

# 고속 전송 가시광통신 환경에서의 다중 광 간섭 제거를 위한 듀얼 이미지 센서 및 이미지 추정기법

한두희<sup>1</sup> · 이규진<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 · <sup>2</sup>세명대학교

## Dual Image Sensor and Image Estimation Technique for Multiple Optical Interference Cancellation in High Speed Transmission Visible Light Communication Environment

Doohee Han<sup>1</sup> · Kyujin Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kyung Hee University · <sup>2</sup>Semyung University

E-mail : hdh9038@khu.ac.kr / kyujin@semyung.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 CMOS센서 기반 가시광 통신 시스템에서 고속전송을 위한 다중 광원의 간섭제거 및 이미지 센싱 처리기술에 대해서 연구하였다. 이미지센서를 통한 광학카메라 통신에서 전송 용량을 향상 시키려면 각 LED에서 다른 데이터를 동시에 전송해야한다. 그러나 고속전송을 위한 다수의 LED광원 환경은 인접한 LED 간 간섭을 일으킬 수 있다. 이 경우, 가시광통신시스템은 일반적으로 세기 변조를 사용하기 때문에 다수의 LED가 동시에 데이터를 전송할 경우 인접한 LED의 빛 퍼짐 간섭으로 인해 각각의 LED들의 정확한 신호 검출이 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 듀얼 CMOS 센서를 사용하여 다수의 광원 LED의 ON/OFF 상태를 정확히 인식하고, 각각의 LED들의 이미지 시그널 프로세싱 기법을 제안하였다. 이러한 기법을 통해 다수의 LED픽셀을 정확하게 인식하여 다중LED OCVLC 시스템의 총 평균 비트 오류율과 처리량을 향상시킬 수 있다.

### ABSTRACT

In this paper, we study the interference canceling and image sensing processing technology of multiple light sources for high speed transmission in CMOS sensor based visible light communication system. To improve transmission capacity in optical camera communications via image sensors, different data must be transmitted simultaneously from each LED. However, multiple LED light source environments for high-speed transmission can cause interference between adjacent LEDs. In this case, since the visible light communication system generally uses intensity modulation, when a plurality of LEDs transmit data at the same time, it is difficult to accurately detect the respective LEDs due to the light scattering interference of the adjacent LEDs. In order to solve this problem, the ON / OFF state of many LEDs of the light source is accurately recognized by using a dual CMOS sensor, and the spectral estimation technique and the pixel image signal processing technique of each LED are proposed. This technique can accurately recognize multiple LED pixels and improve the total average bit error rate and throughput of a MISO-VLC system.

### 키워드

Optical wireless communication, Visible light communication, MISO-OCVLC, Inter-light Interference Cancellation, Optical camera

## I. 서 론

최근, LED소자 기술이 빠른 속도로 발전하면서 조명과 정보통신의 융합 기술로서 가시광 통신이 주목 받고 있다. 스마트 디바이스의 개발과 함께 가시광통신 기술은 뜨거운 주제가 되었고 많은 차세대 컨버전스 기술의 출현과 함께 활발한 연구가 진행되고 있다.[1] 가시광 통신은 LED를 사용하여 조명과 동시에 통신하는 기술로, 조명 인프라를 이용하여 무선 네트워크 환경을 쉽게 구축 할 수 있어 활용 가치가 높은 기술이다. 앞으로 5G 네트워크는 초 고화질 (UHD) 비디오 스트리밍, 증강 및 가상 현실, 클라우드 게임, 스마트 홈, 커넥티드 카 및 원격 제어와 같은 첨단 요구 사항을 갖춘 광범위한 새로운 서비스를 제공 할 것으로 예상된다. 이러한 요구 사항을 충족시키기 위해 가시광 통신은 고속 응답 특성을 갖는 LED를 사용한다. 따라서 RF가 사용되지 않아 주파수 허가가 필요 없으며, 주파수 간섭 없이 넓은 LED 대역폭을 사용할 수 있어, 고속 멀티미디어 데이터 전송을 대체 할 수 있는 차세대 홈 네트워킹 시스템으로 주목 받는다. [2] [3]. 가시광 통신은 포토다이오드 또는 이미지 센서(카메라)를 수신기로 전송하는 가시광선을 사용한다. 본 논문에서는 가시광을 이용한 이미지 센서 기반의 통신으로서 차세대 무선 서비스를 위한 고속 전송 환경에서, 다중 광 소스에 의한 광 간섭 제거 및 영상 처리 기술을 연구 하였다. 가시광 통신은 태양 광 및 다른 광원과 같은 다양한 간섭을 받는다. 따라서, 효율적인 이미지 센서 통신, 정확한 채널 모델링, 적응 코딩 및 변조 방식, 동기화 및 채널 추정 할당이 필요하다. 또한, 보다 강한 광 간섭 또는 장기간의 통신의 경우, 신호 검출 및 추정이 어렵기 때문에 이 경우에 보다 효율적인 간섭 제거 및 신호 검출 방법이 필요하다. 가시광통신시스템은 일반적으로 세기 변조를 사용하기 때문에 다수의 LED가 동시에 데이터를 전송할 경우 인접한 LED의 빛 퍼짐 간섭으로 인해 각각의 LED들의 정확한 신호 검출이 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 듀얼 CMOS 센서를 사용하여 다수의 광원 LED의 ON/OFF 상태를 정확히 인식하고, 각각의 LED들의 이미지 추정 기법 기법을 제안하였다. 이러한 기법을 통해 다수의 LED픽셀을 정확하게 인식하여 다중LED OC VLC 시스템의 총 평균 비트 오류율과 처리량을 향상시킬 수 있다.

## II. VLC 시스템

본 절에서는 VLC 시스템을 위한 Optical Wireless Channel 모델을 분석한다. 실내 환경에서 VLC 시스템은 LED 광원과 실내 공간에 위치하는 광 수신기로 구성되어 있다. 송신기와 수신기 사이의 채널은 LOS(Line of Sight) 채널과 NLOS(Non-Line of Sight) 채널 그리고 다른 광원들로부터 들어오는 배경잡음으로 구성된다. 다른 광원들로부터 들어오는 배경잡음은 백색 가우시안 노이즈 모델로 가정한다. 벽면에서 반사되어 들어오는 반사광원은 Lambertian 복사강도패턴으로 모델링한다. VLC 채널은 백색 가우시안 노이즈(AWGN) 모델이라 할 수 있다. 수신기에서는 협대역 광학 필터를 사용한다. 광 채널에서의 전송 품질은 shot noise에 영향을 받는다. 시스템에서 주변 광원으로부터 들어오는 shot noise로 인한 영향은 가우시안 노이즈 프로세스로서 무시할 수 있다. 이러한 이유로 인해 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.[4]

$$R(t) = \gamma S(t) * G(t) + N \quad (1)$$

$R(t)$ 는 수신된 신호를 의미하고,  $S(t)$ 는 전송된 광 펄스 신호를 나타낸 것이고,  $N$ 은 AWGN을 나타내고,  $*$ 은 곱셈부호이며,  $\gamma$ 은 광학/전기 (O/E) 변환 효율값을 의미한다.

송신기의 위치는  $S = (r_s, n_s, n)$  (위치벡터  $r_s$ , 방향벡터  $n_s$ , 복사로브(radiation lobe)의 모드 수  $n$ )  $D = \{r_D, \hat{n}_D, A_D, FOV\}$  (위치벡터  $r_D$ , 방향벡터  $\hat{n}_D$ , 수신면적  $A_D$ , Field of View(FOV)) 로 표현한다. 반사면을 가진 실내 환경에서 채널 임펄스 응답은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(t; S, D) = \sum_{k=0}^{\infty} G^{(k)}(t; S, D) \quad (2)$$

여기서  $G^{(k)}(t)$ 는  $k$ 번 반사되어 들어오는 신호의 임펄스 응답을 나타낸다. LOS 신호를 고려한 채널 임펄스 응답의 고차항(High-order terms)은 다음과 같이 표현된다.

$$G(t; S, D) = \int G^{(0)}(t; S, \left\{r, \hat{n}, \frac{\pi}{2}, dr^2\right\}) * G^{(k-1)}(t; \{r, \hat{n}, 1\}, D) \quad (3)$$

여기서  $r$ 은 모든 반사면 S상에 있는 위치벡터를 나타낸다.  $\hat{n}$  은 반사면 S에 있는 위치  $r$ 에서의 단위법선 벡터를 나타내며,  $dr^2$ 은 반사면의 위치  $r$ 에서의 미분면소이다.[5]

## III. 간섭모델

그림 1은 고속 전송을 위한 LED 어레이 매트릭스 환경을 보여준다. 그림에서와 같이  $m * m$  행렬 픽셀은 고속 전송을 위한 LED로 구성되며 각 LED는 700nm ~ 380nm의 파장에서 서로 다른 데이터를 동시에 전송한다. 수신단은 광학 카메라 이미지 센서로 구성되며  $m * m$  매트릭스의 픽셀 LED를 동시에 읽고 처리한다. 이러한 환경에서 인접한 LED는 빛의 확산으로 인해 간섭을 일으킨다. 그림에서 보듯이 인접 픽셀 사이의 LED는 서로간의

간섭을 받아 이미지 센서가 올바른 데이터를 읽지 못하게 한다. 또한, 이러한 중첩 영역 간섭은 오정렬, 원근 왜곡, 흐림 및 비네팅과 같은 왜곡을 야기한다.

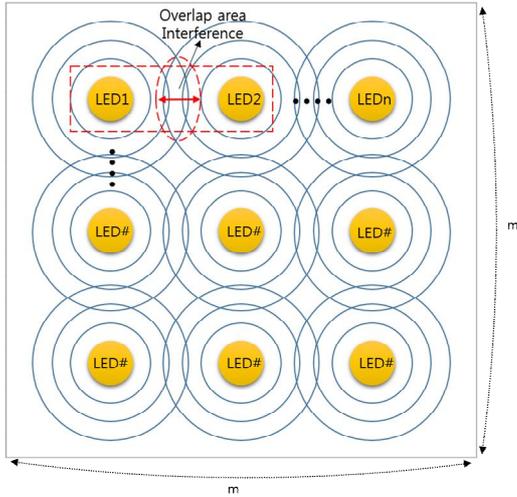


그림 1. LED 매트릭스 간섭 모델

이미지센서를 기반으로 한 가시광 통신은 이러한 간섭에 취약하다. 이 문제를 해결하기 위해 효율적인 이미지 센서 통신, 정확한 채널 모델링, 적응 코딩 및 변조 방식, 동기화 및 채널 추정 할당이 필요하다. 또한, 보다 강한 광 간섭 또는 장기간의 통신의 경우, 신호 검출 및 추정이 어렵기 때문에 이 경우에 보다 효율적인 간섭 제거 및 신호 검출 방법이 필요하다.

#### IV. 다중 광 간섭 제거를 위한 듀얼 이미지 센서 및 이미지 추정기법

기존의 광학 이미지 센서 기반 가시광 통신은 단일 링크 모델링위주로 이루어져 있다. 그러나 고속 전송을 위한 시스템을 구축하기 위해서는 용량 확장을 위해 다수의 LED를 동시에 병렬 링크 처리해야한다. 이 다중LED OCVLC에서는 간섭모델에서 설명한 바와 같이 다수의 LED가 동시에 데이터를 전송할 때 인접한 LED의 광 산란 간섭으로 인해 각 LED를 정확히 검출하기가 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 각 듀얼 CMOS 이미지 센서를 이용한 간섭제거 및 이미지 추정기법을 제안한다. 기존의 싱글 이미지센서를 이용한 OCVLC 시스템은 다수의 LED의 정보를 읽어오는데 한계가 있다. 제안 시스템에서는 이미지 센서를 듀얼로 구성하고 각각의 이미지 센서의 프레임 속도를 다르게 세팅하였다. 또한 저속 이미지 센서에는 편광필터를 적용해서, 빛의 편광에 대한 왜곡현상을 최소화 하였다. 초당 120프레임의 고속이미지 센서와 초당 15프레임의 저속 이미지 센서를 이용해서 동시에 같은 광원을 촬영한다. 고속이미지 센서는 1초에 120장의 사진을 촬영하기

때문에 상대적으로 LED의 ON/OFF순간의 짧은 시간영역까지 촬영이 가능하다.

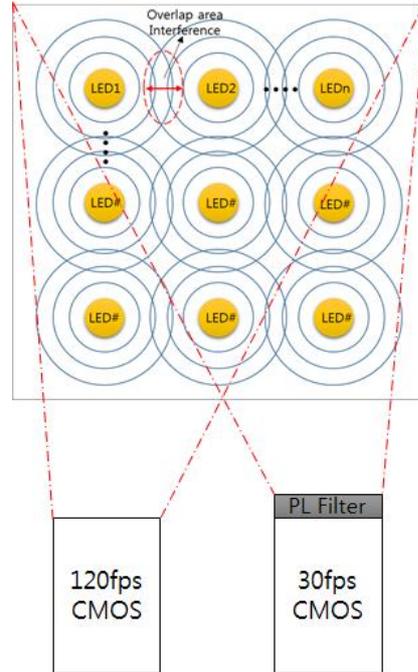


그림 2. 제안 시스템 모델

또한 저속 이미지 센서는 동조속도 조절을 통해 각 광원의 색터를 구분한다. LED 매트릭스 색터링을 통해 각각  $m \times m$  셀로 나누고, 각 셀의 LED 경계 바운더리에서 ON/OFF정보를 구분한다. 이러한 고속센서의 이미지 정보와 저속 센서의 이미지정보를 실시간으로 합성하여 각각의 LED의 ON/OFF 상태를 정확하게 추정한다. 이러한 듀얼 센서 기반 이미지 추정 기법은 소스 간 간섭으로부터 데이터의 정확한 추정을 가능하게 한다.

#### V. 결 론

본 논문에서는 고속 전송을 위한 이미지 센서 기반 가시광 통신 시스템에서 LED가 동시에 데이터를 전송할 때 발생하는 인접한 LED의 광 분산 간섭을 제거하기 위한 듀얼 이미지 센서 및 이미지 추정기법을 제안하였다. 고속 전송을 위한 다중 LED의 병렬 처리를 위해서는 이러한 간섭 및 채널 조건에 대한 연구가 필요하다. 또한, 거친 대기 환경 및 악천후 (안개, 비)와 같은 환경의 가시광 통신은 매우 어렵기 때문에, 이 문제를 극복하기 위한 전송 기술에 관한 연구가 수행 되어야한다. 이러한 연구를 통해 전송 효율을 향상시킴으로써 전체 시스템의 QoS를 만족하는 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

## Acknowledgments

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2017R1C1B5017812)

## References

- [1] Kyu-Jin Lee, Hyo-Duck Seo, Doo-Hee Han, Kye-san Lee, Improving the QoS using the Modulation and Coding Selection scheme by temperature characteristic of LED in the LED-ID system, *Applied ITS*, Vol. 12, No. 1, pp. 66-74, 2013.
- [2] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, M. Nakagawa, "Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights," *IEICE TRANS. COMMUN*, Vol. E86B, No. 8, pp. 2440-2454, 2003.
- [3] Jae Hyuck Choi, Jin Young Kim, Performance of LED-ID System for Home Networking Application, *Applied IIBC*, Vol. 10, No. 1, pp. 169-176, 2010.
- [4] Jae-Hyuck Choi, Yoon-Hyun Kim, Jin-Young Kim, Performance Analysis of LED-ID Communication Systems In an Indoor Environment, *Applied ITS*, Vol. 9, No. 4. pp. 43-51, 2010.
- [5] N. Cvijetic, Stephen G. Wilson, R. Zarubica, Performance Evaluation of a Novel Converged Architecture for Digital-Video Transmission Over Optical Wireless Channels, *Journal Of Lightwave Technology*, Vol. 25, No. 11, pp. 3366-3373, Nov. 2007. R. Lee, H. Berry, O. Temam, and M. Lipasti, "Performance improvement of WDM channels using inline dispersion management in transmission links with OPC placed at various position," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 14, No. 5, pp. 668-676, Oct. 2010.