

# 가시광통신체계에서 난반사 조명을 고려한 인코딩 스킴

은성배<sup>†</sup>, 김동규<sup>\*\*</sup>, 차 신<sup>\*\*\*</sup>

## An Encoding Scheme Considering Diffused Lights In a Visual Light Communication System

Seongbae Eun<sup>†</sup>, Dong kyu Kim<sup>\*\*</sup>, Shin Cha<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Visible light communication technology is being studied and developed in various ways due to advantages such as high transmission speed, excellent positioning and higher security. However, existing visible light communication systems have difficulties in entering the market because they use special transmitters and receivers. We will overcome the difficulty if we develop a VLC system that uses a conventional LED light as a transmitter and a smartphone camera as a receiver. What matters is that LED lights include a scatter filter to prevent glare for human eyes, but the existing VLC(Visual Light Communication) method can not be applied. In this paper, we propose a method to encode data with On / Off patterns of LEDs in the lighting with  $M \times N$  LEDs. We defined parameters like L-off-able and K-separated to facilitate the recognition of On / Off patterns in the diffused Lights. We conducted experiments using an LED lighting and smart phones to determine the parameter values. Also, the maximum transmission rate of our encoding technique is mathematically presented. Our encoding scheme can be applied to indoor and outdoor positioning applications or settlement of commercial transactions.

**Key words:** Visual Light Communication, Diffused LED Light, On/OFF Pattern, Encoding Scheme, L-off-able, K-separated

### 1. 서 론

최근 무선통신 기술이 발달함에도 불구하고 사용자들의 수요를 만족하기 위한 데이터 요구량은 폭발적으로 늘고 있다. 통신사는 갈수록 많은 데이터량을 소화해야 하지만 전파는 주파수 대역이라는 한정적인 자원을 사용하고 그 자원도 포화상태이다. 이에 새로운 무선통신 기술로 관심 받는 분야가 VLC(Visual Light Communication)기술이다. VLC는 사람의 눈으로는 포착할 수 없는 LED의 깜박임을 이용

하여 디지털 신호를 전송하는 무선통신기술이다[1].

일반적으로 VLC 기술은 고속 데이터 전송과 위치 기반 서비스[2]로 분류하여 연구 개발되고 있는데 EU에서는 배선을 따로 사용하지 않고 1Gbps를 제공하는 홈 네트워크 시스템, 일본은 LED가로등을 이용한 200m내 사용자에게 100Mbps의 네트워크 시스템 제공, 한국에서는 쇼핑센터에서 위치기반 서비스로 실내 네비게이션 등에 활용하고 있다[3].

VLC 기술은 초기에 Point-to-point(P2P) 형태로 기술이 개발되었으며 IEEE802.15.7 표준이 제정되었

\* Corresponding Author : Shin Cha, Address: (34430) 70 Hannam-ro, Daedeok-gu, Daejeon, Korea, TEL : +82-42-629-7289, FAX : +82-42-629-7164, E-mail : scha@hnu.kr

Receipt date : Jan. 11, 2019, Approval date : Jan. 29, 2019  
<sup>†</sup> Dept. of Information Communication Eng., Hannam University (E-mail: sbeun@hnu.kr)

<sup>\*\*</sup> Dept. of Information Communication Eng., Hannam University (E-mail: eaststar90@naver.com)

<sup>\*\*\*</sup> Dept. of Information Communication Eng., Hannam University

\* This work was supported by 2018 Hannam University Research Fund

다[4]. 최근에는 송신기와 수신기 사이에 방향성의 존재 유무, 송신기와 수신기 사이가 LOS(Line of Sight) 특성 등, 다양한 방향으로 연구가 진행되었다 [5]. 또한, VLC 송신기들의 빛이 주는 그림자를 통한 사람의 모션을 캡처하려는 연구[6], 차량과 차량 사이의 통신에 VLC 기술을 적용하려는 시도[7], 센서 네트워크에서처럼 다수의 VLC 장치간의 multi-hop 통신을 지원하려는 Shine[8] 등의 연구 들이 시도되었다. AR(Augmented Reality)을 위한 마커로서 LED 송신기를 활용하려는 연구도 시도되었다[9].

본 논문에서는 일반 LED 조명을 송신기로, 스마트폰의 전면 카메라를 수신기로 활용하는 VLC 기술을 개발하고자 한다[10]. 일반 LED 조명을 사용하는 가정이나 사무실을 포함한 다양한 실내 공간에서 스마트폰만으로 위치인식 응용이나 스마트폰 결제 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 이때의 문제는 일반적인 LED 조명은 사람 눈의 피로를 줄이기 위하여 난반사 필터를 부착하고 있기 때문에 단일 LED의 On/Off 깜박임으로는 통신이 어렵다는 것이다.

VLC 기술에서 난반사를 고려한 연구로서 송신기의 빛이 벽 등에 반사되어 발생한 난반사 빛을 수신기가 처리하는 연구[11]가 진행되었다. 송신기의 신호 간격을 매우 짧게 하여 조도가 매우 약하게 하는 통신 방식[12]도 연구되었다. 또한 스마트폰의 전면 카메라를 수신기에 활용한 연구[13]도 있는데, 이 연구의 송신기는 단일 LED의 깜박임을 활용한 방식이다.

본 논문에서는 일반 LED 전등이 다수의 LED 점광원들의  $M \times N$  모음으로 구성되는 점을 고려한다. 특정 점광원을 특정 시점에서 OFF하면 QR코드처럼 특정 패턴으로 인코딩할 수 있다. 조명으로서의 역할을 할 수 있어야 하므로  $M \times N$  개의 점광원 중에서 몇 개를 OFF할 것인지를 결정하는 L-off-able이라는 매개변수를 정의한다. 또한 난반사판에 의한 해상도 저하를 고려하여 인접한 점광원이 얼마나 이격되

어야 하는가를 지정하는 K-separated라는 매개변수를 정의한다. 난반사 필터를 갖는 LED 조명과 스마트폰 카메라를 이용한 실험을 통하여 2개 매개변수 값을 결정한다. 이를 기반으로 통신 가능한 전송량의 최대치를 수학적으로 분석한다.

2장에서는 논문의 배경 기술들을 소개하며 3장에서 제안된 인코딩 기법을 소개한다. 4장에서 실험을 기술하며 그 결과를 제시한다. 5장에서 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

## 2. 배경

### 2.1 VLC의 원리 및 응용

VLC 기술은 LED의 On/Off가 이진법의 0과 1에 대응되어 데이터를 전송한다. 보통 LED 전구의 깜박임은 사람 눈에 인식되지 않을 정도로 매우 빠른 속도이기 때문에 눈에 무리를 주지 않는다[1]. Fig. 1은 VLC 체계를 보여준다. 송신기는 디지털 데이터를 LED의 On/Off 신호로 변환하여 전송하고 수신기의 광센서가 이를 감지하는 방식이다.

전파를 이용한 통신은 주파수 대역이 포화상태이지만 VLC는 이 문제에서 자유롭다. 또한, VLC는 LOS(Line of Sight) 영역에서만 통신이 되므로 전파에 비하여 보안성이 매우 높다. 전자파를 사용할 때에는 기기간의 간섭으로 문제를 일으킬 소지가 있는 고신뢰 영역에서도 폭넓게 사용할 수 있다. 단점으로는 장애물로 인한 그림자 생성에 크게 영향을 받는다는 점인데 최근 multi-hop 네트워크를 위한 기술[8]과 반사된 가시광을 통신에 활용하려는 연구[11] 등이 시도되고 있다.

Fig. 2는 VLC 기술의 응용 사례들[14]을 보여준다. 좌상단은 실내에서 VLC의 고속 데이터 전송을 활용하여 시청각 데이터를 전송받아 교육에 활용하는 사례를 보여준다. 우상단은 의료분야에서 환자의

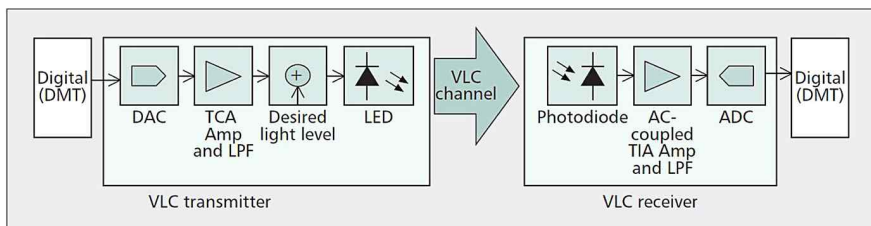


Fig. 1. Block Diagram of VLC System [1].



Fig. 2. Applications of VLC [14].

3D 상태정보를 전송받아 AR로 수술에 활용하는 사례를 예시한다. 좌하단은 전파간의 상호 간섭이 우려되는 비행기내에서 멀티미디어 데이터를 전송받는 사례를 표시하며 우하단은 교차로에서 신호등과 차량 간의 통신을 통하여 전방의 상황정보를 전송하는 사례를 보여준다. 이런 사례들은 향후 VLC 통신의 다양한 응용 분야를 보여주며 그 활용 사례는 더욱 증가할 것이다.

VLC 기술이 일회성 작업 처리를 위한 통합 플랫폼[15]에서 활용된다면 특정 공간에 사용자가 있을 때 그 공간에서 웹 문서를 즉시 받아서 처리하는 응용에 활용될 수 있을 것이다. 예를 들어 보안이 요구되는 공간에 특정 사용자가 위치한다면 그 공간의 출입 허가를 받는 키를 VLC 조명으로부터 받을 수 있을 것이다.

### 2.2 VLC 기술 발전 동향

VLC 기술은 초기에 P2P(Point-to-point) 형태로 기술이 개발되었으며 그 결과 IEEE802.15.7 표준이 제정되었다[4]. P2P 방식으로도 충분히 다양한 응용을 개발할 수 있으나 WIFI와 같이 1-to-Many 형태

의 통신은 불가능하다.

Fig. 3은 1-to-Many 통신을 위한 VLC 기술의 사례를 보여준다. 그림에서 a)와 b)는 기존 VLC기술과 다르게 송신기가 수신기를 직접 향하지 않는 형태를 보여준다[5]. 송신기는 빛을 넓은 각도로 송신하고 다수의 수신기가 이를 수신하는 방식이다. b)에서는 반사된 빛의 경우에도 수신하는 형태를 보여준다. 그림의 c)는 센서 네트워크처럼 빛을 multi-hop으로 전송하려는 Shine[8] 체계의 VLC 노드를 보여주는데, 다수의 송수신기를 장착하여 다른 VLC 노드와 multi-hop 통신을 하려는 시도를 하였다.

또한, VLC 송신기들의 빛이 주는 그림자를 통하여 사람의 모션을 캡처하려는 연구[6], 차량과 차량 사이의 통신에 VLC 기술을 적용하려는 시도[7], AR (Augmented Reality)을 위한 마커로서 LED 송신기를 활용하려는 연구도 시도되었다[9].

### 2.3 난반사 관련 연구

VLC 기술에서 난반사를 고려한 연구로서 송신기의 빛이 벽 등에 반사되어 발생한 난반사 빛을 수신기가 처리하는 연구[11]가 진행되었다. 이 연구에서는 송신기의 빛이 사람에게 일시적으로 가려지는 경우 까지 고려하여 빛의 세기의 변화를 측정하고 통신 방식을 시뮬레이션하였다. 본 논문은 송신기의 빛 자체가 난반사 필터를 거친 후 전송되는 것이므로 이 연구와는 다르다.

송신기의 신호 간격을 매우 짧게 하여 조도를 매우 약하게 하는 통신 방식[12]도 연구되었다. 또한 스마트폰의 전면 카메라를 수신기에 활용한 연구 [13]도 있었는데 스마트폰의 카메라의 Rolling Shutter 기능을 활용하여 빠르게 신호를 읽는 방식을 연구하였다. 이 연구의 송신기는 단일 LED의 깜빡임을 활용한 방식으로 본 논문의 방식과는 다르다.

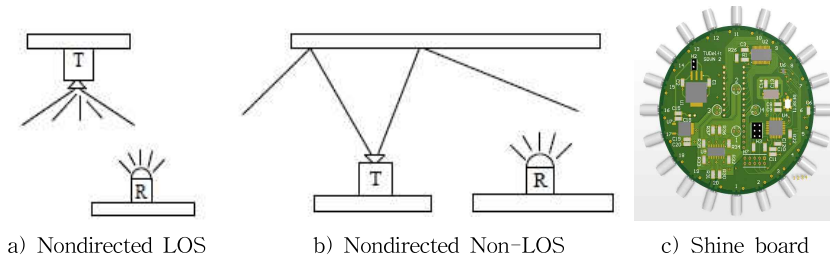


Fig. 3. 1-to-Many Approach in VLC.

### 3. 인코딩 기법

난반사 판이 부착된 일반 LED 조명과 스마트폰 카메라를 이용하여서 데이터 송수신을 위한 시스템 구성을 소개하며 주요 매개변수 및 인코딩 결과의 최대 전송속도를 이론적으로 제시한다.

#### 3.1 시스템 구성

제안된 기법의 시스템 구성을 Fig. 4에 표시하고 있다. 송신부는 일반 LED 조명이며,  $M \times N$  개의 점광원 중 일부를 Off함으로써 데이터를 인코딩하는 방식으로 동작한다. 아래에서 좌하의 LED가 꺼져 있는 것이 이에 해당한다. 이 패턴을 스마트폰의 전면카메라가 인식하고 디코딩하여 데이터 값을 수신한다.

제안된 시스템의 활용 예는 다음과 같다. 박물관이나 전시장의 특정 전시작품 상단에는 일반 LED 조명이 켜져 있다. 그 조명에서는 사용자가 도착했을 때 미리 지정된 데이터 값을 제안된 VLC 방식으로 데이터를 송신한다. 사용자가 스마트폰 응용을 실행하면 전면카메라가 1초에 수십 FPS(Frame Per Second)의 속도로 LED 조명을 촬영하고 그 이미지에서 데이터를 추출한다. 수신 데이터로는 그 작품의 주요 내용일 수도 있고 이를 설명하는 웹페이지의 URL일 수도 있다.

#### 3.2 난반사 LED 조명 및 패턴 인코딩

기존 VLC기술의 LED 조명은 난반사 필터를 고려하지 않는다. 하지만 일반적인 LED 조명은 사용자의 눈부심 방지를 위하여 난반사 필터를 적용하며, Fig. 5에서 이를 표시한다. 왼쪽은 난반사 필터가 적용되기 전이고 오른쪽은 난반사 필터를 적용한 후이다.

제안된 인코딩 기법을 Fig. 6에서 표시하였다. 여

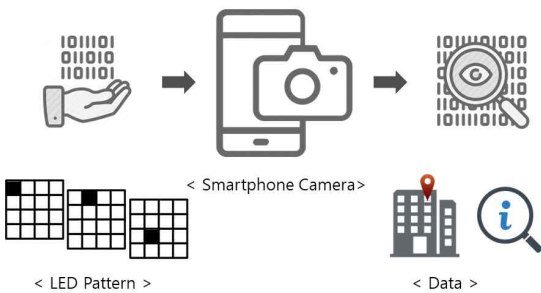


Fig. 4. System Configuration.



Fig. 5. LED Light with Diffused Filter.

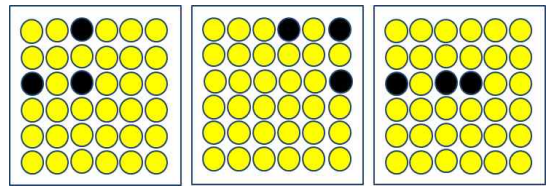


Fig. 6. LED Pattern with 3-Off.

기서는 3가지 패턴을 보여준다. 3가지 경우 모두 3개의 LED가 Off된 경우를 보여주며 서로 다른 데이터를 전송할 수 있다. 오른쪽 패턴은 2개의 인접한 LED가 Off된 경우인데 난반사 필터가 적용됐을 때 구별하지 못할 수도 있다.

#### 3.3 난반사 매개변수

제안된 인코딩 기법에서는  $M \times N$  개의 LED 점광원을 1개나 2개, 또는 그 이상을 Off하여 코드화한다. Off되는 LED 수가 커질수록 인코딩 경우의 수는 커지므로 단위 시간당 데이터 전송량도 커진다. 하지만 Off되는 LED 수가 커질수록 전체 조도는 낮아지며 조명으로서의 역할도 떨어질 것이다. 이를 방지하기 위하여 본 논문에서는 L-off-able이라는 매개변수를 정의한다.

또한, 난반사필터가 적용된 조명에서는 Fig. 6의 오른쪽처럼 바로 인접한 LED의 off를 구별하지 못할 수도 있다. 이는 전체 오류율을 높이므로 LED 조명과 스마트폰의 카메라에 따라 실험을 통하여 적절하게 설정해야 한다. 본 논문에서는 이를 K-separated라고 정의한다. Fig. 7에서 L-off-able은 3이고 K-separated는 1임을 보여준다.

#### 3.4 최대 전송 속도

$M \times N$  LED 조명에서 L-off-able과 K-separated가 결정됐을 때 최대 전송 속도를 계산한다. 만약

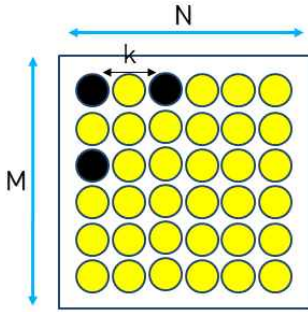


Fig. 7. Example of LED Parameters.

L-off-able(이하 L)이 1이고 K-separated(이하 K)가 0이라면 패턴의 총 수는  $M \times N$  개일 것이다. 만약  $L=2$  이고  $K=2$ 라고 가정하면  $L=1$  일 때와  $L=2$  일 때의 합이므로 E1의 식을 얻을 수 있다. 수식 (1)을 일반화하면 최대 LED 패턴수를 얻을 수 있는데 수식 (2)에서 표시한다.

$$\lfloor \frac{M}{(K+1)} \rfloor \times \lfloor \frac{N}{(K+1)} \rfloor C_1 + \lfloor \frac{M}{(K+1)} \rfloor \times \lfloor \frac{N}{(K+1)} \rfloor C_2 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^L \lfloor \frac{M}{(K+1)} \rfloor \times \lfloor \frac{N}{(K+1)} \rfloor C_i \quad (2)$$

예를 들어  $10 \times 10$  LED 조명에서  $K = 1$ 이고  $L = 3$ 일 때 패턴 수는 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^3 \lfloor \frac{10}{2} \rfloor \times \lfloor \frac{10}{2} \rfloor C_i = {}_{25}C_1 + {}_{25}C_2 + {}_{25}C_3 = 25 + 300 + 2300 = 2625 \quad (3)$$

최대 데이터 전송량은 1초에 얼마나 많은 데이터를 전송하는 가이고, 카메라의 1초당 이미지 캡처수인 FPS에 비례한다. 수식 (3)은 서로 다른 데이터 개수를 의미하므로 비트 수를 계산하려면 밑수가 2인 Log를 취해서 수식 (4)의 최대 데이터 전송량을 구할 수 있다.

$$\text{Log}_2 \left( \sum_{i=1}^L \lfloor \frac{M}{(K+1)} \rfloor \times \lfloor \frac{N}{(K+1)} \rfloor C_i \right) \times \text{FPS} \text{ (bps)} \quad (4)$$

수식 (4)는 제한된 인코딩 기법에 의한 이론상 최대 데이터 전송량이며 통신프로토콜에서 요구하는 오버헤드를 고려하면 데이터 전송량은 낮아질 것이다.

## 4. 실험 결과 및 사례 연구

### 4.1 실험 환경

실험을 진행하기 위하여  $10 \times 10$  LED 전등과 ATmega128을 이용하여 구현하였다. ATmega128은 On/Off될 LED를 제어하는데 활용되었다. 스마트폰은 안드로이드 스마트폰으로서 갤럭시 7을 사용하였다. Fig. 8에서 왼쪽은 LED 조명의 보드 모습을, 가운데는 난반사 필터를, 오른쪽은 LED 패턴을 보여준다.

### 4.2 L-off-able 값 결정 실험

L-off-able 값을 결정하기 위하여  $12 \times 12$  LED 조명과 'Lux Meter'라는 스마트폰 조도 감지 응용을 사용하였다[10]. LED조명과 조도 확인 장치 사이의 거리를 2M로 설정한 후 LED 소자를 하나씩 켜올 때 조도를 확인하여 조명으로 사용 가능한 영역을 확인하였다. 조명으로 사용 가능한 영역은 Table 1 KS 조도 기준을 이용하여 한국 기준으로 200~300 lx를 적정 조도로 설정하였다.

Table 2는 실험 결과를 표시한다. 실험에 사용한 LED 조명은 총 144개의 LED 점광원을 갖는데 실험 결과는 L-off-able이 15라는 것을 말해준다. 그 결과는 조명과의 거리와 스마트폰의 종류에 따라 다소 차이가 있을 수 있다.



Fig. 8. Experimental LED Light.

Table 1. KS Light Density Standard

	Lowest [lx]	Standard [lx]	Highest [lx]
Ultra Definition	1500	2000	3000
High Definition	600	1000	1500
Normal	300	400	600
Plain	150	200	300
Low Definition	60	100	150

Table 2. Result of L-off-able

Number of Off-LED	Light Density
0	205.09
5	203.99
10	202.59
15	200.34

4.3 K-separated 값 설정 실험

Fig. 9는 난반사 필터를 통했을 때 거리에 따른 인식 가능성을 비교한 결과이다. 스마트폰 카메라는 전면 카메라를 사용하였고 셔터 스피드를 조절하지 않은 경우이다. 세 가지 경우 모두 2미터 정도의 거리에서는 전혀 구분이 어려운 것을 보여준다.

스마트폰의 카메라에서 셔터 스피드를 조절하면

상기의 결과를 크게 개선할 수 있다. Fig. 10은 셔터 스피드를 조절한 결과를 보여주는데 LED 조명의 각셀이 모두 인식되는 것을 보여준다. 스마트폰 카메라와 LED 조명간의 각도는 인식률에서 매우 중요한데 15도 간격으로 테스트했을 때 30도 까지는 문제없이 인식되는 것을 보여준다.

4.4 통신프로토콜 사례

제안된 인코딩 기법으로 전체 VLC 시스템을 설계할 때는 다음과 같은 점을 고려하여야 한다.

1) 송신 시작: 스마트폰 앱과 LED 전등 사이에 어떻게 동기화를 할 것인가를 의미한다. 2가지 방법이 가능한데 첫 번째는 스마트폰 앱이 실행되는지 여부와 관계없이 계속 데이터를 송신하는 것이다. 두 번째는 스마트폰 앱이 실행되면 LED 전등에게 특정 신호를 보내는 방식이다.

2) LED 전등 방향 정합: LED 전등과 스마트폰의 카메라간의 방향 정합을 어떻게 할 것인가를 의미한다. 2가지 방법이 가능한데 첫 번째는 방향 정합을 위하여 Fig. 11처럼 특정한 Base Point를 두는 방법이 있으며 두 번째는 방향 정합 없이 인코딩 패턴에 제약을 두는 방식이다.

3) 데이터 전송 시작 및 전송 끝: 데이터의 패킷화

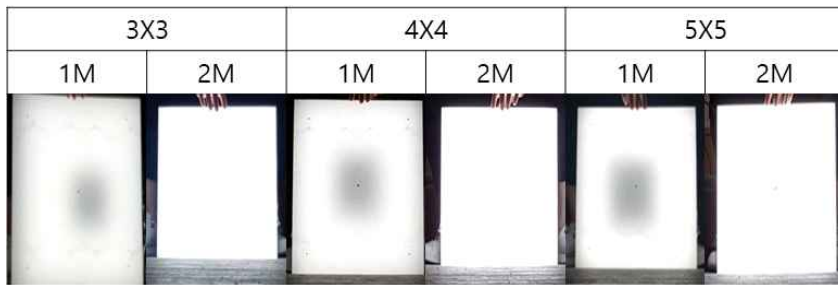


Fig. 9. Diffused LED Light Experiment with No Shutter Speed Control.

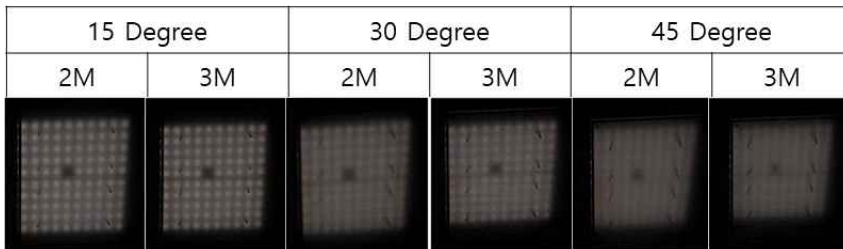


Fig. 10. Diffused LED Light Experiment with Shutter Speed Control.

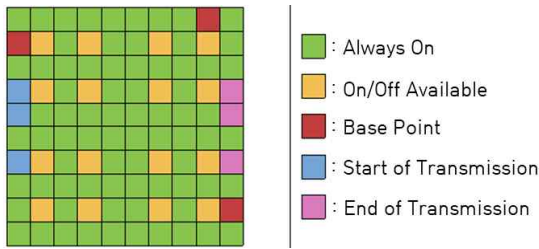


Fig. 11. Example of Communication Protocol.

를 위하여 전송 시작과 전송 끝을 지정하는 방식이다. Fig. 11에서는 전송 시작 및 전송 끝을 위하여 특정 LED를 동시에 끄는 방식을 채택했다.

4) 기타 통신 기술: 오류 검출 및 복원을 위한 방법이 연구되어야 한다.

#### 4.5 스마트폰 응용의 요구 기능

대부분의 스마트폰 카메라는 최근 전면 및 후면 카메라를 모두 갖추고 있다. 후면 카메라가 해상도도 높고 특히 셔터 스피드 기능이 있어서 난반사판에 대한 대응이 용이하다. 스마트폰 응용은 다음의 요구 기능을 가져야 한다.

1) 전면 카메라를 활용하여야 사용자의 UI/UX에 도움이 된다. LED 전등 밑에 위치한 사용자가 VLC 통신 기술을 활용하여 정보를 수신할 때, 현재 수신되는 정보량이 화면에 표시되어야 사용자 UI/UX를 만족할 수 있다.

2) 카메라는 연속 이미지로 사진을 촬영하고 그 이미지를 분석하여 정보를 얻어야 한다. 이때 FPS (Frame Per Second)가 클수록 전송되는 데이터 양을 늘릴 수 있다.

3) 스마트폰 응용과 VLC 등 사이에 동기화 기능이 활용될 수도 있다. 응용이 실행되면 VLC에게 신호를 보내고 그 신호를 받은 순간 통신을 진행하는 방식이다. 그 결과 불필요한 VLC 동작을 피할 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 일반 LED 조명을 송신기로 스마트폰의 전면 카메라를 수신기로 활용하는 VLC 기술을 제안하였다. 문제는 일반 LED 조명은 사람 눈의 피로를 줄이기 위하여 난반사 필터를 부착하고 있기 때문에 기존 VLC와 같이 단일 LED의 On/Off 깜박임으로는 통신이 어렵다는 것이다.

본 논문의 접근법은 일반 LED 전등이 다수의 LED 점광원들의  $M \times N$  모음으로 구성되는 점을 고려하여, 특정 LED를 특정 시점에서 OFF하면 QR코드처럼 패턴화하여 인코딩하는 방법이다. 조명으로서의 역할을 할 수 있어야 하므로  $M \times N$  개의 점광원 중 몇 개를 끌 것인지를 결정하는 L-off-able이라는 매개변수를 정의하였다. 또한 난반사판에 의한 해상도 저하를 고려하여 인접한 점광원이 얼마나 이격되어야 하는가를 지정하는 K-separated라는 매개변수도 정의하였다. 난반사 필터를 갖는 LED 조명과 스마트폰 카메라를 이용한 실험을 통하여 2개 매개변수 값을 결정하였다. 이를 기반으로 통신 가능한 전송량의 최대치를 수학적식으로 제시하였다.

본 논문에서 제안된 VLC 기술은 일반 LED 조명을 사용하는 가정이나 사무실, 기타 다양한 실내 공간에서 별도의 수신기없이 스마트폰만으로 위치인식 응용이나 스마트폰 결제 등에 활용될 수 있을 것이다. 향후 연구 방향은 우리의 인코딩 기법 기반의 전체 통신 프로토콜을 개발하여서 이를 실내 위치 기반 응용이나 스마트폰 결제 등에 활용하는 것이다.

### REFERENCE

[1] P. Goswami and M.K. Shukla, "Design of a Li-Fi Transceiver," *Wireless Engineering and Technology*, Vol. 8, No. 4, pp. 71-86, 2017.

[2] D. Y. Chu, "Technology Development Trends of LED VLC," *Science and Technology Policy*, Vol. 20, No. 3, pp.63-67, 2010.

[3] D. Oh, "LED VLC Technology and Development Trend," *KEIT PD Issue* Vol. 11, No. 7, pp.47-67. 2011.

[4] D. Tsonev, H. Chun, S. Rajbhandari, J. McKendry, S. Videv, E. Gu, et al., "A 3-Gb/s Single-LED OFDM-based Wireless VLC Link Using a Gallium Nitride  $\mu$ LED," *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 26, No. 7, pp. 637-640, 2014.

[5] T. Cevik and S. Yilmaz, "An Overview of Visible Light Communication Systems," *International Journal of Computer Networks and Communications*, Vol. 7, No. 6, pp. 139-150, 2015.

[6] L. Tianxing, A. Chuankai, Z. Tian, A.T. Campbell, and X. Zhou, "Human Sensing

Using Visible Light Communication,” *Proceedings of the 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 331-344, 2015.

[7] M. Falcitelli and P. Pagano, “Visible Light Communication for Cooperative ITS,” *Intelligent Transportation Systems*, pp. 19-47, 2016.

[8] L. Klaver and M. Zuniga, “Shine: A Step Towards Distributed Multi-hop Visible Light Communication,” *Proceeding of the IEEE 12th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, pp. 235-243, 2015.

[9] P.B. Khanal, *Augmented Reality Using Visible Light Communication*, Master Dissertation, Major in System Design and Management, Keio University, 2015.

[10] G. Song, N. Kim, Y.E. Choi, G.R. Choi, H.J. Shin, D.K. Kim, et al., “A Li-Fi (Light-Fidelity) Communication System Inter-operable with Smart-phones,” *Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 44, No. 2, pp. 496-498, 2017.

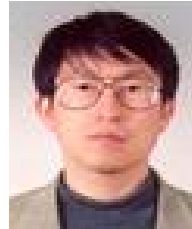
[11] N. Dávid, *Visible Light Communication in Case of Non Light of Sight*, Master Thesis of Czech Technical University, 2017.

[12] Z. Tian, K. Wrighty, and X. Zhou, “The DarkLight Rises: Visible Light Communication in the Dark,” *Proceedings of the 22nd Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 2-15, 2016.

[13] O. Hoon, Y.J. Lee, S.B. Park, H.S. An, and B.K. An, “Indoor IoT Monitoring System Based on Visible Light Communication Using Smart Phone,” *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 54, No. 4, pp. 35-43, 2017.

[14] Verma, P., Shekhar, J., Asthana, A. “Light-Fidelity (Li-Fi): Transmission of Data through Light of Future Technology,” *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, Vol. 4, Issue 9, pp. 113-124, 2015.

[15] S. Cha, S.S. So, J.M. Jung, Y.S. Yoon, and S.B. Eun, “A Universal Smart-phone APP for Processing One-shot Tasks,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 20, No. 3, pp. 562-570, 2017.



은 성 배

1985년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사  
 1987년 KAIST 전산학전공(석사)  
 1987년~1990년 한국전자통신연구원 TDX개발단 연구원  
 1995년 KAIST 전산학전공(박사)

1995년~현재 한남대학교 정보통신공학과 교수  
 관심분야: 실시간 시스템, 임베디드 시스템 등



김 동 규

2017년 한남대학교 정보통신공학과 학사  
 2019년 한남대학교 정보통신공학과 석사  
 관심분야: 임베디드 시스템, IoT 등



차 신

1995년 KAIST 전산학과 졸업(박사)  
 1986년~2000년 LG전자기술원 책임연구원  
 2000년~2013년 (주)IA 멀티미디어통신사업부 사업본부장

2013년~2015년 (주)슈어소프트테크 고신뢰검증센터 센터장

2016년~현재 한남대학교 컴퓨터통신무인기술학과 교수  
 관심분야: 소프트웨어 신뢰성, 안전성공학, IoT 보안