

간섭 제거 기법을 사용한 적응형 간섭 제거기에 관한 분석

학생회원 염순진*, 정회원 박용완*

Analysis of Adaptive Multiuser Detector using the Cancellation Method

Sun-Jin Yeom* *Student Member*, Yong-Wan Park* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 DS-CDMA 환경의 다중 사용자 검출에서 문제시되는 다중 접속 간섭을 제거시켜주기 위해 사용되는 간섭 제거기에 대하여 소개한다. 기존의 간섭 제거 기술 중 병렬형 간섭 제거기는 장치적으로 복잡하고, 순차적 간섭 제거기는 지연 시간이 길다는 단점을 가지고 있다. 무엇보다도, 적응형 간섭 제거기는 수렴하기 위하여 많은 반복수가 필요하다. 우리는 이러한 간섭 제거기들의 성능을 개선시키기 위해서 CMA(Constant Modulus Algorithm)을 이용한 적응형 간섭 제거기에 간섭 제거 기법을 적용시킨 새로운 간섭 제거기를 제안한다. 제안된 간섭 제거기는 적응 필터 처리후 간섭 제거 기법을 적용시키기 때문에 동일한 BER(Bit Error Rate)을 얻고자 할 때 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 수렴을 위한 반복수를 줄여 준다. 그리고, 적응 필터를 사용함으로써 기존의 비선형 간섭 제거기에 비해 하드웨어적인 복잡도를 줄일 수 있는 효과가 있다.

ABSTRACT

In this paper, we introduce a modified interference cancellation scheme for multi-user detection in DS/CDMA. Among ICs(Interference Cancellers), PIC(Parallel Interference Canceller) requires the more stages to have the better BER, and SIC(Successive Interference Canceller) faces the problems of large delays. Most of all, the adaptive detector requires many iterations for convergence. To resolve those problems, we propose a new hybrid interference cancellation scheme combining the adaptive filter with CMA and the cancellation method. The proposed interference canceller completely reduces iterations about the same BER performance because it uses the cancellation method after the process of adaptive filter. The proposed IC structure does extract the following characteristics. ; (1) it has the same BER performance only using much smaller iterations than the conventional adaptive detector, (2) the detector having adaptive filter requires less complexity than nonlinear detector.

I. 서론

다양한 멀티미디어 서비스와 전세계 로밍을 목표로 하고 있는 제 3세대 이동 통신 사업인 IMT-2000에서는 DS-CDMA가 제안되어지고 있다. 이는 대역 확산 방식을 이용하는 것으로서 사용자들에 대하여 서로 직교성을 가진 부호를 이용하여 독립적인 신호로 만들어 줌으로써 다중화를 구현한다^[1]. 그러나, 현실적으로 완벽하게 직교하지 않는 확산

부호를 사용하여 사용자간에 간섭을 발생시킴으로써 전체적인 시스템 용량을 감소시키는 결과를 초래한다. 특히, 다중 접속 간섭(Multiple Access Interference)은 시스템의 용량과 BER 성능에 큰 영향을 미친다. 그리고, 송신기의 위치에 따라 수신되는 신호의 전력 크기가 서로 달라짐으로써 문제시되는 원-근거리 문제(near-far problem)도 간섭을 증가시키는 큰 요인이라 할 수 있다.

* 영남대학교 정보통신공학과
논문번호: 010131-0530, 접수일자: 2001년 5월 30일

** 영남대학교 전자정보공학부

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 현재 이동통신 시스템에 적용되는 기술이 전력 제어 기술이다. 이는 송신기가 수신기와 멀리 떨어져 있을 경우 큰 전력 신호를 사용하고 거리가 가까울 경우 작은 전력 신호를 사용함으로써 신호가 최종적으로 수신기에 도착하였을 때는 거리에 상관없이 거의 유사한 전력 신호로 모든 사용자들의 신호를 처리하여 다중 접속 간섭 발생을 최소화하는 기술이다. 그러나, CDMA 시스템 특성상 전력 제어 기술만으로는 완벽하게 직교하지 않는 확산 코드로 인해 발생하는 다중 간섭을 완전하게 제거하지 못해 CDMA 시스템의 성능 향상에 한계가 생긴다. 이와 같은 한계를 극복하기 위한 방법으로 최근에 간섭 제거기에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다^{[2][3]}.

기존의 수신기는 사용자 신호의 확산 부호에 맞추어진 정합 필터에 수신 신호를 통과시킨 후 신호 판정을 하게 되나 다중 접속 간섭으로 인해 성능이 저하된다. 이같은 문제점을 개선시킬 목적으로 최적의 간섭 제거기가 제안되었다^[4]. 그러나, 이 시스템은 Viterbi 알고리즘을 사용함으로써 사용자의 수 K 에 비례하여 시스템의 단수가 2^{K-1} 만큼 요구되기 때문에 실제로 구현이 불가능하여 구현 가능한 준최적 간섭 제거기가 제안되었다. 이러한 간섭 제거기는 크게 선형 간섭 제거기와 비선형 간섭 제거기로 구분되어진다. 선형 간섭 제거기는 기존의 정합 필터단의 출력에 선형 변환을 적용한 것으로서 기본적으로 동기 시스템을 대상으로 하여 제안되었는데 역상관기(decorrelating receiver), MMSE(Minimum Mean Squared Error) 수신기가 있다^{[2][4]}. 역상관기는 사용자간의 상호 상관 행렬의 역행렬을 정합 필터단의 출력에 곱해줌으로써 다중 접속 간섭을 줄여주는 선형 방식을 사용한다. 이 수신기는 구현은 간단한데 비해 역행렬을 곱해주는 과정에서 잡음 전력이 증가(noise enhancement)하는 단점을 가지고 있다. MMSE 수신기는 역상관기에서 일어나는 잡음 전력이 증가하는 문제점을 개선시킨 간섭 제거기이지만 잡음 요소를 고려한 선형 변환을 함으로써 모든 사용자의 신호 크기와 잡음의 분산을 미리 알고 있어야 된다는 단점을 가지고 있다. 비선형 간섭 제거기는 수신기의 구조를 개선시켜 성능을 향상시키는 것으로 구조에 따라 병렬형 간섭 제거기와 순차적 간섭 제거기로 나뉘어진다. 병렬형 간섭 제거기는 정합 필터만을 사용한 초기단의 기존 간섭 제거기에 의해 검출되어지는 출력 신호를 이용하여 자신의 신호를 제외한 나머지 신호

를 제거시킴으로써 원하는 사용자의 신호를 검출한다^[2]. 이 방식은 모든 사용자의 신호를 동시에 처리함으로써 그 처리 속도는 빠르나 원하는 BER 성능을 얻기 위하여 다단 구조를 이용하여야 하므로 장치적으로 복잡한 단점을 가지고 있다. 순차적 간섭 제거기는 정렬 기법을 이용하여 신호 전력의 크기가 가장 큰 사용자의 신호부터 검출하여 전체 신호에서 제거시킨다^[5]. 그리고, 두 번째의 사용자 신호를 검출하기 위해서 먼저 검출되어진 사용자의 신호를 전체 신호에서 제거시킨 후 그 신호를 입력하여 검출하고 나머지 사용자들에 대해서도 같은 방식으로 반복하여 동작함으로써 BER 성능은 뛰어나고 하드웨어적으로 간단하지만, 지연 시간이 길다는 단점이 있다. 최근 활발히 연구되고 있는 적응형 간섭 제거기는 반복 알고리즘을 적용시킨 적응 필터를 사용하여 성능을 개선시키는 것으로서 일정한 필터에 잡음과 혼합된 신호를 통과시켜 원하는 신호를 검출한다^{[6][7]}. 즉, 신호와 잡음이 합쳐진 입력 신호에서 하나 또는 그 이상의 보조(auxiliary) 혹은 참조(reference) 입력을 이용하여 잡음을 제거하기 위한 파라메타를 구하는 것이다. 적응형 간섭 제거기는 채널에 의한 감쇠를 보상하는 알고리즘의 형태에 따라 훈련열(training sequence)을 사용하는 적응형 검출기와 사용자의 확산 부호만으로 동작하는 blind 검출기로 나뉜다. 적응형 검출기와 blind 검출기는 채널에 의해 감쇠된 사용자 신호를 검출하는 것과 동시에 다른 사용자들에 의한 간섭 신호를 제거하는 뛰어난 성능을 나타내고 비교적 간단한 알고리즘을 적용시켜 시스템 복잡도를 줄여 줄 수 있다. 그러나, 원하는 BER 성능을 얻기 위해서 반복 알고리즘을 사용하기 때문에 수렴하기 위해서 많은 반복수가 필요하다^{[8][9]}.

본 논문에서는 기존의 간섭 제거기들의 단점을 개선시키기 위해서 하드웨어적으로 간단하게 구현할 수 있는 적응형 간섭 제거기를 동작시켜 출력되어지는 신호를 이용하여 간섭 제거 기법을 적용시킴으로써 반복 알고리즘의 반복수를 최소화시킨 간섭 제거기를 제안하였다.

I장은 CDMA 시스템에 대하여 개략적으로 설명하고 간섭 제거기의 필요성과 그 종류에 대하여 언급을 한다. II장은 제안한 간섭 제거기에 대한 구조와 동작 원리, 장단점에 대하여 설명을 하며 III장은 동일한 채널 환경내에서 기존의 간섭 제거기와 제안된 간섭 제거기의 성능을 비교함으로써 시스템에 대한 평가를 한다. 그리고, IV장은 제안된 간섭 제

거기에 대한 최종 성능 분석 결과를 논의한다.

II. 제안된 적응형 간섭 제거기

최근에는 다중 접속 간섭 제거와 무선 채널 환경에 의한 신호 왜곡을 보상하기 위해서 비교적 간단히 구현할 수 있는 적응 필터를 사용한 적응형 간섭 제거기가 많이 제안되고 있다. 적응형 간섭 제거기는 적응 필터를 사용함으로써 장치적으로 간단하게 구현할 수 있는 것에 반해 수렴을 위한 알고리즘의 반복 횟수가 많다는 단점이 있다.

본 논문에서 제안한 간섭 제거기는 장치적인 복잡도를 줄이기 위해서 반복 알고리즘을 적용시킨 적응 필터를 사용하였다. 특히, 이 시스템은 적응 필터를 동작시킨후 간섭 제거 기법을 적용시켰는데 적응형 간섭 제거기를 동작시켜 얻는 출력 신호중에 자신의 신호를 제외한 나머지 신호들을 재생성시켜 수신 신호에서 제거시킨 후 원하는 특정 신호를 검출한다. 적응 필터에 간섭 제거기법을 적용시킨 제안된 간섭 제거기는 기존의 적응 필터만을 사용하는 적응형 간섭 제거기와 비교할 때 보다 적은 반복 횟수로 동작하더라도 유사한 BER 성능을 얻을 수 있다. 즉, 적응형 알고리즘을 동일하게 반복시켰을 경우 제안된 간섭 제거기는 개선된 입력 신호에 의해 기존의 적응형 간섭 제거기보다 나은 BER 성능을 나타낸다. 제안된 시스템의 전체 블록도는 그림1에서 나타내었다.

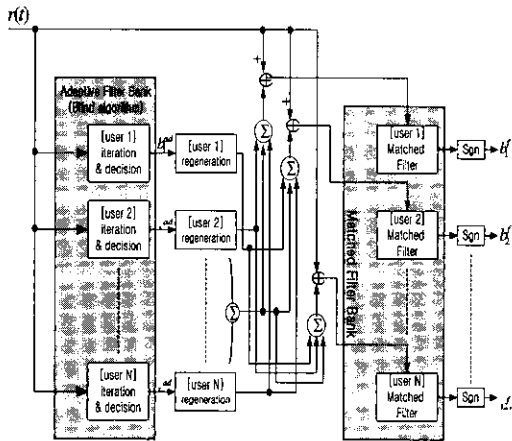


그림 1. 제안된 간섭 제거기의 전체 블록도

제안된 간섭 제거기에 입력되어지는 수신 신호 $r(t)$ 는 식 (1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{m=1}^K \sum_{l=1}^L \sqrt{2P_m} b_m(t - \tau_{m,l}) s_m(t - \tau_{m,l}) o_{m,l}(t) + n(t) \quad (1)$$

여기서 K 는 총 사용자 수, L 은 다중 경로 수, $\sqrt{2P_m} b_m(t), s_m(t)$ 는 m 번째 사용자의 신호 전력 크기, 데이터열, 확산 코드열을 나타내고 $o_{m,l}(t)$ 와 $\tau_{m,l}$ 는 레일리 페이딩(rayleigh fading)에 의한 신호 크기 감쇠 지수와 시간 지연, $n(t)$ 는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)를 나타내는 변수이다.

제안된 간섭 제거기는 식 (1)과 같은 수신 신호 $r(t)$ 를 적응 필터에 입력하게 된다. 각 사용자 신호는 적응 필터에서 요구되는 적응형 알고리즘에 의하여 수렴을 하기 위한 반복 과정을 거치게 되고, 수렴된 출력 신호를 이용하여 사용자 신호를 검출하게 된다. 적응 필터에서 사용되는 적응 알고리즘에는 크게 적응형 알고리즘과 blind 알고리즘이 있는데 적응형 알고리즘은 훈련열을 사용하여 채널에 의한 감쇠 정도를 파악함으로써 수신된 신호를 원 신호에 가깝게 추정을 해주는 방식으로서 주기적으로 훈련열을 송신해야한다는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 blind 알고리즘은 특정 사용자의 확산 코드와 타이밍에 관한 정보만 제공해 주면 원신호를 추정해주는 방식을 따른다. 이와 같은 이유로 본 논문에서는 blind 알고리즘 중 보다 구현하기 쉽고 수렴 속도가 빠른 CMA(Constant Modulus Algorithm)를 적용시켰다¹⁰⁾. CMA를 적용시킨 적응 필터는 그림 (2)와 같다. 그림 (2)에서 T_c 는 chip 주기를 나타내고 X 는 적응 필터단 입력 신호를 나타내며 w

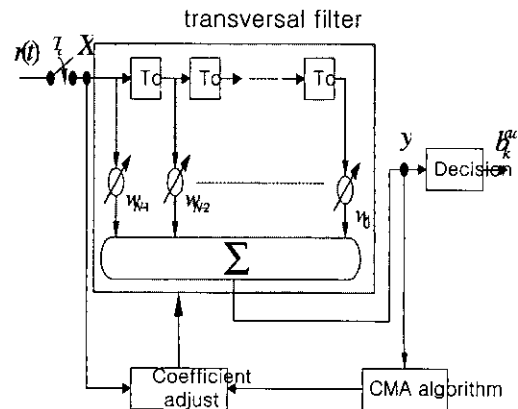


그림 2. CMA가 적용된 적응필터의 블록도

는 알고리즘 반복(iteration) 수행에 의한 결과 가중치를 나타낸다. 그리고, 필터를 통과하여 출력되는 신호는 y 로 나타내고 b_k^{ad} 는 적응 필터에 의해 얻는 결과 신호이다.

적응 필터에 적용된 CMA의 비용 함수는 CM (Constant Modulus) 이론에 근거하여 식 (2)와 같이 표현된다.

$$J_{CM} = \frac{1}{4} E[(|y(k)|^2 - \xi)^2] \quad (2)$$

여기서 y 는 적응 필터의 출력 신호를 나타내고 k 는 k 번째 bit 간격을 나타내며 ξ 는 양의 값을 가지는 상수를 나타낸다. 식 (2)의 비용 함수를 gradient search 알고리즘에 적용시키면 반복에 의해 갱신되어지는 가중 벡터에 대한 수식을 얻을 수 있으며 이를 식 (3)에 나타내었다.

$$W(k+1) = W(k) - \mu(|y(k)|^2 - \xi)y(k)X_g(k) \quad (3)$$

여기서 $W(k)$ 는 k 번의 알고리즘 반복(iteration) 수행에 의한 결과 가중치, $W(k+1)$ 는 $k+1$ 번의 알고리즘 반복 수행에 의한 결과 가중치를 나타내고 μ 는 적응 상수(step size)를 나타낸다. 그리고, 필터를 통과하여 출력되는 신호는 y 로 나타낸다.

식 (3)의 반복 수행으로 인해 정해진 가중치 $W(k)$ 는 입력 신호 $X_g(k)$ 와 연산을 하여 최종적인 검출 과정을 거치게 된다. 각 적응 필터에서 검출되어진 신호는 식 (4)와 같다.

$$b_k^{ad} = \text{sgn}[X_g(k)^T W(k+1)] \quad (4)$$

이와 같이 제안된 간섭 제거기는 식 (3),(4)의 과정을 수행함으로써 수신 신호를 사용한 blind 알고리즘을 동작하여 출력 신호 b_k^{ad} 를 얻게 된다.

제안된 간섭 제거기는 적응 필터의 출력 신호 b_k^{ad} 를 이용하여 간섭 제거 기법을 적용시키게 된다. 즉, 식 (5)와 같이 적응 필터에서 검출되어진 각 사용자의 출력 신호는 채널 추정법과 재확산 과정을 거치게 되고 특정 신호를 제외한 나머지 신호들을 수신 신호 $r(t)$ 에서 제거시키게 되고 신호를 검출하기 위해서 정합 필터를 통과하게 된다.

$$\hat{z}_k = \frac{1}{T} \int_0^T (r(t) - \sum_{m=0}^{K-1} b_m^{ad} s_m(t)) s_k(t) dt \quad (5)$$

정합 필터를 통과한 후 식 (6)과 같이 원하는 사용자의 신호를 재검출한다.

$$b_k^i = \text{sgn}[\hat{z}_k] \quad (6)$$

이 같은 간섭 제거 과정은 다단 구조로 반복되어 될 수 있다. 각 단은 바로 전 단의 검출 신호를 이용하여 위에서 언급한 간섭 제거 기법을 사용하여 좀 더 향상된 BER 성능을 얻을 수 있는 검출 신호를 출력하게 된다. 즉, 제안된 간섭 제거기는 간섭 제거 기법을 적응 필터의 후단에 적용시킴으로써 적응 알고리즘의 반복수를 매우 적게 하더라도 원하는 BER 성능을 얻을 수 있을 것이다. 그러나, 하드웨어적인 복잡도가 증가한다는 단점이 있으므로 본 논문에서는 1단의 간섭 제거 기법을 사용한다.

제안된 간섭 제거기의 특성은 다음과 같다. 적응 필터의 알고리즘에 동일한 반복수를 수행했을 경우 적응 필터의 후단에 간섭 제거 기법을 적용시킨 제안된 간섭 제거기는 단지 적응 필터만 이용하는 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 보다 나은 BER 성능을 기대할 수 있다. 즉, 동일한 BER 성능을 얻고자 할 때 제안된 간섭 제거기는 후단에 간섭 제거 기법을 적용시킴으로써 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 빠른 수렴 속도를 나타낼 수 있다. 그리고, 적응 필터를 사용하여 신호를 검출함으로써 장치적으로 복잡한 문제점을 나타내는 비선형 간섭 제거기들의 문제점을 극복하는 것이 가능하다.

III. 모의 실험

이 장에서는 제안된 간섭 제거기에 대한 모의 실험을 통해 그 성능을 분석한다. 전체 시스템은 사용자의 전력이 0dB에서 30dB 사이의 분포를 가지는 전력 제어가 완벽하지 않은 역방향 링크일 경우의 수신단인 기지국(base station)으로 가정을 하고, 확산 부호는 2^5-1 의 길이를 가지는 PN 코드를 사용하였으며 완벽한 동기 수신인이 이루어 진다고 가정하였다. 그리고, 채널 환경은 AWGN(Additive White Gaussian Noise)과 레일리 페이딩을 사용하였고, 파라미터인 반송파 주파수와 이동국의 속도는 각각 1.9GHz, 100 Km/h으로 가정하였다.

그림 3,4는 다양한 반복 횟수에 따른 CMA 적응형 간섭 제거기와 Conventional detector간의 성능을 SNR과 총사용자수에 따른 BER로써 비교하여 보았다. 그림 3,4를 비교해보면 적응 알고리즘의 반

복 횟수가 증가함에 따라 간섭 신호와 심볼간 간섭 (Inter-Symbol Interference)이 점차 감소되어 BER 성능이 보다 나아지는 것을 확인할 수 있다.

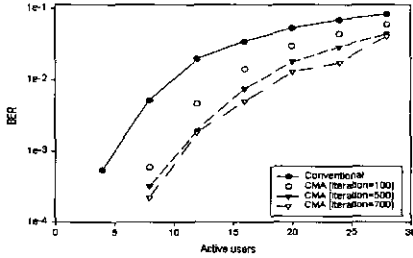


그림 3. 사용자수에 따른 BER 성능 비교 (SNR=6dB)

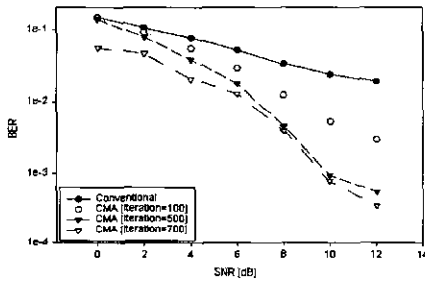


그림 4. SNR에 따른 BER 성능 비교 (총사용자수=20)

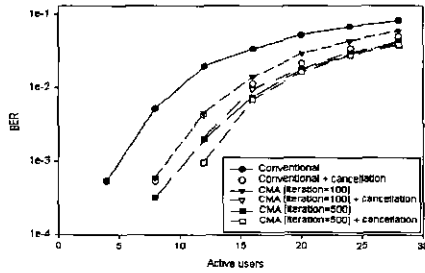


그림 5. 사용자수에 따른 제안된 간섭 제거기의 BER 성능 비교 (SNR=6dB)

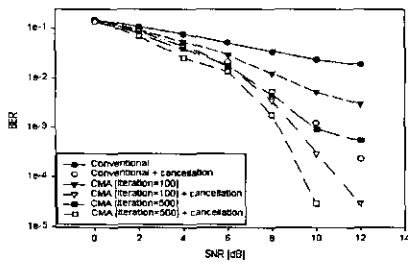


그림 6. SNR에 따른 제안된 간섭제거기와의 BER 성능 비교 (총사용자수=20)

그림 5,6은 적응 필터와 간섭 제거 기법이 적용되어진 제안된 간섭 제거기의 성능을 기존의 적응형 간섭 제거기와 비교해보기 위하여 SNR과 총 사용자수에 따른 BER을 나타내었다. 그림 5에서 총 사용자수가 20명, CMA의 반복횟수가 100번일 경우 기존의 CMA를 이용한 적응형 간섭 제거기의 BER은 2.941×10^{-2} 이고, CMA와 간섭 제거 기술을 사용한 제안된 간섭 제거기의 BER은 1.814×10^{-2} 이다. 그리고 CMA의 반복 횟수가 500번일 경우 기존의 적응형 간섭 제거기는 1.782×10^{-2} 를 나타내고 제안된 간섭 제거기는 1.642×10^{-2} 의 BER 성능을 나타내었다. 그러므로, 제안된 간섭 제거기는 간섭 제거 기법을 추가적으로 사용함으로써 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 보다 나은 BER 성능을 나타냄을 알 수 있다.

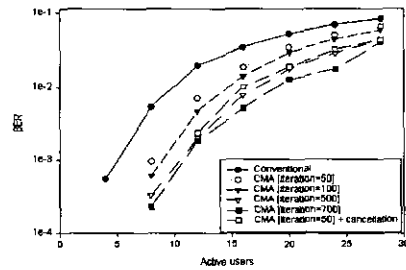


그림 7. 간섭 제거 기법의 성능을 알기 위한 BER 성능 비교 (SNR=6dB)

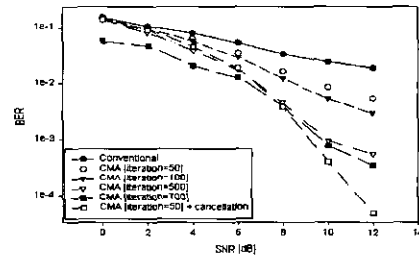


그림 8. 간섭 제거 기법의 성능을 알기 위한 BER 성능 비교 (총사용자수=20)

그림 7,8은 유사한 BER 성능을 나타낼 때 제안된 간섭 제거기의 적응 알고리즘의 반복 횟수가 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 얼마나 감소하는지를 분석하기 위하여 SNR과 총 사용자수에 따른 BER을 분석하였다. 그림 (8)에서 SNR이 6dB일 경우 반복 횟수가 50번인 기존의 적응형 간섭 제거기

의 BER은 3.478×10^{-2} , 100번일 경우 2.941×10^{-2} , 500일 경우 1.782×10^{-2} , 700일 경우 1.1281×10^{-2} 이다. 그리고, 간섭 제거 기법이 사용되어진 제안된 간섭 제거기의 적응 알고리즘이 50번 반복하였을 경우 반복 횟수가 50번이고 1.887×10^{-2} 의 BER 성능을 나타내었다. SNR이 20dB일 경우에는 기존의 간섭 제거기의 BER은 반복 횟수가 50번일 경우 5.45×10^{-3} , 100번일 경우 2.96×10^{-3} , 500번일 경우 5.5×10^{-4} , 700번일 경우 1.5×10^{-4} 이고 반복 횟수가 50번인 제안된 간섭 제거기의 BER은 5×10^{-5} 을 나타내었다. 이같은 모의 실험 결과를 볼 때 제안된 간섭 제거기는 기존의 적응형 간섭 제거기에 간섭 제거 기법을 함께 사용함으로써 원하는 BER성능을 얻기 위한 적응 필터의 반복 횟수를 줄여줄 수 있음을 확인할 수 있다. 특히 SNR이 높은 dB값을 나타내는 환경일수록 제안된 간섭 제거기의 성능이 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 보다 향상된 성능을 보여준다.

IV. 결론

본 논문에서는 적응 필터의 출력 신호에 간섭 제거 기법을 적용시킨 간섭 제거기에 대해서 논의하였다. 제안된 간섭 제거기는 적응 필터의 반복 알고리즘에 의해 수립된 출력 신호를 간섭 제거 기법을 이용하여 MAI를 더욱 감소시켜주는 방법을 사용하고 있다. 이런 과정을 수행함으로써 기존의 적응형 간섭 제거기보다는 장치적으로 좀더 복잡해지는 단점을 나타내었다. 그러나, 이 시스템은 동일한 BER을 기준으로 보았을 경우 보다 적은 반복수로도 충분히 원하는 성능을 얻을 수 있었다. 그리고, 하드웨어적인 복잡도면에서 볼 때 적응 필터를 사용함으로써 비선형 간섭 제거기에 비해 간단한 구조를 갖는다.

참고 문헌

[1] S. G. Glisic, P. A. Leppanen, *Code Division Multiple Access Communications*, Kluwer Academic Publishers, 1995
 [2] S. Moshavi, "Multi-User Detection for DS-CDMA Communications", *IEEE Communication Magazine*, Oct. 1996, pp.124-136
 [3] S. Verdu, *Multuser Detection*, CAMBRIDGE

University Press, 1998

[4] R. Lupas, S. Verdu, "Linear Multiuser Detectors for Synchronous Code-Division Multiple-Access Channels", *IEEE Transaction on Information Theory*, Vol. 35, No. 1, Jan. 1989, pp.123-136
 [5] P. Patel, J. Holtzman, "Analysis of a Simple Successive Interference Cancellation Scheme in a DS/CDMA System", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 12, No. 5, June. 1994, pp.796-807
 [6] Simon Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 1996
 [7] S. Verdu, *Adaptive Multiuser Detection*, Kluwer Academic Publishers, 1995
 [8] G. Woodward, B. S. Vucetic, "Adaptive Detection for DS-CDMA", *Proceedings of The IEEE*, Vol. 86, No. 7, July 1998, pp.1413-1434
 [9] M. Honig, U. Madhow, S. Verdu, "Blind Adaptive Multiuser Detection", *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol.41, No.4, July 1995, pp. 994-960
 [10] W. Lee, B. R. Vojcic, "Constant Modulus Algorithm for Blind Multiuser Detection", *In Proceeding of the ISSSTA96*, Germany, 1996, pp.1262-1266

염 순 진(Sun-jin Yeom)

학생회원



1999년 2월 : 영남대학교

전자 공학과 졸업 (학사)

1999년 3월~현재 : 영남대학교

정보통신공학과

석사 과정

박 옹 원(Yong-wan Park)

정회원



1982년 2월 : 경북대학교

전자 공학과 졸업 (학사)

1984년 2월 : 경북대학교

전자 공학과 졸업 (석사)

1989년 2월 : 뉴욕주립대

전자 공학과 졸업 (석사)

1992년 2월 : 뉴욕주립대

전자공학과 졸업 (박사)

1992년 10월~1993년 12월 : 캘리포니아 공과대학

Research Fellow

1994년 1월~1996년 8월 : 한국이동통신 PCS 기술

연구팀장

1996년 9월~현재 : 영남대학교 전자정보공학부

부교수