
벡터 예측 알고리즘과 칼만 필터를 이용한 다변측량법 개선

김정하* · 주양익** · 이성근** · 박상국*** · 서동환****

Improvement of Multilateration using Vector Prediction Algorithm and Kalman Filter

Jung-ha Kim* · Yang-ick Joo** · Sung-geun Lee** · Sang-gug Park*** · Dong-hoan Seo****

이 논문은 국토해양부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성사업 및 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.20110029766)을 받아 수행되었음

요 약

3개 혹은 그 이상의 고정노드로 구성된 다변측량법은 실내의 실시간 위치 인식 시스템 분야에서 현재 널리 사용되고 있다. 하지만 이 고정노드 중 일부가 장애물 및 고정노드의 불안정에 따라 통신도달성이 결여된 상황에서는 효율적 위치 정보를 획득하기가 어렵다. 이러한 환경에서 위치측정 결여 및 변동성을 개선하기 위하여 본 논문에서는 TOF(Time of Flight)기반으로 이동노드의 변위 추정을 위한 벡터예측알고리즘과 효율적인 거리평균을 위한 칼만필터를 이용하여 기존의 다변측량법에서 발생하는 내재적 위치측정오차를 줄일 수 있는 새로운 알고리즘을 제안한다. 보행자가 이동노드와 함께 이동하고 임의의 고정노드로부터 거리측정이 실패하더라도, 현재 및 이전 거리측정 값을 이용하는 제안한 알고리즘은 이동노드와 거리측정에 실패한 고정노드 사이의 거리를 예측할 수 있다. 실험결과 기존의 방법 대비 위치추정 성능과 효율이 향상됨을 확인하였다.

ABSTRACT

Multilateration that consists of three or more fixed nodes has been widely used in the field of indoor real time location system(RTLS). However, when one or two among fixed nodes are partially out of communication reachability due to obstruction and unstable node, it is difficult to obtain an efficient location information. In order to improve the challenges of poor ranging measurements and fluctuations in these environment, this paper presents, based on TOF(Time of Flight), a new algorithm which can reduce the inherent ranging measurements errors in the conventional multilateration using a vector prediction algorithm for the displacement estimation of mobile node and Kalman filter for an efficient distance average. Even if a person moves with mobile node and then it fails ranging measurement from some of fixed nodes, the proposed algorithm using a present and previous measurement value can predict the distance between mobile node and fixed node which fails ranging measurement. The experimental results are shown that the proposed system improves the localization accuracy and efficiency compared with conventional method, respectively.

키워드

다변측량법, 칼만필터, 실시간 위치추정 시스템, CSS, SDS-TWR

Key word

Multilateration, Kalman filter, Real Time Location System, CSS, SDS-TWR

-
- * 준회원 : 한국해양대학교 전기전자공학과 대학원
** 정회원 : 한국해양대학교 전기전자공학부
*** 정회원 : 위덕대학교 컴퓨터공학과
**** 종신회원 : 한국해양대학교 전기전자공학부(교신저자, dhseo@hhu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 07. 20
심사완료일자 : 2012. 08. 07

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.12.2792>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

정보기술의 눈부신 발전에 따라 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Networks, USN)기술은 모바일, 물류제고관리 및 관광 등에 접목되어 관찰 및 데이터 수집을 용이하게 하고 인간의 삶을 더욱 편리하게 한다[1,2]. 특히, 무선 통신 기술을 활용하여 실내외에서 정밀한 위치추정이 가능한 RTLS는 적용할 수 있는 분야가 다양함에 따라 중요한 연구로 주목 받고 있다. 위치추정을 목적으로 특화된 802.15.4a 무선통신 규격을 사용하여 RTLS를 가능하게 하는 통신기술의 종류는 CSS(Chirp Spread Spectrum)와 UWB(Ultra Wide Band)가 있고, 이 기술은 전파 도달 시간으로부터 거리를 측정하는 TOF기반의 SDS-TWR(Symmetrical Double Sided Two Way Ranging)을 통해 노드 간 거리측정값을 제공한다. CSS의 내재된 거리측정 오차는 노드간 거리에 관계없이 약 3m이하이고, UWB는 수 cm단위로 거리측정이 가능하다[3]. 한편, 이 기술들을 응용할 수 있는 칩셋을 판매하는 제조사가 부족하여 가격이 비싼 편이며 UWB기술은 매우 높은 가격으로 인해 일반적인 환경에 적용되기 어렵고 군사용으로 사용되는 사례가 대부분이다. 따라서 무선통신을 활용한 RTLS의 구현은 CSS를 사용하는 것이 경제적으로 현실적이며 이를 활용하여 위치추정을 하기 위한 많은 연구들이 있다.

대표적으로, 참고문헌 [4]에서는 4개의 고정노드를 설치하고 균등거리비율의 측위좌표 값을 이용한 무선 측위 오차 보정 알고리즘을 설계 및 적용하여 위치추정 성능을 향상 시켰다. 참고문헌 [5]에서는 CSS기반 거리 측정 및 삼변측량법과 칼만 필터를 이용하여 움직이는 고정노드의 위치추정 정확도를 개선 시켰다. 참고문헌 [6]에서는 CSS특성상 가까운 거리에서 크게 발생하는 오차를 극복하기 위하여 거리에 따른 차등적인 위치 계산을 수행함으로써 위치추정 성능을 향상 시켰다. 이 연구들은 CSS기술을 활용하여 기존보다 정밀한 위치추정을 위해 오차를 보정하기 위한 알고리즘을 제시하고 있지만 통신도달성이 결여되는 상황을 고려하지 않은 단점이 있다. 장애물이나 고정노드의 불안정에 따른 전파 손실 영향을 받는 노드는 거리측정을 실패하는 경우가 있고, 이는 다변측량법의 위치추정 오차를 크게 할 뿐만 아니라 3개 이상의 고정노드로부터 거리측정값을 획득

하지 못할 경우 위치추정이 어렵다.

따라서 본 논문은 통신도달성이 결여되어 위치추정이 어려운 상황에서 이동노드와 고정노드 사이의 거리값을 예측하여 위치추정을 가능하게 하는 시스템을 제안한다. 본 연구의 알고리즘은 현재 및 이전의 거리측정 데이터를 이용하여 이동노드의 변위를 나타내는 벡터를 구하고, 이 벡터를 통하여 이동노드와 고정노드 사이의 거리를 예측할 수 있음에 따라 위치의 정확도와 단위 시간당 위치추정 효율을 개선한다. 통신도달성이 결여된 실험 환경을 구현하기 위하여 4개의 고정노드 중 1개의 고정노드를 강제로 차단한 상태에서 실험을 진행하였고, 기존의 다변측량법과 제안한 알고리즘이 적용된 다변측량법을 비교 및 분석하여 그 성능을 입증하였다. 또한 CSS의 내재된 거리측정 오차로 인하여 분산되어 나타나는 이동노드의 좌표에 칼만필터를 적용하여 효율적 평균값을 취함으로써 이동노드의 좌표를 밀집시켜서 안정된 실내 RTLS의 구현이 가능함을 확인하였다.

II. 제안한 위치추정의 관련이론

2.1. SDS-TWR과 다변측량법

TOF기반 거리측정을 가능하게 하는 TWR(Two Way Ranging)은 두 개의 무선 송수신 장치 사이에서 전파 도달 시간을 구하고 이 시간에 식 (1)의 전파속도를 곱하여 두 노드 사이의 거리를 구하는 방법이다.

$$C = 3.18 \times 10^{10} \text{ cm/s} \quad (1)$$

TWR을 2회 반복함으로써 전파도달시간 오차를 줄인 SDS-TWR은 그림 1과 같은 절차를 수행한다. SDS-TWR의 전파 도달 시간(T_p)은 식 (2)로 나타내고, 두 노드 사이의 거리(Distance)는 식 (3)으로 표현된다.

$$T_p = \frac{(T_{round1} - T_{replyA}) + (T_{round2} - T_{replyB})}{4} \quad (2)$$

$$Distance = T_p \times C \quad (3)$$

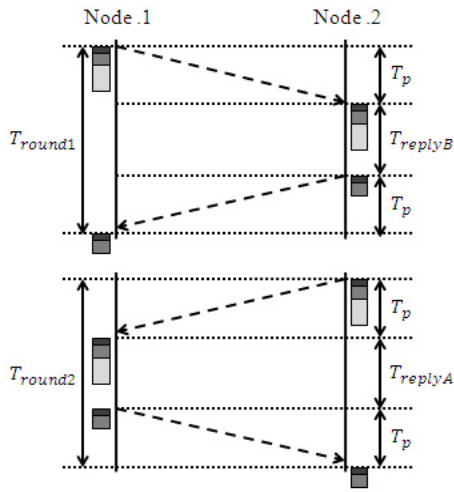


그림 1. SDS-TWR

Fig. 1 Symmetrical double sided-two way ranging

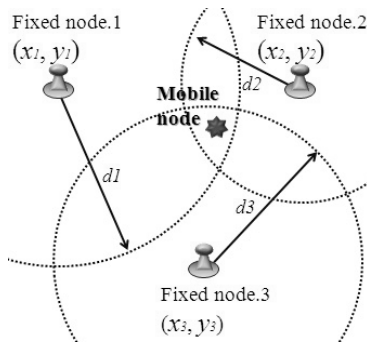


그림 2. 다변측량법을 이용한 위치추정
Fig. 2 Localization using multilateration

SDS-TWR을 이용하여 거리측정값을 획득한 이동노드의 위치는 그림 2의 다변측량법을 수행하여 나타낼 수 있다. 이동노드의 위치를 (M_x, M_y) , 고정노드의 위치를 $(F_{n,x}, F_{n,y})$ 라 할 때 각 고정노드로부터의 거리측정값 d_1, d_2, d_3 는 식 (4)와 같다.

$$d_1 = \sqrt{(M_x - F_{1,x})^2 + (M_y - F_{1,y})^2}, \quad (4)$$

$$d_2 = \sqrt{(M_x - F_{2,x})^2 + (M_y - F_{2,y})^2},$$

$$d_3 = \sqrt{(M_x - F_{3,x})^2 + (M_y - F_{3,y})^2}.$$

그림 2와 같이 각 고정노드의 위치를 원점으로 하고 d_1, d_2, d_3 를 반지름으로 하는 원이 그려지면 교점이 존재하고, 각 고정 노드의 위치를 연장선으로 그을 때 연장선의 내부에 속해 있는 교점들의 중심이 이동노드의 위치이다.

2.2. 칼만 필터의 연산과정

칼만 필터는 이전의 측정데이터와 현재 측정데이터를 사용하여 데이터에 포함된 노이즈를 제거하고 새로운 결과를 추정하는데 사용하는 알고리즘이며 연산과정은 그림 3과 같다[7].

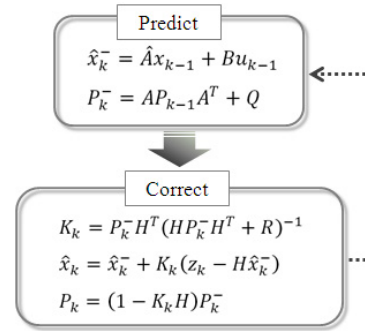


그림 3. 칼만필터의 연산과정
Fig. 3 Calculation process of Kalman filter

이는 예측 값(\hat{x}_k^-)과 현재 측정값(Z_k)에 적당한 가중치를 주고 합하여 계산하며 추정 값을 계산하는 가중치(K_k)는 매번 새로 계산되어 적용된다. 오차 공분산(P_k)은 추정 값의 오차를 나타내는 척도로 사용되며 P_k 가 커지면 추정 오차도 커진다. 예측 과정에서 변수는 상태변수와 오차공분산이고 식 (5)와 같은 시스템 모델이 매우 중요한 역할을 함으로써 필터의 성능이 크게 달라질 수 있다.

$$x_{k+1} = Ax_k + w_k, \quad (5)$$

$$Z_k = Hx_k + v_k.$$

III. 제안한 다변측량법의 개선 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 장애물로 인하여 임의의 고정노드로부터 거리측정을 실패하였을 경우 그림 4와 같은 순서도에 따라 다변측량법의 성능을 개선할 수 있다. 이는 이동노드의 통신거리 범위 내에 존재하는 각 고정 노드로부터 거리측정값을 획득한 상태에서 시작되고, 이것은 첫 번째 위치추정에서 거리측정을 실패할 경우 미리 저장되었던 데이터가 이전 값으로 활용되기 위함이다. 그림 5는 4번 고정노드로부터 거리측정에 실패한 상황에서 알고리즘이 적용되는 처리 과정을 나타내고, 그 중 ①단계는 1번, 2번, 3번 고정노드의 거리측정값으로부터 다변측량법을 수행하여 현재 이동노드의 좌표를 나타내는 B 를 구한다. ②단계는 이전의 최종 거리측정값에서 4번 고정노드를 제외하고 1번, 2번, 3번 고정노드의 거리측정값으로부터 다변측량법을 수행하여 이동노드의 좌표를 나타내는 C 를 구한다.

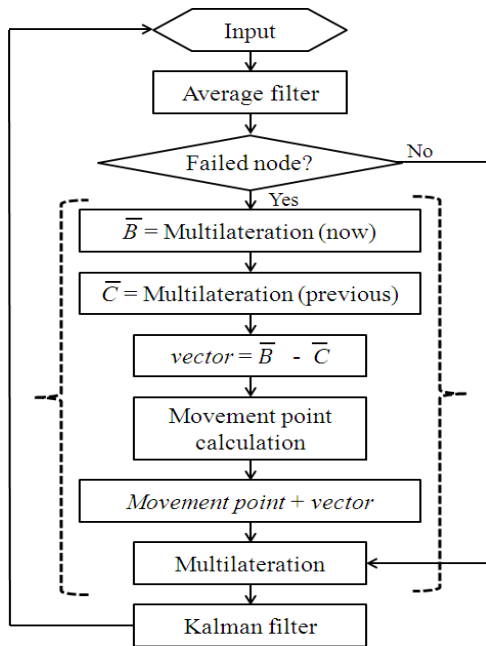


그림 4. 제안한 알고리즘의 순서도
Fig. 4 Flow chart of proposed algorithm

③단계는 ①단계에서 현재 거리측정값으로부터 구한 이동노드의 좌표 B 와 ②단계에서 이전 거리측정값으로부터 구한 이동노드의 좌표 C 를 통하여 이동노드의 변위를 추측하기 위한 벡터를 구한다. 컴퓨터 프로그래밍을 용이하도록 데카르트 좌표계로 나타낼 때, x 축 단위 벡터를 i , y 축 단위 벡터를 j 라 하면 B 와 C 의 벡터는 식 (6)으로 표현된다.

$$\vec{B} = b_x i + b_y j, \quad (6)$$

$$\vec{C} = c_x i + c_y j$$

따라서 예측된 변위를 나타내는 벡터는 식 (7)과 같다.

$$\vec{B} - \vec{C} = (b_x - c_x)i + (b_y - c_y)j \quad (7)$$

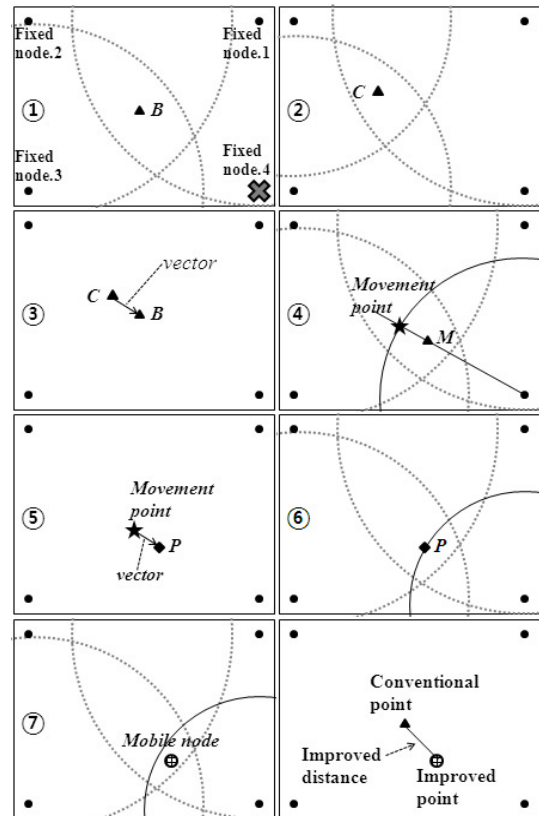


그림 5. 제안한 알고리즘의 절차
Fig. 5 Process of proposed algorithm

④단계는 이전의 위치추정에서 이동노드의 최종 좌표를 M 이라 하고, 4번 고정노드에서 M 을 지나는 연장선을 그을 때 4번 고정노드의 이전 거리범위를 나타내는 원과 만나는 교점이 이동점으로 사용된다. n 번 고정노드의 위치를 $(F_{n,x}, F_{n,y})$ 라 하고 이전 거리범위를 나타내는 원의 반지름을 r 이라 할 때, n 번 고정노드의 거리범위를 나타내는 원은 식 (8)과 같고, F_n 에서 M 을 지나 는 연장선은 식 (9)로 표현된다.

$$r = \sqrt{(x - F_{n,x})^2 + (y - F_{n,y})^2} \quad (8)$$

$$y = \frac{M_y - F_{n,y}}{M_x - F_{n,x}}x + F_{n,y} \quad (9)$$

식 (8)과 식 (9)를 연립 계산함으로써 이동점의 좌표가 구해진다. ⑤, ⑥단계에서 이동점에 벡터를 합한 좌표를 P 라 하고, 여기서 4번 고정노드까지의 거리(d_4)는 식 (10)과 같다.

$$d_4 = \sqrt{(P_x - F_{4,x})^2 + (P_y - F_{4,y})^2} \quad (10)$$

d_4 는 이동노드와 거리측정에 실패한 4번 고정노드의 예측된 거리 값으로 사용 될 수 있다. 이에 따라 ⑦단계에서 이동노드는 1번, 2번, 3번, 4번 고정노드의 거리측정값을 활용하여 다변측량법을 수행함으로써 위치추정 성능이 개선된 이동노드의 좌표를 구하게 된다. 또한 분산되어 나타나는 이동노드의 좌표에 효율적인 평균을 적용시키기 위한 칼만필터의 모델링은 식 (11)과 식 (12)에 나타내었다.

$$x = \begin{bmatrix} location_x \\ velocity_x \\ location_y \\ velocity_y \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서 식 (11)의 $location_x$ 와 $location_y$ 는 이동노드의 좌표, $velocity_x$ 와 $velocity_y$ 는 이동노드의 속도를, 식 (12)의 t 는 거리측정의 시간간격을 나타내고, 이동노드 위치는 초당 30fps의 영상으로 표현되기 위하여 약 33ms마다 고정노드로부터 데이터를 수신함에 따라 $t = 0.033$ 으로 설정되었다. 또한, 칼만이득을 조정하는 파라미터는 식 (13)과 같이 설정하였다.

$$Q = \begin{bmatrix} 0.37 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.37 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.37 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.37 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix} \quad (13)$$

이에 따라 칼만필터에 입력되는 좌표 값의 변화량이 크더라도 입력과 출력의 시간 차이는 330ms 이내이며 안정적인 이동노드의 위치표현이 가능하였다.

IV. 실험 및 결과분석

4.1. 실험환경

제안한 알고리즘의 위치추정 성능을 확인하기 위한 실험은 배터리를 내장한 휴대용 이동노드 1개, 고정노드 4개와 모니터링 컴퓨터를 사용하여 진행되었다. 그림 6은 x 축으로 7m, y 축으로 8m의 실내 환경(강의실)에서 고정노드 및 이동노드가 설치된 좌표를 나타낸다. 통신 도달성이 결여된 상황을 만들기 위해 4번 고정노드의 전원을 강제로 차단하였고 고정노드는 지면에서 약 1m 높이의 벽면에 설치되었으며 이동노드는 x 축으로 1.75m, y 축으로 2m 간격으로 Number 1에서 Number 9까지의 위치에 고정된 상태에서 실험이 진행되었다.

이동노드는 각 고정노드로부터 CSS기반 SDS-TWR을 통하여 거리측정값을 획득하고 RS-232통신을 사용하여 컴퓨터로 송신한다. 모니터링을 위하여 제작된 윈도우기반 응용 프로그램은 이동노드로부터 거리측정값을 수신하고, 평균 필터, 제안한 알고리즘 및 칼만 필터를 수행하여 이동노드의 좌표를 구하고 이를 이미지 및 텍스트를 통하여 모니터에 출력하도록 하였다.

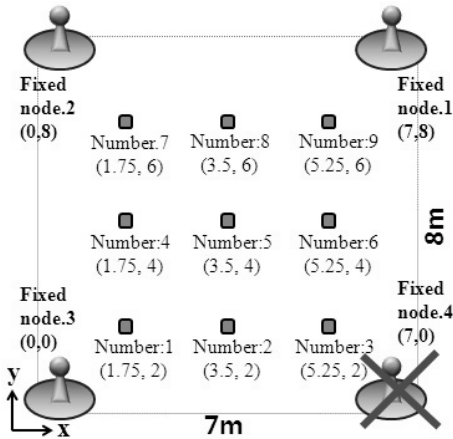


그림 6. 실험 환경
Fig. 6 Experimental condition

4.2. 실험결과 분석 및 고찰

위치추정의 성능 결과는 그림 7과 같고 여기에서 x축은 그림 6에서 이동노드의 위치를 나타내는 Number를, y축은 기존의 다변측량법 대비 제안한 알고리즘의 오차를 미터단위로 표현한다. 기존 다변측량법의 평균오차는 1.14m이고, 제안한 알고리즘 적용 후 평균오차는 0.53m로, 약 0.61m의 오차가 개선되었다. 특히 그림 6의 Number 2, Number 3, Number 5, Number 6에서 오차가 크게 개선된 것을 확인할 수 있으며, 거리측정에 실패한 4번 고정노드의 영향을 가장 크게 받는 대각선상에 위치한 Number 3과 Number 5의 오차가 효과적으로 개선되는 것을 알 수 있다. 또한 CSS는 클럭 드리프트, 클럭 오프셋으로 인하여 노드간 거리가 가까울수록 거리측정의 오차가 커짐에 따라 이동노드와 고정노드가 가까운 거리인 변두리에 위치하였을 때 상대적으로 오차가 커지기 때문에 2번, 6번 위치의 오차가 감소되는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 단위시간당 위치추정 효율을 나타내고 점선은 기존의 다변측량법 위치추정에서 필요한 3개 이상의 고정노드로부터 거리측정에 성공한 횟수의 비율이고, 실선은 제안한 알고리즘에서 필요한 2개 이상의 고정노드로부터 거리측정에 성공한 횟수의 비율이다. x축은 이동노드의 위치를 나타내는 Number를, y축은 기존 다변측량법 대비 제안한 알고리즘 적용 후의 비율을 나타내고, 거리측정 성공비율이 평균 16% 향상되었다.

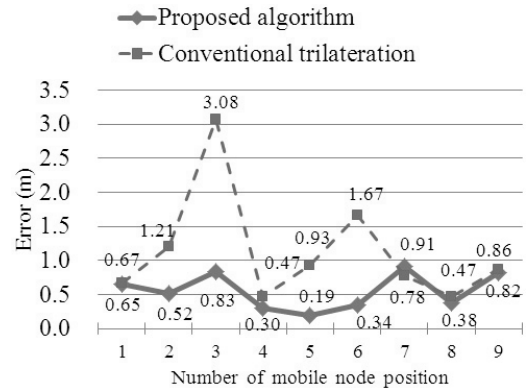


그림 7. 위치추정의 성능 비교
Fig. 7 Performance comparison of localization

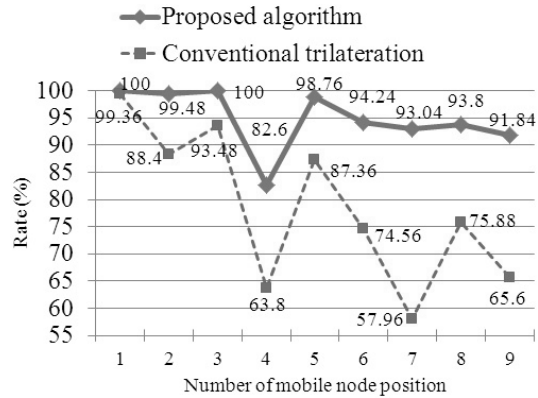


그림 8. 단위시간당 위치추정 효율
Fig. 8 Localization efficiency rate per time

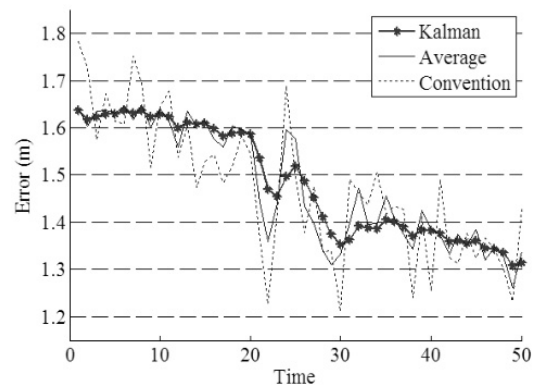


그림 9. 칼만필터의 성능 비교
Fig. 9 Performance comparison of Kalman filter

기존 다변측량법은 3개 이상의 고정노드로부터 거리 측정값을 획득하지 못한다면 이동노드의 위치추정이 어렵지만, 제안한 알고리즘을 적용하여 2개 이상의 고정노드로부터 거리측정값을 획득한다면 제안한 벡터예측 알고리즘을 통하여 이동노드의 위치를 파악할 수 있기 때문에 거리측정 효율성이 향상된다. 거리측정 성공률은 장애물, 노드의 전력부족 등의 전파손실에 영향을 줄 수 있는 주위 환경에 따라 변하게 되는데, 그림 8의 number 7 위치에 책상이 존재하였고 이에 따라 그 주변인 number 4, number 5, number 7, number 8에서 거리측정 성공 비율이 상대적으로 낮음을 알 수 있다.

다변측량법 수행 후 이동노드의 좌표는 CSS의 내재된 거리측정 오차로 인하여 그림 9와 같이 불규칙하게 분산된 오차 값을 가진다. 그림 9의 x축은 시간을 나타내고 이 값에 0.33을 곱한 것이 초 단위의 실제 시간이며, y축은 미터단위 오차의 크기를 나타낸다. 점선은 이동노드의 좌표에 필터를 적용하지 않은 경우의 위치추정 오차를, 실선은 평균필터를 적용하였을 때의 위치추정 오차를, *이 첨부된 실선은 칼만필터를 추가 적용하였을 때의 위치추정 오차를 나타낸다. 실선의 최대 오차는 약 1.8미터, 최소 오차는 약 1.2미터인 반면에, *이 첨부된 실선의 최대 오차는 약 1.65미터, 최소 오차는 약 1.3미터로 칼만필터 적용 후 오차의 변동 폭이 감소한 것을 알 수 있다. 따라서, 분산되어 나타나던 이동노드의 좌표가 밀집되어 나타남으로써 안정적인 위치추정이 가능하다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선통신이 원활하지 않은 실내의 실시간 위치추정 시스템에서 벡터예측 및 칼만필터를 이용하여 다변측량법 성능을 향상하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 실험한 결과 위치추정 성능이 53%, 단위 시간당 위치추정 효율이 16% 향상되었고, CSS의 내재된 오차로 인해 분산되어 나타나는 이동노드의 좌표를 밀집된 형태로 개선하여 실내에서 안정적인 위치추정이 가능함을 입증하였다. 또한, 위치추정 실패 횟수를 감소시키므로 기존 방법 대비 적은 위치추정 횟수로 같은 효율을 낼 수 있음에 따라 각 노드에서 낭비되는 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 제안한 시스

템을 다변측량법을 이용하여 위치추정이 가능한 UWB, Wifi 및 bluetooth 등의 다양한 무선통신에 적용할 수 있는 장점을 가진다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 지원으로 수행한 해양 에너지 전문인력 양성사업 및 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.20110029766)을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

- [1] 최혁준, 최문성, "RFID/USN 활용을 통한 물류 경쟁력 제고 방안," e-비즈니스연구, 제11권, 제2호, pp.419-438, 2010.
- [2] 김현정, "유비쿼터스 관광 정보서비스 구축 현황 및 사례 분석," 한국콘텐츠학회논문지, 제10권, 제1호, pp.407-416, 2010.
- [3] 박영진, 이순우, 강지명, 강문경, 김관호, "임펄스 UWB 기술 기반 실시간 위치인식 시스템 응용기술," 한국통신학회지, 제28권, 제7호, pp.37-43, 2011.
- [4] 권성기, 이동명, "균등거리비율의 측위좌표 값을 이용한 무선측위 오차 보정 알고리즘의 설계 및 구현," 한국통신학회논문지, 제35권, 제9호, pp.852-858, 2010.
- [5] C.Rohrig and M.Muller, *Localization of sensor nodes in a wireless sensor network using the nanoLOC TRX transceiver*, in Proc. IEEE 69th Vehicular Technology Conf. VTC Spring 2009, 2009, pp.1 - 5.
- [6] 국중진, 임승욱, 홍지만, "정밀한 위치인식 시스템을 위한 차등적 위치 계산 알고리즘," 한국정보과학회 2008 가을 학술발표논문집, 제35권, 제2호, pp.196-199, 2008.
- [7] 김성필, "MATLAB 활용 칼만필터의 이해," 도서출판 아진, pp.39-69, 2012.

저자소개



김정하(Jung-ha Kim)

2012년 한국해양대학교
전기전자공학부 공학사
2012년~현재 한국해양대학교
전기전자공학과 석사과정

※ 관심분야: 무선센서네트워크, 실내 위치기반 서비스, 임베디드 시스템



서동환(Dong-hoan Seo)

1999년 경북대학교
전자공학과 공학석사
2003년 경북대학교
전자공학과 공학박사

2004년~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수
※ 관심분야: 전기전자제어, 신호처리, 패턴인식



주양익(Yang-ick Joo)

2000년 고려대학교
전자공학과 공학석사
2004년 고려대학교
전자공학과 공학박사

2012년~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수
※ 관심분야: 무선이동통신 시스템, 무선자원관리, Cross-layer solution



이성근(Sung-geun Lee)

1990년 한국해양대학교
기관공학과 공학석사
1998년 한국해양대학교
기관공학과 공학박사

1998년~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수
※ 관심분야: 선박용 전기기기 및 시스템 제어, 마이크로프로세서 응용 및 인버터 제어, 전원장치 제작



박상국(Sang-gug Park)

1989년 경북대학교
전자공학과 공학석사
2000년 경북대학교
전자공학과 공학박사

2001년~현재 위덕대학교 컴퓨터공학과 교수
※ 관심분야: 신호처리, 임베디드 시스템, 웹모바일 시스템