

다중전송률 DS-CDMA 시스템을 위한 새로운 하이브리드 간섭제거기

정회원 김 남 선*

A Study on the New Hybrid Interference Cancellation Scheme for Multirate DS-CDMA

Nam-sun Kim* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 다중처리이득 기법을 사용한 비 동기 다중 전송률 DS-CDMA 시스템에서 발생하는 다중접속 간섭을 제거하기 위한 새로운 하이브리드 수신기를 제안한다. 효과적인 간섭제거를 위해, 서로 다른 전송률을 갖는 사용자들을 그룹화 하여 간섭을 제거할 수 있는 새로운 하이브리드 간섭제거 방식을 제시하였다. 즉, 그룹화를 통해 그룹간에는 병렬 간섭제거방식을 사용하여 그룹간의 간섭을 일차적으로 제거하며 그룹 내에는 직렬 간섭제거방식을 적용하여 그룹 내 사용자간의 간섭을 제거하였다. 제안된 시스템을 가우시안 잡음환경 하에서 오류확률을 구했으며, 기존 직렬 간섭제거 방식이나 적응 다단 병렬 간섭제거방식과의 성능비교를 통해 제안된 시스템의 성능이 우수한 것을 알 수 있었다.

Key Words : Multirate; Multi Processing Gain; DS-CDMA; Interference Cancellation.

ABSTRACT

The objective of this paper is to proposed a new Hybrid Interference Cancellation(HIC) receiver to cancel MAI in a multirate DS-CDMA system based on multiple processing gain(MPG). We propose a new improved HIC scheme that divides the active users with different data rates split into a number of groups for effective cancellation. Between each group, GW-PIC is performed to cancel other group signals and within them, SIC is carried out to remove multiple access interference in group. We analyze the performance of the proposed receiver in terms of the bit error rate(BER) and examine its performance. As a conclusion, computer simulations show that the proposed schemes outperforms adaptive multistage PIC and conventional SIC receiver over AWGN channel.

1. 서론

현재 통신기술은 음성, 데이터, 비디오, 텍스트 등 다양한 미디어 서비스를 통합적으로 제공할 수 있는 제 3 세대 이동통신 시스템으로 발전해 가고 있다. 이러한 무선통신 환경을 구축하기 위해 차세대 이동통신 시스템은 대 용량 및 다중 데이터 율 고속 무선통신의 특징을 수용할 수 있는 이동통신 기

술의 채택을 요구하고 있다. 즉, 차세대 무선 이동통신 시스템은 CDMA 방식을 기반으로 하여 대 용량 및 다중 데이터 율 고속 데이터 통신서비스를 지원할 수 있어야 할 것이다[1].

전송률이 서로 다른 다양한 서비스들을 하나로 통합한 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 다중 전송률(multirate)을 지원하는 다원접속 기술이 요구되는데, 이러한 방법들로는 다변조(Multi-

* 대전대학교 통신공학과(kimns@daejin.ac.kr)

논문번호 : 030453-1014, 접수일자 : 2003년 10월 15일

Modulation)방식, 다중 처리이득(Multi Processing Gain)방식 그리고 다중 칩율(Multi Chip Rate)방식 등이 있다[2][3]. 여기서 다중처리 이득기법은 고정된 칩율(chip rate) 또는 확산 대역폭(spreading bandwidth)내에서 데이터 전송률에 따라 처리이득(processing gain)만을 변화시켜 구현하는 방식으로 고속 데이터 서비스에는 작은 처리이득이 부여되고 저속 데이터 서비스에는 큰 처리이득이 부여된다. 이와 같은 가변 처리이득(VPG: Variable Processing Gain)방법은 구조가 간단하여 다중 전송률 서비스를 실현하기 위해 매우 선호되는 시스템이다.

CDMA 방식의 고속 데이터 통신을 수행함에 있어서 시스템 전반의 성능 및 채널용량을 제한하는 가장 큰 요소중의 하나가 다중사용자 간섭(MAI: Multiple Access Interference)이다. 다중사용자 간섭의 증가는 낮은 비트 에러율을 요구하는 고속 멀티미디어 통신의 성능을 저하시키게 되는데 이러한 간섭 문제와 사용자수 증가로 인한 MAI를 효과적으로 해결할 수 있는 방법 중의 하나가 다중사용자 검출기법이다. 1986년 Verdü에 의해 제안된 최적(optimal)방식은 구현의 어려움을 갖고 있기 때문에 구현 가능성이 높은 준 최적(suboptimal)방식이 많은 관심을 끌고 있다. 다중 사용자 수신기로서 준 최적 수신기의 하나인 감산형 간섭제거방식에는 구조에 따라 직렬(또는 순차적) 간섭제거(SIC: Successive Interference Cancellation)방법[4]과 병렬 간섭제거(PIC: Parallel Interference Cancellation)방식으로 나뉘어 진다[5]. 또한 직렬 간섭제거방식과 병렬 간섭제거방식의 장점들을 조합한 하이브리드 간섭제거(HIC: Hybrid Interference Cancellation)방식이 있다[6].

다중 전송률 DS-CDMA 시스템에서 하이브리드 간섭제거기를 이용하여 다중접속 간섭을 제거하기 위한 많은 연구가 이루어졌다[7][8]. 이런 많은 하이브리드 연구에서, 사용자들은 같은 전송률을 갖는 그룹(group)들로 나누어, 가장 높은 전송률 사용자 그룹으로부터 낮은 전송률 사용자 그룹 순서로 그룹간에는 순차간섭 제거기법을 사용하고 그룹 내에서는 병렬 간섭제거 기법을 사용하여 간섭을 제거한다. 본 논문에서는 가변처리이득(VPG) 기법이 적용된 다중 전송률 비 동기(asynchronous) DS-CDMA를 위한 새로운 하이브리드 간섭제거 방식을 제안한다. 기존 방법과 달리, 서로 다른 전송률을 갖는 사용자들을 그룹으로 나누고 그룹간에는 병렬 간섭제거기법(GW-PIC : Groupwise PIC)을 사용하

고 각 그룹 내에서는 순차 간섭제거 방식을 사용한다. AWGN 환경에서 제안된 시스템의 성능을 분석하고 기존 병렬 간섭제거기와 직렬 간섭제거기와의 성능을 비교 평가한다.

II. 시스템 모델

1. 다중 전송률(multirate) 시스템 모델

본 논문에서는, 이동통신 시스템의 기반 위에서 다중 전송률 시스템을 구현하기 위한 다양한 기법 중에서 가변 처리이득 기법에 기반한 다중 전송률 DS-CDMA 시스템을 다루고자 한다. 이 기법은 각 사용자의 데이터율에 따라 처리이득을 달리하지만 모든 사용자는 동일한 대역폭(bandwidth)을 갖는다. 이러한 경우 시스템 모델은 단일 데이터 율을 갖는 시스템으로 생각하여 시스템을 해석할 수 있다[9][10]. 여기서, 실제(real) 사용자와 가상(virtual) 사용자를 구별 할 필요가 있다. 고 데이터 율 사용자(real users)는 저 데이터 율 사용자(virtual users)의 정수 배로 생각할 수 있는데, 고 데이터 율 사용자 한 명은 m 명의 가상 사용자로 생각할 수 있다. 고 데이터 율을 갖는 사용자의 심볼 율은 m/T 이다. 여기서 m 은 짝수로 가정하며 T 는 저 데이터 사용자들의 비트 간격(bit interval)이다. 사용자들이 3개의 서로 다른 전송률(저, 중, 고)을 갖는다고 가정하면 저 데이터율 사용자, 중 데이터율 사용자 및 고 데이터율 사용자의 처리이득은 각각 N_L , $N_L/2$ 와 $N_L/4$ 이 될 것이며 여기서 N_L 은 저 데이터율 사용자의 처리이득이다.

2. DS-CDMA 수신시스템 모델

DS-CDMA 시스템은 송신기에서 확산부호를 이용하여 정보 데이터를 직접 확산하여 송신한 후 수신기에서 다시 확산 부호계열에 의하여 수신신호를 역 확산시켜 정보를 검출하는 시스템이다. BPSK 변조방식을 사용하는 DS-CDMA 시스템에서 k 번째 사용자의 전송신호는 식 (1)과 같다.

$$S_k(t) = \sqrt{2P_k} a_k(t) b_k(t) \cos(\omega_c t + \theta_k) \quad (1)$$

여기서 P_k 는 k 번째 사용자의 송신전력이며, $a_k(t)$ 와 $b_k(t)$ 는 각각 k 번째 사용자의 확산신호와 정보신호를 표시한다. 또한 T 는 정보비트의 시간간격이고 T_c 는 확산부호의 칩(chip) 간격으로 $T = NT_c$ 의

관계를 만족한다. 여기서 N 은 처리이득(processing gain)이다. 전체 K 명의 사용자가 존재한다고 가정할 경우 비동기(asynchronous) 시스템에서 수신된 신호, $r(t)$ 는 식 (2)와 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{2P_k} a_k(t - \tau_k) b_k(t - \tau_k) \cos(\omega_c t + \phi_k) + n(t) \quad (2)$$

여기서 $n(t)$ 는 양측 스펙트럼밀도가 $N_0/2$ 인 AWGN 잡음이며 τ_k 는 k 번째 사용자 수신신호의 시간지연으로 $[0, T]$ 에서 균일한 분포를 갖는다. 또한 ϕ_k 는 $(\theta_k - \omega_c \tau_k) \bmod 2\pi$ 로 $[0, 2\pi]$ 에서 균일한 분포를 이룬다. 확률변수 τ_k 와 ϕ_k 는 각 송신신호 사이의 상대적인 값만이 의미를 가지므로, 여기서는 K 명의 사용자 가운데 i 번째 사용자를 기준사용자로 고려한다.

III. 제안된 하이브리드 간섭제거(HIC) 수신기

최근에 다중전송률 시스템에서, 다중 간섭제거를 위해 사용되어지는 감산형 간섭 제거기의 특성을 혼합하여 성능을 향상시키는 하이브리드형 간섭제거기가 많이 연구되고 있다[6]-[8]. 병렬 간섭제거기법

은 시간 지연이 적고 사용자 신호의 차가 적을 경우 성능이 우수한 반면 직렬 간섭제거기법은 병렬 간섭제거기법보다 원근효과에 강하지만 시간지연이 큰 문제점을 갖게 된다. 하이브리드 간섭제거기는 이들의 특성을 혼합한 형태로서, 대부분의 제안된 하이브리드형 간섭제거기는 같은 전송률을 갖는 사용자들을 그룹화(grouping)하여 그룹간에는 직렬 간섭제거기로 동작하고 그룹 내에서의 사용자들 간에는 병렬 간섭제거기로 동작시킴으로써 혼합형의 형태를 이룬다.

본 논문에서 제안한 하이브리드 간섭제거기는 기존 방법들과는 달리, 시스템 내에서 서로 다른 전송률을 갖는 사용자들로 그룹화(grouping)하여 그룹간에는 병렬 간섭제거기로 동작하고 그룹 내에서의 사용자들 간에는 직렬 간섭제거기로 동작시킴으로써 혼합형의 형태를 이루는 방식으로 구성했다.

그림 1은 비 동기 다중 전송률 DS-CDMA 시스템에서 다중접속간섭을 제거하기 위한 제안된 하이브리드 수신기이다. 이 수신기는 3개의 IC 단(interference Cancellation stage)으로 나누어 생각할 수 있는데, 첫 번째 IC 단은 기존의 단일 사용자 복조방식 사용하며, 두 번째 IC 단은 그룹단위(groupwise) 병렬 간섭제거(GW-PIC)방식을 이용한

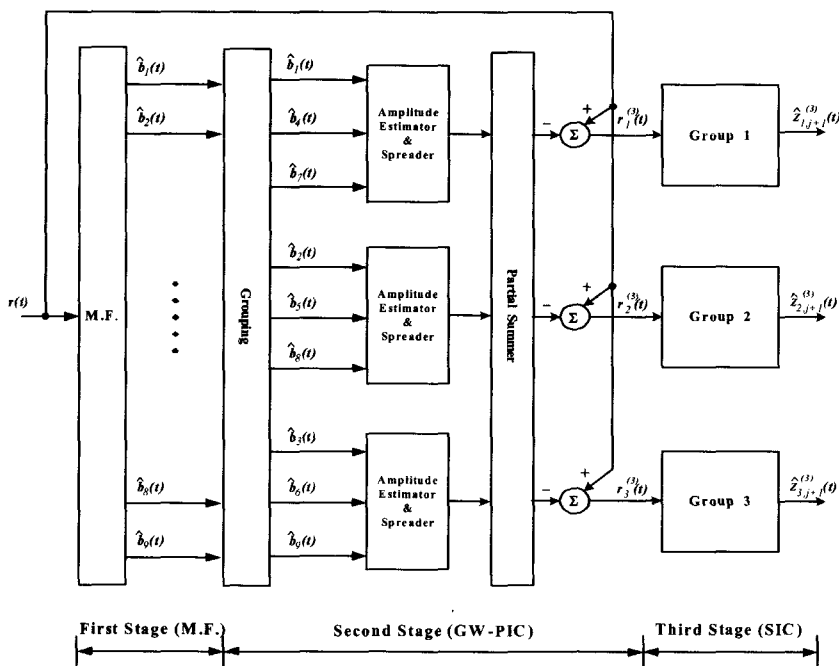


그림 1. 제안된 하이브리드 간섭제거기(K = 9인 경우)

다. 마지막으로 세 번째 IC 단에서 직렬 간섭제거 방식을 사용하여 다중사용자 간섭을 제거하고 사용자 신호를 검출하는 형태로 구성되어 있다.

본 논문의 해석을 위해 K 명의 사용자들의 신호는 수신전력 순으로 정렬되어 있다고 가정하자. 첫 번째 IC 단을 통해 모든 사용자들의 추정값을 얻는데, 이 IC 단이 정합필터(Matched Filter)로 구성될 경우 추정값의 정확도가 향상되고 이 향상된 정확도는 후속 그룹 추정값의 정확도에 영향을 미치므로 전체적으로 추정값의 정확도가 향상되게 된다. K 명의 사용자 가운데 i 번째 사용자를 기준사용자로 할 경우, 첫 번째 IC 단에서 기준 사용자의 결정변수, $Z_i^{(1)}$ 는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} Z_i^{(1)} &= \int_0^T r(t) a_i(t) \cos(w_c t) dt \\ &= A_i + \sum_{k=1, k \neq i}^K I_k^{(1)} + \xi \end{aligned} \quad (3)$$

이 상관기 출력은 i 번째 사용자 신호, MAI 및 잡음성분의 합으로 구성된다. 여기서 ζ 는 평균(mean)이 0이고 분산(variance)이 $N_0 T/4$ 인 AWGN 잡음이며, $I_k^{(1)}$ 는 첫 번째 IC 단에서 k 번째 사용자가 기준 사용자에게 일으키는 잡음 성분으로 식 (4)로 표시된다[11].

$$I_k^{(1)} = \sqrt{\frac{P_k}{2}} \cos(\phi_k) \int_0^T b_k(t - \tau_k) a_k(t - \tau_k) a_i(t) dt \quad (4)$$

또한 출력된 정합필터의 신호를 이용하여 검출된 신호는 식 (5)와 같다.

$$\hat{b}_i = \text{sgn}(Z_i^{(1)}) \quad (5)$$

여기서 \hat{b}_i 는 비트 추정에러 확률(probability of bit estimate error) P_r 을 갖는 b_i 의 추정값[12]이며 $\text{sgn}(\cdot)$ 는 signum 함수이다.

제안된 시스템의 두 번째 IC 단에서는 병렬형 간섭제거 기법을 이용한 그룹별 병렬 간섭 제거기(GW-PIC)를 사용한다. 이러한 기능을 수행하기 위해 그룹화(grouping)가 선행되어야 하는데, 그룹화는 상기 기술한 바와 같이 서로 다른 전송률을 갖는 사용자들로서 그룹이 생성된다. 정합 여파기(Matched Filter)로부터 얻은 추정된 비트는 신호 크기의 추정값들로 스케일(scale)된 후에 해당 코드

파형에 의해 재 확산된다. 그 결과로 식 (6)과 같은 각 사용자에게 대한 수신신호의 지연 추정신호를 얻게 된다.

$$\hat{s}_i(t - \tau_i) = \sqrt{2P_i} a_i(t - \tau_i) \hat{b}_i(t - \tau_i) \cos(w_c t + \phi_i) \quad (6)$$

두 번째 IC 단에서 그룹단위로 병렬 간섭제거를 수행하기 위해 초기단계에서 얻은 판정값 \hat{b}_i 을 사용하여 원하는 그룹을 제외한 모든 다른 그룹 사용자의 신호를 재 확산시킨 후 전체신호에서 제거시키며 이 신호가 세 번째 IC 단으로 입력된다. 완벽한 크기와 지연시간의 추정을 가정할 때 그룹 1에 대한 MAI를 제거한 후의 결과는 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} r_1^{(2)}(t) &= r(t) - \sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L \hat{s}_{i,l}(t - \tau_{i,l}) \\ &= \sum_{l=1}^L \sqrt{2P_{1,l}} a_{1,l}(t - \tau_{1,l}) b_{1,l}(t - \tau_{1,l}) \cos(w_c t + \phi_{1,l}) \\ &\quad + n(t) + \sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L [s_{i,l}(t - \tau_{i,l}) - \hat{s}_{i,l}(t - \tau_{i,l})] \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $P_{1,l}$ 은 그룹 1의 l 번째 사용자의 전력을 의미하며 G, L 은 각각 시스템내의 그룹 수와 그룹내 사용자의 수를 나타내며 $K = G \times L$ 의 관계를 갖는다.

세 번째 IC 단에서는 그룹 내 MAI제거를 위해 직렬 간섭제거기법이 사용된다. 동일 그룹 내의 사용자 신호세기 순으로 각각의 사용자에게 대응하는 정합필터가 배열되고, 세기가 가장 큰 신호부터 이에 대응하는 정합필터를 이용하여 검출된다. 이와 같은 과정을 가장 작은 세기의 신호가 검출될 때까지 반복 수행한다. 두 번째 IC 단을 통해, 원하는 그룹의 신호가 세 번째 IC 단에 입력된다. $Z_{g,l}^{(3)}$ 를 세 번째 IC 단에서 그룹 g 의 l 번째 상관기의 결정변수라 하자. $r_1^{(2)}(t) (= r_1^{(3)}(t))$ 에 의해서 그룹 1에서 첫 번째 상관기의 결정변수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{1,1}^{(3)} &= \sqrt{\frac{P_{1,1}}{2}} b_{1,1} T + \sum_{i=2}^L \sqrt{\frac{P_{1,i}}{2}} I_{1,i}(\tau_{1,1}, \phi_{1,1}) \\ &\quad + \xi + \sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L \sqrt{\frac{P_{i,l}}{2}} I_{i,l}(\tau_{i,l}, \phi_{i,l}) \\ &= A_{1,1} + C_{1,1} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $A_{1,1}$ 은 그룹 1의 첫 번째 사용자(고 데이터율 사용자)의 정보신호이며 $C_{1,1}$ 은 그룹 1에서 첫 번째

사용자를 검출할 때 불완전한(imperfect) 간섭제거에 의해 발생하는 잡음이며 다음과 같다.

$$C_{1,1} = \sum_{l=2}^L \sqrt{\frac{P_{1l}}{2}} I_{l,11}(\tau_{l,11}, \phi_{l,11}) + \xi \quad (9)$$

$$+ \sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L \sqrt{\frac{P_{il}}{2}} \widetilde{I}_{i,11}(\tau_{i,11}, \phi_{i,11})$$

식 (9)에서, 첫 번째 항과 세 번째 항은 MAI 를 의미하며 두 번째 항은 가산성 백색 가우스 잡음(AWGN) 신호이다. 여기서 첫 번째와 세 번째의 상호 상관함수(cross-correlation function)들은 각각 다음과 같이 정의된다[4].

$$I_{l,11}(\tau_{l,11}, \phi_{l,11}) = I_{l,11}(\tau_{l,11}) \cdot \cos(\phi_{l,11} - \phi_{11}) \quad (10)$$

$$\widetilde{I}_{i,11}(\tau_{i,11}, \phi_{i,11}) = \widetilde{I}_{i,11}(\tau_{i,11}) \cdot \cos(\phi_{i,11} - \phi_{11}) \quad (11)$$

이며

$$I_{l,11}(\tau_{l,11}) = \int_0^T b_{1l}(t - \tau_{1l}) a_{1l}(t - \tau_{1l}) a_{11}(t) dt \quad (12)$$

$$\widetilde{I}_{i,11}(\tau_{i,11}) = \int_0^T [b_{i1}(t - \tau_{i1}) - \widehat{b}_{i1}(t - \tau_{i1})] a_{i1}(t - \tau_{i1}) a_{11}(t) dt \quad (13)$$

이다. 여기서 $I_{i,11}$ 는 그룹 1에서 i 번째 사용자가 그룹 1의 첫 번째 사용자에게 일으키는 간섭성분이며, $\widetilde{I}_{i,11}$ 는 그룹 i 에서 i 번째 사용자에 의한 잡음을 나타낸다. $\tau_{i,11}$ 와 $\phi_{i,11}$ 은 각각 $[0, T]$ 과 $[0, 2\pi]$ 구간에서 균일분포를 갖는다고 하자. CDM_A 시스템의 BER 성능을 평가하기 위해 다중사용자 간섭의 통계량을 알아야 한다. 우선 간섭은 가우시안 분포 [5][11]를 갖는다고 가정하면 평균은 0이고 분산은 각각 다음으로 표시된다.

$$\text{Var}\left[\sum_{l=2}^L I_{l,11}\right] = \frac{NT_c^2}{6} \sum_{l=2}^L P_{1l} \quad (14)$$

$$\text{Var}\left[\sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L \widetilde{I}_{i,11}\right] = \sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L \left[\frac{NT_c^2}{3} P_{il} (1 - E[b_u \widehat{b}_u])\right] \quad (15)$$

첫 번째 상관기 출력신호, $Z_{1,1}^{(3)}$ 은 그룹 1의 두 번째 신호세기가 큰 사용자의 간섭제거를 위해 사용된다.

$$r_2^{(3)}(t) = r_1^{(3)}(t) - Z_{1,1}^{(3)} \cdot a_{11}(t - \tau_{11}) \cos(\omega_c t + \phi_{11}) \quad (16)$$

두 번째 상관기의 입력신호, $r_2^{(3)}(t)$ 는 가장 큰 세기

를 갖는 사용자의 영향이 제거된 상태에서 $(L-2)$ 명의 사용자 신호와 완전 제거되지 않은 간섭항이 존재하게 된다. 세 번째 IC 단에서 그룹 1의 두 번째 상관기의 결정변수는 다음과 같다.

$$Z_{1,2}^{(3)} = \sqrt{\frac{P_{12}}{2}} b_{12} T + \sum_{i=3}^L \sqrt{\frac{P_{1i}}{2}} I_{i,12}(\tau_{i,12}, \phi_{i,12}) + \xi$$

$$+ \sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L \sqrt{\frac{P_{il}}{2}} \widetilde{I}_{i,12}(\tau_{i,12}, \phi_{i,12}) - C_{1,1} I_{1,12}(\tau_{11,12}, \phi_{11,12})$$

$$= \sqrt{\frac{P_{12}}{2}} b_{12} T + C_{1,2} \quad (17)$$

상기 과정은 가장 작은 세기를 갖는 사용자의 신호가 검출될 때까지 반복적으로 수행된다. 이와 같은 과정을 일반화해 보면, 동일 그룹에서 j 번째 단계의 간섭제거 과정을 거친 $j+1$ 번째 사용자의 결정변수는 식 (18)과 같다.

$$Z_{i,j+1}^{(3)} = \sqrt{\frac{P_{i(j+1)}}{2}} b_{i(j+1)} T + C_{i,j+1} \quad (18)$$

여기서 $C_{i,j+1}$ 은 다음 식으로 표시된다.

$$C_{i,j+1} = \sum_{l=j+2}^L \sqrt{\frac{P_{1l}}{2}} I_{l,1(j+1)}(\tau_{l,1(j+1)}, \phi_{l,1(j+1)}) + \xi$$

$$+ \sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L \sqrt{\frac{P_{il}}{2}} \widetilde{I}_{i,1(j+1)}(\tau_{i,1(j+1)}, \phi_{i,1(j+1)})$$

$$- \sum_{i=1}^j C_{i,1} I_{i,1(j+1)}(\tau_{i,1(j+1)}, \phi_{i,1(j+1)}) \quad (19)$$

식 (19)에서 첫 번째 항과 세 번째 항은 다중 사용자 간섭이며, 두 번째 항은 가산성 백색 가우시안 잡음이다. 그리고 마지막 항은 불 완전한 간섭제거 때문에 만들어지는 누적잡음(cumulative noise)이다. $j+1$ 번째 단계의 비트 오류확률(probability of bit error)를 구하기 위해서는 잡음, $C_{i,j+1}$ 의 분산을 구해야 하는데, 여기서 $C_{i,j+1}$ 은 평균 0와 분산 $\eta_{i,j+1}$ 을 갖는 가우시안 분포를 갖는다고 하자. 가우시안 근사법(Gaussian approximation)을 사용하여 $\eta_{i,j+1}$ 는 식 (20)으로 구할 수 있다.

$$\eta_{i,j+1} = \frac{NT_c^2}{6} \sum_{l=j+2}^L P_{1l} + \frac{N_0 T}{4} + \frac{NT_c^2}{3} \sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L P_{il}$$

$$(1 - E[b_u \widehat{b}_u]) + \frac{NT_c^2}{3} \sum_{i=1}^j \eta_{i,j} \quad (20)$$

결국, 그룹 1에서 j 번째 단계의 간섭제거 후 $j+1$ 단의 비트 오류확률은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
 P_{b_{i,j+1}}^{(3)} &= Q \left\{ \frac{E[Z_{i,j+1}^{(3)}]}{\sqrt{\text{Var}[Z_{i,j+1}^{(3)}]}} \right\} \\
 &= Q \left[\left(\frac{1}{2(E_{b_{i,j}}/N_0)} + \frac{1}{3N} \cdot \frac{\sum_{l=j+2}^L P_{1l}}{P_{1(j+1)}} + \frac{2}{3N} \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \cdot \frac{\sum_{i=2}^G \sum_{l=1}^L P_{il}(1 - E[b_i \hat{b}_i])}{P_{1(j+1)}} + \frac{2}{3N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^j \eta_{h,i}}{P_{1(j+1)}} \right) \right]^{-1/2} \quad (21)
 \end{aligned}$$

IV. 실험결과

본 논문에는 가변 처리이득기법을 사용하는 비 동기 다중 전송률 DS-CDMA 시스템을 고려한다. 성능분석을 위해 제안된 시스템은 BPSK 변조방식을 사용하며 시스템에는 3개의 서로 다른 전송률을 갖는 사용자들이 존재 한다고 가정한다. 여기서 저 데이터율 사용자의 전송률이 R_b 라면 중 데이터율 사용자 및 고 데이터율 사용자의 전송률은 각각 $2R_b$ 와 $4R_b$ 이다. 또한 최장길이(maximum length) 31을 갖는 PN(Pseudo random noise) 부호가 각 사용자에게 확산부호로 할당된다. 그러나 다중전송률 시스템에서 각 사용자는 전송률에 비례하는 처리이득을 가지므로 한 비트 구간 동안 기본 PN부호를 2배, 4 배 반복 사용 하므로서 중 데이터율 사용자 및 저 데이터율 사용자의 처리이득은 각각 62와 124가 된다. 여기서 수신기는 확산부호를 알고 있으며 각 사용자에 대한 완전한 전력제어(power control)가 이루어진 것으로 가정한다.

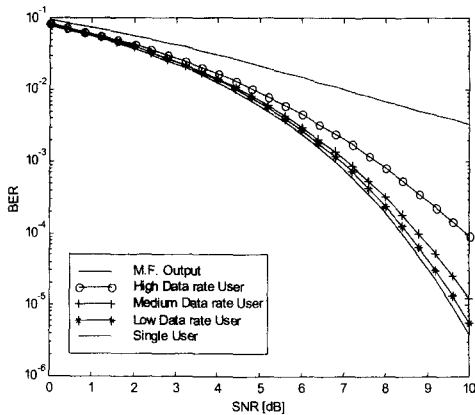
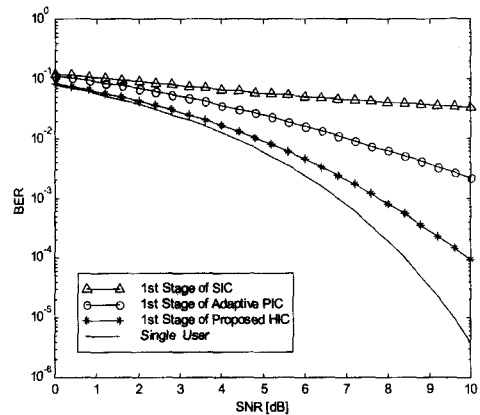
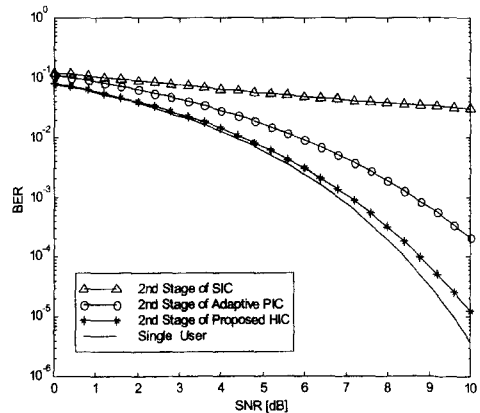


그림 2. $K = 9$ 인 경우 제안된 수신기의 비트 오류율

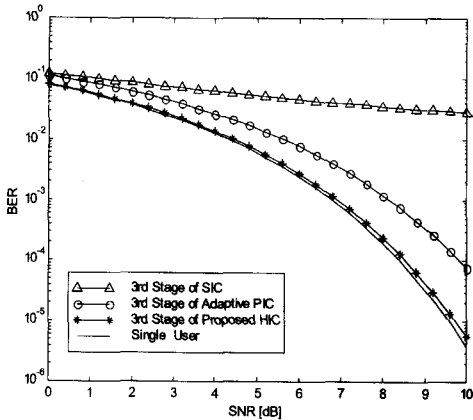
그림 2는 가우시안 잡음환경하에서 제안된 HIC 수신기의 각 단(stage)의 성능을 보이고 있다. 비교를 위해 정합필터 수신기와 단일 사용자 검출기의 성능도 같이 보였다. 여기서 전체 사용자 수(K)는 9명을 가정했고, 비트추정(bit estimate)은 정확하다고 생각하며 모든 사용자들은 동일한 전력을 갖는 것으로 가정했다. 그림 2에서, 저 데이터율 사용자의 성능이 고 데이터율 사용자 보다 좋아지는 것을 알 수 있으며 저 데이터율 사용자의 성능이 단일 사용자 검출기의 성능에 거의 근접하는 것을 알 수 있다. 이것은 제안된 시스템에 사용자가 아무리 많다고 할지라도 이 시스템의 성능은 오직 그룹 내에 속하는 사용자에게만 영향을 받기 때문이다. 왜냐하면 이상적인 조건 하에서, 두 번째 IC 단에서 그룹별 병렬간섭제거(GW-PIC) 방식을 통해서, 다른 그룹의 신호들은 완벽하게 제거되기 때문이다.



(a) 고 데이터율 사용자



(b) 중 데이터율 사용자



(c) 저 데이터율 사용자

그림 3. $K = 24$ 인 경우 제안된 HIC 수신기와 M.F. 수신기 및 단일사용자 수신기와의 비트 오류 성능 비교

그림 3은 제안된 HIC 시스템에서 각 전송률에 따른 성능을 기존 직렬 간섭제거기(SIC) 수신기와 적응 다단 병렬간섭제거기(adaptive multistage PIC)의 성능과 비교하였다. 여기서 전체 사용자는 24명으로 가정하였으며 제안된 하이브리드 간섭제거기의 확산부호는 사용자의 전송률에 따라 처리이득을 달리하였다. 그러나 직렬 간섭제거기와 적응 다단 병렬 간섭제거기의 확산부호는 처리이득을 변화시킬 필요가 없으므로 최장길이 31의 길이를 갖는 PN 부호를 사용하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 제안된 시스템이 직렬 간섭제거기와 적응 다단 병렬 간섭제거기에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다.

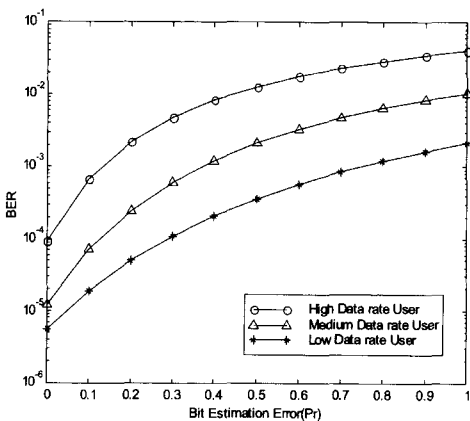


그림 4. $E_b/N_0 = 10\text{dB}$, $G = 3$ 인 경우 가우시안 환경하에서 비트추정에러 확률에 따른 오류율

실제의 시스템에서 완벽한 비트추정은 불가능 할 것이다. 그림 4는 비트추정이 완벽하지 않은 상태를 가정하여 비트추정 에러확률(P_r)의 함수로 가우시안 잡음 하에서 제안된 시스템의 성능을 분석하였다. 여기서 전체 사용자 수는 9명으로 가정하였으며 신호대 잡음비(E_b/N_0)는 10dB로 가정하였다. 비트 추정 오류 확률이 커지면 커질수록 성능은 심각하게 감소하는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 다중처리이득 기법을 사용한 비동기 다중전송률 DS-CDMA 시스템에서 다중접속 간섭을 제거하기 위한 새로운 하이브리드 간섭제거 방법을 제안하였다. 제안된 시스템에서 효과적인 간섭제거를 하기 위해 서로 다른 전송률을 갖는 사용자들을 그룹화 하여 간섭을 제거할 수 있는 새로운 하이브리드 간섭제거 수신기를 제시하였다. 제안된 방식에서는 그룹화를 통해 그룹간에는 병렬 간섭제거방식을 사용하며 그룹 내에는 직렬 간섭제거방식을 적용하여 간섭을 제거하였다.

제안된 시스템의 두 번째 IC 단에서 사용한 그룹간 병렬 간섭제거기를 통해 원치 않는 그룹의 신호들을 1차적으로 제거한 후, 이 신호를 이용해 그룹내의 사용자들의 간섭제거를 기존의 직렬 간섭제거 방식으로 제거하였다. 이상적인 조건 하에서 제안된 시스템을 가우시안 잡음환경 하에서 오류확률을 구했으며 성능분석을 해 본 결과, 제안된 시스템이 기존 직렬 간섭제거방식이나 적응 병렬 간섭제거방식에 비해 성능이 우수한 것을 알 수 있었다.

본 연구의 비교 분석은 동일전력, 완벽한 비트추정 등의 이상적인 조건 하에서 분석한 것이므로 실제적인 상황에서의 성능분석이 차후의 과제가 될 것이다.

참고 문헌

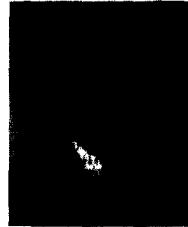
- [1] G. Q. Xue, J. F. Weng, T. Le-Ngoc and S. Tahar, "Multiuser detection techniques: An overview," *Technical Report, Department of Electrical and Computer Engineering, Concordia University, Canada, Dec., 1998.*
- [2] T. Ottoson and A. Svensson, "Multi-rate Schemes in DS/CDMA Systems," *Proceedings*

- IEEE VTC'95*, Chicago, pp. 1006-1010, July 1995.
- [3] T. Ottoson and A. Svensson, "On Schemes for Multirate Support in DS-CDMA Systems," *Wireless Personal Commun., Kluwer Academic Publishers*, Vol. 6, pp. 265-287, Mar. 1998.
- [4] P. Patel and J. Holtzman, "Analysis of a Simple Successive Interference Cancellation Scheme in a DS/CDMA System," *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, Vol. 12, No. 5, pp. 796-807, June 1994.
- [5] Ashish Kaul and Brian D. Woerner, "An Analysis of Adaptive Multistage Interference Cancellation for CDMA," *VTC 1995*, Vol. 1, pp. 82-86, July 1995.
- [6] S. Sun, L.K. Rasmussen, H. Sugimoto and T.J. Lim, "A Hybrid Interference Canceller in CDMA," *IEEE ISSSTA*, Vol.1, pp. 150-154, Sept. 1998.
- [7] R. Malik, V.K. Dubey and B. McGuffin, "A hybrid interference canceller for CDMA systems in Rayleigh fading channels," *VTC 2001*, Vol. 2, pp.1523-1527, May 2001.
- [8] C.S. Wijting, T. Ojanpera, M. Juntti, K. Kansanen and R. Prasad, "Groupwise serial multiuser detectors for multirate DS-CDMA," *VTC '99*, Vol. 1, pp. 836-840, May 1999.
- [9] N. Prapavong and W. Benjapolakul, "Improvement of partial interference cancellation receiver using variance from matched filter for weight factor assignment and adaptation in multirate CDMA cellular mobile communication systems," *SPAWC '01*, pp. 210-213, March 2001.
- [10] C.S. Wijting, T. Ojanpera, M. Juntti, K. Kansanen and R. Prasad, "Groupwise serial multiuser detectors for multirate DS-CDMA," *VTC '99*, Vol. 1, pp. 836-840, May 1999
- [11] M. B. Pursley, "Performance Evaluation for Phase-coded Spread Spectrum Multiple Access Communication-Part I: System Analysis," *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-25, No. 8, pp.795-799, Aug. 1997.
- [12] Gao Xue and Li Chengshu, "Performance of Partial Interference Cancellation in DS-CDMA

System with Delay Estimation Errors," *PIMRC 2000*, Vol. 2, pp.1518-1521, Aug. 2000.

김 남 선(Nam-sun Kim)

정회원



1991년 8월 : 한양대학교
전자통신공학과 공학석사
1995년 8월 : 한양대학교
전자통신공학과 공학박사
1996년 3월~현재 : 대전대학
교 통신공학과 부교수

<관심분야> 디지털통신, 이동통신