

Rolling Shutter CMOS 센서 기반 가시광 통신 시스템의 성능 분석

트렁홉도*, 유 명 식^o

Performance Analysis of Visible Light Communication System Using Rolling Shutter CMOS Sensor

Trong-Hop Do*, Myungsik Yoo^o

요 약

본 논문에서는 Rolling Shutter CMOS 센서를 이용한 가시광 통신 시스템의 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위하여 ISI (Inter-symbol Interference)가 가시광통신에 미치는 영향을 분석하였다. 모의실험을 통하여 분석결과의 타당성을 검증하였다.

Key Words : visible light, rolling shutter, CMOS sensor, signal quality, inter-symbol interference

ABSTRACT

In this paper, we analyze the performance of visible light communication system using rolling shutter CMOS sensor. For analysis, the effect of ISI (Inter-symbol Interference) on visible communication has been formulated. We validate our analysis through computer simulations.

I. 서 론

최근 이미지센서 기술의 급격한 발전으로 인하여 중저가 스마트폰들이 고해상도의 CMOS 센서 카메라를 장착하게 되었다. 이들은 고해상도의 이미지를 초당 30 또는 60 프레임을 촬영할 수 있다.

Rolling Shutter CMOS 센서의 가시광 통신에 대한 영향 분석에 대한 개념이 [1]에 제시되었다. 또한 Rolling Shutter CMOS 센서의 차량통신 [2] 및 측위에 적용한 기술들에 대한 내용이 다루어 졌다. 하지만 Rolling Shutter CMOS 센서 동작 원리에 대한 내용은 다루어지지 않았으며, 더욱이 통신 시스템의 성능 분석에 대한 내용을 다룬 연구는 현재까지 없었다.

이에 본 논문에서는 Rolling Shutter CMOS 센서의 동작 원리를 설명하고 이를 통신시스템 분석에 적용하여 ISI가 통신시스템 성능에 미치는 영향에 대하여 분석하고자 한다.

II. Rolling Shutter CMOS 센서 Rolling

2.1 Shutter 동작 원리

CMOS 센서의 이미지 획득 과정을 그림 1에 도시하였다. CMOS 센서에서는 노출 (Exposure) 및 데이터 획득 (Readout) 과정이 한 줄씩 수행된다. 연속되는 두 줄에 대한 노출과정에서의 지연은 한 줄의 데이터 획득하는 시간과 동일하다. 이러한 과정을 CMOS 센서의 Rolling Shutter라 한다. 한 프레임에 대한 획득 시간은 첫 번째 줄의 노출로 시작하여 마지막 줄의 데이터 획득까지 걸리는 총 시간이다. 이 기간 동안 LED 점등은 이미지에 밝고 어두운 줄로 표시되며, 이러한 줄들을 통하여 데이터 비트들을 전송할 수 있게 된다.

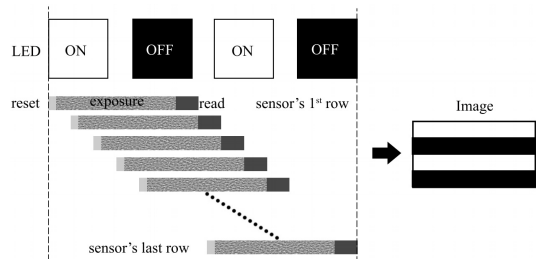


그림 1. CMOS 센서의 이미지 획득 과정
Fig. 1. Image acquisition in CMOS sensor

2.2 이미지 센서의 표현

8비트의 RGB 칼라가 사용되었다고 가정하면, 한 픽셀에 대한 최대값은 255이다. Gamma 부호화에 의하면 픽셀 값은 다음과 같이 표현된다. 이때 gamma

* 본 연구는 한국연구재단 지원을 받아 수행되었음 (NRF-2015R1A2A2A01006431)
• First Author : Soongsil University, School of Electronic Engineering, dotronghop@gmail.com, myoo@ssu.ac.kr, 학생회원
o Corresponding Author : Soongsil University, School of Electronic Engineering, myoo@ssu.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2015-10-330, Received October 11, 2015; Revised October 15, 2015; Accepted October 15, 2015

값은 표준에 따라 2로 정한다.

$$PV = 118 \times 2^{ED/\gamma} \quad (5)$$

$$Pixel\ Value = 255 \times Raw\ Value^{1/\gamma} \quad (1)$$

빛 노출은 lux로 측정되지만, 상대적인 빛 노출은 stop으로 표현된다. 빛 노출을 두배 또는 반절로 변화시킬 때 하나의 stop이 증가 또는 감소된다. 이에 대한 센서의 반응은 그림 2와 같으며, 최대 노출의 18%에 해당하는 Middle Gray Point는 상대적 빛 노출 값 0에 해당된다.

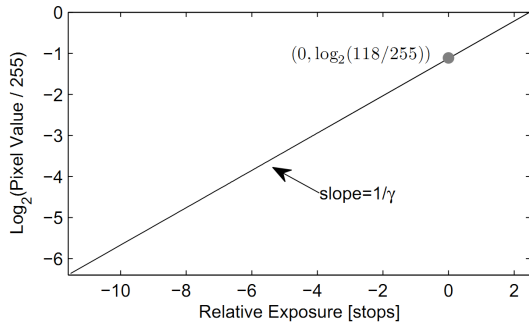


그림 2. 상대적 빛 노출 값에 의한 이미지 표현
Fig. 2. Image representation in terms of relative exposure

2.3 픽셀 값 표현

Exposed Value (EV)는 카메라의 노출시간, 렌즈 조리개, ISO의 설정에 따라 다음과 같이 결정된다. 여기서 t는 노출시간, N은 조리개, S는 ISO값이다 [3].

$$EV = \log_2 \frac{N^2}{t} \quad (2)$$

LED에 의한 Exposed Value (EV_{LED})는 다음과 같고, 이때 L_v는 LED Luminance, K는 Relected-light 상수값이다.

$$EV_{LED} = \log_2 \frac{L_v \times S}{K} \quad (3)$$

EV_{set}를 카메라 설정에 따른 EV 값이라 할 때, 노출 차이값 (ED: Exposure Difference)은 다음과 같다.

$$ED = EV_{LED} - EV_{set} \quad (4)$$

ED 값은 이미지의 픽셀값을 (2)에 의하여 계산할 때 사용하며, 픽셀값은 다음과 같이 계산된다.

III. 가시광 통신 시스템 성능 분석

CMOS 기반 가시광 통신에서 신호의 품질은 비트 1과 0을 표시하는 이미지의 흑백 줄의 선명도에 의해서 결정된다. 그림 3에 도시한 바와 같이 Rolling Shutter가 각 줄의 이미지 획득을 위하여 노출시간 (Exposure Time)을 반복하게 되는데, 일부 노출시간은 LED의 ON/OFF 중간에 위치하게 되어 이미지의 선명도가 저하되게 된다.

이미지의 천이구간 (Transition Band)를 그림 4에 도시하였다. 그림 4의 천이구간이 통신 신호의 0과 1 사이에서 신호 품질을 저하시키는 ISI로 영향을 주게 된다.

그림 3에서 천이구간의 높이 h_t는 삼각형 원리에 의해 다음과 같이 계산된다. 이때 h_i는 줄 수에 의한 이미지의 높이, t_e는 노출시간 (Exposure Time), t_r은 프레임 데이터 획득 시간 (Frame Readout Time), t_r은 줄 데이터 획득 시간 (Row Readout Time)이다.

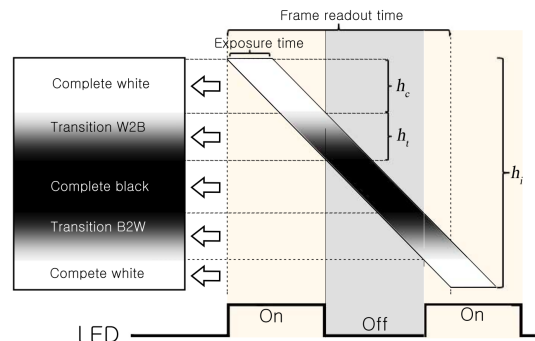


그림 3. LED ON/OFF 중간의 천이구간 (Transition Band)
Fig. 3. Transition band between LED ON and OFF

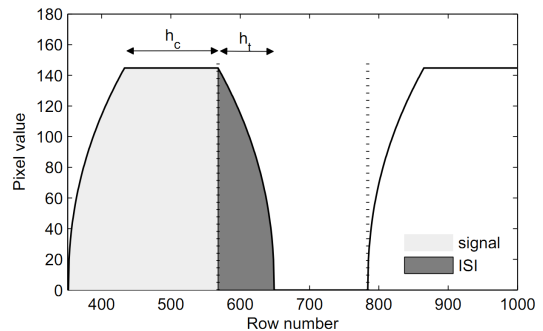


그림 4. 천이구간에 의한 ISI
Fig. 4. ISI caused by transition band

$$h_t = t \times \frac{h_i}{t_f} = \frac{t}{t_r} \quad (6)$$

완전한 흑/백 줄의 높이 h_c 는 다음과 같이 계산된다. 이때 f_{led} 는 LED의 주파수(초당 ON/OFF 횟수)이다.

$$h_c = \frac{1/f_{led} - t}{t_r} = \frac{1}{f_{led} \times t_r} - h_t \quad (7)$$

IV. 성능평가

가시광 통신 시스템에서 ISI 영향에 대한 분석을 검증하기 위하여 성능평가를 수행하였다. 시뮬레이션을 위하여 2장에서 설명한 시스템에 대한 모델링을 Matlab을 통하여 구현하였다. 성능평가에 필요한 파라미터들은 표 1과 같이 설정하였다.

통신시스템 성능에 대한 노출시간의 영향을 평가하기 위하여 frame readout 시간을 10msec로, LED 주파수를 500Hz로 설정하였고, 외부잡음은 실내 환경을 가정하였다. 노출시간 1/1000sec와 1/8000sec에 대한 성능평가 결과를 그림 5에 도시하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 노출시간이 감소함에 따라 천이구간이 감소하여 선명한 이미지를 획득할 수 있음을 알 수 있다.

통신시스템 성능에 대한 frame readout 시간의 영향을 평가하기 위하여 노출시간을 1/2000sec로, LED 주파수를 500Hz로 설정하였고, 실내환경을 고려하여 모의실험을 수행하였다. Frame readout 시간 5msec와 40msec에 대한 결과를 그림 6에 도시하였다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 frame readout 시간이 증가함에 따라 천이구간이 감소함을 볼 수 있다. 또한 흑

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Modulation	OOK
LED luminance	8192 [cd/m^2]
ISO speed	100
Lens aperture	5.6
K constant	12.5
C constant	330
γ	2.2
Sensor size	1920×1080

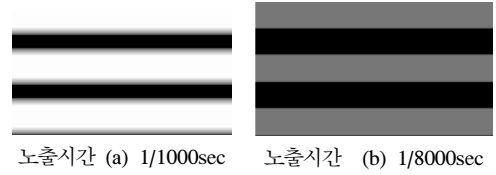


그림 5. 노출시간의 영향
Fig. 5. Effects of exposed time

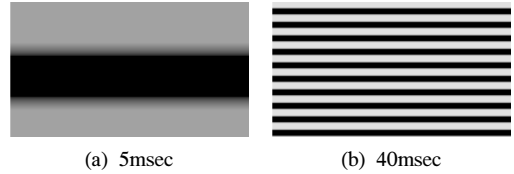


그림 6. Frame readout 시간의 영향
Fig. 6. Effects of frame readout time

백 줄의 높이 h_c 도 감소함을 볼 수 있다. 이는 이미지에서 줄 수의 증가를 의미한다.

V. 결론

최근 Rolling Shutter CMOS 센서에 대한 학계 및 산업계의 관심이 증대되고 있다. 본 논문에서는 Rolling shutter CMOS 센서에 대한 동작 원리와 가시광 통신시스템에 CMOS 센서가 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 모의실험을 통하여 분석의 타당성 검증을 수행하였다.

References

- [1] C. Danakis, M. Afgani, G. Povey, I. Underwood, and H. Haas, "Using a CMOS camera sensor for visible light communication," *IEEE Globecom Wkshps*, pp. 1244-1248, Dec. 2012.
- [2] P. Ji, H. M. Tsai, C. Wang, and F. Liu, "Vehicular visible light communications with led taillight and rolling shutter camera," *IEEE VTC Spring*, pp. 1-6, May 2014.
- [3] Sidney F. Ray, *The Manual of Photography: Photographic and Digital Imaging*, Focal Press, 9th Ed., 2000.