

# 이미지 센서 기반 카메라 통신의 수신기술 분석

배 집 한\*, 김 종 태<sup>o</sup>

## Receiving Technology Analysis of Image Sensor Based Camera Communication

Jum-Han Bae\*, Jong Tae Kim<sup>o</sup>

요 약

가시 광 통신은 근거리 무선통신을 위한 유망기술로 떠오르고 있다. 여러 디바이스와 공존할 수 있고, 빛이 도달하는 한정된 영역으로 보안을 국한 할 수 있다. 기존 LED에 간단한 구동장치를 달아 광 디지털 신호를 보낼 수 있고, 기존 스마트 폰에서 최소 수정으로 데이터 수신이 가능한, 큰 장점이 있다. 데이터를 보내는 송신 부는 데이터 송신을 목적으로 새롭게 설계되는 반면에, 데이터를 수신하는 카메라 부는 기존의 이미지 캡처 기능과 데이터 수신기능이 양립해야 함으로 많은 기술적 이슈가 있다. 그러나 이런 이슈들을 해결한다면 영상과 데이터를 동시에 수신할 수 있는 방법을 갖게 된다. 본 논문에서는, 카메라 측에서의 데이터 수신에 관한 논문을 기술영역 별로 분류 및 정리하였고, 카메라 기반 통신기술에 대한 향후 방향에 대해 견해를 제시 한다.

**Key Words** : OCC(Optical Camera Communication), Visible Light Communication(VLC), LED Screen, OOK (On-Off Keying), MFSK(Multi Frequency Shift Keying)

### ABSTRACT

Visible light communication (VLC) is emerging as a promising technology for short range wireless communication. It can coexist with multiple devices and limit security to a limited area where light reaches. It is possible to send optical digital signals by attaching a simple driving device to existing LEDs, and there is a big advantage that data can be received with a minimum modification from the existing smartphone. The transmitting part that sends the data is newly designed for the purpose of transmitting the data, but the camera part receiving the data has many issues because the existing image capture function and the data receiving function must be compatible. However, if you solve these issues, you will have a way to receive video and data at the same time. In this paper, we classify the related papers for data reception on the camera side by technology area. And we suggest future directions for camera-based communication technologies.

### I. 서 론

데이터를 무선으로 전송하기 위해서, 빛을 이용하는 방법은 오래 전부터 사용되어 왔다. 적외선을 이용한 소규모 데이터 전송은 아주 보편적인 방법이다. 빛

중에서도 가시 광을 이용한 가시광 통신 (Visible Light Communication)은, 송신 부로서는 이미 많이 보급된 발광 다이오드(LED)를 이용하고, 수신 부로서는 포토 다이오드를 이용하면서 주목 받기 시작하였다. 다양한 통신 기술이 도입되면서 심화되고 있는

\* First Author : (ORCID:0000-0002-4865-3356)Soongsil University, Department of IT Convergence, jhabe17@ssu.ac.kr,정희원

<sup>o</sup> Corresponding Author : (ORCID:0000-0003-0290-0865)Sungkyunkwan University, School of Electronic and Electrical Engineering, jtkim@skku.edu, 종신회원

논문번호 : KICS2017-11-364, Received November 28, 2017; Revised January 11, 2018; Accepted January 11, 2018

주파수 부족을 해결하는 대안으로 큰 역할을 할 수 있는 차세대 무선 통신 기술이다. 이 기술의 표준인 IEEE 802.15.7은 PHY 및 MAC 계층의 규격이 2011년에 제안 되었으며, 가시 광 통신 연구 및 표준화의 중대 시점으로 간주 될 수 있다.

빛은 주파수 대역이 광범위하고 상호 간섭이나 충돌 현상이 없기 때문에 보안성에 유리하고, 조명이 있는 곳이라면 어디에서나 통신이 가능한 장점을 가지고 있다. 그러나 장애물이 있거나 강한 주변광이 있는 곳에서는 통신이 어렵다는 현실적 문제가 존재한다. VLC통신의 수신 부로서 포토 다이오드가 사용되다가 최근에는 카메라의 이미지 센서를 수신 부로 이용하는 OCC(Optical Camera Communication) 표준이 2014년부터 IEEE802.15.7r1로 논의 되고 있다.

가시 광에 의한 통신은 별도의 디바이스인 포토 다이오드를 사용하는 경우와 기존 카메라의 이미지 센서를 사용하는 경우로 나누어 볼 수 있다. 포토 다이오드를 이용하는 경우의 표준은 완료되었으나 확산은 많이 되지 않고 있다. 별도의 디바이스를 준비해야 함으로, 투자되는 비용 대비 발생하는 효과에 따라 산업계에서 활용이 될 것으로 보인다. 이미지 센서를 사용하는 경우는 이미 확산된 스마트폰을 이용할 수 있음으로 추가 비용을 최소화 할 수 있는 반면에, 데이터 처리속도는 떨어지는 단점이 있다.

이렇게 낮은 데이터 처리 속도 임에도 불구하고, 기존 스마트폰을 이용할 수 있는 장점이 있고, 카메라의 FoV (Field of View)에 따라서 복수개의 LED 광원과 통신 할 수 있으며, 이미지와 연동된 AR (Augmented Reality), IoT (Internet of Things)에서의 저 전력통신을 위한 역할 등이 가능 하다. 또한 자율주행 자동차를 위해서는 사람도 인지할 수 있고, 기계도 인지 할 수 있는 수 있는 양면을 갖춘 표지판이 필요 할 수 있다. 이러한 응용에도 가시 광 을 이용한 LED 표지판은 좋은 통신 방법이 될 수 있다.

가시 광 통신에 이용되는 이미지 센서는 롤링 셔터(Rolling Shutter)형의 이미지 센서와 글로벌 셔터(Global Shutter)형의 이미지 센서가 있다. 일반 소비자 제품의 카메라는 거의 대부분이 롤링 셔터 형이다. 기계적인 셔터를 사용하며, 정지 이미지는 글로벌 셔터처럼 동작하고 있는 DSLR (Digital Single-Lens Reflex camera)이 있으나 실제 미세 동작으로 보면 롤링 셔터 이다. 글로벌 셔터 형은, 이미지 센서의 광에 대한 물리적인 특성으로 인해, 높은 조도에서 사용되지 못하고 특화된 환경의 산업용이나 실내용 등 특정한 환경에서 사용 된다. 또한 롤링 셔터는 1개의 프

레이م(Frame)내에서 수평의 주사선 단위로 데이터를 실을 수 있는 반면에 글로벌 셔터는 프레임 단위를 기본으로 데이터를 실게 된다.

본 논문에서는 카메라 측의 이슈를 다룬 논문을 대상으로 하여 분석 하였다. LED로 구성된 송신 부는 정해진 규격에 따라 LED를 점멸하게 되는 반면에, 수신 부인 카메라 부는 기존 이미지 캡처 이외에 추가로 통신을 해야 함으로 2개의 기능이 양립해야 하는 복잡한 기술 이슈가 있다. 이번에 발표된 여러 기술은 OCC의 주요 기능인 변조, 논리적인 프로토콜 동기화와 수치적 분석인 성능 평가 그리고 이미지 센서 분석으로 분류하여 분석 하였다. 변조 방법은 최 근거리를 위한 OOK, 수 미터 정도를 통신할 수 있는 FSK나 FSOOK (Frequency Shift Keying OOK), 10m정도 이상인 UFSOOK (Under-sampled Frequency Shift ON-OFF Keying), UPSOOK (Under-sampled Phase Shift ON-OFF keying)의 방법이 소개 되고 있다. 논리적인 프로토콜은 패킷의 구조를 정하고 코드의 효율 등을 분석 하였다<sup>[1,3]</sup>. OCC는 송신 부에서 일방적으로 전송(Broadcasting)하는 방법으로 데이터를 전송함에 따라, 데이터를 동기화 하는 방법이 중요하며, 이런 동기화 방법들이 소개 되고 있다<sup>[7,12,13]</sup>. 데이터 전송에 있어서 데이터의 수신 방식이나 필터 처리 등에 따른 데이터 전송 율이나 BER(Bit Error Rate)등을 분석한 논문<sup>[7,12,13]</sup> 도 있었다. 데이터 센싱(Data Sensing)에서 가장 영향을 많이 미치는 이미지 센서 소자에 대한 분석도 진행이 되었다<sup>[9,11]</sup>.

## II. 본 론

OCC는 LED의 면적을 통해서 데이터를 전송하고 카메라의 이미지 센서로 데이터를 수신하는 기술이다. 따라서 기술 분류를 변조, 논리적 프로토콜, 동기화, 성능 평가, 그리고 이미지 센서 분석으로 분류 하였다. 분류별로 세부적으로는 여러 내용이 있었으나 대표적인 내용 위주로 분류 하였다. 분류한 내용은 표 1과

Table 1. Technical Classification Table

No	Classification	Paper
1	Modulation	[2] [3] [4] [10] [12] [13] [16] [18] [19]
2	Logical Protocol	[1] [3] [14] [17]
3	Synchronization	[5] [6] [8] [15]
4	performance Analysis	[7] [12] [13]
5	Image Sensor Analysis	[9] [11]

같다.

### 2.1 변조

OCC의 변조 방법은 기존 카메라의 특성이 고려되어 정해진다. 가장 낮은 휘도를 나타내는 검정색은 이미지 센서에 빛의 양이 매우 적은 경우이고, 최고 높은 휘도를 나타내는 백색은 가장 많은 양의 빛이 이미지 센서에 도달하는 것을 나타낸 것이다. 카메라는 빛이 적을 때는 이미지 센서에서 나오는 영상 데이터의 이득을 키우고, 빛이 많을 때는 이득을 낮추어 전체 이미지의 휘도 값이 일정한 수준이 되게 하는 조정 동작을 계속하고 있다. 따라서 이미지에 스트라이프 (Stripe) 형태의 띠를 만들기 위해서는 백색 값과 흑색 값의 비율을 일정하게 유지해야 만이 정확한 줄무늬가 형성된다. 이런 이유로 RLL(Run Length Limited) 코드의 사용이 반드시 필요하다. 발표된 논문들도 모두 RLL 코드에 기반을 둔 변조를 적용하였다. 변조는 OOK, MFSK, FSOOK, UFSOOK, UPSOOK 등 모두가 전체 이미지의 평균값이 일정하도록 하는 RLL 코드를 쓴다. 변조 방법이 정해지면 이에 따라 데이터 전송률, 데이터 수신거리 등 기본 특성들이 일정 수준으로 정해진다. 데이터 전송 율은 높으나 데이터 수신 거리가 짧은 경우, 데이터 전송 율은 느리나 수신 거리가 긴 경우 등으로 분류해 볼 수 있으며 표 2와 같이 정리 할 수 있다. 수신 거리는, 카메라의 FoV에 따라, 카메라에서 목표 물체간의 거리가 멀어지면 LED의 이미지 크기가 작아지고, 이에 따라 수신 거리는 줄어든다.

OOK 방식은 그림 1과 같이 맨체스터 코드 (Manchester Code), 4B6B, 8B10B 등의 RLL 코드를 사용하여 “1”과 “0”를 직접 표현 한다. 최소 5~6개 정도의 이미지센서의 수평주사 라인을 사용해서 하나의 스트라이프를 표현 할 수 있으므로<sup>[12]</sup>, 1개의 이미지

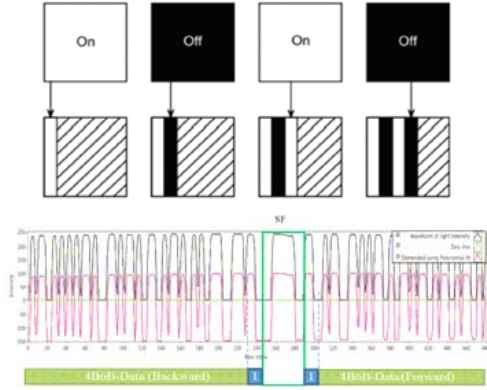


Fig. 1. On-Off Keying System[3,6]

프레임에서 여러 비트(Bit)의 표현이 가능하다. 이것은 곧 데이터 전송 율이 높다는 의미가 되며, 수신 거리는 FoV 에 따라 급격히 수평주사 라인의 개수가 줄어들기 때문에 수신 거리는 짧다. 카메라가 흔들리면 이것이 바로 수평주사 라인의 변동으로 연결됨으로 카메라 몸체의 상하 흔들림에 취약하다. MFSK 방식은 그림 2와 같이 복수의 주파수를 사용하여 데이터를 전송하는 변조 방식이다. 48개의 주파수까지 사용했던 결과들이 소개되었<sup>[12]</sup>. 1개의 프레임에 1개의 주파수를 사용함으로 데이터 수신거리 항목에서 유리하고, 흔들림 등의 외부 환경변화에 비교적 강하다.

프리앰블 심볼 (Preamble Symbol)이나 엔드 심볼 (End Symbol) 등에 의한 손실을 감안하고, 수신 부가 30 FPS(Frame per Second) 일 때, 데이터 전송 율은 12Byte/sec 이다<sup>[12]</sup>.

UFSOOK 방식과 UPSOOK 방식에 대한 설명 및 비교는 그림 3과 같다. 프레임 헤드 이후에 논리 “0”과 “1”에 대한 주파수를 다르게 표현한 방식이 UFSOOK이고, 위상을 0° 혹은 180° 이렇게 달리 표현한 것이 UPSOOK 이다. 그러나 데이터를 검출하는 시점은, 긴 주기 신호인 수신 부의 프레임 주기 신호로 데이터를 샘플링 한다. 샘플링 하는 시점이 떨어지면 0과 1이 서로 바뀌어 저서 서로 반대의 값이 얻어짐으로 이것을 바로 잡기 위해 프레임 헤드에 “논리1”

Table 2. Modulation Characteristics (Based on 1 LED)

No	Classification	Data Receiving	Paper
1	OOK	Data Rate : ~ 1 kbps Rec. Distance:~tens of cm	[3]
2	MFSK	Data Rate : ~ 100 bps Rec. Distance : ~ 10 m	[12]
3	UFSOOK	Data Rat : ~ tens of bps Rec. Distance : ~ 15 m	[18]
4	UPSOOK	Data Rate : ~ tens of bps Rec. Distance : ~ 15 m	[13]
5	Color Transmission	Data Rate : ~ 1kbps Rec. Distance : ~ 15 m	[16]

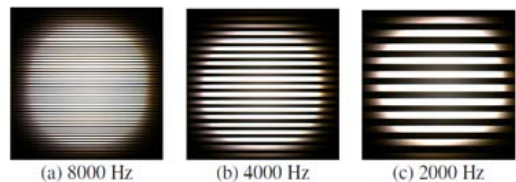


Fig. 2. Stripe Pattern by Multi Frequency[12]

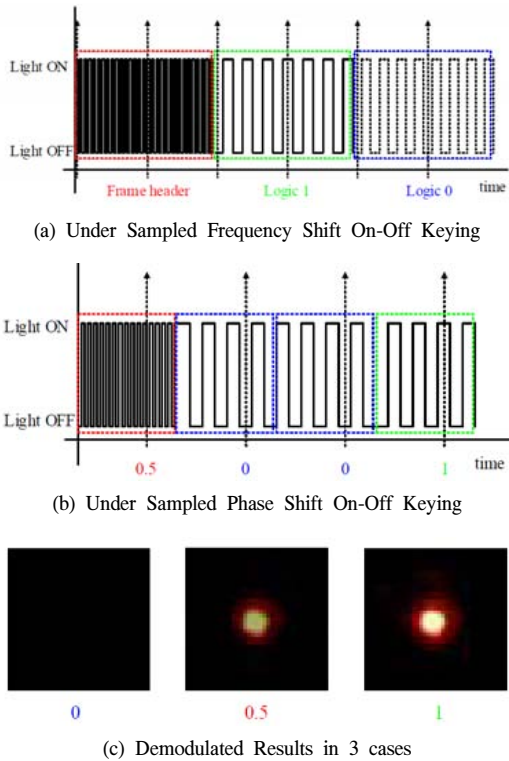


Fig. 3. UFSOOK, UPSOOK Comparison[13]

의 신호를 추가하여 위상을 조절한다<sup>[13]</sup>. 프레임 헤더 신호는 “0” 혹은 “1”의 신호가 아닌 중간의 0.5 값이 될 수 있도록 높은 주파수를 할당한다.

즉 카메라의 셔터 스피드 보다 빠른 10KHz 정도의 주파수를 할당 하여 중간 레벨의 휘도 신호가 나오게 한다<sup>[13,18]</sup>. 이 방식에서는 데이터의 샘플링 시점을 맞추는 동기화가 중요하다. 그리고 프레임 당 1비트(bit) 정도의 데이터를 얻게 됨으로 데이터 전송율을 높이기 위해서는 프레임 레이트(Frame Rate)을 높여야 한다.

그 외에 포토 다이오드 용의 고주파와 이미지 센서 용의 저 주파를 혼합한 하이브리드 VLC도 개념 레벨로 소개 되었다. 고 주파용은 기존의 IR(Infrared Ray) 리모컨의 부품을 그대로 이용 할 수 있다<sup>[4]</sup>. 저주파 채널은 1.3Bps의 느린 데이터 이다. 같은 물리 채널을 사용해서 2종류의 데이터를 보낸다는 의미가 있다<sup>[4]</sup>. 디스플레이 기기의 화면을 통해서 RGB 컬러를 QR(Quick Response) 코드 형태로 보내고, 카메라를 통해서 수신하는 형태의 컬러 전송의 방법도 있다<sup>[6]</sup>. 2차원의 평면으로 받는 방법이라 데이터 전송율은 높고, 좌우상하 움직임에 모두 영향을 받아 흔들림에는 취약하다.

### 2.2 논리적 프로토콜

데이터를 캡슐화 해서 전송하고, OCC 데이터의 흐름을 정하는 부분이다. 데이터 전송율이 높지 않아 데이터 패킷의 헤더에 많은 비트를 할당할 여유가 없다. 따라서 프로토콜은 단순하다<sup>[1]</sup>. 그림 4는 데이터 패킷의 구조를 나타낸 것이다. 연속된 비디오 중에서 1개의 프레임 내에 SF1(Start Frame), SF2(Stop Frame), BSN(Block Sequence Number) 등이 포함되어 있다. 그림 4의 (5)는 MFSK방식에서의 패킷 구조이다. [SS(Symbol Splitter) + Data Symbol] 이 하나의 비디오 프레임에 들어 있는 형태이다. SS에 MFSK의 1개의 주파수를 할당해서, 각각의 데이터 심벌을 분리해 주는 역할을 한다<sup>[12]</sup>. 그림 5는 서브 프레임을 묶은 슈퍼 프레임을 보인 것이다.

SF	BSN	Data	Stop frame
1111		Manchester coding	10
SFD	Data		
f=10kHz	f <sub>s</sub> /f <sub>i</sub>		
SF	pilot	Data	
f <sub>s</sub>		f <sub>s</sub> /f <sub>i</sub>	
SF	Ab <sup>(1)</sup>	Data	Ab <sup>(2)</sup>
011100	bit 1/ bit 0	Manchester coding	bit 1/ bit 0
0011111000		4B6B	
0000111111111100000		8B10B	

- (1) Pure Li-Fi (2) Intel
- (3) Northumbria Univ. (4)Kookmin Univ.

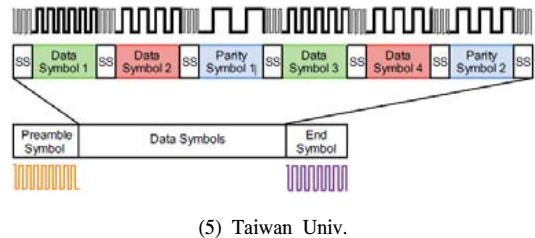


Fig. 4. Frame Structure Comparison[3,12,13]

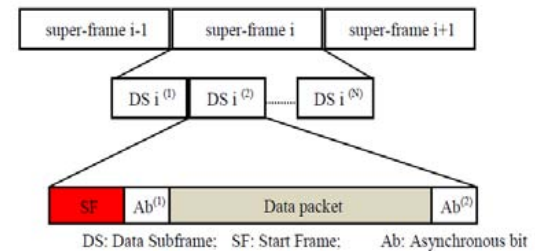


Fig. 5. Frame and Super Frame[3]

### 2.3 동기화

OCC는 LED의 데이터를 ACK (Acknowledge)신

호 없이 일반적으로 전송하는 방법으로 LED 광을 내 보낸다. 그럼으로 수신 부와 송신 부 사이에는 동기화의 문제가 발생된다. 이 동기 문제를 해결하기 위해 LED 데이터의 서브 프레임의 단위는 비디오 신호의 프레임 단위로 하고 있다. 비디오 신호가 초당 30 FPS의 속도 임으로 서브 프레임도 초당 30개 이고, 이 서브 프레임을 묶어서 더 다양한 슈퍼 프레임을 만들어 갈 수 있다. 따라서 동기화의 문제는 비디오 프레임 단위로 동기 하는 방법을 찾는 것이다. OOK의 경우는 그림 1에서와 같이 비디오 프레임 내에서 Start Frame을 찾아서 SF 전후의 비트를 모아 데이터를 찾는 방법으로 비 동기화의 문제를 해결 한다<sup>3)</sup>. UFSOOK나 UPSOOK는 비디오 프레임 주기의 주파수로 샘플링을 하는 방법을 쓰고 있다<sup>13,18)</sup>. 이 방법은 “0” “1”의 펄스폭이 50:50에서 벗어나는 경우나, 비디오에 노이즈가 많은 경우에 취약 할 수 있다. MFSK는 비동기 비트를 할당하거나 SS로 비디오 프레임을 분리함에 의해서 동기 문제를 해결 하였다<sup>12)</sup>. 동기화는 이미지 센서의 노출시간과 1개 프레임 내에서의 노출 시간의 균등한 분산 그리고 비디오의 프레임과 프레임 사이 존재하는 Idle Gap을 동시에 고려하여 방법을 설정하여야 한다.

2.4 이미지 센서 분석

카메라의 이미지 센서는 피사체의 빛을 받아들이는 역할을 한다. 우리는 이 빛을 그림으로 이용하기도 하고, 데이터로서 이용하기도 한다. 그림 6은 LED의 광에 따라 만들어 지는 이미지를 보인 것이다<sup>9)</sup>. LED 광은 예리한 스위칭 동작을 하더라도, 노출시간에 의해 좌우되는 이미지 기울기를 가지게 된다. 만약 또렷한 이미지를 원한다면 조도가 높은 빛과 짧은 노출시간을 설정하면 된다<sup>9)</sup>. 강한 조도의 빛은 눈부심과 Flicker를 심하게 유발 시킨다. 또한 이미지 센서의 읽

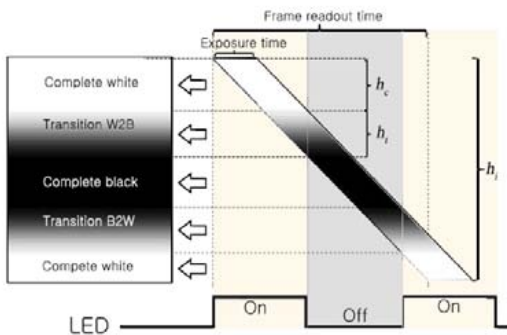


Fig. 6. LED Light and Image Generation<sup>9)</sup>

어 내기 동작은 전체 이미지 프레임에 걸쳐서 나타나야 만이 LED가 보낸 전체 스트라이프를 검출 할 수 있다<sup>9)</sup>.

2.5 미결 문제들 / 어려움들

OCC는 카메라 통신이다. 지금까지 살펴본 내용으로 보면 아직 풀어야 할 난제들이 많다. 통신은 기본적으로 데이터 전송률, 통신 거리, 간단한 통신 장치 등의 요건을 갖추어야 한다. 카메라는 이미지를 캡처하기 위한 장치임으로 이미지의 목적과 통신 목적이 서로 양립할 수 있도록 보완하는 것이 필요 하다.

2.5.1 LED 면적의 크기와 데이터 수신 거리

카메라는 FoV라는 화각을 가지고 있다. 넓은 시야각을 갖기 위해 스마트폰의 제조사들은 계속 FoV의 각도를 늘리고 있다. FoV가 큰 경우는, 카메라와 피사체 간에 거리가 증가하면 이미지 센서에 맺히는 피사체 상은 더욱 더 작아진다. H. Lee의 논문<sup>12)</sup>에서는 60cm x 60cm 크기의 LED 면적을 사용하고, 1.6m의 거리에서 11.32 Byte/sec의 데이터 전송율을 달성하였다. 이 값이 최댓값은 아니지만 단적인 예가 될 수 있다. 따라서 작은 LED 면적으로 줄여 가면 이미지 크기가 계속 작아져서 수신 거리가 짧아진다. 그럼에도 불구하고 LED 면적을 줄이고 수신 거리는 늘려야 하는 모순을 극복해 가야 한다.

2.5.2 변조 방법과 데이터 전송률

OCC는 이미지 프레임을 작은 1개의 소단위로 하여 통신을 한다. 그러므로 1개의 이미지 프레임을 어떻게 구성하느냐에 따라 데이터 전송 율이 결정된다. OOK 방식은 이미지의 수평주사 라인을 세분해 나누어서 스트라이프를 만들고 이 무늬에 의해서 디지털 값을 표현한다. 반면에 1개의 이미지 프레임에 1개의 주파수를 실는 MFSK의 경우는 데이터 전송 율이 떨어진다. OOK는 카메라 몸체의 흔들림에는 매우 취약한 단점을 가진다. 카메라가 모바일 기기임을 감안하면 흔들림은 중요한 요소이다. 따라서 응용분야 별 적절한 방식을 선택해서 이용해야 함과 동시에 이미지의 흔들림 방지 처리도 중요한 요소이다.

2.5.3 동기화

동기화는 프레임 헤드 혹은 프리앰블 심볼을 찾는 것부터 시작된다. 동일한 LED 면적에서 나온 데이터도 받는 기기의 종류나 수신 거리상의 위치에 따라 이미지 센서에 맺히는 이미지 크기는 다르다<sup>12)</sup>. 따라서 송신 단에서 보내주는 기준신호를 이용해서 상대비교

에 의한 방법으로 데이터 값을 구해 내는 데이터 수신 기술이 필요 하다.

### III. 결 론

OCC 기술은 이미지 센서 기반으로 통신을 하는 방법으로 전통적인 통신에서 생가지 않던 많은 새로운 이슈들이 있다. 특히 LED 면적의 크기 와 수신거리, 변조 방법과 데이터 전송률 그리고 동기화 방법들이 대표적인 이슈들이라 할 수 있다. 이러한 난제들이 있는 반면 이러한 데이터의 활용은 유용하게 활용될 수 있다. 대상 이미지와 디지털 데이터를 동시에 받는 장점을 이용 할 수 있다. 대상을 이미지로서 인식하는 행위를 대신해서, 피사체에서 자신의 ID를 보내준다면 AR이나 AI (Artificial Intelligence) 등에서 유용하게 이용 할 수 있다. 그리고 사물의 상태를 나타내 주는 IoT의 ID 용도, 스마트 공장을 위한 로봇의 작업장길 안내, 자율주행 자동차의 표지판 데이터 등으로 활용 될 수 있다.

### References

[1] N.-T. Le and Y. M. Jang, "Broadcasting MAC protocol for IEEE 802.15.7 visible light communication," *ICUFN*, pp. 667-671, Jul. 2013.

[2] N.-T. Le, T. Nguyen, and Y. M. Jang, "Frequency shift on-off keying for optical camera communication," *ICUFN*, pp. 22-25, Jul. 2014.

[3] T. Nguyen, C. H. Hong, N. T. Le, and Y. M. Jang, "High-speed asynchronous optical camera communication using LED and rolling shutter camera," *ICUFN*, pp. 214-219, Jul. 2015.

[4] N. Rajagopal, P. Lazik, and A. Rowe, "Hybrid visible light communication for cameras and low-power embedded devices," in *Proc. ACM MobiCom Workshop Visible Light Commun. Syst.*, pp. 33-38, 2014.

[5] N.-T. Le and Y. M. Jang "Performance evaluation of MIMO optical camera communications based rolling shutter image sensor" *ICUFN*, pp. 140-144, 2016.

[6] T. Le, N.-T. Le, and Y. M. Jang "Performance

of rolling shutter and global shutter camera in optical camera communications" *2015 ICTC*, pp. 124-128, 2015.

[7] N.-T. Le, T. Le, T. Nguyen, and Y. M. Jang "Synchronization issue for optical camera communications," *2015 7th Int. Conf. Ubiquitous and Future Networks*, pp. 220-224, 2015.

[8] C.-W. Chow, C.-Y. Chen, and S.-H. Chen, "Enhancement of signal performance in LED visible light communications using mobile phone camera," *IEEE Photonics J.*, vol. 7, no. 5, Art. ID. 7903607, 2015.

[9] T.-H. Do and M. Yoo, "Analysis on visible light communication using rolling shutter CMOS sensor," *ICTC*, pp. 755-757, 2015.

[10] B. Kim, H. Park, Y. Kim, and I. Yeom "Decoding method comparisons in Light-to-Camera communication," *2017 ICOIN*, pp. 80-82, 2017.

[11] T.-H. Do and M. Yoo "Performance analysis of visible light communication system using rolling shutter CMOS sensor," *J. KICS*, vol 40, no. 10, pp. 2065-2067, 2015.

[12] H. Lee, H. Lin, Y. L. Wei, H. I. Wu, H. M. Tsai, and K. Lin, "RollingLight : Enabling line-of-sight light-to-camera communications," in *Proc. 13th ACM Annu. Int. Conf. Mob. Syst., Appl., and Serv.*, pp. 167-180, 2015.

[13] P. Luo, Z. Ghassemlooy, H. L. Minh, X. Tang, and H.-M. Tsai, "Undersampled phase shift ON-OFF keying for camera communication," *WCSP 2014*, pp. 1-6, Oct. 2014.

[14] C. Danakis, M. Afgani, G. Povey, I. Underwood, and H. Haas, "Using a CMOS camera sensor for visible light communication," in *Globecom Workshops*, pp. 1244-1248, 2012.

[15] Y. Liu, H.-Y. Chen, K. Liang, C.-W. Hsu, C.-W. Chow, and C.-H. Yeh, "Visible light communication using receivers of camera image sensor and solar cell," *IEEE Photonics J.*, vol. 8, no. 1, Atr. ID. 7800107, 2016.

[16] T. Nguyen, M. A. Hossain, C. H. Hong, N. T.

Le, and Y. M. Jang, "Color transmission in image sensor communications using display and camera," *2015 ICTC*, pp. 383-387, 2015.

- [17] N.-T. Le, T. Nguyen, and Y. M. Jang, "Optical camera communications: Future approach of visible light communication," *J. KICS*, vol. 40, no. 2, pp. 380-384, 2015.
- [18] R. D. Roberts, "A MIMO protocol for camera communication (CamCom) using undersampled frequency shift ON-OFF keying (UFHOOK)," in *Proc. Optical Wireless Commun. GlobeCom Workshop*, pp. 1052-1057, Dec. 2013.
- [19] Y. Oike, M. Redat, and K. Asadat, "A smart image sensor with high-speed feeble ID-Beacon detection for augmented reality system," *ESSCIRC 2004-29th Eur. Solid-State Cir. Conf.*, pp. 125-128, 2003.

**배 접 한 (Jum-Han Bae)**



1985년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업

1992년 8월 : 아주대학교 전기전자 공학과 석사

2013년 3월~현재 : 성균관 대학교 전자전기컴퓨터 공학 박사과정

1984년 12월~2014년 12월 : 삼성전자 DMC 연구소, 수석연구원

2015년 2월~2016년 12월 : SK하이닉스 Memory System 연구소 연구위원

2017년 4월~현재 : 숭실대학교 전자정보공학부 교수 <관심분야> SoC Design, Embedded System, IoT.

**김 종 태 (Jong Tae Kim)**

한국통신학회 논문지 제 34권 5호 참조  
현재 성균관대학교 전자전기공학부 교수