

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN I



BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN
MÔN: IOT VÀ ỨNG DỤNG
ĐỀ TÀI: CỬA CHỐNG NGẬP TỰ ĐỘNG

Nhóm bài tập lớn:

04

Lớp:

E22HTTT

Giảng viên giảng dạy:

Kim Ngọc Bách

Thành viên:

Phạm Anh Minh – B22DCAT192

Nguyễn Đức Trí – B22DCAT302

Khuất Quang Đông – B22DCVT146

Nguyễn Đại Phát – B22DCVT393

Mục lục

LỜI CẢM ƠN.....	4
I. Giới thiệu đề tài	5
1. Tên đề tài.....	5
2. Bối cảnh thực tế và vấn đề	5
3. Mục tiêu dự án	5
4. Phạm vi thực hiện	5
II. Phân công chi tiết nhiệm vụ từng thành viên	6
III. Công nghệ, lý thuyết áp dụng.....	6
1. Kiến trúc hệ thống IoT 3 lớp.....	6
1.1. Lớp 1: Lớp thiết bị (Device Layer).....	6
1.2. Lớp 2: Lớp mạng (Network Layer)	7
1.3. Lớp 3: Application Layer (Lớp Ứng dụng)	7
2. Lý thuyết Machine Learning.....	7
2.1. Thuật toán: Logistic Regression	7
2.2. Quy trình huấn luyện mô hình	7
3. Công nghệ phần mềm	8
3.1. Firmware (ESP32)	8
3.2. Web Application	8
IV. Phân tích yêu cầu.....	9
1. Tính năng cơ bản (Basic Features)	9
1.1. Đo mực nước tự động	9
1.2. Điều khiển cửa tự động (Auto Mode).....	9
1.3. Điều khiển thủ công (Manual Mode).....	10
1.4. Hệ thống cảnh báo	10
2. Tính năng nâng cao (Advanced features)	11
2.1. Dự báo thông minh bằng Machine Learning	11
2.2. Ngưỡng đo động (Adaptive Thresholds)	12
2.3. Backup plan (Kế hoạch dự phòng)	12
2.4. Dashboard realtime	12
2.4.1. Tính năng chính:	12
2.4.2. Công nghệ sử dụng:	13
2.5. Hệ thống xác thực và phân quyền.....	13
V. Phân tích thiết kế.....	13
1. Thiết kế pipeline Machine Learning	13
1.1. Data collection & preprocessing	13

1.2. Feature selection	14
1.3. Model training & evaluation	14
1.4. Model export & deployment.....	15
2. Thiết kế firmware (ESP32)	16
2.1. Kiến trúc state machine.....	16
2.2. Servo control với smoothing.....	16
2.3. Main loop flow.....	16
2.4. Xử lý lỗi và backup plan	17
3. Thiết kế Web Application.....	17
3.1. Kiến trúc Next.js App Router	17
3.2. Database Schema (Prisma)	18
3.3. API Endpoints.....	19
3.4. Real-time updates.....	19
VI. Kết quả	20
1. Về phần cứng	20
1.1. Mô hình Prototype	20
1.2. Mô phỏng trên Wokwi.....	20
2. Về Machine Learning	20
2.1. Model Training	20
2.2. Model Deployment trên ESP32	20
2.3. Tích hợp vào Logic Điều khiển	21
3. Về ứng dụng Web	21
3.1. Web dashboard.....	21
3.2. API Backend	21
3.3. Hệ thống cảnh báo Telegram	22
4. Kịch bản kiểm thử.....	22
4.1. Test case 1: Điều chỉnh ngưỡng động.....	22
4.2. Test case 2: Backup plan.....	22
4.3. Test case 3: Manual Override	22
4.4. Test Case 4: Web Dashboard	22
5. Đánh giá tổng thể.....	23
VII. Kết luận.....	23
1. Kết luận.....	23
2. Hạn chế và thách thức.....	24
2.1. Về Dữ liệu.....	24
2.2. Về Mô hình ML	24
2.3. Về Hệ thống	24

3. Hướng mở rộng (Future Work).....	24
3.1. Cải thiện Machine Learning.....	24
3.1.1. Thu thập dữ liệu thực tế	24
3.1.2. Bổ sung features.....	24
3.1.3. Nâng cấp mô hình	24
3.1.4. Deployment strategy	24
3.2. Cải thiện Phân cứng	25
3.2.1. Cảm biến bổ sung.....	25
3.2.2. Tăng độ tin cậy.....	25
3.2.3. Cơ cấu chấp hành.....	25
3.3. Cải thiện Web Application.....	25
3.3.1. Tính năng mới.....	25
3.3.2. Tối ưu Performance	25
3.3.3. Bảo mật	25
3.4. Triển khai Thực tế.....	25
3.4.1. Pilot Project.....	25
3.4.2. Production Deployment	25
3.4.3. Maintenance	25
4. Kết luận cuối cùng	26

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên, nhóm chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc đến thầy Kim Ngọc Bách, giảng viên phụ trách môn IOT và ứng dụng, người đã tận tâm truyền đạt kiến thức, định hướng chuyên môn và luôn nhiệt tình hỗ trợ chúng em trong suốt quá trình học tập và thực hiện đề tài.

Bên cạnh đó, nhóm xin chân thành cảm ơn sự hợp tác tích cực và tinh thần trách nhiệm cao của các thành viên trong nhóm: Nguyễn Đức Trí, Khuất Quang Đông, Nguyễn Đại Phát và Phạm Anh Minh. Mỗi thành viên đều đã nỗ lực đóng góp ý tưởng, kiến thức và thời gian để cùng nhau xây dựng, phân tích, thiết kế và hoàn thiện hệ thống một cách hiệu quả nhất. Nhờ sự đồng lòng và nghiêm túc trong quá trình làm việc, nhóm đã hoàn thành báo cáo đúng thời hạn với nội dung và chất lượng phù hợp với yêu cầu môn học.

Mặc dù nhóm đã cố gắng hết sức trong việc nghiên cứu và triển khai, nhưng do giới hạn về thời gian cũng như kinh nghiệm thực tế còn hạn chế, báo cáo chắc chắn vẫn còn những thiếu sót nhất định. Rất mong thầy sẽ thông cảm và góp ý để nhóm có thể rút kinh nghiệm và hoàn thiện hơn trong những dự án sau này. Một lần nữa, nhóm xin chân thành cảm ơn sự tận tâm của thầy cùng tinh thần hợp tác trách nhiệm của các thành viên đã góp phần tạo nên kết quả của bài báo cáo này.

I. Giới thiệu đề tài

1. Tên đề tài

Hệ thống cửa chống ngập thông minh (Smart Flood Barrier System) - Một giải pháp IoT tích hợp Machine Learning để tự động hóa việc chống ngập lụt tại các khu vực:

2. Bối cảnh thực tế và vấn đề

Tình trạng ngập lụt cục bộ tại các đô thị Việt Nam, đặc biệt là tại các hầm gửi xe chung cư, nhà phố thấp trũng, xảy ra thường xuyên và gây thiệt hại lớn về tài sản. Các giải pháp hiện tại có những hạn chế:

- Phụ thuộc vào con người: Cần người trực để đóng/mở cửa chắn, không hoạt động 24/7.
- Phản ứng chậm: Chỉ phát hiện khi nước đã vào, không có cảnh báo sớm.
- Không có giám sát liên tục: Không theo dõi được mực nước và điều kiện môi trường.
- Thiếu dự báo: Không có khả năng dự đoán nguy cơ ngập dựa trên điều kiện thời tiết.

3. Mục tiêu dự án

Dự án nhằm xây dựng một hệ thống hoàn chỉnh với các mục tiêu cụ thể:

- Tự động hóa hoàn toàn: Hệ thống tự động đo mực nước và điều khiển cửa chắn mà không cần can thiệp con người.
- Tích hợp Machine Learning: Sử dụng mô hình dự đoán để cảnh báo sớm nguy cơ ngập dựa trên dữ liệu thời tiết.
- Giám sát từ xa: Web Dashboard cho phép theo dõi và điều khiển hệ thống từ bất kỳ đâu.
- Chi phí thấp: Sử dụng các linh kiện phổ biến, giá rẻ (ESP32, cảm biến HC-SR04, DHT22).

4. Phạm vi thực hiện

- Phần cứng: Xây dựng mô hình prototype mini với ESP32, cảm biến, và servo motor.
- Mô phỏng: Sử dụng Wokwi để mô phỏng và kiểm thử trước khi triển khai thực tế.
- Web Application: Phát triển Dashboard Next.js (MVP) với đầy đủ tính năng giám sát và điều khiển.
- Machine Learning: Huấn luyện và nhúng mô hình Logistic Regression vào ESP32.

II. Phân công chi tiết nhiệm vụ từng thành viên

Task	Detail	Status	Priority	Dev
Sơ đồ phần cứng và lắp ráp	Thiết kế sơ đồ + chốt BOM Đấu dây, lắp mạch trên breadboard Lắp cơ khí cửa	Đã hoàn thành	Cao	Đồng
Firmware ESP32 + mô phỏng Wokwi	Hoàn thiện sơ đồ Wokwi Code đọc HC-SR04, DHT22, điều khiển servo, nút, LED Viết cơ chế đóng/mở tùy thuộc vào điều kiện từ sensor	Đã hoàn thành	Cao	Minh
Mô hình giả lập hệ thống thực tế	Thiết kế + lắp ráp mô hình bằng tấm alu	Không hoàn thành	Trung bình	Phát
Machine Learning (Notebook Kaggle)	Train Logistic Regression, đánh giá model Tích hợp hàm ML vào code ESP32	Đã hoàn thành	Trung bình	Minh
Logic code và cấu hình các phần cứng thiết bị		Đã hoàn thành	Trung bình	Trí + Đồng + Phát
Web/App + tích hợp Telegram	Tạo web dashboard cho sản phẩm Tạo API nhận dữ liệu Kết nối ESP32 với web Tích hợp Telegram Bot gửi cảnh báo	Đã hoàn thành	Cao	Minh
Tích hợp & test tổng thể	Viết kịch bản test Kiểm thử End to End toàn bộ hệ thống	Đang kiểm thử	Cao	Đồng
Slide		Đã hoàn thành	Trung bình	Đồng + Phát
Nội dung báo cáo		Đã hoàn thành	Trung bình	Minh
Làm báo cáo		Đã hoàn thành	Trung bình	Đồng

III. Công nghệ, lý thuyết áp dụng

1. Kiến trúc hệ thống IoT 3 lớp

Hệ thống được thiết kế theo mô hình IoT 3 lớp chuẩn:

1.1. Lớp 1: Lớp thiết bị (Device Layer)

- **MCU: ESP32 DevKit v1:**
 - Vi xử lý dual-core 240MHz.
 - Hỗ trợ WiFi 802.11 b/g/n.
 - Bộ nhớ: 520KB SRAM, 4MB Flash.
 - GPIO đa dạng, hỗ trợ PWM cho servo.
- **Cảm biến:**
 - **HC-SR04 (Ultrasonic Sensor): Đo khoảng cách mực nước:**
 - Nguyên lý: Phát sóng siêu âm 40kHz, đo thời gian phản hồi.
 - Công thức tính: $d = (t \times 0.0343) / 2$ (cm).
 - Tầm đo: 2cm - 400cm.
 - Độ chính xác: ± 3 mm.
 - **DHT22 (Temperature & Humidity Sensor): Đo nhiệt độ & độ ẩm:**
 - Đo nhiệt độ: -40°C đến 80°C , độ chính xác $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
 - Đo độ ẩm: 0-100% RH, độ chính xác $\pm 2\%$ RH.
 - Tần số đọc: 2 giây/lần.
- **Cơ cấu chấp hành:**
 - **Servo Motor (SG90) - điều khiển cửa chắn**
 - Góc quay: 0° (mở hoàn toàn) $\rightarrow 90^{\circ}$ (đóng).
 - Độ phân giải: 1° .
 - Mô-men xoắn: 1.8 kg/cm.
 - Điều khiển PWM: 50Hz, pulse width 500-2400 μs .
- **Giao diện người dùng tại chỗ:.**

- LED cảnh báo (GPIO 2) với điện trở 220Ω.
- 2 công tắc gạt (Slide Switch) cho điều khiển thủ công.

1.2. Lớp 2: Lớp mạng (Network Layer)

- **Giao thức:** HTTP/HTTPS (REST API).
- **Kết nối:** WiFi 802.11 b/g/n.
- **Giao tiếp:**
 - ESP32 → Server: POST /api/status (gửi dữ liệu cảm biến).
 - ESP32 ← Server: GET /api/control/latest (polling lệnh điều khiển).
- **Xác thực:** Device API Key trong headers (x-device-id, x-api-key).

1.3. Lớp 3: Application Layer (Lớp Ứng dụng)

- **Web Dashboard:** Next.js 14 với App Router.
- **Database:** SQLite (development) / MySQL (production).
- **Authentication:** NextAuth.js cho người dùng, API Key cho thiết bị.

2. Lý thuyết Machine Learning

2.1. Thuật toán: Logistic Regression

- Dự án sử dụng Logistic Regression (Hồi quy Logistic) cho bài toán phân loại nhị phân dự đoán mưa lớn.
- Lý do lựa chọn:
 - Mô hình nhẹ: Chỉ cần 2 trọng số và 1 bias, phù hợp với ESP32 có bộ nhớ hạn chế.
 - Tính toán nhanh: Interface chỉ cần vài phép nhân và hàm sigmoid.
 - Dễ diễn giải: Có thể hiểu được ý nghĩa của từng tham số.
 - Dễ nhúng: Có thể implement trực tiếp bằng C++ trên ESP32.
- Công thức toán học:

$$z = -18.496 + 0.235 \times TempMean + 0.151 \times Humidity$$

$$P(HeavyRain) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

Trong đó:

- TempMean: Nhiệt độ trung bình ngày (°C).
- Humidity: Độ ẩm trung bình (%).
- w_1, w_2 : Trọng số (weights) được học từ dữ liệu.
- bias: Hệ số điều chỉnh (intercept).
- **Hàm Sigmoid:** Chuyển đổi giá trị tuyến tính z thành xác suất trong khoảng $[0, 1]$.

2.2. Quy trình huấn luyện mô hình

a. Dataset: Vietnam Weather Data từ Kaggle

- 181,960 bản ghi thời tiết các tỉnh/thành phố Việt Nam.
- Thời gian: 2009-2019.
- Các đặc trưng: Nhiệt độ max/min, độ ẩm, lượng mưa, v.v.

b. Feature Engineering:

- Tính $TempMean = \frac{MaxTemp + MinTemp}{2}$.
- Tạo label HeavyRainTomorrow: 1 nếu mưa $\geq 20mm$, 0 nếu ngược lại.
- Sử dụng shift(-1) để lấy lượng mưa ngày hôm sau.
- c. **Chia dữ liệu (Chia theo thời gian (time-based split) để tránh data leakage):**
 - Train: 80% (116,428 mẫu).
 - Validation: 20% của train (29,108 mẫu).
 - Test: 20% (36,384 mẫu).
 - **Lưu ý:** Chia theo thời gian (time-based split) để tránh data leakage.
- d. **Huấn luyện:**
 - Sử dụng sklearn.linear_model.LogisticRegression.
 - class_weight="balanced" để xử lý class imbalance.
 - max_iter=1000 để đảm bảo hội tụ.
- e. **Kết quả:**
 - **Intercept (bias):** -18.496.
 - **Weight TempMean:** 0.235.
 - **Weight Humidity:** 0.151.
 - **Test Accuracy:** 69.4%.
 - **Test AUC-ROC:** 0.771.

3. Công nghệ phần mềm

3.1. Firmware (ESP32)

- **Ngôn ngữ: C++ (Arduino Framework).**
- **Thư viện chính:**
 - DHT.h: Đọc cảm biến DHT22.
 - ESP32Servo.h: Điều khiển servo motor.
 - math.h: Hàm expf() cho sigmoid.
- **Kiến trúc code:**
 - **State Machine:** Quản lý chế độ AUTO/MANUAL.
 - **Smoothing Algorithm:** Cập nhật góc servo dần dần (1°/loop) để tránh giật.
 - **Backup Plan:** Xử lý khi cảm biến siêu âm lỗi, dùng nhiệt độ/độ ẩm.

3.2. Web Application

- a. **Frontend:**
 - **Framework:** Next.js 14 (App Router).
 - **UI Library:** shadcn/ui (dựa trên Radix UI).
 - **Styling:** Tailwind CSS.
 - **Charts:** Recharts (React charting library).
 - **Icons:** Lucide React.
- b. **Backend:**
 - **API Routes:** Next.js API Routes (Serverless).
 - **ORM:** Prisma (type-safe database client).
 - **Database:** SQLite (dev) / MySQL (production).

- **Authentication:** NextAuth.js.
- **Password Hashing:** bcryptjs.
- c. **Database Schema (Prisma):**
 - **User:** Thông tin người dùng, phân quyền (ADMIN/VIEWER).
 - **Device:** Thông tin thiết bị, API keys.
 - **DeviceStatus:** Lịch sử trạng thái (mức nước, nhiệt độ, độ ẩm, ML prediction).
 - **ControlCommand:** Lệnh điều khiển từ web.
 - **AlertLog:** Lịch sử cảnh báo Telegram.

IV. Phân tích yêu cầu

1. Tính năng cơ bản (Basic Features)

1.1. Đo mực nước tự động

- **Yêu cầu:** Hệ thống phải đo mực nước liên tục với tần suất cao (mỗi 100ms trong loop chính).
- **Triển khai:**
 - Sử dụng cảm biến HC-SR04.
 - Đọc giá trị mỗi chu kỳ loop.
 - Xử lý lỗi: Nếu distance > 404cm (max_distance), coi là lỗi và chuyển sang Backup Plan.

- **Code thực tế** (từ src/main.cpp):

```
float readDistanceCm() {
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

    long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000);
    if (duration == 0) return 9999.0f; // Lỗi

    float distance = duration * 0.0343f / 2.0f;
    return distance;
}
```

1.2. Điều khiển cửa tự động (Auto Mode)

- **Logic điều khiển:**
 - **Ngưỡng cơ bản:**
 - LEVEL_HIGH_CM_BASE = 20cm: Nếu mực nước $\leq 20\text{cm}$ → Mở cửa (SERVO_OPEN_ANGLE = 0°).
 - LEVEL_LOW_CM_BASE = 40cm: Nếu mực nước $\geq 40\text{cm}$ → Đóng cửa (SERVO_CLOSE_ANGLE = 90°).

- Khoảng giữa (20-40cm): Cửa ở vị trí giữa (SERVO_MID_ANGLE = 30°).

■ Điều chỉnh ngưỡng động dựa trên ML:

```
// Nếu xác suất mưa ≥ 80% (P_HEAVY_RAIN_HIGH)
if (pHeavyRainNext24h >= 0.8f) {
    levelHigh = 20.0f + 10.0f; // = 30cm (mở sớm hơn)
    levelLow = 40.0f + 20.0f; // = 60cm (đóng muộn hơn)
}
// Nếu xác suất mưa ≥ 60% (P_HEAVY_RAIN_WARN)
else if (pHeavyRainNext24h >= 0.6f) {
    levelHigh = 20.0f + 5.0f; // = 25cm
    levelLow = 40.0f + 10.0f; // = 50cm
}
```

- **Ý nghĩa:** Khi ML dự đoán mưa lớn, hệ thống tự động hạ ngưỡng kích hoạt để phòng ngừa sớm hơn.

1.3. Điều khiển thủ công (Manual Mode)

- Cơ chế:

■ 2 công tắc gạt vật lý:

- SW_OPEN_PIN (GPIO 26): Gạt ON → Mở cửa.
- SW_CLOSE_PIN (GPIO 27): Gạt ON → Đóng cửa.

■ Khi bất kỳ công tắc nào được kích hoạt → manualOverride = true.

■ Khi cả 2 công tắc đều OFF → Trở về AUTO mode

- Code:

```
bool swOpenActive = (digitalRead(SW_OPEN_PIN) == LOW);
bool swCloseActive = (digitalRead(SW_CLOSE_PIN) == LOW);
```

```
if (swOpenActive && !swCloseActive) {
    manualOverride = true;
    targetAngle = SERVO_OPEN_ANGLE;
}
else if (!swOpenActive && swCloseActive) {
    manualOverride = true;
    targetAngle = SERVO_CLOSE_ANGLE;
}
else {
    manualOverride = false; // Trở về AUTO
}
```

- Điều khiển từ Web:

- Admin có thể gửi lệnh OPEN, CLOSE, hoặc AUTO qua Dashboard.
- ESP32 polling /api/control/latest mỗi 5-10 giây để lấy lệnh.

1.4. Hệ thống cảnh báo

- Cảnh báo tại chỗ:

- LED (GPIO 2) bật khi: pHeavyRainNext24h >= 0.6 (60%).
- **Cảnh báo Telegram:**
 - Điều kiện kích hoạt (một trong hai điều kiện dưới đây):
 1. pHeavyRainNext24h >= 0.8 (80% xác suất mưa lớn).
 2. waterLevelCm <= 20 (mức nước nguy hiểm).
 - Nội dung cảnh báo:
 - Device ID.
 - Mức nước hiện tại.
 - Xác suất mưa lớn (%).
 - Trạng thái cửa và chế độ.
 - Nhiệt độ và độ ẩm.
 - Timestamp.
- **Code từ Web App (App/app/api/status/route.js):**

```
const shouldAlert =
  status.pHeavyRainNext24h >= 0.8 || status.waterLevelCm <= 20;

if (shouldAlert) {
  const severity =
    status.waterLevelCm <= 20 || status.pHeavyRainNext24h >= 0.9
      ? 'CRITICAL' : 'WARN';

  await sendTelegramAlert(alertMessage);
}
```

2. Tính năng nâng cao (Advanced features)

2.1. Dự báo thông minh bằng Machine Learning

- **Tính năng:** Hệ thống tính toán xác suất mưa lớn trong 24h tới ngay trên ESP32.
- **Implementation** (từ src/main.cpp):


```
float predictHeavyRainNext24h(float temp_c, float humidity_pct) {
  const float BIAS = -18.49602386139671f;
  const float W_TEMP = 0.235201f;
  const float W_HUM = 0.151022f;

  float z = BIAS
    + W_TEMP * temp_c
    + W_HUM * humidity_pct;

  float p = 1.0f / (1.0f + expf(-z)); // sigmoid
  return p;                          // 0..1
}
```
- **Sử dụng trong loop:**

float pHeavyRainNext24h = predictHeavyRainNext24h(temperature, humidity);

- **Kết quả:** Giá trị từ 0.0 (0%) đến 1.0 (100%), được hiển thị trên Dashboard và sử dụng để điều chỉnh ngưỡng.

2.2. Ngưỡng đo động (Adaptive Thresholds)

- Như đã trình bày ở mục 3.1.2, hệ thống tự động điều chỉnh ngưỡng mực nước dựa trên xác suất mưa từ ML model. Đây là điểm sáng tạo chính của dự án: **không chỉ phản ứng với nước, mà còn phòng ngừa dựa trên dự báo**

2.3. Backup plan (Kế hoạch dự phòng)

- **Vấn đề:** Cảm biến siêu âm có thể lỗi hoặc bị che khuất.
- **Giải pháp:** Sử dụng nhiệt độ và độ ẩm để phát hiện điều kiện bất thường.
- **Logic** (từ src/main.cpp):

```
void backup_plan(float last_hum, float now_hum,
                 float last_temp, float now_temp) {
    // Tính delta (thay đổi) trong khoảng thời gian (mặc định 5 phút)
    float delta_hum = now_hum - last_hum;
    float delta_temp = last_temp - now_temp; // Nhiệt độ giảm = delta
    dương
```

```
    // Ngưỡng critical (mở cửa ngay)
```

```
    if (last_hum >= 98) {
        targetAngle = SERVO_OPEN_ANGLE;
    }
```

```
    else if (delta_hum >= lim_hum && delta_temp >= lim_temp) {
        // Độ ẩm tăng nhanh + nhiệt độ giảm nhanh → Mưa sắp đến
        targetAngle = SERVO_OPEN_ANGLE;
    }
```

```
    // Ngưỡng warning (chỉ cảnh báo)
```

```
    else if (delta_hum >= warn_hum && delta_temp >= warn_temp) {
        gui_canh_bao();
    }
}
```

- **Lưu trữ lịch sử:** Hệ thống lưu giá trị nhiệt độ/độ ẩm mỗi 5 phút để so sánh.

2.4. Dashboard realtime

2.4.1. Tính năng chính:

- **Summary Cards** (4 thẻ thông tin):
 - **Mức nước:** Hiển thị khoảng cách (cm), mã màu theo mức độ nguy hiểm.
 - **Trạng thái cửa & Chế độ:** OPEN/MID/CLOSE, AUTO/MANUAL.
 - **Rủi ro mưa lớn 24h:** Xác suất từ ML model (0-100%), mã màu.

- **Môi trường:** Nhiệt độ (°C) và độ ẩm (%).
- **Biểu đồ thời gian thực:**
 - **Line Chart mực nước:** Hiển thị 50 điểm dữ liệu gần nhất.
 - **Line Chart xác suất mưa:** Theo dõi xu hướng rủi ro.
- **Bảng điều khiển (chỉ ADMIN):**
 - 3 nút: OPEN, CLOSE, AUTO.
 - Hiển thị lệnh cuối cùng và thời gian.
- **Bảng sự kiện (Event Log):**
 - Trang /logs hiển thị lịch sử đầy đủ.
 - Các cột: Timestamp, Water Level, Door State, Mode, Rain Risk, Temperature, Humidity.
- **Cập nhật tự động:**
 - Polling mỗi 5 giây.
 - Phát hiện thiết bị offline nếu không nhận dữ liệu > 60 giây.

2.4.2. Công nghệ sử dụng:

- **Recharts:** Thư viện biểu đồ React.
- **shaden/ui:** UI components (Card, Button, Badge, Table).
- **Next.js API Routes:** /api/status/latest, /api/logs, /api/control.

2.5. Hệ thống xác thực và phân quyền

- **Xác thực người dùng:**
 - NextAuth.js với email/password.
 - Mật khẩu được hash bằng bcryptjs.
 - Session management tự động.
- **Phân quyền:**
 - **ADMIN:** Xem dashboard, gửi lệnh điều khiển, quản lý thiết bị.
 - **VIEWER:** Chỉ xem (read-only), không thể điều khiển.
- **Xác thực thiết bị:**
 - Mỗi thiết bị có API key duy nhất.
 - ESP32 gửi headers: x-device-id, x-api-key.
 - Server verify và chỉ cho phép thiết bị hợp lệ.

V. Phân tích thiết kế

1. Thiết kế pipeline Machine Learning.

1.1. Data collection & preprocessing

- **Dataset:** Vietnam Weather Data (Kaggle)
 - **Nguồn:** Dữ liệu thời tiết các tỉnh/thành phố Việt Nam.
 - **Thời gian:** 2009-2019.
 - **Số lượng:** 181,960 bản ghi.
 - **Các cột:** province, max (nhiệt độ max), min (nhiệt độ min), rain (lượng mưa), humidity (độ ẩm), date.
- **Preprocessing** (từ notebook ML/iot-smart-flood-barrier.ipynb):

```
# Rename columns
df = df.rename(columns={
    'province': 'Province',
    'max': 'MaxTemp',
    'min': 'MinTemp',
    'rain': 'Rainfall',
    'humidi': 'Humidity',
    'date': 'Date'
})

# Tính nhiệt độ trung bình
df["TempMean"] = (df["MaxTemp"] + df["MinTemp"]) / 2.0

# Tạo label: RainTomorrow (lượng mưa ngày hôm sau)
df["RainTomorrow"] = df.groupby("Province")["Rainfall"].shift(-1)

# Label nhị phân: HeavyRainTomorrow ( $\geq 20\text{mm}$ )
HEAVY_RAIN_THRESHOLD = 20.0
df["HeavyRainTomorrow"] = (df["RainTomorrow"] >=
    HEAVY_RAIN_THRESHOLD).astype(int)
```

- **Phân phối label:**
 - Class 0 (không mưa lớn): 91.46%.
 - Class 1 (mưa lớn): 8.54%.

→ **Class imbalance**, cần dùng `class_weight="balanced"`

1.2. Feature selection

- **Features được chọn:**
 - Nhiệt độ trung bình ngày.
 - Humidity: Độ ẩm trung bình.
- **Lý do:**
 - **Để đo trên ESP32:** DHT22 có thể đo cả 2 giá trị này.
 - **Đủ thông tin:** Nhiệt độ và độ ẩm là 2 yếu tố quan trọng nhất để dự đoán mưa.
 - **Nhẹ:** Chỉ 2 features → mô hình đơn giản, phù hợp ESP32
- **Features không sử dụng** (có trong dataset nhưng không dùng):
 - wind, wind_d: Hướng và tốc độ gió (không có cảm biến).
 - cloud: Mây (không có cảm biến).
 - pressure: Áp suất khí quyển (không có cảm biến).

1.3. Model training & evaluation

- **Chia dữ liệu** (time-based split):


```
# Sắp xếp theo thời gian
df = df.sort_values("Date").reset_index(drop=True)
```

```
n = len(df)
test_size = int(n * 0.2)

trainval_df = df.iloc[:-test_size] # 145,536 mẫu
test_df = df.iloc[-test_size:] # 36,384 mẫu
```

```
# Chia train/val từ trainval
X_train, X_val, y_train, y_val = train_test_split(
    X_trainval, y_trainval,
    test_size=0.2,
    random_state=42,
    stratify=y_trainval
)
```

- **Huấn luyện:**

```
log_reg = LogisticRegression(
    max_iter=1000,
    class_weight="balanced", # Xử lý class imbalance
    n_jobs=-1
)
log_reg.fit(X_train, y_train)
```

- **Kết quả đánh giá:**

Metric	Train	Validation	Test
Accuracy	64.8%	65.1%	69.4%
AUC-ROC	0.758	0.763	0.771

- **Classification Report (Test):**

	precision	recall	f1-score	Support
0	0.97	0.69	0.81	33894
1	0.15	0.71	0.24	2490

- **Nhận xét:**

- Model có **recall cao** (71%) cho class 1 → Phát hiện tốt mưa lớn (ít bỏ sót).
- **Precision thấp** (15%) → Có nhiều false positive (cảnh báo nhầm).
- **Phù hợp với mục đích:** Trong bài toán chống ngập, **ưu tiên recall** (không bỏ sót) hơn precision (cảnh báo nhầm không sao).

1.4. Model export & deployment

- **Trích xuất tham số:**


```
coef = log_reg.coef_.reshape(-1)
intercept = float(log_reg.intercept_[0])
```

Kết quả:

Intercept (bias): -18.49602386139671

Weight TempMean: 0.235201

Weight Humidity: 0.151022

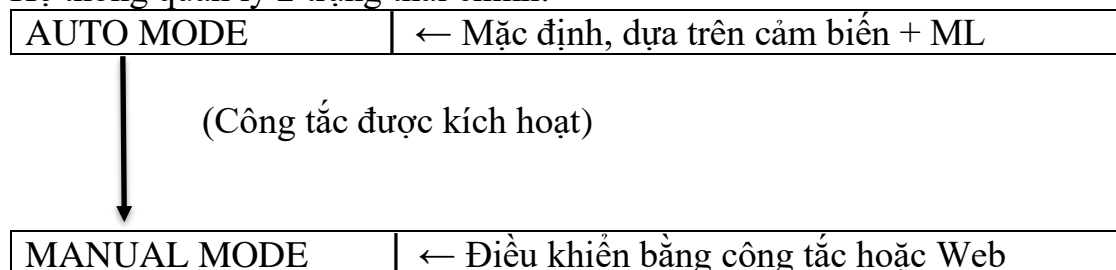
- Nhúng vào ESP32:

- Hardcode các tham số vào firmware.
- Implement hàm predictHeavyRainNext24h() bằng C++.
- Sử dụng expf() từ math.h cho sigmoid.

2. Thiết kế firmware (ESP32)

2.1. Kiến trúc state machine

- Hệ thống quản lý 2 trạng thái chính:



- Biến trạng thái:

bool manualOverride = **false**; // false = AUTO, true = MANUAL

int targetAngle; // Góc mục tiêu của servo (0-90°)

int currentAngle; // Góc hiện tại (được cập nhật dần)

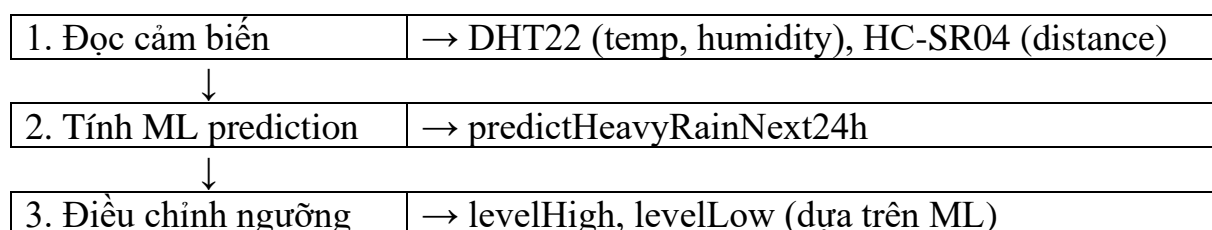
2.2. Servo control với smoothing

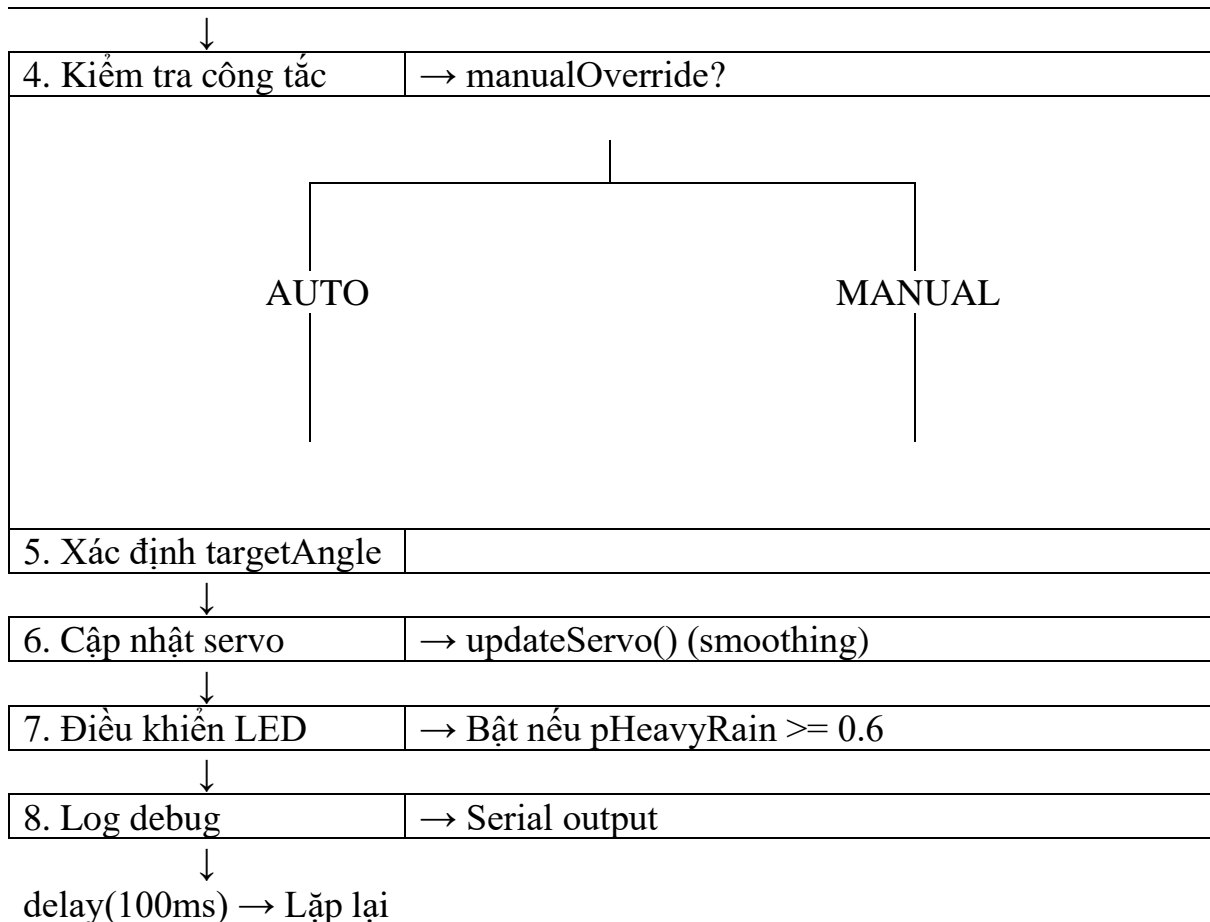
- **Vấn đề:** Nếu thay đổi góc servo đột ngột (ví dụ: 90° → 0°), servo sẽ giật mạnh, gây hư hỏng cơ khí.
- **Giải pháp:** Cập nhật góc dần dần (1°/loop):

```
void updateServo() {
    if (currentAngle < targetAngle) currentAngle++;
    else if (currentAngle > targetAngle) currentAngle--;
    writeServoAngle(currentAngle);
}
```

- **Kết quả:** Servo quay mượt mà, không giật.

2.3. Main loop flow





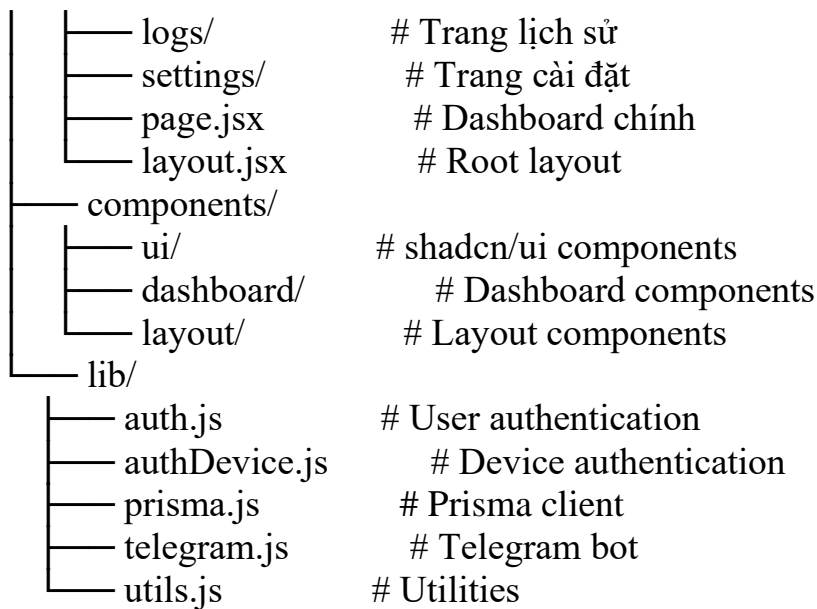
2.4. Xử lý lỗi và backup plan

- **Phát hiện lỗi cảm biến siêu âm:**
`if (distance > max_distance) { // max_distance = 404cm`
`// Cảm biến lỗi → Dừng Backup Plan`
`backup_plan(historyHum, humidity, historyTemp, temperature);`
`}`
- **Backup plan logic:**
 - Lưu giá trị nhiệt độ/độ ẩm mỗi 5 phút.
 - Tính delta (thay đổi) so với giá trị trước.
 - Nếu độ ẩm tăng nhanh + nhiệt độ giảm nhanh → Mưa sắp đến → Mở cửa.

3. Thiết kế Web Application

3.1. Kiến trúc Next.js App Router





3.2. Database Schema (Prisma)

```

model User {
  id      String  @id @default(cuid())
  name    String
  email   String  @unique
  passwordHash String
  role    String  @default("VIEWER") // "ADMIN" | "VIEWER"
  createdAt DateTime @default(now())
  updatedAt DateTime @updatedAt
}

```

```

model Device {
  id      String  @id @default("esp32-001")
  name    String
  apiKey  String  @unique // API key cho ESP32
  createdAt DateTime @default(now())
  updatedAt DateTime @updatedAt
}

```

```

model DeviceStatus {
  id      String  @id @default(cuid())
  deviceId String
  waterLevelCm Float
  doorState String // "OPEN" | "MID" | "CLOSE"
  mode     String // "AUTO" | "MANUAL"
  pHeavyRainNext24h Float // Xác suất từ ML (0-1)
  temperatureC Float
  humidityPct Float
  timestamp DateTime
}

```

```

    createdAt      DateTime @default(now())

    device Device @relation(fields: [deviceId], references: [id])

    @@index([deviceId, timestamp])
}

model ControlCommand {
  id          String  @id @default(cuid())
  deviceId    String
  command     String  // "OPEN" | "CLOSE" | "AUTO"
  requestedByUserId String?
  createdAt   DateTime @default(now())

  device Device? @relation(fields: [deviceId], references: [id])
  requestedBy User? @relation(fields: [requestedByUserId], references: [id])
}

model AlertLog {
  id      String  @id @default(cuid())
  deviceId String
  type    String  @default("TELEGRAM")
  message String
  severity String  @default("INFO") // "INFO" | "WARN" | "CRITICAL"
  createdAt DateTime @default(now())

  device Device @relation(fields: [deviceId], references: [id])
}

```

3.3. API Endpoints

- **Cho ESP32** (yêu cầu Device API Key):
 - POST /api/status: ESP32 gửi status updates.
 - GET /api/control/latest?deviceId=esp32-001: ESP32 polling lệnh điều khiển.
- **Cho Web Dashboard** (yêu cầu NextAuth session):
 - GET /api/status/latest?deviceId=esp32-001: Lấy trạng thái mới nhất.
 - GET /api/logs?deviceId=esp32-001&limit=100: Lấy lịch sử.
 - POST /api/control: Gửi lệnh điều khiển (chỉ ADMIN).

3.4. Real-time updates

- **Cơ chế:** Polling (không dùng WebSocket để đơn giản hóa):
 - Dashboard polling /api/status/latest mỗi 5 giây.
 - ESP32 polling /api/control/latest mỗi 5-10 giây.
 - Sử dụng useEffect và setInterval trong React.

- **Tối ưu:**
 - Chỉ fetch khi component mounted.
 - Cleanup interval khi unmount.
 - Hiện thị loading state khi đang fetch.

VI. Kết quả

1. Về phần cứng

1.1. Mô hình Prototype

- **Hoàn thiện mô hình cửa chống ngập mini:**
 - Khung cơ khí với cửa chắn có thể nâng/hạ.
 - Bể nước mô phỏng để test.
 - Dây đủ cảm biến: HC-SR04, DHT22.
 - Servo motor (SG90) điều khiển cửa.
 - LED cảnh báo và công tắc gạt.
- **Mạch hoạt động ổn định:**
 - ESP32 kết nối WiFi thành công.
 - Cảm biến đọc giá trị chính xác.
 - Servo quay mượt mà (nhờ smoothing algorithm).
 - Gửi dữ liệu về server đều đặn.

1.2. Mô phỏng trên Wokwi

- **File src/diagram.json:** Cấu hình mô phỏng đầy đủ.
- **Components:**
 - ESP32 DevKit v1.
 - DHT22 (GPIO 4).
 - HC-SR04 (TRIG: GPIO 5, ECHO: GPIO 18).
 - Servo (GPIO 25).
 - LED (GPIO 2) với điện trở 220Ω.
 - 2 Slide Switch (GPIO 26, 27).
- **Kết quả:** Mô phỏng chạy ổn định, logic hoạt động đúng như thiết kế.

2. Về Machine Learning

2.1. Model Training

- **Dataset:** 181,960 bản ghi thời tiết Việt Nam.
- **Features:** TempMean, Humidity.
- **Model:** Logistic Regression với class_weight="balanced".
- **Performance:**
 - **Test Accuracy:** 69.4%.
 - **Test AUC-ROC:** 0.771.
 - **Recall (Class 1):** 71% → Phát hiện tốt mưa lớn.

2.2. Model Deployment trên ESP32

- **Nhúng thành công:** Implement hàm predictHeavyRainNext24h() bằng C++.
- **Tính toán nhanh:** Inference chỉ mất vài microsecond.

- **Độ chính xác:** Kết quả khớp với Python (sai số < 0.001 do floating point).
- **Code thực tế:**

```
float predictHeavyRainNext24h(float temp_c, float humidity_pct) {
    const float BIAS = -18.49602386139671f;
    const float W_TEMP = 0.235201f;
    const float W_HUM = 0.151022f;

    float z = BIAS + W_TEMP * temp_c + W_HUM * humidity_pct;
    float p = 1.0f / (1.0f + expf(-z));
    return p;
}
```

2.3. Tích hợp vào Logic Điều khiển

- **Điều chỉnh ngưỡng động:** Hệ thống tự động thay đổi levelHigh và levelLow dựa trên pHeavyRainNext24h.
- **Cảnh báo sớm:** LED bật khi xác suất $\geq 60\%$.
- **Phòng ngừa:** Mở cửa sớm hơn khi xác suất mưa cao.

3. Về ứng dụng Web

3.1. Web dashboard

- **Framework:** Next.js 14 (App Router).
- **UI:** shadcn/ui + Tailwind CSS.
- **Charts:** Recharts.
- **Tính năng đã triển khai:**
 - Dashboard realtime với 4 summary cards.
 - 2 biểu đồ line chart (mức nước, xác suất mưa).
 - Bảng điều khiển (OPEN/CLOSE/AUTO) cho ADMIN.
 - Trang logs hiển thị lịch sử đầy đủ.
 - Hệ thống xác thực (NextAuth) với phân quyền ADMIN/VIEWER.
 - Phát hiện thiết bị offline.
 - Responsive design.

3.2. API Backend

- **RESTful API đầy đủ:**
 - POST /api/status: Nhận dữ liệu từ ESP32.
 - GET /api/status/latest: Lấy trạng thái mới nhất.
 - GET /api/logs: Lấy lịch sử.
 - POST /api/control: Gửi lệnh điều khiển.
 - GET /api/control/latest: ESP32 polling lệnh.
- **Xác thực 2 lớp:**
 - User authentication (NextAuth).
 - Device authentication (API Key).
- **Database:** SQLite với Prisma ORM.

3.3. Hệ thống cảnh báo Telegram

- **Tích hợp thành công:** Gửi cảnh báo qua Telegram Bot
- **Điều kiện kích hoạt:**
 - $pHeavyRainNext24h \geq 0.8$ (80%).
 - $waterLevelCm \leq 20$ (mức nước nguy hiểm).
- **Nội dung:** Đầy đủ thông tin (device ID, mực nước, xác suất mưa, trạng thái, nhiệt độ, độ ẩm, timestamp).

4. Kịch bản kiểm thử

4.1. Test case 1: Điều chỉnh ngưỡng động

- **Mô tả:** Thay đổi thông số nhiệt độ/độ ẩm giả lập để kiểm tra logic điều chỉnh ngưỡng.
- **Kịch bản:**
 1. Nhiệt độ: 28°C , Độ ẩm: 85% $\rightarrow pHeavyRainNext24h = 0.65$ (65%).
 2. Hệ thống điều chỉnh: $levelHigh = 25\text{cm}$ (tăng 5cm), $levelLow = 50\text{cm}$ (tăng 10cm).
 3. Khi mực nước = 25cm \rightarrow Cửa mở (thay vì đóng đến 20cm).
- **Kết quả:** Hoạt động đúng logic thiết kế.

4.2. Test case 2: Backup plan

- **Mô tả:** Giả lập cảm biến siêu âm lỗi (distance > 404cm).
- **Kịch bản:**
 1. Cảm biến siêu âm trả về 9999cm (lỗi).
 2. Hệ thống chuyển sang Backup Plan.
 3. Độ ẩm tăng từ 80% \rightarrow 95% trong 5 phút.
 4. Nhiệt độ giảm từ 30°C \rightarrow 27°C .
 5. Hệ thống phát hiện điều kiện bất thường \rightarrow Mở cửa.
- **Kết quả:** Backup Plan hoạt động, cửa mở khi phát hiện nguy cơ.

4.3. Test case 3: Manual Override

- **Mô tả:** Kiểm tra điều khiển thủ công bằng công tắc.
- **Kịch bản:**
 1. Hệ thống đang ở AUTO mode, cửa đóng (mực nước = 50cm).
 2. Gạt công tắc OPEN $\rightarrow manualOverride = true$.
 3. Cửa mở ngay lập tức (không phụ thuộc mực nước).
 4. Gạt công tắc về OFF \rightarrow Trở về AUTO mode.
- **Kết quả:** Manual override hoạt động đúng.

4.4. Test Case 4: Web Dashboard

- **Mô tả:** Kiểm tra tính năng Dashboard.
- **Kịch bản:**
 1. Đăng nhập với tài khoản ADMIN.
 2. Xem Dashboard \rightarrow Hiển thị đầy đủ thông tin.
 3. Gửi lệnh OPEN từ Web \rightarrow ESP32 nhận và thực thi.
 4. Xem trang Logs \rightarrow Hiển thị lịch sử đầy đủ.

- **Kết quả:** Dashboard hoạt động tốt, realtime updates chính xác.

5. Đánh giá tổng thể

- **Điểm mạnh:**
 - **Tích hợp ML thành công:** Mô hình chạy trực tiếp trên ESP32, không cần server.
 - **Logic thông minh:** Điều chỉnh ngưỡng động dựa trên dự báo, không chỉ phản ứng.
 - **Backup Plan:** Xử lý được trường hợp cảm biến lỗi.
 - **Web Dashboard hoàn chỉnh:** Đầy đủ tính năng giám sát và điều khiển.
 - **Bảo mật:** Xác thực 2 lớp (user + device).
 - **Chi phí thấp:** Sử dụng linh kiện phổ biến, giá rẻ.
- **Hạn chế:**
 - **Dataset:** Dữ liệu thời tiết ở cấp tỉnh/thành phố, chưa phải hyper-local.
 - **Model đơn giản:** Chỉ 2 features, có thể cải thiện với thêm features.
 - **Precision thấp:** Nhiều false positive (cảnh báo nhầm).
 - **Web App MVP:** Chưa có một số tính năng nâng cao (export data, filter logs, v.v.).

VII. Kết luận

1. Kết luận

- Dự án **Hệ thống cửa chống ngập thông minh** đã đạt được các mục tiêu đề ra:
 - Hệ thống tự động đo mực nước và điều khiển cửa mà không cần can thiệp con người.
 - Mô hình Logistic Regression được nhúng thành công vào ESP32, dự đoán xác suất mưa lớn trong 24h tới.
 - Web Dashboard Next.js cho phép theo dõi và điều khiển hệ thống realtime.
 - **Chi phí thấp:** Sử dụng các linh kiện phổ biến, tổng chi phí < 500,000 VNĐ.
- **Điểm sáng tạo chính:**
 - **Điều chỉnh ngưỡng động:** Hệ thống không chỉ "phản ứng" với nước, mà còn "phòng ngừa" dựa trên dự báo ML.
 - **Backup Plan:** Xử lý được trường hợp cảm biến lỗi bằng cách phân tích nhiệt độ/độ ẩm.
 - **Edge AI:** ML model chạy trực tiếp trên ESP32, không cần kết nối server liên tục.
- **Ứng dụng thực tế:**
 - Hàm gửi xe chung cư.
 - Nhà phố thấp tầng.
 - Khu vực thường xuyên ngập lụt.

2. Hạn chế và thách thức

2.1. Về Dữ liệu

- **Dataset:** Dữ liệu thời tiết ở cấp tỉnh/thành phố, không phải hyper-local tại điểm đặt thiết bị.
- **Thời gian:** Dữ liệu từ 2009-2019, có thể không phản ánh điều kiện hiện tại.
- **Độ chính xác:** Model có precision thấp (15%), nhiều false positive.

2.2. Về Mô hình ML

- **Đơn giản:** Chỉ 2 features (TempMean, Humidity), có thể cải thiện với thêm features.
- **Thuật toán:** Logistic Regression là mô hình tuyến tính, không nắm bắt được các tương tác phức tạp.
- **Performance:** AUC-ROC = 0.771 là tốt nhưng chưa xuất sắc.

2.3. Về Hệ thống

- **Web App:** Mới ở mức MVP, thiếu một số tính năng nâng cao.
- **Bảo mật:** Chưa có HTTPS trong development, cần cải thiện cho production.
- **Scalability:** SQLite không phù hợp cho nhiều thiết bị đồng thời.

3. Hướng mở rộng (Future Work)

3.1. Cải thiện Machine Learning

3.1.1. Thu thập dữ liệu thực tế

- Lắp đặt thiết bị tại điểm thực tế.
- Thu thập dữ liệu nhiệt độ/độ ẩm và lượng mưa thực tế.
- Retrain model với dữ liệu mới (transfer learning).

3.1.2. Bổ sung features

- **Cảm biến mưa (Rain Sensor):** Phát hiện mưa trực tiếp.
- **Cảm biến áp suất khí quyển (Barometric Pressure Sensor):** Dự đoán thời tiết chính xác hơn.
- **Cảm biến gió:** Tốc độ và hướng gió.
- **Lịch sử mực nước:** Sử dụng dữ liệu quá khứ để dự đoán.

3.1.3. Nâng cấp mô hình

- **XGBoost:** Mô hình ensemble mạnh hơn, có thể chạy trên server.
- **Deep Learning:** LSTM/GRU để dự đoán chuỗi thời gian.
- **Hybrid Model:** Kết hợp nhiều mô hình (ensemble).

3.1.4. Deployment strategy

- **Cloud Inference:** Chạy mô hình phức tạp trên server, ESP32 chỉ gửi dữ liệu.
- **Federated Learning:** Huấn luyện mô hình từ nhiều thiết bị.

3.2. Cải thiện Phần cứng

3.2.1. Cảm biến bổ sung

- Rain Sensor (GPIO).
- Barometric Pressure Sensor (BMP280/BME280) qua I2C.
- Cảm biến mực nước dự phòng (Water Level Sensor).

3.2.2. Tăng độ tin cậy

- **Battery Backup:** Pin dự phòng khi mất điện.
- **Solar Panel:** Sạc pin bằng năng lượng mặt trời.
- **LoRa/4G Module:** Kết nối dự phòng khi WiFi mất.

3.2.3. Cơ cấu chấp hành

- **Stepper Motor:** Thay servo để điều khiển chính xác hơn.
- **Linear Actuator:** Điều khiển cửa lớn hơn.

3.3. Cải thiện Web Application

3.3.1. Tính năng mới

- **Export Data:** Xuất dữ liệu ra CSV/Excel.
- **Filter & Search:** Lọc logs theo thời gian, điều kiện.
- **Notifications:** Push notifications thay vì chỉ Telegram.
- **Multi-device Support:** Quản lý nhiều thiết bị.
- **User Management:** Admin có thể thêm/xóa user.

3.3.2. Tối ưu Performance

- **WebSocket:** Thay polling bằng WebSocket cho realtime tốt hơn.
- **Caching:** Cache dữ liệu để giảm load database.
- **Pagination:** Phân trang cho logs lớn.

3.3.3. Bảo mật

- **HTTPS:** Sử dụng SSL/TLS trong production.
- **Rate Limiting:** Giới hạn số request để chống DDoS.
- **API Versioning:** Quản lý version API.

3.4. Triển khai Thực tế

3.4.1. Pilot Project

- Lắp đặt tại 1-2 hầm gửi xe thực tế.
- Thu thập dữ liệu trong 3-6 tháng.
- Đánh giá hiệu quả và cải thiện.

3.4.2. Production Deployment

- **Cloud Hosting:** Deploy Web App lên VPS/Cloud (AWS, Azure, GCP).
- **Database:** Chuyển sang PostgreSQL/MySQL.
- **Monitoring:** Sử dụng tools như Grafana, Prometheus.
- **Logging:** Centralized logging (ELK Stack).

3.4.3. Maintenance

- **OTA Updates:** Cập nhật firmware qua không dây.
- **Remote Diagnostics:** Chẩn đoán lỗi từ xa.

- **Automated Alerts:** Cảnh báo khi thiết bị offline.

4. Kết luận cuối cùng

- Dự án **Hệ thống cửa chống ngập thông minh** đã chứng minh tính khả thi của việc tích hợp IoT và Machine Learning vào một giải pháp thực tế. Với chi phí thấp, hệ thống có thể tự động hóa việc chống ngập và cảnh báo sớm, giúp giảm thiểu thiệt hại về tài sản.
- **Đóng góp chính:**
 - Tích hợp ML vào edge device (ESP32).
 - Logic điều chỉnh ngưỡng động dựa trên dự báo.
 - Backup plan khi cảm biến lỗi.
 - Web Dashboard hoàn chỉnh với realtime updates.
- **Hướng phát triển:** Với việc cải thiện dữ liệu, mô hình ML, và triển khai thực tế, hệ thống có tiềm năng trở thành một giải pháp thương mại khả thi cho thị trường Việt Nam.