http://dx.doi.org/10.14400/JDC.2014.12.8.249

가시광 통신 환경에서 Multi code MC-CDMA를 통한 동일 채널 간섭 감쇄 기법

이규진*, 김귀정**
세명대학교 전자공학과*, 건양대학교 의공학부**

Co-channel Interference Reduction using Multi code MC-CDMA in Visual Light Communication System

Kyujin Lee*, Guijung Kim**
Semyung University, 579 Sinwoul-dong, Jecheon-city Chungbuk, 390-711, Republic of Korea*
Konyang University, 121 Deahak-ro Nonsan, Chungnam, 320-711, Republic of Korea**

요 약 본 논문에서는, Visible Light Communication(VLC) 시스템에서 다수의 LED 광 송신 환경에 따른 간섭 발생으로 인한 성능저하를 보상하여 QoS를 만족하는 방법에 대하여 연구하였다. 가시광 통신 기술은 LED를 이용하여 조명과 동시에 데이터 전송이 가능한 융합 기술이다. 제안 시스템은 다수의 LED를 사용하여 데이터를 전송하는 환경에서 발생하는 간섭을 줄이는 기법으로, 조명 인프라를 이용한 실내 환경에서 한 개의 LED가 아닌 다수의 광원이 존재할 때 각 LED들 간의 간섭이 발생하게 된다. 또한 다수의 광원과 수신기의 경로 차이로 인한 다중 경로 신호 성분들은 상호간의 간섭으로 작용하여 ISI와 CCI를 발생시켜 시스템 성능을 열화 시킨다. 이를 해결하기 위해 다수의 광원들 간의 간섭 현상과 이로 인한 성능 저하에 대해서 분석하고, VLC 하향링크에서 채널화 코드인 Walsh Code를 확산부호로 사용하여 ISI, CCI를 제거하고 전체 시스템의 QoS를 보장하는 방법을 연구하였다.

주제어 : 가시광통신, 심볼 간 간섭, 동일 채널 간섭, Multi code MC-CDMA

Abstract In this paper, we proposed to reduce the interference in the visible light Communication with multi-LEDs for improving the performance of BER and satisfied the QoS. LED is not only lighting device, but also transmitting device in the VLC. Our proposed system is aim to decrease the interference in the multi-LEDs. In addition, it occurred the ISI and CCI by transmitter to receiver different distance. To solve this problem, we proposed the multi-LEDs system using walsh code to reduce ISI and CCI. In addition, our proposed system is able to improve the performance of BER and satisfied the Qos to desire users.

Key Words : Visible Light Communication(VLC), LED, Inter-Symbol interference(ISI), Co-Channel Interference (CCI), Multi code MC-CDMA

1. 서론

최근 발광 다이오드 (LED)는 정보 기술과 녹색 기술 산업으로 주목 받고 있고, 관련 시장은 급속히 확대되고 있다. 가시 광 통신 (VLC) 시스템은 LED를 통해 조명 및 데이터 전송을 동시에 제공하는 융합 기술이다. 빛의 파

Received 13 May 2014, Revised 20 June 2014
Accepted 20 August 2014
Corresponding Author: Gui-Jung Kim(Konyang University)
Email: gjkim@konyang.ac.kr

ISSN: 1738-1916

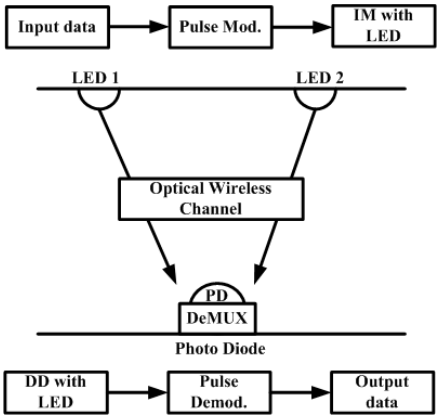
© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

장은 사람의 눈에 보이는 가시 광 영역(VIS:380~780nm), 또는 근적외선(NIR:700~2500nm)영역을 포함하는 빛을 이용하여 정보를 전송 및 교환하는 기술로 기존의 유선광섬유를 통한 광통신 기술과는 차별화 된다. 가시광통신은 빛을 이용하기 때문에 인체에 무해하며, 주파수 허가를 받을 필요가 없고, ISM (Industrial Scientific Medical band)대역과의 간섭도 없으며, 물리적으로 높은 보안 수준을 제공한다. 또한, 실내 환경에서 조명등을 사용함과 동시에 자유롭게 무선 네트워크를 자유롭게 구성할 수 있으며, 낮은 소비전력을 사용하여 친환경적인 유비쿼터스 무선 네트워크 구축이 가능하다[1-3]. 이러한 특징들로 인해 조명등 인프라를 활용하는 무선 통신 시스템에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

그러나 LED조명 인프라를 이용한 실내 환경은 다수의 광원을 사용하기 때문에, 각 LED들 간의 간섭이 발생하게 된다. 뿐 만 아니라, 다수의 광원과 수신기의 경로 차이로 인한 다중 경로 신호 성분들은 상호간의 간섭으로 작용하여 ISI와 CCI를 발생시켜 시스템 성능을 열화시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 수신 파워 차이를 이용한 Layered Interference Cancellation 기법이나, 시간 동기화를 통한 지연다이버시티 효과를 얻는 기법 등을 적용하여 간섭을 줄이는 다양한 방법들이 연구되고 있다[4-5]. 그러나 이러한 기법들을 적용하기 위해서는 정확한 채널추정이 필요하지만, 실제 시스템에서 정확한 채널 값을 계산하기 어려울 뿐만 아니라 계산 시간의 증가로 인하여 시스템의 성능을 저하 시킨다. 이 논문에서는 가시 광 통신 환경에서 Multi code MC-CDMA 기법을 통해 다수의 광원들 간의 간섭현상을 줄이는 기법에 대해서 제안하였다. 다중 경로가 존재하는 채널에서 수신 신호는 서로 다른 경로를 통과한 신호들이 더해진 형태로 표현할 수 있다. 이러한 다중 경로의 서로 다른 크기와 시간 지연은 복원 시 확산 수열의 크기와 위상의 변화를 가져와 확산 수열의 직교성을 왜곡시킨다. 따라서 한 개의 광원이 아닌 여러 광원과 다수의 유저들이 존재하는 환경에서 다수의 송신기로부터 나오는 광원은 수신단에서 ISI와 CCI를 발생 시킨다. 이로 인하여 가시광 통신 시스템의 성능 및 QoS 저하를 가져오게 된다. 이를 해결하기 위해 가시광 통신 시스템의 하향링크에서 Walsh Code를 확산부호로 사용하여 ISI, CCI를 제거하고 전체 시스템의 QoS를 보장하는 방법을 연구하였다.

2. 가시 광 통신 시스템

가시광 통신 시스템은 송신단인 광원 센서와 수신단인 수광 센서로 구성되어 있다. 가시광 통신 시스템을 구성함에 있어서 다음과 같은 특징을 고려해야 한다. 무선 광통신은 매우 높은 주파수로 인하여 경제적인 코히런트 시스템을 설계하는 것이 어렵다. 이러한 문제점으로 인하여 광원의 세기변조(Intensity Modulation : IM) 방식과 광검출 다이오드(Photodiode : PD)를 이용한 광원의 세기 직접 검출(Direct Detection : DD) 방식으로 신호를 변복조한다. IM/DD 방식은 논-코히런트 시스템으로서 유선 광통신 분야의 광원, 광 검출기, 변조기 등의 세부 기술들이 사용되고 있어 경제적이고 안정적인 시스템 구성이 가능하다[1-2].



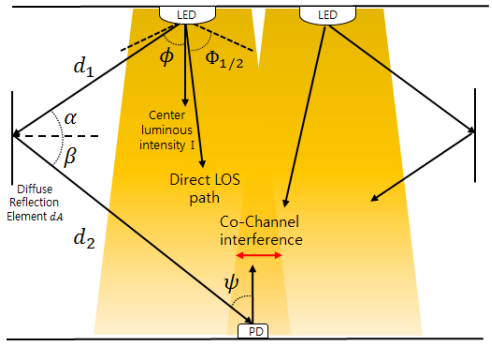
[Fig. 1] Visible Light Communication system structure

[Fig. 1]에서 가시 광 통신 시스템의 전체 구조도를 나타내었다. 가시 광 통신 시스템은 LED조명광원을 이용하여 정보를 송수신한다. 송신기는 정보신호를 전기신호에서 광신호로 변환하여 송신하게 되며 수신기에서는 PD를 통하여 정보가 실린 광원을 수신하여 전기신호로 변환하는 직접 변복조 방식을 사용하게 된다. LED에서 전기적 신호를 빛의 신호로 바꾸는 데에 걸리는 속도가 약 30ns에서 250ns 인데, 이렇게 빠른 on-off 스위칭을 통해 데이터 변조를 통한 데이터통신이 가능하다. 송수신기 간의 채널은 Air surface가 되며 신호원은 가시광원을 이용하게 된다[6].

3. 광 수신 효율 및 간섭 모델

3.1 LOS환경에서 광 수신 효율

가시 광 통신 시스템에서 송신기에서 수신기로 전달될 때 직사광에 의한 수신 신호와 반사광에 의한 수신 신호로 나뉠 수 있다. 여기에서 직사광에 의한 수신 신호는 LED 조명과 수신하는 PD 사이에 빛을 방해하는 장애물이 존재하지 않는 환경을 말한다. 반사광에 의한 수신 신호는 실내에 존재하는 벽 또는 창문, 테이블 등의 장애물에 빛이 반사되어 수신되는 환경을 말한다.



[Fig. 2] Propagation model with multiple LEDs

광 무선 채널 환경을 고려한 위와 같은 두 가지 수신 환경의 신호 세기는 다음과 같다.

직사광에 의한 수신 신호의 경우 LED 조명의 방사되는 평균 광 신호 세기는 아래와 같은 식으로 주어진다.

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

또한, 방사된 조명의 평균 수신된 광 신호 세기는 방사된 조명의 세기에 채널환경이 곱해진 것으로 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$P_r = H(0)P_t \tag{2}$$

광 무선 링크에서 채널 이득(Channel DC gain)은 $H(0)$이고 다음과 같이 정의 된다.

$$H(0) = \begin{cases} \dfrac{(m+1)A}{2\pi d^2} cos^m(\phi)\, T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), \\ \qquad 0 \le \psi \le \psi_c \\ 0, \\ \psi \le \psi_c \end{cases} \tag{3}$$

위 식에서 $T_s(\psi)$ 는 optical filter gain 이고 ψ_c는 수신 PD의 FOV(Field of View)이다. A는 PD에서 검출되는 물리적인 지역, d는 송수신기 사이의 거리를 나타낸다.

반사광에 따른 수신 광 신호 세기에 대한 환경의 경우 LED 조명의 방사되는 평균 광 신호 세기와 채널 이득은 직사광의 경우와 동일하다. 하지만 수신되는 광 신호 세기 경우는 직사광과 반사광의 신호 모두를 고려해야 하는 점이 직사광에 의한 수신 광 신호 세기와 다르다. 그러므로 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$P_r = \sum^{\le Ds} \left\{ P_t H_d(0) + \int P_t dH_{ref}(0) \right\} \tag{4}$$

광 무선 링크에서 첫 번째 반사에 따른 채널 이득(Channel DC gain)은 $dH_{ref}(0)$이고 다음과 같이 정의 된다[5].

$$dH_{ref}(0) = \begin{cases} \dfrac{(m+1)A}{2\pi^2 D_1^2 D_2^2} \rho dA cos^m(\phi) \\ \cos(\alpha)\cos(\beta)\, T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) \\ \qquad 0 \le \psi \le \psi_c, \\ 0, \\ \psi \ge \psi_c \end{cases} \tag{5}$$

위 식에서 D_1은 전송단과 수신단 사이의 거리를 나타내고 D_2는 수신단과 반사지점까지의 거리를 나타낸다. ρ는 반사계수, dA는 실내의 반사 지역, ϕ는 반사지점의 방사각, β는 수신단의 방사각, ψ는 입사각으로 정의 된다.

광 신호를 받는 어떤 지점에서도 조명은 방의 물체나 벽으로부터의 반사를 고려할 뿐만 아니라 LED로부터 직접 방사된 LOS(Line Of Sight)를 포함하고 있다. 이러한 LOS는 직사광 및 반사광과 같은 특성이 혼합되어 있는 형태를 가진다. 그리고 LOS에 따른 채널 응답 특성은 Dirac 분포에 의해 모델링 된다. 이러한 채널 주파수 응답을 광 파워 측면에서 지수함수식으로 표현한다면 다음과 같다.

$$H(f) = \sum_i \eta LOS,i^{\exp(-j2\pi f \Delta \tau_{LOS,i})} + \eta DIFF \frac{\exp(-j2\pi f \Delta \tau_{DIFF})}{1 + jf/f_0} \quad (6)$$

여기서 $\eta_{LOS,i}$, η_{DIFF}는 LOS와 diffuse signal 의 채널 이득을 나타내고, $\Delta\tau_{LOS}$, $\Delta\tau_{DIFF}$는 LOS 및 diffuse signal delay를 나타낸다.

LED 조명을 사용한 가시광 무선통신에서 광원에 의한 수신 신호는 위에서 살펴본 바와 같이 직사광과 반사광의 수신 지연 특성에 따라 각각의 다른 광 경로를 구성하게 된다. 그리고 이는 심볼 간 간섭현상을 발생시킨다. 따라서 각 LED 조명이 동시에 같은 신호를 전송하였을 때 발생하는 경로 차이를 고려해야 한다.[7-8].

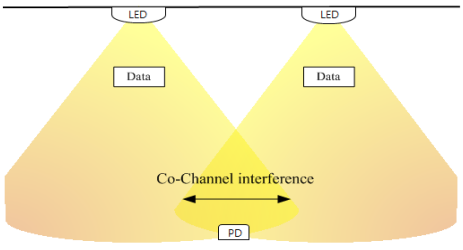
3.2 Co-Channel Interference

본 논문에서 우리는 여러 개의 LED 조명과 한 개의 수신기를 사용하도록 구성하였다. 그림 에서도 볼 수 있듯이, 여러 개의 LED 조명을 사용할 때, CCI가 LED 조명이 겹쳐지는 부분에서 발생이 된다.

K번째 LED의 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$R_k(t) = \gamma S_k(t) \otimes G_k(t) + N_k(t) \quad (7)$$

$R_k(t)$는 K번째 LED 조명의 수신된 신호이며, γ는 O/E 변환 계수이며, $S_k(t)$는 k번째 LED 조명으로부터 수신된 광학 신호이며, $G_k(t)$는 임펄스 응답이고, $N_k(t)$는 AWGN이며, $\otimes$ 컨벌루션 부호를 의미한다. 전체 수신된 신호 $R_{total}(t)$은 수신단에서 다음과 같이 표현된다.



[Fig. 3] Occurred CCI problem model

$$R_{total}(t) = \sum_{k=0}^{K-1} S_k(t) \otimes G_k(t) + N_k(t) \quad (8)$$

$R_{total}(t)$은 k번째 LED 조명으로부터 수신된 모든 $R_k(t)$신호의 합이다. 우리는 모든 신호를 $S_0, S_1, \cdots, S_{K-1}$ 로 검출 할 수 있다. S_k신호는 다른 K-1 신호들로 인해 간섭 신호로 고려할 수 있다. 또한 K가 증가 할 수 록 전체 간섭 신호는 증가하게 된다. 앞서 이야기 했듯이, 각각의 LED 조명의 수신 파워는 송수신기 사이 거리에 제곱 반비례 한다. 그리고 간섭의 크기는 각각의 LED 조명의 겹쳐지는 범위에 따라서 결정되며, 그것을 DUR(Desired to Undesired signal power Ratio) 이라 정의한다.

DUR은 다음과 같이 표현 된다.

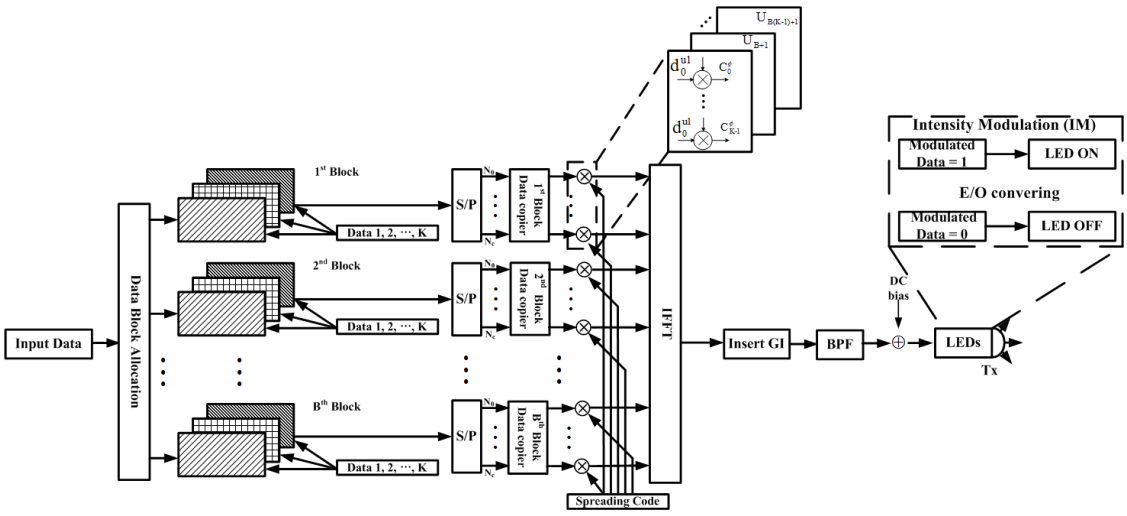
$$DUR[dB] = 10\log\left(\frac{P_{desired}}{\sum_{k=0, k\neq desired}^{K-1} P_k}\right) \quad (9)$$

P_k는 k번째 LED의 수신 전력이다. DUR은 각 LED 조명 파장의 수신된 전력에 따라 다르게 나타낸다. DUR의 값이 감소하게 되면, 인접하는 LED 조명들의 간섭은 증가하게 된다. 따라서 시스템의 성능이 감소하게 된다[9].

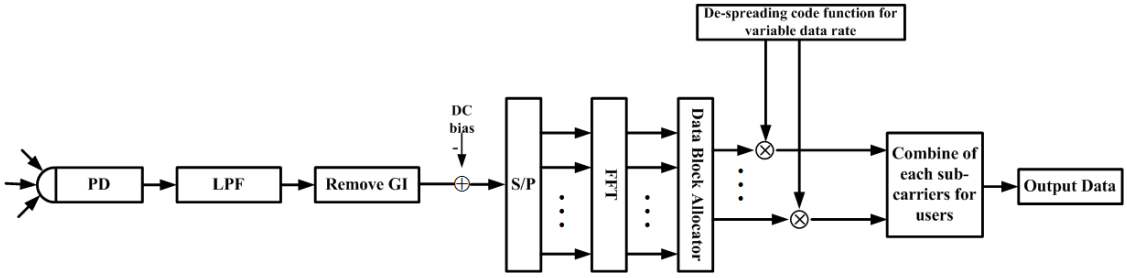
4. VLC Multi-code MC-CDMA System

제안하는 시스템의 송신기 도식을 Fig.4에 나타내었다. 이 시스템에서, multi code MC-CDMA 데이터 프레임은 [Fig. 4]에 나타난 B개의 데이터 블록으로 나누어진다. 그리고 블록들은 b=(0,1,...,B-1)로 나타낸다. 사용자의 이진 데이터는 QPSK 그레이 코드로 맵핑되고, K*K Walsh-Hadamard 코드에 의해서 확산된다.

데이터 심볼은 확산 코드를 사용하여 다중화 할 수 있으며, 통신 채널의 성능 및 요구 데이터율에 따라서 최대 K 개의 데이터 심벌을 K 코드로 확산하여 가변적으로 다중화하여 전송한다. 각 전송단에서 데이터 순차는 S/P 변환을 통하여 N개의 심볼로 변환된다. 변조된 심볼은 IFFT에 의해 N개의 부반송파로 변환되고 ISI와 ICI를 줄



[Fig. 4] Transmitter of proposed system



[Fig. 5] Receiver of proposed system

이기 위해서 GI가 삽입되어 전송된다. 이러한 신호들은 O/E(optical to electrical) 변조에 의해 광 변조되어 송신된다.

수신된 신호는 수신단에서 송신단에서의 과정이 역순으로 전개된다. PD를 통해 수신된 신호는 LPF를 통과하여, ISI와 ICI를 제거하기위해 사용되었던 GI를 제거하고 FFT 연산을 수행한다. FFT를 통과한 신호는 등화기 과정과 디매핑 과정을 겪고 병/직렬 변환기를 거쳐 본래의 신호로 복원한다. 이 과정 후에, orthogonal 확산 코드를 사용하여 확산되어 원하는 신호로 추출된다. 이러한 전송 시스템을 통하여, 각 유저에게 다양한 data rate를 제공하고, orthogonal multi-code 확산을 통한 co-channel interference 감소 및 코드 확산을 통한 다이버시티 이득을 얻음으로써 간섭에 대한 성능 저하를 방지한다.

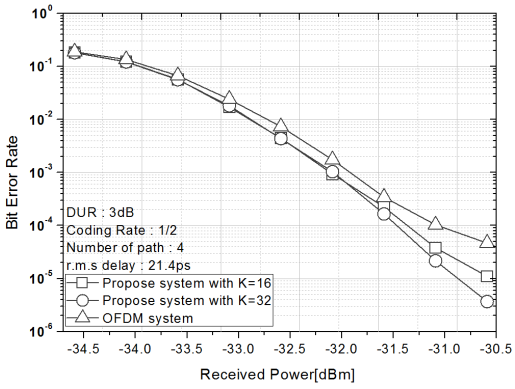
5. 시뮬레이션 파라미터 및 결과

<Table 1>은 시뮬레이션에 필요한 매개 변수를 나타낸 것이다. 광원에 관한 변조 기법은 IM-DD 기법을 사용하고 잡음 모델은 실내에서 가시 광 통신 시스템을 사용하기 때문에 AWGN 모델을 사용하였다.

[Fig. 6] 은 제안 시스템과 OFDM의 수신전력에 따른 BER 성능을 비교한 시뮬레이션 결과이다. 제안 시스템은 OFDM 시스템 보다 낮은 수신 전력에서는 비슷한 성능을 보이지만 수신 전력이 증가할 수 록 성능이 향상 되는 것을 확인 할 수 있다. 그 이유는 제안시스템의 경우 데이터의 확산을 통하여 신호를 전송함으로써 간섭의 영향을 줄일 뿐 아니라 다이버시티 이득을 얻기 때문이다.

〈Table 1〉 Simulation parameter

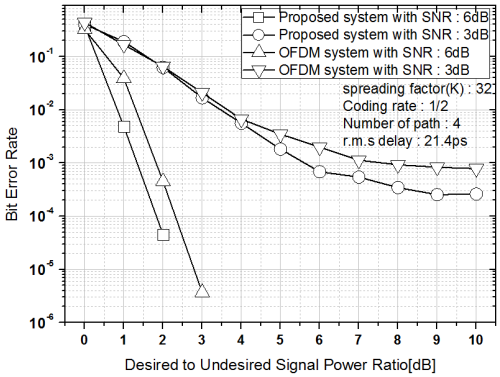
Number of LED light	2
Number of Subcarrier	128
FFT/IFFT Point	128
Number of data symbol in one frame	64
Number of pilot symbol	4
Guard Interval	25% compared to symbol duration
Primary modulation	OFDM-QPSK
Modulation Scheme	IM-DD
Symbol rate	400 Mbps
Optical channel	Directed LOS path (only AWGN channel)
Number of multipath	4
FEC	Convolutional R=1/2
Background light noise	0 dBm
O/E convert efficiency	0.53[A/W]
Combining scheme	FDE-EGC



[Fig. 6] The BER performance of proposed system and OFDM system according to received power

또한, 확산 계수 K=16일 때 보다 K=32일 때 낮은 수신전력에서는 코드간 간섭이 발생하여 성능이 비슷하지만, 수신전력이 증가할수록 코드간 간섭에 비하여 다이버시티 이득이 증가하여 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다.

[Fig. 7]은 제안 시스템과 OFDM 시스템의 DUR에 따른 BER 성능을 비교한 시뮬레이션 결과이다. 두 시스템 모두 DUR이 증가할수록 성능이 향상 되는 것을 볼 수 있다. 이것은 DUR이 증가할수록 간섭신호 대비 희망신호의 수신 전력이 증가하여 간섭에 대한 영향이 줄어 들이 때문이다. 또한, 제안 시스템의 경우 데이터 신호의 코드확산을 통하여 OFDM 시스템에 비하여 동일 채널 간섭에 영향을 덜 받게 될 뿐만 아니라 역 확산 후에 다이버시티 이득의 획득을 통아여 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다.



[Fig. 7] The BER performance of proposed system and OFDM system according to DUR

6. 결론

본 논문에서는 가시광 통신 시스템에서 다수의 LED 광 송신 환경에 간섭 제어 기법에 대해서 연구하였다. 다수의 송신기로부터 나오는 광원은 수신단에서 ISI와 CCI를 발생 시키고 시스템의 QoS저하를 가져오게 된다. 이를 해결하기 위해 가시광 통신 하향링크에서 채널화 코드인 Walsh Code를 확산부호로 사용하여 ISI, CCI를 줄이는 VLC Multi code MC/CDMA 기법을 제안 하였다.

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이, 각 유저에게 확산코드를 사용하여 전송하고, 코드확산을 통해 다이버시티 이득을 얻음으로써 기존의 시스템보다 성능이 향상됨을 알 수 있다. 따라서 제안 기법을 통해 다수의 LED 광원들로 부터의 간섭이 줄어들어 전송 효율이 증가되고, QoS를 만족하는 서비스를 제공 할 수 있다.

REFERENCES

[1] Kyu-Jin Lee, Hyo-Duck Seo, Doo-Hee Han, Kye-san Lee, Improving the QoS using the

Modulation and Coding Selection scheme by temperature characteristic of LED in the LED-ID system, Applied ITS, Vol. 12, No. 1, pp. 66-74, 2013.

[2] Y.Tanaka, T.Komine, S.Haruyama, M. Nakagawa, "Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights", IEICE TRANS. COMMUN, Vol.E86B, No.8, pp.2440-2454, 2003.

[3] Jae Hyuck Choi, Jin Young Kim, Performance of LED-ID System for Home Networking Applicaion, Applied IIBC, Vol. 10, No. 1, pp.169-176, 2010.

[4] Kyun Tak Kim, An Iterative Layered Interference Cancellation Approach for Improving the Performance of BER in VLC-OFDM system, MS. dissertation, Kyung Hee University. 2013.

[5] Hyo Duck Seo, Performance Evaluation of the Time Synchronization Delay Diversity in Indoor Optical OFDM system using LEDs, MS. dissertation, Kyung Hee University. 2013.

[6] Jae-Hyuck Choi, Yoon-Hyun Kim, Jin-Young Kim, Performance Analysis of LED-ID Communication Systems In an Indoor Environment, Applied ITS, Vol. 9, No. 4. pp.43-51, 2010.

[7] J ae-Sang Cha, J in-Young Kim, Yeong-Min J ang, Jong-Tae Kim, Kyong-Gun Lee, Kyung-Hwan Moon, A Study of applying Method of Unipolar -ZCD Spr eading Code for LED-ID in Inter ference Environment, Applied IIBC, Vol. 10, No. 6, pp.275-280, 2010.

[8] In Hwan Park, Yoon Hyun Kim, Jaesang Cha,Kyesan Lee, Yeong Min Jang and Jin Young Kim, Scalable optical relay for LED-ID system, 2010 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), pp.415-420, 2010.

[9] N. Cvijetic, Stephen G. Wilson, R. Zarubica, Performance Evaluation of a Novel Converged Architecture for Digital-Video Transmission Over Optical Wireless Channels, Journal Of Lightwave Technology, Vol.25, No.11, pp.3366-3373, Nov. 2007.

이 규 진(Lee, Kyu-Jin)

- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과(공학사)
- 2007년 2월 : 경희대학교 전파통신공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 경희대학교 전자·전파공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 경희대학교 전자·전파공학과 학술연구교수
- 2013년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수
- 관심분야 : OFDM, MC-CDMA, VLC, MIMO
- E-Mail : kyujin@semyung.ac.kr

김 귀 정(Kim, Gui-Jung)

- 1994년 2월 : 한남대학교 전자계산공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 한남대학교 전자계산공학과(공학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 전자계산공학과(공학박사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 건양대학교 의공학부 교수
- 관심분야 : HIS, 3D e-learning, CRM
- E-Mail : gjkim@konyang.ac.kr