

적응형 부채널 할당 방법과 M진 직교 신호화를 사용하는 MC-CDMA 시스템의 성능 분석

박 경 숙, 김 항 래, 김 남

충북대학교 정보통신공학과

전화 : 043-267-8490 / Fax. : 043-274-6206

Performance analysis of MC-CDMA system with Adaptive subchannel scheme and M-ary orthogonal signaling

Kyoung Suk Park, Hang Rae Kim, Nam Kim

Dept. of Computer & Communication Eng., Chungbuk National Univ.

E-mail : kspark@osp.chungbuk.ac.kr

요 약

In this paper, the performance of a MC-CDMA system applying adaptive subchannel allocation scheme and M-ary orthogonal signaling is analyzed for forward links in Rayleigh fading channel. In the proposed system, each DS waveform is transmitted over the subchannel having the biggest fading among L subchannels. Assuming M-ary orthogonal signaling and 4 subchannels, the BER of 10^{-3} is satisfied if SNRs are 7.33 dB, 5.33 dB, and 4.47 dB for k=1, 2, and 3, respectively. Also, SNRs which met BER of 10^{-3} are 1.42 dB and 2.33 dB in L=2 and L=8 as k=1 is increased to k=2. It is shown that the MC-CDMA system has performance improvement as a number of subcarriers and M-ary orthogonal signaling.

I. 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 확대되어가고 있다. 이러한 요구에 부응하여 급속히 진전된 무선 통신의 기술 발전에 힘입어, 종래의 음성위주의 무

선 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 CDMA) 시스템을 대체하는 새로운 방식의 시스템이 필요하게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 MC(multicarrier) 변조 방식이 제안되었고, 현재 계속적으로 연구되고 있다[1, 2].

본 논문은 순방향 링크(forward link)에 대하여 MC-CDMA 시스템의 성능 개선을 보여준다. 기존의 시스템은 부채널상(subchannel)에서 DS 파형이 동일하게 전송되는 반면, 제안된 시스템은 선택된 부채널로 각 사용자의 DS 파형을 전송하는 방식과 적응 부채널 할당 방법을 사용하는 MC-CDMA 시스템이다. 이동국(mobile station)은 기지국(base station)으로부터 전송된 파일럿 신호를 사용하여 모든 부채널의 페이딩 진폭을 계산하고 가장 큰 페이딩 진폭을 갖는 부채널 인덱스를 기지국으로 전송한다. 기지국은 인덱스 정보를 사용하여 각 사용자의 DS 파형을 그 사용자를 위한 가장 좋은 부채널로 할당한다. 이때 사용자의 심볼은 M진 직교 신호화(M-ary orthogonal signaling)를 사용함으로써 레일레이 페이딩 채널하에서의 성능 개선을 보여준다.

본 논문의 구성은 II장에서 순방향 링크상의 MC-CDMA 시스템의 송신기와 수신기 모델을 설명하고, III장에서는 본 논문에서 제안된 시스템 모델의 성능 평가를 한다. IV장에서는 수치적인 해석을 보이며, 마지

막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. MC-CDMA 시스템 모델링

MC-CDMA 시스템의 순방향 링크에 대하여 본 논문에서 제안한 시스템 모델을 그림 1에서 나타내었다. 시스템 모델은 [4]에서 제안된 MC-CDMA 시스템을 바탕으로 한 것이다. 총 시스템 대역폭 W_T 는 대역폭 $W_s = W_T/L$ 로, 대역폭을 L 개의 동일한 부채널로 나누고, 각각의 협대역 DS 파형은 L 개의 부채널로 병렬로 전송된다. 반면에 제안된 시스템에서 각 사용자는 우선 채널 상태에 따라 가장 좋은 채널을 선택하고, 협대역 DS 파형은 선택된 부채널을 통하여 전송된다.

기지국에서 p 번째 사용자의 이진 심볼 $b_r^{(p)}$ 은 M진 신호화를 한 후, 사용자 수열 $a_n^{(p)}$ 에 의하여 확산된다. 심볼이 N 개의 칩으로 구성되므로 각 사용자는 N 주기로 다른 수열을 갖는다고 가정한다. 수열 $b_r^{(p)} a_n^{(p)}$ 는 임펄스 열로 변조된 후, chip wave-shaping 필터를 통과한다. 여기서 E_c 는 칩 에너지이다. 부채널 선택기(selector)는 p 번째 사용자 ($p=1, 2, \dots, U$)를 나타내는 인덱스 i_p 로 가장 좋은 부채널을 선택하고 필터의 신호 출력은 선택된 부채널의 부반송파로 변조된다. 인덱스 i_p 는 p 번째 사용자의 모든 부채널중 가장 큰 페이딩 진폭을 갖는 부채널을 나타낸다. 이동국은 파일럿 신호를 사용하여 페이딩 진폭을 계산함으로써 기지국에 주기적

으로 인덱스를 전송한다. 일반적으로 파일럿에 할당되는 에너지는 신뢰성 있는 채널 평가를 위하여 각 사용자에게 할당되는 것보다 더 큰 에너지를 필요로 한다[3].

채널은 가장 좋은 부채널의 인덱스가 주기적으로 갱신된 인덱스상에서 천천히 변화한다고 가정한다. 또한 채널은 주파수 선택적인 레일레이 페이딩이지만, 부채널은 주파수 비선택적이고 독립적이라고 가정할 수 있다. 이것은 [4]에서와 같이 적절하게 L 을 선택함으로써 얻어질 수 있다. 기지국에서 u 번째 이동국까지 부채널의 복소 저역(complex lowpass) 임펄스 응답은 다음과 같다.

$$h_{u,l}(t) = a_{u,l} e^{j\phi_{u,l} t} \delta(t), \quad \text{for } l=1, 2, \dots, L \quad (1)$$

이때 $a_{u,l}$ 은 페이딩 진폭이고 $\phi_{u,l}$ 은 부채널의 랜덤 위상이다. 진폭 $a_{u,l}$, $l=1, 2, \dots, L$,은 레일레이 페이딩 랜덤 변수이고 $\phi_{u,l}$, $l=1, 2, \dots, L$,은 $[0, 2\pi)$ 에서 균일한 랜덤 변수이다.

III. MC-CDMA 시스템의 성능 분석

본 논문에서는 가장 좋은 채널이 완벽하게 계산된다는 가정하에서 제안된 시스템의 성능을 살펴본다. 사용자 수열로써 직교 수열을 사용할 경우의 성능을 고려한다. $p \neq u$ 일 때 $C_{u,p}(0) = 0$ 이므로, I_i 는 0이 된다. 그러므로 $\beta = a_{u,i}^2$ 하에서 비트 에러율(BER)은 다음과 같다.

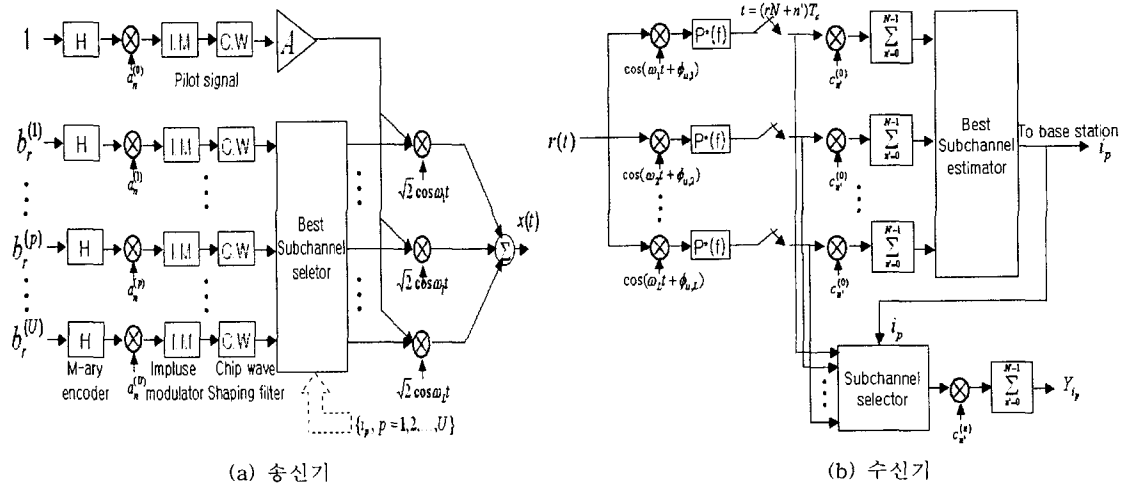


그림 1. 시스템 모델 (a)송신기 (b)수신기

$$P_B(\beta) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b\beta}{N_o}}\right) \quad (2)$$

여기에서,

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-(y^2/2)} dy$$

이고, $E_b = NE_c$ 는 비트당 에너지이다. β 의 특성을 얻기 위하여 $\{\alpha_{1,l}^2, \alpha_{2,l}^2, \dots, \alpha_{L,l}^2\}$ 을 $\{v_1, v_2, \dots, v_{L-1}\}$ 라고 하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$v_L \leq v_{L-1} \leq \dots \leq v_1$$

v_q ($q=1, 2, \dots, L$)의 확률 밀도 함수는 다음과 같다[5].

$$f_q(v) = \frac{L!}{(L-q)!(q-1)!} F_{\alpha^2}(v)^{L-q} \times (1 - F_{\alpha^2}(v))^{q-1} f_{\alpha^2}(v) \quad (3)$$

이때, f_{α^2} 는 $\alpha_{u,l}^2$ 의 확률 밀도 함수(pdf)이고 $F_{\alpha^2}(v)$ 는 누적 분포 함수(cdf)를 나타낸다. 본 논문에서 $\alpha_{u,l}$ 은 레일레이 pdf를 갖는다고 가정하였으므로, 식 (3)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_q(v) = \frac{L!}{(L-q)!(q-1)!} (1 - e^{-(v/2\sigma^2)})^{L-q} \times (e^{-(v/2\sigma^2)})^{q-1} \frac{1}{2\sigma^2} e^{-(v/2\sigma^2)} \quad (4)$$

여기에서, $\sigma^2 = \frac{1}{2} E\{\alpha_{u,l}^2\}$ 이다.

$\beta = v_1$ 이라면, 평균 비트 에러율은 다음과 같다.

$$P_B = \int_0^{\infty} Q\left(\sqrt{\frac{2E_b\beta}{N_o}}\right) f_1(\beta) d\beta = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sum_{s=1}^L \binom{L}{s} (-1)^s \sqrt{\frac{SNR}{s+SNR}} \quad (5)$$

여기에서, $SNR = E\{\alpha_{u,l}^2 E_b / N_o\}$ 이다. 특히, 식 (5)에서 BER이 사용자 수 u 에 독립적이라는 것을 알 수 있다.

사용자 수열로써 M진 직교 신호화를 할 경우에는 동일한 에너지를 갖는 직교 신호에 대하여 심볼 에러의 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_E(k) \leq (2^k - 1) Q\left(\sqrt{\frac{2kE_b\beta}{N_o}}\right) \quad (6)$$

$P_B(k)$ 와 $P_E(k)$ 는 다음과 같은 관계를 갖는다[6].

$$\frac{P_B(k)}{P_E(k)} = \frac{2^{k-1}}{2^k - 1} \quad (7)$$

그러므로, 비트 에러율(BER)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_B(\beta) = (2^{k-1}) Q\left(\sqrt{\frac{2kE_b\beta}{N_o}}\right) \quad (8)$$

$\beta = v_1$ 이라면, 평균 비트 에러율은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_B = \int_0^{\infty} (2^{k-1}) Q\left(\sqrt{\frac{2kE_b\beta}{N_o}}\right) f_1(\beta) d\beta = (2^{k-1}) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sum_{s=1}^L \binom{L}{s} (-1)^s \sqrt{\frac{k \times SNR}{s + k \times SNR}} \right] \quad (9)$$

식 (5)에서와 마찬가지로 BER이 사용자 수 u 에 독립적이라는 것을 알 수 있다.

IV. 수치 해석

그림 2는 직교 수열이 사용된 경우 MC-CDMA 시스템의 성능을 부반송파의 수가 $L = 2, 4$ 와 8에 대하여 나타낸다. $NL = 512$ 이므로, 각 신호의 처리 이득은 $N = 256, 128$ 과 64이다. 직교 수열이 사용되었을 때, 다른 사용자의 신호와 파일럿 신호로 인한 간섭이 없다고 가정하면 시스템 성능은 사용자 수와 파일럿 신호에 할당된 에너지와 무관하게 된다. BER이 10^{-3} 을 만족하는 SNR의 값은 $L=2, 4$ 와 8에서 각각 12.58 dB, 7.33 dB와 4.56 dB로 나타난다. 그러므로 부반송파의 수가 증가함에 따라 요구되는 SNR의 값이 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 3은 M진 직교 신호화를 사용할 경우의 성능 개선을 나타낸다. 이때, $L=4$ 일 경우의 시스템의 처리 이득은 128이다. BER이 10^{-3} 을 만족하는 SNR의 값은 $k=1, 2$ 와 3에서 각각 7.33 dB, 5.33 dB와 4.49 dB로 나타난다. 이 그림으로 알 수 있듯이 k 값이 증가함에 따라 요구되는 SNR 값이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이

때, k 값이 1에서 2로 증가할 때 성능 향상의 개선폭이 가장 두드러진 것을 알 수 있다.

그림 4는 다중 반송파의 수가 증가함에 따른 k 값의 변화를 나타낸다. BER이 10^{-3} 을 만족하는 SNR의 값은 L=2일 때, k 값이 1과 2에서 각각 12.58 dB와 11.16 dB로 1.42 dB의 성능 개선을 볼 수 있으며 또한, L=8일 때, k 값이 1과 2에서 각각 4.56 dB와 2.33 dB로써 2.23 dB의 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 그러므로 반송파의 수가 증가할수록 시스템 성능은 향상된다.

V. 결 론

본 논문에서는 순방향 링크하에서 적응형 부채널 할당 방법을 사용하는 MC-CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 이때, 레일레이 페이딩 채널하에서 사용자의 심볼은 M진 직교 신호화를 사용함으로써 인한 성능 개선 또한 분석하였다. 분석 결과, 부반송파의 수가 증가함에 따라 요구되는 SNR 값이 감소하는 것을 알 수 있었으며 M진 직교 부호화를 사용함으로써 성능이 향상되는 것을 확인하였다. 특히, k의 값이 1에서 2의 값으로 증가할 때, 가장 큰 성능의 향상을 보임을 알 수 있었고, 부반송파의 수가 증가함에 따라 k값으로 인한 성능 향상이 두드러지게 나타났다. 그러므로 시스템 응용면에 있어서 적절한 부반송파의 수와 k 값의 선택이 중요한 변수가 됨을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] R. L. Pickholtz, D. L. Schilling, and L. B. Milstein, "Theory of spread spectrum communications - A tutorial," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, no. 5, pp. 855-884, May 1982.

[2] K. S. Kim, I. Song, S. I. Park, and B. H. Chung, "Analysis and performance comparison of the trellis coded and convolutional coded DS/SSMA systems in impulsive noise environment," *Proc. Inst. Elect. Eng., Commun.*, vol. 145, no. 4, pp. 283-287, Aug. 1998.

[3] Q. Chen, E. A. Sousa, and S. Pasupathy, "Multicarrier CDMA with adaptive frequency hopping for mobile radio systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 14, no. 9, pp. 1852-1858, Dec. 1996.

[4] K. Kondo and L. B. Milstein, "Performance of multicarrier DS CDMA systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 2, pp. 238-246, Feb. 1996.

[5] A. Papoulis, *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, McGraw-Hill, 3rd ed., 1991.

[6] J. G. Proakis, *Digital Communication*, McGraw-Hill, 3rd ed., 1995.

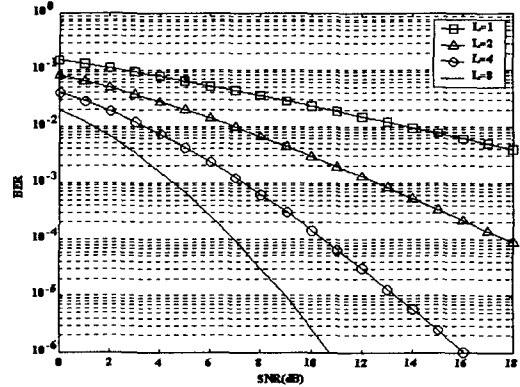


그림 2. 부반송파의 수에 따른 평균 SNR 대 BER

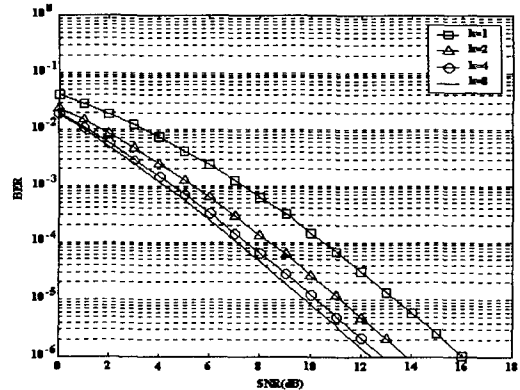


그림 3. k값에 따른 평균 SNR 대 BER(L=4)

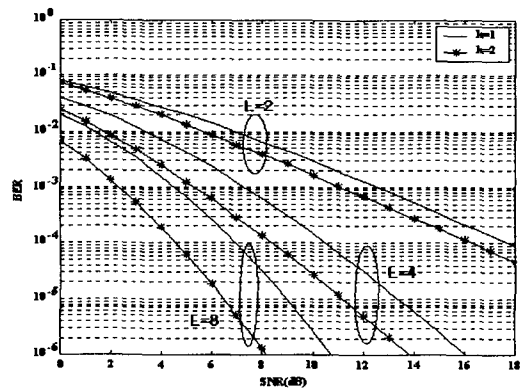


그림 4. 부반송파 수와 k값에 따른 평균 SNR 대 BER