

# 그룹형 간섭제거기의 정렬기법 개선을 통한 성능 향상에 관한 연구

준회원 박재원\*, 염순진\*, 정회원 박용완\*

## A study on Improvement of Groupwise IC using the power based sorting method

Jae-Won Park\*, Sun-Jin Yeom\* Associate Member, Yong-Wan Park\* Regular Members

### 요 약

본 논문에서는 DS-CDMA 환경 하에서 일반적인 그룹형 간섭제거기(Groupwise Canceller) 중 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거기(Improved initial-stage Grouping Interference Canceller)의 개선된 정렬기법을 소개한다. 비선형 간섭제거기 중 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거기(IGIC)는 입력된 신호를 그룹으로 나누어 정렬기법을 통해 초기단 성능을 개선시킨 간섭제거기이다. 그러나, 이 시스템은 정렬기법에 의해서 각 그룹에 할당되는 사용자 수가 항상 동일하기 때문에 동일 그룹내에서 신호세력의 차이가 생길 수 있다. 이 경우, 동일 그룹내에 작은 신호들은 큰 신호들로부터 많은 다중접속간섭의 영향을 받는다. 이와 같은 다중접속간섭의 영향을 줄이기 위해 본 논문에서는 개선된 정렬기법을 사용하여 각 그룹에 할당되는 신호들이 비슷한 신호전력분포를 가지도록 하였다. 따라서, 그룹내의 신호세력 차이를 줄여 다중접속간섭의 영향이 감소되었다. 성능 분석은 전력제어를 하였을 때와 하지 않았을 때를 다른 비선형 간섭제거기와 비교하여 분석하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we introduce an improved sorting method of the IGIC(Improved initial stage Grouping Interference Canceller) system for advanced BER(Bit Error Rate) performance in DS-CDMA. Among non linear Interference Cancellers, the PIC(Parallel IC) with advanced initial stage by sorting method has the name of the IGIC(Improved initial stage Grouping Interference Canceller) system. In this system, All group are shared with the same number of users. But, if each group are divided the same users, so that difference of the signals strength appeared greatly in the same group. Up to this time, the weak signals have more effect of the MAI (Multiple Access Interference) from the strong signals in the same group. The proposed IC (Interference Canceller) to solve those problems has a better performance by using improved sorting method from IGIC system. A new sorting method is the technique that the strength of signals would be liked in the same group. So, the MAI is reduced as difference of signal strength minimize. Analysis of performance assayed to make comparison with other non liner interference canceller when power controlled and not one.

### 1. 서론

대역확산(Spread Spectrum)기술은 수 십년 동안 군사용으로 유용하게 사용 되어왔고, 최근에 대역

확산 기술에 기반을 둔 CDMA가 이동통신에서 중요한 다중접속방식으로 이용되고 있다. 그 중에서도 DS-CDMA방식이 기존의 IS-95와 GSM(Global Service for Mobile communication) 이동 시스템의

\* 영남대학교 정보통신공학과 이동통신 연구실(ywpark@yu.ac.kr)

논문번호 : 010070-0417 접수일자 : 2001년 4월 17일

※ 본 연구는 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 대학기초연구지원사업의 수행결과입니다.

한계를 극복하기 위한 제 3세대 이동통신 사업인 IMT-2000에서 다중화방식으로 제안되고 있다. 그러나 다중접속간섭과 신호세력의 차이로 인해 발생하는 원근거리 문제(Near-far problem)가 큰 문제로 떠오르고 있다<sup>[1][2]</sup>.

CDMA 시스템 특성상 전력제어 기술만으로는 완벽하게 직교하지 않는 확산 코드로 인해 발생하는 다중 간섭을 완전하게 제거하지 못해 CDMA 시스템의 성능향상에 한계가 생긴다. 이와 같은 한계를 극복하기 위한 방법으로 최근에 간섭제거기에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다<sup>[3]</sup>. 기존의 수신기는 사용자 신호의 확산 부호에 맞추어진 정합필터에 수신 신호를 통과시킨 후 신호 판정을 하게 된다<sup>[4][5]</sup>. 기존의 수신기가 MAI의 문제로 성능이 저하 되어, 이를 개선시킨 것이 최적 간섭제거기이다. 이 시스템은 Viterbi 알고리즘을 사용함으로써 시스템의 복잡도가 사용자 수 K에 비례하여 2K-1 만큼 증가하므로 구현이 불가능하다<sup>[6]</sup>. 이러한 시스템 복잡도를 줄이기 위해 제안된 것이 준최적 간섭제거기(Sub-optimal Interference canceller)이다.

준최적 간섭제거기는 크게 선형 간섭제거기와 비선형 간섭제거기로 구분된다<sup>[3][7]</sup>. 선형 간섭제거기는 기존의 정합필터단의 출력에 선형변환을 적용한 것으로서 기본적으로 동기시스템을 대상으로 하여 제안되었다. 역상관기(decorrelating receiver)와 MME (Minimum Mean Squared Error) 수신기가 선형 간섭제거기에 속한다<sup>[2][4][8]</sup>.

준최적 간섭제거기 중 비선형 간섭제거기에는 병렬형 간섭제거기 (Parallel Interference Canceller)와 순차적 간섭제거기 (Serial Interference Canceller)가 있다. 병렬 간섭제거기는 정합필터만을 사용한 초기단의 기존 간섭제거기에 의해 검출되어지는 출력신호를 이용하여 자신의 신호를 제외한 나머지 신호를 제거시킴으로써 원하는 사용자의 신호를 검출한다. 이 방식은 모든 사용자의 신호를 동시에 처리함으로써 그 처리 속도는 빠르나 원하는 성능을 얻기 위해서 다단계구조를 이용하여야 하므로 장치적으로 복잡한 단점을 가지고 있다<sup>[1][2]</sup>.

순차적 간섭제거기는 정렬기법을 이용하여 신호 전력의 크기가 가장 큰 사용자의 신호부터 검출하여 전체 신호에서 제거시킨다. 그리고, 두번째의 사용자 신호를 검출하기 위해서 먼저 검출되어진 사용자의 신호를 전체 신호에서 제거시킨 후 그 신호를 입력하여 검출하고 나머지 사용자들에 대해서도 같은 방식을 반복하여 동작함으로써 성능면에서는

뛰어나지만, 지연 시간이 길다는 단점이 있다<sup>[9]</sup>. 병렬형 간섭제거기의 초기단에 순차적 간섭제거기에서 사용되는 정렬기법을 적용시켜 성능을 개선시키고자 제안 된 것이 그룹형 간섭제거기이다<sup>[1][5][10]</sup>. 그룹형 간섭제거기(Groupwise IC)는 수신된 신호들을 순차적 간섭제거기의 정렬기법을 적용시켜 신호 크기별로 나열한 다음, 신호들을 그룹 단위로 할당하여 그룹내에서는 병렬형 간섭제거기법으로, 그룹 간에는 순차적 간섭제거기법으로 처리하는 혼합형 간섭제거기이다<sup>[3][4][5]</sup>. 이 시스템의 성능을 보완한 것이 초기단을 개선한 그룹형 간섭제거기(Improved initial stage Group Interference Canceller)이다. 이는 그룹의 단위로 정렬 및 검출단계를 거쳐 각각의 그룹에 대해 서로 다른 입력신호가 들어가는 구조로 동작한다. 즉, 정합필터에 입력되는 신호의 다중접속간섭을 어느 정도 제거하여 전체 시스템의 성능을 향상시켰다. 이런 과정을 거침으로써 신호전력 크기가 큰 사용자들에 대해서는 다중접속간섭을 고려하지 못하는 순차적 간섭제거기의 단점을 극복하였다. 그리고 이 시스템에서 사용한 정렬기법은 모든 그룹에 같은 수의 사용자를 할당하는 방법이다<sup>[10][11]</sup>.

그러나 위 시스템과 같이 각각의 그룹에 동일한 사용자가 할당되면, 같은 그룹내의 신호전력 차이가 커질 수 있다. 이러한 경우, 작은 신호들은 큰 신호들로부터 많은 다중접속간섭의 영향을 받기 때문에 전체 시스템의 성능이 저하된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서 개선된 정렬기법을 제안한다. 즉, 개선된 정렬기법이란 수신된 신호전력을 고려하여 신호크기에 따라 비슷한 신호들을 각 그룹에 할당하는 방법이다. 본 논문은 II장에서 다중접속간섭의 영향, III장에서 제안 시스템, IV장에서 모의실험을 통한 비교 분석을 그리고, V장에서는 결론 순으로 구성되었다.

## II. 다중접속간섭(MAI)의 영향

기존의 초기단을 개선시켜 성능을 보완한 그룹형 간섭제거기(Improved initial stage Group Interference Canceller)는 병렬형 간섭제거기에서 초반 성능을 좌우하는 초기단을 정렬기법을 사용함으로써 성능을 향상시킨 시스템이다. 이것은 그룹의 단위로 정렬 및 검출 단계를 거쳐 각각의 그룹에 대해 서로 다른 입력 신호가 들어가는 구조로 동작한다. 이런 과정을 거침으로써 신호전력 크기가 큰 사용자들에 대해서는 다중접속간섭을 고려하지 못하는 순



차적 간섭제거기의 단점을 극복하였다. 그리고, 이 시스템에서 각 그룹에 할당된 사용자수는  $U(K/G)$ 명이다. 여기서 모든 그룹은 같은 수의 사용자로 할당되었고,  $K$ 는 총 사용자수,  $G$ 는 그룹의 수를 나타낸다<sup>[10][11]</sup>. 하지만, 위 시스템과 같이 각각의 그룹에 같은 수의 사용자를 할당하게 된다면, 동일 그룹 내에서 신호전력 차이가 크게 날수 있는데, 이때 작은 신호들은 보다 많은 MAI의 영향을 받을 것이다. 수신된 신호를 다음과 같이 정의한다<sup>[3][10]</sup>.

$$r(t) = \sum_{n=1}^T \sum_{l=1}^L \sqrt{2P_n} \cdot d_n(t - \tau_{n,l}) \cdot s_n(t - \tau_{n,l}) \cdot f_{n,l} + N(t) \quad (1)$$

여기서  $T$ ,  $L$ 는 전체 사용자와 다중 경로를 나타내고,  $\sqrt{2P_n}$ ,  $d_n$ ,  $s_n$ 은 각각  $n$ 번째 사용자의 신호전력, 데이터 열, 확산코드를 나타낸다. 그리고, 은 Rayleigh fading에 의한 시간 지연과 감쇄지수를 나타낸다.  $N(t)$ 는 잡음(AWGN)을 나타내는 변수다. 정합필터를 거친 출력 값은 다음과 같다<sup>[1][2]</sup>.

$$\begin{aligned} Z_k &= \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} r(t) \cdot s_k^*(t) \, dt \\ &= \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} s_k^*(t) \left[ \sum_{n=1}^T \sum_{l=1}^L \sqrt{2P_n} \cdot d_n \cdot s_n(t - \tau_{n,l}) \cdot f_{n,l} + N(t) \right] \cdot dt \\ &= \sum_{l=1}^L \sqrt{2P_k} \cdot d_k \cdot f_{k,l} + \sum_{n \neq k} \sum_{l=1}^L \left[ \sqrt{2P_n} \cdot d_n \cdot \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} s_k(t) \cdot s_n(t - \tau_{n,l}) \cdot dt \right] \\ &\quad + \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} s_k(t) \cdot N(t) \cdot dt \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)는 세가지 항으로 구성되었다. 첫째 항은 원하는 신호를, 둘째 항은 다중접속간섭을 표현하였으며, 셋째 항은 백색 잡음을 포함한 잡음을 나타낸 것이다. 둘째 항에서 다른 신호들의 전력이 크면 다중접속간섭이 증가한다. 또한 상호상관(Cross correlation)값이 커져도 다중접속간섭의 영향은 커진다. 그러나 상호상관 값은 1보다 작은 값이므로 다중접속간섭의 크기는 다른 신호들의 전력에 의해서 결정된다<sup>[2]</sup>. 기존의 정렬기법은 수신된 신호를 크기 순으로 정렬 한 뒤, 각 그룹에 할당되는 사용자 수를 항상 동일하게 한다. 각 그룹에 할당되는 사용자가 항상 동일하다면 그룹 내에서 신호전력의 차이가 커질 수 있는데 이 경우 작은 신호들은 큰 신호들로부터 다중접속간섭을 많이 받는다. 이는 전체시스템의 성능을 저하시키는 요인으로 작용한다. 그러나 개선된 정렬기법은 신호전력을 고려하여 비슷한 신호를 각 그룹에 할당한다. 그룹 내에서 신호전력의 차이를 줄여 작은 신호들이 큰 신호들로부터 받

는 다중접속간섭의 영향을 감소시켰다. 기존의 정렬기법과 개선된 정렬기법을 비교하면, 전자는 각 그룹의 할당되는 사용자 수가 동일하고, 후자는 신호전력을 고려하여 비슷한 신호를 각 그룹에 할당하였기 때문에 할당되는 사용자 수가 동일하지 않다. 기존의 정렬기법과 개선된 정렬기법에서 다중접속간섭의 차이점을 살펴보자.

최대전력 과 최소전력분포는 수십 dB의 전력 차이를 나타내고, 최대전력과 최소전력분포를 따르는 사용자는 각각  $M_{max}$ 명,  $M_{min}$ 명으로 이루어졌다.(여기서  $M_{max} \gg M_{min}$ ).  $P_{max}$ 와  $P_{min}$ 는 최대전력과 최소전력을 나타낸다. 기존의 정렬기법이 적용된 경우, 첫 번째 그룹에서는 최대전력 분포를 따르는 신호들을 할당하기 때문에 검출하는데 문제가 없다. 그러나 두 번째 그룹부터 할당된 신호들은 큰 신호들과 작은 신호들이 같이 할당되어 작은 신호들은 큰 신호들로부터 많은 다중접속간섭의 영향을 받는다. 그룹의 수가  $n$  개라면 각 그룹에 할당된 사용자 수는  $U(M_{total} / n)$  이다. 여기서  $M_{total}$ 은 전체사용자 수를 나타낸다. 다음 식은 기존의 정렬기법을 적용한 간섭제거기(IGIC)의 두 번째 그룹에서 신호전력에 따른 다중접속간섭의 양(MAI<sub>conv</sub>)을 나타내었다.

$$MAI_{conv} \propto P_{min} \cdot M_{min} + P_{max} \cdot \left( \frac{M_{total} - M_{min}}{2} \right), \quad (M_{total} = M_{max} + M_{min}) \quad (3)$$

최대, 최소전력 비와 사용자 비를  $\alpha = P_{max} / P_{min}$ ,  $\beta = M_{max} / M_{min}$ 로 두고 정리하면, 식 (4)와 같다.

$$MAI_{conv} \propto P_{min} \cdot \left[ \frac{\{\alpha \cdot (\beta - 1) \cdot M_{min}\}}{2} \right] \quad (4)$$

개선된 정렬기법을 도입한 경우, 첫 번째 그룹에 할당되는 사용자 수는  $M_{max}$ 명으로 큰 신호전력을 갖는 신호들이 할당되고, 두 번째 그룹에는 작은 신호전력을 갖는  $M_{min}$ 명이 할당되어 그룹내에서 다중접속간섭의 영향이 줄어든다. 개선된 정렬기법을 적용한 제안된 간섭제거기의 두 번째 그룹에서 다중접속간섭(MAI<sub>new</sub>)은 다음과 같다.

$$MAI_{new} \propto P_{min} \cdot (M_{min} - 1) \quad (5)$$

기존의 정렬기법을 이용한 간섭 제거에서 두 번째 그룹의 다중접속간섭은  $\alpha$ 와  $\beta$ 에 비례한다. 개

선된 정렬기법을 적용한 간섭제거기의 두 번째 그룹에서 다중접속간섭은  $\alpha$  와  $\beta$  에 의존하지 않는다. 즉 최대전력 분포를 따르는 사용자 수와 신호의 최대전력이 클수록 개선된 정렬기법을 적용하면 시스템 성능이 향상됨을 의미한다. 기존의 정렬기법을 사용하면 그룹 내에서 신호전력의 차이가 커질 수 있다. 신호전력의 차이가 커지면 다중접속간섭의 영향이 증가할 수 있기 때문에 개선된 정렬기법을 본 논문에서 제안한다. 개선된 정렬기법은 다음절에서 자세하게 다룬다.

### III. 제안 시스템

이 절은 개선된 정렬기법을 적용한 간섭제거기에 대해 설명한다. 개선된 정렬기법은 그룹 내에서 신호전력의 차이를 줄여 다중접속간섭의 영향을 감소시키는 방법이다. 예를 들면, 먼저 10명의 사용자가 있다고 가정하자. (최대전력과 최소전력은 50 dB의 전력 차이를 나타내고, 최대전력과 최소전력 분포를 따르는 사용자는 각각 8명, 2명으로 이루어졌다.) 위의 시스템에서 균일 분포를 이루고 있고 그룹이 2개라면, 각 그룹에 할당된 사용자는 먼저 크기 순으로 정렬한 다음, 그룹1에서 신호 크기 순서로 사용자 5명이 할당되고, 그룹2에서 나머지 사용자가 할당된다. 이 경우, 그룹1에서는 신호전력의 크기가 비슷하여 MAI의 영향이 적기 때문에 검출하는데 별 문제가 없을 것이다. 하지만 그룹2에서는 신호전력이 낮은 2명은 큰 신호전력을 갖는 3명으로부터 보다 많은 MAI의 영향을 받아 성능이 저하 될 것이다. 이러한 문제점을 해결하고자, 본 논문에서 개선된 정렬기법을 제안한다. 제안된 정렬기법을 앞에서의 예와 비교하여 보면, 각 그룹에 할당된 사용자 수는 어느 정도 비슷한 신호전력을 가진 사용자들로 한다. 즉, 그룹1에는 최대전력분포를 하고 있는 사용자 8명을 할당하고, 그룹2에는 최소전력분포를 따르는 사용자 2명을 할당하여 동일한 그룹 내에서는 MAI의 영향을 최대한 줄여서 검출하고자 하는 것이다. 그림 1은 개선된 정렬기법을 나타내는 흐름도이다. 그림 1에서 수신된 신호는 정렬 단계를 거쳐서 각 그룹에 사용자가 할당된다. 이때, 비슷한 신호전력끼리 동일한 그룹에 포함되도록 하기 위해서 기준 신호전력( $P_t$ )을 구한다.

기준신호전력은 기지국에서 측정한 사용자들의 수신 전력에 따른 확률밀도분포를 통해서 구할 수 있는데 우선 기준신호전력을 구하기 위해 확률밀도

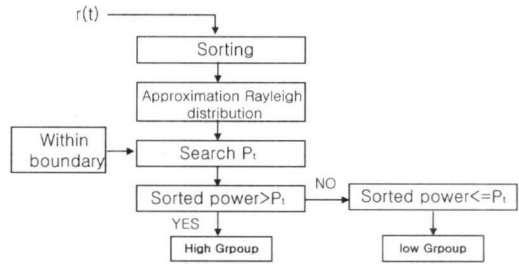


그림 1. 개선된 정렬기법의 흐름도 (그룹=2,  $P_t$ :기준신호전력)

함수를 Rayleigh 분포로 근사화한다. Rayleigh 분포는 일반적으로 완벽한 전력제어가 이루어지지 않는 무선이동통신 시스템에서 채널환경 즉, 다중경로에 의한 지연확산(Delay spread)과 flat페이딩을 포함한 fast페이딩, AWGN을 고려하였을 때 수신된 신호전력의 표현할 수 있는 확률밀도분포이다[11]. 그림 2는 일반적인 Rayleigh 분포를 이루는 확률밀도 분포도이다<sup>[12][13]</sup>. 그림 2에서 Rayleigh 분포를 이루는 확률밀도 함수는 다음과 같다<sup>[13]</sup>.

$$P_x(x) = \frac{2}{b}(x-a)e^{-\frac{(x-a)^2}{b}}$$

$$\text{where, } a = a_x - \sqrt{\frac{\pi b}{4}}, \quad b = \frac{4\sigma_x^2}{4-\pi} \quad (6)$$

여기서  $a$ 는 최소값을,  $a + \sqrt{b/2}$ 는 모드(Mode) 값,  $a_x$ 와  $\sigma_x^2$ 는 각각 평균값과 분산 값이다. 그리고  $x$ 는 수신된 전력을 나타내는 램덤변수이다. 실제로 수신된 전력의 (최소값)는 거의 0에 가까우므로 식 (6)을 다음과 같이 근사화할 수 있다.

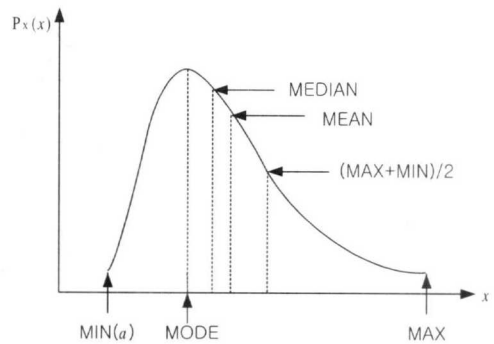


그림 2. 확률밀도 분포도(Rayleigh)

$$P_x(x) = \frac{2}{b} \cdot x \cdot e^{-\frac{x^2}{b}} \quad (7)$$

기지국에서 측정된 수신된 신호의 전력 값으로부터 모드(Mode)값, 메디안(Median)값, 평균(Mean)값, 최대(Max) 값, 최소(Min) 값을 알 수 있다.

$$(Min < Mode < Median < Mean < (Max + Min) / 2 < Max).$$

기준신호전력이 모드(Mode)값보다 작은 위치에 있다면, 한 그룹에는 모드(Mode)값보다 작은 전력의 신호들이 할당되고 다른 한 그룹에는 모드 값을 포함한 보다 큰 전력을 가진 신호들이 할당된다. 신호전력이 Rayleigh분포를 이루고 있어 한 그룹에서는 비슷한 신호들이 할당되고 다른 그룹에서는 큰 신호전력의 차이가 발생한다. 따라서 기준신호전력은 모드(Mode)값보다 커야 다중접속간섭의 영향을 줄일 수 있다. 기준신호전력은 위와 같은 이유로 메디안(Median) 값과 평균(Mean)값보다도 커야 한다. 그러나 기준신호전력이 (Max+Min)/2 값보다 클 경우는 그룹 내에서 신호전력의 차이가 많이 생겨 다중접속간섭의 영향이 증가한다.

기준신호전력은 (Max+Min)/2와 평균(Mean) 값 사이에 존재할 때 그룹 내에서 신호전력의 차이가 크게 감소한다. 이 범위 안에서 각 확률의 차이가 가장 큰 부분, 즉 기울기(Gradient)가 최대인 곳을 기준신호전력으로 결정한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_i = \text{MAX} \left[ \frac{d}{dx} P_x(x) \right] \text{ if } \frac{\max + \min}{2} < x < \text{mean} \quad (8)$$

이 기준신호전력보다 큰 신호는 상위그룹으로, 작은 신호는 하위그룹에 할당하는 방법이 본 논문

에서 제안하는 개선된 정렬기법이다.

그림 3는 제안된 정렬기법을 적용시킨 그룹형 간섭제거기를 나타내는 블록도이다.

그림 3에서, 수신된 신호는 정렬단계를 거쳐 크기 순으로 나열하고, 개선된 정렬기법을 통해 상위 그룹(High)과 하위그룹(Low)에 비슷한 신호전력을 갖는 사용자를 할당한다. 전체사용자(U)는 상위그룹에 할당된 K명의 사용자와 하위그룹에 할당된 J명의 사용자로 구성되었다. 그림 4는 그룹내의 처리과정을 나타내는 블록도이다.

식 (9)는 그림 4의 상위 그룹내에서 정합필터를 거치고 난 출력신호를 나타낸다<sup>[10]</sup>.

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{h,k} &= \frac{1}{T} \sum_{t=\tau_{h,k,l}}^{\tau_{h,k,l}+T} r(t) \cdot s_{h,k}(t - \tau_{h,k,l}) dt \\ &= \sum_{l=1}^L \sqrt{2P_{h,k}} \cdot d_{h,k} \cdot f_{h,k} + MAI + N_{h,k}(t) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 h는 상위 그룹을 나타내고, k는 h그룹을 구성하는 k번째 특정사용자를 표현한다. 식 (10)은 검출(Decision)단계를 거친 검출 값을 나타낸다.

$$D_{h,k} = \text{sgn}[\underline{Z}_{h,k}] \quad (10)$$

검출 값을 다시 재생성(Regeneration)한 신호를 ( $X_{h,k}(t)$ ) 모두 수신신호 r(t)에서 제거를 시킨다. 이 제거된 신호가 하위그룹의 입력신호로 들어가게 된다. 다음 식은 재생성한 신호를 수신신호 r(t)에서 제거시켜 하위그룹에 입력되는 신호이다.

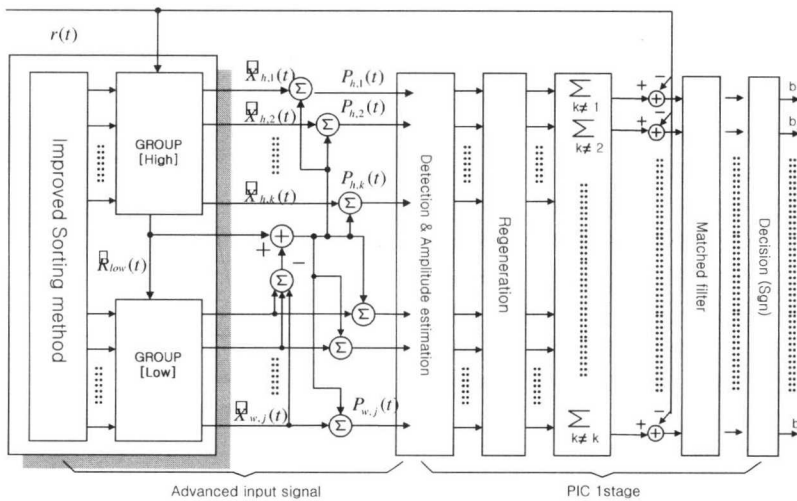


그림 3. 제안된 정렬기법을 적용한 간섭제거기의 블록도 (G=2)



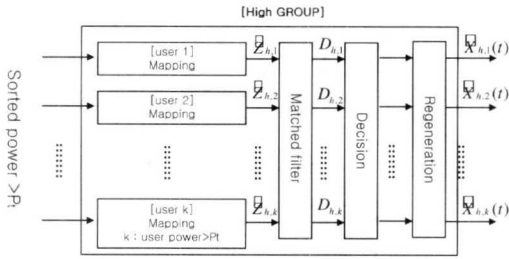


그림 4. 그룹 단위 블록도

$$\hat{R}_{low}(t) = r(t) - \sum_{k=1}^K X_{h,k}(t) \tag{11}$$

위 식을 특정한  $g$ 번째 그룹의 입력신호로 표현하면 다음과 같다.

$$\hat{R}_g(t) = r(t) - \sum_{m=1}^{g-1} \sum_{i=1}^{K_g} X_{m,i}(t) = r(t) - \sum_{m=1}^{g-1} \sum_{i=1}^{K_g} D_{m,i} \cdot S_{m,i}(t) \tag{12}$$

여기서  $g$ 는 총 그룹( $G$ )에서 특정그룹을 나타낸다. 그리고  $K_g$ 와  $i$ 는 각  $g$ 번째 그룹에 할당된 총 사용자 수와  $g$ 그룹에 포함된  $i$ 번째 특정 사용자를 의미한다. 식 (13)은 식 (11)을 이용하여 하위그룹의 정합필터를 거친 출력신호이다.

$$\hat{R}_{w,j} = \frac{1}{T} \sum_{l=1}^L \int_{\tau_{w,j,l}}^{T+\tau_{w,j,l}} \hat{R}_{low}(t) \cdot S_{w,j}(t - \tau_{w,j,l}) dt \tag{13}$$

$w$ 는 하위그룹을 나타내고,  $j$ 는 하위그룹의  $w$ 그룹을 구성하고 있는  $j$ 번째 특정 사용자를 의미한다. 다음은 특정  $g$ 번째 그룹의 정합필터를 거친 출력신호를 나타낸다.

$$\hat{R}_{g,i} = \frac{1}{T} \sum_{l=1}^L \int_{\tau_{g,i,l}}^{T+\tau_{g,i,l}} \hat{R}_g(t) \cdot S_{g,i}(t - \tau_{g,i,l}) dt \tag{14}$$

위 식에서 알 수 있듯이,  $g$ 번째 그룹을 거치고 나온 입력신호는 큰 전력의 신호들을 먼저 제거한 후, 다음 그룹으로 입력되기 때문에 다중접속간섭의 영향을 줄일 수 있다. 이 과정을 모두 마친 다음, 식 (13)과 식 (14)를 이용하여 그림 3에서 병렬형 간섭제거기(PIC) 1단의 입력신호를 생성한다.

식은 다음과 같다.

$$P_{g,i}(t) = X_{g,i}(t) + \sum_{m=1}^{g-1} \sum_{i=1}^{K_g} (\hat{R}_m(t) - X_{m,i}) \tag{15}$$

위 식은 병렬형 간섭제거기 1단에 입력되는 신호를 나타내는데, 작은 신호전력을 갖는 사용자들의 입력신호(하위그룹)는 큰 신호전력을 갖는 사용자들의 영향을 감소시켜 입력됨을 알 수 있다. 각 그룹에 유사한 신호전력을 갖는 사용자들( $K_g$ )로 할당을 하면 그룹 내에서 신호세력이 큰 신호들로부터 영향을 감소시켜 전체 시스템의 성능을 향상시켜준다. 앞 장 언급하였듯이 각 그룹에 유사한 신호전력을 갖는 사용자들( $K_g$ )로 할당하기 위해 기준전력을 구하였다. 기존의 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거기에서 동일한 그룹에 사용자를 할당할 때, 신호세력의 차이가 나는 그룹에서는 작은 신호세력을 가진 사용자들이 큰 신호세력을 가진 사용자들에 대해 보다 많은 다중접속간섭의 영향을 받게 된다. 그래서 본 논문에서 제기된 간섭제거기는 이러한 문제를 해결하기 위해, 동일한 그룹내에서 비슷한 신호세력을 가진 사용자들을 할당하고, 큰 신호가 작은 신호에 미치는 다중접속간섭을 줄여 BER 성능을 개선하고자 하였다. 기준신호전력( $P_i$ )에 따라 각 그룹에 할당되는 사용자를 결정하므로 각 그룹에서 다중접속간섭의 영향이 줄어든다.

### III. 모의 실험을 통한 비교 분석

제안된 간섭제거기의 성능을 다른 비선형 간섭제거기와 비교 분석한다. 7dB의 전력 분포를 가지는 전력 제어가 완벽할 때와 3~18dB의 전력 분포를 가지는 전력 제어가 완벽하지 않았을 때, 수신단이 기지국인 역방향 링크로 가정한다.

채널 환경은 AWGN (Additive White Gaussian Noise)을 이용한 Fast fading을 사용하였고, 파라미터로 반송파 주파수는 1.9 GHz, 대역폭은 1.2288 MHz, 도플러 주파수편이치는 176 Hz로 가정하였다.

확산코드는 길이가  $2^5-1$ 인 PN code를 사용하였다. 그리고 그룹형 간섭제거기와 제안된 간섭제거기의 그룹의 수는 두개로 하였다. 그룹이 늘어날 경우는 각 그룹마다 다른 기준신호전력을 두어 사용자를 할당한다.

그림 5는 사용자가 30명, 심볼이 500개 일 경우, 수신전력의 확률 밀도 분포를 나타내고 있다. 표 1은 SNR에 따른 기준전력의 범위를 구하기 위한 변수 값을 나타낸다. 이 변수를 이용하여 기준전력을 구하기 위한 범위를 설정한다. 범위는 앞 절에서 언급하였듯이 (MAX+MIN)/2와 평균값 사이에서 결정된다. 본 논문에서는 (-20.42~-2.14dB)의 범위에서

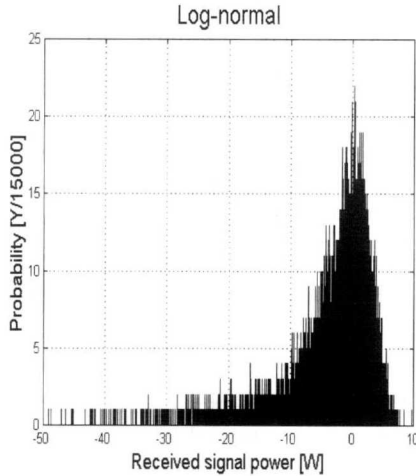


그림 5. 수신전력 확률밀도 분포도

기준 전력을 결정하여 모의 실험을 하였다. 기준전력은 앞의 그림 5에서 기울기의 크기가 가장 큰 부분이 그룹간에 다중접속간섭의 영향이 가장 적은 곳이므로 이 곳을 기준전력으로 설정하였다.

여기서 기준전력은  $-16.5\text{dB}$  이다. 간섭제거기의 성능은 다양한 환경에서의 성능을 중심으로 평가하였다. 그림 6과 그림 7는 사용자 수를 20명으로 하여 SNR에 따른 BER을 측정된 것이다.

그림 6은 전력제어가 되었을 때 BER을 측정된 것이고, 그림 7은 전력제어가 안 되었을 때 BER을 측정된 것이다.

표 1. SNR에 따른 기준 전력의 변수 값(dB)

	mean	median	variance	min	max
6dB	-2.06	-1.80	25.14	-49.27	7.97
7dB	-2.17	-0.82	23.16	-48.42	6.59
8dB	-2.19	-0.94	22.61	-47.04	7.64
평균	-2.14	-0.80	23.64	-48.24	7.4

그림 6에서 제안된 간섭제거기의 초기단(proposal\_0st)이 기존의 수신기(convention)나 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거기(IGIC)의 초기단(group\_0st)보다 BER성능이 향상된 것을 보인다.

하지만, 제안된 간섭제거기 1단(proposed\_1st)에서는 순차적 간섭제거기(sic)나 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거기(IGIC) 1단(group\_1st)과 성능의 거의 유사함을 알 수 있다. 그림 7에서 제안된 간섭제거기의 초기단(proposal\_0st)이 기존의 수신기(convention)나 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거

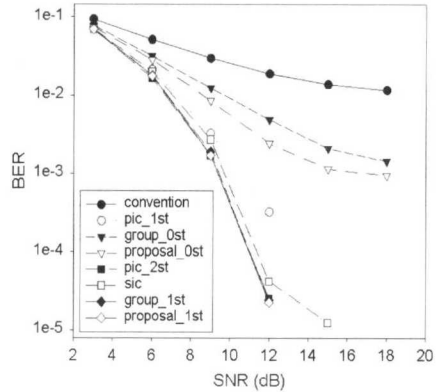


그림 6. 전력 제어가 되었을 때, SNR에 따른 BER

기(IGIC)의 초기단(group\_0st)보다 BER성능이 향상된 것을 보인다.

제안된 간섭제거기 1단(proposed\_1st)에서도 병렬형 간섭제거기(PIC) 1단(pic\_1st)나 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거기(IGIC) 1단(group\_1st)보다 성능이 향상됨을 알 수 있다. 즉, SNR이 6 ~ 12dB일 경우 제안된 간섭제거기 1단(proposed\_1st)은 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거기(IGIC)의 시스템보다 초기단에서는 0.05 ~ 0.001 정도, 1단에서는 0.001 ~ 0.0023 정도 성능이 향상된다. 그러나 병렬형 간섭제거기(PIC) 2단(pic\_2st) 보다는 성능이 나쁘다. 그 이유는 개선된 정렬기법을 적용하여도 전력제어를 하지 않았을 때는 병렬형 간섭제거기의 단(stage)을 증가시키는 효과 보다 낮기 때문이다.

그림 6이 그림 7과 다른 점은 제안된 간섭제거기 1단의 BER성능이 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거기(IGIC) 1단, 병렬형 간섭제거기(PIC) 2단과

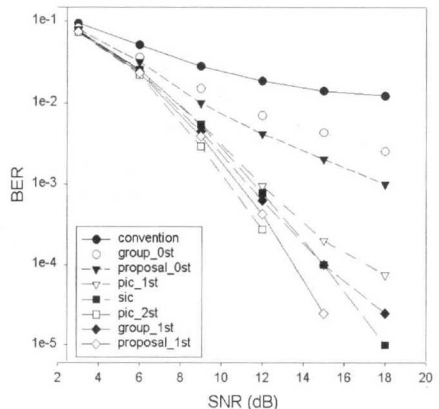


그림 7. 전력 제어가 안 되었을 때, SNR에 따른 BER

유사하다는 것이다. 이것은 전력제어를 하였을 때와 하지 않았을 때의 차이를 보여준다. 이 결과로부터 전력제어가 잘 안 되었을 때, 개선된 정렬기법을 사용하면 유리하다는 것을 알 수 있다

#### IV. 결론

제안된 간섭제거기는 신호세력을 고려하여, 동일한 그룹에 비슷한 신호전력을 가진 사용자를 할당하는 기법을 적용시켜 기존의 정렬기법을 개선시켰다. 이는 동일한 그룹 내에서 다중접속간섭을 최소화하여 전체시스템의 성능을 향상시킨다. 즉, 상대적으로 큰 신호가 작은 신호에 미치는 다중접속간섭의 영향을 줄임으로 기존의 초기단을 개선시킨 그룹형 간섭제거기(IGIC)의 성능을 향상시켰다. 이때 기준전력을 설정하여 이것을 기준으로 각 그룹에 신호들을 할당한다. 기준전력은 수신된 신호전력 분포를 통해서 그룹간에 다중접속간섭을 최소로 하는 부분을 의미한다.

모의실험을 통한 결과, 제안된 간섭제거기는 전력제어를 하였을 때보다 전력제어를 하지 않았을 때 전체적으로 성능이 좋다. 따라서, 전력 제어가 잘 안 되는 도심밀집지역에서 제안된 간섭제거기를 사용하면 유리하다는 것을 보여준다. 제안된 간섭제거기 1단이 순차적 간섭제거기(SIC)보다 BER 성능이 우수하며, 병렬형 간섭제거기(PIC) 2단과 거의 비슷한 성능을 보였다. 이 결과, 병렬형 간섭제거기(PIC)가 다단으로 구성되면 문제 시 되었던 복잡도를 줄일 수 있고, 순차적 간섭제거기(SIC)에서 문제 시 되던 처리 시간을 그룹으로 처리 하여 줄일 수 있게 되었다.

#### 참 고 문 헌

[1] Alexandra Duel-Hallen, Jack Holtzman, And Zoran Zvonar, "Multiuser Detection for CDMA Systems", *IEEE Personal Communication*, April 1995, pp.46-58

[2] S.G. Glisic, P. A.Leppanen, *Code Division Multiple Access Communications*, Kluwer Academic Publishers, 1995

[3] S.Moshavi, "Multi-User Detection for DS CDMA communications", *IEEE Communication Magazine*, Oct. 1996, pp.124-136

[4] S.Verdu, *Multiuser Detection*, CAMBRIDGE

University Press, 1998

[5] S.Sun, L.K.Rasmussen, H.Sugimoto, T.T.Lim, "A Hybrid Interference Canceller in CDMA", *IEEE fifth International Symposium on Spread Spectrum Technology & Application*, Vol. 1, Sep. 1998,pp.150-154

[6] H.Vincent Poor, S. verdu, "Single User Detectors for multiuser Channels", *IEEE transaction on Communication*, vol. 36, no. 1, Jan 1988

[7] M.K. Varanasi, B.Aazhang, "Near-Optimum Detection in Synchronous Code Division Multiple-Access System", *IEEE transaction on Communication*, vol.39, no. 5, May 1991

[8] 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

[9] 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. 706-807

[10] Sun-Jin Yeom, Jae-Yun Jeung, Yong-Wan Park, "Analysis of Parallel Interference Cancellation with the Improved Initial Stage", *한국통신학회논문지*, Vol. 25, April 2000, pp.464-470

[11] D.Koulakiotis, A.H.Aghvami, "Evaluation of a DS/CDMA Multiuser Receiver Employing a hybrid Form of Interference Cancellation in Rayleigh-Fading Channels", *IEEE Communications Letters*, Vol. 1, Sep. 1998, pp.150-154

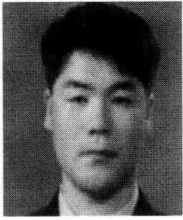
[12] Theodore S. Rappaport, *Wireless communications Principles and Practice*, Prentice Hall, 1996, pp 172-177

[13] Peyton Z. Peebles, *Probability, Random Variables and Random Signal Principles*, McGraw-Hill, 1993, pp 39-63



박 재 원(Jae-Won Park)

준회원



2000년 2월 : 영남대학교  
금속공학과 (공학사)  
2002년 2월 : 영남대학교  
정보통신공학과(공학석사)  
2002년 3월~현재 : 영남대학교  
정보통신공학과 박사과정

염 순 진(Sun-Jin Yeom)

준회원



1999년 2월 : 영남대학교  
전자공학과 (공학사)  
2001년 2월 : 영남대학교  
정보통신공학과(공학석사)  
2001년 3월~현재 : LG전자

박 용 완(Yong-Wan Park)

정회원



1982년 2월 : 경북대학교  
전자공학과(공학사)  
1984년 2월 : 경북대학교  
전자공학과(공학석사)  
1989년 2월 : 뉴욕주립대  
전자공학과(공학사)

1992년 2월 : 뉴욕주립대 전자공학과(공학박사)  
1992년 10월~1993년 12월 : 캘리포니아 공과대학  
Research Fellow  
1994년 1월~1996년 8월 : 한국이동통신 PCS기술연  
구팀장  
1996년 9월~현재 : 영남대학교 전자정보공학부 부교  
수