

개선된 입력 신호를 사용한 적응형 간섭 제거기에 관한 분석

학생회원 염순진*, 정회원 박용완*

Analysis of Adaptive Multiuser Detector using the Improved Input Signal

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 사용되어지는 간섭 제거기에 대하여 소개한다. 기존의 간섭 제거 기술 중 병렬형 간섭 제거기는 장치적으로 복잡하고, 순차적 간섭 제거기는 지연 시간이 길다는 단점을 가지고 있다. 그리고, 적응형 간섭 제거기는 반복 알고리즘을 적용시킨 적응형 필터를 사용하여 원하는 BER(Bit Error Rate) 성능을 얻기 위해 많은 반복수가 필요하다. 이러한 간섭 제거기들의 성능을 개선시키기 위해서 제안된 간섭 제거기는 기존의 적응형 간섭 제거기에 전체 수신 신호를 입력시키지 않고 순차적 간섭 제거기의 정렬(sorting) 기법을 이용한 간섭 제거 기법을 적용시켜 MAI(Multiple Access Interference)를 사전에 제거시킨 신호를 입력시킴으로써 BER 성능을 향상시키는 것과 동시에 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 수렴을 위한 반복수를 줄여 준다. 또한 적응형 필터를 사용하여 기존의 비선형 간섭 제거기에 비해 하드웨어적인 복잡도를 줄일 수 있는 효과가 있다.

ABSTRACT

In this paper, we introduce a modified interference cancellation scheme to overcome MAI in DS-CDMA. Among ICs(Interference Cancellers), PIC(Parallel IC) requires the more complexity, and SIC(Successive IC) faces the problems of the long delay time. Most of all, the adaptive detector achieves the good BER performance using the adaptive filter conducted iteration algorithm. so it requires many iterations. To resolve the problems of them, we propose an improved adaptive detector that the received signal removed MAI through the sorting scheme and the cancellation method are fed into the adaptive filter. Because the improved input signal is fed into the adaptive filter, it has the same BER performance only using smaller iterations than the conventional adaptive detector, and the proposed detector having adaptive filter requires less complexity than the other detectors.

1. 서 론

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 발생

* 영남대학교 정보통신공학과 이동통신 연구실(ywpark@ynuucc.yeungnam.ac.kr)
논문번호 : 00175-0517, 접수일자 : 2000년 5월 17일

시킴으로써 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 수신되어지는 신호의 전력 크기가 서로 달라짐으로써 문제시되는 원-근거리 문제(near-far problem)도 간섭을 증가시키는 큰 요인이라 할 수 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 현재 이동통신 시스템에 적용되어지는 기술이 전력 제어 기술이다. 이는 송신기가 수신기와 멀리 떨어져 있을 경우 큰 전력 신호를 사용하고, 거리가 가까울 경우 작은 전력 신호를 사용함으로써 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 요구되어지기 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 것으로써 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 잡음

의 분산을 미리 알고 있어야 한다는 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 필터단을 사용한 초기단의 기존 간섭 제거기에 의해 검출되어지는 출력 신호를 이용하여 자신의 신호를 제외한 나머지 신호를 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 방식을 반복하여 동작함으로써 BER 성능은 뛰어나고 하드웨어적으로 간단하지만, 지연 시간이 길다는 단점이 있다. 최근 활발히 연구되어지고 있는 적응형 간섭 제거기는 반복 알고리즘을 적용시킨 적응 필터를 사용하여 성능을 개선시키는 것으로써 일정한 필터에 잡음과 혼합된 신호를 통과시켜 원하는 신호를 검출한다^{[6][8]}. 즉, 신호와 잡음이 합쳐진 입력 신호에서 하나 또는 그 이상의 보조(auxiliary) 혹은 참조(reference) 입력을 이용하여 잡음을 제거하기 위한 파라미터를 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^{[9][10]}.

본 논문에서는 기존의 간섭 제거기들의 단점을 개선시키기 위해서 수신 신호에 정렬 기법을 이용한 간섭 제거 기법을 적용시켜 다중 접속 간섭을 제거시킨 후 그 출력 신호를 하드웨어적으로 간단하게 구현할 수 있는 적응형 간섭 제거기에 입력시켜 반복 알고리즘의 반복수를 최소화시킨 간섭 제

거기를 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 제거기에 대한 최종 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 제안되어지고 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 필터에 수신 신호를 입력시키지 않고 정렬 기법을 이용한 간섭 제거 기법을 적용시켜 다중 접속 간섭을 제거시킨 신호를 입력함으로써 원하는 BER 성능을 얻기 위해 필요한 알고리즘의 반복 횟수를 줄여준다. 즉, 적응형 간섭 제거기를 동작시키기 전에 수신 신호에 순차적 간섭 제거기의 정렬 기법을 이용한 간섭 제거 기법을 적용시켜 다중 접속 간섭을 사전에 제거시킴으로써 입력 신호의 SIR (Signal-to-Interference plus noise Ratio)을 높여준다. 이렇게 발생된 신호를 적응 필터에 입력시킴으로써 기존의 적응 필터만을 사용하는 적응형 간섭 제거기와 비교할 때 유사한 BER성능을 가지는 것에 반해 보다 빠른 수렴 속도를 나타낸다는 것이다. 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 그림 (1)에서 나타내었다. 제안된 간섭 제거기에 입력되어지는 수신 신호 $r(t)$ 는 식 (1)과 같다.

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

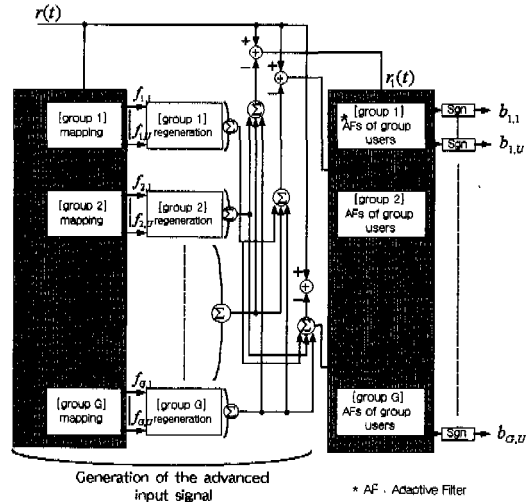


그림 1. 제안된 간섭 제거기의 전체 블록도

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.

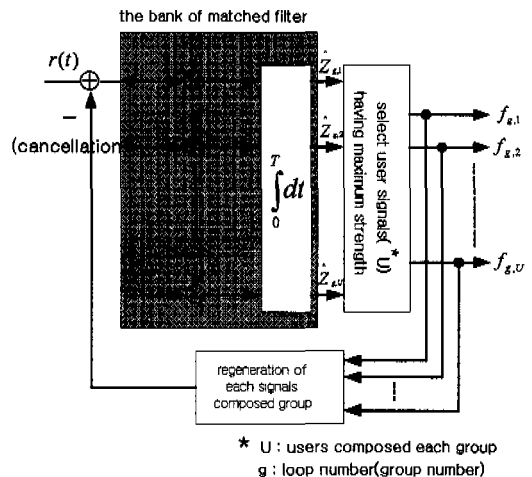


그림 2. 적응 필터에 입력되는 개선된 신호 발생(그림 (1)중 "Ranking to form group" 블록의 동작 구성도)

제안된 간섭 제거기는 수신 신호 $r(t)$ 에 정렬 기법을 사용하여 사용자들을 그룹화시키는 과정 및 간섭 제거 기법을 이용한 MAI를 제거시키는 과정

을 거치게 된다. 정렬 기법은 각 사용자들의 정합 필터 출력 신호의 전력값을 산출하여 가장 큰 신호 전력값을 나타내는 사용자의 신호를 선별하는 과정으로써 제안된 간섭 제거기에서는 적응 필터의 동작전에 MAI를 감소시키기 위해 정렬 기법을 사용하여 사용자들을 선별한 후 간섭 제거 기술을 적용시킨다. 그리고, 정렬 기법을 사용한 간섭 제거 기법을 적용시킴으로써 지연 시간이 길어진다는 단점을 보완하기 위해 복수 명의 사용자들을 그룹화시켜 한꺼번에 처리를 하는 방법을 사용한다. 그림 (2)는 그림 (1)에서 정렬 기법을 사용하여 사용자들을 그룹화시켜 MAI를 제거시키는 과정을 나타내는 시스템 블록도이다.

만약 총 그룹수가 G 라고 할 때 각 그룹에 속해 지는 사용자수는 환경에 따라 임의로 정할 수 있다. 그 중 제안된 시스템에서 사용되어지는 순차적 간섭 제거기의 정렬 기법이 보다 효과적으로 적용되어질 수 있도록 사용자 신호 전력의 분포에 따라 각 그룹에 속해지는 사용자수를 정하는 것이 효과적인 방법이다. 예를 들면, 그룹수가 2개이고 총 사용자가 10명으로 구성된 환경에서 신호전력이 비교적 큰 사용자가 7명일 경우 첫번째 그룹은 7명으로 구성하고 두번째 그룹은 3명으로 구성함으로써 좀더 효과적으로 시스템을 구성할 수 있다. 그러나, 본 논문에서는 수식 전개를 위해서 각 그룹에 분포되어지는 사용자의 수가 $U(K/G)$ 명으로 동일하게 검출된다고 가정을 한다.

첫 번째 단계로 입력신호 $r(t)$ 는 정렬하는 단계를 거쳐 신호 전력이 가장 큰 사용자들 U 명으로 구성이 되는 첫 번째 그룹에 대하여 검출(mapping)하는 과정을 거친다. 이 때 정합 필터단의 출력신호는 식(2)와 같다.

$$\hat{z}_{1,u} = \frac{1}{T} \int_{\tau_{1,u}}^{T+\tau_{1,u}} r(t) s_{1,u}(t-\tau_{1,u}) dt \quad (2)$$

$$= \sum_{i=1}^L \sqrt{2P_{1,u}} b_{1,u} o_{1,u,i} + MAI + N_{1,u}(t)$$

여기서 T 는 데이터열의 주기, L 은 다중 경로의 수, $\hat{z}_{1,u}$ 의 1은 정렬 기법에 의해 생성되어진 첫 번째 그룹을 나타내고 u 는 그룹을 구성하는 U 명중 특정 사용자를 나타낸다. 그리고 MAI는 다른 사용자들에 의한 간섭을 나타내며 $N_{1,u}(t)$ 는 검출되어지는 AWGN이다. 출력된 정합필터의 신호를 이용하여 검출하는 단계를 거치게 되면 $f_{1,u} = \text{sgn}[\hat{z}_{1,u}]$ 와 같은 검출값이 남게 된다. 여기서 f 는 검출값, z 는 정

합 필터단의 각 출력 신호를 나타낸다.

그리고, 두 번째 그룹을 생성시키기 위하여 첫 번째 그룹의 검출값들을 재확산시킨 후 $r(t)$ 에서 제거시킨 신호 $\hat{r}_2(t)$ 를 정렬시켜 신호 전력이 가장 큰 사용자들 K/G 명(U)의 신호를 검출하게 된다. 전체 그룹 G 개중 수신 신호 $r(t)$ 가 입력되는 첫 번째 그룹을 제외한 임의의 g 번째 그룹의 입력 신호를 일 반화시키면 식 (3)과 같다.

$$\hat{r}_g(t) = r(t) - \sum_{j=1}^{g-1} \sum_{i=1}^U f_{j,i} s_{j,i}(t) \quad (3)$$

여기서 g 는 전체 그룹 G 개중 특정 그룹을 나타낸다. 식 (3)의 입력 신호를 사용하여 정합필터를 거친 신호는 식 (4)와 같다.

$$\hat{z}_{g,u} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^L \int_{\tau_{g,u}}^{T+\tau_{g,u}} \hat{r}_g(t) s_{g,u}(t-\tau_{g,u}) dt \quad (4)$$

$$= \sum_{i=1}^L \sqrt{2P_{g,u}} b_{g,u} o_{g,u,i} + MAI + N_{g,u}(t)$$

출력된 정합 필터의 신호를 이용하여 검출되어진 신호는 식 (5)와 같다.

$$f_{g,u} = \text{sgn}[\hat{z}_{g,u}] \quad (5)$$

위의 수식들과 같이 그룹 G 개 생성시 이전 그룹들의 검출 신호를 재확산시켜 $r(t)$ 에서 제거한 후 사용자들의 신호 전력 크기를 기준으로 정렬시켜 검출하는 과정을 반복하게 된다. 이렇게 순차적 간섭 제거기의 정렬 기법을 이용하여 사용자들을 그룹화시킨 후 생성되어진 검출값 $f_{g,u}$ 은 적응형 간섭 제거기를 구성하는 적응 필터 그룹의 입력 신호 발생에 사용된다. 즉, 임의의 g 번째 그룹에 포함된 사용자들의 신호를 검출하기 위해서 자신의 그룹에 포함된 사용자들을 제외한 나머지 그룹의 사용자 검출 신호를 재확산시킨 후 전체신호 $r(t)$ 에서 제거시켜 적응 필터 그룹의 입력 신호를 생성시킨다. 이를 수식으로 표현하면

$$r_g(t) = r(t) - \sum_{j=0}^{g-1} \sum_{i=1}^U f_{j,i} s_{j,i}(t) \quad (6)$$

와 같다^[11].

생성되어진 입력 신호 $r_g(t)$ 는 각각의 적응 필터단에 입력이 되어 적응 알고리즘을 동작시킨다. 적응 알고리즘에는 크게 적응형 알고리즘과 blind 알고리즘이 있는데 적응형 알고리즘은 훈련열을 사용

하여 채널에 의한 감쇠 정도를 파악함으로써 수신된 신호를 원신호에 가깝게 추정해 해주는 방식으로 주기적으로 훈련열을 송신해야한다는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 blind 알고리즘은 특정 사용자의 확산 코드와 타이밍에 관한 정보만 제공해 주면원신호를 추정해주는 방식을 따른다. 이와 같은 이유로 본 논문에서는 blind 알고리즘 중 보다 구현하기 쉽고 수렴 속도가 빠른 CMA(Constant Modulus Algorithm)을 적용시켰다^[12]. CMA를 적용시킨 적응 필터는 그림 (3)과 같다. 그림 (3)에서 Tc는 chip 주기를 나타내고 $X_g(k)$ 는 g번째 그룹의 적응 필터단 입력 신호를 나타내며 w는 알고리즘 반복(iteration) 수행에 의한 결과 가중치를 나타낸다. 그리고, 필터를 통과하여 출력되는 신호는 y로 나타낸다.

적용 필터에 적용된 CMA의 비용 함수는 CM (Constant Modulus) 이론에 근거하여 식 (7)과 같이 표현된다.

$$J_{CM} = \frac{1}{4} E[(|y(k)|^2 - \xi)^2] \quad (7)$$

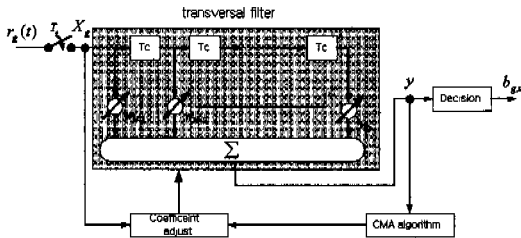


그림 3. CMA가 적용된 적응필터의 블록도

여기서 y는 적응 필터의 출력 신호를 나타내고 k는 k번째 bit 간격을 나타내며 ξ 는 양의 값을 가지는 상수를 나타낸다. 식 (7)의 비용 함수를 gradient search 알고리즘에 적용시키면 반복에 의해 갱신되어지는 가중 벡터에 대한 수식을 얻을 수 있으며 이를 식 (8)에 나타내었다.

$$W(k+1) = W(k) - \mu(|y(k)|^2 - \xi)y(k)X_g^*(k) \quad (8)$$

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

식 (8)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 (9)와 같다.

$$b_{g,u} = \text{sgn}[X_g(k)^T W(k+1)] \quad (9)$$

이와 같이 제안된 간섭 제거기는 식 (8),(9)의 과정을 수행함으로써 개선된 입력 신호를 사용한 blind 알고리즘을 동작시키게 된다.

제안된 간섭 제거기의 특성은 다음과 같다. 적응 필터의 알고리즘에 동일한 반복수를 수행했을 경우 수신 신호 $r(t)$ 에 비해 MAI가 줄어든 $r_g(t)$ 를 적응 필터에 입력시킨 제안된 간섭 제거기는 수신 신호 $r(t)$ 를 입력시키는 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 보다 나은 BER 성능을 기대할 수 있다. 즉, 동일한 BER 성능을 얻고자 할 때 제안된 간섭 제거기는 사전에 MAI가 제거되어진 입력 신호를 사용함으로써 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 수신이 이루어 진다고 가정을 하였다. 그리고, 채널 환경은 AWGN (Additive White Gaussian Noise)과 레일리 페이딩을 사용하였고, 파라미터인 반송파 주파수와 이동국의 속도는 각각 1.9GHz, 100Km/h으로 가정하였다.

그림 (4),(5)는 수신 신호 $r(t)$ 에서 정렬 기법을 이용한 간섭 제거 기법을 적용시켜 MAI를 제거시킨 $r_g(t)$ 를 사용하였을 경우에 나타나는 BER 성능의 향상을 확인하기 위하여 적응 필터를 동작시키기 전의 성능을 나타내었다. 즉, CMA 알고리즘의 초기 상태일 경우에 $r(t)$, $r_g(t)$ 가 각각 입력되어진 적응 필터의 성능을 비교하면 개선된 입력 신호 $r_g(t)$ 에 의해 향상되어지는 시스템의 성능을 평가할

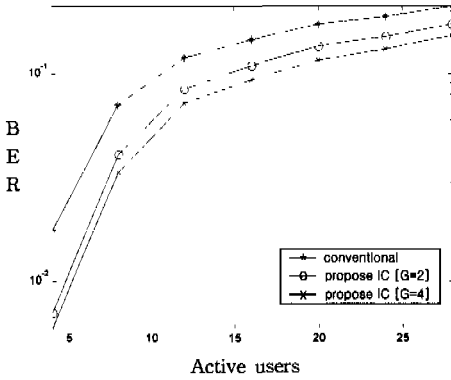


그림 4. 사용자수에 따른 BER 성능 비교 (SNR=6dB, 초기상태)

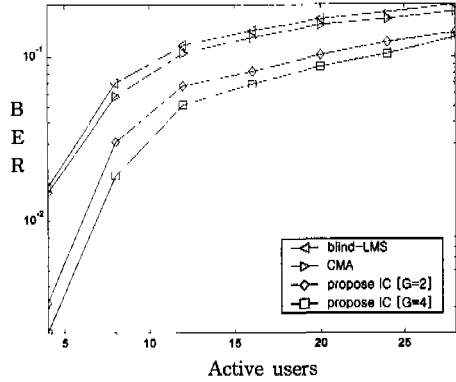


그림 6. 사용자수에 따른 기존의 간섭 제거기와의 BER 성능 비교 (SNR=6dB, 반복수=400)

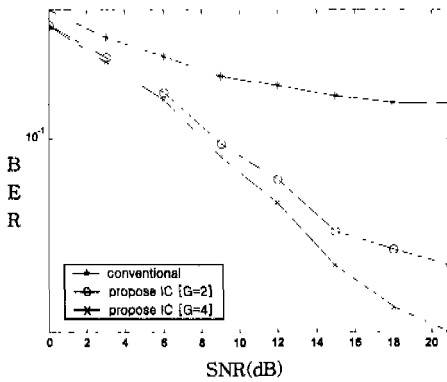


그림 5. SNR에 따른 BER 성능 비교 (총사용자수=20, 초기상태)

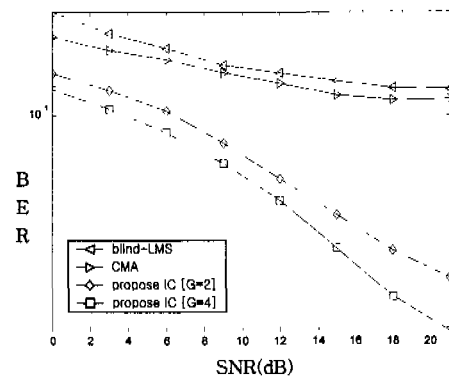


그림 7. SNR에 따른 기존의 간섭제거기와의 BER 성능 비교 (총사용자수=20, 반복수=400)

수 있다. 여기서 개선된 입력 신호를 발생시키는 단의 그룹수가 많을수록 보다 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다. 이는 다른 그룹에 대한 다중 접속 간섭을 제거시킨 입력 신호를 각각의 그룹에 적용시킨 결과로써 그룹수가 많을수록 제거되어지는 신호의 수가 많음으로 인해서 나타나는 결과라고 할 수 있다.

그림 (6),(7)은 기존의 적응 필터만을 사용하여 구현한 간섭 제거기와 제안된 간섭 제거기와의 BER 성능을 비교해 본 그래프이다. 그림 (6)에서 사용자의 수가 20명이고 반복수가 400일 경우 blind-LMS 알고리즘을 적용시킨 간섭 제거기의 BER 성능은 1.706×10^{-1} 을 나타내었고, CMA 알고리즘을 적용시킨 간섭 제거기의 BER 성능은 1.560×10^{-1} 을 나타내었다. 그리고 제안된 간섭 제거기의 그룹수가 2개일 경우에는 1.036×10^{-1} 의 BER 성능을 나타내었고, 4개일 경우에는

8.74×10^{-2} 의 BER 성능을 나타내었다. 즉, 제안된 간섭 제거기는 MAI가 제거되어진 신호 $r_g(t)$ 이 입력되어져 동작함으로써 동일한 CMA 알고리즘을 적용시켰음에도 불구하고 기존의 간섭 제거기에 비해 좀더 나은 BER 성능을 나타내었다.

그림 (8)은 제안된 간섭 제거기와 기존의 간섭 제거기의 수렴 속도를 비교한 것으로써 제안된 간섭 제거기의 그룹수가 많을수록 기존 간섭 제거기의 수렴 속도보다 빠르고 진동폭(vibration height)도 줄어든다는 것을 확인할 수 있다. 이는 정렬 기법을 이용하여 그룹을 생성시켜 적응 필터의 동작 이전에 MAI를 제거시킴으로써 다른 사용자의 신호로부터 간섭을 적게 받는 신호를 입력하여 적응형 알고리즘을 동작시킴으로써 얻는 결과이다.

위의 모의실험을 종합하여 볼 때 제안된 간섭 제거기는 정렬 기법을 이용하여 사전에 MAI를 제거시켜줌으로써 기존의 간섭 제거기보다 좋은 성능을

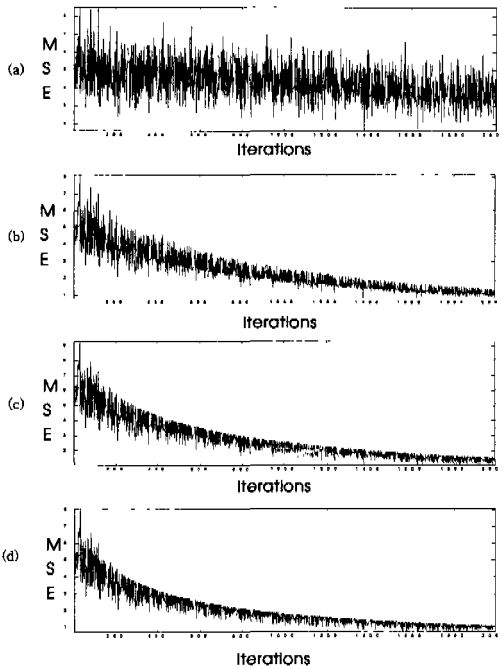


그림 8. 기존의 간섭 제거기와 제안된 간섭 제거기와의 수렴 속도 비교(4명의 사용자, SF=31, 총 반복수=2000)
 (a) blind-LMS (b) CMA
 (c) 제안된 간섭 제거기(그룹수=2)
 (d) 제안된 간섭 제거기(그룹수=4)

나타냄을 확인할 수 있다. 그리고, 그룹수를 증가시키수록 더 많은 간섭 신호들을 제거시킬수 있기 때문에 보다 좋은 BER 성능을 얻을 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 사전에 MAI를 제거시켜 적응 필터의 입력 신호를 향상시킨 간섭 제거기에 대해서 논의하였다. 제안된 간섭 제거기는 사용자들의 신호 전력을 기준으로 한 정렬 기법을 이용한 간섭 제거 기법을 적용시켜 자신의 그룹에 속해 있지 않은 사용자들의 신호를 전체 수신 신호에서 제거시킨다. 그리고, 그 신호를 각 적응 필터 그룹의 입력 신호로 사용함으로써 전체 수신 신호가 입력되는 기존 간섭 제거기보다 뛰어난 성능을 나타내었다. 즉, 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 빠른 수렴 속도를 나타내었고 동일한 BER을 기준으로 보았을 경우 보다 적은 반복수로도 기존의 적응형 간섭 제거기와 같이 수렴을 하였다. 그리고, 이 시스템은 하드웨어적인 복잡도면에서 볼 때 적응 필터를 사용함으로써 비선형 간섭 제거기에 비해 간단한 구조를

나타낸다.

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] S. Sun, L. K. Rasmussen, H. Sugimoto, T. J. Lim, "A Hybrid Interference Canceller in CDMA", *IEEE fifth International Symposium on Spread Spectrum Technology & Application*, Vol. 1, Sep. 1998, pp.150-154
- [7] Simon Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 1996
- [8] S. Verdu, *Adaptive Multiuser Detection*, Kluwer Academic Publishers, 1995
- [9] G. Woodward, B. S. Vucetic, "Adaptive Detection for DS-CDMA", *Proceedings of The IEEE*, Vol. 86, No. 7, July 1998, pp.1413-1434
- [10] M. Honig, U. Madhow, S. Verdu, "Blind Adaptive Multiuser Detection", *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol.41, No.4, July 1995, pp.994-960
- [11] Sunjin Yeom, Panjong Park, Yongwan Park, "Evaluation of Parallel Interference Cancellation with the Advanced First-Stage in Rayleigh-Fading Channels", *VTC 2000*, Vol. 1, Tokyo, May 2000, pp.595-599
- [12] 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)

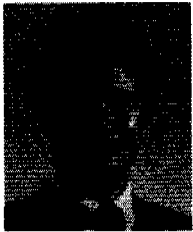
학생회원



1999년 2월 : 영남대학교 전자
공학과 졸업(학사)
1999년 3월~현재 : 영남대학교
정보통신공학과
석사 과정

박 응 완(Yong-wan Park)

정회원



1982년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업 (학사)
1984년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업 (석사)
1989년 2월 : 뉴욕주립대
전자공학과 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 조
교수