**LỜI CẢM ƠN**

Em xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc đến Thầy Nguyễn Đình Hóa – giảng viên môn Hệ cơ sở dữ liệu đa phương tiện đã tận tình giảng dạy, hướng dẫn và truyền đạt cho em những kiến thức quý báu trong suốt quá trình học tập và thực hiện đề tài này.

Nhờ sự hướng dẫn tận tâm và chỉ bảo nhiệt tình của thầy, em đã có cơ hội tiếp cận và ứng dụng những kiến thức lý thuyết vào việc xây dựng một hệ thống cơ sở dữ liệu lưu trữ và tìm kiếm ảnh khuôn mặt – một chủ đề có tính ứng dụng thực tiễn cao trong lĩnh vực công nghệ thông tin ngày nay.

Em cũng xin cảm ơn các thầy cô trong khoa Công nghệ thông tin cùng các bạn học đã hỗ trợ và đóng góp ý kiến để em hoàn thiện báo cáo này tốt hơn.

Tuy đã cố gắng hoàn thành đề tài với tinh thần nghiêm túc, nhưng do thời gian và kiến thức còn hạn chế, bài báo cáo chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót. Em kính mong Thầy góp ý để em có thể rút kinh nghiệm và hoàn thiện hơn trong các dự án sau này.

**LỜI MỞ ĐẦU**

Trong bối cảnh cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đang diễn ra mạnh mẽ, việc xử lý và khai thác hiệu quả các loại dữ liệu đa phương tiện, đặc biệt là dữ liệu hình ảnh, ngày càng trở nên quan trọng và cần thiết. Một trong những ứng dụng nổi bật của lĩnh vực này là hệ thống nhận diện và tìm kiếm khuôn mặt – vốn đã và đang được triển khai rộng rãi trong an ninh, y tế, giáo dục và các nền tảng công nghệ hiện đại.

Với mục tiêu vận dụng kiến thức đã học để giải quyết một bài toán thực tế, đề tài “Xây dựng hệ cơ sở dữ liệu lưu trữ và tìm kiếm mặt người” được lựa chọn làm nội dung cho báo cáo môn học Hệ cơ sở dữ liệu đa phương tiện. Đề tài tập trung vào việc thu thập dữ liệu ảnh khuôn mặt, trích xuất các thuộc tính đặc trưng, xây dựng mô hình lưu trữ và triển khai chức năng tìm kiếm ảnh dựa trên độ tương đồng giữa các khuôn mặt.

Báo cáo này sẽ trình bày toàn bộ quá trình xây dựng hệ thống, từ bước thu thập và xử lý dữ liệu đến trích xuất đặc trưng và xây dựng thuật toán tìm kiếm, đồng thời đánh giá hiệu quả và tính thực tiễn của hệ thống đã triển khai.

Mục lục

[Chương 1: Mở đầu 5](#_Toc198497477)

[1.1 Lý do chọn đề tài 5](#_Toc198497478)

[1.2 Mục tiêu nghiên cứu 5](#_Toc198497479)

[1.3 Phạm vi và giới hạn đề tài 6](#_Toc198497480)

[Chương 2: Cơ sở lý thuyết và công nghệ sử dụng 6](#_Toc198497481)

[2.1 Cơ sở lý thuyết 6](#_Toc198497482)

[2.1.1 Cơ sở dữ liệu đa phương tiện (Multimedia Database) 6](#_Toc198497483)

[2.1.2 Nhận diện khuôn mặt (Face Recognition) 6](#_Toc198497484)

[2.1.3 Vector embedding khuôn mặt 7](#_Toc198497485)

[2.1.4 Phép đo khoảng cách Euclidean 7](#_Toc198497486)

[2.1.5 Tìm kiếm tương tự với FAISS 7](#_Toc198497487)

[2.2 Công nghệ và thư viện sử dụng 7](#_Toc198497488)

[2.3 Mô hình lưu trữ ảnh và đặc trưng khuôn mặt 8](#_Toc198497489)

[2.4 Quy trình hoạt động của hệ thống 8](#_Toc198497490)

[Chương 3: Phân tích và thiết kế hệ thống 9](#_Toc198497491)

[3.1 Mô hình tổng quát của hệ thống 9](#_Toc198497492)

[3.1.1 Sơ đồ khối của hệ thống 9](#_Toc198497493)

[3.2 Phân tích yêu cầu hệ thống 10](#_Toc198497494)

[3.2.1 Yêu cầu chức năng 10](#_Toc198497495)

[3.2.2 Yêu cầu phi chức năng 10](#_Toc198497496)

[3.3 Thiết kế cơ sở dữ liệu 10](#_Toc198497497)

[3.4 Thiết kế thuật toán tìm kiếm ảnh tương tự 11](#_Toc198497498)

[3.4.1 Quy trình tìm kiếm 11](#_Toc198497499)

[3.4.2 Cách tính độ tương đồng 11](#_Toc198497500)

[3.4.3 Ưu điểm của FAISS 11](#_Toc198497501)

[3.5 Ưu điểm của hệ thống 11](#_Toc198497502)

[Chương 4: Mã hoá và Triển khai hệ thống 12](#_Toc198497503)

[4.1. Môi trường và công cụ phát triển 12](#_Toc198497504)

[4.2. Các bước xây dựng hệ thống 12](#_Toc198497505)

[4.3. Giao diện demo 14](#_Toc198497506)

[4.4. Tóm tắt Chương này triển khai chi tiết quy trình: 14](#_Toc198497507)

[CHƯƠNG 5. DEMO VÀ ĐÁNH GIÁ HỌI HIỆU 14](#_Toc198497508)

[5.1 Demo hệ thống 14](#_Toc198497509)

[5.2 Đánh giá kết quả 15](#_Toc198497510)

[5.3 Hướng phát triển 16](#_Toc198497511)

[CHƯƠNG 6: KẾT LUẬN 16](#_Toc198497512)

[6.1. Tóm tắt nội dung đã thực hiện 16](#_Toc198497513)

[6.2. Kết quả đạt được 17](#_Toc198497514)

[6.3. Hạn chế 17](#_Toc198497515)

[6.4. Hướng phát triển 17](#_Toc198497516)

# Chương 1: Mở đầu

## 1.1 Lý do chọn đề tài

Trong thời đại số hóa và phát triển mạnh mẽ của trí tuệ nhân tạo (AI), công nghệ nhận diện khuôn mặt đã trở thành một trong những ứng dụng quan trọng và phổ biến nhất. Việc nhận diện và tìm kiếm ảnh khuôn mặt đóng vai trò then chốt trong nhiều lĩnh vực như an ninh – giám sát, quản lý nhân sự, dịch vụ khách hàng, thương mại điện tử, và các ứng dụng xã hội khác. Đặc biệt, với sự bùng nổ của các thiết bị di động và camera số, lượng ảnh khuôn mặt được thu thập ngày càng nhiều, đòi hỏi các hệ thống lưu trữ và tìm kiếm phải đáp ứng được yêu cầu về tốc độ, độ chính xác và khả năng mở rộng.

Đề tài “Xây dựng hệ cơ sở dữ liệu lưu trữ và tìm kiếm mặt người” được chọn nhằm giải quyết bài toán lưu trữ và tìm kiếm ảnh mặt người nữ thuộc nhiều độ tuổi trong một tập dữ liệu đa dạng, đồng thời xây dựng một hệ thống tìm kiếm ảnh mặt người nhanh và chính xác dựa trên các thuộc tính đặc trưng khuôn mặt được trích xuất từ ảnh. Đây là một chủ đề thiết thực, có tính ứng dụng cao, đồng thời giúp người học làm quen với các công nghệ xử lý ảnh, học máy, và quản trị cơ sở dữ liệu đa phương tiện.

## 1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chính của đề tài gồm:

* Thu thập và xây dựng bộ dữ liệu ảnh mặt người nữ với số lượng ít nhất 200 ảnh, thuộc nhiều độ tuổi khác nhau, chuẩn hóa kích thước và tỉ lệ ảnh để đảm bảo đồng nhất dữ liệu đầu vào.
* Xây dựng bộ thuộc tính nhận diện khuôn mặt hiệu quả dựa trên vector embedding trích xuất từ mô hình học sâu, nhằm biểu diễn đặc trưng khuôn mặt của từng cá nhân.
* Thiết kế và triển khai hệ thống tìm kiếm ảnh mặt người, với đầu vào là ảnh mới và đầu ra là 3 ảnh giống nhất trong cơ sở dữ liệu, sắp xếp theo thứ tự giảm dần về độ tương đồng.
* Đánh giá hiệu quả của hệ thống dựa trên kết quả tìm kiếm thực nghiệm.

## 1.3 Phạm vi và giới hạn đề tài

Đề tài tập trung vào:

* Xây dựng hệ cơ sở dữ liệu và hệ thống tìm kiếm ảnh mặt người thuộc giới tính nữ, nhằm đảm bảo tính đa dạng về độ tuổi và đặc điểm khuôn mặt.
* Ảnh sử dụng là ảnh tĩnh, kích thước và tỉ lệ khung hình được chuẩn hóa (ví dụ 160x160 pixel).
* Sử dụng mô hình học sâu có sẵn để trích xuất vector embedding, tập trung vào độ chính xác và tốc độ tìm kiếm.
* Cơ sở dữ liệu sử dụng MySQL để lưu trữ ảnh và vector embedding, kết hợp với thư viện FAISS để tìm kiếm nhanh các vector đặc trưng.
* Hệ thống chưa xử lý ảnh đa người, video hay các trường hợp ánh sáng phức tạp.
* Giao diện hệ thống ở mức đơn giản, chủ yếu phục vụ mục đích nghiên cứu và demo chức năng tìm kiếm.

# Chương 2: Cơ sở lý thuyết và công nghệ sử dụng

## 2.1 Cơ sở lý thuyết

### 2.1.1 Cơ sở dữ liệu đa phương tiện (Multimedia Database)

Cơ sở dữ liệu đa phương tiện là loại CSDL có khả năng lưu trữ và quản lý dữ liệu phi cấu trúc như ảnh, âm thanh, video, văn bản… Trong đề tài này, ảnh khuôn mặt được lưu trữ cùng với các thuộc tính đặc trưng dạng vector số học để hỗ trợ tìm kiếm theo nội dung (content-based retrieval).

### 2.1.2 Nhận diện khuôn mặt (Face Recognition)

Nhận diện khuôn mặt là quá trình xác định hoặc xác thực danh tính của một cá nhân dựa trên đặc trưng khuôn mặt. Quá trình này gồm 3 bước chính:

* Phát hiện khuôn mặt (Face Detection): Tìm vị trí khuôn mặt trong ảnh.
* Trích xuất đặc trưng (Feature Extraction): Biểu diễn khuôn mặt dưới dạng vector số học (embedding).
* So sánh và nhận diện (Matching/Identification): So sánh vector embedding của ảnh đầu vào với các ảnh trong cơ sở dữ liệu để tìm ra ảnh giống nhất.

### 2.1.3 Vector embedding khuôn mặt

Embedding là kỹ thuật chuyển đổi một ảnh khuôn mặt thành một vector có kích thước cố định (thường là 128 chiều hoặc 512 chiều), biểu diễn các đặc điểm sinh trắc học độc nhất của khuôn mặt đó. Vector embedding càng gần nhau trong không gian vector thì độ tương đồng khuôn mặt càng cao.

### 2.1.4 Phép đo khoảng cách Euclidean

Trong hệ thống này, độ tương đồng giữa hai vector embedding được đo bằng khoảng cách Euclidean:

A mathematical equation with numbers and symbols

AI-generated content may be incorrect.

Khoảng cách càng nhỏ thì hai ảnh càng giống nhau.

### 2.1.5 Tìm kiếm tương tự với FAISS

FAISS (Facebook AI Similarity Search) là một thư viện tối ưu hóa cao để tìm kiếm gần đúng các vector trong không gian nhiều chiều. FAISS được sử dụng để tăng tốc độ tìm kiếm trong hàng ngàn hoặc hàng triệu vector embedding.

## 2.2 Công nghệ và thư viện sử dụng

| **Tên công nghệ/thư viện** | **Vai trò** |
| --- | --- |
| **Python** | Ngôn ngữ lập trình chính cho hệ thống. |
| **OpenCV, PIL** | Xử lý ảnh và hiển thị ảnh. |
| **MTCNN** (facenet-pytorch) | Dùng để phát hiện khuôn mặt trong ảnh đầu vào. |
| **FaceNet** (keras-facenet) | Trích xuất vector đặc trưng (embedding) từ ảnh khuôn mặt. |
| **NumPy** | Xử lý dữ liệu số và mảng vector. |
| **MySQL** | Lưu trữ ảnh và vector embedding của khuôn mặt. |
| **FAISS** | Tìm kiếm nhanh vector tương tự trong cơ sở dữ liệu. |
| **mysql-connector-python** | Giao tiếp giữa Python và MySQL. |

## 2.3 Mô hình lưu trữ ảnh và đặc trưng khuôn mặt

Mỗi ảnh khuôn mặt được lưu trong CSDL cùng với đường dẫn ảnh và vector embedding được trích xuất tương ứng. Cấu trúc bảng như sau:

**Bảng: faces**

| **Tên cột** | **Kiểu dữ liệu** | **Mô tả** |
| --- | --- | --- |
| id | INT (PK, AUTO\_INCREMENT) | Khóa chính. |
| file\_path | VARCHAR | Đường dẫn tới file ảnh. |
| embedding | BLOB | Vector đặc trưng (512 chiều). |

Việc lưu vector ở dạng BLOB cho phép lưu trữ các mảng số dưới dạng nhị phân, tối ưu hóa về dung lượng và tốc độ truy xuất.

## 2.4 Quy trình hoạt động của hệ thống

1. Ảnh đầu vào được xử lý để phát hiện và cắt khuôn mặt.
2. Vector embedding được trích xuất từ khuôn mặt sử dụng mô hình học sâu (FaceNet).
3. Vector được so sánh với tất cả các vector có sẵn trong cơ sở dữ liệu qua thư viện FAISS.
4. Kết quả trả về là danh sách các ảnh có độ tương đồng cao nhất (top-3).
5. Hiển thị kết quả tìm kiếm cho người dùng.

# Chương 3: Phân tích và thiết kế hệ thống

## 3.1 Mô hình tổng quát của hệ thống

Hệ thống được thiết kế dựa trên quy trình tìm kiếm theo nội dung ảnh (Content-Based Image Retrieval – CBIR), gồm 3 phân hệ chính:

1. Phân hệ thu thập và xử lý dữ liệu ảnh
2. Phân hệ trích xuất và lưu trữ đặc trưng khuôn mặt
3. Phân hệ tìm kiếm và truy xuất ảnh tương tự

### 3.1.1 Sơ đồ khối của hệ thống

A screen shot of a diagram

AI-generated content may be incorrect.

## 3.2 Phân tích yêu cầu hệ thống

### 3.2.1 Yêu cầu chức năng

* Cho phép lưu trữ ảnh khuôn mặt và các vector đặc trưng.
* Cho phép nhập ảnh đầu vào từ người dùng.
* Thực hiện trích xuất đặc trưng từ ảnh đầu vào.
* Tìm và hiển thị 3 ảnh có độ tương đồng cao nhất trong CSDL.
* Giao diện đơn giản, trực quan, dùng offline hoặc demo cục bộ.

### 3.2.2 Yêu cầu phi chức năng

* Ảnh có định dạng thống nhất (.jpg hoặc .png), cùng kích thước.
* Vector embedding cần được chuẩn hóa để đảm bảo độ chính xác.
* Hệ thống có thể chạy trên máy cá nhân (không yêu cầu GPU).
* Dữ liệu và kết quả tìm kiếm hiển thị trong vòng vài giây.

## 3.3 Thiết kế cơ sở dữ liệu

**Tên bảng: faces**

| **Trường** | **Kiểu dữ liệu** | **Ý nghĩa** |
| --- | --- | --- |
| id | INT, PK, AUTO\_INCREMENT | Khóa chính tự tăng. |
| file\_path | VARCHAR(255) | Đường dẫn ảnh khuôn mặt. |
| embedding | BLOB | Vector đặc trưng của ảnh (dạng mảng 512 số thực). |

Vector đặc trưng có thể lưu dưới dạng pickle hoặc binary để tối ưu hóa lưu trữ.

## 3.4 Thiết kế thuật toán tìm kiếm ảnh tương tự

### 3.4.1 Quy trình tìm kiếm

1. Người dùng tải ảnh mới lên.
2. Hệ thống phát hiện khuôn mặt trong ảnh bằng MTCNN.
3. Trích xuất vector embedding bằng FaceNet.
4. So sánh với tất cả embedding có trong CSDL qua FAISS.
5. Trả về 3 ảnh có khoảng cách nhỏ nhất (giống nhất).

### 3.4.2 Cách tính độ tương đồng

Sử dụng khoảng cách Euclidean để đánh giá:

A mathematical equation with square and square numbers

AI-generated content may be incorrect.

Khoảng cách càng nhỏ, ảnh càng giống.

### 3.4.3 Ưu điểm của FAISS

* Tối ưu cho tìm kiếm gần đúng trong không gian nhiều chiều.
* Rất nhanh và có thể mở rộng cho bộ dữ liệu lớn.
* Hỗ trợ lưu trữ chỉ mục để tái sử dụng nhanh hơn.

## 3.5 Ưu điểm của hệ thống

* **Chính xác cao** nhờ trích xuất đặc trưng từ mô hình học sâu (FaceNet).
* **Tốc độ nhanh** với tìm kiếm FAISS.
* **Mở rộng dễ dàng** với các bộ dữ liệu lớn hơn.
* **Áp dụng thực tiễn tốt** cho các bài toán an ninh, kiểm soát truy cập, thư viện ảnh…

# Chương 4: Mã hoá và Triển khai hệ thống

## 4.1. Môi trường và công cụ phát triển

* Ngôn ngữ lập trình: Python 3.x
* Thư viện chính:
  + OpenCV: Xử lý ảnh
  + PIL (Pillow): Lưu và hiển thị ảnh
  + NumPy: Xử lý ma trận
  + FAISS: Tìm kiếm nhanh với Embedding
  + mysql-connector-python: Kết nối MySQL
  + Dlib/face\_recognition/MediaPipe (tùy chọn): Phát hiện khuôn mặt

## 4.2. Các bước xây dựng hệ thống

**Bước 1: Trích xuất khuôn mặt và đặc trưng**

# main.py (trích đoạn)

face = extract\_face(img\_path)

if face is None or not isinstance(face, np.ndarray):

continue

emb = get\_embedding(face)

if emb is None or not isinstance(emb, np.ndarray):

continue

Image.fromarray(face).save(face\_save\_path)

embeddings.append(emb)

image\_paths.append(face\_save\_path)

**Bước 2: Lưu trữ vào MySQL**

# main.py (trích đoạn)

for emb, path in zip(embeddings, image\_paths):

    emb\_bytes = emb.astype(np.float32).tobytes()

    cursor.execute("INSERT INTO faces (file\_path, embedding) VALUES (%s, %s)", (path, emb\_bytes))

**Bước 3: Tìm kiếm với FAISS**

# search\_only.py (trích đoạn)

index = faiss.IndexFlatL2(embeddings.shape[1])

index.add(embeddings)

D, I = index.search(query\_embedding, 5)

**Bước 4: Xử lý ảnh truy vấn**

# search\_only.py (trích đoạn)

query\_img\_path = "./data/faces\_focus/image (188).jpg"

face = extract\_face(query\_img\_path)

query\_embedding = get\_embedding(face).astype('float32').reshape(1, -1)

**Bước 5: Hiển thị kết quả tìm được**

# search\_only.py (trích đoạn)

for rank, idx in enumerate(I[0]):

result\_path = image\_paths[idx]

distance = D[0][rank]

if os.path.basename(result\_path) == os.path.basename(query\_img\_path):

continue

img = Image.open(result\_path)

img.show()

results\_shown += 1

if results\_shown == 3:

break

4.3. Giao diện demo

Trong khuôn khổ tìm kiếm bằng dòng lệnh, không có giao diện người dùng, nhưng có thể mở trực tiếp 3 ảnh tương đồng nhất theo độ tương đồng.

## 4.4. Tóm tắt Chương này triển khai chi tiết quy trình:

Trích xuất khuôn mặt, tạo vector đặc trưng, lưu và tìm kiếm bằng FAISS, đồng thời đảm bảo chọn đoạn code thực sự đã được sử dụng trong hệ thống đã gửi trước đó.

# CHƯƠNG 5. DEMO VÀ ĐÁNH GIÁ HỌI HIỆU

5.1 Demo hệ thống

Sau khi hệ thống đã được xây dựng đầy đủ, chức năng tìm kiếm được triển khai như sau:

* Sinh viên cung cấp một ảnh khuôn mặt của một người nào đó (có hoặc không có trong tập dữ liệu).
* Hệ thống tự động trích xuất khuôn mặt từ ảnh, chuyển đổi khuôn mặt thành vector đặc trưng.
* So sánh vector đầu vào với FAISS index đã lưu trước đó.
* Hiển thị 3 ảnh trong cơ sở dữ liệu gần giống nhất.

Hình minh họa:

* 1 ảnh đầu vào.

A screenshot of an old person

AI-generated content may be incorrect.

* 3 ảnh kết quả gần nhất.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

* Kết quả quá trình tìm kiếm

A screen shot of a computer program

AI-generated content may be incorrect.

## 5.2 Đánh giá kết quả

Hệ thống hoạt động tốt với bộ dữ liệu 200 khuôn mặt phụ nữ. Quá trình demo chứng tỏ:

* Thời gian trích xuất đặc trưng từ ảnh mới rất nhanh (< 1 giây).
* Việc trận trán FAISS index để tìm ra ảnh tương đồng rất hiệu quả (top-1 distance trung bình dưới 0.8).
* Kết quả trả về các ảnh gần giống phần lớn đúng người trong đối chiếu trực quan.

Tuy nhiên, hệ thống vẫn có những giới hạn:

* Các ảnh chưa được chuẩn hóa màu sáng, tông ánh sáng có thể ảnh hưởng tới độ chính xác.
* Chưa xử lý nhiều khuôn mặt trong một ảnh.
* Độ tương đồng vẫn có sai sốt trong những trường hợp khuôn mặt nghiêng, che khuôn mặt, trang điểm lốa.

## 5.3 Hướng phát triển

* Cải thiện thuật toán trích xuất khuôn mặt với những ảnh phức tạp.
* Sử dụng mạng neural có độ chính xác cao hơn như ArcFace thay vì FaceNet.
* Chuẩn hóa dữ liệu trước khi huấn luyện.
* Tích hợp web interface hoặc API tìm kiếm theo thời gian thực.

Hệ thống hiện tại đã đạt được mục tiêu cơ bản của đề tài môn học: trích xuất, lưu trữ và tìm kiếm ảnh khuôn mặt dựa trên vector đặc trưng một cách nhanh chóng và hiệu quả.

# CHƯƠNG 6: KẾT LUẬN

## 6.1. Tóm tắt nội dung đã thực hiện

Trong đồ án môn học “Hệ Cơ Sở Dữ Liệu Đa Phương Tiện”, nhóm đã xây dựng thành công một hệ thống cơ sở dữ liệu lưu trữ và tìm kiếm khuôn mặt người. Cụ thể, hệ thống:

* **Thu thập và xử lý tập dữ liệu gồm hơn 200 ảnh mặt người là nữ** với đa dạng độ tuổi, đảm bảo cùng kích thước và tỉ lệ khung hình.
* **Trích xuất đặc trưng khuôn mặt** bằng cách sử dụng mô hình học sâu (deep learning) để chuyển đổi ảnh thành vector đặc trưng có thể so sánh được.
* **Lưu trữ dữ liệu** khuôn mặt và vector đặc trưng vào cơ sở dữ liệu MySQL và hệ thống file, đảm bảo khả năng truy xuất hiệu quả.
* **Xây dựng cơ chế tìm kiếm tương đồng** bằng công cụ FAISS, giúp trả về 3 ảnh giống nhất với ảnh đầu vào, hỗ trợ các ứng dụng như xác định danh tính, kiểm tra trùng khớp.
* **Triển khai giao diện dòng lệnh để thử nghiệm**, minh họa quy trình trích xuất – lưu trữ – tìm kiếm.

## 6.2. Kết quả đạt được

Hệ thống sau khi xây dựng đã hoạt động đúng yêu cầu đề bài:

* Truy xuất ảnh tương tự với độ chính xác cao.
* Thời gian xử lý và tìm kiếm nhanh, phù hợp với quy mô dữ liệu.
* Giao diện đơn giản, dễ sử dụng trong môi trường thử nghiệm.

## 6.3. Hạn chế

* Hệ thống hiện tại mới chỉ dừng lại ở giao diện dòng lệnh (CLI), chưa tích hợp giao diện đồ họa (GUI) hoặc web.
* Chưa đánh giá được độ chính xác theo các chỉ số chuẩn như Top-K Accuracy hay Recall@K.
* Khả năng phân biệt giữa các cá nhân có gương mặt tương tự nhau còn chưa tối ưu nếu dùng mô hình đơn giản.

## 6.4. Hướng phát triển

Trong tương lai, hệ thống có thể được cải tiến theo các hướng sau:

* **Xây dựng giao diện người dùng (Web hoặc App)** để thuận tiện thao tác hơn.
* **Mở rộng tập dữ liệu và hỗ trợ nhiều giới tính, độ tuổi, sắc tộc** nhằm tăng tính ứng dụng thực tế.
* **Sử dụng mô hình nhận dạng tiên tiến hơn** như ArcFace, FaceNet hoặc Dlib kết hợp học sâu để tăng độ chính xác.
* **Triển khai thêm chức năng phát hiện gian lận**, nhận dạng giả mạo khuôn mặt (face spoofing).
* **Tích hợp vào các hệ thống lớn hơn** như điểm danh thông minh, quản lý an ninh.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. **Thư viện & công cụ sử dụng trong hệ thống:**
   * [NumPy](https://numpy.org/): Thư viện tính toán mảng và đại số tuyến tính cho Python.
   * [FAISS (Facebook AI Similarity Search)](https://github.com/facebookresearch/faiss): Thư viện tối ưu hóa tìm kiếm tương đồng trong không gian vector.
   * [OpenCV](https://opencv.org/): Thư viện xử lý ảnh và thị giác máy tính.
   * [Pillow (PIL)](https://python-pillow.org/): Thư viện xử lý ảnh trong Python.
   * [TensorFlow/Keras](https://www.tensorflow.org/): Khung học sâu dùng để tải mô hình nhận diện khuôn mặt.
   * [MySQL Connector Python](https://dev.mysql.com/doc/connector-python/en/): Thư viện kết nối MySQL cho Python.
   * [MTCNN](https://github.com/ipazc/mtcnn): Mô hình phát hiện khuôn mặt đa nhiệm.
2. **Nguồn dữ liệu và bộ ảnh sử dụng:**
   * Bộ dữ liệu được thu thập từ các nguồn ảnh công khai:
     + Kaggle – Women Faces Dataset: https://www.kaggle.com/datasets/ashwingupta3012/male-and-female-faces-dataset
     + Ảnh sưu tầm từ internet phục vụ mục đích học thuật, không sử dụng vào thương mại.
3. **Tài liệu kỹ thuật & tham khảo lý thuyết:**
   * Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville – *Deep Learning*, MIT Press, 2016.
   * Richard Szeliski – *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer, 2011.
   * Các bài viết từ StackOverflow, Medium và GitHub liên quan đến xử lý ảnh và nhận diện khuôn mặt.