

클락 오프셋 추정 방식을 이용한 TWR WPAN 측위 시스템

A Two-Way Ranging WPAN Location System with Clock Offset Estimation

박 지 원, 임 정 민, 이 규 진, 성 태 경*
(Jiwon Park¹, Jeongmin Lim¹, Kyujin Lee¹, and Tae-kyung Sung¹)

¹Chungnam National University

Abstract: Compared to OWR (One-Way Ranging) method that requires precise network time synchronization, TWR (Two-Way Ranging) method has advantages in building an indoor WPAN (Wireless Personal Area Network) location system with lower cost. However, clock offsets of nodes in WPAN system should be eliminated or compensated to improve location accuracy of the TWR method. Because conventional clock offset elimination methods requires multiple TWR transactions to reduce clock offset, they produce network traffic burden instead. This paper presents a clock offset estimation method that can reduce clock offset error with a single TWR transaction. After relative clock offsets of sensor nodes are estimated, clock offsets of mobile tags are estimated using a single TWR communication. Simulation results show that location accuracy of the proposed method is almost similar to the conventional clock offset elimination method, while its network traffic is about a half of the conventional method.

Keywords: clock offset estimation, two-way ranging, indoor WPAN location.

I. 서론

장애물이 많고 다중경로 신호가 많은 실내 환경에서 측위를 하기 위한 통신 시스템으로 WPAN 등이 많이 제안되고 있다. 유비쿼터스 시대의 도래로 위치 인식 기술에 대한 수요는 꾸준히 증가하고 있으며 WPAN (Wireless Personal Area Network)에서의 위치인식 시스템이 주목 받고 있다. 실외에서는 기존의 GPS (Global Positioning System) 위성을 이용한 자동항법장치 및 이동통신망 기반의 다양한 LBS (Location-Based Service) 서비스되고 있다. 그러나 GPS 위성이나 이동통신망을 이용한 광역 위치 추정 기술은 위치 추정 정확도가 낮으며 실내 및 음영지역에서는 사용하는데 많은 어려움이 따른다. 이에 실내에서 측위 용으로 사용 가능한 Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth, RFID (Radio Frequency Identification), 초음파 (Ultrasonic) 등과 같은 근거리 통신 기술들에 관심이 집중되고 있다[9]. 그러나 이와 같은 기술들은 신호 특성상 다중 경로가 심한 실내 환경에 민감하며, 측위 정확도 면에서도 수 미터에서 수십 미터의 측위 정확도를 보이고 있어 이를 극복할 수 있는 고품질, 고성능의 위치 기반 서비스에 대한 요구가 증가하였다[8]. 이러한 요구사항에 적합한 시스템으로 IR-UWB, CSS-UWB 같은 WPAN 시스템 등이 제안 되었다[1]. IR-UWB 기술은 실내의 다중 경로 환경에 강인하고 투과성이 우수하며 저전력 측위 시스템의 구현 및 수십 센티미터 급 고정밀 측위 시스템의 구현이 가능하다는 장점들이 있다. 또한 매우 짧은 임펄스를 이용하므로 짧은 펄스에 의한 분해

능을 이용하여 센티미터 정도의 정밀도를 구현할 수 있기 때문에 실내 측위에 적합하다.

TWR (Two Way Ranging) 방식은 저렴한 비용으로도 망을 구성할 수 있어 WPAN 실내 측위 시스템에서 많이 사용되고 있다. 일반적으로 WPAN 측위 시스템에서 두 노드 사이의 거리는 신호의 TOF (Time of Flight)에 전파의 전파 속도를 곱함으로써 계산된다. 그러므로 무선 신호의 정밀한 TOF 측정치가 거리측정에 있어서 중요한 요소로 작용하게 된다. TOF를 측정하기 위해서는 각각의 송신기 노드에서 정확한 시각에 UWB 신호를 송신하면 수신기에서 신호를 수신하고 그때의 시간을 기록한다. 이후 얻은 송 수신기의 시간 차를 이용해 송 수신기 사이의 거리에 상응하는 TOF를 구하게 되는데 이렇게 센서와 태그 간의 망 동기를 기반으로 한 거리측정 방식을 OWR (One Way Ranging) 방식이라고 한다. 그러나 OWR 방식을 이용하여 고정밀 측위를 하기 위해서는 매우 정밀한 망 동기를 필요로 하기 때문에 측위 망을 구성하기 위한 비용이 크다. 비동기화 된 두 노드 간의 상호 메시지 교환을 통해 TOF를 구하는 TWR (Two Way Ranging) 방식은 두 노드 사이에 정밀한 동기를 필요로 하지 않기 때문에 OWR 방식에 비해 저렴한 비용으로 망을 구성할 수 있다.

고정된 위치의 센서 망과 이동 태그 (tag)간의 양방향 통신을 이용한 TWR TOA (Time of Arrival) 측위 방법의 경우 다양한 오차 요소들이 존재한다. 이들 오차에는 센서 노드들의 실제 위치와 계산 상의 노드 좌표 불일치로 인한 오차, 각 노드들의 카운터 동작에 관여하는 클락 주파수 오프셋으로 인해 발생하는 오차, 각 노드들이 갖는 하드웨어 내부지연에 의한 오차, 다중경로에 의한 오차, 수신 잡음에 의한 오차 등이 존재한다[5]. 이들 중에서 다중경로 오차는 특정한 상황에서만 발생하며, 이를 제거할 수 있는 기법이 널리 연구되고 있다[12,13]. 노드 위치 오차나 수신기 잡음은 오차의 크

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 12. 3., 수정: 2012. 12. 26., 채택확정: 2012. 12. 31.

박지원, 임정민, 이규진: 충남대학교 전자전파 정보통신 공학과

(jwsjkk@gmail.com/likebasic@naver.com/kyujin.awcl@gmail.com)

성태경: 충남대학교 정보통신공학과(tksaint@cnu.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행되었음(과제번호 10041818).

기가 상대적으로 작으며, 클락 오프셋과 하드웨어 내부지연 오차를 정확히 보상해야 정확한 TOF를 구할 수 있다. 센서의 하드웨어 내부지연 오차는 센서 노드마다 다른 값을 가지는 상수이며, 한번 측정하여 보상하면 시간이나 환경에 따른 영향이 거의 없다. 본 논문에서는 하드웨어 내부지연은 보정된다고 가정하고 무시한다.

두 노드 간의 클락 오프셋은 송/수신기 클락의 주파수 드리프트에 의하여 발생하는 오차 요소이며, 이를 경감시키는 대표적인 방법으로 SDS-TWR (Symmetric Double Sided TWR) 기법이 제안되어 널리 사용되고 있다[2,11]. 그러나 이 방법은 각 센서 노드와 태그 노드 간의 거리를 매번 SDS-TWR로 구해야 하기 때문에 통신 트래픽이 2배로 증가하는 단점을 가지며, 사용자 노드가 많은 경우, 통신 충돌 등으로 인하여 원활한 측위가 어려워진다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 먼저 센서 노드 간의 통신을 통하여 각 센서 노드의 클락 오프셋을 미리 추정하고 이 후로는 트래픽 부하가 적은 단일 TWR을 이용하여 구함으로써 사용자 노드의 위치를 적은 통신 량으로 정확하게 구할 수 있는 효율적인 오차 보상 방법을 제안한다.

II. WPAN TWR 측위 망에서의 오프셋 추정

TWR 방식을 이용한 거리 측정치 오차는 각 노드의 클락 오차에 의해 큰 영향을 받는다. 센서 노드와 태그 노드의 클락 오프셋을 각각 e_{Sen^i} 와 e_{Tag} 라고 할 때 TWR 방식을 이용한 거리 측정 시스템에서 클락 오프셋에 의한 오차는 $e_{Sen^i, Tag} = e_{Sen^i} - e_{Tag}$ 와 같이 차분된 형태로 나타난다. 센서 노드들 간의 TWR 방식을 이용한 거리 측정치에서도 클락 오프셋은 $e_{Sen^i} = e_{Sen^i} - e_{Sen^j}$ 차분된 형태로 나타난다. 측위의 성능을 향상시키기 위해서는 이 오프셋 오차 요소들을 초기화 시에 보상해야 하며, 이를 위하여 1절에서는 측정치 모델을 보이고 2절에서는 노드들 사이의 상대적인 클락 오프셋 추정 기법을 보인다.

1. 측위 센서 망 보정을 위한 측정치 모델

거리측정 카운터를 가지고 있는 두 개의 노드 A, B가 있다고 가정할 때, 노드 A에서 노드 B로의 TOF는 TWR 방식을 이용할 경우 식 (1)과 같이 나타난다.

$$t_p = \frac{1}{2}(t_{roundA} - t_{replyB}) \quad (1)$$

여기서 t_{roundA} 는 노드 A에서 노드 B로 메시지를 송신하여 다시 노드 B로부터 ACK (Acknowledge) 메시지를 응답 받을 때까지 카운터에서 측정된 소요된 시간을 나타내며, t_{replyB} 는 노드 B에서 메시지를 수신하여 ACK 메시지를 전송할 때까지 카운터에서 측정된 소요된 시간을 나타낸다. 그러나 실제 측정치에는 하드웨어 내부의 지연 오차, 노드의 클락 드리프트 오차, 다중 경로 오차, 수신기 잡음 등이 포함된다. 서론에 나타난 바와 같이 내부 지연오차는 한번 측정하고 보상하면 시간이나 환경에 따른 영향이 거의 없는 상수로 볼 수 있으므로 그림 1은 내부 지연은 이미 보정되었다고 가정할 때 각 노드의 TWR 측정치 모델을 도식화한 것이다.

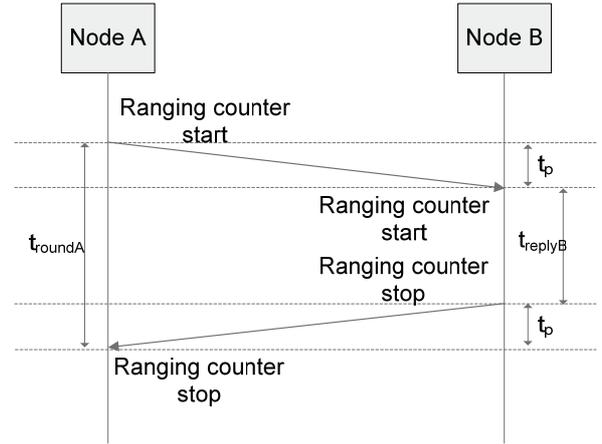


그림 1. TWR방식의 ranging 과정.

Fig. 1. Ranging procedure of TWR.

다중 경로 오차가 없다고 가정할 때 클락 오차 및 측정 잡음을 고려한 TWR 측정 식은 다음과 같다[3,7].

$$\begin{aligned} z_{i,p} &= \frac{1}{2} \{ (t_{roundA} + v_A)(1 + e_A) - (t_{replyB} + v_B)(1 + e_B) \} \\ &= t_p + \frac{1}{2} \{ v_A + t_{roundA} \cdot e_A + v_A \cdot e_A \\ &\quad - v_B - t_{replyB} \cdot e_B - v_B \cdot e_B \} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 e_A 와 e_B 는 각 노드의 클락 오프셋으로 ppm (parts-per-million) 으로 표현되고 v_A, v_B 는 수신기 잡음으로서 σ^2 의 분산을 갖는 IID 백색 정규잡음을 나타낸다. 클락 오차가 충분히 작고 t_{replyB} 가 t_p 에 비하여 충분히 크다고 가정하면[4] 다음과 같이 근사화된 TWR 측정 식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_{A,B} &\cong c \cdot t_p + \frac{c}{2} \{ t_{replyB} (e_A - e_B) + (v_A - v_B) \} \\ &= r_{A,B} + c(e'_A - e'_B) + n_{A,B} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 $r_{A,B}$ 는 노드 A와 노드 B 사이의 실제 거리를 나타내며 $e'_i = t_{replyB} \cdot e_i / 2$, $n_{A,B} = c \cdot (v_A - v_B) / 2$ 이다.

그림 2와 같은 사각형 셀룰러 구조에서 각 센서 노드들이 서로 통신 가능하고 서로 다른 클락 오프셋을 갖는다고 가정할 때 각 센서 노드 간의 TWR 측정 식은 행렬로 나타내면 식 (4)와 같다.

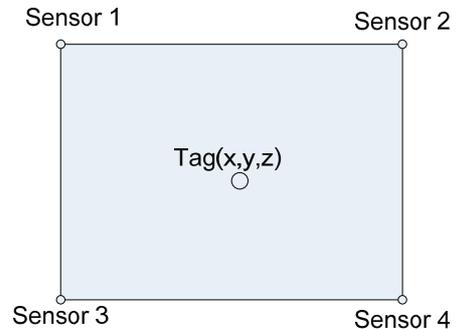


그림 2. 사각형 셀룰러 구조의 센서 노드 망.

Fig. 2. Rectangular structure of the sensor node network.

$$\underline{\rho} = \underline{r} + c \cdot \mathbf{G} \cdot \underline{e} + \underline{n}$$

$$\underline{\rho} = \begin{pmatrix} \rho_{1,2} \\ \rho_{1,3} \\ \rho_{1,4} \\ \rho_{2,3} \\ \rho_{2,4} \\ \rho_{3,4} \end{pmatrix}_{[6 \times 1]}, \quad \underline{r} = \begin{pmatrix} r_{1,2} \\ r_{1,3} \\ r_{1,4} \\ r_{2,3} \\ r_{2,4} \\ r_{3,4} \end{pmatrix}_{[6 \times 1]}, \quad \underline{e} = \begin{pmatrix} e'_1 \\ e'_2 \\ e'_3 \\ e'_4 \end{pmatrix}_{[4 \times 1]}, \quad (4)$$

$$\underline{n} = \begin{pmatrix} n_{1,2} \\ n_{1,3} \\ n_{1,4} \\ \vdots \\ n_{2,3} \\ n_{2,4} \\ n_{3,4} \end{pmatrix}_{[6 \times 1]}, \quad \mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}_{[6 \times 4]},$$

식 (4)에서 행렬의 오른쪽의 아래 첨자는 행렬의 크기를 나타낸다. 식 (4)에서 \mathbf{G} 는 차분연산자로만 이루어져 있으므로 이로 인해 다음과 같은 정리를 얻을 수 있다.

정리 1: TWR를 사용하는 시스템에서는 TWR 측정치 개수에 상관없이 각 노드의 클락 오프셋은 추정할 수 없으며, 각 노드들 간의 상대적인 클락 오프셋만을 추정할 수 있다.

증명: 센서 노드 망이 그림 2와 같이 4개인 경우 \mathbf{G} 행렬은 다음과 같이 나타나다.

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}_{[6 \times 4]}, \quad (5)$$

이 때 차분 행렬 특성에 의해 \mathbf{G} 의 계수 rank와 차원 dim의 관계는 다음과 같다.

$$\text{rank}(\mathbf{G}) = \text{dim}(\mathbf{G}) - 1, \quad (6)$$

차분 연산은 TWR의 성질에 의해 나타나며 m개의 센서 노드가 사용될 때 \mathbf{G} 행렬의 계수는 차분 행렬의 특성에 의해 m-1로 나타나므로 TWR 측정치 개수에 상관없이 각 노드의 클락 오프셋은 추정할 수 없다.

각 노드의 클락 오프셋이 차분된 형태인 $e'_{i,1} = e'_i - e'_1$ 을 이용하여 식 (4)를 다시 쓰면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\underline{\rho} = \underline{r} + c \cdot \mathbf{G}' \cdot \underline{e}' + \underline{n}$$

$$\mathbf{G}' = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}_{[6 \times 3]}, \quad \underline{e}' = \begin{pmatrix} e'_{2,1} \\ e'_{3,1} \\ e'_{4,1} \end{pmatrix}_{[3 \times 1]} \quad (7)$$

이 때 \mathbf{G}' 행렬 상단의 3개의 행에 의해 \mathbf{G}' 의 계수 rank와 차원 dim의 관계는 다음과 같다.

$$\text{rank}(\mathbf{G}') = \text{dim}(\mathbf{G}'), \quad (8)$$

\mathbf{G}' 의 계수가 \mathbf{G}' 의 차원과 같으므로 식 (7)를 이용하면 노드 간의 상대적인 오프셋을 추정 할 수 있다. ■

식 (7)의 미지수는 3개이고 \mathbf{G}' 의 행렬계수가 3이다. 따라서 식 (7)의 측정치를 최소자승법 등을 적용하여 클락 오프셋 오차를 구할 수 있다.

2. 오프셋 추정 알고리즘

센서 노드 및 태그 노드의 클락 오프셋은 온도 등에 따라 그 값이 변하지만 그 변화가 시간에 따라 천천히 변화하는 성질이 있다. 기존의 TWR 측위 센서 망에서는 센서 노드와 태그 노드 사이에 SDS-TWR을 반복적으로 사용하여 클락 오프셋 오차를 경감시킨다. SDS-TWR 과정을 도시하면 아래의 그림과 같다.

이 방식은 단일 TWR 방식에 비해 메시지 교환이 2배 많기 때문에 통신 충돌 등에 의하여 측위 갱신 주기가 늘어나고 망에서 수용 가능한 태그의 개수가 줄어든다는 단점이 있다[3].

본 논문에서는 주기적으로 센서 노드들 간의 클락 오프셋을 추정하고, 이 후에 센서 노드와 태그 노드의 거리를 측정할 때에는 통신 트래픽이 상대적으로 적은 그림 1의 단일 TWR 방식을 이용하여 사용자 위치 및 오차를 추정하는 효율적인 방법을 제안한다. 이 방식의 경우, 기존의 SDS-TWR 방식만큼의 측위 정확도를 보장하면서 측위 갱신 성능을 대폭 향상시킬 수 있다.

식 (7)에서 보는 바와 같이 센서 노드들 간의 상대적 클락 오프셋은 최소자승법을 사용하면 식 (9)과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{e}' = (\mathbf{G}'^T \cdot \mathbf{G}')^{-1} \cdot \mathbf{G}'^T \cdot \left(\frac{1}{c} \cdot \underline{\rho} - \frac{1}{c} \cdot \underline{r} \right) \quad (9)$$

각 센서 노드의 클락 오프셋은 시간에 따라 변하며 이에 따라 각 노드 간의 상대적인 클락 오프셋 e' 도 천천히 변하므로 적절한 주기마다 추정할 필요가 있다. 추정된 센서 노

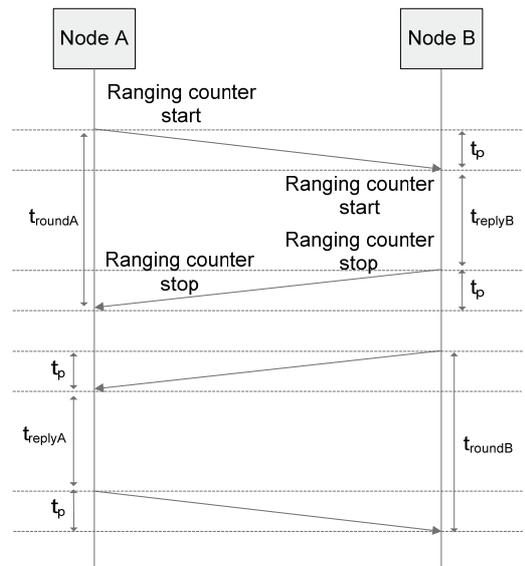


그림 3. SDS-TWR 방식의 ranging 과정.

Fig. 3. Ranging procedure of SDS-TWR.

드 간의 클락 오프셋은 센서와 태그 간의 클락 오프셋을 추정하는데 사용된다.

임의의 i -번째 센서 노드와 태그 노드 사이의 TWR 측정치 식은 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_{i,j} &= r_{i,j} + c \cdot (e'_{i,j}) + n_{i,j} \\ &= r_{i,j} + c \cdot (e'_{i,1} - e'_{i,1}) + n_{i,j} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $r_{i,j}$ 는 i -번째 센서 노드와 태그 노드 사이의 거리, $e'_{i,1}$ 는 태그 노드와 1번 센서 노드 사이의 상대적인 클락 오프셋, $n_{i,j}$ 는 i -번째 센서 노드와 태그 노드 사이의 측정치 잡음을 나타낸다. 식 (10)에서 $e'_{i,1}$ 에 식 (9)에서 추정된 $\hat{e}'_{i,1}$ 을 대입하여 행렬로 나타내면 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \underline{\rho}_T &= \underline{r}_T + c \cdot (\hat{e}'_{sub} - e'_{i,1} \cdot \mathbf{1}) + \underline{n}_T \\ \underline{\rho}_T &= \begin{pmatrix} \rho_{1,j} \\ \rho_{2,j} \\ \rho_{3,j} \\ \rho_{4,j} \end{pmatrix}_{[4 \times 1]}, \quad \underline{r}_T = \begin{pmatrix} r_{1,j} \\ r_{2,j} \\ r_{3,j} \\ r_{4,j} \end{pmatrix}_{[4 \times 1]}, \quad \hat{e}'_{sub} = \begin{pmatrix} 0 \\ \hat{e}'_{2,1} \\ \hat{e}'_{3,1} \\ \hat{e}'_{4,1} \end{pmatrix}_{[4 \times 1]}, \quad (11) \\ \mathbf{1} &= \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}_{[4 \times 1]}, \quad \underline{n}_T = \begin{pmatrix} n_{1,j} \\ n_{2,j} \\ n_{3,j} \\ n_{4,j} \end{pmatrix}_{[4 \times 1]} \end{aligned}$$

2차원 측위의 경우 식 (11)의 미지수는 태그 노드의 위치 x, y 와 태그 노드의 상대적 클락 오프셋 $e'_{i,1}$ 로 총 3개이다. 그러므로 측위를 위해서는 태그와 통신 가능한 센서 노드의 개수가 최소 3개 이상 필요하다. 또한 시간에 따라 $e'_{i,1}$ 는 천천히 변하므로, 초반에 오프셋을 한번 추정하면 일정 시간 동안은 더 적은 센서 만으로도 측위가 가능해진다.

TDOA의 경우 측정치 식을 차분하여 위치를 추정하므로 태그의 내부 지연과 클락 오프셋 항이 제거된다. 이 경우는 차분 측정치의 개수가 2개 이상 이면 태그의 위치 추정이 가능하다. 단, 내부 지연과 클락 오프셋은 상쇄되어 제거되므로 추정할 수 없다.

III. 실험

시뮬레이션을 위하여 먼저 센서의 개수, 좌표 값, 각 센서의 응답시간, 내부지연, 클락 오프셋 값을 입력으로 갖는 측위 시뮬레이터를 설계하였으며 이때 작업 환경은 그림 4와 같이 격자 모양의 셀을 가정하였다. 센서는 6미터 간격으로 배치하고 태그 위치는 1미터 간격으로 변화시켜 가면서 시뮬레이션을 수행하였다.

각 노드의 클락 오프셋은 -20~20ppm 범위에서 분포하도록 설정하였다. 또한 노드의 하드웨어 응답시간은 평균이 300usec인 정규 분포를 갖도록 하였다. 각 노드의 통신 가능 범위는 8.5미터로 설정하여 그림 4의 임의의 격자 위치에서 최소 4개 이상의 측정치를 획득 할 수 있도록 하였다. 이때 가지 센서 개수는 최소 4개부터 9개까지 분포하게 되었다.

그림 5는 II 장의 오차 보상 기법을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 위치 추정 오차를 비교한 것이다. 위치 추정을

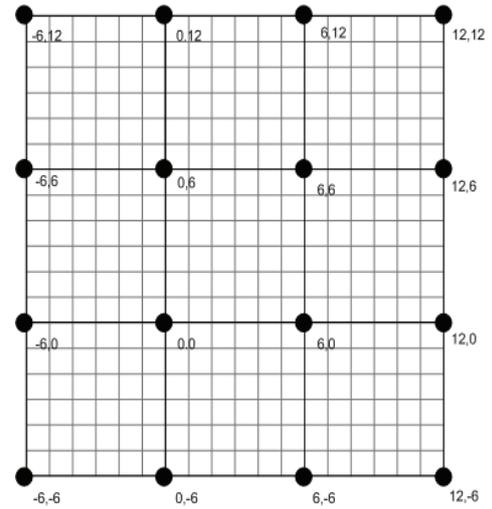


그림 4. 센서 노드의 배치.

Fig. 4. Geometry of the sensor.

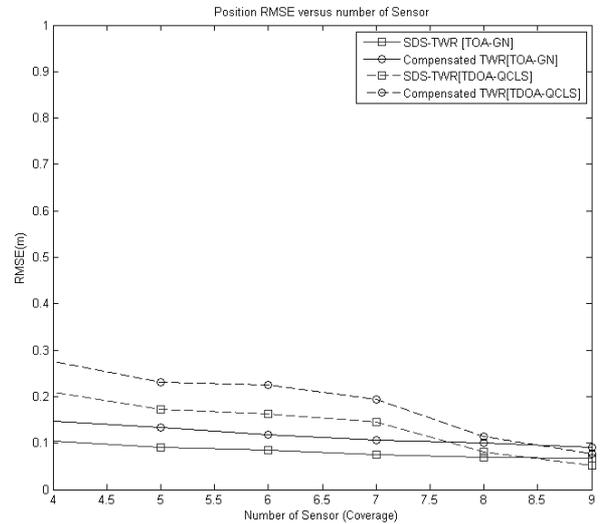


그림 5. 측정치 개수에 따른 성능 비교.

Fig. 5. RMSE of position according to number of measurement.

위한 알고리즘은 GN (Gauss-Newton) 기법과 QCLS (Quadratic Correction Least Squares) 기법을 사용하였다[6,10]. 그림 5에서 ‘SDS-TWR’은 SDS-TWR 방식으로 거리 측정치를 얻은 경우이며, ‘Compensated TWR’은 본 논문에서 제안하는 오차 보상 기법을 적용하여 TWR 방식으로 거리 측정치를 획득한 경우이다. 오차 보상 기법을 적용한 경우 오차 추정은 한 번만 수행하였다.

시뮬레이션 결과에서와 같이 본 논문에서 제안하는 오차 보정 기법을 적용한 경우 오차 추정을 한번만 수행하였음에도 기존의 SDS-TWR 방식을 사용하는 경우와 위치 추정 오차의 차이가 10cm 미만으로 위치 추정 정확도 측면에서도 기존 방법에 근접하고 있음을 확인할 수 있다. 제안한 방법과 기존 방법의 위치 추정 정확도가 차이를 보이는 것은 클락 오프셋 오차를 추정하는 과정에서 발생하는 추정오차에 의한 것으로 추정 횟수를 증가시켜 평균을 구함으로써 극복할 수 있다. 오차 추정 횟수에 따른 위치 추정 성능은 시뮬

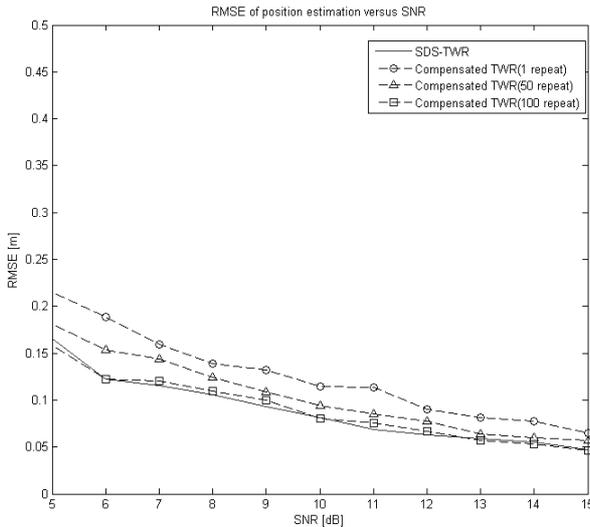


그림 6. 오차 추정 횟수에 따른 위치 추정 성능 개선.
Fig. 6. RMSE of position according to number of estimation.

레이션 결과로부터 그림 6와 같이 나타났다. 시뮬레이션 결과 오차 추정을 약 100회 수행하여 그 평균치를 사용할 경우 제안한 방식과 기존 방식의 위치 추정 오차 성능이 동일해 짐을 확인하였다. 오차 추정은 망 초기화 과정에서 한 번만 이루어지므로 100회에 걸친 추정치를 획득하여 사용한다고 해도 이후의 측위 시간은 증가시키지 않으며 100회 추정하는데 소요되는 시간 또한 5개의 센서 노드 기준으로 20sec 미만으로 높은 위치 추정 정확도를 요구할 경우 반복 추정을 통해 정확도를 높일 수 있다. 실제의 경우 시뮬레이션 상에서 고려하지 않은 샘플링 양자화 오차, 시간에 따른 클락 주파수 드리프트, 다중경로 등에 의한 성능 저하가 있을 수 있다. 샘플링 양자화 오차나 다중경로에 의한 성능 저하는 제안된 TWR 방식이나 SDS-TWR 방식 모두에서 동일하게 나타나며, 클락 주파수 드리프트의 경우는 그 값이 커질 경우 제안된 TWR 방식이 SDS-TWR 방식에 비해 그 성능이 더 저하될 수 있다. 그러므로 제안된 TWR 방식을 사용할 경우 일정 간격마다 주기적인 클락 오프셋 보정이 필요하다.

IV. 결론

기존의 SDS-TWR 방식이 단일 TWR 방식에 비해 클락 오프셋에 의한 영향은 적지만 측정치 획득에 소요되는 시간이 상대적으로 길다는 단점이 있으므로 본 논문에서는 클락 오프셋 오차를 추정하여 보상함으로써 네트워크 트래픽을 경감시킬 수 있는 기법을 제안하였다. SDS-TWR 방식과 비교하여 본 논문에서 제안한 클락 오프셋 추정 기반 단일 TWR 방식이 네트워크 부하를 약 반으로 줄일 수 있는 장점을 가지면서 측위 정확도는 기존 방식에 근접하는 성능을 보임을 시뮬레이션을 통하여 보였다. 클락 오프셋은 시간에 따라 천천히 변하므로 적당한 주가마다 제안된 기법으로 오프셋을 추정을 하고, 그 사이는 단일 TWR 방식으로 측위를 하면 망 트래픽 부담이 보다 적고 더 많은 사용자를 수용할 수 있는 측위 시스템 구축이 가능하다.

참고문헌

- [1] “Wireless MAC (Medium Access Control) and Physical layer (PHY) Specifications for LRWPAN (Low-Rate Wireless Personal Area Networks),” *IEEE P802.15.4a/D7*, Jan. 2007.
- [2] R. Hach, “Symmetric double sided - two way ranging,” *Contribution 802.15-05-0334-00-004a to the IEEE 802.15.4a Ranging Subcommittee*, Jun. 2005.
- [3] Y. Jiang and V. C. M. Leung, “An asymmetric double sided two-way ranging for crystal offset,” *International Symposium on Signals Systems and Electronics*, pp. 525-528, July 2007.
- [4] B. Zhen, H.-B. Li, and R. Kohno, “Clock offset compensation in ultra-wideband ranging,” *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E89-Q, no. 11, Nov. 2006.
- [5] B. Denis, J. B. Pierrot, and A. R. Chadi, “Joint distributed synchronization and positioning in UWB Ad hoc networks using TOA,” *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 4, Apr. 2006.
- [6] N. Jorge and W. Stephen, *Numerical optimization*, Springer, 1999.
- [7] B. Zhen, H. B. Li, and R. Kohno, “UWB ranging and crystal offset,” *IEEE 63rd Vehicular Technology Conference*, pp. 1445-1449, May 2006.
- [8] N. Patwari, J. N. Ash, S. Kyperountas, A. O. Hero III, R. L. Moses, and N. S. Correal, “Locating the nodes,” *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, no. 4, pp. 54-69, 2005.
- [9] G. Sun, J. Chen, and W. Guo, “Signal processing techniques in network-aided positioning,” *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, no. 4, pp. 12-23, 2005.
- [10] Y. Huang, J. Benesty, G. W. Elko, and R. M. Mersereau, “Real-time passive source localization: a practical linear-correction least-squares approach,” *IEEE Trans. Speech, Audio Processing*, vol. 9, pp. 943-956, Nov. 2001.
- [11] L. J. Xing, L. Zhiwei, and F. C. P. Shin, “Symmetric double side two way ranging with unequal reply time,” *IEEE 66th Vehicular Technology Conference*, pp. 1980-1983, 2007.
- [12] J. P. Lie, Chong Meng See, and Boon Poh Ng, “UWB ranging with high robustness against dominant jammer and multipath,” *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 12, pp. 907-909, Dec. 2005.
- [13] S. S. Yoo, G. I. Jee, and S. Y. Kim, “An unambiguous multipath error mitigation scheme for TMBOC and CBOC signals,” *Automatica (in Korean)*, vol. 18, no. 10, pp. 895-987, Oct. 2012.



박지원

2008년 충남대 전기정보통신공학부 졸업. 2010년 동 대학원 정보통신공학 석사졸업. 2010년~현재 동 대학원 정보통신공학과 박사과정. 관심분야는 신호처리 및 통신응용.



임정민

2011년 충남대 전기정보통신공학부 졸업. 2011년~현재 동 대학원 전자전파정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 실내, 실외 위치 측위 시스템.



이규진

2012년 충남대 전기정보통신공학부 졸업. 2012년~현재 동 대학원 전자전파정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 마이크로컨트롤러 제어, 실외 위치 측위 시스템.



성태경

1984년 서울대 제어계측공학과 졸업. 1986년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박). 1997년~현재 충남대 정보통신공학과 교수. 관심분야는 GPS/GNSS, 지상파 측위, WLAN/WPAN 실내 측위, 위치인지 신호처리.