

항만 물류 환경을 위한 TDOA 기반 측위 기법의 개선

준회원 최 훈*, 정회원 지 동 환**, 종신회원 백 윤 주**°

Improvement of TDOA-Based Localization Method for Port Logistics Environment

Hoon Choi* Associate Member, Donghwan Ji** Regular Member
Yunju Baek**° Lifelong Member

요 약

기구나 인간의 위치 정보는 물류 관리, 처리 분야 등 기술의 선진화에 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 항만 물류라는 특수한 환경에서 태그가 부착된 개체의 정확한 위치 정보를 얻기 위해 환경에 적합한 TDOA 기반의 측위 기법을 제안한다. 이 기법은 SX 알고리즘을 기반으로 한 기준 리더 변경 기법, 리더-태그 간 높이 차에 대한 위치 오차를 보정하기 위한 2.5D 위치 보정 기법과 맵을 활용하여 태그의 위치를 제한함으로써 위치 오류를 보정하는 태그 위치 제한 기법 등으로 구성된다. 이러한 기법들에 대한 실험 결과 측위 성능이 향상되었음을 볼 수 있었으며, 특히 측위 시스템을 실제 구현하여 실험 하였을 때 전체 측위 정밀도 DRMS와 CEP 모두 4m 이내의 정밀도를 보였다.

Key Words : TDOA, 항만물류환경, 위치추정시스템, RTLS, localization

ABSTRACT

The tracking information of objects or persons plays the important role for being advanced of the technology in the logistics management or processing. In this paper, we propose the TDOA-based localization method for port logistics environment for obtaining accurate location of a tag which is attached to some objects or persons. The proposed method consists of these modules for precision : An adaptive selection module of base reader, 2.5D locating method and position-restriction method using a map. This paper includes the performance evaluation of those methods. We could see the improved performance in the simulation. And we also implemented the system and achieved the accuracy of DRMS and CEP within 4 meters.

I. 서 론

최근 국제 무역의 활성화로 컨테이너 처리량이 증가하고 있으며, 그에 따라 각국 항만에서는 컨테이너의 원활한 처리와 인건비 부담 등을 줄이기 위한 항만 물류의 자동화를 진행하고 있다. 이러한 환경에서 물류나 기기의 실시간 위치 정보는 물류 처

리 및 관리 등의 자동화에 중요한 역할을 한다. RTLS(Real Time Locating System)는 태그가 부착된 개체의 위치를 실시간으로 추적할 수 있는 시스템이다^[1]. GPS 등과는 달리 실내, 실외 등 장소 제약이 없으며 비용 면에서도 경제적이다 할 수 있다. 항만 물류 환경은 매우 넓고, 위치를 알고자 하는 객체가 상대적으로 많아 많은 수의 태그 움직임

* 이 논문은 2008년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

* 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실 ({hara, yunju}@pusan.ac.kr) (° : 교신저자), * 삼성전자 (nextdh@naver.com) 논문번호 : KICS2008-08-372, 접수일자 : 2008년 8월 26일, 최종논문접수일자: 2008년 12월 22일

이 동시에 파악 되어야 한다. 그리고 이 환경의 특성상 태그는 제한된 공간이나 동선 위에서 움직인다. 또한 항만 물류 환경은 컨테이너 등 철제 장애물이 많아 무선 신호의 반사, 산란 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 특수한 환경에서 효율적으로 동작하는 측위 기법이 필요하다.

본 논문에서는 이와 같은 항만 물류 환경에 적합한 TDOA 기반의 측위 기법을 제안한다. 먼저 TDOA 기법에서 보편적으로 적용되는 기준 리더 변경 기법에 대해 설명하고, 2.5D 위치 보정 기법, 맵 기반 태그 위치 제한 기법 등으로 노이즈에 따른 위치 오차를 줄인다.

논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 배경 및 관련연구, III장에서는 항만 물류 환경에 TDOA 기법을 적용하기 위한 측위 기법과 오류 보정기법, IV장에서 시뮬레이션 결과와 실제 구현된 시스템에서의 실험 결과를 제시한다. 그리고 마지막으로 V장 결론 부분에서는 논문의 기여 및 향후 연구 과제를 제시하며 논문을 끝맺는다.

II. 배경 및 관련 연구

가장 기본적인 RTLS는 그림 1과 같이 태그(RTLS transmitters), 리더(RTLS infrastructure), 측위 엔진(RTLS server)으로 구성 된다. RTLS 태그는 위치를 알고자 하는 사물에 부착되어 주기적인 시간 간격으로 블링크(blink)라 불리는 무선 라디오 신호를 발생시켜 주변 리더에게 측위의 시작 요청을 알린다. 리더는 태그 주변에 다수 존재하며, 태그의 블링크를 수신한다. 그리고 블링크를 받은 리더는 태그 정보, 리더 정보 그리고 신호 도착시간이나 세기 등의 정보를 엔진으로 전달한다. 측위 엔진은 여러 리더와 연결되어, 리더가 수집한 태그의 블링크 신호를 받아 태그의 위치를 계산한다. 그리고 이 정보를 미들웨어나 사용자에게 송신하는 역할을

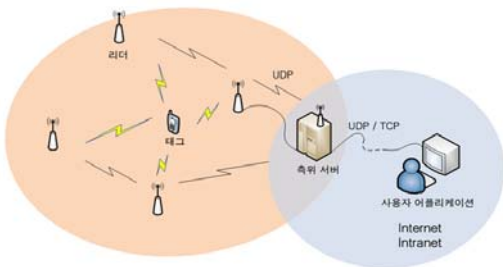


그림 1. RTLS의 기본 구조

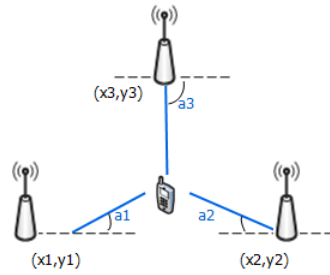


그림 2. 삼각 측량

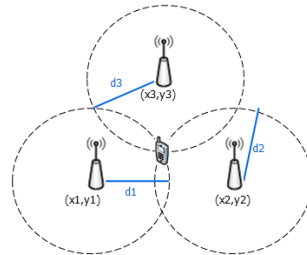


그림 3. 삼변 측량

한다.

태그의 측위 기법은 삼각측량-AOA(Angle Of Arrival) 기법^[2], 삼변측량-TOA(Time Of Arrival) 기법^[3], RSS(Received Signal Strength) 기법^{[4][5]}, 쌍곡선 측량-TDOA(Time Difference Of Arrival) 기법^{[6][7][8]} 등이 있다.

삼각측량이란 그림 2에서와 같이 위치가 알려진 리더와 사물에 부착된 태그 사이의 각도를 이용하여 사물의 위치를 알아내는 기법이다. 이 때 리더와 태그 사이에 각도를 측정하는 방법으로 AOA를 이용하는데, 리더들이 신호를 보내는 태그의 입사각을 구하고, 이를 토대로 태그의 위치를 구하는 기법이다. 하지만 이를 이용하기 위해서는 방향성이 있는 안테나와 그 안테나를 회전시켜줄 물리적 장치가 추가로 필요하다.

삼변측량이란 그림 3과 같이 위치가 알려진 리더와 사물에 부착된 태그 사이의 거리를 측정하고, 이를 반지름으로 하는 원을 3개 이상 구해 그 원의 교점으로 태그의 위치를 알아내는 방법이다. 태그와 리더 사이의 거리를 구하는 방법으로는 TOA와 RSS 기법이 있다. TOA 기법은 신호의 송수신 시간을 측정하고, 이미 알려진 전파의 속도를 이용하여 거리를 추정하는 방법이다. 기본적인 원리는 매우 간단하지만 이런 TOA 방식의 위치확인을 하기 위해서는 두 지점이 매우 정확한 시각 동기화가 이루어져 있어야 한다는 단점이 있다. 태그는 시각 동기를 위

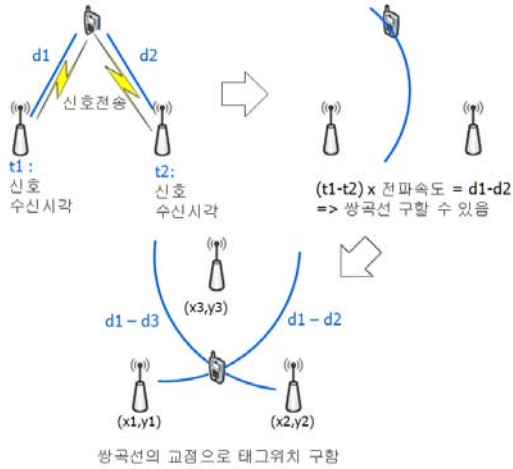


그림 4. 쌍곡선을 이용한 태그 위치추정 방법

해 고성능의 하드웨어를 이용해야 하고, 동기를 위해 항상 깨어(Active state)있어야 하는 등의 문제가 있으므로 에너지 효율에 문제가 될 수 있다. RSS 기법은 전송 신호의 세기가 거리에 따라 감쇄하는 현상을 이용하는 방법이다. 이를 이용하여 그림 3과 같이 위치를 아는 셋 이상의 리더에서 태그가 보내는 신호 세기를 분석하고, 그 신호의 감쇄 정도에 따라 태그와의 거리를 확인하는 방법을 사용한다. 하지만 신호는 날씨, 중간 장애물과 다중경로 효과, 간섭 신호에 의한 영향 등의 여러 가지 이유로 거리를 추정하기 매우 힘들다.

한편, TDOA 기법은 둘 이상의 리더가 태그의 신호를 수신한 시각의 차를 이용한다. 무선 신호의 속도는 시각 동기가 된 두 리더에서 수신 시각 차를 계산할 수 있고, 이는 그림 4와 같이 두 정점에서의 거리 차로 변환할 수 있다. 이를 이용해서 여러 리더 쌍에서의 곡선을 구할 수 있고, 이런 곡선을 2개 이상 구해 그 교점을 태그의 위치로 추정한다. 이 방법은 태그와 리더 간의 시각 동기가 필요하지 않고, 태그는 주기적인 신호만 방사하기 때문에 에너지 효율이 높을 뿐 아니라 많은 태그가 동작할 수 있다. 따라서 태그가 많고 복잡한 항만 물류환경에서 적합한 기법이라 할 수 있다.

TDOA 측위기법은 이미 오래전부터 항공기와 선박의 위치추정에 사용되어 왔으며 사용되는 기법의 종류 역시 다수가 존재한다^{[6][7][8]}. 본 논문에서 사용한 TDOA 측위기법은 SX(Spherical intersection method)^[8]로 구현이 용이하고 위치추정에 컴퓨팅 파워가 적어 다수의 태그 측위에 주로 적용된다. SX

알고리즘은 실제 TDOA를 계산하는 방법 중 하나로, 쉽게 구현할 수 있고 오차에 비교적 강하다^[8]. 이는 쌍곡선의 교점을 최소 자승법(Least Square Method) 형식으로 바꾸어 계산한다. 태그 좌표를 (x,y), 리더 i 좌표를 (xi, yi) 라고 하면 결과적으로 TDOA를 이용한 태그의 좌표는 수식 (3)과 같이 정리 할 수 있다.

$$r_i = [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$r_{ij} = r_i - r_j, \quad k_i = x_i^2 + y_i^2 \quad (2)$$

$$(xy)^T = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} x_j - x_1 & y_j - y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_j - x_N & y_j - y_N \end{pmatrix}^{-1} \left\{ \begin{pmatrix} k_j - k_1 + r_{1j}^2 \\ \vdots \\ k_j - k_N + r_{Nj}^2 \end{pmatrix} + 2r_j \begin{pmatrix} r_{1j}^2 \\ \vdots \\ r_{Nj}^2 \end{pmatrix} \right\} \quad (3)$$

III. 항만 물류 환경을 위한 TDOA 기반 측위 기법

3.1 항만 물류 환경의 특성

항만물류는 컨테이너가 야적된 장소이다. 컨테이너 등은 무선 신호의 감쇄나 반사 등의 요인이 된다. 만약 리더가 낮은 곳에 배치되어 있다면 리더-리더 간, 리더-태그 간 LOS(Line Of Sight) 가 보장되어 있지 않아 통신에 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이런 환경에서 안정적인 리더-리더 간 통신과 리더-태그 간 통신을 구현하기 위해서는 그림 5와 같이 리더가 조명탑 등의 높은 곳에 배치되는 것이 좋다.

하지만 이런 리더의 위치는 TDOA 기법에서 태그의 위치를 추정하는 데 오류로 작용한다. 리더를 아래쪽에 배치하지 못하기 때문에 지상과 가까이 있는 태그의 송신신호를 지상에서 보다 더 긴 시간 후에 얻을 수 있다. 이를 보정하기 위해서는 3D TDOA 기법을 이용해야 하는데, 이는 계산량이 복잡하고, 태그가 많은 환경에서는 성능 저하의 원인이 될 수 있다^[6]. 그리고 항만 물류 환경은 TDOA 측위기법이 사용되는 지역의 지리 정보를 미리 알 수 있는 환경이다. 이를 어플리케이션에 적용시킨다면 바다나 컨테이너의 위 같이 태그가 위치할 수 없는 곳을 지정할 수 있고, 이를 이용하여 오류를 보정할 수 있다.

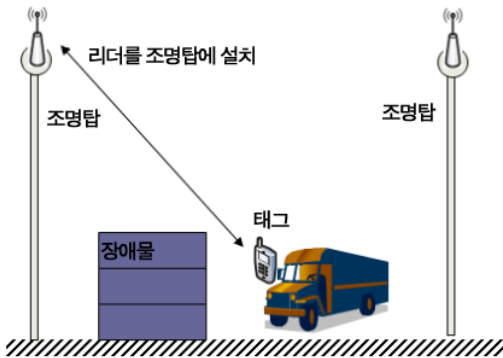


그림 5. 항만 물류 환경에 따른 리더와 태그의 위치

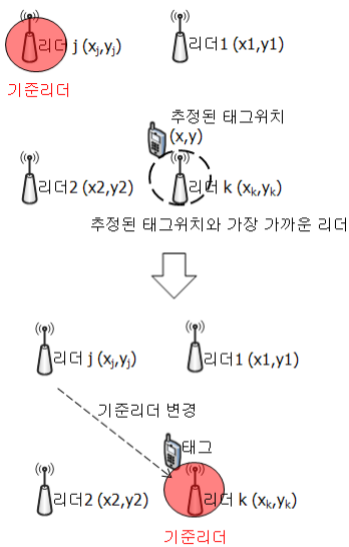


그림 6. 기준리더 변경기법 개념도

3.2 기준 리더 변경 기법

앞서 언급한 SX 알고리즘의 최소자승법을 이용한 TDOA 측위기법에서 리더 간 TDOA를 구하기 위해 공통적으로 들어가는 리더가 있는데, 이를 기준 리더라고 부른다. 만약 모든 리더가 측정하는 값이 동일한 오류를 가진다고 할 때, 이 기준리더와 태그의 거리에 비례하여 위치측정 오차가 증가한다^[8]. 따라서 본 논문에서는 미리 정해진 리더를 기준 리더로 삼아 대략의 태그의 위치를 계산한 뒤, 추정된 태그 위치에서 가장 가까운 리더를 기준리더로 삼아 그에 맞게 수식을 변경한 후 태그의 위치를 구해 오차를 줄이고자 한다.

그림 6에서 태그는 리더 k와 가장 가깝다. 만약 리더 j를 미리 정해진 기준리더라 할 때 리더 j에 의한 태그 위치추정 좌표에 관한 식은 수식 (4)와

같다. 수식 (4)에 의해 추정된 태그 위치를 이용하여 태그와 리더 k가 가장 가깝다는 사실을 알 수 있다. 기준 리더를 리더 k로 바꾸어 태그 위치를 추정하는 수식은 다음과 같다.

$$(xy)^T = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} x_k - x_1 & y_k - y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_k - x_N & y_k - y_N \end{pmatrix}^{-1} \left\{ \begin{pmatrix} k_k - k_1 + r_{1k}^2 \\ \vdots \\ k_k - k_N + r_{Nk}^2 \end{pmatrix} + 2r_k \begin{pmatrix} r_{1k}^2 \\ \vdots \\ r_{Nk}^2 \end{pmatrix} \right\} \quad (4)$$

3.3 2.5D 위치 보정 기법

2D로 계산되는 태그의 위치는 리더-태그 거리를 2D상의 거리로 인식하여 태그의 위치를 추정한다. 이로 인한 오류를 보정하기 위해 우선 태그의 위치를 2D 기법을 이용하여 구한 후 2.5D 기법은 추정된 태그 위치에서 이미 높이와 위치를 알고 있는 리더와의 거리를 구한 다음, 이를 이용하여 리더의 높이를 제거하여 태그의 위치를 다시 구한다. 이 방법은 리더의 정확한 높이를 알고 있고, 태그의 높이 역시 알고 있다는 가정을 하고 있다. 따라서 기존의 3D 위치 추정보다 높이라는 오차 성분을 제외할 수 있기 때문에, 물류라는 특수한 환경에서는 그 정확도나 성능 면에서 적합한 기법이라 할 수 있다^[6].

그림 7처럼 추정된 태그 위치(x, y)에서 리더 j(xj, yj)까지의 리더-태그 간 거리를 구할 수 있다. 또한 리더의 높이와 태그 높이를 알고 있으므로 높이차 역시 알 수 있다. 그림 8은 2.5D 기법을 이용해서 리더-태그 간 수평거리를 구해 TDOA를 보정하는 예이다.

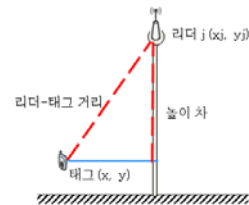


그림 7. 높이 차로 인한 태그-리더의 거리

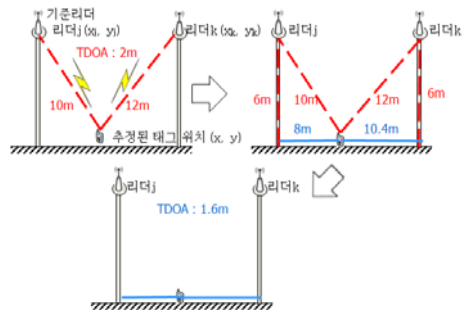


그림 8. 추정된 위치 좌표로 리더 높이 요소를 제거한 TDOA

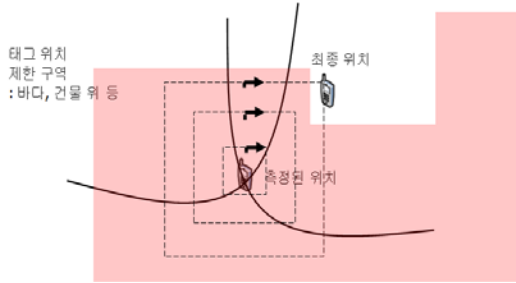


그림 9. 맵 기반 태그 위치 제한 기법

3.4 맵 기반 태그 위치 제한 기법

태그의 추정된 위치는 측정오류 등으로 인해 오차를 가지고 있다. 만약 오차에 의한 태그 위치가 바다나 건물 위, 야적장 바깥 등이라면 사용자에게 위치 정보를 제공할 때 보정이 반드시 필요하다. 그리고 컨테이너 추적 시 상태(야적된 상태 혹은 트럭에 의해 이동 중인 상태)에 따라 다른 위치제한 구역 설정이 가능하다. 또한 이동 중이라면 컨테이너가 야적되는 구역이 위치제한 구역이 되고, 반대로 야적된 컨테이너라면 도로가 위치제한 구역이 된다.

본 논문에서는 태그가 제한된 위치에 있을 때 그림 9와 같이 시계 방향으로 반경을 넓혀가며 태그로부터 가장 가까운 위치 가능 지점을 찾고 태그의 위치를 수정한다.

IV. 실험 및 성능평가

본 논문에서 제안하는 기법의 검증을 위해, 우리는 시뮬레이션 뿐 아니라 구현을 통한 실험을 동시에 수행하였다.

4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션에서 리더의 배치는 기본적으로 (0m, 0m), (0m, 200m), (200m, 0m), (200m, 200m)의 정사각형 형태로 배치하였고, 기본 기준리더는 (0m, 0m)로 한다. 그리고 태그는 사각형 안에 랜덤하게 배치된다고 가정한다. 노이즈 모델은 각 리더가 신호를 수신시 시작오차가 거리 환산한 10m 등의 정규분포를 따르게 설계하였다. 결과 오차 값은 수식 (5)와 같이 실제 좌표와 추정 좌표 사이의 차이 값이다.

$$\text{오차} = \left\{ \begin{aligned} &((\text{추정된 } x \text{ 좌표} - \text{실제 } x \text{ 좌표})^2 \\ &+ (\text{추정된 } y \text{ 좌표} - \text{실제 } y \text{ 좌표})^2) \end{aligned} \right\}^{1/2} \quad (5)$$

4.2 제안 기법 시뮬레이션

기준 기법 변경에 관한 실험 결과는 그림 10과 같다. 노이즈는 각각 거리 환산 시 5m, 10m, 15m의 정규분포를 따르는 것을 의미한다. 기준리더를 변경하였을 경우 그에 따른 위치 오차가 줄어드는 것을 알 수 있다.

2.5D 기법 시뮬레이션은 노이즈를 크기에 따른 성능평가 그리고 리더 높이에 따른 성능을 평가 하였다. 태그의 배치는 (10m, 10m)로 배치하고 리더의 높이를 10m, 20m, 30m, 40m, 50m로 10m 간격으로 변경시켰다. 리더의 높이가 커질수록 상대적인 성능향상이 크다는 것을 알 수 있다.

태그 위치 제한기법의 성능을 평가하기 위해, 항만물류 환경에서 컨테이너를 운반하는 트럭의 위치를 추정한다고 가정하였다. 그리고 신선대 부두에서 컨테이너 야적장을 참조하여 야적장 크기, 도로 크기 등을 정해 맵에 적용하였다. 리더는 (0m, 0m), (350m, 0m), (0, 250m), (350m, 250m) 이렇게 배치되어 있다고 가정하고, 컨테이너가 야적되는 위치

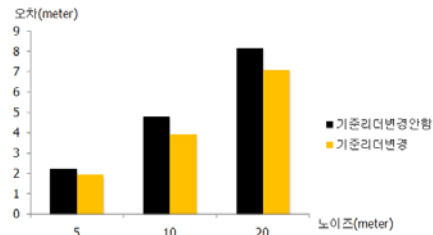


그림 10. 기준리더 변경기법 적용

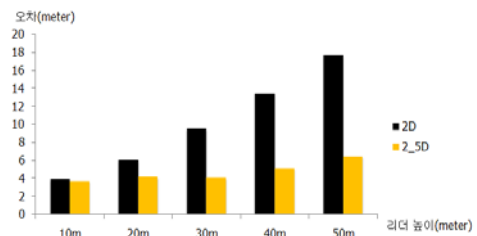


그림 11. 리더 높이에 따른 2.5D 기법 성능평가

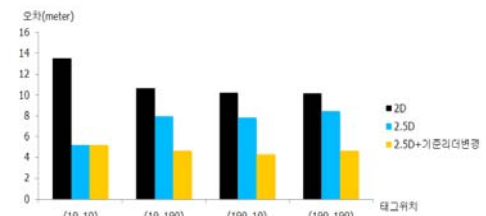


그림 12. 2.5D과 기준리더 변경 기법 동시 적용

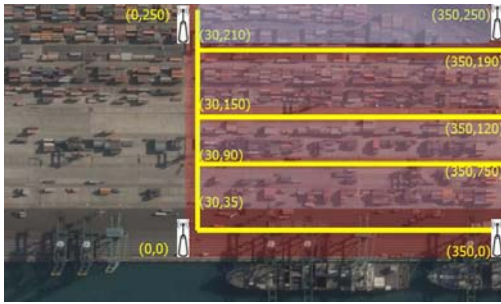


그림 13. 태그 위치 제한 기법 실험에 사용된 맵

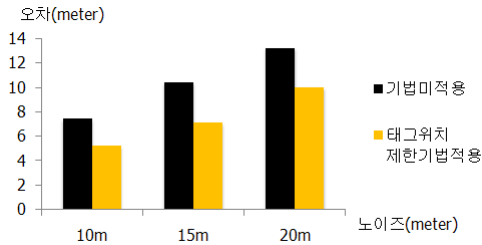


그림 14. 노이즈에 따른 태그위치 제한 기법 실험

를 트럭의 위치제한 구역으로 설정 하였다. 그림 13 은 시뮬레이션에 사용된 맵이다.

태그는 가능한 위치의 맵 내에서 랜덤한 위치로 산출하고, 각각 10m, 15m, 20m의 정규분포를 가진 추정 오차를 적용 하여 위치를 정하였다. 그리고 추정된 위치가 위치 제한 구역으로 설정되었을 경우 태그 위치 제한기법을 적용시켜 근처에 위치 가능한 태그 좌표를 산출한다. 성능평가는 태그 위치가 위치제한 구역에 설정될 경우를 100회 실행, 태그 위치 제한기법을 적용 시킬 때와 시키지 않을 때의 위치오차 평균을 구한다. 이 실험은 그림 14와 같이 설정된 모든 노이즈에서 태그 위치 제한기법이 기법을 적용하지 않을 때보다 위치오차 평균이 작은 것을 알 수 있다.

4.3 구현 환경

본 논문에서 제안하는 기법을 검증하기 위해 측 위 시스템을 실제 구현하였다. 측위를 위한 태그는 1.3초의 블링크 간격을 가지며, 수신 시각 오차를 줄이기 위해 한 블링크에 32회의 동일한 서브 블링크를 시행한다. 사용된 리더는 ARM 계열의 PXA255와 RF모듈을 제어하고 하드웨어 레벨의 정확한 시각을 측정하기 위해 FPGA를 사용하였다^[10]. 측위 엔진은 Linux 기반의 Python 2.4를 기준으로 작성 하였다. 엔진은 리더로부터 유무선으로 태그 블링크

의 수신 시각 정보를 받아 TDOA를 계산하여 태그의 위치를 추정하고 앞서 언급한 오차 보정을 적용하여 최종 위치추정 결과를 산출한다.

4.4 실내외 실험

실제 항만 환경과 비슷한 환경에서 구현하기 위해 그림 15와 같이 지상 15m 정도의 건물 옥상에 리더를 설치하고, 태그를 차들이 주차된 지상에 배치하였다. 리더와 태그는 그림 16과 같이 지면에서 2m 이상의 높이에 배치하여 물리 계층에서의 노이즈를 줄였다.

실험 결과를 위치 추정의 정밀도를 나타내는 단위인 DRMS(Distance root mean square)와 CEP(Circular Error Probable) 50%로 나타내면 그림 17과 같다. 시뮬레이션과 다르게 DRMS와 CEP를 성능평가 모델로 삼은 이유는 단순 비교 평가가 아닌 구현된 시스템의 최종 정밀도를 나타내기 위해서이다. 결과는 그림 17에서 보는 바와 같이 DRMS와 CEP 모두 3~4m 정도로 나왔다. 시뮬레이션 결과에 비해 실제 결과는 좋지 않은 이유는 실제 장애물이 없거나 오픈 필드에서의 실험을 가정한 시뮬레이션에 비해 실외 실험 환경에 의해 생기는 멀티패스와 같은 노이즈와 리더 사이의 거리가 멀어짐에 따라 불안정한 통신으로 인해 생기는 시각동기 상의 오류 등이 복합적으로 작용한 것으로 보인다.



그림 15. 건물 및 주차장에 배치된 리더와 태그



그림 16. 리더와 태그의 설치

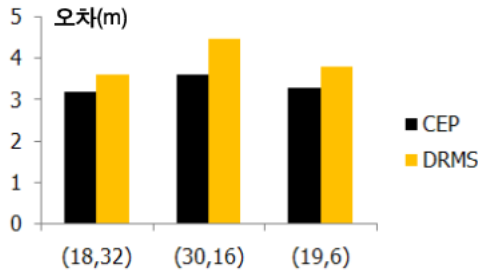


그림 17. 구현 실험 결과

V. 결론 및 향후 계획

최근 항만물류에서 증가하고 있는 항만 물동량과 치열해 지는 각국의 항만 경쟁을 생각할 때 IT 기술을 활용한 자동화와 신속화는 반드시 필요한 요소이다. 이에 따라 물체 측위기법을 물류 분야에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다⁹⁾. 본 논문에서는 항만 물류 환경에서 존재하는 여러 개체의 위치정보를 얻기 위한 방안으로 항만 물류 TDOA 측위기법과 오류 보정 기법을 제시하고, 시뮬레이션과 실제 구현 실험을 통해 성능평가 하였다.

본 논문에서는 단순히 태그의 위치 추정에 관한 실험 결과를 담고 있지만 실제 항만물류 환경과 비슷한 환경에서의 위치 추정 실험이 필요하다. 또한 물류 환경에서 실제 움직이는 차량 등에 부착하여 움직임이나 정해진 패턴 등을 고려한 위치 추적 기법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] ISO/IEC 24730-1/2, Information Technology - Real-time locating systems (RTLS)

[2] Rong Peng, Mihail L. Sichitiu, "Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor Networks," in Proc. of the Third Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, Sep. 2006.

[3] Yiu-Tong Chan, herman Yau Chin Hang, Pak-chung Ching, "Exact and Approximate maximum Likelihood Localization Algorithms," IEEE Transactions on Vehicular Technology, pp. 10-16, issue 1, vol. 55, Jan. 2006.

[4] Hyuntae Cho, Hoon Choi, Woonghyun Lee,

Yeonsu Jung, Yunju Baek, "Design and Implementation of a Smart Tag System for IT-Based Port Logistics," LNCS, pp. 32-43, track1, vol. 4159/2006, Sep. 2006.

[5] 정동호, 지동환, 정연수, 백윤주, "능동형 RFID 태그를 이용한 433 MHz RTLS의 설계 및 구현," 한국정보처리학회지, pp. 1061-1064, 2006. 1.

[6] Hyonmin Kong, Youngmi kwon, Taekyung Sung, "Comparisons of TDOA Triangulation Solutions for indoor Positioning," Proc. Int'l Symp. on GPS/GNSS., pp. 28-38, Dec. 2004.

[7] W. H. FOY, "Position-location solution by Taylor-series estimation," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., pp. 187-194, vol. 12, Mar. 1976.

[8] Julius O. smith, Jonathan S. abel, "Closed-Form Least-Squares Source location Estimation from Range-Difference Measurements," IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process., pp. 1661 - 1669, no.12, vol.35, Dec. 1987.

[9] Yamasaki R, et al.. "TDOA location system for IEEE 802.11b WLAN," Proceedings of IEEE WCNC'05, pp. 2338 - 2343, Mar. 2005.

최 훈 (Hoon Choi) 준회원



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

지 동 환 (Donghwan Ji) 정회원



2006년 2월 부산대학교 컴퓨터
공학과 학사
2008년 2월 부산대학교 컴퓨터
공학과 석사
2008년 3월~현재 삼성전자 연
구원
<관심분야> 센서 네트워크, 실
시간 위치 추적 시스템

백 윤 주 (Yunju Back) 종신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전
산학과 학사 졸업
1992년 2월 한국과학기술원 전
산학과 석사
1997년 2월 한국과학기술원 전
산학과 박사
1999년~2002년 NHN 기술연구
소 소장

2003년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 부교수
<관심분야> 임베디드시스템, 센서네트워크, 컴퓨터
구조