다중 사용자 환경에서 역방향 링크 동기식 DS-CDMA 시스템의 성능에 관한 연구

강성진 · 박진홍 · 강병권 · 김선형
순천향대학교 정보기술공학부

A Study on Performance of Reverse Link Synchronous DS-CDMA System in Multiuser Environment

Sung-Jin Kang · Jin-Hong Park · Byeong-Gwon Kang · Sun-Hyung Kim
Dept. of Information and Technology, Soonchunhyang University

요 약

본 논문에서는 cdma2000 규격을 채용한 역방향 링크 동기식 DS-CDMA 시스템을 시뮬레이션 하여 시스템의 성능을 분석하였다. cdma2000 시스템은 기존의 IS-95와는 달리 Pilot 채널을 이용하여 페이딩 채널을 추정하고 이를 이용하여 채널 환경에 의한 수신신호의 위상변화를 보상해 준다. 채널 추정길이 31pcg 심볼에서 Pilot 채널과 Traffic 채널의 최적의 전력비를 구하였다. 또한 시스템에 Power Control을 적용하여 Target FER을 만족시키기 위한 required Eb/No를 구하였고, 서로 다른 데이터율의 사용자가 동시에 전송할 때의 성능을 분석하였다.

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 방식은 cdma2000에서는 기존의 방식과 달리 역 방향 링크에 파일럿 심볼을 추가하여 채널을 통과한 신호의 진폭 및 위상의 변화를 추정함으로써 시스템의 성능향상을 이룰 수 있다. 19.2kbps 이상의 고속 데이터 통신에서는 기존의 콘볼루션 코드가 아닌 터보코드가 사용된다. 또한 기존의 IS-95에서의 Traffic 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 설계의 파라미터인 Pilot 채널과 Traffic 채널의 전력비를 구하였으며 다중 사용자 환경에서의 시스템 성능을 분석하였다. 다중 사용자 환경으로써 9.6kbps의 음성만 사용시 사용자 수에 따른 성능을 구하였으며, FER 1%를 만족하는 required Eb/No를 구하였다. 또한 데이터만을 전송하는 경우와 음성 채널 사용자와 데이터 채널 사용자가 혼재하는 경우에서의 최적 채널간 전력비를 구하였다. 2장에서는 동기식 CDMA 시스템의 규격과 송·수신단의 구성, 채널추정 그리고 전력제어방법에 대하여 설명하였으며, 3장에서는 시스템의 시뮬레이션 결과를 비교하였으며 4장에서는 결론을 제시하였다.

II. 동기식 CDMA 시스템

1. cdma2000의 규격

cdma2000 규격에는 무선 형상 (Radio configuration)이 RC1부터 RC6까지 여섯 가지의 형태로 제시되어 있다. 본 논문에서는 RC 3을 선택하여 시뮬레이션을 수행함으로써 고속의 데이터를 전송하는 시스템을 고려하였다.

역방향 Pilot 채널은 각 1.25ms의 power control group(pcg)마다 1536N 개의 PN칩으로 구성되며, 각 pcg마다 1152N 개의 pilot 신호와 384N개의 power control bit(pcb)로 이루어진다. 여기서 N은 spreading rate number이고 1 또는 3의 값을 갖는다.

시스템의 채널 coding으로 rate 1/4에 생성 다항식 g0는 765(octal), g1은 671(octal), g2는 513(octal), g3는 473(octal)인 convolutional encoder를 사용하고 복호 알고리즘으로 Viterbi 알고리즘을 사용하였다. Block interleaver에서 입력 심볼은 0부터 N-1까지 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, $\lfloor x \rfloor$ 는 x와 같거나 x보다 작은 가장 큰 정수를 나타내며, $BRO_m(y)$는 y의 2진수 m-bit의 bit-reversed를 나타낸다.

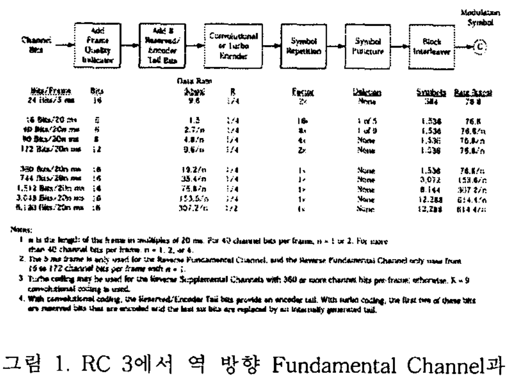

그림 1. RC 3에서 역 방향 Fundamental Channel과 Supplemental Channel의 구조

2. 송신기 구조

그림 2는 cdma2000의 역 방향 링크의 송신단 구조를 나타낸 것이다. 채널을 통과한 신호의 변화를 추정하는데 사용하는 pilot 신호와 데이터 신호인 fundamental과 supplemental 채널 신호는 walsh function $W^{16}{}_4$에 의해 직교 확산되고 bpsk 변조시 pilot 채널과 fundamental과 supplemental 채널로 이루어진 Traffic 채널은 고려된 최적의 전력비에 따라 각각 다른 크기가 곱해진다. 또한 변조된 신호는 long code와 short code가 곱해져 I와 Q신호로 complex spreading(OCQPSK)된다.

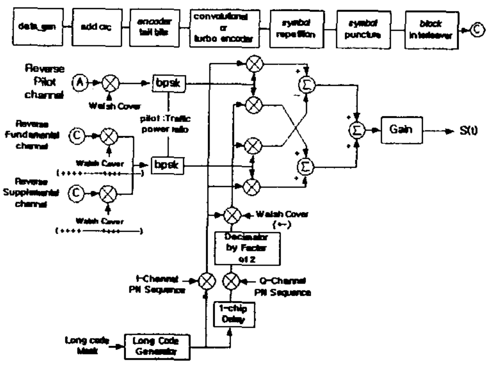

그림 2. 송신기 구조

3. 수신기 구조

그림 3은 수신단의 구조를 나타낸 것으로 pilot 신호를 추정한 결과를 음성과 데이터 신호로 이루어진 Traffic 신호에 적용함으로써 시스템의 성능 향상을 얻을 수 있다.

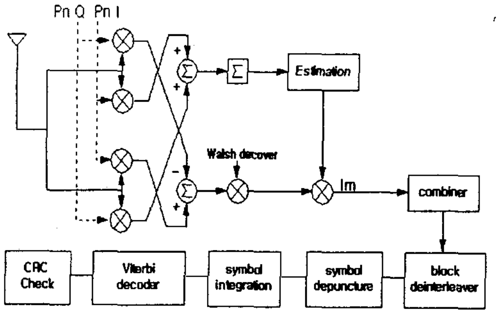

그림 3. 수신기의 구조

4. Channel estimation

cdma2000 시스템에서는 pilot 심볼을 이용하여 채널을 추정하고 이를 이용하여 페이딩에 의한 신호의 위상변화를 보상한다. 즉, 일정 기간동안 전송된 pilot 채널 중 pcb를 제외한 pilot 심볼의 정보를 이용하여 현재 채널을 추정한다. 그러므로 pilot 채널의 전력과 추정 길이는 시스템의 성능에 영향을 주게된다. 또한 inner-loop-power control을 위한 전력 추정은 매 pcg 단위로 적용되므로 이전 pcg의 정보를 사용할 수 없기 때문에 추정 길이가 짧아야하는 반면, 채널 추정 길이는 이전 pcg의 정보도 사용할 수 있기 때문에 그 길이가 길어질 수 있다.

5. Power Control

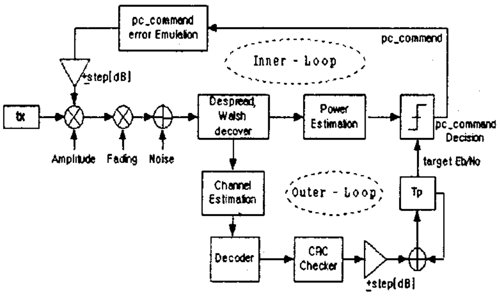

그림 4. Power control Loop

그림 4는 시스템에서 적용한 power control loop이며, inner power control loop는 pilot 신호를 매 pcg 단위로 전력 추정하여 이를 setpoint Eb/No와 비교하여 power control command를 생성한다. 본 시스템에서는 forward link를 대신하여 4%의 power control command 에러율을 사용하였다. Outer power control loop는 CRC checker에 의해 매 프레임의 에러유무를 확인한 후 정해진 1%의 target FER을 만족시키기 위해 setpoint Eb/No를 조절한다.

III. 시뮬레이션 결과

1. 시뮬레이션 파라메타

시뮬레이션에 필요한 파라메타로는 다음과 같은 값을 사용하였다.

사용자 수 : 1, 3, 5, 10
Data rate : 4.8, 9.6, 19.2, 38.4kbps
Code rate : 1/4 Convolutional code
Block interleaver :

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

Chip rate : 1.2288Mcps
PN code : long code : $2^{42}-1$
short code : $2^{15}-1$
Walsh function : W^{16}_4
Estimation lengths : 31 pcg symbol

2. 시뮬레이션 결과

그림 5는 사용자 수가 1명, 3명, 5명인 경우에 대하여 FER 1%에 대한 required Eb/No를 분석한 것이다. 채널 추정 길이로 31 pcg 심볼을 사용하였으며, -13.9dB의 채널간 전력비에서 가장 우수한 성능을 보였다. 사용자 수가 증가함에 따라 거의 선형적으로 required Eb/No가 증가함을 알 수 있다. 여기서, 각 사용자는 모두 9.6 kbps의 fundamental 채널을 사용한다. 그림 6은 사용자가 1, 2, 5, 10 일 경우의 BER 특성과 최적 전력비를 분석한 것이다. 그림 5의 required Eb/No의 경우와 마찬가지로 -13.9dB 에서 최적의 전력비를 보이며 사용자 수의 증가에 따라 거의 선형적으로 성능이 열화된다. 그림 7은 데이터 만을 전송하는 다중 사용자 환경에서의 비트 오율 특성이다. 다중 사용자 수는 1, 2, 5, 10명이며, 사용자 수의 증가에 따라 성능이 급격히 열화됨을 볼 수 있다. 시뮬레이션 조건은 data rate = 38.4 kbps, piot : traffic = 0.4 : 9.6(-13.9dB), estimation length = 31 pcg symbol 등이다. 그림 8은 음성 채널 사용자와 데이터 채널 사용자가 혼재하는 상황에서 기준 사용자인 9.6 kbps 사용자 신호의 비트 오율이다. 각 경우의 비트 레이트 합은 일정하며, 이것은 셀 내에 존재하는 간섭 전력이 일정함을 의미한다. 시뮬레이션 결과 데이터 전송 사용자가 많을수록 전체 사용자의 수는 줄어들고, 비트 오율 성능은 개선됨을 볼 수 있다.

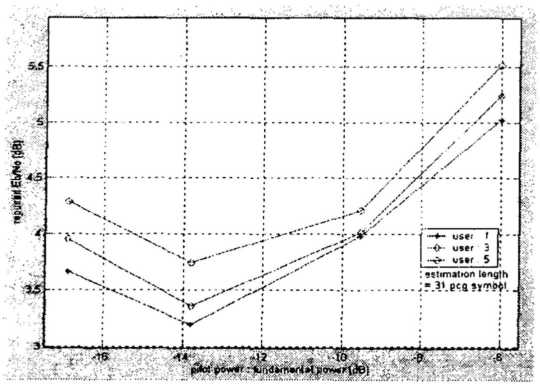

그림 5. 다중사용자 환경에서의 Requied Eb/No (inner power control, FER = 1%)

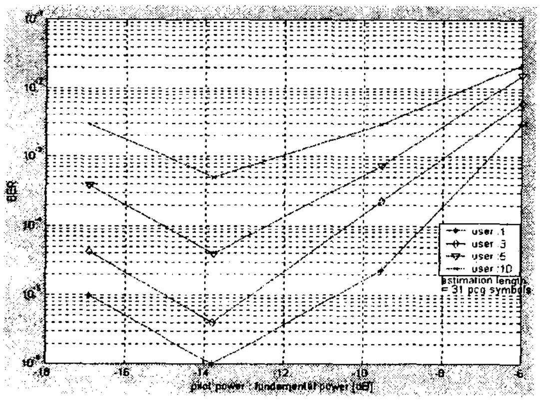

그림 6. 다중사용자 환경에서의 최적 전력비 (inner power control, 9.6kbps, 수신된 Eb/No = 4.77dB)

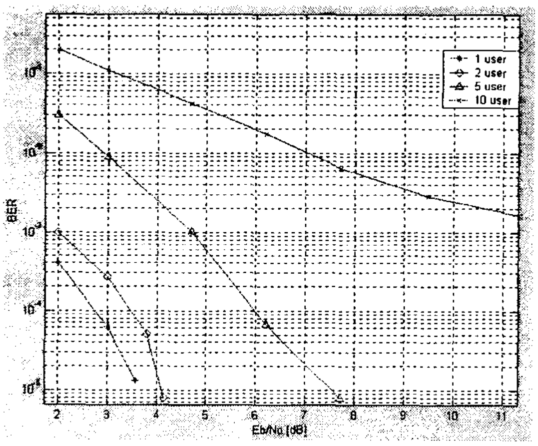

그림 7. 데이터만을 전송하는 다중사용자 환경에서의 비트 오율 특성
(data rate = 38.4kbps, pilot : traffic =0.4 : 9.6(-13.9dB), estimation length 31 pcg symbol)

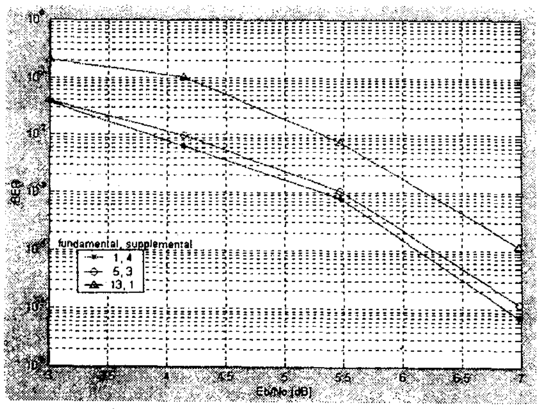

그림 8. 음성채널 사용자와 데이터 채널 사용자가 혼재하는 상황에서의 비트 오율 특성(fundamental = 9.6kbps, supplemental = 38.4kbps, pilot : traffic = 1:9(-9.54dB), estimation length = 31 pcg symbol)

IV 결 론

본 논문에서는 시뮬레이션의 결과로 채널 추정 길이가 31 pcg 심볼에서 pilot 채널과 Traffic 채널의 전력비의 전력비가 0.4 : 9.6 (-13.8dB)일 때 가장 좋은 결과를 얻었고, 데이터 전송시 사용자가 증가할수록 급격한 성능의 저하가 일어남을 볼 수 있었으며, 음성과 데이터 전송이 혼재하는 환경에서는 데이터 전송 사용자가 많을수록 전체 사용자수는 줄고 성능은 개선됨을 볼 수 있었다.

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,” MICC97, 1997, S7.6.1-S7.6.4.