

# 안테나 다이버시티를 이용한 PN 코드 획득 성능 분석

서성일\* 정회원

## Performance Analysis of PN Code Acquisition with Antenna Diversity

Sung Il Seo\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 Code division multiple access (CDMA) 사용자와 협대역 사용자가 동일 주파수 대역에 존재하는 곳에서 direct sequence/CDMA (DS/CDMA) 오버레이 시스템에 대해 pseudorandom noise (PN) 코드 획득 성능 상의 안테나 다이버시티의 효과가 분석되고 시뮬레이션 되었다. 시뮬레이션 결과는 안테나 다이버시티가 PN 획득 성능에 매우 효과적임을 보인다. 이 논문의 결과는 DS/CDMA 오버레이 환경에서 동기 구조의 설계에 적용될 수 있다.

**Key Words** : Antenna diversity, PN code acquisition, DS/CDMA, multiuser access interference, multipath fading

### ABSTRACT

In this paper, effect of antenna diversity on pseudorandom noise (PN) code acquisition performance is analyzed and simulated for a direct sequence/code division multiple access (DS/CDMA) overlay system where a CDMA user and a narrowband user coexist in the same frequency band. From the simulation results, it is shown that the antenna diversity is very effective in improving the PN acquisition performance. The results of this paper can be applied to design of synchronization scheme for a DS/CDMA overlay environment.

## I. 서론

Spread Spectrum 시스템에서 pseudorandom noise (PN) code 동기화는 보통 다음의 두 단계로 실행된다. 1) PN 포착 (Acquisition) 단계로 한 칩 (Chip) 이내에서 동기를 획득하는 단계, 2) PN 추적 (Tracking) 단계로 복조를 통해 정밀하게 동기를 획득하는 단계. 현재 다양한 PN 코드 포착 기법들이 제안되었고 분석되었으며, 그 중 하나로 Matched filter 기반의 PN 코드 포착 기법이 국부적 PN 코드 동기화 방법으로 제안되었다 [1-3]. 또한 연속 정합 필터 (serial matched filter) [4-6] 기반의 PN 코드 포착 방법과 평균 포착 시간을 감소시키기 위한 병렬 정합 필터 기법 [7-10] 제안 및 분석된 바 있다. 간섭 신호의 분산값을 추정하는 reference filter (RF) 기반의 연속 정합 필터 기법도 제안된 바 있다 [11-13].

본 논문에서는, Direct sequence/code division multiple access (DS/CDMA) 시스템에서 다중배열 안테나를 기반으로 PN 포착 성능을 분석하고 시뮬레이션 하였다. 협대역 사용자들의 영향을 감소시키기 위해 간섭 억제 필터링이 PN

코드 포착 이전에 실행된다. 간섭 억제 필터의 Tap들은 minimum-mean-square-error (MMSE) 기준을 기반으로 갱신된다. 포착 성능은 포착 진행 단계에 대한 상태 천이 다이어그램을 이용하여 평균 포착 시간으로 평가되었다. 또한 PN 코드 포착 성능은 불완전 파워 컨트롤, diversity reception, 셀 내외부 유저들의 multiuser access interference (MAI) 그리고 다중 경로 페이딩 (multipath fading) 등 실질적 조건들 하에서 실험 평가가 이루어 졌다.

이 후 본 논문의 구성은 다음과 같이 이루어진다. 제 2 장에서 비동기식 병렬 MF 포착 기법의 시스템 모델을 서술한다. 제 3 장에서 안테나 다이버시티의 영향과 채널 용량에 대해 전개한다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과들과 본 논문의 결론을 각각 제 4 장, 제 5 장에서 서술하며 논문을 마무리 한다.

\*Department of Electrical Engineering, Honam University, Gwangju, Korea(siseo88@naver.com)

접수일자 : 2017년 02월 16일, 최종 게재 확정일자 : 2017년 02월 28일

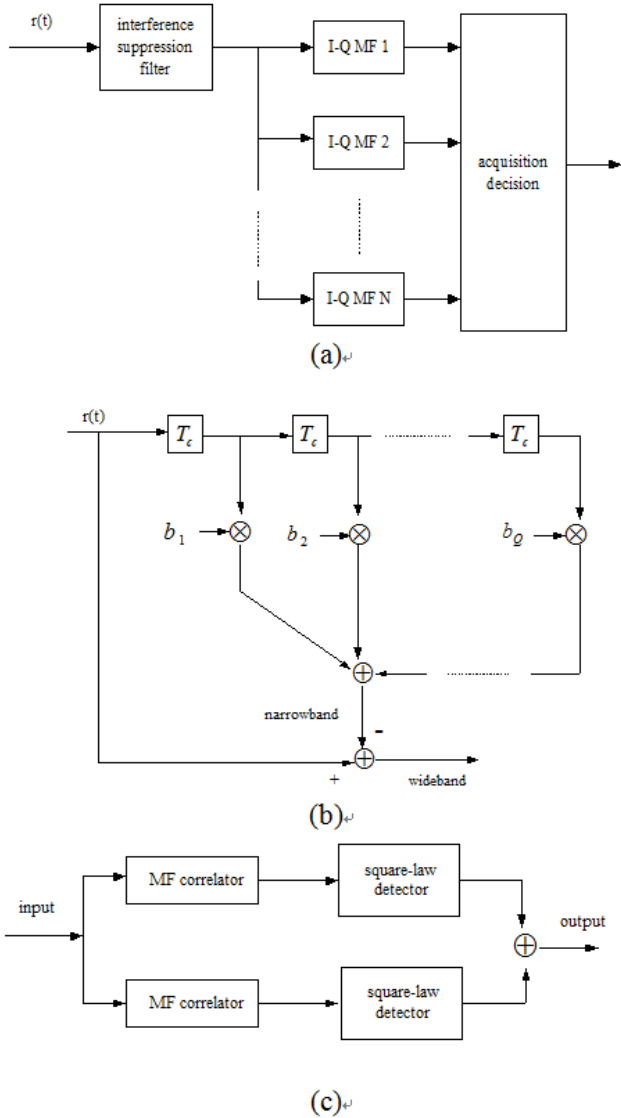


Fig. 1. Block diagram of acquisition scheme with NBI suppression filter. (a) Parallel acquisition scheme with interference suppression filter. (b) Structure of NBI suppression filter. (c) I-Q MF of N parallel I-Q MF's.

## II. 시스템 모델

간섭 억제 필터 기반의 비동기식 병렬 MF 포착 기법을 그림 1(a)에 나타내었다. 그림 1(a)는 간섭 억제 필터와 병렬 MF 포착 기법으로 구성되어 있다. 수신된 신호는 그림 1(b)와 같이 첫 번째로 narrowband interference (NBI) 효과를 감소시키기 위해 간섭 억제 필터를 거치게 된다. 그 후 그림 1(c)와 같이 병렬 MF 포착 기법에 의해 N개의 비동기식 병렬 I-Q MF들을 통과하게 된다 [14-15].

## III. 성능 분석

시스템 모델의 성능을 분석하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 1) 그림 2와 같이 6각형의 셀 패턴을 가진다.

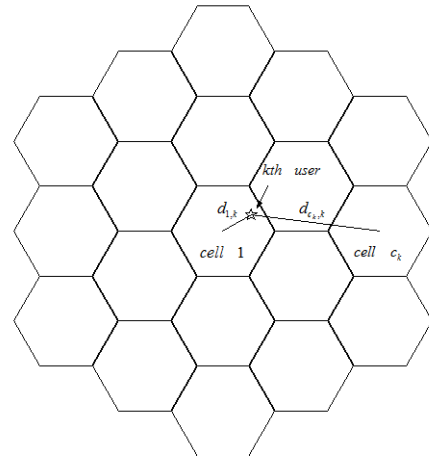


Fig. 2. Configuration of cellular layout.

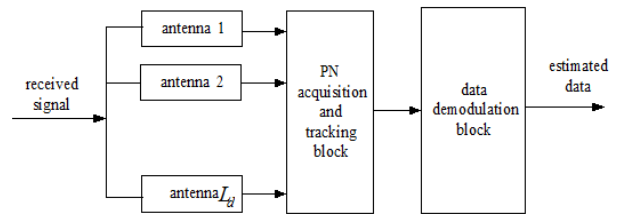


Fig. 3. Receiver structure with antenna diversity.

- 2) 인접 셀 간섭은 첫 번째 또는 두 번째 tier의 인접한 셀로부터만 영향을 받게 되며, 이것은 19개로 이루어진 셀에서 18개의 셀로부터 간섭을 받는 것 과 같다.
- 3) 사용자는 18개의 인접 셀로 둘러싸여있다.
- 4) 전체 수신한 코드에 대해서 code uncertainty가 존재한다.
- 5) 다중 경로 지연 확산은 하나의 데이터 심볼 주기보다 적게 발생하며 심볼 간 간섭이 무시된다.
- 6) 각각의 19개의 셀은 사용자가 균등하게 분포되어 있다.

### 1. 안테나 다이버시티의 영향

RF 통신 시스템에서 페이딩은 신호 품질을 손상시키는 것으로 잘 알려져 있다. 페이딩 효과를 극복하고 완화하는 하나의 솔루션으로 안테나 다이버시티 개념이 연구되었다 [10-11]. 지금까지 안테나 다이버시티, 주파수 다이버시티, 경로 다이버시티, 편광 다이버시티 등 다양한 다이버시티 기법들이 제안되었다. 그 중, 이동통신에서 가장 잘 알려진 다이버시티 형태는 안테나 (또는 공간) 다이버시티 이다.

DS/CDMA 시스템 기반의 이동통신을 운영할 때 PN 코드 포착 성능은 다중 경로 페이딩이나 섀도잉과 같은 전파 환경에 영향을 받는다. 다이버시티 수신은 bit error rate (BER) 성능에 주요하게 영향을 받는다고 연구된 바 있다. 그러므로, 본 논문에서는 페이딩에 의한 성능 열화를 완화시키는 다이버시티 수신인 PN 코드 포착 성능 또한 개선 가능하다고 가정하며 이에 대한 타당성을 조사하고자 한다.

안테나 다이버시티를 얻는 수신부 구조도를 그림 3에 제시한다. 그림 3은  $L_d$ 개의 안테나를 가진 다이버시티 수신기를 나타낸다. 안테나에서 수신한 신호는 첫 번째로 PN 동기화 (포착과 추적과정) 블록을 통과하며, 그 후 동기화 블록의 output은 원본 데이터를 복조하기 위한 과정에 돌입한다. 각 안테나에 수신된 신호들간에 독립을 유지하기 위해, 각 안테나 사이의 거리는 충분히 멀리 떨어져 있다고 가정한다. 모든 상관기는 동일한 위상을 가진 지역역확산 부호를 가지고 있다. 각 안테나로 수신된 신호는 상관기를 거쳐서 동일한 dlerm을 가지고 더해진다. 부호의 일치 여부를 판별하기 위해 동일 이득 결합기의 출력을 기 설정된 임계값과 비교한다. 본 논문에서는 그림 3의 앞단 (안테나와 동기화 블록)에 대해 집중하고자 한다. 각각의 안테나는 전송 주파수에 한 파장 이상 떨어져 있다고 가정한다 (spatially separated). 그러면 각각의 안테나로부터 페이딩 amplitude와 phase가 독립적 특성을 갖을 수 있다.

## 2. 채널 용량 산출

이전 연구에서 DS/CDMA 시스템에 대한 채널 용량 산출 방식은 대부분 BER과 outage 확률에 관한 것이다 [7]. 그러나 MAI가 존재할 때 PN 코드 포착 성능은 CDMA 채널용량에 제한될 수 있다. 그러므로, 본 논문에서는 포착 기반 용량을 다음과 같이 정의한다 [8].

$$C_{acq} = \max K, T_{acq} \leq \widehat{T}_{acq} \quad (1)$$

여기서  $\widehat{T}_{acq}$ 는 최대 허용가능한 평균 포착 시간이다. 포착 기반의 채널 용량은 한 명 또는 그 이상의 유저가 칩 동기화를 획득하는 동안 최대 사용자 수로 정의된다. 또한 포착 기반 용량은 전달 지연, 위상 변이, 전송 파워, MAI 그리고 additive white Gaussian noise (AWGN)에 의존하는 확률 변수이다. DS/CDMA 시스템에서 용량 산출을 위해 본 논문에서는 포착 기반 용량과 BER 기반 용량을 동시에 고려한다. BER 기반 용량은 비부호화 BER 성능이  $10^{-2}$ 보다 작거나 동등한 수준을 갖는 최대 유저 수로 정의된다. 또한  $10^{-2}$ 의 BER 성능 기준값은 음성 데이터 전송 시스템에서 고려하고 있는 통상적인 값이다. 페이딩 크기에 따른 BER은 다음과 같다.

$$P_{b,f}(\alpha) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b\alpha^2}{\sigma_i^2}}\right) \quad , \quad (2)$$

여기서  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{(2^*\pi)}} \int_x^\infty \exp(-\frac{t^2}{2})dt$ 는 Gaussian Q-function이고  $E_b$ 는 비트 당 에너지,  $\alpha^2$ 는 페이딩 크기 제곱의 합이다. 그러면, 비트 에러율은 fading amplitude 분포에 따라 조건적 비트 에러율의 합으로 다음과 같이 표현된다.

$$P_b = \int_0^\infty P_{b,f}(\alpha)f_\alpha(\alpha)d\alpha, \quad (3)$$

여기서  $f_\alpha(\alpha)$ 는  $\alpha$ 에 대한 확률 분포 함수이고 다음과 같이 주어진다.

$$f_\alpha(\alpha) = \frac{2\alpha^{L_d}(1+R_f)^{-1/2(1+L_d)}}{C_f R_f^{1/2(L_d-1)}} \exp\left(-\frac{\alpha^2(1+R_f)+R_f}{C_f}\right) I_{L_d-1}\left(\frac{2\alpha}{C_f}\sqrt{R_f(R_f+1)}\right) \quad (4)$$

수식 (4)에서  $L_d$ 는 안테나 다이버시티의 차수 (예를 들어 수신 안테나 개수)이고,  $R_f$ 는 반사와 산란 파워의 비율로서 Rician factor 이다.  $C_f$ 는 상수로서 다중 경로의 세기 프로파일이고  $I_{L_d-1}(\cdot)$ 은 제 1종 ( $L_d - 1$ )th 차수의 modified Bessel 함수이다.

## IV. 시뮬레이션 결과

컴퓨터 시뮬레이션을 위해서 다음과 같은 파라미터들이 사용되었다.

- 1) Chip 검증 방식에 대한 오경보율  $J = 10^6$  에 따른 페널티 시간, 2) 테스트 횟수  $A = 4$  과 테스트 성공 횟수 검증 방식  $B = 2$ , 3) 페이즈 갱신 변수  $\Delta = 1/2$ , 4) 경로 손실 계수  $\gamma = 3.8$ , 5) 각각의 셀에 존재하는 유저 수: 30.

본 논문에서 사용된 페이딩 채널 모델은 다음과 같다.

- 1) Rician factor (specular-to-diffuse power ratio)  $R_f = 10dB$ , 2) delay profile 타입: exponentially decaying multipath intensity profile, 3) 이동 속도: 30km/h, 4) 다중 경로 수  $L = 2$  (two-ray fading model).

그림 4에서 정규화된 평균 포착 시간 대 협대역 BW 비율을 나타내었고 다이버시티 수신 차수 (수신 안테나 개수)에 따라 변하는 것을 알 수 있다.

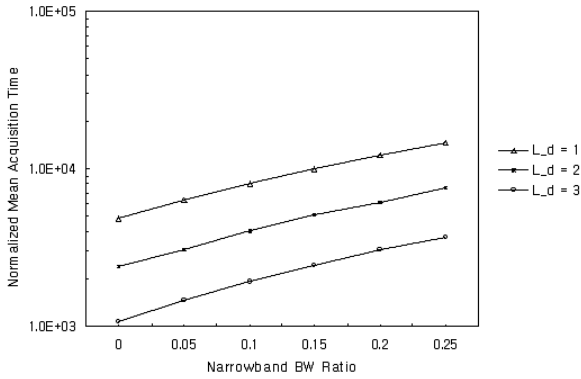


Fig. 4. Effect of antenna diversity on acquisition performance.

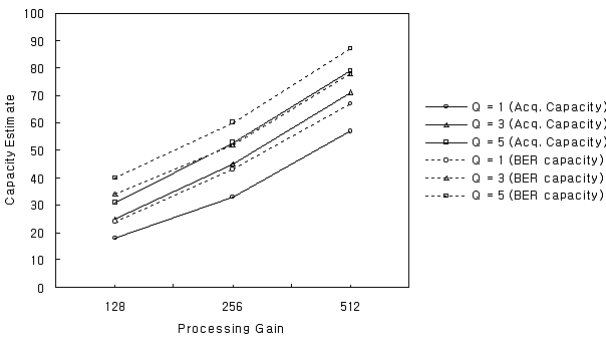


Fig. 5. Capacity estimate based on acquisition and BER performance.

시뮬레이션 결과는 SNR/chip = -5 dB, 파워 컨트롤 에러의 표준 편차  $\sigma_P = 1dB$ , 주파수 상쇄율  $q = 0.4$  그리고 셀 당 유저 수  $K = 30$  로 파라미터를 세팅하여 획득하였다. 다중 경로 완화 (다이버시티 수신)와 NBI 억제 기법이 PN 코드 포착 성능을 개선하는 데에 매우 효과적이라는 것을 알 수 있다.

그림 5에서, 포착 및 BER 기반 채널 용량을 변화하는  $Q$  값에 따라 비교하였다. 시뮬레이션 결과는 SNR/chip = -5dB, 파워 컨트롤 에러의 표준 편차  $\sigma_P = 1dB$ , 협대역 BW 비율  $P = 0.1$ , and 셀 당 유저 수  $K = 30$  로 파라미터를 세팅하여 획득하였다.

포착 기반 채널 용량은 BER 기반 용량보다 더 엄준하게 얻어진다고 볼 수 있다. 또한 두 채널 용량 산출은 필터 탭의 개수를 상승시킨다. 통상적으로 BER 기반 용량은 완벽한 칩 동기화 가정 하에서 산출된다. 그러나 이와 같은 종류의 산출 방식은 현실적이지 못 할 수 있다. 따라서 시스템 용량을 전체적으로 고려하였을 때 포착 기반 용량이 BER 기반 용량에 달한다고 볼 수 있다.

## V. 결론

PN 코드 포착 성능에서 안테나 다이버시티의 효과를 검

증하였다. 시뮬레이션 결과에 따라 NBI 억제 필터와 안테나 다이버시티가 DS/CDMA 시스템에서 매우 효과적으로 포착 성능을 개선한다고 볼 수 있다. 본 논문에서의 결과들은 DS/CDMA 및 기타 협 대역 시스템에서 통신 링크를 디자인 할 때 적용될 수 있다.

## 참고문헌

- [1] J. H. Linatti, "On the threshold setting principles in code acquisition of DS-SS signals," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 18, pp. 62-72, Jan. 2000.
- [2] A. Aissaoui, Z. Hammoudi and A. Farrouki, "Adaptive PN Code Acquisition Scheme Using Automatic Censoring for DS/SS Communication in Frequency Selective Rayleigh Fading Channel," *IET Commun.*, vol. 2, pp. 359-365, Feb. 2008.
- [3] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Parallel acquisition scheme for a direct-sequence spread-spectrum multiple-access packet radio communication," *IEE Electronics Letters*, vol. 31, no. 12, pp. 948-950, 1995.
- [4] B. Wang, H. M. Kwon, "PN code acquisition using smart antenna for spread-spectrum wireless communications - Part I," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 52, no. 1, pp. 142-149, Jan. 2003.
- [5] B. Wang, H.M. Kwon, "PN code acquisition using smart antenna for spread-spectrum wireless communications - Part II," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 2, no. 1, pp. 108-171, Jan. 2003.
- [6] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Acquisition performance of a DS/CDMA system in a mobile satellite environment," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 1, pp. 40-48, Jan. 1997.
- [7] J. Y. Kim, "Narrowband interference suppression for PN code acquisition in a DS/CDMA overlay environment," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E83-B, no. 8, Aug. 2000.
- [8] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*. IEEE Press, 1974.
- [9] J. G. Proakis, *Digital Communications*. Prentice-Hall, 1995.
- [10] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Acquisition-based capacity of a DS/CDMA system with imperfect power control in a Nakagami fading channel," *Proc. the IEEE ISIT '97*, p. 241, Ulm, Germany, June 1997.
- [11] H. S. Oh, C. H. Lim and D. S. Han, "Adaptive hybrid PN code acquisition with antenna diversity in DS-CDMA systems," *IEICE Trans. Communications*, vol. E85-B, pp. 716-722, Apr. 2002.
- [12] L.-L. Yang and L. Hanzo, "Serial Acquisition Performance of Single-Carrier and Multicarrier DS-CDMA over Nakagami-m fading Channels," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, 692-702, Dec. 2002.
- [13] O.-S. Shin and K.B. E. Lee, "Utilization of Multipaths for spread-pectrum Code Acquisition in Frequency-selective Rayleigh Fading Channels," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 49, no.

4, 734-743, Apr. 2001.

[14] L. L. Yang and L. Hanzo, "Serial acquisition of DS-CDMA signals in multipath fading mobile channels," IEEE Trans. Commun., vol. 50, pp. 617-628, Mar. 2001.

[15] C. J. Kim, H. J. Lee and H. S. Lee, "Adaptive acquisition of PN sequences for DSSS communications," IEEE Trans. Commun., vol. 46, pp. 993-996, Aug. 1998.

## 저자

---

서 성 일(Sung Il Seo)

정회원



· 1992년 2월 : 서울대학교 전자공학과  
공학석사

· 2014년 2월 : 광운대학교 전자공학과  
공학박사

· 1992년 ~ 2007년 : 삼성전자 책임연구원

· 2013년 ~ 현재 : 호남대 전기공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 스마트그리드, 전력선통신, 무선  
통신, 채널 코딩