

論文2001-38TC-12-2

IMT-2000 3GPP 시스템을 위한 간단한 다중 전송률 병렬형 간섭제거기

(A Simple Multi-rate Parallel Interference Canceller for
the IMT-2000 3GPP System)

金眞謙*, 吳成根*, 鮮宇明勳*

(Jin-Kyeom Kim, Seong-Keun Oh, and Myung-Hoon Sunwoo)

요 약

본 논문에서는 IMT(international mobile telecommunications)-2000 3GPP(3rd generation partnership project) 규격에 따른 전송률이 서로 다른 다수의 사용자 신호들을 효과적으로 처리할 수 있는 간단한 병렬형 간섭제거기를 제안한다. 제안한 방식은 다중 전송률 처리를 위하여 모든 사용자들에 공통적이며 전송률이 가장 낮은 제어채널의 한 심벌을 기준블록으로 설정하여 기준블록 단위마다 병렬로 간섭제거를 수행한다. 또한, 사용자간 비동기 환경에서 자신보다 짧은 지연을 갖는 간섭 사용자의 다음 기준블록에 의하여 발생하는 간섭을 미리 판정하고 재생하여 제거함으로써 간섭제거 성능을 개선할 수 있는 효과적인 사전 제거 기법을 제안한다. 제안된 사전 제거 기법을 사용한 다중 전송률 처리 병렬형 간섭제거기의 효율적인 구현을 위하여 샘플단위의 파이프라인을 도입하여 기준블록 주기로 판정하고, 이어서 샘플단위로 재생성하고 샘플단위로 간섭제거를 수행함으로써 최소의 하드웨어를 필요로 하는 파이프라인 구조를 제안한다. 모의실험을 통하여 제안한 간섭제거기의 신호 대 잡음비 및 사용자 수에 따른 비트 오류율 성능을 분석한다.

Abstract

In this paper, we propose an effective but simple multi-rate parallel interference canceller(PIC) for the international mobile telecommunications-2000(IMT-2000) 3rd generation partnership project (3GPP) system. For effective multi-rate processing, we define the basic block as one symbol period of the dedicated physical control channel(DPCCH) having the lowest data rate and common to all users. Then, decision and interference cancellation are performed at every basic block. For an asynchronous channel, we propose an advance removal scheme that removes in advance multiple access interference(MAI) due to the next block of other users with shorter delay. Introducing a pipeline structure at a sample base, we can implement efficiently the PIC using the advance removal scheme with a minimum hardware and no extra computations. Through computer simulations, we analyze the bit error rate(BER) performance of the proposed PIC with respect to signal-to-noise ratio(SNR) and the number of users.

* 正會員, 亞洲大學校 電子工學部

(School of Electronics Engineering, Ajou University)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 사업(과제번호 R01-1997-00026)과 국가지정연구실 사업의 지원으로 수행되었음.

接受日字:2001年10月30日, 수정완료일:2001年11月20日

I. 서론

국내외에서 상용화 서비스를 준비중인 IMT-2000 시스템은 이동환경에서 고품질의 대화식 멀티미디어 서비스를 제공한다. 이를 위하여 비동기식의 3GPP 진영

에서는 다중 접속 방식으로 WCDMA(wideband code division multiple access) 방식을 채택하고 있다^[1, 2]. WCDMA 방식은 사용자별 다양한 전송률을 가진 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있지만, 동일한 주파수를 사용하는 다중 사용자 신호들에 따른 다중 접속 간섭에 의하여 동시에 수용할 수 있는 사용자의 수가 제한된다. 따라서, 다중 사용자간 간섭을 줄여 시스템 용량을 증가시키기 위한 많은 간섭제거 방법들이 연구되고 있다^[3-5].

대표적인 간섭제거 방법으로는, 데이터 판정 이전에 미리 사용자 신호들 사이의 상호 상관성을 제거해 주는 선형 다중 사용자 검출기^[5-6]와, 다른 사용자들에 의한 간섭 신호를 재생성하여 수신신호에서 직접 제거하는 비선형 다중 사용자 검출기가 있다^[6-9]. 선형 검출기의 경우, 간섭제거 성능은 뛰어나지만, 상관행렬의 역행렬 변환에 따른 계산량과 복잡도 때문에 하드웨어 구현이 어렵다. 또한, 사용자간 비동기 환경에서는 서로 다른 지연시간에 따른 연속되는 사용자 심벌들의 겹침 현상으로 인하여 상관행렬은 다른 지연요소를 갖는 3 가지 상관행렬의 합으로 구성되므로 역변환 처리에 많은 어려움이 따른다^[5]. 따라서, 최근 국내외에서는 비교적 복잡도가 낮으며 만족할 만한 성능을 제공하는 비선형 검출기인 감산형 간섭제거기에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 감산형 간섭제거 방식에는 크게 사용자별 수신전력의 크기에 따라 순차적으로 간섭을 제거하는 순차적 간섭제거 방식과 모든 사용자 신호들을 동시에 판정하고 간섭을 제거하는 과정을 여러 단계 반복하는 병렬형 간섭제거 방식으로 분류되며, 이들을 바탕으로 한 다양한 방법들이 제시되고 있다^[6-9]. 그들 중에서도 병렬형 간섭제거기가 복잡도와 성능면에서 하드웨어 구현을 위하여 매우 우수한 것으로 평가되고 있으며^[10], WCDMA 방식을 위하여 가장 적합한 방식으로 고려되고 있다.

다중 전송률 지원을 필요로 하는 WCDMA 방식에 적용을 고려한 다중 전송률 지원이 가능한 간섭제거 방법들을 알아보자. 참고문헌^[11]에서는 가장 높은 전송률에 해당하는 주기가 가장 짧은 Gold 코드 길이를 기준블록으로 설정하고, 낮은 전송률 사용자 신호들을 위해서는 기준블록과 동일한 길이의 사용자 구분용 Gold 코드를 반복 사용하고 있으며, 가장 짧은 기준블록 단위로 병렬형 간섭제거 기법을 적용함으로써 전송률이 낮은 사용자 신호에 대해서는 부분적인 추정치를 이용

한다. 따라서, 전송률이 낮은 사용자 신호에 대해서는 확산이득의 감소로 추정치의 신뢰도가 낮아져 간섭제거 성능이 크게 저하된다.

또한, 참고문헌^[11]에서는 제어채널의 사용을 고려하지 않고 있다. 참고문헌^[12]에서는 제어채널을 고려하였지만, 모두 "1"을 전송함으로써 간섭을 일으키는 사용자들의 제어채널들에 의한 간섭제거는 완벽하다고 가정하고 있다. 따라서, 파일럿 심벌 외에도 다양한 정보들이 전송되는 IMT-2000 3GPP 시스템을 위한 제어채널의 특성이 제대로 반영되지 않고 있다. 또한, 복잡도 감소를 위하여 고전송률 사용자 신호들에만 병렬형 간섭제거 기법을 수행하여 수신신호에서 제거한 후, 나머지 저전송률의 사용자 신호들을 판정한다. 그러나, 고전송률을 가진 신호들에 의한 간섭제거 시 저전송률을 가진 신호들에 의한 잔류 간섭에 따른 성능저하가 있고, 15~960 kbps까지의 다양한 전송률을 지원해야 하므로 가장 높은 전송률의 사용자 신호들만을 제거하는 방법은 효율적이지 못하며, 고전송률 사용자들에 의한 간섭이 완벽히 제거되더라도 저전송률 사용자들 상호간의 간섭은 여전히 존재하게 된다. 그 외에도 상기의 두 가지 방법들에서는 사용자간 비동기 환경을 고려하지 않았다.

본 논문에서는 사용자별 제어채널과 다양한 전송률의 데이터채널을 가진 IMT-2000 3GPP 규격을 수용하기 위하여 모든 사용자들에게 공통적이며 심벌 길이가 가장 긴 제어채널의 한 심벌을 기준블록으로 설정하여 기준블록 단위로 병렬형 간섭제거를 수행하는 병렬형 간섭제거 방법을 제안한다. 또한, 사용자간 비동기 환경에서 자신보다 짧은 지연을 갖는 사용자 신호의 다음 기준블록에 의하여 발생하는 간섭을 미리 판정하고 재생하여 제거함으로써 간섭제거 성능을 개선할 수 있는 효과적인 사전 제거 기법을 제안한다. 마지막으로, 제안된 사전제거 병렬형 간섭제거기의 효율적인 구현을 위하여 샘플단위의 파이프라인을 도입하여 기준블록 주기로 판정하고, 샘플단위로 재생성과 간섭제거를 수행함으로써 최소의 하드웨어를 필요로 하는 파이프라인 구조를 제안한다. 본 논문에서는 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안한 간섭제거기의 신호 대 잡음비 및 사용자수에 따른 비트 오류율 성능을 분석한다.

II. IMT-2000 3GPP 시스템의 역방향 링크 송신부

본 절에서는 IMT-2000 3GPP 시스템 역방향 링크의 송신부와 수신부의 구성을 다룬다. 그림 1은 이동 단말기의 송신부 구조를 나타낸다. 각 사용자는 한 개의 제어채널(dedicated physical control channel, DPCCH)과 다수의 데이터채널들(dedicated physical data channels, DPDCHs)을 사용할 수 있다. 제어채널은 가장 낮은 15 kbps의 고정 전송률을 가지고 있으며, 데이터채널의 경우, 사용자별로 다른 전송률(15, 30, 60, 120, 240, 480, 960 kbps)을 가질 수 있으며, 960 kbps 이상의 데이터 전송이 필요한 경우에 최대 6개까지의 960 kbps 데이터 채널을 사용할 수 있다. 표 1에서는 데이터채널의 전송률에 따른 확산인자(spreading factor, SF)와 프레임과 슬롯을 구성하는 비트 수를 나타낸다.

표 1. 데이터채널의 전송률에 따른 확산요소 및 비트 수

Table 1. Spreading factors and the number of bits according to data rate of DPDCH.

Channel Bit Rate(kbps)	15	60	120	240	480	960
SF	256	64	32	16	8	4
Bits/Slot	10	40	80	160	320	640

다중 전송률을 수용하기 위하여 전송률에 따라 확산인자가 다른 OVSF(orthogonal variable spreading factor) 코드를 곱하여 전송률에 관계없이 동일한 칩률을 갖도록 한다. OVSF 코드들을 사용하여 확산된 제어채널과 데이터채널 신호들은 전송률과 전송포맷에 따라 채널별로 이득인자(gain factor) β 가 곱해져서 그림 1에서와 같이 다중화되어 변조신호를 이룬다. 사용자별 다중화된 변조신호는 사용자 구분을 위하여 전송률에 상관없이 IMT-2000 3GPP 규격에 따라 생성된 256 칩 주기의 스크램블링 코드(Cscramk)를 곱한 후 전송된다^[13].

이득인자는 데이터 채널을 위한 β_d 와 제어채널을 위한 β_c 로 구분된다. 두 값 중에 하나는 항상 '1'값을 가지며 4 bit word로 양자화되고^[14], 다음과 같이 계산

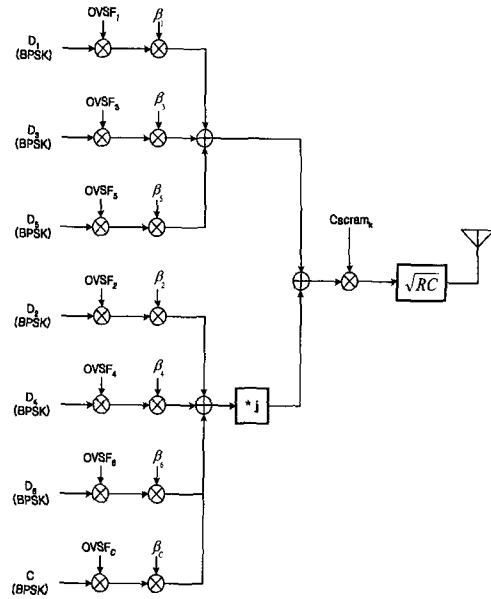


그림 1. 3GPP 시스템에서의 단일 사용자에게 대한 송신부 구조

Fig. 1. Transmitter structure for the IMT-2000 3GPP system.

된다^[15]. 우선 명목적인 전력비를 $A_j = \beta_d / \beta_c$ 와 같이 정의한다.

- 1) $A_j > 1$ 인 경우, $\beta_d = 1$ 이고, β_c 는 $\beta_c \leq \frac{1}{A_j}$ 를 만족하는 가장 큰 양자화 값을 갖는다.
- 2) $A_j \leq 1$ 인 경우, $\beta_c = 1$ 이고, β_d 는 $\beta_d \geq \frac{1}{A_j}$ 를 만족하는 가장 작은 양자화 값을 갖는다.

OVSF 코드의 생성 구조는 그림 2와 같으며, OVSF 코드는 다음과 같이 할당된다. 먼저, 제어채널에서는 모두 '1'로 구성된 $C_{ch,256,0}$ 이 사용되고 그림 1에서와 같이 항상 허수 채널에 할당된다. 데이터채널의 경우, 채널이 하나인 경우에는 SF와 동일한 길이를 가지며 $k=SF/4$ 인 $C_{ch,SF,k}$ 가 할당된다. 예를 들면, 480 kbps의 경우, SF=8이므로 $k=SF/4=2$ 가 되어 $C_{ch,8,2}$ 가 할당되고, 960 kbps 채널이 하나인 경우, SF=4이므로 $k=4/4=1$ 이 되어 $C_{ch,4,1}$ 가 사용된다. 960 kbps 데이터채널을 여러 개 동시에 사용하는 경우, 모든 채널의 SF는 4이므로 각 채널을 위한 OVSF 코드 $C_{d,n}$ 은 $C_{ch,4,k}$ 이며, $n=\{1, 2\}$ 일 때 $k=1$, $n=\{3, 4\}$ 일 때 $k=3$, $n=\{5, 6\}$ 일 때 $k=2$ 이다. 다시 말하면, $c_{d,1}$ 과 $c_{d,2}$ 으로는 $C_{ch,4,1}$ 이, $c_{d,3}$ 과 $c_{d,4}$ 으로는 $C_{ch,4,3}$ 이, $c_{d,5}$ 와 $c_{d,6}$ 으로는 $C_{ch,4,2}$ 이 각각 사용된다. 이 때, n 이 홀수일 때는 실수채널에 짝수일 때는 허수채널에

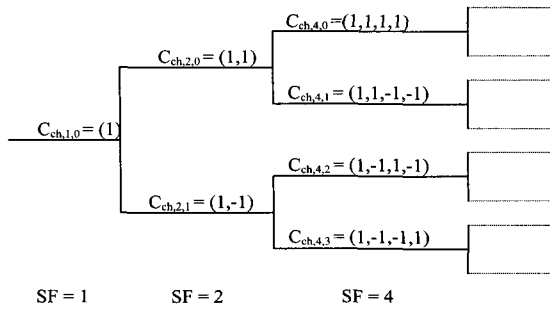


그림 2. 직교가변확산 코드의 구조
Fig. 2. Code-tree for generation of Orthogonal Variable Spreading Factor(OVSF) codes.

각각 할당된다^[14].

그림 3은 역방향 채널에서의 기지국 수신부 구조를 나타낸다. 수신부에서는 우선 사용자 구분을 위하여 각 사용자에게 대하여 할당된 사용자 구분용 스크램블링 코드의 복소공액 코드로 스크램블링(이하 역스크램블링이라 칭함)을 수행한다. 정합필터부에서는 사용자 구분을 위하여 역스크램블링된 신호에서 원하는 사용자의 채널별 신호를 구분하기 위하여 OVSF 코드를 곱하고 전송률에 따라 다른 심벌주기 동안 적분을 수행한다. 전송률에 따라 적분 구간이 다르기 때문에, 전송률이 가장 낮은 제어채널 한 심벌을 복원하는 동안 전송률이 높은 데이터채널의 경우에는 심벌주기에 따라 두개 이

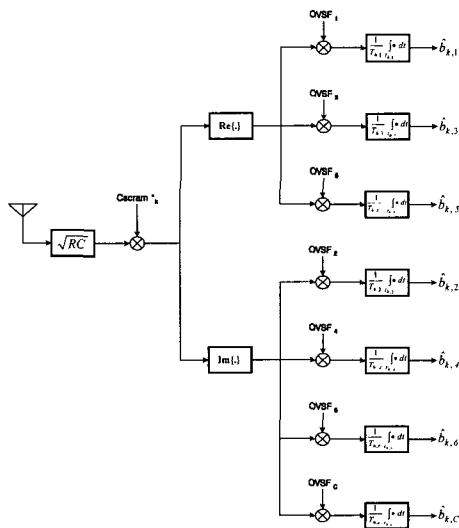


그림 3. 3GPP 시스템의 역방향 채널에서의 기지국 수신부 구조
Fig. 3. Receiver structure for the IMT-2000 3GPP system.

상의 심벌들을 복원하게 된다.

Ⅲ. 제안한 비동기 다중 전송률 병렬형 간섭제거기

A. 다중 전송률을 지원하는 병렬형 간섭제거기 구조
IMT-2000 시스템은 사용자별 다양한 멀티미디어 서비스 제공을 위하여 사용자별로 전송률을 달리한다. 이 경우 병렬형 간섭제거기는 수신신호를 구성하는 전송률이 서로 다른 사용자 신호들을 동시에 처리해야 하므로 다중 전송률 처리 방법에 따라 성능과 복잡도의 차이가 현저하게 나타나게 된다. 따라서, 간섭제거를 통한 서비스 품질향상과 용량증대를 위해서는 사용자별 전송률이 서로 다른 다중 접속 신호를 효과적으로 처리할 수 있는 간섭제거 기법의 사용이 필수적이다.

본 논문에서는 IMT-2000 3GPP 시스템의 물리 채널을 고려하여 그림 4에서의 같이 전송률이 가장 낮으며 모든 사용자 신호에 공통인 제어채널의 한 심벌을 기준블록으로 설정하고, 기준블록 단위로 병렬형 간섭제거를 수행한다. 서로 다른 전송률을 갖는 사용자 신호들에 의한 간섭을 효과적으로 제거하기 위해서는 간섭제거가 이루어지는 시점에서 간섭을 일으키는 모든 사용자들의 모든 정보비트들이 완전히 판정되어야 한다. 따라서, 현재 시점에서 영향을 주는 심벌들의 가장 긴 주기를 가진 심벌의 판정이 완료되어야 효과적으로 간섭을 제거할 수 있다. 본 논문에서는 기준블록 단위의 판정을 통하여 매 기준블록마다 전송률에 따라 복수개의 데이터를 판정하게 된다. 예를 들면, 480 kbps 데이터채널은 기준블록 마다 32개의 심벌을 판정하게 되고, 960 kbps 데이터채널의 경우에는 64개의 심벌을 판정한다. 참고문헌[11]에서는 가장 짧은 심벌을 기준블록

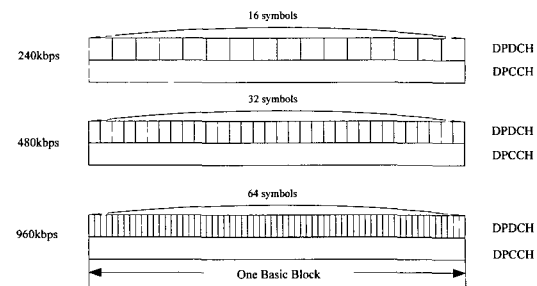


그림 4. 기준블록 구조
Fig. 4. Basic block structure for multi-rate channels.

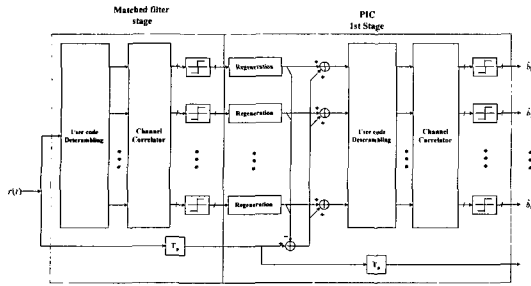


그림 5. 제안한 병렬형 간섭제거기 구조

Fig. 5. Block diagram of the proposed multi-rate PIC structure.

으로 설정함으로써 부분적인 추정치를 이용한 판정으로 성능저하 요인이 되었다.

그림 5는 제안한 병렬형 간섭제거기의 구조를 나타낸다. 일반적인 병렬형 간섭제거기와 유사한 구조를 갖지만, 기준블록별 판정을 통하여 다중 전송률 지원이 가능하며, 간섭제거 과정은 다음과 같다. 사용자 구분용 스크램블링 코드를 사용하여 역스크램블링된 신호는 사용자별 각 채널에 해당하는 OVSA 코드를 이용하여 채널을 구분하고, 각 채널별 심벌주기에 해당하는 구간 동안 적분함으로써 기준블록 동안 제어채널의 하나의 정보비트와 전송률에 따라 데이터 채널의 다수의 정보비트들을 판정한다. 이때, 기준블록단위로 판정된 정보비트들을 이용하여 잡음의 영향을 무시한 수신신호의 형태로 재생성하여 하나의 기준블록에 해당하는 샘플들을 수신하고 재생성을 위한 지연(필터링 및 버퍼링 지연) 필요한 시간만큼 지연시킨 수신신호에서 다른 사용자들에 의한 판정값들을 사용하여 재생된 간섭신호를 빼어줌으로써 간섭제거를 수행한다.

다만 병렬형 간섭제거기의 경우, 첫 번째 단에서 다른 사용자 신호에 의한 간섭이 제거된 신호는 두 번째 단으로 입력되어 동일한 과정으로 판정과 재생성, 간섭제거를 수행하며, 성능 개선을 위하여 계속적인 병렬형 간섭제거를 수행한다.

B. 사용자간 비동기 환경을 위한 사전 제거 기법

셀룰라 이동통신 환경에서 기지국으로부터 이동 단말기의 거리에 따라 기지국에 수신되는 사용자 신호들은 서로 다른 시간에 도달한다. 사용자간 비동기 환경에서 K 명의 사용자로부터 기지국에 수신되는 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x(t) = \sum_{k=1}^K A_k s_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (1)$$

여기서, $s_k(t)$ 와 A_k , τ_k 는 각각 k -번째 사용자 신호, 신호세기, 지연시간을 나타내며, $n(t)$ 는 백색 가우시안 잡음을 나타낸다.

각 사용자 신호가 서로 다른 시간지연에 수신되는 비동기 환경에서는, 그림 6에서와 같이 한 사용자의 현재의 기준블록은 다른 사용자의 두개의 기준블록에 의하여 영향을 받게 된다. 특히, 시간지연이 긴 사용자 신호는 상대적으로 지연시간이 짧은 사용자의 다음 기준블록에 의하여 간섭의 영향을 받게 된다. 이러한 간섭의 영향은 전송률이 높은 채널일수록 다수의 정보비트가 다음 기준블록 신호에 의하여 간섭을 받게 되어 그 영향이 심각하기 때문에 비동기 환경에서 고품질의 멀티미디어 서비스를 위해서는 반드시 사전에 이러한 간섭을 제거할 필요가 있다.

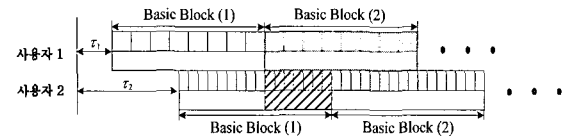


그림 6. 비동기 채널에서 다음 기준블록에 의한 간섭의 영향

Fig. 6. MAI effect due to the next block of other users in an asynchronous channel.

사전 간섭제거에 대해서는 이미 참고문헌[10]에서 모든 사용자들의 전송률이 동일한 경우에 심벌별 간섭제거를 통하여 다음 심벌에 의한 간섭을 제거하는 방법을 제시하였다. 사전 간섭제거는 그림 7에서와 같은 처리과정을 통하여 이루어진다. 먼저 그림 7(a)와 같이 정합필터 단에서 각 사용자의 처음 두개의 심벌에 대한 적분과 판정을 수행한 후에, 그림 7(b)와 같이 모든 사용자의 첫번째 심벌에 대한 간섭제거를 수행한다. 이것은 지연시간이 상대적으로 긴 사용자 2의 경우 사용자 1의 연속되는 두개의 심벌에 의하여 간섭을 받게 되므로 사용자 2의 첫 번째 심벌에 의한 간섭을 제거하기 위해서는 동일한 시점에 동시에 존재하는 사용자 1의 두 번째 심벌에 대한 판정과 재생이 이루어져야 하므로 전체적으로 두 번째 심벌들에 대한 판정이 수행된 이후에 첫 번째 심벌들에 의한 간섭제거가 수행된다. 다음으로, 서로 다른 지연시간 때문에 발생하는 다른 사용자의 두 번째 심벌에 의한 간섭을 모두 제거 별에 대한 적분과 판정을 수행하여 그림 7(d)와 같이 모든 사용자의 두 번째 심벌에 대한 간섭제거를 간섭

하기 위해서 그림 7(c)와 같이 각 사용자의 세 번째 심 제거 단계에서의 적분에 앞서 먼저 수행한다. 따라서, 그림 7(e)와 같이 제1간섭제거 단계에서 각 사용자의 첫 번

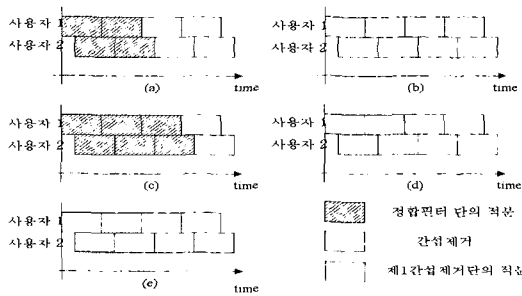


그림 7. 블록단위 사전 간섭제거 방법의 시간별 신호 처리 과정

Fig. 7. Timing diagram for the processing flow for advance removal in block unit.

째 심벌에 대한 적분을 수행하는 동안에 간섭의 영향을 미치는 사용자 1의 두개의 연속되는 심벌에 의한 간섭은 모두 제거된 상태이다.

상기와 같이 참고문헌[10]에서는 전송률이 모두 동일한 경우에 다음 심벌에 의한 간섭을 미리 제거함으로써 효과적인 간섭제거가 가능하였다. 그러나, 사용자간 서로 다른 전송률을 지원하는 시스템에 대한 고려가 이루어지지 않았다. 따라서, 본 논문에서는 사용자간 전송률이 서로 다른 경우에 대한 사전 간섭제거를 위하여 다음과 같은 처리과정을 제시한다. 먼저, 효과적인 간섭제거를 위해서 간섭제거 시점에 영향을 주는 모든 정보신호의 판정이 이루어져야 하므로, 다중 전송률을 갖는 다중 사용자 간섭을 제거하기 위하여 신호의 주기가 가장 긴 제어채널 심벌주기를 기준블록으로 설정한다. 이때, 기준블록별로 판정을 수행하여 채널별로 전송률에 따라 다수의 데이터를 판정하고 기준블록별로 재생성과 간섭제거를 수행함으로써 기준블록별로 사전 간섭제거 기법을 적용함으로써 상대적으로 지연시간이 짧은 사용자의 다음 기준블록에 의한 간섭을 효과적으로 제거한다. 따라서, 그림 6에서와 같이 전송률에 따라 다수의 데이터가 다음 기준블록에 의하여 간섭을 받게 되므로 기준블록 단위로 동시에 간섭제거가 이루어 지게 된다.

C. 샘플단위 파이프라인을 이용한 비동기 다중 전송률 병렬형 간섭제거기

기준블록별 사전 제거 기법을 이용하면 기준블록별

간섭제거를 통하여 다음 심벌에 의한 간섭을 효과적으로 제거할 수 있지만, 각 사용자의 두 번째 기준블록까지 정합필터링을 완료한 이후에 간섭제거를 수행할 수 있으며, 간섭제거 후에 다음 판정을 위한 적분을 위해서는 다음 기준블록에 대한 간섭제거를 먼저 수행해야 하기 때문에, 항상 두 기준블록에 해당하는 판정된 데이터를 저장해야 하고 두 기준블록에 해당하는 재생성된 신호를 저장해야 하므로 이에 필요한 메모리가 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 사용자간 전송률이 서로 다른 경우에 샘플단위의 파이프라인 개념을 도입하여 기준블록별로 판정을 수행하고, 샘플단위의 재생성과 간섭제거를 수행하여 재생성된 신호의 저장이 필요하지 않는 샘플단위 사전 제거 기법을 제안한다.

본 논문에서 제안한 사전 제거 기법은 심벌단위 또는 블록단위 처리가 아닌 샘플단위 처리를 통하여 구조를 대폭 간소화할 수 있다. 샘플단위 처리를 위하여 지연시간이 짧은 사용자 신호 순으로 샘플단위로 입력되는 수신신호로부터 기준블록 단위로 데이터를 판정하고 판정이 완료된 기준블록에 대하여 샘플단위로 재생성하여, 하나의 기준블록 동안의 샘플들을 수신하고 재생성하는데 필요한 시간만큼 지연시킨 수신신호에서 샘플단위로 제거한다.

동작을 자세히 설명하면, 가장 먼저 들어오는 첫 번째 사용자 신호의 첫 번째 기준블록에 대한 판정이 정합필터 단에서 완료되면, 제1간섭제거 단계에서는 판정이 완료된 첫 번째 기준블록에 대하여 한 샘플씩 재생을 하고 처리시간만큼 지연된 수신신호에서 첫 번째 사용자의 첫 번째 기준블록의 첫 번째 샘플에 의한 간섭제거를 수행한다. 이렇게 함으로써 첫 번째 사용자의 두 번째 기준블록에 의한 두 번째 사용자의 첫 번째 기준블록에 미치는 간섭은 첫 번째 사용자의 두 번째 기준블록에 대한 판정이 완료되고 두 번째 기준블록에 대해서도 샘플단위로 간섭을 제거함으로써 제1간섭제거 단계에서 두 번째 사용자 신호에 대한 샘플단위의 적분이 수행되는 동안 첫 번째 사용자의 두 번째 기준블록이 두 번째 사용자의 첫 번째 기준블록에 미치는 간섭을 제거할 수 있다. 따라서, 첫 번째 사용자 신호의 첫 번째 기준블록이 미치는 간섭뿐만 아니라 두 번째 기준블록에 의한 간섭까지 제거된 신호를 바탕으로 제1간섭제거 단계에서 적분을 통한 정합필터를 수행함으로써 다음 기준블록에 의한 간섭을 제거할 수 있다.

제안한 방법은 두 개의 연속되는 기준블록과 두 번

의 필터링 지연을 보상하기 위한 수신신호를 저장하는 메모리와 사용자마다 두개의 간섭제거 단에서 채널별 전송률에 따라 기준블록별로 판정되는 정보비트를 저장하는 메모리와 필터링을 위한 신호저장을 위한 메모리만이 필요하다. 다시 말하면, 각 사용자마다 두 개의 연속되는 기준블록의 재생된 신호를 저장하는 메모리를 줄일 수 있다. 따라서, 제안한 방법을 사용하는 경우에 사용자 증가에 따른 메모리의 증가는 두 번의 판정 결과를 저장하는 메모리만이 필요하게 된다. 반면, 사전 간섭제거를 사용하지 않는 기존의 블록단위의 간섭제거 방법을 사용하는 경우, 사용자 마다 연속되는 두개의 기준블록에 대한 재생성된 신호를 저장하여야 하므로 필요한 메모리는 사용자 수에 거의 선형적으로 비례하여 증가한다.

표 2은 제안된 방식과 기존의 일반적인 블록단위 병렬 제거 방식을 사용하는 경우, 2단 병렬형 간섭제거

표 2. 2단 간섭제거기 구성을 위한 메모리량

Table 2. Memorys for 2-stage PIC of two shemes.

사용자 수	제안한 방법 (샘플별 간섭제거)	기존 방법 (블록별 간섭제거)
1	4,208	8,304
2	4,272	12,464
4	4,400	20,784
8	4,656	37,424

수행을 위해 필요한 사용자 수에 따른 메모리 수를 나타낸다. 여기서, 모든 사용자 신호의 전송률은 480kbps을, 샘플률은 칩당 8샘플을 가정하였으며, 기존의 방식에서 블록단위의 간섭제거는 제어채널의 한 심벌을 기준블록으로 가정하였으며, 필터를 위한 메모리는 1-비트 정보만 저장하면 되며 전체적인 복잡도에 미치는 영향이 낮으므로 계산에 넣지 않았다. 기존의 블록단위의 2단 병렬형 간섭제거를 위해서 두 번의 필터 지연 시간(224샘플)에 해당하는 수신신호와 두 개의 기준블록 지연에 따른(22,048샘플) 수신신호를 저장하는 메모리와 사용자별로 매 단마다 32 샘플의 판정된 데이터를 저장하는 메모리, 그리고, 사용자별로 두 개의 기준블록에 해당하는 재생성 신호(22,048샘플)를 저장하는 메모리를 합하여 계산하였다. 제안된 방식에서는 샘플단위 간섭제거를 수행하므로 재생성된 신호를 저장하

는 메모리를 사용하지 않아도 된다.

샘플단위 파이프라인을 사용한 비동기 다중 전송률 병렬형 간섭제거기의 신호처리 과정을 그림 8에 나타내었다. 여기서, $data\ k(i)$ 는 k -번째 사용자의 i -번째 블록을 나타내고, T_{sym} 은 기준블록의 주기, τ_k 는 k -번째

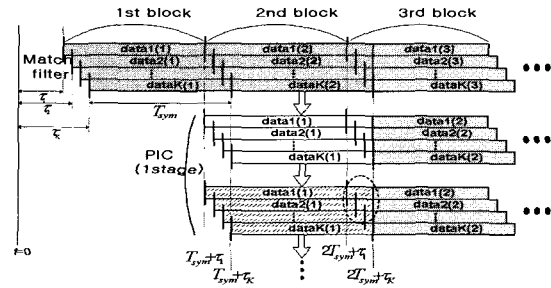


그림 8. 비동기 채널에서 제안된 파이프라인 구조의 병렬형 간섭제거기 적용 시 신호성분 구성

Fig. 8. Signal composition for the proposed PIC with advance removal in an asynchronous channel.

사용자의 시간지연이며 $\tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_k$ 과 같이 가정한다. 사전으로 표시된 부분은 정합필터를 위한 적분을 수행 중이거나 판정이 끝난 구간, 빈 부분은 판정된 신호가 재생성 되어 제거된 구간을 나타낸다. 각 시간별로 신호처리 과정은 다음과 같다.

(1) $t = \tau_1$ 시점에서의 신호처리

정합필터 단에서, 가장 짧은 지연시간을 가진 첫 번째 사용자 신호에 대한 샘플단위의 적분이 시작된다.

(2) $t = \tau_k$ 시점에서의 신호처리

정합필터 단에서, 첫 번째부터 $(K-1)$ -번째 사용자 신호들에 대한 적분이 수행되면서, 마지막으로 도착한 K -번째 사용자 신호에 대한 적분이 시작된다.

(3) $t = T_{sym} + \tau_1$ 시점에서의 신호처리

정합필터 단에서, 두 번째부터 K -번째 사용자 신호들에 대한 첫 번째 기준블록에 대한 적분이 수행되고 있으며, 첫 번째 사용자의 첫 번째 기준블록, 즉 $data\ 1(1)$ 에 대한 판정이 완료된다. 동시에 제1간섭제거 단에서는 첫 번째 사용자의 첫 번째 기준블록에 대한 샘플단위의 재생성이 시작되며, 재생된 하나의 신호 샘플이 기준블록의 정합필터링과 재생성에 필요한 지연시간만큼 지연된 수신신호 샘플로부터 제거된다.

(4) $t = T_{sym} + \tau_k$ 시점에서의 신호처리

이 시점에서는 정합필터 단에서, 모든 사용자의 첫번

째 기준블록에 대한 판정이 완료되며, 첫번째부터 $K-1$ 번째 사용자 신호의 두 번째 기준블록, 즉 $data1(2) \sim K-1(2)$ 들에 대한 적분이 진행된다. 동시에 제1간섭제거 단에서는, $data1(1) \sim K-1(1)$ 에 대한 판정 데이터를 이용한 샘플단위의 재생성과 간섭제거가 진행 중이며, 방금 판정이 완료된 $data k(1)$ 에 대한 첫번째 샘플의 재생성이 시작된다.

(5) $t = 2T_{sym} + \tau_1$ 시점에서의 신호처리

이 시점에서 정합필터 단에서는, $data1(2)$ 에 대한 판정이 완료되고 $data2(2) \sim K(2)$ 에 대한 적분이 진행 중이다. 동시에 제1간섭제거 단에서는, 간섭이 제거된 신호의 $data1(1)$ 에 대한 판정이 완료되고, $data2(1) \sim K(1)$ 에 대한 적분이 수행 중에 있다. 동시에 제2간섭제거 단에서는 판정이 완료된 $data1(1)$ 를 이용한 샘플단위의 재생성이 시작되며, 지연된 수신신호에서 제거된다.

(6) $t = 2T_{sym} + \tau_k$ 시점에서의 신호처리

이 시점에서 정합필터 단에서, $data1(3) \sim K-1(3)$ 에 대한 적분이 수행되면서 $data k(2)$ 에 대한 판정이 완료된다. 동시에 제1간섭제거 단에서는, $data1(2) \sim K-1(2)$ 의 정합필터에서 판정된 데이터를 이용한 샘플단위의 재생과 간섭제거가 수행 중이며, 간섭이 제거된 신호의 $data K(1)$ 에 대한 판정이 완료된다.

상기의 과정에서, $t = 2T_{sym} + \tau_k$ 시점에서 제1간섭제거 단의 처리과정을 분석해 보면, $data K(1)$ 에 대한 마지막 샘플에 대한 적분이 이루어진다. 이 경우 $data1(2) \sim K-1(2)$ 에 대한 정합필터 판정이 이미 완료된 상태이므로 $data1(2) \sim K-1(2)$ 에 의한 $data K(1)$ 에 미치는 간섭은 정합필터 판정 결과를 이용하여 샘플단위로 처리함으로써 제거할 수 있다. 따라서, $t = 2T_{sym} + \tau_1$ 과 $t = 2T_{sym} + \tau_k$ 사이의 시점에서, 제1간섭제거 단에서는 지연시간이 짧은 사용자의 다음 기준블록에 의한 간섭이 정합필터 판정 결과를 이용하여 사전에 제거됨을 알 수 있다. 이와 같이 제2간섭제거 단에서도 제1간섭제거 단에서의 결과를 이용하여 샘플단위의 간섭제거를 수행함으로써 재생성된 신호의 저장 없이 다음 기준블록에 의한 간섭을 효율적으로 제거할 수 있다.

IV. 모의실험 결과 및 분석

본 절에서는 사용자간 비동기된 환경에서 기존의 간섭제거기와 사전 제거 기법을 이용한 제안한 병렬형 간섭제거기의 신호 대 잡음비에 따른 비트 오류율과 사용자 수에 따른 성능을 분석하였다.

비동기 채널에서 신호 대 잡음비에 따른 간섭제거기의 성능 그래프를 그림 9에 나타내었다. 제시된 성능은 240 kbps의 전송률을 갖는 사용자 2명, 480 kbps와 960 kbps의 전송률을 갖는 사용자 각각 1명으로 총 4명의 사용자 신호에 대하여 채널 상의 전력 손실은 무시하였고, 가장 높은 전송률과 가장 긴 지연시간을 갖는 960 kbps 사용자 신호에 대한 성능을 나타낸 것이다. 이 경우, 채널에 대한 정확한 추정 값을 사용하고 표 4와 같은 파라미터를 이용하여 성능을 분석하였다.

성능분석 결과, 서로 다른 지연시간에 의한 다음 기준블록에 의한 간섭의 제거가 불가능한 기존의 간섭제거기의 경우 제2간섭제거 단의 성능이 신호 대 잡음비가 14dB일 때 4×10^{-3} 의 비트 오류율을 가지며 더 이상 성능의 개선이 없는 반면, 사전 제거방법을 적용한 제

표 3. 비동기 채널에서 제안된 간섭제거기의 모의실험 파라미터

Table 3. Simulation parameters used.

구분	Data rate	SF	Bits/slot	OVSFd 코드	기준블록 기준 지연시간	β_d	β_c
User 1	240 kbps	16	160	$C_{ch,16,4}$	2 %	1	0.25
User 2	480 kbps	16	160	$C_{ch,16,4}$	10 %	1	0.25
User 3	480 kbps	8	320	$C_{ch,8,2}$	20 %	1	0.1767
User 4	960 kbps	4	640	$C_{ch,4,1}$	30 %	1	0.125

안한 병렬형 간섭제거기는 제2간섭제거 단의 성능이 신호 대 잡음비가 18dB까지 성능이 개선되어 6×10^{-5} 의 낮은 비트 오류율로 비동기 채널 환경에서도 간섭제거를 통한 우수한 성능을 나타낸다.

그림 10에서는 사용자 수에 따른 제안한 병렬형 간섭제거기의 성능 그래프를 나타내었다. 모든 사용자는 480 kbps의 전송률을 가지며, 각 사용자는 1/2칩 단위로 임의의 지연시간을 갖도록 할당하였다. 사용자 수에 따른 성능은 신호 대 잡음비를 16dB로 가정하였으며, 이득인자는 표 4에서 480 kbps 사용자와 동일하게 사

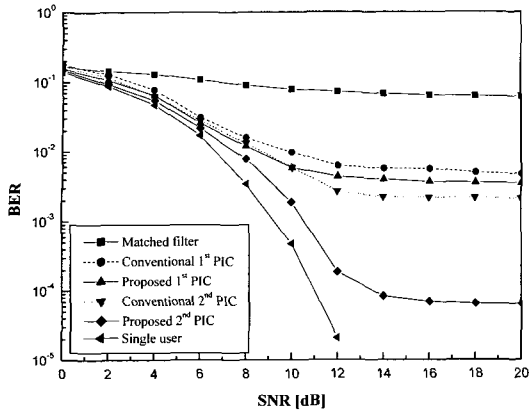


그림 9. 비동기 채널에서 신호 대 잡음비에 따른 간섭 제거 성능
 Fig. 9. BER performance as a function of SNR in an asynchronous channel.

용하였으며, 모든 사용자들의 평균 비트 오류율로 나타내었다. 그림 9와 같이 기존의 간섭제거기는 비동기 채널환경에서 발생하는 다음 기준블록에 의한 간섭으로 인하여 제2간섭제거 단의 성능이 제안한 간섭제거기의 제1간섭제거 단의 성능에 못 미치며, 제안한 간섭제거기가 더 많은 사용자를 수용할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 모의실험을 통하여 모든 사용자가 동일한 전송률을 가지는 경우에는, 전송률이 서로 다른 다수의 사용자에 성능 개선의 정도가 현격하지 못하며, 이는 핑퐁(ping-pong) 효과로 기인한 것임을 확인하였다.

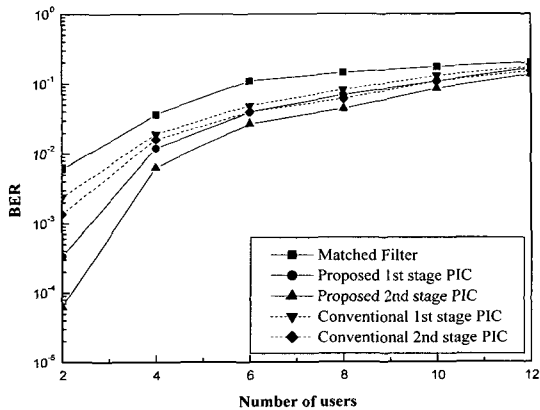


그림 10. 비동기 채널에서 사용자 수에 따른 간섭제거 성능
 Fig. 10. BER performance in terms of the number of users in an asynchronous channel.

V. 결 론

본 논문에서는 IMT-2000 3GPP 규격에 따른 전송률이 서로 다른 다수의 사용자 신호들을 효과적으로 처리할 수 있는 간단한 병렬형 간섭제거기를 제안하였다. 제안한 방식은 다중 전송률 처리를 위하여 모든 사용자들에 공통적이며 전송률이 가장 낮은 제어채널의 한 심벌을 기준블록으로 설정하여 기준블록 단위마다 병렬로 간섭제거를 수행한다. 또한, 사용자간 비동기 환경에서 자신보다 짧은 지연을 갖는 사용자 신호의 다음 기준블록에 의하여 발생하는 간섭을 미리 판정하고 재생하여 제거함으로써 간섭제거 성능을 개선할 수 있는 효과적인 사전 제거 기법을 제안하였다. 제안한 사전 제거 기법을 사용한 다중 전송률 처리 병렬형 간섭제거기의 효율적인 구현을 위하여 샘플단위의 파이프라인을 도입하여 기준블록 주기로 판정하고, 이어서 샘플단위로 재생성하고 샘플단위로 간섭제거를 수행함으로써 최소의 하드웨어를 필요로 하는 파이프라인 구조를 제안하였다. 모의실험을 통한 성능분석 결과, 비동기 채널환경에서 제안한 간섭제거기와 다음 기준블록에 의한 간섭을 제거하지 않는 일반적인 병렬형 간섭제거기의 성능을 비교하였으며, 제안한 병렬형 간섭제거기가 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] F. Adachi, M. Sawahashi, and H. Suda, "Wideband DS-CDMA for next-generation mobile communications system," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 36, pp. 56~69, Sep. 1998.

[2] P. Chaudhury, W. Mohr and S. Onoe, "The 3GPP proposal for IMT-2000," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 37, pp. 72~81, Dec. 1999.

[3] S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communications," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 34, pp. 124~136, Oct. 1996.

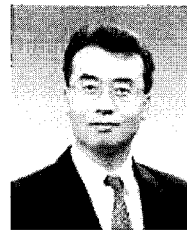
[4] M. K. Varanasi and B. Aazhang, "Multistage detection in asynchronous code-division multiple-access communications," *IEEE Trans.*

- Comm., vol. 38, pp. 509~519, Apr. 1990.
- [5] S. Verdu, Multiuser detection, Cambridge Univ. Press, 1998.
- [6] R. M. Buehrer, S. P. Nicoloso, and S. Gollamudi, "Linear versus nonlinear interference cancellation," J. of Comm. Net., vol. 1, no. 2, pp. 118~133, June 1999.
- [7] A. L. C. Hui and K. B. Letaief, "Successive interference cancellation for multiuser asynchronous DS/CDMA detectors in multipath fading links," IEEE Trans. Comm., vol. 46, no. 3, pp. 384~391, Mar. 1998.
- [8] A. L. Johansson, "Group-wise successive interference cancellation in multirate CDMA systems," in Proc. IEEE VTC'99, vol. 2, pp. 1435~1439, May 1999.
- [9] S. R. Kim, I. K. Choi, and S. B. Kang, "Adaptive user-by-user weighted parallel interference cancellation for CDMA systems," Telecomm. Review, vol. 8, no. 5, pp. 783~789, Sep. 1998.
- [10] N. S. Correal, R. M. Buehrer, and B. D. Woerner, "A DSP-based DS-CDMA multiuser receiver employing partial parallel interference cancellation," in IEEE J. Select. Areas Comm., vol. 17, pp 613~630, Apr. 1999.
- [11] S. H. Han and J. H. Lee, "Performance of multi-rate DS-CDMA system with multi-stage parallel interference cancellation," in Proc. IEEE VTC'2000 Spring, vol. 2, pp. 254~258, May 2000.
- [12] K. I. Pedersen and P. E. Mogensen, "Vector groupwise interference cancellation in multi-rate DS-CDMA systems," in Proc. IEEE VTC'2000 Spring, vol. 2, pp. 750~754, May 2000.
- [13] TS 25.211 v3.3.0, "Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels," Technical Specification, June 2000.
- [14] TS 25.213 v3.3.0, "Spreading and modulation," Technical Specification, June 2000.
- [15] TS 25.214 v3.3.0, "Physical layer procedures (FDD)," Technical Specification, June 2000.
- [16] J. K. Kim, S. K. Oh, M. H. Sunwoo, and M. S. Jung, "Multi-rate parallel interference canceller for IMT-2000 3GPP system," in Proc. IEEE VTC'2001 Spring, vol. 4, pp. 2307~2311, May 2001.

저 자 소 개



金眞謙(正會員)
2001년 2월 : 아주대학교 전자공학부 학사. 2001년 2월~현재 : 아주대학교 전자공학과 석사과정. <주관심분야> 무선통신, 간섭제거기, 스마트 안테나



鮮宇明勳(正會員)
第37卷 SD編 第2號 參照
1992년 8월~현재 : 아주대학교 전자공학부 교수. <주관심분야> VLSI 및 Parallel Architecture, 통신 멀티미디어용 DSP 칩 및 ASIC 설계



吳成根(正會員)
第34卷 S編 第5號 參照
1993년 9월~현재 : 아주대학교 전자공학부 부교수. <관심분야> 스마트 안테나, MIMO 시스템, 간섭제거기 등