

# 인공지능 기반 실내 측위 기술 동향 및 전망

## Artificial intelligence-based indoor positioning technology trends and prospects

□ 안현우, 문남미 / 호서대학교

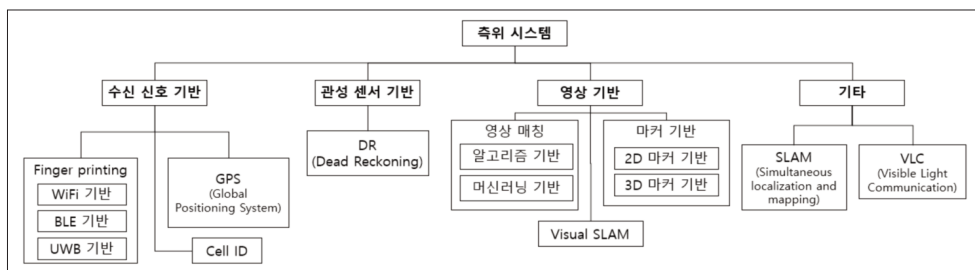
### 요약

디지털 트윈이나 증강현실, 가상현실, 자율주행 등과 같이 현실 좌표계의 위치를 다루거나 현실과 가상세계를 융합하는 기술들에 있어 측위 기술은 상당히 주요하게 작용한다. 측위 기술은 그 목적과 타겟 디바이스에 따라 매우 다양하게 존재하며, 기존 측위 기술들에 인공지능을 융합하여 정밀도와 측위 주기를 개선시키는 등 다양한 연구가 진행되고 있는 분야이다. 본 고에서는 기존의 다양한 측위 기술들의 동향과 인공지능을 융합하여 성능을 높인 사례들에 대해 설명한다.

Keyword : Positioning System, Location Based Technology, Machine Learning, Deep Learning

### 1. 서론

측위 기술은 위치를 측정하는데 있어 그 목적과 측위 디바이스에 따라 매우 다양한 기술들이 연구되어 왔으며 위치를 측정하기 위한 기준 좌표계와 중계 신호를 필요로 한다는 점에서 센서 및 신호기술과 밀접한 관계를 갖고 발전해왔다[1]. <그림 1>은 다양한 종류의 측위 시스템을 분류한 그림이다. 본 고에서는 이러한 측위 기술들을 가능하게 하는



<그림 1> 측위 시스템 분류

센서와 신호 메커니즘, 동향에 대하여 간략히 설명하고 인공지능과 융합된 사례들을 설명한다.

## II. 측위 기술 동향

### 1. 관성 센서 기반 측위

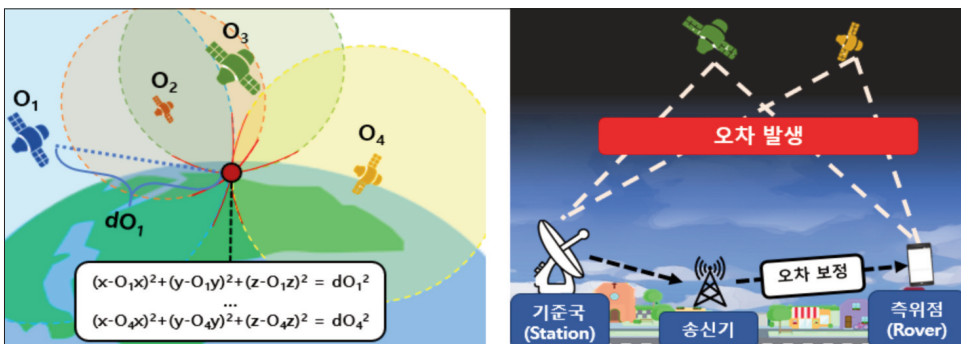
추측 항법이라고도 불리는 이 방식은 자이로 센서와 같은 관성 센서를 통한 방식으로 특정한 좌표계가 아닌 측위 디바이스의 특정 시점을 기준으로 측위가 진행되기 때문에 실제 활용에 있어 나머지 2가지 방식과 융합하여 활용되는 것이 일반적이다. GPS나 측위를 보조할 수신 신호를 받기 어려운 열악한 환경에서 주로 활용되며 자이로 센서 이외에도 가속도 센서나 지자기 센서 등과 같은 관성 센서를 활용하여 주기적으로 획득되는 방향 값과 가속도 값을 누적해가며 현재 위치를 측정하는 기술이다[2]. 근래에 들어 스마트폰의 경우 추측 항법이 가능하도록 관성 센서가 기본적으로 포함되어 제작되므로 이러한 방식으로 측위가 가능하다.

하지만 이 방식은 측위 시간이 오래될수록 센서의 오차가 누적되어 측위의 오차로 나타나는 단점

이 존재한다[3]. 센싱에 있어 칼만 필터나 파티클 필터 등을 활용하여 누적되는 오차를 줄이는 등 정확도를 높이는 방식들이 연구되었으나 오차가 누적된다는 근본적인 문제를 해결하지는 못하였다[4][5]. 또한 이 방식은 이동 경로 또는 움직임에 대한 시계열 데이터 형태로 측정되기 때문에 특정 좌표계 상의 측위를 진행하기 위해서는 단독적으로 사용되지 못하며 기준점을 제공해주는 보조 방식이 필수적이다. 최근에는 정확도 상상을 위해 관성 센서들의 시계열 데이터를 입력으로 Adaboost라는 기계학습 알고리즘을 이용하여 사용자 행동에 대한 센서 패턴을 학습하고 측위에 활용한 방식이 연구되었다[6]. 연구에서는 측위를 진행하는 보행자의 행동에 대해 “걷지 않음”, “계단 오름”, “의자에서 일어남” 등과 같이 11개의 행동으로 분류하여 학습을 진행하였으며 최종적으로 기존 PDR(Pedestrian Dead Reckoning) 방식 대비 두배 가까운 오차를 줄였다.

### 2. 수신 신호 기반 측위

측위 디바이스의 수신되는 신호를 기반으로 한 측위 기술은 다양하게 존재한다.



〈그림 2〉(왼쪽) gps 삼변측량 과정, (오른쪽) dgps를 활용한 오차 보정

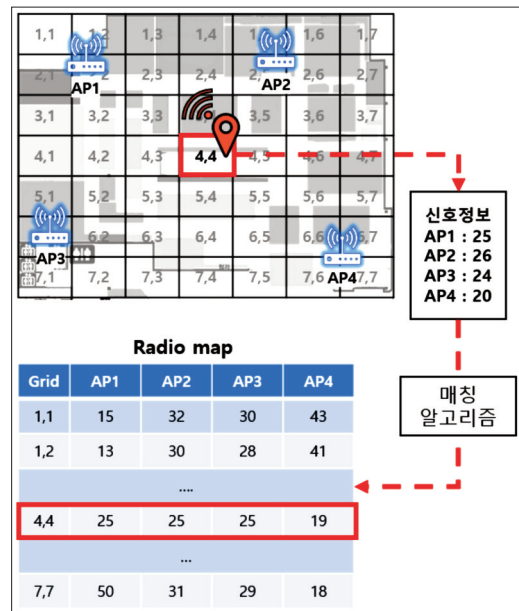
첫 번째로는 잘 알려진 GPS(Global Positioning System)를 들 수 있다. GPS는 <그림 2>와 같이 4개 이상의 인공위성에서 받은 거리 정보를 토대로 삼변 측량(trilateration)을 통해 측위를 진행하는 기술이다. 3개의 위성으로부터 위치를 추정할 수도 있지만 일반적으로 시계의 오차를 보정하기 위해 추가적으로 한 개의 위성을 더 필요로 한다. 이때 거리의 측정을 위해서 의사 거리(pseudo range)라는 개념을 활용한다. 의사 거리란 위성과 수신기 사이의 시계 오차로 인해 발생할 수 있는 오차를 포함한 거리로써, 시계 오차 값과 빛의 속도를 아래 수식에 대입하여 얻을 수 있다.

$$Pr_i = P_i + c * \Delta T_i \quad (1)$$

위 식에서  $Pr_i$ 는  $i$ 번째 위성과 수신기와의 의사 거리이며,  $P_i$ 는 실제 거리로 빛의 속도인  $c$ 와 전송 시간을 곱한 값이다. 마지막으로  $\Delta T_i$ 는 수신기와  $i$ 번째 위성 사이에 존재하는 시계오차이다. 비교적 저렴한 GPS 센서 하나만 있으면 측위가 가능한 장점이 있지만, 신호를 송출하는 인공위성과 측위 디바이스 사이에 위치한 장애물이나 내부 회로의 오차, 송/수신부의 시계 오차 등에 의해 다소의 오차가 포함된 거리를 제공받게 된다. 이를 해결하기 위해 Differential GPS라는 위성과의 오차 정보를 저장하고 송신 및 제공하는 기준국을 두어 측위 디바이스의 오차 보정에 활용하는 방식이 연구되었다 [7]. 여기서 더 나아가 기존 DGPS에서 사용되는 신호 대비 더 짧은 주기를 갖는 반송파를 활용하여 1~2cm의 정밀한 측위가 가능한 RTK 방식이 개발되었다. 국내에서는 국토부가 무료로 제공하는 VRS(Virtual Reference Service)와 방송사의 DMB 신호를 토대로 한 MBC RTK 등이 그 예이다[8].

두 번째로는 무선 통신망 기지국마다 고유하게 할당된 Cell ID를 활용하는 방식이다. 기지국마다 고유하게 갖고 있는 Cell ID와 위치, 커버리지를 알고 있다면, 측위 대상 기기가 어느 기지국에 속해 있는지 판별하면 해당 기지국이 위치한 좌표를 기준으로 커버리지 내에 있음을 대략적으로 측정하는 방식이다. 이 방식은 측위의 정밀도가 필요치 않은 분야에서 간단하게 적용이 가능하지만 기지국의 커버리지 반경에 따라 오차가 크게 달라진다는 단점이 존재한다.

세 번째로 핑거프린팅 기술이 존재한다. <그림 3>과 같이 여러 대의 송출기에서 오는 신호 세기를 가상의 실내 지도에 매핑하는 라디오 맵(Radio map)을 생성하여 기록하고, 이후 기기에서 측정되는 신호 세기 패턴을 라디오 맵에서 탐색하여 위치를 측정하는 기술이다. 신호로는 WiFi, BLE(Bluetooth Low Energy), UWB(Ultra-WideBand) 등 다양한



<그림 3> 핑거프린팅 개요

신호를 활용할 수 있으며 정확도와 측위 가능 거리는 그 신호의 종류에 따라 15cm부터 수 m 사이의 오차를 갖는다[9][10]. WiFi 및 BLE를 기반으로 한 핑거프린팅 방식의 경우 모바일 기기에서도 별도의 센서 없이 측위가 가능하다는 장점이 있지만 배터리 관리 문제로 신호 측정 주기가 수 초로 늘어남에 따라 실시간 측위는 불가능하며 신호 경로 사이의 장애물과 온도, 습도 등 측정 환경 변화에 따라 신호 세기가 쉽게 변하는 특성으로 인해 불안정하다는 단점을 갖고 있다. 최근에는 WiFi 핑거프린팅 기술에서 RSSI가 가리키는 SSID를 통해 의사결정 트리를 생성하고 기계학습의 일종인 랜덤 포레스트(Random forest)를 활용하여 의사결정 트리를 취합하는 시스템을 구현하여 실행 속도와 정확도를 높이는 연구 또한 진행되었다[11]. 초광대역 시스템이라고 불리는 UWB 시스템은 500MHz 이상의 매우 넓은 대역에 걸쳐 낮은 전력으로 대용량의 정보를 전송하는 무선통신 시스템을 말한다. UWB를 기반으로 한 측위 시스템의 경우 WiFi, BLE에 비해 상대적으로 높은 정확도를 갖고 있으나 측위를 위해 별도로 매우 고가의 센서를 필요로 하며 구축에 있

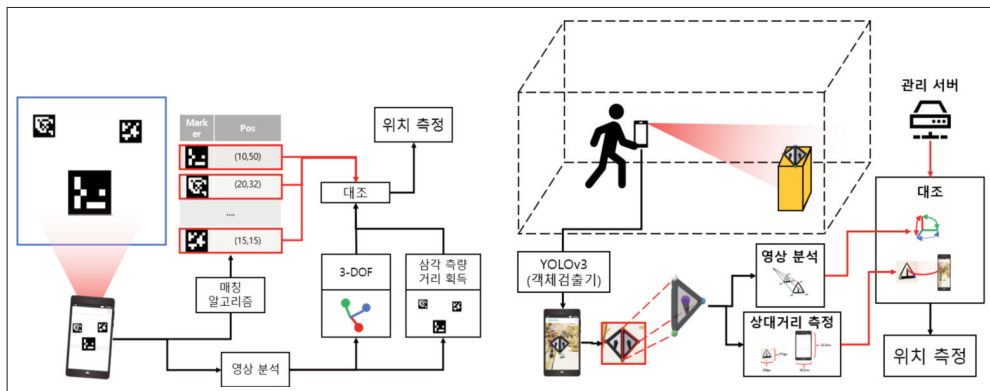
어 복잡성이 높다는 단점이 있다[2][12].

### 3. 영상 기반 측위

영상을 기반으로 하는 측위 기술로는 크게 마커 인식을 기반으로 하는 방식과 영상매칭을 기반으로 하는 방식 두 가지로 나눌 수 있다.

우선 마커 기반의 경우 QR 코드나 패턴같이 인식에 특화되도록 제작된 마커를 두어, 측정 기기의 카메라에서 포착/인식된 마커에 따라 기기의 위치를 측정하는 방식이다. 마커는 다른 마커와의 식별을 위해 유일한 패턴을 갖는 개체로써 2차원 평면의 이미지로 출력된 형태나 입체화된 도형, LED 구성물 등 다양한 종류의 형태가 마커로써 존재할 수 있다[13].

이 방식은 측위 결과에 따라 세 가지 방식으로 나눌 수 있다. 첫 번째로는 Cell ID 방식과 같이 대략적인 위치 추정을 위한 방식이 존재한다[14][15]. 이는 고정된 마커를 촬영한 측위 디바이스가 마커의 위치를 저장하고 있는 서버에 식별한 마커의 위치를 요청하면 그 주변에 있음을 대략적으로 판단하



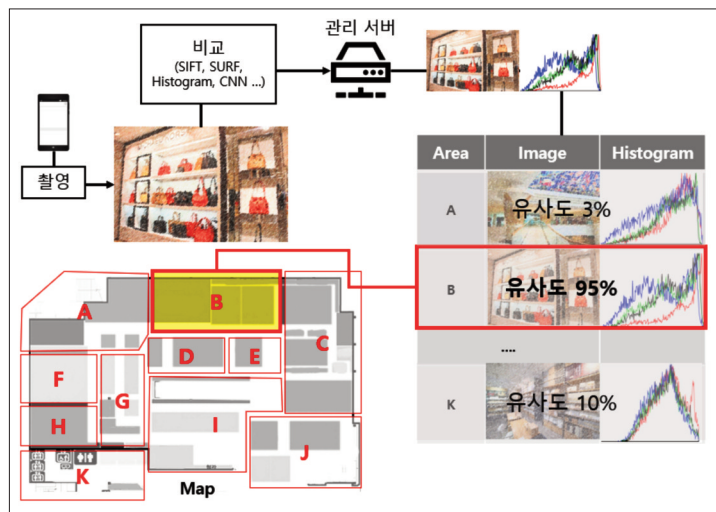
(그림 4) (왼쪽) 마커 삼각측량 기반 측위 방식, (오른쪽) YOLOv3 모델을 활용한 측위 방식

는 방식이다. 이 방식은 구현이 편리하며 저렴한 비용으로 구축할 수 있다는 장점을 갖는다. 두 번째로는 <그림 2>와 같이 3개 이상의 포착된 마커를 통한 삼각 측량을 통해 측위를 진행하는 방식이다[16]. 마지막으로 포착된 마커를 영상공학적으로 분석하여 회전 변화를 탐지하고 마커가 부착된 위치, 자세 정보를 대조하여 촬영 디바이스의 위치를 측정하는 방식이 있다[17][18]. 하지만 영상에서 마커를 인식하는데 있어 영상공학적인 방법으로 조도의 변화, 회전, 축척 변화 등 실제 환경에서 생기는 변수들을 모두 다루는 것은 매우 지난한 일이다. 이에 최근에는 <그림 4>의 우측 그림과 같이 마커를 인식하는데 있어 객체 검출기의 일종인 YOLOv3(You Only Look Once)를 활용하여 실시간에 가깝게 안정적인 인식을 구현하는 등 연구가 활발히 이루어지고 있다[19]. 상기한 방식들은 마커의 패턴이 기존의 다른 마커들과 구분되도록 중복되지 않게 생성하여야 하며 고정된 마커의 패턴이 복잡할수록 측위가 가능한 거리가 짧아지는 특징을 갖고 있다.

영상 매칭을 기반으로 하는 측위 방식은 <그림 5>와 같이 측위 디바이스에서 촬영된 영상을 미리 저장되고 분류된 공간의 영상과 비교, 또는 히스토그램 등과 같은 영상 데이터의 속성 비교를 통해 대략적인 위치를 추정하는 방식으로 나눌 수 있다 [20][21][22].

과거에는 이미지의 비교를 위해 SIFT나 SURF, ORB 등 알고리즘에 기반한 방법들을 사용하였으나 근래에 들어서는 특징 추출 알고리즘 기반의 비교 방식들은 점차 사라지고 기계학습이나 딥러닝을 활용한 방식으로 대체되고 있는 추세이다. 더하여 이 방식은 이미지 분석과 관련된 인공지능 기술들의 발전과 카메라 화질의 향상에 따라 높은 정확도를 보이고 있는 방식이다.

비슷한 방식을 측위에 활용한 사례로 Visual SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)이라는 기술이 있다. 참조할 맵(Map)이 없을 때 스스로 맵을 만들어가며 만들어진 공간에서의 측위까지 가능한 기술을 SLAM이라고 하는데, 이를 카메라



<그림 5> 영상 매칭 기반 측위 방식



라와 영상공학, 딥러닝을 활용하여 결합한 기술을 의미한다. 최근에는 이러한 Visual SLAM과 레이저 센서를 결합하고 3D로 매핑한 공간에서 포착된 패턴과 비교하여 cm 단위의 오차로 측위하는 연구가 이루어졌다[23].

#### 4. VLC 기반 측위

VLC(Visible Light Communication)란 인간이 인지하지 못할 정도로 빠른 주파수로 점멸하는 가시광으로 통신하는 기술을 의미한다. VLC 기반의 측위 방식은 이러한 특성을 이용하여 각각의 LED에 해당하는 ID로써 구별되는 주파수를 할당하고 각 LED의 좌표를 매핑한다.

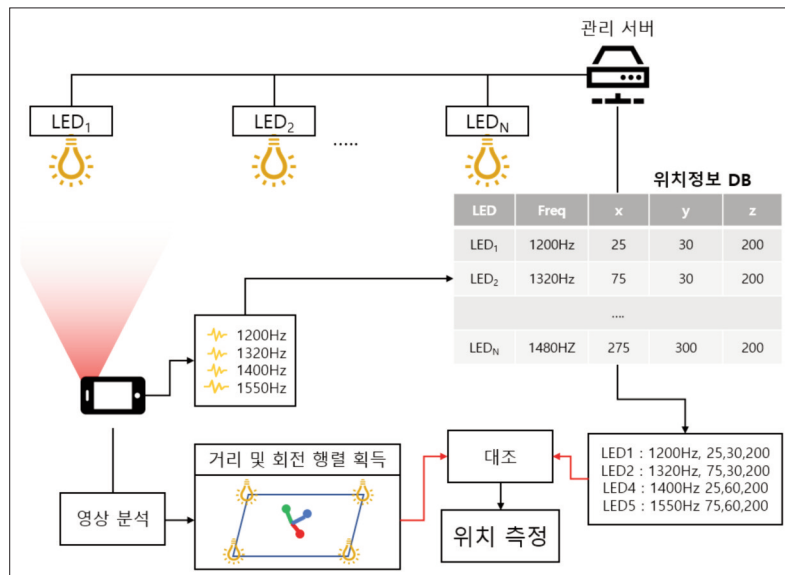
이후 측위 디바이스에 포착된 3개 이상의 LED 좌표에 대하여 삼각측량을 진행해 촬영 기기의 상대적인 위치를 측정하는 방식이다[24]. 이 방식은

오차평균 10cm 이하의 높은 정확도를 갖고 있다. 구현 방식에 따라 LED가 담당하는 그리드(Grid)를 추정하는 방식과 x,y 좌표를 도출하는 방식, 다수의 탐지된 LED를 통해 도출된 회전변화 값을 활용하여 z값 및 기기의 자세 값까지 도출하는 방식으로 나뉜다[3][25][26].

VLC의 경우 지도학습의 일종인 SVM(Support Vector Machine)과 랜덤 포레스트, kNN(k-Nearest Neighbors), DT(Decision Tree) 알고리즘들을 통해 위치 별 각 LED의 세기를 학습하는 방식을 제안하였으며 SVM의 경우 약 78%의 측위 주기 단축과 8.6cm의 높은 정밀도로 측위를 수행하였다[27].

### III. 결론

초창기 측위 기술의 발전을 이루는 근간은 센서



〈그림 6〉 VLC 기반 측위 개요

와 통신 기술의 발달이었겠지만 추측 항법의 칼만 필터나 GPS의 differential GPS 등과 같은 오차를 줄이고 정밀도를 높이는 방법론 또한 중요해졌다. 이제는 인공지능과 융합된 양질의 측위 시스템들이 개발되고 센서와 통신기술, 방법론의 발전만으로 해소하지 못했던 부분들을 해소하는 모습을 보이며 인공지능이 주목받고 있다. 예를 들어, 영상 내의

감마나 측척, 회전 변화, 또는 측위 환경에 의한 라디오 맵의 불균형 조율, 관성 센서 데이터를 통한 모션 분류 등 측위 시스템 개발 시 시스템에 일일이 반영하기 힘들었던 부분들을 인공지능을 통해 극복할 수 있게 된 것이다. 이러한 변화는 측위 기술 분야에 이제껏 없던 큰 발전을 가져올 것이라 전망한다.

### 참고 문헌

- [1] Mautz, Rainer, and Sebastian Tilch, "Survey of optical indoor positioning systems," In 2011 international conference on indoor positioning and indoor navigation, pp.1-7, Nov 2011.
- [2] S. Lee, S. Kim, "Indoor positioning technology trends and outlook," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol.32, No.2, pp.81-88, 2015 Jan.
- [3] Beauregard, Stephane, and Harald Haas, "Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning," Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication, pp. 27-35, 2006.
- [4] Krakiwsky, Edward J, Clyde B Harris, and Richard VC Wong, "A Kalman filter for integrating dead reckoning, map matching and GPS positioning," In IEEE PLANS'88, Position Location and Navigation Symposium, Record.'Navigation into the 21st Century', pp.39-46, 2002.
- [5] Racko, Jan, et al, "Pedestrian dead reckoning with particle filter for handheld smartphone," In 2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp.1-7, 2016.
- [6] Kourogji, Masakatsu, Tomoya Ishikawa, and Takeshi Kurata, "A method of pedestrian dead reckoning using action recognition," IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium. IEEE, pp. 85-89, 2010.
- [7] Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., & Grinter, T., "Precise Point Positioning: Is the era of differential GNSS positioning drawing to an end?," In FIG Working Week 2012, pp. 1-17. 2012.
- [8] S. Lee, "MBC Precision Positioning Service and Autonomous Vehicles," Broadcast and media, Vol.24, No.1, pp.56-62, 2019 Jan.
- [9] Faragher, Ramsey, and Robert Harle, "Location Finger-printing with bluetooth low energy beacons," IEEE journal on Selected Areas in Communications, Vol.33, No.11, pp.2418-2428, May 2015.
- [10] H. Seo, et al. "A Study of Indoor Positioning Algorithm Based on UWB Fingerprinting and TDoA," Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference. Korea Information Processing Society, pp.86-89, 2016.
- [11] S. Lee, J. Kim, and N. Moon, "Random forest and WiFi fingerprint-based indoor location recognition system using smart watch," Human-centric Computing and Information Sciences, Vol.9, No.1, pp.6, Jan 2019.
- [12] C. Lee, T. Sung. "UWB positioning technology introduction and technology trends," The Korean Institute of Communications and Information Sciences, Information & Communications Magazine, Vol.34, No.4, pp.33-38, 2017 Mar.
- [13] Liu, Hugh Sing, and Grantham Pang, "Positioning beacon system using digital camera and LEDs," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.52, No.2, pp.406-419, May 2003.
- [14] G. Lim, Y. Kim, and S. Park, "A Study on Railway Station Navigation for Handicapped Using Maker Indoor Positioning," Proceedings of 2018 Conference of Korean Society for Railway, pp.90-92, 2018.
- [15] J. Kim, "Indoor Location Positioning System for Image Recognition based LBS," Journal of Korea Spatial Information Society, Vol.10, No.2, pp.49-62, 2008.

- [16] Ecklbauer, Bernhard Leopold, "A mobile positioning system for android based on visual markers." Mobile Computing, 91, 2014.
- [17] B. Ahn, Y. Ko, and H. Ji, " Indoor Location and Pose Estimation Algorithm using Artificial Attached Marker," Journal of Korea Multimedia Society, Vol.19, No.2, pp.240-251, 2016 Feb.
- [18] Saito, Shigeru, et al, "Indoor marker-based localization using coded seamless pattern for interior decoration," In 2007 IEEE Virtual Reality Conference, pp.67-74, 2007.
- [19] H. An. Deep learning-based indoor positioning system using pyramid LED beacons, Master's Thesis of Hoseo University, Asan, Korea, 2020.
- [20] Van Opdenbosch, Dominik, et al, "Camera-based indoor positioning using scalable streaming of compressed binary image signatures," In 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp.2804-2808, 2014.
- [21] Cheng, Yaun-Chou, et al, "AR-based positioning for mobile devices," In 2011 40th International Conference on Parallel Processing Workshops, pp. 63-70, 2011.
- [22] Kawaji, Hisato, et al, "Image-based indoor positioning system: fast image matching using omnidirectional panoramic images," In Proceedings of the 1st ACM international workshop on Multimodal pervasive video analysis, pp.1-4, 2010.
- [23] Zhang, Xinzheng, Ahmad B. Rad, and Yiu-Kwong Wong, "Sensor fusion of monocular cameras and laser rangefinders for line-based simultaneous localization and mapping (SLAM) tasks in autonomous mobile robots," Sensors, Vol.12, No.1, pp.429-452, Jan 2012.
- [24] Komine, Toshihiko, and Masao Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," IEEE transactions on Consumer Electronics, Vol.50, No.1, pp.100-107, June 2004.
- [25] Luo, Pengfei, et al, "An indoor visible light communication positioning system using dual-tone multi-frequency technique," In 2013 2nd International Workshop on Optical Wireless Communications (IWOW), pp.25-29, 2013
- [26] Li, Yiwei, et al, "A VLC smartphone camera based indoor positioning system," IEEE Photonics Technology Letters, Vol.30, No.13, pp.1171-1174, May 2018.
- [27] Tran, Huy Q., and Cheolkeun Ha. "Improved Visible Light-Based Indoor Positioning System Using Machine Learning Classification and Regression," Applied Sciences, Vol.9, No.6, 1048, Mar 2019.

## 필자소개



### 안현우

- 2018년 : 호서대학교 컴퓨터소프트웨어전공 공학사
- 2018년 ~ 현재 : 호서대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2880-5639>
- 주관심분야 : 빅데이터 처리 및 분석, 추천시스템, 인공지능(AI)



### 문남미

- 1985년 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 공학사
- 1987년 : 이화여자대학교 공학석사
- 1998년 : 이화여자대학교 공학박사
- 1999년 ~ 2003년 : 이화여자대학교 조교수
- 2003년 ~ 2008년 : 서울벤처정보대학원대학교 디지털미디어학과 교수
- 2008년 ~ 현재 : 호서대학교 컴퓨터소프트웨어전공 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-2229-4217>
- 주관심분야 : Social Learning, 빅데이터 처리 및 분석, HCI, 메타데이터, User Centric data analysis