

# Localization of Mobile Users with the Improved Kalman Filter Algorithm using Smart Traffic Lights in Self-driving Environments

Ju-Ho Jung\*, Jung-Eun Song\*, Jun-Ho Ahn\*

## Abstract

The self-driving cars identify appropriate navigation paths and obstacles to arrive at their destinations without human control. The autonomous cars are capable of sensing driving environments to improve driver and pedestrian safety by sharing with neighbor traffic infrastructure. In this paper, we have focused on pedestrian protection and have designed an improved localization algorithm to track mobile users on roads by interacting with smart traffic lights in vehicle environments. We developed smart traffic lights with the RSSI sensor and built the proposed method by improving the Kalman filter algorithm to localize mobile users accurately. We successfully evaluated the proposed algorithm to improve the mobile user localization with deployed five smart traffic lights.

▶ Keyword: Self-driving, Localization, Rssi, Smart traffic lights, Kalman filter

## I. Introduction

최근 4차 산업혁명의 시대가 도래되면서 다양한 기술이 발전하고 있다. 그중에서도, 자율 주행 기술에 관한 관심은 우선순위로 대두되고 있다. 자율 주행 기술은 단순히 차량의 주행 기술뿐만 아니라 V2I(Vehicle to Infra) 기술을 활용해 열악한 교통 환경에서 자동차와 교통 인프라 간의 통신 기술을 통해 다양한 서비스를 주고받아 안전하게 이용하는 것을 말한다. 미국에서 자율 주행 차량의 테스트 중 사람이 사망하는 사고[1]가 발생했다. 이처럼, 자율 주행 기술은 사람만 보호하는 것이 아닌 V2I 기술을 활용해 사람의 위치를 신속히 파악하고 자율 주행 차량에게 정보를 제공하여 신속하게 차량을 제어할 수 있도록 해야 한다.

스마트 폰의 보급 및 사용이 늘어나고 있는 추세이다. 미국 시애틀주의 보고서[2]에 따르면 2016년의 보행자 사망률은 전년 대비 11% 증가했다. 사망률 증가의 원인은 스마트 폰의 기술 증가로 인해 사람의 집중력을 분산시킨다고 보고 있다. 사람들의 사고를 줄이고 예방하고자 V2I 기술을 활용해 사람의 위

치를 파악하고 자율 주행 차량에게 사람의 위치 및 신호를 통해 알려 사고를 예방할 수 있도록 해야 한다.

본 연구에서는 스마트 신호등을 활용하여 사람의 위치를 파악한다. 스마트 신호등은 기존의 교통 신호등에 Beacon 및 BLE(Bluetooth Low Energy)모듈을 내장하고 외부의 교통 신호등 제어기와 연동되도록 설계했다. 스마트 신호등에서 발생하는 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 값을 활용하여 모바일 사용자의 위치를 파악한다. 하지만, RSSI 값은 기후 및 인체에 의해서도 신호의 많은 손실이 발생하여 오차가 크게 발생한다. 그래서 보다 정확한 모바일 사용자의 위치를 파악하기 위해선 가장 가까운 스마트 신호등의 RSSI 값을 사용해야 한다. 본 연구에서 제안한 알고리즘을 통해 RSSI 값이 도출되면 삼각 측량법을 통해 모바일 사용자의 위치를 파악한다.

본 연구와 관련된 연구들을 제시하였고, 알고리즘 제안과 실험 및 평가에 대해 기술하고 결론을 제시한다.

• First Author: Ju-Ho Jung, Corresponding Author: Jun-Ho Ahn

\*Ju-Ho Jung (jjs1005k@ut.ac.kr), Computer Information Technology, Korea National University of Transportation

\*Jung-Eun Song (je\_song@ut.ac.kr), Computer Information Technology, Korea National University of Transportation

\*Jun-Ho Ahn (jhahn@ut.ac.kr), Computer Information Technology, Korea National University of Transportation

• Received: 2019. 03. 08, Revised: 2019. 04. 30, Accepted: 2019. 04. 30.

• This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF), grant funded by the Korea government (MSIP: Ministry of Science, ICT & Future Planning) (No. 2017R1C1B5017847). This work was supported by the Ministry of SMEs and Startups(No. C0636589). This was also supported by Korea National University of Transportation in 2019. Thank you for Chungcheong Information and Communication Co. and imobi Co. help in making th traffic lights.

## II. Related works

자율 주행 환경에서 사람 및 신호를 식별하는 연구[3, 4] 및 RSSI를 활용하여 위치를 탐지하는 연구[5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] 들은 활발히 진행되고 있다. 사람 및 신호를 식별하는 연구들은 다양한 인공지능 알고리즘을 활용하여 영상 및 이미지를 통해 객체를 탐지한다. RSSI를 활용하여 위치를 탐지하는 연구들은 실내에서 사람의 위치를 탐지하는 연구들이 활발하게 진행되고 있다. RSSI 값은 주변 환경 및 인체에 의해 오차가 크게 발생한다. 오차 값을 줄여 RSSI 값을 활용할 수 있도록 하는 칼만 필터 알고리즘을 사용한다. 삼각측량법을 통해 3개의 Beacon에서 발생하는 RSSI값이 존재할 경우 좌표 정보 및 거리를 계산하여 모바일 사용자의 상대적인 위치를 구할 수 있다.

## III. Hardware Architecture

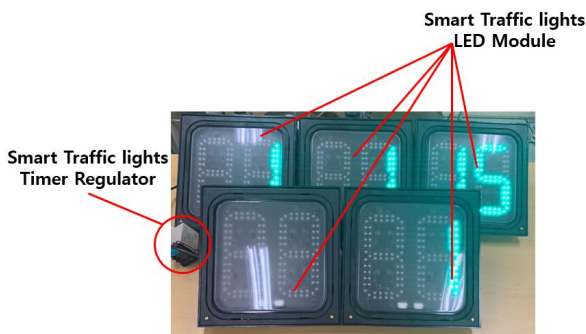


Fig. 1. Using Smart Traffic Lights in Experiment

본 연구에서는 실제 환경을 기반으로 실험을 진행하기 위해 보행자 안전을 위한 스마트 신호등[12]을 제작하여 실험을 진행했다. 실험에 사용된 스마트 신호등의 외관은 Fig. 1과 같다. 스마트 신호등의 내부 설계 및 아키텍처는 Fig. 2와 3과 같다. 스마트 신호등에는 LED 및 각 모듈에 전원을 공급해주는 파워와 신호의 남은 시간을 표시해주는 LED 모듈 및 타이머, 통신을 위한 Beacon 모듈 및 BLE 모듈로 구성되어 있다. Beacon 모듈은 RSSI 신호를 보내기 위해 단 방향(발신)으로 구성되어 있고 BLE 모듈은 양 방향(수·발신)으로 구성되어 있다. 별도로 구성된 이유는 신호를 보내는 시간을 단축시키고 신호를 수신하는 장치와 편차를 줄여 실시간으로 정보를 주고받기 위함이다. 현재는 스마트 신호등이 단순히 RSSI 값을 전달하는 역할만 하고 있지만, 추후 V2I 교통 환경에서 스마트 신호등과 차량 간의 서로 정보를 주고받는 중요한 역할을 하게 된다.

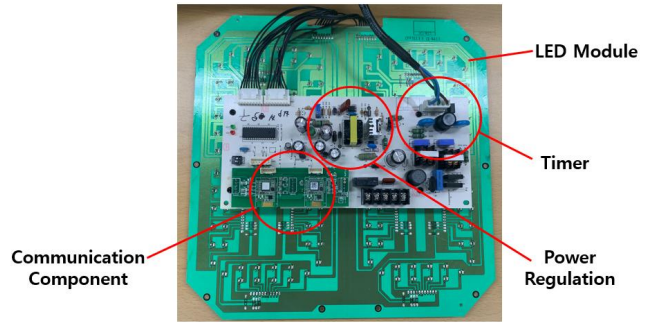


Fig. 2. Photo inside the Smart Traffic Lights Hardware

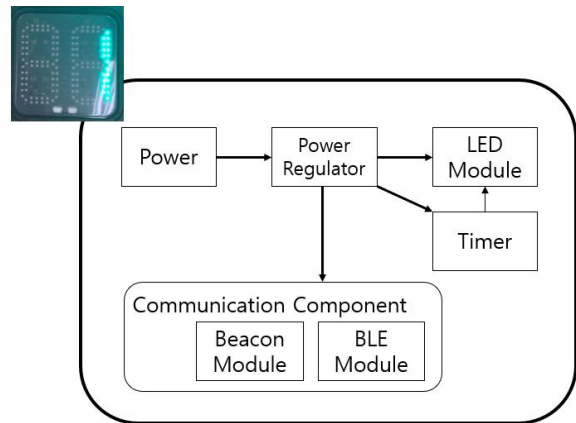


Fig. 3. Smart Traffic Lights Hardware Architecture

## IV. The Proposed algorithm

본 연구에서는 Beacon의 RSSI 값을 이용해 모바일 사용자의 위치를 파악한다. 기존의 RSSI 값은 기후 및 인체에 의해서도 쉽게 손실이 발생되어 거리 및 위치를 파악하기 어렵다. 또한, 모바일 사용자가 삼각 측량법을 측정하기 위한 3개의 장치 범위 내에 존재하지 않는다면, 거리가 멀어 RSSI 값의 오차가 심하게 발생할 경우 정상적인 위치 값을 도출하기 어렵다. 기존의 알고리즘들은 사용자가 수동으로 3개의 장치를 지정해야 했다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 가장 가까운 3개의 스마트 신호등을 자동으로 선택하여 RSSI 값을 읽어 들인다. 그 후, 칼만 필터 알고리즘을 이용하여 노이즈를 제거하고 도출된 값을 이용해 모바일 사용자의 상대적인 거리 및 위치를 파악한다. 본 연구에서 사용된 스마트 신호등의 Beacon이 실제로 거리를 구할 수 있는 RSSI 값이 도출되는지 확인하고자 한다. 1m, 2m, 5m, 10m, 20m의 거리별로 스마트 신호등을 설치하고 RSSI 값을 비교했다. 거리별 RSSI 값의 변화 결과는 Fig. 4와 5를 통해 확인할 수 있다. Fig. 4를 통해서 알 수 있듯이, 거리가 멀어질수록 RSSI 값은 작아지는 것을 확인할 수 있다. 또한, RSSI 값은 일정하지 않고 노이즈가 발생되어 값의 편차가 발생하는 것도 확인할 수 있다. 값의 편차가 존재하기 때문에 그래프의 값은 평균을 기준으로 작성했다. Fig. 5는 3개의 스마트 신호등을 설치하고 거리에 따라 RSSI 값을 측정했다. 다양한 실험

결과를 통해 알 수 있듯이 필터링을 거치지 않은 RSSI 값을 이용할 경우, 여러 환경적인 요소 때문에 값의 변동이 발생하여 모바일 사용자의 위치를 파악하는데 다소 어려움이 발생한다. 하지만, 본 연구에서 제안된 알고리즘을 적용할 경우 값의 변동이 크지 않기 때문에 RSSI 값을 이용하여 사람의 위치를 파악하기 용이하다.

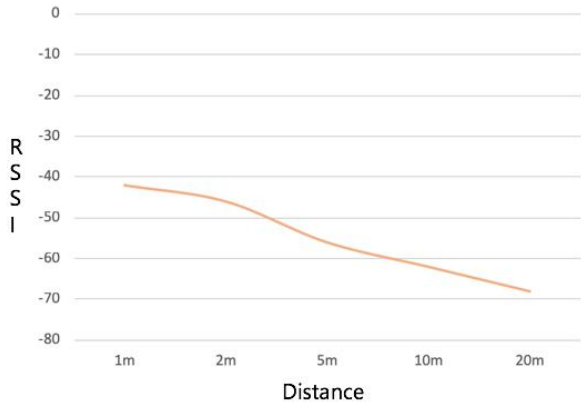


Fig. 4. Change in RSSI value by distance

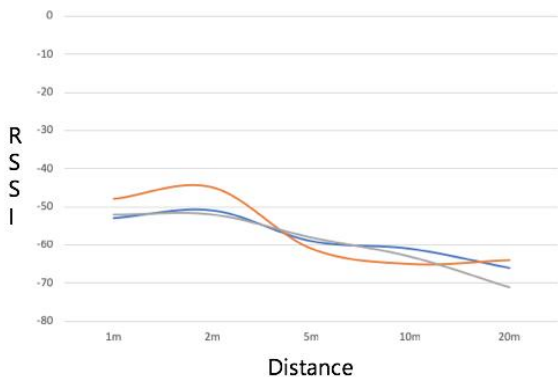


Fig. 5. Comparison of RSSI values such as 3 smart signals on the same line

제안된 알고리즘의 State Chart 다이어그램은 Fig. 6과 같다. 어플리케이션을 통해 블루투스 정보를 읽고 그 중 검색된 장치의 이름과 RSSI 값을 추출한다. 읽은 데이터가 스마트 신호등일 경우에만 데이터를 저장한다. 삼각 측량법은 3개의 RSSI 값을 통해 사람의 위치를 측정할 수 있다. 하지만, 3개 이상의 스마트 신호등이 탐지될 경우 RSSI 값을 기반으로 가장 가까운 신호등 3개를 기준으로 한다. 3개의 스마트 신호등이 선택되면 각각의 스마트 신호등의 Beacon을 통해 수집된 RSSI 값을 칼만 필터에 추가한다. 추가된 데이터들은 Window에 축적되고 칼만 필터 알고리즘을 적용시켜 노이즈를 제거한다. 노이즈가 제거된 데이터를 기반으로 삼각 측량법을 적용하여 모바일 사용자와 각 스마트 신호등의 거리 및 상대적 좌표를 구할 수 있다.

칼만 필터 알고리즘은 시간에 따라 진행된 측정값들을 기반으로 한다. 그래서 해당 순간에만 측정된 결과만 사용한 것보다는 측정되는 시간이 길수록 좀 더 정확한 결과를 도출할 수 있다. 또한, 노이즈까지 포함된 입력 데이터를 재귀적으로 처리하는 필터이기 때문에 최적의 통계적 예측을 진행할 수 있다.

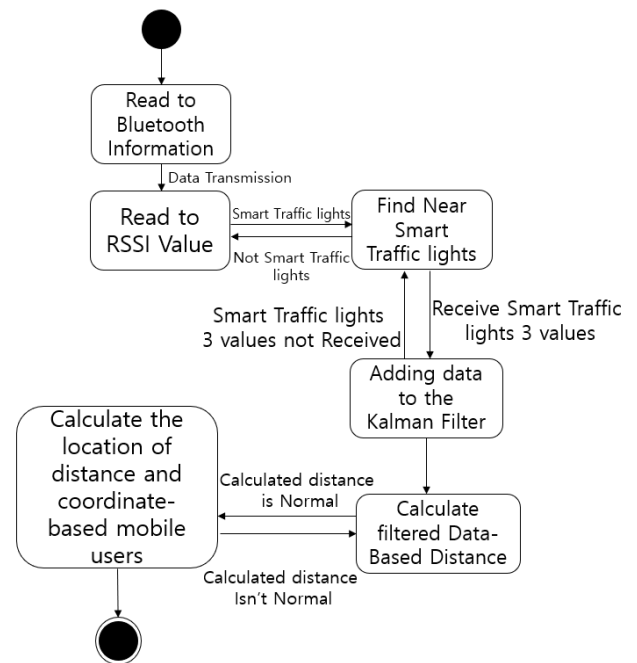


Fig. 6. State Chart Diagram for Proposed Algorithm

## V. Experiment and Result

RSSI 값을 측정하기 위한 어플리케이션을 개발했다. 어플리케이션은 Fig. 7과 같다.

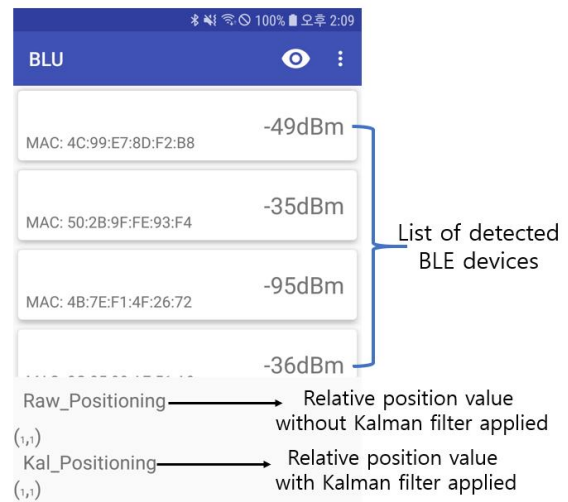


Fig. 7. Mobile Application for RSSI Detection

어플리케이션을 통해 탐지하고자 하는 Beacon의 다양한 정보들 중에서 장치의 이름 및 RSSI 값을 읽고, 제안한 알고리즘을 적용하여 삼각 측량법을 통해 모바일 사용자의 상대적 위치를 구할 수 있다. 어플리케이션을 통해 RSSI 값을 탐지하게 되면, 이를 기반으로 실시간 Raw RSSI 값과 향상된 칼만 필터 알고리즘이 적용된 RSSI 값을 이용한 상대적 좌표를 구하도록 했다. 탐지된 각 Beacon의 RSSI 값 및 향상된 칼만 필터 알고리즘이 적용된 RSSI 값, Raw

RSSI를 기반으로 한 상대적 좌표 위치, 향상된 칼만 필터 알고리즘이 적용된 RSSI 값을 애플리케이션 종료 시 스마트폰의 저장소에 파일 형태로 저장되도록 제작했다. 삼각 측량법을 적용하기 위해선 3개의 Beacon 및 Beacon이 설치된 좌표 정보가 필요하다. 모바일 사용자의 위치를 기반으로 각 Beacon까지의 거리를 측정하고, 측정된 거리를 통해 사람의 상대적 좌표를 구할 수 있다.

본 연구에서는 스마트 신호등을 실내에 실제 환경과 유사하게 구축하여 실험을 진행했다. 실제 환경에 대한 시나리오는 Fig. 8과 같다. 교차로에서 여러 신호등이 존재하거나 중간에 버스 전용차로에 신호등이 있는 환경에서 여러 대의 스마트 신호등이 존재할 때의 상황을 가정하였다. 실내(가로 7.36m, 세로 13.40m)에 스마트 신호등 5개를 설치했고 이를 바탕으로 모바일 사용자의 위치를 파악한다. 스마트 신호등이 설치된 실제 실험 환경은 Fig. 9와 같다.

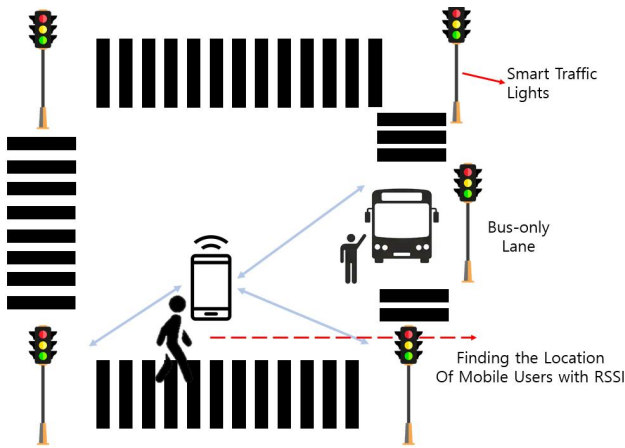


Fig. 8. Experiment Scenario

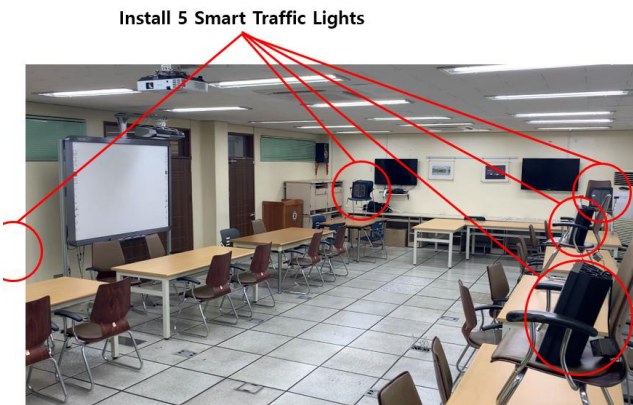


Fig. 9. Experiment Environment

우리는 Fig. 10과 Fig. 13을 바탕으로 모바일 사용자의 위치를 파악했다. Fig. 10은 움직임이 없는 모바일 사용자의 위치를 파악하는 것이다. 보통, 신호 대기할 경우 모바일 사용자는 신호등 앞에서 움직임 없이 가만히 있기 때문에 이를 탐지하기 위함이다. RSSI 값을 탐지하기 위해 어플리케이션을 실행하게 되면 모바일 사용자와 가장 가까이에 있는 5번, 6번, 7번 스마트 신호등을 사용하게 된다. Fig. 13은 신호등 주변에서 움직이는 모바일 사용자에게

대한 위치를 파악하는 것이다. 신호등 주변에서 움직임이 발생하여 무단 횡단을 하거나 횡단보도에 사람이 건너고 있음을 알려주기 위함이다. Fig. 13의 시나리오에서는 기존의 위치에서는 RSSI 값을 탐지하기 위하여 5번, 6번, 7번 스마트 신호등을 사용한다. 모바일 사용자가 움직임이 발생한 후에는 가장 가까운 7번, 8번, 9번 스마트 신호등의 RSSI 값을 사용한다.

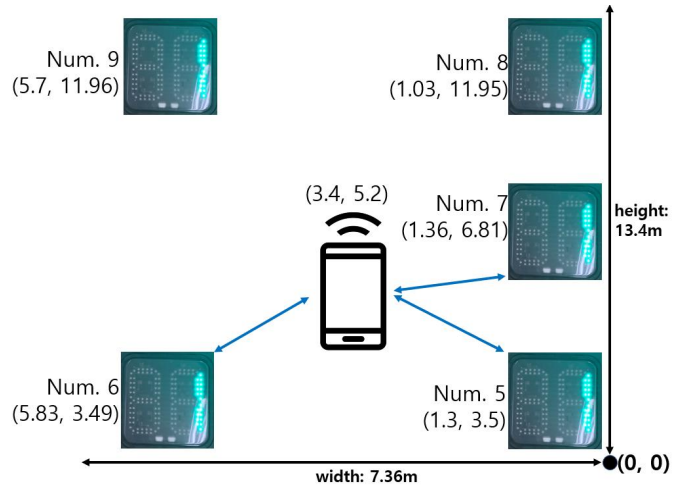


Fig. 10. Scenario 1: Tracking the location of a motionless mobile users

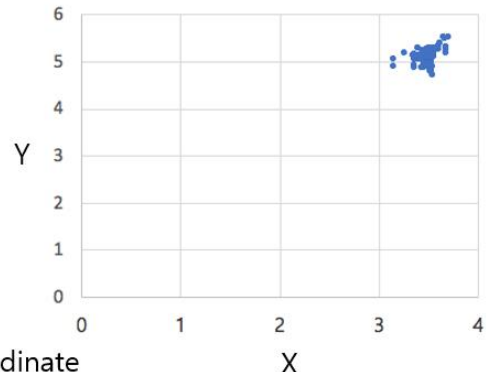


Fig. 11. The proposed algorithm of a person without motion Applied relative position

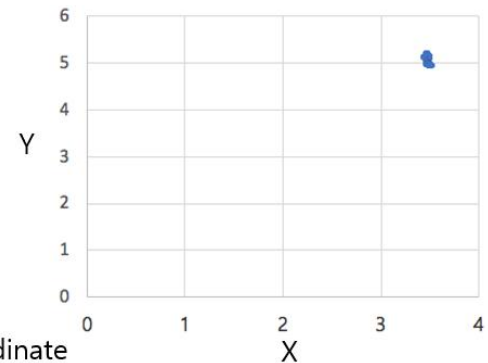


Fig. 12. The proposed algorithm of a person with motion Applied relative position



Fig. 10에 대한 실험이다. 실내의 구석을 상대적 좌표(0, 0)로 정의하고, 각 스마트 신호등의 상대 좌표를 애플리케이션을 통해 입력하였다. 모바일 사용자는 고정된 위치(3.4, 5.2)에 위치하였고 사람의 위치를 기준으로 가장 가까운 3개의 스마트 신호등(5번, 6번, 7번) Beacon의 RSSI 값을 기반으로 모바일 사용자의 위치를 파악했다. Fig. 10을 기반으로 한 결과는 Fig. 11, 12와 같다. Fig. 11은 제안된 알고리즘이 적용되지 않은 RSSI 값을 기반으로 삼각 측량법을 통해 구한 모바일 사용자의 상대적 위치를 나타낸 그림이다. Fig. 12은 RSSI 값을 제안된 알고리즘을 통해 필터링을 거친 후 구한 모바일 사용자의 상대적 위치이다. Fig. 11과 12를 통해서 알 수 있듯이, 제안된 알고리즘을 적용하지 않은 값들은 노이즈로 인하여 값의 변동이 큰 것을 확인할 수 있다. 하지만, 본 연구에서 제안된 알고리즘을 적용한 모바일 사용자의 상대적 위치 값은 필터링을 거쳐 값의 큰 변동 없음을 알 수 있다. 이를 수치로 환산했을 때, 최대 오차는 실내에서 발생될 수 있는 최대 오차를 기준으로 한다. 실내 제원에 따라 최대 오차는 (7.36, 13.40)을 기준으로 하였고, 실제 위치와 최대 오차 사이의 거리는 9.11m이다. 제안된 알고리즘이 적용되지 않은 상대 위치의 실제 위치와 오차 거리가 0.44m이다. 이는 최대 오차의 오차율을 100%라고 했을 때, 4.83%에 해당하는 수치이다. 제안된 알고리즘을 적용한 상대 위치와 실제 위치와의 거리는 0.13m이며 오차율은 1.43%이다.

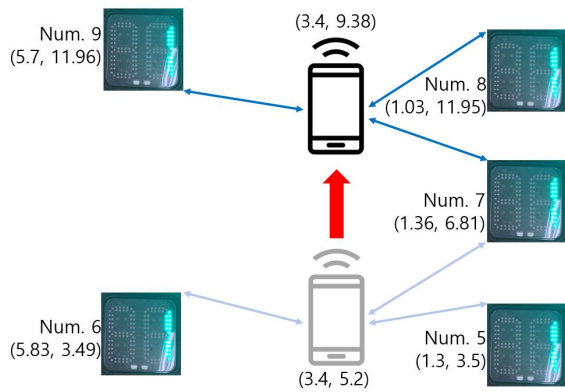


Fig. 13. Scenario 2: Tracking the location of mobile users

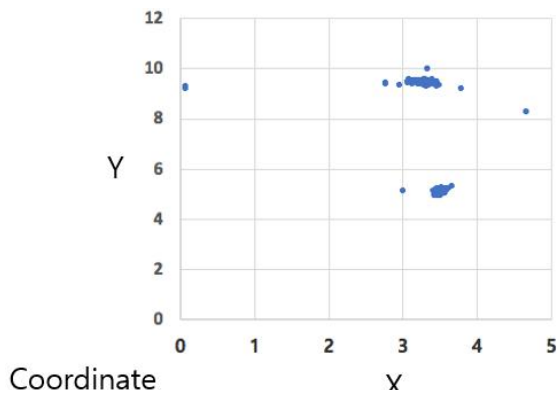


Fig. 14. The proposed algorithm of the moving person relative position not applied

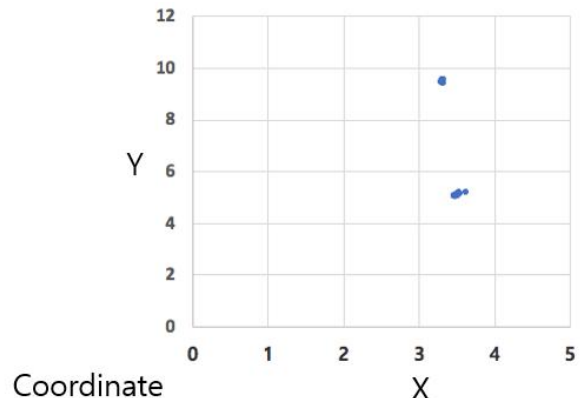


Fig. 15. The proposed algorithm of the moving person Applied relative position

Fig. 13은 모바일 사용자가 (3.4, 5.2)에 서 있다가 (3.4, 9.38)의 위치로 이동한 실험이다. 모바일 사용자가 (3.4, 5.2)에 위치했을 때의 스마트 신호등은 5번, 6번, 7번을 이용했으며, (3.4, 9.38) 위치로 이동할 경우, 가까운 스마트 신호등 7번, 8번, 9번을 이용했다. Fig. 13에 대한 결과는 Fig. 14, 15와 같다. 해당 위치의 최대 오차 값은 실내 제원 값에 따라 (7.36, 0)이며, 실제 위치와의 거리는 10.29m이다. 제안된 알고리즘이 적용되지 않은 상대 위치와 실제 위치와의 거리는 1.4m이며, 이는 최대 오차의 오차율 100% 기준으로 했을 때 13.61%에 해당한다. 제안된 알고리즘을 적용한 상대 위치와 실제 위치와의 거리는 0.18m이며 오차율은 1.75%이다. 결과를 통해 알 수 있듯이, 제안된 알고리즘의 적용 전과 후의 RSSI 값의 노이즈뿐만 아니라 오차율에서도 많은 차이가 발생되었음을 확인할 수 있다.

## VI. Conclusion

본 연구를 통해 V2I 환경에서 스마트 신호등을 사용하고 향상된 칼만 필터 알고리즘을 활용하여 모바일 사용자의 상대적인 위치를 파악하고자 했다. Beacon에서 나오는 RSSI 값을 그대로 사용할 경우 노이즈 때문에 값의 편차가 존재하여 실제로 알고리즘에 적용하기 어려웠다. 하지만, 향상된 칼만 필터 알고리즘을 이용하여 모바일 사용자와 가장 가까운 스마트 신호등을 탐지하여 RSSI 값의 편차를 줄이고 삼각 측량법을 통해 모바일 사용자의 상대적인 위치를 구했다. 또한, 실제 환경과 유사하게 구축하기 위하여 스마트 신호등을 제작하여 실험을 진행했다. 제안한 알고리즘을 통해 최대 오차 대비 오차율을 5% 이내로 정밀하게 사람의 위치를 파악했다. 앞으로는 다양한 알고리즘 및 기술들을 활용해 자율 주행 환경에서 V2I 기술을 활용하여 신속하고 안전하게 정보들을 제공할 수 있는 다양한 연구들을 진행할 계획이다.

## REFERENCES

- [1] Forbes, "Uber Self-Driving Car Crash: What Really Happened", May 2018. <https://www.forbes.com/sites/meriambeberboucha/2018/05/28/uber-self-driving-car-crash-what-really-happened/#35ec95a54dc4>
- [2] The Seattle Times, "Don't be a 'smombie': Pay attention crossing the street", December 2017. <https://www.seattletimes.com/opinion/dont-be-a-smombie-pay-attention-crossing-the-street/>
- [3] Puneet Kohli, Anjali Chadha, "Enabling Pedestrian Safety using Computer Vision Techniques: A Case Study of the 2018 Uber Inc. Self-driving Car Crash", arXiv:1805.11815, May 2018
- [4] Jinkyu Kim, Hyunggi Cho, Myung Hwangbo, Jaehyung Choi, John Canny, Youngwook Paul Kwon, "Deep Traffic Light Detection for Self-driving Cars from a Large-scale Dataset", 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Nov 2018, DOI: 10.1109/ITSC.2018.8569575
- [5] Kiwoong Jung, Pedro B. V. Bermudez, HyeonCheol Hwang, YongGuk Oh, Jaeho Kwak, "Passenger's location estimation using Kalman Filter for Beacon fare collection in a Wireless Low Floor Tram", 2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Jan 2018, DOI: 10.23919/ELIN FOCOM.2018.8330712
- [6] Yapeng Wang, Xu Yang, Yutian Zhao, Yue Liu, Laurie Cuthbert, "Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods", 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Jan 2013, DOI: 10.1109/CCNC.2013.6488558
- [7] W. Bulten, A. C. V. Rossum and W. F. G. Haselager, "Human SLAM, Indoor Localisation of Devices and Users," 2016 IEEE First International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI), Berlin, 2016, pp. 211-222. doi: 10.1109/IoTDI.2015.19
- [8] Yang-Su Kim, Beakcheol Jang, "Analysis of Bluetooth Indoor Localization Technologies and Experiment of Correlation between RSSI and Distance", Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 21 No. 10, pp. 55-62, October 2016, <https://doi.org/10.9708/jksoci.2016.21.10.055>
- [9] Jeong Hyun Yoon, Inah Chung, Ye Hoon Lee, "Location Estimation Technique in Bluetooth Beacon Based Indoor Positioning Systems", ICGHIT 2018, pp 41-44, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0311-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0311-1_8)
- [10] Wen-Ching Chena, Kuo-Fong Kaa, Yung-Tsang Changa, Chih-Hung Chang, "An RSSI-based Distributed Real-time Indoor Positioning Framework", 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI), April 2018, DOI: 10.1109/ICASI.2018.8394528
- [11] Dhouha El Houssaini, Zina Mohamed, Sabrine Khriji, Kamel Besbes, Olfa Kanoun, "A Filtered RSSI Model based on HardwareCharacteristic for Localization Algorithm inWireless Sensor Networks", 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, May 2018, doi: 10.1109/WAINA.2018.00073
- [12] Smart traffic lights for pedestrian safety, Chungcheong Information and Communication Co. and imobi Co.

## Authors



Ju-Ho Jung received the B.S. degrees in Computer Science from Korea National University of Transportation, Korea, in 2019. Mr. Jung joined the faculty of the Department of Computer Science at Korea National University of Transportation,

Chungju, Korea, in 2013. He is currently a M.S. in the Department of Computer Science, Korea National University of Transportation. He is interested in Vision, Machine Learning, IoT and Self-driving.



Jung-Eun Song received the B.S. degrees in Computer Science from Korea National University of Transportation, Korea, in 2019. Ms. Song joined the faculty of the Department of Computer Science at Korea National University of Transportation,

Chungju, Korea, in 2016. She is interested in Vision, Machine Learning and IoT.



Jun-Ho Ahn is an Assistant Professor in the Computer Information Technology at Korea National University of Transportation. Junho Ahn received a Ph.D. degree in Computer Science at University of Colorado at Boulder in 2013.

Junho Ahn is interested in intelligent extensive knowledge of vision, artificial intelligence algorithms, self-driving car systems, mobile systems, embedded systems, sensor networks, and the prospects for uniting these areas. Much of his research involved intelligent mobile and self-driving car application systems, in which he designed to intelligent fuse multi-modal mobile sensor data.