

무선 동기 및 클럭 오프셋을 고려한 실내 무선 위치 추정 방안

준회원 박재욱*, 최용성*, 정회원 강지명**, 종신회원 이원철*

Indoor Wireless Location Estimation Method with considering Wireless Synchronization and Clock Offset

Jae-wook Park*, Yong-sung Choi* Associate Members, Ji-myung Kang** Regular Member,
Won-cheol Lee*^o Lifelong Member

요 약

실내 위치 추정을 위한 무선 측위 시스템에서는 정확한 위치 정보를 추정하기 위하여 노드 사이의 거리 정보를 사용한다. 두 노드 사이의 거리를 추정하기 위해서는 TOA (Time of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival)와 같은 시간 정보를 기반으로 하는 기법을 사용하는 것이 일반적이며, 시간 정보는 각 노드의 국부 클럭을 이용하여 측정된다. 따라서 노드들이 사용하는 클럭 간에 오프셋이 생길 수 있으며, 이는 거리 추정 및 위치 추정 결과에 심각한 영향을 미친다. 본 논문에서는 위치 추정 결과에 심각한 오차를 가져올 수 있는 클럭 오프셋 문제를 해결하고, 더불어 노드 간의 클럭 동기 문제도 해결할 수 있는 위치 추정 방안을 제안한다. 제안하는 방안을 검증하기 위하여 IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 채널 모델에서 위치 추정 결과를 확인하기 위한 실험을 진행하였으며, 모의실험 결과를 통하여 클럭 오프셋에 의한 오차에 영향을 받지 않는 위치 추정 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

Key Words : Clock Offset, Synchronization, Wireless Positioning, Ranging, Location Estimation

ABSTRACT

Indoor wireless positioning system uses ranging data of nodes in order to accurately estimate location. To estimate the distance between two nodes commonly uses time of arrival (TOA), time difference of arrival (TDOA) based on the arrival time, measured with local clock of each node. Therefore, it can cause clock offset among nodes, the clock offset has serious affects on ranging and positioning result. In this paper, a location estimation method is proposed to solve both clock offset and synchronization problems. To verify the performance of the proposed method, we experimented location estimation in channel model introduced by IEEE 802.15.4a Task Group and then the results show that location estimation is unaffected by clock offset.

1. 서 론

최근 떠오르고 있는 유비쿼터스 환경을 구축하기 위

해서는 실내의 무선 측위 기술이 요구되어진다. 실외에서는 GPS (Global Positioning System)를 사용하여 측위를 할 수 있으며, 이는 GPS 위성들의 클럭 동기가 맞춰

※ 본 논문은 “서울시 산학연 협력사업(과제번호:10544)” 및 “지식경제부 산업원천기술개발사업(No.10011385)”으로 지원된 연구임.

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신 및 신호처리연구소({nalmada, myoptima}@amcs.ssu.ac.kr, wlee@ssu.ac.kr) (°:교신저자)

** 한국전기연구원(jmkang@keri.re.kr)

논문번호 : KICS2010-09-432, 접수일자 : 2010년 9월 1일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 28일

져 있기 때문에 가능하다. 하지만 실내에서는 GPS 신호를 사용할 수 없으며, 이에 따라 실내 환경에 적합한 측위 시스템 연구가 진행되어져 왔다. 근래에는 실내의 다중 경로 환경에 강인한 UWB (Ultra Wide Band) 신호를 사용한 무선 측위 기술 연구가 이루어지고 있다.

일반적으로 무선 측위를 위해서는 측위 시스템의 센서 노드와 위치를 찾고자 하는 태그 사이의 거리 정보가 필요한데, 이러한 거리 정보를 추정하기 위한 거리 인지 기법에는 TOA, TDOA 등 시간 정보를 기반으로 하는 기법이 주로 사용되고 있다. 그림 1과 같이 두 노드 A, B 사이의 거리를 추정하기 위한 거리 인지 기법에는 노드 A에서 노드 B로의 단방향 무선 통신에 의한 단방향 거리 인지 방식 (One Way Ranging) 과 두 노드 A, B 사이의 양방향 무선 통신에 의한 양방향 거리 인지 방식 (Two Way Ranging)이 있다. 단방향 거리 인지 방식에서는 기본적으로 두 노드의 클럭 동기가 이루어져있다는 가정이 필요하며, 두 노드의 클럭 정보를 이용하여 단방향 통신에 걸리는 시간을 측정하고 두 노드 사이의 거리를 추정하게 된다. 양방향 거리 인지 방식에서는 두 노드의 클럭 동기를 필요로 하지 않으며, 두 노드의 클럭 정보를 이용하여 양방향 통신에 걸린 시간 (Round Trip Time) 과 응답 시간 (Response Delay) 을 측정하여 거리를 추정하게 된다.

두 노드의 거리 추정을 위한 거리 인지 기법에서 시간 정보를 측정하기 위해서는 각 노드가 독립적으로 가지고 있는 클럭의 정보를 사용하는데, 이 때 두 노드의 클럭 오프셋으로 인한 오차가 거리 추정 결과에 영향을 준다는 것은 이미 알려져 있다^{5,6)}. 두 노드의 클럭 차이에서 오는 상대적 클럭 오프셋은 ppm (part per million) 단위의 미세한 차이로 대부분의 통신 시스템에서는 클럭 정보에 대해 큰 영향을 미치지 않지만, 시간 정보 기반의 거리 인지 과정에서는 클럭 정보의 오차가 시간 정보의 오차로 이어지기 때문에 클럭 오프셋에 매우 민감하다. 또한 두 노드 사이의 거리 추정을 위한 거리 인지 과정에서 뿐만 아니라, 실내 위치 추정을 위한 무선 측위 시스템에서 센서 노드 각각이 독립적인 국부 클럭을 사용하는 경우에도 센서 노드 간의 클럭 오프셋이 생길 수 있으며, 따라서 위치 추정 결과에 오차를 발생시킨다.

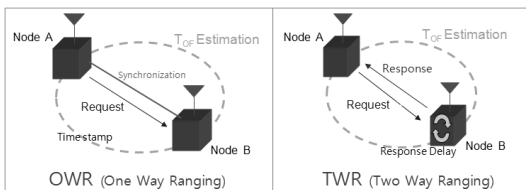


그림 1. 노드 A, B 사이의 거리 인지 방식

본 논문에서는 위치 추정 결과에 영향을 줄 수 있는 센서 노드들의 클럭 오프셋을 고려하여, 각 센서 노드의 클럭 정보를 통해 측정되는 시간 정보를 보상하고 이를 이용하여 태그의 위치를 추정하는 실내 무선 측위 방안을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 거리 인지 및 무선 측위에서 클럭 오프셋으로 인한 오차의 영향을 살펴보고, III장에서 제안하는 무선 동기 및 클럭 오프셋을 고려한 무선 위치 추정 방법에 대해 설명한다. IV장에서는 모의실험을 통해 제안하는 방안의 성능을 확인하고, 끝으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 클럭 오프셋으로 인한 거리 인지 및 무선 측위 오차

두 노드 A, B 사이의 거리를 추정하기 위해서는 그림 2와 같이 두 노드 간의 송수신 시간을 측정한다. 이 때 두 노드는 독립적인 국부 클럭을 사용하고, 이로 인한 클럭 오프셋은 각 노드의 클럭 정보를 통해 얻은 시간 정보에 오차를 초래하게 된다. 이와 같은 두 노드의 상대적 클럭 오프셋으로 인한 시간 정보의 오차 정도를 추정하기 위한 식을 식 1에 나타내었다^{5,7)}. 여기서 δ_A, δ_B 는 노드 A, B의 클럭 오프셋을 표현하는 ppm 단위의 클럭 주파수 오프셋이고 T_{rd} 는 노드 B의 응답 시간이며, Δt 는 상대적 클럭 오프셋이 없을 때 측정될 수 있는 두 노드 사이의 실제 시간 정보, Δt^m 는 두 노드 사이에 상대적 클럭 오프셋이 있을 때 측정되는 오차가 포함된 시간 정보이다.

$$\Delta t^m - \Delta t \approx \frac{1}{2} T_{rd} (\delta_A - \delta_B) \quad (1)$$

그림 2와 식 1에서 알 수 있듯이 클럭 오프셋으로 인한 오차는 거리 추정 과정에서 상대적으로 긴 응답 시간 T_{rd} 가 포함되는 양방향 거리 인지 방식의 경우에 심각한 영향이 있다고 알려져 있지만⁷⁾, 그림 3과 같이 오랜 시간이 지날수록 클럭 오프셋이 누적되어

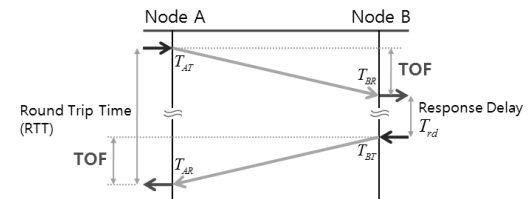


그림 2. 두 노드 A, B 사이의 거리 추정 과정 (TWR)

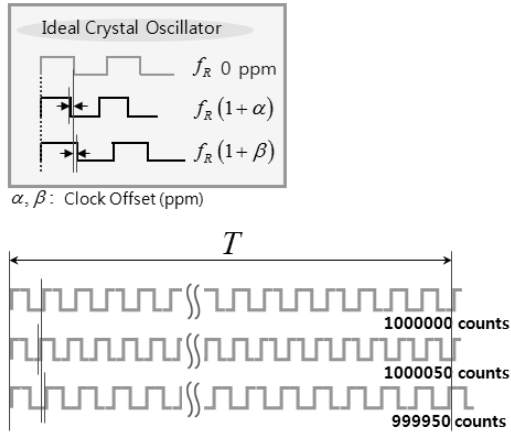


그림 3. 클럭 오프셋에 의한 클럭 정보 오차

클럭 정보의 오차가 지속적으로 커지게 되며, 따라서 시간 정보를 기반으로 하는 무선 측위 시스템에서도 각 센서 노드들이 독립적인 국부 클럭을 사용한다면 위치 추정 결과에 심각한 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 1GHz 주파수의 클럭은 1초 동안 1000000000번 진동하지만, +20ppm의 클럭 오프셋이 있는 경우에는 1초 동안 1000020000번 진동하며, 클럭 정보에서 20000번의 진동 횟수에 해당하는 오차가 발생한다. 이에 대한 오차 시간 정보는 2×10^{-5} 초이며, 결과적으로 +20ppm의 오프셋이 있는 클럭을 사용하여 거리 추정 시 6000m의 상당히 큰 오차가 발생함을 확인할 수 있다. 그림 4는 클럭 오프셋에 의한 오차 정도를 확인하기 위해 클럭 오프셋을 +20ppm으로 놓고 거리를 추정한 결과를 보여주며, 클럭 오프셋이 없는 경우의 TDOA 정보와 클럭 오프셋이 있는 경우의 TDOA 정보의 오차 크기에 따른 확률 분포를 나타내고 있다. 클럭 동작의 시작과 동시에 거리

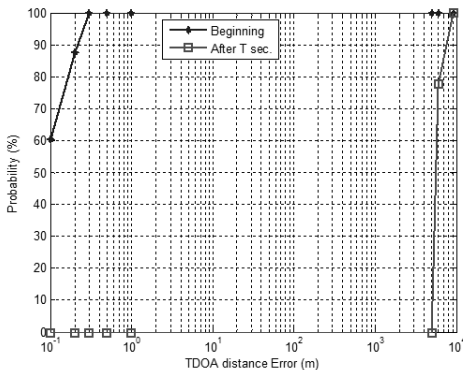


그림 4. 클럭 오프셋에 의한 거리 추정 오차 (T=1s, clock offset = +20ppm)

를 추정한 결과와 일정 시간 후에 거리를 추정한 결과를 비교하였으며, 여기서 일정 시간 T 는 1초로 하였다. 10m 간격 내에 있는 노드 사이의 거리 추정 환경을 고려하였기 때문에 노드 사이에서 신호의 송수신은 수 나노초 단위의 매우 짧은 시간에 이루어지게 되고, 따라서 처음 클럭 동작이 시작되었을 때의 거리 추정 결과는 클럭 오프셋의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 하지만 오프셋을 포함하고 있는 클럭의 동작이 1초만 진행되어도 그 오차가 상당히 커진다는 것을 그림에서 볼 수 있으며, 클럭 동작이 진행될수록 오차는 지속적으로 커질 것이라는 것을 예상할 수 있다.

III. 클럭 오프셋을 고려한 무선 위치 추정 방안

적어도 3개 이상의 고정 노드를 필요로 하는 무선 측위 시스템에서는 동일 주파수의 클럭을 사용하지만, 각 센서 노드가 독립적인 국부 클럭을 사용하기 때문에 각각의 클럭 오프셋이 모두 다르게 발생할 수 있으며, 또 어느 정도의 오프셋이 포함되었는지도 모르기 때문에 클럭 오프셋에 의한 영향이 필연적으로 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해 일반적인 시간 정보 기반의 무선 측위 시스템에서는 각 센서 노드들을 우선으로 연결하여 동일한 클럭을 사용하는 방안을 택하고 있으며, 클럭이 오프셋을 포함하고 있더라도 동일한 오프셋을 가지는 클럭을 사용하기 때문에 거리 추정 결과에는 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만 측위 시스템의 구조 및 설치를 간단히 하기 위해 무선으로만 측위 시스템을 구현한다면 센서 노드들의 국부 클럭 간의 오프셋으로 인한 오차를 보상할 수 있는 방안이 반드시 요구된다.

같은 주파수의 오실레이터라도 설계 시 약간의 상이한 오차 마진이 발생할 수 있으며, 이로 인한 클럭 차이를 클럭 오프셋이라 한다. 무선 측위에 사용되는 모든 센서 노드가 일정 주파수 f 의 클럭을 생성하도록 설계된 오실레이터를 사용한다고 하지만, 실제로 생성되는 클럭은 오실레이터에 따라 $\pm \alpha$ ppm의 오프셋이 발생하게 되며, 시간 정보를 측정할 때 오프셋이 포함된 클럭의 카운트 정보 C_i 를 오프셋을 고려하지 않은 오실레이터의 클럭 주파수 f 로 계산하기 때문에 오차가 발생하는 것이다. 따라서 오프셋을 포함한 클럭 주파수 f_i 를 측정할 수 있다면, 시간 정보를 측정할 때 오차를 보상할 수 있을 것이다. 각 센서 노드가 사용하고 있는 클럭의 오프셋을 고려한 클럭 주파수 f_i 를 측정하기 위해서 그림 5에서처럼 노드 1에서 노

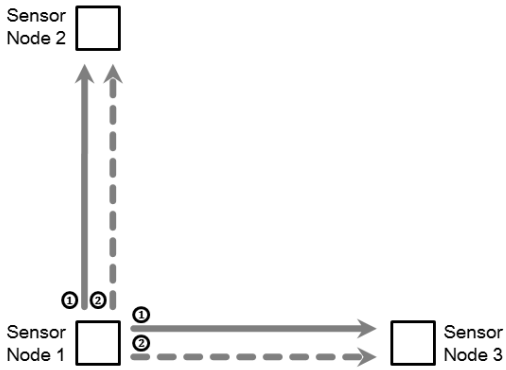


그림 5. 클럭 오프셋에 의한 오차를 보정하기 위한 클럭 주파수 측정 방법

드 2, 3으로 신호를 전송한 후, 노드 1의 클럭 정보를 기준으로 일정 시간 T 이후에 노드 2, 3으로 신호를 재전송한다. 그리고 식 2를 통해 각 센서 노드의 클럭 오프셋을 고려한 클럭 주파수를 측정할 수 있다.

$$T = \frac{C_1}{f} \quad f_2 = \frac{C_2}{T} \quad f_3 = \frac{C_3}{T} \quad (2)$$

이 과정에서 일정 시간 T 를 측정하는 클럭 역시 센서 노드 1의 오프셋이 포함된 클럭이지만, 센서 노드 2, 3의 클럭 정보를 노드 1의 클럭을 기준으로 하여 보정하였기 때문에 위치 추정에 필요한 클럭 정보의 차이에 대한 정보에서는 오차에 영향을 주는 값이 서로 감소되어 오프셋의 영향을 받지 않는다고 할 수 있다. 그림 6에 위 과정으로 클럭 오프셋을 고려한 클럭 주파수를 측정하여 시간 정보를 계산할 때, 거리 추정 결과가 클럭 오프셋에 의한 오차 영향을 받지 않음을 보여주고 있다.

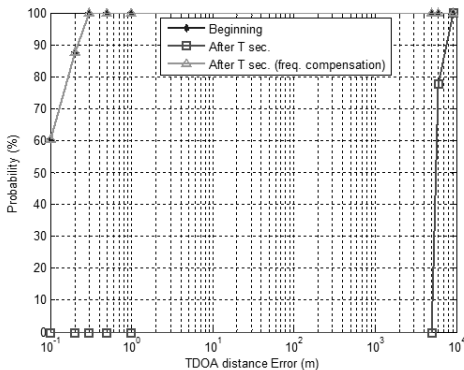


그림 6. 클럭 오프셋에 의한 거리 추정 오차 보정 ($T=1s$, clock offset = +20ppm)

제안하는 무선 위치 추정 방안에서는 각 센서 노드의 클럭 오프셋을 고려한 클럭 주파수의 측정이 완료되면, 태그의 위치 추정을 위해 그림 7과 같은 전송 과정을 거친다. 태그에서 송신한 신호를 각 센서 노드에서 수신하고, 노드 1에서는 태그의 신호를 수신한 후, 노드 2, 3으로 신호를 다시 전송한다. 노드 2, 3에서는 노드 1에서 전송한 신호의 수신 시점을 기록하고 무선 측위 시스템의 고정 센서 노드 사이의 거리 정보로 알 수 있는 센서 노드 간의 전송 시간 정보 D 를 이용하여 각 노드의 기준 시점을 동일하게 맞출 수 있다. 그림 8은 제안하는 방안에서의 태그 및 노드 사이의 신호 송수신 과정을 나타내고 있으며, 식 3을 이용하여 위치 추정에 필요한 TDOA 정보를 얻을 수 있다⁸⁾. 식 3의 T_{n1} 은 센서 노드 1에서 센서 노드 2, 3으로 신호를 송신한 시간이고, R_{n2}^t , R_{n2}^r , R_{n3}^t 은 태그에서 전송한 신호를 센서 노드 1, 2, 3이 각각 수신한 시간이며, R_{n2}^{n1} , R_{n3}^{n1} 는 센서 노드 1에서 전송한 신호를 센서 노드 2, 3이 수신한 시간이다. D 는 센서 노드 사이의 거리 정보를 이용하여 측정할 수 있는 노드 1에서 노드 2, 3으로 신호를 전송하는데 걸리는 시간이며, 센서 노드 1, 2 사이의 거리와 센서 노드 1, 3 사이의 거리가 같다고 가정하여 동일하게 D 로 표현하였다.

$$\begin{aligned} T_{n1} - R_{n1}^t &= T_1 \\ R_{n2}^{n1} - D - R_{n2}^t &= T_2 \\ R_{n3}^{n1} - D - R_{n3}^t &= T_3 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} T_2 - T_1 &= T_{21} \\ T_3 - T_1 &= T_{31} \\ T_3 - T_2 &= T_{32} \end{aligned}$$

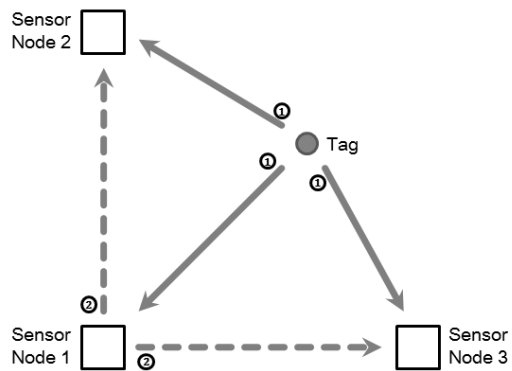


그림 7. 클럭 오프셋을 고려한 클럭 주파수 측정 후, 거리 인지 및 위치 추정을 위한 신호의 전송 방법

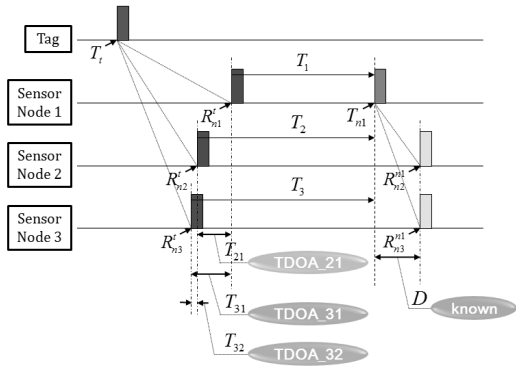


그림 8. 제안하는 방안의 거리 인지 및 위치 추정을 위한 신호의 전송 방법에서 태그와 센서 노드의 송수신 흐름도

태그의 단방향 통신에 의한 위치 추정을 위해서는 각 센서 노드의 클럭 동기가 맞춰져야 측정된 시간 정보로부터 위치 추정에 필요한 TDOA 정보를 얻을 수 있으며, 따라서 클럭 동기화가 사전에 이루어져 클럭 동기를 맞춰야한다. 하지만, 거리 인지 및 위치 추정 시에 그림 7과 같이 신호를 전송함으로써 제안하는 위치 추정 방안에서는 별도의 동기화 과정을 필요로 하지 않는 이점을 가지며, 앞서 클럭 오프셋을 고려하여 측정된 클럭 주파수로 각 센서 노드에서의 시간 정보를 측정하여 클럭 오프셋에 영향을 받지 않는 위치 추정 결과를 얻을 수 있다.

IV. 모의실험

본 논문에서는 독립적인 국부 클럭을 사용하는 무선 측위 시스템에서 정확한 위치 추정을 위하여 무선 동기 및 클럭 오프셋을 고려한 위치 추정 방안을 제안

표 1. IEEE 802.15.4a TG에서 분류된 UWB 채널 모델

채널 모델	특징
CM1	- LoS (Line-of-Sight) Residential - 송수신단 거리 7~20 m - 동작 주파수 대역폭 ~10 GHz
CM2	- NLoS (Non-LoS) Residential - 송수신단 거리 7~20 m - 동작 주파수 대역폭 ~10 GHz
CM3	- LoS Office - 송수신단 거리 3~28 m - 동작 주파수 대역폭 2~8 GHz
CM4	- NLoS Office - 송수신단 거리 3~28 m - 동작 주파수 대역폭 2~8 GHz
CM5	- LoS Outdoor - 송수신단 거리 5~17 m - 동작 주파수 대역폭 3~6 GHz
CM6	- NLoS Outdoor - 송수신단 거리 5~17 m - 동작 주파수 대역폭 3~6 GHz
CM7	- LoS Industrial - 송수신단 거리 2~8 m
CM8	- NLoS Industrial - 송수신단 거리 2~8 m
CM9	- Farm

하였다. 위치 추정 결과가 클럭 오프셋에 의한 오차에 영향을 받지 않도록 하기 위해 제안하는 방안의 클럭 오프셋을 고려하여 측정된 클럭 주파수를 사용하여 시간 정보를 계산하였으며, 클럭 오프셋의 영향을 확인하기 위하여 -40ppm에서 +40ppm의 오프셋을 임의로 포함시킨 클럭 정보를 사용하여 IEEE 802.15.4a TG에서 제시한 채널 모델 7 (CM7)에서 위치 추정 결과를 확인하기 위한 측위 실험을 진행하였다. 그림 9는 그림 7과 같은 위치에 센서 노드를 10m

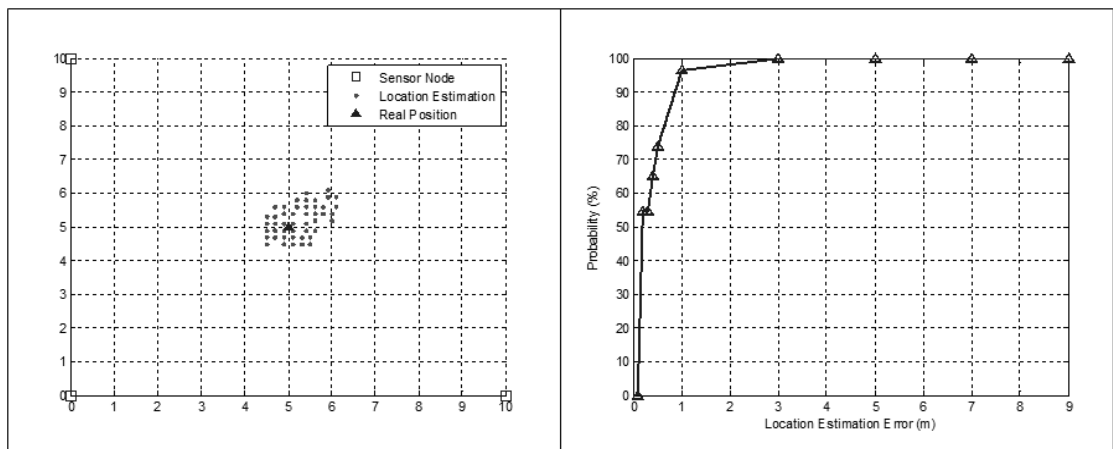


그림 9. 위치 추정 실험 결과 [태그 좌표 : (5, 5)]

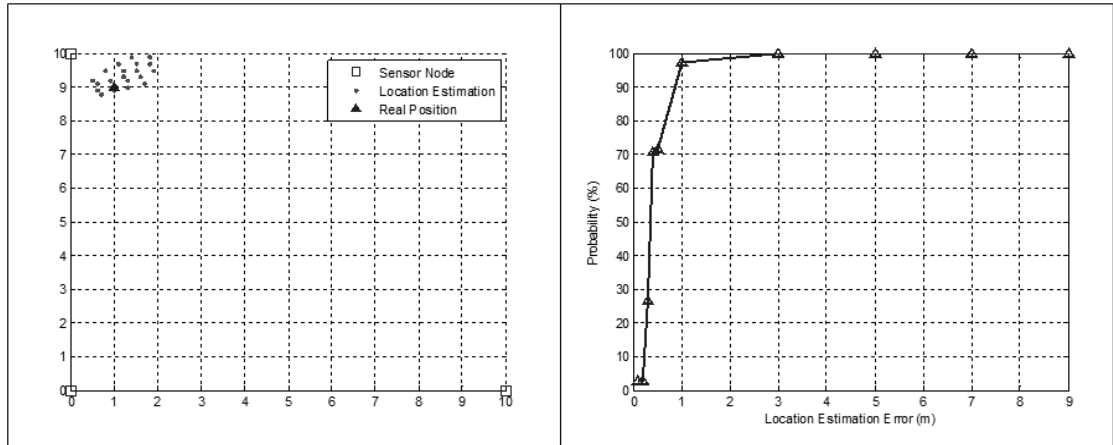


그림 10. 위치 추정 실험 결과 [태그 좌표 : (1,9)]

간격으로 고정하고 (5,5) 좌표 위치에 있는 태그의 측위 실험을 1000회 실시하여 얻은 위치 추정 결과와 오차 범위의 확률 분포를 나타내었으며, 95% 이상이 1m 범위 내로 위치 추정을 하고 있음을 알 수 있다. 그림 10은 같은 조건의 환경에서 태그의 위치 좌표가 (1,9)인 경우의 위치 추정 결과이며, 역시 95% 이상이 1m 범위 내로 위치 추정을 하고 있음을 알 수 있다. 실험 결과를 통하여 클럭 오프셋을 고려한 클럭 주파수를 측정하여 각 센서 노드의 클럭 주파수를 보정하면, 위치 추정 결과가 클럭 오프셋에 의한 오차 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

V. 결 론

정확한 위치 추정을 위해서는 위치를 찾고자 하는 태그와 무선 측위 시스템의 센서 노드 사이의 거리 인지 결과가 중요하며, 거리 인지 정밀도에 영향을 주는 요인 중 하나가 각 노드 간에 클럭 오프셋이다. 클럭 오프셋으로 인하여 각 노드에서 측정되는 시간 정보에 오차가 발생하며, 이를 이용한 위치 추정 결과 역시 심각한 영향을 받는다. 본 논문에서는 위치 추정을 하는데 있어서 클럭 오프셋에 의한 영향을 받지 않기 위해 각 노드의 클럭 주파수를 클럭 오프셋을 고려한 클럭 주파수로 보정하여 시간 정보를 측정하는데 사용하는 방안을 제안하였다. 제안하는 무선 측위 방안은 클럭 오프셋에 의한 오차에 영향을 받지 않으며, 별도의 클럭 동기화 과정 없이 거리 인지 및 위치 추정이 가능하다는 이점이 있다. 제안하는 방안의 위치 추정 결과를 확인하기 위하여 모의실험을 수행하였으며, 그 결과를 통하여 각 노드가 독립적인 국부 클럭

을 사용할 때 발생하는 클럭 오프셋의 영향을 받지 않는 위치 추정이 가능하다는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] F. Chin, Zhi. Wanjun and Ko. Chi-Chung, "System performance of IEEE 802.15.4 low rate wireless PAN using UWB as alternate-PHY layer," *Proc. IEEE Conference on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2003)*, Vol.1, pp.487-491, Sept. 2003.
- [2] J.C. Adams, W. Gregorwich, L. Capots, and D. Liccardo, "Ultra-Wideband for Navigation and Communications," *Proc. IEEE on Conference Aerospace*, Vol.2, pp.785-792, March 2001.
- [3] R.J. Fontana, S.J. Gunderson, "Ultra-Wideband Precision Asset Location System," *Proc. IEEE Conference on UWB Systems and Technologies (UWBST)*, pp.147-150, May 2002.
- [4] K. Pahlaven and X. Li, "Indoor geolocation science and technology," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.40, No.2, pp.112-118, Feb. 2002.
- [5] V. Brethour, "Two way ranging using tracking information to manage crystal offset," *IEEE 802.15 WPAN documents*, 15-05-0336-r00.
- [6] R. Hach, "Symmetric double side- two way ranging," *IEEE 802.15 WPAN documents*, 15-05-0334-r00.
- [7] B. Zhen, H.B. Li, R. Kohno, "Clock Offset Compensation in Ultra-Wideband Ranging,"

IEICE Trans. Fundamentals, vol.E89-A, no.11, pp.3082-3088, November 2006.

- [8] K. Mizugaki, R. Fujiwara, T. Nakagawa, G. Ono, T. Norimatsu, T. Terada, M. Miyazaki, Y. Ogata, A. Maeki, S. Kobayashi, N. Koshizuka, K. Sakamura, "Accurate Wireless Location/Communication System With 22-cm Error Using UWB-IR," *Proc. IEEE Conference on Radio and Wireless Symposium (RWS 2007)*, pp455-458, Jan. 2007.
- [9] IEEE 802.15-TG4a, Channel Modeling sub-Committee, "Channel Modeling sub-committee Report Final," available at <http://ieee802.org/15/pub/TG4a.html>.

박재욱 (Jae Wook Park)

준회원



2009년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
 2009년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> Position Location based on UWB, RFID, 유전자 알고리즘

강지명 (Ji Myung Kang)

정회원



2004년 서울대학교 컴퓨터공학부 학사
 2006년 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 석사
 2006년~현재 한국전기연구원 전기정보망 연구그룹 근무
 <관심분야> 무선 네트워크, 센서 네트워크, 전력선 통신

이원철 (Won Cheol Lee)

종신회원



1986년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
 1988년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
 1994년 New York Polytechnic Univ. Electronic Eng. 박사
 1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
 <관심분야> Cognitive Radio, SDR 기술, Position Location based on UWB, CDMA2000 / WCDMA, Smart Antenna

최용성 (Yong Sung Choi)

준회원



2010년 2월 남서울대학교 정보통신공학과 학사
 2010년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> Position Location based on UWB, RFID