

기술적, 환경적 요소에 따른 비콘 기반 실내 측위 정확도 변화연구

변태우 · 장성용*

A Study on the Technological and Environmental Factors Affecting the Accuracy of Beacon Based Indoor Positioning System

Tae-Woo Byeon · Seong-Yong Jang*

ABSTRACT

Indoor location system has been used Wi-Fi to get a location. After the development of BLE(Bluetooth Low Energy), the interest in the method of a indoor positioning had been move on. It has more advantages than using Wi-Fi. Easy installation, low power consumption, low signal interference and changeable setting(Advertising interval, tx power, etc.). These things can improve efficiency or accuracy in a indoor positioning system. For this reason, recent indoor positioning system uses BLE rather than Wi-Fi. Accordingly, error factors of BLE beacon based indoor positioning should be studying for high accuracy of indoor positioning. In this research, set up few experiment scenarios and keep a close watch on how technological, environmental factor is affecting positioning accuracy. When a application uses largest signal strength to get the indoor location, the mean error of experimental results was decreased compare to using received signal strength in real-time. The result was same when the application applied average and standard deviation to get the indoor location. Changing advertising interval had an effect on the mean error of indoor positioning. Short advertising interval makes the lower mean error than large advertising interval.

Key words : Indoor positioning, Beacon, Bluetooth

요약

실내 측위 시스템에서 위치를 판단하기 위해 주로 Wi-Fi를 사용해왔다. BLE의 개발과 함께 실내 측위에 사용되는 신호에 대한 관심이 바뀌었다. BLE는 Wi-Fi와 비교했을 때 손쉬운 설치, 적은 전력 소모량, 적은 신호 간섭, 설정 값 변경 가능(송출 세기, 송출 주기 등)과 같은 장점을 가진다. 이러한 점들은 실내 측위 시스템에 효율성과 정확성 개선을 불러올 수 있다. 최근 실내 측위 시스템에서는 이러한 장점들로 인해 Wi-Fi 대신 BLE를 채택하여 측위를 수행하고 있다. BLE를 사용한 실내 측위가 늘어남에 따라 실내 측위 결과의 정확도를 높이기 위해 BLE 기반 실내 측위의 측정 오차 요인에 대한 연구되어야 한다. 본 연구에서는 몇 가지 실험 시나리오를 설정하고 기술적, 환경적 요소의 변화에 따라 실내 측위 결과에 어떤 영향이 있는지 관찰한다. 최대수신신호세기를 사용하여 측위를 수행한 경우 실시간으로 수신한 신호를 그대로 사용했을 때 보다 적은 평균 오차를 보였다. 이는 연속적으로 수신한 신호에 평균 및 표준편차를 적용한 실험에서도 같은 결과를 보였다. 비콘의 송출주기에 변화를 주는 실험에서는 송출 주기가 짧을수록 측위 정확도가 높아진다는 결과를 관찰 할 수 있었다.

주요어 : 실내측위, 비콘, 블루투스

* 이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 (일부)지원으로 수행되었습니다.

Received: 21 January 2016, **Revised:** 6 April 2016
Accepted: 6 April 2106

* **Corresponding Author:** Seong-Yong Jang
E-mail: syjang@seoultech.ac.kr
Seoul National University of Science and Technology,
Industrial & Information Systems Engineering

1. 서론

사물인터넷(IoT:Internet of Things)시대인 오늘날 다양한 분야에서 사물을 네트워크로 연결해 정보를 공유하는 응용 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 많은 사물인터넷 응용 서비스들 중에서도 현재 일상생활에서 가장

흔하게 접할 수 있는 서비스는 스마트폰, 웨어러블 기기를 사용한 서비스이다. 이러한 서비스들 중 다수는 사용자의 위치 정보를 기반으로 정보를 제공하는 위치 기반 서비스(LBS:Location Based Service)이다.

위치 기반 서비스들은 사용자의 현재 위치 정보를 기반으로 서비스를 수행하므로 보다 정확한 측위를 요구한다. 실내 위치 측위 방법에서는 정확한 측위를 위해 무선랜(WLAN:Wireless Local Area Network)을 활용하는 방법을 많이 채택하고 있다. 무선랜의 경우 가장 널리 쓰이고 있는 무선 통신 방식이다. 이미 많은 곳에 설치되어 있기 때문에 적은 비용으로도 시스템을 구축할 수 있다는 장점을 갖는다. 위치 측위를 위해 무선랜 신호 전파의 신호 강도(RSSI:Received Signal Strength Indicator), 도착 시간 차, 도래각등을 사용한다. Wi-Fi를 이용한 실내 측위는 약 5m 정도의 오차 범위를 갖는다. (Patmanathan, 2006) 그중 무선 Fingerprint 방식을 사용하는 방식이 가장 좋은 결과를 나타내는 것으로 알려져 있다.

최근에는 WLAN을 사용하는 대신 비콘(Beacon)을 사용해 실내 측위를 수행하는 연구들이 이루어지고 있다. 비콘의 경우 무선랜 AP보다 장비의 크기가 작고 쉽게 설치할 수 있다. 비콘이 사용하는 무선 신호는 BLE (Bluetooth Low Energy)로 소비 전력이 적다. 또한 신호의 커버리지를 조절하여 70m까지 설정할 수 있어 무선랜을 사용할 때보다 환경 구축이 쉽다는 장점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 무선랜의 단점을 보완할 수 있는 비콘을 사용한다. 비콘을 이용한 실내 측위 방법으로는 Fingerprint 방식을 채택하여 사용한다. 실험은 측위 오차에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 선정하고, 해당 요인들 변경에 따라 측위 오차에 어떤 변화가 일어나는지 관찰한다. 측위 오차에 영향을 미칠 수 있는 요인은 기술적 요인과 환경적 요인으로 나눌 수 있다. 기술적 요인의 경우 비콘이 송출하는 신호를 수신하여 어떤 방법으로 가공하여 처리하는가에 대한 실험이다. 장애물 없는 개활지에서 신호를 수신한다면 신뢰성있는 신호 정보를 사용하여 측위를 수행할 수 있다. 하지만, 실제 생활하는 환경에서는 신호의 전달 과정에서 장애 요소에 마주한다. 장애 요소를 거친 신호는 의도한 바와 다른 신호 정보를 가지게 되고 이를 통해 측위를 수행했을 때, 측위 결과의 오차를 초래한다. 따라서 수신 신호를 어떻게 활용하여 측위를 수행하는지가 측위 정확도에 영향을 미치게 되므로 신호 처리에 대한 기술적 요소를 선정하여 실험을 수행한다. 환경적 요인의 경우 비콘의 신호 송출 세기, 신

호 송출 주기 설정 값 변경에 대한 실험이다. 신호의 송출 주기의 경우, 주기에 따라 연산에 사용되는 신호 정보량의 차이가 있다. 연산에 사용될 수 있는 정보가 많은 경우, 이를 선택적으로 사용할 수도 있고, 통계를 활용하여 사용할 수 있으므로 이를 통해 측위 정확도 향상을 기대할 수 있다. 신호 송출 세기의 경우, 송출 세기 변화에 따라 수신 범위도 달라질 뿐만 아니라 같은 자리에서 신호를 수신하더라도 신호의 세기에 변화가 이루어진다. 이는 실내측위 환경 구축과 측위 정확도에 영향을 미칠 수 있는 요소이다. 앞서 제시한 요소들을 변경하며 실험하여 측위 오차가 적은 무선 실내 측위 방안을 제안한다.

2. 선행 연구 및 관련 기술

2.1 선행 연구

실내 측위를 위한 방법으로 AP가 송출하는 무선 신호의 강도를 기반으로 실내 측위를 수행하는 방법들이 제안되어 실험이 이루어졌다. 대표적인 실내 측위 방법으로는 Cell-ID기법, 삼각측량, 핑거프린트 기법이 존재한다.(Kim W.D, 2011)(Cho Y.S, 2007)(Ferris, 2006) 핑거프린트를 활용한 방법은 서비스 지역을 격자로 구분하고 가상의 참조위치를 바탕으로 신호 세기 모델을 만들어 격자의 신호세기 정보를 예측하고 신뢰도를 부여하여 측위를 수행하는 방법이 제안되었다.(Son S.H, 2013) 삼각측량 기법을 활용한 방법은 기존에 사용되던 삼각측량 기법과 DCM(Database Correlation Method) 측위를 수행하고 Kalman Filter를 사용해 보정하는 방법이 제안되었다.(Woo S.H, 2006)

Cell-ID기법, 삼각측량, 핑거프린트 기법 모두 무선 AP로부터 신호를 받아 측위를 수행하므로 AP의 설치 위치가 측위 정확도에 영향을 미친다. AP의 위치가 측위 정확도와 연관이 된 만큼 AP설치 위치에 대한 연구도 이루어지고 있다. AP의 위치를 고려한 방법으로는 비콘 송신기의 위치에 따른 RSSI/거리 확률모델을 바탕으로, 서비스 공간에서의 측정의 정확성을 예측하고 보장하는 방안이 제시되었다.(Park M.G, 2009)

본 논문에서는 많은 관련 연구에서 실내 측위 기법 중 가장 적합하다고 평가 받는 핑거프린트 기법을 활용해 실내 측위를 수행한다. 실내 측위에서는 측위 기법과 함께 측위 환경 구축 또한 측위 결과에 많은 영향을 미친다. 본 실험에서 실내 측위의 기반이 되는 비콘의 설치 위치는 선행 연구 중 AP 설치 위치에 대한 논문의 결과를 참고하여 가장자리 배치 방식을 적용한다.

2.2 관련 기술

2.2.1 핑거프린트 방식 측위

Fingerprint방식은 신호 간섭 및 주위 환경 정보를 위치 추적을 위한 정보로 활용하는 방식으로 무선 신호 기반의 실내 측위 시스템에서 가장 많이 사용되는 측위 방식이다. 위치 측위 대상이 되는 공간에 기준점(RP : Reference Point)의 위치 정보를 데이터베이스에 저장한 뒤 위치 정보와 함께 AP로부터 스마트폰에 도달한 신호 세기를 측정하여 해당 정보를 저장한다. 이 작업을 모든 기준점에서 수행한다.

데이터베이스에 기준점에 대한 정보를 모두 저장한 뒤 스마트폰을 가진 사용자가 측위를 요청하면 스마트폰에 수신되는 신호 세기를 측정한 뒤 데이터를 서버로 전송한다. 서버에서는 사용자가 전송한 신호와 데이터베이스에 저장된 신호 정보를 비교하여 사용자의 위치를 판단하고 해당 위치 정보를 사용자의 스마트폰에 전송한다.(Jeon H.S, 2008) Fig. 1은 본 연구에서 사용한 어플리케이션의 순서도로써 앞서 설명한 절차와 거의 같은 것을 볼 수 있다.

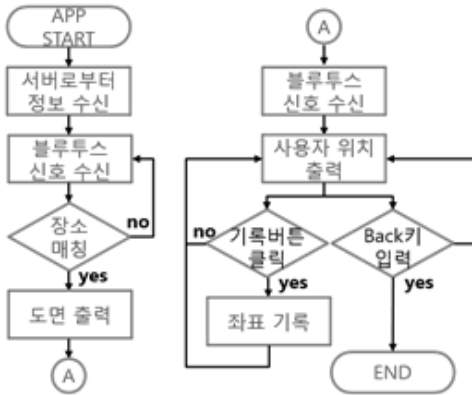


Fig. 1. Application flow chart

2.2.2 비콘

비콘은 ‘위치 등을 알리기 위해 일정한 신호를 전송하는 기기’를 말한다. 과거 비콘은 불빛 등을 이용해 신호를 보냈지만, 최근 주목 받는 비콘은 BLE 기술을 기반으로 신호를 보낸다. BLE는 사용 전력이 적고, 소형화가 가능하다. 또한 물리적인 환경에 영향 받지 않고, 어느 곳이든지 설치가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 비콘의 동작 원리는 Fig 2와 같다.

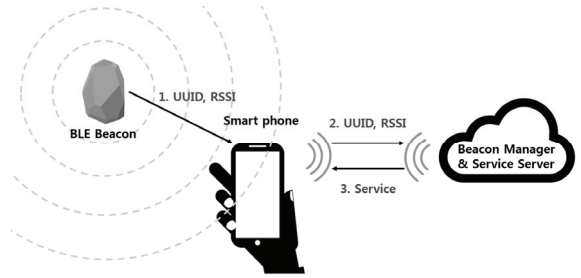


Fig. 2. Operation principle of beacon service

비콘은 비콘 신호 송출 범위 내로 스마트폰을 가진 사람이 들어오면 특정 ID 값을 전달한다. 스마트폰 애플리케이션은 이러한 값을 수신하여 서버로 해당 정보를 전달한다. 서버는 전달 받은 ID가 등록되어 있는 ID인지 확인하고, 등록되어 있다면 해당 비콘이 설치된 위치에 대해 설정된 이벤트나 서비스 정보를 스마트폰으로 전송한다. Proximity 기반 서비스를 제공할 때에는 비콘의 ID값만 활용해도 서비스 제공이 가능하지만, 실내 위치 측위를 기반으로 하는 서비스가 제공 될 때에는 비콘의 ID값과 함께 RSSI값도 같이 사용된다.

비콘은 Estimote, MPact, Gimbal 등 여러 제조업체에 의해 만들어지는데, 제조업체별로 사용되는 칩셋, 배터리, 케이스 등이 다르다. 이 때문에 제조업체별 기능 및 성능이 각각 다르다. 비콘에 사용되는 칩셋 간에 성능에 차이를 보이기도 한다. 다음 Table1은 많은 비콘 제조사에서 자주 사용되는 칩셋 들이 지원하는 신호 송출 세기 수준(Tx Power Level)을 비교한 것이다.

Table 1. Supported tx power level

| 제조사 | 칩셋 | Tx Power Level | | | |
|----------------------|-----------|----------------|-----|-----|-----|
| Texas Instruments | CC2540 | 4 | 0 | -6 | -2 |
| | | 0 | -2 | -4 | -6 |
| Texas Instruments | CC2541 | -8 | -10 | -12 | -14 |
| | | -16 | -18 | -20 | -23 |
| | | 4 | 0 | -4 | -8 |
| Nordic Semiconductor | nRF 51822 | -12 | -16 | -20 | -30 |

사용되는 칩셋 별로 지원되는 신호 송출 세기 수준이 다르고 지원되는 신호 송출 주기(Advertising Interval) 역시 다르다. 또한 제조업체 별로 비콘 단말기에 사용하는 소재, 포함되는 센서, 플랫폼 등이 다르므로 측위 환경에서 요구하는 환경을 고려하여 비콘을 선택해야한다.

3. 실험 및 결과 분석

3.1 실험 장소

실험은 H사가 위치한 건물 2층으로 선정하였고, 그 구조는 Fig 3과 같다. 총 길이 32m×22m인 2층 전체에 대해 Fig 3과 같이 14개의 비콘을 설치하고, Fig 4와 같이 36개의 RP 포인트를 설정하였다. 제안한 요소에 따른 변화를 파악하기 위해 기준점에서 실험 케이스 별 3~5회 반복하여 신호 수집·측위를 수행하였다.



Fig. 3. Beacon location



Fig. 4. RP point location

3.2 실험 장비

실험 장비는 H사가 제작한 비콘을 사용하였고 자세한 제품 정보는 Table 2와 같다. Fig 5는 실내측위를 위한 정보를 등록하는 어플리케이션과 실시간으로 사용자의 위치를 측위·출력하고 사용자 요구에 따라 위치를 기록하는 어플리케이션이다.

Table 2. Detailed beacon information

| | | | | |
|------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|
| 제품크기 | 50mm × 50mm × 18mm | | | |
| 송출간격 | 0.2Hz ~ 20Hz | | | |
| 배터리 수명 | up to 365 days | | | |
| 신호 범위 | ~50m | | | |
| 송출 간격 설정 값 | 50ms, 100ms, 200ms, 500ms, 1000ms | | | |
| 송출 세기 설정 값 | 4dBm | 0dBm | -5dBm | -9dBm |
| | -12dBm | -16dBm | -19dBm | -23dBm |



Fig. 5. Application operation screen

3.3 실험 시나리오

3.3.1 기술적 요소

기술적 요소에 대한 실험에서는 수신 신호의 수집 시간 및 사용되는 신호 세기에 관한 실험으로 구성된다. 수집 시간은 150ms, 1000ms 두 방안에 대해 실험한다.

최근 150ms 동안의 데이터를 사용하는 이유는 각 비콘으로부터 신호를 1번 수신하여 그대로 사용하기 위함이다. 별도의 수신 신호의 가공 없이 수신한 그대로 측위에 사용하는 방법이다. 비콘의 신호 송출주기가 100ms 이므로 150ms동안 한번 수신이 가능하다. 비콘의 신호 송출 주기가 100ms로 설정되어있다 하더라도 정확히 100ms마다 신호가 송수신 되는 것이 아니므로 최근 150ms동안 수신한 신호를 사용함으로써 측위에 필요한 신호를 모두 수신할 수 있도록 한다.

최근 1000ms 동안의 데이터를 사용하는 방법은 각 비콘으로부터 수신한 신호 중 신호 세기가 가장 강한 정보를 사용해 측위를 수행하는 방안이다. 송출 주기가 100ms인 비콘으로부터 0~10회의 신호를 수신할 수 있다. 0~10회 수신한 신호 정보에서 비콘 별로 가장 강한 신호 세기를 갖는 정보를 측위에 사용한다.(Lee Y.H, 2014) 신호 세기가 가장 강한 값을 측위에 사용하는 이유는 비콘이 송출한 신호가 신호 간섭 없이 정상적으로 수신된 경우이기 때문이다.(Saxena, 2006)

한 지점에 머물며 비콘으로부터 신호를 수신할 때, 각 비콘으로부터 수신되는 신호의 세기가 일정하다면 보다 정확한 측위 결과를 얻을지만 실제로 수신되는 신호는 일정치 못하다. Fig 6는 수신 신호의 세기가 일정하지 않게 수신된다는 것을 나타낸다. 1초간 비콘으로부터 연속적으로 수신한 신호세기의 변화를 기록한 것이다.

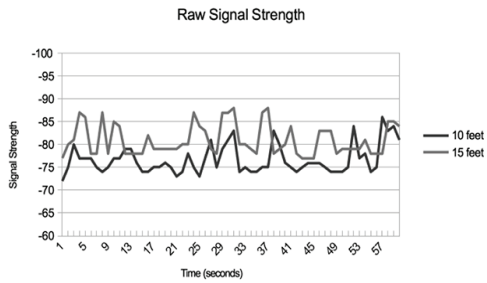


Fig. 6. Changes in the RSSI

그래프에서 볼 수 있듯이, 한 지점에서 같은 비콘으로 부터 신호를 수신해도 신호 세기는 일정하지 못하고 그 차이가 약 10 정도의 차이를 보이기도 한다.(Yoon C.P, 2015) 이는 같은 위치에서도 서버에 저장되어있는 정보와 해당 시점에 사용자가 수신한 신호 세기 간에 큰 차이가 발생하여 측위 결과에 오차를 초래할 수 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해 평균 및 표준편차를 적용하는 방안을 제시한다. 이 방법의 적용으로 서버에 등록된 수신 신호 정보와 실시간으로 수신되는 수신 신호 정보간의 차이를 좁혀 측위 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.(Lim Y.J, 2008)

3.3.2 환경적 요소

비콘은 주기적으로 신호를 송출하는데, 그 단위로는 밀리초를 뜻하는 ms가 사용된다. 신호 사이의 시간적 간격이 100ms인 경우 100ms마다 1번 신호를 송출한다는 뜻이다. 1초 동안 신호를 송출할 때, 100ms일 경우 10회, 500ms일 경우 2회 신호를 송출하게 된다. 같은 시간 안에 수신되는 신호의 수에 따라, 연산에 사용되는 데이터의 수가 달라지므로 측위 결과에 영향이 미칠 수 있다. 본 실험에서는 신호 송출 주기를 50ms, 100ms, 200ms, 500ms로 설정하여 실험하였고, 그 결과를 비교한다.

비콘 장치는 신호 송출 세기인 Tx Power(Transmit power)라는 신호로써 고정된 일반적인 신호를 보낸다. 신호 송출 세기는 그 값이 높을수록 비콘이 더 먼 거리에 대해 신호를 송신할 수 있다는 것을 나타내고, 그 값이 낮을수록 신호 송출 범위가 줄어든다는 것을 나타낸다. 신호 송출 세기 변경에 따른 변화를 관찰하기 위하여, 본 실험에서는 0dBm, -9dBm, -16dBm 3가지 경우로 설정하여 수신 신호의 변화를 관찰한다.

비콘을 이용한 실내 측위는 무선통신 환경을 기반으로 수행된다. 무선통신 환경은 장소에 따라 가변적이며 전파의 특성 역시 여러 요소들로부터 영향을 받기 때문에

효율적인 무선 인프라 구축을 위해서는 비콘의 위치선정, 안테나의 사용이 중요하다.(Kim H.G, 2009)(Park J.T, 2010)(Ahn H.J, 2015) 사무실 혹은 강의실 등의 천장 밑에 비콘을 설치하는 방안과 천장 위에 설치하는 방안 두 가지 경우로 나누어 수신되는 신호의 세기를 관찰한다. 본 실험에서는 비콘 설치 위치에 따른 수신 신호 세기에 변화를 관찰한다.

3.4 실험 결과

3.4.1 기술적 요소

최근 150ms 동안 수신된 신호 정보를 사용하는 방법, 최근 1000ms 동안 수신된 신호 정보를 사용하는 방법에 대해 각각 4회씩 실험하였다. 실험별 평균 오차는 Table 3과 같다. Table 4는 실험 결과가 통계적으로 유의한지 확인하기 위해 각 실험의 평균 오차를 사용해 t-검정을 수행한 결과이다.

Table 3. Experiment result(acquisition time)

| Experiment | (단위:pixel) | |
|------------|------------|--------|
| | 150ms | 1000ms |
| 1st | 985 | 1002 |
| 2nd | 1114 | 1017 |
| 3rd | 1008 | 1077 |
| 4th | 1067 | 956 |
| 평균 | 1043 | 1013 |

Table 4. T-test result(acquisition time)

| | t-검정 : 쌍체 비교 | |
|---------------|--------------|--------|
| | 150ms | 1000ms |
| 평균 | 1013 | 1043 |
| 분산 | 346363 | 395718 |
| 관측수 | 144 | 144 |
| 피어슨 상관 계수 | 0.711781917 | |
| 가설 평균차 | 0 | |
| 자유도 | 143 | |
| t 통계량 | -0.791039268 | |
| P(T<=t) 단측 검정 | 0.215115552 | |
| t 기각지 단측 검정 | 1.655579143 | |
| P(T<=t) 양측 검정 | 0.430231104 | |
| t 기각지 양측 검정 | 1.976692198 | |

Table 3의 결과를 살펴보면 1000ms동안 수신한 정보 중 최대 신호 세기를 사용했을 때, 150ms동안의 신호를 사용한 경우보다 평균 오차가 30픽셀이 적게 나타나 측위 정확도가 높아진 것을 확인할 수 있다.

150ms동안의 데이터를 사용하는 방법과 1000ms동안의 데이터를 사용하는 방법의 실험 결과에 대한 t검증 결

과 p-value가 0.430231104로 유의수준 0.05보다 큰 값을 가진다. 따라서 150ms동안의 데이터를 사용한 방법과 1000ms동안의 데이터를 사용한 방법 간의 측위 결과는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

다음은 100ms마다 50번의 수신 정보를 리스트에 저장하여, mac address별 평균 및 표준편차를 적용하여 실험한 결과이다. Table 5는 앞서 실험한 방식에 표준 및 표준편차를 적용하여 측위를 수행한 결과의 평균 오차이다.

Table 5. Experiment result applying average and standard deviation

| (단위:pixel) | | |
|------------|-------|--------|
| Experiment | 150ms | 1000ms |
| 1st | 1123 | 1057 |
| 2nd | 1121 | 1101 |
| 3rd | 1163 | 1112 |
| 평균 | 1135 | 1090 |

50개의 dataset을 활용해 평균 및 표준편차를 적용한 경우에서도 앞선 케이스와 같이 유의한 차이가 없는 결과를 얻을 수 있었다. 평균 및 표준편차를 적용한 실험 결과에 t-검정을 수행한 결과 p-value가 0.089848로 유의수준 0.05보다 크기 때문이다.

3.4.2 환경적 요소

신호 송출 간격을 50ms, 100ms, 200ms, 500ms 4가지 경우에 대해 각 6회씩 36개의 기준점에 대해 측위를 수행하고 실제 위치와 측위 결과 간의 오차를 구하여 기록했다. Table 6는 신호 송출 간격별로 6회씩 실험한 결과이다. 신호 송출 간격 변경에 따른 실험은 50ms, 100ms, 200ms, 500ms 4개의 경우에 대해서 수행되었다. 평균 차이를 검정하기 위해 3개 이상의 집단 간 평균을 검정할 때 사용하는 분산분석을 활용한 결과 Table 7과 같다.

Table 6. Experiment result depend on advertising interval

| (단위:pixel) | | | | |
|------------|------|-------|-------|-------|
| Experiment | 50ms | 100ms | 200ms | 500ms |
| 1st | 1148 | 1017 | 1099 | 1186 |
| 2nd | 1077 | 1077 | 1144 | 1117 |
| 3rd | 1071 | 956 | 1079 | 1050 |
| 4th | 1014 | 1092 | 1112 | 1057 |
| 5th | 928 | 1043 | 1040 | 1264 |
| 6th | 963 | 1002 | 1088 | 1201 |
| 표준편차 | 579 | 578 | 637 | 635 |
| 평균 | 1033 | 1031 | 1110 | 1145 |

Table 7. Analysis of variance result

| 분산 분석 | | | | | | |
|--------|--------|-----|-------|------|------|-------|
| 변동의 요인 | 제공합 | 자유도 | 제공 평균 | F 비 | P-값 | F 기각치 |
| 처리 | 54030 | 3 | 18010 | 4.08 | 0.02 | 3.09 |
| 잔차 | 88084 | 20 | 4404 | | | |
| 계 | 142115 | 23 | | | | |

신호 송출 간격 변경에 따른 실험 결과에 대해서 분산 분석을 수행하였다. 분산 분석 수행 결과 ‘F 기각치’의 값인 3.098391보다 ‘F 비’ 값인 4.08929가 더 크기 때문에 귀무가설을 기각한다. 이는 신호 송출 간격별로 통계치 간에 차이가 있다는 것을 나타낸다.

신호 송출 세기를 변경하여 각 기준점에서 수신되는 비콘의 신호 개수와 신호 세기를 비교하였다. 실험에 사용한 신호 송출 세기는 0dBm, -9dBm, -16dBm이다. 실험은 신호 송출 세기당 20회씩 수행했다. 신호 송출 세기 변경에 대한 실험에서는 신호 송출 세기에 따른 수신 신호 개수의 변화, 수신 신호 세기의 변화에 대해 관찰한다.

Table 8은 기준점에서 수신되는 신호의 수가 신호 송출 세기 설정 값에 따라 변화하는지에 대한 실험 결과이다. Table 8은 20회 실험을 통해 각 기준점에서 수신되는 평균 신호수를 나타낸다.

Table 8. Changes in received signal number

| (단위 : 개) | | | | |
|----------|-----|-------|-------|--------|
| 장소 | 기준점 | 0dBm | -9dBm | -16dBm |
| 한라산 | RP1 | 10.6 | 10.8 | 10.85 |
| | RP2 | 10.9 | 10.9 | 10.9 |
| | RP3 | 10.75 | 10.85 | 10.85 |
| | RP4 | 11.05 | 10.95 | 11.05 |
| 백두산 | RP1 | 11.65 | 11.75 | 11.75 |
| | RP2 | 11.55 | 11.8 | 11.8 |
| | RP3 | 11.95 | 11.95 | 11.8 |
| | RP4 | 11.65 | 11.9 | 11.65 |
| | RP5 | 11.85 | 11.7 | 11.8 |
| | RP6 | 11.8 | 11.9 | 12 |
| 지리산 | RP1 | 11.95 | 12.6 | 12.5 |
| | RP2 | 12.65 | 12.9 | 13.35 |

신호 송출 세기 변경에 따른 실험은 0dBm, -9dBm, -16dBm 3가지 경우에 대해서 수행되었다. 실험 결과, 신호 송출 세기가 0dBm일 때와 -16dBm일 때 수신되는 신호의 수가 큰 차이를 보이지 않는다. 대다수의 기준점에서 신호 송출 세기별 수신 신호의 수 차이는 1이하로

나타난다. 신호 송출 세기의 변경이 기준점에서의 수신 신호 개수에 영향을 미치는지 명확히 판단하기 위해 분산 분석을 수행한다.

신호 송출 세기 변경에 따른 실험 결과에 대해서 분산 분석을 수행한 결과, 'F 기각치'의 값인 3.082852보다 'F 비'의 값인 0.394836이 작기 때문에 귀무가설을 기각하지 못한다. 신호 송출 세기 변경이 기준점에서 수신되는 신호의 수에 영향을 미치지 못했다는 것을 의미한다.

Table 9은 '한라산'의 기준점 1에서의 신호 송출 세기 별 수신 신호 강도의 변화를 기록한 결과이다. 실험 결과 중 비어있는 칸은 수신된 신호가 없음을 뜻한다.

Table 9. Changes in received signal strength

(단위 : dbm)

| Mac Address | 0dBm | -9dBm | -16dBm |
|-------------------|---------|---------|---------|
| D0:5F:B8:17:EA:4E | -64.6 | -63.75 | -63.15 |
| D0:5F:B8:17:EA:65 | -80.7 | -79 | -79.7 |
| D0:5F:B8:17:E5:CF | -66.65 | -66.55 | -65.45 |
| D0:5F:B8:17:EA:28 | -72.35 | -73.05 | -72.7 |
| D0:5F:B8:18:15:17 | -78.45 | -80.75 | -78.8 |
| D0:5F:B8:17:E8:F9 | -78.65 | -79.55 | -78.2 |
| D0:5F:B8:17:E8:A7 | -86.975 | -87.266 | -85.712 |
| D0:5F:B8:17:ED:34 | -86.212 | -84.266 | -85.833 |
| D0:5F:B8:18:15:2A | -77.4 | -75.8 | -76.2 |
| D0:5F:B8:17:E8:FA | -86.816 | -85.2 | -86.55 |
| D0:5F:B8:17:E8:C1 | | | -93 |
| D0:5F:B8:17:E8:8F | | | |
| D0:5F:B8:17:E8:98 | | | |
| D0:5F:B8:17:EA:10 | -75.45 | -74.15 | -74.95 |

비콘의 신호 송출 세기를 0dBm, -9dBm, -16dBm으로 설정하여 기준점에서 신호를 수신했을 때, 신호 송출 세기별로 신호 세기의 변화가 거의 일어나지 않는 것을 볼 수 있다. '한라산'의 기준점 1뿐만 아니라 다른 기준점에서도 신호 송출 세기 변경으로 인한 신호 세기의 변화는 일어나지 않았다. 신호 송출 세기의 변경이 기준점에서의 수신되는 수신 신호 세기에 영향을 미치는지 명확히 판단하기 위해 분산 분석을 수행한다.

신호 송출 세기 변경에 따른 수신 신호 강도 변화 실험 결과에 대해서 분산 분석을 수행한 결과, 'F 기각치'의 값인 3.304817보다 'F 비'의 값인 0.059883이 작기 때문에 귀무가설을 기각하지 못한다. 이 결과는 신호 송출 세기 변경이 기준점에서 수신되는 신호의 세기에 영향을 미치지 못했다는 것을 의미한다. 이는 앞선 신호 송출 세기 변경에 따른 수신 신호수에 대한 실험 결과와 마찬가지로 신호 송출 세기의 영향이 없음을 나타낸다.

Fig 7과 같은 위치에 비콘 및 기준점을 설정하여 위치에 따른 신호 세기의 차이 관찰을 수행했다.



Fig. 7. Location of beacon and RP

2개의 비콘이 같은 장소, 같은 위치에 대해 천장 위 아래에 설치되었는데, mac address의 끝자리가 AA로 끝나는 비콘이 천장 위에 설치된 비콘이고, 65로 끝나는 비콘이 천장 아래에 설치된 비콘이다. Table 10은 각 기준점에서 두 비콘으로부터 수신된 신호의 세기의 평균을 기록한 것이다. 신호 세기 측정은 8개의 기준점에서 3회씩 측정을 수행하였고, 각 기준점에서는 동서남북 4방향에 대해 신호를 세기를 수집하여 기록했다.

Table 10. RSSI Difference by beacon location

(단위 : dBm)

| 기준점 | 1차 | | 2차 | | 3차 | | 평균 | |
|-----|--------|----------|----------|--------|--------|--------|---------|---------|
| | AA | 65 | AA | 65 | AA | 65 | AA | 65 |
| RP1 | -50.25 | -60.75 | -52.25 | -55.5 | -52.5 | -61.25 | -51.667 | -59.167 |
| RP2 | -62 | -67.75 | -56.75 | -60.25 | -57 | -62.25 | -58.583 | -63.417 |
| RP3 | -68.25 | -71.75 | -68.25 | -73.5 | -64.25 | -70.75 | -66.917 | -72 |
| RP4 | -71.25 | -81.75 | -72.25 | -73.75 | -71.5 | -79 | -71.667 | -78.167 |
| RP5 | -80.25 | -83.75 | -81.3333 | -84.5 | -82 | -83.25 | -81.194 | -83.833 |
| RP6 | -78.25 | -86 | -79.75 | -81.75 | -82.5 | -87.25 | -80.167 | -85 |
| RP7 | -85.75 | -86.3333 | -83 | -91 | -84 | -92 | -84.25 | -89.778 |
| RP8 | -92.5 | | -90 | -98 | -92.5 | | -91.667 | -98 |

1, 2, 3차에서 비어있는 칸의 경우, 측정 당시에 해당 비콘으로부터 신호가 수신되지 않은 경우이다. Table 10에서 볼 수 있듯이, 천장 위에 설치한 비콘으로부터 수신한 신호 세기가 5dBm정도 높은 것을 알 수 있다. 두 방식간의 결과가 통계적으로 유의한지 확인하기 위해 각 실험의 신호 세기 평균을 사용해 t-검정을 수행했다.

비콘 설치 위치에 따른 수신 신호 세기의 변화를 관찰한 실험 결과에 대해 t검증을 수행한 결과 p-value가 0.0000000021로 유의수준 0.05보다 작은 값을 가진다. 따라서 천장 위, 아래에 비콘을 설치하여 수신 신호 세기의 차이를 관찰한 실험 결과, 통계적으로 유의한 것으로 나타난다.

4. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 기술적, 환경적 요소의 변화가 실내 측위 정확도에 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대해 실험하였다. 측위에 영향을 미칠 수 있는 기술적 요소인 신호 처리 방법 변경에 따른 변화 관찰, 환경적 요소인 신호 송출 주기, 신호 송출 세기 변경에 따른 변화 관찰을 수행했다.

150ms동안의 데이터를 사용하는 방법과 1000ms동안의 데이터를 사용하는 방법의 실험 결과에 대한 t검증 결과 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 평균 및 표준편차를 적용한 경우에도 같은 결과를 얻을 수 있었다. 실험에 사용된 신호의 수집 시간과 평균 및 표준편차를 적용하는 방법들은 시나리오별로 평균 오차에 작은 변화가 있지만 유의한 정도는 아니라는 것으로 나타났다. 수신 신호 중 최대 신호 세기를 사용한 실험이 낮은 평균 오차를 보이는데, 이는 신호 간섭에 대해 가장 적은 영향을 받은 신호 정보를 사용한 결과이다.

신호 송출 주기 변경에 따른 실험 결과에 대해서 분산 분석을 수행한 결과 귀무가설을 기각한다. 이는 신호 송출 주기별로 통계적 간에 차이가 있다는 것을 나타낸다. 이러한 차이는 같은 시간 안에 많은 정보를 수신함에 따라 신호 간섭에 영향을 적게 받은 신호를 사용하여 측위를 수행하게 되는 경우가 증가하는 것에 대한 결과이다.

신호 송출 세기 변경에 따른 실험은 기준점에서의 수신 신호의 수 및 수신 신호 세기의 변화 관찰 실험을 수행하였으나 정상적인 실험 데이터를 수집하지 못했다. 실험에 사용된 비콘의 문제로정상적으로 일어나야하는 변화가 관찰되지 않은 것이다. 신호 송출 세기 변경에 따른 변화를 관찰하기 위해서 정상 작동하는 비콘을 사용하여 추가 실험을 수행해야 될 것이다.

본 연구에서는 일반적인 환경에서 기술적, 환경적 요소가 측위 결과에 어떤 영향을 미치는지 실험하였다. 신호 송출 주기를 변경했을 때, 유의하다는 결과를 얻을 수 있지만 다른 실험 케이스들에 대해서는 그렇지 못한 결과를 얻었다. 요소별 차이를 명확하게 관찰하기 위해서는 측위에 영향을 미칠 수 있는 요소를 선정하고, 해당 요소에 따른 변화를 확실하게 관찰할 수 있는 환경을 구성해 실험을 수행해야 할 것이다.

References

Ahn H.J, Y.H Lee, "Bluetooth Beacon Planing Considering Position Estimation

Accuracy in Small and Isolated In-Door Environment", The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol.40, 2015, 1307-1312.

(안희준, 이예훈, "소형독립공간에서 실내측위 정확도를 고려한 블루투스 비컨 위치선정." 한국통신학회논문지, 제40권, 제7호, 2015, 1307-1312)

Cho Y.S et al., "Technical Trend of Indoor/ Outdoor Seamless Positioning", Electronics and Telecommunications Trend, Vol.22, No.3, 2007, 20-27.

(조영수 외 5명, "실내외 연속측위 기술 동향", 전자통신동향분석, 제22권, 제3호, 2007, 20-27)

Ferris, B., Hahnel, D., & Fox, D., "Gaussian processes for signalstrength-based location estimation" Proc. of RoboticsScienceandSystems, 2006.

Jeon H.S et al., "A Study on Algorithm for Efficient Location Tracking in Indoor Environment", Journal of information technology applications & management, Vol.13, No.3, 2006, 59-74.

(전현식 외 5명, "실내 환경에서 효율적인 위치 추적을 위한 알고리즘에 관한 연구", JITAM, 제13권, 제3호, 2006, 59-74)

Kim W.D, "A Collection of Books of Mobile Contents Industry and Renovation Technique", Business Information Research, 2011, 1133-161.

(김원대, "모바일 콘텐츠 산업 및 혁신기술 총서", Business Information Research, 2011, 133-161)

Kim H.G, S.S. Ho, S.K. Kim and C.H. Lee, "A Study on the Transmission Characteristics of Radio Signals according to Obstructions.", Proceedings of the Korean Institute of Fire Science & Engineering, 2009, 249-254

(김형권 외 3명, "장애물에 따른 무선신호의 투과특성에 관한 연구." 한국화재소방학회 2009년도 추계학술논문발표대회 초록집, 2009, 249-254)

Lee Y.H et al., "Accurate bluetooth positioning using large number of devices measurements.", Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. 2, 2014, 1129-1143.

Lim Y.J, J.S Park, S.H Ahn, "A Geometric Approach for the Indoor Localization System." The Institute of Electronics Engineers of Korea - Telecommunications, Vol.45, No.12, 2008, 97-104.

(임유진, 박재성, 안상현, “실내 위치 측위 시스템을 위한 기하학적 접근 기법.” 전자공학회논문지-TC. 제45권, 제 12호, 2008, 97-104)

Patmanathan, V., “Area Localization using WLAN”, KTH Electrical Engineering, 2006.

Saxena, M., Gupta, P., Jain, B.N., “Experimental analysis of RSSI-based location estimation in wireless sensor networks.” Communication Systems Software and Middleware and Workshops, 2008, 503-510.

Park M.G, J.S Kim, J.In Jung, J.K Hong and S.Sun Lee, "A Study on the Efficient Access Point Installation in Spatial form for Indoor Wireless Positioning System.", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, 2011, 519-520.

(박민규 외 4명, “실내 위치 측위를 위한 공간형태에 따른 효율적인 AP설치에 대한 연구”, 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문 (동계), 2011, 519-520)

Park J.T, Y.S Her, "A study on the signal interference measurement method for advanced next-generation wireless environment", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, 2010, 1753-1754.

(박장태, 허용석, “차세대 무선 환경에서의 신호간섭 측

정방법에 관한 연구”, 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집(하계), 2010, 1753-1754)

Son S.H, Y.J Park, B.J Kim, Y.J Baek, "Wi-Fi Fingerprint Location Estimation System Based on Reliability.", The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol.38, 2013, 531-539.

(손상현 외 3명, “신뢰도 기반 Wi-Fi 핑거프린트 위치 추정 시스템”, 한국통신학회논문지 38, 2013, 531-539)

Woo S.H, H.S Jeon, K.H Kim and H.J Park, "A Design of Indoor Location Tracking System for Ubiquitous Computing Environment." Journal of Internet Computing and Services, Vol.7, No.2, 2006, 71-82.

(우성현 외 3명, “유비쿼터스 환경을 위한 실내 위치 추적 시스템의 설계”, 한국인터넷정보학회 논문지, 제7권, 제3호, 2006, 71-82)

Yoon C.P, C.G Hwang, "Efficient indoor positioning systems for indoor location-based service provider." Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.19, No.6, 2015, 1368-1373.

(윤창표, 황치곤, “실내 위치 기반 서비스 제공을 위한 효율적인 실내 위치 측위 시스템.” 한국정보통신학회논문지 제19권, 제6호, 2015, 1368-1373)



변 태 우 (voniven@seoultech.ac.kr)

2013 동국대학교 컴퓨터멀티미디어 학사

2014~현재 서울과학기술대학교 일반대학원 SW분석·설계학과 석사과정

관심분야 : SW설계, 실내측위



장 성 용 (syjang@seoultech.ac.kr)

1980 서울대학교 산업공학과 학사

1982 서울대학교 산업공학과 석사

1991 서울대학교 산업공학과 박사

1987~ 현재 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과(산업정보시스템공학) 교수

관심분야 : 컴퓨터시뮬레이션, 제약경영(TOC), 프로젝트관리