

위상에러를 고려한 DS/CDMA시스템의 PN 부호 획득에 관한 연구

정 남 모*

A Study on the PN code Acquisition for DS/CDMA System over Phas-Error

Nam-mo Chung*

요 약

본 논문에서는 나카가미-m 확률밀도함수를 이용하여 페이딩 환경을 고려한 DS/CDMA 시스템의 PN 부호 획득(acquisition)에 대한 성능을 분석하였다. 성능 분석은 PN 부호 획득 시간에 영향을 미치는 검출확률(detection probability) P_D 와 오경보확률(false alarm probability) P_{FA} 에 대한 식을 유도하여 시뮬레이션으로 입증하였다.

그 결과 위상 에러를 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 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.

* 가톨릭상지대학 정보통신계열 조교수

I. 서론

DS/CDMA 기술은 기본적으로 군사통신에서 사용해 오던 대역확산(SS : Spread Spectrum) 통신 기술을 이용한 것으로 대역확산 통신 기술이 가지고 있는 장점에 주파수 이용 효율을 크게 증가시킨 것이다[1].

대역확산 기술을 다중 접속(multiple access) 기술로 사용하기 위해서는 각각의 사용자에게 서로 다른 확산 부호를 할당함으로써 각각의 확산 부호에 의해 통화 채널을 확보하게 된다. 이 확산 부호는 대역확산을 효과적으로 수행하기 위해서 각각의 확산 부호 사이에 상호상관(cross correlation)이 없어야 한다. 즉, 랜덤잡음(random noise)과 같은 특성을 가지고 있어야 한다.

이러한 대역확산 통신 방식 시스템 중 CDMA는 직접 확산 방식을 채택하고 있으며, 직접 확산은 송신기의 PN(Pseudo Noise) 부호 발생기에서 발생된 PN 부호와 정보 신호가 합쳐져 정보 신호는 PN 부호 대역으로 확산되고, 확산된 신호를 변조 후 전송하게 된다. 수신기에서는 송신기에서 사용한 PN 부호와 동일한 PN 부호를 사용하여 대역 확산된 수신 신호를 역확산 시킴으로써 송신 신호를 복원하는 방법을 취하고 있다.

그러나 이러한 시스템의 단점은 수신기에서 송신기의 PN 부호와 수신기의 PN 부호가 정확히 일치하지 않으면 확산된 신호를 복원할 수 없게 되어 통신이 불가능하게 된다는 점이다. 따라서 송신기의 PN 부호와 수신기의 PN 부호를 정확히 일치시키기 위한 PN 동기화 요구되며 동기 기술은 직접 확산 방식의 핵심 기술로서 매우 중요시되고 있다.

직접 확산 방식은 전송하고자 하는 신호에 임의의 의사잡음부호(PN 부호)를 곱하여 신호를 광대역으로 확산시킨 후 전송함으로써 데이터가 광대에 걸쳐 존재하게 되어 잡음에 강하다. 이때 전송하고자 하는 신호를 파형 형태로 변환하기 위하여 사용되는 변조방식으로는 일반적으로 위상변조(PSK)방식을 사용한다. 위상변조 방식의 장점은 동일한 대역에서 위상을 변조하여 데이터를 전송하기 때문에 다른 변조 방식에 비해 주파수 효율(bit/Hz)을 증

가시킬 수 있다는 점이다. 그러나 위상변조 방식을 사용할 경우 데이터의 모든 정보가 위상에 의해 구별됨으로 무선채널 환경에서 발생될 수 있는 다중 경로 페이딩이나 신호의 감쇠, 지연에 의하여 위상이 변화되었을 경우 정보 신호의 복원이 어렵게 된다.

일반적으로 위상 오류는 발생 원인에 따라서 여러 가지로 구분하여 생각할 수 있다.

첫째, 송신기 내부에서 발생하는 위상 오류를 고려한다. 수신기 내부의 발진기에서 발생된 신호는 각각의 내부 회로를 통과하면서 시간 지연이 발생하게 된다. 이때 발생된 시간 지연은 IF신호나 반송파 신호에 영향을 주게 되는데 특히 단위 시간당 위상 변화에 영향을 주게 된다.

그러나 위상 ϕ 는 반송파 주파수 보다 작기 때문에 전체 신호에 큰 영향을 주지 않는다. 따라서 이와 같이 발생된 위상 오류는 무시할 수 있다.

둘째, 전송 신호가 송신기와 수신기 사이에 존재하는 무선 채널 공간을 통과하면서 각종 페이딩이나 신호 지연, 감쇠 등의 영향을 받아 위상에 많은 변화를 받는 경우를 고려할 수 있다. 이러한 경우 위상 오류에 의한 문제는 통신의 신뢰도에 많은 영향을 줄 수 있다.

위와 같은 환경에서 발생된 위상 오류는 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 첫째로는 채널 통과시 발생된 위상 오류와, 둘째로 수신기에 수신된 신호와 수신기 내부에서 복조를 위해 국부 발진기에서 발생시킨 신호와의 위상 차로 구분된다.

만일 송·수신기의 변조 방법을 위상 변조 방식을 사용하였다면 잡음이 존재하는 시스템에서의 완전한 위상 동기 포착은 불가능하다. 따라서 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 와 오경보확률 P_{FA} 를 유도하고 성능을 비교 분석하였다.

II. 시스템 모델

본 연구는 나카가미-m 페이딩 환경을 고려하여 다음

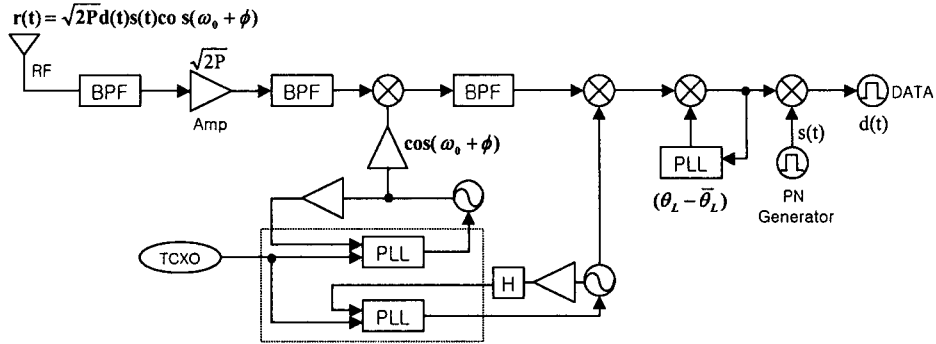


그림 1. 위상 오류를 고려한 DS/CDMA 시스템
Fig 1. DS/CDMA system with phase error

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 분석하였다.

다양한 통신 환경을 고려한 DS/CDMA 시스템에서 PN 부호 획득 시간에 직접적으로 영향을 미치는 검출확률 P_D 와 오경보확률 P_{FA} 에 대한 계산식을 유도하고, 이를 이용하여 시뮬레이션을 통한 성능을 각 파라메타의 변화에 따라 비교 분석하였다.

그림1에 위상 오류를 보정하기 위해 PLL이 추가된 DS/CDMA 시스템의 수신기 모델을 나타냈다.

그림 1에서와 같이 DS/CDMA 시스템의 수신기로 수신되는 신호 $r(t)$ 는 식 (1)로 나타냈다.

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

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 하게된다. Z_T 는 Z_r 로 표현되는 신호 성분

과 다중경로 잡음 Z_{mp} 와 가우시안 잡음인 Z_n 로 표현된 잡음 성분으로 나누어진다. 이중 첫 번째의 잡음 성분은 신호의 다중 경로에 의한 잡음에 기인하며 두 번째 잡음 성분은 부가된 백색 가우시안 잡음에 기인하므로 결과적으로 최종 응답은 아래와 같다(2).

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

잡음과 페이딩 변수 모두 일정하다고 가정하면, 단지 샘플링 순간의 오류확률 값을 계산하면 된다. 따라서 채널과 수신기의 모델로부터 신호와 잡음에 대한 상관을 계산하면 부가된 백색 가우시안 잡음 성분인 Z_n 은 아래와 같이 표현된다.(3-4)

$$Z_n = \text{Re} \left\{ \sqrt{2P} \sum_{n=1}^L \beta_n e^{-j\theta_n} \int_0^T s(t) n(t + nT_c) dt \right\} \quad (3)$$

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

$$\sigma_n^2 = E[Z_n Z_n^* | \{\beta_n\}] \\ = \text{Re} \left\{ \sqrt{2P} \sum_{n=1}^L \beta_n e^{-j\theta_n} \int_0^T s(t) n(t + nT_c) dt \right. \\ \left. \cdot \sqrt{2P} \sum_{n=1}^L \beta_n e^{j\theta_n} \int_0^T s(t) n(t + nT_c) dt \right\} \\ = 2P \sum_{n=1}^L \beta_n^2 (2n_0 T) \\ = 4n_0 P T \sum_{n=1}^L \beta_n^2 \quad (4)$$

$r_0(t) = r(t) - n(t)$ 의 응답을 생각해 보면 먼저 수신기는 최초의 경로 $r_1(t)$ 에 동기 되었다고 가정하고 수신기에서의 복조 샘플링 시간은 $T + (L - 1)T_c$ 이다. 수신기에서의 총 응답 Z_T 에서 채널과 수신기의 모델로부터 Z_r 의 상관 값을 나타내면 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} Z_r &= \text{Re} \left\{ 4d_0PT \sum_{n=1}^L \beta_n^2 e^{i(\theta + \theta_n - \bar{\theta}_n)} \right\} \\ &= \text{Re} \left\{ 4d_0PT \exp \theta \sum_{n=1}^L \beta_n^2 e^{i(\theta_n - \bar{\theta}_n)} \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

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

$$\begin{aligned} Z_T &= Z_r + Z_n \\ &= \text{Re} \left\{ 4d_0PT \exp \theta \sum_{n=1}^L \beta_n^2 e^{i(\theta_n - \bar{\theta}_n)} \right\} \\ &\quad + \text{Re} \{ n_n(t) \} \end{aligned} \quad (6)$$

결과적으로 식 (6)은 식 (7)로 근사화 된다.

$$\begin{aligned} \text{Re} \{ Z_T \} &= \left\{ 4d_0PT \cos(\theta) \sum_{n=1}^L \beta_n^2 \cos(\theta_n - \bar{\theta}_n) \right\} \\ &\quad + \text{Re} \{ n_n(t) \} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $n_n(t)$ 는 평균이 0이고 분산이 $(1/2)\sigma_n^2$ 인 가우시안 변수의 실수형태이다. 그림 5.14는 PLL이득에 따른 일반적인 Tikhonov 확률밀도함수를 나타낸다[8].

탭 가중치인 β_n^* 은 채널에 대한 예상 값이며 위상 오류는 수신기 내의 PLL에서 발생되었다고 가정하고 일반적으로 PLL이 lock되었을 때 위상 오류는 Tikhonov 확률밀도함수 분포로 모델화 된다[9].

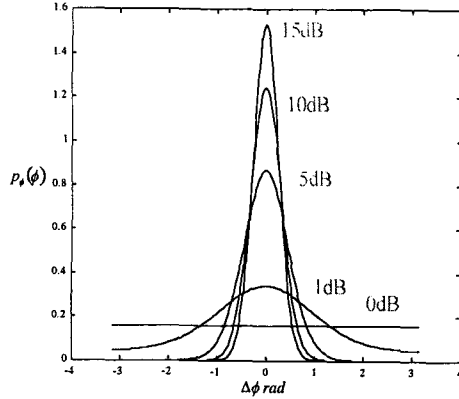


그림 2. Tikhonov 확률밀도함수
Fig 2. Tikhonov PDF

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

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

식 (8)에 대하여 위상 오차에 대한 기대값으로 표현하면 식 (9)과 같이 베셀함수로 나타낼 수 있다.

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

따라서 식 (9)을 이용하여 위상 오류를 고려하였을 경우, PN 부호 획득시 발생하는 검출확률 P_D 와 오경보 확률 P_{FA} 를 표현하면 각각 식 (10)과 식 (11)과 같다.

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

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

III. 시뮬레이션 결과

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 와 오경보확률 P_{FA} 를 유도하고, 이를 이용하여 시뮬레이션을 통한 성능을 비교 분석하였다.

그림 3은 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 2.41×10^{-2} 에서 3.16×10^{-2} 로 높아졌으며, PLL의 이득을 높여줌으로서 위상 오류가 존재하지 않는 경우의 상한 값과 근접하게됨을 확인하였다.

그림 4는 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 3에 비하여 임계계수 T 가 증가함에 따라 검출확률은 낮아졌지만, PLL의 이득 2dB에서 5dB까지 증가함에 따라 4.26×10^{-3} 에서 5.34×10^{-3} 으로 검출확률이 증가하여 위상 오류가 존재하지 않는 경우의 상한 값과 근접하게됨

을 입증 할 수 있었다.

그림 5와 그림 6은 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.

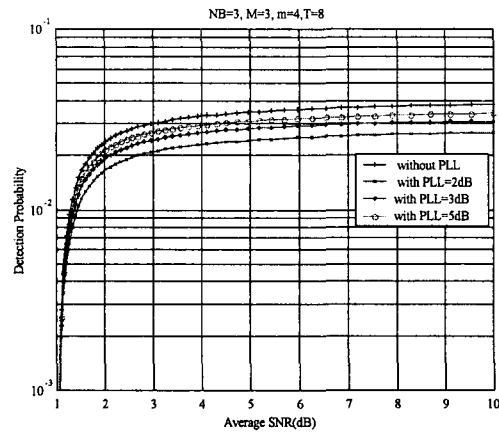


그림 3. $N_B=3, M=3, m=4, T=8$ 인 경우 PLL 이득에 따른 검출확률
Fig 3. Detection probability through PLL gain with $N_B=3, M=3, m=4, T=8$

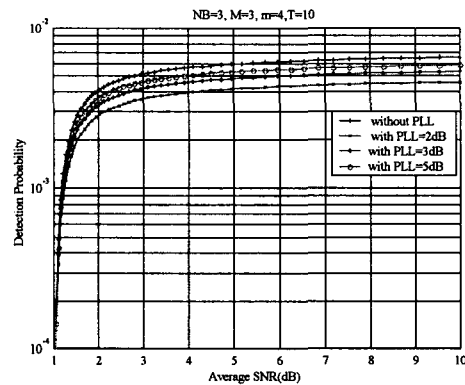


그림 4. $N_B=3, M=3, m=4, T=10$ 인 경우 PLL 이득에 따른 검출확률
Fig 4. Detection probability through PLL gain with $N_B=3, M=3, m=4, T=10$

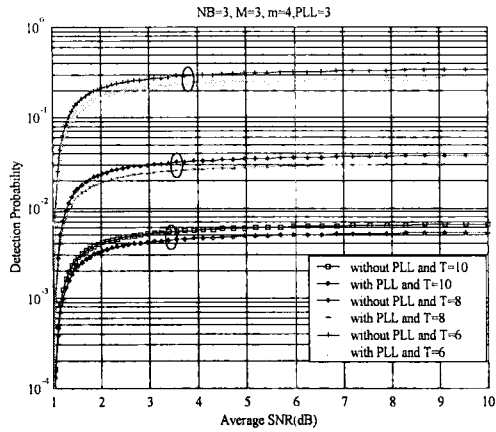


그림 5. NB=3, M=3, m=4, PLL=3dB 인 경우 T에 따른 검출확률
 Fig 5. Detection probability through T with NB=3, M=3, m=4, PLL=3dB

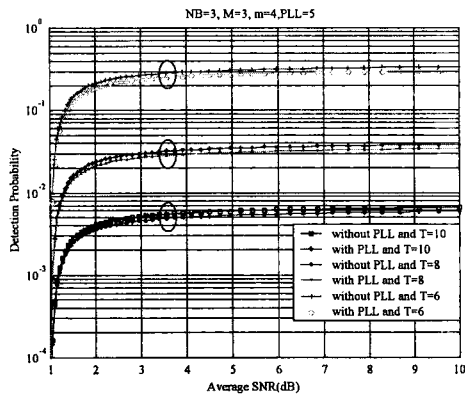


그림 6. NB=3, M=3, m=4, PLL=5dB 인 경우 T에 따른 검출확률
 Fig 6. Detection probability through T with NB=3, M=3, m=4, PLL=5dB

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 분석

하였다. 시스템의 성능 분석은 나카가미-m 확률밀도함수를 이용하여 PN 부호 획득에 필요한 검출확률 P_D 와 오경보확률 P_{FA} 에 관한 식을 유도하였으며, 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

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 와 오경보확률 P_{FA} 에 관한 식을 유도하였으며, 유도된 식을 이용하여 검출확률 P_D 와 오경보확률 P_{FA} 를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

시뮬레이션 파라미터로서 대역잡음 N_B 와 셀수 M , 페이딩 지수 m , 임계계수 T 를 사용하였으며, 이들의 변화에 따른 다양한 시뮬레이션을 수행한 결과로부터

첫째, 고정된 채널 환경에서 임계계수 T 가 증가할수록 검출확률 P_D 가 감소 할뿐만 아니라 페이딩 지수 m 이 증가됨에 따라서 검출확률 P_D 가 증가한다는 것을 입증하였다. 또한 임계계수 T 가 작을수록 높은 검출확률 P_D 를 얻을 수 있음을 알 수 있었으나, 임계계수 T 의 값이 5이하로 설정될 경우 검출확률 P_D 의 상한을 벗어난다는 것을 확인하였으며, 따라서 시스템에 최적의 임계계수 T 가 존재함을 확인하였다. 또한 고정된 임계계수 T 와 페이딩 지수 m 에 대하여 셀수 M 및 N_B 가 증가할수록 검출확률 P_D 가 개선됨을 알 수 있었으며, 대역잡음 N_B 가 증가할수록 오경보확률 P_{FA} 를 증가시키게 되고, 시스템의 검출확률 P_D 에 영향을 미치게 됨을 입증하였다.

둘째, 동일한 채널 환경 하에서 다중 경로에 의한 수신 신호의 위상 차에 의해 발생된 위상 오류 및 대역잡음 N_B , 셀수 M , 페이딩지수 m 과 임계계수 T 를 고려하여 시스템의 검출확률 P_D 를 분석하였다.

그 결과, 위상 오류를 고려한 경우 시스템의 검출확률 P_D 는 감소하였으며, 이를 개선하기 위하여 PLL의 이득을 증가시킴으로서 위상 오류가 존재하지 않는 경우와 동일한 수준으로 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 임계계수 T 가 증가함에 따라서 검출확률 P_D 는 감소하였지만 PLL의 이득을 높임으로서 성능을 개선시킬 수 있음을 알 수 있었다.

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

셋째, 위상 오류와 레이크 수신기를 동시에 고려하였을 경우, 나카가미-m 페이딩 채널 환경 하에서 DS/CDMA 시스템의 PN 부호 획득시 발생하는 검출확률 P_D 와 오경보 확률 P_{FA} 를 분석하였다.

그 결과, 동일한 환경에서 단일 시스템보다 레이크 수신기를 적용한 시스템에서의 검출확률 P_D 가 증가하였으며, 페이딩 지수 m 이 증가할수록 검출확률은 개선됨을 알 수 있었다. 또한 고정된 대역잡음 N_B 에 대하여 레이크 수신기를 적용한 시스템과 적용하지 않은 시스템의 오경보확률 P_{FA} 를 분석한 결과, 레이크 수신기를 적용한 시스템이 낮은 오경보확률 P_{FA} 를 나타내었으며, 임계계수 T 값이 낮게 나타나고 있음을 입증하였다.

결론적으로 위상 에러를 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 있음을 입증하였다.

참고문헌

[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, 2002.2
 [3] Thomas Eng, "Coherent DS/CDMA Performance in Nakagami Multipath Fading," IEEE Trans. Commun., Vol. 43, pp. 1134-1143, Feb./Mar./Apr.1995.
 [4] Alex W. Lam, Sawasd Tantaratana, Theory and Applicatins of Spread-Spectrum Systems, The Institute of Electricaland

Electronics Engineers, 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, hird Edition, NewYork :McGraw-Hill, 1995.
 [9] Peterson, Ziemer, Borth, "Introduction to Spread Spectrum Communication", Prentice-hall, 1995.

저자소개

정 남 모

1986 : 청주대학교, 전자공학
 과(학사)
 1991 : 청주대학교, 전자공학
 과(석사)
 1002 : 청주대학교, 전자공학
 과(박사)
 1991~1996.8:삼화전기(주)
 기술연구소
 1996.9~현재:가톨릭상지대학
 정보통신계열 조교수