

삼각측량법과 최소자승법을 활용한 실내 위치 결정의 산포 감소 방안에 관한 연구

장 정 환* · 이 두 용* · 장 청 윤* · 조 용 철** · 이 창 호*

*인하대학교 산업공학과 · **한국항만연수원 인천연수원

A Study on Error Reduction of Indoor Location Determination using triangulation Method and Least Square Method

Jung-hwan Jang* · Doo-Yong Lee* · Jing-lun Zhang* · Yong-chul Jho** · Chang-ho Lee*

*Department of Industrial Engineering, INHA University

**Korea Port Training Institute Incheon

Abstract

Location-Based Services(LBS) is a service that provide location information by using communication network or satellite signal. In order to provide LBS precisely and efficiently, we studied how we can reduce the error on location determination of objects such people and things. We focus on using the least square method and triangulation positioning method to improves the accuracy of the existing location determination method. Above two methods is useful if the distance between the AP and the tags can be find. Though there are a variety of ways to find the distance between the AP and tags, least squares and triangulation positioning method are wildely used. In this thesis, positioning method is composed of preprocessing and calculation of location coordinate and detail of methodology in each stage is explained. The distance between tag and AP is adjusted in the preprocessing stage then we utilize least square method and triangulation positioning method to calculate tag coordinate. In order to confirm the performance of suggested method, we developed the test program for location determination with Labview2010. According to test result, triangulation positioning method showed up loss error than least square method by 38% and also error reduction was obtained through adjustment process and filtering process. It is necessary to study how to reduce error by using additional filtering method and sensor addition in the future and also how to improve the accuracy of location determination at the boundary location between indoor and outdoor and mobile tag.

Keywords : Location Determination, Triangulation Method, Least Square Method, Location-Based Service

† 본 연구는 한국연구재단의 지원으로 연구되었음(2011-0018005)

† 교신저자: 이창호, 인천시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과

M · P: 010-3761-2995, E-mail: lch5601@inha.ac.kr

2012년 1월 20일 접수; 2012년 3월 8일 수정본 접수; 2012년 3월 8일 게재확정

1. 서론

처음 군사용으로 출발한 LBS는 그 효용성이 입증되면서 교통·치안 등 공공부문에서 널리 활용되고 있으며, GPS 수신 칩 가격하락, 지리정보 축적, 정부정책 등에 힘입어 내비게이션을 중심으로 LBS의 상업화가 가속화 되었다[8]. 최근에는 이동성과 휴대성, 끊임 없는 정보를 제공하는 스마트폰에서 LBS는 핵심 킬러 어플리케이션으로 부상하고 있다. 과거에 개별적으로 존재했던 각각의 LBS 기술과 모바일 앱들이 스마트폰 하나로 통합 되고 있다. GPS, 기지국 ID, 와이파이 등 정밀도가 향상된 스마트폰의 위치측정 기술들이 모두 스마트폰으로 집약되고, 여기에 소셜 네트워크 서비스(SNS), 증강현실, 게임 등 새로운 형태의 킬러 앱들이 더해지면서 LBS의 활용도는 더욱 높아지고 있다[1]. 현재 LBS의 현황 중 실외는 GPS, 실내는 여러 측위 기술들이 적용 되고 있는데 본 논문에서는 정확도 향상을 위해 RFID 기술 중 2.4Ghz 주파수를 사용하는 ToA 방법을 적용한 측위방법을 가지고 가장 일반적으로 사용되는 삼각측량과 최소자승법을 비교하고 더 나은 방법을 모색하였다.

2. 이론적 배경

2.1 ToA(Time of Arrival)

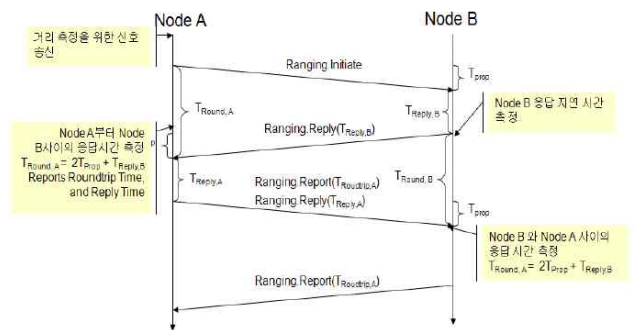
TOA 방법은 이동 장치와 고정 장치 사이의 전파 전달 시간을 측정하여 거리를 구하는 방식이다. TOA는 동기식 또는 비동기식으로 계산될 수 있는데 동기식에서는 수신기와 비컨이 서로 시간적으로 동기화되어 있으며 비컨은 수신기로 절대적인 현재시간을 기록한 신호를 보낸다. 수신기와 비컨간에 시간이 동기화되어 있기 때문에 수신기는 신호의 수신시간을 측정하여 비컨과 수신시간에 신호도달에 걸리는 절대적인 시간을 구할 수 있다. 따라서 알고 있는 신호의 전송속도와 신호도달 시간으로부터 거리를 구할 수 있다. 비동기방식에서는 수신기와 비컨간에 시간동기를 맞출 필요가 없다. 비컨은 현재시간을 기록한 다음 즉시 수신기에 신호를 보낸다. 수신기는 비컨으로부터 수신한 신호를 다시 비컨에게 되돌려 보낸다. 수신기에서 신호를 다시 비컨에게 되돌려 보내는데 걸리는 지연이 일정하다고 한다면 비컨은 신호의 전송시간과 수신시간의 차 및 수신기에서의 지연시간으로부터 비컨과 수신기 사이의 거리를 계산할 수 있다. 두 비동기 수신기 사이에서 신호의 round-trip TOF(Time Of Flight)측정을 가능하게 하는

기법으로는 TWR 방법이 있다.

TWR 거리측정 기술은 송신기에서 출발하여 수신기에 도착한 전파 전송 시간과 전파 속도를 통해 거리를 측정하는 기술이다. 기존의 RSSI 기반의 기술보다 더 높은 정확도를 가진 거리측정 기술이며, 초음파 속도의 약 90만 배 빠른 실제 RF 전파를 기준으로 한다. 거리를 측정하기 위해 노드 A는 노드 B에게 ranging 메시지를 보낸다. 노드 A는 패킷 전송이 시작되는 시간을 저장해두고, 노드 B에서는 패킷이 도착한 시간을 저장한다. 그 다음 노드 B는 T_{replyB} 만큼의 시간을 기다리고, 다시 노드 A에게 ranging 메시지를 보낸다. 여기서 T_{replyB} 는 T_p 보다 더 길게 설정한다. 마지막으로 노드 B는 자신이 측정한 시간을 노드 A에게 모두 전송하면, 노드 A의 T_{round} 시간을 측정할 수 있다. 그리고 T_p 시간은 식(2-1)과 같이 구할 수 있다[2][3].

$$T_p = \frac{1}{2}(T_{round} - T_{replyB}) \quad \text{식 (2-1)}$$

더 정밀한 거리 측정을 위해 TWR 거리측정 프로토콜을 확장시킨 SDS(Symmetric Double Sided)-TWR 거리측정 프로토콜을 사용한다. SDS-TWR은 TWR을 한 번 더 반복해서 거리 측정의 정확성을 높이는 기술이다. [그림 1]과 같이 노드 A와 B가 패킷을 교환한 뒤, 바로 노드 B에서 노드 A로 패킷을 교환하는 방식이다.



[그림 1] SDS-TWR 방법

2.2 삼각측량법

삼각측량법에 의한 위치추정은 이미 좌표가 알려져 있는 세 개 혹은 그 이상의 기준점과 모바일장치 사이의 거리를 계산해 냄으로써 모바일장치의 위치를 추정하는 방법이다. 기준점과 모바일사이의 거리는 RSSI와

같은 전과 특성값을 이용해 계산된다. 예를 들어 설명하면 고정노드 A에서 r_1 만큼의 거리가 떨어진 이동노드 M이 있다고 가정했을 때 노드 M이 위치할 수 있는 범위는 반지름 r_1 을 갖는 원이 된다. 만약 고정노드 A의 위치가 (X, Y)이고 이동노드의 위치가 (x, y)일 경우 식(2-2)와 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$r_1^2 = (x - X)^2 + (y - Y)^2 \quad \text{식(2-2)}$$

만약 고정된 노드가 3개이고 그들과 이동노드 M 사이의 거리가 r_1, r_2, r_3 라고 한다면 이동노드 M이 존재할 수 있는 위치는 반지름 r_1, r_2, r_3 를 가지는 세 원의 교점이 된다. 예를 들어 고정노드 A와 B, C의 위치가 각각 (X1, Y1)과 (X2, Y2), (X3, Y3)이고 이동노드의 위치가 (x, y)일 경우 다음과 같은 수식(2-3)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} (x - X1)^2 + (y - Y1)^2 &= r_1^2 \\ (x - X2)^2 + (y - Y2)^2 &= r_2^2 \\ (x - X3)^2 + (y - Y3)^2 &= r_3^2 \end{aligned} \quad \text{식(2-3)}$$

위 수식의 해를 구하게 되면 고정된 하나의 (x, y)값을 구할 수 있다. 즉 최소한 3개의 고정노드와 그들 간의 거리 r_1, r_2, r_3 를 알게 되었을 때 이동노드의 정확한 위치를 파악할 수 있게 된다[7][8].

2.3 최소자승법

최소자승법은 1805년 Legendre가 최초로 발표하였으나, 이론 개발과 응용은 Gauss에 의하여 1794년부터 시작된 것으로 알려져 있다. Gauss에 의한 발표는 1809년에 이루어졌다. 잉여관측이 있는 경우에는 구하고자 하는 미지값의 해가 여러 개가 될 수 있다. 관측과 관측 잔차 등은 확률과 통계의 이론을 따르고 있으므로, 여러 개의 미지값 중에서 가장 확률이 높은 값을 통계적으로 계산하는 방법이다. 최소자승법은 다음의 특징을 가지고 있다[4][6][9].

- ① 통계적 이론에 충실하므로 조정결과가 엄격함
- ② 관측 인자에 관계없이 미지변수를 조정할 수 있어 알고리즘 적용이 용이함
- ③ 결과의 통계학적 정밀도 분석이 가능하므로 조정 후 최확값에 대한 정밀도 분석이 가능함
- ④ 관측계획에 대한 모의가 가능하여 실행전 관측 계

획을 수립할 수 있음

⑤ 행렬(Matrix) 연산이 가능함

⑥ 각 관측값의 신뢰성에 따라 관측값의 무게를 달리 할 수 있음

보통 미지변수가 많은 연립방정식을 직접 수계산하는 것은 불가능하기 때문에, 계산의 효율을 위하여 행렬(Matrix)을 사용하는 것이 보편적이다.

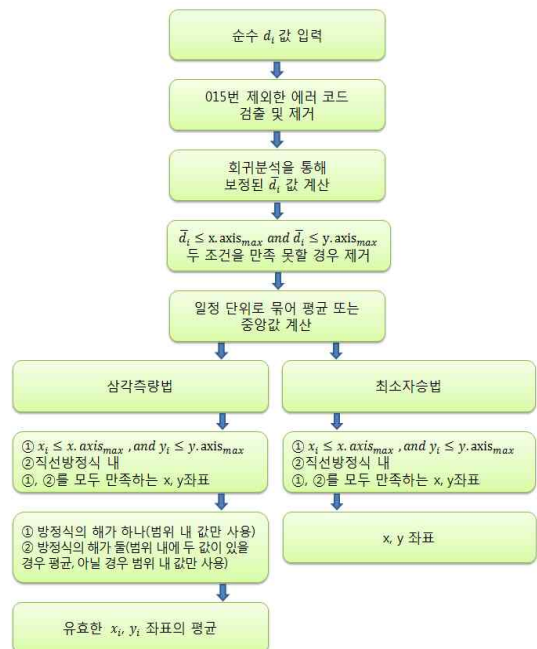
$$\therefore X = (A^T A)^{-1} A^T L \quad \text{식(2-4)}$$

결과적으로 식(2-4)의 X가 행렬 형태로 구한 최소자승법의 해이다. 일반적으로 삼각측량법의 복잡한 방정식의 해를 구하는 것보다 쉬운 방법이기 때문에 사용되기도 한다.

3. 삼각측량법과 최소자승법을 활용한 측위

3.1 측위방법의 개요

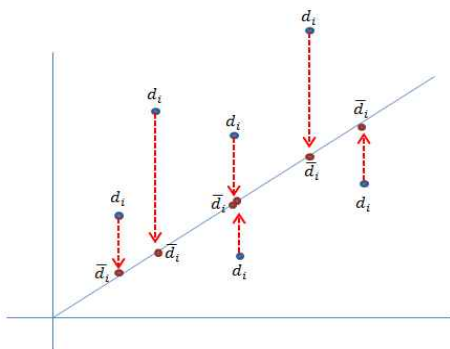
측위방법은 크게 전처리, 측위단계로 나눌 수 있다. 전처리 단계에서는 AP와 태그간의 거리값을 보정하거나 필터링하는 과정을 거치고, 측위단계에서는 삼각측량법과 최소자승법으로 태그의 위치를 계산하게 된다.



[그림 2] 삼각측량법과 최소자승법 알고리즘

3.2 전처리 단계

사용된 테스트 장비는 독일 Nanotron사의 nanoLOC 칩셋을 사용하였다. 이 칩셋에서는 AP와 태그간의 거리값 뿐만 아니라 어떤 AP와 통신을 통해 계산된 거리값인지 판별할 수 있는 ID, 날짜, 시간, 거리값과 여러 종류의 에러 코드를 포함하여 데이터를 출력한다. 칩셋 제조사에서는 에러코드 015번을 제외한 나머지 에러코드를 출력하는 데이터는 사용하지 않도록 권장하고 있고, 실제 테스트 결과 015번 이외의 에러코드를 포함하는 데이터들은 매우 큰 거리값의 오차를 보여주거나 거리값이 누락되는 현상을 확인하였기 때문에 에러코드 015번 이외의 데이터들은 필터링 하였다. 1차로 필터링을 거치고 비교적 정확한 d_i 값을 계산할 수 있는 SDS-TWR 방법을 사용했다라도 실제 환경에서는 전파의 산란, 반사, 흡수 등으로 인해 오차를 가지게 된다. 따라서 정확한 태그의 위치를 계산하기 위해서는 보정과정이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 d_i 값의 보정을 위해 회귀분석을 사용하였다. 회귀분석(Regression Analysis)은 관찰된 연속형 변수들에 대하여 독립변수와 종속변수 사이의 인과관계에 따른 수학적 모델인 선형적 관계식을 구하여 어떤 독립변수가 주어졌을 때 이에 따른 종속변수를 예측하고, 도출된 수학적 모델이 독립변수와 종속변수간 관계를 얼마나 잘 설명하고 있는지를 판별하기 위한 적합도를 검증하는 통계적 분석 방법이다. 회귀분석은 시간에 따라 변화하는 데이터나 어떤 영향, 가설적 실험, 인과관계의 모델링 등의 통계적 예측에 이용되는 방법으로 d_i 값이 오차를 포함하고 있더라도 통계적으로 유의한 예측값 \bar{d}_i 를 구할 수 있다.



[그림 3] 회귀분석을 통한 d_i 보정

필터링과 보정 단계를 거친 \bar{d}_i 는 회귀분석을 통하여 보정해도 d_i 의 오차가 매우 클 경우에는 실제 거리와

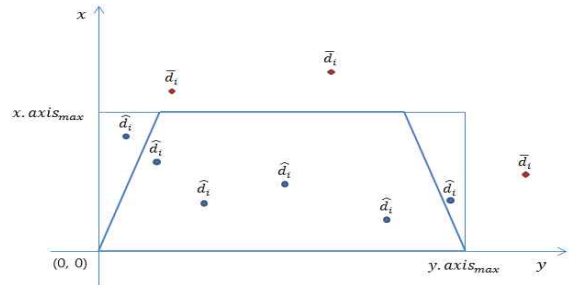
근사한 \bar{d}_i 를 구하는데 한계가 있다. 따라서 오차가 큰 \bar{d}_i 는 각각의 AP들을 직선으로 연결하여 범위를 지정하고 범위 밖으로 벗어나는 \bar{d}_i 를 필터링하는 방법을 사용하였다.

$$\bar{d}_i \leq x.axis_{max} \text{ and } \bar{d}_i \leq y.axis_{max}$$

$x.axis_{max}$: x축에 위치한 좌표의 최대값

$y.axis_{max}$: y축에 위치한 좌표의 최대값

필터링은 간단하게 \bar{d}_i 가 AP들을 연결하여 그려진 범위의 최대 x축의 값과 최대 y축의 값 보다 클 경우 필터링하는 방법을 사용하였다. 이러한 과정을 거친 \hat{d}_i 는 일정 단위로 묶여 평균 또는 중앙값을 구하여 다음 단계에서 삼각측량법과 최소자승법을 통한 태그의 위치 계산에 사용된다.



[그림 4] \bar{d}_i 값 필터링 방법

3.3 측위단계

3.3.1 삼각측량법을 활용한 측위

삼각측량법에 의한 위치추정은 일반적으로 세 기준점으로 그려진 세 개의 원이 교차하는 하나의 지점을 구하는 방법으로 알려져 있다. 하지만 세원이 한 점에서 만날 확률은 극히 희박하여 보통의 경우 세 개의 원이 각각 만나게 되는 접점의 평균을 구해 위치를 추정하게 된다. 만약 AP의 수가 3개 이상일 경우 기준이 될 세 점을 선정하는 기준을 마련하는 방법도 까다롭기 때문에 삼각측량대신 계산이 간편한 최소자승법을 사용하는 사례도 있다. 따라서 본 논문에서는 테스트 범위에 존재하는 모든 AP를 기준점으로 사용하였다. n개의 AP가 존재할 경우 두 개의 \hat{d}_i 를 선정하여 방정식을 구성하면 ${}_n C_2$ 개의 식조합을 도출할 수 있고 식 (3-1)과 같이 연립한다.

$$\begin{aligned}
 d_i^2 &= (x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 \\
 d_j^2 &= (x - X_j)^2 + (y - Y_j)^2 \\
 &\vdots \\
 d_h^2 &= (x - X_h)^2 + (y - Y_h)^2 \\
 &\vdots \\
 d_n^2 &= (x - X_n)^2 + (y - Y_n)^2 \\
 d_m^2 &= (x - X_m)^2 + (y - Y_m)^2
 \end{aligned}
 \tag{3-1}$$

각각의 식조합은 \hat{d}_i 를 반지름으로 하여 그려진 원의 교점이 0~2개로 3가지의 경우가 있다. AP를 4개 사용할 경우 최소 0개에서 최대 12개의 교점이 생성된다. 따라서 정확한 태그의 위치를 추정하기 위해서는 x_i, y_i 좌표들 중 실제 위치와 근사한 값들만을 선정하는 과정이 필요하기 때문에 다음과 같은 방법을 사용하였다.

- ① $x_i \geq 0$ and $y_i \geq 0$
- ② $x_i \leq x.axis_{max}$ and $y_i \leq y.axis_{max}$
- ③ AP를 꼭지점으로 하는 블록집합영역(인접한 2개의 AP를 연결하는 직선방정식으로 표현되는 half space들의 교집합)
- ④ (가) 하나의 방정식 조합에서 2개의 해가 구해질 경우 - 2개의 해가 ①, ②, ③을 모두 만족할 경우 두 해의 평균값 사용 - 2개의 해 중 ①, ②, ③을 모두 만족한 해가 하나 일 경우 만족한 해만 최종좌표 계산에 사용 (나) 하나의 방정식 조합에서 한 개의 해가 구해질 경우 - 한 개의 해가 ①, ②, ③을 모두 만족할 때 최종 좌표 계산에 사용

최종 좌표는 ①, ②, ③을 모두 만족 하면서 ④번의 과정을 거친 x_i, y_i 좌표들의 평균으로 계산한다.

3.3.2 최소자승법을 활용한 측위

최소자승법은 삼각측량법과 다르게 복잡한 방정식을 행렬을 이용해 비교적 쉽게 방정식의 해를 구할 수 있다. 삼각측량법과 마찬가지로 두 개의 \hat{d}_i 를 기준으로 방정식을 구성하였고, 동일한 숫자의 방정식 갯수가 도출된다. 삼각측량법과 기본적인 방정식은 동일하지만

최소자승법에서는 AP의 위치를 행렬 A, 태그의 위치를 행렬 L로 하여 식(3-2)에 대입한다. 본 논문에서는 사용되는 모든 AP의 위치를 계산에 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 A &= \begin{bmatrix} 2(X_i - X_j), & 2(Y_j - Y_i) \\ 2(X_i - X_h), & 2(Y_h - Y_i) \\ \vdots & \vdots \\ 2(X_n - X_m), & 2(Y_m - Y_n) \end{bmatrix} \\
 L &= \begin{bmatrix} (x_j^2 - x_i^2) + (y_j^2 - y_i^2) + (d_j^2 - d_i^2) \\ (x_h^2 - x_i^2) + (y_h^2 - y_i^2) + (d_h^2 - d_i^2) \\ \vdots \\ (x_m^2 - x_n^2) + (y_m^2 - y_n^2) + (d_m^2 - d_n^2) \end{bmatrix} \\
 \therefore X &= (A^T A)^{-1} A^T L
 \end{aligned}
 \tag{3-2}$$

최소자승법에서 연립방정식의 해는 단 하나만 구해지기 때문에 삼각측량법에서 수행했던 좌표를 필터링하는 부분은 필요 없지만 범위내의 좌표를 최종좌표로 도출하는 과정은 삼각측량법과 동일한 과정을 거친다.

- ① $x_i \geq 0$ and $y_i \geq 0$
 - ② $x_i \leq x.axis_{max}$ and $y_i \leq y.axis_{max}$
 - ③ AP를 꼭지점으로 하는 블록집합영역(인접한 2개의 AP를 연결하는 직선방정식으로 표현되는 half space들의 교집합)
- 최소자승법으로 구해진 연립방정식의 해가 ①, ②, ③번을 모두 만족한다면 최종좌표로 출력한다.

4. 시스템 구현 및 결과 분석

4.1 시스템 구현 및 실험 환경

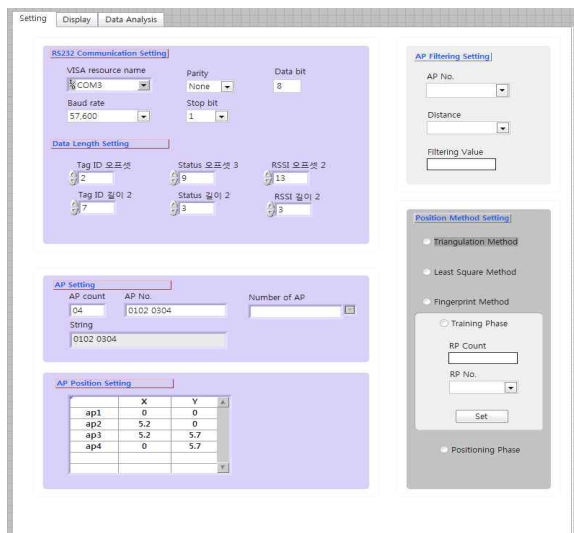
삼각측량법과 최소자승법의 정확도 확인을 하기 위한 테스트를 진행하였다. 테스트는 인하대학교 2호관 북측 670B호 강의실에서 사람들의 통행이 적은 야간에 테스트를 진행하였다. 강의실 내부의 책상, 의자, 교탁 등 전과를 왜곡할 수 있는 모든 장애물들을 제거한 후에 가로 6m, 세로 4m의 사다리꼴 형태로 테스트 구역을 설정하였다. AP는 4대를 사용하였고 지향성안테나를 사용하였으며 AP1번의 지점을 기준(0, 0)으로 하였다. 태그는 (3, 2), (4, 3), (2, 3)의 세 지점에 위치시켜

측정하였고, 사방에서 전파를 받아야하기 때문에 무지향성 다이폴 안테나를 사용하였다. 태그가 위치한 세 지점에서 각각 약 2,700개의 d_i 값을 획득하였고 AP와 태그간의 d_i 값들은 무선으로 연결된 BS(Base Station)로 들어와 서버(MS-sql2000)에 저장 된다.



[그림 5] 실제 테스트 환경 구현 모습

측위 테스트 프로그램은 Labview2010으로 구현하였고, 프로그램의 메인화면은 세팅과 display 탭으로 구분하여 세팅 탭에서는 측위 장비와 PC간의 연결 세팅, 데이터 형식 세팅, AP 갯수와 위치를 세팅할 수 있다. AP의 위치를 지정하게 되면 측위 알고리즘에 사용되는 계수들도 자동으로 변경된다. 보정계수 적용을 위한 세팅 창은 향후 실내, 실외 등 환경 변화에 따라 보정계수를 달리 적용해야 하기 때문에 추가 하였고 삼각측량법과 최소자승법 핑거프린트 방법 중 확률적 가중치를 적용한 방법을 추가하여 선택이 가능하도록 하였다.



[그림 6] 테스트 프로그램 세팅 화면

4.2 테스트 결과 분석

앞장에서 소개된 환경에서 실내 테스트를 수행한 결

과로 수집된 데이터를 삼각측량법과 최소자승법을 통해 계산된 결과 값을 분석하였다. 테스트로 수집된 데이터를 그대로 사용한 결과와 10개, 20개 단위로 묶어 평균, 중앙값으로 계산된 결과를 분석하여 비교하였으며 삼각측량법과 최소자승법의 측위 정확도 또한 비교하였다. 정확성의 척도가 되는 측위 오차는 태그의 실제 위치와 측위방법을 통해 계산된 태그의 추정 위치간의 거리 차이를 계산하여 도출하였다. 태그의 실제 위치 (x_t, y_t) 와 측위방법을 활용하여 계산한 태그의 추정 위치 (\hat{x}, \hat{y}) 간의 거리 오차는 다음의 식과 같이 구할 수 있다.

$$E(\text{distance error}) = \sqrt{(x_t - \hat{x})^2 + (y_t - \hat{y})^2}$$

<표 1> 테스트 결과 종합

단위: 오차(m)

		삼각측량		최소자승	
		오차	오차의 편차	오차	오차의 편차
(3 2)	묶음 없음	0.399	0.188	0.595	0.280
	10개씩 중간값	0.400	0.203	0.612	0.305
	10개씩 평균	0.384	0.148	0.550	0.168
	20개씩 중간값	0.349	0.090	0.535	0.128
	20개씩 평균	0.365	0.118	0.532	0.133
(4 3)	묶음 없음	0.971	0.350	1.684	0.321
	10개씩 중간값	0.973	0.361	1.674	0.382
	10개씩 평균	0.967	0.319	1.673	0.339
	20개씩 중간값	0.943	0.309	1.689	0.327
	20개씩 평균	0.957	0.304	1.671	0.303
	(2 3)	묶음 없음	0.662	0.269	0.956
10개씩 중간값		0.667	0.275	0.966	0.349
10개씩 평균		0.689	0.300	0.926	0.192
20개씩 중간값		0.572	0.181	0.885	0.151
20개씩 평균		0.678	0.251	0.916	0.146

(3, 2)지점에서 데이터를 10개, 20개씩 묶어 평균, 중앙값을 사용하여 계산된 결과에서는 삼각측량이 모두 최소자승법에 비해 33% 더 좋은 결과를 보여주었다. 삼각측량법에서는 차이가 크지는 않지만 2,700여개의 데이터를 20개씩 묶어 평균으로 계산했을 때 가장 작은 오차를 보여주었고 그 다음 20개씩 중앙값이 좋은 결과를 보여 주었다. 최소자승법에서도 삼각측량과 동일하게 20개씩 평균값과 20개씩 중앙값으로 묶었을 경우의 순으로 좋은 결과가 나왔다. 오차의 표준편차도 20개씩 중앙값과 20개씩 평균값이 다른 방법에 비해 편차가 작은 것을 확인할 수 있다. (4, 3)지점에서 데이터를 10개, 20개씩 묶어 평균, 중앙값을 사용하여 계산된 결과에서는 (2, 3)지점과 마찬가지로 삼각측량이 모두 최소자승법에 비해 43% 더 좋은 결과를 보여주었다. 삼각측량법에서는 20개씩 중간값, 20개씩 평균값 순으로 좋은 결과를 보여주었고 최소자승법에서는 20개씩 평균, 10개씩 평균값 순으로 오차가 작았다. 오차의 표준편차로 봤을 때는 대체로 (2, 3)지점 보다 큰 편차를 보였으며 그래도 20개씩 평균과 20개씩 중앙값이 작은 편차를 보여주었다. (2, 3)지점에서 데이터를 10개, 20개씩 묶어 평균, 중앙값을 사용하여 계산된 결과에서는 앞선 결과와 동일하게 삼각측량이 모두 최소자승법에 비해 30% 더 좋은 결과를 보여주었다. 삼각측량법에서는 20개씩 중간값, 10개씩 중앙값 순으로 좋은 결과를 보여주었고 최소자승법에서는 20개씩 중앙값, 20개씩 평균값 순으로 오차가 작았다. 오차의 표준편차로 봤을 때는 대체로 (2, 3)지점 보다 그지만 (4, 3)지점에 비해서는 작은 편차를 보였으며 마찬가지로 20개씩 평균과 20개씩 중앙값이 작은 오차의 편차를 보여주었다. <표 2>는 본 논문에서 대표적인 한가지 필터링방법의 적용 전후의 결과를 보여준다. 식(4-1)은 전처리 단계에서 적용되는 필터링방법 중 하나로 회귀 분석을 통해 보정된 \bar{d}_i 값이 x 축과 y 축의 최대값을 벗어났을 때 필터링하게 된다.

$$\bar{d}_i \leq x.axis_{max} \text{ and } \bar{d}_i \leq y.axis_{max} \quad \text{식(4-1)}$$

<표 2>에서는 적용전은 모든 필터링방법과 보정방법 중 식(4-1)과 같은 필터를 제거 했을 때의 결과를 보여준다. 삼각측량법의 경우 필터를 제거하였을 때 약 13%, 최소자승법은 약 12% 오차가 증가한 것을 알 수 있다.

<표 2> 식(4-1)에 해당하는 필터 적용 전, 후 비교 결과
단위: 오차(m)

	삼각측량		최소자승	
	적용전	적용후	적용전	적용후
(3, 2)	0.407	0.399	0.718	0.595
(4, 5)	0.996	0.971	1.900	1.684
(2, 3)	0.686	0.662	1.087	0.956

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 위치기반서비스의 핵심기능을 담당하는 측위기술 중 삼각측량법과 최소자승법을 활용하여 실내 위치결정에 산포를 감소시키는 방안을 연구하였다. 두 방법은 흔히 쓰이는 방법이면서도 정확도를 향상시키는 방법에 대해 명확히 제시한 문헌은 조사된 바가 없다. 따라서 여러 필터링방법과 보정방법을 구현하였고 순서를 체계화 하여 적용하였다. 삼각측량법은 복잡한 방정식 풀이과정과 방정식의 해가 없는 경우가 많아 일반적으로 간편하게 방정식의 해를 구할 수 있는 방법인 최소자승법을 이용한다. 하지만 최소자승법은 어떠한 경우라도 방정식의 해를 구하고 수신되는 모든 d_i 값을 사용하기 때문에 오차가 큰 d_i 값을 이용할 경우 잘못된 해를 구하는 문제점이 있다. 반면 본 논문에서 사용한 삼각측량법의 경우 두 개의 d_i 값을 사용하고 오차가 크다고 판단되면 제거하는 과정을 여러 번 거치기 때문에 최소자승법에 비해 오차가 작은 결과값을 구할 수 있었다. 실제 테스트 결과 삼각측량법이 최소자승법에 비해 38% 더 높은 정확도를 보여주었고 편차도 작은 것을 확인하였으며 필터링과정과 보정 과정을 거치며 정확도가 향상되는 것을 직접 확인 하였다. 추후 연구로는 정지 상태의 신호세기 값을 통한 측위가 아닌 이동체의 위치 결정에 대한 연구와 이때의 오차를 줄일 수 있는 필터링 기법의 연구가 필요하다.

6. 참고 문헌

- [1] 권용한, 이상록, “컨버전스 서비스로 부각되는 위치기반서비스(LBS)”, KT경영경제연구소, 2009. 06.
- [2] 막마르 엔호자야, “TOA-A 알고리즘 기반의 주차안내 시스템 설계”, 동명대학교 석사논문, 2010. 02.
- [3] 박상현, “전파의 간접경로와 에너지 효율을 관점에서 가중치 적용 SDS-TWR기법을 이용한 실내 위치측정 시스템”, 인천대학교 박사학위논문, 2009. 12.
- [4] 윤성조, “IEEE 802.15.4 WPAN을 이용한 실내,외

결합 측위 시스템”, 경북대학교 석사논문, 2008. 06.

[5] 이성호, “부상하는 위치기반서비스(LBS)”, 삼성경제연구소 CEO Information, 제 615호, 2007. 08.

[6] 임재걸, 주재훈, 남윤석, “위치기반서비스를 위한 통합측위시스템 설계 및 응용”, JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY APPLICATIONS & MANAGEMENT, 13권 4호, 2006. 12.

[7] 진영우, 손상현, 최훈, 백운주, “항만 환경의 음영지역 극복을 위한 동선 정보 기반의 측위 기법”, 한국컴퓨터종합학술대회 논문집 Vol.37, No.1, 2010.

[8] J. J. Caffery, Jr., “A New Approach to the Geometry of TOA Location”, Vehicular Technology Conference, 2000.

[9] K. W. Cheung, H. C. So, W.-K. Ma, and Y. T. Chan, “Least Squares Algorithms for Time-of-Arrival-Based Mobile Location”, IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 52, NO. 4, 2004.

저 자 소 개

장 정 환



한라대학교 산업경영공학과 공학사 취득. 현재 인하대학교 대학원 산업공학과 석사과정 중.
 관심분야 : RFID 관련 물류 관리 시스템 개발, 항공물류 RFID 시스템 개발 등

주소: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과

이 두 용



인하대학교 산업공학과 석사 취득. 현재 동 대학원 산업공학과 박사과정 중.
 관심분야 : RFID 기반 물류 관리 시스템, SCM, LBS 등

주소: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과

장 청 윤



남서울대학교 산업경영공학과 공학사 취득. 현재 인하대학교 대학원 산업공학과 석사과정 중.
 관심분야 : SCM, ERP, RFID 관련 물류관리 시스템 개발 등.

주소: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과

조 용 철



인하대학교 산업공학과 공학사, 공학석사 취득. 동 대학원에서 공학박사 취득. 현재 한국항만연수원 인천연수원 교수로 재직 중.
 관심분야 : ERP, SCM, 항만물류, RFID, EPCglobal Network

주소: 인천광역시 중구 항동 7가 1-31 한국항만연수원 인천연수원

이 창 호



인하대학교 산업공학과 학사 취득. 한국과학기술원 산업공학과 석사, 경영과학과 공학박사 취득. 현재 인하대학교 교수로 재직 중.
 관심분야 : 물류, RFID, SCM 등

주소: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과