

Non-Coherent UWB 레인징 기술

최성수, 김영선, 오휘명, 이원태, 이재조
한국전기연구원

Non-Coherent Ultra-Wideband Ranging Techniques

Sungsoo Choi, Youngsun Kim, Hui-Myung Oh, Won-Tae Lee, and Jaejo Lee
Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

Abstract - 초광대역 (UWB)통신기술을 응용한 다양한 무선측위시스템은 향후, 전기-IT융합 유비쿼터스 전기설비 환경의 센서네트워크에서 중요한 역할로 대두된다. 이러한 UWB기반의 무선측위시스템은 UWB송수신기 자체의 정밀거리산출기능의 정확도 정도에 따라 그 성능이 직접적으로 좌우된다. 본 논문에서는 현재 논의되고 있는 UWB 레인징기술에 대한 소개와 특히 저비용, 저전력 운영이 가능한 단순한 구조를 갖는 비가역성(Non-coherent) UWB 레인징 시스템구조에 대해 새롭게 제안하고자 한다.

1. 서론

최근들어 약 10m 내의 전송거리의 근거리 무선통신용 UWB (Ultra-Wideband) 신호처리 및 통신기술에 대한 연구와 개발이 전 세계적으로 새로운 전기를 맞고 있다[1-3]. 근거리무선개인통신망 (WPAN) 영역의 UWB 통신은 본질적으로 전파신호자체가 초광대역 특성을 지니고 있어서 멀티미디어 서비스용 100Mbps급 이상의 고용량 무선데이터 전송이 가능하며, 다른 한편으로 초저전력소비를 요구하는 수Kbps에서 최대 1Mbps급 저속 통신기술에도 활용되어져 향후, 유비쿼터스 센서네트워크에 응용되어지는 등 기술의 적용범위가 넓다. 이처럼 UWB통신 시스템은 그 응용 범주에 따라 고속 및 저속의 두 가지 PHY기술로 나누어져 연구 및 개발이 진행 중에 있으며, 국제적으로 현재 고속 UWB통신 표준화 그룹인 IEEE802.15.3a와 저속 UWB 데이터전송 표준화그룹인 IEEE802.15.4a[1]에서 무선 근거리개인통신망 (WPAN)에 관한 국제표준화가 진행 중에 있다. 이들 국제표준화 그룹에서는 기존 IEEE WPAN 고속 및 저속 데이터통신의 각 프로토콜들을 간단히 탑재 및 수정 이용할 수 있도록 프로토콜 일부분을 개선하고 기존 물리계층(PHY) 대신에 새로운 UWB 통신 물리계층을 채택하기 위하여 무선채널특성 및 다양한 변복조기술등을 제안하고 비교 검증 토론하며 하나의 통일된 표준문서화 작업을 진행 중에 있다. 특히, 저속 데이터통신에 적합한 펄스방식의 LR (Low Rate)-UWB 통신기술은 초저전력, 단순 H/W 구조의 장점을 지니고 있는 동시에 비동기 시스템에서 정밀 레인징 (Ranging)이 가능하여 저가격 위치기반 무선센서네트워크를 구성할 때 다른 기술들 보다 가격측면에서 그 성능이 월등히 유리하며, 향후 전기-IT융합형 유비쿼터스 전기설비 환경구축에 반드시 필요한 핵심기술이라 할 수 있다. 본 논문에서는 WPAN영역의 UWB 통신기술 내 레인징 방법에 대해 초점을 맞추어 소개하고, 제안하고자 하는 저가격에 구현가능한 noncoherent 수신방식을 택하는 비동기식 LR-UWB시스템의 레인징 기술에 대해 논한다.

2. UWB 레인징 (Ranging) 기술

2.1 비동기 시스템에서 UWB 레인징 처리구조 및 원리

WPAN용 UWB 시스템에서 무선측위 (Positioning)를 하기 위해서는 먼저 정밀 레인징 (Ranging)기술이 지원되는 UWB 통신 송수신기 구조의 설계가 필요하다. 정밀 레인징 기술은 1:1 송수신기 사이에 그 송수신 방식에 따라 전형적으로 두 개의 기술로 분류될 수 있다. 하나는 단방향 송신 또는 수신용 통한 레인징 처리기법이며, 다른 하나는 양방향 송수신을 통한 레인징 처리 기법이며, 본질적으로, UWB 레인징 기술은 UWB자체의 송신 신호의 특성이 초광대역이며 시간영역에서는 수 ns 단위의 신호폭을 갖는 임펄스형태를 가정하고 있어 개별 정밀도는 최소 전송 신호폭에 의해 결정된다. 동기가 맞지 않는 두 디바이스 사이의 거리 정보를 추정하기 위한 처리 구조는 그림 1과 같다.

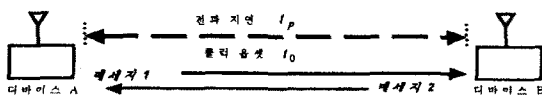


그림 1 : 양방향 송수신을 통한 거리 인지 기법 모델

여기서 디바이스 B가 디바이스 A에서 송신한 메시지 1을 수신하였을 때의 시간 정보 T_{1BR} 은 다음과 같다.

$$T_{1BR} = T_{1AT} + t_0 + t_p \quad (1)$$

여기서 T_{1AT} 는 그림 1에서 보여 주듯이 메시지 1을 디바이스 A가 전송할 때의 시각을 나타내고 t_0 는 두 디바이스 사이의 클럭 옵셋을, t_p 는 두 디바이스 사이의 전파 지연 시간을 의미한다. 마찬가지로 디바이스 A가 디바이스 B에서 송신한 메시지 2를 수신하였을 때의 시간 정보 T_{2AR} 은 다음과 같다.

$$T_{2AR} = T_{2BT} - t_0 + t_p \quad (2)$$

식(1)과 식(2)을 t_p 와 t_0 에 관한 식으로 표현하면 원하는 전파 지연 정보 및 클럭 옵셋 정보를 식(3)과 식(4)처럼 얻을 수 있다.

$$t_p = \frac{(T_{2AR} - T_{1AT}) - (T_{2BT} - T_{1BR})}{2} \quad (3)$$

$$t_0 = \frac{(T_{2BT} + T_{1BR}) - (T_{2AR} + T_{1AT})}{2} \quad (4)$$

그림 2는 TOF (Time-Of-Flight), 즉 디바이스 A, B 사이의 거리 정보를 측정하기 위한 패킷 구조로 묘사된 양방향 Ranging 처리 구조를 나타낸다. 일반적으로 수신단 패킷 구조를 보면 신호의 수신 여부를 측정하기 위한 채널 획득 (Channel Acquisition) 부분, 동기화를 위한 동기 헤더 (Synchronous Header) 부분, 거리 인지 및 통신에 필요한 정보를 포함하는 Payload 부분으로 나타낸다.

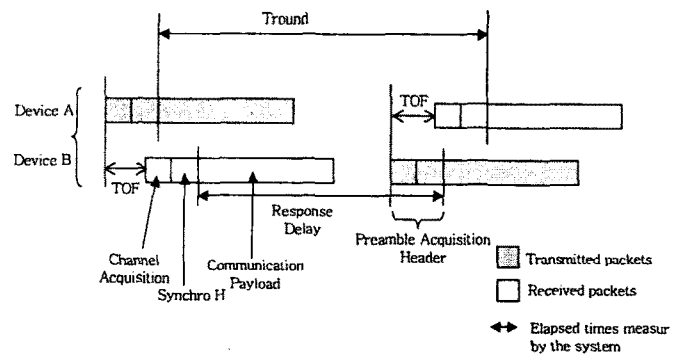


그림 2 : TOF를 측정하기 위한 양방향 Ranging 처리 구조

디바이스 A는 패킷을 전송하면서 payload 송신 시점의 시각정보를 저장하게 된다. 이렇게 전송된 신호는 TOF 후에 디바이스 B가 수신하게 되며 채널 획득부분에서 정확한 수신 시점을 파악하게 되고 수신 시점과 동기 헤더까지의 시간정보를 계산하여 Payload 부분에 실어 전송하게 된다. 마찬가지로 디바이스 A는 동일한 과정을 통해 수신 신호의 최초 수신 시각을 계산하게 되고 최종적으로 송신 시점의 시각과 수신 시점의 시각의 차를 계산하게 된다.

2.2 동기 시스템에서 UWB 레인징 처리구조 및 원리

그림 3은 모든 디바이스들이 기준이 되는 클럭에 동기화 되어 있을 경우 두 디바이스 사이의 거리를 추정하는 단방향 송수신을 이용한 Ranging 처리 구조를 나타낸다. 이러한 구조는 간단하게 TOA (Time-Of-Arrival) 혹은 TDOA (Time-Difference-Of-Arrival) 정보를 측정할 수 있으며 3개의 고정 디바이스를 통해 타겟 디바이스의 위치를 추정할 수 있으나 공통 기준 클럭을 사용하

기 때문에 비용이 많이 든다.

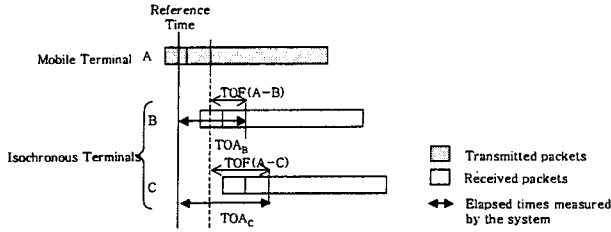


그림 3 : 단방향 송수신을 이용한 거리 인지 처리 구조

그림 4는 이러한 동기식 시스템에서 단방향 송수신만으로 타겟 디바이스의 위치를 추정하는 처리 구조를 나타낸다.

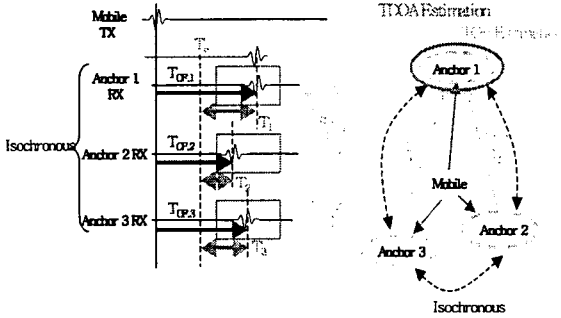


그림 4 : 단방향 송수신을 이용한 무선 측위 처리 구조

여기서 모든 디바이스는 공통의 기준 클럭에 동작되며 단지 한번의 타겟 디바이스의 송신만으로 TOA 정보(T_1 , T_2 , T_3)를 추정할 수 있으며 이를 통해 식(5), 식(6)처럼 TDOA 정보를 추출해 낼 수 있다.

$$\bar{T}_{21} = T_1 - T_2 \rightarrow \bar{d}_{21} = \bar{T}_{21} \cdot c \quad (5)$$

$$\bar{T}_{23} = T_3 - T_2 \rightarrow \bar{d}_{23} = \bar{T}_{23} \cdot c \quad (6)$$

2.3 제안된 UWB 레인지 처리 기술

일반적으로 UWB 레인지 처리를 위한 레인지 신호 구성은 채널 모델링을 통해 IPI (Inter-Pulse Interference)를 고려하여 결정하게 된다. 단지 통신만을 고려한 신호 구성에 있어서는 코드 이득 특성을 갖도록 신호를 구성하여 펄스 간의 간섭이 어느 정도 있어도 시스템 성능에 크게 영향이 미치지 않을 수 있지만 Ranging 정보를 획득할 시에는 다중 경로 중 최초 도착 지연 성분을 추정해야 하기 때문에 신호를 구성할 시에 IPI를 충분히 고려해야 한다. 특히 에너지 신호를 이용하는 Noncoherent 방식의 수신기에서는 더욱 그러하다. 이러한 사항들을 고려하여 단일 펄스 구조를 갖는 Ranging을 위한 신호 구성은 그림 5와 같다.

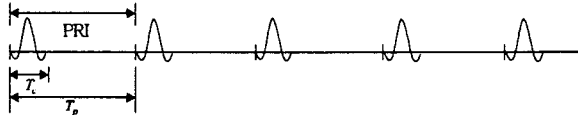


그림 5 : 단일 펄스 구조를 가지는 Ranging을 위한 신호 구성

여기서 T_c 는 펄스의 폭을 나타내고, T_p 는 PRI (Pulse Repetition Interval), 즉, 펄스와 펄스의 폭을 나타낸다. T_p 는 다중 경로에 의한 IPI를 방지하기 위해서 충분히 넓게 설정해야 하지만 요구되는 데이터율이 있기 때문에 채널 모델링을 통해 최대 Excess 지연 값을 도출하고 이를 통해 PRI를 설정해야 한다. 또한 T_c 는 일반적으로 신호의 대역폭과 반비례의 관계를 가지며 펄스의 폭이 좁을수록 Ranging의 해상도가 증가할 여지를 제공한다. 이를 토대로 동기식 방식보다 상대적으로 단순한 복잡성과 구현가격이 값싼 Noncoherent 방식의 집안 내 다중경로 채널상황에 적합한 UWB 레인지 처리 구조를 제안한다.

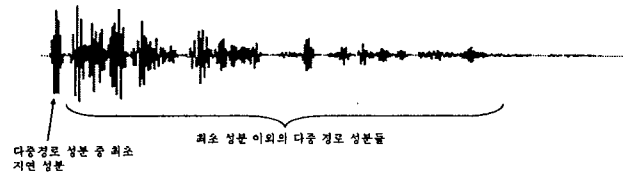


그림 6 : 채널을 거쳐 안테나로 수신된 단일 펄스의 파형

그림 6은 채널을 거쳐 안테나로 수신된 단일 펄스의 파형을 나타낸다. 환경에 따라서 LoS 성분보다 반사 및 회절되어 수신된 신호가 더 클 수 있다. 이러한 상황에서 최대치를 이용하여 최초 도착 성분을 추정할 경우 큰 오차를 야기시킬 수 있다. 그러므로 에너지 검출 기반의 Noncoherent 수신기에서 좀 더 정밀한 최초 도착 지연 성분을 추정하기 위해서는 충분히 긴 Channel Sounding 처리 시간 및 0.5 nsec 정도의 해상도를 가지는 표본화율이 필요하다. 또한 정해진 시간 내에 효율적이면서 빠른 Acquisition 처리를 위해서 OOK 변조 방식이 적합하다. 이는 '1'비트를 수신할 때 신호 전력은 FCC Limit의 평균 전력보다 두 배 이상 더 높을 수 있기 때문에 최초 도착 성분을 추정하기 위한 Noncoherent 수신기에서는 이점이 될 수 있다. 또한 적은 전력을 요구하기 때문에 IEEE 802.15 TG4의 진의에 부합된다.

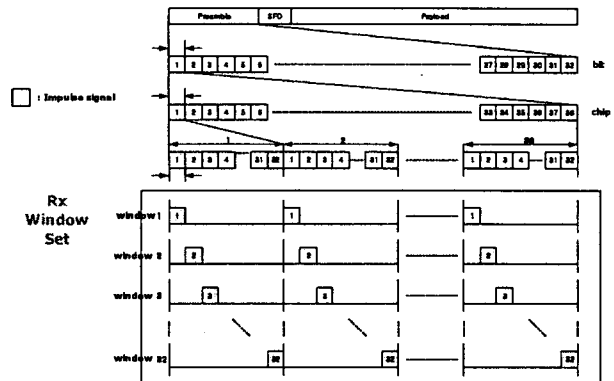


그림 7 : 아날로그 에너지 윈도우 बैं크 형태의 에너지 검출 구조

Noncoherent 수신기는 크게 Energy Collection 수신기와 Energy Detection 수신기로 구분할 수 있다. 여기서 Energy Collection은 가능하면 많은 양의 에너지를 모으기 위해서 대략 50 nsec 정도의 긴 시간동안 Integration 과정이 필요하고 일반적으로 통신용으로 사용된다. 그러나 이러한 수신기는 수신 신호의 최초 성분을 검출하는데에는 사용하기 어렵기 때문에 정밀 Ranging용 어플리케이션으로 부적합하다. Energy Detection 수신기는 대략 3 nsec 정도의 짧은 시간동안 에너지를 Integration을 하기 때문에 최초 성분에 대한 검출이 용이하다. 그러나 Energy Detection 수신기에서는 원하는 신호 존재 여부를 검출하기 위해서 최적의 임계치 혹은 능동적인 임계치를 조절하는 처리 과정이 필요하다. 그림 7은 본 논문에서 제안한 아날로그 에너지 윈도우 बैं크를 적용한 에너지 검출 구조를 나타낸다.

3. 결 론

본 논문에서는 초광대역의 펄스 전송에 따른 Noncoherent 방식의 UWB 정밀 레인지 기술에 대해 소개하였다. 즉 단일펄스 구조를 갖는 레인지 신호 구성은 IEEE802.15.4a의 다중채널환경모델에 적합하도록 설계하였고, 저속의 표본화율로 고속의 표본값들을 얻기 위해서 아날로그 에너지 윈도우 बैं크를 적용하여 좀 더 효율적으로 최초 도착성분이 추정가능토록 하였다. 더욱이, 제안된 UWB레인지 기술은 구현시에 적은 비용과 낮은 복잡도를 요구한다는 장점을 갖고 있다.

[참고 문헌]

- [1] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>
- [2] P. Stephane, A. Louis-Marie, and U. Bernard, "An impulse radio asynchronous transceiver for high data rates," *Proc. Joint Conf. Ultrawideband Syst. and Technol. with Int'l Workshop Ultra Wideband Syst. (Joint UWBST & IWUWST 2004)*, pp 18-21, May 2004.
- [3] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio : How it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 36-38, February 1998.