

W-CDMA TDD 방식에서의 효율적 간섭 제거 기법

조 영 보, 고 균 병, *권 동 승, *정 인 철, 강 창 언, 홍 대 식
연세대학교 전기전자공학과, *한국전자통신연구원
전화 : 02-361-3558 / 팩스 : 02-312-4887

Effective Interference Cancellation method on W-CDMA TDD System

Youngbo Jo, KyunByoung Ko, *Dongseung Kwon, *In Cheol Jeong,
Changeon Kang and Daesik Hong
Dept. of Electrical and Electronic Engin., Yonsei Univ., *ETRI
E-mail : apt222@sunlight.yonsei.ac.kr

Abstract

In TD-CDMA system, multi-user interference degrades the system performance. In this paper, we propose a effective multi-user detection algorithm applicable to TDD mode. We certify a channel estimation capacity by using midamble and performance of the proposed multistage interference canceller in the system complex aspect. In computer simulations, it is verified that proposed algorithm has lower complexity and better performance than conventional multi-user interference cancellation in Rayleigh fading channel.

I. 서론

다양한 이동 통신 서비스에 대한 수요증가와 무선 통신 기술의 발전에 따라 대규모의 이동 통신 시장의 창출이 예상되고 있다. 특히 이동 단말기를 이용한 무선 인터넷 시장은 급격히 확대될 것으로 예상된다. 이러한 인터넷 서비스는 순방향 링크와 역방향 링크의 데이터 전송량이 비대칭적인 특징을 갖는다. 이러한 비대칭 고속 데이터 서비스를 제공하는 측면에서 TDD 방식이 FDD 방식보다 효율적으로 주파수 자원을 사용하는데 유리하다. UTRA TDD 모드에서는 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하여 이러한 비대

칭 서비스에 적합한 구조로 표준화 작업이 진행되고 있다. FDD에 대한 TDD의 장점은 링크간 같은 주파수 대역을 사용한다는 특성에 의해 주어진다. 이러한 특성으로 인해 전력 제어, 'Pre-distortion', 'Pre-Rake' 및 'Transmit diversity' 등의 효율적인 여러 기술들의 적용이 가능하다. 이러한 기술들은 단말기의 복잡도를 줄임으로써 가격 경쟁력을 높여준다. 그러나, TDD 시스템에서는 전송 데이터가 비대칭적이므로 기지국간 동기와 동적인 자원 할당이 필요하다는 단점이 있다. 그리고, 빠른 시변 채널에서는 기존의 SIR 기반의 빠른 전력 제어를 적용할 수 없다[4]. 또한, 일반적인 CDMA 시스템에서처럼 다중 접속 간섭(MAI)은 시스템 성능을 크게 저하시킨다. 그러므로 이러한 단점들을 보완하고 시스템 성능을 향상시키기 위한 다른 기술들의 적용을 필요로 하고 있다. 특히, TDD 모드에서는 FDD에 비해 상대적으로 낮은 확산계수의 OVFSF 코드(최대 16 칩)를 사용하기 때문에 다중 사용자 검파(MUD) 기법의 적용 가능성이 크다고 할 수 있다[5].

본 논문에서는 TDD 방식에서 적용될 수 있는 효율적인 다중 사용자 간섭 제거 기법(IC)을 제안하고 그 성능을 알아본다.

II장에서는 UTRA TDD 모드의 기본적인 내용을 기술하였고, III장에서는 제안된 간섭 제거 기법을 설명하고, IV장에서는 모의 실험을 통한 성능을 나타내었으며, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1 TDD 물리채널

W-CDMA TDD 모드는 시분할 다중 접속 방식과 코드 분할 다중 접속 방식을 결합하였다. 그러므로, 다른 사용자들의 신호는 시간 영역과 코드 영역에서 구분된다. TDD에서 모든 물리 채널은 'System frame numbering(SFN)', 'Radio frames', 'Time slots'의 3계층 구조를 갖는다. TDMA 프레임은 10ms의 주기를 가지며 각 주기마다 2560칩으로 구성된 15개의 시간 슬롯으로 분할된다. 이런 구조는 그림 1 과 같다. 또한 각 시간 슬롯에는 두 개의 데이터 심벌 부분과 midamble, 그리고 보호구간으로 나뉜다.

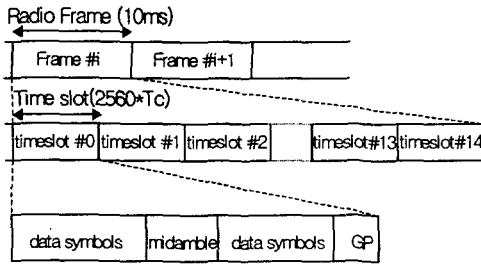


그림 1 물리 채널 신호 포맷

2.2 변조와 확산

UTRA TDD에서의 데이터 변조는 QPSK 방식이다. 변조된 데이터 심벌들은 고유한 'channelization code'로 확산되게 된다. 이 때 상향 링크에서는 16, 8, 4, 2, 1 그리고 하향 링크에서는 16 또는 1의 확산 계수를 갖게 되면 FDD 모드에서와 마찬가지로 OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) 코드를 사용한다. 이 신호는 3.84Mcps(FDD 기본 chip rate와 같은 경우) 또는 1.28Mcps(low chip rate)의 chip rate를 가지며 여기에 chip-by-chip으로 복소 'scrambling code'가 곱해지게 된다. 'channelization code'와 'scrambling code'의 곱셈 결합은 사용자 또는 셀을 구분하는 과정이다. 마지막으로, 각각의 chip에 펄스형 필터링을 하여 전송하게 된다. 그림 2 는 UTRA TDD에서 변조기의 구조이다.

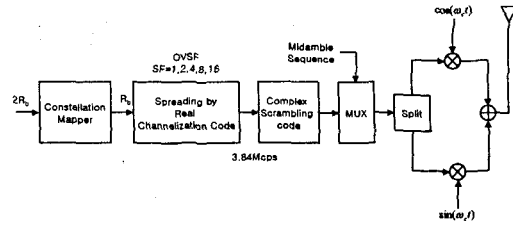


그림 2 변조기 구성도

2.3 미드앰블

같은 셀 내의 같은 시간 슬롯의 다른 사용자들의 'training sequences(midambles)'는 하나의 'basic midamble code'의 주기적으로 이동된 형태들이다. 사용되는 'basic midamble code'는 총 128개이며 'burst' 형태에 따라 각기 다르게 사용된다. 이렇게 만들어진 midamble code들은 channelization이나 scramble과 상관없이 전송된다. 이렇게 전송된 midamble은 수신 단에서는 채널 추정기를 통해 채널 정보를 얻어내는데 이용된다.

III. 제안된 다중 사용자 검파 기법

Midamble을 이용한 기본적인 채널 추정 기법은 다중 사용자와 다중경로에 의한 간섭 성분에 의해 성능이 저하된다. 본 논문에서는 이러한 문제점의 극복을 위해 midamble을 이용한 채널 추정기에 간섭 제거 기법을 적용하였다. 이러한 midamble 간섭 제거 채널 추정기의 블록도는 그림 3 과 같고 그 동작은 다음과 같다. 역방향 링크에서 사용자의 수가 K명이고 각 사용자 신호에 대한 다중 경로수가 L이라고 할 때, 각 사용자에 대해 레이크 수신기를 사용하는 기지국에서는 KL개의 경로성분에 대한 채널 추정 과정을 수행하게 된다. 그림 3 에서 음영으로 표시된 부분이 이러한 일반적인 채널 추정기를 의미한다. midamble 간섭제거 채널 추정기에서는 KL개의 채널 추정 값들로부터 각각의 채널에 해당하는 midamble을 재생성하고, 시간 지연된 수신 midamble 부분에서 제거하게 된다. 이러한 과정은 그림 3 에서와 같이 계산상의 복잡성을 고려해 모든 간섭성분을 모두 제거하고 원하는 성분에 대해 다시 더하는 것으로 이뤄진다.

W-CDMA TDD 방식에서의 효율적 간섭 제거 기법

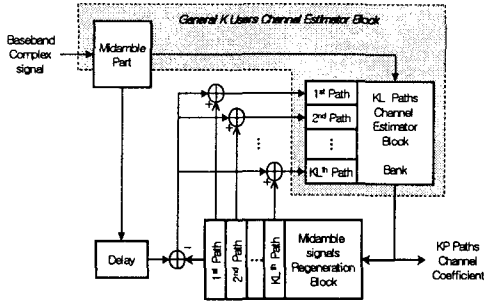


그림 3. 미드앰블 간섭제거 채널 추정기의 블록도

이러한 midamble 간섭제거 추정 알고리즘을 이용하여 정보열에 대한 간섭제거 과정을 효율적으로 수행할 수 있는 알고리즘을 제안하고자 한다. 일반적으로 간섭제거 기법의 가장 큰 문제점은 제거하려고 하는 간섭성분의 신뢰성의 평가라 할 수 있다. 즉, 신뢰성이 낮은 간섭성분의 제거는 간섭성분의 증가를 유발하여 시스템 성능향상 정도를 저하시키게 된다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점의 해결을 위해 제거할 간섭성분의 신뢰정도를 초기의 채널 추정값을 통해 부여하는 알고리즘을 제안하도록 한다. 이러한 알고리즘의 블록도는 그림 4 와 같다.

제안된 알고리즘의 동작은 다음과 같다. 우선 K명 사용자들의 추정된 채널 정보를 이용해 각 사용자의 추정된 채널 정보의 전력을 계산한다. 그리고, 모든 사용자들 전력의 평균을 임계값으로 설정한다. 이러한 임계값과 사용자 각각의 추정된 채널 전력을 비교하여 사용자 신뢰 정도를 판단하게 된다. 만약 신뢰정도가 크다고 판단된 사용자의 신호들은 다음의 간섭제거 단계에서 신호의 재생성 및 제거 과정이 이뤄지게 된다. 반대로 신뢰정도가 낮은 사용자의 경우에는 신호의 재생성 및 제거 과정이 생략된다. 이러한 경우 임계값을 평균값으로 설정하였기 때문에, 대략 전체 사용자의 절반정도에 대해서는 신호의 재생성 및 제거 과정이 생략되게 된다. 즉, KL/2번의 재생성 과정이 생략되며 KL번의 제거과정이 생략되게 된다.

이러한 개념은 기존의 부분 간섭제거 기법(Partial Cancellation)이나 혼합 간섭제거 기법(Hybrid Cancellation)과 유사하다. 그러나, 이러한 기존의 기법에서는 신호 성분에 신뢰성 부여를 위해서 초기 단계의 수신 신호의 대해 'Power ordering'과 같은 부가적인 과정을 수행하거나 수신 신호의 통계적 특성을 일정 구간 관찰하여야 한다[6]. 반면에, TDD 시스템의 경우 정보열의 검출을 위해서 midamble 부분을 이용한 채널 추정이 선행되게 된다. 따라서, 제안된 알고리즘은 채널

추정과정에 따른 정보만을 이용하는 여분의 시간 지연 없이 신호에 대한 신뢰정도를 부여하므로 효율적인 방법이라 할 수 있다.

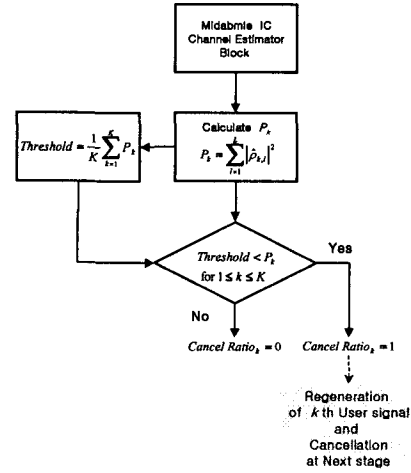


그림 4. 제안된 간섭제거 신뢰성 부여 알고리즘

IV. 모의 실험 결과

제안된 간섭제거 기법의 성능은 Monte-Carlo 모의 실험에 의한 un-coded BER 성능으로 검증하였다. 모의 실험은 UTRA TDD의 uplink에서 TFCI가 없는 버스트 타입 1을 적용하였다. 모든 사용자는 SF=16의 OVFSF 코드를 사용하고 3개의 레일리 분포를 갖는 다중 페이딩 경로를 통과한다고 가정하였다. 또한 모의 실험에서 각 사용자 신호의 동기는 완벽하게 맞았다고 가정하였다. 표 1에서 모의 실험의 환경 변수들을 정리하였다. 사용되는 midamble, 확산 코드 및 스크램블링 코드는 3GPP 규격안[2]의 코드 할당 방법에 따른 것이다.

표 1 모의 실험 환경 파라미터

환경 변수	변수 값
링크	역방향
Spreading Code	길이 16인 OVFSF code
채널 모델	다중 경로 페이딩 채널
변조 방식	복소 QPSK
배경 잡음	AWGN

그림 5는 도플러 주파수(fd)가 112.5Hz이고 사용자가 8

명일 경우의 E_b/N_0 에 대한 평균 BER을 나타낸다. 두 번째 간섭제거 단에서, 10^{-2} 의 BER을 기준으로 할 때 제안된 수신기가 일반적인 수신기보다 1dB의 E_b/N_0 이득이 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 6은 도플러 주파수가 225Hz인 경우의 성능을 나타낸다. 두 번째 간섭제거 단에서, 10^{-2} 의 BER을 기준으로 할 때 제안된 수신기가 일반적인 수신기보다 2.2dB의 E_b/N_0 이득이 있음을 알 수 있다. 이처럼 빠르게 변화하는 채널환경에서는 채널 추정 오류의 영향으로 E_b/N_0 이득이 증가됨을 알 수 있다.

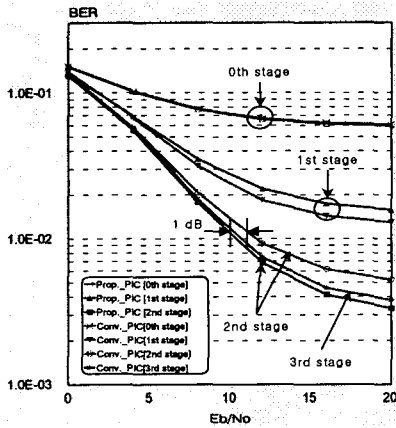


그림 5. 일반적인 PIC 수신기와 제안된 PIC 수신기의 BER 비교. (다중 경로 수 : 3, 사용자 수 : 8, $f_d = 112.5\text{Hz}$)

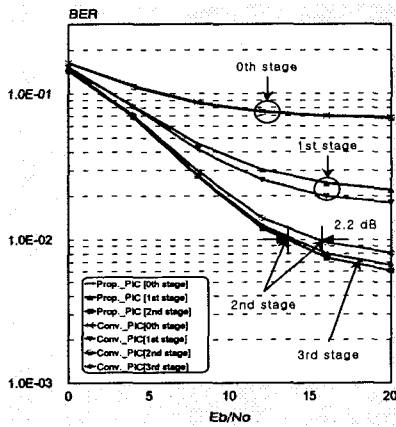


그림 6. 일반적인 PIC 수신기와 제안된 PIC 수신기의 BER 비교. (다중 경로 수 : 3, 사용자 수:8, $f_d=225\text{Hz}$)

V. 결론

본 논문에서는 UTRA TDD 모드에서 복잡도 측면을 고려할 때, 적용이 가능성이 있는 다중 사용자 수신 기법으로 다단계 간섭제거 기법을 적용하였다. 또한 다중경로 레일리 페이딩 채널 환경에서 채널 추정 오류에 의한 성능 저하를 완화시킬 수 있는 효율적인 midamble 간섭제거 채널 추정 기법을 적용하였다. 이를 기반으로 TDD 시스템의 특성을 효율적으로 이용하여 복잡도를 줄일 수 있는 다중 사용자 간섭 제거 알고리즘을 제안하고 그 성능을 모의 실험을 통해 검증하였다.

모의 실험 결과에서, 제안된 수신기는 복잡도를 줄이면서 신뢰성이 있는 사용자의 신호만을 제거하므로 시스템 용량이 증가되는 것을 볼 수 있다.

향후 본 논문의 연구를 기반으로, TDD 시스템이 갖는 특성을 이용하여 선지 왜곡 기법과 'Pre-rake' 기법 등의 신호처리 기법을 다중 사용자 검파 기법과 연계하면 성능 개선을 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 3GPP Technical Specification 25.221 V3.5.0, Physical Channel and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (TDD)
- [2] 3GPP Technical Specification 25.223 V3.5.0, Spreading and Modulation (TDD)
- [3] S. Moshavi, "Multiuser detection for DS-CDMA communication." IEEE Communication Magazine, pp. 124~136, Oct. 1996.
- [4] G. J. R Povey, M. Nakagawa, "A review of time division duplex-CDMA techniques." Spread Spectrum Techniques and Applications, 1998. Proceedings., 1998. pp. 630~633 vol.2, 1998.
- [5] R. Esmailzadeh and M. Nakagawa, "Time division duplex transmission of direct sequence spread spectrum signals in multipath channels.", Vehicular Technology Conference, 1994 IEEE 44th, Vol.3 pp 1572~1576, 1994
- [6] Dimitris Koulakiotis and A. Hamid Aghvami, "Data Detection Techniques for DS/CDMA Mobile Systems:A Review", IEEE Personal Communications, June 2000 pp.24~34, 2000