

상설 네트워크 인프라가 없는 실내 공간에서 재난시 IoT 기기를 활용한 부착형 실내 위치 추적 기술 연구

A Study of Temporary Positioning Scheme with IoT devices for Disastrous Situations in Indoor Spaces Without Permanent Network Infrastructure

이정표^{a,1}, 윤영욱^{a,2}, 김상수^{b,3}, 김영억^{a,*}

Jeongpyo Lee^{a,1}, Younguk Yun^{a,2}, Sangsoo Kim^{b,3}, Youngok Kim^{a,*}

^a Department of Electronic Engineering, University of Kwangju, 20 Kwangju-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-701, Republic of Korea

^b Ho-seo plaza 7floor, 416, Gangseo-ro, Gangseo-gu, Seoul, 07583, Republic of Korea

ABSTRACT

Purpose: This paper propose a temporary indoor positioning scheme with devices of internet of things (IoT) for disastrous situations in places without the infrastructure of networks.

Method: The proposed scheme is based on the weighted centroid localization scheme that can estimate the position of a target with simple computation.

Results: It also is implemented with the IoT devices at the underground parking lot, where the network is not installed, of general office building. According to the experiment results, the positioning error was around 10m without a priori calibration process at 82.5m x 56.4m underground space.

Conclusion: The proposed scheme can be deployed many places without the infrastructure of networks, such as parking lots, warehouses, factory, etc.

KEYWORDS

Indoor Positioning,
Localization,
IoT-device,
Smart-device

연구목적: 본 논문에서는 상설 네트워크가 없는 장소에 Internet of things (IoT) 기기를 활용하여 이를 부착하는 것만으로도 실내 위치를 추적할 수 있는 측위기법을 제안한다.

연구방법: 본 논문의 제안기법은 단순한 계산을 통해 대상의 위치를 추정할 수 있는 weighted centroid localization을 활용한다.

연구결과: 일반 건물의 상설 네트워크가 없는 지하 주차장에서 제안하는 기법을 활용하여 실험을 진행하였고, 실험한 결과로 82.5m x 56.4m 지하 공간에서 약 10m 이내의 위치 정확도를 확인하였다.

결론: 본 논문의 제안기법은 주차장, 창고, 공장 등과 같이 상설 네트워크 인프라가 없는 장소에서도 재난, 응급, 군사 작전 등과 같이 신속한 위치 추적을 필요로 하는 상황에 적용 가능하다.

실내 위치인식,
위치추적기술,
IoT 디바이스,
스마트 디바이스

© 2018 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Professor. Tel. 82-2-940-5404.
Email. kimyoungok@kw.ac.kr

1 Tel. 82-10-2987-6805. Email. harue6805@nate.com
2 Tel. 82-10-9069-9925. Email. yyu0907@kw.ac.kr
3 Tel. 82-02-2659-7345. Email. sskim@hstelnet.com

ARTICLE HISTORY

Received May. 20, 2018
Revised May. 21, 2018
Accepted Sep. 22, 2018

1. 서론

최근 다양한 분야에서 위치정보가 활용됨에 따라 실내 위치 추정 기술과 관련된 많은 관련 연구가 이뤄지고 있다. 위치 정보는 스마트 빌딩, O2O 서비스, 공공 안전, 물류, 제어 및 모니터링, 심지어 스마트 공장과 같은 다양한 분야에서 사용될 수 있다. 인공위성을 활용한 위치 추적 시스템인 GPS(global positioning system)은 실내 환경에서는 활용할 수 없기 때문에 실내에서 위치를 추정 할 수 있는 다양한 기술들이 많이 연구되고 있으며, 무선 시스템, 광학 센서, 지구 위치 측정 센서 등의 기술이 실내에서 위치를 추적 할 수 있는 기술로 주목 받고 있다 [1] - [9].

무선 신호를 사용하는 실내 위치 추정 기술도 많이 연구되고 있다. 특히, 무선 시스템 중 다른 무선 기술에 비해 낮은 전력과 비교적 낮은 위치 추적 시스템 구축비용이 장점인 블루투스 (Bluetooth low energy, BLE) 기술이 많이 활용되고 있다 [10],[11]. 또한, 최근에 Bluetooth 협회에서 발표한 5.0 버전은 기존 4.0 버전보다 훨씬 우수한 성능을 내는 것으로 나타났다. 더 긴 범위를 갖는 최신 버전을 활용하여 위치 추정 기술로 활용한다면 위치 추정 기술의 성능을 높일 수 있을 것이다.

무선 신호의 수신 신호 강도 (received signal strength indicator, RSSI)를 기반으로 하는 실내 위치 추정 기술은 설정된 무선 인프라를 사용하며 특별한 하드웨어가 필요하지 않기 때문에 실용적이다. RSSI를 기반으로 하는 가장 잘 알려진 측위 기법은 다변 위치 추적 기법 (multi-lateration, ML) 인 삼변 위치 추적 기법 또는 삼각 위치 추적 기법, Finger-printing 기법이 있다. Finger-printing 기법은 사전에 만들어 놓은 DB와 현재 입력되는 값의 유사도를 통해 정확도를 판단하는 기술이다. DB를 만들어 놓은 초기에는 비교적 정확한 위치를 예측할 수 있다는 장점이 있을 수 있으나 환경적인 요소와 무선 기기의 성능의 변화, 시간이 지남에 따라 정확도가 낮아질 수 있다. 이 기법은 모든 노드의 RSSI 데이터를 사전에 수집하여 DB를 구축해야 하며 환경 변화에 따라 DB를 자주 업데이트해야 하는 유지보수의 어려움이 있다. 한편, ML 기법은 학습 DB가 필요하지 않으며 닫힌 형태의 해 (closed form equation)를 제공한다 [12],[15]. 위치 및 접속 지점 수와 관련하여 GPS기반 시스템의 위치 결정 성능을 분석하고 정확도를 높이기 위해 적응형 access point (AP) 선택 기법을 도입한 연구, 센서와 ML 기법을 결합한 방식 등 다양한 연구가 있다. 가중치 측위 기법 (weighted centroid localization, WCL)이 최근 연구되고 도입되었으며 상대적으로 간단하게 목표물의 위치를 추적하는 알고리즘으로 알려져 있다 [16] - [17]. 본 연구에서는 WCL 기법을 활용하여 성능을 개선하기 방법을 제안한다. 같은 기기라도 다른 성능을 보이는 하드웨어적인 한계점을 가중치 환경 변수 분석을 통해 위치 추적 성능 개선할 수 있는 연구를 진행한다. 또한, ML 기법과 WCL 기법을 활용해 위치 추정 정확도 분석 진행하고 실질적으로 활용 가능한 알고리즘 기법과 한계점을 극복하기 위한 연구를 진행한다.

무선 신호를 기반으로 하는 대부분의 위치 추정 기술은 상대적으로 높은 연산을 필요로 하며 네트워크 인프라가 잘 구축된 상태를 기본 가정으로 연구를 진행한다. 그러나 주차장, 창고, 공장, 재해 지역, 비상사태, 군사 작전 등과 같은 네트워크 인프라가 없는 장소가 대부분이다. 본 논문에서는 네트워크 인프라가 없는 실내 공간에서도 사물 인터넷 (internet of things, IoT) 기기를 활용하여 실내의 임의의 위치에 부착하는 것만으로 위치를 추정할 수 있는 측위기법을 제안한다. 기존 연구와 다르게 본 연구는 가장 이상적인 상태를 가정하지 않은 상태에서 실험을 진행하여 실제 환경에서 동작하는 실질적인 연구를 진행한다. 네트워크가 설치되지 않은 보통의 사무실 건물의 지하 주차장에서 IoT 기기를 설치하고 제안된 기법의 대한 정확도 분석을 위한 실험을 진행한다. 본 연구의 실험 공간은 82.5m x 56.4m 이며 4653m² 으로 5대의 AP node를 사용하여 공간면적당 AP 930.6m² 로 여러 연구 보다 넓은 범위의 실험을 진행했다. 또한, 거리 추정을 활용한 알고리즘의 한계점을 개선할 수 있는 환경 변수 연구를 통해 위치 추정 성능을 개선시킬 수 있는 연구를 진행한다. 이를 통해 실험결과를 통해 제안된 기법의 가능성을 확인하였다.

2장에서는 GPS기반 위치 추적 시스템의 구조에 대해 간략한 설명을 제시하고 3장에서는, WCL에 기반한 위치 지정 체계가 제시한다. 4장은 제안된 기법의 성능을 실험을 통해 가능성을 확인한다. 마지막으로 5장에는 결론과 요약으로 구성되어있다.

2. 시스템 모델

시스템 모형은 Fig. 1 과 Fig. 2 와 같다. Fig. 1 은 개략적인 시스템 모델을 나타낸다. BLE 비컨 (beacon) 을 위치를 추정하고자 하는 대상으로 볼 수 있다. BLE 비컨은 식별 신호와 함께 정보를 송신한다. 이를 Bluetooth AP(BTAP)로 수신하며 수신된 데이터를 wireless router (WR)에 전송한다. WR로 전송된 데이터는 다시 web server로 전송한 뒤 DB에 저장된다. 신호는

시스템의 고유 media access control (MAC) address 등과 같이 식별 가능한 정보를 활용하여 각 신호를 분류할 수 있다.

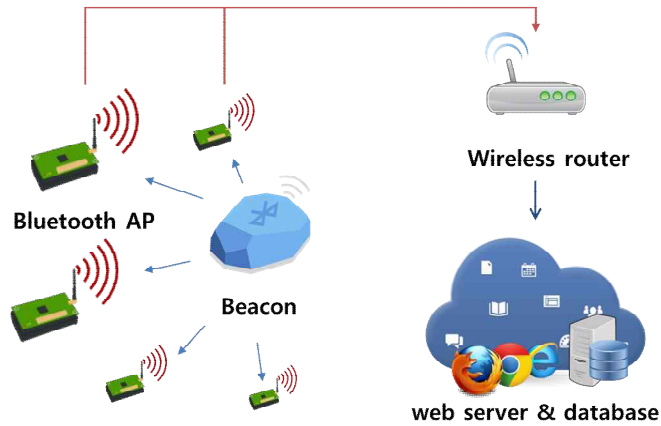


Fig. 1 Description of System

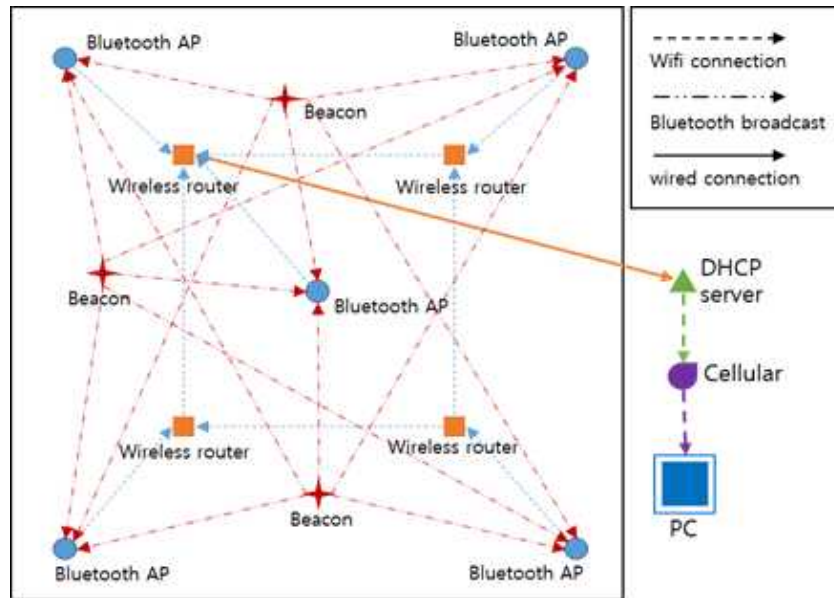


Fig. 2 System architecture

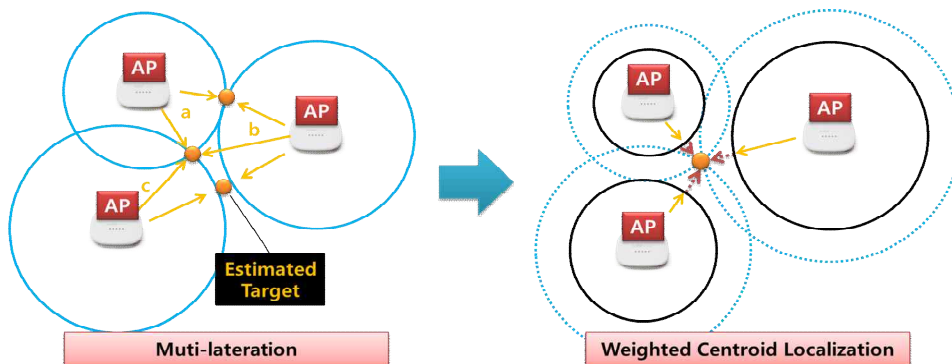


Fig. 3 Mluti-Lateration and Weighted Centroid Localization method for indoor positioning

WR은 web server와 DB에 각 beacon 정보를 전송하기 위한 연결 장치로 볼 수 있다. 무선인프라 시설이 전혀 없는 공간에서 실험을 위해 Fig. 2 와 같이 실제 실험환경에서 시스템을 구성하였다. Fig. 2 에서 위치 추정 목표 대상은 식별 신호를 브로드캐스트 하는 beacon이며 BTAP는 beacon의 신호를 감지한다. BTAP는 beacon 신호를 감지하므로 센서라고 할 수 있다. 센서는 RSSI 데이터를 무선 공유기로 보내고, 공유기 중 하나는 데이터를 서버로 전송한다. 서버는 RSSI 값을 사용하여 신호와 센서 사이의 상대적 거리를 추정한다. 주어진 상대거리를 사용하여 위치를 추정할 수 있다. 서버는 사용자나 클라이언트에게 위치 정보를 제공하는 웹 서버로도 작동한다. 넓은 면적을 커버하기 위해 일반성을 잃지 않고 4개의 센서를 실내의 끝인 4곳의 모서리 부근에 배치한다. BLE 신호의 제한된 사용 범위를 고려하여 1개의 센서를 추가로 중앙에 배치한다. 서버에 연결할 무선 공유기는 임의로 선택된다. 각 점선들은 Bluetooth 신호와 Wi-Fi 신호 연결을 나타내며 실선은 유선 연결을 나타낸다. Cellular 부분은 통신사를 통한 데이터 전송을 의미한다. 이는 필수적이지는 않지만 원격 서버 연결을 위해 사용될 수 있다.

3. 제안하는 기술의 위치 추정 알고리즘

AP와 target node (node) 간의 수신 감도를 활용하여 거리를 구하는 알고리즘으로 ML 기법이 도입되었다. 이 기법은 AP와 node의 거리를 수신 감도인 RSS, 또는 RSSI 를 활용하여 추정한다. 이렇게 추정된 거리 값을 활용하여 여러 AP와 node 간의 거리 값의 교차점을 활용하여 위치를 추정한다. 하지만 ML 기법은 거리 값이 제대로 추정되지 않으면 원의 교점이 만나지 않는 경우, 다중 교점이 발생하는 경우 등 위치 추정에 있어 한계점이 존재한다. 이를 보완한 기법이 WCL 기법이다. 활용하는 AP와 node 간의 거리의 비를 활용하여 거리 값에 따른 가중치를 부여한다. Fig. 3 과 같이 ML의 한계점인 다중 해나 해가 없는 경우를 이 기법을 통해 해결할 수 있지만 가중치를 활용한 근사치를 활용하기 때문에 정확한 추정을 하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 앞서 언급한 WCL의 문제점을 개선하기 위해 환경에 따른 가중치 부여 기법을 실험과 시뮬레이션을 통해 제안한다.

자유 공간 전송 손실 모델에 따르면, 수신 신호 세기 식(1)과 같이 표현할 수 있다 [17],[18]. 공간상에서 전자기파가 전파될 때 진행거리에 따라 세기가 약해진다. 수신 세기는 거리의 제곱에 반비례해서 감소한다. 식(1)를 사용하여 거리의 대한 식(2)로 전개할 수 있다. 한편, RSSI는 식(3)과 같이 표현할 수 있는데 식(3)을 식(2)에 대입하여 거리를 다음과 같이 RSSI의 방정식으로 표현할 수 있다. 기준 거리가 1m 일 때 식(4)는 식(5)와 같이 표현할 수 있다. 식(4)를 식(3)으로 나누면 상수항들을 제거하여 최종적으로 거리에 대한 방정식, 식(6)를 구할 수 있다. 그러나 $RSSI_{ref}$ 는 환경 요인 등의 의한 이유로 시간에 따라 변할 수 있다. 따라서 거리를 추정하는데 있어 시변동적인 성분을 제거할 수 없으며 목표물이 같은 위치에서 고정되어 있어도 추정 거리는 시간에 따라 달라진다. WCL 기법은 시변동적인 성분을 줄이기 위해 짧은 시간동안 수집된 신호의 크기를 비교하여 각 센서의 위치 가중치에 따라 거리를 추정한다.

$$P_{Re} = P_{Tr} \cdot G \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot D} \right)^2, \quad (1)$$

$$\text{여기서, } D = \lambda \sqrt{\frac{P_{Tr} \cdot G}{4\pi \cdot P_{Re}}}. \quad (2)$$

$$RSSI = 10 \log \frac{P_{Re}}{P_{ref}}, \quad (3)$$

$$D = \lambda \sqrt{\frac{P_{Tr} \cdot G}{4\pi \cdot P_{ref} \cdot 10^{\frac{RSSI}{10}}}}. \quad (4)$$

$$1 = \lambda \sqrt{\frac{P_{Tr} \cdot G}{4\pi \cdot P_{ref} \cdot 10^{\frac{RSSI_{ref}}{10}}}} \quad (5)$$

$$D = 10^{\frac{1}{20}(RSSI_{ref} - RSSI)} \quad (6)$$

- 여기서, P_{Re} : 수신 전력
- P_{Tr} : 전송 전력
- λ : 파형 길이
- G : 전력 이득
- D : 송신기와 수신기 사이의 거리
- P_{ref} : 기준 거리의 기준 전력
- $RSSI_{ref}$: 기준 거리에서 측정된 RSSI 값

가중치는 BTAP로부터 입력받은 신호를 통해 구해진 거리의 역수에 비례하며 식(7)과 같이 표시할 수 있다. 정규화된 가중치는 식(8)을 활용하여 계산 할 수 있다. 그리고 최종적인 추정위치는 BTAP의 알려진 좌표와 각각의 가중치를 곱하여 계산할 수 있으며, 식(9)와 같다. WCL 기법은 다각형 외부의 위치는 추정할 수 없다는 단점이 있지만 ML측위에 비해 오차의 크기가 제한된다는 장점이 있다.

$$W_i \propto D_i^{-s} \quad (7)$$

$$\text{여기서, } W\hat{n}_i = \frac{W_i}{\sum_{j=1}^n w_j} = \frac{10^{\frac{s}{10}RSSI_i}}{\sum_{j=1}^n 10^{\frac{s}{20}RSSI_j}} \quad (8)$$

$$P_{cst} = \sum_{i=1}^n W\hat{n}_i \cdot A_i \quad (9)$$

- 여기서, W : BTAP의 가중치
- s : 환경 변수
- n : BTAP의 수
- A : BTAP의 좌표
- $W\hat{n}$: 합이 1이 되도록 정규화된 가중치

4. 제안한 기법의 분석 및 성능 평가

제안하는 기법은 실험을 통해 가능성과 유효성을 확인하였으며, 센서 네트워크를 활용하여 데이터를 수집하고 목표물의 위치를 추정하였다. 실험 공간은 폭 82.5m, 길이 56.4m의 공간이며 네트워크 기반의 인프라 시설이 없는 지하 주차장에서 진행하였다. 데이터 수집을 위해 BTAP, WR를 활용하여 센서 네트워크를 구성하였고, 통신사의 무선 인터넷 서비스를 활용하여 서버에 데이터를 전송하였다.

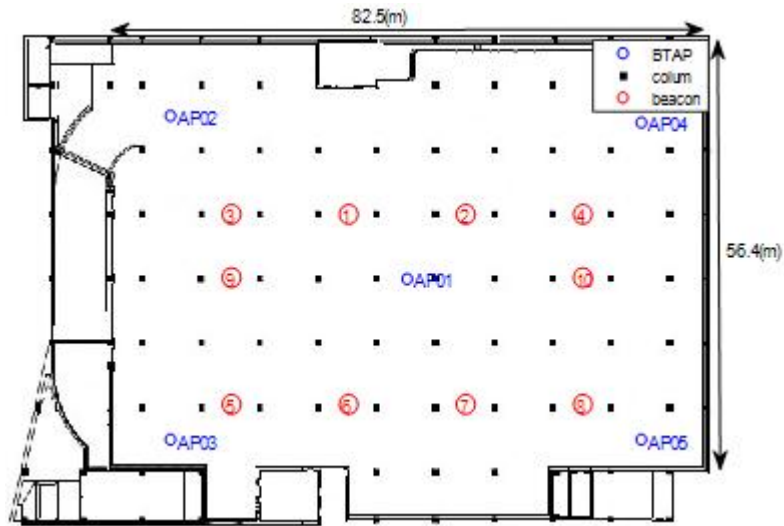


Fig. 4 simplified experimental space

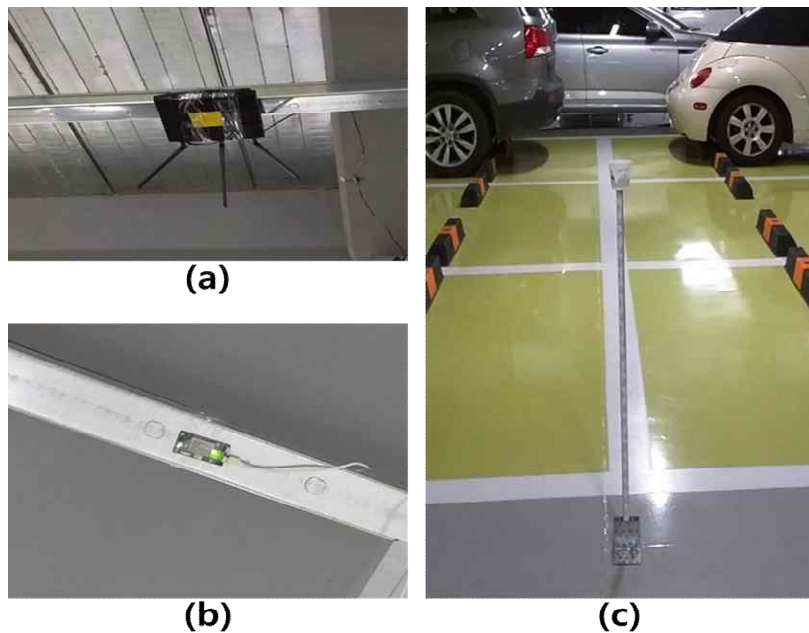


Fig. 5 (a) Installed wireless router (left-up), (b) Bluetooth AP (left-down) and (c) beacon (right)

I 회사에서 시중에 판매하는 ‘Edison’ 기기를 활용하여 RSSI 신호를 감지할 수 있는 BTAP로 사용되었다. 또한 D 회사에서 판매하는 무선 라우터 ‘1750AC’ 를 사용하여 센서에서 DHCP 서버로의 데이터 전송을 위한 Wi-Fi 환경을 구축했다. Raspberry Pi 3는 각 센서의 로컬 네트워크 IP 주소 할당을 위한 DHCP 서버로 사용되었다. A 회사에서 출시한 ‘WIZTURN pebble’ 을 위치 추정 목표물인 beacon으로 사용하였다.

Fig. 4 는 beacon과 AP가 설치된 실험 사이트의 평면도이다. Fig. 2 와 Fig. 4 에서는 보여주는 것과 같이 무선 라우터 4 대, 센서 5 대, beacon 10 대가 실험을 위해 사용되었다. Beacon의 송신 전력은 4dBm으로 beacon의 신호 주파수는 20Hz로 설정되었다. 무선 라우터와 센서는 Fig. 5 (a)와 (b)와 같이 천장에 고정하였다. Beacon은 Fig. 5 (c)와 같이 받침대를 사용하여 바닥면으로부터 1m 높이의 위치하도록 하고 총 10 개 위치에서 데이터를 수집하는 실험을 진행하였다. 실험

은 해당 위치에서 1분 동안 수집하는 실험을 총 10회 반복하였고 10분 동안 연속으로 수집하는 실험을 각각 진행하였다.

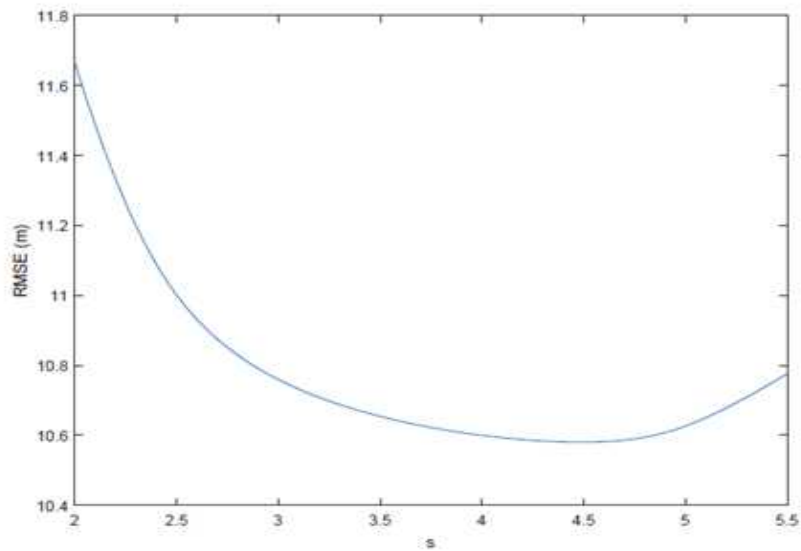


Fig. 6 RMSE with respect to the environment variable s

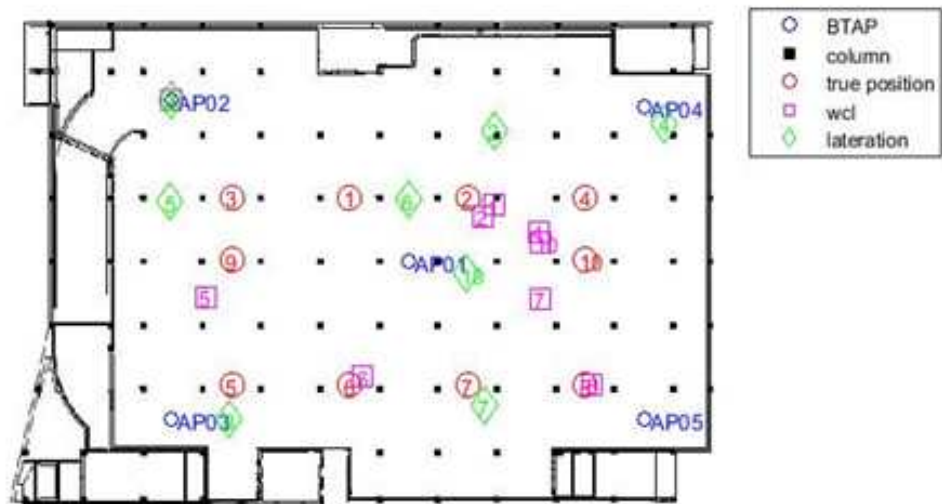


Fig. 7 Comparison of estimated positions

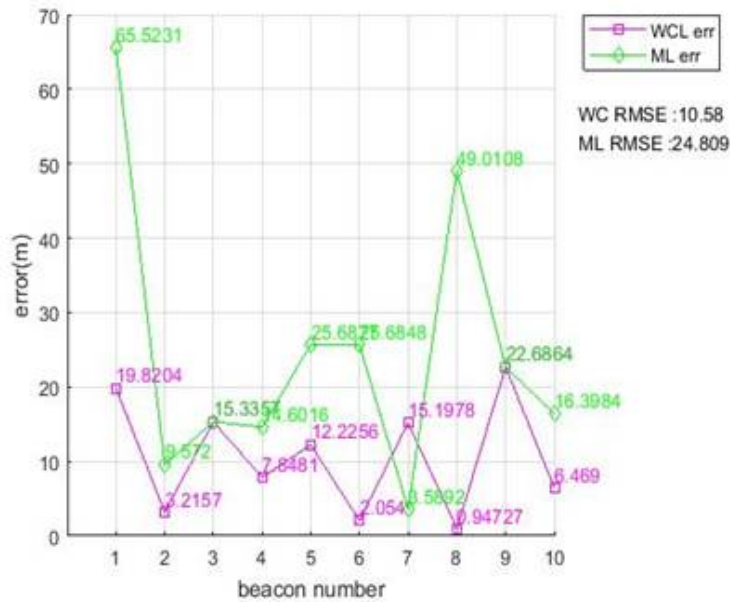


Fig. 8 Comparison of positioning errors

Table 1. Error (m)

Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
WCL	19.82	3.22	15.34	7.85	12.23	2.05	15.2	0.95	22.69	6.47	10.582
Lateration	65.52	9.57	15.34	14.6	25.68	25.68	3.56	49.01	22.68	16.4	24.804

Table 2. Number of sensors which sensed each beacon during the experiment.

Beacon ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Number of Sensors	2	4	1	4	2	2	3	2	1	3

본 논문에서 제안하는 WCL 기반 기법에서 위치 추정을 위해 각 위치에서 거리 값을 구해야하는데 도달거리가 멀거나 멀티패스 또는 환경적 요인으로 위치 추정 연산을 진행하는 시간 동안에 신호를 입력받지 못하는 경우가 있다. 이러한 경우 연산의 오류가 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해 RSSI를 임의로 -99.99의 값을 부여하였다. 거리가 멀어짐에 따라 RSSI 값이 기준 값 0보다 점차 낮아지게 된다. -99.99가 의미하는 것은 beacon과 센서의 거리를 무한대의 가까운 값으로 가정한다. 해당하는 가중치는 반대로 0의 가까운 값을 부여받게 된다.

실험을 통해 식(7)의 환경 변수, s의 대한 분석을 진행하였다. 이는 실내 환경마다 다른 값을 갖을 수 있다. 따라서 위치 정확도 및 에러를 개선하기 위해 s의 대한 추가적인 연구도 필요할 것이다. Fig. 6 은 환경 변수 s 값 변화에 따른 에러 값, RMSE를 보여줍니다. 분석을 통해 환경 변수 s가 4.49일 때 에러 값이 최소인 것을 확인할 수 있었다.

Fig.7 과 8 은 beacon의 위치 추정 결과를 나타낸다. 분홍색 네모 형태 및 그래프는 제안하는 WCL 기법을 활용한 위치 추정결과 이고 초록색 다이아몬드 형태 및 그래프는 ML 기법을 활용한 위치 추정 결과이다. Table 1 은 제안하는 WCL 기반 기법과 다변 측위 기법을 활용한 각 위치에서 에러를 나타낸다. 표의 값은 모든 실험의 평균값이다. 제안하는 WCL 기반의 기법은 평균 위치 에러 10.58m로 나타났고 ML 기법의 경우 24.81m임을 확인하였다. 본 결과를 통해 제안하는 WCL 기반 기법의 우수성을 확인할 수 있었다.

Table. 2 는 실험 동안 감지한 AP 센서의 수를 나타낸다. 5개의 AP 센서를 사용했으므로 최대 검출 개수는 5개이다. Table. 1 에서 확인할 수 있듯이 beacon ID 2와 4는 감지한 AP 센서의 수가 4이고 WCL 기법의 에러가 8m보다 낮은 것을 확인할 수 있다. 그러나 beacon ID 3과 9의 경우, 감지한 AP 센서의 수는 1이다. 이 경우는 에러가 15m이상이었다. 이 결과를 통해 위치 추정 정확도 성능은 감지한 AP 센서의 수와 관련이 있는 것으로 보인다. 또한, 제안하는 WCL 기반 기법은 다변 측위 기법보다 우수한 것을 확인할 수 있다. Beacon의 송수신 주파수가 20Hz임에도 불구하고 일부 구간에서 거의 감지가 되지 않는 것은 데이터를 송신하는 beacon과 AP 센서의 사이가 멀어 유효 도달범위를 벗어난 점과 실내 주차장의 정지 되어있거나 움직이는 자동차, 보행자와 기동 같은 전파를 방해하는 다양한 환경적인 요인으로 해석할 수 있다.

5. 결론

다양한 분야에서 실내 위치 추적 연구가 이뤄지고 있다. 하지만 대부분의 실내 위치 추적 연구는 네트워크 인프라 시설이 잘 갖춰진 이상적인 환경에서의 연구, 대형공간에서 실제 활용 가능한 수준의 연구는 없었다. 실내 환경은 실내 위치 추적을 위한 네트워크 인프라 시설이 거의 없다는 점에 기인하여 일반 사무실 건물 지하 주차장에 IoT기기를 설치하여 위치 추적 연구를 진행하였다. 본 연구는 네트워크 인프라가 없는 장소에 간단히 IoT 기기 설치하여 위치를 추적할 수 있는 기법을 제안하였다. 이를 실제 환경에서 실험을 통해 실제 활용 가능성을 확인하였고 WCL 기법의 위치 추적 성능을 개선할 수 있는 환경 변수 분석과 추정 오차를 줄일 수 있는 기초연구를 진행하였다. 본 연구는 네트워크가 설치되지 않은 실험은 82.5m x 56.4m 지하 공간에서 진행되었다. 대형 공간에서 AP 5대를 활용하여 위치를 추정하는 연구로 면적당 AP node는 930.6m² 고 오차는 약 10m 인 10%내외의 수준으로 거리가 증가함에 따라 오차가 지수적으로 증가하는 것을 미뤄보았을 때 우수한 수준의 연구임을 실험과 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다. 본 논문에서는 정지된 물체의 위치를 추정하는 기초 연구를 진행하였고 이 연구를 기반으로 향후 연구는 객체를 추적하는 연구를 진행할 것이다. 거리가 멀어짐에 따라 수신 신호 값 (RSS)의 분산 값이 커지는 문제, 또한 수신 신호가 log-normal로 감소 등과 같은 여러 한계점을 종합해보면 거리가 증가함에 따라 에러가 지수적으로 증가할 수 있음을 의미한다. 이러한 문제점들을 해결해 성능 개선의 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한, 데이터의 송수신 문제로 인한 한계점 또한 확인할 수 있었다. 이는 하드웨어적인 문제, 환경적인 문제로 나뉘어 생각해볼 수 있다. 하드웨어적인 문제점은 최근 여러 회사에서 Bluetooth 버전 5 기기 개발 중인데 본 연구에서 활용한 도달 범위 문제가 개선되어 성능향상으로 이어질 수 있을 것이다. Fig. 6 에서 분석한 결과와 같이 환경적인 요소도 함께 분석하여 성능을 높일 수 있을 것이다. 추정 위치 보정, 신호의 필터링 기법을 적용한다면 추가적인 성능 개선을 기대할 수 있을 것이다.

본 논문에서 제안하는 방식은 비교적 간단하게 설치와 위치 추적이 가능하기 때문에 화재 지진 같은 재난 현장에서 인명 구출을 위한 기술로 활용될 수 있을 것이다. 이 뿐 아니라 긴급 상황에 대한 신속한 대응을 필요로 하는 다양한 상황에서 실용적인 위치 추적 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

감사의 글

This study was conducted as part of the technology development project of the export enterprise of the Small and Medium Business Administration. [S2466101, Development of Wire-Free IP Camera and Security System with Detection and Location Tracking]

References

- [1] Chang, C.Y.; Lin, C.Y.; Chang, C.T. Tone-based localization for distinguishing relative locations in wireless sensor networks. *IEEE Sensors Journal* 2012, 12, 1058 - 1070.
- [2] Nguyen, H.A.; Guo, H.; Low, K.S. Real-time estimation of sensor node's position using particle swarm optimization

- with log-barrier constraint. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 2011, 60, 3619 - 3628.
- [3] Meng, W.; Xiao, W.; Xie, L. An efficient EM algorithm for energy-based multisource localization in wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 2011, 60, 1017 - 1027.
- [4] Mo, L.; He, Y.; Liu, Y.; Zhao, J.; Tang, S.J.; Li, X.Y.; Dai, G. Canopy closure estimates with greenorbs: Sustainable sensing in the forest. *Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*. ACM, 2009, pp.99 - 112.
- [5] QIU, Chen.; MUTKA, Matt W. Cooperation among smartphones to improve indoor position information. In: *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2015 IEEE 16th International Symposium on a*. IEEE, 2015. p. 1-9.
- [6] Akyildiz, I.F.; Su, W.; Sankarasubramaniam, Y.; Cayirci, E. A survey on sensor networks. *IEEE Communications magazine* 2002, 40, 102 - 114.
- [7] Salvadori, F.; de Campos, M.; Sausen, P.S.; de Camargo, R.F.; Gehrke, C.; Rech, C.; Spohn, M.A.; Oliveira, A.C. Monitoring in industrial systems using wireless sensor network with dynamic power management. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 2009, 58, 3104 - 3111.
- [8] Liu, H.; Darabi, H.; Banerjee, P.; Liu, J. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 2007, 37, 1067 - 1080.
- [9] Deak, G.; Curran, K.; Condell, J. A survey of active and passive indoor localisation systems. *Computer Communications* 2012, 35, 1939 - 1954.
- [10] Jianyong, Z.; Haiyong, L.; Zili, C.; Zhaohui, L. RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning. In: *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2014 International Conference on*. IEEE, 2014. p. 526-533.
- [11] Fard, H.K.; Chen, Y.; Son, K.K.; Indoor positioning of mobile devices with agile iBeacon deployment. In: *Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2015 IEEE 28th Canadian Conference on*. IEEE, 2015. p. 275-279.
- [12] Gomez, J.; Tayebi, A.; del Corte, A.; Gutierrez, O.; Gomez, J. M.; Saez de Adana, F. A comparative study of localization methods in indoor environments. *Wireless personal communications* 2013, 72.4: 2931-2944.
- [13] Gustafsson, F.; Gunnarsson, F.; Mobile positioning using wireless networks: Possibilities and fundamental limitations based on available wireless network measurements. *IEEE Signal Processing Magazine* 2005, 22, 41 - 53.
- [14] Jeon, H.; Jo, U.; Jo, M.; Kim, N.; Kim, Y.; An Adaptive AP Selection Scheme Based on RSS for Enhancing Positioning Accuracy. *Wireless Personal Communications* 2013, 69, 1535 - 1550.
- [15] Kim, N.; Jo, U.; Yun, K.; Jeon, H.; Kim, Y.; A Hybrid Positioning Scheme Exploiting Sensors and RSS of Wi-Fi Signals. *Wireless Personal Communications* 2015; 85, 1111 - 1121.
- [16] Blumenthal, J.; Grossmann, R.; Golatowski, F.; Timmermann, D.; Weighted Centroid Localization in Zigbee-based Sensor Networks. *Intelligent Signal Processing, WISP International Symposium on*, IEEE, 2008. Alcala de Henares, Spain.
- [17] Dong, Quande, and Xu Xu.; A novel weighted centroid localization algorithm based on RSSI for an outdoor environment, *Journal of Communications* 2014, 9.3: 279-285.
- [18] Kraus, J.D. *Antennas*, 2nd Ed.; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1988.