

차량 환경의 스마트 Fob 시스템 적용을 위한 Bluetooth LE 기반 실내 측위 알고리즘

이 재 호*

Bluetooth LE-Based Indoor Positioning Algorithm for Smart Fob System in Vehicle Environment

Jaeho Lee*

요 약

스마트 Fob 시스템은 자동차 접근 및 제어가 허용된 스마트 기기를 대상으로 스마트키와 동일한 권한을 기능적으로 부여하는 기능을 제공함으로써, 기기 접근에 대한 인증 및 권한에 관한 연구와 더불어 차량 제어의 허용 여부를 판단하기 위한 차량 내 기기 정밀 측위 연구가 주요 기술 분야로 인지되고 있다. 원천적으로 스마트폰의 차량 내 존재 여부를 정확하게 판단하기 위해서는 차량 내 실내 측위 기술의 필요성은 당위적이다. 하지만 현재 적용되고 있는 스마트키의 차량 내 존재 여부를 파악하는 기술은 일반적으로 방향성 안테나의 조합을 통해 구현되고 있으며, 이는 자동차 문을 개방하는 등의 예외상황에서 자유롭기 어렵다. 본 논문은 이러한 문제를 원천적으로 해결하기 위하여 Bluetooth LE를 기반으로 차량 내 측위에 대한 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 효과를 객관적으로 검증하기 위하여 구현을 통해 결과를 입증하였다.

Key Words : Bluetooth LE, Fob System, Indoor Positioning, Trilateration, RSSI.

ABSTRACT

Smart Fob system enables that a phone, which has been allowed to access and control a peer vehicle, obtains the same authority of the previous smart key in terms of functionality. In this area, the method of precise indoor positioning, to recognize whether the device is located in a vehicle or not, has been taken into main key technology, as well as authentication and authorization for the device access. The technology of localization in vehicle indoor environment is fundamentally required to recognize that a device is located in vehicle. However, the effect of today's deployed method would be limited from some exceptional use cases such as opening the vehicle door, because the method finds out the solution from the combination of directional antennas. To address the issue, this paper suggests the positioning algorithm based on Bluetooth LE for vehicle environment. Further practical results are presented to evaluate the effect of the proposed algorithm by implementation.

* 본 연구는 2020년도 덕성여자대학교 교내연구비 지원에 의해 이루어졌음

• First Author : Duksung Women's University, Department of Software, izeho@duksung.ac.kr, 조교수, 정회원
논문번호 : 202010-250-D-RN, Received October 6, 2020; Revised December 3, 2020; Accepted December 14, 2020

I. 서 론

실내 측위 기술은 GPS 수신이 불가능한 환경에서 사용자 위치정보를 획득하기 위하여 지속적으로 연구되고 있으며, 대형 쇼핑몰과 공항, 전시장, 백화점, 병원 등 주로 대규모 건물의 실내를 대상으로 사용자 편의를 위해 적용되고 있다. 이러한 대형 건물에서는 이용자가 목적지를 탐색하는데 어려움이 존재하며, 따라서 스마트폰 등을 활용한 실내 측위 시스템을 적용할 때 건물 이용자의 목적지 탐색을 위한 경로 안내 서비스를 제공할 수 있으며, 재난 상황 발생 시 빠르게 비상구 위치와 탈출 경로를 안내할 수 있기에 점진적으로 활용 영역이 증가하고 있다. 최근 스마트홈 등 좁은 지역을 대상으로 다양한 정밀 실내 측위 기술이 Wi-Fi^[1,2] 및 Bluetooth^[3] LE 기반으로 연구되고 있으며, 이는 자동차 내의 협소한 공간에서도 적용될 수 있다.

한편, 스마트카 연구 분야로써 기존 스마트키를 스마트폰으로 대체할 수 있는 스마트 Fob 시스템이 개발되어 최근 출시된 차량에 적용되고 있다. 스마트폰 Fob 시스템은 대상 차량에 접근 제어가 허가된 스마트 기기를 활용하여 기존 스마트키 기능을 대체하는 시스템으로써, 자동차 키가 없는 상황에서도 인증된 기기를 통해 차량 문을 개방하거나 시동을 제어하는 등 사용자에게 높은 편의성을 제공할 수 있다.

이러한 스마트 Fob 시스템은 차량 문을 개방할 때 근거리에서 인증된 기기의 존재 여부를 파악해야 하고 차량 시동 시 인증된 기기의 차량 내 존재 여부를 파악해야 한다. 또한, 차량이 인증된 기기의 차량 외부 위치를 대략적으로 제공할 경우 높은 사용성을 제공할 수 있다. 하지만, 최근 출시 차량에 적용되고 있는 스마트 Fob 시스템은 주로 차량 내부에 설치된 방향성 안테나의 조합에 의존하고 있기에, 차량 문을 개방한 상태 등의 예외적인 상태에서 오류가 발생될 수 있다. 따라서 안정적인 스마트 Fob 시스템을 제공하기 위해서는 차량 내부 환경을 대상으로 정확한 실내 측위 기술의 활용이 필요하다.

일반적인 실내 측위 기술은 시장 범용성 측면에서 크게 Bluetooth LE와 Wi-Fi를 사용하는 방법으로 구분될 수 있다. Wi-Fi 활용의 실내 측위 기술은 Bluetooth LE 기반 서비스 대비 에너지 효율 측면에서 불리할 수 있기에, 소형 기기를 사용하는 시스템에서는 Bluetooth LE 기반의 실내 측위 서비스모델이 점차 보편화되고 있다. 이는 2019년 1월에 발표된 Bluetooth 5.1^[4] 규격에 Direction Finding 요소기술이

포함된 관점에서 가속화되었다. 하지만 Bluetooth 5.1 규격은 다중 안테나를 활용한 Angle of Arrival 및 Angle of Departure 기술을 주로 정의하고 있으며^[5], 멀티패스가 발생될 수 있는 차량 내부 환경에서는 높은 정확도를 제공하기 어렵다.

Bluetooth를 활용한 전통적인 실내 측위 기술은 비콘 장치 등을 이용하는 Proximity 방식과 RSSI 기반의 측위 알고리즘 방식으로 대표될 수 있다. 우선 비콘 장치를 활용한 Proximity 방식^[6,7]은 대상 장치가 비콘 등 Proximity 감지 장치의 인근 위치 존재 여부를 단순 판단하는 방식으로써, 대상 장치의 정확한 위치를 파악할 필요가 없는 서비스에서 활용되며, 커피숍이나 식당, 쇼핑몰 등에서 고객의 방문 여부 등을 인지하는 용도로 활용된다.

RSSI 기반의 Bluetooth 측위 방식은 매우 다양하게 연구되고 있지만^[8], 보편적으로 KNN^[9] 등의 알고리즘을 활용한 Fingerprinting 방식^[10-12]이 널리 활용된다. 이 방식은 대상 서비스 지역을 특정 셀로 구분한 뒤 많은 수의 비콘 장치로부터 수집되는 RSSI 정보를 토대로 셀 단위 유사성을 파악하여 대상 셀을 결정하는 방식이다. 하지만 Fingerprinting 방식은 사전에 각 셀마다 Radio Map을 구축해야 하는 단점이 있기에 각 차량에 따른 실내 환경을 적용하기 어렵다.

본 논문은 이와 같은 제한적 환경 내에서 스마트 Fob 시스템을 위한 실내 측위 알고리즘을 제안한다. 제안 방식은 차량 실내에 고정적으로 위치한 비콘 장치가 수신하는 RSSI 데이터를 기반으로 전통적인 Hyperbolic Trilateration 기법을 적용하며, 차량 내부의 환경적 특성을 고려하여 알고리즘 최적화를 진행하고 이를 토대로 실험 결과를 산출하였다.

II. 시스템 구현 및 측위 알고리즘

2.1 서비스 시나리오

그림 1은 차량 내 스마트 Fob 시스템 적용에 대한 사용자 서비스 시나리오를 나타낸다. 먼저, 가족 등 차량에 대한 권한을 소유한 기기 집합에 포함된 스마트폰이 차량 근처로 접근할 경우, 차량 내 Main Unit은 해당 기기로부터 수신되는 RSSI 정보를 통해 차량과의 거리를 인지한다. 본 기능은 사용자의 차량 접근을 인지하기 위해 수행되며, 따라서, 거리 정확성은 크게 고려하지 않는다.

만약 허가된 기기가 10m 이내로 접근할 경우 유도등과 같은 기능을 수행하여 차량의 존재를 알리고, 운전석(또는 조수석)에 설치된 비콘과 기기와의 거리가

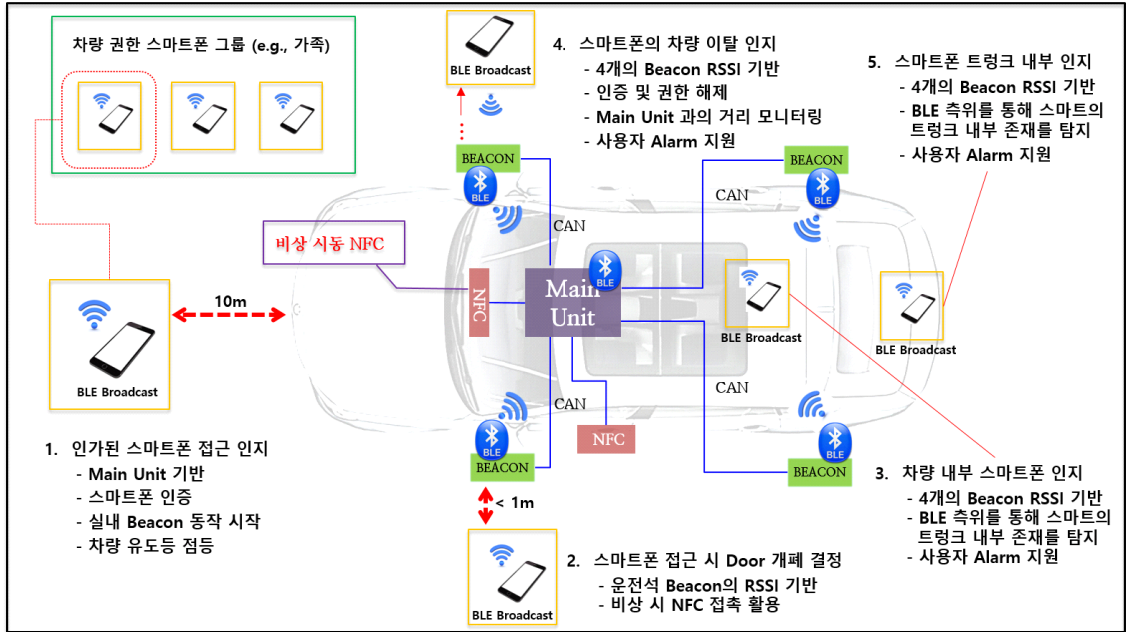


Fig. 1. Service model of location-based Fob system for vehicle environment using smartphone.

1m 이내로 근접할 경우 Door 개방을 허용하며, 비상용으로 NFC 활용도 고려한다. 이후, 차량 내부에 위치한 기기의 실내 측위를 통해 사용자의 차량 제어를 허가하며, 만약 기기가 차량 외부로 이탈하거나 트렁크 내부에 기기가 존재할 경우, 차량 제어의 허가를 회수한 후 차량 내부 디스플레이 또는 신호음 등을 통해 사용자가 인지할 수 있도록 유도한다.

2.2 시스템 환경 구성

차량 내 스마트 Fob 시스템 적용을 위한 기기는 휴대전화를 포함한 손목형 밴드나 시계 등의 스마트 기기로 대표될 수 있다. 또한, 단일 차량에 대하여 가족 등 다수의 사용자가 존재할 수 있기에, Fob 역할을 담당하는 기기는 다수가 존재한다고 가정할 수 있다. 다만, 어떠한 예외 사항도 없이 Fob 역할을 담당하는 기기가 차량 내부에 위치하는지를 정확히 파악해야 차량의 시동 등의 제어 권한을 결정할 수 있다.

차량 내 Fob 기기의 실내 측위를 위해서는 Wi-Fi 또는 NFC 등을 활용할 수도 있지만, 본 논문에서는 손목형 밴드나 스마트 시계 등의 사용 환경을 고려할 때 공통적으로 반영될 수 있는 Bluetooth LE를 대상 인터페이스로 선택하였다. Bluetooth LE는 Wi-Fi 대비 에너지 효율이 높으며, 위 기기들이 대부분 제한적인 배터리를 사용한다는 관점에서 유리하다.

그림 1과 같이 차량 내에는 4개의 비콘이 각 코너

에 설치되고, 각 비콘은 자신이 측정한 RSSI 정보와 Fob 장치의 송신 출력 정보를 중앙 장치로 전달하기 위하여 CAN 인터페이스를 활용한다. 이 비콘들은 실내 측위를 위한 Hyperbolic Trilateration 관점에서 Known Anchor 역할을 이행하며, 따라서 4개의 Anchor를 기준으로 직사각형 모형의 측위 영역을 고려할 수 있다.

본 실내측위 대상 영역은 국내에서 생산되는 중대형 승용차의 실제 면적으로 고려할 때 가로 폭은 약 1.5m, 세로 길이는 약 2.5m로 가정할 수 있다. 따라서 본 알고리즘 개발 역시 실내측위 대상 영역을 x축의 최대 길이와 y축의 최대 길이를 {1.5m, 2.5m}로 설정하였으며, 대상 환경에 특화된 실내 측위 방안을 도출하기 위하여 그림 2과 같이 Hyperbolic Trilateration 측면에서 대상 모델을 정의하였다.

시스템 환경 모델은 높이 2.5m와 폭 1.5m의 크기를 가지는 협소한 영역의 직사각형으로 형상화될 수 있고, 각 코너에 4개의 비콘이 그림과 같이 고정적으로 위치한다. 또한, GPS 연계 등의 절대좌표 획득은 수행하지 않으며 4개의 비콘을 기반으로 상대 위치만을 획득한다. Fob 역할을 수행하는 기기를 태그 장치라고 명칭하며, 4개의 비콘 장치는 RSSI 정보 등을 전달하기 위하여 CAN 인터페이스를 통해 실내 측위 알고리즘을 수행하는 메인 장치와 연결된다.

기본적인 운영 동작은 Fob 역할을 수행하는 태그

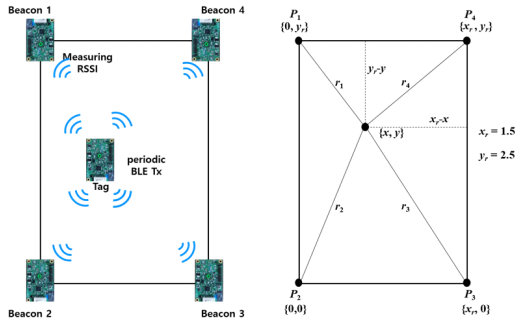


Fig. 2. Model of vehicle environment scale for indoor positioning algorithm based on hyperbolic trilateration function.

장치가 주기적으로 4개의 비콘에게 Bluetooth LE를 통해 데이터를 전달한다. 이와 같은 주기적 데이터는 Bluetooth LE에서 정의된 3개의 Advertising 채널을 활용하여 비접속 방식으로 전송되는 형태가 보편적이지만, 본 연구에서는 스마트 Fob 기기의 인증 여부와 Privacy 문제 등을 고려하여 접속 기반으로 데이터를 전달하며, 따라서 Bluetooth LE의 37개 데이터 채널을 통해 송신된다.

2.3 환경 모델을 고려한 Trilateration 알고리즘

본 절에서는 2.1절에서 정의한 Fob 실내측위 환경 모델을 기반으로 동작되는 Trilateration 알고리즘 최적화 과정을 설명한다. 각 비콘의 위치를 Anchor point로 설정하고 이에 대하여 $P_1 \sim P_4$ 로 명칭한 후, 태그 장치가 임의의 $\{x, y\}$ 위치에 존재한다고 가정할 때, 각 Anchor와 측위 대상 태그 장치의 거리 $r_1 \sim r_4$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} r_1^2 &= x^2 + (y_r - y)^2 \\ r_2^2 &= x^2 + y^2 \\ r_3^2 &= (x_r - x)^2 + y^2 \\ r_4^2 &= (x_r - x)^2 + (y_r - y)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

따라서 r_1 과 r_2 에 대하여 연립방정식을 적용하면 아래와 같이 y 좌표를 획득할 수 있다. 단, 또 다른 연립방정식의 조합으로 인하여 y 값의 다른 해가 존재하기 때문에, 아래에서는 y_1 으로 표기하였다.

$$\begin{aligned} r_1^2 - r_2^2 &= x^2 + (y_r - y)^2 - (x^2 + y^2) \\ r_1^2 - r_2^2 &= (y_r - y)^2 - y^2 \\ r_1^2 - r_2^2 &= y_r^2 - 2y_r y \\ y_1 &= y = \frac{y_r^2 - r_1^2 + r_2^2}{2y_r} \end{aligned} \quad (2)$$

반면에, 본 환경 모델에서는 Reference Anchor가 4개이므로, r_3 와 r_4 를 기준으로 또 다른 y 좌표인 y_2 의 값을 획득할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_3^2 - r_4^2 &= (x_r - x)^2 + y^2 - ((x_r - x)^2 + (y_r - y)^2) \\ r_3^2 - r_4^2 &= y^2 - (y_r - y)^2 \\ r_3^2 - r_4^2 &= y^2 - y_r^2 + 2y_r y - y^2 \\ y_2 &= y = \frac{r_3^2 - r_4^2 + y_r^2}{2y_r} \end{aligned} \quad (3)$$

이와 같은 방법으로 r_2 와 r_3 및 r_1 과 r_4 의 연립방정식 조합에 의하여 두 개의 x 값을 획득할 수 있으며, 이에 대한 해는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_2^2 - r_3^2 &= x^2 + y^2 - ((x_r - x)^2 + y^2) \\ r_2^2 - r_3^2 &= x^2 - (x_r - x)^2 \\ x_1 &= x = \frac{r_2^2 - r_3^2 + x_r^2}{2x_r} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} r_1^2 - r_4^2 &= x^2 + (y_r - y)^2 - ((x_r - x)^2 + (y_r - y)^2) \\ r_1^2 - r_4^2 &= x^2 - (x_r - x)^2 \\ x_2 &= x = \frac{r_1^2 - r_4^2 + x_r^2}{2x_r} \end{aligned} \quad (5)$$

2.4 Intersection 부재에 따른 알고리즘 적용

앞 절에서 설명된 모델은 태그 장치와 각 비콘의 거리가 정확할 경우 명제적으로 적용할 수 있다. 하지만, RSSI 특성 상 오차율이 크기 때문에 $r_1 \sim r_4$ 는 정확한 값이 아닌 범위로 해석해야 한다. 본 연구에서는 이와 같은 환경적 특성을 고려하기 위하여, 각 거리에 대한 비례상수를 적용한다.

RSSI 오차를 배제할 경우, 장치가 P_1 과 P_4 의 연장선상에 존재할 경우 (즉, y 좌표가 P_1 및 P_4 와 동일), r_1 과 r_4 의 합은 y_r 값과 동일하다. 또한, 거리 오차가 작을

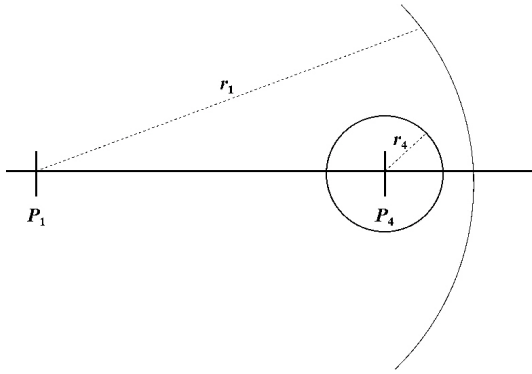


Fig. 3. Problem statement of included circle derived from high error condition.

경우, 만약 태그 장치가 P_1 과 P_4 사이에 위치한다면 r_1 의 크기는 $x_r + r_4$ 를 초과할 수 없다. 하지만 RSSI는 Radio Propagation Model에 따라 거리의 제곱에 비례하며, 따라서 약간의 RSSI 오차가 발생하더라도 거리의 오차는 제곱의 크기만큼 발생 될 수 있다.

그림 3는 P_4 원이 P_1 원에 완전히 포함되는 경우에 대한 Included Circle 문제를 나타내었다. 보편적으로 오차가 발생하더라도 두 원의 중첩 구간은 발생될 수 있으며, 이 경우에는 확실적인 관점에서 위치를 측위할 수 있다. 하지만 이와 같이 두 원의 중첩 구간이 없고 한 원이 다른 원에 완전히 포함될 경우, 중첩 구간 부재에 따른 문제가 발생 될 수 있다.

또 다른 관점에서의 문제는 그림 4와 같이 두 원이 서로 중첩 없이 상호 배타적으로 독립적인 원을 형성하는 Excluded Circle 문제이다. 이 경우에도 Included Circle 문제와 같이 두 원에 대하여 x 좌표를 지정하기 어렵다. 만약 두 원의 크기가 동일할 경우, x 좌표는 P_1 과 P_4 의 중앙에 위치한다고 간주될 수 있으나, 두 원의 크기가 서로 다르다면 이 역시 결정적으로 접근하기 어렵다.

따라서 본 논문에서는 비례변수를 적용하되, 위치 인식 영역에 대한 각각의 Edge를 대상으로 차등하게 적용하였다. 즉, P_1 과 P_4 및 P_2 와 P_3 에 대한 Edge에는 x 좌표에 대한 비례변수를 적용하되 두 Edge는 서로

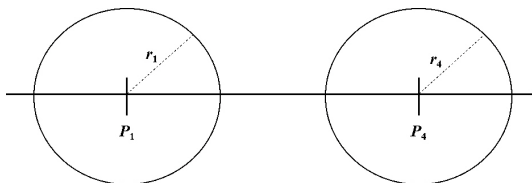


Fig. 4. Problem statement of excluded circle derived from high error condition.

다른 x 에 대한 비례변수를 적용하였으며, P_1 과 P_4 및 P_2 와 P_3 에 대한 Edge에는 y 좌표에 대한 비례변수를 적용하되 두 Edge 역시 서로 다른 y 에 대한 비례변수를 적용하였다. 이때의 비례변수는 모든 측위 이벤트마다 값을 달리할 수 있으며, Included Circle 및 Excluded Circle에 대하여 교차점이 발생 될 때까지 변수의 값을 변동시켰다.

이와 같은 아이디어는 위에서 제시된 두 가지 문제점을 극복할 수 있다. 예를 들어, P_1 과 P_4 에서 Included Circle 문제가 발생될 경우 1보다 작은 비례변수를 구하고 이를 반영하여 두 원이 만나는 점의 x 값을 측정하여 반영할 수 있으며, P_2 와 P_3 에서 Excluded Circle 문제가 발생될 경우 1보다 큰 비례변수를 구하여 x 값을 측정할 수 있다.

먼저, Included Circle 문제에서는 r_1 과 r_4 에 비례변수 α 를 적용할 경우 두 원이 만나는 상태를 만족시킬 수 있으며, 만약 태그 장치의 위치가 P_4 외부에 존재한다면 이때의 비례변수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \alpha_1 r_4 + x_r &= \alpha_1 r_1 \\ \alpha_1 &= \frac{x_r}{r_1 - r_4} \end{aligned} \quad (6)$$

한편, 태그 장치가 P_1 외부에 존재할 경우, 비례변수는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} -\alpha_2 r_1 + \alpha_2 r_4 &= x_r \\ \alpha_2 &= \frac{x_r}{r_4 - r_1} \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 비례변수는 아래와 같이 일반화시킬 수 있다.

$$\begin{aligned} \alpha_1 r_4 + x_r &= \alpha_1 r_1 \\ \alpha &= \left| \frac{x_r}{r_1 - r_4} \right| \end{aligned} \quad (8)$$

한편, Excluded Circle 문제에서는 태그 장치가 P_1 과 P_4 사이에 존재하며, 오차로 인하여 두 RSSI가 낮게 측정될 경우, 이때의 비례변수는 1보다 큰 값이 되어야 하며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha r_1 + \alpha r_4 = x_r$$

$$\alpha = \frac{x_r}{r_1 + r_4} \quad (9)$$

이 경우 태그 장치가 P_1 과 P_4 사이에 존재하지 않을 수도 있지만, RSSI 특성 상 Included Circle 문제일 확률이 매우 높기 때문에 본 알고리즘에서는 배제하였다. 결론적으로 비례변수 α 는 Included Circle 문제와 Excluded Circle에 따라 다르게 나타날 수 있으며, 따라서 두 원의 Intersection 구간이 없는 경우 이 두 문제 중 어느 부분에 해당하는지 파악하여 적용해야 하며, 따라서 아래와 같이 알고리즘을 수정하였다.

$$\text{if } ((r_1 > r_4 + x_r) \text{ or } (r_4 > r_1 + x_r))$$

$$\text{then, } \alpha = \left| \frac{x_r}{r_1 - r_4} \right|$$

$$\text{else if } (r_1 + r_4 < x_r)$$

$$\text{then, } \alpha = \frac{x_r}{r_1 + r_4}$$

$$\text{else } \alpha = 1 \quad (10)$$

따라서, P_1 과 P_4 에 대한 연립방정식으로 성립되는 x 좌표는 다음과 같이 수정될 수 있다.

$$x_2 = \frac{\alpha^2(r_1^2 - r_4^2) + x_r^2}{2x_r} \quad (11)$$

결론적으로, 식 (2)부터 식 (5)까지의 x 및 y 좌표는 아래와 같이 수정될 수 있다.

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2},$$

$$x_1 = \frac{\alpha^2(r_2^2 - r_3^2) + x_r^2}{2x_r}$$

$$x_2 = \frac{\alpha^2(r_1^2 - r_4^2) + x_r^2}{2x_r}$$

$$y = \frac{y_1 + y_2}{2},$$

$$y_1 = \frac{y_r^2 - \alpha^2(r_1^2 + r_2^2)}{2y_r}$$

$$y_2 = \frac{\alpha^2(r_3^2 - r_4^2) + y_r^2}{2y_r} \quad (12)$$

2.5 RSSI 잡음 제거를 위한 Kalman Filter 적용

일반적으로 RSSI 정보는 매우 큰 오차를 포함하고 있으며, 송신 전력이 낮은 Bluetooth LE의 경우 그 폭이 크다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 필터링 알고리즘 적용이 필수적이며, 본 시스템에서는 칼만 필터를 적용하였다.

칼만 필터를 적용할 경우, 원칙적으로 대상 관측값의 선형/비선형 여부에 따라 칼만 필터 원형 또는 Extended 칼만 필터가 적용될 수 있기에, RSSI 오차에 대한 정의가 필요하다. 본 시스템에서는 RSSI 패턴을 오차가 높은 선형 함수로 정의하기에 오차 패턴의 변동성이 매우 높다고 판단하여 RSSI 결과를 비선형 함수로 정의하고, 임베디드 환경을 고려하여 연산량이 높은 Extended 칼만 필터의 적용을 배제하였다. 따라서, 본 시스템은 대체 방안으로써 비선형 신호의 mean과 covariance 값을 적용하는 Unscented 칼만 필터를 적용하여 그림 5와 같이 오차 극복 방안을 설계하였다.

우선, 각 비콘에서 RSSI가 수신되면 Garbage 제거를 위해 측정 그래프를 실시간 미분하고, 8 이상의 미분 값이 도출될 경우 현재 값을 0.2배로 축소시켰다. 이후 RSSI 신뢰값 산출을 위한 Unscented 칼만 필터를 적용할 때, 예측값의 민감도를 결정하는 칼만 필터의 중요 파라미터인 Q 와 R 의 최적값을 실험에 의해 도출하였으며, 각각 0.085 및 1.4로 설정하였다.

이후, 모든 실내 측위 결과 정보는 가중치 형태로 기록하고, 일정 타임슬롯 내에 가중치가 가장 높은 cell을 현재의 측위 값으로 결정하였다. 또한, 관측값과 필터값의 차이를 실측하고 이를 다음 관측값 결정의 필터 내부 변수에 순환적으로 적용하였다. 이러한 절차를 통하여, 모든 타임슬롯마다 결정된 측위값을 축적하고 x 좌표와 y 좌표의 관점에서 다시 한번 Unscented 칼만 필터를 적용하는 중첩 방안을 구현하였다.

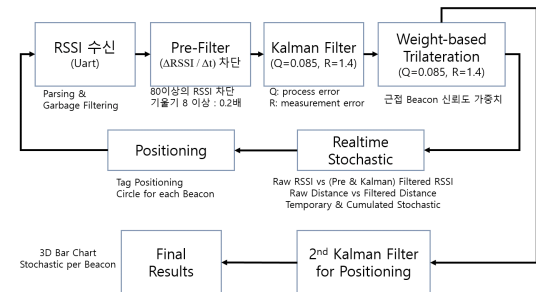


Fig. 5. Method of RSSI stabilization based on unscented Kalman Filter.

III. 성능 평가

3.1 실험 환경 구축

본 실험 환경은 국내에 시판 중인 중대형 승용차를 대상으로 모델링 하였다. 하지만 자동차 규격 정보에서 정확한 실내 크기를 조사하기 어려워, 그림 6와 같이 대략적인 수치를 산출한 후 이를 실험 환경에 적용하였다.

먼저 y축에 대해서는 대상 승용차의 전장 길이와 자동차 이미지를 토대로 예측된 실내 길이를 대략적으로 추론한 후, 전장 길이와의 비례식을 산출하여 최종 2408mm의 크기로 결정한 후, 실험 환경의 간소화를 위해 2.5m로 적용하였다. x축의 길이 역시 y축 산정방식과 동일한 방법으로 추론하였으며, 이때 추론된 길이는 1417.5mm의 크기로 결정한 후, 실험 환경의

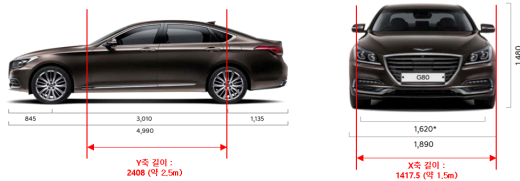


Fig. 6. Method of approximately measuring the scale of indoor environment for target vehicle.

간소화를 위해 1.5m로 적용하였다. 이러한 형태로 측위 대상 영역의 크기를 추론한 후, 실험실 내부에 회의용 탁자를 활용하여 다음과 같은 실험 환경을 구축하였다.

그림 7은 구현 알고리즘의 성능 검증을 위해 구축된 실험 환경을 나타낸다. 실험 환경 내의 모든 비콘은 직사각형 형태의 모서리 부분에 설치하였으며, 설명의 편의상 그림의 오른쪽 부분과 동일하게 전방 부분을 북쪽으로 명칭하였다. 다만, 본 설명에서의 북쪽 방향은 실제 지리정보상의 정북 방향과 아무 연관이 없음은 밝힌다.

먼저 4개의 비콘 위치는, 비콘 1은 북서, 비콘 2는 남서, 비콘 3은 남동, 비콘 4는 북동 방향의 가장자리에 설치하였으며, 태그 장치는 위와 같이 구축된 실험 환경 내에서 이동시키며 위치를 측정하였다. 그리고, Head 장치는 4개의 비콘 장치로부터 CAN 통신을 활용하여 RSSI 정보를 수신하므로, 어느 위치에 존재해도 실험 성능에 영향을 미치지 않는다. 본 실험에서는 실험용 PC와 가까운 곳에 위치시켰다.

3.2 각 위치에 따른 실험 결과

그림 8부터 11까지는 태그 장치를 각각 정해진 위치에 고정한 후 개발된 알고리즘을 통해 획득한 결과를 나타내었다. 각 그림의 좌측은 RSSI 기반의 측위

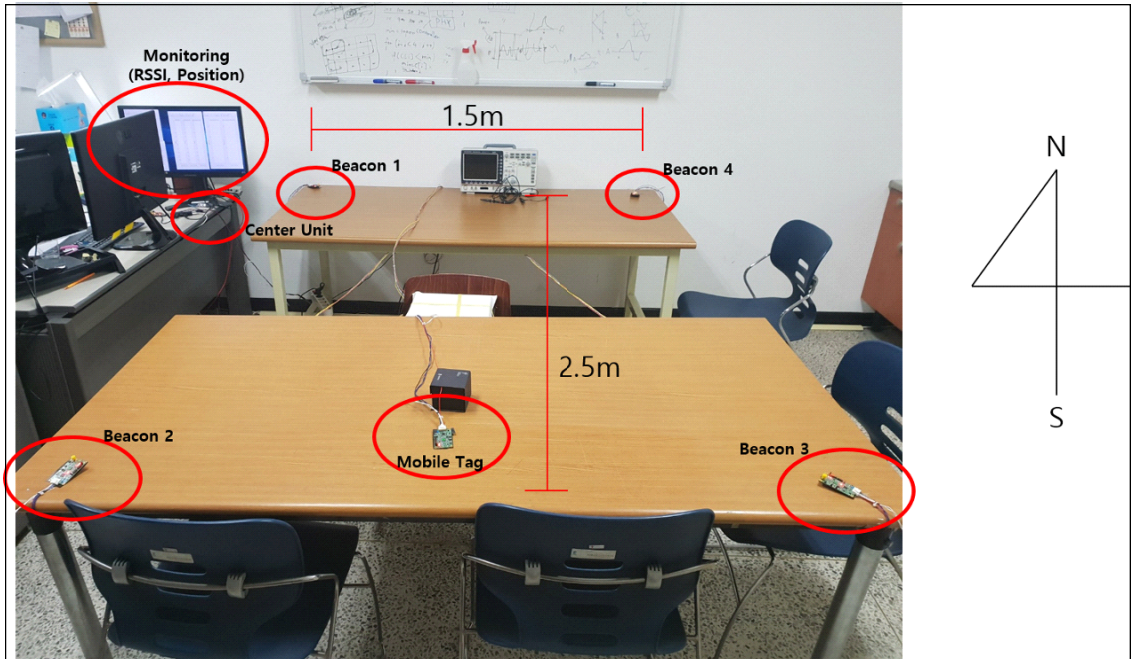


Fig. 7. Test environment for the evaluations considering horizontal indoor size of target vehicle.

결과를 토대로 태그의 위치를 붉은 점으로 표기하였다. 좌측 평면 그림 내의 4개의 원은 각 코너에 설치

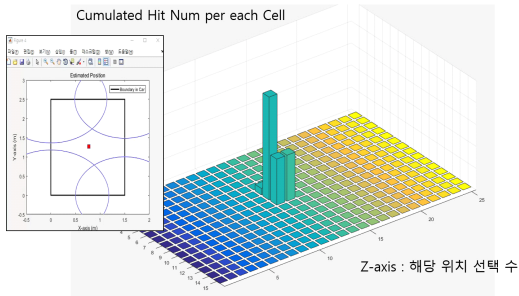


Fig. 8. Test results of localization in which Tag locates in center position.

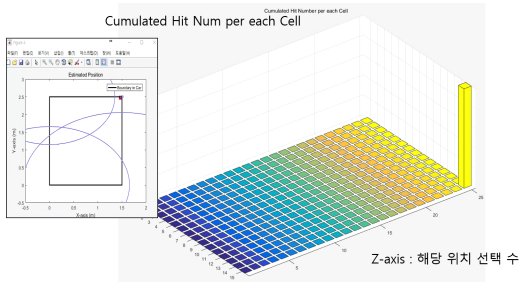


Fig. 9. Test results of localization in which Tag locates in north-east corner position.

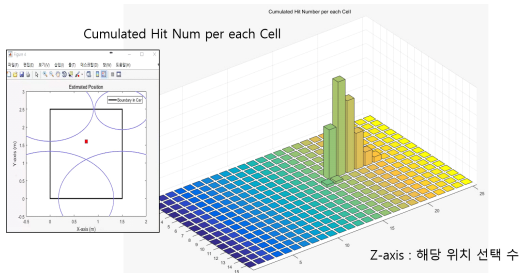


Fig. 10. Test results of localization in which Tag locates in middle-north position.

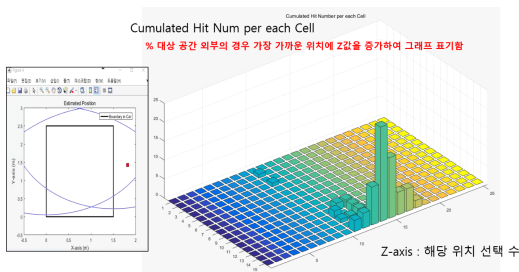


Fig. 11. Test results of localization in which Tag locates out of bound (east) position.

된 비콘 장치로부터 획득된 RSSI 정보를 바탕으로 산출된 거리 값을 나타내며, 이때의 값은 비례변수를 적용하지 않은 상태의 결과를 의미한다.

각 그림의 우측은, 실험 대상 환경의 평면을 가로와 세로 모두 10cm 크기의 셀로 구분한 후, 각 셀의 분포를 x축과 y축으로 나타내었다. 또한, 동일한 실험을 100회 반복한 후, 각 실험마다 측정된 위치가 포함된 셀에 대하여 z축을 1씩 증가시켰다. 즉, z축의 값이 클수록 해당 셀이 최종 위치로 선택되는 경우가 많음을 의미하며, 모든 셀의 z축 값의 합은 100이다. 또한, z축의 값이 존재하는 셀에 대한 기둥의 수가 많을수록 측위값 변동이 빈번하다는 점을 의미한다.

먼저 실험 환경의 중앙에 태그 장치를 위치시킬 경우, 그림 8과 같은 결과를 획득했다. 그림에서 나타낸 바와 같이, 태그의 위치는 실험 환경 내의 중앙에 고정되어 있지만, 알고리즘을 통해 획득된 위치정보는 중앙 근처의 총 6개의 셀에서 결정된 위치정보가 소폭 변동하며 관측되었다. 100회 실험에 대한 평균 위치 오차는 6.511cm를 나타내었으며, 이는 전체 실험 환경의 2.23%의 오차를 나타낸다.

다음 실험은 태그 장치를 동북 방향 코너에 위치시킨 후 결과를 측정하여 그림 9에 나타내었다. 보편적으로 RSSI 측정값은 거리가 멀수록 오차가 크기 때문에, 태그 장치가 비콘이 설치된 코너에 위치할 경우 RSSI 오차가 매우 낮게 나타난다. 따라서 본 실험에서는 100회의 실험 모두 정확한 위치의 셀에서만 결과가 측정되었으며, 평균 오차는 0cm를 나타내었다.

그림 10은 태그 장치가 실험 환경의 중앙과 정북 방향의 중간에 위치할 경우의 실험 결과를 나타낸다. 실험 결과를 살펴보면 좌우(동서) 방향의 오차는 크지 않지만, 상하(남북) 방향의 오차는 다소 높게 관찰되었다. 이러한 결과는 RSSI가 상대적으로 낮게 측정될 수 있는 남서 방향의 비콘(비콘2)과 남동 방향의 비콘(비콘3)의 거리가 멀기 때문에 RSSI 편차가 높게 관찰되었고, 이러한 이유로 상하 방향의 오차가 좌우 방향의 오차보다 높게 관찰되었다. 본 실험의 결과에서는 100회의 실험에서 알고리즘을 통해 결정된 셀이 총 8개로 나타났으며, 평균 오차는 3.5%인 10.23cm로 나타났다.

마지막 실험은 태그 장치를 실험 환경의 동쪽 방향 외부에 위치하여 진행하였으며, 그 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림의 좌측에서 확인할 수 있듯이, 본 알고리즘을 통해 태그 장치가 실험 환경의 동쪽 방향으로 범위를 이탈했음을 인지할 수 있다. 다만, 우측 그림에서 실험 환경 내부에 태그가 위치했으므로 나

타난 이유는, 연구 목표 자체가 차량 내 위치에 대한 정확성에 중점을 두었기에 실측 결과를 도식화하는 셀의 크기를 실내로 한정하여 결과를 표출했기 때문이다. 즉, 우측 그림은 3D 그래프의 결과 표출 방법의 한계로 인한 문제이며, 알고리즘 동작에 따른 결과는 정상적으로 동작됨을 좌측 그림을 통해 확인할 수 있다. 본 실험의 결과를 살펴볼 때, 100회 실험의 평균 결과오차는 18.3cm이며 전체 실험면적 대비 6.27%의 오차를 나타내었다.

IV. 결 론

차량용 스마트 Fob 시스템은 차량 제어에 대한 권한 부여와 연관성이 높기에 스마트키의 차량 실내 존재 여부의 정확성은 시스템 측면에서 필수적으로 요구되는 사항이며, 따라서 차량 실내 환경에 적합한 실내 측위 알고리즘의 최적화 역시 당위적으로 요구된다. 본 고는 에너지 효율이 요구되는 시스템 특성에 따라 Bluetooth LE 기반의 차량용 Fob 시스템에 적합한 실내 측위 알고리즘을 연구하고, 구현과 실험을 통해 대상 기기가 차량 내부에 존재할 경우 평균 오차 5% 미만의 신뢰적인 결과를 검증하였다.

본 연구에 도입된 Fob 기기는 스마트폰을 포함하여 시계 등과 같은 웨어러블 기기가 적합할 수 있으며, 사용자가 착용한 기기의 위치나 각도에 따라 인체를 통한 오차가 발생 될 수 있다. 이에 대한 실험 및 분석 연구는 본 시스템과 상호 연계가 높을 것으로 판단되기에 향후 연구를 지속할 계획이다. 또한, 차량에 대한 실내 측위 기술은 Fob 시스템 영역을 초과하여 스마트카 및 자율주행 시스템에서 높은 요구가 존재할 것으로 판단되며, 이러한 관점에서 본 연구 결과는 향후 연구의 방향에 기여될 것으로 예측된다.

References

- [1] *Wi-Fi Alliance*, <http://www.wi-fi.org>
- [2] *Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications*, IEEE Std 802.11, 2012.
- [3] *Bluetooth Special Interest Group*, <http://bluetooth.com>
- [4] *Bluetooth Core Specification 5.1*, Bluetooth SIG, Dec. 2019.
- [5] N. Suryavanshi, K. Viswvardhan Reddy, and V. Chandrika, "Direction finding capability in bluetooth 5.1 standard," *Int. Conf. Ubiquitous Commun. and Netw. Comput.*, Springer, Cham, 2019.
- [6] B. K. Clark, et al., "Using Bluetooth proximity sensing to determine where office workers spend time at work," *PloS one*, vol. 13, no. 3, 2018. e0193971.
- [7] N. Kuzik and V. Carson, "Accelerometer bluetooth proximity validation in parents and early years children," *Measurement in Phys. Edu. and Exercise Sci.*, vol. 22, no. 4, pp. 287-293, 2018.
- [8] G. Li, et al., "Indoor positioning algorithm based on the improved RSSI distance model," *Sensors*, vol. 18, no. 9, 2018.
- [9] L.-Y. Hu, et al., "The distance function effect on k-nearest neighbor classification for medical datasets," *SpringerPlus*, vol. 5, no. 1, pp. 1-9, 2016.
- [10] A. M. Ali, E. Uzundurukan, and A. Kara, "Assessment of features and classifiers for bluetooth RF fingerprinting," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 50524-50535, 2019.
- [11] S. Ishida, et al., "Proposal of separate channel fingerprinting using Bluetooth low energy," *2016 5th IIAI-AAI IEEE*, 2016.
- [12] A. Aghnaiya, Y. Dalveren, and A. Kara, "On the performance of variational mode decomposition-based radio frequency fingerprinting of bluetooth devices," *Sensors*, vol. 20, no. 6, 2020.

이 재 호 (Jaeho Lee)



2005년 : 고려대학교 전자컴퓨터
공학과 석사

2008년~2013년 : 고려대학교 전
기전자전파공학과 박사

2013년~2015년 : LG전자 차세
대표준연구소 선임연구원

2015년~2019 : 서원대학교 정보
통신공학과 조교수

2020년~현재 : 덕성여자대학교 소프트웨어전공 조교수
<관심분야> WPAN, 센서네트워크, MANET, MAC,

WBAN, Bluetooth, Wi-Fi, ITS, Localization

[ORCID:0000-0003-0455-9939]