

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

**HUỲNH KHẢ TÚ**

**PHÂN TÍCH ĐA PHÂN GIẢI XÂY DỰNG THUẬT TOÁN  
GIÁM ĐỊNH ẢNH CHO ẢNH COPY-MOVE**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử  
Mã số chuyên ngành: 62520203

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**TP. HỒ CHÍ MINH NĂM 2018**

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn khoa học 1: GS.TS. Lê Tiến Thường

Người hướng dẫn khoa học 2: TS.Hà Việt Uyên Synh

Phản biện độc lập 1: PGS.TS.Lê Thị Lan

Phản biện độc lập 2: PGS.TS.Dương Anh Đức

Phản biện 1: GS.TSKH.Nguyễn Ngọc San

Phản biện 2: GS.TS. Vũ Đình Thành

Phản biện 3: PGS.TS.Nguyễn Hoàng Hải

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án họp tại

.....  
.....

vào lúc            giờ            ngày            tháng            năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp. HCM
- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

### *Các nghiên cứu công bố trên Tạp chí Khoa học*

1. Thuong Le-Tien, Tu Huynh-Kha, An Tran-Hong, Long Pham-Cong-Hoan, Nilanjan Dey, Marie Luong, "Combined Zernike Moment and Multiscale Analysis for Tamper Detection in Digital Images", *Informatica (An International Journal of Computing and Informatics)*, Vol.41, No.1, March 2017, ISSN: 0350-5596, **indexed by Thomson Reuters (ESCI) and Scopus.**

2. Tu Huynh-Kha, Thuong Le-Tien, Synh Ha-Viet-Uyen, Khoa Huynh-Van, Marie Luong, "A Robust Algorithm of Forgery Detection in Copy-Move and Spliced Images", (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 7, No. 3, 2016, NY, USA, ISSN 2158-107X, **indexed by Thomson Reuters (ESCI) and Web of Science.**

3. Tu Huynh-Kha, Thuong Le-Tien, Synh Ha-Viet-Uyen, Khoa Huynh-Van, "Improving the Computational Cost for Copied Region Detection in Forensic Images, *Journal Issue on Information and Communications Technology, Da Nang University*, Vol.2, No.1 , 2016, ISSN: 1859-1531 (**tạp chí thuộc danh mục tạp chí được tính điểm theo quy định của Hội đồng chức danh giáo sư nhà nước**).

4. Thuong Le-Tien, Tan Huynh-Ngoc, Tu Huynh-Kha, "The total error limits in duplicated image by Modifying the parameters of Zernike Moments computation", *International Journal of Automation and Control Engineering*, Dec.2015, ISSN: 2301-3702, Engineering and Technology Publishing, USA.

5. Tien Vo-Minh, Thuong Le-Tien, Tu Huynh-Kha, and Marie Luong, "An embedded system implemented the multiresolution-based algorithm for forensic image detection," *Scientific Journal of Saigon University*, Vol.26, No.3, 2017, ISSN: 1859-3208 (**tạp chí thuộc danh mục tạp chí được tính điểm theo quy định của Hội đồng chức danh giáo sư nhà nước**).

### *Chương sách (Book Chapter)*

6. Thuong Le-Tien, Tan Huynh-Ngoc, Tu Huynh-Kha, Marie Luong, "Zernike Moments-based approach for detecting duplicated image regions by a modified method to reduce geometrical and numerical error", book chapter, Springer 2015, [http://link.springer.com/chapter/ 10.1007%2F978-3-319-21410-8\\_36](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-21410-8_36),

ISSN: 0302-9743, ISBN: 978-3-319-21409-2 (seleted paper from ICCSA, Canada 2015).

***Các nghiên cứu công bố tại các Hội nghị Khoa học***

7. Tu Huynh-Kha, Thuong Le-Tien, Synh Ha-Viet-Uyen, Khoa Huynh-Van, Son Huynh-Thanh, “Develop an algorithm for image forensics using feature comparison and sharpness estimation”, The **IEEE** 2017 International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunications & Computing, Danang, Vietnam, Jan 2017, ISSN: 978-1-5090-2291-5.

8. Thuong Le-Tien, Sinh Nguyen-Duc, Tu Huynh-Kha, “Blind Image Forgeries Detection using Detail Components from the Wavelet Transform”, the Seventh International Conference on the Applications Digital Information and Web Technologies, Keelung, Taiwan, Mar.29-31, 2016, ISBN: 978-1-61499-636-1.

9. Thuong Le-Tien, Marie Luong, Tu Huynh-Kha, Long Pham-Cong-Hoan, An T.H, “Block Based Technique for Detecting Copy-Move Digital Image Forgeries: Wavelet Transform and Zernike Moments”, Proceedings of The Second International Conference on Electrical and Electronic Engineering, Telecommunication Engineering, and Mechatronics, Philippines, Feb.2016, ISBN: 978-1-941968-30-7.

10. Tu Huynh-Kha, Thuong Le-Tien, Synh Ha-Viet-Uyen, Khoa Huynh-Van, Nga Ly-Tu, "Forgery Detection and Identification of the Original and Duplicate Region in Copy-Move Images", The International Symposium on Electrical and Electronics Engineering, HCMC, Vietnam, Oct 30, 2015.

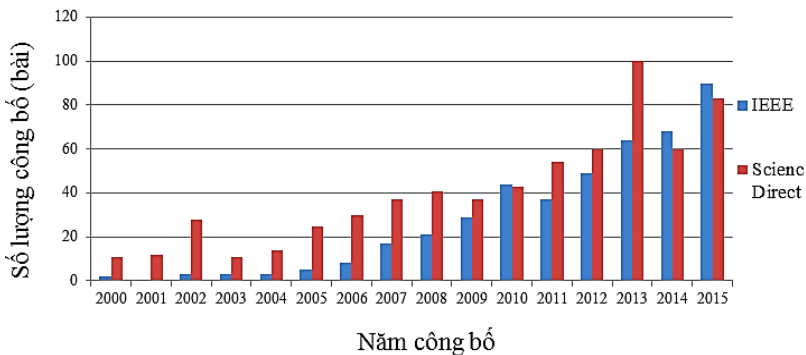
11. Tu Huynh-Kha, Thuong Le-Tien, Synh Ha-Viet-Uyen, Khoa Huynh-Van, "The Efficiency of Applying DWT and Feature Extraction into Copy-Move Images Detection", The **IEEE** 2015 International Conference on Advanced Technologies for Communications, HCMC, Vietnam, Oct 14-16 2015, ISSN: 2162-1020, ISBN: 978-1-4673-8372-1.

12. Tu Huynh-Kha, Thuong Le-Tien, Khoa Huynh-Van, Sy Nguyen-Chi, "A survey on Image Forgery Detection Techniques", The 11th **IEEE-RIVF** International Conference on Computing and Communication Technologies", Can Tho, Vietnam, Jan 25-28 2015, ISBN: 978-1-4799-8043-7.

13. Tu Huynh-Kha, Thuong Le-Tien, Ti Nguyen-Ti, Khoa Huynh-Van, "Copy-Move Forgery Detection Techniques: A survey and New Approach", The Third Asian Conference on Information Systems 2014, Nha Trang, Vietnam, Dec 1-3 2014, ISBN: 978-4-88686-089-7.

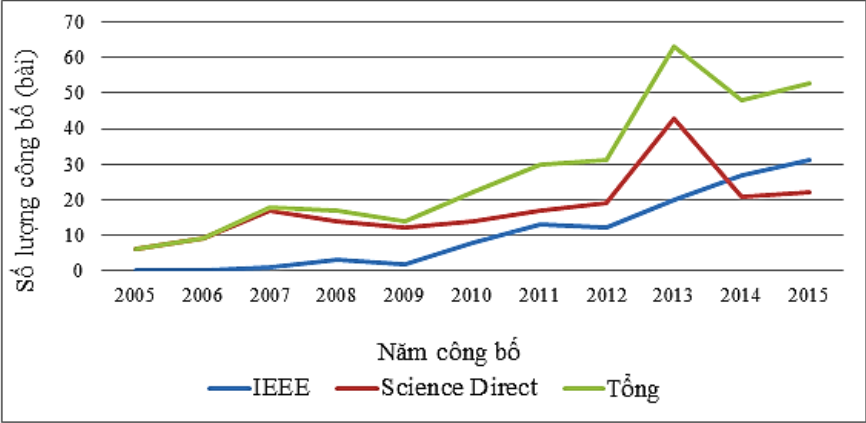
❖ **Sự cần thiết của nghiên cứu**

Trong thế giới ngày nay, ảnh số rất phổ biến và đóng vai trò quan trọng; bởi lẽ hình ảnh cuốn hút chúng ta từ cái nhìn đầu tiên, và trở thành bằng chứng hữu ích trong các hồ sơ pháp lý, chứng từ bảo hiểm, trong nghiên cứu khoa học về xử lý ảnh số, trong lĩnh vực y sinh, ... Tuy nhiên, trước sự phát triển nhanh chóng và đa dạng của công nghệ, những hình ảnh chúng ta nhìn thấy chưa chắc là ảnh thật. Điều này là vấn đề đã và đang được quan tâm, đồng thời thử thách các nhà nghiên cứu về lĩnh vực xử lý ảnh, cụ thể là giám định ảnh. Các nghiên cứu về giám định ảnh được chia thành hai loại: chủ động và thụ động. Trong phương pháp chủ động, được biết đến như watermarking và chữ ký số, trong đó các thông tin về ảnh gốc cũng như mã xác thực được sử dụng để nhúng vào ảnh trước khi gửi đi sẽ được biết trước. Đối với phương pháp thụ động, chỉ dùng ảnh nhận được để giám định, không cần thông tin gì khác của ảnh. Nhóm nghiên cứu thụ động đang phát triển nhanh và mạnh (như Hình 0.1); trong đó ảnh được giả mạo bằng nhiều thao tác, và phổ biến nhất là Copy-Move và Splicing. Đối với Copy-Move, các thông tin giả mạo được thực hiện trên cùng một ảnh trong khi đó đối với Splicing, các thông tin được cắt ghép từ nhiều ảnh khác nhau.



Hình 0.1 Các công bố khoa học về giám định ảnh trong 15 năm qua đăng bởi IEEE và Science Direct

Tính từ mười năm gần đây (như Hình 0.4), các bài toán Copy-Move công bố bởi Science Direct (màu đỏ) tăng đều và tăng mạnh trong năm 2013 và nhóm này cũng tăng đều trên trang IEEE (màu xanh dương). Xu hướng tăng (màu xanh lá cây) của nhóm nghiên cứu về ảnh Copy-Move cho thấy tính cấp thiết và phổ biến cho dạng bài toán.



Hình 0.4. Các công bố về phát hiện ảnh giả mạo Copy-Move trong mười năm gần đây bởi IEEE và Science Direct.

Mặc dù giám định ảnh là nhu cầu cần thiết và quan trọng, nhưng việc nghiên cứu về lĩnh vực này ở Việt Nam vẫn còn đang là hướng mới, hướng mở và chưa được quan tâm nhiều. Các nghiên cứu cũng chỉ tập trung ở bước đầu thông qua các đề tài nghiên cứu sau đại học tại các trường, viện, chưa có nhiều công bố trong nước được đăng tải. Trước tình hình đó, nhu cầu cải tiến, phát triển giải thuật giám định ảnh cho ảnh Copy-Move là vô cùng cấp thiết.

❖ **Đặt vấn đề**

Trước nhu cầu cấp thiết về việc phát triển giải thuật giám định ảnh, rất nhiều nghiên cứu được thực hiện trong những năm gần đây. Mặc dù những kỹ thuật công bố có thể giải quyết được một số vấn đề đặt ra nhưng đều có giới hạn riêng, và các kỹ thuật liên quan phần lớn giải quyết rời rạc cho các loại ảnh khác nhau. Riêng đối với ảnh giả dưới hình thức Copy-Move, vấn đề đặt ra là làm thế nào để có một cái nhìn chung, tổng quát về các cách thức xử lý từ các

phương pháp đã công bố, tìm ra các điểm chung nhất để từ đó có thể phát triển và xây dựng các phương pháp, thuật toán hoặc giải thuật mới nhằm cải thiện các nghiên cứu trước đây sao cho kết quả tối ưu hơn, tầm ứng dụng rộng hơn và có thể giải quyết bài toán hiệu quả hơn. Các giải thuật đưa ra phải có khả năng phát triển theo định hướng mở để khẳng định được kết quả của nghiên cứu là khả thi, hợp lý, và có đóng góp khoa học. Cụ thể hơn đối với mục tiêu là phân tích đa phân giải xây dựng thuật toán giám định ảnh Copy-Move, Luận án phải nắm bắt được tình hình nghiên cứu hiện tại, thể hiện được vai trò cần thiết của đa phân giải trong các ảnh Copy-Move; chọn lựa phương pháp đa phân giải nào cho phù hợp; tận dụng được những điểm mạnh của đa phân giải vào việc xây dựng các thuật toán riêng sao cho hiệu quả. Mỗi ý tưởng đưa ra trong Luận án phải thể hiện được tính cần thiết, tính mới và kết quả thực hiện mang tính thuyết phục. Các giải thuật nghiên cứu phải được phát triển có cơ sở, có liên quan với nhau cùng đóng góp và làm rõ được sự tiếp diễn vào quá trình thực hiện nghiên cứu.

#### ❖ **Hướng giải quyết vấn đề**

Từ những vấn đề đặt ra, Luận án đưa ra các hướng tiếp cận để giải quyết vấn đề như sau.

1. Tiến hành khảo sát các kỹ thuật liên quan nhằm mục tiêu xây dựng mô hình tổng quát, làm cơ sở phát triển thuật toán phù hợp.
2. Từ mô hình đã xây dựng, đề xuất các thuật toán cơ sở chưa xét đến đa phân giải nhưng đạt hiệu quả nhất định, giải quyết được bài toán cho một ứng dụng cụ thể. Từ đó định hướng mở rộng khả năng ứng dụng các giải thuật ban đầu này thông qua kết hợp đa phân giải.
3. Phân tích đa phân giải để thấy nhu cầu cần thiết, đề xuất giải thuật dùng đa phân giải và kiến nghị phương pháp đa phân giải phù hợp cho các nghiên cứu tiếp theo.
4. Ứng dụng đa phân giải, chỉ xét trên thành phần xấp xỉ.

5. Tận dụng vai trò của đa phân giải bằng cách kết hợp các thành phần chứa tần số thấp và tần số cao để cải tiến hiệu quả của thuật toán, hướng tới xây dựng thuật toán tối ưu hơn.

Trong mỗi thuật toán đưa ra, giải thuật thực hiện cần xét đến thời gian xử lý, độ chính xác hoặc cân bằng giữa thời gian xử lý và độ chính xác so với các phương pháp đã được công bố để chứng minh tính hiệu quả của các thuật toán.

#### ❖ Những đóng góp của Luận án

Luận án nghiên cứu và đưa ra 06 thuật toán cho ảnh Copy-Move; trong đó mục tiêu là tìm vùng giống nhau bằng cách: tách nền dựa trên phân tích histogram; dựa vào Zernike moments (ZMs) với sai số hình học và sai số số học được cải tiến; ứng dụng đa phân giải wavelets và curvelets trong giám định ảnh Copy-Move; phát hiện các vùng giống nhau từ thành phần xấp xỉ LL1 của DWT; so sánh đặc tính trên LL1 và tính toán độ sắc tại HH1 của DWT; xác định thao tác giả mạo và khôi phục vùng giả mạo Copy-Move; đồng thời đánh giá so sánh các kết quả nghiên cứu đạt được để tạo cơ sở và tham khảo cho các nghiên cứu liên quan và định hướng phát triển tiếp theo. Thật vậy, mỗi nghiên cứu đưa ra đều có những đóng góp riêng từ những khía cạnh khác nhau cho lĩnh vực giám định ảnh Copy-Move. Luận án là tập hợp kết quả của 13 công trình nghiên cứu, trong đó 05 công trình được đăng trên Tạp chí uy tín (02 Tạp chí được indexed bởi Thomson Reuters, Web of Science và Scopus, 02 Tạp chí thuộc danh mục tính điểm của Hội đồng học hàm, 01 Tạp chí quốc tế có phân biện), 01 chương sách và 07 báo cáo khoa học được trình bày tại các Hội nghị khoa học quốc tế.

Ngoài những đóng góp dưới dạng công bố khoa học và khả năng ứng dụng, Luận án cũng đóng góp vào đề tài nghiên cứu khoa học cấp Đại học Quốc gia và cấp cơ sở, trong đó Nghiên cứu sinh là thành viên tham gia chính của 01 đề tài nghiên cứu khoa học cấp Đại học Quốc Gia (Loại B) đã nghiệm thu đạt, chủ nhiệm 03 đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở đã nghiệm thu đạt.



## ❖ Cấu trúc của Luận án

Luận án trình bày quy trình triển khai thực hiện các nội dung đã nghiên cứu, mỗi bước đều có những đề xuất và đóng góp để cải tiến cho bước tiếp theo, kết nối với nhau thành một chuỗi các nghiên cứu nhằm đáp ứng mục tiêu của đề tài đặt ra. Trong đó, phần Mở đầu và Kết luận là hai nội dung không đánh số chương, các chương chính được cấu trúc như sau:

**Chương 1- “Tổng quan nghiên cứu liên quan và đề xuất giải thuật nghiên cứu ban đầu”**: giới thiệu tổng quan, khảo sát các kỹ thuật đã được công bố liên quan đến lĩnh vực giám định ảnh Copy-Move, từ đó nhận thấy một số điểm chung trong các giải thuật, phát triển sơ đồ tổng quát, đề xuất 02 giải thuật ban đầu chưa sử dụng đa phân giải, đánh giá kết quả và định hướng cải tiến dùng đa phân giải.

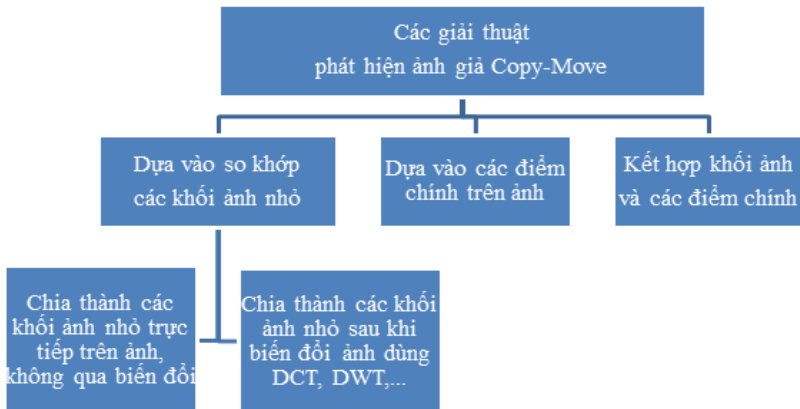
**Chương 2-“Phân tích đa phân giải và các thuật toán ứng dụng đa phân giải trong giám định ảnh Copy-Move”**: giới thiệu hai phương pháp đa phân giải dùng wavelets và curvelets, xây dựng giải thuật giám định ảnh Copy-Move ban đầu ứng dụng cả wavelets và curvelets; đánh giá so sánh và chọn wavelets là ứng viên phù hợp nhất. Từ đó, phát triển xây dựng 03 giải thuật dùng wavelets với vai trò đa phân giải để cải tiến thời gian tính toán, đồng thời kết hợp với một số phương pháp trích đặc tính hoặc tính toán các thành phần liên quan để cân bằng độ chính xác và thời gian tính toán. Các giải thuật được nghiên cứu thông qua nhiều cách xử lý vấn đề tương ứng với các yêu cầu khác nhau trong phạm vi yêu cầu của Luận án.

**Chương 3-“Thuật toán xác định thao tác giả mạo và khôi phục vùng giả mạo do Copy-Move”**: xây dựng giải thuật có thể giải bài toán cho ảnh Copy-Move và mở rộng cho một số ảnh Splicing. Một hệ thống nhúng dùng Raspberry Pi3B được triển khai để thể hiện khả năng ứng dụng của thuật toán.

Tổng hợp các nghiên cứu đã thực hiện, đánh giá so sánh, kết luận và những đóng góp khoa học của Luận án cũng như các tài liệu tham khảo được trình bày ở phần Kết luận để làm thành một cấu trúc hoàn chỉnh của Luận án.

# CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI THUẬT NGHIÊN CỨU BAN ĐẦU

Chương này thực hiện các khảo sát liên quan đến đề tài (Hình 1.1), từ đó xây dựng mô hình tổng quát cho nhóm giải thuật trên ảnh Copy-Move, đồng thời nhận thấy được các vấn đề còn tồn tại và đề xuất 02 giải thuật nghiên cứu ban đầu tìm vùng giống nhau sau khi tách nền dựa trên phân tích histogram và dùng Zernike moments với các thông số cải tiến.



Hình 1.1 Sơ đồ phân loại các phương pháp khảo sát

Với chương tổng quan này, Luận án đã thực hiện khảo sát các kỹ thuật liên quan đến giám định ảnh Copy-Move trong những 10 gần đây được công bố trên IEEE để từ đó xây dựng mô hình giám định ảnh Copy-Move tổng quát, làm cơ sở để phát triển giải thuật mới cải tiến và hiệu quả. Việc phân loại thành các nhóm phương pháp dựa vào khối ảnh, điểm ảnh hoặc kết hợp khối ảnh và điểm ảnh cũng định hướng rõ ràng giúp các giải thuật được triển khai và phát triển phù hợp với những mục tiêu cụ thể. Luận án cũng giới thiệu tập ảnh chuẩn được sử dụng khi triển khai các giải thuật đề xuất và định hướng phát triển giải thuật dựa vào khối ảnh nhưng có xét đến góc xoay.

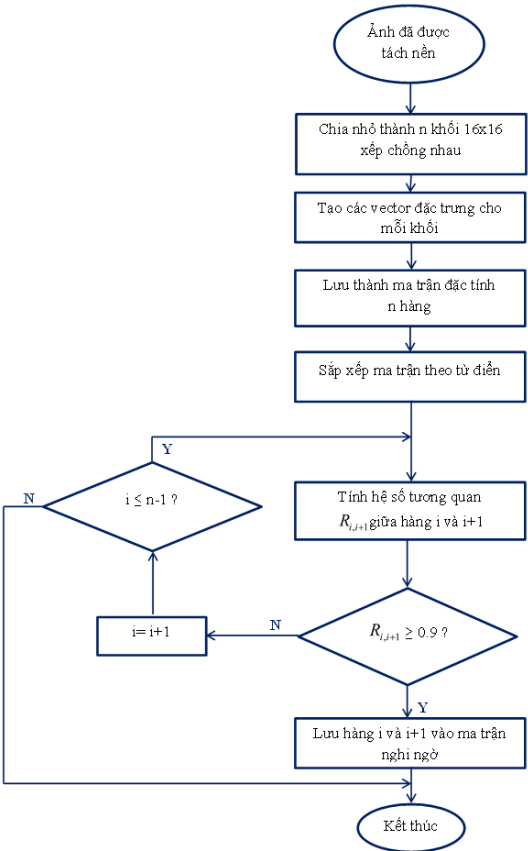
**Thuật toán giám định ảnh Copy-Move bằng cách tìm vùng giống nhau sau khi tách nền dựa trên phân tích histogram:** được đề xuất dựa vào ý tưởng khi các hình ảnh có nền khá đồng nhất, thì việc tìm kiếm cắt dán trên đối tượng có thể được đơn giản hóa nếu tách vùng nền ra khỏi đối tượng. Mục đích của chương



Hình 1.3 Quá trình giám định

này là từ nghiên cứu ban đầu không xét đến đa phân giải trong xây dựng thuật toán, định hướng sự cải tiến hơn nếu có sử dụng đa phân giải, hướng tới mục tiêu của Luận án. Quá trình phát hiện giả mạo ảnh chia làm 3 giai đoạn như Hình 1.3. Lưu đồ giải thuật nhận dạng đối tượng nghi ngờ sao chép trên ảnh được trình bày như Hình 1.5 và một số kết quả mô phỏng được biểu diễn như Hình 1.6 và 1.7.

Trong trường hợp ảnh giả được tạo ra bởi phương pháp Copy-Move, thuật toán này được chứng minh là hiệu quả trong việc nhận dạng đối tượng được sao chép trên nền ảnh khá đồng

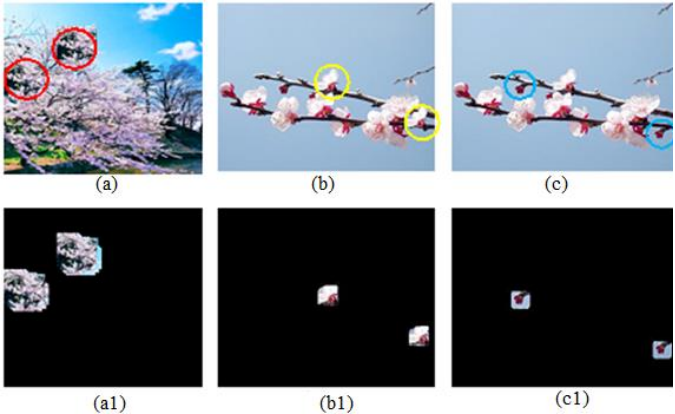


Hình 1.5 Lưu đồ giải thuật 1 nhận dạng đối tượng nghi ngờ sao chép trên ảnh.

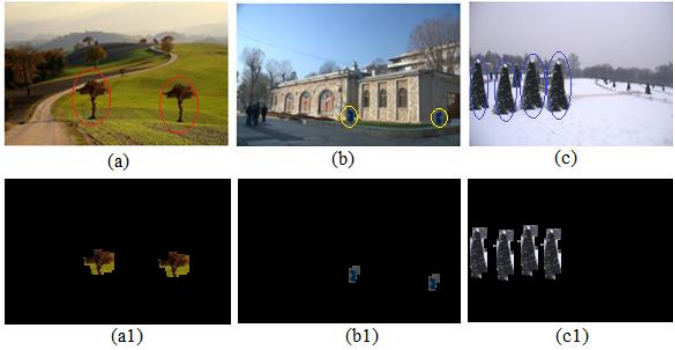
nhất dựa trên thuật toán về tương quan [43]. Phương pháp phù hợp với trường hợp cần xử lý nhanh một tập dữ liệu ảnh có bố cục đơn giản, đối tượng sao chép phân bố màu ít hơn vùng nền. Tuy nhiên, vì là nghiên cứu đầu tiên nên

giải thuật đề xuất trong phần này chỉ mới giải quyết được một góc độ ứng dụng nhỏ của lĩnh vực giám định ảnh. Cụ thể, thuật toán chỉ áp dụng cho ảnh màu, chưa xét đến trường hợp đối tượng Copy-Move được xoay đi so với ảnh gốc.

Hướng nghiên cứu tiếp theo là xây dựng giải thuật cho bài toán Copy-Move trong đó đối tượng sao chép có thể sử dụng thao tác xoay.



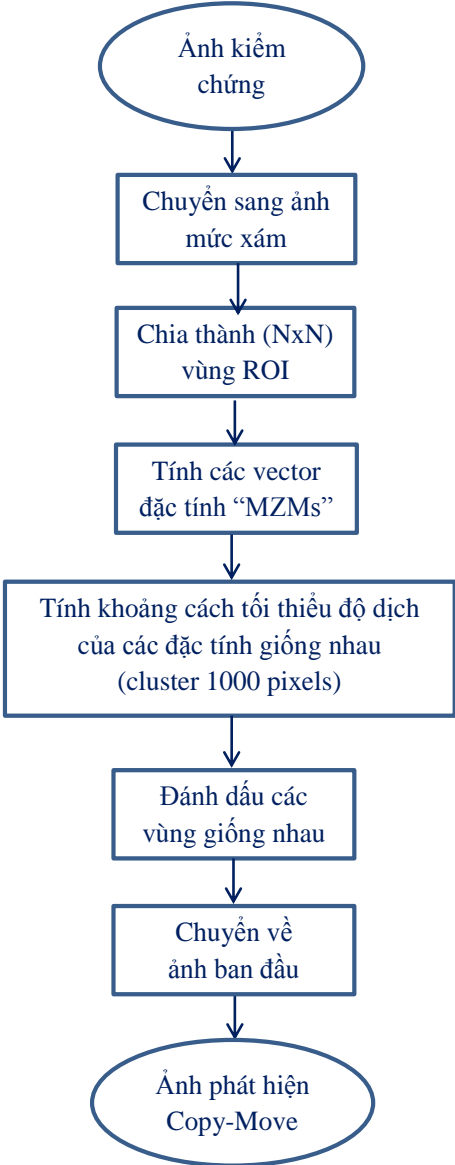
Hình 1.6 Một số kết quả mô phỏng từ các ảnh Copy-Move nguồn google search và ảnh tự chụp.



Hình 1.7 Một số kết quả mô phỏng từ các ảnh thuộc tập ảnh benchmark.

**Thuật toán giám định ảnh Copy-Move dùng Zernike Moments (ZMs) với sai số hình học và sai số số học được cải tiến:** Nếu giải thuật tách nền khỏi đối tượng trước khi tìm kiếm các vùng giống nhau cho các ảnh Copy-Move có nền khá đồng nhất và đối tượng tương đối rõ ràng, thì thuật toán này nghiên

cứu giải thuật giám định trực tiếp trên ảnh, dùng các thông tin vốn có của ảnh và không loại bỏ nền hay bất kỳ thông tin gì. Trên thực tế, trong một ảnh màu, tại mỗi vùng nhỏ đều có một số điểm bất biến về pha và biên độ. Khi vùng ảnh được sao chép đến một vị trí khác, các điểm bất biến này đều không thay đổi tại vị trí mới. Vì thế, Zernike moments với chức năng trích đặc tính bất biến độ xoay được dùng để phát triển giải thuật phát hiện cắt dán trên ảnh. Tuy nhiên, việc sử dụng Zernike moments làm xuất hiện các sai số hình học (Geometrical Error-GE) và sai số số học (Numerical Error-NE) [44, 45]. Vì thế, đề tài đã thực hiện nghiên cứu cách giảm sai số GE và NE để việc phát hiện vùng giả mạo trên ảnh được hiệu quả. Khi đó, mô hình ảnh xạ mới sẽ được thực hiện để trích đặc tính các vùng để từ đó tìm vùng giống nhau, áp dụng vào giải thuật mới với độ chính xác được cải tiến. Giải thuật được đề xuất như Hình 1.11.



Hình 1.11 Lưu đồ giải thuật 2 phát hiện vùng ảnh giả mạo trên ảnh

Thuật toán 2 đã cải tiến cách tính Zernike moments truyền thống không chỉ thông qua việc tăng số pixels của ROI mà còn hạn chế được sự thay đổi kích thước của ảnh được khôi phục so với kích thước ảnh gốc. Phương pháp dựa trên MZMs được chứng minh là giảm đáng kể được hai sai số chính là sai số hình học và sai số số học khi khôi phục ảnh [50]. Các kết quả thực nghiệm cho thấy tính hiệu quả của việc phát hiện vùng giả mạo bằng cách tính Zernike Moments cao hơn các phương pháp khác [52]. Tuy nhiên, khi số lượng các pixels được ánh xạ vào vòng tròn đơn vị tăng lên, làm tăng độ chính xác khi trích đặc tính vùng ảnh; mặt khác lại gia tăng độ phức tạp tính toán. Do đó, kết hợp đa phân giải để giảm kích thước ảnh và MZMs để cân bằng giữa độ chính xác và độ phức tạp có thể được đưa ra như một hướng nghiên cứu tiếp theo.

Ngoài các kết quả đạt được cho từng giải thuật, một số kết quả thử nghiệm cho tập ảnh trích từ Phụ Lục 3.1 đánh giá độ chính xác và thời gian xử lý trung bình giữa 02 giải thuật đề nghị và so sánh với các giải thuật liên quan được biểu diễn ở Bảng 1.6. Vì hai giải thuật đề xuất được thực hiện trên ảnh kiểm chứng và không qua biến đổi, nên một số phương pháp nổi bật không qua biến đổi được sử dụng để đánh giá so sánh với hai giải thuật đề xuất bao gồm: HU , KPCA, PCA, ZMs truyền thống. Thông số đánh giá được xét đến là thời gian xử lý và độ chính xác.

Bảng 1.1 Đánh giá so sánh 02 giải thuật đề xuất từ tập ảnh Phụ lục 3.1.

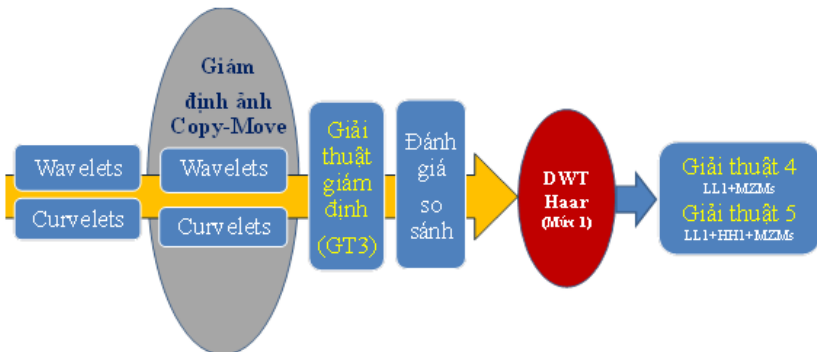
Phương pháp	Độ chính xác trung bình (%) - $P$	Recall trung bình (%) - $r$	Trung bình $F$ (%)	Thời gian xử lý trung bình (x10 s)
HU [51]	89.27	80.08	84.43	40.55
KPCA [24]	86.02	79.03	82.38	39.54
PCA [33]	85.78	73.61	79.23	46.67
ZMs [11]	87.95	83.98	85.92	38.73
Tách nền (đề xuất 1)	87.08	59.09	70.41	18.58
MZMs (đề xuất 2)	90.65	86.18	88.36	39.62

Trong Chương 1, Luận án đã thực hiện khảo sát các nghiên cứu liên quan đến giám định ảnh Copy-Move, phân loại các nhóm giải thuật dựa vào các điểm chung, qua đó xây dựng sơ đồ tổng quát làm cơ sở để phát triển giải thuật Copy-Move. Hai giải thuật đầu tiên đã được đề xuất từ hai thuật toán: giám định ảnh Copy-Move bằng cách tìm vùng giống nhau sau khi tách nền dựa trên phân tích histogram và dùng Zernike Moments (ZMs) với sai số hình học và sai số số học được cải tiến. Giải thuật đầu tiên được sử dụng trong trường hợp ảnh Copy-Move có phân bố nền khá đồng nhất và thao tác sao chép thuần túy là dịch chuyển trong khi giải thuật thứ hai giải quyết trên ảnh Copy-Move có bố cục bất kỳ và có xét đến thao tác xoay. Mặc dù cả hai đều có giới hạn riêng, nhưng đều đạt được mục tiêu của bài toán đưa ra là xác định vùng sao chép với độ chính xác nhất định. Các nội dung nghiên cứu khảo sát và 02 thuật toán đề xuất trong Chương 1 đều được đánh giá phản biện thông qua 04 công bố khoa học tại Hội nghị khoa học và tạp chí khoa học [4, 43, 50, 52].

Tuy nhiên đối với giải thuật 1, khi các ảnh có kích thước lớn, việc tìm kiếm các khối giống nhau trên toàn ảnh sẽ tốn rất nhiều thời gian, và nhất là nếu ảnh có bố cục khá đồng nhất thì thông tin tìm kiếm trên toàn ảnh sẽ có nhiều thông tin dư thừa. Tương tự vấn đề ở giải thuật 2, khi số lượng pixels được ánh xạ và vào tròn đơn vị để biểu diễn đặc tính được tăng lên, độ chính xác sẽ tăng lên nhưng độ phức tạp tính toán cũng tăng theo. Vì thế hướng phát triển tiếp theo từ các kết quả nghiên cứu ban đầu này là xem xét ứng dụng đa phân giải vào giải thuật giám định ảnh, nhằm giảm được độ phức tạp tính toán và thời gian xử lý. Việc kết hợp đa phân giải với trích đặc tính như thế nào để có thể cân bằng được thời gian xử lý và độ chính xác là hướng nghiên cứu tiếp theo được đưa ra.

## CHƯƠNG 2 PHÂN TÍCH ĐA PHÂN GIẢI VÀ CÁC THUẬT TOÁN ỨNG DỤNG ĐA PHÂN GIẢI TRONG GIÁM ĐỊNH ẢNH COPY-MOVE

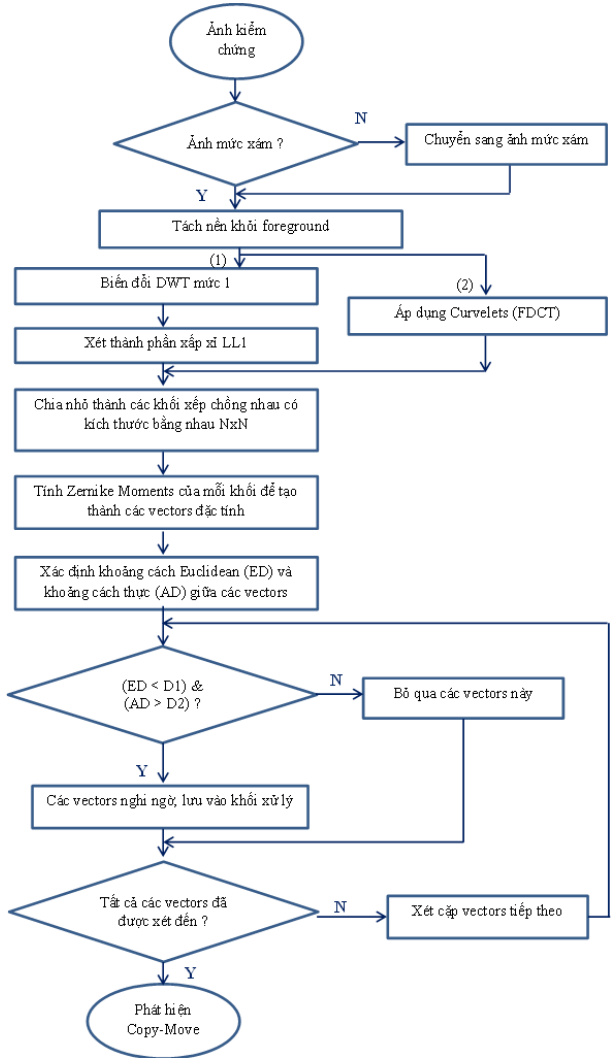
Với ý tưởng đề xuất ứng dụng đa phân giải để phát triển các giải thuật giám định ảnh mới nhằm tối ưu được độ phức tạp tính toán khi tìm kiếm các đối tượng giống nhau trên những dải thành phần cần thiết thay vì tìm kiếm trên toàn ảnh. Vấn đề đặt ra cho giai đoạn này là sử dụng đa phân giải bằng cách nào, và cách tận dụng hiệu quả đa phân giải. Dựa trên vấn đề được phân tích, từ lý thuyết đa phân giải của wavelets và các biến thể của wavelets, Luận án đề xuất wavelets và curvelets là hai ứng viên cho phân tích giám định ảnh. Thuật toán giám định ảnh đầu tiên có ứng dụng đa phân giải được xây dựng và từ đó, đánh giá so sánh phù hợp, đề xuất wavelets Haar là ứng viên có ưu thế hơn cho giám định ảnh Copy-Move. Với DWT mức 1, việc trích đặc tính dùng MZMs tại thành phần LL1 đã gia tăng độ chính xác so với các giải thuật liên quan, đồng thời cải tiến được thời gian tính toán khi việc tìm kiếm các vùng giống nhau chỉ trên thành phần LL1. Khi các vùng sao chép nhau được phát hiện, thì việc phân biệt vùng gốc và vùng sao chép từ tính toán độ sắc cũng được xác định. Để tận dụng một cách hiệu quả các thành phần của biến đổi DWT mức 1, Luận án đã tiếp tục đề xuất thuật toán kết hợp các thành phần LL1 và HH1 và trích đặc tính dùng MZMs để đạt được kết quả giám định cân bằng được cả độ chính xác và thời gian xử lý. Cấu trúc trình bày của Chương 2 được biểu diễn như Hình 2.1.



Hình 2.1 Sơ đồ cấu trúc trình bày của Chương 2



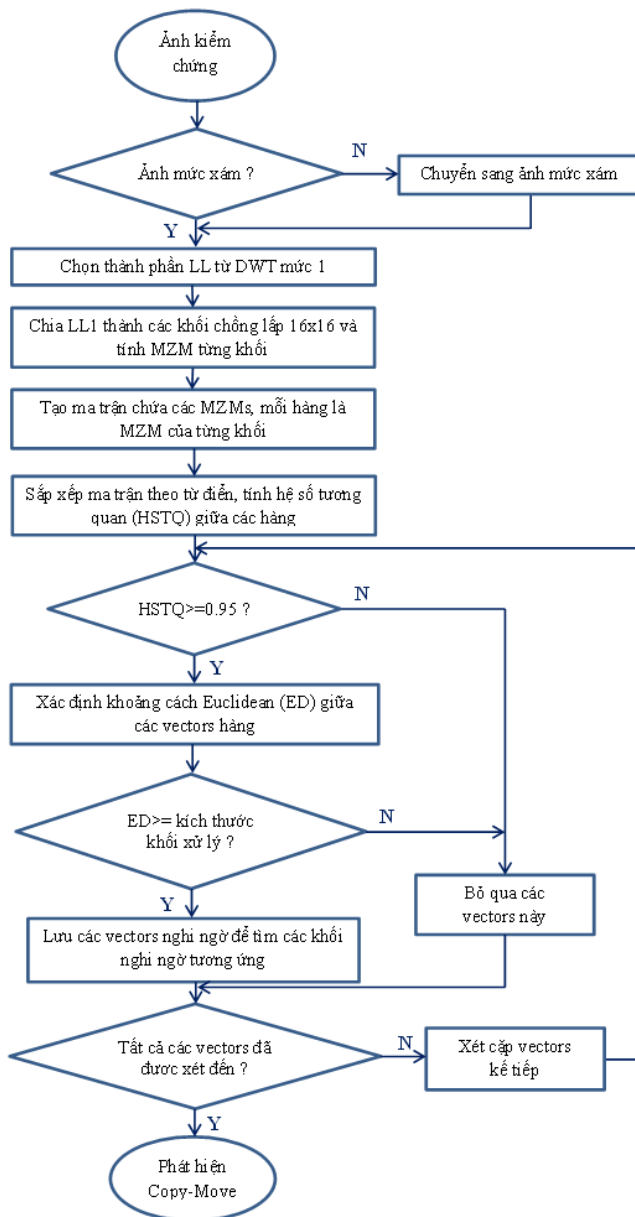
Giải thuật 3 được biểu diễn như khi sử dụng wavelets và curvelets với các kết quả được trình bày chi tiết trong Luận án, trong đó wavelets được đánh giá chiếm ưu thế hơn khi ứng dụng với vai trò đa phân giải vào giám định ảnh Copy-Move. Kết quả chứng minh được đa phân giải giúp cải thiện được thời gian xử lý giải thuật. Bên cạnh đó, wavelets Haar với vai trò đa phân giải được nhận định là hiệu quả và mang tính cải tiến cho các giải thuật phát hiện vùng giả mạo Copy-Move kết hợp đa phân giải và trích đặc tính khối với kích thước 16x16, và sẽ được phát triển trong các thuật toán nghiên cứu tiếp theo của Luận án.



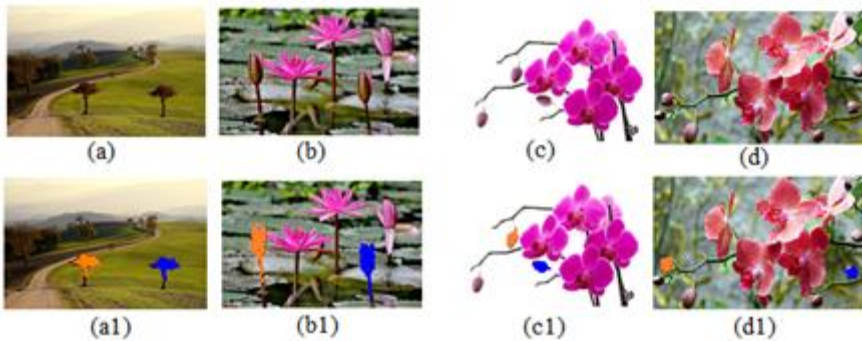
Hình 2.2 Lưu đồ giải thuật 3 của phương pháp đề xuất khi sử dụng DWT/FDCT

Tiếp nối những kết quả nghiên cứu ban đầu về việc ứng dụng đa phân giải dùng DWT như một hướng tiếp cận để phát triển giải thuật giám định ảnh Copy-Move đã được đề xuất ở trên, và để cải tiến độ chính xác khi trích đặc tính, nội dung tiếp theo trình bày thuật toán phát hiện vùng giả mạo dưới hình thức Copy-Move trong ảnh bằng cách kết hợp biến đổi DWT với vai trò đa phân giải và trích đặc tính dùng các Zernike moments có thông số cải tiến (MZMs) mà trong đó, số pixels được dùng cho trích đặc tính nhiều hơn so với ZMs truyền thống [61] được sử dụng trong thuật toán 3. Bên cạnh đó, khi hai vùng ảnh giống nhau được phát hiện do sao chép, việc xác định vùng gốc và vùng sao chép cũng được thực hiện. Thật vậy, trong các nghiên cứu đã được khảo sát gần đây [62-67] cũng như các nghiên cứu đã thực hiện ở Chương 1, ảnh giả mạo Copy-Move được phát hiện khi có các vùng giống nhau được xác định là sao chép, nhưng vẫn chưa xác định được giữa các vùng giống nhau đó đâu là vùng gốc và đâu là vùng giả mạo. Với mục tiêu phân biệt vùng gốc và vùng sao chép sau khi đã phát hiện các khối giống nhau từ thành phần xấp xỉ, độ sắc nét trên các đối tượng này sẽ được xác định để phân biệt vùng gốc và vùng sao chép. Đây cũng chính là ý tưởng mới của nghiên cứu khi xét kết hợp thành phần xấp xỉ và thành phần tần số cao nhưng ở một góc độ khác. Ảnh kiểm chứng trước tiên sẽ được xác định có thao tác giả mạo hay không và tiếp theo đó các vùng gốc và sao chép sẽ được phân biệt. Lưu đồ giải thuật phát hiện các vùng giống nhau từ thành phần xấp xỉ của biến đổi DWT mức 1 biểu diễn như Hình 2.18.

Khi hai vùng ảnh được phát hiện sao chép nhau, vùng nào có độ sắc cao hơn được xác định là vùng gốc, vùng còn lại là vùng sao chép. Thật vậy, khi hai vùng đã được xác nhận là giống nhau, đối với vùng cắt dán, các nội dung sẽ được làm trơn hơn để khó phát hiện với nội dung xung quanh nơi cần ghép nối chứ không thể giữ nguyên độ sắc như tại vùng gốc vì vậy độ sắc nét sẽ không còn giữ như ban đầu. Một số kết quả phát hiện giả mạo và xác định vùng gốc và vùng sao chép biểu diễn như Hình 2.25 và Bảng 2.6. Một số kết quả cho các ảnh khác cũng được minh họa nhiều hơn trong Luận án.



Hình 2.3 Lưu đồ giải thuật 4 phát hiện các vùng giống nhau từ thành phần xấp xỉ của biến đổi DWT mức 1.



Hình 2.4 Một số kết quả thử nghiệm phát hiện giả mạo từ giải thuật đề xuất 4; (a),(b),(c),(d). Ảnh kiểm chứng; (a1),(b1),(c1),(d1). Phát hiện thao tác sao chép trên các ảnh tương ứng (a),(b),(c),(d).

Bảng 2.1 Tính toán độ sắc và xác định vùng gốc và vùng cắt dán của các ảnh được phát hiện giả mạo Copy-Move trong Hình 2.25 (a1),(b1),(c1) và (d1).

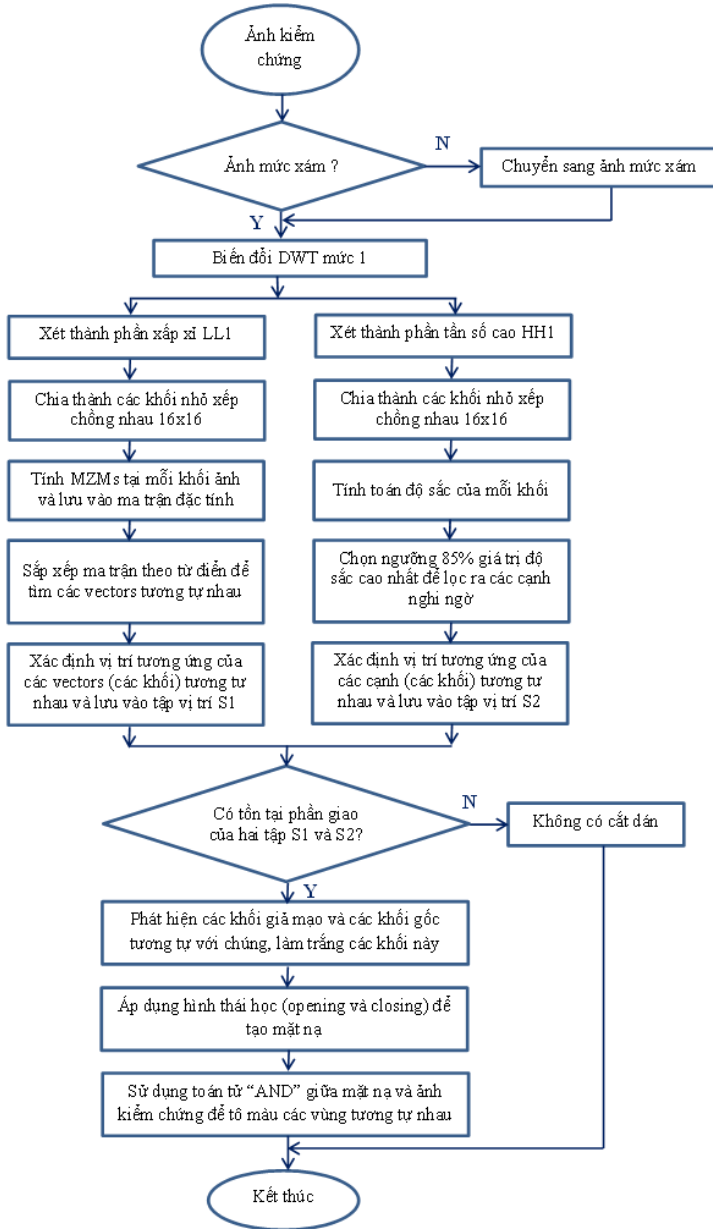
Hình	Độ sắc	Kết luận
Vùng tô màu cam của cây bên trái trong (a1)	0.1254	Vùng gốc
Vùng tô màu xanh của cây bên phải trong (a1)	0.10118	Vùng sao chép
Vùng tô màu cam hoa sen bên trái trong (b1)	0.60075	Vùng gốc
Vùng tô màu xanh hoa sen bên phải trong (b1)	0.4594	Vùng sao chép
Vùng tô màu cam nụ hoa lan phía trên trong (c1)	0.18195	Vùng gốc
Vùng tô màu xanh nụ hoa lan phía dưới trong (c1)	0.17782	Vùng sao chép
Vùng tô màu cam hoa lan bên trái trong (d1)	0.11268	Vùng gốc
Vùng tô màu xanh hoa lan bên phải trong (d1)	0.10738	Vùng sao chép

Giải thuật 4 phát hiện được các vùng cắt dán trong ảnh Copy-Move dùng DWT mức 1 và các Zernike moments có thông số cải tiến. Việc xử lý trên thành phần xấp xỉ LL1 của biến đổi DWT thay vì xử lý trực tiếp trên ảnh gốc giảm được thời gian tính toán [60]. Bên cạnh đó, khi tính toán các MZMs bằng cách co vùng ROI vào một mô hình mới sao cho vòng tròn đơn vị có thể bao phủ khối vuông ảnh đã cải tiến được độ chính xác khi trích đặc tính [68]. Giải thuật được thực hiện và so sánh với một số phương pháp liên quan về độ chính

xác và cả thời gian xử lý. Bên cạnh đó, việc xác định được vùng gốc và vùng sao chép trên ảnh dựa trên giá trị độ sắc nét của hai vùng được chứng minh là hiệu quả [70]. Tuy nhiên, giải thuật chỉ mới sử dụng thành phần xấp xỉ, vì thế việc phát triển giải thuật mới tận dụng các thành phần còn lại có thể nâng cao độ chính xác và giúp cân bằng thời gian xử lý.

Giải thuật 4 đã phát triển giải thuật giám định ảnh Copy-Move hiệu quả dựa trên thành phần xấp xỉ. Tuy nhiên, nếu thao tác cắt dán xuất hiện trên ảnh thì dù có tinh vi thế nào thì tại những vùng cắt dán sẽ để lại dấu vết, và những dấu vết này sẽ được thể hiện dưới dạng các cạnh, hoặc các biên ghép nối, và được biểu diễn tại các dải tần số cao sau khi qua biến đổi DWT mức 1. Phát triển từ kết quả nghiên cứu đã đạt được ở giải thuật trước, phần này đưa ra một phương pháp mới phát hiện giả mạo cho ảnh Copy-Move dùng so sánh đặc tính để tìm các phần tương tự nhau và tính toán độ sắc nét để giới hạn các cạnh nghi ngờ [57] với mục tiêu cải thiện độ chính xác. Trong bước xác định tìm vùng giống nhau, phân tích DWT mức 1 với vai trò đa phân giải, được sử dụng để giới hạn độ phức tạp tính toán, cùng với phương pháp hình thái học được áp dụng để biểu diễn các vùng sao chép. Từ kết quả nghiên cứu cho giải thuật 3, kích thước khối  $16 \times 16$  là thích hợp nhất trong so sánh đặc tính để tìm ra các đối tượng sao chép trong ảnh Copy-Move. Vì thế, trong giải thuật được đề xuất 5 (Hình 2.28), việc so sánh đặc tính cũng như tính toán độ sắc cũng được thực hiện trên các khối nhỏ  $16 \times 16$  được phân chia xếp chồng nhau trên thành phần xấp xỉ LL1 và thành phần tần số cao HH1. Việc tìm kiếm các khối tương tự nhau từ việc so sánh các vectors đặc tính được biểu diễn bởi các Zernike moments cải tiến (MZMs) và tính toán độ sắc của các cạnh tại thành phần HH1 sẽ xác định đối tượng sao chép trong ảnh. Các vùng sao chép có đặc tính tương tự với vùng nào đó trên ảnh và độ sắc tại biên cắt dán sẽ cao hơn độ sắc tại các cạnh vốn có trên ảnh. Sự kết hợp thành phần tần số thấp và thành phần tần số cao cải tiến được độ tin cậy của giải thuật. Các vùng nghi ngờ khi đó sẽ được tô màu bằng phương pháp opening và closing của lý thuyết hình thái học và sẽ được thực hiện toán tử “AND” với ảnh kiểm chứng ban đầu. Với giải pháp phát

hiện được các vùng giống nhau do cắt dán hay do bản chất ban đầu vốn có của



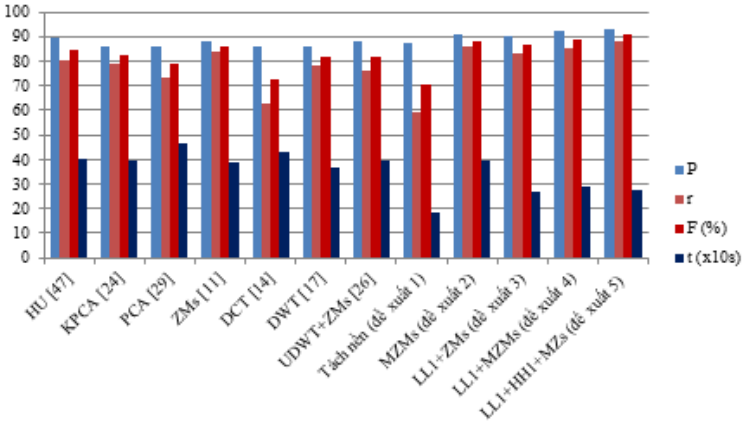
Hình 2.5 Lưu đồ giải thuật 5

ảnh chính là điểm mới của nghiên cứu. Kết quả đánh giá so sánh với các giải thuật liên quan như Bảng 2.7, các kết quả mô phỏng bằng hình ảnh được trình bày trong của Luận án.

Bảng 2.7 Kết quả so sánh ở mức pixel (%). Độ chính xác, recall là các giá trị trung bình của của P, r từ các ảnh được thực hiện mô phỏng.

Phương pháp	P	r	F
ZMs [11]	91.89	88.17	90.47
DCT [27]	89.96	85.45	87.65
8z affine transformation and color information [13]	92.25	86.12	86.12
Phương pháp đề xuất	93.07	92.15	92.61

Ngoài các kết quả đạt được cho từng giải thuật, một số kết quả thử nghiệm cho tập ảnh trích từ Phụ Lục 3.1 đánh giá độ chính xác và thời gian xử lý trung bình giữa 03 giải thuật đề nghị và so sánh với các giải thuật liên quan được biểu diễn ở Hình 2.31.



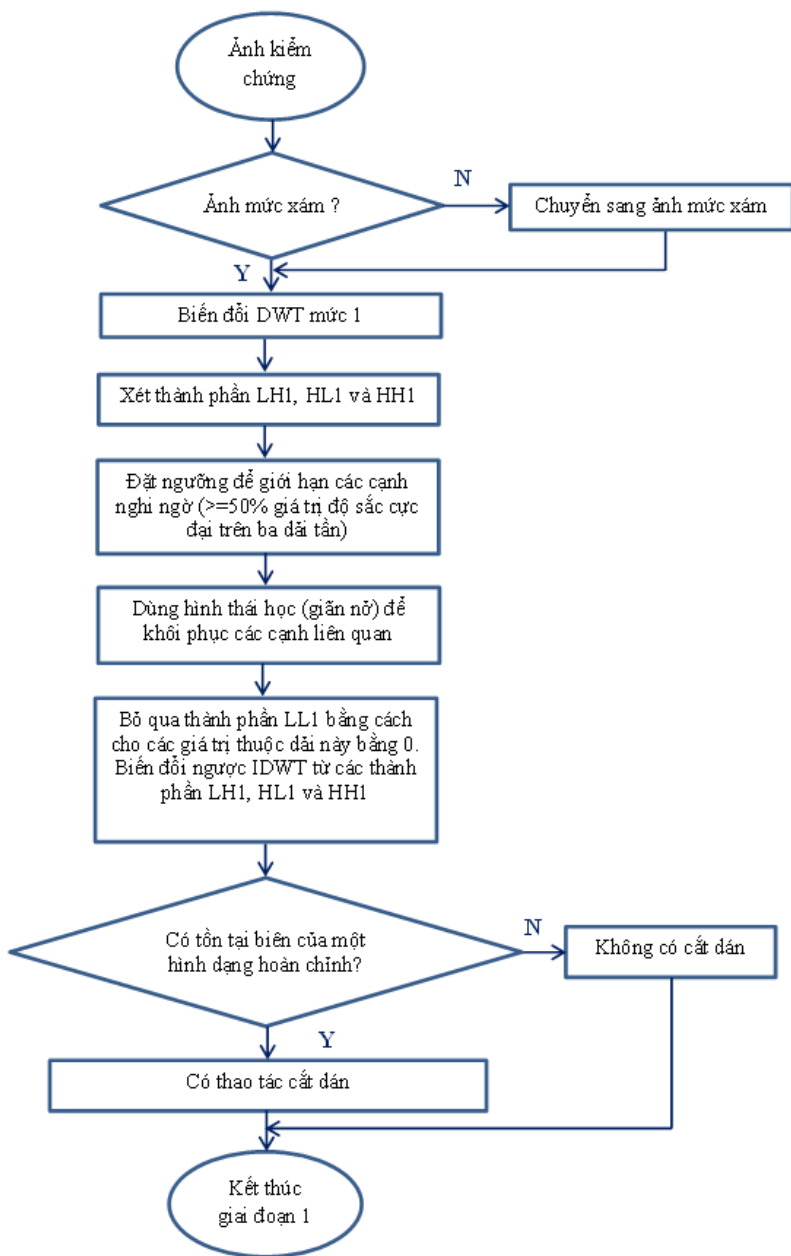
Hình 2.6 Đánh giá so sánh theo F và thời gian tính toán của các giải thuật

### CHƯƠNG 3 THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH THAO TÁC GIẢ MẠO VÀ KHÔI PHỤC VÙNG GIẢ MẠO DO COPY-MOVE

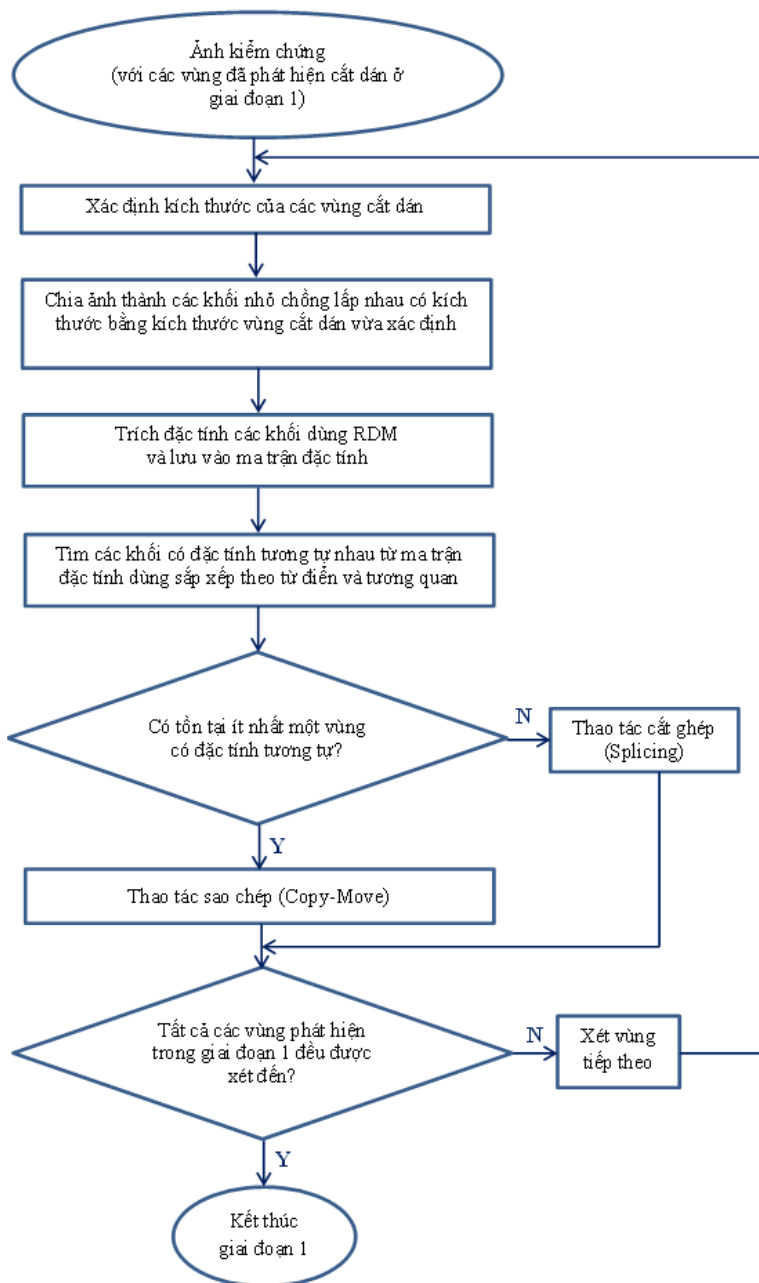
Chương này trình bày giải thuật mới được xây dựng để phát hiện giả mạo cho ảnh Copy-Move, Splicing hoặc cho cả hai thao tác trên cùng một ảnh. Đa phân giải với vai trò hạn chế độ phức tạp tính toán (như phân tích ở phần 2.3.1.2.1) và cũng được sử dụng để tìm kiếm liệu rằng có thao tác giả mạo trên ảnh hay không. Thật vậy, bằng cách áp dụng DWT mức 1, các cạnh sắc, chính là dấu vết của thao tác cắt dán, là các thông tin có tần số cao và sẽ được biểu diễn tại các dải LL1, HL1 và HH1. Khi đó, các thành phần cạnh nghi ngờ sẽ được xác định dựa vào một giá trị ngưỡng được xác định trước. Phương pháp hình thái học dưới dạng giãn nở (dilation) được áp dụng để xây dựng lại hoàn chỉnh vị trí cạnh cắt dán. Trong trường hợp không có một hình dạng hoàn chỉnh nào được tạo thành từ các cạnh đã được khôi phục, hoặc không có đường biên nào được nổi bật lên, ảnh được xác định không có giả mạo. Đối với trường hợp giả mạo, tại vùng biên đó, hình thành một vùng nghi ngờ và nếu có thể tìm kiếm một vùng khác trên ảnh tương tự như vùng nghi ngờ thì ảnh được xác nhận là ảnh Copy-Move, ngược lại là ảnh Splicing. Việc tìm kiếm xem có hay không một vùng có cùng đặc tính được xác định dựa vào các đặc tính khối ảnh dùng phương pháp khác biệt chuyển động (Run Difference Method-RDM) [75] để trích đặc tính. Giải thuật áp dụng đa phân giải kết hợp thao tác hình thái học để phát hiện các cạnh sắc và RDM để trích đặc tính được mô phỏng trên Matlab với hiệu quả cao không chỉ trên các ảnh giả mạo Copy-Move hoặc Splicing mà còn có thể thực hiện trên ảnh giả gồm cả hai thao tác. Một hệ thống nhúng với Raspberry Pi3 B cũng được triển khai để chứng minh tính hiệu quả và khả năng ứng dụng của giải thuật.

Lưu đồ giải thuật phát hiện có cắt dán và xác định thao tác lần lượt trình bày ở Hình 3.2 và Hình 3.3. Kết quả mô phỏng từ giải thuật đề xuất được biểu diễn như Hình 3.4, Hình 3.5 và Bảng 3.1. Một số kết quả phát hiện vùng sao chép tại mức pixels, các thông số được tính trung bình cho các ảnh từ Phụ Lục 3.1 để đánh giá và so sánh giải thuật đề xuất 6 được trình bày chi tiết trong Luận án.

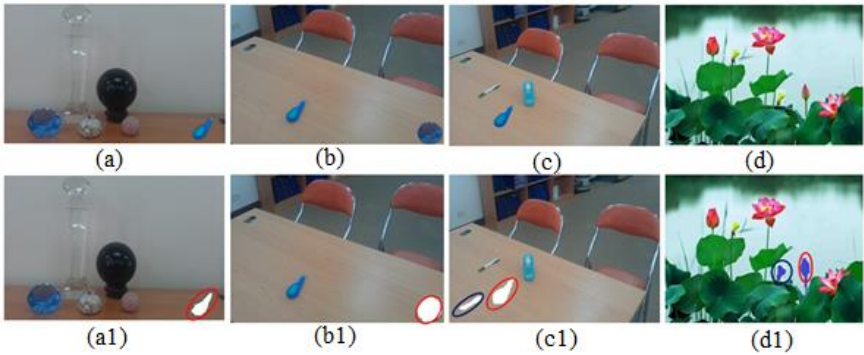




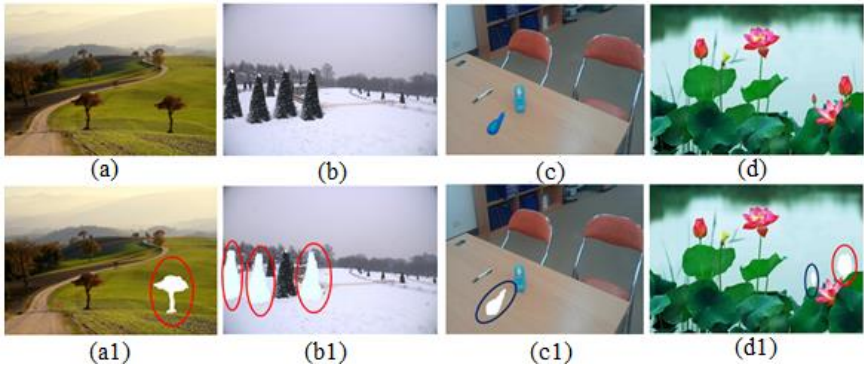
Hình 3.1 Lưu đồ giải thuật cho giai đoạn phát hiện thao tác cắt dán.



Hình 3.2 Lưu đồ giải thuật giai đoạn 2 xác định thao tác giả mạo trên ảnh.



Hình 3.3 Một số kết quả với các ảnh Splicing hoặc cả Splicing và Copy-Move chụp tự do và dùng Photoshop.



Hình 3.4 Một số kết quả thử nghiệm; (a),(b). Ảnh Copy-Move từ benchmark; (c). Ảnh Splicing bởi Photoshop; (d). Ảnh bao gồm cả Copy-Move và Splicing bởi Photoshop.

Bảng 3.1 Kết quả phát hiện ảnh Copy-Move tại mức ảnh (%) trong trường hợp ảnh Copy-Move tại một vị trí và tại nhiều vị trí.

Trường hợp \ Phương pháp	Phát hiện Copy-Move (một vị trí)			Phát hiện Copy-Move (nhiều vị trí)		
	$P$	$r$	$F$	$P$	$r$	$F$
ZMs [11]	92.05	86.92	94.05	89.37	87.79	88.57
UDWT+ZMs [26]	91.87	85.32	94.05	90.24	86.05	88.1
DWT+MZMs	92.68	88.16	94.05	91.09	87.07	89.03
Phương pháp đề nghị	94.05	89.27	94.05	93.79	90.25	91.99

## KẾT LUẬN

Luận án được thực hiện với mục tiêu đặt ra là ứng dụng phân tích đa phân giải để xây dựng thuật toán giám định ảnh hiệu quả. Để có thể thực hiện được nhiệm vụ đó, các định hướng được hình thành yêu cầu thật rõ ràng và chặt chẽ bao gồm: khảo sát tình hình nghiên cứu liên quan về lĩnh vực này để có cái nhìn tổng quát, từ đó xây dựng những giải thuật ban đầu, làm cơ sở tiến tới thực hiện đề xuất những thuật toán cụ thể đáp ứng yêu cầu đặt ra. Với từng thuật toán đề xuất, kết quả kiểm chứng phải chứng minh được tính khả thi, hiệu quả, hoặc tính cải tiến ở một góc độ ứng dụng mới. Bên cạnh đó, Luận án cũng thực hiện phân tích đánh giá so sánh giữa 06 thuật toán đề xuất dưới góc độ độ chính xác và thời gian xử lý.

Kết quả trình bày trong Luận án là tổng hợp của 13 công trình nghiên cứu, trong đó có 05 công trình được đăng trên các Tạp chí (02 tạp chí quốc tế được indexed bởi Thomson Reuters (ESCI) và Scopus, 01 tạp chí quốc tế có phản biện, và 02 tạp chí thuộc danh mục tính điểm học hàm), 01 Chương sách và 07 công bố khoa học tại các Hội nghị khoa học quốc tế uy tín. Bên cạnh đó, một số nội dung của Luận án đóng góp vào 03 đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở (đã được nghiệm thu) và 01 đề tài cấp Đại học Quốc gia Loại B (đã được nghiệm thu) trong quá trình thực hiện Luận án..

Luận án đề xuất các hướng nghiên cứu được phát triển như: nghiên cứu phát triển ngưỡng động tùy theo thông tin và bố cục trên từng ảnh có thể được xét đến; nghiên cứu các thuật toán cho vùng ảnh sao chép có thay đổi tỉ lệ trong ảnh Copy-Move dựa vào điểm ảnh point-based và nâng cao độ chính xác khi khôi phục vùng giả mạo; hiện thực hệ thống nhúng triển khai các giải thuật đã đề nghị, tạo một mô hình phần cứng hoàn chỉnh để chứng minh tính hiệu quả và tính ứng dụng của các giải thuật; phát triển giải thuật mới hiệu quả cho ảnh Copy-Move có can thiệp của nhiễu thao tác khi sao chép, và đánh giá so sánh bao quát dựa trên những kết quả đã được tổng hợp từ 2007 đến 2017 trong một khảo sát được công bố mới nhất năm 2018 [77].