

# 가시광 통신 시스템에서의 Flicker 방지 및 밝기 조절을 위한 새로운 라인코딩 기법의 성능

황유민, 김윤현, 김진영

## Performance of Novel Line Coding Scheme for Flicker-Free and Dimming Control in Visible Light Communication Systems

Yu Min Hwang, Yoon Hyun Kim, and, Jin Young Kim

### 요 약

LED 기반 가시광 통신 시스템은 RF통신과 달리 인체에 무해하며, 주파수 허가를 받을 필요가 없고, 보안 특성이 우수하며, 넓은 가시광 대역을 사용할 수 있는 시스템이다. 하지만 LED 발광을 조명과 광 데이터 전송으로 동시에 사용하기 위해 깜박거림 방지와 밝기 조절 기능의 구현이 요구되는데 이때 code rate의 열화가 발생한다. 따라서 고속 멀티미디어 데이터 전송을 위해 본 논문에서 가시광 통신 시스템에서 적용 가능한 line coding 기법 Symbolic-PPM(Pulse Position Modulation)을 제안하고 기존의 VPPM(Variable Pulse Position Modulation) 기법과 비교하여 깜박거림 방지 및 밝기 조절 기능을 구현 한 상태에서 고속 데이터 전송을 위한 전송 효율 증가 효과를 모의실험을 통하여 검증하였다.

**Key Words** : Visible light communication, LED, Line coding, flicker, VPPM

### ABSTRACT

Visible light communication(VLC) system based on LED devices has some specific advantages compared with RF system. First, visible light is harmless to human and there is no limit to using frequency band. Also, VLC system has good security performance, and it can use the very wide frequency band for data transmission. However, for simultaneously using the illumination and data transmission in VLC systems, degradation of code rate is occurred. So, in this paper, we proposed the novel line coding scheme for flicker free and efficient dimming control in VLC systems. From the simulation results, it is confirmed that proposed scheme has good flicker, dimming, and transmission performance compared to conventional variable pulse position modulation(VPPM) scheme.

## I. 서 론

가시광 통신 시스템은 가시광 스펙트럼 대역 380nm부터 780nm를 사용하는 근거리 무선 통신이다. 가시광 통신 시스템은 LED(Light Emitting Diodes)나 laser diode를 이용하여 인간의 눈이 감지할 수 있는 깜박거림 속도보다 빠르게 광원의 광도 변조를 통하여 광 데이터를 전송한다[1]. 최근 진보된 고속의 nanosecond 스위칭 타임의 구현과 에너지 효율을 높인 LED의 개발로 인하여 가시광 통신의 관심이 높아지고 있다. 전통적인 6GHz 미만의 RF(Radio Frequency)통신은 고속 데이터 전송에 있어서 자원이 급격히 고갈되고 있다[1].

가시광 통신에서 300THz이상의 대역폭을 사용할 수 있는 점에서 볼 때 multi gigabit per second 데이터율 제공이 근거리에서 구현 가능하다. 예를 들면 multiple input multiple output (MIMO)로서 배열 LED의 구현으로 가능하다. 또한 전력의 높은 소비와 값비싼 RF 솔루션과 비교할 때 gigabit per second 데이터율이 단일 LED와 photodetector(PD)만으로도 가시광 통신에서 가능하다.

이러한 가시광 통신의 스펙트럼에서 해결해야 될 주된 두 가지 포인트는 flicker 완화와 밝기 조절이다. 깜박거림은 광원의 광 세기가 파동을 그리는 것을 말한다. 통신을 위해 변조된 신호의 어떤 flicker든지 완화가 필요한데, 이는 인간에

※ 본 연구는 MKE/KEIT의 IT R&D 프로그램의 지원으로 만들어진 결과임(10035362, Development of Home Network Tech. based on LED-ID)

\*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스시스템연구실 (yumin@kw.ac.kr, ultrayh1873@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2012년 11월 7일, 수정완료일자 : 2012년 11월 12일, 최종 게재확정일자 : 2012년 12월 3일

게 유해하기 때문이다. flicker를 피하기 위해선 광원의 깜박임의 주기가 maximum flickering time period (MFTP)이하로 설정되어야 한다. MFTP는 인간의 눈으로 깜박임을 인지할 수 없는 광 세기 변화의 최대 주기로 정의된다. 널리 수렴되고 알려진 flicker frequency값이 없지만, 보통 200Hz(MFTP < 5ms)이면 안전하다고 여겨진다. 그러므로 가시광 통신 시스템에서 변조 과정은 data frame내에서 또는 data frame간 모두 사람이 인지할 수 없는 flicker가 구현되어야 한다.

밝기 조절 기능도 가시광 통신시스템에서 전력절약과 에너지 효율면에서 지원되어야 하는 중요한 요소이다. 광원의 밝기 조절이 사용자가 임의로 조절할 수 있어야 한다. 인간의 눈은 약빛에도 동공의 확장을 이용해서 반응하기 때문이다. 하지만 이러한 결과로 감지된 광도와 측정된 광도의 차이가 발생한다.

$$\text{Perceived light}(\%) = 100 \times \sqrt{\frac{\text{Measured light}(\%)}{100}} \quad (1)$$

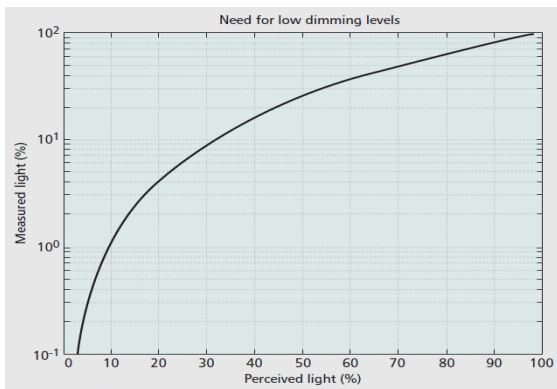


그림 1. 인간의 눈으로 빛을 감지한 광도와 측정된 광도의 비선형성 그래프.

그림 1에서 보는바와 같이 광도가 10%로 측정된 LED는 사람이 감지했을 때 광도가 32%라는 것을 알 수 있다. 그러므로 가시광 통신 시스템은 밝기 조절기능이 측정값으로 0.1 ~ 100%까지 광범위 하게 조절 가능하여야 한다[2].

가시광 통신 시스템은 전 세계적으로 대학교나 영리 기관 등 다양한 기관에서 연구하고 있는데, 2007년 Japan Electronics와 Information Technology Industries Association's (JEITA)에서 "visible light ID system"에 대한 표준을 설립했고 2008년 Visible Light Communications Consortium (VLCC)에서 가시광 통신 시스템의 구체적인 표준안을 도입하였다. 이러한 표준안은 IEEE 802.15.7로 집약되었고 IEEE에서 multiple diverse topology와 11.67kb/s부터 96Mb/s까지 실내의 환경에서 적용 가능한 가시광 통신 시스템 표준안을 설립하였다.

따라서 본 논문에서는 IEEE 802.15.7에서 이용 가능한 라인 코딩 기법을 소개하고 기법 중 dimming 조절과 flicker

완화의 기능을 갖추었지만 dimming 조절에 있어서 clock rate증폭이 필수 불가결한 단점이 있는 VPPM에 대하여 clock rate를 고정시키고 dimming 조절과 flicker 완화를 trade-off관계에 놓게 함으로서 적당한 dimming 조절 기능 탑재와 flicker 완화를 달성하고 전송속도를 극대화 시킬 수 있는 symbolic-PPM 라인 코딩 기법을 제안하도록 하겠다.

## II. 라인 코딩

표 1. LED 조명을 이용한 가시광 무선통신 요구사항

플리커(깜박거림) 방지
조명의 밝기 조절
조명의 최대 밝기 제공
LED 광원의 보호
조명의 색 변이 방지

인간의 눈이 물체에서 반사된 빛을 통해 사물을 인지할 수 있도록 빛을 방사한다는 의미에서 LED 조명의 범위는 매우 포괄적일 수 있지만, 본 연구에서 의미하는 LED 조명은 우선 일상적인 실내 생활에 필요한 조도를 확보하기 위해 크게 되는 실내조명으로 한정하기로 한다.

일반적으로 LED 광원을 이용한 조명 기기들은 LED 조명의 밝기 조절과 다양한 색상 구현에 필요한 제어 신호 및 필요 전원을 안정적으로 공급받기 위해 LED 드라이버라고 하는 구동 회로를 갖고 있으며, 가시광 무선통신을 위한 통신 신호가 LED 조명에 인가되면 세기 변조된 빛이 LED 조명으로부터 방사된다. 결국 LED 조명을 이용하여 가시광 무선통신 환경을 구성할 때 조명 기능을 위해 설치되는 LED 조명은 가시광 무선통신용 송신기로서의 기능도 함께 수행하는데, 이 때 송신기로서의 기능 수행도 중요하겠지만 더욱 중요한 것은 조명으로서의 기본 기능과 LED 조명의 장점을 훼손하지 않아야 한다는 점이다[3].

가시광 무선통신 기능 부과에 따라 LED 조명 특성과 LED 조명의 장점들이 훼손되는 것을 방지하기 위한 요구사항들은 <표 1>와 같다. 먼저 <표 1>에서 플리커(깜박거림)란 인간의 눈이 감지할 수 있는 광원의 밝기 변화를 말하는데, 가시광 무선통신이 결합되어 세기 변조된 빛을 방사하는 LED 조명에서는 이러한 플리커 현상이 나타날 수 있다. 그러나 플리커 현상은 인체의 눈에 직접적으로 해로울 뿐만 아니라 정신적 손상도 일으킬 수 있으므로 플리커 방지는 반드시 충족되어야 하는 조명의 기본 기능이다. 다음으로 위에서 언급한 요소들의 충족을 위해 라인 코딩 기법 중 NRZ-OOK, RZ-OOK, PPM, I-PPM, Manchester-OOK, PWM 그리고 VPPM에 대해서 논하겠다.

### 2.1 NRZ-OOK

NRZ-OOK(Non Return to Zero - On Off Keying)란 1 또는 0을 나타내는 하나의 펄스파형 시간간격을 하나의 주기와 같게한 부호화 방식(선로부호)을 말한다. OOK는 반송파를 1(On)과 0(Off)하여 정보를 전송하는 Binary ASK 변조 방식을 말한다. NRZ-OOK는 통상 수신측에서 신호의 전이가 일어나는 순간에 동기를 취하게 되므로 수신 동기에 유리하다. 또한 전송 대역폭이 RZ(Return to Zero) 방식의 1/2만 소요된다.

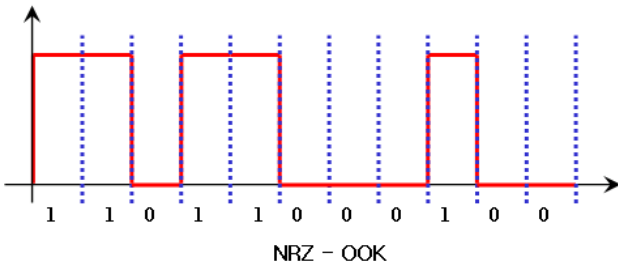


그림 2. NRZ-OOK의 예

### 2.2 RZ-OOK

RZ-OOK(Return to Zero - On Off Keying)는 amplitude-shift keying (ASK) 변조 방식중 하나의 예라고 볼 수 있다. “1” 과 “0” 을 LED 발광의 “on” 과 “off” 상태로 표현하는데 “1” 비트표현에서 0으로 돌아온다는 점이 NRZ-OOK와 다르다. 이러한 Return to Zero방식의 라인 코딩은 플리커 제거 효과가 있지만 밝기 조절에서 어려움이 있다.

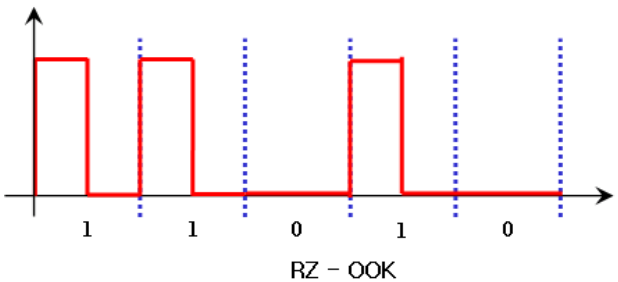


그림 3. RZ-OOK의 예

### 2.3 PPM

PPM (Pulse Position Modulation)은 M개의 메시지 비트들이 시간 변이에 따라  $2^M$ 개만큼 존재하는 단일 펄스로 코딩되는 변조기법이다. PPM은 플리커 제거에 효과적이지만 밝기 조절기능은 구현하기 어렵다.

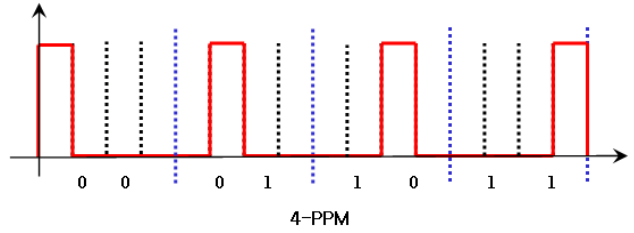


그림 4. PPM의 예

### 2.4 I - PPM

I - PPM (Inverse - PPM)은 M개의 메시지 비트들이 시간 변이에 따라  $2^M$ 개만큼 존재하는 단일 펄스로 코딩되는 변조기법으로 PPM과 같지만, 변조된 펄스들을 inverse시켜 심볼리하는 것으로 PPM과는 다르다. 마찬가지로 플리커 제거에 효과적이지만 밝기 조절이 어렵다.

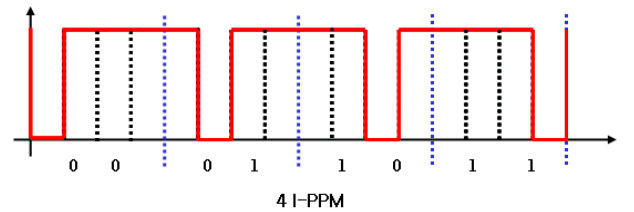


그림 5. I - PPM의 예

### 2.5 PWM

PWM(Pulse Width Modulation)은 LED 조명기능으로만 고려할 때 널리 쓰이는 변조기법이다. PWM을 적용하므로써 기본적으로 flicker를 제거할 수 있고 밝기조절과 최대밝기 제공이 가능하다. 하지만 가시광 통신에 적용하여 광 데이터 전송과 조명기능을 동시에 구현함에 있어서 flicker제거와 밝기조절, 최대밝기 제공기능을 얻을 수 없다.

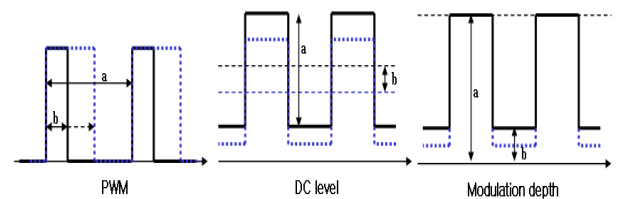


그림 6. PWM의 예

### 2.6 VPPM

VPPM(Variable PPM)은 세 가지 주요 기능의 제공이 가능하다. : 플리커 방지, 밝기 조절, 최대밝기 제공. VPPM의 기본 개념은 PWM과 2-PPM의 조합이다. 2-PPM(Pulse Position Modulation)은 플리커 방지에 효과적이고 PWM(Pulse Width Modulation)은 duty cycle 조절을 이용하여 밝기 조절 기능을 구현할 수 있다. VPPM은 VPM의 duty가 50%일 때 2-PPM과 동일하다[4-6].

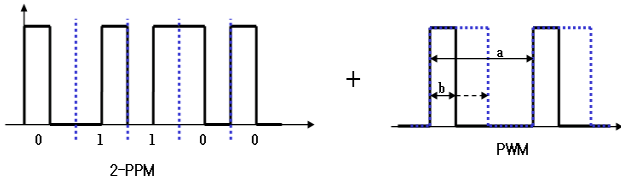


그림 7. Variable PPM의 기본 개념

만약 그림 9와 같이 75% duty를 갖는 파형을 만들었을 때, 이 파형은 플리커를 방지할 수 있을 뿐만 아니라 duty가 50%일 때보다 강한 밝기를 제공 한다.

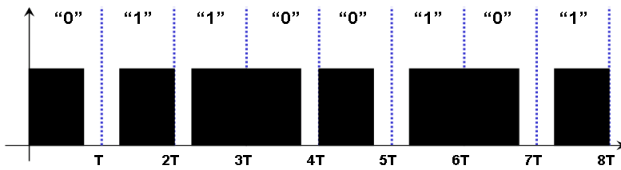


그림 8. 75% duty를 갖는 VPPM의 예

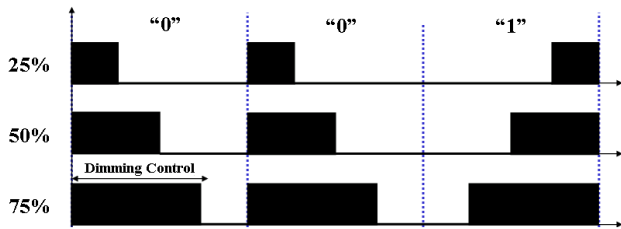


그림 9. VPPM 신호를 이용한 Dimming Control의 예

VPPM은 그림 10과같이 깜박거림 방지, 밝기 조절 그리고 최대 밝기 제공 세 가지 요소를 충족시키지만 밝기 조절에 있어서 clock rate를 두 배 또는 세 배로 증폭했을 때 가능하다. 따라서 VPPM에서 colck rate증가는 밝기 조절과 data rate와 trade-off 관계에 놓여있기 때문에 이를 개선한 라인 코딩 기법이 요구된다.

### Ⅲ. 제안 모델

#### 3. Symbolic-PPM

그림 11, 12, 13은 본 논문에서 제안한 Symbolic-PPM (Pulse Position Modulation)이다. Symbolic-PPM을 이용하여 각 가시성 25%, 50%, 75%에 대해서 dimming control을 구현하였다. 제안한 Symbolic-PPM은 2주기 당 1symbol을 갖고 1symbol 당 2bits를 포함하게 하여 결론적으로 1bit/period 를 갖게하였다. 따라서 dimming control을 위해 clock rate 증가가 필요한 VPPM에 비교하면 Symbolic-PPM은 clock rate의 증가없이 그림 11, 12, 13과같이 dimming control을 구현하였다. VLC에서 clock rate는 data rate를 결정하는 주요한 파라미터임을 고려한다면 광 데이터의 고속 전송 구현과 전송효율 증대면에서 VPPM보다 좋다고 할 수

있다. 또한 Symbolic-PPM은 flicker 방지 기능을 갖추고 있다. Flicker를 피하기 위해서는 밝기의 변화 주기가 maximum flickering time period(MFTP) 이하로 설정되어야 한다. MFTP는 광도의 변화가 인간의 눈이 감지할 수 없는 주기로 정의하고 있는 파라미터로서 일반적으로 200Hz (MFTP < 5ms)이상일 때 사람의 눈이 광원의 밝기 변화를 감지할 수 없어 사람의 눈에 유해하지 않다. 따라서 제시한 Symbolic-PPM은 그림 1에서 가시성이 25%일 때 심볼들의 나열 중 최대 3주기 동안 “off” 상태를 가질 수 있는데, MFTP를 고려하여 clock rate를 600이상으로만 한다면 충분히 flicker 방지가 가능하다.

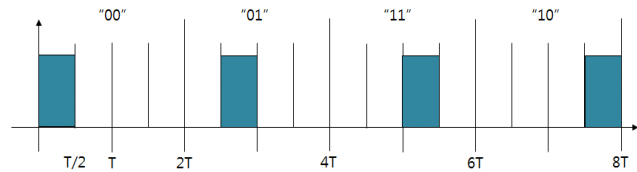


그림 10. Symbolic-PPM 신호를 이용한 Dimming Control의 예 - 가시성 25%

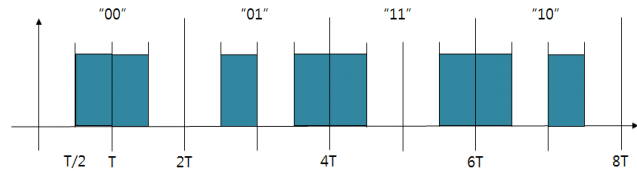


그림 11. Symbolic-PPM 신호를 이용한 Dimming Control의 예 - 가시성 50%

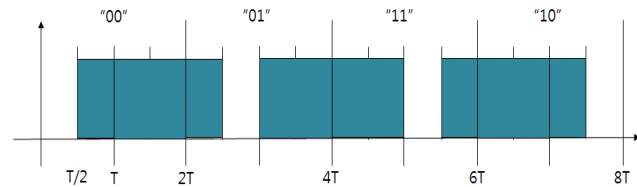


그림 12. Symbolic-PPM 신호를 이용한 Dimming Control의 예 - 가시성 75%

표 2. SIMULATION PARAMETERS.

Semiangle at half power	60.0[deg.]
FOV of a terminal	74.0[deg.]
Optical Power of each light	15.0[dBm]
Index of optical concentrator	1.5
Physical area of a PD	1.0[cm <sup>2</sup> ]
Primary modulation	VPPM-OOK SPPM-OOK
LED Capacity	100
Optical Receiver Location (x)	3[m]
O/E conv. efficiency	0.53[A/W]
Optical channel	Directed LOS path (only AWGN channel)
Background light noise (assumed to be an AWGN)	0.0[dBm] (1.0[mW])
O/E conversion efficiency	0.53

#### IV. 모의실험

그림 13, 14, 15는 dimming control을 위해 VPPM과 SPPM(Symbolic-PPM)에 대해서 밝기가 각각 75%, 50%, 25%일 때 bit error rate 성능을 표 2에 준하여 시뮬레이션 한 것이다. 가시광 통신에서 라인 코딩 기법 VPPM은 dimming control 구현을 위해 그림 9와같이 clock rate를 2 배 또는 4배로 하였을 때 가능하다. 즉 세밀한 밝기 조절을 구현하려면 code rate가 낮아지게 된다. 하지만 clock rate를 증가 시켜도 data rate는 증가하지 않아 dimming control과 clock rate를 trade-off 관계가 단점이라고 할 수 있다. 따라서 그림 13, 14, 15와 같이 밝기를 75%, 50%, 25%로 조절했을 때 clock rate를 증가시키지 않고 dimming control이 가능한 SPPM을 제안하였는데, SPPM은 flickering control과 dimming control을 trade-off 관계에 놓은 것이다. 따라서 clock rate를 증가하면 data rate도 증가 할 뿐만 아니라 MFTP를 고려하여 clock rate를 일정 값 이상으로 설정한다면 flickering-free상태도 구현 할 수 있다. 마찬가지로, 그림 13, 15에서 밝기가 75%, 25%일 때 VPPM에 비해 SPPM이 BER  $10^{-3}$ 에서 3dB 이득을 얻는 것을 볼 수 있는데, 이는 SPPM이 VPPM에 비교할 때 clock rate를 증가 시키지 않고 dimming control을 구현했기 때문이다. 그림 14는 제안한 시스템의 성능과 기존의 것이 차이가 없는데, 밝기 50%를 구현하는데 있어서 두 시스템의 clock rate가 같고 code rate도 한 같기 때문이다. 하지만 그림 13, 15에서 나타내듯이 세밀한 밝기조절 시 제안한 시스템에서 이득이 발생한다.

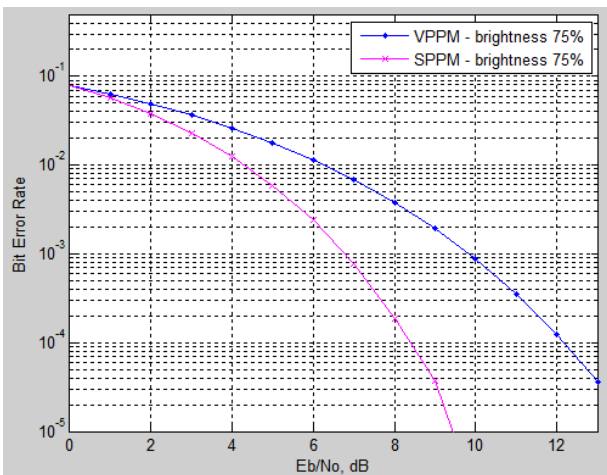


그림 13. 밝기가 75%일 때 VPPM과 SPPM의 BER performance

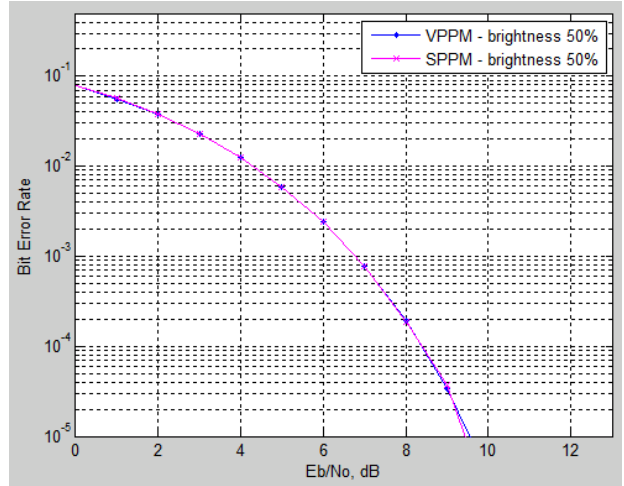


그림 14. 밝기가 50%일 때 VPPM과 SPPM의 BER performance

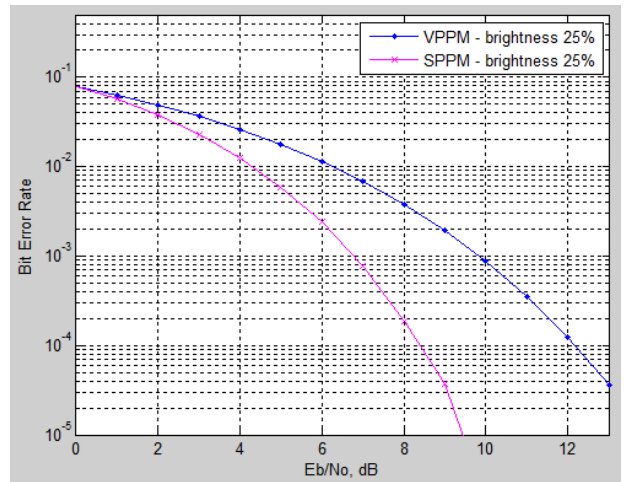


그림 15. 밝기가 25%일 때 VPPM과 SPPM의 BER performance

#### V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 가시광 통신에서 LED 발광을 조명과 고속 광 데이터 전송의 매체로 동시에 활용하기 위해 전송 효율을 개선한 라인 코딩 기법 Symbolic-PPM을 제안하였다. Symbolic-PPM은 가시광 통신에서 적용 가능한 여러 가지 라인 코딩 기법 중 VPPM에 대한 단점을 보완하여 깜박거림 방지와 밝기 조절 기능을 구현할 수 있을 뿐만 아니라 전송 효율을 증가시킬 수 있다. VPPM과 비교할 때, Symbolic-PPM은 code rate를 1로 고정시켜 code rate 감소 없이 dimming control을 구현하게 되므로 고속 데이터 전송 구현 시 매우 유용하다. 다시 말하면 flickering control과 dimming control을 trade-off 관계에 놓게 함으로서 가능해진 것인데, 만약 세밀한 dimming control을 위해서 flickering control에 실패 할 수 있지만 MFTP를 고려하여 clock rate를 설정한다면 flickering-free상태 구현이 충분히 가능하다.

### 참 고 문 헌

[1] J. Y. Kim, LED Visible Light Communication Systems, Hongreung Science Publishers, Seoul, Korea, 2009.

[2] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, Feb. 2004, pp. 100 - 07.

[3] L. Zeng et al., "High Data Rate Multiple Input Multiple Output (MIMO) Optical Wireless Communications Using White LED Lighting," *IEEE JSAC*, vol. 27, no. 9, Dec. 2009, pp. 1654 - 62.

[4] S. Rajagopal, R.D.Roberts, S.K.Lim, "IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support," *IEEE Comm Magazine*. Mar. 2012

[5] Rick Roberts, "VLC frame flicker", IEEE 802.15.7, IEEE 802.15-09-0297-00-0007.

[6] S. Berman et al., "Human Electroretinogram Responses to Video Displays, Fluorescent Lighting and Other High Frequency Sources," *Optometry and Vision Science*, vol. 68, 1991, pp. 645 - 62.

### 김 진 영(Jin Young Kim)

### 종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자 융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신

### 저자

### 황 유 민(Yu Min Hwang)

### 준회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> : VLC, 재난 통신, 디지털통신

### 김 윤 현(Yoon Hyun Kim)

### 정회원



- 2006년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2008년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사
- 2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신