

## UWB 레인징 시스템의 성능향상을 위한 듀얼윈도우처리 기술

\*최성수, \*김영선, \*김관호, \*\*이원철, \*\*\*이영규  
 \*한국전기연구원  
 \*\*충실대학교  
 \*\*\*한국표준과학연구원

### Non-Coherent Ultra-Wideband Ranging Techniques

\*Sungsoo Choi, \*Youngsun Kim, \*Kwan-Ho Kim, \*\*Won-Cheol Lee, \*\*\*Youngkou Lee  
 \*Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)  
 \*Soongsil University  
 \*\*\*Korea Research Institute of Standards and Science

**Abstract** - 본 논문은 UWB(Ultra Wideband) 펄스 기반의 단일 송수신을 통한 UWB 레인징 시스템에서 거리산출의 모호성을 제거하고 그 성능을 향상시키기 위한 듀얼윈도우처리기법을 새롭게 제안한다. 일반적으로 UWB 레인징시스템은 UWB 전송펄스의 높은 시간분해능을 이용하여 거리를 산출하는데, 비가역성(Non-coherent) UWB 송수신기 구조에서는 신호가 언제 수신 될지 모르는 정보 표본값들로부터 최초도착 성분을 추출하게 되고 이로 인해 거리산출 오차가 크게 발생되어진다. 실내무선채널환경(CM1)의 UWB 레인징 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안된 듀얼윈도우처리기술을 적용 시 1m 거리산출 정확도기준으로 대략 98% 정확도를 보인 반면에 그렇지 않은 경우는 75%이하의 레인징 정확도 성능을 나타낸다

#### 1. 서 론

최근들어 약 10m 내의 전송거리의 근거리 무선통신용 UWB (Ultra-Wideband) 신호처리 및 통신기술에 대한 연구와 개발이 전 세계적으로 새로운 전기를 맞고 있다. 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 국제표준화그룹에서는 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 무선 채널특성 및 다양한 변복조기술등을 제안하고 비교 검증 토론하여 하나의 통일된 표준문서화 작업을 진행 중에 있다. 특히, 저속 데이터통신에 적합한 펄스방식의 LR (Low Rate)-UWB 통신기술은 초저전력, 단순 H/W구조의 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 레인징 기술에 있어서 SOP (Simultaneously Operating Piconet) 환경에서 GDOP(Geometric Dilution Of Precision)에 의한 문제점과 이를 해결하고자 저가격에 구현가능한 noncoherent OOK 수신방식의 비동기식 LR-UWB시스템의 레인징성능향상의 듀얼윈도우 처리기술에 대해 제안한다.

#### 2. 듀얼윈도우처리기법을 적용한 UWB 레인징 (Ranging) 기술

##### 2.1 GDOP 상황에 따른 비동기 UWB 레인징 기술

UWB 레인징 기술은 UWB자체의 송신 신호의 특성이 초광대역 이며 시간영역에서는 수 ns 단위의 신호폭을 갖는 임펄스형태를 가정하고 있어 개별 정밀도는 최소 전송 신호폭에 의해 결정된다. SOP 환경에서 고정밀 Ranging 정보를 획득하기 위하여 수백 MHz의 대역폭으로 나누어진 인근 피코넷과 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 FDM (Frequency Division Multiplex) 방식을 적용할 수 있다. 그러나 수백 MHz의 대역폭을 갖는 임펄스 신호, 예를 들어 500 MHz의 대역폭을 가지는 임펄스 신호가 수신단에 수신되고 1 GHz의 표본화율

로 표본화된다고 가정할 경우, 수신 시점이 표본 간격 사이에 위치할 때 간단하게 적절한 임계치 이상의 값들 중 첫번째 값의 위치를 찾는 방식의 알고리즘을 적용하면 그림 1의 동그라미로 표시된 곳을 추정하게 되어 결국 정확한 최초 도착 성분의 시각 정보를 추정하기 어렵게 된다. 그러므로 높은 처리 이득을 갖도록 잡음 성분 감소 기법 및 에너지 결합 기법이 요구된다.

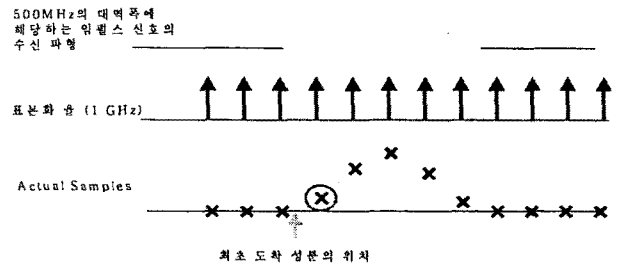


그림 1 : 표본화율과 수신 시점과의 관계

그림 1은 TOA 방식의 측위 알고리즘을 적용할 시에 측위용 디바이스의 위치에 따른 타겟 디바이스의 측위 오차를 나타낸다. 그림 2(a)는 3개의 원의 교차점이 뚜렷한 좋은 GDOP (Geometric Dilution Of Precision) 상황을 나타내며 그림 3-13(b)는 교차점이 불분명한 좋지 않은 GDOP 상황을 나타낸다. IEEE 802.15 TG4a에서는 열악한 GDOP 상황에서도 측위 오차가 1 m 이내로 규정하고 있기 때문에 적어도 25 cm 이내의 성능을 가지는 Ranging 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 요구 사항을 만족시키기 위해서 0.8 nsec 이하의 해상도를 가지도록 아날로그 다중 윈도우뱅크를 적용하였다.

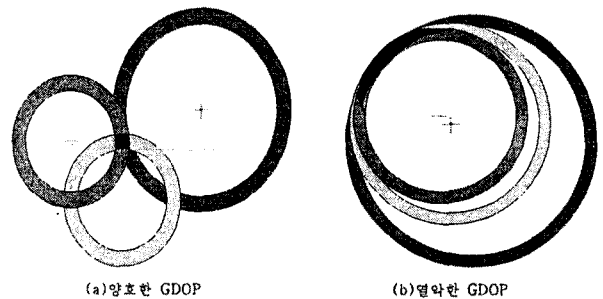


그림 2 : GDOP 따른 측위 오차

##### 2.2 제안된 비동기 UWB 수신단 레인징 처리 구조

그림 3은 제안된 단일 펄스를 이용한 Ranging 정보 획득에 대한 처리 블록도를 나타낸다. 그림 3처럼 수신기는 아날로그 에너지 검출단, DC-오프셋 추정단, 아날로그 윈도우뱅크, 다수개의 1 비트 ADC, 버퍼, 듀얼윈도우 처리기, Coarse/Fine 타이밍 추정단으로 구성된다. 여기서 아날로그 에너지 검출기는 수신 신호에 대한 일정 레벨 이상의 DC-오프셋 성분을 갖는 에너지 신호를 제공한다. 또한 DC-오프셋 정보를 추정하기 위해서 아날로그 저역 필터가 사용되고 이러한 DC-오프셋 정보는 1 비트 ADC의 임계치 정보로 사용되어

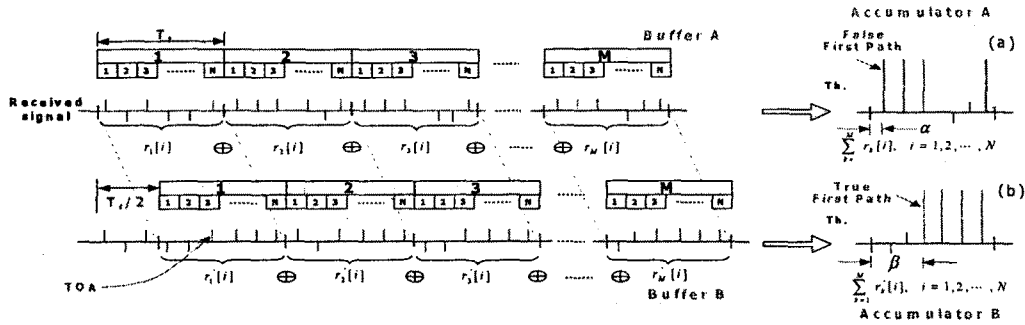


그림 4 : 슬라이딩 버퍼를 이용한 최초 도착 성분 획득 오류의 최소화 방법

어느 정도 DC-오프셋이 제거된 신호를 출력하게 된다. 아날로그 윈도우 뱅크는 다수개의 Non-Overlapping된 윈도우 버퍼들로 구성되고 각각의 버퍼 크기는 Ranging의 해상도를 결정하는 요소로서 작용된다. 즉 버퍼 크기가 작을수록 더욱 정확한 Ranging 결과를 얻을 수 있다. 각각의 1 비트 ADC는 저속의 표본화율로 동작하며 ADC 사이에는 수 nsec 간격으로 체인 형태로 구성되어 결국, 다수개의 1 비트 ADC들의 출력은 고속 표본화된 표본 값들을 얻게 된다. 즉 ADC의 개수가 많을수록 저속의 ADC 사용이 가능하다. 1 비트로 양자화된 표본값들은 듀얼윈도우 처리기에서 Ranging 오차를 줄이기 위해서 두 개의 서로 다른 버퍼에 저장된다. 하나의 버퍼에는 표본값들을 PRI 간격으로 누적되고 또 다른 버퍼에는  $N/2$  지연 후부터 표본값들을 PRI 간격으로 누적한다. 여기서  $N$ 은 버퍼의 길이를 나타내며 PRI의 간격을 하나의 아날로그 윈도우 뱅크의 간격으로 나눈 길이와 동일하다. Coarse한 타이밍 획득단에서는 사전에 설정된 임계치를 이용하여 대략적인 최초 수신 시점을, Fine한 타이밍 획득단에서는 두 개의 버퍼로부터 제안된 RER (Ranging Error Reduction) 방안을 통해 정확한 ToA (Time of Arrival) 정보를 제공한다.

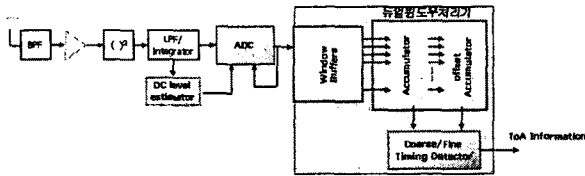


그림 3. 비동기식 UWB 레인지 수신단 구조

### 2.3 Ranging 오차 감소를 위한 제안된 듀얼 윈도우 처리 구조

1 비트 ADC는 임계치 0을 중심으로 1 혹은 1로 신호의 극성을 판단하기 때문에 신호는 세기와 상관없이 양자화된다. 이를 통해 버퍼에 저장된 표본값들은 여러번 누적됨으로써 NLoS 환경에서의 미약한 최초 도착 신호 성분에 대한 처리 이득을 얻을 수 있다. 반면 신호가 언제 수신될지 모르는 상황에서 수신된 신호를 일정 간격으로 누적할 경우 물체에 반사되어 수신된 최대 Excess 지연 성분이 버퍼의 앞부분에 저장되어 정확한 최초 도착 성분을 얻을 수 없게 된다. 그림 4는 이러한 수신 시점의 모호성으로 인해 발생하는 타이밍 오차 문제를 해결하기 위한 방안을 나타낸다. 그림 4(a)는 1 비트 ADC를 통해 양자화된 표본값들을  $T_f$  간격으로 누적했을 시의 결과를 나타내고 그림 4(b)는  $T_f/2$  지연 후에 표본값들을 저장 및 누적했을 시의 결과를 나타낸다. 그림 4에서 보여주듯이 두 개의 버퍼 중에 그림 4(a)에 해당하는 버퍼가 최초 도착 지연 성분을 잘못 판단한 경우이다. 이 때 두 개의 버퍼로부터 사전에 정한 임계치 이상의 값들 중 첫 번째에 해당하는 버퍼의 주소 번지의 위치를 비교하여 번지의 인덱스가 큰 버퍼를 수신 시점의 모호성이 해결된 버퍼로 판단한다. 여기서  $T_f/2$  지연 후에 표본값들을 저장한 버퍼에서 임계치를 통해 ToA 획득은 다음과 같다.

$$TOA_{buffer 2} = \arg \min_i \left( \sum_{j=0}^{N-1} \left( \sum_{l=0}^{N-1} y_l(j + T_f/2) \right) \right)_{l=0}^{N-1} > threshold \quad (1)$$

여기서 만약  $T_f/2$  지연 후 표본값들을 누적시킨 버퍼가 선택된다면

$T_f/2$ 에 해당하는 시간 성분을 포함하여 ToA를 계산해야 하며 이때의 수식적 표현은 식(2)와 같다.

$$TOA = \begin{cases} TOA_{buffer 1} & |TOA_{buffer 1} > TOA_{buffer 2}| \\ TOA_{buffer 2} + T/2 & |TOA_{buffer 1} < TOA_{buffer 2}| \end{cases} \quad (2)$$

### 2.4 시뮬레이션 결과

먼저 저속 W-PAN을 위한 프리앰블 구조는 총 길이를 4바이트로 구성하고 그 중 3바이트를 레인지 측정용을 위한 용도로, 1바이트는 잡음 측정용으로 복조 시 임계치를 결정하기 위한 정보로 사용되도록 설정한다.

표 1 : 시뮬레이션을 위한 파라미터

파라미터	설정값
$T_p$	2 nsec
$T_f$	400 nsec
$T_b$	800 nsec
심볼 당 펄스 반복 횟수	2
대역폭	2 GHz
표본 주기	0.025 nsec
Ranging에 사용되는 비트 수	24 bits
변조	OOK

여기서  $T_p$ 는 펄스의 폭을, PRI (=  $T_f$ )는 펄스와 펄스 간의 폭을 의미하고 한 심볼 ( $T_b$ )은 2개의 펄스가 발생되도록 설정하였다. 레인지를 위해 사용되는 3바이트는 정해진 범위 내에서 누적 횟수를 최대 하여 신호 성분과 잡음 성분을 구분하기 위해서 모두 1로 설정한다. 그림 5는 시뮬레이션 파라미터에 따른 시뮬레이션결과를 보여준다. IEEE에서 제공되는 채널모델 CM1 환경 [2]에서 듀얼윈도우처리에러감소기법을 적용시 그렇지 않은 경우에 비해 대략 25%성능이 우수함을 보여준다.

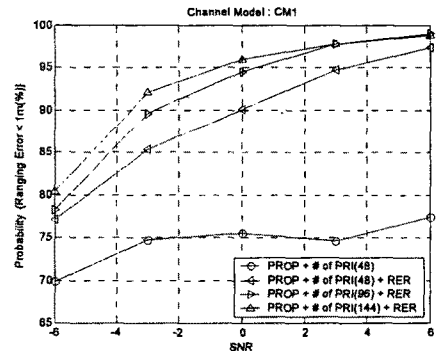


그림 5 : CM1 환경에서 제안한 듀얼윈도우처리에러 감소 기법 적용 시의 레인지 성능

### 3. 결 론

본 논문에서는 초광대역의 펄스 전송에 따른 Noncoherent 방식의 UWB 정밀 레인지기술에 대해 제안하였다. 특히, 레인지 오차감소를 위하여 듀얼윈도우처리에러감소기법을 적용하였다. 비동기식 UWB 레인지 수신단은 IEEE802.15.4a의 다중채널환경모델에 적합하도록 설계하였고, 저속의 표본화율로 고속의 표본값들을 얻기 위해서 아날로그 에너지 윈도우 뱅크를 적용하여 좀 더 효율적으로 최초 도착성분이 추정가능토록 하였다.

### [참고 문헌]

- [1] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>
- [2] IEEE 802.15 TG4a Channel Model Subcommittee, "IEEE 802.15.4a channel model - final report," available at <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>