스마트 스페이스에서 미지의 태그 위치 오차 보정

Error Revision of the Unknown Tag Location in Smart Space

탁 명 환, 지 석 근, 주 영 훈*
(Myung Hwan Tak, Suk Kun Jee, and Young Hoon Joo)

Abstract: In this paper, we propose the location measurement algorithm of unknown tag based on RFID (Radio-Frequency IDentification) by using RSSI (Received Signal Strength Indication) and TDOA (Time Difference of Arrival) and extended Kalman filter in smart space. To do this, first, we recognize the location of unknown tag by using the RSSI and TDOA recognition methods. Second, we set the coordinate of the tag location measured by using trilateration and SX algorithm. But the tag location data measured by this method are included complex environmental error. So, we use the extended Kalman filter in order to revise error data of the tag location. Finally, we validate the applicability of the proposed method though the simulation in a complex environment.

Keywords: RSSI, TDOA, RFID, location measurement, extended Kalman filter, ubiquitous sensor network, smart space

I. 서론

최근 인간의 주변 환경에 컴퓨팅 기능과 네트워크 기능을 부여함으로써 시간과 장소에 구애 받지 않고 인간과 컴퓨터 사물이 유기적으로 연동하여 다양하고 편리한 새로운 서비스를 제공해주는 USN (Ubiquitous Sensor Network)기술이 각광받고 있다. 그 중에서 주변 환경이나 사물에 태그를 부착하여 인간 외부 환경을 감지, 실시간 정보 교환,위치 추적 및 제어기능을 수행하는 RFID (Radio-Frequency IDentification)/USN 기술이 활발히 연구 중이다[1-5].

RFID기술은 비접촉 방식으로 칩, 태그, 리더기, 미들웨어 및 응용 서비스 플랫폼으로 구성되며 기존의 바코드보다 인식률 및 인식속도가 뛰어나고 저장능력이 매우 우수한 태그를 사용하여 리더기와 전파를 통하여 태그에 저장되어 있는 고유 정보를 감지하여 사물의 인식, 정보교환, 수정, 저장함으로써 물류, 유통, 환경, 교통, 홈 네트워크등의 다양한 분야에서 응용 서비스를 제공한다. RFID/USN이 제공하는 서비스 중의 하나로 위치 탐지 및 측정 기술이 있다. 현재 위치탐지 및 측정 기술로 가장 대표적인 시스템인 GPS (Global Positioning System)가 있다. GPS는 1970년초 미국 국방부가 지구상에 있는 물체의 위치를 측정하기 위해 인공위성을 이용하여 위성에서 수신기까지의 전파 도달 시간으로 측정하며 3차원의 위치, 속도, 시각 측정이 가능하며 전 세계 하루 24시간 전천후로 무제한 수의 사용자가 이용 가능한 항법시스템이며 단순한 위치정보 제공에서부터 항공기, 선박, 자동차의 자동항법 및 교통관제, 유조선의 충돌방지, 지도 제작등 광범위하게 응용 되고 있지만 실내 공간에서는 오차의 범위가 커서 적용 하는데 문제점을 가진다[3-5]. 실내 공간에서의 위치 측정 문제점을 보완하기 위해 초음파와 RF 신호의 속도차이를 이용한 cricket, 적외선 센서를 이용한 active badge, 무선랜을 이용한 레이다 (radar), 3차원 카메라를 이용한 Easy Living 그리고 RFID 및 센서노드간의 이웃노드 및 주변 정보를 이용하는 방법이 있다. 하지만 에너지 문제, 주변 환경에 대한 영향, 장치의 소형화, 고가의 장치등 문제점으로 인해 다양한 분야에 적용의 어려움을 가진다[6].

상기의 문제점을 보완하기 위해 스마트 스페이스(smart space)에서 신호를 이용하는 RFID 기반 물체 위치 측정이 있다. RFID 기반 물체 위치 측정 기술에서는 일반적으로 물체에 태그를 부착한 상태에서 리더기가 태그를 인식하여 물체의 위치를 인식한다. 가장 일반적인 태그 위치 인식 방법으로는 리더기가 송신한 신호를 거리에 따라 태그가 수신한 신호의 세기에 따라 인식하는 RSSI[1,2], 태그가 송신한 신호를 3개의 고정된 각각의 리더가 수신하는 신호의 도착 시간 차이를 이용한 TDOA[3,4], 리더기와 태그 사이에 정밀한 시간 동기화가 이루어진 상태의 3개 이상의 리더기 사이의 도착 시간을 이용한 TOA (Time Of Arrival)[5], 리더기로부터 태그에 송신하는 신호의 방향각을 이용하여 각도를 측정하여 리더기와 태그의 방향각의 교차점을 이용한 AOA (Angle Of Angle)[6] 등이 있으며 AOA와 TOA 방식을 혼합한 방식은 하나의 리더기만으로도 위치 인식을 할 수 있는 장점이 있지만 위치 측정에 대한 정확도가 매우 낮다는 단점을 가지고 있다. 상기의 위치 측정 방법은 가장 일반적인 방법임에도 불구하고 리더기와 태그 사이의 시야가 확보가 되지 않아 리더기가 보낸 신호를 직접 수신하지 못하고 반사, 회절, 분산된 신호만 수신하는 NLOS(비가시광선)측정 오차[3,7], 다중경로 페이딩(multi-path fading) [8] 등과 같은 주변 환경으로 인한 오차와 각 리더기간의 시각 동기화, 신호의 송수신 시각 등으로 인한 오차는 미지의 태그 위치 측정에 오차를 포함하게 된다.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2009. 10. 12., 수정: 2009. 11. 25., 채택확정: 2010. 1. 12.
탁명환: 군산대학교 전자정보공학부(takgom@kunsan.ac.kr)
지석근: 군산대학교 전파공학과(jeesk@kunsan.ac.kr)
주영훈: 군산대학교 제어로봇시스템공학과(yhjoo@kunsan.ac.kr)
※ 본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 2008년도 특정 기초 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (R01-2008-000-20844-0).
※ 상기 논문은 제어로봇시스템학회 전북제주지부의 학술발표대회에서 초안이 발표되었습니다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 스마트 스페이스에서 거리에 따른 신호세기를 이용한 RSSI 위치 인식 방법과 신호의 도착 시간 차이를 이용한 TDOA 위치 인식 방법을 이용하여 미지의 태그의 위치를 인식 한 다음 삼변 측량법과 SX 알고리즘[9]을 적용하여 태그의 위치좌표를 측정하는 방법을 제안한다. 또한, 주변 환경의 다양한 오차를 포함하고 있는 태그의 위치 측정 데이터에 대해 확장 칼만 필터를 사용하여 오차를 보정하는 방법을 제안한다. 마지막으로 다양한 시뮬레이션을 통하여 그 응용 가능성을 증명한다.

II. 위치 측정 시스템

본 논문에서 제안한 시스템은 기존에 제안된 위치 인식 방법을 기본으로 하여 설계하였다. 제안하는 시스템은 그림 1과 같다.

본 논문에서 제안한 태그 위치 측정 시스템은 위치를 알고 있는 고정된 3개 리더기로 부터 미지의 태그의 위치를 측정한다. 위치 측정 시스템은 크게 세 단계로 구분하여 설명할 수 있다. 첫 번째 단계는 리더기가 송신하는 신호를 태그가 수신된 신호의 세기에 따라 미지의 태그를 인식한 다음 삼변측량법을 이용하여 위치 좌표를 측정 한다. 두 번째 단계에서는 고정된 각 리더기로부터 태그에게 전송되는 신호의 도착 시간 차이를 이용하여 얻어지는 2개의 쌍곡선을 이용하여 교점을 찾아 SX 알고리즘을 이용하여 위치 좌표를 측정한다. 마지막으로, 두 위치 측정 데이터를 융합한 데이터는 실내공간의 주변 환경이나 예기치 못한 상황에서 발생하는 비가시광선, 다중경로 페이딩등 정확한 위치 측정에 대해 오차를 포함하고 있기 때문에 랜덤적인 오차를 가정하여 확장 칼만 필터를 이용하여 오차를 보정하여 위치를 측정방법을 제안한다.

III. 위치측정 및 오차 보정

1. 위치 측정

1.1 RSSI (Received signal Strength Indication)

RSSI 방식은 그림 2와 같이 고정된 리더기로부터 거리에 따라 신호를 수신하는 태그의 신호 세기를 측정하여 거리를 측정 하는 것으로 리더기가 송신하는 신호는 거리에 따라 신호의 파워가 손실, 또는 경로 손실이 발생하게 되는데 일반적으로 거리가 가까울수록 전압세기가 크다는 이론을 근거로 거리를 구하는 방식이다. 신호의 세기와 거리에 대한 방정식은 일반적으로 식 (1)과 같이 Friis의 방정식으로 나타난다.

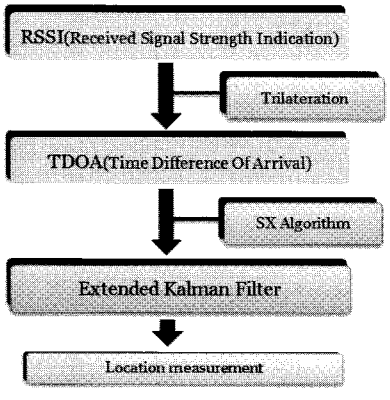


그림 1. 위치 측정 시스템 블록도.

FIg. 1. Block diagram for location measurement system.

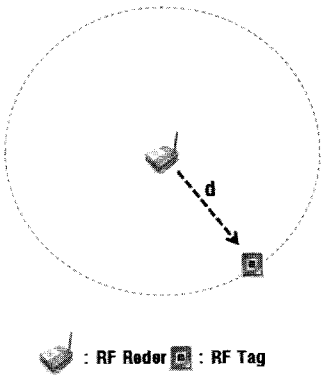


그림 2. RSSI에 의한 위치 인식.

Fig. 2. Location recognition by RSSI.

$$L = 20 \times \log_{10}(\frac{4\pi d}{\lambda})(dBm) \quad (1)$$

여기서, λ는 전파의 파장이며, d는 거리, L은 수신된 신호 세기를 나타낸다. 이 수식을 거리에 대하여 나타내면 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \times 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} \times 10^{\frac{L}{20}} \quad (2)$$

f는 주파수를 나타내며 c는 전파 속도를 나타낸다. 전파 속도는 빛의 속도로 가정한다.

1.2 삼변측량법(Trilateration)

삼변측량법은 간단한 기하학적 방법으로 태그의 위치 좌표를 측정하는 가장 보편적인 방법이다. 태그의 위치 좌표를 측정하기 위해서는 그림 3처럼 3개 이상의 고정된 리더기를 가지며 각각의 리더기들의 좌표를 $(x_1,y_1),(x_2,y_2),(x_3,y_3)$라고 가정하고 태그의 위치를 (x,y)라 가정 한다.

각각의 리더기로부터 거리를 D_1,D_2,D_3라 하면 식 (3)에 의해 태그의 위치 좌표를 측정한다.

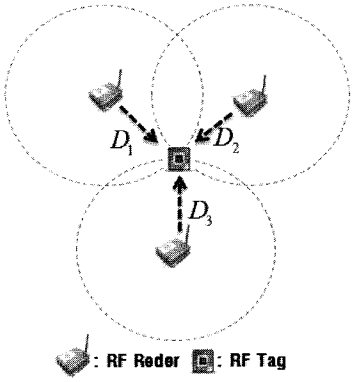


그림 3. 삼변측량법.

Fig. 3. Trilateration.

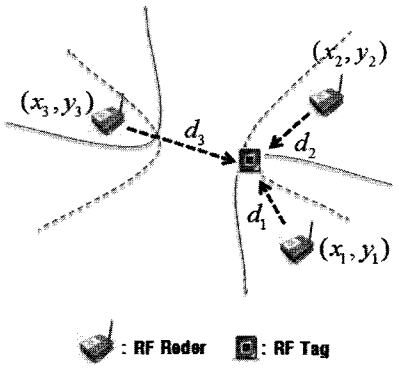


그림 4. TDOA에 의한 위치 인식.
Fig. 4. Location recognition by TDOA.

$$\begin{aligned} D_1^2 &= (x-x_1)^2+(y-y_1)^2 \\ D_2^2 &= (x-x_2)^2+(y-y_2)^2 \\ D_3^2 &= (x-x_3)^2+(y-y_3)^2 \end{aligned} \tag{3}$$

1.3 TDOA (Time Difference of Arrival)

TDOA 방식은 태그에서 송신한 신호를 고정된 3개의 리더기가 태그에게 전송되는 신호의 도착 시간 차이를 측정하여 신호의 거리차가 일정한 점의 자취(쌍곡선 측량)에서 미지의 태그의 위치를 인식하는 방법이다. 리더기와 태그간에 특별한 시각 동기화가 필요하지 않고 무선 신호의 속도는 일정하기 때문에 각 리더기가 시간적으로 동기화가 되어 있다면 그림 4와 같이 3개의 고정된 리더기에서 얻어지는 2개의 쌍곡선의 교차점을 이용하여 태그의 위치를 인식하는 방법이다.

1.4 SX 알고리즘

이는 쌍곡선의 교점을 최소 자승법 형식을 이용하여 태그의 위치를 좌표로 계산하는 방식이다. 알고리즘의 구현이 용이하고 오차에 비교적 강하고 위치를 측정할 때 컴퓨팅 파워가 적어 다수의 태그의 위치 측정에 주로 활용된다.

그림 5처럼 좌표를 가정하면 TDOA를 이용한 미지의 태그의 위치 좌표를 식 (4)처럼 나타낸다.

$$d_i = [(x-x_i)^2+(y-y_i)^2]^{\frac{1}{2}} \tag{4}$$

리더기 i에서 j까지의 거리는 다음과 같이 나타낸다.

$$d_{ij} = d_i - d_j, \quad d_{ij} + d_j = d_i \tag{5}$$

식 (4)와 (5) 양변에 각각 제곱하면 식 (6) 같은 식을 얻는다.

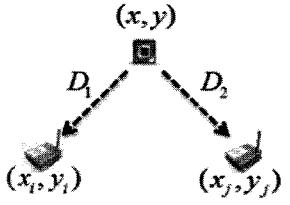


그림 5. 위치 좌표.
Fig. 5. Location coordinates.

$$d_{ij}^2 + 2d_{ij}d_j + d_j^2 = x^2 + y^2 + x_i^2 + y_i^2 - 2xx_i - 2yy_i \tag{6}$$

여기서 $s_i = x_i^2 + y_i^2$ 을 변환하면 식 (7)과 같이 나타낸다.

$$d_{ij}^2 + 2d_{ij}d_j + d_j^2 = x^2 + y^2 + s_i - 2xx_i - 2yy_i \tag{7}$$

$$d_j - d_i = \sqrt{(x_j-x)^2+(y_j-y)^2} - \sqrt{(x_i-x)^2+(y_i-y)^2} \tag{8}$$

$i = 1,2,\cdots,N(i \neq j)$으로 가정 한 다음 식 (6)과 식 (8)에 식 (4)를 이용하여 행렬로 표현하면 식 (9)을 얻는다.

$$2A\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_j + k_1 + d_{1j}^2 \\ \vdots \\ k_j + k_N + d_{Nj}^2 \end{bmatrix} + 2d_j \begin{bmatrix} d_{1j}^2 \\ \vdots \\ d_{Nj}^2 \end{bmatrix} \tag{9}$$

여기서 A는

$$A = \begin{bmatrix} x_j - x_1 & y_j - y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_j - x_N & y_j - y_N \end{bmatrix}$$

식 (9)를 태그의 좌표(x,y)에 대하여 정리하면 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} x_j - x_1 & y_j - y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_j - x_N & y_j - y_N \end{bmatrix}^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} k_j + k_1 + d_{1j}^2 \\ \vdots \\ k_j + k_N + d_{Nj}^2 \end{bmatrix} + 2d_j \begin{bmatrix} d_{1j}^2 \\ \vdots \\ d_{Nj}^2 \end{bmatrix} \right\} \tag{10}$$

2. 위치 측정 오차 보정

일반적으로 신호를 이용한 위치 측정 기술은 주변 환경(나무, 벽등) 및 신호를 차단하는 예기치 않은 상황으로 인해 신호는 반사, 회절, 굴절, 분산된다. 이러한 현상으로 리더기와 태그 사이의 시야가 확보 되지 않아 송신한 신호를 직접 수신하지 못하게 되는 현상을 비가시성이라 하며 신호를 수신하는 태그나 리더기의 사용 목적에 따라 하나의 신호에서 여러 개의 신호를 수신 할 때 여러 물체에 의한 다중 반사로 인하여 신호간의 상호작용을 일으켜 특정 구간에서 진폭 및 위상 등이 불규칙으로 변하여 신호의 왜곡 현상이 일어나는 현상을 다중경로 페이딩한다. 이러한 주변 환경적인 요소들은 태그의 위치를 정확히 측정하는데 있어 오차를 발생시키는 큰 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 확장 칼만 필터를 사용하여 오차를 보정하는 방법을 제안한다.

2.1 확장 칼만필터

거리에 따른 신호세기를 이용하는 위치인식 방법인 RSSI와 신호의 도착시간 차이의 위치 인식방법인 TDOA는 주변 환경적인 요소로 인해 다중경로 페이딩, NLOS등의 위치 측정에 있어 랜덤적인 오차를 포함하게 된다. 포함된 랜덤적인 오차를 보정하기 위해 확장 칼만 필터를 사용하였다. 확장 칼만 필터는 Kalman에 의해서 고안되어 측정된 잡음을 포함하는 데이터로부터 동적인 시스템의 상태변수를 최적으로 추정하기 위한 최소 오차 공분산의 반복적으로 실행하여 최적 상태 추정과정인 Kalman 필터를 확장하여 선형적인 모델뿐 만 아니라 비선형적인 모델도 적용가능 하며 상태 변수에 적절한 파라미터를 사용할 때 최고의 성능을 발휘 하며 높은 추적 능력을 가진다. 확장된 칼만 필터

를 적용하기 위해 이미 알고 있는 리더기의 위치를(x_i,y_i)라 하고 미지의 태그의 위치를 (x,y)라 하면 $i=1,2,\cdots,m$에 대한 리더기와 미지의 태그의 위치가 측정된 거리를 D_i로 나타내면 식 (11)과 같다.

$$D_i=\sqrt{(x_i-x)^2+(y_i-y)^2}+v_i \tag{11}$$

여기서 v_i는 측정오차를 나타낸다. 3개의 리더기로부터 각각의 RSSI와 TDOA의 위치 인식 방법을 사용하여 태그의 위치를 인식하고 삼변측량법과 SX 알고리즘을 미지의 태그의 위치를 측정한다. 본 논문에서는 이동하는 태그가 아니라 정지된 상태에서 태그의 위치를 측정하므로 다음 식 (12)와 같은 정지 모델식을 참조 한다.

$$\begin{bmatrix}x_k\\y_k\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}x_{k-1}\\y_{k-1}\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}w(x)_{k-1}\\w(y)_{k-1}\end{bmatrix} \tag{12}$$

여기서 $\begin{bmatrix}w(x)_{k-1}\\w(y)_{k-1}\end{bmatrix}$는 모델의 잡음이다.

시스템 모델과 측정 잡음 모델은 식 (13)과 같다.

$$x_k=f(x_{k-1},u_{k-1},w_{k-1}),\ z_k=h(x_k,v_k) \tag{13}$$

h 함수는 상태 x_k와 측정치 z_k를 연관 짓는 함수, w_k와 z_k는 무작위 변수 이고 평균이 0인 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 함수 f는 비선형이고 $k-1$이전시간 과 현재 시간 단계 k와의 단계를 나타낸다. 비선형 방정식인 식 (13)을 선형화 하면 식 (14)로 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned}x_k&=\hat{x}_k+A(x_{k-1}-\hat{x}_{k-1})+Ww_{k-1}\\z_k&=\hat{z}_k+h(x_k-\hat{x}_k)+Vv_k\end{aligned} \tag{14}$$

표 1. 확장 칼만 필터.

Table 1. Extended Kalman filter.

$\hat{x}_k$: Estimate	R : Measurement noise covariance
P_k : Error covariance	Q : Process noise covariance
K_k : Kalman Gain	u_{k-1} : Driving function
z_k : Measurement	h : State via

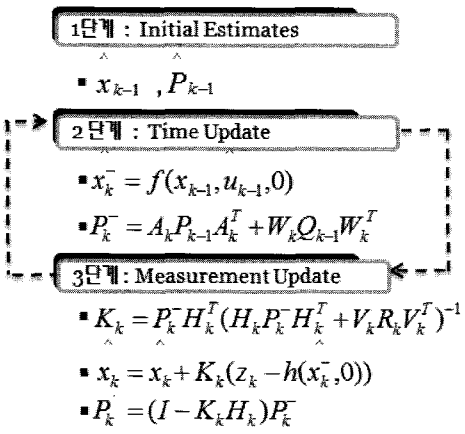


그림 6. 확장 칼만 필터 수행 과정.

Fig. 6. Performance process of extended Kalman filter.

W는 f를 w에 관하여 편미분, V는 h를 v에 관하여 편미분 한 것이다. 그림 6은 확장 칼만 필터 동작을 나타낸 그림이다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 시뮬레이션에서 사용된 RF신호의 주파수는 433MHz이며 전파 속도는 3×10^8[m/s], 위치 측정 방법은 안테나에 의한 신호의 방향성은 배제 및 고정된 3개 이상의 리더기들은 각자의 위치 좌표를 이미 알고 있다고 가정하였다. 또한, 주변 환경이나 예기치 못한 상황에서의 랜덤적인 오차는 백색 가우시안 잡음을 사용하였다.

그림 7은 RSSI와 TDOA 위치 인식 방법에 백색 가우시안 잡음을 사용하여 랜덤적인 오차를 발생하고 각각의 오차가 섞인 태그를 거리에 따라 미지의 태그의 위치를 측정한 것을 나타낸다. 그림 8은 RSSI와 TDOA의 측정 데이터 융합을 하여 이상적인 공간과 오차를 포함한 미지의 태그 위치 측정한 것을 나타낸다. 그림 9는 RSSI와 TDOA를 통

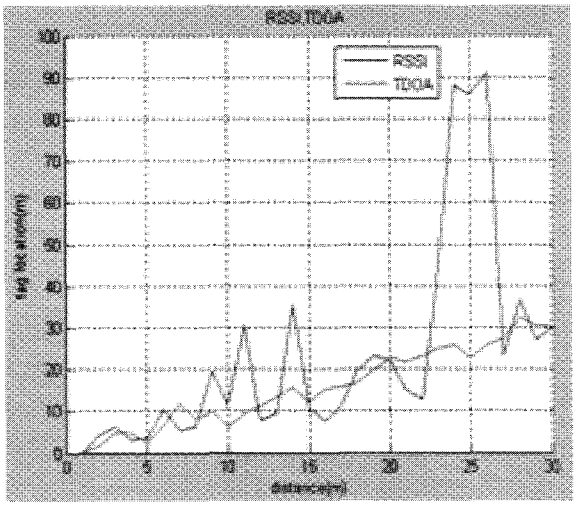


그림 7. RSSI와 TDOA의 결과.

Fig. 7. Simulation result of RSSI and TDOA.

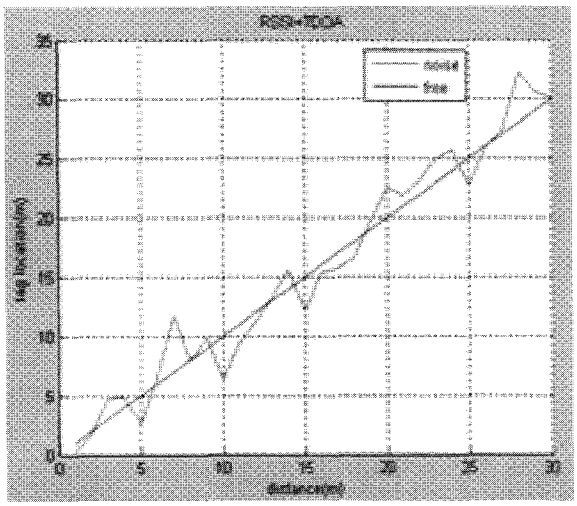


그림 8. RSSI + TDOA 시뮬레이션 결과.

Fig. 8. Simulation result of RSSI + TDOA.

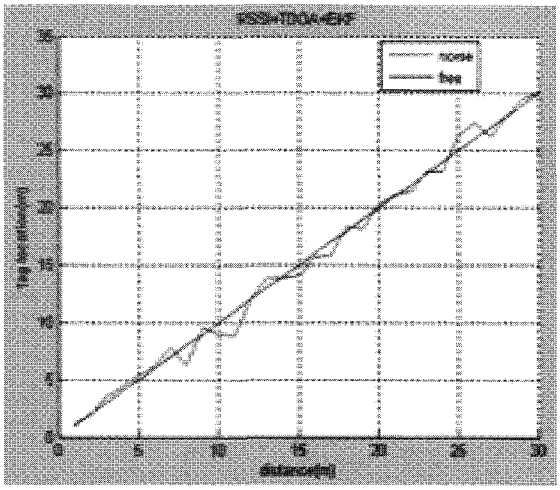


그림 9. 확장 칼만필터를 사용한 오차 보정.
Fig. 9. Error revision using extended Kalman filter.

표 2. 5m거리의 태그를 인식 했을 경우 시뮬레이션 결과.
Table 2. Simulation result when recognizing 5m distance tag.

5(m)	1차	2차	3차	20차	평균 오차
RSSI	3.726	2.203	6.237	·····	4.769
TDOA	6.050	5.249	4.044	·····	3.085
RSSI+TDOA	4.888	3.726	5.141	·····	2.509
RSSI+TDOA+EKF	4.895	4.745	5.012	·····	0.954

하여 오차를 포함한 미지의 태그 위치 측정에 대한 오차를 보정하기 위해 확장 칼만 필터를 사용하여 랜덤적인 오차의 보정에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

표 2는 각각의 시뮬레이션을 통한 5m의 거리에 태그가 존재 할 경우 20차까지의 반복을 통해 평균적인 오차를 표현하였다. 표 2에 위하면 본 논문에서 제안한 방법이 제일 좋은 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 RSSI와 TDOA을 이용하여 고정된 3개 이상의 리더기로부터 환경적인 오차를 생성하여 태그의 위치 측정을 한 후 위치 오차의 값을 보정하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 기존에 제안된 위치 인식 방법인 RSSI와 TDOA위치 측정 값을 이용하여 1차적으로 태그의 위치 오차를 보정하고 2차적으로는 확장 칼만 필터를 이용하여 환경적인 오차를 보정함으로써 위치 측정에 대한 신뢰성을 높이고 기존의 제안된 방법보다 비교적 정확한 위치 측정을 하였다. 마지막으로 본 논문에서 제안한 알고리즘은 랜덤적으로 변화하는 환경에서의 오차를 시뮬레이션을 통하여 그 응용 가능성을 증명하였다.

참고문헌

[1] R. Yamamoto, H. Matsutani, H. atsuki, T. Oono, and H. Ohtsuka, "Position location technologies using signal strength in cellular systems," *in Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 4, pp. 2570-2574, 2001.

[2] C. Alippi and G. Vanini, "A RSSI-based and calibrated lcalization tchnique for wreless snsor networks," *Proc. of the Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOMW'06)*, 2006.

[3] L. Cong and W. huang, "Non-line-of-sight error mitigation in TDOA mobile location," Global Telecommunications Conference IEEE, vol. 1, pp. 680-684, 2001.

[4] R. Yamasaki. "TDOA location system for IEEE 802.11b WLAN," Proceedings of IEEE WCNC'05, pp. 2338-343, 2005.

[5] J. J. Caffery, Jr, "A new approach to the geometry of TOA location," *in Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 4, pp. 1943-1949, 2000.

[6] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc positioning system using AOA," INFOCOM 2003. *Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, vol. 3, no. 4, 2003.

[7] Y. Chan, W. Tsui, H. So, and P. Ching, "Time-of-arrival based localization under NLOS conditions," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 55, no. 1 pp. 17-24. Jan. 2006.

[8] C. S Yoon, K. Y. Jeon, and S. H. Cho, "The performance enhancement of UHF RFID reader in multi-path fading environment using antenna diversity," *Proceedings of 2008 International Technical Conference on Circuits/System, Computers and Communications*, pp. 1429-1432, 2008.

[9] J. O. Smith and J. S. Abel, "Closed-form least-squares source location estimation from range-difference measurements," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal processing*, vol. 34, no. 8, pp. 1123-1225, 1997.

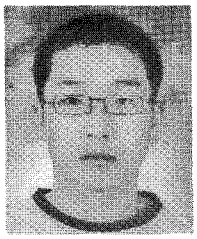
[10] 임재걸, 박찬식, 주재훈, 정승환, "Wi-Fi 기반 옥내측위를 위한 확장 칼만필터 방법," *Journal of Information Technology Applications & Management*, vol. 15, no. 2, pp. 51-65, 2008.

[11] J. Yim, C. Park, J. Joo, and S. Jeong, "Extended Kalman filter for wireless LAN based indoor positioning," *Decision Support Systems*, vol. 45, no. 4, pp. 960-971, 2008.

[12] G. Welch and G. Bishop, "An introduction to the Kalman filter," http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/kalmanIntro.html

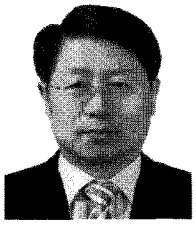
[13] A. Catovic and Z. Sahinoglu, "Hybrid TOA/RSS and TDOA/RSS location estimation schemes for short-range wierless networks," *Mitsubisshi Electric*, TR2004-096. 2004.

[14] 임재걸, 주재훈, 남윤석, "위치기반서비스를 위한 통합 측위시스템 설계 및 응용," *Journal of Information Technology Applications and Management*, vol. 13, no. 4, pp. 57-70, 2006.



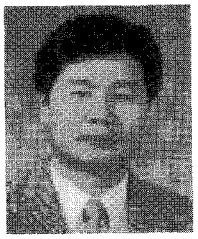
탁 명 환

2009년 군산대 전자정보공학부 졸업. 2009년~현재 군산대학교 전자정보공학부 석사과정. 관심분야는 지능 제어, 유비쿼터스 센서네트워크, 지능형 로봇.



주 영 훈

1982년, 1984년, 1995년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사, 공학석사, 공학박사). 1986년~1995년 (주)삼성전자 자동화연구소 책임연구원. 1998년 2월~1999년 1월 미국 휴스톤대학 전기 및 컴퓨터공학과 박사후박사과정. 1995년~현재까지 군산대학교 제어로봇시스템공학과 정교수. 현재 군산대학교 Post BK21 사업팀장. 2009년 한국지능시스템학회 회장, International Journal of Control, Automation, Systems (IJCAS) Editor. 관심분야는 지능형로봇, 인간-로봇 상호작용, 지능 제어, 감정 인식, 네트워크 기반 제어기설계 등.



지 석 근

1985, 1990, 1997년 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사, 공학석사, 공학박사). 1990년~현재까지 군산대학교 전파공학과 정교수. 현재 군산대학교 전자정보공학부 학부장. 관심분야는 신호처리 및 제어, 능동 소음 제어 등.