

Thiết kế khối xử lý tách biên và trộn màu video ảnh nhiệt trên bộ kit Pynq-Z1 bằng Vivado HLS cho các ứng dụng trộn ảnh

Trình Việt Hà^{1*}, Nguyễn Anh Tuấn¹, Khương Hữu Trọng², Nguyễn Minh Đường²

¹Viện Vật lý kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

²Bộ Chỉ huy quân sự tỉnh Vĩnh Phúc.

*Email: trinhvietha92@gmail.com.

Nhận bài ngày 21/9/2021; Hoàn thiện ngày 28/10/2021; Chấp nhận đăng ngày 14/02/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.77.2022.128-136>

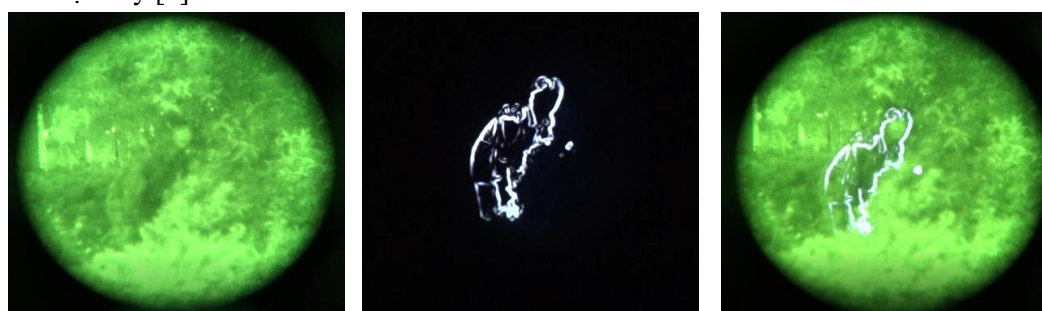
TÓM TẮT

Những năm gần đây, xu hướng nghiên cứu phát triển và ứng dụng các khí tài quang điện tử đa kênh có chức năng trộn ảnh đang phổ biến trên thế giới và bắt đầu được quan tâm nghiên cứu ở nước ta. Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ nguy trang ảnh nhiệt và nguy trang đa phổ, để nâng cao hiệu quả quan sát, các khí tài quang điện tử đa kênh thường được bổ sung chức năng trộn ảnh làm cho hình ảnh thu được của mục tiêu chứa nhiều thông tin hơn. Để trộn ảnh, một số kỹ thuật xử lý tín hiệu video sẽ được thực hiện như tách biên, trộn màu nhằm tạo ra một số hiệu ứng giúp cho người quan sát có thể quan sát mục tiêu dễ dàng, thuận lợi hơn. Bài báo này trình bày thiết kế khối xử lý tách biên và trộn màu video ảnh nhiệt bằng Vivado HLS trên bộ kit Pynq-Z1, làm cơ sở để thiết kế chế tạo các bo mạch xử lý video phục vụ nghiên cứu phát triển các khí tài trộn ảnh trong tương lai.

Từ khóa: Ảnh nhiệt ; Tách biên; Trộn màu; Trộn ảnh ; Bộ kit Pynq-Z1.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các cuộc chiến tranh công nghệ cao, hiện đại với các hoạt động quân sự diễn ra một cách liên tục, trong mọi điều kiện ngày và đêm, từ rừng núi đến đô thị, từ môi trường trống trải cho đến môi trường bị che khuất, che lấp nhiều khói bụi,... đòi hỏi sự phát triển của các khí tài quan sát nhằm giải quyết và đáp ứng khả năng quan sát mục tiêu trong mọi điều kiện không gian và thời gian như hiện nay. Bên cạnh đó, với sự phát triển vượt bậc của các thành tựu về vật liệu, các giải pháp vật lý và các giải pháp kết hợp,... làm cho hiệu quả của các phương tiện nguy trang ảnh nhiệt, nguy trang đa phổ tăng lên đáng kể, đặt ra những thách thức rất lớn cho các khí tài quang điện tử hiện nay [1].



a. KĐASY.

b. Ảnh nhiệt.

c. Trộn ảnh.

Hình 1. Quan sát mục tiêu người mặc trang phục dã chiến K-17 vào ban đêm lần lượt bằng kênh KĐASY, kênh ảnh nhiệt và kênh trộn ảnh.

Trong mọi điều kiện hoàn cảnh thì khí tài quang điện tử luôn là con mắt của người chỉ huy, hình ảnh thu được thông qua khí tài quang điện tử là một nguồn tài nguyên vô cùng quan trọng có giá trị. Tuy nhiên, một khí tài quang điện tử độc lập với một cảm biến duy nhất không thể cung cấp hình ảnh đầy đủ về đối tượng, về mục tiêu và về môi trường mà nó quan sát trong nhiều trường hợp. Các khí tài quang điện tử hiện nay sử dụng đồng thời nhiều công nghệ cảm biến

khác nhau để thu hình ảnh đa phổ của đối tượng, nhằm đạt được những lợi thế tương tự như con người trong việc thu thập thông tin về đối tượng. Hình ảnh hợp nhất thu được một cách thích hợp từ một tập hợp các cảm biến thành phần có thể cung cấp hình ảnh chân thực về đối tượng hơn so với hình ảnh thu được từ các cảm biến riêng lẻ. Hình ảnh hợp nhất đó còn gọi là hình ảnh trộn ảnh (fusion image), quan sát bằng kênh trộn ảnh thường nâng cao khả năng phát hiện và phân biệt mục tiêu cho khí tài đó. Các khí tài có chức năng trộn ảnh thường được gọi là khí tài trộn ảnh [3, 4]. Có 2 nguyên lý trộn ảnh phổ biến là trộn ảnh quang học và trộn ảnh số, dù là theo nguyên lý nào thì các khí tài trộn ảnh có một số đặc điểm chung như sau:

+ Sử dụng kênh ảnh nhiệt, để trộn với một kênh nào đó bởi ảnh nhiệt rất hiệu quả và ưu việt trong việc quan sát, phát hiện mục tiêu từ xa,...

+ Hình ảnh ảnh nhiệt thuận tiện cho việc xử lý để làm nổi bật mục tiêu: xử lý tách biên (edge detection) hay xử lý trộn màu (color blending) làm mục tiêu nổi bật trong trường nhìn, tăng khả năng phát hiện và nhận dạng mục tiêu, như hình 2.



a. Xử lý tách biên.



b. Xử lý trộn màu cam.

Hình 2. Một số chức năng xử lý hình ảnh trên thiết bị trộn ảnh nước ngoài.

Như vậy, để nghiên cứu phát triển các khí tài trộn ảnh thì một trong những nội dung quan trọng cần giải quyết đó là thiết kế chế tạo các khối xử lý hình ảnh, trong đó có thể thực hiện một số chức năng xử lý hình ảnh từ kênh ảnh nhiệt.

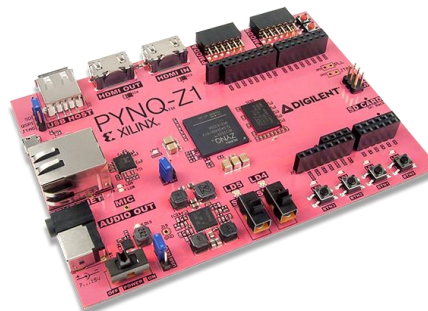
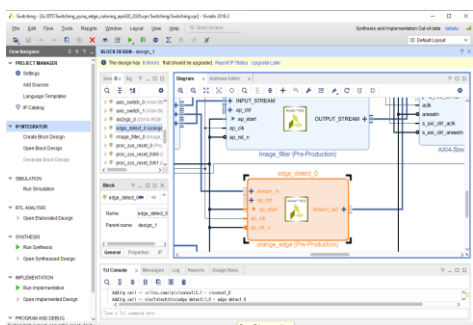
Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật tách biên hình ảnh áp dụng cho các thiết bị camera đa phổ, thiết bị đa cảm biến hay trộn ảnh là một trong những chủ đề được quan tâm nghiên cứu trên thế giới và những năm gần đây ở nước ta [4-7]. Các nghiên cứu xử lý tách biên trên nền FPGA cũng được đào sâu [8, 9, 10-12], tuy nhiên những nghiên cứu này chưa đặt vào bài toán ứng dụng cụ thể cho các thiết bị quan sát trộn ảnh trong quân sự. Để nối tiếp và hoàn thiện nội dung [7], nhóm nghiên cứu thực hiện nghiên cứu khối xử lý tách biên và bôi màu cho video ảnh nhiệt. Chúng tôi đã nghiên cứu, lựa chọn sử dụng bộ kit phát triển Pynq-Z1 có tích hợp chip FPGA và chip ARM, có sẵn các cổng giao tiếp, kết nối cơ bản như USB/HDMI và sử dụng công cụ Vivado HLS tiến hành thiết kế và lập trình cho kit Pynq-Z1 xử lý hình ảnh video thu được từ camera ảnh nhiệt: xử lý tách biên (edge detection) như hình 2a và xử lý trộn màu (color blending) như hình 2b.

2. THIẾT KẾ KHỐI XỬ LÝ TÁCH BIÊN VÀ BÔI MÀU VIDEO ẢNH NHIỆT TRÊN BỘ KIT PYNQ-Z1 BẰNG VIVADO HLS

Trong phần này, nhóm tác giả sẽ giới thiệu sơ lược về công cụ Vivado HLS và bo mạch kit Pynq-Z1, sau đó trình bày thiết kế các khối xử lý video thực hiện các chức năng tách biên và trộn màu cho video ảnh nhiệt, ứng dụng để trộn ảnh.

2.1. Giới thiệu về công cụ Vivado HLS và bộ kit Pynq-Z1

Vivado Design Suite là tổ hợp các phần mềm của hãng Xilinx, một trong các hãng lớn sản xuất chip FPGA trên thế giới. Vivado là phần mềm có rất nhiều chức năng, hỗ trợ tất cả các khâu của quá trình thiết kế logic sử dụng FPGA, hình 3a.



a. Giao diện thiết kế trên Vivado.

b. Bộ mạch kit Pynq-Z1.

Hình 3. Giao diện phần mềm Vivado và bộ mạch kit Pynq-Z1 (nguồn Digilent).

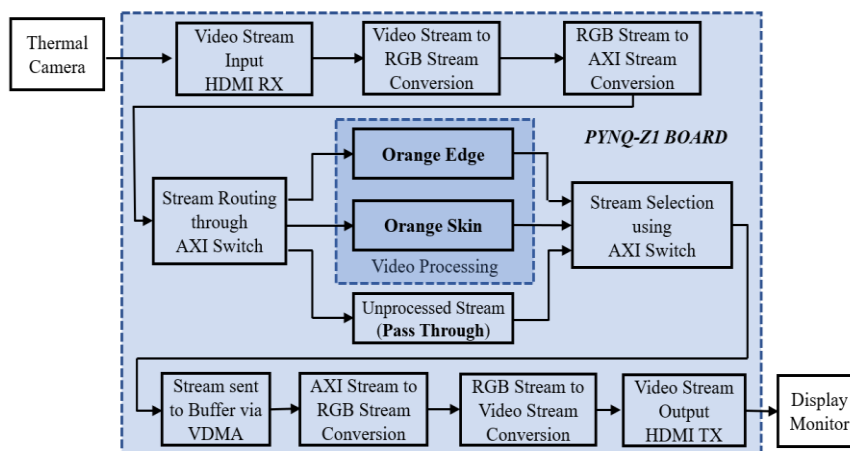
Vivado cung cấp môi trường để cấu hình, thực thi, kiểm tra và tích hợp các lõi IP core (Intellectual Property core) như một mô đun độc lập hoặc trong nội dung của thiết kế cấp hệ thống. Ngoài ra, với chức năng thiết kế block design cho phép có thể thiết kế khá dễ dàng, ngay cả với những đối tượng không có thể mạnh về ngôn ngữ lập trình phần cứng như Verilog, VHDL v.v. Bộ mạch Pynq-Z1 được tích hợp ZYNQ XC7Z020-1CLG400C FPGA chip, 512MB DDR3 memory, có 01 cổng HDMI-in và 01 cổng HDMI-out và 02 cổng tắc trượt, phù hợp cho các thí nghiệm xử lý tín hiệu video, hình 3b. Việc có thể lập trình cho Pynq-Z1 trên Vivado là lý do nhóm nghiên cứu đã lựa chọn sử dụng bộ mạch này.

2.2. Thiết kế sơ đồ khối xử lý tín hiệu video trên bộ kit Pynq-Z1

Để thực hiện xử lý tín hiệu video trên bộ kit Pynq-Z1, trước hết cần thiết kế, xây dựng sơ đồ khối của toàn hệ thống như hình 4. Trước hết, tín hiệu hình ảnh thu được từ camera ảnh nhiệt được truyền vào bộ kit Pynq-Z1 thông qua cổng HDMI RX trên bo mạch. Sau đó, tại bo mạch, tín hiệu video được chuyển đổi sang dạng AXI Stream và từ đó Pynq-Z1 có thể thực hiện nhiều nhiệm vụ xử lý video tiếp theo, trong đó thực hiện 03 nhiệm vụ xử lý chính, như hình 4:

- + Xử lý tách biên và tạo đường biên màu cam (Orange Edge);
- + Xử lý trộn màu cam cho vùng da người, vùng có nhiệt độ cao (Orange Skin);
- + Không xử lý và truyền video stream như tín hiệu video vào (Pass Through).

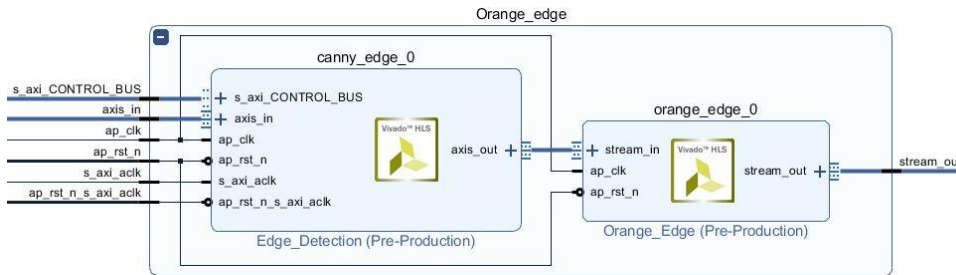
Các nội dung xử lý tách biên và trộn màu sẽ được thiết kế thành các IP core. Các IP core này cơ bản sẽ sử dụng các thư viện, các hàm OpenCV và sẽ được trình bày cụ thể ở phần tiếp theo. Để lựa chọn các chức năng xử lý hình ảnh, nhóm nghiên cứu sử dụng công tắc trượt trên bo mạch để lựa chọn. Nội dung lựa chọn được cấu hình trên SDK. Kết quả tín hiệu video sau khi xử lý tiếp tục được chuyển đổi sang dạng AXI Stream và truyền tới màn hình hiển thị qua cổng HDMI TX.



Hình 4. Sơ đồ khối xử lý tín hiệu video trên bộ kit Pynq-Z1.

2.3. Thiết kế khối xử lý tách và tạo nét biên màu cam

Xử lý tách biên (edge detection) của hình ảnh là kỹ thuật xử lý để làm nổi bật và rõ biên dạng, cạnh của ảnh. Có nhiều thuật toán tách biên hình ảnh, tuy nhiên được ứng dụng phổ biến vẫn là Canny, Sobel và các biến thể [4-7]. Thuật toán Canny mặc dù là thuật toán cổ điển song có nhiều ưu điểm so với các thuật toán khác, đặc biệt là trong trường hợp giá trị ngưỡng được thiết lập một cách chính xác thì nét biên sẽ rõ nét, hạn chế các biên giả và giảm nhiễu [7-12]. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả nối tiếp kết quả nghiên cứu trước đây [7] và lựa chọn thuật toán Canny để ứng dụng lập trình phần cứng xử lý tách biên. Thiết kế khối xử lý tạo biên màu cam như hình 5.



Hình 5. Thiết kế block design cho khối xử lý tách biên màu cam.

Trong khối xử lý này có 2 phần gồm canny_edge và orange_edge:

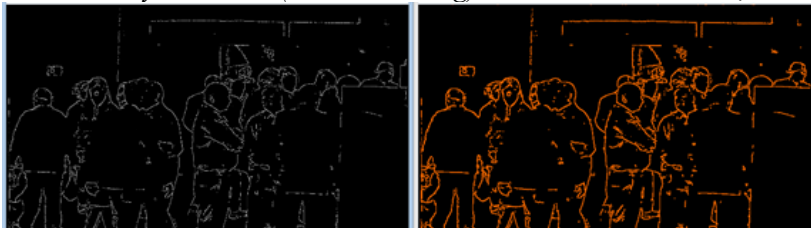
+ canny_edge: đây là IP core xử lý tách biên sử dụng thuật toán Canny [8,9]. Tín hiệu video đầu vào axi_in sẽ được chuyển sang hệ màu xám Grayscale và được xử lý tách biên theo thuật toán Canny, cho ra hình ảnh biên màu trắng như hình 7a, và tạo thành tín hiệu axis-out đi ra để tiếp tục xử lý tạo thành biên màu cam;

+ orange_edge: sẽ nhận tín hiệu axis-out đã xử lý tách biên (biên màu trắng) từ IP core canny_edge, làm tín hiệu stream_in. Trong không gian màu xám Grayscale, hình ảnh tách biên được tạo ra với các pixel sẽ có giá trị hoặc là “0” hoặc “255”, trong đó vùng biên màu trắng đều có giá trị là “255” và những vùng không phải biên có màu đen có giá trị là “0”. Trong không gian màu RGB, điểm màu đen sẽ có giá trị (R=0, G=0, B=0) và điểm màu cam sẽ có giá trị (R=255, G=107, B=0). Vì vậy, để chuyển nét biên màu trắng thành màu cam như hình 7b, thực hiện:

If pixel value is 255 then RGB= màu cam (R=255, G=107, B=0)
else RGB= màu đen (R=0, G=0, B=0)



a. Xử lý tách biên (biên màu trắng) cho hình ảnh ảnh nhiệt.



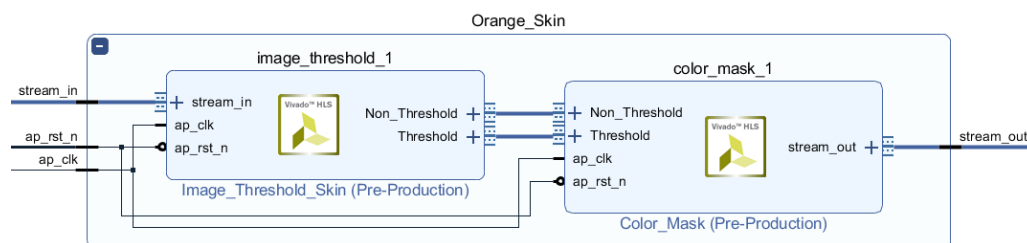
b. Xử lý tạo biên màu cam từ biên màu trắng.

Hình 6. Kết quả xử lý tách biên màu cam cho hình ảnh nhiệt.

Hình 6 cho thấy khối xử lý tách biên màu cam hoạt động đúng chức năng.

2.4. Thiết kế khối xử lý trộn màu video ảnh nhiệt

Xử lý trộn màu cho video ảnh nhiệt để làm nổi bật đối tượng, khu vực nào đó trong hình ảnh ảnh nhiệt. Khối xử lý trộn màu được thiết kế như hình 7.



Hình 7. Thiết kế block design cho khối xử lý trộn màu cam.

Khối xử lý trộn màu có 2 phần chính là image_threshold_skin và color_mask:

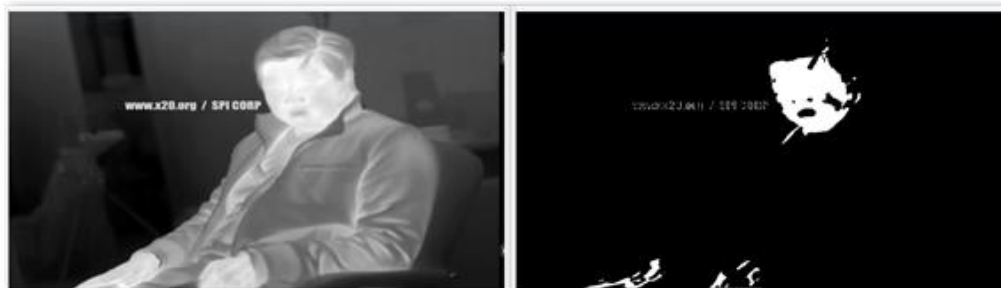
+ image_threshold_skin: đây là IP core xử lý trích xuất phần hình ảnh cần trộn màu dựa trên giá trị ngưỡng. Bằng nhiều thực nghiệm, đặt giá trị ngưỡng xám là 190 và thực hiện xử lý:

If pixel value ≥ 190 then pixel value = 255
else pixel value = 0

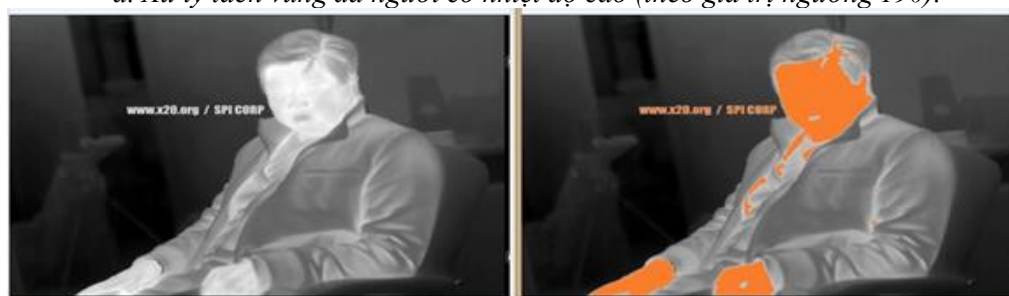
Với bước xử lý này, những vùng ảnh có mức xám lớn hơn hoặc bằng 190 sẽ được phát hiện để thực hiện trộn màu cho vùng đó, như hình 8a.

+ color_mask: sẽ nhận tín hiệu non_threshold đã xử lý ở IP core imge_threshold để tiếp tục xử lý trộn màu, hình 8b. Quá trình xử lý này tương tự như quá trình xử lý tạo biên màu cam đã nêu ở trên, thực hiện xử lý như sau:

If pixel value is 255 then RGB= màu cam (R=255, G=107, B=0)
else RGB= màu đen (R=0, G=0, B=0)



a. Xử lý tách vùng da người có nhiệt độ cao (theo giá trị ngưỡng 190).



b. Xử lý trộn màu cam cho vùng da người trên hình ảnh nhiệt.

Hình 8. Kết quả xử lý trộn màu cam cho hình ảnh nhiệt.

Hình 8 cho thấy khối xử lý trộn màu (màu cam) hoạt động đúng chức năng.

3.2. Kết quả, bình luận

Từ sơ đồ bố trí thí nghiệm nêu ở phần trên, tiến hành cấp nguồn cho các thành phần camera, bo mạch và màn hình. Kiểm tra các thành phần hoạt động bình thường. Thao tác chuyển công tắc nguồn của bo mạch Pynq-Z1 sang trạng thái “on” để khởi động bo mạch Pynq-Z1 và thao tác các vị trí công tắc trượt SW1 và SW2 trên kit Pynq-Z1 để thay đổi các chế độ xử lý hình ảnh, kết quả như sau:

Hình 11 là hình ảnh quan sát người đàn ông qua camera ảnh nhiệt, hình ảnh này được xử lý trên bo mạch Pynq-Z1 ở 3 chế độ đã được thiết lập, bao gồm: Chế độ tách biên màu cam; Chế độ trộn màu cam và Chế độ không xử lý.

Đánh giá kết quả hình ảnh trước và sau áp dụng các thuật toán cụ thể như sau:

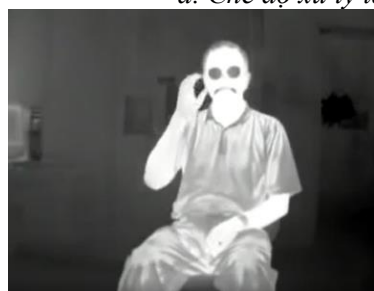
+ Với chế độ xử lý tách biên và tạo biên màu cam, hình 11a cho thấy nét biên rõ ràng, có màu cam nổi bật trên nền đen, các nét biên phụ, biên giả hay nhiễu rất ít. Có thể nhận định kết quả sau khi áp dụng xử lý tách biên đảm bảo mục tiêu đề ra.

+ Với chế độ trộn màu hình 11b, vùng da của người là vị trí tỏa nhiệt lớn, do đó, phần da mặt, cánh tay, phần cổ được trộn màu cam rất khá chính xác, tạo hình ảnh người có màu cam nổi bật trên màu xám của ảnh nhiệt. Có thể nhận định kết quả sau khi áp dụng xử lý bôi màu đảm bảo mục tiêu đề ra.

+ Với chế độ không xử lý như hình 11c, hình ảnh video đầu vào đi qua bo mạch Pynq-Z1 rồi hiển thị trên màn hình hoàn toàn giống như hình ảnh ban đầu.



a. Chế độ xử lý tách biên và tạo biên màu cam.



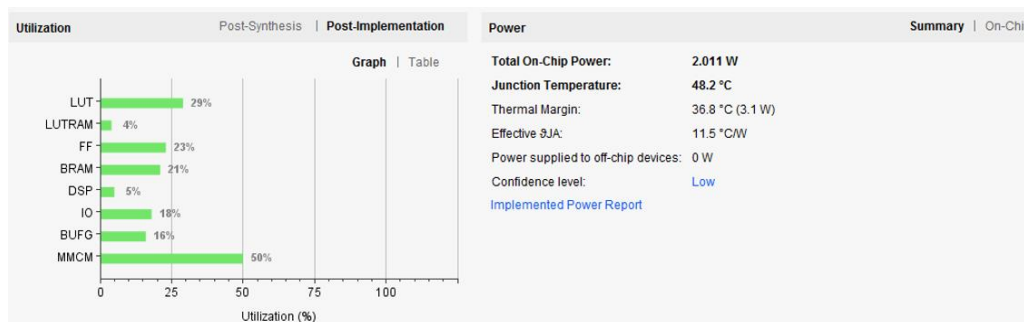
b. Chế độ trộn màu cam cho vùng da của người.



c. Chế độ không xử lý.

Hình 11. Kết quả xử lý tách biên và trộn màu trên kit Pynq-Z1.

Đánh giá về tài nguyên sử dụng của các thuật toán được thể hiện trên hình 12.



Hình 12. Thống kê tài nguyên sử dụng của các thuật toán áp dụng.

Trên hình 12, thiết kế thuật toán áp dụng trên chip FPGA của bo mạch Pynq-Z1 sử dụng 29% LUT, 21% BRAM, 23% Flip Flop và 18% IO,... Các kết quả này cho thấy tài nguyên sử dụng của thuật toán áp dụng chiếm tỷ lệ tương đối nhỏ so với tài nguyên có sẵn trên bo mạch Pynq-Z1.

Về tốc độ khung hình, thiết lập độ phân giải màn hình hiển thị là 1280x720 ở chế độ HD, tốc độ khung hình xử lý đạt được là 60 FPS, hình ảnh video đã xử lý tách biên hoặc bôi màu hiển thị trên màn hình mượt mà, không gây mỏi mắt. Về độ trễ khi xử lý, kết quả quan sát không cảm giác được độ trễ, thực tế đã có nghiên cứu đã tính toán độ trễ khi xử lý tách biên khoảng 0,0422 giây [13].

Với các kết quả trên, có thể ứng dụng để thiết kế chế tạo các bo mạch xử lý hình ảnh ứng dụng trong lĩnh vực trộn ảnh.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày nội dung thiết kế khối xử lý tách biên và trộn màu cho video ảnh nhiệt thông qua việc sử dụng công cụ thiết kế Vivado HLS của hãng Xilinx trên bo mạch kit Pynq-Z1 của hãng Digilent.

Kết quả thí nghiệm cho thấy bo mạch xử lý tín hiệu video đáp ứng các yêu cầu, mục đích thiết kế về chức năng xử lý tách biên và xử lý trộn màu. Khi quan sát mục tiêu người qua camera ảnh nhiệt, phần màu da của người đặc biệt là vùng da mặt và cánh tay được xử lý hiển thị bằng màu cam làm cho mục tiêu người trở nên rất nổi bật, dễ dàng cho việc phát hiện và nhận dạng. Phần xử lý tách biên cũng được xử lý tạo nét biên sắc nét, nét biên chuyển thành màu cam nổi bật, ít nhiễu và ít biên giả, biên không cần thiết. Về tốc độ xử lý, kết quả cho tốc độ khung hình 60 FPS khi hiển thị lên màn hình độ phân giải 1280x720, hình ảnh không có độ trễ, hiển thị mượt mà, tạo cảm giác dễ chịu cho mắt khi quan sát. Đây chính là một trong những ưu điểm của FPGA với các nhiệm vụ xử lý video gần thời gian thực.

Kết quả của nghiên cứu làm cơ sở để hoàn thiện thiết kế, chế tạo các bo mạch xử lý tín hiệu video ứng dụng vào các khí tài trộn ảnh trong thời gian tới.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn sự ủng hộ về nhiều mặt của Viện Vật lý kỹ thuật/ Viện KH&CN quân sự để có được kết quả nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. R. S. Blum and Z. Liu, "Multi-sensor image fusion and its applicatios", Taylor & Francis Group, 2006, Chapter 7.
- [2]. N. T. Tien, "Fusion of night vision and thermal images", Naval Postgraduate School, 2006, pp. 48-56.
- [3]. N. A. Tuấn, Báo cáo tổng kết đề tài "Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo mô đun trộn ảnh quang học cho thiết bị quan sát đêm trên cơ sở sử dụng kênh Ảnh nhiệt và Khuếch đại ánh sáng yếu có sẵn", 2020.
- [4]. A. Cumani, "Edge detection in multi spectral images", Journal of Graphical Models and Image Processing, Volume 53, Issue 1, Jan. 1991, pp. 40-51.

-
- [5]. F. Xinnan et al., “*Vehicle Image Edge Detection Using Image Fusion at Pixel Level*”, Proceedings of the IEEE ICAL, China, Sept. 2008, pp. 1713-1716.
- [6]. P. Kaurav, R. Chouhan and M. Ahmed, “*Image Fusion using Transformation & Edge Detection & Filtering*”, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 7, July-2015, pp. 793-798.
- [7]. N. A. Tuấn, “*Ứng dụng thuật toán tách biên hình ảnh Canny cho thiết bị quan sát trộn ảnh quang học*,” Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, số Đặc san FEE, 10-2019, trang 273-280.
- [8]. B. P. Kumar and B. H Kumar, “*FPGA implementation of Canny edge detection algorithm for noisy image identification*”, International Journal of Management, Technology and Engineering, Vol 9, Issue 12, 2019, pp 386-395.
- [9]. Z. Guo, W. Xu and Z. Chai, “*Image Edge Detection Based on FPGA*”, International Symposium on DCABES, 10-12 Aug, 2010, pp. 169-171.
- [10]. N. A. Tuấn, “*Tính toán thiết kế và chế tạo hệ quang trộn ảnh kết hợp khuếch đại ánh sáng yếu và ảnh nhiệt*,” Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, số Đặc san FEE, 10-2020.
- [11]. Z. Liu et al., “*Implementation of a FPGA-ARM-based Canny Edge Detection System*,” Chinese Control Conference, 2019, pp. 3468-3472.
- [12]. S. Yaman, B. Karakaya and Y. Erol, “*Real Time Edge Detection via IP-Core based Sobel Filter on FPGA*,” ICAAID, 2019, pp. 1-4.
- [13]. D. Tsiktisiris, D. Ziouzos and M. Dasygenis, “*A High-Level Synthesis Implementation and Evaluation of an Image Processing Accelerator*,” Proceedings of the 7th International Conference on MOCAS, 7-9, May 2015.

ABSTRACT

Block design of edge detection and color blending of thermal video on the Pynq-Z1 kit using Vivado HLS for image fusion applications

In recent years, research, development, and application of multi-channel optoelectronic devices with image fused function has been attracting much attention. Along with the strong development of thermal and multi-spectral camouflage technology, in order to improve observation efficiency, multi-channel optoelectronic devices are often added with image fusion function to make the image of the target contains more information. For image fusion, some video signal processing techniques will be performed, such as edge detection, color blending, etc., to create some effects to help the observer can see the target more easily and conveniently. This paper will present the design of edge detection and color blending of the thermal image video on the Pynq-Z1 kit using Vivado HLS, as a basis for designing and manufacturing video processing boards for the research and development of fusion image devices.

Keywords: Thermal image; Edge detection; Blending; Image fusion; Pynq-Z1 kit.