

논문 2011-48SD-10-11

HD 영상의 실시간 얼굴 검출을 위한 LBP 연산의 하드웨어 설계

(Hardware Design of LBP Operation for Real-time Face Detection of
HD Images)

노 현 진*, 김 태 완*, 정 연 모**

(Hyunjin Noh, Taewan Kim, and Yummo Chung)

요 약

디지털 도어락, 디지털 카메라, 비디오 감시 시스템 등에서 사용되는 기존의 얼굴 검출 시스템은 비교적 낮은 해상도의 영상 처리를 사용하고 있으며 이를 위해서 소프트웨어 기반의 구현을 하고 있다. 하지만 이 경우에는 높은 해상도를 위한 얼굴 검출이 어려울 뿐만 아니라 수행해야 할 영상 처리 양이 많기 때문에 실시간으로 얼굴을 검출하는데 어려움이 있다. 실시간 임베디드 시스템에서 HD(High Definition) 영상을 위한 효과적인 얼굴 검출을 위해서는 하드웨어적인 접근이 필요하다. 이에 본 논문에서는 얼굴 검출을 위해 사용되는 전처리 과정 중에 하나이며 처리시간이 많이 소요되는 국부 이진 패턴(LBP, Local Binary Pattern) 연산을 하드웨어 구조를 제시하고 설계했다. 그리고 제시한 하드웨어 구조를 FPGA(Field Programmable Gate Array) 칩을 통해서 구현 및 검증을 통해 고해상도 HD급 영상에서 효율적인 얼굴 검출이 가능 한 것을 확인했다.

Abstract

Existing face detection systems, which are used for digital door locks, digital cameras, video surveillance systems, and so on, are software-based implementation for relatively low level resolution images. Therefore, in this case, there are difficulties in detecting faces in a real-time fashion due to the increasing amount of operational processing as well as in allowing the requirements of face detections for HD(High Definition) resolutions. A hardware approach is necessary to efficiently find faces for HD images in real-time embedded systems. This paper proposes and implements a hardware architecture for an LBP(Local Binary Pattern) operation which is a time-consuming part as one of preprocessing steps for face detection. The hardware architecture proposed in this research has been implemented and tested with a FPGA(Field Programmable Gate Array) chip, and shown that the approach guarantees efficient face detection for HD images.

Keywords : Face detection, Local binary pattern, Adaboost, High definition.

I. 서 론

얼굴 검출 시스템은 스마트 폰, 디지털 카메라, 디지털 도어락 등 다양한 응용분야에서 소프트웨어를 기반으로 구현 및 사용되어 왔다^[1~2].

그러나 최근 고급 영상 입출력 장치의 보급으로 작게

는 SVGA급에서부터 크기는 HD급 이상의 해상도까지 지원하는 시스템이 증가했다. 그에 따라 얼굴 검출 분야에서도 고해상도의 영상에서 실시간으로 얼굴을 검출할 수 있는 시스템이 요구되어지고 있다. 예를 들면 영상 보안 응용에서는 고해상도에서 최대한 많은 수의 얼굴 검출을 할 수 있는 시스템에 필요하다. 하지만 일반적인 임베디드 시스템에서 HD급 영상을 실시간으로 처리해 얼굴 검출을 하는 것에는 한계가 있다. 이는 실시간 얼굴 검출을 위해서는 33ms안에 영상 처리가 끝나야 하기 때문에 자원이 부족한 임베디드 시스템에서

* 학생회원, ** 정회원, 경희대학교 전자전파공학과
(Kyunghee University)

※ 본 논문은 2010년 중소기업청 산학협력단의 지원을 받아 작성된 논문입니다.

접수일자: 2011년6월7일, 수정완료일: 2011년10월17일

CPU에 의존한 소프트웨어를 사용하는 방식은 적합하지 않기 때문이다. 따라서 이를 가능하게 하기 위해서는 하드웨어적인 접근이 필요하다. 이에 본 논문에서는 얼굴 검출을 위한 전처리 과정 중의 하나인 LBP 연산을 하드웨어로 설계하여 HD급 영상에서 얼굴 검출의 효율성을 증가시켰다.

II. 본 론

1. 얼굴 검출 시스템

얼굴 검출 시스템은 영상에서 다양한 크기의 얼굴을 검출하기 위한 영상 축소(image scale), 얼굴에 대한 특징 검출을 위한 LBP 연산, 얼굴 검출 및 학습에 필요한 Adaboost 학습 알고리즘(learning algorithm)으로 구성되어 있다. 이번 장에서는 얼굴 검출에 필요한 배경지식에 대해서 기술한다.

가. 영상 축소기(image scaler)

영상 내의 다양한 크기의 얼굴을 검출하기 위해서는 영상 축소를 수행한다. 여러 번의 축소를 통해서 다양한 크기의 얼굴들을 찾아 낼 수 있다. 영상 축소 방법에는 선형 보간법(linear interpolation), 양방향 선형 보간법(bilinear interpolation) 등과 같은 다양한 방법이 있지만 본 논문에서는 실시간 처리 시에 처리할 연산이 가장 적은 최근린(nearest neighbor) 방식을 사용했다^[3~4]. [그림 1]는 최근린 방식 영상 축소 방법에 대해 그림으로 나타냈다. 이는 특정 배율에 따라 픽셀을 제거하는 방식으로 입력 영상 0, 1, 2, 3, 4, 5로 이어지는 픽셀에서 2와 5를 제거함으로써 간단히 축소된 영상 0, 1, 3, 4, 6, 7를 얻을 수 있다.

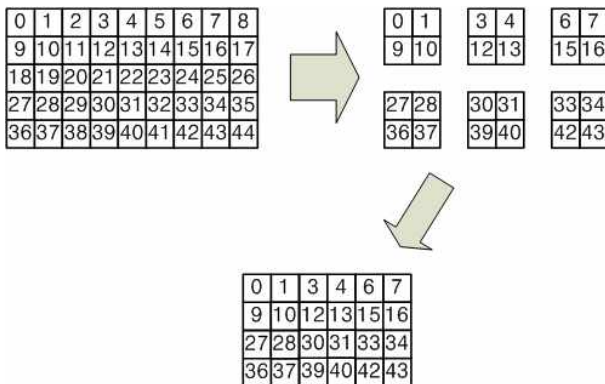


그림 1. 최근린 방식의 영상 축소
Fig. 1. nearest neighbor method.

나. LBP

LBP는 문자를 인식하는 강력한 방법 중의 하나로 3x3 픽셀 영역 내에서 가운데 숫자를 기준 값으로 정하고 기준값과 주변 값들과의 비교를 통해 0과 1의 이진수 형태로 나타내는 방법이다^[5]. [그림 2]에서 LBP 연산에 대해 표현했다. 가운데 픽셀 값 3을 기준으로 주위를 감싸고 있는 픽셀들과 비교를 통해 LBP 값을 획득한다. 첫 번째 값인 5는 3보다 크기 때문에 이진수 1로 표현하며, 다섯 번째 값 2는 기준 값 3보다 작다 따라서 0으로 표현한다. 이렇게 구성된 8개의 비트에 대해 각각의 가중치를 적용하고 전체를 더하면 최종적으로 209라는 LBP 값을 얻을 수 있다. 이와 같은 LBP 연산을 통해 영상 내에서의 어둡고 밝은 부분에 따른 의존성과 얼굴이라고 판단 할 수 있는 특징 부분들이 부각되는 효과를 기대할 수 있다.

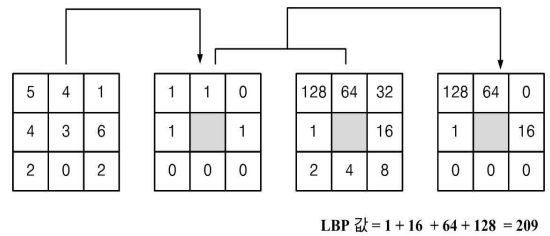


그림 2. LBP 연산
Fig. 2. Local binary pattern operation.

다. Adaboost 학습 알고리즘

Adaboost 학습 알고리즘은 Freund와 Schapire가

-
- (1) 데이터를 m개 입력한다
 $(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m), x_i \in X, y_i \in \{-1, +1\}$
 - (2) 초기 분포 D_i 를 구한다.
 $D_1(i) = 1 / m$
 - (3) a, b, c 과정을 T번 반복한다(for t=1, ..., T).
 - a. ϵ_t 가 가장 작은 h_t 를 구한다.
 $\epsilon_t = \Pr_{i \sim D_t} [h_t(x_i) \neq y_i]$
 - b. 가중치를 계산한다.
 $\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 - \epsilon_t}{\epsilon_t} \right)$
 - c. 분포 D_{t+1} 를 갱신한다.
 $D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i)}{Z_t} \times \begin{cases} e^{-\alpha_t h_t(x_i)} & y_i \text{인 경우} \\ e^{\alpha_t h_t(x_i)} & y_i \text{인 경우} \end{cases}$
 - (4) T번 반복하여 최종 분류자를 만든다.

$$H(x) = \text{sign} \left(\sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \right)$$
-

그림 3. Adaboost 알고리즘
Fig. 3. Adaboost algorithm.

1995년도에 처음 제시하였으며 도박사가 경마에 배팅을 결정 할 때 이전까지의 데이터를 기반으로 어떻게 하면 더 높은 확률로 승리할 수 있을까 하는 발상에서 시작됐다^[6]. 학습을 통해 오분류 데이터의 높은 가중치를 부여하고, 반대로 정분류된 데이터는 낮은 가중치를 부여하는 방식으로 샘플 데이터의 분포를 재조정한다. [그림 3]는 Freund와 Schapire가 제시한 알고리즘 전체이다.

2. 얼굴 검출 알고리즘

위 기술들을 바탕으로 얼굴 검출 알고리즘을 [그림 4]와 같이 작성했다. 입력 영상이 학습 영상의 크기보다 작아질 때 까지 영상을 축소하면서 얼굴 검출을 진행한

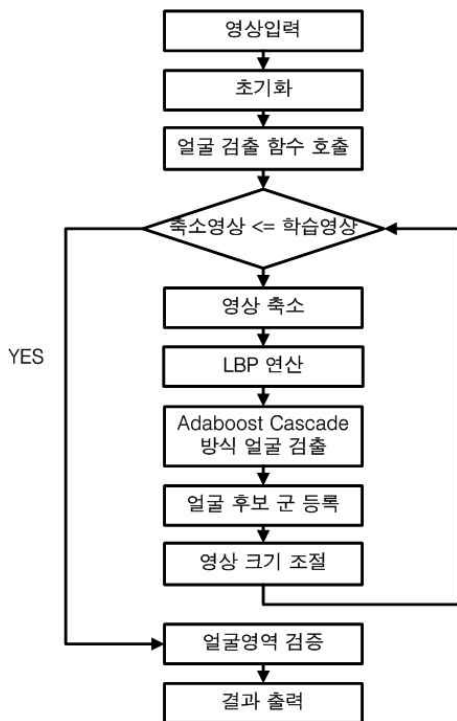


그림 4. 얼굴 검출 알고리즘
Fig. 4. Face detection algorithm.

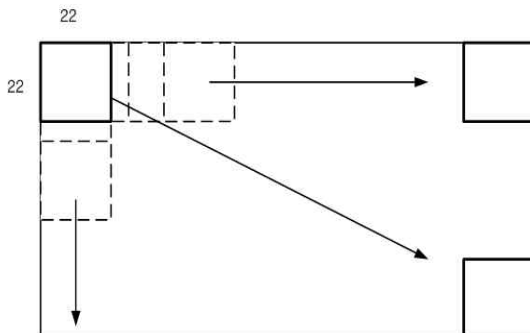


그림 5. 얼굴을 위한 서브창의 이동 경로
Fig. 5. Sub-window moving path for face detection.

다. 본 연구에서는 22×22 크기의 LBP 연산 학습 영상을 기준으로 얼굴 검출을 진행했다.

축소된 영상에서 LBP 연산을 수행하고 22×22 크기의 서브창(sub window)을 이용해 [그림 5]와 같이 이동하면서 얼굴을 검출한다. 얼굴 검출은 학습을 통해 만들어진 강한 분류기들을 통해 얼굴인지 아닌지 확인하게 되며, 검출된 얼굴들은 후보로 등록한다. 이와 같이 영상 축소를 반복해 가면서 다양한 크기의 얼굴을 검출한다.

3. 프로파일링

소프트웨어로 구성된 얼굴 검출 시스템을 프로파일링(profile)하여 분석을 실시했다. 이를 통해 가장 많은 실행 시간을 요구하는 부분을 찾았다^[7]. 그 결과 LBP 연산과정에서 각각 CPU의 속도와는 상관없이 평균적으로 전체 알고리즘의 40% 정도의 실행 시간 LBP

표 1. PC 스펙 및 프로파일링 결과
Table 1. PC specifications and profiling summary.

Cases	Specifications		Result	
	CPU (GHz)	Memory (GByte)	Percentage(%)	Average time(ms)
1	2.7	2	40.4	76.231
2	2.9	2	39.6	59.430
3	1.8	2	40.5	99.135
4	1.8	2	40.2	98.309

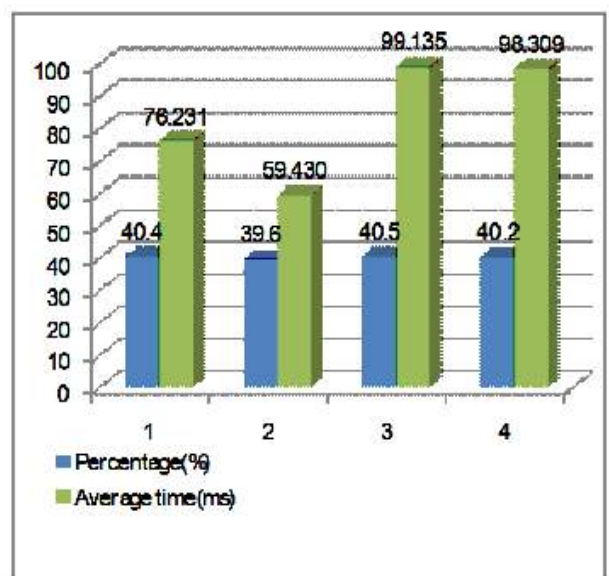
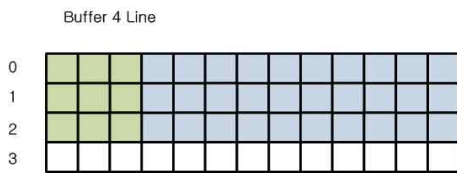


그림 6. 프로파일링 결과 그래프
Fig. 6. Profiling result graph.

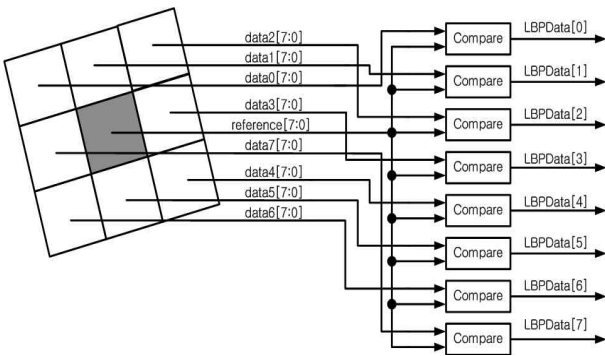
를 수행하는데 사용하는 것을 확인할 수 있다. [표 1]과 [그림 6]은 이에 대한 수행 시간의 비율 및 평균 시간 결과를 표와 그래프로 나타냈다. 이 결과를 통해 LBP 연산 과정을 하드웨어화 함으로써 HD급 영상에서의 얼굴 검출 속도를 향상 시킬 수 있다.

4. LBP 연산의 하드웨어 설계 및 시뮬레이션

한 점의 LBP 값을 얻기 위해서는 3×3의 9픽셀이 연산에 필요하다. [그림 7 (a)]는 본 연구에서 사용한 LBP 연산을 위한 4줄의 라인 버퍼(line buffer)를 그림으로 표현했다. 입력 데이터가 3줄의 버퍼를 채운 뒤 4번째 줄 시작부터 LBP 값이 출력으로 나올 수 있도록 설계했으며 [그림 7 (b)]의 블록 다이어그램과 같이 레지스터가 모두 채워지면 값이 즉시 출력되는 구조로 갖도록 설계했다.



(a) LBP 연산을 위한 라인 버퍼



(b) LBP 연산의 블록 다이어그램

그림 7. LBP 연산을 위한 라인 버퍼와 블록 다이어그램

Fig. 7. Line buffer and block diagram for LBP operation.

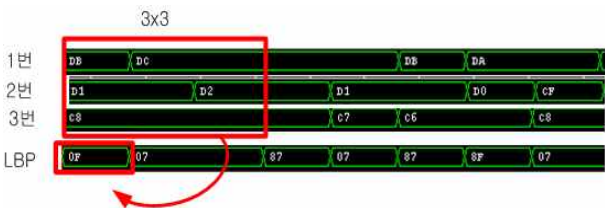


그림 8. LBP 연산의 시뮬레이션 결과
Fig. 8. Simulation result of LBP operation.

[그림 8]은 LBP 연산을 하드웨어로 설계한 시뮬레이션 결과화면이다. 입력으로 첫 번째 라인 버퍼에 16진수 {DB, DC, DC, ...}, 두 번째 라인버퍼에 {D1, D1, D2, ...}, 세 번째 라인버퍼에 {C8, C8, C8, ...}과 같이 입력으로 들어온다. 이 가운데 두 번째 라인 버퍼의 가운데 입력 값 D1이 기준이 되고, 이에 대한 LBP 값은 이진수로 00001111, 16진수로 0F값이 나오는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인 할 수 있다.

III. 실험

본 논문에서 하드웨어로 설계한 LBP 연산을 FPGA 보드를 이용하여 구현 및 동작을 확인했다. 시뮬레이션 결과를 통해 확인된 하드웨어를 Xilinx Spartan-6 FPGA 보드를 이용해서 구현했다^[8]. 제안하는 시스템을 임베디드 시스템에 내장 가능하게 구성하기 위해서 Xilinx 사의 MicroBlaze 소프트웨어(softcore)를 활용한 플랫폼 기반 설계를 진행했다. [그림 9]는 제안하는 시스템을 IP(Intellectual Property)화하여 Core Connection PLB Slave 버스에 연결한 것을 나타냈다.

[그림 10]은 LBP 연산의 결과 화면을 나타낸다. [그림 10 (a)]의 HD급 원본 화면이 오른쪽 [그림 10 (b)]과

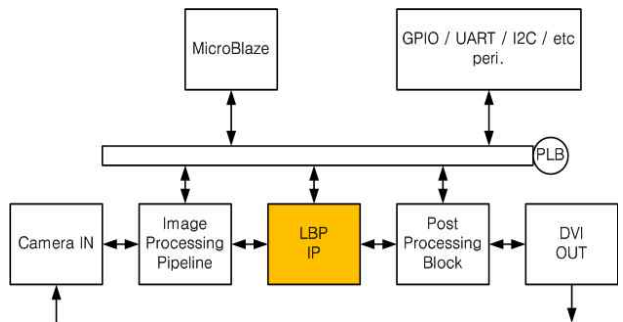


그림 9. 검증 플랫폼
Fig. 9. Verification platform.



(a) 원본 영상 (b) LBP 영상

그림 10. LBP 연산 결과화면
Fig. 10. Implementation result of LBP operation.

같이 LBP 연산을 통해 실시간으로 영상이 출력되는 것을 확인 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서 HD급 영상에서 얼굴 검출의 실시간 처리를 위한 LBP 연산 모듈을 설계 및 구현하였다. 하드웨어를 블록 다이어그램으로 설계하고 HDL(Hardware Description Language)을 사용하여 최종적으로 Spartan-6 FPGA 보드를 이용하여 구현하였다. 실시간으로 입력되어지는 스트리밍 방식의 표준 디스플레이 신호에서 라인 버퍼를 사용하여 실시간 처리가 가능하도록 설계 했으며, 이를 MicroBlaze 소프트웨어 플랫폼에 IP화하여 내장하였다. 그리고 소프트웨어의 작성을 통해 이를 검증해본 결과 실시간으로 HD급 화면에서의 LBP 연산이 가능함을 확인했으며, 이를 통해 보다 효율적인 얼굴 검출이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] R.McCready, "Real-time face detection on a configurable hardware platform", M.S. thesis, Department of Electronics Computer Engineering, University of Toronto, Toronto, Canada, 2000.
- [2] Duy Nguyen, David Halupka, Parham Aarabi, and Ali Sheikholesalami, "Real time Face detection and Lip feature extraction using FPGA", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cyberetics Art*, Vol. 36, no. 4, pp.902-912, 2006.
- [3] Gregory A. Baxes, *Digital image processing : principle and application*, Willey, pp105-130 ,1994
- [4] 김태완, 노현진, 오철균, 김익동, 정연모, "HD급 영상에서의 얼굴 검출을 위한 실시간 영상 축소기의 설계", *한국정보처리학회 춘계학술대회 논문집*, 제18 권, 제1호, 2011년 5월
- [5] Maenpaa and Topi, *Local binary pattern approach to texture analysis-extensions and applications*, Univ. Oulu, 2003.
- [6] Y. Freund, and R. E. Schapire, "A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting", *Journal of Computer and System Sciences*, Vol. 55, pp. 119-139, 1997.
- [7] 노현진, 김태완, 정연모, "Simulink를 이용한 얼굴 검출 기술의 통합설계 및 검증", *대한임베디드공학회 논문지*, 제1권, 제1호, 79-82쪽, 2010년 11월
- [8] www.xilinx.com

저 자 소 개



노 현 진(학생회원)
2008년 한림대학교 전자공학과
학사 졸업.
2011년 경희대학교 전자공학과
석사 졸업.
2011년~현 매그나칩 반도체
연구원

<주관심분야 : ASIC, SoC, Verification>



김 태 완(정회원)
2007년 경희대학교 전자공학과
학사졸업
2009년 경희대학교 전자공학과
석사졸업
2009년~경희대학교 전자전파
공학과 박사과정 재학 중

<주관심분야 : SoC , 임베디드 시스템, FPGA>



정 연 모(정회원)
1980년 경북대학교 졸업.
1982년 KAIST 공학석사.
1982년~1987년 경제기획원
전산처리관
1992년 미국 미시간주립대학교
공학박사

1992년~현재 경희대학교 전자전파공학과 교수
<주관심분야 : SoC, 임베디드 시스템, RTOS>