

# Rayleigh 페이딩 채널에서 복합간섭제거기법을 적용한 WCDMA 시스템의 성능분석

<sup>0</sup> 서 정 욱, <sup>\*</sup> 임 철 호, <sup>\*\*</sup> 최 충 연, <sup>\*</sup> 오 창 현, <sup>\*\*\*</sup> 조 성 준

<sup>\*</sup> 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과

<sup>\*\*</sup> SK 텔레콤 중앙연구원

<sup>\*\*\*</sup> 한국기술교육대학교 정보통신공학과

## Performance Analysis of WCDMA Systems Employing a Hybrid Interference Cancellation Scheme in Rayleigh Fading Channels

<sup>0</sup> Jeong-Wook Seo, <sup>\*</sup> Cheol-Ho Lim, <sup>\*\*</sup> Chung-Yul Choi, <sup>\*</sup> Chang-Heon Oh, <sup>\*\*\*</sup> Sung-Joon Cho

<sup>\*</sup> Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.

<sup>\*\*</sup> SK Telecom Central R&D Lab.

<sup>\*\*\*</sup> Dept. of Inform. & Comm. Eng., Korca University of Tech. & Edu.

### 요 약

본 논문에서는 다양한 QoS와 전송률을 갖는 WCDMA 시스템에 복합간섭제거기법을 적용하여 그 성능을 분석하였다. 전송률이 높은 사용자들은 병렬간섭제거기법이나 복합간섭제거기법을 사용하여 간섭을 제거하는 것이 효과적이며, 전송률이 낮은 사용자들은 순차간섭제거기법이나 복합간섭제거기법을 사용하는 게 효과적이다. 그러나, 순차 및 병렬간섭제거기법과 비교해본 결과 QoS와 전송률에 관계없이 복합간섭제거기법의 성능이 가장 우수함을 알 수 있었다.

### I. 서 론

IMT-2000 서비스는 기존의 이동 전화망이 가지고 있는 음성 및 중, 저속 데이터 위주의 서비스에서 고속의 데이터 전송능력을 확보함으로써 인터넷을 포함한 다양한 데이터 서비스와 유, 무선 통합 서비스를 제공할 수 있고, 전세계적으로 같은 주파수 대역 및 같은 기술을 사용함으로써 세계 어디서나 서비스를 받을 수 있는 새로운 개념의 이동전화 서비스이다. 이러한 서비스를 충족시키기 위한 무선접속규격으로 비동기 방식의 Wideband CDMA (WCDMA) 시스템이 제안되었다. 이 시스템은 DS-SS-CDMA 방식을 기반으로 하며, 최대 2Mbps까지의 전송률을 갖는 다양한 서비스 (음성, 영상, 데이터 등의 멀티미디어 서비스와 패킷 데이터 서비스)를 제공할 수 있다[1],[2]. DS-SS-CDMA 시스템은 동일주파수 대역에서 다수의 사용자가 동시에 접속함으로써 발생하는 다중접속간섭 (MAI : Multiple Access Interference)에 의해 수신기의 성능과 시스템의 용량이 제한되는데, WCDMA 시스템의 경우 각기 다른 서비스 품질을 만족

시켜야 하므로 이러한 간섭현상이 더욱 심화될 것으로 예상된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기술 중의 하나가 다중사용자검파 (multi-user detection) 기술이며 활발히 연구되고 있다[3],[4].

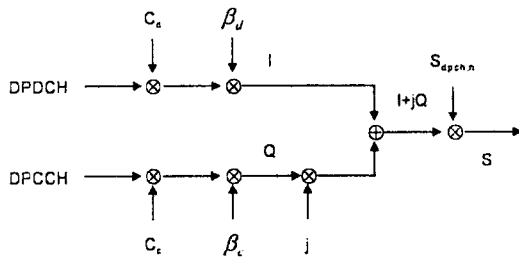
다중사용자검파 기술로 비교적 구조가 간단하고 계산량이 적어 많은 주목을 받고 있는 감산형 간섭제거기법 (subtractive interference cancellation) 은 각 사용자의 수신기에서 다중접속간섭을 추정하고 이를 수신 신호에서 제거해주는 방식으로써 크게 순차/병렬 간섭제거 (successive/parallel interference cancellation) 기법으로 나뉜다[5]. 이 두 가지 기법의 장점을 활용한 복합간섭제거 (hybrid interference cancellation) 기법은 진단에 순차기법을 사용함으로써 원근문제에 강하고 동기획득 및 추적 성능이 좋다. 또한, 후단에 병렬기법을 사용함으로써 수신기의 성능과 시스템의 용량을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 다양한 Quality of Service (QoS) 와 전송률을 갖는 WCDMA 시스템에 복합간섭제거기법을 적용하여 그 성능을 시뮬레이션기법을 통하여 분석한다.

이후 3장에서 해석모델로 WCDMA 시스템을 다루고 3장에서 복합간섭제거기법에 대해 설명하고 4장에서 주파수 비선택성 Rayleigh 페이딩 채널에서 시뮬레이션한 결과를 분석한 다음 5장에서 결론을 맺도록 한다.

## II. WCDMA 시스템

일반적으로 WCDMA 역방향 링크에서 행하는 확산 및 변조과정은 그림 1과 같다[6].



- DPDCH : Dedicated Physical Data Channel
- DPCCH : Dedicated Physical Control Channel
- $C_u$  : OVFS code for DPDCH
- $C_c$  : OVFS code for DPCCH
- $\beta_u$  : Gain factor for DPDCH
- $\beta_c$  : Gain factor for DPCCH
- $S_{dpdch,n}$  : nth DPDCH/DPCCH uplink scrambling code

그림 1. WCDMA 역방향 링크의 확산 및 변조

DPDCH는 최대 6개의 가지를 멀티코드 방식을 사용하여 동시에 전송할 수 있는 반면, DPCCH는 언제나 하나만을 전송한다. WCDMA에서 확산 및 변조과정은 크게 두 가지 과정으로 나눌 수 있다. 그 처음이 채널분류(channelization) 작업으로, 단말기로부터 생성된 데이터(DPDCH) 채널과 컨트롤(DPCCH) 채널에 각각의 독립적인 Orthogonal Variable Spreading Factor (OVFS) 코드를 곱하여 이들을 분류해낸다. 이 OVFS 코드를 사용함으로써 Spreading Factor (SF)를 변화시킬 수 있으며, 길이가 다른 확산코드간에 직교성을 유지할 수 있다. OVFS 코드의 길이는 4~256 칩이다. 4비트로 양자화된 이득계수들을 각 채널에 곱하여 전력을 조절할 수 있으며, 전력차는 -23 dB~0 dB이다. 다음으로 행하는 작업이 scrambling 코드를 곱하는 것인데, 이는 각 단말기를 구분하는 기능을 한다. 여기서 고려한 코드는 길이가

256 칩인 extended S(2) 코드 계열이며, 24비트로 이루어진 코드번호에 따라 사용자마다 다른 코드를 생성할 수 있다. 고속의 전송률을 갖는 서비스일수록 양질의 QoS를 요구한다. 본 논문에서는 모든 사용자의 비트 에너지가 동일하여 전송률이 높은 사용자일수록 전력이 높다고 가정한다. 가장 낮은 전송률을 기준으로 전송률이 이것의 배수가 될 때마다 신호의 전력을 5 dB씩 증가시킨다[7].

## III. 복합간섭제거기법

감산형 간섭제거기법의 내재적인 문제점은 간섭제거를 수행하기 위해 행하는 데이터 임시 판정(tentative decision)이 틀릴 경우 제거해야 할 MAI를 오히려 더하는 오류를 범하게 된다는 것이다. 이로 인해 검토하고자 하는 사용자에 대한 간섭효과는 전력적인 면에서 4배가 되어 성능을 더욱 열화시키는 결과가 초래된다. 뿐만 아니라, 여러 서비스에 대한 QoS를 만족시키기 위해서 각 사용자는 전력을 유동적으로 변화시킬 것이며, 이 신호들을 수신하는 기지국은 원근문제와 유사한 간섭현상을 겪게 될 것이다.

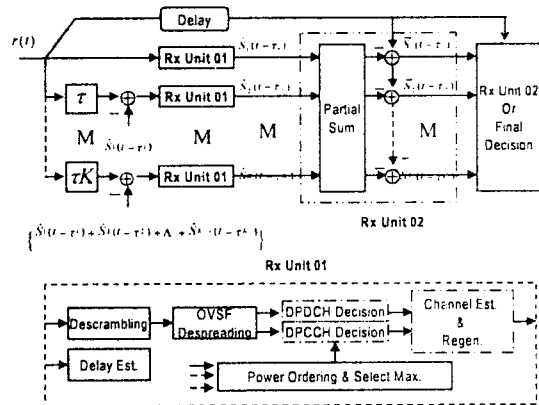


그림 2. 복합간섭제거기법

따라서, 간섭제거기를 구성할 경우 초단에는 위의 현상을 극복할 수 있는 기법 즉, 순차간섭제거기법을 사용하는 것이 타당하다. 그림 2에서 Partial Sum 전단계까지의 처리과정이 순차간섭제거기법이다. 기지국은 Rx unit 01로 각 사용자의 신호를 수신한 후, descrambling, OVSF despreading 작업을 통하여 검파된 신호 중 전력이 가장 센 사용자를 선정하고, 재생성하여 이를 원 수신신호에서 제거한다. 이러한 과정은 그림 2에서 볼 수 있듯이 모든 사용자에 대해 수행된다. 병렬간섭제거를 행하는 주된 이유는 각 사용자의 성능 개선폭을 더 높이기

기 위한 것으로 특히, 전력이 센 사용자의 경우 순차간섭제거만으로는 약한 사용자들에게 받는 간섭을 제거해 줄 수 없어 높은 QoS를 만족시키지 못하는 경우가 발생할 수 있다. Partial Sum와 그 후단이 병렬적으로 간섭을 제거하는 과정이다. 이 Partial Sum은 검파하고자 하는 사용자에게 MAI로 작용하는 타 사용자들의 재생성 신호를 모두 합하는 기능을 하며, 이 합성신호는 다시 원 수신신호에서 제거된다. 그림에서 Rx unit 02로 표현된 것이 병렬간섭제거기이며, 여러 단으로 구성될 수도 있다.

#### IV. 성능분석

시뮬레이션기법으로 성능을 분석하기 위해 본 논문에서는 몇 가지 사항을 가정한다. 먼저, WCDMA 시스템의 확산 및 변조 시 사용되는 이득계수는 모두 1이고, 채널환경은 주파수 비선택성 Rayleigh 채널로써 전송률이 가장 낮은 사용자의 한 심볼 구간 동안 일정하다. 사용자 수는 표 1에서와 같이 총 10명이며, 3개의 그룹으로 나눈다. 수신기에서 각 사용자의 신호는 완벽히 추정된다. 순차간섭제거기법은 전력의 세기에 따라 완벽한 정렬(perfect ranking)이 이루어지며, 병렬간섭제거기법은 한 단만을 사용한다. 성능분석 시 데이터 채널에 대한 각 사용자 그룹의 평균 BER 성능만을 고려한다.

사용자	전송률 (kbps)	SF	Bits/Slot	사용자 수
그룹 A	240	16	160	2
그룹 B	120	32	80	4
그룹 C	30	128	20	4

표 1. 시뮬레이션 파라미터

그림 3은 전송률이 높은 사용자들의 평균 BER 성능을 도시한 것이다. SF가 낮음에도 불구하고 높은 전력으로 송신하기 때문에 다른 사용자 그룹에 비해 성능이 전반적으로 좋다. 이 사용자들에게 순차간섭제거기법을 적용할 경우 간섭제거효과를 거의 얻지 못한다. 왜냐하면, 이들은 수신전력이 높아 정렬과정에서 처음에 위치하게 되어 타 사용자들에게서 받은 간섭을 제대로 제거하지 못하기 때문이다. 반면, 병렬간섭제거기법은 검파하고자 하는 사용자들 제외된 나머지 모든 사용자의 신호를 재생성하여 수신신호에서 제거하는 방식이므로 간섭제거효과가 비교적 크다. 그러나, 간섭제거를 목적으로 전송률이 낮은 사용자들의 데이터를 임시 판정할 때, 이들의 데이터는 많은 양의 간섭을 받아 신뢰성이 낮으므로, 제거과정에서 오히려 간섭을 더하는 결과를 초래할

수 있다. 이에 복합간섭제거기법을 적용하면 전송률이 낮은 사용자의 임시판정 시 신뢰도를 높일 수 있으며, 전송률이 높은 사용자들이 받는 간섭도 제거해 줄 수 있게 된다. 그림을 살펴보면 다른 간섭제거기법에 비해 복합간섭제거기법의 성능이 두드러짐을 알 수 있다.

그림 4를 통해 복합간섭제거기법만이  $10^{-2}$  미만의 평균 BER 성능을 달성할 수 있음을 알 수 있다. 병렬간섭제거기법과 순차간섭제거기법은 BER 성능이 모두  $10^{-1}$  이상이며 병렬간섭제거 과정에서 임시 판정의 신뢰성이 낮은 이유로 순차간섭제거기법의 성능이 조금 우수하다.

그림 5는 그룹 C의 성능을 보여주고 있다. 그림 3과는 달리 순차간섭제거기법에 비해 병렬간섭제거기법의 성능이 떨어진다.  $E_b/N_0$ 가 증가함에 따라 그 폭이 점점 증가함을 알 수 있다. 그림에서 맨 아래쪽에 나타난 복합간섭제거기법의 성능을 살펴보면, 순차간섭제거기법을 적용하는 것보다는 성능 면에서 우수하기는 하지만, 그 차이가 크지 않다. 이것은 복합간섭제거기법의 초단에 사용하는 순차간섭제거기의 정렬과정에서 그룹 C의 전력이 제일 낮아 맨 뒤쪽에 위치하게 되어 대부분의 간섭이 제거되기 때문이다.

#### V. 결론

본 논문에서는 다양한 QoS와 전송률을 갖는 WCDMA 시스템에 복합간섭제거기법을 적용하여 그 성능을 시뮬레이션기법을 통하여 분석하였다. 전송률이 높은 사용자들은 순차간섭제거기법보다 병렬간섭제거기법이나 복합간섭제거기법을 사용하여 간섭을 제거하는 것이 효과적이다. 이는 간섭제거를 목적으로 전송률이 낮은 사용자들의 데이터를 임시 판정할 때, 이들의 데이터는 전송률이 높은 사용자들로부터 많은 양의 간섭을 받아 신뢰성이 낮으므로, 제거과정에서 오히려 간섭을 더하는 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 그러나, 이와 반대로 전송률이 낮은 사용자들의 경우 순차간섭제거기법이나 복합간섭제거기법을 사용하는 게 효과적이다. 시뮬레이션기법을 통해 성능을 분석해 본 결과 QoS와 전송률에 관계없이 복합간섭제거기법을 WCDMA 시스템에 적용하는 것이 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다. 향후 신호의 진폭, 위상, 그리고 시간지연에 대한 추정이 완전하지 않을 때의 성능을 분석하여 보다 진보된 간섭제거 알고리즘을 구현할 예정이다. 또한, WCDMA 시스템에 코딩기술과 간섭제거기술을 함께 사용할 경우에 나타나는 결과를 분석해보고 이 시스템에 적합한 수신기 구조를 제안할 것이다.

참고 문헌

- [1] Tero Ojanperä and Ramjee Prasad, *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*, Artech House, 1998.
- [2] Harri Holma and Antti Toskala, *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons, 2000.
- [3] Tik-Bin Oon, Raymond and Ying Li "Performance of an adaptive successive serial-parallel CDMA cancellation scheme in flat Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. on Vehic. Tech.*, vol. 49, no. 1, pp. 130-147, Jan. 2000.
- [4] S.H. Han and J. H. Lee, "Performance of multi-rate DS/CDMA system with multi-stage partial interference cancellation," in *Proc. IEEE VTC' 2000.*, vol. 2, pp. 765-768, May 2000.
- [5] Shimon Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communications," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 3, no. 4, pp. 124-136, Oct. 1996.
- [6] 3G TS 25.213 v3.2.0, "Spreading and modulation (FDD)," March 2000.
- [7] Markku J. Juntti, "Multiuser detector performance comparison in multirate CDMA systems," in *Proc. IEEE VTC' 98*, vol. 1, pp. 31-35, May 1998.

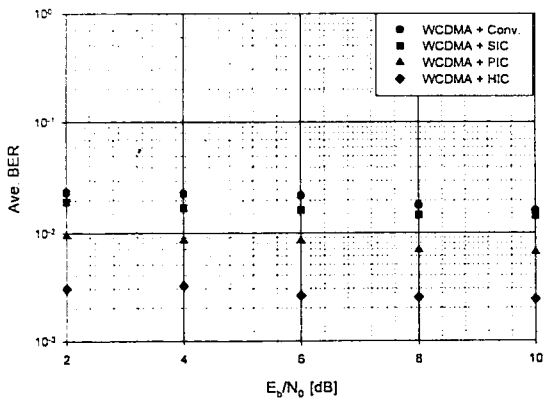


그림 3. 그룹 A의 평균 BER 성능

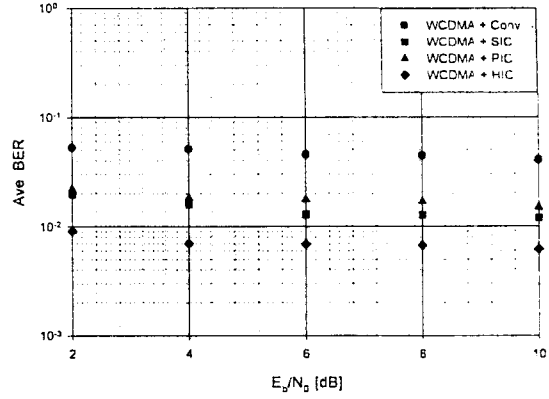


그림 4. 그룹 B의 평균 BER 성능

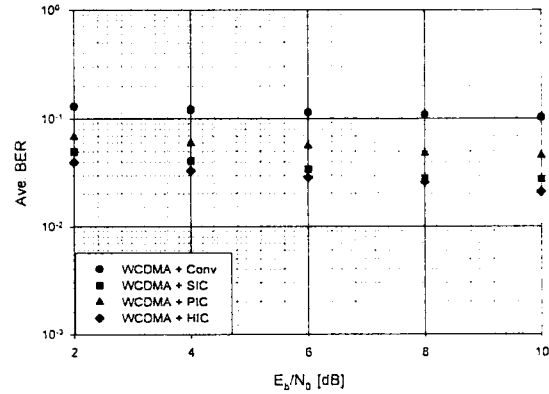


그림 5. 그룹 C의 평균 BER 성능