

컨테이너 항만 환경에서 이동형 리더와 동선 정보를 이용한 다단계 위치 인식 시스템

정회원 최 훈*, 손 상 현*, 종신회원 백 윤 주*^o

Multi-step Location System using Mobile Reader and Trajectory Information in Container Port Environments

Hoon Choi*, Sanghyun Son* *Regular Members*, Yunju Baek*^o *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 컨테이너 항만 환경에서 적용 가능한 자산 추적 시스템을 제안한다. 컨테이너 항만 환경은 무선 통신을 저해하는 철재 장애물이 산재하기 때문에, 태그 대 다수 리더 간 가시선 통신을 필요로 하는 기존 태그-리더 기반의 위치 추적 시스템의 적용이 힘들다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 제안하는 시스템은 기존 리더뿐 아니라 이동체에 리더를 추가하고, 2단계의 위치 추적을 함으로써 태그와 다수 리더 간의 정보를 취득한다. 또한 소수의 거리 정보를 측정하였을 때, 항만 자산의 동선 정보를 함께 이용하는 방법으로 태그 위치 추정 성공률과 정확도를 높인다. 그리고 제안하는 시스템의 성능 검증을 위해 태그, 리더 및 위치 엔진을 구현하였고, 실제 항만 터미널에 설치하여 운용하였다. 그 결과 성공률과 정확도가 확연히 개선되어 실제 환경에서 운용 가능성을 확인할 수 있었다.

Key Words : 자산관리, 항만 위치 추적 시스템, RTLS, Locating System

ABSTRACT

In this paper, we propose an asset tracking system for applying a container port environment. If we attempt to apply this common locating system to a port environment for logistics automation, the system performance is degraded because there are many steel obstacles that cause interference in the RF communication and measurement. We divided readers into two types - fixed and mobile readers; hence, the location method operates in two steps for efficient wireless communication and precise measurement. In addition, the system estimates the location with trajectory information of assets when the small number of measurement is gathered. We implemented all the system components and installed these at a real port for evaluation. The success rate of communication and estimation is much better than that of the existing general locating system, and the location precision is substantially increased.

I. 서 론

컨테이너 항만 터미널은 화물 컨테이너를 선박과 지상 운송을 연결하는 역할을 한다. 이 과정에서 모든

컨테이너는 컨테이너 야적장에 보관된다. 이 야적장에서 트랜스퍼 크레인(TC, Transfer Crane)과 야드 트랙터(YT, Yard Tractor) 등의 항만 자산은 화물 컨테이너를 선박으로부터 실거나 내리고, 운송하는 역할을

* 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

* 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실 ({hoonchoi, hyun0427, yunju^o}@pusan.ac.kr), (°:교신저자)

논문번호 : KICS2011-08-363, 접수일자 : 2011년 8월 22일, 최종논문접수일자 : 2011년 12월 14일

한다. 이 과정에서 화물 컨테이너는 일시적으로 컨테이너 항만 터미널에 야적되고, 항만 자산들은 이를 움직이고 관리하게 된다. 컨테이너 터미널 평가의 지표가 될 수 있는 화물의 처리량은 제한된 수의 항만 자산을 얼마나 효율적으로 관리하고 운용하는가에 의존하므로, 이는 매우 중요한 이슈가 된다. 이러한 효율적인 관리에 있어, 항만의 실시간 위치 정보는 가장 기본적이고 필수적인 요소가 된다.

실시간 위치 추적 시스템(RTLS, Real-time Locating System)은 움직이는 대상의 위치를 실시간으로 파악하는 시스템이다. 이 시스템은 그림 1과 같이 일반적으로 태그, 리더, 그리고 위치 엔진으로 구성된다. 태그는 이동 개체에 부착되어 무선 신호를 송수신하고, 주변에 설치된 리더와 통신 시간이나 거리를 측정한다. 위치 엔진은 측정된 정보를 바탕으로 대상의 위치를 추정해낸다. 항만 환경에서 무선 신호를 이용하는 다른 시스템과는 달리^[15], 위치를 인식하기 위해서는 태그가 다수의 리더와의 정확한 측정이 필요하다는 특징이 있다.

항만 환경에서의 위치 추적 시스템 적용을 위해 무선 통신으로 RF(Radio Frequency)를 이용할 수 있는데, 이는 300m 이상의 비교적 넓은 통신 영역을 가지고 있고, 대역폭이 넓어 환경에 적합한 요건을 가지고 있다. 이 신호는 특성상 금속 재질에 반사되거나 산란되는 경우가 많은데, 이 경우 거리나 시간을 측정하는데 있어 매우 큰 측정오차를 발생시키거나 통신이 실패하여, 위치 추적 정확도를 크게 떨어뜨린다. 항만은 철제 차량뿐 아니라 많은 수의 철제 컨테이너가 적재되어 있기 때문에 이를 고려하지 않을 경우 시스템 성능을 크게 저하 시키는 요인이 될 수 있다.

본 논문에서는 이러한 물류 환경의 상황을 정확히 이해하고, 특성을 분석하여 이에 맞는 항만 환경의 자산 관리를 위한 다단계 위치 인식 시스템을 제안한다. 그리고 각 시스템 컴포넌트의 설치, 실제 환경 적용을

위한 위치 엔진 설계, 시스템 프로토콜 등을 제안하고, 이를 구현하여 실제 항만에 적용함으로써 시스템의 성능을 평가한다. 2장에서는 항만 환경의 특징을 분석하고 무선 신호의 특성을 논한다. 3장에서는 기존 RTLS의 연구를 살펴보고, 본 논문에서 제안하는 항만 환경에서의 위치 인식 시스템을 언급한다. 4장에서는 시스템 컴포넌트와 실제 항만에서의 설치를 포함한 시스템의 성능을 평가하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 실시간 위치 추적 시스템 (RTLS)

일반적으로 RF 기반의 위치 추적 시스템은 단방향(one-way) 시스템과 양방향(two-way) 시스템으로 구분할 수 있다.

단방향 시스템에서는 태그가 주변의 기기에게 신호를 주기적으로 방출한다. RSS(Received Signal Strength) 기반 시스템은 그 중 하나인데, 이는 태그의 신호를 받은 리더가 감쇄된 신호를 기반으로 거리를 추정하는 방식으로 구현이 쉬운 장점이 있다^[10]. 하지만 이 방법은 거리에 따른 RSS값이 선형적이지 않아 시스템의 정확도가 낮다. TDOA(Time Difference of Arrival) 기반 시스템은 태그의 신호를 여러 리더가 수신하고 그 수신 시각 차를 이용하여 쌍곡선을 그리고 그 교점을 이용하여 태그의 위치를 계산한다^[11]. 이 방법은 리더 간 시각 동기화가 매우 정밀하게 이루어져야 하기 때문에, 그에 따른 구현이나 비용에 많은 부하가 발생할 수 있다. TOF(Time of Flight) 기반 시스템은 태그의 신호 방사 시간과 리더의 수신 시각의 차를 이용하여 태그의 위치를 계산한다^[12]. 이 기법 역시 태그-리더 간 시각 동기가 필요하기 때문에 구현 및 추가 비용이 발생할 수 있다.

양방향 시스템에서 각 태그와 리더는 서로 무선 신호를 주고받아 거리를 측정한다. 예를 들어, 한 노드가 무선 신호를 보내고, 해당 신호를 받은 노드는 처리 시간을 포함한 응답 신호를 즉시 답한다. 신호 송신을 한 노드는 송신 시각과 수신 시각의 차(RTT, Round Trip Time) 등을 이용하여 두 노드 사이의 거리를 계산할 수 있다. 그리고 태그가 셋 이상의 리더와 거리 측정에 성공했다면, 삼변측량법이나 다변측량법 등을 이용하여 태그의 위치를 추정할 수 있다^[13]. 비록 양방향 시스템은 태그가 많아질수록 메시지의 수가 증가한다는 단점이 있으나, 시각 동기가 필요하지 않고 비교적 정밀한 거리 측정이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 이 기술은 본 논문에서 대상으로 하

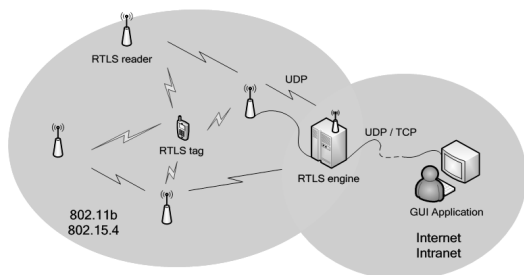


그림 1. 실시간 위치 추적 시스템 (RTLS)

는 항만 환경에 적용할 수 있는 적합한 기법이다.

2.2 항만 환경의 특성

컨테이너 항만의 야적장에는 화물 컨테이너들이 그리드(grid) 형태로 적재되어 있다. TC는 그림 2와 같이 YT가 움직이는 두 통로에 발을 두고 일자로 놓여진 레일 위로 움직이며, 컨테이너를 쌓거나 내리는 역할을 한다. YT는 컨테이너 더미 사이의 통로 위에서 정해진 방향으로 움직이며, TC로부터 컨테이너를 운반하는 역할을 한다. 그림 2에서 보는 것과 같이 TC는 컨테이너를 쌓기 위해 6층 이상의 높이를 가진다. 컨테이너의 높이는 ISO 기준 2.62m 이며, 최대 5~6층으로 쌓이는데, 이 때의 높이는 15~16m이다. 그리고 야적장에는 야간 작업을 위해 조명탑이 일정 간격으로 설치되어 있고, 그 높이는 30m 이상이다.

RTLS 리더-태그 간 무선통신으로 정확한 거리 등의 정보를 얻기 위해서는 LOS(Line-Of-Sight)가 보장되어야 하기 때문에 리더는 높은 위치에 설치되어야 한다. 따라서 보통 항만의 조명탑에 설치되어 동작하는데, 높이 차에 따른 통신 구역을 보장하기 위해 리더는 다수의 지향성 배열 안테나(array antenna) 형태로 설치된다^{[6],[7]}. 하지만 그림 3, 4와 같이 YT는 철제

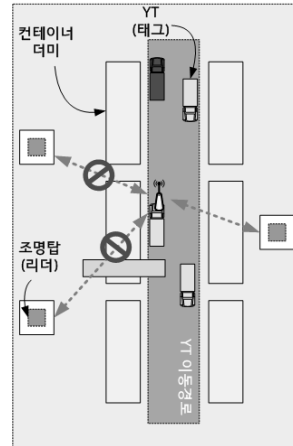


그림 4. NLOS로 인한 다수의 가시선 통신이 불가능한 상태

컨테이너 주변의 통로로 움직이게 되고, 이 때 YT는 조명탑과의 LOS 통신 환경을 보장하지 못하게 되고, 그에 대한 측정 오차는 시스템의 전체 성능을 감소시킨다.

III. 항만 환경의 자산 관리를 위한 다단계 위치 추적 시스템

앞서 언급한 장애물로 인한 통신 불가능 상태를 극복하기 위하여, 본 논문에서는 항만 환경의 구조적 특성을 반영한 새로운 위치 추적 시스템을 제안한다. 최대한의 가시선 통신을 보장하기 위하여 조명탑에 리더를 설치하고, 각 통로를 항상 지나가게 되는 TC에 역시 리더를 설치한다. TC에 설치된 리더는 통로 내의 태그와 통신하고, 주변 조명탑에 설치된 리더와 통신하는 2단계의 통신을 통해 통신 불가능 상태를 극복한다. 또한 태그의 동선정보를 이용하여 몇 미만의 거리 정보 확보 상황에서도 태그의 위치를 추정할 수 있게 한다.

3.1 양방향 위치 추적 시스템

기본적으로 시스템은 RTLS 태그, 리더, 그리고 위치 엔진으로 이루어지며, 그림 5와 같이 블링크 단계, 측정 단계 그리고 위치 추정 단계로 구성된다. 태그는 주변에 설치된 리더에게 짧은 신호인 블링크(blink) 메시지를 주기적으로 방사한다. 주기는 태그나 리더의 수나 설치 밀도, 그리고 사용자의 요구에 따라 달라질 수 있는데, 1~3초 사이의 값을 가진다. 신호를 받은 리더들은 태그에게 응답 메시지(ACK)를 보내고, 태그는 ACK수신에 따른 리더의 리스트를 만든다. 그



그림 2. YT(상), TC(하)



그림 3. 조명탑에서 본 필드: YT에 설치된 태그와 조명탑에 설치된 리더는 철제 컨테이너가 높이 적재된 경우 LOS통신이 거의 불가능하며 이는 거리 측정에 큰 오차를 포함할 수 있다

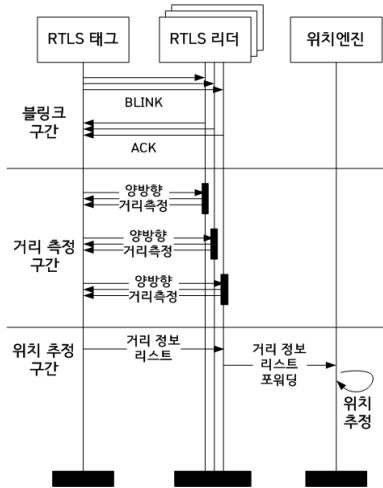


그림 5. CSS RTLS 프로토콜

후 리스트의 순서대로 각각의 리더와 양방향 거리 측정 기법으로 거리를 측정한다. 각 리더에 대해 측정된 거리들이 모두 수집되면 태그는 주변 리더에게 그 리스트를 전달하고, 리스트는 다시 위치 엔진으로 전달된다. 위치 엔진은 리더의 위치, 해당 태그와의 거리를 바탕으로 태그의 위치를 추정하는데, 그림 6과 같이 삼변측량법을 이용한다. 만약 리더가 셋 이상이라면 다변측량법을 사용하는데, 이 때 최소제곱법을 이용하여 그 오차를 최소화 한다. 이는 일반적인 거리 기반 위치 인식에서 사용되는 보편적인 방법이다. 각 거리 측정은 오차를 포함하기 때문에, 정확한 태그의 위치 추정이 불가능하다. 이 방법은 측정 오차가 일정 범위 내의 값일 경우 다수의 거리 측정 값과 리더의

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

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

where

$$C_1 = \frac{1}{2} (\|x_b\|^2 - \|x_a\|^2 + c_a^2 - c_b^2)$$

$$C_3 = \frac{1}{2} (\|x_c\|^2 - \|x_b\|^2 + c_b^2 - c_c^2)$$

c_x : 리더 x 와의 측정 거리 값
 (x_x, y_x) : 리더 x 의 위치
 (ex, ey) : 계산된 태그의 위치

그림 6. 최소 제곱법을 이용한 다변 측량법

위치 좌표를 이용하고 최소 제곱법을 통해 오차가 최소가 되는 태그 위치를 찾는다.^[13]

3.2 시스템 컴포넌트 설치

시스템 컴포넌트는 시스템을 구성하는 태그, 리더, 그리고 위치 엔진으로 구성된다. 리더는 고정형 리더 (FR, Fixed Reader)와 이동형 리더(MR, Mobile Reader)로 구분한다. 고정형 리더는 조명탑 상단에 부착되며, 자신의 위치를 알 수 있기 때문에 참조 노드 (Reference Node)가 된다. 이동형 리더는 레일을 따라 일정한 방향으로 움직이는 TC 상단에 부착된다. 이동형 리더는 2-B에서 언급한 것과 같이 컨테이너 더미보다 상대적으로 높은 위치에 설치되기 때문에 주변의 조명탑과 LOS를 유지할 수 있어 주기적으로 자신의 위치를 정확하게 측정할 수 있다. 또한 이동형 리더는 다수의 RF 모듈을 탑재하고, 일부 방향성 안테나를 통로를 향하게 해서 태그와 LOS통신을 가능하게 한다. 그리고 태그는 YT에 부착되고, 지상에서 2~3m 떨어진 YT 윗부분에 소형안테나가 부착되며, 다른 리더와의 통신을 담당한다.

3.3 동작 프로토콜

그림 7과 8은 고정형 리더와 모바일 리더를 이용한 2단계 위치 추정 기법을 간략히 보여준다. 이는 총 2가지 단계로 나뉘어지며, STEP 1은 MR의 위치를 계산하는 단계, STEP 2는 태그의 위치를 계산하는 단계이다. 태그의 위치는 MR의 위치와 해당 MR이 측정한 거리를 이용하기 때문에, MR의 위치 계산이 선행되어야 한다. 각 STEP은 그림 5의 기본 RTLS 프로



그림 7. 고정형 리더와 이동형 리더를 이용한 2단계 위치 추정 기법 프로토콜


```

RangeList = [거리 값, 해당 리더 위치]

If number of RangeList >= 3:
L3 = LE_3 module({ RangeList 로 만들 수 있는 크기가
3인 모든 조합 })
Candidate_Location.append( L3 )

Else if number of RangeList = 2:
L2 = LE_2 module( RangeList )
Candidate_Location.append( L2 )

Else if number of RangeList = 1:
L1 = LE_1 module( RangeList )
Candidate_Location.append( L1 )
    
```

그림 10. 위치 엔진의 태그 후보 위치 계산 동작 의사 코드

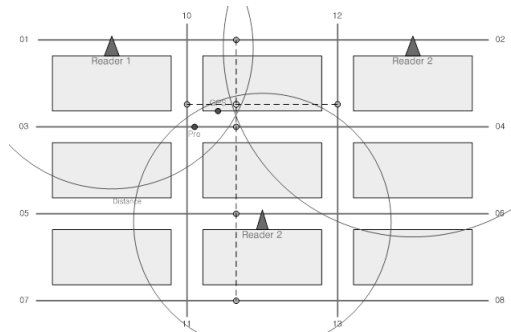


그림 11. LE_3 모듈: 거리 정보가 3개 일 때의 위치 찾기

그림 6의 최소 제곱법을 이용한 다변 측량법^[13]을 적용한다. 그리고 계산된 위치 값은 오차가 포함되어 있기 때문에 동선 위에 위치하지 않을 가능성이 높다. 따라서 근처 가까운 동선을 이용하여 후보 위치를 선택한다.

LE_2 모듈은 기존의 다변 측량법을 이용할 수 없

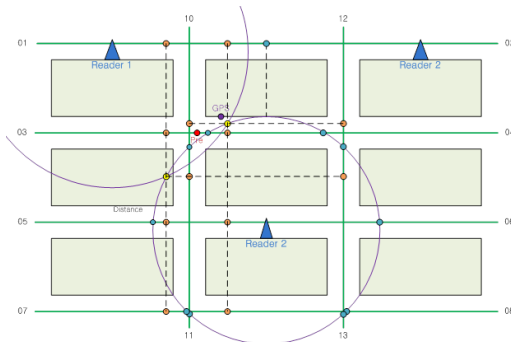


그림 12. LE_2 모듈: 거리 정보가 2개 일 때의 위치 찾기

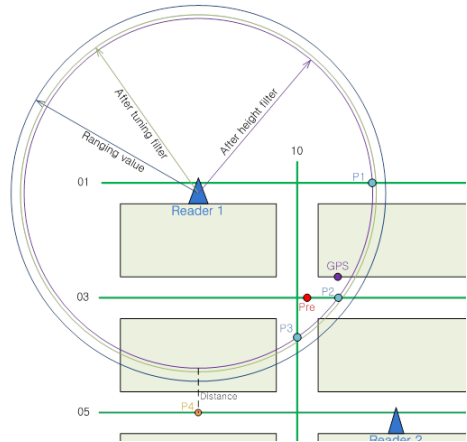


그림 13. LE_1 모듈: 거리 정보가 1개 일 때의 위치 찾기

으므로, 저장된 이전 값과 경로 정보를 이용해야 한다. 먼저 해당 리더의 위치를 중심으로 하고, 거리 값을 반지름으로 하는 원을 그린다. 이는 태그가 존재할 수 있는 두 원이 된다. 측정된 거리는 오차를 포함하므로, 교차점이 두 개가 되고 이는 경로 위에 존재하지 않을 가능성이 높다. 따라서 두 원의 교차점과 가장 가까운 주변의 경로를 후보 위치로 저장한다.

LE_1 모듈은 거리 정보가 1개 밖에 없을 때 호출 되는데, 그림 13과 같이 리더의 위치를 중심으로 하고, 거리 값이 반지름인 원을 그리고, 태그가 존재할 수 있는 동선과의 교점을 찾는다. 이 때 구한 교점이 태그가 존재할 수 있는 후보가 된다.

위치 추정 과정이 모두 끝나면, Post-filter는 위치 추정 모듈에서 나온 후보 위치 중 가장 가능성 높은 위치를 선택한다. 즉, 이전 위치와의 거리, 이전 위치가 놓여있던 경로와 현재 경로의 관계, 위치 계산시 사용된 FR의 수를 가중치로 두어 각 후보 위치의 정확도를 추정한다. 이는 환경에 따라 가중치를 다르게 둘 수 있고, 이에 최종적으로 가장 높은 값을 가진 후보 위치를 최종 위치로 정한다.

IV. 성능 평가

우리는 본 논문에서 제시한 시스템을 구현하고, 구현된 시스템 컴포넌트를 부산 허치슨 터미널^[15]에 직접 설치하였다. 태그는 YT의 운전석에 설치하고 윗부분에 안테나를 고정하여 주기적으로 주변 리더에게 신호를 전달하도록 하였다. FR은 TC의 높이에 맞추어 조명탑 중상 단에 설치하였고, MR은 TC 상단에 부착하여 조명탑에 있는 FR과 통신하고 통로에 있는

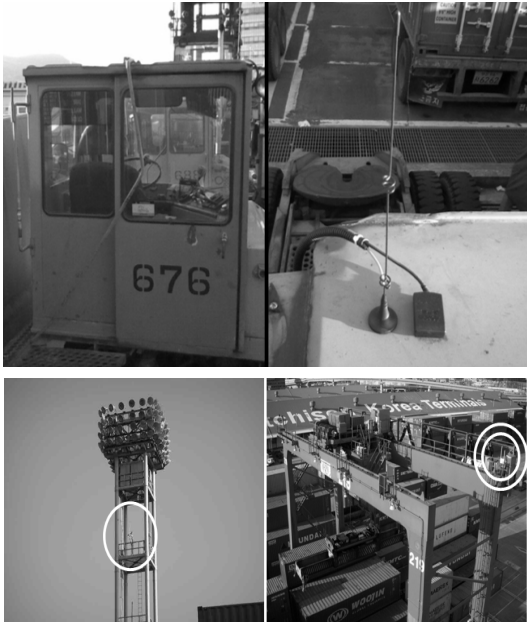


그림 14. 태그(위), 고정형 리더, 이동형 리더(아래) 설치

태그와 통신할 수 있도록 다수의 안테나를 각각 설치하였다. 각각의 리더는 유, 무선으로 위치 엔진과 연결된다. 태그, FR 그리고 MR에는 무선 모듈로 2.4GHz 기반의 무선 통신 모듈을 장착하였다. 이는 CSS(Chirp Spread Spectrum)방식의 통신을 하고, 이를 이용하여 SDS-TWR이라 불리는 양방향 거리 측정 기법을 통한 거리 측정을 제공한다^[8,14]. 또한 FR, MR은 이더넷 통신이 가능한 모듈이 부착되어 있어 상호 간 혹은 외부 기기와 통신이 가능하다. 위치 엔진은 멀티 코어 기반의 서버를 이용하였으며, 파이썬(python) 기반의 통신, 수학, 그래픽 모듈을 이용하여 위치 추정 모듈을 구현하였다.

그림 15는 제안한 시스템의 설치 대상인 부산 허치슨 터미널이다. 항만 내의 TC는 32대, YT는 73대, 그리고 FR을 설치할 수 있는 조명탑은 총 23개이다. 각각의 MR은 2초, 태그는 1초 간격으로 첫 신호를 전송



그림 15. 항만 환경: 한국 허치슨 터미널

표 1. TC, YT와 거리 측정 성공한 리더 개수 (최대 6개)

리더 수	TC #1	TC #2	YT #1	YT #2
0	69	115	137	131
1	451	55	22	538
2	510	252	494	546
3	63	331	749	444
4	0	170	462	260
5	0	37	127	78
6	0	3	9	3

한다. 실험은 TC 2대, YT 2대를 대상으로 하였고, 위치 참조를 위해 TC는 정지된 곳을 기준으로 GPS와 실측으로 위치를 측정하였으며 YT의 경우는 태그에 GPS 모듈을 설치하여 실시간 비교 가능하도록 했다. 실험에서 위치 계산의 경우 TC, YT는 각각 1000회씩 시행하였다.

표 1은 컨테이너 항만 터미널에 TC 2대, YT 2대가 태그를 달고 모든 경로를 움직였을 때, 거리 측정을 성공한 리더의 수를 나타낸다. TC의 경우 FR과, YT의 경우 FR, MR과의 측정이 이루어졌다. 표 2는 이 상황에서 TC와 YT의 위치 인식률을 보여주는데, 태그가 Blink 메시지를 보낸 수와 위치 엔진이 해당 태그의 위치 계산에 성공한 수에 대한 비율이다. 표 1과 2는 제안한 시스템의 프로토콜과 각 컴포넌트가 성공적으로 동작함을 나타낸다. ML은 기존에 존재하는 일반적인 RTLS에서 사용하는 multi-lateration^[13]를 사용하였을 경우를 나타낸다. 이 기법은 태그의 위치를 계산하는 보편적인 기법으로, 3개 이상의 거리 값이 존재해야 계산이 가능하다. 본 논문에서 제안한 기법은 무선 통신이 상대적으로 열악한 항만 환경에서 발생할 수 있는 적은 수의 측정 거리 값으로도 동선정보를 이용, 위치 계산을 하므로 성공률이 ML에 비하여 실제 환경에서 월등히 높아진다는 것을 확인할 수 있다.

그림 16과 17은 제안한 기법과 ML 간의 평균 오차

표 2. 측위 성공률

		TC #1	TC #2	YT #1	YT #2
제안	시도	1093	963	2000	1500
	성공	1024	851	1863	1461
	성공률	93.69%	88.37%	93.15%	97.40%
ML	시도	1093	963	2000	1500
	성공	63	67	654	816
	성공률	5.76%	6.96%	32.70%	54.40%

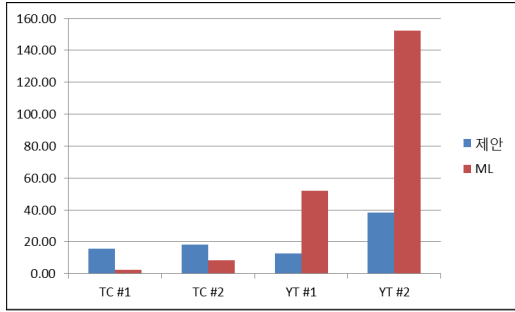


그림 16. 평균 오차 비교 (단위 : 미터)

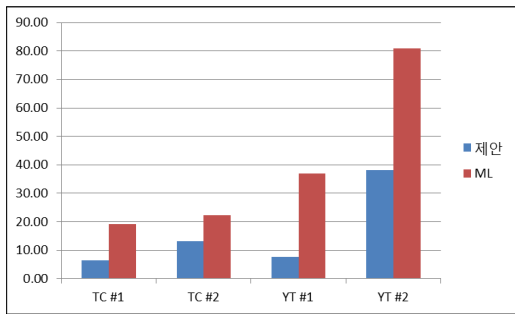


그림 17. 표준 편차 비교 (단위 : 미터)

와 표준 편차를 나타낸다. ML의 경우 거리 정보가 많은 YT #2에서 오류가 많다는 것을 알 수 있다. 이는 많은 거리 정보에 전파의 multipath 등의 문제로 큰 오류가 포함되어 있음을 알 수 있다. 또한 제안하는 기법은 적은 수의 거리 정보를 이용하여 높은 성공률로 위치를 계산할 수 있고, 오류가 포함된 거리 값을 이용하여 비교적 정확한 위치 정확도를 가지고 있음을 알 수 있다. YT의 경우 항상 움직이고 있어 실험의 참조 값인 GPS 값이 실시간으로 반영되지 않는 점과 고가 다리 진입 시 등 참조 노드 자체의 오차 요소가 존재하기 때문에 오차 값이 비교적 높게 나타났다.

V. 결 론

본 논문에서는 항만 환경의 자산을 실시간 위치 추적하기 위한 시스템을 제안하였다. 기존의 항만 환경은 다수의 장애물로 인해 태그가 리더와 위치 계산에 충분한 양의 가시선 통신을 확보하지 못한다. 본 논문에서는 이 문제의 해결을 위해 리더를 고정형 리더와 이동형 리더로 나누어 조명탑뿐 아니라 TC에 설치하였다. 이동형 리더의 위치를 고정형 리더를 이용하여 추정하고, 태그의 위치는 고정형 리더뿐 아니라 이동형 리더를 같이 이용하여 위치를 추정하는 2단계 위

치 추정 기법을 제안하였다. 이러한 기법에 맞는 하드웨어 및 프로토콜, 위치 엔진을 설계하였고 실제 항만인 부산 허치슨 터미널에서 시스템을 검증하여 성능의 향상을 확인할 수 있었다. 본 논문은 향후 성능 보안을 위한 프로토콜 설계, 그리고 정확한 레퍼런스 포인트를 위한 추가 연구를 포함한다.

참 고 문 헌

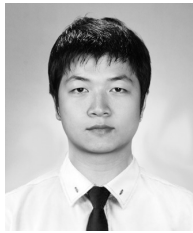
- [1] H. Cho, H. Choi, W. Lee, Y. Jung, and Y. Baek, "LITeTag: Design and implementation of an RFID system for IT-based port logistics", *Journal of Communications*, Vol.1, pp.48-57, 2006.
- [2] Conveyance Security Device (CSD) Requirement Document Baseline version 1.2, DHS, 2007.
- [3] ISO/IEC 18000-7, Information technology - Radio frequency identification for item management, Part 7: Parameters for active air interface communications at 433 MHz, ISO/IEC, 2009.
- [4] ISO 18185-1, Freight containers - Electronic seals - Part 1: Communication protocol, ISO, 2007.
- [5] OpenTag of dash7 alliance, <http://sourceforge.net/projects/opentag/>
- [6] H. Jang, H. Choi, Y. Jung, and Y. Baek, "Robustness of distributed RTLS for dense large-scale environments", *The International Conference on Information Technology*, pp. 58-63, Apr., 2010.
- [7] S. Son, J. Kim, H. Choi, Y. Jung, and Y. Beak, "Design and implementation of a real-time locating system over IEEE 802.15.4a radio for port logistics", *The International Conference on Information Technology*, pp.1183-1188, Apr., 2010.
- [8] Nanotron technologies, nanoLOC TRX Transceiver.
- [9] 최훈, 백윤주, "비가시성을 고려한 RF 기반 측위 시스템의 설계 및 구현", 한국통신학회, *한국통신학회논문지*, 제36권 제7호(무선통신), pp.654-661, Jul., 2011.
- [10] 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.

- [11] S. Capkun, K. Rasmussen, M. Cagalj, and M. Srivastava, “Secure location verification with hidden and mobile base stations,” *IEEE Trans. Mobile Comput.*, Vol.7, No.4, pp.470-483, Apr., 2008.
- [12] S. Capkun and J. Hubaux, “Secure positioning of wireless devices with application to sensor networks,” in *Proc. IEEE INFOCOM*, Vol.3, pp.1917-1928, 2005.
- [13] J. J. Caffery Jr., A new approach to the geometry of TOA location, 52nd Vehicular Technology Conference, 2000. *IEEE VTS-Fall VTC*, 2000.
- [14] Yi Jiang and Victor C. M. Leung, An asymmetric double sided twoway ranging for crystal offset, *In Proc. of the Int. Symposium on signals, systems and Electronics.*, pp.525-528, IEEE, 2007.
- [15] Hutchison Korea Terminals, <http://www.hktl.com>.

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

손 상 현 (Sanghyun Son)

정회원



2007년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과
 2009년 2월 부산대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2009년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 무선 센서 네트워크, 임베디드 시스템, RTLS, RFID

백 윤 주 (Yunju Baek)

종신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전 산학과 학사
 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