

대역이 제한된 광대역 코드분할 다중화 시스템의 성능 분석

준희원 김 영 삼*, 종신회원 박 중 후*

The Performance Analysis of Bandlimited WCDMA Systems

Young-Sam Kim* Associate Member, Joong-Hoo Park* Regular Member

요 약

본 논문에서는 기존의 DS-CDMA 시스템의 성능 분석을 위해 사용되는 표준 가우시안 근사법과 간단하고 향상된 가우시안 근사법을 이용하여 3세대 이동통신 시스템인 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 시스템의 상향링크에 대한 성능을 분석하였다. 수신된 신호의 신호 대 잡음비를 이용하는 표준 가우시안 근사법과, 다중 사용자 간섭 성분에 대한 통계적 특성을 적용하여 표준 가우시안 근사법을 보완한 간단하고 향상된 가우시안 근사법을 사용하여 대역이 제한된 WCDMA 시스템의 성능을 분석하고 백색 가우시안 채널에 다중 사용자 간섭이 존재하는 상황에서 모의실험을 실시하였다. 신호 대 잡음비가 변하는 환경에서 확산 계수와 롤오프 (roll-off) 계수를 변화시켜가면서 다양한 모의실험을 실시하였고, 이를 바탕으로 해서 간단하고 향상된 가우시안 근사법을 사용한 대역제한된 WCDMA 시스템의 성능 분석이 타당함을 확인할 수 있었다.

키워드: 광대역 코드분할 다중화 시스템, 가우시안 근사법

ABSTRACT

In this paper, the performance of uplink WCDMA systems was analyzed using the SGA (Standard Gaussian Approximation) method and the SIGA (Simplified Improved Gaussian Approximation) method adopted for the performance analysis in conventional DS-CDMA systems. The performance of bandlimited WCDMA systems was analyzed using the SGA and SIGA method, and computer simulations were performed in AWGN environments having multiple access interference. It was shown that the performance analysis of uplink bandlimited WCDMA systems using the SIGA method may be very efficient through various computer simulations with varying spreading factors, roll-off factors, and signal-to-noise ratios.

I. 서 론

BER (Bit Error Rate) 분석은 시스템을 설계하거나 분석할 때 기본이 되는 요소로서, 시스템의 용량, 전력 할당 알고리즘, 채널 코딩, 수신기 설계와 같은 많은 연구분야에서 핵심적인 역할을 한다. 예를 들어 주어진 BER 조건에서 최대 사용자의 수를 계산할 때 중요한 기준이 될 수 있다. 이러한 이유로 지금까지 여러 가지 BER 분석 방법이 소개되었는데, 보편적으로 많이 사용되는 세가지 방법은 다음과 같다.

첫째로 가장 널리 사용되고 10^{-3} 이상의 높은 BER 영역에서 비교적 정확한 방법인 표준 가우시안 근사법 (Standard Gaussian Approximation; SGA)^[1,2]이 있다. 이 방법은 수신된 신호의 신호 대 잡음비를 이용하여 주어진 판단 변수를 가우시안 랜덤 변수로 모델링해서 성능을 분석하므로, 원하는 사용자의 신호 성분, 다중 사용자 간섭과 잡음의 분산을 구할 수 있다면 시스템의 성능을 쉽게 분석할 수 있는 유용한 방법이다. 그러나 기존 BPSK DS-CDMA 시스템 모델에 대한 분석에서 나타나는 것처럼 10^{-3} 이하의

* 한양대학교 공학대학 전자컴퓨터공학부 이동통신시스템 연구실(jhpark1@hanyang.ac.kr)

논문번호 : 020520-1206, 접수일자 : 2002년 12월 06일

낮은 BER이 요구되는 상황에서는 잘 들어맞지 않는 문제점이 있다^[3]. 둘째로 SGA 방법처럼 다중 사용자 간섭 (Multiple Access Interference; MAI) 성분의 분산의 평균값을 구해서 BER을 계산하지 않고, MAI의 분산의 통계적 특성을 이용해 모든 가능한 값들에 대한 평균을 구함으로써 BER을 계산하는 향상된 가우시안 근사법 (Improved Gaussian Approximation; IGA)^[1,2]이 있는데, SGA 방법보다는 정확도가 높지만 계산이 복잡하고 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 셋째로, IGA 방법보다 좀 더 간단하며 SGA 방법보다 정확도가 높은 간단하고 향상된 가우시안 근사법 (Simplified Improved Gaussian Approximation; SIGA)^[2,4]이 있다.

본 논문에서는 SGA 방법과 SIGA 방법을 이용하여 기존의 BPSK DS-CDMA 시스템 기반의 BER 분석 모델^[5,6]이 아닌 3세대 이동통신 시스템인 WCDMA 시스템^[7,8]에 대하여 대역이 제한된 경우의 BER 분석을 시도하고 모의 실험을 통한 결과와 비교하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II절에서는 SGA 방법을 이용한 대역제한된 WCDMA 시스템의 성능을 분석하고, III절에서는 SIGA 방법을 이용한 대역제한된 WCDMA 시스템의 성능을 분석한다. IV절에서는 모의 실험을 통하여 II절과 III절에서 제시한 방법의 타당성을 검증하고, 마지막으로 V절에서 결론을 내린다.

II. SGA 방법을 이용한 대역이 제한된 WCDMA 시스템의 성능분석

QPSK 신호를 이용한 대역이 제한된 WCDMA 상향링크 시스템은 그림 1과 같고, k 번째 사용자로부터 기지국에 수신된 신호는 (1)식과 같이 표현할 수 있다^[8].

$$\begin{aligned}
 x_k(t - \tau_k) = & \sqrt{2P_k} [b'_k(t - \tau_k)c'_k(t - \tau_k)s'_k(t - \tau_k) \\
 & - b''_k(t - \tau_k)c''_k(t - \tau_k)s''_k(t - \tau_k)] \times \cos(\omega_c t + \phi_k) \\
 & - \sqrt{2P_k} [b'_k(t - \tau_k)c'_k(t - \tau_k)s''_k(t - \tau_k) \\
 & + b''_k(t - \tau_k)c''_k(t - \tau_k)s'_k(t - \tau_k)] \times \sin(\omega_c t + \phi_k) \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서 $b'_k(t)$ 는 -1과 +1의 이진값을 갖는 k 번째 사용자의 DPDCH (Dedicated Physical Data CHannel) 신호이고, $b''_k(t)$ 는 DPCCCH (Dedicated Physical Control CHannel) 신호이다.

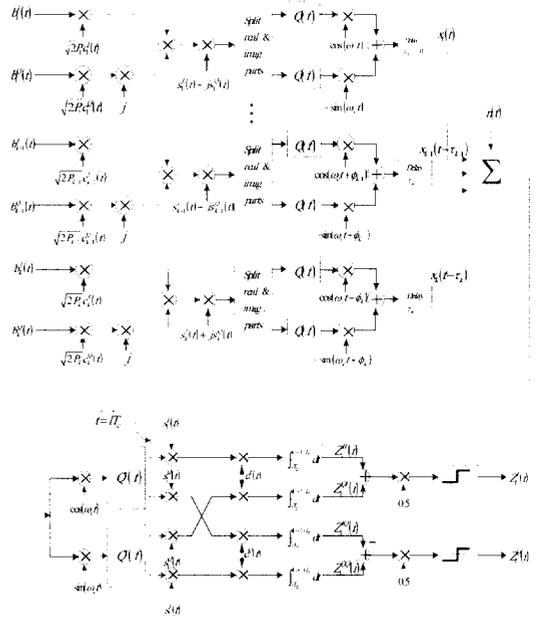


그림 1. 대역이 제한된 WCDMA 상향링크 시스템의 다중 사용자 간섭 모델

또한, $c^I_k(t)$ 와 $c^Q_k(t)$ 는 각각 k 번째 사용자의 I채널과 Q채널의 채널코드이고, $s^I_k(t)$ 와 $s^Q_k(t)$ 는 각각 k 번째 사용자의 I채널과 Q채널의 스크램블링 시퀀스이다. 그리고, τ_k 는 첫번째 사용자에 대한 k 번째 사용자의 시간지연을 나타내고, P_k 는 k 번째 사용자의 신호전력이며, Ψ_k 는 첫번째 사용자에 대한 k 번째 사용자의 반송파 위상 오차를 말한다. 시간지연 τ_k 와 위상오차 Ψ_k 는 상대적인 값이기 때문에, $\tau_1=0$ 와 $\Psi_1=0$ 라고 가정할 수 있다. WCDMA 시스템에서는, 많은 사용자로부터 오는 신호가 수신기의 입력단에 존재한다. 상관 수신기 (correlator receiver)는 같은 채널을 공유하는 다른 모든 사용자 신호중에서 원하는 사용자의 신호만을 추출하기 위해 사용된다. 사용자 k 를 위한 수신기에 수신된 신호는 여러 사용자의 신호와 잡음의 합으로 나타나며, (2)식과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K x_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (2)$$

여기서 $n(t)$ 는 양방향 전력밀도 스펙트럼이 $N_0/2$ 인 백색 가우시안 잡음이다. (2)식을 보면 수신기에서 수신된 신호는 원하는 사용자의 신호, $(K-1)$ 개의 다중 사용자 간섭 신호, 잡음 신호등으로 구성되어 있

음을 알 수 있다. 저역필터와 펄스정형필터를 통과한 다음 수신을 원하는 사용자 (첫번째 사용자)의 스크램블링 시퀀스와 채널코드로 곱하여, 한 비트 주기동안 적분한다. 또한 각 사용자의 DPDCH 비트와 DPCCH 비트는 칩율이 $1/T_c$ 이므로 데이터 비트 $b_{k,i}$ 를 확산하기 위해 사용된 확산과정 $c_{k,i}(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c_{k,i}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_{k,n+iN} q(t - nT_c) \quad (3)$$

여기서 $\alpha_{k,n} \in \{\pm 1\}$ 은 $1/T_c$ 의 칩율을 가진 사용자 k 의 n 번째 채널코드 칩을 나타낸다. 칩율이 같은 채널코드와 스크램블링 시퀀스를 곱하면 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$c_{k,i}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_{k,n+iN} s_{k,n+iN} q(t - nT_c) \quad (4)$$

여기서 $\alpha_{k,n} \in \{\pm 1\}$ 은 확산 주기 N 마다 반복되고, $s_{k,n} \in \{\pm 1\}$ 는 불규칙하게 발생된다. 수식의 전개를 간단히 하기 위해서 다음과 같은 변수들을 정의한다.

$$\begin{aligned} d_{k,i}^1 &= b_{k,i}^1 c_{k,i}^1 s_{k,i}^1 \\ d_{k,i}^2 &= b_{k,i}^2 c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 \\ d_{k,i}^3 &= b_{k,i}^3 c_{k,i}^3 s_{k,i}^3 \\ d_{k,i}^4 &= b_{k,i}^4 c_{k,i}^4 s_{k,i}^4 \end{aligned} \quad (5)$$

이 변수들과 (1)식을 사용하여 (2)식을 다시 쓰면, (6)식과 같이 된다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{k=1}^K \sqrt{2P_k} \left\{ \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{k,n}^1 q(t - T_k - nT_c) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{k,n}^2 q(t - T_k - nT_c) \right] \times \cos(\omega_c t + \phi_k) \right. \\ &\quad \left. - \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{k,n}^3 q(t - T_k - nT_c) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{k,n}^4 q(t - T_k - nT_c) \right] \times \sin(\omega_c t + \phi_k) \right\} + n(t) \end{aligned} \quad (6)$$

DPDCH 비트가 채널코드에 의해 확산된 다음 스크램블링 시퀀스에 의해 스크램블링 된 후의 비트 $d_{k,n} \in \{\pm 1\}$ 는 상호 독립적이고, $P(d_{k,n} = 1) = P(d_{k,n} = -1) = 1/2$ 의 확률을 가진다. 시간지연은 $T_k = \text{mod}(\tau_k, T_c)$ 를 만족하는 독립적이고 균일한 확률 분포를 갖는 랜덤 변수라고 가정할 수 있다^[3]. (2)식으로 표현된 수신신호는 각각 I채널과 Q채널의 복조과정을 거친 후, 수신단의 $Q(t)$ 필터를 통과하면서 송신단의 $\mathcal{Q}(f)$ 필터와 정합되어진다. 이 필터를 통과한 신호는 역스크램블링된 후 역확산 과정을 거쳐 데이터 비트를 결정하는데 사용된다. 그림 1에서 수

신단 부분의 I채널에 대한 판단변수 $Z_1''(i)$ 와 $Z_1^{Q'}(i)$ 를 수식으로 나타내면 다음과 같다. 여기서는 I채널의 한 비트 구간에서만 생각하기로 하자.

$$\begin{aligned} Z_1''(i) &= \int_{T_b}^{(i+1)T_b} c_1' s_1' \left[\int_{-\infty}^{\infty} r(IT_c - u) q(-u) du \right] \cos(\omega_c t) dt \\ Z_1^{Q'}(i) &= - \int_{T_b}^{(i+1)T_b} c_1' s_1' \left[\int_{-\infty}^{\infty} r(IT_c - u) q(-u) du \right] \sin(\omega_c t) dt \end{aligned} \quad (7)$$

(6)식을 (7)식에 대입하여 전개하면 I채널에 대한 판단변수 $Z_1'(i)$ 는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_1' = I_1' + \eta + M \quad (8)$$

I_1' 는 I채널에서 사용자 ($k=1$)의 신호 성분이고, M 은 모든 동일 채널 사용자로부터의 다중 사용자 간섭 성분 (MAI)이며, η 는 잡음 성분을 나타낸다. 먼저 원하는 사용자 ($k=1$)의 신호 성분을 살펴보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_1' &= (I_1'' + I_1^{Q'}) / 2 \\ &= \left[\sqrt{\frac{P}{2}} b_1' NT_c \int_{-\infty}^{\infty} |\mathcal{Q}(f)|^2 df + \sqrt{\frac{P}{2}} b_1' NT_c \int_{-\infty}^{\infty} |\mathcal{Q}(f)|^2 df \right] / 2 \\ &= \sqrt{\frac{P}{2}} b_1' NT_c \end{aligned} \quad (9)$$

따라서

$$|I_1'| = \left| \sqrt{\frac{P}{2}} b_1' NT_c \right| = \sqrt{\frac{P}{2}} NT_c \quad (10)$$

여기서, $\rho(\tau) = F^{-1}(|\mathcal{Q}(f)|^2 / T_c)$ 는 $|\mathcal{Q}(f)|^2 / T_c$ 의 역푸리에 변환이며, $\int_{-\infty}^{\infty} |\mathcal{Q}(f)|^2 df = 1$ 이다. 여기서, 펄스정형필터를 통과한 신호는 $\sqrt{T_c}$ 로 정규화 되었다고 가정한다. 그리고, 다중 사용자 간섭 성분 M 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M = \sum_{k=2}^K M_k = \frac{1}{2} \sum_{k=2}^K [M_k'' + M_k^{Q'}] \quad (11)$$

여기서 M_k'' 와 $M_k^{Q'}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} M_k'' &= \sqrt{\frac{P_k}{2}} \left[T_c^2 \cos\phi_k \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_{k,l}^1 s_{k,l}^1 d_{k,n}^1 \rho((l-n)T_c - T_k) \right. \\ &\quad \left. - T_c^2 \cos\phi_k \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_{k,l}^1 s_{k,l}^1 d_{k,n}^2 \rho((l-n)T_c - T_k) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -T_c^3 \sin \phi_k \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c'_{l,j} s'_{l,j} d'_{k,n} \rho((l-n)T_c - T_k) \\
 & -T_c^3 \sin \phi_k \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c'_{l,j} s'_{l,j} d'_{k,n} \rho((l-n)T_c - T_k) \Big] \quad (12)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_k^{OJ} = & \sqrt{\frac{P_k}{2}} \left[T_c^3 \sin \phi_k \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c'_{l,j} s'_{l,j} d'_{k,n} \rho((l-n)T_c - T_k) \right. \\
 & - T_c^3 \sin \phi_k \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c'_{l,j} s'_{l,j} d'_{k,n} \rho((l-n)T_c - T_k) \\
 & + T_c^3 \cos \phi_k \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c'_{l,j} s'_{l,j} d'_{k,n} \rho((l-n)T_c - T_k) \\
 & \left. + T_c^3 \cos \phi_k \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c'_{l,j} s'_{l,j} d'_{k,n} \rho((l-n)T_c - T_k) \right] \quad (13)
 \end{aligned}$$

[3]에서 제시한 방법으로 다중 사용자 간섭의 분산을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \Psi &= \text{Var}(M_k | T_k, \phi_k) \\
 &= \frac{1}{4} [\text{Var}(M_k^u | T_k, \phi_k) + \text{Var}(M_k^o | T_k, \phi_k)] \\
 &= \frac{1}{4} \left\{ E \left[\left(\sum_{k=2}^K M_k^u \right)^2 \middle| T_k, \phi_k \right] + E \left[\left(\sum_{k=2}^K M_k^o \right)^2 \middle| T_k, \phi_k \right] \right\} \\
 &= \frac{1}{4} \left\{ \sum_{k=2}^K E \left[(M_k^u)^2 \middle| T_k, \phi_k \right] + \sum_{k=2}^K E \left[(M_k^o)^2 \middle| T_k, \phi_k \right] \right\} \\
 &= \frac{1}{4} \sum_{k=2}^K 8 \times \frac{P_k T_c}{2} E[\cos^2 \phi_k] E \left[\sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} (c'_{l,j})^2 (s'_{l,j})^2 (d'_{k,n})^2 \rho^2((l-n)T_c - T_k) \right] \\
 &= \sum_{k=2}^K P_k \times \frac{N}{2} \times T_c \int_{-\infty}^{\infty} |Q(f)|^2 df \\
 &= \sum_{k=2}^K \frac{P_k N T_c^2}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{4} \right) \quad (14)
 \end{aligned}$$

마지막으로, 잡음의 분산 σ_n^2 을 구해보면 (15)식과 같이 표현된다. 잡음 성분의 평균 $E[\eta]=0$ 이기 때문에

$$\begin{aligned}
 \sigma_n^2 = E[\eta^2] &= \frac{1}{2} \times E \left\{ \int_0^{T_b} [c_{l,j}]^2 [s_{l,j}]^2 \right. \\
 & \left. \times \frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |Q(f)|^2 \cos^2(\omega_c t) dt \right\} = \frac{N_0 T_b}{8} \quad (15)
 \end{aligned}$$

따라서 대역이 제한된 WCDMA 시스템에서 다중 사용자 간섭과 잡음의 영향을 받는 일반적인 경우의 비트 오차율 (BER) P_e^{SGA} 는 (16)식처럼 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_e^{SGA} &= Q \left(\sqrt{\frac{\frac{P_1 T_b^2}{2}}{\left((K-1) \frac{P_1 N T_c^2}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{4} \right) + \frac{N_0 T_b}{8} \right)}} \right) \\
 &= Q \left(\sqrt{\frac{1}{\frac{K-1}{N} \left(1 - \frac{\alpha}{4} \right) + \frac{N_0}{2E_b}}} \right) \quad (16)
 \end{aligned}$$

여기서 $E_b=2P_1 T_b$ 로 정의된다. WCDMA 시스템에서는 볼오프 계수가 $\alpha=0.22$ 인 Sqrt-RC 펄스를 사용하므로 SGA 방법의 최종 식은 (17)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_e^{SGA} = Q \left(\sqrt{\frac{1}{0.945 \left(\frac{K-1}{N} \right) + \frac{N_0}{2E_b}}} \right) \quad (17)$$

III. SIGA 방법을 이용한 대역이 제한된 WCDMA 시스템의 성능분석

II절에서 SGA 방법으로 구한 BER 식인 (17)식은 BER이 크거나, 사용자수가 적은 경우에는 잘 맞지 않으므로 SIGA 방법을 통하여 좀 더 정확한 분석을 시도할 필요가 있다. 먼저, IGA 방법을 사용하여 BER을 분석한 식은 다음과 같이 표현할 수 있다^[3,4].

$$P_e^{IGA} = \int_0^{\infty} Q \left(\sqrt{\frac{P_1 T_b^2}{2 \left(\frac{N_0 T_b}{8} + \psi \right)}} \right) f_{\psi}(\psi) d\psi \quad (18)$$

여기서 $\Psi = \text{Var}(M_k | T_k, \phi_k)$ 이다. (18)식에서 알 수 있는 것처럼 IGA 방법을 사용하려면 MAI 분산의 확률 밀도 함수를 구해야 한다. 이에 대한 계산은 일반적으로 어렵기 때문에 MAI 분산의 평균과 표준편차를 이용하여 아래와 같이 (18)식을 근사화 시킬 수 있다^[4].

$$P_e^{SIGA} = \frac{2}{3} P(\mu) + \frac{1}{6} P(\mu + \sqrt{3}\sigma) + \frac{1}{6} P(\mu - \sqrt{3}\sigma) \quad (19)$$

여기서, $P(x) = Q(1/\sqrt{x})$ 이고, MAI 분산의 평균 μ 와 분산 σ^2 는 각각 (20)식과 (21)식처럼 주어진다.

$$\mu = \sum_{k=2}^K E[\Psi_k] + \frac{N_0}{2E_b} = \frac{K-1}{N} \left(1 - \frac{\alpha}{4} \right) + \frac{N_0}{2E_b} \quad (20)$$

$$\sigma^2 = (K-1) \left[\frac{3}{8N^2} E \left[\sum_{i=-\infty}^{\infty} \rho^2(iT_c - T_k) \right]^2 - \frac{1}{4N^2} \left(1 - \frac{\alpha}{4} \right)^2 \right] \quad (21)$$

IV. 실험 결과

II절에서 설명한 사용자수 $K=2\sim 20$ 인 WCDMA 시스템의 상향링크 다중 사용자 간섭 모델을 사용하여 컴퓨터 모의실험을 실시하였다. DPDCH 채널에는 랜덤한 이진 데이터를 사용하였고, 채널코드로는 $C_{ch,SF,FA}$ 를 사용하였다. DPCCH 채널로 전송되는 제어신호는 편의상 모두 1이라 가정하였고, 채널코드로는 $C_{ch,SF,0}$ 를 사용하였다. 스크램블링 시퀀스는 각 사용자마다 초기값이 다른 2개의 서로 다른 primitive polynomial을 이용하여 생성한 주기가 $2^{25}-1$ 인 2개의 시퀀스가 결합된 골드 시퀀스중에서 처음 38,400개의 칩만을 선택하여 사용하였다^[7]. 전송 지연시간은 구간 $[0, T_b]$ 에서 균일하게 분포하는 난수들로 하였고, 각 사용자의 위상은 0에서 2π 사이에 균일하게 분포한다고 가정하였다. 펄스정형에서는 한 칩을 롤오프(roll-off) 계수에 따라 raised cosine 필터의 임펄스응답 값에 대응하는 17개의 서브칩으로 나누어 실험하였다. 채널은 백색 가우시안 잡음 환경이라 가정하였다. 사용자의 신호 대 잡음비(E_b/N_0)가 각각 10dB와 15dB에서 확산 계수(N)가 16과 32, 그리고 64일 때의 대역제한된 WCDMA 시스템의 성능을 분석하고 몬테카를로 실험을 이용한 결과와 비교하였다. 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 초기값을 달리하면서 같은 실험을 10번 반복하였고, 사용된 데이터의 수는 100,000개이다. 그림 2~3에는 확산 계수에 따른 성능을 분석하였고 그림 4~7에는 롤오프 계수에 따른 성능을 분석하였다.

먼저 그림 2와 3은 E_b/N_0 가 각각 10dB와 15dB일 때 확산 계수에 따른 대역제한된 WCDMA 시스템의 성능을 SGA 방법과 SIGA 방법을 사용하여 분석한 결과이다. 롤오프 계수는 0.22로 설정하였다. SIGA 방법이 사용자수가 적은 낮은 BER 영역에서 SGA 방법보다 좀 더 정확하다는 것을 확인할 수 있다. 또한 확산 계수가 증가함에 따른 시스템의 성능이 향상됨을 알 수 있다. 참고로 SGA 방법과 SIGA 방법을 DS-CDMA 시스템에 적용한 결과는 [9]에서 확인할 수 있다. DS-CDMA 시스템의 경우에도 WCDMA 시스템과 마찬가지로 사용자수가 적은 경우에 SIGA 방법이 SGA 방법에 비해서 성능이 좋음

을 알 수 있다.

그림 4~7은 E_b/N_0 가 각각 10dB와 15dB일 때 확산 계수를 변화시키면서 롤오프 계수에 따른 대역제한된 WCDMA 시스템의 성능을 SIGA 방법을 사용하여 분석한 결과이다. 롤오프 계수로는 0, 0.22, 0.5, 1을 선택하였다. 여기서 BER 성능은 롤오프 계수가 1일 때 가장 좋고, 0일 때 가장 나쁘지만, 스펙트럼 효율성의 관점에서 보면 이와는 반대로 롤오프 계수가 0일 때 스펙트럼의 효율성이 가장 좋고 1일 때 가장 나쁘다는 것을 알 수 있다.

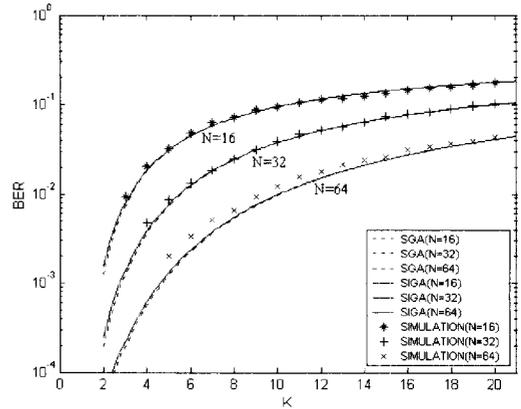


그림 2. WCDMA 시스템의 성능 분석과 실험 결과 ($\alpha=0.22, E_b/N_0=10\text{dB}$)

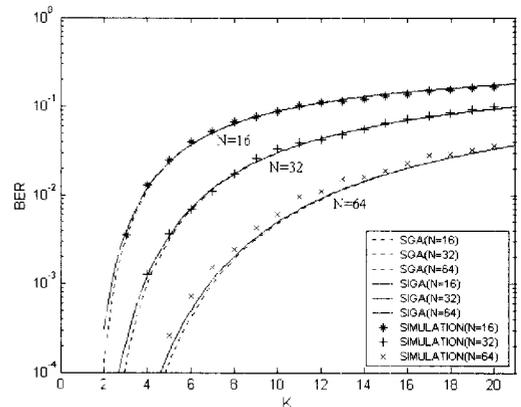


그림 3. WCDMA 시스템의 성능 분석과 실험 결과 ($\alpha=0.22, E_b/N_0=15\text{dB}$)

그림 4는 확산 계수가 16이고, E_b/N_0 가 10dB일 때의 성능을 롤오프 계수에 따라서 분석한 것으로 사용자수가 적은 일부 경우에서 나타나는 약간의 오차를 제외하고는 전반적으로 성능 분석의 정확성을 확인할 수 있다. 그림 5는 그림 4에서와 같은 조건에서 다만 E_b/N_0 를 15dB로 증가하여 모의실험을 실시한 것인데, 성능 분석 그래프가 모의실험 결과와 매우

유사하게 근접함을 확인할 수 있다. 그림 6은 확산 계수가 32이고, E_b/N_0 가 10dB일 때의 성능을 볼오프 계수에 따라서 분석한 것이다. 확산 계수가 16일 때의 성능 분석보다 정확성이 다소 떨어지지만 전반적인 성능 분석은 정확하다는 것을 알 수 있다. 또한 E_b/N_0 를 15dB로 증가시킨 그림 7에서도 이러한 점을 확인할 수가 있다. 따라서, 모든 그림에서 보듯이 확산 계수 및 볼오프 계수에 따른 대역제한된 WCDMA 시스템의 성능 분석 그래프가 모의 실험과 유사하게 나타남을 볼 수 있다. 또한 (16)식에서도 알 수 있듯이 BER 성능은 확산 계수, 신호 대 잡음비, 볼오프 계수가 커질수록 향상됨을 실험 결과를 통하여 확인할 수 있었다.

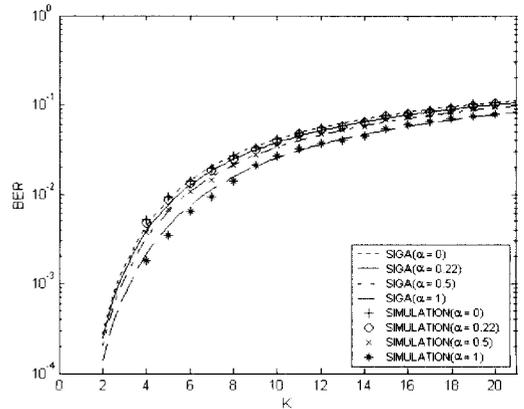


그림 6. 볼오프 계수에 따른 WCDMA 시스템의 성능 분석과 실험 결과 ($N=32, E_b/N_0=10\text{dB}$)

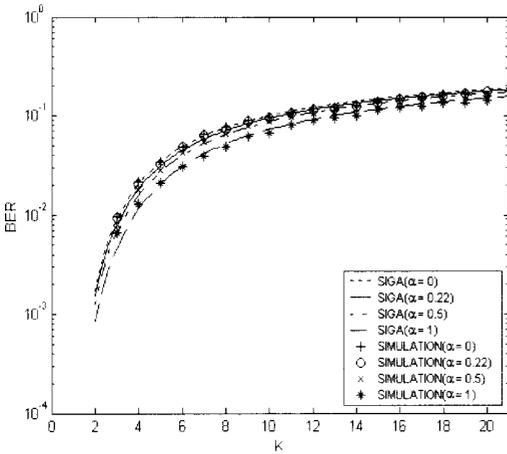


그림 4. 볼오프 계수에 따른 WCDMA 시스템의 성능 분석과 실험 결과 ($N=16, E_b/N_0=10\text{dB}$)

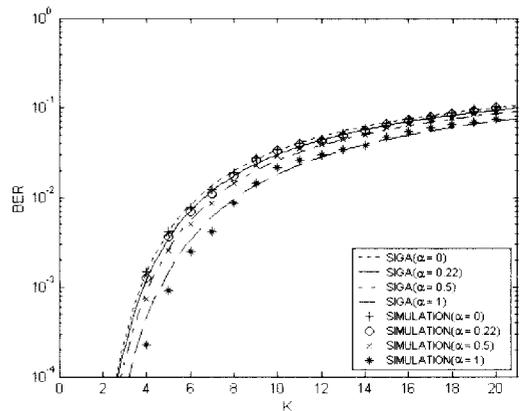


그림 7. 볼오프 계수에 따른 WCDMA 시스템의 성능 분석과 실험 결과 ($N=32, E_b/N_0=15\text{dB}$)

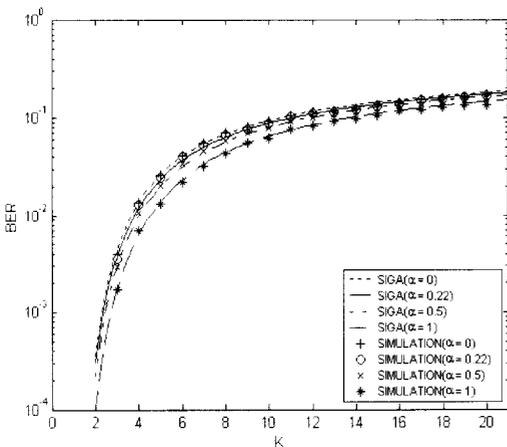


그림 5. 볼오프 계수에 따른 WCDMA 시스템의 성능 분석과 실험 결과 ($N=16, E_b/N_0=15\text{dB}$)

V. 결론

본 논문에서는 기존의 단순한 BPSK 시스템 기반의 BER 분석이 아닌 실제적이고 복잡한 WCDMA 시스템의 다중사용자 간섭 모델을 통하여 대역이 제한된 경우의 BER 분석을 제시하였고, 모의실험을 통해서 이 분석 방법의 타당성을 확인할 수 있었다. 분석을 위해 사용된 표준 가우시안 근사법은 확산 계수가 크고 사용자수가 작은 경우일수록 정확도가 떨어지기 때문에 향상된 가우시안 근사법을 사용하여 표준 가우시안 근사법의 단점을 보완하였다. 이 과정에서 확산 계수, 신호 대 잡음비, 볼오프 계수가 커질수록 BER 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한 확산 계수가 증가함에 따른 시스템의 성능 향상 정도를 알 수 있었고, 볼오프 계수가 증가함에 따

른 대역이 제한된 WCDMA 시스템의 성능 향상 정도를 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] R. K. Morrow and J. S. Lehnert, "Bit-to-bit Error Dependence in Slotted DS/SSMA Packet Systems with Random Signature Sequences," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-37, pp. 1052-1061, October 1989.

[2] R. K. Morrow, Jr., "Accurate CDMA BER Calculations with Low Computational Complexity," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 1413-1417, November 1998.

[3] Y. C. Yoon, "Simple and Accurate BER Analysis of Bandlimited DS-CDMA Systems with multi-class services" *IEEE International Conference on 3rd Generation Wireless Commun.*, June 14-16, 2000.

[4] J. M. Holtzman, "Simple, Accurate method to Calculate Spread-Spectrum Multiple-Access Error Probabilities," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 461-464, March 1992.

[5] Y. A. Asano, Y. Daido, J. M. Holtzman, "Performance Evaluation for Band-Limited DS-CDMA Communication System," *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 464-468, 1993.

[6] T. Shibata, A. Ogawa, "Performance of Band-Limited DS/SSMA Systems," *IEEE Second International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, pp. 11-14, 1992.

[7] 3GPP Technical Report TS 25.213, "Spreading and modulation," V3.4.0, September 2001.

[8] 박중후, "광대역 코드분할 다중화 시스템 수신기의 성능분석," *한국음향학회지*, 제20권 제6호, pp. 87-93, August 2001.

[9] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice-Hall, 1996.

김 영 삼(Young-Sam Kim) 준회원
 2001년 2월: 한양대학교 공학대학 전자컴퓨터공학부 석사
 2003년 2월: 한양대학교 공학대학 전자컴퓨터공학부 석사
 2003년 1월 ~ 현재: 삼성테크윈 연구원

<주관심분야> 이동통신 시스템

박 중 후(Joong-Hoo Park) 정회원
 1985년 2월: 서울대학교 전자공학과 학사
 1987년 2월: 서울대학교 전자공학과 석사
 1995년 5월: University of Missouri-Rolla 전기공학과 석사
 1997년 12월: University of Missouri-Rolla 전기공학과 박사
 1987년 1월 ~ 1992년 6월: LG전자 중앙연구소 (선임 연구원)
 1992년 8월 ~ 1993년 3월: 나다텔 연구소 (선임연구원)
 1997년 11월 ~ 2000년 2월: 삼성전자 통신연구소 (수석연구원)
 2000년 3월 ~ 현재: 한양대학교 공학대학 전자컴퓨터공학부 조교수

<주관심분야> 디지털 신호처리, 디지털 통신 시스템, 이동통신 시스템