

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.4.77>

JIIBC 2014-4-12

CSK-OFDM 기반의 MIMO-VLC 시스템 성능 비교

Performance Comparison of MIMO-VLC Systems based on CSK-OFDM

황란미*, 이병진*, 최병곤*, 김용원**, 김경석***

Lan-Mi Hwang*, Byung-Jin Lee*, Byeong-Gon Choi*, Yong-Won Kim**,
Kyung-Seok Kim***

요약 가시광 무선통신 기술(VLC)은 LED 조명을 사용하여 통신이 가능하게 하는 기술로써 조명장치와 통신기능을 융합하는 기술이다. Color LED를 사용한 무선 통신의 성능을 향상시키고 데이터 효율을 향상시키기 위해서 이를 연구할 필요성이 있다. 본 논문에서는 일반적인 실내에서의 통신 환경을 가정하고, CSK-OFDM 기반의 LED 통신 시스템에 MIMO 기법을 적용하여, 더 효율적인 통신을 전송하는 방법에 대해서 연구하였다. IEEE 802.15.7 표준화에 근거하여 시뮬레이션을 통해 성능을 분석해 본 결과, CSK-OFDM 기반의 LED 통신 시스템에서 사용하는 MIMO 기반의 전송 기법과 외부 잡음은 SNR과 BER의 성능에 많은 영향을 끼침을 확인하였다.

Abstract Visible light communication is a converging communication by technologies that enable solutions using the LED Lighting. There is a need to research about it in order to improve the performance of the wireless communication by using a Color LED and improve the efficiency of data. In this paper, Assume the General indoor communication environment and LED communication systems based on CSK-OFDM applied to a MIMO communication system, We studied about transmitting method of more efficient communication. After performing the simulation based on IEEE 802.15.7 Standardization, as a result of the analysis of performance, it was confirmed the there is a significant impact on the performance of SNR and BER performance by the transmitting method based on MIMO and external noise using the LED communication system based on CSK-OFDM.

Key Words : VLC, Color LED, CSK, OFDM, MIMO, External Noise

1. 서론

가시광 무선통신 기술(VLC ; Visible Light Communication)은 LED(Light Emitting Diode) 조명을 사용하여 통신이 가능하게 하는 기술로써 조명장치와 통신기능을 융합하는 기술이다. 현재 정부의 백열전등 퇴

출 정책과 LED 조명 제품 추진 정책으로 LED로의 교체가 가속화 되고 있다. 이러한 정책으로 가시광 무선통신을 위해서만 LED를 다시 설치할 필요가 없이, 조명용으로 설치된 LED로 통신이 가능하여 설치비용이 절감되고, LED조명이 있는 곳에서는 어디든 통신이 가능하기 때문에 기존 통신에서 불가능한 지역인 병원, 항공기 등

*준회원 충북대학교 전자통신공학과

**준회원 충청지역사업평가원

***정회원 충북대학교 정보통신공학과 (교신저자)

접수일자 : 2014년 6월 13일, 수정완료 : 2014년 7월 13일

게재확정일자 : 2014년 8월 8일

Received: 13 June, 2014 / Revised: 13 July, 2014

Accepted: 8 August, 2014

***Corresponding Author: kseokkim@cbnu.ac.kr

Department of Electrical and Electronic Engineering, Chungbuk National University, Korea

에서도 사용 가능하다는 장점이 있다. 또한, 기존에 사용하던 무선 통신과 달리 조명이 있는 지역에만 통신이 가능하므로 보안 기능 또한 갖추고 있다^[1].

본 논문에서는 CSK(Color Shift Key)와 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과, MIMO(Multiple Input Multiple Output) 전송 기술을 이용하였다. 통신의 비트 오류율(BER ; Bit Error Rate)은 신호 대 잡음비(SNR ; Signal to Noise Ratio)로 나타내어 성능을 비교하였다.

CSK방식은 백색 LED를 각각 R,G,B로 분류하여 Color LED로 통신이 가능하게 해주는 역할을 한다. 이 논문에서는 표준화에 따라 4-CSK와 8-CSK로 분석하였다. 주파수 효율은 높이는 OFDM은 직·병렬 변환기, BPSK, IFFT, FFT, Cyclic Prefix(CP) 등으로 구성되어 있다. 그리고 MIMO 전송 기술은 총 3가지를 사용하였다. 하나는 에러 정정 코드 중 가장 기본적인 반복 코드(Repetition Code)이다. 이 코드는 같은 비트를 여러 번 반복해 보낸 후, 평균값을 추출해내므로 전송속도는 느리지만 비트 오류율이 감소된다는 장점이 있다. 다른 하나는 공간 다중화 혹은 공간 분할 다중화(Spatial Multiplexing) 방식으로 R,G,B를 각 분할하여 송·수신한다. 마지막으로 Alamouti가 제안한 시공간 블록 코드(STBC ; Space-Time Block Code)를 Mohammed I. Salemdeeb가 제안한 3x3으로 확장하여 분석하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 CSK-OFDM변조 방식을 분석하고, 3장에서는 MIMO 기반의 전송기법을 분석한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. CSK-OFDM 시스템 분석

본 논문에서 제시하는 CSK-OFDM기반의 MIMO-VLC 송·수신 블록도는 그림 1과 같다. 기존의 OFDM기반의

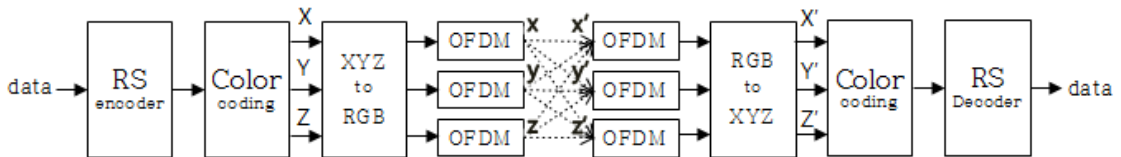


그림 1. CSK-OFDM기반의 MIMO-VLC 송·수신 블록도
Fig. 1. MIMO-VLC transmitter diagram of CSK-OFDM

VLC 시스템은 백색광 LED만 고려하였다. 하지만 VLC는 눈에 보이는 모든 색상과 호환되어야하므로 R,G,B를 모두 고려해야하고, 이를 고려하려면 CSK를 적용해야 한다. 즉, 색깔을 독립적으로 적용하기 위해서는 CSK-OFDM을 기반으로 하여 설계를 해야 한다^[2]. 그림 2에서 4-CSK와 8-CSK 색상도 좌표를 나타냈다. 각 색상도 좌표에서 R,G,B의 위치는 같고, 여기에 같은 거리에 해당하는 심벌의 좌표 값들을 CSK의 개수에 맞추어 위치시킨다^[3].

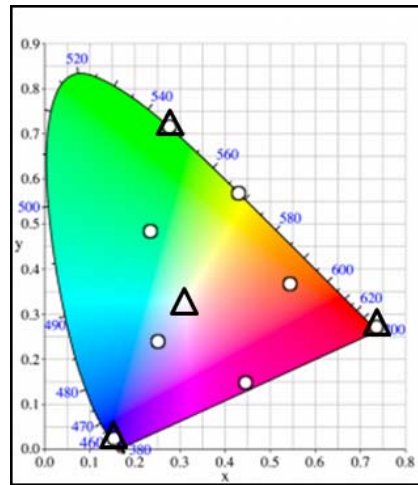


그림 2. 4-CSK(△)와 8-CSK(O)의 색상도 좌표
Fig. 2. Color coordinates diagram of 4-CSK and 8-CSK

송신단에서 입력되는 데이터는 채널코딩인 RS (Reed Solomon)을 통해 코딩되고, 코딩된 데이터는 CSK인 Color Coding과 XYZ to RGB에 의해서 R,G,B로 식(1)과 (2)를 통해 변환된다.

$$x = RX_x + GY_x + BZ_x \quad (1)$$

$$y = RX_y + GY_y + BZ_y \quad (2)$$

식 (1)과 (2)는 그림 1의 색상도 좌표(x,y)를 통해서 R, G, B 값을 구하는 식이다. 이 때, $R + G + B = 1$ 이고, 이 값을 각각 OFDM으로 송신된다^[4].

OFDM에서는 직·병렬 (S/P ; Serial to Parallel) 변환으로 N개로 병렬시킨 심볼로 변환한 후, BPSK 변조를 한 후, 역 고속 푸리에 변환 회로에 입력된다. 역 고속 푸리에 변환은 다음과 같은 식 (3)으로 표현된다.

$$x(n) = IFFT\{X(K)\} = \sum_{K=0}^{2N-1} X(K)e^{j\frac{2\pi Kn}{2N}} \quad (3)$$

역 고속 푸리에 변환으로 변환된 데이터는 부반송과 간의 간섭(ICI ; Inter Carrier-Interference)를 줄이기 위해 CP를 추가한 후, 직렬데이터로 변환 뒤에 수신단에 송신된다. 수신단에서 수신된 데이터는 송신기와 마찬가지로 먼저 병렬 데이터로 변환한다. 그 다음 데이터는 고속 푸리에 변환 회로에 입력된다. 고속 푸리에 변환은 식 (4)으로 표현된다.

$$\hat{X}(K) = FFT\{\hat{x}(n)\} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \hat{x}(n)e^{-j\frac{2\pi Kn}{2N}} \quad (4)$$

고속 푸리에 변환으로 변환된 신호는 CP를 제거한 후, BPSK 복조를 통해서 다시 복원된 후, 직렬데이터로 변환된다. OFDM 복조를 거친 R,G,B데이터는 CSK 복조를 통해서 하나의 신호로 합쳐지게 된다. 이 신호는 RS 디코딩을 통해 최종 출력된다.

III. CSK-OFDM 시스템에 적용한 MIMO 전송 기법

1. RC(Repetition Code)

반복 코드는 심볼 내 각 비트가 여러 번 반복되어 만들어지는 오류 정정 코드 중 가장 기본적인 코드이다. 그림 3과 같이 같은 비트를 여러 번 반복하여 평균을 내는 반복 코드 방식을 사용하여 비트 오류율을 감소시킨다. 반복 코드를 사용하지 않은 코드에 비해 안테나 하나에서 전송되는 비트의 수는 증가되어 데이터의 효율이 감소된다는 단점이 있다.

$$s_i = x_n \quad (5)$$

식 (5)에서 x_n 은 입력신호로 n번째 입력신호는 i번 반복되어 s_i 로 i의 수만큼 출력된다^[6].



그림 3. 반복 코드
 Fig. 3. Repetition Code

2. SM(Spatial Multiplexing)

공간 다중화 혹은 공간 분할 다중화 방식은 다수의 비트를 여러 개의 안테나를 이용하여 여러 공간으로 분리시켜 전송하는 기술이다. 주파수 대역폭과 송신 전력을 증가시키지 않아도 채널 용량을 크게 하여 성능을 향상시킨다는 장점이 있다.

공간 다중화 방식은 3개의 안테나를 사용하는 컬러 LED 무선통신에서는 그림 4과 같이 안테나마다 R,G,B를 각각 송·수신하기 때문에 반복코드보다는 데이터의 효율은 증가하지만 비트오류율은 크게 나타난다.

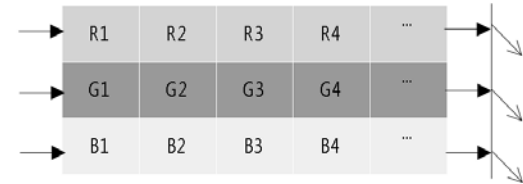


그림 4. 공간 다중화 혹은 공간 분할 다중화 방식
 Fig. 4. Spatial Multiplexing

3. STBC(Space-Time Block Code)

시공간 블록 코드는 전송 데이터의 성능 보안과 신뢰도 향상을 위해 여러 안테나에서 송신되는 신호들을 시간, 공간적으로 서로 상관관계를 갖도록 하는 코드이다. 송신 안테나에 동일한 신호를 코딩하여 전송한다. 초기에 제안된 Alamouti's code^[7]는 복소수 표기법을 사용하지만, 가시광 통신의 경우에는 실제 신호를 처리하므로 복소수 표기법을 연결할 필요가 없다.

Mohammed I. Saleemdeen가 제안한 3x3 STBC 실제 신호처리 식은 다음 식(6)과 같다^[8].

$$S = \begin{bmatrix} x_1 - x_2 - x_3 \\ x_2 \ x_1 \ x_4 \\ x_3 - x_4 \ x_1 \end{bmatrix} \text{ for real} \quad (6)$$

식 (6)을 Mangal Singh가 제안한 전개하는 방식^[9]으로 3x3 STBC에 적용하여 전개한 식은 다음 식 (7) 즉, $\hat{x} = Hx + N$ (Noise)이다.

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_{11} & \hat{x}_{12} & \hat{x}_{13} \\ \hat{x}_{21} & \hat{x}_{22} & \hat{x}_{23} \\ \hat{x}_{31} & \hat{x}_{32} & \hat{x}_{33} \end{bmatrix} = \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 - x_2 - x_3 \\ x_2 \ x_1 \ x_4 \\ x_3 - x_4 \ x_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} \end{bmatrix}$$

식 (7)에서 $H \in R^{n \times n}$ 와 $x \in R^{n \times n}$ 을 곱한 값을 (x_1, x_2, x_3, x_4) 로 전개하여 식 (8)인 $\hat{H} \in R^{m \times n}$ 을 유도한다. 식 (9)인 $\hat{H}^T \in R^{n \times m}$ 행렬은 \hat{H} 행렬의 전치 행렬로 행과 열의 위치를 변환하여 구할 수 있는 행렬이다.

$$\hat{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & 0 \\ h_{12} - h_{11} & 0 & -h_{13} & h_{12} \\ h_{13} & 0 & -h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & 0 \\ h_{22} - h_{21} & 0 & -h_{23} & h_{22} \\ h_{23} & 0 & -h_{21} & h_{22} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & 0 \\ h_{32} - h_{31} & 0 & -h_{33} & h_{32} \\ h_{33} & 0 & -h_{31} & h_{32} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\hat{H}^T = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{21} & h_{12} & h_{23} & h_{31} & h_{32} & h_{33} \\ h_{12} - h_{11} & 0 & h_{22} - h_{21} & 0 & h_{32} - h_{31} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_{13} & 0 & -h_{11} & h_{23} & 0 & -h_{21} & h_{33} & 0 & -h_{31} \\ 0 & -h_{13} & h_{12} & 0 & -h_{23} & h_{22} & 0 & -h_{33} & h_{32} \end{bmatrix} \quad (9)$$

최종 복조에 사용되는 식 (13)의 \hat{x} 값은 식 (10)을 통해서 구할 수 있다. 식 (11)와 식 (12)은 식 (10)의 $(\hat{H}^T \hat{H})$ 값을 나타낸다.

$$\hat{x}(n) = (\hat{H}^T \hat{H})^{-1} \hat{H}^T x(n) \quad (10)$$

$$\hat{H}^T \times \hat{H} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_4 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\alpha_1 = |h_{11}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{13}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{22}|^2 + |h_{23}|^2 + |h_{31}|^2 + |h_{32}|^2 + |h_{33}|^2 \quad (12)$$

$$\alpha_2 = |h_{11}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{22}|^2 + |h_{31}|^2 + |h_{32}|^2$$

$$\alpha_3 = |h_{11}|^2 + |h_{13}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{23}|^2 + |h_{31}|^2 + |h_{33}|^2$$

$$\alpha_4 = |h_{12}|^2 + |h_{13}|^2 + |h_{22}|^2 + |h_{23}|^2 + |h_{32}|^2 + |h_{33}|^2$$

$$\hat{x}(1) = \frac{1}{\alpha_1} (h_{11}y_{11} + h_{12}y_{12} + h_{13}y_{13} + h_{21}y_{21} + h_{22}y_{22} + h_{23}y_{23} + h_{31}y_{31} + h_{32}y_{32} + h_{33}y_{33}) \quad (13)$$

$$\hat{x}(2) = \frac{1}{\alpha_2} (h_{12}y_{11} - h_{11}y_{12} + h_{22}y_{21} - h_{21}y_{22} + h_{32}y_{31} - h_{31}y_{32})$$

$$\hat{x}(3) = \frac{1}{\alpha_3} (h_{13}y_{11} - h_{11}y_{13} + h_{23}y_{21} - h_{21}y_{23} + h_{33}y_{31} - h_{31}y_{33})$$

$$\hat{x}(4) = \frac{1}{\alpha_4} (-h_{13}y_{12} + h_{12}y_{13} - h_{23}y_{22} + h_{22}y_{23} - h_{33}y_{32} + h_{32}y_{33})$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션을 위해 사용된 파라미터는 IEEE 802.15.7 표준^[10]에 근거하였으며, 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 환경

Table 1. The environment of Simulation

파라미터	값	
ROOM size	5x5x2m	
PLED	0.2 W	
LED array Location	[2.5m 2.5m 2m]	
FOV at the receiver	60 deg	
Photodiode responsivity	0.4 (A/W)	
Noise bandwidth factor	0.562	
FFT size	64	
Valid symbol interval	56	
Cyclic Prefix(CP)	14	
Total Symbol	70	
Modulation	4-CSK, 8-CSK	
Channel Coding	RS(64,32)	
Data Rate	12Mb/s, 18Mb/s	
Optical clock rate	12 MHz	
External Noise Power	Fluorescent light	2.5×10^{-3} w
	Sun	5×10^{-2} w

표 1에 주어진 파라미터에 따라 방을 구성한 실내 시나리오를 가정하였다. 방 사이즈는 5x5x2m로 사람이 수신기를 들고 있는 가정 하에 높이를 정하였다. 송신기와 수신기는 방에 각각 천장과 바닥의 정 가운데에 배치되어 있고, 수신기는 위를 송신기는 아래를 지향한다고 가정한다. 수신각도(FOV ; Field of View)는 60도이고, FFT의 크기는 64, 유효 심볼 구간은 56이고, CP의 개수는 유효 심볼 구간의 25%인 14이다. 즉 전체 심볼 구간은 유효 심볼 구간과 CP의 개수를 합한 70이다. 변조방식과 채널코딩, Data Rate는 표준화에 맞추어 값을 고려하였다. 4-CSK일 때는 12Mb/s, 8-CSK일 때는 18Mb/s이고 모두 채널코딩은 RS(64,32), 클럭속도는 12MHz를 사용한다.

외부 잡음으로는 외부 잡음을 적용하지 않은 상태(No Interference), 형광등(Fluorescent light), 직사광선(Sun)을 고려하였다.

4장에서 제시된 표 2의 시뮬레이션 환경을 바탕으로, VLC에서 CSK-OFDM기반에서 MIMO와 외부 잡음에 따른 BER값의 성능을 분석 하였다.

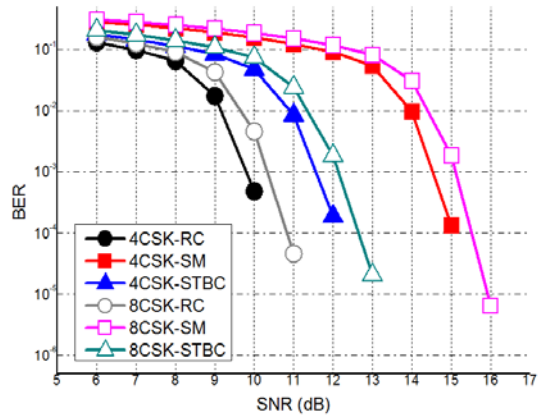


그림 5. CSK와 modulation에 따른 성능비교

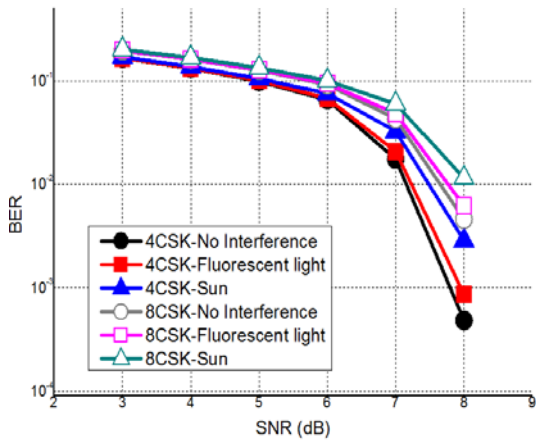
Fig. 5. Performance comparison associated with the CSK and modulation

그림 5은 외부환경을 적용하지 않은 Ambient light 환경에서 4-CSK와 8-CSK에 MIMO 방식을 변화시켜 BER의 성능을 비교하였으며, ZF 이퀄라이저를 사용하여 신호를 검출하였다. 모든 MIMO 방식에서 8-CSK보다 4-CSK의 신호에서 SNR이 약 0.5dB정도 증가됨을 알 수 있다. 또한 RC, STBC, SM순으로 성능이 향상되고, SNR 값이 RC를 기준으로 STBC는 약 2dB, SM은 약 5dB정도 차이를 확인할 수 있다.

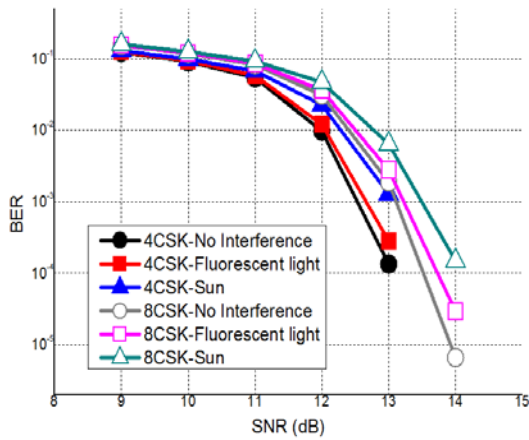
4-CSK가 8-CSK보다 성능이 우수하게 나오는 것은 변조 심볼 간의 위상 간격이 4-CSK가 8-CSK보다 넓기 때문에 오류가 날 확률이 감소되어 성능이 증가하기 때문이다. MIMO 방식에서 RC는 SM에 비해 데이터 효율은 감소되지만 같은 비트를 여러 번 반복해 전송되므로 성능은 향상된다. 즉, 4-CSK에 RC를 적용한 방식이 성능이 우수하고, 8-CSK에 SM을 적용한 방식은 성능이 열등함을 볼 수 있다.

그림 6에서 4-CSK와 8-CSK 일 때 변조 방식마다 외부잡음을 넣어 BER의 성능을 비교하였다.

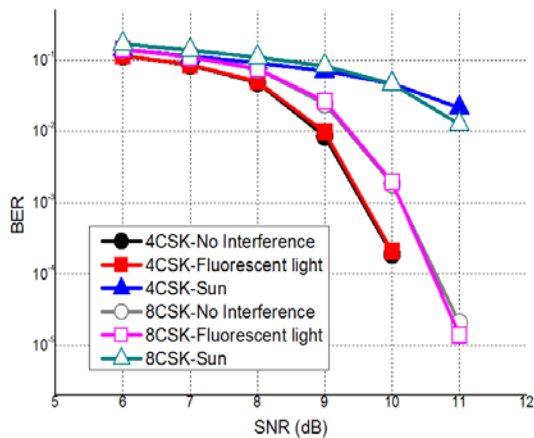
외부 잡음을 고려하지 않았을 때 보다 형광등과 직사광선의 외부잡음을 고려하였을 때 전체적으로 성능이 열등하게 나오는 것을 확인할 수 있다. 외부 잡음의 세기가 클수록 최종 출력되는 신호가 변하게 되어 입력신호와 비교하게 되었을 때 변형이 많이 일어나게 되므로 BER 값이 증가하게 된다. 즉, 형광등과 직사광선 중 영향을 크게 미치는 것은 외부 잡음 세기가 가장 강한 직사광선 환경으로 STBC 환경에서는 형광등의 환경보다 약 2dB 이상의 성능을 하락시킴을 확인하였다.



(a) RC



(b) SM



(c) STBC

그림 6. CSK 환경에서 외부잡음에 따른 BER 성능비교
 Fig. 6. BER performance comparison associated with External noise Power in the CSK

V. 결론

이 논문에서는 CSK-OFDM을 적용한 Color LED 가시광 통신에서 다양한 MIMO 방식과 외부 잡음을 적용한 상황에 따른 시스템 성능을 비교 분석하였다.

이를 위하여 MIMO 방식을 기본적인 RC, SM, STBC로 설정하였다. 여기에 실제 통신 환경에 외부 영향을 끼칠 수 있는 형광등, 직사광선을 고려하여 성능을 확인하고 비교했다.

SNR은 4-CSK에서 8-CSK보다 성능이 약 0.5dB정도 증가하였다. MIMO 방식에 따른 SNR은 RC와 비교하였을 때 STBC는 2dB, SM은 5dB 정도의 차이를 확인할 수 있고, 외부잡음인 형광등과 직사광선을 적용하였을 때 역시 성능이 감소됨을 알 수 있다. 특히, STBC 방식인 경우, 직사광선에 영향을 많이 받는 것은 확인할 수 있다.

이 논문의 이러한 연구 결과는 Color LED 가시광 무선 통신 환경에서 MIMO 방식과 외부 잡음의 방식에 따라 수신 성능을 향상시키기 위해 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Young Mo Gu, "Inter-carrier Interference Reduction Method Using Mask in a Fast Moving OFDM Receive", JBE Vol. 18, No. 3, May 2013
- [2] Pankaz Das, "Color-Independent OFDM-based Visible Light Communication", 2013 IEEE
- [3] Joachim Walewski, "Coding Scheme And Method For A Colour-Shift-Keying Constellation In A Visible-Light Communication System", November 2013.
- [4] Ravinder Singh, Timothy O'Farrell, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.7 CSK physical Layer", 2013 IEEE
- [5] Seung-ho Lee, "A Study of Watermarking Data Transmission Scheme for BPSK-OFDM Based LED Communication System", 11-10 Vol.36 No.10
- [6] Byung-Jin Lee, "Performance comparison of MIMO-VLC systems according to the change of an

emission angle”,JIWIT, January 2013

- [7] S. M. Alamouti, “A simple transmit diversity technique for wireless communications,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 16, no. 8, pp. 1451 - 1458, Oct. 1998.
- [8] Mohammed I. Salemdeeb, “Hybrid BLAST Space-Time Block Code for MIMO Communication Systems”, Gaza, Palestine, pp. 21-22, 2011.
- [9] Mangal Singh, Dinesh choudhary and Pankaj mishra, “A Project Report on Study and implementation of Space Time Block Codes for MIMO wireless communication system”, University of Pune, Pune, 2012-13.
- [10] IEEE Std 802.15.7, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks -Part 15.7, Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light (IEEE, Piscataway, 2011)

저자 소개

황 란 미(준회원)



- 2014년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 석사 과정
 <주관심분야 : MIMO-OFDM, 가시광 통신>

이 병 진(준회원)



- 2013년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 석박사 통합과정
 <주관심분야 : 가시광 통신, Cognitive Radio, 전력선 통신>

최 병 곤(준회원)



- 2014년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 석사 과정
 <주관심분야 : 가시광 통신, 전력선통신, 위성통신, 전파신호처리>

김 용 원(준회원)



- 2004년 4월 ~ 2007년 5월 : 한국전자통신연구원 초고주파소자팀 연구원
- 2009년 7월 ~ 현재 : 충청지역사업평가관리원 New IT선도산업실 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자통신공학과 대학원(박사 과정)
 <주관심분야 : 가시광 통신, Cognitive Radio, 전력선 통신>

김 경 석(정회원)



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수
 <주관심분야 : SDR, Cognitive Radio, MIMO-OFDM, 전력선 통신, 가시광 통신, 디지털 라디오, 전파채널분석, 전파감시/관리시스템, 위성망 분석>