

RTLS 시스템에서 Hybrid(TDOA-RSSI)와 최소자승법을 기반으로 한 속도적응형 위치추적방법

이정우 · 하덕호
부경대학교 정보통신공학과

A Method of Speed-Adaptive Location Estimation Based on Hybrid(TDOA-RSSI) and Least Square Method in RTLS System

Jung Woo Lee · Deock-Ho Ha
Department of Telecommunication Engineering, Pukyong National University
E-mail : beginbean@nate.com

요약

본 논문에서는 기존 RTLS(Real Time Location Service)시스템의 이동개체에 대한 위치추정오차를 개선하기 위하여, 이동개체속도가 증감되는 각각의 구간을 구분하여 속도가 증감된 만큼 전송신호의 주기를 적응적으로 증감시키는 방법을 제안하였다. 보다 정확한 위치추정 값을 얻기 위하여, AeroScout사의 RTLS 시스템을 이용한 Hybrid(TDOA and RSSI) 방식에 의해 각각 측정된 좌표 값과, 계산에 의해 추정된 좌표 값을 최소자승법(Least Square Method)에 대입하여 실제 이동개체의 위치좌표 값과 비교하는 방법을 취하였다. 실제 제안된 방법에 의해 실험을 해본 결과, 이동개체의 실제 위치의 위치추정오차가 개선됨을 알 수가 있었다.

Abstract

In this paper, in order to improve the location estimation error existing in RTLS(Real Time Location Service) system for the mobility individual, we proposed a method of speed-adaptive location estimation that the transmitting signaling period is adaptively changed according to the changing speed of a mobility individual for each location interval. To get the more accurate location estimation values, we analyzed both the location values measured by Hybrid(TDOA and RSSI) method by using AeroScoutTM RTLS system and the estimated value obtained from the theoretical calculation by using the Least Squares Method. Finally, we compared the analyzed values with a real location of mobility individual. From the experimental results based on our proposed method, it can be seen that the location estimation error for the real location of a mobility individual can be improved.

Keywords

Speed-adaptive location estimation, RTLS, TDOA, RSSI, Least Square Method

1. 서론

최근 IT선진국을 중심으로 RTLS(Real Time Location System)을 이용한 항만물류, 매장관리 분야 그리고 소비자 유통물류 등 다방면에 걸쳐 실시간 위치추적 시스템에 대한 관심과 투자가 활발히 증대되고 있다. 위치추적 시스템으로 널리 이용되고 있는 AeroScout사의 RTLS시스템은 다른 시스템보다 정확한 이동개체 위치추정 기능을 보여주고 있지만, 아직 만족할 만한 결과를 보여주고 있지 않은 실정이다. 더욱이 이동개체가 정지 시에는 2-3m의 위치오차를 발생하며, 개체가 이동시에는 5m 이상의 오차를 나타내어 신뢰할만한 정보를 주지 못한다.[1] 본 논

문에서는 이러한 이동개체에 대한 위치추정오차를 개선하는 방법을 제안한다. 제안방법은 AeroScout사의 RTLS 시스템을 이용하여 실내 및 실외의 제한된 공간 내에서 실제 좌표를 계산하여 이동개체의 위치를 구하고, 시스템 프로그램에 포함되어 있는 옵션에서 TDOA(Time Difference of Arrival)와 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 모드를 동시에 사용할 수 있게 설정하여 이동개체의 위치를 찾는다. 그 다음, 계산에 의해 나온 이동개체의 위치추정 좌표 값과 함께 최소자승법(Least Square Method)에 대입하여 실제 위치와 비교하는 방식을 택하였다. 특히, AeroScout사의 RTLS시스템은 이동개체에 부착될 태그가 자동으로 송신주기를 바꾸어 줄 수 있는 기능이 없기

때문에, 본 논문에서는 두 개의 태그를 이동체체의 속도에 따라서 신호주기를 달리 설정하는 방법을 취하였다. 그 결과 이동체체의 위치추정오차를 대폭 개선할 수가 있었다.

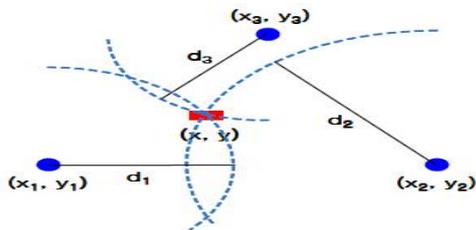
II. 기존의 위치추정방식

2.1 TDOA 방식

RTLS 시스템은 능동형태그 (433MHz or 2.4GHz) 를 사물이나 사람에게 부착하여 전송되는 태그신호를 TDOA, TOA, RSSI 그리고 AOA(Angle of Arrival)방식에 의해 구해진 거리를 삼각 측량법을 사용하여 실시간으로 이동체체의 위치를 파악한다. 특히, TDOA 방식은 능동형 태그와 두 개의 리더기 사이에 신호를 주고받는데 걸리는 시간차를 이용하여 거리를 측정하는 방식이다. 신호의 도착시간과 거리와의 관계는 식(1)을 이용하여 태그의 거리를 계산하게 된다.

$$\Delta d = \Delta t \cdot c = c \cdot |t_1 - t_2| \quad (1)$$

식(1)에서 c 는 자유공간에서의 전파속도이고, 거리 d 는 $\Delta d = |t_1 - t_2| \cdot 3 \times 10^8$ 과 같은 단순한 계산을 통해 얻어진다. [그림 1]과 같이 3개의 리더기로부터 2개의 쌍곡선이 얻어지고, 이 두 개의 쌍곡선의 교점이 단말기의 위치가 된다. 여기서 태그와 리더기들 사이에는 서로 시동기가 맞춰져야 하는 문제점을 가지고 있다.[2][3]



[그림 1] TDOA 알고리즘 원리

2.2 RSSI 방식

RSSI 방식은 거리에 따른 신호 세기의 감쇄를 이용하여 거리를 구하는 방식이다. 태그에서 보내는 송신신호를 리더기에서 수신하여 신호의 전력손실을 측정하여 거리를 구한다. 신호의 전력손실과 거리와의 관계는 다음과 같다.[3]

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) (dB) \quad (2)$$

식(2)에서 λ 는 전파의 파장이고, c 는 전파의 속도이다. 그리고 f 는 주파수, L 은 태그가 송신한 신호의 전송손실이다. 전송손실은 태그에서 송신한 신호의 세기와 리더기에서 수신한 신호 세기의 차에 의해서 구해진다.

2.3 최소 자승법

최소자승법(Least Square Method)은 실험에

서 얻은 측정된 데이터와 계산에 의해 얻은 추정된 데이터들을 이용하여 위치 오차를 최소화한다. AeroScout사의 RTLS 시스템에서 얻은 측정데이터 Y_1, Y_2, \dots, Y_n 과 추정값 y'_1, y'_2, \dots, y'_n 이라고 할 때, 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - y'_i)^2 = y_n \quad (3)$$

측정값 Y_n 과 추정값 y'_n 의 차를 제공하여 그 합이 최소가 되도록 하는 값 y_n 을 구하는 것이 최소자승법의 원리이다.

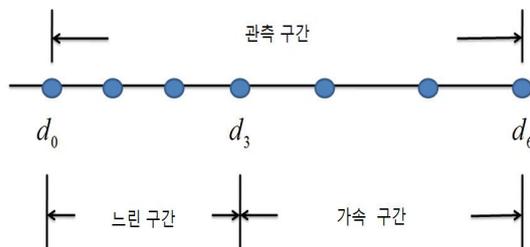
III. 제안된 위치 추정방법

3.1 이동속도 측정

본 논문에서는 두 개의 태그를 이동체체의 속도에 따라서 신호주기를 달리 설정하는 방법을 취하였다. 측정되는 능동형 태그의 이동거리는 정해진 구간에서 정해진 시간 안에 평균속도를 이용하여 구할 수 있다. [표 1]은 거리를 알기위해 느린 구간에는 사람의 평균 걷는 속도와 가속구간에서는 빠르게 걷는 속도를 각각 넣어 거리를 구하였다. 이동거리는 이동속도에 따라 달라 질 수 있으므로, 실험의 간략화를 위해 느린 구간에서는 실험자의 걷는 속도와 비슷한 0.8m/sec를 넣고, 가속구간에서는 실험자의 빠르게 걷는 속도인 1.8m/sec로 넣는다. 따라서 1초 간격을 두고 관측 구간을 측정하였을 때의 거리는 0.8m 와 1.8m가 나온다. 여기서 관측 시간을 1초로 잡은 이유는 실험에서 쓰인 맵의 면적을 2초로 하면 맵의 면적이 초과하기 때문이다. 그리고 이동체체 진행 방향은 오직 직선으로만 이동했다고 가정했다. 따라서 [그림 2]에서와 같이 실험을 하기 위해 앞서 미리 속도에 따른 거리를 구한 후 실험공간에 표시를 해준다. 느린 구간에서 가속 구간까지의 이동거리($d_0 \sim d_3$)에서는 0.8m의 간격으로 맵(Map)에 표시하고, 가속 구간($d_3 \sim d_6$)이후부터는 1.8m의 간격을 두어 표시한다.

[표 1] 이동체체의 속도에 따른 이동거리

속도(m/sec)	0.63~1.2	1.2~2
이동거리(m)	0.63~1.2	1.2~2



[그림 2] 관측 구간

다시 말해, 실험자가 맵에 미리 표시해 둔 지점을 지나가는 순간을 관측하여, 측정된 데이터의 오차 정도를 확인한다.

3.2 속도에 따른 전송주기 변경

이동개체가 느리게 걷는 구간과 빠르게 걷는 구간으로 나누어, 속도가 빠른 구간에서는 전송신호의 주기를 빠르게 하고, 반대로 속도가 상대적으로 느린 구간은 전송신호의 주기를 느리게 하였다. 따라서 [표 2]에서와 같이 이동개체의 이동속도가 0.8m/sec일 경우 태그의 전송주기를 250msec하여 1초 동안 4회를 측정하여 위치 정보를 얻고, 이동속도가 1.8m/sec일 경우 전송 주기를 125msec일로 하여 1초 동안 8회를 측정한다. 즉, 구간 ($d_0 \sim d_3$)에서는 이동속도가 0.8m/sec 이므로, 1초마다 4회를 측정하며, 구간($d_3 \sim d_6$)에서는 이동속도가 1.8m/sec 이므로 1초마다 8회를 측정한다. 결국 구간($d_0 \sim d_3$)에서 총 12개의 데이터 정보를 얻을 수 있고, 구간($d_3 \sim d_6$)에서는 총 32개의 데이터를 얻을 수 있다.

[표 2] 속도에 따른 전송주기 및 측정횟수

속도	0.8m/sec	1.8m/sec
전송 주기	250msec	125msec
측정 횟수	4(회/sec)	8(회/sec)

3.3 매트랩을 이용한 최소자승법

실험에 의해 얻어진 데이터들과 계산에 의해 추정된 데이터 값들을 직접 최소 자승법에 넣어 계산하는 것이 힘들기 때문에 매트랩을 이용한 최소 자승법 프로그램을 만든 후, 두 데이터 값들을 대입하여 실제 좌표 값과 비교한다.

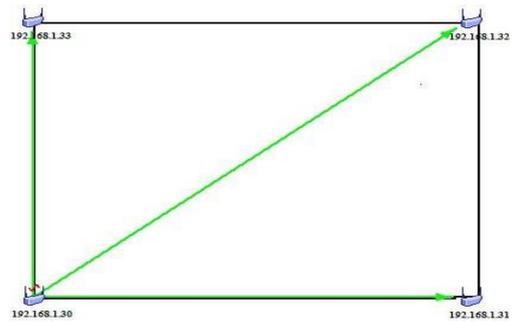
IV. 측정실험 및 결과

4.1 실험 환경

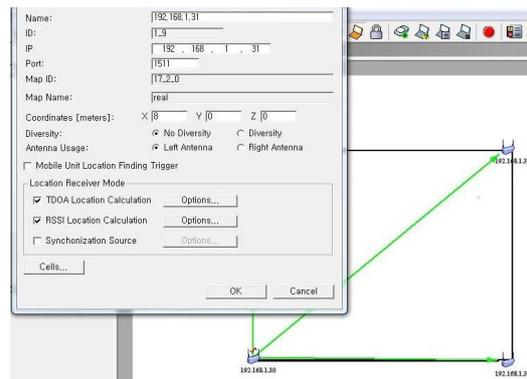
실내 LOS환경에서 태그 2개, 리더기 4개, AP(access point) 5개를 사용하여 이동하는 태그를 측정하였다.[4] NLOS 측정환경을 줄이기 위해 실내의 가구들을 치운 상태에서 실험을 행하다. 실내의 실험공간의 각 모서리에 리더기와 AP(access point)들을 설치하였으며, 실험면적은 가로 8m x 세로 7m 로 설정하였다.

4.2 AeroScout사의 엔진 프로그램 설정

실내 실험공간에서 면적을 설정한 것처럼, 프로그램에서도 실제면적과 같이 맵(Map)을 설정하고, 프로그램 상에서 [그림 3]에 나타난 바와 같이 실제 실험공간과 같은 면적을 그려 넣어 태그의 위치를 프로그램 맵에서 볼 수 있게 하였다.



[그림 3] 리더기간의 동기화 설정

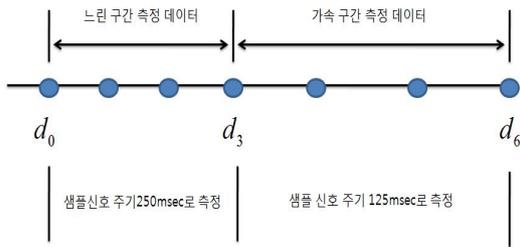


[그림 4] TDOA-RSSI 설정

또한, TDOA 방식에 의한 태그의 위치정보를 얻기 위해 리더기간의 동기화가 필요하므로, [그림 3]의 각 모서리에 표시한 바와 같이 프로그램에서 4개의 리더기간의 동기를 설정하였다.[5] 리더기간의 동기 설정을 끝난 다음, [그림 4]와 같이 TDOA-RSSI 방식에 대한 설정을 하였다. 한편, 실험에서는 리더기만 설치한 것이 아니라 AP까지 같이 설치하여 RSSI 방식도 실험할 수 있도록 하였다.

4.3 실험 계획

실험공간에 미리 표시한 지점들에서 먼저, 전송주기를 250msec로 설정 한 태그로 실험을 하고, 두 번째로 125msec로 설정한 태그로 실험을 하였다. 태그의 전송주기를 자동으로 바꾸어 줄 수 없기 때문에 250msec의 전송 주기로 전 구간을 측정할 경우는, 가속 구간의 데이터들은 버렸고, 125msec로 설정한 태그로 전 구간을 측정할 경우는 느린 구간의 측정 데이터들은 버렸다. 그리고 태그의 전송 주기가 250msec와 125msec에서 각각 측정된 데이터들을 합쳐서 데이터를 버린 구간의 공백을 메웠다. 결국 [그림 5]와 같이 느린 구간에서는 250msec로 측정된 데이터가 얻어지고, 가속 구간에서는 125msec로 측정된 데이터들이 얻어졌다.



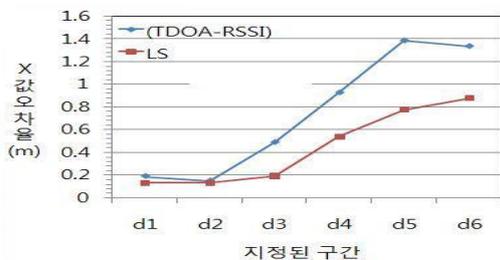
[그림 5] 250msec와 125msec의 측정구간

4.4 실험결과

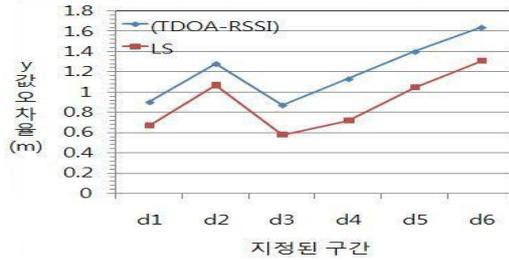
실험은 정확도를 위하여 5회 반복 실시하여 측정값의 평균을 [표 3]에 나타냈다. 실험 도중 측정값이 실제 값과 비교하여 오차가 너무 큰 결과는 삭제하였다. 오차가 큰 측정값이 나온 이유는 실내 실험환경에서 리더기 2번과 3번 주변에 금속성 철재가 설치되어 있어서 2.45GHz 주파수 대역의 리더기가 주변 환경에서 간섭을 받을 가능성이 있기 때문이다. LS(Least Square Method)에 대입하기 위한 추정값은 AeroScout사의 프로그램의 『Map Properties』에서 나타내주는 RSSI의 신호세기 창으로부터 얻을 수 있다. [그림 6]은 x값을 따로 나타내어 오차를 비교하였다. 구간 $d_1 \sim d_3$ 에서는 이동개체의 속도가 느려 비교적 정확도가 높았고, 속도가 빨라지는 구간 $d_3 \sim d_5$ 에서는 오차가 급격히 증가하다가 구간 $d_5 \sim d_6$ 일 때는 오차가 완만해지는 것을 알 수 있었다. LS 방식은 오차를 최소화시켜 주므로 측정값보다 낮은 오차를 보이고 있고, 특히 가속 구간에서는 오차율 향상을 확인하였다.

[표 3] 실험 측정결과

	TDOA-RSSI			Least Square Method			실제 좌표값		
	d_1	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3
느린 구간	0.61, 1.1	1.45, 0.72	1.91, 1.13	0.67, 1.33	1.73, 0.93	2.21, 0.93	0.8, 2	1.6, 2	2.4, 2
가속 구간	3.27, 3.13	4.81, 3.41	6.46, 3.82	3.66, 2.72	5.42, 3.05	6.92, 3.31	4.2, 2	6, 2	7.8, 2



[그림 6] x값 오차율 정확도 비교



[그림 7] y값 오차율 정확도 비교

실험에서 직선거리로만 측정하였기 때문에 실제 y의 좌표 값은 변함이 없었지만 [그림 7]에서 알 수 있듯이 오차율이 x좌표 값의 오차율보다 컸다. 특히 $d_1 \sim d_3$ 구간 중 d_2 구간에서 오차율이 크게 나타났다. 이는 d_2 구간에 신호의 송신을 방해할 수 있는 정수기가 설치되어 있어서 오차율이 크게 나타났다고 생각된다. LS 방식의 경우는 TDOA-RSSI 방식과 같은 곡선 모양을 나타내지만, [그림 6]의 x값 오차를 경우처럼 보다 낮은 오차를 나타내고 있다. [그림 6]과 [그림 7]의 결과로부터, 좌표 값이 고정된 y값의 경우가 구간마다 좌표 값이 다른 x값의 경우보다 오차율이 크게 나타남을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 AeroScout사 RTLS 시스템의 Hybrid(TDOA-RSSI) 방식과 최소자승법(LS)을 기반으로 한 속도적응형 위치추정방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 이동개체의 위치정보 향상을 위해 이동속도에 따른 전송주기를 변화시켜주어 측정좌표 값을 얻는 방식을 취하였다. 또한 TDOA-RSSI 방식을 이용한 측정좌표 값과 이론 계산에 의한 추정 값을 최소자승법에 대입하여 위치정보를 보다 향상 시킬 수 있었다. 측정에 의해 x 좌표값과 y 좌표값으로 나누어 실제 좌표값과 비교한 결과, TDOA-RSSI방식보다 LS방식을 이용하여 얻은 결과가 오차율이 낮았고, 특히 가속 구간에서는 LS 방식의 경우가 위치추정 오차가 확연하게 개선됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1]김학용 “무선랜 기반 RTLS 시스템을 위한 속도적응형 위치추정 방법”, Telecommunication Review, 제 16권 4호, 2006년 8월.
- [2]RALPH BUCHER and D.MSRA “A Synthesized VHDL Model of the Exact Solution for Three-dimensional Hyperbolic Positioning system”, VLSI Design, +Vol.15(2), pp.507-520, October 2001
- [3]김학용 “RSSI 와 TDOA의 비교”, 삼성텔레매틱스, 2007년 8월 15일
- [4]최대우 “AeroScout 상용 장비를 이용한 실시간 위치추적실험”, 동명대학교 데이터 통신 연구실, 2008년 11월
- [5]AeroScout Inc, <http://www.aeroscout.com>