

N-to-N 브로드캐스팅 시스템을 활용한 실내 객체 위치추적 시스템 개발에 관한 연구

A Study on Development of Indoor Object Tracking System Using N-to-N Broadcasting System

송인서* · 최민석** · 한현정** · 정현기*** · 박태현**** · 정상원**** ·
권장우*****

* 주저자 : 인하대학교 미래형자동차공학과 석사과정
** 공저자 : 인하대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정
*** 공저자 : ㈜맵퍼스 부설연구소 연구원
**** 공저자 : ㈜NPC R&D센터 연구원
***** 교신저자 : 인하대학교 컴퓨터공학과 교수

In seo Song* · Min seok Choi** · Hyun jeong Han** · Hyeon gi Jeong*** ·
Tae hyeon Park**** · Sang won Joeng**** · Jang woo Kwon*****

* Dept. of Future Vehicle Eng., Inha Univ.
** Dept. of Computer Eng., Inha Univ.
*** Researcher, Mappers inc..
**** R&D Center, Dept. of R&D, NPC CO., LTD
***** Dept. of Computer Eng., Inha Univ.
† Corresponding author : Jang woo Kwon, jwkwon@inha.ac.kr

Vol.19 No.6(2020)

December, 2020

pp.192~207

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.6.192)

2020.19.6.192

Received 22 September 2020

Revised 29 September 2020

Accepted 21 December 2020

© 2020. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

대형 공장과 같은 산업 현장에서는 효율적인 물자의 관리가 시간과 비용의 절감으로 이어진다. 반대로, 자원의 관리가 제대로 이어지지 않을 경우, 불필요한 시간과 비용을 추가로 지불하게 된다. 그럼에도 불구하고, 제대로 된 시스템이 구축되지 않은 경우가 많다. 본 논문에서는 실내 객체의 위치를 효율적으로 추정할 수 있는 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 관리 대상 물자에 블루투스 5.0 기반의 비콘을 장착하여 실시간으로 물자의 위치를 파악할 수 있고, 데이터베이스에 물자의 이동 기록을 저장하여 물자의 흐름을 파악할 수 있도록 하였다. 또한, 정확한 실내 위치추적을 위하여 “대각 측량”기법을 적용하여 실효성 높은 시스템을 구축하였으며, 공장 내 금형 위치추적 실험을 통하여 시스템을 검증하였다. 실험 결과, 전통적으로 사용되던 삼변 측량보다 47% 개선된 결과를 얻었다.

핵심어 : 사물인터넷, 스마트 팩토리, 블루투스, 블루투스 5.0, 비콘, 실내 위치

ABSTRACT

In industrial fields like big factories, efficient management of resources is critical in terms of time and expense. So, inefficient management of resources leads to additional costs. Nevertheless, in many cases, there is no proper system to manage resources. This study proposes a system to manage and track large-scale resources efficiently. We attached Bluetooth 5.0-based beacons to our target resources to track them in real time, and by saving their transportation data we can understand flows of resources. Also, we applied a diagonal survey method to estimate the location of beacons so we are able to build an efficient and accurate system. As a result, We achieve 47% more accurate results than traditional trilateration method

Key words : IoT, Smart Factory, Bluetooth, Bluetooth 5.0, Beacon, Indoor Location

I. 서론

대규모의 공장과 같은 산업 현장에는 이동이 잦은 수많은 물자가 존재한다. 이러한 산업용 물자의 원활한 관리를 위해서 위치가 반드시 파악되어야 하지만, 규모가 큰 산업 현장일수록 물자의 위치 파악 및 관리에 어려움을 겪게 되고, 이러한 어려움은 유지 관리 비용 증가로 이어진다.

실내 위치 추정은 주로 무선 통신 기술을 활용하여 연구되었다(Yoo 2014). 그 중에서도 블루투스 기술을 사용한 연구가 많은데(Shin et al., 2019), 본 논문은 정확한 위치 추정을 위해 대각측량 방식을 이용한 실내 측위 정확도 개선에 관한 연구(Jeong et al., 2018)에서 제안한 실내 위치 측위 알고리즘을 사용하여 실내에서 특정 객체들의 위치를 추적하기 위한 시스템을 제안한다.

본 연구에서 제안하는 시스템은 대규모의 실내 공간에서 운영할 수 있도록 하는 것에 초점을 맞춰서 개발이 진행되었다. 따라서 여러 실내 공간에서의 물자 이동을 전제로 시스템이 개발되어 단일 공간에서의 물자 이동뿐만 아니라 여러 실내 공간 사이의 물자 이동 추적이 가능하도록 개발되었고, 이러한 물자의 이동을 데이터베이스에 저장하여 이동을 기록하고, 앱 및 웹 프로그램에서 확인할 수 있도록 개발되었다. 이러한 기록은 향후 산업 현장에서 향후 계획 수립 및 통계에 활용할 수 있다.

1장 “서론”은 본 연구에서 제안하고자 하는 시스템의 필요성 및 목표를 간략하게 소개하였고, 2장 “대각측량법”은 본 연구에서 사용한 위치 추정 방법에 대해 설명한다. 3장 “제안하는 시스템”은 본 연구에서 제시하는 시스템의 구조에 대해 설명하고, 4장 “실험 결과”는 개발된 시스템의 성능 결과를, 5장 “사용자 제공 인터페이스”는 사용자용 프로그램을 소개한다. 6장 “결론 및 향후 개선 연구”는 본 연구에서 제시하는 시스템에 대한 정리와 향후 개선 방안에 대해 제시한다.

II. 대각 측량법

본 논문에서 제안하는 시스템은 대각측량 방식의 실내 위치 측위 알고리즘(Jeong et al., 2018)을 기반으로 하여, 해당 알고리즘을 N-to-N 방식의 브로드캐스팅 통신 환경에 맞게 확장·적용하였다. 본 연구에 사용된 대각측량 방식의 알고리즘은 다음과 같은 순서로 대상의 위치를 추정한다.

1. 수신된 RSSI 값을 사용하여 거리 계산

Friis 공식(Friis, 1946)은 자유공간을 통한 무선 링크의 송수신 전력 관계를 표현하는 공식으로 수신 전력을 아래와 같은 식으로 표현한다.

$$P_r = P_t \left(\frac{A_r A_t}{d^2 \lambda^2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, P_r = 수신 방사 전력
 P_t = 송신 방사 전력
 A_r = 수신 안테나 유효개구면적
 A_t = 송신 안테나 유효개구면적
 d = 송수신 거리
 λ = 파장

위 식 (1)을 거리 d 에 관한 식으로 표현하면

$$d = \sqrt{\frac{P_t A_r A_t}{P_r \lambda^2}} \dots\dots\dots (2)$$

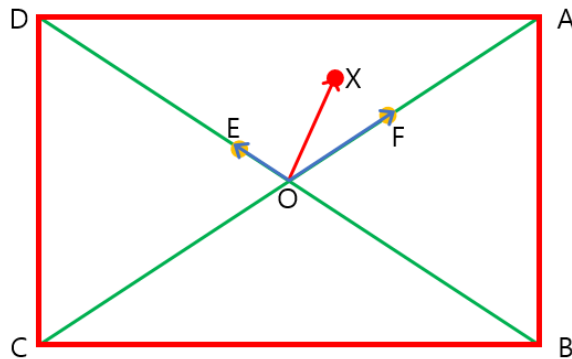
와 같다. 따라서, 수신된 전력으로부터 거리 d 를 계산할 수 있다.

2. 거리 값 보정

rss이 값은 주변의 무선 주파수 사용 환경 및 수신 거리, 안테나 특성 등에 따라 많은 영향을 받기 때문에 rssi 단일 정보를 사용해서 측정된 거리 정보는 높은 신뢰성을 보장하지 않으며, 일시적인 신호 간섭 등에 매우 취약하다(Parameswaran et al., 2009). 따라서 해당 거리 정보를 바로 사용하지 않고, 칼만 필터를 사용하여 거리 값을 보정하여 사용한다(Bishop and Welch, 1995).

3. 계산된 거리로부터 비콘의 위치를 추정

수신기 4개로 이루어진 직사각형 영역에서 각 수신기를 A, B, C, D로 표현하면, 아래 <Fig. 1>과 같이 나타낼 수 있다.



<Fig. 1> Outer Product of Diagonal Vectors

위 <Fig. 1>에서 \overrightarrow{OD} 와 방향이 같고 크기가 1인 방향벡터를 \vec{i} , \overrightarrow{OA} 를 \vec{j} 라고 할 때, 수신기 B, D에서 수신한 거리가 각각 α_o, β_o 이면, 위 <Fig. 1>에서 점 E는 대각선에 존재하는 두 수신기 B, D를 $\alpha_o : \beta_o$ 로 내분하는 점이다. 따라서,

$$\alpha_o : \beta_o = \alpha_{BD} : \beta_{BD} = |\overrightarrow{BE}| : |\overrightarrow{DE}| \dots\dots\dots (3)$$

원점 O에서 대각선 \overrightarrow{BD} 위의 점 E까지의 벡터 \overrightarrow{OE} 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\overrightarrow{OE} = \overrightarrow{OD} - \overrightarrow{DE} \dots\dots\dots (4)$$

마찬가지로,

$$\overrightarrow{OF} = \overrightarrow{OA} - \overrightarrow{AF} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, 수식 (3)에 따라

$$|\overrightarrow{DE}| = \frac{\alpha_0}{\alpha_0 + \beta_0} \overrightarrow{BD} \dots\dots\dots (6)$$

$$|\overrightarrow{AF}| = \frac{\gamma_0}{\gamma_0 + \omega_0} |\overrightarrow{AC}| \dots\dots\dots (7)$$

수신기의 중앙 O 에서 추정된 비콘의 좌표 X 까지의 벡터 \overrightarrow{OX} 는 두 벡터 \overrightarrow{OE} , \overrightarrow{OF} 의 벡터 곱으로 나타낸다.

$$\overrightarrow{OX} = \overrightarrow{OE} \times \overrightarrow{OF} \dots\dots\dots (8)$$

4. 다중 수신기 세트로 확장

기존의 대각측량 방법은 하나의 수신기 세트(직사각형 내부 영역)에 존재하는 비콘에 대해서만 위치가 정의된다. 하지만 본 연구에서 제안하는 시스템의 경우 여러개의 수신기 세트를 상용하며, 수신기와 비콘의 송·수신 상태에 따라 수신기 세트 4개 중 일부 수신기만 비콘의 신호를 수신할 수 있다. 따라서 아래 규칙 1, 2를 기존 대각측량 방식에 적용한다.

1. 수신기 세트에 존재하는 4개의 수신기가 모두 비콘을 수신하는 경우에만 해당 비콘이 수신기 내부에 위치한다고 가정한다.
2. 하나의 비콘이 여러 수신기 세트에서 인식될 경우, 4개의 수신기에서 수신한 rssi 평균값이 제일 큰 수신기 세트에 존재한다고 가정한다.

아래 Algorithm 1은 위 규칙 1,2를 적용한 대각측량 방법이다.

```

Algorithm 1. Beacon Position Estimation
for receiver_area in factory do
  for beacon in receiver_area do
     $X = \text{estimatePosition}(\text{beacon})$ 
    positionList[beacon].append(X)
  end for
end for

for listPerBeacon in positionList do
   $X_{\text{max}} = \text{max}(\text{listPerBeacon})$ 
  sendToServer( $X_{\text{max}}$ )
end for
```

Ⅲ. 제안하는 시스템

1. 시스템 개요

본 연구에서 제안하는 시스템은 Bluetooth 5.0 기반의 하드웨어 시스템과 데이터베이스, 비콘 위치 추정 프로그램, 사용자 인터페이스 제공 프로그램이 포함된 소프트웨어 시스템으로 구성된다. 비콘 위치 추정 프로그램은 개별 공장에서 실행되는 클라이언트 프로그램 및 중앙 서버에서 실행되는 마스터 프로그램으로 구성되며, 사용자 제공 프로그램은 안드로이드 앱 및 웹 프로그램으로 구성된다.

2. 하드웨어 시스템

큰 규모의 공장과 같은 산업 환경에서는 많은 수의 장비가 넓은 영역에 배치되어 있으므로, 저전력으로 동작하여 배터리 교체가 길수록, 통신 거리가 길수록 비용 절감과 유지·보수에 유리하다. 블루투스5는 넓은 대역폭을 제공하지는 않지만 1W 미만의 저전력으로 동작이 가능하고, 긴 송·수신 거리를 제공한다.

따라서 본 연구에서 제안하는 시스템은 실내 위치 추적을 위해 블루투스 5.0 기반의 장비를 제작하여 사용하였다. 해당 장비는 블루투스 5.0 통신 방식을 적용하고 송신 주기를 길게 설정하여 배터리 교체 주기가 길고, 사전 연결이 필요하지 않은 브로드캐스팅 비콘 방식으로 동작하여 송신기(비콘) 수의 증가에 따른 추가적인 수신기 설치를 요구하지 않는다. 블루투스 5.0은 블루투스 통신 규격의 최신 버전으로, 블루투스 4.2와 비교하면 최대 송·수신 거리가 200m로 2배 증가하였으며, 동일한 대역폭을 제공하기 위해 약 2배 정도 더 적은 전력을 요구한다.

블루투스 규격의 사양은 아래 <Table 1>과 같다(Bluetooth SIG, 2020).

<Table 1> Bluetooth 5.0 specification

Feature	Bluetooth Classic	Bluetooth 4.2	Bluetooth 5.0
Radio Frequency(MHz)	2400 to 2483.5		
Distance (m)	Up to 100	Up to 100	Up to 200
Data Rate(Mpbs)	1~3	1	2
Latency(ms)	100	6	3
Nodes/Active Slaves	7	Unlimited	Unlimited
Message Size	Up to 358	31	255
Power Consumption	1W	0.01 to 0.5 W	0.01 to 0.25 W

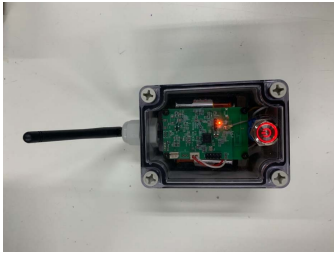
1) Bluetooth 5.0 통신 장비

본 시스템에 사용된 송신기는 블루투스 5.0 기반의 비콘으로, 금형에 부착되어 금형의 위치추적에 사용된다. 각 비콘은 고유한 맥 주소를 가지고 있으며, 이 맥 주소를 브로드캐스팅하여 수신기가 송신기의 신호를 수신한다.

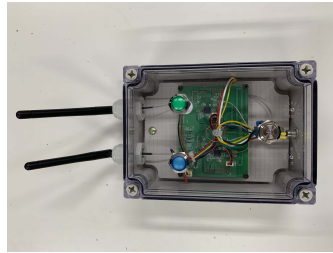
송신기는 내부의 AA 건전지로부터 전원을 공급받는다. 개발 단계에서는 개발의 편리상 매초 신호를 송신하지만, 실제 운영 단계에서는 대상 물자의 이동 주기에 맞춰 송신 주기를 조절하여 전원 수명을 늘리는 게 운영상 유리하다.

수신기는 송신기가 브로드캐스팅하는 신호를 받아서 송신한 비콘의 맥주소와 신호 세기(rssi)값을 게이트웨이에게 전송한다. 이때, 수신기 또한 고유한 수신기 번호를 가지고 있어서, 게이트웨이에 정보를 송신할 때 자신의 고유 번호를 함께 전송한다. 장비의 이름은 블루투스 수신기이지만 실제로는 데이터 송·수신을 모두 담당한다.

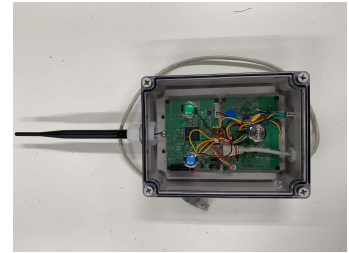
게이트웨이는 PC와 이더넷 케이블을 통해 연결되어, TCP프로토콜을 사용해 수신기에서 게이트웨이로 보낸 정보를 PC로 송신한다. 게이트웨이가 수신한 정보에는 수신기 번호, 송신기 맥 주소, rssi 정보가 포함되어 위치 측위에 필요한 정보를 포함하고 있다.



<Fig. 2> Bluetooth 5.0 Beacon



<Fig. 3> Bluetooth 5.0 Receiver



<Fig. 4> Bluetooth5.0 PC Gateway

2) 통신 장비 구성

본 연구에서 제안하는 하드웨어 시스템은 위에서 소개한 Bluetooth 5.0 통신 장비(비콘, 수신기, 게이트웨이)로 구성된다. 본문의 II장에서 소개한 대각측량 방식을 사용하기 위해 수신기 4개로 구성된 수신기 세트를 직사각형 형태로 설치한다. 그리고 수신기와 게이트웨이가 무선으로 연결되어 수신기가 비콘으로부터 수신한 정보를 게이트웨이로 전송하고, 게이트웨이는 수신한 정보를 TCP통신을 통해 pc에게 전송한다. 최종적으로 pc는 수신한 정보들을 바탕으로 비콘의 위치를 계산하고, 해당 정보를 서버로 전송한다.

위에서 언급한 시스템은 대규모 실내 공간에서의 사용을 고려하여, 공간 내의 수신기 세트 확장 및 공간 확장에 제한이 없도록 설계되었다. 따라서, 하나의 공간에 여러 개의 수신기 세트가 설치될 수 있으며, 여러 개의 공간에 해당 시스템이 설치될 수 있다. 이러한 확장성을 위하여, 각 통신 장비는 모두 브로드캐스팅 방식으로 설계되었다. 예를 들어, 공장 내부에 여러 개의 수신기 세트가 설치되는 경우, 하나의 게이트웨이 장비가 모든 수신기 세트의 신호를 수신하여 정보를 처리한다.

3. 소프트웨어 시스템

금형 추적 프로그램은 각 설치 공간에서 실행되는 클라이언트 프로그램과 서버에서 실행되는 마스터 프로그램으로 구성된다. 각 공간의 pc는 이더넷 케이블을 통해 게이트웨이와 연결되고, 게이트웨이를 통해 수신기가 송신하는 패킷을 받아들인다. 클라이언트 프로그램은 각 공장에 존재하는 비콘의 위치를 계산하여 서버에서 실행되는 마스터 프로그램한테 전송한다.

마스터 프로그램은 각 클라이언트가 측정한 비콘의 위치를 종합하여 데이터베이스를 업데이트하고, 클라이언트가 필요한 정보를 마스터 프로그램에 요청하는 경우 데이터베이스의 정보를 응답한다.

1) 클라이언트 프로그램

클라이언트 프로그램은 개별 공장에서 실행되는 프로그램으로, 클라이언트 프로그램의 주요 기능은 설치 공간 내 수신기 세트 내부 영역에 존재하는 비콘의 위치를 파악하여 마스터 프로그램에 송신하는 것이다. 하드웨어 구성에서 소개한 대로 각 공간에는 한 대의 게이트웨이 및 pc, 여러 개의 수신기 세트와 여러 개의 비콘이 동작한다. 따라서 클라이언트 프로그램은 다중의 수신기 세트에 존재하는 비콘의 위치를 동시에 계산한다.

이때, 브로드캐스팅 방식으로 작동하는 비콘의 특성상 특정 수신기 세트 구역 내에 존재하는 비콘의 패킷을 다른 수신기 세트의 수신기도 수신하게 되는 문제가 발생한다. 예를 들어, 1,2,3,4 번 수신기로 구성된 수신기 세트 A 번과 5,6,7,8번 수신기로 구성된 수신기 세트 B 번이 존재할 때, A 수신기 세트와 B 수신기 세트가 인접할 경우 A 수신기 세트 내부 영역에 존재하는 비콘의 패킷을 B 번 수신기 세트에 존재하는 5,6,7,8 수신기의 일부 또는 전체가 수신하는 문제가 발생한다. 이러한 경우 하나의 비콘이 여러 개의 수신기 구역 내에 위치한다고 오인식하는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 2.4 절에서 언급한 확장된 대각 측량 방식을 적용한다. 확장된 대각측량 방식은 여러 수신기 세트에 하나의 비콘이 수신되는 문제를 처리하기 때문에 위 상황에서도 문제가 발생하지 않는다.



<Fig. 5> Screenshot of running client program

<Fig. 5>는 실행 중인 클라이언트 프로그램으로, 클라이언트 프로그램은 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 GUI를 포함하는 형태로 개발되었다. 본 프로그램은 공장 내에서 금형의 위치 추적을 용도로 설계되었으며, 사용자는 프로그램의 왼쪽 공장 지도에서 설치된 수신기 및 인식된 비콘의 위치를 실시간으로 확인할 수 있

다. 그리고 오른쪽에서 Kalman filter 및 Friis 방정식의 계수를 직접 입력하여 실험적으로 알고리즘을 적용할 수 있다. 오른쪽 아래에서는 비콘 및 수신기 리스트를 확인할 수 있다.

2) 마스터 프로그램

마스터 프로그램은 DB 서버와의 직접적인 데이터 송수신을 담당하고, 개별 클라이언트와 직접 통신한다. 3장 1절에서 설명한 대로 특정 비콘이 여러 수신기 세트에 수신되는 문제가 발생하는데, 이러한 유형의 문제는 수신기 세트가 물리적으로 인접한 경우 발생한다. 예를 들어, (가)공장의 A번 수신기 세트에 위치하는 1번 비콘의 패킷이 인접한 (나)공장의 C번 수신기 세트에도 수신될 수 있다. 이러한 경우 A번 공장과 B공장 모두에 1번 비콘이 위치하는 형식으로 오인식이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 마스터 프로그램은 DB에 비콘 정보를 업데이트할 때 아래와 같은 규칙을 따른다.

1. 수신한 비콘의 정보가 하나의 클라이언트에만 존재할 경우 DB 서버에 업데이트한다.
2. 수신한 비콘의 정보가 여러 클라이언트에 존재할 경우 rssi값이 가장 큰 클라이언트에 비콘이 위치한다고 가정하고, 해당 정보를 DB 서버에 업데이트한다.

마스터프로그램은 각 클라이언트에게 비동기 방식으로 데이터를 수신한다. 따라서, 비콘이 이동하는 중이거나 이동했을 경우, 이전에 수신한 위치 정보는 유효하지 않을 수 있다. 유효하지 않은 위치 정보가 현재 비콘의 실제 위치 정보보다 높은 rssi값을 가진 경우, 규칙 2에 의해 마스터프로그램은 이전 정보를 현재 위치로 선택한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 아래의 규칙 3을 적용한다.

3. 일정 시간보다 오래된 데이터는 현재 비콘의 위치로 고려하지 않는다.

위의 규칙 1,2,3을 적용한 마스터프로그램의 비콘 위치 추정 및 데이터베이스 업데이트 알고리즘은 다음과 같다.

Algorithm 2. Beacon location estimation and database update
<pre> data = receiveData() data.time = currentTime beaconData[data.mac][data.factory] = data notUpdated = True while notUpdated do X = maxRssi(beaconData[data.mac]) if currentTime-X.time < threshold then uploadData(X) notUpdate = False else removeData(X) end if end while </pre>

3) 데이터베이스

데이터베이스 서버는 마스터 서버와 TCP통신으로 연결된다. 데이터베이스에는 비콘의 위치(공장, 수신기 세트 정보 및 위치 좌표)와 업데이트 시간을 기록한다. 마스터 프로그램은 금형의 위치를 데이터베이스에 저장할 때, 기존 데이터베이스에 입력된 비콘의 위치(공장 및 수신기 세트 정보)를 확인한다. 기존의 위치와 같은 영역에 존재할 경우 위치 좌표만 업데이트하고, 기존과 다른 영역에 존재할 경우 데이터베이스에 새로운 영역 정보를 추가한다. 이러한 기록들을 확인하여 추후에 비콘의 이동 경로를 파악할 수 있다. 자세한 데이터베이스 구조는 이후 5장 사용자 제공 인터페이스에서 소개한다.

IV. 실험 결과

1. 실험 개요

본 실험은 개발된 시스템의 검증은 목표로 한다. 따라서 실험은 실제 공장 환경에서 진행되었으며, 프로그램 검증 진행 과정은 아래와 같다.

1. 실험 장소에 수신기 세트를 가로 30m, 세로 20m 간격으로 2세트 설치
2. 수신기 세트 내부에 하나 또는 이상의 비콘을 배치
3. 비콘 클라이언트 프로그램에서 위치추적 성능을 평가
4. 비콘의 수신기 세트 간 이동 및 공장 간의 이동 추적 검증
5. 앱 및 웹 프로그램의 작동 검증

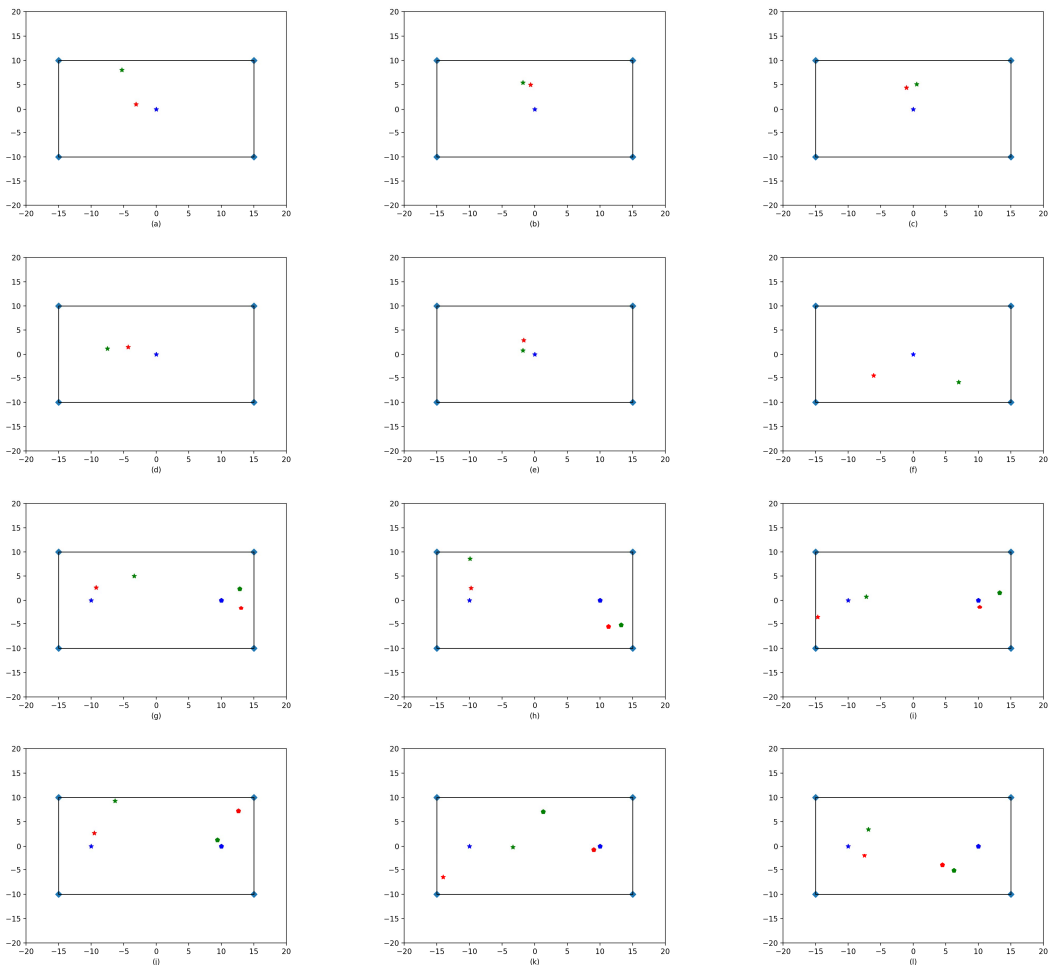
3번 위치 추적 성능 평가는 실제 비콘의 위치와 프로그램에서 추정된 비콘의 직선거리를 기준으로 평가되었으며, 본 장에서는 3번 실험 결과에 대해서만 소개한다.



<Fig. 6> Photo of experiment location and hardware setup

2. 실험 결과

<Fig. 7>은 위 실험 환경에서의 결과를 시각화한 것으로, (a)~(f)는 수신기 영역에 하나의 비콘을 위치시킨 후 테스트하였고, (g)~(l)은 두 개의 비콘을 위치시킨 후 테스트하였다. 실험 결과는 각 눈금이 1m인 좌표 평면에 표시되었고, (a)~(f)는 좌표 (0, 0)에 비콘이 존재하고, (g)~(l)은 좌표 (-10, 0), (10, 0)에 비콘이 존재한다. (g)~(l)의 경우 각 비콘 별 실험 결과를 다른 도형으로 구분되었으며, 각 실험 결과에서 실제 비콘의 위치는 파란색, 대각측량과 삼각 측량의 결과는 각각 빨간색, 초록색으로 표현되었다. 해당 결과를 통해 하나의 수신기 세트 내부에서 여러 개의 비콘 위치를 추적할 수 있음이 확인되었다.



<Fig. 7> Plot of experimental result

<Table 2>는 본 연구에서 제안하는 시스템에 사용된 대각측량 방식의 실험 결과로, Real Location은 실제 비콘의 좌표, Pred. Location은 알고리즘으로 추정된 좌표이다. Error Distance는 실제 좌표와 추정된 좌표의 직선거리를 미터로 나타낸 것이다. (a)~(f)의 평균 오차는 4.73m, (g)~(l)의 평균 오차는 4.27m, 전체 실험 오차는

4.42m로 비콘의 개수에 따른 편차는 관찰되지 않았다.

<Table 3>는 삼각 측량 알고리즘을 사용한 실험 결과로, <Table 2>에서 제시한 실험 결과와 동일한 입력에서 4개의 수신기 중 rssi가 높은 3개의 수신기 값을 사용하여 계산되었다. (a)~(l)의 평균 오차는 9.41m로, (e), (i-1)등의 일부 경우를 제외하고 대각측량 방식이 오차가 더 작음을 확인할 수 있고, 평균 오차 또한 대각측량 방식이 더 작음을 알 수 있다. 두 실험 결과를 비교하면 4.42m 와 9.41m로, 대각측량의 오차가 47%작음을 확인할 수 있다.

<Table 2> Experiment result of Diagonal Positioning method

	Real Location	Pred. Location	Error Distance(m)		Real Location	Pred. Location	Error Distance(m)
(a)	(0, 0)	(-3.09, 1.04)	3.26	(h-2)	(10, 0)	(11.27, -5.59)	5.73
(b)	(0, 0)	(-5.28, 8.07)	5.05	(i-1)	(-10, 0)	(-14.69, -3.61)	5.92
(c)	(0, 0)	(-1.05, 4.45)	4.57	(i-2)	(10, 0)	(10.19, -1.48)	1.49
(d)	(0, 0)	(-4.33, 1.49)	4.58	(j-1)	(-10, 0)	(-9.52, 2.70)	2.75
(e)	(0, 0)	(-1.70, 2.92)	3.38	(j-2)	(10, 0)	(12.63, 7.22)	7.69
(f)	(0, 0)	(-6.07, -4.56)	7.58	(k-1)	(-10, 0)	(-14.02, -6.50)	7.64
(g-1)	(-10, 0)	(-9.24, 2.63)	2.74	(k-2)	(10, 0)	(9.02, -0.71)	1.21
(g-2)	(10, 0)	(13.04, -1.67)	3.48	(l-1)	(-10, 0)	(-7.51, -2.06)	3.23
(h-1)	(-10, 0)	(-9.75, 2.52)	2.53	(l-2)	(10, 0)	(4.46, -4.02)	6.84

<Table 3> Experiment result of trilateration method

	Real Location	Pred. Location	Error Distance(m)		Real Location	Pred. Location	Error Distance(m)
(a)	(0, 0)	(5.28, 8.07)	9.64	(h-2)	(10, 0)	(13.20, -5.28)	6.18
(b)	(0, 0)	(-1.81, 5.46)	5.76	(i-1)	(-10, 0)	(-7.23, 0.77)	2.87
(c)	(0, 0)	(0.50, 5.15)	5.17	(i-2)	(10, 0)	(13.28, 1.57)	3.64
(d)	(0, 0)	(-7.50, 1.19)	7.60	(j-1)	(-10, 0)	(-6.32, 9.30)	10.00
(e)	(0, 0)	(-1.8, 0.80)	1.97	(j-2)	(10, 0)	(9.40, 1.31)	1.45
(f)	(0, 0)	(6.98, -5.91)	9.15	(k-1)	(-10, 0)	(-3.36, -0.15)	6.64
(g-1)	(-10, 0)	(-3.39, 5.00)	8.30	(k-2)	(10, 0)	(1.30, 7.06)	11.20
(g-2)	(10, 0)	(12.83, 2.39)	3.70	(l-1)	(-10, 0)	(-6.89, 3.48)	4.67
(h-1)	(-10, 0)	(-9.92, 8.59)	8.60	(l-2)	(10, 0)	(6.25, -5.14)	6.36

기존 연구(Jeong et al., 2018)의 경우, 가로 10m, 세로 10m의 영역에서 실험한 대각 측량 평균 실험 오차는 1.17m이고, 기존 삼변측량 알고리즘의 실험 오차는 2.56m이다. 본 연구의 경우 가로 30m, 세로 20m 의 영역에서 수행하였으며, 대각측량의 실험 오차는 4.42m, 삼변측량의 오차는 9.41m로 나타났다. 두 연구의 실험 결과를 100m²당 실험 오차로 비교하면 <Table 4>와 같다. 단위 면적당 거리 오차는 본 연구가 더 작게 나타났다지만, 두 연구에서 모두 대각측량 방식의 오차가 더 작게 측정되었다.

<Table 4> Experiment result comparison (*: result by Jeong et al., 2018)

	Estimated Error Distance	Experiment Space	Error per space(100m ²)
Diagonal Method	4.42 m	30m × 20m	0.73
trilateration method	9.41 m	30m × 20m	1.57
diagonal Method	1.17 m	10m × 10m	1.17
trilateration method	2.56 m	10m × 10m	2;56

V. 사용자 제공 인터페이스

1. 데이터 정렬 및 제공 개요

제한한 시스템을 통해 수집된 데이터는 사용자 친화적인 UX 인터페이스를 적용하여 사용자에게 제공한다. 데이터에 접근하고 관리하기 위한 관리자용 웹 시스템 기반 프로그램과 편의 기능을 포함한 작업자용 모바일 시스템으로 구성된다. 비콘으로부터 계산된 데이터들은 모두 데이터베이스에 저장되게 되고, 서버에서는 이런 데이터를 정렬하여 관리자와 작업자에게 제공한다. 제공되는 데이터의 종류와 기능은 아래와 같다.

1. 금형에 부착된 송신기에 종속되는 공장 내 금형의 위치 계산 및 출력
2. 현재 해당 금형을 소유하고 있는 공장의 정보, 금형의 이동 기록, 금형의 기본 정보 등에 대한 데이터 제공
3. 금형의 이동 루트에 대한 안내 메시지, 금형의 통신 오류에 대한 안내 메시지 전송 및 수신

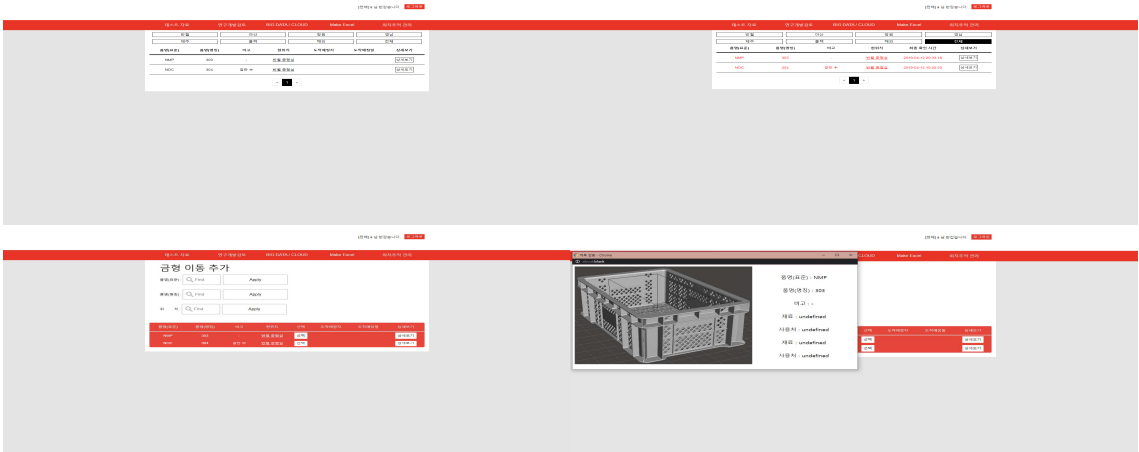
2. 웹 시스템

웹 시스템은 기본적인 회원가입 및 로그인 기능과 더불어 금형 추가 및 목록 조회, 금형 이동 등록과 확인 등의 기능을 제공한다. 각 기능은 유저의 권한에 따라 제한이 있을 수 있다. <Fig. 8>는 구현된 웹 인터페이스이다. <Fig. 9>은 웹 시스템을 구현하기 위한 모듈별 파일구조로, 사용자가 메인 GUI에 접근을 할 때 index.html을 기반으로 다른 파일들과 파일 내 함수들을 호출하는 방식으로 연계되어있다.

사용자가 금형을 추가하고자할 경우 main.js 내의 login_add()메소드를 호출하여 login_add.php를 통해 로그인하고 admin권한 이상의 사용자만 addnewmold.php와 연결된다. addnewmold.php에서는 추가하고자 하는 금형의 정보를 입력받고 uploadmold.php를 통해 데이터베이스에 추가한다.

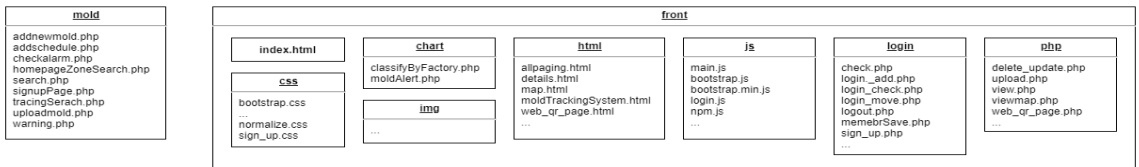
사용자가 공장별 금형 목록을 요청할 경우 main.js 내의 classifyByFactory() 메소드를 호출하여 classifyByFactory.php를 통해 데이터베이스에 접근한다. 그렇게 불러온 데이터의 공장 정보에 따라 형식에 맞추어 GUI에 출력한다.

금형 이동 등록과 확인의 경우 login_check.php를 통해 manager권한 이상의 사용자만 금형 이동 등록 및 확인 기능을 사용할 수 있다. employee권한의 사용자인 경우 조회만 가능하다. 금형 목록을 요청했을 때와 마찬가지로 데이터베이스에 접근하여 금형 목록을 불러온 뒤, 사용자가 선택한 금형에 대해 목적지와 예상 도착일 등의 정보를 팝업창에서 입력받는다. 이후 addschedule.php를 통해 데이터베이스에 추가한다. 이동 확인의 경우 login_check.php에서 manager권한 이상의 사용자가 접근했을 때 미확인된 이동에 대한 알림창을 띄워 사용자에게 확인을 요청하게 된다.

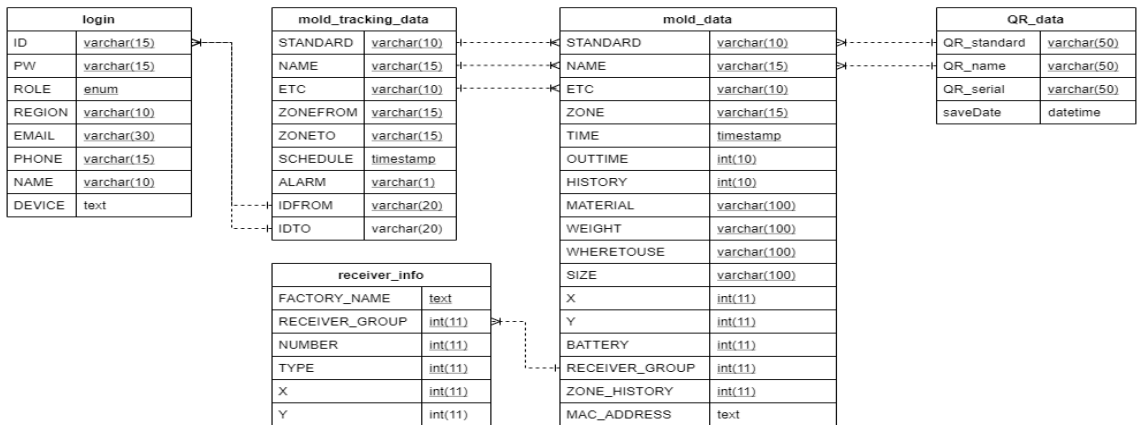


<Fig. 8> Web system user interface

<Fig. 10>는 웹 시스템의 데이터베이스 구조이다. 이 데이터베이스는 웹 시스템과 공유된다. 웹 시스템과 관련된 데이터베이스는 login, mold_tracking_data, receiver_info, mold_data로, 총 4개의 테이블로 구성되어있다. QR_data는 웹 시스템에서 사용된다. login 테이블은 사용자의 정보를, mold_tracking_data 테이블은 금형의 이동 등록 정보를, receiver_info는 금형의 위치를 파악하기 위한 수신기에 대한 정보를, mold_data는 각 금형의 정보를 담고 있다. 비콘 추적 클라이언트 프로그램은 마스터 프로그램을 통해 receiver_info 테이블의 수신기 정보를 받아오고, 추적한 비콘 정보에 따라 mold_tracking_data 테이블을 업데이트한다.



<Fig. 9> Web system file structure



<Fig. 10> Database structure

3. 모바일 시스템

모바일 시스템은 로그인 토큰을 통해 시스템 관리자와 작업자를 구분하고 권한을 따로 부여하여 사용할 수 있는 기능을 구분할 수 있도록 되어있다. 또한, 각 계정은 관리자와 작업자 본인이 소속되어있는 공장의 데이터만 관리하고 열람할 수 있도록 되어있다.

기본적으로 모바일 시스템의 가장 중심이 되는 기능은 금형의 정보와 위치를 계산하고 출력하는 기능이다. 데이터베이스에 실시간으로 업로드되는 비콘과 수신기의 위치 정보를 통해 금형의 위치를 추정하고 공장 모식도 위에 투영하여 출력한다. 모바일 시스템의 해상도와 실제 공장 모식도의 크기를 고려하여 비율로 계산하여 예상되는 위치에 금형 아이콘을 출력한다. 작업자는 이 예상 위치를 통해 공장 내 해당 금형의 위치를 파악하고 접근할 수 있다.

여러 개의 금형이 모여 있을 경우 찾고자하는 금형을 특정하기 위해 태그시스템을 부착하여 금형 정보를 열람할 수 있도록 한다. 이때, 큰 지식이 없어도 사용할 수 있도록 일반인에게 익숙한 QR코드를 이용하여 생산할 수 있는 태그를 이용하였다. QR코드의 형식은 “금형이름_금형번호” 이며 QR코드 태깅을 통해 해당 데이터를 파싱하여 데이터베이스에서 데이터를 탐색한다. <Fig. 11>은 구현된 앱 화면으로, 각 이미지는 비콘의 위치 추적 화면 및 최근 이동된 비콘 정보 목록 화면이다.



<Fig. 11> Mobile system user interface

작업자는 금형 검색을 위해 [금형 이름], [금형 번호], [금형 위치] 등을 이용하여 탐색할 수 있다. 현재 작업자가 소속되어있는 공장에서 보유 중인 금형의 리스트를 한 번에 탐색하여 리스트 업 할 수 있으며, 이와 더불어 금형이 현재까지 거쳐 온 공장들의 기록 또한 저장하여 금형의 소실에 대한 만약의 사태를 최소화

할 수 있다.

모바일 시스템의 큰 강점으로 누구나 어디서든 스마트폰을 소유하고 있어 이벤트에 대해 즉각적인 대응이 가능하다는 것이다. 이 모바일 시스템에서는 이 강점을 적극 활용하고자 특정 이벤트에 대해 작업자가 즉각적으로 반응할 수 있도록 기능을 추가한다. 공장에 기존 데이터에는 없던 신규 금형이 이송되었을 때 시스템은 이를 데이터베이스에 업로드하고 관리자에게 즉각 알림 메시지로 알려주게 된다. 또한, 기존에 실시간으로 업로드되던 금형의 데이터 수신이 중단되었을 경우 수신기의 배터리 문제, 수신기의 네트워크 통신 문제 등이 야기되었다고 판단하고 이 또한 관리자에게 알림 메시지로 알려주게 된다. 이러한 기능들을 통해 모바일 시스템의 강점을 살리고 관리자의 작업에 효율성을 증대시킬 수 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 실내 객체 위치추적을 위한 시스템을 제안하고 이를 웹 프로그래밍과 앱을 개발하여 구현하였다. 개발된 시스템의 유용성을 평가하기 위하여 경기도의 A 회사의 실제 공장에서 사용 중인 금형을 대상으로 위치추적 시스템을 시험하였다. 실험 결과 본 연구에서 제안하는 시스템은 기존의 삼변측량보다 비교적 정확도가 높은 대각측량 방식을 사용하여 금형의 위치를 정확하게 추적할 수 있고, 공장 내부 그리고 공장 간 통신 설비의 간섭을 고려하여 설계되었기 때문에 높은 확장성을 가지는 것이 장점이다. 특히 공장들이 인접한 경우 실제 객체의 위치를 효과적으로 파악할 수 있었고 객체의 이동 등이 발생한 경우 히스토리 관리까지 가능하도록 기능을 구현하여 실제 현장에서의 적용 가능성이 높았다.

그러나 본 연구에서 위치 측위 방식으로 사용한 대각측량 방식은 블루투스 5.0의 rssi 수신 거리 내에 위치하는 객체를 대상으로 하고 있어 이 범위를 벗어나는 공간에 본 시스템을 적용하기 위해서는 여러 대의 수신기 세트를 추가로 설치해야 해서 비용의 증가로 연결될 수 있다. 향후 블루투스의 성능이 개선되는 경우 이 문제는 쉽게 해결될 수 있으나 30m × 30m를 초과하는 공간의 경우 현재로서는 추가적인 수신기 세트를 설치하여야만 하는 개선점도 가지고 있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (N0002428, 2020년 산업전문인력역량강화사업)

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2017-0-01642)

REFERENCES

- Bishop G. and Welch G.(2001), “An introduction to the Kalman filter,” *Proc of SIGGRAPH, Course*, 8(27599-23175), p.41.
- Bluetooth SIG, <https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification/>, 2020.07.10.

- De Blas A. and López-de-Ipiña D.(2017), "Improving trilateration for indoors localization using BLE beacons," *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science(SpliTech)*, Split, 2017, pp.1-6.
- Friis H. T.(1946), "A Note on a Simple Transmission Formula," *IRE Proc*, vol. 34, no. 5, pp.254-256.
- Jeong H. G., Park T. H. and Kwon J. W.(2018), "A Study on Improvement of Indoor Positioning Accuracy Using Diagonal Survey Method," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 5, pp.160-172.
- Parameswaran A. T., Husain M. I. and Upadhyaya S.(2009), "Is RSSI a reliable parameter in sensor localization algorithms: An experimental study," *In Proc. of Field Failure Data Analysis Workshop(F2DA09)*, pp.5-9.
- Shin J. M., Jeong M. W., Kim Y. S., Ban T. W. and Ryu J. Y.(2019), "Position Tracking System Using Multiple Bluetooth Receivers," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 2019, no. 11, pp.196-197.
- Yoo J. J.(2014), "Trends in technical development and standardization of indoor location based services," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 29, no. 5, pp.51-61.