

MST 토폴로지를 이용한 실내 환경에서의 위치측정에러의 보상기법

전종혁¹ · 권영구^{2*}

Location Error Compensation in indoor environment by using MST-based Topology Control

Jong-hyeok Jeon¹ · Young-goo Kwon^{2*}

¹ Department of Electronics Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

² Department of Electronics Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

요 약

무선 센서 네트워크를 위한 다양한 위치 추적 알고리즘들이 제안되고 있다. IEEE 802.15.4a 기반의 위치인식 시스템은 두 노드간의 정밀한 거리측정 기능을 제공하며 이를 기반으로 정확도가 높은 위치 추정 서비스를 제공한다. 하지만 실내 환경에서는 다양한 장애물들로 인하여 Non-line-of-sight (NLOS) 경로가 발생한다. 이로 인하여 IEEE 802.15.4a 기반의 위치 인식 시스템에서는 위치 추정 시 추정된 위치 좌표의 정확도가 떨어지는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 MST 토폴로지를 이용한 실내 환경에서의 위치측정에러를 보상하는 알고리즘을 제안한다. NanoPAN 5375 모드를 이용한 실내 환경에서의 실험 및 시뮬레이션 결과, 제안한 알고리즘은 기존에 제안된 위치 추정 알고리즘에 비하여 위치 정확도가 개선되었음을 확인하였다.

ABSTRACT

Many localization algorithms have been proposed for Wireless Sensor Networks (WSNs). The IEEE 802.15.4a-based location-aware-system can provide precise ranging distance between two mobile nodes. The mobile nodes can obtain their exact locations by using accurate ranging distances. However, the indoor environments contain various obstacles which cause non-line-of-sight (NLOS) conditions. In NLOS condition, the IEEE 802.15.4a-based location-aware system has a large scale location error. To solve the problem, we propose location error compensation in indoor environment by using MST-based topology control. Experimental and simulation results show that the proposed algorithm improves location accuracy in NLOS conditions.

키워드 : 위치추적, NLOS, IEEE 802.15.4a, 무선센서네트워크

Key word : Localization, NLOS, IEEE 802.15.4a, Wireless sensor network

접수일자 : 2013. 05. 06 심사완료일자 : 2013. 06. 10 게재확정일자 : 2013. 06. 22

* **Corresponding Author** Younggoo Kwon(E-mail:ygkwon@konkuk.ac.kr, Tel:+82-2-450-3492)

Department of Electronics Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.8.1926>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 무선센서네트워크는 이동 통신 기술 및 고성능 초소형 디바이스 설계 기술의 비약적인 발전에 힘입어 언제, 어디서나 사용자가 요구하는 정보 및 서비스를 제공하는 유비쿼터스 기술의 실현을 가능하게 하였다. 무선센서네트워크는 화재감시, 오염지역의 환경모니터링, 군사지역의 보안 모니터링 등 다양한 응용 서비스를 제공하기 위한 연구들이 진행되고 있다[1]. 특히 다양한 실내 위치 기반 서비스를 위하여 무선센서네트워크를 이용한 실시간 위치 추정 알고리즘에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 실내 위치 기반 서비스는 응급 현장에서의 구급대원 및 구난자의 위치추적, 대형 병원에서 의사들의 위치추적 등 생명과 직결된 여러 분야에서 활용 될 수 있다. 또한 배터리를 전원으로 사용하는 각 모바일 노드를 위한 에너지 효율적 위치기반 라우팅 프로토콜의 설계 및 토폴로지 컨트롤 알고리즘들의 구현을 위하여, 보다 정밀한 실내 환경에서의 위치 추정 알고리즘이 요구 되고 있다[2][3].

이러한 요구들로 인하여, Least Square Estimation (LSE), Min-max Bounding Box 및 삼변측량법과 같은 다양한 위치 추정 알고리즘들이 제안되었다[4]-[6]. 기존에 제안된 대부분의 위치 추정 알고리즘의 구현을 위해서는 노드들 간의 거리를 측정하는 기술이 필요하다. 자신의 위치 좌표를 모르는 모바일 노드들은 자신의 위치 좌표를 알고 있는 앵커 노드들의 위치 좌표와 측정된 앵커노드까지의 거리 값을 이용하여 자신의 위치 좌표를 추정한다. 2007년에 표준화 된 IEEE 802.15.4a에서는 Ultra Wide Band (UWB)와 Chirp Spread Spectrum (CSS) 기반의 물리계층 (PHY:Physical Layer)과 거리 측정을 위한 Time of Arrival (ToA) 기반의 Symmetric Double Sided Two Way Ranging (SDS-TWR) 기술을 정의하였다[7][8]. SDS-TWR 기술은 데이터 패킷 전송을 이용하여 데이터 패킷의 전파시간을 측정하여 두 노드간의 거리를 계산하는 방식이다. 이는 기존의 Receive Signal Strength Indicator (RSSI)를 이용한 거리측정 기술에 비해 보다 정확성 높은 거리측정값을 제공한다. 이를 기반으로 IEEE 802.15.4a는 높은 위치 정확성이 요구되는 위치기반 네트워크 구성을 위한 효과적인 솔루션을 제공한다.

실내 환경에는 가구, 콘크리트 벽 등과 같은 다양한

장애물들이 존재하며, 이 장애물들은 Non-Line-of-Sight (NLOS) 환경 발생의 원인이 된다. IEEE 802.15.4a에서 사용하는 거리측정 방식인 SDS-TWR 기술은 NLOS 환경에서 거리측정 시 큰 에러가 발생하는 취약점이 있다. 취약점 분석을 위하여 우리는 IEEE 802.15.4a 표준을 기반으로 제작된 NanoPAN 5375 노드를 이용하여 실내 NLOS 환경에서 사전 실험을 진행하였고, NLOS 환경에서는 거리측정값에 큰 에러가 존재함을 확인하였다. 이로 인하여 실내 환경에서는 기존의 위치 측정 알고리즘들을 적용 시 추정된 위치 좌표에 큰 에러가 발생하게 된다.

본 논문에서는 Minimum Spanning Tree (MST) 토폴로지를 이용한 실내 환경에서의 위치측정에러를 보상하는 알고리즘을 제안한다[9]. 제안한 알고리즘에서 각 노드들은 LSE 알고리즘을 이용하여 위치좌표를 추정한다. 그 뒤, 추정된 위치좌표 그리고 이웃노드들과의 거리 측정값을 이용하여 총 두 가지의 MST 토폴로지를 구축한다. 각 노드들은 구축된 두 토폴로지를 비교하여 생성된 link의 차이점을 찾고, 차이점 발견 시 3개의 이웃노드를 선택하여 이들이 정확한 위치좌표를 갖고 있는지를 확인한다. 선택된 이웃노드의 위치 좌표가 정확할 경우 자신의 추정된 위치좌표에 에러가 존재한다고 판단하고, 선택된 이웃노드들의 위치좌표와 거리측정값을 이용한 삼변측량법을 통하여 위치에러를 보정한다. 실제 실내 환경에서의 실험 그리고 시뮬레이션 결과를 통하여 제안한 알고리즘은 실내 NLOS 환경에서 기존의 위치추정 알고리즘에 비해 높은 위치 정확도를 가짐을 확인하였다.

II. NLOS환경에서의 문제점 분석

IEEE 802.15.4a 표준에서 사용하는 거리측정 기술인 SDS-TWR은 송수신 장치간의 데이터 패킷의 왕복시간을 이용한 거리측정 방식을 사용한다. 데이터 패킷의 전송에 사용하는 RF 신호의 특성으로 인해 반사, 굴절, 회절, 산란 등의 현상에 의해 거리 측정 시 에러가 발생한다. 실내 환경에서는 문, 콘크리트 벽, 가구 등과 같은 다양한 장애물이 존재하며, 이로 인하여 NLOS 환경이 발생하게 된다. IEEE 802.15.4.a 기반의 위치 추적 시스템에서는 이러한 NLOS 환경에 의하여 발생한 거리측

정 에러로 인하여 추정된 위치 좌표의 정확도가 떨어지게 된다.

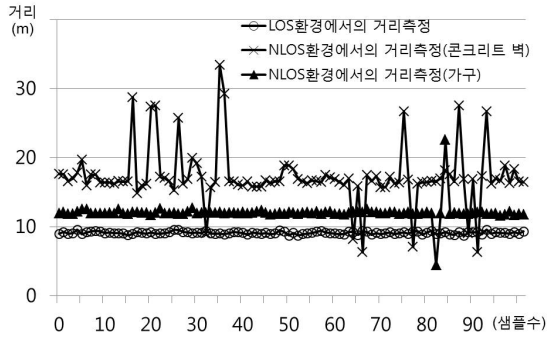


그림 1. LOS 및 NLOS 환경에서의 거리측정 결과
Fig. 1 Ranging measurement result in LOS and NLOS condition

각종 장애물에 따른 NLOS 환경에서의 거리측정 에러를 분석하기 위하여 우리는 콘크리트 벽 그리고 가구들을 이용하여 NLOS 환경을 구축하였고, IEEE 802.15.4a 표준을 기반으로 제작된 노드들을 이용하여 사전 실험을 진행하였다. 이 실험에서 우리는 SDS-TWR 기술을 이용하여 두 노드간의 거리를 측정하였으며, 두 노드간의 실제 거리는 10m 이다. 그림 1은 모의실험에서의 거리측정 결과이다. LOS 환경에서는 실제거리에 근접한 거리측정 결과가 관찰되지만, NLOS 환경에서는 거리측정 결과에 큰 바이어스 에러가 존재함을 확인하였으며, 각 샘플이 균일하지 못한 값을 갖고 있음을 확인하였다. 그림 2는 NLOS 환경에서 바이어스 에러를 갖는 거리측정 결과로 인한 위치 추정 에러의 예시이다. 노드 u 는 위치 추정을 위해 SDS-TWR 기술을 이용하여 자신의 위치를 알고 있는 앵커노드 1, 2, 3, 4와의 거리를 측정한다. LOS 환경을 갖는 앵커노드 2, 3, 4와의 거리측정 결과는 실제 거리와 가까운 값이 측정되지만 NLOS 환경을 갖는 앵커노드 1과의 거리측정 결과가 실제 거리와 많은 차이를 갖는 에러가 큰 값을 측정하게 된다. 그 결과로 인하여 LSE 알고리즘을 통한 위치 추정에서 노드 u 는 실제 위치와 큰 차이가 있는 u' 로 위치를 추정 하게 된다.

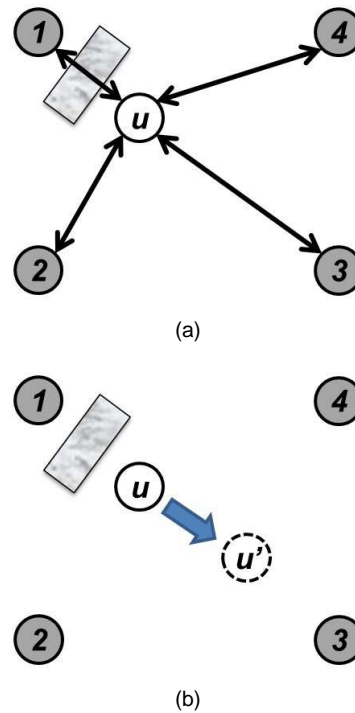


그림 2. NLOS 환경에서의 위치 추정에러 예시 (a) 앵커노드와의 거리측정 (b) 거리측정 에러로 인한 위치 추정 에러
Fig. 2 The example of location error in NLOS condition (a) Ranging with anchor nodes (b) The location error caused by a ranging error

III. 제안한 알고리즘

실내 환경에서 장애물에 의한 위치에러를 보상하기 위하여 우리는 MST 토폴로지를 이용한 위치측정에러를 보상하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서 네트워크는 자기 자신의 위치를 알고 있는 앵커노드와 자기 자신의 위치를 모르는 모바일 노드로 구성되어 있다. 제안한 알고리즘은 이웃 노드 테이블 작성, MST 토폴로지 구축, 그리고 위치에러 보상의 과정을 갖고 있다.

3.1. 이웃 노드 테이블 작성

각 모바일 노드들은 이웃 노드들의 정보가 담긴 이웃 노드 테이블을 작성한다. 이웃 노드 테이블은 이웃 노드의 ID, 위치 좌표, 그리고 거리측정 결과가 기록된다.

앵커노드들은 자신의 위치 좌표를 데이터 패킷에 담아 브로드캐스트하고, 이를 수신 받은 모바일 노드는 앵커노드들과의 거리를 측정한다. 수신 받은 앵커노드의 위치 좌표와 측정된 거리 값을 이용하여 모바일 노드는 자신의 위치를 추정한다. 모바일 노드의 위치 추정을 위하여 우리는 LSE 알고리즘을 적용하였다[4]. 모바일 노드는 아래의 식(1) 과 식(2)를 통하여 자신의 위치를 추정하게 된다.

$$J_N = \sum_{i=1}^N (\| K - p_i \| - \tilde{d}(i, j))^2 \quad (1)$$

$$\hat{x}_i = \operatorname{argmin}_{X \in \theta} J_N \quad (2)$$

위의 식에서 X 는 네트워크 영역을 의미하고, N 은 앵커노드의 개수를 의미한다. p_i 는 앵커노드 i 의 위치 좌표이며, $\tilde{d}(i, j)$ 는 앵커노드 i 와 모바일 노드 j 간 측정된 거리 값을, $\| \cdot \|$ 은 Euclidean norm을 의미한다.

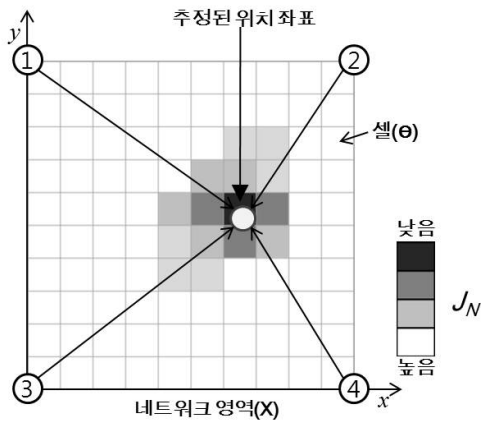


그림 3. NLOS 환경에서의 위치 추정예러 예시
Fig. 3 The example of location error in NLOS condition

그림 3 과 같이 모바일 노드는 네트워크 영역 X 를 작은 사각형 모양의 셀(θ)로 나눈 뒤, 각 셀(θ)들의 중심 좌표 값의 집합으로 구성된 K 를 구한다. 그 뒤, 각 셀들의 중심좌표와 앵커노드 i 의 거리 값들로 이루어진 $\| K - p_i \|$ 를 계산하고, 측정된 거리 값 $\tilde{d}(i, j)$ 와 의 차이를 계산한다. J_N 는 각 셀들과 앵커노드 i 의 거

리와 측정된 거리 값 $\tilde{d}(i, j)$ 과의 에러 값으로 구성된 집합이며, 식 (2)를 통하여 모바일 노드는 실제 위치에 가장 가까운 셀을 찾게 된다. 위치 추정을 마친 뒤, 모바일 노드는 자신의 위치 정보를 패킷에 담아 브로드캐스트 한다. 모바일 노드는 다른 이웃노드로부터 그들의 위치 좌표가 담겨있는 패킷을 수신 할 경우, 이를 이웃 노드 테이블에 기록하고, 해당 이웃 노드와 거리측정을 한 뒤, 측정 결과를 이웃 노드 테이블에 기록한다. 모바일 노드는 작성된 이웃 노드 테이블을 다른 이웃노드들에게 브로드캐스트 하여 서로간의 이웃 노드 테이블을 기록해 둔다.

3.2. MST 토폴로지 구축

각 모바일 노드들은 Prims 알고리즘을 이용하여 MST 토폴로지를 구축한다[9]. Prims 알고리즘에서 노드들 간의 각각의 link에 대한 cost는 해당 노드들 간의 거리에 비례한다. 먼저 각 모바일 노드는 이웃 노드의 위치좌표와 자신의 위치 좌표의 거리를 계산하여 MST 토폴로지를 구축한다. 그 뒤, SDS-TWR로 측정한 이웃 노드까지의 거리 값을 이용하여 MST 토폴로지를 구축한다.

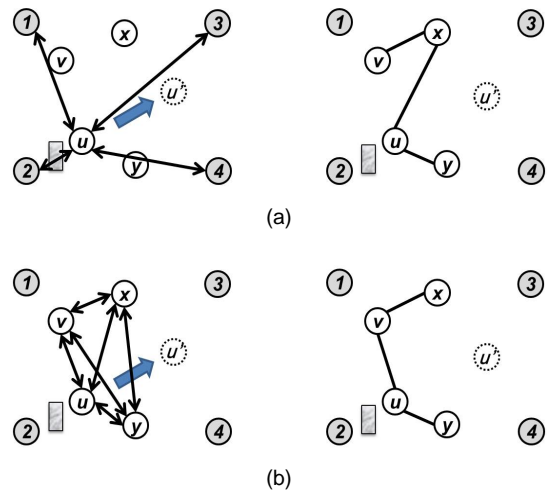


그림 4. MST 토폴로지 구축 (a) 위치 좌표를 이용하여 구축한 MST 토폴로지 (b) 거리측정 결과를 이용하여 구축한 MST 토폴로지
Fig. 4 MST topology construction (a) MST topology construction based on the estimated location (b) MST topology construction based on the ranging distance

그림 4에서는 이 두 가지의 MST 토폴로지 구축에 대한 예시를 나타내고 있다. LSE 알고리즘을 통한 위치 추정 과정에서 노드 u 와 앵커노드 2는 NLOS 환경에 의하여 거리 측정 결과에 바이어스 에러를 갖게 되고, 이로 인해 실제 위치와 큰 차이를 갖는 u' 로 위치를 추정하게 된다. 그림 4의 (a)는 위치 좌표를 이용하여 구축한 MST 토폴로지를 나타낸다. 노드 u 의 위치에러로 인하여 $\text{link}(u, x)$ 는 $\text{link}(u, v)$ 보다 실제로는 거리가 더 멀음에도 불구하고 cost 가 작은 것으로 계산된다. 그 결과로 $\text{link}(u, x)$ 가 생성된다. 그림 4의 (b)에서는 SDS-TWR를 이용한 거리측정 결과 $\text{link}(u, v)$ 가 $\text{link}(u, x)$ 보다 거리가 짧은 것으로 측정되므로 $\text{link}(u, v)$ 가 생성된다. 두 가지의 MST 토폴로지 구축과정에서, 노드 u, v , 그리고 x 는 노드 u 의 위치에러로 인하여, 두 토폴로지 사이에 서로 다른 link 생성을 하게 된다.

3.3. 위치에러 보상

구축된 두 MST 토폴로지에서도 서로 다른 link 생성 결과를 발견한 모바일 노드는 이웃 노드의 추정된 위치 값이 정확한지를 확인한다. 그림 5의 (a)에서와 같이 노드 u 는 세 이웃노드 u, x , 그리고 y 를 선택한다. 그 뒤, 선택한 세 이웃노드의 위치 좌표를 이용하여 삼각형을 생성하고, SDS-TWR을 이용하여 서로간의 측정된 거리 값을 이용하여 삼각형을 생성한다. 노드 u 는 생성된 두 삼각형이 서로 유사한지를 확인한다. 만약 세 이웃노드 u, x , 그리고 y 의 추정된 위치 값이 정확하고 서로간의 측정된 거리 값에 정확하다면, 두 삼각형은 서로 유사할 것이고, 이는 식 (3)와 같이 정의 할 수 있다.

$$\frac{\hat{d}(v, x)}{\hat{d}(v, x)} = \frac{\hat{d}(x, y)}{\hat{d}(x, y)} = \frac{\hat{d}(y, v)}{\hat{d}(y, v)} \quad (3)$$

여기서 $\hat{d}(\cdot)$ 은 추정된 위치 값을 이용하여 계산한 거리 값이고, $\tilde{d}(\cdot)$ 은 SDS-TWR을 이용하여 측정된 거리 값을 의미한다. 두 삼각형의 다름의 정도를 판단하기 위하여, 식 (3)를 이용하여 식 (4)을 정의 할 수 있다.

$$\left| \hat{d}(i, j) - \tilde{d}(i, j) \right| \leq \Delta_{th} \quad (4)$$

$i \neq j \text{ and } i, j = v, x, y$

식 (4)에서 Δ_{th} 는 유사성을 판단하기 위한 임계값이다. 만약 $\hat{d}(i, j)$ 와 $\tilde{d}(i, j)$ 의 차이가 임계값 Δ_{th} 보다 클 경우, 이는 선택된 이웃노드의 추정된 위치 좌표가 정확하지 못하다는 것을 의미한다. 만약 식 (4)이 성립될 경우, 두 삼각형이 유사하다고 판단하여 이는 선택된 세 이웃노드의 위치 좌표가 정확하다는 것을 의미한다. 식 (4)이 성립됨을 확인한 노드 u 는 선택된 세 이웃노드의 정확한 위치 좌표를 이용하여 이용한 위치 에러 보상 과정을 수행하게 된다.

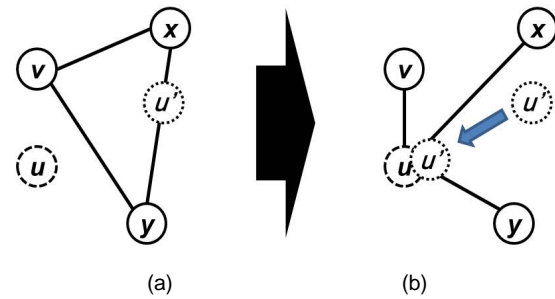


그림 5. 삼변측량법을 이용한 위치에러 보정과정 (a) 세 이웃노드 선택 (b) 위치에러 보정

Fig. 5 Location error compensation by trilateration algorithm (a) Selecting three neighbor nodes (b) Location error compensation

그림 5의 (b)에서와 같이 노드 u 는 선택된 세 이웃노드의 위치좌표와 SDS-TWR을 이용하여 측정된 거리 값을 기반으로 삼변측량법을 이용하여 새로운 위치 좌표를 계산한다[6]. 삼변측량법에 의한 위치 좌표 추정은 식 (5)와 같이 정의 할 수 있다.

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = \tilde{d}(u, i)^2 \quad (5)$$

$i = v, x, y$

식 (5)에서 x 와 y 는 새로 보정한 노드 u 의 위치좌표를 의미하며, x_i 와 y_i 는 이웃노드 i 의 위치좌표를 의미한다. 식 (5)를 이용하여 노드 u 는 x 및 y 를 계산하여 위치 좌표를 업데이트하게 된다.

IV. 성능평가

우리는 장애물이 존재하는 실내 환경에서 제안한 알고리즘을 LSE 및 Min-max Bounding Box 알고리즘과 성능을 비교하였다. Min-max Bounding Box 알고리즘은 각 앵커노드들의 위치 좌표와 모바일 노드와의 거리측정 결과를 이용하여 bounding box를 생성하고, bounding box의 중점을 해당 모바일 노드의 위치좌표로 추정하는 방식이다[5]. 본 실험에서 사용한 장비는 Nanotron에서 제공하는 NanoPAN 5375 모드가 사용되었다. NanoPAN 5375 모드는 ATmega1284p의 MCU를 사용하며, 장착된 RF Transceiver 칩은 SDS-TWR을 기반으로 한 높은 정확도의 거리측정 기능을 제공한다[10]. 실험환경은 10m × 10m 환경의 장애물이 존재하는 실내에서 진행하였으며, 4개의 앵커노드와, 6개의 모바일 노드가 배치되었다. 앵커노드 1 과 모바일 노드 a사이에는 콘크리트 기둥이 존재하며 이는 NLOS 환경을 야기한다. 본문에서 언급한 사전실험에서 LOS환경에서의 SDS-TWR을 이용한 거리측정 에러의 평균값은 0.88m 이다. 따라서 우리는 본 실험을 위하여 식 (4)에서의 임계값 Δ_{th} 를 1로 설정하였다.

그림 6은 실험 환경에서의 장애물의 위치 및 모바일 노드들의 실제 위치좌표 및 추정된 위치 좌표를 나타낸다. LSE와 Min-max Bounding Box알고리즘을 사용하여 모바일 노드의 위치를 추정된 결과는 그림 6의 (a), 그림 6의 (b)와 같으며, 제안한 알고리즘을 적용하여 위치를 추정된 결과는 그림 6의 (c)와 같다. 모바일노드 a를 제외한 나머지 모바일 노드는 모든 앵커노드까지의 경로에 장애물이 없는 LOS 환경에 놓여있으며, 이로 인하여 SDS-TWR을 이용한 앵커노드들과의 거리측정 시 실제 거리에 근접한 비교적 정확한 값을 갖게 된다. 따라서 실험을 위하여 구현한 모든 위치 추정 알고리즘에서 모바일 노드 a를 제외한 모든 모바일 노드는 추정된 위치좌표가 비교적 정확한 값을 갖는다. 하지만 모바일노드 a는 앵커노드 1까지의 경로에 존재하는 장애물에 의하여 SDS-TWR로 측정된 거리 값에 큰 바이어스 에러가 존재하게 된다. 그림 6의 (a) 및 그림 6의 (b)에서보이듯, 모바일 노드 a는 앵커노드 1과 측정된 거리 값의 큰 에러로 인하여, LSE 및 Min-max Bounding Box 알고리즘을 통한 위치 추정에서 추정된 위치좌표에 큰 에러가 발생하였음을 확인 할 수 있다.

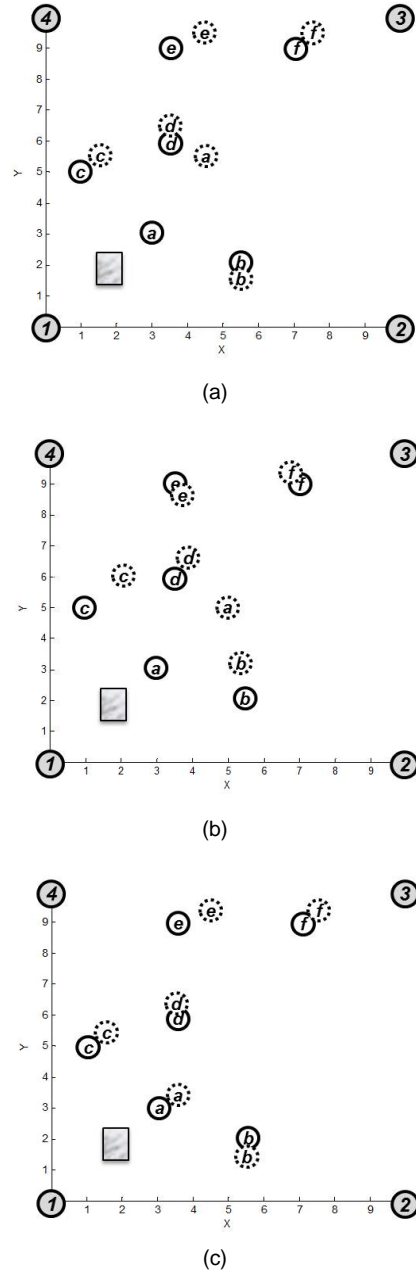


그림 6. 실내 환경에서의 실험 결과 (a) LSE 알고리즘을 이용한 위치추정 (b) Min-max Bounding Box 알고리즘을 이용한 위치추정 (c) 제안한 알고리즘을 이용한 위치추정

Fig. 6 Experimental result in the indoor environment (a) Location estimation by LSE algorithm (b) Location estimation by Min-max Bounding Box algorithm (c) Location estimation by proposed algorithm

제안한 알고리즘에서 모바일 노드들은 두 가지 방식의 MST 토폴로지 구축하고 각 토폴로지에서 생성된 link를 비교한다. 그 뒤, 이웃노드 세 개의 이웃노드를 선택하여 각 이웃노드의 위치 좌표가 정확한지를 확인하는 과정을 통하여 자신의 추정된 위치 좌표에 에러가 존재하는지 여부를 확인한다. 추정된 위치 좌표에 에러가 존재함을 확인한 모바일 노드는 삼변측량법을 이용한 위치예리 보상 과정을 수행하여 추정된 위치 좌표를 수정함으로써 위치 에러를 줄이게 된다. 그림 6의 (c)에서 보듯이, 모바일 노드 *a*는 구축된 두 MST 토폴로지에서 생성된 link가 다름을 확인하고, 이웃노드 *b, c, d*를 선택하여 자신의 추정된 위치좌표의 에러 유무를 확인하게 된다. 이웃노드 *b, c, d*는 실제 위치에 가까운 위치 추정 결과를 가지므로, 모바일 노드 *u*는 자신의 추정된 위치좌표에 에러가 존재함을 알게 된다. 그 뒤, 이웃노드 *b, c, d*를 이용한 삼변측량법을 통하여 자신의 위치 좌표를 수정함으로써 위치 에러를 줄이게 된다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table. 1 Simulation parameters

시뮬레이션 파라미터	값
전체 네트워크 영역	80m×80m
전송범위	30m
LOS 환경에서의 거리측정 시 표준편차	0.3
NLOS 환경에서 거리측정 시 평균 바이어스 에러	7.6m
NLOS 환경에서 거리측정 시 표준편차	4
Δ_{th}	1

우리는 보다 큰 네트워크 환경에서의 성능 평가를 위하여 시뮬레이션을 시행하였다. 시뮬레이션에서 사용된 각종 파라미터들은 본문에서 언급한 사전 실험을 통하여 얻었으며, 표 1과 같다. 사전 실험에서의 거리측정 결과를 살펴보면 LOS환경에서는 측정된 샘플들의 전체 평균이 실제 거리에 근접하며, 표준편차가 약 0.3m로 관측된다. 콘크리트 벽으로 인한 NLOS환경에서 거리측정결과에서는 측정된 샘플들의 전체 평균이 실제 거리와 약 7.6m 차이가 발생하며, 표준편차 또한 LOS 환경 보다 큰 약 4m로 관측되었다. 이 값들을 시뮬레이션 파라미터로 사용하였으며, Δ_{th} 는 앞서 진행한 실제 환경에서의 실험과 같은 1로 설정하였다. 시뮬레이션에

서 우리는 25개의 앵커노드를 20m 간격으로 배치하였으며, 48개의 모바일 노드를 전체 네트워크 영역 (80m × 80m) 안의 임의의 위치에 배치하였다. 16개의 모바일 노드는 하나의 앵커노드와의 경로에 NLOS 환경을 발생시켰다.

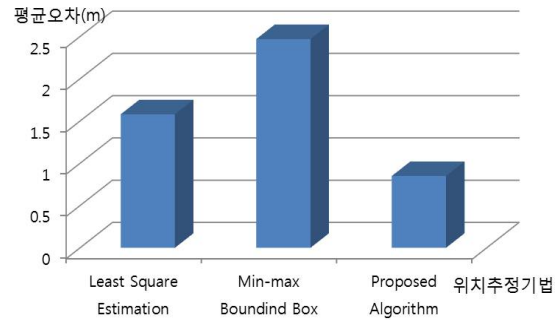


그림 7. 시뮬레이션 결과
Fig. 7 Simulation results

그림 7은 시뮬레이션을 통한 위치 추정 결과이다. 그림에서 평균오차는 모바일 노드들의 실제 위치 좌표와 각 위치추정 알고리즘을 통해 추정된 위치 좌표와의 거리차이를 계산한 값이므로 값이 작을수록 성능이 좋음을 나타낸다. 그림 7을 보면 제안한 알고리즘은 LSE 알고리즘 보다 평균오차가 0.73m 적고, Min-max Bounding Box 알고리즘에 비해 1.62m 적은 것을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 MST 토폴로지를 이용한 실내 환경에서의 위치측정에러의 보상기법을 제안하였다. 실내 환경에는 다양한 장애물들이 존재하며, 이로 인하여 NLOS 환경이 발생한다. IEEE 802.15.4a에서 사용하는 거리측정 기법인 SDS-TWR은 NLOS 환경에서 거리측정 시 측정 결과에 큰 에러가 발생하며, 이로 인하여 기존의 위치 추정 알고리즘을 통한 위치 추정과정에서 큰 위치예리가 발생하게 된다. 제안한 알고리즘에서는 추정된 위치좌표 그리고 이웃노드들과의 거리 측정값을 이용한 총 두 가지의 MST 토폴로지를 구축하며, 두 토폴로지를 비교하여 생성된 link의 차이점을 찾고, 차이점 발견 시 정확한 위치정보를 갖고 있는 3개의 이웃노

드를 찾는다. 그 뒤, 이웃노드들의 위치정보와 거리측정 값을 이용한 삼변측량법을 통하여 위치에러를 보정한다. 실험 및 시뮬레이션 결과를 통한 성능 검증 결과, 제안한 알고리즘은 기존의 위치 추정 알고리즘보다 더 나은 위치정확도를 보여준다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 건국대학교의 연구년교원 지원에 의하여 연구되었음

REFERENCES

- [1] F. Wang and J. Liu, "Networked Wireless Sensor Data Collection: Issues, Challenges, and Approaches," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 13, Issue 4, pp. 673-687, 2011
- [2] R. Soua and P. Minet, "A survey of energy-efficient techniques in wireless sensor networks," in Proc. WMNC 2011, pp. 1-9, Oct, 2011.
- [3] C. Qian and S. S. Lam, "Greedy distance vector routing," in Proc. IEEE ICDCS, pp. 857-868, Jun. 2011.
- [4] A. Savvides, C.C. Han, and M.B. Stricastava, "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors," Proc. 7th Int Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 166-179, 2001.
- [5] A. Savvides, HM Park, MB Strivastava, "The n-Hop multilateration primitive for node localization problems." Proceedings of 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, pp. 112 - 121, 2002.
- [6] A. Boukerche, H.A.B.F. Oliveira, E.F. Nakamura, A.A. Loureiro, "Localization systems for wireless sensor networks," IEEE wireless Communication Special Issue on Wireless Sensor Networks, vol. 14, pp. 6-12, 2007.
- [7] Z. Sahinoglu and S. Gezici, "Ranging in the IEEE 802.15.4a standard," Proc. WAMICON, pp. 1-5, Dec. 2006.
- [8] Lee Jian Xing, Lin Zhiwei, and Francois Chin Po Shin, "Symmetric double side two way ranging with unequal reply time," Proc. of the 66th Vehicular Technology Conference. pp. 1980-1983, 2007.
- [9] A.J. Mooij, and W. Wesselink, "A Formal Analysis of a Dynamic Distributed Spanning Tree Algorithm," Computer Science Report 03-16, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Dec. 2003.
- [10] "NanoPAN 5375 Development Kit," Nanotron Technologies GmbH, Berlin, Germany, User Guide NA-10-0250-0009 -1.1.



전종혁(Jong-Hyeok Jeon)

2010년 건국대학교 전자공학과 학사
 2013년 건국대학교 전자·정보통신공학과 석사
 ※관심분야 : 무선센서네트워크, 위치인식



권영구(Young-Goo Kwon)

1993년 고려대학교 전기공학과 학사
 1996년 고려대학교 전기공학과 석사
 2002년 Department of Electrical and Computer Engineering, University of Florida 박사
 2002년~2003년 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
 현재 건국대학교 전자공학과 부교수
 ※관심분야 : 유비쿼터스, 무선센서네트워크, 스마트 그리드