

# 무선 UWB 거리인식 시스템을 위한 Link Budget 분석에 관한 연구

노재성\*, 신유섭\*\*  
 \*서일대학 정보통신과  
 \*\*(주)미디어웨이브컴  
 e-mail:jsroh@seoil.ac.kr

## A Study on Link Budget Analysis of Wireless UWB Ranging System

Jae-Sung Roh\*, Yu Sub Shin\*\*  
 \*Dept of Information & Communication, SEOIL University  
 \*\*Mediawave Corp.

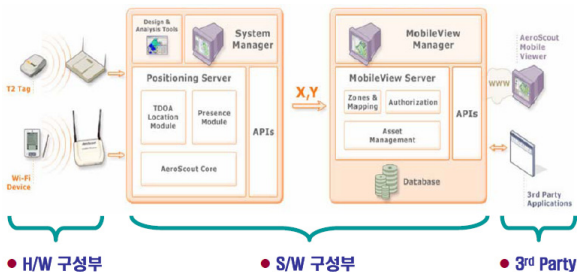
### 요 약

최근 WPAN 분야의 솔루션인 IEEE 802.15.4a는 저소비 전력으로 통신과 거리측정을 동시에 가능케 하는 PHY 제정을 목표로 하고 있다. 본 논문은 IEEE802.15.4a 물리계층에서 사용하는 UWB 신호를 대상으로 거리인식 시스템을 위한 Link Budget을 분석한다. 거리인식 시스템의 성능은 무선 채널의 다중경로 프로파일에도 관계된다. 따라서 본 연구에서는 IEEE 802.15.4a 채널 특성인 Residential 및 Office 환경을 고려하여 거리인식 시스템을 위한 Link Budget을 분석하였으며 연구된 내용은 다양한 거리추정 방식에 적용하여 거리추정 정밀도 향상에 기여할 수 있을 것이다.

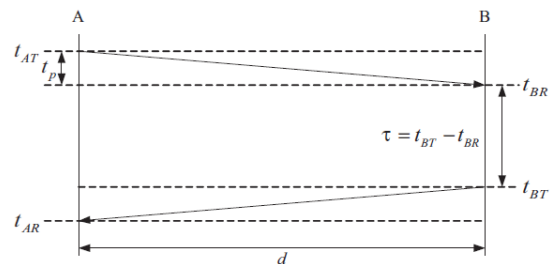
### 1. 서론

측위 기술은 유비쿼터스 홈, 스마트 태그, 인명 구조 등의 위치추적 분야, 원격 센서, 위치인식 등을 기반으로 하는 각종 제어 분야, 신체 관리 모니터링 및 의료진 위치 파악 등을 요구하는 의료관련 분야에 응용될 수 있다. 실외 측위는 주로 GPS 위성을 활용하는 것이 대부분이며 실내 측위는 건물에 의하여 GPS 신호 접근이 차단될 뿐만 아니라 흙, 사무실, 호텔 등과 같이 지역적으로 좁다는 특성 때문에 무선센서네트워크 기반에서 주로 연구가 수행되고 있다[1]-[3]. 측위정보는 일반 센서정보와 결합하여 센서정보를 보다 유용하게 하며 상황분석을 보다 용이하게 한다. 따라서 상황인지 서비스를 제공하는 센서네트워크에서는 당연히 정밀한 측위기술이 요구된다.

태사항으로 수용하고 있다. 이러한 추세에 따라 실내 측위 분야에서 기존의 다중경로 등에 의한 오류 연구 뿐만 아니라 네트워크 동기 설정 및 주파수 차이를 극복하는 알고리즘 연구 등으로 확대되고 있다. 이동노드와 소수의 고정노드들 간 동기화 상태에서는 노드간 거리추정과 TOA(Time of Arrival) 위치추정이 사용될 수 있다. 이동노드를 제외한 소수의 고정노드들 간 동기화 상태에서는 TDOA(Time Difference of Arrival) 위치추정 방식을 사용할 수 있다. IEEE802.15.4a에서는 고정노드 및 이동노드간에 동기화가 이루어지지 않은 상태에서 거리를 추정하는 TWR(Two-Way Ranging) 및 SDS-TWR(Symmetric Double Sided-TWR) 방식을 제안하고 있다. TWR는 여러 번의 프레임 전송이 이루어진 다음 거리를 추정하지만 여전히 노드간의 주파수 차이와 응답시간에 민감하다는 문제점을 가지고 있다 [4],[5].



(그림 1) 위치/거리인식 시스템 모델의 예



(그림 2) Two-Way Ranging 프로토콜

최근 WPAN 분야의 IEEE802.15.4a에서는 거리추정 기술과 데이터 전송속도 등을 포함한 물리계층 기능 개선 표준기술로 UWB를 사용한 거리추정 기능을 PHY에서 선

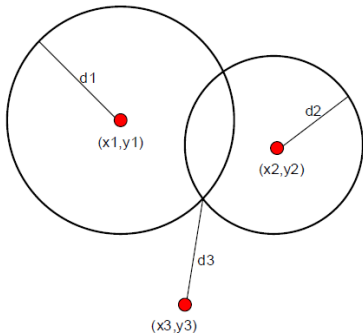
기본적으로 IEEE802.15.4a에서 TOF(time of flight)는

노드 A와 노드 B 사이의 거리  $d = (c * t_p)$ 에 비례하며 다음과 같다.

$$t_p = \frac{1}{2}(t_{AR} - t_{AT} - \tau) \quad (1)$$

여기서,  $\tau = t_{BT} - t_{BR}$ 이며  $c$ 는 전파의 속도이다.

거리 정보를 통해 위치를 계산하는 방식에서 삼변측량법은 직접적인 거리 측정 기술이 발전하면서 최근 GPS 등에서 많이 사용되고 있는 방식으로 세 점으로부터 구한 거리를 이용해서 알고자 하는 위치를 계산해 내는 방식이다. 두 점  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ 에서부터 현 위치까지의 거리가 얼마인지 알고 있다면 두 원의 교점에 의해서 현 위치가 될 수 있는 2개의 점을 찾을 수 있다. 추가로  $(x_3, y_3)$ 에서부터의 거리를 알게 된다면 그 가능성 중의 하나를 제거 할 수 있다. 삼변측량은 알고 있는 위치로부터의 거리정보를 토대로 위치를 계산하는 방식 중 대표적인 방식으로 간단한 계산을 통해서 위치를 계산해 낼 수 있지만, 측정된 거리 자체에 오차가 발생하면서 처음 두 원에 교점이 존재하지 않으면 위치 계산에 실패할 수 있다는 단점이 있다.



(그림 3) 삼변측량의 위치 계산 방식

무선센서 네트워크에서 거리 측정 방식으로 이용할 수 있는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)는 센서 노드가 무선신호를 받았을 때 신호의 세기를 나타내 주는 척도가 된다. 신호가 전달된 거리가 길수록 RSSI는 작아진다고 가정할 경우, RSSI 값을 거리로 변환할 수 있다. 하지만 RSSI는 주변 환경의 특성에 따라서 변화가 심하기 때문에 직접적으로 이용하기가 어렵기 때문에 불규칙한 RSSI 값을 통해서 거리를 측정하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문은 IEEE802.15.4a 물리계층에서 사용하는 UWB 신호를 대상으로 거리인식 시스템 개발을 위한 Link Budget을 분석한다. 노드 A와 노드 B 사이의 거리  $d$ 에 따른 수신 SNR을 계산하는 것은 매우 중요한 거리인식 시스템의 설계 가이드 라인이다. 또한, 거리인식 시스템의 성능은 무선 채널의 다중경로 프로파일에도 관계된다. 따라서 본 연구에서는 IEEE 802.15.4a 채널 특성을 Residential LOS, Residential NLOS, Office LOS, Office NLOS로 구분하여 거리인식 시스템을 위한 Link Budget을 분석한다.

## 2. UWB 거리인식 시스템의 Link Budget 해석

UWB 무선 기술은 중심 주파수의 20% 이상의 점유 대역폭을 차지하거나 500MHz 이상의 점유 대역폭을 차지하는 기술을 일컫는다. 기존 협대역 시스템이나 광대역 CDMA 시스템에 비해 매우 넓은 주파수 대역에 걸쳐 상대적으로 낮은 스펙트럼 전력밀도를 가지므로 기존의 통신 시스템과 양립할 수 있다는 것이 그 특징이다. 이러한 UWB 기술은 매우 넓은 주파수 대역 점유라는 특징을 이용하여 정밀한 위치인식/추적 기능을 줄 수 있어 위치인식 WPAN 시스템의 PHY로 주목 받아 왔다. 특히 언제 어디서나 사람과 객체의 위치를 인식하고, 이를 기반으로 유용한 서비스를 제공하는 유비쿼터스 위치기반 서비스가 중요한 서비스로 대두되면서, 위치기반의 저전력 PHY 표준이 제안되었다. UWB 기술을 이용한 위치인식은 실내나 음영지역에서도 위치인식이 가능하고 비교적 좁은 영역에서 수십 cm 이내의 정밀도를 요구하는 위치인식 서비스를 제공할 수 있는 장점이 있다.

UWB 거리인식 시스템을 설계하기 위해서는 시스템 파라미터의 선정이 중요하다. 거리인식 시스템에서 주된 성능 지표는 거리인식의 정밀도와 거리인식 시간이다. 거리인식의 정밀도는 Root MSE(Mean Square Error)는  $R\_MSE = \sqrt{E\{(\hat{d} - d)^2\}}$ 에 의하여 표현할 수 있으며, 단일경로 AWGN 채널에서 거리인식 시스템의 정밀도를 표현할 수 있는 Root MSE는 다음과 같다[6].

$$R\_MSE = \frac{c}{2\sqrt{2}\pi\sqrt{SNR}\beta} \quad (2)$$

여기서,  $\beta$ 는 effective bandwidth이고 거리인식 시스템에서 거리인식 정밀도를 결정하는 주된 파라미터는 수신 신호 대 잡음 전력비(SNR)가 되며 SNR이 높으면 거리인식에 해당하는 Root\_MSE는 감소하게 된다. UWB 거리인식 시스템의 거리인식의 정밀도를 고려하기 위해 다음과 같은 UWB 신호를 정의한다.

$$S(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} a_j \omega(t - jT_f) \quad (3)$$

여기서,  $\omega(t)$ 는 대역폭 B의 UWB 펄스,  $T_f$ 는 UWB 펄스의 반복주기,  $a_j$ 는  $\{-1, +1\}$ 로 균일 분포되는 랜덤열이다. UWB시스템에서 송신 증폭기의 출력 스펙트럼  $P_{tx-amp}(f)$ 과 송신 안테나의 효율  $\eta_{tx-ant}(f)$ 을 고려한 송신 전력 스펙트럼은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_t(f) = P_{tx-amp}(f) \eta_{tx-ant}(f) \quad (4)$$

전파되는 UWB 신호의 전력밀도는 거리에 따라서 감소하며 잡음 전력 밀도(Noise Spectral Density), 구현 손실(Implementation Loss), 수신기 잡음 지수(Receiver Noise Figure)를 고려한 거리  $d$ 에 따른 수신 SNR은 다음과 같다.

$$SNR(d) = 10\log \frac{T_s \int_{F_L}^{F_H} P_r(d, f) df}{N_o} - L_{imp} - NF \quad (5)$$

여기서,  $P_r(d, f)$ 는 거리와 주파수에 따른 수신전력 스펙트럼을 의미하며 다음과 같다.

$$P_r(d, f) = PL_o P_{tx-amp}(f) \frac{(f/f_c)^{-2(k+1)}}{(d/d_o)^n} \quad (6)$$

여기서,  $PL_o = \frac{K_0 c^2}{(4\pi d_o f_c)^2}$  이고  $P_{tx-amp}(f)$ 는 FCC Rule

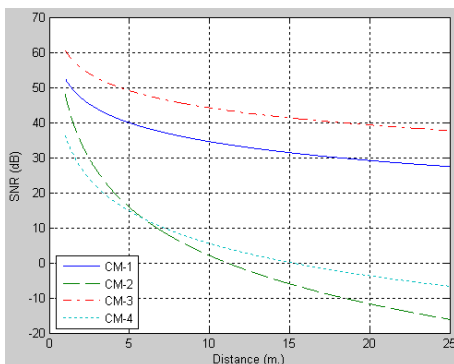
에 따른 마스크에 근사하며 관심 주파수 대역폭내에서 동일한  $-41.3$  dBm/MHz 값을 가진다.

(표 1) IEEE 802.15.4a 채널 특성

	$PL_o$	k	n
Residential LOS(CM-1)	-43.9	$1.12 \pm 0.12$	1.79
Residential NLOS(CM-2)	-48.7	$1.53 \pm 0.32$	4.58
Office LOS(CM-3)	-35.4	0.03	1.63
Office NLOS(CM-4)	-59.9	0.71	3.07

### 3. 성능 분석

그림 4는 거리  $d$ 와 IEEE 802.15.4a 채널모델에 따른 수신 UWB 거리인식 시스템의 SNR 변화를 나타낸다. SNR 분석을 위한 주요 파라미터는 UWB 신호에서 Ranging Interval  $T_s = 1\mu s$ , UWB 신호 대역폭  $B = 1GHz$ , 중심주파수  $f_c = 5GHz$ , UWB 거리인식 시스템의 잡음 전력 밀도  $N_o = -174dBm/Hz$ , 구현 손실  $L_{imp} = 3dB$ , 수신기 잡음 지수  $NF = 7dB$ 라고 가정한다. 분석결과, 거리에 따라서 NLOS 채널모델(CM-2, CM-4)은 LOS 채널모델(CM-1, CM-3)보다 낮은 SNR 값을 관찰할 수 있었으며 Residential 환경보다는 Office 환경에서 우수한 SNR 값을 관찰할 수 있었다.



(그림 4) IEEE 802.15.4a 채널모델에서 거리인식 시스템을 위한 UWB 신호의 SNR 분석

### 4. 결론

본 논문은 IEEE802.15.4a 물리계층에서 사용하는 UWB 신호를 대상으로 거리인식 시스템을 위한 Link Budget을 분석한다. 노드 A와 노드 B 사이의 거리  $d$ 에 따른 수신 SNR을 계산하는 것은 매우 중요한 거리인식 시스템의 설계 포인트이다. 또한, 거리인식 시스템의 성능은 무선 채널의 다중경로 프로파일에도 관계됨을 알 수 있었다. UWB 거리인식 시스템을 위한 Link Budget 분석 결과를 바탕으로 다양한 거리추정 방식에 적용하여 거리추정 정밀도 향상에 기여할 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 주관하는 2010년 산학공동기술개발지원 사업의 참여로 인한 결과물임.

### 참고문헌

- [1] IEEE802.15.4a/D7, "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs): Amendment to add alternate PHY," Jan. 2007.
- [2] 이철효, 김재영, "위치인식 저속 WPAN 표준화 동향," 방송공학회지, 제10권, 333-339쪽, 2007년.
- [3] 오경미 외 2인, "유비쿼터스 홈 구축을 위한 저속 위치인식 UWB 기술," 전자통신동향분석, 제21권, 제5호, 2006년.
- [4] J. Hightower and G. Borriello, "Location System for Ubiquitous Computing," IEEE Computer Society, Vol.34, No.8, pp.57-66, Aug. 2001.
- [5] 남윤석, 최은창, 허재두, "저속 WPAN에서 수신신호세기의 Vector Matching을 이용한 위치인식 방식," Journal of Information Technology Applications & Management, 제12권, 제4호, 93-104쪽, 2005년 12월.
- [6] Z. Sahinoglu, "Ultra-wideband positioning system," Cambridge Univ. Press, 2008.