

# 클럭 오프셋과 무선동기를 고려한 실내 무선측위 정밀도 향상 기법

임 이 랑\*, 강 지 명\*, 이 순 우\*, 박 영 진\*, 이 원 철\*\*, 신 요 안°

## Precision Improvement of Indoor Wireless Positioning by Considering Clock Offsets and Wireless Synchronization

Erang Lim\*, Jimyung Kang\*, Soonwoo Lee\*, Youngjin Park\*, Woncheol Lee\*\*, Yoan Shin°

### 요 약

실내 무선측위 시스템은 정확한 태그 위치를 측정하기 위하여 비콘의 거리 정보를 사용한다. 시스템은 비콘과 태그 사이의 거리를 추정하기 위해서, 독립적인 클럭 오프셋을 포함하는 각 비콘에 도착하는 태그 펄스의 시간 정보를 계산한다. 이러한 클럭 오프셋은 비콘의 측위와 위치 추정 성능에 심각한 영향을 미친다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 클럭 오프셋 보정 기법을 제안한다. 제안하는 기법의 성능을 검증하기 위하여 랜덤하게 -1,000ppm~1,000ppm 사이의 클럭 오프셋을 가지는 상황에서 측위 실험을 진행하였으며, 모의실험 결과를 통하여 제안하는 기법이 클럭 오프셋 문제를 효율적으로 해결할 수 있음을 확인하였다.

**Key Words** : Clock Offset, Calibration, Wireless Positioning, Ranging, Location Estimation

### ABSTRACT

Indoor wireless positioning system uses ranging information of beacons in order to precisely estimate a tag location. To estimate distance between each beacons and tag, the system calculates arrival time of a tag pulse with clock of each beacon including independent clock offset. This clock offset seriously affects the performance of ranging and positioning. We propose in this paper a clock offset compensation method to solve this problem. To verify the performance of the proposed method, we simulated location estimation with random clock offset between -1,000ppm and 1,000ppm, and the result shows that the proposed scheme effectively solves the clock offset problem.

### I. 서 론

최근 각광 받고 있는 위치 기반 서비스 (Location Based Service)의 구현을 위해서는 실내 및 실외에서의 정밀한 무선측위 (Wireless Positioning 또는 Wireless Localization) 기술이 필

수적으로 요구된다. 실외에서는 위성간 클럭 동기화된 GPS (Global Positioning System) 신호의 수신 이 가능하기 때문에 이 기술을 이용한 무선측위가 가능하다. 하지만 실내 환경에서는 GPS 신호의 수신 이 어렵기 때문에 이에 적합한 별도 무선측위 시스템이 요구된다.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업 (NIPA-2012-H0401-12-1004)의 연구 결과로 수행되었음.

◆ 주저자 : 송실대학교 대학원 정보통신공학과, erang@ssu.ac.kr, 준회원

° 교신저자 : 송실대학교 정보통신전자공학부, yashin@ssu.ac.kr, 종신회원

\* 한국전기연구원 전기정보망연구센터, jmkang@keri.re.kr, 정회원, rheesw@keri.re.kr, 정회원, yjparkkeri.re.kr, 정회원

\*\* 송실대학교 정보통신전자공학부, wlee@ssu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-09-463, 접수일자 : 2012년 9월 27일, 최종논문접수일자 : 2012년 9월 28일

일반적으로 무선측위를 위해서는 측위 시스템의 비콘 (Beacon)과 위치 정보를 요구하는 태그 (Tag) 사이의 거리 정보가 필요하다. 이렇게 두 장치간의 거리 정보를 추정하기 위하여 ToA (Time of Arrival), TDoA (Time Difference of Arrival) 등과 같이 시간 정보를 기반으로 하는 무선측위 기법이 주로 이용되고 있으며, 본 논문에서는 TDoA를 사용하는 경우를 고려한다.

일반적으로 무선측위 시스템이 고해상도의 측위 성능을 지원하기 위해서는 UWB (Ultra Wide Band)와 같이 펄스폭이 매우 짧은 신호를 사용해야 한다. 이에 비콘은 이러한 신호가 수신되는 지점을 정확하게 검출하기 위해서 적어도 약 1GHz의 고주파수 클럭으로 설계되어야 한다. 하지만 클럭에는 ppm (part per million) 단위의 미세한 독립적인 오프셋이 존재하기 때문에 추정된 시간 정보에는 오차가 발생하게 된다<sup>[1,2]</sup>. 이러한 클럭 오프셋의 영향은 무선측위 시스템의 성능 열화를 초래한다. 따라서 실내 무선측위에서 요구하는 고해상도의 측위 성능을 보장하기 위해서는 비콘들 사이의 클럭 오프셋 보정이 필수적이다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위한 관련 기술로서, 참고문헌 [3]에서는 특정 비콘이 일정 시간 간격으로 펄스를 두번 전송하여 자신을 제외한 다른 비콘의 오프셋이 포함된 실제 클럭 주파수를 측정 한 후 OWR (One Way Ranging) 기반으로 태그의 위치를 측위하는 기법을 제안하였다. 하지만 이 경우 펄스를 전송한 비콘의 실제 주파수는 측정할 수 없기 때문에, 오프셋이 없는 이상적인 주파수로 가정하여 태그를 측위를 진행하며 이는 다른 형태의 오차를 발생시킨다. 또 다른 기술로서 참고문헌 [4]에서는 SDS-TWR (Symmetric Double Sided - Two Way Ranging)를 이용하여 비콘의 내부 지연값과 비콘 간의 거리 및 비콘과 태그 사이의 거리를 추정하고, 비콘의 클럭 오프셋을 추정하는 방안을 제시하였다. 하지만 두번의 TWR을 진행하게 됨으로써 펄스 전송 횟수가 증가하여 전력 소모 측면에서 비효율적이며, 펄스를 수신하고 일정 시간 지연 후 다시 펄스를 전송하는 반사 로직이 필요하게 되어 복잡도가 증가된다.

본 논문에서는 위치 추정 결과에 영향을 주는 비콘들의 클럭 오프셋을 보정하여 비콘과 태그 사이의 시간 정보를 보상하고, 이를 이용하여 태그의 위치를 추정하는 실내 무선측위 기술을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 거리 인지

및 무선측위에서 클럭 오프셋이 위치 추정 결과에 미치는 영향에 대해 설명하고, III장에서는 제안 기법인 클럭 오프셋을 보정한 무선측위 기법에 대해 설명한다. 그리고 IV장에서는 모의실험을 통해 제안 기법의 성능을 확인하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 클럭 오프셋으로 인한 거리 인지 및 무선측위 오차

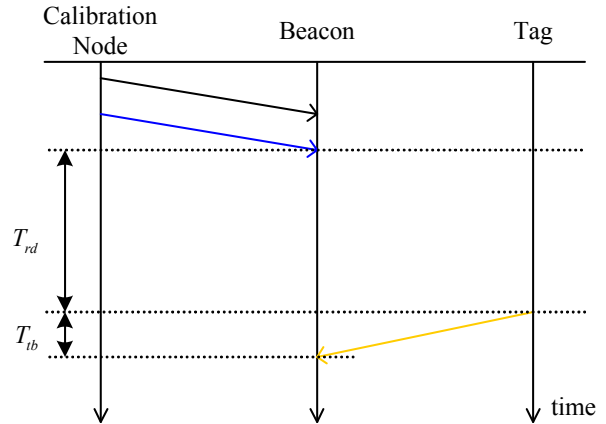


그림 1. 비콘과 태그 사이의 거리 추정 과정  
Fig. 1. Ranging procedure between beacons and a tag

비콘과 태그 사이의 거리를 추정하기 위해서는 그림 1에서와 같이 비콘에 수신된 보정 노드 (Calibration Node)의 두번째 펄스와 태그의 위치 추정 펄스 (Positioning Pulse) 사이의 시간 정보를 측정해야 한다. 이 때 비콘들의 카운터는 독립적인 클럭 오프셋을 가지기 때문에 각각의 비콘에서 추정된 시간 정보에는 오차가 포함되게 된다. 이렇게 오차가 포함된 시간 정보를 ToA, TDoA와 같은 삼각측량 기법에 이용하게 되면 무선측위 성능의 열화를 초래하게 된다. 비콘에서 측정된 시간 정보의 오차 정도를 추정하기 위한 수식은 식 (1)과 같다<sup>[5]</sup>.

$$t_{offset} - t_{ideal} = \frac{(T_{rd} + T_{tb})(f_{offset} - f)}{f} \quad (1)$$

여기서,  $f_{offset}$  와  $f$ 는 각각 비콘의 클럭 주파수 오프셋과 이상적인 클럭 주파수이고,  $T_{rd}$ 는 비콘에 가장 최근에 도착한 보정 노드의 펄스와 태그가 펄스를 송신한 시점 사이의 시간이다. 그리고  $T_{tb}$ 는 태그가 송신한 펄스가 비콘까지 도착하는데 걸리는

시간,  $t_{offset}$ 는 비콘에 클럭 오프셋이 있을 때 측정되는 오차가 포함된 시간 정보,  $t_{ideal}$ 는 클럭 오프셋이 없을 때 측정되는 실제 시간 정보이다.

그림 1과 식 (1)을 보면 클럭 오프셋으로 인한 오차는 보정 노드의 펄스가 비콘에 수신된 다음 긴 시간 후에 태그가 위치 추정 펄스를 전송하는 경우, 즉  $T_{td}$ 보다 상대적으로 큰 값인  $T_{rd}$ 가 길어질수록 클럭 오프셋이 누적되어 오차가 지속적으로 커지게 된다. 이와 같이 누적된 클럭 정보의 오차는 태그의 위치 추정 결과에 심각한 오차를 발생시키는 요인이 된다<sup>6,7)</sup>.

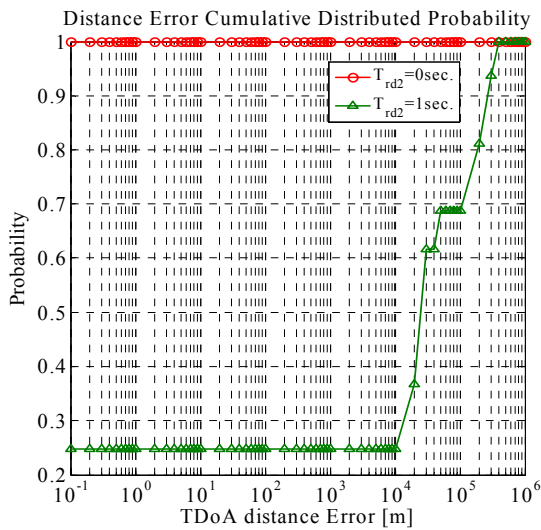


그림 2. 클럭 오프셋에 의한 거리 추정 오차 (클럭 오프셋: -1,000ppm~1,000ppm)  
Fig 2. Ranging error by the clock offset (clock offset: -1,000ppm~1,000ppm)

그림 2는 클럭 오프셋에 의한 오차 정도를 확인하기 위해 주파수 1GHz에 -1,000ppm~1,000ppm 사이의 랜덤한 오프셋을 포함할 때 발생하는 거리 추정 결과의 오차 크기에 따른 누적확률분포를 나타낸다.  $T_{rd}$ 가 0초일 때는 누적되는 클럭 오프셋이 없기 때문에 거리 추정 결과에 오차가 발생하지 않지만,  $T_{rd}$ 가 1초일 때 1,000ppm의 클럭이 있는 경우에는 클럭 오프셋이 누적되어  $1.001 \times 10^9$ 번 진동하며, 클럭 정보에는  $10^6$ 번의 진동 횟수에 해당하는 오차가 발생한다. 이에 대한 오차 시간 정보는  $10^{-3}$ 초이며, 결과적으로 1,000ppm의 오프셋이 있는 클럭을 사용하여 거리 추정 시  $3 \times 10^5$ m라는 상당히 큰 오차가 발생함을 확인할 수 있다. 이에  $T_{rd}$ 가 커질수록 오차는 지속적으로 커질 것이라는 것을 예상할 수 있다.

### III. 클럭 오프셋을 보정한 실내 무선측위 기법

II장에서는 무선측위 시스템에서 오프셋이 포함된 클럭을 사용했을 경우  $T_{rd}$ 에 따른 거리 추정 오차에 대해 살펴보았다. 본 장에서는 비콘의 오프셋이 포함된 클럭 카운트 정보를 보정하는 기법 두가지를 제안한다.

#### 3.1 제안기법 1: 보정 노드를 사용한 클럭 오프셋 보정 기법

제안된 기법은 비콘 간의 상대적인 주파수 비율인  $f_i$ 를 추정하기 위해 그림 3와 같은 무선측위 모델을 사용하며, 보정 노드는 일정 시간 간격으로 보정 펄스 (Calibration Pulse)를 비콘들에게 두번 송신한다. 비콘에서 얻은 두개의 카운트 값으로 비콘들 사이에 클럭 오프셋 보정 및 동기화를 마친 후, 태그가 송신하는 위치 추정 펄스를 가지고 태그의 위치 정보를 추정한다.

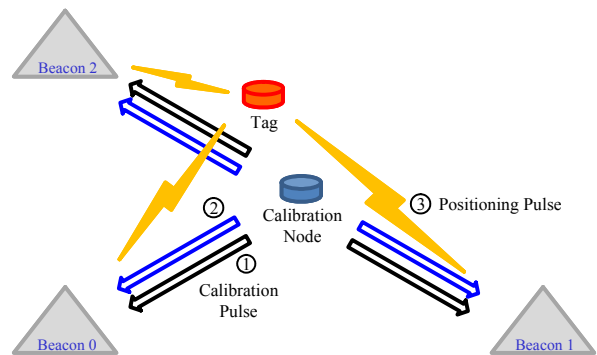


그림 3. 제안된 무선측위 기법 1의 시스템 모델  
Fig. 3. System model of the proposed wireless positioning scheme 1

##### 3.1.1. 단계 1: 상대적인 클럭 주파수 비율 측정

본 단계에서는 비콘의 클럭 오프셋을 보정한 클럭 주파수  $f_i$ 를 측정하기 위해, 그림 3에서와 같이 보정 노드에서 모든 비콘에게 신호를 전송한 후 일정 시간  $T$  이후에 모든 비콘에게 신호를 재전송한다. 그리고 식 (2)를 통해 각 비콘의 상대적인 클럭 주파수 비율을 측정할 수 있다.

$$f_i = \frac{C_{i,2} - C_{i,1}}{C_{0,2} - C_{0,1}} \quad (2)$$

여기서  $C_{i,1}$ ,  $C_{i,2}$ 는 각각 비콘  $i$ 가 수신한 제1 및 제2 보정 펄스의 클럭 카운트 값이다.

$C_{i,2} - C_{i,1}$ 은 비콘  $i$ 에서  $T$ 초 동안 진동하는 클럭의 오프셋이 포함된 카운트 값이며, 이 값을 비콘 0를 기준으로 상대적인 클럭 주파수 비율  $f_i$ 을 측정한다.

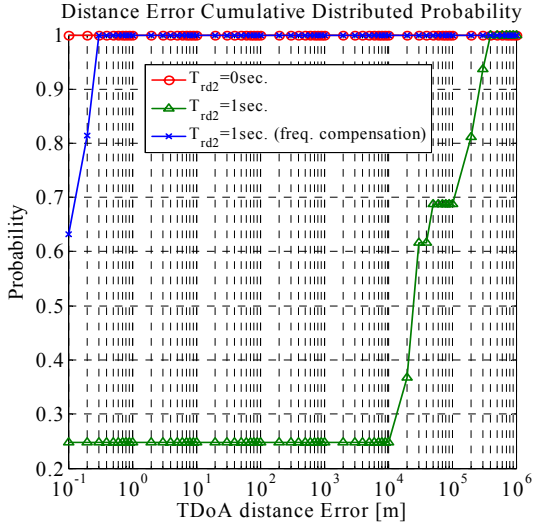


그림 4. 클럭 오프셋에 의한 거리 추정 오차 보상 (클럭 오프셋: -1,000ppm~1,000ppm)  
Fig 4. Ranging error compensation by the clock offset (clock offset: -1,000ppm~1,000ppm)

그림 4는 클럭 오프셋에 의한 거리 추정 오차 정도와 제안하는 클럭 오프셋 보정 알고리즘의 거리 추정 오차 정도를 비교하기 위해, 그림 2와 같은 환경에서  $f_i$ 를 사용한 거리 추정 오차 크기에 따른 누적확률분포를 나타내고 있다. 본 논문에서 제안하는 클럭 오프셋 보정 기법을 적용한 거리 추정 오차는 기존의  $3 \times 10^5$ m보다 월등히 향상된 약 0.3m 이내가 됨을 확인할 수 있다.

3.1.2. 단계 2: 오프셋을 보정한 무선측위

그림 5는 제안된 무선측위 기법 1의 시스템 모델에서 진행되는 신호 송수신 과정을 시간에 따라 나타내고 있다. 여기서 ①과 ②는 각각 비콘에 수신된 제1 보정 펄스와 제2 보정 펄스이고, ③은 비콘에 수신된 위치 추정 펄스이다. ②는 각 비콘에 대하여 펄스 ②를 동기화한 시점이다. 그림 5와 같은 신호 송수신 과정을 감안할 때, 본 단계 2에서는 비콘 간의 무선동기 과정을 마친 후에 단계 1의 식 (2)에서 측정된  $f_i$ 를 식 (3)에 사용하여 오프셋이 포함된 태그와 비콘 사이의 클럭 카운트 정보를 보정한다.

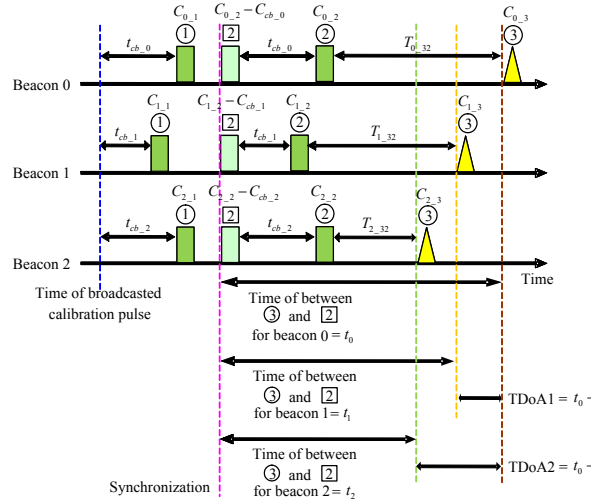


그림 5. 제안된 무선측위 기법 1의 시간에 따른 신호 송수신 과정  
Fig. 5. Transmission and receiving procedures of the proposed wireless positioning scheme 1 according to time

$$C_i = \frac{C_{i,3} - (C_{i,2} - C_{cb,i}) + \left\lfloor \frac{T_{i,32}}{T_c} \right\rfloor C_{\max}}{f_i} \quad (3)$$

여기서  $C_{i,2}$ 와  $C_{i,3}$ 은 각각 펄스 ②와 ③이 비콘  $i$ 에 수신됐을 때의 카운트 값이며,  $C_{cb,i}$ 는 보정 노드에서 전송한 보정 펄스가 비콘  $i$ 에 수신되기까지 소요되는 시간에 해당하는 카운트 값이다.  $T_{i,32}$ 는 펄스 ③과 펄스 ②가 비콘  $i$ 에 수신된 시간차이다. 또한  $T_c$ 는 비콘에 포함된 카운터의 주기이며,  $C_{\max}$ 는 카운터가 가질 수 있는 최대 카운트 값이다.

본 논문의 무선측위 시스템은 보정 노드와 비콘의 위치를 알고 있다고 가정하기 때문에, 보정 노드와 비콘 사이의 시간 정보인  $t_{cb,i}$ 는 식 (4)와 같이 나타난다.

$$t_{cb,i} = d_{cb,i}/c \quad (4)$$

윗 식에서  $c$ 는 광속인  $3 \times 10^8$  m/sec이다. 클럭 카운트 정보인  $C_{cb,i}$ 는 보정 노드와 비콘 사이의 거리에 해당하는 시간 정보  $t_{cb,i}$ 와 이상적인 클럭 주파수  $f$ 의 곱으로 표현할 수 있다. 태그와 비콘 사이의 보정된 클럭 카운트 정보  $C_i$ 는  $C_{i,2} - C_{cb,i}$ 를 통해 비콘들을 시점 ②로 동기화하고, 펄스 ②와 ③ 사이에 반복된 카운터 주기에 해당하는 최대 카운

트를 더하여 태그와 비콘 사이의 동기화된 클럭 카운트 정보를 측정한 후, 상대적인 주파수 오프셋 비율  $f_i$ 로 나눠서 비콘들의 클럭 오프셋을 보정한 것이다.  $C_i$ 를 사용한 보정된 TDoA는 식 (5)와 같이 나타난다.

$$TDoA_i = (C_0 - C_i) / f_0 = t_0 - t_i \quad (5)$$

이와 같이 보정된 클럭 카운트 정보들을 사용하여 TDoA를 계산하면 클럭 오프셋에 영향을 최소화한 위치 추정 결과를 얻을 수 있다.

### 3.2 제안기법 2: 보정 노드를 사용하지 않는 클럭 오프셋 보정 기법

제안기법 1에서 우리는 클럭 주파수 오프셋 보정을 위해 보정 노드를 사용하는 추정 기법을 제안한 바 있다. 이와는 달리 본 기법에서는 클럭 오프셋 보정에 필요한 상대적인 클럭 주파수 오프셋 비율  $f_i$ 를 추정하기 위해, 그림 6에서와 같이 이러한 보정 노드를 사용하지 않는 새로운 무선측위 모델을 제안한다.

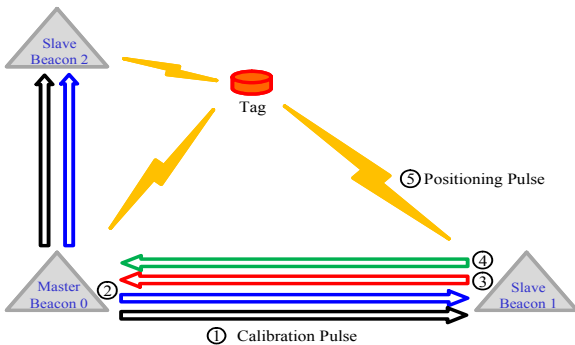


그림 6. 제안된 무선측위 기법 2의 시스템 모델  
Fig. 6. System model of the proposed wireless positioning scheme 2

#### 3.2.1. 단계 1: 상대적인 클럭 주파수 비율 측정

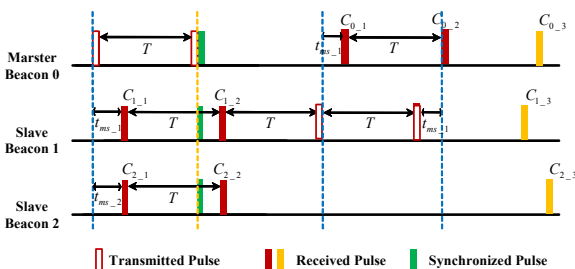


그림 7. 제안된 무선측위 기법 2의 시간에 따른 신호 송수신 과정  
Fig. 7. Transmission and receiving procedures of the proposed wireless positioning scheme 2 according to time

그림 7과 같이 마스터 비콘 (Master Beacon)은  $T$  라는 일정 시간 간격으로 보정 펄스를 슬레이브 비콘 (Slave Beacon)들에게 송신하고, 이를 수신한 슬레이브 비콘 1은  $T$ 초,  $2T$ 초 후에 보정 펄스를 마스터 비콘에게 송신한다. 그리고 제안기법 1과 마찬가지로 식 (2)을 통해  $f_i$ 를 측정한다.

#### 3.2.2. 단계 2: 오프셋을 보정한 무선측위

앞의 단계 1에서 측정한  $f_i$ 를 식 (6)에 사용하여 오프셋이 포함된 비콘과 태그 사이의 클럭 카운트 정보를 보정한  $C_i$ 를 측정하고, 식 (5)를 사용하여 TDoA 값을 구한다.

$$C_i = \begin{cases} \frac{C_{i-3} - (C_{i-2} - 2(T + t_{ms-1})f_i)}{f_i}, & i = 0 \\ \frac{C_{i-3} - (C_{i-2} - t_{ms-i}f_i)}{f_i}, & i \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

여기서,  $t_{ms-i}$ 는 마스터 비콘과 슬레이브 비콘  $i$  사이에 해당되는 시간 정보이다. 제안기법 2에서는 보정 노드를 사용하지 않으므로 시스템 비용이 절감되는 장점이 있지만, 슬레이브 비콘 1에서 펄스 반사 로직이 필요하여 노드의 복잡도를 높이며 반사 시간 오차에 따라 무선측위 결과는 민감해질 수 있는 단점이 있다.

## IV. 제안된 기법에 대한 무선측위 성능 평가 분석

표 1. 제안된 무선측위 기법을 위한 모의실험 파라미터  
Table 1. Simulation parameters for the proposed wireless positioning schemes

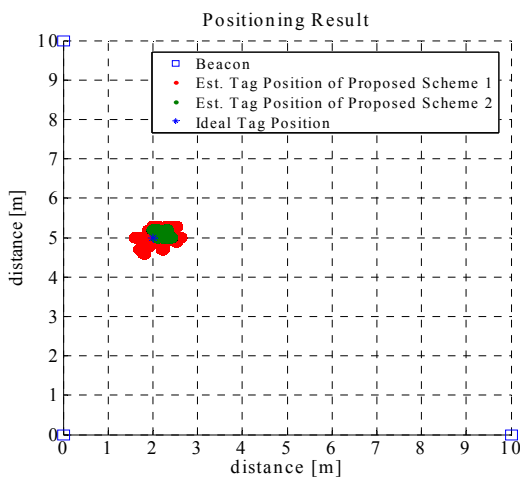
parameter	value
ideal frequency ( $f$ )	1GHz
clock offset	-1,000ppm~1,000ppm
maximum counter value ( $C_{max}$ )	$2^{32} - 1$
counter period ( $T_c$ )	$C_{max} / f$ sec
transmission period of calibration node and slave beacon ( $T$ )	1 sec
calibration node position	(5,5)
beacon position	MB <sub>0</sub> (0,0), SB <sub>1</sub> (10,0), SB <sub>2</sub> (0,10)
tag position	(2,5)

본 논문에서는 클럭 오프셋을 보정한 무선측위

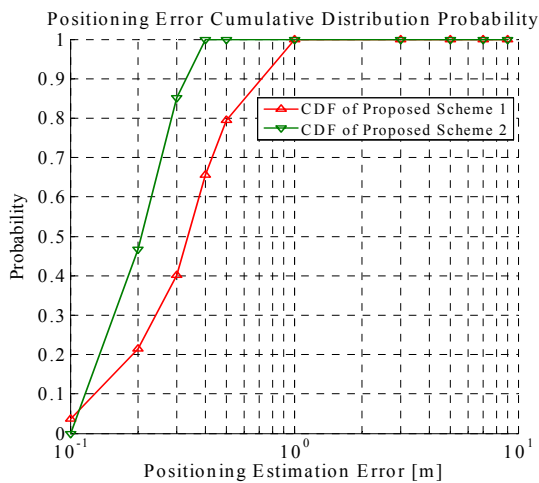


기법의 성능 검증을 위하여 표 1과 같은 환경에서 모의실험을 수행 하였다.

그림 8(a)는 그림 3 및 6과 같은 실험 환경에서 무선측위 실험을 1,000회 실시하여 얻은 위치 추정 결과이다. 한편 그림 8(b)는 오차 범위의 확률분포를 나타내고 있으며, 오차 범위는 제안기법 1의 경우 50cm 내로, 제안기법 2의 경우 30cm 내로 위치 추정을 하고 있음을 알 수 있다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 클럭 오프셋이 존재하는 무선측위 시스템에서 클럭 주파수 비율을 측정하여 각 비콘의 클럭 주파수를 보정하면, 클럭 오프셋에 의한 위치 추정 결과의 오차를 최소화 할 수 있음을 확인하였다.



(a) 태그 위치 추정 결과



(b) 위치 추정 오차 범위 누적확률분포

그림 8. 제안된 기법 1과 2의 태그 위치 추정 결과 및 위치 추정 오차 성능 비교

Fig 8. Comparison of positioning result and positioning error performance between proposed schemes 1 and 2

표 2는 본 논문에서 제안하는 기법을 포함한 각 측위 방법에서 필요한 펄스 수를 비교한 것이다. RTT (Round-Trip Time) 기반의 일반적인 비동기식 ToA 무선측위에서는 3개의 비콘을 사용한다고 가정하였을 때, 태그에서는 비콘의 개수만큼 펄스를 전송해야 하므로 태그 전력 소모가 크다는 단점이 있다. 간접 ToA의 경우 마스터 비콘에서 전송한 펄스를 슬레이브 비콘과 태그가 수신하면, 태그에서는 일정 응답 지연시간 후에 다시 모든 비콘에서 펄스를 전송한다. 여기서 태그는 반사 로직이 필요하게 되며, 클럭 오프셋 문제를 해결할 수 없다는 단점이 있다. TDoA의 경우에는 비콘 간에 무선동기를 가정하면 클럭 오프셋에 의한 문제는 발생하지 않지만, 시스템 설치 측면에서 무선동기에 비해 상대적으로 제약이 따르게 되는 단점이 있다. 간접 TDoA의 경우에는 무선동기가 가능하지만 마스터 비콘에 반사 로직이 필요하게 되고 클럭 오프셋 문제를 해결할 수 없다는 단점이 있다. 제안기법 1에서는 무선측위 시스템을 구축하는 초기에 보정 노드의 2번의 보정 펄스로 클럭 오프셋 문제와 무선동기가 해결되고, 이 후에는 보정 노드의 펄스 전송이 없기 때문에 태그가 전송하는 1개의 펄스만으로도 무선측위가 가능하다. 제안기법 2에서는 보정 노드를 사용하지 않음으로써 시스템 비용 절감이 가능하지만, 제안기법 1에 비해 초기 보정 펄스 전송 횟수가 2번 더 많고, 마스터 비콘에 반사 로직이 필요하다는 단점이 있다.

표 2. 제안된 무선측위 기법을 포함한 각 측위 방법에서 필요한 펄스 수

Table 2. The number of required pulses in wireless positioning techniques including the proposed positioning schemes

scheme	reflection logic	# of total transmission pulses	# of total received pulses	remark
ToA	O (tag)	6	6	RTT-based
indirect ToA	O (tag)	2	6	offset error accumul.
TDoA	X	1	3	wired synch. among beacons
indirect TDoA	O (beacon)	2	5	offset error accumul.
proposed scheme 1	X	2+1	6+3	wireless synch
proposed scheme 2	O (beacon)	4+1	6+3	wireless synch

## V. 결 론

정밀한 무선측위를 위해서는 위치를 찾고자 하는 태그와 무선측위 시스템의 비콘 사이의 거리 인지 결과가 중요하며, 이러한 거리 인지 결과에 영향을 주는 요인 중 하나가 각 비콘들의 클럭 오프셋이다. 이러한 클럭 오프셋으로 인하여 각 비콘에서 측정되는 시간 정보에 오차가 발생하게 되며 이를 이용한 위치 추정 결과 역시 심각한 영향을 받는다. 본 논문에서는 태그의 위치를 추정을 하는데 있어서 클럭 오프셋에 의한 영향을 최소화하기 위하여, 클럭 오프셋이 포함된 각 비콘들의 클럭 카운트 정보를 상대적인 클럭 주파수 비율로 보정하여 시간 정보를 측정하는 기법을 제안하였다. 제안된 무선측위 기법의 위치 추정 결과를 확인하기 위하여 모의실험을 수행한 결과, 클럭 오프셋에 의한 위치 추정 오차가 0.5m 이내로 정밀한 것을 확인하였으며, 이에 각 비콘이 클럭 오프셋을 포함하는 독립적인 클럭을 사용할 때 클럭 오프셋의 영향을 최소화할 수 있는 위치 추정이 가능함을 확인하였다. 또한 기존 측위 방법들에서 필요한 펄스 개수를 비교하였을 때 제안하는 기법에서는 클럭 오프셋 문제와 무선동기를 해결하기 위해 초기에만 전송되는 펄스를 제외하면 가장 적은 전송 펄스를 사용하는 것을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] V. Brethour, "Two way ranging using tracking information to manage crystal offset," *IEEE 802.15 WPAN documents*, 15-05-0336-r00.
- [2] R. Hach, "Symmetric double side-two way ranging," *IEEE 802.15 WPAN documents*, 15-05-0334-r00.
- [3] J. W. Park, Y. S. Choi, J. M. Kang, and W. C. Lee, "Indoor wireless location estimation method with considering wireless synchronization and clock offset," *Jour. of KICS*, vol. 35, no. 10, pp. 915-921, Oct. 2010.
- [4] T. K. Sung, "Method for shortening location estimation update cycle and enhancing positioning accuracy of mobile node by pre-compensating error elements in radio positioning network," Korean Registered Patent #10-1101987, Dec. 27, 2011.

- [5] B. Zhen, H. B. Li, and R. Kohno, "Clock management in ultra-wideband ranging," *Proc. IEEE Mobile & Wireless Commun. (ISTMWC 2007)*, pp. 1-5, Budapest, Hungary, July 2007.
- [6] J. X. Lee, Z. W. Lin, P. S. Chin, and K. P. Yar, "One way ranging time drift compensation for both synchronized and non-synchronized clocks," *Proc. IEEE Int'l Conf. Syst. Science & Eng. (ICSSE 2010)*, pp. 327-331, Taipei, Taiwan, July 2010.
- [7] Y. S. Nam, J. S. Do, and S. H. Kim, "One-way ranging algorithms based on post-facto synchronization," *Proc. Int'l Conf. Ubiquitous Inform. Tech. & Appl. (ICUT 2009)*, pp. 1-4, Fukuoka, Japan, Dec. 2009.

### 임 이 랑 (Erang Lim)



2011년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
 2011년 3월 숭실대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정  
 <관심분야> UWB Position Location, 무선측위 시스템

### 강 지 명 (Jimyung Kang)

한국통신학회논문지 Vol.35, No.10 참조

### 이 순 우 (Soonwoo Lee)

한국통신학회논문지 Vol.34, No.10 참조

### 박 영 진 (Youngjin Park)

한국통신학회논문지 Vol.30, No.12 참조

### 이 원 철 (Woncheol Lee)

한국통신학회논문지 Vol.35, No.10 참조

### 신 요 안 (Yoan Shin)

한국통신학회논문지 Vol.34, No.1 참조