

UWB기반 단일송수신을 통한 근거리 무선측위 시스템

최성수, 오희명, *신요안, **이영규

한국전기연구원 융합기술연구단 전기정보망기술연구그룹, *승실대학교, **한국표준과학연구원

UWB Based Short-Range Wireless Positioning by One-Shot Transmission and Method

Sungsoo Choi, Hui-Myung Oh, *Yoan Shin, Jaejo Lee

Korea Electrotechnology Research Institute (KERI),

*Soongsil University,

**Krea Research Institute of Standard and Science

Abstract - 본 논문은 UWB(Ultra Wide Band) 펄스 기반의 단일 송수신을 통한 근거리 무선측위 시스템 및 방법에 관한 것으로서, UWB 펄스의 높은 시간 분해능을 이용하여 근거리에서 높은 정밀도를 가지고 태그의 위치를 획득할 수 있다. 특히, 마스터-슬레이브 형태로 구성된 비콘(beacon)들 간의 사전 설정을 통해 마스터 비콘과 무선측위 대상인 태그 사이의 단일 송수신만으로 ToA(Time of Arrival) 및 TDoA(Time Difference of Arrival) 기법을 적용할 수 있도록 하며, 이로써 태그의 신호 송신을 최소화하여 태그의 저전력 동작을 가능케 하는 UWB기반 단일송수신을 통한 근거리 무선측위 시스템이다.

1. 서 론

최근 들어, 초광대역통신(UWB) 무선 기술의 장점이 대두되면서 극히 짧은 시간 폭을 가지는 UWB 펄스의 응용 대상으로 근거리 고정밀 무선측위 시스템에 대한 연구 및 국제표준화가 IEEE를 통해 활발하게 진행되고 있다[1]. 일반적으로 UWB 펄스는 수 나노초(nsec) 이하의 짧은 시간 폭을 가지기 때문에, UWB 펄스를 측위 시스템에 응용할 경우 기존의 통신 시스템으로는 얻지 못했던 수cm급의 높은 정밀도를 갖는 무선 측위가 가능하게 된다. 또한 UWB 펄스는 초광대역에 걸쳐 아주 낮은 전력 레벨을 가지므로, UWB 무선기술을 사용하는 송수신 노드들의 전력소비는 상당히 낮아 수년간 배터리 교환 없이 망을 구성할 수 있게 해준다. 또한 타 전자기기에의 간섭에도 덜 민감하여 유비쿼터스환경에 좀 더 유연성을 줄 수 있게 된다. 종래 기술의 경우에는 시간 분해능에 의해 결정되는 측위 정밀도가 일반적으로 수십m 정도의 레벨이었으므로, 비콘 디바이스들 사이의 동기화 과정에서 발생하는 오차가 측위의 정밀도를 크게 손상시키지 않는 범위에서 동작하는 것이 가능하였다. 그러나, 현재 요구되는 고정밀도의, 즉 nsec급 이하의 시간 분해능을 갖는 시스템에서는, 종래 기술의 경우와 같이 비콘 디바이스들 간의 시간 동기화를 필요로 하는 시스템의 형태로 구성될 경우, 시간 동기 획득을 위한 PLL(Phase Lock Loop)의 조정 오차 및 유선 신호 전달 오차 등이 펄스 시간 폭보다 더 커지게 되어, 동기화를 위한 비콘 디바이스들 간의 링크가 무선 경로를 통해 이루어질 경우는 물론 유선 경로를 통해 이루어질 경우에도 동기화 오차에 의한 문제가 심각하게 나타난다. 또한, 근거리 무선측위 시스템을 적용한 개인휴대통신이나 RF-ID(Radio Frequency Identification)에서 물류 관리를 위한 태그에 이르기까지 여러 가지 응용 분야를 고려할 때 태그는 근본적으로 저전력 동작이 가능해야 한다. 왜냐하면, 태그는 단순화된 개별 장치로서 전원 공급이 용이하지 못

하므로, 일반적으로 저전력으로 설계되어야 하기 때문이다. 그러므로 UWB 펄스 신호의 송신 회수를 최소화함으로써 배터리 소모 문제를 해결할 수 있는 방법이 요구되지만, 현재까지 이를 해결할 수 있는 시스템이 개발되어 있지 못한 실정이다. 이에 본 논문에서는 이러한 기술적 난제를 해결하고자 새로운 무선측위기술을 제안하고자 한다.

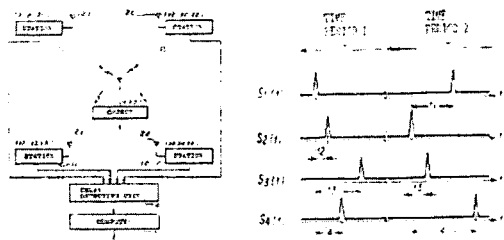
2. 종래의 UWB통신 무선측위 시스템

2.1. Pseudo-noise 신호를 이용한 무선측위방안

Pseudo-noise신호를 이용한 무선측위방안은 기존의 UWB 근거리 무선측위 시스템을 중 PN (Pseudo-Noise)신호의 우수한 auto-correlation성질을 이용한 무선측위방법이다. 전체 시스템 구성은 그림1처럼 4개의 비콘 스테이션들, 지연검출 유닛, 위치를 추정해 내기위한 측위계산용 컴퓨터로 구성된다. 동작운영방법은 오브젝트인 Tag에서 주기적으로 특성 PN 신호를 전송하고 비콘에서는 이에 대한 코릴레이션(correlation)을 취한다. 이는 PN신호주기를 증가시키기에 따라 비례하는 시간정보의 신뢰도를 기반으로 운영된다. 그러나 코릴레이션 수행 및 그에 따른 버퍼의 증가로 인해 비콘의 UWB송수신기의 복잡도가 크게 증가하며, PN신호주기 증가에 반비례적으로 무선측위 시스템의 이동성 및 실시간 특성이 열화되는 단점을 갖는다. 무엇보다도 실제 구현 시 첫 PN수신신호에 대한 각 스테이션에서의 시각동기의 정확도가 불명확하여 전체 위치추정에 대한 오류가 클 수 있고 이를 보정하기 위해서는 보다 복잡한 UWB송수신기가 필요하다.

2.2. TDOA를 이용한 무선측위방안

일반적으로 TOA방식과 TDOA방식은 각 UWB 비콘과 타겟 디바이스, 태그 사이에 단방향 또는 쌍방향 거리측정을 기초로 하여 신호전파의 최초도착시간 및 도착시간차를 기준으로 거리 및 위치를 추정해 내는 방법이다. 무선측



(가) 시스템구성도 (나) PN수신신호 검출도
 그림1. Pseudo-noise신호를 이용한 무선측위시스템[2]

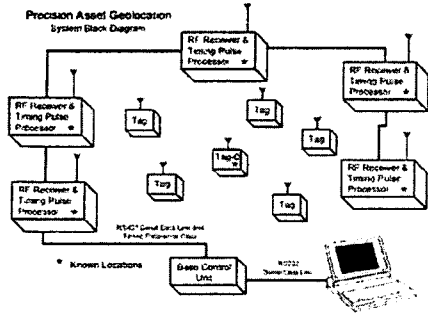


그림2. TDOA를 이용한 무선측위시스템[3]

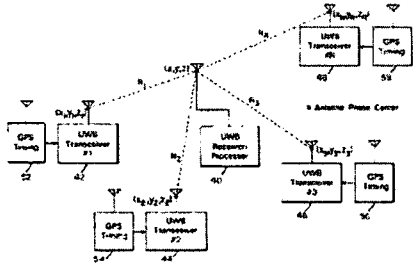


그림3. GPS를 이용한 무선측위시스템[4]

위를 위하여 수신 펄스의 TDOA(도착시간 지연차) 방식을 이용할 경우, UWB 신호를 전송할 때 수신부 각각에 생기는 수신지연 혹은 거리 차는 항상 일정하게 되는데 거리 차의 제곱은 2차 쌍곡선 상에 놓이게 된다. 그림2는 종래 이러한 기본적인 TDOA를 이용한 Multispectral사의 무선측위 시스템을 보여준다. 이 시스템의 경우 부가성 태그(그림2의 중앙에 놓인 태그)에 의해 수행되는 완벽한 캘리브레이션 수행, 데이터 상태 모니터링, 동기프리앰블과 태그 ID정보를 전송하는 동기화기반의 TDOA정보를 제공하여 위치를 측위한다. 그러나 여전히 각 비콘들 간의 정확한 동기화를 해야 하는 문제 및 네트워크 토폴리지에 따른 유용성을 제공하지 못하는 문제가 남아있다. 또한 매년 측위시스템을 재조정해야 하는 완벽한 시각동기식 태그를 포함해야만 한다. 이는 전체 시스템측면에서 상대적으로 복잡도를 다소 증가시키게 하는 단점을 갖는다.

2.3 GPS를 이용한 무선측위방안

앞 절에 설명된 무선측위 방안들은 모두 비콘들 간의 정확한 시간 동기 및 시각동기를 가정하고 있다. 그러나 실제 구현상에서 각 비콘 및 태그에는 독립적인 클럭을 사용하고 있어 비콘과 태그 디바이스 내 클럭지터문제와 함께 상호 동기화문제를 안고 있다. 이를 해결하기 위해서는 고가의 UWB송수신기와 별도의 외부보정시스템을 도입하는 수밖에 없는데, 가능한 방법은 무선 GPS를 사용하는 방법이다. 이 방법은 그림3과 같이 비콘과 태그에 자체 프로세서가 있어 기본적인 신호수신기능과 위치추적을 수행할 위성신호로부터 일정하게 수신되는 기준시간을 알아내어 각 UWB 송수신기에서 그 클럭생성 및 기준시간을 GPS 신호에 맞추는 방법이다. 이 경우, 비콘 디바이스는 별도의 외부 GPS 수신기와 이를 처리할 수 있는 프로세서 등이 구비되어야 하므로 시스템이 복잡하여지고 실내 무선 환경에서는 실용화하기에 문제점이 있다. 또한 GPS를 이용하는 방식은 GPS신호자체의 시간 동기화의 정밀도에 한계가 있게 되어 수 m이하 고정밀도의 무선 측위는 불가능하다.

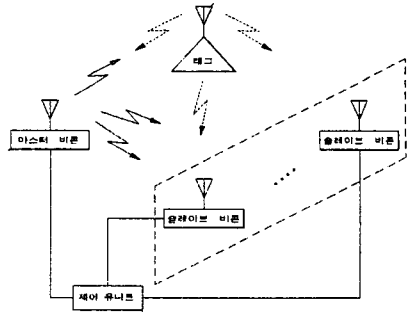


그림4. 제안된 단일송수신방식 무선측위시스템

3. 단일송수신방식 무선측위시스템

3.1. 시스템 구성

제안된 단일송수신방식의 무선측위시스템의 구조는 그림4와 같다. 무선측위의 대상인 태그, 하나의 마스터 비콘, 다수의 슬레이브 비콘 및 무선측위를 제어하는 제어 유니트로 이루어진다.

제어유니트(control unit)는 마스터 비콘 및 복수의 슬레이브 비콘의 내부에 장착되거나 또는 외부에 독립적으로 설치되어 있고, 마스터 비콘 및 복수의 슬레이브 비콘과 유/무선으로 연결되어 태그의 무선측위를 위한 전반적인 시스템 제어를 수행한다. 이때 마스터 비콘과 복수의 슬레이브 비콘 간의 거리 대 시간 지표를 가지고 있다. 그리고, 제어 유니트는 무선측위 수행 이전에 펄스 전송 시점에 대한 시각 동기 정보를 마스터 비콘으로 제공하며, 유/무선상으로 연결된 마스터 비콘 및 복수의 슬레이브 비콘으로부터 유/무선채널을 통해 TDoA 정보를 수집한 후 소프트웨어적 과정을 통해 최종적으로 태그의 위치를 표정한다. 즉, 마스터 비콘과 태그 사이의 단 한번의 신호 송수신만으로 태그의 무선측위를 수행할 수 있는 것이다.

마스터 비콘은 안테나를 통해 신호 송수신 기능을 수행하고, 마스터 비콘 및 다른 슬레이브 비콘들의 위치 정보 및 신호 전송에 요구되는 소요시간에 대한 정보를 지니고 있으며, 자체 타이머를 보유하고 있어 신호 송수신 과정에서 시간 정보를 도출하게 된다. 또한 무선측위 수행 이전에 제어 유니트로부터 제공받은 펄스 전송 시점에 대한 시각 동기 정보를 토대로 안테나를 통해 태그 및 복수의 슬레이브 비콘에게 한 번의 신호 전송을 수행하며, 일정 대기시간 이후 안테나를 통해 태그로부터 수신한 신호를 토대로 TDoA를 획득한 후 해당 정보를 제어 유니트로 전송한다.

복수의 슬레이브 비콘은 안테나를 통해 신호 수신 기능만을 수행하고, 마스터 비콘 및 다른 슬레이브 비콘들의 위치 정보 및 신호 전송에 요구되는 소요시간에 대한 정보를 지니고 있으며, 자체 타이머를 보유하고 있어 신호 수신 과정에서 시간 정보를 도출할 수 있다. 또한 마스터 비콘으로부터 수신한 첫번째 수신 펄스의 시간을 측정하여 저장하고, 일정 대기시간 이후 안테나를 통해 태그로부터 수신한 두번째 수신 펄스의 시간을 측정하여 저장하며, 마스터 비콘으로부터 수신하여 측정된 첫번째 수신 펄스의 시간 정보와 태그로부터 수신하여 측정된 두번째 수신 펄스의 시간 정보를 토대로 TDoA를 획득한 후 해당 정보를 제어 유니트로 전송한다. 이때, 무선측위를 위한 삼각측량을 위해 슬레이브 비콘은 최소 2개 이상이 요구된다.

또한, 마스터 비콘 및 복수의 슬레이브 비콘은, 사전에 설정된 거리 대 시간 지표를 통해 마스터 비콘의 1회 송

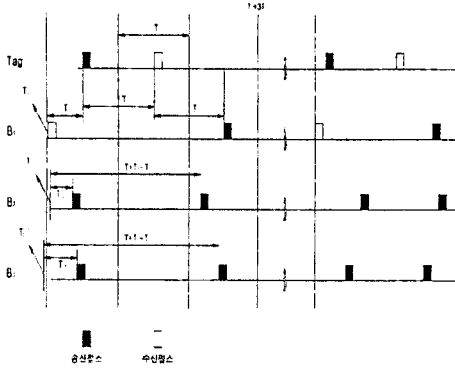


그림5. 단일송수신 무선측위시스템 동작타이밍도

신 신호를 바탕으로 간접 동기를 획득할 수 있다. 태그는 신호 송수신 기능, 저전력 동작을 위한 수신 기능, 송신 전력 레벨을 가지고 있고, 자체 타이머를 보유하고 있어 신호 송수신 과정에서 시간 정보를 도출할 수 있으며, 수신측위 과정에서 마스터 비콘에서 송신된 신호를 수신한 후 일정 대기시간(processing time)이 지나면 안테나를 통하여 마스터 비콘 및 슬레이브 비콘으로 1회의 신호 전송을 수행한다. 이때, 태그는 무선측위 과정중 단 한번의 신호 송출을 통해 무선측위를 종료하여 전력 소비를 최소화한다.

3.2. 동작 운영 방법

제안된 단일 송수신 무선측위시스템은 다음과 같은 순서에 의해 동작 운영된다. 전체적으로는 마스터 비콘 및 다수의 슬레이브 비콘과 유/무선으로 연결된 제어 유닛에서는 마스터 비콘 및 다수의 슬레이브 비콘으로부터 전송되는 시간 정보를 토대로 소프트웨어적으로 태그의 위치를 표정하게 된다. 그리고, 마스터 비콘 및 다수의 슬레이브 비콘은 정해진 위치에 고정되어 위치를 알고 있으며, 이에 따라 마스터 비콘과 다수의 슬레이브 비콘 간의 거리 및 신호 전송에 요구되는 소요시간을 미리 알고 있는 상태에서 시스템이 가동된다. 이와 같은 상태에서, 제어 유닛에서는 무선측위 대상이 되는 특정 태그의 위치추적을 수행하기 이전에 펄스 전송 시점에 대한 시각 동기 정보를 마스터 비콘에 유/무선상으로 부여한다. 제어 유닛으로부터 펄스 전송 시점에 대한 시각 동기 정보를 입력받은 마스터 비콘에서는 시각 동기 정보 시점에 안테나를 통해 다수의 슬레이브 비콘 및 태그로 펄스를 전송한다. 다수의 슬레이브 비콘 및 태그에서는 마스터 비콘에서 전송된 첫번째 수신 펄스의 시간을 측정하여 버퍼에 저장한다. 그리고, 태그에서는 마스터 비콘에서 전송된 첫번째 수신 펄스의 시간을 측정하여 버퍼에 저장한 이후, 사전에 약속된 지연 시간(즉, UWB 펄스의 송수신시 일정 대기시간을 고려하여 사전에 약속된 시간)이 경과되면, 마스터 비콘 및 다수의 슬레이브 비콘으로 다시 펄스를 전송한다. 태그에서 마스터 비콘 및 다수의 슬레이브 비콘으로 펄스를 전송한 이후, 다수의 슬레이브 비콘에서는 태그로부터 수신한 두번째 수신 펄스의 시간을 측정하여 버퍼에 저장한다. 한편, 마스터 비콘에서는 태그로부터 수신한 두번째 수신 펄스의 수신 시간을 측정하여 유/무선채널을 통해 제어 유닛에 전송한다. 태그로부터 수신한 두번째 수신 펄스의 시간과 태그로부터 수신한 첫번째 수신 펄스의 시간과 태그로부터 수신한 두번째 수신 펄스의 시간 정보를 유/무선채널을 통해 제어 유닛으로 전송한다. 그러면, 제어 유닛에서는 미리 알고 있던 거리 및 시간정보들과 마스터 비콘 및 다수의 슬레이브 비콘으로부터 유/무선채

널을 통해 전송된 시간 정보를 가지고 태그에 대한 위치 추적을 수행한다.

그림5는 무선측위의 동작과정을 설명하기 위한 동작 타이밍도로서, 여기에서는 편의상 마스터 비콘은 B₁, 슬레이브 비콘 1은 B₂, 슬레이브 비콘 2는 B₃으로 하여 설명한다. 우선, 마스터 비콘(B₁), 슬레이브 비콘 1, 2(B₂, B₃) 및 태그의 신호 전송에 요구되는 대기시간 T가 사전에 설정되어 있다. 그리고 태그와 마스터 비콘(B₁) 및 슬레이브 비콘 1, 2(B₂, B₃) 간의 신호전송 소요시간 및 거리는 각각 T₁, R₁, T₂, R₂, T₃, R₃이며, 마스터 비콘(B₁) 및 슬레이브 비콘 1, 2(B₂, B₃) 상호간의 신호전송 소요시간 및 거리는 T₁₂, R₁₂, T₁₃, R₁₃, T₂₃, R₂₃으로서, 알려져 있지 않은 값이다. 무선측위 수행을 위해 마스터 비콘(B₁)에 제공되는 제어 유닛의 시각 동기 정보는 T₀으로 설정되어 있으며, 슬레이브 비콘 1, 2(B₂, B₃) 자체에서 제공되는 시간 동기 정보 T_{0'}, T_{0''}은 알려져 있지 않은 값이다. 마스터 비콘(B₁)에 의해 측정된 태그신호의 도착시간은 X₁로 측정되고, 슬레이브 비콘 1(B₂)에 의해 측정된 마스터 비콘(B₁) 및 태그신호의 도착시간은 각각 Y_B, Y_T로 측정되며, 슬레이브 비콘 2(B₃)에 의해 측정된 마스터 비콘(B₁) 및 태그신호의 도착시간은 각각 Z_B, Z_T로 측정된다. 그리고 전술한 설명에서 알려지지 않은 T₁, T_{0'}, T₂, T_{0''}, T₃은 다음의 각 식을 통해 결정된다. 즉, T₁은 X₁-T₀ = T₁+T+T₁의 식을 통해 결정되고, T_{0'}은 Y_B-T_{0'} = T₁₂의 식을 통해 결정되고, T₂는 Y_T-T_{0'} = T₁+T+T₂의 식을 통해 결정되고, T_{0''}은 Z_B-T_{0''} = T₁₃의 식을 통해 결정되며, T₃은 Z_T-T_{0''} = T₁+T+T₃의 식을 통해 결정된다. 또한, 상술한 관계식들에서 얻어진 시간 T₁, T₂, T₃와 광속을 이용하여 거리 R₁, R₂, R₃를 구할 수 있다. 따라서 마스터 비콘(B₁), 슬레이브 비콘 1, 2(B₂, B₃)를 중심으로 반지름이 R₁, R₂, R₃에 해당하는 3개의 원을 얻을 수 있으며, 더불어 원의 반지름 R₁, R₂, R₃의 차를 이용하여 3개의 궤적을 얻을 수 있다. 또한 ToA 정보, T1, T2, T3로부터 2차 쌍곡선 상에 그 궤적을 나타내는 TDoA정보를 쉽게 구할 수 있다. 그러므로 제어 유닛에서는 상술한 단위원궤적과 쌍곡선궤적 관계식들을 통해 얻어진 데이터를 토대로 무선측위 대상인 태그의 위치를 표정할 수 있게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 미리 알고 있던 거리 및 시간정보들과 상기 마스터 비콘 및 다수의 슬레이브 비콘으로부터 유/무선채널을 통해 전송된 시간 정보를 가지고 태그에 대한 위치추적을 수행하는 단일 송수신을 통한 근거리 무선측위방법을 설명하였고, 종래의 무선측위시스템에서 공통적으로 문제시 되는 각 비콘간의 시각동기와 태그와 비콘사이의 시간동기문제를 해결할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 다수개의 슬레이브비콘들과 태그는 무선측위 과정중 한번의 신호 송출을 통해 무선측위를 종료하여 전력소비를 최소화함을 특징으로 한다. 향후, 본 기술은 유비쿼터스 전기융합 네트워크의 위치기반 무선측위시스템의 대안기술로 기여할 수 있으리라 본다.

[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] Ricoh Co., "Position measuring system using pseudo-noise signal transmission and reception", *US patent no. 5,216,429*, June, 1993.
- [3] Multispectral Solutions, "Ultra wideband precision asset location system", *UWBST*, May 2002.
- [4] Multispectral Solutions, "Ultra wideband precision geolocation system", *US patent no. 6,051,950*, Apr. 2000.