

논문 2010-47TC-7-3

실내 환경에서 초광대역 무선통신을 이용한 양방향 위치인식 기법의 성능 분석

(Performance Analysis of TWR Positioning Technique with Ultra Wideband in Indoor Channel)

배 정 남*, 최 영 훈*, 김 진 영*

(Jung Nam Bae, Young Hoon Choi, and Jin Young Kim)

요 약

본 논문에서는 실내 환경에서 초광대역 무선통신을 이용한 양방향 위치인식 기법의 성능을 분석하였다. 실험 환경은 IEEE 802.15.3a 채널을 사용하였고, 위치인식 기법으로 TOA를 적용하여 분석하였다. 초광대역 무선통신 기술은 낮은 송신 전력으로 기존 시스템에 간섭의 영향이 적고, 주파수 공유가 가능하므로 주파수 효율을 높일 수 있다. 그리고 매우 좁은 폭을 갖는 펄스를 사용하기 때문에 위치인식의 정밀도가 높다. 비동기 TWR 프로토콜을 이용한 TOA 방식은 단말과 기지국뿐만 아니라 기지국들 간에도 동기화를 수행하지 않아도 되는 장점이 있다. 모의실험을 통하여 초광대역 무선통신을 이용한 위치인식 기법의 실내 채널 영향에 대한 오류 확률 및 위치인식 성능에 대해 분석하였고 제안된 기법의 유용성을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose and analyze the two way ranging (TWR) positioning technique using ultra wideband (UWB) for indoor environment. We employed IEEE 802.15.3a channel as a simulation environment and used to time of arrival (TOA) algorithm. UWB technology in a low transmission power the less the effect of interfering with the existing system, the frequency can be shared so that it can improve the spectral efficiency. And, positioning technique based on UWB with a very narrow pulse width has high accuracy in indoor environment. From the simulation results, it is analyzed the probability of error and positioning performance for channel effects and confirmed usefulness of the proposed scheme.

Keywords : Positioning, TH-PPM, TWR-TOA, Ultra wideband, WPAN

I. 서 론

위치인식 기술은 네트워크 기반과 단말기 기반의 위치 측정 기술, 그리고 하이브리드 방식으로 정확도를 향상시키는 기술이 활발히 연구되고 있다^[1]. 이런 측위 기술에 대한 연구는 위치 정밀도를 높이는데 그 목적을 두고 있다. 초광대역 무선통신(UWB: Ultra Wideband) 기술을 사용하면, 매우 좁은 폭을 갖는 펄스를 사용하

기 때문에 높은 위치인식 정밀도를 얻을 수 있다. 그리고 UWB 기술은 반송파를 사용하지 않으며 광대역의 주파수 대역폭을 갖는 통신 시스템으로 잡음 수준의 낮은 송신 전력을 이용하기 때문에 기존 통신 시스템에 간섭의 영향을 주지 않는다. 이러한 잡음 수준의 낮은 송신 전력 특성은 다른 시스템과 주파수를 공유하여 사용 가능하도록 하기 때문에 주파수 효율을 높일 수 있다. 이러한 UWB 기술은 최근 WPAN(Wireless Personal Area Network)과 WLAN(Wireless Local Area Network)등 근거리 통신 및 위치인식 분야에서 많이 응용되어 활발히 연구되고 있다^[2-3].

TWR(Two-way ranging) 기반의 TOA(Time of Arrival) 위치인식 방식은 양방향에서 절대적인 시간

* 정회원, 광운대학교

(Kwangwoon University)

※ 본 연구는 중소기업청의 산학연 공동기술개발지원 사업의 연구결과로 수행되었음.

접수일자: 2010년6월8일, 수정완료일: 2010년7월17일

값을 이용하여 측정하는 방식으로 동기화 과정이 필요 없는 장점이 있다^[4]. 본 논문에서는 UWB 신호 기반의 양방향 TOA 알고리즘을 이용한 실내 위치인식 기법의 성능을 분석하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 II장에서는 UWB 기술에 대해 소개하고, 제 III장에서는 UWB 기반 실내 위치인식 기법에 대해 설명한다. 제 IV장에서는 IEEE 802.15.3a에서 제안한 채널 모델에 대해 설명하고, 제 V장에서 모의실험을 통해 성능을 분석한다. 마지막으로 제 VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 초광대역 무선통신 기술

그림 1은 TH-PPM(Time Hopping Pulse Position Modulation)을 이용하는 UWB 시스템의 송수신 구조를 나타낸다. TH-PPM UWB 시스템의 송신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다^[5].

$$s(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} \sqrt{E_b} w(t - jT_s - c_j T_c - d_i \delta), \quad (1)$$

여기서 $E_b = N_s E_{TX}$ 는 전송 파워, N_s 는 비트당 펄스의 수, d_i 는 변조되는 정보 데이터, T_s 는 모노 사이클 파형이 전송되는 주기, T_c 는 하나의 펄스에 대한 시간, δ 는 파형의 변조를 위한 시간 위치 변수를 나타낸다. c_j 는 j 번째 프레임에서의 시간 도약 부호로써 $0 \leq c_j < N_s$ 을 만족하는 정수 값이며, 다중 접속을 위한 펄스 간 충돌 방지를 위해 $N_s T_c \leq T_s$ 을 만족해야 한다.

다중 경로 환경에서의 수신 신호는 경로에 따른 지연된 신호의 합으로 주어지며, 다음과 같이 나타낼 수 있다^[6].

$$r(t) = \sum_{l=1}^L E_{RX}^{(l)} s^{(l)}(t - \tau_l) + n(t), \quad (2)$$

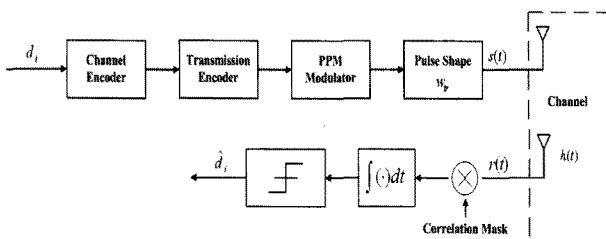


그림 1. 초광대역 무선통신 기술의 블록도
Fig. 1. Block diagram of UWB system.

여기서 $E_{RX} = E_{TX} \alpha^2$ 는 수신 신호 파워, $n(t)$ 는 AWGN(Adaptive White Gaussian Noise)을 의미한다. 수신단에서는 변조된 신호를 기준 신호와의 상관처리 과정을 통해 복원하게 된다. 상관기(Correlator)의 기준 신호로 사용되는 상관 마스크 $m(t)$ 는 다음과 같이 정의된다^[7].

$$m(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} v(t - jT_s - c_j^{(1)} T_c) \quad (3)$$

$$v(t) = w(t) - w(t - \tau).$$

수신단에서 상관 마스크를 이용하여 경판정(Hard Decision)을 통해 복조하면 상관기의 출력 값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = \int_{T_b} r(t)m(t)dt \quad (4)$$

$$= \begin{cases} Z > 0 \Rightarrow \hat{d}_i = 0 \\ Z < 0 \Rightarrow \hat{d}_i = 1 \end{cases}$$

III. 초광대역 기반의 실내 위치인식 기법

TOA 알고리즘은 신호 전달 시간을 이용하여 위치를 추정하는 알고리즘이다^[8]. 비동기식 위치인식에 이용할 경우 TWR 프로토콜을 이용하여 위치 추정을 위한 TOA 데이터를 측정할 수 있다. 또한, TDOA(Time Differential of Arrival) 알고리즘에서 기지국들 간에 동기화가 필요한 것과 달리 비동기 TWR 프로토콜을 이용한 TOA방식은 단말과 기지국뿐만 아니라 기지국들 간에도 동기화를 수행하지 않아도 되는 장점이 있다. 단, 타임스탬프(Time Stamp)를 이용하여 신호 송신 시간과 수신 시간을 정확히 측정해야 한다.

TWR 프로토콜은 그림 2와 같이 MS(Mobile

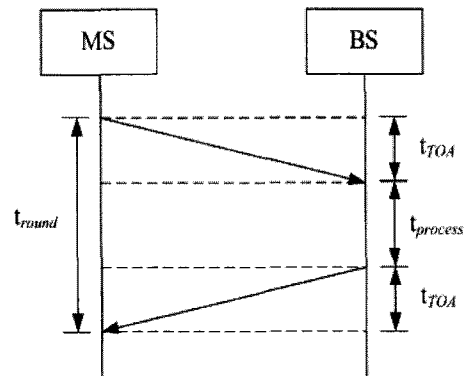


그림 2. 양방향 측위 방식
Fig. 2. Two-way ranging technique.

Station)와 REQ 신호를 BS(Base Station)로 보내면 BS에서 일정한 프로세스 시간을 거쳐 MS로 ACK 신호를 보낸다. MS에서는 REQ 신호를 보낼 때의 시간 데이터와 ACK 신호를 받을 때의 시간 데이터를 이용하여 TOA를 계산한다.

MS에서 REQ 신호를 보내고 ACK 신호를 받은 전체 시간을 t_{round} 라고 하면, 이 t_{round} 는 전파 시간 t_{TOA} 와 BS의 프로세스 시간 $t_{process}$ 의 합으로 표현할 수 있고 그 수식은 아래와 같다.

$$t_{TOA} = \frac{1}{2}(t_{round} - t_{process}). \quad (5)$$

위 식에서 계산된 전파시간과 빛의 속도 c 를 곱함으로써 BS와의 거리를 계산할 수 있다.

$$D_{BS} = t_{TOA} \cdot c. \quad (6)$$

BS1, BS2, BS3과 MS에서 위 식 (5)와 (6)의 과정을 거치는 TWR 프로토콜을 이용하여 각 BS로의 신호전달 시간을 측정하고 각 BS로의 거리를 계산한다. 계산된 거리와 i 번째 BS의 좌표와 MS의 좌표의 관계를 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$D_{BSi} = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}. \quad (7)$$

각 BS에서의 (7)식을 연립하여 해를 도출하면 MS의 좌표를 계산할 수 있다.

IV. 실내 채널 모델

UWB 채널 모델은 IEEE 802.15.3a에서 제안한 모델로 기존 Saleh-Valenzuela 채널 모델을 변형하여 만든 모델이다. UWB 채널은 관측된 값들이 Rayleigh 분포보다는 Log-normal 분포를 따르고 클러스터뿐만 아니라 클러스터 내의 각 레이도 독립적인 페이딩을 갖는다. 제안된 모델의 채널 임펄스 응답은 다음과 같이 나타낼 수 있다^[9].

$$h_i(t) = X_i \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l}^i \delta(t - T_l^i - \tau_{k,l}^i), \quad (8)$$

여기서 $\alpha_{k,l}^i$ 는 다중경로 감쇄 상수, T_l^i 는 l 번째 클러스터의 지연시간, $\tau_{k,l}^i$ 는 k 번째 다중경로 요소의 지연시간을 나타낸다. UWB 채널 모델은 CM1~CM4로 주어지며 각각의 파라미터는 표 1과 같다^[10]. CM1~CM3은

표 1. UWB 채널 모델 파라미터

Table 1. The parameters of UWB channel model.

채널 특성	CM1 LOS(0~4m)	CM2 NLOS(0~4m)	CM3 NLOS(4~10m)	CM4 NLOS
Mean excess delay (nsec)	5.05	10.38	14.18	
RMS delay (nsec)	5.28	8.03	14.28	25
NP			35	
NP(85%)	24	36.1	61.54	
Δ (1/nsec)	0.0233	0.4	0.0667	0.0667
λ (1/nsec)	2.5	0.5	2.1	2.1
Γ	7.1	5.5	14.0	24.0
γ	4.3	6.7	7.9	12
σ_1 (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
σ_2 (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
σ_x (dB)	3	3	3	3

실제 측정된 결과를 기반으로 모델링 되었고, CM4는 최악의 경우로 NLOS(Non Line of Sight) 다중경로 채널을 나타내기 위하여 RMS 지연이 25nsec에 이르는 열악한 상황을 고려하였다.

V. 모의실험

이번 장에서는 실내 환경에서 UWB를 이용한 위치인식 기법의 성능을 IEEE 802.15.3a에서 제안한 UWB 채널 모델을 기반으로 모의실험을 통해 분석한다. 본 실험에서는 이상적인 레이크(Rake) 수신기를 가정하였고, 모의실험을 위한 파라미터는 표 2와 같다.

표 2. 모의실험 파라미터

Table 2. The parameters of simulation.

변조 방식	TH-PPM
채널	Saleh-Valenzuela + AWGN
위치인식 기법	TOA
Ranging 기법	Two-way Ranging
고정 노드의 수	3

1. 초광대역 무선통신 시스템의 성능

그림 3은 IEEE 802.15.3a에서 제안한 UWB 채널 모델 CM1~CM4에서의 TH-PPM UWB 시스템의 오류 확률 성능을 보여준다. 성능 분석 결과, CM1에서 CM4로 갈수록 성능의 열화가 커짐을 확인할 수 있었고, CM1의 경우 AWGN 채널보다 10^{-2} 지점에서 1dB 정도 성능 열화를 보였다.

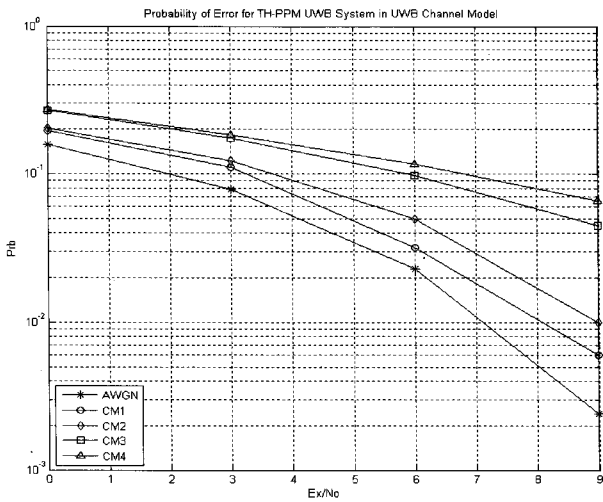


그림 3. TH-PPM UWB 시스템의 오류 확률
Fig. 3. Probability of error for TH-PPM UWB.

2. 초광대역 무선통신 기반 위치인식 기법의 성능

그림 4는 UWB 기반 양방향 TOA 위치인식 기법의 위치 오차 성능을 나타낸다. 100번의 실험을 통해 위치 오차 성능을 분석하였고 채널 CM1의 경우 평균 오차 18.56cm, 표준편차는 11.38cm의 성능을 보였다. UWB 실내 채널 모델에 따른 위치결과는 표 3과 같다.

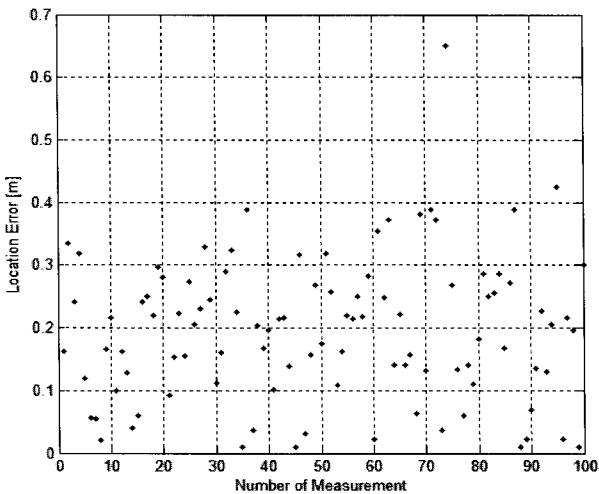


그림 4. CM1 채널에서의 위치 오차
Fig. 4. Positioning error for CM1 channel.

표 3. UWB 채널 모델에 따른 위치인식 성능
Table 3. Positioning performance by UWB channel model.

채널 모델	평균(μ)	표준편차(σ)
CM1	18.56cm	11.38cm
CM2	22.54cm	13.33cm
CM3	27.55cm	16.59cm
CM4	30.23cm	18.08cm

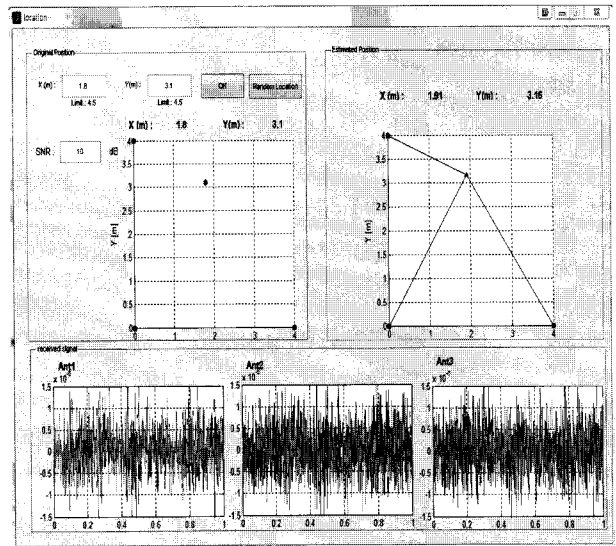


그림 5. UWB 위치인식 시뮬레이터(CM1 채널 적용)
Fig. 5. Simulator of UWB positioning.

그림 5는 TWR-TOA 기반 UWB 위치인식 시뮬레이터의 결과를 나타낸다. 제작된 시뮬레이터를 통해 실내 채널에서 UWB를 이용한 위치인식 기법의 오류 성능 및 각 안테나 별 수신 신호를 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 실내 채널에서 UWB 기반의 위치인식 기법의 성능을 분석하였다. UWB 시스템은 근거리에서의 성능이 뛰어나기 때문에 실내 위치인식에서 cm 레벨의 좋은 성능을 보이고, TWR-TOA 알고리즘은 신호 전달 시간을 이용하여 양방향에서 위치인식이 가능하고 동기를 맞추지 않는 장점이 있다. 모의실험은 IEEE 802.15.3a 채널 모델을 기반으로 수행하였고 성능 분석 결과, CM1~CM4로 갈수록 성능의 열화가 발생함을 알 수 있었다. UWB 기반의 양방향 TOA 위치인식 성능은 실내에서 높은 정밀도를 나타냈으며, 제작된 시뮬레이터를 통해 다양하게 실험 가능하다. 앞으로 다양한 시나리오 환경 및 변수에 대해 분석을 하고 성능을 더욱 안정적으로 높이는 방법에 대해 연구할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 공현민, 성태경, 권영미, "UWB 실내 측위를 위한 TDOA 위치결정기법," 전자공학회 논문지, 제 42 권 TC편, 제1호, 9-15쪽, 2005년 1월
[2] J. Schroeder, S. Galler, and K. Kyamakya, "A low-cost experimental ultra-wideband positioning

- system," IEEE Int' Conf. on Ultra-Wideband, pp. 632-637, Sept. 2005.
- [3] 강지명, 이순우, 김용화, 박영진, 김관호, "무선동기를 이용한 IR-UWB 무선측위 알고리즘," 전자공학회 논문지, 제 45권 CI편, 제6호, 27-32쪽, 2008년 11월
- [4] J. Khodjaevu, A. Narzullaev, Y. Park, W. Jung, J. Lee, and S. Kim, "Performance improvement of asynchronous UWB position location algorithm using multiple pulse transmission," 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication'07, pp. 167-170, Mar. 2007.
- [5] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," IEEE Trans. on Commun., Vol. 48, no. 4, pp. 679-691, Apr. 2000.
- [6] J. R. Foerster, "The effect of multipath interference on the performance of UWB systems in an indoor wireless channel," IEEE Vehicular Tech. Conf., Vol. 2, pp. 1176-1180, May 2001.
- [7] A. R. Forouzan, M. Nasiri-Kenari, and J. A. Salehi, "Performance analysis of ultrawideband time-hopping code division multiple access systems: uncoded and coded schemes," IEEE Int' Conf. on Commun., Vol. 10, pp. 3017-3021, June 2001.
- [8] K. Yu and I. Oppermann, "Performance of UWB position estimation based on time-of-arrival measurements," Int' Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conf. on Ultra Wideband Systems and Tech., pp. 400-404, May 2004.
- [9] J. R. Foerster, M. Pendergrass, and A. F. Molisch, "A UWB channel model for ultra wideband indoor communications," in Proc. of the Int' Symposium on Wireless Personal Multimedia Commun., Oct. 2003.
- [10] J. R. Foerster, "Channel modeling sub-committee report final," IEEE P802.15 WG for WPANs Technical Report P802.15-02/490r0-SG3a, Feb. 2003.

 저 자 소 개



배 정 남(정회원)
 2009년 광운대학교 전자공학부
 학사졸업
 2009년~현재 광운대학교
 전과 공학과 석사과정
 <주관심분야 : 디지털통신, 무선
 통신, 방송시스템, UWB>



김 진 영(정회원)
 1998년 서울대학교 전자공학과
 박사졸업
 2000년 미국 Princeton University
 Research Associate
 2001년 SK 텔레콤 네트워크 연구소
 책임연구원

2009년 미국 M.I.T. 공대 Visiting Scientist
 2001년~현재 광운대학교 전자융합공학과 부교수
 <주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, UWB, 채널
 부호화, 위치인식>



최 영 훈(정회원)
 2009년 광운대학교 전자공학부
 학사졸업
 2010년~현재 광운대학교
 전과공학과 석사과정
 <주관심분야 : 디지털통신, 무선
 통신, UWB>