

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.5.85>

JIIBC 2013-5-11

신호원과의 거리 차이와 실근 선택 알고리즘을 이용한 상대위치 인식 기술 연구

A Study on the Relative Positioning Technology based on Range Difference and Root Selection

오종택

Jongtaek Oh

요 약 실내에서의 위치기반 서비스 및 상황인식 서비스를 위해서는 실내에서의 정밀한 위치인식 기술이 필수적이다. 신호원과 여러 개의 신호 수신기와의 거리 차이를 이용하여 신호원의 상대위치를 추정하는 TDOA(Time Difference of Arrival) 기술이 사용되고 있는데, 거리 차이 측정의 오차에 따른 위치 추정 오차가 발생하므로 이를 최소화하기 위한 연구가 많이 진행되어 왔다. 본 논문에서는 신호원과의 거리 차이값을 이용하여 계산된 여러 근중에서 실제의 근을 선별하고 이를 평균내어 신호원의 위치를 추정하는 알고리즘이 제안되었으며, 기존의 방법에 비해 오차가 개선되었다.

Abstract For location based service and context awareness services, accurate indoor positioning technology is essential. The TDOA method that uses the range difference between signal source and receivers for estimating the location of the signal source, has estimation error due to measurement error. In this paper, a new algorithm is proposed to select the real root among calculated roots using the range difference information, and the estimated position of the signal source shows good accuracy compared to the existing method.

Key Words : Relative Position, Range Difference, Real Root Selection, TDOA

1. 서 론

신호원의 위치를 인식하는 source localization 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다[1-8]. 초기에는 신호 수신기의 위치와 신호원에서 수신기까지의 거리 차이를 고려하여 기하학적으로 수식을 모델링 한 후, 이를 풀어 근을 구하는 방식이 제안되었다. 그러나 실제로는 잡음이나 측정 오차로 인해 거리 차이의 측정값이 정확하지 못하므로 수식으로 풀리지 않거나 정확하지 못한 경우가 발생하는 문제가 발생한다. 따라서 이런 경우에

는 정확한 신호원의 위치를 구할 수는 없지만 가장 근사한 위치 값을 구하기 위해 신호 처리 기술이 도입되었다. 이 방법은 크게 두 가지로 구분되는데 비선형 방식과 선형 근사법 방식이다. 비선형 방식에는 측정값과 계산값의 오차의 제곱을 비용 함수(cost function)로 하여 이를 Newton-Raphson 방법 등의 최적화 방법으로 최소화시키는 근, 즉 신호원의 위치를 반복적으로 계산하여 구하는 최소 자승 오차법(Least Square)이 있고, 잡음이 평균값이 0이고 Gaussian 통계적 특성을 갖는 경우에 수신 신호의 covariance 행렬이 반영된 Maximum Likelihood

*정회원, 한성대학교 정보통신공학과
접수일자 2013년 7월 30일, 수정완료 2013년 9월 20일
게재확정일자 2013년 10월 11일

Received: 30 July, 2013 / Revised: 20 September, 2013 /

Accepted: 11 October, 2013

*Corresponding Author: jtoh@hansung.ac.kr

Dept. of ICs Engineering, Hansung University, Korea

방법이 있다. 비용 함수가 비선형 함수이므로 global minimum이 보장되지 않는 단점이 있어, 이를 해결하기 위해 거리 차이 함수를 선형 함수로 변형하여 계산하는 방법이 있으나 역행렬이 구해지지 않는 경우가 있다. 또는 거리 차이 함수를 Taylor 급수를 사용하여 간략화한 뒤에 이를 최적화하는 방법도 제안되었다.

이상에서 설명된 신호 처리 기술은 계산량이 방대하여 실시간 위치 측정 시스템에 적용하는 것이 어려운 문제가 있다. 이 문제는 신호 수신기의 숫자가 늘어남에 따라 기하급수적으로 계산량이 증가된다. 한 편, 2 차원 위치 인식의 경우에 TDOA 방식을 사용하려면 그림 1과 같이 최소한 3개의 신호 수신기가 필요하다^[9]. 그러나 이 경우에 최소로 필요한 쌍곡선 수식이 2개인데, 추가적으로 한 개를 더 얻을 수 있다. 일반적으로 L개의 신호 수신기가 있는 경우에는 $L(L-1)/2$ 개의 수식을 얻을 수 있다. 따라서 TDOA 방식의 위치 인식 시스템은 구하려는 근의 개수보다 더 많은 수식을 확보한 전형적인 over-determined system이다. 동일한 신호원의 위치에 대해 여러 개의 위치 계산값을 구할 수 있으므로 복잡한 신호 처리를 거치지 않고 비교적 간단하게 신호원의 위치를 추정하는 방법이 가능하다. 계산된 여러 개의 위치 값들 중에서 일정 오차 범위 안에 있는 값들만을 선별하여 이들의 평균으로 위치를 추정하는 방법도 사용되고 있다. 그러나 이 경우에는 실제 위치값과 잘못된 위치값을 구분하지 않으므로 불가피하게 오차가 발생한다. 본 논문에서는 각 신호 수신기들에서의 거리 차이를 고려하여 계산된 신호원의 위치값들 중에서 적절한 근을 선별하는 알고리즘이 제안되었으며, 선별된 실제 위치값들만을 평균내어 신호원의 위치를 추정하므로 기존의 방식보다 오차가 줄어드는 장점이 있다.

II. TDOA 방식에서의 위치 계산식

마이크 사이의 간격이 L 이라고 했을 때, 각각의 마이크에 수신된 신호의 시간 차이로 스마트폰의 좌표를 계산하기 위한 쌍곡선 모델은 그림 1과 같다. 우선 다음 수식 (1)은 스마트폰의 스피커가 S의 위치에 있을 때에, 마이크 M1과 M3에서의 거리 차이를 쌍곡선 수식으로 표시한 것이다^[9].

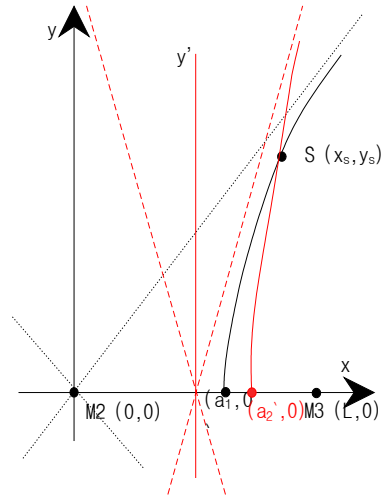


그림 1. TDOA 방식에 의한 위치 좌표 계산을 위한 쌍곡선 모델 (우측 2개의 마이크2와 마이크3만 표시됨)[9]
 Fig. 1. Hyperbola model to calculate the position for the TDOA(Only the right two microphones are displayed.)[9]

$$\frac{x^2}{a_1^2} - \frac{y^2}{b_1^2} = 1 \quad (1)$$

여기서 D_{13} 가 점 S에 대한 M1과 M3에서의 거리 차이 라고 할 때, $a_1 = \frac{D_{13}}{2}$ 이고, $b_1^2 = L^2 - a_1^2$ 이다. 따라서 식 (1)을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{4x^2}{\Delta D_{13}^2} - \frac{y^2}{L^2 - \left(\frac{\Delta D_{13}}{2}\right)^2} = 1 \quad (2)$$

한 편, M2와 M3로 수신한 신호의 거리차이에 대해서 수식적으로 모델링하면, M2와 M3의 위치에 따른 쌍곡선의 수식은 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{4\left(x - \frac{L}{2}\right)^2}{\Delta D_{23}^2} - \frac{y^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2 - \left(\frac{\Delta D_{23}}{2}\right)^2} = 1 \quad (3)$$

여기서 D_{23} 는 점 S에 대한 M2와 M3에서의 거리 차이 이다.

또한, M1과 M2로 수신한 신호의 거리차이에 대해 수식적으로 모델링하면, 쌍곡선의 수식은 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{4\left(x + \frac{L}{2}\right)^2}{\Delta D_{12}^2} - \frac{y^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2 - \left(\frac{\Delta D_{12}}{2}\right)^2} = 1 \quad (4)$$

여기서 D_{12} 는 점 S에 대한 M1과 M2에서의 거리 차이이다.

다음으로, 세 개의 마이크로 측정된 거리차 D_{13} 와 D_{23} , D_{12} 를 이용하여 스피커 S의 좌표를 계산하는 수식을 유도한다. 우선 D_{13} 와 D_{23} 에 대한 제곱 수식 (2)와 (3)을 연립하여 다음 식과 같이 신호원의 위치 좌표 계산값 x_1 과 x_2 를 구하고, 식 (1)을 이용하여 y_1 과 y_2 를 구한다.

$$x_{1,2} = \frac{-La_1^2b_2^2 \pm \sqrt{L^2a_1^4b_2^4 - A}}{2(a_2^2b_1^2 - a_1^2b_2^2)} \quad (5)$$

여기서 $A = 4(a_2^2b_1^2 - a_1^2b_2^2)a_1^2(a_2^2b_2^2 - \frac{L^2}{4}b_2^2 - a_2^2b_1^2)$,

$$y_{1,2} = b_1 \sqrt{\frac{x_{1,2}^2}{a_1^2} - 1}$$

여기서 $a_2 = \frac{D_{23}}{2}$ 이고, $b_2^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 - a_2^2$ 이다.

또한 우선 D_{13} 와 D_{12} 에 대한 제곱 수식 (2)와 (4)를 연립하여 다음 식과 같이 또 다른 신호원의 위치 좌표 계산값 $x_{3,4}$ 를 구하고, 식 (1)을 이용하여 $y_{3,4}$ 를 구한다.

$$x_{3,4} = \frac{-La_1^2b_3^2 \pm \sqrt{L^2a_1^4b_3^4 - B}}{2(a_1^2b_3^2 - a_3^2b_1^2)} \quad (6)$$

여기서 $B = 4(a_1^2b_3^2 - a_3^2b_1^2)a_1^2(a_3^2b_1^2 + \frac{L^2}{4}b_3^2 - a_3^2b_3^2)$,

$$y_{3,4} = b_1 \sqrt{\frac{x_{3,4}^2}{a_1^2} - 1}$$

여기서 $a_3 = \frac{D_{12}}{2}$ 이고, $b_3^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 - a_3^2$ 이다.

끝으로, D_{12} 와 D_{23} 에 대한 제곱 수식 (3)과 (4)를 연립하여 $x_{5,6}$ 와 $y_{5,6}$ 을 구한다.

$$x_{5,6} = \frac{La_3^2b_2^2 + La_2^2b_3^2 \pm \sqrt{(La_3^2b_2^2 + La_2^2b_3^2)^2 - C}}{2(a_3^2b_2^2 - a_2^2b_3^2)} \quad (7)$$

$$C = 4(a_3^2b_2^2 - a_2^2b_3^2)\left(\frac{L^2}{4}a_3^2b_2^2 - \frac{L^2}{4}a_2^2b_3^2 - a_2^2a_3^2(b_2^2 - b_3^2)\right),$$

$$y_{5,6} = b_3 \sqrt{\frac{(x_{5,6} + \frac{L}{2})^2}{a_3^2} - 1}$$

이와 같이 세 개의 신호 수신기 마이크로가 직선으로 배열되어 있을 때에, 각각 두 개씩의 마이크 쌍 3개에 의해 신호원의 좌표값이 총 6개 계산으로 구해진다. 본 논문에서는 6개의 계산값에 대해 선별하는 알고리즘이 제안되

었으며, 선별된 계산값들의 평균을 구하여 신호원 위치 추정값의 오차를 줄일 수 있다.

두 개의 신호 수신기와 신호원사이의 거리차 $D_{ij}(i \neq j)$ 가 오차 없이 정확히 측정된다면 앞 장에서 유도된 수식을 이용하여 정확한 신호원의 위치 좌표를 계산할 수 있다. 그러나 잡음이 없는 환경에서도 디지털 시스템으로 처리하기 위해 수신 신호를 샘플링하여 처리한다면 그로 인한 샘플링 오차가 발생하게 된다. 이론적으로는 $D_{ij} = D_{ik} - D_{kj}$ 의 관계가 있으므로, $D_{13} = D_{12} - D_{23}$ 로써 D_{12} 와 D_{23} 로 D_{13} 를 계산할 수 있고 따라서 별도의 정보가 없으나, 실제로는 샘플링 오차와 잡음 때문에 D_{ij} 측정값들에 오차가 포함되어 있으므로 세 개의 측정값들이 모두 정보를 포함하고 있다. 그림 2는 신호원의 위치 좌표가 (15, 40) 일 때 거리차 D_{ij} 에 오차값으로 0.17 cm를 일괄적으로 더한 경우의 쌍곡선의 궤적이다. 100 kHz로 수신된 음향신호를 샘플링하는 경우 샘플링에 의한 거리 차이 측정 오차가 최대 ± 0.17 cm이다. 측정 오차로 인해 세 개의 쌍곡선이 정확하게 한 점에서 일치되지 못하고 있다. 따라서, 여러 개의 신호 수신기 마이크를 사용하여 거리차 D_{ij} 를 측정하고 여러 개의 신호원의 위치 계산값 중에서 선별하여 평균을 취하는 방법이 신호원 위치 추정값의 오차를 줄이는데 유리하다.

III. TDOA 방식에서의 위치 계산값 선별 알고리즘

세 개의 신호 수신기 마이크 M1, M2 및 M3를 사용할 때, 각각 세 가지의 거리 차이를 측정할 수 있다. 즉, D_{13} , D_{12} 및 D_{23} 이다. 각각 두 개씩의 거리 차이 쌍을 선택하여 신호원의 좌표 x 와 y 를 계산할 수 있다. 따라서 D_{13} 와 D_{23} 에 의한 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 을 계산할 수 있으며, D_{13} 와 D_{12} 에 의한 (x_3, y_3) , (x_4, y_4) 을, D_{12} 와 D_{23} 에 의한 (x_5, y_5) , (x_6, y_6) 을 계산할 수 있다.

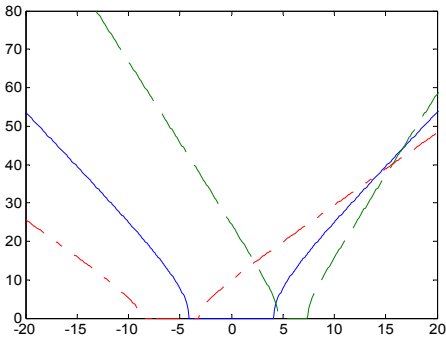


그림 2. 거리차 D_{ij} 에 측정 오차값으로 0.17 cm를 더한 경우의 궤적 (실선은 D_{13} 궤적, 점선은 D_{23} 궤적, 일점쇄선은 D_{12} 궤적)

Fig. 2. The traces for the range difference D_{ij} plus measurement error of 0.17cm (solid: D_{13} , dashed: D_{23} , dot-dashed: D_{12})

각각의 경우에서 두 개의 좌표값 중에 하나는 실제 값이지만 다른 하나는 잘못된 근이다. 따라서 계산된 좌표값 중에서 실제 값을 구분하는 알고리즘이 필요하며, 본문에서는 각 신호 수신기 사이의 거리 차이 D_{13} , D_{12} 및 D_{23} 의 부호를 이용하여 실제 값을 선택하는 방법이 제안되었다.

신호원의 위치와 각 신호 수신기 사이의 거리 차이, D_{13} , D_{12} 및 D_{23} 의 부호를 이용하면, 계산된 각각의 두 쌍의 좌표값 중에서 어느 좌표값, 즉 어느 근을 선택해야 하는지를 기하학적으로 분석하여 정할 수 있다. 그림 1에서의 L의 길이는 12cm로 가정한다. 신호 수신기 마이크 M1과 M3에 의한 신호원에서의 거리 차이 D_{13} 에 대해 쌍곡선과 x 축과의 교점 x 값은 두 개의 마이크 사이의 중간값인 0cm를 기준으로 양쪽으로 생긴다. 또한 D_{23} 와 D_{12} 에 대해서는 각각 6cm와 -6cm를 기준으로 양쪽에 생긴다. 그림 1에서 y' 축을 기준으로 양쪽의 점선은 D_{23} 에 대한 쌍곡선의 점근선이다. 따라서 임의의 좌표값의 영역을 구분할 때, 교점 x 좌표가 0cm에서 6cm까지의 1영역, 6cm 이상인 2영역, -6cm부터 0cm까지인 3영역, -6cm 이하인 4영역으로 구분하여 분석한다.

다음은 각 영역에 대한 거리 차이, D_{ij} 의 조건이다.

- 1 영역: $D_{13} \geq 0, D_{23} < 0, D_{12} > 0$
- 2 영역: $D_{13} > 0, D_{23} > 0, D_{12} > 0$
- 3 영역: $D_{13} \leq 0, D_{23} < 0, D_{12} > 0$
- 4 영역: $D_{13} < 0, D_{23} < 0, D_{12} < 0$

1 영역에서의 임의의 x 좌표값에 대한 거리 차이 D_{13} , D_{12} 및 D_{23} 를 이용하여, 각각의 거리 차이에 대한 쌍곡선을 그리면 그림 3과 같다. 신호원의 좌표값 $(x, y) = (4, 20)$ 를 예로 들었다. 이 때 계산된 한 쌍의 거리 차이로 생성된 두 개의 쌍곡선에 의한 교점 좌표는 다음과 같이 계산된다. x 값을 구하는 수식에서 작은 값이 x_i , 큰 값이 x_{i+1} 이 되도록 기술하였다.

$$D_{13} \ \& \ D_{23}: (x_1, y_1) = (4, 20), (x_2, y_2) = (13.3, 76.8)$$

$$D_{13} \ \& \ D_{12}: (x_3, y_3) = (-2.3, 5.6), (x_4, y_4) = (4, 20)$$

$$D_{12} \ \& \ D_{23}: (x_5, y_5) = (4, 20), (x_6, y_6) = (9.0, 30.6)$$

이때, D_{13} & D_{23} 에 대해서는 1 영역이므로 실제 신호원의 x 좌표는 0 cm와 $L/2=6$ cm 사이에 있어야 하고 x 값은 작은 값, 즉 x_1 을 선택한다. 이 값은 (4, 20)으로 실제의 신호원의 위치에 해당된다. 동일한 방법으로 D_{13} & D_{12} 의 경우에는, 큰 x 값, 즉 x_4 를 선택한다. D_{12} & D_{23} 의 경우에는, 작은 x 값, 즉 x_5 를 선택한다. 즉, 각각 두 개의 신호 수신기 마이크에서 측정된 수신 신호의 거리 차이 D_{13} , D_{23} , D_{12} 의 부호에 따라 해당 영역을 구분하고, 각 영역에서 계산된 총 6개의 x 좌표값에 대해서 정해진 규칙에 따라 추정값을 선택하게 된다. 결과적으로 1 영역에서 각 쌍의 거리 차이에 대해 선택하는 x 값은 다음과 같다.

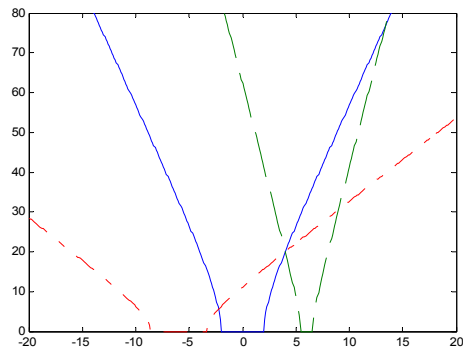


그림 3. 1 영역에서 3쌍의 쌍곡선들: 신호원 좌표 $(x, y) = (4, 20)$ (실선은 D_{13} 궤적, 점선은 D_{23} 궤적, 일점쇄선은 D_{12} 궤적)

Fig. 3. Three hyperbolic traces for the source position $(x, y) = (4, 20)$ in region 1 (solid: D_{13} , dashed: D_{23} , dot-dashed: D_{12})

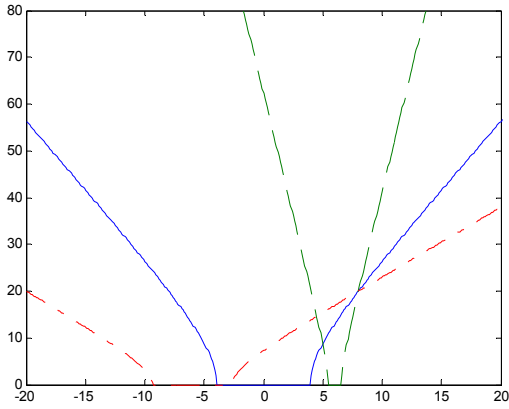


그림 4. 2 영역에서 3쌍의 쌍곡선들: 신호원 좌표 $(x, y) = (8, 20)$ (실선은 D_{13} 궤적, 점선은 D_{23} 궤적, 일점쇄선은 D_{12} 궤적)

Fig. 4. Three hyperbolic traces for the source position $(x, y) = (8, 20)$ in region 2 (solid: D_{13} , dashed: D_{23} , dot-dashed: D_{12})

- D_{13} & D_{23} : (x_1, y_1) (작은값 선택)
- D_{13} & D_{12} : (x_4, y_4) (큰값 선택)
- D_{12} & D_{23} : (x_5, y_5) (작은값 선택)

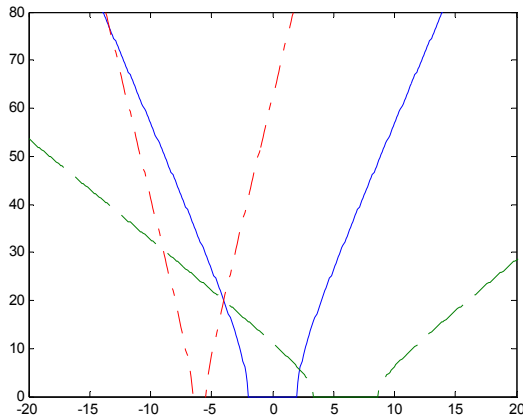


그림 5. 3 영역에서 3쌍의 쌍곡선들: 신호원 좌표 $(x, y) = (-4, 20)$ (실선은 D_{13} 궤적, 점선은 D_{23} 궤적, 일점쇄선은 D_{12} 궤적)

Fig. 5. Three hyperbolic traces for the source position $(x, y) = (-4, 20)$ in region 3 (solid: D_{13} , dashed: D_{23} , dot-dashed: D_{12})

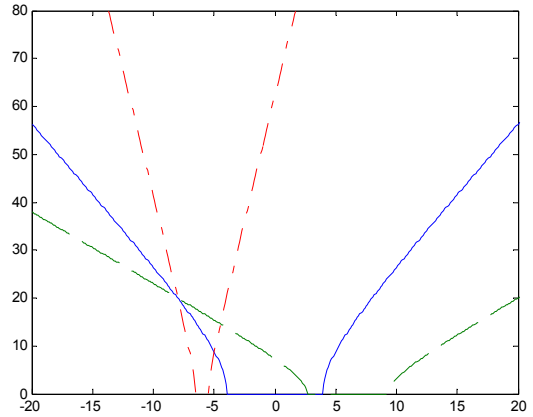


그림 6. 4 영역에서 3쌍의 쌍곡선들: 신호원 좌표 $(x, y) = (-8, 20)$ (실선은 D_{13} 궤적, 점선은 D_{23} 궤적, 일점쇄선은 D_{12} 궤적)

Fig. 6. Three hyperbolic traces for the source position $(x, y) = (-8, 20)$ in region 4 (solid: D_{13} , dashed: D_{23} , dot-dashed: D_{12})

- 2 영역에서의 신호원의 좌표 $(x, y) = (8, 20)$ 에 대해서 한 쌍의 쌍곡선에 의한 교점들은 다음과 같다.
- D_{13} & D_{23} : $(x_1, y_1) = (5.0, 8.8)$, $(x_2, y_2) = (8, 20)$
 - D_{13} & D_{12} : $(x_3, y_3) = (-3.7, 3.7)$, $(x_4, y_4) = (8, 20)$
 - D_{12} & D_{23} : $(x_5, y_5) = (4.5, 14.6)$, $(x_6, y_6) = (8, 20)$

동일한 방법으로 각각의 경우에 대해 x 좌표를 선택하면 다음과 같다.

- D_{13} & D_{23} : (x_2, y_2) (큰값 선택)
- D_{13} & D_{12} : (x_4, y_4) (큰값 선택)
- D_{12} & D_{23} : (x_6, y_6) (큰값 선택)

3 영역에서의 신호원의 좌표 $(x, y) = (-4, 20)$ 에 대해서 한 쌍의 쌍곡선에 의한 교점들은 다음과 같다.

- D_{13} & D_{23} : $(x_1, y_1) = (-4, 20)$, $(x_2, y_2) = (2.3, 5.6)$
- D_{13} & D_{12} : $(x_3, y_3) = (-13, 76.8)$, $(x_4, y_4) = (-4, 20)$
- D_{12} & D_{23} : $(x_5, y_5) = (-9.0, 30.6)$, $(x_6, y_6) = (-4, 20)$

동일한 방법으로 각각의 경우에 대해 x 좌표를 선택하면 다음과 같다.

$D_{13} \ \& \ D_{23} : (x_1, y_1)$ (작은값 선택)

$D_{13} \ \& \ D_{12} : (x_4, y_4)$ (큰값 선택)

$D_{12} \ \& \ D_{23} : (x_6, y_6)$ (큰값 선택)

4 영역에서의 신호원의 좌표 $(x, y) = (-8, 20)$ 에 대해서 한 쌍의 쌍곡선에 의한 교점들은 다음과 같다.

$D_{13} \ \& \ D_{23} : (x_1, y_1) = (-8, 20), (x_2, y_2) = (3.7, 13.7)$

$D_{13} \ \& \ D_{12} : (x_3, y_3) = (-8, 20), (x_4, y_4) = (-5.0, 8.8)$

$D_{12} \ \& \ D_{23} : (x_5, y_5) = (-8, 20), (x_6, y_6) = (-4.5, 14.6)$

동일한 방법으로 각각의 경우에 대해 x 좌표를 선택하면 다음과 같다.

$D_{13} \ \& \ D_{23} : (x_1, y_1)$ (작은값 선택)

$D_{13} \ \& \ D_{12} : (x_3, y_3)$ (작은값 선택)

$D_{12} \ \& \ D_{23} : (x_5, y_5)$ (작은값 선택)

측정된 두 개의 신호 수신기 마이크와 신호원 사이의 거리 차이값에 오차가 있을 수 있으므로, 측정된 거리 차이값을 이용하여 계산된 6개의 좌표값 중에서 제안된 알고리즘으로 세 개를 골라 평균을 취하면 측정 오차가 줄게 된다.

IV. 구현 및 측정

ATmega128 MCU를 사용하여 그림 7과 같은 측정 장치를 개발하였다. 음향 신호로는 스마트폰에서 발생하는 5msec 동안 1kHz에서 3kHz까지 주파수가 변화하는 pulsed chirp 신호를 사용하였다. 표 1에는 구현된 측정 장치를 통해 측정된 거리 차이와 이를 이용하여 계산된 신호원의 좌표값이 표시되어 있다.

위의 계산된 신호원의 좌표값 중에서 본 논문에서 제안된 알고리즘에 의해 선택된 좌표값들을 평균낸 값들은 다음 표 2와 같다.

표 2에서 추정 위치(1)은 본 논문에서 제안된 알고리즘에 따라 선택된 3개의 좌표값을 평균하여 구한 추정된 신호원의 위치 좌표이다. 전반적으로 실제 신호원의 좌표와 일치하고 있으나, 신호원의 좌표가 (16, 30)인 경우에는 거리 차이값의 측정 오차가 큰 것이 있어 위치 추정 오차가 커진 것을 알 수 있다.

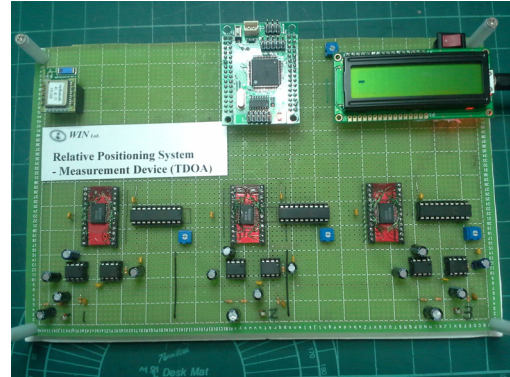


그림 7. 구현된 음향신호를 이용한 TDOA 방식의 상대위치 인식 시스템

Fig. 7. Implemented TDOA positioning system using sound signal

그래서 선택된 3개의 좌표값을 무조건 평균내지 않고 좌표값의 차이가 크지 않은 좌표값들만을 이용해서 평균값을 구한 것이 추정 위치(2)이다. 이 방법을 사용하면 측정 오차가 큰 값을 제거하는 효과가 있다. 이에 비해서 본 논문에서 제안된 알고리즘을 사용하지 않고 계산된 6개의 좌표값 중에 차이가 크지 않은 좌표값들을 평균낸 결과는 추정 위치(3)로 전반적으로 추정 위치(2)보다 추정 오차가 커지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 실제근이 아닌 근도 평균값에 포함시키기 때문에 오차가 커진 것이다.

표 1. 실제 신호원의 좌표와 측정값에 의해 계산된 산출된 좌표
Table 1. Real position of sound source and calculated position using measured range differences

실제 위치		D13 & D23		D13 & D12				D12 & D23					
		x1	y1	x2	y2	x3	y3	x4	y4	x5	y5	x6	y6
1 영역	(4,10)	4	10	32	129	-3	N	4	11	4	10	10	18
	(4,20)	4	21	12	67	-2	6	4	21	4	21	9	31
2 영역	(8,30)	5	18	8	32	-3	5	8	32	5	24	8	32
	(8,40)	5	26	7	36	-3	8	9	44	5	33	7	40
	(16,30)	5	N	15	30	-5	N	5	30	2	11	15	30
	(16,40)	4	4	16	43	-4	N	16	43	2	15	16	43
3 영역	(-4,10)	-4	11	3	N	-19	77	-4	11	-9	17	-4	11
	(-4,20)	-4	20	2	5	-11	57	-4	20	-8	28	-4	20
4 영역	(-8,30)	-8	29	3	3	-8	29	-5	17	-8	29	-5	22
	(-8,40)	-8	39	3	7	-8	39	-5	21	-8	39	-4	28
	(-16,30)	-17	33	5	N	-14	27	-5	N	-15	30	-2	11
	(-16,40)	-15	38	4	N	-15	38	-4	3	-15	38	-2	14

표 2. 실제 신호원의 좌표와 여러 가지 알고리즘으로 선택된 계산값들의 평균으로 추정된 좌표값

Table 2. Real position of sound source and the estimated mean value of the calculated positions for several algorithms

실제 위치	추정 위치(1)	추정 위치 (2)	추정 위치 (3)
1 영역	(4,10)	(3.9, 10.3)	(4, 10.3)
	(4,20)	(4.0, 21)	(4.0, 21)
2 영역	(8,30)	(8, 32)	(6.8, 27.6)
	(8,40)	(7.7, 40)	(6.6, 35.8)
	(16,30)	(11.7, 30)	(11.7, 30)
	(16,40)	(15.7, 43)	(15.7, 43)
3 영역	(-4,10)	(-4, 11)	(-5.25, 12.5)
	(-4,20)	(-4, 20)	(-5, 22)
4 영역	(-8,30)	(-8, 29)	(-6.8, 25.2)
	(-8,40)	(-8, 39)	(-6.6, 33.2)
	(-16,30)	(-15.3, 30)	(-15.3, 30)
	(-16,40)	(-15.38)	(-15.38)

V. 결론

본 논문에서는 신호원과 복수개의 신호 수신기 마이크들 사이의 거리 차이의 부호를 이용하여 측정 영역을 4가지로 구분하고, 실제 측정된 거리 차이값에 대해 계산식을 통해 산출된 2개의 근중에 실제의 근을 선택하는 알고리즘이 제안되었고, 실험적으로 RMS 측정 거리 오차가 기존 방식의 3.49에 비해 제안된 방식은 1.41로 정확도가 약 60% 증가됨을 확인하였다.

References

- [1] D.J.Torrieri, "Statistical Theory of Passive Location Systems," IEEE Tr. Aero. Elec. Syst., Vol. 20, No. 2, pp.183-198, March 1984.
- [2] B.T.Fang, "Simple Solutions for Hyperbolic and Related Position Fixes," IEEE Tr. Aero. Elec. Syst., Vol. 26, No. 5, pp.748-753, Sept. 1990.
- [3] Y.Huang, J.Benesty, W.Elko, and R.M.Mersereau, "Real-Time Passive Source Localization: A Practical Linear-Correction Least-Squares

Approach," IEEE Tr. Speech Audio Proc., Vol. 9, No. 8, pp.943-956, Nov. 2001.

- [4] Y.Fukuju, M.Minami, H.Morikawa, and T.Aoyama, "DOLPHIN: An Autonomous Indoor Positioning System in Ubiquitous Computing Environment," Proc. IEEE Workshop Software Tech. Future Embedded Syst. pp.53-56, 2003.
- [5] J.Schroeder, S.Galler, and K.Kyamakya, "A Low Cost Experimental Ultra-Wideband Positioning System," Proc. of Int. Conf. Ultra-Wideband, pp.632-637, Sept. 2005.
- [6] Y. Han, "Indoor location system using passive RFID," J. Korean Inst. Info. Tech., vol. 5, no.4, pp. 82-88, Dec. 2007.
- [7] G.Wang and H.Chen, "An Importance Sampling Method for TDOA-Based Source Localization," IEEE Tr. Wireless Comm., Vol. 10, No. 5, pp.1560-1568, May 2011.
- [8] H.Kim and N.Kim, "Multiple Access Control Method for Distance Measurement Using Radio and Ultrasonic Wave," J. Korean Inst. Info. Tech., Vol. 11, No. 1, pp. 1-7, Jan. 2013.
- [9] J.Oh, "A Study on Relative Positioning based on Acoustic Signal of Smart-phone," J. Inst. Internet, Broadcasting and Comm., Vol. 13, No. 1, pp.229-234, Feb. 2013.

저자 소개

오 중 택(정회원)



- 2000.3.~현재 : 한성대학교 정보통신 공학과 교수
- 1993.12.~2000.2. : 한국통신 무선통신 연구소 선임연구원
- 1989.3.~1993.2. : 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사 졸업

<주관심 분야 : 지능형 무선통신 네트워크, Personal Environment Service, Indoor Positioning System>

※ 본 연구는 한국연구재단의 연구비 지원을 받았음.