

# 가시광 통신링크를 이용한 FPGA기반 차량 메시지 전송 시스템

김종영<sup>1)</sup> · 조은별<sup>1)</sup> · 황성조<sup>1)</sup> · 박봉석<sup>2)</sup> · 이충규<sup>\*1)</sup>

조선대학교 전자공학과<sup>1)</sup> · 공주대학교 전기전자제어공학부<sup>2)</sup>

## FPGA-based Traffic Message Delivery System for Car-to-car Communications Using Visible Light Communication Link

Jong-Young Kim<sup>1)</sup> · Eunbyeol Cho<sup>1)</sup> · Sung-Jo Hwang<sup>1)</sup> · Bong-Seok Park<sup>2)</sup> · Chung Ghiu Lee<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Electronic Engineering, Chosun University, Gwangju 61452, Korea

<sup>2)</sup>Department of Electrical, Electronic, and Control Engineering, Kongju National University, Chungnam 31080, Korea

(Received 15 October 2015 / Revised 31 March 2016 / Accepted 19 April 2016)

**Abstract** : A traffic message delivery system using visible light communication(VLC) link has been demonstrated. The system is proposed to deliver simple traffic messages between cars at low speed. The message set is programmed in an FPGA-based digital board and one of the messages is sent to the other car. Considering the outdoor and indoor environments, the effects of sunlight and fluorescent lamps on received signal waveforms are described. The delivered message is successfully recovered over 2 meter. The link for message delivery can be concatenated.

**Key words** : Visible light communication(가시광 통신), Traffic message delivery(교통 메시지 전송), Intelligent transport system(지능형 교통 시스템), Car-to-car communication(차량 통신)

### Subscripts

- ASCII* : american standard code for information interchange
- BJT* : bipolar junction transistor
- C-LCD* : character-liquid crystal display
- FPGA* : field-programmable gate array
- LED* : light-emitting diode
- LVTTL* : low voltage transistor-transistor logic
- MOSFET* : metal oxide semiconductor field effect transistor
- NRZ* : non-return-to-zero
- ITS* : intelligent transport system
- PPM* : pulse position modulation
- RF* : radio frequency

- UART* : universal asynchronous receiver/transmitter
- USB* : universal serial bus
- VLC* : visible light communications

### 1. 서론

일반적으로 가시광 통신(VLC) 시스템은 가시광 대역의 조명 LED모듈을 신호 송신기로 사용하고, 송신된 빛이 대기를 통과한 후, 신호 수신기에서 광검출기를 사용하는 통신시스템을 의미한다. 가시광 대역의 빛을 내는 조명 LED의 성능이 향상됨에 따라, 통신 속도 증가 등 LED 기반 통신기술인 VLC 시스템의 통신성능 향상에 관한 많은 연구들이 수행되었다.<sup>1-3)</sup> 또한, VLC 기술을 다양한 분야에 응용하기 위한 연구들이 제안되고 있는데, 그 중 차량 사이의 통신을 포함하는 지능형 교통 시스템(ITS)이 있다. 기존의 지능형 차량 도로 시스템에 있어 차량군

\*Corresponding author, E-mail: clee@chosun.ac.kr

집 제어와 같은 운행 중 차량 제어 기술의 필요성이 제기되었는데, 이를 위해서 차량간 통신기술이 필요하게 된다.<sup>4)</sup> 이에 따라, 지능형 교통시스템의 일부로서 VLC 시스템을 차량 통신 기술에 응용하기 위한 연구결과들이 보고되었다.<sup>5-8)</sup> 조명용 LED를 사용한 교통신호등은 이미 많이 설치되어 있고, 많은 승용차들도 브레이크등, 방향지시등, 또는 전조등 일부에 조명용 LED를 탑재하고 있다. 이러한 상황을 고려하면, 자동차와 ITS 기반시설 사이 또는 자동차와 자동차 사이의 정보 전송을 위한 통신 신호원으로 이미 차량 및 신호등에 장착된 LED램프를 사용하는 것은 통신을 위한 새로운 송신기를 추가로 설치하지 않아도 되는 장점이 될 수 있다. 즉, 구동 회로를 변경하고 데이터 송수신 모듈을 장착함으로써 LED램프를 통신 신호원으로 사용하는 것이 가능하다. 이러한 VLC 시스템의 장점을 활용하여 차량용 프로토타입 LED헤드램프를 I-4PPM 방식으로 변조한 실외 차량용 VLC 시스템 실험결과도 발표되었다.<sup>9)</sup>

지능형 교통 시스템의 한 부분으로, 저속 또는 정지상태에서 차량 사이의 정보 전송시스템의 개념 및 필요성이 제안되었다.<sup>10)</sup> 일반적으로, 교통흐름이 방해되어 차량 속력이 낮은 상황에서는 대체 도로 이용여부를 판단하거나 현재 상황을 이해하기 위해, 주변상황에 대한 몇 가지 정보를 필요로 하는데, 이 경우 라디오, 전화통화 또는 인터넷 검색은 국지적인 상황 정보가 방송국, 고속도로공사, 신문사 등 해당 서비스회사에 접수 되었을 때에만 정보 이용이 가능하다. 또한 안전 운전에도 도움을 줄 수 있는 차량 통신시스템을 생각해 보면, 경우에 따라 실시간으로 운전자의 앞에서 무슨 일이 일어나고 있는지에 대한 운전자의 호기심을 줄여줌으로써 불필요한 정보수집 시도를 회피할 수 있도록 해야 한다. 따라서, 운전자의 특별한 조작 없이 최소한의 정보를 간단한 메시지로 전송하는 기술이 유용하며, 이러한 정보는 단순하고 실시간 확인이 가능해야 하며, 전화를 걸어 확인하거나 인터넷으로부터 정보를 확인하는 등의 키패드 입력 없이, 즉시 확인되어야 할 필요가 있다.

본 논문은 실시간 메시지 식별 확인이 가능한 차

량간 메시지 전송 시스템 개념을 구현하고 실험 결과를 기술한다. VLC 기반 메시지 전송 시스템은 범용 디지털 모듈에 저장된 메시지 집합으로부터 필요한 메시지를 선택한 후, VLC 모듈을 통해 전송, 수신하여, 이를 장착된 디스플레이에서 확인이 가능하도록 개발되었다. 개발된 VLC 기반 메시지 전송 시스템은 2 m 이상의 거리에서 동작을 확인하였다. 차량 속력이 낮거나 정지 상태에 있는 경우, 차량 사이의 거리는 2 m ~ 4 m 이내의 경우가 대부분이므로, 본 시스템이 동작하는 범위 이내에 위치하게 된다. 만일 전송거리를 늘리고 싶다면 송신기에서 LED의 송신 파워를 증가시킬 수 있다. 또한 실제 도로 상황과 실내 주차장 환경을 고려하기 위해 수신 신호파형에 햇빛과 형광등이 주는 영향을 측정하였다. 이러한 VLC 시스템은 기존의 RF신호 기반 차량 통신 시스템을 대체하기보다는 보완하는 측면의 연구에 우선적으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 시스템 개요

자동차가 도로에서 저속 운행 및 정지 상태에 있을 때, 주변 교통상황에 관한 정보는 근방 대기 중인 운전자에게 유용할 수 있다. 예를 들어, 교통체증 및 정지 상태의 운전자가 그 상태의 원인이 사고에 의한 것인지 차량 증가에 의한 것인지에 대해 알게 될 경우, 대체 도로를 이용할 것인지, 현재 도로에서 여유를 갖고 대기할 것인지를 선택할 수 있게 된다. 또한, 충분한 거리의 차량이 이러한 정보를 확인하게 될 경우, 불필요한 대기열을 줄이는데 도움이 될 수도 있다. 이 경우, 정보를 포함하는 메시지는 충분히 짧아야 하고, 메시지는 휴대폰, 내비게이션 등의 통신 단말기의 키패드 조작 없이 즉시 확인 가능하여야 한다.

Fig. 1은 본 논문에서 구현된 차량 메시지 전송 시스템의 개념을 보여준다. 차량 사이의 메시지 전송은 차량 후방의 LED램프를 사용한 단방향 통신방식으로 구현되었다. 통신 링크는 가시광 대역 기반 VLC 링크이고 신호원은 후방 LED 램프로 사용 가능한 조명용 LED, 그리고 후방 차량의 전면부에 위치한 수신부로 구성된다. 전달된 메시지는 설정된 단계 수에 따라 다음 단계의 자동차로 자동 전송되

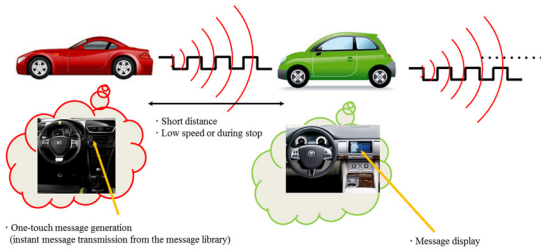


Fig. 1 The proposed message delivery system

도록 설정될 수 있다. 예를 들면, 첫 번째 메시지를 보낸 단말기로부터 10번째 차까지 보내는 것이다. 이러한 개념의 다단계 메시지 전달 시스템의 작동을 확인하기 위하여, 본 논문의 실험은 두 차량 사이의 메시지 전송으로 제한하여 실험을 수행하였다.

실제 환경에서 안정적으로 동작하기 위해서는 데이터 송수신 성능이 안정적으로 유지되어야 한다. 실제의 경우, 태양광 및 주변 빛에 의한 간섭, 설계 범위를 벗어난 신호 송수신 등을 포함한 성능 저하 요인들에 대응하고, 특히, 동시에 여러 차량으로부터의 신호를 송신하는 문제를 해결하기 위해, 신호 송신 우선순위 설정 방식이 일반적으로 필요한데, 본 논문에서 구현된 VLC 기반 메시지 전송시스템은 복잡한 설계를 회피하기 위해, 다중 재전송 방식을 가정하였다. 마지막으로 VLC 링크를 통해 광검출기에서 수신된 전류신호는 수신회로에서 복원되어 시스템 제어장치에 의해 LCD에 표시되고, 이를 운전자가 확인하게 된다.

다단계 메시지 전송을 위해, 수신된 메시지 신호는 메시지에 약간의 변경이 가해진 뒤, 후방 차량으로 다시 전송된다. 이러한 방식은 단계 수에 정해진 순서를 되풀이하여 확장될 수 있다. Table 1은 제안된 메시지 전송 시스템을 위하여 설정한 메시지를

Table 1 Example of message set

Message ID	ASCII Code	Message
A	0100_0001	Accident ahead
B	0100_0010	Traffic jam
C	0100_0011	Road works
D	0100_0100	Emergency
E	0100_0101	Temporary stop
F	0100_0110	Slowly
Standby status	Standby status	Traffic signal

보여준다. 메시지 목록은 저속운행 또는 교통체증, 정지상태의 운전자에게 유용할 수 있는 단문 정보를 고려하여 선택되었다. 본 시스템의 전송 가능 메시지는 전방차량사고, 교통체증, 도로공사, 위급상황, 임시정차, 저속운행, 신호대기 등의 상황을 고려하여 Table 1과 같이 구성되었고, 이러한 메시지에 상응하는 ASCII 코드를 전송하게 된다.

### 3. 시스템 구성

Fig. 2는 본 논문에서 제안한 메시지 전송 시스템의 실험 장치 구성도이다. 메시지 송신 단말기는 메시지 저장 및 전송 기능을 수행하며, 메시지 수신 단말기는 광수신기를 통해 수신된 신호를 복원하여 C-LCD(문자 LCD)에 표시하여 준다. 각 단말기는 FPGA 디지털 보드를 이용하여 구현되었다. 본 실험에 사용된 디지털 보드는 FPGA와 USB 컨트롤러를 장착하고 있으며, 장착된 FPGA는 통신장치, 입출력장치, C-LCD디스플레이 장치를 제어하고, USB 인터페이스는 PC를 연결하여 프로그래밍에 사용되었다. 본 메시지 전달시스템의 동작 원리에 따라, 수신 단말기는 송신 단말기로부터의 송신 시점을 알 수 없기 때문에, 통신 시작 시점이 동기화되어 있지 않으므로, 제안된 메시지 전송 시스템을 구현하기 위해 UART 통신방식을 사용하였다.

개발된 VLC 메시지 전송시스템의 작동 과정은 다음과 같다. 특정 메시지가 특정 버튼을 누름으로써 선택되면, 해당 메시지는 송신 단말기로부터 검색되고, ASCII 코드로 프로그램 된 메시지는 NRZ on-off keying 라인 코드 방식을 거쳐 백색 LED의 광

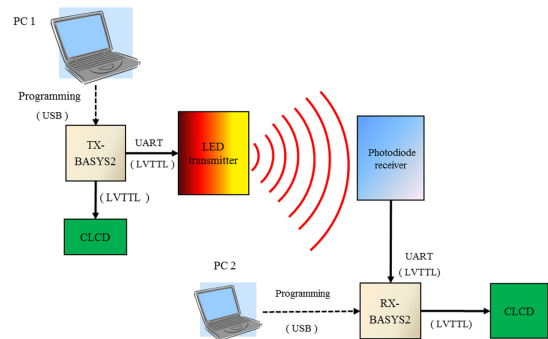


Fig. 2 Experimental setup

파워를 변조한다. VLC 송신 단말기에서 송신된 광변조된 메시지는 수신기의 광트랜지스터로 입력되어 전류로 변환되고, 증폭 회로를 이용하여 증폭된 후, 비교기를 통과하여 VLC 수신 단말기 모듈로 입력되고, 복원된 메시지는 C-LCD에 표시된다.

#### 4. 실험 결과

송신 메시지에 대한 디지털 신호는 FPGA가 장착된 디지털 보드에서 생성된다. 생성된 메시지는 10 kbps의 속도로 전송되도록 설계하였다. Fig. 3(a)는 측정된 UART신호의 전압 파형이며, 이 신호는 LED 구동회로에서 증폭되어 LED의 광파워를 변조하여 메시지를 송신하게 된다. Fig. 3(b)는 송신기로 사용된 디지털 보드의 클럭 파형을 보여준다. 전압 레벨은 LVTTTL레벨과 호환되고 클럭 주파수는 10 kHz이고, 한 비트의 주기는 100  $\mu$ s이다. 송신기에 사용된 백색 LED의 시야각은 125도이고, 정격 순방향 전류는 750 mA, 순방향 전압은 3.5 V, 광속(luminous flux)은 58 lm이다. LED에 최적화되지 않은 렌즈를 사용하여 전송거리 확장 효과를 얻었다. Fig. 4(a)는 2 m의 전송거리 후, 광검출기에서 검출된 신호를 전압으로 변환한 파형을 보여준다. 광수신기에서 광검출 소자로 사용된 광트랜지스터는 500 nm ~ 1050 nm 대역의 파장에 반응하며, 상승시간은 8  $\mu$ s, 하강시간은 10  $\mu$ s이다. 일반적으로  $V_{CE}=10$  V에서 200 lx의 빛으로부터 6.0 mA의 전류를 생성한다. Fig. 4(b)는 10 kbps의 데이터율을 지원할 수 있는 범용 BJT를 사용하여 증폭된 신호이다. 증폭된 신호는 데이터 복원을 위해 수신기 디지털 모듈로 입력되어 비교기를 통해 LVTTTL레벨로 변환된다(Fig. 4(c)).

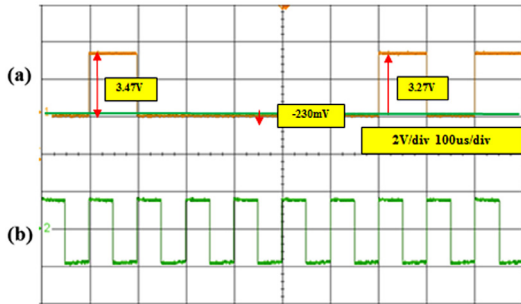


Fig. 3 Signal waveforms at the transmitter

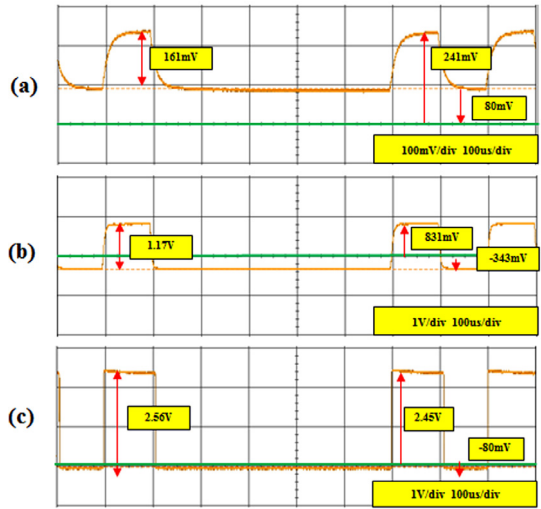
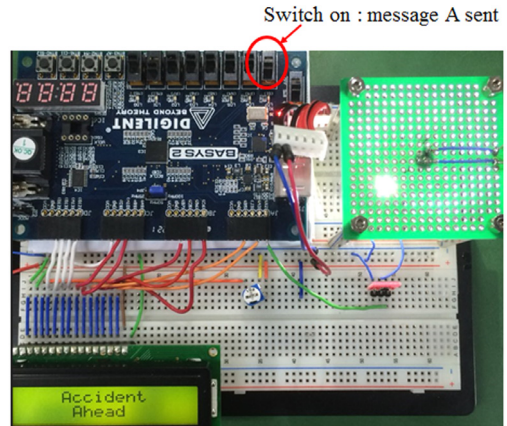
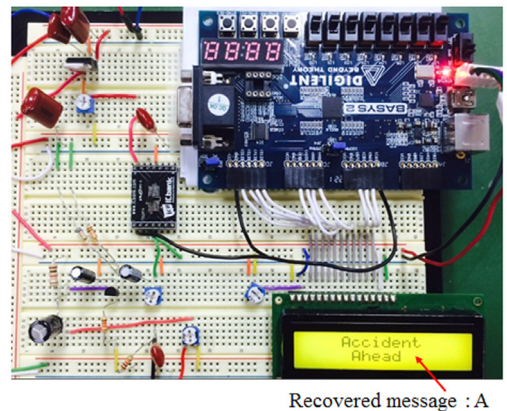


Fig. 4 Signal waveforms at the receiver



(a) Message transmitter



(b) Message receiver

Fig. 5 Message transmitter and receiver

그 후, 전송된 ASCII 코드를 복구하여, 수신된 메시지를 메시지 표에서 선택하여, C-LCD에 표시하여 준다. 본 실험의 측정 과정에서 복원된 메시지는 ‘Accident ahead’으로 Fig. 5(b)에 사진으로 제시되었다. Fig. 5(a)에서 하단의 C-LCD에 나타난 ‘Accident ahead’는 메시지 식별자 ‘A’에 해당하는 선택된 메시지이다. Fig. 5(a)의 송신기에서, 메시지의 ASCII 코드는 LVTTTL 표준전압 레벨로 출력되고, 백색 LED를 구동하도록 MOSFET 증폭기를 사용한다. 광학적으로 변조된 메시지는 VLC 링크를 통해 광수신기로 전송된다.

광수신기의 광검출기에서 광변조된 메시지 신호가 검출되면, 이를 전압으로 변환한 후 LVTTTL 레벨로 변환, 증폭하여 수신 단말기로 입력한 후, 원본 메시지를 복원하게 된다. 수신 단말기 모듈은 C-LCD에 복원된 메시지를 보여준다. Fig. 5(b)에서 하단의 C-LCD에 ‘Accident ahead’은 전송된 메시지로부터 복구된 메시지이다. 전송거리를 확장하기 위해서는 광출력이 높은 LED를 사용하거나 LED의 개수를 증가시키고 동시에, 적절한 동작전류를 지원하는 동작회로를 사용하면 된다. 또한, 광수신기에서 광효율을 향상시키기 위한 필터 또는 렌즈 등을 사용하여 전송거리를 확장할 수도 있다.

실제 도로 상황과 실내 주차장 환경을 고려하기 위해 수신 신호파형에 햇빛과 형광등이 주는 영향을 측정하였다. 실외 도로 상황에서는 햇빛을 포함한 다양한 광원이 수신 파형에 영향을 줄 수 있는데, 본 논문에서는 햇빛의 영향을 측정하였으며, 현재 실험장치의 동작상태를 고려하여 실험실 내에서 창문을 모두 개방하여 측정하였다. 이 경우, 평균 2.70 V ~ 2.90 V의 직류성분이 증가함을 확인하였는데, 이는 광수신기의 설계에서 복원이 가능한 신호의 범위를 넘어서는 값으로, 햇빛은 광트랜지스터를 포화시키기 때문에 직류성분이 과도하게 증가된다. 그 결과 신호 복원이 불가능한 상황이 된다. 또한, 차량이 이동하는 실내 환경은 지하주차장이 대부분이며, 많은 경우 형광등을 사용하고 있으므로, 형광등의 영향을 측정하였다. Fig. 6에서 확인할 수 있듯이, 형광등은 파형의 직류성분이 크게 증가하지만 신호의 파형을 잘 유지하고 있으며, 메시지의 복원이 원활함을 확인하였다.

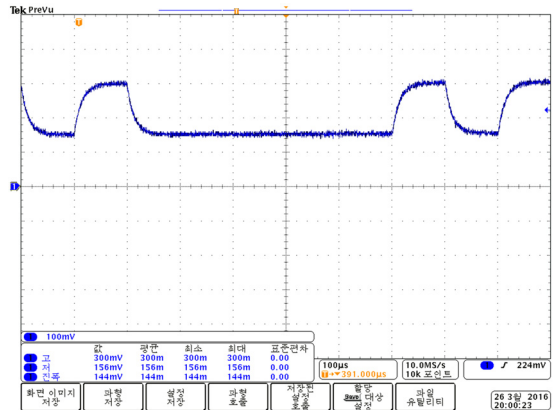


Fig. 6 Signal waveform at the receiver in the presence of fluorescent lamps

햇빛은 전 파장 성분이 고루 분포하며 직류성분에 영향을 주게 되므로, 햇빛이 강한 낮의 경우, VLC 광원의 주파수를 제외한 빛을 차단시키는 광필터가 필수적임을 확인하였고, 광검출 후 직류성분을 제거하기 위한 회로가 필요할 수 있음을 확인하였다.

향후 연구는 실제 차량환경 및 도로환경을 반영하여 본 시스템의 성능을 개선 및 검증하는 과정이 필요한 것으로 예상된다.

### 5. 결론

본 논문에서는 가시광 통신(VLC) 링크 기반 차량 메시지 전송 시스템을 실험으로 구성하고, 동작을 확인하였다. 이 시스템은 운전자에게 간단한 안전 및 교통상황 관련 메시지 또는 차량 사이의 단문 메시지를 전송하기 위한 목적으로 제시 되었다. 시스템은 FPGA 기반 회로 설계 및 구현 플랫폼으로 통합되어 설계되었으며, 미리 결정된 메시지 집합은 PC에 접속된 USB 인터페이스를 통해 디지털 보드에 저장되고, 송신 명령을 받은 메시지는 복잡한 핸드셰이킹 과정을 거치지 않고 UART 통신을 사용하여 즉시 후방에 위치한 차량으로 전송되도록 설계되었다. 선택된 메시지는 LED램프에서 백색 빛으로 변조되고 광검출 소자에서 전류로 변환된 후, 복원되어 C-LCD에서 표시된다. 본 시스템에서 전송된 메시지는 2 m 이상의 거리에서 동작함을 확인하였다. 마지막으로 실제 도로 상황과 실내 주차장 환

경을 고려하기 위해 수신 신호파형에 햇빛과 형광 등이 주는 영향을 실험결과로 제시하였다.

## 후 기

본 논문은 2014년 조선대학교 교수연구년제 연구비의 지원을 통해 수행되었음.

## References

- 1) T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-light Communication System Using LED Lights," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.50, No.1, pp.100-107, 2004.
- 2) C. G. Lee, C. S. Park, J.-H. Kim and D.-H. Kim, "Experimental Verification of Optical Wireless Communication Link Using High-brightness Illumination Light-emitting Diodes," Optical Engineering, Vol.46, No.12, 125005, 2007.
- 3) H. L. Minh, D. O. Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. W. Lee, D. K. Jung, Y. J. Oh and E. T. Won, "100-Mb/s NRZ Visible Light Communications Using a Postequalized White LED," IEEE Photonics Technology Letters, Vol.21, No.15, pp.1063-1065, 2009.
- 4) M. C. Won, "Longitudinal Vehicle Platoon Control in Intelligent Vehicle Highway Systems," Transactions of KSAE, Vol.7, No.1, pp.209-218, 1999.
- 5) T. Nagura, T. Yamazato, M. Katayama, T. Yendo, T. Fujii and H. Okada, "Improved Decoding Methods for Visible Light Communication System for ITS Using LED Array and High-speed Camera," IEEE 71st Vehicular Technology Conference, pp.1-5, 2010.
- 6) S. B. Park, D. K. Jung, H. S. Shin, D. J. Shin, Y.-J. Hyun, K. Lee and Y. J. Oh, "Information Broadcasting System Based on Visible Light Signboard," Proc. Wireless and Optical Communications, Montreal, Canada, 2007.
- 7) N. Kumar, D. Terra, N. Lourenco, L. N. Alves and R. L. Aguiar, "Visible Light Communication for Intelligent Transportation in Road Safety Application," Proc. 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, pp.1513-1518, 2011.
- 8) S. H. Yu, O. Shih, N. Wisitpongphan, H. M. Tsai and R. D. Roberts, "Smart Automotive Lighting for Vehicle Safety," IEEE Communications Magazine, Vol.51, No.12, pp.50-59, 2013.
- 9) H. W. Seo, J. Y. Kim, J. K. Oh, S. Y. Jung and J. S. Jang, "Vehicular Visible Light Communication System Using LED Headlamp," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.950-953, 2013.
- 10) C. G. Lee, Information Delivery System for Vehicles, Korea Patent, 2010.