

# 항만 환경의 음영지역 극복을 위한 동선 정보 기반의 측위 기법\*

진영우<sup>o</sup>, 손상현, 최훈, 백윤주<sup>†</sup>

부산대학교 컴퓨터공학과

{ tomcat, hyun0427, hara\_eslab, yunju } @embed.re.kr

## Trajectory-based Localization to overcome Radio Shadow Area in Port Logistics Environments

Youngwoo Jin<sup>o</sup>, Sanghyun Son, Hoon Choi, Yunju Baek<sup>†</sup>

Department of Computer Engineering, Pusan National University

### 요 약

다변측량법은 위치가 알려진 3개 이상의 지점으로부터 대상까지의 거리 정보를 바탕으로 대상의 위치를 계산하는 기법이다. Real Time Locating Systems (RTLS) 에서는 대상의 위치를 파악하기 위해 다변측량 기법을 주로 사용하는데, 이를 위해서는 리더와 대상과의 거리 정보가 3개 이상 필요하다. 그러나 항만 환경처럼 시설물 설치가 어렵고 장애물도 많은 넓은 지역에서는 음영지역이 다수 존재하여 이러한 조건을 항상 만족시키기 어렵다. 본 논문에서는 다변측량이 불가능한 적은 수의 거리 정보만으로 대상의 위치를 파악할 수 있도록 대상의 동선 정보를 이용하는 동선 정보 기반의 측위 기법을 제안한다. 성능 평가 결과 최소자승법만을 사용했을 때보다 평균 측위 오차가 약 3m, 표준 편차가 6m 줄었으며, 측위 성공률이 4.6 배 이상 높아졌다.

### 1. 서 론

최근 국제 무역이 증가하면서 컨테이너 처리량도 함께 증가하고 있다. 컨테이너 운송을 위한 각국의 항만에서는 항만 자동화를 통해 원활한 컨테이너 처리 및 인건비 절감을 도모 한다. 이러한 항만 자동화에서 컨테이너의 위치나 운송기기들의 위치 정보는 그 가치가 매우 높다. 현재 널리 쓰이고 있는 위치 제공 시스템인 GPS (Global Positioning System) 는 통신 모듈이 상대적으로 비싸고 위성의 전파가 닿지 않는 곳에서는 사용할 수 없는 문제가 있다. 따라서 항만 물류 환경 등과 같은 응용에서는 Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth, RFID 와 같은 근거리 통신 기술을 이용하여 대상의 위치를 실시간으로 파악하는 RTLS 가 적<sup>1)</sup>합하다.

RTLS 는 태그, 리더, 측위 엔진으로 구성된다. 위치를 알기 원하는 대상에 태그를 장착하면 리더는 태그와 무선 신호를 주고받아 거리 정보를 수집한다. 측위 엔진은 수집된 거리 정보들을 모아 태그의 위치를 계산한다.

RTLS에서 위치 측정을 위해 무선 신호의 통신이 필수적으로 요구된다. 항만 환경은 무선 신호를 감쇠 또는 반사시키는 철제 구조물 등의 장애물들이 많아 무선 신호가 손실될 확률이 높다. 전파 음영지역은 무선 신호가 도달하지 않는 장소로 태그가 음영지역 내에 존재할 경

우 위치를 측정할 수 없다. 이러한 음영지역이 넓은 영역에 존재할 경우 시스템의 성능이 크게 저하된다. 이러한 문제는 리더를 많이 배치하여 음영지역이 발생하지 않도록 할 수 있으나 시스템의 전체 비용을 증가시키는 단점이 있다.

다변측량 기반의 측위 엔진에서 태그의 위치를 계산하기 위해서는 일정한 수 이상의 거리 정보가 필요하다. 그러나 항만 환경 특성과 비용 및 주변 환경 등의 이유로 리더의 설치 위치와 그 수가 제한됨에 따라 음영지역이 다수 발생한다. 따라서 측위 엔진이 태그의 위치를 계산할 수 있을 정도의 충분한 거리 정보를 수집할 수 없게 되고 RTLS 의 성능은 떨어질 수밖에 없다.

본 논문에서는 거리 정보가 부족하여 태그의 위치 계산이 불가능한 상황에서 위치를 알고자 하는 대상의 동선 정보를 활용하여 태그의 위치를 측정하는 동선 정보 기반의 측위 기법을 제안한다. 수집한 거리 정보들과 위치를 측정하고자 하는 대상의 동선 정보를 이용하여 대상의 위치를 계산한다.

논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 배경 및 관련 연구, 3장에서는 항만 물류 환경에 맞도록 개선된 동선 정보 기반의 측위 기법을 제시한다. 4장에서는 성능 평가를 하고 마지막으로 결론을 맺는다.

### 2. 배경 및 관련 연구

RTLS 는 태그와 리더, 측위 엔진으로 구성된다. 리더가 수집한 태그 정보를 엔진에게 전달하며 측위 엔진은 해당 정보들을 이용하여 태그의 위치를 계산함으로써 대상의 위치를 구한다. 태그의 측위 기법은 AOA (Angle

\* “이 논문은 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임” (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

<sup>†</sup> 교신 저자 : 백윤주 (yunju@pusan.ac.kr)

Of Arrival) 기법[1]을 사용하는 삼각측량법, TDOA (Time Difference Of Arrival) 기법[2]을 사용하는 쌍곡선 측량법, TOA (Time Of Arrival)[3], RSS (Received Signal Strength)[4] 또는 TWR (Two Way Ranging)[5] 기법을 사용하는 삼변측량법과 다변측량법 등이 있다.

삼각측량이란 태그에서 보내는 신호의 입사각을 측정하는 AOA 방법을 이용하여 각 리더와 태그 사이의 각도를 구하고 이를 바탕으로 태그의 위치를 알아내는 기법이다. 그러나 이를 이용하기 위해서는 입사각을 측정할 수 있는 추가적 장치가 필요하다.

쌍곡선 측량은 둘 이상의 리더가 태그의 신호를 수신한 시각의 차, 즉 TDOA 를 구하고 무선 신호의 속도를 이용하여 두 리더와 태그 간의 거리 차를 계산함으로써 두 리더와의 거리 차이가 일정한 곡선을 구할 수 있고, 여러 리더에 대하여 같은 과정을 수행함으로써 곡선들의 교점으로 태그의 위치를 계산할 수 있다. 그러나 이 기법은 리더들이 동일한 시각 정보를 가져야 태그의 거리 정보에 대한 계산이 가능하므로 리더들 간의 시각 동기화가 필요하다.

반면 삼변측량은 리더와 태그 간의 거리 값을 반지름으로 가지는 원 3개를 구하여 원들의 교점으로 태그의 위치를 구한다. 태그와 리더간의 거리를 측정하는 방법에는 RSS와 TOA 기법이 있다. RSS 기법은 전송 신호의 세기가 거리에 따라 감소하는 현상을 이용하는 것으로 태그가 보내는 신호의 감쇠정도에 따라 태그와의 거리를 확인한다. 그러나 신호세기는 날씨, 장애물, 다중경로 효과, 간섭 신호 등의 영향을 많이 받기 때문에 정확한 거리 값의 추정이 어렵다. TOA 기법의 경우에는 태그가 신호를 보내온 시각과 리더가 그 신호를 수신한 시각 차이에 무선신호의 속도를 곱하는 방법으로 태그와 리더 간의 거리를 계산하는 기법이다. 이를 위해서 태그와 리더 간의 시각동기가 필요하다. 그러나 TWR (Two-Way Ranging) 기법을 이용하면 무선 신호의 왕복하는 시간으로 시각동기 없이도 거리를 계산할 수 있다.

WhereNet, AeroScout, ekahau 등 상용 RTLS 대부분이 TOA, RSS, TWR 등의 기법을 사용하여 거리를 측정 한 후, 다변측량법을 이용하여 위치를 추정한다. 그러나 컨테이너 및 여러 장애물로 인하여 반사와 회절, 경로감쇠 등 통신장애가 빈번히 발생하는 항만 환경에서는 측정된 거리 값이 매우 큰 오차를 포함하거나 측정 자체가 불가능한 음영지역이 많아 기존의 측위 방식으로는 태그의 위치를 구할 수 없다.

따라서, 본 논문에서는 항만 환경의 음영지역 극복을 위한 동선 정보 기반의 측위 기법을 제안한다.

### 3. 항만 물류 환경을 위한 동선 정보 기반의 측위 기법

#### 3.1 항만 물류 환경

대표적인 항만 물류 환경은 컨테이너 야적장이다. 물류의 효율적인 유통 관리를 위해서는 항만 내에서 컨테이너를 이동시키는 야드 트랙터, 컨테이너를 야적장에



그림 1 항만 테스트 환경

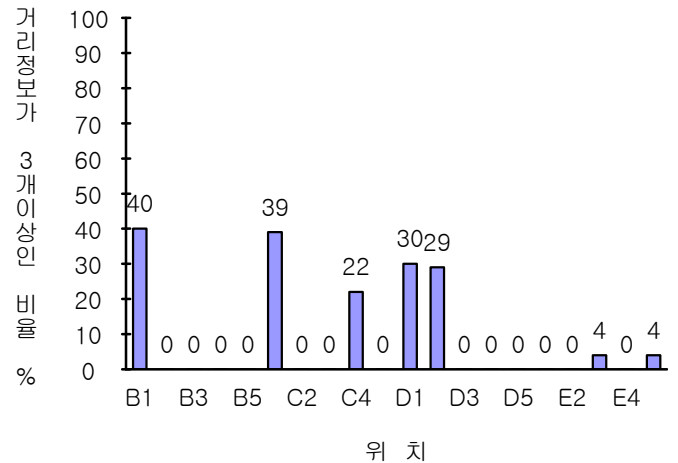


그림 2 항만 테스트 결과

쌓는 트랜스퍼크레인 등의 위치 정보가 필요한데 근래에는 RTLS 를 사용하여 위치 정보 문제를 해결하는 추세이다. 적용 범위가 넓고 정밀한 위치 추적을 요구하며 많은 수의 태그를 사용하는 항만 물류 환경에 RTLS 를 적용하기 위해서는 항만 물류 환경의 특성을 고려해야 한다.

#### 3.1.1 RTLS 적용시 문제점

철로 만들어진 컨테이너들은 무선 신호의 감쇠나 반사 등의 요인이 된다. 많은 컨테이너를 적재하고 있는 항만 물류 환경에서 높이 적재되어있는 컨테이너들 사이로 이동하는 태그가 리더와 통신하기 위해서는 리더가 적재되어 있는 컨테이너들 보다 높은 장소에 위치해 있어야 한다. 항만 내에서 이러한 조건을 만족하는 곳은 조명탑과 건물 옥상뿐이다.

테스트를 위해 그림 1과 같이 항만 내 4곳의 조명탑에 리더를 설치하고 야드 트랙터가 다니는 통로의 20 지점

에서 거리 측정 실험을 하였다. 그 결과 그림 2와 같이 최소 3개 이상의 거리 정보를 얻어 다변측량이 가능한 곳은 5곳뿐이었으며, 이 5곳에서도 거리 정보를 3개 이상 얻을 수 있는 경우는 40% 이하였다. 이는 태그 주변에 적재되어 있는 컨테이너들로 인하여 음영지역이 발생하였기 때문이다.

### 3.1.2 항만 물류 환경의 특성

항만 물류 환경에서 위치를 추적하고자 하는 야드 트랙터나 트랜스퍼크레인은 동선이 정해져 있다. 항만 물류 환경은 컨테이너를 쌓아 놓은 블록들 여러 개가 모여 있으며, 블록들 사이로 도로가 나있다. 야드 트랙터는 블록들 사이의 도로와 일부 지역만 다니며, 트랜스퍼크레인은 컨테이너가 쌓인 블록들 위로만 움직이며 컨테이너를 옮긴다. 따라서 이들이 이동하는 지역만 고려하면 된다.

## 3.2 동선 정보 기반의 측위 기법

### 3.2.1 다변측량 기반의 최소자승법

태그와 리더들 간의 거리 정보가 3개 이상일 경우에는 다변측량 기법을 사용한다. 그러나 측정된 거리 정보에 오차가 포함되어 있을 수 있으므로 오차를 고려한 다변측량 기법인 최소자승법[6]을 이용하여 태그의 위치를 계산한다.

태그의 위치를  $\chi_s$ ,  $i$ 번째 리더의 위치를  $\chi_i = [x_i \ y_i]^T$ ,  $i$ 번째 리더에서 태그까지의 측정된 거리를  $D_i$ 라고 하면,

$$a_{i,1}x_s + a_{i,2}y_s = a_i^T x_s = b_i \quad (1)$$

where

$$a_i = [a_{i,1} \ a_{i,2}]^T$$

$$\chi_s = [x_s \ y_s]^T$$

$$a_{i,1} = x_i - x_1$$

$$a_{i,2} = y_i - y_1$$

$$b_i = \frac{1}{2}(\|\chi_i\|^2 - \|\chi_1\|^2 + D_1^2 - D_i^2)$$

수식 (1)을 행렬형태로 표현하면,

$$A\chi_s = b \quad (2)$$

where

$$A = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_G]^T$$

$$b = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_G]^T$$

가 된다.  $G$ 는 수식 (1)의 형태를 가지는 식의 개수이다. 거리 측정 오류로 인해 수식 (2)가 유일한 해를 가지지 않을 수 있으므로 최소자승법의 해를 구하면,

$$\hat{\chi}_s = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (3)$$

가 된다.

최소자승법의 결과로 나온 위치도 오차를 포함하고 있으므로 그 위치가 태그의 동선 위에 있지 않을 수 있다. 따라서 그림 3처럼 태그의 동선 위에 있는 점들 중 최소자승법의 결과로 나온 위치와 가장 가까운 점을 태그의 최종 위치로 정한다.

### 3.2.2 동선 정보 기반의 측위 기법

거리 정보가 3개 미만일 경우에는 다변측량이 불가능하므로 야드 트랙터나 트랜스퍼크레인의 동선을 이용하여 위치를 계산한다. 이들의 동선은 시작점과 끝점을 가지는 여러 선들로 표현할 수 있다.

i. 거리 정보가 2개일 때

수집된 거리 정보가 2개일 경우에는 두 거리 값을 이용하여 원을 그렸을 때 두 원의 교점을 태그의 위치라고 할 수 있다. 만약 교점이 두 개일 경우에는 이전 위치에 보다 가까운 교점이 태그의 위치일 확률이 높으므로 그 교점을 태그의 위치라고 한다. 그러나 수집된 거리 정보에 오차가 포함되어있을 수 있으므로 그림 4와 같이 계산된 태그의 위치가 태그의 동선 상에 있지 않을 수 있다. 이때는 태그 동선 상의 점들 중 계산된 태그의 위치에 가장 가까운 점을 태그의 위치로 한다.

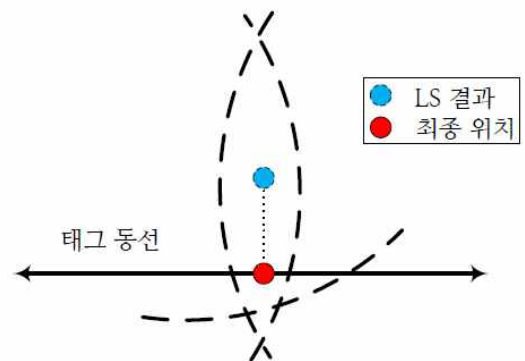


그림 3 3개 이상의 거리 정보로 측위

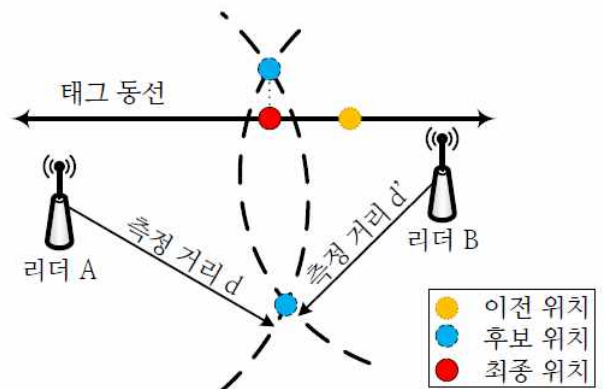


그림 4 2개의 거리 정보로 측위

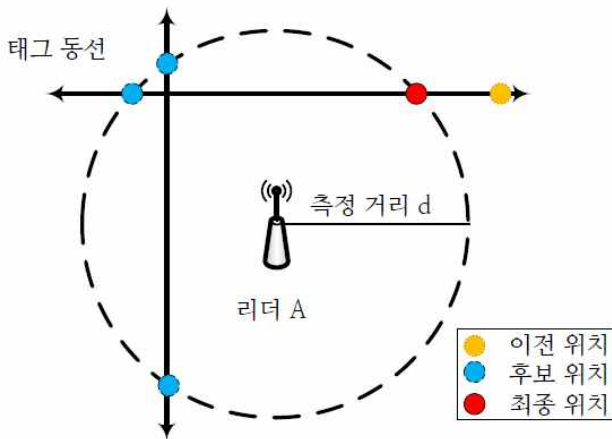


그림 5 1개의 거리 정보로 측위

ii. 거리 정보가 1개일 때

수집된 거리 정보가 1개일 경우에는 그림 5처럼 거리 값을 반지름으로 하는 원을 그리고 태그 동선과의 교점을 구한다. 이때 구한 교점이 태그의 후보 위치들이며, 이 중에서 태그의 이전 위치와의 거리가 가장 가까운 점이 태그의 현재 위치일 확률이 가장 높으므로 이점을 태그의 위치로 한다.

4. 실험 및 성능평가

본 논문에서 제안하는 기법을 검증하기 위해서 실제 항만 물류 환경에 RTLS 를 설치하고 실험을 수행하였다.

4.1 실험 환경

RTLS 가 설치된 항만은 그림 6과 같다. 1400m × 700m 의 크기이며, 이곳의 일부 조명탑과 건물 옥상에 23개의 리더를 설치하였다. 또한 트랜스퍼크레인에 리더를 설치하고 리더의 위치를 실시간으로 계산하게 함으로써 조명탑에 설치된 리더와 같은 역할을 할 수 있게 하였다.

항만 내에 컨테이너를 운반하는 야드 트랙터에 태그를 부착하고 위치를 측정하였다. 정확한 측위 오차 측정을 위해 야드 트랙터를 정차시킨 상태에서 실험하였다. 태그는 1초마다 주기적으로 측위의 시작을 알리는 블링크 메시지를 발신하고 블링크 메시지를 수신한 리더가 태그에게 응답 메시지를 보낸다. 태그는 자신의 블링크 메시지에 대한 응답 메시지를 보내온 리더에 대해 거리 측정을 수행하고 그 결과들을 모아 주변의 리더를 통해 엔진에게 전송한다.[7][8]

최소자승법을 이용한 다변측량 방식을 사용하는 엔진과 제안한 기법 사용하는 엔진을 각각 구현하고 수집된 정보를 동일하게 제공하여 수행시켜보고 그 결과를 비교해 보았다.

4.2 실험 결과

30분 동안 수집한 동일한 정보에 대해 그림 7과 같이 최소자승법을 이용한 다변측량 방식을 사용하는 엔진에서는 213회의 측위 결과가 나왔지만 제안한 기법을 사용한 엔진에서는 989회의 측위 결과가 나와 약 4.6배 이상 측위 성공률을 보였다. 이는 실제 항만 환경에서 다변측량 방식을 이용할 수 있는 3개 이상의 거리 정보가 수집되는 경우가 많지 않기 때문이다. 또한 수집된 거리 정보에는 측정 오차가 포함되어 있는데 최소자승법은 이

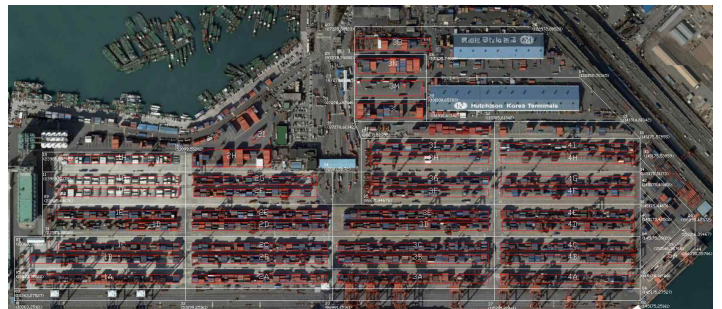


그림 6 실제 항만 실험 환경

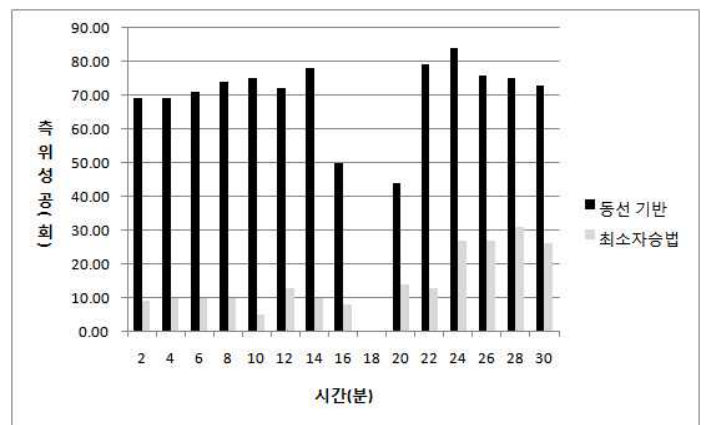


그림 7 시간별 측위 성공 횟수

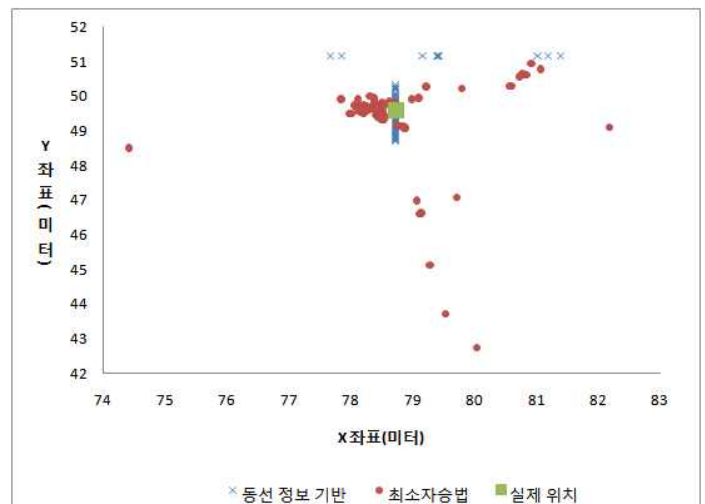


그림 8 측위 결과

러한 오차가 최소화 되는 위치를 선택한다. 그러나 제안된 기법은 태그가 이동하는 동선 위의 위치만을 고려하므로 정확도 및 정밀도가 더 높다. 본 실험 결과에서도 그림 8과 같이 최소자승법을 이용한 다변측량 방식을 사용했을 때는 평균 오차가 약 6.29m 이고 표준 편차가 8.63m이지만, 제안한 기법을 사용하였을 때는 3.26m의 평균 오차와 2.41m의 표준 편차를 보여 제안된 기법이 더 높은 정확도와 정밀도를 가짐을 알 수 있다.

## 5. 결 론

RTLS 에서 태그의 위치를 계산하기 위해서는 다변측량법을 사용한다면 3개 이상의 거리 정보가 필요하다. 하지만 항만 물류 환경의 특성상 음영지역이 다수 존재하여 이러한 조건을 항상 만족시키기 어렵다. 따라서 항만 물류 환경의 특성에 맞추어 부족한 정보를 채우는 것이 필요하다. 본 논문에서는 실제 물류 항만 환경에서 RTLS를 적용시키면서 발생한 문제점을 언급하고 분석하였다. 또한 RTLS 를 적용할 물류 항만 환경의 특성을 분석하여 위치를 추적할 대상이 정해진 동선만을 따라 이동한다는 것을 파악하고 이를 활용한 동선 정보 기반의 측위 기법을 제시하였다. 그 결과 제시한 기법이 기존의 최소자승법을 이용한 다변측량법보다 4.8배 이상의 측위성공률을 보였고, 평균 오차는 약 3m, 표준 편차는 약 2m 가 되었다.

## 참고문헌

- [1] R. Peng and M. L. Sichitiu, "Angle of arrival localization for wireless sensor networks," in Proc. of Third Annual IEEE Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, Reston, VA, USA, September 2006.
- [2] Hyonmin Kong, Youngmi Kwon and Taekyung Sung, "Comparison of TDOA triangulation solutions for indoor positioning," Proc. international symposium on GPS/GNSS, Sydney, Australia, 2004.
- [3] Y.-T. Chan, H. Y. C. Hang, and P.-C. Ching, "Exact and approximate maximum likelihood localization algorithms," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 55, no. 1, pp. 10-16, 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] R.Hach, "Symmetric double sided two-way ranging," In IEEE 802.15.4a standard, doc. IEEE P.802.15-05-0334-00-004a, June2005.
- [6] J. Caffery, "A New Approach to the Geometry of TOA Location," in IEEE VTS Fall VTC 2000,

pp. 1943-1949, 2000.

- [7] Sanghyun Son, Yeonsu Jung, Hoon Choi, Yunju Baek, "Design and Implementation of Real Time Localization System on IEEE 802.15.4a CSS PHY," Korea Computer Congress, 2008.
- [8] Jamje Kim, Sanghyun Son, Hoon Choi, Yunju Baek, "Research of Mobile Reader Selection for more precise estimated location in RTLS," Korea Computer Congress, 2009.