

## 근접노드와 거리변화량분석기법을 이용한 선내 위치인식 개선 알고리즘

성주현<sup>1</sup> · 임태우<sup>2</sup> · 김종수<sup>3</sup> · 박상국<sup>4</sup> · 서동환<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2013년 1월 4일, 원고수정일 : 2013년 2월 15일, 심사완료일 : 2013년 2월 25일)

### An improvement algorithm for localization using adjacent node and distance variation analysis techniques in a ship

Ju-hyeon Seong<sup>1</sup> · Tae-woo Lim<sup>2</sup> · Jong-su Kim<sup>3</sup> · Sang-gug Park<sup>4</sup> · Dong-hoan Seo<sup>†</sup>

**요약:** 최근 정보 통신 기술의 발전에 따라 GPS를 이용한 실외 위치 기반 서비스와 더불어 정밀한 위치 추적이 필요한 실내 위치 기반 서비스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 철골 구조로 이루어진 선박은 전파의 회절 및 굴절에 의한 레인지 오차로 인하여 정확한 위치 측정이 어렵다. 이러한 실내 환경에서 발생하는 위치측정 오차를 줄이기 위하여 본 논문에서는 다중경로에 강인하고 자유공간에서 수 센티미터의 오차를 가지는 UWB(Ultra-wide-band)를 이용하여 어떠한 부가적인 센서 없이도 선내 복도와 같은 좁은 통로에 적합한 거리 개선 알고리즘을 제안한다. 이 개선 방법은 고정노드 배치로 인한 거리 오차는 피타고라스 이론과 근접노드기법으로 해결하고 복도의 코너 구역에서 크게 발생하는 레인지 오차는 거리변화량분석기법을 적용하여 보정하였다. 실험결과 제안한 방법이 기존의 CSS(Chirp spread spectrum) 방법과 비교할 때 노드 수와 거리오차를 각각 66%와 57.41%로 줄였다.

**주제어:** 위치인식, 선박, UWB, 이변측위, 거리변화량분석기법

**Abstract:** Recently, with the rapid advancement in information and communication technology, indoor location-based services(LBSs) that require precise position tracking have been actively studied with outdoor-LBS using GPS. However, in case of a ship which consists of steel structure, it is difficult to measure a precise localization due to significant ranging error by the diffraction and refraction of radio waves. In order to reduce location measurement errors that occur in these indoor environments, this paper presents distance compensation algorithms that are suitable for a narrow passage such as ship corridors without any additional sensors by using UWB(Ultra-wide-band), which is robust to multi-path and has an error in the range of a few centimeters in free space. These improvement methods are that Pythagorean theory and adjacent node technique are used to solve the distance error due to the node deployment and distance variation analysis technique is applied to reduce the ranging errors which are significantly fluctuated in the corner section. The experimental results show that the number of nodes and the distance error are reduced to 66% and 57.41%, respectively, compared with conventional CSS(Chirp spread spectrum) method.

**Keywords:** Location technology, Ship, UWB, Bilateralation, Distance variation analysis technique

† 교신저자: (606-791) 부산광역시 영도구 태종로 727,

한국해양대학교 전기전자공학부, E-mail: dhseo@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4412

1 한국해양대학교 전기전자공학과, E-mail: sjh10114@naver.com, Tel: 051-410-4822

2 한국해양대학교 기관공학부, E-mail: kyunlim@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4256

3 한국해양대학교 기관시스템공학과, E-mail: jongskim@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4831

4 위덕대학교 컴퓨터공학과, E-mail: skpark@uu.ac.kr, Tel: 054-760-1656

## 1. 서론

최근 위성을 이용한 GPS(Global Positioning System)가 보편화 되면서 유비쿼터스 네트워크를 통한 위치 정보 서비스들이 널리 이용되고 있다. 이러한 위치 정보 서비스들은 정확한 위치를 바탕으로 제공되기 때문에 위치인식을 위한 다양한 방법들이 지난 몇 년간 연구되어 왔다. 이미 선박에서 사용 중인 DGPS(Differential Global Positioning System)의 경우 오차 범위가 1m로 매우 정확해졌으며, 현재 이 기술을 이용해 육상에서도 적용하고 있다. 하지만 GPS를 이용한 위치인식은 비교적 광범위하나 실외환경을 중심으로 개발되었기 때문에 신호의 수신이 어려운 실내 환경에는 어려움이 있다. 따라서 실내 환경에 적합한 위치인식 시스템에 대한 관심과 필요성이 증대되고 있지만 기존의 초음파와 RSSI(Received Signal Strength Indication)방식은 정확한 위치인식이 어렵고 노드의 수가 많이 필요하다는 단점이 있다[1]. 이러한 실내 환경 중에서도 선박과 같이 전파의 반사 및 회절이 많이 일어나는 밀폐된 철골 구조에서는 위치인식 방식을 전파 도달 시간으로 측정 할 경우, 페이딩 현상과 장애물로 인해 거리 측정이 부정확하다.

Ryu et al. [2]은 기존의 실외 위치인식 기술이었던 GPS를 실내에 Zigbee로 만든 고정노드와 같이 부착하여 Zigbee의 신호세기와 GPS의 좌표위치를 동시에 사용하여 위치를 추정하는 방식이다. 하지만 이는 창문 부근이나 출입구 등 GPS의 신호가 수신되는 실내에만 노드 부착이 가능하기 때문에 공간적 제약이 많이 발생한다.

Cho et al. [3]은 CSS와 센서를 이용하여 CSS의 신호 수신이 어려울 경우, 센서를 이용한 걸음걸이 보폭을 이용해 위치를 추정하는 방식이다. 이는 정확한 걸음걸이 측정에는 센서의 오차가 있기 때문에 이동거리가 늘어날수록 오차는 커지는 단점이 있다.

Kong et al. [4]는 LED조명의 가시광 통신을 이용한 방법으로 조명과 수신기의 거리가 1.75m이상 멀어지면 데이터 수신이 어려워 조명의 설치 거리 및 수신기의 방향에 따라 미인식 가능성이 크기

때문에 시스템 구성이 어렵다.

본 연구에서는 거리측정 오차가 수 센티미터인 UWB를 이용하여 밀폐된 구조인 선박에서 근접노드와 거리변화량분석기법을 적용하여 기존의 위치 인식에서 주로 사용되어온 부가적인 센서 없이 보다 정밀한 위치인식 개선 알고리즘을 제안하고 이에 대한 성능을 실험을 통하여 입증하였다. 전파의 특성상 최단거리의 경로를 기준으로 전파가 송수신되기 때문에 코너 구간에서는 정확한 위치를 추정하기 어려워서 이를 보완하기 위하여 선내 실험 공간에서 수신율과 정확도를 고려하여 고정노드 배치를 배치하였고 또한 이동노드가 고정노드로 근접할 때 근접노드기법을 이용하고, 코너 부근의 크게 발행하는 레인징 오차를 개선하기 위하여 이전 값을 기반으로 한 거리변화량분석기법을 통하여 여러 곡선구간에서의 위치오차를 보정하였다.

## 2. 위치추정 관련 이론

### 2.1 Time of arrival(TOA)

일반적으로 무선 송수신기 사이의 거리측정을 하기 위해서는 두 노드의 전파 도착시간과 전송시간 사이의 시간차를 측정할 수 있는 공통된 clock이 필요하다. 이러한 문제는 양방향 왕복패킷교환을 통한 무선 TOA거리측정 방식을 통해 가능하다. TOA방식을 사용하면 각 노드는 모두 송신기와 수신기의 역할을 동시에 수행한다. 전파의 세기를 이용하여 위치를 측정하는 기존의 Zigbee방식은 달리 전파 도달시간을 측정하여 노드의 거리를 계산하기 때문에 더욱 정밀한 위치분석이 가능하며 저전력 장거리통신이 가능하다. Figure 1은 양방향 TOA방법으로 거리를 측정하기 위한 개략도이며, 두 노드사이의 거리  $d$ 를 측정하기 위한 방정식은 아래 식 (1)과 같다.

$$d = \frac{C}{2}(t_{r1} - t_{d1} - t_{delay}) \quad (1)$$

여기에서  $d$ 은 거리를 나타내며  $t_{delay}$ 는 아래 식 (2)와 같다.

$$t_{delay} = t_{r2} - t_{d2} \quad (2)$$

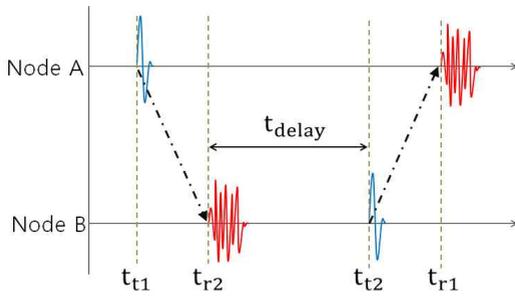


Figure 1: Two-Way TOA(TW-TOA)

여기서  $t_{delay}$ 는 노드 A에 의해 결정된 값이 아닌 노드 B의 clock에 의해 나타나는 응답지연시간이다.  $t_r$ 는 노드 A에 의해 측정된 응답 수신 TOA이며  $t_t$ 는 노드 A에 의해 측정된 응답 전송 TOA이고  $C$ 는 전파속도(m/s)를 나타낸다[5].

## 2.2 Coarse range estimation(CRE)

기존의 TOA방식은 전파가 자유공간에서 전송 중 장애물이나 다른 전파에 의해 굴절이나 반사 등 신호 왜곡이 발생할 가능성이 있다. 이러한 문제는 전파가 송수신 중에 발생하기 때문에 변형된 데이터를 수신하게 되고 거리 데이터는 오차나 오류가 발생한다. 이 오류는 수신된 데이터를 분석하여 수정을 하게 되는데 그 중 수신된 파형을 실시간으로 확인 할 수 있는 경우에만 사용되는 방식인 CRE가 있다. 기존의 방법들은 대부분 파형보다는 이전의 정상적인 값이나 다른 센서 등을 이용하여 보정하는 방식이 대부분이었지만 CRE 방식은 전송된 데이터를 수신하면서 실시간으로 수신된 파형을 분석하여 전파의 상태를 확인한다. 이는 기존의 RSSI나 LQI(Link quality indication)와 비슷한 방식으로 측정을 통해 분석하여 보정을 한다.

Figure 2는 LOS(line-of-sight)와 NLOS(Non-line-of-sight)의 경우 수신된 파형을 나타낸다. 시간에 따라 수집된 신호는 LOS와 NLOS가 세기 및 형태가 다르므로 구분이 가능해진다. 이를 통해 각 환경 분석 및 데이터의 Lock time등을 통해 데이터를 끊어 분석하게 되어 페이딩에 영향이 줄어든다[6].

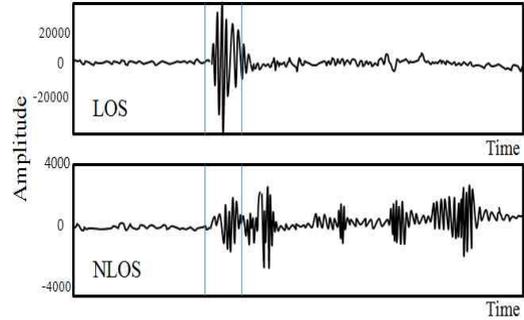


Figure 2: The waveforms of LOS and NLOS

## 3. 위치인식 시스템 구성 및 UWB 특성 실험

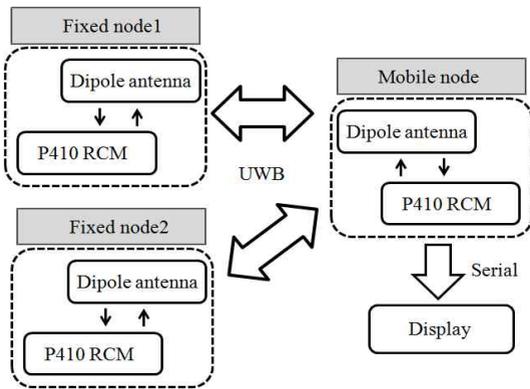
### 3.1 시스템 구성

UWB를 이용한 선내 위치인식을 구현하기 위해서 Figure 3과 같은 이동노드와 고정노드를 이용하여 TOA 방식으로 거리를 추정한다. 노드는 선박 내에 부착되어 작동하는 고정노드와 선내의 승조원이 가지고 다니는 이동노드로 구분된다. 이동노드와 고정노드는 모두 부착 및 이동이 쉽도록 7.2V의 휴대용 배터리를 사용하였다. 이동노드를 통해 측정된 노드사이의 거리 데이터는 시리얼 통신을 통해 컴퓨터로 전송되어 선박의 내부 환경에 적합한 제한한 알고리즘을 적용한 후에 디스플레이 하였다. 노드는 UWB를 통해 위치인식이 가능한 Time Domain사의 P410모형을 사용하였으며 CRE 방식을 적용하여 다중경로에 강하며 수 cm의 거리 오차를 나타내는 노드이다. 주파수 대역은 3.1 ~



Figure 3: Fixed or mobile node

5.3GHz이고 송조원이 소지하고 다닐 수 있을 정도로 크기는 가로 7.6cm, 세로 8cm로 구성되었다. 하드웨어는 **Figure 4**와 같이 하나의 이동노드가 움직이면서 근처의 여러 고정노드로부터 거리값을 수신 받아 알고리즘을 통해 위치를 인식한다. 이동노드의 위치 값은 초 당 약 6번의 데이터 수신을 통해 실시간 위치를 획득한다. 거리데이터를 받는 노드의 수는 제약이 없지만 UWB 신호의 송수신 거리에 영향을 많이 받는다.

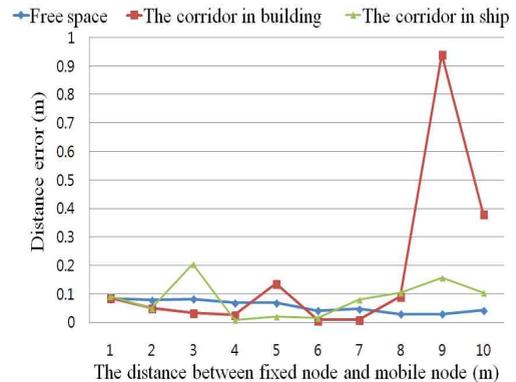


**Figure 4:** Schematic architecture of hardware

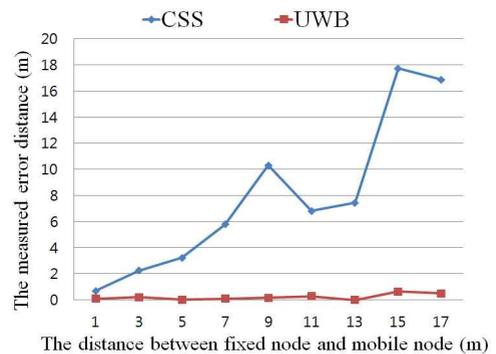
### 3.2 UWB 특성 연구

UWB를 이용한 위치인식을 선박에 적용하기 위해서 특성을 분석하였다. **Figure 5**는 측정 장소에 따른 실제거리와 측정거리의 오차를 나타낸다. x축은 이동노드와 고정노드 사이의 실제 거리이며 y축은 측정된 거리 오차를 나타낸다. 자유공간에서의 실험은 한국해양대학교 옥상에서 진행되었으며 거리데이터는 거리가 멀어짐에 따라 큰 변화 없이 일정함을 유지하였다. 이는 주변 장애물이 없어 페이딩현상이 발생하지 않기 때문에 거리가 멀어져도 10cm미만의 안정된거리가 측정되며 약 26m까지 수신율 90%이상을 유지하였다. 건물 복도 환경의 경우 한국해양대학교 공과대학 폭 2m, 높이 2.7m인 복도에서 진행되었다. 건물 복도의 경우 복도의 사물함과 같은 장애물이 있을 경우 데이터 오차가 10cm 를 넘어가며 그 구간이 지속될 수록 7~10m구간과 같이 데이터의 오차가 커짐을

확인할 수 있다. 하지만 그에 따른 데이터의 수신 거리는 길어져 약 40m까지 수신율 90%를 유지하였다. 선내 복도는 한국해양대학교 실습선인 한바다호에서 진행되었으며 건물 복도와 비슷하지만 좁고 장애물이 없기 때문에 정확성이 높다. 기존의 위치인식 방식인 CSS와 UWB를 선내 복도에서 비교할 경우 측정거리는 비슷하지만 **Figure 6**과 같이 페이딩현상에 의한 거리 오차가 거의 없음을 보여준다. 12m 구간에서부터는 NLOS환경으로 고정노드와 이동노드가 직접적으로 보이지 않는 구간이지만 오차가 적다.



**Figure 5:** The distance error in various experiment spaces



**Figure 6:** The experiment of CSS and UWB in a ship

### 3.3. 제안한 위치인식 개선 알고리즘

**Figure 7**은 제안한 알고리즘의 흐름도로서 먼저 주변의 데이터 수신이 되는 고정노드로부터 이동노

드는 거리 데이터를 수신 받는다. Figure 8과 같이 고정노드는 천장에 위치하므로 실제 이동거리와 측정된 거리는 가까울수록 차이가 커진다. 그렇기 때문에 오히려 노드와 거리가 가까울수록 거리의 오차는 커지기 때문에 실제 거리  $R$ 은 식 (3)을 통해 변형된다.

$$R = \sqrt{D^2 - H^2} \quad (3)$$

위의 식을 적용하면 이동노드가 고정노드의 바로 아래에 위치하게 될 경우, UWB의 내재적 오차에 의해 측정된 거리  $D$ 는  $H$ 값 이하로 측정될 수 있으며 이 경우  $R$ 값이 추출되지 않는다. 이를 보완하기 위해  $H$ 값 이하의  $D$ 값이 나올 경우 실제 위치는 고정노드의 위치에 표시된다. 이를 통해 고정노드 가까이 위치한 노드의 위치를 보정하였다. 기존 위치인식에 많이 사용하는 삼변측위는 노드

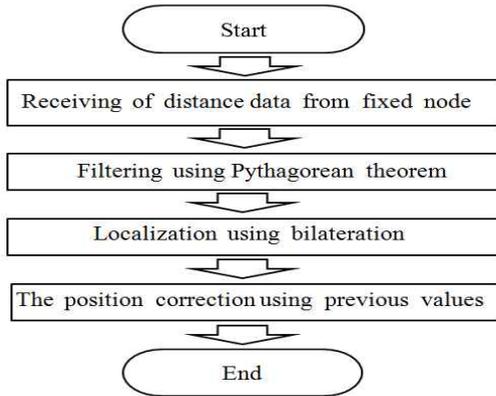


Figure 7: Flow chart of proposed algorithm

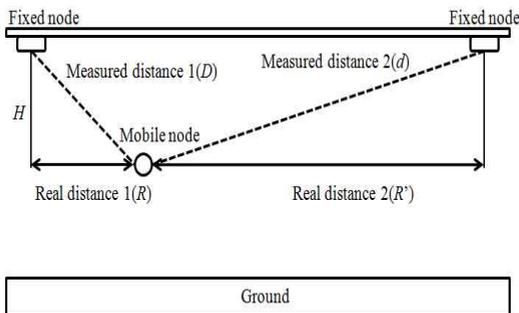


Figure 8: Pythagorean theorem

3개를 이용하여 비교적 정확한 위치를 찾아내지만 선박의 경우 통로가 정해져 있으며 좁기 때문에 정확한 좌우 위치를 표현할 필요 없다. 그러므로 다른 고정노드의 위치값이 이동노드에 수신되더라도 가장 가까운 거리값이 들어온 고정노드를 두 개를 이용하여 위치를 추적한다. 이 중에서 거리가 멀어지면 LOS환경이 아닐 가능성이 커지고 위치값의 변화가 심해지므로 정확한 위치는 두 개의 거리값 중에 가까운 노드의 거리로 이동노드를 추적한다. 즉 기본적인 노드의 위치는 두 개의 고정노드로 인식을 하며 정확한 위치는 가까운 노드를 이용하여 위치를 추정하는 방식이다. 하지만 하나의 노드로 정확한 위치를 추정하면 NLOS환경에서 크지는 않지만 코너 구간에서 위치의 오류가 발생한다. 이를 보정하고자 고정노드 두개의 이전 값들을 사용하여 위치를 추정한다. 위치의 오류는 LOS에서 NLOS가 되는 구간에서 크게 발생하며 그 구간을 벗어나면 NLOS 구간이라도 거리의 정확도가 다시 정확해진다. 이는 전파의 최단거리 도달의 특성에 의해 발생한다. Figure 8에서 보면 페이딩 현상이 적은 UWB의  $D$ 와  $d$ 의 합은 거의 일정하다. 그러므로 적은 내재적 오차가 포함된 데이터로 도출된  $R$ 과  $R'$ 의 합 또한 거의 일정하며 아래 식 (4)와 같이 합을  $K$ 라 할 경우

$$R + R' = K \quad (4)$$

$$K_p = K_{p-1} + \frac{K_p - K_{p-n}}{n} \quad (5)$$

이전 거리데이터  $n$ 개의 합의 평균인 평균 필터 식 (5)를 기반으로 얻어진  $K_p$ 와  $K$ 를 아래 식 (6)을 통해 비교한다.

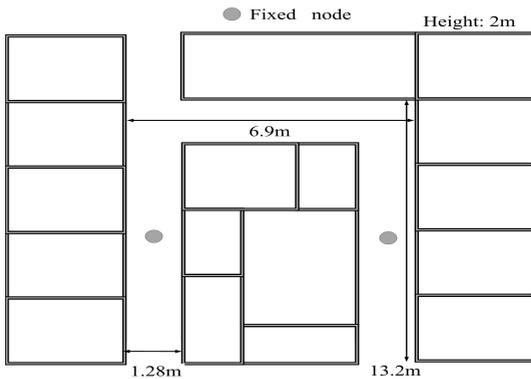
$$K_p - K > 0.4 \quad (6)$$

실험을 통해 얻어진 데이터를 통해 코너 구간에서의 오차와 복도구간의 오차의 경계가 되는 0.4m 이상 차이가 날 경우 원거리 데이터인  $R'$  값을 이용하여 위치를 추정한다.

## 4. 실험 환경 및 고찰

### 4.1 제안한 위치인식 알고리즘 적용 실험

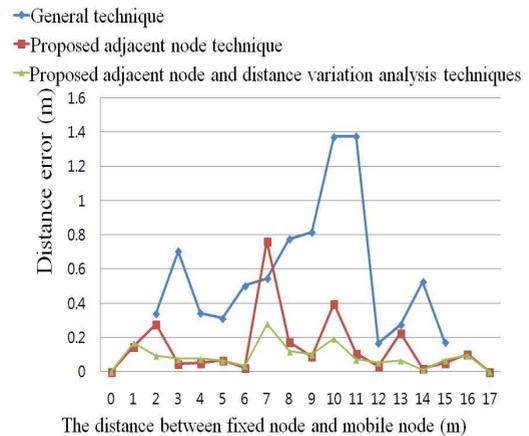
실험은 한국해양대학교 실습선 한바다호의 선내 복도에서 가장 굴절 및 반사가 심한 상태인 객실이 열려있는 상태에서 실험을 실시하였다. 선박은 정박한 상태에서 이동노드와 고정노드는 배터리를 이용해 구동시켰다. 실험 장소의 구조는 **Figure 9**와 같다. 그림과 같이 선내 복도는 폭 1.28m, 높이 2m로 일반 건물의 복도에 비해 좁고 낮다. 기존의 CSS나 Zigbee는 3~6m 간격으로 노드를 설치해야 하지만 UWB는 원거리의 정확도가 높고 다중경로에 의한 영향이 적기 때문에 고정 노드 수를 줄이기 위하여 노드를 복도의 중간에 설치하여 고정 노드 두 개로 모든 실험공간에서 위치를 인식할 수 있도록 적용하였다. 삼변측위의 경우 코너 부분에 노드를 배치하면 노드의 위치 주변의 정확한 위치를 추적가능하나 이변측위는 노드 주변이 오차구역으로 발생하므로 코너에서의 위치인식이 어렵다. 그러므로 오차구역을 줄이기 위하여 코너 구간이 아닌 일반 복도의 중간부분에 배치하고 각 구간별 30개의 데이터를 수집하였다.



**Figure 9:** Experimental environment

**Figure 10**은 기존의 일반적인 이변측위와 피타고라스 이론을 사용했을 경우, 거리 값이 작은 데이터를 이용하는 변형된 이변측위와 제안한 근접노드기법을 함께 적용하였을 경우, 및 근접노드와 거리변화량분석기법을 적용한 결과이다.  $x$ 축은 이

동노드와 고정노드 사이의 거리이며  $y$ 축은 측정된 거리오차를 나타낸다. 기존의 7m와 10m에서는 코너가 존재하며 두 결과 모두 그 구간에서 거리 오차가 심하게 발생했다. 기존의 기법에서 0, 1, 16, 17m의 데이터가 존재하지 않는 이유는 측정값이 1m보다 작게 나와 피타고라스 이론이 성립되지 않고 작은 오차에도 중첩되는 원인이 발생하지 않아 이변측위가 어렵다. 하지만 변형된 이변측위와 제안한 근접노드 기법을 적용하여 모든 구간의 데이터가 측정가능하다.



**Figure 10:** Performance comparison for general method and proposed algorithm

코너에서 발생하는 오차는 코너를 통과했을 경우와 통과하지 않았을 경우의 실제 이동거리는 1m이지만 대각선으로 전파가 송신되어 실제측정거리보다 0.4 ~ 0.8m 작은 거리측정이 발생하였다. 이 경우 고정노드의 거리값은 실제 이동거리만큼 변하므로 이전값과 실시간 측정된 데이터를 이용하여 이동노드와 고정노드의 거리값의 합이 0.4m 이상의 오차가 발생할 경우 멀리 있는 고정노드의 거리 데이터를 적용시켰다. 거리변화량분석기법을 이용한 위치 보정한 결과, 선내에서 하나의 고정노드와 이동노드의 거리측정 결과와 비교했을 경우 선내의 환경에 따른 페이딩현상으로 인해 0.21m의 표준편차를 보여 자유공간에서의 0.038m의 표준편차보다 크지만 평균 오차는

1.18cm로 비슷한 수준을 보였으며 기존의 이변측위 적용 시 데이터 오차는 평균 0.46m로 오차가 측정되었으나 제안한 방법을 사용하여 오차가 80.85% 줄었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 정밀 무선위치인식에 사용되는 UWB를 기반으로 근접노드와 거리변화량분석기법을 적용하여 선내 위치인식 보정기법을 제안하였다. 기존의 일반 건물복도와 달리 선내 복도는 좁고 철골구조로 이루어져 무선 전파의 다중경로 현상이 강하게 나타난다. 하지만 기존의 1~2m오차를 가지던 CSS에 비해 페이딩현상이 줄어 선내에서도 비교적 정확한 거리측정이 가능하였으며 이를 바탕으로 노드 수를 줄이기 위하여 변형된 이변측위를 통해 위치인식에 적용하였다. 기존의 선박의 상황에 맞는 변형된 이변측위와 근접노드기법을 통하여 직선구간의 정확도를 0.4m향상시켰으며 코너 구간에서 가장 크게 발생하는 오차를 제안한 거리변화량분석기법을 이용하여 위치를 보정하였다. 이를 통해 코너 구간의 거리값의 평균 정확도가 57.41%향상되었으며 이를 통해 코너 구간에서도 0.3m이내의 오차 범위 내에서 위치추정이 가능하다. 실험에 사용된 UWB노드는 2개로써 같은 실험공간에서 기존의 CSS방식에 사용된 6개에 비해 노드 수가 66% 감소하였다. 향후 이동하는 경우 발생할 수 있는 거리의 오차나 미수신에 대하여 연구할 계획이며 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 선내 비상상황 발생 시 선내구조에 익숙하지 못한 피난자의 대피성능 향상에 도움이 될 것으로 보이며 효율적인 승조원 파악이 기대된다.

#### 후 기

이 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20110029766).

#### 참고문헌

- [1] S.-W. Han, A Study on CSS Based Real Time Location Awareness Systems Error Compensation Algorithm, PH. D. Dissertation, Department of information technology, Hansei University, Korea, 2010 (in Korean).
- [2] J.-T. Ryu and I.-K. Kim, "The development of indoor location measurement System using Zigbee and GPS", Journal of the Korea industrial Information System Society, vol. 17, no. 4, pp. 1-7, 2012 (in Korean).
- [3] H.-J. Cho, K.-I. Hwang, D.-S. Noh, D.-H. Seo, "Real time indoor positioning system using IEEE 802.15.4a and sensor", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 36, no. 6, pp. 850-856, 2012 (in Korean).
- [4] I.-Y. Kong and H.-J. Kim, "Experiments and its analysis on the Identification of Indoor Location by Visible Light Communication using LED lights", International journal of maritime information and communication sciences, vol. 18, no. 5, pp. 488-495, 2011 (in Korean).
- [5] J.-H. Seong, J.-H. Choi, J.-S. Kim, D.-H. Seo, "An Experimental Study on Compensation algorithm for localization using modified bilateration and pyroelectric sensor in a ship", Journal of the Korea Society of Marine Environment & Safety, vol. 15, no. 5, pp. 1045-1052, 2012 (in Korean).
- [6] B. Dewberry and W. Beeler, "Increased Ranging Capacity using Ultrawideband Direct-path Pulse Signal Strength with Dynamic Recalibration", Position Location and Navigation Symposium (PLANS), pp. 1013-1017, 2012.