

PHÂN TÍCH CÁC THUẬT TOÁN PHÁT HIỆN CẠNH HÌNH ẢNH TRÊN FPGA PHỤC VỤ DẠY HỌC NGÀNH CÔNG NGHỆ THÔNG TIN TẠI TRƯỜNG ĐẠI HỌC HẢI PHÒNG

ANALYSIS OF IMAGE EDGE DETECTION ALGORITHMS ON FPGAS FOR TEACHING IN INFORMATION TECHNOLOGY
AT HAI PHONG UNIVERSITY

Hoàng Trần Hiếu

ThS. Trường Đại học Hải Phòng

Received: 25/1/2026; Accepted: 5/02/2026; Published: 14/02/2026

Tóm tắt: Phát hiện cạnh là một trong những thao tác được sử dụng phổ biến trong phân tích ảnh, đặc biệt là trong lĩnh vực phác thảo đặc điểm. Mục tiêu chính của phát hiện cạnh là xác định các cạnh bằng cách so sánh cường độ mức xám của ảnh. Nhiều thuật toán phát hiện cạnh ảnh được sử dụng để tính toán cạnh. Do đó, nếu các cạnh được xác định chính xác trong một ảnh, thì tất cả các đối tượng của nó có thể được định vị và các thuộc tính cơ bản như diện tích, chu vi và hình dạng của ảnh có thể được đo. Do đó, nó giúp tối ưu hóa diện tích của kiến trúc VLSI của thiết kế đã cho. Dữ liệu phát hiện cạnh khá lớn, vì vậy việc đạt được tốc độ xử lý ảnh cao không phải là nhiệm vụ dễ dàng. Mạng cổng lập trình được (FPGA) có thể được sử dụng để khắc phục nhiệm vụ này và nó là một thiết bị hiệu quả để thực hiện xử lý song song thời gian thực cho lượng lớn dữ liệu hình ảnh và video.

Từ khóa: phát hiện cạnh, triển khai FPGA, kiến trúc VLSI

Abstract: Edge detection is one of the generally used operations in image analysis particularly in the areas of feature sketch out. The main aim of edge detection is to put edges by comparing gray level intensity of the image. Various image edge detection algorithms are used for the edge calculation. Hence if the edges are identified correctly in an image then all its objects can be positioned and basic properties such as area, perimeter and shape of an image can be measured. Hence it helps to optimize the area of the VLSI architecture of the given design. The data of edge detection is large enough, so to achievement the high rate of image processing is not easy task. Field Programmable Gate Array (FPGA) can be used to overcome this task and it is an efficient device to realize real-time parallel processing for huge amounts of image and video data.

Keywords: edge detection, FPGA implementation, VLSI architecture.

1. Đặt vấn đề

Một hình ảnh là một hàm hai chiều của các tọa độ x và y . Biên độ của A tại bất kỳ cặp tọa độ (x, y) nào được gọi là mức xám (gray level) hoặc cường độ (intensity) của hình ảnh tại vị trí đó. Phát hiện cạnh là một trong những nhiệm vụ quan trọng nhất trong xử lý ảnh mức thấp (1). Việc phát hiện chính xác các cạnh trong ảnh đóng vai trò then chốt trong việc nhận dạng đặc điểm như: phân đoạn ảnh, nhận dạng đối tượng, phân tích cảnh huống.

Vấn đề thiết kế chính trong phát hiện cạnh hình ảnh là việc triển khai trong thời gian thực. Các mạng cổng lập trình được (FPGAs) được sử dụng để cung cấp khả năng vận hành thời gian thực và sự linh hoạt để thay đổi thuật toán ở giai đoạn muộn của quá trình phát triển hệ thống. Những tính năng này khiến FPGA trở thành lựa chọn phù hợp để triển khai thực tế các thuật toán xử lý ảnh. Do đó, một cân nhắc quan trọng là thiết kế thuật toán sao cho tối ưu hóa diện tích thực thi trên VLSI. FPGA giúp giảm diện tích và cải thiện tốc độ xử lý phát hiện cạnh. Cấu trúc bài báo được tổ chức như sau: Phần 2.1 thảo luận về các

thuật toán phát hiện cạnh khác nhau. Phần 2.2 trình bày kế hoạch đề xuất và lưu đồ thực hiện.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1 Các thuật toán phát hiện cạnh phổ biến

Cạnh tương ứng với các điểm ảnh (pixels) mà tại đó hoặc xung quanh đó, giá trị hình ảnh có sự thay đổi đột ngột. Một cạnh mô tả các ranh giới giữa các vùng khác nhau trong một hình ảnh, giúp ích cho việc phân đoạn và nhận dạng đối tượng. Theo cách truyền thống, các kỹ thuật phát hiện cạnh áp dụng việc giải thích hình học của gradient (độ dốc) đối với một hình ảnh, được biểu thị dưới dạng tốc độ thay đổi của các mức xám trong đó.

Phát hiện cạnh là một phần quan trọng trong lĩnh vực thị giác máy tính. Đây là bước xử lý ảnh mức thấp cơ bản, và các cạnh chất lượng tốt là điều kiện cần thiết cho các bước xử lý mức cao hơn. Trong một ảnh nhị phân, một điểm ảnh được coi là điểm cạnh nếu nó có giá trị cường độ đen, có láng giềng kết nối-4 (4-connected) với cường độ trắng và cường độ đen với láng giềng kết nối-8 (8-connected).

Do đó, nhận dạng cạnh giúp đo lường, phát hiện

và xác định vị trí của những thay đổi trong mức xám của hình ảnh. Dựa trên cạnh và đường thẳng, chúng ta có thể xác định cấu trúc của đối tượng. Vì vậy, trích xuất cạnh là một kỹ thuật quan trọng trong xử lý đồ họa và trích xuất đặc trưng. Có nhiều thuật toán đã được phát triển để phát hiện cạnh hình ảnh, một số trong đó được giải thích dưới đây:

Toán tử Robert; Toán tử Prewitt; Toán tử Sobel; Laplacian của Gaussian (LoG); Phát hiện cạnh Canny

2.1.1 Toán tử Robert: Toán tử Roberts là PP lâu đời và cơ bản nhất để phát hiện cạnh. Nó hoạt động dựa trên đạo hàm bậc nhất và sử dụng đạo hàm riêng bậc nhất để phát hiện các cạnh trong ảnh. Các cạnh dọc và ngang được trích xuất riêng biệt, sau đó kết hợp lại với nhau để cho ra kết quả phát hiện cạnh cuối cùng. Phương pháp này sử dụng mặt nạ kích thước 2x2 để tính toán đạo hàm trực giao, và các mặt nạ đó được cho như dưới đây:

1	0	0	1
0	-1	-1	0
Gx		Gy	

2.1.2 Toán tử Prewitt: Đây là một trong những PP phát hiện cạnh lâu đời và tốt nhất trong xử lý ảnh. Phép toán phát hiện cạnh Prewitt được thực hiện bằng cách tích chập ảnh gốc với một bộ lọc rời rạc, kích thước nhỏ và có giá trị nguyên theo các hướng dọc, ngang cũng như cả hai hướng đường chéo. Toán tử phát hiện cạnh Prewitt dựa trên đạo hàm bậc nhất và sử dụng mặt nạ (mask) kích thước 3x3. Hai mặt nạ Gx và Gy được cho như sau:

-1	-1	-1	-1	0	1
0	0	0	-1	0	1
1	1	1	-1	0	1
Gx			Gy		

2.1.3 Toán tử Sobel: Toán tử Sobel cũng là một toán tử phát hiện cạnh dựa trên đạo hàm. Đây là kỹ thuật phát hiện cạnh được sử dụng rộng rãi nhất. Việc phát hiện cạnh bằng toán tử Sobel dựa trên nguyên lý tính toán xấp xỉ gradient của ảnh. Giá trị gradient xấp xỉ được tính bằng cách tích chập hai mặt nạ không gian kích thước 3x3 với ảnh gốc. Nó tính toán sự khác biệt giữa các hàng và cột trong các mặt nạ 3x3 giữa các điểm lân cận. Hai mặt nạ Gx và Gy được cho như sau:

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1
Gx			Gy		

Độ lớn của gradient được tính theo cách sau:

$$|G| = \sqrt{Gx^2 + Gy^2}$$

2.1.4 Laplacian của Gaussian (LoG): Sử dụng đạo hàm bậc hai để tìm các điểm giao cắt bằng không (zero crossing) tại những nơi có sự thay đổi cường độ. Trước khi tính Laplacian, thuật toán áp dụng bộ lọc Gaussian để làm mịn ảnh, giúp giảm thiểu nhiễu vì đạo hàm bậc hai cực kỳ nhạy cảm với các điểm ảnh lỗi.

2.1.5 Phát hiện cạnh Canny: Bộ phát hiện cạnh Canny sử dụng hai ngưỡng (threshold) để tính toán các cạnh mạnh và cạnh yếu. Nó cũng giữ lại các cạnh yếu khi chúng được kết nối với các cạnh mạnh. Các bước thực hiện trong phát hiện cạnh Canny như sau:

Bước 1: Ảnh được làm mịn và giảm nhiễu bằng cách áp dụng bộ lọc Gradient bậc nhất (thường là bộ lọc Gaussian).

Bước 2: Độ lớn Gradient được tính toán bằng cách tính Gradient của các điểm ảnh lân cận.

Bước 3: Các cạnh giả bị loại bỏ bằng cách so sánh điểm ảnh với các điểm ảnh lân cận theo hướng gradient (bước này gọi là Non-maximum suppression - triết tiêu không cực đại).

Bước 4: Bước cuối cùng được gọi là đặt ngưỡng (thresholding), sử dụng cả giá trị ngưỡng thấp và cao; nghĩa là các điểm ảnh có giá trị cao hơn hoặc thấp hơn ngưỡng đều được đánh dấu là các cạnh trong ảnh (thường thông qua kỹ thuật Hysteresis để kết nối các cạnh).

2.2. Các nghiên cứu về phát hiện biên cạnh:

Theo thời gian, đã có rất nhiều cải tiến và nghiên cứu được thực hiện trên các thuật toán phát hiện cạnh để nhận diện biên của vật thể. Mục tiêu chính là nâng cao chất lượng (các đặc trưng) của hình ảnh để con người dễ hiểu hơn. Ngày nay, xử lý ảnh được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như y tế, phát hiện ảnh hàng không kỹ thuật số từ vệ tinh, an ninh, nhận diện biển số xe, v.v.

Area Optimized FPGA Implementation Of Color Edge Detection trình bày cách triển khai thuật toán phát hiện cạnh trên FPGA, sử dụng toán tử Sobel trên nền tảng Virtex-5. Nghiên cứu tập trung vào việc đạt hiệu suất cao, tối thiểu hóa diện tích phần cứng và xử lý tốc độ cao. Thiết kế đề xuất chỉ sử dụng một phần tử xử lý duy nhất để tính toán gradient cho cả ba thành phần màu R, G, B nhằm giảm tiêu thụ tài nguyên FPGA.

Study Sobel Edge Detection Effect on the Image Edges Using MATLAB trình bày cách thực hiện thuật toán phát hiện cạnh bằng MATLAB. Vì MATLAB là công cụ phổ biến, giúp việc mô phỏng xử lý ảnh trở nên rất dễ dàng.

Sobel Edge Detection Implementation using Spartan3 FPGA and Xilinx System Generator thực hiện thuật toán phát hiện cạnh trên FPGA Xilinx Spartan 3 bằng công cụ **System Generator**. Thuật

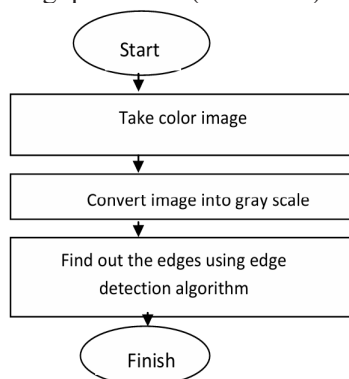
toán Sobel được sử dụng vì tính hiệu quả cao và mã nguồn được viết bằng ngôn ngữ VHDL. Phần cứng được triển khai trên cả bộ kit Spartan 3 và các dòng tương tự.

Canny Edge Detection Algorithm on FPGA giới thiệu việc phát hiện cạnh sử dụng thuật toán Canny trên bộ kit FPGA. Canny là thuật toán hiệu quả nhất nhờ khả năng phát hiện và định vị cạnh tốt hơn, đồng thời tìm được nhiều cạnh hơn so với thuật toán Sobel.

An Enhanced Area Optimized Image Edge Detection Based On Sobel Operator trình bày việc tối ưu hóa diện tích phần cứng khi triển khai. Nghiên cứu này sử dụng thuật toán Sobel, viết bằng mã VHDL, mô phỏng trên ModelSim, tổng hợp bằng Xilinx ISE 10.1 và triển khai trên nền tảng FPGA Xilinx ML510 (Virtex-5 FX130T).

2.3 Quy trình đề xuất

Ý tưởng cơ bản của việc phát hiện cạnh là sử dụng các toán tử tăng cường cạnh để làm nổi bật các cạnh cục bộ trong ảnh kết quả. Kế hoạch đề xuất có thể được hiểu thông qua lưu đồ (flow chart) dưới đây:



Quá trình phát hiện cạnh được thực hiện theo các bước sau:

Xử lý ảnh để giảm nhiễu; Cải thiện chất lượng; Chuyển đổi ảnh sang thang độ xám; Phát hiện; Định vị

Bước 1. Xử lý ảnh (Processing Of The Image)

Bước này tập trung vào việc làm mịn ảnh (smoothing). Mục tiêu chính là loại bỏ tối đa các loại nhiễu (noise) phát sinh trong quá trình thu nhận hoặc truyền tải ảnh mà không làm mất đi các đường biên thực tế. Quá trình này thường sử dụng các bộ lọc như bộ lọc Gaussian hoặc bộ lọc trung vị (Median filter) để làm mờ các chi tiết thừa không cần thiết.

Bước 2. Cải thiện chất lượng (Improving Quality)

Đây thực chất là quá trình tăng cường chất lượng ảnh (image enhancement). Bằng cách áp dụng các bộ lọc làm sắc nét (sharpening filters), hệ thống sẽ làm nổi bật các cạnh của vật thể, giúp các bước nhận diện tiếp theo trở nên rõ ràng và chính xác hơn.

Bước 3. Chuyển đổi sang ảnh xám

Ảnh màu thường được chuyển về ảnh mức xám (grayscale) để đơn giản hóa việc tính toán. Trong đó:

Màu trắng: Đại diện cho các giá trị có cường độ sáng cao.

Màu đen: Đại diện cho các giá trị có cường độ sáng thấp. Quá trình này cung cấp thông tin về cường độ sáng (intensity information) của ảnh gốc, giúp thuật toán tập trung vào sự thay đổi độ sáng thay vì màu sắc.

Bước 4. Phát hiện (Detection)

Sử dụng các thuật toán phát hiện cạnh khác nhau (như Sobel, Canny, Roberts) để tính toán và xác định các vị trí có sự thay đổi cường độ đột ngột. Bước này giúp hệ thống quyết định điểm ảnh nào thuộc về một cạnh cần giữ lại và điểm ảnh nào là giả hoặc không cần thiết.

Bước 5. Định vị (Localization)

Đây là giai đoạn xác định vị trí chính xác của cạnh trong ảnh. Các kỹ thuật như làm mỏng cạnh (edge thinning) và liên kết cạnh (edge linking) là rất cần thiết ở bước này để đảm bảo đường biên thu được sắc nét (thường có độ dày 1 pixel) và liên tục.

3. Kết luận

Vì phát hiện cạnh ảnh là kỹ thuật được thực hiện ở cấp độ xử lý ảnh thấp hơn, do đó chúng ta cần phải có kiến thức về các thuật toán phát hiện cạnh khác nhau được sử dụng cho nó. Trong bài báo này, tác giả đã phân tích toàn bộ thuật toán phát hiện cạnh ảnh được triển khai trên kiến trúc dựa trên FPGA. FPGA giúp triển khai nó trong ứng dụng thời gian thực và cũng giúp cải thiện tốc độ phát hiện cạnh. Toán tử Robert nhạy cảm với nhiễu hơn so với các toán tử khác. Về toán tử phát hiện cạnh Canny, nó hiệu quả hơn và phát hiện được nhiều cạnh hơn so với các thuật toán khác, nhưng nó là PP phức tạp hơn và thời gian cần thiết để phát hiện các cạnh cũng lâu hơn. Toán tử Sobel ít nhạy cảm với nhiễu hơn, tìm ra các cạnh dày hơn và cũng lưu giữ thông tin ưu tiên cao trong ảnh.

Tài liệu tham khảo

[1] Sanjay Singh, Chandra Shekhar, Anil Vohra (2018), "Area Optimized FPGA Implementation of Color Edge Detection", conference on advanced electronic system, IEEE.

[2] Pinaki Pratim Acharjya, Ritaban Das & Dibyendu Ghoshal (2018) "Study and Comparison of Different Edge Detectors for Image Segmentation", Global Journal of Computer Science and Technology Graphics & Vision, Volume 12 Issue 13 Version 1.0

[3] Malathy H Lohithaswa, J.Raja (2018), "Canny Edge Detection Algorithm on FPGA", IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), 2278 8735. Volume 10, Issue 1, Ver. 1.