

# 카메라의 수신 불연속을 회피하는 저 전력 모듈레이션 구조

배점한\*, 김종태\*

## Low Power Modulation Scheme to Avoid Camera Reception Discontinuity

Jum-Han Bae\*, Jong Tae Kim\*

요약

본 연구에서는, 롤링셔터 카메라를 사용한 근거리용 저 전력 카메라 통신의 모듈레이션에 대한 구조에 대해서 연구하였다. 근거리 카메라 통신의 수신 비동기, 노출 분포의 불균형, 0과 1 데이터 이미지의 비대칭 등을 분석하였다. 그리고 영상 이미지의 크기 비율 특성 등을 반영하여 이미지 펄스의 폭으로 데이터를 표현하였다. 불연속의 문제를 회피하기 위해서 데이터를 반복전송 하였다. 비대칭의 문제를 감소시키기 위해서, 1 데이터 이미지와 0 데이터 이미지의 용도를 다르게 하여 사용하였다. 실험을 통해서 송신된 데이터가 손실 없이 수신됨을 확인하였고, 프레임 당 8비트로 확장하여 240bit/sec까지 가능한 것을 확인 하였다. 전용 HW를 사용하면 기존구조를 유지한 채 더 높은 데이터 전송율을 기대 할 수 있다. 펄스의 간격을 측정하는 방법으로 데이터를 표현하면 클럭을 복구할 필요가 없고, 간단한 디코딩이 가능하여 IoT 시스템에 유리한 구조가 된다.

**Key Words** : OCC(Optical Camera Communication), DAPPM(Discontinuity Avoidable Pulse Position Modulation), Rolling Shutter, Stripe, Exposure Time

### ABSTRACT

In this study, we have studied the modulation structure of low - power camera communication for short distance using a rolling shutter camera. Asynchronous reception of short - range camera communication, unbalance of exposure distribution, asymmetry of 0 and 1 data image were analyzed. The data is expressed by the width of the image pulse, reflecting the size ratio characteristics of the image. To avoid the problem of discontinuity, the data was repeatedly transmitted. In order to reduce the problem of asymmetry, one data image and one zero data image are used differently. Through experiments, we confirmed that the transmitted data was received without loss, and extended to 8 bits per frame, confirming that it could be up to 240 bits / sec. With dedicated HW, higher data transfer rates can be expected while maintaining the existing structure. By expressing the data by measuring the interval of pulses, there is no need to recover the clock, and simple decoding is possible, which is advantageous to the IoT system.

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

\* 성균관대학교 전자전기공학부, 종신회원

논문번호 : 201806-C-045-RE, Received March 18, 2018; Revised May 25, 2018; Accepted May 30, 2018

## 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 가시 광 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 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<sup>1)</sup>. 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 센스를 수신 부로 이용하는 OCC(Optical Camera Communication) 표준이 2014년부터 IEEE802.15.7r1으로 논의 되고 있다. 가시 광에 의한 통신은 별도의 디바이스인 포토 다이오드를 사용하는 경우와 기존 카메라의 이미지 센스를 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 것이다. 이미지 센스를 사용하는 경우는 이미 확산된 스마트 폰을 이용할 수 있으므로 추가 비용을 최소화 할 수 있는 반면에, 데이터 처리속도는 떨어지는 단점이 있다.

이렇게 낮은 데이터 처리 속도 임에도 불구하고, 기존의 스마트 폰을 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 자율 주행 자동차를 위해서는 사람도 인지할 수 있고, 기계도 인지 할 수 있는 수 있는 양면을 갖춘 표지판이 필요 하다. 이러한 응용에도 가시 광을 이용한 LED 표지판은 좋은 통신 방법이 된다.

가시 광 통신에 이용되는 이미지 센스는 롤링 셔

터(Rolling Shutter)형의 이미지 센스와 글로벌 셔터(Global Shutter)형의 이미지 센스가 있다<sup>2)</sup>. 일반 소비자 제품의 카메라는 거의 대부분이 롤링 셔터(Rolling Shutter) 형이다. 기계적인 셔터를 사용하면 셔 정지 이미지는 글로벌 셔터처럼 동작하고 있는 DSLR(Digital Single-Lens Reflex camera)이 있으나 실제 미세 동작으로 보면 롤링 셔터 이다. 글로벌 셔터 형은, 광에 대한 이미지 센스의 물리적인 특성으로 인해, 높은 조도에서 사용되지 못하고 특화된 환경의 산업용이나 실내용 등 일정한 환경에서 사용 된다. 또한 롤링 셔터는 1개의 프레임(Frame)내에서 수평의 주사선(Line) 단위로 데이터를 실을 수 있는 반면에 글로벌 셔터는 프레임 단위를 기본으로 데이터를 실게 된다.

기존에 여러 논문을 통해서 소개된 모듈레이션 방법은 OOK(On-Off Keying), MFSK(Multi Frequency Shift Keying), UFSOOK(Under-sampled Frequency Shift On-Off Keying), UPSOOK(Under-sampled Phase Shift On-Off Keying), 컬러(Color) 전송 등의 방법이 소개 되고 있다. 본 논문에서는 모듈레이션 방법을 변경한다. 작은 LED 불빛의 저 전력을 이용하고, 수십cm 근거리에서 통신하며, 카메라의 불연속 구간을 해소하기 위해서 기존 카메라 통신에서는 잘 다루어지지 않았던 PPM(Pulse Position Modulation) 방법을 기준으로 한다. 이 PPM방법은 적외선 리모콘(IR Remocon)에 이미 적용된 방법이며, 별도의 클럭 복원 (Clock Recovery)이 필요치 않아 하드웨어가 간단하다. 기존 적외선 리모콘의 PPM 방법은 시간에 대해서 1차원 신호이고 송신되는 신호의 중간에 불연속 현상이 발생하지 않는다. 그러나 카메라는 2차원의 영상 프레임(Frame)이 시간에 따라 계속되는 3차원 신호이다. 그리고 송신과 수신이 비동기 관계에 있어서 시간에 따라 불연속이 발생한다. 본 논문은 저 전력으로 하면서 근거리에서 데이터를 전송할 수 있는 저 비용의 IoT용 통신을 목표로 하고 있다.

기존에 소개된, 주파수를 이용한 MFSK 방법은 비교적 긴 거리를 대응하기 위한 것이다. 여러 개의 흑백 띠를 이용하여 주파수를 만들기 때문에 데이터 전송율이 12 Byte/sec 정도의 수준으로 낮고 대신 수신 거리가 수m정도로 길다<sup>3)</sup>. UFSOOK나 UPSOOK는 수 m정도의 거리이고 1bit/frame정도로 데이터 전송율이 매우 낮다.

지금까지 연구된 방식 중에서 본연구의 방법과 가까운 것은 근거리용의 OOK 방식이다. 이 방식은 맨체스트 코드 (Manchester Code), 4B6B, 8B10B 등의

RLL 코드를 사용한다<sup>6)</sup>. 그리고 데이터를 디코딩 할 때는 SF(Start Frame)신호를 기준으로 시간 축으로 전 방향(미래) 및 후 방향(과거)으로 각각 디코딩 하여 결과를 합하는 방법을 사용한다<sup>6)</sup>. 그리고 SF 펄스 에지(Edge)로부터 일정 시간 간격으로 각각 구분하여 데이터를 디코딩 한다. 만약 1과 0의 비율이 비대칭(asymmetry)인 상태에서는 오류의 가능성이 크다. 또한 디코딩을 할 때 SF의 과거 시간방향으로 디코딩을 하면, 이미지 센스의 아이들(Idle) 구간이나 이미지 센스의 노출시간의 불 균일에는 대응이 안 된다. 본 연구에서는 스타트 코드에 기준신호가 내삽 되어 있어서 비대칭을 대응할 수 있고, 중복전송에 위해서 이미지 센서의 노출시간 불연속의 문제를 개선한다.

본 연구에서 나타날 효과를 보면, 가장 보편적인 방식인 롤링셔터<sup>7)</sup>를 사용한 근거리용 저 전력 카메라 통신의 모듈레이션 방법 및 구조에 대해서 연구한다. LED 램프가 아닌 일반 LED 4개를 사용한 3.5cm 길이의 작은 광원을 사용한다. 그리고 이미지 센스의 아이들(Idle) 간격이나 카메라 노출시간의 불연속을 완전히 회피 할 수 있도록 한다. 펄스의 폭이 데이터를 나타내기 때문에 별도의 클럭 정보가 필요치 않다. 송수신 장치가 간단하여 IoT용으로 적합하다. 이러한 방법을 DAPPM(Discontinuity Avoidable Pulse Position Modulation)이라고 지칭하기로 한다. 단거리의 통신 방법은 전파의 혼신을 피하거나 지역적인 IoT 통신을 위해서 비표준의 단계에서도 많이 활용된다.

## II. 본 론

IoT는 응용분야가 다양하다. 응용분야가 다양한 만큼 통신 방법 또한 다양한 방법이 필요하다. 작은 LED 면적을 이용하고, 움직임이 있는 모바일(Mobile) 환경에서 사용 할 수 있는 수단도 필요하다. 작은 LED 면적을 사용하기 위해서는, 카메라의 이미지 센스(Image sensor)에 맺히는 상의 최소 크기는 확보해 주어야 한다는 전제가 있다. 또한 비동기 영상신호를 통해서 데이터를 전송하는 만큼 데이터의 드롭(Drop)이 없어야 한다<sup>8)</sup>. 본 연구에서는 이러한 경우에 적합한 모듈레이션 방법에 대하여 연구 한다. 이러한 연구를 하기 위해서는 기본적으로 데이터의 송신 장치와 수신 장치에 대한 분석이 필요하다. 송신장치는 시간에 1차원적으로 LED를 온-오프 시키는 것이다. 수 khz 정도의 주파수라서 문제될 요소가 없다. 그러나 수신 부는 고려할 사항이 매우 많다. 3차원인 영상신호를 수신하는 장치를 통해서 데이터를 수신하여

야하기 때문이다. 따라서 영상신호 수신 장치인 이미지 센스가 어떻게 신호를 수신하는 동작을 하는지 확인하고, 수신동작에 문제가 없도록 신호를 송신하여야 한다. 즉 자유도가 높은 송신장치에서 수신에 문제가 없도록 신호를 생성하여야 한다. 따라서 이미지 센스에 대한 특성을 먼저 확인하고, 이 특성을 만족하도록 송신부에서 신호를 생성하며, 송신부의 데이터가 수신부에 안전하게 수신되는지 연구 한다.

### 2.1 카메라 통신을 위한 테스트 환경

아래의 그림 1은 카메라 통신에서 모듈레이션 방법을 테스트하기 위한 실험 환경이다. LED를 수직으로 배치하였고, 선(wire)의 연결에 따라서 LED의 개수를 줄이거나 늘릴 수 있게 하였다. 수신 부는 정확한 타이밍(Timing) 측정을 위해서 미러리스(Mirrorless) DSLR 카메라를 사용하였다. LED의 빛을 골고루 분산하기 위한 빛 확산 판은 아직은 사용하지 않았다. 즉, LED 어레이(Array)를 그대로 송신 부로 사용하고, 미러리스(Mirrorless) DSLR 카메라를 수신 부로 구성 하였다.

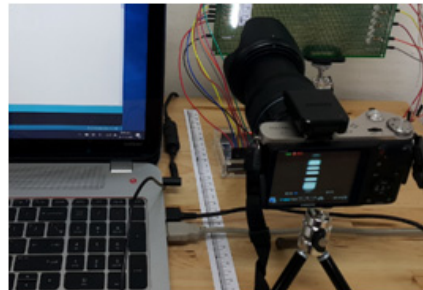


Fig. 1. Test Environment for Camera Communication

### 2.2 영상신호의 노출 시간 설정

LED에서 광 데이터를 전송하기 위해서는 먼저 수신 단에서 데이터를 받을 수 있도록 전송해 주어야 한다. 수신 단에서 데이터를 받는다는 의미는 송신 부 LED 광 데이터의 전송 시간과 수신 부 카메라 이미지 센스의 노출시간이 겹쳐야만 가능하다. 그림 2는 카메라에서의 노출시간이 달라지는 경우를 나타낸 것이다. (1)의 경우는 긴 시간의 노출을 나타낸 것이다. 이 경우 보다 노출시간을 늘리면 프레임 레이트(Frame Rate)를 더 낮추어야 한다. 일반 카메라와 달리 스마트폰 카메라는 조리개가 고정되어 있다. 이렇다 보니 노출을 조절할 수 있는 수단은 이미지 센스에서의 노출시간(Exposure Time) 조절 밖에 없다. 따라서 30 fps(Frame per Second)의 영상이라면 29 fps, 28 fps,

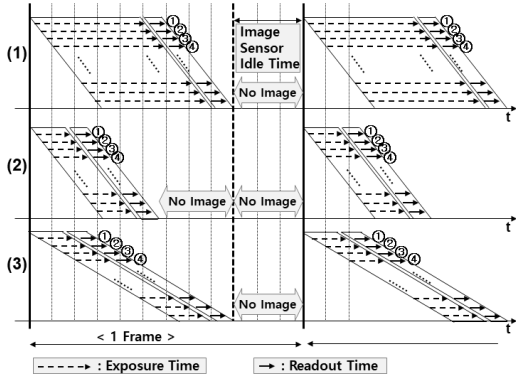


Fig. 2. Cases of Image Sensor Exposure time

27 fps 이렇게 프레임 레이트를 더 낮출 수밖에 없다. 이렇게 되면 움직이는 피사체를 찍을 때 움직임이 부자연스러워서 동영상의 품질이 떨어지게 된다. (1)의 경우는 주변 환경이 매우 어두운 상황에서 발생한다. 어두운 것은 이미지 센스에서는 가장 최악의 상황이다. (2)의 경우와 (3)의 경우는 같은 노출시간 간격이지만, (2)의 경우는 한개 프레임 구간에서 노출시간의 분포가 프레임 주기보다 짧고, (3)의 경우는 한개 프레임 주기 전체에 노출시간이 펼쳐져 있다. (3)의 경우와 같이 하면 빠르게 움직이는 영상에서 피사체가 끌리는 현상이 나타난다. 따라서 (2)와 같은 노출시간의 분포가 일반적인 영상의 경우이다. 따라서 송신되는 LED 광은 한개 프레임의 일부 구간에서만 수신이 된다.

그림 3은 노출시간에 따른 결과 이미지를 실험한 것이다. 그림 2와 같은 형태로 이미지가 출력되는 것을 보기 위해서, 16개의 LED에서 2개를 한 단위로 하여 8개 구간으로 나누었다. 구간 단위씩 LED를 4ms의 간격으로 온(On)하고 나머지는 모두 오프(Off)하는 동작을 계속 반복하게 하면서 촬영한 결과가 그림 3이다. 영상의 1 프레임 기간인 33ms동안 4ms의 간격으로 한 단위씩의 LED만 온(On) 시킨 것이다. 노출시간이 짧아질수록 이미지는 점점 더 작은 부분만 나타나는 것을 볼 수 있다. 이때도 송신 부와 수신 부는

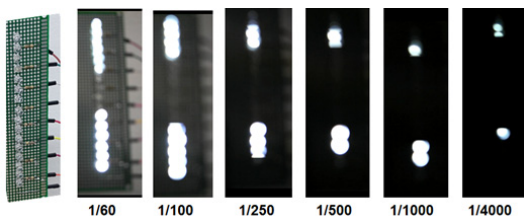


Fig. 3. Images by Sequential LED Blinking

비동기의 관계에 있기 때문에 영상이 캡처(Capture)될 때 1개의 이미지로 잡히는 경우와 2개의 이미지로 잡히는 경우가 있을 수 있다. 영상의 이미지 형태가 동그라미를 붙여 놓은 것처럼 보이는 것은 동근 LED를 수직으로 나열하여 LED광을 만들었기 때문이다. 그림 3의 테스트 결과로 알 수 있는 것은 카메라의 노출 설정이 그림 2의 (2)의 경우와 같이 설정되어 동작하고 있는 것을 알 수가 있다.

### 2.3 런 길이 (Run Length)코드에 따라 영상효과

카메라가 사용되는 환경은 빛의 밝기가 1 럭스(Lux)에서 20만 럭스(Lux)까지 변하는 장소에서 사용된다. 그렇기 때문에 빛이 약하면 노출시간을 증대시키고, 빛이 강하면 노출 시간을 줄이는 자동노출 조정 동작을 한다. 그림 4는 원본 이미지와 자동 노출이 반영되어 촬영된 이미지를 비교한 것이다. 흰색 종이를 촬영한 것이고, 검정색은 전체를 검정색으로 인색한 종이를 촬영한 것이다. 흰색은 모든 빛을 반사함에 따라 많은 빛이 이미지 센스로 들어오는 반면 검정색은 모든 빛을 흡수함에 따라 빛의 양이 적다. 흰색 종이나 검정색 종이 전체 화면을 차지하게 하고서 자동 노출로 촬영을 하면 아래 그림 4와 같이 흰색이나 검정색이나 큰 차이가 없는 결과 이미지를 얻게 된다. 흰색과 검정색이 일정 비율을 이루면 (3)번 사진과 (4)번 사진처럼 원본에 가까운 이미지를 얻는다. 이 결과로부터 카메라 통신에 사용되는 코드는 런 길이가 일정한 RLL (Run Length Limited) 코드를 사용해야 됨을 알 수 있다. 그러나 (3)(4)에서 보논바와 같이 완벽한 RLL을 요하지는 않는다. 흰색과 검정색이 일정한 비율을 이루면, 흑백 구분이 가능한 영상을 얻을 수 있다.

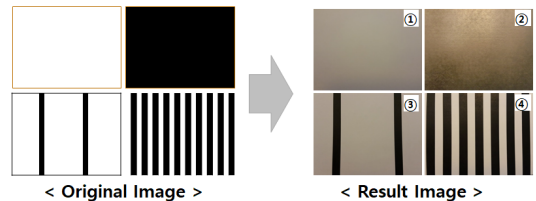


Fig. 4. Image by Run-Length Effect

### 2.4 송신 부와 수신 부의 비동기 이슈

카메라 통신에서는 LED 송신 부와 카메라 수신 부 사이에 동기 신호를 주고받지 않고, 정해진 주기로 데이터를 발송한다. 수신 부는 브로드캐스팅(Broadcasting)된 데이터를 최선 노력 전송 [Best-Effort Delivery]의

로 수신 한다. 만약 송신 부과 수신 부를 쌍으로 구비하고 있다면 ACK[Acknowledgement] 신호에 따라서 재전송을 받을 수 있다. 이러한 방법은 항상 가능한 방법임으로 여기서는 생략한다. 카메라 통신의 경우는 멀티 브로드캐스팅 시스템 [Multi Broadcasting System]에 적합한 방식이다. 여기서는 브로드캐스팅에 의한 통신에 집중하도록 한다. 데이터는 영상신호를 통해서 수신된다. 따라서 송신 부는 영상신호의 주파수로 데이터를 전송하여야 한다. 또한 송신과 수신은 서로 비동기이기 때문에 송신은 2회 반복해서 전송하여야 수신 부는 2회중에서 최소한 1회는 데이터를 받을 수 있다. 데이터를 반복해서 보내는 경우에는 중복 수신 가능성도 있기 때문에, 코드의 초기에 스타트 코드(Start Code)를 삽입하여 중복수신을 막는다.

2.5 카메라 통신을 위한 모듈레이션

본 논문에서는 앞에서 살펴본 카메라의 특성을 고려하여 모듈레이션 방법을 연구 한다. 데이터를 받을 때는 데이터의 시작을 알아야 하고, 데이터의 순서를 알아야 하며, 송수신이 비동기이기 때문에 홀수 프레임과 짝수 프레임을 구분해야 한다. 그런데 영상신호는 연속 신호이고 송신 부와 수신 부의 주기가 같기 때문에 홀수 영상 프레임(Odd Frame)과 짝수 영상 프레임(Even Frame)을 구분하는 코드만 있으면 데이터의 시작과 순서를 모두 알 수 있다. 따라서 홀수 프레임과 짝수 프레임 신호를 스타트 코드로 사용한다. 그림 5에서 굵은 선의 파형이 스타트 코드이고 나머지가 데이터 코드이다. 스타트 코드는 데이터 코드에서 사용되지 않는 코드를 사용한다. 짝수 프레임과 홀수 프레임용으로 2 세트의 코드를 사용한다. 짝수 프레임의 스타트 코드는 2T(Time Interval) 동안 “1”이고 1T 동안 “0”이다. 홀수 프레임의 스타트 코드는 3T 동안 “1”이다. “1”과 “0”에서 얻어지는 결과 이미지의 폭이 서로 비대칭(asymmetry)인 채널의 경우, 스타트 코드에 “1”과 “0”이 같이 들어 있으면 “0”의 펄스폭은 데이터 코드를 디코딩하는 기준신호로서 유용하게 이용

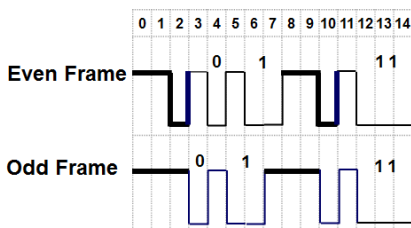


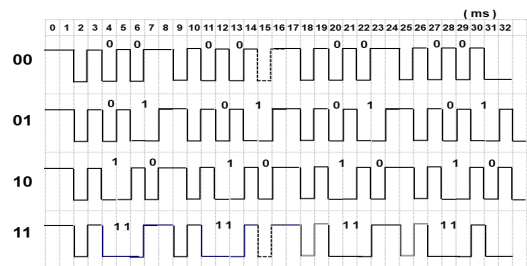
Fig. 5. Start Code and Data Code)

될 수 있다.

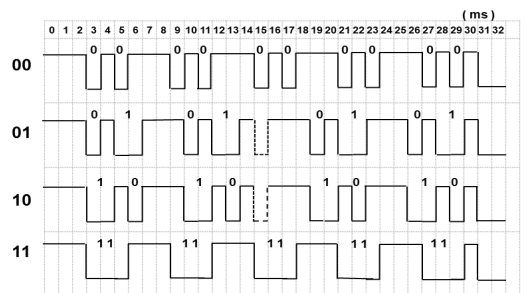
그리고 데이터 코드는 “0 데이터”를 나타내는 방법은 1T 동안 “0”일 때 이다. “1 데이터”를 나타내는 방법은 2T동안 “0”일 때 이다. “11 데이터”는 3T동안 “0”일 때 이다. 이렇게 스타트 코드 다음의 펄스폭에 따라서 데이터 값이 정해진다. 이렇게 정하면 “00” “01” “10” ”11”코드의 길이의 차이가 최소가 된다. 디코딩을 할 때도 펄스간의 길이만 측정하면 되기 때문에 클럭(Clock)을 복원하는 복잡한 단계가 필요치 않다.

이러한 PPM(Pulse Position Modulation)의 방법은 유사한 방법으로 적외선 리모컨에 상용으로 적용되어 사용되고 있다<sup>5)</sup>. 또한 카메라 노출시간이나 송수신 비동기로 인한 불연속을 회피하기 위해서 데이터도 반복 전송하고, 코드를 균일하게 분포시키기 위해서 삽입 코드도 추가 한다.

그림 6은 짝수 프레임과 홀수 프레임에서 데이터를 전송하는 방법을 나타낸 것이다. 스타트 코드와 데이터 코드가 합해진 형태로 4회 반복된다. 송신과 수신 이 비동기 관계에 있기 때문에 2배로 중복해서 보내야 하고, 1개의 프레임 내에서 노출시간이 프레임 기간의 일부이기 때문에 또다시 2배를 해야 한다. 이렇게 해야 만이 불연속의 문제를 회피 할 수 있다. 따라서 LED 송신 부는 1 프레임 기간에 4회의 광 데이터를 보내야 카메라 수신 부는 매 프레임마다 데이터를



(1) Even Frame



(2) Odd Frame

Fig. 6. Modulation Code in Even/Odd Frame



안전하게 받을 수 있다. 데이터 전송이 끝난 프레임 끝에서는 아이들(Idle) 상태로 “0” 상태를 유지 하여야 한다. “1”상태로 아이들 상태를 유지하면 스타트 코드와 겹칠 수 있기 때문이다.

코드는 전체 프레임시간 구간 내에서 균일하게 분포 하는 것이 좋다. 어느 구간이 수신 부의 노출 시간 구간과 만날지 모르기 때문이다. 따라서 코드를 전체 프레임 구간에 골고루 펼치기 위해서 그림 6에서의 점선과 같은 삽입 코드(Dummy Code)를 추가 하였다. 스타트 코드 이후는, 정해진 코드 길이만큼만 복조(Decoding)되고 나머지 코드는 무시된다. 데이터의 전송은 항상 짝수/홀수 프레임의 반복으로 전송된다. 만약 “00\_11\_01\_10” 이렇게 코드를 전송하는 경우는 0번째 프레임 Even\_00, 1번째 프레임 Odd\_11, 2번째 프레임 Even\_01, 3번째 프레임 Odd\_10 이런 순서로 전송이 된다.

2.6 데이터 전송 테스트 결과

그림 5와 6에서의 같이 LED 신호를 모듈레이션 하여 카메라로 수신한 결과는 아래 그림 7과 같다.

LED는 Even\_00, Odd\_00, Even\_01, Odd\_01, Even\_10, Odd\_10, Even\_11, Odd\_11 그리고 다시 Even\_00, Odd\_00, 이렇게 반복해서 데이터를 전송하였다. 그림 7의 결과는, 데이터 수신 상태에서 영상을 녹화한 후, 1 프레임씩 넘기면서 관측한 결과 이다. 데이터 이미지의 오른쪽은 펄스의 길이를 재기 위한 줄자 눈금이다. 줄자의 시작점은 스타트 코드의 시작점과 같이 맞추어서 도시 하였다. 스타트 코드가 나와야 비로소 복조를 시작하고, 스타트 코드가 중복되면 1개만 취한다. 예를 들면 홀수 프레임의 스타트 코드로 데이터를 수신한 뒤에는 이후에 들어오는 홀수 프레임의 스타트 코드는 중복 코드이기 때문에 무시한다. 짝수 프레임의 스타터 코드가 들어왔을 때 비로소 새로운 데이터로 받아들인다. 이러한 규칙으로 임의의 시간에서 데이터를 체크(Check)하였을 때 데이터는 손실 없이 정확히 수신이 되었다. 실험을 할 때는 논리의 경우의 수를 따지기 위해서 2bit/frame으로 전송하였다. 그림 7에서 보는 바와 같이 수신된 이미지는 좀 더 펄스를 세부 할 수 있는 여지가 많다. 따라서 2비트의 동일한 자리에 8비트를 치환하여 테스트를 하였다. 결과는 그림 9와 같다.

2.7 데이터 전송 율을 높일 때의 현상

다음은 데이터 레이트(Rate)을 높인 경우를 살펴본다. 그림 8은 LED의 온-오프를 빠르게 했을 때의 현상을

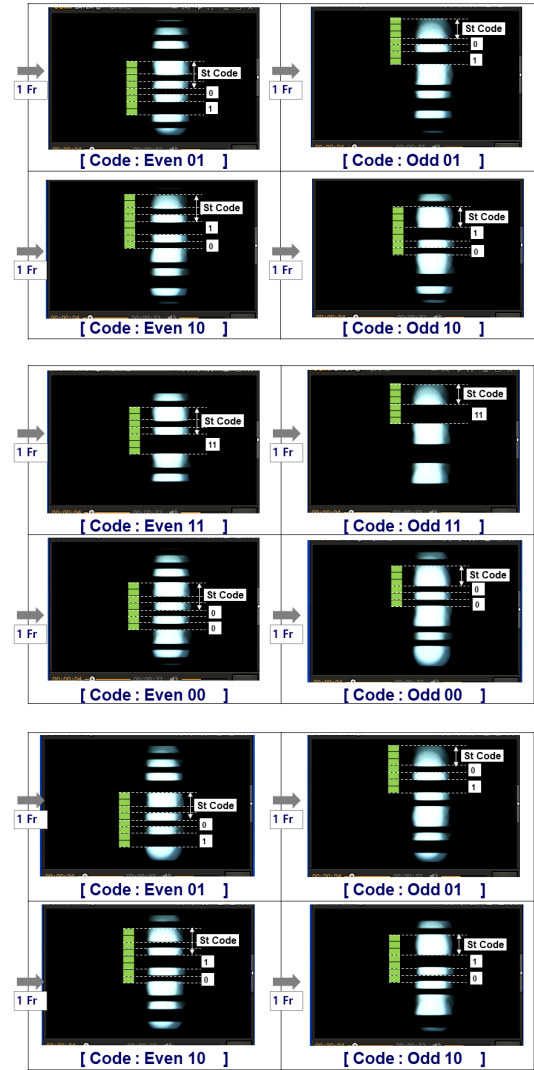


Fig. 7. Received Data from Camera)

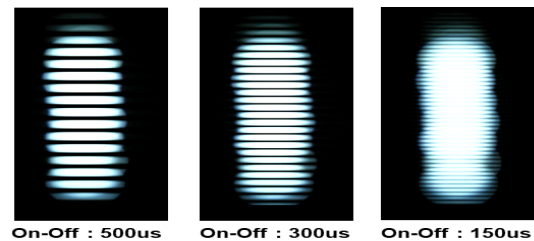


Fig. 8. Increasing On-Off Frequency)

실험한 것이다. 주파수가 올라가면 흰색의 비율이 높아지고 온-오프가 150us정도가 되면 검정색 띠는 사라지고 모두 흰색만 남게 되는 것을 관찰하였다. 이 현상은 LED 온-오프의 스위칭(Switching) 특성과 카

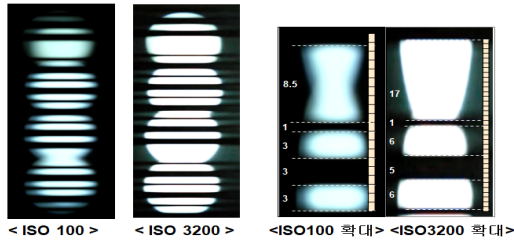


Fig. 9. Increasing Data Rate)

메라 이미지 센스의 비선형 특성이 함께 포함되어 나타난 것이다. 그림 7에서는 “0”의 1T 이미지나 “1”의 1T 이미지의 길이에 큰 차이가 없이 1:1 이다. 그러나 2비트의 데이터 구간을 8비트의 데이터로 교체한 그림 9에서는 “0”의 1T 이미지나 “1”의 1T 이미지의 길이에 차이가 크다. 그림 7에서는 1:1의 비율이 그림 9에서는 1:3의 비율이 되었다. 또한 이미지 센스의 증폭 이득인 ISO의 변화에 따라서도 “0”의 1T 이미지나 “1”의 1T 이미지의 비율이 1:6으로 증가 되었다. ISO가 커짐에 따라 “1”의 이미지의 폭이 점점 커지는 것을 알 수 있다. 비대칭(Asymmetry) 특성이 심해지는 것이다. 대신 “0”의 1T 이미지와 “0”의 2T 이미지는 ISO 100에서는 3배의 이미지 차이를 보이고, ISO 3200에서는 5배의 차이를 보인다. 즉 데이터의 “0”값과 데이터 “1”값의 구분은 더 용이해 졌다는 의미가 된다. 그림 9에서 “1”의 이미지는 각각 1T와 3T의 결과 이미지 이다. 이미지 크기가 3배가 되어야 하지만 약간 작은 결과를 보여 주고 있다. “0”의 2T 이미지와 “1”의 1T 이미지를 비교해 보면 “1”의 1T 이미지의 폭이 오히려 크게 나타나는 비대칭을 보이고 있다. 크기 비대칭 현상을 언급하지 않은 논문들에 나타난 결과 이미지를 관찰해 보아도 비대칭이 나타나는 것을 볼 수 있다<sup>7)</sup>.

또한 해당 논문에서 나온 디스플레이 기기들의 가로와 세로의 픽셀 숫자는 다르다. 따라서 기기에 나타난 스트라이프 패턴의 이미지 모양은 각기 다를 수밖에 없다<sup>7)</sup>. 이미지 센스로부터 디스플레이에 표시될 때 서버샘플링 되어 표시되기 때문에 상대 크기는 같지만 절대 크기는 모두 다르다.

따라서 “1”의 이미지와 “0”의 이미지는 절대 크기가 아닌 펄스폭의 비율로 구분하여야 한다. 본 연구에서는 “1”의 이미지로는 스타트 코드를 표시했고, “0”의 이미지에 의해서는 데이터 코드를 표현하였다. 더욱이 스타트 코드에 1T 길이의 “0”의 이미지를 포함시켜 데이터 코드의 복원의 기준이 되게 하였다. 스타트 코드에 2T 길이의 “0”의 이미지와 3T길이의 “0”

의 이미지를 더 추가하면, 데이터 코드를 디코딩 할 때 참조 코드로서 좋은 기준이 되지만 데이터의 전체 길이가 늘어나는 단점이 있다. 그래서 본 연구에서는 1T의 “0”이미지만 스타트 코드에 추가 하였다.

### III. 결 론

본 연구에서는 근거리 카메라 통신의 채널특성을 분석하였다. LED 4개만을 이용한 3.5cm 길이의 저 전력 소형 LED 광을 이용하여 번복조 방법에 대한 연구를 하였다. LED수를 줄여 광량을 줄이고 대신 ISO값을 높여서 보상할 수 있었다. 송수신의 비동기와 카메라 이미지 센스의 노출시간의 불연속 등을 회피 하도록 하기 위해서 4회 반복 전송하여 데이터의 손실이 없도록 하였다. “0”데이터 이미지와 “1”데이터 이미지는 비대칭성이 있고, 영상신호는 서브샘플링에 따라 절대 크기는 변하지만 비율은 유지되는 것을 확인하였다. 이러한 특징을 반영하여 “1”데이터 이미지는 스타트 코드로용으로 사용하고 “0”데이터 이미지는 데이터 코드로용으로 각각 분리하여 사용하였다. 이미지의 크기 비율은 항상 유지되는 영상의 특성을 반영하여 펄스간의 길이로 데이터를 표현하는 것이 안정되게 데이터를 수신하는 방법인 것으로 확인 되었다. 실험을 통해서 송신된 데이터는 손실 없이 이상적으로 수신됨을 확인하였고, 프레임 당 8비트로 확장하여 240bit/sec까지 전송 가능한 것을 확인 하였다. 전용 HW를 사용하면 더 높은 데이터 전송 율을 기대할 수 있다. 기존의 많은 연구들이 조명등이나 큰 면적의 LED 스크린을 이용한 반면, IoT 응용을 위하여 소형 저 전력으로 연구하였다.

### References

- [1] J. H. Bae, N. T. Le, and J. T. Kim, “Smartphone image receiver architecture for optical camera communication,” *J. Wireless Pers. Commun.*, no. 11277, pp. 1-24, 2017.
- [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] 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.

- [4] N.-T. Le and Y. M. Jang “Performance evaluation of MIMO optical camera communications based rolling shutter image sensor,” *ICUFN*, pp. 140-144, 2016.
- [5] 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.
- [6] T. Nguyen, C. H. Hong, N. T. Le, and Y. M. Jang, “High-speed asynchronous optical camera communication using LED and rolling shutter camera,” in *Proc. 7th ICUFN*, pp. 214-219, Jul. 2015.
- [7] H. Y. Lee, H. M. Lin, Y. L. Wei, H. I. Wu, H. M. Tsai, and K. C.-J. Lin, “RollingLight: Enabling line-of-sight light-to-camera communications,” in *Proc. MobiSys '15*, pp. 167-180, Florence, Italy, May 2015.

**배 접 한 (Jum-Han Bae)**



1985년 : 경북대학교 전자공학과 졸업  
1992년 : 아주대학교 전기전자공학과 석사  
2015년 : 성균관 대학교 전자전기컴퓨터 공학 박사과정  
현재 : 숭실대학교 IT대학 전자정보공학부 산학중점 교수

<관심분야> SoC Design, Embedded System, IoT.

**김 종 태 (Jong Tae Kim)**

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