

Thiết kế hệ thống theo dõi và phát hiện bất thường cho cầu đường bộ dựa trên trí tuệ nhân tạo

■ PGS. TS. ĐẶNG XUÂN KIÊN; PGS. TS. ĐỒNG VĂN HƯƠNG

Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh

■ THS. HỒ LÊ ANH HOÀNG

Trường Đại học Văn Hiến

TÓM TẮT: Gần đây, những tiến bộ trong công nghệ cảm biến, mô hình truyền thông dữ liệu và các thuật toán xử lý dữ liệu đã thúc đẩy các nghiên cứu về giám sát sức khỏe cấu trúc, phát hiện bất thường, giám sát lưu lượng và các triển khai khác của hệ thống giám sát cầu đường bộ. Bài báo đề xuất phương pháp thiết kế hệ thống theo dõi và phát hiện bất thường cho cầu đường bộ kết hợp công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI) và Internet vạn vật (IoT). Máy tính nhúng Raspberry Pi 4 tích hợp công nghệ IoT và AI với mạng nơ-ron tích chập (CNN) được sử dụng để đồng thời giám sát các cây cầu từ xa trên website và app thông qua cơ sở dữ liệu đám mây Google Firebase. Bước đầu thử nghiệm thành công tại phòng thí nghiệm cho thấy hệ thống có khả năng làm việc ổn định và đáp ứng mục tiêu đã đề xuất.

TỪ KHÓA: Cầu đường bộ, phát hiện bất thường, trí tuệ nhân tạo, truyền thông dữ liệu.

ABSTRACT: Recently, advances in sensor technologies, data communication paradigms, and data processing algorithms all affect the feasibilities of the Bridges structural health monitoring and deterioration detection, traffic monitoring, and other implementations of monitoring operations. The paper proposes a method to design an irregularity detection and monitoring system for road bridges that combines Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligent (AI) technologies. Raspberry Pi 4 embedded computer integrating IoT and AI technology with convolutional neural network (CNN) is employed to simultaneously monitor remote bridges on websites and apps via Google Firebase cloud database. The first step of successful testing in the laboratory showed that the system can work stably and coincide with the proposed goals.

KEYWORDS: Bridges, deterioration detection, Artificial Intelligent, data communication paradigms.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cầu là một phần rất quan trọng trong cơ sở hạ tầng giao thông, chúng rất tốn kém để xây dựng và bảo trì, có nhiều yếu tố dẫn đến sự xuống cấp của cầu. Đã có những

sự cố sập cầu trong và ngoài nước dẫn đến những hậu quả nghiêm trọng về tính mạng và tổn kinh phí. Điều đó dẫn tới, ngoài việc xây dựng cầu mới thì quan trọng phải có một hệ thống quan trắc cầu theo dõi tình trạng của những cây cầu này và đưa ra cảnh báo khi có sự cố để việc bảo trì cầu là cần thiết. Những tiến bộ trong công nghệ AI và IoT đã mang lại hệ thống giám sát và cảnh báo cầu, các công trình theo thời gian thực tự động [1-3]. Tại Việt Nam có rất nhiều cây cầu lớn đã ứng dụng hệ thống quan trắc như cầu Cần Thơ, Bãi Cháy, Thuận Phước..., tuy nhiên giám sát tình trạng cầu nhưng chưa liên kết giám sát tất cả các cầu tại một nơi [4]. Tại Hàn Quốc và Nhật Bản, nhiều cây cầu nhịp dài đã ứng dụng hệ thống quan trắc vào giám sát tình trạng cầu, tuy nhiên hệ thống hiện tại sử dụng phức tạp. Trong công trình này, chúng tôi thiết kế hệ thống giám sát thông số và cảnh báo cầu đường bộ trên nhiều cầu tại cùng một thời điểm, mỗi cầu được coi như một nút quan trắc, mỗi nút quan trắc này sẽ có cấu hình cũng như trang thiết bị khác nhau tùy vào loại cầu, dữ liệu tại các nút được đóng gói và truyền dẫn, lưu trữ bằng điện toán đám mây để theo dõi tình trạng và đưa ra cảnh báo ở tất cả các cầu thông qua công nghệ không dây ứng dụng quản lý, khai thác hệ thống quan trắc hiện nay và kết nối giữa các hệ thống quan trắc trên địa bàn rộng. Các cảm biến và camera được cài đặt trên các bộ phận khác nhau của cầu để giám sát tình trạng cầu và giao thông trên cầu. Tại bất kỳ thời điểm nào, nếu bất kỳ thông số nào trong số này vượt qua ngưỡng giá trị của hệ thống thì đưa ra cảnh báo cho trung tâm quản lý một báo động cho thực hiện các biện pháp phòng ngừa. Hệ thống sử dụng mạng nơ-ron tích chập (CNNs) [2,5] nhận dạng hình ảnh từ camera để dự đoán số xe trên cầu và ứng dụng công nghệ IoT [1,6] để giám sát trên website hay app từ xa các cầu sử dụng cơ sở điện toán đám mây Google Firebase [7] giúp trung tâm quản lý giám sát nhiều cầu cùng một thời điểm thông qua Internet trong các điều kiện và chất lượng mạng khác nhau nhằm đảm bảo trung tâm thu thập dữ liệu không bị gián đoạn thông tin tại bất kỳ thời điểm nào, chất lượng thông tin luôn đảm bảo.

2. HỆ THỐNG GIÁM SÁT THÔNG SỐ VÀ CẢNH BÁO CẦU ĐƯỜNG BỘ

Hệ thống giám sát thông số và cảnh báo cầu đường bộ tại các cầu trên địa bàn rộng sử dụng AI và IoT được thực nghiệm trên hệ thống tổng thể với hai nút quan trắc tại hai cầu đặt ở hai vị trí khác nhau như Hình 2.1.

Sau đó, ảnh được đưa vào mạng SSD với mỗi ảnh có 8732 default box, sau đó lấy ảnh ra có độ tự tin 200 bounding box trong số 8732. Tiếp theo dùng thuật toán Fast Non Maximum Suppression (Fast NMS) lấy ra bounding box có độ tự tin cao còn thấp thì loại bỏ. Sau đó, dùng ngưỡng lấy ra các thông tin cần thiết của bức ảnh như Hình 3.2.

Việc dự báo các đối tượng được thực hiện ở các khung hình đầu ra của mạng SSD. Hàm loss là tổng trọng số của localization loss (loc) và confidence loss (conf) [9] bởi phương trình (1) như sau:

$$L(x, c, l, g) = \frac{1}{N} (L_{conf}(x, c) + \alpha L_{loc}(x, l, g)) \quad (1)$$

Trong đó: N - Số lượng các default boxes matching với ground truth boxes.

Với localization loss là một hàm Smooth L1 đo lường sai số giữa tham số của box dự báo (predicted box) (l) và ground truth box (g) [2,9] như sau:

$$L_{loc}(x, l, g) = \sum_{i \in Pos} \sum_{m \in \{x, y, w, h\}} x_{ij}^k L_1^{smooth} * (l_i^m - g_j^m) \quad (2)$$

Trong đó:

$$L_{conf}(x, c) = - \sum_{i \in Pos} x_{ij}^p \log(\hat{c}_i^p) - \sum_{i \in Neg} \log(\hat{c}_i^0) \quad (3)$$

Việc dự báo nhãn với hàm softmax có dạng:

$$-\sum_{i \in Pos} x_{ij}^p \log(\hat{c}_i^p)$$

Các default boundary box được lựa chọn thông qua aspect ratio và scales. SSD sẽ xác định một tỷ lệ tương ứng với mỗi một bản đồ đặc trưng trong Extra Feature Layers.

Conv4_3 phát hiện các đối tượng tại các tỷ lệ nhỏ nhất là $s_{min} = 0,2$ và sau đó gia tăng tuyến tính để lớp cuối cùng ở phía bên phải có tỷ lệ là $s_{max} = 0,9$ theo phương trình (4) [2]:

$$s_k = s_{min} + \frac{s_{max} - s_{min}}{m - 1} * (k - 1), k \in [1, m] \quad (4)$$

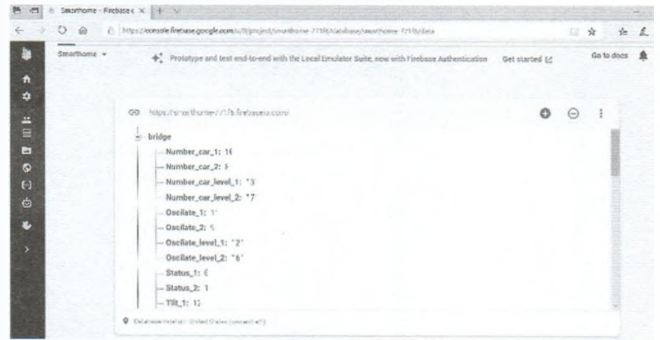
Với k là số thứ tự của lớp, chúng tôi cài đặt thông số như sau: (là 0,1, 0,2, 0,375, 0,55, 0,725, 0,9 tương ứng với 30, 60, 112,5, 165, 217.5, 270 và hình ảnh đầu vào có kích thước (300x300)).



Hình 3.3: Dữ liệu hình ảnh đầu vào

Huấn luyện API phát hiện đối tượng Tensorflow với dữ liệu đầu vào 748 ảnh để huấn luyện và 187 ảnh để thử nghiệm như Hình 3.3. Việc huấn luyện mô hình chúng tôi sử dụng GPU của Google Colab [10].

3.2. Ứng dụng IoT để giám sát cầu từ xa



Hình 3.4: Các giá trị thời gian thực của cảm biến và đếm số xe được cập nhật trong Google Firebase

Cơ sở dữ liệu firebase được thiết kế và phát triển bởi Google. Thông tin được lưu trữ dưới dạng JavaScript Object Notation (JSON) trong cơ sở dữ liệu này [7]. Các giá trị trong cơ sở dữ liệu được cập nhật theo thời gian thực với thời gian trễ chỉ 1 giây. Trong công trình này, tất cả các dữ liệu cảm biến và camera được Raspberry Pi 4 xử lý sau đó gửi tín hiệu đến cơ sở dữ liệu Google Firebase như Hình 3.4. Sau đó, chúng tôi thiết kế một website và app để giám sát từ xa thông qua mạng Internet tại các cầu.

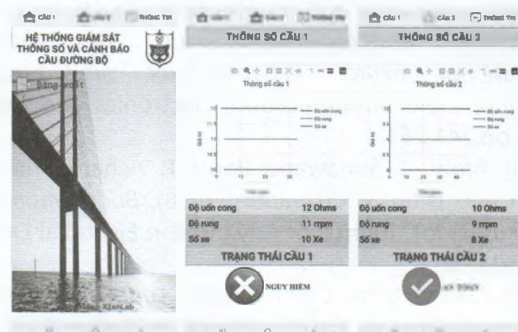
4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ NHẬN XÉT

Hệ thống giám sát thông số và cảnh báo cầu đường bộ được đặt ở hai cầu riêng biệt gồm Raspberry, cảm biến uốn xong, cảm biến rung, camera để giám sát số xe, còi cảnh báo và màn hình cảm ứng 7 inch để giám sát tại vị trí cầu.

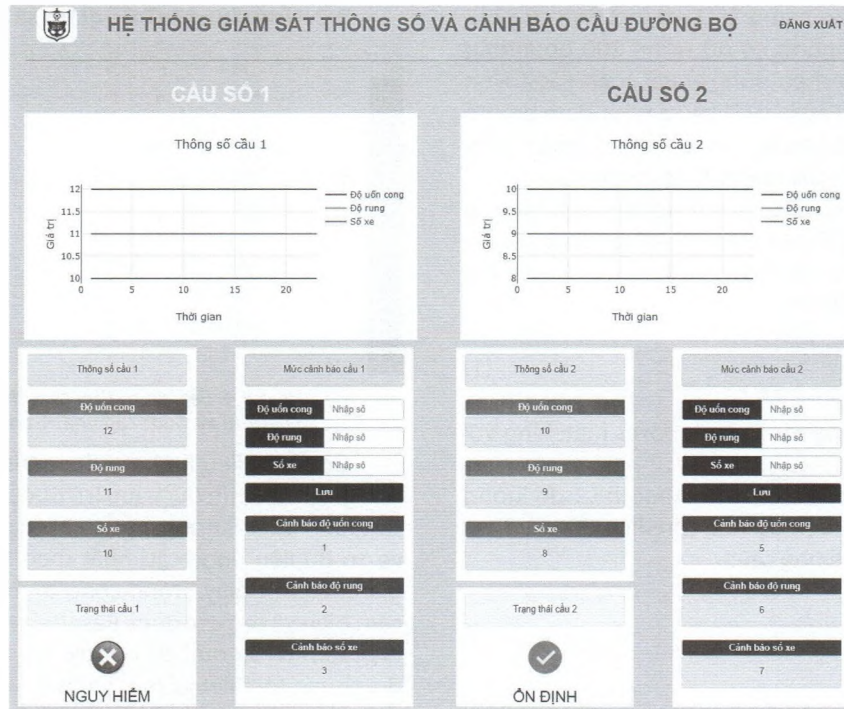
Khi tình trạng trên cầu ổn định thì còi không kêu, đồng thời hiển thị tình trạng cầu trên màn hình tại chỗ là ổn định. Ngược lại, nếu vượt qua ngưỡng cài đặt thì còi kêu, đồng thời hiển thị tình trạng cầu nguy hiểm như Hình 4.1. Tất cả các dữ liệu cảnh báo đều được giám sát từ website và app như Hình 4.2 và Hình 4.3 tình trạng của cầu thông qua cơ sở điện toán đám mây Google Firebase.



Hình 4.1: Hiển thị thông số trên màn hình



Hình 4.2: App điện thoại di động giám sát thông số và cảnh báo cầu đường bộ



Hình 4.3: Website giám sát thông số và cảnh báo cầu đường bộ

Kết quả thử nghiệm cho độ tin cậy cao khi sử dụng thuật toán CNN để nhận dạng xe và hệ thống IoT để giám sát từ xa tương đối ổn định trong thực nghiệm.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã ứng dụng công nghệ AI và IoT cho hệ thống giám sát thông số và cảnh báo cầu đường bộ trên nhiều cầu cùng một thời điểm cho kết quả tốt, đáp ứng tốt khi chạy trên phần cứng Raspberry Pi 4. Các tác giả đang thử nghiệm sản phẩm trong điều kiện môi trường và thời tiết thay đổi để kiểm chứng giải thuật đề xuất.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi Đề tài cấp Bộ GTVT, Mã số: DT 203038 (2020).

Tài liệu tham khảo

[1]. Snehal Sonawane, Nikita Bhadance, Sayali Zope, Ashitosh Pangavhane and V. S. Tidake (2018), *Design of bridge monitoring system based on IoT*, MVP Journal of Engineering Sciences, vol.1, pp.7-12.

[2]. Xuan-Kien Dang, Huynh-Nhu Truong, Viet-Chinh Nguyen and Thi-Duyen-Anh Pham (2021), *Applying convolutional neural networks for limited-memory application*, Telecommunication, Electronics and Control, vol.19, pp.244-251.

[3]. Arohi. D. Sonawane, Pooja. P. Vichare, Shubham. S. Patil and Nitin. P. Chavande (2018), *Bridge monitoring system using IoT*, Journal of Advances in Electrical Devices, vol.3, pp.1-3.

[4]. Lương Minh Chính (2014), *Long term structural health monitoring system for cable stayed bridge in Vietnam*, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật thủy lợi và Môi trường, tr.11-16.

[5]. Wentao Cheng, Ying Sun, Gongfa Li, Guozhang

Jiang and Honghai Liu (2018), *Jointly network: a network based on CNN and RBM for gesture recognition*, Neural Computing and Applications, vol.31, pp.309-323.

[6]. Salma, Rashidah Funke Olanrewaju and Morshidi Malik Arman (2018), *Smart parking guidance system using 360o camera and haar-cascade classifier on IoT system*, International Journal of Recent Technology and Engineering, vol.8, pp.864-872.

[7]. Divyesh Zanzmeriya and Ankita Panara (2018), *Implementation of industrial automation systems using Raspberry pi by IoT with Firebase*, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), vol.5, pp.1330-1334.

[8]. Pallavi patil, and Kalyani Bhole (2018), *Real time ECG on internet using Raspberry Pi*, International Conference on Communication Computing and Internet of Things (IC3IoT), pp.267-270.

[9]. Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu and Alexander C. Berg (2016), *SSD: Single shot multiBox detector*, European Conference on Computer Vision, pp.21-37.

[10]. Teddy Surya Gunawan, Arselan Ashraf, Bob Subhan Riza, Edy Victor Haryanto, Rika Rosnelly, Mira Kartiwi and Zuriati Janin (2020), *Development of video-based emotion recognition using deep learning with Google Colab* TELKOMNIKA Telecommunication, Electronics and Control, vol.18, pp.2463-2471.

Ngày nhận bài: 18/4/2021

Ngày chấp nhận đăng: 07/5/2021

**Người phản biện: PGS. TS. Võ Công Phương
TS. Cổ Tấn Anh Vũ**