

ARM을 이용한 카메라 시스템 보드 개발에 관한 연구

최 영 규*

Development of Camera System Board Using ARM

Young-Gyu Choi*

요 약 현대 사회는 감시의 눈이라 하는 CCTV가 일상생활 속에서 다양한 방법으로 영상데이터를 수집하기 위해 사용되고 있다. 치안 및 감시, 방법용으로 CCTV를 활용할 뿐만 아니라 자동차에 블랙박스 등 많은 분야에서 활용되고 있다. 본 논문에서는 STM32F407 ARM 칩을 기반으로 다양한 분야에 응용할 수 있는 카메라 시스템을 개발하기 위해 연구를 진행하였다. 카메라 시스템 개발을 위해 솔리드 워크 환경에서 전체적인 구조를 3D를 기반으로 카메라 시스템을 모델링을 진행하였다. PCB 보드 설계는 카메라 시스템 모델링 파일에서 PCB 부품을 iges 파일로 추출하여 Altium Designer 툴에서 3D와 2D 보드로 변환하여 PCB 설계 진행함으로써 완성도 높은 조립성을 가질 수 있도록 진행하였다. 카메라 시스템 회로 및 PCB를 설계한 후, TRM(Thermal Risk Management) 툴을 활용해서 보드에서 발생하는 발열 시뮬레이션을 진행을 통해 대처할 수 있도록 함으로써 안정적인 시스템 구현에 관한 연구를 진행하였다.

Abstract In modern society, CCTV, which is the eye of surveillance, is being used to collect image data in various ways in daily life. CCTV is used not only for security, surveillance, and crime prevention but also in many fields such as automobile and black box. In this paper, we have developed a STM32F407 ARM chip based camera system for various applications. In order to develop camera system, modeling of camera system based on 3D structure was carried out in SolidWorks environment. The PCB board design was developed to extract the PCB parts from the camera system modeling files into iges files, convert them from the Altium Designer tool into 3D and 2D boards. After designing the camera system circuit and PCB, we have been studying the implementation of the stable system by using TRM (Thermal Risk Management) tool to cope with the heat simulation generated on the board.

Key Words : CCTV(Closed-circuit television), PCB(printed circuit board), Thermal simulation, IGES (Initial Graphics Exchange Specification), TRM

1. 서론

현대 사회는 감시의 눈이라 불리는 CCTV가 일상생활 속에서 다양한 방법으로 영상데이터를 수집하기 위해 사용되고 있다. 치안 및 감시, 방법용으로 CCTV를 활용할 뿐만 아니라 자동차에 설치된 블랙박스에서 촬영된 영상이 법적인 증거물로 사용되고 있다. 이와 같이 수집된 영상을 다양한 분야에서 증거 자료로 활용이 되고 있다. 우리사회에서 많은 분야에서 카메라 활용도가 높아지고 있고, 양산되고 있는 ARM 칩의 성능이 가격대비 높은 성능을 내고

있다. 본 논문에서는 ST사의 STM32F407을 활용한 카메라 PCB 보드 설계 및 열 시뮬레이션을 진행하여 안정적인 시스템을 구현하도록 연구를 진행한다.

STM32F407은 고성능 ARM 기반으로 Cortex-M4 32-bit RISC로 168 MHz의 주파수 지원 및 고속 임베디드 메모리 (최대 1Mbyte의 플래시 메모리, 최대 192KB의 SRAM), 최대 4KB의 백업 SRAM 및 DCMI (Digital CaMera Interface) 및 DMA (Direct Memory Access) 컨트롤러, FMC (Flexible Memory Controller), SDIO (Secure Digital Input Output)등의 특징을 가지고 있다^[1].

This Paper was supported by research Fund of Korea National University of Transportation in 2017,

* Department of Computer Engineering, Korea National University of Transportation (ygchoi@ut.ac.kr)

Received October 28, 2018

Revised November 05, 2018

Accepted November 22, 2018

카메라를 구현하기 위한 개발 환경은 IAR 컴파일러와 그래픽 환경에서 HAL(Hardware Abstraction Layer) level과 Middleware level에서 초기화 코드를 구현해 주는 CubeMX 툴, 인터페이스 PCB 보드설계를 위해 Altium Designer 툴, PCB 보드의 열 설계 시뮬레이션을 위한 TRM 툴, 3D 기구 설계를 위한 Solid Works을 활용하여 개발을 진행하였다.

2. 시스템 구현

2.1 STM32F407 CubeMX 설정

STM32F407에 카메라 구현을 위해 CubeMx를 활용하여 입력 클럭을 8MHz로 그림 1과 같이 설정하고, DCMI, FMC, DMA, SDIO의 핀을 그림 2와 같이 설정하여 HAL 기반의 코드를 생성하여 개발을 진행하였다^{[2][5]}.

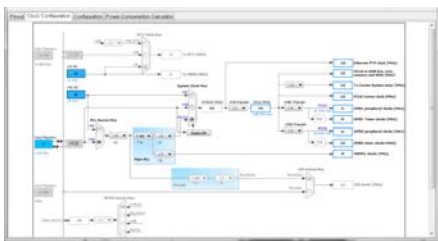


그림 1. STM32F407 clock 설정
Fig. 1. STM32F407 clock setting

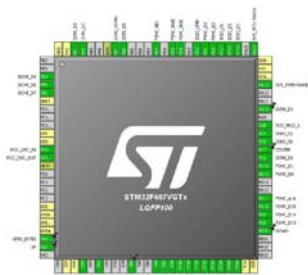


그림 2. STM32F407 코드 생성을 위한 핀 설정
Fig. 2. Pin Settings for STM32F407 Code Generation

2.2 카메라

OV7670 카메라를 사용하여 개발을 진행한다. 카메라 특징은 YUV, YCbCr, RGB, RAW 포맷의

출력, 최대 30fps의 속도를 지원하고, VGA 해상도에서 최대 30FPS의 속도 및 포맷 방식(RGB, YUV, RAW), 데이터 출력을 제공한다. 또한 SCCB (I2C)인터페이스를 통해 노출, 감마, 화이트 밸런스, 채도, 색조 조절을 이미지 처리 프로그래밍 할 수 있는 특징을 가지고 있다. MCU와 카메라 인터페이스 구성은 그림 3과 같다^[3].

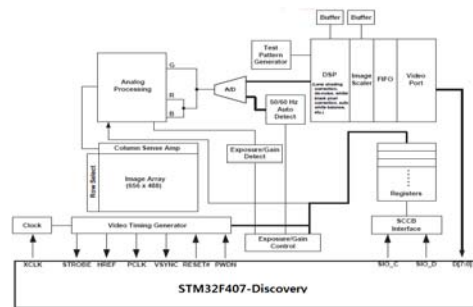


그림 3. MCU와 CAMERA 인터페이스 구성도
Fig. 3. MCU and CAMERA interface configuration diagram

OV7670 카메라의 데이터 프레임은 7bit의 주소와 데이터를 사용하며 R/W, ACK(응답)으로 총 9bit로 480개의 HREF 신호 안에 640byte의 데이터가 들어 있는 구조로 640*480 해상도를 그림 4와 같이 지원한다^[3].

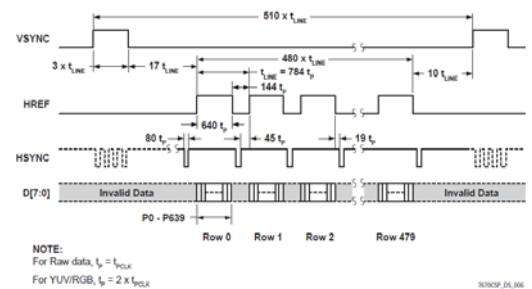


그림 4. OV7670 VGA 프레임 타이밍
Fig. 4. OV7670 VGA Frame Timing

본 논문에서는 320*240 해상도, RGB565, 30fps으로 설정하여 QVGA에서 HREF 파형은 그림 5와 같이 1/2로 줄어든다.

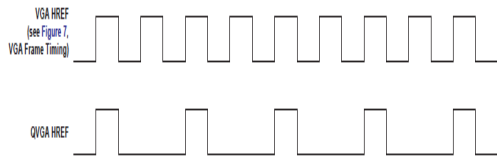


그림 5. OV7670 VGA 프레임 타이밍
Fig5. QVGA Frame Timing

LCD 입력을 RGB565방식으로 사용하기 위해서 1 픽셀(pixel) 2 바이트(byte) 데이터로 DMA컨트롤러를 이용하여 이미지 데이터를 그림 6과 같이 LCD에 직접 입력하였다.^[3]

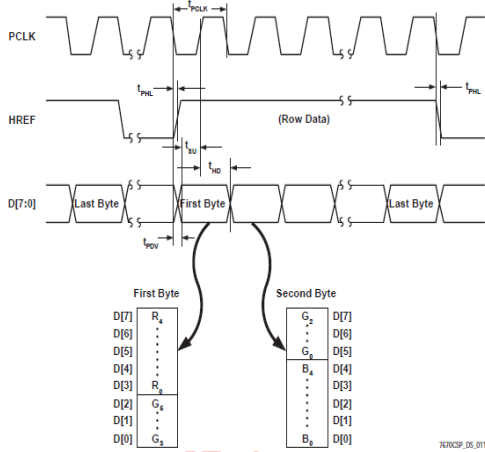


그림 6. RGB565 출력 타이밍
Fig. 6. RGB565 Output Timing

2.3 LCD

ILI9341(3.2inch TFT-LCD)는 3 개의 시스템 고속 인터페이스를 지원한다. 각각의 시스템 인터페이스의 8, 9, 16, 18 비트 버스 폭에 대한 레지스터 설정 고속 인터페이스 모드는 표 1과 같이 핀 설정을 통해 선택 할 수 있다^[4].

표 1. TFT-LCD R/W 레지스터 설정
Table 1.TFT-LCD R/W Register set

Registers selection by system interface (8-/9-/16-/18-bit bus width)		I80	
Function	RS	nWR	nRD
Write an index to IR register	0	0	1
Write to control registers or the internal GRAM by WDR register.	1	0	1
Read from the internal GRAM by RDR register.	1	1	0

ILI9341는 16 비트 인덱스 레지스터 (IR), 18 비트 쓰기 데이터 레지스터 (WDR) 및 18 비트 읽기 데이터 레지스터 (RDR)를 가지고 있고, IR 은 제어 레지스터와 내부 GRAM의 인덱스 정보를 저장하는 레지스터이다. ILI9341는 프레임 동기화 신호 VSYNC와 동기화하여 VSYNC 인터페이스를 지원하여 i80-시스템 인터페이스로 동영상을 출력한다. VSYNC 인터페이스가 동영상을 출력하도록 선택되면, 최소 GRAM 업데이트 속도는 제한되고, VSYNC 인터페이스는 DM [1 : 0] = "10" 및 RM = "0"을 설정해야 한다.^[4]

2.4 이미지 전송

STM32F407에서는 영상 전송을 위해 DMA 채널을 구성한 후 주변기기를 메모리 전송 방향을 올바르게 설정해야하는 복잡한 과정을 거치게 되어있다. 그림 7, 8은 MCU가 디스플레이 제어기 ILI9341과 SPI 버스를 이용하여 LCD 화면에 카메라 이미지를 출력하는 흐름도와 블럭도이다.

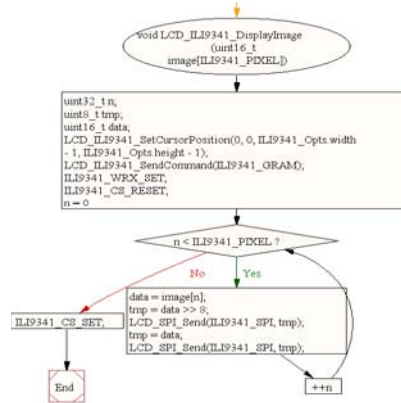


그림 7. LCD 화면 출력 흐름도
Fig. 7. LCD display output flow chart

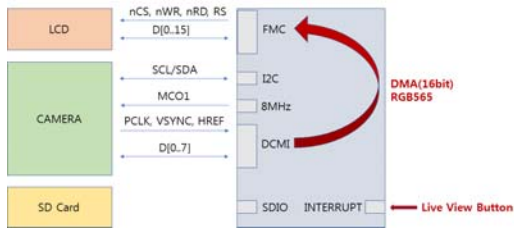


그림 8. 이미지를 LCD로 출력하는 블럭도
Fig. 8. Block diagram for outputting image to LCD

2.5 이미지 저장

STM32F407에서 SD Card를 사용하기 위해서 SDIO(Secure Digital Input/Output)는 bus를 통해 명령 및 데이터 전송을 위한 방법은 그림 9와 같이 CMD 라인을 통해 명령어와 응답 이루어지고 D[0..3] 라인을 통해 데이터가 전송된다^[7].

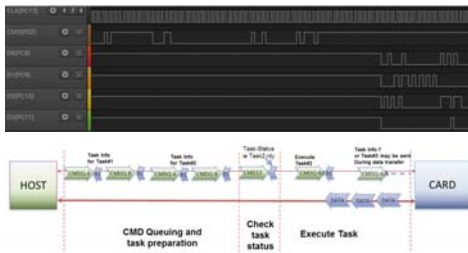


그림 9. SDIO 블록 읽기 동작
Fig. 9. SDIO block read operation

SD 메모리에 이미지 저장을 위해 LCD 데이터를 RGB565에서 RGB555로 변환을 하여 SD카드에 저장할 수 있게 그림 10과 같이 처리하였다.

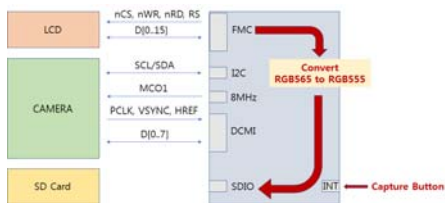


그림 10. SD메모리에 이미지 저장
Fig. 10. Store images in SD memory

전체적인 소프트웨어 아키텍처는 그림 11과 같다.

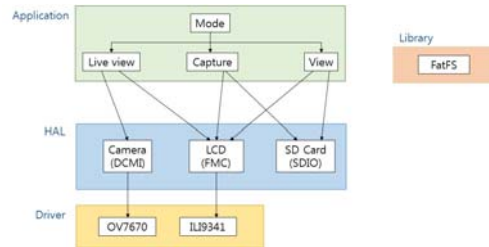


그림 11. 소프트웨어 아키텍처
Fig. 11. Software Architecture

2.6 카메라 회로 및 PCB 설계

영상 처리를 위한 회로 설계를 그림 12와 같이 주변장치와의 인터페이스 핀 맵을 기반으로 Altium Designer 툴을 활용하여 카메라 인터페이스 회로 및 CPU 주변회로를 그림 13, 14와 같이 디자인하여 PCB 설계를 진행하였다.

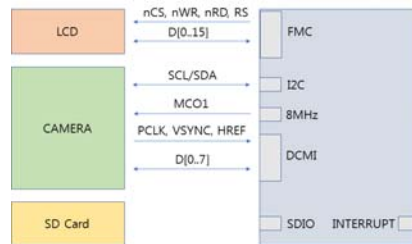


그림 12. 주변장치와 MCU의 인터페이스
Fig. 12. Interfaces between peripheral devices and MCU

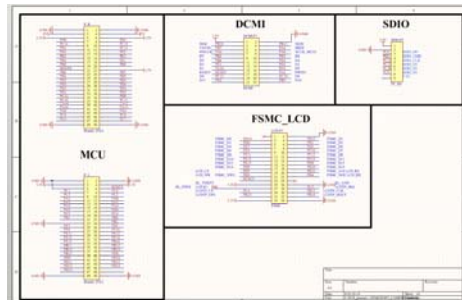


그림 13. 주변장치 인터페이스 회로도
Fig. 13. Peripheral Interface Schematic

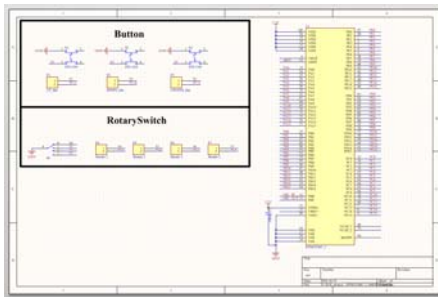


그림 14. MCU와 주변장치 인터페이스
Fig. 14. MCU and peripheral interface

본 연구에서는 제품 설계 시 3D 기반으로 기구설계 및 PCB 설계를 진행함으로써 제품 개발 시 발생할 수 있는 조립성 문제를 해결할 수 있도록 개발을 진행하였다. 본 논문에서는 SolidWorks에서 그림15와 같이 3D를 기반으로 카메라를 모델링을 진행한 후 PCB 보드를 igs 파일로 추출하여 Altium Designer에서 3D와 2D PCB 파일로 변환하여 그림 16과 같이 진행함으로써 조립성 및 완성도 높은 카메라 시스템 개발을 진행 할 수 있었다.

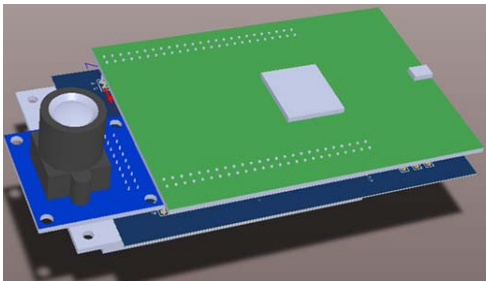


그림 15. 3D 카메라 디자인
Fig. 15. 3D camera design

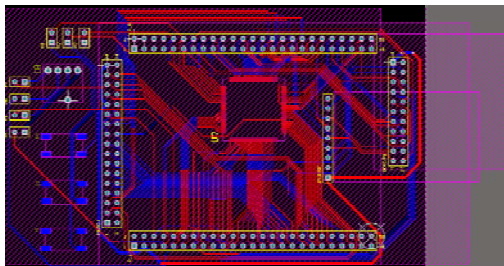


그림 16. 카메라 PCB 설계
Fig. 16. camera PCB design

3. 카메라 PCB 보드 시뮬레이션과 데이터 전송 측정

3.1 PCB 열 분석

엔지니어가 PCB 설계시 짧은 시간에 다수의 열 분석을 통해 설계에 반영할 수 있도록 하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 TRM틀을 활용하여 PCB의 상층과 하층 레이어에 대한 거버 데이터(gerber data)를 BMP파일로 변환하여 시뮬레이션을 진행하였다^[6]. 열 분석 시뮬레이션은 PCB에 부품을 실장한 후에 발생하는 보드 발열을 예측하여 짧은 기간에 완성도 높은 PCB 설계를 진행할 수 있도록 하였다. 카메라 보드 시스템을 시뮬레이션 결과에서 온 그림 17,18 결과는 예서와 같이 PCB 보드 상에서 적색으로 나타난 중앙 부분의 발열 값이 110.877327263 으로 가장 높은 곳에서 558.440 mm² 면적이 급격하게 높게 히스토그램 계산 값인 표 2에 나타났다. 이와 같이 급격히 높게 면적이 증가 하면서 온도가 높게 나타난 것은 STM32f407 부품 밀 부분에 동박 패턴이 없어 열전도가 이루어지지 않아 발열이 높게 나타난 것이다. 카메라 시스템 보드 개발에서 발열이 패턴 밀도가 높은 CPU에 밀집된 현상이 나타났지만 고밀도 PCB 기판 설계시에는 열 분포를 효율적으로 분산하기 위해서 부품 배치와 시뮬레이션이 매우 중요하다.

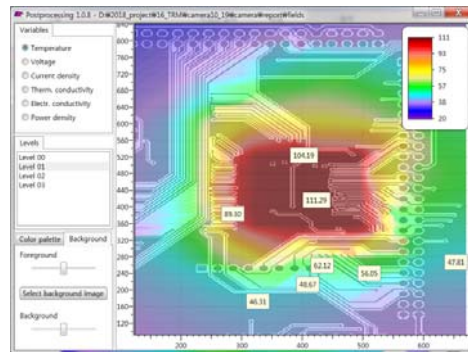


그림 17. 카메라 PCB보드 열 측정 시뮬레이션
Fig. 17. Camera PCB board thermal simulation

표 2. 시뮬레이션 온도 값과 면적

Table 2. simulation temperature value and area

Temperature Value	Area[mm2]
28.6767297387	561.320
29.5900697112	654.150
30.5034096837	690.350
31.4167496562	830.970
32.3300896287	559.010
33.2434296012	455.810
34.1567695737	364.320
35.0701095462	297.700
35.9834495187	421.620
36.8967894912	761.480
37.8101294637	762.630
38.7234694362	678.400
...	...
108.137307346	30.3800
109.050647318	32.7700
109.963987291	56.6000
110.877327263	558.440

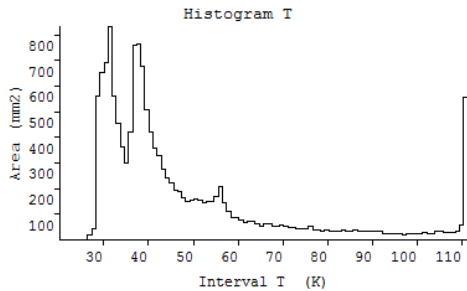


그림 18. PCB 배선 밀도에 따른 히스토그램
Figure 18. Histogram with PCB Wiring Density

그림 18 히스토그램에서 왼쪽에 높게 나타난 두 부분 값을 표 2 값의 굵은 글자를 확인해 보면 패턴 없는 곳은 방열 면적이 넓어 온도가 낮게 나타남을 알 수 있다.

3.2 RGB 565 타이밍

카메라를 완성한 후에 OV7670에서 해상도 320*240, RGB565를 설정한 타이밍 출력 값을 측정한 결과를 그림 20에서와 같이 1개의 펄스

VSYNC 신호를 확대한 후 HREF 신호를 확대하여 출력한 데이터 신호를 분석한 결과 타이밍에 문제가 없이 그림 21과 같이 사진에 노이즈가 없이 전송됨을 알 수 있었다.

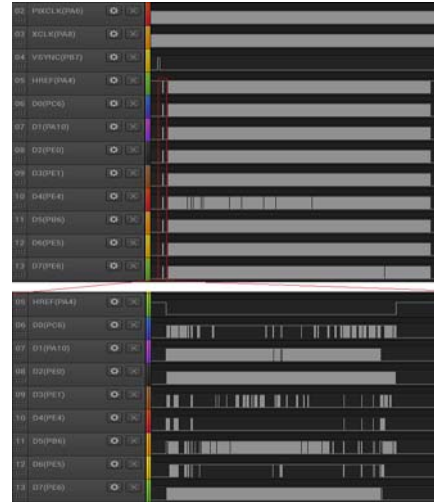


그림 20. OV7670 1개의 프레임 타이밍
Fig. 20. OV7670 1 frame timing



그림 21. STM32F 카메라 구현 결과
Fig. 21. STM32F camera implementation result

4. 결론

현대사회에서 많은 분야에서 카메라가 활용이 되고 앞으로도 더 많은 분야에서 활용될 것으로 판단되고 있다. 본 연구에서는 개발자들이 ARM을 활용한 카메라 시스템 보드뿐만 아니라 PCB 기반 설계시 발생하는 열 분석을 TRM을 활용해 짧은 기간에 시뮬레이

션을 통해 안정적인 시스템 개발을 진행할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 제품 개발 시 최단시간에 효율적으로 기술개발을 할 수 있도록 3D 기구 설계에서부터 PCB 설계, 보드 발열 시뮬레이션, 펌웨어 (firmware)까지 제품을 완성할 수 있는 연구를 진행함으로써 시행착오 없이 제품을 완성할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 개발된 STM32F407은 STM사의 ARM4 계열은 동영상 처리 및 카메라 성능이 낮았지만 개발을 진행한 결과 카메라의 이미지 전송 속도는 초당 0.9 프레임으로 속도로 전송됨을 알 수 있었다. 앞으로의 연구과제는 ARM4 기반기술을 바탕으로 ARM7 계열과 openCV를 활용할 수 있는 칩을 선정하여 활용도 높은 카메라와 주변장치를 활용할 수 있는 임베디드 시스템을 개발 할 예정이다.

REFERENCES

- [1] STMicroelectronics "STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced Arm®-based 32-bit MCUs datasheet", <http://www.st.com>
- [2] STMicroelectronics "STM32CubeMX for STM32 configuration and initialization C code generation datasheet"
- [3] OmniVision "OV7670/OV7171 CMOS VGA(640×480) CAMERACHIP datasheet", version 1.01, July 8, 2005
- [4] ILITEK "ILI9341 "a-Si TFT LCD Single Chip Driver 240RGBx320 Resolution and 262K color datasheet", <http://www.ilitek.com>
- [5] STMicroelectronics "Digital camera interface (DCMI) for STM32 MCUs datasheet", <http://www.st.com>
- [6] ADAM Research "TRM is All About Temperature of Your PCB", <https://www.adam-research.de/en/>
- [7] SanDisk "SanDisk microSD OEM Product Manual", Revision 2.0, March 2010
- [8] KIM JOON-WON, 'A Wireless Camera Image Transmission System', The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and

Communication VOL. 10 No. 5, 2010

저자약력

최 영 규(Young-Gyu Choi)

[중신회원]



- 1983년 2월 청주대학교 학사
- 1986년 8월 중앙대학교 석사
- 1995년 8월 청주대학교 박사
- 1991년 5월 ~ 현재 : 한국교통대학교 컴퓨터공학전공 교수

〈관심분야〉 IT Convergence System Design