

Nghiên cứu thiết kế an toàn cho hệ thống cảnh báo đường ngang tự động ứng dụng công nghệ tiên tiến

Cồ Như Văn*

Trường Đại học Giao thông Vận tải, 3 Cầu Giấy, phường Láng Thượng, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 9/3/2023; ngày chuyển phản biện 12/3/2023; ngày nhận phản biện 4/4/2023; ngày chấp nhận đăng 8/4/2023

Tóm tắt:

Đường ngang là nơi giao nhau cùng mức giữa đường sắt và đường bộ, đó là điểm trọng yếu của đường sắt, dễ xảy ra tai nạn giao thông. Do vậy, yêu cầu về an toàn giao thông trên đường ngang luôn là mối quan tâm của ngành đường sắt ở mọi nước trên thế giới. Hệ thống cảnh báo đường ngang tự động là một trong những hình thức phổ biến nhất, các giải pháp kỹ thuật áp dụng cho hệ thống này cũng đa dạng và có những ưu, nhược điểm nhất định. Ứng dụng các thành tựu khoa học và công nghệ mới vào hệ thống giám sát và điều khiển trong ngành đường sắt có ý nghĩa lớn, tuy nhiên mức độ an toàn yêu cầu đối với các hệ thống đó đòi hỏi rất khắt khe, vì thế vấn đề này luôn được quan tâm nghiên cứu. Nghiên cứu này đưa ra giải pháp thiết kế và thử nghiệm hệ thống cảnh báo đường ngang tự động ứng dụng công nghệ tiên tiến theo kiến trúc an toàn, nhằm tiết kiệm chi phí xây dựng và bảo trì hệ thống, góp phần đảm bảo an toàn giao thông, thuận tiện trong công tác quản lý và nâng cao năng lực thông quan của ngành đường sắt.

Từ khóa: cảnh báo đường ngang tự động, fail-safe, hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu, LoRa.

Chỉ số phân loại: 1.8, 2.2

1. Đặt vấn đề

An toàn giao thông nói chung và an toàn giao thông đường sắt nói riêng đang là mối quan tâm đặc biệt của các cơ quan chức năng và người dân do số vụ tai nạn xảy ra hàng năm vẫn ở con số đáng lo ngại, đặc biệt là số vụ tai nạn thảm khốc làm chết và bị thương nhiều người có xu hướng tăng. Theo phân tích của các chuyên gia, hầu hết các vụ tai nạn giao thông đường sắt xảy ra tại nơi giao cắt đường ngang đường bộ với đường sắt. Hệ thống phòng vệ đường ngang là hệ thống liên quan đến đảm bảo an toàn giao thông, phòng ngừa tai nạn tại đường ngang, bao gồm: chắn đường ngang; cọc tiêu, hàng rào cố định; vạch kẻ đường, gờ giảm tốc, gờ giảm tốc; hệ thống biển báo hiệu đường sắt, đường bộ; đèn tín hiệu và chuông điện; tín hiệu cảnh báo đường ngang, tín hiệu ngăn đường trên đường sắt và các thiết bị khác liên quan. Theo Quy định đường ngang [1], đường ngang tổ chức phòng vệ bằng cảnh báo tự động là đường ngang bố trí phòng vệ bằng báo hiệu cảnh báo tự động, có hoặc không có cản chắn tự động.

Theo báo cáo của Tổng công ty Đường sắt Việt Nam [2], tính đến ngày 31/3/2022, hệ thống đường sắt Việt Nam có 5.293 giao cắt, trong đó có 1.514 đường ngang, với 660 đường ngang có gác, 715 đường ngang cảnh báo tự động, 137 đường ngang có biển báo và 3.781 lối đi tự mở qua đường sắt. Tính từ ngày 1/1/2019 đến ngày 30/11/2019, trên địa bàn cả nước đã xảy ra 257 vụ, làm chết 112 người, bị thương 142 người. So với cùng kỳ năm 2018 giảm 19 vụ (-6,88%), giảm 13 người chết (-10,40%), tăng 13 người bị

thương (+10,08%). Trong đó, các vị trí xảy ra tai nạn giao thông đường sắt như sau: tại đường ngang hợp pháp là 62 vụ (24,2%); tai nạn do vi phạm khổ giới hạn đường sắt là 106 vụ (41,2%); tai nạn còn lại là tại các lối đi tự mở là 89 vụ (34,6%).

Từ hậu quả về tai nạn giao thông trên đường ngang diễn ra, ngay từ những thời kỳ đầu, ngành đường sắt đã luôn quan tâm triển khai lắp đặt các hệ thống cảnh báo tự động để góp phần giảm thiểu tai nạn. Đường sắt Việt Nam đã từng sử dụng giải pháp cảm biến từ của một công ty Áo, tuy nhiên, sau một thời gian sử dụng, hệ thống này đã phải dỡ bỏ vì điều kiện của Việt Nam khá phức tạp: nhiều loại phương tiện giao thông qua đường ngang (từ các phương tiện cơ giới như ô tô, xe công nông, xe máy cho đến các phương tiện thô sơ như xe đạp, xe bò...) đã gây nhiễu, tạo nên những tín hiệu cảnh báo nhầm. Một giải pháp khác đơn giản hơn, dựa trên nguyên tắc "mạch điện đường ray", cũng đã được sử dụng, giải pháp này dựa trên nguyên tắc đặt các tiếp điểm tại điểm giao tiếp giữa hai thanh ray, khi đoàn tàu đi qua, bánh tàu sẽ nối hai tiếp điểm đó, tín hiệu chập mạch được đưa tới hệ thống cảnh báo, hệ thống này đã được lắp đặt tại gần 100 điểm đường ngang nhưng cũng chỉ đạt được hiệu quả 50% vì môi trường khí hậu Việt Nam nóng ẩm nên các tiếp điểm nhanh chóng bị oxy hoá, sự tiếp xúc kém dần nên hoạt động kém dần hiệu quả. Giải pháp quang học cũng đã được thử nghiệm, nhưng dường như cũng chưa giải quyết hoàn hảo các vấn đề môi trường, sự gây nhiễu và những tác động của người dân sống trong môi trường xung quanh gây ra.

*Email: vancn@utc.edu.vn

Research on safety design for automatic level crossing warning system applying advanced technology

Nhu Van Co*

University of Transport and Communications,
3 Cau Giay Street, Lang Thuong Ward, Dong Da District, Hanoi, Vietnam

Received 9 March 2023; revised 4 April 2023; accepted 8 April 2023

Abstract:

A level crossing is an intersection where a railway line crosses a road, most railway traffic accidents happen here, therefore, traffic safety requirements on the level crossing are always a concern of the railway industry in every country in the world. The automatic level crossing warning system is one of the most common structures, the technical solutions applied to this system are also diverse and have certain advantages and disadvantages. The application of new scientific and technological achievements to monitoring and controlling systems in the railway industry plays a very important role, but the required level of safety for such systems is very demanding, so the problem of this topic is always interesting in research. This paper presents a solution to design and test an automatic cross-road warning system applying advanced technology according to safety architecture, to reduce the cost of construction and maintenance of the system, contributing to ensuring safe traffic, convenience in management, and improving the throughput capacity of the railway industry.

Keywords: automatic level crossing warning, fail-safe, Global Navigation Satellite System, LoRa.

Classification numbers: 1.8, 2.2

Hiện nay, ở Việt Nam chủ yếu sử dụng cảm biến địa chấn và cảm biến từ trường để phát hiện tàu qua đường ngang, do các nhược điểm của cảm biến địa chấn mà ngành đường sắt đang dần thay thế bởi cảm biến từ trường. Với loại hình sử dụng cảm biến từ trường, hệ thống này nhập từ nước ngoài nên kinh phí đầu tư khá cao và việc thi công lắp đặt hệ thống cũng như duy tu sửa chữa phức tạp, do đó số lượng các đường ngang cảnh báo tự động đã được lắp đặt ở mức hạn chế, dẫn đến tổn kém rất lớn về nhân công tại các đường ngang có người gác, đồng thời còn rất nhiều các đường ngang khác đang trong tình trạng “3 không” (không có rào chắn, không có người gác và không có bất cứ tín hiệu, cảnh báo) gây nên tình trạng mất an toàn giao thông, tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn giao thông trên các đường ngang này. Như vậy, việc nghiên cứu thiết kế hệ thống cảnh báo đường ngang tự động vừa đảm bảo an toàn, vừa có chi phí

hợp lý và chủ động về công nghệ sẽ góp phần xóa bỏ dần các đường ngang “3 không”, giúp hạn chế thấp nhất tai nạn giao thông tại đường ngang và nâng cao năng lực thông qua.

Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học và công nghệ, nhiệm vụ ứng dụng công nghệ tiên tiến để giảm thiểu chi phí đầu tư hệ thống đường ngang tự động là khả thi. Vấn đề chính là việc thiết kế, tích hợp các công nghệ vào hệ thống cần đảm bảo nguyên tắc an toàn. Để hoàn thiện nhiệm vụ này, các nội dung tiếp theo của bài báo sẽ đi vào phân tích các hệ thống cảnh báo đường ngang tự động có ứng dụng các công nghệ tiên tiến từ các nước phát triển trên thế giới, tiếp đó là đưa ra thiết kế hệ thống cảnh báo đường ngang tự động dựa trên nguyên tắc an toàn, trên cơ sở đó công việc chế tạo và thử nghiệm hệ thống sẽ được thực hiện, và cuối cùng sẽ là phần kết luận của nghiên cứu.

2. Nghiên cứu thiết kế hệ thống

2.1. Các công nghệ tiên tiến và khả năng ứng dụng vào đường sắt

Hệ thống giao thông đường sắt đóng vai trò quan trọng, là then chốt trong bất cứ nền kinh tế quốc dân nào, có nhiệm vụ vận chuyển tỷ trọng lớn người và hàng hóa. Đồng thời, với phát triển mạng lưới đường sắt, vấn đề an toàn giao thông luôn được đặt ra hàng đầu, vì liên quan đến sinh mạng số đông hành khách và lượng lớn hàng hóa vận chuyển. Do vậy, ứng dụng khoa học kỹ thuật vào hệ thống đường sắt nói chung và hệ thống phòng vệ đường ngang nói riêng đã luôn được quan tâm ở các mức độ khác nhau từ những nước phát triển cho đến những nước đang phát triển. Các công nghệ trước đây đã và đang được ứng dụng trong hệ thống cảnh báo đường ngang tự động có mức đầu tư lớn, việc duy tu hệ thống cũng khó khăn và tốn kém, nên số lượng đường ngang có cảnh báo tự động vẫn bị hạn chế không chỉ ở trong nước mà cả ở những nước phát triển trên thế giới. Trong thời gian qua, nhiều nước đã nghiên cứu và triển khai ứng dụng các công nghệ mới vào hệ thống cảnh báo đường ngang tự động, đã góp phần đẩy chi phí đầu tư và duy tu hệ thống xuống mức thấp. Các công nghệ tiên tiến điển hình như công nghệ định vị vệ tinh toàn cầu (Global Navigation Satellite System - GNSS), công nghệ truyền thông giữa đoàn tàu với mặt đất, các giải pháp điều khiển, đo lường và giám sát từ xa đã được nghiên cứu và áp dụng rất hiệu quả cho ngành đường sắt nói chung và hệ thống cảnh báo đường ngang nói riêng [3-8], công trình [9] đã nêu một số nghiên cứu tiêu biểu và một số hệ thống điển hình đã được áp dụng cho hệ thống cảnh báo đường ngang tự động ứng dụng các công nghệ trên ở cả trong và ngoài nước.

Khi nghiên cứu giải pháp mới để áp dụng vào hệ thống điều khiển trong đường sắt thì điều đầu tiên cần đặc biệt lưu ý đó là vấn đề an toàn, vấn đề này trong ngành đường sắt đòi hỏi rất khắt khe và đã có những tiêu chuẩn được xây dựng và

công bố ở trên thế giới và trong nước. Liên quan đến vấn đề nghiên cứu thì có các tiêu chuẩn, điển hình như quy định và chứng minh độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo dưỡng và độ an toàn (Reliability, Availability, Maintainability, Safety - RAMS) [10]; quy định về hệ thống xử lý và thông tin tín hiệu [11]; quy định về hệ thống thông tin liên lạc, tín hiệu và xử lý - các hệ thống điện tử tín hiệu liên quan đến an toàn [12]; Thông tư số 25/2018/TT-BGTVT ngày 14/5/2018 của Bộ trưởng Bộ Giao thông Vận tải quy định về đường ngang và cấp giấy phép xây dựng công trình thiết yếu trong phạm vi đất dành cho đường sắt [1]. Đối với hệ thống cảnh báo đường ngang tự động, là hệ thống bao gồm nhiều module chức năng (các module phần cứng và các module phần mềm) được tích hợp để tạo nên hệ thống, để đáp ứng được các yêu cầu quy định thì ngoài việc lựa chọn các công nghệ có thể đáp ứng được thì điều quan trọng nữa là thiết kế phần cứng và phần mềm cũng cần phải đáp ứng. Đối với công nghệ tiên tiến áp dụng cho hệ thống cảnh báo đường ngang như hệ thống GNSS, hệ thống truyền thông vô tuyến... thông qua các nghiên cứu [3-9] cũng như các hệ thống ở trong và ngoài nước đã minh chứng phần nào, khẳng định về khả năng đáp ứng đối với lĩnh vực đường sắt. Về công nghệ mới ứng dụng trong hệ thống này, trọng tâm là công nghệ GNSS, còn các giải pháp khác để đạt được yêu cầu thì chủ yếu phụ thuộc vào việc thiết kế phần cứng và phần mềm cho hệ thống (sẽ được trình bày cụ thể ở nội dung “nghiên cứu thiết kế hệ thống”).

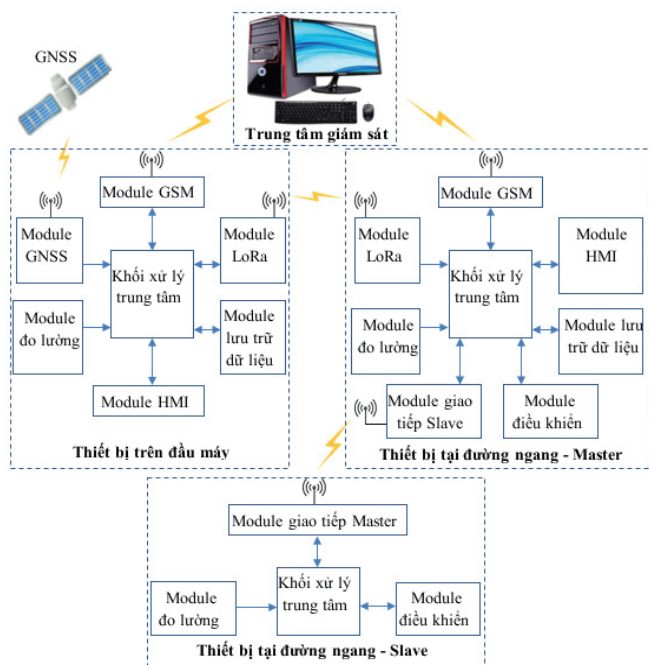
Ứng dụng hệ thống định vị toàn cầu để thu thập các thông tin về vị trí, tốc độ và thời gian thực là giải pháp rất hữu hiệu về chi phí và mức độ tiện lợi. Công nghệ định vị vệ tinh ngày càng phổ biến, nâng cao độ tin cậy và mức độ định vị chính xác của thiết bị, ngày càng có nhiều hãng đưa ra thiết bị có tần số cập nhật dữ liệu cao, có thể thu được nhiều loại tín hiệu của các vệ tinh của các hãng khác nhau, do vậy ở bất kỳ nơi đâu trên trái đất đều có thể thu được dữ liệu vệ tinh. Để khẳng định GNSS tương thích với yêu cầu của đường sắt thì ngoài các công trình tiêu biểu [3-9], theo nghiên cứu [13], GNSS đáp ứng khá tốt các yêu cầu về RAMS của đường sắt trong khu vực mở, khi đi qua khu vực hầm, rừng rậm hoặc khu vực đồi núi cao làm cho hiệu suất của GNSS có thể kém đi thì cần kết hợp thêm cảm biến gia tốc, cảm biến radar... sẽ đáp ứng được yêu cầu. Đặc thù đường sắt Việt Nam không đi qua khu vực đồi núi cao cũng như rừng rậm, chỉ đi qua một số đường hầm, tuy nhiên quãng đường di chuyển trong hầm là ngắn và không gần khu vực đường ngang. Nghiên cứu của Cơ quan chương trình không gian EU (2021) [14] đã đưa ra các yêu cầu kỹ thuật đối với hệ thống cảnh báo đường ngang và các hệ thống khác ứng dụng trong đường sắt, từ đó nghiên cứu đã đánh giá và chỉ ra rằng, GNSS tương thích với RAMS và khả thi ứng dụng trong các hệ thống cảnh báo đường ngang tự động nhằm tiết kiệm chi phí và ngăn ngừa tai nạn.

Từ thực trạng và yêu cầu của ngành đường sắt cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, trên thế giới đã có nhiều hãng chế tạo và ứng dụng hệ thống cảnh báo đường ngang tự động dựa trên các công nghệ tiên tiến, điển hình là Công ty Kernex Microsystems đã cho ra đời sản phẩm với tên gọi “SENTINEX - Low cost level crossing warning system”, hệ thống này bao gồm thiết bị trên đầu máy có tích hợp module thu tín hiệu vệ tinh để xác định tốc độ, vị trí, cùng với module thu phát vô tuyến để kết nối với thiết bị tín hiệu và cảnh báo đặt tại đường ngang. Với cấu trúc tương tự như trên, tập đoàn URS và TranSmart Technologies đã chế tạo ứng dụng hệ thống từ năm 2005 tại Mỹ. Nhược điểm chính của hệ thống trên là không có kết nối trung tâm, do vậy mà hoạt động của các thiết bị trong hệ thống không được giám sát online để kịp thời phát hiện sự cố, và do đó đã thiếu giải pháp dự phòng (sẽ được nêu cụ thể ở nội dung thiết kế hệ thống). Trong nước, một số nghiên cứu cũng đã được công bố, nghiên cứu điển hình và gần đây là công trình [9] đã phân tích các hệ thống ứng dụng công nghệ tiên tiến vào đường sắt ở trong và ngoài nước, từ đó đưa ra thiết kế hệ thống với đầy đủ các khối chức năng, tuy nhiên công trình này lại chưa phân tích kỹ về khả năng đáp ứng yêu cầu của hệ thống đối với yêu cầu của ngành đường sắt. Tiếp đó, các nhà khoa học đã ứng dụng trí tuệ nhân tạo để phát hiện đoàn tàu vào khu vực đường ngang, từ đó kích hoạt hệ thống xác định chướng ngại vật trên đường ngang để báo đến lái tàu thông qua hệ thống máy chủ, hệ thống này đã được lắp đặt thử nghiệm thực tế và đã ghi nhận được những ưu điểm nhất định [15]. Tuy nhiên, việc truyền thông giữa thiết bị trên đầu máy và hệ thống tại đường ngang là không kết nối trực tiếp mà lại thông qua máy chủ trung tâm và ứng dụng giải pháp truyền thông là mạng điện thoại di động, do vậy mà đã làm giảm khả năng đáp ứng và độ tin cậy của hệ thống, đồng thời, cũng như nghiên cứu của C.N. Van (2021) [9], nghiên cứu này chưa phân tích kỹ về khả năng đáp ứng yêu cầu của hệ thống đối với yêu cầu của ngành đường sắt - đây là vấn đề đặc biệt quan trọng để có thể tiến tới ứng dụng hệ thống vào thực tiễn.

Từ nhược điểm của những công trình nghiên cứu cho đến các hệ thống cảnh báo đường ngang tự động của các hãng nước ngoài đã sản xuất ứng dụng thực tiễn, nghiên cứu này thiết kế, chế tạo và thử nghiệm hệ thống cảnh báo đường ngang tự động ứng dụng công nghệ tiên tiến đáp ứng được các yêu cầu đường sắt Việt Nam, đồng thời tiết giảm chi phí đầu tư và duy tu hệ thống.

2.2. Thiết kế mô hình các thành phần chức năng của hệ thống

Sau quá trình phân tích các ưu và nhược điểm của mỗi công trình nghiên cứu cũng như các sản phẩm hiện có về hệ thống cảnh báo đường ngang tự động, đồng thời đánh giá các công nghệ có thể áp dụng cho hệ thống, mô hình kiến trúc hệ thống của nghiên cứu này được xây dựng như hình 1.



Hình 1. Mô hình kiến trúc của hệ thống.

Mô hình kiến trúc trên đã thể hiện rõ việc kết nối truyền thông của hệ thống tạo thành vòng khép kín giữa thiết bị trên đầu máy với thiết bị tại đường ngang và với trung tâm giám sát điều hành, các hệ thống cảnh báo đường ngang tự động hiện nay chưa được thiết kế như trên. Mô hình khép kín đó cho phép truyền thông hai chiều, đảm bảo ổn định truyền thông ngay cả khi có một kênh truyền nào đó bị mất kết nối. Ngoài ra, từ phần mềm trên máy chủ, cho phép giám sát theo thời gian thực về trạng thái hoạt động của toàn bộ hệ thống. Các khối chức năng trong hệ thống được mô tả cụ thể như sau:

Thiết bị trên đầu máy: Liên tục cập nhật vị trí và tốc độ để xác định khoảng cách từ đầu máy đến đường ngang phía trước thông qua module GNSS, khi đạt được đến khoảng cách nhất định thì module LoRa (Long Range) của thiết bị trên đầu máy sẽ kết nối đến module LoRa của thiết bị tại đường ngang, hai thiết bị này sẽ trao đổi thông tin (thiết bị trên đầu máy sẽ gửi thông tin về vị trí và tốc độ đến thiết bị tại đường ngang, đồng thời nhận thông tin về trạng thái hoạt động của các thiết bị tại đường ngang), khi một thiết bị nào đó tại đường ngang (đèn, chuông) bị lỗi thì thiết bị trên đầu máy sẽ cảnh báo đến lái tàu thông qua giao diện người máy (cảnh báo qua âm thanh và đèn báo hiệu). Module đo lường có nhiệm vụ kiểm tra trạng thái của nguồn cấp, kịp thời cảnh báo sớm khi nguồn gặp sự cố; các thông tin về cấu hình và vị trí của toàn bộ đường ngang sẽ được lưu trữ vào module lưu trữ dữ liệu, module lưu trữ dữ liệu ngoài lưu các thông tin đó ra thì còn lưu các công lệnh tốc độ được quy định tương ứng với mỗi khu vực khác nhau, khối xử lý trung tâm luôn so sánh tốc độ thực với công lệnh tốc độ, hiển thị và cảnh báo đến lái tàu khi lái tàu vi phạm tốc độ. Module GSM (Global System for Mobile Communication) có nhiệm vụ giao tiếp với máy chủ,

mọi thông tin về trạng thái hoạt động của hệ thống (trình trạng kết nối RF, tín hiệu vệ tinh GNSS...) đều được gửi về trung tâm giám sát, đồng thời các thông tin đó kèm theo thông tin về trạng thái hoạt động của GSM cũng được hiển thị trên giao diện người máy (Human Machine Interface - HMI) để lái tàu nắm bắt được tình trạng hoạt động của hệ thống.

Thiết bị tại đường ngang: Hệ thống cảnh báo tại đường ngang gồm hai khối cảnh báo được lắp đặt ở hai bên đường sắt (hướng từ hai phía đường bộ đi vào), để tiết kiệm chi phí đầu tư và duy tu hệ thống, kết nối giữa hai khối này sử dụng giải pháp truyền thông vô tuyến. Hai khối đó có thể gọi là thiết bị Master và thiết bị Slave, thiết bị Slave thực hiện chức năng điều khiển đèn và còi theo lệnh điều khiển từ thiết bị Master gửi tới, đồng thời thiết bị Slave luôn kiểm tra trạng thái hoạt động của còi và đèn để gửi đến thiết bị Master. Thiết bị Master bao gồm module đo lường thực hiện chức năng kiểm tra trạng thái hoạt động của đèn và chuông theo thời gian thực, gửi thông tin trạng thái hoạt động đến thiết bị trên đầu máy thông qua module LoRa và gửi về trung tâm giám sát thông qua module GSM, đồng thời lưu thông tin vào module lưu trữ dữ liệu, các thông tin lưu trữ về số hiệu đường ngang, vị trí đường ngang, cũng được lưu trữ vào module lưu trữ dữ liệu này; module điều khiển thực hiện chức năng điều khiển đèn và chuông từ bộ xử lý trung tâm theo quy định của ngành đường sắt, lệnh điều khiển cũng được gửi đến thiết bị Slave qua module giao tiếp Slave.

Trung tâm giám sát: Tại đây có các module phần mềm chức năng để thực hiện nhiệm vụ kết nối để thu thập dữ liệu từ thiết bị trên đầu máy và thiết bị tại đường ngang, đồng thời cho phép truyền thông tin ngược lại đến các thiết bị đó. Dữ liệu thu thập theo thời gian thực, lưu trữ vào cơ sở dữ liệu, người dùng có thể truy xuất dữ liệu theo các khoảng thời gian mong muốn. Trên giao diện người dùng, hiển thị trực quan về trạng thái hoạt động của các thiết bị tại đường ngang và trên đầu máy.

2.3. Nguyên tắc an toàn cho hệ thống

Đối với hệ thống cảnh báo tự động thì nguyên tắc quan trọng trước hết là không để xảy ra tai nạn, để làm được điều này, điều chủ yếu là phòng chống tới mức tối đa những rủi ro có khả năng gây ra tai nạn như hỏng hóc hoặc hư hại máy móc, thiết bị. Thiết kế an toàn là thiết kế kết hợp các kỹ thuật khác nhau để giảm thiểu tổn thất do lỗi hệ thống hoặc thành phần, để đề phòng những phát sinh bất thường và sai sót, hệ thống cần được thiết kế với cấu trúc an toàn 2 lần (fail-safe) và hệ thống khoá liên động. Hệ thống an toàn 2 lần là hệ thống được thiết kế dựa trên nguyên tắc, nếu một bộ phận của hệ thống gặp hỏng hóc, thì lập tức chuyển sang trạng thái an toàn. Điều quan trọng tiếp theo là nếu phát sinh trục trặc bất thường thì cũng không để sự cố lan rộng.

Về cơ bản thì nguyên tắc an toàn được xác định thông qua hoạt động nội tại của mỗi module trong hệ thống và tiếp đó là nguyên tắc vận hành của hệ thống. Hệ thống cảnh báo đường

ngang tự động được tích hợp bởi các module chức năng, trong đó module xác định vị trí, tốc độ đoàn tàu và module truyền thông được xác định là yếu tố quan trọng. Như đã nêu ở trên, ứng dụng công nghệ GNSS để xác định vị trí và tốc độ đoàn tàu thông qua module thu định vị vệ tinh, nghiên cứu này lựa chọn sử dụng module thu GNSS của U-blox. Module U-blox hỗ trợ 72 kênh của các hệ thống định vị vệ tinh là GPS L1C/A, SBAS L1C/A, QZSS L1C/A, QZSS L1-SAIF, GLONASS L1OF, BeiDou B1I, Galileo E1B/C. Với việc hỗ trợ nhiều kênh kết nối và với số lượng vệ tinh nhiều như hiện nay, ở khu vực mở thì tại bất kỳ nơi đâu trên trái đất đều có thể thu được tín hiệu vệ tinh. Đặc điểm của thiết bị này là ngoài tính năng định vị vệ tinh còn tích hợp cảm biến gia tốc và cảm biến hướng để tăng độ chính xác của dữ liệu định vị và không bị ngắt đoạn khi mất tín hiệu vệ tinh. Theo nhà sản xuất U-blox, dữ liệu thu nhận có độ chính xác trung bình là 2,5 m; tần số cập nhật dữ liệu lên đến 10Hz; độ nhạy lớn, kích thước nhỏ và tiêu thụ năng lượng ít. Tiếp đó là nhiệm vụ truyền thông, quá trình truyền nhận dữ liệu cần đảm bảo về tính chính xác, tính bảo mật, an toàn và kịp thời, để đáp ứng được các yêu cầu này thì ngoài việc xử lý thuật toán chương trình phần mềm thì thiết bị phần cứng cũng cần đáp ứng các chỉ tiêu quan trọng như:

- Khoảng cách truyền: Theo Thông tư số 25/2018/TT-BGTVT của Bộ trưởng Bộ Giao thông Vận tải [1], thời điểm đèn báo hiệu bật sáng phải bảo đảm trước lúc tàu tới đường ngang là 60 giây (đối với đường ngang có tín hiệu cảnh báo tự động), với tốc độ tối đa đoàn tàu là 80 km/h, kết hợp với thời gian trễ trong việc kết nối và xác thực thông tin thì khoảng cách truyền thông tối thiểu cần đạt là 1,5 km. Để đảm bảo an toàn và dự phòng trong trường hợp thiết bị tại đường ngang gặp sự cố (đèn, chuông bị lỗi) thì hệ thống cần cung cấp thông tin sớm đến thiết bị trên đầu máy, để lái tàu kịp thời phanh hãm, giảm tốc độ tới mức an toàn, như vậy khoảng cách truyền thông cần đạt khoảng 3 km (khoảng cách truyền thông lớn hơn thì càng tốt, để hướng tới tương lai khi cơ sở hạ tầng của đường sắt được nâng cấp, tốc độ tối đa sẽ lớn hơn).

- Tránh hiệu ứng Doppler: Do thiết bị lắp đặt trên đoàn tàu di chuyển với tốc độ cao, nên cần lựa chọn loại module đảm bảo tránh được hiệu ứng này.

- Tốc độ truyền dữ liệu: Việc truyền nhận dữ liệu áp dụng trên đoàn tàu - là phương tiện di chuyển do vậy tốc độ truyền nhận dữ liệu cần nhanh.

- Có kích thước nhỏ gọn, phương thức làm việc đơn giản và dễ kết nối.

Từ các yêu cầu đó, nghiên cứu này ứng dụng kỹ thuật không dây LoRa được phát triển bởi Cycleo SAS và sau này được mua lại bởi Semtech. Đây là công nghệ truyền thông vô tuyến với năng lượng thấp mà vẫn đạt được khoảng cách xa, đồng đáp ứng các chỉ tiêu quan trọng đã nêu ở trên. Loại module được lựa chọn có các thông số kỹ thuật chính được trình bày ở bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật chính của module LoRa được lựa chọn.

Chỉ tiêu	Thông số kỹ thuật
IC chính của module	SX1278
Điện áp hoạt động	8~28 VDC
Chuẩn giao tiếp	RS232/RS485
Tốc độ truyền thông (có thể cấu hình được)	300~19200 bps
Tốc độ truyền thông mặc định	9600 bps
Tần số sóng	410~441 Mhz
Công suất	37 dBm (5 W)
Khoảng cách trong điều kiện lý tưởng (với ăngten 5 dBm, cao 2 m)	20 km
Bộ đệm dữ liệu	512 bytes
Dải nhiệt độ làm việc	-40~85°C

Nguyên tắc vận hành của hệ thống: Từ mô hình kiến trúc của hệ thống (hình 1) ta thấy 3 khối chính của hệ thống bao gồm thiết bị trên đầu máy, thiết bị tại đường ngang và trung tâm giám sát được kết nối truyền thông thành vòng khép kín, đồng thời mỗi kết nối đó là truyền thông hai chiều. Do vậy, một khi kênh truyền thông nào đó bị mất kết nối, ngoài việc cảnh báo đến người vận hành, giám sát, đường truyền sẽ tự động đi gián tiếp qua khối trung gian để đến được đích, thiết kế này đảm bảo được tính năng fail-safe, như vậy đường truyền luôn được thông suốt. Khi tàu tiếp cận khu vực đường ngang, module thu phát trên đầu máy và module thu phát tại đường ngang sẽ nhận được tín hiệu và kết nối truyền thông với nhau. Trong trường hợp module GPS ở thiết bị trên đầu máy lúc này bị lỗi, thiết bị trên đầu máy sẽ cảnh báo đến lái tàu, đồng thời gửi thông tin đến thiết bị tại đường ngang để đưa ra cảnh báo còi/đèn tại khu vực đường ngang. Trong quá trình đoàn tàu di chuyển, thiết bị trên đầu máy liên tục thu dữ liệu vệ tinh về vị trí và tốc độ, so sánh với vị trí của các đường ngang (đã lưu sẵn trong bộ nhớ) khi tàu tiếp cận đến đường ngang ở một khoảng cách cần đưa ra cảnh báo mà lúc này module thu phát vô tuyến RF ở đường ngang hoặc trên đầu máy bị lỗi, dẫn đến thiết bị trên tàu và đường ngang không kết nối được với nhau, thiết bị trên đầu máy sẽ cảnh báo đến lái tàu để đưa ra cơ chế giảm tốc độ đoàn tàu đến mức tối thiểu để đảm bảo an toàn. Thiết bị tại đường ngang và thiết bị trên đầu máy liên tục kiểm tra hoạt động của chính mình, khi có bất kỳ lỗi gì xảy ra thì hệ thống tự động đưa hệ thống về chế độ hoạt động fail-safe, đồng thời đưa ra cảnh báo để bộ phận quản lý kịp thời khắc phục. Ngoài ra, hệ thống cần có độ tin cậy về tính bảo mật trong việc truyền nhận thông tin. Giải pháp đưa ra trên nguyên tắc lựa chọn phần cứng và phần mềm cần có cơ chế mã hóa và giải mã thông tin, kiểm soát dữ liệu...

3. Chế tạo và thử nghiệm hoàn thiện hệ thống

3.1. Chế tạo thiết bị phần cứng

Các mạch điện phần cứng bao gồm mạch điện trên đầu máy và mạch điện tại đường ngang: mạch điện Master, mạch điện Slave. Các linh kiện trên mạch điện được lựa chọn là những linh kiện chính hãng, có chất lượng cao, đáp ứng được các điều kiện làm việc đối với môi trường và khí hậu ở Việt Nam.

3.2. Xây dựng chương trình phần mềm

Chương trình phần mềm được xây dựng trên nền ngôn ngữ C, bao gồm nhiều module phần mềm để thực hiện các chức năng của hệ thống. Trong đó module phần mềm trọng tâm của hệ thống đó là độ tin cậy của thông tin truyền thông và xác định vị trí hay khoảng cách của đầu máy đến đường ngang. Hai thuật toán đó được thực hiện như dưới đây:

Khả năng bảo đảm và toàn vẹn thông tin: Đối với hệ thống điều khiển nói chung và đặc biệt là hệ thống điều khiển tự động trong đường sắt nói riêng thì thông tin có vai trò đặc biệt quan trọng, nó ảnh hưởng trực tiếp đến năng lực và an toàn của hệ thống. Như vậy, yêu cầu trước tiên là dữ liệu truyền thông vô tuyến giữa các thiết bị trong hệ thống cần có tính bảo mật để không bị các thiết bị vô tuyến khác hoặc hacker tấn công, yêu cầu thứ hai là dữ liệu cần phải chính xác (toàn vẹn dữ liệu). Về vấn đề bảo mật thông tin, nghiên cứu này đã áp dụng tiêu chuẩn mã hóa dữ liệu AES (Advanced Encryption Standard), AES là một thuật toán tiêu chuẩn của Chính phủ Hoa Kỳ nhằm mã hóa và giải mã dữ liệu do Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia Hoa Kỳ (National Institute Standards and Technology - NIST) phát hành ngày 26/11/2001 và được đặc tả trong Tiêu chuẩn Xử lý thông tin Liên bang 197. AES được sinh ra nhằm bảo vệ các dữ liệu thông qua quá trình mã hoá và giải mã dữ liệu, tính đến hiện nay, AES được sử dụng vô cùng phổ biến trên thế giới và tại Việt Nam (theo TCVN 7816:2007). Đối với yêu cầu về tính toàn vẹn dữ liệu, trong quá trình truyền nhận dữ liệu, hệ thống có thể bị nhiễu tác động từ bên ngoài, dẫn đến dữ liệu bị sai lệch, làm cho việc giám sát và điều khiển không chính xác, là nguyên nhân dẫn đến mất an toàn cho hệ thống. Như vậy, việc xác thực tính chính xác của dữ liệu có vai trò quan trọng đối với hoạt động an toàn hệ thống. Có một số phương pháp xác định tính toàn vẹn của thông tin, nghiên cứu này áp dụng thuật toán CRC-16, thuật toán CRC (Cyclic Redundancy Check) không phức tạp mà lại đạt hiệu quả cao trong việc phát hiện lỗi của dữ liệu, do

vậy mà thuật toán này được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như truyền thông dân dụng và truyền thông công nghiệp.

Tính toán khoảng cách từ đầu máy tới đường ngang: Theo Thông tư số 25/2018/TT-BGTVT, thời điểm bật tín hiệu cảnh báo tại đường ngang trước lúc tàu đến là 60 giây. Như vậy, khi đoàn tàu tiếp cận vào khu vực đường ngang, thiết bị cảnh liên tục tính toán thời gian đến đường ngang, từ đó bật tín hiệu cảnh báo tại thời điểm 60 giây. Để tính toán thời gian đó ta cần biết được tốc độ thực của đoàn tàu và khoảng cách từ đoàn tàu tới đường ngang, tốc độ đoàn tàu được xác định từ dữ liệu vệ tinh GNSS, khoảng cách của đoàn tàu được xác định từ vị trí của đường ngang (đã được lưu sẵn trong bộ nhớ của thiết bị) và vị trí của đoàn tàu được lấy từ GNSS, công thức tính khoảng cách này được xác định như sau:

$$x = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \times \cos(\varphi_2) \times \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$$

$$y = 2 \times \arctan2(\sqrt{x}, \sqrt{1-x})$$

$$d = R \times y$$

trong đó: d là khoảng cách giữa 2 điểm (km), ; φ_1 là vĩ độ điểm 1; φ_2 là vĩ độ điểm 2; $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$; λ_1 là kinh độ điểm 1; λ_2 là kinh độ điểm 2; $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$; R là bán kính trái đất.

3.3. Thử nghiệm hoàn thiện hệ thống

Bước đầu của công việc thử nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm, tiếp đó là thử nghiệm giả lập ở ngoài trời (hình 2) bằng cách đưa thiết bị đầu máy đặt lên ô tô, thiết bị tại đường ngang được đặt dưới đường, công việc này được thực hiện dọc theo tuyến đường Bưởi - Võ Chí Công - sân bay Nội Bài, số đường ngang giả lập là 8 vị trí được đặt với khoảng cách ngẫu nhiên, số lượt thử nghiệm là 15 lượt ở các tốc độ di chuyển và thời điểm khác nhau trong ngày để đánh giá khả năng làm việc của thiết bị. Sau khi hoàn tất bước thử nghiệm giả lập, công tác thử nghiệm tại thực địa được tiến hành tại km 11+270 trên tuyến đường sắt Hà Nội - Sài Gòn.



Hình 2. Công tác thử nghiệm hệ thống tại phòng thí nghiệm và tại thực địa.

Công việc thử nghiệm thực tế được thực hiện qua nhiều ngày với nhiều lượt tác nghiệp trên tuyến đường sắt từ ga Hà Nội cho đến km11+850 (Ngọc Hồi - Thường Tín). Khoảng cách truyền thông giữa thiết bị trên đầu máy với thiết bị tại đường ngang thực tế đạt được là 4 km - với xác suất lỗi truyền thông là 0%; khi tăng dần khoảng cách thì xác suất lỗi truyền thông cũng tăng dần, tuy nhiên lỗi đó không ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống, và với khoảng cách 4 km cũng đã đảm bảo được khoảng cách yêu cầu là 3 km. Thời điểm đèn báo hiệu bật sáng đã bảo đảm trước lúc tàu tới đường ngang là 60 với xác suất 100%. Ngoài ra, sản phẩm này là hệ thống được nghiên cứu trên cơ sở ứng dụng công nghệ mới, hiện nay ở Việt Nam chưa có hệ thống tương tự nên một số tiêu chí về hệ thống này chưa được ban hành, do đó, các chỉ tiêu kỹ thuật chính của sản phẩm sẽ được đối chiếu theo chỉ tiêu mà nước ngoài đã quy định [14] (để sản phẩm của nghiên cứu này có thể ứng dụng thực tiễn thì sau bước nghiên cứu, công việc tiếp theo sẽ thực hiện xây dựng tiêu chuẩn Việt Nam cho hệ thống này). Sau quá trình thử nghiệm nhiều ngày và nhiều lượt, kết hợp thực hiện các tình huống giả lập các sự cố để đánh giá khả năng làm việc của hệ thống, kết quả thống kê ban đầu cho thấy hệ thống đã đáp ứng được các yêu cầu theo quy định đối với một số tiêu chí chính như thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. So sánh tiêu chí kỹ thuật của sản phẩm với yêu cầu.

Tiêu chí	Theo quy định	Kết quả đạt được
Độ chính xác ngang (Horizontal accuracy)	10 m	7 m
Tính sẵn sàng (Availability)	99,98%	99,99%
Thời gian khắc phục lần đầu (TTF)	120 s	45 s
Thời gian cảnh báo (TTA)	<7 s	5 s

4. Kết luận

Từ việc phân tích thiết kế hệ thống, lựa chọn linh kiện cho đến thiết kế phần cứng và xây dựng chương trình phần mềm được thực hiện trên nguyên tắc an toàn, cùng với việc thử nghiệm kỹ lưỡng tại thực địa, đã cho thấy hệ thống đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật theo quy định của Nhà nước, đồng thời thỏa mãn được một số tiêu chí kỹ thuật chính mà nước ngoài đã quy định (bảng 2) về hệ thống cảnh báo đường ngang tự động trên cơ sở ứng dụng các công nghệ tiên tiến. Thiết bị trên đầu máy có tích hợp ắc quy để ổn định nguồn cấp, bộ chuyển đổi nguồn được sử dụng có khả năng làm việc phù hợp với nguồn cấp trên các loại đầu máy, sản phẩm được thiết kế nhỏ gọn và khá độc lập nên có thể đặt trên các loại đầu máy khác nhau. Thiết bị tại đường ngang sử dụng truyền thông vô tuyến và nguồn cấp từ pin năng lượng mặt trời cùng ắc quy tích điện, tạo nên sự độc lập của thiết bị, do vậy mà có thể linh động lắp đặt ở các khu vực đường ngang khác nhau. Như vậy, sản phẩm của nghiên cứu thích ứng phù hợp với yêu cầu quy định cũng như tính linh động trong ứng dụng, đồng thời giảm thiểu tối đa chi phí xây dựng và bảo trì hệ thống, góp phần xóa bỏ các giao cắt “3 không” giữa đường bộ và đường sắt, giúp giảm thiểu tai nạn giao thông và nâng cao năng lực thông qua của đường sắt Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Bộ Giao thông Vận tải thông qua đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ mã số DT224016 và sự hỗ trợ của Công ty Cổ phần Thông tin Tín hiệu Đường sắt Hà Nội trong quá trình thực hiện nghiên cứu thực nghiệm. Tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ministry of Transport (2018), *Circular No. 25/2018/TT-BGTVT Regulations on Level Crossings and Licensing for Construction of Essential Works Within Land Reserved for Railways* (in Vietnamese).

[2] Vietnam Railways (2022), *Announcement No. 87/TB-DS on Results of Implementing Decree No. 65, Decision No. 1168/QĐ-DS, Dated 31/12/2020 of Vietnam Railways Corporation and Coordination in Implementing Decision No. 358/QĐ-TTg Dated 10/3/2020 of The Prime Minister* (in Vietnamese).

[3] Congressional Research Service (2018), “Positive train control (PTC): Overview and policy issues”, *CRS Report Prepared for Members and Committee of Congress, R42637 Version 7-update*, 20pp.

[4] J. Baker (2012), “Positive train control”, *The Joint Council on Transit Wireless Communications*, pp.1-25.

[5] S. Badugu, A. Movva (2013), “Positive train control”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, **3(4)**, pp.304-307.

[6] S. Lo, S. Pullen, J. Blanch, et al. (2017), “Projected performance of a baseline high integrity GNSS railway architecture under nominal and faulted conditions”, *Proceedings of The 30th International Technical Meeting of The Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2017)*, pp.2148-2171, DOI: 10.33012/2017.15152.

[7] C. Wullems (2011), “Towards the adoption of low-cost rail level crossing warning devices in regional areas of Australia: A review of current technologies and reliability issues”, *Safety Science*, **49(8-9)**, pp.1059-1073, DOI: 10.1016/j.ssci.2011.04.006.

[8] C.N. Van (2017), “Research, design and manufacture signal equipment stern train use on freight trains in Vietnam railway”, *Science Journal of Transportation*, **61**, pp.61-70 (in Vietnamese).

[9] C.N. Van (2021), “Research and design automatic railway crossing warning system based on application of radio solution and satellite positioning technology”, *The 6th International Conference and Exhibition on Control and Automation (VCCA-2021)*.

[10] Ministry of Transport (2015), *TCVN 10935-1: Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Basic Requirements and Generic Process* (in Vietnamese).

[11] Ministry of Transport (2016), *TCVN 11391: Railway Applications - Communications, Signalling and Processing Systems - Software for Railway Control and Protection Systems* (in Vietnamese).

[12] Ministry of Transport (2019), *TCVN 12580: Railway Applications - Communication, Signalling and Processing Systems - Safety Related Electronic Systems for Signalling* (in Vietnamese).

[13] D. Lu, E. Schnieder (2015), “Performance evaluation of GNSS for train localisation”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **16(2)**, pp.1054-1059, DOI: 10.1109/TITS.2014.2349353.

[14] European Union Agency for The Space Program (2021), *Report on Rail User Needs and Requirements: Outcome of The Euspa User Consultation Platform, Revision: 3.0*.

[15] V.D. Trung, P.H. Quang, P.H. Cong, et al. (2022), “Research and experimental applications of artificial intelligence for safety assurance of level crossing”, *Journal of Science and Technology, University of Danang*, **20(11)**, pp.33-38 (in Vietnamese).