

순차송수신방식을 이용한 UWB 무선측위 시스템에 관한 연구

최성수, 오휘명, *이원철, 김관호

한국전기연구원 융합기술연구단 전기정보망기술연구그룹, *승실대학교

UWB Asynchronous Wireless Positioning System by Sequentially Ordered Transmission

Sungsoo Choi, Hui-Myung Oh, *Won Cheol Lee, Kwan-Ho Kim

Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), *Soongsil University

Abstract - 저비용, 저전력 운영이 가능한 초광대역(UWB) 통신기술의 핵심 기술 분야 가운데 하나인 무선 위치기반 시스템(Wireless Location Based System) 혹은 무선측위기술은 향후 전기-IT융합 유비쿼터스 메쉬네트워크에서 휴먼인터페이스접목, 지능형홈 뿐만아니라, 유비쿼터스 환경의 ad-hoc 센서 네트워크에서 중요한 역할을 맡게된다. 본 논문에서는 다양한 방식의 무선측위기술에 대해 소개하고자 하며, 순차송수신방식을 이용한 UWB 무선측위기반 시스템 및 운영방안을 새롭게 제안하고자 한다.

1. 서 론

최근 들어 초광대역(UWB) 무선통신 기술의 장점이 주목 받기 시작하면서, 극히 짧은 시간 폭을 가지는 UWB 펄스 전송을 이용하는 근거리 고정밀 무선 측위(positioning) 시스템에 대한 연구 및 이에 대한 국제 표준화가 활발하게 진행되고 있다[1]. 이러한 무선위치기반 시스템 혹은 무선측위기술은 저전력 및 저속의 유비쿼터스 센서, 메쉬네트워크에서 핵심적인 역할을 담당하게 될 것으로 예상된다. 일반적으로 UWB 펄스는 수 나노초(nsec) 이하의 짧은 시간 폭을 가지기 때문에 UWB 펄스를 측위 시스템에 응용할 경우, 기존의 통신 시스템으로는 얻지 못했던 수cm 급의 높은 정밀도를 갖는 무선 측위가 가능하게 된다. 또한 UWB 펄스는 초광대역에 걸쳐 아주 낮은 전력 레벨을 가지므로, UWB 무선기술을 사용하는 송수신기 노드들의 사용전력소비는 상당히 낮아 수년간 배터리 교환 없이 망을 구성할 수 있게 해준다. 또한 타 전자기기에 의 간섭에도 덜 민감하여 유비쿼터스환경에 좀 더 유연성을 줄 수 있게 된다.

이러한 유비쿼터스환경의 센서네트워크 구현에 있어 중요시 되는 기능은 저전력 무선 측위 기법에 관한 것으로, 비콘 디바이스(beacon device)들 사이의 거리 정보 및 동기화를 전제로 하지 않고도 타겟 디바이스(target device)의 위치를 표정하는 시스템 및 방법에 관한 것이다. 여기서 비콘 디바이스(beacon device)라 함은 타겟 디바이스의 위치를 표정하기 위한 기준이 되는 디바이스를 말하며, 적어도 타겟 디바이스의 위치 표정 과정이 이루어지기 이전에 미리 그 위치가 알려진 것을 말한다. 그러나 이러한 무선측위를 수행하기 위해서는 먼저, 전체네트워크를 형성하여 측위할 수 있는 상당히 높은 전력의 UWB전송신호를 필요로하며, 각 비콘 디바이스들 간의 동기 및 초기 레퍼런스 시각동기가 요구된다. 또한 측위하고자하는 타겟 디바이스의 위치의 에러를 연속적으로 보정하기 위하여 이미 특정 고정위치에서 일정한 신호를 송신하는 레퍼런스역할을 담당하는 보조 무선측위디바이스를 필요로 한다. 물론 보조 무선측위디바이스의 위치와 각 비콘디바이스들 간의 거리와 시간지연은 동시에 알고 있어야한다. 이러한 여러 제약 사항들은 위치인식 비콘디바이스와 타겟디바이스가 수시로 위치가

이동하는 유비쿼터스환경에서 무선측위시스템을 구현하기에는 많은 어려움이 따른다.

본 논문에서는 이러한 기술적 난제를 해결하고자 새로운 무선측위기술에 대해 설명하고자 한다.

2. UWB 무선측위기술 방안

일반적으로, 무선측위기술은 아래와 같이 크게 4가지 알고리즘으로 분류될 수 있으며, 본 장에서는 이에 대한 기술적 특징을 간략히 소개하고자 한다[2].

- 신호세기측정을 이용한 알고리즘 (SSR)
- 도착시간을 이용한 알고리즘 (TOA)
- 도착시간차를 이용한 알고리즘 (TDOA)
- 도착 각을 측정한 알고리즘 (AOA)

2.1. SSR 방식

SSR 방식을 통한 무선측위기술은 이미 여러 통신사업자들이 고정기지국 중심의 위치인식 기반 서비스를 제공하고 있으며, 사용자는 이동단말에서 직접 위치인식 서비스를 받을 수 있다. 이는 위치인식의 전형적인 방법으로 그 방식이 매우 단순하고, 도착시간을 이용하거나 도착 시간차를 이용한 알고리즘에서 요구하는 동기화 문제를 고려하지 않아도 되는 장점을 갖는다. 그러나 무선채널 상에서 발생하는 속내 신호전파의 멀티패스효과에 의한 신호감쇄 변화에 매우 민감하여 채널에 의해 야기되는 측정거리의 오류를 피할 수 없다. 단지, 측위시간동안 SSR방식의 거리반복측정오차 상대적 측정오차를 어느정도 줄일 수는 있지만 정확한 위치를 알 수 없다. 자유공간전파를 가정할 때, 수신 신호전력은 거리의 함수로

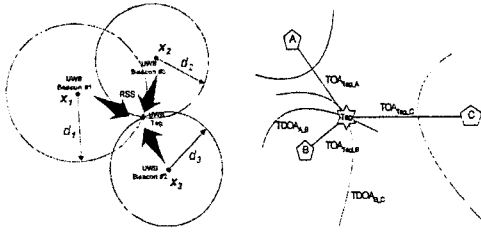
$P_r(d) = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$ 와트로 계산되며, 광범위

(large-scale)상에서 에너지감쇄는 자유공간에서 자승의 역수관계인 $L(d) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t}\right) = 10 \log_{10} \left(\frac{(4\pi d)^2}{G_t G_r \lambda^2}\right)$

로 표현된다. 실제 이러한 원거리에서의 수신신호전력은 기준거리 d_0 에서 $P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d}\right)^2$ 로 쓸수 있고, 이

와 더불어 신호전파의 무선채널 통과시 소범위 (small-scale) 에너지에 대한 신호반사, 회절, 분산은 실제 신호파의 빠르거나 느린 페이딩왜곡현상을 겪게 된다. 이는 주어진 무선채널에서 거리측정시 광범위와 소범위로 섞여 수신되는 신호의 감쇄로부터 광범위 상의 신호를 추출해 내는 작업이 필요함을 의미한다. 광대역 신호의 경우 수신전력의 평균값은 무선채널에서 발생하는 멀티패스를 겪는 수신전력값들의 합으로 계산될 수 있으며, 협대역신호의 경우 수신전력은 전달거리가 짧은 지역에서 신호의 크기변화율 때 이들에 대한 평균값

을 추정하므로 $\hat{d} = d_0 10^{\frac{P_r - P_r(d)}{10\alpha}} = d_0 10^{\frac{\lambda}{10\alpha}}$ 과 같이 구할



(가) TOA 방식 (나) TDOA 방식
 그림 1. TOA 및 TDOA 방식의 무선측위

수 있다. 이는 전달거리가 짧으면 짧을 수록 거리추정본 포의 분산값을 줄일 수 있음을 보여준다.

2.2 TOA 방식 및 TDOA 방식

TOA 방식과 TDOA 방식은 각 UWB 비콘과 타겟 디바이스, 태그 사이에 단방향 또는 쌍방향 거리측정을 기초로 하여 신호전파의 최초도착시간 및 도착시간차를 측정하여 거리 및 위치를 추정해 내는 방법이다. 그림 1은 각 방식에 따른 무선측위 시스템의 운영 원리를 보여준다. 그림 1(가)의 TOA 방식은 세 개의 UWB 비콘들이 서로 전송 신호를 전파할 때 수신태그에 도착하는 각 전파시간을 측정하여 만들어진 세 개의 단위원궤적의 교점을 계산함으로써 태그의 위치를 추정하는 방법이다. 마찬가지로, 그림 1(나)의 TDOA 방식을 이용할 경우는 두 개의 UWB 비콘이 함께 신호를 전파할 때 수신태그에서 생기는 거리 차가 항상 일정하다는 특성을 이용하는 것으로 거리차의 궤적은 쌍곡선상위에 놓이게 된다. UWB 비콘 i 와 j 사이의 TDOA 궤적은 다음 수식과 같다.

$$R_{i,j} = c \times TDOA_{i,j} = c \times (TOA_i - TOA_j)$$

$$= \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2}$$

그러므로 타겟 디바이스인 태그의 위치를 추정하기 위해서는 이들 쌍곡선 간의 교점을 계산하면 되는데, 이는 TOA 방식의 위치추정보다도 위치오류확률을 줄일 수 있는 방법이다.

2.3 AOA 방식

AOA 방식은 벡터 거리측정을 통해 무선측위를 하는 기술로 TOA나 TDOA 방식처럼 정밀한 시간동기화기술을 요구하지 않는다. 신호의 도착각은 송신파의 원점의 방향을 알려주며, 이는 어레이(array) 안테나를 적용함으로써 측정 가능하다. 전방위 평면파의 경우, 위치가 다른 어레이 안테나 요소들의 페이즈 차를 측정함으로써 전파시간 및 거리를 얻을 수 있다. 그러나 보다 정밀한 페이즈(시간)를 측정해내기 위해서는 안테나의 각 어레이 요소들의 그 집적되는 양이 커야하며, 이에 따른 공간샘플링이 비례적으로 증가하게 되어 측위의 요구정확도에 따라 그 크기와 제작비용이 크게 증가한다. UWB의 경우, 안테나의 어레이 기술에 대한 실용화 연구가 아직 미진하여 현재의 저전력 및 저가의 구현을 목표로 하는 유비쿼터스 센서 네트워크에는 다소 적합치 않다고 볼 수 있다.

3. 순차송수신 방식 무선측위 시스템

3.1. 시스템 구성

순차송수신 무선측위시스템의 각 디바이스들은 그림 2와 같이 순차적으로 제 1 무선 신호를 송신하는 제 1 비콘 디바이스, P_FFD1 (Positioning Full Function Device) 1, 와 제 1 무선 신호를 수신한 이후 일정한 지연 시간 경과 후 제 2 무선 신호를 송신하는 제 2 비콘 디바이스, P_FFD2, 그리고 마지막으로 제 2 무선신호를 수신한 이후 일정한 지연 시간 경과 후 제 3 무선 신호를 송신하는 제 3 비콘 디바이스, P_FFD3으로 구성된다. 기능상

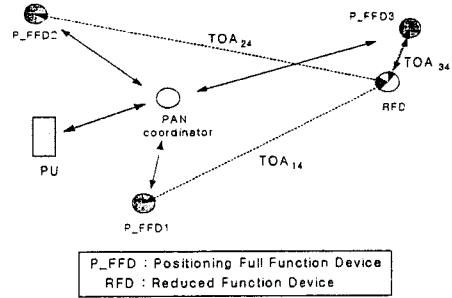


그림 2. 순차송수신 무선측위시스템 구성

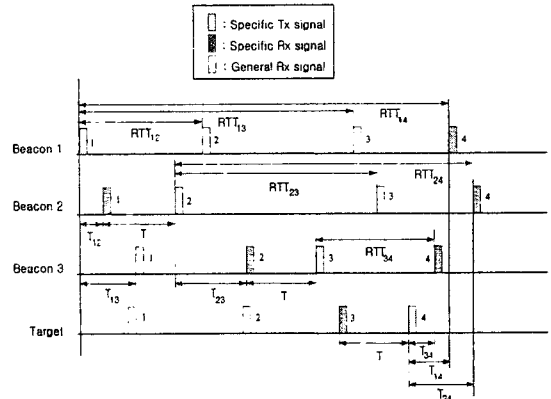


그림 3. 순차송수신 방식 무선측위 시스템 동작 타이밍도

비콘 디바이스, P_FFDi, 는 적어도 무선 신호 송신 모듈, 무선 신호 수신 모듈 및 카운터 모듈을 구성하고 있으며, 무선 신호 송신 모듈을 이용하여 무선 신호를 송신하고, 카운터 모듈을 이용하여 무선 신호의 송신 이후의 시점에 수신된, 다른 비콘 디바이스들 및 타겟 디바이스로부터 송신된 무선 신호들의 수신 시점들을 각각 감지한다. 이때 적어도 무선 신호 송신 모듈 및 무선 신호 수신 모듈을 탑재한 비콘 디바이스 중 적어도 어느 하나로부터 송신된 무선 신호를 수신한 후, 복수개의 비콘 디바이스들로 무선 신호를 송신한다. 비콘 디바이스 각각에서 감지된 무선 신호의 수신 시점에 관한 정보를 이용하여 복수개의 비콘 디바이스 각각과 타겟 디바이스까지의 거리를 계산하여, 타겟 디바이스의 위치를 구하게 된다. 또한 복수개의 비콘 디바이스를 식별하기 위한 주소 리스트가 있어 이를 관리하며, 비콘 디바이스 중 적어도 하나의 비콘 디바이스로 무선 측위를 요청하는 기준 무선 신호를 송신하며, 복수개의 비콘 디바이스들에서 감지된 수신 시점 정보들을 수신하여 PU처리 유닛에 전송하는 코디네이터 디바이스로 구성된다.

3.2. 동작 운영 방법

순차송수신 방식의 무선측위시스템의 동작에 관한 운영을 표현한 그림 3은 각 비콘 디바이스들과 타겟 디바이스의 송수신 신호 및 타이밍 정보를 나타낸다. 우선, 제 1 비콘 디바이스는 제 1 무선 신호를 전송함과 동시에 카운터를 동작시킨다. 여기서 무선 신호는 UWB 규격에 따른 임펄스 신호이다. 제 2 비콘 디바이스는 T_{12} 초 후에 제 1 비콘 디바이스가 전송한 제 1 무선 신호를 수신함과 동시에 에너지 검출(energy detection) 또는 상관 계(correlator)에 의한 검출 등의 방법을 통하여 적정 레벨의 신호인지를 판단한다. 이때, 사전 결정된 임계치(threshold) 이상인 경우, 타이머(또는 카운터)를 동작시킨다. 또한, 사전 결정된 지연 시간(T_{13}) 경과 후에, 다시 다른 비콘 디바이스들과 타겟 디바이스에 제 2 무

선 신호를 전송한다. 제 2 비콘 디바이스에서 전송한 제 2 무선 신호를 수신한 제 1 비콘 디바이스는 에너지 검출 또는 상관기에 의한 검출 등을 통하여 적정 레벨의 신호이면 전송된 제 2 무선 신호의 수신으로 판단하고, 그 시점의 카운터 정보를 이용하여 지연 시간(T초)을 포함한 제 1 비콘 디바이스와 제 2 비콘 디바이스 사이의 RTT(Round Trip Time) 정보(RTT₁₂)를 획득하게 된다.

$$RTT_{12} = T + 2T_{12} \quad (1)$$

여기서 T₁₂는 제 1 비콘 디바이스와 제 2 비콘 디바이스 사이의 무선 신호 도달 시간(ToA)을 나타낸다.

제 1 비콘 디바이스가 전송한 제 1 무선 신호는 T₁₃초 후에 제 3 비콘 디바이스에 수신된다. 그 후에 제 3 비콘 디바이스에는 제 2 비콘 디바이스에서 송신한 제 2 무선 신호가 수신되며, 제 3 비콘 디바이스는 제 2 무선 신호의 수신 시점 이후 소정 지연 시간(T)이 경과하면 제 3 무선 신호를 송신한다. 제 3 무선 신호는 제 2 비콘 디바이스와 제 1 비콘 디바이스에 각각 도달한다.

마찬가지로, 제 3 비콘 디바이스에서 전송한 제 3 무선 신호를 수신한 제 2 비콘 디바이스는 에너지 검출 또는 상관기에 의한 검출 등을 통하여 적정 레벨의 신호이면 전송된 제 3 무선 신호의 수신으로 판단하고, 그 시점의 카운터 정보를 이용하여 지연 시간(T초)을 포함한 제 2 비콘 디바이스와 제 3 비콘 디바이스 사이의 RTT 정보(RTT₂₃)를 획득하게 된다.

$$RTT_{23} = T + 2T_{23} \quad (2)$$

여기서 T₂₃은 제 2 비콘 디바이스와 제 3 비콘 디바이스 사이의 무선 신호 도달 시간(ToA)을 나타낸다. 이와 동일한 방법으로 제 1 비콘 디바이스에서는, 제 1 비콘 디바이스와 제 3 비콘 디바이스 사이의 RTT 정보(RTT₁₃)가 획득된다.

$$RTT_{13} = T_{12} + 2T + T_{23} + T_{13} \quad (3)$$

여기서 T₁₃은 제 1 비콘 디바이스와 제 3 비콘 디바이스 사이의 무선 신호 도달 시간(ToA)을 나타낸다. 제 3 비콘 디바이스가 송신한 제 3 무선 신호는 타겟 디바이스에 도달한다. 타겟 디바이스는 미리 정해진 지연 시간(T초)이 경과한 후, 다시 다른 비콘 디바이스들로 제 4 무선 신호를 전송한다. 제 4 무선 신호를 수신한 제 3 비콘 디바이스는 그 수신 시점을 감지하고, 이를 통하여 제 3 비콘 디바이스와 타겟 디바이스 사이의 RTT 정보(RTT₃₄)가 획득된다.

$$RTT_{34} = T_{34} + T + T_{34} \quad (4)$$

여기서 T₃₄는 제 3 비콘 디바이스와 타겟 디바이스 사이의 무선 신호 도달 시간(ToA)을 나타낸다. 또한, 제 4 무선 신호를 수신한 제 2 비콘 디바이스는 그 수신 시점을 감지하고, 이를 통하여 제 2 비콘 디바이스(20)와 타겟 디바이스 사이의 RTT 정보(RTT₂₄)가 획득된다.

$$RTT_{24} = T_{23} + T + T_{34} + T + T_{24} \quad (5)$$

여기서 T₂₄는 제 2 비콘 디바이스와 타겟 디바이스 사이의 무선 신호 도달 시간(ToA)을 나타낸다. 또한, 제 4 무선 신호를 수신한 제 1 비콘 디바이스는 그 수신 시점을 감지하고, 이를 통하여 제 1 비콘 디바이스와 타겟 디바이스 사이의 RTT 정보(RTT₁₄)가 획득된다.

$$RTT_{14} = T_{12} + T + T_{23} + T + T_{34} + T + T_{14} \quad (6)$$

여기서 T₁₄는 제 1 비콘 디바이스와 타겟 디바이스 사이의 무선 신호 도달 시간(ToA)을 나타낸다. 위와 같은 과정을 통하여 얻어진 RTT 정보를 통하여, 다음과 같이 각 디바이스들 간의 ToA 정보를 계산에 의하여 획득할 수 있다.

$$T_{12} = (RTT_{12} \text{ 및 }) / 2 \quad (7)$$

$$T_{23} = (RTT_{23} \text{ 및 }) / 2 \quad (8)$$

$$T_{13} = (RTT_{13} \text{ 및 } T_{12} \text{ 및 } T_{23} \text{ ? } T) \quad (9)$$

$$TOA_{34} = (RTT_{34} - T) / 2 \quad (10)$$

$$TOA_{24} = (RTT_{24} - T_{23} - TOA_{34} - 2T) \quad (11)$$

$$TOA_{14} = (RTT_{14} - T_{12} - T_{23} - TOA_{34} - 3T) \quad (12)$$

위의 정보를 이용하여 다음과 같은 TDoA(Time Difference of Arrival) 정보가 획득 가능하다.

$$TDOA_{12} = TOA_{14} \text{ 및 } OA_{24} \quad (13)$$

$$TDOA_{23} = TOA_{24} \text{ 및 } OA_{34} \quad (14)$$

이상과 같이, ToA 정보 및 TDoA 정보가 얻어지면, 이를 사용한 기하학적 계산에 의하여 타겟 디바이스의 위치를 구할 수 있다. 즉, 각각의 비콘 디바이스의 초기위치를 이미 알고 있으므로, 이들을 중심으로 하는 단위원 궤적 및 2차 쌍곡선궤적의 교점을 구함으로써 타겟 디바이스의 위치를 구할 수 있다. 제안된 무선측위방식을 사용할 경우, 태그는 1회의 송신만 하면 족하므로, RFD 디바이스 송신 전력의 소모를 최소화할 수 있고, 동기화를 필요로 하지 않아 UWB 펄스가 제공하는 좁은 펄스폭을 충분히 활용한 고정밀 무선 측위가 가능하게 된다.

무선 측위시스템의 보다 안정된 성능을 보장하기 위하여, 타겟 디바이스로부터 송신되는 무선 신호를 복수 회 발생시켜 수신 S/N비를 높여 데이터의 정밀도를 향상시키거나, 통신 시스템 내에서 각 무선 채널의 상황을 모니터링 또는 추정(estimation)하여 무선 채널의 상황에 따른 무선 측위 과정의 반복 횟수를 설정하고 그 평균값을 구함으로써 시스템 성능향상을 꾀할 수 있다. 또한 다양한 네트워크 토폴로지에서도 선택적으로 구현 가능하다. 제안된 무선시스템은 스타(star) 구조 및 클러스터 트리(cluster-tree) 구조의 네트워크에 각각 적용 가능한 무선측위 시스템 및 방법을 제공할 수 있어, 저전력의 디바이스들을 사용하여 비 동기 무선 측위가 가능하도록, 전체 시스템을 소규모의 부 클러스터 영역들로 나누어 각 부 클러스터 간의 중첩된 영역에 존재하는 FFD 송수신기들을 새롭게 P_FFD로 설정하는 등 무선 측위를 수행함으로써 한정된 전력으로 무선측위범위를 이동 확장할 수 있게 된다.

3. 결 론

제안된 순차송수신방식 무선측위 시스템은 기존의 여러 무선측위알고리즘의 문제점들을 해결할 수 있는 기술로 시각동기화 없이 간접적인 시간 동기를 정확히 구해내는 방법을 제시하여 오차를 최소화함으로써 고정밀 위치 추적이 가능한 무선 측위 시스템 및 방법을 제공한다. UWB 펄스를 사용할 경우, 그 장점을 최대한 살려 고정밀도의 위치 추적이 가능하게 된다. 나아가서, 타겟 디바이스에서의 복잡한 연산 과정이 필요 없어 단순한 구조의 타겟 디바이스를 사용하는 것이 가능하고, 타겟 디바이스의 구성 단순화 및 신호 송신 회수의 최소화를 통하여 저전력 동작이 가능하도록 하면서도, 정밀한 위치 추적이 가능한, 무선 측위 시스템 및 방법을 제공한다. 또한 본 시스템은 비콘 디바이스들 사이의 동기화가 되어 있지 않고, 정확한 전파 전송 경로 상의 거리 정보를 알지 못하더라도, 펄스의 송수신을 통해 ToA(Time of Arrival) 및 TDoA(Time Difference of Arrival)를 검출할 수 있도록 하여 보다 정확한 측위가 가능하도록 하는 무선측위 시스템이다.

[참 고 문 헌]

[1] K. Kim, S. Choi, Y. Park, H. Oh, Y. Shin, W. Lee, and H. Jeon, "Enhanced Noncoherent OOK UWB PHY and MAC for Positioning and Ranging", IEEE P082.15-05-0033-01-004a, Jan. 2005.
 [2] Rick Roberts, "Ranging Subcommittee Final Report", IEEE P082.15-04-0581r7, Nov. 2004.