyền nhận JSON qua MQTT và HTTP Streaming.
- **Giai đoạn 3:** Kiểm thử, Tối ưu và Viết báo cáo (Tuần 12 - Tuần 15)
 - Chạy thử nghiệm hệ thống trong môi trường thực tế (vườn mô phỏng).
 - Đo đặc thông số: Độ trễ (latency), độ ổn định WiFi, nhiệt độ chip.
 - Viết báo cáo thuyết minh và chuẩn bị slide bảo vệ.

6.1.0.b Software

- **Giai đoạn 1:** Khởi tạo nền tảng và Cơ sở dữ liệu (Tuần 1 - Tuần 4)
 - Thiết lập môi trường phát triển (Docker, Git).
 - Xây dựng cấu trúc Database: Quan hệ (PostgreSQL) cho quản lý User/Farm và Chuỗi thời gian (TimescaleDB) cho dữ liệu cảm biến.
 - Xây dựng module xác thực (Authentication) và phân quyền (RBAC) làm nền tảng bảo mật.
- **Giai đoạn 2:** Phát triển Backend Core và Tích hợp IoT (Tuần 5 - Tuần 9)
 - Phát triển các API quản lý nghiệp vụ (Farm, Device Management).
 - Xây dựng IoT Data Processor: Dịch vụ tiêu thụ dữ liệu từ RabbitMQ, xử lý Validate Schema (JSON) và lưu trữ vào TimescaleDB.
 - Triển khai cơ chế cảnh báo thời gian thực (Real-time Alert).
- **Giai đoạn 3:** Phát triển Frontend và Dashboard (Tuần 10 - Tuần 13)
 - Xây dựng giao diện người dùng (Web Admin).
 - Trực quan hóa dữ liệu: Biểu đồ nhiệt độ/độ ẩm, thống kê trạng thái thiết bị.
 - Tích hợp module Báo cáo (Report) và Xử lý sự cố (Troubleshoot).
- **Giai đoạn 4:** Kiểm thử, Tối ưu và Triển khai (Tuần 14 - Tuần 15)
 - Kiểm thử tải (Load Testing) với hàng nghìn request giả lập.
 - Tối ưu truy vấn Database (Indexing, Compression).
 - Đóng gói (Containerization) và viết tài liệu hướng dẫn sử dụng.



6.2 Lịch trình và mốc thời gian

6.2.0.a Firmware

Bảng 8: Bảng phân bổ lịch trình thực hiện đồ án 15 tuần

Tuần	Công việc chi tiết	Kết quả bàn giao
1-2	<ul style="list-style-type: none">Nghiên cứu Datasheet ESP32, OV2640.Tìm hiểu thư viện ArduinoJson, PubSubClient.Dặt mua linh kiện phần cứng (Bên thứ 3 hỗ trợ).	<ul style="list-style-type: none">Chương 1 (Cơ sở lý thuyết).Danh sách linh kiện đầy đủ.
3	<ul style="list-style-type: none">Thiết kế sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý (Schematic) (Bên thứ 3 hỗ trợ).Kiểm tra hoạt động riêng lẻ của module cảm biến, Relay.	<ul style="list-style-type: none">Bản vẽ sơ đồ nguyên lý.Code kiểm thử đơn giản.
4	<ul style="list-style-type: none">Lắp ráp phần cứng hoàn chỉnh (trên mạch in hoặc đục lỗ) (Bên thứ 3 hỗ trợ).Kiểm tra nguồn, đo đặc chống nhiễu (Bên thứ 3 hỗ trợ).	<ul style="list-style-type: none">Mô hình phần cứng thô.Chương 2 (Thiết kế phần cứng).
5-6	<ul style="list-style-type: none">Cấu hình FreeRTOS: Tạo Task, Queue, Semaphore.Lập trình đọc cảm biến (DHT, Đất) và điều khiển Relay.	<ul style="list-style-type: none">Code khung sườn.Dữ liệu hiển thị trên Serial Monitor.
7-8	<ul style="list-style-type: none">Xử lý Camera: Cấu hình giao thức DVP, lấy dữ liệu ảnh JPEG.Lập trình Web Server để stream ảnh qua HTTP.	<ul style="list-style-type: none">Hình ảnh hiển thị trên trình duyệt.Frame rate đạt mức ổn định (>10fps).
9	<ul style="list-style-type: none">Kết nối IoT: Lập trình giao thức MQTT.Đóng gói dữ liệu dạng JSON.	<ul style="list-style-type: none">Gửi thành công JSON lên Broker.Nhận lệnh điều khiển từ xa.
10-11	<ul style="list-style-type: none">Tích hợp hệ thống: Ghép module Camera + Cảm biến + MQTT.Xử lý xung đột tài nguyên giữa 2 nhân (Core 0/1).	<ul style="list-style-type: none">Firmware hoàn chỉnh v1.0.0.Chương 3 (Thiết kế phần mềm).
12	<ul style="list-style-type: none">Chạy thử nghiệm hệ thống liên tục (Stress test).Tinh chỉnh ngưỡng cảm biến, tối ưu bộ nhớ.	<ul style="list-style-type: none">Số liệu thực nghiệm.Bảng đánh giá độ ổn định.
13	<ul style="list-style-type: none">Tổng hợp số liệu, vẽ biểu đồ kết quả.	<ul style="list-style-type: none">Chương 4 (Kết quả thực nghiệm).
14	<ul style="list-style-type: none">Hoàn thiện toàn bộ báo cáo thuyết minh.Chỉnh sửa định dạng, trích dẫn tài liệu tham khảo.	<ul style="list-style-type: none">Bản thảo báo cáo hoàn chỉnh.
15	<ul style="list-style-type: none">Soạn thảo Slide thuyết trình.Quay video demo và luyện tập bảo vệ.	<ul style="list-style-type: none">Slide Powerpoint.Video Demo sản phẩm.



6.2.0.b Software

Tuần	Công việc chi tiết	Kết quả bàn giao
1-2	Khởi tạo nền tảng: - Thiết kế ERD vật lý cho PostgreSQL và TimescaleDB. - Cài đặt Docker (Postgres, RabbitMQ). - Khởi tạo cấu trúc dự án NestJS (Monorepo).	- File docker-compose.yml. - Script khởi tạo Database.
3-4	Quản lý người dùng (Auth): - Phát triển API Đăng ký, Đăng nhập (JWT). - Xây dựng cơ chế phân quyền RBAC (Admin/User).	- API Documentation (Swagger). - Sơ đồ phân quyền hoạt động.
5-6	Quản lý Farm & Device: - API CRUD Nông trại, Khu vực. - API Đăng ký thiết bị và gán vào Farm.	- Các API quản lý chính hoàn thiện. - Dữ liệu lưu trữ thành công vào Postgres.
7-8	Tích hợp IoT (Core): - Cấu hình RabbitMQ Consumer trong NestJS. - Xử lý Validate JSON Schema đầu vào. - Lưu trữ dữ liệu cảm biến vào TimescaleDB.	- Dữ liệu từ Queue được lưu vào bảng Hypertable. - Log được các gói tin lõi định dạng.
9	Cảnh báo thời gian thực: - Xây dựng logic so sánh ngưỡng (Threshold). - Tích hợp Socket.io để đẩy thông báo lên Web.	- Cảnh báo hiển thị ngay lập tức khi vượt ngưỡng.
10	Frontend - Cơ bản: - Dụng khung Web Admin (React). - Giao diện Login, Quản lý Farm/Device.	- Giao diện quản lý cơ bản hoạt động.
11-12	Frontend - Nâng cao: - Vẽ biểu đồ (Charts) nhiệt độ/độ ẩm. - Trang Troubleshoot và Xuất báo cáo.	- Dashboard hiển thị trực quan. - Chức năng Export PDF/Excel.
13	Tích hợp hệ thống: - Ghép nối ESP32 (thực/ảo) - Backend - Web. - Kiểm thử luồng dữ liệu E2E.	- Hệ thống hoạt động thông suốt từ cảm biến lên Web.
14	Tối ưu hóa: - Indexing và Materialized Views cho DB. - Cấu hình nén dữ liệu TimescaleDB.	- Báo cáo hiệu năng hệ thống (Response time).
15	Đóng gói & Báo cáo: - Deploy lên Server thực tế. - Viết tài liệu hướng dẫn sử dụng.	- Link Demo sản phẩm. - Slide thuyết trình.



6.3 Rủi ro và phương án giảm thiểu

6.3.0.a Firmware

Bảng 10: Bảng phân tích rủi ro và phương án giảm thiểu

STT	Rủi ro (Risk)	Mức độ	Phương án giảm thiểu
1	Hỏng hóc phần cứng: Cháy ESP32 hoặc Camera do đấu sai nguồn/ngắn mạch.	Cao	<ul style="list-style-type: none">Mua dự phòng 01 bộ linh kiện.Kiểm tra kỹ mạch bằng VOM trước khi cấp nguồn.
2	Độ trễ truyền ảnh cao: Video bị giật, lag khi mạng WiFi yếu.	Trung bình	<ul style="list-style-type: none">Tách luồng gửi ảnh sang Core 0 độc lập.
3	Chậm tiến độ: Do vướng mắc thuật toán phức tạp.	Thấp	<ul style="list-style-type: none">Ưu tiên xử lý phần Camera trước (phần khó nhất).Tham khảo cộng đồng Open Source ESP32.

6.3.0.b Software

Bảng 11: Phân tích rủi ro phần mềm và phương án xử lý

STT	Rủi ro (Risk)	Mức độ	Phương án giảm thiểu
1	Nghẽn cổ chai Database: Khi hàng trăm thiết bị gửi dữ liệu cùng lúc, việc Insert từng dòng gây quá tải.	Cao	<ul style="list-style-type: none">Sử dụng kỹ thuật Batch Insert (gom 100-500 bản ghi/lần).Tận dụng kiến trúc Hypertables của TimescaleDB để phân mảnh dữ liệu.
2	Mất toàn vẹn dữ liệu (Data Inconsistency): Lỗi xảy ra giữa chừng khi tạo Nông trại và gán Thiết bị.	Cao	<ul style="list-style-type: none">Sử dụng Database Transaction (ACID) để đảm bảo "All or Nothing".Cơ chế Rollback tự động khi có lỗi.
3	Gián đoạn thời gian thực: Kết nối WebSocket bị ngắt khiến Dashboard không cập nhật số liệu.	Trung bình	<ul style="list-style-type: none">Cơ chế Heartbeat (Ping/Pong) để phát hiện mất kết nối.Tự động kết nối lại (Auto-reconnect) ở phía Frontend React.
4	Mất dữ liệu tại Broker: RabbitMQ bị đầy hàng đợi (Queue overflow) nếu Backend xử lý chậm.	Trung bình	<ul style="list-style-type: none">Cấu hình Message Acknowledgment (chỉ xóa tin khi đã xử lý xong).Tăng số lượng Worker (Consumer) trong NestJS để xử lý song song.
5	Dữ liệu rác (Invalid Schema): Thiết bị gửi sai định dạng JSON làm lỗi parser hệ thống.	Cao	<ul style="list-style-type: none">Triển khai lớp Validation (DTO) chặt chẽ tại đầu vào (Gateway).Ghi log gói tin lỗi ra bảng riêng (Dead Letter Queue) để debug.
6	Sự cố Vận hành (Deployment): Docker Container bị crash do lỗi bộ nhớ hoặc lỗi runtime.	Cao	<ul style="list-style-type: none">Cấu hình Docker Restart Policy (<code>restart: always</code>).Thiết lập Health Check định kỳ cho các service.



7 Kết luận

7.1 Tóm tắt vấn đề và hướng tiếp cận

Dề tài "Hệ thống quản lý nông trại thông minh" được phát triển nhằm giải quyết bài toán thực tế về sự phân mảnh trong quản lý chuỗi nông trại của các thương lái và nhà đầu tư nông nghiệp. Hướng tiếp cận chủ đạo của nhóm là xây dựng một nền tảng quản lý tập trung (All-in-one), tích hợp khả năng giám sát dữ liệu thời gian thực từ thiết bị đa nguồn, đồng thời đơn giản hóa trải nghiệm vận hành cho đối tượng người dùng không chuyên về kỹ thuật.

7.2 Công việc đã hoàn thành trong giai đoạn Đồ án Chuyên ngành

Trong khuôn khổ giai đoạn thiết kế, nhóm đã hoàn thành các nhiệm vụ nền tảng sau:

- Khảo sát và Phân tích:** Đã thực hiện khảo sát các giải pháp hiện có, từ đó xác định rõ yêu cầu bài toán gồm các chức năng quản lý cốt lõi và các ràng buộc phi chức năng về hiệu năng, độ trễ.
- Thiết kế Kiến trúc tổng thể:** Đã đề xuất mô hình kiến trúc phân lớp (Layered Architecture) hoàn chỉnh, kết hợp sức mạnh của **NestJS** (Backend), **RabbitMQ** (Message Queuing) và **TimescaleDB** (Time-series Data). Đây là nền tảng vững chắc để đảm bảo khả năng mở rộng (Scalability) và tính ổn định khi số lượng thiết bị gia tăng.
- Thiết kế Chi tiết Module IoT:** Đã hoàn thiện thiết kế Firmware trên **ESP32** với cơ chế đa luồng (FreeRTOS) và phân tích kỹ lưỡng các rủi ro phần cứng (tràn bộ nhớ, nhiễu tín hiệu) cùng phương án giảm thiểu.
- Lập kế hoạch hiện thực:** Đã xây dựng lộ trình chi tiết cho giai đoạn Đồ án Tốt nghiệp, bao gồm các mốc thời gian kiểm thử và triển khai cụ thể cho từng thành viên.

7.3 Định hướng thực hiện Đồ án Tốt nghiệp

Giai đoạn tiếp theo sẽ tập trung vào việc hiện thực hóa bản thiết kế thành sản phẩm chạy thực tế:

1. Hiện thực hóa Firmware & Phần cứng:

- Lập trình Firmware ESP32 sử dụng FreeRTOS, tích hợp đọc dữ liệu song song từ đa cảm biến (DHT20, độ ẩm đất) và Camera OV2640.
- Cài đặt và tinh chỉnh thuật toán phát hiện lỗi cảm biến (sử dụng phương pháp thống kê hoặc RFE) để tự động nhận diện các bất thường như trôi số liệu (Drift) hoặc mất tín hiệu.
- Tối ưu hóa giao thức MQTT để giảm thiểu độ trễ truyền tin.

2. Xây dựng Hệ thống Backend & Frontend:

- Phát triển bộ RESTful API và các Worker xử lý dữ liệu IoT chuyên biệt thông qua RabbitMQ.
- Xây dựng Web Dashboard với ReactJS, tập trung vào tính năng trực quan hóa dữ liệu và hệ thống cảnh báo thời gian thực (Real-time Alerting).

3. Kiểm thử và Tối ưu hóa:

- Thực hiện Load Testing với mạng lưới thiết bị mô phỏng quy mô vừa và lớn để đánh giá giới hạn chịu tải của hệ thống.
- Triển khai hệ thống tại mô hình thực nghiệm (Pilot Test) để thu thập dữ liệu thật, từ đó đánh giá độ chính xác của thuật toán phát hiện lỗi và độ ổn định của phần cứng.

4. Các chỉ số kỹ thuật mục tiêu (Target Performance Metrics):

Dể đảm bảo tính định lượng cho việc đánh giá kết quả vào cuối kỳ, nhóm thiết lập các chỉ số KPI mục tiêu như sau:



Tiêu chí	Mô tả	Mục tiêu (Target)
Độ trễ (Latency)	Thời gian từ khi thiết bị gửi dữ liệu đến khi hiển thị trên Dashboard.	< 3 giây (với mạng 4G/WiFi tiêu chuẩn).
Khả năng chịu tải	Số lượng thiết bị gửi dữ liệu đồng thời mà không gây mất gói tin.	50 thiết bị (giả lập) với tần suất 5 giây/gói tin.
Độ chính xác AI	Tỷ lệ phát hiện đúng các lỗi cảm biến cơ bản (mất nguồn, gai dữ liệu).	> 85% trên tập dữ liệu kiểm thử.
Tốc độ phản hồi Web	Thời gian tải trang và hiển thị biểu đồ lịch sử.	< 2 giây (cho truy vấn 7 ngày gần nhất).
Độ ổn định	Thời gian hoạt động liên tục không lỗi (Up-time) trong môi trường thử nghiệm.	99% (trong 48 giờ chạy test liên tục).

7.4 Bài học kinh nghiệm và Góc nhìn phản tư

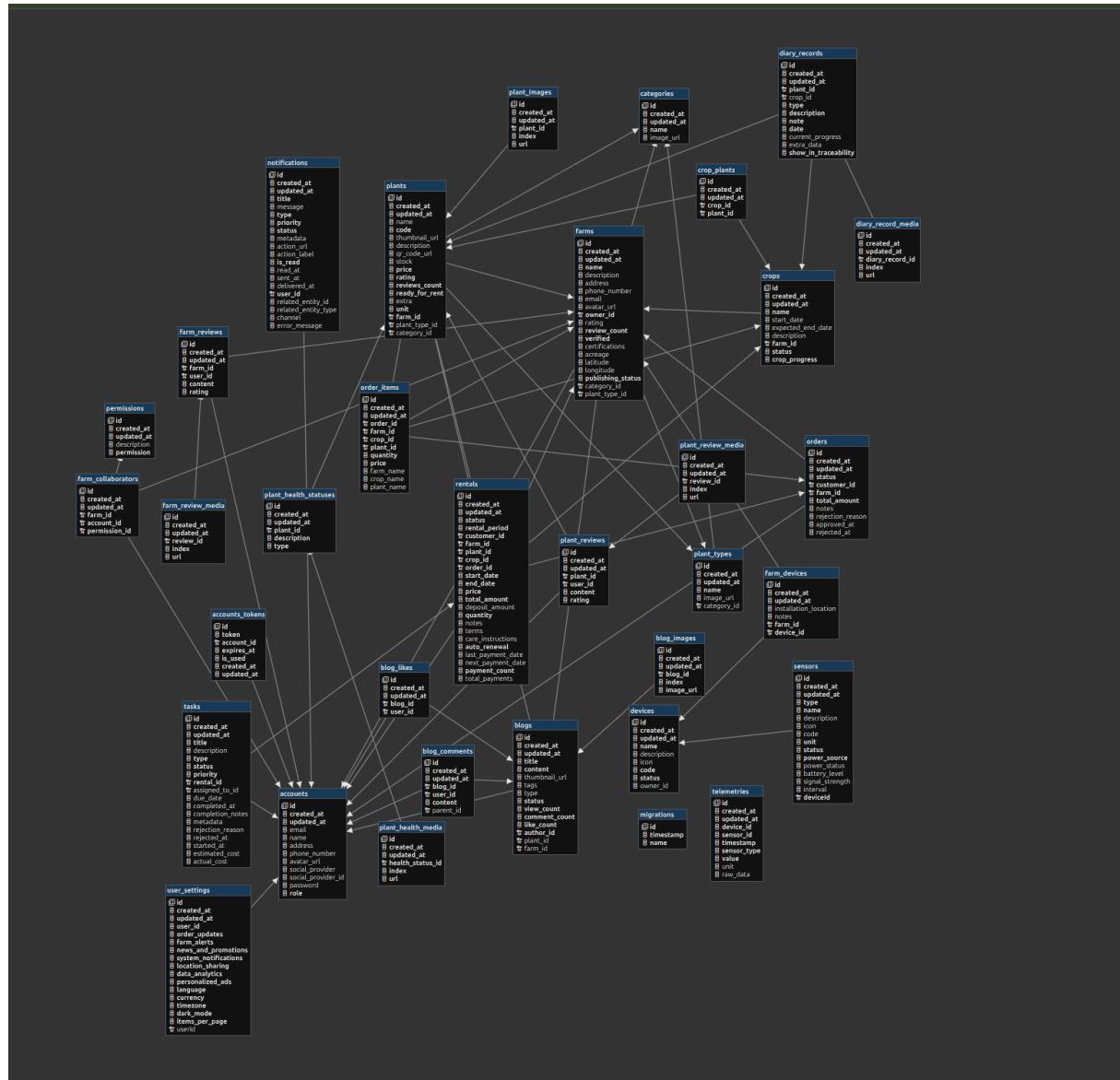
Qua quá trình nghiên cứu, nhóm nhận thức sâu sắc rằng thách thức lớn nhất của dự án IoT không chỉ nằm ở việc lập trình, mà ở việc **thiết kế kiến trúc hệ thống** sao cho linh hoạt và chịu lỗi tốt ngay từ đầu.

Nhóm đã rút ra bài học quan trọng về việc sử dụng cơ chế hàng đợi (Message Queue) để tách rời các thành phần hệ thống (Decoupling), giúp tránh nghẽn cổ chai khi lưu lượng dữ liệu tăng cao. Ngoài ra, việc phân tích rủi ro phần cứng ngay từ giai đoạn thiết kế sẽ giúp giảm thiểu đáng kể thời gian Debug và chi phí phát sinh khi triển khai thực tế.

Dự án này là bước đệm quan trọng, không chỉ mang giá trị học thuật mà còn hướng tới một sản phẩm có tính ứng dụng cao, góp phần giải quyết bài toán chuyển đổi số trong nông nghiệp một cách thiết thực.

A Sơ đồ Cơ sở dữ liệu vật lý (Physical ERD)

Hình dưới đây mô tả chi tiết toàn bộ lược đồ cơ sở dữ liệu của hệ thống, bao gồm các bảng, các trường dữ liệu, kiểu dữ liệu và mối quan hệ giữa chúng.



Hình 20: Sơ đồ thực thể quan hệ chi tiết (Physical Data Model)

B Danh sách các API chính (API Specifications)

Phần này cung cấp tài liệu kỹ thuật chi tiết về các API Endpoint đã được thiết kế cho hệ thống Backend, được trích xuất trực tiếp từ giao diện Swagger UI.

Các hình ảnh dưới đây mô tả rõ ràng phương thức HTTP (GET, POST, PUT, PATCH, DELETE), đường dẫn (URI) và mô tả chức năng ngắn gọn cho từng Endpoint thuộc hai module quan trọng nhất là Quản lý Nông trại (Farms) và Quản lý Thiết bị (Devices).



The screenshot shows the 'Farms' endpoint documentation. It lists various API operations:

- GET /api/v1/farms/{id}/plants
- POST /api/v1/farms/{id}/plants
- PATCH /api/v1/farms/{id}/plants/{plant_id}
- GET /api/v1/farms/{id}/plants/{plant_id}
- GET /api/v1/farms/{id}
- PATCH /api/v1/farms/{id}
- DELETE /api/v1/farms/{id}
- GET /api/v1/farms/{id}/devices
- GET /api/v1/farms
- POST /api/v1/farms
- POST /api/v1/farms/{id}/certifications
- GET /api/v1/farms/{id}/plants/{plant_id}/diaries
- POST /api/v1/farms/{id}/plants/{plant_id}/diaries
- POST /api/v1/farms/{id}/reviews

Hình 21: Đặc tả API Module Quản lý Nông trại (Farms Endpoint) [Nguồn: Swagger UI Hệ thống]

The screenshot shows the 'Devices' endpoint documentation. It lists various API operations:

- PUT /api/v1/notifications/{id}/status
- Devices
 - GET /api/v1/devices
 - POST /api/v1/devices
 - GET /api/v1/devices/{id}
 - PATCH /api/v1/devices/{id}
 - PUT /api/v1/devices/{id}
 - DELETE /api/v1/devices/{id}
 - POST /api/v1/devices/assign-to-farm
 - DELETE /api/v1/devices/{deviceId}/farms/{farmId}
 - GET /api/v1/devices/admin/all
 - GET /api/v1/devices/admin/{id}
 - PATCH /api/v1/devices/admin/{id}
 - PUT /api/v1/devices/admin/{id}
 - DELETE /api/v1/devices/admin/{id}
 - POST /api/v1/devices/admin

Hình 22: Đặc tả API Module Quản lý Thiết bị (Devices Endpoint) [Nguồn: Swagger UI Hệ thống]

Nhìn vào các hình trên, có thể thấy hệ thống đã thiết kế đầy đủ các thao tác CRUD (Tạo, Đọc, Cập nhật, Xóa) cho Nông trại và Thiết bị, cũng như các API nghiệp vụ đặc thù như gán thiết bị vào nông trại ('/assign-to-farm') hay lấy lịch sử dữ liệu cảm biến.

C Danh sách linh kiện phần cứng (Bill of Materials)

Bảng liệt kê các linh kiện được sử dụng để xây dựng Node IoT:



Bảng 12: Bill of Materials (BOM)

STT	Tên linh kiện	Thông số kỹ thuật chính	Số lượng
1	ESP32-S3 WROOM	Dual-core 240MHz, WiFi/BLE	01
2	Cảm biến DHT20	Giao tiếp I2C, đo nhiệt độ/độ ẩm	01
3	Camera OV2640	2 Megapixel, giao tiếp DVP	01
4	Cảm biến độ ẩm đất	Capacitive (Điện dung), Analog	01
5	Relay Module	5VDC - 1 kênh, Opto cách ly	02
6	Module quạt	3.3VDC	01
7	Nguồn Adapter	5VDC	01

D Bảng so sánh các giải pháp tham khảo



References

- [1] e. a. Boursianis A. D., ?Smart farming: Internet of Things technologies, challenges and future directions,? *Sensors*, vol. 22, no. 10, p. 3735, 2022.
- [2] M. Noura, M. Atiquzzaman, and M. Gaedke, ?Interoperability in IoT: Challenges and solutions,? In *Proceedings of the International Conference on IoT*, Springer, 2019, pp. 1–6.
- [3] Báo Chính Phủ, ?Thủ tướng: Ngành nông nghiệp phải tăng tốc, bứt phá, xuất khẩu 70 tỷ USD trong năm 2025,? *Cổng Thông tin điện tử Chính phủ*, 2024.
- [4] V. Report, *Báo cáo tăng trưởng và 6 thách thức của nông nghiệp công nghệ cao Việt Nam*, 2024.
- [5] J. Smith and T. Nguyen, ?Intelligent Fault Detection in IoT-Based WSNs for Precision Agriculture Using Machine Learning,? *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 1023–1035, 2025.
- [6] e. a. Stapleton P., ?A review of low-cost precision agriculture: sensors, monitoring and communication systems,? *Journal of Agricultural Science*, vol. 12, no. 3, pp. 55–70, 2023.
- [7] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, ?Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,? *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [8] N. Team, *NestJS Documentation: Introduction and Fundamentals*, 2024.
- [9] Microsoft, *TypeScript: Typed JavaScript at Any Scale*, 2024.
- [10] OASIS, *MQTT Version 5.0 Committee Specification*, 2019.
- [11] e. a. Fielding R., ?Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Message Syntax and Routing,? IETF, Request for Comments 7230, 2014.
- [12] P. G. D. Group, *PostgreSQL 16.0 Documentation*, 2024.
- [13] T. Inc., *TimescaleDB Documentation: Hypertables and Chunking*, Truy cập: 13/12/2025, 2024.
- [14] e. a. Bader A., ?Time Series Databases: New Ways to Store and Access Data,? *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2017.
- [15] E. Systems, *ESP32 Series Datasheet*, 2024.
- [16] N. Semiconductors, *I2C Bus Specification and User Manual*, 2021.
- [17] I. OmniVision Technologies, *OV2640 Camera Module Datasheet*, 2020.
- [18] E. Systems, *ESP32 Technical Reference Manual*, 2016.
- [19] FreeRTOS, *FreeRTOS Scheduler and Scheduling Policies*, 2022.
- [20] E. International, *The JSON Data Interchange Syntax (ECMA-404)*, 2017.
- [21] T. N. M. Duy, *Improving Feature Extraction for Sensor Fault Detection in Low-Power IoT Systems*, 2025.