

## 다중 반송파 CDMA 네트워크에서 부분 대역 간섭의 영향

노재성\*

### 요약

모바일 통신 채널의 빠른 변화는 다중 반송파 변조의 성능에 많은 영향을 준다. 본 논문에서는 다중 반송파 CDMA 네트워크의 BER 성능을 분석하였고 등가 신호 대 전체 잡음 전력비를 라이시안 페이딩, 부분대역간섭, 다중접속 사용자 간섭채널에서 유도하였다. MC-CDMA 시스템의 역방향 링크 등가 SNIR을 사용하여 MC-CDMA/BPSK 신호의 성능을 부분대역간섭의 점유율과 간섭 전력에 따라서 평가하였다. 그리고 다중반송파 멀티미디어 시스템의 QoS를 향상하기 위한 부분대역간섭의 영향을 종합적으로 연구하였다.

### Effect of Partial-Band Interference in Multi-Carrier CDMA Network

Jae-Sung Roh\*

### Abstract

Rapid time variations of the mobile communication channel have a dramatic effect on the performance of multi-carrier modulation. This paper analyzed the bit error rate (BER) performance for multi-carrier code division multiple access (MC-CDMA) network, and derived the equivalent signal-to-total noise power ratio in the Rician fading, partial-band interference, and multiple access user interference channel. Using the equivalent signal-to-noise plus interference (SNIR) of MC-CDMA system in the reverse link, the performance of MC-CDMA/BPSK signal is evaluated taking into account the fraction of partial-band interference and interference power. And the effect of partial-band interference is comprehensively studied in order to further improve the Qos of multi-carrier multimedia system.

Key words : CDMA 네트워크, MC-CDMA

## 1. 서론

집과 사무실 네트워크의 연계와 인터넷의 폭발적인 성장으로 데이터와 리소스 공유의 이점이 더욱 부각되고 있다. 또한 무선 네트워크는 더욱 편리하고 활용성이 많으며 기존의 유선 네트워크보다 뛰어난 이동성을 제공한다. 무선 네트워크안에 있는 사용자들은 플러그인 할 필요가 없이 정보를 공유하기 위해 무선 네트워크에 액세스할 수 있으며, 네트워크 관리자 또는 개인이 추가적인 선을 설치하여 이동할 필요 없이 기존에 가지고 있던 유선 네트워크로 LAN을 확대하거나 설치할 수 있다. 휴대용 장치의 확산과 파일교환, 이메일 발신 및 수신, 그리고 일정표와 스케줄 업데이트 등의 필

요는 PAN, LAN, 그리고 WAN 무선 통신을 더욱 발전되게 하였다. 따라서 안정적인 연결에 대한 지속적인 요구에 부합하기 위해 많은 업체에서는 무선 네트워크의 요구사항에 적합한 장치를 개발하고 있다.

또한 정보화 사회가 가속화됨에 따라 무선 채널을 통한 고속 및 양질의 음성, 데이터, 영상을 동시에 수용하는 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 급속히 확대되고 있으며 무선통신기술의 발달로 이동통신의 수요가 급격히 증가되고 있다 [1],[2].

현재 디지털 셀룰러의 다중접속 방식으로 채택된 CDMA 방식은 많은 가입자 수를 수용할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 간섭 신호에 의해 시스템의 용량이 제한된다는 단점을 가지고 있다. 또한, 데이터의 전송속도 측면에서는 저속 데이터 전송에 이용되고 있는 현실

\* 제일저자(First Author) : 노재성

접수일 : 2004년 7월 24일, 완료일 : 2004년 8월 18일

\* 서울대학 정보통신 전공 조교수

전화 : 02) 490-7206

jsroh@seoil.ac.kr

이어서, 멀티미디어 통신과 같은 고속 데이터 전송에 적용할 경우에는 채널상의 지연확산으로 인한 인접 심볼간 간섭이 증가되어 심각한 성능저하를 초래하고 있다.

따라서 고속 서비스에 대한 요구를 충족시키기 위하여 IS-95 등 기존의 셀룰러 방식에서 사용되고 있는 대역보다 넓은 광대역 CDMA 시스템이 개발되고 있으며, 최근에는 기존의 CDMA 시스템에 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술을 결합함으로써 지연확산에 대한 영향을 줄이면서 전송 속도와 주파수 효율의 향상 그리고 협대역에서 간섭억제 효과 등에 있어서 효율적인 Multi-Carrier CDMA (MC-CDMA) 방식이 차세대 고속 멀티미디어 통신방식으로써 활발히 연구가 진행되고 있다 [3]-[6]. 그리고 신호 전송을 위하여 광대역을 사용하는 무선 네트워크에서는 부분적인 간섭 현상이 빈번히 발생한다. 특히, OFDM이나 MC-CDMA와 같이 다중 반송파를 사용하는 시스템에서는 부분 대역 간섭의 영향은 신호의 품질에 많은 영향을 줄 수 있다 [7],[8].

따라서 본 논문에서는 고속 무선 멀티미디어 전송을 위하여 MC-CDMA/BPSK 방식을 고려한다. 그리고 타 시스템에 의하여 발생할 수 있는 부분 대역 간섭과 다중접속으로 인한 동일 주파수 대역의 다중 접속 사용자 간섭이 존재하는 무선 채널 모델을 설정한다. 이러한 환경하에서 MC-CDMA/BPSK 시스템의 BER 성능을 부분 대역 간섭을 중점적인 파라미터로 설정하여 분석한다.

## 2. MC-CDMA 시스템

### 2.1 시스템 구조

MC-CDMA 방식은 다중반송파 변조를 근간으로 하는 기술로써 고속의 직렬 데이터를 직·병렬 변환기를 통해 저속도의 병렬 데이터로 만든 후, 각각의 저속 데이터를 각기 다른 반송파로 변조하여 전송하는 방식이다. 이산 푸리에 변환을 사용하여 등가신호를 발생시킬 수 있고, 채널에서 고유하게 주어지는 동기 대역폭보다 광대역으로 고속 데이터를 전송할 수 있다. Multi-Carrier 변조방식을 이용하면 주파수 인터리빙을 통해 주파수 다이버시티 송수신의 효과, 간단한 채널 등화의 구현 및 무선 통신 환경에서 주된 열화 요인인 페이딩을 극복할 수 있는 장점이 있다.

그림 1은 일반적인 MC-CDMA 시스템의 송신기 구조를 나타낸다. m 번째 사용자의 k 번째 정보 심볼  $a_m[k]$ 는  $M_c$  번 복사되고 각각의 PN 부호 ( $C_m(M_c-1)$ )와 곱해진 후 변조된다.

모든 Multi-Carrier 변조된 신호는 합쳐진 후 증폭기를 거쳐서 안테나로 전달된다.

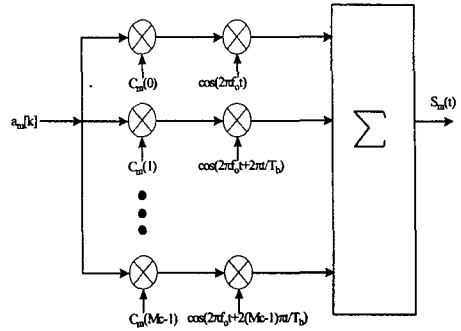


그림 1. MC-CDMA 시스템의 송신기 구조

### 2.2 등가 신호 대 잡음 전력비

본 논문에서는 CDMA 다중 사용자 간섭을 가우시안 잡음으로 간략화하여 MC-CDMA 시스템의 BER 성능을 구한다. 랜덤한 신호열을 고려한다면 MC-CDMA 시스템에서 다중 사용자 간섭의 분산 평균치  $E[\text{Var}\{I^{(1,k)}\}]$ 는 다음과 같다.

$$E[\text{Var}\{I^{(1,k)}\}] = \frac{PT_s^2}{4\pi^2 M_c} \left\{ \left[ \sum_{n=1}^{M_c} \sum_{i=1, i \neq n}^{M_c} \frac{3n^2 + i^2}{(n^2 - i^2)^2} \right] + \frac{2\pi^2}{3} \right\} \quad (1)$$

모든 사용자로부터의 간섭을 독립적이라고 가정하면, 전체의 간섭전력은 식 (1)에서 제시한 각각의  $\text{Var}\{I^{(1,k)}\}$ 의 합이 된다. 따라서 식 (1)을 모든 사용자에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$E[\text{Var}\{I\}] = \frac{(U-1)PT_s^2}{4\pi^2 M_c} \left\{ \left[ \sum_{n=1}^{M_c} \sum_{i=1, i \neq n}^{M_c} \frac{3n^2 + i^2}{(n^2 - i^2)^2} \right] + \frac{2\pi^2}{3} \right\} \quad (2)$$

모든 사용자로부터의 간섭과 잡음을 고려한 MC-CDMA 시스템의 등가 신호 대 전체 잡음 전력비  $E_b/N_t$ 는 다음과 같다.

$$\frac{E_b}{N_t} = \frac{A}{B+C} \quad (3)$$

$$A = M_c PT_s^2 / 2$$

$$B = \frac{(U-1)PT_s^2}{4\pi^2 M_c} \left\{ \left[ \sum_{n=1}^{M_c} \sum_{i=1, i \neq n}^{M_c} \frac{3n^2 + i^2}{(n^2 - i^2)^2} \right] + \frac{2\pi^2}{3} \right\}$$

$$C = \frac{M_c N_0 T_s}{4}$$

식 (3)에서 분모와 분자를 정리하면 MC-CDMA를 적용한 시스템에서 등가 신호 대 전체 잡음 전력비

$E_b/N_t$  는 다음과 같다.

$$\frac{E_b}{N_t} \approx D + \frac{N_0}{2E_b} \quad (4)$$

$$D = \left( \frac{U-1}{2M_c^2\pi^2} \left[ \sum_{n=1}^{M_c} \sum_{i=1, i \neq n}^{M_c} \frac{3n^2+i^2}{(n^2-i^2)^2} \right] + \frac{2\pi^2}{3} \right)$$

여기서  $E_b$  는 하나의 심볼 구간  $T_s$  동안에 전송되는 신호의 에너지이고,  $U$  는 다중 사용자의 수,  $M_c$  는 Multi-Carrier의 수이다.

AWGN, 부분 대역 간섭, 그리고 다중접속 사용자 간섭이 존재하는 채널에서 Multi-Carrier CDMA 시스템의 BER 성능은 다음과 같다.

$$P_e = \frac{\rho}{4} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_t + N_i}} \right) + \left( \frac{2-\rho}{4} \right) \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_t}} \right) \quad (5)$$

여기서  $\rho$  는 부분 대역 간섭의 점유율이며  $N_i$  는 부분 대역 간섭의 양 ( $J = N_i/\rho$ )이다.

### 2.3 무선 채널 특성

무선 채널에서 많은 수의 반사파 성분이 존재하며 이들의 성분이 직접파 성분보다 우세할 경우에는 수신된 신호의 진폭은 레일리 분포를 따르게 된다. 하지만 어떤 상황에서는 가시경로 (LOS : Line of sight) 성분이 존재하여 직접파 성분이 반사파 성분에 비하여 우세한 경우가 있다. 이러한 직접파 신호 성분이 존재하는 무선 채널 환경을 Rician 페이딩 채널로 모델링한다.

Rician 페이딩 모델링은 직접파 성분과 분산이  $\sigma^2$  인 반사파 성분으로 구성되며, 이 성분들이 복합 수신된 신호로 표현되는 채널 상황을 나타낸다. 따라서 수신된 신호의 진폭  $R$  에 대한 Rician 페이딩의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(R) = \frac{R}{\sigma^2} \exp \left( -\frac{R^2 + A^2}{2\sigma^2} \right) I_0 \left( \frac{RA}{\sigma^2} \right), \quad R \geq 0 \quad (6)$$

여기서,  $A$  는 직접파의 진폭, 그리고  $I_0(\cdot)$  는 0차의 변형 베셀 함수이다.

Rician 페이딩을 받은 수신 신호의 진폭( $R$ ) 대신에  $R^2$  에 비례하는 순시 신호 전력 대 잡음 전력비( $\gamma$ )를 함수로 하는 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f_{Rice}(\gamma) = \frac{K_R + 1}{\Gamma} \exp \left[ -\frac{(K_R + 1)\gamma}{\Gamma} - K_R \right] \cdot I_0 \left( 2\sqrt{\frac{K_R(K_R + 1)\gamma}{\Gamma}} \right) \quad (7)$$

여기서,  $K_R = A^2/2\sigma^2$  는 직접파 전력 대 반사파 전력비,  $\gamma$  는 순시 신호 전력 대 잡음 전력비,  $\Gamma$  는 평균 신

호 전력 대 잡음 전력비를 나타낸다.

## 3. 성능 분석

### 3.1 해석 모델

본 논문에서 설정한 MC-CDMA/BPSK 시스템의 해석 모델은 그림 2와 같다. 해석 모델에서 직렬 정보 데이터는 Multi-Carrier 변조부로 입력된다.

Multi-Carrier 변조부에서 직·병렬 변환기에 의하여 고속의 직렬 데이터는 저속의 병렬 데이터로 변환된다. 이러한 신호는 서로 직교성을 갖는 부분송파에 의하여 변조되고 모든 부분송파가 합쳐진 후 안테나를 통하여 무선채널로 전송된다. 라이시안 페이딩, 부분 대역 간섭 그리고, 다중 사용자 간섭 채널을 거친 MC-CDMA/BPSK 신호는 안테나를 통하여 수신된다. 수신된 MC-CDMA/BPSK 신호는 Multi-Carrier 복조부에서 직·병렬 변환기에 의하여 부분송파 채널로 분리된 후 FFT에 의하여 각각의 부분송파 채널에서 복조가 이루어진다. Multi-Carrier 수신부를 통과한 비트는 송신부와 역의 과정을 통하여 최종적으로 송신된 데이터와 비교를 수행한다. 본 논문에서는 MC-CDMA/BPSK 신호가 이동국에서 기지국으로 전송되는 역방향 링크를 가정한다.

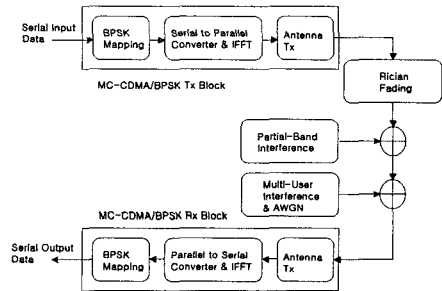


그림 2. MC-CDMA/BPSK 시스템의 역방향 링크 해석 모델

### 3.2 수치해석 및 검토

본 논문에서 MC-CDMA/BPSK 시스템의 성능 분석을 위하여 라이시안 페이딩, 부분 대역 간섭 그리고 다중접속으로 인한 동일 주파수 대역의 다중 사용자 간섭이 존재하는 무선 채널 모델에서 Multi-Carrier의 수 ( $M_c$ ), 다중접속 사용자의 수 ( $U$ ), 신호 대 잡음 전력비 ( $E_b/N_0$ ), 신호 대 부분 대역 간섭 전력비 (SJR), 부분 대역 간섭의 점유율 ( $\rho$ ) 등의 파라미터를 정의하여 수치계산에 적용하였다.

그림 3은 SJR 에 따른 MC-CDMA/BPSK 시스템의 성능을 사용자수  $U=20$ , 반송파의 수 31, 라이시안 페이딩  $K_R=10$  dB,  $\rho=0.2$ 인 환경에서 오율 그래프로 나타

내었다. SJR이 증가함에 따라서 부분 대역 간섭이 없는 환경의 오율 성능으로 접근함을 알 수 있다. 신호 대 부분 대역 간섭 전력비는 5 dB 이상에서는 신호의 성능에 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

그림 4는 사용자수  $U=20$ , 반송파의 수 31, 라이시안 페이딩  $K_R=10$  dB, SJR=10 dB 환경에서  $\rho$ 에 따른 MC-CDMA/BPSK 시스템의 성능을 분석하였다. 부분 대역 간섭의 점유율  $\rho$ 가 증가함에 따라서 오율 성능이 열화됨을 알 수 있다.

그림 5는 AWGN 채널에서 부분 대역 간섭의 점유율  $\rho$ 가 0.2인 환경에서 SJR에 따른 BPSK 시스템의 성능을 나타낸다. AWGN 채널에서는 SJR에 따라 많은 오율의 변화가 있음을 알 수 있다.

그림 6은 AWGN 채널에서 SJR에 따른 MC-CDMA/BPSK 시스템의 성능을 나타낸다. 사용자수  $U=20$ , 반송파의 수 31,  $\rho=0.2$ 인 환경이다. 그림 3과의 비교를 통해서 SJR이 증가함에 따라 성능이 개선되었고 라이시안 페이딩과 AWGN의 영향을 상호 비교할 수 있다.

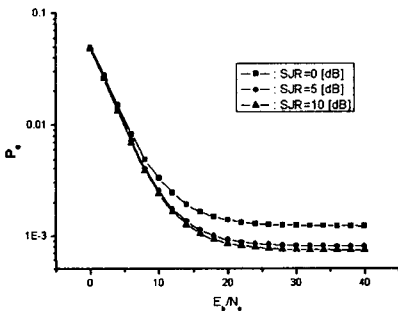


그림 3. 신호 대 부분 대역 간섭 전력비 (SJR) 에 따른 MC-CDMA/BPSK 시스템의 성능 (사용자수 20, 반송파의 수 31, 라이시안 페이딩  $K_R=10$  dB, 부분대역 간섭의 점유율=0.2)

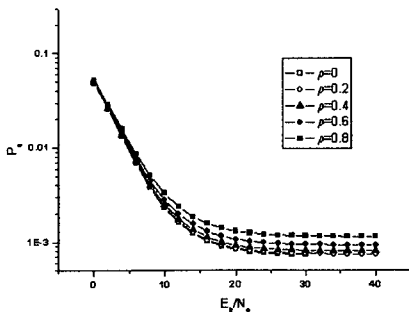


그림 4. 부분 대역 간섭의 점유율에 따른 MC-CDMA/BPSK 시스템의 성능 (사용자수 20, 반송파의 수 31, 라이시안 페이딩  $K_R=10$  dB, 신호 대 부분대역 간섭 전력비 10 dB)

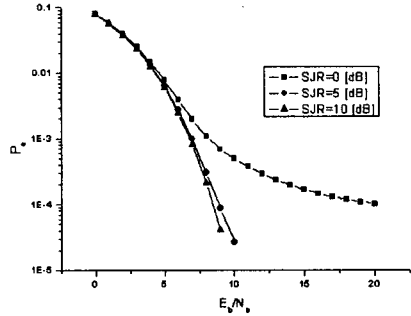


그림 5. AWGN 채널에서 SJR에 따른 BPSK 시스템의 성능 (부분 대역 간섭의 점유율 0.2)

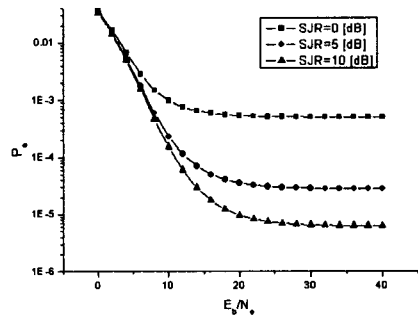


그림 6. AWGN 채널에서 SJR에 따른 MC-CDMA/BPSK 시스템의 성능 (사용자수 20, 반송파의 수 31, 부분대역 간섭의 점유율 0.2)

#### 4. 결론

고속 멀티미디어 서비스에 대한 요구를 만족하기 위해 기존의 셀룰러 방식에서 사용되고 있는 대역보다 넓은 광대역 CDMA 시스템이 개발되고 있다. 따라서 기존의 CDMA 방식과 OFDM 방식을 결합하여 전송 속도와 주파수 효율의 향상 그리고 협대역에서 간섭억제 효과 등에 있어서 효율적인 MC-CDMA 방식이 차세대 고속 멀티미디어 통신방식으로 연구되고 있다. 본 논문에서는 Rician 페이딩과 2종류의 간섭(부분 대역 간섭, 다중접속 사용자 간섭)이 존재하는 채널에서 Multi-Carrier CDMA/BPSK 시스템의 성능을 분석하였다. AWGN과 페이딩 환경에서 부분 대역 간섭의 영향을 측면에서 중점적으로 분석하였다. 신호 대 부분 대역 간섭 전력비 SJR이 증가할수록 그리고 부분 대역 간섭의 점유율이 작을수록 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 그리고 부분 대역 간섭의 점유율  $\rho$  보다는 신호 대 부분 대역 간섭 전력비 SJR에 의한 성능 변화가 심함을 결과 그래프를 통하여 알 수 있었다.

참고 문헌

[1] R. Prasad, Universal wireless personal communications, Artech House Publishers, 1998.

[2] S. Sampei, Applications of digital wireless technologies to global wireless communications, Prentice Hall, 1997.

[3] R. Prasad and S. Hara, "An overview of multi-carrier CDMA," Proc. of IEEE ISSSTA '96, pp. 107-114, 1996.

[4] N. Yee, J. P. Linnartz, and G. P. Fettweis, "Multi-Carrier CDMA in indoor wireless radio networks," IEICE Trans., Commun., vol. E77-B, no. 7, pp. 900-904, July 1994.

[5] K. Fazel and G. P. Fettweis, Multi-Carrier Spread-Spectrum, Kluwer Academic Publishers, 1997.

[6] T. F. Ho, "Performance evaluation for multi-carrier CDMA system," Proc. IEEE VTC '96, pp. 1101-1105, 1996.

[7] R. C. Robertson and K. Y. Lee, "Performance of fast frequency-hopped MFSK receivers with linear and self normalisation combining in a Ricean fading channel with partial band interference," IEEE. J. Select. Areas Commun., vol. SAC-10, pp. 731-741, May 1992.

[8] L. L. Yang and L. Hanzo, "Low complexity erasure insertion in RS-coded SFH spread-spectrum communications with partial - band interference and Nakagami-m fading," IEEE Trans. on Comm., vol. COM-50, pp. 914-925, Jun 2002.

노재성



1990년 2월: 한국항공대학교  
항공통신정보공학과 졸업(공학사)

1992년 2월 : 한국항공대학교 대학원  
항공통신정보공학과 졸업(공학석사)

2000년 8월 : 한국항공대학교 대학원  
항공통신정보공학과 졸업(공학박사)

1992년 1월 ~ 1997년 5월 : (주)한화정보통신  
무선가입자망 연구소

1997년 6월 ~ 1999년 2월: (주)세영통신 전파기술연구소

1999년 3월 ~ 2000년 8월 : 도립 강원전문대학  
정보통신과 전임강사

2000년 9월 ~ 현재 : 서일대학 정보통신 전공 조교수  
<관심분야> 모바일 인터넷, 멀티미디어 콘텐츠