

카메라 통신 기반 리더 차량 추종 기술 연구

Inter-vehicular Instruction Transmission Scheme Based on Optical Camera Communication

김 덕 규* · 김 민 정* · 정 성 윤*

(Deok-Kyu Kim · Min-Jeong Kim · Sung-Yoon Jung)

Abstract - This paper proposes a method for transmitting instruction between vehicles in a moving situation using RC Car having camera. Information of preceding RC Car was transmitted by LED using Optical Camera Communication(OCC). Rear RC Car follows the preceding one by analyzing transmitted OCC data based on image processing. Through this procedure, the information reception ratio according to the distance change of two RC Cars is confirmed. Through experiments, we showed that our proposed scheme enables the possibility of vehicle platooning.

Key Words : Optical Camera Communication(OCC), Vehicle to Vehicle(V2V), Image processing, platooning, Autonomous vehicle, Leader follow-up technology

1. 서 론

최근 4차 산업 혁명의 시대가 다가오면서 선진국에서 군집 주행 및 자율 주행 기술 개발이 진행되고 있다[1-2]. 세계 시장뿐만 아니라 국내 자동차와 IT 시장에서도 자율 주행 및 군집 주행을 위한 기술이 활발히 개발되고 있으며, 현대 자동차에서 개최한 '현대 트럭&버스 메가 페어'에서 최근 그 예를 찾아 볼 수 있다. 현재 자율 주행 및 군집 주행을 위한 시스템은 고성능 Camera, 레이더 센서, LIDAR, 차량 전용 통신망 등의 새로운 인프라를 중심으로 개발되고 있다[3-4]. 이러한 장비를 이용한 응용 시스템은 크게 Advanced Driver Assistance Systems(ADAS)와 Vehicle to Everything(V2X)이 있다[5-6]. 먼저 ADAS는 레이더 또는 영상 센서를 이용해 전방 차량과의 거리를 계산하여 위험을 알려주는 기술로서 레이더와 영상 센서의 사용에 따라 각각 장단점을 가진다. 레이더는 먼 거리 추정은 쉽지만 가까운 거리 구별 및 물체를 구분하는 것이 어렵고 영상 센서는 물체 구분이 쉽지만 거리 추정이 어렵다. 이를 보완하기 위해서 3차원 공간을 담아내는 LIDAR 기술이 사용된다. 하지만 이 기술은 LIDAR 장비의 높은 비용으로 인해 차량의 원가를 증가시키는 단점이 있다. 또 다른 기술인 V2X는 유·무선망을 이용하여 Vehicle to Vehicle(V2V) 및 Vehicle to Infrastructure(V2I)의 정보를 공유하는 시스템이다[7-8]. V2X는 다양한 정보를 공유함으로써 자율 주행에 많은 이점이 있지만, 네트워크 인프라 구축에 필요한 시간 및 비용, 그리고 주파수 간섭과 같은 해결이 필

요한 문제점이 있다. 그래서 최근에 전파를 이용한 V2X 시스템뿐만 아니라 LED 광원을 이용한 가시광 통신 기반 V2X 시스템에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다[9-10]. 가시광 통신은 LED의 고속 플리커 제어를 이용한 통신 기법으로 LED-IT 융합 기술에서 많이 개발되고 있다[11-13]. LED 광원은 긴 수명, 저 전력, 친환경, 일정한 밝기 유지 등 다양한 장점으로 가로등, 신호등, 차량 램프 등과 같은 여러 교통 인프라에 사용되고 있다. 이러한 인프라 구축은 추가적인 비용 없이 가시광 통신을 이용한 V2X 시스템을 가능하게 한다. 또한, LED 조명 본래의 기능을 유지하면서 통신 기능을 수행할 수 있으며 LED 조명이 존재하는 모든 곳에서 적용할 수 있다[14-15].

본 논문에서는 가시광 통신 기법의 하나인 Optical Camera Communication(OCC) 기반의 V2V 통신을 이용한 리더 추종 제어 시스템을 제안한다. OCC 기반 V2V 통신 및 리더 추종 시스템을 구현하기 위해서 RC Car를 사용하였다. 먼저 V2V 통신을 위해서 송신부와 수신부는 각각 전방 RC Car의 LED 후미등과 후방 RC Car의 Raspberry Pi Camera가 사용된다. 그리고 전방 RC Car의 움직임 정보에 따라 후방 RC Car의 모터 제어를 통해 리더 추종 제어가 가능함을 보인다. 본문에서는 송신부 및 수신부, 실험 환경 및 실험 결과를 순서대로 설명한다. 먼저 송신부에서는 On-Off Keying(OOK)과 Manchester Code(MC) 기법[16-17]을 이용한 송신 프레임 구조 설정과 후미등 및 모터 제어 설정에 대해 설명한다. 수신부에서는 Image differential 기법과 Block matching 기법[18-19]을 이용한 실시간 후미등 영역을 검출 및 추적에 대해 설명한다. 또한, window 영역 내 밝기 최댓값 정보를 이용한 데이터 분석 기법을 제안하고, 이를 이용한 정보 수신 방법을 설명한다. 마지막으로 실험에서 두 대의 RC Car를 이용한 리더 추종 실험을 통하여 제안한 기법을 검증한다.

† Corresponding Author : Dept. of Electronic Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea.

E-mail: syjung@ynu.ac.kr

* Dept. of Electronic Engineering, Yeungnam University, Korea.
Received : January 23, 2018; Accepted : June 12, 2018

2. 본 론

2.1 송신단

송신단은 그림 1과 같이 크게 송신 프레임 구조를 설계하는 부분과 Motor, 후미등을 제어하는 부분으로 구성된다. 2.1.1에서는 키보드 입력이 들어올 때 OOK를 적용한 데이터 프레임을 설정하고, MC로 맵핑하여 송신 프레임 구조를 정하는 과정을 단계별로 설명한다. 그리고 2.1.2에서는 전진, 후진, 정지 정보에 따른 Motor, 후미등 제어 부분을 설명한다.

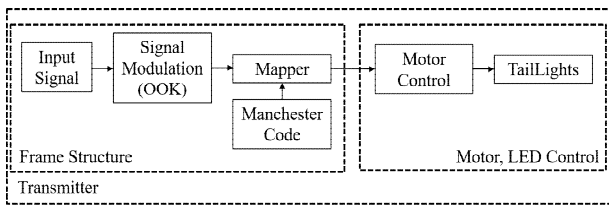


그림 1 V2V 송신 시스템 Block Diagram
 Fig. 1 Block Diagram of V2V transmission System

2.1.1 V2V 송신 프레임 구조

본 논문에서는 RC Car를 이용한 리더 추종을 위해 전진, 후진, 정지 명령을 사용한다. 전방 RC Car와 후방 RC Car의 정보를 송·수신하기 위해서 OOK 변조를 사용하였다. 그림 2는 OOK 변조를 적용한 가시광 통신을 나타낸 것으로 LED가 On이면 Data '1'을 나타내고, Off이면 Data '0'을 나타낸다. 그림 3은 송신 프레임 구조를 나타낸다. 송신 프레임 구조는 Sync Packet 4 bits와 Information Packet 4 bits로 구성되며 Sync Packet은 수신부에서 송신 데이터의 시작지점을 구분한다. Information Packet은 전진, 후진, 정지 정보를 포함하는 부분으로 총 $2^4 - 1$ 개의 정보 명령을 담을 수 있다. 표 1은 전진, 후진, 정지 정보를 정의한 것으로 키보드 입력에 따라 각 정보가 사용된다.

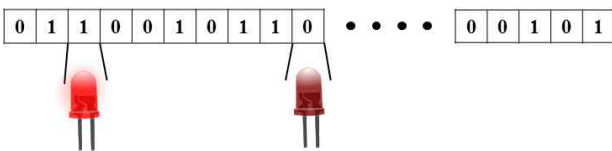


그림 2 LED를 이용한 OOK 변조
 Fig. 2 OOK modulation using LED

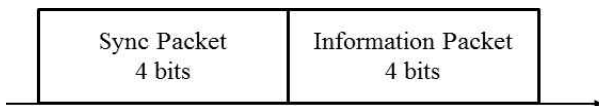


그림 3 OOK 기반 송신 프레임 구조
 Fig. 3 OOK-based transmission frame structure

표 1 입력에 따른 명령 및 송신 프레임 구조

Table 1 Command and transmission frame structure by input

| Keyboard Input | 명령 | Sync Packet | Information Packet |
|----------------|----|-------------|--------------------|
| 1 | 전진 | 0 0 0 0 | 1 0 1 0 |
| 2 | 후진 | 0 0 0 0 | 1 1 0 1 |
| 3 | 정지 | 0 0 0 0 | 0 0 1 0 |

| | Sync Packet | | | | Information Packet | | | |
|------|-------------|---|---|---|--------------------|---|---|---|
| Data | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| MC | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

그림 4 MC로 맵핑된 송신 프레임 구조
 Fig. 4 Transmission frame structure mapped to MC

본 논문에서는 후미등의 광원으로써의 역할을 유지하기 위해서 송신 프레임 구조를 MC로 맵핑한다. MC는 Data '0'을 [1, 0]으로 Data '1'을 [0, 1]로 인코딩하는 것으로 후미등의 On, Off의 주기를 균등하게 하여 조명으로써의 역할을 유지하게 한다. 따라서 그림 4와 같이 데이터 길이가 2배로 커져 실제 전송되는 송신 프레임 구조는 Sync Packet 8 bits와 Information Packet 8 bits로 총 16 bits가 전송된다.

2.1.2 Motor 및 LED 후미등 제어

본 논문에서 전방 RC Car는 그림 5와 같이 키보드로부터 입력받은 정보에 따라 LED 후미등과 Motor를 제어한다. 후미등 제

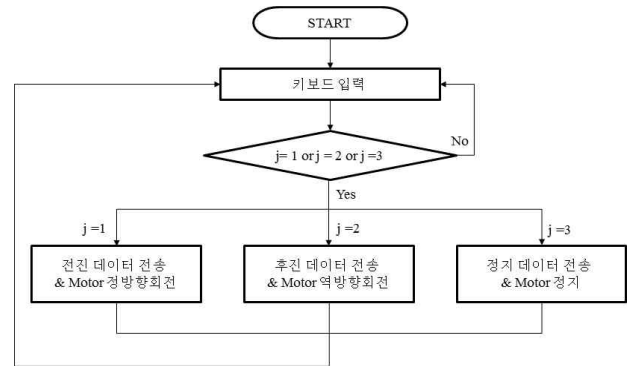


그림 5 전방 RC Car 제어 알고리즘
 Fig. 5 Algorithm of control preceding RC car

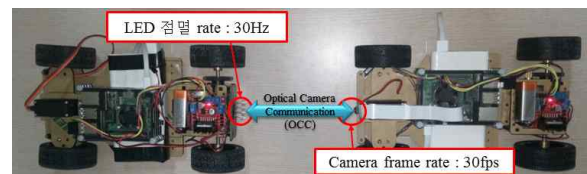


그림 6 LED 점멸 rate & Camera frame rate
 Fig. 6 LED flicker rate & Camera frame rate

어는 송신 rate와 수신 rate의 동기화가 필요하다. 그림 6은 LED 후미등 점멸 rate와 Camera의 frame rate를 나타낸 것으로 Camera의 frame rate (30fps)에 맞추어 LED 후미등을 30Hz로 설정한 것을 나타낸다. 추가적으로 정보 수신율을 높이기 위해 송신 프레임 구조를 총 4번 반복하여 전송한다. 그림 7은 명령에 따른 Motor 제어를 나타내며 입력받은 명령에 따라 Raspberry Pi의 PWM 제어를 통해 Motor를 제어한다. 그림 7의 Motor 1은 RC Car가 전진하는 방향으로 작동하며, Motor 2는 후진하는 방향으로 작동한다.

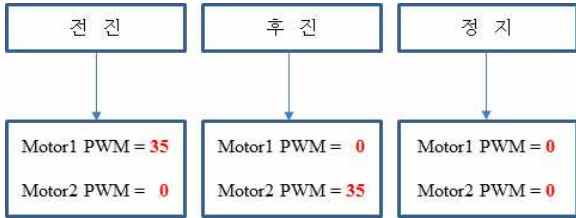


그림 7 명령에 따른 Motor 제어
Fig. 7 Motor control according to command

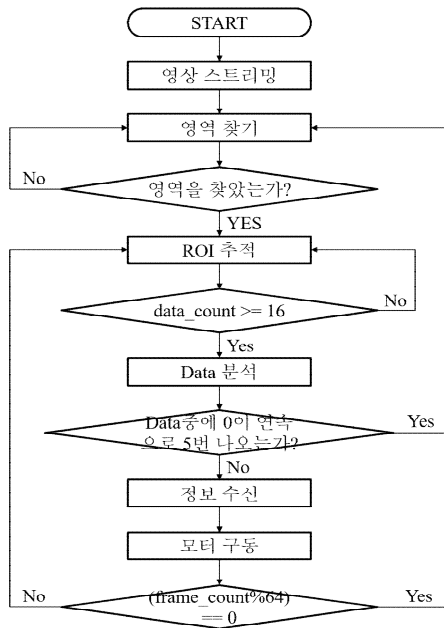


그림 8 수신부 Block Diagram
Fig. 8 Block Diagram of receiver

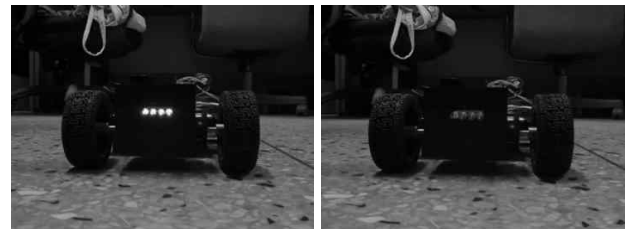
2.2 카메라 통신을 이용한 후미등 검출 및 데이터 수신

본 논문에서는 실시간 영상 처리를 이용해 전방 RC Car에서 전송된 송신 데이터를 후방 RC Car에서 분석하여 제어한다. 그림 8은 수신부의 전체 Block Diagram을 나타낸다. 먼저 Camera를 통해 영상을 촬영하고 영상 처리를 이용해서 후미등 영역을 검출한다. 이때 후미등 영역을 ROI로 두고 영역 검출에 성공하면

ROI를 중심으로 추적한다. 이와 동시에 현재까지 분석된 Data의 개수(data_count)가 16개 이상이 되면 Data를 분석한다. 만약 Data 분석 중에 '0'이 연속으로 나오면 잘못된 영역으로 판단하여 Data를 초기화하고 영역을 다시 검출한다. 또한, data_count는 64 frame을 한 주기로 초기화되며 이는 최소한의 메모리 공간으로 실시간 영상 처리를 가능하게 한다. 이렇게 수신된 Data 분석을 통해 정보를 수신하고 Motor를 제어한다.

2.2.1 실시간 영상촬영

본 논문에서 실시간 영상 촬영을 위해 Raspberry Pi Camera를 이용하였다. Raspberry Pi Camera의 frame rate와 LED의 점멸 rate를 맞추고 OCC를 이용하면 Camera의 매 frame에서 LED의 On-Off 정보를 수신할 수 있다. 수신부는 실시간 영상 처리를 위해서 빠른 연산 속도를 요구한다. 일반적으로 Camera에서 얻어지는 영상은 RGB 세 개의 색상을 사용하게 되어 이를 모두 사용하게 되면 연산속도가 느려진다. 이를 보완하기 위해서 Gray Image를 사용하였다. 그림 9는 실시간 영상을 Gray Image로 받아 온 모습이다. 그림 9의 (a)는 LED가 On 되어 있을 때의 Image를 나타내고, (b)는 LED가 Off 되었을 때의 Image를 나타낸다.



(a) On Image (b) Off Image

그림 9 Gray Image로 변환한 On, Off Image
Fig. 9 On, Off Image converted to Gray Image

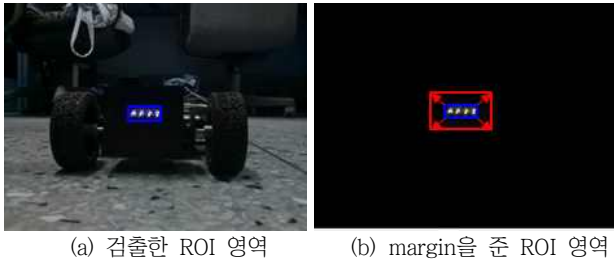
2.2.2 영역 검출

제안된 방식은 송신 프레임 구조를 MC로 인코딩하기 때문에 3개의 연속 Image 이내에 On 또는 Off Image가 최소한 한 번은 교차하도록 되어있다. 이러한 특성을 이용해 연속되는 3개 Image를 사용하여 후미등 영역을 검출한다. 이때 Image Differential 기법이 사용된다. Image Differential 기법은 연속되는 On, Off 이미지를 차분하여 유사한 밝기 값을 가진 배경 부분은 제거하고 값의 차이가 큰 후미등 영역만을 두드러지게 한다. 그러나 Image Differential 기법은 3개의 Image가 사용되기 때문에 처리 과정이 길다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 64 frame 주기로 영역을 검출하는데 사용되고 그 외 Image에서는 Block Matching 기법을 이용해 영역을 추적한다. 그림 10은 그림 9의 (a), (b)와 같이 연속되는 On 또는 Off Image를 Gray Image로 가져와 Image Differential 한 결과 Image이다.



그림 10 Differential 결과 Image

Fig. 10 Image of result with differential



(a) 검출한 ROI 영역

(b) margin을 준 ROI 영역

그림 11 Block Matching을 이용한 ROI 추적 과정

Fig. 11 ROI tracking process using Block Matching

2.2.3 ROI 추적

본 논문에서는 후미등 영역을 ROI로 설정하고 자동차가 이동하는 상황에서 Block Matching 기법을 이용하여 ROI를 추적한다. 먼저 그림 11(a)의 파란색으로 표시된 부분은 Image Differential을 통해 얻은 후미등 영역을 나타낸다. Block Matching은 후미등 영역을 기반으로 자동차의 이동을 고려하여 ROI 주변에 margin을 주어 최소한의 영역에서 다시 후미등을 검출하는 기법이다. 그림 11(b)의 빨간색으로 표시된 부분이 Block Matching 기법을 이용해서 후미등 영역에 margin을 준 모습이다. 이 기법은 후미등이 있을 영역의 범위를 좁혀줌으로써 광범위한 데이터 분석을 피할 수 있도록 해준다.

2.2.4 데이터 분석 기법

본 논문에서는 window 영역($T(n)$) 내 평균 밝기 최댓값에 특정 비율(α)을 곱한 값을 Threshold로 설정하고, 이를 이용한 Binarization 기반 데이터 분석 기법을 제안한다. 먼저 window 영역($T(n)$)은 주변 상황에 따라 변화하는 밝기에 적응하기 위해서 식(1)과 같이 이전 데이터(M_{n-7}, \dots, M_{n-1}) 7개와 현재 데이터(M_n) 1개로 정의된다. 이 때 $T(n)$ 의 크기는 명령 정보인 Information packet의 크기와 같고, M_n 은 현재 프레임에서 검출된 후미등 영역의 평균 밝기 값을 의미한다. 식 (2)는 Binarization 기반 데이터 분석 기법을 수식화한 것으로, M_n 이 특정 Threshold($\max(T(n)) \cdot \alpha$) 값 이상이면 Data '1', 이하이면 Data '0'으로 정의한다. 추가적으로 α 는 LED의 잔상으로 인

한 데이터 분석 오류를 보완하기 위해서 이전 Image에서 후미등이 On이면 Off일 때보다 크게 적용된다.

$$T(n) = [M_{n-7}, \dots, M_n]^T, (n:current) \quad (1)$$

$$B(n) = \begin{cases} 1, & \text{if } M_n \geq \max(T(n)) \cdot \alpha \\ 0, & \text{if } M_n < \max(T(n)) \cdot \alpha \end{cases}, (0 < \alpha \leq 1) \quad (2)$$

2.2.5 정보 수신 및 Motor 제어

본 논문에서 송신 프레임 구조가 Sync Packet 8bits와 Information Packet 8bits로 총 16 bits를 가지므로 16개 이상의 Data가 수신되었을 때 Matched Filter를 이용해서 정보를 수신한다. Matched Filter는 먼저 Sync Packet 8 bits를 확인하고, Sync Packet이 일치할 때 Information Packet을 비교하는 방법이다. 이때 Sync Packet과 Information Packet이 일치하면 그림 7과 같이 Data의 정보에 따라 후방 RC Car의 Motor를 제어한다.

2.3 실험

2.3.1 실험환경

그림 12는 실험 환경을 나타낸다. 전·후방 RC Car의 본체는 RC Car 키트, Raspberry Pi 3, Motor Driver, 보조 배터리를 이용하여 만들었다. 후미등과 Camera는 LED와 Raspberry Pi Camera를 사용하였다. 정보 수신율을 확인하기 위해서 거리(cm) 별로 실험하였다. 전방 RC Car의 전진, 정지, 후진에 대한 정보는 OCC를 사용하여 전송한다. 측정을 위한 실험 거리는 10~100cm로 설정하였다. 또한, 가장 일반적인 Camera 상황에서 거리 추정이 가능함을 보이기 위해 Camera 보정을 하지 않은 상태로 진행하였다.

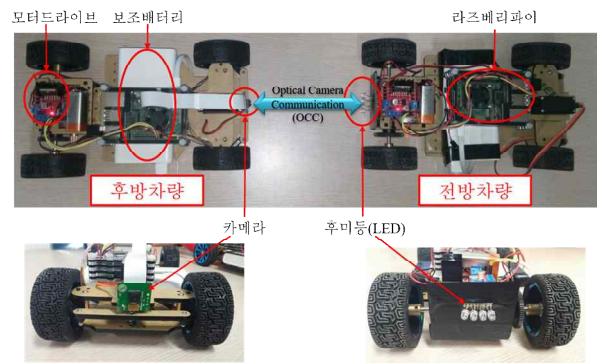


그림 12 실험 환경

Fig. 12 Experiment environment

2.3.2 실험 결과

본 논문에서는 전방 RC Car의 후미등과 후방 RC Car의 Camera 간 거리에 따른 정보 수신율을 10cm에서 100cm까지

10cm 간격으로 20번씩 확인하였다. 그림 14는 전진, 후진 정보 수신율을 나타낸 그래프이다. 그래프의 가로축은 전방 RC Car의 후미등과 후방 RC Car의 Camera 간 거리를 나타내고, 세로축은 후방 RC Car의 수신율을 나타낸다. 그래프에서 RC Car 간 거리가 70cm 이하에서는 높은 수신율을 확인할 수 있으며, 70cm 이상에서는 급격하게 수신율이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 실험 결과 70cm 이하의 거리에서 RC Car를 이용한 리더 추종이 가능하였으며 70cm 이상의 구간에서는 후방 RC Car의 Camera에 나타나는 전방 RC Car의 후미등이 검출되지 않아 정보 수신에 어려움을 알 수 있었다.

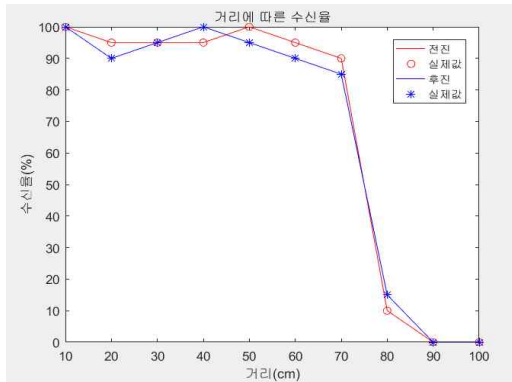


그림 13 차량 간 거리에 따른 명령 정보 수신율
 Fig. 13 Information reception ratio according to distance of vehicle to vehicle

3. 결 론

본 논문에서는 OCC를 리더 차량 추종에 적용하여 전방 RC Car의 후미등을 후방 RC Car의 Camera로 검출하고 분석하여 실시간으로 통신하는 기법에 대해 제안한다. 또한, 실시간 영상 처리를 통해 통신함으로써 리더 추종이 가능함을 제안한다. 전방 RC Car는 OOK 및 MC를 사용하여 전진, 후진, 정지 각각의 정보에 따른 송신 프레임 구조를 다르게 주어 전송한다. 후방 RC Car는 Camera에서 수신되는 영상을 실시간으로 처리하여 후미등 영역을 검출하고 추적한다. 또한, 본 논문에서 제안한 데이터 분석 기법을 통해 주변 환경의 밝기 변화로 생기는 노이즈에 영향을 받지 않고 데이터 수신이 가능한 것을 보인다. 이를 통해 얻은 수신된 정보를 바탕으로 Motor를 제어한다. 주변 환경의 밝기 값을 고려해주는 기법을 제안하여 노이즈에 대한 실험 결과 RC Car 간 거리가 70cm 이내에서는 90% 이상의 수신율로 정보를 받을 수 있음을 확인하였다. 본 실험에서는 후방 RC Car의 영상 센서로 Raspberry Pi Camera를 사용하였지만 다른 고성능 Camera를 이용한다면 더 높은 수신율을 보일 것이라 예상된다. 따라서 본 논문 기법을 실제 차량에 활용하는 경우 전방 RC Car의 LED 후미등과 후방 RC Car의 Camera를 실제 차량의 후미등과 블랙박스로 이용한다면 추가적인 인프라 없이 리더 추종이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 기본연구지원사업(NRF-2015 R1D1A1A09058802)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

References

- [1] Milanés, Vicente, et al. "Clavileño: Evolution of an autonomous car", *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference on. IEEE*, 2010.
- [2] Ellwanger, S., and E. Wohlforth. "Truck platooning application", *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2017 IEEE. IEEE, 2017.
- [3] Wei, Junqing, et al. "Towards a viable autonomous driving research platform", *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE. IEEE*, 2013.
- [4] Aki, Masahiko, et al. "Road surface recognition using laser radar for automatic platooning", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 17.10 (2016): 2800-2810.
- [5] Paul, Aneesh, et al. "Advanced driver assistance systems", No. 2016-28-0223. SAE Technical Paper, 2016.
- [6] Seo, Hanbyul, et al. "LTE evolution for vehicle-to-everything services", *IEEE Communications Magazine* 54.6 (2016): 22-28.
- [7] Sun, Shao-hui, et al. "Support for vehicle-to-everything services based on LTE." *IEEE Wireless Communications* 23.3 (2016): 4-8.
- [8] Barrachina, Javier, et al. "V2X-d: A vehicular density estimation system that combines V2V and V2I communications", *Wireless Days (WD), 2013 IFIP. IEEE*, 2013.
- [9] Takai, Isamu, et al. "Optical vehicle-to-vehicle communication system using LED transmitter and camera receiver," *IEEE photonics journal* 6.5 (2014): 1-14.
- [10] Ji, Peng, et al. "Vehicular visible light communications with LED taillight and rolling shutter camera," *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2014 IEEE 79th. IEEE*, (2014): 1-6
- [11] Lee, Sang Hyun, Sung-Yoon Jung, and Jae Kyun Kwon. "Modulation and coding for dimmable visible light communication", *IEEE Communications Magazine* 53.2 (2015): 136-143.
- [12] Kim, Byung Wook, and Sung-Yoon Jung. "Novel Flicker-Free Optical Camera Communications Based on Compressed Sensing", *IEEE Communications Letters* 20.6

(2016): 1104-1107.

- [13] Corbellini, Giorgio, et al. "Connecting networks of toys and smartphones with visible light communication," *IEEE Communications Magazine* 52.7 (2014): 72-78.
- [14] Yamazato, Takaya, et al. "Image-sensor-based visible light communication for automotive applications", *IEEE Communications Magazine* 52.7 (2014): 88-97.
- [15] Yoo, J-H., et al. "Demonstration of vehicular visible light communication based on LED headlamp", *International journal of automotive technology* 17.2 (2016): 347-352.
- [16] Danakis, Christos, et al. "Using a CMOS camera sensor for visible light communication," *Globecom Workshops (GC Wkshps), IEEE*, (2012): 1244-1248.
- [17] Nagura, Toru, et al. "Improved decoding methods of visible light communication system for ITS using LED array and high-speed camera," *Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 2010 IEEE 71st. IEEE*, (2010): 1-5.
- [18] Nagura, Tom, et al. "Tracking an LED array transmitter for visible light communications in the driving situation," *Wireless Communication Systems (ISWCS), 2010 7th International Symposium on. IEEE*, (2010): 765-769.
- [19] Arai, Shintaro, et al. "Multiple LED arrays acquisition for image-sensor-based I2V-VLC using block matching." *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2014 IEEE 11th. IEEE*, (2014): 605-610.



정 성 윤(Sung-Yoon Jung)

2000년 : 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업. 2000년~2002년 : 한국과학기술원 전자전산학과 석사학위 취득. 2002년~2006년 : 한국과학기술원 전자전산학과 박사학위 취득. 2006년~2009년 : 삼성전자 통신연구소(현, DMC연구소) 책임연구원. 2009년~2014년 : LED-IT 융합산업화연구센터 부센터장(2012) 및 분과장. 2009년~현재 : 영남대학교 전자공학과 부교수

저 자 소 개



김 덕 규 (Deok-Kyu Kim)

2018년 2월 : 영남대학교 전자공학과 졸업
 2018년 3월~현재 : 영남대학교 전자공학과 석사 재학



김 민 정(Min-Jeong Kim)

2018년 2월 : 영남대학교 전자공학과 졸업