

# 수신 신호 세기를 이용한 선박용 실내 위치 추정 알고리즘 분석

이정규\*, 이성로\*, 김성철<sup>o</sup>

## Analysis of Localization Scheme for Ship Application Using Received Signal Strength

Jung-kyu Lee\*, Seong Ro Lee\*, Seong-Cheol Kim<sup>o</sup>

요 약

최근 센서 네트워크와 같이 근거리 무선 통신 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되면서 다양한 환경에서의 무선 통신 관련 연구를 수행하고 있다. 본 논문에서는 수신 신호 세기를 이용한 선박용 실내 위치 추정 알고리즘을 분석하고 각 상황에 맞는 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 무선 네트워크로부터 수신한 신호 세기를 이용하는 위치 추정 방식은 거리 추정 후 최소 제곱법을 이용하여 추정하는 Range based 방법이 있으며 네트워크를 구성하는 고정 노드와의 특성을 이용하여 위치를 추정하는 Range free 방식이 있다. 위치 추정 기법을 적용할 수 있는 해군 함정의 모델을 기반으로 효과적인 위치 추정 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

**Key Words** : Localization, iteration scheme, navy warship channel model, received signal strength

ABSTRACT

Recently, the wireless communication applications are studied in various environment by the development of short range communication system like wireless sensor networks. This paper presents the analysis of localization schemes for ship application using received signal strength. The localization schemes using received signal strength from wireless networks are classified under two methods, which are Range based method and Range free method. Range based methods estimate the location with least square estimation based on estimated distance using path-loss model. Range free methods estimated the location with the information of anchor nodes linked to target. Simulation results show the appropriate localization scheme for each cabin environments based on the empirical path-loss model in warship's internal space.

### I. 서 론

현재 무선통신기술의 급격한 발달로 인하여 다양한

응용 기술들이 개발되고 있으며 이 기술들을 적용할 수 있는 환경도 다양해지고 있다. 주로 유선 네트워크를 이용할 수밖에 없었던 일반 선박 및 크기가 큰 함

\* 본 논문은 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1009)과 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828) 연구결과로 수행되었음.

• First Author: Institute of New Media and Communications, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University, minishao@maxwell.snu.ac.kr, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author: Institute of New Media and Communications, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University, sckim@maxwell.snu.ac.kr, 중신회원

\* Dept. of Information & Electronics Engineering, Mokpo National University, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원  
논문번호: KICS2014-05-158, Received May 2, 2014; Revised August 6, 2014; Accepted August 6, 2014

정내부에서도 무선 네트워크를 이용하여 보다 자유로운 통신 시스템을 구축하는 것이 가능해졌다. 선박 내부의 무선 네트워크의 설치하는 기존의 선박용 유선 네트워크와 연동 및 대체 할 수 있으므로 보다 유연한 통신 시스템을 구축할 수 있으며 소형 네트워크 내의 근거리 통신 시스템에서 가능한 어플리케이션들을 선박 내부에서도 이용할 수 있게 되었다. 다양한 근거리 통신 어플리케이션 중에서 사용자의 편의성을 증대시켜 줄 수 있는 대표적인 시스템으로 위치 기반 서비스가 있다. 위치 기반 서비스 선박 내부에서도 사용자의 요구에 따라 위치를 추정하고 원하는 정보를 제공해 줄 수 있다. 보통 실외의 위치는 GPS(Global Positioning System)를 이용한 위치 인식이 이뤄지는 데<sup>[1]</sup>, 선박 내부에서는 GPS 신호를 수신하기 힘들며 선박 내부의 좌표를 계산하기는 어려움이 많기 때문에 선박 내부에서 이용 가능한 근거리 무선 네트워크를 이용해야 한다. 무선 네트워크를 이용하여 위치를 추정하는 방법은 크게 Range based 방식과 Range free 방식으로 분류할 수 있다. 두 방법은 각기 다른 장단점을 갖고 있기 때문에 좁은 선실 내부 환경에 맞는 알고리즘을 선택하는 것이 중요하다.

Range free 방식은 송신기의 위치를 이용하여 거리 추정 없이 대략적인 위치를 알려주는 Cell-ID 방식<sup>[2]</sup>이나 미리 저장된 데이터 맵을 이용하여 신호를 매칭시켜 위치를 추정하는 지문 방식(finger printing)<sup>[3]</sup>이 많이 알려져 있다. Cell-ID 방식은 매우 좁은 환경일 경우 다른 어떤 추정 방식보다 빠르고 간단하게 위치를 추정할 수 있다. 또한 지문 방식은 측위 시스템 환경에 대한 전파 지도(radio map) 정보가 있다면 타겟의 위치를 매우 정확하게 얻을 수 있지만 전파 지도 정보는 주변 환경의 변화에 매우 민감하며 방대한 양의 데이터 베이스가 필요하다는 단점이 있다.

Range based 방식은 전파의 도달시간을 기반으로 하는 TOA(Time of Arrival)<sup>[4]</sup>와 TDOA(Time Difference of Arrival)<sup>[5]</sup>, 전파 수신강도를 기반으로 하는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)방식<sup>[6]</sup>으로 나눌 수 있다. TOA 기술은 다른 기술에 비해 노이즈, 간섭 현상 및 NLOS(Non Line of Sight)환경에 대해서 강점을 가지고 있다. 전파가 전파되는 시간을 추정하면 되기 때문에 신호의 감지(detection)여부에 따라서 매우 정확한 성능을 보인다. 하지만 다중 경로에 의한 신호 손실로 인한 거리 추정 불가 현상 및 수신기와 송신기 간의 정확한 시간 동기화(time synchronization)가 필요하기 때문에 TOA기반 네트워크 측위 시스템은 간단한 센서를 이용하여 제작하

기가 매우 힘들다. TDOA 방식은 TOA 방식이 갖고 있는 노이즈 및 간섭에 대한 강점을 갖고 있으며 수신기와 송신기 간의 시간 동기화 부분을 해결해 줄 수 있는 기술이지만 복잡한 신호 처리방식으로 인하여 제한적인 하드웨어를 이용하여 구축하기가 어렵다. RSSI 방식은 수신 신호 강도를 이용하여 거리를 추정하기 때문에 노이즈와 간섭에 대해서 매우 큰 성능 변화를 보이며 LOS 환경이 아닐 경우 상당히 큰 오차를 보이지만 간단한 하드웨어로 네트워크를 구성할 수 있기 때문에 최근 ad-hoc 센서 네트워크나 wi-fi 등의 AP(Access Point)를 이용하여 위치를 추정하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 지상 건물 내부가 아닌 선박 내부라는 특수 환경에 대한 선택적 위치 추정 알고리즘을 제안하고 분석하였다. 선박 내부 환경은 넓은 선실, 좁은 복도 환경으로 모델링하였으며 각 지역에 따른 위치 추정 알고리즘의 장단점을 분석하여 추정 방식을 선택함으로써 보다 정확한 위치를 추정할 수 있도록 선택적 알고리즘을 제안한다. 무인 시스템과 같이 특수 목적의 용도로 고성능의 위치 추정 시스템을 구축해야 되는 상황이 아닐 경우 측위만을 위한 시스템을 구축하는 것이 아니라 기존의 무선 네트워크를 이용하는 것이 일반적이기 때문에 수신신호세기를 기반으로 알고리즘 분석을 하였다. 논문의 나머지 내용의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 함정 내부에서 전파 특성 실험을 통해 얻은 경로 손실 모델로부터 거리를 추정하는 방식을 살펴본다. 3장에서는 Range based 방식을 이용할 때 보편적으로 이용하는 위치 추정 방식인 NLS (Non-Linear Least Square) 방식<sup>[7]</sup>과 LLS (Linear Least Square) 방식<sup>[8]</sup>을 소개하고 Range free 방식 중 하나인 Cell-ID 방식과 Centroid 방식<sup>[9]</sup>을 소개한다. 4장에서는 선실의 환경에 맞는 위치 추정 알고리즘을 제안하기 위해 각 추정 알고리즘의 추정 정확도를 시뮬레이션을 통해 비교 분석하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 선박 내부의 경로 손실 모델

선박 내부의 무선 채널 환경은 기존의 주거지 및 빌딩과는 규모 및 구조가 다르기 때문에 일반적인 무선 채널 파라미터와 차이가 많다. 따라서 선박 내부의 무선 네트워크를 구축 할 때 특수한 선박의 구조를 잘 파악하여 수신 신호를 받기 위한 알맞은 위치에 AP를 배치해야하며 선실에서 이용할 수 있는 무선 채널을 모델링 하고 적용하는 것이 중요하다.<sup>[10]</sup>

[10]에서 제시한 환경 내 무선 채널 파라미터는 일반적으로 이용하는 실내 전파 환경에서의 경로 손실 파라미터<sup>[11]</sup>와 차이가 있다. 본 논문에서는 [10]에서 제안한 선실 내 경로 손실 파라미터를 이용하여 거리를 추정하고 이를 기반으로 위치 추정 알고리즘을 분석한 후 선실 환경을 넓은 선실, 좁은 복도로 모델링하여 각 환경에 알맞은 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 일반적인 경로 손실 모델은 다음과 같다.

$$RSS_i = P_s(d_0) + 10 \times n_s \times \log_{10} \left( \frac{d_i}{d_0} \right) + X_{\sigma_{s_i}} \quad (1)$$

여기서  $RSS_i$ 는  $i$ 번째 송신기와 수신기간의 수신신호세기,  $P_s(d_0)$ 는 레퍼런스 거리인 1m에서의 손실,  $n_s$ 는 선실에서의 실험을 통해 제시한 경로 손실 지수,  $d_i$ 는  $i$ 번째 송신기와 수신기 사이의 거리,  $X_{\sigma_{s_i}}$ 는 수신신호세기 변화의 표준편차이며 일반적으로 제로 평균 대수 정규분포를 따른다. 환경에 따라 변화되는 파라미터는  $n_s$ 와  $X_{\sigma_{s_i}}$ 로 수신 신호 세기를 이용하여 거리를 추정 할 경우 큰 영향을 미친다. 수식 (1)로부터 거리를 추정할 경우 추정 거리를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\hat{d}_i = 10^{-\frac{(RSS_i - P_s(d_0) - X_{\sigma_{s_i}})}{(10 \times n_s)}} = d_i \times 10^{-\frac{X_{\sigma_{s_i}}}{(10 \times n_s)}} \quad (2)$$

여기서  $\hat{d}_i$ 는  $i$ 번째 송신기와 수신기 사이의 추정 거리를 의미한다. 추정 거리와 실제 거리의 차이는 부정확한  $n_s$  값과 제로 평균 대수 정규분포를 따르는 왜도인  $X_{\sigma_{s_i}}$  값에 의해 발생하게 되는데  $X_{\sigma_{s_i}}$  값은 확률 분포 상 수신신호세기의 평균이 0일 경우 가장 높은 확률을 가지기 때문에 거리를 추정할 경우  $X_{\sigma_{s_i}}$  값은 0으로 예측하고 추정하게 된다. 따라서 거리를 추정하는데 가장 중요한 요소는 경로손실지수인  $n_s$ 을 정확히 설정하는 것이기 때문에 본 논문에서는 선박 내부에서 측정된 결과 값으로 제시된 경로손실지수  $n_s = 0.79$ (선실),  $n_s = 1.45$ (복도)를 적용하여 보다 정확한 거리를 추정하고 위치 추정 알고리즘에 적용하였다.

### III. 위치 추정 알고리즘

위치 추정 알고리즘은 크게 Range based 방식과

Range free 방식으로 분류할 수 있다.

#### 2.1 Range based 추정 방법

Range based 추정 방식은 II 장에서 모델링한 경로 손실 모델을 이용하여 거리를 추정 한 후 최소 제곱법(Least Square estimation)을 이용하여 위치를 추정하는 방식이다. 최소 제곱법을 이용하는 방식은 비선형적 방식(Non-Linear Least Square)과 선형적 방식(Linear Least Square)으로 나눌 수 있다. Range based 추정 방법은 추정 거리 정확도에 큰 영향을 받는다.

##### 2.1.1 Non-Linear Least Square 추정

NLS 방식은 추정 거리 기반 위치 추정 기법 중 하나이다. 기본적으로 위치를 추정하기 위해서는 위치를 알고 있는 송신기가 적어도 3개 이상 있어야 한다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 추정 위치 오차  $e_L$ 은 실제 위치  $P_{real}$ 과 추정 위치  $P_{est}$ 의 차이로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$e_L = \| P_{real} - P_{est} \| \quad (3)$$

위치를 추정할 때 알 수 있는 정보는 송신기의 위치 좌표, 송신기들과 수신기 사이의 추정 거리가 있다. 추정 거리는 수신한 신호 세기를 경로 손실 모델을 이용하여 거리를 추정하게 되지만 오차를 포함하고 있기 때문에 정확한 추정 거리를 얻기 힘들다. 따라서 정확하지 않은 추정 거리 오차를 최소화 하는 방식이 바로 NLS 방식이며 수식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

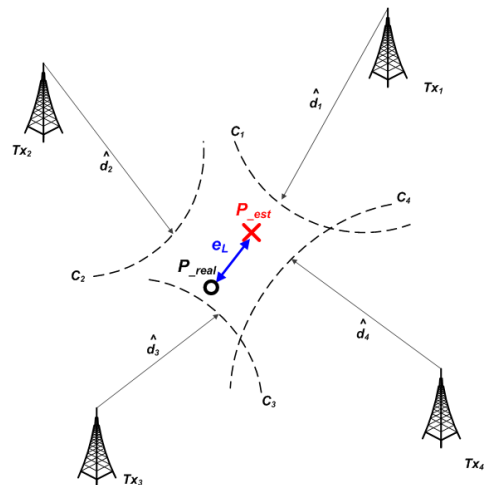


그림 1. 비선형 최소 제곱 추정  
Fig. 1. Non-least square estimation

$$P_{est} = \arg \min_p \sum_{i=1}^N [\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - \hat{d}_i]^2 \quad (4)$$

여기서  $P_{est}$ 는 추정 위치의 좌표  $(\hat{x}, \hat{y})$ 를 의미하며 수식 (4)을 최소로 만들어 주는 요소  $p$ 는 추정 할 수 있는 위치  $(x, y)$ 를 의미한다.  $\hat{d}_i$ 는  $i$ 번 째 송신기에서의 추정 거리를 의미하며  $(x_i, y_i)$ 는  $i$ 번 째 송신기의 위치 좌표를 의미한다. NLS 방식은 추정 위치 오차를 가장 작게 만들어 줄 수 있지만 최적의 값을 찾기 위해서는 많은 반복적 계산을 통해 수렴하는 값을 얻기 때문에 계산 량이 많은 방식이다. 반복적 계산을 통해 추정 위치를 얻기 위한 NLS 알고리즘<sup>[12]</sup>은 Newton's method와 이 방식의 단점을 보완한 Levenberg Marquardt (LM) method가 있다. 이 외에도 steepest-descent 알고리즘과 Gauss Newton 방식이 있지만 방식의 차이가 없기 때문에 본 논문에서는 대표적인 NLS 알고리즘인 Newton's method의 성능을 분석하였다.

### 3.1.2 Linear Least Square 추정

LLS 방식은 NLS 방식을 간단하게 수식 화하여 나타낸 방식이다. NLS 방식과는 다르게 닫힌 해(Closed form solution)으로 매우 쉽게 추정 위치를 얻을 수 있으며 송신기가 3개만 있을 경우 간단한 역행렬로 추정 위치를 구할 수 있다. LLS 방식은 행렬을 이용하는데 그 행렬을 구하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} (\hat{x} - x_1)^2 + (\hat{y} - y_1)^2 = \hat{d}_1^2 \\ (\hat{x} - x_2)^2 + (\hat{y} - y_2)^2 = \hat{d}_2^2 \\ \vdots \\ (\hat{x} - x_N)^2 + (\hat{y} - y_N)^2 = \hat{d}_N^2 \end{cases} \quad (5)$$

N개의 송신기에서 추정된 N개의 추정 거리를 이용하여 원의 방정식을 구할 수 있다.  $(x_i, y_i)$  좌표는 송신기의 위치 좌표를 나타내며,  $(\hat{x}, \hat{y})$ 는 추정 위치 좌표를 의미한다. N개의 원의 방정식을 N번 째 원의 방정식으로 순서대로 빼면 N-1개의 직선의 방정식이 나오며 직선의 방정식을 구하고자 하는 추정 위치 좌표  $(\hat{x}, \hat{y})$ 와 그 앞의 계수, 상수 부분으로 나누어 정리하면 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} (x_1 - x_N) & (y_1 - y_N) \\ \vdots & \vdots \\ (x_{N-1} - x_N) & (y_{N-1} - y_N) \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 A 행렬은 추정 위치  $(x, y)$ 에 곱해진 계수를 모은 행렬을 의미하며 b 행렬은 알고 있는 송신기의 좌표 및 추정 거리에 대한 부분을 나타낸다. 추정 위치  $(\hat{x}, \hat{y})$ 를 벡터 x로 표현하면  $Ax = b$ 과 같이 정리 할 수 있다. 하지만 N개의 송신기(4개 이상)가 존재할 경우 x와 행렬 A의 크기(rank)가 맞지 않아 바로 역행렬을 구할 수 없기 때문에 다음과 같이 의사 역행렬(Pseudo inverse)을 이용하여 구한다.

$$x = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (7)$$

NLS 방식과 마찬가지로 LLS 방식도 추정 위치 오차는 실제 위치와 추정 위치와의 차이로 나타낼 수 있다. LLS 방식으로 위치를 추정할 경우 최상의 결과 값을 갖지 못하지만 닫힌 해의 방식을 취하고 있어 위치를 적은 계산 량으로 추정 할 수 있는 장점이 있다.

## 3.2 Range free 추정 방법

Range free 추정 방법은 잘 알려진 수신신호 지문 방식과 Cell-ID 방식이 있지만 벽, 천장, 바닥 등에 도체가 많이 존재하여 수신신호의 변화가 큰 선박 내부의 특수성을 고려하였을 때 수신신호 지문 방식 보다 간단한 Cell-ID 방식이 위치를 추정하는데 있어서 보다 합리적인 방식이 될 수 있다. Range free 추정 방법 중 좁은 선실이나 복도에서 이용하기 좋은 추정 방식인 Cell-ID 방식과 Centroid 방식을 소개한다.

### 3.2.1 Cell-ID 위치 추정

Cell-ID 추정 방식은 송신기와 수신기의 통신 링크가 연결 된 경우 가장 가까운 송신기의 위치를 수신기의 위치로 추정하는 방식으로 매우 간단하면서도 많이 이용되고 있는 방식이다.

그림 2와 같이 Cell-ID 방식은 송신기의 전파 도달 범위 안에 수신기가 있을 경우 그 위치를 송신기의 위

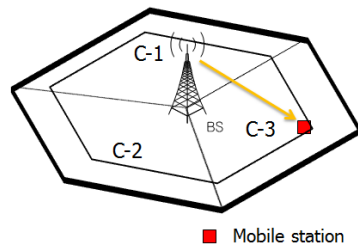


그림 2. Cell-ID 위치 추정  
Fig. 2. Localization using Cell-ID method

표 1. 일반적인 실내 위치 추정 알고리즘 분석  
Table 1. The analysis of indoor localization algorithm

Method	Strengths	Drawbacks	Comment
Newton	Good Accuracy (better than LLS)	Heavy computation load	Influenced by the accuracy of distance estimation.
Linear Least Square	Simple calculation with distance estimation	Medium Accuracy	
Cell-ID	Positioning without distance estimation.	Accuracy limitation, Dense AP needed	Suitable small place
Centriod	Positioning without distance estimation.	Accuracy limitation (better than Cell-ID)	-

치로 추정하는 방식이지만 안테나의 방향성을 이용하여 송신기의 전파 도달 범위를 각 cell로 나누어 추정하거나 수신 신호 세기 정보를 이용하여 보다 수신기와 송신기 간의 거리를 추정함으로써 정확도를 향상시키는 방법이 있다. 일반적으로 센서를 이용한 무선 네트워크에서는 전 방향성 안테나를 많이 이용하기 때문에 cell을 나누는 것은 어렵지만 수신 신호 세기를 이용하여 정확도를 향상시키는 방법을 이용할 수 있다.

### 3.2.2 Centroid 위치 추정

Centroid 위치 추정 방식은 수신기의 위치를 수신기와 연결된 송신기들의 위치 좌표의 무게 중심 좌표로 추정하는 방식이다. 하나의 송신기의 위치 정보만 이용하는 Cell-ID 방식 보다는 정확도를 향상시키기 쉬우며 조밀한 ad-hoc 센서 네트워크를 구축한 환경일 경우 거리 추정 없이도 매우 효과적인 추정 위치를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

그림 3과 같이 Centroid 위치 추정은 송신기의 좌

표의 무게 중심점을 수신기의 위치로 추정하게 되며 오차 범위는 각 송신기들이 이루는 범위 내에 존재하게 된다. 연결된 모든 송신기에 대해서 계산할 경우 오히려 오차가 커질 수 있기 때문에 수신신호세기가 강한 송신기, 즉 가장 가까이 있다고 추정할 수 있는 송신기를 선택하여 위치를 추정하는 것이 효과적이다. 송신기가 넓게 분포 되어 있을수록 정확도는 좋아질 수 있지만 선실 내부와 같이 좁고 긴 환경에서는 많은 수의 송신기에 대해 무게 중심을 구하는 것 보다 효율적인 그룹핑(grouping)을 통해 위치를 구하는 것이 좋다.

선실 내부에서 효과적으로 위치를 추정하는 방식 중 Range based 추정 방법과 Range free 추정 방식에 대해 장단점을 분석하여 정리하면 표 1과 같다.

## IV. 모의실험 분석

모의실험 환경은 그림 4를 기반으로 넓은 선실, 좁은 복도 환경으로 모델링 하여 설정하였다. 채널 파라미터는 2.4GHz CW (Continuous Wave)를 이용하여 각 지점 마다 5번 씩 100회 측정하여 총 500회를 측정한 결과 값으로 분석하였다<sup>[10]</sup>. 각 환경에 따라 고정 노드의 고유 번호를 부여하여 구분할 수 있게 두었으며 고유 번호에 따라 다른 위치 추정 알고리즘을 적용할 수 있게 설정하였다. 넓은 선실에는 5개의 송신기를 두었으며 그 위치는 그림 4에서의 넓은 선실의 Rx(2, 8, 14, 20, 26)번의 위치로 설정하여 최대한 방가운데로 두었으며  $R_i$ , ( $i=1\sim5$ )의 고유 번호를 설정하였다.

좁은 복도는 그림 4에서의 좁은 복도의 Rx(3, 6, 9, 12)번 위치에 설정하였으며  $I_i$ , ( $i=1\sim4$ )의 고유 번호를 설정하였다. 수신기는 넓은 선실 (8m, 14m), 좁은 복도 (1.5m, 14m) 크기 내의 임의의 위치에 존재하도록 하였으며 각 경우마다 10만 번의 몬테 카를로

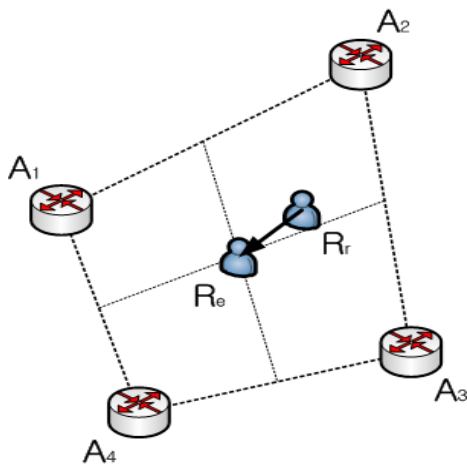


그림 3. Centroid 위치 추정  
Fig. 3. Localization using centroid method



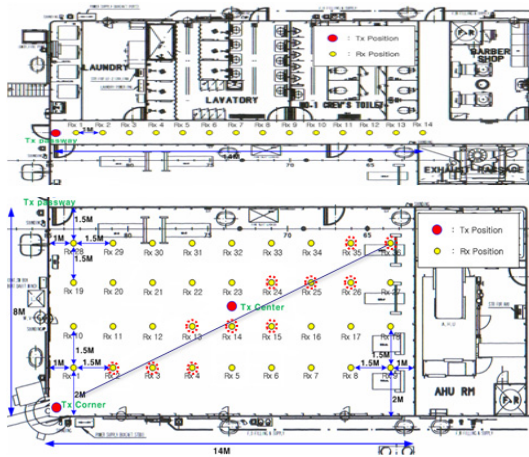


그림 4. 선실 내 무선 채널 실험 환경  
Fig. 4. Experimental environment in the cabin

(Monte-Carlo) 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다. 그림 5는 넓은 선실에서 LLS 방식, NLS 방식, Centroid 방식, Cell-ID 방식을 RMSE 값으로 분석하였다. 그림 5 중 Indoor Channel로 명시된 그림은 [10]에서 제안한 채널 파라미터가 아닌 실험을 통해 제안한 실내 채널 파라미터<sup>[13]</sup>을 이용하여 분석한 결과이다. 일반적인 실내 채널 파라미터를 적용하여 위치를 추정하였을 때 Range based 방법이 가장 좋다. 이는 선박용 실내 채널과 일반 오피스 환경과 다른 채널 파라미터를 가지기 때문이다. [10]에서 분석한 경로 손실 파라미터는  $n_s = 0.79$ (선실),  $n_s = 1.45$ (복도) 값을 가지며 [13]에서 분석한 경로 손실 파라미터는  $n_s = 2.2001$  값을 가진다. 이 값을 분석하면 선실 내의 무선 채널은 거리 추정 시 쉐도잉  $X_{\sigma_s}$  값에 매우 큰 영향을 받게 된다. 따라서 신호 세기의 변화에 따라 추정 거리의 오차가 매우 커지게 되며 위치 추정 오차

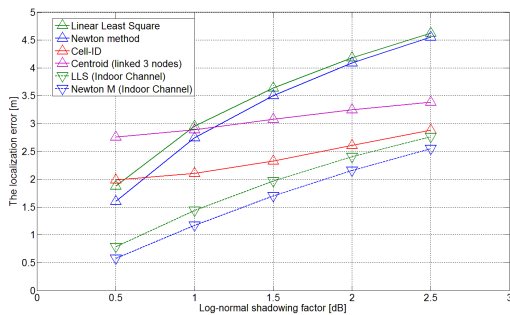


그림 5. 넓은 선실에서의 각 알고리즘의 RMSE 분석  
Fig. 5. RMSE of each localization schemes in cabin

또한 매우 커지게 된다. [10]에서 분석한 쉐도잉  $X_{\sigma_s}$  값은 3dB 이상의 신호 세기의 변화를 보이는데 그림 5에서 볼 수 있듯이 위와 같은 환경에서는 거리를 추정 후 위치를 추정하는 것 보단 Cell-ID 방식을 이용하여 추정 위치 오차의 범위를 한정시키는 것이 오히려 더 좋은 결과 값을 보인다. Centroid 방식은 일반적으로 넓은 환경에서 Cell-ID 방식 보다 정확한 추정 위치 결과를 보이지만 선실 내부와 같이 좁은 환경에서 조밀한 AP가 놓일 경우 Cell-ID 방식 보다 오차가 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

선실 내 좁은 복도 환경은 오차의 범위도 작으며 많은 송신기를 설치하기 힘들기 때문에 3개 이상의 송신기가 있어야 하는 Range based 추정 방법으로 위치를 찾기에 비효율적이다. 위의 시뮬레이션 결과는 이상적인 위치에 송신기를 배치하였기 때문에 성능이 비교적 좋게 나왔지만 실제 환경에서는 좋은 추정 값을 갖기 힘들 것으로 판단된다. 이 환경에서도 [13]에서 분석한 채널 파라미터를 이용하여 분석을 했을 때 성능의 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 좁은 복도 환경이라는 특수한 환경이며 각 노드 간의 거리는 3m, 너비는 0.75m이기 때문에 Cell-ID 방법으로 위치를 추정하였을 때 최대 발생할 수 있는 오차는 1.8m 정도 밖에 되지 않는다. Centroid 방식을 분석해보면 선형적으로 배치된 환경에서는 수신기와 연결된 송신기 위치의 무게 중심 값을 구하는 형식이 오히려 오차 범위를 키우는 방식이 된다. 따라서 선실 내 좁은 복도 환경에서의 위치 추정은 Cell-ID 방식이 효과적이다.

그림 5와 그림 6을 분석한 결과 선실 내의 환경에서는 Range based 추정 방식의 성능이 매우 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 수신 신호 세기로부터 추정된 거리의 오차의 크기가 매우 크기 때문이며 일반적인 무선 채널 환경에서의 위치 추정과는 크게 다르

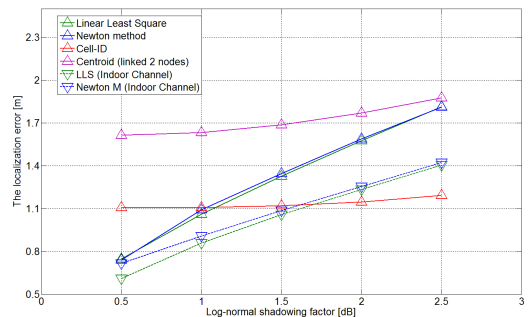


그림 6. 좁은 복도에서의 각 알고리즘의 RMSE 분석  
Fig. 6. RMSE of each localization schemes in corridor

다는 것을 확인할 수 있다. Range free 방식 중 수신한 신호 세기를 분석하여 가까운 송신기의 위치 정보만으로 추정하는 방식이 오차의 범위를 제한할 수 있기 때문에 오히려 좋은 결과 값을 얻을 수 있다고 분석할 수 있다.

위의 시뮬레이션 결과는 최적화 된 위치에 송신기를 두었으며 좁은 범위에 5개, 4개의 송신기를 두고 분석을 하였기 때문에 Range free 추정 방법의 결과가 보다 좋게 나올 수 있다. 하지만 송신기의 수를 감소시키면 Range based 추정 방법 또한 위치 추정 오차가 증가하며 추정 범위의 크기를 고려하였을 때 위치 추정 오차의 값이 수신기의 위치를 추정하는데 의미가 없는 값으로 나오기 때문에 결과 값에 포함시키지 않았다. 거리를 추정하는 방식에는 시간 지연을 이용한 ToA 방식이 있지만 선실 내부는 도체로 되어 있어 다중 경로가 매우 많이 발생하기 때문에 시간 지연을 정확히 계산하는 것도 어렵다고 판단된다. 또한 시간 동기화 문제도 있기 때문에 제한적인 하드웨어로 시스템을 구성하기도 어려우며 좁은 선실 내에서 정밀한 위치를 추정하고자 위치 추정을 위한 단독의 시스템을 구축하는 것은 매우 비효율 적으로 보인다.

## V. 결 론

본 논문에서는 수신 신호 세기를 이용한 선박용 실내 위치 추정 알고리즘을 분석하고 각 상황에 맞는 위치 추정 알고리즘을 제안하였다. 선실 내의 무선 채널 환경은 일반적인 실내 오피스 환경과는 다르며 추정 거리 정확도가 낮기 때문에 Range based 추정 방법으로 선박 내에서 수신 신호 세기를 이용한 위치 추정은 적절하지 않으며 Range free 추정 방법을 선택하는 것이 좋다. 송신기의 배치에 따라 성능의 변화가 있겠지만 추정 거리의 신뢰도가 낮은 선실 내의 환경에서는 가까이 연결된 송신기 수를 고려하는 Centroid 방법을 이용하는 것 보단 가장 가까운 송신기를 선택하여 위치를 추정하는 Cell-ID 방법을 선택하는 것이 좋다. 본 논문의 측정 환경 및 시뮬레이션 환경은 매우 좁은 환경이라는 특수한 환경이지만 화물선과 같이 큰 선박에서의 무선 채널 모델 및 위치 추정 결과는 많이 차이가 날 것으로 예상되며 추후에 연구해야 될 부분이다.

## References

- [1] B. W. Parkinson and J. J. Spilker, *Global Positioning Systems: Theory and Applications*, vol. 1, Progress Astronautics and Aeronautics, 1996.
- [2] T. Wigren, "Adaptive Enhanced Cell-ID Fingerprinting Localization by Clustering of Precise Position Measurements," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 56, no. 5, pp. 3199-3209, Sept. 2007.
- [3] P. Bahl, and V. N. Padmanabhan, "RADAR : An in-building RF-based user location and tracking system," *IEEE INFOCOM*, vol. 2, 26-30 pp. 775-784, Mar. 2000.
- [4] R. Kaune, "Accuracy studies for TDOA and TOA localization," in *Proc. 15th Int. Conf. FUSION*, pp. 408-415, Jul. 2012.
- [5] N. Patwari, J. N. Ash, S. Kyperountas, R. L. Moses, and N. S. Correal, "Locating the Nodes : Cooperative localization in wireless sensor networks," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 22 pp. 54-69, Jul. 2005.
- [6] J. Lee, et al., "An efficient trilateration algorithm for wireless sensor network localization," in *Proc. IEEE VTS APWCS*, 2011.
- [7] P. Setlur, G. E. Smith, F. Ahmad, and M. G. Amin, "Target localization with a single sensor via multipath exploitation," *IEEE Trans. Aero. Electron. Syst.*, vol. 48, no. 3, pp. 1996-2014, Jul. 2012.
- [8] Z. Yang and Y. Liu, "Quality of trilateration: Confidence-based iterative localization," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 21, no. 5, pp. 631-640, May 2010.
- [9] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, Oct. 2000.
- [10] D. G. Choi, J. K. Lee, Y. H. Kim, and S. C. Kim, "Analysis of path loss model and channel characteristics at 2.4GHz on navy warship's internal space," *J. KICS*, vol. 36, no. 11B, pp. 1422-1432, 2011.

- [11] A. F. Molisch, et al., IEEE 802.15.4a channel Model-Final report Tech. Rep. Doc. IEEE 802.15-04-0662-02-004a, 2005.
- [12] J. Yan, et al., "Review of range-based positioning algorithms," *IEEE Aero. and Electron. Syst. Mag.*, vol. 28, no. 8, pp. 2-27, Aug. 2013.
- [13] J. K. Lee, S. Y. Sung, J. H. Park, and S. C. Kim, "The analysis of path loss model for indoor localization using ZigBee," in *Proc. KIEES Conf.*, p. 161, Busan, Korea, Jul. 2009.

이 정 규 (Jung-kyu Lee)



2008년 2월 : 고려대학교 전과  
통신공학과 학사  
2010년 2월 : 서울대학교 전기,  
컴퓨터공학부 석사  
2010년~현재 : 서울대학교 전기,  
컴퓨터공학부 박사과정

<관심분야> Localization Algorithm, Wireless Channel modeling, Automotive RADAR.

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 : 고려대학교 전자  
공학과 공학사  
1990년 2월 : 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과 공학석사  
1996년 8월 : 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과 공학박사  
1997년 9월~현재 : 목포대학교  
공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시  
스템, USN/텔레메틱스응용분야, 임베디드시스템

김 성 철 (Seong-Cheol Kim)



1984년 2월 : 서울대학교 전기  
공학과 학사  
1987년 2월 : 서울대학교 전기  
공학과 석사  
1995년 2월 : 미국 폴리테크닉  
대학교 박사  
1995년~1999년 : AT&T Bell

lab. Member of Technical Staff  
1999년~2003년 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 조  
교수  
2003년~2008년 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 부  
교수  
2008년~현재 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 정교수  
<관심분야> System Engineering, Channel  
Modeling, Communication Algorithm, MIMO,  
Relay, Localization.