

# CIS 와 FPGA 를 이용한 3D Sensing 구현

송경진\*, 윤성호\*, 류제혁\*, 조준동\*

\*성균관대학교 전기전자공학과

Email : [elllight@chol.com](mailto:elllight@chol.com), {ifone.compro}@vada1.skku.ac.kr, jdcho@skku.ac.kr

## Implementation Of 3D Sensing Using CIS and FPGA

Kyeong-jin Song\*, Sung-ho Yoon\*, Je-hyuk Ryu\*, Jun-dong Cho\*

\*Dept. of Information & Communication, Sungkyunkwan University

### 요 약

최근 로봇에 대한 연구가 활발히 진행되면서 로봇이 움직이면서 필요한 거리정보를 얻기 위한 여러 가지 3D Sensing 알고리즘이 제시되었다. 그 중 하나인 HOC(hierarchical orthogonal code) 알고리즘 이용하면서 실시간성 및 모듈화를 위해 CIS(CMOS Image Sensor), FPGA 를 이용하여 구현 하였다.

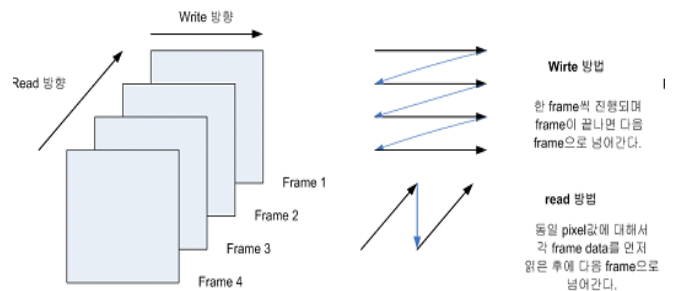
### 1. 서론

로봇의 대한 연구가 진행되면서 로봇의 눈 역할을 하는 3 차원 영상 알고리즘이 많이 제시되고 있다. 그 중 Structured Light 방식을 사용한 가장 일반적인 방법으로 gray code 를 이용하여 3 차원 영상 이미지를 얻는 방법이 있으며 최근에는 HOC(hierarchical orthogonal code) 알고리즘이 제시되었다. 이러한 알고리즘을 이용해서 3 차원 영상 정보를 얻기 위해서는 일정한 패턴을 프로젝터등을 이용하여 출력해주고 이를 카메라를 이용해서 촬영한 후 카메라를 이용하여 영상처리를 해야 한다. 이러한 알고리즘들은 소프트웨어로는 실시간성 있게 구현 하기가 어렵다. 많은 양의 영상 데이터를 처리하는데 소프트웨어는 병렬처리가 되지 않아서 시간이 많이 걸린다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 FPGA 와 SDRAM 을 이용하고 CIS(CMOS Image Sensor)를 FPGA 에 직접 연결하여 HOC 알고리즘의 실시간성을 구현하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 SDRAM Interface 의 개요

HOC 알고리즘에서 영상 데이터를 메모리에 읽고 쓰는 방법은 그림 1 과 같다.



(그림 1) 영상 데이터 read/write 방법

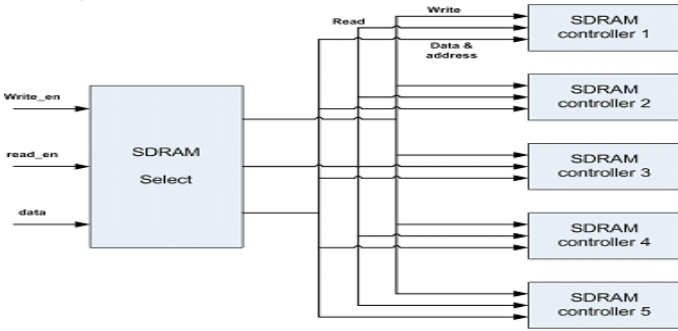
write 는 CIS 에서 입력된 영상 데이터를 들어온 순서대로 진행하면 되지만 read 는 순서대로 읽는 것이 아니라 같은 pixel 위치끼리 동시에 읽어서 처리해야 한다.

즉 SDRAM 에서 read/write address 값을 생성하는 방법이 다르다는 것을 의미한다. write 시는 pixel 의 값을 증가시킨 후 frame 에 해당하는 address 를 증가시키면 되지만 read 는 순서대로 증가시키는 것이 아닌 frame address 를 증가한 후 다음에 다시 pixel address 값을 증가시켜야 한다. 이렇게 읽어야 동일 pixel 의 값을 읽어서 처리할 수가 있다.

#### 2.2 SDRAM Interface 의 구조

SDRAM interface 의 구조는 아래와 같다. 기본적으로 SDRAM 은 5 개를 사용하였다. 이는 총 17frame 을 저장해야 하는데 SDRAM 1~4 번 까지 4 frame 씩 저장하고 SDRAM 5 번은 마지막 1 frame 만 저장하였

다.  
그림 2는 SDRAM interface를 나타내고 있다.



(그림 2) SDRAM interface

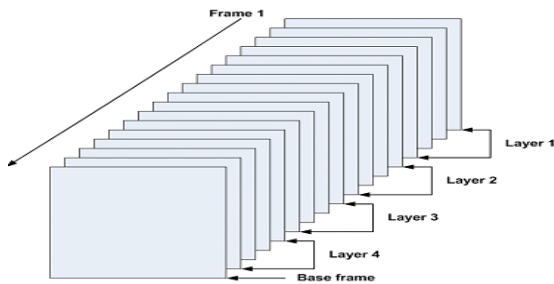
SDRAM select 부분은 read/write 명령에 따라 address를 생성시켜 주며 이 address 값에 의해서 각각 controller로 data, address and command를 보내준다.

이 블록에서 SDRAM select 부분이 HOC 알고리즘 구현 시 메모리 interface에 대한 전체적인 control을 하는 부분이다.

SDRAM controller는 Burst length 8, CAS latency 2로 정의하여 구현하였다.

2.3 HOC 알고리즘 처리 개요

HOC 알고리즘은 17 frame 씩 처리한다. 각 frame의 구조는 그림 3과 같다.

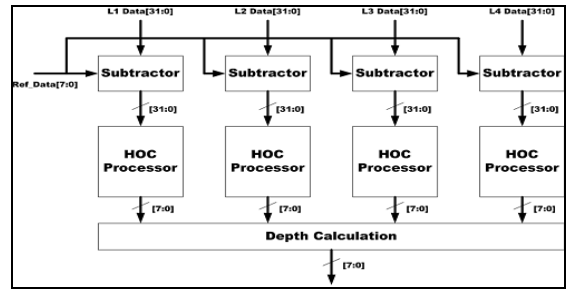


(그림 3) HOC 알고리즘의 frame 구조

그림 3과 같이 layer를 구성한 다음에 각 layer마다 동일 pixel 위치의 최대값을 구한다. 이렇게 구해진 각 layer의 최대값을 decoding하여 3차원 depth를 구하는 address 값을 얻는다.

2.4 HOC 알고리즘 processing

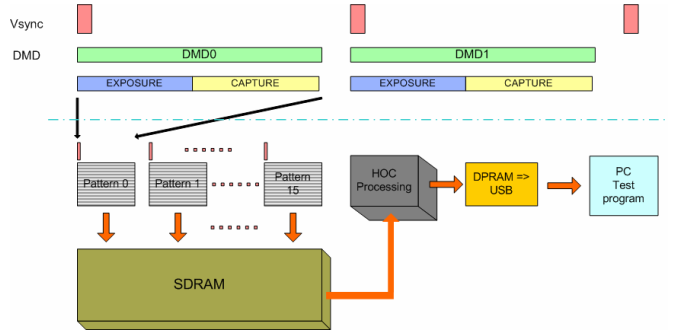
17 frame은 SDRAM에 저장되어 있다. 매 frame마다 동일한 pixel 위치의 값이 SDRAM에서 읽혀지게 된다. 이렇게 읽혀지는 값은 4 frame씩 layer별로 묶여진 후 매 pixel마다 비교해서 그 중 가장 큰 값을 layer별로 선택한다. 이렇게 선택된 4개의 값을 가지고 address 값을 추출하게 된다. 이러한 과정은 그림 4에 나타나 있다.



(그림 4) HOC 알고리즘 processing

2.5 HOC Processing System 검증

아래 그림 5는 HOC 결과를 얻기 위한 순서를 나타낸 것이다.

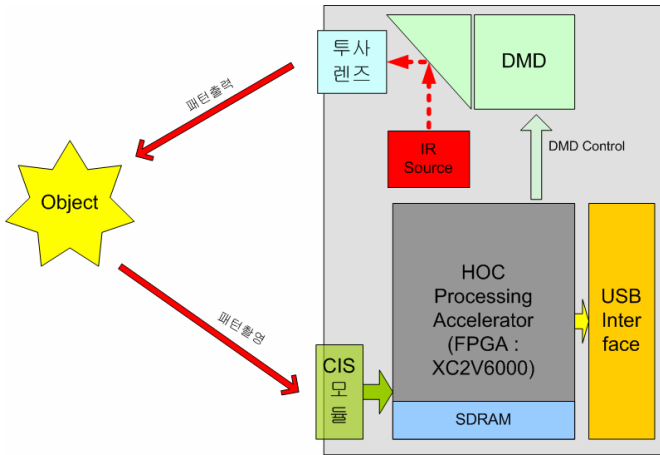


(그림 5) HOC Processing 전체 과정

HOC 알고리즘은 17장의 패턴을 출력하고 이를 CIS를 통해 순서대로 촬영을 한다. 실험에 사용한 CIS는 Omnivision사의 OV7120으로 320x240의 흑백영상을 초당 60 프레임 속도로 출력을 할 수 있다. 각 프레임마다 정해진 패턴을 촬영해야 하므로 CIS의 촬영 시간과 DMD에 패턴 출력의 시간간에 동기가 맞아야 각 프레임간 영상이 겹치지 않는다. 이 동기를 맞추기 위해서 CIS의 동작모드를 마스터 모드로 설정하여 CIS를 60fps로 고정하여 이때 CIS에서 출력되는 프레임 동기 신호를 기준으로 DMD에 출력할 패턴을 생성하고 DMD에 데이터를 보내 적외선 패턴을 출력한다 그리고 적외선 패턴에 맞추어 촬영된 패턴 이미지는 5개의 SDRAM에 4 프레임 단위로 저장되고 이를 이용해 HOC를 수행한다. 이러한 과정을 거쳐서 얻은 HOC 결과를 USB2.0 Interface를 통해 PC로 전송하여 검증을 하였다.

전체적인 HOC Processing의 반복 속도는 본 논문의 실험에 사용된 CIS의 60fps 한계로 인하여 초당 3 프레임의 3차원 영상 이미지를 얻을 수 있었다.

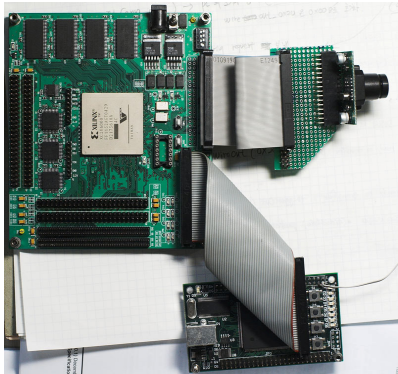
그림 6은 알고리즘 검증을 위한 platform의 블록도이다. 적외선 패턴 출력을 위해서 적외선 소스와 DMD, 그리고 투사렌즈를 구성하였고 CIS, DMD, USB를 통한 데이터 전송 및 HOC Processing을 위해서 FPGA와 SDRAM으로 구성하였다.



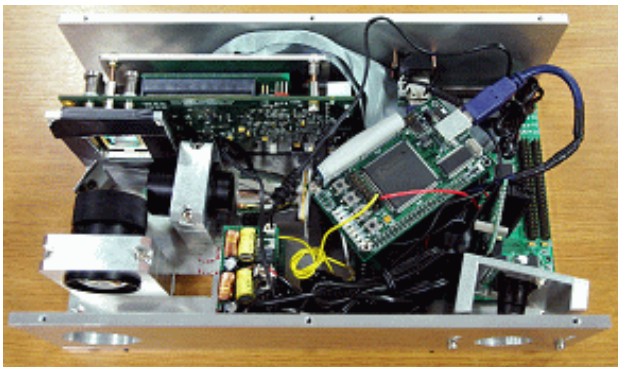
(그림 6) HOC 알고리즘 검증용 platform

그림 7은 실제 HOC Processing, SDRAM Control, CIS Control, DMD Control 이 들어갈 FPGA 보드이다. FPGA 는 Xilinx VirtexII XC2V6000 가 사용되었고 영상데이터 처리시 메모리부의 Bandwidth 를 늘리기 위해 SDRAM 8 개가 독립적으로 컨트롤 되도록 구성하였다.

이 HOC Processing 보드, 적외선 패턴 출력부를 모듈화 시킨 것이 그림 8 에 나타나 있다. 이렇게 모듈로 구성함으로써 로봇에 적용할 때 Power 와 USB 연결만으로 사용 될 수 있도록 하였다.



(그림 7) HOC Processing 보드



(그림 8) HOC Processing Module

## 2.6 실험결과

표 1~2 은 검증한 결과를 나타낸 것이다.

<표 1> Statistical significance (z value)

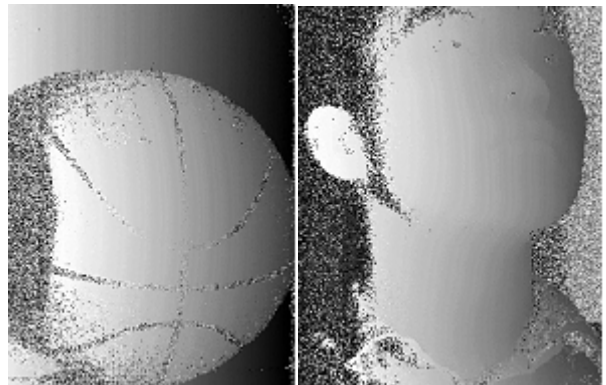
	Plane	Ball/Plant	Workspace
Gray Code	0.0162	0.1238	0.1566
HOC	0.0082	0.0758	0.0838

<표 1> S/W, H/W 구현에 따른 HOC 처리속도 비교

HOC Processing Time	
SW implementation	813ms
HW implementation	56ms

표 1 에서 보듯이 일반 gray code 를 사용한 것보다 HOC 알고리즘을 사용한 것이 보다 더 정확한 값을 보여주고 있다.

표 2 는 동일한 HOC 알고리즘의 처리시간을 SW 와 HW 로 비교한 것이다. 병렬구조를 이용한 HW 가 처리시간이 더 짧아지며 또한 실시간성을 보장한다.



(그림 9) HOC Porcessing 결과 이미지

## 3. 결론

3 차원 영상 알고리즘을 처리하는데 있어서 가장 큰 문제는 역시 많은 양의 데이터이다. 3 차원 영상 하나를 얻기 위해서 기본적으로 여러 장의 이미지를 처리해야 하기 때문에 많은 양의 데이터를 저장하는 것과 동시에 처리하는데 많은 시간이 소모된다. 또한 SW 적으로 할 경우 병렬적인 처리가 불가능 하므로 소비 되는 시간이 더 많이 들게 된다. 이러한 점을 해결하기 위해 우리는 CIS(CMOS Image Sensor)와 structured light 를 사용하여 HOC 알고리즘을 이용한 3 차원 영상 구현 platform 을 구성하였다. SDRAM 을 data 저장하는데 사용하며 FPGA 로 데이터를 처리하였다. 이 platform 을 바탕으로 실험한 결과 SW 보다 더 빠르게 처리됨을 알 수 있다. 또한 다른 3 차원 알고리즘과 비교하여도 더 정확하고, 적외선 패턴을 사용하여 주변환경의 영향에 더 강하고 눈에 보이지 않

때문에 향후 청소로봇이나 서비스 로봇에 장착될 경우 사용자에게 미치는 영향이나 로봇의 가시광선을 이용하는 스트레오비전등과 같은 카메라에 영향을 적게 준다는 것을 알 수 있다. 그리고 위의 시스템을 모듈화 시켰기 때문에 로봇에 장착하여 사용 가능함을 알 수 있다. 그리고 HOC 알고리즘 처리 속도 면에서는 SW 보다 최소 14 배정도 더 빠른 속도를 가짐으로 실시간성을 구현하였다.. 향후에는 좀더 고속의 CIS(CMOS Image Sensor)를 사용하여 더 빠르게 HOC 결과를 얻을 수 있도록 구현하고 좀더 소형화할 계획이다.

#### 4. 알림글

본 연구는 21 세기 프론티어 R&D 프로그램중에 하나인 Intelligent Robotics Development 를 위하여 과학기술부 연구비에 의하여 수행되었고, 또한 부분적으로 IDEC, 소프트웨어 진흥원 IT-SOC 센터의 지원과 경기도의 과학기술 프로그램의 연구비에 의하여 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] J. Pages, J. Salvi, R. Garcia, and C. Matabosch : "Overview of Coded light projection techniques for automatic 3D profiling. IEEE International Conference on Robotics and Automation", Taipei, Taiwan, September 2003.
- [2] C. Je, S.W. Lee, and R.-H. Park "Color-Phase Analysis for Sinusoidal Structured Light in Rapid Range Imaging. Proc" 6th Asian Conference on Computer Vision, vol. 1, Jeju, Korea, January 2004.
- [3] L. Zhang, B. Curless, and S. M. Seitz "Rapid Shape Acquisition Using Color Structured Light and Multi-pass Dynamic Programming" Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, 2002.
- [4] P. Vuylsteke and A. Oosterlinck "Range image acquisition with a single binary-encoded light pattern." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990.
- [5] R. A. Morano, C. Ozturk, R. Conn, S. Dubin, S. Zietz, and J. Nissanov "Structured light using pseudorandom codes." Pattern Analysis and Machine Intelligence", March 1998.
- [6] J. L. Posdamer and M. D. Altschuler "Surface measurement by space-encoded projected beam systems." Computer Graphics and Image Processing, 1982.
- [7] D. Caspi, N. Kiryati, and J. Shamir "Range imaging with adaptive color structured light." IEEE Transactions on Pattern analysis and machine intelligence, 1998.
- [8] J. Guhring "Dense 3-d surface acquisition by structured light using off-the-shelf components." Videometrics and Optical Methods for 3D Shape Measurement, 2001.
- [9] S. Lee, J. Choi, D. Kim, J. Na, S. Oh, "Signal Separation Coding for Robust Depth Imaging Based on Structured Light" IEEE International Conference on Robotics and Automation, April 18- 22, Spain, 2005.