

BỘ GIÁO DỤC  
VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC  
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**



**Phạm Quang Huy**

**NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN MỘT SỐ KỸ THUẬT THỦY  
VÂN DỰA TRÊN CÁC VÙNG ĐẶC TRƯNG ĐIỂN HÌNH CỦA  
ẢNH KỸ THUẬT SỐ**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ HỆ THỐNG THÔNG TIN**

**Mã số: 9 48 01 04**

**Hà Nội - 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:

Người hướng dẫn 1: PGS.TS. Tạ Minh Thanh, Học viện Kỹ thuật quân sự

Người hướng dẫn 2: TS. Đào Nam Anh, Trường đại học Điện lực

Phản biện 1: PGS.TS.

Phản biện 2: PGS.TS.

Phản biện 3: PGS.TS.

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi giờ , ngày tháng 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

## 1. Đặt vấn đề

Trong thời đại kỹ thuật số hiện nay, việc bảo vệ bản quyền ảnh số trở nên cực kỳ quan trọng và phức tạp do sự phổ biến của Internet và thiết bị di động, tạo ra thách thức lớn trong bảo vệ quyền sở hữu trí tuệ. Ảnh số không chỉ được dùng trong nghệ thuật và giải trí mà còn trong quảng cáo, truyền thông, giáo dục và nghiên cứu khoa học. Việc sao chép và phân phối ảnh số mà không có sự cho phép của chủ sở hữu diễn ra dễ dàng, gây thiệt hại tài chính cho tác giả và nhà xuất bản, ảnh hưởng đến tính sáng tạo và đổi mới. Sử dụng hình ảnh không được phép còn dẫn đến các vấn đề pháp lý phức tạp và tranh chấp quyền lợi.

## 2. Mục tiêu của luận án

Mục tiêu của luận án là phát triển và cải tiến các kỹ thuật thủy vân số dựa trên các đặc trưng nổi bật của ảnh kỹ thuật số nhằm bảo vệ bản quyền và quản lý tài sản số. Cụ thể, các mục tiêu chính bao gồm:

- i. Phát triển kỹ thuật thủy vân dựa trên các vùng không nổi bật để nhúng thông tin vào ảnh mà không làm giảm chất lượng thị giác.
  - ii. Áp dụng máy học và các mô hình phát hiện sự nổi bật để chọn vùng nhúng thủy vân một cách chính xác.
  - iii. Cải thiện phương pháp nhúng dữ liệu vào ảnh JPEG, sử dụng bảng lượng tử hóa để tăng khả năng chứa thông tin.
  - iv. Phát triển các kỹ thuật thủy vân đảm bảo tính đảo ngược, cho phép phục hồi hoàn toàn ảnh gốc sau khi trích xuất thủy vân.
  - v. Đánh giá hiệu quả của các phương pháp thủy vân trong các điều kiện thử nghiệm thực tế, bao gồm độ bền vững và tính toàn vẹn của thủy vân.
- Những mục tiêu này được xây dựng nhằm nâng cao hiệu quả và tính ứng dụng của các phương pháp thủy vân trong các môi trường kỹ thuật số phức tạp.

## 3. Các đóng góp mới của luận án

Luận án có 02 đóng góp chính sau đây:

- i. Phát triển kỹ thuật thủy vân dựa trên đặc trưng độ nổi bật của ảnh số nhằm tận dụng các đặc trưng thị giác để nhúng thông tin vào các vùng ít thu hút sự chú ý trong ảnh, giúp thông tin thủy vân khó bị phát hiện bằng

mất thường mà không làm giảm chất lượng thị giác của ảnh; cải thiện khả năng chống lại các tấn công phổ biến như cắt, xoay và nén ảnh, đảm bảo tính bền vững của thông tin thủy vân trong các điều kiện xử lý khác nhau.

ii. Phát triển kỹ thuật thủy vân thuận nghịch đảm bảo tính toàn vẹn của ảnh gốc, đảm bảo không có sự thay đổi nào về chất lượng hình ảnh ban đầu; cho phép nhúng một lượng lớn dữ liệu mà không làm giảm đáng kể chất lượng thị giác của ảnh, mở rộng khả năng ứng dụng trong các lĩnh vực đòi hỏi bảo mật cao.

#### 4. **Bố cục của luận án**

Luận án được chia thành 3 chương chính:

- Chương 1: Tổng quan nghiên cứu và một số kiến thức nền tảng
- Chương 2: Phân tích ảnh hưởng độ nổi bật của ảnh trong thủy vân số
- Chương 3: Phát triển kỹ thuật thủy vân đảm bảo tính toàn vẹn của ảnh gốc

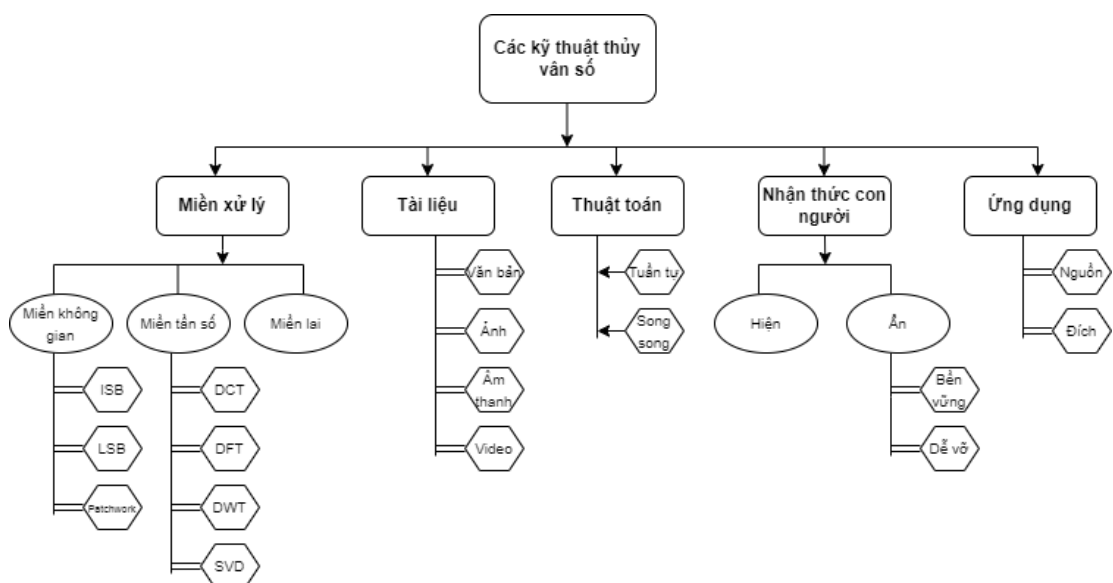
# CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VÀ CÁC KIẾN THỨC NỀN TẢNG

## 1.1. Giới thiệu

### 1.1.1. Nguồn gốc và khái niệm về thủy vân số

Thủy vân số (Digital Watermarking) là kỹ thuật nhúng thông tin vào các dữ liệu số như hình ảnh, âm thanh, video nhằm mục đích bảo vệ bản quyền, xác thực nguồn gốc hoặc kiểm soát việc sao chép dữ liệu. Thuật ngữ "thủy vân" xuất phát từ dấu hiệu trên giấy chỉ xuất hiện khi ngâm nước, nhưng trong bối cảnh số, nó ám chỉ việc nhúng thông tin vào dữ liệu số một cách tinh vi và khó nhận biết. Thủy vân số bắt đầu được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ từ những năm 1990, đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ bản quyền và chống lại các hành vi vi phạm bản quyền trên các phương tiện truyền thông kỹ thuật số.

### 1.1.2. Phân loại thủy vân số



Hình 1.1: Phân loại thủy vân số

Hình vẽ dựa theo tài liệu của Kumar [15] trong hình 1.1 cung cấp cái nhìn

tổng quan về tiến triển gần đây trong lĩnh vực thủy vân số, bao gồm cả phân loại theo miền thực hiện, môi trường chứa và cảm nhận của con người.

### ***1.1.3. Quy trình xây dựng mô hình thủy vân số***

Thủy vân số được tạo từ hình ảnh hoặc văn bản, thường được mã hóa hoặc chuyển đổi trước khi nhúng vào dữ liệu chứa như hình ảnh, âm thanh, hoặc video. Quá trình nhúng sử dụng khóa thủy vân và bộ công cụ nhúng để tạo ra dữ liệu bền vững trước nhiễu và tấn công. Quá trình trích xuất thủy vân sử dụng bộ trích xuất và khóa từ quá trình nhúng, sản xuất thủy vân có thể giống hoặc khác ban đầu. Có hai loại trích xuất: mù (không cần ảnh gốc) và không mù (cần ảnh gốc).

### ***1.1.4. Các đặc trưng của thủy vân số***

Đặc trưng của thủy vân số bao gồm các yếu tố chính như tính bền vững, tính vô hình, và tính dễ hỏng. Tính bền vững liên quan đến khả năng của thủy vân chống lại các tác động biến đổi như nén, cắt xén, hoặc lọc thông qua quá trình xử lý ảnh. Tính vô hình là khả năng thủy vân không làm ảnh hưởng đến chất lượng thị giác của ảnh, tức là người dùng không thể nhận ra sự hiện diện của thủy vân bằng mắt thường. Tính dễ hỏng được yêu cầu trong một số ứng dụng đặc thù, nơi mà thủy vân cần bị phá hủy nếu có bất kỳ thay đổi trái phép nào xảy ra đối với dữ liệu. Các đặc trưng này đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an toàn, bảo mật, và tính nguyên vẹn của thông tin trong các ứng dụng liên quan đến bảo vệ bản quyền và an ninh dữ liệu số.

### ***1.1.5. Các tiêu chí đánh giá thủy vân số***

Khi đánh giá chất lượng thuật toán thủy vân ảnh số, cần xem xét các tiêu chí quan trọng sau:

1. **Tính bí mật:** Đánh giá mức độ "vô hình" của thủy vân trên ảnh, đảm bảo bảo vệ tính bí mật của thủy vân. Tuy nhiên, trong một số trường hợp như xác thực nguồn gốc sản phẩm, việc tiết lộ thủy vân có thể cần thiết.
2. **Tính toàn vẹn:** Khả năng chống giả mạo thủy vân, yếu tố quan trọng để bảo vệ bản quyền và công nhận pháp lý của sản phẩm.

3. **Tính bền vững:** Thủy vân cần chịu được cả các tấn công có chủ đích và không có chủ đích, bao gồm nén, lấy mẫu, lọc và các biến đổi khác.
4. **Dung lượng:** Đánh giá khả năng lưu trữ và quản lý dữ liệu thủy vân, quan trọng cho việc sử dụng và bảo mật dữ liệu thủy vân số.

Việc cân nhắc giữa chất lượng (tính bí mật, tính toàn vẹn, và tính bền vững) và dung lượng là thiết yếu để tạo ra các giải pháp thủy vân hiệu quả.

#### ***1.1.6. Các ứng dụng của thủy vân số***

Thủy vân số là công cụ quan trọng trong bảo vệ quyền sở hữu trí tuệ và quản lý quyền tác giả của ảnh số [7]. Nó không chỉ đảm bảo quyền tác giả và ngăn chặn phân phối không phép, mà còn quan trọng trong xác minh thông tin và phát hiện sự xuyên tạc [75]. Thủy vân số cũng được ứng dụng trong xác thực người dùng [43] và hỗ trợ điều khiển truy cập trong hệ thống quản lý thông tin [69].

#### ***1.1.7. Những tình huống tấn công thủy vân số thường gặp***

Trong bối cảnh hiện đại, thủy vân số đang trở thành công cụ bảo mật thông tin quan trọng. Tuy nhiên, hệ thống thủy vân số cũng phải đối mặt với các thách thức từ những tình huống tấn công ngày càng phức tạp [70]. Các tấn công phổ biến bao gồm:

1. **Tấn công đơn giản:** Gây hại cho thủy vân bằng cách thay đổi ngẫu nhiên pixel mà không cần xác định thủy vân cụ thể. Mục tiêu là làm hỏng thủy vân mà không cần phục hồi thông tin từ nó.
2. **Tấn công phát hiện:** Nhằm phá vỡ mối quan hệ giữa dữ liệu và thủy vân bằng cách áp dụng các biến đổi phức tạp như phóng to, thu nhỏ, xoay, cắt xén, xóa hoặc chèn thêm pixel.
3. **Tấn công gây nhầm lẫn:** Tạo ra dữ liệu giả mạo hoặc thủy vân giả mạo để gây nhầm lẫn, làm mất đi tính xác định và đáng tin cậy của thủy vân gốc.
4. **Tấn công loại bỏ:** Cố gắng tách dữ liệu đã nhúng thủy vân ra khỏi dữ liệu gốc và thủy vân để truy cập thông tin quan trọng.

## 1.2. Tổng quan về các nghiên cứu liên quan và một số hạn chế còn tồn tại

### 1.2.1. Độ nổi bật trong ảnh

Độ nổi bật trong ảnh là một khái niệm quan trọng trong lĩnh vực xử lý ảnh số, liên quan đến việc xác định các vùng trong ảnh mà con người dễ dàng nhận biết và chú ý đến. Các mô hình độ nổi bật được phát triển nhằm tái tạo khả năng nhận biết này của con người, phục vụ cho nhiều ứng dụng khác nhau như nhận diện đối tượng, tìm kiếm thông tin trong ảnh, và đặc biệt là trong kỹ thuật thủy văn số để nhúng thông tin vào những vùng ít gây chú ý hơn, giúp bảo vệ tính toàn vẹn và bảo mật thông tin.

### 1.2.2. Thủy văn thuận nghịch

Thủy văn thuận nghịch là kỹ thuật cho phép nhúng thông tin vào ảnh số mà sau khi trích xuất thông tin, ảnh gốc có thể được phục hồi hoàn toàn mà không có sự thay đổi nào. Kỹ thuật này thường được sử dụng trong các ứng dụng yêu cầu bảo toàn nguyên vẹn của dữ liệu, đặc biệt quan trọng trong các lĩnh vực như y tế và pháp lý, nơi mà chất lượng và độ tin cậy của hình ảnh là yếu tố then chốt.



## CHƯƠNG 2. PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG ĐỘ NỔI BẬT CỦA ẢNH TRONG THỦY VÂN SỐ

### 2.1. Giới thiệu

Trong chương 2, luận án tập trung vào việc sử dụng các mô hình độ nổi bật của ảnh để cải thiện tính bảo mật của thủy vân số. Phương pháp chính được đề xuất là sử dụng các vùng không nổi bật của ảnh để nhúng thông tin thủy vân. Việc này giúp tăng cường độ khó phát hiện và bảo mật thông tin nhúng.

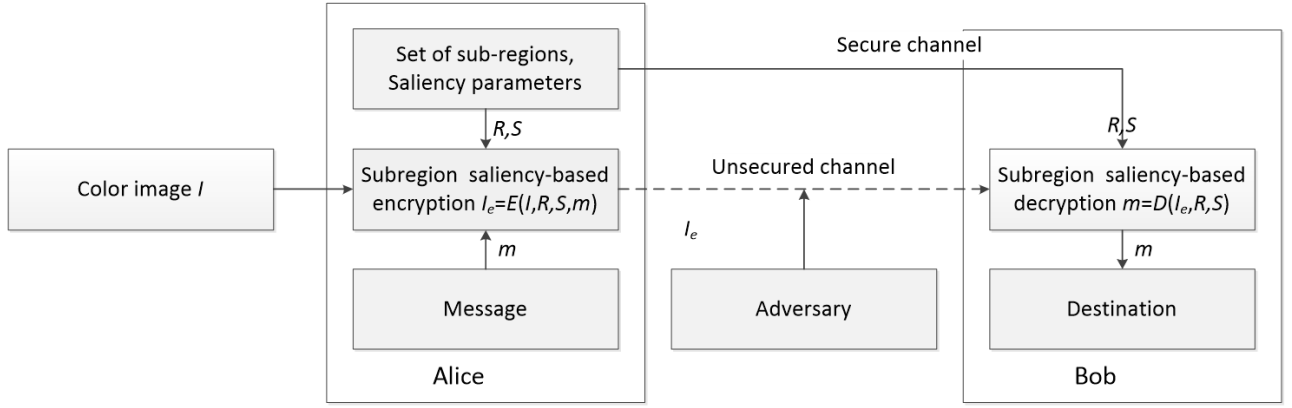
### 2.2. Thủy vân dựa trên đặc trưng không nổi bật của ảnh số

#### 2.2.1. Phương pháp dựa trên học vùng không nổi bật

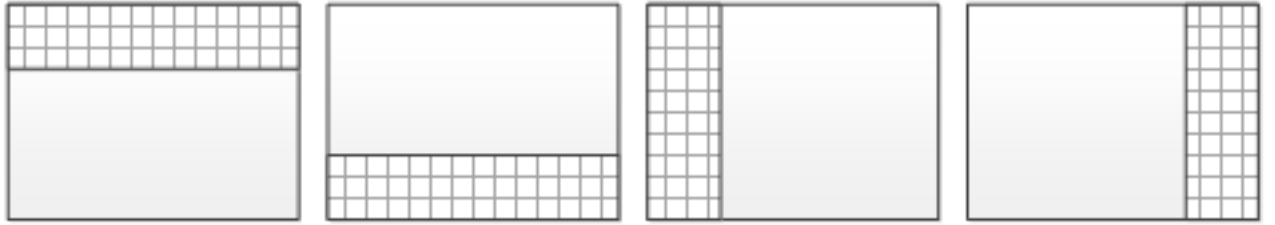
Phần này của luận án giới thiệu một phương pháp thủy vân số mới, dựa vào việc phát hiện độ nổi bật và lựa chọn vùng con cụ thể trong ảnh màu để ẩn thông điệp. Quy trình bao gồm việc đánh giá bản đồ nổi bật của ảnh và xác định vùng con phù hợp để nhúng thông điệp mà không ảnh hưởng đến chất lượng ảnh gốc. Thông tin và tham số liên quan đến quá trình nhúng được coi là khóa bí mật, được trao đổi qua kênh an toàn giữa người gửi và người nhận. Ảnh đã nhúng thủy vân sau đó được gửi qua kênh công cộng. Người nhận sử dụng mô hình phát hiện độ nổi bật tương tự để phân tích và trích xuất thông điệp từ ảnh. Mục tiêu là khôi phục chính xác thông điệp mà không làm mất thông tin gốc của ảnh.

##### 2.2.1.1. Đặc trưng nổi bật

Mục này giới thiệu một phương pháp thủy vân số dựa trên tính nổi bật hình ảnh, sử dụng vùng con không nổi bật để ẩn thông điệp mà không bị phát hiện dễ dàng. Bằng cách so sánh độ nổi bật của điểm ảnh với ngưỡng nhất định, tạo ra bản đồ nổi bật và xác định vùng con phù hợp để nhúng thông điệp. Thông điệp được mã hóa vào ảnh tại vùng đã chọn, và người nhận sử dụng quy trình



**Hình 2.2:** Phương pháp nhúng thủy vân cho ảnh  $I$  trong quá trình truyền thông giữa người gửi (Alice) và người nhận (Bob) bằng cách sử dụng các đặc trưng nổi bật với một kênh bảo mật để trao đổi các khóa riêng tư  $R, S$



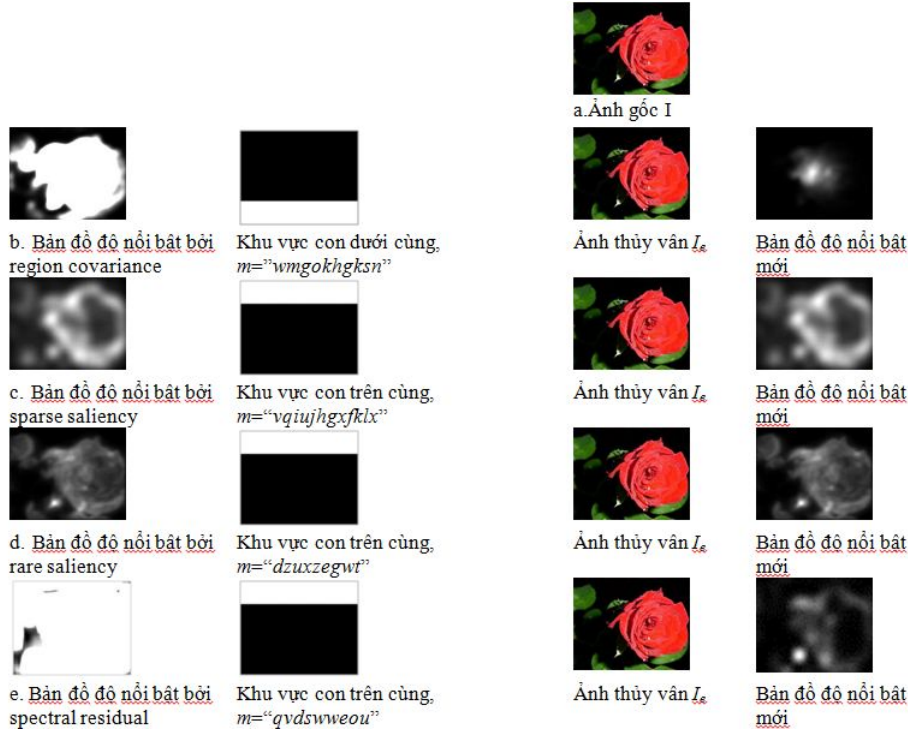
**Hình 2.4:** Các vị trí biến đổi của vùng con trong ảnh, bao phủ  $\frac{1}{4}$  diện tích của ảnh

tương tự để giải mã thông điệp từ ảnh chứa thủy vân. Phương pháp này nhấn mạnh việc sử dụng các vùng không nổi bật, tăng cường bảo mật và chính xác trong việc nhúng và trích xuất thông điệp thủy vân.

### 2.2.1.2. Xác thực thủy vân số

Mục này của luận án tập trung vào xác thực thủy vân số, sử dụng phương pháp Bayesian [5] để đánh giá khả năng chọn vùng con dựa trên đặc trưng nổi bật. Quá trình này bao gồm việc so sánh vùng con  $r$  và  $u$ , với mục đích là  $r = u$  để đảm bảo thông điệp được nhúng có thể được phát hiện và giải mã đúng cách. Công thức (2.12) và (2.13) được sử dụng để mô tả mối quan hệ giữa các biến. Luận án cũng đề cập đến việc sử dụng máy vector hỗ trợ (SVM) để ước lượng xác suất và tối ưu hóa mô hình độ nổi bật qua hàm hợp lý. Cuối cùng, khả năng chính xác của việc xác định vị trí vùng con phù hợp để giải mã thông điệp được xem xét, cho thấy quan hệ giữa đặc trưng sự nổi bật  $s$  và  $e$  sau khi nhúng thủy vân.

$$p(r, e, u, s) = p(r|e)p(e|u)p(u|s)p(s) \quad (2.1)$$



**Hình 2.6:** Ví dụ về việc nhúng thủy vân bằng các mô hình độ nổi bật khác nhau

$$p(r = u | s) = \sum_{r \in \{0,1,2,3\}, e \in [0,1], u \in \{0,1,2,3\}} p(r = u | e, u, s) \quad (2.2)$$

### 2.2.2. Kết quả thử nghiệm

Luận án nghiên cứu việc sử dụng các đặc điểm không nổi bật trong hình ảnh để cải thiện hiệu quả của thủy vân số. Sử dụng các mô hình như hiệp phương sai vùng (saliency using region covariance) bởi [23], độ nổi bật thưa thớt (sparse saliency) bởi [29], độ nổi bật hiếm gặp (rare saliency) bởi [67] và độ nổi bật phổ tần số (spectral residual saliency) bởi [30], quá trình đào tạo SVM được thực hiện để xác định vùng nhúng thủy vân. Sự khác biệt giữa hình ảnh gốc và hình ảnh đã nhúng thủy vân được đánh giá qua các chỉ số như precision, recall, F-measure [11], MSE [63], SAD [100], SSIM và PSNR [72]. Kết quả cho thấy sự hiệu quả và độ ổn định của thủy vân số với các mô hình Highlighting và Rare đạt điểm số tốt nhất.

### 2.3. Thủy vân dựa trên đặc trưng độ nổi bật của ảnh số

Luận án này khám phá việc sử dụng đặc điểm độ nổi bật trong ảnh số để nhúng thủy vân, một kỹ thuật bảo vệ bản quyền hiệu quả mà không làm mất

Mô hình độ nổi bật	Precision	Recall	Fmeasure	rMSE
Covariance [70]	0.8895	0.9947	0.9391	0.9638
Highlighting [71]	<b>0.9266</b>	<i>0.9959</i>	<b>0.9573</b>	<i>0.9652</i>
Spectral [72]	0.9154	0.9944	0.9505	<b>0.9655</b>
Rare [73]	<i>0.9189</i>	<b>0.9965</b>	<i>0.9510</i>	0.9651

**Bảng 2.1:** Tính vô hình của thủy vân dựa trên đặc trưng không nổi bật (Các điểm số in đậm là tốt nhất, các điểm số in nghiêng là thứ hai)

thông tin gốc. Phương pháp này chọn các vùng con không nổi bật của ảnh để ẩn thông điệp, nhằm giảm thiểu khả năng bị phát hiện. Thông qua việc đánh giá bản đồ nổi bật và xác định vùng con thích hợp, thông điệp được mã hóa một cách an toàn. Các khu vực được chọn dựa trên mức độ nổi bật so với một ngưỡng cố định, và quá trình nhúng thông tin đòi hỏi sự trao đổi khóa bí mật giữa người gửi và người nhận. Công trình này cũng áp dụng học máy để tối ưu hóa việc chọn lựa vùng không nổi bật, tăng cường tính bảo mật và hiệu quả của thủy vân. Kết quả thử nghiệm cho thấy phương pháp này đạt được độ mạnh mẽ cao và khả năng phục hồi tốt, mở ra hướng mới cho ứng dụng thủy vân số trong việc bảo vệ bản quyền và chống giả mạo.

### 2.3.1. Phương pháp dựa trên độ nổi bật để chống giả mạo

Luận án này giới thiệu một phương pháp thủy vân ảnh mới, Saliency Guided Watermarking (SGW), nhấn mạnh việc sử dụng đặc trưng độ nổi bật để nhúng thông tin nhằm mục đích chống giả mạo. Phương pháp này áp dụng các kỹ thuật toán học để xác định vùng nhúng thủy vân trong ảnh, dựa vào độ nổi bật để tạo ra khóa bí mật và sau đó sử dụng khóa này trong quá trình mã hóa và giải mã. Điều này bao gồm việc chọn các vùng con không nổi bật của ảnh để nhúng thủy vân, với mục tiêu giữ cho thủy vân không thể bị phát hiện một cách dễ dàng.

Quá trình mã hóa và giải mã được minh họa qua các công thức toán học, cho phép nhúng và trích xuất thông tin thủy vân một cách chính xác. Đặc biệt, luận án khám phá việc sử dụng đặc trưng độ nổi bật từ nhiều mô hình khác nhau để tối ưu hóa quá trình nhúng và giải mã. Các phép đo lường độ nổi bật được sử dụng để xác định vùng con thích hợp nhất cho việc nhúng thủy vân, với sự giúp đỡ của máy vector hỗ trợ (SVM) trong việc xác định vùng có sự thay đổi đặc trưng độ nổi bật ít nhất khi nhúng thủy vân.

Hình ảnh gốc và ảnh đã mã hóa được phân tích để đảm bảo rằng thông

tin thủy vân có thể được giải mã chính xác, ngay cả khi ảnh bị tấn công hoặc biến đổi. Mục tiêu cuối cùng là đạt được một giải pháp thủy vân mạnh mẽ, có khả năng chống giả mạo hiệu quả, đồng thời đảm bảo tính bảo mật cao và khả năng phục hồi thông tin gốc.

### ***2.3.2. Kết quả thực nghiệm***

Phần này của luận án giới thiệu và thử nghiệm một phương pháp mới để thủy vân ảnh dựa trên đặc điểm độ nổi bật, nhằm mục đích chống giả mạo. Phương pháp này, áp dụng trên bộ dữ liệu MSRA10K, tập trung vào việc sử dụng các vùng không nổi bật của ảnh để nhúng thông tin. Các thí nghiệm so sánh hiệu suất của bốn mô hình độ nổi bật khác nhau và sử dụng máy vector hỗ trợ (SVM) để sinh ra các kernel, đồng thời đánh giá sự ổn định của thủy vân trước nhiều loại tấn công khác nhau như xoay, nhiễu, cân bằng histogram, lọc trung vị và cắt ảnh.

Kết quả thử nghiệm cho thấy phương pháp thủy vân này đạt được tính vô hình cao và duy trì được độ ổn định sau các cuộc tấn công, nhờ vào việc lựa chọn cẩn thận các vùng con dựa trên đặc điểm độ nổi bật. Mô hình độ nổi bật và quá trình nhúng thông điệp được mô tả chi tiết qua các công thức toán học, cung cấp một cách tiếp cận đa vùng con để tối ưu hóa quá trình nhúng thông tin. Các hạt nhân học được hình thành thông qua quá trình đào tạo SVM, giúp xác định vùng con thích hợp nhất cho việc nhúng thủy vân mà không làm thay đổi đặc điểm nổi bật của ảnh gốc.

Luận án cũng đề cập đến độ phức tạp tính toán của phương pháp, chỉ ra rằng nó có độ phức tạp tuyến tính với kích thước của ảnh và vùng con được chọn. Điều này chứng minh được khả năng áp dụng hiệu quả phương pháp cho các tác vụ nhúng và trích xuất thủy vân trong thực tế, đồng thời duy trì tính bảo mật cao và khả năng phục hồi sau tấn công.

## **2.4. Kết luận**

Luận án này phát triển một phương pháp thủy vân số mới, tập trung vào việc tìm kiếm và sử dụng các khu vực không nổi bật trong ảnh để nhúng thông tin, nhằm tăng cường tính vô hình của thủy vân. Sự kết hợp của việc học máy với SVM cho phép lựa chọn chính xác các vùng con không nổi bật cho quá trình mã hóa và giải mã, trong khi độ bền vững của phương pháp học đảm bảo khả

năng đối phó hiệu quả với sự thay đổi của bản đồ nổi bật do nhúng thủy văn gây ra. Nghiên cứu đã kiểm tra phương pháp này với bốn mô hình độ nổi bật khác nhau, trong đó mô hình thừa thớt và hiếm cho thấy sự mạnh mẽ trong việc nhúng thông điệp.

Phương pháp thủy văn dựa trên đặc điểm nổi bật này đã chứng minh được khả năng vô hình và ổn định qua các thử nghiệm, với độ phức tạp tính toán thấp và khả năng áp dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như xác thực và chống giả mạo. Cách tiếp cận này mở ra hướng nghiên cứu mới trong thiết kế cấu trúc vùng con đặc biệt cho từng trường hợp thủy văn, đồng thời cung cấp một giải pháp toàn diện và hiệu quả cho bảo vệ thông tin.

## CHƯƠNG 3. PHÁT TRIỂN KỸ THUẬT THỦY VÂN ĐẢM BẢO TÍNH TOÀN VẸN CỦA ẢNH GỐC

### 3.1. Giới thiệu

Tài liệu này phân tích các kỹ thuật ẩn dữ liệu có khả năng đảo ngược (Reversible Data Hiding - RDH), được sử dụng để ẩn thông tin bí mật vào nội dung đa phương tiện mà không làm biến dạng cả nội dung gốc và thông tin bí mật khi trích xuất. RDH có ứng dụng quan trọng trong các lĩnh vực như hình ảnh y học, quân sự và pháp y [12, 25].

Thuật toán RDH cho hình ảnh JPEG được đề xuất để bảo vệ tính toàn vẹn hình ảnh, xác thực hình ảnh và quyền riêng tư hình ảnh, nhưng gặp thách thức về khả năng lưu trữ thông tin ẩn hạn chế, chất lượng hình ảnh giảm, và kích thước hình ảnh tăng sau khi nhúng.

Tài liệu cũng phân tích ưu và nhược điểm của ba thuật toán ẩn dữ liệu phổ biến: thuật toán mã phân tán [33], thuật toán RDH [46, 104], và thuật toán biến đổi DCT [103] cho hình ảnh JPEG, đưa ra nhận xét về khả năng của mỗi thuật toán trong việc bảo vệ thông tin trong nội dung số. Điều này thể hiện sự cân nhắc giữa lợi ích và hạn chế của mỗi phương pháp trong việc ẩn dữ liệu.

### 3.2. Phương pháp sử dụng yếu tố cấu trúc

#### 3.2.1. Yếu tố cấu trúc

Luận án giới thiệu một cách mới để ẩn thông tin vào hình ảnh sử dụng yếu tố cấu trúc  $h$ , cho phép nhúng thông tin mà không làm giảm chất lượng hình ảnh gốc. Thông tin được mã hóa vào hình ảnh thông qua việc điều chỉnh giá trị xám của pixel dựa trên dấu thủy vân. Các pixel được chọn cho việc nhúng thông tin dựa trên ma trận nhị phân 2D của yếu tố cấu trúc  $h$ , với mục tiêu làm cho sự thay đổi giá trị xám của hình ảnh không dễ dàng bị phát hiện.

Quá trình nhúng và trích xuất dấu thủy vân sử dụng các giá trị xám  $c_1$ ,

$c_2$ , và  $c_3$  để chỉnh sửa giá trị xám của các pixel, giúp khôi phục lại hình ảnh gốc và thông tin đã nhúng mà không để lại dấu vết. Điều này đảm bảo tính không thể nhận biết và bảo mật cao của thông tin ẩn giấu, đồng thời duy trì chất lượng hình ảnh.

Với mục tiêu giữ cho sự thay đổi trên hình ảnh sau khi nhúng thủy vân là nhỏ nhất, luận án đề xuất một phương pháp có thể ẩn thông tin một cách hiệu quả mà không ảnh hưởng đến nhận thức visual về hình ảnh. Phương pháp này mở ra khả năng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực cần bảo mật thông tin trong hình ảnh, đồng thời yêu cầu khả năng khôi phục thông tin và hình ảnh gốc một cách đầy đủ.

### 3.2.2. Thuật toán

Luận án này phát triển một phương pháp thủy vân số mới sử dụng yếu tố cấu trúc để nhúng và trích xuất thông tin có khả năng đảo ngược từ hình ảnh gốc. Các yếu tố cấu trúc được thiết kế thông qua hàm createElements, dựa trên phân tích biểu đồ xám của hình ảnh gốc để xác định các vị trí tối ưu cho việc nhúng thông tin. Cách tiếp cận này tập trung vào việc lựa chọn các giá trị xám  $c_1$ ,  $c_2$ , và  $c_3$  dựa trên phân phối thấp trong biểu đồ xám, giúp tối ưu hóa tính không thể nhận biết của thủy vân.

Khi nhúng thông điệp, yếu tố cấu trúc  $h$  và các giá trị mã  $c_1=8$ ,  $c_2=3$ , và  $c_3=5$  được sử dụng để thay đổi giá trị xám của các pixel tương ứng trong hình ảnh gốc, tạo ra hình ảnh đã thủy vân  $v$ . Quá trình này đảm bảo rằng thông tin nhúng không ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng hình ảnh gốc, duy trì sự tinh tế cần thiết cho việc ẩn thông tin.

Quá trình trích xuất và khôi phục hình ảnh gốc từ hình ảnh đã thủy vân sử dụng cùng một yếu tố cấu trúc  $h$  và các giá trị mã để xác định không gian ẩn  $D'_m$ , từ đó dấu thủy vân và hình ảnh gốc có thể được khôi phục mà không có sự mất mát thông tin. Cách tiếp cận này cho phép việc lưu trữ thông tin bí mật trong hình ảnh mà không làm giảm chất lượng hình ảnh và đồng thời đảm bảo an toàn thông tin thông qua khả năng đảo ngược.

Tóm lại, luận án đề xuất một giải pháp thủy vân số hiệu quả, tận dụng các yếu tố cấu trúc để nhúng và trích xuất thông tin một cách không thể nhận biết và có khả năng đảo ngược, đồng thời duy trì chất lượng hình ảnh gốc và đảm bảo an toàn thông tin nhúng.



### ***3.2.3. Các chỉ số đánh giá hiệu suất***

Luận án đánh giá hiệu quả của thủy vân số bằng cách sử dụng PSNR và MSE để xác định tính không thể nhận biết và độ ổn định của thủy vân. PSNR cung cấp mức độ khác biệt giữa hình ảnh gốc và hình ảnh đã thủy vân, trong khi MSE tính sai số bình phương trung bình giữa chúng. Các chỉ số này giúp kiểm tra khả năng ẩn thông tin mà không ảnh hưởng đến chất lượng hình ảnh gốc và đảm bảo khả năng đảo ngược, cho phép khôi phục lại hình ảnh gốc sau khi trích xuất thủy vân.

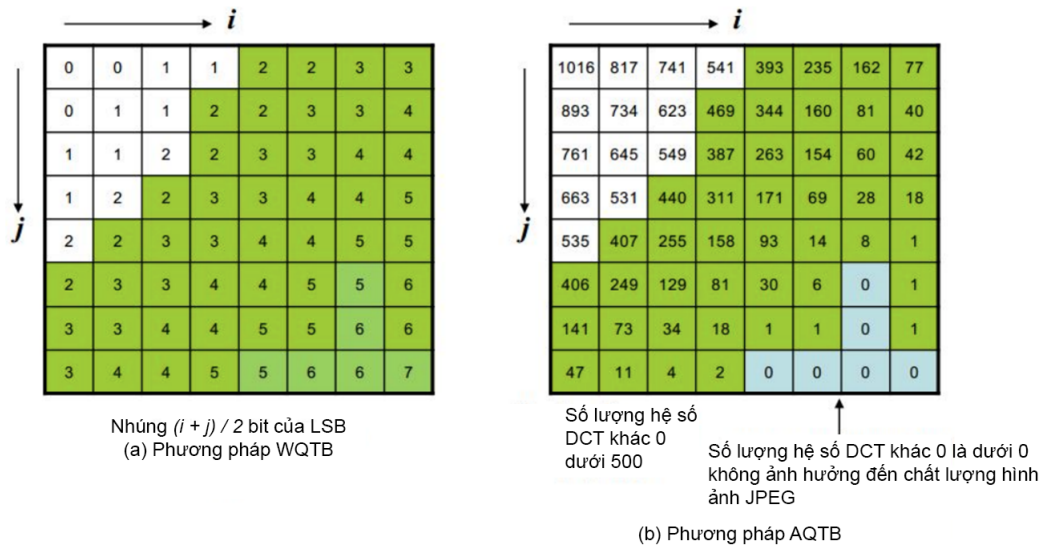
### ***3.2.4. Kết quả thực nghiệm***

Luận án nghiên cứu về thủy vân số, tập trung vào việc ẩn thông tin vào hình ảnh mà không làm thay đổi đáng kể chất lượng hình ảnh gốc. Sử dụng yếu tố cấu trúc và giá trị xám để nhúng và trích xuất thông tin, luận án đề xuất một phương pháp mới giúp đảm bảo tính không thể nhận biết và khả năng đảo ngược cao của thủy vân. Điểm nổi bật là phương pháp này cho phép khôi phục hoàn toàn hình ảnh gốc và thông tin đã ẩn sau khi trích xuất, với độ phức tạp tính toán cao đảm bảo an toàn thông tin. Thí nghiệm cho thấy phương pháp này hiệu quả với nhiều loại hình ảnh, đặc biệt là hình ảnh lena, cho kết quả khả năng ẩn dung lượng lớn thông tin mà vẫn giữ được chất lượng hình ảnh. Điều này mở ra hướng ứng dụng rộng rãi trong bảo mật và kiểm tra tính toàn vẹn của dữ liệu số.

## **3.3. Phương pháp sử dụng miền DCT**

Luận án đề xuất một cách mới để tăng cường phương pháp ẩn thông tin kỹ thuật số (RDH) trong hình ảnh JPEG bằng cách tận dụng đặc điểm của bảng tỉ lệ lượng tử  $Q_y$ ,  $Q_{cb}$ ,  $Q_{cr}$ . Phương pháp này nghiên cứu cách các bảng tỉ lệ lượng tử ảnh hưởng đến các hệ số DCT trong hình ảnh JPEG, nhất là đối với hệ số độ sáng. Mục tiêu là nhúng thông tin bí mật vào những hệ số tỉ lệ lượng tử có ảnh hưởng ít đến chất lượng hình ảnh, nhằm tăng khả năng lưu trữ mà vẫn giữ được chất lượng hình ảnh cao.

Qua phân tích hình ảnh "Girl", luận án xác định được rằng các hệ số tỉ lệ lượng tử không ảnh hưởng hoặc ảnh hưởng ít đến các hệ số DCT không bằng 0 có thể được sử dụng làm mục tiêu để nhúng thông tin bí mật. Kết quả cho



**Hình 3.9:** Số lượng hệ số DCT khác không của hình ảnh Girl

thấy việc nhúng thông tin vào những hệ số này có thể tăng dung lượng lưu trữ thông tin bí mật mà không làm giảm chất lượng hình ảnh đáng kể.

Tóm lại, luận án đề xuất một phương pháp RDH mới trong hình ảnh JPEG bằng cách khai thác thông tin từ bảng tỉ lệ lượng tử, nhằm mục đích cải thiện khả năng lưu trữ thông tin bí mật mà vẫn duy trì được chất lượng hình ảnh gốc.

### 3.3.1. Phương pháp nhúng sử dụng trọng số cho bảng tỉ lệ lượng tử

Trong phương pháp RDH được đề xuất, miền nhúng tập trung vào các hệ số DCT từ miền tần số thấp và tần số trung bình, như được hiển thị trong hình 4.2(a). Phương pháp này sử dụng trọng số cho bảng tỉ lệ lượng tử (Weights for quantization table - WQT) để tập trung vào các miền tần số này cho việc nhúng thông thường theo phương pháp của Tian [], đồng thời mở rộng miền của bảng tỉ lệ lượng tử để tăng khả năng lưu trữ.

Với việc các hệ số DCT từ miền tần số cao của hình ảnh JPEG gần như bằng 0, phương pháp đề xuất nhúng  $(i + j)/2$  bit vào các hệ số tỉ lệ lượng tử tương ứng. Điều này dự kiến sẽ không làm giảm chất lượng hình ảnh JPEG đáng kể, nhờ vậy cải thiện được cả khả năng lưu trữ và chất lượng của hình ảnh sau khi nhúng.

### 3.3.2. Phương pháp nhúng sử dụng tần số của các hệ số DCT khác không

Để bảo vệ chất lượng của hình ảnh JPEG khi nhúng thông tin bí mật, phương pháp đề xuất tập trung vào việc xác định và sử dụng các yếu tố không ảnh hưởng đến chất lượng hình ảnh. Cách tiếp cận này được minh họa trong hình 4.2(b), nơi số lượng các hệ số DCT bằng 0 từ mỗi vị trí  $(i, j)$  của các bảng lượng tử (All zero DCT coefficients from each position of quantization tables - AQTb) được tính toán, gọi là  $N_z(i, j)$ . Dựa trên giá trị của  $N_z(i, j)$ , phương pháp nhúng thông tin được thực hiện như sau:

- Nếu  $N_z(i, j) = 0$ , thay  $Q_t(i, j)$  bằng 8 bit thông tin bí mật từ  $W$ .
- Nếu  $N_z(i, j) < T_q$ , nhúng bit thông tin  $b$  vào  $LSB$  của  $Q_t(i, j)$ .
- Nếu  $N_z(i, j) \leq T_q$ , không nhúng gì.

Chi tiết của phương pháp nhúng này có thể được tìm thấy trong bài báo [7]. Phương pháp cải tiến cũng bao gồm các kỹ thuật từ các phần 4.2.1 và 4.2.2, làm cho phương pháp này trở nên khác biệt và độc đáo. Phương pháp đề xuất đảm bảo rằng cả khả năng lưu trữ và chất lượng của hình ảnh JPEG sau khi nhúng thông tin có thể được cải thiện một cách hiệu quả.

### 3.3.3. Kết quả thực nghiệm

Phương pháp RDH mới được đánh giá bằng cách nhúng thông tin vào tám hình ảnh JPEG (QF=75) như "airplane", "barbara", "boat", "fruits", "goldhill", "lena", "peppers" và "zelda", sử dụng bảng tỉ lệ lượng tử (AQTb) và bảng có trọng số (WQTb). Ngưỡng  $T_q$  được thiết lập là 500. Kết quả (bảng 4.2) cho thấy phương pháp này cải thiện khả năng chứa thông tin bí mật mà không làm giảm chất lượng hình ảnh so với phương pháp [81] và các phương pháp khác.

Ảnh JPEG (QF = 75)	[81]	AQTB	WQTB
airplane	5969	6483	6385
barbara	5654	6266	6070
boat	5684	6296	6100
fruits	6384	6797	6800
goldhill	5744	6258	6160
lena	6424	7026	6840
peppers	5625	6194	6041
zelda	5918	6619	6334

**Bảng 3.5:** So sánh khả năng chứa (bits)

# KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TRONG TƯƠNG LAI

## 1. Kết luận

Luận án này đã đạt được những đóng góp chính sau đây trong lĩnh vực thủy văn số:

**Phát triển kỹ thuật thủy văn dựa trên đặc trưng độ nổi bật của ảnh số:**

- Tăng cường tính bí mật: Phương pháp thủy văn dựa trên độ nổi bật đã tận dụng các đặc trưng thị giác để nhúng thông tin vào các vùng ít thu hút sự chú ý trong ảnh, giúp thông tin thủy văn khó bị phát hiện bằng mắt thường mà không làm giảm chất lượng thị giác của ảnh.

- Khả năng chống lại tấn công: Phương pháp này cải thiện khả năng chống lại các tấn công phổ biến như cắt, xoay và nén ảnh, đảm bảo tính bền vững của thông tin thủy văn trong các điều kiện xử lý khác nhau.

**Phát triển kỹ thuật thủy văn thuận nghịch đảm bảo tính toàn vẹn của ảnh gốc:**

- Khả năng phục hồi ảnh gốc: Kỹ thuật thủy văn thuận nghịch cho phép nhúng thông tin vào ảnh mà sau khi trích xuất, ảnh gốc có thể được phục hồi hoàn toàn, đảm bảo không có sự thay đổi nào về chất lượng hình ảnh ban đầu.

- Hiệu suất nhúng cao: Các thuật toán mới cho phép nhúng một lượng lớn dữ liệu mà không làm giảm đáng kể chất lượng thị giác của ảnh, mở rộng khả năng ứng dụng trong các lĩnh vực đòi hỏi bảo mật cao như tài liệu pháp lý và hình ảnh y tế.

**Ứng dụng thực tiễn và khả năng mở rộng:**

- Đa dạng ứng dụng: Các phương pháp thủy văn được đề xuất có thể ứng dụng trong nhiều lĩnh vực đòi hỏi bảo mật cao, như bảo vệ bản quyền cho tài liệu pháp lý, hình ảnh y tế, và các sản phẩm số khác.

- Tích hợp công nghệ tiên tiến: Nghiên cứu khả năng tích hợp các giải pháp thủy văn với công nghệ nhận dạng và phân tích ảnh tiên tiến để nâng cao hiệu quả bảo vệ quyền sở hữu trí tuệ trong môi trường số phức tạp.

**Bảng 3.1:** So sánh các kỹ thuật trong chương 2 và chương 3

Tiêu chí	Thủy vân dựa trên đặc trưng độ nổi bật	Thủy vân thuận nghịch
Tính bí mật	Cao	Trung bình
Khả năng chống tấn công	Cao	Cao
Khả năng phục hồi ảnh gốc	Không	Hoàn toàn
Hiệu suất nhúng	Trung bình	Cao
Ứng dụng thực tế	Ảnh số có yêu cầu cao về chất lượng thị giác	Ảnh số cần bảo toàn tính nguyên vẹn của ảnh gốc
Mức độ phức tạp tính toán	Trung bình	Cao

Từ bảng 3.1, luận án cho thấy những ứng dụng phù hợp cho mỗi kỹ thuật như sau:

- Các kỹ thuật thủy vân dựa trên đặc trưng độ nổi bật phù hợp với các trường hợp cần bảo vệ quyền sở hữu trí tuệ mà không làm giảm chất lượng thị giác của ảnh. Phương pháp này lý tưởng cho các ứng dụng như ảnh nghệ thuật, ảnh quảng cáo, và các nội dung số yêu cầu độ chính xác cao về thị giác.

- Kỹ thuật thủy vân thuận nghịch thích hợp cho các trường hợp mà việc bảo toàn hoàn toàn ảnh gốc là rất quan trọng, như trong lĩnh vực y tế, pháp lý và các tài liệu quan trọng khác. Kỹ thuật này đảm bảo rằng sau khi thông tin được trích xuất, ảnh gốc có thể được khôi phục hoàn toàn mà không mất bất kỳ thông tin nào.

## 2. Hướng nghiên cứu trong tương lai

Hướng nghiên cứu trong tương lai sau khi hoàn thành luận án này mở ra nhiều khả năng phát triển và cải tiến cho các phương pháp thủy vân số, với mục tiêu tăng cường bảo mật, tính linh hoạt và hiệu quả ứng dụng trong các tình huống thực tế. Một số hướng có thể được khám phá bao gồm:

1. Tối ưu hóa thuật toán: Cải thiện và tối ưu hóa các thuật toán thủy vân dựa trên độ nổi bật và thuận nghịch hiện tại, nhằm giảm thời gian xử lý và tăng khả năng nhúng thông tin mà không làm mất đi chất lượng hình ảnh. Cụ thể, việc ứng dụng công nghệ học sâu và học máy trong việc tìm kiếm và xác định các vùng tối ưu cho việc nhúng thủy vân có thể mang lại hiệu quả cao.

2. Mở rộng ứng dụng: Nghiên cứu ứng dụng của thủy vân số trong các

lĩnh vực mới như video số, âm thanh số và các tài liệu đa phương tiện khác. Điều này bao gồm việc phát triển các phương pháp thủy văn đặc biệt cho từng loại dữ liệu cụ thể, với các yêu cầu bảo mật và chất lượng khác nhau.

3. Tăng cường bảo mật: Phát triển các kỹ thuật mới để tăng cường bảo mật cho thủy văn số, bao gồm việc kháng lại các cuộc tấn công phá hoại và nỗ lực giả mạo. Việc tích hợp các phương pháp mã hóa tiên tiến vào quá trình thủy văn có thể là một lĩnh vực quan trọng để khám phá.

4. Phân tích độ nổi bật cải tiến: Tiếp tục nghiên cứu và phát triển các mô hình độ nổi bật tiên tiến, tận dụng sức mạnh của AI và học sâu để chính xác hơn trong việc dự đoán và phân tích sự chú ý của người xem. Điều này giúp tối ưu hóa vị trí và kích thước của thủy văn, đồng thời duy trì tính thẩm mỹ của ảnh gốc.

5. Thích ứng với biến đổi định dạng: Nghiên cứu khả năng của thủy văn số trong việc thích ứng và bảo tồn thông tin qua các biến đổi định dạng như nén ảnh hoặc thay đổi kích thước là một lĩnh vực quan trọng khác. Phát triển các phương pháp thủy văn có khả năng duy trì tính toàn vẹn thông qua các quá trình xử lý hình ảnh là một mục tiêu đáng giá.

Những hướng nghiên cứu này không chỉ mở ra cánh cửa cho sự tiến bộ trong kỹ thuật thủy văn số mà còn hỗ trợ sự phát triển của các ứng dụng bảo mật trong thời đại số, đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về bảo vệ thông tin và quyền sở hữu trí tuệ.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ

1. Pham Quang Huy and Ta Minh Thanh, “Cross-frequency domain for jpeg irreversible watermarking using multiple quantization tables,” *Journal of Science and Technique-Section on Information and Communication Technology*, vol. 12, no. 01, 2023, doi: 10.56651/lqdtu.jst.v12.n1.660.ict.
2. Pham Quang Huy and Dao Nam Anh, “A new approach to Anti-Forgery using Saliency Guided Image Watermarking”, *Journal of Computer Science and Cybernetics*, 2024 (accepted).
3. Pham Quang Huy, Ta Minh Thanh, Le Danh Tai, Pham Van Toan, “Cross-domain using composing of selected dct coefficients strategy with quantization tables for reversible data hiding in jpeg image,” in *Research in Intelligent and Computing in Engineering: Select Proceedings of RICE 2020*. Springer, 2021, pp. 681–693, doi: 10.1007/978 – 981 – 15 – 7527 – 3\_64.
4. Dao Nam Anh, Pham Quang Huy, Doan Thi Huong Giang, “Steerable features for resilient image watermark”, in *2019 International Conference on Multimedia Analysis and Pattern Recognition (MAPR)*. IEEE, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/MAPR.2019.8743544.
5. Dao Nam Anh, Pham Quang Huy, Luong Chi Mai, “Watermark by learning non-saliency”, in *Frontiers in Intelligent Computing: Theory and Applications: Proceedings of the 7th International Conference on FICTA (2018)*, Volume 1. Springer, 2020, pp. 61–72, doi: 10.1007/978 – 981 – 32 – 9186 – 7\_7.
6. Dao Nam Anh, Pham Quang Huy, “Structuring Element for Secure Reversible Watermarking”, in: *2020 International Conference on Multimedia Analysis and Pattern Recognition (MAPR)*, IEEE, 2020, pp. 1–6, doi: 10.1109/MAPR49794.2020.9237780.