

DROWSINESS DETECTION SYSTEM APPLIED ON CAR

Nguyen Vu Hai[†], Vu Quang Huy, Ha Van Ninh, Tran Quang Quy, Ngo Huy Huy^{*†}

TNU – University of Information and Communication Technology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	09/3/2023	Drowsy driving often causes serious accidents, affecting both people and economic assets. With the aim of enhancing safe driving experience, reducing traffic accidents and minimizing life loss, the driver monitoring and drowsiness warning system has been attracting a lot of research and promising results. However, current methods often require high-performance hardware and complex computations. Therefore, this study presents an effective and simple drowsiness warning system applied to cars. The system consists of a compact Raspberry Pi embedded computer, a camera placed in front of the driver's position, and a warning speaker. Frames captured from the camera will be analyzed to detect driver's drowsiness and issue timely warning to the driver. In addition, the system's data will be sent and stored on the server, which can be accessed through both mobile app and website platforms. Experimental results show the effectiveness of the proposed model.
Revised:	11/4/2023	
Published:	13/4/2023	
KEYWORDS		
Artificial intelligence		
Deep learning		
Drowsiness detection		
IoT		
Raspberry Pi		

HỆ THỐNG CẢNH BÁO NGỦ GẬT ỨNG DỤNG TRÊN Ô TÔ

Nguyễn Vũ Hải[†], Vũ Quang Huy, Hà Văn Ninh, Trần Quang Quý, Ngô Hữu Huy^{*†}

Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	09/3/2023	Người lái xe ngủ gật khi lái thường gây ra các vụ tai nạn nghiêm trọng, ảnh hưởng đến người cũng như tài sản kinh tế. Với mục tiêu nâng cao trải nghiệm lái xe an toàn, giảm thiểu số vụ tai nạn giao thông và hạn chế thiệt hại về tính mạng, hệ thống giám sát người lái và cảnh báo ngủ gật đang thu hút nhiều nghiên cứu và đầy hứa hẹn. Tuy nhiên, những phương pháp hiện tại thường yêu cầu về phần cứng phải có hiệu năng cao và việc tính toán phức tạp. Do đó, nghiên cứu này trình bày hệ thống cảnh báo ngủ gật ứng dụng trên ô tô hiệu quả và đơn giản. Hệ thống này gồm một máy tính nhúng Raspberry Pi nhỏ gọn, một camera đặt trước mặt vị trí người lái xe và loa cảnh báo. Các khung hình được tách từ camera sẽ được phân tích xem tài xế có ngủ gật hay không từ đó phát ra cảnh báo sớm cho tài xế. Ngoài ra, các dữ liệu của hệ thống sẽ được gửi và lưu trữ tại server. Người dùng có thể tra cứu trên 2 nền tảng ứng dụng là nền tảng thiết bị di động và website. Các kết quả thực nghiệm cho thấy tính hiệu quả của mô hình này.
Ngày hoàn thiện:	11/4/2023	
Ngày đăng:	13/4/2023	
TỪ KHÓA		
Trí tuệ nhân tạo		
Học sâu		
Phát hiện ngủ gật		
IoT		
Raspberry Pi		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7498>

* Corresponding author. Email: nh Huy@ictu.edu.vn

[†] These authors contributed equally to this work as first authors.

1. Giới thiệu

Người lái xe ngủ gật khi lái thường gây ra các vụ tai nạn nghiêm trọng, ảnh hưởng đến người cũng như tài sản kinh tế. Trong các cuộc thăm dò do Tổ chức Giấc ngủ Quốc gia và các tổ chức khác thực hiện, khoảng 60% tài xế thừa nhận lái xe trong khi cảm thấy buồn ngủ, khoảng 40% đã gật đầu hoặc ngủ thiếp đi khi lái xe trong năm trước và khoảng một phần tư báo cáo lái xe buồn ngủ ít nhất một lần mỗi tháng. Trong số thanh thiếu niên, 50 đến 70 phần trăm thừa nhận lái xe buồn ngủ trong năm qua và 15 phần trăm báo cáo làm như vậy ít nhất một lần mỗi tuần. Buồn ngủ tự báo cáo trong khi lái xe có liên quan đến sự gia tăng 2,5 lần nguy cơ tai nạn xe cơ giới tương đối. Lái xe buồn ngủ chiếm khoảng một trong sáu căn nguyên tai nạn nghiêm trọng và một trong tám căn nguyên tai nạn dẫn đến nhập viện tài xế hoặc hành khách. Tỷ lệ phần trăm cao này phù hợp với việc quan sát các vụ tai nạn lái xe buồn ngủ xảy ra ở tốc độ cao, mà không có các thao tác tránh né như phanh hoặc chuyển hướng, có thể giảm thiểu mức độ nghiêm trọng của tai nạn [1]. Hình 1 thể hiện số liệu thống kê về tình trạng mệt mỏi, buồn ngủ khi lái xe [2].



Hình 1. Số liệu thống kê về tình trạng mệt mỏi, buồn ngủ khi lái xe [2]

Với mục tiêu nâng cao trải nghiệm lái xe an toàn, giảm thiểu số vụ tai nạn giao thông và hạn chế thiệt hại về tính mạng, hệ thống giám sát người lái và hành khách (Driver and Occupants Monitoring System - DMS) được VinAI phát triển với các giải pháp thông minh trong khoang xe. Hệ thống giám sát người lái được thiết kế bao gồm camera hồng ngoại, chip xử lý hỗ trợ trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI) và loa phát âm thanh cảnh báo người lái. VinAI ứng dụng các kết quả nghiên cứu về thị giác máy tính và học máy, tích hợp vào trong sản phẩm hệ thống giám sát người lái. Bên cạnh đó, hệ thống này kết hợp công nghệ theo dõi tư thế đầu, nhận diện trạng thái đóng mở mắt và dấu hiệu trên gương mặt để cho ra kết quả xử lý AI với độ chính xác cao và tốc độ xử lý theo thời gian thực [3].

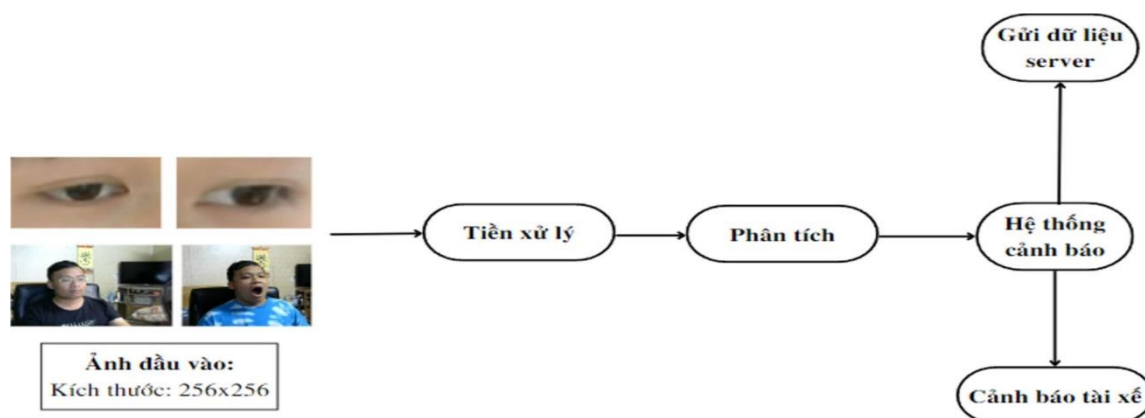
Hiện nay, mạng nơ-ron sâu (Deep neural networks) đang được nghiên cứu tích cực và các mô hình học sâu đã được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực thị giác máy tính. Học sâu có những lợi thế đáng kể so với phân loại đối tượng truyền thống. Do đó, công nghệ AI trên ô tô được ứng dụng và phát triển tích cực, đầy hứa hẹn và thu hút rất nhiều nghiên cứu [4] – [9]. Nhóm tác giả Magán [6] đã đề xuất một phương pháp để phát hiện lái xe ngủ gật. Phương pháp này sử dụng các chuỗi hình ảnh dài 60 giây và được ghi lại hình ảnh khuôn mặt. Để phát hiện xem người lái xe có biểu hiện buồn ngủ hay không, phương pháp này kết hợp hai giải pháp thay thế để phát triển, tập trung vào việc giảm thiểu các kết quả dương tính giả. Phương án đầu tiên sử dụng mạng nơ-ron hồi quy và tích chập, trong khi phương án thứ hai sử dụng các kỹ thuật học sâu để trích xuất các đặc trưng số từ hình ảnh, sau đó được đưa vào hệ thống dựa trên logic mờ. Nhóm tác giả Alshaqraqi [7] đã đề xuất một mô-đun cho hệ thống hỗ trợ người lái tiên tiến. Hệ thống này xử lý tính năng phát hiện buồn ngủ tự động của người lái xe dựa trên thông tin hình ảnh và trí tuệ nhân tạo. Các

tác giả đã đề xuất một thuật toán để xác định vị trí, theo dõi và phân tích cả khuôn mặt và mắt của người lái xe để đo PERCLOS - một biện pháp được khoa học chứng minh là buồn ngủ liên quan đến việc nhắm mắt chậm. Nhóm tác giả Alioua [4] đã đề xuất một hệ thống hiệu quả và không xâm nhập để theo dõi sự mệt mỏi của người lái xe bằng cách sử dụng trích xuất ngáp. Sơ đồ được đề xuất sử dụng máy vector hỗ trợ (SVM) dựa trên trích xuất khuôn mặt và một phương pháp mới để phát hiện miệng được áp dụng trên các vùng được trích xuất. Tuy nhiên, những phương pháp này thường yêu cầu về phần cứng phải có hiệu năng cao và việc tính toán phức tạp.

Do đó, nghiên cứu này trình bày hệ thống cảnh báo ngủ gật ứng dụng trên ô tô hiệu quả và đơn giản. Hệ thống này gồm một máy tính nhúng Raspberry Pi nhỏ gọn, một camera đặt trước mặt vị trí người lái xe và loa cảnh báo. Các khung hình được tách từ camera sẽ được phân tích xem tài xế có ngủ gật hay không từ đó phát ra cảnh báo sớm cho tài xế. Nội dung còn lại của bài báo này sẽ được bố cục như sau: Mục 2 mô tả chi tiết về hệ thống cảnh báo ngủ gật. Mục 3 trình bày các kết quả thực nghiệm. Cuối cùng, Mục 4 là phần kết luận và định hướng phát triển nghiên cứu.

2. Mô hình hệ thống cảnh báo ngủ gật

2.1. Cấu trúc hệ thống



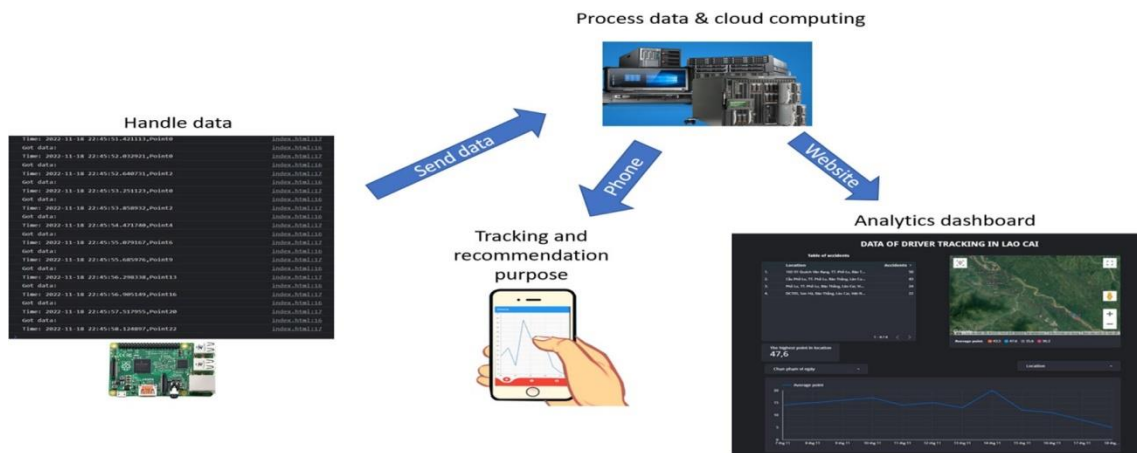
Hình 2. Tổng quan về mô hình hệ thống cảnh báo ngủ gật

Tổng quan của mô hình hệ thống cảnh báo ngủ gật đề xuất được thể hiện như trong Hình 2. Dữ liệu đầu vào là các video giám sát người lái xe được thu thập từ camera đặt trước vị trí người lái. Đầu tiên, chúng tôi thực hiện trích xuất các khung ảnh liên tiếp từ video đầu vào để thực hiện phân tích trên các khung ảnh đó. Các khung ảnh này sau đó được tiền xử lý, như chuyển sang ảnh đa mức xám và làm mịn ảnh, xác định vị trí khuôn mặt, xác định vị trí mắt và miệng trên khuôn mặt. Tiếp theo, trích chọn đặc trưng ở mỗi khung ảnh. Một mô hình mạng nơ-ron tích chập (Convolutional Neural Networks - CNN) được đề xuất để thực hiện việc phân tích này. Kết quả là xác định được trạng thái của người lái xe. Cuối cùng, khi phát hiện trạng thái ngủ gật của lái xe thì hệ thống sẽ thực hiện cảnh báo bằng loa. Ngoài ra, các dữ liệu của hệ thống sẽ được gửi và lưu trữ tại server. Người dùng có thể tra cứu trên 2 nền tảng ứng dụng là nền tảng thiết bị di động và website (Hình 3).

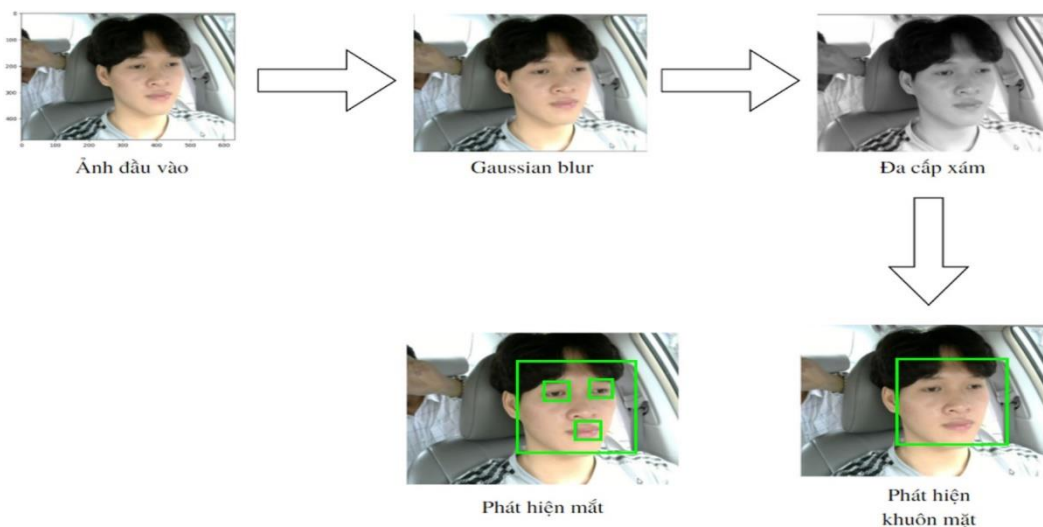
2.2. Tiền xử lý

Trong phần này, chúng tôi sẽ thực hiện tiền xử lý ảnh đầu vào. Hình 4 mô tả quy trình thực hiện tiền xử lý. Sau khi tách khung ảnh từ camera, chúng tôi thực hiện lọc nhiễu bằng bộ lọc Gaussian. Tiếp theo, khung ảnh này sẽ được chuyển sang ảnh đa cấp xám. Thư viện OpenCV [10] được sử dụng để thực hiện việc tiền xử lý này. Cuối cùng, thuật toán Haar Cascade [11], [12] được sử dụng để phát hiện khuôn mặt và vị trí mắt, miệng. Thuật toán Haar cascade là một thuật toán phát hiện đối tượng trong hình ảnh. Thuật toán này được phát triển bởi nhóm nghiên

cứ Paul Viola và Michael Jones vào năm 2001. Thuật toán này được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng nhận diện khuôn mặt và đối tượng khác trên ảnh. Thuật toán Haar cascade hoạt động bằng cách xác định các đặc trưng (Features) đặc biệt trong hình ảnh bằng cách sử dụng bộ lọc Haar. Bộ lọc Haar được sử dụng để tính toán các giá trị đặc trưng của một vùng trong ảnh. Sau đó, một bộ phân loại được sử dụng để xác định xem đối tượng có tồn tại trong vùng đó hay không.



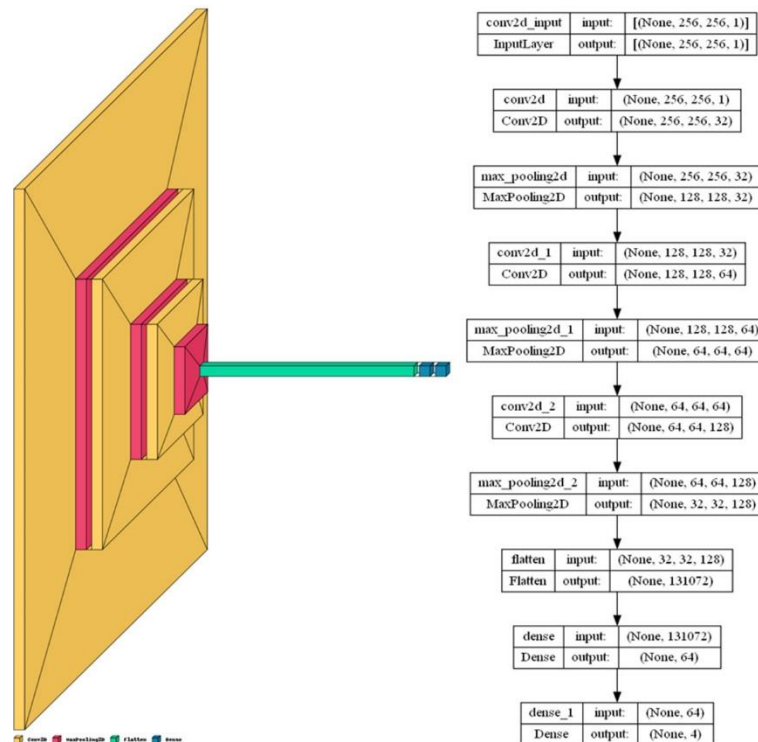
Hình 3. Mô hình luồng dữ liệu



Hình 4. Mô tả các bước tiền xử lý

2.3. Phân tích

Trong phần này, chúng tôi đề xuất một mô hình mạng CNN đơn giản để trích chọn đặc trưng trong ảnh và từ đó xác định được trạng thái của người lái xe. Một mạng CNN được cấu tạo bởi nhiều lớp, bao gồm lớp đầu vào, các lớp tích chập, lớp pooling, lớp kết nối đầy đủ và lớp đầu ra. Các lớp này thực hiện các phép tích chập (convolution), phép lấy mẫu (pooling) và phép kết nối đầy đủ (fully connected) để tạo ra một mô hình học máy có khả năng phân loại ảnh. Hình 5 thể hiện cấu trúc mô hình mạng CNN được đề xuất. Mô hình này gồm lớp đầu vào, 9 lớp ẩn và lớp đầu ra. Ảnh đầu vào sẽ được đưa về kích thước 256x256. Pha phân tích trải qua 9 lớp gồm 3 lớp tích chập, 3 lớp max pooling, 1 lớp phẳng và 2 lớp kết nối đầy đủ.



Hình 5. Mô hình CNNs đề xuất

2.4. Mô-đun cảnh báo

Nghiên cứu thông qua hành vi của tài xế bởi Maureen Short [13], chuyên gia về yếu tố con người và là kỹ sư an toàn của Chevrolet chỉ ra rằng: Dấu hiệu mệt mỏi trung bình sẽ diễn ra khi mỗi 10 giây tài xế sẽ nhắm mắt trong 1 giây. Dấu hiệu nhận biết khi mệt mỏi và sắp ngủ gật khi tài xế liên tục nhắm mắt từ 2-4 giây với tần suất cao. Vì vậy, chúng tôi có các ý tưởng về việc đưa ra cảnh báo nếu tài xế nhắm mắt với khoảng thời gian trên. Do đó, chúng tôi quy định cứ mỗi 0,25 giây mà tài xế nhắm mắt thì sẽ tăng lên 1 điểm ngủ gật, khi đạt 15 điểm sẽ phát ra cảnh báo. Ngược lại cứ mỗi 0,25 giây tài xế mở mắt thì điểm ngủ gật sẽ giảm đi 1 điểm. Điểm càng cao sẽ phát ra cảnh báo với âm lượng và tần số lớn hơn, sự cảnh báo sẽ không ngừng duy trì tới khi điểm nhỏ hơn 15 điểm. Chúng ta có thể thấy rằng, điểm ngủ gật này không cho phép tài xế có khả năng nhắm mắt quá lâu, hoặc nhắm mắt thời gian dài hơn bình thường với tần suất lớn. Tất cả các trường hợp tương tự sẽ thể hiện tài xế không đảm bảo an toàn lái xe. Tuy nhiên, ở một số trường hợp, như đặc thù về môi trường, độ sáng hay chất lượng đầu vào như camera sẽ ảnh hưởng đến chất lượng cảnh báo và số liệu.

3. Kết quả thực nghiệm

3.1. Kết quả huấn luyện mô hình

Thiết bị phần cứng: Chúng tôi huấn luyện mô hình mạng CNN trên máy tính có CPU core i5 3.10 GHz, hệ điều hành Windows 64 bit, RAM 16 GB, GPU (NVIDIA GeForce RTX 3050 Laptop GPU). Mô-đun triển khai trên ô tô bao gồm Raspberry Pi 4, Webcam Logitech C270 và loa. Ngoài ra còn hệ thống nguồn và các dây cáp kết nối như Hình 6. Raspberry Pi 4 sẽ thực hiện mô hình mạng CNN đã được huấn luyện để triển khai hệ thống.

Cơ sở dữ liệu huấn luyện: Cơ sở dữ liệu này được thu thập từ nguồn dữ liệu [14]. Cơ sở dữ liệu huấn luyện bao gồm 2.900 ảnh (Hình 7) thuộc 4 lớp đối tượng: mở mắt, nhắm mắt, ngáp và

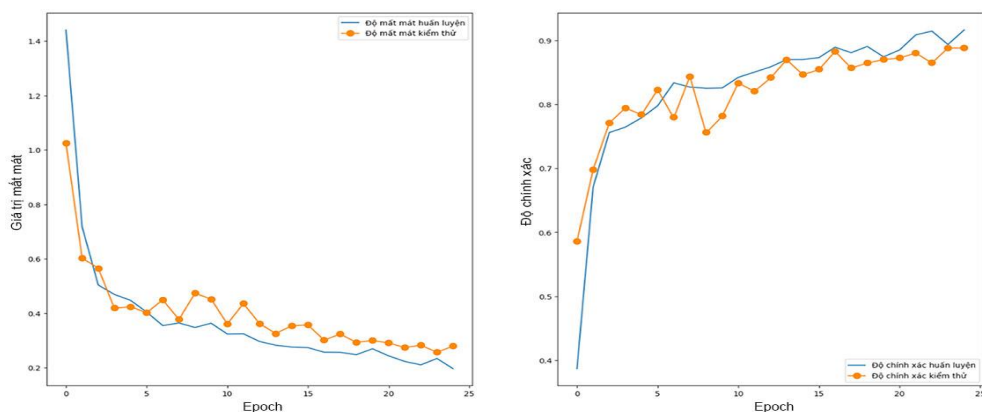
không ngập. Cơ sở dữ liệu này được chia làm 2 phần là tập dữ liệu huấn luyện (Training dataset) và tập dữ liệu kiểm thử (Testing dataset), với số lượng tương ứng là 2.467 ảnh và 433 ảnh.



Hình 6. Ví trí lắp đặt thiết bị trên ô tô



Hình 7. Hình ảnh minh họa dữ liệu huấn luyện trong cơ sở dữ liệu



Hình 8. Độ chính xác của mô hình trong quá trình huấn luyện

Sau khi thu thập được cơ sở dữ liệu, chúng tôi sẽ tiến hành huấn luyện mô hình mạng CNN. Nhiệm vụ này rất quan trọng vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng của hệ thống đề xuất. Hình 8 cho thấy độ chính xác của mô hình trong quá trình huấn luyện. Độ chính xác được cải thiện sau

mỗi epoch. Kết thúc epoch thứ 25, độ chính xác của mô hình đạt ở mức cao, tương ứng trên tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm thử là 0,916 và 0,888.

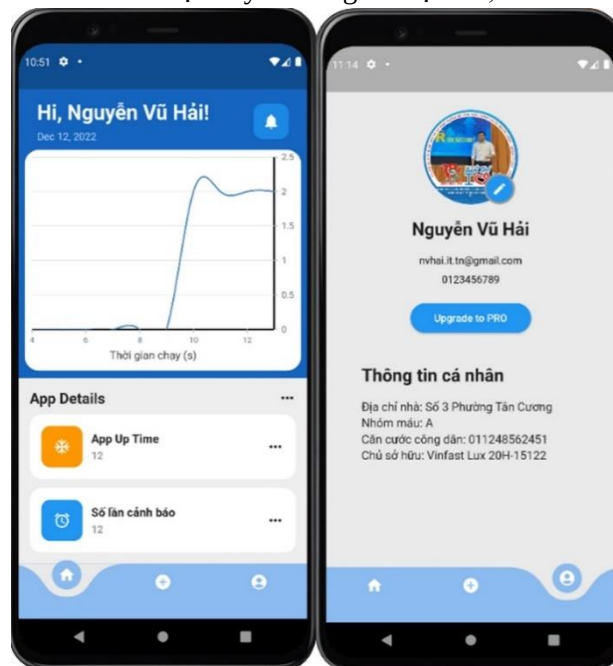
3.2. Đánh giá kết quả trong triển khai thực tế

Trong phần này, chúng tôi thực hiện đánh giá kết quả hoạt động của hệ thống trong thực tế. Hình 9 cho thấy kết quả phân loại các trạng thái chính xác và số điểm tương ứng. Hình 9(a) là hình ảnh lái xe mở mắt. Kết quả phân loại đúng là mở (Open) và số điểm tương ứng là 0. Do đó, trạng thái cảnh báo là tỉnh táo, tức là không có tiếng kêu cảnh báo. Hình 9(b) là hình ảnh mặt lái xe quay ngang. Kết quả phân loại chính xác là nhắm (Close) và số điểm tương ứng là 17. Vì vậy, trạng thái cảnh báo là mất tập trung và có tiếng kêu cảnh báo. Tương tự, Hình 9(c) là hình ảnh lái xe nhắm mắt. Kết quả phân loại đúng là nhắm (Close) và số điểm tương ứng là 19. Khi đó, trạng thái cảnh báo là không tỉnh táo và có tiếng kêu cảnh báo.



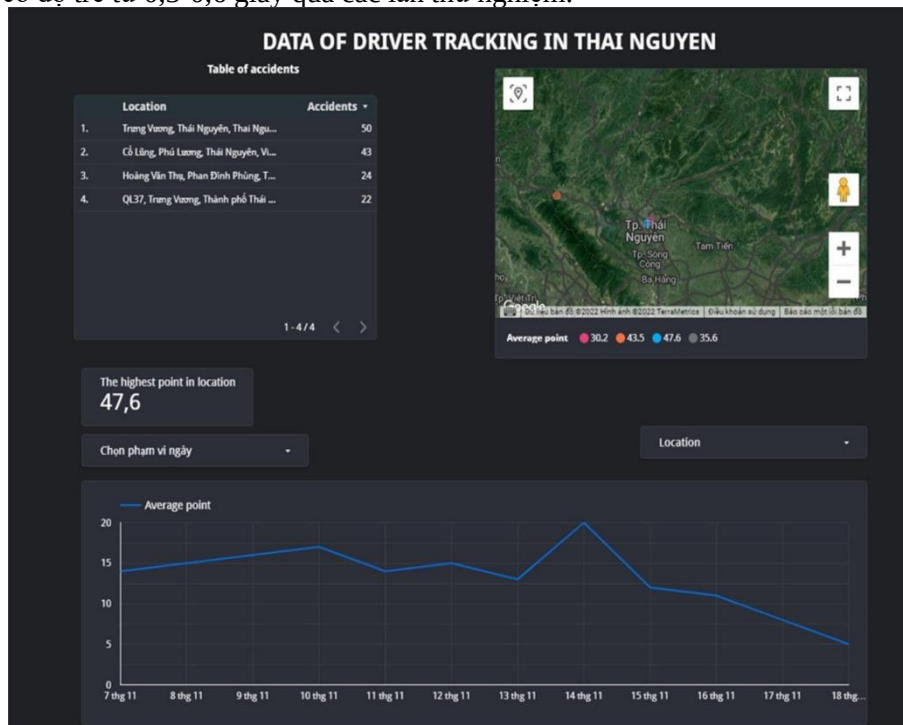
Hình 9. Minh họa các trạng thái cảnh báo và số điểm tương ứng

Như đã đề cập ở trên, chúng tôi đã xây dựng app điện thoại cho phép người dùng truy cập và quản lý dữ liệu một cách dễ dàng. App điện thoại sẽ được kết nối đến server, thực hiện nhiệm vụ nhận dữ liệu và trực quan hóa cho người dùng biết thông tin quá trình lái xe. Hình 10 thể hiện các điểm ngủ gật của tài xế theo thời gian thực và số lần cảnh báo trong ngày mà tài xế có dấu hiệu ngủ gật. Người dùng có thể xem số liệu này dễ dàng từ mọi nơi, khi có kết nối mạng.



Hình 10. App điện thoại

Quy trình hoạt động của hệ thống cảnh báo trên xe có thể hoạt động không cần mạng, chỉ khi tài xế có kết nối mạng thì dữ liệu sẽ được gửi về server. Bên cạnh nền tảng thiết bị di động, chúng tôi đã phát triển chương trình trên nền tảng website cho phép người dùng có thể xem lại các dữ liệu trực quan, như Hình 11. Người dùng có thể dễ dàng xem lại thông tin các tuyến đường di chuyển, vị trí địa lý và số điểm trung bình trên mỗi tuyến theo ngày. Sau quá trình kiểm thử về kết quả kết nối và xử lý dữ liệu thông qua websocket (Hình 12), dữ liệu có xu hướng gửi về server có độ trễ từ 0,3-0,6 giây qua các lần thử nghiệm.



Hình 11. Hình ảnh số liệu được gửi về xử lý server và trực quan trên nền tảng website

```

Time: 2022-11-18 22:45:51.421113,Point0      index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:52.032921,Point0      index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:52.640731,Point2      index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:53.251123,Point0      index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:53.858932,Point2      index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:54.471740,Point4      index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:55.079167,Point6      index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:55.685976,Point9      index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:56.298338,Point13     index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:56.905149,Point16     index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:57.517955,Point20     index.html:17
Got data:                                     index.html:16
Time: 2022-11-18 22:45:58.124897,Point22     index.html:17

```

Hình 12. Dữ liệu được gửi về server

4. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày hệ thống cảnh báo ngủ gật ứng dụng trên ô tô hiệu quả và đơn giản. Hệ thống này được phát triển trên máy tính nhúng Raspberry Pi nhỏ gọn. Chúng tôi đã xuất chọn mô hình mạng CNN để trích chọn đặc trưng khuôn mặt và từ đó xác định được trạng thái của người lái xe. Ngoài ra, chúng tôi đã phát triển chương trình trên 2 nền tảng ứng dụng là nền tảng thiết bị di động và website giúp người dùng có thể tra cứu dữ liệu dễ dàng và trực quan hóa dữ liệu. Bên cạnh đó, các kết quả thực nghiệm cho thấy tính hiệu quả của mô hình đề xuất. Trong thời gian tới, chúng tôi dự kiến tiếp tục cải tiến hệ thống cảnh báo để tốt hơn, như đánh giá và lựa chọn mô hình mạng CNN tiên tiến; thay thế thiết bị phần cứng Raspberry Pi bằng các thiết bị có hiệu suất cao hơn như NVIDIA Jetson. Các vị trí lắp đặt camera và phần cứng sẽ được tối ưu để người dùng có một không gian lái xe gọn nhẹ, không bị ảnh hưởng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] N. B. Nguyen, "Who Is at Risk of Falling Asleep While Driving?" 2012. [Online]. Available: <https://www.vinmec.com/vi/tin-tuc/thong-tin-suc-khoe/suc-khoe-tong-quat/nhung-doi-tuong-co-nguy-co-ngu-gat-khi-lai-xe/>. [Accessed Feb. 14, 2023].
- [2] LA, "Drowsiness, Potential Danger While Driving," 2019. [Online]. Available: <https://laodong.vn/xe/ngu-gat-hiem-hoa-tiem-an-khi-lai-xe-761219.laod>. [Accessed Feb. 14, 2023].
- [3] L. Pham, "VinAI announces new technology products and achievements at AI Day 2022," 2022. [Online]. Available: <https://vnmedia.vn/cong-nghe/202208/vinai-cong-bo-cac-san-pham-cong-nghe-va-thanh-tuu-moi-tai-ai-day-2022-baf1da8/>. [Accessed Feb. 14, 2023].
- [4] N. Alioua, A. Amine and M. Rziza, "Driver's Fatigue Detection Based on Yawning Extraction," *International Journal of Vehicular Technology*, vol. 2014, pp. 1–7, 2014.
- [5] A. Rahman, M. Sirshar and A. Khan, "Real Time Drowsiness Detection Using Eye Blink Monitoring," in *Proc. National Software Engineering Conference (NSEC)*, Rawalpindi, Pakistan, 2015, pp. 1–7.
- [6] E. Magán, M. P. Sesmero, J. M. Alonso-Weber, and A. Sanchis, "Driver Drowsiness Detection by Applying Deep Learning Techniques to Sequences of Images," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 3, pp. 1–25, 2022.
- [7] B. Alshaqqa, A. S. Baquhaizel, M. E. Amine Ouis, M. Boumehed, A. Ouamri, and M. Keche, "Driver Drowsiness Detection System," in *Proc. 8th International Workshop on Systems, Signal Processing and their Applications (WoSSPA)*, Algiers, Algeria, 2013, pp. 151–155.
- [8] M. Ramzan, H. U. Khan, S. M. Awan, A. Ismail, M. Ilyas, and A. Mahmood, "A Survey on State-of-the-Art Drowsiness Detection Techniques," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 61904–61919, 2019.
- [9] M. Ngxande, J.-R. Tapamo, and M. Burke, "Driver Drowsiness Detection Using Behavioral Measures and Machine Learning Techniques: A Review of State-of-Art Techniques," in *Proc. Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics (PRASA-RobMech)*, Bloemfontein, South Africa, 2017, pp. 156–161.
- [10] OpenCV. [Online]. Available: <https://opencv.org/>. [Accessed Oct. 15, 2022].
- [11] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *Proc. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Kauai, HI, USA, 2001, vol. 1, pp. 1–8.
- [12] Haar Cascades, GitHub. [Online]. Available: <https://github.com/opencv/opencv>. [Accessed Oct. 15, 2022].
- [13] B. Steinhilber, "How to Tell If You're too Tired to Drive - and What to Do If You are," 2018. [Online]. Available: <https://www.nbcnews.com/better/health/how-tell-if-you-re-too-tired-drive-what-do-ncna888681>. [Accessed Feb. 14, 2023].
- [14] Yawn and eye dataset. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/serenaraju/yawn-eye-dataset-new>. [Accessed Oct. 15, 2022].