

광학 카메라 통신의 성능 향상을 위한 이미지 처리 및 신호처리에 관한 연구

박치영*, 신수용^o

A Study on Image Processing and Signal Processing for Improving Performance of Optical Camera Communication

Chi Young Park*, Soo Young Shin^o

요약

본 논문에서는 광학 카메라 통신의 수신기 성능 향상을 위해 이미지 처리와 신호처리를 통합한 시스템을 제안한다. 수신기에서 데이터 신호 검출 성능 향상을 위한 이미지 처리 기법으로 히스토그램 평활화를 사용하였고, 이미지 처리 중에 발생한 에러를 보완하기 위해 Sobel 필터를 사용한 신호처리를 수행한다. 또한 제안된 시스템은 광학 카메라 통신의 에러율 감소를 위해 신호처리단 마지막에 가우시안 윈도우를 두어 신호처리 기능을 향상시키고자 한다. 성능 분석 결과로서 통신 거리에 따른 패킷 에러율을 제시하며, 마지막으로 실험결과와 향후 연구방향에 대해 논의한다.

Key Words : 가시광통신(Visible Light Communication, VLC), 광학 카메라 통신(Optical Camera Communication, OCC), 광학 무선 통신(Optical Wireless Communication, OWC), 이미지 센서 통신(Image Sensor Communication, ISC), 롤링셔터

ABSTRACT

In this paper, we propose the system that integrates image processing and signal processing to improve receiver performance of Optical Camera Communication. Histogram Equalization is used as an image processing technique to improve data signal detection performance in a receiver, and signal processing using a Sobel filter is performed to compensate errors generated during image processing. The proposed system also improves the signal processing function by placing a Gaussian window at the end of the signal processing stage to reduce the error rate of the Optical Camera Communication. As a result of performance analysis, packet error rate according to communication distance is presented. Finally, experimental results and future research directions are discussed.

※ This research was supported by The Leading Human Resource Training Program of Regional Neo industry through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and future Planning(2016H1D5A1910776).

• First Author : (ORCID:0000-0001-9835-6424)Kumoh National Institute of Technology Department of IT Convergence Engineering, 20176080@kumoh.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-2526-2395)Kumoh National Institute of Technology Department of IT Convergence Engineering, wdragon@kumoh.ac.kr, 중신회원

논문번호 : 201806-A-030, Received May 11, 2018; Revised September 14, 2018; Accepted November 21, 2018

I. 서 론

최근 폭발적으로 늘어나는 사용자와 디바이스에 대해 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용하기 위한 여러 가지 기법들이 차세대 5G 무선 통신기술로 제안되고 있다. 가시광 통신 (Visible Light Communication, VLC)은 이러한 요구를 충족시키기 위해 기존의 무선 주파수 (Radio Frequency, RF)대역 대신 가시광 대역을 사용하는 기술이다.

VLC는 발광 다이오드 (Light Emitting Diode, LED)를 송신기로 사용하고, 광 검출기 (Photo Detector, PD)를 수신기로 사용한다. 여기서 수신기를 이미지 센서가 내장된 카메라를 사용하는 것이 광학 카메라 통신 (Optical Camera Communication, OCC)이다. OCC는 실내 측위 시스템, Color QR Code, 차량 대 차량 통신 (Vehicle to Vehicle, V2V)을 비롯한 IoT기반 서비스를 위해 연구되고 있다.

OCC는 셔터의 종류에 따라 데이터를 수신하는 방법이 달라지는데, 하나는 글로벌 셔터 (Global Shuter, GS), 다른 하나는 롤링 셔터 (Rolling Shuter, RS)이다. OCC에서 사용하는 GS는 1개의 이미지에서 1종류의 비트정보만 읽을 수 있고, RS는 1개의 프레임에서 복수의 비트정보를 읽는 것이 가능하다. CMOS 이미지 센서의 특성을 이용한 기법으로, 대중적으로 보급된 스마트 디바이스에 적용하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.^[1-3]

하지만 RS를 이용한 기법은 GS를 사용한 기법에 비해 주변 광원 혹은 거리에 따른 간섭을 많이 받는다. 이는 광원의 on/off상태 변화에 따라 생성되는 바코드와 같은 이미지를 활용하여 데이터를 수신하기 때문인데, 앞서 언급한 간섭들이 영상을 흐릿하게 만들기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이미지 처리 및 신호처리를 적용한 연구들이 진행되었다.

본 논문에서는 검증된 기존 연구들의 이미지 처리 및 신호처리 기법을 활용한 시스템을 제안한다.^[5-7] 또한 OCC의 수신 성능 향상을 위해 [9]에서 제안한 이미지 처리 기법인 히스토그램 평활화(Histogram Equalization, HistoEQ)과 [8]의 신호처리 기법인 Sobel 필터를 실험환경에 맞게 구성하였고, 이들의 단점을 보완하기 위해 또 다른 필터링 기법인 가우시안 윈도우(Gaussian Window, GW)를 적용한 시스템을 제안한다. 제안된 시스템의 실험결과는 통신 거리 75~100cm 이내에서 빛이 통하지 않는 암실에서 진행되었으며, 5cm 간격마다 약 10만개의 패킷을 전송하여 성능을 확인하였다.

II. 롤링 셔터의 원리 및 문제 분석

RS는 OCC에서 카메라의 프레임 속도(Frame Rate) 보다 높은 속도로 데이터 신호 수신을 가능하게 하는 중요한 기능이다.

그림 1의 상단 그래프는 이미지 센서의 상태에 따른 픽셀에 쌓인 전하량을 나타낸다. 이미지 센서의 상태변화는 초기화 시간(Reset time), 노출 시간(Exposure time), 판독 시간(Readout time) 순으로 변한다. 이러한 상태변화는 픽셀 배열의 각 행마다 순차적으로 일어나며, 이 특성 때문에 RS를 사용하여 움직이는 피사체를 촬영했을 때 왜곡현상이 발생한다.

또한 이 특성 때문에 점멸중인 LED를 촬영하면 그림 2와 같은 이미지를 얻게 된다. 여러 개의 바코드와 같은 검은 띠가 출력되는 것을 확인할 수 있는데, 여기서 검은 띠는 데이터 '0'에 해당하고 그 외의 밝은 띠는 '1'에 해당한다. 즉 1장의 이미지에 복수의 데이터 비트를 송신할 수 있다.

OCC를 위한 보다 높은 품질의 이미지를 얻기 위해서는 ISO 감도와 노출 시간을 직접 제어할 필요가 있다. ISO 감도는 값이 높아질수록 이미지가 보다 밝아

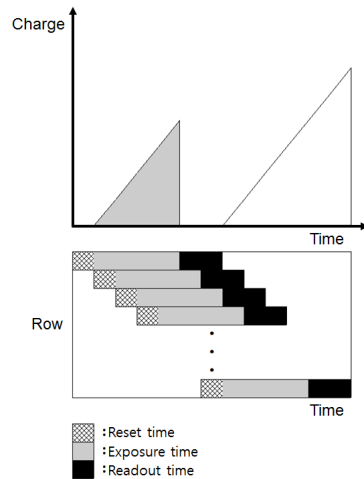


그림 1. CMOS 이미지 센서의 이미지 출력 방식
Fig. 1. A image output method of CMOS image sensor

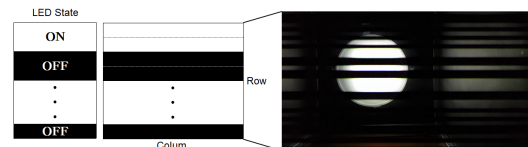


그림 2. LED 상태 변화에 따른 이미지 출력
Fig. 2. A image output according to LED status change

지고 비트 경계면이 선명해진다. 노출 시간은 빨라질 수록 빛을 받아들이는 시간이 짧아져 영상이 어두워지고, 비트 경계면은 선명해진다.^[4] 높은 ISO값과 짧은 노출 시간을 가지는 카메라를 이용하여 이미지를 촬영하면, 그림 2의 우측 사진과 같은 이미지를 얻을 수 있다.

그럼에도 불구하고, 해당 이미지를 보면 배경이 어두워 데이터 '1'에 해당하는 밝은 띠 구간에서 검은 띠와 거의 비슷한 밝기를 가지는 영역이 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 검은 띠와 밝은 띠가 전환되는 경계면이 작게나마 희미한 것을 볼 수 있는데, 광원과의 거리가 멀어지거나, 데이터를 전송중인 LED 외에 다른 광원이 주변에 있을 경우 더욱 넓은 영역에 걸쳐 나타난다. 이러한 요인들이 이미지로부터 데이터를 복원할 때에 비트 구분 에러를 유발한다. 따라서 이미지 처리 혹은 신호처리를 이용한 성능 개선이 요구된다.

다음 장에서는 앞서 언급한 이미지 처리 및 신호처리가 적용된 연구를 포함한 기존 연구에 대해 다루며 마지막으로 제안된 시스템의 구성요소에 대해 간략히 소개한다.

III. 기존 연구

표 1에 기존연구를 비롯한 제안된 시스템의 구성요소들이 나타나 있다. OCC의 기본적인 시스템을 보여주는 연구부터, 성능향상을 위해 다양한 접근을 시도

한 기존 연구에 대해 차례대로 설명한다.

[5]는 OCC를 위한 기본적인 시스템 구성을 보여준다. 데이터 전송 시에 발생할 수 있는 LED의 깜빡임 문제를 맨체스터 코드(Manchester Code)를 사용하여 개선하는 기법과, 이미지로부터 신호를 추출하고 다항식 회귀 방정식을 적용하여 임계값을 정하여 전송 데이터를 복원하는 과정에 대해 설명한다. 또한 상용 카메라에서 발생할 수 있는 프레임 속도 변화에 의한 동기화문제를 Block Sequence Number(BSN)를 사용하여 해결하였다.

[6]은 [5]에서 보다 개선된 성능을 보여준다. 패킷의 시작을 알리는 프리앰블(Preamble)을 '1'과 '0'이 50%의 비율을 가지도록 구성하여 데이터 전송 시 변조되는 페이로드 구간과 같은 밝기를 유지한다. 또한 이미지로부터 추출한 신호를 이진 데이터신호로 변환할 때 필요한 샘플링 주파수인 1비트 당 픽셀 수 (Pixels per Bit)을 구하는 수식을 제공한다.

[7]에서는 데이터 전송 효율 향상을 위한 다양한 변조 기법과 새로운 비동기 데이터 수신 기법을 제안하였다. 변조기법은 맨체스터 코드, 4B6B, 8B10B 세 가지이다. 각각 50%, 67%, 80%의 비트전송 효율을 가진다. 비트전송 효율이 높은 기법일수록 구조가 복잡하다. 다음으로, [5]에서 문제시 되었던 동기화 문제를 [7]에서는 비동기 비트(Asynchronous bit, Ab)를 사용한 비동기 디코딩으로 해결하였다.

[8]은 신호처리에 중점을 둔 연구로, 이미지로부터

표 1. 기존 연구 및 제안된 시스템의 구성
Table 1. Existing research and composition of proposed system

	Image size	Image format	Frame rate (fps)	Modulation	Synchronization and Decoding	Image process	Signal process
[5]	640*480	YUV	20	Manchester with OOK	Asynchronous, Block Sequence Number	n/a	n/a
[6]	640*480	YUV	about 30	Manchester with OOK	Asynchronous, Block Sequence Number	n/a	n/a
[7]	640*480	n/a	20~35	Manchester 4B6B with OOK	Asynchronous, Asynchronous bit	n/a	n/a
[8]	640*480	Grayscale	28	OOK	Asynchronous, three times transmit	n/a	Histogram Equalization, Sobel filter
[9]	640*480	Grayscale	n/a	Manchester with OOK	n/a	Histogram Equalization	n/a
Proposed System	1280*720	YUV	about 30	Manchester with OOK	Asynchronous, Asynchronous bit	Histogram Equalization	Sobel filter, Gaussian Window

추출한 신호의 소광비(Extinction Ratio) 및 신호에서 비트 경계면에 해당하는 구간의 개선을 위한 연구를 수행하였다. 이미지 처리에서 사용하는 HistoEQ와 Sobel 필터를 신호처리에 적용하여 진폭이 낮은 부분은 확장하고, 비트 경계면이 불확실한 구간을 보다 명확하게 만드는 것으로 데이터 복원 효율을 높였다.

[9]에서는 RGB LED를 사용한 데이터 전송 효율 향상기법과 이미지로부터 신호를 추출할 때 발생할 수 있는 이미지의 색상 대비 문제를 다루었다. RGB LED로 전송된 데이터 이미지를 R, G, B의 세 채널로 나누어 데이터를 수신하는 방법으로, 데이터 전송방법의 확장성을 보여준다. 또한 HistoEQ를 사용하여 이미지 대비 개선을 함으로써 신호추출 기능을 강화하였다.

제안된 시스템은 [5]의 시스템을 기반으로 한다. 변조기법은 [5]에서 제안된 맨체스터 코드를 사용하며, 이미지 처리는 [9]의 HistoEQ를 사용한다. 동기화 및 디코딩 기법은 [7]에서 제안된 비동기 디코딩 기법을 사용하고, 신호처리 기법은 [8]의 Sobel 필터를 사용한다. 마지막으로 신호 복원률을 보다 향상시키기 위해 GW를 이용한 신호처리를 수행한다.

IV. 제안된 시스템

이번 장에서는 제안된 시스템의 구성요소 대해 설명하고, 신호처리 기능강화를 위해 새로이 추가하는 GW에 대해 설명한다.

4.1 변조

VLC를 비롯한 모든 LED를 송신기로 하는 통신에서는 LED가 사람의 눈으로 감지 가능한 최저 주파수보다 빠르게 점멸해야한다. LED가 느리게 점멸하면 사용자에게 시각적 피로를 느끼게 하는 등의 피해를 줄 수 있기 때문이다. 하지만 데이터 전송 상황에서는 LED가 빠르게 점멸하더라도 사람의 눈으로 이러한 현상을 느낄 수 있는 경우가 생긴다. 이것은 LED의 데이터 전송 방식의해 발생한다. 데이터를 전송하는 중에 '0' 혹은 '1'이 연속적으로 반복되는 경우가 발생하면 LED가 한 가지 상태를 유지한 채로 지속되고, LED의 상태변화를 눈으로 인지 할 수 있다.

[5]에서는 이러한 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 대안으로 맨체스터 코드를 사용한 데이터 변조를 제안하였다. 전송할 데이터 스트림에 맨체스터 코드를 적용하면 '1'은 '10'에 대응되고, '0'은 '01'에 대응된다. 이것은 데이터 전송 중에 동일한 LED의 상태가 2

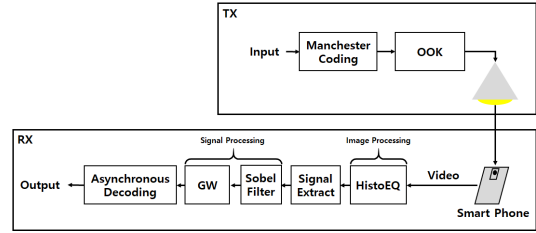


그림 3. 제안된 OCC의 시스템 구조
Fig. 3. The system structure of proposed OCC

회를 초과하지 않는다는 것을 의미한다. 맨체스터 코드를 사용하는 것으로 일정한 밝기를 유지한 채 데이터를 전송할 수 있다.^[4,9]

4.2 동기화 및 디코딩

OCC는 카메라가 촬영하지 못하는 순간 전송된 데이터는 수신할 수 없다. 1장의 이미지를 출력하기 위해서는 이미지 센서가 빛을 받아들이고 출력하기까지 시간이 걸린다. 이 시간동안 카메라는 점멸중인 LED를 촬영하지 못한다. 이러한 원인 때문에 LED는 데이터를 연속된 스트림으로 전송하지만, 이것을 촬영한 영상에 담긴 데이터들은 연속적이지 않다. 즉 송신기와 수신기의 동기화가 어렵다. 또한 매번 촬영된 이미지가 출력되는 시간 간격, 즉 프레임 속도 또한 디바이스의 상태 및 이미지 센서의 종류에 따라 불규칙한 정도가 다르게 나타난다. 대부분은 프레임 속도가 지정된 속도보다 약간 느려진다.^[5,7]

[7]에서는 이러한 불규칙적인 데이터 손실을 보상하기위해 비동기 데이터 송수신 구조를 제안하였다. 그림 4와 5에 각각 비동기 데이터 전송 프로토콜 구조와 비동기 디코딩 과정이 나타나있다.

그림 5 상단의 경우처럼 이미지 내에 포함된 SF의 좌, 우측 Ab가 모두 동일 할 경우에는 이미지 내에 포함된 데이터를 출력한다. 그러나 하단의 경우처럼 SF의 좌, 우측 Ab가 서로 다를 경우 읽어 들일 수 있는 데이터의 길이를 센 다음 변조된 16비트를 온전히 복원이 가능하다면 출력, 그렇지 않다면 저장하여 다음 이미지 프레임의 데이터와 OR연산을 하여 데이터

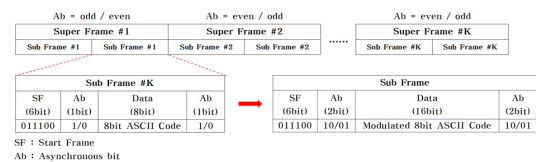


그림 4. 비동기 데이터 전송 프로토콜 구조
Fig. 4. The asynchronous data transfer protocol structure

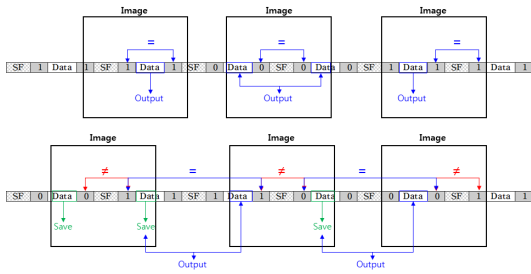


그림 5. 비동기 디코딩 과정
Fig. 5. The asynchronous decoding process

를 완성한 뒤 복조하여 8비트 데이터를 출력한다.

4.3 이미지 처리

OCC는 카메라로 촬영한 이미지로부터 LED가 전송한 데이터를 효과적으로 수신할 수 있어야 한다. LED는 이미지의 밝기를 변화시키므로 밝기에 해당하는 정보를 사용해야 한다. 따라서 영상의 밝기정보를 직관적으로 사용하는 YUV 색상 채널을 사용한다.

하지만 스마트폰 카메라로 촬영한 영상은 일반적으로 RGB포맷으로 저장된다. RGB포맷의 이미지로부터 YUV색상 채널의 Y값을 추출하기 위해 식 1을 사용한다.^[6]

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (1)$$

Y값만 추출하여 생성된 Y 채널 이미지는 그림 6의 좌측 상단에 나타나 있다. 바로 아래의 히스토그램에서는 픽셀 대부분이 어두운 영역에 위치해 있는 것을 알 수 있다. 이는 신호를 추출할 때 진폭이 충분하지 않아 정상적인 데이터를 추출하지 못하는 문제를 발생시킨다. [9]에서는 이를 해결하기 위해 HistoEQ를 사용하였다. HistoEQ는 히스토그램 상에서 한곳에 밀

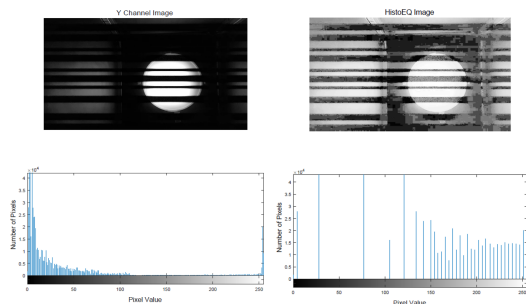


그림 6. Y 채널 이미지와 히스토그램 평활화를 수행한 Y 채널 이미지 비교
Fig. 6. A comparison of Y-channel image with histogram equalization image

집된 픽셀 값의 분포를 고르게 해주는 알고리즘으로, 이미지 전체의 명암 대비를 두드러지게 한다. HistoEQ를 수행하는 과정은 식 2, 3, 4에 나타나 있다.

$$Histo[Y] = n_Y \quad 0 \leq Y \leq 255 \quad (2)$$

$$Sum[Y] = \sum_{j=0}^Y Histo[j] \quad (3)$$

$$HistoEQ[Y] = \frac{Sum[Y] \times 255}{I} \quad I = row \times col \quad (4)$$

식 2에서 n_Y 는 이미지 내에서 픽셀 값 Y에 해당 되는 픽셀의 개수를 의미한다. 이미지 내에 픽셀 값이 0인 픽셀이 10개가 있다고 하면 n_0 은 10인 것이다. 이와 같은 방법으로 히스토그램을 구하고, 식 3에서는 0부터 255까지의 픽셀 값에 대하여 누적된 히스토그램을 구한다. 그 다음 식 4에서 누적된 히스토그램의 각 원소 값을 이미지 내의 모든 픽셀의 수에 해당하는 I로 나누어 표준화 하고, 255를 곱하여 픽셀 값으로 반환한다. 위와 같은 과정을 거치면 그림 6의 우측 상단과 같은 이미지를 얻을 수 있다. 좌측 상단 이미지에서 어두워서 구분이 어려웠던 영역이 HistoEQ를 통해 명암대비가 뚜렷해져 구분이 쉬워진 것을 확인할 수 있다.^[9]

4.4 신호 추출

카메라로 촬영한 이미지로부터 데이터를 읽어 내기 위해서는 이미지로부터 LED를 이용하여 전송한 신호를 추출해야한다. 2차원 데이터에 해당하는 이미지로부터 1차원 데이터인 신호로 만들기 위해서는 먼저 열과 행 중 픽셀의 값을 읽었을 때 어느 방향을 따라 의미 있는 데이터가 나열되어 있는지 확인할 필요가 있다. 이러한 의미 있는 데이터는 식 5에 의해 얻는다.

$$S_j = \sum_{i=1}^{col} \frac{Image(i,j)}{col} \quad S = [S_1 S_2 S_3 \dots S_j] \quad (5)$$

$$1 \leq i \leq col \quad 1 \leq j \leq row$$

식 5에서 i 와 j 는 각각 이미지의 열과 행의 위치 값이고, col 과 row 는 이미지의 열과 행의 길이이다. S_j 는 이미지에서 추출한 신호의 j 번째 값이고, S 는 이미지에서 추출한 신호이다. 각 이미지의 행에 대하여 해당 행에 있는 모든 열의 픽셀 값을 더한 뒤 다시 열의 값인 col 로 나눈다. 이것을 모든 행에 대해 수행하고 나서 얻은 S 는 그림 7(a)와 같다.^[5]

4.5 신호 처리

이미지로부터 추출한 신호는 외부 광원 및 주변 환경에 의한 심한 잡음을 가지고, 데이터 비트를 구분 짓는 신호의 경계면에 굴곡이 생겨 이진 데이터로 변환할 때에 에러를 발생시킨다. 신호처리는 이미지로부터 신호를 추출한 신호의 잡음 제거를 위해 수행한다.

4.5.1 Sobel 필터

[8]에서는 비트 경계면에서 생긴 잡음 보정을 위해 Sobel 필터의 커널 행렬을 사용한 신호처리를 수행하였다. Sobel 필터는 이미지 처리에서 경계면 검출을 위해 고안된 알고리즘으로 식 6에 주어진 h_x 와 h_y 를 사용하여 이미지의 가로축, 세로축에 대하여 필터링을 하여 모서리가 강조된 이미지를 얻어내는 기법이다.

$$h_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad h_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

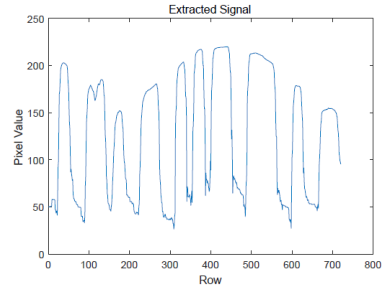
$$G = \sqrt{(S^* * h_x)^2} \quad S^* = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \dots & S_{1j} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

본 논문에서는 Sobel 필터를 사용하기 위해 식 5의 원본신호 행렬 S 에 0행렬을 2행 추가하여 식 7의 S^* 를 만든다. 다음으로 식 6의 h_x 를 이용하여 컨볼루션 연산한 결과 행렬의 2번째 행 전체의 절대값을 취한값 G 가 필터링 결과가 된다.

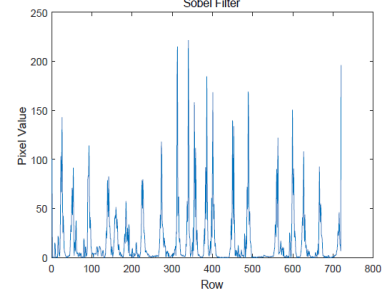
마지막으로 [8]에서는 원본신호 S 와 G 를 더하는 것으로 신호의 비트 경계면 개선 및 진폭 보상을 하였지만, 이것은 이미지에 포함된 신호의 펄스폭이 좁은 경우에 효과적으로 동작한다. 본 논문에서는 신호의 펄스폭이 넓기 때문에 S 에서 G 를 빼는 연산을 수행하여 그림 7(c)와 같은 결과를 얻는다.

4.5.2 가우시안 윈도우 필터링

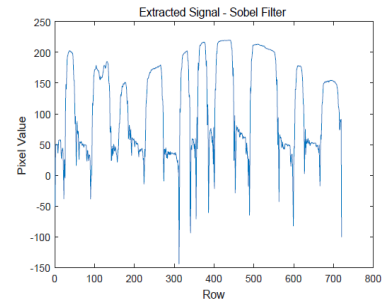
Sobel 필터에 의해 비트 경계면 잡음을 보정한 신호는 그림 7(c)와 같이 0보다 작은 값을 가지고 있거나, 매끄럽지 않은 것을 볼 수 있다. 0보다 작은 값 내지는 신호내의 다른 값들과는 달리 유독 크거나 작은 값들은 이후 임계값의 정의 자체를 방해할 수 있는 값들이다. 또 신호에서 매끄럽지 못한 부분들은 이진화 과정에서 비트 구분 에러를 유발한다. 따라서 이러한 불필요한 값들의 제거가 요구된다. 아래에 GW를 이용한 필터링 과정이 나타나 있다.^[10,11]



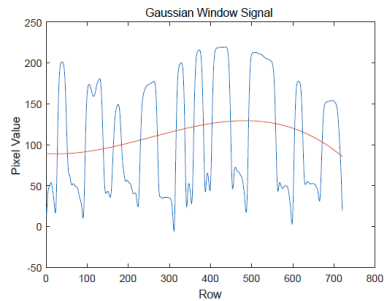
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7. 이미지로부터 추출한 신호(a), Sobel 필터를 통해 얻은 모서리의 값(b), 원본신호로부터 Sobel 필터링 값을 뺀 신호(c), 가우시안 윈도우로 필터링한 신호와 임계값(d)
Fig. 7. The extracted signal from image(a), The edge value obtained by sobel filter(b), signal by subtracting sobel filtering value from image(c), The threshold and filtered signal by gaussian window(d)

$$w_G = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\alpha n}{(N-1)/2} \right)^2} = e^{-\frac{n^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

$$w_G = \frac{w_G}{\sum w_G} \quad (9)$$

$$GW(k) = \sum_i (S_i - G_i) w_G(k-i+1) \quad (10)$$

식 8에서 σ 는 가우스 확률변수의 표준 편차이고, n 은 윈도우의 크기이며 조건 $-\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2}$ 을 따른다. 식 8로부터 주어진 $n \times 1$ 크기의 가우시안 분포함수 w_G 는 식 9에서 정규화 되어 필터링을 위한 윈도우 행렬이 된다. 다음 식 10과 같이 w_G 를 이용하여 원본신호 S 를 필터링 하고나면 그림 7(d)와 같은 신호를 얻는다. 본 논문에서 제안한 시스템에서는 실험을 통해 윈도우의 크기가 13일 때 필터링 성능이 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 GW 를 사용하여 얻은 신호에 대하여 3차 다항식 회귀 방정식을 이용하여 임계값을 구한 뒤, 신호를 샘플링 하여 이진 데이터스트림을 얻는 것으로 신호처리 수행을 마무리한다.^[5]

$$Row \ per \ sec = \frac{1}{col \times row \times fps} \times col = \frac{1}{row \times fps} \quad (11)$$

$$Pixels \ per \ Bit = \frac{T_s}{Row \ per \ sec} \times \frac{col_{max}}{row_{max}} \quad (12)$$

신호 샘플링을 위한 1비트의 펄스폭은 식 11과 식 12를 사용하여 구한다. 식 11의 *Row per sec*는 이 이미지에서 1개의 *row*가 그려지는데 걸리는 시간이고, 식 12의 *Pixels per Bit*는 1비트가 이미지에 기록 되는데 걸리는데 필요한 *row* 축 방향의 픽셀 수이다. T_s 는 심볼 1개의 지속시간이며, col_{max} 및 row_{max} 는 이미지 센서가 지원하는 최대해상도의 *col*, *row*이다. [6]에서 이미 계산된 수식이지만 본 논문에서는 실험을 통해 [6]의 *Pixels per Bit* 값에 스마트폰의 이미지센서가 지원하는 최대 해상도의 영상의 비율을 곱한 값을 *Pixels per Bit*으로 결정하였다.

V. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 시스템의 실험환경 구성은 표 2와 같다. 데이터 전송 프로그램으로 Raspberry

표 2. 제안된 시스템의 실험 환경
Table 2. The experimental environment of proposed system

Transmitter	Main Controller	Raspberry Pi3
	DC Driver	BD65496MUV
	LED	COB-1042 [SY-LD021]
	Cover Diameter [cm]	18.5
	Voltage [V]	12
	T_s [sec]	535us
Receiver	Smart Phone	Galaxy S7
	ISO	800
	Exposure time [sec]	1/4000
	Focus	Auto
	Resolution / Max Resolution	1280 * 720 / 3840 * 2160
	Video format	RGB
	Process	MATLAB

Pi3의 GPIO핀을 통해 데이터 전송 신호를 출력하면, DC Driver를 통해 LED를 직접 제어하게 된다. 제어된 LED는 'a'(97)부터 'z'(122)까지의 아스키코드를 반복적으로 전송한다. 수신기인 스마트폰 카메라는 갤럭시 S7를 사용하였으며, 기본적으로 설치되어 있는 카메라 어플리케이션에서 후면카메라를 사용하였다. 이미지의 해상도는 1280*720로 하였으며, ISO값은 최대치인 800으로, 노출 시간은 1/4000초로 고정하였다. 데이터 수신은 스마트폰 카메라로 촬영한 비디오 영상을 MATLAB에서 처리하여 촬영 시간동안 전송된 데이터를 복원하여 출력한다. 송신기의 심볼 지속 시간 T_s 는 실험을 통해 이미지에 Sub Frame 1개를 안정적으로 출력할 수 있도록 535us로 설정하였다.

제안된 시스템의 성능은 Super Frame을 사용하여 전송된 데이터에 대한 패킷 에러율(Packet Error Rate, PER)로 제시한다. 예를 들어 아스키코드 'a'가 하나 전송 되지 않았을 때 에러가 하나 발생한 것으로 정의하였다.

제안된 시스템의 PER 비교는 그림 8에 나타나 있다. 성능분석에 앞서, 기존연구들은 각자 다른 실험환경에서 다른 기준을 바탕으로 성능이 분석되었다. 특히 신호처리, 이미지처리 기법인 Sobel 필터, HistoEQ는 각각 [8], [9]로부터 해당 기능을 빌려 제안된 시스템의 실험환경에 맞게 구성한 것이다. 기존 시스템을 완벽히 재현할 수 없기 때문에, 본 실험에서는 Sobel 필터, HistoEQ의 동작 및 기능을 재현하였다. 제안된 시스템의 실험 환경 내에서 재현된 기능들의 성능 비교와, 새로이 도입된 GW가 추가된 시스템의

성능 비교를 위해서 시스템을 이루는 구성요소들을 가감하여 7개의 경우에 대해 실험을 진행하였다.

그림 8에서 시스템의 성능은 HistoEQ의 수행여부에 따라 크게 달라진다. No process, Sobel, Sobel-GW는 매우 높은 PER을 보여주고 있다. HistoEQ를 사용한 색상대비 보정을 하지 않았을 때, 이미지로부터 데이터를 검출하는 것이 매우 어렵다는 것을 보여준다. 다음으로 HistoEQ, HistoEQ-Sobel, HistoEQ-GW는 비슷한 PER성능을 보여준다. 하지만 HistoEQ, HistoEQ-GW를 보면 90cm지점을 기준으로 성능이 역전되는 것을 볼 수 있다. GW를 이용한 필터링은 보다 먼 거리에서 효과가 나타나기 시작한다는 것을 알 수 있다. HistoEQ-Sobel은 필터링의 영향으로 신호의 비트경계면에 나타나는 굴곡을 제거하지 못해 조금씩 성능이 나빠지는 것을 확인할 수 있다. HistoEQ, Sobel 필터, GW를 모두 포함하는 제안된 시스템이 그래프에서 가장 낮은 PER을 보여준다. 그래프들의 성능이 변화하는 과정을 보면, 다른 구성요소들과 결합한 시스템일수록 성능이 좋은 것을 확인할 수 있다. 하지만 모든 시스템이 거리가 증가함에 따라 에러율이 증가하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 카메라를 광원을 향한 채 촬영했을 때 빛의 세기 감소가 미치는 영향이 커지기 때문이다.

그림 9에서는 초록색 사각형의 영역과 같이, 거리에 관계없이 비트 구분이 깨끗하게 이루어진 영역이

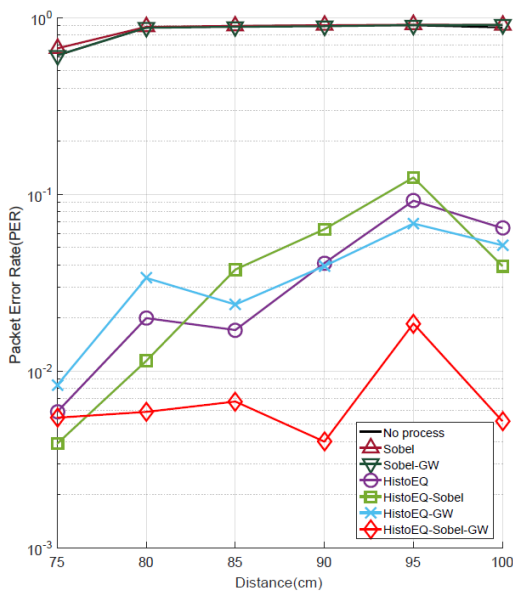


그림 8. 거리에 따른 PER 비교
Fig. 8. The PER comparison by distance

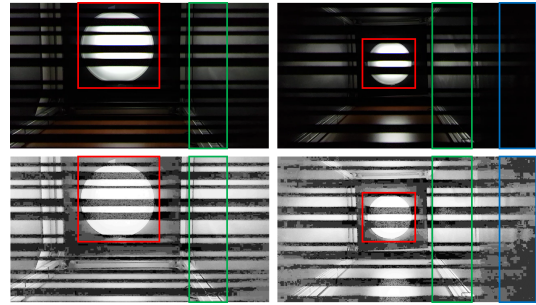


그림 9. 광원 주변의 왜곡 현상과 거리에 따른 빛의 세기 감소
Fig. 9. A distortion around the light source and reduction of light intensity by distance

나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 빛의 영향을 받아 밝기의 변화가 뚜렷하게 나타난 경우에 해당한다. 하지만 붉은색 사각형 안에 있는 광원의 테두리 주변에 검은색 띠가 휘어지는 현상을 볼 수 있다. 이것은 광원과 광원 주변의 밝기 차이에 의해 발생한다. 또한 파란색 사각형에서는 빛이 닿지 않아 LED가 켜져 있음에도 불구하고 매우 어두운 것을 볼 수 있는데, 이 영역은 이미지 처리를 이용한 보정을 한 후에도 많은 비트정보가 손실된 것을 확인할 수 있다. 거리가 멀어질수록 광원이 차지하는 영역이 작아지면서 왜곡현상은 줄어들지만, 빛의 세기 감소로 인한 비트손실은 더욱 크게 나타난다. 따라서 근거리에서는 왜곡의 영향을 많이 받고, 원거리에서는 빛의 세기 감소의 영향을 더 많이 받는다. 초록색 사각형에 비해 파란색 사각형 및 붉은색 사각형의 범위가 늘어날수록 PER은 높아진다.

VI. 결 론

본 논문에서는 RS를 이용한 OCC의 데이터 수신 성능 향상을 위한 이미지 처리 및 신호처리 기법이 함께 적용된 시스템을 제안하고, 거리에 따른 PER을 제시하였다. 원본 이미지로부터는 정보를 구분해 낼 수 없는 부분은 이미지 처리를 이용하여 구분할 수 있게 하고, 신호처리를 통해 불필요한 잡음을 제거하여 시스템의 통신 성능을 끌어올렸다. 실험을 통해서 거리에 따른 왜곡현상과 빛의 세기감소가 시스템의 데이터 수신 성능에 미치는 영향에 대해 서술하였다. 실험 결과를 통해 분석한 문제들은 파라미터를 수동으로 제어 가능한 카메라 어플리케이션을 개발하여 ISO 및 노출 시간의 제어 범위를 늘리는 것으로 극복할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 이미지에서 빛의 왜곡과 빛

의 세기가 약한 영역을 선택하여 신호를 추출할 수 있는 알고리즘이 개발 된다면 OCC의 통신범위가 크게 증가할 것이다.

References

[1] N. T. Le, M. A. Hossain, and Y. M. Jang, "A survey of design and implementation for optical camera communication," *Signal Process.: Image Commun.*, vol. 53, pp. 95-109, 2017.

[2] Z. Ghassemlooy, P. Luo, and S. Zvanovec, "Optical camera communications," *Optical Wireless Commun.*, Springer, Cham, pp. 547-568, 2016.

[3] M. T. Hossain, et al., "Optical camera communications," *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 34, no. 1, pp. 35-50, 2017.

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

[5] C. Danakis, et al., "Using a CMOS camera sensor for visible light communication," *2012 IEEE Globecom Workshops*, pp. 1244-1248, Anaheim, CA, USA, Dec. 2012.

[6] J. Lee, et al., "Algorithm of optical camera communications using rolling-shutter effect," *J. KICS*, vol. 41, no. 4, pp. 454-460, 2016.

[7] T. Nguyen, et al., "High-speed asynchronous optical camera communication using LED and rolling shutter camera," *IEEE ICUFN*, pp. 214-219, Sapporo, Japan, Jul. 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, pp. 1-7, 2015.

[9] W. J. Ryu and S. Y. Shin, "On performance improvement of optical camera communication using RGB LEDs by applying histogram equalization," *J. KICS*, vol. 42, no. 8, pp. 1654-1661, 2017.

[10] F. J. Harris, "On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier

transform," in *Proc. IEEE*, vol. 66, no. 1, pp. 51-83, 1978.

[11] R. A. Roberts, and C. T. Mullis, *Digital Signal Processing*. Reading, MA: Addison-Wesley, pp. 135-136, 1987.

박치영 (Chi Young Park)



2017년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 졸업
 2017년 3월~현재 : 금오공과대학교 IT융복합공학과 석사과정
 <관심분야> 5G, Visible Light Communication, Optical Camera Communication.

신수용 (Soo Young Shin)



1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업
 2001년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
 2006년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
 2010년~현재 : 국립금오공과대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 5G, cognitive radio networks, NOMA, OFDM, signal processing etc.