

스마트 LED 시스템을 이용한 실내위치인식 정밀도 개선

이동수^{1*}, 허형석²

¹유한대학교 정보통신공학과, ²페이스시스템 대표

Improvement of Indoor Positioning Accuracy using Smart LED System Implementation

Dong Su Lee^{1*}, Hyeong Seok Huh²

¹Department of Information Communication Engineering, Yuhan University

²FaceSystem

요약 본 논문에서는 기존 실내 위치인식 시스템들이 가지는 신호 간섭과 측위 오차 등 제한점들을 최소화하고자, 전파 가시성이 뛰어나고 정밀 측위가 가능한 스마트 LED 기반 측위 시스템을 구성하여 실내 위치인식 정밀도를 개선하고자 한다. 이를 위해 스마트 LED의 SMPS 보드에 IEEE 802.4 Zigbee 모듈을 탑재하고 이동체 태그로부터 RSSI와 LQI 신호를 수신하여 게이트웨이를 통해 측위 서버로 전달하는 시스템을 구성하였다. 실험을 위해 게이트웨이, 스마트 LED 모듈 등 필요한 하드웨어는 별도로 설계하였으며, 외부 현장 사무실에서 시스템 구성 후 실험을 진행하였다. 스마트 LED에서 수신되는 이동체의 신호와 함께, 방향 센서로부터 획득한 이동체의 벡터 값을 전달하여 측위 서버에서 복합연산을 수행한 결과, 측위 오차가 70cm 이내로 이루어짐을 확인하였다. 이 결과는 기존 근거리 무선통신 기반 시스템보다 측위 오차가 대폭 개선된 결과로서, 상용화 제품을 구현할 수 있는 수준을 보여준 것이라 할 수 있다. 또한, 본 실험 결과를 기반으로, 향후 신호 간섭이 상존하는 다양한 환경에서 시스템 성능을 튜닝할 경우, 신규 LED 설치 건물에서 위치 측위 용으로 다양한 응용으로 사용이 가능할 것이다.

Abstract In this paper, in order to minimize limitations such as signal interference and positioning errors in existing indoor positioning systems, a smart LED-based positioning system for excellent line-of-sight radio environments and precise location tracking is proposed to improve accuracy. An IEEE 802.4 Zigbee module is mounted on the SMPS board of a smart LED; RSSI and LQI signals are received from a moving tag, and the system is configured to transmit the measured data to the positioning server through a gateway. For the experiment, the necessary hardware, such as the gateway and the smart LED module, were separately designed, and the experiment was conducted after configuring the system in an external field office. The positioning error was within 70cm as a result of performing complex calculations in the positioning server after transmitting a vector value of the moving object obtained from the direction sensor, together with a signal from the moving object received by the smart LED. The result is a significantly improved positioning error, compared to an existing short-range wireless communications-based system, and shows the level at which commercial products can be implemented.

Keywords : Indoor Positioning System, Smart LED, DALI, Zigbee, RSSI, LQI

*Corresponding Author : Dong Su Lee(Yuhan University)

email: dslee@yuhan.ac.kr

Received September 10, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised October 19, 2020

Published January 31, 2021

1. 서론

일반적으로 실외위치인식 기술은 GPS(Global Positioning System) 수신신호를 기반으로 하여 다양한 서비스로 활용되고 있다. 반면, GPS 신호 수신에 어려운 실내에서는 주로 WiFi, Bluetooth, RFID(Radio Frequency Identification) 등 근거리 무선통신 방식을 사용하여 대상 물체의 위치를 확인하는 방법을 사용하고 있다. 하지만 기존 실내위치인식(indoor positioning) 기술은 다양한 형태의 실내 전파방해 장애물 외에도 각 기술별로 제한사항을 가지고 있다.

WiFi를 사용한 핑거프린팅(finger printing) 방법의 경우, WiFi AP(Access Point)로부터 수신되는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)의 크기를 비교하여 위치를 확인하는 방법으로, 기 설치된 AP를 활용할 수 있는 장점이 있으나, 설치된 공간별로 AP의 수에 따라 위치의 정확도가 달라지며, AP의 숫자를 증가시키면 데이터 처리시간이 증가하게 된다[1,2].

블루투스 비콘(beacon)을 사용한 실내위치인식의 경우, 스마트폰의 전력소모를 줄이고 단순데이터를 활용할 수 있는 장점이 있으나, 별도의 비콘 장치를 설치한 공간에서만 가능하고 비콘의 위치정보에 따라 위치 인식이 되므로 정확한 위치를 요구하는 응용에는 제한적인 단점이 있다[3]. 또한, 비콘 신호 특성을 연구하여 보다 정밀하게 실내 측위를 구현하려는 실험에서도 위치인식의 정확도는 약 2미터 정도에서 신뢰성있는 결과를 보여주고 있다[4].

RFID는 별도로 설치된 RFID 리더기(reader)와 대상 물체의 태그간 정해진 정보를 주고받는 방법으로써, RFID 특성상 대상 물체가 리더기와 1-2미터 이내의 짧은 거리 이내에 위치할 경우에만 인식이 가능하게 되며, 외부 신호에 의한 간섭에 취약한 단점이 있다[5].

특히 중대형 건물과 같은 복잡한 실내 구조를 가진 공간일수록 RSSI 신호세기에만 의존하는 기존 실내위치인식 방식으로는 정밀도에 한계가 있으며, 물체의 이동이 많은 경우 벽 또는 기구물로 인해 정확한 위치 인식을 실시간으로 파악하기 어려운 단점이 있다.

최근에는 딥러닝 모델을 활용하여 실내위치를 인식하는 실험도 시도되고 있다[6]. 이 방식에서는 BLE(Bluetooth Low Energy)의 전파맵을 학습 데이터 셋으로 구성하여 RNN(Recurrent Neural Networks)기반 LSTM(Long Short-Term Memory) 모델에 적용, 측위 정확도를 실험한 바 있다. 정확도 결과는 2.152미터 정도로 기존 기

술과 유사한 정도였으나, BLE와 딥러닝 모델을 접목한 방법은 주목할 만한 새로운 시도라고 할 수 있다.

본 논문에서는 기존 방식들에서 가지는 전파 간섭을 최소화하고자 스마트 LED 조명기구회로 내에 무선통신 모듈을 탑재하여 이동체가 가진 태그(tag)와 통신함으로써, 실내에서 송수신 기기간 우수한 가시성을 확보하였다. 또한, 송수신 기기간 짧은 거리 간격으로 마이크로 셀 개념을 적용하고, RSSI 및 LQI(Link Quality Indicator) 값과 함께 이동체 방향 감지 센서로부터 데이터를 받아 이동체의 정밀 위치인식을 위한 복합 계산을 수행하였다.

2장에서는 측위를 위한 스마트 LED 시스템의 구성 및 설계 방법에 대해 기술하였다. 하드웨어는 이동체에 탑재하는 송신용 태그, 수신기가 탑재된 스마트 LED 및 데이터 그룹핑을 위한 게이트웨이(gateway), 방향감지 센서, 측위서버 등으로 구성하였으며, DALI(Digital Addressable Lighting Interface) 기반의 프로토콜을 정의하였다. 3장에서는 실제 사무실 환경에서 위치측정 시스템을 구성한 방법과 실험을 수행한 결과를 기술하였으며, 4장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 시스템 구성 및 설계

2.1 시스템 구성

정밀 측위를 위한 스마트 LED 시스템의 하드웨어 구성은 Fig. 1과 같다.

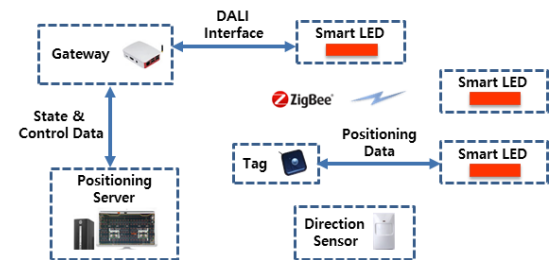


Fig. 1. Smart LED system architecture for precise indoor positioning.

무선통신은 다수의 송신기를 수용할 수 있도록 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.15.4 기반 Zigbee 모듈을 사용하였으며, Zigbee 모듈은 MAC(Medium Access Control) 레벨에서 LQI 값을 제공하므로 RSSI와 함께 전파신호 값으로 사용하였다. 태그로부터 전달되는 신호를 LED 모듈에서 게이트

웨이로 전달하고 동시에 제어신호를 LED 모듈로 전달하기 위해서, 디지털 조명제어 표준인 IEC(International Electrotechnical Commission) 62386 DALI(Digital Addressable Lighting Interface) 규격[7]을 활용하였다.

먼저 이동체가 지닌 태그는 1차적으로 스마트 LED SMPS(Switching Mode Power Supply) 보드내의 수신 모듈에 위치정보를 송신한다. 스마트 LED의 Zigbee 모듈은 브릿지 모드(bridge mode)로 동작하면서 게이트웨이로 정보를 전달한다. 효율적인 데이터 전송을 위해 DALI 규격을 활용하여 LED 모듈과 게이트웨이 간 전송 프로토콜을 정의하였다. 송신 및 수신 프레임 구조를 무선 통신 신호에 맞추어 간결하게 정의하였으며, 2.2절에 내용을 요약 정리하였다.

실내 측위의 특성상 하나의 이동체 태그에서 나오는 RSSI 신호가 여러 개의 LED 수신 모듈에서 동시에 검출될 수 있으며, 게이트웨이에서는 다수의 LED 모듈로부터 신호를 수집하여 측위 서버로 전송하게 된다. 다중 수신 신호에 대해 측위서버에서 태그의 위치를 측정하는 방법은 2.3절에서 기술한다.

동시에 방향감지 센서(direction sensor)에서 태그의 이동 방향을 감지하여 게이트웨이를 통해 측위 서버로 전달하게 되면, 측위 서버에서 해당 태그에 대한 복합위치 연산을 수행하게 된다.

2.2 DALI 기반 통신 프로토콜 정의

DALI 표준은 건물내 복잡해지는 조명장치를 효율적으로 제어하기 위해 규약을 정의하는 것에서 출발했지만, 조명 외에도 냉난방, 환기, 기타 부품 등에 대한 제어를 위해 건물관리시스템(BMS: Building Management System)에서 효율적으로 활용되고 있다. DALI는 건물내 복수의 장치들간 제어를 위한 통신 규약과 신호레벨을 정의하며, 케이블의 특성이나 종류에 상관없이 유연한 호환성을 제공한다. 각 장치들은 Control Gear와 Control Device로 분류되며, 장치마다 고유의 주소(address)를 부여한다.

본 논문에서는 무선 통신을 통한 제어를 위해 IEC 62386 DALI 표준에서 Part 104 "General requirements - Wireless and alternative wired systems" 규격을 사용하였다(Fig. 2).

본 논문의 실험에서는 Control Gear는 LED 모듈에 해당하며 Control Device는 게이트웨이에 해당한다. 두 기기간 송수신 프레임을 Table 1에 나타난 것처럼 정의하였다. LED 모듈 및 게이트웨이 주소는 각각 1 바이트

The IEC 62386 standard

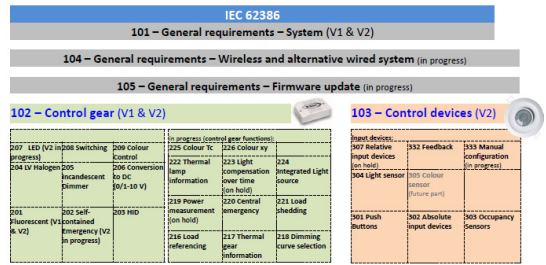


Fig. 2. The architecture of IEC 62386 standard and Part 104 protocol. (Source: Report of Digital Illumination Interface Alliance, March 2018)

(byte)를 할당하였고, LED 모듈은 제품의 일련번호(serial number)와 매칭하는 6 바이트 고유번호를 할당하여 브로드캐스팅하게 된다.

Table 1. Wireless transmission frame structure

Frame type	Wireless frame content			
	Transaction type*	Source address**	Frame format	Payload
Control gear forward	xxuf nn00	ssaa aaaa	1 byte	<= 6 byte
Control gear backward	xxuf nn01	ssaa aaaa	1 byte	<= 6 byte
Control device forward	xxuf nn10	ssaa aaaa	1 byte	<= 6 byte
Control device backward	xxuf nn11	ssaa aaaa	1 byte	<= 6 byte

* Definition of transaction type format

- x: Reserved bit
- u: 1 if either there is no short address or there is no wireless system address in the source address byte, 0 otherwise
- f: 1 if this is the first or only frame in the transaction, 0 otherwise
- nn: the number of frames in the transaction to follow this frame(0-3)
- tt: the wireless frame type 00b-11b

** Source address consists of 1 byte with the format ssaa aaaa, meaning dependant on the value of bit u in the transaction type

3. 실내 측위 실험 및 결과 분석

3.1 복합 위치인식 측정

하나의 이동체로부터 발산되는 전파는 여러 개의 LED 모듈에서 동시에 수신되며, 각 LED 모듈에서는 수신되는 RSSI 신호 크기 및 LQI 값을 게이트웨이를 거쳐 최종적으로 측위 서버까지 전달하고, 측위 서버에서 이동체의 위치가 계산된다. 이동체의 장소에 따라 중첩되는

LED 영역이 차이가 나게 되는데, 본 실험에서는 수신되는 전파세기 크기가 강한 신호 3개 또는 4개를 선택하여 3변 측량 또는 4변 측량 방법을 사용하여 태그의 위치를 파악하였다.

Fig. 3는 3변 측량의 원리를 나타내고 있다. Fig. 3에서 B점의 위치를 알고자 할 때, 먼저 r_1 을 측정하면, P1을 중심으로 하는 원상의 한 점으로 인식하게 되고, r_2 를 측정하면 P2 원상에서 A 또는 B 지점이 파악되며, P3원의 r_3 를 측정하면 B점을 인식하게 된다[8].

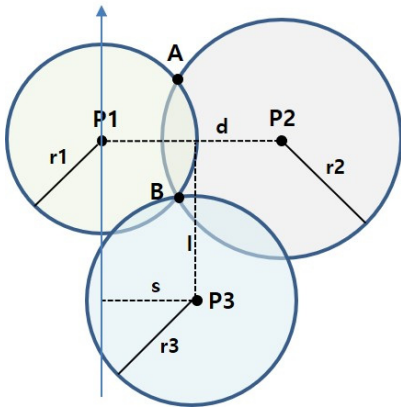


Fig. 3. The principle of trilateration based localization.

Fig. 4는 하나의 이동체가 움직임에 따라 LED 모듈에서 수신하는 신호의 흐름과 전달하는 데이터를 표시하고 있다. LED 모듈에서는 브릿지 모드(bridge mode)로 동작하면서 수시로 변화하는 이동체 신호와 인접 모듈의 RSSI 및 LQI 값을 측정하여 게이트웨이로 전달하게 된다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이, 이동체 T가 왼쪽 방향으로 움직임에 따라 이동체 주위에 있는 각 LED 모듈은 수신하는 신호를 데이터로 변환하여 자신의 주소와 함께

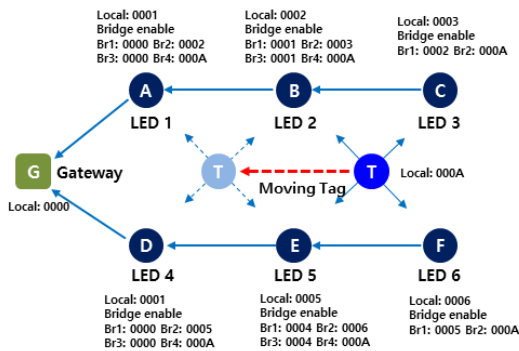


Fig. 4. Operation flow of LED modules for a moving tag.

전달하는 동작을 보여주고 있다. 조밀한 LED 모듈 간격에 따른 마이크로셀 기반에서는 최대한 태그 출력을 낮추어서 다른 LED 모듈에까지 불필요한 태그의 신호가 잡히지 않도록 조절해야 위치 오류를 최소화할 수 있다.

본 실험에서 2미터 간격의 고정좌표를 가지는 스마트 LED를 활용한 마이크로셀 기반의 위치인식 시스템은 WiFi AP 기반의 위치인식 시스템에 비해 셀 반경이 적어 위치 오차가 적어지나, 실제 거리에 따른 RSSI 신호세기가 선형특성을 유지하지 않아 일정 오차범위를 가지게 되며, 위치인식 범위 내 이동체의 이동 방향에 대해서는 전혀 알 수 없다. 이러한 약점을 보완하기 위해서 Fig. 5에 나타낸 바와 같이, 이동체의 방향과 속도를 감지하는 고정좌표의 방향감지 센서를 설치함으로써, 현재 이동체의 방향 정보와 속도 정보를 벡터값으로 전달하도록 하였다. 이때, RSSI 값 자체는 동일 장소에서 미세한 움직임에도 변화할 수 있으므로, 센서에서 감지하는 RSSI 값을 3단계로 그레이딩(grading)하여, RSSI 그레이드가 변화하는 기준으로 방향을 감지한다. 측위 서버에서는 셀 반경 범위 위치 값과 셀 반경내 벡터 위치 값을 가지고 복합 연산을 통해 보다 더 정밀한 위치인식 결과를 얻을 수 있다.

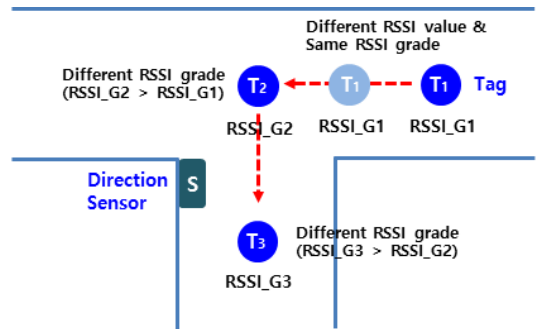
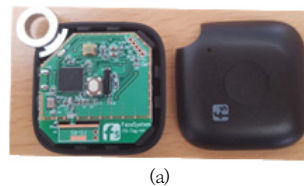


Fig. 5. Operation of direction sensor to recognize the direction of a moving tag.

3.2 실험 환경 구성 및 측정 결과

Fig. 6는 본 실험에 사용한 태그와 Zigbee 모듈이 장착된 LED 제어통신 보드의 제품 사진을 보여준다.



(a)



(b)

Fig. 6. Pictures of tag and LED communication board containing Zigbee module.
(a) Tag (b) LED communication board

Fig. 7은 본 실험에 사용한 측위 서버를 보여주고 있으며, 윈도우 10 기반에 MY SQL 데이터베이스를 사용하여 데이터를 수집 및 분석하였다.

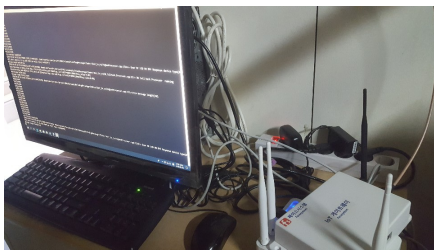


Fig. 7. Positioning server for control and measurement.

태그는 움직이지 있을 때에만 신호를 발신하고 정지 시에는 저전력 대기 모드로 동작한다. Fig. 8은 측위 서버에 수집되는 태그의 신호 값 화면을 보여주고 있다. 본 실험에서는 약 3초 간격으로 태그를 움직여 신호를 측정 하였으며, 10회 측정하여 평균값을 별도로 계산하였다.

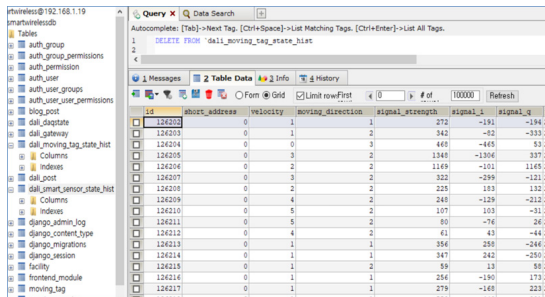


Fig. 8. Display of radio signals in positioning server.

Fig. 9은 인식된 태그의 위치를 측위 서버에서 보여주고 있다. 태그의 RSSI 신호는 측정 때마다 2개에서 4개 LED 모듈에서 유효한 값이 동시 감지되었으며, 3.1절에서 설명한 다변 측량과 복합 연산 알고리즘으로 위치를 계산하였다. 태그의 위치 좌표 계산 결과 값과 GUI에 표시되는 위치는 다소 오차가 발생하였으나, 측정 위치값은 실제 위치 값 대비 70cm 이내로 측정됨을 확인하였다.

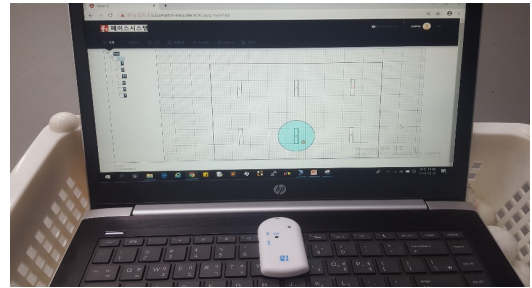


Fig. 9. Display of tag location and LED module in positioning server.

본 논문에서의 실험 내용은 자체 실험과 별도로 한국 화학융합시험연구원(KTR: Korea Testing and Research Institute)에 시험조건 및 시험 결과를 의뢰하였다. 그 결과, 측위 결과에 대해서는 유사한 결과를 얻었으며, LED의 고조파 함유율, Tag의 전력소모 등 종합적인 시험 결과를 얻을 수 있었다(Table 2).

본 시험 결과에서 나타난 것처럼 대부분의 하드웨어 성능 항목에서는 세계 최고 수준인 필립스(Philips) 제품과 동일한 수준의 성능을 얻었으며, 측위 정밀도 항목에서는 기존 근거리 무선통신 방식보다 2배이상 우수한 성능을 얻을 수 있었다.

Table 2. Test report of KTR(Korea Testing and Research Institute).

Items	Criteria	Unit	Results
Current harmonic wave of SMPS	Less than 15%	%	6.4
Voltage variation of SMPS	Less than +/-3%	%	0.1
LED error	Less than 0.1%	%	0
Positioning error	Less than 1m	meter	0.7
Battery power consumption	Less than 200mWh	mWh	50.8

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기존 실내위치인식 시스템들이 가지는 신호 간섭과 측위 오차 등 제한점들을 최소화하고자, 전파 가시성이 뛰어나고 정밀 측위가 가능한 스마트 LED 기반 측위 시스템을 구성하여 실내위치인식 정밀도를 개선하고자 하였다. 스마트 LED의 SMPS 보드에 IEEE 802.4 Zigbee 모듈을 탑재하고 이동체 태그로부터 RSSI와 LQI 신호를 수신하여 측위 서버로 전달하고, 동

시에 방향 센서로부터 이동체의 벡터 값을 전달하여 복합연산을 수행한 결과, 측위 오차가 70cm 이내로 달성함을 확인하였다. 이는 조명 장치를 사용하는 실내 환경에서 실내위치인식 시스템으로 활용할 수 있는 최고 수준의 실내 정밀 측위 결과이며, 향후 신호 간섭이 상존하는 다양한 환경에서 시스템 성능을 튜닝할 경우, 상용화 제품을 구현할 수 있는 가능성을 보여준 것이라 할 수 있다.

본 실험을 위해 개발한 이동체 태그의 경우 향후 출입증 카드의 형태로 소형화할 경우 각 기업, 병원 등 단위 기관에서도 본 시스템을 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 DALI 규격을 활용하여 송수신 프로토콜을 효율적으로 정의하였으며, 이는 LED 조명제어를 위한 응용에도 효과적으로 활용할 수가 있을 것으로 예상된다.

References

- [1] S. H. Son, Y. J. Park, B. J. Kim, Y. J. Baek, "Wi-Fi Fingerprint Location Estimation System Based on Reliability", *The Journal of Korea Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 38, No. 6, pp. 531-539, June 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7840/kics.2013.38C.6.531>
- [2] J. W. Yang, G. I. Ahn, S. H. Kim, B. H. Jung, T. Y. Kim, K.H. Pyun, "A Distance Estimation Scheme Based on WLAN RF Properties for Localization of Mobile Terminals", *The Journal of Korea Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 39, No. 7, pp. 449-458, July 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7840/kics.2014.39B.7.449>
- [3] C. H. Yun, J. M. So, "An indoor localization & navigation system using Bluetooth beacons", *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp. 265-266, Jan. 2015.
- [4] M. H. Hyun, B. H. Kim, "Study on the Beacon Signal Characteristic for Efficiency Analysis of Indoor Positioning", *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 9, No. 11, pp. 1-7, Nov. 2018.
DOI : <http://dx.doi.org/10.15207/JKCS.2018.9.11.001>
- [5] C. S. Yoon, T. I. Kim, H. J. Kim, Y. C. Hong, "Indoor Positioning Using RFID Technique", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 20, No. 1, pp. 207-214, Jan. 2016.
DOI : <http://dx.doi.org/10.6109/ikiice.2016.20.1.207>
- [6] H. S. Kim, L. Choi, "Bluetooth Low energy Fingerprinting Indoor Localization with Recurrent Neural Network", *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Science*, pp. 1344-1345, Jan. 2019
- [7] Digital Illumination Interface Alliance, DALI Standard

IEC 62386 [Internet]. c2018. Available From: <https://www.digitalilluminationinterface.org/dali/standards.html> (accessed May. 10, 2020).

- [8] B. L. Zheng, D. Yu, N. Yun, "An improved weighted centroid localization algorithm", *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, Vol. 6, No. 5, pp. 45-52, May 2013

이 동 수(Dong-Su Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 8월 ~ 1999년 6월 : SKTelecom 기술부
- 2015년 3월 ~ 현재 : 유한대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야>

사물인터넷, 머신러닝

허 형 석(Hyeong-Seok Huh)

[정회원]



- 1995년 8월 : 조선대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 1월 ~ 2017년 10월 : 이레전자산업/콤팩트시스템 수석연구원
- 2017년 11월 ~ 현재 : 페이스시스템 대표

<관심분야>

네트워크, IoT, LED, ECU, 영상통신