

ĐỀ TÀI: HỆ THỐNG THÙNG RÁC IOT PHÂN QUYỀN VÀ CẢNH BÁO ĐẦY

Giảng viên hướng dẫn: Kim Ngọc Bách

Nhóm thực hiện: 11 | **Nhóm học phần:** 06

B22DCCN830 - Đinh Công Thịnh

B22DCCN842 - Nguyễn Như Thuật

B22DCCN758 - Nguyễn Anh Tuấn

B22DCCN013 - Đỗ Nhật Anh

Hiện trạng Quản lý Rác thải

✓ Lãng phí Chi phí & Nhân lực

Thu gom theo lịch trình cố định, ngay cả khi thùng rác còn trống, gây tốn kém nhiên liệu và thời gian.

✓ Ô nhiễm Môi trường & Mỹ quan

Thu gom không kịp khi thùng đầy đột xuất, gây tràn, bốc mùi hôi và mất vệ sinh công cộng.

✓ Thiếu Vệ sinh & An toàn

Người dùng phải trực tiếp dùng tay mở nắp thùng rác, tăng nguy cơ lây nhiễm chéo.

✓ Thiếu Dữ liệu Vận hành

Không có dữ liệu thực tế để phân tích, đánh giá và tối ưu hóa lộ trình hay tần suất thu gom.



Thùng rác IoT Thông minh

Xây dựng một hệ thống IoT toàn diện dựa trên 3 đặc điểm chính:

- ✓ **GIÁM SÁT (Monitoring)**
Tích hợp cảm biến siêu âm để đo lường và giám sát mức đầy của thùng rác theo thời gian thực (real-time).
- ✓ **TỰ ĐỘNG HÓA (Automation)**
Tự động hóa việc mở/đóng nắp (Servo) và gửi cảnh báo tự động đến hệ thống khi mức đầy đạt ngưỡng (ví dụ: $\geq 80\%$).
- ✓ **TỐI ƯU HÓA (Optimization)**
Phân quyền truy cập bằng thẻ RFID đối với những thùng rác đặc biệt như thùng rác y tế, thùng đựng pin/chất thải nguy hại cho những người liên quan

Tiêu chí Thành công (KPIs)

< 500

Milliseconds (ms)

Thời gian phản hồi mở nắp sau khi quét thẻ RFID trong điều kiện lý tưởng.

Mục tiêu Kỹ thuật

Đặt ra các tiêu chí đo lường (KPIs) rõ ràng để đánh giá hiệu quả của hệ thống, đảm bảo tính chính xác, độ trễ thấp và độ tin cậy cao.

< 5

Sai số Mức đầy

%

QoS 1

Độ tin cậy MQTT

Lợi ích cho Các bên Liên quan



Người dùng

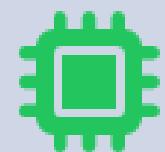
Trải nghiệm đổ rác tiện lợi, nhanh chóng. Đảm bảo vệ sinh, không cần tiếp xúc trực tiếp với nắp thùng, giảm nguy cơ lây nhiễm.



Đơn vị Quản lý

Nhận cảnh báo tức thì ($\geq 80\%$).
Tối ưu hóa lộ trình và tần suất thu gom. Tiết kiệm chi phí vận hành và nhân lực.

Công nghệ Cốt lõi



Phần cứng (Hardware)

ESP32 (Vì điều khiển chính)
HC-SR04 (Cảm biến siêu âm)
RC522 (Đọc thẻ RFID)
Servo SG90 (Động cơ)



Backend & Giao thức

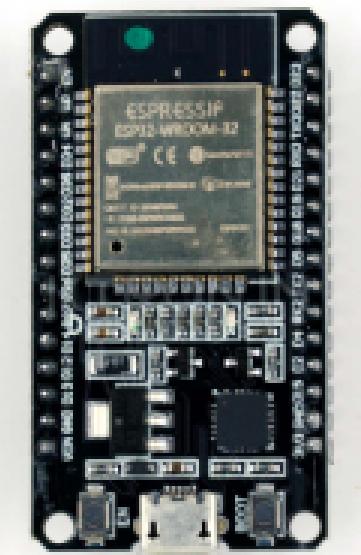
MQTT (Mosquitto Broker)
Node.js (Express)
MySQL (Cơ sở dữ liệu)
Giao tiếp phi đồng bộ



Frontend (Web App)

React.js (Giao diện)
MQTT.js (Kết nối WebSocket)
Recharts (Biểu đồ Real-time)
Giao diện Giám sát

Linh kiện Phần cứng



ESP32 (Vi điều khiển)



HC-SR04 (Cảm biến Siêu âm)



RC522 (Đọc thẻ RFID)



Servo SG90 (Động cơ Nắp)

Giao thức MQTT & Mô hình Pub/Sub

✓ Mô hình Pub/Sub

Sử dụng mô hình Publish/Subscribe (Xuất bản/Đăng ký) phi đồng bộ, giúp các thành phần tách rời nhau.

✓ Broker (Trung gian)

Là trung tâm điều phối tin nhắn (ví dụ: Mosquitto).

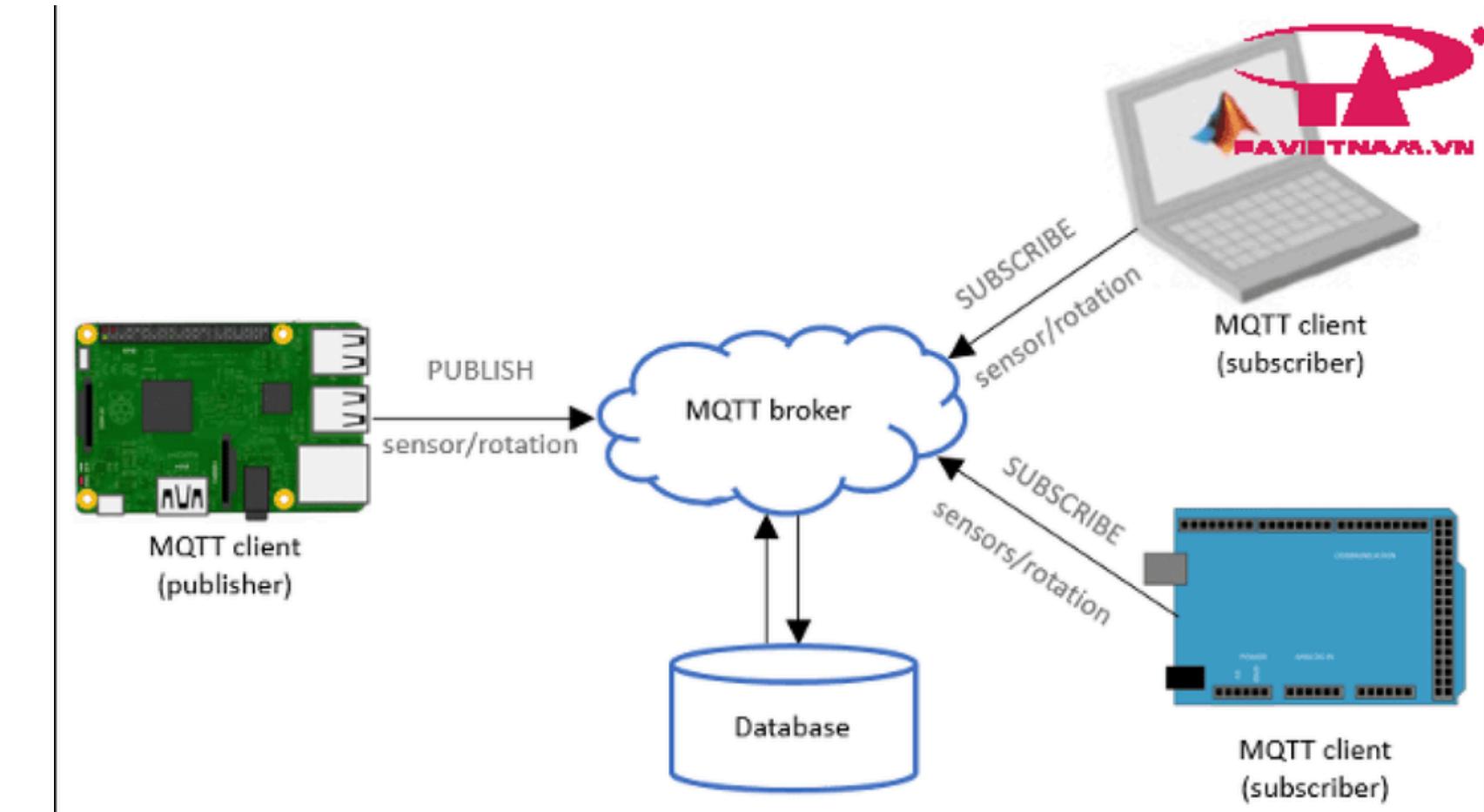
✓ Publisher (Thiết bị)

ESP32 "Publish" (gửi) dữ liệu (mức đầy, UID) lên một "Topic" (chủ đề) cụ thể.

✓ Subscriber (Ứng dụng)

Server và Web Dashboard "Subscribe" (đăng ký) vào "Topic" đó để nhận dữ liệu.

✓ Ưu điểm: Gọn nhẹ (Lightweight), Real-time, Khả năng mở rộng cao, lý tưởng cho IoT.



Nguyên lý Cảm biến & Tính toán

Cảm biến Siêu âm (HC-SR04)

1. Đo khoảng cách (distance) từ nắp thùng đến bề mặt rác bên dưới. Dữ liệu này được dùng để tính toán % mức đầy.

$$\text{FillLevel (\%)} = (1 - \frac{\text{distance}}{\text{bin_height}}) \times 100$$

2. Đo khoảng cách (distance) từ thùng rác đến người ở phía trước

Cảm biến RFID (RC522)

Hoạt động ở tần số 13.56 MHz, dùng để đọc Mã định danh Duy nhất (UID) của thẻ từ.

UID này không được xử lý local mà được gửi ngay lên Server (Backend) để xác thực với CSDL MySQL.

Đây là chìa khóa cho tính năng Phân quyền (RBAC) và kiểm soát truy cập.

Mô hình Phân quyền (Role-Based Access Control)

Phân chia người dùng thành các vai trò (Role) với quyền hạn khác nhau trong CSDL:



Admin (Quản trị viên)

Toàn quyền hệ thống. Giám sát Dashboard, điều khiển từ xa, thêm/xóa/sửa người dùng và thiết bị, cấu hình ngưỡng cảnh báo.



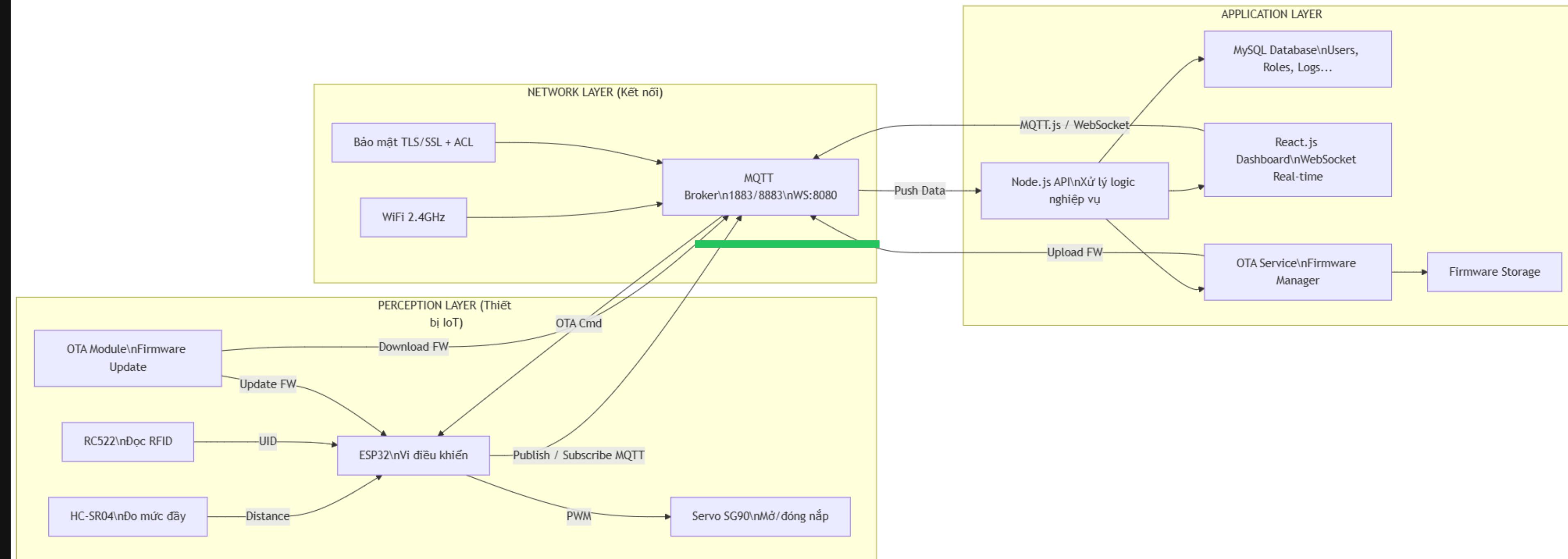
User (Người dùng)

Quyền cơ bản. Chỉ được phép quét thẻ RFID đã đăng ký để mở nắp. Mọi lượt quét (hợp lệ/không hợp lệ) đều được ghi log.

PHÂN TÍCH & THIẾT KẾ



Kiến trúc Hệ thống 3 Lớp



Lớp 1: Perception Layer (Thiết bị)

Chịu trách nhiệm thu thập dữ liệu từ môi trường vật lý và thực thi hành động.

- ✓ **Vi điều khiển:** ESP32 (Bộ não xử lý).
- ✓ **Đầu vào (Input):**
 - HC-SR04 (Đo mức đầy 10s/lần).
 - RC522 (Đọc UID thẻ khi quét).
- ✓ **Đầu ra (Output):**
 - Servo SG90 (Mở nắp $0^\circ \rightarrow 90^\circ$).
 - Tự động đóng nắp sau 5 giây.
- ✓ **Kết nối:** Gửi/Nhận dữ liệu qua MQTT Broker.

Lớp 2: Network Layer (Kết nối)

Là cầu nối truyền tải dữ liệu giữa thiết bị và ứng dụng, sử dụng giao thức MQTT.

- ✓ **MQTT Broker:** Mosquitto (Self-hosted).
- ✓ **Cổng (Port):**
 - 1883 (MQTT mặc định).
 - 8883 (MQTT qua TLS/SSL - Bảo mật).
- ✓ **WebSocket:** Cổng 8080 (Cho phép React.js kết nối real-time).
- ✓ **Bảo mật:** Yêu cầu xác thực Username/Password.
- ✓ **Tin cậy:** Sử dụng cơ chế LWT để cảnh báo Offline.

Lớp 3: Application Layer (Phần mềm)



Node.js Backend

Subscribe tất cả các topic MQTT.
Xử lý logic nghiệp vụ (xác thực
RFID, kiểm tra ngưỡng cảnh báo).
Cung cấp API và ghi Log vào
CSDL.



MySQL Database

Lưu trữ thông tin Users (rfid_uid),
Roles (phân quyền), Devices (vị
trí, trạng thái) và Logs (lịch sử
quét thẻ, cảnh báo).



React.js Frontend

Giao diện Dashboard giám sát.
Kết nối Broker qua WebSocket
(MQTT.js) để hiển thị dữ liệu real-
time. Gửi lệnh điều khiển (cho
Admin).

Thiết kế Cấu trúc Topic MQTT

Topic	Publisher	QoS	Mô tả
smartbin/{id}/level	ESP32	1	Gửi % mức đầy (Quan trọng, đảm bảo)
smartbin/{id}/status	ESP32 (LWT)	0	Gửi trạng thái (Online/Offline)
smartbin/{id}/rfid/scan	ESP32	1	Gửi UID thẻ vừa quét (Quan trọng, đảm bảo)
smartbin/{id}/rfid/response	Server	1	Phản hồi (Valid/Invalid) (Quan trọng, đảm bảo)
smartbin/{id}/command	Server/Web	1	Lệnh điều khiển từ xa (Open/Close)
smartbin/{id}/log	ESP32/Server	0	Ghi log hoạt động (Mở nắp...)

Thiết kế Cơ sở Dữ liệu (MySQL)

Thiết kế CSDL quan hệ để lưu trữ dữ liệu phân quyền và lịch sử.

✓ **tbl_Users**

(user_id, name, rfid_uid, role_id) - Lưu người dùng và mã thẻ RFID.

✓ **tbl_Roles**

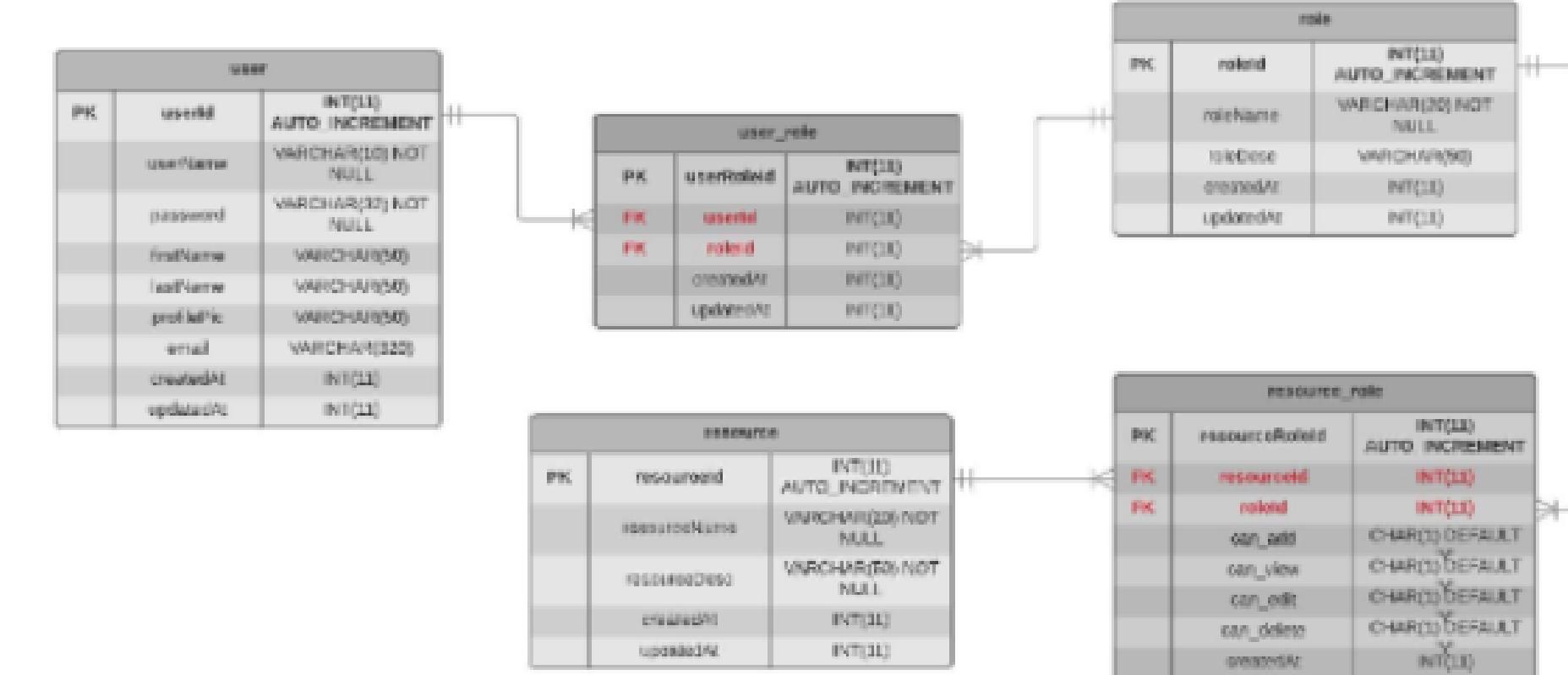
(role_id, role_name) - Định nghĩa quyền (Admin, User, Collector).

✓ **tbl_Devices**

(device_id, location, status, current_level) - Quản lý các thùng rác.

✓ **tbl_Logs**

(log_id, device_id, user_id, action, timestamp) - Ghi lại mọi sự kiện.



Yêu cầu: Chức năng Cốt lõi (Must-Have)



Đo mức đầy

Định kỳ 10 giây/lần và gửi ngay lập tức nếu mức đầy thay đổi > 5%.



Xác thực RFID

Hệ thống phải phản hồi (Valid/Invalid) cho ESP32 trong vòng ≤ 300ms.



Điều khiển Nắp

Tự động mở khi xác thực thẻ hợp lệ, và tự động đóng sau 5 giây nếu không có hoạt động.



Cảnh báo Tức thì

Tự động gửi cảnh báo khi mức đầy đạt ngưỡng $\geq 80\%$ (có thể cấu hình).



Ghi Log (Tối thiểu 30 ngày)

Lưu lại mọi sự kiện: Quét thẻ (UID, kết quả), Mở nắp, Cảnh báo, Trạng thái Offline.

Yêu cầu: Phi Chức năng (Hiệu năng & Bảo mật)



Hiệu năng (Performance)

Phản hồi mở nắp (End-to-End) < 500ms. Cập nhật Dashboard < 1s.



Bảo mật (Security)

MQTT bắt buộc xác thực Username/Password. Hỗ trợ mã hóa TLS (Port 8883). Phân quyền truy cập Topic (ACL).



Độ tin cậy (Reliability)

Thiết bị tự động kết nối lại (tối đa 5 lần). Cảnh báo Offline sau 30s (LWT). Lưu trạng thái cuối (Retained Message).



Tối ưu (Efficiency)

Hỗ trợ Deep Sleep (nếu dùng pin). Payload MQTT được tối ưu < 200 bytes.

Phân tích Ràng buộc & Thách thức

Môi trường & Mạng

- ✓ **Nhiều Wi-Fi 2.4Ghz:** Mạng Wi-Fi công cộng thường không ổn định, đòi hỏi cơ chế auto-reconnect bền bỉ và buffer dữ liệu.
- ✓ **Nguồn điện:** Cần nguồn 5V-2A ổn định. Nếu dùng pin, việc tối ưu Deep Sleep và thời lượng pin là một thách thức lớn.

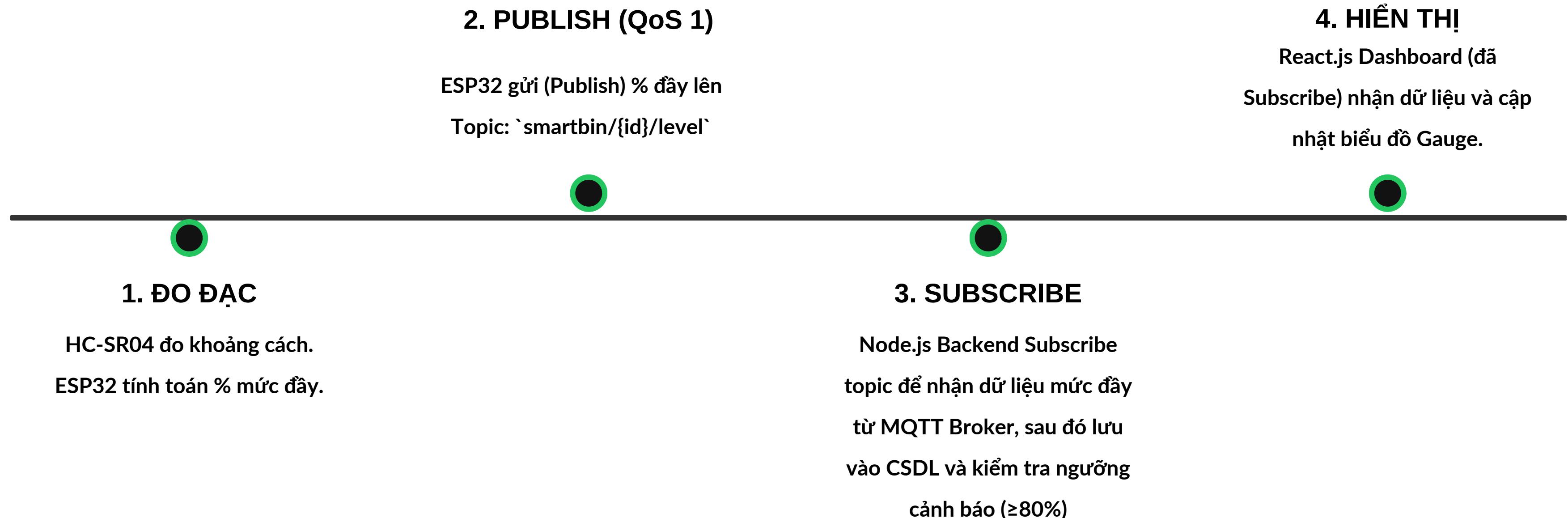
Hiệu năng & Bảo mật

- ✓ **Tài nguyên ESP32:** RAM 520KB là hữu hạn. Phải tối ưu code, tránh memory leak khi chạy 24/7, đặc biệt khi xử lý TLS và buffer MQTT.
- ✓ **Độ trễ (Latency):** Luồng xác thực RFID (<500ms) yêu cầu mạng, Broker và CSDL đều phải phản hồi nhanh.

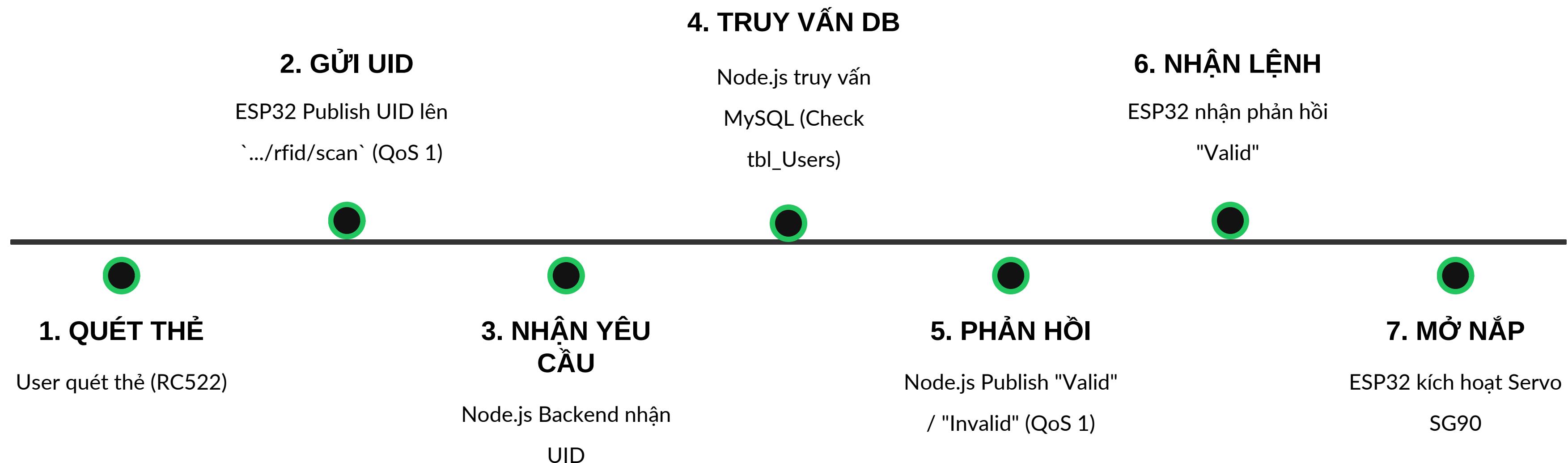


PHÂN TÍCH SÂU CÁC TÍNH NĂNG CỐT LÕI

Luồng 1: Giám sát Mức đầy (Real-time)



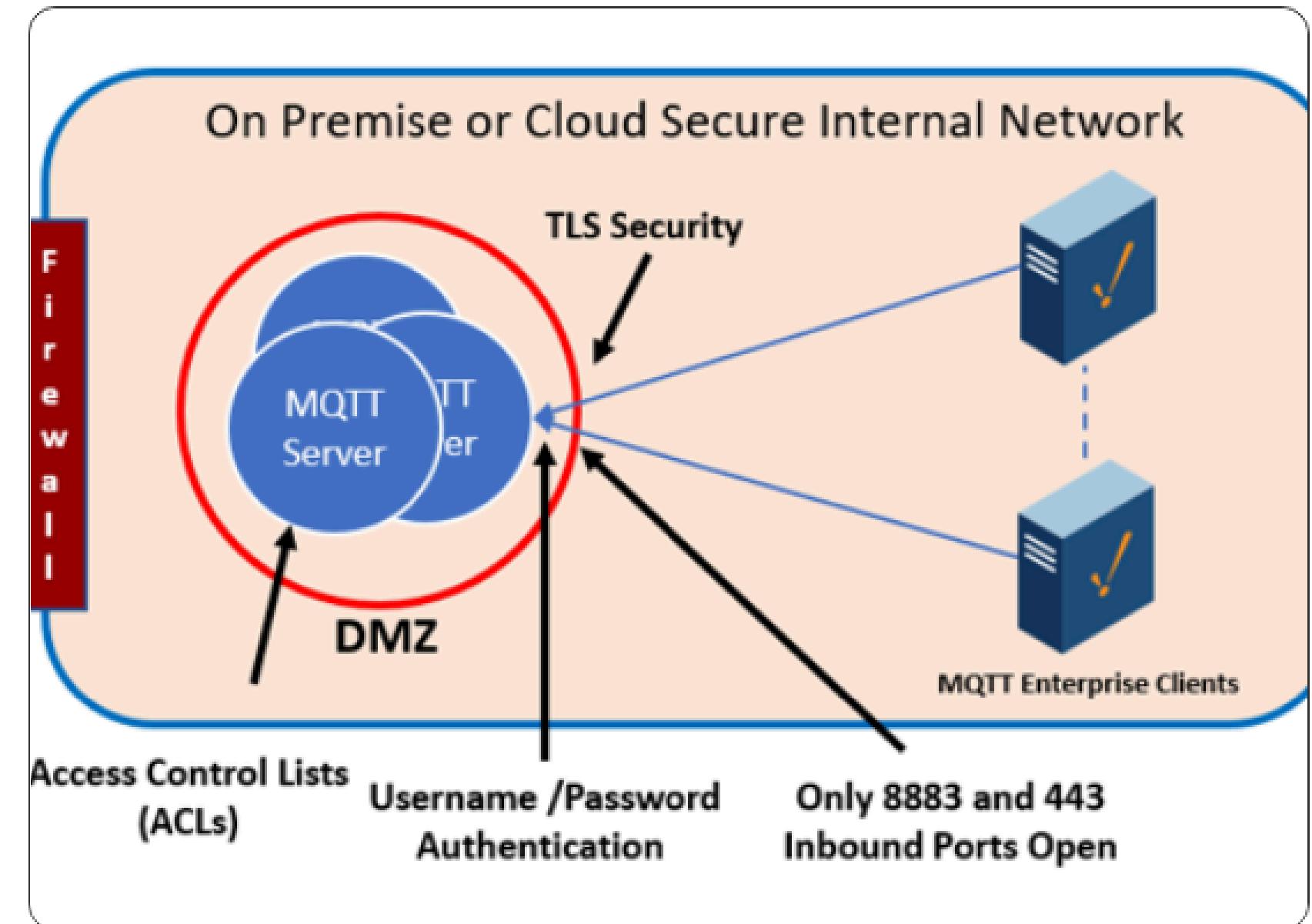
Luồng 2: Xác thực RFID (Quan trọng nhất)



Bảo mật: Phân quyền Topic (ACL)

Ngăn chặn thiết bị "gián điệp" (rogue device) hoặc giả mạo, đảm bảo chỉ thiết bị hợp lệ mới được giao tiếp.

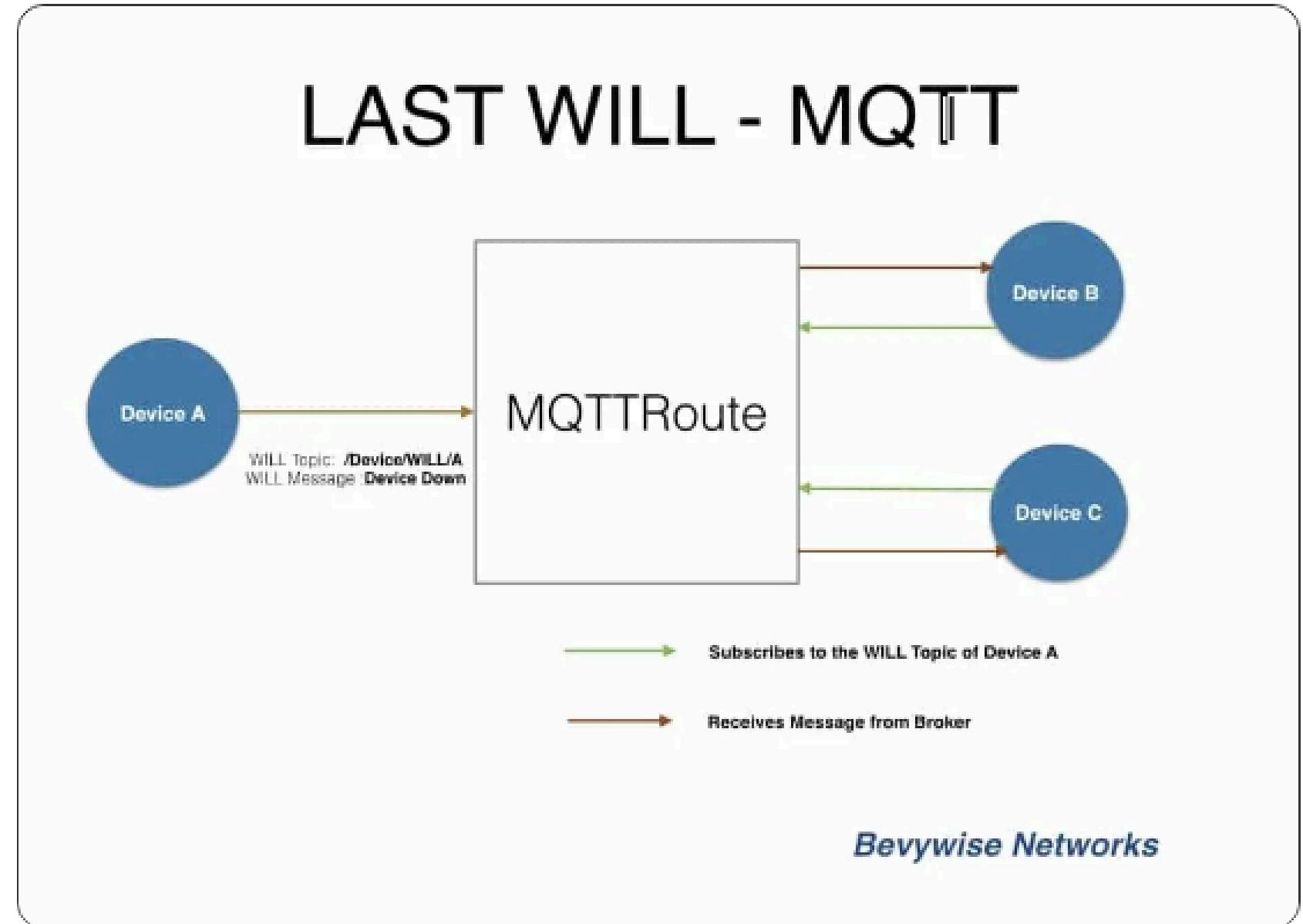
- ✓ Mỗi thiết bị (ví dụ: `ESP_01`) được cấp 1 cặp Username/Password riêng khi kết nối Broker.
- ✓ Broker (Mosquitto) được cấu hình Access Control List (ACL):
 - ✓ User: `ESP_01`
ALLOW Publish: `smartbin/01/#`
ALLOW Subscribe: `smartbin/01/#`
 - ✓ User: `ESP_01`
DENY Publish/Subscribe: `smartbin/02/#`
DENY Publish/Subscribe: `smartbin/#`



Tin cậy: Cảnh báo Offline (LWT)

LWT (Last Will and Testament) - "Di chúc cuối cùng". Là tính năng của MQTT cho phép Broker tự động gửi 1 tin nhắn khi Client bị mất kết nối đột ngột.

- ✓ 1. Kết nối: ESP32 kết nối Broker và "đăng ký" LWT: "Nếu tôi chết, hãy Publish 'Offline' lên topic `smartbin/{id}/status`".
- ✓ 2. Hoạt động: ESP32 Publish 'Online' (với cờ Retained) lên cùng topic đó.
- ✓ 3. Mất kết nối (Offline): Broker tự động thực thi "di chúc", gửi 'Offline'.
- ✓ Kết quả: Dashboard (đã Subscribe) luôn biết trạng thái Online/Offline của thiết bị (Offline sau 30s).



Tin cậy: QoS & Retained Message

QoS (Quality of Service)

Đảm bảo chất lượng đường truyền cho các tin nhắn quan trọng.

✓ **QoS 0 (At most once):** "Gửi và Quên". Dùng cho dữ liệu Log, Status (nhanh, không quan trọng nếu mất 1-2 gói).

✓ **QoS 1 (At least once):** "Đảm bảo đến". Dùng cho Cảnh báo ($\geq 80\%$), Lệnh điều khiển, và luồng Xác thực RFID.

Retained Message

Broker sẽ lưu lại tin nhắn cuối cùng (mới nhất) của 1 Topic (nếu được cờ Retained).

Ví dụ: Topic `.../level` có tin nhắn cuối là "75%" (Retained).

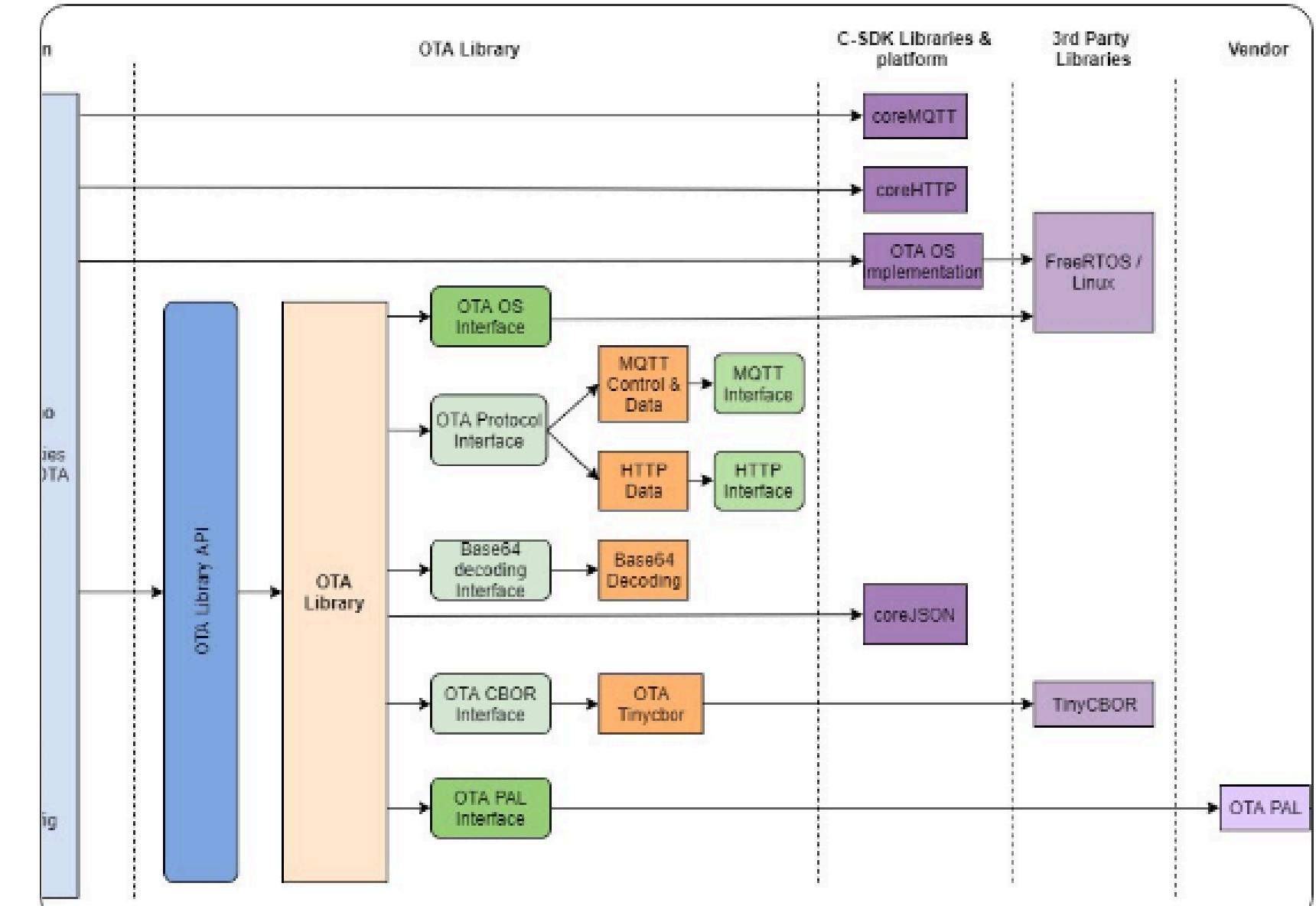
Khi Dashboard hoặc Server khởi động lại và Subscribe vào topic đó, nó sẽ nhận ngay lập tức giá trị "75%" mà không cần chờ ESP32 gửi tin mới.

Mở rộng: Cập nhật Firmware (OTA)

OTA (Over-the-Air) cho phép nâng cấp phần mềm (firmware) cho ESP32 từ xa qua Wi-Fi mà không cần kết nối cáp USB.

Luồng hoạt động:

- ✓ **1. Upload:** Admin upload file firmware (`.bin`) mới lên Web Server.
- ✓ **2. Gửi lệnh:** Server Publish lệnh "Update" + [URL_file_bin] xuống Topic `.../command/ota`.
- ✓ **3. Tải về:** ESP32 (đã Subscribe) nhận lệnh, xác thực và tải file firmware mới về bộ nhớ.
- ✓ **4. Khởi động lại:** ESP32 tự khởi động lại với phiên bản firmware mới.



Sản phẩm triển khai thực tế



Sản phẩm hoàn thiện dự kiến

Bin Status Monitor

Smart Bin 01

Building A - Floor 1



Fill Level

34%

Distance: 132 cm

22:24:10



Auth

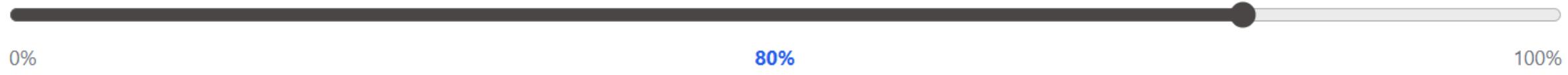


Alert at
80%

Operating Mode

Auth (RFID Required)

Alert Threshold (%)



Apply Configuration

Event Logs

Real-time Activity Logs

Live monitoring of all bin events

TIMESTAMP	EVENT TYPE	BIN ID	DETAILS
⌚ 22:25:04	👤 RFID CHECK	BIN_01	RFID: LR84UQ - Access granted

Khó khăn & Giải pháp

Khó khăn gặp phải

Nhiễu Cảm biến: Cảm biến HC-SR04 trả về giá trị nhiễu (0 hoặc max) do bề mặt rác không bằng phẳng.

Mất kết nối Wi-Fi: Mạng không ổn định khiến thiết bị bị "treo" và không tự kết nối lại được.

Độ trễ Đồng bộ: Có độ trễ giữa luồng xác thực RFID và phản hồi từ Server.

Giải pháp thực hiện

Bộ lọc Trung bình: Áp dụng bộ lọc lấy trung bình 5 lần đo liên tiếp, loại bỏ các giá trị cực đoan (outlier) để khử nhiễu.

Auto-Reconnect & LWT: Tối ưu code tự động kết nối lại (với backoff-delay) và sử dụng LWT để giám sát.

QoS 1 & Tối ưu DB: Sử dụng QoS 1 cho luồng RFID. Tối ưu câu lệnh truy vấn CSDL (đánh index cho `rfid_uid`).

Hướng phát triển và kết luận

Hướng Phát triển (Future Work)



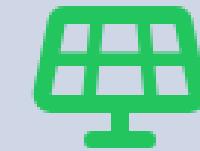
Tích hợp Telegram Bot

Gửi cảnh báo tức thì (đầy, offline) qua Telegram cho Admin và Nhân viên Thu gom, cho phép họ phản hồi nhanh chóng.



Tối ưu Lộ trình (ML)

Sử dụng Machine Learning để phân tích dữ liệu lịch sử, dự đoán thời gian đầy và tự động gợi ý lộ trình thu gom rác tối ưu nhất.



Tối ưu Năng lượng

Nghiên cứu sử dụng pin sạc và tích hợp tấm pin năng lượng mặt trời để hệ thống hoạt động tự chủ, không cần nguồn điện.

Kết luận

Hệ thống Thùng rác IoT Thông minh được xây dựng như một giải pháp toàn diện nhằm giải quyết các vấn đề tồn đọng trong quản lý rác thải truyền thống (lãng phí chi phí, ô nhiễm môi trường, thiếu vệ sinh và dữ liệu vận hành)

Hệ thống hoạt động dựa trên 3 đặc điểm chính:

Giám sát (Monitoring)

Tự động hóa (Automation)

Tối ưu hóa (Optimization)

Cảm ơn Thầy & Các bạn

Đã lắng nghe bài thuyết trình.