

# 다중 안테나를 적용한 UWB 시스템의 PN 부호 포착 성능 분석

김은철, 김진영

광운대학교 전자공학과

e-mail: [eun6210@nate.com](mailto:eun6210@nate.com), [jykimeagle@yahoo.co.kr](mailto:jykimeagle@yahoo.co.kr)

Analysis of PN Code Acquisition Performance  
with Multiple Antennas in a UWB System

\*Eun-Cheol Kim, Jin-Young Kim

Department of Radio Science and Engineering  
Kwangwoon University

## Abstract

In this paper, pseudo noise (PN) code acquisition performance with multiple antennas in a UWB time hopping/code division multiple access system is analyzed. The closed form for the conditional probability is derived, using the Gauss-Hermite quadrature formula, when the signal with Gaussian distribution goes through the lognormal fading channel. The performance comparison of the above mentioned schemes shows that the code acquisition performance with a diversity combining technique, especially when increasing the number of antennas, is more robust than that using no diversity.

UWB 무선통신 시스템은 광대역으로 에너지를 확산시키고 협대역 통신 신호와 펄스 신호간의 간섭을 예방하기 위해 Pseudo noise (PN) code를 사용한다. 모든 대역 확산 통신 시스템에서는 수신부가 가지고 있는 정보를 이용하여 생성한 PN code와 수신기가 수신한 PN code가 동기가 정확히 이루어진 후에야 비로소 데이터 전송이나 데이터 복조, 그리고 신호의 역확산이 가능하기 때문에 PN code 동기화는 매우 중요하다.

본 논문에서는 PN code를 사용한 시간도약 코드분할 다중접속방식의 UWB 시스템에서 신호대 잡음비 (SNR : signal to noise ratio)를 향상시켜 시스템의 동기화 성능을 향상시키기 위한 방안으로서 다중 안테나를 이용한 acquisition 에 관해 소개하고 그 성능을 분석하고자 한다.

## II. 신호와 채널 모델

### I. 서론

무선 통신 기술의 발전하고 이에 주파수 자원의 수요가 늘어남에 따라, 세계적으로 전파자원을 보다 효율적으로 사용하기 위한 신 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 이에 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 방안으로 초광대역 (UWB : ultra wideband) 무선통신기술이 대두되고 있다 [1].

#### 1. 송신단 신호 모델

시간도약 코드분할 다중접속방식의 UWB 시스템의  $k$ 번째 송신단에서 출력된 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_r^{(k)}(t^{(k)}) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} w_r^{(k)}(t^{(k)} - jT_f - c_j^{(k)}T_c - \delta a_j^{(k)}) \quad (1)$$

여기서  $t^{(k)}$ 는 송신기의 클럭 시간이고,  $w_r(t)$ 는 송신기 클럭이 0일 때 시작되는, 단일주기의 송신된 펄스 파형을 나타낸다.  $T_f$ 는 프레임 시간 또는 펄스반복 시간을 나타내며, 이는 펄스의 주기폭의 수 백배에서 수 천배에 해당한다.  $\{c_j^{(k)}\}$ 는 시간 도약 시퀀스를 나타내는데, 이는 각 펄스열에서 단일주기 펄스의 시간 이동을 나타낸다.  $\{d_j^{(k)}\}$ 는 데이터 시퀀스인데, 이는 발생확률이 동일한 이진 심볼로 이루어진 광의의 정상성 랜덤 프로세스로 모델링 되었다.  $\delta$ 는 최적의 성능을 나타낼 수 있도록 결정되는 변조 매개변수이다.

2. 채널 모델

본 실험에서 전파 채널은 UWB 실내 채널로 모델링 하였다 [2]. 이 모델은 UWB 전파 실험에 기초한 경로 이득의 수학적 분포 함수를 가지고 있다. 모든 전파 경로에 있는 펄스 모양은 동일한 것으로 가정하면, 채널 임펄스 응답은 그림 1에 있는 것과 같은 tapped - delay - line (TDL) 구조로 모델링 할 수 있다.

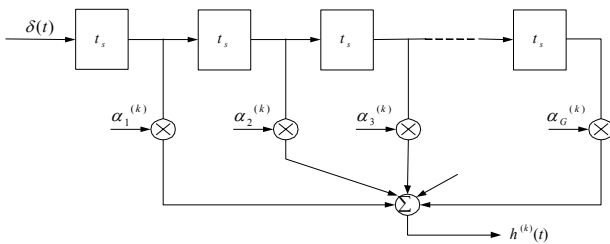


그림 1. 주파수 선택적 페이딩 채널의 tapped-delay-line 모델.

$K$ 개의 송신단이 존재한다고 가정할 때,  $k$ 번째 ( $k=1, 2, \dots, K$ ) 사용자의 채널 임펄스 응답은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$h^{(k)}(t) = \sum_{g=1}^G \alpha_g^{(k)} \delta(t - (g - 1)t_s) \tag{2}$$

여기서  $\delta(t)$ 는 Dirac delta 함수이고,  $t_s$ 는 송신된 단일주기 신호 폭,  $w_r(t)$ 과 관련이 있는, 최소한의 구분 가능한 다중경로간 간격이다.  $\alpha_g^{(k)}$ 는 채널 계수인데, 본 논고에서 이 계수는 로그노말 분포를 갖는 TDL 구조로 모델링 되었다 [3].

3. 수신단 신호 모델

UWB 시스템에서 실내 무선 채널을 거쳐 수신기의 안테나를 통과한 신호는 식(3)와 같이 표현될 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G \alpha_g^{(k)} s_{rec}^{(k)}(t - \tau_g^{(k)}) + n(t) \tag{3}$$

여기서  $\alpha_g^{(k)}$ 는 전파경로의 감쇄상수를 나타내고,  $s_{rec}^{(k)}(t - \tau_g^{(k)})$ 는  $k$ 번째 송신기로부터 수신된 신호를 나타낸다.  $\tau_g^{(k)}$ 는  $k$ 번째 송신기 클럭과 수신기 클럭간의 시간 간격 차이를 나타내고,  $n(t)$ 는 0의 평균과  $\sigma_n^2$ 의 분산을 갖는 백색 가우시안 잡음 (AWGN : additive white Gaussian noise)를 나타낸다.

III. 시스템구조

본 논고에서는 다중 안테나를 수신단에 적용해서 수신부가  $L$ 개의 안테나로 구성되어 있다. 각 안테나로 구성된 채널이 서로 영향을 미치게 하지 않기 위해 각 안테나 사이의 거리가 충분히 떨어져 있다고 가정한다.

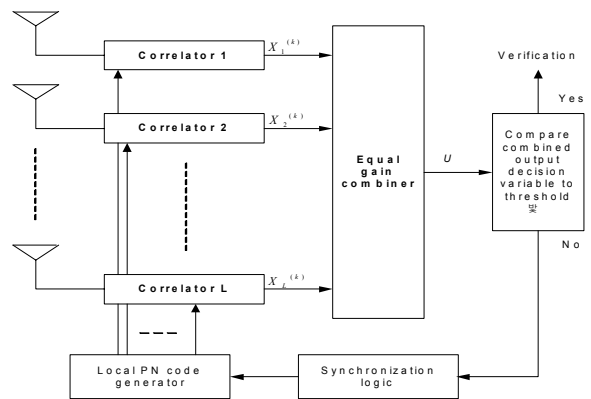


그림 2. 다중 안테나를 적용한 UWB 시스템의 수신부.

모든 상관기는 수신단의 역확산 코드와 똑같은 위상으로 이루어져 있다. 그리고  $L$ 개의 상관기들의 출력은 더해져서 비교 대상이 되는 값,  $U$ ,이 된다.

이 비교대상이 되는 신호  $U$ 는 수신기와 송신기의 code간의 시간 간격이 정확히 일치하는지 결정을 내리기 위하여 이전에 정해진 임계값,  $T$ ,와 비교된다.

### IV. 성능 분석

$L$ 개의 안테나 다이버시티와 EGC를 적용한 UWB 시간도약 코드분할 다중접속 시스템에서 비교 대상이 되는, 결합된 신호  $U$ 는 식 (4)과 같이 표현할 수 있다.

$$U = \sum_{i=1}^L Y_i^{(k)} \quad (4)$$

Wilkinson's method [4]를 사용하여  $U$ 의 확률 분포 함수에 대한 근사식을 표현하면 식 (5)과 같다.

$$f(\gamma_u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_z^2}\gamma_u} \exp\left(-\frac{(\ln\gamma_u - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2}\right), \gamma_u \geq 0 \quad (5)$$

$H_1$  셀들로 이루어진  $U$ 의 확률 분포 함수는 식 (6)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_U(u|H_1) = \frac{1}{2\pi\sigma_z^2} \int_0^\infty \frac{1}{\gamma_u} \exp\left(-\frac{(u - L\sqrt{\gamma_u})^2}{2}\right) \exp\left(-\frac{(\ln\gamma_u - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2}\right) d\gamma_u \quad (6)$$

몇 가지 치환 과정과 정리하는 과정을 거친 후, Gauss-Hermite quadrature formula [5]를 이용하면, 식 (7)는 다음과 같이 간략한 식으로 표현할 수 있다.

$$f_U(u|H_1) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=1}^N h_{s_n} \exp\left(-\frac{\left(u - L \exp\left(\frac{\sqrt{2}\sigma_z s_n + \mu_z}{2}\right)\right)^2}{2}\right) \quad (7)$$

그리고  $H_0$  셀들로 이루어진  $U$ 의 확률 분포 함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f_U(u|H_0) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=1}^N h_{s_n} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) \quad (8)$$

성능을 분석하기 위하여 detection probability와 false alarm rate, miss detection probability, 그리고 mean acquisition time을 각각 다음과 같이 계산하였다.

$$P_D = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=1}^N \frac{h_{s_n}}{T - A(n)} \exp\left(-\frac{(T - LA(n))^2}{2}\right) \quad (9)$$

여기서  $A(n) = \exp\left(\frac{\sqrt{2}\sigma_z s_n + \mu_z}{2}\right)$  이다.

$$P_{FA} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=1}^N \frac{h_{s_n}}{T} \exp\left(-\frac{T^2}{2}\right) \quad (10)$$

$$P_M(\lambda) = \prod_{i=1}^{\lambda} (1 - P_D) \quad (11)$$

$$\bar{T}_{acq} = \frac{[1 + P_M(\lambda)](1 + JP_{FA})}{2[1 - P_M(\lambda)]} (q\tau_D) \quad (12)$$

### V. 실험 결과

본 실험은 다중 안테나의 개수에 따른 성능 개선 여부를 알아보고자 하였고, acquisition은 serial search 방법을 적용하였다. PN 코드의 길이는 1023칩으로 하였고, search step 크기는 0.5칩으로 하였다. False alarm rate은 0.001로 하였고 penalty time 상수는 1000으로 하였다.

그림 3과 그림 4는 안테나 개수가 1, 2, 4, 8개 일 때, SNR/chip 에 따른 detection probability와 miss detection probability 성능을 나타내었다. 예상한 바와 같이 안테나 다이버시티에 의해 신호대 잡음비가 향상되므로, 안테나 개수가 증가함에 따라 detection probability가 증가하였다. 하지만 안테나의 개수가 증가함에 따른 detection probability가 증가하는 비율과 miss detection probability가 감소하는 비율은 점점 줄어들어서, 안테나가 4개 이상일 때는 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다. 이는 안테나 개수가 4개 이상으로 증가하면 안테나가 각각의 안테나에 수신되는 신호를 구분하는 것이 용이하지 않기 때문이다.

그림 5는 serial search acquisition 시스템의 SNR/chip 에 따른 mean acquisition time 성능을 나타내었다. 안테나의 개수가 증가함에 따라 mean acquisition time은 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 SNR/chip에 관계없이, 4개의 안테나를 사용했을 때와 8개의 안테나를 사용했을 때의 mean acquisition time 차이는 거의 없는 것을 알 수 있다. SNR/chip이 -7 dB 이상에서의 mean acquisition time 성능은 안테나의 개수에 상관없이 거의 동일함을 알 수 있다.

이는 SNR/chip이 -7 dB 이상에서 overall miss detection probability가 0.1 이하이므로, 식 (12)에서 overall miss detection probability 에 관련된 부분이

mean acquisition time에 거의 영향을 주지 않기 때문이다.

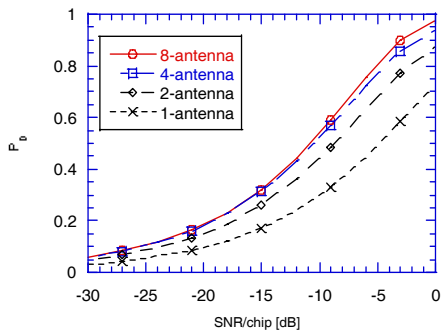


그림 3. 안테나 개수와 SNR/chip 에 따른detection probability.

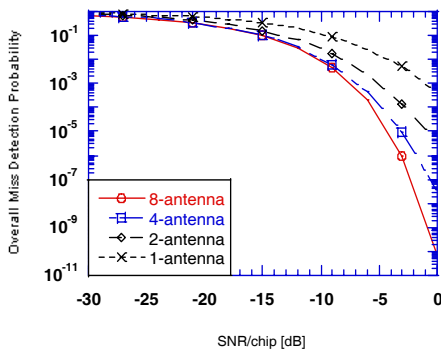


그림 4. 안테나 개수와 SNR/chip 에 따른detection probability.

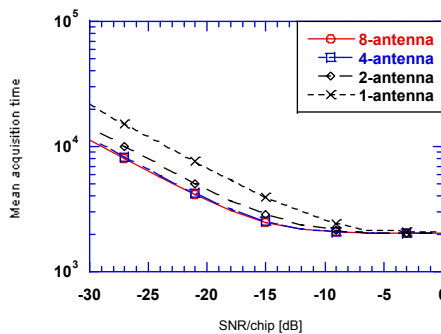


그림 5. 안테나 개수와 SNR/chip 에 따른 mean acquisitiontime.

해 다중 안테나를 수신단에 적용하여 acquisition 성능을 분석하였다. 주파수 선택적 로그노말 페이딩 채널에서 detection probability, overall miss detection probability, false alarm rate, mean acquisition time의 closed form 이 유도되었다.

실험에서는 다중 안테나를 사용한 UWB 시스템의 PN code acquisition 성능이 안테나의 개수에 따른 영향을 알아보았다. 실험 결과로부터 안테나의 개수가 증가함에 따라 시스템의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 안테나의 개수가 4개 이상 증가할 경우 시스템의 성능은 안테나 resolution 문제로 인해 거의 향상되지 않음을 알 수 있다.

### 참고문헌

- [1] M.Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio : how it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [2] D. Cassioli, M. Z. Win, and A. F. Molisch, "The ultra-wide bandwidth indoor channel: From statistical model to simulations," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 20, no. 6, pp. 1247-1257, Aug. 2002.
- [3] H. Hasmemi, "Impulse response modeling of indoor radio propagation channels," *IEEE J. Select. Commun.*, vol. 11, no. 7, pp. 967-978, Sep. 1993.
- [4] N. C. Beaulieu, A. A. Abu-Dayya, and P. J. McLane, "Estimating the distribution of a sum of independent lognormal fadom variables," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, no. 12, pp. 2869-2873, Dec. 1995.
- [5] M. Abramowitz and I. A. Stegun (Eds.), *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*, 9th printing, Dover, New York, 1972.

### VI. 결론

본 논문에서는 UWB 시스템에서 acquisition 에 관