

# 롤링 셔터 효과를 이용한 LED 간판 방송 기술 연구

김철용\*, 허정현\*, 정성윤<sup>o</sup>

## LED Broadcasting System Based on Rolling Shutter Effect

Cheol-yong Kim\*, Jeong-Hyeon Heo\*,  
Sung-Yoon Jung<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문은 상업용 간판 및 조명으로 사용되는 LED와 스마트폰의 카메라 간의 가시광 통신을 기반으로 실생활에서 사람들의 편의를 제공하는 통신 기법을 제안한다. 가시광 통신기법(visible light communication) 중 CMOS 카메라의 이미지센서 롤링 셔터 현상을 이용하여 LED On-Off 신호를 읽어 들이고, 이 데이터를 영상 처리하여 필요한 신호를 획득한다. 기존의 방식과 달리 복잡한 영상처리 기술에 의존하지 않고 간단하고 효과적으로 수신하는 천이 기반의 디코딩 방식을 제안한다. 이러한 기법을 이용하여 LED가 사용되는 대부분의 사물에서 사용자가 원하는 정보를 간단하게 획득할 수 있다.

**Key Words** : visible light communication, rolling shutter, packet, dimming, sync, threshold

### ABSTRACT

In this paper, we propose a communication method that provides convenience in real life based on visible light communication between smart phone's camera and LED for commercial sign and lighting. Among the visible light communication schemes, we can read the LED on-off signals using the rolling shutter effect of CMOS camera. Unlike the existing method, we

propose a simple and effective transition-based decoding method that does not depend on complicated image processing technology. Therefore, the necessary data can be processed to obtain necessary signals. By using this scheme, the user can easily obtain the information from the objects where the LED is used.

### I. 서론

본 논문에서는 LED를 이용한 홍보/마케팅 수단으로 원하는 정보 제공 기능을 위한 간판 시스템 testbed를 구현한다. LED bar를 송신부로 하여 롤링 셔터 효과를 이용해 본문에서 제안하는 디코딩 방식으로 데이터를 전송한다. 송신된 데이터를 라즈베리파이 카메라로 수신하여 검출한 데이터를 정보성 콘텐츠에 연결하여 추가 정보를 확인하고자 한다.

실제 사용 환경에서 수신될 이미지는 광원 및 이동 장치 사이의 상대적인 위치가 변화하기 때문에 대부분의 휘도 면에서 균일하지 않다. 단일 이미지에서 'ON' 및 'OFF'의 세기 레벨을 정규화하기 위한 기존의 방법은 히스토그램 균일화, 이미지 필터링, 수직 열 화소 선택을 이용한다. 이러한 기법들은 이상적인 실험 조건 하에서는 잘 동작하지만, 스마트폰 카메라의 추가적인 영상처리 계산 및 처리시간을 요구하게 된다. 또한 카메라 설정 및 주변의 빛 환경에 따른 변동이 크고 빛 번짐 현상이 나타나면 이미지의 높고 낮은 심볼 펄스 폭의 변동을 초래하여 실제 사용에 적합하지 않다. 이 경우, 디코딩 시 데이터에 심각한 오류가 발생하여 연속적으로 연결된 심볼 단일 기호를 구별하기 어렵게 된다.

본문에서 제안하는 천이 기반의 디코딩 방식을 사용하면 복잡한 영상처리 기술에 의존하지 않고 간단하고 효과적으로 빛 번짐 현상을 완화할 수 있다. 또한 빛 번짐으로부터 펄스 폭이나 다음 펄스를 측정하는데도 영향을 받지 않게 된다. VPPM 변조방식을 채택하였기 때문에 위의 인코딩 방식으로 디밍 제어도 가능하다.

\* 본 연구는 한국연구재단 중견연구자지원사업 (NRF-2018R1A2B6002204) 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0002-5102-2328) Dept. of EE, Yeungnam University, swot1111@ynu.ac.kr 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-1775-7144) Dept. of EE, Yeungnam University, syjung@ynu.ac.kr, 중신회원

\* (ORCID:0000-0002-0585-2259) Dept. of EE, Yeungnam University, udic20@ynu.ac.kr

논문번호 : 201902-474-A-LU, Received February 22, 2019; Revised April 23, 2019; Accepted April 24, 2019

## II. 본 론

### 2.1 롤링 셔터 효과(Rolling Shutter Effect)

그림 1은 한 행씩 순차적으로 이미지 센서에 노출시켜서 형성된 이미지의 롤링 셔터 현상이다. LED가 ON일 경우에는 밝은 줄이 형성되고 OFF일 때는 어두운 줄이 형성되게 된다. LED를 송신부로 사용할 경우 LED를 일정한 빠른 속도로 점멸할 때 노출된 시간만큼 이미지 센서에 한 행씩 순차적으로 이미지가 형성되고, 이 속도는 제어가 가능하여 송신할 수 있는 데이터의 양을 조절할 수 있다<sup>1-3)</sup>.

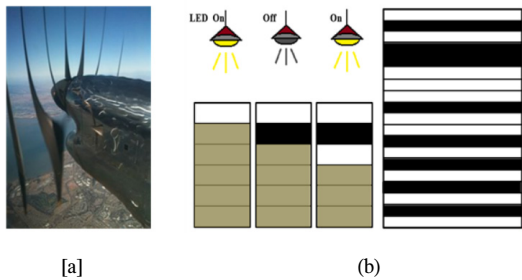


그림 1. 롤링 셔터 효과 예제 : (a) 일반적인 롤링 셔터 효과 (b) CMOS 카메라 롤링 셔터 이미지  
Fig. 1. Examples of rolling shutter effect : (a) Conventional rolling shutter effect (b) Rolling shutter effect of CMOS camera

### 2.2 송신단의 통신 기법

그림 2는 조명의 밝기를 제어하기 위해 사용된 VPPM 방식을 보여준다. 본 논문에서는 통신 기법으로 VPPM 방식을 채택하였다. VPPM은 2bit 통신일 경우에 Low-High Pulse로 변화하면 ‘1’로, High-Low Pulse로 변화하면 ‘0’으로 정의하였다. 그리고 LED가 일정 시간 동안 ON인 경우 High Pulse, OFF이면 Low Pulse로 설정하였다. VPPM 방식은 한 주기에서 Pulse의 폭으로 조명의 밝기를 조절할 수 있다는 장점이 있다. 그래서 LED가 ON일 경우에 High Pulse의 길이 조절을 통해 Dimming(조광)을 조절할 수 있다.

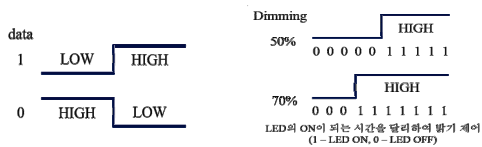


그림 2. VPPM 방식의 데이터 변조 및 디밍 제어 : (a) 데이터 정의 (b) 50% 및 70% 디밍  
Fig. 2. VPPM-based data modulation and dimming control : (a) Data modulation (b) 50% and 70% dimming.

Dimming을 조절하기 위해서는 Pulse의 주기를 결정해야 한다. 여기서 Chip이라는 개념을 사용한다. Chip은 송신단의 LED가 ON이나 OFF가 되는 최소단위로, 사용자가 설정한 MCU의 신호 주파수에 따라 변화한다. 일정 거리 안에서 Frame 없이 통신이 가능하도록 우리는 한 Bit를 그림 2에 표시된 것처럼 10 Chip으로 설정하였다. 10 Chip으로 설정하면 밝기를 10% 단위로 조절할 수 있다<sup>4)</sup>.

#### 2.2.1 송신단의 Data 구조

송신단의 Packet은 그림 3과 같이 Sync - Guard - Data - Guard 순으로 이루어져 있다. Sync는 2bit 동안 하나의 High Pulse로 송신 Packet에서 가장 긴 Pulse를 가진다. 이를 이용해서 Data 분석 시, Sync를 통해 송신 Packet의 시작과 끝을 알리면서 다음과 이전의 Packet과 구분을 지을 수 있고, 1 Chip 당 Pixel 개수를 통해서 다른 Pulse들의 Chip 개수를 확인하여 Dimming을 알 수 있다.

Guard Bit는 Sync와 Data 사이의 오류를 방지하는 역할이다. Sync와 Data의 연속적인 부분이 발생할 경우를 대비해서 Sync와 Data를 구분하기 위해 High bit가 많은 Sync 후에 1Bit를 Low-High로 그리고 Data 끝에 1Bit를 High-Low로 사용한다.

마지막으로 Data는 기본적인 정보 단위인 1Byte(=8bits)로 통신하였다.

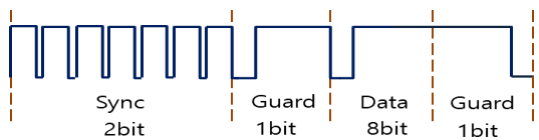


그림 3. 제안하는 송신 패킷 구조  
Fig. 3. Proposed transmission packet structure

### 2.3 수신 알고리즘

그림 4는 수신부의 알고리즘을 간략하게 표현한 그림이다. 먼저 카메라로 영상을 획득하여 영상처리를 통해 송신 영역을 검출한다. Data 분석을 위해 이미지를 Pulse로 나타내어서 Sync를 찾는다. Sync가 2개 이상 나온 경우 첫 번째 Sync에서 다음 Sync가 끝나는

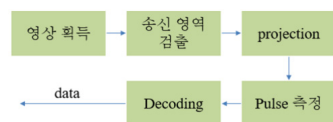


그림 4. 데이터 검출을 위한 수신부 블록도  
Fig. 4. Receiver block diagram for data detection

부분까지 Pulse를 4가지로 분류하여 데이터를 분석한다. 만약 2개 이상이 나오지 않았을 경우 데이터가 제대로 송신되지 않았으므로 다음 이미지를 받아들인다.

### III. 모의실험

#### 3.1 카메라의 영상 획득과 영역 검출

그림 5는 카메라를 이용하여 롤링 셔터 영상을 획득과 영역 검출을 보여준다. 그림 5. (b)처럼 카메라의 필름 감도(ISO: film sensitivity)조절을 하게 되면 영상 획득 시 원활한 수신이 가능하게 되어 롤링 셔터 현상을 선명하게 나타내어준다.

하지만 그림 6처럼 영상을 검출하였을 때 송신 영역의 비중이 전체 이미지에서 적음을 알 수 있다. 그래서 송신 영역 외의 부분은 불필요한 연산을 줄이기 위해 제외하고 송신 영역만 검출하였다. 그림 6의 그래프에서 X축은 송신 영역만 나타내고 Y축은 송신 영역과 그에 대한 Pixel 값을 나타낸다. Y축의 Pixel 값을 이용하여 송신영역 검출에서 사용한 Y축의 Pixel들의 합에서 Threshold 설정값에 따라 0과 1의 값을 가지는



그림 5. 필름 감도 조절에 따른 이미지 검출 : (a) 필름 감도 조절 전 (b) 필름 감도 조절 후  
Fig. 5. Image Detection by ISO control (a) before ISO control (b) after ISO control

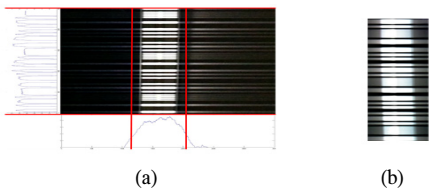
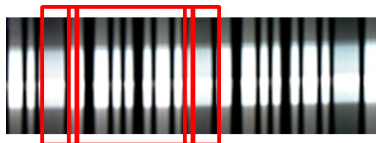


그림 6. 배경의 잡음을 최소화한 송신 영역 검출: (a) 검출 전 (b) 검출 후  
Fig. 6. Transmission area detection with minimal background noise: (a) before detection (b) after detection



Sync - Guard - Data - Guard - Sync

그림 7. 송신 영역 검출 후 확인되는 송신 패킷 구조  
Fig. 7. Transmit packet structure that is verified after detection of transmission area

Pulse로 표현하였다.

그림 7에서는 수신부에서 받은 펄스가 Sync - Guard - Data - Guard - Sync 순서로 구분이 되는 것을 확인할 수 있다.

#### 3.2 데이터 분석

송신 Packet의 시작을 알기 위해 Pulse들을 분석하여 많은 High-Pulse로 이루어진 Sync를 찾는다. 이때 Sync는 최소 두 개가 전체 송신 Packet에서 나타나야 한다. 만약 Sync가 여러 개라고 하면 두 Sync 사이의 Pulse들을 분석한다. Data는 0과 1로 나타내고, 한 데이터에서는 두 개의 Pulse들로 구성이 되어서 4가지의 Pulse 유형이 나타나게 된다.

그림 8과 같이 Long High Pulse, Long low Pulse, Short High Pulse, Short Low Pulse를 각각 LH, LL, SH, SL로 정의했고 이 4가지의 특징을 이용하여 검출되는 데이터를 1 혹은 0으로 이루어진 연속 데이터로 분석한다.

그림 9는 실제로 받은 데이터를 분석 한 결과이다. 그림에서 차례대로 Sync - Guard - LH - LL - LH - SL - SH - SL - SH - LL - SH - SL - LH - SL - Guard 순으로 이루어져있고 이 때, Data 사이에 있는 LH 또는 LL의 경우 2개의 data가 합쳐진 것이므로 중복해서 사용한다. 그러면

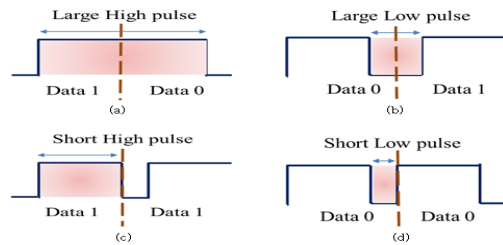


그림 8. 데이터로 인해 생기는 펄스의 유형  
Fig. 8. Types of pulses caused by data

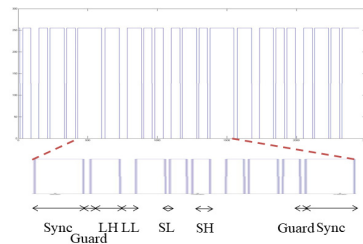


그림 9. 제안하는 디코딩 방식으로 수신된 펄스의 데이터 분석  
Fig. 9. Data analysis of received pulses in the proposed decoding method

H-L-L-H-H-L-H-L-H-L-L-H-L-H-H-L가 되고 이를 다시 Data 쌍으로 변환하면 [H,L], [L,H], [H,L], [H,L], [H,L], [L,H], [L,H], [H,L]가 된다. Data는 01000110 이렇게 8bit로 전송되는 것을 확인할 수 있다.

### 3.3 실험 결과

그림 10은 실제 영상처리를 한 거리와 각도에 따른 binary 이미지의 예를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 4m나 80도 이상 벗어나면 LED 데이터를 수신했을 때에는 직접적인 LED 빛이 아니라 주변의 왜곡된 빛으로 인해 정확한 값이 측정되지 않는다.

거리와 각도에 따라 결과가 차이가 발생하는 이유는 송신기인 LED와 수신기인 롤링셔터 카메라 간의 거리가 먼 경우 전송되는 신호의 강도가 약해서 LED의 온/오프(ON/OFF) 이미지를 명확하게 구분하지 못하기 때문이다. 그래서 LED의 픽셀들의 이미지 신호세기는 장거리 전송에 사용하기 어렵다. 하지만 수신부에서 광학 또는 디지털 줌을 사용해서 영상의 선명도를 향상 시키면 보완할 수 있다<sup>5)</sup>. 각도가 커지는 경우 이미지 상 심볼의 펄스 폭이 작아지게 되어 그에 따른 디코딩 에러 증가에 따라 성능이 낮아지며 결과적으로 각도가 너무 커지는 경우 신호 디코딩이 어렵게 된다. 따라서 디코딩이 가능한 각도 범위 제한이 존재한다.

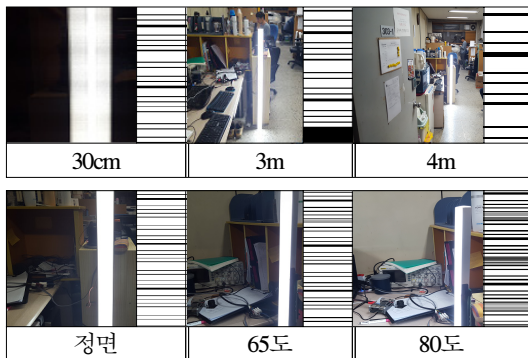


그림 10. 각도와 거리에 따른 LED 등과 binary 이미지  
Fig. 10. LED and binary image according to angle and distance

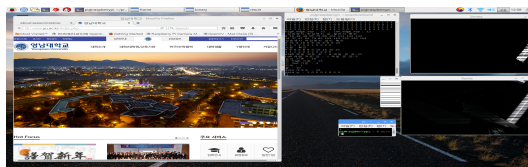


그림 11. 정보 콘텐츠 연결 예시  
Fig. 11. Example of information contents connection

그림 11은 송신된 데이터를 라즈베리파이 카메라로 수신하여 검출한 데이터를 정보성 콘텐츠에 연결하여 추가 정보를 보여주는 그림이다. 이를 통해 이 기술이 실제로 적용가능하다는 것을 보여준다.

## IV. 결 론

본 논문은 일반적으로 광고 및 조명으로 사용되는 LED 광원과 롤링 셔터 효과가 일어나는 카메라 간의 가시광 통신을 기반으로 한 통신 기법을 간략하게 제안했다. 제시한 통신 기법을 활용해 LED 광원에 정보를 담은 빛을 수신부에서 얻고 데이터 분석을 통해 정보를 사용자에게 제공할 수 있음을 확인했다. 이러한 기법을 LED 전광판에 응용하여 실생활에서 사람들에게 편의를 제공 가능함을 제시하였다.

## References

- [1] B. W. Kim and S. Y. Jung, "Flicker-free optical camera communications based on compressed sensing," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, pp. 1104-1107, 2016.
- [2] T. Nguyen, A. Islam, T. Hossan, and Y. M. Jang, "Current status and performance analysis of optical camera communication technologies for 5G networks," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 4574-4594, 2017.
- [3] S. Teli, W. A. Cahyadi, and Y. H. Chung, "Optical camera communication: motion over camera," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, pp. 156-162, 2017.
- [4] S. U. Lee, S. U. Hyeon, N. Y. Kim, M. C. Joo, and Y. I. Park, "Design of VPPM transmission for VLC in variable brightness environment," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2015*, pp. 131-133, Jeju Island, Korea, Jun. 2015.
- [5] Y. Chae, D. T. Nguyen, and Y. Park, "Transmission distance enhancement of rolling-shutter based optical camera communications using digital zoom," in *Proc. KICS*, vol. 42, pp. 1765-1770, Sep. 2017.