

동기식 DS-CDMA 시스템의 역방향 링크에서 채널간 최적 전력비에 관한 연구

A Study on the Optimum Power Ratio of Reverse Link Channels in Synchronous DS-CDMA System

강병권 · 김선형 · 박진홍 · 강성진

순천향대학교 정보기술공학부

Byeong-Gwon Kang · Sun-Hyung Kim · Jin-Hong Park · Sung-Jin Kang

Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

요 약

본 논문에서는 cdma2000 규격을 채용한 역방향 링크 동기식 DS-CDMA 시스템을 시뮬레이션 하여 시스템의 성능을 분석하였고, 파일럿 채널과 정보 채널 즉, 기존의 트래픽 채널간의 최적 전력비를 구하였다. cdma2000 시스템은 기존의 IS-95와는 달리 파일럿 채널을 이용하여 페이딩 채널을 추정하고 이를 이용하여 채널 환경에 의한 수신신호의 위상변화를 보상해 준다. 채널 추정길이 31pcg 심볼에서 파일럿 채널과 트래픽 채널의 최적 전력비를 구하였다. 또한 시스템에 전력 제어를 적용하여 목표 FER을 만족시키기 위한 required Eb/No를 구하였고, 다중의 사용자가 고속의 데이터를 동시에 전송할 때의 성능을 분석하였다.

ABSTRACT

In this paper, a synchronous reverse link DS-CDMA system with cdma2000 standard is simulated to analyze performance of system and to find the optimum power ratio between pilot channel and traffic channel. In the cdma2000 the pilot channel is used to estimate fading channel, in contract to IS-95 and it compensates phase variation of received signal due to channel environment. When the length of channel estimation is 31pcg symbols, we can find the optimum power ratio of pilot channel to traffic channel. And also we find Eb/No satisfying target FER when the power control is applied and analyze performance of system with multiuser transmission.

Keywords : reverse link DS-CDMA system, optimum power ratio, Eb/No

I. 서 론

IMT-2000시스템 규격은 크게 유럽과 일본이 주도하는 비동기 방식(W-CDMA)과 미국이 기존의 IS-95를 기본으로 규격을 주도하는 동기 방식(cdma2000)으로 나눌 수 있다. 두 방식 모두 최근의 회의 결과로서 규격이 거의 완성된 상태에 이르고 있다. 동기식 방식인 cdma2000에

서는 기존의 방식과 달리 역 방향 링크에 파일럿 채널을 추가하여 채널을 통과한 신호의 진폭 및 위상의 변화를 추정함으로써 시스템의 성능 향상을 이룰 수 있으며, 19.2kbps 이상의 고속 데이터 통신에서는 기존의 콘볼루션 코드가 아닌 터보코드가 사용된다. 또한 기존의 IS-95에서의 트래픽 채널은 음성을 전송하는 fundamental 채널과 데이터 전용의 supplemental 채널로 대체되며, 한 사용자는 최대 8채널까지의 supplemental 채널을 사용할

수 있다. 본 논문에서는 cdma2000의 규격을 적용한 동기식 CDMA 시스템을 시뮬레이션하여 시스템 설계 파라미터인 파일럿 채널과 트래픽 채널의 전력비를 구하였으며, 다중 사용자 환경에서의 시스템 성능을 분석하였다. 다중 사용자 환경으로서 9.6kbps의 음성만 사용시 사용자 수에 따른 성능을 구하였으며, FER 1%를 만족하는 required Eb/No를 구하였다. 또한 다중 사용자 환경에서 9.6kbps의 신호를 전송하는 경우 채널간 최적 전력비를 구하였으며, 38.4kbps의 고속 데이터를 전송하는 경우의 비트 오류율을 구하였다. 2장에서는 동기식 CDMA 시스템의 규격과 송·수신단의 구성, 채널추정 그리고 전력 제어 방법에 대하여 설명하였으며, 3장에서는 시스템의 시뮬레이션 결과를 비교하였고, 4장에서는 결론을 제시하였다.

II. 동기식 CDMA 시스템

1. cdma2000의 규격

cdma2000 규격에는 무선 형상 (Radio configuration)이 RC 1부터 RC 6까지 여섯 가지의 형태로 제시되어 있다. 본 논문에서는 RC 3을 선택하여 시뮬레이션을 수행함으로써 고속의 데이터를 전송하는 시스템을 고려하였다. 역방향 파일럿 채널은 각 1.25ms의 전력 제어 그룹(pcg ; power control group)마다 1536×N 개의 PN칩으로 구성되며, 각 pcg마다 1152×N 개의 pilot 신호와 384×N개의 전력 제어 비트(pcb ; power control bit)로 이루어진다. 여기서 N은 확산 배수(spreading rate number)이고 1 또는 3의 값을 갖는다.

시스템의 채널 부호로는 rate 1/4에 생성 다항식 g0는 765(octal), g1은 671(octal), g2는 513(octal), g3는 473(octal)인 콘볼루션 부호화기(convolutional encoder)를 사용하고 복호 알고리즘으로 비터비(Viterbi) 알고리즘을 사용하였다. 블록 인터리버에서 입력 심볼은 0부터 N-1 까지 주기적으로 입력되고 식 (1)의 m과 J에 의해서 출력 순서를 결정한다.

$$A_i = 2^m (i \bmod J) + BRO_m(\lfloor i/J \rfloor) \quad (1)$$

여기서, i는 0 ~ N-1 이고, $\lfloor x \rfloor$ 는 x와 같거나 x보다 작은 가장 큰 정수를 나타내며, $BRO_m(y)$ 는 y의 2 수 m 비트의 비트 역순(bit-reversed)을 나타낸다.

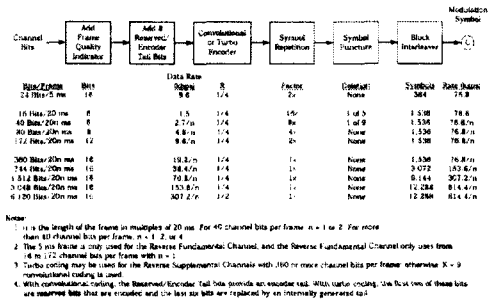


그림 1. RC 3에서 역방향 Fundamental Channel과 Supplemental Channel의 구조

2. 송수신기 구조

그림 2는 cdma2000의 역방향 링크의 송신기 구조를 나타낸 것이다. 채널을 통과한 신호의 변화를 추정하는데 사용하는 pilot 신호와 데이터 신호인 fundamental과 supplemental 채널 신호는 월시 함수 W_{16}^4 에 의해 직교 확산되고 BPSK 변조시 파일럿 채널, fundamental, supplemental 채널로 이루어진 트래픽 채널은 최적의 전력비에 따라 각각 다른 크기로 더해진다. 또한 변조된 신호는 long code와 short code가 곱해져 I와 Q신호로 복소 확산되며, 이를 OCQPSK(Orthogonal Complex Quadrature Phase Shift Keying)라고 한다.

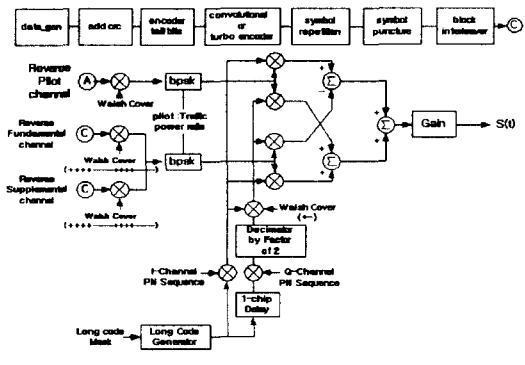


그림 2. 송신기 구조

그림 3은 수신기의 구조를 나타낸 것으로 파일럿 신호를 추정된 결과를 음성과 데이터 신호로 이루어진 트래픽 신호에 적용함으로써 시스템의 성능 향상을 얻을 수 있다.

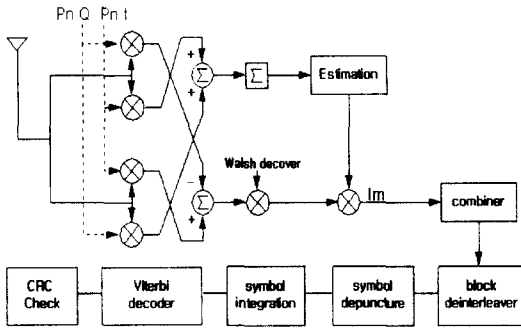


그림 3. 수신기의 구조

3. 송수신 신호의 표현

송수신기의 구조는 각각 그림 2, 3과 같으며, 송수신기에 적용되는 송수신 신호를 각각 $s(t)$ 와 $r(t)$ 로 표현하면 아래와 같이 전개할 수 있으며, 초기 규격에 따른 반복조 신호의 표현 수식은 이미 논문으로 발표된 바가 있다[7]. 파일럿 채널과 fundamental 및 supplemental 채널을 각각 X_p , X_F , X_S 로 표현하면, 단말기에서 OCQPSK(Orthogonal Complex QPSK) 변조된 전송신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$s^{(k)}(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} [(D_{I,m}^{(k)} \times PNI_m^{(k)} - D_{Q,m}^{(k)} \times PNQ_m^{(k)}) \times h(t - m T_c) \cos(2\pi f_c t) + (D_{I,m}^{(k)} \times PNQ_m^{(k)} + D_{Q,m}^{(k)} \times PNI_m^{(k)}) \times h(t - m T_c) \sin(2\pi f_c t)] + n_i(t) \cos(2\pi f_c t) - n_q(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (2)$$

단,

$$D_{I,m}^{(k)} = \sqrt{E_P^{(k)}} X_P W_0^{32} + \alpha_{S2,m}^{(k)} \sqrt{E_I^{(k)}} / 2 X_{S2,m}^{(k)} W_6^8$$

$$D_{Q,m}^{(k)} = \alpha_{F,m}^{(k)} \sqrt{E_I^{(k)}} / 2 X_{F,m}^{(k)} W_4^{16} + \alpha_{S1,m}^{(k)} \sqrt{E_I^{(k)}} / 2 X_{S1,m}^{(k)} W_2^4$$

여기서, T_c 는 한 칩의 폭이며, $E_I^{(k)}$ 와 $E_P^{(k)}$ 는 k 번째 사용자에 대한 칩 당 fundamental과 파일럿 신호의 에너지를 의미한다. $PNI_m^{(k)}$ 와 $PNQ_m^{(k)}$ 는 각각 I와 Q 채널에 적용되어 사용되는 PN 시퀀스이다. $X_{F,m}^{(k)} = X_F(mT_c)$ 와 $X_{S,m}^{(k)} = X_S(mT_c)$ 는 각각 fundamental과 supplemental 채널 사용자 정보 비트로서 월시 직교 부호 W_n^m 동안 일정한 값을 유지하며, W_n^m 는 월시 부호 m 차원 중 n 번째 부호를 의미한다. 상대적 이득 α 는 변조기에서 각 논리 채널에 대한 이득이다. 또한, 페이딩 채널은 일반적으로 식 (3)과 같이 표현된다.

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_{k,l} \delta(t - \tau_{k,l}) e^{j\phi_{k,l}} e^{j\Delta f_{k,l} t}$$

(3)

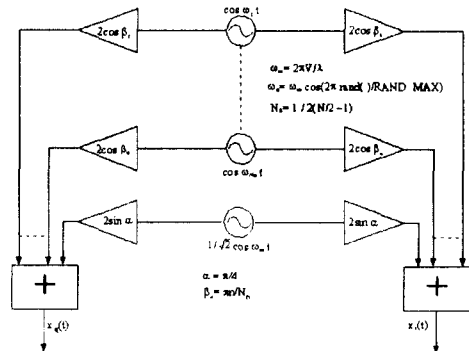
여기서 $\alpha_{k,l}$, $\tau_{k,l}$, $\phi_{k,l}$ 은 각각의 다중 경로 성분과 관련된 신호의 크기, 시간 지연 그리고 위상 성분이며, $\Delta f_{k,l}$ 는 k 번째 사용자의 l 번째 다중 경로와 관련된 도플러 천이(Doppler shift)이다. 한편, 기지국에서 수신된 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$s^{(k)}(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=-\infty}^{\infty} [(D_{I,m}^{(k)} \times PNI_m^{(k)} - D_{Q,m}^{(k)} \times PNQ_m^{(k)}) \times h(t - m T_c) \cos(2\pi f_c t + \phi_{k,l}) + (D_{I,m}^{(k)} \times PNQ_m^{(k)} + D_{Q,m}^{(k)} \times PNI_m^{(k)}) \times h(t - m T_c) \sin(2\pi f_c t + \phi_{k,l})] + n_i(t) \cos(2\pi f_c t) - n_q(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (4)$$

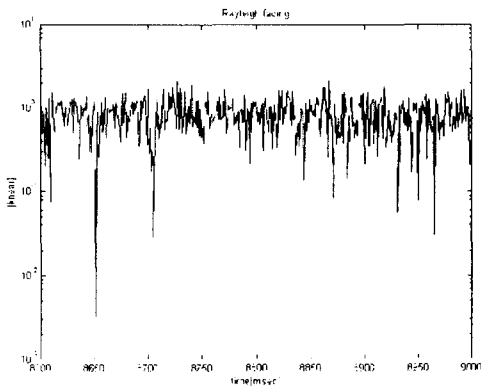
식 (4)에서 $n_i(t)$ 와 $n_q(t)$ 는 배경 잡음으로 인한 협대역 가우시안 잡음 프로세스를 의미하며, 잡음의 양측 전력 스펙트럼 밀도는 $N_0/2$ 이다.

4. 채널 환경

전송 채널 모델로서 21개의 오실레이터를 갖는 Jakes 시뮬레이터를 사용하여 110Km/h의 이동속도와 2GHz의 중심 주파수 환경에서 레일이 페이딩 채널을 발생 시켰다. 또한 다중 경로로 각각의 페이딩 시뮬레이터가 서로 독립된 페이딩을 발생 시키기 위해서 오실레이터의 위상을 랜덤하게 주었다. 각 오실레이터에서 발생한 데이터의 값을 코릴레이션 한 결과 0에 가까운 값을 보임으로써 독립성을 확인하였다. 그림 4는 페이딩 채널의 발생을 위한 채널 시뮬레이터와 페이딩 발생 결과이며, 도플러 주파수는 200Hz이다.



(a) 페이딩 채널 발생에 사용한 Jakes 시뮬레이터



(b) 페이딩 채널 발생 결과

그림 4. 레일리 페이딩 채널의 발생
(중심 주파수 2GHz, 도플러 주파수 200Hz)

5. 채널 추정

cdma2000 시스템에서는 파일럿 심볼을 이용하여 채널을 추정하고 이를 이용하여 페이딩에 의한 신호의 위상변화를 보상한다. 즉, 일정 기간동안 전송된 파일럿 채널 중 전력 제어 비트를 제외한 파일럿 심볼의 정보를 이용하여 현재 채널을 추정한다. 그러므로 파일럿 채널의 전력과 추정 길이는 시스템의 성능에 영향을 주게된다. 또한 내부 루프(inner loop) 전력 제어를 위한 전력 추정은 매 전력 제어 그룹 단위로 적용되므로 이전 전력 제어 그룹의 정보를 사용할 수 없기 때문에 추정 길이가 짧아야하는 반면, 채널 추정 길이는 이전 전력 제어 그룹의 정보도 사용할 수 있기 때문에 그 길이가 길어질 수 있다.

6. 전력 제어

그림 5는 시스템에서 적용한 전력 제어 루프이며, 내부(inner) 전력 제어 루프는 파일럿 신호를 매 전력 제어 그룹 단위로 전력 추정하여 이를 setpoint Eb/No와 비교하여 전력 제어 명령을 생성한다. 본 시스템에서는 순방향 링크를 대신하여 4%의 전력 제어 명령 에러율을 사용하였다. 외부(outer) 전력 제어 루프는 CRC checker에 의해 매 프레임의 에러유무를 확인한 후 정해진 1%의 목표 FER을 만족시키기 위해 setpoint Eb/No를 조절한다.

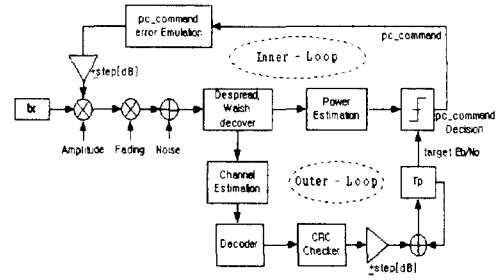


그림 5. 전력 제어 루프

III. 시뮬레이션 결과

1. 시뮬레이션 파라미터

시뮬레이션에 필요한 파라미터로는 다음의 표 1과 같은 값을 사용하였다. 즉, 사용자 수는 1, 3, 5, 10명 등 네 가지 경우를 고려하였으며, 데이터율은 9.6 kbps와 38.4 kbps 등 두 경우를 고려하였다. 채널 부호로는 콘벌루션 부호로서 길이 K=9, 레이트 R=1/4를 사용하였다. 인터리빙은 규격에 제시된 알고리즘을 사용하였으며, 칩 레이트는 1.2288 Mcps, PN 부호는 긴 부호인 경우 2⁴²-1, 짧은 부호의 경우 2¹⁵-1의 길이의 것을 사용하였다. 또한 채널 추정 길이로는 7, 15, 31의 전력 제어 그룹(pcg)을 사용하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

| 항 목 | 파라미터 값 |
|----------------------|------------------------------|
| 사용자 수 | 1, 3, 5, 10 |
| 전송 데이터 율 | 9.6, 38.4 kbps |
| 채널 부호 | 콘벌루션 부호 K=9, R=1/4 |
| 칩 레이트 | 1.2288 Mcps |
| PN 부호 길이, long code | 2 ⁴² -1 |
| PN 부호 길이, short code | 2 ¹⁵ -1 |
| 윌시 함수 | W ₄ ^{1b} |
| 채널추정길이 | 7, 15, 31 pcg |

2. 시뮬레이션 결과

그림 6은 전력 제어를 적용하지 않았을 때 수신 Eb/No= 3dB에서 채널 추정길이가 7, 15, 31 pcg 심볼일 때의 채널 전력비에 따른 비트 오류(BER) 성능을 본 것이다. 결과에서 보듯이 파일럿 신호의 전력이 작을 때는 추정길이가 길수록 좋은 성능을 보이지만 파일럿 신호의 전력이 커지면서 추정길이가 7 pcg symbols 이고 전력비 -9.54dB 에서 가장 좋은 성능을 보인다. 데이터 심볼보다 파일럿 심볼의 에너지가 상대적으로 커지면 파일럿 심볼이 데이터 심볼에 간섭으로 작용하여 오히려 성능이 급격히 열화되는 것이다.

그림 7은 위와 같은 환경에서 내부 루프 전력 제어(inner power control loop)를 적용했을 때의 채널 전력비에 따른 BER 성능을 본 것이다. 전력 제어를 하지 않았을 때와는 다르게 추정길이에 따라 일정한 성능 향상 경향을 보이며 이때 최적의 추정길이와 전력비는 31 pcg symbols, -13.8dB로 전력제어하지 않았을 경우와 비교하여 최적의 추정 길이와 최적의 전력비가 달라짐을 알 수 있다. 또한, 이전 pcg의 파일럿 신호 정보까지도 이용 가능한 유효한 정보가 되어 채널 추정 길이가 길어지며 비트 오류도 약 10배정도 향상됨을 볼 수 있다.

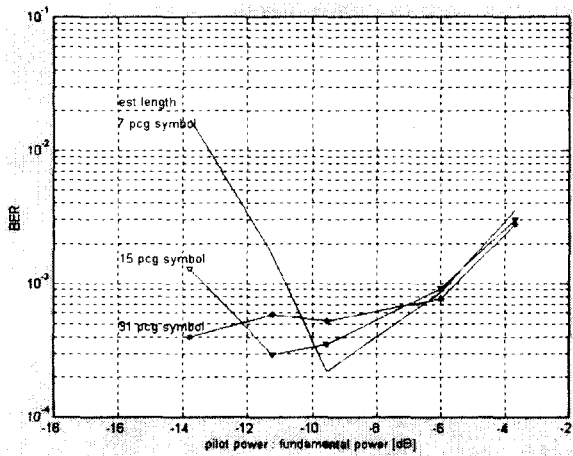


그림 6. 파일럿과 fundamental 채널 전력비에 따른 BER 성능
(전력제어를 적용하지 않은 경우, 수신 Eb/No= 3dB)

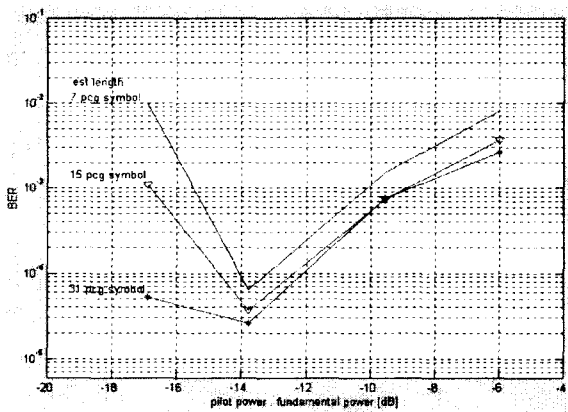


그림 7. 파일럿과 fundamental 채널 전력비에 따른 BER 성능
(전력 제어를 적용한 경우, 수신 Eb/No= 4.77dB)

그림 8은 사용자 수가 1명, 3명, 5명인 경우에 대하여 FER 1%에 대한 required Eb/No를 분석한 것이다. 채널 추정 길이로 31 pcg 심볼을 사용하였으며, -13.8 dB의 채널

전력비에서 가장 우수한 성능을 보였다. 사용자 수가 증가함에 따라 거의 선형적으로 required Eb/No가 증가함을 알 수 있으며, 1명에서 5명으로 증가했을 때 1 dB이상의 신호 에너지가 더 필요함을 알 수 있다. 여기서, 각 사용자는 모두 9.6 kbps의 fundamental 채널을 사용한다. 그림 9는 사용자가 1, 3, 5, 10 일 경우의 BER 특성과 최적 전력비를 분석한 것이다. 그림 8의 required Eb/No의 경우와 마찬가지로 -13.8 dB에서 최적의 전력비를 보이며 사용자 수의 증가에 따라 거의 선형적으로 성능이 열화된다. 사용자 수가 3명과 10명인 경우 비트 오류율이 약 10 배 정도 차이가 나며, 전력비가 -10 dB보다 커지면 사용자 수에 상관없이 성능이 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보인다. 여기서 사용된 데이터율은 9.6 kbps이고, 채널 추정길이는 31 pcg 심볼을 사용하였으며, 수신된 심볼의 평균 신호 대 잡음비는 4.5 dB이다. 그림 10은 데이터만을 전송하는 다중 사용자 환경에서의 비트 오류 특성이다. 다중 사용자 수는 1, 2, 5, 10명이며, 사용자 수의 증가에 따라 성능이 급격히 열화됨을 볼 수 있다. 시뮬레이션 조건은 데이터율 38.4 kbps, 파일럿 채널 대 트래픽 채널 전력비 0.4 : 9.6 즉, -13.8 dB이며, 채널 추정 길이는 31 pcg 심볼 등이다. 사용자 수가 10명인 경우 신호 대 잡음비의 증가에도 불구하고, 비트 오류율은 10⁻³ 이하로 작아지지 않으며, 성능 향상을 위해서는 다이버시티 등의 기법을 사용하여 성능을 향상시켜야 한다.

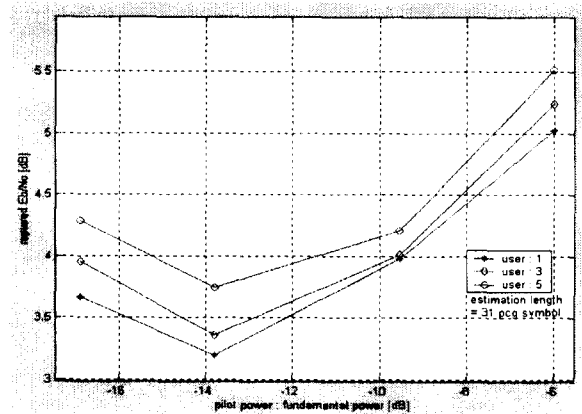


그림 8. 다중 사용자 환경에서의 Required Eb/No(FER=0.01)

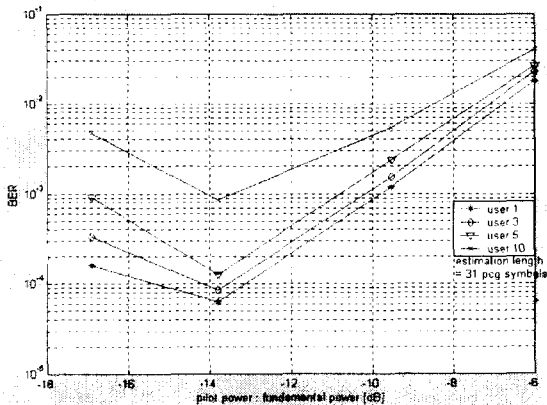


그림 9. 다중 사용자 환경에서의 최적 전력비 (데이터율 9.6 kbps, 수신 $E_b/N_0=4.5\text{dB}$)

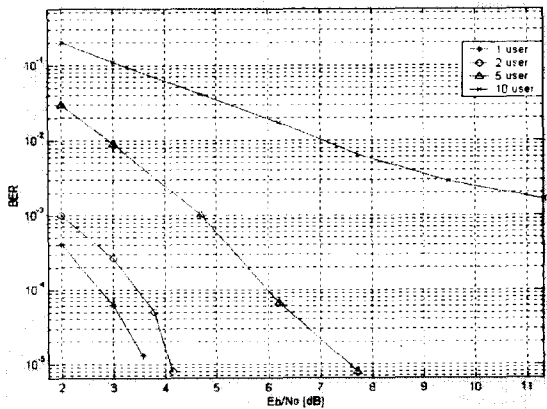


그림 10. 데이터 만을 전송하는 다중 사용자 환경에서의 비트 오류 특성 (데이터 율 38.4 kbps, 채널간 전력비 -13.8 dB, 채널 추정 길이 31 pcg)

IV. 결 론

본 논문에서는 cdma2000 규격을 사용한 CDMA 시스템의 역방향 링크를 시뮬레이션하여 성능 분석과 함께 시스템 설계 파라미터인 채널 간 최적 전력비를 구하였다. 전력 제어를 하지 않았을 경우 파일럿 채널과 fundamental 채널간 전력비가 -9.54 dB일 때 최적의 성능을 보였으며, 전력 제어를 적용하였을 경우에는 -13.8 dB에서 최적의 성능을 보였다. 또한, 다중 사용자 환경에서 프레임 오류 확률 1%를 만족시키기 위한 required E/N_0 를 구하였으며, 채널 추정 길이 31 pcg 심볼을 사용하였을 때 다중 사용자 수에 따른 비트 오류율과 최적 전력비를 구하였다. 38.4 kbps의 고속 데이터를 전송하는 경우 1, 2, 5, 10명에 대한 비트 오류율을 구하였으며, 특히

10명인 경우 신호대 잡음비의 증가에도 불구하고 비트 오류율이 0.001 이하로 작아지지 않아 정상적인 통신을 위해서는 새로운 성능 향상 기법이 필요함을 알 수 있었다. 따라서 향후 해결해야 할 과제로서 간섭 제거기, 다이버시티 등이 적용된 시스템의 성능 분석과 채널 간 전력비에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

접수일자 : 2000. 9. 4 수정완료 : 2001. 1. 15

참고 문헌

- [1] TR45. Physical Standards for cdma2000 Spread Spectrum Systems.
- [2] Michel C. Jeruchim, *Simulation of Communication System*, Plenum, 1992.
- [3] Bernard Sklar, "Rayleigh Fading Channel in Mobile Digital Communication Systems," *IEEE Communication Magazine*, July, 1997.
- [4] Andrew J. Viterbi, *CDMA Principles of Spread Spectrum Communication*, 1995.
- [5] Jae Heung Kim and In Myoung Jeong, "Performance Analysis of DS/CDMA System under Imperfect Power Control," *MICC'97*, 1997, S7.6.1-S7.6.4.
- [6] A. Jalali and A. Chheda, "On Forward Link Power Control in CDMA Systems," *ICC'98*, 1998, pp. 68-71.
- [7] Seung Chan Bang, Jae Ryong Shim, Jung Im Kim, Ki Chul Han, and Hyuckjae Lee, "A Spectrally Efficient Modulation and Spreading Scheme using Orthogonal Channelization and Rotator," *CIC'98*, 1998.
- [8] Jeong S. Ha Jeong G. Lee, Seong R. Kim, and Hun Lee, "Performance Evaluation of a CDMA Wireless Local Loop System," *APCC97*, 1997, pp. 888-892.



김선형 (Kim Sun-Hyung)

正會員

1979년 성균관대학교 전자공학과
공학사

1981년 성균관대학교 전자공학과
공학석사

1987년 성균관대학교 전자공학과
공학박사

1982.9~1983.2 국방과학연구소 연구원

1983.3~1989.2 인덕전문대학 전자과 조교수

1989.3~현재 순천향대학교 정보기술공학부 교수

1998.1~현재 순천향대학교 정보통신창업지원센터 센터장

관심분야: 이동통신, 전자상거래, 통신시스템



강병권 (Kang Byeong-Gwon)

正會員

1986년 연세대학교 전기공학과
공학사

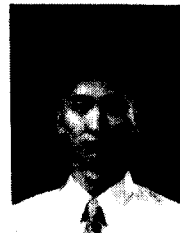
1988년 연세대학교 전기공학과
공학석사

1993년 연세대학교 전기공학과
공학박사

1993.3~1997.8 한국전자통신연구원 이동통신기술연구단
선임연구원

1997.9~현재 순천향대학교 정보기술공학부 조교수

관심분야: CDMA 이동통신, 스펙트럼 확산통신, 통신이론



강성진 (Kang Sung-Jin)

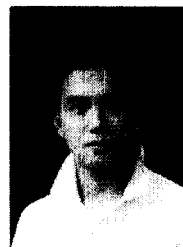
準會員

2000년 순천향대학교 정보통신공학과
공학사

2000.3~현재 순천향대학교

정보통신공학과 석사과정

관심분야: CDMA 이동통신, 스펙트럼 확산통신



박진홍 (Park Jin-Hong)

準會員

2000년 순천향대학교 정보통신공학과
공학사

2000.3~현재 순천향대학교

정보통신공학과 석사과정

관심분야: CDMA 이동통신, 스펙트럼 확산통신, DSP