

## RSSI와 TDOA를 이용한 태그 위치 인식

탁명환\*, 이정연\*, 주영훈\*, 송화창\*\*

\* 군산대학교 전자정보공학부, \*\*서울산업대학교 전기공학과

### RF Tag Location Recognition Using RSSI And TDOA

Myung Hwan Tak, Jung Yun Lee, Young Hoon Joo, Hwachang Song  
 School of Electronics & Information Engineering, Kunsan National University  
 Department of Electrical Engineering, Seoul National University of Technology

**Abstract** - 본 논문에서는 실내 환경에서 신호세기를 이용한 RSSI (Received Signal Strength Indication) 인식 방법과 신호의 도착 시간 차이를 이용한 TDOA(Time Difference Of Arrival) 인식 방법을 이용하여 태그 위치 측정 및 오차 보정 방법을 제안한다. 제안한 방법은 물체 위치 인식을 위해 기존의 제안된 거리에 따라 발생하는 경로손실(Path Loss) 방정식과 신호의 도착 시간차이를 이용하여 태그를 인식한 다음 삼각측량법과 SX 알고리즘을 이용하여 태그의 위치를 측정한다. 또한, 실내 환경의 다양한 오차를 포함하고 있는 태그의 위치 측정 데이터에 대해 확장된 칼만 필터를 사용하여 오차를 보정하는 방법을 제안한다. 마지막으로 몇 개의 시뮬레이션을 통하여 그 응용 가능성을 증명한다.

손실(Path Loss)을 이용한 거리 측정 방식이다.

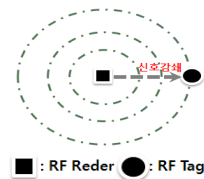


그림 1. 삼각 측량법

## 1. 서 론

최근 RFID(Radio-Frequency IDentification)를 이용하여 물체에 RF Tag를 부착하여 Tag의 고유정보 및 주변 환경에 대한 정보를 감지하는 RFID기술이 활발히 연구 중이다. RFID 기술은 RF Reader를 이용하여 사물에 붙여진 태그를 전파를 이용하여 고유정보 및 주변 환경을 감지하여 물체의 인식, 정보교환, 수정, 저장함으로써 물체 및 주변 환경에 대한 원격제어, 위치 인식, 위치 추적 등의 다양한 서비스를 제공할 수 있는 기술이다. RFID 서비스 중의 하나로 최근 들어 많이 연구가 되고 있는 물체 위치 측정이 있다. 물체 위치 측정 기술에서는 일반적으로 물체에 RF Tag를 부착한 상태에서 RF Reader를 이용하여 물체의 위치를 측정하는데 이때 사용되는 물체 위치 인식 방법으로는 거리에 따라 감소되는 신호의 세기에 따라 인식하는 RSSI[1][2], 물체가 RF Reader에 도착하는 신호의 시간 차이를 이용한 TDOA[3-4], 신호의 도착시간을 이용한 TOA(Time Of Arrival)[5], 각도를 이용하여 물체 위치를 측정하는 AOA(Angle Of Angle)[6]등이 있다. 그러나, 상기의 위치 측정 방법은 가장 일반적인 방법임에도 불구하고 주변 환경(장애물, NLOS(비가시광선), 다중경로 페이딩)으로 인한 위치 측정에 오차를 포함하게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 거리에 따른 신호세기를 이용한 RSSI위치 인식 방법과 신호의 도착 시간 차이를 이용한 TDOA위치 인식 방법을 이용하여 인식 하고자하는 물체의 위치를 인식한 다음 삼각측량법과 SX알고리즘을 이용하여 물체의 위치를 측정하는 방법을 제안한다. 또한, 실내 환경의 다양한 오차를 포함하고 있는 태그의 위치 측정 데이터에 대해 확장 칼만 필터를 사용하여 오차를 보정하는 방법을 제안한다. 마지막으로 시뮬레이션을 통하여 그 응용 가능성을 증명한다.

신호의 경로 손실과 거리에 대한 방정식은 식 (1)과 같이 Friis의 방정식으로 설명된다.

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

여기서,  $\lambda$ 는 전파의 파장이며,  $d$ 는 거리이다. 이 수식을 이용하면 각각의 리더기에서 태그까지의 거리를 신호의 손실에 따라 측정한다.

### 2.1.2 삼각측량법

삼각측량법은 간단한 기하학적 방법으로 물체의 위치 좌표를 측정하는 가장 보편적인 방법이다. 물체의 위치 좌표를 측정하기 위해서는 그림 2와 같이 3개 이상의 고정된 리더기의 좌표  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$  태그의 현재 위치를  $(x, y)$ 라 한다.

각각의 리더기로부터 거리를  $D_1, D_2, D_3$ 라 하고 식 (2)에 의해 태그의 위치 좌표를 측정한다.

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

### 2.1.3 TDOA(Time Difference Of Arrival)

TDOA를 이용하여 거리를 측정하는 방법은 태그의 송신한 신호를 고정된 3개 이상의 리더기가 수신한 도착시간의 차이를 측정하여 리더기 간의 거리차가 일정한 점의 차원(쌍곡선 측량)에서 미지의 태그의 위치를 인식하는 방법이다. 그림 3과 같이 3개 이상의 고정된 리더기에서 얻어지는 2개의 쌍곡선과 SX 알고리즘을 이용하여 태그의 좌표를 측정한다.

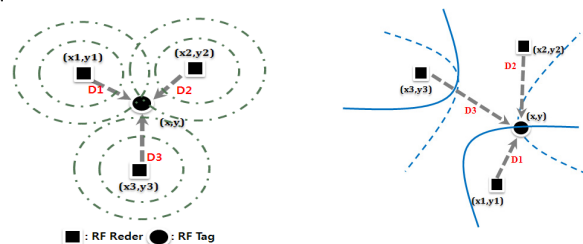


그림 2. 삼각 측량법

그림 3. TDOA 위치 인식 방법

## 2. 본 론

### 2.1 태그 위치 측정 시스템

본 논문에서 제안한 태그 위치 측정 시스템은 위치를 알고 있는 고정된 3개 이상의 리더기로부터 미지의 태그의 위치를 측정한다. 위치 측정 시스템은 크게 세 단계로 구분하여 설명할 수 있다. 첫 번째 단계는 신호세기를 이용한 RSSI위치 인식 방법과 신호의 도착시간 차이를 이용한 TDOA방법을 이용하여 서로의 단점을 보완하여 미지의 태그를 인식을 한다. 두 번째 단계는 신호 세기를 이용하여 리더와 리더가 인식한 태그와의 거리를 구하여 삼각측량법을 이용하여 태그의 위치를 측정하고, 신호의 도착시간 차이를 이용하여 인식한 태그와의 거리를 구하여 SX 알고리즘을 이용하여 태그의 위치 좌표를 측정한다. 마지막으로, 위 두 위치 측정 방법을 병합하여 최종적으로 태그의 위치를 측정한다.

#### 2.1.1 RSSI(Received Signal Strength Indication)

RSSI를 이용하여 거리를 측정하는 방법은 그림 1과 같이 고정된 리더기로부터 거리에 따라 신호를 받는 태그의 신호 세기를 측정하는 것으로 리더가 송신하는 신호가 태그가 수신할 때 신호의 파워 손실 혹은 경로

#### 2.1.4 SX(Spherical intersection method)알고리즘

SX알고리즘은 쌍곡선의 교점을 최소 자승법 형식을 이용하여 태그의 위치 좌표를 구하는 방법이다. 구현이 용이하면서 오차에 비교적 강하고

위치 측정에 컴퓨팅 파워가 적어 다수의 태그의 위치 측정에 주로 적용되는 방법이다.

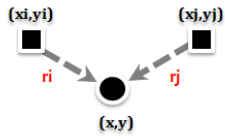


그림 4. 태그와 리더 좌표 표시

그림 4에서 리더의 좌표를  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 라 하고 태그 좌표를  $(x, y)$ 라 하면, 리더기와 태그의 거리  $r_i, r_j$  를 이용하여 태그의 위치 좌표는 식 (3)과 같이 행렬식으로 정의 할 수 있다. 식 (4)는  $r_j$ 에 대한 일차 방정식으로 정리되고 이 식을 식 (3)에 대입하여 최소 자승법으로 풀이하면 태그의 위치 좌표를 측정한다.

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (3)$$

$$r_{ij} = r_i - r_j, \quad r_i = r_{ij} + r_j$$

$$x^2 + y^2 + k_i - 2xx_i - 2yy_i = r_{ij}^2 + 2r_{ij}r_j + r_j^2$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} x_j - x_1 & y_j - y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_j - x_N & y_j - y_N \end{bmatrix}^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} k_j - k_1 + r_{1j}^2 \\ \vdots \\ k_j - k_N + r_{Nj}^2 \end{bmatrix} + 2r_j \begin{bmatrix} r_{1j} \\ \vdots \\ r_{Nj} \end{bmatrix} \right\} \quad (4)$$

## 2.2 물체 위치 측정 오차 보정 기술 - 확장 칼만 필터 적용

거리에 따른 신호세기를 이용하는 위치인식 방법 RSSI와 각각의 리더에 신호 도착 시간차를 이용하는 TDOA는 환경적인 요소 및 다중경로 페이딩, NLOS 등으로 인해 위치 측정에 랜덤한 오차를 포함하게 된다. 이 랜덤적인 오차를 보정하기 위해 본 연구에서는 확장 칼만 필터(EKF)를 사용한다. 이미 알고 있는 리더기의 위치를  $(x_i, y_i)$ 라 하고 미지의 태그의 위치를  $(x, y)$ 라 하면  $i = 1, \dots, m$ 에 대한 측정된 거리를  $D_i$ 로 나타내면 식 (5)와 같다.

$$D_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} + v_i \quad (5)$$

여기서,  $v_i$ 는 측정오차를 나타내며 평균이 0, 공분산이  $\sigma_i^2$ 인 백색 가우시안 노이즈로 가정한다. 프로세스의 잡음강도를 Q라 가정한다. 각 단계는 다음과 같다.

1 단계 : 변수 초기화

$$\hat{x}_{k-1}, P_{k-1}$$

2 단계 : 시간에 따른 예측 값 갱신

$$\hat{x}_k = f(\hat{x}_{k-1}, u_{k-1}, 0) \quad (6)$$

$$P_k^- = A_k P_{k-1} A_k^T + W_k Q_{k-1} W_k^T$$

3 단계 : 실제 측정 값 갱신

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + V_k R_k V_k^T)^{-1} \quad (7)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - h(\hat{x}_k^-, 0))$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^-$$

1 단계에서는 예측 하고자 하는 변수와 오차 공분산의 변수를 초기화한다. 2 단계에서는 예측하는 값과 오차 공분산의 값을 식 (6)과 같이 시간에 따라 갱신을 한다. 3 단계에서는 식(7)처럼 칼만이득  $K_k$ 을 정의하고 실제 측정 값  $z_k$ 와 오차 공분산 값  $P_k$ 를 계속적으로 갱신을 한다. 마지막으로 2단계와 3단계가 계속 반복적으로 갱신되면서 태그의 위치 측정 오차를 보정한다.

## 3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 시뮬레이션에서 사용된 RF 신호의 주파수는 433MHz이며 고정된 3개 이상의 노드들은 각각의 위치를 이미 알고 있다고 가정하였다. 최초 자유공간에서 태그의 위치 측정을 위해 환경적인 오차를 적용하지 않은 상태에서 태그의 위치 측정을 하였다. 추출된 결과는 그림 5에서 확인할 수 있다. 그림 5는 RSSI와 TDOA 위치 측정 방법에 환경적인 오차를 적용하려고 백색 가우시안 잡음을 사용하여 랜덤적인 오차를 발생하고 오차가 섞인 태그의 위치를 제한하는 방법으로 측정된 것을 나타낸다. 다음으로 표 1을 통하여 제한하는 알고리즘을 이용하여 태그 위치 측정 정확도를 높일 수 있다.

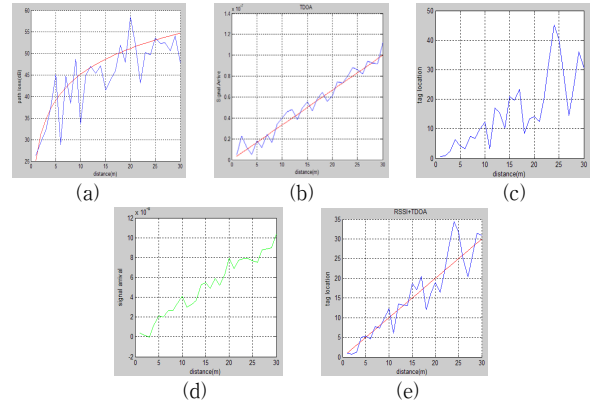


그림 5. 환경적인 변화에 의한 물체 위치 측정 : (a) RSSI의 위치 인식, (b) TDOA의 위치 인식, (c) 오차를 포함한 RSSI 태그 위치 인식, (d) 오차를 포함한 TDOA 태그 위치 인식, (e) 오차를 포함한 RSSI+TDOA의 위치 측정

표 1. 5m 거리의 태그를 인식 했을 경우 시뮬레이션 결과

	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

## 4. 결 론

본 논문에서는 RSSI와 TDOA를 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 TDOA 위치 측정 값을 이용하여 1차적으로 태그의 위치 오차를 보정하고 2차적으로는 확장 칼만 필터를 이용하여 환경적인 오차를 보정함으로써 위치 측정에 대한 신뢰성을 높이는 방법을 제안하였다. 마지막으로 본 논문에서 제안한 알고리즘은 랜덤하게 변화하는 환경에서의 오차를 시뮬레이션을 통하여 기존 방법보다 더 정밀하게 보정함을 증명 하였다.

감사의 글: 본 연구는 2008년 교육과학기술부의 재원으로 한국 과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R01-2008-000-20844-0)

## [참 고 문 헌]

- [1] R. Yamamoto, H. matsutani, H.Matsuki, T. Oono, and H. Ohtsuka, "Position location technologies using signal strength in cellularsystems," Vehicular Technology Conference, IEEE, vol. 4, pp. 2570-2574, 2001
- [2] C. Alippi, G. Vanini, "A RSSI-based and Calibrated Localization Technique for Wireless Sensor Networks", In Hightower J. and Borriello G., "Location System for ubiquitous Computing Computer", IEEE Computer Society, vol .34, pp. 57-66, Aug 2001
- [3] L. Cong, and W.Zhuang, "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," Proc. of IEEE WCNC'05, pp. 2338-2343, March 2005.
- [5] J.J. Caffery, Jr., "A new approach to the geometry of TOA location", Vehicular Technology Conference, IEEE, vol. 4, PP. 1943-1949, 2000
- [6] Y. Chan, W. Tsui, H. So, and P.Ching, "Time-of-Arrival Based Location under NLOS Conditions," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol .55, issue. 1 pp. 17-24. January 2006.
- [7] A. Catovic amd Z. Sahinoglu, "Hybrid TOA/RSS and TDOA/RSS location estimation schemes for short-range wierless networks," Mitsubishi Electric, TR2004-096. Dec.2004
- [8] J. O. Smith, J. S. Abel, "Closed-form least-squares source location estimation from range-difference measurements," IEEE Trans. Acoust.. Speech Signal processing, vol.34, pp.1123-1225, Aug. 1987
- [9] 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, November 2008