논문 2011-48SP-4-13

회전변화에 무관한 실시간 다중 얼굴 검출 엔진 개발

(Development of Rotation Invariant Real-Time Multiple Face-Detection Engine)

한 동 일*, 최 종 호**, 유 성 준***, 오 세 창****, 조 재 일*****

(Dongil Han, Jongho Choi, Seong Joon Yoo, Sechang Oh, and Jae-Il Cho)

요 약

본 논문에서는 기존의 방법에 비해서 사용되는 메모리의 증가가 없이, 혹은 메모리의 증가를 최소화하는 영상 메모리의 회전 변환 기법을 개발하여 얼굴 회전 변화에 강인한 고성능 실시간 얼굴 검출 엔진 구조를 제안하였으며 FPGA 구현을 통하여 제안 구조의 타당성을 검증하였다. 고성능 얼굴 검출을 위해 기존에 사용하던 조명 변화에 강인한 MCT(Modified Census Transform) 변환 기법과 최적화된 학습데이터 생성을 위한 Adaboost 학습 기법 이외에 얼굴 회전 변환에 강인함을 위한 영상 회전 기법을 이용하였다. 제안한 하드웨어 구조는 색좌표 변환부, 잡음 제거부, 메모리 인터페이스부, 영상 회전부, 크기 조정부, MCT 생성부, 얼굴 후보 검출부/ 신뢰도 비교부, 좌표 재조정부, 데이터 검증부, 검출 결과 표시부/ 컬러 기반 검출 결과 표시부로 구성되어있다. 구현 및 검증을 위해 Virtex5 LX330 FPGA 보드와 QVGA급 CMOS 카메라, LCD Display를 이용하였으며, 다양한 실생활 환경 및 얼굴 검출 표준 데이터베이스에 대해서 뛰어난 성능을 나타냄을 검증하였다. 결과적으로 실생활 환경에서 초당 60프레임 이상의 속도로 실시간 처리가 가능하며, 조명 변화 및 얼굴 회전 변화에 강인하고, 동시에 32개의 다양한 크기의 얼굴 검출이 가능한 고성능 실시간 얼굴 검출 엔진을 개발하였다.

Abstract

In this paper, we propose the structure of a high-performance face-detection engine that responds well to facial rotating changes using rotation transformation which minimize the required memory usage compared to the previous face-detection engine. The validity of the proposed structure has been verified through the implementation of FPGA. For high performance face detection, the MCT (Modified Census Transform) method, which is robust against lighting change, was used. The Adaboost learning algorithm was used for creating optimized learning data. And the rotation transformation method was added to maintain effectiveness against face rotating changes. The proposed hardware structure was composed of Color Space Converter, Noise Filter, Memory Controller Interface, Image Rotator, Image Scaler, MCT(Modified Census Transform), Candidate Detector / Confidence Mapper, Position Resizer, Data Grouper, Overlay Processor / Color Overlay Processor. The face detection engine was tested using a Virtex5 LX330 FPGA board, a QVGA grade CMOS camera, and an LCD Display. It was verified that the engine demonstrated excellent performance in diverse real life environments and in a face detection standard database. As a result, a high performance real time face detection engine that can conduct real time processing at speeds of at least 60 frames per second, which is effective against lighting changes and face rotating changes and can detect 32 faces in diverse sizes simultaneously, was developed.

Keywords : Face-detection, MCT, Adaboost, Rotation Transformation, Hardware Implementation

* 정회원-교신저자, ** 학생회원, *** 정회원, 세종대학교 컴퓨터공학과
(Dept. of Computer Engineering, Sejong University)
**** 정회원, 세종사이버대학교 정보통신학과
(Dept. of Information & Communication, Sejong Cyber University)
***** 정회원, 한국전자통신연구원 로봇연구부
(Robot Research Department, ETRI)
※ 본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업[과제번호: KI001813, 과제명: U-로봇 시각처리 전용칩 기본 기술 IP 개발]과 연구재단의 기초연구사업(No. 2010- 0016227)에서 지원되었습니다.
접수일자: 2010년10월16일, 수정완료일: 2011년4월8일

Ⅰ. 서 론

최근 들어, 사람의 얼굴, 홍채, 지문, 망막, 음성 등과 같은 생체 요소를 이용한 인증(Identification), 의사소통(Communication), 자동화 처리 등의 생체 인식 기술이 발전하고 있는 추세이다. 이러한 생체 인식 기술 중에 얼굴 인식 기술은 설치의 간편함, 가격의 저렴함, 비접촉식 방식 등의 장점을 바탕으로 다양한 분야에서 활용되고 있지만 아직까지는 얼굴의 성형, 얼굴 표정 변화, 주변 환경의 조명 변화, 얼굴 회전 변화 등의 가변적 요소로 인하여 다른 생체 인식 기술에 비해 성능이 떨어지는 문제점을 갖고 있다. 이로 인해 얼굴 인식 기술은 단독으로 사용되기 보다는 다른 생체 인식 기술과 병행하여 사용되고 있다.

얼굴 인식 기술의 활용 범위를 살펴보면 현재 일부 정부 기관 및 대기업, 은행 등과 같이 높은 보안성을 요구하는 곳에서 다른 생체 인식 기술들과 병행한 보안 시스템에서 사용되고 있고 인공 지능 로봇 및 유비쿼터스 로봇 등의 비전 시스템, 최첨단 디지털 카메라 및 폐쇄 회로 TV (Closed - Circuit Television)에서 얼굴 자동 초점 조정 및 사람 감지 등의 시스템으로 널리 사용되어 지고 있다. 또한 서비스 로봇 분야의 확대로 인해 일상생활 속에 청소 로봇, 엔터테인먼트용 장난감 로봇 등 가정용 로봇 시장이 커지고 또한 휴대 전화, 디지털 카메라 등의 가전 휴대 기기 등에서 인간의 얼굴 정보를 사용 할 수 있는 활용 분야가 늘어남으로써 얼굴 인식 기술의 필요성은 더욱더 커져갈 것으로 예측된다[1].

이러한 얼굴 인식 기술이 다양한 분야로 더욱 널리 활용되기 위해서는 기존의 성능 저하 문제를 보완하여 신뢰성이 높은 얼굴 인식률을 얻는 것이 중요하고 이런 신뢰성이 높은 얼굴 인식률을 얻기 위해서는 영상에서 정확히 얼굴 부분만을 추출해 낼 수 있는 얼굴 검출 기술이 필수적이라고 할 수 있다.

기존의 얼굴 검출 알고리즘 개발 사례를 살펴보면 검출률과 검출 속도 등과 같은 성능 향상을 위한 다양한 연구 결과가 보고되고 있다. 먼저 대표적인 방법으로 Adaboost 기반의 알고리즘을 이용하여 학습 데이터를 생성하고 이렇게 생성된 데이터를 이용하여 얼굴 부분을 추출하는 알고리즘[2~6]과 PCA 기반의 알고리즘을 이용하여 얼굴 부분의 특징점을 추출한 후 비교 분석하여 얼굴 검출하는 알고리즘[7], SVM 기반의 알고리즘을 이용하여 특정 영역을 추려가며 높은 신뢰성을 갖는 얼굴 영역을 추출하는 알고리즘[8] 등과 같이 다양한 알고리즘이 개발되고 있다.

하지만 기존의 얼굴 검출 알고리즘들은 주변 환경의 조명 변화, 얼굴의 회전 변화, 얼굴 표정 변화 등과 같은 가변적인 영향을 받아 성능이 저하되는 문제가 발생하므로 정확한 얼굴 검출 정보를 추출 하는 데는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 Yang[9], Huang[10],Viola[11], Fröba[12]는 각각 조명 변화 및 회전 변화에 강인한 영상 변환 기법을 적용하여 다양한 조명 변화 및 회전된 얼굴 영상에서도 얼굴 검출 성능이 유지되어 지는 얼굴 검출 기술을 개발 하였다. 그러나 복잡한 연산 처리 과정으로 인하여 실시간 처리가 불가능하다는 단점을 갖고 있어 얼굴 인식에 비해서 실시간 처리가 더욱 중요시 여겨지는 표정 인식과 같은 기술과 융합할 경우에 실생활에서는 활용되어지기 어려운 현실이다. 반면에 이수현[13], Aaraj[14]는 얼굴 검출 기술을 하드웨어 구조로 설계하여 실시간 처리가 가능하도록 하였으나 검출 성능이 저하 되는 등의 문제가 있다.

본 논문에서는 사물의 구조적 특징 정보만을 추출하여 분석함으로써 조명 변화의 영향을 줄이는 MCT (Modified Census Transform) 기법을 이용해 영상을 변환시켜 조명 변화에 강인함을 부여하였다. 또한 MCT 변환된 영상과 Adaboost 학습 알고리즘을 이용해 최적화된 얼굴 검출 학습데이터를 생성함으로써 신뢰성 높은 얼굴 검출 결과를 도출하였다. 또한 기존의 얼굴 검출 하드웨어 구현 방식과 차별되는 효율적인 메모리 구조 및 실시간 얼굴 검출 구조를 사용하여 영상의 회전변환 및 크기변환 작업과 동시에 얼굴 검출을 진행함으로써 최소한의 메모리를 이용하여 고속, 고신뢰도의 얼굴 검출이 가능한 실시간 얼굴 검출기를 개발하였다. 결과적으로 초당 60프레임 이상의 속도로 조명 변화 및 회전변화에 강인한 고성능 실시간 얼굴 검출 엔진을 설계 하였으며, PC 기반 및 Virtex5 Lx330 FPGA(Field Programmable Gate Array) 보드를 이용해 제안한 하드웨어 구조를 구현한 후 다양한 얼굴 영상 및 다양한 조명 변화를 갖는 실생활 환경 및 얼굴 검출 표준 데이터베이스를 이용하여 실험함으로써 그 성능을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 메모리 사용을 최소화 하면서 회전 얼굴 검출이 가능하게 하는 회전 변환(Rotation Transform) 기법에 대해 설명하고, Ⅲ장에서는 제안한 전체적인 하드웨어 구조 및 각 블록

의 세부 구조에 대해 설명한다. Ⅳ장에서는 제안한 하드웨어 구조를 PC기반 환경에서 동작시킨 결과 및 FPGA 기반 환경에서 동작 시킨 결과를 보여주고, 마지막으로 Ⅴ장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논한다.

Ⅱ. 얼굴 검출을 위한 영상의 회전 기법

기존의 얼굴검출 시스템들은 주변 조명 변화, 얼굴 회전 변화, 크기 변화, 표정 변화 등과 같은 다양한 외부요인에 의해 성능 저하가 됨으로써 정확한 얼굴 검출 결과를 제공하기에는 많은 어려움이 있었다. 본 논문에서는 이러한 문제점 해결의 중요성을 인지하여 얼굴 검출에 있어서 성능을 저하 시키는 요인들을 집중 분석해 이를 보완할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

본 논문에서는 조명 변환에 강인한 MCT 변환 기법 및 얼굴 검출에 최적화된 학습데이터 생성을 위한 Adaboost 학습 알고리즘, 다양한 크기 변화에 대응하기 위한 크기 변환 기법 등을 이용한 기존 연구[15]를 바탕으로 효율적인 메모리 인터페이스 구조를 이용하여 기존 연구에 비해서 메모리의 증가 없이 회전 얼굴 검출이 가능한 높은 신뢰성의 실시간 얼굴 검출 하드웨어 구조를 도출하였다. 따라서 본 장에서는 다양한 얼굴 회전 변화에 강인함을 부여하기 위해 추가적으로 설계한 효율적인 메모리 인터페이스 구조를 갖는 영상 회전 기법에 대해 설명한다.

기존의 연구 결과[15]를 살펴보면 Adaboost 학습 알고리즘에서 학습 데이터를 생성 시 정면 얼굴 영상을 이용하기 때문에 정면 얼굴 검출일 경우에는 높은 신뢰성의 검출률을 얻을 수 있다. 반면에 회전된 얼굴에 대한 검출일 경우에는 신뢰도 높은 얼굴 검출을 기대할 수 없음을 예측할 수 있다. 실례로 200장의 정면 얼굴 영상을 이용하여 -45° ~ +45°의 범위에서 0.5° 간격으로 얼굴 영상을 회전 시킨 후 각각의 회전 변환된 각도에서의 기존 연구[15]의 얼굴 검출 성능을 분석해 본 결과 그림 1과 같이 각도의 증가에 따라 검출률이 급격히 낮아짐을 확인하였고 또한 -13° ~ +13° 범위 내의 회전 얼굴 영상에서 100%의 얼굴 검출 성능을 확인하였다. 참고로 오검출율은 모든 각도에서 0%의 성능을 얻었다.

이 분석 결과 및 ±1° 정도의 오차를 감안하여 얼굴 검출 대상 영상에 대하여 24°의 간격으로 영상을 회전

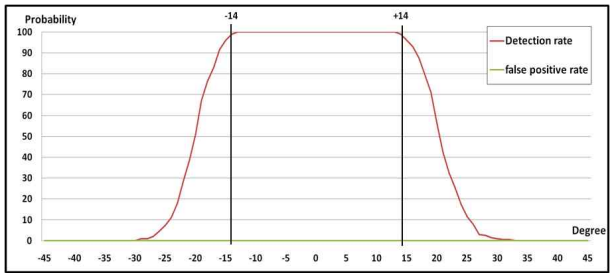


그림 1. 회전 얼굴에 대한 얼굴 검출률 측정 결과
Fig. 1. Face detection rate about rotated faces.

시키면서 얼굴 검출 실험을 수행해 본 결과 정면 얼굴 검출률은 이전 구조의 검출률과 동일한 결과를 유지하는 동시에 회전된 얼굴 검출률이 정면 얼굴 검출율과 동일하게 향상됨을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 20단계의 크기 축소를 이용해 다양한 크기의 얼굴 검출이 가능하게 하면서 동시에 회전된 얼굴로 인해 생기는 검출 성능 저하 문제를 해결하기 위해서 영상 회전 기법을 적용시켜 0°, 24°, -24°, 48°, -48° 등의 각도로 원 영상을 회전 변환 시켜줌으로써 회전된 얼굴 영상에서 높은 신뢰성의 검출률이 나오도록 설계하였다.

영상 회전 기법은 식(1)과 같이 영상의 중심을 기준으로 목적(Destination) 좌표에서 원시(Source) 좌표로 사상 하는 방식인 역 방향 사상(Reverse Mapping) 방식으로 처리된다. 회전된 영상을 실시간으로 얻기 위해서는 목적 좌표에 대응하는 원시 좌표를 둘러싸는 인접하는 4개의 화소를 동시에 가져온 후 양선형 보간법(Bilinear Interpolation)을 이용하여 목적 좌표의 영상을 얻게 된다. 아래 식의 $Src_{(x,y)}$, $Dest_{(x,y)}$는 원시좌표, 목적좌표를 나타내고, $Cent_{(x,y)}$는 영상의 중심 좌표를 나타낸다.

$$\begin{pmatrix} Src_x \\ Src_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Dest_x - Cent_x \\ Dest_y - Cent_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Cent_x \\ Cent_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

본 논문에서는 회전 변환 기법 적용 방법으로 영상의 축소 회전 기법, 고정 메모리 회전 기법, 영상 메모리 확장 회전 기법과 같이 세 가지 방법으로 나누어 검토 후 최적 구조를 구현 검증하였다.

2.1 영상의 축소 회전 기법

영상의 축소 회전 기법은 회전 변환 시킬 공간을 고려하여 원 영상을 영상 축소시킨 후 회전 변환 기법을 적용시키는 방식이다. 이 방식은 그림 2의 결과 영상 및 메모리 크기자료와 같이 영상 메모리 크기를 유지할

(a) 원 영상(320×240)

(b) 0도 회전 변환된 영상

(c) 24도 회전 변환된 영상

(d) 336도 회전 변환된 영상

(e) 회전 각도별 너비 및 높이 그래프

그림 2. 영상 축소법 이용 시 각도별 메모리 사용량
Fig. 2. Required memory of image reduction and rotation method.

수 있는 장점이 있지만, 영상 축소로 인해 작은 크기의 얼굴의 경우 추가적인 축소 연산에 의해서 미검출 문제가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

2.2 고정 메모리 회전 기법

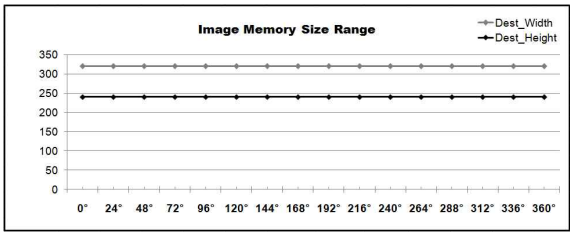
고정 메모리 회전 기법은 영상의 회전 변환 시 기존의 고정된 영상 메모리 크기를 이용해 회전 변환 기법을 적용시키는 방식이다. 이 방식은 영상 메모리 크기를 유지할 수 있으며, 영상 중앙 부분을 기준으로 첫 번째 방법에 비하여 성능 유지의 장점이 있지만, 영상의 외곽부에 존재하는 얼굴의 경우 회전 변환된 영역에서 없어짐으로 해서 미검출 현상이 발생됨을 알 수 있다. 그림 3은 고정 메모리 회전 기법을 이용한 결과 영상을 보여준다.

(a) 원 영상(320×240)

(b) 0도 회전 변환된 영상

(c) 24도 회전 변환된 영상

(d) 336도 회전 변환된 영상



(e) 회전 각도별 너비 및 높이 그래프

그림 3. 고정 메모리 기법의 각도별 메모리 사용량
Fig. 3. Required memory of fixed memory method.

2.3 영상 메모리 확장 회전 기법

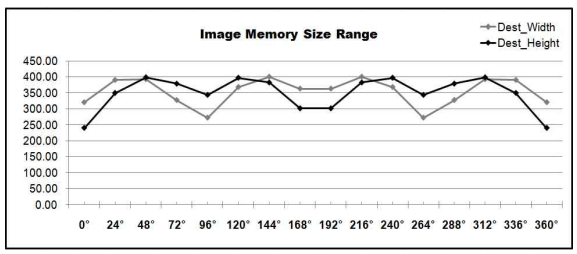
영상 메모리 확장 회전 기법은 식 (2)와 같이 입력 영상의 크기와 회전 각도에 의해서 회전 변환 시킬 공간을 예측하여 영상 메모리 크기를 조정 시킨 후 회전 변환 기법을 적용시키는 방식이다. 이 방식은 그림 4의 결과 영상 및 메모리 통계 자료와 같이 첫 번째 방법의 문제점인 축소 동작으로 인하여 발생하는 작은 얼굴의 미검출 문제와 두 번째 방법의 문제점인 영상 외곽부의 미검출 현상이 발생하는 문제를 보완하여 최대의 성능을 제공한다. 다만 영상 메모리 크기 조정으로 인하여 보다 더 많은 처리 시간과 메모리 량이 요구 되는 단점이 있다. 아래 공식의 $Dest_{(width,height)}$는 회전 변환될 영상의 크기 정보 이고, $Src_{(width,height)}$는 원 영상의 크기

(a) 원 영상(320×240)

(b) 0도 회전 변환된 영상

(c) 24도 회전 변환된 영상

(d) 336도 회전 변환된 영상



(e) 회전 각도별 너비 및 높이 그래프

그림 4. 영상 메모리 확장 기법의 각도별 메모리 사용량
Fig. 4. Required memory of image memory expansion method.

정보를 나타낸다.

$$\begin{pmatrix} Dest_{width} \\ Dest_{height} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |\cos\theta| & |\sin\theta| \\ |\sin\theta| & |\cos\theta| \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Src_{height} \\ Src_{width} \end{pmatrix} \quad (2)$$

본 논문에서는 위와 같은 세 가지 유형의 회전 변환 기법을 1차적으로 소프트웨어 알고리즘으로 구현하여 성능 평가 후 고정 메모리 회전 기법과 영상 메모리 확장 회전 기법을 실시간 하드웨어로 구현하였으며 적용 분야에 따라서 두 기법 중에 하나를 선택적으로 이용 가능하도록 하였다.

Ⅲ. 제안한 하드웨어 구조

본 장에서는 그림 5와 같이 제안한 하드웨어 구조에 대해 상세하게 설명한다. 전체적인 처리과정 및 구조를 살펴보면 먼저 전처리 과정으로 카메라로부터 컬러 영상을 입력 받아 색좌표 변환(Color Space Converter) 블록을 통해 흑백 영상으로 변환 시킨 후 카메라에서 생기는 양자화 잡음으로 성능이 저하되는 문제를 해결하기 위해 가우시안 필터를 이용한 잡음 제거(Noise Filter) 블록을 통해 잡음을 제거시킨다. 이렇게 변환된 영상을 메모리 인터페이스(Image Memory Controller Interface) 블록을 통해 영상 데이터의 저장 및 데이터의 흐름을 제어 하고 영상 회전(Image Rotator)블록 과 크기 조정(Image Scaler)블록을 걸쳐 영상을 각 단계별로 회전 및 크기 조절시켜 줌으로써 회전된 얼굴 및 다양한 크기의 얼굴 검출이 가능하게 해주며 조명 변화에 대한 강인함을 위해 MCT 생성(MCT Generator) 블록에서 조명 변화에 강인한 영상으로 변환되어진다.

얼굴 검출 부분인 후보 얼굴 검출(Candidate Detector) 블록 및 신뢰도 비교(Confidence Mapper) 블록에서는 전처리 과정을 거쳐 전달받은 영상을 이용해 20×20 윈도우 부분에 해당하는 400개의 화소를 기준으로 오프라인 상에서 Adaboost 학습 알고리즘을 통해 생성한 최적화된 학습데이터 신뢰도 값과 비교 분석하여 얼굴 영역에 해당하지 않을 신뢰도 값을 구하고 400개의 신뢰도 값을 누적시켜 미리 수치화된 임계값과 비교 하여 얼굴일 가능성이 있는 얼굴 후보 영역을 추출해 낸다.

마지막으로 후처리 과정을 살펴보면 우선 좌표 재조정(Position Resizer)블록에서 얼굴 검출 과정을 통해 추출된 얼굴 후보 영역 좌표를 이용해 다양한 회전 각도 및 크기에서 추출된 후보 영역 좌표를 0도, 320×240 크기의 원 영상을 기준으로 재조정 시켜 준 후 데이터 검증부(Data Grouper) 블록을 통해 중복 검출된 부분을 제거시켜 줌으로써 최종적인 얼굴 검출 좌표를 추출한다. 이렇게 추출된 좌표를 이용해 검출 결과 표시부(Overlay Processor) 및 컬러 기반 검출 결과 표시부(Color Overlay Processor)에서는 최종적으로 검출된 결과를 디스플레이로 출력시키는 부분으로써 카메라로부터 입력 받은 컬러 기반의 원 영상과 최종적인 얼굴 검출 부분에 한에서 □ 모양의 표시를 합성시켜 최종적으로 컬러 기반의 얼굴 검출 결과를 디스플레이 장치로의 출력을 가능하게 한다.

다음 절에서는 각 세부 블록의 구조 및 처리 과정에 대해 자세히 설명하고자 한다.

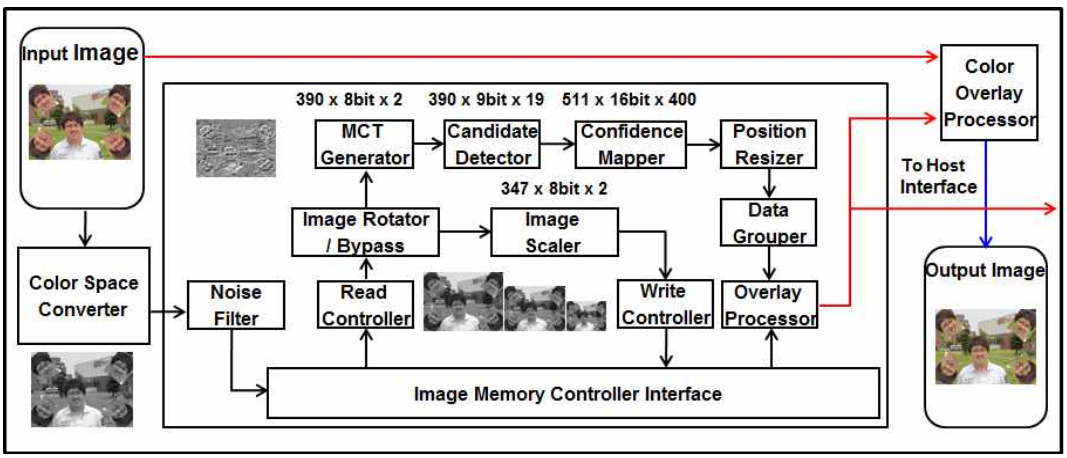


그림 5. 제안된 하드웨어 전체 구조도
Fig. 5. Proposed Block Diagram of Face-Detection Engine.

3.1 메모리 인터페이스부

메모리 인터페이스 블록은 카메라로부터 들어오는 입력 영상을 처리하기 위한 600(160×120×4×8bit)KB 크기의 입력 메모리 두 개(IM0, IM1)와, 회전 변환되고 스케일링 된 영상을 처리하는 844(347×311×8bit)KB 크기의 크기 조정 메모리(SM)에 영상 데이터를 입출력하는 역할을 수행한다.

또한 이 블록은 영상을 처리하기 위해 필요한 영상크기 정보와 동기신호 정보 등을 생성하고 다른 블록으로 전송하는 역할을 수행한다. 그림 6은 이 블록에서 입력 메모리에 영상데이터를 입출력하는 타이밍을 나타낸다.

카메라로부터 연속적으로 영상 프레임이 들어올 때 각 프레임은 입력메모리0(IM0)과 입력메모리1(IM1)에 번갈아가며 입력되게 된다. 이렇게 입력된 프레임은 다음 프레임이 입력메모리0과 입력메모리1에 입력되기 이전에 출력됨으로서 결과적으로 연속적으로 입력되는 모든 영상 프레임들이 처리 된다.

입력 메모리에 저장된 영상은 메모리 인터페이스 블록 내부에 포함된 영상 회전 어드레스 발생 블록을 통해서 읽혀진다. 영상 회전 어드레스 발생 블록은 4개로 분할된 입력 메모리를 이용하여 MCT 변환 및 영상 크기 변환 작업을 수행하기 위해 영상을 읽는 작업과 동시에 주어진 각도만큼 영상을 회전시키는 역할을 수행한다. 결과적으로, 원 영상을 그대로 출력 시키는 기능을 포함하여(0도 회전), 해당 설정된 각도로 영상을 회전시켜서 출력하는 역할을 수행한다.

이렇게 회전된 영상은 크기 조정 블록과 MCT 생성 블록으로 동시에 인가된다. 이때 크기 조정 블록으로 입력된 영상은 크기 축소 작업이 수행되며, 그 결과 영상이 크기 조정 메모리에 저장되게 된다. 크기 조정 메모리의 데이터 입출력 및 회전 변환 타이밍은 그림 7과 같으며 특정 각도로 회전된 영상에 대해서 각 단계마다 8/9 비율로 19번의 영상 축소 과정이 수행되어 최소 33x25 해상도의 영상을 얻게 된다.

그림 7을 영상의 흐름 관점으로 설명하면 잡음 제거 블록을 통해서 입력된 영상은 입력 메모리에 저장된 후 영상 회전 블록을 통하여 0도를 포함한 설정된 각도로 회전된 영상을 읽어 낸 후 MCT 변환 작업과 동시에 크기를 축소시킨 후 크기 조정 메모리로 저장된다. 또한 이 영상은 다시 읽혀져 이번에는 영상 회전 블록을 통과하되 영상 회전은 수행하지 않고 바로 MCT 변환 작업과 크기 축소 작업이 진행된 후 다시 크기 조정 메모리로 저장된다. 이와 같이 MCT 변환과 영상 크기 축소를 19단계를 반복하면 하나의 회전 각도에 대한 얼굴

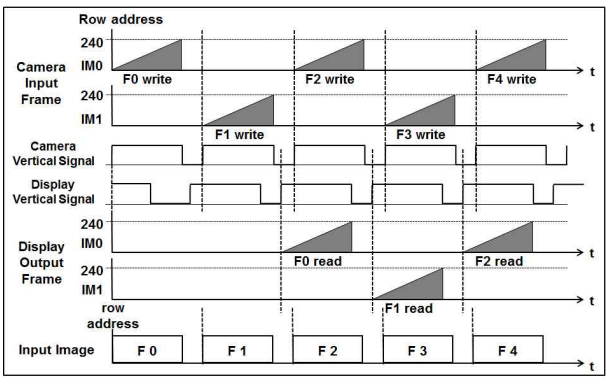


그림 6. 입력 메모리의 타이밍도
Fig. 6. Input Memory write and read timing diagram.

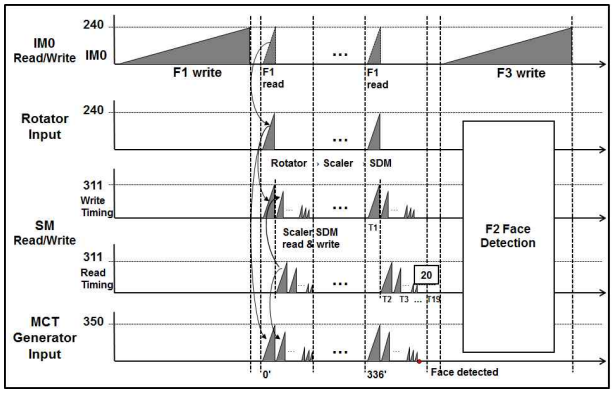


그림 7. 영상 변환부 / 영상 조정부 처리 과정
Fig. 7. The operation of Image Rotator/Image Scaler.

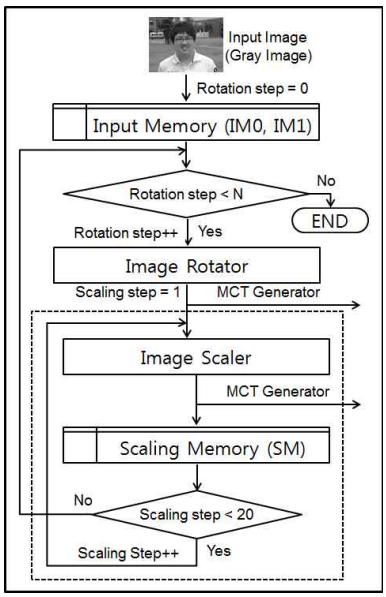


그림 8. 메모리 처리 흐름도
Fig. 8. Flow chart of image memory interface.

검출이 완료된다.

이후 다시 입력 메모리에 저장된 영상에 대해서 또 다른 각도로 읽어 내어 앞의 과정을 반복함으로써 다양한 각도로 회전된 다양한 크기의 얼굴을 검출할 수 있게 하며 24° 간격으로 회전 변환 시 최대 15번의 동작을 통하여 모든 각도에 존재하는 얼굴을 검출할 수 있다. 그림 8은 전반적인 메모리 처리 흐름도를 보여준다. 여기서 N은 실제 환경에서 필요한 영상 회전 단계수를 나타내며 최대 15로 설정 가능하다.

3.2 영상 회전부

영상 회전 블록의 구조 및 처리과정을 살펴보면 그림 9와 같이 각도 값을 이용하고 동기 신호를 이용하여 목적 좌표 생성(Destination Address Generator) 블록 및 원시 좌표 생성(Source Address Generator) 블록을 거쳐 원시 좌표 값 및 목적 좌표 값을 추출한 후 메모리 선택(Memory Selector) 블록으로 전달하여 계산된 좌표 값에 저장되어있는 영상을 출력시킨다.

여기서 IM0 또는 IM1에서 출력되는 데이터 형식을 살펴보면 그림 10과 같이 4 가지 화소 값으로 분류되어 출력됨을 볼 수 있다. 이는 영상 내에서 인접하고 있는 4개의 화소를 서로 다른 메모리 블록에 저장하여 보간(Interpolation)에 사용될 4개의 화소를 동시에 가져올

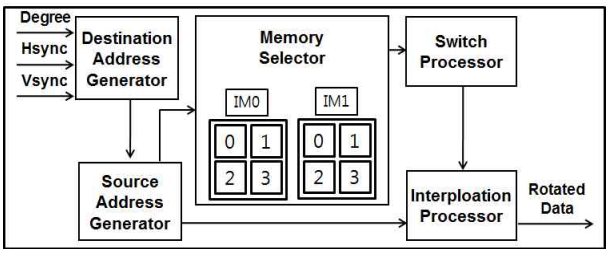


그림 9. 영상 회전 블록도
Fig. 9. Image Rotator block diagram.

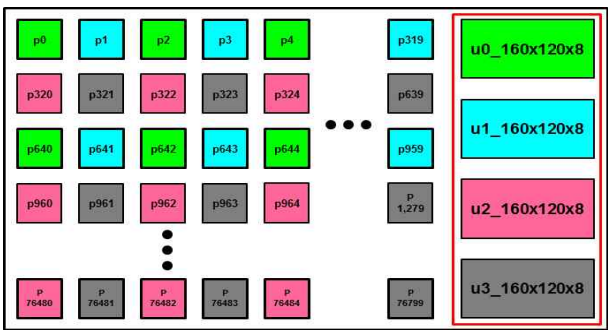


그림 10. 메모리 출력 데이터 형식
Fig. 10. Type of Memory Output Data.

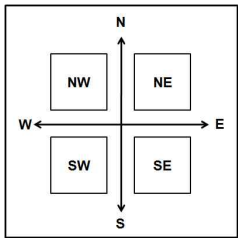


그림 11. 4가지 화소 출력 형식
Fig. 11. Type of Four elements from Image Output.

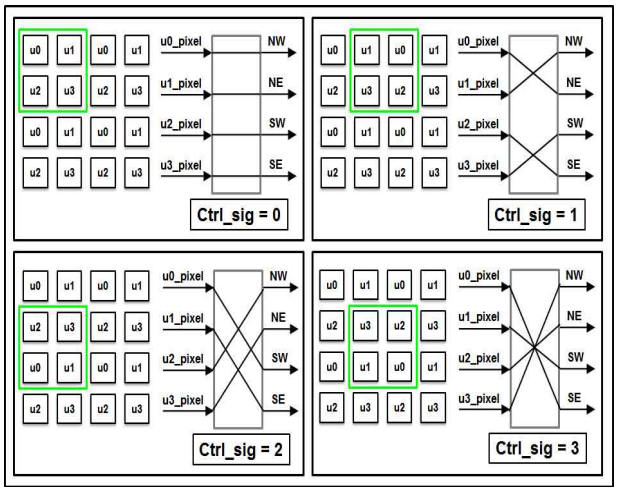


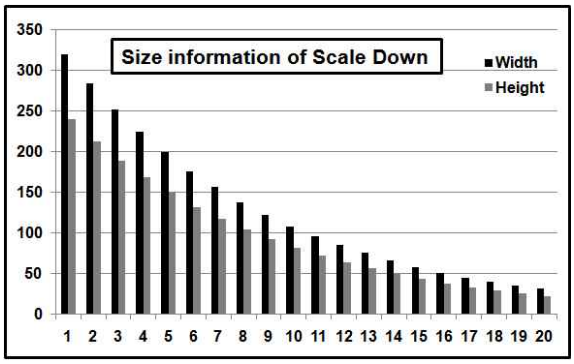
그림 12. 선로 변환 처리 블록 처리 과정
Fig. 12. The operation of Switch Processor.

수 있게 한다.

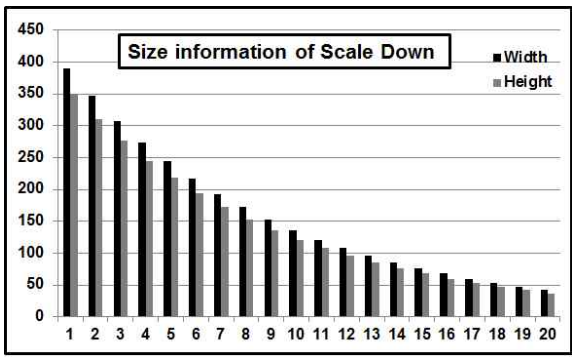
영상 보간에 사용될 4개의 화소가 그림 11과 같이 배치된다고 가정할 때 메모리에서 얻어지는 영상은 좌표에 따라서 그림 12와 같은 4가지 형태로 존재한다. 따라서 메모리 출력 영상을 그림 12에 나타낸 선로 변환 처리(Switch Processor) 블록에서 먼저 정렬시켜서 항상 일정한 NW (North-West), NE (North-East), SW (South-West), SE (South-East) 값을 제공하며 이를 통해서 영상 좌표에 무관하게 단순 보간 동작을 통해서 최종적으로 회전 변환된 영상이 출력된다.

3.3 크기 조정부

크기 조정 블록은 영상 회전부로부터 입력된 영상의 크기를 단계적으로 줄이는 역할을 하며 총 19번의 축소 변환이 수행된다. 영상의 크기를 줄이는 이유는 영상에서 얼굴을 찾는 윈도우의 크기가 20x20으로 고정되어 있기 때문에 영상에서 나타날 수 있는 다양한 크기의 얼굴을 찾기 위해서 원 영상의 크기를 단계적으로 줄여가며 각 단계마다 윈도우로 얼굴을 찾는 것이다. 결과적으로, 영상에서 차지하는 얼굴의 크기에 상관없이



(a) 회전 변환 기법 중 (2.1, 2.2) 기법을 이용한 축소 정보



(b) 회전 변환 기법 중 (2.3) 기법을 이용한 축소 정보

그림 13. 크기 조정부를 거친 영상 크기 변화 결과
Fig. 13. Image Scaler size information.

얼굴 검출이 가능하다.

크기 조정 블록에서 영상의 축소과정은 Bilinear 보간법을 이용한다. 이 블록에 입력된 영상은 우선 수평 방향으로 보간법이 적용된다. 이렇게 줄어든 영상은 모든 수평 라인 각각이 라인 메모리에 번갈아가며 저장되게 되고, 이 라인 메모리에 저장된 영상이 수직 스케일러에 의해서 보간 됨으로서 전체적으로 수평, 수직 방향으로 크기가 줄어든 영상이 만들어지게 된다. 다음의 그림 13은 각 단계마다 줄어든 영상의 크기 변화를 나타내며, 회전 변환 기법 중 (2.3) 기법을 이용 시 (2.1, 2.2) 기법을 이용할 때에 비해 대략 1.22 비율만큼 증가된 것을 볼 수 있다.

3.4 좌표 재조정부

이 블록은 회전 변환 및 크기 조정된 영상에서 얼굴 후보영역을 찾았을 경우, 이를 원 영상에서의 대응 위치로 계산해 주는 역할을 담당한다. 좌표 재조정부안에서의 회전 기법은 영상 정보를 변환하는 것이 아닌 검출된 얼굴 위치점을 나타내는 좌표점을 회전 시키게 되며 영상 회전부의 역방향 사상이 아닌 전방향 사상으로 처리된다.

원활한 하드웨어 구현 및 실시간 처리 동작을 위해서는 복잡한 삼각함수 연산 및 실수 연산과 반복적인 곱셈연산의 최적화를 도모할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 영상 회전을 위해서는 15개의 각도에 대한 삼각함수 값을 룩업 테이블(Look-up Table)로 저장하여 회전 연산을 고속으로 처리할 수 있도록 하였다. 영상 확대를 위해서는 원 영상(320×240) 기준으로 19단계 크기 조정을 걸쳐 생성되는 이미지들에 대해 모든 좌표에 원 영상 대응 좌표를 먼저 계산하고 이를 정수화시켜 이 값을 롬 테이블에 저장한 후 검출위치의 좌표가 들어 올 때, 크기 조정 단계 정보를 이용하여 매핑해주는 방법을 사용하였다.

3.5 기타 블록

제시한 메모리 인터페이스부, 영상 회전부, 크기 조정부, 좌표 재조정부는 이전 하드웨어 구조[15]에서 성능 향상을 위해 추가되거나 개선되어진 블록이며, 그림 5도에 존재하는 색좌표 변환부, 잡음 제거부, MCT 생성부, 얼굴 후보 검출부/ 신뢰도 비교부, 데이터 검증부, 검출 결과 표시/ 컬러 기반 검출 결과 표시부와 같은 기타 블록은 이전 하드웨어 구조[15]를 그대로 유지하고 있다.

Ⅳ. 실험 및 검증 결과

실험 및 검증을 위해 PC기반 및 FPGA 하드웨어 기반에서 다양한 영상 데이터 세트와 카메라를 이용해 제안된 구조의 성능을 검증하였다. 실험 및 검증을 위해 사용된 영상 데이터를 살펴보면 조명 변화에 강인함을 확인하기 위해 조명 변화가 큰 Yale Test Set[16]를 이용하였고, 회전 변화에 강인함을 확인하기 위해 MIT+CMU Rotated Test Set[17]를 사용하였으며 다양한 표정 변화 및 약간의 회전 변화 등이 포함되어 있는 BioID Test Set[18]를 이용하여 성능을 검증 하였다. 또한 실시간 얼굴 검출 검증을 위해 Virtex5 Lx330 FPGA 보드, QVGA급 카메라, LCD Display를 이용해 주변 실생활에서 실험 및 검증함으로써 실시간 처리가 가능함을 확인하였다.

다음 절에서는 조명 변화 및 회전 변화에 강인한 얼굴 검출 결과 및 FPGA 합성 결과, 기존 알고리즘과의 비교 분석 결과에 대해 기술 한다.

4.1 실험 결과 분석

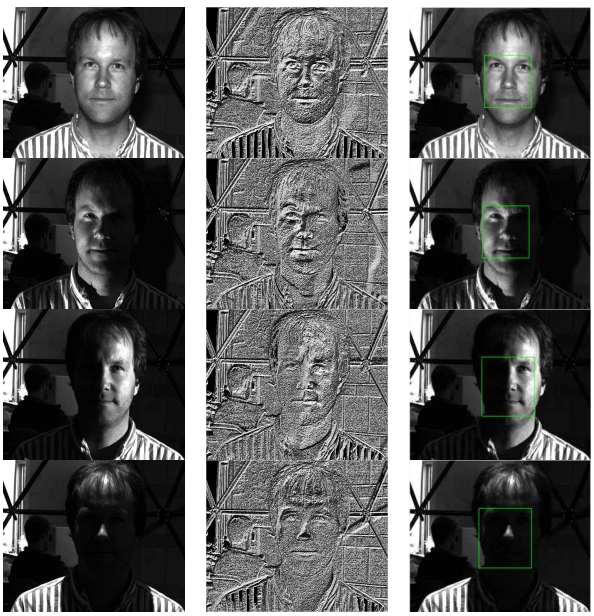
새롭게 제안한 얼굴 검출 구조의 실험 및 검증은 MIT+CMU에서 제공한 Test set, Yale Test set과 BioId Test Set를 이용하여 검증하였으며 표 1과 같이 회전 얼굴에 대해서 많은 성능 보강이 이루어 진 것을 확인하였다. 또한 구현된 시스템을 이용하여 실내 환경에서 얼굴 검출 실험을 수행한 결과 조도 1~3 룩스(lux) 하에서도 검출이 가능함을 확인하였다.

그림 14, 15는 Yale Test set 및 BioID Test set를 이용하여 조명 변화 및 표정 변화에 대한 강인성을 검증한 결과이며, 결과적으로 조명에 의해 심하게 가려지거나 밝기 차이가 나지 않는 밝은 얼굴에서도 강인한 얼굴 검출이 가능함을 보여주고 있으며 다양한 표정 변화에도 큰 영향을 받지 않음을 볼 수 있다.

그림 16은 0도~360도 범위 안에서 24° 간격으로 15

표 1. 실험 결과에 대한 성능 분석
Table 1. Performance analysis of experiment results.

DB 종류	버전	성 능	
		검출률	오검출률
CMU Rotated Set	이전의 구조[15]	65.06 % (54/83)	0 % (0/83)
	제안한 구조	92.77 % (76/83)	1.20 % (1/83)
Yale Test Set	이전의 구조[15]	100 % (165/165)	0 % (0/165)
	제안한 구조	100 % (165/165)	0 % (0/165)
Average	이전의 구조[15]	88.31 % (219/248)	0 % (0/248)
	제안한 구조	97.18 % (241/248)	0.40 % (1/248)



(a) 원 영상 (b) MCT 변환 (c) 검출 결과

그림 14. 다양한 조명 변화 변화에서 검출 결과(Yale DB)
Fig. 14. Test results in various light intensity.

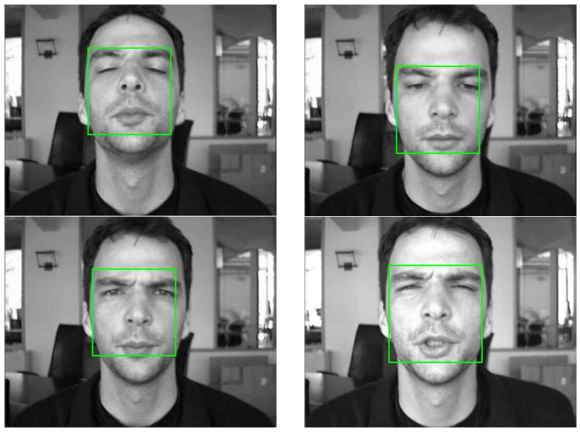


그림 15. 다양한 표정 변화에서 검출 결과(BioID DB)
Fig. 15. Test results in various facial expression.

그림 16. 회전된 얼굴 검출 결과 (CMU Rotated DB사용)
Fig. 16. Face-detection results from rotated Images.

그림 17. 실 주변 환경 안에서 실험한 결과
Fig. 17. Test results in real-environment.

단계에 걸쳐 회전 변환 시켜줌으로써 회전 변화에 강인한 얼굴 검출이 가능함을 보여준다.

그림 17은 제안한 하드웨어 구조로 구현된 시스템을 이용하여 주변 실생활 환경에서 검증한 결과이며 조명 변화 및 회전 변화에 강인하며 다양한 얼굴 크기 검출이 실시간으로 처리가 가능함을 보여준다.

4.2 FPGA 합성 결과 분석

제안한 하드웨어 구조의 검증을 위하여 그림 18과 같이 Virtex5 LX330 FPGA를 이용한 얼굴 검출 시스템을 제작하였고, QVGA급 CMOS카메라, LCD Display를 이용해 테스트하고 실시간 검증하였다. 처리 과정을 살펴보면 QVGA급 카메라 영상(320x240 해상도)을 입력 받아 흑백(Gray Level) 영상으로 변환시킨 다음 얼굴 검출부를 통해 검출된 정보를 디스플레이로 출력시킨다.

FPGA 합성 결과 정보를 이전 구조[15]와 비교하여 살

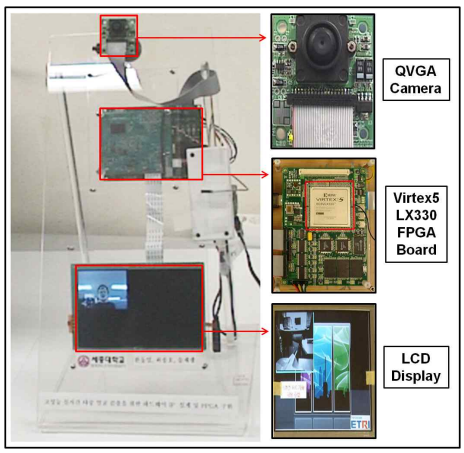


그림 18. 검증 환경
Fig. 18. Verification Environment.

표 2. FPGA(Xilinx Virtex5 LX330) 합성 결과 요약
Table 2. FPGA synthesis result summary.

Synthesis Result Report		
Slice Logic Utilization	Used	Utilization
Number of Slice Registers	21,847	10%
Number used as Flip Flops	21,749	
Number of Slice LUTs	48,455	23%
Number used as logic	26,647	12%
Number of route-thrus	1,635	1%
Specific Feature Utilization		
Number using 36K BlockRAM used	40	
Number using 18K BlockRAM used	452	
Total Memory used (KB)	9,576	92%

표 3. 입력 영상에 따른 메모리 사용 및 연산 시간 (320x240 size 영상 기준)
Table 3. Memory requirement & processing time (320x240 size image unit).

구 분	Used / Processing Speed
Processing cycle (1 Frame)	765,698 clock
Used Memory	9,576 KB
LUT	48,455 LUTs
The Maximum Operating Clock	54 Mhz
The Maximum Processing Frame	75 Frame/sec

펴보면 Virtex5 FPGA에서 54MHz 클럭의 속도로 동작함을 확인하였으며, 표 2와 같이 이전의 구조와 달리 메모리사용에 있어서 분배 메모리(Distribute Memory)에서 블록 메모리(Block Memory)로 교체하여 구현함으로써 LUTs 사용 빈도가 80,796(39%)에서 48,455(23%)으로 감소되었고, 반면에 영상 회전 블록의 추가적인 설계로 인하여 메모리 사용량은 기존의 8,028KB에서 9,576KB 로 19% 늘어남을 확인 할 수 있다. 이때 2.2의 영상 회전 기법을 사용할 경우에는 이전 구조와 비교해서 메모리 사용량의 변화는 없다.

표 3과 같이 제안된 구조는 최대 54MHz로 동작이 가능하도록 설계되었다. 실생활 환경의 경우 얼굴의 최대 회전 각도가 좌우 20° 정도이며 이 경우 얼굴 검출 엔진의 회전 각도를 +12°, -12° 로 두 단계로만 설정하여도 대부분의 얼굴이 검출 가능함을 확인하였다. 이 경우 한 프레임을 처리하는데 약 765,698 클럭 사이클이 소요되며, 최대 75 frame/sec의 처리 속도로 얼굴 검출이 가능함을 알 수 있으며 일반 카메라 인터페이스 시 60 frame/sec 처리가 가능함을 알 수 있다.

4.3 기존 알고리즘과의 비교 분석

이미 얼굴 검출 알고리즘에 대해서는 다양한 형태의 연구 보고 사례가 있지만 본 연구에서는 MCT 변환 기법 및 회전 변환 기법을 통해 조명 변화 및 회전 변화 등과 같이 성능을 저하 시키는 요인을 분석하여 보완함으로써 성능을 크게 향상시켰다. 결과적으로, 두 개의 회전 각도를 설정하여 최대 75 프레임 이상의 고성능 실시간 얼굴 검출 엔진을 구현하였다. 표 4는 기존 얼굴 검출 기반 FPGA 구현 사례를 비교 분석한 결과를 나타낸다. 표 5 에서는 기존 얼굴 검출 하드웨어 구현

표 4. 기존 얼굴 검출 FPGA 사례 비교 분석
Table 4. Comparison of FPGA Implementations of face detection.

구현 사례	영상크기	프레임 비율	클럭 속도
McCready[19]	320x240	30	12.5
Aarabi et al.[20]	320x240	41.7	12.5
Proposed System	320x240	75	54

표 5. 기존 얼굴 검출 하드웨어 사례 성능 비교 분석
Table 5. Comparison of hardware face detection performance.

구현 사례	DB 비교	얼굴 개수	검출률 (%)	오검출(횟수)
McCready[19]	Proprie-tary	NA	80.9	NA
Aarabi et al.[20]	Yale	165	86.6	0
Proposed System	Yale	165	100	0

표 6. BioID Dataset를 이용한 얼굴 검출 사례 비교 분석
Table 6. Comparison of face detection performance using BioID Dataset.

구현 사례	DB 비교	구현 유형	검출률 (%)	오검출(횟수)
Wang et al.[21]	BioID Test set (1521 images)	Software	95.6	NA
Huang et al.[22]		Software	90	NA
Marami et al.[23]		Software	94.8	NA
Proposed System		Hardware	99.88	6

사례와 비교 분석을 통하여 제안한 얼굴 검출 알고리즘의 뛰어난 성능을 보여준다. 또한 표 6에서는 BioID Test Set를 이용한 최근의 고성능 얼굴 검출 사례들과 비교 분석한 결과를 나타내며, 제안한 구조가 기존에 비해 향상된 성능임을 볼 수 있다.

V. 결 론

기존의 얼굴 검출 알고리즘을 살펴보면 주변 조명 변화 및 얼굴 회전 변화 등과 같은 다양성의 변화로 인하여 얼굴 검출의 신뢰도가 떨어질 뿐 아니라 많은 오검출이 발생함을 확인하였고, 이러한 문제점 보완의 중요성을 인지할 수 있었다.

본 논문에서는 주변 조명 변화 및 얼굴 회전 변화 등 성능을 저하시키는 요인들을 집중적으로 분석하여 기존 알고리즘의 문제점을 보완하고 하드웨어 구조로 구현이 가능하며 실시간 처리 및 다양한 분야에 활용이 가능한 실시간 얼굴 검출 구조를 제안하였다. 이러한 목표를 달성하기 위하여 MCT 변환, Adaboost 학습 알고리즘, 회전 변환 등과 같은 컴퓨터 비전의 핵심 알고리즘을 이용하였으며, 결과적으로 초당 60 프레임 이상의 속도로 실시간 처리가 가능하고 조명 변화 및 얼굴 회전 변화에 강인한 고성능 실시간 얼굴 검출 엔진을 구현하였고, 다양한 주변 환경 및 얼굴 데이터베이스를 이용하여 뛰어난 성능 또한 검증하였다.

본 연구에서 개발된 고성능 얼굴 검출 엔진을 통한 정확한 얼굴 위치의 획득은 얼굴 인식 기술뿐 만 아닌 표정 인식 등과 같은 얼굴 정보를 이용한 기술의 성능 향상에 크게 기여 할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 표정 인식 기술의 경우 시시각각으로 변화하는 표정의 실시간 인식을 위해서는 고속의 얼굴 검출이 필수적으로 본 연구의 활용이 기대되는 연구 분야로 판단된다.

또한, 향후 본 논문에서 제안한 하드웨어 구조가 주문형 반도체로 제작되어 저가로 공급되어지면 카메라를 이용하는 다양한 시스템에서 부담 없이 활용할 수 있으므로 많은 응용 분야에 적용 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Samir Nanavat, Michael Thieme and Raj Nanavati. “Biometrics”, Wiley, pp.63-75, 2002.
[2] Bongjin Jun, Daijin Kim, “Robust real-time face detection using face certainty map”, Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 29-38, 2009.
[3] P. Viola and M. Jones, “Fast and robust classification using asymmetric AdaBoost and a detector cascade”, in NIPS 14, 2002, pp. 1311-1318.
[4] Jianxin Wu, S. Charles Brubaker, Matthew D. Mullin, and James M. Rehg, Member, “Face Asymmetric Learning for Cascade Face Detection”, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence,p. 1-13, 2008.
[5] Junguk Cho, Shahnam Mirzaei, Jason Oberg, Ryan Kastner, “Fpga-based face detection system using Haar classifiers”, Proceeding of the ACM/SIGDA international symposium on Field programmable gate arrays, Portal.acm.org, p. 103-112, 2009.
[6] Yoav Freund and Robert E. Schapire. “A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting” in

Journal of Computer and System Sciences, pp. 119-139, 1997.
[7] Sung, K.K., Poggio, T, "Example-based learning for view-based human face detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 20, p. 39-51, 1998.
[8] S. Romdhani, P. Torr, B. Schoelkopf, and A. Blake, "Computationally efficient face detection", in Proc. ICCV, 2001, pp. 695-700.
[9] Ming-Hsuan Yang, Dan Roth and Narendra Ahuja. "A snow-based face detector". In Advances in Neural Information Processing Systems 12 (NIPS 12), pp.855-861. MIT Press, 2000.
[10] Chang Huang, Haizhou Ai, Yuan Li, and Shihong Lao, "High-Performance Rotation Invariant Multiview Face Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 29, No. 4, pp. 671-686, April, 2007.
[11] Paul Viola and Michael J. Jones, "Robust real-time face detection" In International Journal of Computer Vision, pp. 137-154, 2004.
[12] 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.
[13] 이수현, 정용진, "얼굴 검출을 위한 SoC 하드웨어 구현 및 검증", 전자공학회 논문지 제44권 SD 편, 제 4호, 대한전자공학회, 2007년 4월.
[14] Najwa Aaraj, Srivaths Ravi, Anand Raghunathan and Niraj K. Jha, "Hybrid architectures for efficient and secure face authentication in embedded systems", IEEE Transaction on VLSI Systems, Vol.15, no. 3, pp.296-308, March 2007.
[15] 한동일, 조현종, 최종호, 조재일, "고성능 실시간 얼굴 검출 엔진의 설계 및 구현", 전자공학회 논문지, 제47권 SP 편, 제 3호, 대한전자공학회, 2010년 3월
[16] Georghiades, A. : Yale Face Database, Center for computational Vision and Control at Yale University, http:// cvc.yale.edu/ projects/ yalefaces/ yalefaces.html
[17] CMU/VASC Image Database, http: // asc.ri. cmu. edu /idb /html/ face/index.html
[18] The BioID face database:[http://www.bioid. com/ downloads /facedb /facedatabase. html]
[19] R. McCready, "Real-time face detection on a configurable hardware platform, " M.S. thesis, Dept. Elect. Comput. Eng., Univ. Toronto, Toronto, On, Canada, 2000.
[20] Duy Nguyen, David Halupka, Parham Aarabi, and Ali Sheikholeslami, "Real time Face detection and Lip feature extraction using Field-Programmable Gate Arrays", IEEE Transactions on SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS－ART B: CYBERNETICS, Vol. 36, no. 4, pp.902-912, AUGUST 2006.
[21] Q. Wang, W. Yang, H. Wang, J. Yang and Y. Jheng, "Face Detection Using Binary Template Matching and SVM", Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI), pp. 1237-1241, China, Aug. 2006.
[22] Yea-Shuan Huang and Wei-Cheng Lie, "Face Detector with Oriented Multiple Templates", International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong, March, 2008.
[23] Ermioni Marami and Anastasios Tefas, "Face Detection Using Particle Swarm Optimizations and Support Vector Machines", Hellenic Conference on Artificial Intelligence (SETN), pp. 369-374, Greece, May. 2010.

저 자 소 개

한 동 일(정회원)
1988년 2월 고려대학교 전자전산 공학과 졸업(학사)
1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (석사)
1995년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사)
1995년 2월~2003년 2월 LG전자 디지털TV연구소 책임연구원.
2003년 3월~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 정교수
<주관심분야 : 영상 처리, 컴퓨터 비전, 디지털 TV, 디스플레이 화질 개선, 시스템 온 칩>

유 성 준(정회원)
1982년 2월 고려대 전자공학과 (학사)
1990년 2월 고려대 전자공학과 (석사)
1996년 12월 시라큐스대 전산학과 (박사)
2002년~현재 세종대학교 컴퓨터 공학과 교수
<주관심분야 : 데이터마이닝, 소셜프로그래밍, 스마트폰 앱, 자연어처리, 정보검색>

조 재 일(정회원)
1990년 2월 성균관대학교 전기 공학과 졸업(학사)
1992년 2월 성균관대학교 전기 공학과 졸업(석사)
2009년 3월~성균관대학교 전자 전기컴퓨터공학과 박사과정
1992년 1월~현재 한국전자통신연구원
<주관심분야 : 로봇 영상처리, Human-Robot Interaction, ASIC Design>

최 종 호(학생회원)
2009년 2월 상지대학교 컴퓨터 공학과 졸업(학사)
2009년 3월~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<주관심분야 : 영상처리, 신호처리, 컴퓨터 비전>

오 세 창(정회원)
1988년 2월 연세대학교 전산과학과 졸업(학사)
1990년 2월 한국과학기술원 전산학과 졸업(석사)
1997년 2월 한국과학기술원 전산학과 졸업(박사)
1995년 3월~1999년 1월 LG종합기술원 선임연구원.
2000년 3월~2003년 8월 아주대학교 정보통신 전문대학원
2004년 1월~현재 세종사이버대학교 정보통신학과 조교수
<주관심분야 : 패턴인식, 데이터마이닝, 컴퓨터 비전>