

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA THUẬT TOÁN HAAR CASCADE AND LOCAL BINARY PATTERNS HISTOGRAM ĐỂ MỞ KHÓA Ô TÔ

RESEARCH ON EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE HAAR CASCADE AND LOCAL BINARY PATTERNS HISTOGRAM ALGORITHMS FOR CAR UNLOCKING

Nguyễn Thế Lương^{1,*}, Vũ Công Giang¹, Phạm Tuấn Dũng¹, Đinh Ngọc Mạnh¹,
Mạc Văn Huy¹, Nguyễn Thế Hùng²

¹Đại học Bách khoa Hà Nội

²Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội

*Email: luong.nguyenthe@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu ứng dụng công nghệ nhận diện khuôn mặt sử dụng thuật toán Haar Cascade để phát hiện khuôn mặt và LBPH (Local Binary Patterns Histogram) để nhận diện khuôn mặt, tích hợp trong hệ thống điều khiển khóa cửa trên cánh xe ô tô Hyundai Vios. Thí nghiệm được tiến hành trên 10 người tham gia, mỗi người thực hiện nhận diện 50 lần, nhằm đánh giá độ chính xác của hệ thống. Kết quả cho thấy độ chính xác trung bình dao động từ 55,5% đến 56,2% đối với các cá nhân có trong dữ liệu nhận dạng và 32% đến 34,4% đối với các cá nhân không có trong dữ liệu nhận dạng. Các thí nghiệm bổ sung về ảnh hưởng của khoảng cách và điều kiện ánh sáng cũng được thực hiện. Độ chính xác nhận diện giảm dần khi khoảng cách từ camera đến khuôn mặt tăng lên, từ 53,7% ở khoảng cách 30 cm xuống còn 18% ở khoảng cách 120 cm. Đặc biệt, điều kiện ánh sáng có ảnh hưởng rất lớn đến hiệu suất nhận diện, với độ tin cậy trung bình đạt 54,7% trong điều kiện ánh sáng tốt, nhưng chỉ còn 8,4% trong điều kiện ánh sáng kém. Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống nhận diện khuôn mặt này phù hợp trong điều kiện khoảng cách gần và ánh sáng đầy đủ.

Từ khóa: Nhận diện khuôn mặt; Haar Cascade; LBPH; Khoảng cách và điều kiện ánh sáng; Hệ thống mở khóa ô tô.

ABSTRACT

This paper presents a study on the application of facial recognition technology using the Haar Cascade algorithm for face detection and the LBPH (Local Binary Patterns Histogram) algorithm for face recognition, integrated into the door lock control system on the door panel of a Hyundai Vios car. The experiment was conducted with 10 participants, each performing 50 recognition attempts, to evaluate the system's accuracy. The results showed that the average accuracy ranged from 55.5% to 56.2% for individuals included in the recognition dataset and from 32% to 34.4% for individuals not present in the dataset. Additional experiments were carried out

to examine the impact of distance and lighting conditions. Recognition accuracy decreased as the distance from the camera to the face increased, from 53.7% at a distance of 30 cm to only 18% at 120 cm. Notably, lighting conditions had a significant influence on recognition performance, with an average confidence level of 54.7% under good lighting conditions, dropping to just 8.4% under poor lighting. The research results indicate that this facial recognition system is suitable for short-range applications and environments with adequate lighting.

Keywords: *Face Recognition; Haar Cascade; LBPH (Local Binary Patterns Histogram); Distance and Lighting Conditions; Door Lock Control System.*

1. GIỚI THIỆU

Trong thời đại công nghệ số phát triển mạnh mẽ, an toàn và bảo mật phương tiện giao thông ngày càng được quan tâm. Các phương pháp truyền thống như sử dụng chìa khóa cơ học hay hệ thống khóa điện tử có thể bị đánh cắp, sao chép hoặc bẻ khóa, gây ra nhiều rủi ro cho chủ sở hữu xe. Vì vậy, các giải pháp mở khóa ô tô bằng công nghệ sinh trắc học, đặc biệt là nhận diện khuôn mặt, đang thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu và phát triển hệ thống an ninh thông minh.

Nhận diện khuôn mặt là một trong những phương pháp xác thực sinh trắc học hiện đại, có thể xác định danh tính người dùng nhanh chóng, thuận tiện mà không cần tiếp xúc vật lý. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một hệ thống mở khóa ô tô dựa trên công nghệ nhận diện khuôn mặt, ứng dụng thuật toán Haar Cascade để phát hiện khuôn mặt và thuật toán LBPH (Local Binary Patterns Histograms) để nhận diện. Thuật toán Haar Cascade giúp xác định vùng chứa khuôn mặt một cách hiệu quả, trong khi LBPH là một phương pháp đơn giản nhưng mạnh mẽ trong việc nhận diện khuôn mặt với độ chính xác cao.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng nhận diện khuôn mặt là một giải pháp đầy tiềm

năng cho hệ thống bảo mật phương tiện. Viola và Jones (2001) đã giới thiệu thuật toán Haar Cascade để phát hiện khuôn mặt trong thời gian thực bằng cách sử dụng các đặc trưng Haar và mô hình cascade classifier [1]. Công trình này là nền tảng cho nhiều hệ thống phát hiện khuôn mặt hiện nay.

Ahonen et al. (2006) đã đề xuất thuật toán LBPH, một phương pháp nhận diện khuôn mặt dựa trên đặc trưng cục bộ, cho thấy hiệu quả cao trong việc nhận diện khuôn mặt ngay cả với hình ảnh có độ phân giải thấp [2]. Điều này làm cho LBPH trở thành một lựa chọn phù hợp cho hệ thống nhận diện khuôn mặt trong môi trường thực tế.

Trong lĩnh vực an ninh ô tô, Kumar et al. (2019) đã nghiên cứu hệ thống nhận diện khuôn mặt trong xe thông minh, cho thấy rằng việc kết hợp thuật toán Haar Cascade với các mô hình nhận diện khuôn mặt giúp tăng cường khả năng bảo mật và tính tiện dụng của phương tiện [3]. Tương tự, Patel và Shah (2020) đã ứng dụng các mô hình học sâu vào hệ thống mở khóa xe, đạt được độ chính xác cao nhưng vẫn gặp khó khăn về hiệu suất thời gian thực [4].

Các nghiên cứu của Nguyen et al. (2021) đã đề xuất một hệ thống nhận diện khuôn mặt kết hợp Haar Cascade và LBPH, với mục tiêu

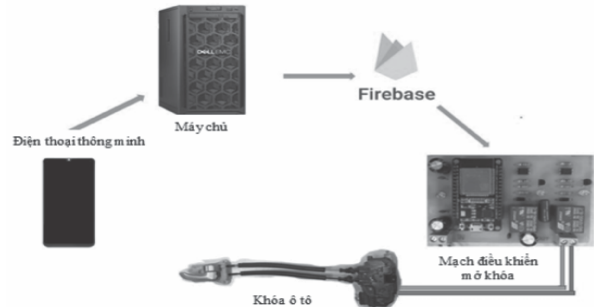
giảm chi phí tính toán trong khi vẫn đảm bảo độ chính xác cao trong điều kiện môi trường thay đổi [5]. Điều này cho thấy tính khả thi của việc sử dụng LBPH thay vì các mô hình học sâu đòi hỏi tài nguyên phần cứng mạnh mẽ.

Ngoài ra, một số nghiên cứu khác cũng tập trung vào việc cải tiến hiệu suất của thuật toán nhận diện khuôn mặt. Ojala et al. (2002) đã mở rộng phương pháp Local Binary Patterns (LBP) để tăng cường khả năng nhận diện trong môi trường có nhiều biến đổi ánh sáng [7]. Zhang et al. (2018) đã ứng dụng nhận diện khuôn mặt vào hệ thống khóa xe thông minh, sử dụng các mô hình học sâu để nâng cao độ chính xác nhưng gặp hạn chế về tốc độ xử lý [8].

Singh và Arora (2022) đã thực hiện một phân tích so sánh giữa các thuật toán nhận diện khuôn mặt như Eigenfaces, Fisherfaces, và LBPH, cho thấy rằng LBPH có hiệu suất ổn định và phù hợp với các hệ thống thời gian thực do yêu cầu phần cứng thấp hơn [9]. Gần đây, Kim và Park (2023) đã tối ưu hóa hệ thống nhận diện khuôn mặt bằng cách sử dụng mô hình CNN nhẹ, giúp cải thiện hiệu suất mà không làm giảm đáng kể độ chính xác [10].

Dựa trên những nghiên cứu trên, bài báo này sẽ phát triển một hệ thống nhận diện khuôn mặt và có khả năng triển khai trên các phương tiện thực tế. Hệ thống này sẽ sử dụng thuật toán Haar Cascade để phát hiện khuôn mặt và LBPH để nhận diện, đảm bảo sự cân bằng giữa hiệu suất và độ chính xác. Hệ thống sử dụng một máy chủ để phát hiện và nhận diện khuôn mặt, tín hiệu khuôn mặt nhận diện sẽ được gửi lên mạng dữ liệu firebase, từ đây tín hiệu đóng/mở cửa sẽ được gửi đến bộ phát nhận wifi hoặc 5G thực hiện việc đóng/mở xe.

2. HỆ THỐNG NHẬN DIỆN KHUÔN MẶT ĐỂ MỞ KHÓA CỬA Ô TÔ



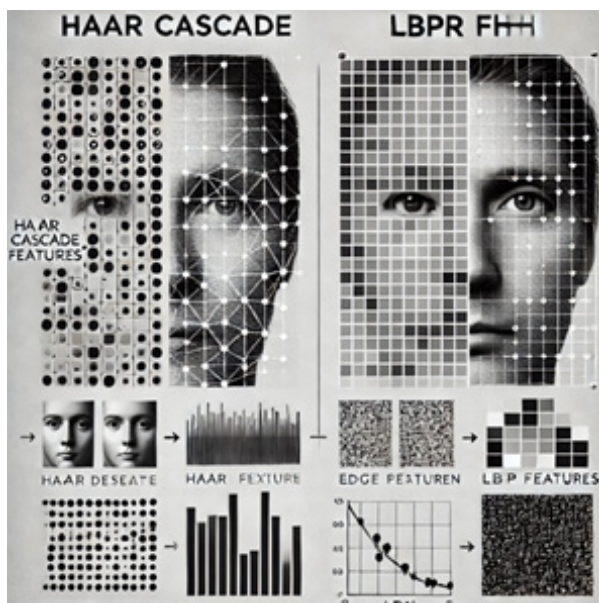
Hình 1. Sơ đồ hệ thống nhận diện khuôn mặt mở cửa ô tô

Hệ thống nhận diện khuôn mặt để mở khóa ô tô hoạt động như sau (hình 1): Người dùng sử dụng điện thoại thông minh để chụp ảnh hoặc quét khuôn mặt, sau đó gửi dữ liệu này tới máy chủ. Máy chủ thực hiện các bước phát hiện và nhận diện khuôn mặt bằng cách sử dụng các thuật toán như Haar Cascade và LBPH. Nếu khuôn mặt được nhận diện thành công, máy chủ sẽ gửi tín hiệu xác nhận tới Firebase, một nền tảng cơ sở dữ liệu thời gian thực, để tiếp tục xử lý. Firebase đóng vai trò trung gian, nhận tín hiệu từ máy chủ và chuyển tiếp tín hiệu đến mạch điều khiển thông qua vi điều khiển ESP32. Mạch điều khiển, khi nhận được tín hiệu từ Firebase, sẽ xử lý và thực hiện các thao tác đóng hoặc mở khóa ô tô thông qua kết nối với hệ thống khóa vật lý. Hệ thống này đảm bảo tính bảo mật cao nhờ sử dụng công nghệ nhận diện khuôn mặt và hoạt động linh hoạt nhờ tích hợp nền tảng điện toán đám mây (Firebase) cùng vi điều khiển ESP32.

3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ THUẬT TOÁN NHẬN DIỆN KHUÔN MẶT SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP HAAR CASCADE AND LBPH

Nhận diện khuôn mặt bằng Haar Cascade

và LBPH (Local Binary Patterns Histogram) là hai phương pháp phổ biến với những đặc điểm khác nhau. Haar Cascade là một kỹ thuật phát hiện khuôn mặt dựa trên phương pháp học máy, sử dụng các đặc trưng Haar-like để xác định các vùng có khả năng chứa khuôn mặt. Phương pháp này hoạt động bằng cách phân tích sự khác biệt về độ sáng giữa các vùng trong ảnh, sử dụng tích phân ảnh để tăng tốc tính toán, và áp dụng thuật toán Adaboost để lựa chọn các đặc trưng quan trọng. Cuối cùng, mô hình Cascade Classifier giúp loại bỏ nhanh chóng các vùng không chứa khuôn mặt để cải thiện hiệu suất. Mặc dù Haar Cascade có tốc độ phát hiện nhanh, nhưng nó thường kém chính xác khi điều kiện ánh sáng thay đổi hoặc khi khuôn mặt có góc nhìn khác biệt.



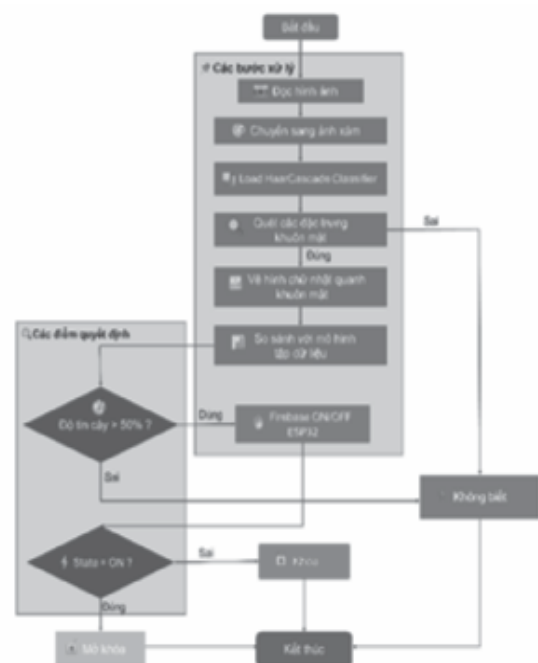
Hình 2. So sánh nhận diện khuôn mặt bằng phương pháp Haar Cascade và LBPH

Trong khi đó, LBPH là một phương pháp nhận diện khuôn mặt dựa trên Local Binary Patterns (LBP), hoạt động bằng cách chia ảnh thành các ô nhỏ, sau đó mã hóa mỗi pixel thành giá trị nhị phân bằng cách so sánh với các pixel lân cận. Từ đó, thuật toán tạo ra

các histogram đặc trưng để biểu diễn cấu trúc khuôn mặt, giúp nhận diện hiệu quả ngay cả khi có sự thay đổi về ánh sáng hoặc tư thế. Cuối cùng, thuật toán sử dụng khoảng cách Euclidean hoặc Chi-square để so sánh với các mẫu đã được lưu trước đó. LBPH có độ chính xác cao hơn trong nhận diện khuôn mặt so với Haar Cascade, nhưng tốc độ xử lý chậm hơn.

Nhìn chung, Haar Cascade phù hợp để phát hiện khuôn mặt nhanh chóng trong thời gian thực, trong khi LBPH hiệu quả hơn trong nhận diện khuôn mặt với độ chính xác cao, đặc biệt trong các điều kiện ánh sáng không đồng nhất.

Hình 2 chỉ ra sự khác nhau của phương pháp nhận diện khuôn mặt bằng phương pháp Haar Cascade và LBPH. Hình 1 cho thấy Haar Cascade phát hiện khuôn mặt dựa trên đặc trưng Haar-like và cách LBPH chia ảnh thành các ô nhỏ để trích xuất đặc trưng kết cấu.



Hình 3. Thuật toán nhận diện khuôn mặt bằng Haar Cascade và LBPH

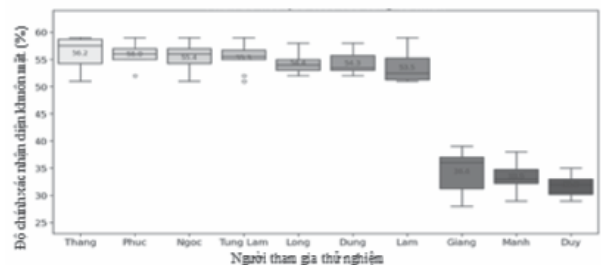
Hình 3 chỉ ra sơ đồ thuật toán nhận diện khuôn mặt bằng Haar Cascade và LBPH. Thuật toán nhận diện khuôn mặt sử dụng Haar Cascade và LBPH hoạt động qua hai giai đoạn chính: phát hiện và nhận diện. Đầu tiên, hệ thống đọc hình ảnh từ camera, chuyển đổi sang ảnh xám để giảm thiểu tính toán. Sau đó, bộ phân loại Haar Cascade được nạp để quét và phát hiện các đặc trưng khuôn mặt. Khi phát hiện thành công, khuôn mặt sẽ được đánh dấu bằng hình chữ nhật. Tiếp theo, thuật toán LBPH sẽ so sánh khuôn mặt đó với tập dữ liệu đã được huấn luyện. Kết quả nhận diện đi kèm với độ tin cậy, nếu độ tin cậy lớn hơn 50%, hệ thống sẽ kiểm tra trạng thái hoạt động. Nếu trạng thái ON, lệnh mở khóa sẽ được thực thi; ngược lại, khóa vẫn giữ nguyên. Trường hợp không nhận diện được hoặc độ tin cậy thấp, hệ thống sẽ trả về kết quả sai hoặc không biết. Quá trình này đảm bảo tính chính xác và bảo mật cho hệ thống nhận diện khuôn mặt.

4. PHƯƠNG PHÁP VÀ ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu này, đối tượng thí nghiệm là cánh xe ô tô Hyundai Vios, nơi lắp đặt hệ khóa để điều khiển đóng/mở khóa cửa xe. Thí nghiệm được tiến hành trên tập dữ liệu gồm 10 người khác nhau để đánh giá độ chính xác và sai số lỗi của hệ thống nhận diện khuôn mặt, trong số 10 người có 7 người là được cài đặt trong dữ liệu nhận dạng khuôn mặt, 3 người còn lại không có trong dữ liệu nhận dạng. Phương pháp thí nghiệm được thực hiện theo quy trình cụ thể như sau: đầu tiên, thu thập hình ảnh khuôn mặt của 10 đối tượng để xây dựng cơ sở dữ liệu huấn luyện. Tiếp theo, hệ thống nhận diện khuôn mặt sử dụng thuật toán Haar Cascade để phát hiện khuôn mặt và LBPH (Local Binary Patterns Histogram) để nhận diện khuôn mặt trong điều kiện môi trường

thực tế. Độ chính xác nhận diện được đánh giá thông qua việc so sánh kết quả nhận diện đúng hoặc sai với danh tính thực tế của từng người. Bên cạnh đó, độ chính xác của hệ thống tiếp tục được kiểm định trong các điều kiện ánh sáng khác nhau (ánh sáng mạnh, ánh sáng yếu, ánh sáng tự nhiên) và ở các khoảng cách từ camera đến khuôn mặt khác nhau (0,3m, 0,5m, 0,7m, và 1,2m). Mỗi điều kiện thí nghiệm cũng được lặp lại 50 lần để thu thập dữ liệu một cách đầy đủ, làm cơ sở đánh giá toàn diện độ chính xác và độ tin cậy của công nghệ nhận diện khuôn mặt khi ứng dụng trên cánh xe ô tô Hyundai Vios.

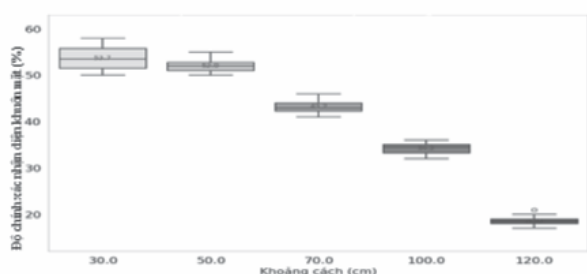
5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 4. Độ chính xác của nhận diện khuôn mặt theo số người khác nhau

Hình 4 chỉ ra kết quả độ chính xác nhận diện khuôn mặt của 10 người trong điều kiện ánh sáng bình thường và khoảng cách từ người đến camera giữ cố định 40cm. Kết quả cho thấy Tùng, Lâm, Long và Dũng, với giá trị trung bình dao động từ 53,5% đến 56,2%. Trong đó, nhóm người có trong dữ liệu nhận dạng độ chính xác trung bình cao nhất là Thắng (56,2%), tiếp theo là Phúc (56,0%), Ngọc (55,4%), Tùng (55,2%), Long (54,4%), Dũng (54,3%), và Lâm (53,5%). Độ tin cậy của nhóm này khá ổn định, với phạm vi dao động hẹp và ít ngoại lệ. Ngược lại, nhóm có độ chính xác thấp bao gồm Giang, Mạnh và Duy không có trong dữ liệu nhận dạng. Đặc biệt, Duy có độ tin cậy trung bình thấp nhất

là 32,0%, theo sau là Mạnh (33,5%) và Giang (34,4%). Các đối tượng này có sự phân tán lớn, thể hiện qua các giá trị ngoại lệ và khoảng dao động rộng, đặc biệt là Giang. Kết quả này cho thấy hệ thống nhận diện khuôn mặt hoạt động hiệu quả với các cá nhân có trong dữ liệu nhận dạng và trả về kết quả đúng là mở cửa ô tô, ngược lại với những cá nhân không có trong dữ liệu nhận dạng, độ chính xác của kết quả nhận dạng sẽ thấp, hệ thống sẽ không mở cửa ô tô.

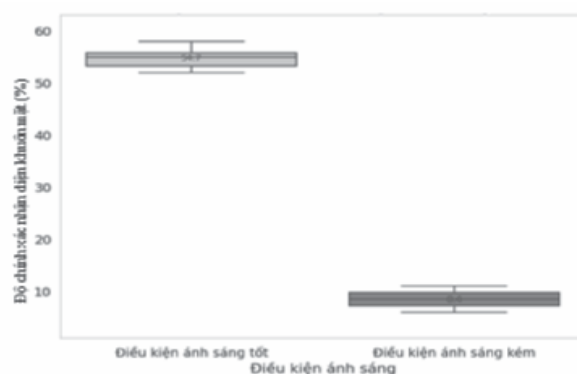


Hình 5. Độ chính xác của nhận diện khuôn mặt theo khoảng cách từ mặt đến camera

Hình 5 chỉ ra độ chính xác của nhận diện khuôn mặt theo khoảng cách từ mặt đến camera. Kết quả thí nghiệm cho thấy độ chính xác nhận diện khuôn mặt giảm dần khi khoảng cách từ camera đến khuôn mặt tăng lên. Cụ thể, ở khoảng cách 30 cm, độ tin cậy trung bình đạt 53,7%, cho thấy đây là khoảng cách tối ưu để hệ thống nhận diện đạt hiệu suất tốt nhất. Khi khoảng cách tăng lên 50 cm, độ tin cậy giảm nhẹ xuống còn 52,0%, nhưng vẫn duy trì ở mức tương đối cao. Tuy nhiên, khi khoảng cách tăng lên 70 cm, độ tin cậy trung bình giảm đáng kể xuống còn 43,2%. Độ chính xác tiếp tục suy giảm mạnh ở khoảng cách 100 cm, với giá trị trung bình chỉ đạt 34,2%. Đáng chú ý, ở khoảng cách 120 cm, độ tin cậy trung bình giảm xuống còn 18,0%, với phạm vi dao động rất hẹp, cho thấy khả năng nhận diện ở khoảng cách xa là rất thấp và hệ thống hoạt động kém ổn định.

Như vậy, kết quả cho thấy khoảng cách

từ camera đến khuôn mặt có ảnh hưởng rõ rệt đến độ chính xác của hệ thống nhận diện. Khoảng cách càng xa, kích thước khuôn mặt trên khung hình càng nhỏ, làm giảm khả năng thu thập đặc trưng khuôn mặt chi tiết, dẫn đến sai sót trong nhận diện. Điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đây, như nghiên cứu của Abate et al. (2007) đã chỉ ra rằng chất lượng nhận diện khuôn mặt phụ thuộc mạnh mẽ vào khoảng cách và độ phân giải ảnh khuôn mặt. Để cải thiện hiệu suất nhận diện ở khoảng cách xa, có thể xem xét sử dụng camera có độ phân giải cao hơn hoặc áp dụng các kỹ thuật xử lý ảnh tăng cường nhằm đảm bảo khả năng nhận diện ổn định hơn trong môi trường thực tế.



Hình 6. Độ chính xác của nhận diện khuôn mặt theo điều kiện ánh sáng

Hình 6 chỉ ra độ chính xác của nhận diện khuôn mặt phụ thuộc vào điều kiện ánh sáng. Kết quả thí nghiệm cho thấy độ chính xác nhận diện khuôn mặt phụ thuộc đáng kể vào điều kiện ánh sáng. Cụ thể, trong điều kiện ánh sáng tốt, độ tin cậy trung bình đạt 54,7%, với phạm vi dao động hẹp và ổn định, thể hiện hệ thống nhận diện hoạt động hiệu quả và nhất quán khi có đủ ánh sáng. Ngược lại, trong điều kiện ánh sáng kém, độ tin cậy trung bình giảm mạnh xuống chỉ còn 8,4%. Ngoài ra, kết quả trong môi trường ánh sáng kém có sự phân tán lớn, cho thấy độ ổn định của hệ thống bị suy giảm nghiêm trọng.

Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đó như của Zhang et al. (2017), chỉ ra rằng các thuật toán nhận diện khuôn mặt truyền thống như Haar Cascade và LBPH dễ bị ảnh hưởng bởi điều kiện ánh sáng, do đặc trưng khuôn mặt thu được trong môi trường ánh sáng yếu thường thiếu chi tiết và độ tương phản thấp. Do đó, để cải thiện hiệu suất nhận diện trong điều kiện ánh sáng kém, có thể áp dụng các kỹ thuật tăng cường ảnh hoặc sử dụng cảm biến camera hồng ngoại, hoặc nâng cấp lên các mô hình học sâu như CNN vốn có khả năng trích xuất đặc trưng mạnh mẽ hơn và kháng nhiễu tốt hơn trong môi trường thực tế.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ nhận diện khuôn mặt sử dụng thuật toán Haar Cascade để phát hiện khuôn mặt và LBPH để nhận diện khuôn mặt, tích hợp vào hệ thống điều khiển khóa cửa trên cánh xe ô tô Hyundai Vios. Kết quả thí nghiệm cho thấy hệ thống có độ chính xác tương đối tốt đối với các cá nhân có trong tập dữ liệu huấn luyện, với độ tin cậy trung bình từ 55,5% đến 56,2%. Tuy nhiên, đối với các cá nhân không có trong tập dữ liệu, độ chính xác giảm rõ rệt, chỉ đạt từ 32% đến 34,4%. Bên cạnh đó, khoảng cách và điều kiện ánh sáng có tác động lớn đến hiệu suất nhận diện. Khi khoảng cách từ camera đến khuôn mặt tăng lên, độ chính xác giảm dần từ 53,7% ở 30 cm xuống còn 18% ở 120 cm. Trong điều kiện ánh sáng tốt, độ tin cậy trung bình đạt 54,7%, trong khi ở điều kiện ánh sáng kém, độ tin cậy chỉ còn 8,4%. Kết quả này cho thấy hệ thống nhận diện khuôn mặt đang nghiên cứu phù hợp với các ứng dụng ở khoảng cách gần và môi trường có ánh sáng đầy đủ. Để nâng cao hơn nữa độ chính xác và độ tin cậy của hệ thống, các nghiên cứu tiếp theo có thể tập trung vào cải thiện chất lượng hình ảnh đầu vào, tối ưu

thuật toán xử lý, hoặc kết hợp với các phương pháp nhận diện tiên tiến như mạng nơ-ron tích chập (CNN). ❖

Ngày nhận bài: 10/11/2025

Ngày phản biện: 19/11/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Viola, P., & Jones, M. (2001), “*Rapid object detection using a boosted cascade of simple features*”. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- [2]. Ahonen, T., Hadid, A., & Pietikainen, M. (2006), “*Face recognition with local binary patterns*”. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI).
- [3]. Kumar, A., Gupta, P., & Sharma, S. (2019), “*Real-time face recognition for smart vehicle security system*”. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT).
- [4]. Patel, H., & Shah, M. (2020), “*Enhancing vehicle security using deep learning-based face recognition*”. IEEE International Conference on Smart Systems and Innovations (ICSSI).
- [5]. Nguyen, D. M., Tran, Q. H., & Le, C. D. (2021), “*A hybrid approach for face recognition-based vehicle access control*”. Journal of Computer Science and Technology (JCST).
- [6]. Li, S., & Jain, A. K. (2011), “*Handbook of face recognition*”. Springer Science & Business Media.
- [7]. Ojala, T., Pietikainen, M., & Maenpaa, T. (2002), “*Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns*”. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI).
- [8]. Zhang, D., Lu, G., & Zhou, W. (2018), “*Secure access control for smart vehicles using face biometrics*”. Journal of Intelligent Transportation Systems (JITS).
- [9]. Singh, R., & Arora, S. (2022), “*Comparative analysis of face recognition algorithms for vehicle security*”. International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC).
- [10]. Kim, J., & Park, C. (2023), “*Real-time implementation of face recognition-based car unlocking system using lightweight CNN models*”. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles (TIV).