

DOI: 10.70993/TCDN.2026.3(27).04-13

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO TRẠM KẾT NỐI ĐA NĂNG TÍCH HỢP XỬ LÝ AI TẠI BIÊN PHỤC VỤ GIÁM SÁT ĐÔ THỊ THÔNG MINH

Trần Hùng Mạnh¹, Nguyễn Thiện Quang², Nguyễn Tuấn Anh³,
Cao Khắc Thiện⁴, Đào Việt Hưng⁵, Đỗ Trọng Tấn⁶

Ngày nhận bài: 25/11/2025; Gửi phản biện: 12/12/2025; Duyệt đăng: 15/05/2026

Tóm tắt: Bài báo trình bày nghiên cứu, thiết kế và chế tạo trạm kết nối đa năng (Smart Pole) tích hợp xử lý AI tại biên, hướng tới giải pháp hạ tầng thông minh “Make in Vietnam” phục vụ giám sát đô thị. Hệ thống sử dụng kiến trúc mô-đun linh hoạt, tích hợp các chức năng thiết yếu như: chiếu sáng thông minh tự điều chỉnh theo sự kiện AI, quan trắc môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, PM2.5/PM10), phủ sóng Wi-Fi công cộng, loa phát thanh và màn hình trình chiếu LED. Nghiên cứu đã giải quyết thành công thách thức tích hợp phần cứng đa dạng và xây dựng phần mềm nhúng phân tầng tối ưu cho xử lý tại biên (Edge AI), đảm bảo chủ quyền công nghệ và an toàn thông tin. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống tin cậy cao, tự phục hồi sau sự cố điện trong 10 giây và tổng công suất tiêu thụ tối ưu 224W, chứng minh tính khả thi và phù hợp với điều kiện hạ tầng, khí hậu tại Việt Nam.

Từ khóa: *Trạm kết nối đa năng; Đô thị thông minh; Trí tuệ nhân tạo tại biên.*

Abstract: This paper presents the research, design, and fabrication of a multi-functional connectivity station (Smart Pole) integrated with edge artificial intelligence (Edge AI), aiming to provide a “Make in Vietnam” smart infrastructure solution for urban monitoring. The system adopts a flexible modular architecture and integrates essential functions, including AI event-driven adaptive smart lighting, environmental monitoring (temperature, humidity, PM2.5/PM10), public Wi-Fi coverage, public address speakers, and LED display screens. The study successfully addresses the challenges of heterogeneous hardware integration and develops a layered embedded software architecture optimized for edge processing, ensuring technological autonomy and information security. Experimental results demonstrate high system reliability, with automatic recovery within 10 seconds after power interruptions and an optimized total power consumption of 224 W, confirming the feasibility and suitability of the proposed system for Vietnam’s infrastructure and climatic conditions.

Keywords: *Smart Pole; Smart City; Edge Artificial Intelligence.*

^{1, 2, 3, 4, 6} Viện Ứng dụng công nghệ - Bộ Khoa học và Công nghệ; Email: trongtan@live.com

⁵ Cục Sở hữu trí tuệ.

1. Giới thiệu chung

Quá trình đô thị hóa nhanh chóng đặt ra thách thức lớn về quá tải hạ tầng, ùn tắc giao thông, ô nhiễm môi trường và an ninh trật tự tại nhiều thành phố lớn. Mô hình “đô thị thông minh” được xem là xu hướng giải quyết các vấn đề này, đòi hỏi hạ tầng kết nối linh hoạt có khả năng thu thập và xử lý dữ liệu thời gian thực. Công nghệ trạm kết nối đa năng (Smart Pole) đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi tại nhiều quốc gia tiên tiến như Ấn Độ (Press Information Bureau (PIB), Govt. of India, 2025), Hàn Quốc (Lee, Y., Han, S., & Cho, Y., 2025) và khu vực châu Âu (Market Report Analytics, 2025), đóng vai trò là hạ tầng tích hợp chiếu sáng thông minh, giám sát an ninh, quan trắc môi trường và cung cấp hạ tầng viễn thông. Việc tích hợp bộ xử lý AI tại biên giúp Smart Pole có khả năng phân tích dữ liệu cảm biến và video tại chỗ theo thời gian thực thay vì gửi lên đám mây. Điều này cho phép hệ thống phản ứng gần như tức thời trước các sự kiện diễn ra trong thành phố, giúp giảm thiểu đáng kể độ trễ so với kiến trúc điện toán đám mây truyền thống, nhờ đó nâng cao hiệu quả giám sát và khả năng ứng phó nhanh trong các tình huống khẩn cấp tại đô thị (Srinivasa Kalyan Vangibhurathachhi, 2025). Tuy nhiên, tại Việt Nam, việc triển khai hạ tầng Smart Pole vẫn còn nhiều hạn chế, chủ yếu là các nghiên cứu đơn lẻ, thiếu tính liên kết và đồng bộ. Một rào cản lớn đối với việc áp dụng các giải pháp này là sự thiếu hụt về quy chuẩn kỹ thuật đồng bộ (Ngọc Lưu, 2023), chi phí cao của các giải pháp nhập khẩu với hệ sinh thái phần mềm đóng, gây khó khăn cho việc tích hợp và tiềm ẩn nguy cơ về an toàn thông tin khi dữ liệu quan trọng được quản lý bởi máy chủ nước ngoài (Lê, Q. M., & Phan, V. H., 2025).

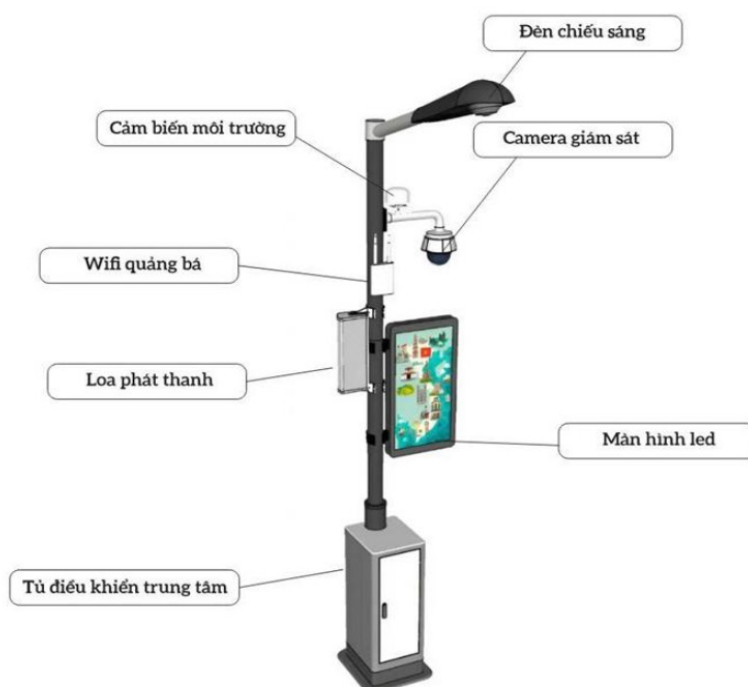
Nghiên cứu này nhằm thiết kế, chế tạo và làm chủ công nghệ trạm kết nối đa năng tích hợp xử lý AI tại biên, cung cấp giải pháp hạ tầng thông minh tổng thể, hiệu quả và an toàn. Trọng tâm nghiên cứu là giải quyết thách thức tích hợp phần cứng đa chủng loại và phát triển kiến trúc phần mềm nhúng phân tầng tối ưu cho xử lý tại biên (Edge AI), giúp giảm tải mạng và tăng tốc độ đáp ứng. Đồng thời, hệ thống quản lý và điều khiển tập trung từ xa được phát triển để giám sát và điều khiển trạm từ xa.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Thiết kế phần cứng

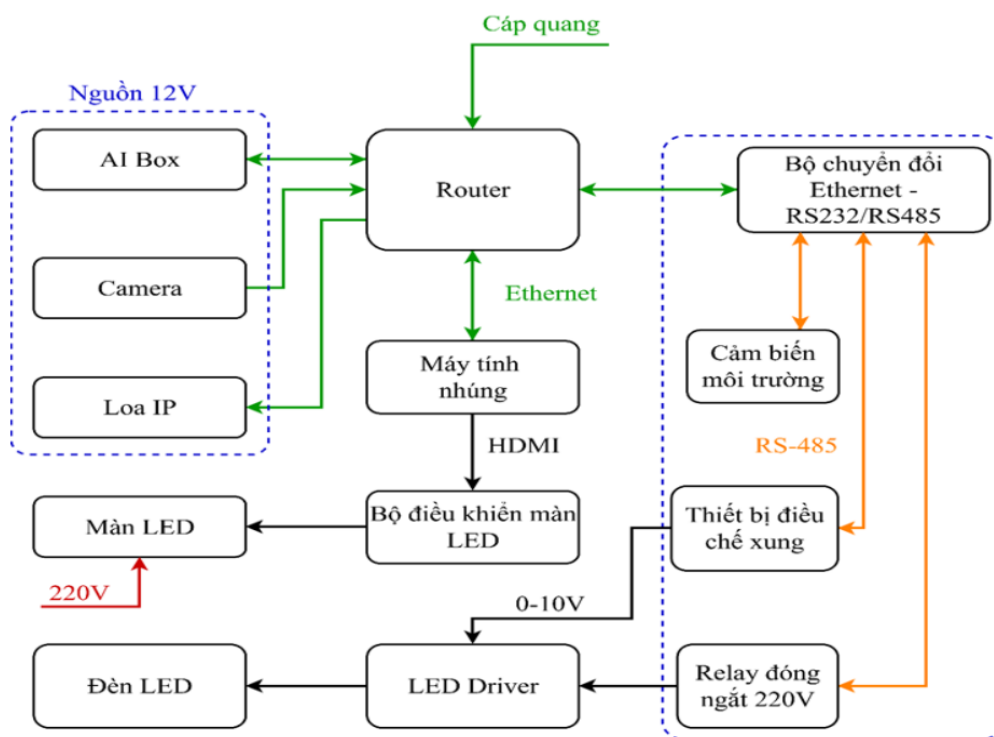
Hệ thống phần cứng của trạm kết nối đa năng được bố trí trên một cột thép cao khoảng 6-8 mét theo kiến trúc mô-đun linh hoạt (Hình 1). Các thành phần kết nối về tủ điều khiển trung tâm đặt dưới chân cột, đóng vai trò “bộ não” và “huyết mạch” của hệ thống. Cột đa năng được chia thành ba tầng chiều cao chức năng để tối ưu vùng phủ và tiện lợi cho người dùng: đỉnh cột tích hợp thiết bị mạng viễn thông chuẩn 5G và đèn chiếu sáng thông minh (để tối ưu vùng phủ và hạn chế nhiễu tín hiệu); tầng giữa (2,5–8 m) lắp đặt các camera IP và mô-đun cảm biến môi trường phục vụ giám sát an ninh, quan trắc nhiệt độ, ẩm và bụi mịn; tầng dưới (dưới 2,5 m) bố trí các thiết bị tương tác người dùng như màn hình LED hiển thị, loa công suất lớn và nút gọi khẩn cấp ở độ cao thuận tiện. Tủ điện được mạ kẽm theo tiêu chuẩn ASTM A123/A123M-24 (ASTM A123/A123M-24, 2024) và ISO 1461:2022 (ISO 1461:2022, 2022) nhằm tăng khả năng chống ăn mòn, đồng thời hệ thống chống sét được thiết kế tuân thủ TCVN 9385:2012 (TCVN 9385:2012, 2012) để đảm bảo độ bền cơ khí và an toàn điện ngoài trời.

Hình 1. Kiến trúc tổng thể trạm kết nối trung tâm



Nguồn: Nhóm tác giả thực hiện.

Hình 2. Sơ đồ khối tổng thể phần cứng trạm kết nối đa năng

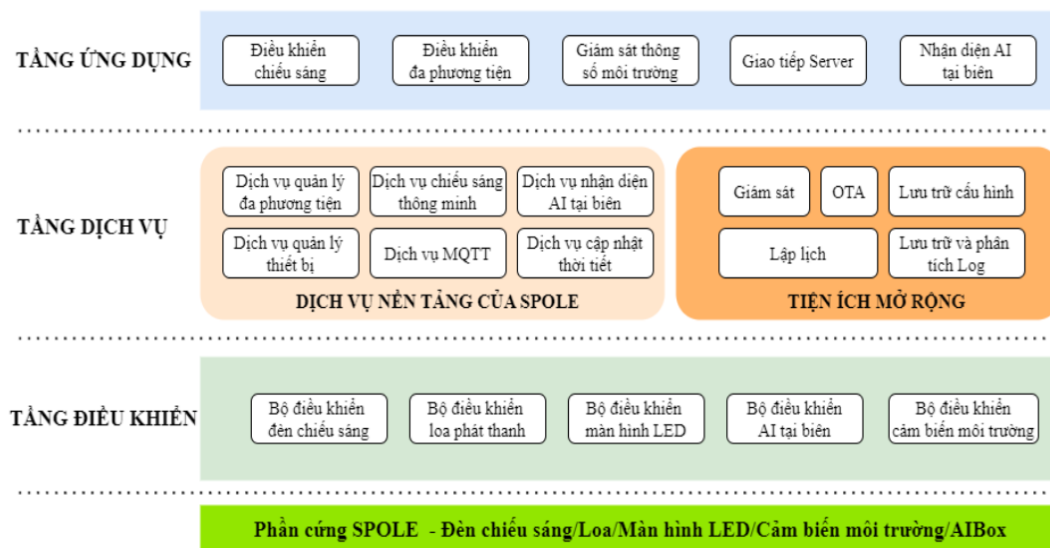


Nguồn: Nhóm tác giả thực hiện.

Hình 2 minh họa sơ đồ khối phần cứng của trạm kết nối đa năng, được thiết kế theo kiến trúc tập trung và mô-đun hóa, trong đó router công nghiệp đóng vai trò nút mạng trung tâm kết nối toàn bộ thiết bị trong trạm. Kết nối mạng băng rộng được cung cấp qua cáp quang, phân phối đến các thiết bị IP gồm AI Box xử lý tại biên, camera IP, loa IP và máy tính nhúng thông qua Ethernet, sử dụng nguồn DC 12V cấp tập trung. AI Box thực hiện các thuật toán trí tuệ nhân tạo tại biên (nhận diện, đếm người), trong khi máy tính nhúng đóng vai trò bộ điều khiển logic trung tâm, điều phối các tác vụ và giao tiếp với nền tảng quản lý. Khối hiển thị sử dụng màn hình LED, nhận tín hiệu từ bộ điều khiển màn hình LED qua giao diện HDMI và sử dụng nguồn 220V AC. Hệ thống chiếu sáng thông minh gồm đèn LED công suất 100W của hãng Philip, LED Driver của hãng MeanWell điều khiển bằng tín hiệu analog 0–10V, kết hợp relay đóng/ngắt 220V để bật/tắt từ xa. Cảm biến môi trường ngoài trời ES-INTEGRATE-ODR-01 (PM2.5, PM10, nhiệt độ, độ ẩm) sử dụng chuẩn truyền thông công nghiệp RS-485, kết nối qua bộ chuyển đổi Ethernet–RS232/RS485 để tích hợp vào mạng IP. Kiến trúc phần cứng này đảm bảo tính mô-đun hóa, an toàn điện và khả năng xử lý tại biên, phù hợp cho triển khai trạm kết nối đa năng trong đô thị thông minh.

2.2. Kiến trúc và triển khai phần mềm

Hình 3. Sơ đồ kiến trúc tổng thể của hệ thống phần mềm



Nguồn: Nhóm tác giả thực hiện.

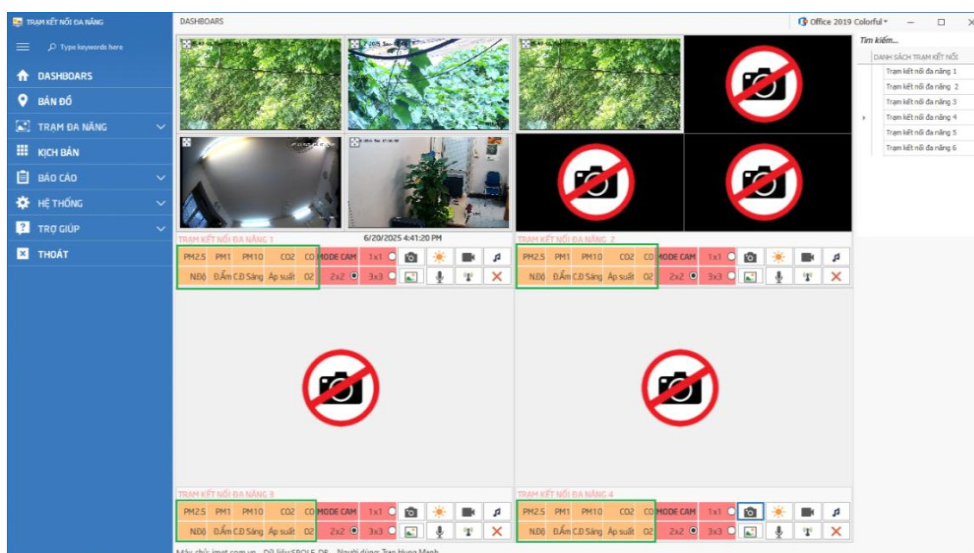
Phần mềm của hệ thống được phát triển theo mô hình đa tầng (Hình 3) nhằm đảm bảo tính mô-đun hóa, dễ mở rộng và tách biệt trách nhiệm. Cấu trúc gồm ba tầng chính: (1) tầng điều khiển, (2) tầng dịch vụ và (3) tầng ứng dụng. Tầng điều khiển giao tiếp trực tiếp với phần cứng qua các giao thức như Modbus, I2C, SPI, bao gồm các mô-đun điều khiển đèn LED, AI Box, loa và cảm biến. Tầng dịch vụ chứa các dịch vụ nền tảng như dịch vụ chiếu sáng thông minh, dịch vụ nhận dạng AI tại biên, dịch vụ đa phương tiện và dịch vụ MQTT. Tầng ứng dụng điều phối chức năng tổng thể của trạm qua các chức năng điều khiển chiếu sáng, điều khiển đa phương tiện, giám sát thông số môi trường theo yêu cầu người dùng hoặc kịch bản định trước.

Hệ thống tích hợp các mô-đun điều khiển thông minh như: (1) điều khiển chiếu sáng thông minh quản lý đèn theo ba kịch bản chính: lịch trình định trước, lệnh điều khiển từ máy chủ và tự động điều chỉnh theo sự kiện AI (dựa trên mật độ người); (2) điều khiển đa phương tiện xử lý đồng bộ và phát nội dung (video, âm thanh, hình ảnh) qua FTP, bao gồm kiểm tra tập tin trước khi tải về nhằm tối ưu băng thông; (3) nhận diện AI tại biên quản lý AI Box, truyền tham số kịch bản từ trung

tâm và theo dõi kết quả sự kiện nhận diện, sau đó kích hoạt các hành động vật lý (bật/tắt đèn, phát cảnh báo qua loa); (4) MQTT Service đảm bảo giao tiếp nhẹ giữa trạm và máy chủ trung tâm: trạm đóng vai trò MQTT client, định kỳ gửi trạng thái và chờ nhận lệnh điều khiển từ các kênh tương ứng. Ngoài ra, các mô-đun tiện ích hỗ trợ bao gồm lưu trữ cấu hình hệ thống, quản lý lịch hoạt động (định dạng JSON, hỗ trợ lặp lại hàng tuần) và cập nhật phần mềm từ xa với kiểm tra tính toàn vẹn (MD5) để đảm bảo an toàn và khả năng phục hồi.

Nền tảng quản lý tập trung được triển khai trên phần mềm với cơ sở dữ liệu MS SQL. Cấu trúc quan hệ được chuẩn hóa (3NF) với bảng trung tâm lưu thông tin trạm (vị trí địa lý, trạng thái kết nối), liên kết với các bảng con quản lý thông số của từng thiết bị (camera, Wi-Fi, loa, AI Box, cảm biến, v.v.). Bảng trạng thái trạm (tblSpoleStatus) lưu trữ thời gian thực các chỉ số môi trường và trạng thái thiết bị như PM1, PM2.5, PM10, nhiệt độ, độ ẩm, độ sáng đèn và âm lượng loa.

Hình 4. Giao diện phần mềm quản lý



Nguồn: Nhóm tác giả thực hiện.

Giao diện phần mềm quản lý tập trung cung cấp chức năng giám sát và điều khiển từ xa toàn diện: hiển thị vị trí trạm và cảnh báo trên bản đồ GIS, bảng điều khiển (dashboard) theo dõi đồng thời trạng thái thời gian thực của các thành phần thiết bị. Người dùng có thể điều khiển chiếu sáng thông minh từ xa (điều chỉnh độ sáng đèn, thiết lập kịch bản tự động theo lịch hoặc dựa vào sự kiện), giám sát các thông số môi trường và thiết lập ngưỡng cảnh báo (vượt ngưỡng sẽ kích hoạt cảnh báo trực quan trên giao diện và gửi email). Ngoài ra, nền tảng hỗ trợ quản lý nội dung đa phương tiện và phát thanh: cho phép đồng bộ và điều khiển việc phát/dừng video, âm thanh lên màn hình LED và loa công cộng, bao gồm tính năng phát thanh khẩn cấp ngay lập tức khi cần thiết

3. Thử nghiệm và đánh giá hiệu năng

3.1. Thiết lập môi trường thử nghiệm

Trong phần này, các kịch bản và môi trường thử nghiệm, kết quả định lượng và đánh giá hệ thống trạm kết nối đa năng được trình bày một cách tổng hợp. Hệ thống đã được thử nghiệm cả trong phòng thí nghiệm lẫn ngoài trời thực tế. Cụ thể, trạm được lắp đặt tại Trung tâm MEMS/NEMS (Hòa Lạc, Hà Nội) để đánh giá đầy đủ trong điều kiện thực tế. Các thử nghiệm bao gồm đo công suất tiêu thụ, đo thời gian phục hồi sau mất điện, kiểm tra hoạt động camera – AI, hiệu năng phát Wi-Fi, màn LED, loa phát thanh, cùng các bài kiểm tra độ bền trong điều kiện mưa bụi, nhiệt độ và độ ẩm cao.

Hình 5. Trạm kết nối đa năng lắp đặt thử nghiệm tại Hòa Lạc



Nguồn: Nhóm tác giả thực hiện.

Trong môi trường phòng thí nghiệm, các bài kiểm tra được triển bao gồm: bài thử điện năng đo dòng và công suất toàn hệ thống; bài ngắt nguồn đo thời gian tự khởi động lại các mô-đun; bài đánh giá camera và tính năng AI với kịch bản đếm người và điều chỉnh đèn; bài kiểm tra Wi-Fi và song song chạy toàn bộ thiết bị. Sau đó, hệ thống được triển khai ngoài trời không che chắn thêm trong 1 tháng để đánh giá khả năng chống bụi/nước, chịu nhiệt ẩm và chống ăn mòn theo tiêu chuẩn thiết kế.

3.2. Kết quả đánh giá hiệu suất điện và độ ổn định

3.2.1. Thử nghiệm công suất tiêu thụ

Để tiến hành đánh giá công suất tiêu thụ của toàn hệ thống, nhóm nghiên cứu đã sử dụng thiết bị đo, phân tích công suất chuyên dụng PPA5500 của hãng Newtons4th. Công suất tiêu thụ của hệ thống sau thời gian vận hành ổn định là 224W (Hình 6). Mức tiêu thụ điện năng thấp này là yếu tố then chốt, khẳng định tính khả thi và bền vững về mặt kinh tế cho việc tích hợp hệ thống đa chức năng, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho việc tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo tại chỗ, giảm đáng kể chi phí vận hành dài hạn.

Hình 6. Thiết lập thử nghiệm đo đánh giá công suất của hệ thống



Nguồn: Nhóm tác giả thực hiện.

3.2.2. Thử nghiệm khả năng tự phục hồi hệ thống

Thử nghiệm chức năng tự khởi động lại nguồn khi mất điện đã được thực hiện 5 lần, kết quả được ghi nhận ở Bảng 1 cho thấy toàn bộ hệ thống tự khởi động lại và phục hồi đầy đủ chức năng sau sự cố với thời gian nhỏ hơn 15 giây.

Bảng 1. Thời gian tự khởi động lại của các mô-đun

Lần thử	Thời gian tự khởi động (s)						
	Camera	LED	Loa	Wi-fi	Cảm biến	Máy chủ	AI Box
1	5	6	8	9	6	10	12
2	5	6	8	9	6	11	12
3	5	6	8	9	5	10	12
4	5	6	8	9	6	11	13
5	6	6	8	9	6	11	12

Nguồn: Kết quả từ nghiên cứu của nhóm tác giả.

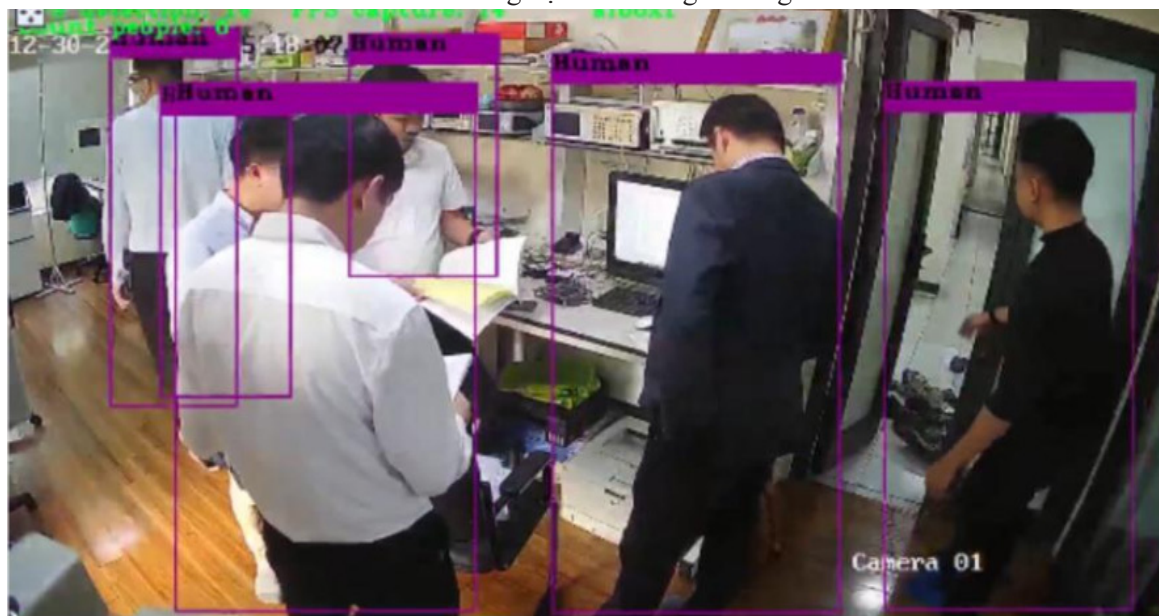
Khả năng tự phục hồi nhanh chóng này là một chỉ số quan trọng về độ tin cậy. Trong hạ tầng đô thị, việc gián đoạn dịch vụ an ninh (camera) hoặc cảnh báo khẩn cấp cần được giảm thiểu tối đa. Tốc độ phục hồi nhỏ hơn 15 giây đảm bảo rằng trạm kết nối có thể nhanh chóng trở lại hoạt động bình thường, ngay cả trong điều kiện lưới điện không ổn định, góp phần duy trì tính liên tục và độ ổn định cao cho các dịch vụ thiết yếu công cộng.

3.3. Kết quả thử nghiệm chức năng thông minh

3.3.1. Hiệu năng xử lý AI tại biên

Thử nghiệm tính năng AI (đếm người) đã xác nhận độ chính xác của mô hình và cơ chế tự động điều khiển đèn chiếu sáng theo mật độ người (Hình 7). Cường độ sáng đèn được điều khiển tự động ở mức 30% trong trường hợp có từ 0 đến 3 người; ở mức 65% trong trường hợp từ 4 đến 7 người và ở mức 100% với mức 8 người trở lên. Kết quả được ghi nhận ở Bảng 2.

Hình 7. Thử nghiệm tính năng đếm người



Nguồn: Nhóm tác giả thực hiện.

Bảng 2. Kết quả thử nghiệm tính năng đếm người và điều khiển đèn chiếu sáng

Số người thực tế	Số người phát hiện	Độ sáng đèn (%)
1	1	30
1	1	30
3	3	30
3	3	30
4	4	65
4	4	65
7	7	65
7	7	65
9	9	100
9	10	100

Nguồn: Kết quả từ nghiên cứu của nhóm tác giả.

Tính năng AI đếm người và điều chỉnh đèn theo kịch bản đã được xác thực chính xác với sai số nhỏ. Bảng 2 cho thấy kết quả chi tiết của ba tình huống: Nhỏ (0–3 người), Vừa (4–7 người) và Nhiều (≥ 8 người). Ở mỗi kịch bản, hệ thống gần như nhận đúng số người, điều chỉnh độ sáng tương ứng (30%, 65%, 100%). Trong kịch bản thử nghiệm với 9 người đồng thời, kết quả trả về của hệ thống trong một số trường hợp có sai lệch 1 người. Kết quả này khẳng định phần mềm AI tích hợp hoạt động ổn định và hiệu quả.

3.3.2. Hiệu năng truyền thông và cảm biến môi trường

Truyền thông dữ liệu: độ trễ truyền dữ liệu từ cảm biến về server qua giao thức MQTT được đo đạt trung bình chỉ 1.5 giây. Độ trễ thấp này đảm bảo dữ liệu quan trắc và sự kiện được cập nhật gần như thời gian thực, hỗ trợ việc ra quyết định và phản ứng kịp thời của hệ thống quản lý trung tâm.

Wi-Fi quảng bá: hệ thống wi-fi đạt thông lượng tải xuống trung bình 85 Mbps (tại bán kính 20m) và hỗ trợ ổn định 20 thiết bị kết nối đồng thời với tỷ lệ mất gói (Packet loss) $< 1\%$. Điều này khẳng định khả năng cung cấp dịch vụ Internet công cộng chất lượng cao.

Độ chính xác cảm biến môi trường được đánh giá tại Phòng thí nghiệm Công ty cổ phần chứng nhận và kiểm định Vinacontrol theo số giấy chứng nhận hiệu chuẩn 25A06817/TBYT.ĐL/VNCE. Kết quả thử nghiệm ở Bảng 3 cho thấy cảm biến môi trường duy trì độ chính xác cao trong thử nghiệm: nhiệt độ, độ ẩm.

Bảng 3. Kết quả thử nghiệm đánh giá độ chính xác cảm biến môi trường tại Phòng thí nghiệm Công ty Cổ phần chứng nhận và kiểm định Vinacontrol

Thông số hiệu chuẩn	Điểm hiệu chuẩn	Giá trị trung bình của chỉ thị tử môi trường KK-68CH	Giá trị trung bình của UUT	Số hiệu chính
Nhiệt độ (°C) tại độ ẩm 60%	20 °C	20,0 °C	20,1 °C	-0,1 °C
	40 °C	40,0 °C	40,2 °C	-0,2 °C
	65 °C	65,0 °C	65,6 °C	-0,6 °C
Độ ẩm (%) tại nhiệt độ 40 °C	40 %	40,0 %	43,2 %	-3,2 %
	60 %	60,0 %	63,2 %	-3,2 %
	80 %	80,0 %	79,9 %	0,1 %

Nguồn: Kết quả từ nghiên cứu của nhóm tác giả.

3.3.3. Đánh giá khả năng chống chịu môi trường thực tế

Thử nghiệm tại Khu Công nghệ cao Hòa Lạc đã xác nhận độ bền của phần cứng dưới điều kiện vận hành khắc nghiệt:

Chống chịu nhiệt độ và độ ẩm: sau một tháng vận hành, các mô-đun điện tử bên trong tủ điều khiển, camera và cảm biến môi trường hoạt động ổn định, không ghi nhận lần lỗi hoặc tự khởi động lại nào, mặc dù dải nhiệt độ ngoài trời dao động từ 5 °C đến 45 °C và độ ẩm từ 60% - 95% RH.

Chống nước, chống bụi và chống ăn mòn: việc kiểm tra sau thử nghiệm cho thấy thân cột (thép mạ kẽm) và tủ điều khiển (son tĩnh điện) hoàn toàn không xuất hiện dấu hiệu gỉ sét hay ăn mòn. Các thiết bị bên trong tủ điều khiển và các thiết bị gắn ngoài (camera, loa, cảm biến) không có dấu hiệu bụi hoặc nước xâm nhập, xác nhận thiết kế cơ khí và lựa chọn vật liệu đạt tiêu chuẩn IP65/IP66.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thành công thiết kế, chế tạo và thử nghiệm hệ thống trạm kết nối đa năng (Smart Pole) tích hợp xử lý AI tại biên. Hệ thống theo kiến trúc mô-đun và phần mềm phân tầng ba lớp (Driver-Service-Application) đảm bảo làm chủ công nghệ và an toàn thông tin, loại bỏ sự phụ thuộc vào giải pháp phần mềm đóng nước ngoài. Kết quả đo lường cho thấy độ tin cậy và hiệu suất cao: tổng công suất tiêu thụ tối ưu 224W và khả năng tự phục hồi sau mất điện chỉ trong 10 giây. Đặc biệt, khả năng xử lý tại biên cho phép phân tích đồng thời bốn luồng video ngay tại trạm, giúp phản hồi tức thời các sự kiện, giảm tải cho mạng và thuận lợi cho mở rộng quy mô hệ thống. Giải pháp đề xuất có tính khả thi cao, phù hợp với điều kiện khí hậu và hạ tầng tại Việt Nam, góp phần tạo nền tảng khoa học và thực tiễn vững chắc cho quy hoạch đô thị thông minh dựa trên dữ liệu thời gian thực.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu, thiết kế chế tạo hệ thống trạm kết nối đa năng tích hợp công nghệ xử lý AI tại biên”, do Viện Ứng dụng công nghệ chủ trì.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ASTM A123/A123M-24. (2024). *Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products*. ASTM International.
2. ISO 1461:2022. (2022). *Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles - Specifications and test methods*. International Organization for Standardization.
3. Lê, Q. M., & Phan, V. H. (2025, 26 tháng 9). *An ninh mạng Việt Nam trước sức ép mới: Thách thức và lời giải từ chuyên gia*. (Báo Nhân Dân) Retrieved from <https://nhandan.vn/an-ninh-mang-viet-nam-truoc-suc-ep-moi-thach-thuc-va-loi-giai-tu-chuyen-gia-post910677.html>
4. Lee, Y., Han, S., & Cho, Y. (2025). *Navigating the Path to Smart and Sustainable Cities: Insights from South Korea's National Strategic Smart City Program*. Land, 14(5), 928.
5. Market Report Analytics. (2025). *IoT Smart Light Pole Analysis 2025 and Forecasts 2033: Unveiling Growth Opportunities*. Retrieved from <https://www.marketreportanalytics.com/reports/iot-smart-light-pole-333627#summary>
6. Ngọc Lưu. (2023, 29 tháng 11). *Hành lang pháp lý thiếu rõ ràng là rào cản xây dựng đô thị thông minh tại Việt Nam*. (VietnamFinance) Retrieved from <https://vietnamfinance.vn/hanh-lang-phap-ly-thieu-ro-rang-la-rao-can-xay-dung-do-thi-thong-minh-tai-viet-nam-d104001.html>
7. Press Information Bureau (PIB), Govt. of India. (2025, June 24). *10 Years of Smart Cities Mission*. Retrieved from <https://www.pib.gov.in/PressNoteDetails.aspx?NoteId=154736&ModuleId=3>
8. Srinivasa Kalyan Vangibhurathachhi. (2025). *Edge Computing in IoT for Smart Cities*. International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation , 620-624.
9. TCVN 9385:2012. (2012). *Chống sét cho công trình xây dựng – Hướng dẫn thiết kế, kiểm tra và bảo trì hệ thống*. Bộ Khoa học và Công nghệ.