GIẢI PHÁP TỦ GIỮ ĐỒ THÔNG MINH HỖ TRỢ GIÁM SÁT THỜI GIAN THỰC

Nguyễn Thị Thanh
Khoa Kỹ thuật Cơ – Điện và Máy tính, Trường Đại học Văn Lang
69/68 Đặng Thùy Trâm, Phường Bình Lợi Trung, TP. Hồ Chí Minh
Email tác giả liên hệ: thanh.nguyen@vlu.edu.vn
Phạm Thi Kim Ngôn
Khoa Công nghệ, Trường Đại học Hoa Sen, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
Email: ngon.phamthikim@hoasen.edu.vn
Nguyễn Thị Thanh Trúc
Trường Đại học Công nghệ Thông tin, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
Email: trucntt@uit.edu.vn

Tóm tắt: *Hiện nay, các hệ thống tủ giữ đồ truyền thống vẫn được sử dụng phổ biến tại trường học, siêu thị, trung tâm thương mại và nhiều khu vực công cộng. Tuy nhiên, mô hình này còn tồn tại nhiều hạn chế như khó kiểm soát trạng thái sử dụng, phụ thuộc nhiều vào thao tác thủ công, dễ phát sinh thất lạc chìa khóa hoặc gây nhiều trở ngại cho công tác kiểm soát và giám sát. Trong khi đó, các hệ thống tủ giữ đồ thông minh mang lại nhiều ưu điểm như hỗ trợ giám sát thời gian thực, tăng cường mức độ bảo mật, nâng cao hiệu quả quản lý và gia tăng sự tiện lợi cho người sử dụng. Mặc dù vậy, việc ứng dụng mô hình này tại Việt Nam hiện vẫn chưa thực sự phổ biến do chi phí triển khai, hạ tầng công nghệ và khả năng tiếp cận của người dùng còn hạn chế. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất giải pháp tủ giữ đồ thông minh hỗ trợ giám sát thời gian thực nhằm nâng cao hiệu quả quản lý và khả năng ứng dụng trong thực tiễn. Giải pháp được thiết kế theo hướng dễ triển khai, hỗ trợ quản lý tập trung và sẵn sàng thích ứng ở nhiều bối cảnh khác nhau. Quá trình đánh giá thực tiễn đã khẳng định mô hình này có tính ổn định, phục vụ hiệu quả công tác giám sát và hoạt động trong thực tế.*

Từ khóa: *Tủ giữ đồ thông minh, Quản lý thông minh, Internet vạn vật, Giám sát thời gian thực, Kiến trúc IoT ba lớp, Hệ thống nhúng, ESP32, MQTT.*

A SMART LOCKER SYSTEM SUPPORTING REAL-TIME MONITORING

Abstract: *Traditional locker systems are still widely used in schools, supermarkets, shopping malls, and various public facilities. However, these systems have several limitations, including difficulty in monitoring locker status, reliance on manual operations, the risk of lost keys, and challenges in management and supervision. In contrast, smart locker systems offer significant advantages, including real-time monitoring, enhanced security, improved operational efficiency, and a better user experience. Nevertheless, the adoption of smart locker systems in Vietnam remains limited due to deployment costs, technological infrastructure, and users' accessibility. To address these challenges, this paper proposes a smart locker solution with real-time monitoring capabilities to improve management efficiency and practical applicability. The proposed system is designed to be easy to deploy, support centralized management, and provide scalability for various application environments. Experimental results demonstrate that the proposed solution operates reliably and effectively meets the requirements for real-time monitoring and practical operation.*

Keywords: *Smart Locker, Smart Management, Internet of Things - IoT, Real-time Monitoring, Three-Layer IoT Architecture, Embedded System, ESP32, MQTT.*

Nhận bài: 14/06/2026 Phản biện: 14/07/2026 Duyệt đăng: 17/07/2026

I. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh các đô thị thông minh đang được đẩy mạnh phát triển, nhu cầu lưu trữ đồ đạc cá nhân một cách an toàn, tiện lợi tại các khu vực công cộng (trung tâm thương mại, trường học, bệnh viện) cũng ngày càng gia tăng. Các mô hình tủ giữ đồ truyền thống sử dụng chìa khóa cơ hoặc mã vạch cố định còn tồn tại một số hạn chế về bảo mật, khả năng quản lý tập trung và tính linh hoạt trong quá trình vận hành.

Để khắc phục những hạn chế trên, việc ứng dụng Internet vạn vật (IoT) vào hệ thống lưu trữ được xem là một xu hướng tất yếu. Mô hình tủ giữ đồ thông minh (Smart Locker) là một trong những giải pháp tiêu biểu, cho phép số hóa quy trình lưu trữ và giao nhận, đồng thời nâng cao hiệu quả quản lý và trải nghiệm người dùng. Tuy nhiên, phần lớn các hệ thống tủ locker hiện nay trên thị trường vẫn hoạt động độc lập và thiếu đi khả năng đồng bộ dữ liệu liên tục. Điều này dẫn đến sự thiếu hụt thông tin đối với công tác giám sát tình trạng thiết bị cũng như khó khăn trong việc truy xuất lịch sử giao dịch khi xảy ra sự cố.

Xuất phát từ thực tiễn đó, bài báo đề xuất một giải pháp tủ giữ đồ thông minh hỗ trợ giám sát thời gian thực dựa trên công nghệ Internet vạn vật (IoT). Khác với các mô hình tủ giữ đồ truyền thống, giải pháp này được phát triển với khả năng thu thập, truyền tải và giám sát dữ liệu theo thời gian thực thông qua máy chủ trung tâm, góp phần nâng cao hiệu quả quản lý và vận hành.

Nghiên cứu tập trung vào việc thiết kế, xây dựng và triển khai một hệ thống tủ giữ đồ thông minh bao gồm cả phần cứng và phần mềm điều khiển. Hệ thống được thẩm định bằng các bài kiểm tra thực tế nhằm kiểm chứng tính ổn định, khả năng hoạt động theo thời gian thực và các chức năng chính của hệ thống. Kết quả thực nghiệm cho thấy giải pháp này thỏa mãn tốt những tiêu chí giám sát, kiểm soát và điều hành, đồng thời có triển vọng triển khai thực tế vào những hệ thống lưu trữ thông minh và tích hợp với các hệ thống

quản lý tòa nhà (Building Management System – BMS) trong tương lai.

Mục tiêu cốt lõi của nghiên cứu là thiết kế, chế tạo và thử nghiệm một hệ thống tủ giữ đồ thông minh hoàn chỉnh, đồng thời tiến hành thực nghiệm để đánh giá tính ổn định và khả năng hoạt động theo thời gian thực của hệ thống. Kết quả nghiên cứu hướng tới việc cung cấp một giải pháp kỹ thuật toàn diện, có độ tin cậy cao, làm nền tảng vững chắc để có thể dễ dàng mở rộng và tích hợp vào các nền tảng quản lý tòa nhà thông minh (BMS - Building Management System) trong tương lai.

II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

Hệ thống tủ giữ đồ thông minh đề xuất trong nghiên cứu này được xây dựng dựa trên ba thành phần công nghệ cốt lõi: (i) kiến trúc Internet vạn vật (IoT), (ii) giao thức truyền thông thời gian thực và (iii) hệ thống nhúng kết hợp với các cơ cấu chấp hành.

2.1.1. Kiến trúc Internet vạn vật (IoT)

Internet vạn vật (IoT) là mạng lưới các thiết bị vật lý được nhúng các thành phần điện tử, phần mềm và cảm biến, cho phép chúng kết nối và trao đổi dữ liệu với nhau qua Internet. Trong nghiên cứu này, hệ thống tủ giữ đồ được mô hình hóa theo kiến trúc IoT ba lớp tiêu chuẩn: Lớp nhận thức (Perception Layer), bao gồm các nút mạng vật lý tại tủ locker (vi điều khiển, cảm biến, đầu đọc RFID/Barcode). Lớp này có nhiệm vụ thu thập thông tin môi trường vật lý (trạng thái cửa đóng/mở, trạng thái có/không có hàng hóa) và nhận diện người dùng. Lớp mạng (Network Layer), đóng vai trò là cầu nối truyền tải dữ liệu. Dữ liệu từ tủ được đóng gói và truyền qua các chuẩn kết nối không dây (Wi-Fi, 4G/LTE) để gửi lên máy chủ. Lớp ứng dụng (Application Layer), là phần mềm lưu trữ, xử lý dữ liệu và cung cấp giao diện tương tác (web/mobile) cho người dùng cuối và quản trị viên nhằm giám sát, quản lý và điều khiển hệ thống tủ từ xa. (TLTK [1] [2]).

2.1.2. Giao thức truyền thông thời gian thực MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

Đối với các hệ thống giám sát thời gian thực, việc truyền tải dữ liệu với độ trễ thấp là yêu cầu quan trọng nhằm đảm bảo khả năng phản hồi nhanh và tính chính xác của thông tin. Trong khi giao thức HTTP sử dụng mô hình Request/Response, chưa tối ưu cho việc trao đổi dữ liệu liên tục, MQTT được thiết kế theo cơ chế publish/subscribe, giúp giảm lưu lượng truyền thông, rút ngắn thời gian truyền dữ liệu và nâng cao hiệu quả giao tiếp giữa các thành phần của hệ thống. Vì vậy, nghiên cứu này lựa chọn giao thức MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) để thực hiện truyền thông giữa các thành phần trong hệ thống.

MQTT là giao thức truyền thông nhẹ, hoạt động theo mô hình Publish/Subscribe (Xuất bản/Đăng ký) thông qua một máy chủ trung gian (Broker). Giao thức này được thiết kế chuyên biệt cho các hệ thống IoT, nơi các thiết bị thường có băng thông mạng hạn chế, tài nguyên phần cứng thấp và yêu cầu truyền dữ liệu theo thời gian thực.

Đối với mô hình tủ thông minh, bộ xử lý trung tâm đảm nhận chức năng là một MQTT Client. Thiết bị liên tục Publish các thông tin về trạng thái cảm biến, trạng thái cửa và các dữ liệu vận hành lên Broker. Đồng thời, vi điều khiển Subscribe các chủ đề (Topics) tương ứng để tiếp nhận ngay lập tức các lệnh điều khiển từ máy chủ, chẳng hạn như lệnh mở khóa hoặc cập nhật trạng thái. Nhờ cơ chế Publish/Subscribe, dữ liệu được truyền theo thời gian thực với độ trễ thấp, giảm lưu lượng truyền thông không cần thiết, đồng thời tạo điều kiện cho hệ thống vận hành ổn định và nâng cao hiệu quả vận hành của hệ thống trong các môi trường có nhiều thiết bị kết nối. (TLTK [3]).

2.1.3. Hệ thống nhúng (Embedded System) và cơ cấu chấp hành (Actuators)

Hệ thống nhúng (Embedded System) là thành phần điều khiển cục bộ của tủ thông minh, chịu trách nhiệm thu thập dữ liệu từ các cảm biến, điều khiển các thiết bị ngoại vi và trao đổi dữ liệu với máy chủ thông qua giao thức MQTT. Trung tâm của hệ thống là vi điều khiển (Microcontroller Unit – MCU), thực hiện xử lý các tín hiệu đầu vào và đưa ra quyết định điều khiển theo các thuật toán đã được lập trình.

Các cơ cấu chấp hành (Actuators) bao gồm khóa điện từ (Solenoid Lock), được kích hoạt khi MCU cấp tín hiệu điều khiển để tạo từ trường, kéo chốt khóa và mở cửa tủ. Trạng thái hoạt động của từng ngăn tủ được giám sát bởi hệ thống cảm biến (Sensors), gồm cảm biến từ (Magnetic Switch) để xác định trạng thái đóng/mở của cửa và cảm biến hồng ngoại (Infrared Sensor – IR Sensor) để nhận biết sự có mặt của vật thể trong ngăn tủ. Dữ liệu từ các cảm biến được gửi liên tục đến MCU nhằm đảm bảo tính nhất quán giữa trạng thái vật lý của tủ và dữ liệu quản lý trên hệ thống, đồng thời hỗ trợ phát hiện và xử lý kịp thời các bất thường trong quá trình vận hành. (TLTK [4]).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện theo phương pháp thiết kế và triển khai hệ thống kết hợp với đánh giá thực nghiệm nhằm xây dựng và đánh giá một giải pháp tủ giữ đồ thông minh có khả năng giám sát thời gian thực.

Đầu tiên, yêu cầu của hệ thống được phân tích để xác định các chức năng chính, bao gồm quản lý trạng thái ngăn tủ, điều khiển khóa điện tử từ xa và giám sát thời gian thực. Kết quả phân tích là cơ sở để thiết kế kiến trúc hệ thống theo mô hình Internet of Things (IoT), bao gồm tầng thiết bị, tầng truyền thông và tầng ứng dụng. Tiếp theo, một mô hình nguyên mẫu (prototype) được xây dựng với vi điều khiển ESP32 làm bộ điều khiển trung tâm, kết hợp các cảm biến từ, cảm biến hồng ngoại và khóa điện từ. Dữ liệu trạng thái của từng ngăn tủ được truyền theo thời gian thực đến máy chủ thông qua giao thức MQTT, trong khi ứng dụng quản lý cho phép theo dõi trạng thái và gửi lệnh điều khiển từ xa. Cuối cùng, hệ thống được đánh giá thông qua các kịch bản thực nghiệm mô phỏng quá trình vận hành thực tế. Các tiêu chí đánh giá bao gồm thời gian phản hồi của hệ thống, độ chính xác trong việc phát hiện trạng thái cửa và vật thể, độ tin cậy của quá trình truyền dữ liệu theo thời gian thực và khả năng hoạt động ổn định trong nhiều chu kỳ đóng/mở liên tiếp. Kết quả thực nghiệm được sử dụng để đánh giá tính khả thi và hiệu quả của giải pháp đề xuất.

III. THỰC TRẠNG CÁC GIẢI PHÁP TỦ GIỮ ĐỒ HIỆN NAY

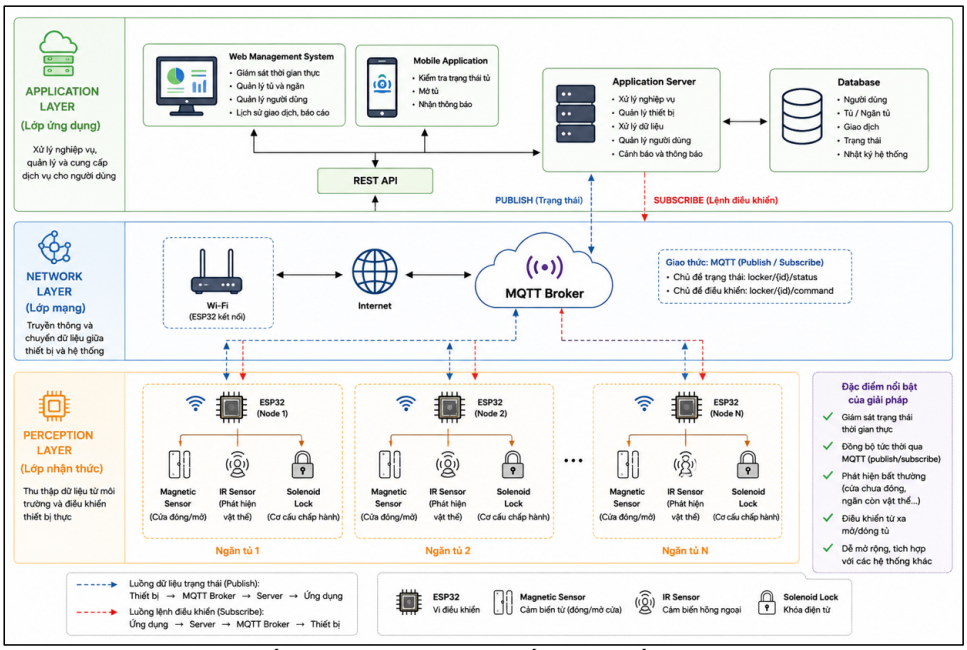
Sự phát triển của Internet of Things đã thúc đẩy việc ứng dụng các hệ thống tủ giữ đồ thông minh trong nhiều lĩnh vực như trung tâm thương mại, trường học, bệnh viện, thư viện và các điểm giao nhận hàng hóa. So với các tủ giữ đồ truyền thống sử dụng chìa khóa cơ học, các hệ thống hiện đại tích hợp khóa điện tử, mã QR, RFID đã góp phần nâng cao mức độ tự động hóa, cải thiện trải nghiệm người dùng và giảm chi phí vận hành.

Tuy nhiên, phần lớn các giải pháp hiện nay vẫn tập trung vào chức năng mở khóa và quản lý người dùng, trong khi khả năng giám sát trạng thái thiết bị theo thời gian thực còn hạn chế. Nhiều hệ thống chỉ cập nhật trạng thái khi có yêu cầu từ máy chủ hoặc sau khi hoàn thành một giao dịch, dẫn đến thông tin về trạng thái cửa tủ hoặc tình trạng ngăn chứa có thể không phản ánh đúng trạng thái thực tế tại từng thời điểm. Điều này gây khó khăn cho việc phát hiện kịp thời các trường hợp cửa chưa được đóng kín, ngăn tủ vẫn còn đồ vật hoặc xảy ra lỗi trong quá trình vận hành.

Bên cạnh đó, một số giải pháp chưa khai thác hiệu quả dữ liệu từ các cảm biến để đồng bộ trạng thái vật lý của tủ với hệ thống quản lý. Việc thiếu cơ chế cập nhật trạng thái theo thời gian thực khiến thông tin giữa thiết bị và máy chủ không được đồng bộ kịp thời, làm giảm hiệu quả giám sát và kéo dài thời gian phát hiện các sự cố phát sinh, đặc biệt trong các môi trường có số lượng lớn ngăn tủ và tần suất sử dụng cao.

IV. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP TỦ GIỮ ĐỒ THÔNG MINH

Từ những hạn chế trên, bài báo đề xuất một giải pháp tủ giữ đồ thông minh dựa trên kiến trúc IoT, kết hợp hệ thống nhúng, cảm biến và giao thức MQTT nhằm đồng bộ liên tục trạng thái của từng ngăn tủ với máy chủ. Giải pháp hướng tới khả năng giám sát theo thời gian thực, cho phép cập nhật trạng thái của từng ngăn tủ một cách liên tục, hỗ trợ phát hiện và xử lý các bất thường kịp thời, đồng thời duy trì hoạt động ổn định của hệ thống.



Hình 1. Kiến trúc IoT ba lớp của hệ thống tủ giữ đồ thông minh.

(Nguồn: Tác giả đề xuất, phát triển dựa trên mô hình kiến trúc IoT ba lớp TLTK [5])

V. THIẾT KẾ VÀ TRIỂN KHAI HỆ THỐNG

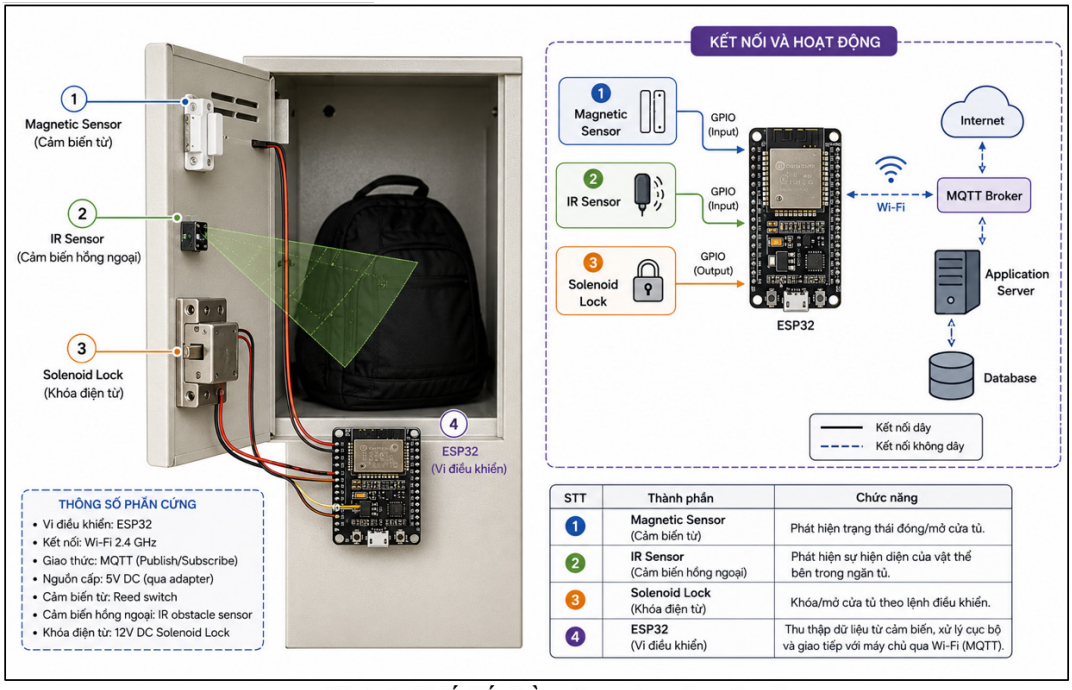
Dựa trên kiến trúc IoT ba lớp đã đề xuất, hệ thống tủ giữ đồ thông minh được triển khai theo mô hình gồm phần cứng, hạ tầng truyền thông và phần mềm quản lý nhằm đáp ứng yêu cầu giám sát thời gian thực.

Tại lớp nhận thức (Perception Layer), mỗi ngăn tủ được trang bị một vi điều khiển ESP32 kết nối với cảm biến từ (Magnetic Sensor), cảm biến hồng ngoại (IR Sensor) và khóa điện từ (Solenoid Lock). Cảm biến từ được sử dụng để xác định trạng thái đóng/mở của cửa tủ, trong khi cảm biến hồng ngoại phát hiện sự hiện diện của vật thể bên trong ngăn tủ. Dựa trên dữ liệu thu thập được, ESP32 xử lý các sự kiện cục bộ và điều khiển khóa điện từ theo lệnh nhận được từ máy chủ.

Tại lớp mạng (Network Layer), ESP32 được tích hợp khả năng giao tiếp không dây và sử dụng giao thức MQTT theo cơ chế Publish/Subscribe để đồng bộ dữ liệu với máy chủ. Mỗi khi trạng thái cửa hoặc ngăn tủ thay đổi, ESP32 chủ động gửi dữ liệu lên MQTT Broker. Đồng thời, thiết bị đăng ký các chủ đề điều khiển để tiếp nhận lệnh mở khóa hoặc cập nhật cấu hình từ máy chủ. Cơ chế này giúp giảm độ trễ truyền thông và đảm bảo trạng thái của hệ thống luôn được đồng bộ theo thời gian thực.

Tại lớp ứng dụng (Application Layer), máy chủ tiếp nhận dữ liệu từ MQTT Broker, xử lý nghiệp vụ và lưu trữ thông tin trong cơ sở dữ liệu. Một Web Management System được phát triển để hỗ trợ quản lý người dùng, quản lý ngăn tủ, theo dõi trạng thái hoạt động của từng tủ và ghi nhận lịch sử giao dịch. Giao diện quản trị được thiết kế trực quan, cho phép người quản trị giám sát toàn bộ hệ thống, nhận cảnh báo khi phát hiện trạng thái bất thường và gửi lệnh điều khiển từ xa đến từng ngăn tủ.

Nhằm đáp ứng yêu cầu cập nhật trạng thái tức thời, hệ thống sử dụng cơ chế truyền thông theo sự kiện (event-driven). Khi cảm biến phát hiện sự thay đổi về trạng thái cửa hoặc sự hiện diện của vật thể, ESP32 ngay lập tức gửi bản tin MQTT đến máy chủ mà không cần chờ truy vấn định kỳ. Nhờ đó, thời gian cập nhật trạng thái được rút ngắn, giảm lưu lượng truyền thông không cần thiết và nâng cao khả năng phản hồi của toàn bộ hệ thống.



Hình 2: Thiết kế phần cứng của một ngăn tủ

(Nguồn: Tác giả đề xuất, phát triển dựa trên tài liệu kỹ thuật của ESP32 (TLTK [6]) và các cảm biến sử dụng trong hệ thống TLTK [7])

VI. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

Hệ thống tủ giữ đồ thông minh được triển khai thực nghiệm nhằm kiểm chứng khả năng hoạt động của giải pháp đề xuất. Kết quả cho thấy hệ thống vận hành ổn định và đáp ứng các chức năng thiết kế, bao gồm quản lý trạng thái các ngăn tủ, điều khiển khóa điện tử thông qua kết nối từ xa và đồng bộ thông tin theo thời gian thực.

Trong quá trình thử nghiệm, dữ liệu ghi nhận hoạt động đóng/mở cửa tủ và tình trạng có hoặc không có vật thể trong ngăn tủ được đồng bộ liên tục từ thiết bị đến máy chủ. Khi phát sinh sự thay

đổi trạng thái hoặc có lệnh điều khiển từ người quản trị, hệ thống phản hồi nhanh và cập nhật thông tin trên giao diện quản lý gần như tức thời. Điều này giúp người quản trị dễ dàng theo dõi tình trạng hoạt động của từng ngăn tủ, đồng thời phát hiện và xử lý kịp thời các trường hợp bất thường như cửa chưa đóng kín hoặc ngăn tủ vẫn còn đồ vật sau khi kết thúc giao dịch.

Việc áp dụng giao thức MQTT trong truyền thông giữa thiết bị và máy chủ góp phần giảm thời gian cập nhật dữ liệu, nâng cao tính ổn định của hệ thống và hạn chế lưu lượng truyền thông không cần thiết. Đồng thời, kiến trúc IoT ba lớp hỗ trợ đắc lực cho quá trình mở rộng số lượng các ngăn tủ hoặc tích hợp thêm các thiết bị và chức năng mới mà không ảnh hưởng đến quá trình vận hành.

Thực tiễn triển khai cho thấy, giải pháp đề xuất không chỉ hỗ trợ tự động hóa hoạt động quản lý tủ giữ đồ mà còn nâng cao khả năng giám sát tập trung, giảm sự phụ thuộc vào thao tác thủ công và cải thiện chất lượng dịch vụ. Hệ thống có thể được triển khai tại trường học, thư viện, bệnh viện, trung tâm thương mại, khu văn phòng hoặc các điểm giao nhận hàng hóa, góp phần nâng cao hiệu quả quản lý và tối ưu hóa quá trình khai thác, vận hành hệ thống tủ giữ đồ thông minh.

Bảng 1. Kết quả triển khai hệ thống

Tiêu chí đánh giá	Kết quả	Ý nghĩa thực tiễn
Giám sát trạng thái ngăn tủ	Đạt	Hỗ trợ theo dõi tập trung
Điều khiển mở khóa từ xa	Đạt	Giảm thao tác trực tiếp
Đồng bộ dữ liệu thời gian thực	Đạt	Cập nhật trạng thái nhanh chóng
Phát hiện trạng thái bất thường	Đạt	Nâng cao độ an toàn và tin cậy
Khả năng nâng cấp	Tốt	Phù hợp triển khai quy mô lớn

VII. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất và triển khai giải pháp tủ giữ đồ thông minh dựa trên kiến trúc IoT ba lớp, tích hợp công nghệ truyền thông MQTT nhằm vụ việc theo dõi và quản lý trạng thái các ngăn tủ theo thời gian thực. Kết quả triển khai khẳng định giải pháp vận hành tối ưu các tác vụ quản lý, điều khiển từ xa và đồng bộ dữ liệu giữa thiết bị và máy chủ, góp phần nâng cao hiệu quả vận hành, giảm thao tác thủ công và tăng tính an toàn trong quá trình sử dụng.

Trong bối cảnh chuyển đổi số đang được thúc đẩy mạnh mẽ ở nhiều lĩnh vực như giáo dục, y tế, thương mại và logistics, nhu cầu ứng dụng các giải pháp quản lý thông minh ngày càng gia tăng. Với khả năng giám sát thời gian thực, kiến trúc mở và dễ mở rộng, giải pháp đề xuất có tiềm năng triển khai tại các trường học, thư viện, bệnh viện, trung tâm thương mại, khu văn phòng và các điểm giao nhận hàng hóa, góp phần nâng cao chất lượng dịch vụ và tối ưu hóa công tác quản lý.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, giải pháp sẽ được phát triển theo hướng tích hợp các công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI) để dự báo và phát hiện bất thường trong quá trình vận hành, ứng dụng kỹ thuật xác thực khuôn mặt hoặc mã QR nhằm tăng cường tính bảo mật và trải nghiệm người dùng, đồng thời tạo tiền đề cho việc kết nối cùng những hệ thống quản trị thông minh trong hệ sinh thái đô thị thông minh (Smart City).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Viện FMIT - Định nghĩa IoT Architecture
Truy cập tại: https://fmit.vn/tu-dien-quan-ly/iot-architecture-la-gi
Academia.edu - Architecture of Internet of Things (IoT). Truy cập tại:
https://www.academia.edu/35618176/Architecture_of_Internet_of_Things_IoT
Website chính thức của tổ chức MQTT
Truy cập tại: https://mqtt.org/
Marwedel, P. (2021). Embedded System Design: Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things (4th edition). Springer. Truy cập tại:
https://www.researchgate.net/publication/348767151_Embedded_System_Design_Embedded_Systems_Foundations_of_Cyber-Physical_Systems_and_the_Internet_of_Things
J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," Future Generation Computer Systems, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, Sep. 2013
Truy cập tại: https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010
Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. Espressif Systems. Truy cập tại: https://www.espressif.com/en/support/download/documents/modules?utm_source=chatgpt.com
Valvano, J. W. (2021). Embedded Systems: Real-Time Interfacing to the Arm Cortex-M Microcontrollers. Truy cập tại:
https://users.ece.utexas.edu/~valvano/Volume1/E-Book/?utm_source=chatgpt.com