WCDMA 시스템에서 Hybrid Interference Cancellation 기법을 적용한 다중사용자 검파기의 성능분석

서정욱* · 오창헌** · 장은영*** · 조성준****

Performance Analysis of the Multi-User Detector Employing a Hybrid Interference Cancellation Scheme in a WCDMA System

Jung-Wook Seo* · Chang-Heon Oh** · Eun-Young Chang*** · Sung-Joon Cho****

요 약

본 논문에서는 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 비동기(asynchronous) WCDMA(Wide-band CDMA) 시스템에 HIC(Hybrid Interference Cancellation) 기법의 MUD (Multi-User Detector)를 적용하여 Rayleigh 페이딩 채널에서 BER (Bit Error Rate) 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구하였다. 이 결과를 감산형 간섭제거기법의 대표적인 방식인 SIC(Successive Interference Cancellation) 기법, PIC(Parallel Interference Cancellation) 기법의 BER(Bit Error Rate) 성능과 비교, 분석하였다. 분석한 결과, 전송률이 높은 사용자들은 PIC 기법이나 HIC 기법을 사용하여 간섭을 제거하는 것이 효과적이고, 전송률이 낮은 사용자들은 SIC 기법이나 HIC 기법을 사용하는 게 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 또한, 전송률에 의존하지 않고 모든 사용자의 성능을 고루 만족시키기 위해서는 HIC 구조를 사용하는 것이 효과적이었다. 그 이유로서는 페이딩 채널상의 이유에서 또는 원하는 서비스를 만족시키기 위해서 사용자가 전력을 높일지라도 HIC 기법에서는 전단에 사용하는 SIC에 의해 전력이 낮은 사용자들의 성능을 보장해주고 후단에 사용하는 PIC에 의해 SIC 과정에서 전력이 센 사용자가 받는, 전력이 약한 사용자로부터의 간섭이 효과적으로 제거되기 때문이다.

ABSTRACT

In this paper, in order to know the effect of the interference, we have analyzed the BER (Bit Error Rate) performance of the MUD(Multi-User Detector) employing HIC(Hybrid Interference Cancellation) scheme for the asynchronous WCDMA system based on 3GPP(3rd Generation Partnership Project) Spec. through the In this paper, in order to know the effect of the interference, we have analyzed the BER (Bit Error Rate) performance of the MUD(Multi-User Detector) employing HIC(Hybrid Interference Cancellation) scheme for the asynchronous WCDMA system based on 3GPP(3rd Generation Partnership Project) Spec.

* 전자부품연구원
** 한국기술교육대학교 정보기술공학부
*** 국립천안대학 전자과
**** 한국항공대학교 전자, 정보통신, 컴퓨터공학부

접수일자 : 2002. 4. 11

through the computer simulation. we have assumed Rayleigh fading channel. And we have compared its BER performance with SIC's(Successive Interference Cancellation) and with PIC's(Parallel Interference Cancellation), which are the representative schemes in the subtractive interference cancellation. From the results, it is shown that PIC or HIC is effective for high data-rate users and SIC or HIC for low data-rate users to eliminate the interference. Regardless of the data rate, it is reasonable to use the HIC structure for WCDMA system to satisfy all of users' services. The reason is that the SIC scheme in front of HIC can guarantee the performance of low power users to cancel the serious interference caused by the high power users, while PIC in the rear of it can guarantee the performance of high power users to cancel the interference caused by the low power users.

키워드

WCDMA, MUD, Interference Cancellation, SIC, PIC, HIC

Ⅰ. 서 론

IMT-2000 서비스는 고속의 데이터 전송능력을 확보함으로써 인터넷을 포함한 다양한 데이터 서비스와 유, 무선 통합 서비스를 제공할 수 있고, 전 세계적으로 같은 주파수 대역 및 같은 기술을 사용함으로써 세계 어디서나 서비스를 받을 수 있는 새로운 개념의 이동전화 서비스이다. 이러한 서비스를 충족시키기 위한 무선접속 규격으로 비동기 방식의 WCDMA 시스템이 제안되었다. 이 시스템은 DS-CDMA 방식을 기반으로 하며, 최대 2Mbps까지의 전송률을 갖는 다양한 서비스(음성, 영상, 데이터 등의 멀티미디어 서비스와 패킷 데이터 서비스) 를 제공해준다[1]. DS-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 만족시켜야 하므로 이러한 간섭현상이 더욱 심화될 것으로 예상된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기술 중의 하나가 다중사용자검파(multi-user detection) 기술이며, 활발히 연구되고 있다[2] [1]. 다중사용자검파 기술로 비교적 구조가 간단하고 계산량이 적어 많은 주목을 받고 있는 감산형 간섭제거기법(subtractive interference cancellation) 은 각 사용자의 수신기에서 MAI를 추정하고 이를 수신 신호에서 제거해주는 방식으로써 크게 순차 간섭제거(SIC : Successive Interference Cancellation) 기법과 병렬 간섭제거(PIC : Parallel Interference Cancellation) 기법 및 이들을 연접하여 사용하는 복합 간섭제거(HIC : Hybrid Interference Cancellation) 기법이 있다. SIC 기법은 각 사용자의 상관기 출력값을 내림차순으로 정렬하고 신호의 세기가 제일 큰 사용자부터 수신신호에서 순차적으로 검파하여 제거해 가는 방식이며, PIC 기법은 각 사용자들의 상관기 판정 값들을 재생성한 후, 검파하고자 하는 사용자를 제외한 나머지 간섭 사용자들의 재생성 신호를 모두 더하여 수신신호에서 제거해 주는 방식이다[5] [7]. 사용자가 양질의 서비스 또는 고속 전송의 서비스를 요구할 경우, WCDMA 시스템은 낮은 SF(Spreading Factor)를 사용해야 하며, 이로 인해 발생되는 성능손실은 전력을 높임으로써 보상해준다. 그러나, 이것은 사용자간에 전력차를 심화시켜 MAI를 증가시키는 요인이 될 수 있다. 본 논문에서는 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 비동기(asynchronous) WCDMA (Wide-band CDMA) 시스템에기존HIC(Hybrid Interference Cancellation) 기법의MUD (Multi-User Detector)를 적용하여 Rayleigh 페이딩 채널에서 BER (Bit Error Rate) 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구하고 이를 기존 간섭제거방식들의 결과와 비교, 분석한다. 이를 위해 II 장에서 해석모델을 소개하고, III 장에서

는 HIC 기법에 대해 설명한다. IV 장에서는 주파수 비선택성 Rayleigh 페이딩 채널에서 시뮬레이션을 통해 성능을 구하여 비교, 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. WCDMA 시스템

본 논문에서는 3GPP에서 개발되어온 비동기 WCDMA 무선전송 기술 물리계층 규격(FDD 모드)을 토대로 광대역 DS-CDMA 시스템 모델을 설정한다. 그림 1은 시간-주파수-코드 공간에서의 WCDMA의 특성을 보여주고 있다[8]. 한 프레임의 단위는 10ms이고 이 기간동안 사용자의 데이터 전송률은 일정하게 유지된다. 그러나, 사용자 사이의 데이터 용량은 프레임마다 달라질 수 있다. 주파수 대역은 4.4~5.0 MHz를 기본 단위로 한다. 여기서 주목할 것은 사용자의 전송속도에 따라 전력이 다르다는 것이다. 즉, 사용자가 양질의 혹은 고속의 전송률을 갖는 서비스를 요구할 경우, SF(Spreading Factor) 가 낮기 때문에 원하는 요구조건을 만족시키기 위해서는 전력을 높여야 하고, 이것은 사용자간에 전력차를 심화시켜 MAI를 증가시키는 요인이 된다.

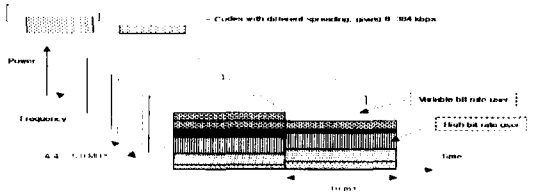


그림 1. 시간-주파수-코드 공간에서의 WCDMA 특성
Fig. 1 Characteristic of WCDMA in the Time-Frequency-Code Space

WCDMA 역방향 링크에서 행하는 확산 및 변조과정은 일반적으로 그림 2와 같다[9]. DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) 는 데이터를 전송하는 채널로서 최대 6개의 가지를 멀티코드 방식을 사용하여 동시에 전송할 수 있다. DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) 는 컨트롤 정보를 전송하는 채널로서 언제나 하나의 가지만을 사용한다. WCDMA에서 확산 및 변조과정은 크게 두 가지 과정으로 나뉠 수 있다. 그 처음이 채널분류(channelization) 작업으로, 단말기로부터 생성된 데이터 (DPDCH) 채널과 컨트롤 (DPCCH) 채널에 각각의 독립적인 OVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor) 코드를 곱하여 이들을 분류해낸다. 위 그림에서 c_c와 c_d가 바로 그것이다. 이 OVSF 코드를 사용함으로써 SF를 변화시킬 수 있으며, 길이가 다른 확산코드 간에 직교성을 유지할 수 있다. OVSF 코드의 길이는 4~256 칩이고 그림 3에 나타낸 코드나무(code tree) 로부터 선택된다. β_c와 β_d는 4비트로 양자화된 이득계수로써 각 채널에 곱하여 전력을 조절할 수 있으며, 전력차는 -23dB~0dB이다.

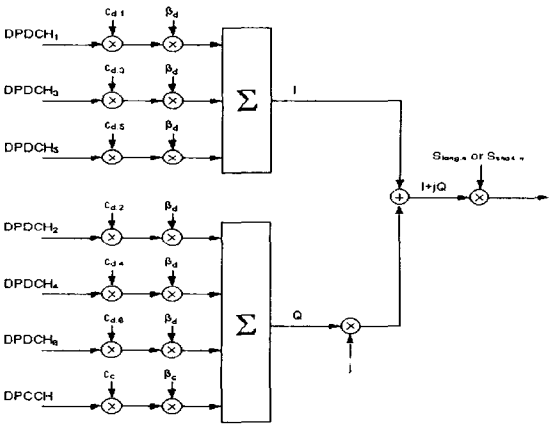


그림 2. WCDMA 역방향 링크의 확산 및 변조
Fig. 2 Spreading and Modulation of WCDMA Reverse Link

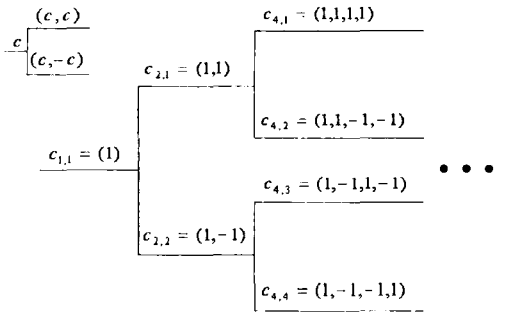


그림 3. OVSF 코드 생성을 위한 코드나무
Fig. 3 Code Tree for OVSF-Code Generation

다음으로 행하는 작업이 짧은 스크램블링(scrambling) 코드, $S_{short,n}$ 를 곱하는 것인데, 이는 각 단말기를 구분하는 기능을 한다. 여기서 고려한 코드는 길이가 256 칩인 extened S(2) 코드 시퀀스이며, 24비트로 이루어진 코드번호에 따라 사용자마다 다른 코드를 생성할 수 있다. 그림 4는 역방향 링크에서의 짧은 스크램블링 시퀀스 생성기를 나타낸다[9]. 그림에서 mapper의 역할은 표 1과 같이 $z_n(i)$ 를 $c_{short,1,n}(i)$ 와 $c_{short,2,n}(i)$ 로 매핑 (mapping) 시키는 것이다. 그리고 $z_n(255) = z_n(0)$ 이다.

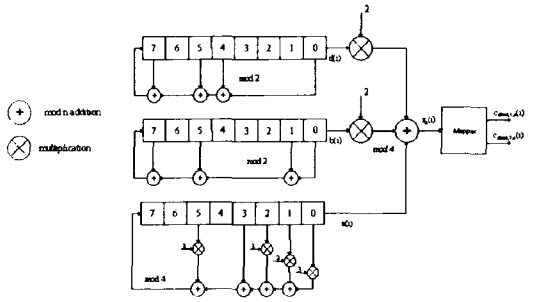


그림 4. 역방향 링크에서의 짧은 스크램블링 시퀀스 생성기
Fig. 4 Short Scrambling Sequence Generator in Reverse Link

최종적인 짧은 스크램블링 코드, $S_{short,n}$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$S_{short,n}(i) = c_{short,1,n}(i \bmod 256)(1 + j(-1)^i c_{short,1,n}(2\lfloor (i \bmod 256)/2 \rfloor)) \quad (1)$$

여기서, $i = 0, 1, \ldots, 38399$ 이다.

표 1. zn(i)의 cshort,1,n(i)와 cshort,2,n(i)로의 매핑 (i=0, 1, ···, 255)
Table. 1 Mapping from zn(i) to cshort,1,n(i) and cshort, 2, n(i) (i=0, 1, ···, 255)

$z_n(i)$	$c_{short,1,n}(i)$	$c_{short,2,n}(i)$
0	+1	+1
1	-1	+1
2	+1	-1
3	+1	-1

Ⅲ. HIC (Hybrid Interference Cancellation) 기법

앞서 언급한 것처럼 다양한 서비스에 대한 품질과 전송률을 만족시키기 위해서 각 사용자는 전력을 유동적으로 변화시키며, 이 신호들을 수신하는 기지국은 원근문제와 유사한 간섭현상을 겪게된다. 전력이 낮은 사용자는 높은 전력을 갖는 사용자로부터 받는 간섭으로 인해 성능이 심각하게 열화되며, 전력이 높은 사용자 역시 높은 품질을 만족시키기 위해서는 낮은 전력을 갖는 사용자로부터의 간섭을 효과적으로 제거해줄 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 그림 5와 같은 HIC 구조를 도입한다[10],[11].

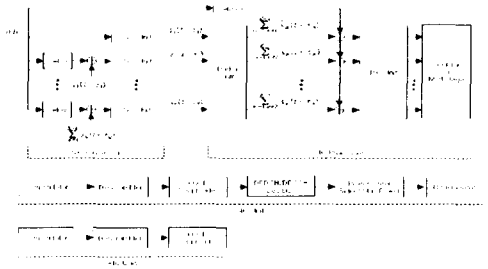


그림 5. WCDMA 시스템을 위한 HIC 구조
Fig. 5 The Proposed Structure of a HIC Detector for a WCDMA System

그림 5에서 알 수 있듯이 HIC 기법은 크게 SIC (Successive Interference Cancellation) 처리와 PIC (Parallel Interference Cancellation) 처리로 구분된다. 전단에 사용한 SIC 처리에서는 각 사용자들의 신호를 수신한 후, demodulator, descrambler, OVSF despreader 등의 처리를 거쳐 데이터를 판별하고 그 중 크기가 제일 큰 사용자의 데이터를 앞서 기술한 처리의 역과정으로 신호를 재생성하여 원 수신신호에서 제거한다. PIC 처리는 각 사용자의 성능 개선폭을 높여 원하는 품질를 보장해주기 위해 사용한다. SIC 처리를 통해 재생성된 신호들은 Partial Sum로 입력된다. 이를 통해 MAI로 작용하는 간섭 사용자들의 신호를 모두 합한 후 원 수신신호에서 제거한다. 그 후 최종적인 데이터 판정을 행하거나, PIC 처리를 여러 단으로 구성하여 성능을 보다 개선할 수 있다. 그림에 나타낸 블

록들은 기능적인 측면을 나타낸 것이다. 실제 구현에서는 동일한 기능을 수행하는 블록들은 함께 공유하여 사용하는 것이 바람직하다. 예를 들어, SIC Unit와 PIC Unit은 demodulator에서 OVSF despreader까지가 동일한 기능을 수행한다.

Ⅳ. 성능분석

시뮬레이션기법으로 성능을 분석하기 위해 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 2에서와 같이 총 10명이며, 3개의 그룹으로 나눈다. 수신기에서 각 사용자의 신호는 완벽하게 추정된다. SIC 처리에서는 전력의 세기에 따라 완벽한 정렬(perfect ranking) 이 이루어지며, PIC 처리는 한 단만을 사용한다. 성능분석은 데이터 채널에 대한 각 사용자 그룹의 평균 BER 성능만을 고려한다. 또한, 고속의 전송률을 갖는 서비스일수록 높은 QoS(Quality of Service)를 요구하므로 여기서는 모든 사용자의 비트 에너지가 동일하여 전송률이 높은 사용자일수록 전력이 높다고 가정한다. 가장 낮은 전송률을 기준으로 전송률이 이것의 배수가 될 때마다 신호의 전력을 5dB씩 증가시킨다[12]. 시뮬레이션 툴은 Mathworks 사의 Matlab을 사용하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table. 2 Simulation Parameters

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

그림 6은 전송률이 높은 사용자들의 평균 BER 성능을 나타낸 것이다. SF가 낮음에도 불구하고 높은 전력으로 송신하기 때문에 다른 사용자 그룹에 비해 성능이 전반적으로 좋다. 이 사용자들에게 기존의 SIC 기법을 적용할 경우 간섭제거효과를 거의 얻지 못한다. 왜냐하면, 이들은 수신전력이 높아 정렬과정에서 처음에 위치하게 되어 타 사용자들에게서 받은 간섭을 제대로 제거하지 못하기 때문이다. 반면, PIC 기법은 검파하고자 하는 사용자를 제외한 나머지 모든 사용자의 신호를 재생성하여 수신신호에서 제거하는 방식이므로 간섭제거효과가 비교적 크다. 그러나, 간섭제거를 목적으로 전송률이 낮은 사용자들의 데이터를 임시판정할 때, 이들의 데이터는 많은 양의 간섭을 받아 신뢰성이 낮으므로, 제거과정에서 오히려 간섭을 더하는 결과를 초래할 수 있다. 이에 제안한 HIC 기법을 적용하면 전송률이 낮은 사용자의 임시판정시 신뢰도를 높일 수 있으며, 전송률이 높은 사용자들이 받는 간섭도 제거해줄 수 있게 된다. 그림을 살펴보면 다른 간섭제거기법에 비해 HIC 기법의 성능이 두드러짐을 알 수 있다. 그림 7의 경우 HIC 기법만이 10^{-2} 미만의 평균 BER 성능을 달성할 수 있음을 알 수 있다. PIC 기법과 SIC 기법은 BER 성능이 모두 10^{-2} 이상이며, PIC 과정에서 임시 판정의 신뢰성이 낮은 이유로 SIC 기법의 성능이 조금 우수하다. 그림 8은 그룹 C의 성능을 보여주고 있다. 그림 6과는 달리 SIC 기법에 비해 PIC 기법의 성능이 떨어진다. E_b/N_0가 증가함에 따라 그 폭이 점점 증가함을 알 수 있다. 그림에서 맨 아래쪽에 나타낸 HIC 기법의 성능을 살펴보면, SIC 기법을 적용하는 것보다는 성능 면에서 우수하기는 하지만, 그 차이가 크지 않다. 이것은 HIC 기법의 전단에 사용하는 SIC 처리의 정렬과정에서 그룹 C의 전력이 제일 낮아 맨 뒤쪽에 위치하게 되어 대부분의 간섭이 제거되기 때문이다.

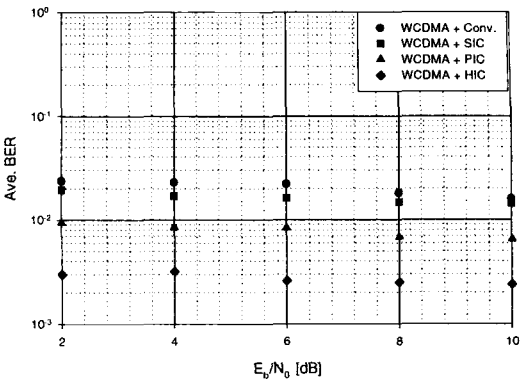


그림 6. 그룹 A의 평균 BER 성능
Fig. 6 The Averaged BER Performance for Group A

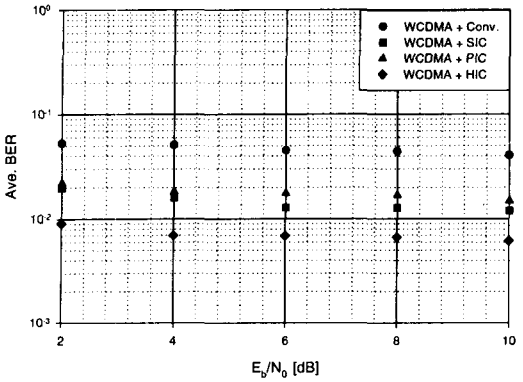


그림 7. 그룹 B의 평균 BER 성능
Fig. 7 The Averaged BER Performance for Group B

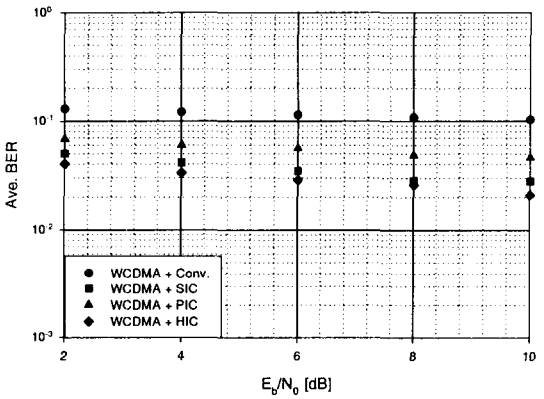


그림 8. 그룹 C의 평균 BER 성능
Fig. 8 The Averaged BER Performance for Group C

V. 결 론

본 논문에서는 3GPP에서 개발되어온 비동기 WCDMA 무선전송 기술 규격을 기반으로 한 시스템에 HIC 기법을 적용하여 그 성능을 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 통해 기존의 간섭제거방식들과 비교, 분석하였다. 전송률이 높은 사용자들은 SIC 기법보다 PIC 기법이나 HIC 기법을 사용하여 간섭을 제거하는 것이 효과적이다. 왜냐하면, SIC 기법의 경우 이들은 수신전력이 높아 정렬과정에서 처음에 위치하게 되어 타 사용자들에게서 받은 간섭을 제대로 제거하지 못하기 때문이다. 그러나, 이와 반대로 전송률이 낮은 사용자들의 경우 SIC 기법이나 HIC 기법을 사용하는 게 효과적이다. PIC 기법의 경우 간섭을 제거하기 위해 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.

WCDMA 시스템은 QoS와 전송률이 높은 서비스일수록 SF가 낮아 원하는 요구조건을 만족시키기 위해서는 전력을 높여야 하며, 이는 타 사용자들에게 간섭을 증대시키는 원인이 된다. 또한, 높은 QoS를 요구하는 사용자들을 만족시키기 위해서는 이들이 받은 간섭을 효과적으로 제거해줄 수 있어야 한다. 성능분석 결과, 이러한 시스템에 적절하고 유연하게 대처할 수 있는 간섭제거기법은 HIC 기법이라고 할 수 있다. 페이딩 채널상의 이유나 원하는 서비스를 만족시키기 위해 사용자가 전력을 높일지라도 HIC의 전단에 사용한 SIC 과정을 통해 전력이 낮은 사용자들의 성능을 보장해줄 수 있으며, 후단에 사용한 PIC 기법을 통해 SIC 과정에서 전력이 센 사용자가 받는 전력이 약한 사용자로부터의 간섭도 효과적으로 제거해줄 수 있기 때문이다.

참 고 문 헌

[1] Tero Ojanporä and Ramjee Prasad, Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications. Artech House, 1998.

[2] S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communications," IEEE Commun. Magazine, vol. 3, no. 4, pp. 124-136, Oct. 1996.

[3] A. D. Hallen, J. Holtzman, and Z. Zvonar, "Multiuser detection for CDMA systems," IEEE Personal Commun., vol. 2, pp. 46-58, Apr. 1995.

[4] S. Verdu, Multiuser Detection. Cambrideg Univ. Press, 1998.

[5] P. R. Patel and J. M. Holtzman, "Analysis of a DS/CDMA successive interference cancellation scheme using correlations," IEEE GLOBECOM'93, vol. 1, pp. 76-80, 1993.

[6] N. S. Correal, R. M. Buehrer and B. D. Woerner, "Improved CDMA performance through bias reduction for parallel interference cancellation," 8th IEEE Intern. Symp. on PIMRC'97, vol. 2, pp. 565-569, 1997.

[7] 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.

[8] H. Holma and A. Toskala, WCDMA for UMTS. John Wiley & Sons, 2000.

[9] 3G TS 25.213 v3.2.0, "Spreading and modulation (FDD)," March 2000.

[10] D. Koulakiotis and A. H. Aghvami, "Evaluation of a DS-CDMA multiuser receiver employing a hybrid form of interference cancellation in Rayleigh fading channels," IEEE Commun. Letters, vol. 2, no. 3, pp. 61-63, Mar. 1998.

[11] Tik-Bin Oon, Raymond Steele, 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.

[12] M. J. Juntti, "Multiuser detector performance comparison in multirate CDMA systems," in Proc. IEEE VTC' 98, vol. 1, pp. 31-35, May 1998.

저 자 소 개

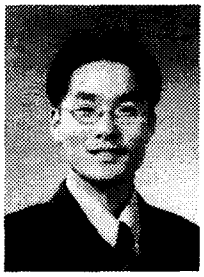
서정욱(Jung-Wook Seo)

1999년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)

2001년 2월 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

2001년 1월~현재 전자부품연구원 시스템 IC 연구센터 연구원

※관심분야 : 초고속 유/무선통신 모뎀, SDR(Software Defined Radio) 시스템



오창헌(Chang-Heon Oh)

1988년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)

1990년 2월 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

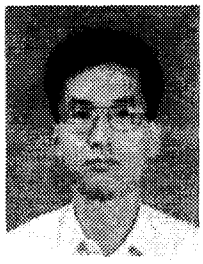
1996년 2월 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

1990년 2월~1993년 9월 한진전자 (주)기술연구소 근무

1993년 10월~1999년 2월 삼성전자(주) CDMA 개발팀 근무

1999년 3월~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수

※관심분야 : 이동통신, 무선통신, SDR



장은영(Eun-Young Chang)

1982년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)

1988년 2월 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학석사)

1993년 2월 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

1982년 3월~1985년 3월 공군기술장교

1985년 4월~1986년 2월 (주)금성통신 기술사원

1991년 9월~현재 국립 천안공업대학 전자과 부교수

※관심분야 : RF 통신시스템 설계 및 성능평가

조성준(Sung-Joon Cho)

1969년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)

1975년 2월 한양대학교 대학원(공학석사)

1981년 3월 일본 오사카대학교 대학원 통신공학과(공학박사)

1972년 8월~현재 한국항공대학교 전자, 정보통신, 컴퓨터공학부 교수

※관심분야 : 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자공학