

소형 360° 구강 스캐너 영상처리용 임베디드 보드 개발

Development of Small 360° Oral Scanner Embedded Board for Image Processing

고 태 영*, 이 선 구**, 이 승 호***★

Tae-Young Ko*, Sun-Gu Lee**, Seung-Ho Lee***★

Abstract

In this paper, we propose the development of a Small 360° Oral Scanner embedded board. The proposed small 360° oral scanner embedded board consists of image level and transfer method changing part FPGA part, memory part and FIFO to USB transfer part. The image level and transmission mode change unit divides the MIPI format oral image received through the small 360° oral cavity image sensor and the image sensor into low power signal mode and high speed signal mode and distributes them to the port and transfers the level shift to the FPGA unit. The FPGA unit performs functions such as 360° image distortion correction, image correction, image processing, and image compression. In the FIFO to USB transfer section, the RAW data transferred through the FIFO in the FPGA is transferred to the PC using USB 3.0, USB 3.1, etc. using the transceiver chip. In order to evaluate the efficiency of the proposed small 360° oral scanner embedded board, it has been tested by an authorized testing institute. As a result, the frame rate per second is over 60 fps and the data transfer rate is 4.99 Gb/second

요 약

본 논문에서는 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 개발을 제안한다. 제안하는 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드는 이미지 레벨 및 전송방식 변경 부, FPGA 부, 메모리 부, FIFO to USB 전송부 등으로 구성된다. 이미지 레벨 및 전송방식 변경 부는 소형 360° 전방위 구강 렌즈와 이미지 센서를 통해 들어온 MIPI 형식의 구강 영상을 Low Power Signal Mode와 High Speed Signal Mode로 나누어 포트에 분산 입력하고 레벨 시프트를 하여 FPGA 부에 전송한다. FPGA 부에서는 360° 영상 왜곡 보정, 영상 보정, 영상 처리, 영상 압축 등의 기능 등을 수행한다. FIFO to USB 전송부에서는 FPGA 내부의 FIFO를 통해 전달되어진 RAW 데이터를 트랜시버 칩을 사용하여 USB 3.0, USB 3.1 등의 통신 규격으로 PC에 전송한다. 제안된 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 효율을 판단하기 위하여 공인시험기관에서 실험한 결과, 보정 영상 후 초당 프레임은 60fps 이상, 데이터 전송률은 4.99Gb/s로서 높은 수준의 결과가 산출되어 그 효용성이 입증되었다.

Key words : 360° Small Omnidirectional Embedded Board, Oral Scanner, Image Processing, Image Sensor, Embedded Board, FIFO to USB

* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University

** QDIS Co. Ltd

*** Dept. Electronics&Control Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

E-mail : shlee@cad.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1137

Manuscript received Nov. 20, 2018; revised Dec. 10, 2018; accepted Dec. 10, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

치과에서 보철을 제작하는 과정 중 인상채득은 환자의 구강 내 조직 및 치아의 상태를 판단하여 인상재에 인가하는 과정이다. 이는 환자의 향후 진료 방향 및 계획을 수립하거나, 환자의 구강에 알맞은 보철물을 제작하는데 있어 매우 중요한 과정이다. 일반적인 인상채득 방법은 술식에 따라 적절한 인상재를 선택하고 정확한 인상채득을 위한 술자의 숙련된 임상 기술을 필요로 한다[1]. 인상채득 과정은 알맞은 인상재를 선택하지 못하거나, 잘못

된 방법으로 진행하면 환자의 구강상태에 맞게 제작된 인상재가 변형될 수 있으며, 환자가 구토증상을 보일 수 있고, 입을 움직이는 과정에서 불편함을 호소할 수 있다. 따라서, 현재 인상채득의 소요 시간을 단축시키고 정확하게 인상채득을 하는 연구가 대두되고 있다. 이를 해결하고자, 전체의 구강(틀니)을 기계적 오차 없이 스캔하는 소형 360° 구강 스캐너 렌즈 모듈[2]을 통해 획득한 영상을 왜곡 보정, 영상 보정, 영상 처리, 영상 압축 등의 기능 등을 수행하여 USB 3.0, USB 3.1 등의 통신 규격으로 PC에 전송하기 위한 영상처리용 임베디드 보드 개발을 목표로 한다[3].

II. 본론

1. 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드

소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 블록도는 그림 1과 같이 이미지 레벨 및 전송방식 변경부, FPGA 부, 메모리 부, FIFO to USB 전송부 등으로 구성된다. 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드는 렌즈와 이미지 센서를 통해 들어온 MIPI 형식의 구강 영상을 이미지 레벨 및 전송방식 변경부에서 Low Power Mode와 High Speed Signal Mode 신호로 분리하여 FPGA 부에 전송한다. FPGA 부에서는 360° 영상 왜곡 보정, 영상 보정, 영상 처리, 영상 압축 등의 기능 등을 수행한 후에 내부 FIFO를 통해 USB 3.0, USB 3.1 등의 통신 규격(10bit RAW 형식의 90fps)으로 PC에 전송한다.

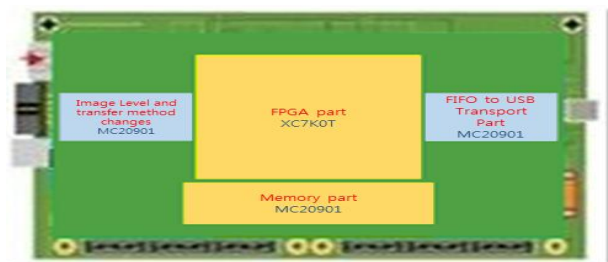


Fig. 1. Block Diagram of Small 360° Oral Scanner Embedded Board.

그림 1. 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드 블록도

2. 이미지 레벨 및 전송방식 변경 부

FPGA의 MIPI 입력 각 포트단의 속도 밴드폭으로 인해 한꺼번에 한 포트에 입력하기 어렵다. 따라서, 이미지 레벨 및 전송방식 변경 부에서 360° 구강 렌즈와 이미지 센서를 통해 들어온 MIPI 형

식의 구강 영상을 Low Power Signal Mode와 High Speed Signal Mode로 나누어 포트에 분산 입력하고, MIPI 시그널 전압 레벨과 FPGA 입력의 전압 레벨이 다르므로 레벨 시프터를 하여 FPGA에 전송한다. 이미지 레벨 및 전송방식 변경 부는 Metcom사의 고속 MIPI Level Shifter 칩인 Metcom MC20901을 사용하였다. 그림 2는 이미지 레벨 및 전송방식 변경 부의 블록도이다.

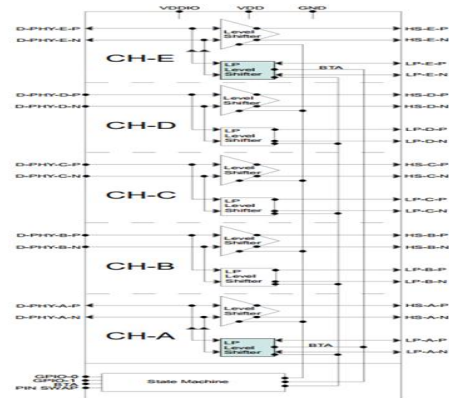


Fig. 2. Block Diagram of Image Level and Transfer method changes.

그림 2. 이미지 레벨 및 전송방식 변경 부의 블록도

3. FPGA 부

FPGA 부에서는 Low Power Signal과 High Speed Signal로 나뉘어 들어온 MIPI신호를 FPGA의 내부 게이트, 플립플롭, LUT, 멀티플라이어, 블록 RAM을 이용하여 360° 영상 왜곡 보정, 영상 보정, 영상 처리, 영상 압축 등을 거치면서 하드웨어 언어로 FIFO 출력이 가능하게 한다. FPGA 부는 Xilinx Virtex-II Pro7 Line Up칩인 Xilinx XC7K70T (1GHz 이상)을 사용하였고, VHDL을 기본으로 MATLAB, LABVIEW 등의 툴로 인코딩하였다.

3.1. 360° 영상 왜곡 보정 기술 개발

360° 영상 왜곡 보정 기술은 적응적 보간법 중에 하나인 패턴 일치 보간법(Pattern Matching Based Interpolation)을 사용하였다[4]. 패턴 일치 보간법은 패턴과 접해있는 이웃 화소의 차이를 계산한 후 차이가 가장 적은 값을 사용하여 보정하는 방법이다. 본 논문에서는 보간법을 활용한 픽셀 보정 및 컬러보정을 VHDL로 코딩하여 Xilinx사의 FPGA 칩에 탑재하였다.

3.2. 영상 보정 기술 개발

영상 보정은 렌즈의 구조에 의한 이미지 왜곡, 이

미지 센서의 불량화소, 화이트 밸런스 조정, 영상 블랙 레벨 제어, 컬러 조정, 감마값 조정의 기술을 통해 실제 사물이 가지는 색상과의 차이를 보정하는 기술로, 그림 3은 영상 보정 기술의 순서도이다. 비동작 전류감지는 CMOS 이미지 센서로부터 받은 RAW RGB 데이터의 각 픽셀에 대한 전류를 감지하여, 이미지 센서의 이득을 조정하는 기술이다. 불량 픽셀 감지는 이미지 센서의 픽셀중 하나가 하얗게 또는 까맣게 나오거나 RGB중 하나가 작동하지 않는 현상을 보정하는 기술이다. 불량 화소라고 의심되는 픽셀의 주변 정보를 나열하여 그 중간 값으로 대체시켜 픽셀을 보정하는 Median Filter 방법을 사용하였다. 화이트 밸런스 조정은 빛의 색 온도를 그 물체에 고유 색상에 맞게 조정하는 기술이다. 영상 블랙 레벨 제어는 카메라 화면상의 특정 밝은 부분 때문에 전체적인 영상이 흐릿하게 보이는 것을 보정하기 위한 기술이다. 밝은 부분의 콘트라스트를 줄여 화질을 개선시키거나, 화면이 전체적으로 밝기 때문에 중심인물이나 사물이 어둡게 보이는 것을 보정하는 기술이다. 컬러 조정은 RGB 채널에 대한 s-shaped curve를 증가시켜 컬러 연장을 시키고, 감마보정을 통해 밝기를 보정한다. 마지막으로 어두운 부분과 밝은 부분의 영상 신호를 비선형 함수로 부호화하여 감마보정을 하였다.

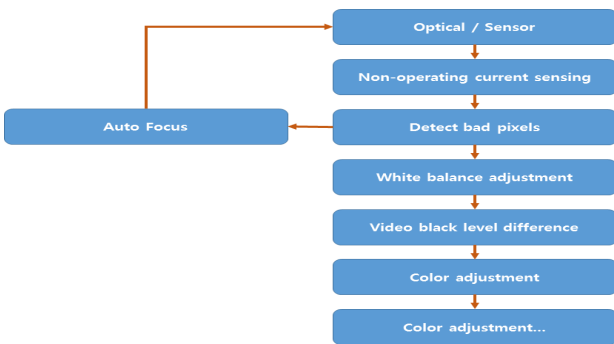


Fig. 3. Block Diagram of Image Correction Technology.
그림 3. 영상 보정 기술의 순서도

3.3. 영상 처리 기술 개발

영상 처리 기술은 이미지 센서로부터 전달된 영상을 소규모 ISP(Image Signal Processor)를 거쳐서 4M 60프레임의 MIPI 신호로 FIFO to USB 전송부에 넘겨주는 역할을 한다. 그림 4는 영상처리 기술의 블록도이다. 아날로그/디지털 변환에서는 증폭된 신호의 전압이 아날로그 형태로 들어오게 되면, 이 파형을 양자화된 형태인 시간에 따른 아

날로그 형태의 파형으로 자르고 디지털 레벨로 변환하여 데이터 변경이 쉽도록 한다. 이미지 프로세싱에서는 자동 화이트 밸런스, 자동 노출, 색상보정, 감마보정, 휘도의 평활화, I2C & 제어 로직 등의 기능을 구현하였다.



Fig. 4. Block Diagram of Image Processing Technology.
그림 4. 영상 처리 기술의 순서도

3.4. 영상 압축 기술 적용

현재 영상 압축 기술들은 H.263, H.264, H.265 등이 존재하며, 갈수록 압축률과 전송 프레임 레이트 수가 증가하고 있으며, H.265는 8K, 300fps까지 지원이 가능하다. 본 논문에서는 H.264보다 압축률이 2배이며 MPEG 파일의 원본 1/4비트 레이트의 적은 용량으로도 원본과 동일한 영상을 만들어서 디스플레이 할 수 있는 최신 영상 압축 기술인 H.265 기술을 적용하여 영상 보정 처리 과정을 거친 이미지를 전달하였다[5]. H.265 코덱은 Xilinx사에서 제공되는 SDK를 FPGA에 탑재하였다.

4. 메모리 부

메모리 부는 영상을 저장하고 별도의 외부 메모리의 어드레싱선, 제어선, 데이터선 등을 통해서 추가적으로 메모리 영역을 확보한다. 본 논문의 메모리 부는 Hynix사, Micron사 등의 DDR3 SDRAM (1GByte) 메모리를 사용하였다.

5. FIFO to USB 전송 부

FIFO to USB 전송부는 FPGA 내부의 FIFO를 통해 전달 되어진 RAW 데이터를 트랜시버 칩(FTDI FT601)을 사용하여 USB 3.0, USB 3.1 등의 통신 규격으로 PC에 전송한다. 그림 5는 FIFO to USB 전송 부의 블록도이다.

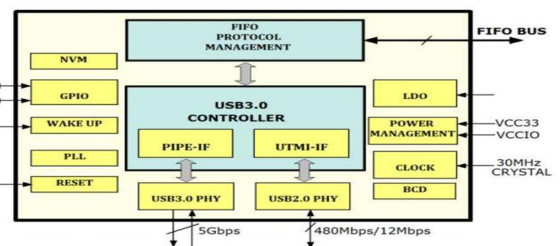


Fig. 5. Block Diagram of FIFO to USB Transport part.
그림 5. FIFO to USB 전송 부의 블록도

6. 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 PCB
보드 설계 및 제작

그림 6은 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 PCB artwork을, 그림 7은 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 PCB 이미지를 나타내고 있다.

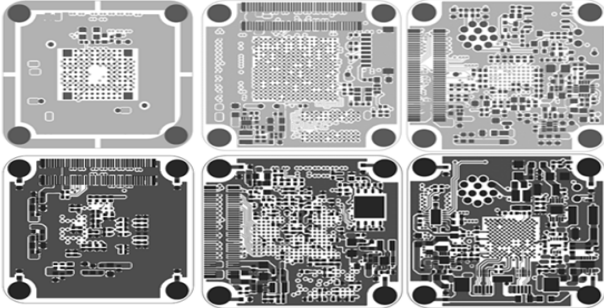


Fig. 6. PCB Artwork of Small 360° Oral Scanner Embedded Board.
그림 6. 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 PCB Artwork

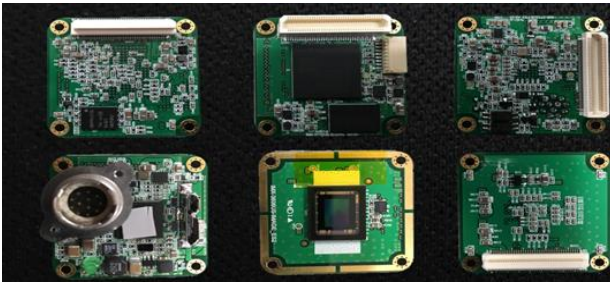


Fig. 7. PCB Image of Small 360° Oral Scanner Embedded Board.
그림 7. 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 PCB 이미지

7. 성능 실험

가. 실험 방법

본 논문에서 제안한 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 보정 영상 후 초당 프레임을 평가하기 위해 공인시험기관에서 노트북 동영상을 통해 초당 프레임을 확인하였다. 또한 데이터 전송률 등을 평가하기 위하여 공인시험기관에서 USB3.1 Test Application을 사용하여 그림 8과 같이 실험을 수행하였다.

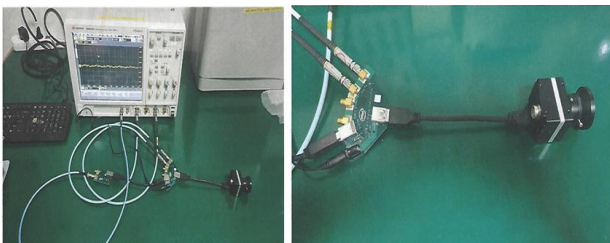


Fig. 8. Performance Test Test Configuration Environment.
그림 8. 성능시험 테스트 구성 환경

나. 실험 결과

실험을 진행한 결과, 표 1와 같이 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 보정 영상 후 초당 프레임은 4M에서 60fps 이상, 데이터 전송률은 4.99Gb/s로서 높

은 수준의 결과가 산출되어 그 효용성이 입증되었다.

Table 1. Result of Certificate of Accreditation Agency.

표 1. 공인시험성적서 결과

Evaluation Item (Performance Specifications)	Unit	Evaluation Result
FPS after calibration	fps	More then 60 fps
Data transfer rate	Gbps	4.99 Gbps

III. 결론

본 논문에서는 소형 360° 전방위 구강 임베디드 보드의 개발을 제안하였다. 제안하는 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드는 이미지 레벨 및 전송방식 변경 부, FPGA 부, 메모리 부, FIFO to USB 전송부 등으로 구성되었다. 제안된 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 효율을 판단하기 위하여 공인시험기관에서 실험한 결과, 360° 구강 스캐너 임베디드 보드의 보정 영상 후 초당 프레임은 60fps 이상, 데이터 전송률은 4.99Gb/s로서 높은 수준의 결과가 산출되어 그 효용성이 입증되었다. 향후 연구 과제는 3장으로 분리된 소형 360° 구강 스캐너 임베디드 보드를 1장으로 통합하는 연구가 필요하다고 사료된다.

References

[1] Hong-Seok, Park, and Shah Chintal. "Development of high speed and high accuracy 3D dental intra oral scanner," *Procedia Engineering* 100, 1174-1181, 2015. DOI:10.1016/j.proeng.2015.01.481

[2] Dong-Hoon Kwak, Sun-Gu Lee and Seung-Ho Lee, "The Development of Small 360° Oral Scanner Lens Module," *Journal of the Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol.22, No.3, pp.858-861, 2018.

[3] Hee-Yeol Lee, Sun-Gu Lee and Seung-Ho Lee, 2017, "Development of 360° Omnidirectional IP Camera with High Resolution of 12 Million Pixels," *Journal of IKEEE*, Vol.21, No.3, pp.268-271, 2017.

[4] Wang, Y. Q., et al. "Quantitative error assessment in pattern matching: effects of intensity pattern noise, interpolation, strain and image contrast on motion measurements," *Strain* 45.2, 160-178, 2009. DOI:10.1111/j.1475-1305.2008.00592.x

[5] Grois, Dan, et al. "Performance comparison of h. 265/mpeg-hevc, vp9, and h. 264/mpeg-avc encoders," *Picture Coding Symposium (PCS), IEEE*, 2013. DOI:10.1109/PCS.2013.6737766