

2 차원 확산을 사용하는 다중전송률 MC-DS/CDMA 시스템

(Multirate Multicarrier DS/CDMA with 2-Domain Spreading)

김 남 선*
(Namsun-Kim)

요 약 직교 주파수분할 다중(OFDM)시스템과 직접확산 코드분할다중접속(DS/CDMA)시스템이 결합된 다중반송파(MC) DS/CDMA 시스템은 대역폭 효율, 고 전송률과 페이딩에 강한 특성으로 많은 주목을 받고 있다. 본 논문에서는 시간영역과 주파수영역에서 확산을 수행하는 다중전송률 MC-DS/CDMA 시스템에서 복잡성이 감소된 다중사용자 검출기를 살펴본다. 여기서 시간영역과 주파수영역의 확산부호로는 2차원 직교 가변확산부호(OVSF)로부터 만들어진 1차원 OVSF 코드를 사용한다. 제안된 시스템에서는 다중사용자간섭(MUI)을 감소시키기 위해 코드그룹 간섭제거(CGIC) 수신기를 사용하는데, 이 CGIC 수신기는 1차원 OVSF 코드들의 상관특성을 이용하여 코드 그룹이라는 개념을 사용하여 다른 사용자들의 정보 없이도 사용자 신호를 검출할 수 있는 수신기이다. CGIC를 갖는 다중사용자 검출기가 시간 및 주파수영역에 따로 또는 같이 적용될 것이다. AWGN 채널 환경 하에서 시스템의 성능을 분석하며, 단일(다중) 전송률, 다중사용자를 갖는 시간/주파수 영역에서 확산된 MC-DS/CDMA과 비교할 것이다. 이러한 결과로서 기존의 정합검출기에 비해 제안된 시스템의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

핵심주제어 : 다중캐리어 DS/CDMA, 2차원 확산, 간섭제거시스템

Abstract Multicarrier-Direct Sequence/Code Division Multiple Access(MC-DS/CDMA) which is a combination of Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) and DS/CDMA has been of significant interest as a means to take such advantages as bandwidth efficiency, high bit rate and robustness against multipath fading. In this paper we study a reduced-complexity multiuser detection aided multirate MC-DS/CDMA with time(T)-domain and frequency(F)-domain spreading. The one-dimensional orthogonal variable spreading factor(1D OVSF) code extracted from 2D OVSF code are used as a spreading code in T/F-domain. The proposed system will use code grouping interference cancellation(CGIC) receiver to reduce Multiuser Interference(MUI). The CGIC receiver uses code grouping by the correlation properties of 1D OVSF code and does not require the code information and activity of other user. The multiuser detector with CGIC receiver will be analyzed in Time- and Frequency-domain separately(jointly). The system performance is analytically derived in Additive White Gaussian Noise(AWGN) channel and we also compare the system performance between proposed system and T/F spreaded single(multi) rate multiuser MC-DS/CDMA system. In the computer simulation results, the proposed receiver of demonstrated huge performance improvement over conventional matched filter receiver.

Key Words : Multicarrier DS/CDMA, 2-domain spreading, Interference cancellation

1. 서 론

MC-DS/CDMA시스템은 고속 전송을 가능하게 하는

OFDM의 장점과 다중 경로 페이딩에 강한 DS/CDMA를 결합하였기 때문에 미래의 고속 무선 멀티미디어 통신 전송을 위해 적합한 기법이라 할 수 있다[1].

* 대전대학교 통신공학과, 제1저자

CDMA에서 두 가지 형태의 대역 확산 방법이 있다. 첫 번째는 입력 데이터 열을 시간영역에서 확산 코드로 확산시킨 후 단일 반송파에 의해 대역확산된 신호를 전송하는 방법이다. 두 번째 방법은, 입력 데이터를 다수의 부 채널로 변환시키고 하나의 확산코드를 이용하여 주파수 영역에서 확산시킨 후 다수의 캐리어로 전송하는 방법이다[2]. 전자는 단일 반송파 DS/CDMA 시스템이며 후자는 MC-CDMA 시스템이다[2]. 시간영역의 확산 또는 주파수 영역에서의 확산을 1-차원(1D) 대역 확산기법이라 하며, 데이터 열을 시간영역뿐 만 아니라 주파수 영역으로도 확산시킬 수 있는데, 이러한 방식을 2-차원(2D) 대역확산 기법이라 한다[3]. 여기서 각 사용자는 두 영역의 확산을 위해서 시간영역 확산부호와 주파수 영역 확산부호를 가져야 한다.

MC-DS/CDMA 시스템이 시간 및 주파수 영역(T/F)의 확산을 사용할 때 다음과 같은 이점을 갖는다[2]. 첫번째, 차세대 광대역 시스템에서 단일반송파(Single Carrier)-DS/CDMA 나 MC-CDMA가 사용된다면 시스템 전체 대역폭은 시간영역의 확산이득(SF_{time}) 이나 주파수영역의 확산이득(SF_{freq})에 관련된다. 그러므로 광대역 시스템은 불가피하게 높은 칩률(chip rate)과 긴 확산코드가 필요하다. 그러나 T/F MC-DS/CDMA 시스템의 전체 시스템 대역폭은 $SF_{time} \times SF_{freq}$ 에 관련되므로 비교적 낮은 칩률과 짧은 확산 코드를 갖는다. 두 번째는, CDMA에 기본을 둔 통신에서 다중사용자검출기(MUD, Multiuser Detector)는 다중사용자 간섭을 억압하고 시스템의 사용자 수를 증가시킬 수 있다. 긴 확산코드를 사용하는 SC-DS/CDMA나 MC-CDMA 시스템을 사용한다면 많은 사용자를 수용하기 위해 복잡한 MUD의 사용으로 인해 시스템 구성이 어려워지게 된다. 그러나 T/F 확산된 MC-DS/CDMA 시스템을 구성하면, 사용한 확산코드를 이용하여 사용자들을 시간영역 또는 주파수 영역에서 구분할 수 있다. 결과적으로 T/F 확산된 MC-DS/CDMA 시스템은 단일 반송파 DS/CDMA 또는 MC-CDMA 보다 수신기의 복잡성을 감소시킬 수 있으며, 사용자 수용량 및 성능을 개선시키기 위해 다양한 형태로 적용할 수 있는 시스템을 구성할 수 있다.

전송률에 따라 확산이득을 변화시키는 가변확산 CDMA 시스템은 다중전송률 서비스를 지원한다. OVFSF코드 기술은 서로 다른 확산계수를 가지면서도

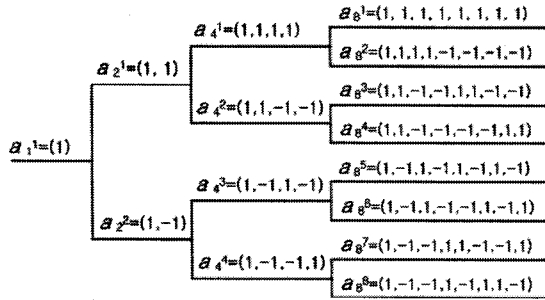
직교성이 유지되는 코드를 제공하기 때문에 다양한 전송률을 가진 여러 유동적인 서비스를 동시에 제공할 수 있게 한다[4]. 보통 단일 반송파시스템에서 사용하는 OVFSF 코드를 1D OVFSF 코드로 분류한다. 만약 다중반송파와 같은 병렬전송에 2D OVFSF 코드가 사용된다면 시스템 성능이 향상된다. [5]에서 저자는 이상적인 상관특성을 갖는 2D OVFSF 코드 집합(matrix)을 제안했으며, MC-DS/CDMA시스템에서 간섭 제거능력이 향상됨을 보였다. 여기서 각 사용자들은 2D OVFSF 코드를 할당받는 구조이다. 그러나 본 연구에서는 2-차원 확산 구조를 가지며, 2D OVFSF 코드에서 만들어진 1D OVFSF 코드를 시간 및 주파수 영역의 확산코드로 할당한다는 점이 다르다.

MC-DS/CDMA 시스템도 다중사용자간섭(MUI)이 발생한다. 비록 다중사용자 수신기가 MUI의 영향을 감소시키지만, 사용자의 수가 늘어남에 따라 MUD의 복잡성은 지수 함수적으로 증가한다. MUD의 복잡성을 줄이기 위해, 그룹화된 T/F 확산된 MC-DS/CDMA가 제안되었다[2]. 여기서 모든 사용자는 동일한 시간영역의 확산코드에 따라 그룹으로 나누어진다. 즉, 동일그룹의 사용자는 동일 시간영역의 확산부호를 가지지만 주파수영역의 확산부호로 구분하였다.

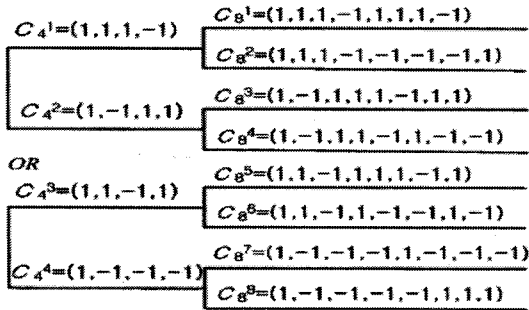
본 연구에서는 OVFSF 코드 트리에서, 동일한 모코드(대표코드)를 갖는 자(child)코드 들을 하나의 그룹으로 분류한다[6]. 제안된 시스템에서는 간섭제거방식은 코드 그룹화를 이용한 간섭제거기(CGIC)을 이용한다[6][7]. 이러한 간섭억압방법이 시간 영역과 주파수 영역에서 각각 수행될 수 있다. 문헌 [2]에서는 단일 전송률 시스템에서 시간영역과 주파수 영역에 다중사용자 검출기를 동기 시스템에 적용하여 분석하였다. 그러나 본 연구에서는 다중 전송률 비동기 MC-DS/CDMA 시스템을 분석하였으며 그룹단위로 CGIC 방식을 적용하였다. CGIC 방식을 시간영역과 주파수 영역에 각각 적용해 보았으며 또한 두 영역에 동시에 적용하여 성능을 분석한다. 본 논문의 2장에서는 사용할 확산부호의 생성과정을 설명하며 3장에서는 2-차원 확산을 갖는 MC-DS/CDMA 시스템의 모델을 제시한다. 이 시스템 모델에 간섭제거기를 적용하여 해석을 하며 그 성능 분석 결과를 4장과 5장에서 나타낸다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 1D 및 2D OVFS 코드

문헌 [5]에서 MC-DS/CDMA 시스템을 위한 두 종류의 2D OVFS를 구성하였다. 제안된 두개의 2D OVFS 코드들에서 각 행은 1D OVFS 코드들을 나타낸다. 그러므로 2D OVFS 코드를 1D OVFS 코드로 변환할 수 있는데, 그 결과를 <그림 1>에 나타내었다.



(a)



(b)

<그림 1> 1D OVFS 코드(a) 종류 1(b) 종류 2

<그림 1(a)>는 이미 잘 알려진 1D OVFS 코드이다 [8]. 마찬가지로 <그림 1(b)>도 1D OVFS 코드로서 <그림 1(a)>의 OVFS 코드가 갖는 상관특성을 만족한다. 본 연구에서 <그림 1>의 코드들을 T/F 확산된 MC-DS/CDMA 시스템의 시간영역 및 주파수 영역의 확산부호로 사용할 것이다.

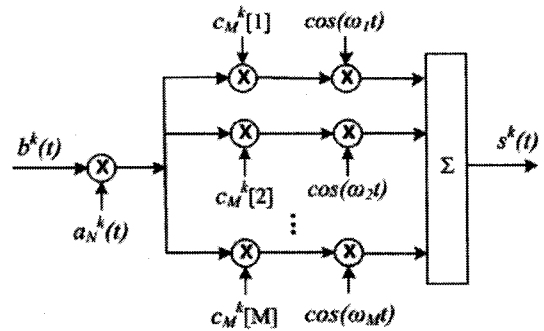
3. T/F 확산된 MC-DS/CDMA 시스템

<그림 2>의 T/F 확산을 사용하는 사용자 k 의 비동기 MC-DS/CDMA 송신 시스템에서[2], 데이터 열

$b^k(t)$ 은 길이 N 의 시간영역 확산 부호 $a_N^k(t)$ 에 의해서 일차적으로 직접 확산된다. 시간 영역에서 확산된 신호는 M 개의 병렬 가지로 나누어지며, 각 병렬 가지의 신호는 각 사용자에게 할당된 길이 M 의 주파수영역의 확산 코드 $c_M^k = [c^k[1], c^k[2], \dots, c^k[M]]^T$ 의 칩이 곱해진다. 그 후 각 병렬 가지의 신호는 M 개의 부반송파에 의해 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변조되며 M 개의 병렬 채널들이 더해져서 전송신호를 구성한다. K 명의 사용자 신호가 AWGN채널을 통해 전송된다고 하자. 이때 수신신호는 식 (3.1)과 같다[2].

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{\frac{2P}{M}} \sum_{m=1}^M b^k(t - \tau_k) a_N^k(t - \tau_k) c_M^k[m - \tau_k] \cos(\omega_m t + \psi_k) + n(t) \quad (3.1)$$

여기서 P 는 각 사용자의 송신전력이며 데이터 비트의 에너지는 $E_b = MPT_b = MPNT_c$ 이다. 여기서 T_b 와 T_c 는 각각 비트주기와 칩 주기이다. 또한 $\{\omega_m\}_{m=1}^M$ 는 부반송파들의 주파수의 집합이며 이들은 직교 조건을 만족한다고 가정한다.

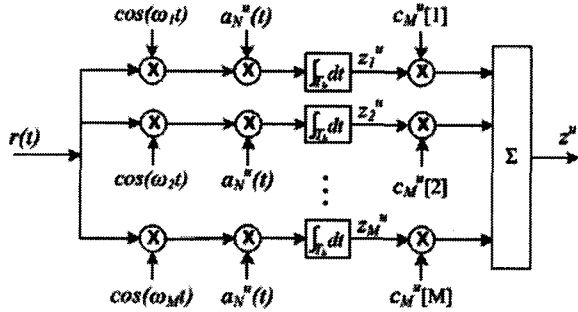


<그림 2> T/F MC-DS/CDMA시스템의 송신기

여기서 τ_k 는 사용자 k 의 지연시간으로 $[0, T_b]$ 에서 균일한 분포를 가지며, $\psi_k = -\omega_m \tau_k$ 는 위상 왜곡성분이다. 또한 $n(t)$ 는 평균이 0이고 양측전력밀도 스펙트럼이 $N_0/2$ 인 AWGN이다.

<그림 3>에서 사용자 u 의 m 번째 부반송파에 대한 결정변수는 수신신호를 시간 영역에서 역확산 과정을 통해 얻을 수 있으며 식 (3.2)과 같다. 또한 기준 사용자 u 의 전송 비트를 위한 결정변수, z^u 는

사용자 u 의 주파수영역 확산코드, c^u 를 이용하여 M 개 브랜치의 출력, $\{z_1^u, z_2^u, \dots, z_M^u\}$ 을 각각 역확산시켜 얻을 수 있으며 식(3.3)로 표현된다.



<그림 3> T/F MC-DS/CDMA시스템의 수신기

$$z_m^u = \int_0^{T_b} r(t) a_N^u(t - \tau_u) \cos(\omega_m t + \psi_u) dt \quad (3.2)$$

$$z^u = \sum_{m=1}^M c_M^u[m - \tau_u] z_m^u \quad (3.3)$$

4. CGIC를 갖는 T/F MC-DS/CDMA

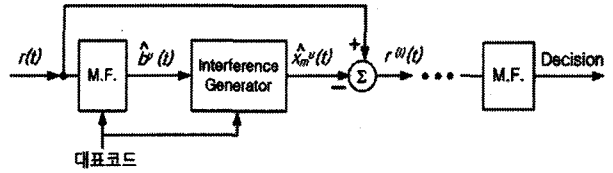
이 절에서는 T/F 확산을 갖는 MC-DS/CDMA 시스템에서 CGIC 기법을 적용하여 다중사용자 간섭을 억제하고 신호를 검출하고자 한다. 시스템에서 전체 사용자 수를 K 라 하자. 시간영역과 주파수영역에서 그룹을 가질 수 있는데, 각 그룹 내에서도 사용자들은 여러 전송률이 존재할 수 있다. 저 전송률 사용자의 전송률, 비트주기 및 확산코드의 길이를 각각 R_1, T_b, N_1 이라면 고 전송률 사용자의 전송률과 확산코드의 길이는 각각 $R_q = PR_1$ 과 $N_q = N_1/P$ 이다. 여기서 $P(2^n, n=1, 2, \dots)$ 는 정수이다. 그러므로 저 전송률 사용자의 비트간격 동안 $T_q = T_b/P$ 의 비트 간격을 갖는 R_q 사용자는 P 비트를 전송한다. 본 연구에서는 해석의 편리함을 위해서 2개의 그룹 (G_1, G_2)을 고려하며, 각 그룹은 2종류의 전송률 ($R=2$) 사용자들을 갖는다고 한다.

4.1 시간영역에 CGIC를 적용한 경우

수신기에 입력되는 시간영역에서 그룹화된 시스템 신호 $r(t)$ 는 식 (4.1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{r=1}^R \sum_{k_{1r}=1}^{K_{1r}} \sqrt{\frac{2P}{M}} \sum_{m=1}^M b^{k_{1r}}(t - \tau_{k_{1r}}) a_N^{k_{1r}}(t - \tau_{k_{1r}}) c_M^{k_{1r}}[m - \tau_{k_{1r}}] \cos(\omega_m t + \psi_{k_{1r}}) + \sum_{r=1}^R \sum_{k_{2r}=1}^{K_{2r}} \sqrt{\frac{2P}{M}} \sum_{m=1}^M b^{k_{2r}}(t - \tau_{k_{2r}}) a_N^{k_{2r}}(t - \tau_{k_{2r}}) c_M^{k_{2r}}[m - \tau_{k_{2r}}] \cos(\omega_m t + \psi_{k_{2r}}) \quad (4.1)$$

여기서 k_{1r} 은 그룹 1의 전송률 r 을 갖는 사용자의 수로서 $\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R K_{gr} = K$ 이다. <그림 4>는 제안된 시스템에서 그룹 1의 사용자 u 의 신호를 검출하기 위한 간섭제거기의 계통도를 보여주고 있다.



<그림 4> CGIC를 이용한 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. 식 (4.2)의 정합여파기 출력을 이용하여 G_2 내 간섭 사용자 k_{2r} 시퀀스의 추정치는 식 (4.3)과 같다[9].

$$z_m^{k_{2r}}(t) = \sum_{n=1}^{N_q} \frac{1}{T_{c2}} \int_{T_{c2}} r(t) a_2^2(t) \cos(\omega_n t + \psi_k) dt \quad (4.2)$$

$$\widehat{b}^{k_{2r}}(t) = \text{sgn}(z_m^{k_{2r}}(t)) \quad (4.3)$$

식 (4.2)에서 상관을 취하는 주기는 대표코드의 지

속시간으로 하며 여기서는 2칩이므로 T_c 로 표시하며 $sgn(\cdot)$ 는 부호함수(signum function)이다. 사용자에게 할당된 코드 길이가 $2^m T_c$ 이고, 코드 그룹의 대표코드 길이가 $2^n T_c$ 인 경우, 할당 코드의 한 비트 주기 안에 2^{m-n} 개의 부주기(sub-interval)가 존재한다. 여기서 N_s 는 부주기의 수이며, 식 (4.2)는 T_c 단위로 N_s 번 상관된 결과가 합해지는 것을 의미한다. 이를 바탕으로 간섭 사용자의 다중 사용자 칩 시퀀스는 판정기를 거친 데이터에 간섭그룹의 대표코드를 곱하면 얻을 수 있다. 이를 이용하여 G_2 그룹의 사용자 k_{2r} 의 간섭성분을 재생하면 다음과 같다.

$$x_m^{k_{2r}}(t) = \sum_{n=1}^{N_s} \sqrt{\frac{2P}{M}} b^{k_{2r}}(t) a_2^2(t) \cos(\omega_m t + \psi_k) \quad (4.4)$$

그룹 G_2 사용자들에 대한 다중접속 간섭신호가 제거된 신호는 식 (4.5)와 같이 표현된다.

$$r^{(I)}(t) = r(t) - \sum_{r=1}^R \sum_{k_{2r}=1}^{K_{2R}} \sum_{m=1}^M x_m^{k_{2r}}(t - \tau_{k_{2r}}) \quad (4.5)$$

여기서 위첨자 (I)는 간섭제거 과정을 나타낸다. 이와 같이 그룹간 간섭이 제거된 후, 다음은 그룹내 간섭 사용자들의 영향을 제거하는 과정을 갖는다. 검출 사용자가 속한 G_1 그룹이라 할지라도 검출 사용자가 속한 가치와 그렇지 않은 가치가 있게 된다. 그룹내에서도 검출 사용자가 속하지 않는 간섭 부그룹의 대표코드를 이용하여 그룹내 간섭을 제거한다. 그룹간 간섭제거 방법과 동일한 형태로 해석하여 그룹내 간섭 그룹의 영향을 제거한 신호는 식 (4.6)과 같다.

$$r^{(k_1, I)}(t) = r^{(I)}(t) - \sum_{k_{12}=1}^{K_{12}} \sum_{m=1}^M x_m^{k_{12}}(t - \tau_{k_{12}}) \quad (4.6)$$

이다. 이와 같이 그룹내 간섭들이 제거된 후, 관심 사용자가 포함된 가치그룹의 다중사용자 칩 시퀀스와 관심사용자의 코드를 상관시키면 관심사용자의 데이터를 검출할 수 있다. G_1 그룹의 사용자 u 의 m 번째 캐리어 신호를 검출하기 위한 상관기 출력은 식 (4.7)

과 같다.

$$z_m^{(u, I)} = \sqrt{\frac{P}{2M}} T_b \left\{ D_m^u + \sum_{k_{11}=1, k_{11} \neq u}^{K_{11}} I_m^{k_{11}} + \sum_{k_{12}=1}^{K_{12}} I_m^{k_{12}} + \sum_{r=1}^R \sum_{k_{2r}=1}^{K_{2R}} I_m^{k_{2r}} + N_m^u \right\} \quad (4.7)$$

상관기 출력은 크게 사용자 신호, MUI 및 잡음성분의 합으로 구성된다. 식 (4.7)에서 D_m^u 은 u 사용자의 출력 신호이며, $D_m^u = b^u c_M^u[m]$ 이다. 여기서 b^u 는 사용자 u 의 데이터이며, N_m^u 은 평균 과분산이 각각 0과 $MN_0/2E_b$ 인 가우시안 랜덤변수이고 $E_b = PT_b$ 이다. MUI는 다중사용자 간섭성분으로서, $I_m^{k_{11}}$ 와 $I_m^{k_{12}}$ 는 각각 G_1 그룹내의 동일 부그룹 및 인접 부그룹 사용자에게 의해서 만들어지는 MUI이며, $I_m^{k_{2r}}$ 은 G_2 그룹의 사용자로 인해 만들어지는 간섭성분이다.

$$I_m^{k_{11}} = \frac{1}{2T_b} b^{k_{11}} \int_{T_b} a^{k_{11}}(t - \tau_{k_{11}}) a^u(t - \tau_u) c_M^{k_{11}}[m] \cos(\psi_{k_{11}} - \psi_u) dt = \frac{1}{2} b^{k_{11}} c_M^{k_{11}}[m] \times \rho_{k_{11}u} \quad (4.8)$$

$$I_m^{k_{12}} = \frac{1}{2} [b^{k_{12}} - \widehat{b}^{k_{12}}] c_M^{k_{12}}[m] \times \rho_{k_{12}u} \quad (4.9)$$

$$I_m^{k_{2r}} = \frac{1}{2} [b^{k_{2r}} - \widehat{b}^{k_{2r}}] c_M^{k_{2r}}[m] \times \rho_{k_{2r}u} \quad (4.10)$$

여기서 ρ_{xy} 는 사용자 x 와 y 에 할당된 시간영역의 확산부호들의 상관계수이다. 결과적으로 사용자 u 의 m 번째 부 반송파에 대한 출력변수는 식 (4.11)과 같다.

$$z_m^{(u, I)} = \sqrt{\frac{P}{2M}} T_b \left\{ b^u c_M^u[m] + \frac{1}{2} \sum_{\substack{k_{11}=1 \\ k_{11} \neq u}}^{K_{11}} b^{k_{11}} c_M^{k_{11}}[m] \rho_{k_{11}u} + \frac{1}{2} \sum_{k_{12}=1}^{K_{12}} [b^{k_{12}} - \widehat{b}^{k_{12}}] c_M^{k_{12}}[m] \rho_{k_{12}u} \right\} + \frac{1}{2} \sum_{r=1}^R \sum_{k_{2r}=1}^{K_{2R}} [b^{k_{2r}} - \widehat{b}^{k_{2r}}] c_M^{k_{2r}}[m] \rho_{k_{2r}u} + N_m^u \quad (4.11)$$

CGIC가 시간영역에 적용된 후, 기준 사용자의 전송 비트를 위한 결정변수, $z^{(u,l)}$ 는 사용자 u 의 주파수영역 확산코드, c^u 를 이용하여 M 개 브랜치의 출력, $\{z_1^{(u,l)}, z_2^{(u,l)}, \dots, z_M^{(u,l)}\}$ 을 각각 역확산 시켜 얻을 수 있다.

$$z^{(u,l)} = \sum_{m=1}^M c_M^u[m] z_m^{(u,l)} \quad (4.12)$$

$$= \sqrt{\frac{PM}{2}} T_b \left\{ b^u + \frac{1}{2} \sum_{\substack{k_{11}=1 \\ k_{11} \neq u}}^{K_{11}} b^{k_{11}} \rho_{k_{11}u} \beta_{k_{11}u} + \frac{1}{2} \sum_{k_{12}=1}^{K_{12}} [b^{k_{12}} - \widehat{b}^{k_{12}}] \rho_{k_{12}u} \right. \\ \left. \beta_{k_{12}u} + \frac{1}{2} \sum_{r=1}^2 \sum_{k_{2r}=1}^{K_{2r}} [b^{k_{2r}} - \widehat{b}^{k_{2r}}] \rho_{k_{2r}u} \beta_{k_{2r}u} + N^u \right\} \quad (4.13)$$

여기서 $N^u = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M c_M^u[m] N_m^u$ 는 0과 $N_0/2E_b$ 을 각각 평균과 분산으로 갖는 가우시안 랜덤 변수이다. 여기서 N^u 는 가우시안 랜덤변수 이므로 $z^{(u,l)}$ 또한 가우시안 랜덤변수이다. MUI를 가산적 가우시안 변수로 근사화 한다면, SNR이 주어진 상태에서 BER 성능은 시간영역 확산코드들의 상관계수 $\{\rho_{xy}\}$ 와 주파수영역 확산코드들의 상관계수 $\{\beta_{xy}\}$ 의 함수인 MUI에 의해 결정된다.

4.2 주파수영역에서 CGIC를 적용한 경우

수신기에 입력되는 신호, $r(t)$ 는 식 (4.1)로 표시된다. 이 신호가 시간영역의 역확산 과정을 거친 후의 사용자 u 의 m 번째 부 반송파에 대한 결정변수는 식 (4.14)과 같다.

$$z_m^u = \sqrt{\frac{P}{2M}} T_b \left\{ b^u c_M^u[m] + \frac{1}{2} \sum_{\substack{k_{11}=1 \\ k_{11} \neq u}}^{K_{11}} b^{k_{11}} c_M^{k_{11}}[m - \tau_{k_{11}}] \rho_{k_{11}u} \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \sum_{k_{12}=1}^{K_{12}} b^{k_{12}} c_M^{k_{12}}[m - \tau_{k_{12}}] \rho_{k_{12}u} \right\} \\ + \frac{1}{2} \sum_{r=1}^2 \sum_{k_{2r}=1}^{K_{2r}} b^{k_{2r}} c_M^{k_{2r}}[m - \tau_{k_{2r}}] \rho_{k_{2r}u} + N_m^u \quad (4.14)$$

원하는 검출 사용자가 그룹 G_1 에 속한다고 하면 간섭그룹 G_2 의 대표코드인 $c_4^2(t)$ 과 CGIC 입력신호 z_m^u 간에 상관을 취한다.

$$z^{k_{2r}} = \frac{1}{T_c} \sum_{n=1}^{N_s} \sum_{m=1}^M c_4^2[m'] z_m^u \quad (4.15)$$

여기서 M' 는 대표코드의 길이이다. 시간영역의 해석방법과 같이 간섭들이 제거된 후, 관심사용자가 포함된 가지그룹의 다중사용자 칩 시퀀스와 관심사용자의 코드를 상관시키면 관심사용자의 데이터를 검출할 수 있다. 기준 사용자의 결정변수는 G_1 그룹의 사용자 u 의 주파수영역 확산코드, c^u 를 이용하여 M 개 브랜치의 출력, $\{z_1^u, z_2^u, \dots, z_M^u\}$ 을 각각 역확산 시켜 얻는다.

$$z^{u(l)} = \sum_{m=1}^M c_M^u[m] z_m^u \\ = \sqrt{\frac{PM}{2}} T_b \left\{ b^u + \frac{1}{2} \sum_{\substack{k_{11}=1 \\ k_{11} \neq u}}^{K_{11}} b^{k_{11}} \rho_{k_{11}u} \beta_{k_{11}u} + \frac{1}{2} \sum_{k_{12}=1}^{K_{12}} b^{k_{12}} \rho_{k_{12}u} \beta_{k_{12}u} \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \sum_{r=1}^2 \sum_{k_{2r}=1}^{K_{2r}} b^{k_{2r}} \rho_{k_{2r}u} \beta_{k_{2r}u} - \frac{1}{2} \sum_{r=1}^2 \sum_{k_{2r}=1}^{K_{2r}} \widehat{b}^{k_{2r}} \beta_{k_{2r}u} + N^u \right\} \quad (4.16)$$

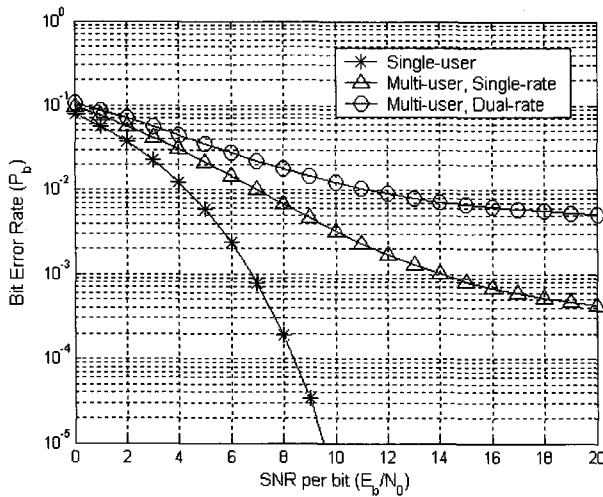
5. 성능분석

본 연구에서는 T/F 확산된 비동기 MC-DS/CDMA 시스템을 고려하였다. 2차원 OVSF코드를 이용해서 생성된 1차원 OVSF코드를 시간 및 주파수 영역의 확산부호로 사용하였다. 이러한 확산부호를 가지고 다중전송률을 지원하기 위해 가변처리이득기법을 사용하였으며, BPSK변조방식을 사용하여 사용자의 신호를 전송한다. 성능분석을 위해 고려한 파라미터는 <표 1>과 같다.

<표 1> 성능분석을 위한 파라미터

파라미터	값
변조방식	BPSK
심볼당 칩 수	$N_1 = 16, N_2 = 8$
부 캐리어의 수	$M = 8$
전체 사용자 수	$K = 50$
그룹 사용자 수	$K_{G_1} = 20, K_{G_2} = 30$
부 그룹 사용자 수 (저사용자+고사용자)	$K_{G_{11}} = 10(4+6), K_{G_{12}} = 10(2+8)$ $K_{G_{21}} = 10(4+6), K_{G_{22}} = 20(4+16)$

<그림 5>는 T/F 영역의 확산을 갖는 단일 전송률 DS/CDMA 시스템과 이중전송률 DS/CDMA 시스템의 BER 성능을 비교하였다. 저 전송률 사용자(R_1)와 고 전송률($2R_1$) 사용자의 확산계수는 각각 N_1 과 N_2 로 하였으며 원하는 검출 사용자는 그룹 1의 첫 번째 부 그룹의 저 전송률 사용자로 가정하였다. 단일캐리어 시스템 보다 다중캐리어 시스템의 성능이 열화되는 것을 볼 수 있는데 이것은 인접 부그룹 사용자들에 의해서 생기는 MUI 성분 때문이라 할 수 있다.

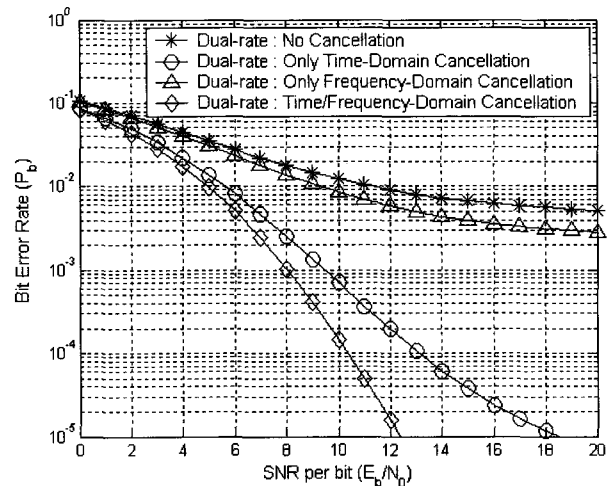


<그림 5> SC와 MC-DS/CDMA 시스템의 BER

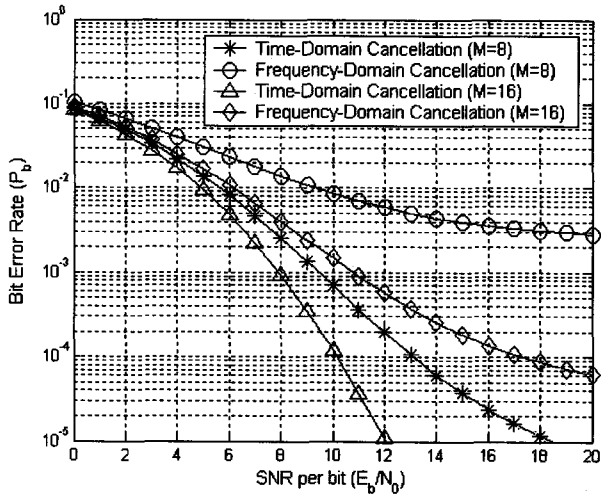
<그림 6>은 간섭제거기가 적용되지 않은 시스템의 성능과 함께 CGIC를 시간영역, 주파수영역과 시간 및 주파수영역에 동시에 적용한 결과를 보여주고 있다. 여기서 식 (4.3)에서 표시된 불완전한 비트 추정오류 확률은 0.1로 하였으며 이 값이 증가할수록 성능은 감소할 것이다. SNR이 10[dB]에서 간섭제거기를 사용하

지 않은 시스템과의 오류확률 차이는 각각 0.4×10^{-2} , 0.13×10^{-1} , 0.14×10^{-1} 으로 시간과 주파수 영역에 동시에 적용된 시스템이 가장 좋은 성능을 보이고 있다. 한편 시간영역에 CGIC를 적용한 것이 주파수 영역에만 적용된 것보다 훨씬 큰 성능의 개선을 보이고 있는데, 이것은 각 영역에서의 간섭제거는 확산부호간의 상관함수의 영향을 감소시켜 주는 것으로 시간영역에서는 가변확산이득 기법의 사용으로 주파수 영역에서 보다 비교적 큰 상관함수의 영향이 감소되기 때문이라 할 수 있다.

<그림 7>은 제안된 다중반송과 시스템의 부 캐리어의 수를 파라미터로 하여 성능을 비교하였다. 여기서는 단지 두 영역에 각각 적용한 것에 대한 분석을 하였는데, SNR이 10[dB]에서 M 이 8에서 16으로 증가함에 따라 오류확률의 변화는, 시간영역에 적용한 시스템은 5.79×10^{-4} 정도, 주파수영역에 적용한 시스템은 70.9×10^{-4} 정도 개선된다. 결과에서 보듯이 M 이 커질수록 성능이 향상됨을 알 수 있다. 그러나 여기서 시간영역의 성능보다 주파수 영역의 성능이 더욱 좋아지는 것을 알 수 있는데, 이것은 M 은 주파수영역에 관련되기 때문에 주파수영역에서의 성능을 더욱 향상시키고 있다.



<그림 6> 간섭제거 전, 후의 BER



<그림 7> M에 따른 제안된 시스템의 BER

6. 결 론

다중 반송파 시스템은 단일 반송파 시스템에 비해 페이딩에 강하며 협대역 간섭제거 효과 등과 같은 특징을 갖는다. 또한 2차원 대역 확산 방식을 다중반송파 시스템에 적용함으로써 수신기의 복잡성을 감소시킬 수 있으며, 사용자 수용 용량 및 성능을 개선시키기 위해 다양한 채널에 적용 할 수 있는 시스템을 구성할 수 있다. 본 연구에서는 T/F 영역에서 확산된 다중 전송률 MC-DS/CDMA 시스템에 CGIC 간섭제거기를 적용하여 성능을 분석하였다. 2차원 OVFSF 코드로부터 만들어진 1차원 OVFSF 코드를 각 영역의 확산부호로 사용함으로써, 간섭을 일으키는 다른 사용자에 대한 코드, 데이터 및 진폭 정보 등을 요구하지 않는 비교적 적은 복잡도를 갖는 다중사용자 검출기를 구성할 수 있었다. 전체 사용자를 2개의 코드 그룹 및 그룹 당 2개의 부 그룹을 갖는 시스템으로 간단하게 하여 해석해 본 결과 간섭제거기를 갖지 않은 시스템에 비해 많은 성능의 개선을 얻을 수 있었다. 또한 시간 영역에서의 간섭제거방법이 주파수 영역에서의 방법보다 시스템 성능에 더욱 영향을 미치는 것을 알 수 있으므로 시간영역의 간섭제거기 분석에 신중을 기해야 할 것이다. 그러나 본 연구에서는 인접 사용자간의 부 반송파간의 영향은 고려하지 않았으므로 이것이 고려되면 주파수 영역에서의 성능이 더욱 개선될 것이므로

차후에 이것에 대한 분석을 통해 더욱 성능을 개선할 수 있는 방법의 연구가 필요하다고 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] H. Rohling, R. Gruenheid, and D. Galda, "Ofdm air interface for the 4th generation of mobile communication systems", in 6.th Int. OFDM Workshop, pp. 128, September 2001.
- [2] L. Yang, W. Hua, and L. Hanzo, "Multiuser detection assisted time- and frequency-domain spread multicarrier code-division multiple-access," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 55, no. 1, pp. 397-405, Jan. 2006.
- [3] C. W. You and D. S. Hong, "Multicarrier CDMA systems using time-domain and frequency-domain spreading codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 1, pp. 17 - 21, Jan. 2003.
- [4] A. Baier, et al., "Design Study of a CDMA-based Third Generation Mobile Radio System," *IEEE J. Sel. Area Commun.*, vol. SAC-12, pp. 733-743, May 1994.
- [5] C. M. Yang, P. H. Lin, G. C. Yang, and W. C. Kwong, "2D orthogonal spreading codes for multicarrier DS-CDMA systems," *IEEE International Conference on Communications, ICC*, vol. 5, pp. 3277-3281, May 2003.
- [6] W. Ha, J. Bae and J. Park, "A Code Grouping Interference Cancellation Receiver in OVFSF DS-CDMA Downlink," *The 8th ICCS*, pp. 697 -700, 2002.
- [7] 김남선, "코드그룹화에 의한 이중 전송률 MC-CDMA 시스템의 성능분석" 한국산업정보학회 논문지, 제11권, 제4호, pp.112-120, 2006.
- [8] F. Adachi, M. Sawahashi, and K. Okawa, "Tree-structured generation of orthogonal spreading codes with different lengths for forward link of DS-CDMA mobile radio," *Electronics Letters*, vol. 33, pp. 27-28, Jan. 1997.

- [9] 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.
- [10] 김정구, "WCDMA 시스템에서 반복 다중사용자 검출기 및 터보 복호기의 성능" 한국산업정보학회 논문지, 제11권, 제4호, pp. 40-46, 2006.



김 남 선 (Namsun-Kim)

- 정회원
- 한양대학교 전자통신공학과 공학 석사
- 한양대학교 전자통신공학과 공학 박사
- 대전대학교 통신공학과 교수
- Univ. of Tennessee 방문교수
- 관심분야 : 멀티미디어 이동통신, 무선 통신시스템, 인지 통신

논문접수일 : 2011년 09월 04일
 1차수정완료일 : 2011년 11월 09일
 2차수정완료일 : 2011년 11월 18일
 게재확정일 : 2011년 12월 05일