

# RTLS에서 TDOA 기법을 이용한 위치추정 알고리즘

성승희\* · 강철규\* · 오창현\* · 임춘식\*\*

\*한국기술교육대학교 · \*\*한국전자통신연구원

## Location Estimation Algorithm with TDOA Scheme in Real Time Location System

Seung-hee Jeong\*, Chul-gyu Kang\*, Chang-heon Oh\*, Choon-sik Lim\*\*

\* Korea University of Technology and Education

\*\* Electronics and Telecommunications Research Institute

E-mail : [shjeong@gmail.com](mailto:shjeong@gmail.com)

### 요 약

본 논문에서는 2.45GHz대역 RTLS에서 다중 태그 환경하의 고정밀 위치추정 알고리즘을 연구하였다. 태그의 송신시간 정보가 필요 없는 TDOA 기법을 적용하여 LOS 환경, 300m X 300m, 이차원 평면상의 위치를 추정하였다. 본 논문에서 태그는 임의의 지점에 위치해 있으며, 리더간의 위치가 등간격인 3~8개의 리더를 이용하여 평균 추정오차 거리를 산출하였다. 그 결과 송신횟수가 1회인 경우, 평균 추정오차 거리는 리더 4개일 때 3.12m, 리더 8개일 때 1.47m 발생하였으며, 동일한 지점의 태그로부터 송신된 신호의 누적횟수가 3~4회 일 때, 최소의 오차범위를 보였다. 이 때 태그의 오차범위는 가용리더의 개수에 관계없이 3m 이내의 RTLS 규격 오차범위에 만족함을 확인했다.

### ABSTRACT

In this paper, we investigate the high precision location estimation algorithm in 2.45GHz band RTLS with multiple tags. The location is estimated in LOS environments, 300m × 300m area, and 2D coordinates adopting a TDOA scheme which is not necessitate the transmission time of tags. We evaluate the average estimation error in distance assuming that tags are randomly distributed and the readers(3~8) are uniformly(equal space) placed in test area. In results, average estimation error is 3.12m and 1.47m at reader numbers of 4 and 8, respectively. Minimum estimation error is obtained when the accumulated receiving signal from a tag is 3 or 4 regardless of available reader numbers. The error is less than 3m, satisfies the specification of RTLS.

### 키워드

RTLS, TDOA, RFID, Location Estimation

## 1. 서 론

RFID 기술은 사물에 부착된 전자 태그를 통해 무선으로 사물의 ID를 인식하고 정보를 수집하여 저장, 가공, 추적함으로써 사물에 대한 측위, 원격 처리, 관리 및 사물 간 정보 교환 등의 서비스를 제공하는 기술이다[1].

현재 수백만 개의 RFID 태그가 고속도로 이용료 정산, 출입/보안 카드, 컨테이너 추적 등에 활발하게 적용되고 있으며, 국내의에서 IPv6 및 브로드밴드 인터넷과 더불어 미래 IT 시장을 선도할 기술로서 주목 받고 있다[2]. 이러한 RFID 기

술이 현실 세계의 사물에 적용될 경우, 사물의 네트워크 및 디지털 정보화가 이루어짐으로써, 사물에 대한 다양한 서비스 및 관리 작업에 혁신을 선도할 것이며 향후 USN 환경에서 핵심 기술이 될 것으로 전망된다. 그러므로 이러한 지능화된 사물이나 환경이 사용자가 처한 상황에 따라 적절한 서비스를 제공하기 위해서는 사용자 혹은 사용자 장치의 물리적인 위치와 조건 및 그 변화하는 정도를 인식할 수 있어야 한다. 이에 따라 위치추정에 관한 정보를 제공해 줄 수 있는 위치추정 시스템에 대한 관심과 연구가 지속되고 있으며, 현재 국내외 여러 연구기관에서 위치추정에

관한 활발한 연구가 이루어지고 있다[3].

본 논문에서는 2.45GHz대역 RTLS(Real Time Location System) 다중 태그 환경하의 고정밀 위치추정 알고리즘을 연구하였으며, 태그의 송신시간 정보가 필요 없는 TDOA 기법을 적용하여 LOS 환경, 300m X 300m, 이차원 평면상의 위치를 추정하였다. 본 논문의 구성은 I 장 서론에 이어 II장에서 RTLS의 개요를, III장에서는 다양한 위치추정 알고리즘을 소개한다. III장에서 소개한 TDOA 기법을 적용한 시뮬레이터의 성능분석을 IV장에서 살펴보고 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

## II. RTLS(Real Time Location System)

### 1. RTLS 개요

RFID 시스템은 안테나가 포함된 태그, 무선자원을 송수신할 수 있는 안테나, 정보를 저장하고 프로토콜로 데이터를 전송하는 리더와 서버 및 네트워크로 구성된다[4]. 그림 1은 RFID 시스템을 나타낸다.

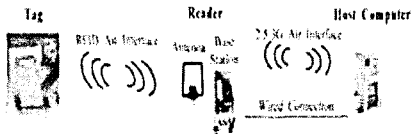


그림 1. RFID 시스템

현재 RFID 기술로 사용 가능한 주파수는 125kHz, 135kHz, 13.56MHz, 433MHz, 860~960MHz, 2.45GHz, 5.8GHz 등이 알려져 있으며, 이 중 RTLS는 2.45GHz 대역에서의 실시간 위치추정을 통한 RFID 기술이다.

### 2. 2.45GHz 대역의 RTLS

RTLS는 2.4GHz ~ 2.4835GHz 범위에서 동작하고 중심주파수는 2.441.750GHz이며, 채널 대역폭은 60MHz 이다. RTLS에서 사용되는 2.4GHz대역은 ISM대역으로 UHF 대역(433MHz)에 비해 점유대역폭과 다중태그인식 거리가 크며 태그를 소형화 할 수 있는 이점이 있다[5]. 그림 2는 RTLS 구조를 나타낸다.

태그는 배터리가 내장된 active 태그이며, 최대 638ms의 송신 주기를 가진다. 태그와 리더간의 측정 가능거리가 최대 300m로, 이때 리더는 1초당 최대 120개의 태그신호를 구분 할 수 있다. 태그의 위치 추정 오차는 LOS 환경에서 3m 이내를 만족해야 한다[6].

RTLS 규격상의 data rate은 59.7Kbit/sec로 PN code length가 511일 때 PN code 1 chip의 duration은 약 32.76nsec이 된다. 따라서 본 논문에서는 리더가 수신하는 신호에 대한 오차범위를

32.76ns 이내에서 발생시켰다.

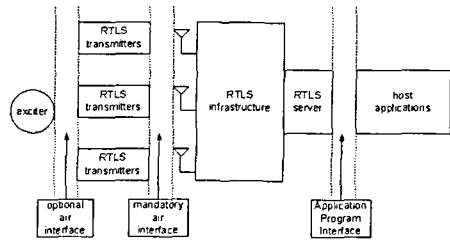


그림 2. RTLS 구조

## III. 위치추정 알고리즘

위치추정 방법은 크게 두 가지 방식으로 나뉜다. 먼저 기준점으로부터 떨어져 있는 각도를 이용하는 각도측정 방식과 기준점까지의 거리를 측정하는 거리측정 방식이 있다[7].

### 1. AOA(Angle Of Arrival)

AOA 방식은 DOA (Direction Of Arrival)라고도 불린다. AOA 방식은 어레이 안테나 (array antenna)를 사용하여 수신된 신호의 방향을 계산한다. 따라서, 하나의 AOA 측정값은 태그의 위치를 선상의 어느 한 점으로 국한할 수 있다. 만일 서로 다른 위치에 있는 최소한 두 개의 어레이 안테나로부터 AOA 측정값을 얻는다면 물체의 위치는 각 안테나로부터 얻어지는 AOA 측정값들로부터 얻어지는 두 선의 교차점이 되며, 많은 AOA 측정값들을 사용할수록 측정된 위치의 정확도는 향상된다. 그림 3은 AOA 방식으로 3개의 어레이 안테나를 사용하여 태그의 위치를 찾는 방법을 보여주고 있다.

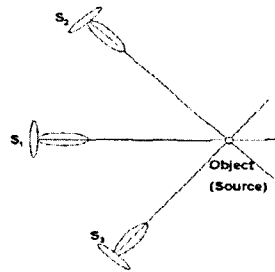


그림 3. AOA 방식

### 2. TOA(Time Of Arrival)

거리 측정을 위한 신호를 송신하는 태그와 이를 수신하는 리더 간에 신호가 도달하는데 소요되는 절대적인 시간을 측정하여 거리를 구하는 방식이다. 그림 4에서 3개 이상의 태그 혹은 리더가 있을 경우 측정된 거리들로부터 삼각법을 사

용하여 위치를 계산할 수 있다.

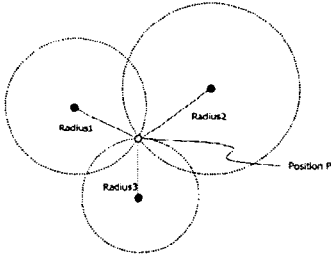


그림 4. TOA 방식

3. TDOA(Time Difference Of Arrival)

여러 개의 수신기에서 수신한 신호들의 도착 시간차로부터 태그의 위치를 추정하는 방식이다. 이 방식에서는 태그에서 신호를 보낸 절대적인 시간은 알 수 없으며, 서로 시간적으로 동기 되어 있는 리더들이 태그로부터 수신한 신호의 도착 시간을 각각 측정한다. 그림 5에서 리더 R(i)들은 태그가 전송한 신호의 도달 시간을 측정한다. 리더 R1과 R2의 도달 시간들의 차로부터 d1-d2 (d(i))는 태그와 리더 R(i)까지의 거리를 계산할 수 있으며, 이로부터 두 지점으로부터의 거리의 차가 일정한 점들의 궤적인 쌍곡선 방정식을 얻을 수 있다. 마찬가지로 방식으로 d1-d3로부터 또 다른 쌍곡선 방정식을 구할 수 있다. 위치를 측정하고자 하는 대상 (태그)이 이차원 평면상에 놓여져 있을 경우 두 쌍곡선의 교차점을 구하여 측정 대상의 위치를 찾아낼 수 있다.

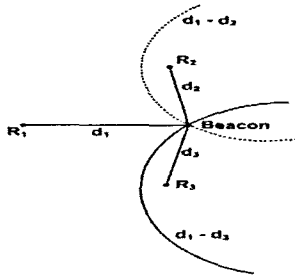


그림 5. TDOA 방식

4. RSS(Received Signal Strength)

수신기에서 수신한 전파의 세기가 거리에 따라 달라지는 점을 이용하여 태그와 리더 사이의 거리를 측정하는 방식으로 수신신호 세기 방법은 신호를 수신하는 측에서 신호의 세기를 통계적인 방법에 근거하여 확률분포와 대조하여 위치를 측정하는 방법이다. 이 방식을 이용하기 위해서는 우선적으로 미리 정의된 다양한 지점에서의 신호 세기들을 표본 수집을 통해 측정하여야 한다. 이러한 과정을 수행하고 나면 태그의 송신 신호를

리더가 수신할 때 발생하는 신호의 감쇠 정도를 측정하여 확률적 방법을 통해 미리 수집되었던 표본과 맵핑하여 위치를 측정한다. 일반적으로 앞서 언급한 다른 방법들에 비하여 정확도가 떨어진다는 단점이 있다[8].

IV. 구현 및 성능평가

본 논문에서는 TDOA 기법을 적용한 위치추정 알고리즘을 아래와 같이 구성하였다. 먼저 임의의 리더 3개를 선정하고 각 리더들 간의 R(i)를 비교하여 쌍곡선 식을 유도하였다. 실제 환경에서 측정 가능한 정보는 송신된 신호의 도착시간 뿐이므로 시뮬레이션 환경을 위해 태그의 좌표(x=150, y=150)를 미리 지정하고 태그에서 각 리더까지의 도달 시간을 산출하였다.

식 (1)은 태그로부터 송신된 신호의 각 리더 간 시간차를 위한 식이다. 시뮬레이션에서 사용한 정보는 식 (2)를 통해 발생한 시간차이며, 이때 각 리더간의 시간측정 오차인 32.76ns를 포함하였다.

$$R(i) = \frac{\sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2}}{C} \tag{1}$$

$$R(i, j) = \frac{\sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2}}{C} - \frac{\sqrt{(X - X_j)^2 + (Y - Y_j)^2}}{C} \tag{2}$$

임의로 선정한 3개의 리더에서는 2~4개의 쌍곡선 교점이 발생하게 된다. 그림 6은 발생한 쌍곡선 간의 교점을 보여주고 있다. 이때 발생한 교점 중에서 적어도 1개의 좌표는 태그의 위치와 근접하게 되며, 일치하는 좌표를 구하기 위해 리더 3개의 선택 조합을 모두 이용한다.

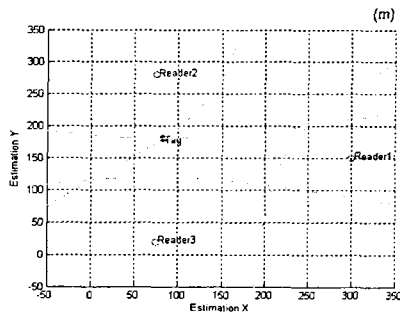


그림 6. 임의의 리더 3개에서 발생한 쌍곡선의 교점

리더의 위치는 거리가 동일한 지점에 위치하였으며, 중복을 허용하지 않은 임의의 리더 3개를 1개의 조합으로 이용하였다.

각 조합에서는 발생한 여러 개의 교점 중 1개의 교점을 태그의 위치로 추정하고, 각 조합의 교점 위치를 평균하여 최종 교점으로 추정하였다.

1. 리더 개수별 오차거리

표 1과 그림 7은 태그가 고정된 위치(x=150, y=150)일 경우와 랜덤한 위치일 경우 추정결과이다.

표 1. 리더 개수별 오차거리 (m)

Reader 개수	R3	R4	R5	R6	R7	R8
평균 Random X, Y	3.2796	2.9981	2.6050	2.1119	1.8706	1.7513
오차 X=150 Y=150	2.8805	2.4405	2.0485	1.8053	1.7300	1.6914

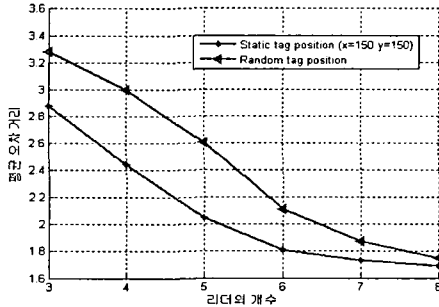


그림 7. 리더 개수별 오차거리 (m)

실제 환경에서 태그의 위치는 300m X 300m의 범위 내에서 랜덤하게 존재한다고 가정하며, 이때의 평균 오차거리는 리더 4개를 사용한 경우 약 3m의 오차가 발생한다. 또한, 가용 리더의 수가 증가할수록 조합의 수도 증가하므로 오차거리가 감소함을 확인하였다.

2. 송신횟수에 따른 리더별 오차거리

표 2. 송신횟수에 따른 리더별 오차거리 (m)

Reader 개수	R3	R4	R5	R6	R7	R8
송신 1회	4.1235	3.123	2.9029	2.2802	1.6221	1.4799
송신 2회	3.1514	2.4453	2.0475	1.8763	2.0059	1.699
송신 3회	2.9246	2.6394	1.5298	1.7001	2.0226	1.8969
송신 4회	2.7027	2.4916	1.4474	1.3566	1.6544	1.711
송신 10회	3.3442	2.2456	1.9031	1.7147	1.7764	1.8737
송신 100회	3.2796	2.9981	2.6052	2.1119	1.7513	1.8706

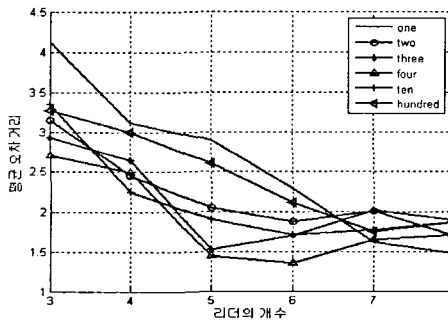


그림 8. 송신횟수에 따른 리더별 오차거리 (m)

동일한 태그에서 송신되는 신호횟수별 오차 거리는 누적횟수가 증가함에 따라 가용리더의 수가 증가할수록 오차거리는 감소한다. 그러나 10회 이상의 누적 송신신호에 대해서는 가용리더의 수가 증가 할수록 오차거리도 증가함을 보였다.

또, 가용리더의 수에 상관없이 7~8개의 리더 사용 시 오차거리는 일정 범위(1.5m~2m) 이내로 수렴함을 보였다. 표 2와 그림 8은 송신횟수에 따른 리더별 오차거리 결과이다.

V. 결 론

본 논문에서는 300m X 300m의 LOS 환경에서 TDOA 기법을 적용하여 태그의 위치를 추정하였다.

시뮬레이터 구현을 통해 가용리더 중에서 중복을 허용하지 않는 3개의 리더 조합을 이용하였고 이차원 평면상의 쌍곡선 교점을 태그 위치로 추정하여 오차거리를 산출했다.

실험결과 가용리더의 수가 증가할수록 태그의 추정 오차거리는 감소함을 확인하였다. 송신횟수가 1회인 경우, 평균 추정오차 거리는 리더 4개일 때 3.12m, 리더 8개일 때 1.47m 발생하였으며, 동일한 지점의 태그로부터 송신된 신호의 누적횟수가 3~4회 일 때, 최소의 오차범위를 보였다. 이때 태그의 오차범위는 가용리더의 개수에 관계없이 3m 이내의 RTLS 규격 오차범위에 만족함을 확인했다.

참고문헌

- [1] 김상태, "RFID 기술개요 및 국내외 동향 분석," *USN 핵심기술 RFID*, 2003. 8.
- [2] 오세원, 표철식, 채종석, "RFID 표준화 및 기술 동향," *전자통신동향분석*, 제 20권, 2005. 6.
- [3] 이원희, 이우용, 김민규, 엄두섭, 김진원, "유비쿼터스 환경을 위한 위치 측정 시스템 기술동향," *정보과학회지*, 제22권, 2004. 12.
- [4] 김유정, "RFID 시범사업 현황 및 추진방향," *TTA 저널*, 제 95호, 2004. 9.
- [5] 이근호, 김대희, "RF-ID 기술 및 산업동향 (제1부)," *주간전자정보*, Vol. 6, 2003. 11.
- [6] ISO/IEC JTC 1/SC 31/WG 5, "Information technology automatic identification and data capture techniques - Real Time Locating Systems (RTLS) - Part 2: 2.4 GHz air interface," 2005. 2.
- [7] 김영수, 이성운, 문관식, 위규진, 황인희, "이동통신에서의 위치추정 방식," *한국통신학회지 (정보통신)*, 제17권, 2000.
- [8] 박종태, 이위혁, 조영훈, 나재욱, "유비쿼터스 센서 네트워크에서 위치 측정 기술," *전자공학회지*, 제32권, 2005. 7.