

간섭제거기를 갖는 이중전송률 MC/MC-CDMA 시스템의 성능분석

김남선^{1*}
¹대진대학교 통신공학과

Performance Analysis of Dualrate Multi-code/ Multi-carrier CDMA System with Interference Canceller

Nam-Sun Kim^{1*}

¹Department of Communication Engineering, Daejin University

요약 본 논문에서는 멀티코드 CDMA와 멀티캐리어 CDMA를 결합한 멀티코드/멀티캐리어 CDMA(MC/MC CDMA) 시스템을 분석한다. MC/MC CDMA 시스템은 멀티코드를 사용해서 다중 전송률 서비스를 제공하며 멀티캐리어를 이용하여 높은 데이터전송을 가능하게 하는 방식으로 주파수 선택적 페이딩, 협대역 간섭신호의 제거 및 높은 스펙트럼 효율을 제공한다. 본 연구에서, 송신단에서는 OVFSF 코드를 확산부호로 사용하여 사용자들의 전송률에 따라 그룹화 하며, 수신단에서 코드 그룹화 간섭제거기를 사용하여 그룹간 간섭을 제거하는 시스템을 구성한다. 제안된 수신기는 간섭을 일으키는 다른 사용자에 대한 코드, 데이터 및 진폭 정보 등을 요구하지 않으므로 비교적 적은 복잡도를 갖는다. 이중전송률 MC/MC CDMA 시스템의 성능을 분석하였으며 간섭제거기를 사용하여 성능이 향상됨을 분석했다.

Abstract In this thesis, Multi-code/Multi-carrier CDMA(MC/MC CDMA) system which is combination of Multi-code CDMA and Multi-carrier CDMA is analyzed. This system is suitable for multi-rate services that use multi-codes and high data rate transmission that employ multi-carriers. In addition, the MC/MC CDMA system is robust against frequency selective fading, is good for narrowband interference rejection, and has higher spectral efficiency. In this paper, The users are assigned OVFSF codes as a spreading code according to their data rates and divides the active users having different representative code split into a number of groups for effective cancellation. At the receiver, The code grouping interference canceller performs cancellation between the groups. The proposed receiver does not require any information about interference users, such as code, data and amplitude, and has relatively low complexity. The results show the large improvement in performance that can be attained by cancellation scheme.

Key Words : MC-CDMA, MUI, Interference Cancellation

1. 서론

미래의 이동통신시스템은 다양한 전송률을 처리하는 것과 고 품질 음성서비스의 제공, 주파수 사용상의 고 효율성과 보다 경제적인 시스템 등을 만족하는 시스템이 구현될 필요가 있다[1].

멀티코드(Multi-code) CDMA 방식은, 기존의 DS-CDMA

방식이 고속으로 데이터를 전송할 때 스펙트럼 효율이 나빠지는 단점을 극복하기 위해 제안된 방식으로서, 고속 데이터 전송이 가능하고 다양한 속도로 멀티미디어 정보를 전송할 수 있으며 스펙트럼 효율이 좋은 광대역 CDMA(WCDMA) 방식으로 알려져 있다[2].

멀티캐리어(Multi-carrier) CDMA 방식은 동일한 데이터 심벌을 다수의 협대역 직교 반송파로 전송하므로 각 부분

본 논문은 2008학년도 대진대학교 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

*교신저자 : 김남선(kimns@daejin.ac.kr)

접수일 09년 02월 16일

수정일 09년 04월 08일

게재확정일 09년 04월 22일

송파는 지연확산보다 훨씬 큰 심벌기간을 가지므로 심각한 페이딩을 받는 일이 없으며 주파수 다이버시티에 의한 이득도 얻을 수 있다. 멀티캐리어 CDMA 시스템은 다중경로 페이딩에 의해 심각한 심벌간 간섭(ISI) 및 칩간 간섭(ICI) 등에 의해 그 성능이 매우 열화되는 단점이 있는 WCDMA 시스템의 단점을 보완하면서 높은 데이터 전송률 요구를 만족시키기 위한 해결책으로 제시되었다[3].

전송률이 서로 다른 다양한 서비스들을 하나로 통합한 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 다중 전송률을 지원하는 다원접속 기술이 요구되는데, 이러한 방법들로는 다중 칩율방식, 가변 확산이득(VPG)방식, 멀티코드 방식, 다중 변조방식 등이 있다[4]. 여기서 멀티코드 방식은 모든 전송률의 데이터는 그들의 데이터 전송률로부터 다중의 저속 전송률로 나누어진 후 다중화 된다. 모든 데이터가 동일한 확산이득을 가지며 데이터 전송률에 따라 사용되는 채널 코드 수를 늘릴 수 있는 유연한 구조를 가지고 있다. 또한 WCDMA 시스템은 가변전송률을 지원하기 위해서 OVFS(Orthogonal Variable Spreading Factor)코드의 가변확산이득을 이용한다. 여기서 OVFS코드는 이동통신 표준화 기구인 3GPP(3rd Generation Project Partnership)에서 UMTS 표준으로 채택된 채널코드이다[5]. OVFS코드 기술은 서로 다른 확산계수를 가지면서도 직교성이 유지되는 코드를 제공하기 때문에 3세대 무선통신에서 요구되는 다양한 전송률을 가진 여러 이동통신 서비스를 동시에 제공할 수 있게 한다.

CDMA 시스템의 하향링크에서 사용자들은 상호 직교적인 코드를 통해 서로 구분되며, 이상적인 경우 서로 간섭을 일으키지 않는다. 그러나 실제적인 경우 전송채널에는 다중경로 페이딩이 존재하며 이로 인해 칩(chip)간의 간섭이 생기게 된다. 이러한 칩간의 간섭은 채널화 코드간의 직교성을 열화시키고 서로 다른 사용자간에 다중사용자 간섭 또는 다중경로 간섭을 일으키며 게 된다. CDMA 시스템에서 다중경로 페이딩 등에 의해 만들어지는 다중사용자 간섭은 시스템 전반의 성능 및 채널용량을 제한하는 가장 큰 요소이다[6]. 본 연구에서는 WCDMA 하향링크에 사용되는 채널화코드인 OVFS 코드를 이중전송률 MC/MC-CDMA의 확산부호로 사용하며 코드특성을 이용하여 그룹화를 한다. 간섭제거는 간섭 사용자그룹의 대표코드를 이용해서 간섭 사용자 그룹의 간섭성분을 제거하는 코드 그룹화 간섭제거기를 사용할 것이다[7].

기존의 연구들에서, 많은 연구자들이 멀티코드 및 멀티캐리어에 대한 다양한 분석을 했으나 이들을 결합한 MC/MC-CDMA에 대한 연구는 많이 제시되고 있지 않다. 문헌 [8]에서는 주파수 선택적 페이딩 채널에서 단일코드

MC-CDMA와 다중코드 MC-CDMA 시스템을 분석하였으며, 문헌 [9]에서는 나카가미 페이딩 채널에서 MC/MC-CDMA 시스템의 BER 성능의 분석과 함께 사용자 수, 병렬가지 및 캐리어의 수 등 다양한 파라미터들을 변화시키면서 분석하였으며 기존의 멀티코드 CDMA와 멀티캐리어 CDMA 시스템과 비교 분석하였다. 또한 [9-11]에서는 부호화 기법과 다양한 다이버시티 환경에서 MC/MC-CDMA 시스템을 분석하였다. 문헌 [7]에서는, WCDMA 하향링크에서 OVFS 코드 그룹화 기법을 사용하여 대표코드로 그룹화 하였으며 수신단말에서 다중경로로 인해 생기는 간섭을 추정 및 제거 하였다. 그러나 본 연구에서는 멀티코드 부분과 멀티캐리어 부분에서 직렬로 OVFS 코드를 사용한 코드 그룹화 간섭제거기법을 사용한 것이 다른 점이다. 이와 같이 기존의 연구들에는 MC/MC-CDMA 시스템에서 다중접속 간섭을 분석한 자료는 거의 없으며, 이 시스템에 OVFS코드를 적용한 예는 찾아 볼 수가 없었다.

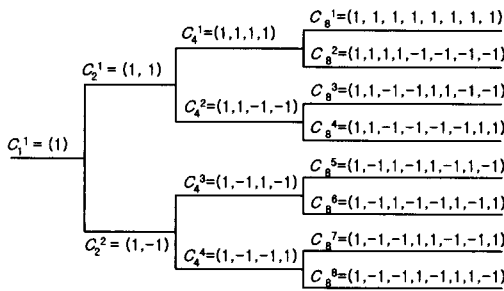
본 연구에서, MC/MC-CDMA 시스템에 코드 그룹화 간섭제거기를 사용하여 그룹간 간섭을 제거하는 시스템을 구성한다. 제안된 수신기는 간섭을 일으키는 다른 사용자에 대한 코드, 데이터 및 진폭 정보 등을 요구하지 않으므로 비교적 적은 복잡도를 갖는다. 이중전송률 MC/MC-CDMA 시스템의 성능을 분석하였으며 간섭제거기를 사용하여 성능이 향상됨을 보인다.

본 논문의 2장에서는 OVFS 코드가 갖는 특성을 설명하며, 3장에서는 BPSK 변조방식을 사용하는 MC/MC-CDMA 시스템의 송수신기를 제시한다. 4장에서는 간섭제거기를 적용한 MC/MC-CDMA 시스템을 분석하며, 시스템의 성능분석 결과를 5장에서 보인다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. OVFS code

본 연구에서는 WCDMA 하향링크에 사용되는 채널화코드인 OVFS 코드의 생성특성을 이용하여 발생된 OVFS 코드를 이중전송률 MC/MC-CDMA의 확산부호로 사용한다. OVFS 코드는 서로 다른 확산계수를 가지면서도 직교성이 유지되는 코드들을 제공하기 때문에 다양한 전송률을 가진 여러 이동통신 서비스를 동시에 제공할 수 있게 한다. 그림 1은 OVFS 코드의 생성트리를 보여주고 있다[5]. 여기서 c_i^n 은 i 번째 레이어(layer)의 j 번째 코드를 의미하며 코드의 길이는 2^i 이다. OVFS 코드를 사용하는 모든 사용자의 코드가 어느 레이어 이하

일 경우 상위 레이어를 선택하면 그 레이어의 코드들로 셀 내에 존재하는 모든 사용자의 코드를 추정할 수 있으므로 상위 코드로 하위 레이어에 존재하는 코드들의 그룹화하기 가능하다[7]. 여기서 그룹의 대표코드는 코드트리 최상위 레이어의 코드들로 구성되며, 대표코드의 수는 최상위 레이어 코드의 길이와 같다. 여기서 사용자의 원 코드의 길이는 대표코드의 길이의 배수로 표현된다. 예를 들어, 원 코드의 길이가 $2^m T_c$ 이고 코드그룹의 대표코드의 길이가 $2^n T_c$ 일 경우, 원 코드의 한 비트 주기 안에는 2^{m-n} 개의 부주기가 존재한다.



[그림 1] OVSF 코드 트리

3. 이중전송률 MC/MC-CDMA 시스템

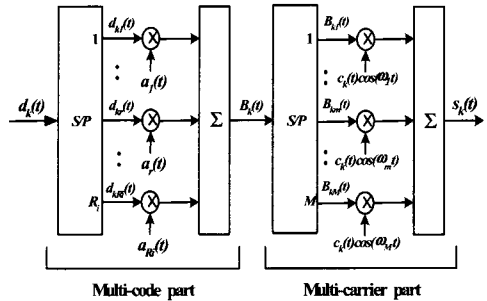
$g(g > 1)$ 전송률을 사용하는 사용자수, 전송률, 그리고 비트주기를 각각 K_g, R_g, T_g 로 나타내자. 여기서 g 전송률 사용자의 전송률은 $R_g = PR_i$ 이며 R_i 는 최소 전송률, P 는 $2^p(p = 1, 2, \dots)$ 인 정수이다. 그러므로 최소 전송률 사용자의 비트 간격(T_i)동안 $T_g = T_i/P$ 의 비트간격을 갖는 R_g 전송률 사용자는 P 비트를 전송한다.

그림 2는 BPSK 변조방식을 사용한 사용자 k 의 MC/MC-CDMA 시스템의 송신기 구조를 보이고 있다. MC/MC-CDMA 시스템의 송신기는 멀티코드 및 멀티캐리어의 두 부분으로 구성되어 있다[9]. 멀티코드 부분에서, $R_k M/T$ 의 심벌율을 갖는 입력 데이터, $d_k(t)$ 는 병렬 부 스트림(stream)으로 변환된다. 여기서 R_k 는 서비스 그룹 i 의 부 스트림의 수이다. 각 병렬 스트림의 데이터들은 직교성을 갖기 위해 직교코드($a_r(t)$)들에 의해 확산되어 모든 병렬 부 스트림들이 더해져서 $B_k(t)$ 가 생성된다. 또한 멀티캐리어 부분에서는 $B_k(t)$ 가 다시 직/병렬 변환기를 거쳐 사용자에게 할당된 확산부호($c_k(t)$)로 확산되고 직교 다중 반송파로 변조된다. 여기서 $B_{km}(t)$ 는

$B_k(t)$ 가 직/병렬 변환된 m 번째 병렬 가지의 신호로서 R_k/T 의 심벌율을 갖는다. 마지막으로 모든 병렬가지의 신호가 더해져서 송신신호가 결정된다. 사용자 k 의 송신신호는 식 (1)과 같다.

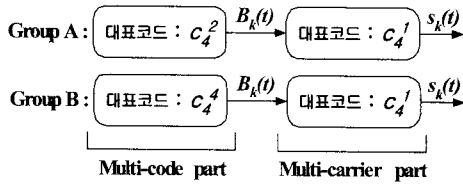
$$s_k(t) = \sqrt{2P_k} \sum_{m=1}^M B_{km}(t) c_k(t) \cos(\omega_m t + \theta_k) \\ = \sqrt{2P_k} \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_k} d_{krm}(t) a_r(t) c_k(t) \cos(\omega_m t + \theta_k) \quad (1)$$

여기서 P_k 는 k 사용자의 신호전력이며 $d_{krm}(t)$ 는 사용자 k 의 m 번째 병렬 가지의 r 번째 부 스트림의 데이터 심벌이다.



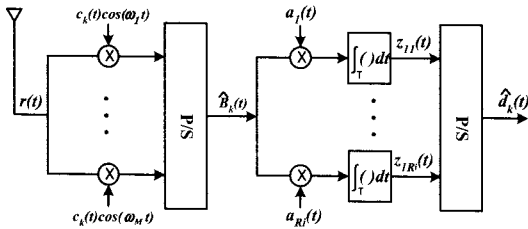
[그림 2] 사용자 k 의 MC/MC-CDMA 송신기

본 연구에서는 동일한 대표코드를 사용하는 사용자들을 동일그룹으로 분류하는 코드그룹화 이중전송률 MC/MC-CDMA 시스템을 고려한다. 모든 다중전송률 사용자들이 2 개의 멀티코드 집합을 갖는다고 가정하면 이 MC/MC-CDMA 시스템은 2 개의 서로 다른 서비스를 제공한다. 또한 이중 전송률시스템을 구현하기 위해 멀티코드 방식을 사용한다. 멀티코드시스템에서는 모든 사용자에게 할당하는 코드의 확산이득은 동일하지만, 사용자의 전송률에 따라 할당하는 멀티코드의 수를 변화시킨다. 그림 1의 OVSF 코드 트리에서, 멀티코드 부분에 할당하는 부호는 각각 c_4^2 와 c_4^4 를 대표코드로 하는 부호를 할당함으로써 두 개의 코드그룹으로 나누어지며 각 그룹에는 다양한 전송률을 가진 사용자들이 존재할 수 있다. 멀티코드 부분이 두개의 코드그룹으로 분리되므로 자연스럽게 멀티캐리어 부분도 동일하게 두 그룹으로 분리된다. 멀티캐리어 부분에서는 c_4^1 에 속하는 코드들을 할당한다. 이것은 수신기에서 대표코드를 이용해서 간섭을 제거하기 위한 것이며 그림 3에서 개념도를 표시하였다.



[그림 3] 이중전송률 시스템의 코드할당 방법

그림 4는 사용자 k 의 신호를 검출하기 위한 MC/MC-CDMA 시스템의 수신기이다[9]. 수신기에서, 수신신호는 국부발진기에서 만들어진 캐리어로 복조되고, 사용자에게 할당된 코드가 곱해진 후 병/직렬 변환기를 거쳐 $\hat{B}_k(t)$ 를 만들어 낸다. 이 신호는 각 부스트림에서 직교부호가 곱해져서 역확산되고 한 주기의 상관기를 거쳐 $\hat{d}_{k_r}(t)$ 를 생성한다. 수신기에 입력되는 신호는 식 (2)와 같다.



[그림 4] MC/MC-CDMA 수신기

$$\begin{aligned}
 r(t) = & \sqrt{2P} \sum_{k_1=1}^{K_1} \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_1} \sum_{l=1}^L A_{k_1 l} d_{k_1}(t - \tau_{k_1 l}) \cdot \\
 & a_r(t - \tau_{k_1 l}) c_{k_1}(t - \tau_{k_1 l}) \cos(\omega_m t + \phi_{k_1 l}) \\
 + & \sqrt{2P} \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_2} \sum_{l=1}^L A_{k_2 l} d_{k_2}(t - \tau_{k_2 l}) \cdot \\
 & a_r(t - \tau_{k_2 l}) c_{k_2}(t - \tau_{k_2 l}) \cos(\omega_m t + \phi_{k_2 l}) \\
 + & n(t)
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 K_i 와 R_i 는 각각 서비스그룹 i 의 사용자수와 부 스트림의 수이다. 또한 $\phi_{k_l} = \theta_k - \omega_m \tau_{k_l}$ 는 위상왜곡 성분, τ_{k_l} 은 사용자 k 수신신호의 지연시간으로 $[0, T_i]$ 에서 균일한 분포를 갖는다. $n(t)$ 는 단측 전력밀도 스펙트럼이 N_0 인 가산성 백색 가우시안(AWGN) 잡음이다. 또한 전송채널은 다음과 같은 임펄스함수를 갖는 다중경로 채널을 고려한다.

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} A_{k_l} e^{j\phi_{k_l}} \delta(t - \tau_{k_l}) \tag{3}$$

여기서 L 은 전송경로의 수이며, A_{k_l} 와 τ_{k_l} 은 각각 사용자 k 의 l 번째 경로의 이득 및 시간지연이다. A_{k_l} 는 레일리 페이딩분포를 가지며, ϕ_{k_l} 은 구간 $[0, 2\pi)$ 에서 균일분포를 갖는다고 가정한다.

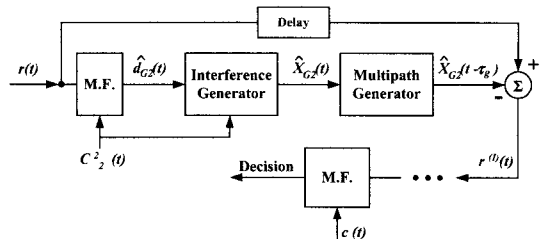
신호의 검출을 위해서 서비스그룹 1(G_1)의 사용자, $k_1 = 1$ 을 기준 사용자라 하고, 기준 부 스트림(reference substream)을 $r = 1$, 기준 캐리어(reference carrier)를 $m = 1$ 및 기준 경로(reference path) $l = 1$ 의 신호를 검출하기 위한 상관기 출력식은 식 (4)와 같다.

$$z_{11}(t) = \int_0^T r(t) \cdot a_1(t) c_1(t) \cos(2\pi f_1 t) dt \tag{4}$$

4. 그룹단위 간섭제거기

그림 5는 제안된 시스템에서 사용자의 코드정보를 이용하여 G_2 의 간섭을 제거하고 신호를 검출하기 위한 간섭제거기의 계통도를 보여주고 있다. 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 그룹의 사용자인 경우, 우선 그룹간의 간섭을 제거하기 위해 간섭사용자들의 대표코드인 c_2^2 과 수신신호 $r(t)$ 간에 상관을 취한다. 간섭그룹의 대표코드는 c_1^4 이나 c_2^2 를 사용해도 무방하다. 여기서 상관을 취하는 주기는 대표코드의 지속시간으로 하며 여기서는 2칩이다.



[그림 5] 코드 그룹화 간섭제거기($k_1 = 1$)

상관의 결과는 간섭 그룹 사용자들의 다중사용자 비트 시퀀스가 되며 추정신호 각 대표코드를 이용한 상관결과를 이용하여 판정기를 거치면 식 (5)와 같다.

$$\hat{z} = \sum_{i=0}^{L_k-1} \frac{1}{T_{C_2}} \int_{T_{C_2}} r(t) c_2^2(t - \tau_{k_2}) \cos(\omega_m t + \phi_{k_2}) dt \quad (5)$$

$$\widehat{d_{G_2}}(t) = \sum_{k_2=1}^{K_2} \widehat{d_{k_2}}(t) = \text{sgn}(\hat{z}) \quad (6)$$

여기서 L_k 는 사용자 k 에 할당된 원 코드주기에 존재하는 부주기의 수이며 T_{C_2} 는 칩 주기이다. 여기서 $\widehat{d_{G_2}}(t)$ 는 추정어려 확률 Pr_{G_2} 을 갖는 $d_{G_2}(t)$ 의 추정값이다 [12].

$$E[d_{G_2}(t) \cdot \widehat{d_{G_2}}(t)] = 1 - Pr_{G_2} \quad (7)$$

이를 바탕으로 간섭 사용자의 다중 사용자 칩 시퀀스는 판정기를 거친 데이터에 간섭그룹의 대표코드를 곱하면 얻을 수 있다. 이를 이용하여 G_2 의 사용자 k_2 의 간섭 성분을 재생하면 다음과 같다.

$$\widehat{X_{k_2}}(t) = \sum_{i=0}^{L_k-1} \widehat{d_{k_2}}(t) c_2^2(t) \cos(\omega_m t + \theta_{k_2}) \quad (8)$$

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 다음과 같이 표현된다.

$$r^{(l)}(t) = r(t) - \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{r=1}^{R_2} \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \widehat{X_{k_2}}(t - \tau_{kl}) \quad (9)$$

여기서 위첨자 (l)는 간섭 제거과정을 나타내며 식 (9)를 전개하면 식 (10)으로 표현된다.

$$r(t) = \sqrt{2P} A_{11} d_{111}(t - \tau_{11}) a_1(t - \tau_{11}) \cdot c_1(t - \tau_{11}) \cos(\omega_1 t + \phi_{11}) + \sqrt{2P} \sum_{l=2}^L A_{1l} d_{111}(t - \tau_{1l}) a_1(t - \tau_{1l}) \cdot c_1(t - \tau_{1l}) \cos(\omega_1 t + \phi_{1l})$$

$$+ \sqrt{2P} \sum_{r=2}^{R_1} \sum_{l=1}^L A_{1r} d_{1r1}(t - \tau_{1r}) a_r(t - \tau_{1r}) \cdot c_1(t - \tau_{1r}) \cos(\omega_1 t + \phi_{1l}) + \sqrt{2P} \sum_{m=2}^M \sum_{r=1}^{R_1} \sum_{l=1}^L A_{1r} d_1(t - \tau_{1r}) a_r(t - \tau_{1r}) \cdot c_1(t - \tau_{1r}) \cos(\omega_m t + \phi_{1l}) + \sqrt{2P} \sum_{k_1=2}^{K_1} \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_1} \sum_{l=1}^L A_{k_1l} d_{k_1}(t - \tau_{k_1l}) a_r(t - \tau_{k_1l}) \cdot c_{k_1}(t - \tau_{k_1l}) \cos(\omega_m t + \phi_{k_1l}) + \sqrt{2P} \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_2} \sum_{l=1}^L A_{k_2l} [d_{k_2}(t - \tau_{k_2l}) - \widehat{d_{k_2}}(t - \tau_{k_2l})] \cdot a_r(t - \tau_{k_2l}) c_{k_2}(t - \tau_{k_2l}) \cos(\omega_m t + \phi_{k_2l}) + n(t) \quad (10)$$

이와 같이 그룹간 간섭이 제거된 후, G_1 그룹의 사용자, $k_1 = 1$ 의 기준 사용자 신호를 검출하기 위한 상관기 출력은 식 (11)과 같다. 여기서 수신기는 사용자 $k_1 = 1$ 에 동기 되어 있다고 가정하고 완전한 전력제어가 이루어진다고 가정한다.

$$z_{11}^{(l)}(t) = \int_0^T r^{(l)}(t) \cdot a_1(t) c_1(t) \cos(2\pi f_1 t) dt = z_{DS}(t) + z_{MPI}(t) + z_{ISSI}(t) + z_{ICI}(t) + z_{MUI}(t) + z_{MSI}(t) + z_n(t) \quad (11)$$

여기서

- ㉠ z_{DS} : 신호성분($k_1 = 1, l = 1, r = 1, m = 1$)
- ㉡ z_{MPI} : 전송경로에 의한 간섭성분($l \neq 1$)
- ㉢ z_{ISSI} : 다른 병렬가지에 의한 간섭성분($r \neq 1$)
- ㉣ z_{ICI} : 다른 캐리어에 의한 간섭성분($m \neq 1$)
- ㉤ z_{MUI} : 동일 그룹내 다른 사용자에게 의한 간섭 성분($k_1 \neq 1$)
- ㉥ z_{MSI} : 타 그룹내 다른 사용자에게 의한 간섭 성분($G_1 \neq 1$)
- ㉦ $z_n(t)$: AWGN 잡음성분이다.

SNIR(Signal-to-Noise Interference Ratio)을 구하기 위해 신호성분은 식 (12)에 유도하였으며, 간섭과 잡음에 대한 분산(variance)은 식 (13)에 표시하였다. 여기서 모든 간섭 및 잡음은 zero mean, statistically independent random variables로 가정하여 유도 하였다[9].

$$z_{DS} = \int_0^T \sqrt{2P} A_{11} a_1(t) a_1(t) c_1(t) c_1(t) \times [\cos(\omega_1 t) d_{111}(t) \cos(\omega_1 t)] dt$$

$$= \sqrt{\frac{P}{2}} A_{11} T \cdot d_{i11}(t) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Total}^2 &= \sigma_{MPI}^2 + \sigma_{ISSI}^2 + \sigma_{ICI}^2 + \sigma_{MUI}^2 + \sigma_{MSI}^2 + \sigma_n^2 \\ &= \frac{PT^2}{2} \left\{ \frac{1}{3N_c M} \Omega(Q(L, \delta) - 1) + \frac{(R_1 - 1)}{3N_c M} \Omega Q(L, \delta) \right. \\ &\quad + \left[\sum_{m=2}^M \frac{R_1}{4\pi^2 (m-1)^2 N_1} [F^c(m) - F^s(m)] \right] \Omega Q(L, \delta) \\ &\quad + \left[\frac{(K_1 - 1)R_1}{3N_c M} + \sum_{m=1}^M \frac{(K_1 - 1)R_1}{4\pi^2 (m-1)^2 N_1} [F^c(m) - F^s(m)] \right] \\ &\quad \times \Omega Q(L, \delta) \\ &\quad + \left[\frac{K_2 R_2}{3N_c M} + \sum_{m=1}^M \frac{K_2 R_2}{4\pi^2 (m-1)^2 N_1} [F^c(m) - F^s(m)] \right] \\ &\quad \times 2Pr_{OS} \cdot \Omega Q(L, \delta) \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \frac{PT}{N_0} \right\} \quad (13) \end{aligned}$$

여기서 $F^c(m)$ 과 $F^s(m)$ 은 참고문헌 [9]에 정의되어 있으며, $Var[A_{11}] = \Omega$ 이며 δ 는 진폭감쇄요소(amplitude decay factor)이다.

$$\sum_{i=1}^L Var[A_{1i}] = \sum_{i=1}^L Var[A_{1i} e^{-\delta(i-1)}] = \Omega Q(L, \delta) \quad (14)$$

결국 SNIR, γ 는 식(15)와 같으며 $E_s = PT$ 이다.

$$\gamma = \frac{S}{\sigma_{Total}^2} = \frac{\frac{P}{2}(A_{11})^2 T^2}{\sigma_{Total}^2} \quad (15)$$

그림 1의 기준사용자 1에 대한 첫 번째 병렬가지와 첫 번째 캐리어에 대한 오류율은 식 (16)과 같다.

$$P_e(A_{11}) = \frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{\gamma}) \quad (16)$$

5. 성능 분석

본 연구에서는 동일한 대표코드를 사용하는 사용자들을 동일그룹으로 분류하는 이중전송률 MC/MC-CDMA 시스템을 고려하였으며, 코드그룹화 간섭제거기를 사용하여 그룹간 간섭을 제거하고 사용자 신호를 검출하는 시스템을 구성하였다. 멀티코드 기법을 이용한 이중전송률 MC/MC-CDMA의 BER(Bit Error Rate) 성능을 분석하

기 위한 파라미터를 표 1에 나타내었다.

【표 1】 성능분석을 위한 파라미터

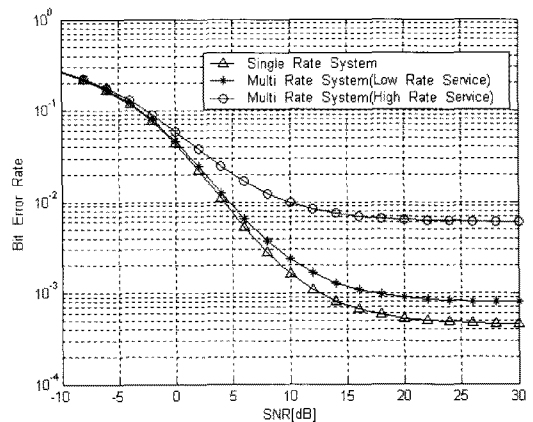
파라미터	값
변조방식	BPSK
심볼당 칩 수	$N_c = 128$
다중경로의 수	$L = 3$
부 캐리어의 수	$M = 8$
국부 평균 전력	$\Omega = 10 \text{ dB}$
진폭 감쇄 요소	$\delta = 5 \times 10^{-7}$

그림 6은 단일전송률 MC/MC-CDMA 시스템과 단일 그룹이 이중 전송률을 갖는 MC/MC-CDMA 시스템의 BER 성능을 비교하였다. 표 1에 표시한 파라미터와 함께 사용자의 수와 부 스트림의 수는 표 2의 값을 사용했다.

【표 2】 그림 6을 위한 파라미터

파라미터	값
단일 전송률 시스템	$K = 20, R = 8$
이중 전송률 시스템	$K_1 = 8, R_1 = 4$ $K_2 = 12, R_2 = 16$

두 시스템의 성능 비교를 위해서 총 사용자의 수는 20 명으로 하였다. 또한 K_1 과 K_2 는 각각 저 전송률 사용자 및 고 전송률 사용자의 수이며 R_1 과 R_2 는 각 전송률 시스템이 갖는 부 스트림의 수이다.



【그림 6】 단일 및 이중전송률시스템의 BER

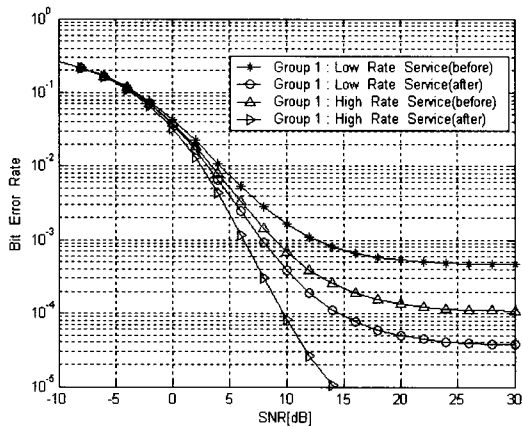
그림 6에서 보면, 단일 전송률 시스템의 성능이 이중

전송률 시스템보다 좋은 것을 알 수 있으며 이중 전송률 시스템에서는 저 전송률 시스템이 고 전송률 시스템보다 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 이는 고 전송률 시스템에서 부 스트림의 수가 증가하면서 이에 따른 간섭이 증가된 결과라 할 수 있다.

그림 7은 코드 그룹화 간섭제거기를 이용하여 그룹간 간섭을 제거하기 전과 후의 성능을 비교하였다. 여기서 시스템에는 표 3과 같이 2개의 그룹이 존재하며 각각의 그룹에는 이중전송률을 갖는 사용자들이 존재한다고 한다. 여기서 K_{11} 과 K_{12} 는 각각 서비스그룹 1의 저 전송률 사용자 및 고 전송률 사용자의 수이다.

[표 3] 이중전송률시스템을 위한 파라미터

파라미터	값
G_1 : 서비스 그룹 1	$K_{11} = 5, R_{11} = 4$ $K_{12} = 7, R_{21} = 16$
G_2 : 서비스 그룹 2	$K_{21} = 3, R_{11} = 4$ $K_{22} = 5, R_{21} = 16$



[그림 7] 간섭제거 전, 후의 성능비교

그룹 1의 사용자 신호를 검출하기 위해 우선 그룹간 간섭을 제거해야 하는데, 코드 그룹화 간섭제거기는 c_2^2 를 대표코드로 사용하였다. 그룹간 간섭을 제거한 후 사용자의 신호를 검출한다. 간섭제거기를 사용함으로써 많은 성능의 향상을 가져온 것을 알 수 있다. 여기서 비트 추정 에러 확률은 0으로 하여 최적의 경우로 분석하였다. 그러나 최적이 아닌 경우의 성능은 감소할 것이지만 간섭제거기를 사용함으로써 성능의 향상되었다.

6. 결론

본 논문에서는 MC/MC-CDMA시스템에서 OVFS 코드의 대표코드를 이용하여 사용자들을 그룹화하고 수신측에서는 제안된 방법에 따라 그룹간 간섭을 제거하는 간섭 제거방법을 제시하였다. 멀티코드와 멀티캐리어의 두 부분에 OVFS 코드를 사용했으며, 제안된 간섭제거방법은 다른 사용자들에 대한 정확한 코드정보 없이도 원하는 사용자의 코드정보만을 가지고 인접 사용자의 간섭을 제거하면서 원하는 사용자의 신호를 검출해 낸다. 간섭그룹의 대표코드를 이용하여 일차적으로 그룹간 간섭을 제거한 후 사용자의 코드정보를 이용하여 그룹내 사용자 신호를 검출한다.

모의실험 결과 다중접속방식에서 타 그룹 사용자에 의한 간섭 신호가 전체 시스템 성능에 많은 영향을 미치고 있었으며, 제안된 간섭제거방법을 통해 간섭의 영향을 많이 감소시킬 수 있었다. 이러한 그룹 단위의 처리를 통하여 제안된 수신기는 기존 방식들보다 다중경로 인한 그룹간의 간섭을 보다 쉽고 간단하게 제거하는 효율적인 시스템을 구현할 수 있는 장점을 갖는다.

향후에는 다양한 파라미터를 통해서 시스템 분석 및 성능개선을 위한 모델 제시가 필요하며, 이중전송률 시스템을 다중전송률 시스템으로 확장시킬 수 있는 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] S.J. Lee, H.W. Lee and D.K. Sung, "Capacities of Single-code and Multi-code DS-SS Systems accommodating Multiclass Services," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. 48, no. 2, pp.376-384, Mar. 1999.
- [2] Chin-Lin I and R.D. Gitlin, "Multicode CDMA Wireless Personal Communications Networks," *Proceedings ICC '95*, pp. 1060-1064, June 1995.
- [3] Shinsuke Hara, "Overview of Multicarrier CDMA," *IEEE Commun. Magazine*, pp. 126- 133, December, 1997.
- [4] T. Ottoson and A. Svensson, "Multi-rate Schemes in DS/SS Systems," *Proceedings IEEE VTC '95*, Chicago, pp. 1006-1010, July 1995.
- [5] 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.
- [6] S.Verdu, *Multisuser Detection*, Cambridge, 1998.
- [7] W. Ha, J. Bae and J. Park, "A Code Grouping Interference Cancellation Receiver in OVFS DS-SS Downlink,"

The 8th ICCS 2002, pp.697-700, 2002.

- [8] Taeyoon Kim, Jaeweon Kim, Jeffrey G. Andrews, and Theodore S. Rappaport, "Multi-code Multi-Carrier CDMA: Performance Analysis," IEEE Int. Conf., vol. 2, pp. 973-977, June 2004.
- [9] J.W. Lee, *Performance Analysis of Multi-code Multi-carrier CDMA Communication System*, Master Degree Thesis, The University of Akron, Dec. 2004.
- [10] Cao Y.W., Ko, C. and Tjhung, T.T., "A new multi-code/multi-carrier DS-SS-CDMA system," IEEE GLOBECOM '01, vol.1, pp. 543-546, Nov. 2001.
- [11] Ugweje, O.C., JinWoo Lee and Efthymoglou, G., "Diversity performance of multi-code multi-carrier CDMA communications systems," Int. Conf of Wireless Networks, vol.1, pp. 452-457, June 2005.
- [12] Gao Xue and Li Chengshu, "Performance of Partial Interference Cancellation in DS-SS-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 : 대전대학교 통신공학과 교수
- 2003년 2월 ~ 2004년 3월 : 테네시주립대학교 방문교수

<관심분야>

멀티미디어 이동통신, 무선 통신시스템