

Visual-MIMO 시스템에서 휘도편차를 이용한 전송 성능 향상

김희진*, 권태호*, 박영일**, 김기두^o

Transmission Performance Improvement Using Brightness Deviation for Visual-MIMO System

Hee-jin Kim*, Tae-ho Kwon*, Young-il Park**, Ki-doo Kim^o

요약

최근 LED 어레이와 카메라간의 통신에 MIMO의 개념을 적용한 Visual-MIMO 시스템에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이전 연구에서 비트 판정을 위해 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 방법을 제안하였으나, 참조 LED 어레이 패턴을 사용할 시에 거리가 변경될 때마다 참조 LED 어레이 패턴을 통해 ISI를 측정해야 하는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 참조 어레이 패턴을 사용하지 않고 휘도편차를 사용한 비트 판정 및 오류정정 방법을 제안한다. 일차적으로 실험적으로 정해진 임계값에 의해 비트를 판정한다. 그 중 ON-LED로 판정된 LED에 대해서 오류 여부를 검사하고 정정을 시도한다. 정정 방법은 각 LED의 히스토그램의 전체데이터 중 최대빈도수를 기준으로 68.2%(1σ)에 해당하는 범위인 휘도편차를 사용하여 판정한다. LED간 ISI 정도 및 거리의 변화에 따라 제안한 방법의 성능을 LED 어레이 패턴을 사용한 경우와 비교 분석하고 실험을 통해 검증한다.

Key Words : Visual-MIMO, LED array, Camera, Brightness deviation, ISI

ABSTRACT

Recently, research on the Visual-MIMO by applying the concept of MIMO to communication between the LED array and camera is in progress. Although we already introduced the method for bit decision by using reference LED array pattern, it has the disadvantage of measuring the ISI each time when there is a change in the distance. To overcome this, in this paper, we propose a bit decision and error correction method used by using the luminance deviation without using the reference array pattern. First, we execute the bit decision using experimentally determined threshold. Next, we execute the error checking on the ON-LED and make a correction only if it is found to be error. Correction is determined by using the value of brightness deviation corresponding to the range of 68.2% (1σ) around the maximum frequency of the histogram for each ON-LED. We verify the performance of the proposed method according to the variation of ISI with distance by using both numerical and experimental analysis.

※ "본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신-방송 연구개발사업[2014-004-051-001]과 2015년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(과제번호: 2015R1A5A7037615)의 일환으로 수행하였음."

• First Author : Kookmin University School of Electronics Engineering, try456@kookmin.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Kookmin University, School of Electronics Engineering, kdk@kookmin.ac.kr, 중신회원

* Kookmin University, School of Electronics Engineering, kmjkt@kookmin.ac.kr

** Kookmin University, School of Electronics Engineering, ypark@kookmin.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2015-08-263, Received August 24, 2015; Revised October 20, 2015; Accepted October 20, 2015

I. 서론

본 논문에서의 관심대상은 LED 통신에 MIMO의 개념을 적용한 Visual-MIMO 기술이다. Visual-MIMO 시스템은 기존에 많이 이용되고 있는 카메라와 LED 어레이(또는 디스플레이)로 구성이 가능해 앞서 언급한 비용적인 측면의 장점을 극대화 할 수 있다. Visual-MIMO 시스템은 LED 어레이와 카메라를 각각 송신기와 수신기로 구성한다. Visual-MIMO에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 응용 사례는 다음과 같다¹⁻⁷⁾.

- Road-to-vehicle communication
- Vehicle-to-vehicle communication
- Smartphone(hand-held cameras)-to-electronic billboard communication
- Robot-to-robot communication
- Hand-held displays to fixed surveillance camera

참고문헌⁸⁾에서는 비트 판정을 위해 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 방법을 제안하였으며, 참조 LED 어레이 패턴을 사용할 시 거리가 변경될 때마다 참조 LED 어레이 패턴을 통해 ISI(Inter-Symbol-Interference)를 측정해야 하는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 참조 LED 어레이 패턴을 사용하지 않고 휘도편차를 통해 비트 판정 및 오류정정 방법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 관심대상인 Visual-MIMO 기술 및 시스템에 대해 기술한다. 3장에서는 휘도편차를 사용한 비트 판정 및 오류정정 방법을 제안하고 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 기존의 비트 판정과 성능을 비교 분석한다. 4장에서는 제안한 방법을 실험을 통해 성능을 검증하며, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. Visual-MIMO 시스템

Visual-MIMO 시스템은 LED 어레이를 전송장치로 이용하고, 카메라의 픽셀을 통해 데이터를 수신하는 시스템으로서, 다시 말해 LED 어레이와 카메라를 각각 송신기와 수신기로 생각할 수 있다^{4,8)}. 그림 1은 LED 어레이와 카메라 간의 Visual-MIMO 통신 모델을 보여준다³⁾.

Visual-MIMO 통신이 갖는 몇 가지 고유한 특성은 RF 기반의 무선 통신과 비교했을 때 몇 가지 이점을 제공한다. 첫째로 강한 지향성의 특징은 거의 간섭을

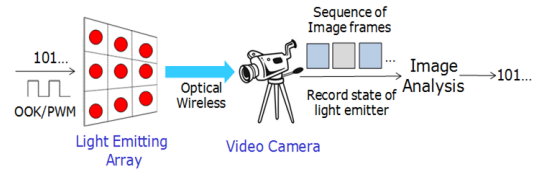


그림 1. LED 어레이와 카메라 간의 Visual-MIMO 통신 모델
Fig. 1. Visual-MIMO communication model between LED array and camera.

받지 않게 해주고 매우 혼잡한 환경에서의 전송에 이점을 준다. 또한, 이러한 전송은 감지 및 차단이 어려워 보안 응용에 적합하다. 또한 Visual-MIMO 시스템은 별도 장치의 추가 없이 카메라와 LED 어레이만을 활용해 구성이 가능하기 때문에 RF에 비해 저가로 구현할 수 있는 대안이 된다^{6,8)}. Visual-MIMO의 시스템 구성은 그림 2와 같다⁸⁾.

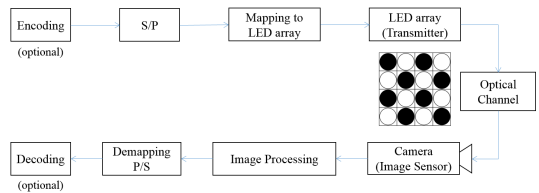


그림 2. Visual-MIMO 시스템의 구성도
Fig. 2. Configuration of Visual-MIMO system.

III. 휘도편차를 사용한 비트판정 및 오류정정

참고문헌⁸⁾에서는 참조 어레이 패턴을 사용해 초기 임계값(Th_0)을 지정하여 ON/OFF를 판단한 후에 ISI가 가장 심한 OFF-LED를 통해 차이 임계값을 알아낸 후 이를 통해 정정하는 방법을 설명하였다. 여기서 ISI는 OFF-LED가 인접한 ON-LED로부터 받는 간섭 영향을 의미한다. 그림 3은 참고문헌[8]에 사용된 참조 LED 어레이 패턴 예시를 나타낸다. 이러한 방법은 송수신단간의 거리가 변할 때마다 ISI 정도를 파악하기 위해 어레이패턴을 검사해야 하는 약점이 존재한다.

이를 극복하기 위해 본 논문에서는 별도의 참조패턴을 사용하지 않고 각 LED의 휘도 평균값을 통해 ON/OFF를 판정한 후, 각 LED의 히스토그램 분포를 통해 오류를 정정하는 비트 판정 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 어레이 비트 판정 과정을 간단히 정리하면 다음과 같다.

1. 실험적으로 정해진 임계값($Th_{c,x}$)을 통해 각 LED의 휘도 평균값으로 ON/OFF 판정 (실험

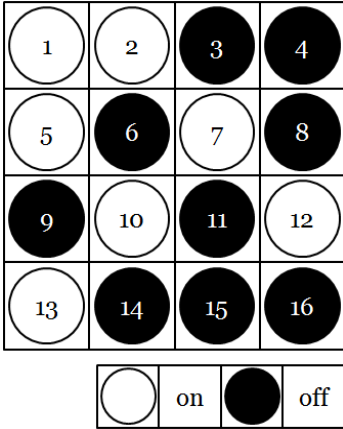


그림 3. 기존 논문에서 제안한 참조 LED 어레이 패턴 예시
Fig. 3. Example of reference LED array pattern.

결과 참조)

2. 각 LED의 히스토그램(휘도편차)을 통해 오류정정 평균값을 통해 ON/OFF를 판정하기 위한 임계값 (Th_{ex})은 참조 어레이를 사용하지 않으므로 실험적으로 ON-LED의 휘도 평균값을 측정해 지정한다. 임의로 하나의 LED를 대상으로 하기 위해 LED 어레이의 전체 LED 중 하나만을 켜서 실험한다. 이렇게 실험적으로 지정한 임계값을 통해 일차적으로 판정을 하며, LED OOK 전송 특성상 OFF를 ON으로 판정하는 오류만이 발생하므로 ON('1')으로 판정한 결과에 대해서만 히스토그램을 통해 오류 정정을 시도한다. 히스토그램을 사용하는 이유는 실험적으로 정한 임계값을 통해서도 비트판정에 오류가 발생하면 정정하기 어렵다. 이러한 오류는 대개 그림 3의 ⑥번 LED와 같이 ISI정도가 심한 LED를 실제 OFF이지만 ON으로 판정하는 경우이다. 히스토그램이란 도수분포를 나타내는 그림으로서, 본 논문에서 이용하는 히스토그램의 가로축은 그레이 레벨의 검정색부터 백색에 해당하는 휘도이며 세로축은 각각의 휘도에 해당하는 빈도수를 나타낸다. 이러한 방법을 이용해 그림 4와 같이 각 LED의 히스토그램을 구할 수 있다. ON-LED의 경우 대부분의 휘도가 '255'에 가까운 부분에 좁게 분포해 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 분포도를 통해 실제 ON-LED를 구별하기 위해 본 논문에서는 히스토그램상의 $\pm 1\sigma$ 범위를 이용한다. σ 는 가우시안 정규분포에서 표준편차를 의미하며, $\pm 1\sigma$ 범위란 평균값에서 양쪽으로 약 68.2%의 값들이 존재하는 범위를 말한다.

본 논문에서는 히스토그램의 분포 중심을 휘도 평균값이 아닌 최대 빈도를 갖는 휘도값으로 하고 정규분포의

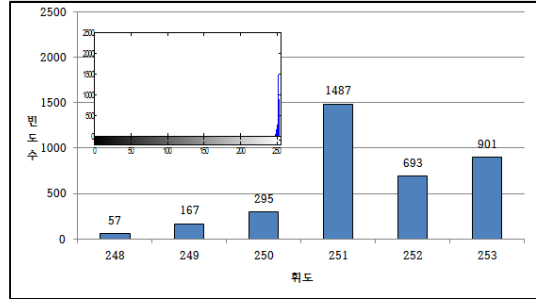


그림 4. LED 어레이에서의 ON-LED의 히스토그램 예시
Fig. 4. Histogram example of ON-LED in the LED array.

표준편차에 상응하는 휘도편차(Brightness Deviation)를 다음과 같이 정의한다. 본 논문에서는 빈도수가 최대일 때의 휘도를 포함하여 전체 빈도수의 68.2%를 차지하는 인접한 휘도의 범위를 휘도편차로 정의하고, 이를 오류정정을 위한 척도 파라미터로 사용한다. 이는 원래 ON-LED의 휘도편차가 ISI에 의한 'ON'(원래 OFF-LED)의 휘도편차 보다 훨씬 작다는 것에 착안한 것이다. 히스토그램의 데이터의 집중도가 높을수록 작은 휘도편차를 갖게 되며 데이터의 집중도가 낮을수록 큰 휘도편차를 갖게 된다.

휘도편차를 이용해 ON/OFF 판정 및 정정하는 과정은 다음과 같다.

1. 히스토그램 상에서 최대 빈도수에 해당하는 휘도값을 구한다.
2. 최대 빈도의 휘도를 포함하여 인접한 휘도의 빈도수를 합산한다.
3. 더해진 빈도수의 값이 총 빈도수의 68.2% 이상이 되면 계산을 중단하고 이동한 휘도의 폭(휘도편차)을 계산한다.
4. '1'로 판정된 LED 중 휘도편차가 임계값 (Th_{Brtdev}) 보다 작으면 유효하고, 휘도편차 임계값 보다 크면 정정('1'을 '0'으로)한다. 여기서

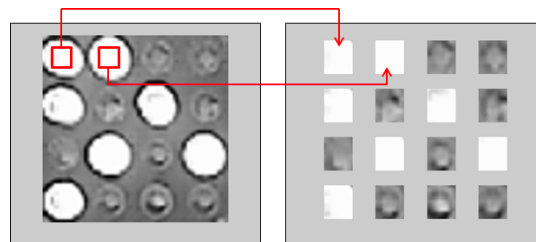


그림 5. 각 LED의 ON/OFF 판정영역 크기(60x60)를 보여주는 영상 예
Fig. 5. Example of an image showing the ON/OFF decision area of each LED.

휘도편차 임계값은 다음과 같이 정의한다. LED 비트 판별 시에 ISI의 최소화를 위해 그림 5와 같이 각 LED의 가운데에 위치한 부분만을 고려하기 때문에 대부분의 휘도가 '250'에서 '255' 사이의 값에 집중되고 휘도편차는 '3' 이하의 값을 가지므로 마진(margin)을 두어 휘도편차의 임계값 (Th_{Brtdev})을 '5'로 정한다(실험결과 참조). 그림 6은 위 과정을 요약 정리한 것이다.

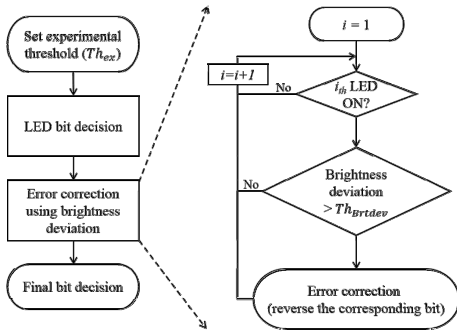


그림 6. 휘도 편차를 사용한 LED 어레이 비트 판정 방법 및 오류 정정 흐름도
Fig. 6. Flowchart of bit decision and error correction by using brightness deviation.

IV. 실험

4.1 실험 환경

본 논문에서는 Atmega 128 모듈, 별도의 LED를 부착한 4X4 LED 어레이 (HB10p-white 고휘도 LED 16개), 이미지 센서(logitech webcam pro 9000)을 사용해 Visual-MIMO 통신 실험의 환경을 구성하였다. Visual-MIMO 통신 실험에서의 하드웨어 구성 요소는 다음과 같다^[8].

- ① 별도의 LED를 부착한 4X4 LED 어레이: HB10p-white 고휘도 LED 16개 (가로: 5.5 cm, 세로: 5.5 cm, LED간 간격: 0.5 cm)
- ② PCB 보드
- ③ Atmega 128 모듈^[9]
- ④ JTAG
- ⑤ 웹캠 (이미지 센서: logitech webcam pro 9000)^[8]
- ⑥ 파워 서플라이

4.2 실험 방법

PN 코드 생성기를 통해 만들어진 입력 데이터 비

트가 LED 어레이를 통해 병렬로 웹캠으로 전송되면, MATLAB을 이용하여 수신된 비트를 실시간으로 판정하여 command window 상에 보여주고 BER을 계산한다. 그림 7은 실험 방법 및 과정의 전체 흐름도 (flow chart)를 나타낸다.

실험적으로 정해진 임계값을 통해 비트를 판정한 후 ISI가 심한 OFF-LED를 ON-LED로 판정하는 것을 정정하기 위해 휘도편차를 사용하였다.

어레이 크기 (480x480)를 16개의 균등한 크기(하나의 LED 크기는 120x120)로 분할한 후, 이웃한 LED로부터의 ISI로 인한 ON/OFF 판정 오류를 줄이기 위한 해당 LED 이미지 내의 사각형 영역을 실험을 통해 (120x120의 사각형 크기를 줄여가면서) ON/OFF 판정영역 사이지를 정한다^[8].

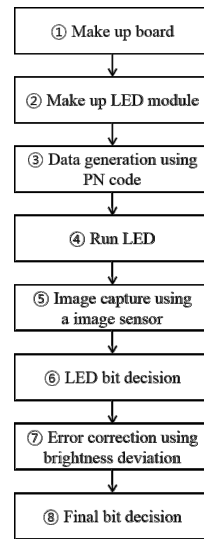


그림 7. 실험 방법 및 과정의 전체 흐름도
Fig. 7. Flowchart for experimental method and procedure.

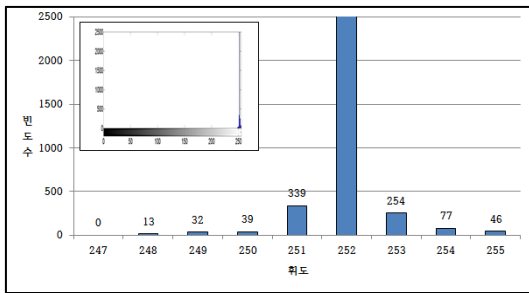
4.3 실험결과

휘도편차를 사용한 비트판정의 성능을 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 비트판정과 실험을 통해 비교 분석한다. 제안한 방법은 참조 LED 어레이 패턴을 쓰는 것과 같이 ON/OFF-LED의 상태를 알고 임계값을 정하는 것이 아닌 일반적인 ON-LED의 휘도 평균값을 실험적으로 알아낸 후 실험적인 임계값(Th_{ex})을 지정하여 일차적으로 비트를 판정한 후 '1'로 판정된 결과에 대해서만 휘도편차를 이용해 정정 여부를 따진다. 표 1과 같이 거리를 달리하여 하나의 LED만 ON 시켜 실험한 경우 대부분이 '250'에 가까운 휘도 평균값을 보이기 때문에 충분한 마진을 두어 '240'의

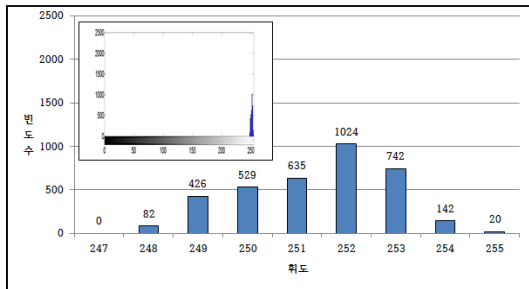
표 1. LED 어레이에서 하나의 LED만을 켜 구한 ON-LED의 휘도 평균값
Table 1. Average brightness of a ON-LED in the LED array.

Distance(m)	0.5	1	2	2.5
Average brightness	250.1	252.4	251.6	252.1

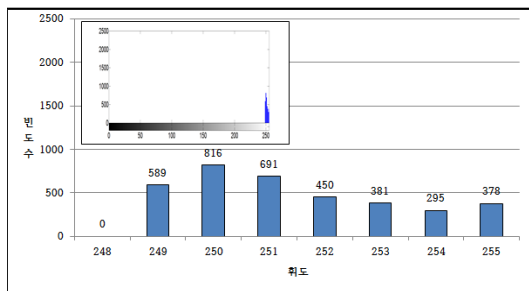
휘도를 1 단계의 실험적 임계값으로 정한다. 2단계로 히스토그램을 통한 관정시의 관정영역 크기는 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 비트관정과 동등한 비교를 위해 60x60 크기를 이용한다. ON-LED의 경우 60x60의 관정영역 크기에 대해 그림 8과 같이 대부분의 휘도 값이 250~255 사이에 집중된다.



(a) 거리 1m



(b) 거리 2m



(c) 거리 2.5m

그림 8. ON-LED의 휘도편차를 확인하기 위한 히스토그램
Fig. 8. Histogram for finding out brightness deviation.

4.3.1 ON-LED의 히스토그램 특성 분석

- 특징 1: 최대 빈도수를 갖는 휘도가 250 가까운 값에 위치한다.
- 특징 2: 대부분의 빈도수가 휘도 250~255 사이에 집중된다.

ON-LED의 일반적인 휘도편차 값을 확인하기 위해 1m, 2m, 2.5m 거리에서 하나의 LED만 ON 시켜 놓은 영상을 통해 구한 휘도편차의 결과와 히스토그램을 각각 표 2와 그림 8에서 볼 수 있다. ON-LED의 휘도편차가 '0'에서 '3' 사이에 위치하기 때문에 마진을 두어 ON-LED로 관정하기 위한 휘도편차의 임계값은(Th_{Brtdev}) '5'로 정한다.

표 2. 그림 8에서의 ON-LED의 히스토그램에 따른 최대빈도수의 휘도 및 휘도편차
Table 2. Brightness and brightness deviation corresponding to maximum frequency in the ON-LED histogram of Fig. 10.

Distance (m)	Brightness of the maximum frequency	Brightness deviation
1	252	0
2	252	3
2.5	250	3

4.3.2 거리에 따른 ISI 변화에 의한 휘도 평균값 및 휘도편차의 변화

기존 참조 LED 어레이 패턴을 이용한 방법과 참조 LED 어레이 패턴을 사용하지 않고 휘도편차를 사용한 비트관정 방법의 비교를 위해 거리를 0.5m부터 3m까지 증가시켜가며 휘도 평균값 및 휘도편차 결과를 정리하였다. ISI에 의한 영향을 살펴보기 위해 그림 3의 참조 LED 어레이 패턴 영상을 이용해 세 가지 Case에 대해 실험하였다.

- Case A. 하나의 OFF-LED에 대하여 인접한 2개의 LED가 ON (예: ③번 LED)
- Case B. 하나의 OFF-LED에 대하여 인접한 3개의 LED가 ON (예: ⑪번 LED)
- Case C. 하나의 OFF-LED에 대하여 인접한 4개의 LED가 ON (예: ⑥번 LED)

표 3의 결과를 살펴보면 Case 'A'와 'B'의 경우 모두 휘도 평균값이 초기 임계값(Th_0)과 실험적으로 정해진 임계값(Th_{ex}) 240 보다 작은 값을 보이기 때문에 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 비트관정과 휘도편차를 사용한 비트관정을 모두 오류 없이 관정 가능

표 3. 거리에 따른 LED의 휘도 평균값, 휘도편차 및 인접한 LED와 휘도 평균값 차이

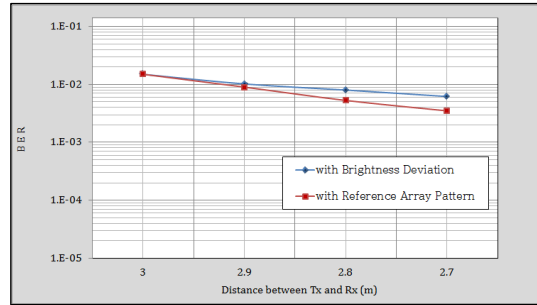
Table 3. Average value of brightness and brightness deviation according to the distance variation, brightness difference between adjacent LEDs.

Distance(m)		0.5	1	2	2.5	2.7	3
Case A	Average	136.3	141.0	148.9	158.5	161.9	170.1
	Brightness deviation	114	86	109	11	11	2
Case B	Average	131.8	138.9	170.4	182.3	193.9	202.7
	Brightness difference between adjacent LEDs	-116.4	-103.6	-96.3	-15.1	-8.3	-1.8
Case C	Average	136.3	146.9	156.5	236.3	244.5	250.3
	Brightness difference between adjacent LEDs	-116.4	-103.6	-96.3	-15.1	-8.3	-1.8

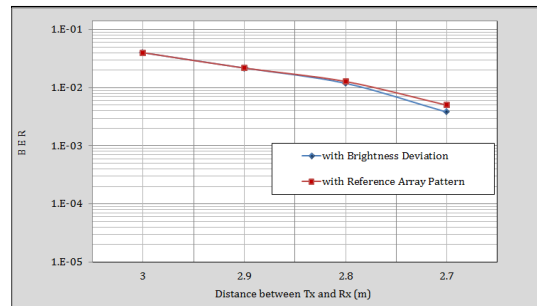
함을 알 수 있다. 다음으로 Case ‘C’의 결과를 살펴본다. 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 비트판정의 경우 2.5m와 2.7m에서 휘도 평균값이 초기 임계값(Th_0)보다 크지만 인접한 LED와의 휘도 평균값의 차이가 $-Th_d$ 보다 작기 때문에 대부분 오류가 정정됨을 알 수 있다. 여기서 Th_d 는 휘도 차이 임계값을 나타내며, 실험을 통해 인접한 2개의 LED(ON) 평균값은 최대 1~2 밖에 차이가 나지 않는다는 실험결과를 토대로 충분한 마진을 고려하여 5로 설정하였다⁸⁾. 반면 3m부터는 인접 LED와의 휘도 평균값의 차이가 작아져 정정이 불가능하다. 휘도편차를 사용한 비트판정의 경우도 2.7m까지는 휘도편차의 임계값(Th_{Brtdev})보다 큰 휘도편차를 보이기 때문에 오류 정정이 가능하나 3m부터 휘도편차가 임계값(Th_{Brtdev})보다 작기 때문에 정정이 불가능해진다.

4.3.3 휘도편차를 사용한 비트판정과 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 비트판정의 BER 비교

휘도편차를 이용한 비트판정과 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 비트판정의 성능비교를 위해 카메라의 노출과 게인 값을 바꿔가며 실험을 하였다. ‘노출’이란 렌즈를 통해 이미지 센서로 들어오는 빛의 양을 나타내고, 노출 값을 크게 할수록 카메라를 통해 받아들이는 빛의 양이 커지게 된다. ‘게인’이란 카메라 영상에서의 전기 신호의 세기를 의미하고, 게인을 조정하는 것은 카메라 영상의 전기 신호의 세기를 조절하는 것으로 영상의 전기 신호를 증폭시켜 영상의 밝기를 조절 하는 것이다. 게인 값을 크게 할수록 약한 세기



(a) 노출: 3, 게인: 5



(b) 노출: 8, 게인: 8

그림 9. 다양한 노출값과 게인값에 따른 BER (참조 LED 어레이 패턴 사용 vs. 휘도편차 사용)

Fig. 9. BER (using reference array pattern vs. using brightness deviation) under various values of exposure and gain.

의 빛까지 증폭되어 포착이 가능해진다. 실험에서 이용한 웹캠의 경우 노출은 14단계의 조절단계를 가져 큰 폭으로만 조절이 가능하며, 더 세밀하게 LED간 ISI 정도를 조절하기 위해 조절단계가 65단계인 게인을 함께 이용하였다.

노출과 게인 값이 작을 경우에는 휘도 값에 의한 ISI가 작아 참조 LED 어레이 패턴을 사용한 경우가 BER 성능이 우수할 수 있다. 노출과 게인 값이 클 경우에는 휘도 값에 의한 ISI가 크게 증가하지만 휘도편차의 변화는 상대적으로 크지 않아 휘도편차를 이용한 BER 성능이 우수할 수 있다. 결론적으로 노출과 게인 같은 카메라 파라미터 및 환경에 따라 BER 성능이 달라질 수 있지만 대체적으로 성능이 비슷한 것을 확인할 수 있었다. 노출과 게인 값의 변화에 따른 BER 성능 실험 결과 중 2개의 실험 결과를 그림 9(a)와 (b)에 나타내었다. 실험에서 10000개의 임의의 데이터를 160bps로 전송하였으며, 총 10회의 실험 결과에 대한 평균값을 취하였다.

V. 결론

본 논문에서는 참조 어레이 패턴을 사용하지 않고 히스토그램에서의 휘도편차를 사용하여 LED 어레이 비트관정 및 오류정정 방법을 제안하고 참조 어레이 패턴을 사용한 경우의 BER 성능결과와 비교하여 제안한 방법의 타당성을 입증하였다. 송수신단간의 거리가 변할 때마다 참조 LED 어레이 패턴을 검사해야 하는 약점을 보완하기 위해 참조 LED 어레이 패턴을 사용하지 않고 휘도편차를 사용하는 비트관정을 제안하였다.

실험적으로 정해진 임계값을 통해 비트를 관정한 후 ISI가 심한 OFF-LED를 ON-LED로 관정하는 것을 정정하기 위해 휘도편차를 사용하였다. 카메라 파라미터인 '노출'과 '게인'을 통해 ISI 정도를 달리하여 참조 LED 어레이 패턴을 사용하는 비트관정과 BER 성능을 비교했을 때 ISI 상황에 따라 성능이 뒤바뀌는 모습을 보였지만 대체적으로 BER 성능이 비슷하였다. 다시 말해 참조 LED 어레이 패턴을 사용하는 비트관정 대신 휘도편차를 사용하는 방법을 사용하여도 BER 성능에 큰 차이가 없으며 거리가 변할 때마다 참조 LED 어레이 패턴을 통해 ISI를 파악해야 하는 단점을 극복할 수 있다.

References

[1] A. Ashok, M. Gruteser, N. B. Mandayam, J. Silva, K. Dana, and M. Varga "Challenge: mobile optical networks through visual mimo," in *Proc. 16th Annu. Int. Conf. Mob. Comput. Netw. (MobiCom'10)*, pp. 105-112, NY, USA, 2010.

[2] T. Nagura, T. Yamazato, M. Katayama, T. Yendo, T. Fujii, and H. Okada, "Tracking an LED array transmitter for visible light communications in the driving situation," in *Proc. 2010 7th Int. Symp. Wireless Commun. Syst. (ISWCS)*, pp. 765-769, Sept. 2010.

[3] M. Varga, A. Ashok, M. Gruteser, and N. Mandayam, "Demo: visual MIMO based LED-camera communication: applied to automobile safety," in *Proc. 9th Int. Conf. Mob. Syst. Appl. Serv. (MobiSys'11)*, pp. 383-384, ACM New York, NY, USA, 2011.

[4] A. Ashok, M. Gruteser, N. Mandayam, and

K. Dana, "Characterizing multiplexing and diversity in visual MIMO," in *Proc. 45th Annu. Conf. Inf. Sci. Syst. (CISS)*, pp. 1-6, Mar. 2011.

[5] J. Yoo and S. Jung, "Cognitive vision communication based on LED array and image sensor," *2013 IEEE 56th Int. Midwest Symp. Cir. Syst. (MWSCAS)*, pp. 1228-1231, Columbus, OH, Aug. 2013.

[6] W. Yuan, K. Dana, M. Varga, A. Ashok, M. Gruteser, and N. Mandayam, "Computer vision methods for visual MIMO optical system," in *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp. 37-43, Colorado Springs, CO, Jun. 2011.

[7] S. Arai, et al., "Feasible study of road-to-vehicle communication system using LED array and high-speed camera," in *Proc. 15th World Congress on Intell. Transp. Syst. and ITS America's 2008 Annu. Meeting*, 2008.

[8] J.-h. Baek, K.-b. Yun, Y. Park, and K.-d. Kim, "Performance improvement of visual-MIMO system using image brightness information," *J. KICS*, vol. 39A, no. 12, pp. 699-707, Dec. 2014.

[9] ATmega128, *Datasheet(2011)*, Retrieved Nov. 19, 2014, from <http://www.atmel.com/devices/atmega128.aspx>

김희진 (Hee-jin Kim)



2013년 2월 : 국민대학교 전자공학과 졸업
 2015년 2월 : 국민대학교 전자공학과 석사
 <관심분야> 전자공학, 통신공학, 멀티미디어통신, 신호처리

권 태 호 (Tae-ho Kwon)



2015년 2월 : 국민대학교 전자공학과 졸업
2015년 3월~현재 : 국민대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 전자공학, 통신공학, 멀티미디어통신, 신호처리

김 기 두 (Ki-doo Kim)



1980년 : 서강대학교 전자공학과 졸업
1980년~1985년 : 국방과학연구소 연구원
1988년 7월 : 미국 펜실베이니아 주립대학교 전자공학(MS)
1990년 12월 : 미국 펜실베이니아 주립대학교 전자공학(Ph.D.)

1997년~1998년 : 미국 UCSD, Visiting Scholar

1991년~현재 : 국민대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 디지털통신, 디지털신호처리

박 영 일 (Young-il Park)



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

<관심분야> 광통신시스템, 광대역 통합망, 가시광통신