

논문 2010-3-20

# TH-PPM UWB를 이용한 실내 위치인식 기법의 성능 분석

## Performance Analysis of TH-PPM UWB System for Positioning in Indoor Environment

배정남\*, 최영훈\*, 김진영\*

Jung Nam Bae, Young Hoon Choi, Jin Young Kim

요 약 본 논문에서는 실내 환경에서 TH-PPM UWB를 이용한 위치인식 기법의 성능을 분석하였다. 실험 환경은 AWGN 및 IEEE 802.15.3a 채널을 사용하였고, 위치인식 기법으로 TDOA를 적용하여 분석하였다. UWB 기반의 위치인식 기술은 실내에서 cm 레벨의 높은 정밀도를 가진다. 모의실험을 통하여 TH-PPM UWB 위치인식 기법의 채널 영향에 대한 오류 확률 및 위치인식 성능에 대해 분석하였고, 제안된 기법의 유용성을 확인하였다.

**Abstract** In this paper, we propose and analyze the positioning technique using TH-PPM ultra wideband for indoor environment. We employed AWGN and IEEE 802.15.3a channel as a simulation environment and used to TDOA algorithm. Positioning technique using ultra wideband 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.

**Key Words** : Positioning, TDOA, TH-PPM, UWB, Indoor channel

### I. 서 론

무선 인터넷이 활성화되고 위치정보와 연관된 법률이 제정된 이후, 그에 따라 위치기반서비스와 관련된 산업이 더욱 발전하고 있다. 위치인식 기술은 네트워크 기반과 단말기 기반의 위치 측정 기술, 그리고 하이브리드 방식으로 정확도를 향상시키는 기술이 연구되었다<sup>[1]</sup>. 이런 측위기술에 대한 연구는 위치 정밀도를 높이는데 그 목적을 두고 있다. UWB(Ultra Wideband) 기술을 사용하면, 매우 좁은 폭을 갖는 펄스를 사용하기 때문에 높은 위치 해상도를 얻을 수 있다. UWB 기술은 반송파를 사용하지 않으며, 주파수 대역폭이 500MHz 이상이거나 중심주파수의 20% 이상의 비대역폭(Fractional Bandwidth)을 갖는 통신시스템이다. 이 시스템은 송신

전력으로 잡음 수준의 낮은 전력을 이용하기 때문에 기존 통신 시스템에 간섭이나 영향이 적다. 그리고 이런 저 전력 특성은 다른 통신 시스템과의 주파수 공유가 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 연구되고 있다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 UWB 기술을 이용한 실내 위치인식 기법의 성능을 분석하고자 한다. 제 II장에서는 UWB의 실내 채널 모델에 대해 소개하고, 제 III장에서는 TH-PPM UWB의 성능을 분석한다. 제 IV장에서는 TDOA 위치인식 기법에 대해 설명하고, 제 V장에서 모의실험을 통해 성능을 분석한다. 마지막으로 제 VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

\*정회원, 광운대학교 전자융합공학과

접수일자 2010.04.27 수정일자 2010.05.29

## II. UWB 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 [3].

$$h_i(t) = X_i \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l}^i \delta(t - T_l^i - \tau_{k,l}^i), \quad (1)$$

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.

식 (1)과 같이 표현되는 UWB 채널 모델은 CM1~CM4로 주어지며 각각의 파라미터는 표 1과 같다 [4]. CM1~CM3은 실제 측정된 결과를 기반으로 모델링 되었고, CM4는 최악의 경우로 NLOS 다중경로 채널을 나타내기 위하여 RMS 지연이 25nsec에 이르는 열악한 상황을 고려하였다. 표에서 NP는 경로의 수,  $\Lambda$ 는 클러스터 도달률,  $\lambda$ 는 레이 도달률을 나타내며  $\gamma$ 는 레이 감쇄 요소,  $\Gamma$ 는 클러스터 감쇄요소,  $\sigma_1$ 은 클러스터 log-normal 페이딩의 표준편차,  $\sigma_2$ 는 레이의 log-normal 페이딩의 표준 편차를 나타낸다.

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	
$\Lambda$ (1/nsec)	0.0233	0.4	0.0667	0.0667
$\lambda$ (1/nsec)	2.5	0.5	2.1	2.1
$\Gamma$	7.1	5.5	14.0	24.0
$\gamma$	4.3	6.7	7.9	12
$\sigma_1$ (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
$\sigma_2$ (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
$\sigma_x$ (dB)	3	3	3	3

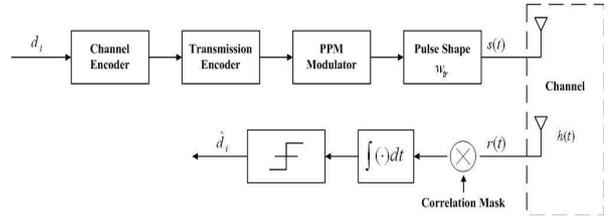


그림 1. TH-PPM UWB 기법의 블록도  
Fig. 1. Block diagram of TH-PPM UWB system

## III. TH-PPM UWB 기법의 성능 분석

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].

$$s(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} \sqrt{E_b} w(t - jT_s - c_jT_c - d_i\delta), \quad (2)$$

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,  $\delta$ 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 다음과 같이 나타낼 수 있다 [6].

$$r(t) = \sum_{l=1}^L E_{RX}^{(l)} s^{(l)}(t - \tau_l) + n(t), \quad (3)$$

여기서  $E_{RX} = E_{TX} \alpha^2$ 는 수신 신호 파워,  $n(t)$ 는 AWGN(Adaptive White Gaussian Noise)을 의미한다. 수신단에서는 변조된 신호를 복원하기 위해서 상관기(Correlator)를 이용한다.

상관기의 기준 신호로 사용되는 상관 마스크  $m(t)$ 는 다음과 같이 정의된다 [7].

$$m(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} v(t-jT_s - c_j^{(1)}T_c) \quad (4)$$

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

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

$$Z = \int_{T_b} r(t)m(t)dt \quad (5)$$

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

AWGN 채널에서 TH-PPM UWB 시스템의 오류 확률(Probability of Error)은 다음과 같다 [5].

$$P_{r_b} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{N_s E_{RX}}{2\sigma_n^2}} \right). \quad \text{Q로} \quad (6)$$

#### IV. TDOA 위치인식 기법

TDOA(Time Difference of Arrival) 알고리즘은 신호 도달 시간의 차이를 이용하는 방식으로, 상대적인 시간 값으로 위치를 측정하기 때문에 동기화 과정이 필요하지 않다는 특징이 있다. 이 시간 차이는 두 신호의 상관도가 최대가 되도록 하는 값을 구함으로써 검출한다. 그 과정을 수식으로 나타내면 아래와 같다 [8].

$$\Delta t_{ij} = t_i - t_j, 1 \leq i < j \leq K, \quad (7)$$

여기서  $t_i$ 와  $t_j$ 는  $K$ 개의 고정 노드들 중에서  $i$ 와  $j$ 에서의 TOA(Time of Arrival) 값이다. 위 수식에서 도출된 TDOA 값은 빛의 속도인  $c$ 를 곱함으로써 거리 차이를 알아낼 수 있다.

$$\Delta d_{ij} = c \cdot \Delta t_{ij} = d_i - d_j. \quad (8)$$

직교좌표계에서 이동 노드의 좌표를  $(x, y, z)$ , 고정

노드  $i$ 의 좌표를  $(x_i, y_i, z_i)$ 라고 할 때,  $i$ 번째 고정 노드와 이동 노드간의 거리  $d_i$ 를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$d_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2}. \quad (9)$$

식 (8)에 식 (9)를 대입하면 아래의 두 고정 노드와 하나의 이동노드 간의 거리 차이를 나타내는 식으로 정리된다.

$$\Delta d_{ij} = c \cdot \Delta t_{ij} = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} - \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 + (z-z_j)^2}. \quad (10)$$

$\Delta d_{ij}$ 의 개수는  $K$ 개의 고정 노드들 중 두 개씩을 뽑은  $N$ 개의 순열로 나타낼 수 있다. 이 때,  $\Delta t_{ij}$  값이 정확하다면 식 (10)에서 해를 도출하여 이동 노드의 위치를 판정할 수 있게 된다. 하지만 위와 같은 직접 계산 방법(Direct Method)은  $t_i$ 와  $t_j$ 값에 오류가 발생했을 때 위치 추정 성능이 심각하게 저하될 수 있다. 그래서 비선형 최적화 이론(Nonlinear Optimization Theory)로부터 적절한 위치 추정을 위한 알고리즘들이 연구되었고, 비선형 최소자승법(Nonlinear Least Square)을 이용하여 위치 추정 오차의 합을 나타내면 아래와 같다 [8].

$$F(x) = \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{j=i+1}^K f_{ij}^2(x) \quad (11)$$

$$f_{ij}(\tau) = c \cdot \Delta t_{ij} - \Delta d_{ij}.$$

식 (11)의 최소값을 구하면 비선형 최소자승법을 이용한 위치 추정 함수 값을 얻을 수 있다. 식 (11)의 최소값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{x} = \operatorname{argmin}_x F(x), \quad (12)$$

여기서  $\hat{x}$ 는  $F(x)$ 의 값들 중에 최소값이 되고, 그 값은 곧 이동 노드의 좌표가 된다.

### V. 모의실험

이번 장에서는 실내 환경에서 TH-PPM UWB를 이용한 위치인식 기법의 성능을 IEEE 802.15.3a에서 제안한 UWB 채널 모델을 기반으로 모의실험을 통해 분석한다. UWB 시스템은 고정 노드간의 동기화가 완벽히 이루어지고, 이상적인 레이크(Rake) 수신기를 가정하였다. 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	TDOA
Ranging 기법	One-way Ranging
고정 노드의 수	3

#### 1. TH-PPM UWB 시스템의 성능

그림 2는 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 1.2dB 정도 성능 열화를 보였다.

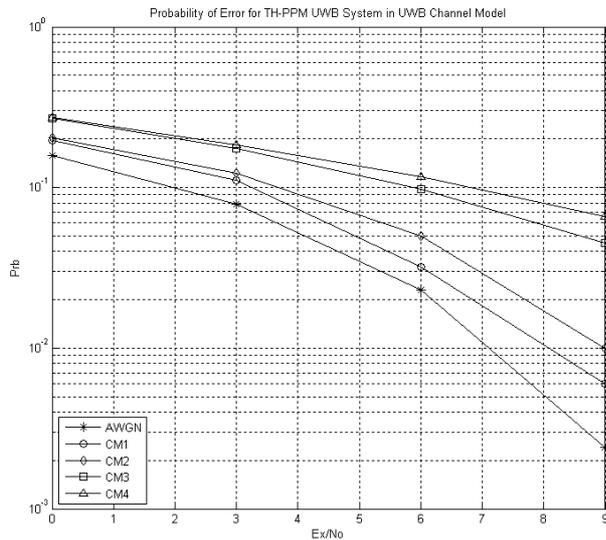


그림 2. TH-PPM UWB 시스템의 오류 확률  
Fig. 2. Probability of error for TH-PPM UWB

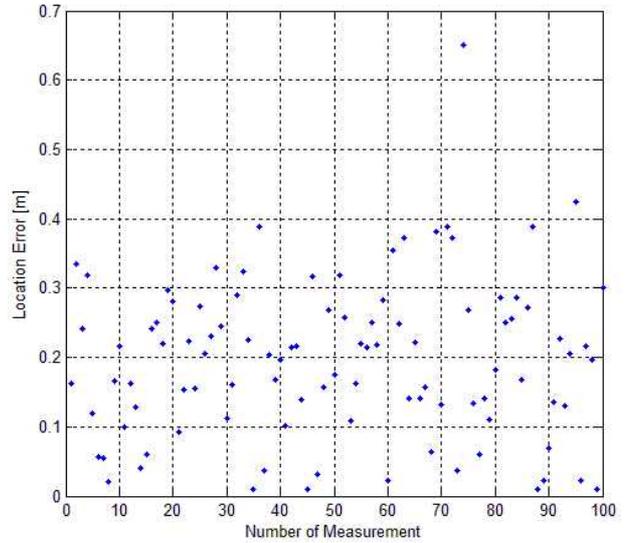


그림 3. CM1 채널에서의 위치 오차  
Fig. 3. Positioning error for CM1 channel

#### 2. TH-PPM UWB 기반 위치인식 기법의 성능

그림 3은 TH-PPM 기반 TDOA 위치인식 기법의 위치 오차 성능을 나타낸다. 100번의 실험을 통해 위치 오차 성능을 분석하였고 채널 CM1의 경우 평균 오차 19.61cm, 표준편차는 11.38cm의 성능을 보였다. UWB 실내 채널 모델에 따른 위치 오차 결과는 표 3과 같다.

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

채널 모델	평균( $\mu$ )	표준편차( $\sigma$ )
CM1	19.61cm	11.38cm
CM2	23.54cm	13.33cm
CM3	27.55cm	16.59cm
CM4	30.23cm	18.08cm

### VI. 결론

본 논문에서는 실내 채널 환경에서 TH-PPM UWB를 이용한 TDOA 위치인식 기법의 성능을 분석하였다. UWB 시스템은 광대역의 고속 데이터 전송이 가능하고, 근거리에서의 성능이 뛰어나기 때문에 실내 위치인식에서 cm 레벨의 좋은 성능을 보인다. TDOA 위치인식 기법은 시간차를 이용하여 거리를 구하는 방법으로 동기화

과정이 필요하지 않은 장점을 갖는다. 모의실험은 IEEE 802.15.3a 채널 모델을 기반으로 수행하였고 성능 분석 결과, CM1~CM4로 갈수록 성능의 열화가 발생함을 알 수 있었다. UWB 기반의 TDOA 위치인식 성능은 CM1의 경우 평균 오차가 약 20cm 정도의 높은 정밀도를 나타냈으며, CM4 채널로 갈수록 오차가 증가하였다. 앞으로 다양한 시나리오 환경 및 변수에 대해 분석을 하고, 성능을 더욱 안정적으로 높이는 방법을 연구할 것이다. 본 논문의 결과는 TH-PPM UWB 기반의 위치인식 알고리즘을 연구하는데 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] L. Yang and G. B. Giannakis, "Ultra-wideband communications: an idea whose time has come," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 21, pp. 26-54, Nov. 2004.
- [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, 2005.
- [3] 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.
- [4] J. R. Foerster, "Channel modeling sub-committee report final," IEEE P802.15 WG for WPANs Technical Report P802.15-02/490r0-SG3a, Feb. 2003.
- [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. 2001, 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 Technology, pp. 400-404, May 2004.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.  
(NIPA-2010-(C1090-1011-0005))

저자 소개

배 정 남(정회원)



- 2009년 : 광운대학교 전자공학과 공학사
  - 2009년~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 석사과정
- <주관심분야: 디지털통신, 무선통신, 방송시스템, UWB, 4세대 이동통신>

최 영 훈(정회원)



- 2009년 : 광운대학교 전자공학과 공학사
  - 2010년~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 석사과정
- <주관심분야: 디지털통신, 무선통신, UWB, 4세대 이동통신>

김 진 영(정회원)



- 1998년 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
  - 2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate
  - 2001년 : SK 텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원
  - 2009년 : 미국 MIT 공대 방문교수
- 2001년~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 부교수
- <주관심분야: 디지털통신, 무선통신, UWB, 채널부호화, 4세대 이동통신, 인지무선통신>