Transport and Communications Science Journal, Vol 71, Issue 3 (04/2020), 263-273

Transport and Communications Science Journal

AUTOMATICAL SAFETYLINE INCURSION WARNING AT HANOI METRO STATION USING SOFT ELECTRONIC MAT

Dao Thanh Toan

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research article
Received: 16/2/2020
Revised: 4/4/2020
Accepted: 4/4/2020
Published online: 24/4/2020
https://doi.org/10.25073/tcsj.71.3.10
* *Corresponding author*
Email: daotoan@utc.edu.vn

Abstract. During train arrival at a metro station, the passengers tend to randomly move beyond the safety line and are likely to fall down the tracks, leading to an accident or a sudden-train-stop. This work presents an experimental study on fabrication and field-test of an electronic mat that automatically gives an alert message to the passengers being beyond the safety line. Based on a soft pressure sensor, the device is very thin to be easily integrated into a module of electronic mat which can be laid on the floor without affecting the avaiable construction structure of the station platform. During the time of waiting for the train arrival, if the passenger moves beyond the safety line and then steps on the mat changing the electrical signal level, the device will immediately generate a warning signal via the speaker and LED strip. Addtional results obtained from the field-test at Cat Linh Station on the 2A Cat Linh-Ha Dong route are presented in detail in the article.

Keywords: Cat Linh station, safeline autodetection, electronic mat, Hanoi Metro safety

© 2020 University of Transport and Communications

Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải

TỰ ĐỘNG CẢNH BÁO VƯỢT QUÁ VẠCH AN TOÀN TẠI GA METRO HÀ NỘI SỬ DỤNG THẢM ĐIỆN TỬ MỀM

Đào Thanh Toản

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học
Ngày nhận bài: 16/2/2020
Ngày nhận bài sửa: 4/4/2020
Ngày chấp nhận đăng: 4/4/2020
Ngày xuất bản Online: 24/4/2020
https://doi.org/10.25073/tcsj.71.3.10

* *Tác giả liên hệ*
Email: daotoan@utc.edu.vn

Tóm tắt. Tại nhà ga metro, khi đợi tàu đến hành khách có xu hướng di chuyển quá vạch an toàn và có khả năng rơi xuống đường ray, rất dẫn đến tai nạn hay làm gián đoạn hoạt động chạy tàu. Bài báo trình bày nghiên cứu chế tạo và thử nghiệm thảm điện tử tự động cảnh báo hành khách vượt quá vạch an toàn. Chế tạo từ cảm biến áp lực mềm, thiết bị cạnh báo có kích thước rất mỏng và tích hợp thành "module thảm điện tử" có thể đặt trên nền mà không ảnh hưởng đến kết cấu xây dựng hiện tại của nền nhà ga. Trong thời gian chờ tàu, nếu hành khách di chuyển quá vạch an toàn và dẫm lên tấm thảm làm tín hiệu điện thay đổi, thiết bị sẽ phát ra cảnh báo qua loa và đèn LED dải. Các kết quả thử nghiệm khác tại ga Cát Linh trên tuyến metro 2A Cát Linh-Hà Đông được trình bày chi tiết trong bài báo.

Từ khóa: Ga Cát Linh, Cảnh báo quá vạch, thảm điện tử, an toàn trên tuyến Metro Hà Nội

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại nhà ga metro, thời gian đợi tàu nhất là giờ cao điểm hành khách thường có thói quen làm việc riêng như xem phim, nhắn tin, nghe nhạc, nói chuyện riêng theo nhóm, …. Các hành động này thường dẫn đến sự mất tập trung nhất thời hay chen lấn trong di chuyển và rất dễ vượt quá khu vực vạch an toàn, thậm chí có thể rơi xuống khu vực đường ray [1-14]. Hình 1 minh chứng về các trường hợp xảy ra tại ngay cả với các nước có công nghệ hàng đầu thế giới như tại California-Hoa kỳ năm 2019 [2] hay tại New Delhi-Ấn độ năm 2020. Vợt quá vạch an

toàn hay rơi xuống đường ray đều dẫn tới nguy hiểm về tính mạng cho hành khách nếu tàu không kịp dừng khẩn cấp. Tại Việt Nam nhiều tuyến đường sắt đô thị đang được xây dựng tại TP HCM và Hà Nôi, sẽ sớm đưa vào khai thác với khả năng vận chuyển hàng triệu khách/ngày. Ví dụ tuyến Cát Linh Hà Đông chuyên trở 960 khách/chuyến và 160.000-180.000 hành khách/ngày [1]. Hình ảnh khảo sát ga Cát Linh thể hiện ở hình 2 cho thấy, giống như các ga metro tại các nước trên thế giới, hiện ga không được bố trí rào chắn hay gờ chắn. Với đặc thù dân số trẻ luôn luôn có nhu cầu sử dụng thiết bị thông tin mọi lúc mọi nơi, ý thức của người tham gia giao thông chưa thực sự cao, lượng hành khách lớn,… cho nên khả năng xảy ra sự cố là rất cao. Vì vậy phát hiện và cảnh báo hành khách di chuyển vào khu vực không an toàn trong khi đợi tàu là hết sức quan trọng và đặt ra trong thực tiễn khai khác nhằm nâng cao độ an toàn, đảm bảo thời gian vận hành thông suốt trên tuyến Metro Hà Nội.

Hình 1. Hình ảnh về hành khách rơi xuống đường ray tại nhà ga Metro California-Hoa kỳ [hình trên, 2] và New Delhi-Ấn độ tại Ấn độ [hình dưới, 3].

Hình 2. Hình ảnh khảo sát tại ga Metro Cát Linh trên tuyến Cát Linh-Hà Đông, Hà Nội.

Nghiên cứu áp dụng công nghệ tự động hóa tiên tiến với mục tiêu nhằm hạn chế các trường hợp nêu trên gần đây rất được quan tâm trong giao thông vận tải [8-14]. Tác giả Y. Park [8], B. Delgado và các cộng sự [9] ứng dụng xử lý ảnh để nhận biết hành động bất thường, từ đó xác định hành khách quá vạch hay rơi xuống khu vực đường ray. Xử lý ảnh có ưu điểm là phạm vi nhận dạng lớn, tuy nhiên cũng còn có một số tồn tại đó là chi phí giá thành của cả hệ thống gồm hạ tầng để lắp đặt camera, phần cứng, phần mềm khá lớn. Ngoài ra còn tồn tại các "góc chết" nơi camera không thể quan sát; và sàn thường bị che lấp bởi hành khách tại giờ cao điểm hay khu vực thiếu ánh sáng, hình ảnh từ camera sẽ rất thiếu thông tin làm cho việc nhận định hành khách vượt vạch có độ chính xác không thực sự cao. Hướng tiếp cận khác cũng đang được thực hiện đó là sử dụng thảm điện tử phủ lên khu vực nguy hiểm [12-14]. Khi hành khách di chuyển và xuất hiện tại khu vực này, sẽ có tiếp xúc vật lý trực tiếp lên thảm, làm thay đổi điện áp/dòng điện; căn cứ vào thay đổi này để tự động nhận dạng quá vạch. Phương pháp này có ưu điểm là không có góc chết, không phụ thuộc điều kiện chiếu sáng, và tiếp xúc trực tiếp nên có thể phát hiện ngay lập tức và chính xác thời điểm hành khách vượt sang vùng nguy hiểm. Giá thành thấp và việc thi công lắp đặt cũng đơn giản hơn camera. Điển hình cho hướng nghiên cứu này, GS Angelo Catalano sử dụng thảm điện tử lưới sợi quang để thử nghiệm tại nhà ga Naples, Italy [12]. Qua sự thay đổi của sóng Bragg sợi quang, thiết bị giám sát sẽ phát hiện lập tức thời điểm hành khách dẫm lên thảm tại ga Naples. Dù việc thử nghiệm rất thành công, nhưng có thể thấy rằng sợi quang và các mạch điều khiển với thiết bị chuyển đổi quang/điện khá phức tạp trong thiết kế, chế tạo và vận hành, nhất là khi triển khai trên một phạm vi có diện tích lớn của ga [12,14].

Với mục tiêu phát triển thiết bị cảnh báo đơn giản, giá thành thấp và phù hợp với việc lắp đặt tại các nhà ga metro Hà Nội, thảm điện tử sử dụng cảm biến áp lực điện trở được trình bày và thảo luận trong nghiên cứu này. Thiết bị thảm có kích thước rất mỏng và dễ dàng đặt trên nền-khu vực cần cảnh báo mà không ảnh hưởng đến kết cấu xây dựng hiện tại. Theo tìm hiểu của tác giả, đây là một trong những công bố đầu tiên về chế tạo và thử nghiệm thảm điện tử cảnh báo quá vạch an toàn trong metro Hà Nội.

2. THẢM ĐIỆN TỬ MỀM

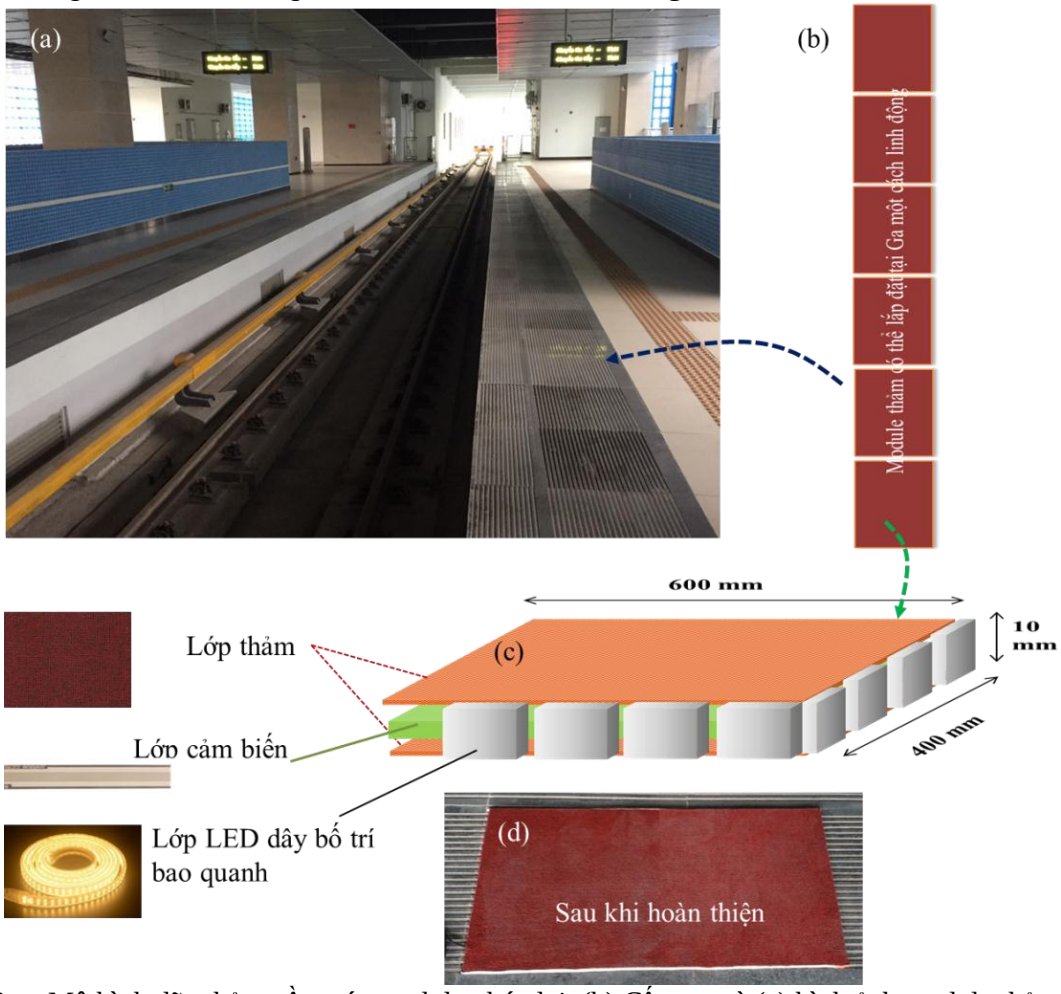
2.1 Module thảm cảm biến

Để có thể thuận lợi trong lắp đặt triển trên phạm vi diện tích rộng như ở nhà ga (hình 3a), thảm điện tử được lên ý tưởng gồm nhiều module như hình 3b. Mỗi module có cấu tạo thảm cảm biến được thể hiện dưới hình 3c gồm các lớp chính:

- Lớp cảm biến: sử dụng cảm biến áp lực FSR 600 mm, Interlink, Hoa kỳ. Đây là một trong những linh kiện quan trọng nhất của thiết bị cảnh báo; lớp thảm cảm biến không những mềm dẻo và còn rất bền bởi vì được làm từ màng mỏng polyme dẫn.
- Lớp thảm: sử dung thảm OEM, Đài loan với bề mặt bằng nỉ và đế cao su không thấm nước, độ bám dính mặt sàn cao rất phù hợp với việc sử dụng tại các địa điểm có nhiều người di chuyển qua.

Trước tiên, lớp thảm được cắt thành miếng kích thước 400×600 để phủ hết các cảm biến FSR bên trong. Lớp cảm biến và được gắn xen giữa vào hai lớp thảm sử dụng keo dẻo và được đặt trong buồng nhiệt 60 ^{o}C trong 2 giờ. Giá trị nhiệt độ này có thể tăng độ kết dính mà không làm thay đổi tính chất cơ lý của lớp cảm biến và thảm [13]. Sau khi hoàn thiện, module thảm cảm biến được đặc tính hóa với thiết bị tạo lực UH 500-kN (SHIMADZU, Kyoto, Japan) và thiết bị đo điện trở Keithley. Các tham số cơ bản của module thảm cảm biến được tổng hợp trong bảng 1.

Nguyên lý hoạt động: Ở trạng thái chờ (trạng thái bình thường) điện trở ngõ ra của cảm biến là cực đại ~10,5 MΩ, khi có áp lực tác động theo phương vuông góc với bề mặt cảm biến, các lớp polyme dẫn bên trong bị ngắn mạch, nội trở cảm biến sụt giảm đột ngột xuống ~kΩ hay ~Ω theo độ lớn của áp lực. Khi lực tác động được giải phóng, các lớp polyme hồi phục về trạng thái bình thường và điện trở cảm biến trở lại giá trị cực đại.



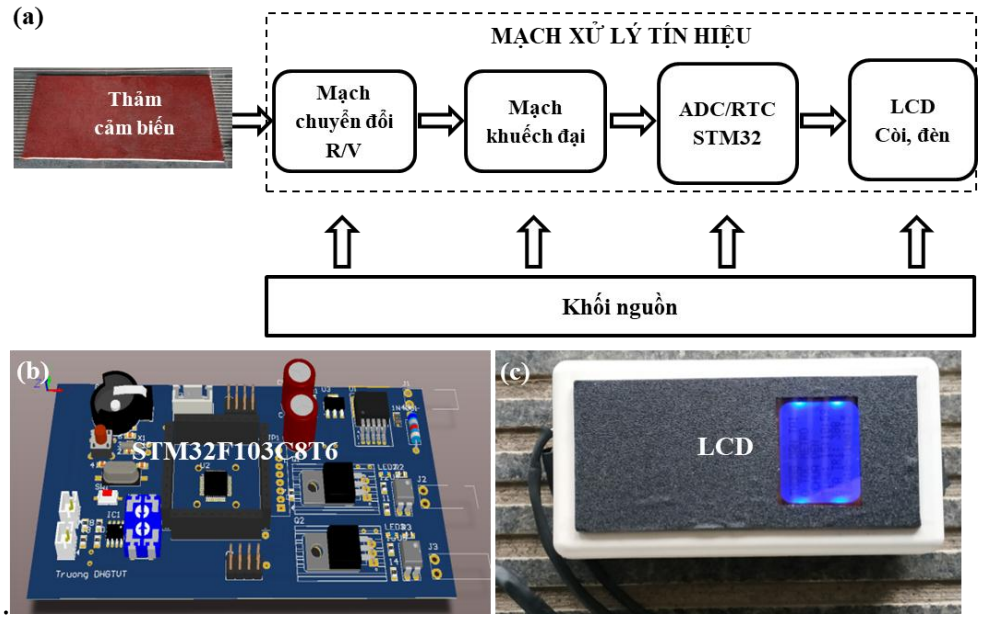
Hình 3. a, Mô hình dãy thảm gồm các module ghép lại. (b) Cấu tạo và (c) hình ảnh module thảm sau khi hoàn thành.

Bảng 1. Tham số của module thảm cảm biến.

STT	Tham số	Giá trị
1	Khu vực đo	600 × 400 mm^2
2	Độ dày	10 mm
3	Giá trị đầu ra	Ω
4	Khoảng đo	~ (10 ÷1034) kPa
5	Thời gian đáp ứng	100 µs
6	Độ chính xác	5 %
7	Nhiệt độ làm việc	(10 ÷ 50) ^oC
8	Độ từ trễ	~ 3 %

2.2 Thiết bị xử lý tín hiệu

Sơ đồ nguyên lý, bố trí linh kiên và hình ảnh mạch xử lý tín hiệu cảnh báo thể hiện ở hình 4. Các linh kiện chính sử dụng chế tạo mạch được thống kê tại bảng 2, đây đều là các linh kiện được lửa chọn cẩn thận và có chất lượng cao để đảm bảo yêu cầu về sự ổn định của mạch trong điều khiển làm việc tại nhà ga. Tín hiệu đầu ra của thảm trước hết được chuyển đổi sang tín hiệu điện áp nhờ mach chuyển đổi R/V (trở/áp), sau đó được khuếch đại sử dụng IC LM358. Nhằm điều chỉnh độ nhạy khi vận hành, biến trở được sử dụng tại khâu hồi tiếp của mạch. Tiếp theo, tín hiệu đưa đến chip nhúng STM32 có tích hợp sẵn bộ chuyển đổi ADC 12 bit. Màn hình LCD hiển thị thông tin tàu đến ga, tàu đỗ, tàu đi, số hiệu tàu.



Hình 4. a, Sơ đồ nguyên lý mạch. b, Hình ảnh ba chiều bố trí các linh kiện. c, Thiết bị xử lý tín hiệu cảnh báo lấn làn sau thi công

Bảng 2. Các linh kiện chính sử dụng chế tạo mạch xử lý tín hiệu.

STT	Chức năng	Linh kiện, nhà sản xuất
1	IC khuếch đại	IC LM358 của Texas Instruments
2	IC nguồn	LM1117 của Texas Instruments
3	Vi điều khiển	STM32F103C8T6 của STMicrochip
4	Cảnh báo ánh sáng	LED dây KL-5050-SS Samsung
5	Cảnh báo âm thanh	Loa chip NAZE32
6	Hiển thị thông tin tàu, thời gian đỗ	Màn hình LCD Nokia 5110
7	Nguồn cấp	Pin 1,5 V của Panasonics
8	Vỏ hộp nhựa bảo vệ	B01N8SLCUM của Asin

Mặt khác, với yêu cầu nhà ga metro là âm thanh cảnh báo không được quá to và ánh sáng cảnh báo không được quá chói vì có thể át hệ thống âm thanh và đèn tín hiệu nghiệp vụ tại ga, nhưng cũng không được quá yếu để hành khách có thể nhận biết ngay cả khi mất tập trung. Sau khi tìm hiểu và thử nghiệm, LED dây với ánh sáng nhẹ đủ cảnh báo và loa buzzer với âm thanh lớn hơn báo cuộc gọi của điện thoại một chút được sử dụng. LED dây được bố trí xung quanh lớp thảm cảm biến (hình 3b) còn loa buzzer được đặt trong hộp mạch xử lý (hình 4c).

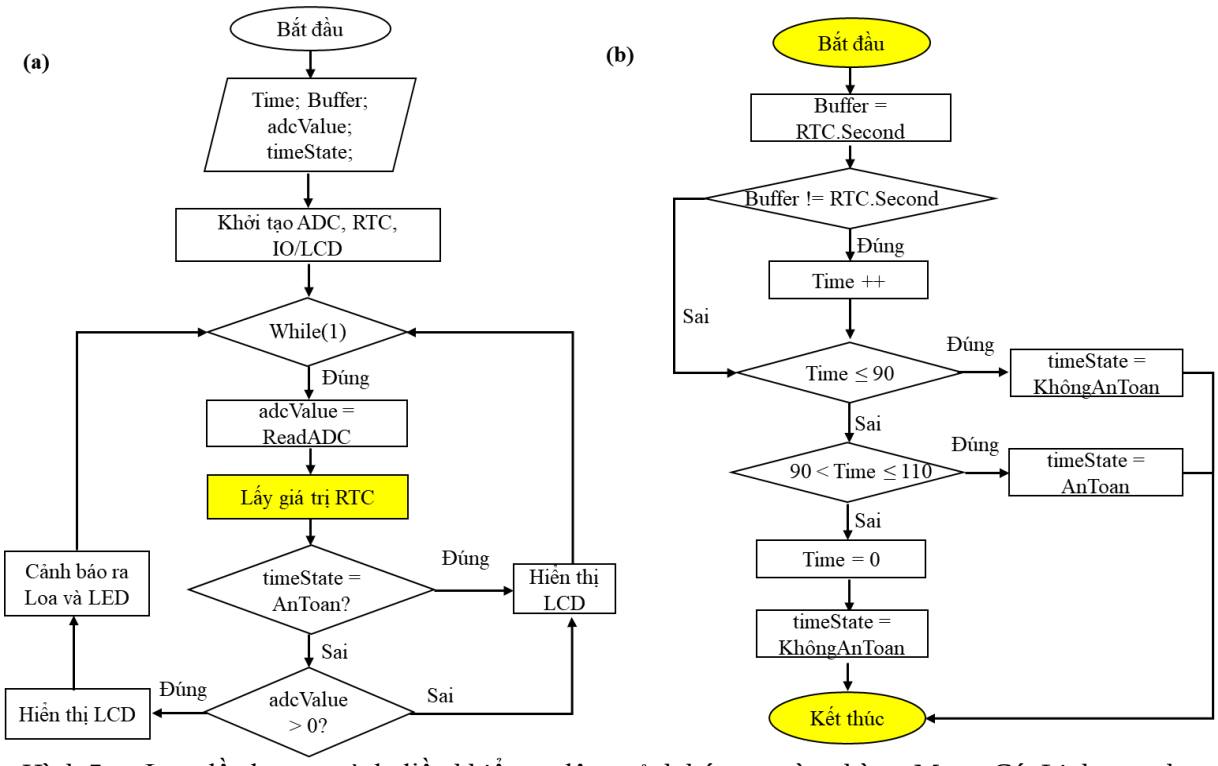
Nhìn chung, mạch được thiết kế ở đây khá đơn giản bởi vì chỉ phải xử lý tín hiệu điện. Đây chính là ưu điểm lớn nếu so với hệ thống cảnh báo sử dụng sợi quang trong nghiên cứu của các nhóm Angelo Catalano [12] và Qiuming Nan [14] với việc phải sử dụng thêm mạch chuyển đổi quang/điện và mạch xử lý bước sóng Bragg phức tạp.

3. THỬ NGHIỆM TẠI GA CÁT LINH

Thời điểm đầu năm 2020 khi nhóm nghiên cứu tiến hành thử nghiệm thiết bị, Tuyến 2A Cát Linh-Hà Đông vẫn chưa chính thức đi vào hoạt động, chưa có thông tin khai thác về thời gian chạy đến và đỗ tại mỗi Ga. Để có thể tiến hành thực nghiệm, nhóm tiến hành tham khảo các chuyên gia kỹ thuật tại tuyến Metro 2A sau đó giả lập thời gian với chu kỳ tàu đến ga là 90 s, và thời gian đỗ đón khách tại ga là 20 s. Để lập trình cho chip nhúng, thời điểm bắt đầu (khởi tạo) đặt là mốc tính thời gian hành khách đợi tàu trong 90 s, đây là khoảng thời gian hành khách không được phép di chuyển quá vạch an toàn. Từ 90 s-110 s, tàu đỗ tại ga 20 s để đón khách, hành khách được phép di chuyển tự do để lên tàu. Sau thời điểm 110 s-tàu đi khỏi ga, thời gian lại được xóa lại từ đầu và chu kỳ hoạt động lại lặp lại các quá trình trên. Các cảnh báo cần thiết tương ứng với khoảng thời gian tàu đang đến ga/đang đi ra khỏi ga, tàu đỗ tại ga trình bày tại Bảng 3.

Bảng 3. Giả lập chu kỳ tàu đến, đỗ tại ga Metro và cách hành động cảnh báo cần thiết.

Thời gian	**Trạng thái**		**Hành động**
$0 \leq t \leq 90$ s	Tàu đang đến/đang đi	Không an toàn	Nếu có quá vạch → cảnh báo
90 s $< t \leq 110$ s	Tàu đỗ tại ga	An toàn	Nếu có quá vạch → Không cảnh báo



Hình 5. a, Lưu đồ chương trình điều khiển tự động cảnh báo an toàn nhà ga Metro Cát Linh nạp cho chip nhúng. b, Lưu đồ thuật toán "lấy giá trị RTC" trên hình 5b theo biểu đồ chạy tàu giả định.

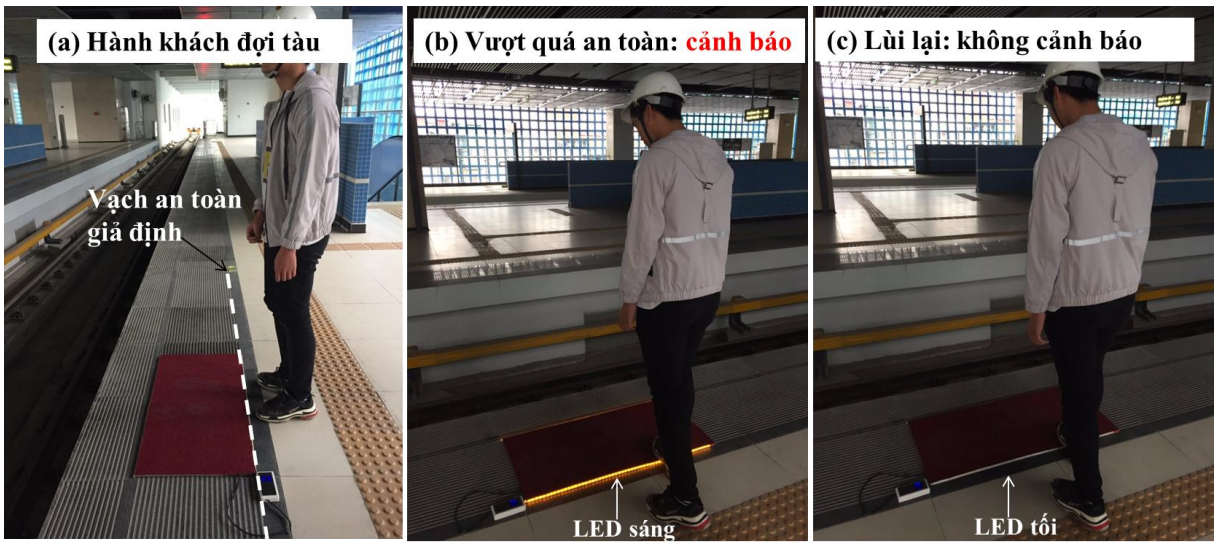
Căn cứ vào bảng 3, lưu đồ thuật toán điều khiển nạp cho chip nhúng STM32 được thiết

kế và thể hiện trong hình 5a. Trong đó, thời gian xác định tàu đến, tàu đỗ, tàu đi sẽ được đồng bộ nhờ khối RTC (Real time clock-đồng hồ thời gian thực) của STM32 (hình 5b).

Mặt khác, tại thời điểm thử nghiệm các đường vạch an toàn chưa được chỉ rõ ràng tại nhà nhà ga (hình 2). Dưới sự tư vấn của các kỹ sư xây dựng tuyến 2A, nhóm tiến hành lập đường vạch an toàn giả định tại khu vực giữa của làn đợi như hình 6a. Ngoài ra, có thể nhận thấy qua hình 6a là việc thi công lắp đặt thiết bị thảm cảnh báo hết sức đơn giản, không cần phải bổ sung thêm cấu kiện xây dựng nào hay can thiệp vào hệ cơ sở hạ tầng tại ga như khoan đục, lát lại nền. Và vì thảm cảnh báo rất mỏng cho nên cơ bản không ảnh hưởng lớn đến mỹ quan và cao độ của sàn nhà ga. Để giảm chi phí và thời gian, tại bước này nhóm chỉ thực hiện việc trên phạm vi nhỏ 600×400 mm^2 với các trường hợp thường gặp nhất:

- **Thử nghiệm trường hợp 1:** ***Hành khách đợi tàu trong thời gian tàu chưa đến/hoặc tàu rời ra, tức là khoảng từ 0-90 s***

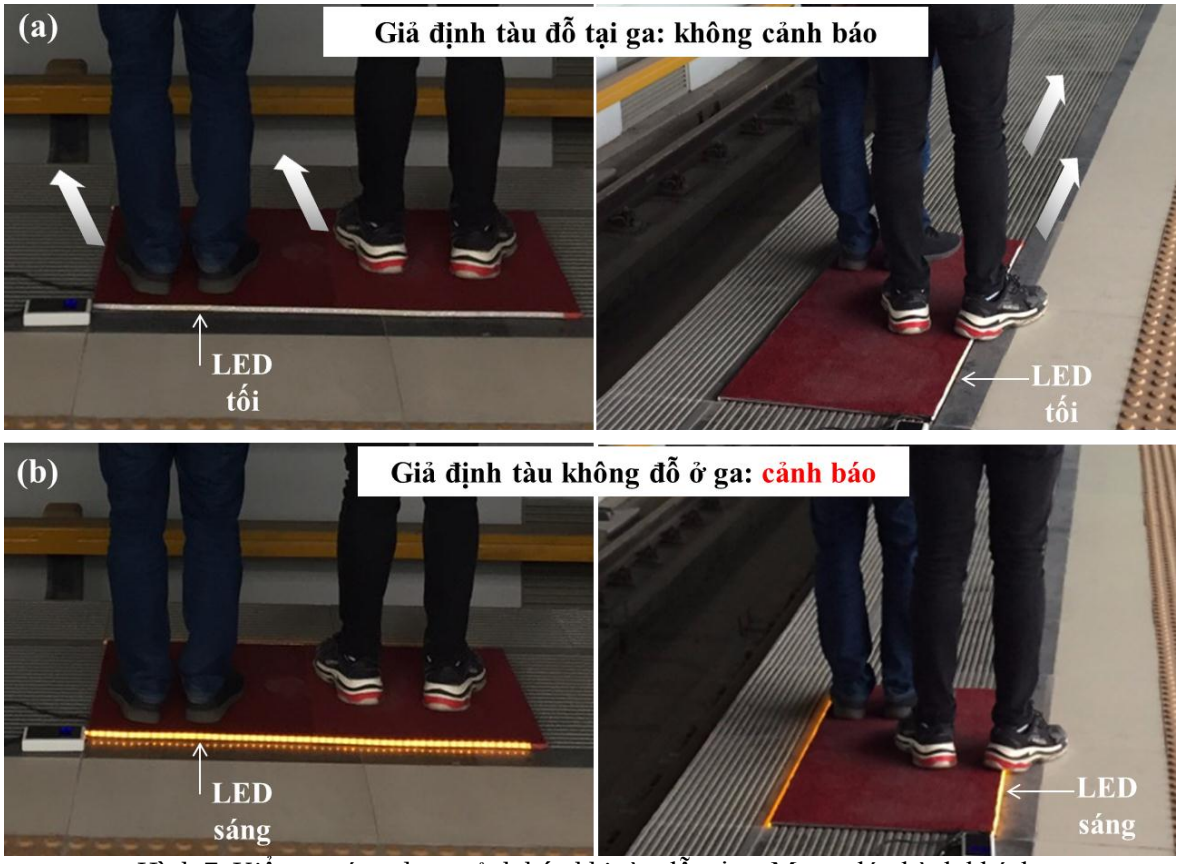
Trong trường hợp này, hành khách đứng đợi trong khu vực trước vạch an toàn sẽ không có cảnh báo (hình 6a), nhưng khi hành khách di chuyển vào khu vực nguy hiểm và chạm vào thảm cảm biến dẫn tới mức giá trị điện trở đầu ra cảm biến giảm đột ngột, thiết bị lập tức phát sinh cảnh báo bằng âm thanh qua loa buzzer và ánh sáng qua LED dây (hình 6b). Nhận thấy mình vượt quá vạch từ tín hiệu cảnh báo, hành khách sẽ di chuyển lại khu vực an toàn, đèn LED dây và loa cảnh báo ngắt ngay lập tức (hình 6c), báo hiệu hành khách đã ở khu vực an toàn.



Hình 6. Kiểm tra ứng dụng cảnh báo khi hành khách trưởng thành có trọng lượng ~ 65 kg đợi tàu.

- **Thử nghiệm trường hợp 2:** ***Tàu đỗ tại ga để đón hành khách, tức là từ 90-120 s***

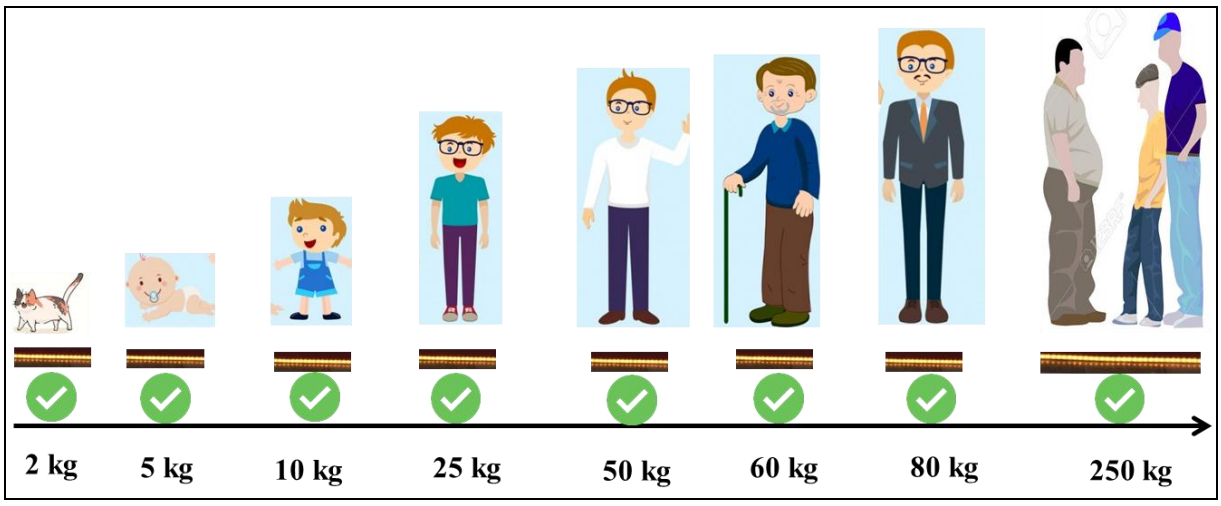
Khi tàu đỗ tại ga để đón khách, hành khách được phép di chuyển tự do qua vạch an toàn tiến đến các cửa và lên tàu, khi đó cần tắt cảnh báo. Hình 7a là kết quả thử nghiệm cho trường hợp này. Có thể thấy rằng, giả định khi tàu đỗ tại ga trong thời gian 20 s, dù hướng di chuyển là về cửa gần với vị trí đứng (hình 7a-trái), hay ngẫu nhiên tiến đến hướng khác để lên tàu (hình 7a-phải), hành khách đều được tự do di chuyển, thiết bị đều không đưa ra bất kỳ cảnh báo nào trong khoảng 20 s này (tình huống hình dưới 7b là hành khách đứng tại vị trí hay hướng tương tự nhưng là khi tàu đang tới hoặc đi ra khỏi ga, thiết bị sẽ phát ra cảnh báo ngay lập tức).



Hình 7. Kiểm tra ứng dụng cảnh báo khi tàu đỗ tại ga Metro đón hành khách.

- **Thử nghiệm trường hợp 3: lứa tuổi/nhóm hành khách khách khác nhau đợi tàu**

Thực tế khai thác tại các quốc gia đi trước cho thấy, đối tượng tham gia giao thông metro đa dạng từ vật nuôi mang theo, trẻ nhỏ đi cùng bố mẹ, đến người học sinh, sinh viên, trung niên, người già, thậm chí nhóm người tại khu vực nhỏ trong giờ cao điểm. Các đối tượng này có thể trạng khác nhau nên gây ra các giá trị áp lực lên thảm cũng sẽ khác nhau. Nhóm đã tiến hành thêm các thí nghiệm với các trường hợp này và tổng hợp ở hình 8. Nhờ dải đo rộng của cảm biến (bảng 1), module thiết bị có thể nhận và cảnh báo ngay từ vật nuôi nhỏ khoảng 2 kg đến nhóm 3 người với trọng lượng lên đến 250 kg.



Hình 8. Kiểm tra ứng dụng cảnh báo lấn làn với các đối tượng tham gia giao thông khác nhau.

- **Thử nghiệm trường hợp 4: Tốc độ di chuyển trên sàn khi đợi tàu**

Bên cạnh các yếu tố trên, khả năng đáp ứng của thiết bị với tốc độ di chuyển của hành khách tại nhà ga cũng là một yếu tố cần xác định. Thí nghiệm được thực hiện thông qua việc để hành khách trưởng thành (~ 65 kg) di chuyển qua thảm trên sân ga với tốc độ khác nhau. Kết quả được thống kế tại bảng 4 cho thấy là thiết bị có thể cảnh báo chính xác các trường hợp từ đi bộ thường, đi bộ nhanh, chạy bộ chậm, đến chạy bộ nhanh. Có thể thấy rằng nhờ vào thời gian đáp ứng tương đối nhanh (~100 µs, bảng 1) của cảm biến, thiết bị kịp thời đưa ra cảnh báo ngay cả khi hành khách chạy bộ nhanh khoảng 20 km/h.

Bảng 4. Tổng hợp khả năng cảnh báo khi hành khách di chuyển với tốc độ khác nhau.

STT	Hình thức di chuyển	Tốc độ	Cảnh báo được
1	Đi bộ thường	~ (1-3) km/h	✅
2	Đi bộ nhanh	~ (4-7) km/h	✅
3	Chạy bộ chậm	~ (8-10) km/h	✅
4	Chạy bộ nhanh	~ (15-20) km/h	✅

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày nghiên cứu về thảm điện tử mềm tự động cảnh báo hành khách vượt quá vạch an toàn cho nhà ga tại metro Hà Nội. Kết quả chế tạo và thử nghiệm thành công tại Ga Cát Linh trên tuyến metro 2A Cát Linh-Hà Đông cho thấy:

- Cấu tạo thiết bị đơn giản từ cảm biến đến mạch xử lý, được chế tạo với giá thành thấp và chủ động hoàn toàn tại Trường Đại học Giao thông vận tải.
- Module cảm biến rất mỏng và dễ dàng đặt trên khu vực cần cảnh báo mà không ảnh hưởng đến kết cấu xây dựng hiện tại hay tính thẩm mỹ của nhà ga Metro. Ngoài ra, nhờ tính mềm dẻo, thảm cảm biến có thể tùy biến để dễ dàng được đặt vào các khu vực có địa hình bất kỳ, nhất là các góc chết tại ga nơi camera không thể quan sát.
- Module cảm biến giống như viên gạch lát nền, có thể dễ ràng ghép với nhau để bao phủ toàn bộ khu vực cần cảnh báo theo chiều dọc sân ga.
- Cho phép linh động thay đổi giao thức cảnh báo theo biểu đồ chạy tàu của mỗi tuyến nhất định thông qua nạp chương trình điều khiển cho chip nhúng mà không phải thay mới phần cứng.
- Bên cạnh việc sử dụng độc lập, thông qua việc bổ sung module truyền thông và chương trình điều khiển tương ứng, thảm cảnh báo còn có thể kết nối hỗ trợ hệ thống điều khiển trung tâm sử dụng công nghệ CBTC của tuyến Cát Linh-Hà Đông nhằm tăng cường thông tin để điều khiển quá trình dừng tàu đột ngột, góp phần đảm bảo an toàn tuyệt đối cho hành khách khi sử dụng metro.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ một phần bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số B2019-GHA-03. Tác giả và nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn GS.TS. Phạm Văn Ký, Bộ môn Đường sắt, Trường Đại học Giao thông Vận tải và Ban Quản lý Đường sắt đô thị Hà Nội-Tuyến 2A Cát Linh-Hà Đông đã góp ý và tạo điều kiện thực hiện các thử nghiệm tại Ga Cát Linh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. https://hanoimetro.net.vn/metro-userguide/huong-dan-su-dung-he-thong-metro/
truy cập ngày 186 tháng 2 năm 2020
[2]. https://www.ctvnews.ca/world/california-transit-worker-rescues-man-from-oncoming-train-1.4669709.
truy cập ngày 18 tháng 2 năm 2020
[3]. https://www.indiatoday.in/trending-news/story/man-flashes-woman-on-yellow-line-of-delhi-metro-twitter-thread-goes-viral-1646121-2020-02-13
truy cập ngày 18 tháng 2 năm 2020
[4]. https://edition.cnn.com/videos/world/2019/10/18/moment-a-woman-falls-onto-subway-tracks-in-buenos-aires-lc-orig.cnn,
truy cập ngày 18 tháng 2 năm 2020
[5]. M. Kyriakidis, R.C. A. Hirsch, A. Majumdar, A global safety analysis and best practice for metro railways, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, 166 (2013) 362-374. https://doi.org/10.1680/tran.11.00005
[6]. Y. Xing et al., An analysis of escalator-related injuries in metro stations in China, 2013–2015, Accident Analysis & Prevention, 122 (2019) 332-341. https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.10.007
[7]. M. Kyriakidis, R. Hirsch, A. Majumdar, Metro railway safety: An analysis of accident precursors, Safety Science, 50 (2012) 1535–1548. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.03.004
[8]. Y. Park, 3D vision-based security monitoring for railroad stations, Journal of the Optical Society of Korea, 14 (2010) 451-457. https://doi.org/10.3807/JOSK.2010.14.4.451
[9]. B. Delgado, K. Tahboub, E. J. Delp, Automatic detection of abnormal human events on train platforms, IEEE National Aerospace and Electronics Conference, Dayton, OH, USA, 24-27 June 2014. http://doi.org/10.1109/NAECON.2014.7045797
[10].B. Delgado, K. Tahboub, E.J. Delp, Automatic detection of abnormal human events on train platforms, IEEE National Aerospace and Electronics Conference, Dayton, OH, USA, 169–73, 2014. https://doi.org/10.1109/NAECON.2014.7045797
[11].S. Oh, S. Park, C. Lee, A platform surveillance monitoring system using image processing for passenger safety in railway station, International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, South Korea, 394, 2007.
[12].A. Catalano et al., An optical fiber intrusion detection system for railway security, Sensors and Actuators A, 253 (2017) 91–100. https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.11.026
[13].A. Catalano et al., An intrusion detection system for the protection of railway assets using fiber Bragg grating sensors, Sensors, 14 (2014) 18268-18285. https://doi.org/10.3390/s141018268
[14].Q. Nan et al., A novel monitoring approach for train tracking and incursion detection in underground structures based on ultra-weak FBG sensing array, Sensors, 19 (2019) 2666. https://doi.org/10.3390/s19122666