JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 25, No. 1: 75~80, Jan. 2021

신경망을 이용한 BLE 기반 실내 측위 시스템 설계

신광성[1] · 이희권[2] · 염성관[2*]

BLE-based Indoor Positioning System design using Neural Network

Kwang-Seong Shin[1] · Heekwon Lee[2] · Sungkwan Youm[2*]

[1]Associate Professor, Department of Digital Contents Engineering, Wonkwang University, 54538 Korea
[2*]Associate Professor, Department of Information & Communication Engineering Department, Wonkwang University, 54538 Korea

요 약

측위 기술은 증강현실, 스마트 팩토리, 자율주행 등에서 중요한 기능을 수행하고 있다. 측위 기술 중에서 비콘을 이용한 측위 방법은 RSSI(Receiver Signal Strength Indicator) 값의 편차로 인하여 도전적인 과제로 여겨져 왔다. 본 논문에서는 수신기의 RSSI 값을 입력으로 하고 거리를 목표 값으로 하는 신경망을 학습시켜서 이동하는 객체에 대한 위치를 예측하였다. 이를 수행하기 위해 RSSI 대비 거리 실측값을 수집하였다. 수집한 데이터로 합성 데이터를 만들기 위한 신경망을 도입하였다. 이 신경망을 바탕으로 거리 대비 RSSI 값을 예측하였다. 합성 데이터를 바탕으로 가상으로 좌표계를 구성하여 객체의 위치를 예측하였다. 합성 데이터를 생성하기 위한 신경망으로 RSSI의 표준편차는 구하였고 이 값을 기반으로 가상환경에서 단말의 위치를 추적하는 신경망을 학습시켜 객체의 좌표를 추정하였다.

ABSTRACT

Positioning technology is performing important functions in augmented reality, smart factory, and autonomous driving. Among the positioning techniques, the positioning method using beacons has been considered a challenging task due to the deviation of the RSSI value. In this study, the position of a moving object is predicted by training a neural network that takes the RSSI value of the receiver as an input and the distance as the target value. To do this, the measured distance versus RSSI was collected. A neural network was introduced to create synthetic data from the collected actual data. Based on this neural network, the RSSI value versus distance was predicted. The real value of RSSI was obtained as a neural network for generating synthetic data, and based on this value, the coordinates of the object were estimated by learning a neural network that tracks the location of a terminal in a virtual environment.

키워드 : 실내 측위, 비콘, BLE, 신경망

Keywords : Indoor localization, Beacon, BLE, Neural network

Received 19 November 2020, **Revised** 5 December 2020, **Accepted** 23 December 2020

*** Corresponding Author** Sungkwan Youm(E-mail:skyoum@gmail.com, Tel:+82-63-850-6342)
Associate Professor, Department of Information & Communication Engineering Department, Wonkwang University, 54538 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.1.75 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

GIS(Geographic Information System) 서비스가 확대되면서 단말의 위치 인식은 점차 중요해지고 있다. 일반적으로 측위 기술은 GPS(Global Positioning System) 정보를 제공 받을 수 있는 실외와 GPS 정보가 없는 실내로 구분할 수 있다. GPS는 위성의 가시거리 기반으로 구동되어 장애물이 있는 경우에는 위성 신호를 수신할 수 없다. GPS를 이용하는 방법 외에도 이동통신 기지국을 이용한 삼변측량을 통해서 단말의 위치를 인식한다. 하지만 실내에서는 장애물에 의한 전파 간섭으로 정확한 측위가 어렵다[1,2]

실내 측위 방법으로 대표적으로 WiFi나 BLE(Bluetooth Low Energy)를 이용하여 측위를 하거나 UWB를 이용하여 수십 mm 오차의 정확한 거리를 측정할 수 있으나 UWB는 매우 고가의 센서를 필요로 한다. 하지만 BLE를 사용하는 비콘은 접근이 용이하다. 비콘을 이용한 BLE 방식은 신호의 편차가 커서 도전적인 연구 과제로 여겨지고 있다. BLE의 경우 신호세기의 표준편차가 심해서 거리를 정확하게 예측하기에는 한계가 있어 이를 극복하기 위한 노력이 계속되고 있다[3,4].

RSSI 신호 편차를 극복하기 위해 가우시안 필터를 사용하거나 차단막을 설치하여 신호의 세기를 균일하게 하여 측위의 성능을 개선하고 있다. RSSI 값은 가우시안 분포로 가우시안 필터를 사용하므로 노이즈를 제거하는 방안도 제안되었다. 그리고 칼만 알고리즘를 적용하면 BLE 비콘의 오차값이 큰 RSSI 값의 정확도 및 안전성 향상에 높은 효과가 확인되었다. 마지막으로 차폐막을 이용하여 신호 난반사로 인한 비콘과 사용자 단말기 간의 거리 측정 오차를 일부 감소시킬 수 있다고 한다[5,6].

실내 측위를 하는 방법으로 삼변 측량, 핑거 프린트등 다양한 방법을 통해서 단말의 위치를 파악할 수 있다. 핑거 프린트 기반의 방법에서는 특정 위치에서 수신되는 신호를 분석하여 기계학습 특히 kNN를 이용하여 단말의 위치한 참조 지역을 찾아 가는 방식이고 삼변측량 방식은 RSSI 값을 기반으로 정확한 거리를 계산하여 3개의 수신기로부터 삼변을 그려서 단말의 위치를 찾는다. BLE의 경우 RSSI 의 편차가 심해서 RSSI 기반으로 거리를 계산하기에는 어려운 점이 있다[7,8].

최근 기계학습을 이용하여 일정한 거리 단위별로 나누어 비콘의 RSSI를 수집하며 수집된 RSSI의 잡음을 줄이기 위해 확장 칼만 필터와 신호 안정화 필터를 통해 전처리 과정을 거친다. 그리고 산출된 RSSI를 기반으로 거리단위별 ANN(Artificial Neural Network) 학습한 후 실측 RSSI 값을 입력하여 거리를 찾는다[9,10].

본 논문에서 실측 데이터를 기반으로 신경망 모델을 만들고 그에 대한 수신기의 거리에서 발생할 수 있는 RSSI값을 예측하여 합성 데이터를 만든다. 그리고 그 합성 데이터를 기반으로 위치 대비 거리 신경망을 그리고 그 신경망을 가지고 다시 시뮬레이션을 수행하여 오차를 확인 방식으로 진행하였다.

본 논문은 2장에서 기계학습으로 실내 측위를 위한 시스템에 대해서 설명한다. 3장에서는 실측 데이터를 기반으로 예측 모델을 만들어 신호를 생성하는 시험을 설명한다. 4장에서는 생성된 신호를 기반으로 시뮬레이션 모델을 만들고 얼마나 정확하게 예측인 가능한지 알아본다. 5장에서 결론을 맺도록 한다.

Ⅱ. 제안하는 신경망 기반 실내 측위 방법

본 논문에서는 BLE 기반 실내 측위를 위한 시스템 구성도를 설명하다. 본 논문에서는 실측한 RSSI 데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 통해서 모델 적용 시 예측 정확도를 평가하기 위함이다.

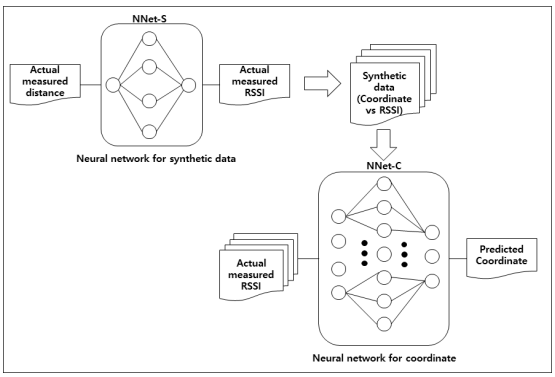

Fig. 1 System diagram including neural network

2.1. 합성 데이터 생성

그림 1은 제안하는 시스템 구성도에 대해서 나타낸다. 시스템 내에서 사용한 신경망은 두개의 부분으로 나뉜다. 합성 데이터를 만들기 위한 신경망-S(그림에서

'NNet-S')와 RSSI 값을 기반으로 비콘의 좌표를 예측하기 위한 신경망-C(그림에서 'NNet-C') 부분으로 이루어진다. 먼저 합성데이터를 위한 현장에 수신기와 비콘을 설치하여 일정한 거리 마다 RSSI 값을 측정하여 신경망-S의 입력 및 목표값 데이터로 사용한다. 신경망-S에서 회귀 데이터에 적합한 함수를 만들기 위해 신경망의 적절한 노드의 개수를 실험적으로 얻는다. 그리고 만들어진 신경망-S 으로 가우시안 분포의 표준편차를 구한다. 신경망-S로부터 평균값과 표준편차를 구해서 신경망-C를 위한 합성데이터를 생성한다. 이 신경망-C는 실측 RSSI에 해당하는 비콘의 좌표계를 예측한다.

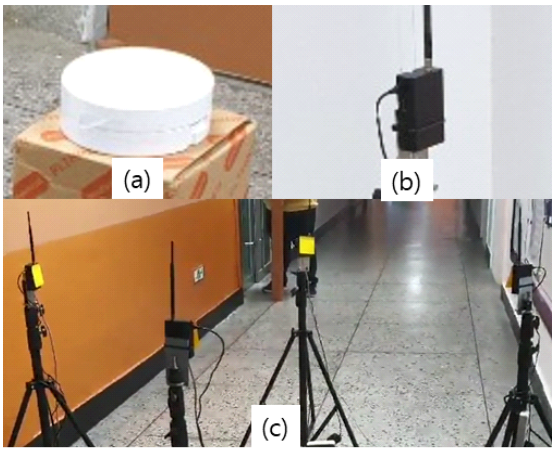

Fig. 2 Equipments for gathering actual data

2.2. 비콘 좌표 예측을 위한 신경망-C

그림 1에서 신경망-C가 비콘 좌표 예측을 위한 신경망이다. 신경망-C는 수신기가 받는 RSSI 값을 입력으로 한다. 출력은 거리, 각도, x, y 좌표계로 구성한다. 입력이 4개인 경우 신경망의 노드가 7개가 적합함을 실험을 통해서 얻을 수 있었다. 좌표계에서 각도는 x, y 좌표계를 이용하여 구할수도 있으며 예측치를 이용할 수도 있다.

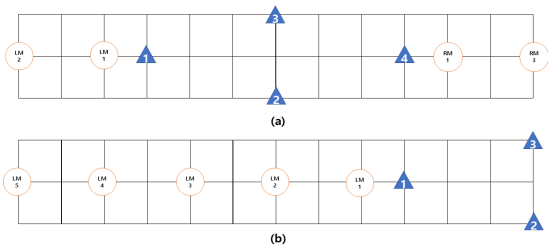

Fig. 3 Testing environment

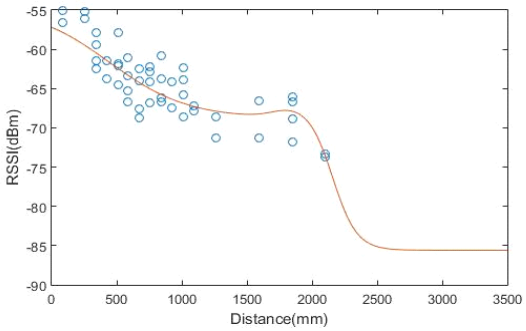

Fig. 4 Estimated plot for synthetic data

Ⅲ. RSSI 합성데이터 신경망

실측 데이터를 수집하기 위해 사무실 복도에 수신기와 비콘을 설치하여 측정하였다. 그림 2는 수신기와 비콘을 보여주고 있다. 그림 2(a)은 비콘을 보여주고 있다. 비콘은 1초에 한번씩 Beacon 메시지를 방송한다. 저전력으로 동작하여 베터리 교체가 거의 필요하지 않다. 그림 2(b)는 비콘에서 보내는 메시지를 수신하는 수신기이다. 라즈베리파이 보드로 제작되었고 BLE 수신 모듈이 추가하였다. 그림 2(c)는 수신기를 복도에 설치한 그림을 나타낸다. 수신기는 바닥의 격자로 구분하여 위치시켰다.

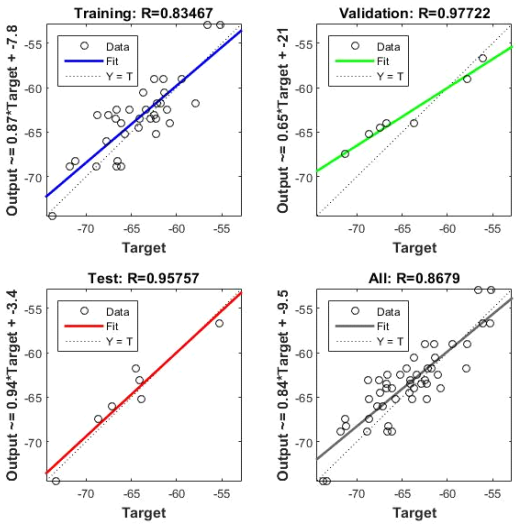

Fig. 5 Regression result of neural network

복도에서 시험을 진행하기 위해 수신기의 위치를 그림 3(a)처럼 설치하였고 격자는 정사각형이며 길이는 840mm 이다. 두 수신기 간의 신호 차이로 방향 구분이 가능한지 판단하기 격자를 6간격을 두고 시험하였다. 데이터는 1분 동안 동그라미 위치에서 수집하였다. 수집한 데이터를 그림 4의 '○'가 실측한 거리 대비 RSSI 값을 나타낸다. 수신기 마다 수집한 RSSI 값을 모두 포함 시켜 수신기의 일반적인 특징으로 모델링하고자 하였다.

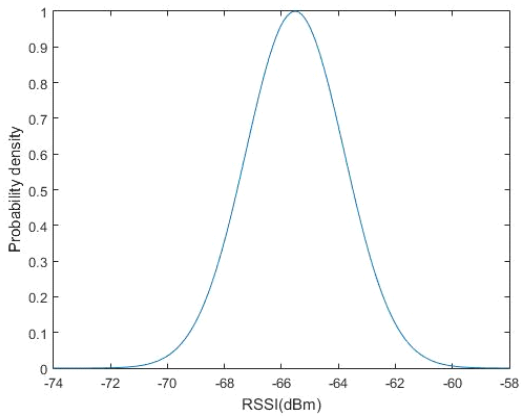

Fig. 6 Probability density of RSSI at 1000mm

그림 4의 실선과 같은 학습 결과를 얻었다. 2500mm 이상에서는 이전까지의 측정치를 기반으로 예측하고 있음을 알 수 있다. 본 신경망-C를 활용하여 합성데이터를 생성한다. 각 거리에서 수집된 RSSI 값에 대한 σ를 구하고 평균을 내서 수신기의 RSSI σ로 사용하며 그 값은 합성 데이터에서 각 수신기의 RSSI 값의 표준편차로 활용된다. 그림 5는 신경망-C의 회귀 결과를 나타내고 있다. 합성 데이터는 평균값은 신경망으로 부터 취득하고 가우시안 분포의 표준편차를 더한다. 예를 들어 그림 6은 1000mm에서 RSSI 값에 대한 Probability density 값을 나타낸다.

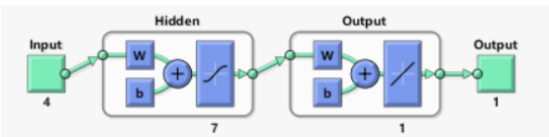

Fig. 7 Neural network for predicting distance

Ⅳ. 실내 측위 신경망 모델

합성 데이터의 RSSI를 입력값 그리고 거리, 각도, x, y좌표를 목표값으로 하는 그림 7의 신경망-C을 학습시켰다. 신경망-C의 입력은 4개 수신기가 받는 RSSI 값이며 7개의 히든 노드를 가지며 1개의 거리 출력값을 갖도록 구성하였다. 7개의 히든 노드는 실험적으로 파악하였다.

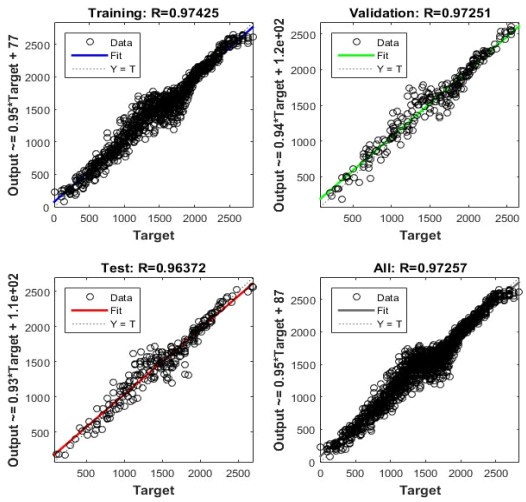

Fig. 8 Regression distance result of neural network with 1.72 sigma

본 논문에서 정의한 네트워크는 4개의 수신기에서 수집한 RSSI 값과 그에 상응하는 비콘의 원점에서부터 거리이다. 합성 데이터의 입력은 수신기에서 수신한 RSSI 값이고 합성 데이터의 목표값은 원점으로부터 거리, 각도, x좌표, y 좌표를 목표값으로 설정하였다. 그림 8은 거리에 대한 합성 데이터의 모형으로부터 얻은 회귀분석 결과이다. 합성 데이터의 표준 편차는 1.72이다. 그림 8에서 보는 바와 같이 거리 회귀는 상당 부분 일치하는 것을 할 수 있다. 정확도를 높이기 위해 표준편차를 0.1로 임의로 설정하여 신경망-C의 성능을 확인하였다. 신경망-C의 입력은 x, y 좌표 40개로 나누어 1600개(40x40) 입력과 거리 1600개(40x40) 목표 값으로 구성하였다. 표준편차를 임의로 0.1로 설정하였을 때 그림 9과 같은 거리 회귀 분석 결과를 얻을 수 있었다. 그림 9을 보면 그림 8보다는 더 정확한 결과를 얻을 수 있었고 오차가 큰 중간은 거리가 1500mm 부근에서 오차가 많이 발행함을 알 수 있다.

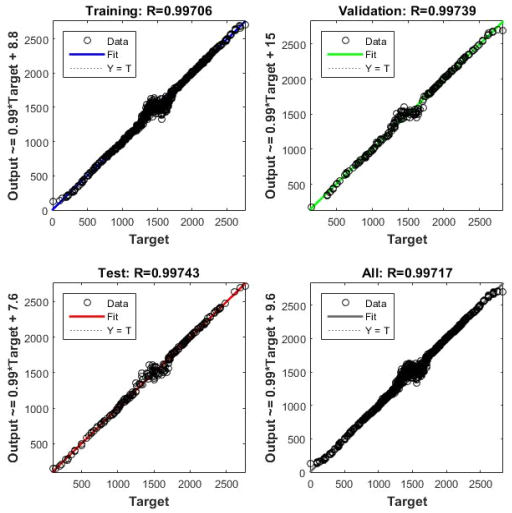

Fig. 9 Regression distance result of neural network with 0.1 sigma

Ⅴ. 실내 측위 신경망 모델 모의 실험 결과

가상의 환경에서 이동객체에 대한 시험을 진행하였다. 그림 10에서 보는 것과 같이 '+'는 예측치, 'x'는 실제 객체가 이동한 경로를 나타낸다. '■'로 표기된 중앙의 수신기 4개로부터 평균 RSSI에 표준편차에 해당하는 랜덤값을 추가하였다. 실측 데이터 시험환경과 동일하게 수신기간의 간격을 506mm로 하였다. 이동 객체가 주기적으로 beacon을 보내서 그 값을 바탕으로 위치를 예측하였다. 위치를 예측할 때 위의 합성 데이터로 만든 신경망-C을 사용하였다. + 위치는 먼저 거리를 예측하고 x,y 좌표를 가지고 radian을 계산하여 예측한 x,y 좌표를 표시한다. 표준편차가 1.72의 경우 거리 회귀 분석 결과에서처럼 정확한 값을 얻을 수 있지만 방향이 정확하지 않아 목표물의 위치를 파악할 수 없었다. 반면에 그림 11은 표준편차를 임의로 0.1로 수정했을 때 거리와 방향을 정확히 예측할 수 있다. 하지만 0.1인 경우에도 특정한 지점에서 '+'가 전혀 다른 방향을 예측하여 반대 방향에 표기가 되는 경우도 발생한다. 이를 위해 추가적인 알고리즘이 적용이 필요하다.

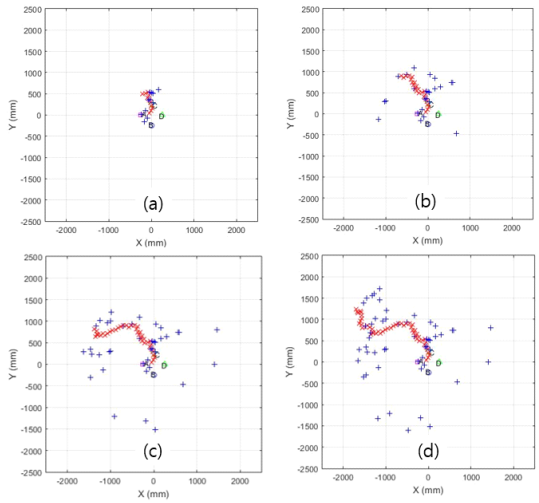

Fig. 10 Coordinate prediction with 1.72 sigma

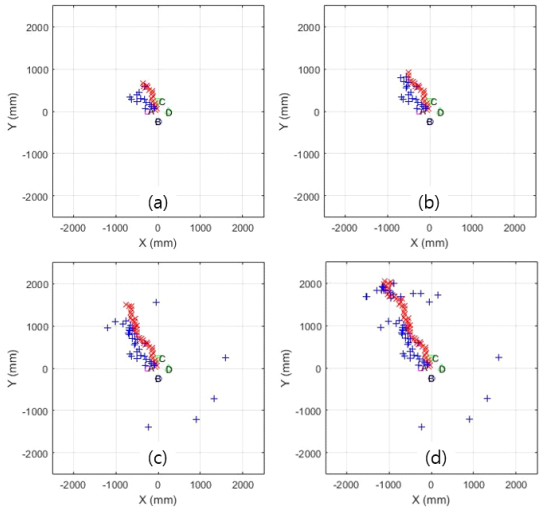

Fig. 11 Coordinate prediction with 0.1 sigma

Ⅵ. 결 론

본 논문은 신경망을 이용한 BLE 기반 실내 측위 시스템을 설계하였다. 거리 대비 RSSI 실측 데이터를 바탕 신경망을 이용하여 수신기의 RSSI 생성 함수를 학습한다. 이 신경망을 이용하여 x,y 좌표 기준으로 합성 데이터를 만들어서 거리, 각도, x,y 좌표를 예측할 수 있는 신경망을 학습시켰다. 이렇게 학습된 신경망은 수신기의

RSSI 값들로부터 x,y 좌표 예측이 가능하다. 실측 데이터를 바탕으로 합성 데이터를 생성할 때 RSSI 값의 편차를 1.72를 얻었으며 이 값을 바탕으로 만든 신경망은 이동 객체의 이동에 대해서 거리는 예측 가능했지만 방향은 예측이 어려웠다. 반면에 편차를 0.1로 설정하였을 때 예측이 가능하였으나 이는 현실에서는 거리가 있어 편차가 1.72는 실제 데이터에 대한 값으로 수신기를 추가하여 정확한 예측이 가능할 것으로 예상되어 추후 연구가 필요하다. 상용화하기 위해 RSSI 실측값을 얻기 위한 자동화 방법이 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

"This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science and ICT(2018R1D1A1B07050277)."

REFERENCES

[1] H. W. Ahn and N. M. Moon, "Artificial intelligence-based indoor positioning technology trends and prospects," *Broadcasting and media*, vol. 25, no. 1, pp. 75-82, Jan. 2020.

[2] C. P. Yoon and C. G. Hwangm, "Efficient indoor positioning systems for indoor location-based service provider," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 6, pp. 1368-1373, Jun. 2015.

[3] J, Kim and B. G. Gu, "Machine Learning Method based on Beacon Signal Strength Pattern for Deciding Indoor Presence of Use," *Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 18, no. 8, pp. 1-8, Aug. 2020.

[4] F. S. Danis and A. T. Cemgil, "Model-Based Localization and Tracking Using Bluetooth Low-Energy Beacons," *Sensors*, vol. 17, no. 11, Oct. 2017.

[5] J. G. Lee, Y. D. Kim, and Y. W. Ko, "Filter Algorithm for accurate measurement of the RSSI value of BLE Beacon," in *Conference Proceeding of the Korean Society of Information Sciences*, pp. 1871-1873, Jun. 2015.

[6] M. S. Cheon, J. Y. Lee, and J. K, Choe, "A Study on Improvement of Indoor Position Using BLE 5.0," *Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 43-49, Apr. 2018.

[7] D. S. Kim, H. S. Yeom, and S. Kim "Indoor Positioning System Using Robust Outlier Extended Kalman Filter," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 20, no. 9, pp 954-960, Sep. 2009.

[8] N. H. Nam, I. K. Lim, and J. K. Lee, "Location Estimation Method of Positioning System utilizing the iBeacon," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 4, pp. 925-932, Apr. 2015.

[9] J. W. Noh, T. Y. Kim, S. T. Kim, J. H. Lee, H. K. Yoo, and Y. G. Kang, "ANN-based Adaptive Distance Measurement Using Beacon," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 18, no. 5, pp. 147-153, Oct. 2018.

[10] J. B. Bae, C. Lynn, and B. J. Park, "Indoor Positioning System using Geomagnetic Field with Recurrent Neural Network Model," *The Journal of Korean Institute of Next Generation Computing*, vol. 14, no. 6, pp. 57-65, Dec. 2018.

신광성(Kwang-Seong Shin)

2005.3 전북대학교 컴퓨터공학과 석사
2014.3 군산대학교 컴퓨터정보공학과 박사
2008.8-2018.2 군산대학교 컴퓨터정보공학과 겸임교수
2018.3~현재 원광대학교 디지털콘텐츠공학과 부교수
※관심분야 : 컴퓨터비전, 인공지능, 디지털콘텐츠, VR/AR, Hologram, Tele presence

이희권(Heekwon Lee)

2018년 2월 : 원광대학교 정보통신공학과 (공학사)
2020년 2월 : 원광대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2020년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 정보통신공학과 (박사과정)
※관심분야 : 무선통신, 다중 입출력 시스템, 컴퓨터 통신, 인공지능

염성관(Sungkwan Youm)

2001년 2월 : 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
2006년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학박사)
2006년 3월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 책임연구원
2015년 3월 ~ 2018년 2월 : 제주 한라대학교 조교수
2018년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 부교수
※관심분야 : 사물인터넷, 빅데이터, 컴퓨터 통신, 인공지능