

논문 2008-45CI-6-4

무선 동기를 이용한 IR-UWB 무선 측위 알고리즘

(IR-UWB Location Positioning System with Wireless Synchronization)

강 지 명*, 이 순 우*, 김 용 화*, 박 영 진*, 김 관 호*

(Jimyung Kang, Soonwoo Lee, Yonghwa Kim, Youngjin Park, and Kwanho Kim)

요 약

시간 영역에서 나노 초 이하의 임펄스 신호를 이용하는 초광대역 임펄스 통신을 이용하면 임펄스 특성으로 인해 노드의 위치 정보 파악이 가능하다는 것이 알려져 있다. 이를 위해 무선 측위(Wireless Position Location)용으로 펄스의 도착 시간을 측정하여 센서나 태그의 위치를 계산하는 많은 알고리즘들이 제안되었다. 본 논문에서는 이러한 기존의 알고리즘들의 장단점을 비교한 후, 무선으로 동기를 맞추는 TDoA 방안을 실용화 가능한 새로운 방안으로 제안한다. 기존의 알고리즘들은 완벽한 동기를 가정하거나 펄스 송,수신의 시간을 제약하는 등의 특수한 로직이 따로 필요하지만, 저가격, 저전력으로 동작하는 센서네트워크 등의 시스템을 위해서는 가급적 간단하게 노드를 만들어야 하고, 가급적 적은 펄스의 전송을 수행하여야 한다. 제안하는 방안은 동기를 임펄스를 이용해 맞추는 방법을 사용한다. 따라서 실제로 구현이 가능하면서도 고정밀 측위를 요하는 시스템에서 측위의 정확도도 높다. 시뮬레이션을 통해서 제안하는 방안이 50cm 이하의 에러를 나타낼 확률이 다른 구현 가능한 시스템보다 50%이상 개선됨을 확인하였다.

Abstract

Impulse Radio Ultra Wide Band (IR-UWB) system can be used to wireless position location system because of its unique very short pulse in the order of nanosecond. A few algorithms have been proposed to calculate location of sensors or tags. In this paper, we compare these algorithms and propose 'TDoA with wireless synchronization' as practical solution. Earlier algorithms need special logic to fix the duration to receive and send pulse or assume synchronization with wire. In proposed method, beacons synchronize each other using impulse and nodes can be made simple and cheap. We evaluated the performance and it shows 50% improved accuracy at the error range of 50cm.

Keywords : 초광대역, 무선측위, TDoA, Synchronization

I. 서 론

초광대역 임펄스 통신(IR-UWB)은 캐리어를 사용하지 않고 나노초 이하의 짧은 펄스를 사용하는 특징을 가지는 근거리 무선 통신 기술이다. 연속적인 에너지의 전송이 없기 때문에 초저전력 통신이 가능하며, 이에 따라서 센서 네트워크나, 높은 해상도를 가지는 무선측위 시스템에 그 사용가능성이 높아지고 있다^[1~2]. 근래에 FCC에서 초광대역 통신의 사용을 허가하고, 국내에서도 2006년에 초광대역의 주파수 사용을 허가함에 따라서 이에 관련한 연구가 활발히 진행되고 있다^[3]. 국내

에서도 이에 관하여 저전력 초광대역 통신 방식 및 칩셋 구현에 관한 연구가 진행되고 있다^[4~5]. 이 중 IR-UWB 무선 측위 시스템은 수십 미터의 범위를 가지면서 30cm 이하까지의 해상도를 지원하는 것을 실용화 목표로 하여 현재 많은 연구 개발이 진행중이며, 이 측위기술은 IEEE 802.15.4a^[6]에서 표준으로도 채택되었다. 이러한 무선측위 시스템은 센서네트워크에서 센서나 태그의 위치 추적에 유용하게 사용될 수 있다. 기존의 무선측위 알고리즘은 크게 ToA(Time of Arrival)를 이용하는 방법, TDoA(Time Difference of Arrival)를 이용하는 방법, 그리고 AoA(Angle of Arrival)를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 이 중 ToA와 TDoA는 IEEE 802.15.4a의 표준에서 채택하고 있는 방법이다. 본 논문에서는 기존의 무선 측위 알고리즘들을 분류하고, 무선

* 정회원, 한국전기연구원

(Korea Electrotechnology Research institute)

접수일자: 2008년10월10일, 수정완료일: 2008년10월30일

동기를 이용한 TDoA 방안을 실용화 가능한 솔루션으로 제안하며 측위 알고리즘들의 성능을 클락 동기 차이 (Clock Offset)까지 고려한 실제 상황에 맞추어 비교한다. TDoA 방식에서 비콘사이의 동기는 GPS 신호나 유선으로 연결된 클락을 통해 맞출 수 있다고 일반적으로 생각되어 왔으나, 무선 펄스를 통한 구체적인 비콘 동기화 방안 및 그 성능에 관해서는 현재까지 명확히 제시된 바 없었다.

논문의 II장에서는 기존의 알고리즘들을 알아보고, III장에서는 제안하는 무선 동기를 이용한 TDoA 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 여러 알고리즘들의 성능을 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

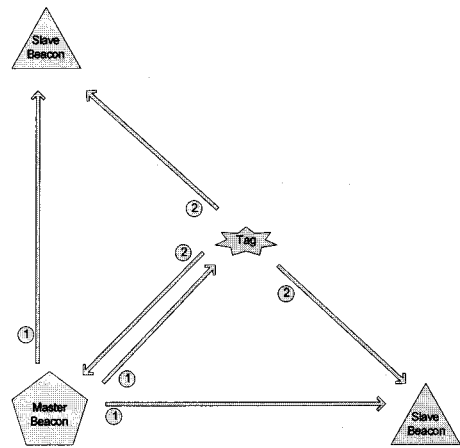
II. 관련 연구

ToA는 기본적으로 2개의 노드사이에 TWR(Two Way Ranging)을 이용하여 두 노드사이의 거리를 추정하고 이러한 TWR을 태그와 몇 개의 비콘이 수행해 태그의 위치를 추정하는 방법으로 태그의 에너지 소모가 많고 태그가 복잡해지는 문제가 있다. TWR이란 한 노드가 펄스를 전송한 후 반대편에서 이 펄스를 수신한 노드가 다시 펄스를 송신하여 두 노드사이에 펄스의 왕복 시간을 계산 한 뒤 노드의 처리 시간을 제외하고 노드간의 거리를 계산하는 방법이다.

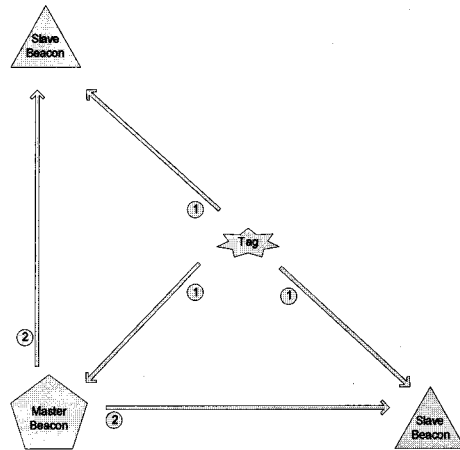
TDoA 방법에서는 비콘사이에 동기화가 되어 있다는 가정하에 태그가 송신한 펄스가 각 비콘에 도착하는 시간의 차이를 측정한다. 펄스가 각 비콘에 도착하는 시간차를 이용하면 비콘들을 초점으로 하는 쌍곡선을 그릴 수 있게 되고 이 쌍곡선들의 교점을 찾으면 태그의 위치를 계산할 수 있다. 이 방법은 ToA에 비해서 정확성이 높을 것으로 일반적으로 생각되나 비콘사이의 동기화를 맞추어야 한다는 점에서 실용화에 상당한 어려움이 있다.

AoA를 이용하는 방법은 도착펄스의 각도를 각 비콘에서 파악하는 방법으로서, 각도를 파악하는 안테나를 사용하는 것은 현 시점에서 실용적이지 못하다.

앞에서 제시된 기본적인 알고리즘들을 발전시킨 알고리즘들도 제시된 바 있다. 간접 ToA 방식은 ToA 시스템에서 3개의 비콘이 각각 TWR 을 수행하는 대신 비콘을 마스터와 슬레이브로 나누어 마스터 비콘과 태그만이 TWR을 수행하고, 슬레이브 비콘은 이 TWR 과정을 관찰하도록 하였다^[7]. 그림 1 (a)에서 마스터 비콘과 태그가 수행하는 TWR과정을 슬레이브 비콘은 관



(a) 간접 ToA
(a) Indirect ToA



(b)간접 TDoA
(b) Indirect TDoA

그림 1. 간접 무선측위 알고리즘
Fig. 1. Indirect Positioning Algorithms.

찰하게 된다. 슬레이브 비콘과 마스터 비콘사이의 거리는 이미 알고 있고, 마스터 비콘과 태그의 거리도 TWR 과정의 결과에서 계산되기 때문에 이 정보를 이용하면 슬레이브 비콘과 태그의 거리도 계산할 수 있게 된다. 그러나 이 알고리즘은 태그가 송, 수신을 수행해야 하여서 태그의 복잡도가 높고 태그의 에너지 소비가 높은 단점이 있다.

간접 TDoA는 TDoA 방식으로 위치를 계산하지만, 간접적인 방식으로 시간차를 측정하는 방식을 사용한다^[8]. 그림 1(b)에서 태그가 펄스를 전송한 후, 마스터 비콘이 펄스를 전송하게 되고, 다른 비콘들에서는 태그가 전송한 펄스와 마스터 비콘이 전송한 펄스의 시간 차이를 측정한다. 마스터 비콘과 슬레이브 비콘과의 거리를 알고 있기 때문에 마스터 비콘과 슬레이브 비콘에서 태그가 전송한 펄스의 도착 시간 차이를 계산해 낼 수 있

게 되며 이를 이용해 태그의 위치를 계산할 수 있다.

위에서 제시된 간접 알고리즘들은^[7~8] 태그나 비콘을 한번 경유한 시간을 측정하는 간접적인 측위 방식을 사용하기 때문에 오차가 많이 생길 수 있다. 또한 펄스 수신 이후 고정된 짧은 시간 이후 펄스를 재송신 하는 펄스 반사 로직이 구현되어야 하는데, 이는 노드의 높은 가격을 이루는 요소가 될 수 있다.

III. 무선 동기를 이용한 TDoA 알고리즘

본 논문에서 가정하는 무선측위 시스템에서는 비콘 사이의 거리는 이미 알려져 있고 비콘은 1GHz 클락을 사용한다고 가정한다. 1GHz의 시스템 클락은 30cm의 해상도를 지원하기 위한 최소한 지원해야 하는 클락이다. 제안하는 측위 알고리즘은 크게 2단계로 구성되는데, 1단계에서는 TDoA 방식으로 측위를 수행하고 2단계에서는 비콘간의 동기를 맞춘다.

1단계는 기본적인 TDoA 알고리즘과 유사한 형식으로 구성된다. 즉 Tag는 펄스를 전송하고 비콘들은 각자 이 펄스의 수신 시간을 기록한다. 이 때 각 비콘이 독자적으로 가지고 있는 측위동기클락(SynchClock)을 기준으로 기록한다. 측위동기클락은 1GHz 클락이 N번 동작할 때 한번 동작하는 클락을 말하며, 펄스의 도착시각을 측정한다는 말은 이 측위동기클락이 가장 최근에 발생한 시각을 기준으로 해서 1GHz 클락의 동작 횟수를 기록한다는 뜻이다. 802.15.4a에서는 측위용 펄스의 송수신이 패킷의 송수신 내부에 포함되어 있기 때문에 패킷의 도착 시간을 측정할 경우 패킷 전체를 포함할 수 있는 시간단위를 측정해야 하며, 따라서 측위동기 클락의 주기는 최소한 라인징 패킷 전체를 포함하는 크기를 가져야 한다. 현재 IEEE 802.15.4a에서는 TWR을 통해 측정되는 시간을 최대 5ms까지 예상하고 있으며 본 논문에서는 최대한 짧은 패킷을 사용하여 측위동기클락은 100us의 주기를 가진다고 가정하였다. 실제 정보의 전송은 2단계에서 클락 동기를 보정한 뒤 일어나게 된다.

2단계는 프리퀀시 오프셋의 보정과, 측위동기클락의 보정 단계로 구성된다. 프리퀀시 오프셋을 보정하는 방안은 802.15.4a 에서 여러가지 방안이 제시된 바 있으며 본 논문에서는 이 중 디지털 트래킹 루프(digital tracking loops) 방안을 적용할 수 있다. 마스터 비콘은 자신의 측위동기클락이 시작되는 시점에 각각 펄스를 전송한다. 그리고 슬레이브 비콘들은 이 펄스 2개의 수신 시간차를 기록한다. 이 때 펄스의 수신 시간차가 자

신의 측위동기클락 주기와 동일하지 않다면 마스터 비콘과 프리퀀시 오프셋이 존재하는 것이고, 이 정보를 이용하면 마스터 비콘과의 프리퀀시 오프셋을 보정할 수 있다. 슬레이브 비콘의 측위동기클락 주기는 이 시점에서 N이 아니라 N+a 로 바뀌게 된다. 비콘사이의 프리퀀시 오프셋을 맞추는 이 단계는 클락의 정확도가 높다고 가정할 경우 생략할 수도 있으며, TDoA이외의 다른 알고리즘의 프리퀀시 오프셋을 보정할 때에도 적용할 수 있다.

포지셔닝을 위해서 측위동기클락의 동기를 비콘들 사이에 맞추는 과정이 필수적이다. 1단계에서 측정한 펄스 도착 시간은 각자 비콘이 임의의 시간을 기준으로 측정한 것이기 때문에 측위에 바로 적용할 수 없기 때문이다. 측위동기클락의 동기를 맞추는 과정에서는 앞서 프리퀀시 오프셋을 보정하는데 사용한 펄스를 재활용하며, 슬레이브 비콘이 마스터 비콘과의 시간을 동기화 하게된다. 마스터 비콘과의 거리는 이미 알려져 있으므로, 도착한 펄스의 시각에서 마스터 비콘에서 펄스가 오는데 걸리는 시간을 제외하면 마스터 비콘 측위동기클락의 시작 시점을 알 수 있게 된다. 따라서 이 시점으로 슬레이브 비콘은 자기자신의 측위동기클락 시작점을 수정한다.

그림 2에서 알고리즘을 나타내었다. 태그가 펄스를 전송하면 비콘은 각자 그 펄스의 도착 시간을 측정하고, 2단계에서 마스터 비콘이 전송하는 동기 펄스를 수신한 후 1단계에서 태그로부터 받은 펄스의 시간을 동기화 하게 된다. 그림 1 b)의 간접 TDoA 방식과 큰 차이가 없는 것으로 보이지만, 가장 큰 차이점은 제안하

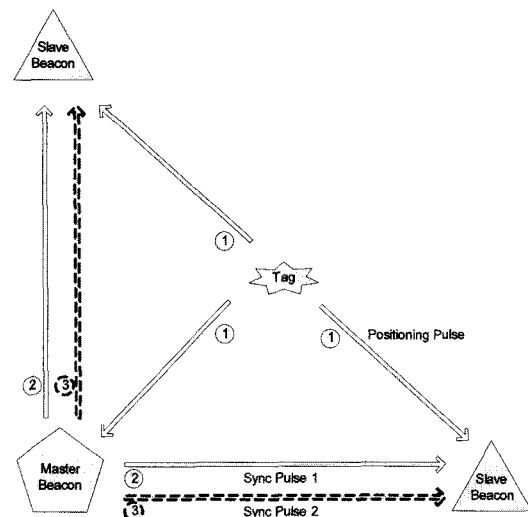


그림 2. 제안하는 측위 알고리즘
Fig. 2. Proposed Positioning Algorithm.

는 방안에서는 마스터 비콘에서 펄스를 수신한 이후 펄스 반사로직을 통한 고정 시간 이후의 펄스 반사를 수행하지 않는다는 것과, 간접 TDoA에서는 슬레이브 비콘이 태그로부터 출발한 펄스가 마스터 비콘을 경유해서 온 시간을 측정하게 되지만, 제안 하는 방안에서는 마스터 비콘에서 온 펄스는 독립적으로 존재하는 펄스이며 다른 노드를 경유하는 시간이 측정되지 않는다는 것이다.

IV. 성능 평가

무선측위 시스템에서 고려해야 하는 중요한 요소는 구현 복잡도와 에너지 소비 그리고 측위의 정확성이라고 할 수 있다.

복잡도는 가격과 밀접한 연관이 있는 요소로서, 비콘의 복잡도 보다는 태그의 복잡도가 가장 중요한 요소가 된다. 비콘은 고정된 지점에 존재하게 되지만 태그는 수십~수백개가 동시에 존재할 수도 있기 때문이며 배터리로 동작하기 때문이다. 태그의 복잡도 측면에서는 태그가 송신만 하는 시스템이 훨씬 간단하게 만들 수 있게 된다. 수신기보다 송신기가 훨씬 간단하며, 저가격으로 만들 수 있기 때문이다. 또한 고정된 처리 시간을 가지는 펄스 반사 로직의 존재 유무도 복잡도에 영향을 미치게 된다. 펄스 하나를 수신후 펄스 하나를 송신할 때는 펄스 반사로직이 비교적 쉽게 구현 가능하지만, 패킷을 송수신 해야하는 실제 시스템은 펄스 하나로 동작하지 않기 때문에 카운팅 하는 시간도 최소 수십 us 이상에서 수 ms까지의 시간이 되며 펄스들의 분석 및 처리시간을 고정하는 것도 훨씬 더 어려운 문제가 된다.

에너지 소비 측면에서도 마찬가지로 태그가 에너지를 얼마나 소비하는가가 중요한 요소이다. 즉 태그가 1회 송신만 함으로서 측위가 완료되는 시스템이 에너지를 가장 에너지를 적게 소비하게 된다. 제안하는 알고리즘에서 측위에 필요한 전체 펄스 전송의 수는 3개이지만, 태그는 1회만 전송한다. 만약 프리퀀시 오프셋 보정이 필요 없는 환경에서는 전체 2개의 펄스 전송이 가능하고, 동기를 한번 맞춘 이후로는 일정시간 동안 1개의 펄스 전송이 가능할 수 있다.

마지막으로 측위의 정확성을 고려해 보자. 무선 측위에서 발생하는 가장 중요한 문제는 다음의 2가지로 나누어 생각해 볼 수 있다.

첫 번째는 클락의 부정확성 문제로, 각각의 클락이

프리퀀시 오프셋등의 특성이 다른 것이다. 클락의 부정확한 동작은 아무리 알고리즘이 좋더라도 결국 측위의 오차를 낳게 된다. 앞장에서 설명한 프리퀀시 오프셋을 보정하는 방안을 사용함으로써, 측위의 오차를 줄일 수 있다.

두 번째는 LoS(Line of Sight) 펄스의 수신 정확성에 따르는 에러가 발생할 수 있는 것이다. 가장 좋은 가정은 LoS 시그널을 완벽하게 수신해서 수신 시각을 측정하는 것이지만, 실제로 RF 모듈에서 LoS 시그널의 위치를 완벽하게 수신한다고 보기는 어려우며 LoS 시그널을 감지해 내는 부분은 아직 더 연구가 필요하다. 따라서 에너지가 일정 이상이 되면 펄스로 인정하는 방식을 통해 LoS 시그널의 위치를 추정하는 간단한 펄스 수신 시스템에서는 전체 포지셔닝 알고리즘에서 펄스의 수신횟수가 정확도와 밀접한 관련이 있게 된다. 제안하는 알고리즘에서는 프리퀀시 보정을 하지 않는다고 가정할 경우 수신 알고리즘은 모두 5번이 수행되어야 한다. Sync가 유선으로 되어 있는 TDoA는 3번이면 가능하고, ToA는 모두 6번이 필요하다. 제안하는 방안에서 비콘사이의 동기화 관련된 2단계는 클락 환경이 나쁘지 않을 경우 매번 수행할 필요는 없다.

수신 정확성에 영향을 미치는 또 다른 중요한 요소는 정보 획득에서 펄스 수신 중첩이 나타나는 경우이다. 즉 시간을 측정할 때 다른 노드를 경유해서 다시 송신되는 펄스를 수신할 경우, 패킷의 수신이 연달아 발생한 후의 시간을 측정하기 때문에 펄스 수신 시점에 관련된 오차가 더 커지는 효과가 나타날 수 있다. 즉 측정하는 시간이 2회의 펄스 수신을 포함하는 시간 이어서 1회의 펄스 수신 시간을 측정하는 것 보다 위치 계산시 사용되는 정보가 더 큰 오차를 포함할 수 있기 때문에 이러한 알고리즘을 사용하는 ToA나 2장에서 설명된 간접 ToA, 간접 TDoA의 시간 측정에서는 펄스 수신 에러가 증폭될 수 있다. 물론 ToA의 경우는 각 비콘별로 TWR을 수행하기 때문에 데이터를 더 많이 수집하여 이런 약점을 극복할 수 있지만, 그 외의 경우에는 LoS 측정 오류의 효과가 중첩되어 큰 오차를 유발 할 수 있다.

즉 제안하는 방안은, i)펄스를 수신한 뒤 일정시간후 송신하는 펄스 반사 로직이 없고, 유선으로 동기를 맞추지도 않기 때문에 간단하게 낮은 가격으로 만들 수 있고 ii)다른 비콘이나 태그를 경유한 펄스를 수신하지 않기 때문에 측정 오차가 줄어들게 되며 iii) 전체 송, 수신 펄스수도 다른 방법에 비해 많지 않으므로 전원도

표 1. 알고리즘 비교 (프리퀀시 오프셋 보정은 모든 알고리즘에서 고려하지 않음)

Table 1. Comparison of Algorithm (Without synchronization of Frequency offset).

	펄스반사모직 존재 유/무	전체 전송 펄스 수	전체 수신 펄스 수	비고
ToA	유 (태그)	6	6	
간접 ToA	유 (태그)	2	6	펄스 수신 에러 중첩
TDoA	무	1	3	비콘간의 유선 동기
간접 TDoA	유 (비콘)	2	5	펄스 수신 에러 중첩
무선 동기 TDoA	무	2	5	무선 동기

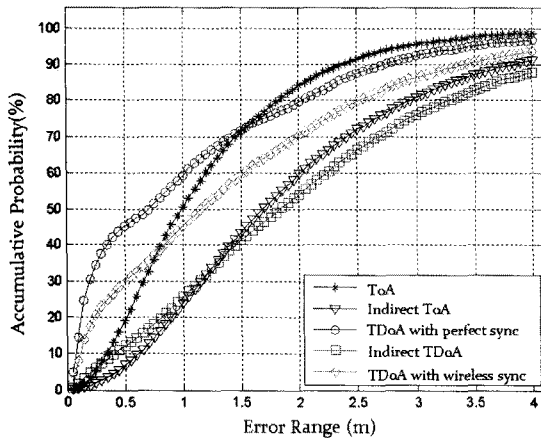


그림 3. 측위 정확도

Fig. 3. Precision of Positioning.

많이 소비 되지 않게 된다.

표 1에서는 여러 가지 알고리즘에 대해서 노드 복잡도, 에너지 소비, 측위 오차를 유발할 수 있는 가능성 등을 정리하였다.

그림 3에서 알고리즘을 시뮬레이션하여 측위오차의 분포를 누적하여 나타내었다. 각각의 알고리즘은 프리퀀시 오프셋 보정 알고리즘을 적용할 수 있기 때문에 프리퀀시 오프셋 보정 알고리즘을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우 중 더 좋은 성능을 보이는 것으로 나타내었다. 채널은 802.15.4a의 채널 모델 1을 가정하였으며 클락의 프리퀀시 오프셋은 최대 50ppm내에서 랜덤하게 일어난다고 가정하였다. 예상한대로 완벽한 동기를 가지는 것으로 가정하는 TDoA 시스템의 성능이 좋게 나타난다. 제안하는 방안과 ToA의 성능을 비교해

보면 오차 50cm 이내에서는 제안하는 방안이 오히려 50%까지 더 좋은 성능을 보이고 그 이후에는 ToA가 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 제안하는 시스템의 간단한 태그와 낮은 에너지 소비를 생각해볼 때 ToA와의 성능 차이는 크지 않으며 오히려 제안하는 방안은 작은 오차에 많은 부분이 집중되어 있기 때문에 UWB 포지셔닝 시스템에서 요구하는 50cm 미만의 정확도를 요구하는 측면에서는 표본의 선택을 통해서 더 좋은 성능을 나타낼 수 있게 된다. 간접적인 시간 측정 방식을 이용하는 두 알고리즘은 펄스 수신 오류의 중첩효과로 인해 성능이 다소 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

IR-UWB 를 이용한 무선측위 시스템은 자산 관리나 목표 추적등의 응용에 널리 사용될 것이다. 본 논문에서는 무선 측위 방식의 성능을 비교하고, 실용화 가능한 알고리즘으로 무선동기를 이용한 TDoA 방식을 제시하였다. 또한 제시한 방안이 50cm 이하의 정확도를 목표로 하는 측위 시스템에는 ToA 보다 더 좋은 성능을 보이면서도 복잡도와 에너지 소비가 낮음을 확인하였다.

참고 문헌

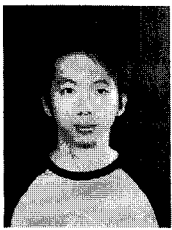
- [1] I. Oppermann, M. Hämmäläinen, and J. Iinatti, UWB Theory and Applications, Wiley, 2004
- [2] Oppermann, I. Stoica, L. Rabbachin, A. Shelby, Z. Haapola, J., "UWB wireless sensor networks : UWB-a practical example", IEEE Communications Magazine, Volume: 42 Issue: 12 S27-S32, ISSN: 0163-6804, Dec. 2004.
- [3] First report and order, FCC, Washington, DC, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [4] 이순우, 박영진, 김관호 "고속 디지털 샘플러 기술을 이용한 저전력, 저복잡도의 초광대역 임펄스 무선 통신시스템 신호처리부 연구", 전자공학회논문지 제 43권 TC 12호, pp. 9~15, 2006. 12.
- [5] 강지명, 박영진, 이순우, 김관호, 김문현 "IR-UWB 통신의 새로운 충돌 패러다임에 관한 연구", 전자공학회논문지 제 44권 TC 10호, pp 47~54, 2007. 11.
- [6] IEEE Approved Std P802.15.4a/D7, Approved Draft Amendment to IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-PART 15.4:Wireless Medium Access Control (MAC)

and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs): Amendment to add alternate PHY (Amendment of IEEE Std 802.15.4), IEEE, 2007

- [7] D Kang, Y Namgoong, S Yang, S Choi, Y Shin, "A simple asynchronous UWB position location algorithm based on single round-trip transmission", ICACT 2006.

- [8] Mizugaki, K. Fujiwara, R. Nakagawa, T. Ono, G. Norimatsu, T. Terada, T. Miyazaki, M. Ogata, Y. Maeki, A. Kobayashi, S. Koshizuka, N. sakamura, K, "Accurate Wireless Location/Communication System With 22-cm Error Using UWB-IR", IEEE Radio and Wireless Symposium 2007.

저 자 소 개



강 지 명(정회원)

2004년 서울대학교 컴퓨터공학부
학사 졸업.

2006년 서울대학교 전기컴퓨터
공학부 석사 졸업.

2006년~현재 한국전기연구원
전기정보망연구그룹.

<주관심분야 : 무선 네트워크, 센서네트워크, 전력선 통신>



이 순 우(정회원)

2001년 부산대학교 전자공학과
학사 졸업

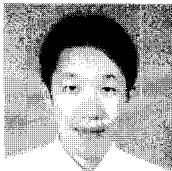
2003년 한국과학기술원
전기전자과 석사 졸업

2004년~2005년 Hynix 반도체

2005년~현재 한국전기연구원

전기정보망연구그룹 근무.

<주관심분야 : 신호처리 및 VLSI 설계>



김 용 화(정회원)

2001년 서울대학교 전기공학부
학사 졸업

2007년 서울대학교 전기컴퓨터
공학부 박사 졸업

2007년~현재 한국전기연구원
전기정보망연구그룹.

<주관심분야 : 통신 채널, 통신 시스템 설계, 통신
신호 처리, UWB 통신, 전력선 통신>



박 영 진(정회원)

1997년 중앙대학교 전자공학과
학사 졸업

1999년 한국과학기술원
전기전자과 석사 졸업

2002년 University of Karlsruhe
전기전자과 박사 졸업

2002년 11월~현재 한국전기연구원 전기정보망
연구그룹 근무.

<주관심분야 : Impulse radio propagation, UWB
image radar, short range automotive radar, digital
beam forming, power line communications
(PLC)>



김 관 호(정회원)

1978년 송전대학교 전자공학과
학사 졸업

1980년 연세대학교 전자공학과
석사 졸업.

2008년 연세대학교 전자공학과
박사 졸업.

1980년~1983년 한국전력공사.

1983년~현재 한국전기연구원 전기정보망
연구그룹 그룹장.

<주관심분야 : 전파통신, 전력선통신시스템, 무선
에너지 전송, UWB 레이더 및 센서>