

비가시성을 고려한 RF 기반 측위 시스템의 설계 및 구현

정회원 최 훈*, 종신회원 백윤주*

Design and Implementation of RF based locating System for NLOS Environment

Hoon Choi* *Regular Member*, Yunju Baek** *Lifelong Member*

요 약

RTLS(Real Time Locating System)은 사람이나 사물의 위치를 실시간으로 추적하는 시스템이다. 이 시스템에서는 RTLS 리더가 태그와 무선 통신으로 시간이나 거리 등을 측정하고, 위치 엔진은 이를 이용하여 태그의 위치를 추정한다. 하지만 사물을 위치를 추정하는 데 있어 비가시성에 따른 측정 오류는 성능에 심각한 영향을 미친다. 비가시성은 측위 시스템을 실제 환경에 적용하기 위해 반드시 일어나는 요소이며, 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 거리를 역추적하여 알맞은 리더를 찾아내는 선택법을 이용한 새로운 측위 시스템을 제안한다. 제안한 기법을 실제 구현하여 실험한 결과 기존 기법에 비해 50% 이상 향상된 것을 알 수 있었다.

Key Words : RTLS, Real time locating system, NLOS, localization

ABSTRACT

RTLS (Real-time locating systems) are used for tracking the location of people or assets in real time. In this system, RTLS readers continuously communicate with RTLS tags for measuring time or ranges and location engine tries to calculate accurate location of tags. However, when we attempt to apply this system to real world, the non-line-of-sight(NLOS) problem can be critical to the system performance because of the obstacles. In this paper, we suggest a new location estimation method for an NLOS environment using a reader-selection strategy. We have implemented all components of the locating system and carried out experiments in a test-bed. The accuracy of the system is 50% better than that of the existing general locating system.

I. 서 론

RTLS(Real Time Locating System)은 사람이나 사물의 위치를 실시간으로 추적하는 시스템을 말한다. 이 시스템은 일반적으로 RTLS 태그, RTLS 리더, 위치 엔진 등으로 구성된다. 태그는 사물에 부착되어 비컨(beacon)이라고 하는 짧은 무선 신호를 방사하고, 그 신호를 수신한 리더는 태그와 자신과의 시간 혹은 거리 등을 측정한다. 측정된 정보는 모두 위치 엔진으로 보내어지고, 위치 엔진은 해당 정보와 리더의 위치

등을 기반으로 태그의 정확한 위치를 계산해낸다. 또 이 시스템은 일반적으로 초음파, 적외선, 라디오 주파수 등 다양한 매체를 이용하여 메시지 신호를 주고 받는다. 그 중 RF는 비교적 먼 송수신 거리를 통신할 수 있고, 많은 솔루션이 존재하기 때문에 가장 많이 쓰이는 매체 중 하나이다³⁻⁵⁾.

한편 위치를 추정하는 데 있어, 비가시성(NLOS, non-line-of-sight)에 따른 측정 오류는 성능에 심각한 문제를 초래할 수 있다. 만약 두 노드 사이에 장애물이 있다면, 무선 신호는 목적지에 바로 도달하지 못하

* 이 논문은 2단계 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

* 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실 ({hoonchoi, yunju}@pusan.ac.kr)(^o: 교신저자)

논문번호 : KICS2010-12-630, 접수일자 : 2010년 12월 27일, 최종논문접수일자 : 2011년 6월 8일

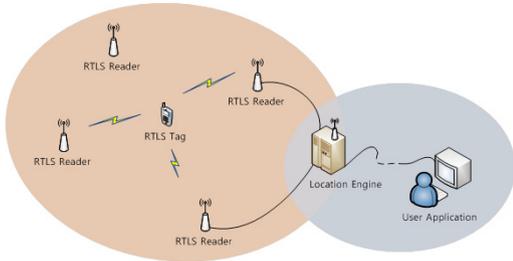


그림 1. 실시간 위치 인식 시스템 (RTLS)

고 반사, 산란 굴절 등으로 인한 다경로 전파 (multipath)로 도달하게 되고, 이는 시간이나 거리의 측정에 큰 오차를 포함하게 한다.^[7] 따라서 이러한 오차의 제거는 시스템 성능을 향상시키는데 필수적인 요소가 된다. 위치 추적 시스템을 적용하고자 하는 환경에는 기둥, 사람, 벽, 차량 등 많은 장애물이 존재할 수 있다. 따라서 이러한 환경에 시스템을 적용하고자 할 때, 비가시성에 따른 오류는 흔히 일어날 수 있는 것이다.

따라서 본 논문에서는 비가시성 환경을 고려한 위치 추적 메커니즘을 제안한다. 문제를 해결하기 위해 우리는 거리 역추적 기법과 환경에 적합한 보정 기법 등을 제안하고, 이를 검증하기 위해 태그, 리더, 위치 엔진을 포함한 시스템을 구현하여, 성능을 측정하고자 한다. 본 논문은 다음과 같은 형태로 구성 된다. 2장에서는 관련 논문을 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 위치 추적 알고리즘을 자세히 설명한다. 제안하는 시스템의 검증을 위한 실험 및 결과는 4장에서 소개하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

일반적으로 RF 기반의 위치 추적 방법은 일방형 (one-way)과 쌍방향형(two-way)으로 나눌 수 있다. 일방형의 경우, 태그는 단순히 블링크(blink)라고 하는 짧은 신호를 주변에 설치된 리더들에게 방사한다. 이를 수신한 리더들은 이 신호를 이용하여 태그와의 거리나 시간 등의 관계를 계산하고, 최종적으로 위치 엔진은 이러한 정보를 이용하여 태그의 위치를 계산한다. RSS(Received Signal Strength)를 이용한 방법이 대표적이다. 이 방법은 추가적인 장비가 필요하지 않고, 구현이 쉽지만 그림 2에서 보는 것처럼 정확도가 낮다^[6]. TDOA(Time Differential of Arrival) 방법은 리더들의 태그 신호 수신 시간의 차를 이용한다. 먼저

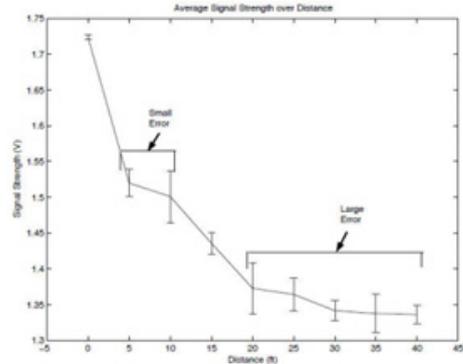


그림 2. RSS 기반 거리 측정의 불확실성

시각 동기 된 리더들은 태그의 신호를 받고, 받은 시각을 동시에 기록한다. 이 정보들은 위치 엔진으로 전송되고, 위치 엔진은 각 리더들 간의 수직 시각 차를 쌍곡선 형태로 변환하고, 쌍곡선이 중첩되는 부분을 태그의 위치로 추정한다. 이 방법을 구현하기 위해서는 리더 들의 시각동기가 필요한데, RF 신호의 빠르기는 빛의 속도와 같기 때문에 리더들은 이에 따른 나노 초 수준의 초고정밀 시각 동기 장치가 필요하다는 문제가 있다^[2]. TOF(Time of flight)는 신호를 보낸 시각과 받은 시각을 각각 측정하여, 두 시각 차와 속도를 이용하여 신호가 도달한 거리를 계산하는 방식이다. 위치 엔진은 계산된 거리와 각 리더의 위치를 이용하여 삼변측량(tri-lateration) 등의 방법으로 태그의 위치를 계산한다. 이 방법 역시 태그-리더 간 나노 초 수준의 초고정밀 시각 동기가 필요하다는 문제가 있다^[2].

쌍방향 방법의 경우, 그림 3과 같이 각각의 태그와 리더는 메시지를 교환하고 거리 정보를 추정한다. 노드는 측정 시작 메시지를 대상 노드에 보내고 시각을 측정한다. 해당 메시지를 수신한 노드는 곧바로 응답 메시지를 보내고, 처리한 시간을 연달아 보낸다. 측정을 시작한 노드는 보낸 시각과 응답 메시지를 받은 시간, 그리고 처리 시간을 이용하여 RTT(Round Trip



그림 3. RTT 기반의 거리 측정

Time)를 측정하고 거리를 계산할 수 있다. 만약 어떤 태그가 셋 혹은 그 이상의 리더와의 거리 측정에 성공했다면, TOA와 마찬가지로 위치 엔진은 그 정보를 이용하여 태그의 위치를 계산할 수 있다. 쌍방향형 방법은 노드-노드 간의 메시지를 교환하는 방법으로 거리를 측정하기 때문에 일방형 방법 보다 메시지의 수가 많고, 그에 따른 처리 속도가 느리다는 단점이 있다. 하지만 이 방법은 구현이 쉽고, 시각 동기 등을 위한 추가 장비가 필요하지 않기 때문에 그에 따른 비용이 최소화 된다는 장점이 있어 위치 추적 시스템에 사용하기 용이하다.

비가시성 문제를 극복하기 위해, 시스템은 평균법, 보정법, 선택법 등 세 가지 접근법을 선택할 수 있다.

먼저 평균법은 대표적인 비가시성 문제를 극복하는 접근 중 하나이다. 대표적인 접근 방법으로는 최소 자승법, 최대 우도법, 선형 계획법 등이 있는데, 최소 자승법(least square)은 오차가 포함된 모든 거리 정보를 이용하여 위치를 계산할 때 가장 적은 오차를 낼 수 있는 위치를 찾는 방법이다.^[11,11] 선형계획법은 위치 계산을 일차식 형태의 목적함수와 제약조건으로 표현하고, 최적의 위치를 구하는 기법이다.^[12,13] 최대 우도법(maximum likelihood)은 거리 측정 분포 상으로 수집될 수 있는 위치를 대상의 위치로 선택하는 기법이다.^[14,15] 최대 우도법은 거리 측정 통계 자료와 같은 추가적인 자료가 필요하며, 선형 계획법은 그 계산법이 매우 복잡하다. 최소 자승법은 추가적인 자료 없이 비교적 간단한 수식을 사용하여 쉽게 오차를 최소화 하는 위치를 계산할 수 있어 가장 많이 사용된다. 하지만 장애물이 존재할 수 있는 곳에서는 이로 인하여 노드의 일부만이 비가시성으로 인한 오차(반사로 인한 오차)를 포함 하는 경우가 많고 그 오차는 매우 크다. 따라서 평균법은 효율적이지 못하고, 대상으로 하는 시스템에 적용하기 힘들다.

보정법은 비가시성으로 인한 신호를 찾아 보정하는 방법이다. 이 방법은 주로 맵 등으로 부터의 선행 지식에 기반한다. 따라서 이는 새로운 공간 정보, 즉 장애물의 출입이나 사람의 움직임 등을 실시간으로 대처할 수 없다.

마지막으로 선택법은 리더를 태그로부터 정확한 거리를 측정해 낼 수 있는 가시선 상의 리더(가시선 리더)와 다경로 전파로 인해 큰 오차를 포함한 거리를 측정하는 비가시선 상의 리더(비가시선 리더)로 나눈다. 만약 이 리더의 분류가 성공적일 경우, 시스템은 태그의 정확한 위치를 계산해 낼 수 있다. 태그의 위치를 추정하기 위해서는 셋 이상의 거리 정보가 필요

하기 때문에, 이 접근법은 한 태그의 위치를 추정하기 위해 셋 이상의 리더가 설치되어야 하는 것을 전제로 한다.

본 논문에서는 장애물이 존재하는 환경에서 태그의 정확한 위치를 계산하기 위해 선택법을 이용한 추정 알고리즘과 환경에 적합한 보정 기법을 소개한다.

III. 비가시성을 고려한 위치 추적 시스템

이 장에서는 태그, 리더, 위치 엔진을 포함한 위치 추적 시스템을 제안한다. 우리는 이 시스템에 쌍방향 위치 추적 법, 그리고 선택법을 적용하였다. 즉, 위치 엔진은 모든 태그의 블링크 신호에 대한 가시선 리더를 찾고, 각각의 태그에 대한 위치를 계산한다. 우리는 리더들이 가시선을 최대한 확보하기 위해 공간 내에서 벽 위쪽과 같은 비교적 높은 위치에 설치된다고 가정한다.

- (1) 먼저 태그는 블링크라고 불리는 짧은 신호를 임의의 시간 마다 주변에 설치된 리더에 방사한다. 신호를 받은 리더들은 이 정보를 모두 위치 엔진으로 전달한다. 그림 4-(1)은 이 과정의 예를 나타낸다. 1, 3, 5번 리더는 태그의 신호를 직접적으로, 즉 가시선 상에서 받았고 리더 2와 6은 장애물 때문에 신호 반사 또는 신호가 너무 약해 받지 못하였다. 한편 리더 4는 신호가 벽에 반사되어 도달하였다(다경로 전파 문제).
- (2) 리더의 신호를 받은 위치 엔진은 해당 태그에 대한 리더의 리스트를 만들고, 리스트의 처음에 있

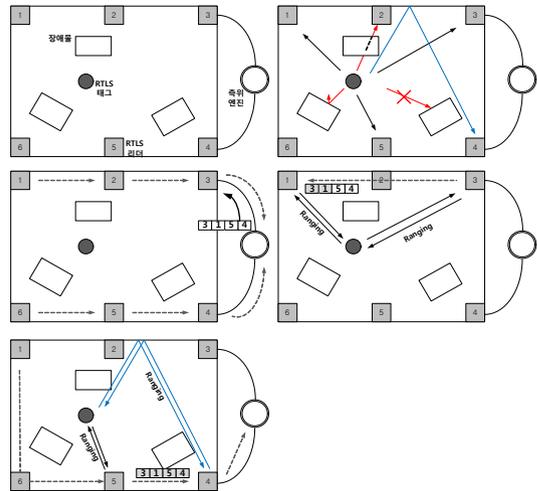


그림 4. 제안하는 위치 추적 시스템의 동작 예

는 리더에게 리스트와 함께 측정-시작 메시지를 보낸다. 측정-시작 메시지를 받은 리더는 태그와 RTT를 이용해 거리를 측정한다. 측정이 종료되면 해당 리더는 토큰 링과 같이 리스트에 있는 다음 리더에게 메시지를 전달한다. 그림 4-(3)과 같이 이러한 과정이 종료되면, 위치 엔진은 리스트 내의 모든 리더로부터 해당 태그와의 거리 값을 얻게 된다.

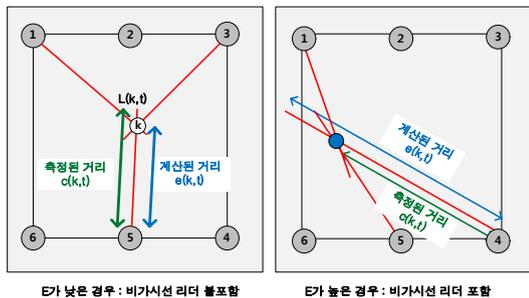
- (3) 태그의 위치를 계산하기 앞서, 태그와 리더는 서로 다른 높이에 있기 때문에 위치 엔진은 계산량을 줄이기 위해 측정된 거리를 보정하는 과정을 거친다. 리더 k 가 설치된 높이가 $h(k)$ 이고, 태그 t 의 높이가 $h(t)$, 그리고 이 때 측정된 거리 값이 $r(k,t)$ 라 할 때, 보정된 거리 값 $c(k,t)$ 는 다음과 같다.

$$c(k,t) = r(k,t) - (h(k) - h(t))^2 \quad (1)$$

- (4) 위치 엔진은 리더 리스트에 있는 리더의 거리 값에 대해 3개씩 그룹을 짓는다. n 개의 리더가 태그의 신호를 받고 거리를 측정했다면, $\binom{n}{3}$ 개의 그룹이 만들어진다. 위의 예에서, 리더 R_3, R_1, R_5 그리고 R_4 가 태그 t 의 신호를 받았기 때문에 리더 그룹은 다음과 같이 생성된다.

$$Group(t) = [(R_1, R_5, R_4), (R_3, R_5, R_4), (R_3, R_1, R_4), (R_3, R_1, R_5)] \quad (2)$$

- (5) 위치 엔진은 각 리더 그룹의 거리 값과 리더들의



타가 낮은 경우: 비가시성 리더 불포함

타가 높은 경우: 비가시성 리더 포함

Group	L	E(k,t)
3	1 5	Low
3	1 4	High
3	5 4	High
1	5 4	High



그림 5. 계산된 거리와 측정된 거리를 이용한 오차 판별법의 예시

위치 값을 이용하여 태그의 위치를 추정한다^[1]. 만약 태그 t 에 대한 리더 그룹 중 하나인 $Group(t)[x]$ 에 리더 R_a, R_b, R_c 가 존재하고, 각각의 높이 보정된 거리 값이 $c(a,t), c(b,t), c(c,t)$ 그리고 리더의 위치를 $\vec{x}_a, \vec{x}_b, \vec{x}_c = (x_a, y_a), (x_b, y_b), (x_c, y_c)$ 이라 할 때 태그의 계산된 위치 $L(x,t) = (ex, ey)$ 는 다음과 같다. $\|\vec{x}_n\|$ 은 리더 n 의 위치에 대한 벡터 크기를 나타낸다.

$$ex = \frac{(y_b - y_a)C_3 - (y_c - y_b)C_1}{[(x_c - x_b)(y_b - y_a) - (x_b - x_a)(y_c - y_b)]}$$

$$ey = \frac{(x_b - x_a)C_3 - (x_c - x_b)C_1}{[(y_c - y_b)(x_b - x_a) - (y_b - y_a)(x_c - x_b)]} \quad (3)$$

$$C_1 = \frac{1}{2}(\|\vec{x}_b\|^2 - \|\vec{x}_a\|^2 + c(a,t)^2 - c(b,t)^2)$$

$$C_3 = \frac{1}{2}(\|\vec{x}_c\|^2 - \|\vec{x}_b\|^2 + c(b,t)^2 - c(c,t)^2)$$

- (6) 비가시성 리더가 포함된 리더를 가리기 위하여, 위치 엔진은 해당 리더 그룹에서의 계산된 위치 $L(k,t) = (ex, ey)$ 로부터 각 리더까지의 거리 $e(k,t)$ 를 계산한다. 만약 비가시성 리더가 어떤 그룹에 포함되어 있다면 그 리더의 측정된 거리는 큰 오차 값이 포함되어 실제 거리보다 훨씬 길게 나타난다. 따라서 그림 5와 같이 측정된 위치와 실제 위치와의 오차가 커진다. 따라서 $c(k,t)$ 와 $e(k,t)$ 의 차를 이용하여 거리 간의 오차 $E_{k,t}$ 를 구할 수 있다. $Group(t)[x]$ 의 오차 $E_{k,t}$ 는 다음과 같이 계산될 수 있다. 그리고 만약 어떤 그룹이 가장 낮은 오차 $E_{k,t}$ 를 가지고 있다면, 해당 그룹의 모든 리더는 가시성 상에 있을 확률이 높다.

$$e(k,t) = \sqrt{(ex_k - x_n)^2 + (ey_k - y_n)^2}$$

$$E_{k,t} = \sum (e_n(k,t) - c_n(k,t))^2 \quad (4)$$

- (7) 이 접근 방법을 실제 환경에 적용하고 더 정확한 위치 추정을 위해 그림 6과 같은 특수한 상황에 대처하기 위하여 $E_{k,t}$ 에 페널티 값 P_{bound} 와 P_{NLOS} 를 추가하였다.

$$E_{k,t}' = \sum (e_n(k,t) - c_n(k,t))^2 + P_{bound} + P_{NLOS} \quad (5)$$

이 두 값은 그림 6과 같은 상황에서 비가시성 통신으로 인한 문제 혹은 간헐적으로 존재할 수 있

는 거리 측정 오류에 대한 결과 오류를 차단할 수 있다. 그림 6-(1)의 경우, 위치 엔진은 비가시성 리더로 인해 태그의 위치를 존재할 수 있는 경계 밖으로 계산할 수 있다. 이를 방지하기 위해 태그의 계산된 위치와 경계 좌표를 이용하여 P_{bound} 를 계산하고, $E_{k,t}$ 에 추가한다. 또한 비가시성 리더의 측정된 거리는 실제 거리보다 항상 길기 때문에, 계산된 거리와 측정된 거리를 이용하여 P_{NLOS} 를 계산하고 $E_{k,t}$ 에 추가한다.

- (8) 최종적으로 위치 엔진은 $E_{k,t}$ 가 가장 낮은 그룹의 위치 $L(k,t)$ 를 태그의 최종 위치로 선정한다.

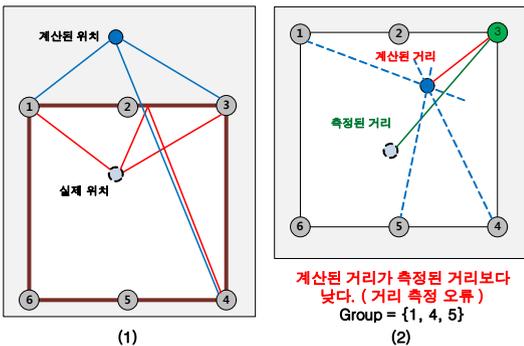


그림 6. 잘못된 위치 계산을 하는 경우와 거리 측정 오류 제거



그림 7. 실험에 사용된 RTLS 태그 및 리더

IV. 성능 평가

4.1 시스템 컴포넌트 구현

성능 평가를 위해 우리는 태그, 리더, 위치 엔진 등 모든 시스템 컴포넌트들을 설계하고 구현하였다. 먼저

RTLS 태그는 저전력 동작으로 설계되었다. TI 사의 MSP430F2252를 처리 코어로 이용하고, RF 통신과 쉬운 거리 계산을 위해 802.15.4a CSS 방식을 이용하는 Nanotron 사의 NA5TR1을 조합하였다^[5,8,9]. 그리고 RTLS 리더는 메인 프로세서로 PXA255, NA5TR1 RF 모듈을 이용하여 충분한 계산능력을 갖게 하였다. 또한 리더 간의 통신과 위치 엔진과의 통신을 위하여 이더넷 컨트롤러를 장착하였고 원활하고 정확한 RF 통신을 위하여 두 개의 RF 모듈과 두 개의 방향성 안테나를 조합하여 설계하였다. 위치 엔진은 일반적인 PC를 이용하였고, 엔진 코어는 python과 정밀한 위치 계산을 위해 다수의 수학 모듈로 개발되었다.

4.2 실험 환경

제안한 시스템의 검증을 위해, 우리는 부산대학교 내 RFID 실험 센터를 실험환경으로 하였다^[10]. 이 장소는 많은 철제 장애물이 존재하여, 비가시성 통신이 일어날 수 있다. 그림 8와 같이 6개의 리더를 벽면 위쪽에 설치하고, 3개는 지지대를 두어 지상에 설치하였다. 그림 9는 실험환경과 리더의 설치 위치를 보여준다.

4.3 실험 결과

그림 10은 위치 엔진이 태그의 위치를 계산한 결과를 나타낸다. 별 모양은 태그의 실제 위치이다. 표 1은



그림 8. 테스트 환경 : 철제로 만들어진 장애물이 존재하며, 벽면 위쪽에 리더를 설치하였다.

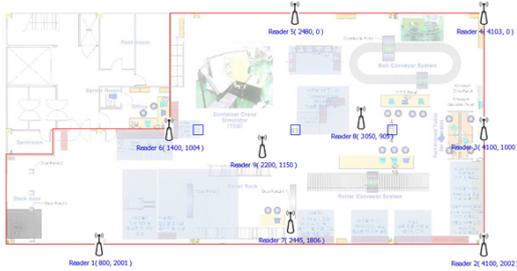


그림 9. 테스트 환경의 지도와 리더의 설치 장소 : 40m x 20m, 9개의 리더

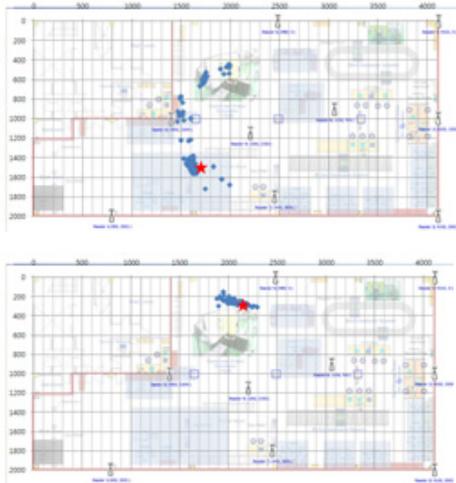


그림 10-1. 지점에 따른 위치 추정 (지점 1, 2)

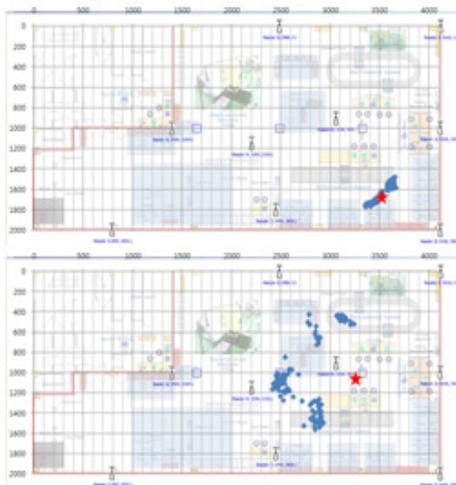


그림 10-2. 지점에 따른 위치 추정 (지점 3, 4)

그 결과를 보이고 있는데, 지점 2와 3의 경우 3개 이상의 가시선 리더가 확보되는 만큼 추정된 위치가 실제 위치와 매우 유사하다는 것을 알 수 있다. 반면 점

표 1. 각 지점에 따른 리더의 상태

지점	가시선 리더	비가시선리더	미수신 리더
지점 1 (1735,1517)	5,6,8,9	1,4,7	2,3
지점 2 (2167,289)	2,5,8,9	7	1,3,4,6
지점 3 (3502,1689)	2,4,5,6,7,8	1,3,9	-
지점 4 (3373,1081)	6,7	2,3,4,5,8,9	1

4의 경우 추정 위치가 산발적인데, 이는 두 리더만이 가시선 상에 있기 때문에 정확하지 않은 것으로 분석된다. 점 1의 경우 다수의 오류 값을 볼 수 있는데, 이는 일부의 리더에서 신호의 산란으로 인해 측정되는 태그와의 거리 값이 심하게 진동한 것으로 분석된다.

그림 11은 본 논문에서 제안한 시스템과 기존 존재하는 시스템과의 비교를 나타낸다. 최소 제공법을 이용하는 기존 시스템은 리더의 모든 정보를 이용하여 결과를 예측하지만, 일부의 리더가 비가시선 상태 등으로 인하여 그 값이 비이상적일 때는 그림과 같이 큰 오차가 발생할 수 있다. 가시선 리더가 3개 이상인 안정적인 지점 2, 3에서는 기존 시스템에 비해 성능이 50% 이상 개선되었음을 볼 수 있다. 하지만 지점 1,

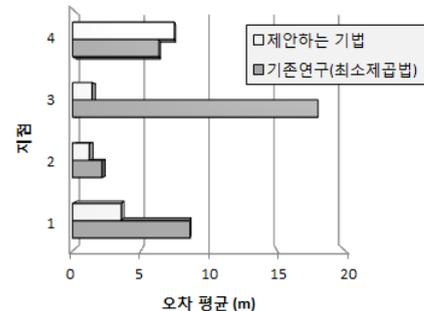
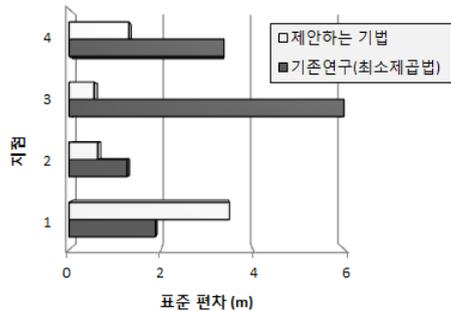


그림 11. 기존 시스템과의 성능 비교 실험

4에서는 가시선 리더의 확보가 3개 이상 되지 않거나 신호의 불안정으로 인해 올바른 거리 정보가 3개 미만인 지점으로, 평균 오차 혹은 표준 오차의 문제가 발생함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서 우리는 비가시성 환경을 고려한 측위 시스템을 제안하였다. 실내 환경뿐 아니라 장애물이 많은 환경에서 측정 값을 역추적하는 선택법과 특수 상황까지 고려한 필터링 기법을 적용하여 측위 정확도를 높일 수 있었다. 우리는 시스템의 모든 컴포넌트를 구현하였고, 실제 환경에서 실험하여 그 성능을 검증하였다. 하지만 이 방법은 가시선 리더의 수가 3개 이상이 확보되어야 안정된 값을 얻을 수 있다는 단점이 있다. 우리는 이 문제를 추가적인 통계 알고리즘과 이동형 리더 기술을 향후 연구 및 적용하여 이러한 문제를 극복하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] J. J. Caffery Jr., "A new approach to the geometry of TOA location," *52nd Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE VTS-Fall VTC 2000.*

[2] J. O. Smith and J. S. Abel, "Closed-form least-squares source location estimation from range-difference measurements," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process*, Vol.35, No.12, pp. 1661 - 1669, Dec. 1987.

[3] Texas Instruments, 2.4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee-Ready RF Transceiver (Rev. B), CC2420 Datasheet (Rev. B), 2007.

[4] Texas Instruments, Single-Chip Very Low Power RF Transceiver (Rev. A), CC1000 Datasheet, 2007.

[5] Nanotron technologies, nanoLOC TRX Transceiver.

[6] K. Whitehouse, C. Karlof, and D. Culler, "A practical evaluation of radio signal strength for ranging-based localization," *Mobile Computing and Communications Review*, Vol.11, 2007.

[7] P.-C. Chen, "A non-line-of-sight error mitigation algorithm in location estimation," *IEEE Wireless Communications and*

Networking Conference, June 1999.

[8] 장현성, 최훈, 정연수, 진영우, 백윤주, "Demo abstract: Distributed RTLS with multi-directional antenna array," *IEEE Real-Time and Embedded Technology and Application Symposium*, April 2009.

[9] 손상현, 김잠제, 최훈, 정연수, 백윤주, "Demo abstract: Implementation of RTLS to overcome radio shadow area," *IEEE Real-Time and Embedded Technology and Application Symposium*, April 2009.

[10] 부산대학교 과학연구기술동 1층, <http://rclit.com/>

[11] Kegen Yu, Guo, Y.J., "NLOS Error Mitigation for Mobile Location Estimation in Wireless Networks," *Proc. of Vehicular Technology Conference*, pp.1071-1075, Apr. 2007.

[12] Larsson, E.G, "Cramer-Rao bound analysis of distributed positioning in sensor networks," *Proc. of IEEE Signal Processing Letters*, Vol.11, pp.334-337, Mar. 2004.

[13] Venkatesh S., Buehrer R.M., "A linear programming approach to NLOS error mitigation in sensor networks," *Proc. of The Fifth International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, pp.301-308, Jul. 2006.

[14] Riba J., Urruela, A., "A non-line-of-sight mitigation technique based on ML-detection," *Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol.2, pp.153-156, May 2004.

[15] K. W. Cheung, H. C. So, "Accurate approximation algorithm for TOA-based maximum likelihood mobile location using semidefinite programming," *Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol.2, pp.145-148, May 2004.

최 훈 (Hoon Choi)

정회원



2005년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과 학사

2007년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과 석사

2007년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 센서 네트워크, 임

베디드 시스템, Realtime Locating System

백 윤 주 (Yunju Baek)

중신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전 산학과 학사 졸업

1992년 2월 한국과학기술원 전 산학과 석사

1997년 2월 한국과학기술원 전 산학과 박사

1999년~2002년 NHN 기술연 구소 소장

2003년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 부교수

<관심분야> 임베디드시스템, 센서네트워크, 컴퓨터 구조