

NLOS환경에서의 최소자승법을 적용한 위치인식 보정 알고리즘

준회원 정 무 경*, 최 창 용**, 종신회원 이 동 명***

The Compensation Algorithm for Localization Using the Least-Squares Method in NLOS Environment

Moo Kyung Jung*, Chang Yong Choi** Associate Members, Dong Myung Lee*** Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 WPAN의 NLOS(Non Line of Sight)환경에서 최소자승법을 적용한 위치인식 보정 알고리즘을 제안하고, 성능을 분석하였다. 이동 중인 이동노드의 위치인식 정확도를 향상시키기 위해 먼저 일정한 속도로 이동 중인 이동노드의 거리 값들을 SDS-TWR(Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging)로 측정 한 후 이들을 사용하여 삼각 측량법(Triangulation)으로 위치를 측정하고, 그다음 최소자승법을 적용하여 위치인식 값을 보정하였다. NLOS환경에서 실험한 결과, 삼변 측량법, 칼만필터 및 최소자승법을 적용한 경우의 위치인식 평균오차는 $\pm 1m$, $\pm 0.2m$, $\pm 0.1m$ 로 측정됨을 확인하였다. 결론적으로 제안한 최소자승법을 적용한 위치인식 보정 알고리즘의 위치인식 정확도는 삼각측량법에 의한 위치인식 정확도 보다 평균 86.0%, 칼만필터에 의한 위치인식 정확도 보다 평균 16.0% 향상된 것이다.

Key Words : 최소자승법, 삼변 측량법, 칼만필터, 위치인식, SDS-TWR

ABSTRACT

The compensation algorithm for localization using the least-squares method in NLOS(Non Line of Sight) environment is suggested and the performance of the algorithm is analyzed in this paper. In order to improve the localization correction rate of the moving node, 1) the distance value of the moving node that is moving as a constant speed is measured by SDS-TWR(Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging); 2) the location of the moving node is measured using the triangulation scheme; 3) the location of the moving node measured in 2) is compensated using the least-squares method. By the experiments in NLOS environment, it is confirmed that the average localization error rates are measured to $\pm 1m$, $\pm 0.2m$ and $\pm 0.1m$ by the triangulation scheme, the Kalman filter and the least-squares method respectively. As a result, we can see that the localization error rate of the suggested algorithm is higher than that of the triangulation as average 86.0% and the Kalman filter as average 16.0% respectively.

I. 서 론

최근 고성능 초소형 디바이스 설계 기술 및 무선

※ 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연공동기술개발사업(No. 00046552)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

* 동명대학교 컴퓨터공학과 모바일기술연구실 (evangelionxg@naver.com)

** 동명대학교 컴퓨터공학과 모바일기술연구실 (bigboycg@nate.com)

*** 동명대학교 컴퓨터공학과 (dmllee@tu.ac.kr), (° : 교신처자)

논문번호 : KICS2011-10-477, 접수일자 : 2011년 10월 18일, 최종논문접수일자 : 2012년 3월 20일

이동 통신 기술의 비약적인 발전으로 언제, 어디서나 사용자가 원하는 정보 및 서비스를 제공할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)의 실현이 가능하게 되었다^[1]. 유비쿼터스 컴퓨팅을 보다 효율적으로 실생활 및 산업에 적용하기 위해서는 사람의 행동 패턴 및 주변 환경 정보를 수집할 수 있는 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Networks)의 연구가 필요하다^[2].

특히, USN을 이용한 위치인식 기술은 물류, 군사, 문화 및 관광 등 여러 분야에 적용하기 위하여 연구되어지고 있다. 2007년에 제정된 IEEE 802.15.4a 표준규격의 CSS(Chirp Spread Spectrum) 또는 IR UWB(Impulse Radio Ultra Wide Band) 기술로 인해 WPAN(Wireless Personal Area Network) 분야의 위치인식 연구가 더욱 활발하게 진행되고 있다. CSS 기술이 적용된 국외 개발 사례로는 독일의 Koethen Energie에서 개발한 CSS를 이용한 가로등 무선제어 및 계량기 자동검침 시스템과 미국의 Touchstone Labs에서 개발한 환자 및 인간 행동 모니터링 시스템이 있다. 국내 개발 사례로는 CSS Active RFID 시스템을 사용하여 하이패스 및 실시간 도로 교통정보를 제공하는 텔레매틱스 서비스가 있다^[3,4].

CSS는 TOF(Time of Flight) 방식의 TWR(Two Way Ranging)/SDS-TWR(Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging) 기술로 노드간의 거리를 구하여 단말의 위치를 계산한다. 그러나 SDS-TWR은 전파 환경이나 장애물과 같은 실험환경에 따라 레인지 오차가 매우 다양하게 발생한다. 이를 해결하기 위해서 SDS-TWR의 레인지 오차를 줄이는 보정 알고리즘이 많이 연구되어 지고 있다^[5-7]. 하지만 국내의 논문과 실험 자료를 통하여 레인지 오차를 줄이는 범위에는 디바이스적인 문제로 한정이 있다는 것을 확인 하였다.

따라서 거리 데이터 보정 알고리즘뿐만 아니라 위치좌표를 통한 보정 알고리즘 또한 필요하다. 위치좌표를 이용한 보정 알고리즘 기법에는 선형과 비선형 상태를 추적하는 칼만 필터와 근사적 수치적분법으로 면적을 구하는 오일러 공식을 이용한 보정 알고리즘 그리고 유클리드 방정식 기반의 차원감소방식이 있다^[8,9].

본 논문에서는 최소자승법을 적용한 위치인식 보정 알고리즘을 제안 하고, LOS(Line of Sight) 환경에서 SDS-TWR을 이용한 삼각 측량법(Triangulation) 위치인식 결과와 최소자승법을 적용한 위치인식 결

과를 비교하여 성능을 분석하였다.

II. 관련 연구

2.1. SDS-TWR 기술

IEEE 802.15.4a 표준규격의 CSS 기반에서 위치 인식은 CSS 기본 레인지 방식인 TWR을 두 번 반복하는 확장 레인지 방식인 SDS-TWR을 이용한다. TWR은 TOF 방식을 통하여 송수신 장치간의 프레임 왕복시간을 이용하여 거리를 측정하는 방식이며, SDS-TWR은 TWR을 두 번 반복하여 거리를 측정하는 방식이다^[10]. TWR은 식(1)을 사용하여 tp 값을 구며, 구해진 tp 값에 식(2)에서처럼 전파속도 ($C = 3.18 \times 10^{10} \text{ cm/s}$)를 곱하면 이동거리 (Distance) 즉 두 노드사이의 거리를 구할 수 있다.

$$tp = \frac{TroundA - TreplyA}{2} \tag{1}$$

$$Distance = tp \times C \tag{2}$$

그러나 TWR 기술만을 사용한다면 전파의 특성 상 반사, 굴절, 회절, 산란 등의 현상이 발생하여 tp 값에 오차가 발생한다. 이러한 오차를 줄이기 위한 기술이 SDS-TWR이다. SDS-TWR은 위에서 말한 바와 같이 TWR방식을 확장한 기법이다. 수행과정은 TWR방식을 두 번 적용하여 얻어지는 tp 값의 평균을 사용하는 방식이다. 식(3)을 이용하여 두 번의 TWR tp 값의 평균을 구하여 식(2)를 통하여 두 노드사이의 거리를 구할 수 있다.

$$tp = \frac{(TroundA + TroundB) - (TreplayA + TreplayB)}{4} \tag{3}$$

2.2. SDS-TWR을 이용한 위치인식

SDS-TWR을 이용한 대표적인 위치인식 방법은 삼각 측량법이다. 삼각 측량법은 그림 1과 같이 3개의 비컨노드와 이동노드의 거리를 측정하여 이동노드의 위치를 측정한다.

이동노드와 3개의 비컨노드 사이의 거리를 D_a, D_b, D_c 라고 할 때, 비컨노드의 좌표를 중심점으로 정의하고 이동노드까지의 거리를 반지름으로 정의한 3개의 원이 형성된다. 이 때, 3개의 원둘레는 한 점에서 교차하게 되는데, 이 교차점이 이동노드의 위치가 된다.

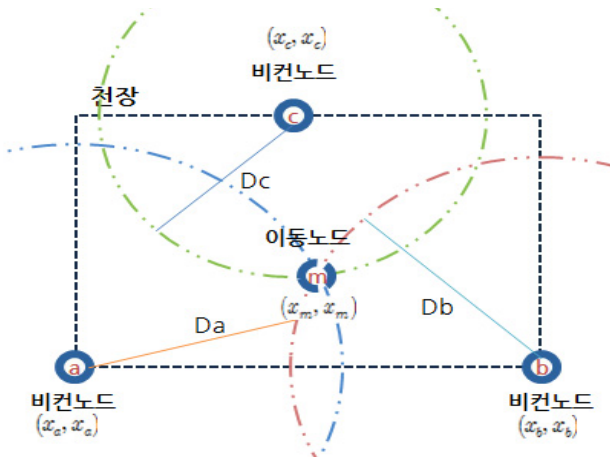


그림 1. 삼각 측량법을 이용한 위치인식
Fig. 1. Triangulation based Localization

삼각 측량법에서 이동노드의 위치를 구하는 계산식은 다음과 같다. 각각의 비컨노드와 이동노드의 거리를 식(2)를 통하여 거리 D_a, D_b, D_c 를 구한다. 구해진 거리 D_a, D_b, D_c 를 비컨노드와 이동노드의 좌표를 이용한 점과 점의 거리에 적용하면 식(4)와 같다. 식(4)의 3개의 방정식을 x_m 에 대하여 연립하여 이동노드의 좌표인 (x_m, y_m) 을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} D_a &= \sqrt{(x_a - x_m)^2 + (y_a - y_m)^2} \\ D_b &= \sqrt{(x_b - x_m)^2 + (y_b - y_m)^2} \\ D_c &= \sqrt{(x_c - x_m)^2 + (y_c - y_m)^2} \end{aligned} \quad (4)$$

2.3. 칼만필터

칼만필터(Kalman Filter)는 잡음이 포함된 선형 및 비선형의 상태를 추적하는 재귀 필터로서 루돌프 칼만(R. E. Kalman)이 개발하였다. 칼만필터 알고리즘은 과거, 현재, 미래의 상태를 예측하여 보정하는 것으로서, 대부분 다음의 상태를 예측하거나 추정하는 모델시스템에 활용되고 있다. 물체의 측정값에 확실적인 오차가 포함되고, 또한 물체의 특정 시점에서의 상태는 이전 시점의 상태와 선형적인 관계를 가지고 있는 경우에 적용이 가능하다.

예를 들어, 레이더 추적의 경우 특정 물체의 위치, 속도, 가속도 등을 측정할 수 있지만 이 측정값에 오차가 포함되어 있을 수 있다. 이 경우 연속적으로 측정하는 값들을 칼만 필터를 이용해서 해당 물체의 위치를 추정한다. 칼만필터의 프로세스는 그림 2와 같다.^{[11],[12]}

칼만필터를 이용한 프로세스 추정 계산은 예측 단계(Time Update)와 보정 단계(Measurement Update)의 두 단계로 이루어진다. 먼저 예측 단계

는 최적화로 구하고자 하는 상태변수 \hat{x} 와 이전시점의 추정 상태 공분산행렬 P_k^- 를 구하는 것으로 이루어진다. 이 과정은 상태변수 \hat{x} 를 구하기 위해 모델링한 선형 추측 방정식과 이전 시점에서 추정된 상태 공분산 행렬을 통해 계산된다.

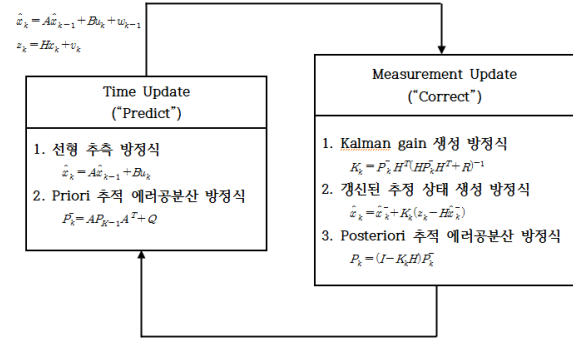


그림 2. 칼만필터 프로세스
Fig. 2. Kalman Filter Process

보정 단계의 계산은 예측 단계의 수행으로 얻어진 예측 결과 값과 실제로 측정된 측정 값 사이의 오차를 이용하여 이전 시점에서 얻은 P_k^- 를 수정함으로써 보정이 이루어진다. 즉, 보정 단계는 예측 결과 값과 실제 측정 값 사이의 오차를 이용하여 최적의 Kalman gain 결과 값을 얻는다. 그리고 갱신된 추정 상태 생성 방정식을 구해진 Kalman gain 결과 값을 이용하여 현재 k 시점에서의 \hat{x} 의 상태를 보정한 후, 최적 공분산결과 값 P_k 를 보정한다.

2.4. 오일러 공식을 이용한 보정 알고리즘

오일러 공식은 근사적인 수치적분법으로 면적을 주는 방법이다. 즉 현재의 위치에서 수치적분을 이용하여 속도와 가속도를 알고, 시간 값 Δt 이후에 표시될 위치의 근사 값을 구하는 방법이다. 먼저 초기 값 힘 $F(t)$, 위치 $x(t=0)$, 속도 $v(t=0)$ 를 입력한다. 그리고 Δt 이후의 속도는 가속도 상수 A 를 적분해서 식(5)과 같이 구한다.

$$v(t + \Delta t) = v(t=0) + (A(t) * \Delta t) \quad (5)$$

식(5)의 결과, Δt 이후의 속도와 가속도를 알 수 있으므로, Δt 이후의 위치 값 $x(t + \Delta t)$ 를 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$x(t + \Delta t) = x(t=0) + (\Delta v * \Delta t) \quad (6)$$

그리고 식(5)와 식(6)을 사용하여 계속해서

$\Delta t, \Delta v, \Delta x$ 를 전진시키면 새로운 속도와 위치가 갱신된다. 이처럼 새롭게 갱신된 위치 값을 이용하면 Δv 와 가속도 A 를 이용하여 $\Delta t+1$ 에 대한 위치를 예측할 수 있다. 이렇게 예측된 위치 값은 실제 $\Delta t+1$ 의 시점이 되었을 때 칼만필터 및 다양한 보정 알고리즘의 파라미터로 입력되어 위치좌표의 보정이 이루어진다.

III. 최소자승법을 이용한 보정 알고리즘

3.1. 최소자승법을 이용한 위치계산 수식

본 논문에서는 2장에서 분석한 SDS-TWR을 이용한 위치인식 기법의 문제점을 보완하고 이동노드의 좌표 값을 보정하기 위하여 최소자승법을 적용하였다. 최소자승법은 이동노드 좌표 데이터 집합에 대한 최적의 좌표 근사를 얻는 방법이다.

이동노드의 n 개의 좌표 데이터 점들을 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 라 하고 x_n 와 y_n 를 각각 독립변수와 종속변수로 둔다. 이 때, 위치좌표의 방정식은 식(1)과 같다.

$$y = a_0 + a_1x \tag{7}$$

a_0 와 a_1 은 결정될 상수이고, 식(7)은 근사함수이므로 식(7)로 표현된 모델과 데이터 점들 사이에는 오차가 존재할 것이다. 데이터 점 (x_i, y_i) 에 대한 오차 e_i 는 식(8)과 같다.

$$e_i = y_i - a_0 - a_1x_i \tag{8}$$

1차 방정식을 근사하는 가장 보편적인 방법은 최소자승법을 이용하는 것이다. 이를 위한 오차의 제곱의 합 S 에 대한 식은 식(9)와 같다.

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i)^2 \tag{9}$$

식(9)를 이용한 매개변수 a_0 와 a_1 에 대해 S 를 최소화 한다. 최소화 과정은 식(10), (11)과 같이 a_0 와 a_1 에 대해 S 를 미분한 후에 0으로 초기화 한다.

$$\frac{\delta S}{\delta a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i) = 0 \tag{10}$$

$$\frac{\delta S}{\delta a_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i)x_i = 0 \tag{11}$$

식(10), (11)을 전개하여 식(12), (13)을 도출하였다.

$$\sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n a_0 - a_1 \sum_{i=1}^n x_i = 0 \tag{12}$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i - a_0 \sum_{i=1}^n x_i - a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \tag{13}$$

식(10)의 $\sum_{i=1}^n a_0 = na_0$ 라 하면, 식(14), (15)처럼 a_0 와 a_1 에 대한 2개의 1차 연립방정식으로 표현할 수 있다.

$$na_0 + a_1 \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) = \sum_{i=1}^n y_i \tag{14}$$

$$a_0 \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) + a_1 \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) = \sum_{i=1}^n x_i y_i \tag{15}$$

식(14), (15)를 Cramer 규칙을 이용하여 미지수 a_0 와 a_1 을 구할 수 있으며, 식(16), (17)과 같다.

$$a_0 = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{vmatrix}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \tag{16}$$

$$a_1 = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{vmatrix}} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \tag{17}$$

식(16), (17)을 이용하여 구해지는 a_0 와 a_1 을 식(1)에 적용한 후 위치좌표 데이터 (x_n, y_n) 를 적용하면 보정된 위치좌표 데이터를 얻을 수 있다. 최소자승법을 이용한 순서도는 그림 4과 같다. 1단계에서 비컨노드와 이동노드의 거리를 SDS-TWR을 사용하여 구한다. 2~3단계에서 삼각 측량법을 적용하여 이동노드의 좌표를 구하고, 4단계에서 3단계에서 산출된 이동노드의 좌표에 최소자승법을 적용하여 이동노드의 최종좌표를 구한다.

3.2. 최소자승법을 이용한 위치계산 알고리즘

최소자승법을 이용한 위치계산 알고리즘의 순서도는 그림 3과 같다. 1단계에서 4개의 비컨노드와 이동노드 사이의 거리를 SDS-TWR을 적용하여 4개의 거리 데이터를 구한다. 2단계에서는 처음으로 1단계에서 구해진 4개의 노드간의 거리 값 중 삼각 측량법에 적용하기 위하여 가장 큰 거리 값을 가지는 비컨노드를 제외한다. 남아 있는 3개의 비컨노드의 좌표와 이동노드와의 거리 값을 삼각 측량법에 적용한다.

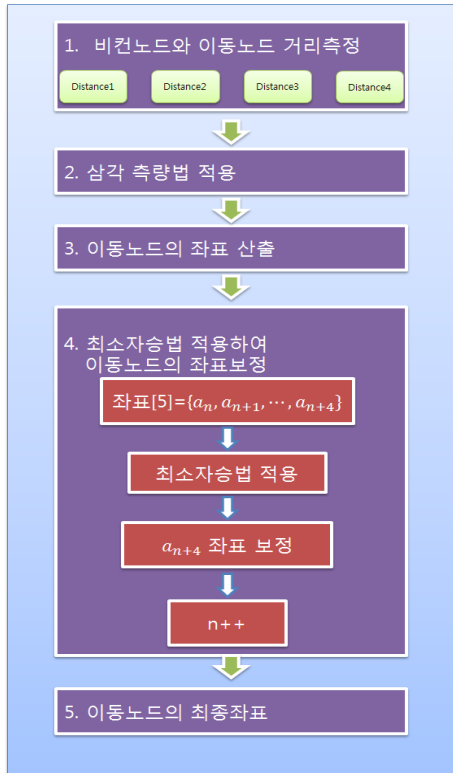


그림 3. 최소자승법을 이용한 위치인식 좌표 보정 순서도
Fig. 3. Compensation Flowchart for Localization Coordinates using Least-Squares Method

3단계는 삼각 측량법을 적용한 이동노드의 좌표를 산출한다. 4단계는 구해진 이동노드의 좌표를 최소자승법에 적용하여 좌표를 보정하는 과정이다. n개의 좌표 데이터를 이용하여 n+4번째 좌표를 보정한다. 이후 n번의 첫 데이터를 버리고 다음 좌표를 받아 좌표를 보정해 나간다. 마지막 5단계에서 최소자승법으로 보정된 이동노드의 최종좌표를 출력한다.

IV. 실험 및 결과 분석

4.1. 실험 환경 및 방법

SDS-TWR을 이용한 위치인식 좌표 데이터와 최소자승법을 적용한 위치인식 좌표 데이터를 비교분석 하여 오차 값의 범위를 확인 하였다. 4개의 비컨노드를 사용하여 이동노드의 거리가 가장 가까운 3개의 값을 선택하여 삼각 측량법을 적용하였다. 최소자승법을 이용한 위치인식 보정 알고리즘의 성능 실험을 위한 센서 네트워크는 그림 4와 같다.

실험에 사용한 센서모듈은 한백전자에서 제공하는 Ubi-nanoLOC모듈이다. Ubi-nanoLOC는 RF Transceiver와 ATmega128L의 MCU, 그리고 SMA 커넥터를 이용한 별도의 안테나가 탑재되어있다. 2.4GHz의 대역최대 2Mbps의 전송 속도를 지원하며 센서네트워크 운영체인 TinyOS2.x를 포팅 하였다.

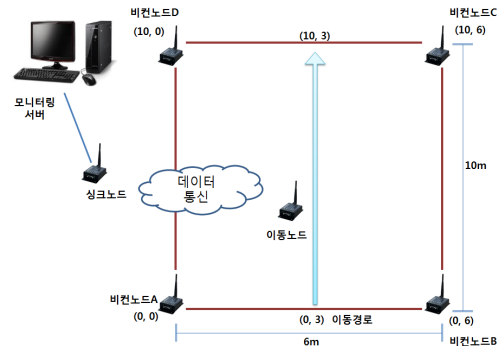


그림 4. 위치인식 정확도 성능 실험을 위한 센서네트워크
Fig. 4. Sensor Network Configuration for Experiments

실험환경은 싱크노드 1개, 이동노드 1개, 비컨노드 4개, 모니터링 서버 1대로 구성하였다. 4개의 비컨노드는 10m × 6m 공간의 범위에서 좌표(0, 0), (10, 0), (10, 6), (0, 6)에 각각 배치 하였다. 실험은 NLOS환경의 실외 운동장과, 교내 복도에서 실시하였고, 각각의 장소에서 (0, 3)에서 (10, 3)으로 이동노드를 이동시켜 이동노드가 이동 중인 환경을 만들어 실험을 진행하였다.

4.2. 실험 결과 및 분석

NLOS환경의 교내 복도에서 삼각 측량법과 칼만 필터를 사용하여 구한 이동노드의 좌표는 그림 5, 그림 6과 같으며 최소자승법을 적용한 좌표는 그림 7과 같다. 그림 5를 보게 되면 삼각 측량법을 사용한 이동노드의 좌표는 이동노드가 이동할 때 발생한 위치인식 오차 값으로 인해 이동노드의 좌표들이 실제 이동경로에 분포되어 있지만 그래프만으로는 이동노드가 이동한 궤적을 정확히 알 수가 없다. 이동노드가 실제로 이동한 x축의 3m를 기준으로

하게 되면 x축으로 2m ~ 4m 사이의 구간에 좌표 값을 보여 ± 1m 이상의 오차가 나는 것으로 보이며, 칼만필터를 사용한 이동노드의 좌표는 ± 0.5m 이하의 오차를 가지지만 비교적 정확한 위치를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

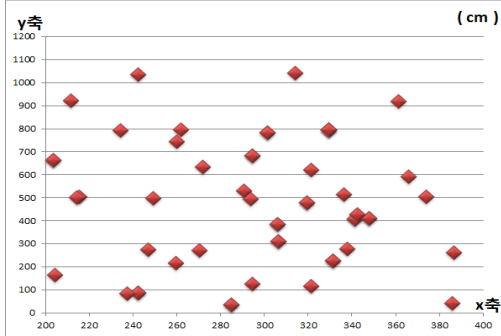


그림 5. 삼각 측량법을 이용한 이동노드의 좌표 분포(실내)
Fig. 5. Coordinates Distribution of Moving Nodes using Triangulation(Indoor)

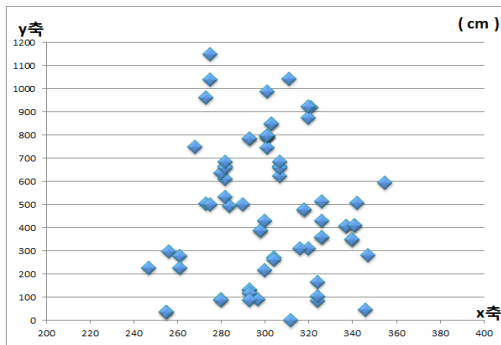


그림 6. 칼만필터를 이용한 이동노드의 좌표 분포(실내)
Fig. 6. Coordinates Distribution of Moving Nodes using Kalman Filter(Indoor)

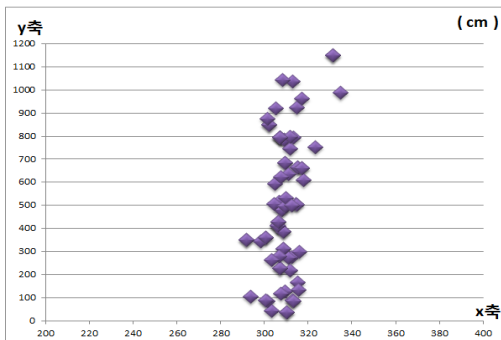


그림 7. 최소자승법을 이용한 이동노드의 좌표 분포(실내)
Fig. 7. Coordinates Distribution of Moving Nodes using Least-Squares Method(Indoor)

또한 최소자승법을 사용한 이동노드의 좌표 그래프인 그림 7을 보면 이동노드가 x축의 3m 위치에 서 y축의 0m에서 10m의 위치로 이동하는 모습을

확실하게 알 수 있다. 그리고 이동노드가 실제로 이동한 x축의 3m를 기준으로 하게 되면 ± 0.2m 이하의 오차가 나는 것을 확인할 수 있다.

이는 최소자승법을 적용한 이동노드의 좌표가 삼각 측량법을 사용하여 구한 이동노드의 좌표보다 약 1m 이상 그리고 칼만필터를 사용한 이동노드의 좌표보다 약 0.2m 정도의 정확도가 향상된 것을 확인할 수 있다.

그리고 NLOS환경의 실외 운동장에서 삼각 측량법과 칼만필터를 사용하여 구한 이동노드의 좌표를 표시한 그림 8과 그림 9, 그리고 최소자승법을 적용한 좌표를 표시한 그림 10을 보면 교내 복도에서 실시한 실험과 동일한 결과가 나올 수 있다. 그림 8에 표시된 좌표들은 교내 복도에서 측정된 결과와 같이 삼각 측량법을 사용한 이동노드의 좌표 값이 실제 이동경로에 분포되어 있지만 이동노드가 이동한 궤적을 정확히 알 수 없어 신뢰할 수 있을 정도의 좌표라고 할 수 없다. 그림 10을 보게 되면 앞선 실험과 마찬가지로 최소자승법을 사용하였을 경우 이동노드가 이동한 궤적을 정확히 알 수 있어 신뢰할 수 있을 정도의 좌표를 볼 수 있다.

실외 운동장에서 실험한 결과는 교내 복도에서 실시한 실험 결과와 같이 삼각 측량법을 사용하여 구한 이동노드의 좌표는 실제 이동노드가 이동한 x축의 3m를 기준으로 ± 1m 이상의 오차가 발생하였다. 또한 칼만필터를 사용한 이동노드의 좌표는 ± 0.5m 이하의 오차를 보이며 최소자승법을 사용하여 구한 이동노드의 좌표는 일부 측정치를 제외하면 ± 0.1m 이하의 오차로 매우 높은 정확도를 보여주었다. 그림 11과 그림 12는 교내 복도와 실외 운동장에서 실험한 위치인식 좌표들의 오차 평균을 보여주고 있다.

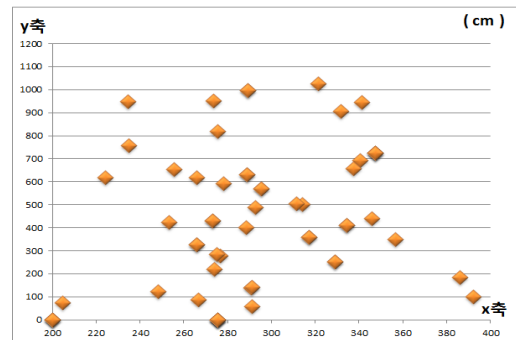


그림 8. 삼각 측량법을 이용한 이동노드의 좌표 분포(실외)
Fig. 8. Coordinates Distribution of Moving Nodes using Triangulation(Outdoor)

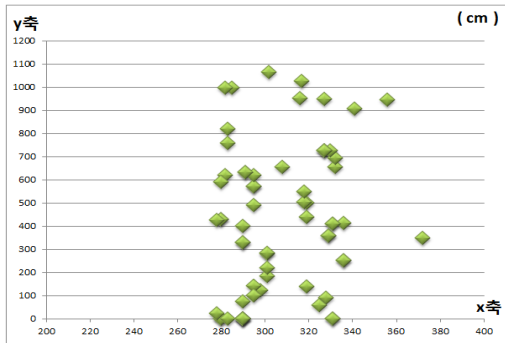


그림 9. 칼만필터를 이용한 이동노드의 좌표 분포(실외)
Fig. 9. Coordinates Distribution of Moving Nodes using Kalman Filter(Outdoor)

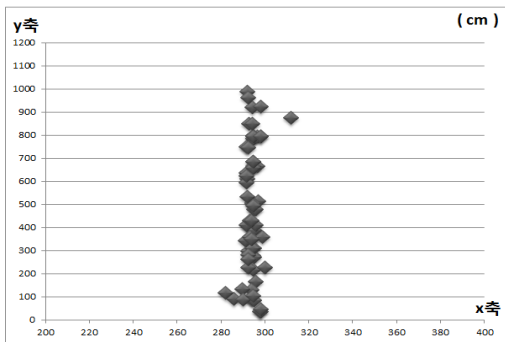


그림 10. 최소자승법을 이용한 이동노드의 좌표 분포(실외)
Fig. 10. Coordinates Distribution of Moving Nodes using Least-Squares Method(Outdoor)

그림 11을 보면 이동노드가 이동 중인 환경에서 최소자승법을 이용한 위치인식 기법이 삼각 측량법을 이용한 기법보다 약 66.60cm, 칼만필터보다 약 10.60cm 정도 위치인식 정확도가 향상된 것을 볼 수 있다. 또한 그림 12를 보면 그림 11과 유사한 결과로 삼각 측량법과 칼만필터보다 최소자승법을 이용한 기법의 위치인식 정확도가 약 44.80cm, 13.20cm 만큼 각각 향상됨을 볼 수 있다.

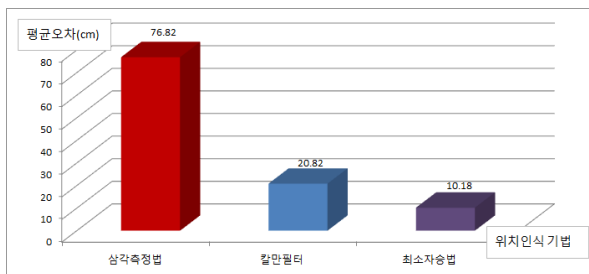


그림 11. 위치인식 정확도 비교(실내)
Fig. 11. Performance Comparisons of Localization(Indoor)

이동노드가 이동 중인 환경에서 제안한 최소자승법을 이용한 위치인식 기법의 정확도는 표 1에서 보는 바와 같이 삼각 측량법의 경우보다 86.0% 개

선이 되었고, 칼만필터를 사용한 기법의 정확도는 삼각 측량법에 비해 69.0% 개선이 되었음을 확인하였다. 따라서 제안한 최소자승법을 이용한 위치인식 기법의 정확도는 칼만필터의 경우보다 17.0% 향상되었음을 알 수 있다.

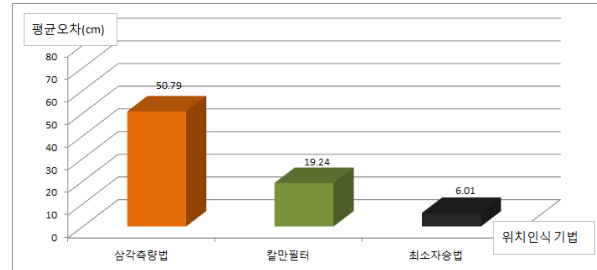


그림 12. 위치인식 정확도 비교(실외)
Fig. 12. Performance Comparisons of Localization(Outdoor)

표 1. 위치인식 방법에 따른 평균 오차 비교
Table 1. Average Error Comparisons of Localization

실험장소 방법	복도(cm)	운동장(cm)	평균오차(cm)
삼각 측량법	76.82	50.79	63.80
칼만필터	20.77	19.24	20.00
최소자승법	10.18	6.01	8.95

그러나 최소자승법을 적용하기 위해서는 삼변측량법을 이용하여 얻어지는 n개의 이동노드 좌표와 최소자승법의 연산으로 지연이 불가피하게 발생한다. 따라서 실시간 처리가 요구되는 응용분야에서는 최소자승법을 적용한 삼변측량법이 적합하지 않을 수 있다. 또한 이동노드의 이동경로가 직선경로가 아닌 방향 전환, 곡선 이동 등의 비선형인 경우의 위치인식 오차 성능결과는 추가적인 실험이 수행되어야 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 CSS 방식의 일반적인 위치인식 기법인 삼각측량법을 이용한 위치인식 기법과 최소자승법을 이용한 위치인식 기법의 성능을 실제 실험을 통해 분석하였다. 그리고 10m × 6m의 실험 공간에 4개의 고정노드를 사용하여 NLOS 환경에서 이동노드를 이동시켜 위치인식 실험을 하였고, 삼각측량법을 이용한 위치인식 기법과 최소자승법을 이용한 위치인식 기법의 정확도를 비교분석 하였다.

최소자승법을 이용한 위치인식 기법의 성능은 평

균 위치인식 오차가 8.95cm로 삼각측량법을 이용한 위치인식 기법의 위치인식 평균 오차인 63.80cm에 비해 위치인식 정확도가 86.0% 향상되었고, 칼만필터를 이용한 위치인식 기법의 위치인식 평균 오차인 20.0cm에 비해 위치인식 정확도가 17.0% 향상되었다. 이러한 실험 결과는 최소자승법을 이용한 위치인식 기법이 이동 중에 있는 이동노드의 위치인식 정확도를 향상시켜 이동 중에 있는 객체의 위치인식 신뢰성을 높였다고 할 수 있다.

향후 유비쿼터스 센서 네트워크에서 이동 중에 있는 객체의 위치인식 신뢰성을 높이기 위해 직선 방향 뿐만 아니라 방향 전환, 곡선 등의 불규칙한 이동상황에서의 위치인식 정확도를 높이기 위한 알고리즘을 제안할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] M. Weiser, "The Computer for the 21st Century," *in IEEE Pervasive Computing Magazine*, Mar. 2002.

[2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *in Elsevier Computer Network*, 2002.

[3] Hak Yong Kim, Sung Duck Kim, "The Technology Trends of Localization," NIPA, Vol.1322, pp.1-12, November. 2007.

[4] IEEE 802.15.4a, "Part 15.4 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-rate Wireless Personal Area Network (LR-WPANs)," draft P802.15.4a/D7, Jan. 2007.

[5] Joongjin Kook, Seungok Lim, Jiman Hong, "The Differential Ranging Schemes for the Precise Location Awareness Systems," KIISE, Vol.35, No.2(D), pp.196-199, October. 2008.

[6] Yi Jiang and Victor C.M. Leung, "An Asymmetric Double Sided Two-Way Ranging for Crystal Offset," *ISSSE '07*, pp.525-528, Aug. 2007.

[7] Seong Ki Kwon, Ho Cheol Lee, Dong Myung Lee, "Performance Comparison of CSS based TWR and SDS-TWR Mechanism for Precise Location Recognition," KICS, Vol.39, pp.888, June. 2009.

[8] G. Welch and G. Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter," UNC-Chapel Hill TR 95-041, July 2006.

[9] Y. Qi, H. Kobayashi, and H. Suda, "On

Time-of-arrival Positioning in a Multipath Environment," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, pp. 1516-1526, 2006.

[10] Hanback Electronics, HBE-Ubi-nanoLOC Ubiquitous Sensor Network, 2009.

[11] G. Welch and G. Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter," UNC-Chapel Hill TR 95-041, July 2006.

[12] Seong Ki Kwon, "Compensation Algorithm for Localization based on Equivalent Distance Rate and Kalman Filter," M.S. Thesis, Dept. of Computer Media Engineering, The Graduate School in Tongmyong University, February 2011.

정 무 경 (Moo Kyung Jung)

준회원



2011년 8월 동명대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2011년 8월~현재 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 석사과정
 <관심분야> 센서네트워크, 위치추정, 음원인식

최 창 용 (Chang Yong Choi)

준회원



2008년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2010년 2월 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 석사
 2011년 9월~현재 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 박사과정

<관심분야> 센서네트워크, 위치추정, 퍼지이론

이 동 명 (Dong Myung Lee)

중신회원



1982년 2월 숭실대학교 전자계산학과(학사)
 1990년 8월 숭실대학교 전산공학과(석사)
 1997년 8월 숭실대학교 전자계산학과(박사)
 1982년 3월~2000년 2월 한국전자통신연구원 책임연구원

2000년 3월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 교수
 <관심분야> 이동통신시스템, 센서네트워크