

나카가미-m 페이딩을 고려한 DS-CDMA시스템의 PN 부호 획득에 관한 연구

정 남 모* 박 진 수**

A Study on the PN code Acquisition for DS-CDMA System under Nakagami-m Fading

Nam-Mo Chung* Jin-Soo Park**

요 약

본 논문에서는 DS-CDMA 시스템에서 다양한 페이딩 채널을 모델화 할 수 있는 나카가미-m 페이딩 환경을 고려하였다. 나카가미-m 페이딩을 고려한 시스템 모델링은 도시의 통신환경에서 다중경로를 갖는 이동 통신 채널에 적합한 모델로서 많이 사용되고 있다. 시스템은 적응형 직렬 탐색 PN 부호 획득 기법을 사용하였으며 부호 획득 시간에 영향을 미치는 검출확률(P_D)과 오경보 확률(P_{FA})을 나카가미-m 페이딩 환경 하에서 유도하였다.

검출 확률 및 오경보 확률은 PN 부호 획득 시간을 결정하기 위한 결정 변수로서 평균 획득 시간과 분산을 계산하기 위해 필수적으로 사용되며, 컴퓨터 시뮬레이션 결과로부터 페이딩 채널 하에서의 PN 부호 획득에 대한 평균 획득 시간과 분산을 해석함으로써 이동 통신 시스템의 H/W 설계에 적용할 수가 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we are considered Nakagami-m fading, which can model variable multipath mobile radio communication channel, in DS-CDMA system. System modeling using nakagami -m fading is suited for urban mobile communication channel with multipath. We used adaptive serial search PN code acquisition scheme and derived the detection probability(P_D) and false alarm probability(P_{FA}), which have influence on code acquisition time, over Nakagami-m fading. Detection probability(P_D) and false alarm probability(P_{FA}) are detection variable to decide PN code acquisition time and should use to calculate mean and variance, of acquisition time. From computer simulation, we analyzed mean and variance about PN code acquisition of fading channel. Then we can apply it to the H/W design of mobile communication.

* 가톨릭상지대학 정보통신계열 조교수

** 청주대학교 정보통신공학부 정교수

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

I. 서론

차세대 유망한 통신방식으로 알려진 대역확산(Spread-Spectrum) 통신 방식은 정보의 전송에 필요한 최소의 대역폭보다 훨씬 더 넓은 대역폭을 사용하는 통신 방식으로 현재 CDMA, IMT-2000 등에 채택되어 전 세계적으로 상용화되고 있으며, 이러한 시스템들은 대역확산 통신 방식 중 직접대역확산(Direct Sequence Spread-Spectrum)방식을 채택하고 있다. 직접확산방식은 송신기에서 정보 신호에 PN 부호를 곱하여 확산시킨 후 전송하고 수신기에서는 송신기에서 사용한 PN 부호와 동일한 PN 부호를 사용하여 대역확산된 수신 신호를 역 확산(Despread) 시킴으로서 송신 데이터를 복원하는 시스템이다[1].

그러나 이러한 시스템의 단점은 송신기의 PN 부호와 수신기의 PN 부호가 정확히 일치하지 않으면 대역 확산된 신호를 정확히 복조 할 수 없게되어 통신이 불가능하게 된다는 점이다. 따라서 송신기의 PN 부호와 수신기의 PN 부호를 정확히 일치시키기 위한 PN 동기(Synchronization)는 직접확산방식의 핵심기술로서 매우 중요시되고 있다.

PN 동기는 PN 부호의 획득(acquisition)과 추적(tracking) 두 단계로 구성되는데, PN 부호 획득은 수신된 PN 부호를 이용하여 송신기 PN 부호와 수신기 PN 부호의 위상 차를 1칩 이내로 맞추는 과정이며, 획득이 이루어진 후 위상 차를 더욱 줄이며 동기를 유지하기 위한 PN 부호 추적 과정이 수행된다. 그러나 기존의 획득 방식은 크게 두 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째, 고정된 임계값을 사용함으로써 주위 환경에 따라 오경보 확률(P_{FA})과 신호 검출 확률(P_D)이 가변되는 문제점을 안고 있다[2]. 또한 기존의 시스템은 임계값을 결정할 때 특정한 환경을 설정하여 여러 번의 실험을 거쳐 국부적으로 최적인 임계값을 시스템에 적용시켰다. 이러한 고정된 임계값은 높은 오경보 확률을 유발하거나 또는 획득 확률이 낮은 결과를 가져온다. 둘째, 상관기의 텀 길이를 일정한 값을 사용함으로써 수신된 신호의 크기에 따라 최적

의 평균 획득 시간을 설정하지 못한다.

따라서 본 논문에서는 나카가미-m 확률밀도함수를 이용하여 다양한 페이딩 환경에 적용할 수 있는 적응형 임계값(T)을 계산하였으며, 페이딩 지수 m에 따른 오경보 확률(P_{FA})과 신호의 검출확률(P_D)을 유도하였다. 적응형 임계값을 계산하기 위해 셀 평균은 [4]와 [5]에서 보는 바와 같이 일정하다고 가정하였다. 본 논문의 구성은 II장에서 시스템을 모델링 하고 모델링된 수식을 이용하여 오경보 확률(P_{FA})과 신호의 획득 확률(P_D)을 유도하였다. III장에서는 유도된 수식을 통한 시뮬레이션 결과를 분석하였고 IV장에서 결론을 맺었다.

II. 시스템 모델

대역확산통신 시스템에서 초기 부호 획득은 [3]과 [4]에서와 같이 모의 실험 결과로 모델링 하였다. 그림 1은 비동기 검파를 갖는 직렬 탐색 모의 실험 블록도이다. 결정 과정 블록도에는 임계값을 결정하는 단계가 포함되어 있다. [3]의 획득 기법은 그림 1의 결정 과정에서 보는 바와 같이 [5]의 CA-CFAR(Cell-Average Constant False Alarm Rate)기법을 이용하여 적응형 임계 동작에 의해 변경된다.

AWGN에서 페이딩을 고려하지 않은 수신 신호의 비동기 개념을 고려 할 때 일반화된 결정값 Z^* 의 확률밀도 함수는 [3]에서와 같이 식 (1)과 (2)로 주어진다.

$$p_0(Z^*) = \frac{(Z^*)^{N_B - 1}}{(N_B - 1)!} \exp(-Z^*) \quad (1)$$

그리고

$$p_1(Z^*) = \left(\frac{Z^*}{N_B \gamma} \right)^{\frac{N_B - 1}{2}} \exp(-Z^* - N_B \gamma) \cdot I_{N_B - 1}(2\sqrt{N_B Z^* \gamma}) \quad (2)$$

여기서 $p_i(Z^*) (i = 0, 1)$ 은 수신 신호에 대해 샘플

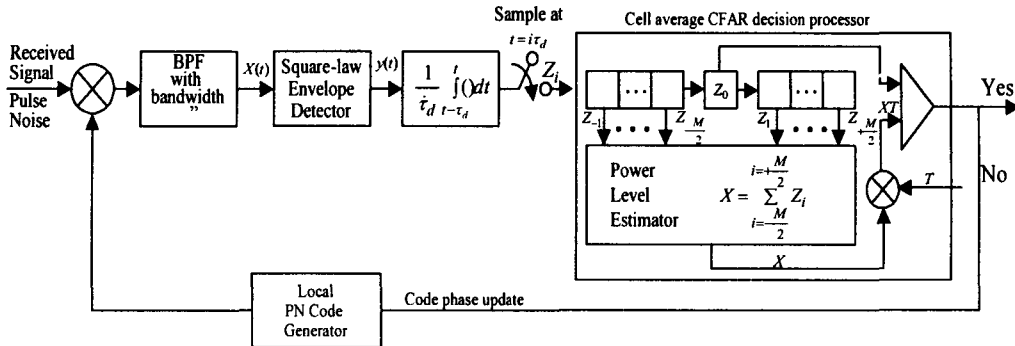


그림 1. 변동기 검파를 갖는 직렬 탐색 PN code 획득 시스템

링한 후의 상관 값이 존재할 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 이진수 형태로 이루어진 일반화된 결정 값의 확률밀도함수를 의미한다.

$$Z^* \cong \frac{ZN_B}{2\sigma^2} \quad (3)$$

$$N_B \cong B\tau_d = \frac{\tau_d}{T}$$

여기서 $1/T$ 은 샘플링 속도이고 B 는 대역통과 필터의 대역폭으로써 $B=1/T$ 로 나타낸다. σ^2 는 평균값이 0인 AWGN의 분산이며 τ_d 는 적분 시간 그리고 $I_n(x)$ 은 개선된 1종 n 차 베셀 함수이다. 예측된 신호대 잡음비 (SNR)는 $\gamma = \frac{A^2}{2\sigma^2}$ 로서 A 는 수신 신호의 진폭이다.

결정 과정상 적응형 동작에서 결정 임계값은 연속적으로 요구되는 오경보 확률을 제공하기 위해 채널에서 페이딩 조건에 따라 개선된다. [3]에서 Z^* 에 대한 독립적인 샘플 Z_i 는 $M+1$ 의 천이 레지스터에 직렬로 이동한다. M 개의 셀 각각은 가우시안 잡음을 포함한다고 가정하고, Z_0 에 일치하는 한 셀은 신호 펄스 잡음을 포함한다. 자승법칙 포락선 검파로 진폭을 검출한 후 샘플 N_B 에 대한 변동기 적분은 적응형 임계값과 비교하기 위하여 사용된다. 잡음에 대한 기대값은 M 개의 셀 이웃 뿐만 아니라 시험 셀과 인접한 셀을 포함하여 계산된다.

$L = MN_B$ 의 샘플로부터 기대되는 총 잡음 전력은

$$X = \sum_{i=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}} Z_i \text{에 의해 얻어진다.}$$

임계값 TX 에서 임계계수 T 는 비례계수로 사용되며, 윈도우 사이즈 M 으로 주어진 쉬프트 레지스터에서 원하는 오경보 확률을 얻기 위해 페이딩 채널 상태에 따른 다양한 비례계수가 사용되었다. [5]에서 알 수 있듯이 X 의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$p(X) = \frac{X^{L-1}}{(L-1)!} \exp(-X) \quad (4)$$

나카가미- m 페이딩 환경에서 수신된 신호의 SNR은 [6]에 의해 식 (5)와 같은 분포를 갖는 랜덤 변수가 된다.

$$p(\gamma) = 2 \frac{\gamma^{2m-1}}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \exp\left(-\frac{m\gamma^2}{\Omega}\right) \quad (5)$$

여기서 $\Gamma(m)$ 은 감마함수이고, m 은 $1/2$ 에서 ∞ 까지의 값을 갖는 페이딩 지수이다. 그리고 평균수신신호인 Ω 는 $\Omega = E(\gamma)$ 로 된다. 페이딩이 심한 환경에서 식 (1)에서 주어진 $p_0(Z^*)$ 는 수신된 신호의 SNR에 대하여 독립이므로 변하지 않는다. 그러나 식 (2)에서 주어진 것처럼 $p_1(Z^*)$ 는 수신된 신호의 SNR에 의존하므로 조건부 확률밀도함수는 $p_1(Z^*/\gamma)$ 가 될 것이다. 나카가미- m 페이딩이 하나의 적분구간 (τ_d)에 대하여 수신된 신호의 위상과 진폭은 일정한 값을 갖는다고 가정한다. 나

카가미-m 페이딩이 천천히 변할 때에는 수신된 신호에 대한 진폭뿐만 아니라 위상이 하나의 적분구간 τ_d 상에 일정한 상수로 충분히 남아 있고, 그러나 빠르게 변할 때에는 연속적인 τ_d 부분은 근본적으로 독립이라는 가정 하에서 나카가미-m 페이딩 환경에서의 결정 변수 Z^* 에 대한 확률밀도함수는 식 (2)와 식 (5)에 걸친 평균 확률 밀도함수에 의해 얻어질 것이다. 따라서 $p_1(Z^*)$ 는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_1(Z^*) = \int_0^\infty p_1(Z^*/\gamma)p(\gamma)d\gamma \quad (6)$$

$$p_1(Z^*) = \int_0^\infty \frac{2\left(\frac{m}{Q}\right)^m \gamma^{2m-1} \exp\left(-\frac{m\gamma^2}{Q}\right)}{\Gamma(m)} \left(\frac{Z^*}{N_B\gamma}\right)^{\frac{N_B-1}{2}} \cdot \exp(-Z^* - \gamma N_B) \cdot I_{N_B-1}(2\sqrt{N_B Z^* \gamma}) d\gamma$$

[7]의 I_{N_B-1} 에 대한 급수 전개와 γ 항 이내에서의 적분으로 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$p_1(Z^*) = \frac{2\left(\frac{m}{Q}\right)^m}{\Gamma(m)} \left(\frac{Z^*}{N_B}\right)^{\frac{N_B-1}{2}} \cdot \exp(-Z^*) \sum_{\gamma=0}^\infty \frac{(N_B Z^*)^{\frac{N_B+2\gamma-1}{2}}}{\gamma!(N_B+\gamma-1)!} \cdot \int_0^\infty \gamma^{2m+\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{m\gamma}{Q} + N_B\right)\gamma\right] d\gamma \quad (8)$$

T_1

$\gamma\left(\frac{m\gamma}{Q} + N_B\right) = \theta$ 라 두고, 적분 T_1 은 [7]에서 정의된 감마함수를 이용하여 T_1 은 다음과 같이 계산 할 수 있다.

$$T_1 = \frac{\Gamma(2m+r)}{\left(\frac{2m\gamma}{Q} + N_B\right)^{2m+r}}$$

식 (8)에서 T_1 을 감마함수를 이용한 식으로 대입하

고, $u \triangleq \frac{Q N_B}{m}$ 으로 나타낼 수 있으므로 식 (8)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_1(Z^*) = \frac{(Z^*)^{N_B-1} \exp(-Z^*)}{\Gamma(m)(1+u)^m} \cdot \sum_{\gamma=0}^\infty \frac{\Gamma(m+\gamma)}{\gamma! \Gamma(N_B+\gamma-2)} \left(\frac{uZ^*}{1+u}\right)^\gamma \quad (9)$$

몇 가지 유용한 함수를 이용하여 식 (9)를 다시 표현 하면 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_1(Z^*) = \frac{(Z^*)^{N_B-1} \exp(-Z^*)}{\Gamma(m)(1+u)^m (N_B-2)!} \cdot {}_1F_1\left(m, N_B; \frac{uZ^*}{1+u}\right) \quad (10)$$

여기서 ${}_1F_1(a, b; x)$ 는 [7]에서와 같이 주어지는 hypergeometric 함수로서 다음과 같다.

$${}_1F_1(a, b; x) = \sum_{r=0}^\infty \frac{\Gamma(b)\Gamma(r+a)x^r}{\Gamma(a)\Gamma(r+b)r!} \cdot b \neq 0, -2, -4, \dots$$

주어진 T의 값에 대한 검출확률(P_D)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_D = \int_0^\infty p(X) \int_{T_X}^\infty p_1(Z^*) dZ^* dX \quad (11)$$

한편 임계계수 T는 식 (12)에 의해 지정된 오경보 확률(P_{FA})로부터 결정된다.

$$P_{FA} = \int_0^\infty p(X) \int_{T_X}^\infty p_0(Z^*) dZ^* dX \quad (12)$$

식 (10)과 식 (4)를 식 (11)에 대입하고, 식 (1)과 식 (4)를 식 (12)에 대입하여 적분을 수행한다. 그 결과 확률을 구하기 위한 최종적인 식은 식 (13)으로 나타낼 수가 있다.

$$P_D = \frac{1}{(1+u)^m(1+T)^L} \cdot \sum_{r=0}^{\infty} \binom{m+r-1}{r} \left(\frac{u}{1+u}\right)^r \cdot \sum_{p=0}^{N_B-1} \binom{L+p-1}{p} \left(\frac{T}{1+T}\right)^p \quad (13)$$

그리고 P_{FA} 는 식 (14)와 같다.

$$P_{FA} = \sum_{p=0}^{N_B-1} \binom{L+p-1}{L-1} \frac{T^p}{(1+T)^{L+p}} \quad (14)$$

나카가미-m 페이딩 환경에서 적응형 직렬 탐색 PN 부호 획득 시스템에 대한 획득 시간과 관련하여 유도된 결과적인 식은 나카가미-m 확률밀도함수를 이용하여 임계계수 T에 따른 검출확률 식 (13)의 P_D 와 식 (14)의 오경보 확률 P_{FA} 를 최종적으로 유도함으로써 평균 획득 시간과 분산을 계산하는데 이용할 수가 있다.

III. 시뮬레이션 결과

그림 2와 3은 다양한 M값에 따라 임계계수 T에 대한 오경보 확률 P_{FA} 을 보여주고 있다. 특정한 N_B 과 P_{FA} 대해 M이 증가할수록 T가 감소함을 알 수 있다. 더욱이 P_{FA} 가 10^{-6} 에서 10^{-1} 까지 광범위하게 변하는 경우 M이 증가함에 따라서 임계계수의 변화량이 감소함을 알 수 있다.

더욱이 N_B 가 증가함에 따라 T를 나타내는 그래프가 왼쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 결정 과정에서 더 많은 표본 M이 존재할수록 채널의 기대값이 개선되며 이는 필요한 오경보 확률을 결정하기 위한 임계값 설정을 효과적으로 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.

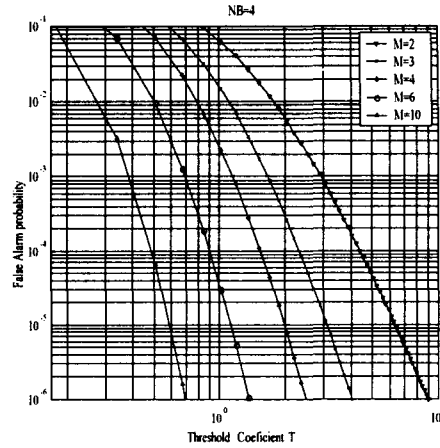


그림 2. $N_B = 4$, $M=2, 3, 4, 6, 10$ 인 경우 임계계수 T에 대한 P_{FA}

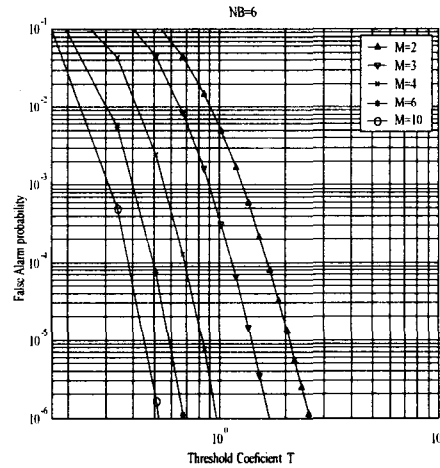


그림 3. $N_B = 6$, $M=2, 3, 4, 6, 10$ 인 경우 임계계수 T에 대한 P_{FA}

IV. 결론

본 논문에서는 DS-CDMA 시스템에서 다양한 페이딩 채널을 모델화 할 수 있는 나카가미-m 페이딩 환경을 고려하였다. DS-CDMA 시스템은 적응형 직렬 탐색 PN 부호 획득 기법을 사용하였으며, 부호 획득 시간에 영향을 미치는 결정 변수로서 검출확률 P_D 와 오경보확률 P_{FA} 를 유도하였다. 유도된 검출확률과 오경보확률을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 검증한 결과 M이 증가함에 따라서 임계계수의 변화량이 감소함을 알 수 있었으며, 결정 과정에서 더 많은 표본 M이 존재할수록 채널의 기대값이 개선되며 이는 필요한 오경보 확률을 결정하기 위한 임계값 설정을 효과적으로 개선시킬 수 있음을 입증하였다. 또한 페이딩 환경하에서 DS-CDMA 시스템에 대한 PN 부호 획득에 결정 변수인 검출확률과 오경보확률을 유도하여 해석함으로써 이동통신 시스템의 H/W설계에 응용할 수가 있음을 보였다.

참고문헌

[1] 김진영, 이재홍, "마이크로셀 환경에서 간섭억압여파기를 이용한 포착성능의 향상," 대한 전자공학회, 제34권 S편 제8호, pp.798-807, 1997.
 [2] 오혜석, 임채현, 한동석, "직접대역확산방식에서 새로운 적응형 구조를 이용한 PN 부호의 빠른 포착," 경북대학교 전기전자공학부, 1999
 [3] M. K. Simon et al., Spread Spectrum Communications Handbook, revised edition, Computer Science Press, Maryland, 1990.
 [4] A. J. Viterbi, CDMA : Principles of Spread

Spectrum Communication, Reading, MA : Addison-Wesley, 1995.

[5] X. Y. Hou, N. Morinaga, T. Namekava, "Direct evaluation of radar detection probabilities," IEEE Trans. Acrosp. Electron-Syst., vol. AES-23, pp.418-424, July 1987.
 [6] John G. Proakis, Digital Communications, Third Edition, NewYork : McGraw-Hill, 1995.
 [7] M. Abramowitz and I. A. Stegun, Handbook of Mathematical Function with Fumulas, Graph and Mathematical Tables, 9th ed., NewYork:Dover, 1970.

저자소개



정 남 모

1986 : 청주대학교, 전자공학
과(학사)
 1991 : 청주대학교, 전자공학
과(석사)
 1999 : 청주대학교, 전자공학
과(박사수료)
 1991~1996.8: 삼화전기(주)기
술연구소
 1996.9~현재: 가톨릭상지대학
정보통신계열 조교수



박 진 수

1975 : 한양대학교, 전자공학
과(학사)
 1977 : 한양대학교, 전자공학
과(석사)
 1985 : 한양대학교, 전자통신
과(박사)
 1978~현재 : 청주대학교 정보
통신공학부 교수
 1999~현재 : 청주대학교 정보
통신연구센터 소장
 2000~현재 : 한국정보처리학
회 충북지부 지부장
 관심분야 : 이동통신, 대역확산
통신, 부호이론