

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



NGUYỄN MINH HẢI

**PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN TRA CỨU ẢNH
DỰA TRÊN NGỮ NGHĨA**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ MÁY TÍNH

Ngành: Khoa học máy tính

Mã số: 9 48 01 01

Thành phố Hồ Chí Minh - 2024

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học:

1. Người hướng dẫn 1: PGS. TS. Trần Văn Lãng, Viện Cơ và Tin học Ứng dụng, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
2. Người hướng dẫn 2: TS. Văn Thế Thành, Trường Đại học Sư phạm TP. Hồ Chí Minh

Phản biện 1: PGS.TS. Trần Công Hùng

Phản biện 2: PGS.TS. Huỳnh Tường Nguyên

Phản biện 3: TS. Lê Quang Minh

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện họp tại Viện Cơ và Tin học Ứng dụng, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi 09 giờ 00, ngày 06 tháng 12 năm 2024.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
2. Thư viện Quốc gia Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Tổng quan

Thị giác máy tập trung chủ yếu vào ứng dụng của hình ảnh điện tử và máy tính hỗ trợ, đặc biệt trong việc phân tích hình ảnh thu thập từ các hệ thống như theo dõi người đi bộ, phân tích giao thông, giám sát an ninh, và khám phá không gian sâu. Tuy nhiên, để đạt được kết quả tốt hơn trong ứng dụng thị giác máy, người ta ngày càng đẩy mạnh việc kết hợp học máy với các phương pháp xử lý hình ảnh trong quá trình phân tích. Sự kết hợp này được coi là một cách để tạo ra các hệ thống thông minh hơn và đã trở nên phổ biến trong các ứng dụng tìm kiếm hình ảnh.

2. Tính cấp thiết của luận án

Bài toán tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa là một vấn đề được quan tâm rất nhiều bởi các nhà nghiên cứu trên toàn thế giới, và có hiệu suất tốt khi được giải quyết. Với mong muốn đóng góp một phương pháp truy xuất ảnh theo ngữ nghĩa hiệu quả, luận án thực hiện đề tài: “Phát triển thuật toán tra cứu ảnh dựa trên ngữ nghĩa”.

3. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Mục tiêu nghiên cứu của luận án tập trung các vấn đề sau:

- ❖ Phân tích và rút trích các đặc trưng ngữ nghĩa từ hình ảnh.
- ❖ Hiểu và xử lý các thành phần trong hình ảnh để tạo ra một ngữ nghĩa cho ảnh.
- ❖ Phát triển một hệ thống tìm kiếm và phân loại ảnh có khả năng hiểu và đáp ứng yêu cầu người dùng một cách hiệu quả.

4. Phương pháp nghiên cứu

- ❖ Phương pháp lý thuyết: Tổng hợp các công trình liên quan đến truy vấn theo ngữ nghĩa sử dụng các phương pháp học máy và các cấu trúc lưu trữ dạng cây.
- ❖ Phương pháp thực nghiệm: Dựa trên các phương pháp và mô hình được đề xuất trong luận án, thực hiện cài đặt chương trình thực nghiệm trên các tập dữ liệu phổ biến.

5. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- ❖ Đối tượng nghiên cứu: Thuật toán tìm kiếm; ngữ nghĩa trong hình ảnh; dữ liệu hình ảnh.
- ❖ Phạm vi nghiên cứu: Nhận diện một số loại ngữ nghĩa nhất định như vật thể, hành động hoặc bối cảnh.

6. Các đóng góp của luận án

Phát triển thuật toán tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên các đặc trưng thị giác của ảnh dựa trên cấu trúc dữ liệu GP-Tree nhằm nâng cao độ chính xác tìm kiếm ảnh, gồm:

- ❖ Xây dựng cấu trúc dữ liệu phân cụm phân cấp GP-Tree nhằm tổ chức lưu trữ các véc-tơ đặc trưng của ảnh
- ❖ Phát triển cấu trúc GP-Tree dựa trên các thuật toán học có giám sát và bán giám sát nhằm tăng hiệu quả tìm kiếm ảnh
- ❖ Xây dựng hệ tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên cấu trúc GP-Tree và ontology nhằm minh chứng hiệu quả tìm kiếm ảnh của các phương pháp đề xuất

7. Nội dung và bố cục của luận án

Cấu trúc của luận án bao gồm:

Chương 1: Tổng quan tìm kiếm ảnh

Chương này trình bày tổng quan về bài toán tìm kiếm ảnh, tập trung vào hai hướng chính: tìm kiếm ảnh theo nội dung (CBIR) và tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa (SBIR). Các nghiên cứu liên quan được khảo sát, phân tích để nhận diện thách thức và hạn chế trong các phương pháp hiện có. Từ đó, luận án đề xuất định hướng nghiên cứu nhằm khắc phục các hạn chế này. Phần này cũng mô tả chi tiết cách tổ chức thực nghiệm, bao gồm thiết lập môi trường, lựa chọn và sử dụng tập dữ liệu, cùng các tiêu chí đánh giá hiệu suất tìm kiếm.

Chương 2: Cấu trúc GP-Tree cho lưu trữ và tìm kiếm ảnh

Chương này tập trung vào việc sử dụng cấu trúc cây để lưu trữ và lập chỉ mục tập dữ liệu ảnh. Cấu trúc GP-Tree được mô tả chi tiết, bao gồm các thao tác thêm, sửa, tách, và xóa phần tử. Một mô hình tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên GP-Tree được đề xuất nhằm cải thiện hiệu suất tìm kiếm. Các thử nghiệm trên các bộ dữ liệu phổ biến như Wang, MS-COCO, và

ImageCLEF cho thấy tính hiệu quả của mô hình.

Chương 3: Cải tiến GP-Tree với Graph-GPTree cho tìm kiếm ảnh

Chương này trình bày phương pháp cải tiến GP-Tree thông qua việc kết hợp với đồ thị cụm lân cận, tạo thành cấu trúc Graph-GPTree. Sự cải tiến này nhằm nâng cao hiệu quả lưu trữ và tìm kiếm các phần tử tương tự. Một mô hình tìm kiếm ảnh dựa trên Graph-GPTree được đề xuất, với mục tiêu cải thiện độ chính xác và tốc độ tìm kiếm. Các thử nghiệm được thực hiện trên bộ dữ liệu Wang, MS-COCO, và ImageCLEF để đánh giá hiệu quả của phương pháp.

Chương 4: Cấu trúc mạng SgGP-Tree cho tìm kiếm ảnh dựa trên ngữ nghĩa

Chương này đề xuất một cải tiến mới, kết hợp Graph-GPTree và mạng tự tổ chức (SOM), gọi là SgGP-Tree. Cấu trúc này được thiết kế để nâng cao hiệu quả lưu trữ và tìm kiếm ảnh. Đồng thời, một mô hình tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên ontology được đề xuất, gọi là SBIR-GP. Các thử nghiệm trên những bộ dữ liệu tiêu chuẩn như Wang, MS-COCO, và ImageCLEF đã khẳng định hiệu quả vượt trội của phương pháp.

Kết luận và hướng phát triển: Trình bày những kết quả đạt được định hướng phát triển tiếp theo của luận án.

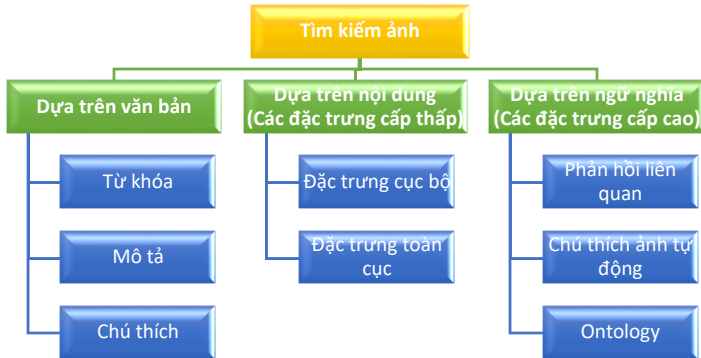
Danh mục công trình của tác giả: Liệt kê các công trình mà tác giả đã công bố trong quá trình thực hiện luận án.

Tài liệu tham khảo: Liệt kê các tài liệu mà luận án đã tham khảo.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÌM KIẾM ẢNH

1.1. Tổng quan về tìm kiếm ảnh

Bài toán tìm kiếm ảnh trình bày trong luận án được xác định là tìm ra tập ảnh có độ tương tự gần nhất với ảnh đầu vào dựa trên độ đo tương tự giữa các ảnh. **Hình 1.1** mô tả các phương pháp trong tìm kiếm ảnh



Hình 1.1. Các loại tìm kiếm ảnh.

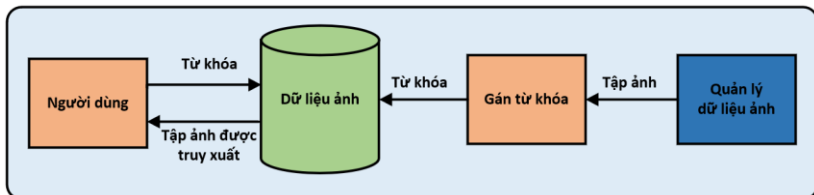
1.2. Các đặc trưng phổ biến trong tìm kiếm ảnh

Một đặc trưng được định nghĩa là việc xác định một thuộc tính trực quan của hình ảnh. Nhìn chung, các đặc trưng hình ảnh có thể là toàn cục hoặc cục bộ.

1.3. Các công trình nghiên cứu liên quan về tìm kiếm ảnh

1.3.1. Tìm kiếm ảnh dựa trên văn bản

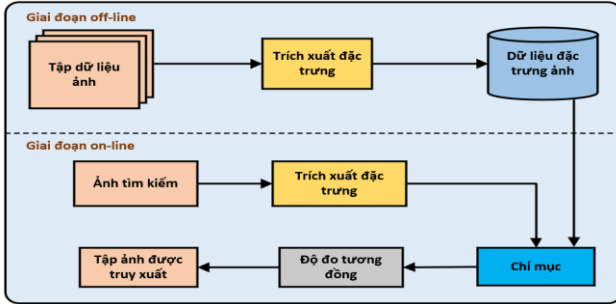
Phương pháp dựa trên văn bản là một phương pháp tìm kiếm đơn giản theo từ khóa truyền thống (**Hình 1.2**). Các hình ảnh được lập chỉ mục theo nội dung, như chú thích của hình ảnh; tên tệp, tiêu đề của trang web và thẻ thay thế.... và được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu.



Hình 1.2. Hệ thống tìm kiếm ảnh dựa trên văn bản

1.3.2. Tìm kiếm ảnh theo nội dung

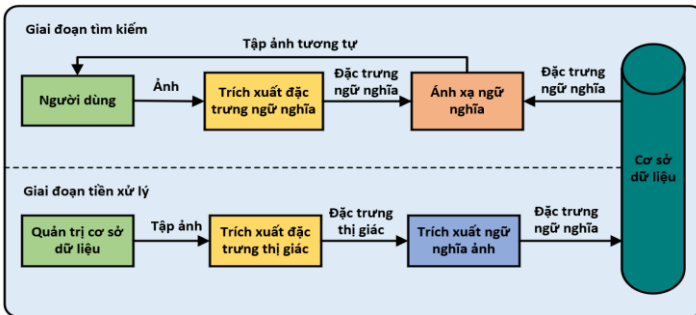
Trong hệ thống tìm kiếm ảnh dựa trên nội dung, hiệu quả của quá trình tính toán phụ thuộc vào khả năng trích xuất đặc trưng cấp thấp và đo độ tương tự. Trong phương pháp tìm kiếm ảnh dựa trên nội dung (**Hình 1.3**), các đặc trưng trực quan cấp thấp như: màu sắc, hình dạng, kết cấu và bố cục không gian



Hình 1.3. Hệ thống tìm kiếm ảnh dựa trên nội dung

1.3.3. Tìm kiếm ảnh dựa trên ngữ nghĩa

Trong lĩnh vực tìm kiếm ảnh, thách thức chính đó là việc chuyển đổi ảnh sang các đặc trưng cấp thấp mà máy tính có thể tính toán được và liên kết chúng với các khái niệm bậc cao để giảm khoảng cách ngữ nghĩa. Nhiều phương pháp tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa đã được đề xuất để giảm khoảng cách ngữ nghĩa như: tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên kỹ thuật học máy, tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên ontology. Hệ thống tìm kiếm ảnh dựa trên ngữ nghĩa được mô tả trong hình **Hình 1.4**



Hình 1.4. Hệ thống tìm kiếm ảnh dựa trên ngữ nghĩa

1.4. Các phương pháp tổ chức thực nghiệm và đánh giá

Các mô hình đề xuất được xây dựng và thực nghiệm dựa trên nền tảng dotNet Framework 4.5 và Python 3.7

Các bộ dữ liệu được sử dụng trong thực nghiệm của luận án là các bộ dữ liệu phổ biến và được sử dụng rộng rãi trong các công trình nghiên cứu về tìm kiếm ảnh, gồm: Wang, ImageCLEF, MS-COCO.

Các kết quả cần được đánh giá hiệu suất gồm: Kết quả phân lớp hình ảnh và độ chính xác tìm kiếm ảnh. Các giá trị đánh giá hiệu suất của phân lớp và tìm kiếm ảnh được sử dụng trong luận án bao gồm P (precision), độ phủ R (recall) và độ dung hoà F_m (F-measure).

1.5. Tiểu kết chương

Chương này cung cấp một cái nhìn tổng quan chi tiết về các phương pháp tìm kiếm ảnh hiện đại, bao gồm hai hướng tiếp cận chính: tìm kiếm ảnh theo nội dung và tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa.

Chương này cũng trình bày cụ thể các phương pháp tổ chức thực nghiệm, bao gồm việc thiết lập môi trường thực nghiệm, lựa chọn và chuẩn bị tập dữ liệu thực nghiệm, cũng như các thước đo đánh giá hiệu suất của các phương pháp tìm kiếm.

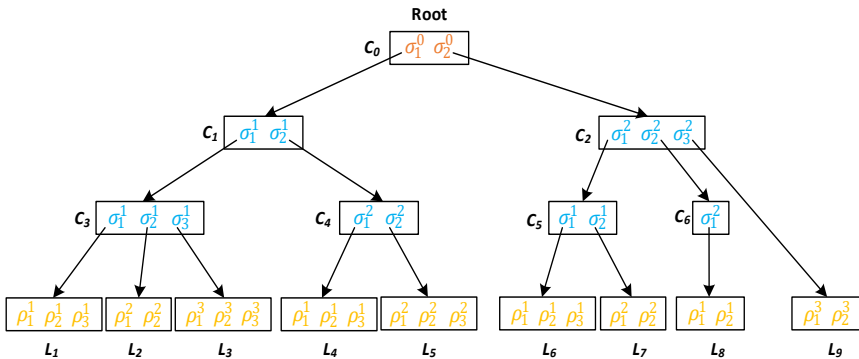
Chương tiếp theo sẽ trình bày một cấu trúc dữ liệu mới, đó là cây phân cụm phân cấp, được đề xuất nhằm tối ưu hóa việc lưu trữ và lập chỉ mục tập dữ liệu ảnh. Cấu trúc này không chỉ hỗ trợ quá trình truy xuất nhanh chóng mà còn giúp tăng cường hiệu quả tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa, cho phép hệ thống có thể xử lý những tập dữ liệu ảnh lớn nhanh và hiệu quả.

CHƯƠNG 2. CẤU TRÚC GP-TREE CHO LƯU TRỮ VÀ TÌM KIẾM ẢNH

Chương này tập trung vào việc sử dụng cấu trúc cây để lưu trữ và lập chỉ mục tập dữ liệu ảnh. Cấu trúc GP-Tree được mô tả chi tiết, bao gồm các thao tác thêm, sửa, tách, và xóa phần tử. Một mô hình tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên GP-Tree được đề xuất nhằm cải thiện hiệu suất tìm kiếm. Các thử nghiệm trên các bộ dữ liệu phổ biến như Wang, MS-COCO, và ImageCLEF cho thấy tính hiệu quả của mô hình. Nội dung của chương này có liên quan trực tiếp đến hai công trình đã công bố là [CT4] và [CT5]; đồng thời cũng liên quan gián tiếp đến các công trình [CT1], [CT2], [CT3].

2.1. Cấu trúc dữ liệu GP-Tree

Trên cơ sở cấu trúc cây đa nhánh và phương pháp phân cụm K-Means, cấu trúc cây GP-Tree được xây dựng bằng cách tách nút lá thành hai nút nếu như số lượng phần tử tại nút lá đó vượt trên giá trị M cho trước, đồng thời tại mỗi một nút trong các nút con có thể được tạo thành dựa trên một ngưỡng θ , ngưỡng này nhằm đánh giá độ tương tự của dữ liệu. Do đó, cây GP-Tree tăng trưởng theo hướng lá và phát triển thành cây đa nhánh mà mỗi một nút lá là một cụm dữ liệu gồm các phần tử tương tự nhau. Các phần tử dữ liệu là các véc-tơ đặc trưng cho mỗi hình ảnh và lần lượt được lưu trữ trên cây GP-Tree, từ đó các thao tác trên cây được thực hiện. Cấu trúc của cây phân cụm phân cấp GP-Tree được minh họa trong **Hình 2.1**

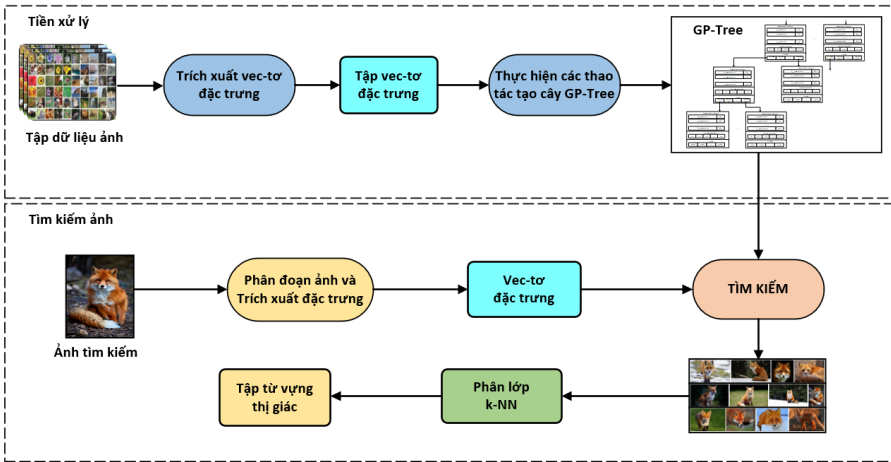


Hình 2.1. Cây phân cụm phân cấp GP-Tree gồm 3 mức

2.2. Tìm kiếm ảnh dựa trên cấu trúc GP-Tree

2.2.1. Hệ tìm kiếm ảnh dựa trên cây GP-Tree

Hệ tìm kiếm ảnh bao gồm 2 pha: (1) pha tiền xử lý thực hiện phân đoạn, trích xuất đặc trưng của ảnh trong tập dữ liệu, lấy các phân lớp khái niệm và tổ chức lưu trữ trên cây GP-Tree; (2) Pha truy vấn có nhiệm vụ tìm kiếm ảnh trong tự theo nội dung trên cây GP-Tree và trích xuất ngữ nghĩa của hình ảnh. **Hình 2.2** trình bày mô hình hệ tìm kiếm ảnh dựa trên cây GP-Tree, với hai pha cụ thể như sau:



Hình 2.2. Mô hình hệ tìm kiếm ảnh dựa trên GP-Tree

2.2.2. Các thuật toán tạo GP-Tree

Các thuật toán được sử dụng trong việc xây dựng cấu trúc GP-Tree bao gồm:

Thuật toán 2.1: Thêm phần tử dữ liệu

Đầu vào: ρ, η, θ , GP-Tree

Đầu ra: Cây GP-Tree sau khi thêm phần tử của nút lá

Hàm: insertED(ρ, η, θ , GP-Tree)

Thuật toán 2.2: Tách một nút trên cây GP-Tree

Đầu vào: L_s , GP-Tree, M

Đầu ra: Cây GP-Tree sau khi tách

Hàm: splitLeafNode(GP-Tree, L_s , M)

<p>Thuật toán 2.3: Xóa một phần tử của nút lá trên cây Đầu vào: GP-Tree, L_S, ρ Đầu ra: Cây GP-Tree sau khi xóa phần tử của nút lá. Hàm: deleteLeafElement(GP-Tree, L_S, ρ)</p>	<p>Thuật toán 2.4: Xóa một phần tử của nút trong trên cây Đầu vào: GP-Tree, C_S, σ Đầu ra: Cây GP-Tree sau khi xóa phần tử của nút trong. Hàm: deleteInternalNodeElement(GP-Tree, C_S, σ)</p>
<p>Thuật toán 2.5: Tạo cây GP-Tree Đầu vào: Tập dữ liệu ảnh Γ, ngưỡng θ Đầu ra: GP-Tree Hàm: createGPT(Γ, θ)</p>	<p>Thuật toán 2.6: Tạo tập từ vựng thị giác Đầu vào: Tập các hình ảnh tương tự Ω, ngưỡng γ Đầu ra: Tập từ vựng thị giác W Hàm: CreateVW(Ω, γ)</p>

2.2.3. Thực nghiệm và đánh giá kết quả

Thực nghiệm được thực hiện trên các tập ảnh WANG, ImageCLEF và MS-COCO, mỗi bộ dữ liệu có đặc điểm và số lượng khác nhau. Kết quả thực nghiệm cây GP-Tree được thể hiện trong **Bảng 2.1**, với các tham số M (số phần tử tối đa của nút lá) và N (số phần tử tối đa của nút trong) được điều chỉnh tùy theo từng tập ảnh. Thời gian thực nghiệm của tập ảnh WANG là thấp nhất (17.839,47 giây) do số lượng ảnh và cụm ít, trong khi thời gian thực nghiệm của MS-COCO lâu nhất (158.765,84 giây) do số lượng ảnh và phân lớp lớn, dẫn đến nhiều lần tách nút và cụm. **Bảng 2.1** cũng cung cấp số mẫu ảnh có độ chính xác tốt nhất (top precision – P@). Hệ tìm kiếm ảnh dựa trên cấu trúc GP-Tree và kết quả tìm kiếm được mô tả trong hình **Hình 2.3**.

Bảng 2.1. Kết quả thực nghiệm cây GP-Tree

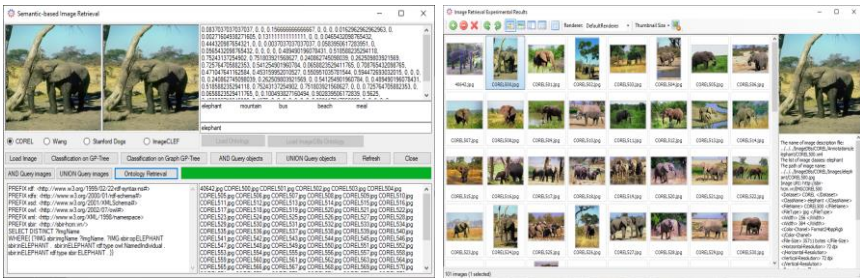
Tên tập ảnh	Số lượng ảnh	Tham số thực nghiệm		Thời gian thực nghiệm (giây)	Số cụm nút lá	Số cụm nút trong	Số mẫu lấy P@	Tỉ lệ P@
		M	N					
WANG	10.800	100	40	17.839,47	218	32	2.240	20%
ImageCLEF	20.000	150	50	32.173,95	432	67	6.000	20%
MS-COCO	163.957	300	70	158.765,84	782	314	44.188	20%

Để đánh giá hiệu quả tìm kiếm ảnh, các yếu tố như Độ chính xác, Độ phủ, Độ dung hòa và thời gian tìm kiếm (milliseconds) được sử dụng, với các chỉ

số và thời gian tìm kiếm trung bình của các thư mục ảnh trên các tập dữ liệu WANG, ImageCLEF và MS-COCO được tổng hợp trong **Bảng 2.2**.

Bảng 2.2. Hiệu suất tìm kiếm ảnh của hệ tìm kiếm ảnh dựa trên GP-Tree trên.

Tập dữ liệu ảnh	Chỉ số đánh giá			
	Độ chính xác	Độ phủ	Độ dung hòa	Thời gian tìm kiếm trung bình (ms)
WANG	0,6780	0,684	0,6810	98,75
ImageCLEF	0,6802	0,775	0,7245	132,09
MS-COCO	0,7170	0,724	0,7205	217,65



Hình 2.3. Hệ tìm kiếm ảnh dựa trên cấu trúc GP-Tree và kết quả tìm kiếm

2.3. Tiểu kết chương

Chương này mô tả cấu trúc cây phân cụm GP-Tree, giải pháp hiệu quả trong lưu trữ và truy xuất dữ liệu lớn, đặc biệt trong tìm kiếm ảnh. GP-Tree sử dụng phương pháp phân cụm phân cấp, giúp tìm kiếm nhanh qua các nhánh có độ tương tự cao. Tại các nút lá, hệ thống xác định các phần tử tương tự nhất, tối ưu thời gian và đạt độ chính xác tốt. Tuy nhiên, GP-Tree cũng có hạn chế, chủ yếu là khi phân tách nút, các phần tử tương tự có thể bị phân bố vào các nút khác nhau, dẫn đến giảm hiệu suất tìm kiếm, đặc biệt khi chúng không còn thuộc cùng một nhánh trong cây.

Chương tiếp theo sẽ giới thiệu việc cải tiến GP-Tree để nâng cao độ chính xác tìm kiếm ảnh, tập trung vào tối ưu hóa cấu trúc cây, giảm tình trạng bỏ sót phần tử tương tự. Đồng thời, một mô hình tìm kiếm ảnh cũng được đề xuất để nâng cao hiệu suất tìm kiếm.

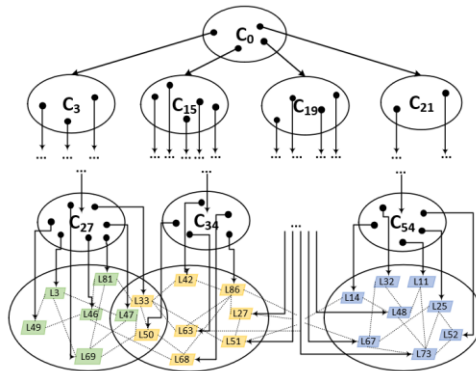
CHƯƠNG 3. CẢI TIẾN GP-TREE VỚI GRAPH-GPTREE CHO TÌM KIẾM ẢNH

Chương này trình bày phương pháp cải tiến GP-Tree thông qua việc kết hợp với đồ thị cụm lân cận, tạo thành cấu trúc Graph-GPTree. Sự cải tiến này nhằm nâng cao hiệu quả lưu trữ và tìm kiếm các phần tử tương tự. Một mô hình tìm kiếm ảnh dựa trên Graph-GPTree được đề xuất, với mục tiêu cải thiện độ chính xác và tốc độ tìm kiếm. Các thử nghiệm được thực hiện trên bộ dữ liệu Wang, MS-COCO, và ImageCLEF để đánh giá hiệu quả của phương pháp. Các thử nghiệm trên những bộ dữ liệu tiêu chuẩn như Wang, MS-COCO, và ImageCLEF đã minh chứng sự hiệu quả của phương pháp đề xuất. Kết quả nghiên cứu của chương này được công bố trong các công trình [CT2], [CT3], và đồng thời được minh chứng thêm qua nội dung các công trình [CT5] và [CT6].

3.1. Đồ thị cụm Graph-GPTree

3.1.1. Cấu trúc Graph-GPTree

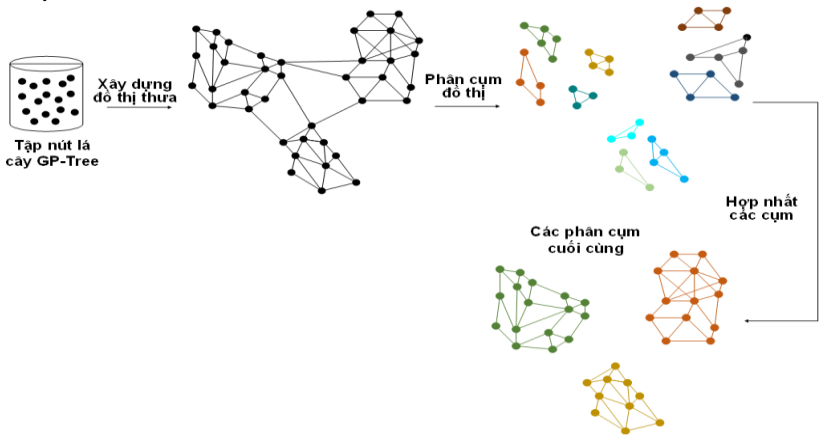
Graph-GPTree được tạo dựa trên các thao tác trên đồ thị thừa tập các nút lá có được của GP-Tree. Trong đó, các đỉnh biểu thị các nút lá và các cạnh có trọng số biểu thị mức độ tương đồng giữa chúng. Đồ thị thừa được tạo trong quá trình tạo cây GP-Tree khi mỗi lần tách nút lá hệ thống tiến hành đánh dấu các mức lân cận của các nút lá vừa mới tách (**Hình 3.1**)



Hình 3.1. Đồ thị thừa được tạo phải tập nút lá cây GP-Tree

3.1.2. Quá trình tạo Graph-GPTree

Thuật toán phân cụm đồ thị GraphGP-Tree để tìm các cụm trong một tập dữ liệu được mô tả tổng quát như trong **Hình 3.2**. Thuật toán thực hiện trên một đồ thị thưa trong đó các nút biểu thị các phần tử dữ liệu và các cạnh có trọng số biểu thị sự tương đồng giữa các phần tử dữ liệu. Việc biểu diễn tập dữ liệu bằng đồ thị thưa này cho phép thuật toán phân cụm mở rộng quy mô thành các tập dữ liệu lớn.

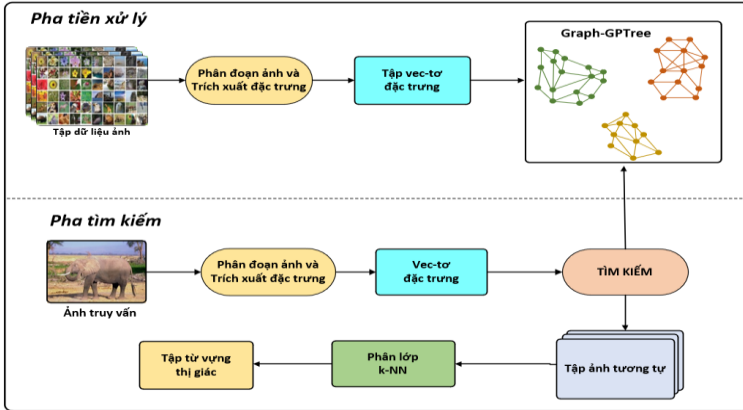


Hình 3.2. Tổng quan về cách tiếp cận tổng thể của thuật toán tạo cây GP-Tree

3.2. Hệ tìm kiếm ảnh trên Graph-GPTree

3.2.1. Mô hình thực nghiệm

Mô hình tìm kiếm ảnh trên đồ thị cụm Graph-GPTree (**Hình 3.3**) bao gồm hai giai đoạn chính: giai đoạn tiền xử lý và giai đoạn tìm kiếm ảnh, mỗi giai đoạn đều đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa kết quả tìm kiếm và cải thiện độ chính xác của hệ thống. Giai đoạn tiền xử lý: (1) phân đoạn và trích xuất đặc trưng từ tập dữ liệu ảnh; (2) xây dựng mô hình Graph-GPTree. Giai đoạn tìm kiếm ảnh: (1) trích xuất đặc trưng từ ảnh đầu vào; (2) so sánh véc-tơ đặc trưng với cơ sở dữ liệu trên cây GP-Tree để chọn nhánh tương tự và xác định nút lá phù hợp; (3) Từ nút lá, sử dụng đồ thị Graph-GPTree để tìm tập lân cận và sắp xếp các ảnh tương tự theo độ đo; (4) áp dụng thuật toán k-NN để phân lớp ảnh tương tự và sử dụng từ vựng thị giác để giải thích ngữ nghĩa.



Hình 3.3. Mô hình tìm kiếm ảnh dựa trên Graph-GPTree

3.2.2. Thực nghiệm và đánh giá hệ tìm kiếm ảnh SBIR-GP

Hệ thống truy xuất hình ảnh SBIR-GP được thiết kế để thực hiện các truy vấn hình ảnh dựa trên ngữ nghĩa bằng cách sử dụng SgGP-Tree và ontology. Khi được cung cấp một hình ảnh đầu vào, hệ thống SBIR-GP trước tiên sẽ trích xuất các vectơ đặc trưng và truy xuất các hình ảnh tương tự dựa trên nội dung của chúng một cách tuần tự bằng cách sử dụng SgGP-Tree. Quá trình này dẫn đến một bộ sưu tập các hình ảnh tương tự.

Các bộ dữ liệu hình ảnh được sử dụng cho các thử nghiệm, bao gồm các bộ dữ liệu WANG, MS-COCO và ImageCLEF. Các giá trị hiệu suất trung bình và thời gian tìm kiếm của bộ dữ liệu thử nghiệm được trình bày trong **Bảng 3.1**, **Bảng 3.2** và **Bảng 3.3**

Bảng 3.1. Hiệu suất tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh WANG

Phương pháp	Độ chính xác	Độ phủ	Độ dung hòa	Thời gian tìm kiếm trung bình (ms)
GP-Tree	0.6780	0.6840	0.6810	39.75
Graph-GPTree	0.7665	0.6677	0.7137	202.79

Bảng 3.2. Hiệu suất tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh ImageCLEF

Phương pháp	Độ chính xác	Độ phủ	Độ dung hòa	Thời gian tìm kiếm trung bình (ms)
GP-Tree	0.6802	0.7750	0.7245	44.09
Graph-GPTree	0.8168	0.7637	0.7894	239.29

Bảng 3.3. Hiệu suất tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh MS-COCO

Phương pháp	Độ chính xác	Độ phủ	Độ dung hòa	Thời gian tìm kiếm trung bình (ms)
GP-Tree	0.717	0.724	0.7205	102.32
Graph-GPTree	0.873	0.764	0.815	198.47

Từ các bảng trên cho thấy cải thiện GP-Tree giúp nâng cao hiệu suất tìm kiếm chính xác cho các bộ dữ liệu WANG, ImageCLEF và MS-COCO. Đồ thị lân cận Graph-GPTree có hiệu suất tốt hơn GP-Tree. Tuy nhiên, thời gian tìm kiếm của GP-Tree nhanh hơn so với Graph-GPTree.

Để đánh giá độ chính xác và hiệu quả hệ tìm kiếm ảnh dựa trên Graph-GPTree, hiệu suất của hệ thống được so sánh với các công trình khác trên cùng tập dữ liệu. Các kết quả trong **Bảng 3.4**, so sánh phương pháp đề xuất với các công trình nghiên cứu khác trên bộ dữ liệu WANG. Graph-GPTree cho thấy độ chính xác tốt hơn các phương pháp khác, nhưng vẫn thấp hơn các kết quả của O. Sikha và K. Soman, và A. Ouni. Mặc dù kết quả chưa cải thiện nhiều, nhưng các phương pháp tìm kiếm ảnh dựa trên Graph-GPTree vẫn có hiệu quả khá tốt trên bộ dữ liệu ảnh WANG. **Bảng 3.5** và **Bảng 3.6** so sánh độ chính xác trung bình của các phương pháp tìm kiếm trên bộ dữ liệu WANG, ImageCLEF và MS-COCO.

Bảng 3.4. So sánh các phương pháp tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh WANG

Phương pháp	Độ chính xác trung bình
K. Kanwal và cộng sự, 2020	0.5067
H. Zeng và cộng sự, 2021	0.6600
O. Sikha và K. Soman, 2021	0.8030
S. Dhingra và P. Bansal, 2021	0.6000
A. Ouni và cộng sự, 2022	0.7800
Graph-GPTree	0.7665

Bảng 3.5. So sánh các phương pháp tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh ImageCLEF

Phương pháp	Độ chính xác trung bình
K. Kanwal và cộng sự, 2020	0.5067
H. Zeng và cộng sự, 2021	0.6600
O. Sikha và K. Soman, 2021	0.8030
S. Dhingra và P. Bansal, 2021	0.6000
A. Ouni và cộng sự, 2022	0.7800
Graph-GPTree	0.7665

Bảng 3.6. So sánh các phương pháp tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh MS-COCO

Phương pháp	Độ chính xác trung bình
Y. Cao và cộng sự, 2018	0.8576
Wen Gu và cộng sự, 2019	0.8350
Y. Xie và cộng sự, 2020	0.8628
Graph-GPTree	0.8730

Các bảng trên cho thấy phương pháp đề xuất đạt độ chính xác cao hơn so với các phương pháp tra cứu khác, chứng tỏ khả năng trích xuất đặc trưng hiệu quả và phân biệt chi tiết các đối tượng trong ảnh. Phương pháp này hiệu quả trong việc giải quyết các bài toán truy vấn và phân tích ngữ nghĩa với cả ảnh đơn và đa đối tượng.

3.3. Tiểu kết chương

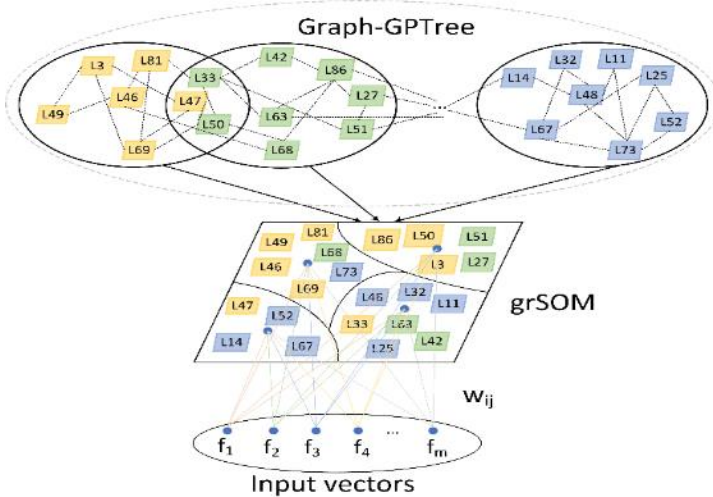
Chương này đề xuất các phương pháp nâng cao hiệu suất tra cứu ảnh trên GP-Tree. Đầu tiên, mô hình Graph-GPTree kết hợp biểu đồ lân cận và GP-Tree, khắc phục hạn chế khi các phần tử tương tự bị phân tán qua các nhánh khác nhau trong quá trình phân tách nút. Việc sử dụng biểu đồ lân cận giúp kết nối các phần tử tương tự, tăng cường khả năng tìm kiếm chính xác và hiệu quả hơn.

CHƯƠNG 4. CẤU TRÚC SGGP-TREE CHO TÌM KIẾM ẢNH THEO NGỮ NGHĨA

Chương này đề xuất một cải tiến mới cho cấu trúc GP-Tree bằng cách kết hợp Graph-GPTree và mạng tự tổ chức (SOM), gọi là SgGP-Tree. Cấu trúc này được thiết kế để nâng cao hiệu quả lưu trữ và tìm kiếm ảnh. Đồng thời, một mô hình tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên ontology được đề xuất, gọi là SBIR-GP. Các thử nghiệm trên những bộ dữ liệu tiêu chuẩn như Wang, MS-COCO, và ImageCLEF đã khẳng định hiệu quả vượt trội của phương pháp. Kết quả nghiên cứu của chương này được công bố trong các công trình [CT3], và đồng thời được minh chứng thêm qua nội dung các công trình [CT5] và [CT6].

4.1. Mạng kết hợp SgGP-Tree

Cấu trúc SgGP-Tree là sự kết hợp giữa cây GP-Tree, Graph-GPTree và mạng SOM. Trong mạng SOM, sự điều chỉnh các trọng số trong quá trình huấn luyện sẽ làm cho SOM đạt được sự gom cụm tốt nhất. Mô hình kết hợp giữa cây GP-Tree, đồ thị láng giềng Graph-GPTree và mạng grSOM, gọi là SgGP-Tree, được mô tả như trong **Hình 4.1**.

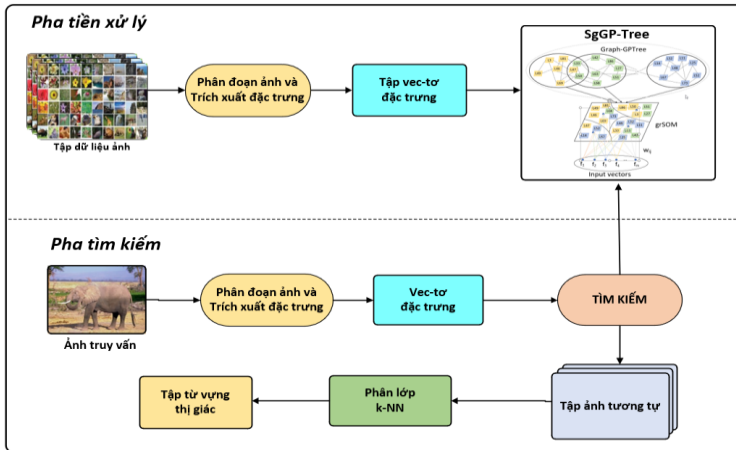


Hình 4.1. Mô hình kết hợp SgGP-Tree

4.2. Hệ tìm kiếm ảnh trên SgGP-Tree

4.2.1. Mô hình thực nghiệm

Mô hình tìm kiếm ảnh trên mạng kết hợp SgGP-Tree là sự kết hợp giữa cây GP-Tree, đồ thị cụm lân cận Graph-GPTree và mạng SOM (**Hình 4.2**). Quá trình tiền xử lý bao gồm trích xuất đặc trưng từ ảnh và lưu trữ trên SgGP-Tree. Trong quá trình tìm kiếm, SgGP-Tree được sử dụng để tìm các ảnh tương tự và từ vựng thị giác. Mô hình này sử dụng lại khối trích xuất đặc trưng từ các mô hình trước, với cải tiến là sự kết hợp đồ thị Graph-GPTree và mạng SOM vào cây GP-Tree, tạo thành SgGP-Tree.

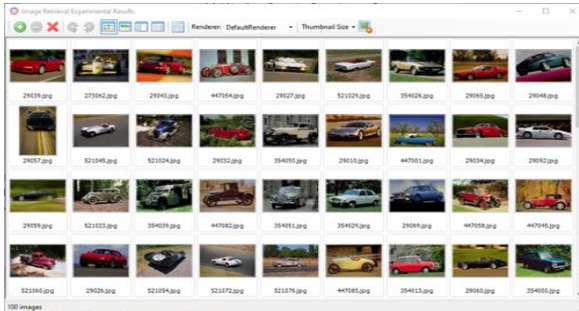
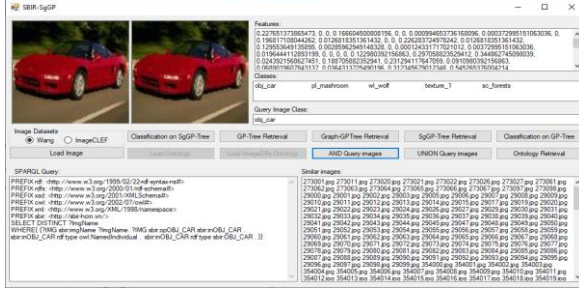


Hình 4.2. Mô trình tìm kiếm ảnh trên SgGP-Tree

4.2.2. Thực nghiệm và đánh giá kết quả

Khi nhận hình ảnh đầu vào, hệ thống trích xuất các véc-tơ đặc trưng và tìm kiếm hình ảnh tương tự dựa trên nội dung bằng SgGP-Tree. Kết quả là tập hợp các hình ảnh tương tự với ảnh đầu vào. **Hình 4.3** minh họa giao diện hệ thống tìm kiếm ảnh dựa trên SgGP-Tree với đầu vào là ảnh và mô tả kết quả tập ảnh tương tự truy xuất được từ ảnh tìm kiếm.

Các bộ dữ liệu hình ảnh được sử dụng cho các thử nghiệm, bao gồm các bộ dữ liệu WANG, MS-COCO và ImageCLEF. Các giá trị hiệu suất trung bình và thời gian tìm kiếm của bộ dữ liệu thử nghiệm được trình bày trong **Bảng 4.1**, **Bảng 4.2** và **Bảng 4.3**



Hình 4.3. Giao diện hệ tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa SgGP-Tree

Bảng 4.1. Hiệu suất tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh WANG

Phương pháp	Độ chính xác	Độ phủ	Độ dung hòa	Thời gian tìm kiếm trung bình (ms)
GP-Tree	0.6780	0.6840	0.6810	39.75
Graph-GPTree	0.7665	0.6677	0.7137	202.79
SgGP-Tree	0.8004	0.7040	0.7491	696.19

Bảng 4.2. Hiệu suất tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh ImageCLEF

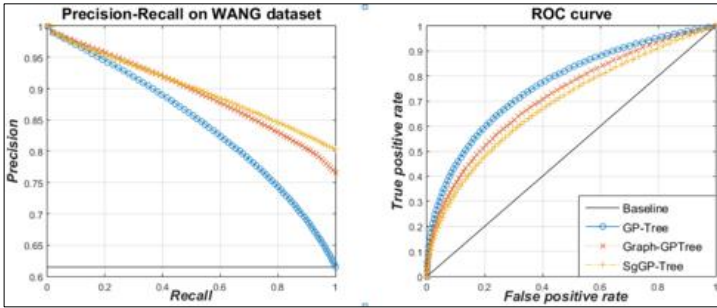
Phương pháp	Độ chính xác	Độ phủ	Độ dung hòa	Thời gian tìm kiếm trung bình (ms)
GP-Tree	0.6802	0.7750	0.7245	44.09
Graph-GPTree	0.8168	0.7637	0.7894	239.29
SgGP-Tree	0.8926	0.8764	0.8844	868.51

Bảng 4.3. Hiệu suất tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh MS-COCO

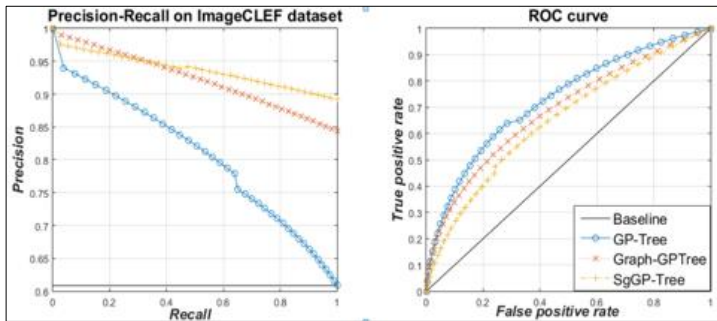
Phương pháp	Độ chính xác	Độ phủ	Độ dung hòa	Thời gian tìm kiếm trung bình (ms)
GP-Tree	0.717	0.724	0.7205	102.32
Graph-GPTree	0.873	0.764	0.815	198.47
SgGP-Tree	0.875	0.724	0.783	265.45

Từ các bảng trên cho thấy cải thiện GP-Tree giúp nâng cao hiệu suất tìm kiếm chính xác cho các bộ dữ liệu WANG, ImageCLEF và MS-COCO. Đồ thị lân cận Graph-GPTree có hiệu suất tốt hơn GP-Tree nhưng thấp hơn SgGP-Tree. Tuy nhiên, thời gian tìm kiếm của GP-Tree nhanh hơn so với Graph-GPTree và SgGP-Tree.

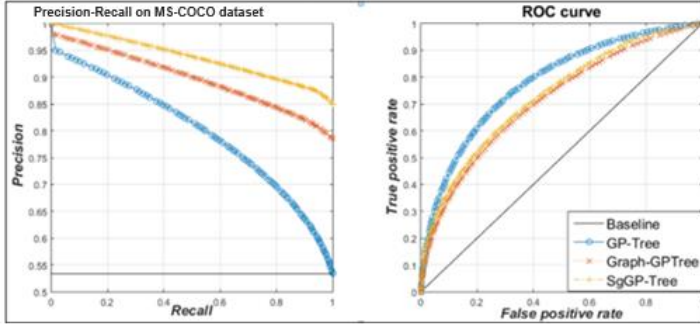
Để đánh giá hiệu quả hệ thống tìm kiếm, các đường cong đặc tính ROC và PR được sử dụng. Diện tích dưới đường cong (AUC) trong không gian ROC là thước đo độ chính xác của quá trình tìm kiếm, với diện tích càng lớn thì độ chính xác càng cao. Đường cong PR kết hợp độ chính xác và phạm vi bao phủ, với AUC tương tự ROC. Các đường cong ROC và PR được sử dụng để đánh giá độ chính xác của hệ tìm kiếm SgGP-Tree, như thể hiện trong **Hình 4.4**, **Hình 4.5** và **Hình 4.6**



Hình 4.4. Hiệu suất tìm kiếm ảnh trên GP-Tree, Graph-GPTree và SgGP-Tree trên tập dữ liệu ảnh WANG.



Hình 4.5. Hiệu suất tìm kiếm ảnh trên GP-Tree, Graph-GPTree và SgGP-Tree trên tập dữ liệu ảnh ImageCLEF.



Hình 4.6. Hiệu suất tìm kiếm ảnh trên GP-Tree, Graph-GP-Tree và SgGP-Tree trên tập dữ liệu ảnh MS-COCO.

Để đánh giá độ chính xác và hiệu quả của SgGP-Tree, hiệu suất của hệ thống được so sánh với các công trình khác trên cùng tập dữ liệu. Các kết quả trong **Bảng 4.4**, **Bảng 4.5** và **Bảng 4.6** so sánh độ chính xác trung bình của các phương pháp tìm kiếm trên bộ dữ liệu WANG, ImageCLEF và MS-COCO.

Bảng 4.4. So sánh các phương pháp tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh WANG

Phương pháp	Độ chính xác trung bình
H. Zeng và cộng sự, 2021	0.6600
O. Sikha và K. Soman, 2021	0.8030
S. Dhingra và P. Bansal, 2021	0.6000
A. Ouni và cộng sự, 2022	0.7800
SgGP-Tree	0.8004

Bảng 4.5. So sánh các phương pháp tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh ImageCLEF

Phương pháp	Độ chính xác trung bình
Y. Qiang và cộng sự, 2020	0.6670
X. Yue và cộng sự, 2021	0.7140
N. T. U. Nhi và cộng sự, 2022	0.6510
X. Wang và cộng sự, 2023	0.7270
SgGP-Tree	0.8926

Bảng 4.6. So sánh các phương pháp tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh MS-COCO

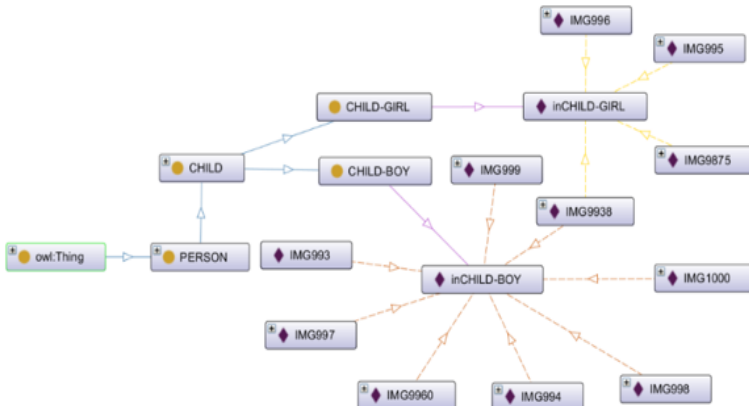
Phương pháp	Độ chính xác trung bình
Y. Cao và cộng sự, 2018	0.8576
Y. Xie và cộng sự, 2020	0.8628
Wen Gu và cộng sự, 2019	0.8350
SgGP-Tree	0.8753

Các bảng trên cho thấy phương pháp đề xuất đạt độ chính xác cao hơn so với các phương pháp tra cứu khác, chứng tỏ khả năng trích xuất đặc trưng hiệu quả và phân biệt chi tiết các đối tượng trong ảnh. Phương pháp này hiệu quả trong việc giải quyết các bài toán truy vấn và phân tích ngữ nghĩa với cả ảnh đơn và đa đối tượng.

4.3. Hệ tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên ontology

4.3.1. Khung ontology

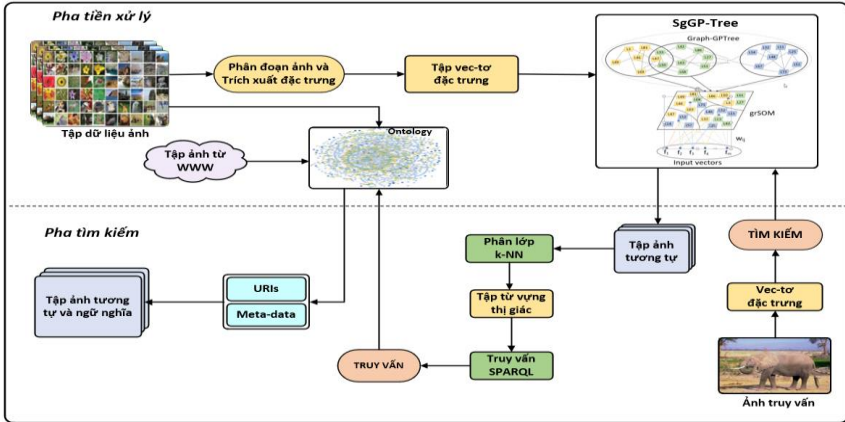
Ontology được xây dựng, phát triển dựa trên tập ảnh đối tượng và mối quan hệ giữa các đối tượng. Các hình ảnh đa đối tượng ban đầu được phân đoạn thành ảnh đối tượng; trích xuất các thành phần của ảnh đối tượng và xây dựng mối quan hệ giữa các đối tượng. **Hình 4.7** minh họa ontology xây dựng trên Protégé cho dữ liệu MS-COCO



Hình 4.7. Một ví dụ về ontology áp dụng trên bộ dữ liệu ảnh MS-COCO

4.3.2. Mô hình tìm kiếm ảnh dựa trên ngữ nghĩa

Hệ tìm kiếm ảnh dựa trên ngữ nghĩa SBIR-GP là sự kết hợp giữa cấu trúc học máy SgGP-Tree và ontology, nhằm nâng cao khả năng tìm kiếm và phân loại ảnh theo ngữ nghĩa (**Hình 4.8**). Hệ thống này gồm hai giai đoạn là giai đoạn tiền xử lý và giai đoạn tìm kiếm ảnh. Mỗi giai đoạn đều đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa kết quả tìm kiếm và cải thiện độ chính xác của hệ thống.



Hình 4.8. Mô hình tìm kiếm ảnh dựa trên ngữ nghĩa SBIR-GP

4.3.3. Thực nghiệm và đánh giá kết quả

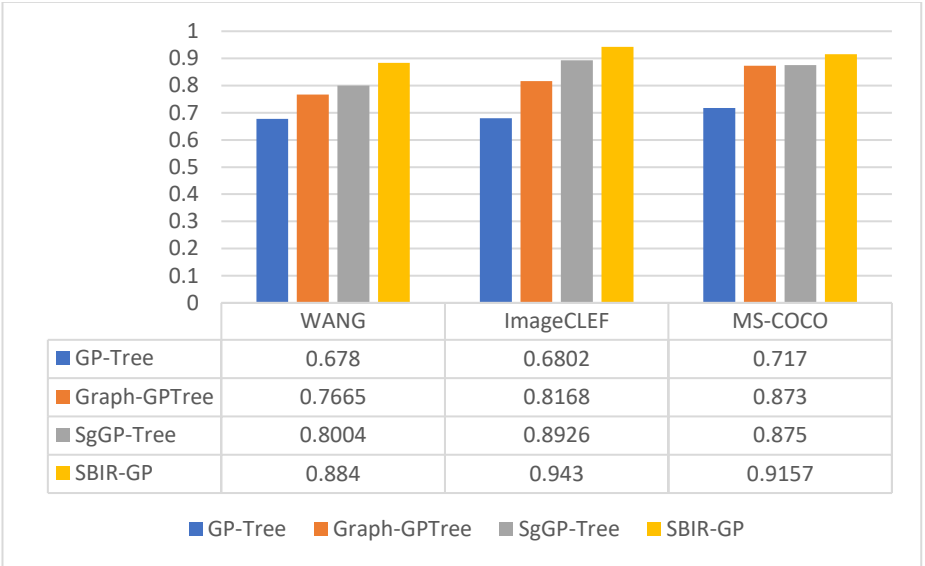
Hệ thống tìm kiếm ảnh ngữ nghĩa SgGP-Tree sử dụng SgGP-Tree và ontology để tìm kiếm các hình ảnh tương tự dựa trên ngữ nghĩa. Khi nhận hình ảnh đầu vào, hệ thống trích xuất các vec-tơ đặc trưng và tìm kiếm hình ảnh tương tự dựa trên nội dung bằng SgGP-Tree.

Các bộ dữ liệu hình ảnh được sử dụng cho các thử nghiệm, bao gồm các bộ dữ liệu WANG, MS-COCO và ImageCLEF. Các giá trị hiệu suất trung bình và thời gian tìm kiếm của bộ dữ liệu thử nghiệm được trình bày trong **Bảng 4.7**

Bảng 4.7. Hiệu suất tìm kiếm ảnh của hệ SBIR-GP trên các tập dữ liệu thử nghiệm

Tập dữ liệu ảnh	Chỉ số đánh giá			
	Độ chính xác	Độ phủ	Độ dung hòa	Thời gian tìm kiếm trung bình (ms)
WANG	0,884	0,754	0,814	214,72
ImageCLEF	0,943	0,837	0,887	276,33
MS-COCO	0,9157	0,841	0,877	312,65

Từ hình **Hình 4.9** cho thấy cải thiện GP-Tree giúp nâng cao hiệu suất tìm kiếm chính xác cho các bộ dữ liệu WANG, ImageCLEF và MS-COCO. Hệ SBIR-GP có hiệu suất tốt hơn GP-Tree, Graph-GP-Tree và SgGP-Tree, chứng tỏ khả năng trích xuất đặc trưng hiệu quả và phân biệt chi tiết các đối tượng trong ảnh. Phương pháp này hiệu quả trong việc giải quyết các bài toán truy vấn và phân tích ngữ nghĩa với cả ảnh đơn và đa đối tượng.



Hình 4.9. So sánh hiệu suất tìm kiếm ảnh trên bộ dữ liệu ảnh WANG, ImageCLEF và MS-COCO

4.4. Tiểu kết chương

Trong chương này, các phương pháp nâng cao hiệu suất tra cứu ảnh trên GP-Tree được đề xuất. Đầu tiên, một mô hình kết hợp biểu đồ lân cận với GP-Tree, được gọi là Graph-GP-Tree, được tạo ra để kết nối các phần tử tương tự được phân nhánh trong quá trình phân tách nút trên GP-Tree. Tiếp theo, một mô hình kết hợp GrSOM và Graph-GP-Tree, được gọi là SgGP-Tree, đã được tạo ra để nâng cao hiệu quả tìm kiếm hình ảnh. Mô hình SgGP-Tree bổ sung tiêu chí để chọn các nút lá chiến thắng, giúp phân cụm tốt hơn và tìm kiếm hình ảnh chính xác hơn. Các thực nghiệm được thực hiện trên bộ dữ liệu WANG, ImageCLEF và MS-COCO. Hệ thống SBIR-GP có độ chính xác vượt trội so với các đề xuất trước đây của chính tác giả luận án. Hiệu suất thử nghiệm được so sánh với các phương pháp khác trên cùng một tập dữ liệu hình ảnh để đánh giá mô hình, phương pháp và thuật toán được đề xuất. Kết quả so sánh cho thấy hệ thống tra cứu SBIR-GP có độ chính xác cao hơn các nghiên cứu khác trên cùng một tập dữ liệu ảnh. Điều này chứng tỏ những đề xuất trong bài luận án là hiệu quả và phù hợp.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

❖ Đóng góp của luận án

Luận án đề xuất và phát triển các phương pháp tìm kiếm ảnh dựa trên ngữ nghĩa với 4 đóng góp chính:

- Cấu trúc GP-Tree: xây dựng cấu trúc GP-Tree dựa trên phân cụm phân cấp, lưu trữ và lập chỉ mục dữ liệu ảnh hiệu quả, giảm kích thước dữ liệu, tăng tốc độ và độ chính xác tìm kiếm.
- Cấu trúc Graph-GPTree: Phát triển Graph-GPTree kết hợp biểu đồ lân cận, cải thiện hiệu quả lưu trữ và truy xuất, giải quyết hiện tượng phân tán dữ liệu trong GP-Tree.
- Cấu trúc SgGP-Tree: Kết hợp Graph-GPTree với mạng SOM, tối ưu hóa lưu trữ và truy vấn ảnh, giảm độ phức tạp xử lý dữ liệu lớn và nâng cao tốc độ truy vấn.
- Mô hình SBIR-GP: Đề xuất phương pháp tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên ontology và SgGP-Tree, khắc phục hạn chế của các phương pháp truyền thống, nâng cao hiệu quả khi xử lý ảnh ngữ cảnh phức tạp.

Những đóng góp này đã được kiểm chứng trên các bộ dữ liệu chuẩn và công bố trong các công trình khoa học, khẳng định tiềm năng ứng dụng trong các lĩnh vực như y tế, du lịch, và mạng xã hội.

❖ Hướng phát triển

Dù đã đạt được những kết quả quan trọng, luận án vẫn còn một số hướng phát triển có thể mở rộng và nâng cao hiệu quả của hệ thống tìm kiếm ảnh ngữ nghĩa:

- So sánh với phương pháp hiện đại: Đánh giá hiệu quả các mô hình học sâu như CNN, R-CNN, và GCN để cải thiện độ chính xác và hiệu suất tìm kiếm.
- Ứng dụng thực tế: Mở rộng vào các lĩnh vực như du lịch, y khoa, thổ nhưỡng, và mạng xã hội để tăng giá trị thực tiễn.
- Làm giàu Knowledge Graph (KG): Tăng cường mối quan hệ ngữ nghĩa trong KG nhằm nâng cao khả năng tìm kiếm ảnh trong các trường hợp phức tạp.
- Phát triển KG tiếng Việt: Xây dựng KG phù hợp với ngữ nghĩa tiếng Việt, hỗ trợ ứng dụng trong nước và đáp ứng nhu cầu thị trường Việt Nam.

**DANH MỤC CÁC BÀI BÁO ĐÃ XUẤT BẢN
LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

1. **N. M. Hai**, T. V. Lang, and V. T. Thanh, "Semantic-Based Image Retrieval Using Hierarchical Clustering and Neighbor Graph," in World Conference on Information Systems and Technologies, 2022, pp. 34-44: Springer, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-04829-6_4 (**Scopus, Q4**)
2. **N. M. Hai**, V. T. Thanh, and T. V. Lang, "A method for semantic-based image retrieval using hierarchical clustering tree and graph," Telkomnika, vol. 20, no. 5, pp. 1026-1033, 2022, DOI: <http://doi.org/10.12928/telkomnika.v20i5.24086> (**Scopus, Q3**)
3. **N. M. Hai**, T. Van Lang and T. T. Van, "Improving The Efficiency of Semantic Image Retrieval using A Combined Graph and SOM Model", in IEEE Access, 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3333678> (**SCIE, Q1**)
4. **N. M. Hai**, V. T. Thanh, and T. V. Lang, "The improvements of semantic-based image retrieval using hierarchical clustering tree," FAIR'2020, 2020, pp. 557-570: Natural Science and Technology Publishing House, DOI: <https://doi.org/10.15625/vap.2020.00213>
5. **N. M. Hai**, V. T. Thanh, and T. V. Lang, "A method of semantic-based image retrieval using graph cut," Computer Science and Cybernetics, vol. 38, no. 2, pp. 193-212, 2022, DOI: <https://doi.org/10.15625/1813-9663/38/2/16786>
6. **Nguyễn Minh Hải**, Trần Văn Lăng, Văn Thế Thành, "Một tiếp cận tìm kiếm ảnh theo ngữ nghĩa dựa trên mạng nơ-ron tích chập và ontology", TCKHTrường ĐH Sư phạm TP. HCM, 2022. tr. 48-59. DOI: [https://doi.org/10.54607/hcmue.js.19.3.3272\(2022\)](https://doi.org/10.54607/hcmue.js.19.3.3272(2022))