실시간 얼굴 검출 시스템의 하드웨어 IP 구현

장준영* · 육지홍* · 조호상* · 강봉순**

Implementation for Hardware IP of Real-time Face Detection System

Jun-young Jang* · Ji-hong Yook* · Ho-sang Jo* · Bong-soon Kang**

이 논문은 동아대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

요 약

본 논문은 고속화, 소형화 및 저전력을 요구하는 모바일 기기 및 디지털 카메라에 알맞은 실시간 얼굴 검출 하드웨어 IP(Intellectual Property)를 제안한다. 제안한 얼굴 검출 시스템은 검출 성능의 주요 원인인 조명 변화나 얼굴 크기, 다양한 얼굴 각도에 강인한 얼굴 검출을 수행한다. 입력 영상에 대해 조명 변화에 강인한 특성을 가지는 LBP(Local Binary Pattern) 변환을 거치고 Adaboost 알고리즘을 이용하여 다양한 얼굴 각도에 대해 미리 학습시킨 얼굴 특징 정보를 바탕으로 얼굴을 검출한다. 입력 영상 QVGA(320×240) 크기에서 최대 36개의 얼굴 검출 가능하며 Verilog-HDL을 사용하여 하드웨어로 설계하였다. 또한 FPGA 검증을 위해 Xilinx사의 Virtex5 XC5VLX330 FPGA 보드와 HD급 CMOS 이미지 센서(CIS)를 사용하여 하드웨어 구현을 검증하였다.

ABSTRACT

This paper propose the hardware IP of real-time face detection system for mobile devices and digital cameras required for high speed, smaller size and lower power. The proposed face detection system is robust against illumination changes, face size, and various face angles as the main cause of the face detection performance. Input image is transformed to LBP(Local Binary Pattern) image to obtain face characteristics robust against illumination changes, and detected the face using face feature data that was adopted to learn and generate in the various face angles using the Adaboost algorithm. The proposed face detection system can be detected maximum 36 faces at the input image size of QVGA(320×240), and designed by Verilog-HDL. Also, it was verified hardware implementation by using Virtex5 XC5VLX330 FPGA board and HD CMOS image sensor(CIS) for FPGA verification.

키워드

얼굴 검출, 에이다부스트 알고리즘, 로컬 바이너리 패턴, 하드웨어 설계

Key word

Face Detection, Adaboost Algorithm, Local Binary Pattern, Hardware Design

* 준회원 : 동아대학교 전자공학과 석사과정

** 종신회원 : 동아대학교 전자공학과 교수(교신저자, bongsoon@dau.ac.kr)

접수일자 : 2011. 06. 10

심사완료일자 : 2011. 06. 30

I. 서 론

최근 모바일 기기 및 휴대용 디지털 카메라와 같은 장치가 대중화됨에 따라 이를 이용한 멀티미디어 관련 산업이 발전하게 되었다. 특히 카메라 단에서 실시간 ISP(Image Signal Processing)를 포함시키는 연구가 활발하게 진행되고 있으며 H/W IP의 구현은 CPU를 사용하는 S/W IP 보다 메모리 관리를 효율적으로 최적화 시킬 수 있기 때문에 소형화/저전력을 요구하는 휴대용 기기에 적합하다[1]. 따라서 얼굴 검출 시스템 H/W IP는 카메라 단에서 얼굴 검출을 수행하고 그 정보를 출력함으로써 영상 통화용 카메라의 자동 초점 조절(Auto Focussing)을 위한 관심영역 선정에 유용할 뿐 아니라 얼굴인식의 전처리 과정으로서 보안 분야에도 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

기존의 얼굴 검출 방법에 대한 연구는 신경망 이용 방법, 색상 기반 방법, 가우시안 복합 모델 기반 방법, 특징 기반 방법 등으로 진행되어 왔다[2]. 하지만 신경망 이용 방법은 정지 영상에서 우수한 검출 성능을 나타내지만 자연 배경과 같은 무수히 많은 비 얼굴 데이터를 학습시키는 데 한계점을 가진다[2]. 색상 기반 방법은 독립적으로 사용되지 않고 주로 다른 방법과 결합하여 사용되는 형태이다. 가우시안 복합 모델 기반 방법은 특정 패턴에 대해서 비교적 높은 성능을 보이지만 시점의 변화와 같은 영상 전체의 변화에 대해서는 검출하기가 어렵다[2]. 특징 기반 방법은 크기, 방향, 얼굴의 시점 변화 등에 상관없이 유용하게 적용할 수 있는 방법이지만 눈, 코, 입과 같은 얼굴의 특징을 찾는 것이 쉽지 않다[2]. 따라서 최근 간단한 웨이블릿 특징을 기반으로 Boosting 알고리즘을 이용하여 실시간으로 얼굴 영역을 검출하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, Viola와 Jones가 제안한 Adaboost 얼굴 검출 알고리즘이 속도와 검출 성능에서 우수한 평가를 받고 있다[2][3][4]. 따라서 Viola와 Jones가 얼굴 검출 알고리즘을 제안한 이후, 많은 연구자들이 이를 개선한 얼굴 검출 알고리즘을 제안하였다. Fröba와 Ernst는 MCT(Modified Census Transform) 변환된 영상들과 Adaboost 학습 알고리즘을 이용해 4단계로 이루어진 캐스케이드(cascade) 구조로 된 얼굴 검출기를 소개했다[5]. 이와 같은 캐스케이드 구조는 초기 단계에서 변별력이 높은 소수의 특징들을 사용함으로써 명확히 얼굴이 아니라고 판단되는 부분 영상을 초기에 검출 대상

에서 제거하고, 후기 단계로 갈수록 변별력은 상대적으로 낮지만 더 많은 특징들을 사용함으로써 판단이 어려운 부분 영상들을 집중적으로 검사하게 된다[6].

본 논문에서의 얼굴 검출 시스템은 Fröba와 Ernst가 제안한 얼굴검출방법을 이용하여 정면 5단계, 좌측 4단계, 우측 4단계의 캐스케이드를 가지는 구조를 가지며 입력 영상에 대하여 MCT 변환과 유사한 LBP 변환을 거치고 Adaboost 알고리즘을 이용하여 다양한 얼굴 각도에 대해 미리 학습시킨 얼굴 특징 정보를 바탕으로 얼굴을 검출한다. 따라서 얼굴 검출 성능에 가장 영향을 미치는 조명 변화, 얼굴 각도, 얼굴 크기 등에 대하여 강한 특성을 가지는 실시간 얼굴 검출 시스템의 하드웨어 IP를 제안하였다. 또한 얼굴 특징 정보를 저장하고 있는 룩업테이블을 정면, 좌측, 우측으로 분리함으로써 쓰임에 맞게 분리 가능 하도록 하드웨어 자원의 효율성을 고려하였다. 외부 입력을 통해 얼굴 검출 시스템에서 원하는 얼굴 각도의 검출모드를 선택하여 검출 가능하며, 입력 영상에 대한 내부 처리 이미지 조절, 피라미드 이미지의 리사이징 방향, 그리고 검출하고자 하는 얼굴 개수를 조절 할 수 있도록 하였다. 따라서 원하지 않는 검출의 처리를 막아 처리시간을 단축 가능 하도록 하였으며, 얼굴 크기와 원하는 개수의 얼굴에 대해 우선순위 검출이 가능하도록 하여 사용자가 원하는 하드웨어 자원에 맞게 유동적으로 동작하게끔 설정이 가능 하도록 구현하였다. 입력 영상 QVGA(320×240)에 대하여 최대 36개 얼굴 검출이 가능하도록 Verilog-HDL을 이용하여 하드웨어로 구현하였으며 Xilinx사의 Virtex5 XC5VLX330 FPGA 보드와 HD급 CMOS 이미지 센서를 사용하여 동작을 검증 하였다.

II. 얼굴 검출 알고리즘

2.1 LBP 변환

얼굴 검출 시스템에서 입력 영상의 밝기 변화는 시스템의 정확도와 검출율에 많은 영향을 준다. 입력 영상의 밝기 값을 보상해주는 다양한 알고리즘이 있지만 한정된 시스템 자원 환경에서 실시간에 가까운 얼굴 검출 시스템을 구현하기 위해서는 최대한 얼굴 검출 알고리즘을 간소화할 필요가 있다. LBP 변환은 1996년 Ojala에 의해 흑백영상에서 회전 변화에 강건한 texture 기술로 제

안되었으며 texture 형태에 따라 세밀한 특징을 표현할 수 있고 조명변화에 강건하기 때문에 얼굴인식과 같은 분야에서 많이 사용되고 있다[7][8][9].

본 논문에서는 하드웨어 구현에 적합한 자원 소모가 적으면서 입력 영상의 밝기 값의 변화에 영향이 적은 시스템을 구현하기 위해서 3×3 마스크의 중심 값과 주변 값을 비교하여 구조적으로 영상을 만드는 LBP 변환을 사용한다[8]. 그림 1과 같이 C1을 시작으로 시계방향으로 중심 값 M과 비교한다. M보다 크면 1, 그렇지 않으면 0 값을 채운 배열을 만든다. 이렇게 만들어진 2진 형식은 LBP 변환 영상의 픽셀 값이 된다[10].

그림 1. LBP 변환[10]
Fig. 1 LBP Transformation

이렇게 생성된 LBP 변환 영상을 학습기를 통해서 학습을 시켜 얼굴 특징 데이터를 만들어 저장하고 학습된 얼굴 특징 데이터와 영상에서 추출한 LBP 값을 비교하여 얼굴 검출을 한다. 그림 2는 입력 영상과 LBP 변환된 영상이다.

(a) 입력 이미지 (b) LBP 변환 이미지
그림 2. LBP 변환 결과
Fig. 2 LBP Transformation results
(a) Input image (b) LBP Transformation image

2.2 Adaboost 알고리즘을 이용한 얼굴 검출

본 논문에서 사용하는 Adaboost 알고리즘은 각각의 캐스케이드 단계에서 필요한 특징 점들에 대한 위치 정보와 값을 룩업 테이블 형태로 저장하고 있다. 따라서 영상 내에서 얼굴 검출 윈도우(classifier)가 이동하면서 검출하는 방법을 사용하므로 기존의 다른 얼굴 검출 방법과 달리 연산과정이 상대적으로 간단하여 빠른 검출을 수행할 수 있으며 하드웨어 자원의 소모 또한 낮다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 얼굴 검출 윈도우의 크기를 고정하고 입력 영상의 크기를 다양한 크기로 변환시켜 얼굴을 검출하는 방법을 사용한다. 입력 영상은 내부 처리 이미지 크기로 샘플링 되어 프레임 메모리에 저장되고 저장된 영상은 얼굴 검출 과정에 필요한 피라미드 이미지를 만들 때 사용된다[10]. 주변 조명의 변화에 강인한 얼굴 검출을 위해 피라미드 이미지는 LBP 변환되어 진다. 얼굴 검출부는 LBP 변환된 이미지를 4~5단계의 캐스케이드 구조로 구성된 검출 윈도우를 이용하여 얼굴을 검출한다. 그림 3은 본 논문에서 사용한 정면 얼굴 검출일 때의 캐스케이드 구조를 나타낸 것이다.

그림 3. 5단계의 정면 캐스케이드 구조[1]
Fig. 3 The front cascade structure of the five level

정면 얼굴 검출 시 정확도를 높이기 위해 Berhhard Fröba가 제안한 4단계의 캐스케이드 구조에서 1단계를 늘린 구조를 사용한다[1]. 좌·우 측면 얼굴 검출일 때는 기존의 4단계 캐스케이드 구조를 사용한다. 캐스케이드 단계별 특징 점의 개수는 단계가 높을수록 증가하며 이러한 검출 윈도우 연산을 얼굴 검출 속도를 높이기 위하여 한 단계로 캐스케이드 과정을 동시에 병렬로 처리한다. 그림 4는 회전을 포함한 정면 얼굴 검출 시 사용되는 특징 점의 위치를 나타낸 것이다. 본 논문에서 설계된 얼굴 검출 시스템은 영상에서 회전된 얼굴의 검출이 가능하다. 일반적으로 회전된 얼굴을 검출하기 위해서는 입력 영상을 회전한 뒤에 LBP 변환을 수행하고 캐스케이드 단계를 통해 얼굴을 검출하여야 하지만 실시간으로

처리를 하기에는 어려움이 있다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 4와 같이 회전된 영상에 대한 얼굴 특징 점의 위치 정보를 가지고 입력 영상의 회전 없이 LBP 변환만을 수행하므로 빠른 얼굴 검출 수행이 가능하게 한다. 정면 얼굴 검출 시 검출 마스크 크기는 22×22 이며, 정면 얼굴에 대해 $+45^\circ$ -45° 로 회전된 얼굴 검출 시 26×26 크기의 검출 마스크를 사용한다. 좌·우 측면 얼굴 검출 시 검출 마스크의 크기는 22×24 이며, 측면 얼굴에 대해 $+45^\circ$ -45° 로 회전된 얼굴 검출 시 27×28 크기의 검출 마스크를 사용한다[1].

그림 4. 정면 검출의 특징점 위치
(a) 정면 0° 얼굴 특징 점 (b) 정면 $+45^\circ$ 얼굴 특징 점
(c) 정면 -45° 얼굴 특징 점
Fig. 4 Feature point of front detection
(a) Feature point 0° of front face (b) Feature point of $+45^\circ$ rotated front face (c) Feature point of -45° rotated front face

그림 5는 본 논문에서 사용한 얼굴 검출 과정을 나타낸 것이다. 칼라 입력 영상을 그레이 이미지로 변환하고 이를 리사이징 비율로 축소 또는 확장 하여 피라미드 이미지를 생성한다. 피라미드 이미지는 얼굴 검출 시 사용되는 검출 마스크의 최소 크기인 22×22 와 내부 처리 이미지 크기($320 \times 240 \sim 164 \times 123$) 사이에서 생성된다. 피라미드 이미지는 LBP 이미지로 변환되며, 검출하고자 하는 얼굴 각도에 따라 해당되는 얼굴 검출 윈도우로 스캔하여 캐스케이드 과정을 거친다. 정면 얼굴의 검출일 경우, 5단계의 캐스케이드를 만족할 때 얼굴 후보로 판단하며 얼굴 후보의 위치정보(x, y), 크기정보(width,

height), 신뢰도 값(confidence)을 출력한다[1].

그림 5. 얼굴 검출 알고리즘[1]
Fig. 5 Face Detection Algorithm

최종 얼굴 영역을 출력하기 전에 각각의 피라미드 이미지 또는 모드별 검출 윈도우에 따라 동일 검출 얼굴 영역이 발생할 수 있다. 이들 얼굴 후보군 사이에 동일한 얼굴 영역에 대해 신뢰도 값(confidence)을 기준으로 병합하여 최적화된 얼굴 영역을 최종 얼굴 영역으로 출력하게 된다[1].

III. 하드웨어 구조

본 논문의 얼굴 검출 시스템의 하드웨어 구조는 그림 6과 같다. 그레이 이미지 생성부에서는 RGB 입력 영상 데이터를 그레이 이미지 데이터로 변환하고, 입력 FIFO(First In First Out) 컨트롤러에서는 시스템의 실시간 고속 처리를 위해 이미지 센서에서 입력되는 데이터 동작 주파수를 시스템 내부 처리 동작 주파수로 변환한다. 또한 얼굴 검출을 위한 전처리 연산 및 전체 시스템 제어신호 생성, 피라미드 이미지를 생성하는 프레임 메모리 컨트롤러 및 피라미드 이미지 생성부, LBP 이미지로 변환하는 LBP 생성부가 있다. 얼굴 검출부에서는 LBP 변환 이미지를 입력으로 받아 캐스케이드 과정을 거쳐 얼굴 검출을 직접적으로 처리하고 얼굴영역 데이터를 얼굴영역 병합처리부로 인가한다. 얼굴영역 병합처리부에서는 검출된 얼굴영역 데이터를 저장하고 실

그림 6. 제안한 전체 얼굴 검출 시스템 블록 다이어그램
Fig. 6 Proposed Block Diagram of Face Detection System

시간으로 검출된 얼굴영역에 대해 중복되는 얼굴영역을 병합처리하여 갱신하는 역할을 한다. 중복 얼굴영역 연산부에서는 얼굴영역의 중복성을 판단하는 역할을 하고, 출력 FIFO 컨트롤러에서는 시스템 내부 처리 동작 클럭 주파수에서 처리된 데이터를 출력영상에 적용하기 위해 출력 영상의 동작 주파수로 변환한다. 최종적으로 얼굴 검출 표시부에서 검출된 얼굴영역에 대해 붉은 색 사각 박스로 표시한다. 각각의 블록별 세부 설명은 다음과 같다.

3.1 흑백 영상 생성

그레이 이미지 생성부에서는 LBP 변환의 전처리 단계로써 입력 영상 24bit RGB 데이터를 8bit의 그레이 이미지 데이터로 변환한다.

3.2 시스템 내부 동작 클럭 주파수 변환

제한된 모바일 환경에서 실시간으로 얼굴 검출 연산을 수행하기 위해서는 얼굴 검출 시스템의 처리 동작 주파수를 높일 수 밖에 없다. 따라서 제안된 시스템의 실시간 고속 처리를 위해 이미지 센서로부터 받은 데이터를 FIFO에 통과시켜 이미지 센서 동작 클럭보다 2배 초과를 만족하는 내부 처리 동작 클럭 주파수로 변환한다. 이를 위해 서로 다른 클럭 주파수로 동작하는 듀얼 포트 메모리에 데이터를 쓰고 읽는 과정을 거친다.

3.3 처리 영상의 스케일링 및 피라미드 이미지 생성

입력 영상에 대해 외부 입력으로 받은 내부 처리 영상 크기(320×240~164×123)로 샘플링하여 프레임 메모리

에 데이터를 저장한다. 내부 처리 영상으로 스케일링 하는 이유는 데이터를 메모리에 쓰는 시간을 단축시킬 수 있기 때문이다. 하지만 작은 얼굴에 대해 검출율이 낮게 되는 단점이 존재하므로 내부 처리 이미지를 외부에서 가변할 수 있도록 설계하였다. 저장된 데이터는 7/64의 리사이징 비율로 축소 또는 확장하여 피라미드 이미지를 생성한다. 또한 본 블록에서는 영상의 정보 및 컨트롤 신호, 외부 입력을 받아 전체 시스템을 제어하는 역할도 수행한다.

3.4 LBP 영상 생성

피라미드 영상에서 3×3 마스크를 이용하여 LBP 변환을 한다. 따라서 2개의 라인 메모리를 사용하여 라인 메모리 컨트롤러에서 데이터를 입력받아 LBP 연산부에서 변환 처리한다.

3.5 얼굴 검출 및 검출된 얼굴 영역 정보 변환

롬 테이블에는 검출 윈도우 내의 특징점 위치에 따른 고유 신뢰도 값이 저장되어 있다. 얼굴 검출부는 이 검출 윈도우를 LBP 이미지에 스캔하면서 특징 점들의 개수 만큼 신뢰도 값을 합산하고 총합이 임계치 이하인 경우 다음 캐스케이드 단계로 이동하여 최종 캐스케이드 과정까지 거치면 얼굴이라고 판단 한다. 최대크기의 검출 윈도우에 맞게 28개의 라인 메모리를 사용하고 1개의 라인 메모리를 추가하여 29개의 라인 메모리를 사용함으로써, 28개의 데이터가 모두 저장되고 읽어질 때 다음 라인 데이터를 저장함으로써 데이터 쓰기의 지연시간을 최소화하였다[12].

또한 모든 피라미드 이미지에 대해 검출 윈도우로 스캔 할 경우 처리 시간이 많이 걸리는 단점이 존재 한다. 따라서 검출 윈도우의 스캔 범위와 이동간격을 지정하여 보다 빠른 속도로 처리가 가능 하도록 한다. x_step 는 영상의 **width** 방향으로의 얼굴 검출 마스크의 이동 간격이며 y_step 는 영상의 **height** 방향으로의 이동 간격이다. y_step 의 경우 2칸씩 이동을 하며 x_step 의 경우 수식 (1)에 나타내었다. 검출 윈도우의 스캔 범위는 수식 (2)에 나타내었다. $SearchH$ 는 영상의 **height** 방향, $SearchW$ 는 영상의 **width** 방향으로의 스캔 범위이며, $ClassifierW$ 는 검출 윈도우의 **width**를 $ClassifierH$ 는 검출기의 **height**를 나타낸다[1]. 그림 7에 나타낸 검출 윈도우의 스캔 범위를 보면 알 수 있듯이 영상을 벗어나지 않는 범위까지 진행 된다.

$$x_step = \begin{cases} 2, & \text{Resize } W > \text{Orinal } W/2 \\ 1, & \text{Resize } W \leq \text{Orinal } W/2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} SearchW &= \text{Resize } W - \text{Classifier } W \\ SearchH &= \text{Resize } H - \text{Classifier } H \end{aligned} \quad (2)$$

LBP 이미지를 검출 윈도우로 스캔하여 얼굴이라고 판단되면 얼굴영역에 대한 정보를 출력으로 보내기 위한 계산 과정이 필요 하다. 검출 윈도우의 크기는 고정되어 있고 각각의 리사이징된 피라미드 이미지에서 검출을 하기 때문에 내부 처리 영상 기준의 얼굴영역 좌표와 크기로의 변환이 필요 하다.

그림 7. 얼굴 검출 윈도우의 스캔 범위[1]
Fig. 7 Scan range of classifier

따라서 각각의 피라미드 이미지에서 검출된 얼굴영역 정보를 내부 처리 영상 크기에 맞게 변환하여 출력으로 내보낸다.

3.6 중복 얼굴영역 병합처리

얼굴 검출부에서 검출된 얼굴영역 데이터를 받고 기존의 검출된 얼굴영역과 겹침 여부를 판단한다. 중복 검출로 판단될 때 신뢰도 값을 기준으로 데이터를 갱신한다. 만약 중복 검출된 얼굴영역이 아닐 때에는 새 얼굴영역으로 데이터를 저장한다. 그리고 입력에서 선택한 검출 얼굴 개수를 만족하면 얼굴 검출부로 신호를 보내 검출 과정을 중단하고 최종 얼굴영역을 선정하여 출력한다[11].

3.7 출력 동작 클럭 주파수 변환

영상에 검출된 결과를 표시하기 이전에 최종 얼굴영역 데이터를 출력영상에서 처리하기 위해 내부 고속 동작주파수에서 외부 저속 동작주파수로 변환한다.

3.8 검출 결과 표시

최종 얼굴영역에 대한 데이터 $x, y, width, height$ 를 통해 사각형의 붉은색 박스를 생성하며 최대 36개의 얼굴에 대해 검출 가능 하도록 한다. 최종 얼굴영역 데이터는 내부 처리 이미지 크기의 데이터이므로 출력영상 320×240 크기에 맞게 데이터를 변환한다[11].

IV. 설계 검증 및 결과

본 논문에서 제안한 얼굴 검출 시스템의 동작 검증을 위해 모바일 용 폰 카메라용 CIS와 FPGA 검증 보드를 사용하였다. 사용된 CIS는 2M HD급 Y 센서이며, FPGA 보드는 Xilinx Virtex5 XC5VLX330 FPGA 보드를 사용하였다. 표 1은 FPGA 합성 결과를 요약한 것이다. Virtex5 FPGA에서 40MHz 클럭의 속도로 동작을 확인하였고, 메모리 사용량은 듀얼포트 메모리 1.288KB와 SRAM 703.456KB를 사용하였다.

표 1. FPGA 합성 결과 요약
Table. 1 FPGA Synthesis Result Summary

Slice Logic Utilization	Used	Avail.	Util.
Number of Slice Registers	21,722	207,360	10%
Number of Slice LUTs	63,308	207,360	30%
Slice Logic Distribution			
Number of occupied Slices	18,841	51,840	36%
Number of LUT Flip Flop pairs used	68,101		
Specific Feature Utilization			
Number of BRAM/FIFO	35	288	12%
Number of BUFG	35		
Total primitives used			
Number of 36k BlockRAM used	18		
Number of 18k BlockRAM used	34		
Total Memory used(KB)	1,260	10,368	12%

그림 8은 정면, 좌·우측 얼굴과 회전된 얼굴에 대해 모두 검출 가능한 Fusion Mode 일 때의 얼굴 검출 결과이다. 그림 8에서 알 수 있듯이 다양한 얼굴 각도에 대해 검출하는 것을 확인하였다.

표 2는 검출 Mode 별 처리속도를 시뮬레이션 한 결과이다. 입력영상 QVGA(320×240) 60f/s에서 외부 동작 클럭 주파수 6MHz, 내부 처리 동작 클럭 주파수 100MHz로 처리한 결과이다. 검출하는 얼굴각도가 많아질수록 처리속도는 낮아지며 외부 동작 클럭 주파수에 대해 내부 처리 동작 클럭 주파수는 2배 초과를 만족하면 되게 설계 하였으므로 주파수를 100MHz보다 더 증가시키면 처리속도를 향상시킬 수 있다.

그림 8. Fusion Mode(Mode 4) 일 때의 얼굴 검출[1]
결과 (a) 원본 영상 (b) 결과 영상
Fig. 8 Face Detection Result of Fusion Mode
(a) original image (b) result image

표 2. 검출 Mode 별 처리속도[10]
Table. 2 Processing time of Detection Mode

Mode	검출 얼굴 각도	처리 속도
Mode 0	정면 0°	30 f/s
Mode 1	정면 0°, 우측면 0°, 좌측면 0°	12 f/s
Mode 2	정면 0°, 정면 +45°, 정면 -45°	12 f/s
Mode 3	정면 0°, 정면 +45°, 정면 -45°, 우측면 0°, 좌측면 0°	8.57 f/s
Mode 4	정면 0°, 정면 +45°, 정면 -45°, 우측면 0°, 우측면 +45°, 우측면 -45°, 좌측면 0°, 좌측면 +45°, 좌측면 -45°	5.45 f/s

그림 9는 조명 변화에 따른 검출 성능을 나타낸 것이다. 다양한 조명 환경에서 실험한 결과 어둡거나 밝은 조명에서도 강한 검출을 하는 것을 알 수 있다. 그림 10은 피라미드 이미지 생성 방향을 정 방향(큰 이미지→작은 이미지), 역방향(작은 이미지→큰 이미지)으로 테스트한 결과이다. 또한 검출하고자 하는 얼굴 개수를 기본 설정 값인 최대 얼굴검출 개수인 36개에서 1개로 입력 값으로 설정하였다. 그림 10에서 알 수 있듯이 피라미드 이미지 생성이 역방향일 경우 큰 얼굴부터 검출하므로 검출 얼굴 1개를 만족하면 검출 과정을 중단하고 최종 얼굴영역을 표시 하게 된다. 이는 관심 있는 얼굴 크기와 개수를 우선순위 검출을 함으로써 시스템의 처리 속도 단축을 가능하게 하고 효율성을 가져다준다.

그림 9. 다양한 조명 환경에서의 검출 결과
Fig. 9 Detection results of various illumination change

그림 10. 피라미드 이미지 생성 방향과 얼굴 개수 조정 결과 (a) 정방향, 검출 얼굴 개수 1

(b) 역방향, 검출 얼굴 개수 1

Fig. 10 Results of the direction of Pyramid Image Generation and face counts setting (a) Forward direction, Face detection counts 1

(b) Reverse direction, Face detection counts 1

표 3은 제안된 얼굴 검출 시스템의 성능을 다른 하드웨어 구현 방법과 비교한 것이다.

표 3. 성능 비교
Table. 3 Performance Comparison

구분	[13]	[6]	The proposed
입력영상	640×480	320×240	320×240
동작주파수	100MHz	12.5MHz	100MHz
처리속도	6f/s	30f/s	30f/s
최대얼굴 검출개수	20	32	36
다양한 각도검출	×	×	○
Number of occupied Slices	-	29,450	18,841

V. 결 론

본 논문에서는 모바일 기기 및 디지털 카메라에 알맞은 실시간 얼굴 검출 하드웨어 IP를 제안하였다. 제안한 얼굴 검출 시스템은 성능면에서 조명 변화나 얼굴 크기, 다양한 얼굴 각도에 강인한 얼굴 검출을 수행하며 모바일 기기에서 실시간으로 처리할 수 있도록 속도와 하드웨어 자원을 충분히 고려하여 구현하였다. 또한 다양한 외부 입력을 통해 사용자가 원하는 환경에 맞게 시스템을 조절함으로써 여러 분야에서 활용 가능 하도록 가능

성을 제공하였다. 입력 영상 QVGA(320×240) 크기에서 최대 36개의 얼굴 검출 가능하며 Xilinx사의 Virtex5 XC5VLX330 FPGA 보드와 HD급 CMOS 이미지 센서(CIS)를 사용하여 하드웨어 구현을 검증하였다.

참고문헌

- [1] 육지홍, 장준영, 장경훈, 강봉순, “실시간 얼굴 검출을 위한 얼굴 검출 엔진의 하드웨어 구현”, *대한전자공학회 SoC 학술대회 논문집*, pp.107-110, Apr. 2011.
- [2] 이우주, 김진철, 이배호, “AdaBoost 알고리즘을 이용한 실시간 얼굴 검출 및 추적”, *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 9, No. 10, pp.1266-1275, Oct, 2006.
- [3] Stan, Z. Li and Anil, K. Jain, “Handbook of Face Recognition,” *Springer-Verlag*, 2005.
- [4] P. Viola and M. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” *In Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Kauai, Hawaii, 12-14, 2001.
- [5] Bernhard Fröba and Andreas Ernst, “Face detection with the Modified Census Transform”, *IEEE International Conf. On Automatic Face and Gesture Recognition(AFGR)*, pp. 91-96, Seoul, Korea, May. 2004.
- [6] 한동일, 조현중, 최종호, 조재일, “고성능 실시간 얼굴 검출 엔진의 설계 및 구현,” *대한전자공학회*, 제 47권 SP편 제2호, pp. 33-44, Mar. 2010.
- [7] T. Ojala, M. Pietikäinen, T. Mäenpää, “Multi resolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns.” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 7, pp.971-987, July 2002.
- [8] H. M. Vazquez, E. G. Reues, Y. C. Molleda, “A New Image Division for LBP Method to Improve Face Recognition under Varying Lighting Conditions”. *IEEE International Conf on Pattern Recognition*, pp. 1-4, Dec 2008.

- [9] Qingshan Liu, Hanqing Lu, Xiaofeng Tong, "Face detection using improved LBP under Bayesian framework". *Image and Graphics, 2004. Proceedings. Third International Conference on*. pp.306-309, 2004
- [10] 조호상, 장준영, 김정철, 강봉순, "주변 밝기 변화와 얼굴 회전에 강인한 실시간 얼굴 검출 엔진의 Master Controller 구현", *대한전자공학회 SoC 학술대회 논문집*, pp.102-105, Apr. 2011.
- [11] 장준영, 장경훈, 육지홍, 이민우, 강봉순, "Ada boost 알고리즘을 이용한 얼굴 검출에서의 중복 얼굴 영역 병합과 ROI 처리 하드웨어 구현", *한국신호처리·시스템학회논문지*, 제11권 2호, pp.309-312, Oct. 2010.
- [12] 육지홍, 조호상, 장준영, 조성대, 강봉순, "얼굴 검출을 위한 28line SPRAM Controller의 구현", *한국신호처리·시스템학회논문지*, 제11권 2호, pp.331-333, Oct. 2010.
- [13] 김윤구, 정용진, "임베디드 시스템 적용을 위한 얼굴검출 하드웨어 설계", *대한전자공학회*, 제44권 SD편 제2호, pp.40-47, SD편. 2007.

저자소개

장준영(Jun-young Jang)

2010년 2월 동아대학교
전자공학과 (공학사)
2010년 3월 ~ 현재 동아대학교
전자공학과 석사 과정

※ 관심분야 : VLSI architecture design

육지홍(Ji-hong Yook)

2010년 2월 동아대학교
전자공학과 (공학사)
2010년 3월 ~ 현재 동아대학교
전자공학과 석사 과정

※ 관심분야 : VLSI architecture design

조호상(Ho-sang Jo)

2010년 2월 동아대학교
전자공학과 (공학사)
2010년 3월 ~ 현재 동아대학교
전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : VLSI architecture design

강봉순(Bong-soon Kang)

1985년 연세대학교 전자공학과
(공학사)
1987년 미국 University of
Pennsylvania 전기공학과
(공학석사)

1990년 미국 Drexel University 전기 및 컴퓨터 공학과
(공학박사)

1989년 ~ 1999년 삼성전자 반도체 수석연구원

1999년 ~ 현재 동아대학교 전자공학과 교수

2006년 ~ 2011년 멀티미디어 연구센터 소장

2006년 ~ 현재 2단계 BK21 사업팀장

※ 관심분야 : 영상신호처리, SoC설계 및 무선통신