



**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN TPHCM**  
**KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN**  
**HỆ: CHÍNH QUI**  
**MÔN: XỬ LÝ ẢNH & VIDEO SỐ**

# **BÁO CÁO**

# **FORENSICS**

**(Pháp y hình ảnh)**

TP.HCM, ngày 19 tháng 01 năm 2021

## MỤC LỤC

<b>I. Thông tin nhóm:</b>	3
<b>II. Giới thiệu</b>	3
<b>III. Nội dung chính:</b>	6
<b>1. Phát hiện hình ảnh chỉnh sửa:</b>	6
<b>1.1 Kỹ thuật dựa trên xử lý tín hiệu:</b>	8
<b>1.2 Kỹ thuật dựa trên hình học/vật lý:</b>	13
<b>2. So sánh các phương pháp:</b>	17
<b>IV. Nguồn/Tài liệu tham khảo:</b>	19

## I. Thông tin nhóm:

STT	MSSV	Họ tên	Vai trò
1	1712732	Thái Bá Sơn	Nhóm trưởng
2	1712724	Huỳnh Công Sinh	Thành viên
3	18120363	Đặng Văn Hiền	Thành viên
4	18120647	Lê Thanh Viễn	Thành viên

## II. Giới thiệu

Hình ảnh, không giống như văn bản, đại diện cho một phương tiện giao tiếp hiệu quả và tự nhiên đối với con người, do tính tức thời của chúng và cách dễ dàng để hiểu nội dung hình ảnh. Trong lịch sử, người ta tin tưởng vào tính toàn vẹn của dữ liệu trực quan, chẳng hạn như một bức ảnh in trên báo thường được chấp nhận như một chứng nhận về tính trung thực của tin tức, hoặc các bản ghi hình giám sát được đề xuất làm tài liệu thử việc trước tòa thuộc về luật.

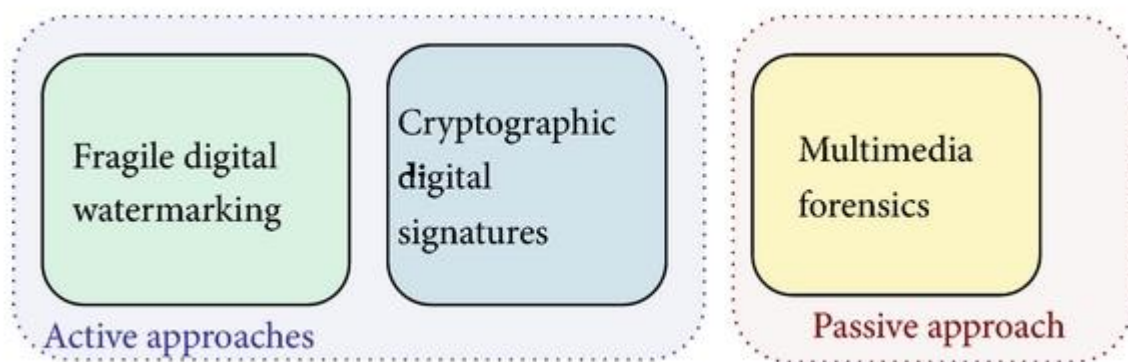
Với sự phổ biến nhanh chóng của các thiết bị rẻ tiền và dễ sử dụng cho phép thu thập dữ liệu trực quan, ngày nay hầu hết mọi người đều có khả năng ghi lại, lưu trữ và chia sẻ một lượng lớn hình ảnh kỹ thuật số. Đồng thời, sự sẵn có lớn của các công cụ phần mềm chỉnh sửa hình ảnh giúp việc thay đổi nội dung của hình ảnh hoặc tạo hình ảnh mới trở nên vô cùng đơn giản, do đó khả năng giả mạo và làm giả nội dung hình ảnh không còn bị hạn chế đối với các chuyên gia. Cuối cùng, phần mềm hiện tại cho phép tạo đồ họa máy tính chân thực mà người xem có thể thấy không thể phân biệt được với ảnh chụp hoặc cũng có thể tạo nội dung hình ảnh được tạo kết hợp.

Tóm lại, ngày nay, một đối tượng kỹ thuật số trực quan có thể trải qua thời gian tồn tại của nó, từ khi mua đến khi thành hiện thực, trải qua một số giai đoạn xử lý, nhằm nâng cao chất lượng,

tạo ra nội dung mới bằng cách trộn các tài liệu đã có từ trước, hoặc thậm chí xáo trộn nội dung. Hệ quả của tất cả các dữ kiện trước đây, các hình ảnh được chỉnh sửa đang xuất hiện với tần suất ngày càng lớn trong các lĩnh vực ứng dụng khác nhau, và do đó công nghệ kỹ thuật số ngày nay đã bắt đầu làm xói mòn niềm tin vào nội dung hình ảnh, đến mức dường như “nhìn không còn tin nữa”. Tất cả những vấn đề này sẽ trở nên tồi tệ hơn khi các công cụ xử lý ngày càng trở nên tinh vi hơn.

Tình hình này cho thấy sự cần thiết phải có các phương pháp cho phép tái tạo lịch sử của một hình ảnh kỹ thuật số để xác minh tính trung thực và đánh giá chất lượng của nó. Hai câu hỏi về lịch sử và độ tin cậy của một hình ảnh có thể được đặt ra: hình ảnh có được thu thập bởi thiết bị mà nó được cho là cảm nhận được không? Hình ảnh có còn mô tả cảnh gốc đã chụp không? Câu hỏi đầu tiên được quan tâm nhiều khi kiến thức về nguồn gốc của hình ảnh đại diện cho chính bằng chứng, ví dụ, vì nó cho phép biết người dùng hoặc thiết bị đã tạo ra hình ảnh; câu hỏi thứ hai có nhiều quan tâm chung hơn. Việc trả lời những câu hỏi đó tương đối dễ dàng khi đã biết hình ảnh gốc. Tuy nhiên, trong các trường hợp thực tế, hầu như không có thông tin nào có thể được cho là đã biết trước về hình ảnh gốc.

Để tìm câu trả lời cho các vấn đề trước đây, cộng đồng nghiên cứu quan tâm đến bảo mật nội dung đa phương tiện đã đề xuất một số phương pháp tiếp cận mà trước hết có thể được phân loại thành công nghệ chủ động và thụ động, như được trình bày trong Hình 1, trong đó "chủ động", chúng tôi muốn đánh giá độ tin cậy, một số thông tin đã được tính toán ở phía nguồn (tức là trong máy ảnh), trong bước thu thập, được khai thác, trong khi với thuật ngữ “thụ động”, một giải pháp cố gắng thực hiện đánh giá chỉ có kỹ thuật số nội dung theo ý muốn.



**Hình 1\_**

Một lược đồ đại diện cho các cách tiếp cận có thể có để đánh giá lịch sử và độ tin cậy của hình ảnh kỹ thuật số.

Các phương pháp tiếp cận tích cực dựa trên ý tưởng về máy ảnh đáng tin cậy, được đề xuất trước đây như một cách để cấp tính xác thực của hình ảnh kỹ thuật số. Một máy ảnh đáng tin cậy tính toán hình mờ kỹ thuật số hoặc chữ ký số từ hình ảnh tại thời điểm thu được và bất kỳ sửa đổi nào sau đó của hình ảnh có thể được phát hiện bằng cách kiểm tra giá trị của hình mờ kỹ thuật số hoặc chữ ký điện tử tại thời điểm hình thành hiện thực. Một nhược điểm lớn của các giải pháp chủ động là máy ảnh kỹ thuật số được trang bị đặc biệt với chip đánh dấu nước hoặc chip chữ ký số, khai thác một khóa cá nhân có dây cứng trong chính máy ảnh, xác thực mọi hình ảnh mà máy ảnh chụp trước khi lưu vào thẻ nhớ. Việc triển khai một camera đáng tin cậy sẽ yêu cầu các nhà sản xuất xác định một giao thức tiêu chuẩn chung, một yêu cầu quá khó để đáp ứng: điều này sẽ hạn chế việc áp dụng các giải pháp như vậy chỉ trong các trường hợp rất hạn chế.

Để khắc phục những vấn đề trước đây, gần đây, một phương pháp mới để xác thực nội dung của hình ảnh kỹ thuật số đã phát triển nhanh chóng, không cần bất kỳ thông tin trước nào về hình ảnh và do đó được định nghĩa là thụ động. Công nghệ, pháp y đa phương tiện được xác định, dựa trên quan sát rằng mỗi giai đoạn của lịch sử hình ảnh, từ quá trình thu nhận, đến lưu trữ ở định dạng nén, đến bất kỳ thao tác xử lý hậu kỳ nào đều để lại dấu vết đặc biệt trên dữ liệu, như một loại dấu vân tay kỹ thuật số. Sau đó, có thể xác định nguồn gốc của hình ảnh kỹ thuật số hoặc xác

định xem nó là xác thực hay đã được sửa đổi bằng cách phát hiện sự hiện diện, sự vắng mặt hoặc sự không hợp lý của các đặc điểm đó về bản chất gắn liền với nội dung kỹ thuật số.

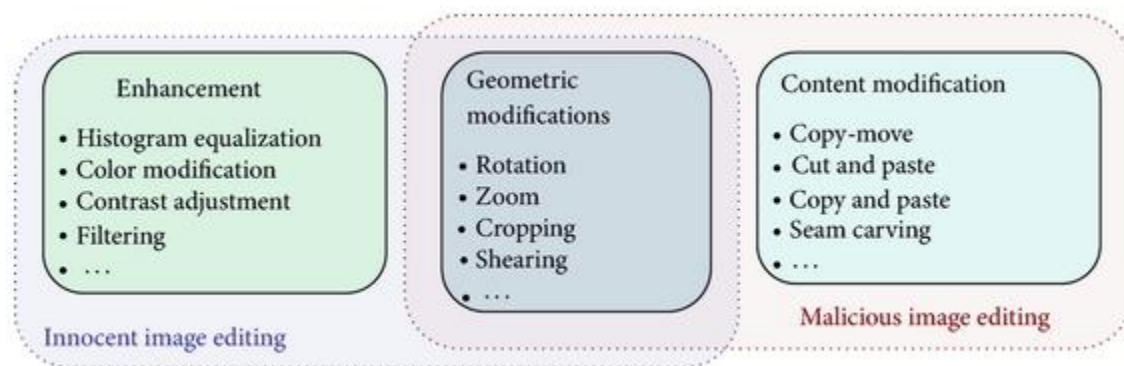
Pháp y đa phương tiện xuất phát từ khoa học pháp y cổ điển, nghiên cứu việc sử dụng các phương pháp khoa học để thu thập dữ kiện xác suất từ các bằng chứng vật lý hoặc kỹ thuật số. Nhiệm vụ của các công cụ pháp y đa phương tiện là phơi bày những dấu vết để lại trong nội dung đa phương tiện theo từng bước ra đời của nó, bằng cách khai thác kiến thức hiện có về hình ảnh kỹ thuật số và trong nghiên cứu bảo mật đa phương tiện. Hoạt động nghiên cứu trong lĩnh vực này đã bắt đầu cách đây vài năm và tăng lên rất nhiều trong những tháng vừa qua, do đó chứng minh nhu cầu cần có một cái nhìn tổng quan toàn diện về hiện đại của pháp y hình ảnh kỹ thuật số để cho phép một tân sinh vật tham gia vào lĩnh vực này với một số trợ giúp.

### **III. Nội dung chính:**

#### **1. Phát hiện hình ảnh chỉnh sửa:**

Bằng cách chỉnh sửa hình ảnh, bất kỳ xử lý nào được áp dụng cho phương tiện kỹ thuật số đều có ý nghĩa. Có nhiều lý do khác nhau để sửa đổi một hình ảnh: ví dụ, mục tiêu có thể là để cải thiện chất lượng của nó hoặc để thay đổi nội dung ngữ nghĩa của nó. Trong trường hợp trước đây, hình ảnh được xử lý sẽ mang cùng thông tin với hình ảnh gốc, nhưng theo cách dễ sử dụng / dễ chịu hơn. Do đó, chúng tôi gọi kiểu chỉnh sửa này là "vô tội". Ngược lại, trong trường hợp thứ hai, thông tin ngữ nghĩa được chuyển tải bởi hình ảnh bị thay đổi, thường là bằng cách thêm hoặc ẩn một cái gì đó. Chúng tôi gọi kiểu chỉnh sửa này là "độc hại".

Hình [2](#) cung cấp một phân loại đơn giản của ba loại toán tử chỉnh sửa, cùng với một số ví dụ cho từng lớp được xác định: một số toán tử có khả năng chỉ được sử dụng để chỉnh sửa vô tội, như toán tử nâng cao, trong khi những toán tử khác rõ ràng dành cho các cuộc tấn công độc hại. Ở giữa, có các toán tử hình học (ví dụ: cắt xén) có thể được sử dụng để chỉnh sửa nhẹ sau sản xuất hoặc để thay đổi cảnh được đại diện.



## Hình 2

Các loại toán tử chỉnh sửa chính áp dụng cho hình ảnh.

Liên quan đến các sửa đổi độc hại, quan trọng nhất chắc chắn là các cuộc tấn công sao chép di chuyển và các cuộc tấn công cắt và dán. Copy-move là một trong những kỹ thuật giả mạo được nghiên cứu nhiều nhất: nó bao gồm việc sao chép một phần của hình ảnh (có kích thước và hình dạng tùy ý) và dán nó vào một vị trí khác của cùng một hình ảnh. Rõ ràng, kỹ thuật này hữu ích khi kẻ giả mạo muốn ẩn hoặc sao chép thứ gì đó đã có trong hình ảnh gốc. Cắt và dán hoặc *nối*, là một kỹ thuật giả mạo hình ảnh quan trọng khác: bắt đầu từ hai hình ảnh, kẻ tấn công chọn một vùng của hình ảnh đầu tiên và dán nó vào vùng thứ hai, thường là để thay đổi nội dung và ý nghĩa của nó. Ghép nối có lẽ phổ biến hơn sao Copy-Move, vì nó linh hoạt hơn nhiều và cho phép tạo ra các hình ảnh có nội dung rất khác so với bản gốc. Điều này cũng được chứng minh bởi số lượng công việc khổng lồ về chủ đề này.

Trong phần sau, chúng ta sẽ thảo luận về các kỹ thuật pháp y tìm kiếm dấu vết, do các nhà điều hành chỉnh sửa để lại, có thể được nhóm lại thành các dấu vết để lại ở “mức tín hiệu” (trong quá trình xử lý, những thay đổi gây ra trên phương tiện truyền thông để lại một số dấu chân thường không nhìn thấy nội dung) và không nhất quán còn lại ở “mức cảnh” (ví dụ: bóng, đèn, phản xạ, phối cảnh và hình học của đối tượng).

Rõ ràng, sự không nhất quán ở mức tín hiệu và ở mức cảnh có phần bổ sung cho nhau: sự giả mạo không nhìn thấy được từ góc nhìn ở mức cảnh có thể được phát hiện bằng cách sử dụng

các công cụ làm việc ở mức tín hiệu và ngược lại. Hơn nữa, rõ ràng là trong khi các công cụ làm việc ở mức tín hiệu có thể phát hiện quá trình xử lý không tốt như tăng cường độ tương phản, thì các công cụ làm việc ở mức cảnh khó có thể làm như vậy.

### **1.1 Kỹ thuật dựa trên xử lý tín hiệu:**

Phần này thảo luận về các phương pháp phát hiện chỉnh sửa hình ảnh bằng cách sử dụng các công cụ dựa trên xử lý tín hiệu được thiết kế để tiết lộ dấu chân để lại trong giai đoạn chỉnh sửa.

#### ***a) Phát hiện sao chép/di chuyển (Copy-Move):***

Các cuộc tấn công sao Copy-Move đã được định nghĩa ở đầu phần. Vì các phần được sao chép là từ cùng một hình ảnh, một số thành phần (ví dụ: tiếng ồn và màu sắc) sẽ tương thích với phần còn lại của hình ảnh, do đó, loại tấn công này không thể phát hiện được bằng cách sử dụng các phương pháp pháp y nhằm tìm kiếm sự không tương thích trong các biện pháp thống kê. Do đó, các phương pháp được thiết kế thích hợp đã được đề xuất để đối phó với sự thao túng này. Trước hết, các kỹ thuật như vậy sẽ phải đối phó với vấn đề phức tạp tính toán, vì việc áp dụng trực tiếp tìm kiếm toàn diện các khu vực nhân bản sẽ quá đắt. Ngoài ra, cần phải xem xét rằng các khu vực nhân bản có thể không bằng nhau, nhưng tương tự, vì kẻ giả mạo trong việc tạo ra sự giả mạo có thể khai thác các công cụ xử lý hình ảnh để che giấu việc giả mạo.

Một số cách tiếp cận để phát hiện sao chép di chuyển đã được đề xuất: một quy trình đối sánh khối được trình bày bởi Fridrich, đã truyền cảm hứng cho sự phát triển của một số tác phẩm khác theo hướng này; Theo đề xuất này, thay vì tìm kiếm toàn bộ vùng nhân bản, hình ảnh được phân đoạn thành các khối vuông chồng lên nhau, và sau đó tìm kiếm các khối hình ảnh được kết nối tương tự. Bằng cách giả định rằng vùng nhân bản lớn hơn kích thước khối và do đó vùng này được tạo bởi nhiều khối nhân bản chồng lên nhau, mỗi khối được sao chép sẽ được di chuyển với cùng một sự dịch chuyển và do đó khoảng cách giữa mỗi cặp khối được nhân bản sẽ như nhau, cũng. Do đó, việc phát hiện giả mạo sẽ tìm kiếm số lượng tối thiểu các khối hình ảnh tương tự trong cùng một khoảng cách và kết nối với nhau để tạo thành hai vùng hình ảnh có hình dạng giống nhau.

Tất cả các phương pháp được phân tích đều tuân theo cùng một quy trình dựa trên đối sánh khối: một hình ảnh trước tiên được phân đoạn thành các khối vuông chồng lên nhau có kích



thước, trượt từng pixel một từ góc trên bên trái sang góc dưới bên phải. Từ mỗi khối, một tập hợp các tính năng được trích xuất và lượng tử hóa thích hợp, để loại bỏ những khác biệt nhỏ có thể có giữa các khối được nhân bản. Giả sử rằng các khối tương tự được biểu diễn bằng các tính năng tương tự, một quy trình đối sánh, dựa trên việc sắp xếp từ vựng, sau đó được áp dụng cho các vector đặc trưng khối để tìm các khối trùng lặp. Cuối cùng, một quyết định giả mạo được đưa ra bằng cách kiểm tra xem có nhiều hơn một số cặp khối nhất định được kết nối với nhau trong cùng một ca hay không, có tính đến việc hầu hết các hình ảnh tự nhiên sẽ có nhiều khối giống nhau.

Tất cả các hoạt động theo cách tiếp cận này chỉ khác nhau về loại tính năng được chọn để đại diện cho mỗi khối hình ảnh. Người ta đề xuất áp dụng hệ số biến đổi cosine rời rạc khối (DCT), trong [97], các đặc trưng liên quan đến màu sắc được sử dụng; trong [98], Popescu và Farid đề xuất sử dụng phân tích thành phần chính của pixel để đạt được sự trình bày nhỏ gọn hơn của từng khối giúp tăng tốc độ tìm kiếm. Sau đó, Bayram et al. [99] đã giới thiệu việc sử dụng biến đổi Fourier-Mellin (FMT) làm chữ ký khối, vì FMT luôn bất biến đối với việc xoay và mở rộng quy mô. Wu và cộng sự. [100] gần đây đã đề xuất việc sử dụng phép biến đổi Log-Polar Fourier làm chữ ký để mang lại sự bất biến cho phép quay và chia tỷ lệ.

Hailing và cộng sự. đã giới thiệu một cách tiếp cận hoàn toàn khác [101], dựa trên các tính năng cục bộ của biến đổi đối tượng bất biến theo tỷ lệ (SIFT). Khái niệm cơ bản là sử dụng bộ mô tả SIFT [102] để tìm các vùng phù hợp trong cùng một hình ảnh. Những khó khăn chính là chọn một chiến lược đối sánh thích hợp và phân chia đúng các điểm khóa hình ảnh thành các tập hợp con (để tìm kiếm sự phù hợp giữa các phần tử của chúng). Ý tưởng sử dụng SIFT sau đó đã được khai thác trong [103, 104].

Mặc dù các xưởng giả mạo copy-move đã nhận được nhiều sự chú ý và truyền cảm hứng cho một số lượng lớn các bài báo, nhưng việc phát hiện loại tấn công này vẫn là một vấn đề khó khăn. Thật vậy, nhiều vấn đề còn mở vẫn cần được khám phá, chẳng hạn như hiểu được đâu là bản vá gốc, giữa hai bản sao, cải thiện hiệu suất trong việc phát hiện các vùng sao chép nhỏ và làm cho các kỹ thuật phát hiện nội dung độc lập hơn (cho đến nay, các cuộc tấn công vào rất các vùng tròn, ví dụ, mô tả bầu trời, thường được coi là dương tính giả).

### ***b) Lấy mẫu lại phát hiện (Resampling):***

Người dùng rất thường áp dụng cho các phép biến đổi hình ảnh như thay đổi kích thước và / hoặc xoay. Các toán tử này áp dụng trong miền pixel, ảnh hưởng đến vị trí của các mẫu, vì vậy hình ảnh gốc phải được *lấy mẫu lại* thành một mạng lấy mẫu mới. Lấy mẫu lại giới thiệu các mối tương quan cụ thể trong các mẫu hình ảnh, có thể được sử dụng làm bằng chứng chỉnh sửa. Kỹ thuật phát hiện lấy mẫu lại có thể được khai thác để phát hiện cả chỉnh sửa lành tính (ví dụ: chia tỷ lệ hoặc xoay toàn bộ hình ảnh) cũng như chỉnh sửa độc hại (bằng cách kiểm tra xem chỉ một vùng nhất định đã được thay đổi kích thước, do đó làm thay đổi thông tin được mang trong ảnh).

Popescu và Farid [105] đã đề xuất một phương pháp để phát hiện các mối tương quan tuần hoàn được giới thiệu trong ảnh bằng các hạt nhân lấy mẫu lại thông thường, rất giống với phương pháp được giới thiệu bởi cùng các tác giả trong [33]. Trong cách tiếp cận của họ, thuật toán Kỳ vọng-Tối đa hóa được áp dụng để ước tính các tham số hạt nhân nội suy và một bản đồ xác suất (được gọi là -map) đặt được cho mỗi pixel cung cấp xác suất tương quan với các pixel lân cận. Sự hiện diện của các pixel nội suy dẫn đến tính tuần hoàn của bản đồ, có thể nhìn thấy rõ ràng trong miền tần số. Độ chính xác của phương pháp rất cao, với điều kiện là ảnh chưa được nén.

Trong khi đó, Gallagher ở [34] quan sát thấy phương sai của đạo hàm thứ hai của một tín hiệu nội suy là tuần hoàn: do đó, ông tìm kiếm tính tuần hoàn trong đạo hàm thứ hai của hình ảnh tổng thể bằng cách phân tích phép biến đổi Fourier của nó. Mặc dù xuất phát từ các cơ sở khác nhau, phương pháp của Popescu và phương pháp của Gallagher có liên quan chặt chẽ với nhau, như được chứng minh bởi Kirchner trong [106, 107]. Trong các bài báo này, nó được chứng minh cách sử dụng phương sai của phần dư dự đoán của một tín hiệu được lấy mẫu lại để mô tả các hiện vật định kỳ trong -map tương ứng, và nó được đề xuất một máy dò đơn giản hơn, nhanh hơn nhiều so với máy trong [105], đồng thời đạt được hiệu suất tương tự. Các nghiên cứu sâu hơn của cùng tác giả được báo cáo trong [108, 109]. Dựa trên những ý tưởng của Gallagher, tính tuần hoàn của đạo hàm bậc hai (hoặc bậc khác) được các tác giả khác nghiên cứu thêm, trong đó chúng tôi đề cập đến [110 - 114].

Một cách tiếp cận khác để phát hiện lấy mẫu lại đã được phát triển bởi Mahdian và Saic [115], nghiên cứu các đặc tính tuần hoàn của cấu trúc hiệp phương sai của tín hiệu nội suy và các dẫn xuất của chúng. Cốt lõi của sơ đồ được đề xuất là một phép biến đổi Radon được áp dụng cho đạo hàm của tín hiệu được khảo sát, tiếp theo là tìm kiếm tính tuần hoàn.

Một cách tiếp cận mới khác được trình bày bởi cùng các tác giả trong [116] trong đó các mẫu tuần hoàn được giới thiệu trong ảnh bằng phép nội suy được phát hiện bằng cách sử dụng phân tích xoáy thuận, phát hiện các mối tương quan cụ thể giữa các thành phần phổ của nó. Các nghiên cứu sâu hơn về ứng dụng này của phân tích xoáy thuận có thể được tìm thấy trong [117, 118].

### ***c) Phát hiện cải tiến (Enhancement):***

Ngày nay, ngày càng khó tìm thấy hình ảnh được xuất bản mà không phải trải qua ít nhất một số thao tác nâng cao như làm mịn, tăng độ tương phản, cân bằng biểu đồ và lọc trung vị.

Một cách tiếp cận thú vị để phát hiện lọc trung vị đã được đề xuất bởi Kirchner và Fridrich trong [119]. Ý tưởng cơ bản là các hình ảnh được lọc trung bình thể hiện cái gọi là "tạo tác tạo vệt", tức là các pixel ở các hàng hoặc cột liên tiếp có cùng giá trị. Những hiện tượng này có thể được phân tích bằng cách xem xét sự khác biệt bậc nhất đối với các nhóm gồm hai pixel và sau đó nghiên cứu biểu đồ tương ứng của chúng. Cách tiếp cận đơn giản này mang lại tỷ lệ phát hiện cực cao, miễn là hình ảnh không được nén. Để đối phó với việc xử lý hậu nén JPEG, họ đã trình bày một bộ dò khác dựa trên sự khác biệt bậc nhất sử dụng các tính năng của ma trận kề pixel (SPAM) trừ điểm ảnh [120]. Một thuật toán khác để phát hiện lọc trung vị là thuật toán được đề xuất trong [121], vượt trội so với cái trong [119]. Quan sát chính của công trình này là bộ lọc trung vị hai chiều ảnh hưởng đáng kể đến thứ tự hoặc số lượng các mức xám có trong vùng ảnh được bao phủ bởi cửa sổ bộ lọc.

Một số công trình đã được đề xuất bởi Stamm và Liu, nhằm phát hiện và ước tính việc tăng cường độ tương phản và cân bằng biểu đồ trong hình ảnh kỹ thuật số. Công việc đầu tiên trong số này nhắm mục tiêu phát hiện hoạt động tăng cường [122], trong khi trong [123], một phần mở rộng được cung cấp để ước tính ánh xạ thực tế do toán tử tăng cường tương phản tạo ra. Trong cả hai trường hợp, ý tưởng chính là tiết lộ dấu chân để lại trong hình ảnh bởi nhà điều

hành, bao gồm sự hình thành các đỉnh và số không đột ngột trong biểu đồ giá trị pixel. Những kỹ thuật này ban đầu được cho là để phát hiện tăng cường, nhưng chúng cũng đã được áp dụng thành công để bản địa hóa nội dung [124] bởi cùng các tác giả.

#### ***d) Phát hiện đường may (Seam Carving):***

Ý tưởng cơ bản của *khắc đường may* [125] là tự động phát hiện, nếu có, đường dẫn của các pixel (đường nối) của hình ảnh mà dọc theo đó không có nội dung liên quan. Nếu được phát hiện, các đường dẫn này sẽ bị loại bỏ và kích thước hình ảnh bị giảm. Chúng ta có thể coi kỹ thuật này như một kiểu cắt xén phụ thuộc vào nội dung.

Hai công trình đã được đề xuất để phát hiện xem một hình ảnh có trải qua loại xử lý này không bởi Sarkar et al. [126] và Fillion và Sharma, tương ứng [127]. Trong [126], các thay đổi trong giá trị pixel gần các đường nối đã bị loại bỏ được tìm kiếm bằng cách xây dựng mô hình Markov cho ma trận đồng xuất hiện trong miền pixel và miền tần số và được sử dụng như các tính năng để đào tạo bộ phân loại. Trong [127], một bộ phân loại được cung cấp với ba tính năng: một tính năng tính đến cách năng lượng được phân phối trong biểu đồ hình ảnh; phần thứ hai khai thác thực tế rằng việc áp dụng một đường khắc khác cho một hình ảnh cho thấy nếu các đường nối năng lượng thấp đã bị loại bỏ; và thứ ba là dựa trên các mômen thống kê của phép biến đổi wavelet.

#### ***e) Dấu chân nội tại chung (General Intrinsic Footprints):***

Khác với các cách tiếp cận trước đây, các phương pháp được mô tả trong phần dưới đây tập trung vào việc tìm kiếm các dấu chân chung còn lại trong tín hiệu mà không xem xét các hiện tượng cụ thể gây ra sự hiện diện của các hiệu ứng này. Ý tưởng chính trong các tác phẩm này là các thao tác như ghép nối mang lại sự bất thường trong số liệu thống kê hình ảnh, khiến chúng có thể phân biệt được với những hình ảnh gốc. Phương pháp này thường cho phép phát hiện nhiều loại giả mạo khác nhau với mức giá thấp hơn.

Một trong những cách tiếp cận đầu tiên theo hướng này được đề xuất bởi Avcibas et al. [128], người chọn bốn chỉ số chất lượng hình ảnh (hai khoảng khắc bậc nhất của mối tương quan góc và hai khoảng khắc bậc nhất của phép đo Czenakowski) và tạo ra một tập hợp các hình ảnh được thao tác để áp dụng nhiều loại xử lý khác nhau, như chia tỷ lệ, xoay, điều chỉnh độ

sáng và cân bằng biểu đồ. Chúng cung cấp tất cả các tính năng này, được trích xuất bởi bộ dữ liệu của các hình ảnh gốc và đã được thao tác, vào bộ phân loại hồi quy tuyến tính. Các thí nghiệm cho thấy độ chính xác rất cao.

Bắt đầu từ ý tưởng rằng hoạt động nổi có thể tạo ra một số chuyển đổi sắc nét như đường thẳng, cạnh và góc, Chen et al. [129] sử dụng một bộ phân loại, được cung cấp với ba loại tính năng làm nổi bật sự hiện diện của các dấu vết đó: mômen thống kê của hàm đặc trưng (CF) của hình ảnh, khoảng khắc biến đổi wavelet của CF và thống kê bậc thấp của 2D -đồng dư theo giai đoạn. Độ chính xác, được tính toán trên một tập dữ liệu nổi nổi tiếng (Tập dữ liệu đánh giá phát hiện ghép hình ảnh Columbia), ở mức trung bình vẫn dưới 85%.

Một lần nữa, để phát hiện sự hiện diện của quá trình nổi, Shi et al. [130] sử dụng bộ phân loại được đào tạo với các khoảng khắc thống kê của chính hình ảnh, của DCT của hình ảnh (được thực hiện theo khối với các kích thước khối khác nhau) và các khoảng khắc thống kê của dải con LL của phép biến đổi wavelet. Các hiệu suất, được tính trên cùng một Bộ dữ liệu đánh giá phát hiện ghép ảnh của Columbia, tốt hơn so với các tác phẩm trước, đạt mức độ chính xác khoảng 90%.

Một cách tiếp cận toàn diện đã được phát triển bởi Swaminathan et al. [39]. Trong công việc này, dấu chân nội tại của các hoạt động xử lý trong máy ảnh được ước tính thông qua mô hình hình ảnh chi tiết và phân tích thành phần của nó. Chính sửa áp dụng cho hình ảnh được mô hình hóa dưới dạng bộ lọc thao tác, trong đó kỹ thuật giải mã mù được áp dụng để thu được xấp xỉ thời gian tuyến tính bất biến và ước tính dấu chân nội tại liên quan đến các hoạt động hậu kỳ này. Nếu các hoạt động postcamera ước tính không phải là chức năng nhận dạng, hình ảnh được phân loại là giả mạo. Giá trị độ chính xác được báo cáo không cao lắm.

## **1.2 Kỹ thuật dựa trên hình học/vật lý:**

Cho đến nay, chúng tôi chỉ trình bày các công trình giải quyết việc phát hiện chỉnh sửa từ quan điểm xử lý tín hiệu, tức là sử dụng các công cụ và mô hình thống kê. Trong phần này, chúng tôi giới thiệu cách tiếp cận “dựa trên hình học / vật lý”, thay vì xem xét các thuộc tính tín hiệu, nó cho thấy sự mâu thuẫn do giả mạo ở cấp độ “cảnh” (ví dụ: sự không nhất quán về ánh sáng, bóng đổ, màu sắc, phối cảnh, v.v. ). Một trong những ưu điểm chính của các kỹ thuật này

là, khá độc lập với các đặc tính cấp thấp của hình ảnh, chúng cực kỳ mạnh mẽ đối với các hoạt động nén, lọc và xử lý hình ảnh khác, vẫn có thể áp dụng ngay cả khi chất lượng hình ảnh thấp.

Điều cơ bản cần cân nhắc làm nền tảng cho các kỹ thuật này là rất khó để tạo ra các vật rền nhất quán theo quan điểm hình học / vật lý. Điều này dẫn đến thực tế là hầu hết các đồ rền có thể sẽ có những sai sót nhỏ, dù mắt người không nhìn thấy được, nhưng có thể được phát hiện bằng cách áp dụng phân tích thích hợp.

Lưu ý rằng các loại mâu thuẫn được tìm kiếm bởi các phương pháp này có thể được đưa ra khi một cuộc tấn công cắt và dán được thực hiện. Ngược lại, một cuộc tấn công sao chép thường khó bị lộ, đặc biệt là khi nhắm mục tiêu để che giấu thứ gì đó. Cuối cùng, cần nhấn mạnh rằng không dễ dàng để đánh giá một cách khách quan hiệu suất của các kỹ thuật này bởi vì, với sự hỗ trợ của con người, chúng không thể được kiểm tra trên một lượng lớn dữ liệu. Kết quả là, trong khi mỗi công trình đều cho kết quả rất tốt trên tất cả các ví dụ được báo cáo, tính hiệu lực của các phương pháp được đề xuất trong các tình huống khác nhau không dễ dự đoán.

#### ***a) Phát hiện ghép dựa trên ánh sáng/bóng:***

Một trong những vấn đề phổ biến nhất khi tạo giả mạo là phải tính đến cách các đối tượng hiện diện trong cảnh tương tác với nguồn sáng. Cắt một đối tượng từ một bức ảnh và dán nó vào một bức ảnh khác yêu cầu phải điều chỉnh độ chiếu sáng của đối tượng và tạo ra những bóng nhất quán trong cảnh. Khi điều này không được thực hiện, sự không nhất quán về hướng chiếu sáng và bóng đổ có thể cho thấy rằng hình ảnh giả mạo không phải là thật.

Vấn đề đầu tiên khi cố gắng tìm hướng nguồn sáng trong một cảnh là không dễ dàng để trích xuất các chuẩn bề mặt ba chiều (3D) từ một hình ảnh duy nhất; trong [131], một giải pháp đơn giản hóa được đề xuất: chỉ xem xét các chuẩn bề mặt 2D tại ranh giới đối tượng bị tắc nghẽn, do đó chỉ ước tính hai trong ba thành phần của hướng sáng. Mặc dù vẫn còn mơ hồ, thông tin trích xuất vẫn đủ trong nhiều trường hợp để hiểu liệu một đối tượng đã được ghép vào hiện trường hay chưa. Để đơn giản hóa hơn nữa, giả thiết rằng bề mặt của các vật thể là Lambertian (bề mặt phản xạ ánh sáng đẳng hướng), có giá trị phản xạ không đổi và được chiếu sáng bởi một nguồn sáng điểm ở xa vô cùng. Hàm sai số bậc hai, thể hiện mô hình hình ảnh đơn giản được giảm thiểu bằng cách sử dụng ước tính bình phương nhỏ nhất tiêu chuẩn để mang lại hướng sáng. Việc tính toán

này có thể được lặp lại đối với các đối tượng hoặc người khác nhau trong cảnh để xác minh tính nhất quán của ánh sáng. Trong [132], các tác giả tương tự đề xuất ước tính hướng ánh sáng 3D bằng cách khai thác phản xạ ánh sáng điểm trong mắt người để kiểm tra xem hai người trong cùng một hình ảnh có thực sự được chụp từ các bức ảnh khác nhau hay không. Một lần nữa, các tác giả tương tự lại xem xét sự hiện diện của nhiều nguồn sáng, ánh sáng khuếch tán hoặc ánh sáng định hướng, trong [133], trong đó họ cố gắng ước tính môi trường chiếu sáng bằng một số giả thuyết đơn giản hóa (ví dụ, nguồn sáng ở xa vô hạn, bề mặt Lambertian, v.v.) trong đó mô hình chín chiều đủ để mô tả toán học độ chiếu sáng của cảnh. Sau đó, sự không nhất quán trong mô hình chiếu sáng trên một hình ảnh được sử dụng làm bằng chứng về việc giả mạo.

Riess và Angelopoulou [134] đề xuất một cách tiếp cận khác để phát hiện giả mạo dựa trên ánh sáng, bằng cách trình bày một phương pháp ước tính cục bộ màu sắc của ánh sáng từ một hình ảnh duy nhất. Hình ảnh được phân đoạn đầu tiên trong các vùng có màu tương tự. Người dùng chọn các vùng nghi ngờ trong số này và một bản đồ được tạo cho biết mức độ chiếu sáng nhất quán của mỗi vùng đối với các màu được chiếu sáng chủ đạo.

Như đã nêu trước đây, sự không nhất quán trong bóng tối là một dấu hiệu tốt cho việc giả mạo. Trong [135], Zhang et al. đề xuất hai phương pháp để phát hiện sự mâu thuẫn trong bóng. Phương pháp đầu tiên dựa trên hình học bóng đổ, sử dụng phép đồng dạng phẳng để kiểm tra tính nhất quán của kích thước và hướng bóng. Phương pháp thứ hai khai thác phép đo quang bóng, đặc biệt là các giá trị bóng mờ, thường hữu ích trong việc phân biệt các bóng đã dán với các bóng ban đầu. Kết quả thực nghiệm chứng tỏ hiệu quả của phương pháp.

Trong [136], một phương pháp phát hiện các đối tượng bị giả mạo dựa trên tính nhất quán trắc quang của sự chiếu sáng trong bóng tối được đề xuất. Tập trung vào các cảnh ngoài trời nơi giả định nguồn sáng ở xa duy nhất là hợp lệ, phương pháp đo một số đặc điểm màu sắc của bóng bằng giá trị mờ bóng. Các ranh giới bóng tối và vùng bóng mờ trong một hình ảnh được trích xuất trước tiên, sau đó các giá trị bóng mờ cho mỗi bóng được lấy mẫu được ước tính và sự hiện diện của sự không nhất quán cho thấy sự giả mạo. Kết quả thực nghiệm khẳng định tính hiệu quả của phương pháp đề xuất.

### ***b) Phát hiện nổi dựa trên sự không nhất quán trong hình học/phối cảnh:***

Như đã nói trước đây, bộ não con người không giỏi trong việc đánh giá tính nhất quán hình học của một cảnh. Do đó, một số công trình đã được phát triển để phát hiện sự hiện diện của sự không nhất quán trong thiết lập hình học và phối cảnh của cảnh trong một bức ảnh. Tất nhiên, vấn đề này là không ổn vì ánh xạ từ tọa độ 3D sang tọa độ hình ảnh trong quá trình thu thập. Tuy nhiên, trong bối cảnh đơn giản hóa, có thể đạt được một số kết quả thú vị.

Ví dụ đầu tiên trong lớp này, trong [137], định hướng mặt phẳng kết cấu được tìm thấy bằng cách phân tích các điểm phi tuyến được đưa vào phở bằng phép chiếu phối cảnh, có thể được sử dụng để phát hiện thu lại ảnh.

Bắt đầu từ quan sát rằng trong một cảnh thu được ban đầu, hình chiếu của trung tâm camera lên mặt phẳng hình ảnh (điểm chính) ở gần tâm của hình ảnh, trong [138], các tác giả chứng minh rằng khi có sự dịch chuyển của một người. hoặc của một đối tượng, điểm chính được dịch chuyển tương ứng. Sự khác biệt về điểm chính ước tính trên hình ảnh sau đó có thể được sử dụng như một bằng chứng về thao tác.

Khi thao tác hình ảnh liên quan đến việc thêm hoặc thay đổi văn bản, thường dễ dàng nhận được một giả thuyết phục về mặt tri giác; tuy nhiên, rất có thể các quy tắc về phép chiếu phối cảnh sẽ bị vi phạm. Trong [139], một kỹ thuật để xác định xem văn bản được đánh trên bảng hiệu hoặc bảng quảng cáo có tuân theo các quy tắc của phép chiếu phối cảnh hay không được đề xuất. Khi một bảng hiệu hoặc một bảng quảng cáo có hình ảnh, nó thường thể hiện một số chữ viết được sắp xếp trên một bề mặt phẳng. Điều này, cùng với việc ước lượng cẩn thận kiểu ký tự được sử dụng trong các tác phẩm, cho phép ước tính độ đồng nhất phẳng cho bề mặt đó, được so sánh với kiểu được trích xuất từ hình ảnh bằng cách sử dụng, ví dụ, các đối tượng phẳng khác có trong ảnh. Nếu các phép biến đổi không nhất quán, rất có thể chữ viết là giả.

Một cách tiếp cận thú vị khác đã được đề xuất bởi Kakar et al. trong [140]. Phương pháp này dựa trên sự khác biệt về độ mờ chuyển động trong ảnh, thường là do tốc độ chậm của màn trập máy ảnh so với đối tượng được chụp. Thuật toán được đề xuất dựa vào ước tính độ mờ thông qua các đặc điểm quang phổ của độ dốc hình ảnh, có thể phát hiện sự không nhất quán trong chuyển động mờ.



Trong [141], tác giả đề xuất phát hiện sự hiện diện của đối tượng được nổi bằng cách quan sát rằng trong khi dán một đối tượng vào một hình ảnh, rất khó để định kích thước chính xác theo cách tôn trọng các nguyên tắc nhận thức thị giác. Sau đó, một phương pháp dựa trên giới hạn phối cảnh để tính toán tỷ lệ chiều cao của hai đối tượng trong một hình ảnh mà không cần bất kỳ kiến thức nào về các thông số máy ảnh sẽ được trình bày. Tỷ lệ chiều cao có thể được tìm thấy bằng một đường biến mất của mặt phẳng mà cả hai đối tượng quan tâm đều nằm trên đó. Khi tỷ lệ ước tính vượt quá khoảng có thể chấp nhận được, một vùng giả mạo được xác định.

## 2. So sánh các phương pháp:

Tên công trình	Phương pháp	Data input	Độ hiệu quả	Ưu điểm	Nhược điểm
<b>Phát hiện sao chép-di chuyển (Copy-Move Detection)</b> <b>Tác giả: [96-104]</b>	Phát hiện ảnh giả bằng kỹ thuật dựa trên xử lý tín hiệu (Signal Processing-Based Techniques)	Hình ảnh đầu vào đã qua chỉnh sửa, làm giả mạo	$\geq 85\%$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sử dụng độ dài thấp hơn của vector đặc trưng.</li> <li>- Chi phí tính toán thấp hơn;</li> <li>- Tính mạnh mẽ chống lại các hoạt động hậu xử lý khác nhau trên các vùng giả mạo;</li> <li>- Khả năng phát hiện nhiều giả mạo sao chép-di chuyển.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nếu kích thước giả mạo nhỏ hơn kích thước khối thì không thể phát hiện ra sự giả mạo.</li> <li>- Phương pháp này cũng không thể phát hiện các vùng mà tỷ lệ được thực hiện trên phần được sao chép nếu áp dụng nén nặng.</li> </ul>

<p><b>Phát hiện lấy mẫu lại (Resampling Detection)</b></p> <p><b>Tác giả: [105-118]</b></p>			<p>90- 100% (đối với hình ảnh chưa nén)</p>	<p>- Hiệu suất cao (đối với hình ảnh chưa nén).</p> <p>- Giảm được độ phức tạp thuật toán.</p>	<p>- Tỷ lệ phát hiện giảm nghiêm trọng khi thực hiện với hình ảnh nén.</p> <p>- Có xu hướng mất hiệu suất với các hình ảnh cụ thể bao gồm vùng có kết cấu cao vì dấu vết của việc lấy mẫu lại phụ thuộc vào các thuộc tính riêng của hình ảnh.</p>
<p><b>Phát hiện cải tiến (Enhancement Detection)</b></p> <p><b>Tác giả: [119-124]</b></p>			<p>Cao khi hình ảnh chưa nén (90- 100%) và thấp khi hình ảnh bị nén.</p>	<p>- Tỷ lệ phát hiện cực cao, miễn là hình ảnh không được nén.</p> <p>- Tốc độ thuật toán được cải tiến hơn.</p>	<p>- Tỷ lệ phát hiện không cao, nếu hình ảnh bị nén.</p> <p>- Khó khăn hơn khi thực hiện đối với ảnh màu.</p>

<b>Phát hiện đường may</b> <b>(Seam Carving</b> <b>Detection)</b> <b>Tác giả: [125-127]</b>				- Có khả năng nhận biết nội dung.	- Nội dung hình ảnh chắc chắn bị thay đổi.
<b>Dấu chân chung có sẵn (General Intrinsic Footprints)</b> <b>Tác giả: [128-130]</b>			85-90%	- Khả năng phát hiện hình ảnh giả mạo cao hơn.	- Có thể được sử dụng ngược lại để giả mạo hình ảnh.
<b>Phát hiện ghép dựa trên độ sáng/tối (Splicing Detection Based on Lighting/Shadows)</b> <b>Tác giả: [131-136]</b>	Phát hiện ảnh giả bằng Kỹ thuật dựa trên hình học / vật lý (Geometry/Physics-Based Techniques)		90-100%	- Hiệu suất cao.	- Khó thực hiện khi hình ảnh có độ sáng không rõ ràng.
<b>Phát hiện nối dựa trên sự không nhất quán trong hình học / phối cảnh (Splicing Detection Based on Inconsistencies in Geometry/Perspective)</b> <b>Tác giả: [137-141]</b>	Phát hiện ảnh giả bằng Kỹ thuật dựa trên hình học / vật lý (Geometry/Physics-Based Techniques)		90-100%	- Hiệu suất cao - Phát hiện được dù hình ảnh đã được nén hay không.	- Làm thay đổi nội dung của ảnh.

#### IV. Nguồn/Tài liệu tham khảo:

- 96 A. J. Fridrich, B. D. Soukal, and A. J. Lukáš, "Detection of copymove forgery in digital images," in *Proceedings of the Digital Forensic Research Workshop*, 2003. View at: [Google Scholar](#)
- 97 W. Q. Luo, J. W. Huang, and G. P. Qiu, "Robust detection of regionduplication forgery in digital image," in *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition (ICPR '06)*, pp. 746–749, 2006. View at: [Google Scholar](#)

- 98 A. C. Popescu and H. Farid, "Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions," Tech. Rep. TR2004-515, Dartmouth College, Computer Science, Hanover, NH, USA, 2004. View at: [Google Scholar](#)
- 99 S. Bayram, H. T. Sencar, and N. Memon, "An efficient and robust method for detecting copy-move forgery," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '09)*, pp. 1053–1056, IEEE, Taipei, Taiwan, April 2009. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 100 Q. Wu, S. Wang, and X. Zhang, "Detection of image region duplication with rotation and scaling tolerance," in *Proceedings of the International Conference on Computer and Computational Intelligence (ICCCI '10)*, J.-S. Pan, S.-M. Chen, and N. T. Nguyen, Eds., vol. 6421 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 100–108, 2010. View at: [Google Scholar](#)
- 101 H. Hailing, G. Weiqiang, and Z. Yu, "Detection of copy-move forgery in digital images using sift algorithm," in *Proceedings of the Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application (PACIIA '08)*, vol. 2 of *IEEE Computer Society*, pp. 272–276, Wuhan, China, December 2008. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 102 D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features," in *Proceedings of the International Conference on Computer Vision (ICCV '99)*, pp. 1150–1157, 1999. View at: [Google Scholar](#)
- 103 I. Amerini, L. Ballan, R. Caldelli, A. del Bimbo, and G. Serra, "Geometric tampering estimation by means of a sift-based forensic analysis," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '10)*, pp. 1702–1705, IEEE, Dallas, Tex, USA, March 2010. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 104 X. Pan and S. Lyu, "Detecting image region duplication using sift features," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '10)*, pp. 1706–1709, IEEE, Dallas, Tex, USA, March 2010. View at: [Google Scholar](#)
- 105 A. C. Popescu and H. Farid, "Exposing digital forgeries by detecting traces of resampling," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 53, no. 2, pp. 758–767, 2005. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 106 M. Kirchner, "Fast and reliable resampling detection by spectral analysis of fixed linear predictor residue," in *Proceedings of the 10th ACM Workshop on Multimedia and Security (MM&Sec '08)*, A. D. Ker, J. Dittmann, and J. J. Fridrich, Eds., pp. 11–20, ACM, September 2008. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 107 M. Kirchner and T. Gloe, "On resampling detection in re-compressed images," in *Proceedings of the 1st IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS '09)*, pp. 21–25, December 2009. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 108 M. Kirchner, "On the detectability of local resampling in digital images," in *Security, Forensics, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents X*, E. J. Delp, P. W. Wong, J. Dittmann, and N. Memon, Eds., vol. 6819 of *Proceedings of SPIE*, February 2008. View at: [Google Scholar](#)
- 109 M. Kirchner, "Linear row and column predictors for the analysis of resized images," in *Proceedings of the 12th ACM Multimedia Security Workshop (MM&Sec '10)*, pp. 13–18, September 2010. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 110 S. Prasad and K. R. Ramakrishnan, "On resampling detection and its application to detect image tampering," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME '06)*, pp. 1325–1328, July 2006. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 111 B. Mahdian and S. Saic, "On periodic properties of interpolation and their application to image authentication," in *Proceedings of the International Symposium on Information Assurance and Security*, pp. 439–446, 2007. View at: [Google Scholar](#)
- 112 W. Weimin, W. Shuozhong, and T. Zhenjun, "Estimation of rescaling factor and detection of image splicing," in *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Communication Technology (ICCT '08)*, pp. 676–679, November 2008. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)

- 113 N. Dalgaard, C. Mosquera, and F. Pérez-González, "On the role of differentiation for resampling detection," in *Proceedings of the International Conference on Image Processing (ICIP '10)*, pp. 1753–1756, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Hong Kong, China, September 2010. View at: [Google Scholar](#)
- 114 G. S. Song, Y. I. Yun, and W. H. Lee, "A new estimation approach of resampling factors using threshold-based peak detection," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE '11)*, pp. 731–732, January 2011. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 115 B. Mahdian and S. Saic, "Blind authentication using periodic properties of interpolation," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 3, no. 3, pp. 529–538, 2008. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 116 B. Mahdian and S. Saic, "A cyclostationarity analysis applied to image forensics," in *Proceedings of the Workshop on Applications of Computer Vision (WACV '09)*, pp. 1–6, December 2009. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 117 D. Vazquez-Padín, C. Mosquera, and F. Pérez-González, "Two-dimensional statistical test for the presence of almost cyclostationarity on images," in *Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP '10)*, pp. 1745–1748, September 2010. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 118 D. Vazquez-Padín and F. Pérez-González, "Prefilter design for forensic resampling estimation," in *Proceedings of the IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS '11)*, November–December 2011. View at: [Google Scholar](#)
- 119 M. Kirchner and J. J. Fridrich, "On detection of median filtering in digital images," in Memon et al., in *Media Forensics and Security II, part of the IS&T-SPIE Electronic Imaging Symposium*, N. D. Memon, J. Dittmann, A. M. Alattar, and E. J. Delp, Eds., vol. 7541 of *Proceedings of SPIE*, San Jose, Calif, USA, January 2010, 754110. View at: [Google Scholar](#)
- 120 T. Pevny, P. Bas, and J. Fridrich, "Steganalysis by subtractive pixel adjacency matrix," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 5, pp. 215–224, 2010. View at: [Google Scholar](#)
- 121 H.-D. Yuan, "Blind forensics of median filtering in digital images," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 6, pp. 1335–1345, 2011. View at: [Google Scholar](#)
- 122 M. C. Stamm and K. J. R. Liu, "Blind forensics of contrast enhancement in digital images," in *Proceedings of the International Conference on Image Processing (ICIP '08)*, pp. 3112–3115, IEEE, San Diego, Calif, USA, October 2008. View at: [Google Scholar](#)
- 123 M. C. Stamm and K. J. R. Liu, "Forensic estimation and reconstruction of a contrast enhancement mapping," in *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '10)*, pp. 1698–1701, IEEE, Dallas, Tex, USA, March 2010. View at: [Google Scholar](#)
- 124 M. C. Stamm and K. J. R. Liu, "Forensic detection of image manipulation using statistical intrinsic fingerprints," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 5, no. 3, pp. 492–506, 2010. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 125 S. Avidan and A. Shamir, "Seam carving for content-aware image resizing," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 26, no. 3, article 10, 2007. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 126 A. Sarkar, L. Nataraj, and B. S. Manjunath, "Detection of seam carving and localization of seam insertions in digital images," in *Proceedings of the 11th ACM Multimedia Security Workshop (MM&Sec '09)*, pp. 107–116, September 2009. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 127 C. Fillion and G. Sharma, "Detecting content adaptive scaling of images for forensic applications," in *Media Forensics and Security II, part of the IS&T-SPIE Electronic Imaging Symposium*, N. D. Memon, J. Dittmann, A. M. Alattar, and E. J. Delp, Eds., vol. 7541 of *Proceedings of SPIE*, San Jose, Calif, USA, January 2010, 75410. View at: [Google Scholar](#)

- 128 I. Avcibas, S. Bayram, N. Memon, M. Ramkumar, and B. Sankur, "A classifier design for detecting image manipulations," in *Proceedings of the International Conference on Image Processing (ICIP '04)*, pp. 2645–2648, October 2004. View at: [Google Scholar](#)
- 129 W. Chen, Y. Q. Shi, and W. Su, "Image splicing detection using 2-D phase congruency and statistical moments of characteristic function," in *Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX*, Proceedings of SPIE, February 2007. View at: [Google Scholar](#)
- 130 Y. Q. Shi, C. Chen, and W. Chen, "A natural image model approach to splicing detection," in *Proceedings of the ACM Workshop on Multimedia Security (MM&Sec '07)*, D. Kundur, B. Prabhakaran, J. Dittmann, and J. J. Fridrich, Eds., pp. 51–62, ACM, 2007. View at: [Google Scholar](#)
- 131 M. K. Johnson and H. Farid, "Exposing digital forgeries by detecting inconsistencies in lighting," in *Proceedings of the ACM Workshop on Multimedia and Security*, pp. 1–10, 2005. View at: [Google Scholar](#)
- 132 M. K. Johnson and H. Farid, "Exposing digital forgeries through specular highlights on the eye," in *Proceedings of the 9th International Conference on Information Hiding*, T. Furon, F. Cayre, G. J. Doërr, and P. Bas, Eds., vol. 4567 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 311–325, Springer, 2007. View at: [Google Scholar](#)
- 133 M. K. Johnson and H. Farid, "Exposing digital forgeries in complex lighting environments," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 2, no. 3, pp. 450–461, 2007. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 134 C. Riess and E. Angelopoulou, "Scene illumination as an indicator of image manipulation," in *Proceedings of the International Conference on Information Hiding*, pp. 66–80, 2010. View at: [Google Scholar](#)
- 135 W. Zhang, X. Cao, J. Zhang, J. Zhu, and P. Wang, "Detecting photographic composites using shadows," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 1042–1045, IEEE, 2009. View at: [Google Scholar](#)
- 136 Q. Liu, X. Cao, C. Deng, and X. Guo, "Identifying image composites through shadow matte consistency," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 6, pp. 1111–1122, 2011. View at: [Google Scholar](#)
- 137 H. Farid and J. Kosecka, "Estimating planar surface orientation using bispectral analysis," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 16, no. 8, pp. 2154–2160, 2007. View at: [Google Scholar](#)
- 138 M. K. Johnson and H. Farid, "Detecting photographic composites of people," in *Proceedings of the International Workshop on Digital Watermarking*, pp. 19–33, 2007. View at: [Google Scholar](#)
- 139 V. Conotter and G. Boato, "Detecting photo manipulation on signs and billboards," in *Proceedings of the International Conference on Image Processing (ICIP '10)*, pp. 1741–1744, IEEE, Hong Kong, China, September 2010. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 140 P. Kakar, N. Sudha, and W. Ser, "Exposing digital image forgeries by detecting discrepancies in motion blur," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 13, no. 3, pp. 443–452, 2011. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
- 141 H. Yao, S. Wang, Y. Zhao, and X. Zhang, "Detecting image forgery using perspective constraints," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 19, pp. 123–126, 2012. View at: [Google Scholar](#)