

# LED를 이용한 가시광 통신 시스템에서 2-step 인터리빙을 통한 BER 성능 향상

이종현\*, 서효덕\*, 한두희\*, 이계산\* 정회원, 이규진\*\*

## To improve the performance of BER using the 2-step interleaving for Visible Light Communication with LEDs

Jonghyun Lee\*, Hyoduck Seo\*, Doohee Han\*, Kyesan Lee\* Regular Members, Kyujin Lee\*\*

### 요 약

Visible Light Communication (VLC)은 Light Emitting Diode (LED)를 사용하여 조명의 역할과 통신의 기능을 동시에 구현할 수 있는 효과적인 방법이다. VLC는 통신 가능 영역인 Field Of View (FOV)를 가져 높은 보안성을 가지고, 가시광을 이용해 고속의 데이터 전송이 가능하다. VLC 시스템에서 RGB 채널에 데이터를 분할하여 전송하는 방법은, RGB 채널에 동일한 데이터를 전송하는 방법에 비해 빠른 데이터 전송 속도를 가지고 있으나, 가시광의 산란 및 반사로 인한 데이터의 burst 에러가 발생할 시 복원이 불가능하여 BER 성능의 열화가 발생한다는 단점이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 VLC에서 빠른 데이터 전송률을 가지면서 BER 성능 향상을 만족하는 2-step 인터리빙 기법을 제안한다. 제안 시스템의 Cyclic 인터리빙과 convolutional 인터리빙을 통해 RGB 채널의 성능 평준화 및 데이터 에러율의 감소로 전체 시스템의 BER 성능이 향상됨을 확인 할 수 있다.

**Key Words** : Light Emitting Diode (LED), Visible Light Communication (VLC), Interleaving, Error Correction

### ABSTRACT

Visible Light Communication (VLC) is effective way to realize the light device and communication device using a Light Emitting Diode (LED) simultaneously. VLC has high security for Field Of View (FOV) communication area, also which is possible to transmit the high data rate using visible light. In VLC, transmitting the divided data by the RGB channels is higher data rate than transmitting the same data by RGB channels. However, it occurred the burst error by scattering and reflection of visible light which is impossible to restore that. To solve the problem, we proposed the 2-step interleaving scheme that high data rate and improve the performance of BER in VLC. The proposed system implements cyclic interleaving and convolutional interleaving that is able to be standardized the performance of RGB channels and improve the performance of BER using error correction.

## I. 서 론

VLC 시스템은 가시광 영역의 빛을 매개체로 하여 데이터를 주고 받는 무선통신 시스템이다. VLC 시스템은 송신단에서 LED를 사용하여 전기적 데이터를 광 데이터로 변환하여 전송하고, 수신단에서는 Photo Diode (PD)를 이용하여 광 데이터를 전기적 데이터로 변환하여 수신한다. LED 조명이 설치되어 있는 공간에 적용이 가능해 어디서나 다양한 서

스를 제공할 수 있다 [1]. 대형 경기장과 주차장, 마트, 공장 처럼 통신 설비를 설치하기 어려운 곳에서도 조명을 통해 정보를 쉽게 주고받을 수 있으며, 통신과 조명, 센서, CCTV를 하나로 묶는 스마트 네트워크 구축이 가능하다. 이를 통해 TV는 물론 컴퓨터나 스마트폰 등을 제어하고 높은 데이터 전송속도로 고품질의 멀티미디어 서비스를 이용할 수 있다. 또한 VLC 시스템은 광원이 도달하는 영역인 Field Of View (FOV)를 가지고 있어 통신 영역을 눈으로 확인이 가능하기

\*이 논문은 2014학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임

\*경희대학교 전자전파공학과 차세대무선통신연구실 (jonghyun@khu.ac.kr, masa0486@khu.ac.kr, hdh0486@khu.ac.kr, kyesan@khu.ac.kr),

\*\*세명대학교 전자공학과 (kyujin@smu.ac.kr), 교신저자 : 이규진

접수일자 : 2015년 5월 11일, 수정완료일자 : 2015년 6월 1일, 최종 게재확정일자 : 2015년 6월 8일

때문에 높은 보안성을 가진다. 그림 1과 같이 광원의 FOV 영역에 위치하고 있는 PD 1은 신호의 송수신이 가능하지만, 도달 영역 외에 위치하고 있는 PD 2는 데이터 송수신이 불가능하다.

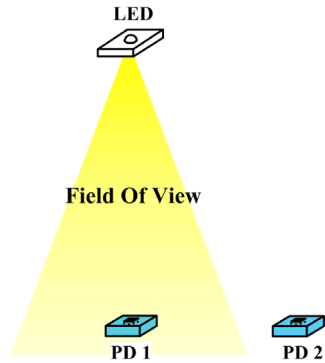


그림 1. 가시광통신의 전송 영역

이러한 특징을 가지는 VLC 시스템은 다음과 같은 전송 방식을 가진다.

Transmit data												
	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
VLC Transmit data												
R	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
G	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
B	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1

그림 2. RGB 채널에 동일 데이터 전송

첫 번째 전송 방식은 그림 2와 같이 RGB 채널에 동일 데이터를 실어 보내는 방식이다. 데이터 에러가 발생해도 다른 채널의 데이터와 비교하여 복원이 가능하기 때문에, 채널 간섭에 대한 신호의 강한 복원 능력을 가지고 있어 반사로 인한 채널 간섭이 존재하는 환경에서 사용이 용이하다. 그러나 각 채널에 서로 다른 데이터를 할당하여 전송 하는 방식에 비하여 전송속도가 느리고, 다수의 사용자 환경에 적합하지 않다.

Transmit data												
	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
VLC Transmit data												
R	1	1	0	1								
G	0	0	1	1								
B	1	0	1	1								

그림 3. RGB 채널에 데이터를 분할 전송

반면에, 그림 3과 같이 RGB 채널에 데이터를 분할 할당하여 전송하는 방법은, RGB 채널에 동일 데이터를 실어 보내 전송하는 방법에 비해 빠른 데이터 전송 속도를 가지고 있

다. 그러나 각 채널에 에러 발생시, 비교하여 복원할 데이터가 존재하지 않아 원 신호로 복원이 불가능하며, 전송 광원의 반사, 산란 등의 특성과 날씨 등 외부 환경으로 인한 특정 채널에 에러가 발생 할 시 전체 데이터 복원이 어렵다. 날씨가 맑은 날에는 짧은 파장을 가지고 있는 Blue 채널이 상대적으로 약해지게 된다. 이는 Blue 대역은 짧은 파장을 가지고 있어 공기 중의 산소 및 질소 분자들과 충돌이 일어나 산란이 되어 Blue 채널의 세기가 감소하기 때문이다. 이와 같은 광원의 산란으로 인해 특정 채널의 burst 에러가 발생하여 수신부에서 원 신호로 복원하지 못하는 경우가 생겨 BER 성능의 열화가 발생하는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 높은 데이터 전송률을 가지는 RGB 데이터 분할 전송 방식에서 2-step 인터리빙을 이용한 RGB 채널의 성능 평준화와 에러 정정 기법을 통해 BER 성능 향상을 만족하는 기법을 제안한다. 제안 시스템의 1-step cyclic 인터리빙 기법을 적용하여 각 채널 간 인터리빙을 통해 데이터들을 재배열 함으로써 채널 간 데이터를 평준화하여 burst 에러를 랜덤 에러화 한다. 다음 단계에서, 2-step convolutional 인터리빙을 적용하여 cyclic 인터리빙 된 데이터를 각 경로의 전송 지연 차이를 통해 순서를 재배열 함으로써, 플리커 현상과 같은 문제를 해결하고 컨볼루션 코드를 통해 에러 정정 성능을 향상하여 전송 중에 발생 될 수 있는 빛의 산란과 임펄스 잡음 등에 높은 에러 정정 능력을 가지게 되어 BER 성능이 향상된다. VI. 시뮬레이션 결과에서 보여 지듯이 제안 시스템을 통해 전체 시스템이 향상됨을 확인하였다.

## II. 가시광 통신 시스템 모델

### 1. 가시광 통신

그림 4는 On Off Keying (OOK) 또는 Pulse Position Modulation (PPM)을 사용하는 VLC 시스템의 구조를 나타

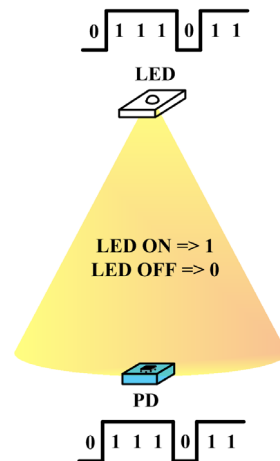


그림 4. 가시광 통신 시스템의 구조도

낸 그림이다. 전기적 데이터가 입력이 되면 OOK 또는 PPM 으로 펄스 변조를 해준다[2][3]. LED의 ON/ OFF 상태에 따라서 데이터를 전송하는데, 펄스 변조된 데이터는 '1'을 LED ON 상태로 '0'을 LED OFF 상태로 세기 변조(IM : Intensity Modulation)하여 광 데이터로 변환한다. 그 후 무선 광 채널을 통해 수신부에 전송된 광 데이터는 직접 검파(DD : Direct Detection)를 통하여 광 데이터 LED ON은 데이터 '1'로 LED OFF는 데이터 '0'으로 펄스 데이터로 변환한다. 그 후 복조하여 출력 신호가 도출된다.

### 2. 채널 모델

수신되는 신호에 대해 직접 검출을 수행한다. I(t)는 전송된 광 펄스를 나타내고, y(t)는 수신된 신호의 전력을 나타낸다.

$$y(t) = r \frac{I(t)}{D^2} \otimes h(t) + n(t) \tag{1}$$

심볼  $\otimes$ 는 컨볼루션을 의미하고, r은 검출기의 민감도, D는 송신부와 수신부의 거리, n(t)의 잡음을 가지며, h(t)는 채널 응답을 나타낸다. 최소한의 손실을 가지기 위해 채널 응답h(t) 값에 집중 되도록  $\frac{1}{D^2}$ 의 값을 최소화해서 나타냈다 [2][3].

$$y(t) = rI(t) \otimes h(t) + n(t) \tag{2}$$

수식 (2)에서 I=gx(t)로 치환 될 수 있으며, g는 검출기에서 광 이득을 나타낸다.

$$y(t) = rg \cdot x(t) \otimes h(t) + n(t) \tag{3}$$

기저대역의 자유 공간 광 채널에서 최소한의 손실을 가지기 위해 rg=1로 치환한다. 이를 통해 수신된 신호 y(t)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = x(t) \otimes h(t) + n(t) \tag{4}$$

수신된 평균 광 전력 P는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X(t)dt \tag{5}$$

### 3. 블록 인터리빙 (Block Interleaving)

블록 인터리빙은 매우 간단한 인터리빙 방법이다. 입력 데이터를 블록으로 받아서 M × N의 행렬을 통해 열을 데이터

로 채우고, 배열이 완전히 채워진 후 데이터들은 한 행씩 변조기로 보내져 채널을 통해 전송된다 [4]. 가시광 통신은 1개의 LED에 3개의 RGB 채널을 가지고 있어 3행으로 고정되어 있다. 예를 들어 그림 5와 같이 열 값 N은 36개의 입력 데이터를 가지고 있을 때, 3 × N/3의 매트릭스로 나타낼 수 있다. 또한 인터리빙 기법을 적용함으로써 데이터 열의 순서를 재배열하여 잡음에 의한 데이터 열 중간의 비트가 손실되더라도 다른 열의 데이터를 통해 복구할 수 있게 한다.

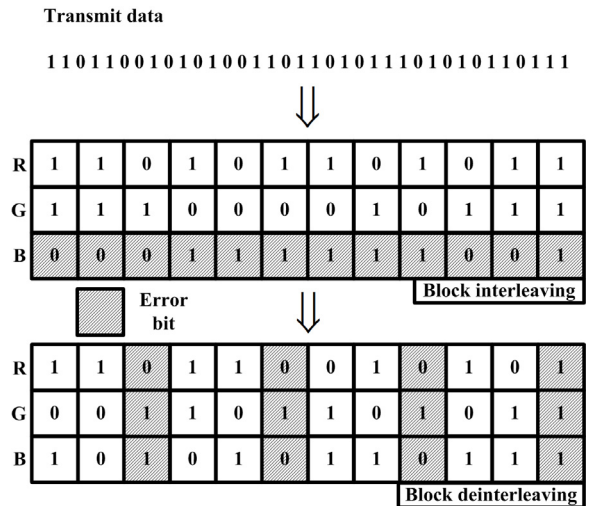


그림 5. 블록 인터리빙 매트릭스

### 4. 컨볼루션 코드 (Convolution Code)

그림 6은 입력 값 101을 가지며 구속장 K=3인 컨볼루션 코드를 나타냈다. 각 입력 값은 하나의 비트가 레지스터 왼쪽 단으로 들어가고 레지스터에 있던 비트들은 오른쪽으로 한 위치씩 이동한다. Time 4와 Time 5 시간에 (K-1)=2개의 0이 입력되고 따라서 마지막 비트가 레지스터의 가장 오른쪽에 있는 마지막 단을 통과한다.

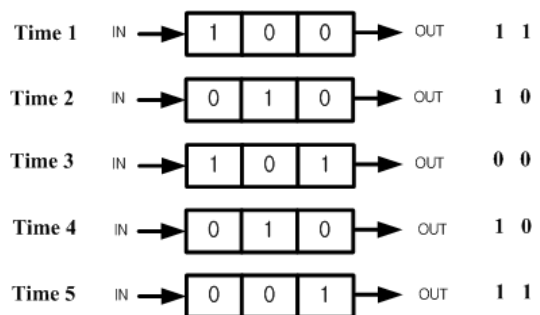


그림 6. 입력 값 101의 컨볼루션 코드

입력 값 101의 생성 다항식을 나타내면 다음과 같다.

$$g_1(X) = 1 + X + X^2$$

$$g_2(X) = 1 + X^2 \tag{6}$$

식을 통해 출력된 열은 1110001011이고 왼쪽 심볼이 가장 먼저 전송된다[4]. 그림 6과 식 (6)을 통해서 출력 값은 현재의 k개 입력 값만 아니라, 이전의 k(L-1)개 입력 값에게도 영향을 받는다. (k= 입력 값의 수, L= 레지스터 길이) 즉, 수신부에서 에러가 발생한 코드를 받았다 할지라도 디코딩 과정에서 과거의 입력 값을 고려하여 현재의 입력 값을 판단하므로 에러를 정정할 수 있게 된다. 그래서 이 기법을 에러 정정 능력이 존재하지 않는 VLC 시스템에 적용함으로써 BER 성능 향상을 만족할 수 있다. 수신부에서는 신호를 받아 에러 확률을 최소화 하는 Maximum Likelihood decoding (MLD)을 사용해 복호화 한다 [4]. 즉, 현재 상태에서 가장 큰 probability 값을 구하고, 그 probability 값 이전 상태 값을 추적해 놓는다. 그리고 마지막에 그 확률 값들의 누적치 중 최고 값을 가지는 상태에서 최적의 상태를 추출함으로써 높은 에러 정정 능력을 가지고 있다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P(Z | U^{(m')}) = \max_{\text{all } U^{(m)}} P(Z | U^{(m)}) \quad (7)$$

$P(Z | U^{(m)})$ 는 likelihood 함수,  $U^{(m)}$ 는 전송 가능한 시퀀스 중 하나, Z는 수신 시퀀스를 나타내며, MLD를 사용해 에러 정정을 하게되면 주어진 비트 오류 확률에서  $E_b/N_0$ 를 줄일 수 있게 된다. 적은 에너지를 사용해서 큰 에너지를 사용한 것과 동일한 효과를 얻을 수 있으므로 채널 코드의 코딩 이득을 얻을 수 있다.

### 5. 컨볼루션 인터리빙 (Convolution Interleaving)

컨볼루션 인터리빙은 데이터의 지연을 이용해 재배열 함으로써 인터리빙이 수행되는 기법이다. 예를들어 그림 7에 쉬프트 레지스터(B)는 3을 가지고, 레지스터 크기 (M)은 1을 가지는 컨볼루션 인터리빙을 그림으로 나타냈다. 심볼이 일렬로 쉬프트 레지스터 B에 들어가며, 이어지는 각 레지스터에는 그 이전의 레지스터보다 M개의 심볼만큼 더 많은 저장 장소가 있다. 즉, 1번째 레지스터는 저장 장소가 없어 즉시 전송되고, 이후의 2번째, 3번째 레지스터는 지연되어 전송된다 [4][5]. 인터리빙 과정을 통해 인접 심볼 간의 거리가 3개의 심볼만큼 떨어져, 인접 심볼 간의 선형적인 특성이 없어진다. 연속적인 데이터를 나누지 않고 입력 데이터를 연속해서 처리한다. 입력 데이터를 여러 경로로 분산 시킨 뒤, 각 경로의 데이터를 서로 다른 양 만큼 지연시킨다. 각 경로의 데이터들을 다시 모으면, 경로들의 지연 차이로 인해 데이터의 순서가 바뀌는 것이다. 수신기에서는 데이터들에 지연의 차이를 보상하는 만큼 데이터들을 지연시켜서 원래의 순서로 복원하는 것이다[6]. 또한 데이터의 지연으로 인한 인터리빙이 수행되어 컨볼루션 코드의 burst 에러로 인한 에러 정

정 능력의 열화를 랜덤 에러화 함으로써 컨볼루션 코드의 에러 정정 능력을 향상 시켜주는 역할을 한다.

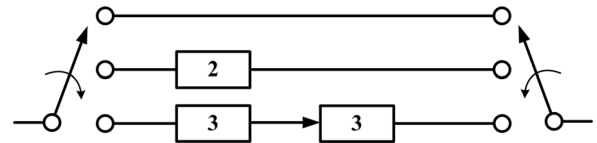


그림 7. 컨볼루션 인터리버의 구조

## III. 제안 시스템 모델

### 1. 광 인터리빙

우리는 VLC 시스템을 기초로 한 광 인터리빙을 제안한다. 그림 8과 그림 9에 제안 시스템의 구조를 나타냈다. 제안 시스템에서는 입력 데이터를 1-step Cyclic 인터리빙을 사용하여 채널 성능을 평균화하여 burst 에러를 랜덤 에러화하고, 다음 단계에서, 2-step Convolutional 인터리빙의 각 경로 전송 지연 차이를 통해 순서를 재배열 함으로써, 플리커 현상과 같은 문제를 해결하고 컨볼루션 코드를 통해 에러 정정 성능을 향상한다. 2-step Convolutional 인터리빙 된 신호를 펄스 변조하고, Electronic/Optical (E/O) 변환을 통하여 펄스 신호를 광 신호로 변환한다. E/O 변환 된 광 신호를 수신부인 PD로 전송한다. 수신부에 도착한 광 신호는 Optical/Electronic (O/E) 변환을 통해 펄스 신호로 바꾸어 주고, 역순으로 2-step Convolutional 디인터리빙 그리고 1-step Cyclic 디인터리빙을 하여 원 신호를 얻을 수 있다.

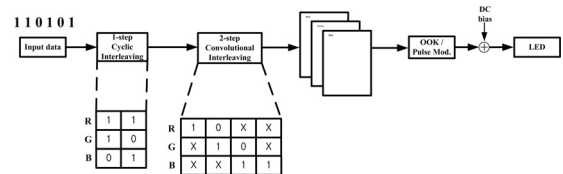


그림 8. VLC 인터리빙 송신단 시스템의 블록도

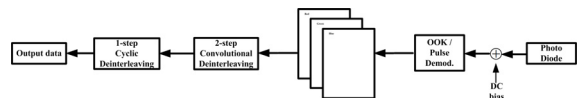


그림 9. VLC 인터리빙 수신단 시스템의 블록도

### 2. 제안 시스템

VLC 시스템은 LED 조명의 특성을 이용해 빛에 데이터를 실어서 전송하게 된다. LED 조명을 사용하는 가시광 통신은 환경에 따라 RGB 채널의 세기가 변하게 된다. 예를 들어 날씨가 맑은 날에는 Blue 채널이 상대적으로 약해지게 된다. 이는 Blue 대역이 짧은 파장을 가지고 있어 공기 중의 산소 및 질소 분자들과 충돌이 일어나 산란이 되어 Blue 채널의 세기가 감소하기 때문이다. 이러한 이유로 RGB 채널에 발생

된 감쇄 및 산란은 원 신호에 대하여 간섭으로 존재해 BER 성능 열화가 발생한다. 제안하는 시스템에서는 데이터를 RGB 채널에 분할하여 전송하게 되는데, 이를 2-step 인터리빙을 사용해 전송 중 채널에 발생하는 빛의 산란, 멀티패스 그리고 LED 특성으로 인한 burst 에러에 대해 랜덤 에러화하여 BER 성능 향상이 가능하다.

2.1 1-step interleaving

본 논문에서 VLC 시스템에 사용되는 LED는 RGB 3개의 채널을 가지고 있으며, 각각의 RGB 채널에 데이터를 분할 할당하여 전송 한다. 하지만 다수에 채널에 데이터를 전송하는 경우 한 채널에 에러가 발생 할 시에 복원이 어렵게 된다. 채널에 동일 데이터를 전송하는 방법과 다르게 에러가 발생 하게 되면 원 신호 복원을 위한 데이터를 추정하기 어렵기 때문에 BER 성능의 열화가 발생한다. 이를 해결하기 위해 VLC 시스템에 인터리빙 기법을 적용한다. 제안하는 시스템 인 Cyclic 인터리빙은 기존의 인터리빙에 비해 burst 에러의 랜덤 에러화 과정에서 데이터 재배열을 더욱 효과적으로 수행하여, 각각의 RGB 채널 간 데이터 성능 평준화가 가능하다. Cyclic 인터리빙은 데이터 블록을 열을 데이터로 채우고, 행으로 보내는 블록 인터리빙과 유사한 방식을 사용한다. 블록 인터리빙과 cyclic 인터리빙의 재배열 방법을 그림 10에 나타냈다. 블록 인터리빙은 한 개의 열을 채우고, 그 다음 열을 채우는 방식이다. cyclic 인터리빙은 한 개의 열에 하나의 데이터 블록을 채우고, 지연하여 다음 열에 채우는 방식으로 매트릭스를 완성한다. 그림 11과 같이 burst 에러의 랜덤 에러화를 통해 특정 채널의 성능 열화를 보상하고, RGB 채널의 성능이 평준화 되어 BER 성능이 향상된다.

Transmit data

$d_0, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, \dots, d_{24}, d_{25}, d_{26}, d_{N-2}, d_{N-1}, d_N$

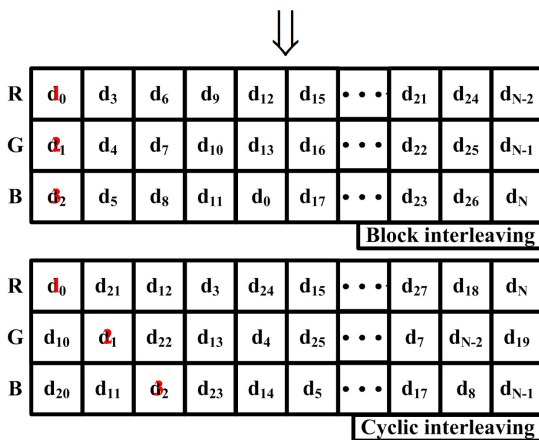


그림 10. 블록 인터리빙과 cyclic 인터리빙의 비교

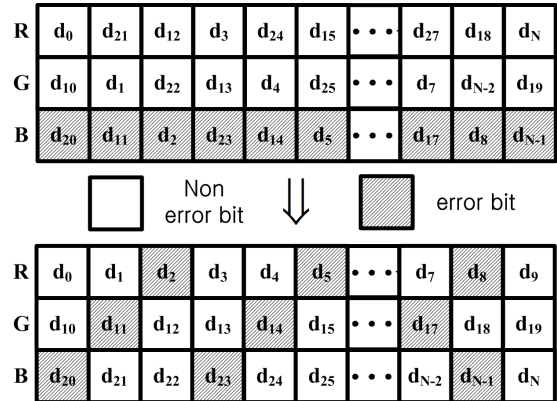


그림 11. 첫 번째 단계의 디인터리빙

2.2 2-step interleaving

송신부에서 수신부로 광 채널 전송을 하게 될 때, 환경에 따라 특정 채널에 발생하는 간섭, 멀티패스 그리고 LED 조명의 매우 짧은 파장 특성, 점멸 특성으로 인해 burst 에러가 발생한다. 본 논문에서 사용되는 VLC 시스템은 자체적인 에러 정정 능력을 가지고 있지 않기 때문에, 원 신호로 복원이 불가능하여 BER 성능 열화의 원인이 된다. 그래서 두 번째 단계인 convolutional 인터리빙을 적용한다. 컨볼루션 코드는 현재의 입력 신호 뿐만 아니라 과거의 신호를 함께 활용하여 부호화하기 때문에 복호화 시 우수한 에러 정정 성능을 가지고 있다. 그러나 burst 에러에 취약성을 가지고 있기 때문에, burst 에러의 랜덤 에러화를 위해 컨볼루션 인터리빙 기법을 더하여 에러 정정 성능을 높여준다. 그림 12와 같이 두 번째 단계인 convolutional 인터리빙을 통해 수신부로 전송을 하게 되면 수신부에서 디인터리빙을 통해 burst 에러가 랜덤 에러화 되어 에러 정정 성능을 향상시킴으로써 BER 향상을 확인할 수 있다.

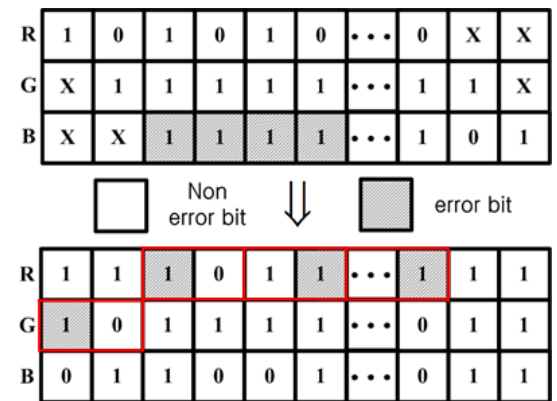


그림 12. 두 번째 단계의 인터리빙과 디인터리빙

또한 그림 13과 같이 컨볼루션 코드를 적용한 후 데이터 '1'과 '0'사이의 불균형에 의한 조명의 깜빡임인 flicker 현상이 일어나는 구간이 발생한다. flicker 현상이 발생할 경우, LED가 순간적으로 깜빡이게 되어, 조명의 역할을 하지 못하게 된다. 컨볼루션 인터리빙을 적용 하게 되면, '0'이 반복되

는 구간을 재배열 함으로써, 플리커 현상의 방지가 가능해 LED의 기본적인 기능인 조명의 역할을 유지할 수 있다.

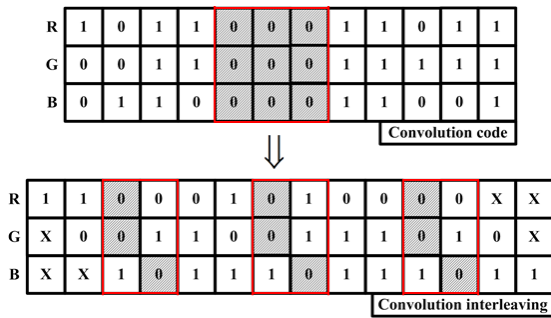


그림 13. 두 번째 단계를 이용한 flicker 현상 방지

### IV. 시뮬레이션 결과

#### 1. 시뮬레이션 파라미터

표 1과 그림 14에서 시뮬레이션 파라미터를 나타냈다. 본 논문에서 사용되는 VLC 시스템은 실내 홈 네트워크 서비스의 표준화 속도인 1Gbps를 사용하였다. 또한 국제 표준화 기구에서는 전송되는 데이터 크기의 증가로 인하여 RF 통신의 전송 속도를 2Gbps와 4Gbps 이상을 요구하는 추세이다. 이러한 점을 반영하여 반영하여 1Gbps, 2Gbps 그리고 4Gbps의 전송 속도를 시뮬레이션에 나타내었다. 한 개의 LED 조명 그리고 한 개의 PD가 Line of Sight (LOS) 위치에 존재한다. LED 한 개에선 RGB 3개의 채널이 존재하며 각각의 채널에 데이터를 실어서 전송하게 된다. VLC 시스템을 사용하여 통신을 할 때, 빛의 반사로 인한 다중 채널 수신 경로 즉, 멀티패스가 발생한다. 주변 광 잡음은 1.0 [mW], O/E 변환 효율은 0.53 [A/W], 전기소량은 1.6e-19 [C], PD의 물리적 영역은 1.0 [cm<sup>2</sup>]으로 파라미터를 설정하여 시뮬레이션을 진행한다. 추가적으로, 제안 시스템의 정확성을 높이기 위해서 첫 번째 변조는 OOK, 두 번째 변조는 LED의 특성을 이

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameters	Value
Number of the LED	1
Number of channel	3
Number of multipath	3
Original data rate	1 / 2 / 4 [Gbps]
Ambient light noise	1.0 [mW]
O/E conv. efficiency	0.53 [A/W]
Elementary electric charge	1.6e-19 [C]
Physical area of a PD	1.0 [cm <sup>2</sup> ]
Primary Modulation	OOK
Secondary Modulation	IM / DD
Optical channel	Directed LOS path (Only AWGN channel)

용한 IM/DD의 E/O 변환과 O/E 변환을 사용한다.

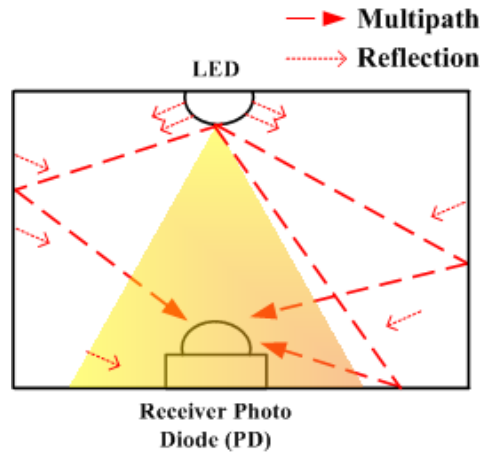


그림 14. 시뮬레이션에서 실내 환경 구조

#### 2. 시뮬레이션 결과

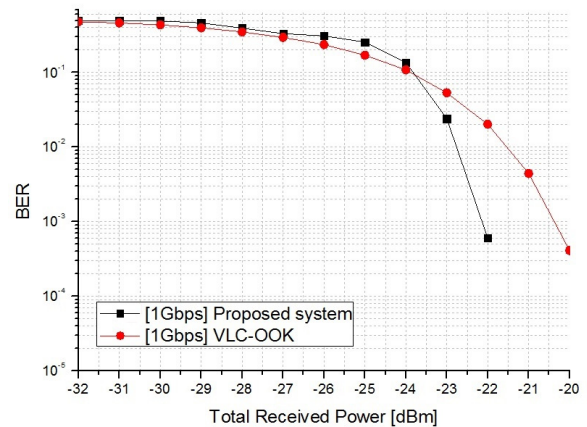


그림 15. 1Gbps 전송 시 시뮬레이션 결과

그림 15는 1Gbps로 전송 했을 때 BER 성능을 시뮬레이션 하여 나타낸 그림이다. 제안 시스템의 -24dBm 이전의 dBm 값은 기존 시스템보다 낮은 BER 성능을 가지고 있다. 이는 제안 시스템이 낮은 dBm에서 기존 시스템에 비해 높은 복잡성으로 인한 지연을 가지기 때문이다. 그러나 -24dBm 이후는 제안 시스템이 기존 시스템보다 높은 복잡성을 가지고 있지만 높은 에러 정정률을 가지고 있기 때문에, 10<sup>-3</sup>의 BER에서 기존 시스템보다 약 2dBm의 성능 향상을 확인 할 수 있다.

그림 16은 2Gbps로 전송 했을 때 BER 성능을 시뮬레이션 하여 나타낸 그림이다. 기존 시스템은 10<sup>-2</sup>의 BER 성능을 가져 통신 시스템으로써 사용하기에는 열악한 시스템이다. -20dBm의 신호일 때 제안 시스템은 기존 시스템에 비해 더 높은 BER 성능을 보여준다. 이는 MLD를 사용해 적은 에너지를 사용해서 큰 에너지를 사용한 것과 동일한 효과를 얻을 수 있으므로 채널 코드의 코딩 이득을 얻음으로써, BER 성능 향상을 보여준다.

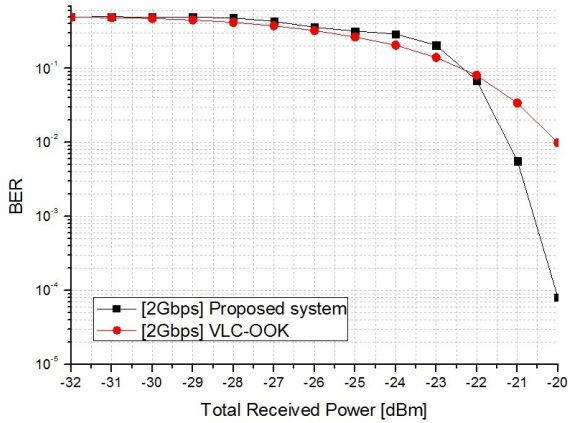


그림 16. 2Gbps 전송 시 시뮬레이션 결과

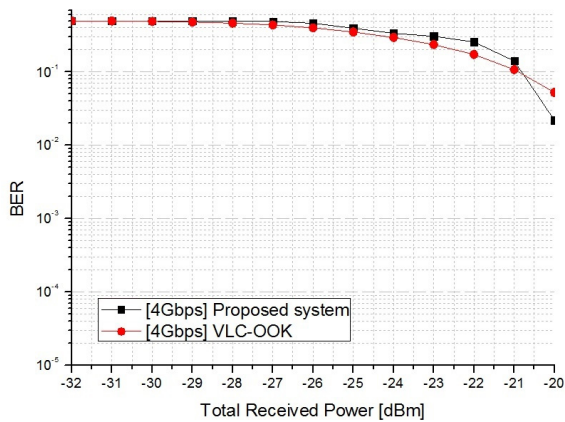


그림 17. 4Gbps 전송 시 시뮬레이션 결과

그림 17은 4Gbps로 전송을 했을 때 BER 성능을 시뮬레이션하여 나타낸 그림이다. 제안 시스템을 적용하여 높은 에러정정률과 burst 에러 회피 기법을 적용했다. 4Gbps의 높은 속도로 전송할 때, 기존 시스템보다 나은 BER 성능의 향상을 보였으나, 통신 시스템으로는 사용할 수 없는 열악한 BER 성능을 보여준다. 4Gbps의 속도로 전송하는 경우 1Gbps와 2Gbps의 전송 속도에 비해 심플 주기가 짧다. 따라서 일정한 단위 시간 동안 간섭으로 인해 발생하는 데이터 에러율이 증가하기 때문에, 높은 전송 속도를 가질수록, 더 많은 BER 성능 열화가 발생함을 보인다.

## V. 결론

본 논문에서 우리는 VLC 시스템에서 2-step 인터리빙을 사용하여 BER 성능의 향상에 대하여 소개하였다. 제안 시스템은 무선 가시광 통신 내에서 환경에 따라 특정 채널에 존재하는 간섭, 멀티패스 그리고 LED 조명의 매우 짧은 파장 특성, 점멸 특성으로 인해 발생하는 burst 에러 및 시스템 성능 저하를 보상해줌으로써 전체 시스템의 성능을 향상시키고 QoS를 만족한다.

## 참고 문헌

- [1] M. Nakagawa, "Wireless home link," IEICE Trans. Commun., Vol. E82-B, No. 12, pp.1893-1896, 1999.
- [2] J.R. Barry, "Wireless Infrared communications," Kluwer Academic Press, Boston, MA, 1994.
- [3] Steve Hranilovic, "Wireless Optical Communication Systems," Springer Science + Business Media, Inc., 2005
- [4] B. Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, Prentice-Hall International, Inc., 2001.
- [5] S. A. Hanna, "CONVOLUTIONAL INTERLEAVING FOR DIGITAL RADIO COMMUNICATIONS", IEEE, pp.443-447, Ottawa, Canada, 1993년 10월.
- [6] 이주병, 정정훈, 김상구, 김탁규, 윤동원, "채널 부호의 선형성을 이용한 길쌈 인터리버의 파라미터 추정", 전자공학회 논문지, 2011년 4월.

## 저자

### 이 종 현(Jonghyun Lee)



- 2012년 : 호서대학교 정보통신공학과 학사 졸업
- 2012년 ~ 현재 : 경희대학교 전자전파공학과 석사과정

<관심분야> : OFDM, CDMA, VLC

### 서 효 덕(Hyuduck Seo)



- 2011년 2월 : 경희대학교 전자공학과 학사 졸업
- 2011년 ~ 2013년 : 경희대학교 전자전파공학과 공학석사
- 2013년 ~ 현재 : 경희대학교 전자전파공학과 박사과정

<관심분야> : OFDM, MIMO, resource allocation, VLC

### 한 두 희(Doohee Han)



- 2011년 : 경기대학교 전자공학과 공학사
- 2011년 ~ 2013년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 공학석사
- 2013년 ~ 현재 : 경희대학교 전자전파공학과 박사과정

<관심분야> : LED-ID, OFDM, SVC

### 이 계 산(Kyesan Lee)



- 2002년 : 게이오대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 ~ 2003년 : 일본 KDDI 연구원
- 2003년 ~ 2003년 : 일본 게이오대학교 교수
- 2003년 ~ 현재 : 경희대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : DS-CDMA, OFDM, LED-ID, LTE-A

### 이 규 진(Kyujin Lee)



- 2005년 : 경희대학교 전자공학과 공학사
- 2005년 ~ 2007년 : 경희대학교 전자전파공학과 공학석사
- 2007년 ~ 2011년 : 경희대학교 전자전파공학과 공학박사

· 2011년 ~ 2013년 : 경희대학교 전자전파공학과 학술연구 교수

· 2013년 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : MC-CDMA, OFDM, VLC, SC-FDMA