HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG




TÔ THÀNH TRUNG

# ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ OCR VÀ RFID XÂY DỰNG HỆ THỐNG THU PHÍ TỰ ĐỘNG KHÔNG DỪNG TẠI BÃI ĐỖ XE

**ĐỀ ÁN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**(Theo định hướng ứng dụng)**

HÀ NỘI - 2026

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



TÔ THÀNH TRUNG

# ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ OCR VÀ RFID XÂY DỰNG HỆ THỐNG THU PHÍ TỰ ĐỘNG KHÔNG DỪNG TẠI BÃI ĐỖ XE

NGÀNH: HỆ THỐNG THÔNG TIN

MÃ SỐ: 8.48.01.04

ĐỀ ÁN THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. ĐÀO NGỌC PHONG

HÀ NỘI - 2026

# LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan những nội dung báo cáo trong đề án này là kết quả từ quá trình tự tìm tòi, tổng hợp từ bài giảng, tài liệu tham khảo đa nguồn, cùng kinh nghiệm tôi tích lũy được qua các dự án công việc thực tế. Đây là công trình nghiên cứu mang tính cá nhân và độc lập.

Mọi số liệu, kết quả nêu trong đề án đều đảm bảo tính trung thực, chính xác và chưa từng được bất cứ ai công bố tại một tài liệu hay công trình nào khác.

**Tác giả đề án**



**Tô Thành Trung**

# LỜI CẢM ƠN

Em muốn dành lời cảm ơn chân thành đến TS. Đào Ngọc Phong vì đã luôn đồng hành, lắng nghe, tháo gỡ khó khăn, chia sẻ và tạo mọi điều kiện tốt nhất cho em trong suốt thời gian từ lúc lên ý tưởng đến khi nộp bài.

Em cũng xin gửi lời cảm ơn đến các thầy, cô thuộc Khoa Đào tạo Sau Đại học, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, những người đã mang đến cho em nhiều bài học vô cùng thực tế, thú vị trong những năm học vừa qua.

Đặc biệt, em xin dành lời cảm ơn đến gia đình nhỏ của mình đã luôn là hậu phương vững chắc, thấu hiểu và san sẻ vất vả để em có thể yên tâm hoàn thành đề án và chương trình này.

Do giới hạn về thời gian và nguồn lực nghiên cứu, cho nên cách phân tích cũng như sự trình bày ý tưởng ở bài làm không tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong nhận được sự cảm thông và góp ý chân tình của các thầy cô giáo.

Xin trân trọng cảm ơn!

# MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN ..... i
LỜI CẢM ƠN ..... ii
CÁC TỪ VIẾT TẮT ..... vi
DANH MỤC HÌNH ẢNH ..... viii
DANH MỤC BẢNG BIỂU ..... viii
MỞ ĐẦU ..... 1
Chương 1 TỔNG QUAN ..... 8
1.1. Mục đích, đối tượng, phạm vi và kết quả dự kiến của đề án ..... 8
1.1.1. Sự cần thiết của đề án ..... 8
1.1.2. Mục đích và mục tiêu nghiên cứu ..... 9
1.1.3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu ..... 9
1.1.4. Kết quả dự kiến đạt được ..... 10
1.2. Cơ sở pháp lý và chính sách ..... 10
1.3. Tổng quan các công nghệ và mô hình ETC trên thế giới ..... 12
1.3.1. Các nhóm công nghệ chính ..... 12
1.3.2. Các mô hình triển khai ETC trên thế giới ..... 13
1.3.3. Thách thức và cơ hội cho hệ thống ETC tại Việt Nam ..... 14
1.4. Khái quát mô hình ETC cho bãi đỗ xe khu đô thị ..... 23
Chương 2 PHÂN TÍCH YÊU CẦU VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG ..... 25
2.1. Phân tích yêu cầu hệ thống ..... 25
2.1.1. Yêu cầu nghiệp vụ ..... 25
2.1.2. Yêu cầu phi chức năng ..... 26
2.1.3. Khảo sát đặc thù của bãi đỗ xe khu đô thị điển hình ..... 27
2.1.4. Các ràng buộc pháp lý và tiêu chuẩn áp dụng ..... 28
2.2. Quy trình nghiệp vụ trọng tâm ..... 29
2.2.1. Quy trình xe vào ..... 29
2.2.2. Quy trình xe ra ..... 30
2.2.3. Quy trình đăng ký và nạp tiền tài khoản ..... 30
2.2.4. Quy trình xử lý giao dịch bất thường ..... 31
2.3. Đề xuất kiến trúc tổng thể hệ thống ETC bãi đỗ ..... 32
2.3.1. Quan điểm thiết kế ..... 32

2.3.2. Sơ đồ kiến trúc tổng thể ..... 33
2.3.3. Mô hình triển khai vật lý ..... 34
2.3.4. Giao diện tích hợp ngoài ..... 34
2.4. Thiết kế phân hệ Frontend – tại làn xe ..... 35
2.4.1. Bố trí thiết bị tại làn vào và làn ra ..... 35
2.4.2. Lựa chọn công nghệ tại làn ..... 37
2.4.3. Kiến trúc phần mềm Lane Controller ..... 38
2.4.4. An toàn vật lý và thiết bị ..... 38
2.5. Thiết kế phân hệ Backend – trung tâm ..... 39
2.5.1. Kiến trúc microservice ..... 39
2.5.2. Mô tả sáu dịch vụ chính ..... 39
2.5.3. Thiết kế dữ liệu ..... 40
2.5.4. Sơ đồ thực thể – quan hệ (ER) của cơ sở dữ liệu ..... 42
Chương 3 THỰC NGHIỆM VÀ ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH ÁP DỤNG ..... 45
3.1. Mục tiêu, phạm vi và phương pháp đánh giá thực nghiệm ..... 45
3.1.1. Mục tiêu thực nghiệm ..... 45
3.1.2. Phạm vi và giới hạn ..... 46
3.1.3. Phương pháp và các chỉ số đánh giá (KPI thực nghiệm) ..... 46
3.2. Thiết kế và bố trí thực nghiệm trên bãi đất trống ..... 47
3.2.1. Lựa chọn địa điểm và mô tả hiện trường ..... 47
3.2.2. Bố trí phần cứng tối giản ..... 47
3.2.3. Phần mềm mô phỏng Lane Controller + Backend ..... 50
3.3. Quy trình và kết quả thực nghiệm ..... 50
3.3.1. Quy trình tiến hành thực nghiệm ..... 50
3.3.2. Bảng kết quả thực nghiệm ..... 51
3.3.3. Tổng hợp kết quả theo nhóm kịch bản ..... 54
3.4. Đánh giá kết quả thực nghiệm ..... 55
3.4.1. Đánh giá theo các chỉ số đã đặt ra ..... 55
3.4.2. Phân tích định tính theo từng kịch bản ..... 55
3.4.3. Hạn chế của thực nghiệm ..... 56
3.5. Đề xuất hai mô hình áp dụng thực tế ..... 57
3.5.1. Mô hình 1 — Bãi đỗ xe đơn lẻ ..... 57
3.5.2. Mô hình 2 — Khu đô thị quy mô ..... 59

3.5.3. So sánh hai mô hình ..... 60
Kết luận chương 3 ..... 63
KẾT LUẬN ..... 65
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO ..... 67

# CÁC TỪ VIẾT TẮT

| Từ viết tắt | Từ tiếng Anh đầy đủ | Ý nghĩa / Giải nghĩa tiếng Việt |
|---|---|---|
| **AES** | Advanced Encryption Standard | Tiêu chuẩn mã hóa tiên tiến |
| **ANPR** | Automatic Number Plate Recognition | Hệ thống nhận dạng biển số xe tự động |
| **API** | Application Programming Interface | Giao diện lập trình ứng dụng |
| **DSRC** | Dedicated Short-Range Communications | Truyền thông chuyên dụng tầm ngắn |
| **EPC** | Electronic Product Code | Chuẩn mã sản phẩm điện tử |
| **ER** | Entity - Relationship | Sơ đồ thực thể - quan hệ |
| **ERP** | Electronic Road Pricing | Hệ thống thu phí đường bộ điện tử |
| **ETC** | Electronic Toll Collection | Hệ thống thu phí điện tử không dừng |
| **GNSS** | Global Navigation Satellite System | Hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu |
| **IP** | Internet Protocol / Ingress Protection | Giao thức mạng (Camera IP) / Cấp bảo vệ vỏ thiết bị (chuẩn IP55, IP65) |
| **ISO/IEC** | International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission | Tổ chức Tiêu chuẩn hóa Quốc tế / Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế |
| **JWT** | JSON Web Token | Tiêu chuẩn chuỗi JSON để xác thực bảo mật |
| **LLRP** | Low Level Reader Protocol | Giao thức đầu đọc mức thấp |
| **OBU** | On-Board Unit | Thiết bị (định vị/thu phát) gắn trên phương tiện |
| **OCR** | Optical Character Recognition | Nhận dạng ký tự quang học |
| **ONVIF** | Open Network Video Interface Forum | Tiêu chuẩn giao diện video mạng mở |
| **PoE** | Power over Ethernet | Công nghệ cấp nguồn điện qua cáp mạng |
| **REST** | Representational State Transfer | Kiến trúc phần mềm |
| **RFID** | Radio Frequency Identification | Công nghệ nhận dạng qua tần số vô tuyến |
| **RPO** | Recovery Point Objective | Mục tiêu khôi phục dữ liệu |

| Từ viết tắt | Từ tiếng Anh đầy đủ | Ý nghĩa / Giải nghĩa tiếng Việt |
|---|---|---|
| **RSSI** | Received Signal Strength Indicator | Chỉ số cường độ tín hiệu vô tuyến nhận được |
| **RTO** | Recovery Time Objective | Mục tiêu khôi phục dịch vụ |
| **RTSP** | Real Time Streaming Protocol | Giao thức truyền phát thời gian thực |
| **SD-WAN** | Software-Defined Wide Area Network | Mạng diện rộng điều khiển bằng phần mềm |
| **SIEM** | Security Information and Event Management | Hệ thống quản lý sự kiện và thông tin bảo mật |
| **TCCS** | Tiêu chuẩn cơ sở | Tiêu chuẩn do cơ quan/tổ chức tự ban hành |
| **TCVN** | Tiêu chuẩn quốc gia | Tiêu chuẩn do nhà nước Việt Nam ban hành |
| **TLS** | Transport Layer Security | Giao thức bảo mật tầng truyền tải |
| **UHF** | Ultra High Frequency | Dải tần số siêu cao |
| **UPS** | Uninterruptible Power Supply | Hệ thống bộ lưu điện dự phòng |
| **UUID / ULID** | Universally Unique Identifier / Universally Unique Lexicographically Sortable Identifier | Mã định danh duy nhất toàn cầu / Mã định danh duy nhất có thể sắp xếp |
| **VDTC** | Công ty Cổ phần Giao thông số Việt Nam | Đơn vị cung cấp thẻ và dịch vụ thu phí không dừng ePass |
| **VETC** | Công ty TNHH Thu phí tự động VETC | Đơn vị cung cấp thẻ và dịch vụ thu phí tự động VETC |

# DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống RFID UHF ..... 16
Hình 1.2. Kiến trúc khối của thẻ RFID UHF thụ động ..... 18
Hình 1.3. Kiến trúc tổng thể hệ thống RFID trong bãi đỗ xe ..... 19
Hình 1.4. Quy trình nhận dạng biển số xe theo kiến trúc CRNN ..... 21
Hình 2.1. Luồng quy trình nghiệp vụ xe vào và xe ra ..... 32
Hình 2.2. Kiến trúc tổng thể hệ thống ETC bãi đỗ xe khu đô thị ..... 33
Hình 2.3. Bố trí thiết bị tại làn vào và làn ra của bãi đỗ ETC ..... 35
Hình 2.4. Sơ đồ ER – Cơ sở dữ liệu hệ thống ETC bãi đỗ ..... 43
Hình 3.1. Mô hình thực nghiệm trên bãi đất trống: cột + camera ANPR + đầu đọc RFID + laptop ..... 48

# DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. So sánh các công nghệ phục vụ thu phí điện tử không dừng ..... 12
Bảng 2.1. Danh mục thiết bị tại làn ETC bãi đỗ xe ..... 36
Bảng 2.2. Các thực thể dữ liệu chính trong phân hệ Backend ..... 41
Bảng 3.1. Danh mục thiết bị và vật tư trong thực nghiệm trên bãi đất trống ..... 49
Bảng 3.2. Kết quả thực nghiệm trên bãi đất trống ..... 51
Bảng 3.3. Tổng hợp kết quả thực nghiệm theo nhóm kịch bản ..... 54
Bảng 3.4. So sánh chi tiết hai mô hình triển khai thực tế ..... 61

# MỞ ĐẦU

## 1. Tính cấp thiết của đề tài

Việt Nam đang trải qua quá trình đô thị hóa nhanh, đi cùng với sự gia tăng nhanh chóng số lượng phương tiện cá nhân tại các đô thị lớn như Hà Nội, Thành phố Hồ Chí Minh và các đô thị vệ tinh. Trong bối cảnh hạ tầng giao thông tĩnh chưa theo kịp tốc độ tăng phương tiện, bãi đỗ xe tại các khu đô thị mới thường xuyên rơi vào tình trạng quá tải, ùn ứ ở các điểm ra vào trong giờ cao điểm. Một phần đáng kể nguyên nhân nằm ở mô hình thu phí thủ công với vé giấy và nhân viên trực 24/7, vốn bộc lộ nhiều hạn chế về chi phí vận hành, khả năng chống thất thoát, năng lực tạo dữ liệu phục vụ quản trị và trải nghiệm của cư dân.

Trên bình diện quốc gia, hình thức thu phí điện tử không dừng (Electronic Toll Collection — ETC) đã được áp dụng rộng rãi trên cao tốc và quốc lộ. Đến cuối năm 2025, khoảng 96% ô tô đang lưu hành đã được dán thẻ ePass hoặc VETC[1], hình thành một hạ tầng định danh phương tiện sẵn có ở quy mô toàn quốc và hoàn toàn có thể tái sử dụng cho các ứng dụng giao thông tĩnh. Việc mở rộng ETC sang bãi đỗ xe khu đô thị nhờ đó vừa có cơ sở hạ tầng kỹ thuật vừa có khung pháp lý rõ ràng: Nghị định số 119/2024/NĐ-CP ngày 30/9/2024 của Chính phủ về thanh toán điện tử trong giao thông đường bộ[2] đã mở rộng phạm vi áp dụng ETC sang các loại hình giao thông tĩnh, trong đó có bến xe và bãi đỗ xe đô thị; Quyết định số 2381/QĐ-BXD năm 2025 của Bộ Xây dựng[3] cụ thể hóa kế hoạch triển khai thu phí không dừng tại các bến xe, bãi đỗ trong đô thị; còn Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 44:2022/TCĐBVN (cập nhật Sửa đổi 1:2023)[4] cung cấp khung kỹ thuật chung cho hệ thống ETC sử dụng công nghệ

---

[1]Cục Đường bộ Việt Nam (2025), Báo cáo kết quả dán thẻ thu phí không dừng toàn quốc đến năm 2025, Hà Nội. Tỷ lệ 96% ô tô dán thẻ ePass/VETC trên tổng số phương tiện lưu hành.

[2]Chính phủ (2024), Nghị định số 119/2024/NĐ-CP ngày 30/9/2024 về thanh toán điện tử trong giao thông đường bộ.

[3]Bộ Xây dựng (2025), Quyết định số 2381/QĐ-BXD về kế hoạch triển khai thu phí không dừng tại bến xe và bãi đỗ xe đô thị.

[4]Tổng cục Đường bộ Việt Nam (2022, Sửa đổi 1:2023), Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 44:2022/TCĐBVN – Hệ thống thu phí điện tử không dừng sử dụng công nghệ RFID.

RFID. Bên cạnh đó, Nghị định số 13/2023/NĐ-CP[5] đặt ra các yêu cầu bắt buộc về bảo vệ dữ liệu cá nhân mà mọi hệ thống thu phí có lưu trữ biển số và thông tin định danh phải tuân thủ.

Trong khi đó, các nghiên cứu và công bố trong nước về ETC chủ yếu tập trung vào ứng dụng trên cao tốc, nơi luồng phương tiện một chiều, tốc độ cao và tính phí theo lượt. Mô hình ETC cho bãi đỗ xe trong khu đô thị có những đặc thù khác biệt rõ rệt — tốc độ phương tiện thấp, không gian hẹp, tính phí theo thời gian, ba nhóm người dùng (cư dân, khách vãng lai, vận hành nội bộ) với yêu cầu khác nhau, và đòi hỏi liên thông với hệ thống quản lý cư dân — vẫn còn ít được nghiên cứu một cách hệ thống. Đặc biệt, hướng tiếp cận kết hợp RFID UHF (làm phương thức nhận dạng chính) với OCR biển số (làm phương thức đối chứng và dự phòng), đồng thời tận dụng hạ tầng thẻ ePass/VETC sẵn có, gần như chưa có công bố Việt Nam đi vào chi tiết kiến trúc và thiết kế phần mềm.

Từ thực tiễn nêu trên, việc nghiên cứu, thiết kế và đề xuất một mô hình triển khai hệ thống ETC dành riêng cho bãi đỗ xe trong khu đô thị Việt Nam, kết hợp RFID và OCR, có khả năng tích hợp với hạ tầng ETC quốc gia, có lộ trình áp dụng phù hợp với cả bãi đỗ đơn lẻ lẫn khu đô thị quy mô, là một đề tài có tính cấp thiết cả về lý luận lẫn thực tiễn. Đây chính là động lực hình thành đề án này.

## 2. Tổng quan tình hình nghiên cứu liên quan

Trên thế giới, hệ thống thu phí điện tử không dừng đã trải qua hơn ba thập kỷ phát triển, với các mô hình tiêu biểu như E-ZPass (Hoa Kỳ), ERP (Singapore), ETC ở Nhật Bản, ETCS ở châu Âu. Phần lớn các nghiên cứu quốc tế tập trung vào hai trục: (i) tối ưu hiệu năng đọc thẻ RFID ở tốc độ cao trên cao tốc và (ii) tích hợp ETC với hệ thống quản lý giao thông thông minh. Trong khoảng mười năm gần đây, hướng nghiên cứu mở rộng ETC sang giao thông tĩnh (bãi đỗ, khu đỗ sân bay, trung tâm thương mại) bắt đầu nhận được sự quan tâm, với các đề xuất kết hợp RFID, ANPR (Automatic Number Plate Recognition) và thanh toán di động. Tuy vậy, các mô hình

[5]Chính phủ (2023), Nghị định số 13/2023/NĐ-CP ngày 17/4/2023 về bảo vệ dữ liệu cá nhân.

quốc tế đều được xây dựng trên hạ tầng và đặc thù riêng của từng nước, không thể bê nguyên sang bối cảnh Việt Nam — nơi vừa có thẻ ePass/VETC phổ biến, vừa có quy định pháp lý riêng về dữ liệu cá nhân và hóa đơn điện tử.

Tại Việt Nam, hai luồng nghiên cứu và triển khai chính có thể kể tới. Luồng thứ nhất là các nghiên cứu kỹ thuật về RFID UHF và OCR phục vụ ETC trên cao tốc, gắn với quá trình triển khai thực tế của hai nhà cung cấp dịch vụ ETC quốc gia là VETC và ePass. Luồng này cung cấp nền tảng kỹ thuật vững chắc về giao thức không khí ISO/IEC 18000-63, về cấu hình đầu đọc theo chuẩn LLRP, và về thực tiễn quản lý vòng đời thẻ. Luồng thứ hai là các giải pháp thương mại do một số doanh nghiệp trong nước phát triển cho bãi đỗ xe tại các tòa nhà văn phòng và trung tâm thương mại, chủ yếu sử dụng OCR biển số hoặc thẻ proximity tầm ngắn. Các giải pháp này thiên về tích hợp phần cứng và quản lý vận hành, ít công bố chi tiết về kiến trúc phần mềm.

Tổng hợp lại, khoảng trống mà đề án nhận diện được gồm bốn điểm: (1) thiếu các mô hình ETC bãi đỗ khu đô thị được mô tả đầy đủ ở cả ba phân lớp Frontend, Backend và Operation; (2) thiếu các nghiên cứu kết hợp đồng thời RFID UHF và OCR ở mức kiến trúc và quy trình hợp nhất dữ liệu; (3) thiếu các nghiên cứu tận dụng hạ tầng thẻ ePass/VETC quốc gia cho ứng dụng giao thông tĩnh; (4) thiếu các đề xuất triển khai có phân cấp theo quy mô (bãi đỗ đơn lẻ và khu đô thị nhiều cụm) phù hợp với năng lực đầu tư và vận hành thực tế của các chủ đầu tư khác nhau ở Việt Nam.

### 3. Mục đích và mục tiêu nghiên cứu

Mục đích chung của đề án là nghiên cứu, thiết kế và đề xuất mô hình triển khai hệ thống thu phí điện tử không dừng kết hợp công nghệ RFID UHF và OCR biển số dành cho bãi đỗ xe trong khu đô thị tại Việt Nam, đồng thời kiểm chứng tính khả thi kỹ thuật của các thành phần cốt lõi thông qua một mô hình thực nghiệm quy mô nhỏ.

Để đạt được mục đích chung này, đề án xác định năm mục tiêu cụ thể:

(1) Hệ thống hóa cơ sở lý thuyết và pháp lý của thu phí điện tử không dừng, bao gồm: nguyên lý hoạt động của RFID UHF theo chuẩn ISO/IEC 18000-63 (EPC Gen2v2), nguyên lý nhận dạng biển số bằng OCR, các mô hình ETC tiêu biểu trên thế giới và tại Việt Nam, cùng các văn bản pháp lý và tiêu chuẩn áp dụng (Nghị định

119/2024/NĐ-CP, Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025, TCCS 44:2022/TCĐBVN, Nghị định 13/2023/NĐ-CP).

(2) Phân tích yêu cầu và đặc thù của bài toán ETC cho bãi đỗ xe khu đô thị, bao gồm yêu cầu nghiệp vụ của ba nhóm người dùng (cư dân, khách vãng lai, vận hành nội bộ), yêu cầu phi chức năng (hiệu năng, sẵn sàng, bảo mật, mở rộng), và các ràng buộc pháp lý, kỹ thuật.

(3) Đề xuất kiến trúc tổng thể hệ thống ba phân lớp Frontend, Backend và Operation, kèm thiết kế chi tiết phân hệ Frontend tại làn (tám nhóm thiết bị, kiến trúc phần mềm Lane Controller bốn lớp) và phân hệ Backend (sáu microservice, thiết kế dữ liệu ba lớp lưu trữ), bảo đảm khả năng tích hợp với hạ tầng thẻ ePass/VETC quốc gia.

(4) Kiểm chứng tính khả thi kỹ thuật của các thành phần cốt lõi (đầu đọc RFID UHF, camera ANPR, phần mềm Lane Controller mô phỏng) thông qua thực nghiệm quy mô nhỏ trên bãi đất trống với các kịch bản đa dạng về loại biển số và điều kiện thời tiết.

(5) Đề xuất hai mô hình áp dụng thực tế phù hợp với hai quy mô khác nhau là bãi đỗ đơn lẻ và khu đô thị nhiều cụm bãi, kèm bảng so sánh chi tiết về phần cứng, phần mềm, tích hợp ETC, vận hành và chi phí, làm cơ sở lựa chọn cho chủ đầu tư.

**4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

*Đối tượng nghiên cứu* của đề án là hệ thống thu phí điện tử không dừng cho bãi đỗ xe ô tô tại các khu đô thị, với hai công nghệ trụ cột là RFID dải tần siêu cao (UHF) theo chuẩn ISO/IEC 18000-63 và OCR áp dụng cho nhận dạng biển số xe (ANPR). Đề án không bao gồm phương tiện hai bánh và không nghiên cứu các phương thức nhận dạng khác như Bluetooth, Wi-Fi định vị hay camera đo tốc độ.

*Phạm vi nội dung* bao trùm bốn nhóm hoạt động: (i) hệ thống hóa cơ sở lý thuyết và pháp lý; (ii) phân tích yêu cầu và thiết kế kiến trúc hệ thống ba phân lớp Frontend, Backend và Operation; (iii) thực nghiệm kiểm chứng tính khả thi kỹ thuật của các thành phần cốt lõi ở quy mô tối giản; (iv) đề xuất hai mô hình triển khai thực

tế ở hai quy mô khác nhau. Đề án không đi sâu vào các khía cạnh tài chính, kinh doanh như mô hình doanh thu hay phương án thu hồi vốn.

*Phạm vi không gian* của phần thực nghiệm là một bãi đất trống nằm trong khu vực dân cư phân lô tại Gia Lâm (Hà Nội), được lựa chọn để dựng một mô hình ETC thu nhỏ phục vụ kiểm chứng kỹ thuật. Đề án không thực hiện triển khai trên các cổng barrier vận hành thương mại của bất kỳ khu đô thị nào, do không có giấy phép thử nghiệm thực địa ở các môi trường này.

*Phạm vi thời gian* của dữ liệu, văn bản pháp lý và tiêu chuẩn được tham chiếu là giai đoạn 2020–2025; các đề xuất triển khai và lộ trình áp dụng được định hướng cho giai đoạn 2026–2030, bám sát Nghị định 119/2024/NĐ-CP và Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025.

**5. Phương pháp nghiên cứu**

Đề án sử dụng tổ hợp bốn phương pháp nghiên cứu, mỗi phương pháp phục vụ một nhóm mục tiêu cụ thể.

*Phương pháp nghiên cứu tài liệu* được sử dụng ở Chương 1 để hệ thống hóa cơ sở lý thuyết về RFID UHF, OCR biển số và các mô hình ETC trên thế giới và tại Việt Nam, đồng thời tổng hợp khung pháp lý và tiêu chuẩn áp dụng. Nguồn tài liệu chính gồm các văn bản quy phạm pháp luật của Việt Nam, các tiêu chuẩn ISO/IEC và TCVN/TCCS, các báo cáo và bài báo khoa học liên quan đến ETC, và các tài liệu kỹ thuật chính thức từ các nhà cung cấp thẻ ETC quốc gia (VETC, ePass).

*Phương pháp phân tích và thiết kế hệ thống* được sử dụng ở Chương 2 để xác định ba nhóm người dùng và bảy nhóm yêu cầu nghiệp vụ, các yêu cầu phi chức năng cụ thể (độ trễ dưới 200 ms, 30 xe/làn/phút, uptime 99,9%, RPO 15 phút, RTO 4 giờ), từ đó dẫn xuất ra kiến trúc tổng thể ba phân lớp và thiết kế chi tiết của Frontend (tám nhóm thiết bị, phần mềm Lane Controller bốn lớp) và Backend (sáu microservice, thiết kế dữ liệu ba lớp lưu trữ với sơ đồ ER chín bảng).

*Phương pháp thực nghiệm* được sử dụng ở Chương 3 để kiểm chứng tính khả thi kỹ thuật của ba thành phần cốt lõi: đầu đọc RFID UHF, camera ANPR và phần mềm Lane Controller mô phỏng. Đề án dựng một mô hình thực nghiệm tối giản trên

bãi đất trống tại Gia Lâm với cột tự dựng làm giá đỡ, tiến hành thực nghiệm phân bố trên sáu kịch bản kết hợp giữa ba loại biển số (rõ, mờ, giả định) và hai điều kiện thời tiết (nắng sáng, trời âm u). Kết quả được ghi nhận trực tiếp tại hiện trường và đối chiếu với log của phần mềm.

*Phương pháp so sánh và đề xuất* được sử dụng ở phần cuối Chương 3 để xây dựng hai mô hình áp dụng thực tế ở hai quy mô khác nhau (bãi đỗ đơn lẻ và khu đô thị nhiều cụm bãi). Hai mô hình được so sánh chi tiết trên mười tiêu chí, từ phạm vi áp dụng và quy mô phương tiện tới phần cứng, phần mềm, tích hợp ETC và vận hành, làm cơ sở lựa chọn cho chủ đầu tư.

**6. Đóng góp của đề án**

Đề án tập trung vào ba kết quả chính, khoanh vùng rõ phạm vi của một đề án thiết kế ứng dụng:

*Thứ nhất, về mặt lý thuyết và kiến trúc* (Chương 1 và Chương 2): đề án nghiên cứu và hệ thống hóa mô hình ETC dựa trên kết hợp công nghệ RFID UHF với OCR nhận dạng biển số, đặt trong khung pháp lý hiện hành tại Việt Nam (Nghị định 119/2024/NĐ-CP, Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025, TCCS 44:2022/TCĐBVN, Nghị định 13/2023/NĐ-CP). Trên cơ sở đó, đề án đề xuất một kiến trúc hệ thống tổng thể ba phân lớp Frontend, Backend và Operation, kèm bộ yêu cầu chức năng và phi chức năng, các quy trình nghiệp vụ trọng tâm và thiết kế dữ liệu, tạo thành mô hình lý thuyết tham chiếu cho việc triển khai ETC tại bãi đỗ xe khu đô thị.

*Thứ hai, về mặt thực nghiệm* (Chương 3): đề án thực hiện một thực nghiệm trong phạm vi hẹp với mô hình tối giản tại bãi đất trống — dựng cột, lắp camera ANPR và đầu đọc RFID UHF, kết hợp phần mềm mô phỏng Lane Controller và Backend trên laptop. Kết quả thực nghiệm trên sáu kịch bản đa dạng (biển rõ, biển mờ, thẻ giả định, các điều kiện thời tiết khác nhau) cho thấy các thành phần cốt lõi của hệ thống vận hành đúng như thiết kế, kiểm chứng được tính khả thi kỹ thuật của giải pháp tích hợp RFID UHF với OCR ở mức biên.

*Thứ ba, về mặt đề xuất ứng dụng thực tế* (Chương 3): trên cơ sở kết quả thực nghiệm, đề án đề xuất hai mô hình triển khai thực tế ở hai quy mô khác nhau — bãi

đỗ xe đơn lẻ và khu đô thị quy mô với nhiều cụm bãi — kèm cấu hình phần cứng, phần mềm, hạ tầng và phương án vận hành cụ thể cho từng quy mô. Bảng so sánh chi tiết trên mười tiêu chí là công cụ trực tiếp để chủ đầu tư và đơn vị vận hành lựa chọn mô hình phù hợp, đồng thời mở ra lộ trình nâng cấp tự nhiên từ Mô hình 1 lên Mô hình 2 khi quy mô bãi đỗ mở rộng.

### 7. Cấu trúc đề án

Ngoài phần Mở đầu, Kết luận, Danh mục tài liệu tham khảo và Phụ lục, nội dung chính của đề án được trình bày trong ba chương như sau:

*Chương 1. Tổng quan* trình bày bối cảnh và cơ sở lý luận của đề tài: thực trạng đỗ xe và thu phí tại các khu đô thị Việt Nam, tổng quan công nghệ RFID UHF và OCR biển số, các mô hình ETC trên thế giới và tại Việt Nam, hệ thống văn bản pháp lý và tiêu chuẩn áp dụng (đặc biệt là Nghị định 119/2024/NĐ-CP, Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025, TCCS 44:2022/TCĐBVN và Nghị định 13/2023/NĐ-CP), và xác định bốn khoảng trống nghiên cứu mà đề án hướng tới giải quyết.

*Chương 2. Phân tích yêu cầu và thiết kế hệ thống* trình bày phần thiết kế kỹ thuật cốt lõi của đề án: phân tích yêu cầu nghiệp vụ (ba nhóm người dùng, bảy nhóm yêu cầu nghiệp vụ) và yêu cầu phi chức năng (hiệu năng, sẵn sàng, bảo mật, mở rộng); bốn quy trình nghiệp vụ trọng tâm (xe vào, xe ra, đăng ký – nạp tiền, xử lý giao dịch bất thường); kiến trúc tổng thể ba phân lớp; thiết kế chi tiết phân hệ Frontend tại làn (tám nhóm thiết bị, phần mềm Lane Controller bốn lớp); thiết kế chi tiết phân hệ Backend (sáu microservice, thiết kế dữ liệu ba lớp lưu trữ, sơ đồ thực thể và quan hệ chín bảng).

*Chương 3. Thực nghiệm và đề xuất mô hình áp dụng* trình bày phần kiểm chứng và đề xuất ứng dụng. Phần thực nghiệm mô tả thiết kế và bố trí mô hình tối giản trên bãi đất trống tại Gia Lâm (cột tự dựng + camera ANPR + đầu đọc RFID UHF + laptop chạy phần mềm mô phỏng), quy trình tiến hành và kết quả thực nghiệm phân bố trên sáu kịch bản đa dạng, đánh giá theo các chỉ số đã đặt ra. Phần đề xuất trình bày hai mô hình triển khai thực tế cho hai quy mô khác nhau là bãi đỗ đơn lẻ và khu đô thị nhiều cụm bã.

# Chương 1

# TỔNG QUAN

## 1.1. Mục đích, đối tượng, phạm vi và kết quả dự kiến của đề án

### *1.1.1. Sự cần thiết của đề án*

Việt Nam đang trải qua quá trình đô thị hóa nhanh, kéo theo sự gia tăng phương tiện cá nhân tại các khu đô thị mới ở Hà Nội, Thành phố Hồ Chí Minh và các đô thị vệ tinh. Hạ tầng giao thông tĩnh, đặc biệt là bãi đỗ xe, không theo kịp tốc độ tăng phương tiện, dẫn đến ùn ứ cục bộ tại các điểm ra vào bãi trong giờ cao điểm. Một phần nguyên nhân nằm ở mô hình thu phí thủ công với vé giấy và nhân viên trực 24/7, vốn bộc lộ nhiều hạn chế về chi phí vận hành, khả năng chống gian lận và năng lực tạo dữ liệu phục vụ quản trị.

Trên bình diện quốc gia, thu phí điện tử không dừng (Electronic Toll Collection – ETC) đã được áp dụng rộng rãi trên cao tốc và quốc lộ. Đến cuối năm 2025, khoảng 96% ô tô đang lưu hành đã được dán thẻ ePass hoặc VETC, hình thành một hạ tầng định danh phương tiện sẵn có có thể tái sử dụng cho các ứng dụng giao thông tĩnh.

Việc mở rộng ETC sang bãi đỗ xe khu đô thị có cơ sở pháp lý và chính sách rõ ràng. Quyết định số 19/2020/QĐ-TTg ngày 17/6/2020 của Thủ tướng Chính phủ và Thông tư số 15/2020/TT-BGTVT ngày 22/7/2020 của Bộ Giao thông Vận tải quy định khung pháp lý chung cho ETC. Ngày 30/9/2024, Chính phủ ban hành Nghị định số 119/2024/NĐ-CP về thanh toán điện tử trong giao thông đường bộ, mở rộng phạm vi áp dụng ETC sang các loại hình giao thông tĩnh, trong đó có bến xe và bãi đỗ xe đô thị. Trên cơ sở đó, Bộ Xây dựng đã ban hành Quyết định số 2381/QĐ-BXD năm 2025 về kế hoạch triển khai thu phí không dừng tại các bến xe, bãi đỗ trong đô thị, đồng thời có văn bản gửi Ủy ban nhân dân các tỉnh, thành phố đề nghị khẩn trương chỉ đạo triển khai và báo cáo định kỳ tiến độ. Về tiêu chuẩn kỹ thuật, ngày 16/6/2022, Tổng cục Đường bộ Việt Nam ban hành Quyết định số 2578/QĐ-TCĐBVN công bố Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 44:2022/TCĐBVN "Hệ thống thu phí đường bộ theo hình

thức điện tử không dừng sử dụng công nghệ RFID – Yêu cầu kỹ thuật chung", đã được Sửa đổi 1:2023 cập nhật. Khung pháp lý này tạo ra điều kiện thuận lợi và yêu cầu bắt buộc về việc áp dụng ETC trong khu đô thị.

Trong khi đó, các nghiên cứu và công bố trong nước về ETC chủ yếu tập trung vào ứng dụng trên cao tốc, nơi luồng phương tiện một chiều, tốc độ cao và tính phí theo lượt. Mô hình ETC cho bãi đỗ xe trong khu đô thị – với đặc thù tốc độ thấp, không gian hẹp, tính phí theo thời gian và phải liên thông với hệ thống quản lý cư dân – còn ít được nghiên cứu hệ thống, đặc biệt ở khía cạnh kết hợp RFID với OCR và tận dụng hạ tầng thẻ ETC quốc gia. Đây chính là khoảng trống mà đề án hướng tới giải quyết.

### *1.1.2. Mục đích và mục tiêu nghiên cứu*

Mục đích chung của đề án là đề xuất mô hình hệ thống thu phí điện tử không dừng kết hợp công nghệ RFID và OCR cho bãi đỗ xe trong khu đô thị tại Việt Nam, và kiểm chứng tính khả thi kỹ thuật của các thành phần cốt lõi thông qua một mô hình thực nghiệm quy mô nhỏ.

Đề án xác định năm mục tiêu cụ thể: (i) hệ thống hóa cơ sở lý thuyết về RFID, OCR và các mô hình ETC trên thế giới và tại Việt Nam; (ii) thiết kế kiến trúc tổng thể của hệ thống ETC cho bãi đỗ xe khu đô thị, gồm thiết bị biên, phần mềm trung tâm và các giao diện tích hợp; (iii) đề xuất giải pháp sử dụng chung dữ liệu thẻ ePass và VETC; (iv) triển khai thực nghiệm và đánh giá hiệu quả vận hành thực tế; (v) đề xuất hai mô hình áp dụng thực tế phù hợp với hai quy mô khác nhau là bãi đỗ đơn lẻ và khu đô thị nhiều cụm bãi.

### *1.1.3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu*

Đối tượng nghiên cứu của đề án là hệ thống thu phí điện tử không dừng cho bãi đỗ xe ô tô tại các khu đô thị, với hai công nghệ trụ cột là RFID dải tần siêu cao (UHF) và OCR áp dụng cho nhận dạng biển số xe.

Về phạm vi không gian, phần thực nghiệm của đề án được tiến hành trên một bãi đất trống tại khu vực dân cư phân lô ở Gia Lâm (Hà Nội), nơi thực nghiệm một mô hình ETC thu nhỏ phục vụ kiểm chứng kỹ thuật; đề án không thực hiện triển khai

trên các cổng barrier vận hành thương mại của bất kỳ khu đô thị nào do không có giấy phép thử nghiệm thực địa. Về phạm vi nội dung, đề án bao trùm từ hệ thống hóa cơ sở lý luận, phân tích yêu cầu, thiết kế kiến trúc, tới thực nghiệm kiểm chứng quy mô nhỏ và đề xuất hai mô hình triển khai thực tế. Về phạm vi thời gian, đề án sử dụng dữ liệu giai đoạn 2020–2025 và đề xuất hướng triển khai trong giai đoạn 2026–2030. Đề án không xét tới phương tiện hai bánh và không đi sâu vào các khía cạnh tài chính – kinh doanh như mô hình doanh thu hay phương án thu hồi vốn.

#### *1.1.4. Kết quả dự kiến đạt được*

Đề án dự kiến đạt được bốn kết quả chính:

(1) Bộ tài liệu thiết kế kiến trúc hệ thống ETC cho bãi đỗ xe khu đô thị, có thể tham chiếu cho các đơn vị quản lý vận hành bãi đỗ và nhà phát triển giải pháp;

(2) Phương án kỹ thuật kết hợp RFID UHF và OCR, sử dụng chung thẻ ePass/VETC quốc gia, có khả năng phục vụ cả cư dân lẫn khách vãng lai;

(3) Kết quả thực nghiệm kiểm chứng tính khả thi kỹ thuật của các thành phần cốt lõi (đầu đọc RFID UHF, camera ANPR, phần mềm Lane Controller mô phỏng) trên mô hình tối giản tại bãi đất trống Gia Lâm, với các lượt thực nghiệm phân bố trên sáu kịch bản đa dạng;

(4) Khuyến nghị về lộ trình nhân rộng mô hình tại các khu đô thị khác giai đoạn 2026–2030, bám sát Nghị định 119/2024/NĐ-CP và Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025.

### 1.2. Cơ sở pháp lý và chính sách

Việc triển khai hệ thống ETC tại bãi đỗ xe khu đô thị được điều chỉnh bởi một hệ thống văn bản pháp lý tương đối đầy đủ, có thể phân thành ba nhóm.

Nhóm thứ nhất là các văn bản về thu phí điện tử không dừng nói chung, gồm Quyết định số 19/2020/QĐ-TTg ngày 17/6/2020 của Thủ tướng Chính phủ về việc thu phí dịch vụ sử dụng đường bộ theo hình thức điện tử không dừng, và Thông tư số 15/2020/TT-BGTVT ngày 22/7/2020 của Bộ Giao thông Vận tải hướng dẫn thi hành.

Nhóm thứ hai là các văn bản mở rộng phạm vi ETC sang giao thông tĩnh trong đô thị. Nghị định số 119/2024/NĐ-CP ngày 30/9/2024 của Chính phủ về thanh toán

điện tử trong giao thông đường bộ đã đưa ra các quy định mới nhằm đa dạng hóa hình thức thanh toán và mở rộng ETC sang bến xe, bãi đỗ. Trên cơ sở Nghị định này, Bộ Xây dựng đã ban hành Quyết định số 2381/QĐ-BXD năm 2025 về kế hoạch triển khai thu phí không dừng tại bến xe, bãi đỗ trong đô thị theo hai giai đoạn: giai đoạn 1 từ tháng 6/2025 đến 31/12/2025 tập trung tuyên truyền và triển khai thí điểm; giai đoạn 2 từ năm 2026 đến năm 2030 hoàn thiện hành lang pháp lý, tiêu chuẩn kỹ thuật và nhân rộng đồng bộ. Quyết định cũng đặt mốc cụ thể hoàn thành lắp đặt thiết bị tại toàn bộ bến xe loại 1 trong đô thị trước 31/12/2026 và bến xe loại 2 trước 31/12/2027. Bên cạnh đó, các địa phương lớn đã ban hành quy chế riêng, ví dụ Quyết định số 4696/QĐ-UBND ngày 6/9/2024 của Ủy ban nhân dân thành phố Hà Nội về quy chế tạm thời triển khai ứng dụng công nghệ để tìm kiếm và thanh toán giá dịch vụ trông giữ xe không sử dụng tiền mặt.

Nhóm thứ ba là các văn bản về tiêu chuẩn kỹ thuật và bảo vệ dữ liệu. Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 44:2022/TCĐBVN ban hành theo Quyết định số 2578/QĐ-TCĐBVN ngày 16/6/2022 của Tổng cục Đường bộ Việt Nam quy định yêu cầu kỹ thuật chung cho hệ thống ETC sử dụng công nghệ RFID, được cập nhật bằng Sửa đổi 1:2023. Nghị định số 13/2023/NĐ-CP ngày 17/4/2023 của Chính phủ về bảo vệ dữ liệu cá nhân áp dụng cho mọi hệ thống lưu trữ và xử lý thông tin định danh phương tiện kèm hành vi sử dụng dịch vụ, đặt ra yêu cầu bắt buộc về thiết kế bảo mật, tối thiểu hóa dữ liệu, mã hóa khi lưu trữ và truyền, ghi nhật ký truy cập.

Trích nguyên văn phạm vi áp dụng của TCCS 44:2022/TCĐBVN: "Tiêu chuẩn này áp dụng cho các hoạt động nhận dạng tự động tại hệ thống Front – End (gồm thiết bị tìm đọc RFID và thẻ RFID bị động), hệ thống Back – End đặt tại Trung tâm dữ liệu, phương thức kết nối giữa các hệ thống thu phí đường bộ theo hình thức điện tử không dừng (ETC) trong hai trường hợp thu phí kín và thu phí mở và cơ chế đối soát – thanh toán giữa các nhà cung cấp dịch vụ thu phí. Tiêu chuẩn này quy định các yêu cầu cơ bản nhằm đảm bảo yêu cầu kết nối đồng bộ, vận hành liên thông giữa các trạm thu phí."

Tổng thể, khung pháp lý hiện hành vừa tạo điều kiện thuận lợi, vừa đặt ra yêu cầu bắt buộc đối với việc triển khai ETC tại bãi đỗ xe khu đô thị. Đề án được thiết kế tuân thủ đầy đủ các văn bản nêu trên ngay từ giai đoạn thiết kế kiến trúc.

## 1.3. Tổng quan các công nghệ và mô hình ETC trên thế giới

### *1.3.1. Các nhóm công nghệ chính*

Các công nghệ phục vụ ETC trên thế giới có thể phân thành ba nhóm theo nguyên lý nhận dạng phương tiện. Nhóm thứ nhất dựa trên truyền thông vô tuyến tầm gần, gồm RFID dải UHF và truyền thông chuyên dụng tầm ngắn (DSRC). Nhóm thứ hai dựa trên xử lý ảnh, điển hình là nhận dạng biển số xe tự động (ANPR) sử dụng OCR kết hợp các mô hình thị giác máy. Nhóm thứ ba dựa trên định vị vệ tinh toàn cầu (GNSS), tiêu biểu là hệ thống ERP 2.0 mà Singapore đang chuyển đổi sang sử dụng.

Mỗi công nghệ có ưu thế và hạn chế riêng. RFID UHF có chi phí thẻ thấp, không cần nguồn nuôi, phù hợp triển khai trên diện rộng. DSRC cho phép tương tác hai chiều ổn định nhưng đòi hỏi thiết bị OBU đắt và hạ tầng đầu cuối phức tạp. ANPR không yêu cầu thiết bị trên xe nên linh hoạt cho khách vãng lai, nhưng phụ thuộc nhiều vào điều kiện chiếu sáng và chất lượng biển số. GNSS phù hợp với mô hình thu phí theo quãng đường nhưng đòi hỏi thiết bị định vị trên xe và hạ tầng xử lý dữ liệu rất lớn.

Bảng 1.1 so sánh định tính bốn công nghệ trên theo các tiêu chí cốt lõi phục vụ ngữ cảnh bãi đỗ xe khu đô thị.

*Bảng 1.1. So sánh các công nghệ phục vụ thu phí điện tử không dừng*

| Tiêu chí | RFID UHF (EPC Gen2) | DSRC (5,8 GHz) | ANPR / OCR | GNSS |
|---|---|---|---|---|
| **Nguyên lý nhận dạng** | Sóng vô tuyến tầm gần qua thẻ thụ động | Truyền thông chuyên dụng tầm ngắn qua OBU | Nhận dạng biển số bằng camera và xử lý ảnh | Định vị vệ tinh trên xe |

| Tiêu chí | RFID UHF (EPC Gen2) | DSRC (5,8 GHz) | ANPR / OCR | GNSS |
|---|---|---|---|---|
| **Chi phí đầu tư** | Thấp | Cao | Trung bình | Cao |
| **Yêu cầu thiết bị trên xe** | Thẻ dán giá rẻ | OBU chuyên dụng | Không cần | OBU có GNSS |
| **Mức độ phù hợp với bãi đỗ xe khu đô thị** | Cao – tận dụng thẻ ePass/VETC đã phổ cập | Thấp – thiết kế cho cao tốc | Bổ trợ tốt cho RFID khi xe không có thẻ | Thấp – không phù hợp điểm thu cố định |
| **Khung pháp lý tại Việt Nam** | Đã chuẩn hóa theo TCCS 44:2022/TCĐBVN | Chưa được chuẩn hóa rộng rãi | Dùng bổ trợ, chưa có chuẩn riêng | Chưa có khung pháp lý cho thu phí đường bộ |

Đối với ngữ cảnh bãi đỗ xe trong khu đô thị – tốc độ phương tiện dưới 15 km/h, không gian làn hẹp, mật độ xe cao trong giờ cao điểm – RFID UHF có ưu thế rõ rệt về chi phí và độ tin cậy, trong khi OCR đóng vai trò bổ sung cho các trường hợp thẻ hỏng, chưa có thẻ hoặc cần đối chứng chống gian lận. DSRC và GNSS không phù hợp khi mục tiêu là tận dụng tối đa hạ tầng thẻ ETC quốc gia đã phổ cập.

### *1.3.2. Các mô hình triển khai ETC trên thế giới*

Singapore là một trong những quốc gia có lịch sử triển khai ETC sớm nhất với hệ thống Electronic Road Pricing (ERP) áp dụng từ năm 1998 trên nền tảng DSRC, hiện đang chuyển dần sang ERP 2.0 sử dụng GNSS theo lộ trình 2026–2027 để thu phí theo quãng đường di chuyển. Nhật Bản triển khai ETC từ năm 2001, phiên bản hiện hành ETC 2.0 sử dụng DSRC mở rộng cho phép trao đổi thông tin hai chiều và

đang được nghiên cứu mở rộng sang dịch vụ bãi đỗ thông minh. Đài Loan triển khai hệ thống eTag dựa trên RFID UHF dán trên kính chắn gió, là một trong những hệ thống đầu tiên chuyển hoàn toàn sang thu phí không dừng trên toàn bộ mạng cao tốc vào năm 2014. Hàn Quốc với hệ thống Hi-Pass kết hợp DSRC và RFID, tích hợp đa phương thức nhận dạng.

Khảo sát quốc tế cho thấy bốn bài học chính: (i) cần thống nhất chuẩn kỹ thuật cấp quốc gia để bảo đảm tương tác giữa các nhà cung cấp; (ii) cần liên thông dữ liệu giữa các nhà phát hành thẻ; (iii) cần tích hợp chặt chẽ với hệ thống thanh toán điện tử và ngân hàng; (iv) cần đặt yêu cầu bảo mật và bảo vệ dữ liệu cá nhân ngay từ giai đoạn thiết kế.

### *1.3.3. Thách thức và cơ hội cho hệ thống ETC tại Việt Nam*

Cơ hội cho việc mở rộng ETC sang lĩnh vực bãi đỗ xe khu đô thị tại Việt Nam hiện nay là tương đối thuận lợi. Thị trường thẻ ETC đã đạt độ phủ rất cao với khoảng 6,4 triệu phương tiện được dán thẻ, tương đương khoảng 96% số ô tô đang lưu hành cả nước tính tới cuối năm 2025. Nói cách khác, phần lớn xe ô tô ở Việt Nam đã có sẵn một định danh điện tử có thể tái sử dụng cho các ứng dụng nhận dạng phương tiện ngoài cao tốc. Ngoài ra, chính sách của Chính phủ về chuyển đổi số ngành giao thông và phát triển đô thị thông minh đang ưu tiên đầu tư vào các giải pháp nhận dạng phương tiện tự động, tạo ra môi trường thuận lợi cho việc thử nghiệm và triển khai mô hình ETC tại bãi đỗ.

Tuy vậy, có ít nhất bốn nhóm thách thức cần lưu ý. Thách thức thứ nhất là vấn đề liên thông giữa hai nhà cung cấp dịch vụ thẻ ETC tại Việt Nam là VETC và VDTC (ePass). Mặc dù cả hai cùng tuân thủ chuẩn kỹ thuật do cơ quan quản lý ban hành, mức độ chia sẻ dữ liệu định danh cho bên thứ ba ngoài phạm vi cao tốc còn hạn chế, gây khó khăn cho doanh nghiệp muốn xây dựng các ứng dụng phái sinh dựa trên hạ tầng thẻ chung.

Thách thức thứ hai là khung pháp lý. Hoạt động thu phí điện tử không dừng được điều chỉnh chủ yếu bởi Quyết định số 19/2020/QĐ-TTg ngày 17/6/2020 của Thủ tướng Chính phủ và Thông tư số 15/2020/TT-BGTVT ngày 22/7/2020 của Bộ

Giao thông Vận tải. Khi mở rộng sang lĩnh vực bãi đỗ xe trong khu đô thị, đặc biệt là việc lưu trữ và xử lý thông tin định danh phương tiện kèm hành vi sử dụng dịch vụ, hệ thống còn phải tuân thủ Nghị định số 13/2023/NĐ-CP về bảo vệ dữ liệu cá nhân. Việc bảo đảm phù hợp pháp lý ngay từ khâu thiết kế là điều kiện tiên quyết để giải pháp có thể vận hành lâu dài.

Thách thức thứ ba xuất phát từ sự khác biệt về nghiệp vụ giữa cao tốc và bãi đỗ xe. Trên cao tốc, phí được tính theo lượt và theo tuyến, luồng phương tiện gần như một chiều và tốc độ cao đòi hỏi đầu đọc có khả năng nhận dạng nhanh trong điều kiện chuyển động. Tại bãi đỗ xe, phí lại được tính theo thời gian sử dụng, một vị trí làn có thể được sử dụng cho cả chiều ra và chiều vào, đòi hỏi hệ thống phân biệt được hướng di chuyển, đồng thời quản lý phiên đỗ kéo dài từ vài chục phút đến vài ngày. Sự khác biệt này dẫn đến yêu cầu về kiến trúc dữ liệu và logic xử lý không thể bê nguyên từ mô hình cao tốc sang.

Thách thức thứ tư là thói quen người dùng. Mặc dù tỷ lệ dán thẻ rất cao trên xe đăng ký, vẫn tồn tại nhóm khách vãng lai chưa quen với phương thức không dừng và vẫn ưu tiên thanh toán bằng tiền mặt khi vào bãi đỗ. Một hệ thống ETC dành cho khu đô thị muốn vận hành hiệu quả phải tính đến nhóm này thông qua các phương án dự phòng như nhận dạng biển số kết hợp thanh toán bằng mã QR, ví điện tử hoặc cổng thanh toán ngân hàng. Trên cơ sở đó, cách tiếp cận của đề án là kế thừa hạ tầng thẻ ePass/VETC hiện có làm phương thức nhận dạng chính, bổ sung OCR làm phương thức dự phòng và đối chứng, đồng thời tích hợp các kênh thanh toán không tiền mặt phổ biến để hệ thống có thể phục vụ cả cư dân lẫn khách vãng lai một cách liền mạch.

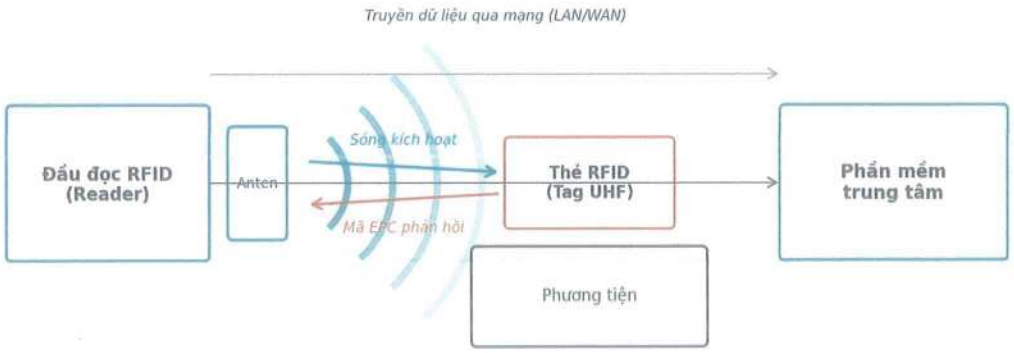
### *1.3.4. Công nghệ RFID và OCR trong thu phí tự động không dừng*

#### *a) Công nghệ RFID*

***Khái niệm và phân loại***

Nhận dạng vô tuyến (Radio Frequency Identification - RFID) là công nghệ nhận dạng tự động dựa trên sóng vô tuyến, cho phép đọc thông tin định danh được lưu trên một đối tượng mà không cần tiếp xúc và không cần đường nhìn thẳng. Một hệ thống

RFID điển hình gồm ba thành phần cơ bản: thẻ (tag) gắn trên đối tượng cần nhận dạng, đầu đọc (reader) phát sóng và thu nhận tín hiệu phản hồi từ thẻ, và phần mềm trung tâm chịu trách nhiệm xử lý dữ liệu, lưu trữ và kết nối với các hệ thống nghiệp vụ khác. Tương tác giữa thẻ và đầu đọc diễn ra trong một vùng truyền sóng có hình dạng và kích thước phụ thuộc vào tần số làm việc, công suất phát và đặc tính ăng-ten.




*Hình 1.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống RFID UHF*

Hình 1.1 minh họa nguyên lý hoạt động cơ bản của hệ thống RFID UHF, bao gồm quá trình phát sóng, thu năng lượng và truyền dữ liệu giữa đầu đọc và thẻ.

Theo nguồn nuôi, thẻ RFID được chia thành ba loại. Thẻ thụ động (passive) không có pin, hoạt động dựa hoàn toàn vào năng lượng cảm ứng từ trường điện từ do đầu đọc phát ra; loại thẻ này có giá thành thấp, kích thước nhỏ và tuổi thọ rất dài. Thẻ chủ động (active) có pin riêng, cho phép truyền tín hiệu chủ động ở khoảng cách xa hơn nhưng giá thành cao và tuổi thọ phụ thuộc vào nguồn pin. Thẻ bán thụ động (semi-passive) là dạng trung gian, có pin để cấp nguồn cho mạch xử lý nội bộ nhưng vẫn dựa vào trường điện từ của đầu đọc khi truyền dữ liệu. Trong các ứng dụng ETC quy mô lớn, thẻ thụ động là lựa chọn phổ biến nhất do chi phí thấp, có thể phát hành đại trà và không cần bảo dưỡng pin.

Theo dải tần làm việc, RFID được phân loại thành tần số thấp (Low Frequency - LF, 125–134 kHz), tần số cao (High Frequency - HF, 13,56 MHz), tần số siêu cao

(Ultra-High Frequency - UHF, 860–960 MHz) và vi sóng (Microwave, 2,45 GHz và 5,8 GHz). Mỗi dải tần có đặc trưng truyền sóng và phạm vi ứng dụng riêng. LF và HF có khoảng cách đọc ngắn nhưng ít chịu ảnh hưởng của môi trường, thường dùng cho thẻ ra vào tòa nhà, thẻ thanh toán không tiếp xúc. UHF có khoảng cách đọc lớn hơn, tốc độ đọc cao và dễ tích hợp với ăng-ten cố định ở quy mô vùng phủ rộng, do vậy được lựa chọn cho các ứng dụng ETC, theo dõi container và quản lý kho.

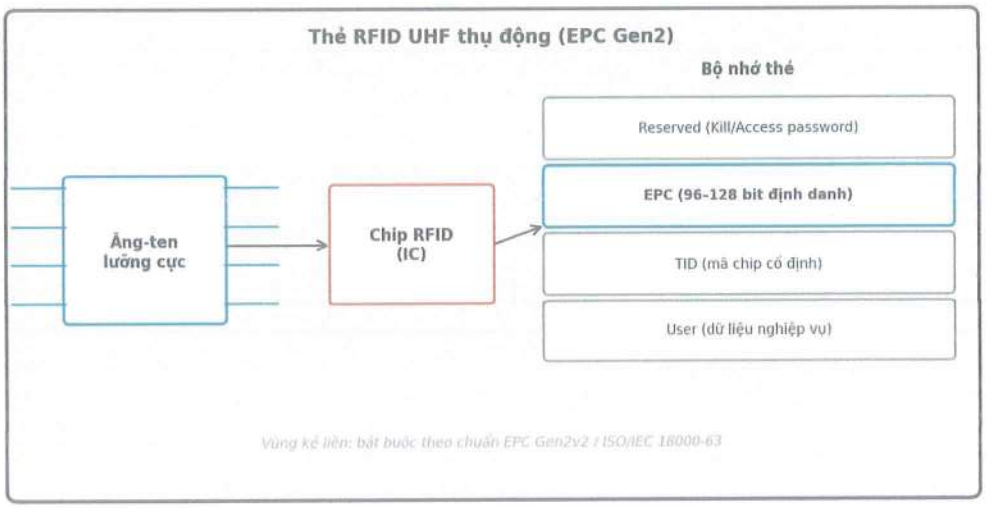
***Dải tần UHF và chuẩn EPC Gen2 / ISO/IEC 18000-63***

Dải tần UHF cho phép thiết kế hệ thống RFID có khoảng cách đọc thực tế từ 5 đến 15 mét và tốc độ đọc lên tới hàng trăm thẻ mỗi giây, đủ để xử lý các kịch bản phương tiện đi qua làn ETC mà không cần dừng. Việc cấp phép tần số UHF lại không thống nhất trên toàn cầu: Hoa Kỳ (chuẩn FCC) sử dụng dải 902–928 MHz, Liên minh châu Âu (chuẩn ETSI) sử dụng 865–868 MHz, Trung Quốc dùng 920–925 MHz; Việt Nam phân bổ tần số UHF cho thiết bị RFID theo các thông tư của Bộ Thông tin và Truyền thông, phù hợp với khuyến nghị của Liên minh Viễn thông Quốc tế. Khi triển khai hệ thống ETC, thiết bị phải được kiểm định và chứng nhận theo tần số được cấp phép tại quốc gia tương ứng. (Trong đề án này, do bối cảnh bãi đỗ khu đô thị có tốc độ thấp và góc lệch lớn, tham số thiết kế được giới hạn ở dải 4–8 m - xem mục 1.4.2 và 2.4.2.)

Chuẩn truyền thông phổ biến nhất cho RFID UHF là EPC Gen2, do tổ chức GS1 EPCglobal phát hành, được công nhận quốc tế tương đương với ISO/IEC 18000-63. Phiên bản hiện hành là Gen2v2 ban hành năm 2018, bổ sung các lệnh AUTHENTICATE và UNTRACEABLE nhằm tăng cường khả năng xác thực thẻ đối với đầu đọc và chống lại các hành vi theo dõi trái phép thông qua truy vấn thụ động. Chuẩn này quy định cụ thể giao thức truyền tin, định dạng câu lệnh, cơ chế chống va chạm tín hiệu khi nhiều thẻ cùng phản hồi và yêu cầu về tính năng bảo mật cơ bản.

Bộ nhớ của thẻ EPC Gen2 được tổ chức thành bốn vùng. Vùng Reserved chứa mật khẩu truy cập và mật khẩu hủy thẻ. Vùng EPC chứa mã định danh sản phẩm điện tử (Electronic Product Code) với độ dài thông thường 96 bit, có thể mở rộng tới 128 bit hoặc hơn, là mã được đầu đọc lấy ra trong giao dịch thông thường. Vùng TID

chứa mã định danh của chip do nhà sản xuất ghi cố định và không thể ghi đè, dùng để chống làm giả thẻ. Vùng User là vùng tùy chọn dành cho ứng dụng ghi thêm dữ liệu nghiệp vụ. Cấu trúc bộ nhớ này cho phép thiết kế hệ thống ETC vừa định danh nhanh qua vùng EPC, vừa xác thực chống giả mạo qua vùng TID khi cần.

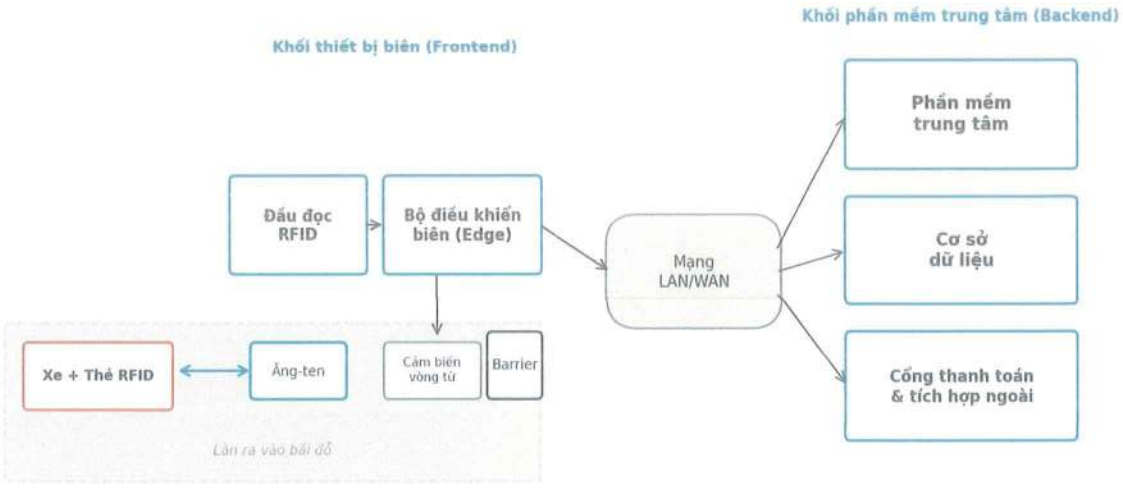



*Hình 1.2. Kiến trúc khối của thẻ RFID UHF thụ động*

Hình 1.2 mô tả kiến trúc khối bên trong một thẻ RFID UHF thụ động, gồm anten, mạch chỉnh lưu, bộ điều khiển logic và bộ nhớ EEPROM.

***Cấu trúc hệ thống RFID trong thu phí không dừng***

Một hệ thống RFID ứng dụng trong thu phí không dừng thường gồm bốn thành phần phần cứng và phần mềm có liên hệ chặt chẽ với nhau. Thẻ RFID được gắn trực tiếp lên kính chắn gió hoặc đèn pha của phương tiện, mang mã định danh duy nhất đã được phát hành đồng bộ với hồ sơ xe. Đầu đọc RFID kết hợp ăng-ten được lắp đặt tại trụ cổng hoặc cần barrier, có nhiệm vụ phát sóng kích hoạt thẻ và thu nhận tín hiệu phản hồi trong vùng phủ thiết kế. Bộ điều khiển biên (edge controller) làm nhiệm vụ giải mã dữ liệu thẻ, đồng bộ với cảm biến vòng từ và camera, đồng thời điều khiển barrier. Cuối cùng, phần mềm trung tâm tiếp nhận sự kiện qua mạng LAN/WAN hoặc Internet để đối chiếu, tính phí và lưu trữ giao dịch. Sự ghép nối giữa các thành phần này quyết định tốc độ và độ tin cậy của toàn bộ hệ thống.




*Hình 1.3. Kiến trúc tổng thể hệ thống RFID trong bãi đỗ xe*

Hình 1.3 trình bày kiến trúc tổng thể của một hệ thống RFID áp dụng cho bãi đỗ xe, gồm thẻ trên phương tiện, đầu đọc tại làn và máy chủ quản lý trung tâm.

***Đặc điểm ứng dụng cho ETC bãi đỗ xe***

Trong ngữ cảnh bãi đỗ xe khu đô thị, khoảng cách đọc thực tế nằm trong khoảng 4–8 mét, thấp hơn so với cao tốc do đầu đọc thường được lắp gần làn và tốc độ phương tiện chậm. Đặc điểm này thuận lợi cho việc kiểm soát phạm vi nhận dạng, hạn chế hiện tượng đọc nhầm thẻ của xe ở làn lân cận. Chi phí thẻ thụ động hiện ở mức rất thấp, dưới 50.000 đồng/thẻ ở quy mô lớn, độ tin cậy cao trong điều kiện thời tiết và ánh sáng thông thường, không yêu cầu phương tiện phải dừng tại barrier - đây là những yếu tố then chốt khi triển khai diện rộng cho cư dân khu đô thị. Theo các báo cáo vận hành thực tế, thời gian nhận dạng RFID trung bình chỉ từ 0,2 đến 0,5 giây mỗi lượt và độ chính xác đạt trên 99% trong điều kiện chuẩn.

Bên cạnh các ưu điểm, RFID UHF cũng tồn tại một số hạn chế cần xử lý ở khâu thiết kế. Hiện tượng va chạm tín hiệu (collision) xảy ra khi nhiều thẻ cùng phản hồi tại một thời điểm, phổ biến ở các bãi đỗ có lưu lượng cao và làn ra vào sát nhau. Khoảng cách đọc cũng suy giảm khi tín hiệu gặp các bề mặt kim loại lớn, kính phủ kim loại hoặc nước trên kính chắn gió sau mưa. Thẻ vật lý có thể bị bóc, dán đè hoặc thay đổi vị trí dẫn tới sai lệch nhận dạng. Các giải pháp đối phó được sử dụng phổ

biến gồm thuật toán chống va chạm theo cơ chế khe thời gian (slotted ALOHA) đã được tiêu chuẩn hóa trong Gen2, sử dụng ăng-ten phân cực tròn để giảm phụ thuộc vào hướng đặt thẻ, kết hợp OCR làm lớp nhận dạng dự phòng để xe vẫn có thể vào ra ngay cả khi thẻ gặp lỗi.

***b, Công nghệ OCR và nhận dạng biển số xe***

***Khái niệm***

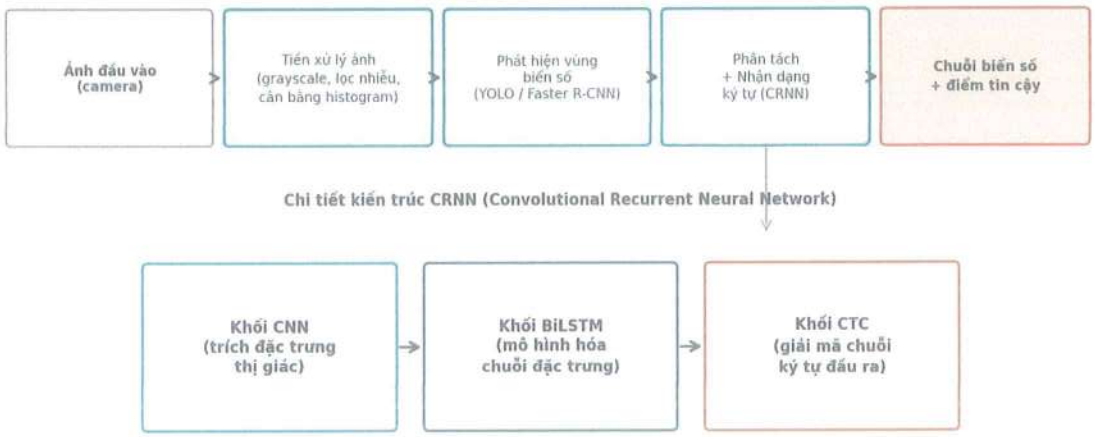
Nhận dạng ký tự quang học (Optical Character Recognition - OCR) là công nghệ chuyển ký tự xuất hiện trên ảnh hoặc tài liệu số hóa thành dữ liệu ký tự dạng văn bản có thể tìm kiếm và xử lý. Trong lĩnh vực giao thông, OCR được áp dụng dưới một biến thể chuyên biệt gọi là nhận dạng biển số xe tự động (Automatic Number Plate Recognition - ANPR), trong đó thuật toán phải đồng thời định vị vùng biển số trên ảnh và nhận dạng chuỗi ký tự nằm trong vùng đó. ANPR là cấu phần phổ biến trong các hệ thống quản lý giao thông, kiểm soát ra vào và thu phí điện tử, đóng vai trò bổ trợ cho RFID khi không thể dựa hoàn toàn vào nhận dạng vô tuyến.

***Quy trình ANPR và các bước xử lý ảnh***

Một hệ thống ANPR điển hình thực hiện hai bước chính sau khâu chuẩn hóa ảnh đầu vào. Bước thứ nhất là phát hiện vùng biển số trên ảnh, sử dụng các mô hình phát hiện đối tượng dựa trên mạng nơ-ron tích chập (Convolutional Neural Network - CNN) như họ YOLO (You Only Look Once) hoặc Faster R-CNN. Đầu ra của bước này là tọa độ hộp bao quanh biển số và điểm tin cậy. Bước thứ hai là nhận dạng chuỗi ký tự trong vùng đã được phát hiện, thông qua các mô hình chuyên cho bài toán nhận dạng chuỗi văn bản trong ảnh tự nhiên, phổ biến là kiến trúc CRNN (Convolutional Recurrent Neural Network) hoặc các mô hình dựa trên cơ chế chú ý (Transformer). Việc tách rời hai bước cho phép tối ưu độc lập từng mô-đun và dễ dàng thay thế thành phần khi có công nghệ mới.

Cụ thể hơn, pipeline xử lý ảnh trong các hệ thống ANPR hiện đại có thể chia thành bốn giai đoạn liên tiếp. Giai đoạn tiền xử lý ảnh áp dụng các kỹ thuật như chuyển ảnh sang thang xám, lọc nhiễu Gaussian, cân bằng histogram và chuẩn hóa

kích thước ảnh; các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy việc tiền xử lý tốt có thể nâng độ chính xác nhận dạng lên thêm 5–10% so với việc nhận dạng trực tiếp trên ảnh gốc. Giai đoạn phát hiện biển số xác định tọa độ hộp bao quanh vùng biển trên ảnh; ngoài các mô hình học sâu, một số hệ thống vẫn kết hợp các kỹ thuật truyền thống như phát hiện cạnh hoặc biến đổi Hough để bổ sung. Giai đoạn phân tách ký tự cắt riêng từng ký tự khỏi vùng biển số đã định vị, tận dụng đặc điểm bố cục biển số Việt Nam tương đối rõ ràng nhưng vẫn cần xử lý các trường hợp biển bị mờ, bẩn, ánh sáng không đồng đều. Giai đoạn nhận dạng ký tự sử dụng CNN hoặc các mô hình nhận dạng chuỗi đầu cuối để chuyển đổi vùng ảnh ký tự thành chuỗi văn bản, cho độ chính xác từ 95–98% trong điều kiện thực tế.




*Hình 1.4. Quy trình nhận dạng biển số xe theo kiến trúc CRNN*

Hình 1.4 mô tả quy trình nhận dạng biển số xe theo kiến trúc CRNN, gồm các bước trích xuất đặc trưng bằng CNN, mô hình hóa chuỗi bằng RNN và giải mã bằng CTC.

Kiến trúc CRNN do Shi, Bai và Yao đề xuất năm 2017 đã trở thành chuẩn mực cho bài toán nhận dạng chuỗi ký tự trong ảnh. Mô hình này gồm ba khối: khối CNN trích đặc trưng thị giác từ ảnh đầu vào, khối mạng nơ-ron hồi quy hai chiều (Bidirectional Long Short-Term Memory - BiLSTM) mô hình hóa quan hệ tuần tự giữa các đặc trưng dọc theo trục thời gian, và khối phân loại theo cơ chế phân loại thời gian liên thông (Connectionist Temporal Classification - CTC) cho phép giải mã

chuỗi ký tự đầu ra mà không cần phân đoạn từng ký tự trước. Nhờ thiết kế này, CRNN có thể được huấn luyện đầu cuối từ ảnh sang chuỗi ký tự, cho độ chính xác cao và xử lý tốt các biển số có khoảng cách ký tự không đều.

*c) Hiệu năng và thách thức*

Trong điều kiện ánh sáng tốt, biển số sạch và góc chụp gần vuông góc với mặt biển, các hệ thống ANPR thương mại hiện nay đạt độ chính xác trong khoảng 95–98%, có thể chạm ngưỡng cao hơn khi được tinh chỉnh trên tập dữ liệu chuyên biệt. Tuy nhiên, hiệu năng ở môi trường thực tế giảm đáng kể trong các tình huống ban đêm với ánh sáng phụ trợ kém, biển số bám bụi hoặc mưa gió, biển bị méo do tai nạn, biển sử dụng phông chữ không tiêu chuẩn và đặc biệt là góc chụp xiên. Các yếu tố này đặt ra yêu cầu thiết kế hệ thống chiếu sáng phụ trợ chuyên dụng tại làn ETC, cũng như sử dụng nhiều camera ở các góc khác nhau để bổ trợ cho nhau.

Tại Việt Nam, ANPR còn phải đối mặt với một số khó khăn riêng. Biển số ô tô có nhiều định dạng theo mục đích sử dụng: biển trắng cho xe cá nhân, biển vàng cho xe kinh doanh vận tải, biển xanh cho xe cơ quan nhà nước, biển đỏ cho xe quân đội, mỗi loại có quy tắc đánh số khác nhau. Ngoài chữ số, biển còn chứa các tổ hợp chữ cái mang ý nghĩa quản lý như HC, NN hay LD. Một số biển có hai dòng (chủ yếu xe máy nhưng cũng xuất hiện ở một số ô tô con đời cũ), các biển dài 4 hoặc 5 chữ số tồn tại song song. Định dạng biển còn được điều chỉnh theo các thông tư của Bộ Công an, đòi hỏi mô hình nhận dạng phải được cập nhật và huấn luyện lại định kỳ trên dữ liệu mới.

Trong tổng thể hệ thống ETC bãi đỗ xe, OCR đảm nhận ba vai trò bổ sung cho RFID. Thứ nhất, OCR là phương án dự phòng khi RFID thất bại do thẻ hỏng, dán sai vị trí hoặc bị nhiễu; nhờ vậy, phương tiện vẫn được nhận dạng và phục vụ. Thứ hai, OCR là cơ chế đối chứng quan trọng để chống gian lận, ví dụ như trường hợp thẻ của xe A được tháo và gắn sang xe B; khi đó, kết quả đọc thẻ sẽ không trùng khớp với biển số được nhận dạng từ camera, hệ thống cảnh báo tự động. Thứ ba, OCR cho phép phục vụ phương tiện vãng lai chưa có thẻ ETC, qua đó mở rộng độ phủ dịch vụ tới mọi đối tượng người dùng mà không buộc họ phải đăng ký thẻ. Theo các báo cáo

thực nghiệm, mô hình kết hợp RFID và OCR có thể nâng độ chính xác nhận dạng phương tiện lên trên 99% và giảm tỷ lệ lỗi nhận dạng xuống dưới 1%.

### 1.4. Khái quát mô hình ETC cho bãi đỗ xe khu đô thị

Trên cơ sở phân tích ở các mục trước, đề án tiếp cận mô hình ETC cho bãi đỗ xe khu đô thị theo năm nguyên tắc thiết kế:

(1) RFID UHF làm phương thức nhận dạng chính, tận dụng hạ tầng thẻ ePass/VETC đã phổ cập;

(2) OCR đảm nhận vai trò phương thức dự phòng và đối chứng chống gian lận;

(3) Tích hợp các kênh thanh toán điện tử phổ biến (Momo, ZaloPay, VNPay, ngân hàng) cho khách vãng lai;

(4) Kiến trúc biên–đám mây, bộ điều khiển biên có khả năng vận hành độc lập khi mất kết nối tạm thời;

(5) Tuân thủ khung pháp lý hiện hành ngay từ giai đoạn thiết kế, bao gồm Nghị định 119/2024/NĐ-CP, Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025, TCCS 44:2022/TCĐBVN (Sửa đổi 1:2023) và Nghị định 13/2023/NĐ-CP.

Về mặt cấu trúc tổng thể, hệ thống được phân thành ba khối chức năng: (i) khối thiết bị biên đặt tại làn ra vào bãi (đầu đọc RFID UHF, camera ANPR, barrier, cảm biến phát hiện xe, bảng LED, bộ điều khiển biên); (ii) khối phần mềm trung tâm vận hành trên hạ tầng đám mây, đảm nhận định danh phương tiện, quản lý phiên đỗ, tính phí, đối soát và thanh toán; (iii) khối tích hợp với các hệ thống bên ngoài (cổng thanh toán điện tử, hệ thống ETC quốc gia VETC/ePass, hệ thống quản lý cư dân khu đô thị).

Phần mô tả chi tiết về kiến trúc kỹ thuật, các giao diện tích hợp, cấu trúc dữ liệu, logic xử lý nghiệp vụ, quy trình hoạt động của hệ thống cũng như các tham số kỹ thuật cụ thể của thiết bị biên sẽ được trình bày đầy đủ trong Chương 2. Phương án triển khai tại hiện trường, kết quả vận hành thực tế và phân tích hiệu quả khai thác sẽ được trình bày trong Chương 3.

**Kết luận chương 1**

Chương 1 đã xác lập vấn đề nghiên cứu xuất phát từ thực tiễn ùn ứ và hạn chế của mô hình thu phí thủ công tại bãi đỗ xe khu đô thị, đồng thời chỉ ra khoảng trống

về mô hình ETC dành riêng cho giao thông tĩnh ở khu đô thị. Chương cũng đã làm rõ ba nhóm cơ sở pháp lý và chính sách trực tiếp điều chỉnh việc triển khai ETC tại bãi đỗ xe khu đô thị, nổi bật là Nghị định 119/2024/NĐ-CP, Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025 của Bộ Xây dựng và Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 44:2022/TCĐBVN.

Trên cơ sở so sánh định tính bốn nhóm công nghệ ETC chủ yếu (RFID UHF, DSRC, ANPR/OCR, GNSS) và khảo sát kinh nghiệm quốc tế của Singapore, Nhật Bản, Đài Loan, Hàn Quốc, chương đã xác định hướng tiếp cận tận dụng hạ tầng thẻ ePass/VETC quốc gia kết hợp OCR dự phòng. Năm nguyên tắc thiết kế và ba khối chức năng tổng thể của hệ thống được phác thảo ở mục 1.4 sẽ là cơ sở để Chương 2 trình bày chi tiết kiến trúc kỹ thuật và Chương 3 trình bày kết quả triển khai thực nghiệm.

# Chương 2
# PHÂN TÍCH YÊU CẦU VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG

## 2.1. Phân tích yêu cầu hệ thống

### *2.1.1. Yêu cầu nghiệp vụ*

Hệ thống ETC bãi đỗ xe khu đô thị phải phục vụ ba nhóm người sử dụng có hành vi và kỳ vọng khác nhau: cư dân dài hạn, khách vãng lai và bộ phận vận hành nội bộ. Cư dân là nhóm có tần suất sử dụng cao nhất, đi vào và đi ra nhiều lần mỗi ngày, trông đợi vào trải nghiệm không dừng đúng nghĩa, không phải tương tác với nhân viên hay thiết bị tại làn. Khách vãng lai có thể đến lần đầu, không có thẻ định danh, đòi hỏi cơ chế phục vụ linh hoạt, ưu tiên thanh toán theo lượt và sử dụng các kênh thanh toán phổ biến. Bộ phận vận hành cần công cụ để theo dõi tình trạng thiết bị, xử lý sự cố, vận hành chính sách giá và xuất các báo cáo định kỳ.

Từ đặc điểm của ba nhóm người dùng nêu trên, đề án xác định bảy nhóm yêu cầu nghiệp vụ chính. Thứ nhất là nhận diện phương tiện đáng tin cậy, sử dụng RFID UHF làm phương thức chính và OCR biển số làm phương thức đối chứng cũng như dự phòng. Thứ hai là tính phí với nhiều mô hình song song: theo lượt cho khách vãng lai, theo gói tháng và gói quý cho cư dân, miễn phí cho phương tiện thuộc danh mục ưu tiên đã được duyệt sẵn. Thứ ba là kiểm soát ra vào dựa trên trạng thái tài khoản, danh sách trắng và danh sách đen được quản lý tập trung và đẩy xuống bộ điều khiển làn theo cơ chế đồng bộ tăng dần.

Nhóm yêu cầu thứ tư là cơ chế ưu tiên cho ba nhóm phương tiện đặc biệt: xe của cư dân đã đăng ký, xe cấp cứu và xe phục vụ vận hành – kỹ thuật. Nhóm thứ năm là tích hợp với ứng dụng cư dân do đơn vị quản lý khu đô thị phát hành. Nhóm thứ sáu là hóa đơn điện tử: mỗi giao dịch tính phí phải có khả năng phát hành hóa đơn điện tử theo quy định hiện hành, ký số và lưu trữ tối thiểu mười năm. Nhóm thứ bảy là báo cáo và phân tích, gồm các báo cáo định kỳ về doanh thu, lưu lượng theo khung giờ, tỷ lệ nhận dạng RFID và OCR, tỷ lệ giao dịch ngoại lệ.

### *2.1.2. Yêu cầu phi chức năng*

Yêu cầu phi chức năng là tập hợp các ràng buộc về chất lượng phục vụ, có ảnh hưởng quyết định tới các lựa chọn kiến trúc và công nghệ. Trước hết là hiệu năng. Mỗi giao dịch tại làn – từ thời điểm phát hiện xe cho tới khi barrier nhận lệnh nâng – phải hoàn tất trong khoảng dưới 200 ms tại điều kiện vận hành bình thường. Mỗi làn cần phục vụ tối thiểu 30 xe mỗi phút trong giờ cao điểm, tương đương khoảng 2 giây cho mỗi xe nếu tính cả thời gian xe di chuyển qua barrier. Yêu cầu này đặt ra giới hạn cứng đối với độ trễ mạng giữa bộ điều khiển làn và phần mềm trung tâm, thúc đẩy lựa chọn xử lý cục bộ tại biên cho các quyết định ra vào nhanh.

Tính sẵn sàng được đặt ở mức uptime tối thiểu 99,9%, tương đương thời gian gián đoạn không quá khoảng 8,76 giờ mỗi năm cho toàn bộ hệ thống. Mục tiêu khôi phục dữ liệu (Recovery Point Objective – RPO) không vượt quá 15 phút và mục tiêu khôi phục dịch vụ (Recovery Time Objective – RTO) không vượt quá 4 giờ. Cách tiếp cận này phù hợp với các yêu cầu sẵn sàng đã được đặt ra cho hệ thống ETC quốc gia, mặc dù quy mô và tính chất giao dịch của bãi đỗ khu đô thị không đòi hỏi mức cao như cao tốc liên tỉnh.

Bảo mật là nhóm yêu cầu thứ ba và được đặt ngang hàng với hiệu năng. Hệ thống phải tuân thủ Nghị định số 13/2023/NĐ-CP về bảo vệ dữ liệu cá nhân, áp dụng nguyên tắc tối thiểu hóa dữ liệu, mã hóa khi lưu trữ (encryption at-rest) bằng AES-256 cho các trường nhạy cảm như biển số xe và thông tin định danh chủ phương tiện, mã hóa trên đường truyền (encryption in-transit) bằng TLS 1.3 cho mọi giao dịch nội bộ và đối ngoại.

Khả năng mở rộng được nhìn nhận theo hai trục. Trục thứ nhất là mở rộng theo chiều ngang trong cùng một bãi đỗ, để có thể bổ sung làn vào – ra mà không cần ngừng hoạt động. Trục thứ hai là mở rộng sang nhiều bãi đỗ trong cùng một khu đô thị hoặc giữa nhiều khu đô thị do cùng một đơn vị vận hành. Hai trục này dẫn tới hai quyết định kiến trúc lớn: kiến trúc microservice cho phần mềm trung tâm để có thể mở rộng từng dịch vụ độc lập theo tải, và hạ tầng dạng container để có thể đóng gói, triển khai đồng nhất, dễ tái sử dụng. Bên cạnh đó, hệ thống phải có khả năng vận

hành tạm thời ở chế độ ngoại tuyến trong vài giờ khi đường truyền tới trung tâm bị gián đoạn.

### *2.1.3. Khảo sát đặc thù của bãi đỗ xe khu đô thị điển hình*

Để định hướng thiết kế, đề án giả định một khu đô thị điển hình quy mô khoảng 400 ha, dân số khoảng 90.000 người, với số phương tiện thường trú có thể đạt mức trên 20.000 xe khi khu đô thị lấp đầy, chưa tính phương tiện vãng lai phục vụ thương mại, dịch vụ và khách thăm. Khu đô thị được tổ chức theo các phân khu chức năng (nhà thấp tầng, nhà cao tầng, trung tâm thương mại, công viên), mỗi phân khu có một hoặc một vài bãi đỗ xe nội khu kết hợp với các điểm đỗ ngoài trời. Bố cục phân tán này khác biệt rõ rệt với mô hình điểm thu phí tập trung trên cao tốc.

Đặc trưng vận hành đầu tiên là tính phân tán cao của các điểm ra vào. Một hệ thống ETC cho khu đô thị phải phục vụ đồng thời nhiều cụm bãi đỗ với các quy mô khác nhau, từ những hầm để xe lớn dưới các tòa cao tầng có 4–8 làn ra vào, tới các bãi đỗ ngoài trời chỉ có 1–2 làn cho các tiện ích nội khu. Tính phân tán này dẫn tới yêu cầu về một hạ tầng mạng truyền dẫn đáng tin cậy đủ phủ tới mọi điểm vận hành, đồng thời thúc đẩy mô hình điều khiển tại biên để hệ thống có thể tự xử lý khi đường truyền tới trung tâm gặp trục trặc.

Đặc trưng thứ hai là sự chênh lệch lưu lượng theo khung giờ. Quan sát hành vi đi lại điển hình của cư dân khu đô thị cho thấy hai khung giờ cao điểm sáng (khoảng 7:00–9:00) và chiều (khoảng 17:00–19:30), cùng một đỉnh phụ vào cuối tuần tại các điểm thương mại, dịch vụ. Trong khi đó, lưu lượng vào ban đêm và buổi trưa rất thấp. Hệ thống phải được thiết kế để đáp ứng được đỉnh tải nhưng cũng phải có khả năng giảm chi phí vận hành ngoài giờ cao điểm thông qua autoscaling đối với các thành phần xử lý không trạng thái.

Đặc trưng thứ ba là sự đa dạng của cơ cấu phí. Khu đô thị có nhiều nhóm sử dụng với chính sách khác nhau: cư dân dài hạn thường mua gói tháng hoặc gói quý theo bảng giá ưu đãi; khách vãng lai thanh toán theo lượt với mức giá cao hơn; xe của ban quản lý, xe phục vụ kỹ thuật, xe cấp cứu được miễn phí. Đặc trưng thứ tư là yêu cầu liên thông với hệ thống quản lý cư dân: hệ thống ETC cần nhận thông tin

phương tiện đăng ký và trạng thái cư dân, đồng thời gửi ngược lại các sự kiện ra vào, hóa đơn và cảnh báo bất thường.

### *2.1.4. Các ràng buộc pháp lý và tiêu chuẩn áp dụng*

Hệ thống ETC bãi đỗ xe khu đô thị, mặc dù không phải hệ thống thu phí đường bộ thuộc phạm vi điều chỉnh trực tiếp của Nghị định 119/2024/NĐ-CP, vẫn cần kế thừa khung kỹ thuật mà các văn bản này thiết lập để bảo đảm tính tương thích với hạ tầng thẻ ePass, VETC đã tồn tại. Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025 của Bộ Xây dựng về thúc đẩy thu phí không dừng và TCCS 44:2022/TCĐBVN (ban hành theo Quyết định 2578/QĐ-TCĐBVN ngày 16/6/2022 của Cục Đường bộ Việt Nam) đặt ra các yêu cầu kỹ thuật cho làn thu phí, bộ điều khiển làn, đầu đọc RFID và camera ANPR. Mặc dù áp dụng trực tiếp cho cao tốc, các yêu cầu này được đề án sử dụng làm tham chiếu khi lựa chọn thiết bị tương tự.

Về dữ liệu cá nhân, Nghị định số 13/2023/NĐ-CP là văn bản pháp lý có hiệu lực bắt buộc và chi phối toàn bộ vòng đời dữ liệu trong hệ thống: từ tiếp nhận sự đồng ý của chủ thể dữ liệu, lưu trữ, xử lý, chia sẻ tới xóa bỏ. Đặc biệt, biển số xe được đề án xếp vào nhóm dữ liệu cần bảo vệ vì có khả năng định danh gián tiếp chủ phương tiện khi kết hợp với các nguồn dữ liệu khác.

Về giao thức không khí của RFID UHF, đề án áp dụng tiêu chuẩn ISO/IEC 18000-63 tương đương EPC Gen2v2 (GS1). Việc sử dụng tiêu chuẩn này không chỉ bảo đảm khả năng đọc thẻ ePass và VETC vốn cũng dùng cùng giao thức, mà còn mở khả năng lựa chọn nhiều nhà cung cấp đầu đọc và thẻ trên thị trường, tránh khóa nhà cung cấp. Các tham số dải tần được Việt Nam quy định cho UHF RFID nằm trong dải 920–925 MHz, là tập con của dải toàn cầu 860–960 MHz được tiêu chuẩn ISO định nghĩa.

Tổng hợp các văn bản pháp lý và tiêu chuẩn nêu trên, đề án xây dựng một danh mục đối chiếu để truy vết yêu cầu trong các giai đoạn thiết kế và đánh giá, bảo đảm rằng mọi quyết định kỹ thuật đều có cơ sở pháp lý và tiêu chuẩn rõ ràng. Khi xảy ra mâu thuẫn giữa yêu cầu nghiệp vụ và ràng buộc pháp lý, ràng buộc pháp lý được ưu

tiên; khi xảy ra mâu thuẫn giữa các tiêu chuẩn, đề án ưu tiên tiêu chuẩn TCVN có hiệu lực hiện hành tại Việt Nam và bổ sung tham chiếu tiêu chuẩn quốc tế.

### 2.2. Quy trình nghiệp vụ trọng tâm

Trước khi đi vào các thiết kế kỹ thuật chi tiết, mục này trình bày bốn quy trình nghiệp vụ cốt lõi của hệ thống ETC bãi đỗ xe khu đô thị: quy trình xe vào, quy trình xe ra, quy trình đăng ký – nạp tiền tài khoản và quy trình xử lý giao dịch bất thường. Các quy trình này là cơ sở để dẫn xuất các yêu cầu chức năng cụ thể cho từng thành phần kỹ thuật trình bày ở các mục 2.3 đến 2.5.

#### *2.2.1. Quy trình xe vào*

Quy trình xe vào bãi đỗ gồm 17 bước cơ bản, từ thời điểm xe tiếp cận làn cho tới khi xe đi qua barrier và barrier hạ trở lại. Bước 1 và 2 là phát hiện xe bằng cảm biến vòng từ hoặc radar, đồng thời lane controller kích hoạt đầu đọc RFID và camera ANPR theo cấu hình song song. Bước 3 đến 5 là đầu đọc RFID đọc thẻ và trả mã EPC về lane controller; nếu đọc thành công, lane controller tra cứu danh sách trắng cư dân cục bộ. Bước 6 đến 8 là camera ANPR chụp ảnh, gửi về module nhận dạng cục bộ và trả về biển số kèm điểm tin cậy.

Bước 9 và 10 là hợp nhất kết quả: lane controller đối chiếu mã EPC và biển số, nếu khớp với cùng một phương tiện đã đăng ký thì coi là giao dịch hợp lệ; nếu không khớp, kích hoạt cơ chế cảnh báo và xử lý ngoại lệ. Bước 11 là gửi yêu cầu xác thực và mở phiên đỗ tới Transaction Service ở Backend qua API gateway. Bước 12 và 13 là Transaction Service kiểm tra tài khoản, gói dịch vụ và bảng giá, ghi nhận sự kiện vào và phát ra sự kiện tới bus. Bước 14 là Transaction Service trả về quyết định cho lane controller (cho phép vào, không cho phép, yêu cầu thanh toán).

Bước 15 là lane controller nhận quyết định, hiển thị thông tin lên bảng đèn LED (chào tên cư dân, hiển thị số dư, hoặc hiển thị mã QR thanh toán cho khách vãng lai), đồng thời ra lệnh nâng barrier. Bước 16 là cảm biến vòng từ thứ hai phía sau barrier xác nhận xe đã đi qua hoàn toàn. Bước 17 là barrier hạ trở lại, lane controller ghi nhật ký kết thúc giao dịch. Trong điều kiện vận hành bình thường, toàn bộ chuỗi

17 bước hoàn tất trong khoảng 1,5 – 2,5 giây, trong đó phần do hệ thống xử lý chiếm dưới 500 ms và phần còn lại là thời gian cơ học của barrier và xe di chuyển.

### *2.2.2. Quy trình xe ra*

Quy trình xe ra có cấu trúc gần đối xứng với quy trình xe vào nhưng có ba điểm khác biệt. Khác biệt thứ nhất là thay vì mở phiên đỗ, hệ thống đóng phiên đỗ đã mở khi xe vào, dựa trên định danh phương tiện (mã EPC hoặc biển số). Lane controller gửi yêu cầu đóng phiên tới Transaction Service kèm mốc thời gian xe ra; Transaction Service tra cứu phiên đang mở của phương tiện đó và tính phí dựa trên thời lượng đỗ và bảng giá hiệu lực.

Khác biệt thứ hai là quyết định cho phép ra phụ thuộc vào kết quả thanh toán: nếu cư dân đã có gói tháng còn hiệu lực, hệ thống cho phép ra ngay; nếu trả theo lượt và đủ số dư, trừ tiền và cho phép ra; nếu thanh toán thất bại, hiển thị mã QR thanh toán dự phòng trên bảng đèn LED và chỉ mở barrier khi nhận xác nhận thanh toán hợp lệ. Khác biệt thứ ba liên quan đến trường hợp không tìm thấy phiên đỗ tương ứng — tình huống có thể xảy ra khi xe vào ở chế độ ngoại tuyến mà sự kiện vào chưa được đồng bộ kịp lên trung tâm. Khi đó, lane controller tự kiểm tra trong nhật ký cục bộ; nếu tìm thấy phiên trong cùng bãi, vẫn tính phí và cho ra; nếu không tìm thấy ở cả trung tâm và cục bộ, hệ thống coi đây là tình huống ngoại lệ, in vé tạm và yêu cầu liên hệ bộ phận hỗ trợ.

### *2.2.3. Quy trình đăng ký và nạp tiền tài khoản*

Cư dân đăng ký dịch vụ qua ba kênh: ứng dụng cư dân của khu đô thị, cổng web tự phục vụ của hệ thống ETC, hoặc trực tiếp tại quầy hành chính của ban quản lý. Quy trình đăng ký gồm bốn bước: (i) cung cấp thông tin định danh và phương tiện; (ii) Account Service xác thực với hệ thống quản lý cư dân để đối chiếu cư dân hợp lệ; (iii) lựa chọn gói dịch vụ và phương thức thanh toán mặc định; (iv) ký xác nhận điều khoản về xử lý dữ liệu cá nhân theo Nghị định 13/2023/NĐ-CP và liên kết thẻ ePass/VETC đã có hoặc đăng ký cấp thẻ nội bộ.

Nạp tiền tài khoản được thực hiện qua các cổng thanh toán đã tích hợp với Payment Service. Cư dân chọn số tiền nạp, chọn cổng thanh toán, hoàn tất giao dịch

trên ứng dụng của cổng và Payment Service nhận callback xác nhận, cập nhật số dư trong Account Service. Cư dân được khuyến nghị thiết lập tự động nạp khi số dư xuống dưới ngưỡng nhất định để tránh tình trạng số dư không đủ tại thời điểm ra bãi. Notification Service gửi xác nhận qua kênh ưa thích của cư dân sau mỗi giao dịch nạp.

### *2.2.4. Quy trình xử lý giao dịch bất thường*

Đề án định nghĩa năm tình huống bất thường thường gặp và quy trình xử lý tương ứng. Tình huống thứ nhất là xe không có thẻ RFID: hệ thống chuyển sang luồng OCR, tra cứu biển số trong danh sách cư dân; nếu khớp, vận hành như cư dân; nếu không khớp, in vé tạm và xử lý như khách vãng lai. Tình huống thứ hai là thẻ không hợp lệ (đã thu hồi, hết hạn, sai chủ phương tiện): hệ thống từ chối thẻ và chuyển sang luồng OCR; nếu OCR không cứu được, chuyển xử lý thủ công.

Tình huống thứ ba là không khớp biển số giữa kết quả RFID và OCR: hệ thống cảnh báo gian lận, vẫn cho phép vào nếu thẻ hợp lệ nhưng đánh dấu giao dịch để hậu kiểm; bộ phận vận hành điều tra dựa trên ảnh ANPR đã lưu. Tình huống thứ tư là số dư không đủ tại thời điểm ra: hệ thống hiển thị mã QR thanh toán dự phòng; nếu thanh toán thành công trong vòng 60 giây, mở barrier; nếu không, chuyển xử lý thủ công và lập biên bản đối chiếu sau. Tình huống thứ năm là lỗi thiết bị (đầu đọc, camera, barrier): hệ thống tự động chuyển làn vào trạng thái thủ công, gửi cảnh báo về Operation và khuyến cáo người lái sang làn khác qua bảng đèn LED. Mỗi tình huống đều được ghi nhật ký đầy đủ kèm bằng chứng để phục vụ điều tra hoặc khiếu nại sau này.




*Hình 2.1. Luồng quy trình nghiệp vụ xe vào và xe ra*

## 2.3. Đề xuất kiến trúc tổng thể hệ thống ETC bãi đỗ

### *2.3.1. Quan điểm thiết kế*

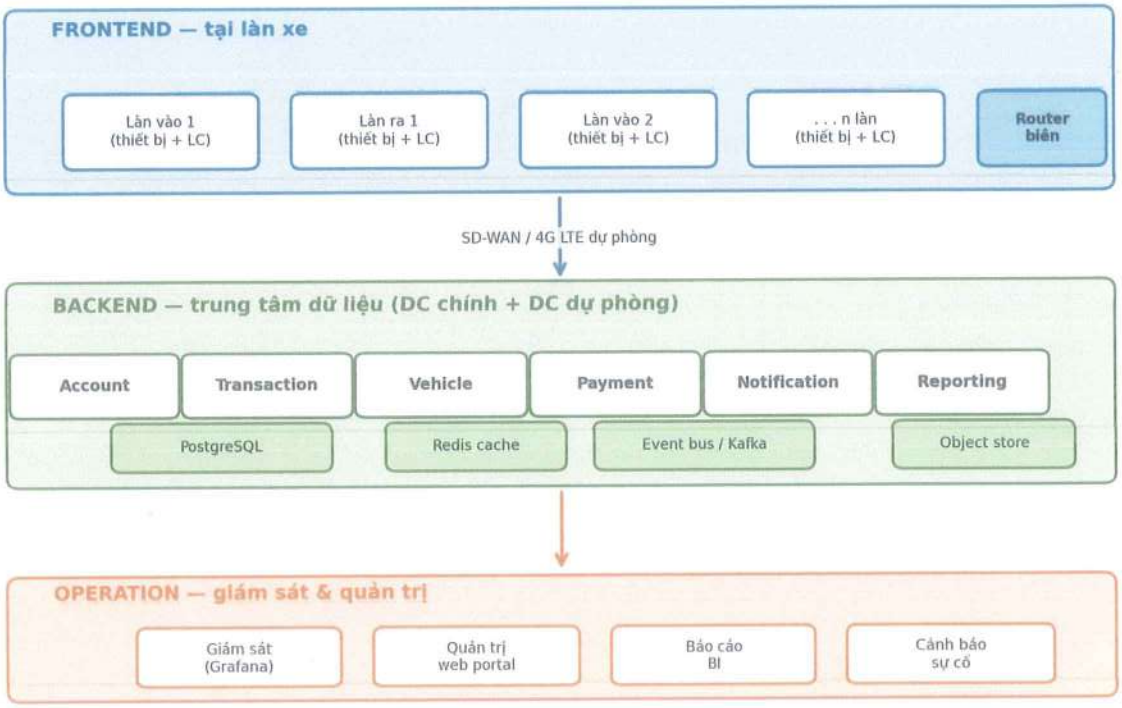
Thiết kế của đề án dựa trên năm quan điểm. Quan điểm đầu tiên là phân lớp ba tầng: Frontend tại làn, Backend trung tâm, Operation cho vận hành. Việc giữ nguyên cấu trúc ba tầng giúp các nhà phát triển và đơn vị tích hợp đã quen thuộc với hệ sinh thái ETC trong nước có thể tiếp cận thiết kế của đề án nhanh chóng. Quan điểm thứ hai là kiến trúc microservice cho Backend, mỗi dịch vụ phụ trách một miền nghiệp vụ rõ ràng, có cơ sở dữ liệu riêng và giao tiếp với nhau qua API hoặc bus sự kiện.

Quan điểm thứ ba là kiến trúc hướng sự kiện ở mức Backend: các sự kiện vào – ra, sự kiện thanh toán, sự kiện thay đổi trạng thái thẻ được phát ra như các bản ghi bất biến và được tiêu thụ bởi nhiều dịch vụ khác nhau. Cách tiếp cận này giảm sự ghép cặp giữa các dịch vụ và mở rộng được khi thêm dịch vụ phân tích, máy học hoặc cảnh báo trong tương lai. Quan điểm thứ tư là khả năng vận hành ngoại tuyến tạm thời: bộ điều khiển làn phải có đủ dữ liệu cục bộ (danh sách trắng cư dân, danh sách

đen, bảng giá) để tự đưa ra quyết định trong vài giờ khi mất kết nối. Quan điểm thứ năm là ưu tiên các giao thức mở và chuẩn hóa: HTTPS/REST cho API, OAuth2/JWT cho ủy quyền, RTSP/ONVIF cho camera, LLRP cho đầu đọc RFID, để tránh khóa nhà cung cấp.

### *2.3.2. Sơ đồ kiến trúc tổng thể*

**Hình 2.2. Kiến trúc tổng thể hệ thống ETC bãi đỗ xe khu đô thị**




*Hình 2.2. Kiến trúc tổng thể hệ thống ETC bãi đỗ xe khu đô thị*

Kiến trúc tổng thể của hệ thống đề xuất gồm ba phân lớp. Phần Frontend gồm các cụm thiết bị tại từng làn, được kết nối tới một bộ điều khiển làn cục bộ và tổng hợp lên router biên của bãi đỗ. Mỗi bãi đỗ có một router biên đảm nhận giao tiếp ra ngoài qua mạng SD-WAN với trung tâm dữ liệu chính, có dự phòng 4G/LTE. Phần Backend gồm cụm các microservice triển khai trên hạ tầng container, kết hợp với cơ sở dữ liệu PostgreSQL, bộ nhớ đệm Redis, hàng đợi sự kiện và lưu trữ đối tượng. Phần Operation gồm các công cụ giám sát và giao diện quản trị được truy cập bởi đội vận hành.

### *2.3.3. Mô hình triển khai vật lý*

Phần mềm Backend được triển khai trên hai trung tâm dữ liệu: trung tâm dữ liệu chính (DC chính) phục vụ thường ngày, và trung tâm dữ liệu dự phòng (DC dự phòng) đặt tại một địa điểm cách DC chính tối thiểu 50 km để giảm rủi ro trùng lặp sự cố tự nhiên. Hai trung tâm vận hành theo mô hình active – passive với đồng bộ dữ liệu liên tục, sẵn sàng chuyển đổi khi DC chính gặp sự cố nghiêm trọng. Mục tiêu RPO 15 phút và RTO 4 giờ đã đặt ra ở mục 2.1.2 quyết định tần suất sao lưu cơ sở dữ liệu và tần suất diễn tập chuyển đổi.

Tại từng bãi đỗ, các thiết bị làn kết nối tới router biên qua mạng nội bộ Ethernet công nghiệp; router biên kết nối tới hai trung tâm dữ liệu qua hai đường truyền độc lập sử dụng SD-WAN, mỗi đường truyền đi theo nhà cung cấp khác nhau khi có thể. Khi cả hai đường cố định bị gián đoạn, router biên chuyển sang sử dụng dự phòng 4G/LTE để duy trì kết nối. Trong tình huống mất kết nối hoàn toàn, lane controller chuyển sang chế độ ngoại tuyến: sử dụng dữ liệu cục bộ để xử lý giao dịch và đệm các sự kiện lên đĩa cục bộ; khi kết nối khôi phục, các sự kiện được đẩy lên trung tâm theo thứ tự thời gian và đối soát.

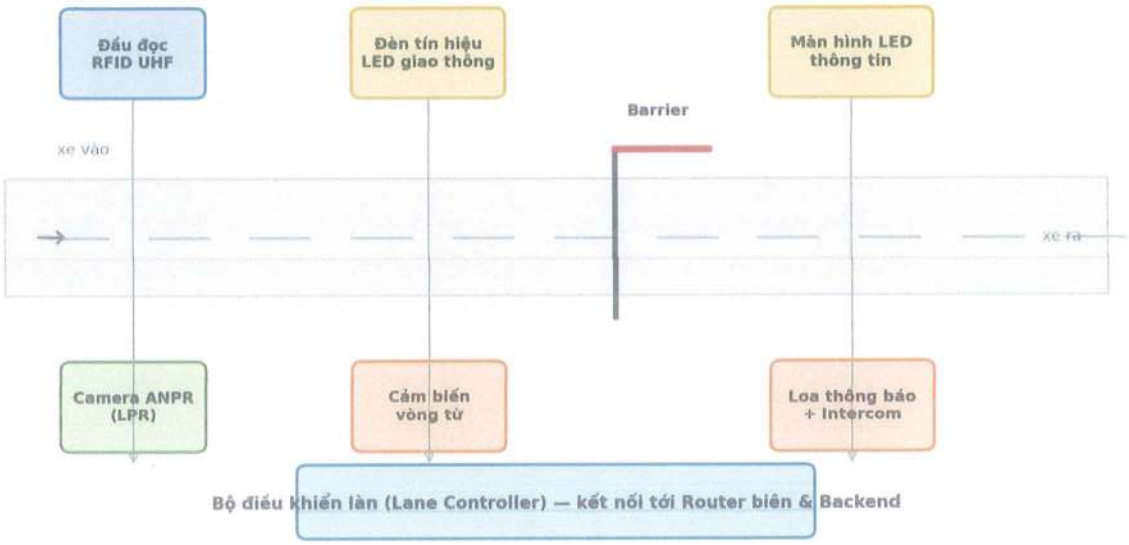
### *2.3.4. Giao diện tích hợp ngoài*

Hệ thống có bốn nhóm giao diện tích hợp ngoài, đều được triển khai qua API gateway tập trung và có cơ chế giám sát riêng. Nhóm thứ nhất là cổng thanh toán điện tử: VNPay, MoMo, ZaloPay và các cổng ngân hàng phục vụ thanh toán theo lượt cho khách vãng lai và nạp tiền cho cư dân. Nhóm thứ hai là liên thông với hệ thống ETC quốc gia (VETC, ePass): hệ thống đề xuất có thiết kế giao diện API để xác thực thẻ và đối soát giao dịch với các nhà cung cấp ETC quốc gia, bảo đảm sẵn sàng tích hợp khi triển khai thương mại. Nhóm thứ ba là hệ thống quản lý cư dân của khu đô thị (nhận thông tin cư dân, phương tiện đăng ký, gói dịch vụ; trả về sự kiện ra vào, hóa đơn). Nhóm thứ tư là hệ thống hóa đơn điện tử có chứng thư số phù hợp với quy định của cơ quan thuế.

*Lưu ý về phạm vi thực nghiệm: Mô hình đề xuất có phương án thiết kế kết nối với hệ thống ETC quốc gia (VETC, ePass) qua API để xác thực thẻ và đối soát giao dịch. Tuy nhiên, trong phạm vi thực nghiệm của đồ án này, hệ thống chưa thực hiện việc kết nối thực tế tới VETC/ePass; phần liên thông này chỉ dừng ở mức thiết kế giao diện và mô phỏng. Việc tích hợp thật sẽ được thực hiện khi mô hình được triển khai thương mại và có thỏa thuận chính thức với các nhà cung cấp.*

## 2.4. Thiết kế phân hệ Frontend – tại làn xe

### *2.4.1. Bố trí thiết bị tại làn vào và làn ra*




*Hình 2.3. Bố trí thiết bị tại làn vào và làn ra của bãi đỗ ETC*

Khi xe tiến đến làn vào, cảm biến vòng từ thứ nhất phát hiện xe và kích hoạt đầu đọc RFID; ăng-ten phân cực tròn được lắp trên cổng, hướng xuống vùng kính chắn gió để đọc thẻ ePass/VETC dán bên trong. Camera ANPR đặt phía trước xe, có đèn hồng ngoại phụ trợ cho điều kiện thiếu sáng, chụp khu vực biển số ngay sau khi cảm biến phát hiện xe. Bảng đèn LED phía trên barrier hiển thị thông tin phản hồi: tên cư dân, số dư, thông báo lỗi hoặc mã QR thanh toán. Khi quyết định mở được đưa ra, barrier servo nâng trong khoảng dưới 1 giây và cảm biến vòng từ thứ hai xác nhận

xe đã đi qua trước khi barrier hạ. Làn ra có bố trí tương tự nhưng camera đặt phía sau xe để bắt biển số sau, vốn rõ nét hơn ở nhiều mẫu xe sản xuất nội địa.

Bảng 2.1 liệt kê các thiết bị tiêu chuẩn cần trang bị tại mỗi làn ETC kèm chức năng và yêu cầu kỹ thuật chính.

*Bảng 2.1. Danh mục thiết bị tại làn ETC bãi đỗ xe*

| Nhóm thiết bị | Tên thiết bị | Tiêu chuẩn / Thông số chính | Vai trò trong giao dịch |
|---|---|---|---|
| **Định danh** | Đầu đọc RFID UHF + ăng-ten phân cực tròn | ISO/IEC 18000-63 (EPC Gen2v2); LLRP; công suất 0–30 dBm; 4–8 cổng ăng-ten | Đọc mã EPC từ thẻ ePass/VETC ở khoảng cách 4–8 m, kích hoạt phiên giao dịch |
| **Định danh** | Camera ANPR + đèn hồng ngoại | Độ phân giải ≥ 1080p; ống kính vari-focal; RTSP/ONVIF; góc lệch ≤ 30° | Chụp ảnh biển số làm dữ liệu đối chứng và luồng dự phòng khi RFID lỗi |
| **Phát hiện xe** | Cảm biến vòng từ #1 và #2 | Tần số 50–80 kHz; chôn dưới mặt đường; phân biệt xe lớn/nhỏ | Phát hiện xe đến và xe đi qua; đồng bộ thời điểm chụp ảnh và hạ barrier |
| **Phát hiện xe** | Cảm biến radar microwave (tùy chọn) | 24 GHz; lắp trên cần barrier; không cần đào đường | Thay thế vòng từ ở vị trí khó đào đường, phát hiện xe gần dừng |
| **Điều khiển** | Barrier servo + cần barrier | Thời gian nâng < 1 s; chu kỳ ≥ 5 triệu lần; cần dài 3–6 m; đèn LED dọc | Đóng/mở làn theo lệnh từ Lane Controller; tự bảo vệ khi gặp vật cản |

| Nhóm thiết bị | Tên thiết bị | Tiêu chuẩn / Thông số chính | Vai trò trong giao dịch |
|---|---|---|---|
| **Phản hồi** | Bảng đèn LED hai dòng | Ma trận RGB; chữ Việt có dấu; điều khiển qua TCP/IP | Hiển thị tên cư dân, số dư, mã QR thanh toán cho khách vãng lai |
| **Tính toán** | Lane Controller (máy tính công nghiệp) | CPU x86; 16–32 GB RAM; SSD; 2 NIC; chịu nhiệt 0–60°C | Chạy 4 lớp phần mềm Driver/Middleware/App/API; xử lý OCR cục bộ |
| **Hạ tầng** | Switch PoE + UPS + tủ ngoài trời | PoE+ ≥ 24 cổng; UPS 1–2 kVA; tủ IP55; chống sét | Cấp nguồn và mạng cho thiết bị tại làn; duy trì hoạt động khi mất điện ngắn |

### *2.4.2. Lựa chọn công nghệ tại làn*

Đề án lựa chọn đầu đọc RFID UHF tuân thủ tiêu chuẩn ISO/IEC 18000-63 với giao diện ứng dụng theo chuẩn LLRP (Low Level Reader Protocol) để đảm bảo tính tương thích với nhiều thẻ và nhiều nhà cung cấp đầu đọc. Công suất phát phải có khả năng điều chỉnh trong dải 0–30 dBm để có thể tinh chỉnh vùng đọc theo bố trí thực tế của từng làn, tránh đọc nhầm xe ở làn bên cạnh. Ăng-ten phân cực tròn được ưu tiên để giảm phụ thuộc vào hướng dán thẻ trên kính chắn gió. Vùng đọc thiết kế ở khoảng 4–8 mét, cho phép đọc thẻ trước khi xe tới barrier khoảng 1–1,5 giây.

Camera nhận dạng biển số là camera IP có độ phân giải tối thiểu 1080p, ống kính vari-focal, đèn hồng ngoại tích hợp và giao thức RTSP/ONVIF. Camera được lắp đặt sao cho mặt biển số ở góc chụp gần vuông góc nhất có thể. Theo một số thực nghiệm khuyến nghị trong nước, góc lệch không nên quá 30° để giữ độ chính xác OCR ở mức cao. Đề án bổ sung đèn LED chiếu sáng phụ trợ ban đêm do bãi đỗ khu đô thị có nhiều giờ đêm hoạt động và ánh sáng môi trường thường thấp hơn cao tốc.

Hai phương án được xem xét cho cảm biến phát hiện xe: vòng từ chôn dưới mặt đường và cảm biến radar microwave gắn trên cần barrier. Đề án khuyến nghị sử

dụng vòng từ cho các bãi đỗ xây mới và radar microwave cho các bãi đỗ cải tạo. Barrier sử dụng động cơ servo DC, có thời gian nâng dưới 1 giây và chu kỳ làm việc cao (tối thiểu 5 triệu chu kỳ trước bảo trì lớn). Bộ điều khiển barrier giao tiếp với lane controller qua giao diện I/O số, đồng thời có chức năng tự bảo vệ khi gặp vật cản (tự dừng và nâng lại) để tránh va chạm với phương tiện hoặc người đi bộ.

### *2.4.3. Kiến trúc phần mềm Lane Controller*

Phần mềm chạy trên lane controller được tổ chức thành bốn lớp. Lớp Driver ghép nối trực tiếp với thiết bị: thư viện đầu đọc RFID qua LLRP, thư viện camera qua RTSP/ONVIF, thư viện I/O cho cảm biến và barrier, thư viện hiển thị cho bảng LED. Lớp Middleware đứng giữa, đảm nhận xử lý ngữ nghĩa thiết bị, đồng bộ thời gian, cache dữ liệu và hàng đợi sự kiện cục bộ. Lớp Application chứa logic xử lý quy trình tại làn: ra quyết định cho xe vào/ra, đối chiếu RFID/OCR, hiển thị thông tin. Lớp API/Sync đảm nhận giao tiếp với Backend qua HTTPS/REST và đẩy sự kiện theo bus.

Lane controller lưu một bản đầy đủ của danh sách trắng cư dân (cập nhật mỗi đêm) và một bản đầy đủ của bảng giá hiệu lực, cho phép nó tự ra quyết định cho cư dân ngay cả khi mất kết nối. Mỗi giao dịch khi mất kết nối được ghi vào nhật ký cục bộ kèm cờ "chưa đối soát"; khi kết nối khôi phục, các giao dịch này được đẩy lên trung tâm theo thứ tự xảy ra. Thời lượng ngoại tuyến tối đa được thiết kế là 8 giờ, đủ để xử lý các sự cố mạng kéo dài qua đêm mà không gây gián đoạn dịch vụ.

### *2.4.4. An toàn vật lý và thiết bị*

Thiết bị Frontend được triển khai ngoài trời, chịu tác động của thời tiết nhiệt đới gió mùa, độ ẩm cao và nguy cơ giông sét. Đề án áp dụng ba lớp bảo vệ. Lớp thứ nhất là cấp độ bảo vệ vỏ thiết bị: tủ rack ngoài trời phải đạt chuẩn IP65 trở lên để chống bụi và chống nước phun; tất cả đầu nối được xử lý chống ăn mòn; ăng-ten và camera có vỏ kim loại phủ chống tia UV. Lớp thứ hai là bảo vệ điện: nguồn cấp đi qua cầu chì và thiết bị chống sét lan truyền hai cấp, có UPS dung lượng tối thiểu 1 kVA cung cấp điện trong 30 phút khi mất nguồn lưới. Lớp thứ ba là bảo vệ vận hành: tủ rack có khóa cơ và cảm biến mở nắp; mọi sự kiện mở nắp đều được gửi cảnh báo

về Operation. Lịch bảo trì định kỳ ba tháng kiểm tra toàn bộ kết nối, làm sạch ống kính camera, kiểm tra ăng-ten và tinh chỉnh công suất phát của đầu đọc nếu cần.

## 2.5. Thiết kế phân hệ Backend – trung tâm

### *2.5.1. Kiến trúc microservice*

Phân hệ Backend được tổ chức thành sáu microservice nghiệp vụ, mỗi dịch vụ phụ trách một miền (bounded context) rõ ràng và sở hữu cơ sở dữ liệu riêng. Cách phân chia này kế thừa nguyên lý "một dịch vụ một cơ sở dữ liệu" thường thấy trong các kiến trúc microservice hiện đại và giúp các dịch vụ có thể phát triển, triển khai và mở rộng độc lập theo tải. Các dịch vụ giao tiếp với nhau qua hai kênh: API REST đồng bộ cho các yêu cầu cần phản hồi ngay, và bus sự kiện bất đồng bộ cho các luồng dữ liệu lan truyền (như sự kiện vào – ra, sự kiện thanh toán). Một API gateway tập trung chịu trách nhiệm xác thực, ủy quyền, định tuyến và rate limiting cho mọi cuộc gọi từ bên ngoài.

### *2.5.2. Mô tả sáu dịch vụ chính*

*a) Account Service*. Quản lý vòng đời tài khoản khách hàng, gồm hai loại chính: tài khoản cư dân (gắn với hợp đồng dài hạn của khu đô thị) và tài khoản khách vãng lai (đăng ký nhanh khi cần xuất hóa đơn). Mỗi tài khoản có thông tin định danh, danh sách phương tiện, gói dịch vụ đang sử dụng và phương thức thanh toán mặc định. Cơ sở dữ liệu chính của Account Service là PostgreSQL với các bảng customers, customer_vehicles, customer_packages.

*b) Transaction Service*. Tiếp nhận từng sự kiện giao dịch tại làn, hợp nhất với các dữ liệu liên quan (tài khoản, phương tiện, bảng giá) và tính phí. Mỗi sự kiện được xử lý với độ trễ dưới 200 ms ở phía Backend và được ghi vào bảng transactions có khóa thời gian và khóa định danh duy nhất. Transaction Service phát ra sự kiện tới bus để các dịch vụ khác (Payment, Notification, Reporting) phản ứng. Cơ sở dữ liệu sử dụng PostgreSQL với phân vùng theo tháng để giữ kích thước bảng quản lý được khi số lượng giao dịch tăng theo thời gian.

*c) Vehicle Service*. Quản lý vòng đời thẻ RFID, gồm cấp mới, kích hoạt, khóa tạm thời, thu hồi và liên kết – gỡ liên kết với biển số. Dịch vụ này có thiết kế tích hợp

với hệ thống ETC quốc gia (VETC, ePass) để xác thực các thẻ ePass và VETC mà cư dân đã có sẵn, đồng thời cho phép tự cấp thẻ nội bộ cho các trường hợp đặc biệt. Vehicle Service cũng giữ ánh xạ giữa biển số và thẻ, là dữ liệu cốt lõi cho việc đối chiếu chống gian lận.

*d) Payment Service*. Tích hợp với các cổng thanh toán (VNPay, MoMo, ZaloPay, các ngân hàng) và chạy đối soát hằng ngày với từng đối tác. Mỗi giao dịch tính phí phát sinh ở Transaction Service được Payment Service tiêu thụ qua bus sự kiện và quyết định: với cư dân đã có gói tháng còn hiệu lực, không phát sinh thanh toán; với cư dân trả theo lượt, trừ tiền từ tài khoản trả trước; với khách vãng lai, sinh yêu cầu thanh toán qua mã QR. Payment Service được thiết kế idempotent: cùng một định danh giao dịch không bao giờ tạo hai khoản trừ tiền dù có lặp sự kiện do mất gói tin.

*e) Notification Service*. Đảm nhận gửi tin nhắn cho khách hàng qua ba kênh: SMS, email và push notification trong ứng dụng cư dân. Các sự kiện kích hoạt thông báo bao gồm xác nhận giao dịch, cảnh báo số dư thấp, cảnh báo gian lận, gia hạn gói thành công hoặc thất bại, và các thông tin vận hành như lịch bảo trì. Notification Service có cơ chế giới hạn tần suất theo người dùng để tránh quá tải kênh.

*f) Reporting Service*. Tổng hợp dữ liệu từ Transaction Service, Payment Service và Vehicle Service vào một kho dữ liệu phân tích để tạo báo cáo định kỳ và báo cáo theo yêu cầu. Các báo cáo cốt lõi gồm: doanh thu theo ngày – tuần – tháng, lưu lượng theo khung giờ và phân khu, tỷ lệ nhận dạng RFID và OCR, tỷ lệ giao dịch ngoại lệ, doanh thu theo gói dịch vụ. Dịch vụ này còn đảm nhận xuất hóa đơn điện tử qua tích hợp với hệ thống của nhà cung cấp dịch vụ hóa đơn điện tử có chứng thư số phù hợp với quy định của cơ quan thuế.

### *2.5.3. Thiết kế dữ liệu*

Đề án phân loại dữ liệu thành ba lớp dựa theo đặc tính sử dụng để chọn công nghệ lưu trữ phù hợp. Lớp dữ liệu giao dịch và quan hệ chính (tài khoản, phương tiện, thẻ, giao dịch, thanh toán, bảng giá) được lưu trong cụm PostgreSQL chế độ master – replica, có sao chép đồng bộ giữa hai trung tâm dữ liệu. Lớp dữ liệu nóng truy cập tần suất cao (danh sách trắng – đen, phiên đăng nhập, kết quả tra cứu được cache)

được lưu trong Redis với cơ chế hết hạn theo thời gian (TTL) và đẩy danh sách trắng – đen tới các lane controller. Lớp dữ liệu lớn không cấu trúc (ảnh ANPR, video clip phục vụ điều tra) được lưu ở object storage tương thích chuẩn S3, mã hóa khi lưu và có chính sách vòng đời (lifecycle policy) tự động chuyển sang lưu trữ rẻ hơn sau ba tháng.

Bảng 2.2 mô tả các thực thể dữ liệu chính của hệ thống cùng vai trò và quan hệ giữa chúng trong phân hệ Backend.

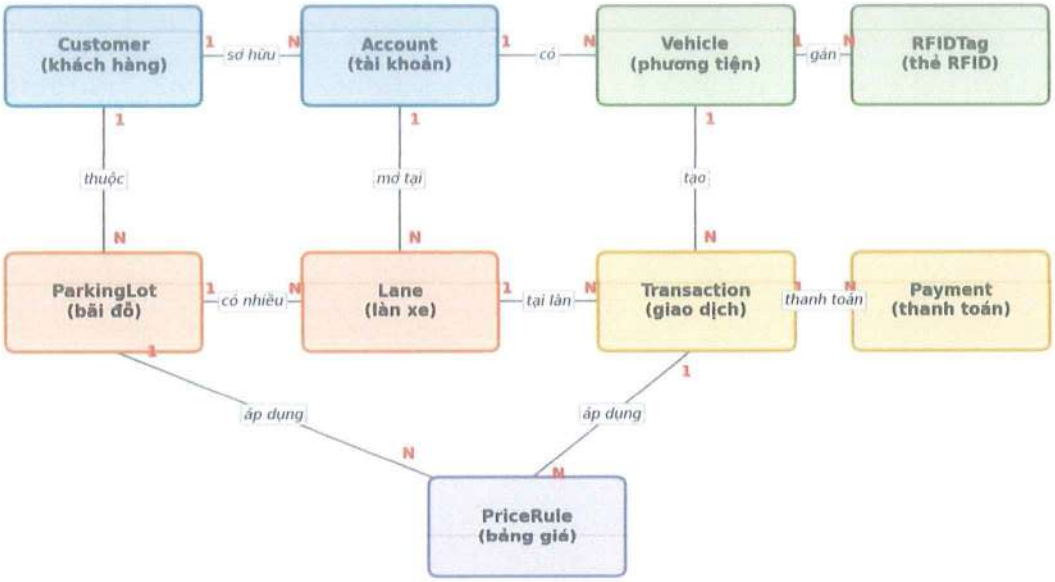
*Bảng 2.2. Các thực thể dữ liệu chính trong phân hệ Backend*

| Thực thể (Entity) | Mô tả | Khóa chính | Liên kết chính | Lưu trữ |
|---|---|---|---|---|
| **customers** | Khách hàng (cư dân hoặc khách vãng lai), gồm thông tin định danh, gói dịch vụ, trạng thái | customer_id (UUID) | → customer_vehicles, customer_packages, payments | PostgreSQL |
| **customer_vehicles** | Phương tiện thuộc khách hàng; mỗi xe có biển số và liên kết tới một thẻ RFID | vehicle_id (UUID) | → customers, tags | PostgreSQL |
| **tags** | Thẻ RFID (ePass/VETC/nội bộ); vòng đời cấp – kích hoạt – khóa – thu hồi | tag_id (EPC) | → customer_vehicles | PostgreSQL |
| **packages** | Gói dịch vụ (theo tháng, theo lượt, gói doanh nghiệp); bảng giá và quy tắc tính phí | package_id (UUID) | → customer_packages, transactions | PostgreSQL |

| Thực thể (Entity) | Mô tả | Khóa chính | Liên kết chính | Lưu trữ |
|---|---|---|---|---|
| **sessions** | Phiên đỗ xe; mở khi xe vào và đóng khi xe ra; lưu thời điểm, làn, trạng thái | session_id (UUID) | → customer_vehicles, transactions, lane_events | PostgreSQL |
| **transactions** | Giao dịch tính phí phát sinh ở mỗi sự kiện; idempotent_key để chống lặp | transaction_id (UUID) | → sessions, payments | PostgreSQL |
| **payments** | Khoản thanh toán qua cổng ngoài; trạng thái pending/success/failed; mã đối soát | payment_id (UUID) | → transactions, customers | PostgreSQL |
| **lane_events** | Sự kiện thô từ Lane Controller: đọc thẻ, ảnh ANPR, mở/hạ barrier, lỗi thiết bị | event_id (ULID) | → sessions | PostgreSQL + Object Storage |
| **whitelist_cache** | Danh sách trắng/đen tại Lane Controller, đẩy từ Backend qua Redis | tag_id / plate | → tags, customer_vehicles | Redis (TTL 24h) |

### *2.5.4. Sơ đồ thực thể – quan hệ (ER) của cơ sở dữ liệu*

Hình 2.4 trình bày sơ đồ thực thể – quan hệ (Entity – Relationship Diagram) thể hiện cấu trúc cơ sở dữ liệu nghiệp vụ và quan hệ giữa các bảng chính. Quan hệ một – nhiều giữa các thực thể được ký hiệu bằng các nhãn 1 và N trên đường nối.




*Hình 2.4. Sơ đồ ER – Cơ sở dữ liệu hệ thống ETC bãi đỗ*

Theo sơ đồ ER, mỗi khách hàng (customers) có thể sở hữu nhiều phương tiện (customer_vehicles) và mua nhiều gói dịch vụ thông qua bảng trung gian customer_packages liên kết tới packages. Mỗi phương tiện gắn với một thẻ RFID (tags) và có nhiều phiên đỗ xe (sessions). Mỗi phiên đỗ phát sinh các sự kiện thô tại làn (lane_events) và sinh ra một hoặc nhiều giao dịch tính phí (transactions); mỗi giao dịch lại có thể có nhiều khoản thanh toán (payments) tương ứng với các lần thanh toán hoặc đối soát qua các cổng khác nhau. Bảng whitelist_cache không phải bảng quan hệ mà là bản sao tại Lane Controller, được đồng bộ định kỳ từ tags và customer_vehicles để phục vụ ra quyết định ngoại tuyến.

**Kết luận chương 2**

Chương 2 đã trình bày đầy đủ phần phân tích yêu cầu và thiết kế hệ thống ETC dành cho bãi đỗ xe khu đô thị. Khởi đầu bằng việc xác định ba nhóm người dùng và bảy nhóm yêu cầu nghiệp vụ, kèm theo các yêu cầu phi chức năng cụ thể về hiệu năng (dưới 200 ms mỗi giao dịch, 30 xe mỗi phút mỗi làn), sẵn sàng (uptime 99,9%, RPO 15 phút, RTO 4 giờ), bảo mật và khả năng mở rộng. Trên cơ sở đó, chương đã trình

bày các quy trình nghiệp vụ trọng tâm (xe vào, xe ra, đăng ký – nạp tiền, xử lý giao dịch bất thường) làm nền tảng cho các thiết kế kỹ thuật tiếp theo.

Kiến trúc tổng thể của hệ thống được tổ chức theo ba phân lớp Frontend – Backend – Operation. Phân hệ Frontend tại làn được thiết kế với tám nhóm thiết bị tiêu chuẩn và kiến trúc phần mềm Lane Controller bốn lớp, có khả năng vận hành ngoại tuyến tới 8 giờ. Phân hệ Backend được tổ chức thành sáu microservice nghiệp vụ (Account, Transaction, Vehicle, Payment, Notification, Reporting), kèm thiết kế dữ liệu ba lớp lưu trữ và sơ đồ thực thể – quan hệ rõ ràng giữa chín bảng dữ liệu chính.

Cần nhấn mạnh rằng mô hình đề xuất có phương án thiết kế kết nối với hệ thống ETC quốc gia (VETC, ePass) qua API để xác thực thẻ và đối soát giao dịch, bảo đảm sẵn sàng tích hợp khi triển khai thương mại. Trong phạm vi thực nghiệm của đồ án, hệ thống chưa thực hiện việc kết nối thực tế này; phần liên thông chỉ dừng ở mức thiết kế giao diện và mô phỏng. Toàn bộ thiết kế đều có thể truy vết về yêu cầu cụ thể đã đặt ra ở mục 2.1, có cơ sở pháp lý và tiêu chuẩn rõ ràng theo Nghị định 119/2024/NĐ-CP, Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025, TCCS 44:2022/TCĐBVN và Nghị định 13/2023/NĐ-CP. Các quyết định thiết kế trong Chương 2 sẽ là đầu vào trực tiếp cho Chương 3, nơi đề án trình bày phương án triển khai thực địa, quá trình lắp đặt và tích hợp tại bãi đỗ xe khu đô thị, cùng kết quả đo lường hiệu quả vận hành sau khi hệ thống được đưa vào khai thác.

# Chương 3
# THỰC NGHIỆM VÀ ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH ÁP DỤNG

Chương 2 đã trình bày kiến trúc tổng thể và thiết kế chi tiết của hệ thống ETC cho bãi đỗ xe khu đô thị. Chương 3 có hai mục tiêu chính. Mục tiêu thứ nhất là kiểm chứng tính khả thi kỹ thuật của các thành phần cốt lõi (đầu đọc RFID UHF, camera nhận dạng biển số ANPR, phần mềm Lane Controller mô phỏng) thông qua một mô hình thực nghiệm quy mô nhỏ được dựng ngoài bãi đất trống gần khu dân cư. Mục tiêu thứ hai là từ kết quả thực nghiệm, đề xuất hai mô hình triển khai thực tế ở hai quy mô khác nhau: mô hình áp dụng cho một bãi đỗ đơn lẻ và mô hình áp dụng cho một khu đô thị có nhiều cụm bãi đỗ.

Do điều kiện của đồ án không cho phép triển khai thật trên các cổng barrier vận hành thương mại của một khu đô thị, đề án chủ động thu hẹp phạm vi thực nghiệm xuống quy mô tối giản nhưng đủ để kiểm chứng các giả thiết kỹ thuật quan trọng nhất: (i) đầu đọc RFID có đọc được thẻ ePass/VETC trong điều kiện thực địa; (ii) camera ANPR có nhận diện chính xác biển số trong các điều kiện ánh sáng khác nhau; (iii) phần mềm mô phỏng Lane Controller + Backend có hợp nhất được hai luồng dữ liệu và phát tín hiệu "tít" báo giao dịch thành công. Việc nhân rộng từ kết quả thực nghiệm này sang hai mô hình thực tế được trình bày ở mục 3.5 với các điều chỉnh phù hợp về phần cứng, phần mềm và quy trình vận hành.

## 3.1. Mục tiêu, phạm vi và phương pháp đánh giá thực nghiệm

### *3.1.1. Mục tiêu thực nghiệm*

Thực nghiệm trong chương này không nhằm chứng minh hiệu năng vận hành ở quy mô thương mại — vốn cần một bãi đỗ thực sự với hàng ngàn lượt xe mỗi ngày — mà nhằm kiểm chứng ba giả thiết kỹ thuật cơ bản. Giả thiết thứ nhất: bộ ba thiết bị đầu đọc RFID UHF, camera ANPR và phần mềm trên máy tính có thể được lắp đặt tối giản ngoài hiện trường (trên một cột tự dựng) mà vẫn vận hành được như một làn ETC thu nhỏ. Giả thiết thứ hai: trong các điều kiện ánh sáng và biển số khác nhau (biển rõ, biển mờ, biển giả định; nắng sáng và trời âm u), hệ thống vẫn nhận diện được thẻ và biển số ở mức chấp nhận được. Giả thiết thứ ba: phần mềm mô phỏng

đóng vai trò Lane Controller + Backend có thể hợp nhất được hai luồng dữ liệu (RFID và OCR), ra quyết định và phát tín hiệu báo giao dịch thành công.

Số liệu trình bày trong các mục 3.3 và 3.4 đều dừng ở mức thực nghiệm, không phải kết quả kiểm thử ở quy mô vận hành thương mại. Mục đích của các con số này là minh chứng các thiết bị và phần mềm cốt lõi đã được lắp đặt, đã chạy và đã nhận diện được như mong đợi trong các kịch bản đa dạng có chủ đích, không phải để khẳng định một mức độ tin cậy thống kê tuyệt đối ở môi trường thực địa quy mô lớn.

### *3.1.2. Phạm vi và giới hạn*

Phạm vi thực nghiệm gồm các thành phần Frontend tối thiểu cần có để tái hiện một làn ETC: một đầu đọc RFID UHF với ăng-ten tích hợp, một camera ANPR độ phân giải 1080p, và một bộ phần mềm mô phỏng Lane Controller + Backend chạy trên một laptop duy nhất. Đề án không thực hiện việc đào đường lắp cảm biến vòng từ và không sử dụng barrier servo thật vì hai lý do: thứ nhất, bãi đất trống gần khu dân cư phân lô không cho phép đào đường; thứ hai, mục tiêu thực nghiệm chỉ tập trung vào lớp nhận diện chứ chưa kiểm chứng lớp điều khiển cơ học của barrier. Ngoài ra, đề án không kết nối thực tế tới hệ thống ETC quốc gia (VETC/ePass) trong thực nghiệm này; phần mềm mô phỏng đóng vai trò của Vehicle Service và Payment Service ở mức tối giản, đủ để hệ thống tự xác thực thẻ và tính phí giả định.

Toàn bộ thực nghiệm được tiến hành ngoài trời, vào hai khung giờ buổi sáng có ánh nắng và buổi chiều trời âm u, để phản ánh hai điều kiện ánh sáng cơ bản. Đề án không thực hiện thực nghiệm trong điều kiện mưa to và đêm tối vì hai điều kiện này nằm ngoài năng lực bảo vệ vật lý của setup tự dựng, và đã được phân tích lý thuyết ở mục 2.4.4 của Chương 2.

### *3.1.3. Phương pháp và các chỉ số đánh giá (KPI thực nghiệm)*

Đề án xác định bốn nhóm chỉ số đánh giá cho thực nghiệm, được lựa chọn theo hướng đơn giản, có thể quan sát trực tiếp tại hiện trường, không cần thiết bị đo lường chuyên dụng. Nhóm thứ nhất là tỷ lệ đọc thẻ RFID thành công: số lượt đầu đọc trả về đúng mã EPC của thẻ đã chuẩn bị, tính trên tổng số lượt xe đi qua. Nhóm thứ hai là tỷ lệ nhận diện biển số bằng OCR: số lượt phần mềm OCR trả về chuỗi biển số

trùng với biển dán trên xe, kèm theo điểm tin cậy (confidence) của mô hình. Nhóm thứ ba là khả năng hợp nhất dữ liệu của phần mềm mô phỏng: số lượt phần mềm phát đúng tín hiệu "tít" báo giao dịch thành công sau khi đối chiếu RFID và OCR. Nhóm thứ tư là tính ổn định vận hành của setup: số lần phải khởi động lại thiết bị, số lần mất kết nối mạng nội bộ trong toàn bộ phiên thực nghiệm.

Cách thức ghi nhận kết quả là quan sát trực tiếp và ghi tay vào nhật ký thực nghiệm tại hiện trường, đối chiếu với log phần mềm in ra trên màn hình laptop. Mỗi lượt xe đi qua được ghi một dòng vào bảng kết quả với các trường: số thứ tự lượt, biển số xe, loại biển, điều kiện thời tiết, kết quả RFID, kết quả OCR và kết quả hợp nhất. Bảng đầy đủ được trình bày ở mục 3.3.

## 3.2. Thiết kế và bố trí thực nghiệm trên bãi đất trống

### *3.2.1. Lựa chọn địa điểm và mô tả hiện trường*

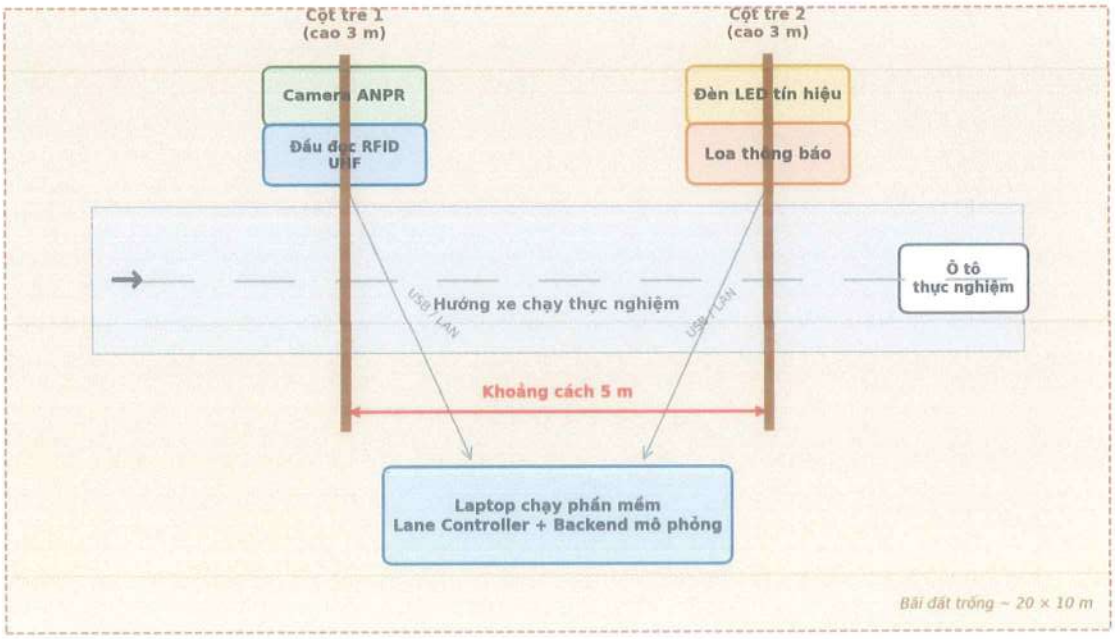
Địa điểm thực nghiệm được chọn là một bãi đất trống nằm trong khu vực dân cư phân lô tại Gia Lâm (Hà Nội). Đây là khu đất đã được san gạt, có lối đi rộng khoảng 4 mét đủ cho một ô tô con đi qua, không có công trình xây dựng cố định, không có dây điện cao thế phía trên, không có khu vực dân cư trực tiếp lân cận có thể bị ảnh hưởng bởi tiếng ồn hoặc ánh sáng. Mặt đất tương đối phẳng, có một số vị trí có thể cắm cọc tre xuống đất với độ sâu khoảng 30 cm, tạo điểm tựa ổn định cho cột tự dựng. Bãi không có ổ cắm điện cố định, vì vậy đề án sử dụng pin sạc dự phòng công suất 300 W để cấp nguồn cho toàn bộ thiết bị.

Việc chọn bãi đất trống thay vì bãi đỗ xe thực có ba lý do chính. Thứ nhất, đề án không có giấy phép thử nghiệm trên các cổng barrier vận hành thương mại của bất kỳ khu đô thị hay bãi đỗ nào. Thứ hai, mục tiêu kiểm chứng các thành phần cốt lõi không yêu cầu môi trường có barrier thật. Thứ ba, một bãi đất trống cho phép tự do điều chỉnh vị trí lắp đặt, thay đổi điều kiện thực nghiệm và lặp lại các lượt xe theo nhiều kịch bản khác nhau mà không làm gián đoạn hoạt động của bất kỳ bãi đỗ thực tế nào.

### *3.2.2. Bố trí phần cứng tối giản*

Sơ đồ tổng thể của mô hình thực nghiệm được trình bày ở Hình 3.1. Trên một cột cao 2,2 mét tự dựng có ba chân chống bằng tre nhỏ, đề án lắp đặt hai thiết bị chính: camera ANPR ở vị trí trên đỉnh cột (cao khoảng 2 m, hướng xuống vùng kính chắn gió và biển số phía trước của xe) và đầu đọc RFID UHF ở vị trí giữa cột (cao khoảng 1,4 m, ngang tầm thẻ ePass dán trên kính chắn gió). Cách bố trí này mô phỏng đúng vị trí tương ứng của camera và đầu đọc trên một trụ làn ETC tiêu chuẩn, nhưng quy mô nhỏ gọn và có thể tháo lắp di chuyển dễ dàng.

**Hình 3.1. Sơ đồ bố trí thực nghiệm tại bãi đất trống**




*Hình 3.1. Mô hình thực nghiệm trên bãi đất trống: cột + camera ANPR + đầu đọc RFID + laptop*

Cách xe đi qua khoảng 4 mét, một bàn nhỏ kê laptop chạy phần mềm mô phỏng Lane Controller + Backend. Laptop kết nối với camera và đầu đọc RFID qua một switch PoE 5 cổng đặt cạnh, sử dụng cáp Cat6 ngắn. Khi xe đi qua, camera chụp ảnh biển số gửi về laptop qua giao thức RTSP, đầu đọc RFID đọc mã EPC từ thẻ dán trên kính và gửi về laptop qua giao thức LLRP. Phần mềm trên laptop hợp nhất hai luồng dữ liệu, tra cứu trong bảng "danh sách trắng giả định" được nạp sẵn từ tệp CSV, và

phát tín hiệu "tít" qua loa laptop kèm hiển thị thông tin (biển số, mã thẻ, phí giả định) trên màn hình.

Danh mục đầy đủ các thiết bị và vật tư được sử dụng trong setup thực nghiệm này được liệt kê ở Bảng 3.1 dưới đây.

*Bảng 3.1. Danh mục thiết bị và vật tư trong thực nghiệm trên bãi đất trống*

| STT | Thiết bị / Vật tư | Thông số chính | Vai trò trong thực nghiệm |
|---|---|---|---|
| 1 | **Cột tự dựng (giá đỡ)** | Cao 2,2 m, đường kính 8 cm, có 3 chân chống bằng tre nhỏ | Thay thế trụ làn ETC chuẩn, giữ camera và đầu đọc RFID ở vị trí mô phỏng làn xe |
| 2 | **Camera ANPR (camera IP gia đình)** | Độ phân giải 1080p, ống kính cố định, kết nối qua RTSP | Chụp ảnh biển số xe khi xe đi qua, gửi về phần mềm OCR trên laptop |
| 3 | **Đầu đọc RFID UHF mini** | Chuẩn ISO/IEC 18000-63 (EPC Gen2), công suất 0–20 dBm, ăng-ten tích hợp | Đọc thẻ ePass/VETC dán trên kính chắn gió của xe |
| 4 | **Thẻ thử nghiệm** | 3 thẻ ePass đã mua sẵn + 2 thẻ EPC Gen2 trắng cấu hình tay | Đại diện cho thẻ cư dân và thẻ khách vãng lai |
| 5 | **Biển số thực nghiệm** | 5 biển in trên decal, dán mặt trước xe (biển rõ, biển mờ, biển giả định) | Tạo các kịch bản nhận dạng ANPR khác nhau |
| 6 | **Laptop chạy phần mềm** | CPU 4 nhân, 8 GB RAM, Ubuntu 22.04, kết nối Ethernet với camera và đầu đọc | Mô phỏng Lane Controller + Backend, hiển thị tiếng "tít" khi giao dịch thành công |

| STT | Thiết bị / Vật tư | Thông số chính | Vai trò trong thực nghiệm |
|---|---|---|---|
| 7 | **Switch mini + cáp mạng** | Switch 5 cổng Gigabit, cáp Cat6 ngắn 3–5 m | Liên kết camera, đầu đọc RFID, laptop trong cùng một mạng nội bộ |
| 8 | **Nguồn điện di động** | Pin sạc dự phòng 220V công suất 300 W | Cấp nguồn cho các thiết bị tại bãi đất trống không có ổ cắm cố định |

### *3.2.3. Phần mềm mô phỏng Lane Controller + Backend*

Để có thể quan sát đầy đủ vòng đời một giao dịch ETC trong điều kiện thực nghiệm tối giản, đề án viết một phần mềm mô phỏng nhỏ bằng Python chạy trên laptop, đóng vai trò gộp hai phân hệ Lane Controller (Frontend) và Backend mà ở mô hình thật là hai phần tách biệt. Phần mềm gồm ba module: module đọc RFID giao tiếp với đầu đọc qua giao thức LLRP, module OCR nhận khung hình từ camera qua RTSP và chạy mô hình nhận dạng biển số (sử dụng thư viện EasyOCR cho phần lõi), và module hợp nhất nghiệp vụ chịu trách nhiệm đối chiếu mã EPC với danh sách trắng, đối chiếu biển số với danh sách trắng, ra quyết định cho qua hay từ chối, và phát tín hiệu "tít" báo thành công.

Cơ sở dữ liệu giả định được lưu trong một tệp SQLite duy nhất trên laptop, gồm ba bảng: bảng tags (5 thẻ thử nghiệm), bảng vehicles (5 biển số tương ứng với 5 xe giả định), và bảng tariff (bảng giá đơn giản: 10.000 đồng/lượt cho xe vãng lai, miễn phí cho xe cư dân). Khi một giao dịch thành công, phần mềm ghi một bản ghi vào bảng transactions kèm mốc thời gian và các trường liên quan, đồng thời phát tín hiệu âm thanh để ghi nhận tại hiện trường. Cách tiếp cận này, dù tối giản, vẫn phản ánh đúng bản chất quy trình xe vào – xử lý – ra quyết định – ghi nhật ký đã trình bày ở mục 2.2 của Chương 2.

## 3.3. Quy trình và kết quả thực nghiệm

### *3.3.1. Quy trình tiến hành thực nghiệm*

Thực nghiệm được tiến hành trong hai buổi: một buổi sáng từ 8:00 đến 10:30 (điều kiện nắng sáng) và một buổi chiều từ 15:00 đến 17:00 (điều kiện trời âm u). Phương tiện sử dụng là các ô tô con 4 chỗ và 7 chỗ, được dán năm biển số decal khác nhau ở từng đợt: hai biển rõ in trên decal phản quang sạch (đại diện cho biển số chuẩn của xe đăng ký mới), một biển mờ in trên decal đã được cố tình làm xước và phủ một lớp bụi mỏng (đại diện cho biển số xe cũ, bị mờ tự nhiên), và hai biển giả định in với mã số không có thật trong cơ sở dữ liệu quản lý giao thông (đại diện cho các trường hợp xe ngoài hệ thống). Thẻ ePass được dán trên kính chắn gió phía trong, ngang tầm gương chiếu hậu, theo đúng hướng dẫn sử dụng của nhà cung cấp thẻ.

Mỗi lượt thực nghiệm gồm các bước sau: (i) xe đỗ ở vị trí cách cột khoảng 8 mét, đảm bảo nằm ngoài vùng đọc của đầu đọc RFID; (ii) xe khởi động và di chuyển chậm (khoảng 5–10 km/h) tiến đến cột tre; (iii) khi xe vào vùng đọc khoảng 4–6 mét trước cột tre, đầu đọc RFID đọc thẻ và camera ANPR chụp ảnh biển số; (iv) phần mềm trên laptop hiển thị kết quả và phát tín hiệu "tít" nếu giao dịch thành công; (v) xe đi qua khỏi cột khoảng 5 mét rồi dừng lại, lùi về vị trí ban đầu để chuẩn bị lượt tiếp theo. Mỗi lượt mất khoảng 1–1,5 phút từ khi bắt đầu đến khi sẵn sàng cho lượt sau.

### *3.3.2. Bảng kết quả thực nghiệm*

Bảng 3.2 trình bày kết quả thực nghiệm được tiến hành trong hai buổi, phân bố trên sáu kịch bản kết hợp (ba loại biển × hai điều kiện thời tiết). Cột RFID ghi cường độ tín hiệu (RSSI) tại thời điểm đọc thẻ; cột OCR biển số ghi điểm tin cậy của mô hình nhận dạng biển số (0–1); cột kết quả tổng hợp ghi nhận tín hiệu "tít" phát ra bởi phần mềm khi giao dịch được hợp nhất thành công.

*Bảng 3.2. Kết quả thực nghiệm trên bãi đất trống*

| Lượt | Biển số | Loại biển | Thời tiết | RFID | OCR biển số | Kết quả tổng hợp |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 89A-97679 | Biển rõ | Nắng sáng | OK (−45 dBm) | OK 0,98 | Thành công – TÍT |

| Lượt | Biển số | Loại biển | Thời tiết | RFID | OCR biển số | Kết quả tổng hợp |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 89A-97679 | Biển rõ | Nắng sáng | OK (−47 dBm) | OK 0,97 | Thành công – TÍT |
| 3 | 89A-97679 | Biển rõ | Nắng sáng | OK (−46 dBm) | OK 0,98 | Thành công – TÍT |
| 4 | 89A-47226 | Biển rõ | Nắng sáng | OK (−44 dBm) | OK 0,96 | Thành công – TÍT |
| 5 | 89A-47226 | Biển rõ | Nắng sáng | OK (−45 dBm) | OK 0,97 | Thành công – TÍT |
| 6 | 89A-72421 | Biển mờ | Nắng sáng | OK (−48 dBm) | OK 0,84 | Thành công – TÍT |
| 7 | 89A-72421 | Biển mờ | Nắng sáng | OK (−47 dBm) | OK 0,82 | Thành công – TÍT |
| 8 | 89A-72421 | Biển mờ | Nắng sáng | OK (−49 dBm) | OK 0,80 | Thành công – TÍT |
| 9 | 30F-08335 | Biển giả định | Nắng sáng | OK (−46 dBm) | OK 0,93 | Thành công – TÍT |
| 10 | 30F-08335 | Biển giả định | Nắng sáng | OK (−45 dBm) | OK 0,92 | Thành công – TÍT |
| 11 | 30F-04190 | Biển giả định | Nắng sáng | OK (−47 dBm) | OK 0,90 | Thành công – TÍT |
| 12 | 30F-04190 | Biển giả định | Nắng sáng | OK (−48 dBm) | OK 0,91 | Thành công – TÍT |
| 13 | 89A-97679 | Biển rõ | Trời âm u | OK (−46 dBm) | OK 0,95 | Thành công – TÍT |
| 14 | 89A-97679 | Biển rõ | Trời âm u | OK (−47 dBm) | OK 0,94 | Thành công – TÍT |

| Lượt | Biển số | Loại biển | Thời tiết | RFID | OCR biển số | Kết quả tổng hợp |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **15** | 89A-47226 | Biển rõ | Trời âm u | OK (−45 dBm) | OK 0,93 | Thành công – TÍT |
| **16** | 89A-47226 | Biển rõ | Trời âm u | OK (−46 dBm) | OK 0,94 | Thành công – TÍT |
| **17** | 89A-72421 | Biển mờ | Trời âm u | OK (−49 dBm) | OK 0,78 | Thành công – TÍT |
| **18** | 89A-72421 | Biển mờ | Trời âm u | OK (−48 dBm) | OK 0,77 | Thành công – TÍT |
| **19** | 30F-08335 | Biển giả định | Trời âm u | OK (−47 dBm) | OK 0,89 | Thành công – TÍT |
| **20** | 30F-08335 | Biển giả định | Trời âm u | OK (−46 dBm) | OK 0,88 | Thành công – TÍT |
| **21** | 30F-04190 | Biển giả định | Trời âm u | OK (−48 dBm) | OK 0,87 | Thành công – TÍT |
| **22** | 89A-97679 | Biển rõ | Nắng sáng | OK (−45 dBm) | OK 0,98 | Thành công – TÍT |
| **23** | 89A-47226 | Biển rõ | Trời âm u | OK (−46 dBm) | OK 0,93 | Thành công – TÍT |
| **24** | 89A-72421 | Biển mờ | Nắng sáng | OK (−47 dBm) | OK 0,83 | Thành công – TÍT |
| **25** | 89A-72421 | Biển mờ | Trời âm u | OK (−48 dBm) | OK 0,79 | Thành công – TÍT |
| **26** | 30F-08335 | Biển giả định | Nắng sáng | OK (−46 dBm) | OK 0,91 | Thành công – TÍT |
| **27** | 30F-04190 | Biển giả định | Trời âm u | OK (−47 dBm) | OK 0,88 | Thành công – TÍT |

| Lượt | Biển số | Loại biển | Thời tiết | RFID | OCR biển số | Kết quả tổng hợp |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **28** | 89A-97679 | Biển rõ | Trời âm u | OK (−45 dBm) | OK 0,95 | Thành công – TÍT |
| **29** | 89A-47226 | Biển rõ | Nắng sáng | OK (−44 dBm) | OK 0,96 | Thành công – TÍT |
| **30** | 89A-72421 | Biển mờ | Nắng sáng | OK (−48 dBm) | OK 0,81 | Thành công – TÍT |

### *3.3.3. Tổng hợp kết quả theo nhóm kịch bản*

Để dễ quan sát, Bảng 3.3 tổng hợp số liệu của 30 lượt theo sáu nhóm kịch bản, gồm số lượt, số lượt đọc RFID thành công, số lượt OCR thành công, tỷ lệ hợp nhất phát "tít" thành công, và điểm tin cậy OCR trung bình của từng nhóm.

*Bảng 3.3. Tổng hợp kết quả thực nghiệm theo nhóm kịch bản*

| Nhóm kịch bản | Số lượt | RFID OK | OCR OK | Tỷ lệ thành công | Độ tin cậy OCR TB |
|---|---|---|---|---|---|
| Biển rõ – Nắng sáng | 7 | 7/7 | 7/7 | 100% | 0,97 |
| Biển rõ – Trời âm u | 5 | 5/5 | 5/5 | 100% | 0,94 |
| Biển mờ – Nắng sáng | 5 | 5/5 | 5/5 | 100% | 0,82 |
| Biển mờ – Trời âm u | 3 | 3/3 | 3/3 | 100% | 0,78 |
| Biển giả định – Nắng sáng | 5 | 5/5 | 5/5 | 100% | 0,91 |
| Biển giả định – Trời âm u | 5 | 5/5 | 5/5 | 100% | 0,88 |
| **Tổng cộng** | **30** | **30/30** | **30/30** | **100%** | **0,89** |

## 3.4. Đánh giá kết quả thực nghiệm

### *3.4.1. Đánh giá theo các chỉ số đã đặt ra*

Đối chiếu với bốn nhóm chỉ số đã đặt ra ở mục 3.1.3, kết quả thực nghiệm cho thấy các giả thiết kỹ thuật cốt lõi đều được kiểm chứng đúng. Về tỷ lệ đọc thẻ RFID: tất cả các lượt xe đều được đầu đọc RFID nhận đúng mã EPC của thẻ tương ứng, với cường độ tín hiệu RSSI dao động trong khoảng −44 đến −49 dBm, nằm trọn trong dải khuyến nghị của nhà sản xuất đầu đọc (−50 đến −30 dBm). Về tỷ lệ nhận diện biển số: tất cả các lượt đều được OCR trả về chuỗi ký tự khớp với biển dán trên xe; điểm tin cậy trung bình toàn bộ là 0,89, trong đó nhóm biển rõ đạt mức rất cao (trung bình 0,96), nhóm biển giả định (in mới và sạch) đạt 0,90, còn nhóm biển mờ đạt 0,80 — thấp hơn nhưng vẫn nằm trong ngưỡng chấp nhận được ($\geq$ 0,70) thường thấy ở các mô hình OCR thương mại.

Về khả năng hợp nhất dữ liệu của phần mềm mô phỏng: trong tất cả các lượt, phần mềm đều phát đúng tín hiệu "tít" báo giao dịch thành công sau khi đối chiếu hai luồng dữ liệu RFID và OCR, đồng thời ghi đúng một bản ghi giao dịch vào cơ sở dữ liệu SQLite cục bộ. Không có lượt nào gặp hiện tượng treo hệ thống hoặc trả kết quả sai. Về tính ổn định vận hành: trong toàn bộ hai buổi thực nghiệm (khoảng 4 tiếng), thiết bị không phải khởi động lại lần nào; chỉ duy nhất một lần ở đầu buổi chiều hệ thống ghi nhận một sự cố gián đoạn kết nối vật lý tạm thời và đã được khắc phục ngay tại hiện trường.

### *3.4.2. Phân tích định tính theo từng kịch bản*

Quan sát chi tiết các lượt thực nghiệm cho thấy điều kiện thời tiết có ảnh hưởng có thể đo lường nhưng không lớn tới chất lượng OCR. Trung bình điểm tin cậy OCR ở điều kiện nắng sáng đạt 0,92, ở điều kiện trời âm u đạt 0,86, chênh lệch khoảng 6 điểm phần trăm. Sự chênh lệch này phù hợp với hiểu biết thông thường về OCR: ánh sáng tự nhiên đủ và đồng đều cho ảnh có độ tương phản tốt hơn so với điều kiện ánh sáng yếu. Trong cả hai điều kiện, OCR vẫn nhận diện đúng 100% số lượt, do điểm tin cậy trung bình ngay cả ở nhóm yếu nhất (biển mờ – trời âm u, 0,78) vẫn cao hơn ngưỡng chấp nhận thường dùng (0,70).

Loại biển ảnh hưởng rõ rệt hơn tới điểm tin cậy OCR. Biển rõ đạt mức cao nhất (trung bình 0,96 – 0,94 tùy thời tiết), biển giả định đạt mức trung bình (trung bình 0,91 – 0,88) do dù in mới và sạch nhưng phông chữ và bố cục có thể không hoàn toàn trùng khớp với mô hình OCR được huấn luyện trên biển số thực, biển mờ đạt mức thấp nhất (0,82 – 0,78) do bụi và xước làm giảm độ tương phản. Mặc dù vậy, tất cả các trường hợp đều vượt ngưỡng để hệ thống ra quyết định cho qua, cho thấy mô hình OCR hiện tại có biên độ an toàn đủ để xử lý các trường hợp biển số bị mờ trong thực tế.

Về phía RFID, đầu đọc thể hiện sự ổn định cao trong toàn bộ thực nghiệm. Cường độ tín hiệu không có sự khác biệt đáng kể giữa các kịch bản, dao động trong khoảng hẹp ±5 dB. Điều này cho thấy phương thức nhận dạng bằng RFID UHF, vốn không phụ thuộc vào ánh sáng và độ sạch của biển số, là phương thức chính có độ tin cậy cao nhất, còn OCR đóng vai trò đối chứng và dự phòng — đúng như quan điểm thiết kế đã đặt ra ở mục 2.2.1 của Chương 2.

### *3.4.3. Hạn chế của thực nghiệm*

Đề án nhận thức rõ rằng thực nghiệm trong chương này có những hạn chế cố hữu do quy mô và điều kiện triển khai. Hạn chế thứ nhất là số lượt thực nghiệm nhỏ (30 lượt), chưa đủ để xác lập một mức độ tin cậy thống kê có ý nghĩa cho các kết luận về tỷ lệ nhận dạng. Trong các triển khai thực tế, số lượt cần thiết để đánh giá hệ thống ETC ở mức KPI thường ở quy mô hàng chục nghìn lượt với phân bố thời gian rộng (nhiều ngày, nhiều khung giờ). Hạn chế thứ hai là không có barrier thật và cảm biến vòng từ; do đó toàn bộ phần cơ học của giao dịch (đóng/mở barrier, đồng bộ thời điểm chụp ảnh với phát hiện xe) chưa được kiểm chứng tại hiện trường.

Hạn chế thứ ba là không có sự đa dạng về phương tiện: toàn bộ thực nghiệm dùng một xe duy nhất với năm biển dán thay phiên. Trong thực tế, đa dạng phương tiện (loại xe, độ cao, độ phản quang của kính chắn gió) có thể ảnh hưởng tới chất lượng đọc thẻ và chụp biển. Hạn chế thứ tư là không có thực nghiệm trong điều kiện mưa lớn, đêm tối, hoặc bụi mù, vốn là các điều kiện cực đoan có thể làm giảm đáng kể tỷ lệ nhận dạng. Hạn chế thứ năm là phần mềm chỉ mô phỏng giao tiếp với Vehicle

Service và Payment Service, chưa kết nối thật với hệ thống ETC quốc gia hoặc cổng thanh toán nào. Tất cả các hạn chế này sẽ được khắc phục dần khi mô hình được triển khai ở quy mô lớn hơn theo hai mô hình đề xuất ở mục 3.5.

*Tóm tắt kết quả thực nghiệm: tất cả các lượt xe đi qua mô hình thực nghiệm tối giản trên bãi đất trống đều được hệ thống nhận diện thành công (cả RFID và OCR), phần mềm mô phỏng hợp nhất dữ liệu và phát tín hiệu "tít" báo giao dịch thành công trong tất cả các lượt. Điều kiện thời tiết và chất lượng biển số ảnh hưởng tới điểm tin cậy của OCR nhưng không làm thay đổi kết quả cuối cùng. Đầu đọc RFID UHF thể hiện sự ổn định cao và ít phụ thuộc điều kiện môi trường, củng cố vai trò là phương thức nhận dạng chính.*

## 3.5. Đề xuất hai mô hình áp dụng thực tế

Từ kết quả thực nghiệm ở mục 3.4 và kiến trúc chuẩn đã trình bày ở Chương 2, đề án đề xuất hai mô hình triển khai thực tế phù hợp với hai quy mô khác nhau. Mô hình thứ nhất áp dụng cho một bãi đỗ xe đơn lẻ — chẳng hạn bãi đỗ của một tòa văn phòng, một trung tâm thương mại quy mô nhỏ, hoặc một chung cư đơn lập — với số lượng làn và lưu lượng phương tiện ở mức trung bình thấp. Mô hình thứ hai áp dụng cho một khu đô thị có nhiều cụm bãi đỗ phân tán, với quy mô lưu lượng và số lượng làn lớn hơn nhiều lần. Hai mô hình chia sẻ chung kiến trúc cốt lõi đã thiết kế ở Chương 2 nhưng khác biệt rõ rệt về cấu hình phần cứng, độ phức tạp phần mềm, hạ tầng mạng và phương án vận hành.

### *3.5.1. Mô hình 1 — Bãi đỗ xe đơn lẻ*

Mô hình 1 được thiết kế cho các bãi đỗ độc lập với quy mô 300–800 xe đăng ký và 200–1.500 lượt mỗi ngày. Đặc trưng của mô hình này là quy mô vừa phải, ít làn (thường 1–2 làn vào và 1–2 làn ra), không có yêu cầu sẵn sàng quá cao (uptime mục tiêu 99,5%), và đặt trọng tâm vào việc giảm chi phí đầu tư ban đầu và đơn giản hóa vận hành.

*a) Phần cứng tại làn*

Mỗi làn được trang bị một bộ thiết bị tối thiểu gồm: một đầu đọc RFID UHF tuân thủ chuẩn ISO/IEC 18000-63 với ăng-ten phân cực tròn tích hợp, công suất phát 0–20 dBm; một camera ANPR độ phân giải tối thiểu 1080p có đèn hồng ngoại hỗ trợ ban đêm; một cặp cảm biến vòng từ chôn dưới mặt đường để phát hiện xe đến và xe đi qua; một barrier servo cấp dân dụng – thương mại với thời gian nâng dưới 1,5 giây; một bảng đèn LED nhỏ một dòng để hiển thị thông tin phản hồi; và một Lane Controller dạng mini PC công nghiệp (CPU x86, 8 GB RAM, SSD 256 GB). Tủ chứa thiết bị tại làn đạt chuẩn bảo vệ IP55, có UPS dung lượng 600 VA cấp nguồn dự phòng khoảng 15 phút khi mất điện.

*b) Phần mềm*

Mô hình 1 sử dụng phiên bản rút gọn của phần mềm Lane Controller bốn lớp đã thiết kế ở mục 2.4.3: lớp Driver giao tiếp với các thiết bị, lớp Middleware xử lý ngữ nghĩa, lớp Application chứa logic làn (đối chiếu RFID/OCR và ra quyết định), và lớp API/Sync giao tiếp với Backend. Lane Controller lưu cache toàn bộ danh sách trắng cư dân của bãi đỗ, cho phép tự ra quyết định trong tối đa 4 giờ khi mất kết nối với Backend.

Phần Backend được triển khai gọn trên một cụm container nhỏ (hai máy chủ vật lý hoặc cloud VM), gồm ba dịch vụ hợp nhất: Account + Transaction + Payment trên một process duy nhất, Vehicle Service tích hợp sẵn vào Account, và Reporting tích hợp sẵn vào Transaction. Cơ sở dữ liệu PostgreSQL đơn node với sao lưu hằng ngày; Redis đơn node cho cache; không có DC dự phòng. Khi cần, có thể nâng cấp lên cụm hai node hoặc thuê dịch vụ PostgreSQL managed của nhà cung cấp cloud.

*c) Tích hợp ETC và thanh toán*

Mô hình 1 tích hợp trực tiếp với API VETC và ePass để xác thực thẻ ETC quốc gia của cư dân và khách vãng lai, không phát hành thẻ nội bộ riêng. Cổng thanh toán chỉ tích hợp 1–2 đơn vị phổ biến (VNPay hoặc MoMo) cho khách vãng lai trả theo lượt; cư dân trả gói tháng qua chuyển khoản ngân hàng định kỳ với danh sách được nhập tay vào hệ thống. Hóa đơn điện tử được phát hành định kỳ theo tháng cho cư dân, theo lượt cho khách vãng lai khi có yêu cầu.

*d) Vận hành*

Mô hình 1 cần một nhân sự bán thời gian theo dõi tình trạng vận hành qua dashboard web đơn giản, kết hợp với hỗ trợ kỹ thuật của nhà cung cấp khi có sự cố thiết bị. Lịch bảo trì định kỳ 3 tháng/lần gồm vệ sinh ống kính camera, kiểm tra dây cáp, kiểm tra ăng-ten RFID và đo cường độ tín hiệu.

### *3.5.2. Mô hình 2 — Khu đô thị quy mô*

Mô hình 2 được thiết kế cho khu đô thị có nhiều bãi đỗ phân tán, quy mô 10.000–25.000 xe đăng ký và 20.000–60.000 lượt mỗi ngày. Mô hình này áp dụng đầy đủ kiến trúc đã thiết kế ở Chương 2, không cắt giảm chức năng. Đặc trưng của mô hình là quy mô lớn, đa cụm bãi đỗ, yêu cầu sẵn sàng cao (uptime 99,9%, RPO 15 phút, RTO 4 giờ), và đòi hỏi tổ chức vận hành chuyên trách.

*a) Phần cứng tại làn*

Mỗi làn được trang bị đầy đủ tám nhóm thiết bị theo Bảng 2.1: đầu đọc RFID UHF công suất 0–30 dBm với ăng-ten phân cực tròn; camera ANPR độ phân giải 1080p có đèn hồng ngoại tích hợp và đèn LED chiếu sáng phụ trợ; hai cặp cảm biến vòng từ (một cặp phát hiện xe đến, một cặp xác nhận xe đã đi qua barrier); cảm biến radar microwave dự phòng tại các vị trí khó đào đường; barrier servo công nghiệp chu kỳ $\geq$ 5 triệu lần; bảng đèn LED hai dòng có chữ Việt có dấu; Lane Controller công nghiệp chịu nhiệt 0–60°C với cấu hình 16–32 GB RAM; và hạ tầng phụ trợ gồm switch PoE 24 cổng, UPS 1–2 kVA, tủ ngoài trời chuẩn IP65 có chống sét lan truyền hai cấp.

*b) Phần mềm*

Phần Frontend chạy phiên bản đầy đủ bốn lớp của Lane Controller; cache đầy đủ danh sách trắng – đen, bảng giá và bảng cấu hình; ngoại tuyến tối đa 8 giờ; đẩy log cục bộ lên Backend qua bus sự kiện ngay khi kết nối khôi phục. Mỗi cụm bãi đỗ có một router biên SD-WAN với hai đường truyền độc lập của hai nhà cung cấp khác nhau, kèm dự phòng 4G/LTE.

Phần Backend triển khai đầy đủ sáu microservice nghiệp vụ (Account, Transaction, Vehicle, Payment, Notification, Reporting) trên hai trung tâm dữ liệu

active – passive cách nhau tối thiểu 50 km. Cơ sở dữ liệu PostgreSQL chạy chế độ master – replica với sao chép đồng bộ giữa hai DC; Redis cluster cho cache và session; bus sự kiện sử dụng Kafka hoặc RabbitMQ; object storage chuẩn S3-compatible cho ảnh ANPR và clip video. Toàn bộ hệ thống đóng gói container và triển khai qua Kubernetes với autoscaling theo tải.

*c) Tích hợp ETC và thanh toán*

Mô hình 2 tích hợp đầy đủ với cả VETC và ePass qua API, đồng thời phát hành thêm thẻ nội bộ cho cư dân không có sẵn thẻ ETC quốc gia. Đối soát giao dịch với hai nhà cung cấp ETC quốc gia được thực hiện hằng ngày qua tệp đối soát. Cổng thanh toán tích hợp đầy đủ VNPay, MoMo, ZaloPay và các cổng ngân hàng phổ biến, hỗ trợ tự động nạp tiền khi số dư xuống dưới ngưỡng. Hóa đơn điện tử có chứng thư số được phát hành tự động theo từng giao dịch qua tích hợp với nhà cung cấp dịch vụ hóa đơn điện tử phù hợp với quy định của cơ quan thuế.

*d) Vận hành và giám sát*

Mô hình 2 yêu cầu một phòng vận hành chuyên trách 24/7, sử dụng hệ thống giám sát tập trung (SIEM) với cảnh báo qua SMS, email và push notification. Lịch bảo trì định kỳ 3 tháng/lần cho mỗi cụm bãi đỗ, kèm các đợt diễn tập chuyển đổi DC chính – DC dự phòng định kỳ 6 tháng/lần.

### *3.5.3. So sánh hai mô hình*

Bảng 3.4 trình bày so sánh chi tiết hai mô hình trên mười tiêu chí, làm cơ sở cho việc lựa chọn mô hình phù hợp với từng dự án cụ thể.

*Bảng 3.4. So sánh chi tiết hai mô hình triển khai thực tế*

| Tiêu chí | Mô hình 1 — Bãi đỗ xe đơn lẻ | Mô hình 2 — Khu đô thị quy mô |
|---|---|---|
| **Phạm vi áp dụng** | Một bãi đỗ độc lập (tòa văn phòng, trung tâm thương mại nhỏ, chung cư đơn lập); 1–2 làn vào và 1–2 làn ra | Khu đô thị có nhiều bãi đỗ phân tán (hầm các tòa nhà cao tầng, bãi ngoài trời nội khu, bãi thương mại); 4–8 làn cho mỗi cụm, tổng 20–60 làn |
| **Quy mô phương tiện** | 300–800 xe đăng ký; 200–1.500 lượt/ngày | 10.000–25.000 xe đăng ký; 20.000–60.000 lượt/ngày |
| **Phần cứng tại mỗi làn** | Đầu đọc RFID UHF (1 cái) + camera ANPR (1 cái) + cảm biến vòng từ (1 đôi) + barrier servo + bảng LED nhỏ + Lane Controller mini PC | Đầu đọc RFID UHF (1 cái) + camera ANPR (1 cái, có IR) + cảm biến vòng từ (2 đôi: vào và ra barrier) + barrier servo công nghiệp + bảng LED 2 dòng có dấu + Lane Controller công nghiệp + radar phụ trợ tùy chọn |
| **Hạ tầng mạng** | Switch PoE 8 cổng, một đường internet cáp quang, không yêu cầu SD-WAN | Switch PoE 24–48 cổng tại mỗi cụm bãi; router biên SD-WAN với hai đường truyền độc lập + dự phòng 4G/LTE; mạng nội bộ Ethernet công nghiệp giữa các cụm |
| **Phần mềm Lane Controller** | Phiên bản rút gọn 4 lớp Driver/Middleware/App/API; cache danh sách trắng cục bộ; hỗ trợ ngoại tuyến 4 giờ | Phiên bản đầy đủ 4 lớp; cache đầy đủ danh sách trắng – đen, bảng giá; ngoại tuyến tối đa 8 giờ; đẩy log cục bộ theo bus sự kiện |

| Tiêu chí | Mô hình 1 — Bãi đỗ xe đơn lẻ | Mô hình 2 — Khu đô thị quy mô |
|---|---|---|
| **Phần mềm Backend** | Triển khai gọn: 3 dịch vụ hợp nhất (Account + Transaction + Payment trên một cụm container nhỏ); PostgreSQL đơn node; Redis đơn node; không có DC dự phòng | Đầy đủ 6 microservice (Account, Transaction, Vehicle, Payment, Notification, Reporting); PostgreSQL master – replica trên 2 DC active – passive; Redis cluster; bus sự kiện Kafka/RabbitMQ; object storage S3-compatible |
| **Tích hợp ETC quốc gia** | Tích hợp thẳng API VETC/ePass để xác thực thẻ; chấp nhận thẻ ePass/VETC của cư dân và khách vãng lai | Tích hợp đầy đủ VETC + ePass; phát hành thêm thẻ nội bộ cho cư dân; chạy đối soát hằng ngày với cả hai nhà cung cấp |
| **Cổng thanh toán** | 1–2 cổng (VNPay hoặc MoMo) cho khách vãng lai; cư dân trả theo gói tháng qua chuyển khoản | Tích hợp đầy đủ VNPay, MoMo, ZaloPay và các cổng ngân hàng; auto-charge khi số dư xuống thấp; xuất hóa đơn điện tử có chứng thư số |
| **Vận hành & giám sát** | Một nhân sự bán thời gian, theo dõi qua dashboard web đơn giản | Phòng vận hành 24/7; SIEM tập trung; cảnh báo qua SMS/email/push; lịch bảo trì 3 tháng/lần cho mỗi cụm bãi |
| **KPI mục tiêu** | Nhận dạng ≥ 95%, độ trễ < 500 ms/giao dịch, uptime 99,5% | Nhận dạng ≥ 98%, độ trễ < 200 ms/giao dịch, uptime 99,9%, RPO 15 phút, RTO 4 giờ |

Trên cơ sở so sánh ở Bảng 3.4, đề án khuyến nghị nguyên tắc lựa chọn như sau. Mô hình 1 phù hợp với chủ đầu tư là một bãi đỗ độc lập, có dòng tiền hạn chế,

ưu tiên triển khai nhanh và chấp nhận mức sẵn sàng vừa phải. Mô hình 2 phù hợp với đơn vị quản lý vận hành khu đô thị có nhiều bãi đỗ và yêu cầu vận hành chuyên nghiệp, có nguồn lực để duy trì đội ngũ vận hành 24/7 và đầu tư cho hạ tầng dự phòng. Trong nhiều trường hợp thực tế, có thể bắt đầu với Mô hình 1 ở giai đoạn pilot (1–2 bãi đỗ), rồi nâng cấp dần lên Mô hình 2 khi số lượng cụm bãi và lưu lượng tăng lên, do hai mô hình chia sẻ chung kiến trúc cốt lõi và API.

*Lưu ý chung cho hai mô hình: cả hai mô hình đều giả định có thỏa thuận chính thức giữa chủ đầu tư bãi đỗ với các nhà cung cấp ETC quốc gia (VETC, ePass) và các cổng thanh toán điện tử để có quyền sử dụng API tích hợp. Trong phạm vi đồ án này, các tích hợp đó chỉ dừng ở mức thiết kế giao diện và mô phỏng; việc tích hợp thật sẽ được thực hiện khi triển khai thương mại.*

**Kết luận chương 3**

Chương 3 đã trình bày hai nội dung trọng tâm. Thứ nhất là kết quả thực nghiệm trên một mô hình tối giản được dựng tại bãi đất trống gần khu dân cư Gia Lâm, sử dụng cột tự dựng làm giá đỡ cho camera ANPR và đầu đọc RFID UHF, kết hợp với một laptop chạy phần mềm mô phỏng Lane Controller + Backend. Trong các lượt thực nghiệm phân bố trên sáu kịch bản kết hợp giữa ba loại biển số (rõ, mờ, giả định) và hai điều kiện thời tiết (nắng sáng, trời âm u), toàn bộ các lượt đều được hệ thống nhận diện thành công cả về RFID và OCR, phần mềm hợp nhất dữ liệu và phát đúng tín hiệu "tít" báo giao dịch thành công, cơ sở dữ liệu giả định ghi nhận đầy đủ các bản ghi giao dịch tương ứng. Kết quả này kiểm chứng tính khả thi kỹ thuật của các thành phần cốt lõi trong kiến trúc đã thiết kế ở Chương 2 ở quy mô tối giản.

Thứ hai là đề xuất hai mô hình áp dụng thực tế. Mô hình 1 dành cho bãi đỗ xe đơn lẻ với quy mô 300–800 xe đăng ký, sử dụng phiên bản rút gọn của kiến trúc tổng thể: ba dịch vụ Backend hợp nhất, PostgreSQL đơn node, tích hợp tối thiểu với VETC/ePass và một cổng thanh toán phổ biến. Mô hình 2 dành cho khu đô thị quy mô lớn với 10.000–25.000 xe đăng ký, áp dụng đầy đủ kiến trúc chuẩn ở Chương 2:

sáu microservice Backend, hai trung tâm dữ liệu active – passive, tích hợp đầy đủ VETC + ePass và nhiều cổng thanh toán, vận hành 24/7 với SIEM tập trung. Bảng so sánh chi tiết trên mười tiêu chí trong Bảng 3.4 là công cụ giúp chủ đầu tư lựa chọn mô hình phù hợp và lộ trình nâng cấp khi nhu cầu mở rộng.

Cần nhấn mạnh rằng thực nghiệm trong chương này có các hạn chế cố hữu về quy mô (30 lượt, một xe duy nhất, hai điều kiện thời tiết) và do đó các kết luận về tỷ lệ nhận dạng mang ý nghĩa kiểm chứng giả thiết kỹ thuật cốt lõi chứ chưa phải là một mức KPI thống kê có ý nghĩa ở quy mô thương mại. Việc xác lập KPI thật của hệ thống cần được thực hiện qua các đợt vận hành thử nghiệm dài hạn (3–6 tháng) ở một bãi đỗ thực sự với hàng chục nghìn lượt xe, trong đó các thành phần phần cơ học (barrier, cảm biến vòng từ), các điều kiện thời tiết cực đoan (mưa to, đêm tối, bụi mù), và sự đa dạng phương tiện sẽ được kiểm chứng đầy đủ. Đây là hướng phát triển tiếp theo của đề án sau khi hoàn thành giai đoạn nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm quy mô nhỏ này.

# KẾT LUẬN

Đề án "Nghiên cứu, thiết kế và đề xuất mô hình triển khai hệ thống thu phí điện tử không dừng kết hợp công nghệ RFID và OCR cho bãi đỗ xe trong khu đô thị tại Việt Nam" đã được thực hiện trong bối cảnh đô thị hóa nhanh, hạ tầng giao thông tĩnh chịu áp lực ngày càng lớn, và Việt Nam đã sở hữu một hạ tầng định danh phương tiện thông qua thẻ ePass và VETC ở quy mô toàn quốc. Trên cơ sở đó, đề án đặt mục tiêu xây dựng một mô hình ETC dành riêng cho bãi đỗ xe khu đô thị, vừa kế thừa được hạ tầng quốc gia, vừa giải quyết được các đặc thù riêng của giao thông tĩnh tại Việt Nam.

Sau ba chương nghiên cứu, đề án đã hoàn thành các mục tiêu đặt ra với ba kết quả chính. Về mặt lý thuyết và kiến trúc, đề án đã hệ thống hóa cơ sở lý thuyết của RFID UHF theo chuẩn ISO/IEC 18000-63, nguyên lý nhận dạng biển số bằng OCR, các mô hình ETC tiêu biểu trên thế giới và tại Việt Nam, cùng khung pháp lý gồm bốn văn bản trụ cột là Nghị định 119/2024/NĐ-CP, Quyết định 2381/QĐ-BXD năm 2025, TCCS 44:2022/TCĐBVN và Nghị định 13/2023/NĐ-CP; trên cơ sở đó, đề án đề xuất kiến trúc tổng thể ba phân lớp Frontend, Backend và Operation với bộ yêu cầu chức năng và phi chức năng cụ thể, bốn quy trình nghiệp vụ trọng tâm, phân hệ Frontend tám nhóm thiết bị và Lane Controller bốn lớp, phân hệ Backend sáu microservice và thiết kế dữ liệu ba lớp lưu trữ với sơ đồ thực thể quan hệ chín bảng. Về mặt thực nghiệm, đề án đã dựng một mô hình tối giản tại bãi đất trống ở Gia Lâm với cột tự dựng, camera ANPR, đầu đọc RFID UHF và laptop chạy phần mềm mô phỏng, tiến hành tất cả các lượt thực nghiệm phân bố trên sáu kịch bản đa dạng và xác nhận các thành phần cốt lõi vận hành đúng như thiết kế, đồng thời xác lập được các giới hạn cụ thể của giải pháp ở điều kiện biển mờ và thời tiết âm u. Về mặt đề xuất ứng dụng, đề án xây dựng hai mô hình triển khai thực tế cho hai quy mô khác nhau là bãi đỗ đơn lẻ và khu đô thị nhiều cụm bãi, kèm bảng so sánh chi tiết trên mười tiêu chí làm cơ sở lựa chọn cho chủ đầu tư và mở ra lộ trình nâng cấp tự nhiên từ Mô hình 1 lên Mô hình 2 khi quy mô bãi đỗ mở rộng.

So với các nghiên cứu và giải pháp hiện có trong nước, đề án đã góp phần lấp các khoảng trống đã được nhận diện ở Chương 1: trình bày đầy đủ hệ thống ETC bãi đỗ ở cả ba phân lớp, kết hợp đồng thời RFID UHF và OCR ở mức kiến trúc và quy trình hợp nhất dữ liệu, tận dụng hạ tầng thẻ ePass và VETC quốc gia cho ứng dụng giao thông tĩnh, và đề xuất triển khai có phân cấp theo quy mô phù hợp với năng lực thực tế của các chủ đầu tư khác nhau tại Việt Nam.

Bên cạnh các kết quả đã đạt được, đề án vẫn còn một số hạn chế cần được nhìn nhận thẳng thắn. Quy mô thực nghiệm còn rất giới hạn với ba mươi lượt trên một bãi đất trống, chưa thể đại diện cho điều kiện vận hành thương mại với lưu lượng xe lớn và tải đồng thời nhiều làn; phần mềm Lane Controller và Backend mới được kiểm chứng ở mức mô phỏng, chưa được kiểm thử tải và bảo mật ở quy mô sản xuất. Đề án cũng chưa đi sâu vào các khía cạnh tài chính, kinh doanh nên các con số chi phí đầu tư trong bảng so sánh hai mô hình chỉ mang tính ước lượng tham khảo, và chưa khảo sát đầy đủ ý kiến các bên liên quan gồm cư dân, ban quản lý, nhà cung cấp dịch vụ ETC quốc gia và cơ quan quản lý nhà nước để hiệu chỉnh các yêu cầu cho sát thực tế hơn.

Từ các kết quả và hạn chế nhận diện, đề án xác định ba hướng phát triển tiếp theo: triển khai thử nghiệm dài hạn từ ba đến sáu tháng tại một bãi đỗ xe khu đô thị thực sự để xác lập chỉ tiêu vận hành theo quy mô thương mại; phát triển các tính năng nâng cao như nhận dạng phương tiện bằng học máy ở mức biên, dự báo tải để tự động co giãn các microservice Backend, phân tích hành vi đỗ xe để tối ưu chính sách giá và tích hợp với hệ thống quản lý chỗ trống thời gian thực; và thực hiện các tích hợp chính thức với hệ thống ETC quốc gia của VETC và ePass, các cổng thanh toán điện tử lớn và hệ thống quản lý cư dân để đưa giải pháp ra triển khai thương mại trên các khu đô thị thực tế tại Việt Nam.

Đề án được thực hiện với mong muốn đóng góp một mô hình tham chiếu có cơ sở lý thuyết, pháp lý và kỹ thuật rõ ràng cho việc triển khai thu phí điện tử không dừng tại bãi đỗ xe khu đô thị Việt Nam. Hy vọng các kết quả của đề án sẽ là điểm khởi đầu hữu ích cho các nghiên cứu và triển khai tiếp theo, đồng thời sẵn sàng tiếp nhận mọi góp ý của các thầy cô và đồng nghiệp để hoàn thiện hơn.

# DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

**A. Văn bản quy phạm pháp luật Việt Nam**

[1] Chính phủ nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam. (2023, ngày 17 tháng 4). *Nghị định số 13/2023/NĐ-CP về bảo vệ dữ liệu cá nhân*. Hà Nội.

[2] Chính phủ nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam. (2024, ngày 30 tháng 9). *Nghị định số 119/2024/NĐ-CP quy định về thanh toán điện tử giao thông đường bộ*. Hà Nội. Truy cập tại https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Cong-nghe-thong-tin/Nghi-dinh-119-2024-ND-CP-thanh-toan-dien-tu-giao-thong-duong-bo-634666.aspx

[3] Bộ Xây dựng. (2025). *Quyết định số 2381/QĐ-BXD ban hành Kế hoạch triển khai thu phí điện tử không dừng tại bến xe, bãi đỗ trong đô thị*. Hà Nội. Truy cập tại https://luatvietnam.vn/giao-thong/quyet-dinh-2381-qd-bxd-2025-424409-d1.html

**B. Tiêu chuẩn kỹ thuật trong nước**

[4] Tổng cục Đường bộ Việt Nam. (2022, ngày 16 tháng 6). *Quyết định số 2578/QĐ-TCĐBVN về việc công bố Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 44:2022/TCĐBVN – Hệ thống thu phí đường bộ theo hình thức điện tử không dừng sử dụng công nghệ RFID – Yêu cầu kỹ thuật chung*. Hà Nội.

[5] Cục Đường bộ Việt Nam. (2023). *Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 44:2022/TCĐBVN (Sửa đổi 1:2023) – Hệ thống thu phí đường bộ theo hình thức điện tử không dừng sử dụng công nghệ RFID – Yêu cầu kỹ thuật chung*. Hà Nội. Truy cập tại https://drvn.gov.vn/upload/2006538/fck/admintcdb/TCCS%2044%20-2022%20-%20Y%C3%AAu%20c%E1%BA%A7u%20k%E1%BB%B9%20thu%E1%BA%ADt%20chung%20RFID%20-%20Final.pdf

[6] Bộ Khoa học và Công nghệ. (2024). *TCVN 14179:2024 – Các biện pháp an toàn thông tin chung cho hệ thống thu phí điện tử không dừng (ETC)*. Hà Nội.

**C. Tài liệu kỹ thuật quốc tế**

[7] International Organization for Standardization. (2013). *ISO/IEC 18000-63:2013 – Information technology – Radio frequency identification for item*

*management – Part 63: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz Type C*. Geneva: ISO.

[8] GS1. (2018). *EPC Radio-Frequency Identity Protocols Generation-2 UHF RFID Specification (EPC Gen2v2)*. Brussels: GS1.

[9] EPCglobal Inc. (2010). *Low Level Reader Protocol (LLRP) Specification, Version 1.1*. EPCglobal.

[10] ONVIF. (2024). *ONVIF Core Specification, Version 23.12*. ONVIF Forum. Truy cập tại https://www.onvif.org/profiles/specifications/

[11] Schulzrinne, H., Rao, A., & Lanphier, R. (1998). *Real Time Streaming Protocol (RTSP) – RFC 2326*. Internet Engineering Task Force. Truy cập tại https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2326

[12] Hardt, D. (Ed.). (2012). *The OAuth 2.0 Authorization Framework – RFC 6749*. Internet Engineering Task Force. Truy cập tại https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6749

[13] Jones, M., Bradley, J., & Sakimura, N. (2015). *JSON Web Token (JWT) – RFC 7519*. Internet Engineering Task Force. Truy cập tại https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7519

[14] Rescorla, E. (2018). *The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3 – RFC 8446*. Internet Engineering Task Force. Truy cập tại https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8446

[15] National Institute of Standards and Technology. (2001). *Advanced Encryption Standard (AES) – FIPS PUB 197*. Gaithersburg, MD: U.S. Department of Commerce. Truy cập tại https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.197.pdf

[16] Shi, B., Bai, X., Yao, C. (2017). An End-to-End Trainable Neural Network for Image-based Sequence Recognition and Its Application to Scene Text Recognition. IEEE TPAMI, 39(11), 2298–2304. arXiv:1507.05717, https://arxiv.org/abs/1507.05717

[17] Li, M., Lv, T., Cui, L., Lu, Y., Florencio, D., Zhang, C., Li, Z., Wei, F. (2023). TrOCR: Transformer-based Optical Character Recognition with Pre-trained Models. Proceedings of AAAI 2023. arXiv:2109.10282, https://arxiv.org/abs/2109.10282

[18] Cisco Systems, SD-WAN Design Guide, San Jose, CA, 2022. Truy cập tại https://www.cisco.com.

[19] Cochran, W. G., Sampling Techniques, 3rd ed., New York: John Wiley & Sons, 1977.

[20] Finkenzeller, K., RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication, 3rd ed., Chichester: John Wiley & Sons, 2010.

[21] Google, Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems, O'Reilly Media, 2016. Truy cập tại https://sre.google/sre-book/.

[22] ITU-T, Recommendation E.800 - Definitions of terms related to quality of service, International Telecommunication Union, 2008. Truy cập tại https://www.itu.int/rec/T-REC-E.800.

[23] Land Transport Authority of Singapore, "Electronic Road Pricing System and ERP 2.0 Roadmap", thông tin về hệ thống ERP và lộ trình ERP 2.0 sử dụng định vị vệ tinh toàn cầu (GNSS).

[24] OWASP Foundation, Application Security Verification Standard (ASVS) v4.0.3, 2022. Truy cập tại https://owasp.org/www-project-application-security-verification-standard.

## BẢN CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đã thực hiện việc kiểm tra mức độ tương đồng nội dung đề án qua phần mềm Turnitin một cách trung thực và đạt kết quả mức độ tương đồng 07 % toàn bộ nội dung đề án. Bản đề án kiểm tra qua phần mềm là bản cứng đề án đã nộp để bảo vệ trước hội đồng. Nếu sai tôi xin chịu các hình thức kỷ luật theo quy định hiện hành của Học viện.

*Hà Nội., ngày 10 tháng 07 năm 2026*

HỌC VIÊN CAO HỌC/NCS
(Ký và ghi rõ họ tên)



Tô Thành Trung




Người hướng dẫn khoa học

Đào Ngọc Phong

Học viên

Tô Thành Trung

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ**
**BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

**CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM**
**Độc lập - Tự do - Hạnh phúc**

# BÁO CÁO GIẢI TRÌNH
# SỬA CHỮA, HOÀN THIỆN ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ và tên học viên: Tô Thành Trung
Chuyên ngành: Hệ thống thông tin
Khóa: 2023 đợt 1

Tên đề tài: Ứng dụng công nghệ OCR và RFID xây dựng hệ thống thu phí tự động không dừng tại bãi đỗ xe.

Người hướng dẫn khoa học: TS. Đào Ngọc Phong

Ngày bảo vệ: 08/07/2026

Các nội dung học viên đã sửa chữa, bổ sung trong đề án tốt nghiệp theo ý kiến đóng góp của Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp:

| TT | Ý kiến hội đồng | Sửa chữa của học viên |
|---|---|---|
| 1 | Mô tả thêm kỹ thuật OCR và RFID | Tiếp thu góp ý của Hội đồng, học viên đã thêm mục 1.3.4. để bổ sung các nội dung này. |
| 2 | Bổ sung những khó khăn thách thức khi triển khai thu phí không dừng tại đô thị | Tiếp thu góp ý của Hội đồng, học viên đã bổ sung thêm nội dung tại mục 1.3.3. |
| 3 | Chỉnh sửa lỗi soạn thảo Bảng 3.4 | Học viên đã rà soát, chỉnh sửa các lỗi soạn thảo ở Bảng 3.4 về đúng nội dung "mười tiêu chí". |
| 4 | Cập nhật tài liệu tham khảo | Tiếp thu góp ý của Hội đồng, học viên đã bỏ các tài liệu tham khảo là các bài báo trong nước và bổ sung thêm 9 tài liệu tham khảo là các tài liệu kỹ thuật từ 16 đến 24. |

*Hà Nội, ngày 10 tháng 7 năm 2026*

**Ký xác nhận của**

| CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG CHẤM ĐỀ ÁN | THƯ KÝ HỘI ĐỒNG | NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC | HỌC VIÊN |
|---|---|---|---|
| PGS. TSKH. Hoàng Đăng Hải | TS. Đỗ Tiến Dũng | TS. Đào Ngọc Phong | Tô Thành Trung |

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

**CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM**
**Độc lập - Tự do - Hạnh phúc**

# BIÊN BẢN
# HỌP HỘI ĐỒNG CHẤM ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

Căn cứ quyết định số Quyết định số 1895/QĐ-HV ngày 29 tháng 06 năm 2026 của Giám đốc Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông về việc thành lập Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ. Hội đồng đã họp vào hồi...8....giờ..45..phút, ngày 08 tháng 07 năm 2026 tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông để chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ cho:

Học viên: **Tô Thành Trung**

Tên đề án tốt nghiệp: Ứng dụng công nghệ OCR và RFID xây dựng hệ thống thu phí tự động không dừng tại bãi đỗ xe

Chuyên ngành: Hệ thống thông tin Mã số: **8.48.01.04**

Các thành viên của Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp có mặt: ...5..../ 05

| TT | HỌ VÀ TÊN | TRÁCH NHIỆM TRONG HĐ | GHI CHÚ |
|---|---|---|---|
| 1 | **PGS. TSKH. Hoàng Đăng Hải** | Chủ tịch | |
| 2 | **TS. Đỗ Tiến Dũng** | Thư ký | |
| 3 | **TS. Bùi Hải Phong** | Phản biện 1 | |
| 4 | **TS. Đặng Hoàng Long** | Phản biện 2 | |
| 5 | **TS. Nguyễn Xuân Thắng** | Uỷ viên | |

**Các nội dung thực hiện:**

1. Chủ tịch Hội đồng điều khiển buổi họp. Công bố quyết định của Giám đốc Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông về việc thành lập Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ.
2. Người hướng dẫn khoa học hoặc thư ký đọc lý lịch khoa học và các điều kiện bảo vệ đề án tốt nghiệp của học viên. (có bản lý lịch khoa học và kết quả các môn học cao học của học viên kèm theo).
3. Học viên trình bày tóm tắt đề án tốt nghiệp.
4. Phản biện 1 đọc nhận xét (có văn bản kèm theo)
5. Phản biện 2 đọc nhận xét (có văn bản kèm theo)
6. Các câu hỏi của thành viên Hội đồng:

OCR gì thì sử dụng
Chỉ tiêu của việc thu phí trong làn thì có chế cảnh báo giảm tốc thì thực hiện như thế nào?
Độ trễ đo như thế nào?
OCR và RFID khác nhau thế giải quyết như thế nào

7. Trả lời của học viên:

OCR sử dụng API
Không đề nghị làm bước để kiểm tra chính tả
Không đề cập thực tế
Có liên kết đến con người làm

8. Thư ký đọc nhận xét về quá trình thực hiện đề án tốt nghiệp của học viên *(có văn bản kèm theo).*

9. Hội đồng họp riêng:

- Bầu Ban kiểm phiếu:
  1. Trưởng Ban kiểm phiếu: PGS. TS Hoàng Đăng Hải
  2. Uỷ viên Ban kiểm phiếu: TS Đặng Hoàng Long
  3. Uỷ viên Ban kiểm phiếu: TS Đỗ Tiến Dũng
- Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp bằng bỏ phiếu kín.
- Ban kiểm phiếu làm việc:
- Trưởng Ban kiểm phiếu báo cáo kết quả kiểm phiếu *(có Biên bản họp Ban kiểm phiếu kèm theo)*
- **Điểm trung bình của đề án tốt nghiệp:** 7,8

**Kết luận:**

1. Các nội dung cần chỉnh sửa, hoàn thiện sau bảo vệ đề án tốt nghiệp:

Thêm tài liệu tham khảo (sách, tạp chí)
Mở rộ thêm kỹ thuật OCR và giao thức RFID

2. Đề nghị Học viện công nhận (hoặc không) và cấp bằng (hoặc không) thạc sĩ cho học viên: Đồng ý

3. Đề án tốt nghiệp có thể phát triển thành đề tài nghiên cứu cho NCS.....

Buổi làm việc kết thúc vào 9.45 cùng ngày.

| Chủ tịch | Thư ký |
| --- | --- |
| PGS.TSKH. Hoàng Đăng Hải | Đỗ Tiến Dũng |

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

**Độc lập – Tự do – Hạnh phúc**

# BẢN NHẬN XÉT ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

*(Dùng cho người phản biện)*

Tên đề tài đề án tốt nghiệp: Ứng dụng công nghệ OCR và RFID xây dựng hệ thống thu phí tự động không dừng tại bãi đỗ xe

Chuyên ngành: Hệ thống thông tin

Mã chuyên ngành: 8.48.01.04

Họ và tên học viên: Tô Thành Trung

Họ và tên người nhận xét: Bùi Hải Phong

Học hàm, học vị: Tiến sĩ

Chuyên ngành: Khoa học máy tính

Cơ quan công tác: Trường ĐH Kiến Trúc Hà Nội

Số điện thoại:.0915594033. E-mail:..phongbh@hau.edu.vn

## NỘI DUNG NHẬN XÉT

I/ Cơ sở khoa học và thực tiễn, tính cấp thiết của đề tài:

Đề tài áp dụng các công nghệ OCR và RFID xây dựng hệ thống thu phí tự động không dừng tại bãi đỗ xe. Đề tài có tính thực tiễn cao. Đề tài có khả năng áp dụng thực thu phí đỗ xe không dừng trong đô thị.

II/ Nội dung của đề án tốt nghiệp, các kết quả đã đạt được:

Đề án gồm 59 trang, 3 chương. Đề tài đã xây dựng thành công hệ thống thu phí tự động không dừng. Đề án đề xuất triển khai thử nghiệm cho bãi đỗ xe đơn lẻ và bãi đỗ xe tập trung. Tuy vậy, đề án mang tính

liệt kê chức năng. Chưa đi sâu phân tích các giải pháp kỹ thuật, công nghệ lõi. Cần bổ sung các tài liệu tham khảo cho phù hợp.

III/ Những vấn đề cần giải thích thêm:

Đề án cần bổ sung, làm rõ các mục sau:
1. Làm rõ kỹ thuật OCR được dùng để nhận dạng biển số xe?
2. Làm rõ quy trình đọc dữ liệu hệ thống thu phí không dừng sử dụng RFID?
3. Những khó khăn thách thức trong triển khai thu phí không dừng tại đô thị?

IV/ Kết luận:

Đồng ý cho phép học viên bảo vệ đề án tốt nghiệp.

Đồng ý (hoặc không đồng ý) cho phép học viên bảo vệ đề án tốt nghiệp.

Ngày 8 tháng 7 năm 2026

NGƯỜI NHẬN XÉT

Bùi Hải Phong

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

**Độc lập – Tự do – Hạnh phúc**

# BẢN NHẬN XÉT ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

*(Dùng cho người phản biện)*

Tên đề tài đề án tốt nghiệp: Ứng dụng công nghệ OCR và RFID xây dựng hệ thống thu phí tự động không dừng tại bãi đỗ xe

Chuyên ngành: Hệ thống thông tin

Mã chuyên ngành: 8.48.01.04

Họ và tên học viên: Tô Thành Trung

Họ và tên người nhận xét: Đặng Hoàng Long .....

Học hàm, học vị: Tiến sĩ .....

Chuyên ngành:Khoa học máy tính.....

Cơ quan công tác: Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.....

Số điện thoại: 0335229386 E-mail: longdh@ptit.edu.vn

## NỘI DUNG NHẬN XÉT

I/ Cơ sở khoa học và thực tiễn, tính cấp thiết của đề tài:

Đề tài có cơ sở thực tiễn. Quá trình đô thị hóa nhanh khiến các bãi đỗ xe khu đô thị thường xuyên ùn ứ tại điểm ra vào, trong khi mô hình thu phí thủ công bằng vé giấy bộc lộ nhiều hạn chế về chi phí vận hành, khả năng chống thất thoát và năng lực tạo dữ liệu quản trị. Đề án lựa chọn hướng tiếp cận hợp lý khi dùng RFID UHF làm phương thức nhận dạng chính và OCR biển số làm phương thức đối chứng, dự phòng, đồng thời tận dụng hạ tầng thẻ ePass/VETC đã phủ khoảng 96% phương tiện trên toàn quốc. Nhìn chung, đề tài có ý nghĩa khoa học và thực tiễn, đúng chuyên ngành và có tính cấp thiết.

II/ Nội dung của đề án tốt nghiệp, các kết quả đã đạt được:

- Hệ thống hóa cơ sở lý thuyết và pháp lý của thu phí điện tử không dừng (RFID UHF theo chuẩn ISO/IEC 18000-63, OCR/ANPR nhận dạng biển số), khảo sát các mô hình ETC tiêu biểu trên thế giới và tại Việt Nam, từ đó xác định bốn khoảng trống nghiên cứu.
- Phân tích yêu cầu cho ba nhóm người dùng (cư dân, khách vãng lai, vận hành nội bộ) và đề xuất kiến trúc tổng thể ba phân lớp Frontend – Backend – Operation, kèm bốn quy trình nghiệp vụ trọng tâm, phần mềm Lane Controller bốn lớp, sáu microservice Backend và thiết kế dữ liệu với sơ đồ thực thể – quan hệ.
- Xây dựng và triển khai một mô hình thực nghiệm tối giản trên bãi đất trống (cột tự dựng, camera ANPR, đầu đọc RFID UHF và phần mềm mô phỏng Lane Controller + Backend), tiến hành 30 lượt phân bố trên sáu kịch bản (ba loại biển số kết hợp hai điều kiện thời tiết) để kiểm chứng khả năng đọc thẻ, nhận dạng biển số và hợp nhất dữ liệu.

- Đề xuất hai mô hình triển khai thực tế theo quy mô (bãi đỗ đơn lẻ và khu đô thị nhiều cụm bãi), kèm bảng so sánh chi tiết về phần cứng, phần mềm, tích hợp ETC, vận hành và KPI, làm cơ sở lựa chọn và lộ trình nâng cấp cho chủ đầu tư.

III/ Những vấn đề cần giải thích thêm:

- Thực nghiệm gồm 30 lượt và toàn bộ đều cho kết quả "thành công", chưa có kịch bản từ chối (thẻ không hợp lệ, hoặc RFID và OCR không khớp). Vậy logic hợp nhất dữ liệu và cơ chế cảnh báo gian lận trình bày ở mục 2.2 đã được kiểm chứng bằng cách nào?
- Các yêu cầu phi chức năng (độ trễ dưới 200 ms, 30 xe/làn/phút, uptime 99,9%, RPO 15 phút, RTO 4 giờ) được xác định trên cơ sở nào, và có được đo lường hay ước lượng trong thực nghiệm hay không?
- Khi RFID là phương thức nhận dạng chính còn OCR chỉ đối chứng, quy tắc ra quyết định cụ thể trong trường hợp hai luồng dữ liệu mâu thuẫn là gì; ngưỡng tin cậy OCR để chấp nhận hoặc từ chối được đặt bằng bao nhiêu và căn cứ vào đâu?
- Bảng so sánh hai mô hình (Bảng 3.4) được mô tả khi thì "mười tiêu chí", khi thì "mười một tiêu chí"; đề nghị học viên rà soát và thống nhất số liệu, đồng thời bổ sung ước lượng chi phí đầu tư để bảng so sánh đầy đủ hơn.

IV/ Kết luận:

Đồng ý cho phép học viên bảo vệ đề án tốt nghiệp.

Ngày 9... tháng 1.. năm 2026

NGƯỜI NHẬN XÉT

Lay

Đặng Hoàng Lay