

가시광 통신을 이용한 지능형 주차 정보 시스템

Smart Parking Information System Using Visible Light Communication for ITS

박인환, 김운현, 김진영

광운대학교

Key Words : Parking Information System, VLC(Visible Light Communication), LED(Light Emitting Diode)

목 차

- I. 서론
- II. 가시광 통신
- III. 지능형 주차 정보 시스템
- IV. 모의실험 결과
- V. 결론

I. 서론

최근, 차량의 급격한 수요 증가로 인해 주차 문제가 사회의 이슈로 등장하고 있다. 이에 따라 주차공간은 점점 대형화 및 통합화 되어져 가고 있지만, 기존의 주차관리시스템은 많은 운전자들이 어려움을 겪게 하고 있다. 특히, 주차장 입구에 입차할 때 마다 주차권을 발급 받아야 되고, 이로 인해 입차 시 많은 시간이 소요된다. 또한 비워있는 주차 공간을 찾느라 헤매야 하는 에너지 낭비도 발생하게 된다. 이러한 기존의 주차 관리시스템들을 대체하기 위한 방법으로 가시광통신(VLC) 기술을 이용한 지능형 주차정보시스템을 제안한다.

가시광통신이란 우리 주위에 존재하며, 눈에 보이는 빛을 사용하여 통신을 하는 최신 통신기술이다. 근래에 들어와서 가시광통신 기술을 지능형 교통시스템인 ITS(Intelligent Transport System)의 많은 주목을 받고 있다. 고휘도의 LED를 사용하는 기기가 비약적으로 증가하고 있고, 가시광통신의 발신 장치로 이용할 수 있는 조명기기가 도심에서 급속하게 증가하고 있기 때문이다 [1]-[4].

본 논문에서는 실질적으로 우리의 생활에 실용적인 서비스로 이용될 수 있는 운전자의 주차를 도울 수 있는 가시광통신 주차 정보 시스템을 제안하였다. 백화점과 대형마트 등에서 고객의 주차 공간 확보의 편의를 위해 주차 관리원을 두고 있지만 많은 비용과 시간 낭비를 초래한다. 이런 이유로 다양한 효율적이고 지능적인 주차관리시스템이 연구되고 있지만 이들 시스템은 차량 번호판이나 차량에 부착된 태그 및 센서를 식별하여 주차공간만을 제공해 주는 제한적인 서비스만을 제공한다. 하지만 본 논문에서 제안한 시스템은 차량 전 조등으로 사용되는 LED를 통해 가시광통신을 이용하는 시스템으로 입차관제소의 차단기에 설치된 VLC 송·수신기로 고객정보를 취득한 후 고객의 휴대단말기 및 네비게이션으로

빈 주차 공간 정보를 제공하고, 각 주차구획에 설치된 VLC 송·수신기를 통해 주차된 구획정보를 획득한 후 주차건물의 정보 및 출구정보를 제공한다. 이는 기존에 존재하는 인프라를 이용함으로써, 인건비 절감 효과가 크며 눈에 보이는 가시광 통신을 이용하기 때문에 시각적인 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 LED를 이용한 가시광통신에서 거리와 FOV(Field of View)에 따른 SNR 성능을 분석하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 LED를 이용한 가시광 통신을 소개하고, 제 III장에서는 제안한 지능형 주차정보시스템의 전체적인 구성에 대해 설명한다. 제 IV장에서는 모의실험 결과를 통한 성능을 분석하고 마지막으로 제 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 가시광 통신

1. Received Power from LED Lights

본 논문에서는 광 무선 채널 환경을 가정하고 이러한 조건에 적합한 광원의 세기 변조(Optical Intensity Modulation) 방식과 광검출 다이오드(Photodiode)를 이용한 광 세기 직접 검출 방식으로 On-Off keying(OOK) 신호를 변·복조한다[5].

$$P_r(t) = hX(t) + n(t), \quad (1)$$

여기서 $P_r(t)$ 은 LED 조명의 전송된 평균 전력이고, $X(t)$ 는 OOK IM신호이다. 그리고 h 는 채널 직류 DC(Direct Current) 이득이며, $n(t)$ 는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다. 광 링크에서의 채널 DC 이득은 아래

와 같다 [6][7].

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

A 는 Photodiode(PD) 검출기의 물리적 지역, m 은 Lambertian emission 계수, D_d 는 전송단과 수신단 사이의 거리, ψ 는 입사각, ϕ 는 복사 각, $T_s(\psi)$ 는 광 필터 이득, $g(\psi)$ 는 광 집진기의 이득, Ψ_c 는 수신기의 FOV의 폭을 나타낸다.

광 집진기인 $g(\psi)$ 는 아래와 같이 주어진다 [6].

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \Psi_c}, & 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0, & \psi > \Psi_c \end{cases} \quad (3)$$

n 은 내부 굴절율을 나타낸다.

2. Receiver SNR

다음에는 SNR 분포를 살펴보자. 수신단의 SNR을 고려해 보면 다음과 같다.

$$SNR = \frac{S}{N} \quad (4)$$

신호 성분 S 는 아래와 같이 주어진다 [5][10].

$$S = \gamma^2 P_r^{Signal} \quad (5)$$

전송된 신호 전력 P_r^{Signal} 은

$$P_r^{Signal} = H(0) \cdot P_t \quad (6)$$

이다. 이는 비교적 정확하게 계산하기 위하여 단지 LOS(Line of Sight) 경로만을 고려하였다. 수신된 잡음 전력은 N 이라 하고 산탄잡음(Shot noise)와 열잡음(Thermal noise)의 합으로 표현한다. 잡음 전력은 다음과 같이 주어진다.

$$N = \sigma_{shot}^2 + \sigma_{thermal}^2 \quad (7)$$

그리고, 산탄잡음 편차는

$$\sigma_{shot}^2 = 2q\gamma(P_r^{Signal} + P_r^{ISI})B + 2qI_{bg}I_2B \quad (8)$$

와 같다. q 는 축전된 전자량, B 는 등가회로 잡음의 대역폭, I_{bg} 는 배경잡음 전류, P_r^{ISI} 는 ISI(Intersymbol Interference)가 존재하는 수신된 전력이다. 그리고 잡음 대역폭 파라미터 $I_2 = 0.562$ 이고 p-i-n/FET transimpedance 수신기 사용을 가정했다 [8].

열잡음 편차는 아래와 같다.

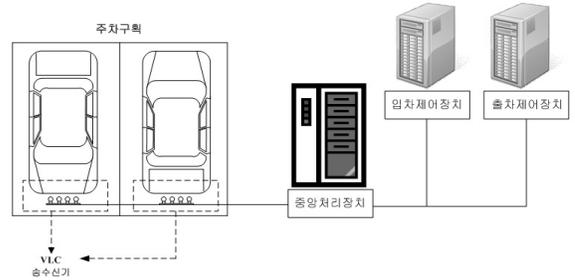
$$\sigma_{thermal}^2 = \frac{8\pi k T_k}{G} \eta A I_2 B^2 + \frac{16\pi^2 k T_k \Gamma}{g_m} \eta^2 A^2 I_3 B^3 \quad (9)$$

열 잡음은 feed-back-resistor 잡음과 FET 채널 잡음의 합으로 나타난다. k 는 볼츠만 상수이고, T_k 는 절대 온도, G 는 open-loop 전압 이득, η 는 단위 지역당 Photo detector의 고정 캐패시터 값, Γ 는 FET 채널 잡음 파라미터, g_m 은 FET transconductance 값이다 [9].

III. 지능형 주차정보 시스템

1. System 구성도

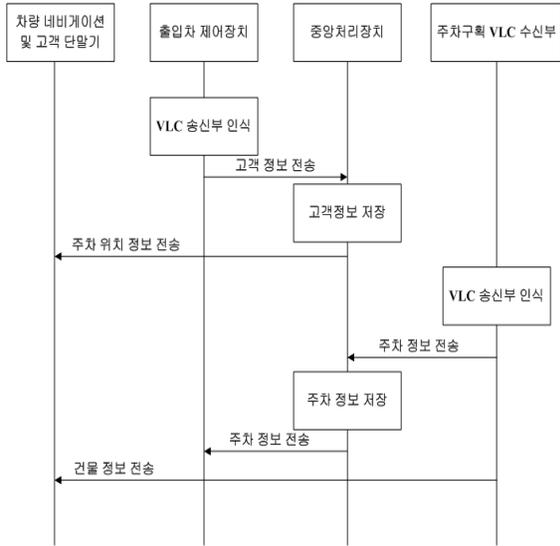
본 논문에서 제안한 가시광통신을 이용한 지능형 주차정보 시스템의 전체 구성도는 <그림 1>과 같다. 구성은 크게 3부분으로 나뉘는데, 차량 진입로에 있는 입·출차 제어장치, 각 주차구획에 설치된 VLC 송·수신기, 그리고 정보를 저장하고 각 장치로 전달하는 중앙처리장치로 구분된다.



<그림 1> 지능형 주차정보시스템 전체 구성도

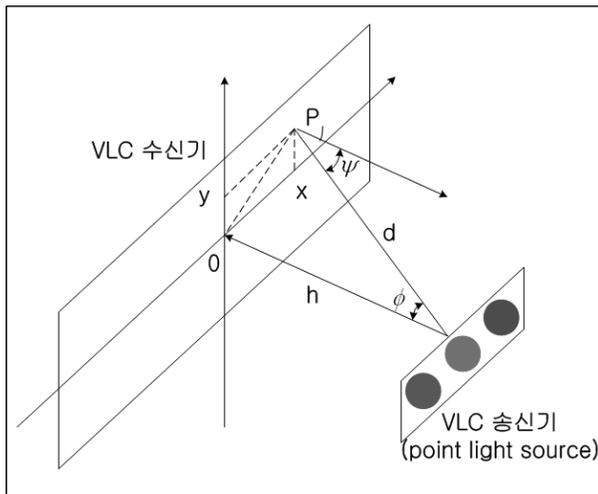
차량이 진입하면 주차관제의 차단기에 설치된 VLC 송·수신기가 고객정보를 수신하여 중앙처리장치로 전달하고, 입·출차 제어장치가 빈 주차구획 정보를 차단기에 설치된 VLC 송·수신기를 통해 고객에게 송신하게 된다. 취득된 고객정보는 중앙처리장치에서 저장되어 고객 DB(Database)를 형성해 맞춤형 서비스를 제공할 수 있다. 그리고 제공된 주차구획의 정보에 따라 차량이 각 주차구획에 주차하게 되면 각 구획에 설치된 VLC 송·수신기가 차량의 유무를 확인하여 중앙처리장치로 전달한다. 이는 중앙처리장치에서 다시 입·출차 제어장치로 정보를 전달하여 다른 입차하는 차량에게 빈 주차공간정보를 알려주게 된다. 그리고 동시에 VLC 송·수신기를 통해 주차건물 및 출구 정보를 송신하게 된다. 각 시스템의 동

작에 따른 동작순서를 시간흐름에 따라 나타내면 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 지능형 주차정보시스템의 동작 흐름도

2. System Model



<그림 3> 송·수신단 시스템 모델

<그림 3>은 본 논문에서 제안한 지능형 주차정보시스템 모델의 송·수신단 시스템 모델이다. 제안된 시스템에서 수신기는 차량의 앞에 고정 시킨 것으로 가정하고 주차구획에 설치된 VLC 송신단으로서의 LED light와 수신기의 사이는 LOS(Line of Sight) link를 갖는다.

Multipath fading은 광 무선 채널에서 무시되었으며 정보를 가진 carrier는 약 10^{14} Hz 주파수를 가진 빛이기 때문에 다른 RF 신호에 영향을 주지 않는다. 점 P가 VLC 수신기의 위치이고 VLC 송신기와의 거리 d 는 아래와 같이 주어진다.

$$d = \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (H - H_1)^2} \quad (10)$$

이고 h 는 light source와 VLC 수신기 평면과의 거리이다. 수신단 ϕ 는 발광각도, ψ 는 입사각이다 [11].

$$\psi = \arccos\left(\frac{h}{d}\right). \quad (11)$$

IV. 모의실험 결과

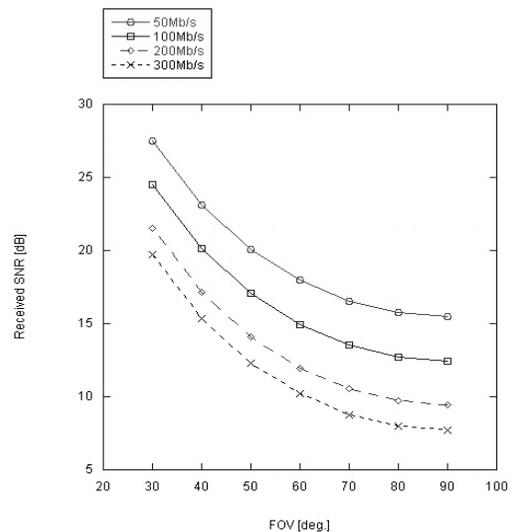
이번 장에서는 지능형 주차정보시스템에서 VLC송·수신기 간의 거리와 FOV에 따른 SNR 성능을 모의실험을 통해 비교한다. 모의실험을 위한 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 모의실험 파라미터

transmitted optical power	20[mW]
semi-angle at half power	70[deg.]
detector physical area of PD	1.0[cm ²]
gain of an optical filter	1.0
O/E conversion efficiency	0.54[A/W]
open-loop voltage gain	10
fixed capacitance	112[pF/cm ²]
FET channel noise factor	1.5
FET transconductance	30[mS]
background light current	5100[μA]
absolute temperature	298[K]

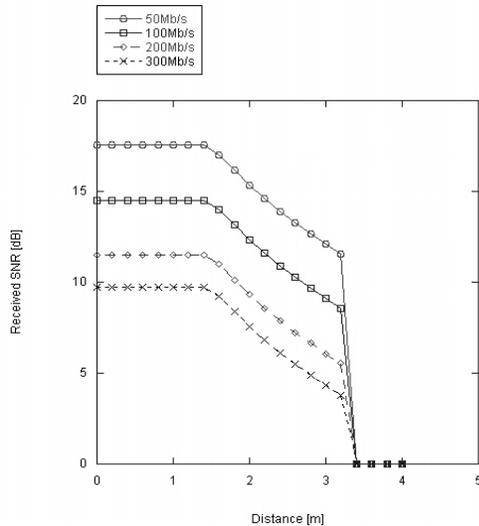
VLC 수신단 평면 사이즈 5×5 m, VLC 송·수신단 직교거리 0~3m, FOV $30^\circ \sim 90^\circ$ 환경에서 표 1에 준하여 시뮬레이션 하였다.

광 무선 통신에서 ISI(Intersymbol Interference)는 송신단과 수신단의 data rate와 FOV에 의존한다. 그러나 가시광통신에서는 수신단의 data rate, FOV 뿐만 아니라 송신단의 빛을 내는 방사각도의 폭도 고려해야 한다.



<그림 4> FOV vs. ISI가 존재하는 수신된 SNR

<그림 4>는 VLC 송신기와 VLC 수신기 평면 거리가 1.65m 일 때, FOV와 ISI가 존재하는 수신된 SNR의 관계를 보여준다. FOV가 30°보다 작을 때는 음영 지역이 존재하고 OOK 변조에서 BER=10⁻⁶을 얻기 위해서 약 SNR=13.6dB를 필요로 하는데 FOV가 40°에서 60°일 때 얻을 수 있음을 알 수 있다.



<그림 5> 거리 vs. ISI가 존재하는 수신된 SNR

<그림 5>는 FOV가 60°일 때, VLC 송신기와 VLC 수신기 간 거리와 ISI가 존재하는 수신된 SNR의 관계를 보여준다. VLC 송·수신기 간 거리가 멀어질수록 SNR 성능이 감소하는 것을 알 수 있으며 data rate이 100Mb/s 일 때 거리가 1.5m 이하에서 원하는 SNR 성능이 나오는 것을 확인 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 가시광통신을 이용한 지능형 주차정보시스템을 제안하고 시스템에 대한 분석을 통하여 VLC 송·수신단 거리와 수신된 SNR과 VLC 송·수신단 FOV와 수신된 SNR의 성능을 분석하고 data rate에 따라 각 성능을 비교실험하였다. 본 논문의 결과는 LOS(Line of Sight) link 만을 가정하고 실험하였지만, 반사에 의해 들어오는 신호의 영향에 따른 연구도 필요하다. 또한 가시광통신 시스템에서는 조명기기의 방사 폭에 따라서 LED 조명 분포가 달라지기 때문에 이에 따른 ISI에 의한 SNR 성능과 data rate를 고려해 봐야 할 것이다. 그리고 수신된 SNR을 tracking을 하게 된다면 더 높은 고속 시스템도 가능할 것이다. 이러한 연구를 통해서 가시광통신을 이용한 지능형 주차정보시스템을 구축하는데 활용 될 수 있을 것이며 앞으로 가시광통신이 차세대 교통 정보 통신 시스템으로서 다양한 응용 기술로서도 주목할 만하겠다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업)의 일환으로 수행하였음.
[10035264, LED-ID 기반 홈네트워크 기술개발]

참고 문헌

1. J. Y. Kim, *Intelligent Transportation Systems*. GS Interservice Publishers, Seoul, Korea, 2009
2. Jin Young Kim, *LED Visible Light Communication Systems*, Hongreung Science Publishers, Seoul, Korea, 2009.
3. T. Komine, Y. Tanaka, S. Haruyama and M. Nakagawa "Basic Study on Visible-Light Communication using Light Emitting Diode Illumination," *Proc. of 8th International Symposium on Microwave and Optical Technology (ISMOT 2001)*, Montreal, Canada, pp. 45-48, 2001.
4. Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Transmission System Utilizing White LED Lights," *IEICE Trans, on Communications*, vol. E86-B, no. 8, pp. 2440-2454, Aug. 2003.
5. T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, vol. 50, pp. 100 - 107, February 2004.
6. J. R. Barry, "Wireless Infrared Communications," *Kluwer Academic Press*, Boston, MA, 1994.
7. F. R. Gfeller and U. Bapst, "Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation," *Proc. IEEE*, vol. 67, no. 11, pp. 1474-1486, 1979.
8. R. G. Smith and S. D. Personick, "Receiver design for optical fiber communication systems," in *Semiconductor Devices for Optical Communication*, Springer-Verlag, New York, 1980.
9. A. J. C. Moreira, R. T. Valadas and A. M. de Oliveira Duarte, "Optical interference produced by artificial light," *Wireless Networks*, vol. 3, pp. 131-140, 1997.
10. T. Komine and M. Nakagawa, "Integrated System of White LED Visible-Light Communication and Power-Line Communication," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 49, no.1, pp. 71-79, Feb. 2003.
11. J. M. Kahn, J. R. Barry, "Wireless infrared communications," in *Proc. of IEEE*. vol. 85, no. 2, pp. 256-298. Feb. 1997.