

# 디지털 줌을 이용한 롤링셔터 기반 광학카메라통신의 수신거리 증가

채운성\*, 응웬 뒤 통\*, 박영일<sup>o</sup>

## Transmission Distance Enhancement of Rolling-Shutter Based Optical Camera Communications Using Digital Zoom

Yoonsung Chae\*, Duy Thong Nguyen\*, Youngil Park<sup>o</sup>

### 요약

스마트폰 카메라의 이미지센서를 이용하여 LED 조명과 통신을 할 수 있다면 많은 유용한 응용분야를 찾을 수 있을 것이다. 그런데 이를 위해서는 수 미터 이상의 전송거리를 확보해야 하는데 스마트폰의 경우 두께 제한으로 인해 광학 줌을 제공할 수 없는 한계가 있다. 본 논문에서는 스마트폰에 내장된 디지털 줌을 이용하여 5 미터 이상의 전송거리를 확보함으로써 위치인식, 비콘 등 유용한 응용을 개발할 수 있도록 하였다.

**Key Words** : OCC, Rolling-shutter, Image Sensor, Smartphone Camera, Digital Zoom

### ABSTRACT

It is highly expected that we can find many useful applications if a smart-phone receive signals from LED lamps using its image sensors. For this purpose, transmission more than several meters is required, yet, it is not easy since optical zoom can't be used in a smart-phone due to its thickness requirement. In this paper, digital zoom, rather than optical zoom, is employed to transmit over than 5 meters so that optical camera communications can be used in the development of many applications including indoor positioning and beacon.

### 1. 서론

스마트폰 카메라의 이미지센서를 이용한 통신 방식은 대부분의 스마트 기기에 이용할 수 있다는 편의성과 다른 통신 네트워크와의 쉬운 연계 등으로 인해 상업적 이용 가능성이 더욱 커지고 있다<sup>[1]</sup>. 그 중 실내 위치인식 서비스는 대표적인 응용분야로 인식되고 있다<sup>[2]</sup>. IEEE 802.15.7 표준화 그룹에서는 이미지센서 기반의 통신을 독립된 연구 분야로 설정하고 표준화 도출을 시도하고 있다<sup>[3]</sup>. 한편, 위치인식 혹은 비콘 등

에 적용할 경우 수 미터 이상의 전송거리 확보는 이미지센서 통신의 기본 규격이 되어야 한다<sup>[2]</sup>. 빌딩의 천장에 위치한 LED 조명으로부터 위치 신호를 받기 위해서는 천장 높이에 해당하는 전송거리를 제공해주어야 할 것이며, 이는 건물에 따라 4-5미터에 이를 수 있기 때문이다. 반면 줌 기능이 없는 카메라를 이용해 수 백 bps 이상의 전송을 한다면 전송 가능한 거리는 수 십 cm에 국한하게 된다<sup>[4,5]</sup>. 카메라통신의 전송거리 증가를 위해서 주파수에 의해 디지털신호를 구분하는 UFSOOK 방식을 도입하였는데, 이 경우 전송속

\* 본 연구는 한국연구재단 기본연구지원사업(NRF-2015 R1D1A1A01059416)의 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Electronics Engineering Department, Kookmin University, yschae@kookmin.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Electronics Engineering Department, Kookmin University, ypark@kookmin.ac.kr, 종신회원

\* Electronics Engineering Department, Kookmin University, 학생회원

논문번호 : KICS2017-07-208, Received July 27, 2017; Revised August 24, 2017; Accepted September 14, 2017

도는 수 십 bps 정도로 낮아져서 기본적인 데이터 전송에 어려움이 있다<sup>6)</sup>. 전송속도를 kbps 급으로 향상하기 위해서는 롤링셔터 기반의 카메라통신 방식을 이용해야 하는데 이 경우 전송 거리가 멀어지면 이미지센서의 일부에서만 데이터 패턴이 측정되며, 따라서 기존 알고리즘으로 데이터를 수신하는 데에는 어려움이 있다<sup>4)</sup>.

이 문제를 해결하기 위해 가장 좋은 방법은 카메라에 광학 렌즈를 부착하여 수신 이미지 자체를 키움으로써 이미지센서 전체에 데이터 패턴이 나타나도록 하는 것이다. 그렇지만 스마트폰은 두께가 얇아야 하므로 광학 렌즈 사용은 어렵고 대신 이미지의 특정 구역만 고해상도로 측정할 수 있는 디지털 줌을 채용하고 있다. 본 연구에서는 스마트폰의 디지털 줌 기능을 이용해서 카메라통신의 수신 거리를 증가하는 방법을 제시하고 실험을 통해 가능성을 확인하였다.

## II. 디지털 줌을 이용한 원거리 통신의 원리

CMOS 이미지센서를 이용한 고속 통신을 위해서 많이 사용하는 기법으로 롤링셔터 (rolling shutter) 방식을 들 수 있다. 이 방식은 이미지센서의 각 라인을 순차적으로 광원에 노출시킴으로써 전체 이미지센서를 채워가는 방식으로써, 각 픽셀은 LED의 점멸에 따라 다른 값을 기록하므로, 이를 해석하여 디지털 신호를 판정하는 방식이다<sup>4)</sup>. 이 방식을 이용하여 고속으로 데이터를 수신하기 위해서는 아래 그림 1(a)와 같이 LED의 점멸에 의해 이미지센서 전체가 영향을 받아야 한다. 그러나 LED와 카메라 사이의 거리가 멀어질수록 롤링셔터에 의해 형성되는 패턴의 크기는 그림 1(b)와 같이 점차 작아지므로 데이터 수신에 필요한 픽셀 정보가 너무 적어져서 수신이 불가능하게 된다.

디지털 줌이란 이미지센서에 포착된 이미지의 원하는 구역만 선택하여 확대시켜 마치 물체가 가까이 있는 것처럼 보이게 하는 디지털 카메라의 기능을 말한다.

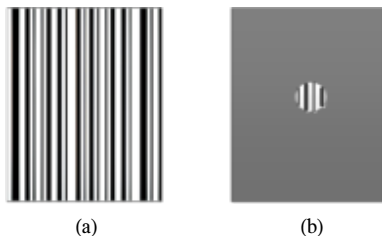


Fig. 1. Rolling-shutter image at different distance (a) short range (b) long range

다. 광학 줌은 렌즈의 굴절을 이용하여 넓은 면적의 광학렌즈에 입사되는 이미지를 좁은 이미지센서에 옮겨놓기 때문에 해상도 저하가 없는 반면, 디지털 줌은 일단 수신되는 이미지의 특정 구역만 다시 확대하여 디스플레이를 해주기 때문에 해상도 저하가 발생한다. 그렇지만 카메라를 이용하여 실시간 통신을 하는 경우 처리해야 할 데이터 용량 때문에 해상도를 대폭 낮추어 촬영을 해야 하고, 이 경우 디지털 줌은 다음 식 (1)의  $zoom_{max}$  에 이를 때까지 해상도 저하 없이 물체를 확대하는데 이용할 수 있다. 식에서  $x, y$  는 줌에 의해 설정된 디스플레이의 가로, 세로 해상도에 해당하며,  $x_{max} \times y_{max}$  는 최대 해상도에 해당한다.

$$zoom_{max} \leq \min \left[ \frac{x_{max}}{x}, \frac{y_{max}}{y} \right] \quad (1)$$

디지털 줌을 이용하여 확대한 이미지는 위에서 설명한 것처럼 디지털 신호의 판단을 위해 한 개 비트의 패턴이 세 개 이상의 디스플레이 라인에 나타나야 한다<sup>4)</sup>.

본 논문에서는 첫 단계로 1.5 미터 거리 전송을 목표로 하였으며, 5미터까지 거리를 늘려 실험하였다. 기존 연구보다 먼 거리에서의 데이터 송수신을 위해 그림 2의 알고리즘에 따라 셔터 스피드, ISO, 카메라 줌 등을 조절할 수 있도록 하였다. 안드로이드 5.0.1

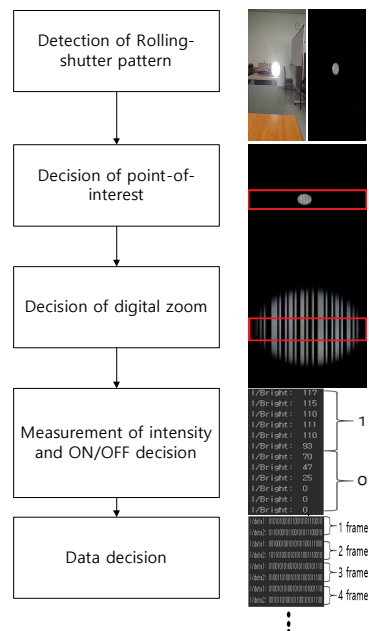


Fig. 2. Detection algorithm using digital zoom

버전 이하의 운영체제에 의해 동작하는 카메라에서는 거리가 멀어짐에 따라 셔터 스피드 및 빛의 양이 자동 조절되어 주변 환경의 영향을 크게 받게 된다. 따라서 수동 제어가 가능한 안드로이드 7.0버전의 카메라를 이용하여 셔터 스피드를 1/16000, ISO 값을 200으로 고정함으로써 그림과 같이 관심 영역의 이미지를 추출할 수 있었다. 원거리에서는 이미지 크기 및 빛의 양이 줄어들기 때문에 롤링 셔터로 인한 ON/OFF 비율이 잘 구분되지 않아서, 비트 맵 분석으로 데이터를 분별하기 어려워지는 단점이 있다. 따라서 이를 극복하기 위해 디지털 줌 기능을 이용하였다.

그림 3은 약 1.5 미터 거리에서 디지털 줌에 의한 롤링 셔터 패턴의 변화를 보인다. 디지털 줌을 사용하지 않는 그림 3(a)의 경우 2 line/bit 정도의 신호 정밀도를 보이고 있는데 반해서, 디지털 줌을 사용한 그림 3(b)에서는 8 line/bit 정도로 정밀도가 증가한 것을 볼 수 있다. 즉, 디지털 줌은 카메라로부터 받은 이미지의 특정 영역을 확대하는 것이기 때문에 비트맵에서 LED 조명의 ON/OFF를 구분할 수 있는 영역이 넓어지고, 낮은 해상도의 비디오 모드에서도 충분히 데이터 구별이 가능하게 된다. 만약 높은 해상도의 비트맵을 이용하게 된다면 디지털 줌 없이도 롤링 셔터 패턴을 계산하는 것이 가능하지만 초당 30장에 이르는 대용량 비트맵을 저장하여 분석할 경우, 초당 프레임 수가 저하되고 밀리는 현상이 일어나게 된다. 이렇게 불안정한 상태에서는 정확한 픽셀 분석이 어렵기 때문에 본 논문에서는 480×320의 낮은 해상도 설정을 통해 일정한 프레임 속도를 유지하도록 했다.

한편, 디지털 줌을 적용할 경우 그림 3(b)와 같이 데이터 패턴이 확대되어 나타나지만 이미지 센서에 실제로는 그림 3(a)와 같은 패턴이 수신되며, 따라서 대

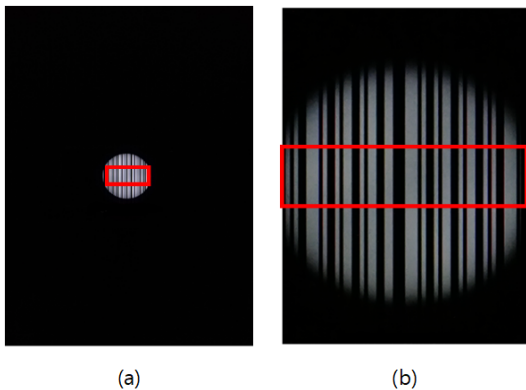


Fig. 3. Data pattern with rolling-shutter at 1.5 m distance (a) without digital zoom (b) with digital zoom

부분의 시간에 신호가 수신되지 않고 디스플레이 중심부의 롤링 셔터 패턴이 보이는 시간에만 수신되고 있다. 이 경우, 각 프레임에는 롤링 셔터 패턴이 보이는 시간과 보이지 않는 시간이 공존하게 되며, 따라서 데이터를 그림 4와 같이 일정 횟수 이상 반복적으로 전송해야 온전한 블록의 데이터를 수신할 수 있다. 그림 4에서 한 개의 데이터 패킷은 n번을 반복해서 전송하는데, 이 때 n 값은 전송 패킷이 그림 3(a)의 롤링 셔터 패턴에 적어도 1회는 나타내기 위한 정수 값이며 아래 식 (2)로 표현할 수 있다. 식에서  $x, x_{obj}$ 는 각각 디스플레이의 가로방향 해상도 및 송신 거리에서 디지털 줌 전에 잡히는 물체의 크기를 의미한다.

$$n \geq \left\lceil \frac{x}{x_{obj}} \right\rceil \quad (2)$$

그림에서 preamble은 블록의 시작을 알리기 위한 특정 신호의 조합이고, BSN (Block Serial Number)은 몇 번째 블록에 해당하는지를 알리기 위해 사용하고 있다<sup>4)</sup>.

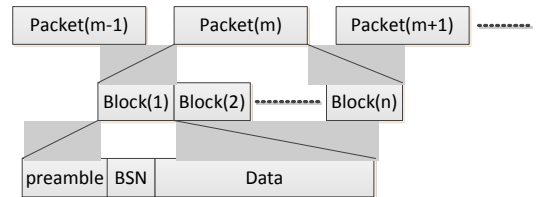


Fig. 4. Frame pattern for digital-zoom based transmission

### III. 실험 환경 및 결과

본 연구에서는 LED 조명과 스마트폰 카메라를 이용하여 그림 5와 같은 가시광통신시스템을 구성하였다. 마이크로컨트롤러를 이용하여 송신용 데이터를 발생하고, 그림 4와 같이 동일한 정보를 여러 번 전송하도록 프레임을 구성하며, 신호 전송으로 인한 LED 조명의 플리커링 현상을 방지하기 위해 맨체스터 코딩을 적용하였다<sup>3)</sup>. 이후 LED 구동회로를 이용해 LED를 변조하고 스마트폰 카메라를 이용해 데이터를 수신하였다. 광원으로는 15 Watt급 백색 LED 조명을 이용하였고, 데이터 수신에는 LG-F700K 스마트폰 카메라의 내장 CMOS 이미지센서를 이용하였으며, 이때 디스플레이 해상도는 2560×1440을 지원한다. 또한 카메라의 프레임 속도는 30 FPS로 설정하였다. 카메라 통신 방식에는 CMOS 이미지센서의 롤링 셔터

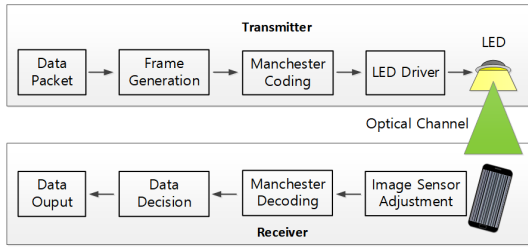


Fig. 5. Block diagram of smart-phone based optical camera communications

특성을 사용하였으며, 이 때 해상도는 비교적 낮은 480×320을 이용하여 스마트폰에서의 실시간 데이터 처리를 용이하도록 하였다. 또한 카메라를 제어하기 위해 안드로이드 카메라2 API를 이용하였다<sup>[3]</sup>.

이미지센서에 수신된 신호는 먼저 신호 분포를 통해 디지털 줌을 결정하고 비트 당 픽셀 개수 등 수신 파라미터를 계산한다. 이후 맨체스터 디코딩을 통해 High/Low 신호로 변환을 한 후 프레임으로부터 데이터를 추출한다. 한편, LED와 스마트폰 사이의 거리가 멀어질수록 수신된 롤링셔터 패턴 이미지 크기 또한 작아지므로, 위 2절의 설명과 같이 수신 효율을 높이기 위해서는 디지털 줌 배율을 증가시키고 반복 전송 횟수도 증가시켰다. 본 연구에 이용한 거리에 따른 디지털 줌 배율 및 데이터 반복 전송 횟수를 표 1에 보이고 있다. 거리의 증가에 따라 줌 배율 및 반복 횟수도 비례하여 늘어나지만, 구체적인 값을 결정하는 데에는 카메라 특성을 반영하였다.

그림 6과 같은 실험 환경에서 거리를 바꾸어가며 전송 실험을 수행하였다. 1.5 미터 거리에서 디지털 줌을 적용하지 않을 경우와 적용할 경우 롤링 셔터에 의한 데이터 패턴은 위 그림 7과 같았다. 디지털 줌을 적용하지 않을 경우, 한 개 비트에 주어지는 정보가 너무 적어서 ON/ OFF 구분을 통한 데이터 수신을 제대로 할 수 없었다. 그러나 배율 3.7의 디지털 줌을 적용한 이후에는 그림 7(b)와 같이 ON/OFF 비율이 증가하여 데이터 수신이 가능하였다. 전송 거리 3 미터에서 8배 줌을 적용하기 전후의 결과는 그림 8에서 확인할 수 있다. 그림 8(b)와 같이 이 경우에도 거의 오류가 없이 데이터를 수신할 수 있었다. 또한, 전송거

Table 1. Parameters for different distance

distance parameter	1.5m	2m	3m	4m	5m
digital zoom	3.7	5.1	8	9.1	11.6
repetition	10	14	20	25	37



Fig. 6. Experimental environment of optical camera communications

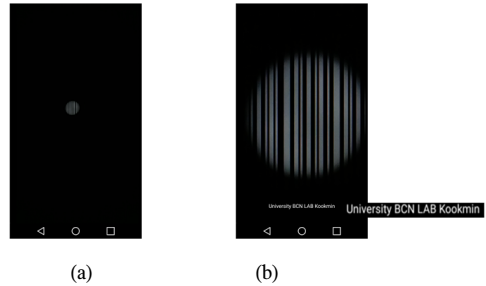


Fig. 7. OCC measurement results at 1.5 meter (a) before zoom (b) after zoom

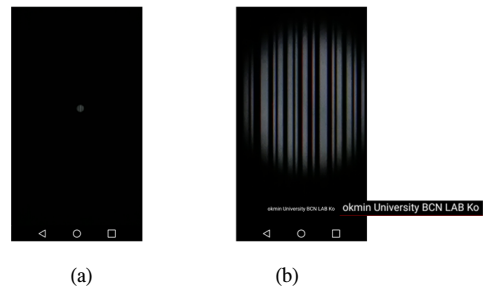


Fig. 8. OCC measurement results at 3.0 meter (a) before zoom (b) after zoom

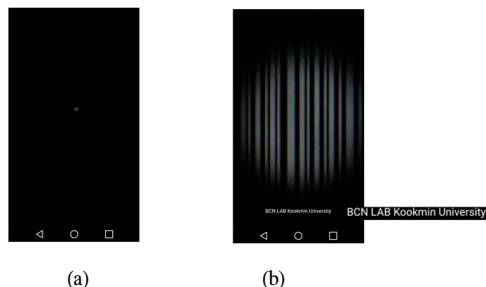


Fig. 9. OCC measurement results at 5.0 meter (a) before zoom (b) after zoom

리 5 미터에서 실험을 할 경우 그림 9와 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 성공적으로 데이터를 수신할 수 있었다. 이때 11.6 배율의 디지털 줌을 적용하였는데, 이 값은 식 (1)에서 설명한  $zoom_{max}$  값을 초과하여 이미지의 해상도가 떨어지지만, 디스플레이 전체에 롤링셔터 데이터 패턴이 나타나도록 함으로써 계산 과정이 수월해지기 때문에 선택하였다.

#### IV. 결 론

스마트폰의 디지털 줌을 이용해 원거리 카메라통신을 위한 알고리즘을 제시하고 테스트베드를 구현하여 실험을 한 결과를 살펴보았다. 디지털 줌은 일반적으로 해상도의 저하를 일으키는 것으로만 알려져 있지만, 카메라통신의 경우 낮은 해상도를 이용해야 하는 상황에서는 적절한 배율을 설정함으로써 수 미터 원거리의 LED 신호를 수신하는데 유용하게 이용할 수 있었다. 디지털 줌을 하여 롤링셔터에 의한 LED 신호 패턴이 디스플레이를 꼭 채운다 하더라도 실제로는 데이터 손실이 많이 발생하고 있기 때문에 이를 보상하기 위해 전송하려는 패킷을 여러 번 반복적으로 보내주어야 하며, 본 논문에서는 이를 위한 프레임 구조를 제시하였다.

테스트베드를 이용하여 1.5 미터부터 5미터까지 LED 조명과 스마트폰을 이용한 데이터 전송을 성공적으로 하였으며, 본 논문에서 제시한 방법을 이용함으로써 실내 위치인식 등 카메라통신의 응용 범위를 넓힐 수 있을 것으로 기대한다.

#### References

[1] C.-W. Chow, C.-Y. Chen, and S.-H. Chen, "Visible light communication using mobile-phone camera with data rate higher than frame rate," *Optics Express*, vol. 23, no. 20, pp. 26080-26085, Oct. 2015.

[2] S. Hyun, J. Lee, B. Ahn, Y. Lee, Y. Park, M. Ju, "Indoor Positioning System using Pedestrian Dead Reckoning in Visible Light Communications," in *Photonics Conf.*, pp. 275-276, Jeju, Korea, Nov. 2014.

[3] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication using Visible

Light.

[4] J. Lee, N. Kim, M. Ju, and Y. Park, "Algorithm of optical camera communications using rolling-shutter effect," *J. KICS*, vol. 41, no. 4, pp. 454-460, Apr. 2016.

[5] S. Baek, D. T. Nguyen, and Y. Park, "A study on image sensor communications using LED light and smartphone camera," in *KICS Winter Conf.*, pp. 209-210, Jeongsun, Korea, Jan. 2017.

[6] Y. Lee, J. Lee, S. Hyun, M. Ju, and Y. Park, "Implementation of optical camera communications using FSOOK modulation," in *KICS Summer Conf.*, pp. 1467-1468, Jeju, Korea, Jun. 2015.

#### 채 윤 성 (Yoonsung Chae)



2016년 : 국민대학교 공학사  
 2016년~현재 : 국민대학교 대학원 전자공학과 석사과정  
 <관심분야> 가시광통신, 무선 네트워크, 실내측위시스템

#### 응웬튀통 (Duy Thong Nguyen)



2011년 : Hanoi Univ of science and Technology 공학사  
 2015년 : Hanoi Univ of science and Technology 전자공학과 석사  
 2016년~현재 : 국민대학교 대학원 전자공학과 박사과정

<관심분야> 가시광통신, 광학카메라 통신, 무선네트워크

**박 영 일 (Youngil Park)**



1987년 : 서울대학교 공학사  
1989년 : 서울대학교 공학석사  
1995년 : Texas A&M Univ.  
공학박사  
1995년~1999년 : KT 연구개발  
본부  
1999년~현재 : 국민대학교 전자  
공학부 교수

<관심분야> 광통신시스템, 광대역 통합망, 가시광통신