

## 로봇의 이동 경로 추적을 위한 UWB 기반의 실내 측위 시스템 개발

Development of UWB-Based Indoor Positioning System for Robot Tracking

---

저자 (Authors)	서준호, 정용환, 배영준, 유홍석, 김영덕, 김동균 Junho Seo, Yonghwan Jeong, Yeongjoon Bae, Hongseok Yoo, Youngduk Kim, Dongkyun Kim
출처 (Source)	<a href="#">한국통신학회논문지 44(4)</a> , 2019.4, 701-708(8 pages) <a href="#">The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences 44(4)</a> , 2019.4, 701-708(8 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">한국통신학회</a> Korea Institute Of Communication Sciences
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08010077">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08010077</a>
APA Style	서준호, 정용환, 배영준, 유홍석, 김영덕, 김동균 (2019). 로봇의 이동 경로 추적을 위한 UWB 기반의 실내 측위 시스템 개발. 한국통신학회논문지, 44(4), 701-708
이용정보 (Accessed)	아주대학교 202.30.7.*** 2020/07/20 14:10 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

# 로봇의 이동 경로 추적을 위한 UWB 기반의 실내 측위 시스템 개발

서준호\*, 정용환\*, 배영준\*, 유홍석\*\*, 김영덕\*\*\*, 김동균<sup>o</sup>

## Development of UWB-Based Indoor Positioning System for Robot Tracking

Junho Seo\*, Yonghwan Jeong\*, Yeongjoon Bae\*, Hongseok Yoo\*\*,  
Youngduk Kim\*\*\*, Dongkyun Kim<sup>o</sup>

### 요약

최근 쇼핑, 운동, 엔터테인먼트 등의 실내 활동이 증가하는 추세이다. 이에 따라 실내 환경에서 LBS(Location Based Service)를 제공하기 위해 많은 연구들이 진행되었다. 하지만, 기존의 Wi-Fi, Bluetooth 등의 근거리 무선 통신 기술을 활용한 LBS는 cm단위의 정밀한 정확도를 요구하는 실내 재난 상황에서 사용하기 어렵다. 반면, UWB(Ultra-Wideband)는 3.1~10.6GHz의 넓은 주파수 대역, 저 전력 통신, 그리고 수 십cm 내외의 높은 정확도로 측위가 가능하다는 점에 착안하여 실내 재난 상황을 가정한 환경에서 활용하기 적합하다고 판단된다. 본 논문에서는 UWB 기술을 바탕으로 화재 진압, 건물 내부 탐색 등을 수행하는 로봇의 실내 위치를 정밀하게 파악할 수 있는 측위 모듈을 구현하고, 이에 대한 성능 평가를 정량적으로 수행 및 분석할 수 있는 소프트웨어의 개발을 목적으로 한다. 또한, 구현된 소프트웨어를 활용한 실험을 통해 데이터를 수집 분석한다.

**Key Words** : Indoor Positioning System, Location Based Services, Ultra-Wideband, Wi-fi, Bluetooth, Robot

### ABSTRACT

Recently, indoor activities such as shopping, exercise, and entertainment are increasing. Accordingly, many researches have been proceeded to provide LBS(Location Based Service) in indoor environment. However, the existing LBS using short-range wireless communication technology such as Wi-Fi, Bluetooth is difficult to use in an indoor disaster situation that requires precise accuracy in the unit of cm. On the other hand, UWB(Ultra-Wideband) is capable of positioning at 3.1~10.6GHz frequency band, low power communication and high accuracy about 20cm, which can be considered to be appropriate for use in an environment that assumes a disaster situation. In this paper, we aims to develop a positioning module based on UWB technology that can

※ 본 연구는 소방청 현장중심형 소방활동지원 기술개발사업(MPSS-소방안전-2015-78)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Kyungpook National University School of Computer Science and Engineering, jhseo@monet.knu.ac.kr, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Kyungpook National University School of Computer Science and Engineering, dongkyun@knu.ac.kr, 중신회원

\* Kyungpook National University School of Computer Science and Engineering, yhjeong@monet.knu.ac.kr, yjbae@monet.knu.ac.kr, 학생회원

\*\* Kyungwoon University Department of Mobile Engineering, hsyoo@ikw.re.kr, 정회원

\*\*\* Center for Future Automotive Research, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology, ydkim@dgist.ac.kr, 정회원

논문번호 : 201810-310-D-RN, Received October 5, 2018; Revised January 2, 2019; Accepted February 4, 2019

accurately grasp the indoor position of a robot performing fire suppression and interior navigation, and we develop software that can quantitatively perform and analyze the performance evaluation. In addition, we collect data and analyze through experiments using implemented software.

## I. 서 론

스마트 기기의 보급이 증가함에 따라, 위치 정보를 활용한 다양한 응용이 개발되어 사용자에게 제공되고 있다. 현재, 위치 기반 서비스 (LBS, Location Based Service)는 GPS(Global Positioning System)와 이동통신망을 기반으로 특정 시설, 건물에 대한 위치 정보나 위치 기반 금융 혜택 제공 등과 같은 응용에 사용되고 있으며, 우리 생활에 다양한 편의성을 제공하고 있다. 더 나아가 최근에는 IT 기반 시설의 발전에 따라 업무, 엔터테인먼트, 쇼핑 등의 활동을 실내에서 하는 사례가 많아지고 있으며, 이에 따라 실내 공간에 대한 중요성이 점차 높아지고 있다. 이러한 변화에 발맞추어 실내에서 좀 더 다양한 서비스를 제공하기 위해서는 실내 측위 관련 연구를 진행할 필요가 있다.

기존의 GPS와 이동통신망 기반의 위치 추적 기술은 각각 5~50m, 50~200m의 오차 범위를 가지고 있으며, GPS의 경우에는 위성에서 보내는 신호가 실내에 도달하지 않기 때문에 실내에서는 사용이 불가능하다. 그리고 이동통신망 기반의 위치 측정 기술을 실내에 적용한다면, 최대 200m에 달하는 오차범위를 가지고는 상대적으로 협소한 실내 환경에서 사용자의 현재 위치가 정확하다는 것을 보장할 수 없다. 이러한 문제점은 백화점, 병원, 극장 등에서 사용자가 원하는 위치를 찾아가는 기능을 제공하는 기본적인 응용뿐만 아니라, 재난 상황에서 사용될 수 있는 구조 로봇 이동 경로 파악 등의 긴급 응용에서도 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 실내 환경에서 위치 기반 응용의 성공적인 동작을 위해서는 실내 환경에 특화된 새로운 측위 시스템 개발이 필수적이다.

근거리 무선 통신 기술이 발전함에 따라 Wi-Fi, Bluetooth, UWB(Ultra-Wideband)등의 기술을 활용하여 실내 환경에서 위치 기반 서비스를 제공하기 위한 연구가 진행되고 있다. 이러한 기술을 실제 적용하기 위해서는 기반 시설 구축비용, 위치 측정의 정확성, 그리고 복잡한 실내 구조로 인한 통신 거리 감소 등의 요인을 고려할 필요가 있다.

먼저 Wi-Fi의 경우 통신사 무료 핫스팟 등의 이미 많은 기반 시설이 구축되어 있어, 저비용으로 위치 기반 서비스를 제공할 수 있다. 그러나 사용할 수 있는

주파수 대역(IEEE 802.11ac에서 최대 160 MHz)이 좁기 때문에 재난 상황 발생 시 위치를 추적해야 하는 대상이 많아질 경우 채널 분할에 한계가 발생할 수 있다<sup>[1]</sup>. 또한 이동성을 가진 단말은 이동 중에 고정된 Wi-Fi AP(Access Point)와의 연결이 끊어지므로 위치를 추적하기 위해 새로운 Wi-Fi AP에 다시 연결해야 하는 문제점이 있다. Bluetooth는 다수의 센서를 저렴한 비용으로 배치할 수 있어 위치 정확도를 손쉽게 향상시킬 수 있다. 하지만 통신 latency가 크기 때문에 동적 환경에서 실시간으로 위치를 추적하는 정확도가 떨어지며<sup>[2]</sup>, 신호 세기가 약하기 때문에 장애물에 영향을 받기 쉽다. 따라서 앞서 설명한 기술들은 재난 상황을 가정한 응용을 개발함에 있어서 적용하기 어렵다고 볼 수 있다.

반면에 UWB는 Wi-Fi와 Bluetooth와는 다르게 3.1~10.6GHz의 넓은 주파수 대역을 사용하며, 낮은 전력으로 높은 전송 속도를 통해 대용량의 정보를 전송하는 기술이다. 이러한 UWB 기술을 활용한 실내 측위는 20cm 내외의 낮은 오차율을 보이며, 벽과 같은 장애물에 대한 투과율이 높고, Wi-Fi 등의 다른 신호에 영향을 받지 않는다는 특징이 있다. 이러한 특징 덕분에 높은 정확도와 장애물에 대한 투과성을 요구하는 실내 재난 상황에서 사용될 응용에 대해 UWB 기반의 실내 측위가 적합하다고 판단된다.

따라서 본 논문에서는 화재진압·탐색·구조용 특수 장비 및 로봇<sup>[3]</sup>에 UWB 기반의 측위 모듈을 탑재하여 실내 환경에서 사용 가능한 정밀 위치파악 모듈을 구현하고 그 성능을 정량적으로 확인/분석할 수 있는 소프트웨어까지 개발하는 것을 목적으로 한다. 구현된 소프트웨어는 재난 상황에서 구조자의 이동 동선을 모사함으로써 밀폐 공간 내 탐색/구조를 진행하는 시나리오를 가정하여 평가한다.

이후 이어지는 구성은 다음과 같다. II장에서는 전송자와 수신자 간의 신호 교환을 통한 위치 측정 방법 및 이를 활용한 측위 관련 연구에 대해 소개한다. III장에서는 본 논문에서 구현한 UWB 기반 측위 시스템의 구현 방법에 대해 설명하고, IV장에서는 가정한 시나리오에 따른 테스트베드 구축 및 평가에 대해 논의한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대해 설명한다.

## II. 관련 연구

특정 위치에 고정된 전송자(Anchor)로부터 전송된 신호를 통해 위치를 측정하는 방법으로는 대표적으로 Time-of-Arrival(ToA)과 Angle-of-Arrival(AoA)의 두 가지 방법이 알려져 있다. 다음 그림 1은 각 방법의 동작 방식을 나타낸다.

먼저, ToA 방식은 다수의 anchor로부터 전송된 신호를 통해 수신자(Tag)가 여러 anchor와의 거리를 계산하고, 이를 통해 tag의 현재 위치를 측정하는 방식이다. 신호가 anchor로부터 전송되어 tag에게 도달하기까지의 시간을 Time-of-flight(ToF)라고 표현하며, 이는 다음 수식 (1)과 같이 구한다.

$$ToF = ToA - ToD \quad (1)$$

이때, anchor가 신호를 전송하는 시점을 Time-of-Departure(ToD)라고 하며, tag가 신호를 수신하는 시점을 ToA라고 한다. anchor의 신호를 수신한 tag는 위 수식과 같이 계산한 ToF에 신호의 전파 속도를 곱함으로써 anchor와 tag 사이의 거리를 측정한다. Tag는 그림 1의 (a)와 같이 주변 여러 anchor로부터의 거리를 기반으로 각 anchor 주변에 그 거리만큼의 반지름을 갖는 원을 그린 후에 원들의 교점을 찾음으로써 자신의 위치를 계산할 수 있다. 따라서 ToA 방식을 이용하여 위치를 측정하기 위해서는 2차원 공간에서는 최소 3개의 anchor, 3차원 공간에서는 최소 4개의 anchor가 필요하게 된다.

AoA 방식은 anchor로부터 전송된 신호를 통해 tag가 anchor와의 각도를 구하고, 여러 anchor와의 각도를 통해 tag의 현재 위치를 측정하는 방식이다. tag는 anchor와의 각도를 구하기 위해서 다음과 같은 방법을 이용한다. anchor로부터 전송된 신호를 tag가 다중 안테나를 통해 수신하고, tag는 각 안테나 간의 거리

와 신호의 위상차를 활용하여 신호가 전송된 방향의 각도를 확인한다. 이후 tag는 그림 1의 (b)와 같이 주변 여러 anchor와의 각도를 기반으로 각 anchor와 자신을 잇는 직선을 그린 후에 그 직선의 교점을 찾음으로써 자신의 위치를 측정할 수 있다.

이러한 방법뿐만 아니라, 두 가지 방법을 혼용하는 Hybrid ToA/AoA<sup>[4]</sup> 등 더욱 정확한 측위를 위해서 여러 연구가 진행되고 있다. 그 중, Wi-Fi를 기반으로 Hybrid ToA/AoA 방식을 이용한 실내 측위 연구<sup>[1]</sup>에서는 장애물이 많은 복잡한 환경에서 ToA 예측의 정확도를 향상시키기 위해 추적하고자 하는 대상에 미리 정의된 메시지를 여러 번 전송하고, 적은 수의 안테나를 통해 AoA를 같이 계산하는 기법을 제안하였다.

그리고 Bluetooth low energy(BLE) 비콘과 안드로이드 기기를 사용한 실내 측위에 관한 연구<sup>[4]</sup>에서는 BLE 비콘이 에너지를 적게 소모한다는 점과 다양한 장소에 배치될 수 있다는 점에 착안하여 연구를 진행하였다. Tag역할을 할 안드로이드 기기는 곳곳에 설치된 BLE 비콘으로부터 수신되는 신호의 강도(RSSI, received signal strength indication)에 따라 거리를 측정하였다. 안드로이드 기기의 위치를 계산하기 위한 알고리즘으로는 삼변측량<sup>[6]</sup>이 사용되었고, 이렇게 측정된 안드로이드 기기 측위는 84%의 정확도를 보였다.

이렇듯 실내 측위를 위해서 anchor와 tag 간 거리를 계산하는 새로운 접근 방법을 제시하거나, 새로운 측위 알고리즘을 적용하여 실제 정확도를 테스트 하는 등 실내 측위 연구 분야에서 다양한 연구 활동이 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 재난 상황을 가정한 실내 환경에서 UWB 기술을 사용한 통신으로, ToA 방식으로 거리를 측정하며, 세 원의 교점을 구하는 알고리즘을 통해 Tag의 위치를 계산하는 모듈을 구현하고, 구현한 모듈의 성능 평가를 위해 2가지 환경에서 실험을 진행하였다.

## III. UWB 기반 측위 시스템 구현

### 3.1 시스템 구성

측위 시스템은 그림 2와 같이 anchor 및 tag로 작동하는 UWB 기반 디바이스, 측위 정보를 확인/저장할 안드로이드 스마트폰, 그리고 tag로 작동하는 디바이스와 안드로이드 스마트폰 간에 데이터 가공/전송을 담당하는 오픈소스 보드로 이루어져 있다.

UWB 기반 디바이스로는 Decawave 사(社)의 DW1000 칩셋이 탑재된 ARM 프로세서를 사용하였

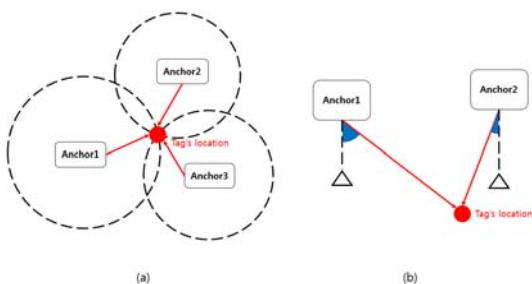


Fig. 1. (a) Time-of-Arrival(ToA) and (b) Angle-of-Arrival(AoA) Method

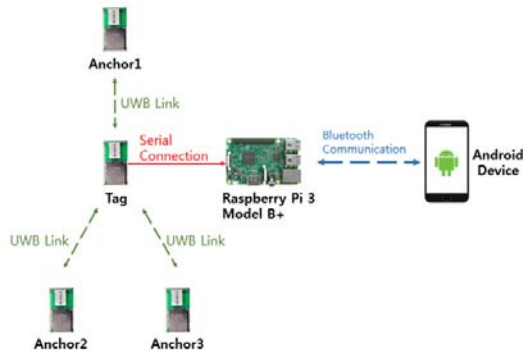


Fig. 2. System Architecture

다. 이 칩셋과 ARM 프로세서를 이용해 위치를 추적할 대상인 tag와 고정된 위치에서 tag와의 거리 계산을 수행하는 anchor로 동작할 수 있도록 각각 구현하였다. 그리고 tag는 Raspberry Pi 3 Model B+ 보드와 시리얼 통신으로 연결되어 있으며, tag는 anchor 1, 2, 3과의 거리 정보를 주기적으로 측정하여 라즈베리와 이에 전송한다. 라즈베리파이는 Bluetooth 통신을 통해 안드로이드 스마트폰과 연결되어 있으며, 스마트폰에게 자신이 가지고 있는 거리 정보를 전송한다. 안드로이드 스마트폰은 수집한 정보를 토대로 측위 알고리즘을 실행하여 tag의 현재 위치를 계산하고, 그 결과를 화면에 출력한다. 본 논문에서 다룰 시스템 아키텍처는 그림 2와 같으며, 이후 각 파트에 대해 자세히 설명하도록 하겠다.

### 3.2 Tag와 Anchor 간 거리 측정

본 절에서는 tag와 anchor의 동작 방식과 거리 측정 방법에 대해 설명한다. 동작 방식은 그림 3과 같다.

Tag와 anchor는 다음과 같은 동작을 통해 Poll, Poll Ack, Range, Range Response의 4개의 메시지를 교환한다. 먼저, tag는 anchor에게 거리 측정을 시작한다는 Poll 메시지를 전송하며, 해당 메시지를 전송하는 시간을  $timePollSent$  변수에 저장한다. Anchor는 수신한 메시지가 Poll 메시지일 경우 해당 메시지가 수신된 시간을  $timePollReceived$  변수에 저장하고, Poll Ack 메시지를 tag에게 전송한다. 또한, anchor는 해당 Poll Ack 메시지를 전송한 시간을  $timePollAckSent$  변수에 저장한다. Poll Ack 메시지에는 서로 간의 거리를 계산하기 위한 Range 메시지를 요청하는 내용이 들어있다. Tag는 Poll Ack 메시지를 수신하면 해당 메시지의 수신 시간을  $timePollAckReceived$  변수에 저장한다. 그리고 tag는 Range 메시지에  $timePollSent$ ,  $timePollAckReceived$ ,

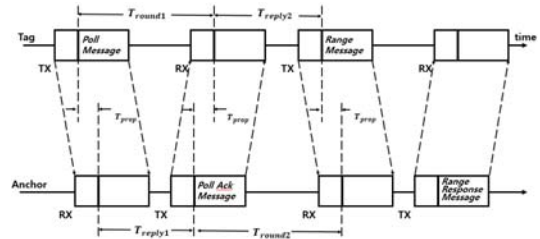


Fig. 3. Message Exchange of Tag and Anchor

그리고 해당 메시지를 전송하는 시점의 시간인  $timeRangeSent$ 를 기입하여 anchor에게 전송한다. Range 메시지를 수신한 anchor는 해당 메시지를 수신한 시간을  $timeRangeReceived$  변수에 저장한다. 이 과정을 통해 anchor는 지금까지 송/수신한 Poll, Poll Ack, Range 메시지를 통해 6개의 시간 변수를 저장하고 있다. Anchor는 이 변수들을 통해 tag와의 거리를 계산한 후, Range Response 메시지에 해당 정보를 담아 tag로 전송함으로써 tag와 anchor 사이의 거리를 계산하는 한 사이클의 동작이 끝난다. 거리를 계산하는 과정은 다음 문단에서 이어서 설명한다.

Anchor는 저장된 6개의 변수를 ToF 방식을 이용해 계산하여 tag와 anchor 사이의 거리를 측정한다. 그림 3의  $T_{round1}$ ,  $T_{round2}$ ,  $T_{reply1}$ ,  $T_{reply2}$ 는 Anchor에 저장된 변수를 사용하여 다음과 수식과 같이 표현될 수 있다.

$$T_{round1} = timePollAckReceived - timePollSent$$

$$T_{reply1} = timePollAckSent - timePollReceived$$

$$T_{round2} = timeRangeReceived - timePollAckSent$$

$$T_{reply2} = timeRangeSent - timePollAckReceived$$

결과적으로 tag와 anchor 사이의 거리는 다음 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{T}_{prop} = \frac{(T_{round1} \times T_{round2} - T_{reply1} \times T_{reply2})}{(T_{round1} + T_{round2} + T_{reply1} + T_{reply2})} \quad (2)$$

Anchor는 이 계산 결과를 통해서 tag와의 거리를 알 수 있으며, Range Response 메시지에 해당 정보를 담아 전송함으로써 이를 수신한 tag도 anchor와의 거리를 알 수 있게 된다. 이러한 과정을 anchor1, 2, 3과 tag가 반복적으로 수행하게 되고, tag는 anchor1, 2, 3과의 거리인 R1, R2, R3을 주기적으로 파악할 수 있다. 하지만 R1, R2, R3은 상대적인 거리 정보에 불과

하기 때문에 anchor1, 2, 3의 위치를 알지 못한다면 tag가 어디에 위치하는지 계산해낼 수 없다. 이 문제는 이후 설명할 안드로이드 어플리케이션에서 해결할 것이다.

### 3.3 라즈베리파이

라즈베리파이에서 프로그램을 실행하면 먼저 tag가 연결된 포트의 파일 디스크립터를 생성한다. 그리고 안드로이드 기기와 Bluetooth 통신을 위해 Bluetooth 소켓을 생성한다. 이후 라즈베리파이는 시리얼 통신을 사용하여 설정된 파일 디스크립터를 통해 tag로부터 전송되는 R1, R2, R3의 정보를 획득할 수 있다. 그리고 안드로이드 기기와 라즈베리파이는 생성된 Bluetooth 소켓을 통해 통신을 진행하며, 안드로이드 기기는 라즈베리파이와 연결이 수립된 시점부터 R1, R2, R3의 정보를 요청하는 메시지를 주기적으로 보낸다. 해당 메시지를 수신한 라즈베리파이는 R1, R2, R3의 정보를 하나의 메시지에 기록하여 전송한다.

### 3.4. 안드로이드 어플리케이션

안드로이드 어플리케이션의 구현에 있어서 윈도우 운영체제 기반의 PC와 안드로이드 운영체제 기반의 스마트폰을 사용하였고, 상세 스펙은 표 1과 같다.

안드로이드 어플리케이션의 주요 목적은 라즈베리파이와 연결된 tag의 현재 위치 좌표를 구하는 것이다. 안드로이드 어플리케이션은 Bluetooth를 통해 라즈베리파이로부터 전송받은 tag와 anchor 간의 거리 정보

와 어플리케이션에서 저장한 anchor들의 (x, y)좌표를 사용한다. tag의 위치를 계산하는 데에는 세 원의 교점을 구하는 알고리즘을 사용하였고, 해당 코드는 그림 4와 같다.

위 알고리즘은 그림 1의 (a)와 같은 방식으로 현재 위치를 계산하는데, 세 anchor의 위치 좌표 및 tag와 anchor들과의 거리를 통해 각 anchor를 중심점으로 하는 원의 방정식을 구하고, 이를 연립하여 하나의 교점을 계산해낸다. 이렇게 계산된 위치 정보는 그림 5와 같이 스마트폰의 지도 표시 화면에서 지도상에 마젠타 색상의 원으로 표시되며, 이동해 온 경로는 초록색 원으로 표시된다. 또한 정확한 좌표 값은 현재 위치 (x, y)와 같은 형식으로 화면 아래쪽에서 확인할 수 있다. 지도 좌측 상단의 가로 300cm와 세로 375cm는

```
double W, Z, foundBeaconLat, foundBeaconLong, foundBeaconLongFilter;
W = distanceA * distanceA - distanceB * distanceB
  - bAlat * bAlat - bAlong * bAlong
  + bBlat * bBlat + bBlong * bBlong;
Z = distanceB * distanceB - distanceC * distanceC
  - bBlat * bBlat - bBlong * bBlong
  + bClat * bClat + bClong * bClong;

foundBeaconLat = (W * (bClong - bBlong) - Z * (bBlong - bAlong))
  / (2 * ((bBlat - bAlat) * (bClong - bBlong) -
    (bClat - bBlat) * (bBlong - bAlong)));
foundBeaconLong = (W - 2 * foundBeaconLat * (bBlat - bAlat))
  / (2 * (bBlong - bAlong));
foundBeaconLongFilter = (Z - 2 * foundBeaconLat * (bClat - bBlat))
  / (2 * (bClong - bBlong));

foundBeaconLong = (foundBeaconLong + foundBeaconLongFilter) / 2;
```

Fig. 4. Algorithm to find the intersection of three circles

Table 1. Android Development Environment

Item		Value
PC	OS	Windows 7 Enterprise K (64-bit)
	Development Tool	Android Studio 3.1.2 for Windows
	Min. Req. API Level	24
	Target API Level	27
Android	Model	Xiaomi Mi MAX 2 (MDE40)
	OS	Android 7.1.1 (Nougat)
	Android API Level	25
	Display Size	6.44 inch
	Display Resolution	1920 * 1080 (Full HD)

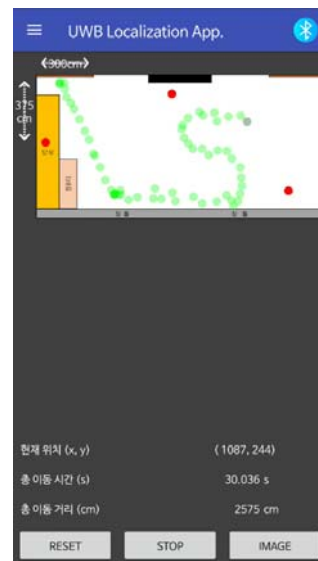


Fig. 5. Main Screen of Application



축척을 나타낸다.

#### IV. 실험 및 성능 평가

실험은 그림 6과 같은 환경에서 진행되었다. (a)는 장애물이 많고 이동 환경에 제약이 있는 상황을 가정하였다. (a)의 (0, 0) 좌표는 좌측 상단이고, 우측 하단은 (800, 750)이다. 이에 따라 anchor 1의 위치는 (560, 20), anchor 2의 위치는 (60, 590), anchor 3는 (710, 560)으로 설정하였다. (b) 환경은 장애물은 적으나 공간이 상대적으로 넓으며 이동에 제약이 없는 환경에서 실험을 하였다. (b)의 (0, 0) 좌표는 (a)과 동일하게 좌측 상단이며, 우측 하단은 (1500, 750)이다. anchor 1은 (50, 350), anchor 2는 (1300, 600), anchor 3은 (700, 100)에 위치하고 있다. 이동 경로는 그림에 있는 화살표 방향으로 이동을 하였다. 양쪽 환경에서 각각 10회씩 동일한 경로를 따라 이동하였으며, 이동하는 시간은 (a)과 (b) 환경 모두 약 35초 안에 경로를 움직이는 속도로 이동하였다. Tag의 위치는 0.5초마다 1번씩 측정되었다. 측정된 값을 평균으로 나타내면 다음과 같은 그림 7과 그림 8로 표현할 수 있다.

(a) 환경에서 측위를 한 결과, 장애물이 많음에도 불구하고 tag와 anchor사이의 통신은 전반적으로 양호했다. 하지만 일부 구간에 점이 집중되어 분포되어 있는 곳이 있었다. 이는 UWB 시그널이 장애물을 투과하지 못하여 현재 위치 계산이 늦어졌거나 아니면 UWB 허용 오차범위 내의 오차가 발생하여 현재 위

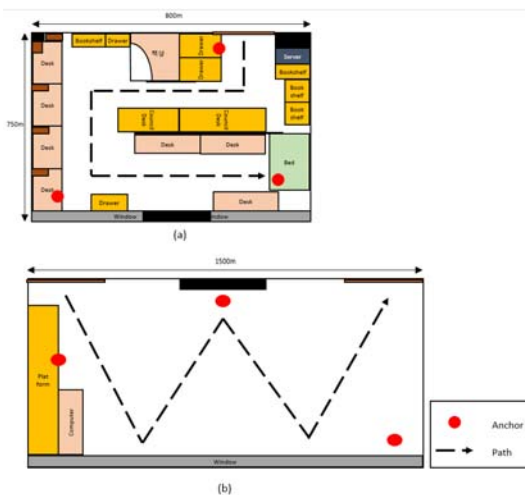


Fig. 6. (a) Obstacles = High, Area = 800x750cm (b) Obstacles = Low, Area = 1500x750cm

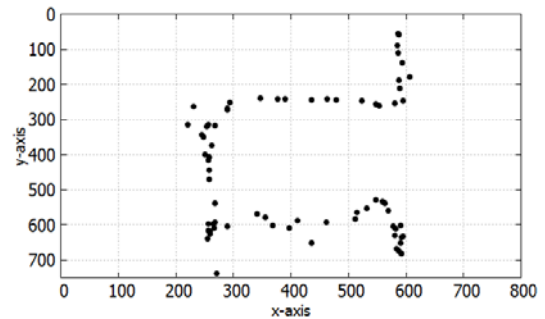


Fig. 7. Tracking Tag movement in (a)

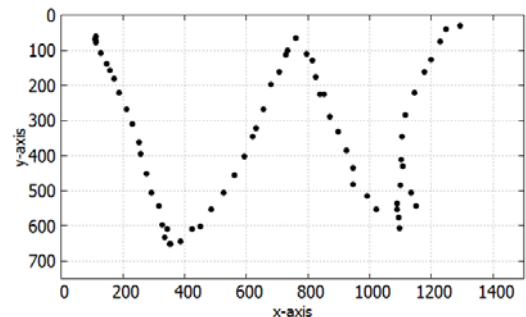


Fig. 8. Tracking Tag movement in (b)

치 계산이 조금 불안정 했었다고 판단된다. 한편, 장애 물이 거의 없는 (b) 환경에서의 측위 결과, 점들이 몰 리는 현상 없이 상대적으로 안정적인 분포를 보였다.

이러한 실험을 통해서 우리는 다음 두 가지 사실을 검증하였다. 첫째, UWB 칩을 사용한 모듈은 실내에 적당한 양의 장애물이 있어도 적은 오차범위로 tag를 추적할 수 있다. 이는 UWB의 넓은 주파수 대역 덕분에 장애물에 의한 영향이 적기 때문으로 보인다. 또한, 측위에 사용된 구현된 측위 알고리즘이 최소한의 연산으로 tag의 현재 (x, y)좌표를 명확히 계산할 수 있다는 점을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 화재진압·탐색·구조용 특수 장비 및 로봇에 UWB를 탑재하여 실내 측위에 대한 정밀 위치파악 모듈을 구현하고 이를 정량적으로 확인/분석할 수 있는 소프트웨어 개발을 목적으로 시스템을 개발하였다. 이를 위해 UWB 근거리 통신 기술과 세 원의 교점을 구하는 알고리즘을 기반으로 한 실내 측위에 대한 테스트 베드 구축과 실험 분석을 진행하였다.

본 논문에서 구현한 UWB 기술과 ToA를 사용한

tag와 anchor 간의 거리 측정은 실제 거리와 약 20cm 정도의 오차범위를 가지며, 측정된 거리 값의 변동 폭은 크지 않았다. 또한 세 원의 교점을 구하는 알고리즘을 통해 tag의 x, y좌표를 계산하고, 이 좌표를 안드로이드 어플리케이션 화면에 표현함으로써 tag의 동선을 실시간으로 표현할 수 있었다.

향후, AoA 또는 hybrid ToA/AoA 등 tag와 anchor의 거리를 측정하는 다양한 기법을 적용하여 현재 사용된 ToA 방식과 성능을 비교할 예정이다. 또한, 새로운 측위 알고리즘을 연구하여 최종적으로 계산된 tag 좌표의 오차를 줄이기 위한 연구도 진행할 예정이다.

## References

- [1] C. Yang and H.-R. Saho, "Wifi-Based indoor positioning," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 3, pp. 150-157, Mar. 2015.
- [2] Y. S. Cho, S. Y. Cho, B. D. Kim, S. H. Lee, J. C. Kim, and W. S. Choi, "Technical trend of indoor/outdoor seamless positioning," *Electron. and Telecommun. Trends*, vol. 22, no. 3, pp. 22-23, Jun. 2007.
- [3] B. Jun, "The study on indoor localization for robots following human using vision applications," *J. KIICE*, vol. 17, no. 6, pp. 1370-1374, Jun. 2013.
- [4] S. Venkatraman and J. Caffery, "Hybrid TOA/AOA techniques for mobile location in non-line-of-sight environments," *2004 IEEE Wireless Commun. and Netw. Conf.*, pp. 201-205, Atlanta, GA, USA, 2004.
- [5] A. Noertjahyana, I. Alex Wijayanto and J. Andjarwirawan, "Development of mobile indoor positioning system application using android and bluetooth low energy with trilateration method," *ICSIT*, pp. 185-189, Denpasar, Indonesia, Sept. 2017.
- [6] O. S. Oguejiofor, A. N. Aniedu, H. C. Ejiofor, and A. U. Okolibe, "Trilateration based localization algorithm for wireless sensor network," *IJISME*, vol. 1, no. 10, Denpasar, Indonesia, Sept. 2013.

## 서 준 호 (Junho Seo)



2018년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 학부 졸업  
2018년 3월~현재 : 경북대학교 컴퓨터학부 석사과정  
<관심분야> Indoor Positioning System, Wireless Sensor Network

[ORCID:0000-0002-5000-0215]

## 정 용 환 (Yonghwan Jeong)



2014년 8월 : 영남대학교 컴퓨터 공학과 졸업  
2017년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 학부 석사  
2017년 3월~현재 : 경북대학교 컴퓨터학부 박사과정  
<관심분야> Indoor Positioning System, Wireless Sensor Network, D2D, IoT

## 배 영 준 (Yeongjoon Bae)



2017년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 학부 졸업  
2017년 3월~현재 : 경북대학교 컴퓨터학부 석사과정  
<관심분야> Indoor Positioning System, D2D  
[ORCID:0000-0002-1872-538X]

## 유 흥 석 (Hongseok Yoo)



2005년 7월 : 경북대학교 컴퓨터 공학과 졸업  
2008년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 학부 석사  
2014년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 학부 박사  
2014년 3월~현재 : 경운대학교 조교수

<관심분야> 근거리통신망, IoT, CPS, 지능형교통시스템, D2D



김 영 덕 (Youngduk Kim)



2004년 2월 : 성균관대학교 컴  
퓨터교육과 졸업

2006년 2월 : 포항공과대학교 정  
보통신학과 석사

2014년 8월 : 경북대학교 컴퓨  
터학부 박사

2006년 1월~현재 : DGIST 미래  
자동차연구센터 선임연구원

<관심분야> Wireless Network, 미래형 자동차, 소  
방방재시스템

김 동 균 (Dongkyun Kim)



1994년 2월 : 경북대학교 컴퓨  
터공학과 졸업

1996년 2월 : 서울대학교 컴퓨  
터공학과 석사

2001년 2월 : 서울대학교 컴퓨터  
공학과 박사

2009년 3월~현재 : 경북대학교  
컴퓨터학부 정교수

<관심분야> Computer Communication, 이동 인터넷,  
Mobile Ad-Hoc Network, Sensor Network,  
Wireless Mesh Network, IoT

[ORCID:0000-0002-1995-378X]