

이동 통신 채널에서 동일 채널 간섭 제거 기법에 의한 Multi-Carrier CDMA 시스템의 성능 분석

°박 기 식* 조성 언**

* 인하공업전문대학 정보통신과

** 순천대학교 정보통신공학과

Performance Analysis of Multi-Carrier CDMA System by Co-Channel Interference Cancellation Technique in Mobile Communication Channel

°Ki-Sik Park* Sung-Eon Cho**

* Dept. of Inform. & Comm., Inha Technical College

** Dept. of Computer & Comm. Eng., Sunchon Univ.

E-mail : gspark@true.inhatc.ac.kr

요 약

본 논문에서는 Multi-Carrier CDMA 시스템 성능 열화의 주요 원인인 다중 접속 간섭 (MUI : Multi-User Interference)이 존재하는 이동 통신 채널 환경에서 MUI 제거를 위한 성능 개선 기법으로 동일 채널 간섭 제거기를 적용하여 성능 개선 정도를 평가하였다.

성능 해석 결과, 동일 채널 간섭 제거기를 적용함에 의해 BER 성능이 매우 개선되며, 특히 E_b/N_0 값을 높일수록 성능 개선 효과가 현저히 나타남을 알 수 있었다. 예를 들어 $E_b/N_0=12$ dB로 데이터 서비스 (BER = 10^{-5})를 지원하고자 하는 경우, 동일 채널 간섭 제거기를 사용하지 않으면 4명의 사용자밖에 지원할 수 없지만, 동일 채널 간섭 제거기를 사용하면 약 30명의 사용자까지 지원할 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 E_b/N_0 를 고정시키고 동일 채널 간섭 제거기를 적용하면 BER면에서 약 5×10^{-3} 정도의 성능 개선 효과가 나타남을 알 수 있었다.

1. 서 론

최근 정보화 사회가 가속화됨에 따라 무선 채널을 통한 고속 및 양질의 음성, 데이터, 영상을 동시에 수용할 수 있는 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 급속히 확대되어 가고 있다. 이러한 요구에 부응하여 급속히 진전되는 무선 통신의 기술 발전에 힘입어, 종래의 음성 위주의 무선 통신은 데이터 및 영상을 포함하는 고속의 무선 멀티미디어 통신 시스템으로 발전하고 있다. 미래 이동 통신 시스템은 멀티미디어 통신과 높은 데이터율 (data rate) 전송 등의 다양한 조건을 요구하기 때문에 DS CDMA (Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템을 대체하는 새로운 방식의 시스템이 필요하게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 MC (Multi-Carrier) CDMA 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. MC CDMA 시스템은 다중 반송파를 이용하여 주파수 축에서 신호를 확산시켜서 주파수 다이버시티를 얻는 통신 시스템으로서 낮은 비트 오류 확률을 유지하며 높은 전송율로 전송할

수 있는 통신 시스템이다. 또한 주파수 선택적인 느린 페이딩 채널에 강하며 주파수 효율이 매우 우수하기 때문에 차세대 멀티미디어 통신 시스템으로 이용하기 위해 활발한 연구가 이루어지고 있다[1]~[4].

MC CDMA 시스템은 수용 용량이 큰 반면에 많은 사용자가 동시에 동일 주파수 대역을 사용함으로써 발생하는 다중 접속 간섭 (Multi-User Interference : MUI)에 의해 시스템의 성능이 크게 열화된다. 또한, 향후 멀티미디어 서비스가 시작되면 각 정보 데이터에 요구되는 QoS (Quality of Service)를 만족시키기 위해 각 사용자 신호는 평균적으로 전력이 증가되어 MUI의 영향은 더욱 심각해질 것으로 보인다. 따라서 MC CDMA 시스템에서 만족스러운 성능을 보장하면서 수용 용량을 증가시키기 위한 MUI 제거 기법의 적용이 그 어느 때보다 중요시되고 있다.

본 논문에서는 MC CDMA 시스템 성능 열화의 주요 원인인 MUI가 존재하는 이동 통신 채널 환경에서 시스템의 BER (Bit Error Rate) 성능을 분석하고, MUI 제거를 위한 성능 개선 기법으로 동일 채널 간섭 제거

기 (CCI-Canceller)를 적용하여 성능 개선 정도를 평가하고자 한다.

2. MUI 환경에서 MC CDMA/QPSK 시스템의 성능 해석

2.1 MC CDMA/QPSK 시스템 구조

그림 1은 k 번째 사용자의 MC CDMA 송신기 구조를 나타낸다. 여기서 $b^{(k)}$ 와 $C_i^{(k)}$ 는 각각 k 번째 사용자의 정보 심볼과 k 번째 사용자의 코드 길이 N인 i 번째 확산 부호를 나타내며, 만일 QPSK 변조 방식이 적용된다면 $i = 0, 1, \dots, N-1$, $b^{(k)} \in \{-1, j, +1, -j\}$ 일 때 $k = 0, 1, \dots, K-1$, $C_i^{(k)} \in \{-1, j, +1, -j\}$ 이다. N 개의 직교 부호를 사용함으로써 최대 사용자 수 K는 N과 같아진다.

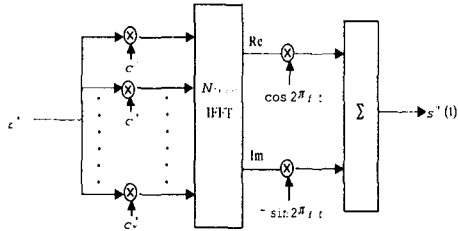


그림 1. MC CDMA 송신기 구조

k 번째 사용자의 m 번째 신호에 대한 복소 기저 신호는 다음과 같이 주어진다[5],[6].

$$s_m^{(k)}(t) = \sqrt{\frac{E_s}{NT_s}} \cdot b_m^{(k)} \sum_{i=0}^{N-1} C_i^{(k)} e^{j2\pi \frac{i}{T_s} t} f(t - mT_s) \quad (1)$$

이때, $f(t)$ 는 각 심볼의 파형을 나타내며 다음과 같이 주어진다

$$f(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T_s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, T_s 는 심볼 주기이고 E_s 는 심볼 당 전송된 에너지이다.

기지국에서 수신된 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 표현된다[5],[6].

$$r(t) = \sum_m \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{i=0}^{N-1} s_m^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \quad (3)$$

$$= \sum_m \sum_{k=0}^{K-1} s_m^{(0)}(t) + \sum_m \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{i=0}^{N-1} s_m^{(k)}(t - \tau_k) + n(t)$$

여기서, $n(t)$ 는 단측 전력 스펙트럼 밀도 N_0 인 AWGN을 나타내고 τ_k 는 k 번째 사용자 신호의 지연이다. 본 논문에서는 $k=1, 2, \dots, K$ 에 대해 $\tau \equiv 0$ 이고 $0 \leq \tau_k < T_s$ 이며, τ_k 는 iid (independent identically distributed) 랜덤 변수로 가정하였다.

2.2 MUI 환경에서 MC CDMA/QPSK 시스템의 성능

본 논문에서는 $k=1, 2, \dots, K$ 에 대해 $S_k \equiv s_m^{(k)}(t - \tau_k)$ 를 iid 랜덤변수로 가정하였다. 멀티캐리어 신호는 분산 $\sigma^2 = (\sqrt{E_s}/NT_s)^2$ 인 N 개의 파형의 합으로 구성되어 있기 때문에, N이 증가하면 파형은 평균이 0이고 분산이 $N\sigma^2$ 인 가우스 분포 형태로 근접한다. 즉, 비동기 MC CDMA 시스템에 대해 다른 사용자의 간섭은 평균이 0이고 분산이 E_s/T_s 인 가우시안 잡음으로 근사화할 수 있다. 총 잡음 밀도는 다음과 같이 나타낼 수 있다[5],[6].

$$N' = (K-1) \cdot \frac{E_s}{T_s \cdot W} + N_0 \quad (4)$$

$$= (K-1) \cdot \frac{E_s}{N+1} + N_0$$

여기서, $W = (N+1)/T_s$ 는 총 대역폭이다.

한편, MUI 환경에서 MC CDMA/QPSK 신호의 비트 오류율은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{e|MC\ CDMA/QPSK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{1}{\frac{2(K-1)}{G_{MC}} + \frac{1}{E_b/N_0}}} \right) \quad (5)$$

여기서, E_b 는 전송 비트 당 에너지이고, $G_{MC} \equiv N$ 은 캐리어의 수를 나타내는데 처리 이득과 동일한 값이다.

3. MUI 환경에서 동일 채널 간섭 제거를 채용한 경우 MC CDMA/QPSK 시스템의 성능 해석

그림 2는 MUI 환경에서 MC CDMA 시스템의 동일 채널 간섭 제거기 구조를 나타낸다.

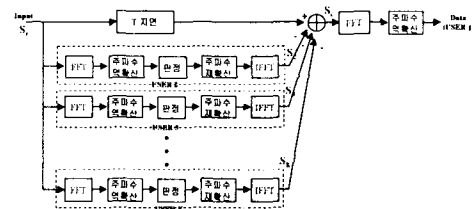


그림 2. MC CDMA 시스템의 동일 채널 간섭 제거기 구조

그림으로부터 K 명의 사용자 신호가 합쳐진 수신 신호 S_r 에서 다른 사용자 신호 S_2, \dots, S_K 에 비트 에러가 발생하지 않았다면 MUI는 완전히 제거되지만, 수신 신호 S_r 에서 k ($k=1, 2, \dots, K$) 번째 사용자의 수신 신호에만 상관 검파 과정에서 에러가 발생하였다면 $C_i^{(k)}$ 에 의해 상관 수신되어 복원되는 신호는 S_r 에 포함된 S_k 의 신호와 다른 것이 되고, 이것이 다시 $C_i^{(k)}$ 에 의해 확산되어 T시간 지연된 S_r 에 더해지게 된다. 이때

에러가 발생한 k 번째 사용자의 신호는 수신 신호 S_r 에 MUI로 더해지므로 신호 S_c 는 S_k 사용자에게 의한 MUI의 2배의 전압 (전력면에서는 4 배)을 포함하게 된다. 결과적으로 신호 S_c 와 S_1 사용자의 수신 신호 사이의 신호 대 잡음 전력 비 γ_{CCI} 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$\gamma_{CCI} = \frac{1}{(A_v \cdot \frac{2}{G_{MC}+1}) + (\frac{N_o}{E_b})} = \frac{1}{4 \cdot P_{e, MC CDMA/QPSK} \cdot (K-1) \cdot \frac{2}{G_{MC}+1} + \frac{N_o}{E_b}} \quad (6)$$

단, $A_v = 4 \cdot P_{e, MC CDMA/QPSK} \cdot (K-1)$. 따라서 MUI 환경에서 동일 채널 간섭 제거기를 채용할 때 MC CDMA/QPSK 시스템의 오류 식은 식 (5)와 식 (6)을 이용하면 다음과 같이 구해진다.

$$P_{CCI} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{4 \cdot P_{e, MC CDMA/QPSK} \cdot (K-1) \cdot \frac{2E_b}{G_{MC}+1} + N_o}} \right) \quad (7)$$

4. 수치 계산 및 검토

그림 3은 MUI 환경에서 사용자 수 (K)에 따른 MC CDMA/QPSK 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 그림으로부터 E_b/N_o 가 12 dB 이하인 경우 음성 서비스 ($BER = 10^{-3}$) 지원을 받을 수 있는 사용자 수가 10명으로 제한됨을 알 수 있다. 결론적으로 MUI 환경에서 보다 많은 음성 서비스 지원을 받기 위해서는 동일 채널 간섭 제거기와 같은 성능 개선 기법이 반드시 필요함을 알 수 있다.

그림 4는 MUI 환경에서 동일 채널 간섭 제거기를 채용한 MC CDMA/QPSK 시스템의 사용자 수 (K)에 따른 BER 성능을 나타낸다. 그림으로부터 동일 채널 간섭 제거기를 적용함에 의해 BER 성능이 매우 개선되며, 특히 E_b/N_o 값을 높일수록 성능 개선 효과가 현저히 나타남을 알 수 있다. 예를 들어 $E_b/N_o = 12$ dB로 데이터 서비스 ($BER = 10^{-5}$)를 지원하고자 하는 경우, 동일 채널 간섭 제거기를 사용하지 않으면 4명의 사용자밖에 지원할 수 없지만, 동일 채널 간섭 제거기를 사용하면 약 30명의 사용자까지 지원할 수 있음을 알 수 있다.

그림 5는 MUI 환경에서 E_b/N_o 에 따른 MC CDMA/QPSK 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 그림으로부터 사용자 수가 15명 이상이 되면 E_b/N_o 값을 아무리 높일지라도 음성 서비스 ($BER = 10^{-3}$)를 지원할 수 못함을 알 수 있다.

그림 6은 MUI 환경에서 동일 채널 간섭 제거기를 채용한 MC CDMA/QPSK 시스템의 E_b/N_o 에 따른 BER 성능을 나타낸다. 그림으로부터 동일 채널 간섭 제거기를 적용함에 의해 BER면에서 약 5×10^{-3} 정도의 성능 개선 효과가 나타남을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 Multi-Carrier CDMA 시스템 성능 열화의 주요 원인인 다중 접속 간섭 (MUI)이 존재하는 이동 통신 채널 환경에서 MUI 제거를 위한 성능 개선 기법으로 동일 채널 간섭 제거기를 적용하여 성능 개선 정도를 평가하였다.

성능 해석 결과, 동일 채널 간섭 제거기를 적용함에 의해 BER 성능이 매우 개선되며, 특히 E_b/N_o 값을 높일수록 성능 개선 효과가 현저히 나타남을 알 수 있었다. 예를 들어 $E_b/N_o = 12$ dB로 데이터 서비스 ($BER = 10^{-5}$)를 지원하고자 하는 경우, 동일 채널 간섭 제거기를 사용하지 않으면 4명의 사용자밖에 지원할 수 없지만, 동일 채널 간섭 제거기를 사용하면 약 30명의 사용자까지 지원할 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 E_b/N_o 를 고정시키고 동일 채널 간섭 제거기를 적용하면 BER면에서 약 5×10^{-3} 정도의 성능 개선 효과가 나타남을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] N. Yee, J. Linnartz and G. Fettweis, "Multi-carrier CDMA in indoor wireless radio networks", *PIMRC 93*, pp. 109-113, 1993.
- [2] S. Kondo and L. B. Milstein, "Performance of multicarrier DS CDMA systems," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 44, no. 2, pp. 238-246, Feb., 1996.
- [3] E. Sourour and M. Nakagawa, "Performance of orthogonal multicarrier CDMA in a multipath fading channel," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 44, no. 3, pp. 356-367, Mar., 1996.
- [4] G. Fettweis, A. S. Bahai, K. Anvari, "On multi-carrier code division multiple access (MC-CDMA) modem design", *VTC 94*, pp. 1670-1674, 1994.
- [5] T. F. Ho, "Performance evaluation for multi-carrier CDMA system," *VTC 96*, pp. 1101-1105, 1996.
- [6] K. Fazel and G. P. Fettweis, *Multi-Carrier Spread Spectrum*, Kluwer Academic Publishers, 1997.

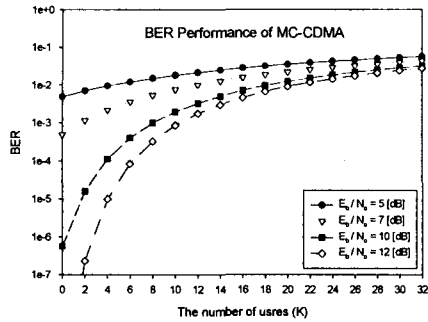


그림 3. MUI 환경에서 사용자 수 (K)에 따른 MC CDMA/QPSK 시스템의 BER 성능

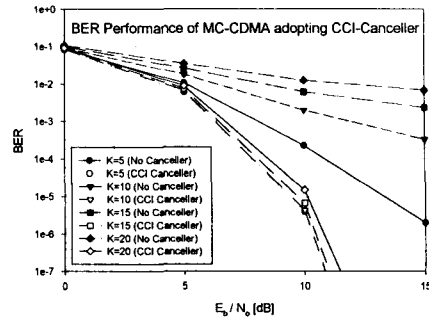


그림 6. MUI 환경에서 동일 채널 간섭 제거기를 채용한 MC CDMA/QPSK 시스템의 E_b/N_0 에 따른 BER 성능

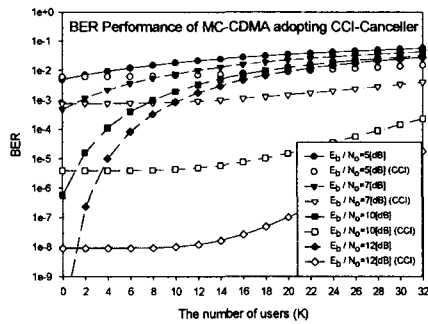


그림 4. MUI 환경에서 동일 채널 간섭 제거기를 채용한 MC CDMA/QPSK 시스템의 사용자 수 (K)에 따른 BER 성능

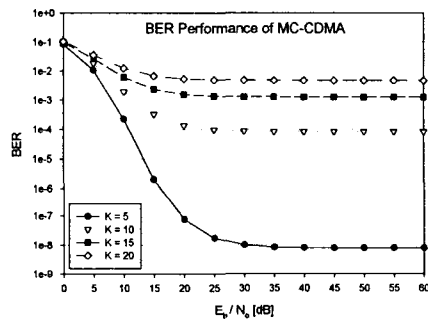


그림 5. MUI 환경에서 E_b/N_0 에 따른 MC CDMA/QPSK 시스템의 BER 성능