

비동기 DS-CDMA 시스템의 다중 사용자 검파 기법에 관한 연구

신명식*, 전인오*, 양해술*
*호서대학교 벤처전문대학원

e-mail: hsyang@office.hoseo.ac.kr

Multiuser Detection Technique in Asynchronous DS-CDMA System

Myung-Sik Shin*, In-Oh, Jeon*, Hae-Sool, Yang*
*Graduate School of Venture, Hoseo University

요 약

본 논문에서는 MAI 제거 기법으로서 다단병렬간섭제거기 (MPIC : Multistage Parallel Interference Canceller) 와 부분 다단병렬간섭제거기 (partial MPIC) 및 다치진폭계수를 이용한 MPIC를 채용한 비동기 (asynchronous) DS-CDMA/M-ary QAM 시스템의 성능 개선을 이론적으로 분석하고 이를 검증하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 연구결과에서 MPIC, partial MPIC 및 다치진폭계수를 이용한 MPIC를 실제 시스템에 적용하여 구현할 경우 BER 성능, 채널용량 개선, 신호처리 계산량 및 하드웨어 복잡도 사이에 타협 (trade-off) 이 필요하다.

1. 서 론

현재 국내에서 무선·이동통신방식으로 사용 중인 DS-CDMA (Direct Sequence-Code Division Multiple Access) 시스템은 여러 사용자가 동시에 동일 주파수 대역을 사용하는 특징으로 인해 다중접속간섭 (MAI : Multiple Access Interference) 이 필연적으로 발생한다[8]. 스마트 안테나는 MAI를 현저히 감소시킬 수 있는 기법이지만 현재 사용하고 있는 시스템에 적용할 경우 기지국 시스템을 변경 또는 교체해야 하는 문제점을 안고 있으며 많은 비용이 소요되기 때문에 아직까지는 상용 시스템에 적용하지 못하고 있다[9, 11]. 본 연구에서는 비동기 (asynchronous) DS-CDMA/M-ary QAM 시스템의 성능 개선을 이론적으로 분석하고 이를 검증하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행을 통해 MPIC, partial MPIC 및 다치진폭계수를 이용한 MPIC를 실제 시스템에 적용하여 구현할 경우 BER 성능, 채널용량 개선, 신호처리 계산량 및 하드웨어 복잡도 사이에 타협 (trade-off) 이 필요하다.

2. DS-CDMA 시스템 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 DS-CDMA/M-ary QAM 시스템의 성능 개선 기법으로서 MPIC와 partial MPIC 및 다치진폭계수를 이용한 MPIC를 채용하고 성능 분석을 위하여 수치계산과 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한다 [42],[44]. 수치계산 및 컴퓨터 시뮬레이션에서 채널추정과 전력제어는 완벽하다고 가정하고 변조방식은 4 QAM, 16 QAM 및 64

QAM을 고려한다.

컴퓨터 시뮬레이션에서 사용된 파라미터를 표 1에 나타낸다. 채널환경은 시스템 내부잡음인 AWGN과 간섭사용자에 의한 MAI가 존재하는 환경을 설정한다. 검파방식은 동기검파를 고려하며 각 사용자의 확산코드 (PN코드) 는 길이 127인 랜덤 열 (random sequence) 을 사용한다. 비동기 CDMA 시스템에서 확산된 각 사용자 신호는 1 비트주기 혹은 1 칩 주기보다 작은 시간적인 지연을 가지고 수신기에 입력되고 수신된 각 사용자 신호의 시간지연 분포는 1 비트 주기내에서 균등분포 (uniform distribution) 하는 것으로 가정한다. 시뮬레이션에서 이러한 시간지연의 영향을 고려하기 위해 1 칩 주기내에서 일정한 시간간격의 표본 수가 4개가 되도록 한다.

(표 1) 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 파라미터

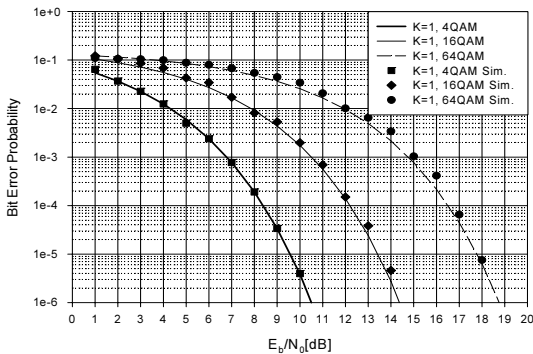
함 수	적용 환경 및 값
채 널 환 경	AWGN 및 MAI
검 파 방 식	동기(coherent)
변 조 방 식	4 QAM, 16 QAM, 64 QAM
확 산 코드 길이	127
확 산 코드	불규칙 열(Random Sequences)
칩 당 표 본 수	4 sample/chip
사 용 자 수	31, 1~150
간섭제거단 수	3단(3 stage)
부분간섭제거계수	0.5(두 번째 단), 1(세 번째 단)
다 치 진폭 계수	각 변조방식의 평균진폭을 적용 : 16 QAM = 2d, 64 QAM = 4d
발 생 심 불 수	최대 10 ⁸ : 각 E _b /N ₀ 에서 오류가 100개 발생할 때까지

본 논문에서 수행한 시뮬레이션에서 최종적으로 구하는 BER은 각 E_b/N_0 에서 에러가 100개 발생할 때까지 심볼을 발생하여 구한 것으로서 최대 10^8 개까지 발생한다.

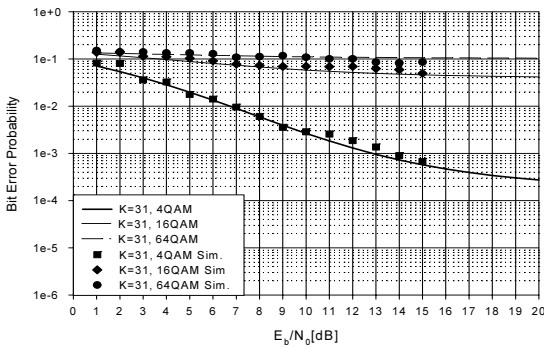
3. 수치계산 및 시뮬레이션 결과

3.1 AWGN환경에서의 성능 분석 결과

(그림 1) 및 (그림 2)은 M-ary QAM 신호와 DS-CDMA/M-ary QAM 시스템의 수치계산과 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 E_b/N_0 에 따른 BER로 나타낸 것이다.



(그림 1) M-ary QAM 신호의 BER 성능



(그림 2) DS-CDMA/M-ary QAM 시스템의 BER 성능
 3.2 다단병렬간섭제거기에 의한 성능 개선 결과 다단병렬 간섭제거기 (MPIC) 를 채용하는 경우 4 QAM, 16 QAM 및 64 QAM 방식을 사용한 DS-CDMA 시스템의 수치계산과 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 E_b/N_0 에 따른 BER로 나타낸 것이다. 수치계산결과를 정량적으로 분석하기 위하여 $BER=10^{-6}$ 을 달성하는데 요구되는 E_b/N_0 는 다음과 같다.

(표 2) MPIC에 의한 BER 성능 개선($BER=10^{-6}$, $K=31$)

종류	변조방식		4 QAM	16 QAM	64 QAM
	stage	수			
MPIC	s=1	(no canceller)	달성불가	달성불가	달성불가
	s=2		약 11.5 dB	약 19.7 dB	달성불가
	s=3		약 10.9 dB	약 15 dB	약 20.5 dB
AWGN 채널($K=1$)			약 10.4 dB	약 14.3 dB	약 18.8 dB

QAM, 16 QAM 및 64 QAM 방식을 사용한 DS-CDMA 시스템에서 MPIC를 채용하는 경우의 채널용량 개선을 나타낸 것이다. 4 QAM, 16 QAM 및 64 QAM 방식을 사용한 DS-CDMA 시스템에서 MPIC를 채용하는 경우의 채널용량 개선을 나타낸 것이다. 이것의 수치계산 결과를 정량적으로 분석하기 위하여 $E_b/N_0 = 20$ dB에서 $BER=10^{-6}$ 을 달성하는 사용자 수를(표 3)에 정리하여 나타낸다.

(표 3) MPIC 채널용량 개선($BER=10^{-6}$, $E_b/N_0=20$ dB)

종류	변조방식		4 QAM	16 QAM	64 QAM
	stage	수			
MPIC	s=1	(no canceller)	약 16명	약 3명	약 1명
	s=2		약 76명	약 31명	약 10명
	s=3		약 128명	약 71명	약 30명

3.3 부분 다단병렬간섭제거기에 의한 성능 개선 결과

다단병렬간섭제거기 (partial MPIC) 를 채용하는 경우 4 QAM, 16 QAM 및 64 QAM 방식을 사용한 DS-CDMA 시스템의 수치계산과 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 E_b/N_0 에 따른 BER로 나타낸 것이다. BER 성능을 정량적으로 분석하기 위하여 $BER=10^{-6}$ 을 달성하는데 요구되는 E_b/N_0 를 나타내면 다음과 같다.

(표 4) Partial MPIC에 의한 BER 성능 개선($BER=10^{-6}$, $K=31$)

종류	변조방식		4 QAM	16 QAM	64 QAM
	stage	수			
Partial MPIC	s=1	(no canceller)	달성불가	달성불가	달성불가
	s=2		약 20 dB	달성불가	달성불가
	s=3		약 11 dB	약 16.3 dB	달성불가
AWGN 채널($K=1$)			약 10.4 dB	약 14.3 dB	약 18.8 dB

4 QAM, 16 QAM 및 64 QAM 방식을 사용한 DS-CDMA 시스템에서 partial MPIC를 채용하는 경우의 채널용량 개선을 나타낸 것으로서 $E_b/N_0 = 20$ dB에서 $BER=10^{-6}$ 을 달성하는 사용자 수를 정리하여 (표 5)에 나타낸다.

(표 5) Partial MPIC의 채널용량 개선($BER=10^{-6}$, $E_b/N_0=20$ dB)

종류	변조방식		4 QAM	16 QAM	64 QAM
	stage	수			
Partial MPIC	s=1	(no canceller)	약 16명	약 3명	약 1명
	s=2		약 31명	약 6명	약 1명
	s=3		약 107명	약 45명	약 14명

3.4 다차 진폭계수를 이용한 병렬 간섭 제거기에

의한 성능 개선 결과

다치 진폭계수를 이용한 MPIC에서는 극성 판정값을 기반으로 수신신호에서 MAI를 제거한다. 또한, 다치 진폭을 갖는 신호를 이용하기 때문에 16 QAM과 64 QAM을 고려하고 4 QAM은 본 절에서 고려하지 않는다.

16 QAM과 64 QAM을 사용한 시스템에서 극성 판정 BER을 나타낸 것으로서 이의 결과를 간략하게 (표 6)에 나타낸다.

(표 6) 극성 판정과 심볼판정 BER 성능 비교($E_b/N_0=15$ dB)

채널환경	판정방법	16 QAM	64 QAM
AWGN (K=1)	극성 판정	1.0×10^{-7}	3.3×10^{-4}
	심볼 판정	1.8×10^{-7}	7.7×10^{-4}
MAI (K=31)	극성 판정	3.2×10^{-2}	5.9×10^{-2}
	심볼 판정	4.6×10^{-2}	1.1×10^{-1}

다치 진폭계수를 이용한 MPIC를 채용하는 경우 16 QAM과 64 QAM 방식을 사용한 DS-CDMA 시스템의 수치계산과 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 E_b/N_0 에 따른 BER로 나타낸 것이다. 이의 결과를 (표 7)에 나타낸다.

(표 7) 다치 진폭계수를 이용한 MPIC에 의한 BER 성능 개선 ($BER=10^{-6}$, K=31)

종류	변조 방식 stage 수	16 QAM	64 QAM
		다치진폭계수를 이용한 MPIC	s=1 (no canceller) 달성불가
	s=2	약 20 dB	달성불가
	s=3	약 15.5 dB	약 25 dB
AWGN 채널(K=1))		약 14.3 dB	약 18.8 dB

다치 진폭계수를 이용한 MPIC를 채용한 경우 16 QAM과 64 QAM 방식을 사용한 DS-CDMA 시스템의 채널용량 개선을 나타낸 것으로서 $E_b/N_0 = 20$ dB에서 $BER=10^{-6}$ 을 달성하는 최대 사용자 수를 정리하여 (표 8)에 나타낸다.

(표 8) 다치 진폭계수를 이용한 MPIC에 의한 채널용량 개선 ($BER=10^{-6}$, $E_b/N_0=20$ dB)

종류	변조 방식 stage 수	16 QAM	64 QAM
		다치진폭계수를 이용한 MPIC	s=1 (no canceller) 약 3명
	s=2	약 14명	약 2명
	s=3	약 56명	약 18명

4. 간섭제거모델별 개선의 비교분석

본 연구에서는 3가지 형태 (MPIC, partial MPIC 및 다치 진폭계수를 이용한 MPIC) 의 병렬간섭제거기법에 대한 성능 개선을 비교·분석한다. 4 QAM, 16 QAM 및 64 QAM을 사용한 경우 3가지 형태의 간섭제거기법에 의한 BER 성능 개선을 나타낸 것으로서 이에 대한 결과를 (표

9)에 나타낸다.

(표 9)의 결과에서 MPIC 3단 (s=3) 과 AWGN 채널 (K=1) 에서 요구되는 E_b/N_0 차이는 각각 0.5 dB, 0.7 dB, 1.7 dB로서 MPIC 3단을 적용하여 간섭사용자 30명에 대한 MAI가 대부분 제거됨을 알 수 있다. Partial MPIC와 MPIC의 성능을 3단에서 비교하면 4 QAM과 16 QAM에서 요구되는 E_b/N_0 차이가 0.1 dB, 1.3 dB로 비슷하다. 64 QAM에서는 MPIC 3단에서 BER 10^{-6} 을 달성할 수 있지만 partial MPIC는 간섭제거과정을 한 번 더 수행 (s=4) 해야 가능할 것이다. Partial MPIC는 1단 (s=1 : no canceller) 을 기준으로 $C_k=0.5$ 를 사용하여 MAI를 제거하는 2단 (s=2) 에서의 BER 성능 개선이 MPIC 2단 보다 작다. 특히, 64 QAM에서는 1단의 BER 성능이 매우 좋지 않기 때문에 partial MPIC 2단에서의 BER 성능 개선은 매우 작게 나타난다. 따라서, partial MPIC는 3단 (s=3) 에서 간섭신호 추정에러확률이 MPIC 3단 보다 크게 되므로 인해 3단에서의 간섭제거능력이 MPIC 3단에 비해 떨어지게 된다. 이러한 현상은 ary 레벨 M이 증가함에 따라 AWGN 채널의 BER 성능이 급격히 열화되기 때문에 더욱 심화된다. 다치진폭계수를 이용한 MPIC를 사용한 경우 BER 성능 개선은 MPIC보다는 작고 partial MPIC보다는 크게 나타난다. 표 5.9에서 16 QAM을 사용한 경우 3단 (s=3) 의 결과와 AWGN 채널 (K=1) 에서 요구되는 E_b/N_0 차이를 보면 MPIC는 약 0.7 dB, partial MPIC는 약 2 dB 그리고 다치 진폭계수를 이용한 MPIC가 1.2 dB로서 MAI 제거에 의한 BER 성능 개선은 MPIC가 가장 크다. 다치진폭계수를 이용한 MPIC는 성능 개선 폭이 MPIC 보다 작지만 partial MPIC에 비해서는 크다. 64 QAM 방식을 사용한 경우도 BER 성능 개선은 MPIC가 가장 크고 partial MPIC가 가장 작다. Partial MPIC와 다치진폭계수를 이용한 MPIC의 하드웨어 복잡도가 비슷한 것을 고려하면 QAM 방식을 사용하는 시스템에서 다치진폭계수를 이용한 MPIC가 partial MPIC 보다 효과적임을 알 수 있다.

(표 9) 3가지 간섭제거기법에 따른 BER 성능 개선 ($BER=10^{-6}$, K=31)

종류	변조 방식 stage 수	4 QAM	16 QAM	64 QAM
		No canceller	s=1 달성불가	달성불가
MPIC	s=2	약 11.5 dB	약 19.7 dB	달성불가
	s=3	약 10.9 dB	약 15 dB	약 20.5 dB
Partial MPIC	s=2	약 20 dB	달성불가	달성불가
	s=3	약 11 dB	약 16.3 dB	달성불가
다치진폭계수를 이용한 MPIC	s=2	-	약 20 dB	달성불가
	s=3	-	약 15.5 dB	약 25 dB
AWGN 채널(K=1))		약 10.4 dB	약 14.3 dB	약 18.8 dB

4 QAM, 16 QAM 및 64 QAM을 사용한 경우 3가지 형태의 간섭제거기법에 의한 채널용량 개선을 나타낸 것으로서 이에 대한 결과를 표 10에 나타낸다.

(표 10) 3가지 간섭제거기법에 따른 채널용량 개선
(BER=10⁻⁶, E_b/N₀=20 dB)

종류	변조방식		4 QAM	16 QAM	64 QAM
	stage	수			
(No canceller)	s=1		약 16명	약 3명	약 1명
MPIC	s=2		약 76명	약 31명	약 10명
	s=3		약 128명	약 71명	약 30명
Partial MPIC	s=2		약 31명	약 6명	약 1명
	s=3		약 107명	약 45명	약 14명
다치진폭계수를 이용한 MPIC	s=2		-	약 14명	약 2명
	s=3		-	약 56명	약 18명

(표 10)에서는 간섭제거기법을 채용하여 단 (stage) 수가 증가할수록 더 많은 사용자의 수용이 가능함을 보여준다. 이는 통신시스템의 채널용량이 개선되는 것으로서 MPIC는 1단을 기준으로 3단에서 4 QAM 112명, 16 QAM 68명, 64 QAM 29명의 채널용량을 개선하고 partial MPIC는 3단에서 4 QAM 91명, 16 QAM 42명, 64 QAM 13명의 채널용량을 개선한다. 또한, 다치 진폭계수를 이용한 MPIC는 16 QAM에서 53명, 64 QAM에서 17명의 사용자를 더 수용할 수 있다. 16 QAM에서 3단을 기준으로 3가지 형태의 간섭제거기법을 채용한 경우 채널용량을 비교하면 MPIC 68명, partial MPIC 42명, 다치 진폭계수를 이용한 MPIC 53명으로서 MPIC를 채용할 때 채널용량 개선이 가장 크고 partial MPIC를 채용한 경우가 가장 작다.

(표 9)와 (표 10)의 결과로부터 MPIC는 partial MPIC와 다치 진폭계수를 이용한 MPIC 보다 큰 BER 성능 개선을 가지며 더 많은 채널용량 개선을 달성함을 알 수 있다. 그러나, MPIC는 다른 2가지 간섭제거기법에 비하여 간섭제거과정의 계산량이 많은 단점이 있다. MPIC의 경우 추정된 MAI를 수신신호에서 빼주는 간섭제거과정이 각 사용자마다 존재하기 때문에 계산량은 사용자 수 K의 제곱에 비례하여 증가한다. 이에 반해 partial MPIC와 다치 진폭계수를 이용한 MPIC에서는 간섭제거에 필요한 계산량이 사용자 수 K에 비례한다. 따라서, M-ary QAM을 사용하는 시스템에서 3가지 형태의 병렬간섭제거기법을 채용하는 경우 성능 개선 결과만을 고려하면 MPIC가 가장 효과적이지만 하드웨어 복잡도를 동시에 고려할 때는 다치 진폭계수를 이용한 MPIC가 가장 효과적인 구조를 갖는다.

(표 11) 3가지 간섭제거기법에 대한 계산량 비교

종류	간섭제거과정의 계산량	비교
MPIC	사용자수 K 제곱에 비례	
Partial MPIC	사용자수 K에 비례	
다치진폭계수를 이용한 MPIC	사용자수 K에 비례	Partial MPIC에 비해 판정단이 추가됨

5. 결론

본 논문에서는 AWGN과 MAI환경으로 모델링되는 무선채널에서 DS-CDMA/M-ary QAM 시스템의 오율특성을 분석하고, 성능 개선기법으로서 MPIC, partial MPIC 및 다치 진폭계수를 이용한 MPIC를 채용하는 경우의 성

능 개선 정도를 이론 해석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 정량적으로 분석하였다.

M-ary QAM을 사용하는 시스템에서 3가지 형태의 병렬간섭제거기법을 채용하는 경우 성능 개선 결과만을 고려하면 MPIC가 가장 효과적이지만 하드웨어 복잡도를 동시에 고려할 때는 다치 진폭계수를 이용한 MPIC가 효과적인 구조를 갖는다. 결과적으로, MPIC, partial MPIC 및 다치 진폭계수를 이용한 MPIC를 실제 시스템에 적용하여 구현할 경우 BER 성능, 채널용량 개선, 신호처리 계산량 및 복잡도 사이에 타협 (trade-off) 이 필요하다.

참고 문헌

- [1] L. J. Sam and L. E. Miller, *CDMA System Engineering Handbook*, Boston · London : Artech, 1998.
- [2] L. B. Milstein, "Wideband code division multiple access," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, no. 8, pp. 1344-1354, Aug. 2000.
- [3] K. S. Schilling, et al., "Optimum detection of code division multiplexed signals," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-15, no.1, pp. 181-185, Jan. 1979.
- [4] S. Verdú, *Optimum multi-user signal detection*, Ph. D. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Coordinated Science Laboratory, Urbana, Illinois, Sep. 1984.
- [5] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons, 2000.
- [6] 3G. TS 25.213 v3.2.0, "Spreading and modulation (FDD)," Mar. 2000.
- [7] A.-L. Johansson and A. Svensson, "Multistage interference cancellation in multirate DS/CDMA on a mobile radio channel," in *Proc. IEEE VTC '96, Atlanta, Georgia*, no. 5, pp. 666-670, Apr. 1996.
- [8] J. C. Liberti and T. S. Rappaport, "Analytical results for capacity improvements in CDMA," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 680-690, Aug. 1994.
- [9] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L.A. Weaver, Jr., and C. E. Wheatley III, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.40, no.2, pp. 303-312, May 1991.
- [10] U. Madhow and M. Honig, "MMSE interference suppression for direct-sequence spread spectrum CDMA," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 41, pp. 285-290, Feb. 1993.