

다중전송률 MC DS/CDMA 시스템의 복합간섭제거기법에 대한 연구

김남선^{1*}
¹대진대학교 통신공학과

The Study on Hybrid Interference Cancellation Methods for Multirate MC DS/CDMA System

Nam-Sun Kim^{1*}

¹Department of Communication Engineering, Daejin University

요약 본 논문에서는 다중 전송률을 갖는 다중 캐리어(MC) DS/CDMA 시스템에서 OVFS코드를 사용한 새로운 코드 그룹화 간섭제거기를 제안한다. 사용자들은 가변처리이득을 만족하기 위하여 전송률에 따라 길이가 다른 OVFS 코드를 할당하며 대표코드가 같은 OVFS 코드를 사용하는 사용자들을 그룹화 한다. 제안된 코드그룹화 간섭제거기는 그룹간 간섭을 제거한 후 그룹내 간섭을 차례로 제거한다. 간섭제거기는 간섭사용자들의 정확한 정보 없이 원하는 사용자의 코드 정보만 알고 있어도 간섭제거 및 사용자신호의 검출이 가능하다. 제안된 시스템은 그룹 단위의 처리를 통하여 간섭을 보다 쉽고 간단하게 제거함으로써 성능이 향상되며 기존 방식보다 효율적인 시스템을 구현할 수 있다.

BER 성능을 주파수 선택적 레일리 페이딩 채널 하에서 분석하였으며 제안된 시스템을 다중 전송률 DS/CDMA 시스템과 비교하였다. 제안한 시스템을 동일 대역폭과 동일 처리이득에 따라 성능을 분석하였으며, 간섭제거기를 사용하여 성능이 향상됨을 알 수 있다.

Abstract In this paper, we propose a new interference cancellation(IC) receiver for multirate Multicarrier DS/CDMA(MC DS/CDMA) system based on orthogonal variable spreading factor(OVSF) code. The users are assigned different lengths of OVSF codes as a spreading code according to their data rates and the active users having same representative code split into a group for effective cancellation. The code grouping interference cancellation(IC) receiver performs cancellation between the groups first and cancellation within group. This proposed IC receiver can cancel the interferences using desired user's code information and then desired signals are detected. The results show that the large improvement in performance can be attained by group-wise IC scheme and we can make the effective systems compare to conventional ones.

The bit error rate of the system is analytically derived in frequency selective Rayleigh fading channel and we also compare the system performance with that of multirate DS/CDMA system. We also analyze the performance of the proposed system with same bandwidth and processing gain. The results show the large improvement in performance that can be attained by cancellation scheme.

Key Words : MC DS/CDMA, OVSF code, Interference cancellation

1. 서론

차세대 무선 이동통신은 다양한 전송률을 처리할 수 있어야 하며, 높은 전송효율을 갖는 고속 전송방식, 주파

수 사용의 고 효율성 등을 만족하는 시스템으로 구현되어야 한다[1].

전송률이 서로 다른 다양한 서비스들을 하나로 통합한 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 다중 전송률

본 논문은 2010학년도 대진대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

*교신저자 : 김남선(kimns@daejin.ac.kr)

접수일 10년 04월 08일

수정일 (1차 10년 05월 04일, 2차 10년 06월 03일)

게재확정일 10년 07월 06일

(multirate)을 지원하는 방식 중 다중처리 이득(Multi Processing Gain)기법은 고정된 칩율(chip rate) 또는 확산 대역폭 내에서 데이터 전송률에 따라 처리이득만을 변화시켜 구현하는 방식으로 고속 데이터 서비스에는 작은 처리이득이 부여되고 저속 데이터 서비스에는 큰 처리이득이 부여된다[2]. 이와 같은 다중 처리이득방법은 구조가 간단하여 다중 전송률 서비스를 실현하기 위해 매우 선호되는 시스템이다.

다중 반송파(multi carrier) 시스템은 광대역 시스템을 여러 개의 협대역 시스템으로 나누고 이를 다수의 반송파에 실어 단일 반송파와 같은 효과를 내는 기법이다. 이는 고속의 디바이스가 필요한 단일 반송파(single carrier) 시스템과 달리 저속의 디바이스로 구현이 가능하다는 이점이 있다. 이러한 MC CDMA 방식은 동일한 데이터 심벌을 다수의 협대역 직교 반송파로 전송하므로 각 부반송파는 지연확산보다 훨씬 큰 심벌기간을 가지므로 심각한 페이딩을 받는 일이 없으며 주파수 다이버시티에 의한 이득도 얻을 수 있다. MC CDMA 시스템은 다중경로 페이딩에 의해 심각한 심벌간 간섭(ISI) 및 칩간 간섭(ICI) 등에 의해 그 성능이 매우 열화 되는 단점이 있는 WCDMA 시스템의 단점을 보완하면서 높은 데이터 전송률 요구를 만족시키기 위한 해결책으로 제시되었다[3]. 특히 고속 전송을 가능하게 하는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)의 장점과 다중 경로 페이딩 채널에 강한 DS/CDMA를 결합하였기 때문에 미래의 고속 무선 멀티미디어 통신 전송을 위해 적합한 기법이라 할 수 있다. MC DS/CDMA 시스템은 DS/CDMA 시스템에서와 같이 다중 접속으로 인하여 다중 사용자 간섭(MAI: Multiple Access Interference)과 원근효과와 같은 문제들이 발생한다. 이러한 다중사용자 간섭을 제거하기 위해서 DS/CDMA 시스템에 근거한 간섭제거기법들이 연구된다.

Verdú에 의해 제안된 최적(optimal)방식은 구현의 어려움을 갖고 있기 때문에 구현 가능성이 높은 준 최적방식이 많은 관심을 끌고 있다. 준 최적 다중 사용자 검출기는 각 사용자의 수신신호에서 다른 사용자의 간섭신호를 제거하는 방식이다. 다중 사용자 수신기로서 준 최적 수신기의 하나인 감산형 간섭제거방식에는 구조에 따라 직렬 간섭제거(SIC: Successive Interference Cancellation) 방법[4] 과 병렬 간섭제거(PIC: Parallel Interference Cancellation)방식[5]으로 나누어진다. 또한 직렬 간섭제거방식과 병렬 간섭제거방식의 장점들을 조합한 복합 간섭제거(HIC: Hybrid Interference Cancellation)방식이 있다[6].

MC DS/CDMA 환경에서 간섭제거기법에 관한 연구는 대부분은 SIC[7]와 PIC[8]에 대한 연구이다. 여기에서

SIC 방식은 원하는 사용자마다 연속적으로 반복적으로 간섭신호들에 대한 신호를 추정함으로써 원하는 사용자에 대한 MAI가 제거된 보다 정확한 신호를 결정 할 수 있지만 처리속도를 개선하지 못하는 단점이 있다. 또한 PIC 방식은 처리속도는 빠르지만 원하는 성능을 얻기 위하여 다단(multi-stage)으로 시스템을 구성하여야 하기 때문에 하드웨어의 복잡도가 증가한다.

다중 전송률 DS/CDMA 및 MC-CDMA 시스템에서 HIC 기법을 사용하여 다중접속 간섭을 제거하기 위한 많은 연구가 이루어졌다[9]-[10]. 이러한 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. 그러나 이러한 간섭제거기법들은 구성복잡도의 증가, 단말기의 처리능력 및 모든 사용자에 대한 정보 등이 필요하다는 문제점을 갖고 있어 하향링크 수신기인 단말기에는 부적합하다. 또한 WCDMA 하향링크에서 OVFS 코드 그룹화 기법을 사용하여 대표코드로 그룹화 하고 수신단말에서 다중경로로 인해 생기는 간섭잡음을 추정 및 제거하는 연구가 있다[11]. 그러나 본 논문에서는 사용자 코드정보만을 가지고 신호를 검출해 내므로 효율적인 시스템이 구성될 수 있다.

본 논문에서는 WCDMA 하향링크에 사용되는 채널화 코드인 OVFS(orthogonal variable spreading factor) 코드의 생성특성을 이용하여 발생된 OVFS 코드를 MC DS/CDMA의 확산부호로 사용한다. 가변확산이득을 갖는 MC DS/CDMA 하향링크에서 동일한 대표코드를 갖는 사용자들을 그룹으로 분류한다. 수신측에서는 제안된 방법에 따라 타 사용자들에 대한 정확한 정보 없이도 원하는 사용자의 코드정보만을 가지고 타 그룹 및 인접 사용자의 간섭을 제거하면서 원하는 사용자의 신호를 검출해 낸다.

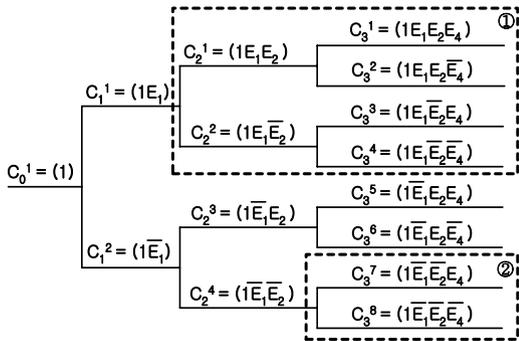
본 논문의 2에서는 OVFS 코드의 특성을 설명하며, 3에서는 MC DS/CDMA 시스템의 송신시스템을 설명한다. 또한 4에서는 다중접속간섭을 제거하기 위한 방법과 간섭제거기가 적용된 MC DS/CDMA 시스템을 분석한다. 5에서는 성능평가와 분석을 하며 6에서 결론을 맺는다.

2. OVFS Code

본 논문에서는 WCDMA 하향링크에서 채널화코드로 사용되는 OVFS 코드의 생성트리[11,12]를 그림 1로 바꾸어 생각하기로 한다. 이것은 어떠한 변형을 가한 것이 아

나라 간단한 가정에 의해서 만들어 진다. 우선 $c_0^1 = (1)$ 로 두기로 한다. layer-1 이후에서 나타나는 “E”라는 문자는 Equal의 약자로서 앞(前)의 비트와 같다는 의미로 나타냈다. 예를 들어 E_2 는 “앞의 2비트와 같다”라는 의미이다. 또한 \bar{E}_2 는 “앞의 2비트와 반대”라는 의미이다. 이것은 이전의 비트가 X라면 \bar{E} 는 $-X$ 를 의미한다.

한 예로 $1E_1\bar{E}_2\bar{E}_4$ 라면 $1E_1$ 는 (11)을 나타내고 \bar{E}_2 는 이전 2비트와 반대임을 표시하므로 $(-1-1)$ 이 되며, \bar{E}_4 는 이전 4비트와 반대임을 표시하므로 $(-1-111)$ 이 된다. 그러므로 $1E_1\bar{E}_2\bar{E}_4$ 는 $(11-1-1-1-111)$ 을 표시한다. 반대로 사용자에게 할당된 코드가 $(1-11-1-11-11)$ 라면 처음 1 다음에 나오는 비트는 -1이므로 \bar{E}_1 , 다음 2비트는 이전 2비트와 같으므로 E_2 , 다음 4비트는 이전 4비트와 반대이므로 \bar{E}_4 가 되어 주어진 코드는 $1\bar{E}_1E_2\bar{E}_4$ 로 쓸 수 있다. 이와 같이, 최상위 1 비트의 대표코드를 기준으로 2^n ($n=0,1,2,\dots$)비트씩 늘려가면서 조사하면 OVSF 코드의 생성트리는 그림 1과 같이 표시된다.

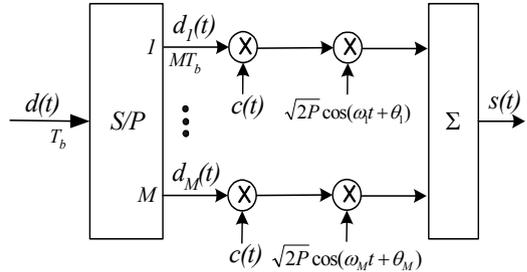


[그림 1] OVSF 코드를 문자로 대체

3. MC DS/CDMA 시스템

그림 2는 BPSK MC DS/CDMA 시스템의 송신기 구조를 나타낸다. MC DS/CDMA 송신기는 시간영역에서 주어진 확산코드를 이용하여 직/병렬된 데이터 열을 확산하는 방식이다. 이렇게 함으로써 각 부반송파의 스펙트럼은 최소의 주파수 이격을 가지며 직교성을 유지할 수 있다. 여기서, $d(t)$ 와 $c(t)$ 는 각각 정보신호와 확산코드를 의미하며, T_b 는 입력 비트주기, M 은 부반송파의 개수,

P 는 부반송파 전력이다. 또한 ω_m 은 m 번째 반송파의 주파수이고, θ_m 은 위상으로 $[0, 2\pi]$ 범위에서 균일분포를 갖는 독립확률변수를 의미한다.



[그림 2] MC DS/CDMA 송신기 모델

각 부반송파는 전달함수, $h_m^k = \alpha_m^k \exp(j\phi_m^k) \delta(t - \tau_k)$ 을 가지는 레일리 페이딩 채널을 통과한다고 가정한다. 여기서 α_m^k 는 레일리 페이딩분포를 가지며 ϕ_m^k 는 구간 $[0, 2\pi]$ 에서 균일분포를 갖는다. 수신기에 입력되는 이중전송률 MC DS/CDMA 시스템 신호 $r(t)$ 는 식 (1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{j=1}^2 \sum_{k_{1j}=1}^{K_{1j}} \sum_{m=1}^M \sqrt{2P} \alpha_m^{k_{1j}} d_m^{k_{1j}}(t - \tau_{k_{1j}}) c_i^{k_{1j}}(t - \tau_{k_{1j}}) \times \cos(\omega_m t + \psi_m^{k_{1j}}) + \sum_{j=1}^2 \sum_{k_{2j}=1}^{K_{2j}} \sum_{m=1}^M \sqrt{2P} \alpha_m^{k_{2j}} d_m^{k_{2j}}(t - \tau_{k_{2j}}) c_i^{k_{2j}}(t - \tau_{k_{2j}}) \times \cos(\omega_m t + \psi_m^{k_{2j}}) + n(t) \quad (1)$$

동일한 대표코드를 사용하는 사용자들을 동일그룹으로 분류한 G_1, G_2 그룹들은 다시 각각 2개의 전송률을 갖는 부 그룹으로 분류될 수 있다. 왜냐하면 각 그룹에도 전송률이 다른 사용자가 존재할 수 있기 때문이다. 여기서 K_{1j} 및 K_{2j} 는 그룹 G_1, G_2 의 부 그룹의 사용자 수이다. 또한 서 $\psi_m^k = \theta_m^k + \phi_m^k - \omega_c \tau_k$ 는 위상왜곡성분, τ_k 는 사용자 k 의 수신신호의 지연시간으로 $[0, T_b]$ 에서 균일한 분포를 갖는다. $n(t)$ 는 단측 전력밀도 스펙트럼이 N_0 인 가산성 백색 가우시안(AWGN) 잡음이다.

4. 간섭제거시스템

4.1 간섭제거를 위한 규칙

CDMA 시스템에서 사용자들은 상호 직교적인 코드를 통해 서로 구분되며 이상적인 경우 서로 간섭을 일으키지 않는다. 그러나 실제적인 경우 전송채널에는 다중경로 페이딩이 존재하며 이로 인해 칩간의 간섭이 생기게 된다. 이러한 칩간 간섭은 채널화 코드간의 직교성을 열화시키고 서로 다른 사용자간에 다중사용자 간섭 또는 다중경로 간섭을 일으키게 된다. 본 논문에서 모든 사용자들은 소속되어있는 OVSF 코드 트리의 동일한 대표코드를 사용하는 사용자들에 따라 그룹화 하였다. 수신측에서 검출하고자 하는 사용자에게 할당된 코드정보는 알고 있으므로 단지 이 정보만으로 그룹간 간섭 및 그룹내 간섭을 제거하고 사용자 신호를 검출 할 수 있는데, 이것은 다음과 같은 간단한 규칙에 의해서 수행된다.

[표 1] 간섭제거 규칙

규 칙
$E_x \leftrightarrow \overline{E_x}$

검출 사용자 코드에 해당되는 문자를 차례로 하나씩 늘려가면서 표 1에 따라 각 문자에 서로 쌍대의 문자에 해당하는 코드를 이용하여 간섭제거 및 신호를 검출하는 것이다. 예를 들어 사용자의 코드가 그림 3과 같이 $1\overline{E_1}E_2\overline{E_4}(1-1\ 1-1-1\ 1-1\ 1)$ 라 하자.

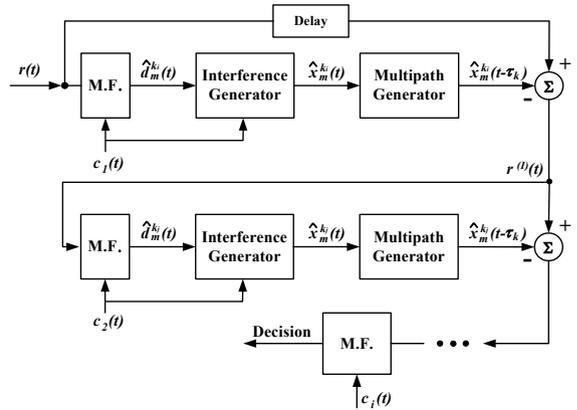
$$\begin{matrix} 1 & \overline{E_1} & E_2 & \overline{E_4} \\ \times & \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} \end{matrix}$$

[그림 3] 간섭제거방법의 예

처음 $1\overline{E_1}(1-1)$ 코드의 문자 쌍대인 $1E_1(1\ 1)$ 코드에 의해서 일차적으로 그룹간 간섭을 제거(그림 1의 ①)할 수 있으며, 다음 E_2 의 쌍대가 되는 $\overline{E_2}$ 에 의한 $1\overline{E_1}\overline{E_2}(1-1-1\ 1)$ 에 의해서 그룹내 간섭이 제거(그림 1의 ②)된다. 이러한 형태로 간섭이 제거된 후 마지막으로 사용자 신호인 $1\overline{E_1}E_2\overline{E_4}$ 에 의해서 원하는 사용자 신호가 검출된다. 만약 사용자의 코드길이가 더 긴 코드라 할지라도 동일한 방법을 통해서 계속적으로 간섭을 제거해 나갈 수 있다.

4.2 그룹단위 간섭제거기

그림 4는 제안된 시스템에서 사용자의 코드정보를 이용하여 신호를 검출하기 위한 간섭제거기의 계통도를 보여주고 있다.



[그림 4] 제안된 간섭제거 시스템

일차적으로 그룹간 간섭제거는 수신신호로부터 재생된 간섭 그룹사용자들의 다중사용자 칩 시퀀스를 제거하면 되는데, 이 간섭 그룹 사용자들의 다중사용자 칩 시퀀스는 수신신호로부터 모든 간섭사용자 신호를 추정하고, 간섭 사용자들의 대표코드를 곱해서 얻을 수 있다. 여기서 코드그룹 간섭제거기는 간섭을 제거하는 과정에서 간섭사용자들이 사용한 정확한 코드정보나 그 사용여부를 요구하지 않는다. 만약 단말기에서 검출하려고 하는 사용자가 G_1 그룹내 사용자인 경우, 수신된 신호에서 간섭성분을 추정하기 위해서 간섭그룹의 대표코드인 $c_1^2(t)$ 와 수신신호 $r(t)$ 간에 상관을 취한다. 여기서 상관을 취하는 주기는 각 부주기(대표코드)의 지속시간으로 하며 여기서는 2칩이 된다. 식 (2)의 정합여파기 출력을 이용하여, G_2 내 간섭사용자의 다중사용자 비트 시퀀스의 추정치는 식 (3)과 같다.

$$z_m^{k_{2j}}(t) = \sum_{n=1}^{N_s} \frac{1}{T_{c_1}} \int_{T_{c_1}} r(t) c_1^2(t) \cos(\omega_m t + \psi_m^{k_{2j}}) dt \tag{2}$$

$$\widehat{d}_m^{k_{2j}}(t) = \text{sgn}(z_m^{k_{2j}}(t)) \tag{3}$$

여기서 N_s 는 사용자 원 코드주기에 존재하는 부주기의 수이다. 이를 바탕으로 간섭 사용자의 다중 사용자 칩

시퀀스는 판정기를 거친 데이터에 간섭그룹의 대표코드를 곱하면 얻을 수 있다. 이를 이용하여 G_2 그룹의 사용자 k_2 의 간섭성분을 재생하면 다음과 같다.

$$x_m^{k_2j}(t) = \sum_{n=0}^{N_s} \sqrt{2P} \alpha_m^{k_2j} d_m^{k_2j}(t) c_1^2(t) \cos(\omega_m t + \psi_m^{k_2j}) \quad (4)$$

수신된 신호에서 재생된 간섭사용자들의 다중사용자 칩 시퀀스를 제거하면 우리가 검출하고자 하는 사용자가 속한 코드그룹에 대한 다중사용자 칩 시퀀스를 얻을 수 있다. 그룹 G_2 사용자들에 대한 다중접속 간섭신호가 제거된 신호는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$r^{(I)}(t) = r(t) - \sum_{j=1}^2 \sum_{k_2j=1}^{K_2j} \sum_{m=1}^M x_m^{k_2j}(t - \tau_{k_2j}) \quad (5)$$

여기서 위첨자 (I)는 간섭 제거과정을 나타낸다. 이와 같이 그룹간 간섭이 제거된 후, 그룹내 간섭 사용자들의 영향을 제거하기 위해 사용자 코드에 해당되는 문자를 차례로 하나씩 늘려가면서 각 문자에 서로 쌍대의 문자에 해당하는 코드를 이용하여 계속해서 간섭을 제거해 나간다. 여기서 사용하는 대표코드의 지속시간은 2^n ($n=1,2,\dots$)씩 늘어난다. G_1 그룹이라 할지라도 검출 사용자가 속한 가지와 그렇지 않은 가지가 있으므로 G_1 이 다시 부 그룹으로 나누어진다. 만약 검출하고자 하는 사용자가 G_{12} 부 그룹에 존재한다고 하자. 그룹내의 간섭성분을 추정하기 위해 간섭 가지(branch)의 대표코드와 수신신호성분과 상관을 취한다.

$$z_m^{k_{12},(I)}(t) = \sum_{n=1}^{N_s} \frac{1}{T_{C_2}} \int_{T_{C_2}} r^{(I)}(t) c_4^{k_{12}}(t) \cos(\omega_m t + \psi_m^{k_{12}}) dt \quad (6)$$

여기서 상관을 취하는 주기는 각 부주기(대표코드)의 지속시간으로 하며 여기서는 4-칩이다. 상관의 결과는 그룹내 간섭 가지 사용자들의 다중사용자 비트시퀀스가 된다. 그룹내 가지간의 간섭을 제거한 신호는 식 (7)과 같다.

$$r^{(k_{11},I)}(t) = r^{(I)}(t) - \sum_{k_{12}=1}^{K_{12}} \sum_{m=1}^M x_m^{k_{12}}(t - \tau_{k_{12}}) \quad (7)$$

여기서

$$x_m^{k_{12}}(t - \tau_{k_{12}}) = \sum_{n=0}^{N_s} \sqrt{2P} \alpha_m^{k_{12}} d_m^{k_{12}}(t - \tau_{k_{12}}) c_2^4(t - \tau_{k_{12}}) \cos(\omega_m t + \psi_m^{k_{12}}) \quad (8)$$

이다. 이와 같이 그룹내 간섭들이 제거된 후, 관심사용자가 포함된 가지그룹의 다중사용자 칩 시퀀스와 관심사용자의 코드를 상관시키면 관심사용자의 데이터를 복구할 수 있다. G_{11} 그룹의 사용자 u 가 8비트의 확산코드를 갖는다면, 사용자 u 의 a 번째 캐리어 신호를 검출하기 위한 상관기 출력은 다음과 같다.

$$z_m^{(u,I)} = \frac{1}{T_b} \int_{T_b} r^{(k_{12},I)}(t - \tau_k) c_3^u(t - \tau_u) \cos(\omega_a t + \psi_a^u) dt = D_a^u + MAI_a^u (I_{G_1}^s + I_{G_1}^o + I_{G_2}^s + I_{G_2}^o) + \eta \quad (9)$$

상관기 출력은 크게 사용자 신호, MAI 및 잡음성분의 합으로 구성되는데, 여기서 MAI는 다중사용자 간섭성분들로서 $I_{G_1}^s, I_{G_1}^o$ 는 동일그룹(G_1)내의 동일한 부 캐리어(same subcarrier)와 다른 부 캐리어(other subcarrier)에 의해서 발생하는 MAI성분이며 $I_{G_2}^s, I_{G_2}^o$ 는 G_2 그룹에서 발생하는 성분이다. 또한 η 은 평균이 0이고 분산이 $N_0/4$ 인 AWGN 잡음이며 $P = E_b/MT_b$ 이다. MAI 성분만을 표시하면 다음과 같다.

$$\textcircled{1} I_{G_1}^s = \sqrt{\frac{P}{2}} \sum_{k_{11}=1, k_{11} \neq u}^{K_{11}} \alpha_a^{k_{11}} d_a^{k_{11}}(t) I_a^u(u, k_{11}) + \sqrt{\frac{P}{2}} \cdot \sum_{k_{12}=1}^{K_{12}} \alpha_a^{k_{12}} [d_a^{k_{12}}(t) - \widehat{d_a^{k_{12}}}(t)] I_a^u(u, k_{12}) dt \quad (10)$$

$$\text{여기서 } I_a^u(u, j) = \frac{1}{T_b} \int_{T_b} c^u(t) c^j(t) \cos(\psi_a^j - \psi_a^u) dt$$

$$\textcircled{2} I_{G_1}^o = \sqrt{\frac{P}{2}} \sum_{k_{11}=1}^{K_{11}} \sum_{\substack{m=1 \\ k_{11} \neq um \neq a}}^M \alpha_m^{k_{11}} d_m^{k_{11}}(t) U_a^u(u, k_{11}) + \sqrt{\frac{P}{2}} \cdot \sum_{k_{12}=1}^{K_{12}} \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq a}}^M \alpha_m^{k_{12}} [d_m^{k_{12}}(t) - \widehat{d_m^{k_{12}}}(t)] U_a^u(u, k_{12}) \quad (11)$$

여기서

$$U_a^u(u, j) = \frac{1}{T_b} \int_{T_b} c^u(t) c^j(t) \cos((\omega_m - \omega_a)t + (\psi_m^j - \psi_a^u)) dt$$

$$\textcircled{3} I_{G_2}^s = \sqrt{\frac{P}{2}} \sum_{j=1}^{K_{2j}} \sum_{k_{2j}=1}^{K_{2j}} \alpha_a^{k_{2j}} [d_a^{k_{2j}}(t) - \widehat{d_a^{k_{2j}}}(t)] I_a^u(u, k_{2j}) \quad (12)$$

$$\textcircled{4} I_{G_2}^o = \sqrt{\frac{P}{2}} \sum_{j=1}^{K_{2j}} \sum_{m=1, m \neq a}^M \alpha_m^{k_{2j}} [d_m^{k_{2j}}(t) - \widehat{d_m^{k_{2j}}}(t)] \times U_a^u(u, k_{2j}) \quad (13)$$

본 논문에서는 이중전송률 MC DS/CDMA 시스템을 고려하였으며, 시스템의 오류성능을 구하기 위하여 간섭 잡음은 가우시안 랜덤변수로 근사화 시킨다. 여기서 MAI 및 잡음성분들은 서로 상관되지 않은 가우시안 랜덤변수이므로 이들의 합 역시 가우시안 랜덤변수가 된다. 식 (9)의 결정변수에 대한 평균과 분산을 구하면 식 (14), (15)와 같다[13].

$$E[z_m^{(u, D)}] = \sqrt{\frac{E_b}{2M}} \alpha_a^u d_a^u(t) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} VAR[z_m^{(u, D)}] &= \frac{(K_{11} - 1) E_b \sigma_c^2}{3NM} + \frac{4 K_{12} E_b \sigma_c^2 P_e^{(u)}}{3NM} \\ &+ \frac{(K_{11} - 1) E_b \sigma_c^2}{2\pi^2 NM} \sum_{m=1, m \neq a}^M \frac{1}{(m - a)^2} \\ &+ \frac{2(K_{12}) E_b \sigma_c^2 P_e^{(u)}}{\pi^2 NM} \sum_{m=1, m \neq a}^M \frac{1}{(m - a)^2} \\ &+ \frac{4(K_{22} + K_{21}) E_b \sigma_c^2 P_e^{(u)}}{3NM} + \frac{2(K_{21} + K_{22}) E_b}{\pi^2 NM} \\ &\times \sigma_c^2 P_e^{(u)} \sum_{m=1, m \neq a}^M \frac{1}{(m - a)^2} + \frac{N_0}{4} \quad (15) \end{aligned}$$

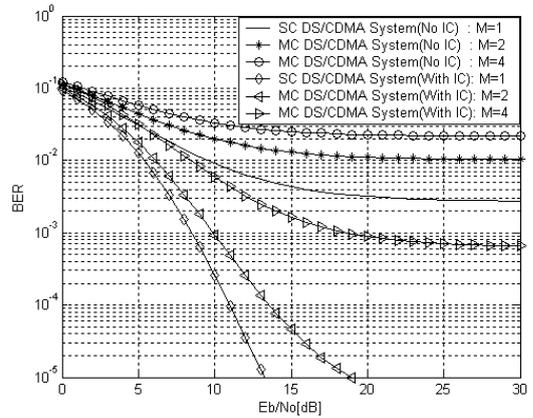
여기서 $P_e^{(u)}$ 는 MC DS/CDMA 시스템에서 간섭제거기가 사용되지 않는 경우의 사용자 u 에 대한 비트오율이다.

5. 성능분석

본 논문에는 가변처리이득기법을 사용한 이중 전송률 BPSK MC DS/CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 여기서 채널환경은 레일리 페이딩 채널을 고려하였으며, 제안

된 기법을 통한 성능과 기존의 시스템의 성능을 부 반송파와 처리이득 등을 고려하여 컴퓨터 모의실험을 통해 비교, 분석하고자 한다.

성능분석을 위해 사용자들이 속한 코드그룹에 따라 2개의 그룹으로 분류 하였다. 그룹 G_1 은 $c_1^1(t)$ 을 대표코드로 하는 코드트리 내에 존재하며, 그룹 G_2 는 $c_1^2(t)$ 를 대표 코드로 하는 코드 트리내에 존재한다. 각 그룹에는 서로 다른 전송률을 갖는 사용자가 존재할 수 있으므로 각각 부 그룹으로 분류될 수 있으며 사용자의 전송률에 따라 가변전송률을 만족하는 코드를 할당받는다. 수신기는 G_1 그룹의 사용자 u 의 첫 번째 신호를 검출하도록 구성하였으며, 각 사용자에 대한 완전한 전력제어가 이루어진 것으로 가정하였다.



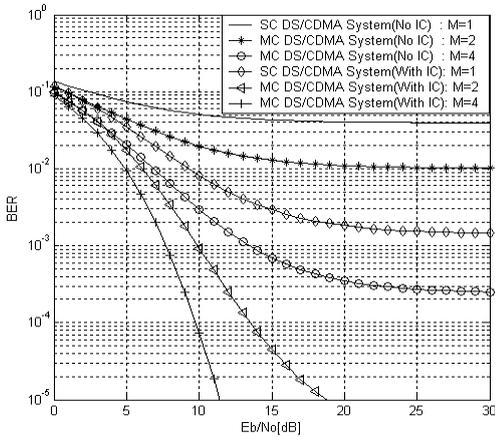
[그림 5] SC DS/CDMA와 MC DS/CDMA

그림 5는 $M=1$ 인 SC(single-carrier) DS/CDMA 시스템과 MC DS/CDMA 시스템의 성능을 간섭제거 전, 후의 성능으로 비교하였다. 분석을 위하여 전체사용자(K)는 32명으로 동일하게 할당하였으며, 각 그룹의 사용자는 $K_1 = K_2 = 16$, G_1 그룹의 부 사용자 수는 $K_{11} = K_{12} = 8$ 로 하였다. 또한 부 캐리어의 수(M)를 1, 2, 4로 한 경우 처리이득(N)은 각각 256, 128, 64로 하였다. SNR이 13dB에서 BER을 비교하면 표 2와 같다.

[표 2] 동일 대역폭 측면의 성능비교

M	SNR	간섭제거 전	간섭제거 후
1	13dB	5.4×10^{-3}	0.12×10^{-4}
2	13dB	14.8×10^{-3}	1.37×10^{-4}
4	13dB	27.2×10^{-3}	25×10^{-4}

표 2에서 보듯이 부 캐리어의 수가 증가할수록 성능은 감소함을 알 수 있다. 그 이유는 부 캐리어의 수가 증가할수록 다중접속 간섭의 영향이 커지기 때문이다. 부 캐리어의 수가 늘어나면 처리이득은 감소하고 다중접속간섭은 처리이득에 반비례하여 증가한다. 이 결과는 MC DS/CDMA 환경에서 다중접속간섭은 부 캐리어의 수에 의존함을 보여준다. 또한 제안된 간섭제거기에 의하여 성능이 향상되고 있지만, 이 역시 부 캐리어가 커짐에 따라 성능은 감소한다.



[그림 6] M 에 따른 MC DS/CDMA의 성능

그림 6은 처리이득을 동일하게 한 상태에서 M의 변화에 따른 MC DS/CDMA 시스템의 성능을 간섭제거 전, 후의 성능으로 비교하였다. 분석을 위하여 K는 32명, N은 64로 하였다.

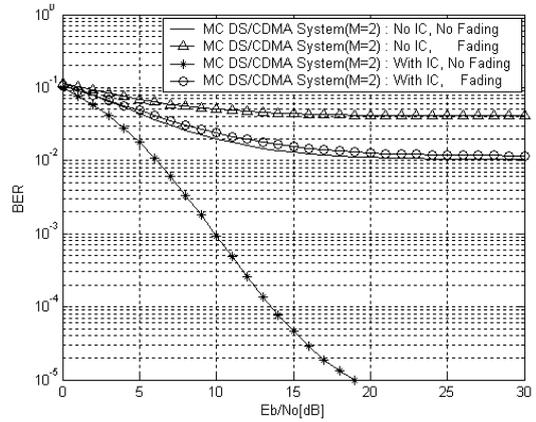
[표 3] 동일 처리이득 측면의 성능비교

M	SNR	간섭제거 전	간섭제거 후
1	13dB	45×10^{-3}	4.1×10^{-3}
2	13dB	14.7×10^{-3}	1.35×10^{-4}
4	13dB	1.1×10^{-3}	25×10^{-4}

동일 처리이득인 경우의 비트오율은 결정변수의 분산이 작아질수록 감소한다. 그러므로 처리이득이 동일한 경우 MC DS/CDMA 시스템은 부 캐리어의 수가 증가할수록 성능이 향상된다.

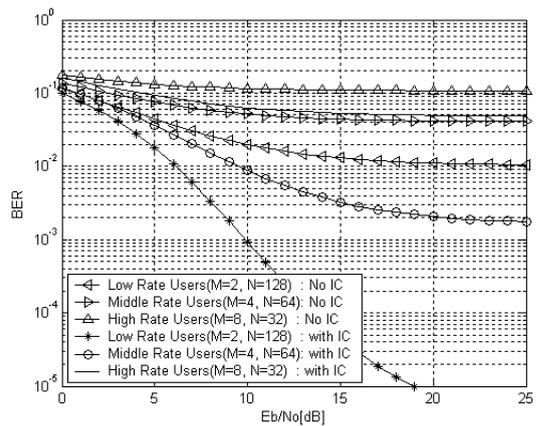
그림 7은 제안된 시스템의 간섭제거 전후의 성능을 레일리 페이딩채널 하에서 분석하였다. 여기서 부 캐리어의 수(M=4)와 처리이득(N=128)은 동일하게 두었으며

각 그룹의 사용자 수는 그림 5와 동일하게 하였다. 제안된 간섭제거기를 이용한 경우 다중접속간섭이 감소하여 성능이 개선됨을 알 수 있다.



[그림 7] 간섭제거 전, 후의 성능

그림 8은 검출하고자 하는 사용자가 갖는 전송률에 따른 제안된 시스템의 성능분석이다. 즉, 동일 그룹이라 하더라도 다중전송률(저, 중, 고)을 가질 수 있다고 가정하며 그룹에 존재하는 사용자는 32명으로 하였다.

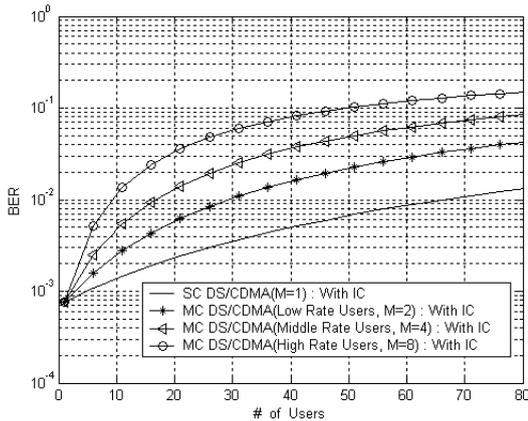


[그림 8] 저, 중, 고 사용자의 신호 검출

[표 4] 전송률에 따른 BER

전송률	SNR	간섭제거 전	간섭제거 후
저 전송률	13dB	14.8×10^{-3}	0.13×10^{-3}
중 전송률	13dB	46.3×10^{-3}	4.5×10^{-3}
고 전송률	13dB	11.1×10^{-2}	5.58×10^{-2}

표 4에서 보듯이, 간섭제거기를 사용함으로써 저 전송률 사용자의 성능향상이 큰 것을 알 수 있는데, 이것은 저 전송률 사용자 보다 중, 고 전송률 사용자들이 다중접속간섭을 많이 발생하는데, 이것을 간섭제거기가 간섭을 억제시키기 때문이라 할 수 있다.



[그림 9] 사용자 수에 따른 성능비교

그림 9는 SNR이 7dB인 경우 사용자 수에 따른 BER을 간섭제거기를 이용한 경우에 나타난 것이다. 여기서 원하는 전송률의 분석을 위해 다른 사용자의 수는 0으로 하였다. 다중전송률 시스템에서 전송률에 따라 사용자가 증가할수록 성능이 저하되며, 캐리어의 수가 적을수록 성능 저하의 정도가 작은 것을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 가변확산이득을 갖는 다중 전송률 MC DS/CDMA 시스템을 위한 간섭제거 시스템 모델을 제시하고 이에 따른 성능을 분석하였다. 제안된 MC DS/CDMA 시스템에서는 OVSF 코드를 이용하여 사용자들을 그룹화 하였고, 간섭사용자들의 대표코드를 사용하여 간섭을 억압하는 새로운 코드 그룹화 간섭제거기를 제안하였다. 제안된 간섭제거방법은 다른 사용자들에 대한 정확한 코드정보 없이도 원하는 사용자의 코드정보만을 가지고 인접 사용자의 간섭을 제거하면서 원하는 사용자의 신호를 검출해 낸다. 대표코드를 이용하여 그룹간 간섭을 제거한 후 사용자의 코드정보를 이용하여 그룹내 간섭 사용자의 신호를 차별로 제거하는 방법이다.

MC DS/CDMA 시스템에서 고속 데이터 전송을 위해서는 많은 부 캐리어가 필요하기 때문에 다중접속간섭이

증가한다. 모의실험 결과 다중접속방식에서 타 사용자에 의한 간섭 신호가 전체 시스템 성능에 많은 영향을 미치고 있었으며, 제안된 간섭제거방식을 통해 간섭의 영향을 감소시킬 수 있었다. 이러한 제안된 방법의 그룹 단위의 처리를 통하여 제안된 수신기는 다중경로로 인한 그룹간의 간섭을 보다 쉽고 간단하게 제거하는 효율적인 시스템을 구현할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] S.J. Lee, H.W. Lee and D.K. Sung, "Capacities of Single-code and Multi-code DS-CDMA Systems accommodating Multiclass Services," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. 48, no. 2, pp.376-384, Mar. 1999
- [2] 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.
- [3] Shinsuke Hara, "Overview of Multicarrier CDMA," *IEEE Commun. Magazine*, pp. 126-133, December, 1997.
- [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] Laurence B. Milstein, "Successive Interference Cancellation in Multicarrier DS/CDMA", *IEEE Transactions on Communication*, pp.1530-1540, Sep. 2000.
- [8] Hoon H. Young, K. C, et al. "Performance Enhancement of a Multicarrier DS/CDMA System through Interference Cancellation", *IEEE Wireless Commun. and Networking Conference. WCNC*, Vol 3, pp. 1576 -1580, 1999
- [9] 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.
- [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] 하원, “다중전송률 셀룰러시스템에서 코드그룹화에 의한 개선된 하향링크 신호간섭 억압 방법,” 박사학위논문, 고려대학교, 2004년.
- [12] F. Adachi, et al., "Tree-structured generation of orthogonal spreading codes with different lengths for forward link of DS-SS mobile radio," Electron Lett., vol. 33, pp. 27-27, Jan.
- [13] 김두영, 이동통신 채널에서 간섭 제거 성능이 향상된 MC DS-SS 시스템에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교, 2000.
-

김 남 선(Nam-sun Kim)

[정회원]



- 1991년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
- 1995년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 통신공학과 교수
- 2003년 2월 ~ 2004년 3월 : Univ. of Tennessee 방문교수

<관심분야>

멀티미디어 이동통신, 무선 통신시스템