논문 2008-45TC-8-11

다중경로 간섭제거기법을 적용한 다중코드 CDMA 시스템 성능 분석에서의 부가적 가우시안 근사화에 의한 영향 분석

(Investigation of AGA Effect on Performance analysis of a Multicode CDMA system equipped with an MPIC)

고 균 병*, 서 정 태*

(Kyun-Byoung Ko and Jeong-Tae Seo)

요 약

본 논문에서는 MPIC를 적용한 다중코드 CDMA 시스템에서 보다 정확인 BER 성능 분석 기법을 다중경로 페이딩 채널에 대하여 제안한다. 이를 위해 MPIC를 적용한 기존의 성능 분석 기법들의 문제점을 설명한다. 즉 기존의 성능분석 결과가 MPIC를 적용하지 않은 경우에 대해서도 모의실험 결과와 일치하지 않음을 보인다. 이러한 불일치는 MPIC를 적용한 경우에 대해서도 성능 불일치를 야기하기 때문에 MPIC를 적용하지 않은 경우에 대한 성능 불일치를 야기하는 이론적 원인을 밝히는 것이 반드시 선행되어야만 한다. 본 논문에서는 기존의 성능 분석 결과와 모의실험 결과의 차이가 CDMA 시스템 성능분석에서 사용된 일반적인 가우시안 근사화가 아니라 이에 더하여 가정되는 부가적인 가우시안 근사화에 의해 야기됨을 확인하였다. 이를 바탕으로 본 논문에서는 부가적 가우시안 근사화를 사용하지 않는 보다 정확한 성능 분석 기법을 제안하고 이를 모의실험을 통해 검증하였다. 뿐만 아니라 제안된 기법이 MPIC의 적용을 통하여 얻을 수 있는 시스템의 이론적 성능한계를 나타냄을 확인하였다.

Abstract

The authors present a more accurate analysis of the bit error rate (BER) performance for multicode code division multiple access (CDMA) systems equipped with a multipath interference canceler (MPIC) over multipath fading channels. At first, we consider the problem of previous researches. It is that the previous analyses do not match with simulations even in the case without MPIC. This mismatch also causes the difference between the analysis and simulations when an MPIC is applied. Therefore, what is needed is to verify the reason of this mismatch at the initial stage. Numerical results obtained from the proposed analytical method indicate that the performance mismatch between the previous analysis and simulations is caused by not the Gaussian approximation which is generally used at the performance analysis of CDMA systems but the additional Gaussian approximation (AGA) for multipath interferences. Based on this effect, we propose a more accurate performance analysis not using AGA and its accuracy is verified by simulations. Furthermore, it is confirmed that the proposed analysis presents an analytical lower bound which can be achieved by MPIC.

Keywords: MPIC, Multicode CDMA, Multipath fading channel, AGA

I. 서 론

상용화된 이동통신 시스템에서는 하향링크(Downlink)에 대한 트래픽 증가가 상향링크(Uplink)에 비해 크게 증가되고 있다. 이는 고속의 인터넷 접속 및 방송서비스에 대한 하향링크 수요증가 때문이다. 이러한 하향링크에서의 최대 전송율을 증가시키기 위한 방법으로 다중코드 전송기법이 상용시스템에 적용되고 있다. 또한 다중코드 전송기법의 시스템 성능향상 즉, 시스템 전송율을 향상시키기 위한 연구들이 광범위하게 진행되어 왔다[1~4].

* 정회원, 충주대학교 정보제어공학과
(Information & Control Engineering at Chungju National University)

※ 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2007-331-D00278)

접수일자: 2007년5월16일, 수정완료일: 2008년8월12일

참고문헌 [1]에서는 순방향 Wideband CDMA 시스템에서의 다중경로 간섭제거기법(Multipath Interference Canceler: MPIC)을 높은 변조기법에 대하여 제안하였다. 제안된 MPIC 기법은 다중경로 페이딩 채널에 의해 야기되는 다중경로 간섭성분을 수신 신호에서 제거함으로써 시스템 성능향상을 획득하는 구조를 갖는다. 또한, 참고문헌 [2]에서는 다중코드를 사용하는 Wideband CDMA 시스템의 성능분석 기법을 BPSK에 대하여 제안하였다. 이러한 성능분석 기법을 기반으로 참고문헌 [3]에서는 16-QAM이 적용된 경우에 대한 성능분석 기법을 제안하였다.

그러나 참고문헌 [2]와 [3]의 성능분석 기법을 통한 이론적 성능은 MPIC를 적용하지 않은 초기 단계의 다중코드 CDMA 시스템의 성능조차도 모의실험 결과와 일치하지 않는 문제점이 있다. 또한 이러한 성능 오차는 MPIC를 적용한 경우에 대해서도 이론적 성능 분석 결과와 모의 실험결과와의 차이를 유발하는 이유가 된다. 그러므로 MPIC를 통한 성능 이득에 관한 정확한 분석을 위해서는 초기 단계에서 모의실험 결과와의 불일치를 야기하는 기존 성능 분석 기법의 문제점을 확인하는 작업이 반드시 필요하다 하겠다.

본 논문에서는 이러한 불일치를 유발하는 이론적인 이유를 분석 및 검증하도록 한다. 즉, 기존의 성능 분석 기법의 문제점을 분석 및 검증하여 기존의 분석 결과와 모의실험 결과의 불일치가 다중경로 간섭성분에 대한 부가적인 가우시안 근사화(Additional Gaussian Approximation: AGA)에 의해 야기됨을 검증한다. 여기서 AGA는 CDMA 시스템의 성능분석 방법에 사용되는 일반적인 가우시안 근사화에 별도로 적용되는 가정임에 주의할 필요가 있다. 또한 부가적인 가우시안 근사화가 상향링크 및 하향링크에서 어떻게 영향을 주는지 관찰한다. 이를 바탕으로 기존의 성능 분석 결과가 모의실험 결과와 비교할 때 어떠한 경향을 나타낼 것인지를 예측하고 모의실험 결과와의 비교를 통해 예측 결과를 확인한다. 최종적으로 기존의 성능 분석 방법보다 정확한 하향링크 성능 분석 기법을 제안하고, 이론적 성능 분석 결과를 모의실험을 통해 검증하도록 한다.

Ⅱ. 순방향 다중코드 CDMA 시스템 모델

1. 시스템 전송 모델 및 채널 모델

본 논문에서는 다중코드의 개수가 K인 순방향 링크에서의 다중코드 CDMA 시스템을 고려한다. 사용자의 정보열은 BPSK 심벌로 멥핑된 후 K개의 코드채널로 나누어진다. 사용자의 k번째 코드 채널은 확산과정 및 복소 스크램블링이 수행된 후 다음과 같이 표현된다[4].

$$S_k(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty} s_k(\lfloor n/N \rfloor) C_{sc}(n) c_k(n) p_t[t-nT_c] \tag{1}$$

여기서 $s_k(\lfloor n/N \rfloor)=\pm 1$는 BPSK 심벌이고 $\lfloor x \rfloor$는 x를 넘지 않는 최대의 정수를 의미한다. $c_k(n)=\pm 1$는 k번째 확산코드로 본 논문에서는 $c_k(n)=c_k(n+N)$을 모든 n과 k에 대하여 만족하는 OVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor)를 사용하였다. 여기서 정수 N은 확산코드의 길이이다. $C_{sc}(n)=(\pm 1 \pm j)/\sqrt{2}$는 복소 스크램블링 코드이고 $p_t[t-nT_c]$는 구간 $[nT_c,(n+1)T_c)$에서만 값을 갖는 사각 펄스(rectangular pulse)로 $\int_{-\infty}^{\infty} p_t^2[t-nT_c]dt=1$을 만족한다[4]. 여기서 T_c는 칩 간격이다[4].

본 논문에서는 심벌율에 비해 페이딩 율이 낮은 천천히 변화하는 주파수 선택적 다중경로 페이딩 채널을 가정한다. 따라서 채널의 랜덤 특성은 여러 개의 심벌구간 동안에 변화하지 않는다고 가정할 수 있다. 이러한 다중경로 페이딩 채널은 TDL(Tap Delay Line)구조로 모델링되고 채널의 충격파 응답은 다음과 같다[5].

$$h(t)=\sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l e^{j\theta_l} \delta(t-\tau_l) \tag{2}$$

여기서, α_l, θ_l 및 τ_l은 각각 l번째 경로의 채널 이득, 위상 및 시간 지연을 의미한다. 채널의 탭 가중치 $\{\alpha_l e^{j\theta_l}\}_{l=0}^{L-1}$는 다중 경로 성분들 간에 상호 독립적이며, 그 크기는 레일리 분포를 갖고 위상은 구간 $[0,2\pi)$ 사이에 균일한 분포를 갖는 랜덤 변수로 가정한다[5]. l번째 경로의 시간 지연 τ_l은 구간 $[lT_c,(l+1)T_c)$에서 균일하게 분포한다고 가정한다. l번째 경로와 i번째 경로 사이의 시간차를 의미하는 $\Delta_{l,i}=(\tau_l-\tau_i)-\Lambda_{l,i}T_c$는 구간 $[0, T_c)$에 균일하게 분포하고 각기 다른 l과 i에 대하여 독립적인 랜덤 변수로 가정할 수 있다[3, 6]. 여기서 $\Lambda_{l,i}=\lfloor(\tau_l-\tau_i)/T_c\rfloor$이다.

2. 레이크 수신기 출력

단일 셀 환경에서, K개 다중코드 전송신호가 하향링크 다중경로 레일리 페이딩 채널을 통과하여 수신된 신

호는 다음과 같다.

$$r(t)=\sum_{l=0}^{L-1}\alpha_l e^{j\theta_l}\sum_{k=0}^{K-1}\sum_{n=-\infty}^{\infty}s_k(\lfloor n/N\rfloor)\times C_{sc}(n)c_k(n)p_t[t-\tau_l-nT_c]+\eta(t) \quad (3)$$

여기서 $\mathrm{n}(t)$는 복소 AWGN이다. 레이크 수신기에서 i번째 경로 성분에 대한 칩 단위의 정합 필터(Matched Filter) 출력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}u_i(n)&=\int_{nT_c+\tau_i}^{(n+1)T_c+\tau_i}r(t)p_t^*[t-nT_c-\tau_i]dt\\&=\sum_{l=0}^{L-1}\sum_{k=0}^{K-1}\alpha_l e^{j\theta_l}[A_k^{(n-1)}R(\Delta_{l,i})+A_k^{(n)}\hat{R}(\Delta_{l,i})]+\eta_i(n)\end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $A_k^{(p)}=s_k(\lfloor(p-\Lambda_{l,i})/N\rfloor)C_{sc}(p-\Lambda_{l,i})\times c_k(p-\Lambda_{l,i})$이다. l번째 경로 성분과 i번째 경로 성분의 부분적인 적분값을 의미하는 $R(\Delta_{l,i})$ 및 $\hat{R}(\Delta_{l,i})$는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}R(\Delta_{l,i})&=\int_0^{\Delta_{l,i}}p_t[t+T_c-\Delta_{l,i}]p_t^*[t]dt\\\hat{R}(\Delta_{l,i})&=\int_{\Delta_{l,i}}^{T_c}p_t[t-\Delta_{l,i}]p_t^*[t]dt\end{aligned} \quad (5)$$

또한 사각 펄스 성형 필터(Rectangular pulse-shaping filter)에 대해서는 $E[R^2(\Delta_{l,i})]=E[\hat{R}^2(\Delta_{l,i})]=1/3$이다. 잡음 성분 $\eta_i(n)$는 평균이 0이고 분산은 $Var[\eta_i(n)]=\sigma_n^2$ 이며 다음과 같이 표현된다.

$$\eta_i(n)=\int_{nT_c+\tau_i}^{(n+1)T_c+\tau_i}\eta(t)p_t^*[t-nT_c-\tau_i]dt$$

완벽한 채널 추정을 가정할 때 i번째 레이크 핑거의 출력은 (4)의 칩단위 샘플링 값에 복소 스크램블링 코드의 켤레값을 곱하고 확산 코드로 역확산을 수행한 후 채널에 의한 왜곡을 보상하여 얻어진다. MRC를 사용하는 레이크 수신기의 0번째 코드채널의 m번째 심벌에 대한 최종 출력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}Z_0&=\frac{1}{\sqrt{\gamma}N}\sum_{i=0}^{L-1}\sum_{n=mN}^{(m+1)N-1}u_i(n)\alpha_i e^{-j\theta_i}\times C_{sc}^*(n)c_0(n)\\&=D_0+MPI_0+\zeta_0\end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $D_0=s_0(m)\sqrt{\gamma}$는 원하는 신호 성분이며 $\gamma=\sum_{i=0}^{L-1}\gamma_i$ 이고 $\gamma_i=\alpha_i^2$이다. MPI_0는 다중경로 간섭성분으로 다음과 같다.

$$MPI_0=\frac{1}{\sqrt{\gamma}N}\sum_{i=0}^{L-1}\sum_{K=0}^{K-1}\sum_{l=0,l\neq i}^{L-1}\alpha_l\alpha_i e^{j(\theta_l-\theta_i)}\times\sum_{n=mN}^{(m+1)N-1}[B_k^{(n-1)}R(\Delta_{l,i})+B_k^{(n)}\hat{R}(\Delta_{l,i})] \quad (7)$$

여기서 $B_k^{(p)}=A_k^{(p)}C_{sc}^*(n)c_0(n)$이다. 그리고 식 (6)의 잡음 성분 ζ_0는 평균이 0이고 분산이 $Var[\zeta_0]=\sigma_n^2/N$이며 다음과 같이 표현된다.

$$\zeta_0=\frac{1}{\sqrt{\gamma}N}\sum_{i=0}^{L-1}\sum_{n=mN}^{(m+1)N-1}\eta_i(n)\alpha_i e^{-j\theta_i}C_{sc}^*(n)c_0(n)$$

III. MPIC를 적용한 순방향 Multicode CDMA 시스템 성능분석

1. 초기 단계의 BER 성능분석

순시적인 채널 값에 따른 조건부 BER을 구하기 위하여 식 (6)의 Z_0을 조건부 복소 가우시안 랜덤변수로 모델링한다. 이때 앞 절에서 설명한 채널 모델에 대한 가정들로부터 Z_0의 세가지 성분들은 상호 상관성을 갖지 않음을 알 수 있다. 그러므로 랜덤 변수 Z_0의 평균은 D_0이고 분산은 $Var[Z_0]=Var[MPI_0]+Var[\zeta_0]$이다. 또한 CDMA 시스템의 성능 분석에 사용되는 일반적인 가우시안 근산화를 통해 평균이 0인 MPI_0의 분산은 다음과 같이 유도된다.

$$Var[MPI_0]=\frac{\beta}{\gamma N^2}\sum_{i=0}^{L-1}\sum_{l=0,l\neq i}^{L-1}\gamma_l\gamma_i\times\sum_{k=0}^{K-1}((L-1)E[|s_k(m\pm1)|^2]+(2N-L+1)E[|s_k(m)|^2]) \quad (8)$$

여기서, $E[|s_k(m)|^2]=1$으로 BPSK 심벌의 전력을 의미한다. 또한 Z_0의 잡음 성분에서 두 구성 요소 MPI_0와 ζ_0는 각각 순환 대칭성 (Circularly Symmetric)을 갖는다[8]. 따라서 Z_0의 잡음 성분은 순환 대칭성 (Circularly Symmetric)을 갖는다고 할 수 있다. 따라서 결정변수 $Re(Z_0)$의 분산은 복소 랜덤변수 분산값의 반으로 표현된다. 즉 $Re(Z_0)$의 평균은 D_0이고 분산은 $Var[Re(Z_0)]$

$= Var[Z_0]/2$이다. 그러므로 순시적인 채널 값에 따른 조건부 SINR은 다음과 같다.

$$SINR^{[0]}(\{\gamma_i\}) = \frac{|E[Re(Z_0)]|^2}{Var[Re(Z_0)]} = \frac{\gamma}{(Var[MPI_0] + Var[\zeta_0])/2} \quad (9)$$

또한 조건부 BER은 다음과 같이 표현된다.

$$P_0^{[0]}(e|\{\gamma_i\}) = Q\left(\sqrt{SINR^{[0]}(\{\gamma_i\})}\right) \quad (10)$$

여기서 $Q(x) = 1/\sqrt{2\pi}\int_x^\infty \exp(-t^2/2)dt$이다. 그리고 조건부 BER $P_0^{[0]}(e|\{\gamma_i\})$을 랜덤 변수 $\{\gamma_i\}$에 대하여 적분함으로써 최종적인 평균 BER을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_0^{[0]}(e) = \int_0^\infty \cdots \int_0^\infty f(\gamma_0,\cdots,\gamma_{L-1}) \times Q\left(\sqrt{SINR^{[0]}(\{\gamma_i\})}\right) d\gamma_0 \cdots d\gamma_{L-1} \quad (11)$$

여기서 $f(\gamma_0,\cdots,\gamma_{L-1})$는 랜덤 변수 $\{\gamma_i\}$의 결합 확률밀도함수이다. 상기 식의 결과는 Monte Carlo 적분을 통하여 얻을 수 있다[7~8].

2. 기존 성능 분석 방법의 문제점

식 (11)을 닫혀진 형태(Closed form)로 유도하는 것이 어려운 이유는 식 (9) 조건부 SINR의 분자 분모 즉, D_0와 $Var[MPI_0]$가 레일리 랜덤 변수들을 포함하고 있기 때문이다. 기존의 연구에서는 다중경로 간섭성분 MPI_0의 분산을 계산하는 과정에서 일반적인 가우시안 근사화를 사용할 뿐만이 아니라 계산상의 편의를 위해 부가적인 가우시안 근사화(Additional Gaussian Approximation: AGA)을 사용하였다. 즉 분석상의 편의를 위하여 순시적인 채널 값을 포함하지 않는 형태로 MPI_0 분산을 유도하였다. 특히 균일한 MIP(Multipath Intensity Profile)를 갖는 경우에는 식 (8)로 주어지는 $Var[MPI_0]$에서 레일리 랜덤 변수 $\{\gamma_l\}_{l=0,l\neq i}^{L-1}$를 $\{\overline{\gamma_l}\}_{l=0,l\neq i}^{L-1} = E[\alpha_l^2]_{l=0,l\neq i}^{L-1}$로 치환하여 기존 분석에서의 분산을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$Var[MPI_0]_{old} = \frac{2\beta}{N}(L-1)\overline{\gamma_0}K$$

기존의 분석에서는 위 식과 같이 순시적인 채널 값의 레일리 랜덤 변수들을 포함하고 있지 않기 때문에 식 (9)의 조건부 SINR은

$$SINR_{old}^{[0]}(\gamma) = \frac{\gamma}{(Var[MPI_0]_{old} + Var[\zeta_0])/2} \quad (12)$$

과 같이 γ만의 함수로 표현되어 식 (11)의 평균 BER은 닫혀진 형태로 다음과 같이 표현된다[3, 5~6, 8].

$$P_{0,old}^{[0]}(e) = \int_0^\infty (\gamma)\, Q\left(\sqrt{SINR_{old}^{[0]}(\gamma)}\right) d\gamma = \left[\frac{1-\mu^{[0]}}{2}RIGHT\right]\sum_{l=0}^{L-1}\binom{L-1+l}{l}\left[\frac{1+\mu^{[0]}}{2}RIGHT\right]^l \quad (13)$$

여기서 $f(\gamma) = \frac{1}{(L-1)!\overline{\gamma_0}}\gamma^{L-1}e^{-\gamma/\overline{\gamma_0}}$는 γ의 확률밀도함수이고 $\mu^{[0]}$는 다음과 같다.

$$\mu^{[0]} = \sqrt{\frac{(SINR_{old}^{[0]}(\gamma)/\gamma)\overline{\gamma_0}/2}{1-(SINR_{old}^{[0]}(\gamma)/\gamma)\overline{\gamma_0}/2}}$$

즉 이러한 AGA의 적용은 CDMA 시스템의 상향링크 성능 분석에 일반적으로 적용되는 기법이다[6]. 그러나 상향링크의 경우에는 모든 코드 채널들이 각기 다른 채널을 겪고 수신되기 때문에 이러한 AGA는 자기간섭성분에만 적용된다. 이에 반해서, 다중코드를 사용하는 순방향링크에서는 모든 코드 채널이 하나의 페이딩 채널을 통과하여 수신되기 때문에 AGA가 모든 코드 채널에 적용된다.

그림 1에서는 이러한 AGA의 영향을 관찰하기 위하여 식 (9)와 (12)의 조건부 SINR에 대한 확률밀도함수

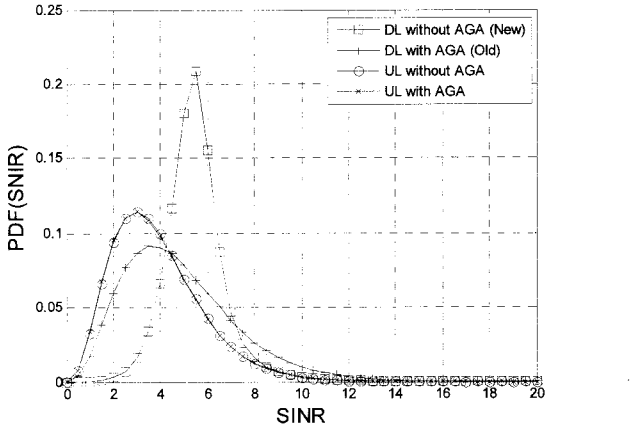

그림 1. AGA 적용에 따른 SINR의 PDF 비교 (N=64, K=40, L=4, R=4, SNR=10dB, 감쇄지수=0.0)

Fig. 1. PDF of SINR with regard to AGA (N=64, K=40, L=4, R=4, SNR=10dB, Exponential decay factor=0.0).

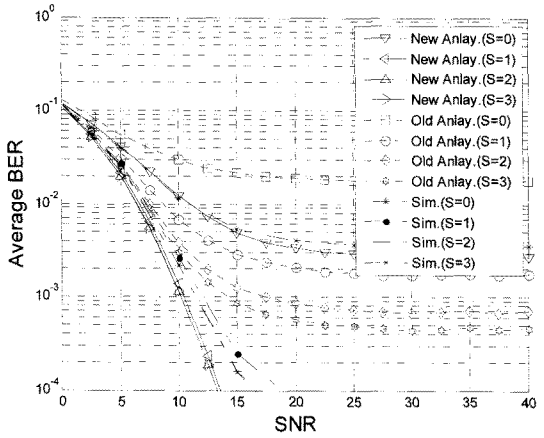

그림 2. SNR에 따른 평균 BER 비교 (N=64, K=40, L=4, R=4, 감쇄지수=0.0)

Fig. 2. Average BER versus SNR with respect to MPIC stages (N=64, K=40, L=4, R=4, Exponential decay factor=0.0).

를 비교한다. 상향링크의 경우 AGA에 의해 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 하지만 순방향링크의 경우 AGA의 적용이 넓은 영역에 분포하는 PDF을 만들어 내는 것을 알 수 있다. 따라서 AGA를 적용하여 유도된 기존의 성능 분석 결과는 AGA를 적용하지 않은 본 논문의 분석 결과보다 상대적으로 큰 BER을 나타낼 것으로 예측할 수 있다. 즉 기존의 AGA를 적용한 성능 분석 결과가 모의실험 결과와 일치되지 못하며 이보다 높은 BER을 나타내리라 예측할 수 있으며 그림 2의 모의실험 결과를 통해 확인할 수 있다.

3. MPIC를 적용한 경우에 대한 BER 분석

MPIC는 각각의 코드별로 추정된 심벌들을 이용해 MPI 성분들을 제생성하여 칩단위 수신신호 식 (4)에서 제거하는 구조를 갖는다. 따라서 MPIC를 적용한 경우 MPI_0의 $s_k(\cdot)$를 $s_k(\cdot)-\hat{s}^{[0]}_{(\cdot)_k}$로 치환하여 MPIC 적용 후의 $MPI_0^{[1]}$를 얻을 수 있다. 여기서 $\hat{s}^{[0]}_{(\cdot)_k}$는 레이크 수신기 출력에 대한 Hard-decision 결과로 초기 단계에서 추정된 k번째 코드 채널의 심벌을 의미한다. 그러므로 MPIC가 적용된 다음의 분산은 다음과 같이 유도된다.

$$Var\left[MPI_0^{[1]}\right]=\frac{\beta}{\gamma N^2}\sum_{i=0}^{L-1}\sum_{l=0,l\neq i}^{L-1}\gamma_l\gamma_i\sum_{k=0}^{K-1}\times\left((L-1)E\left[\left|s_k(m\pm1)-\widehat{s_{(m\pm1)k}}\right|^2\right]\right. \tag{14}$$

여기서, $E\left[\left|s_k(m)-\hat{s}^{[0]}_{(m)k}\right|^2\right]=4P_k^{[0]}(e|\{\gamma_l\})$이고 $P_k^{[0]}(e|\{\gamma_l\})$는 초기 단계에서의 k번째 코드 채널에 대한 BER 로 식 (10)에서 코드 채널 인덱스 0을 k로 바꾸어 얻을 수 있다. 그러므로 첫 번째 단계에서의 평균 BER은 다음과 같다.

$$P_0^{[1]}(e)=\int_0^\infty\cdots\int_0^\infty f(\gamma_0,\cdots,\gamma_{L-1})\times Q\left(\sqrt{SINR^{[1]}(\{\gamma_i\})}\right)d\gamma_0\cdots d\gamma_{L-1} \tag{15}$$

여기서 $SINR^{[1]}(\{\gamma_i\})=2\gamma/\left(Var\left[MPI_0^{[1]}\right]+Var[\zeta_0]\right)$이다. 또한 MPIC는 시스템의 성능 향상을 위하여 다단 형태로 적용이 가능하며 그 성능도 첫 번째 MPIC 단계에서 적용한 분석 기법을 다음 단계로 확장하여 얻을 수 있다.

Ⅳ. 모의실험 결과

본 절에서는 제안하는 성능분석 기법의 정확성을 모의실험을 통해 검증한다. 모의실험에서는 N=64, 다중경로 성분의 감쇄지수(Exponential decay factor)는 0.0 혹은 $1/L$을 고려하였고 R은 레이크 수신기의 핑거수를 의미하며 $SNR=E\left[\sum_{l=0}^{L-1}\alpha_l^2\right]/(\sigma_n^2/N)$을 가정하였다.

그림 2에서는 SNR에 따른 평균 BER 성능 비교 결과를 보여주고 있다. 그림에서 'S'는 MPIC 단계를 의미한다. 초기 단계(S=0)에서 AGA를 적용하지 않은 제안된 분석 결과가 모의실험 결과와 유사함을 알 수 있다. 또한, AGA를 적용한 기존의 분석 결과는 모의실험 결과 보다 높은 BER을 나타냄을 확인하였으며 이는 그림 1에서 예측된 결과와 일치되는 것이다. 또한 기존 분석 기법의 AGA가 야기한 초기 단계에서의 성능 분석 오차는 MPIC를 적용한 경우에 대해서도 큰 성능차이를 유발함을 알 수 있다. 반면에 제안된 분석기법은 MPIC를 적용한 경우에 대하여 모의실험 결과와 유사한 결과를 나타내고 있다. 또한 제안된 분석기법이 MPIC 적용을 통해 얻을 수 있는 평균 BER 성능의 한계를 제시하고 있음을 확인하였다.

그림 3과 4에서는 다중 경로 성분의 감쇄지수를 $1/L$로 가정하였으며 레이크 수신기의 핑거 개수(R)가 다중경로수(L)보다 작은 경우를 가정하였다. 따라서 그림 3과 4에서는 보다 실질적인 환경을 고려하여 MPIC의 성능을 확인 및 검증하고자 한다. 그림 3은 그림 2와 달리 $R<L$ 즉, 제거되지 않는 간섭성분이 항상 존재하는 환경이므로 MPIC가 적용되더라도 높은 SNR에서 BER이 10^{-3}이하로 떨어지지 않음을 알 수 있다. 그림 4에서는

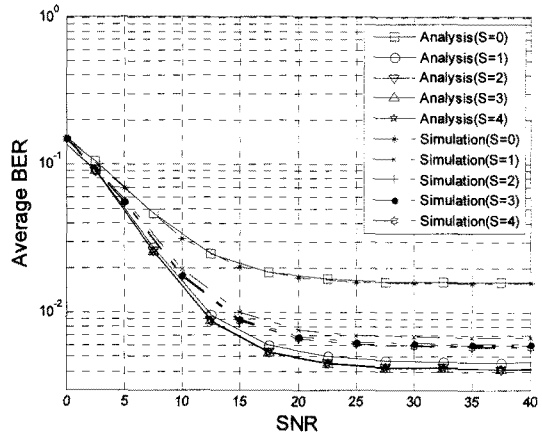

그림 3. SNR에 따른 평균 BER 비교(N=64, K=40, L=6, R=4, 감쇄지수=1/L)

Fig. 3. Average BER versus SNR with respect to MPIC stages (N=64, K=40, L=6, R=4, Exponential decay factor=1/L).

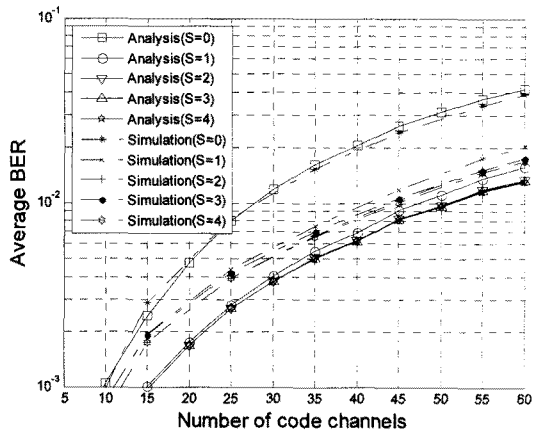

그림 4. 다중사용코드 수(K)에 따른 평균 BER 비교 (N=64, L=6, R=4, SNR=15dB, 감쇄지수=1/L)

Fig. 4. Average BER versus number of code channels with respect to MPIC stages (N=64, L=6, R=4, SNR=15dB, Exponential decay factor=1/L).

다중사용코드 수에 따른 BER 성능으로 BER=10^{-2}을 기준으로 할 때 2단계의 MPIC 적용을 통해 약 50% 전송율 증가를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

완벽한 채널 추정과 R=L을 가정한 기존의 분석 결과에서는 MPIC의 단계를 증가시킴으로서 지속적인 이득을 얻음을 제시하고 있으나(그림 2의 기존의 분석 결과 참조) 실질적인 환경에서는 2 단계의 MPIC 만이 필요함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 연구 결과들이 제시한 MPIC 성능분석 기법이 갖고 있는 문제점이 AGA에 의해 야기됨을 분석 및 검증하였다. 또한 이를 해결할 수 있는 새로운 분석기법을 제안하였으며 제안된 분석 기법이 기존의 문제점을 극복하여 모의실험과 유사한 성능을 나타냄을 확인하였다. 또한 제안된 분석기법이 MPIC를 적용하여 얻을 수 있는 BER 성능의 한계를 제시하고 있음을 모의실험을 통하여 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] K. Higuchi, A. Fujiwara, and M. Sawahashi, "Multipath Interference Canceller for High-Speed Packet TransmissionWith Adaptive Modulation and Coding Scheme in W-CDMA Forward Link," IEEE J. of Selected Areas in Comm., vol. 20, no. 2, pp. 419-432, Feb. 2002.

[2] J. Chen, J. Wang, and M. Sawahashi, "MCI Cancellation for Multicode Wideband CDMA Systems," IEEE J. of Selected Areas in Comm., vol. 20, no. 2, pp. 450-462, Feb. 2002.

[3] KyunByoung Ko, Dongseung Kwon, Daesoon Cho, Changeon Kang, and Daesik Hong, "Performance analysis of a multistage MPIC in 16-QAM CDMA systems over multipath rayleigh fading channels," in Proc. IEEE VTC 2003-Spring, vol. 4, pp. 2807-2811, JEJU, KOREA, 22-25 April 2003.

[4] "Physical Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access," 3GPP TS 25.848.

[5] John G. Proakis, Digital Communication. McGraw Hill, 1995.

[6] Kyunbyoung Ko, Mansic Joo, Hansup Lee, and Daesik Hong, "Performance Analysis for Multistage Interference Cancellers in Asynchronous DS-CDMA Systems," IEEE Comm. Letters, vol. 6, no. 12, pp. 544-546, Dec. 2002.

[7] William H. Tranter, K. Sam Shanmugan, Theodore S. Rappaport, and Kurt L. Kosbar, Communication Systems Simulation with Wireless Applications. Prentice Hall, 2004.

[8] KyunByoung Ko, Myonghee Park, and Daesik Hong, "Performance Analysis of Asynchronous MC-CDMA systems with a Guard Period in the form of a Cyclic Prefix," IEEE Trans. on Comm., vol. 54, no. 2, pp. 216-220, Feb. 2006.

저 자 소 개

고 균 병(정회원)

1997년 연세대학교 전자공학 학사
1999년 연세대학교 전기전자공학 석사
2004년 연세대학교 전기전자공학 박사
2004년 3월~2007년 2월 삼성전자 통신연구소
2007년 3월~현재 충주대학교 정보제어공학과
<주관심분야 : 이동통신, MIMO, 적응신호처리>

서 정 태(정회원)

대한전자공학회 논문지
제42권 TC편 제12호 참조.
<주관심분야 : DSP, 신호처리>