

論文2002-39TE-4-11

# 위상 오류를 고려한 DS/CDMA 시스템의 PN 부호 획득에 관한 연구

## (A Study on the PN code Acquisition for DS/CDMA System over Phase-Error)

鄭南謨\*, 姜餐錫\*\*, 張紋基\*\*\*

(Nam-Mo Chung, Chan-Seok Kang and Moon-Kee Jang)

### 요약

본 논문에서는 나카가미-m 확률밀도함수를 이용하여 페이딩 환경을 고려한 DS/CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템의 PN 부호 획득(acquisition)에 대한 성능을 분석하였다. 성능 분석은 PN 부호 획득 시간에 영향을 미치는 검출확률( $P_D$ : detection probability)과 오경보 확률( $P_{FA}$ : false alarm probability)에 대한 식을 유도하여 시뮬레이션으로 입증하였다. 그 결과 위상 오류를 보정하기 위하여 PLL의 이득을 높이고 레이크 수신기를 동시에 적용할 경우 PN 부호의 검출확률( $P_D$ )은 개선되었고, 오경보확률( $P_{FA}$ )은 감소하여 PN 부호의 동기 획득 성능을 개선시킬 수 있음을 입증하였다.

### Abstract

In this paper, the performance on the PN code acquisition of DS/CDMA system was analyzed using the Nakagami-m probability density function considered fading environment. The equations on detection probability,  $P_D$  and false alarm probability,  $P_{FA}$ , decision variables affecting the PN code acquisition time were derived and proved using simulation in order to analyze the performance. In conclusion, It was necessary increasing the gain of PLL for correcting phase errors and improving the acquisition performance of PN code in apply to the rake receiver.

### I. 서론

DS/CDMA 기술은 송신기의 PN(Pseudo Noise) 부호 발생기에서 발생된 PN 부호와 정보 신호가 합쳐져 정보 신호는 PN 부호 대역으로 확산되고, 확산된 신호를 변조 후 전송한다.

수신기에서는 송신기에서 사용한 PN 부호와 동일한 PN 부호를 사용하여 대역 확산된 수신 신호를 역확산시켜 송신 신호를 복원한다.

그러나 수신기에서 송신기의 PN 부호와 수신기의 PN 부호가 정확히 일치하지 않으면 확산된 신호를 복원할 수 없게 되므로 송신기의 PN 부호와 수신기의

\* 正會員, 가톨릭상지大學 情報通信系列

(Division of Information &amp; Communication, Catholic Sangji College)

\*\* 正會員, 世京大學 電子情報通信科

(Dept. of Electronic Information &amp; Telecommunication, Saekyung College)

\*\*\* 正會員, 淸州大學校 情報通信研究센터

(Chongju University ICRC)

接受日字:2002年9月25日, 수정완료일:2002年11月19日

PN 부호를 정확히 일치시키기 위한 PN 동기(synchronization)가 요구된다.

PN 동기시 고려해야될 위상 오류로 전송 신호가 송신기와 수신기 사이에 존재하는 무선 채널 공간을 통과하면서 각종 페이딩이나 신호 지연, 감쇠 등의 영향을 받아 위상에 많은 변화를 받는 경우로 설정한다.

이러한 환경에서 발생된 위상 오류를 채널 통과시 발생된 위상 오류와 수신기에 수신된 신호와 수신기 내부에서 복조를 위해 국부 발진기에서 발생시킨 신호와의 위상 차이 때문에 발생하는 경우에 대하여 고려한다.

본 연구에서는 나카가미-m 페이딩 채널 환경 하에서 다중 경로에 의한 수신 신호의 위상 차에 의해 발생된 위상 오류를 고려하여 DS/CDMA 시스템의 PN 부호 획득시 발생하는 검출확률 ( $P_D$ )과 오경보확률 ( $P_{FA}$ )을 유도하고 성능을 비교 분석한다.

## II. 시스템 모델

본 연구는 나카가미-m 페이딩 환경을 고려하여 다음 시스템에 대한 PN부호 획득 성능을 분석하였다. 가우시안 잡음만을 고려하여 분석한 경우에는 통신 환경이 이상적이라는 가정 하에서 분석하였기 때문에 실제 통신 환경에서 발생하는 위상 오류를 고려하지 않았다. 따라서 DS/CDMA 시스템에서 위상 오류를 고려하고 위상 보정용 PLL을 추가한 후 PN 부호 획득 성능을 분석한다.

다양한 통신 환경을 고려한 DS/CDMA 시스템에서 PN 부호 획득 시간에 직접적으로 영향을 미치는 검출 확률 ( $P_D$ )과 오경보확률 ( $P_{FA}$ )에 대한 계산식을 유도하고 이를 이용하여 시뮬레이션을 통한 성능을 각 파라메타의 변화에 따라 비교 분석한다. <그림 1>에 위상 오류를 보정하기 위해 PLL이 추가된 DS/CDMA 시

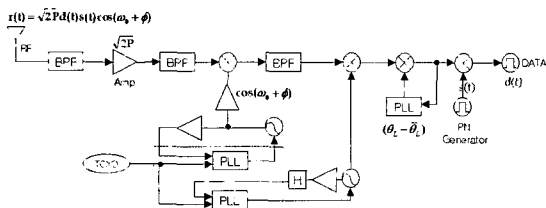


그림 1. 위상 오류를 고려한 DS/CDMA 시스템  
Fig. 1. DS/CDMA system with phase error.

스템의 수신기 모델을 나타낸다.

<그림 1>에서와 같이 DS/CDMA 시스템의 수신기로 수신되는 신호  $r(t)$ 는 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{n=1}^L \beta_n e^{j(\theta_n + \phi)} r(t - nT_c) + \sum_{n=1}^L n_n(t) \\ &= \sqrt{2P} \sum_{n=1}^L \beta_n e^{j(\theta_n + \phi)} d(t - nT_c) s(t - nT_c) \\ &\quad + \sum_{n=1}^L n_n(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $L$ 은 경로 수,  $T_c$ 는 칩 주기,  $d(t)$ 는 정보신호,  $s(t)$ 는 확산신호,  $n(t)$ 는 잡음 신호이다. 수신 신호  $r(t)$ 는 각각의 수신기의 정합 필터를 통과하여 역 확산되고, 모든 경로로 수신된 신호를 조합하여  $t = T + (L-1)T_c$  순간에 샘플링한  $Z_T$ 로 최종 결정을 한다. 샘플링한  $Z_T$ 는 다음 식으로 표현 할 수 있다<sup>[2]</sup>.

$$Z_T = Z_r + Z_{mp} + Z_n \quad (2)$$

여기서  $Z_r$ 은 수신신호,  $Z_{mp}$ 는 다중경로 잡음,  $Z_n$ 은 가우시안 잡음이다. 잡음과 페이딩 변수 모두 일정하다고 가정하면, 단지 샘플링 순간의 오류확률 값만 계산하면 된다. 따라서 채널과 수신기의 모델로부터 신호와 잡음에 대한 상관을 계산하면 부가된 백색 가우시안 잡음 성분인  $Z_n$ 은 아래와 같이 표현된다.<sup>[3, 4]</sup>

$$Z_n = \text{Re} \left\{ \sqrt{2P} \sum_{n=1}^L \beta_n e^{-j\bar{\theta}_n} \int s(t)n(t+nT_c)dt \right\} \quad (3)$$

$Z_n$ 은 복소수 가우시안 랜덤 변수로 평균값은 0이고, 분산은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_n^2 &= E \{ Z_n Z_n^* | \{\beta_n\} \} \\ &= \text{Re} \left\{ \sqrt{2P} \sum_{n=1}^L \beta_n e^{-j\bar{\theta}_n} \int s(t)n(t+nT_c)dt \right. \\ &\quad \cdot \left. \sqrt{2P} \sum_{n=1}^L \beta_n e^{j\bar{\theta}_n} \int s(t)n(t+nT_c)dt \right\} \\ &= 2P \sum_{n=1}^L \beta_n^2 (2n_0 T) \\ &= 4n_0 P T \sum_{n=1}^L \beta_n^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$r_0(t) = r(t) - n(t)$ 의 응답을 생각해보면 먼저 수신기는 최초의 경로  $r_1(t)$ 에 동기 되었다고 가정하고 수신기에서의 복조 샘플링 시간은  $T + (L-1)T_c$ 이다. 수

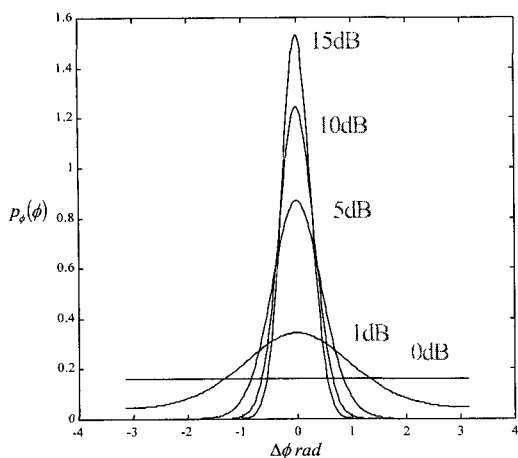


그림 2. Tikonov 확률밀도함수  
Fig. 2. Tikonov Probability Density Function.

신기에서의 총 응답  $Z_T$ 에서 채널과 수신기의 모델로부터  $Z_r$ 의 상관 값을 나타내면 식 (5)와 같다.

$$Z_r = \text{Re} \left\{ 4d_0 P T \sum_{n=1}^L \beta_n^2 e^{i(\theta + \theta_n - \bar{\theta}_n)} \right\} \\ = \text{Re} \left\{ 4d_0 P T \exp i\theta \sum_{n=1}^L \beta_n^2 e^{i(\theta_n - \bar{\theta}_n)} \right\} \quad (5)$$

다중 경로 잡음인  $Z_{mp}$ 는 훨씬 복잡하며 확산 부호와 부분적 자기상관 성질뿐만 아니라 인접한 비트  $d_{-1}$ 과  $d_1$ 에 종속되어 있다<sup>[5]</sup>. 다행히 확산 부호의 특성 중 하나인 부분적 자기상관은 변화가 0인 경우 최고치와 비교하였을 때 상대적으로 작다는 것이다<sup>[6]</sup>. 따라서, 다중 경로에 의한 자기간섭 영향은 무시할 수 있으며<sup>[7]</sup>, 비트 오류율(BER : bit error rate) 계산에서 생략해도 관계없다. 이러한 관점에서 수신기의 총 응답인  $Z_T$ 는 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$Z_T = Z_r + Z_n \\ = \text{Re} \left\{ 4d_0 P T \exp i\theta \sum_{n=1}^L \beta_n^2 e^{i(\theta_n - \bar{\theta}_n)} \right\} \\ + \text{Re} \{ n_n(t) \} \quad (6)$$

$$\text{Re} [Z_T] = \left\{ 4d_0 P T \cos(\theta) \sum_{n=1}^L \beta_n^2 \cos(\theta_n - \bar{\theta}_n) \right\} \\ + \text{Re} \{ n_n(t) \} \quad (7)$$

여기서  $n_n(t)$ 는 평균이 0이고 분산이  $\frac{1}{2} \sigma_n^2$ 인 가우시안 변수의 실수형태이다. <그림 2>는 PLL이득에 따른

일반적인 Tikhonov 확률밀도함수를 나타낸 것이다<sup>[8]</sup>.

템 가중치인  $\beta_n^*$ 은 채널에 대한 예상 값이며 위상 오류는 수신기 내의 PLL에서 발생되었다고 가정하고 일반적으로 PLL이 lock되었을 때 위상 오류는 Tikonov 확률밀도함수 분포로 모델화 된다<sup>[9]</sup>.

위상 오차  $\cos(\theta_n - \bar{\theta}_n)$ 는  $I(\gamma_n)$ 으로 식 (8)과 같이 근사화하여 표현할 수 있다<sup>[9]</sup>.

$$\cos(\theta_n - \bar{\theta}_n) = \cos \theta_n \cdot \cos \bar{\theta}_n + \sin \theta_n \cdot \sin \bar{\theta}_n \\ = \cos \theta_n E_{\Delta\theta} [\cos(\theta_n + \Delta\theta_n)] + \sin \theta_n E_{\Delta\theta} [\sin(\theta_n + \Delta\theta_n)] \\ = E_{\Delta\theta} [\cos \theta_n \cdot \cos(\theta_n + \Delta\theta_n)] + E_{\Delta\theta} [\sin \theta_n \cdot \sin(\theta_n + \Delta\theta_n)] \\ = \frac{1}{2} E_{\Delta\theta} [\cos(\Delta\theta_n)] + \frac{1}{2} E_{\Delta\theta} [\cos(2\theta_n + \Delta\theta_n)] \\ + \frac{1}{2} E_{\Delta\theta} [\cos(\Delta\theta_n)] - \frac{1}{2} E_{\Delta\theta} [\cos(2\theta_n + \Delta\theta_n)] \\ = E_{\Delta\theta} [\cos(\Delta\theta_n)] \quad (8)$$

여기서  $E_{\Delta\theta} [\cos(\Delta\theta_n)]$ 은 위상오차에 대한 기대값이다. 식 (8)에서의 위상 오차에 대한 기대값은 식 (9)와 같이 베셀함수로 나타낼 수 있다.

$$E_{\Delta\theta} [\cos(\theta_n - \bar{\theta}_n)] = E_{\Delta\theta} [\cos(\Delta\theta_n)] \\ = \int_0^{2\pi} \cos(\Delta\theta_n) \frac{\exp(\gamma_n \cos \Delta\theta_n)}{2\pi I_0(\gamma_n)} d\Delta\theta_n \\ = \frac{I_1(\gamma_n)}{I_0(\gamma_n)} = I(\gamma_n) \quad (9)$$

여기서  $I_0(\cdot)$ 는 제 1종 0차 수정 베셀함수이다. 따라서 식 (9)을 이용하여 위상 오류를 고려하였을 경우 PN 부호 획득시 발생하는 검출확률( $P_D$ )과 오경보확률( $P_{FA}$ )을 수식으로 표현하면 각각 식 (10)과 식 (11)과 같다.

$$P_D = I(\gamma_n) \cdot \frac{1}{(1+u)^m (1+T)^L} \\ \cdot \sum_{r=0}^{\infty} \binom{m+r-1}{r} \left( \frac{u}{1+u} \right)^r \\ \cdot \sum_{p=0}^{N_B-1} \binom{L+p-1}{p} \left( \frac{T}{1+T} \right)^p \quad (10)$$

$$P_{FA} = I(\gamma_n) \cdot \sum_{p=0}^{N_B-1} \binom{L+p-1}{L-1} \cdot \frac{T^p}{(1+T)^{L+p}} \quad (11)$$

여기서  $m$ 은 페이딩 지수,  $L$ 은 경로 수,  $T$ 는 임계계수,  $r$ 은 수신 신호의 포락선이다.

### III. 계산결과

나카가미- $m$  페이딩 채널 환경 하에서 다중 경로에 의한 수신 신호의 위상 차에 의해 발생된 위상 오류를 고려하여 DS/CDMA 시스템의 PN 부호 획득시 발생하는 검출확률( $P_D$ )과 오경보확률( $P_{FA}$ )을 유도하고, 이를 이용하여 시뮬레이션을 통한 성능을 비교 분석하였다.

<그림 3>은 대역잡음  $N_B=3$ , 셀수  $M=3$ , 페이딩지수  $m=4$ , 임계계수  $T=8$ 인 경우에 대하여 위상 오류를 고려한 시스템의 검출확률을 분석하였다. 위상 오류를 고려하여 이를 보정하기 위해 PLL을 추가한 후 이득을 각각 2dB, 3dB, 5dB로 가변하여 검출확률을 분석한 결과 검출확률은  $2.41 \times 10^{-2}$ 에서  $3.16 \times 10^{-2}$ 로 높아졌으며, PLL의 이득을 높여줌으로서 위상 오류가 존재하지 않는 경우의 상한 값과 근접하게됨을 확인하였다.

<그림 4>는 대역잡음  $N_B=3$ , 셀수  $M=3$ , 페이딩지수  $m=4$ , 임계계수  $T=10$ 인 경우에 대하여 위상 오류를 고려한 시스템의 검출확률을 분석하였다. 그 결과, <그림 3>에 비하여 임계계수  $T$ 가 증가함에 따라서 검출확률은 낮아졌지만, PLL의 이득 2dB에서 5dB까지 증가함에 따라  $4.26 \times 10^{-3}$ 에서  $5.34 \times 10^{-3}$ 으로 검출확률이 증가하여 위상 오류가 존재하지 않는 경우의 상한 값과 근

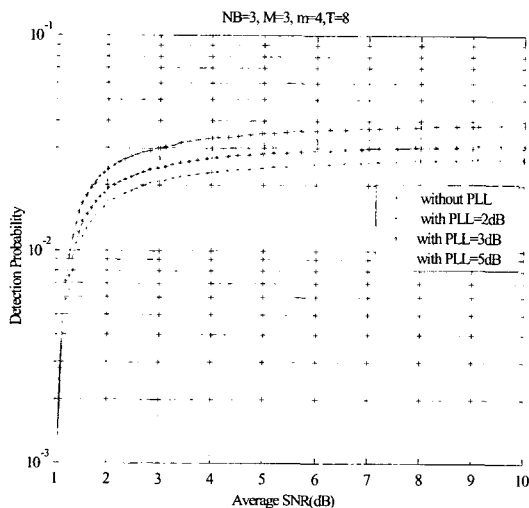


그림 3.  $N_B=3$ ,  $M=3$ ,  $m=4$ ,  $T=8$  인 경우 PLL 이득에 따른 검출확률

Fig. 3. Detection probability through PLL gain with  $N_B=3$ ,  $M=3$ ,  $m=4$ ,  $T=8$ .

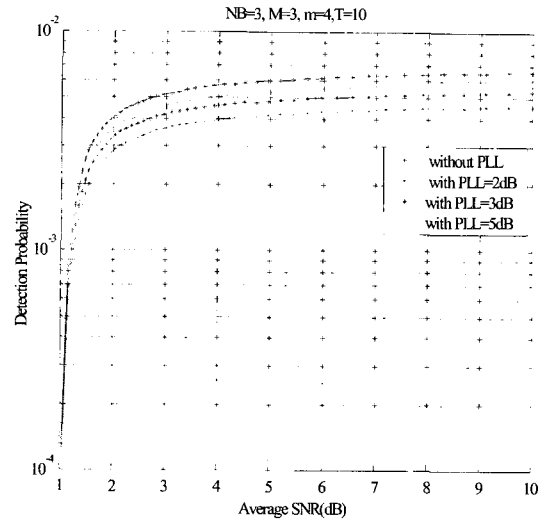


그림 4.  $N_B=3$ ,  $M=3$ ,  $m=4$ ,  $T=10$  인 경우 PLL 이득에 따른 검출확률

Fig. 4. Detection probability through PLL gain with  $N_B=3$ ,  $M=3$ ,  $m=4$ ,  $T=10$ .

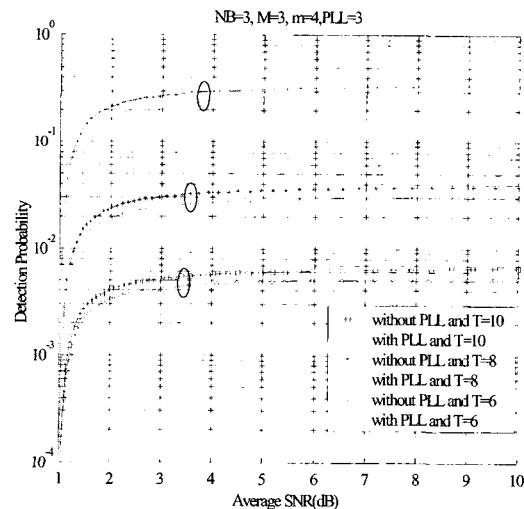


그림 5.  $N_B=3$ ,  $M=3$ ,  $m=4$ ,  $PLL=3dB$  인 경우  $T$ 에 따른 검출확률

Fig. 5. Detection probability through  $T$  with  $N_B=3$ ,  $M=3$ ,  $m=4$ ,  $PLL=3dB$ .

접하게됨을 입증 할 수 있었다.

<그림 5>와 <그림 6>은 대역잡음  $N_B=3$ , 셀수  $M=3$ , 페이딩지수  $m=4$ 과 PLL 이득이 각각 3dB, 5dB인 경우 임계계수  $T=6,8,10$ 에 대한 검출확률을 분석하였다. 그 결과, 위상 오류를 고려한 시스템에서 위상 오류가 존재하지 않는 경우와 동일한 성능을 갖기 위해서는 평균 SNR을 최소 3dB이상 증가시켜야 함을 확인하였다.

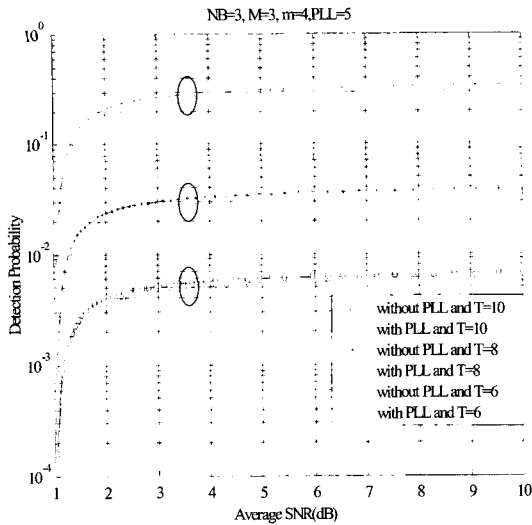


그림 6.  $N_B=3, M=3, m=4, PLL=5$  dB 인 경우 T에 따른 검출확률

Fig. 6. Detection probability through T with  $N_B=3, M=3, m=4, PLL=5$  dB.

### VI. 결론

본 논문에서는 다양한 페이딩 채널을 모델화 할 수 있는 나카가미-m 확률밀도함수를 이용하여 이동통신 채널 환경에서 필연적으로 존재하는 페이딩 환경을 고려한 DS/CDMA 시스템의 PN 부호 획득에 대한 성능을 분석하였다. 시스템의 성능 분석은 나카가미-m 확률밀도함수를 이용하여 PN 부호 획득에 필요한 검출확률( $P_D$ )과 오경보확률( $P_{FA}$ )에 관한 식을 유도하였고 그 식의 계산결과를 나타내었다.

또한 DS/CDMA 시스템은 적응형 직렬 탐색 PN 부호 획득 기법을 사용하고 위상 오류를 보정하기 위하여 레이크 수신기 각각의 브랜치에 PLL을 추가한 후 부호 획득 시간에 영향을 미치는 검출확률( $P_D$ )과 오경보확률( $P_{FA}$ )에 관한 식을 유도하였으며, 유도된 식을 이용하여 검출확률( $P_D$ )과 오경보확률( $P_{FA}$ )을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 계산식 중 변수값으로 대역잡음( $N_B$ )과 셀수(M), 페이딩 지수(m), 임계계수(T)를 사용하였으며, 이들의 변화에 따른 계산 결과는 다음과 같다.

첫째, 고정된 채널 환경에서 임계계수(T)가 증가할수록 검출확률( $P_D$ )이 감소하며 페이딩 지수(m)이 증가됨에 따라서 검출확률( $P_D$ )이 증가하였다. 또한 임계계

수(T)가 작을수록 높은 검출확률( $P_D$ )을 얻을 수 있었다. 임계계수(T)의 값이 5이하로 설정될 경우 검출확률( $P_D$ )의 상한을 넘게됨으로 시스템에 최적의 임계계수(T)가 존재함을 확인하였다. 또한 고정된 임계계수(T)와 페이딩 지수m에 대하여 셀 수(M) 및 대역잡음( $N_B$ )이 증가할수록 검출확률( $P_D$ )은 개선되었고 대역잡음( $N_B$ )이 증가할수록 오경보확률( $P_{FA}$ )은 증가하고 시스템의 검출확률( $P_D$ )에 영향을 주었다.

둘째, 위상 오류를 고려한 경우 시스템의 검출확률( $P_D$ )은 감소하였으며, 이를 개선하기 위하여 PLL의 이득을 증가시킴으로서 위상 오류가 존재하지 않는 경우와 동일한 수준으로 성능이 개선되었다. 또한 임계계수(T)가 증가함에 따라서 검출확률( $P_D$ )은 감소하였지만 PLL의 이득을 높임으로서 성능을 개선시킬 수 있었다.

결론적으로 위상 오류를 고려한 시스템에서 위상 오류가 존재하지 않는 경우와 동일한 성능을 갖기 위해서는 평균 SNR을 최소 3dB이상 증가시켜야 함을 확인하였다.

셋째, 동일한 환경에서 단일 시스템보다 레이크 수신기를 적용한 시스템에서의 검출확률( $P_D$ )이 증가하였으며, 페이딩 지수 m이 증가할수록 검출확률이 개선되었다. 또한 고정된 대역잡음( $N_B$ )에 대하여 레이크 수신기를 적용한 시스템이 레이크 수신기를 적용하지 않은 시스템보다 낮은 오경보확률( $P_{FA}$ )을 나타내었으며, 임계계수(T)값이 낮게 나타났다.

즉, 위상 오류를 보정하기 위하여 PLL의 이득을 높이고 레이크 수신기를 동시에 적용할 경우 PN 부호의 검출확률( $P_D$ )는 개선되었고, 오경보확률( $P_{FA}$ )는 감소하여 PN 부호의 동기 획득 성능을 개선시킬 수 있었다.

### 참고 문헌

[1] Ramjee Prasad, CDMA for Wireless Personal Communication, A Rtech House Publishers, Boston, 1996.  
 [2] 정남모, "나카가미-m 페이딩을 고려한 RAKE 수신기의 PN 부호 획득에 관한 연구", 청주대학교, 박사학위논문, 2002년 2월

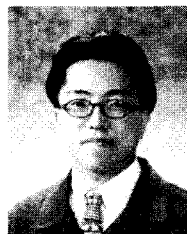
- [3] Thomas Eng, "Coherent DS/CDMA Performance in Nakagami Multipath Fading", IEEE Trans. COMM, Vol. 43, pp. 1134~1143, February/March/April 1995.
- [4] Alex W. Lam, Sawasd Tantaratana, Theory and Applications of Spread-Spectrum Systems, IEEE, Inc., 1980.
- [5] Thomas Eng, Laurence B. Milstein, "Partially Coherent DS/SS Performance in Frequency Selective Multipath Fading", IEEE Trans. COMM, Vol. 45, No 1, pp. 110~118, January 1997.
- [6] Jack K. Holmes, Coherent Spread Spectrum Systems, Wiley, 1982.
- [7] Sklar, Digital Communication, Prentice-hall, 1988.
- [8] John G. Proakis, Digital Communications, Third Edition, NewYork: McGraw-Hill, 1995.
- [9] Peterson, Ziemer, Borth, Introduction to Spread Spectrum Communication, Prentice-hall, 1995.

## 저 자 소 개



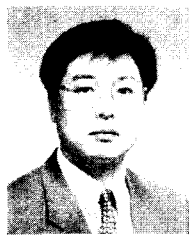
鄭南謨(正會員)

1986년 : 청주대학교 전자공학과 학사. 1991년 : 청주대학교 일반대학원 전자공학과 공학석사. 2002년 : 청주대학교 일반대학원 전자공학과 공학박사. 1991년~1996년 8월 : 삼화전기(주) 기술연구소. 1996년 9월~현재 : 가톨릭상지대학 정보통신계열 조교수. <주관심분야 : 디지털통신 시스템, 대역확산 통신, 이동통신>



張紋基(正會員)

1997년 2월 : 청주대학교 전자공학과 졸업. 1999년 8월 : 청주대학교 전자공학과 석사. 1999년 6월~현재 : 청주대학교 정보통신연구센터 기술 연구원. <주관심분야 : 대역확산 통신, 이동통신>



姜 燾 錫(正會員)

1978년~1980년 : 충주공업전문학교 전자과 졸업. 1981년~1987년 : 단국대학교 전자공학과 졸업. 1989년~1992년 : 청주대학교 대학원 전자공학과 공학 석사. 1994년~2001년 : 청주대학교 대학원 전자공학과 공학 박사. 1986년~1994년 2월 : 충주대학교 전자공학과 조교. 1994년~2002년 현재 : 세경대학 전자정보통신과 부교수. <주관심분야 : 대역확산 통신, 이동통신>