

THIẾT KẾ TỐI ƯU CHO HỆ THỐNG CẢNH BÁO VI PHẠM HÀNH LANG AN TOÀN DỰA VÀO CẢM BIẾN LASER VÀ TRUYỀN THÔNG LORA

NGUYỄN HỮU PHƯỚC, NGUYỄN DUY KHANG, TRẦN NHỰT THANH *

Khoa Tự động hóa, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ

* Tác giả liên hệ: nhutthanh@ctu.edu.vn

DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstiuh.v67i01.5031>

Tóm tắt. Cảnh báo vi phạm hành lang an toàn thì rất cần thiết trong nhiều lĩnh vực chẳng hạn như điện cao thế, giao thông và an ninh. Một số giải pháp cảnh báo vi phạm hành lang an toàn đã được đề xuất và thử nghiệm. Tuy nhiên, các nghiên cứu này gặp phải một số hạn chế chẳng hạn như chi phí đầu tư cao và khó triển khai ứng dụng thực tế trên diện rộng. Nghiên cứu này đề xuất một thiết kế tối ưu cho hệ thống cảnh báo vi phạm hành lang an toàn thông qua việc lựa chọn cảm biến, giải pháp truyền thông và năng lượng cung cấp. Hệ thống gồm có một trạm trung tâm kết nối với các trạm giám sát bằng sóng LoRa với khoảng cách tối đa lên đến 1.5 km. Tại trạm giám sát, cảm biến laser kiểu phản xạ gương được sử dụng để phát hiện vi phạm trong phạm vi 300 m. Trạm trung tâm tiếp nhận và gửi trạng thái của các trạm giám sát lên dịch vụ đám mây để người dùng có thể truy cập từ xa. Bên cạnh đó, trạm trung tâm còn gửi email tự động đến người dùng và lưu trữ thông tin khi có xảy ra vi phạm. Trạm giám sát và trạm trung tâm được cấp điện bằng năng lượng mặt trời nên hệ thống dễ dàng triển khai thực tế, thậm chí ở nơi chưa có lưới điện.

Từ khóa. Thiết kế tối ưu, cảnh báo vi phạm hành lang an toàn, truyền thông LoRa, cảm biến laser.

1 GIỚI THIỆU

Hành lang an toàn có thể hiểu là khoảng cách an toàn để bảo vệ con người, tài sản, hạ tầng khỏi các nguy hiểm có thể xảy ra. Hành lang an toàn đóng vai trò đặc biệt quan trọng trong nhiều ứng dụng chẳng hạn như đảm bảo khoảng cách an toàn dưới đường dây điện cao thế, khoảng cách an toàn tại nơi giao nhau giữa đường sắt và đường bộ, giám sát xâm nhập trái phép ở các khu vực cấm hoặc kiểm soát ra vào trái phép ở khu vực biên giới quốc gia. Một số văn bản quy định về hành lang an toàn đã được Nhà nước ban hành chẳng hạn như Nghị định số 14/2014/NĐ-CP của Chính phủ quy định chi tiết thi hành Luật điện lực về an toàn điện, Nghị định số 56/2018/NĐ-CP của Chính phủ quy định về quản lý, bảo vệ kết cấu hạ tầng đường sắt.

Mặc dù các quy định về hành lang an toàn đã được ban hành và thực hiện nhưng hàng năm vẫn xảy ra nhiều trường hợp vi phạm hành lang an toàn, gây thiệt hại lớn về tài sản, cơ sở hạ tầng và tính mạng con người. Theo thống kê 6 tháng đầu năm 2021 của Tập đoàn Điện lực Việt Nam, trên địa bàn các tỉnh miền Trung – Tây Nguyên đã xảy ra 9 vụ tai nạn điện xuất phát từ nguyên nhân vi phạm hành lang bảo vệ an toàn lưới điện cao áp. Hậu quả đã làm 2 người chết, 1 người bị thương nặng và 9 người bị thương nhẹ [1]. Theo số liệu báo cáo của Văn phòng Ủy ban An toàn giao thông Quốc gia, tính từ ngày 15/12/2020 đến 14/8/2021, trên các tuyến đường sắt toàn quốc đã xảy ra 47 vụ tai nạn, làm chết 41 người, bị thương 12 người [2]. Nguyên nhân xảy ra tại nạn chủ yếu là do người đi bộ hoặc người điều khiển phương tiện giao thông chủ quan và không tuân thủ các quy định an toàn.

Từ những thực trạng đáng báo động trên, một số biện pháp để bảo vệ hành lang an toàn đã được triển khai trong nước. Truyền tải điện Hà Nội, đơn vị thuộc Tổng Công ty Truyền tải điện Quốc gia đã thử nghiệm tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) trên hệ thống camera giám sát đường dây truyền tải điện. Hệ thống AI cảnh báo tự động được lắp đặt tích hợp trên các camera để xử lý những video thu được trong quá trình giám sát và gửi tin nhắn kèm hình ảnh về điện thoại di động người quản lý thông qua ứng dụng Zalo [3]. Tổng Công ty Đường sắt Việt Nam đã thử nghiệm hệ thống radar phát hiện chướng ngại vật tại điểm giao nhau giữa đường bộ và đường sắt để tự động phát tín hiệu cảnh báo cho lái tàu [4]. Tuy nhiên, hệ thống có chi phí đầu tư cao, khoảng 50 nghìn đô la Mỹ cho một điểm giám sát, và khó đảm bảo độ chính xác với

điều kiện thời tiết có độ ẩm cao. Đào Thanh Toàn [5] đã nghiên cứu hệ thống tự động cảnh báo vượt vạch an toàn tại Ga Metro Hà Nội sử dụng cảm biến điện tử mềm. Các tấm thảm có lắp đặt cảm biến đo áp lực được phủ lên khu vực nguy hiểm và hệ thống sẽ cảnh báo khi hành khách di chuyển lên thảm. Giải pháp này vẫn còn một số hạn chế như để triển khai ở một khu vực rộng cần số lượng lớn thảm để phát hiện vi phạm, làm tăng chi phí lắp đặt cũng như bảo dưỡng. Bên cạnh đó, hệ thống này không phù hợp để cảnh báo vi phạm về chiều cao an toàn như đường dây điện cao thế hoặc cầu đường. Vũ Đình Trung và các cộng sự [6] đã nghiên cứu và thử nghiệm ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong bảo đảm an toàn giao cắt đường ngang, đường sắt. Hệ thống bao gồm bộ cảm biến phát hiện tàu được lắp ở hai phía đường ray, bộ giám sát trở ngại đường ngang bao gồm camera, máy tính nhúng, bộ giao tiếp không dây để kết nối với cảm biến phát hiện tàu và bộ giao tiếp mạng Internet, bộ thiết bị trợ giúp lái tàu, máy chủ thu thập dữ liệu tại trạm trung tâm. Bằng cách kết hợp các thuật toán học sâu giúp phát hiện được các trở ngại và sự cố trên đường ngang giúp đảm bảo an toàn cho đoàn tàu di chuyển. Tuy nhiên, giải pháp này tốn nhiều thiết bị lắp đặt, chi phí có thể cao hơn các giải pháp sử dụng cảm biến thông thường và đòi hỏi người vận hành hệ thống cần phải có kỹ năng và được đào tạo.

Vấn đề cảnh báo vi phạm hành lang an toàn cũng được nhiều nhóm nghiên cứu ngoài nước quan tâm và thực hiện. Jinglong Xie và các cộng sự [7] đã xây dựng hệ thống cảnh báo an toàn cho lưới điện với sự hỗ trợ của Internet vạn vật (IoT). Hệ thống kết hợp giữa hàng rào điện tử và camera giám sát để phát hiện vi phạm. Hệ thống hoạt động khi hàng rào điện tử phát hiện vi phạm, camera sẽ ghi lại video và có một cảnh báo vi phạm gửi về cho nhân viên quản lý để xử lý. Hệ thống đã hoạt động hiệu quả khi áp dụng ở các trạm biến áp. Tuy nhiên hệ thống được thiết kế để bảo vệ một phạm vi nhỏ nhất định và hàng rào điện tử cần nhiều trạm băng thông siêu rộng (Ultra Wide Band) để xác định vị trí xảy ra vi phạm. Chunjuan Wei và các cộng sự [8] đã thiết kế một hệ thống chống trộm cho trạm biến áp dựa trên hàng rào điện tử và giao tiếp không dây bằng ZigBee. Hệ thống có khả năng phát hiện các vi phạm nhờ vào các cảm biến laser và gửi tín hiệu cảnh báo về cho trạm trung tâm bằng mạng ZigBee và sau đó gửi cảnh báo đến điện thoại người dùng thông qua tin nhắn SMS. Hệ thống đã hoạt động tốt tuy nhiên do cảnh báo được gửi về thông qua tin nhắn SMS nên sẽ phụ thuộc vào các chính sách, điều khoản của nhà cung cấp mạng. Neha Bhadwal và các cộng sự [9] đã xây dựng hệ thống giám sát biên giới thông minh sử dụng mạng cảm biến hồng ngoại kết hợp với thị giác máy tính. Hệ thống giúp phát hiện chuyển động ở khu vực biên giới và gửi tín hiệu cảnh báo về cho trung tâm kiểm soát thông qua kết nối Internet. Do tín hiệu được gửi về thông qua mạng Internet nên hệ thống khó triển khai ở những khu vực không có đường truyền mạng Internet. Azfarina Jaafar và các cộng sự [10] đã nghiên cứu hệ thống cảnh báo bảo mật cho hộ gia đình với giao diện web và ứng dụng di động. Hệ thống sẽ phát hiện xâm nhập bằng laser và cảnh báo cho chủ nhà bằng đèn báo động và gửi tín hiệu lên giao diện web. Nghiên cứu đã ứng dụng thành công ở quy mô nhỏ hộ gia đình, tuy nhiên vẫn chưa được thử nghiệm ở khu vực rộng hơn. Các thử nghiệm đã thành công và cho thấy hiệu quả của hệ thống.

Các nghiên cứu trên đã đề xuất được một số giải pháp tiềm năng cho việc cảnh báo vi phạm hành lang an toàn. Tuy nhiên, các nghiên cứu này đều gặp phải một số hạn chế trong triển khai ứng dụng thực tế chẳng hạn như: (1) khả năng triển khai ở phạm vi rộng do khoảng cách phát hiện vi phạm của cảm biến ngắn, khó khăn trong việc lắp đặt và vận hành; (2) gặp một số hạn chế trong truyền nhận tín hiệu khi sử dụng mạng Internet và tin nhắn SMS vì phải tốn thêm chi phí để duy trì dịch vụ từ nhà cung cấp hoặc không thể hoạt động ở những nơi không có mạng Internet hoặc không được phủ sóng mạng di động. Trong nghiên cứu này, một thiết kế tối ưu trong việc cảnh báo vi phạm hành lang an toàn ứng dụng công nghệ IoT với chi phí đầu tư thấp, dễ dàng triển khai ở khu vực rộng và khả năng ứng dụng cho nhiều mục đích khác nhau được đề xuất. Việc thiết kế tối ưu cho hệ thống cảnh báo này được thực hiện thông qua việc lựa chọn cảm biến, giải pháp truyền thông, và cả vấn đề năng lượng cung cấp cho hệ thống. Với đề xuất này, hệ thống cảnh báo vi phạm hành lang an toàn có thể hoạt động liên tục và hiệu quả trong nhiều tình huống khác nhau, kể cả những khu vực không có lưới điện.

2 THIẾT KẾ HỆ THỐNG

2.1 Tổng quan về hệ thống

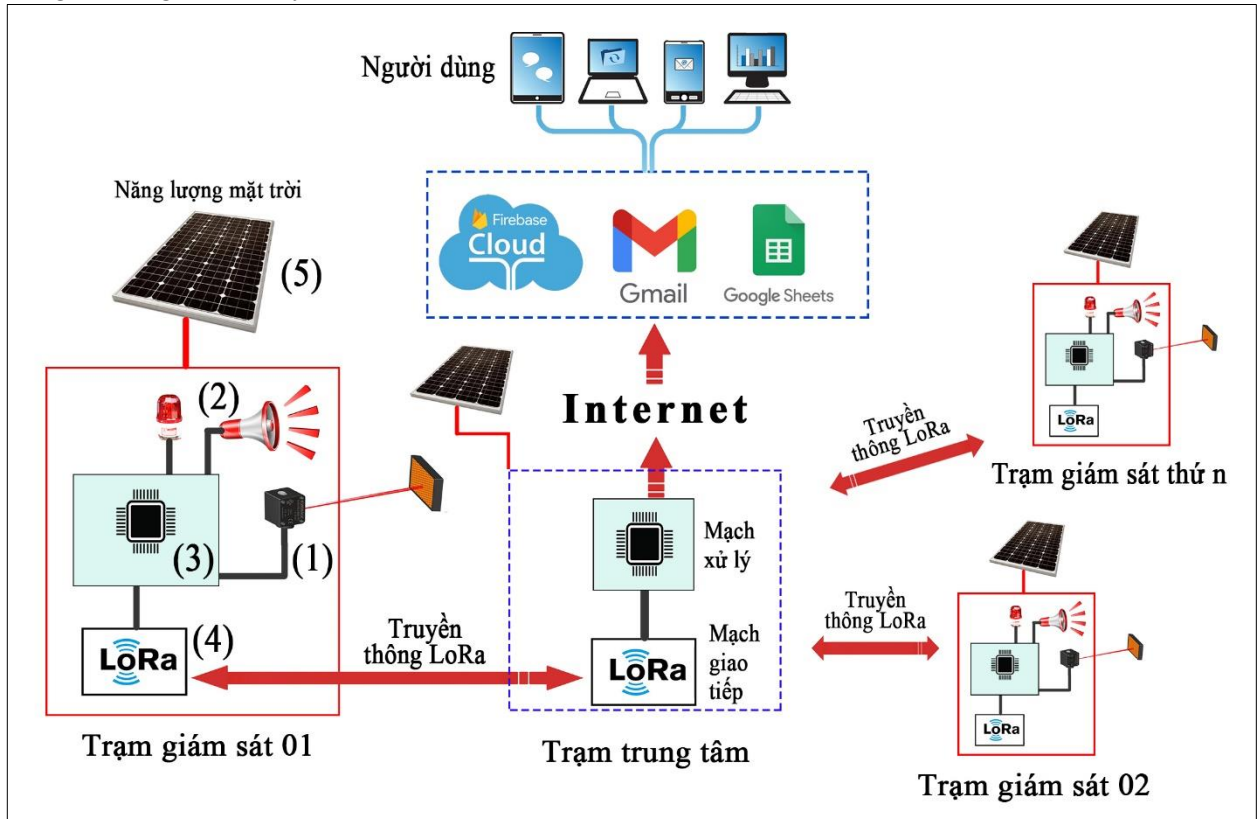
Hệ thống cảnh báo được đề xuất gồm có một trạm trung tâm và nhiều trạm giám sát được đặt xung quanh, được thể hiện ở Hình 1.

Trạm giám sát gồm có 05 thành phần chính: (1) cảm biến dùng để phát hiện vi phạm, (2) thiết bị cảnh báo gồm có đèn và loa, dùng để phát cảnh báo khi có vi phạm, (3) bộ phận xử lý dùng để tiếp nhận và xử

THIẾT KẾ TỐI ƯU CHO HỆ THỐNG CẢNH BÁO ...

lý thông tin từ cảm biến, (4) bộ phận truyền thông dùng để truyền thông tin từ trạm giám sát đến trạm trung tâm, và (5) nguồn điện cung cấp để hệ thống hoạt động liên tục.

Trạm trung tâm gồm có bộ phận xử lý, nguồn điện và bộ phận giao tiếp. Các thông tin từ các trạm giám sát sẽ được gửi về trạm trung tâm để xử lý và gửi thông tin lên dịch vụ đám mây. Từ đó, người vận hành hoặc giám sát có thể truy cập thông tin này từ xa bằng các máy tính hoặc các thiết bị di động có kết nối internet. Bên cạnh đó, trạm trung tâm sẽ tự động gửi email cảnh báo đến các địa chỉ email được cài đặt sẵn khi có xảy ra vi phạm. Ngoài ra, lịch sử xảy ra vi phạm còn được ghi nhận và lưu trữ vào trang tính Google để người dùng có thể truy xuất lại.



Hình 1: Sơ đồ tổng quan của hệ thống.

2.2 Lựa chọn và thiết kế phần cứng tối ưu

Như đã được đề cập ở phần 2.1, mỗi trạm giám sát gồm có 5 thành phần gồm cảm biến, thiết bị cảnh báo, mạch xử lý, truyền thông và nguồn điện. Vì vậy, các thành phần của trạm giám sát cần được cân nhắc và lựa chọn một cách tối ưu về khả năng phát hiện vi phạm, xử lý dữ liệu, năng lượng tiêu thụ, khả năng truyền thông và giá thành.

Lựa chọn cảm biến: Để phát hiện vi phạm hành lang an toàn, một số cảm biến tiềm năng có thể được sử dụng chẳng hạn như cảm biến radar, cảm biến hồng ngoại, cảm biến laser, hoặc máy ảnh. Một số đặc tính được sử dụng để lựa chọn cảm biến tối ưu cho hệ thống gồm có khoảng cách phát hiện, xử lý dữ liệu, năng lượng tiêu thụ, ảnh hưởng bởi môi trường, và giá thành. Các đặc tính này cho từng loại cảm biến tiềm năng được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1: Đặc tính của một số loại cảm biến tiềm năng

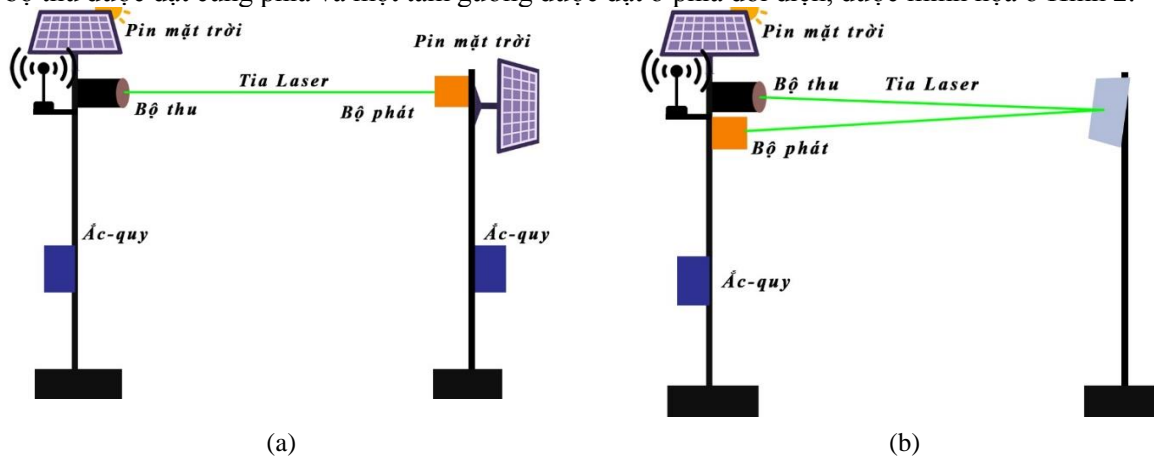
Đặc điểm	Cảm biến radar	Cảm biến hồng ngoại	Cảm biến laser	Máy ảnh
Khoảng cách phát hiện	Xa	Ngắn	Xa	Trung bình
Xử lý dữ liệu	Phức tạp	Đơn giản	Đơn giản	Phức tạp

Năng lượng tiêu thụ	Trung bình	Thấp	Thấp	Cao
Ảnh hưởng bởi môi trường	Ít ảnh hưởng	Ảnh hưởng bởi ánh sáng ngoài trời	Ít ảnh hưởng	Ảnh hưởng bởi bụi, sương mù, ...
Giá thành	Cao	Thấp	Thấp	Cao

Từ Bảng 1 cho thấy rằng, cảm biến laser phù hợp hơn trong việc triển khai các ứng dụng thực tế vì khoảng cách phát hiện xa, xử lý dữ liệu đơn giản, tiêu thụ năng lượng thấp, ít ảnh hưởng bởi môi trường và giá thành thấp.

Trong nghiên cứu này, một bộ phát laser kết hợp với một bộ thu tín hiệu laser để tạo thành một bộ cảm biến phát hiện vi phạm hành lang an toàn. Bộ phát laser BX3-A có bước sóng 450nm (màu xanh dương), điện áp hoạt động 6.0VDC đến 7.4VDC, công suất 1mW, khoảng cách truyền 2000m -5000m. Phần thu tín hiệu laser là một cảm biến màu sắc TCS3200, điện áp hoạt động 2.7 VDC đến 5.5VDC. Cảm biến này sử dụng 3 loại bộ lọc màu (màu đỏ, màu xanh lá, và màu xanh dương) và cho phép người dùng có thể tùy chọn màu sắc mà cảm biến sử dụng. Cảm biến TCS3200 được cấu hình để phát hiện ánh sáng màu xanh dương mà bộ phát laser phát ra trong ứng dụng này.

Việc bố trí hợp lý cho bộ phát và bộ thu cũng đã được cân nhắc và đánh giá. Có hai cách bố trí có thể sử dụng – (1) thu phát riêng: bộ phát và bộ thu được đặt ở hai phía đối diện và (2) gương phản xạ: bộ phát và bộ thu được đặt cùng phía và một tấm gương được đặt ở phía đối diện, được minh họa ở Hình 2.



Hình 2: Giải pháp bố trí cảm biến: (a) thu phát riêng, (b) gương phản xạ

Bố trí theo kiểu thu phát riêng giúp tăng khoảng cách phát hiện đối tượng nhưng cách bố trí này sẽ làm tăng chi phí của hệ thống vì cần phải sử dụng hai nguồn điện riêng cho hai bộ thu phát này. Vì vậy, kiểu bố trí gương phản xạ được sử dụng trong nghiên cứu này để giảm chi phí đầu tư, dễ dàng lắp đặt và triển khai thực tế.

Để giảm thiểu ảnh hưởng bởi nhiễu của môi trường, cảm biến TCS3200 được đặt vào một ống nhựa màu đen (đường kính 10 cm, dài 18 cm), được thể hiện ở Hình 3a và Hình 3b. Một nguồn sáng laser màu xanh có công suất 1mW được chiếu vào một tấm gương phản xạ có kích thước 20x40 cm được đặt xa ở phía đối diện. Cảm biến và nguồn sáng laser được đặt cùng phía và được hiệu chỉnh sao cho nguồn sáng laser sau khi chiếu vào gương và phản xạ về vị trí của cảm biến.

THIẾT KẾ TỐI ƯU CHO HỆ THỐNG CẢNH BÁO ...



(a)



(b)

Hình 3: Cảm biến TCS3200 (a) được đặt trong ống nhựa màu đen (b)

Lựa chọn giải pháp truyền thông: Để truyền dữ liệu giữa các trạm giám sát và trạm trung tâm, một số phương thức truyền thông có thể được sử dụng chẳng hạn như WiFi, mạng di động, và LoRa. Trong các giải pháp truyền thông này, truyền thông bằng WiFi và mạng di động đã được sử dụng ở các nghiên cứu có liên quan trước đây. Truyền thông LoRa là một kỹ thuật điều chế không dây được phát triển từ công nghệ Chirp Spread Spectrum. Nó phù hợp cho các ứng dụng truyền thông dữ liệu nhỏ với băng thông thấp. Dữ liệu có thể được truyền ở phạm vi xa hơn so với các công nghệ như WiFi, Bluetooth hoặc ZigBee. Giải pháp truyền thông này hoạt động ở chế độ năng lượng thấp. Một số đặc điểm của các giải pháp truyền thông được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2: Đặc điểm của một số giải pháp truyền thông

Tiêu chí	Wi-Fi	Mạng di động	LoRa
Khoảng cách truyền	Gần	Xa	Xa
Băng thông	Cao	Cao	Thấp
Năng lượng tiêu thụ	Cao	Cao	Thấp
Chi phí dịch vụ	Không	Có	Không

Với các đặc điểm được trình bày ở Bảng 2, mạng di động và LoRa là hai giải pháp phù hợp hơn để xây dựng hệ thống cảnh báo vì phạm vi lan truyền an toàn vì các trạm giám sát có thể được lắp đặt ở các vị trí xa trạm trung tâm. Bên cạnh đó, với bộ cảm biến phát hiện vi phạm hành lang an toàn đã được đề xuất (bộ phát laser và cảm biến màu) thì việc truyền dữ liệu không yêu cầu băng thông cao. Điều này cho thấy truyền thông bằng LoRa là giải pháp phù hợp hơn. Ngoài ra, truyền thông LoRa còn tiêu tốn nguồn năng lượng rất thấp và không tốn thêm chi phí dịch vụ phát sinh khi sử dụng giải pháp truyền thông này. Do đó, truyền thông bằng LoRa được xem là giải pháp tối ưu trong nghiên cứu này.

Trong nghiên cứu này, một mạch và thu phát sóng LoRa có công suất 1W với tên gọi AS32-TTL-1W đã được sử dụng để truyền dữ liệu giữa các trạm giám sát và trạm trung tâm. Mạch truyền thông LoRa AS32-TTL-1W hoạt động ở dải tần số từ 410Mhz đến 441Mhz, sử dụng chip SX1287 từ hãng SEMTECH, điện áp hoạt động từ 2.0 VDC đến 5.5 VDC, tốc độ truyền trong không khí mặc định là 2.4 kbps, dòng điện tiêu thụ ở chế độ nghỉ là 2.0 μ A, dòng điện truyền tín hiệu là 670mA, dòng điện nhận tín hiệu là 14.5 mA, sử dụng giao tiếp UART.

Lựa chọn mạch xử lý: Vi điều khiển ESP32 phiên bản WROOM được lựa chọn làm mạch xử lý trong nghiên cứu này. Đây là một vi điều khiển giá rẻ được phát triển bởi công ty Espressif Systems với khả năng xử lý mạnh mẽ, điện năng tiêu thụ thấp, và hỗ trợ nhiều giao thức kết nối với thiết bị ngoại vi chẳng hạn như tốc độ xung nhịp từ 40MHz đến 80MHz, hỗ trợ giao tiếp không dây WiFi và Bluetooth, điện áp hoạt động 2.2 VDC đến 3.6 VDC.

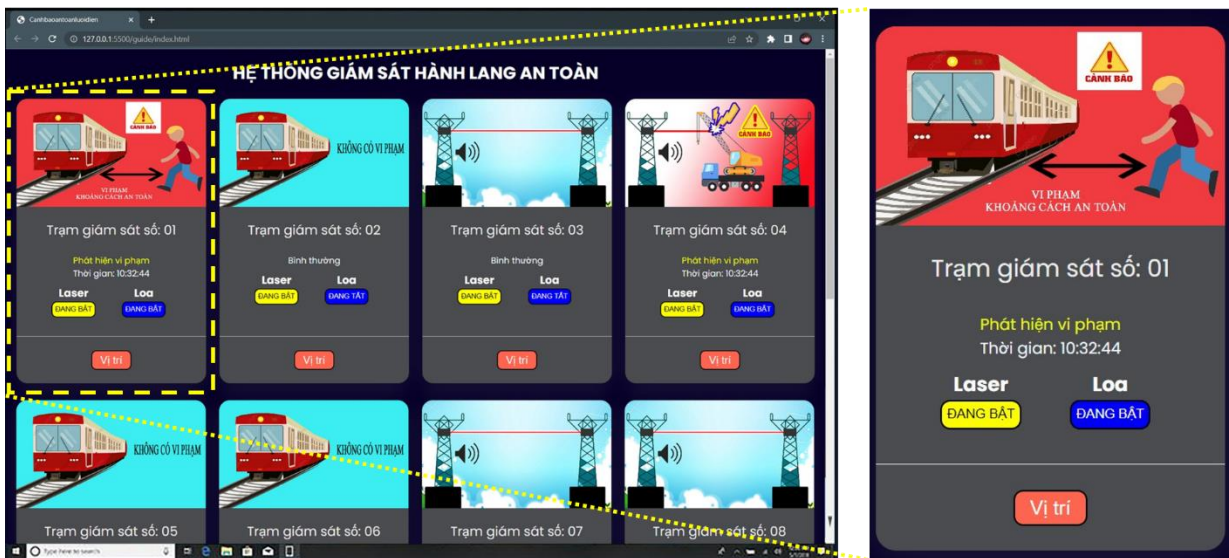
Lựa chọn nguồn điện: Với đặc điểm tiêu thụ điện năng thấp của cảm biến và mạch xử lý, và để tăng

khả năng triển khai ứng dụng của hệ thống thậm chí ở những nơi không có điện lưới quốc gia, một bộ pin năng lượng mặt trời gồm một tấm pin năng lượng mặt trời có công suất 110 W, kích thước 110x67 cm và một ắc quy 12 VDC-7.5 Ah đã được sử dụng để tích trữ và cấp điện cho hệ thống.

2.3 Xây dựng ứng dụng quản lý hệ thống

Ứng dụng quản lý hệ thống được thiết kế bằng trình soạn thảo mã nguồn mở Visual Studio Code. Giao diện của ứng dụng quản lý hệ thống được thể hiện ở Hình 4. Người dùng có thể xem được giao diện này trên các thiết bị có hỗ trợ chương trình duyệt web và có kết nối internet như laptop, điện thoại thông minh, máy tính bảng.

Trên giao diện quản lý, người dùng có thể theo dõi được trạng thái (“Phát hiện vi phạm” hoặc “Bình thường”) của các trạm giám sát một cách liên tục. Trạng thái của nguồn sáng laser và loa có thể được điều khiển bật hoặc tắt từ xa khi cần thiết thông qua các nút nhấn trên giao diện quản lý này. Bên cạnh đó, giao diện còn có nút nhấn “Vị trí” được dùng để xác định tọa độ đã cài đặt trước của các trạm giám sát thông qua ứng dụng Google Map, giúp người quản lý có thể nhanh chóng tìm đường đến hiện trường khi có xảy ra vi phạm. Ứng dụng cũng được kết nối với trang tính Google để ghi nhận và lưu trữ lại thông tin trong các lần xảy ra vi phạm bao gồm ngày, giờ và vị trí xảy ra vi phạm.



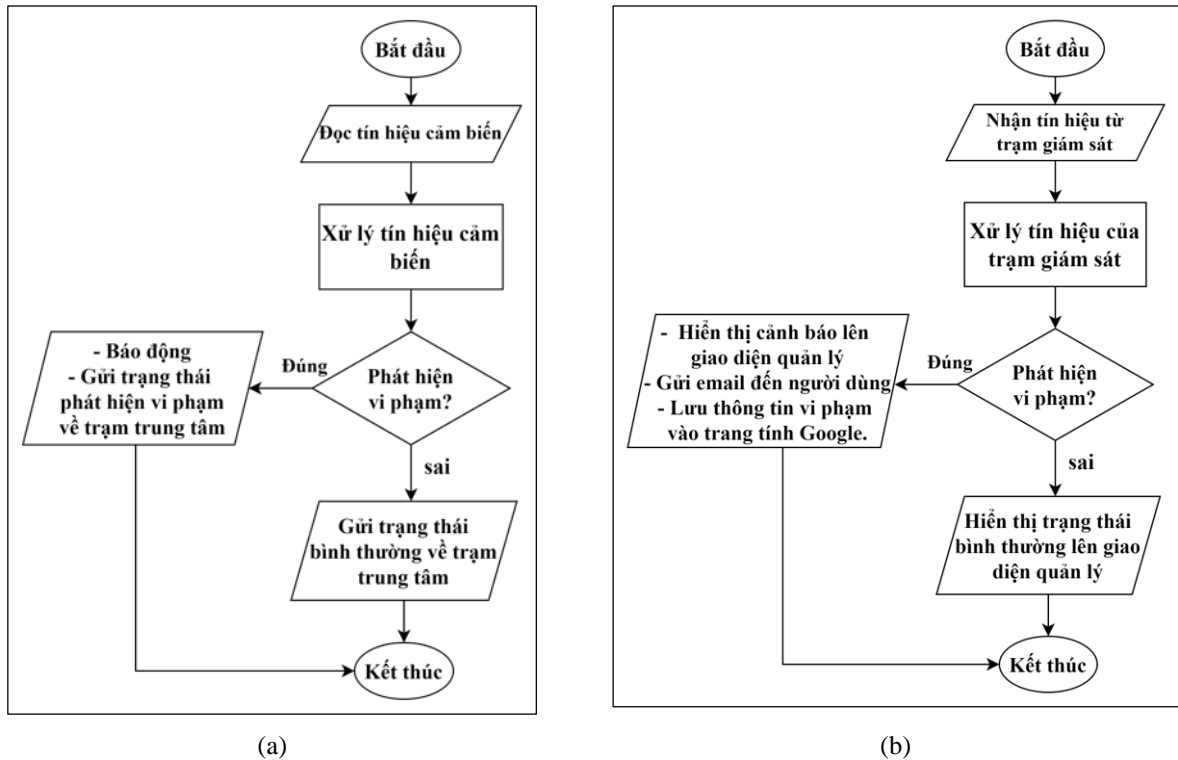
Hình 4: Giao diện ứng dụng quản lý hệ thống

2.4 Hoạt động của hệ thống

Hệ thống được đề xuất gồm có một trạm trung tâm và các trạm giám sát được lắp đặt xung quanh. Giao tiếp giữa các trạm giám sát và trạm trung tâm được thực hiện thông qua truyền thông LoRa, được thể hiện ở Hình 1.

Nguyên lý hoạt động của **trạm giám sát** được thể hiện ở Hình 5a. Các tín hiệu vi phạm và không vi phạm sẽ được cập nhật liên tục mỗi giây 1 lần. Khi cảm biến phát hiện có đối tượng vi phạm hành lang an toàn, trạm giám sát sẽ phát ra báo động bằng âm thanh (giọng nói đã được cài đặt trước) và đèn báo hiệu cho đối tượng vi phạm nhận biết hành vi vi phạm. Đồng thời, trạm giám sát còn liên tục gửi tín hiệu vi phạm kèm theo mã định danh của trạm giám sát về cho trạm trung tâm qua truyền thông LoRa. Khi không phát hiện vi phạm, trạm giám sát sẽ gửi tín hiệu không vi phạm kèm mã định danh về trạm trung tâm.

Hoạt động của **trạm trung tâm** được thể hiện ở Hình 5b. Trạm trung tâm sẽ liên tục nhận tín hiệu từ trạm giám sát và xử lý tín hiệu thông qua mạch xử lý để biết được tín hiệu được truyền đến từ trạm giám sát nào và có vi phạm hay không. Khi phát hiện tín hiệu vi phạm được gửi đến từ trạm giám sát thì trạm trung tâm sẽ cập nhật tín hiệu vi phạm lên dịch vụ đám mây Firebase của Google. Từ đó, người dùng có thể quan sát, điều khiển hệ thống bằng giao diện quản lý. Bên cạnh đó, khi có phát hiện vi phạm, trạm trung tâm sẽ tự động gửi email thông báo đến địa chỉ đã được cài đặt trước thông qua giao thức Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) và lưu thông tin giám sát vào trang tính của Google.



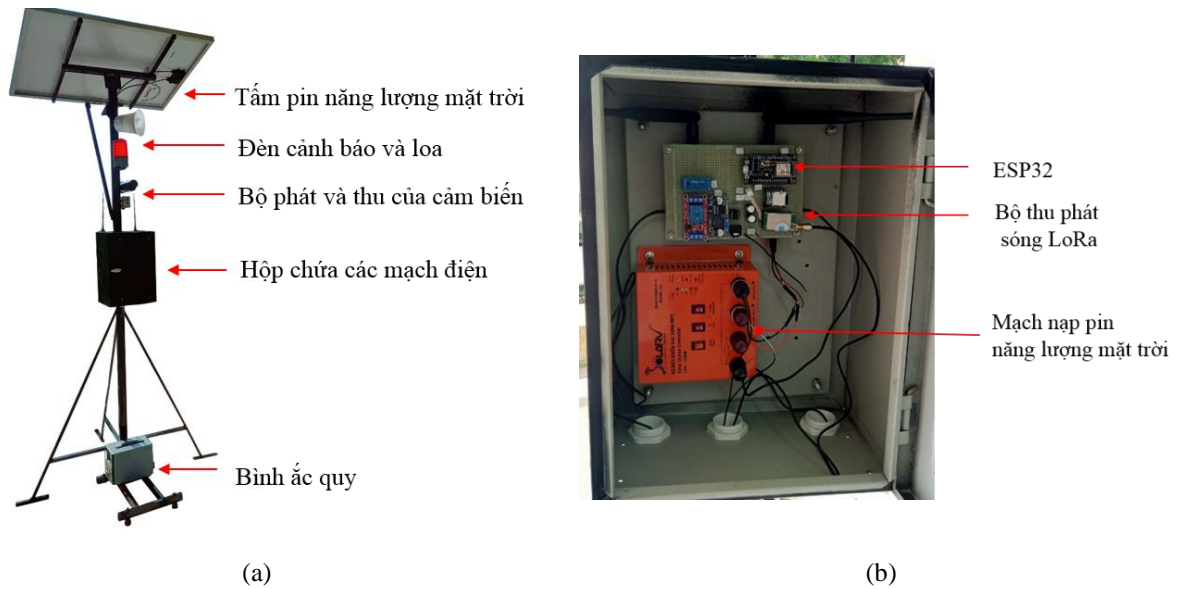
Hình 5: Hoạt động của hệ thống: (a) trạm giám sát, (b) trạm trung tâm.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Mô hình hệ thống sau khi thiết kế

Trạm giám sát sau khi thiết kế và lắp đặt được thể hiện ở Hình 6. Các mạch xử, mạch thu phát sóng LoRa, mạch sạc pin năng lượng mặt trời được đặt trong hộp bảo vệ (Hình 6b) để giúp hệ thống có thể hoạt động trong nhiều điều kiện thời tiết khác nhau. Tấm pin năng lượng mặt trời được đặt trên phần khung có thể thay đổi được hướng và góc nghiêng nhằm dễ dàng hơn trong quá trình lắp đặt và điều chỉnh hướng đón nắng tối ưu cho tấm pin mặt trời. Các thành phần của trạm giám sát được lắp đặt trên một trụ đứng giúp tiết kiệm không gian và dễ dàng triển khai cho nhiều mục đích khác nhau.

Các thành phần của trạm trung tâm cũng được bố trí và lắp đặt tương tự như trạm giám sát. Tuy nhiên, trạm trung tâm cần được trang bị thêm kết nối internet để thực hiện việc cập nhật trạng thái trạm giám sát lên dịch vụ đám mây, gửi email tự động và lưu trữ lịch sử vi phạm vào trang tính Google.



Hình 6: Mô hình phần cứng của hệ thống (a) và các thành phần bên trong hộp chứa (b).

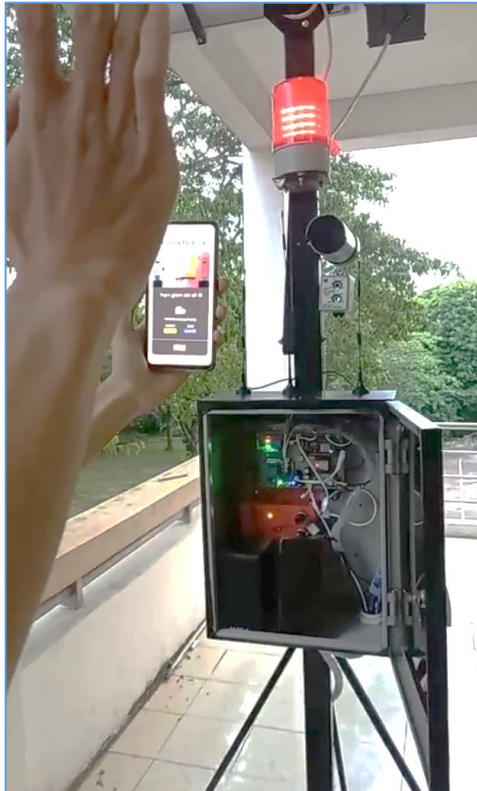
3.2 Kiểm tra hoạt động của hệ thống

Để kiểm tra hoạt động của hệ thống, ba thí nghiệm chính đã được tiến hành bao gồm thí nghiệm kiểm tra tính ổn định của hệ thống, thí nghiệm kiểm tra khoảng cách phát hiện của cảm biến, thí nghiệm kiểm tra khoảng cách truyền nhận thông tin và độ trễ tín hiệu bằng sóng LoRa. Bên cạnh đó, năng lượng điện cung cấp cho hệ thống trong các thí nghiệm này được lấy hoàn toàn từ tấm pin năng lượng mặt trời. Việc này cũng nhằm mục đích kiểm tra khả năng cung cấp điện năng của tấm pin mặt trời cho hệ thống.

Kiểm tra tính ổn định của hệ thống: Trong thí nghiệm này, trạng thái của cảm biến được ghi nhận liên tục trong 24 giờ nhằm đánh giá tính ổn định của hệ thống. Bên cạnh đó, các tình huống giả định về vi phạm hành lang an toàn đã được tạo ra (đưa vật cản vào để che khuất nguồn sáng laser phản xạ về cảm biến) nhằm kiểm tra khả năng cảnh báo của trạm giám sát. Các thử nghiệm giả định vi phạm hành lang an toàn được thực hiện vào nhiều thời điểm khác nhau trong ngày để đánh giá ảnh hưởng của ánh sáng mặt trời với các cường độ sáng khác nhau.

Kết quả thí nghiệm cho thấy hệ thống đã hoạt động liên tục và phát hiện được vi phạm với các tình huống giả định vào nhiều thời điểm khác nhau trong ngày. Hình 7a thể hiện tình huống giả định có vi phạm hành lang an toàn tại trạm giám sát. Khi có vi phạm xảy ra, đèn và loa tại trạm giám sát sẽ được kích hoạt. Đồng thời, trạng thái của vi phạm cũng được cập nhật trên giao diện của ứng dụng quản lý (Hình 7b) và email cảnh báo sẽ được gửi đến địa chỉ được cài đặt sẵn (Hình 7c). Bên cạnh đó, lịch sử phát hiện các vi phạm tại các trạm cũng được lưu trữ vào trang tính Google, được thể hiện ở Hình 7d.

THIẾT KẾ TỐI ƯU CHO HỆ THỐNG CẢNH BÁO ...



(a)



(b)



(c)

Vi phạm hành lang an toàn

	A	B	C	D
1	Ngày	Thời gian	Vi phạm	Vị trí
2	27/05/2022	6:23:24	Phát hiện vi phạm	Trạm 1
3	27/05/2022	7:24:45	Phát hiện vi phạm	Trạm 1
4	27/05/2022	8:10:24	Phát hiện vi phạm	Trạm 1
5	27/05/2022	10:32:44	Phát hiện vi phạm	Trạm 1
6	27/05/2022	10:32:44	Phát hiện vi phạm	Trạm 4
7	27/05/2022	15:20:13	Phát hiện vi phạm	Trạm 4
8	27/05/2022	17:20:54	Phát hiện vi phạm	Trạm 1
9	27/05/2022	20:24:32	Phát hiện vi phạm	Trạm 4

(d)

Hình 7: Kiểm tra hoạt động của hệ thống: (a) tình huống giả định có vi phạm hành lang an toàn, (b) giao diện cảnh báo vi phạm của trạm 4, (c) email thông báo khi có vi phạm, (d) ghi nhận dữ liệu vi phạm vào trang tính Google.

Kiểm tra khoảng cách phát hiện của cảm biến: Trong thí nghiệm này, khoảng cách giữa tấm gương và cảm biến đã được thay đổi để ghi nhận khoảng cách phát hiện xa nhất của cảm biến. Các thí nghiệm này cũng được lặp lại trong các thời điểm khác nhau trong ngày. Bảng 3 thể hiện kết quả thực nghiệm với các khoảng cách 10, 50, 100, 150, 200, 250, 300 và 350 m và các khung giờ khác nhau trong ngày. Để đánh giá

hoạt động của bộ cảm biến, tín hiệu vi phạm giả lập được tạo ra bằng cách che khuất tia laser để ánh sáng không chiếu được vào cảm biến thu. Cảm biến được đánh giá là hoạt động tốt nếu cảm biến đọc được tín hiệu laser một cách ổn định và nhận biết tức thì khi tín hiệu phát laser có thay đổi trạng thái.

Bảng 3: Hoạt động của cảm biến ở các khoảng cách và thời điểm khác nhau.

	10 m	50 m	100 m	150 m	200 m	250 m	300 m	350 m	400 m
7 giờ	O	O	O	O	O	O	O	O	X
11 giờ	O	O	O	O	O	O	O	X	X
16 giờ	O	O	O	O	O	O	O	O	X
20 giờ	O	O	O	O	O	O	O	O	X

Chú thích: O – hoạt động tốt, X – không hoạt động tốt.

Bảng 3 cho thấy cảm biến hoạt động tốt ở khoảng cách tối đa khoảng 300 m với tất cả các khung giờ thực nghiệm. Khi khoảng cách được tăng lên 350 m thì cảm biến vẫn có thể hoạt động được trừ khung giờ 11 giờ. Và khi khoảng cách khoảng 400 m thì cảm biến không có khả năng phát hiện vi phạm do cường độ nguồn sáng laser bị suy yếu.

Kiểm tra khoảng cách truyền nhận dữ liệu bằng sóng LoRa: Để kiểm tra khoảng cách truyền nhận tín hiệu bằng sóng LoRa, ăng ten của bộ thu và bộ phát được đặt ở độ cao 4 mét so với mặt đất và thực hiện đo đạc trên một đường thẳng, thông thoáng. Trước khi tiến hành kiểm tra, bộ thu và bộ phát cần được đồng bộ thời gian thực. Sau đó, bộ phát sóng sẽ gửi một tín hiệu 2 byte thông qua truyền thông LoRa. Tín hiệu 2 byte bao gồm 1 byte chứa giá trị thời gian thực và 1 byte chứa giá trị của biến đếm. Giá trị biến đếm tăng dần liên tục từ 0 đến 100 trong quá trình truyền tín hiệu. Bộ thu sẽ thu tín hiệu và tính độ trễ của tín hiệu dựa vào giá trị thời gian thực và giá trị biến đếm. Biến đếm còn được sử dụng để tính tỉ lệ mất gói của tín hiệu bằng cách tính số lượng các giá trị bị mất trong khoảng từ 0 đến 100. Tín hiệu được đánh giá là tốt khi có tỉ lệ mất gói nhỏ hơn 20% trong nghiên cứu này. Kết quả của thí nghiệm được thể hiện ở Bảng 4.

Kết quả kiểm tra cho thấy hệ thống có thể truyền tốt trong khoảng cách không quá 1,5 kilômét trong điều kiện thông thoáng. Khi khoảng cách giữa hai trạm tăng lên khoảng 2,0 kilômét, việc truyền nhận dữ liệu bắt đầu không ổn định. Và các bộ thu, phát không thể gửi tín hiệu cho nhau khi khoảng cách lớn hơn 2,0 kilômét.

Bảng 4: Khả năng truyền nhận dữ liệu giữa trạm trung tâm và trạm giám sát bằng sóng LoRa.

Khoảng cách (Km)	0.1	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Tín hiệu	Tốt	Tốt	Tốt	Tốt	Không ổn định	Không nhận được
Tỉ lệ mất gói (%)	0	0	1%	15%	> 50%	x
Độ trễ (giây)	<1	<1	1	4	5	x

3.3 Thảo luận

Hệ thống cảnh báo hành lang an toàn sử dụng bộ cảm biến quang được bố trí theo dạng phản xạ gương với nguồn phát là laser xanh dương có công suất 1mW và bộ thu là cảm biến màu đã hoạt động tốt trong các thử nghiệm. Tuy nhiên, việc lắp đặt bộ cảm biến quang theo kiểu gương phản xạ này chỉ có thể hoạt động tốt với khoảng cách tối đa 300 mét. Với các ứng dụng yêu cầu khoảng cách phát hiện xa hơn, giải pháp sử dụng một nguồn phát laser có cường độ ánh sáng mạnh hơn hoặc sử dụng bộ cảm biến laser bố trí theo kiểu thu phát riêng cần được cân nhắc sử dụng.

Truyền thông bằng sóng LoRa được sử dụng để giúp hệ thống có thể truyền nhận tín hiệu giữa các trạm giám sát với nhau và truyền tín hiệu về trạm trung tâm với khoảng cách khá xa, có thể lên đến 1,5 km trong điều kiện thông thoáng. Vì thế, các thử nghiệm truyền nhận bằng sóng LoRa trong điều kiện bị che khuất bởi tòa nhà hoặc cây cối cần được thực hiện thêm để đánh giá đầy đủ hơn về giải pháp truyền thông này.

Nguồn cấp điện cung cấp từ pin năng lượng mặt trời là một giải pháp linh hoạt để có thể triển khai hệ thống dễ dàng đến những nơi không có lưới điện. Trong nghiên cứu này, một tấm pin năng lượng mặt trời công suất 110 W đã cung cấp nguồn điện ổn định cho các trạm hoạt động liên tục. Tuy nhiên, với điều kiện thời tiết không có nắng trong nhiều ngày có thể làm ảnh hưởng đến khả năng cấp điện của tấm pin. Vì vậy, các thí nghiệm kiểm tra khả năng cấp điện và thời gian lưu trữ điện từ pin năng lượng mặt trời cần được

thực hiện thêm trong một thời gian dài, và từ đó có thể lựa chọn công suất tối ưu cho tấm pin.

4 KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đề xuất một giải pháp tối ưu trong việc cảnh báo vi phạm hành lang an toàn ứng dụng cảm biến laser và truyền thông LoRa. Với việc sử dụng cảm biến laser kiểu phản xạ gương với nguồn phát tín hiệu là laser ánh sáng xanh và phần nhận tín hiệu là cảm biến màu giúp cảm biến hoạt động tốt và tin cậy cho cả ban ngày lẫn ban đêm với khoảng cách phát hiện 300 m. Bên cạnh đó, sử dụng cảm biến kiểu phản xạ gương cũng giúp giảm chi phí đầu tư và việc xử lý dữ liệu trở nên đơn giản. Về mặt truyền thông, công nghệ LoRa được sử dụng để có thể truyền nhận tín hiệu giữa các trạm giám sát và trạm trung tâm ở khoảng cách xa, lên đến 1,5 km. Giải pháp sử dụng pin năng lượng mặt trời để cấp nguồn điện cho các trạm giám sát và trạm trung tâm hoạt động liên tục cũng đã được thử nghiệm và đạt được yêu cầu. Từ các kết quả thực nghiệm, hệ thống cảnh báo vi phạm hành lang an toàn đã được lựa chọn một cách tối ưu. Từ đó, hệ thống có thể dễ dàng triển khai thực tế cho nhiều ứng dụng khác nhau chẳng hạn như cảnh báo vi phạm hành lang an toàn cho đường dây truyền tải điện cao thế, các điểm giao nhau giữa đường bộ và đường sắt, lắp đặt tại các con sông để cảnh báo các phương tiện về chiều cao an toàn cho phép so với các công trình như cầu, đường dây truyền tải điện ngang sông. Bên cạnh đó, hệ thống còn có thể áp dụng cho khu vực cấm, khu vực biên giới nhằm tăng cường kiểm soát, bảo vệ an ninh cho khu vực này. Do hệ thống sử dụng pin năng lượng mặt trời nên có thể triển khai đến tận những nơi chưa có lưới điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. đoàn Đ. lực V. Nam, “Vi phạm hành lang an toàn lưới điện: thiết đơn, thiết kép!,” 2021. <https://www.evn.com.vn/d6/news/Vi-pham-hanh-lang-an-toan-luoi-dien-thiet-don-thiet-kep-9-18-28562.aspx> (accessed Jan. 18, 2023).
- [2] N. N. Linh, “Tai nạn giao thông đường sắt năm 2021 và một số kiến nghị, đề xuất,” Tạp chí Giao thông, 2022. <https://tapchigiaothong.vn/tai-nan-giao-thong-duong-sat-nam-2021-va-mot-so-kien-nghi-de-xuat-18395175.htm> (accessed Jan. 18, 2023).
- [3] Đ. T. Hùng, “TTĐ Hà Nội - PTC1 ứng dụng trí tuệ nhân tạo AI cảnh báo tự động, vi phạm hành lang an toàn lưới điện cao áp,” Công ty Truyền tải điện 1, 2021. https://www.ptc1.com.vn/Desktop.aspx/Danh-sach/Tin-noi-bo2/TTD_Ha_Noi-PTC1_ung_dung_tri_tue_nhan_tao_AI_canh_bao_tu_dong_vi_pham_hanh_lang_an_toan_luoi_dien_cao_ap/ (accessed Jan. 18, 2023).
- [4] K. Nam, “Cảnh báo tai nạn đường sắt tự động bằng hệ thống radar,” Báo Giao thông, 2019. <https://www.baogiaothong.vn/canh-bao-tai-nan-duong-sat-tu-dong-bang-he-thong-radar-d425816.html> (accessed Jan. 18, 2023).
- [5] Đ. T. Toàn, “Tự động cảnh báo vượt quá vạch an toàn tại ga Metro Hà Nội sử dụng cảm biến từ mềm,” *Transp. Commun. Sci. J.*, vol. 71, no. 3, pp. 263–273, Apr. 2020, doi: 10.25073/tcsj.71.3.10.
- [6] V. Đ. Trung, P. H. Quang, P. H. Công, and P. Q. Chính, “Nghiên cứu và thử nghiệm ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong đảm bảo an toàn giao cắt đường ngang đường sắt,” *Tạp Chí Khoa Học Và Công Nghệ - Đại Học Đà Nẵng*, vol. 20, no. 11.1, 2022.
- [7] J. Xie, X. Xiao, Y. Xu, and B. Jin, “An IoT Assisted Early Warning System for Smart Grid,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Mar. 2022, vol. 2218, no. 1, p. 012027. doi: 10.1088/1742-6596/2218/1/012027.
- [8] C. Wei, J. Yang, W. Zhu, and J. Lv, “A design of alarm system for substation perimeter based on laser fence and wireless communication,” *ICCSM 2010 - 2010 Int. Conf. Comput. Appl. Syst. Model. Proc.*, vol. 3, no. Iccasm, pp. 2–5, 2010, doi: 10.1109/ICCSM.2010.5620690.
- [9] N. Bhadwal, V. Madaan, P. Agrawal, A. Shukla, and A. Kakran, “Smart Border Surveillance System using Wireless Sensor Network and Computer Vision,” 2019 Int. Conf. Autom. Comput. Technol. Manag. ICACTM 2019, pp. 183–190, 2019, doi: 10.1109/ICACTM.2019.8776749.
- [10] A. Jaafar, M. Kassim, C. K. Haroswati, and C. K. Yahya, “Dynamic home automation security (DyHAS) alert system with laser interfaces on webpages and windows mobile using raspberry PI,” in 2016 7th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), Aug. 2016, pp. 153–158. doi: 10.1109/ICSGRC.2016.7813319.

OPTIMAL DESIGN OF SAFETY CORRIDOR VIOLATION WARNING SYSTEM BASED ON LASER SENSOR AND LORA COMMUNICATION

NGUYEN HUU PHUOC, NGUYEN DUY KHANG, TRAN NHUT THANH *
Faculty of Automation Engineering, College of Engineering, Can Tho University
* *Corresponding author: nhutthanh@ctu.edu.vn*

Abstract. Safety corridor violation warning is essential in many areas such as high voltage electricity, traffic and security. Several solutions for safety corridor violation warning have been proposed and tested. However, these solutions face some limitations such as high investment costs and difficulty in deploying large-scale applications. This study proposes an optimal design for the safety corridor violation warning system through the selection of sensor, communication, and power supply. The system consists of a central station connected to monitoring stations by LoRa communication with a maximum distance of up to 1.5 km. At the monitoring station, a retro-reflective laser sensor is used to detect violations within 300 m. The central station receives and sends the status of the monitoring stations to the cloud service for remote access by the users. In addition, the central station also sends an email automatically to the users and stores information when a violation occurs. The monitoring stations and the central station are powered by solar energy, so the system is easy to implement for practical applications, even in places where there is no electricity grid.

Keywords. optimal design, safety corridor violation warning, LoRa communication, laser sensor.

Ngày gửi bài: 04/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/05/2023