

Zigbee와 초음파 센서를 이용한 실내항법

박천수*, 박희성*, 김정원**, 황동환*

*충남대학교 전기정보통신공학부

**충남대학교 전자공학과

Indoor Navigation using Zigbee and Ultrasonic Sensor

Chun Soo Park*, Heui Sung Park*, Jeong Won Kim** and Dong-Hwan Hwang*

*School of Electrical and Computer Engineering, Chungnam National University

**Department of Electronics Engineering, Chungnam National University

Abstract - 본 논문에서는 Zigbee와 초음파 센서를 이용한 실내 항법 시스템을 제안한 시스템 Zigbee라는 단거리 무선 통신 망을 이용하여 수집한 후 이동체의 위치를 추정한다. 제안한 시스템에서는 여러 곳에 초음파 센서를 설치하고 이동체까지 측정된 거리는 실내 항법에 적합한 위치 추정 기법을 결정하기 위하여 최소자승법과 직접풀이법의 성능을 모의실험을 통하여 비교하였고, 두 기법 모두 충분히 작은 오차를 가지는 것을 확인하였는데 최소자승법은 선형화 기준점 설정에 따라 발산하는 경우가 나타나는 것을 볼 수 있었다.

GUI(Graphic User Interface)를 통해 사용자에게 표시된다. 측정된 거리를 전송하기 위하여 사용하는 Zigbee는 저속, 저가, 저 전력을 목적으로 하는 근거리 무선통신 기술로 868MHz, 915MHz 와 2.4GHz의 세 가지 주파수를 선택하여 사용할 수 있다[3][4]. Zigbee는 기준 단말기와 직접 데이터 송수신이 불가능한 경우에는 다른 노드를 통하여 송수신 하고 저전력으로 구동되는 장점이 있다. 이로 인해 여러 개의 노드가 장시간 동안 동작하여야 하는 실내 항법용 센서 노드로 적합하다.

1. 서 론

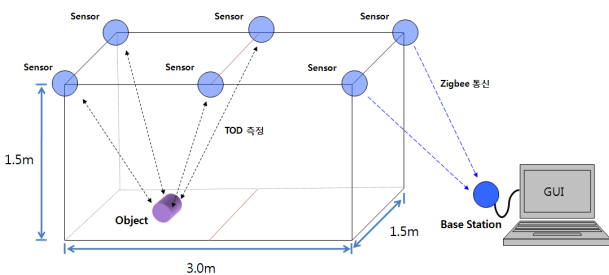
최근에 텔레매틱스(Telematics), LBS(Location Based Services) 및 유비쿼터스(Ubiquitous)와 같은 위치 기반 서비스 관련 시장이 확대됨에 따라 여러 가지 측위 기술이 연구되고 있다. GPS(Global Positioning System)로 대표되는 위성 항법 시스템이 널리 사용되고 있지만 약한 신호로 인하여 실내와 같은 전파음영지역은 항법 결과를 제공하지 못하는 문제를 가지고 있다. 실내 항법을 위하여 무선랜(Wireless LAN)이나 UWB (Ultra-Wideband Broadcasting)의 AP (Access Point)를 활용하는 기법들이 제안되고 있으나 큰 거리 측정 오차를 가지는 문제가 있고, 초음파 센서는 실내에서 다른 센서에 비하여 정확하게 거리를 측정할 수 있어 실내 항법에 적합한 것으로 알려져 있다[1][2].

본 논문에서는 Zigbee와 초음파 센서를 이용한 실내 항법 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 시스템에서는 여러 곳에 초음파 센서를 설치하고 이동체까지 측정된 거리는 위치를 추정하기 위하여 최소자승법과 직접풀이법을 사용하였으며 두 기법의 성능을 모의실험을 통하여 비교하였다.

2절에서는 Zigbee와 초음파 센서를 이용한 실내 항법 시스템 구성에 대하여 서술하며 3절에서는 위치 추정 기법인 최소 자승법과 직접풀이법에 대해서 설명한다. 두 기법에 대한 모의실험을 결과를 4절에서 보여 주고 마지막으로 결론 및 추후 연구 과제를 제시할 것이다.

2. 시스템 구성

Zigbee와 초음파 센서를 이용한 실내 항법 시스템은 그림 1과 같다.



<그림 1> 실내 항법 시스템

설치된 6개의 센서는 초음파를 이용하여 센서와 대상체간의 거리를 측정한다. 측정된 거리 값은 Zigbee 통신을 통하여 호스트 PC와 연결된 기준 단말기(Base Station)로 전송되고 호스트 PC에서는 최소자승법 또는 직접풀이법 방식을 이용하여 항체의 위치를 추정한다. 추정된 위치는

3. 위치 추정 기법

3.1 초음파 센서의 거리측정

초음파 센서는 TOA(Time of Arrival)을 사용하여 거리를 측정한다. TOA 방식은 신호원으로부터의 전파된 초음파 도달 시간을 이용하여 거리를 측정하는 방식이다. 초음파 센서 모듈에서는 RF신호와 초음파 신호를 동시에 송신하며 빠른 RF 신호가 먼저 도달하면 수신측에서는 시간을 측정하기 시작하여 초음파가 수신되면 초음파 도달 시간을 계산할 수 있다. RF 신호가 수신측까지 도달하는 시간 지연으로 인하여 오차가 발생할 수 있지만 RF신호는 빛의 속도로 전파되므로 실내와 같이 거리가 수 m이내인 환경에서 RF신호의 지연은 0으로 간주할 수 있다.

3.2 최소자승법

이론적으로, 3차원 공간 내에서 같은 평면상이 아닌 서로 다른 4개의 좌표와 거리를 통해 정확한 위치를 알 수 있다. 최소자승법을 사용하면 서로 다른 3개의 좌표와 거리를 통해 근사된 위치를 구할 수 있다. 최소자승법은 측정치를 이용하여 오차 제곱의 합이 최소가 되는 값을 얻는 방법으로 최소자승법을 이용한 위치 추정은 식 (1)~(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_u' \\ Y_u' \\ Z_u' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \end{bmatrix} + (G^T G)^{-1} G^T \cdot \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$G = \begin{bmatrix} \hat{d}_{1x} & \hat{d}_{1y} & \hat{d}_{1z} \\ \hat{d}_{2x} & \hat{d}_{2y} & \hat{d}_{2z} \\ \hat{d}_{3x} & \hat{d}_{3y} & \hat{d}_{3z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$E_1 = d_1 - \tilde{d}_1 \quad E_2 = d_2 - \tilde{d}_2 \quad E_3 = d_3 - \tilde{d}_3 \quad (3)$$

여기서 (X_u, Y_u, Z_u) 는 선형화 기준위치이고, (X_u', Y_u', Z_u') 는 추정된 위치, (E_1, E_2, E_3) 는 추정치와 측정치의 차이, d_1, d_2, d_3 는 항체와 센서간의 측정거리, $\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \tilde{d}_3$ 는 선형화 기준위치와 센서간 추정거리, G 는 항체와 센서간의 시선각 벡터 $(\hat{d}_1, \hat{d}_2, \hat{d}_3)$ 로 이루어진 기하(Geometry) 행렬이다. 최소자승법 방법을 사용하기 위해 선형화 기준점이 필요하며 임의로 지정된 선형화 기준점으로 추정된 거리는 위의 식 (3)과 같이 측정된 거리와 계산된 거리사이의 오차를 가지며 이것을 이용하여 추정치 갱신을 재귀적(recursively)으로 수행한다.

3.3 직접풀이법

같은 평면상 3개의 센서로 이론상 2개의 교차점이 발생하게 된다. 이 중 하나는 양수, 하나는 음수 값을 갖게 된다. 모든 센서가 1.5m 높이에 위치하는 본 시스템에서는 모두 동일 평면상에 있기 때문에 z값이 항상 양수 혹은 0이다. 따라서 3개의 좌표와 거리 정보만으로 항체의 위치 추적이 가능하다.

직접풀이법은 같은 평면상 3개의 센서가 존재한다는 가정 하에 이루어진다. 직접풀이법은 재귀적으로 위치를 추정하지 않고 식(4)와 같이 바로 위치를 추정할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 - \alpha_2 & \beta_1 - \beta_2 \\ \alpha_2 - \alpha_3 & \beta_2 - \beta_3 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(A-B) \\ \frac{1}{2}(B-C) \end{bmatrix} \quad (4)$$

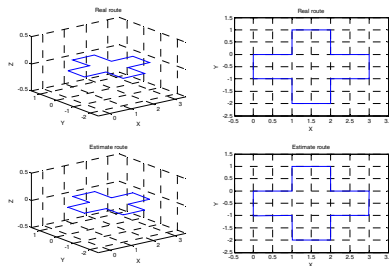
$$\begin{aligned} A &= \alpha_1^2 + \beta_1^2 + \gamma_1^2 - d_1^2 \\ B &= \alpha_2^2 + \beta_2^2 + \gamma_2^2 - d_2^2 \\ C &= \alpha_3^2 + \beta_3^2 + \gamma_3^2 - d_3^2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$z = -\gamma_1 + \sqrt{d_1^2 - (x - \alpha_1)^2 - (y - \beta_1)^2} \quad (6)$$

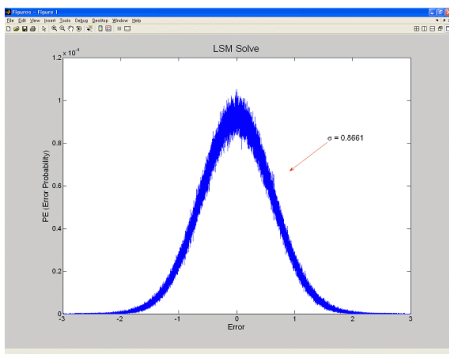
여기서 $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$, $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2)$, $(\alpha_3, \beta_3, \gamma_3)$ 은 센서의 위치이고, d_1, d_2, d_3 은 측정된 거리, (x, y, z) 는 추정된 위치이다. x, y, z 로 이루어진 연립방정식은 $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3$ 이라는 조건하에서 식 (4), (5)와 같이 x, y 만으로 이루어진 식으로 계산된다. 이렇게 구한 x, y 좌표로부터 피타고라스 정리를 이용하면 식(5)와 같이 z 좌표 값을 구할 수 있다.

4. 모의 실험

초음파센서와 Zigbee를 이용한 실내 항법에 사용하고자 하는 최소자승법과 직접풀이법 위치 추정 기법의 성능을 확인하기 위하여 모의실험을 수행하였다. 그림 2에서 보논바와 같이 십자 모형의 케적을 이동한 항체의 위치를 최소자승법과 직접풀이법을 이용하여 추정하고 오차를 비교하였다. 모의실험에서는 3개의 거리 측정치를 생성하였고 측정 오차는 5mm(1 sigma)로 하였다. 이 값은 상용 초음파 센서의 사양을 참고하여 결정된 것이다. 그림 2와 3은 각각 최소자승법을 이용하여 추정한 위치 결과와 오차 분포를 나타낸 것이고 결과에서 추정 위치 오차의 표준 편차는 약 8mm인 것을 알 수 있다.

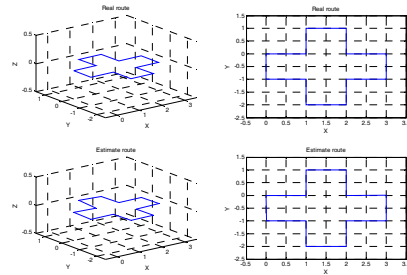


<그림 2> 최소자승법을 이용하여 구한 위치 궤적

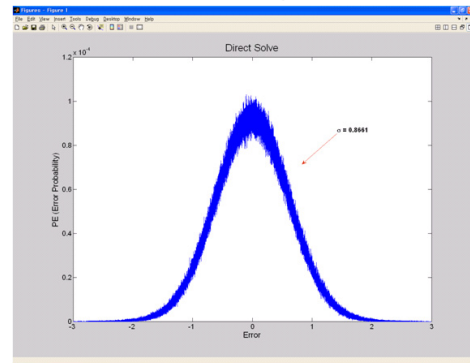


<그림 3> 최소자승법으로 구한 위치의 오차 분포

그림 4와 5는 직접풀이법을 이용하여 추정한 위치 결과와 오차 분포를 나타낸 것이고 직접풀이법을 이용한 경우 위치 오차의 표준 편차는 최소자승법과 유사한 약8.6m이다.



<그림 4> 직접풀이법을 이용하여 구한 위치 궤적



<그림 5> 직접풀이법으로 구한 위치의 오차 분포

모의실험 결과에서 두 기법 모두 비슷한 성능을 가지는 것을 알 수 있는데 최소자승법을 이용한 경우에는 초기 선형화 기준점에 발산하는 경우가 발생하였고 이로부터 실내 항법을 위해서는 직접풀이법이 적합하다는 것을 알 수 있다.

4. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 Zigbee와 초음파 센서를 이용한 실내 항법 시스템을 제안하였다. 제안한 실내 항법에 적합한 위치 추정 기법을 결정하기 위하여 최소자승법과 직접풀이법의 성능을 모의실험을 이용하여 비교하였다. 모의실험 결과, 두 기법 모두 충분히 작은 오차를 가지는 것을 확인하였는데 최소자승법은 선형화 기준점 설정에 따라 발산하는 경우가 나타나는 것을 확인하였고 이로부터 직접풀이법이 적합하다고 판단하였다.

앞으로, 측정 오차가 보다 큰 경우에 대한 모의실험 및 초음파 센서로 측정된 거리를 이용한 실험을 수행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이종식, 조영란, 김진대, "무선측위서비스 연구개발 동향," 한국통신학회 학술발표회 논문집, 제17권, 2호, pp. 1309-1312, 1998, 6.
- [2] 김도성, 정영지, "RFID를 이용한 실내 측위 시스템의 설계 및 구현," 한국정보과학회 한국컴퓨터종합학술대회 2005 논문집(A), pp.256-258, 2005. 7.
- [3] ZigBee Alliance web site, "http://www.zigbee.org"
- [4] IEEE 802.15 WPAN TG4, "http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html"
- [5] MIT Computer Science and Artificial Intelligence lab, Cricket v2 User Manual,, January 2005
- [6] Crossbow, MPR-MIB Users Manual, Revision B, June 2006
- [7] 전자정보센터, 유비쿼터스 홈을 위한 실내위치인지 시스템 개발에 관한 연구, December 2005