

UWB를 이용한 실내측위의 베이스 스테이션 최적 배치

Optimization of base stations' configuration in UWB-based indoor localization

장효욱¹⁾ · 차맹규²⁾ · 김용일³⁾ · 유기윤⁴⁾

Chang, Ho Wook · Cha, Maeng Q · Kim, Yong Il · Yu, Ki Yun

¹⁾ 서울대학교 대학원 지구환경시스템공학부 석사과정(seeu942@snu.ac.kr)

²⁾ 서울대학교 대학원 지구환경시스템공학부 석사과정(cha0418@snu.ac.kr)

³⁾ 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수(yik@snu.ac.kr)

⁴⁾ 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수(kiyun@snu.ac.kr)

Abstract

Indoor localization is getting more and more importance with the increasing demand for location based service. Location based service necessarily requires the information about customers' locations to provide them the right service according to their changing locations. To satisfy that requirement, GPS is used to achieve outdoor localization. However, there is no leading technology to achieve indoor localization. Indoor localization through UWB wave and TDOA algorithm is considered as the most accurate method until now. In implementing that method, configuration of base stations that serve as control points affects the localization accuracy. Thus, this paper discusses about optimal configuration of base stations. The variation in localization accuracy according to spatial relationship between an object and base stations is mentioned through SEP also.

keyword: configuration of base station, localization accuracy, SEP(spherical error probable)

1. 서 론

위치 기반 서비스를 제공하기 위해서는 사물 또는 고객의 위치를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 대상물이 실외에 존재할 경우 핸드폰이나 GPS를 통해 대상물의 위치를 비교적 쉽게 얻을 수 있다. 하지만 대상물이 실내에 존재할 경우 그 대상물의 위치를 측정하는 기술은 아직 상용화되어 있지 않다. 그런데 미래에는 대형 지하 공간 또는 대형 빌딩 내에서의 활동이 더욱 큰 비중을 차지할 것으로 예상되기 때문에 실내 위치 측정 기술 없이는 위치 기반 서비스를 제대로 제공하는 것이 어려울 것이다. 따라서 실내에서도 정확하게 위치를 파악할 수 있는 기술을 개발하는 것이 필수적이다. 현재까지는 Ultra Wide Band(이하 WUB) 전파를 이용한 실내 위치 측정이 비교적 정확하다고 알려져 있다. 이 기술을 실제로 적용하는데 있어서 기지점(Reference Points) 역할을 하는 베이스 스테이션의 배치는 위치 측정 정확도에 영향을 미친다. 따라서 최소한의 베이스 스테이션을 최적으로 배치하여 최상의 실내 위치 측정 정확도를 얻어내는 것이 필요하다.

2. UWB를 이용한 실내 측위 개요

UWB를 이용한 실내 측위의 원리는 GPS의 그것과 유사하나 차이점을 가지고 있다. 기본적으로 UWB전파의 이동시간을 거리로 환산하고 이렇게 측정된 거리를 바탕으로 대상물의 위치를 결정하는 것은 GPS와 비슷하다. L1 또는 L2 밴드 대신 UWB가 쓰이며, 위치를 결정하는데 쓰이는 알고리즘이

GPS와는 약간 다르다. 또한 GPS에서는 위성의 위치를 마음대로 바꿀 수 없는데 반해, 실내 측위에서는 베이스 스테이션의 위치를 비교적 자유롭게 조정할 수 있다. 실내 측위를 위해 UWB가 쓰이는 데에는 몇 가지 이유가 있지만 가장 중요한 이유로는 UWB의 높은 해상력을 들 수 있다. UWB는 높은 해상력을 가지고 있기 때문에 멀티 패스와 다이렉트 패스를 잘 구분해 낼 수 있다.

3. 실험의 설계

3.1 실험 I

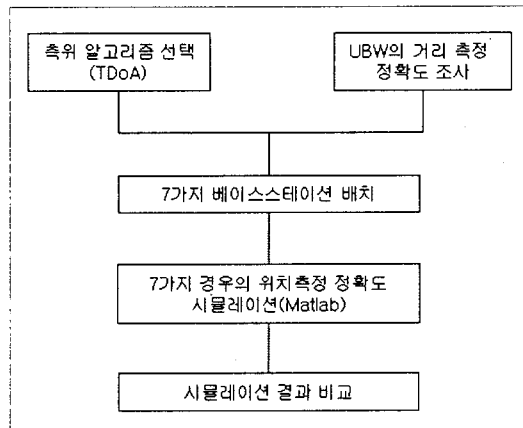


그림 1. 실험 I 설계

실험의 설계는 위의 그림 1과 같다. 측위 알고리즘으로 TDOA(Time Difference of Arrivals)를 사용하였고, 이를 풀기 위해 Taylor 시리즈에 의한 방법을 이용하였다. 또한 UWB의 거리 측정 정확도는 Time domain Inc.사의 제품 pulsOn200의 경우 3cm 이다.

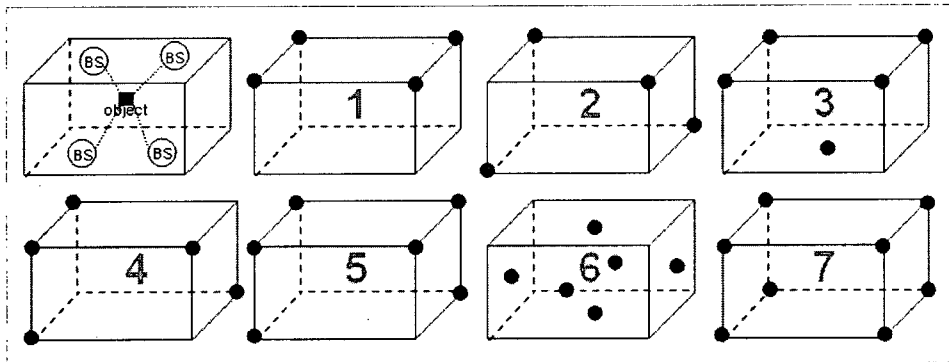


그림 2. 시뮬레이션 조건 및 베이스 스테이션 배치

7가지 베이스 스테이션 배치를 시뮬레이션 하기 위해 우선 가로, 세로, 높이 각각 80m의 실내 공간을 가정하였다. 그리고 이 공간상에서 베이스 스테이션의 배치를 그림 2와 같이 바꾸어 가면서 실내 측위의 정확도가 어떻게 변하는지 살펴보았다. 위의 그림에서 각각의 배치를 차례대로 ①번, ②번, ③번, ④번, ⑤번, ⑥번, ⑦번이라고 한다.

3.1.1 TDOA와 위치측정 정확도 시뮬레이션

3차원 공간상에서 TDOA 시뮬레이션을 하기 이전에 2차원 공간상에서 TDOA를 이용한 위치측정을 수식으로 적용하였다[1]. UWB 트랜스미터가 (x_0, y_0) 라는 이차원상의 지점에 존재하고 있다고 가정하자.

다음으로 기지점의 역할을 하는 M+1개의 UWB 리시버가 각각 $\{(0,0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_M, y_M)\}$ 라는 정확히 알려진 위치에 있다고 하자. 이 때 (x_0, y_0) 에 위치한 트랜스미터로부터 출발한 전파가 (x_0, y_0) 에 위치한 리시버에 도달하는 데 걸리는 시간과 나머지 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_M, y_M)$ 에 위치한 리시버들에 도달하는 데 걸리는 시간 사이에는 차이가 존재할 것이다. 이 차이를 각각 측정된 결과가 $\{d_1, d_2, \dots, d_M\}$ 이라고 하자. 전파의 속도는 빛의 속도 c와 같으므로 다음과 같은 행렬식이 성립된다.

$$G_0 U_0 = h_0 \quad (1)$$

여기서,

$$U_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ r_0 \end{bmatrix}, r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}, G_0 = -2 \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & cd_1 \\ x_2 & y_2 & cd_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_M & y_M & cd_M \end{bmatrix}, h_0 = \begin{bmatrix} c^2 d_1^2 - x_1^2 - y_1^2 \\ c^2 d_2^2 - x_2^2 - y_2^2 \\ \vdots \\ c^2 d_M^2 - x_M^2 - y_M^2 \end{bmatrix}$$

그런데 전파의 도달 시간차를 측정하는데 있어서 오차가 존재한다면 식(1) 대신 다음과 같은 식을 써야 한다.

$$G_1 U_0 = h_1 - (\Delta h_1 - \Delta G_1 U_0) \quad (2)$$

여기서,

$$G_1 = G_0 + \Delta G_1, h_1 = h_0 + \Delta h_1, \Delta G_1 = -2 \begin{bmatrix} 0 & 0 & c\delta_1 \\ 0 & 0 & c\delta_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & c\delta_M \end{bmatrix}, \Delta h_1 = \begin{bmatrix} c^2 \delta_1^2 + 2c^2 d_1 \delta_1 \\ c^2 \delta_2^2 + 2c^2 d_2 \delta_2 \\ \vdots \\ c^2 \delta_M^2 + 2c^2 d_M \delta_M \end{bmatrix}$$

$\delta_1, \dots, \delta_M$ 은 시간차를 측정하는데 있어서 발생하는 오차를 나타내는데, 평균은 0이고 가우시안 분포를 따른다고 가정한다.

3.1.2 Base station의 배치

기지점으로 이용되는 베이스 스테이션, 즉 UWB 리시버는 4개, 5개, 6개, 8개가 사용될 경우를 각각 가정하였다. 그리고 같은 개수의 베이스 스테이션을 이용할 때에도 약간씩 베이스 스테이션의 배치를 달리 하면서 위치 측정의 정확도를 측정해 보았다.

3.2 실험 II

실험 II에서는 베이스 스테이션의 위치를 고정시키고 측정하려는 점, 즉 UWB 트랜스미터의 위치를 약간씩 옮겨가면서 위치 측정 정확도가 어떻게 바뀌는지 살펴보았다. 일단 베이스 스테이션의 배치는 ⑤번으로 고정시킨 다음 UWB 트랜스미터의 위치는 각각 (40, 40, 40)과 (60, 60, 0)에 두었다. 여기서 (40, 40, 40)은 베이스 스테이션이 둘러싸고 있는 부분 안쪽의 점이고 (60, 60, 0)은 베이스 스테이션이 둘러싸고 있지 않은 부분에 존재하는 점이다. 이 두 점에 대한 100번의 위치 측정 결과를 SEP(spherical error probable)를 통해 비교해 보았다.

4. 실험 결과

4.1 실험 I

가로, 세로, 높이 각각 80m의 공간에서 500개의 점을 무작위로 추출한 다음 TDOA 알고리즘을 사용하여 ①번, ②번, ③번, ④번, ⑤번, ⑥번, ⑦번의 베이스 스테이션 배치를 이용해 무작위로 추출된 점들의 위치를 측정해 보았다. 각각의 위치 측정 RMSE는 다음 그래프와 같다.

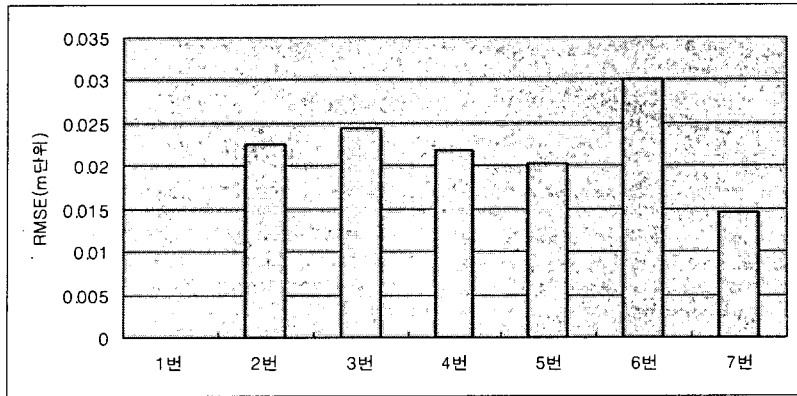


그림 3. 베이스 스테이션 배치에 따른 RMSE

①번의 배치를 취할 경우 위치 해를 전혀 찾을 수 없는 것으로 나타났다. 즉 ①번의 배치는 가장 좋지 않다. 일반적으로 베이스 스테이션의 숫자가 늘어날수록 위치 측정 오차가 감소하는 경향을 나타냈으나 베이스 스테이션의 배치 또한 위치 측정 정확도에 큰 영향을 주고 있었다. ②번은 4개의 베이스 스테이션만을 이용했음에도 불구하고 좋은 배치로 인해 비교적 정확하게 위치를 측정해냈다. 하지만 ③번이나 ⑥번의 경우 베이스 스테이션의 숫자가 ②번보다 많음에도 불구하고 배치가 좋지 못하여서 ②번보다 큰 오차를 나타냈다. 또한, ⑦번처럼 정육면체 공간의 모든 꼭짓점에 베이스 스테이션을 설치할 경우 가장 뛰어난 위치 측정 오차를 나타냈다. 그런데 ①번~⑦번 모든 경우에 있어서 공통적인 문제점이 하나 있었다. 대상물이 베이스 스테이션 근처에 있을 경우 대상물의 위치를 아예 구해내지 못하거나 엄청난 양의 오차를 발생시켰다. 이는 대상물이 베이스 스테이션 근처에 있을 경우 개선된 TDOA 방법을 고안해서 사용해야 함을 암시한다.

또한 위치 측정 오차는 베이스 스테이션이 둘러싸고 있는 부분의 부피와 관계가 있었다. ②번, ③번의 경우 $1/3 \times 80 \times 80 \times 80$ 의 부피를 가지고 있고, ④번은 $1/2 \times 80 \times 80 \times 80$ 의 부피를 가지고 있다. ⑤번은 $2/3 \times 80 \times 80 \times 80$ 의 부피, ⑥번은 $6/1 \times 80 \times 80 \times 80$ 의 부피를, ⑦번은 $80 \times 80 \times 80$ 의 부피를 가지고 있다. 그런데 베이스 스테이션이 둘러싸고 있는 부피와 RMSE의 관계를 그려보면 다음과 같다.

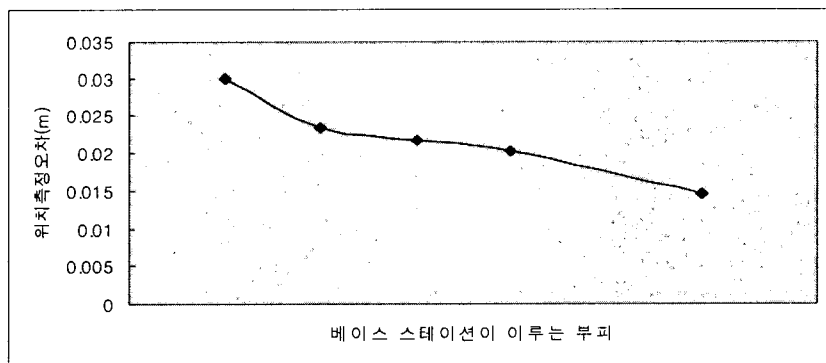


그림 4. 베이스 스테이션이 둘러싸는 부피에 따른 RMSE

4.2 실험 II

그림 4는 (40, 40, 40)에 대한 100번의 위치 측정 결과를 나타내고 그림 5는 (60, 60, 0)에 대한 100번의 위치 측정 결과를 나타낸다. 두 결과를 수치적으로 비교해 보면 왼쪽 그림의 $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z) = (0.0098, 0.0105, 0.0083)m$ 이고 오른쪽의 $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z) = (0.0124, 0.0141, 0.0134)m$ 이었다. 그래서 양쪽의 SEP를 비교해보면 SEP는 대략적으로 $0.51(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$ 이므로 [2] 왼쪽의 SEP는 1.46cm이고 오른쪽의 SEP

는 약 2.03cm가 된다. 즉, 이는 베이스 스테이션이 둘러싸고 있는 점을 측정할 경우 더욱 정확한 측정이 가능하다는 것을 나타낸다. 또한 왼쪽 그림에서는 비교적 약하게, 오른쪽 그림에서는 비교적 강하게 x, y, z 좌표값 사이에 상관관계가 존재했는데, 이러한 상관관계가 발생하는 원인을 찾아서 제거해주면 측정 오차를 좀 더 줄일 수 있을 것이다.

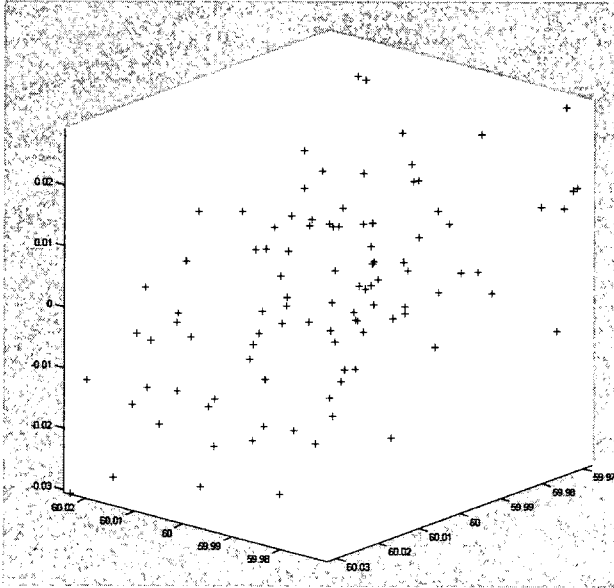


그림 5. 베이스 스테이션이 둘러싸고 있지 않은 점에 대한 위치 측정 결과

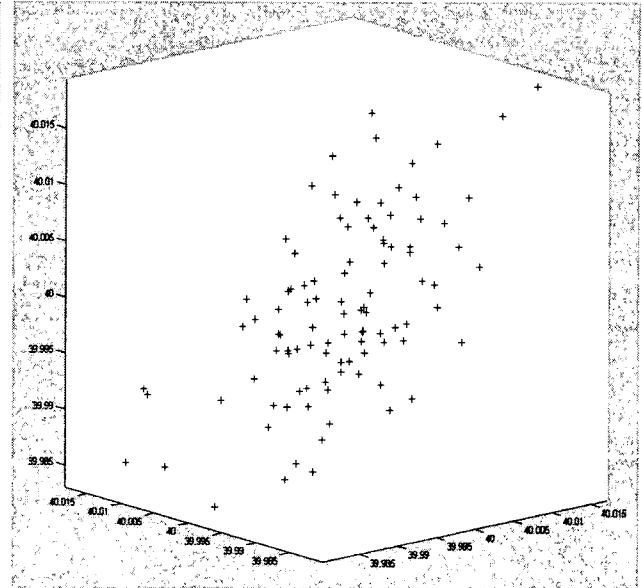


그림 6. 베이스 스테이션이 둘러싸고 있는 점에 대한 위치 측정결과

5. 결 론

먼저, UWB와 TDOA 알고리즘의 선형화를 이용하면 3cm 이내의 거리 측정 오차를 가지는 UWB 트랜스미터와 리시버를 이용해서 8개의 리시버를 베이스 스테이션으로 배치할 경우 약 1.5cm 이내의 위치 측정 오차를 얻을 수 있었다. 둘째로, 위치 측정 오차는 베이스 스테이션의 개수뿐만 아니라 배치 또는 베이스 스테이션이 둘러싸고 있는 부피에도 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 셋째로, 대상물이 베이스 스테이션에 의해 완전히 둘러싸여 있을 경우 더욱 좋은 측정결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 앞으로 더욱 논의되어야 할 문제점도 몇 가지 있었다. 우선, 대상물이 어떤 베이스 스테이션의 위치에 근접해 있을 경우 아예 위치 해를 구하지 못하거나 엄청난 측정 오차를 발생시키는 것을 알 수 있었다. 이는 대상물이 베이스 스테이션 근처에 있을 때에는 TDOA를 더욱 개선시킨 방법이 필요함을 암시한다. 또한 고정된 점에 대해 반복적으로 위치를 계산할 때, 계산된 x, y, z 좌표 간에 상관관계가 존재함을 알 수 있었다. 따라서 x, y, z사이의 상관관계 줄일 수 있는 방안을 찾아볼 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Jianjun Ni and Richard Barton (2005), Design and performing Analysis of a UWB tracking system for space application, National Research Council Research Associateship Award, NASA Johnson Space Center
- [2] B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger, and J.Collins (2000), GPS theory and practice, Springer Wien, New york, pp278