

LED 실외조명을 이용한 교통정보 시스템

Intelligent Transport Systems Using LED Road Illumination

최재혁 김진영

광운대학교

Key Words : Visible light communication, Traffic information system, Light Emitting Diode.

목 차

I. 서론	III. LED 실외 조명
II. 가시광 통신	1. LED Road Illumination Design
1. Modulation Scheme	2. System Model
2. Channel DC gain	3. OFDM
3. Receiver SNR	IV. 실험 결과
	V. 결론

I. 서론

차량 정보와 통신 시스템이 1996년 이후부터 실용적으로 사용되어왔다. 최근 교통체계의 효율적인 운용을 위하여 지능형 교통시스템인 ITS (Intelligent Transport Systems)가 주목을 받고 있다. 기존의 도로 교통 정보 시스템은 길가 표지판에 교통 체증 정보, 교통 메시지를 주로 사용하였으나 작은 양의 정보를 전송하므로 효율성이 떨어졌다. 이를 대체하기 위한 방법으로 교통 정보 시스템에서 가시광 통신은 교통 통제, 교통 체증, 건설, 규제 등 정보 제공을 위해 광학 검출을 사용하고 최근의 발광 다이오드의 개발로 Light Emitting Diode (LED)기반의 실외조명에 사용되어 조명되고 있다. 가시광통신이란 우리 주위에 흔하게 존재하는 눈에 보이는 빛(가시광)을 사용하여 통신을 하는 최신 통신기술이다. 최근에 들어 실 내 통신 시스템 필요성의 증가와 LEDs (Light Emitting Diode Technologies)의 개선을 통해 가시광 통신 시스템에 관심이 높아지고 있다. 고휘도의 LED를 사용하는 기기가 비약적으로 증가하고 있고, 가시광 통신의 발신 장치로 이용할 수 있는 조명기기가 도심에서 급속하게 정비되고 있기 때문이다. 가시광 통신의 보급은 발광소자의 성능에 크게 의존하며, 휘도가 높을수록 용도가 넓어질 수 있다 [1]. 가시광통신은 3가지 형태로 생각할 수 있는데 그 첫째가 전광 표시판이나 디스플레이와 같이 표시기거나 조명기기를 이용해서 통신하는 유비쿼터스 가시광통신, 둘째로 교통신호기나 자동차 점등에 사용하는 LED를 이용해서 고속으로 통신기능을 갖도록 한 ITS가시광통신, 셋째로 옥 내외의 조명기기를 송신기기로 사용하는 조명광통신을 들 수 있다. 수명이 긴 LED는 반도체

발광 소자를 이용한 가시광 통신은 광의전력효율, 밝기, 수명 등의 관점에서 조명으로 채택되고 이를 이용한 조명등에 조명제어를 고속으로 하여 대량의 정보를 이용자에게 전달하는 통신이 적용되어진다. 조명등에 LED와 LD등의 반도체 발광 소자를 이용하면 고속으로 점멸 또는 광량의 제어를 행할 수 있다. 빛을 이용한 통신 속도는 인간의 눈으로 확인할 수 있는 정도(수Hz이하)에서부터 수100Hz이상의 통신까지도 실행할 수 있다. 본 논문에서는 통신과 조명의 관점에서 LED실외 조명을 이용한 가시광 통신을 분석하겠다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 LED사용에 따른 가시광 통신을 소개하고 3장에서는 실외 LED를 설계하고 분석을 통한 증명을 4장에서 나타내고 5장에서 결론을 나타낸다.

II. 가시광 통신

1. Modulation Scheme

본 논문에서 광원의 세기 변조(optical Intensity Modulation: IM) 방식과 광검출 다이오드(Photodiode: PD)를 이용한 광 세기 직접 검출(Direct Detection: DD) 방식으로 On-Off keying(OOK) 신호를 변복조한다. OOK IM 신호 $X(t)$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} X(t) &= \overline{P_t}1 + m_0d(t) \\ &= \overline{P_t}1 + m_0\sum_k a_{kP}(t - kT). \end{aligned} \quad (1)$$

P_t 는 LED 조명의 평균 전송된 광파워를 나타내고 m_0 는 광 변조지수 (OMI)를 나타낸다. 수신되는 광신호에 잡음 $n(t)$ 가 합쳐지고 수신되는 광파워 $P_r(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_r(t) &= hX(t) + n(t) \\ &= h\overline{P_t} + m_0d(t) + n(t). \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 h 는 채널 직류(DC)이득을 나타내고 $n(t)$ 는 Additive White Gaussian Noise(AWGN)이다. 수신단에서 수신된 광 파워는 전기적 신호로 전환한다.

$$\begin{aligned} I(t) &= RP_r(t) \\ &= RhX(t) + n(t). \end{aligned} \quad (3)$$

R 은 수신단에서의 detector responsivity를 나타낸다.

2. Channel DC Gain

LED 전송단 P_{tr} 방사는 일반적인 Lambertian 방사각도를 사용하여 설계되어진다 [6][7].

$$P_{tr}(\varnothing) = \frac{m+1}{2\pi} P_t \cos^m(\varnothing), \quad (4)$$

P_t 는 전송 광 파워, m 은 $\Phi_{1/2}$ 와 다음과 같이 관련된다.

$$m = -\frac{\ln 2}{\ln \cos \Phi_{1/2}}. \quad (5)$$

채널 DC(direct current)이득은 다음과 같이 구해진다.[1][2][3].

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\varnothing) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c \end{cases}, \quad (6)$$

A 는 photodiode(PD)의 검파기의 물리적 지역, $T_s(\psi)$ 는 수신단에서 필터 전송이고 $g(\psi)$ 은 수신단의 집진기(lens) 이득이다. 이상적인 검출 집진기는 내부굴절률 n 을 갖는다.

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_c}, & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c. \end{cases} \quad (7)$$

3. Receiver SNR

수신단의 Signal to Noise Ratio (SNR)을 고려하면 수신단 SNR은 다음과 같다.

$$SNR = \frac{S}{N} \quad (8)$$

여기서 S 는 신호파워를 요구된다.

$$S = R^2 P_r^2 \quad (9)$$

전송된 광파워는 $P_r = H(0) \cdot P_t$ 이고 이는 전송된 신호는 단지 LOS 전파경로를 고려하여 비교적 정확하게 계산 할 수 있기 때문이다.

수신된 Noise power는 N 이라고 산탄잡음(shot noise)과 회선잡음(circuit noise)의 합을 표현한다. Noise power는 다음과 같이 주어진다.

$$N = \sigma_{shot}^2 + \sigma_{cir}^2 \quad (10)$$

σ_{shot}^2 은 shot noise를 나타내고 AWGN은 잡음 대역폭 B 그리고 B 는 modulation scheme에 영향을 준다. σ_{shot}^2 은 다음과 같은 식을 가진다.

$$\sigma_{shot}^2 = (2qRP_r + 2qI_{bg})BF_t \quad (11)$$

q 는 electronic charge를 나타내고, I_{bg} 는 빛 잡음 전류 가지고 F_t 는 잡음 인자를 나타낸다.

식 (10)에서 σ_{cir}^2 은 수신단 회선잡음을 나타낸다.

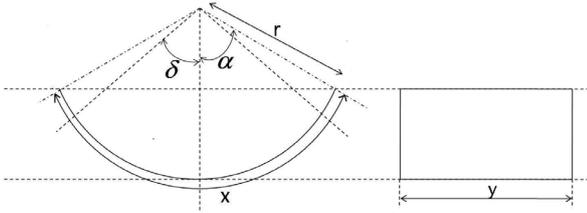
$$\sigma_{cir}^2 = \frac{4kT}{R_F} BF_t \quad (12)$$

T 는 온도, B_F 는 하중 저항을 나타낸다.

III. LED 실외 조명

1. LED Road Illumination Design

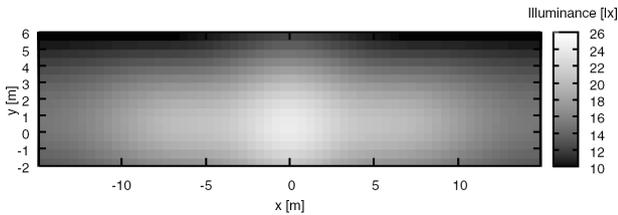
전체적인 실외를 커버하기 위해 그림 1과 같은 조명의 형태를 가진다. 또한 먼 거리까지 커버하기 위해 경계각도 δ 의 LED의 half power semiangle를 가진다. 수직 라인의 각이 δ 보다 작을 때, LED의 half power semiangle은 50° 를 가지고, δ 를 초과하면 LED의 half power semiangle은 20° 를



<그림 1> 제안된 LED 실외 조명 형태

<표 1> LED 실외 조명의 각 파라미터

x	36[cm]
y	30[cm]
r	15[cm]
δ	45[deg.]
α	68.8[deg.]
Interval of LED	0.8[cm]
Amount of LED	1748
Attachment angle of illumination	5[deg.]
Interval of road illumination	30[m]
Height	8[m]
Center luminous intensity of LED : I	1.56[cd](50[deg.]) 5.60[cd](20[deg.])



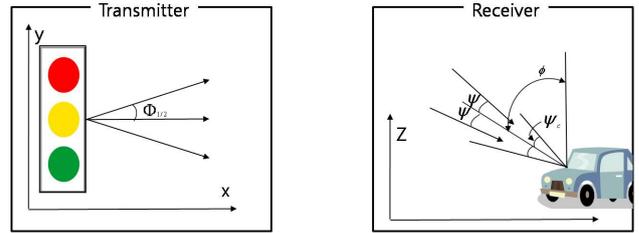
<그림 2> LED 실외 조명의 발광분포도

가진다. 조명의 파라미터는 표 1과 같이 보여지고 조명의 설계에 사용되는 실외 조명의 광원에 영향을 준다. 실외 조명은 30m의 간격을 가지도록 설계하고 표 1의 파라미터를 사용하여 그림 2과 같은 실외 LED조명의 분포를 갖는다[4].

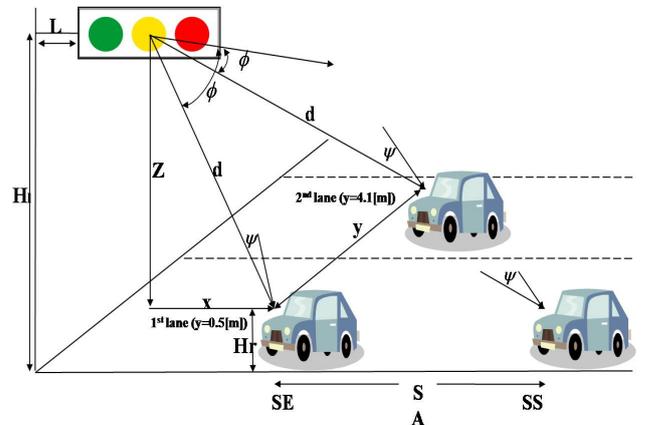
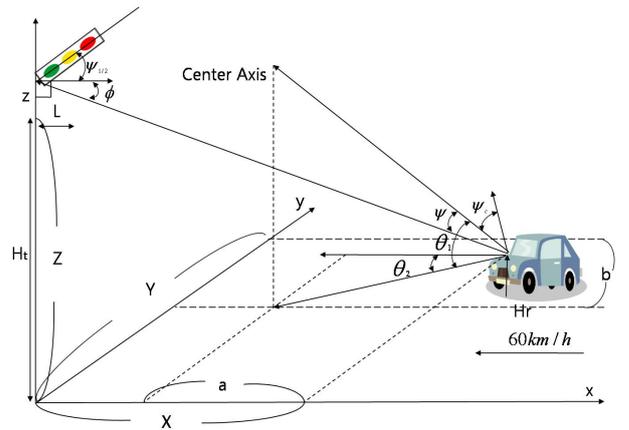
2. System Model

그림 3과 같은 실외 조명 통신 시스템 모델을 구성하고 송수신단의 시스템 모델은 그림 4와 같이 보여진다. 제안된 시스템에서 수신단은 차량의 앞에 고정 시킨 것으로 가정하고 전송단으로서의 LED 조명과 수신단의 사이는 Line of

sight(LOS) link를 갖는다. 제안된 시스템에서는 수신단과 조명의 사이에는 통신 가능한 속도를 고려하지 않는다. 광신호

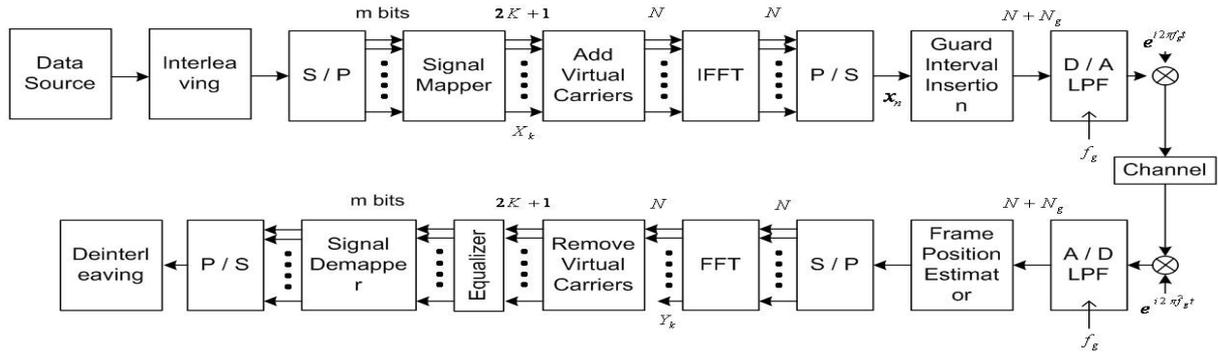


<그림 3> 송수신단 시스템 모델



<그림 4> 시스템 모델

는 모든 LED색상에서 휘도 변조(Intensity Modulation, IM) 하고 사람이 알아차릴 수 없는 짧은 주파수를 갖고, 이러한 신호는 교통 통제에 영향을 주지 않는다. 차선의 방향 x는 차량의 위치를 표현하고 y는 차선의 폭을 나타낸다. 1차선에서의 차량의 수신단 폭의 위치는 $y=0.5\text{m}$ 를 가지고 두 번째 차선에서의 폭의 위치는 3.5m 떨어진 $y=4\text{m}$ 를 가진다고 가정한다. 또한 실외 조명의 위치 x는 $-30, 0, 30\text{m}$ 의 다수를 갖는다. 수신단은 차량 앞 패널 중앙에 위치시키고 차량의 기울기는 θ , field of view (FOV)는 ψ_c 이다.



<그림 5> OFDM 시스템 블록도.

LED신호등과 수신단의 LOS경로 d는

$$d = \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2} \quad (13)$$

이고 Z는 H_t 와 H_r 사이의 거리이다. 송신단 \emptyset 는 발광각도, 수신단의 입사각 ψ 이다.

$$\emptyset = \arccos\left(\frac{X}{d}\right), \quad (14)$$

$$\psi = \arccos\left(\frac{aX + bY + Z^2}{d\sqrt{a^2 + b^2 + Z^2}}\right). \quad (15)$$

a와 b의 값은 다음 식에 따른다.

$$a = Z \frac{\cos\theta_2}{\tan\theta_1}, \quad b = Z \frac{\sin\theta_2}{\tan\theta_1}, \quad (16)$$

$$0[^\circ] \leq \theta_1 \leq 90[^\circ] \quad -90[^\circ] \leq \theta_2 \leq 90[^\circ]. \quad (17)$$

(15)식을 (16)식으로 간단히 정리하면 다음과 같다.

$$\psi = \arccos\left(\frac{\sin(\theta + \arctan(Z/X))\sqrt{X^2 + Z^2}}{d}\right). \quad (18)$$

θ_1 은 수신단 축의 높이각을 말하고 θ_2 은 수신단의 수평각을 말한다. 서비스 지역에 차량 반사각 θ 이고 FOV는 Ψ_c 이다. 거리는 d, 발광각도는 \emptyset , 차량(x,y)의 위치에 따라 반대로 변화한다.

3. OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)를 사용하여 지연은 OFDM심볼의 보호대역에 의해 병합된다. 그림 5에서 발신 데이터 비트는 각 전송단에 복제되어지고, LED의

합성된다. 각 전송단에서 데이터 순차는 S/P(Serial to Parallel) 변환과 각 단의 변조에 N 평행한 심볼을 변환된다. 변조된 평행한 심볼은 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)에 의해 N 다른 부반송파의 합에 변환하고 보호대역이 삽입되어 OFDM 신호가 발생된다. 이러한 신호들은 O/E (Optical to electrical) 변조에 의해 광 회도 변조되어 방출한다. 수신된 광파는 PD에 의해 전기적 파형으로 변조한다. OFDM 변조된 신호 파형은 OFDM 복조기에서 원래의 디지털 신호로 복조하고 원래의 신호가 검출되어진다 [5].

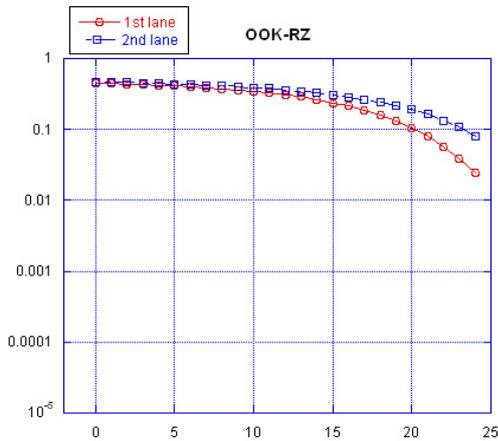
IV. 실험결과

<표 2> SYSTEM PARAMETERS

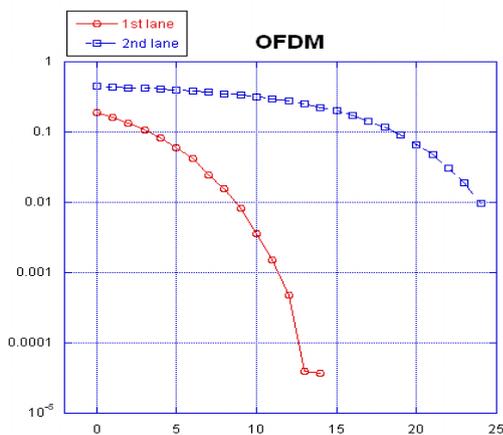
Channel Model	AWGN
Modulation Scheme	OFDM-BPSK
Velocity of Vehicle : v	60[km/h]
Length of Traffic Arm : L	2.0[m]
Height of Traffic Light : H_t	5.3[m]
Height of Receiver : H_r	1.0[m]
Distance in Lane Direction	X=5, [m]
Position in Width Direction	Y = 4.1[m]
Difference between H_t and H_r : Z	4.3[m]
Half-power Semiangle	$\Phi_{1/2} = 35[^\circ]$
Detector Physical Area of PD : A	A = 1.0[cm ²]
Gain of Optical Filter	$T_s(\psi) = 1.0$
FOV of Receiver Ψ_c	7.6[$^\circ$]
Refractive Index	n = 1.7
Absolute Temperature : T	298[K]
O/E Conversion Efficiency : R	0.35 [A/W]
Load Resistance : R_F	10.0[k Ω]
Optical Modulation Index : m_0	1.0
Bandwidth of Optical Bandpass Filter :	$\Delta\lambda = 10[\text{nm}]$
Bit Rate : R_b	1.0[Mbps]
Feed back interval of tracking	1.0[msec]

step angle of tracking	0.5[deg.]
Power of different light	0.2[mW/cm ² nm]
Subcarrier Frequency	5[MHz]
Wavelength of LED	505[nm]
Center Luminous Intensity	600[cd]
Angle of Irradiance	∅
Angle of Incidence	ψ

표 2에 준하여 실험하였으며 OFDM 변조를 통해 조명과 수신단의 BER 성능을 분석한다. 모의실험에서 차량이 1차선에 있음을 가정하여(y=0.5[m]) 차량의 수신단과 신호등 송신단이 일직선상에 있음을 나타내고 1차선에서의 송신단 [0, 2, 5.3], 수신단 [5, 0.5, 4.3]의 LOS경로 d는 식 (13)에 따라 5.31[m]로 계산된다. 송신단 발광각도 \emptyset 의 값은 19.67° 이고 수신단의 입사각 ψ 는 70°를 갖고 이 값에 따라 식 (6)에 대입하여 채널 이득을 구할 수 있다[8]. 2차선에서의 송신단 [0, 2, 5.3]로 고정이고 수신단 [8, 4.6, 4.3]이면 d는 8.47[m]로 계산된다. 송신단 발광각도 \emptyset 의 값은 53.82° 이고 수신단의 입사각 ψ 는 36°를 갖고 채널 이득을 구하여 계산한다. 그림 6은 광통신에서 OOK-RZ 코딩을 통한 BER을 구하였고 그림 7은 OFDM변조에 따른 BER을 비교하여 나타내었다.



<그림 6> OOK-RZ에서의 BER 성능



<그림 7> OFDM에서의 BER 성능

V. 결론

본 논문에서는 LED를 이용한 실외 가시광 무선 통신 시스템에 대한 분석을 통하여 시스템에서 송수신단과의 거리와 차선에 따른 성능 분석을 하고 OOK-RZ와 OFDM을 이용하여 비교실험하였다. OOK-RZ, OFDM 두 가지 방식의 연구를 통하여 OFDM에서의 성능 우월을 보이고 송수신단의 거리에 따른 성능을 비교하였다. 가시광 통신의 연구는 데이터 전송 속도와 수신단의 FOV에 영향과 관계에 대한 연구와 LED의 성능에 따른 연구도 필요하다. 또한 차량과 차량 간의 통신과 도로 차선에 따른 전송률도 고려해봐야 할 것이다. 이러한 연구를 통해서 가시광 통신이 차세대 교통 정보 통신 시스템으로서의 역할로 주목할 만하겠다.

참고문헌

- [1] C. P. Kuo, R. M. Fletcher, T. D. Osentowski, M. C. Lardizabal, and M. G. Craford, "High performance AlGaInP visible light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.* vol. 57, no. 27, pp. 2937-2939, Dec. 1990.
- [2] Y. Tanaka, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Wireless optical transmissions with the white colored LED for the wireless home links," in *Proc. of the 11th Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun.* (PIMRC 2000). London, UK, pp. 1325-1329. Sep. 2000.
- [3] T. Komine, Y. Tanaka, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Basic study on visible-light communication using light emitting diode illumination," in *Proc. of 8th Int. Symp. on Microwave and Optical Technol.* (ISMOT 2001). Montreal, Canada, pp. 4548, 2001.
- [4] Masako Akanegawa, Yuichi Tanaka, and Masao Nakagawa. "Basic study on traffic information system using LED traffic lights," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 2, no. 4, pp. 197-203, Dec. 2001.
- [5] R. van Nee and R. h d, *OFDM for Mobile Multimedia Communications*, Artech House, London, UK, 2000.
- [6] J. M. Kahn, J. R. Barry, "Wireless infrared communications," in *Proc. of IEEE*. vol. 85, no. 2, pp. 256-298. Feb. 1997.
- [7] J. R. Barry, *Wireless Infrared Communications*, Kluwer Academic Press, Boston. MA. 1994.
- [8] M. Akanegawa, Y. Tanaka, and M. Nakagawa, "Basic study on traffic information system using LED traffic lights," in *Proc. of IEEE*, vol. 2, no. 4, Dec. 2001.