

이중전송률 다중반송파 CDMA 시스템

(A Study on Dual-rate MC-CDMA Systems)

김 남 선*
(Nam-Sun Kim)

요약 다중 반송파 기술과 CDMA 기술이 결합된 MC-CDMA 시스템은 주파수 선택적 페이딩에 의한 신호감쇄를 완화시키면서 높은 전송률에 대한 요구를 만족시킬 수 있는 전송방식이다. 본 논문에서는 전송률이 서로 다른 다양한 서비스들을 지원하기 위한 새로운 비동기 MC-CDMA 시스템을 제안한다. 제안된 시스템에서는 전송속도에 따라 병렬 부 채널의 수(P)를 조절 함으로서 다중전송률 시스템을 구성하며, 이런 시스템 성능을 수식적으로 분석한다. 시스템 성능은 평균 비트 오류율로 나타내었다. 여기서 평균 비트 오류율은 무선 채널을 통과한 수신신호의 간섭전력을 수치적으로 구한 후, 가우시안 근사방법을 이용하여 얻는다. 제안된 시스템과 단일 데이터율을 갖는 MC-CDMA 시스템의 성능과 비교한다.

핵심주제어 : 다중전송률 시스템, 다중반송파, CDMA

Abstract Multicarrier code division multiple access(MC-CDMA) is a scheme that combines multicarrier modulation with CDMA. It offers robustness to frequency selective fading and can support higher rate data transmission with higher spectral efficiency. The objective of this article to proposed a new asynchronous MC-CDMA system to implement multiple data rate communications. It can be accomplished by changing the number of parallel branch(P). For the analysis of average BER performance, numerical method and computer simulation were used. After MAI power of received signal calculated, the average BER can be acquired using Gaussian approximation to MAI. We also compare the system performance with that of a single rate MC-CDMA system.

Key Words : Muti-rate system, Multi-carrier, CDMA

1. 서 론

MC-CDMA 시스템은 ISI에 강한 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)의 장점과 가입자 수용용량이 큰 CDMA의 장점을 동시에 취하는 다중 시스템으로 미래의 고속 무선 멀티미디어 통신을 위한 적합한 기법이다. 다중 반송파(MC:multicarrier)기술은 무선채널 환경에서 고속으로 데이터를 전송할 경우 다중경로 페이딩에 의해 심각한 심벌간 간섭(ISI) 및 칩간 간섭(ICI) 등에 의해 그 성능이 매우 열화 되는 단점이

있는 WCDMA 시스템의 단점을 보완하면서 높은 데이터 전송률 요구를 만족 시키기 위한 해결책으로 제시되었다[1][2]. 여기서 MC-CDMA 방식은 동일한 데이터 심볼을 다수의 협대역 직교 반송파로 전송하므로 모든 반송파들이 심각한 페이딩을 받는 일이 없으며 주파수 다이버시티에 의한 이득도 얻을 수 있다. 또한 각 부반송파는 지연확산(delay spread)보다 훨씬 큰 심볼기간을 가지므로 ISI 및 ICI에 의한 심각한 열화를 겪지 않고, 이들은 직교성을 만족하면서 주파수 영역에서 서로 중첩(overlap)되므로 높은 스펙트럼 효율을 갖는다[1][2].

MC-CDMA 시스템은 현재의 디바이스로는 구현이 용이하지 않은 광대역 시스템을 여러 개의

* 대전대학교 통신공학과

협대역 시스템으로 나누고 이를 다수 반송파에 실어 단일 반송파와 같은 효과를 내는 기법이다.

참고문헌 [3]-[5]의 MC-CDMA 기법은 본질적으로 부 반송파의 수(N)와 처리이득(PG: Processing Gain)은 같다고 가정한다. 그러나 원래의 심볼율이 주파수 선택적 페이딩을 겪을 만큼 높다면 확산 전에 직/병렬(S/P)변환을 해준다. 즉, 높은 심볼율을 갖는 직렬 데이터 열은 P 개의 병렬 데이터열로 변환되어 각각 부 반송파에 실어 데이터를 전송하게 된다. 이렇게 직/병렬 변환에 의하여 다수 개의 병렬 부채널로 나누어 전송하므로 각 심볼의 주기가 증가하게 되어 상호 부호간 간섭에 강한 특성을 가지게 된다. 또한 각 부채널은 직교성을 유지하면서 주파수 영역에서 겹쳐질 수 있으므로 스펙트럼 효율이 증가하게 된다.

본 논문에서는 PN 확산 시퀀스를 사용한 다중 전송률 비동기 MC-CDMA 시스템을 위한 모델을 제시하고 이에 따른 시스템 성능분석을 행한다. 제안된 시스템과 단일 데이터율을 갖는 MC-CDMA 시스템의 성능과 비교 분석한다. 시스템 성능은 평균 비트 오류율(average bit error rate)로 나타내었다. 평균 비트 오류율은 무선 채널을 통과한 수신신호의 간섭전력을 수치적으로 구한 후, 가우시안(Gaussian) 근사방법을 이용하여 얻는다.

2. 다중 전송률 MC-CDMA 시스템

본 연구에서는, 이동통신 시스템의 기반 위에서 다중 전송률 시스템을 구현하기 위한 다중 전송률 MC-CDMA 시스템을 다루고자 한다. MC-CDMA 시스템은 확산 코드에 따라 부호화된 하나의 정보 신호를 여러 개의 부 반송파로 전송하는 변조방법이다[1]-[3]. 즉, 여러 개의 협대역 신호들을 주파수축으로 확산시켜 주파수 다이버시티를 얻을 수 있는 변조 기법이다. 그림 1은 MC-CDMA 시스템의 송수신기와 수신기 구조를 보이고 있다.

그림 1에서, 하나의 데이터 심볼은 N 개의 병렬 가지로 복사되며 각각의 가지는 길이가 N 인 의사 랜덤 부호(PN code)의 칩(chip)에 의해 곱해진다. 그 후 인접한 부 반송파로부터 F/T_s 만큼 떨어진 서로 다른 부반송파로 BPSK 변조되는데 여기서 F 는 정수이다. $F=1$ 일 때 OFDM과 같이 직교성을

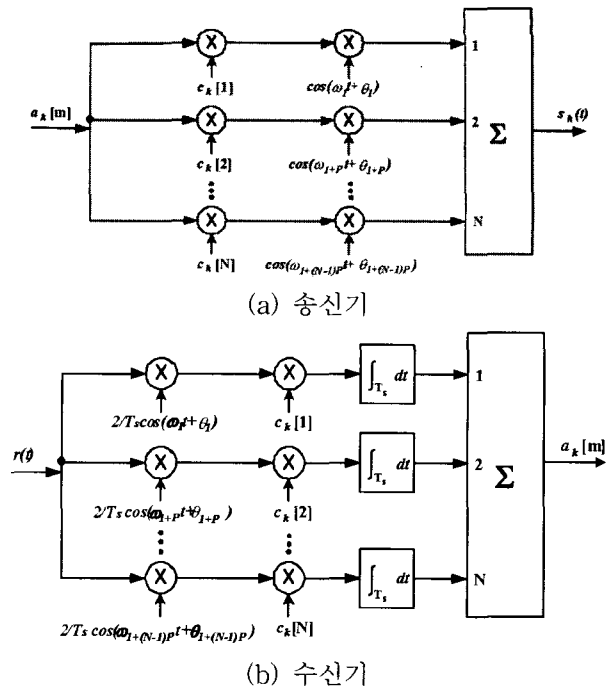
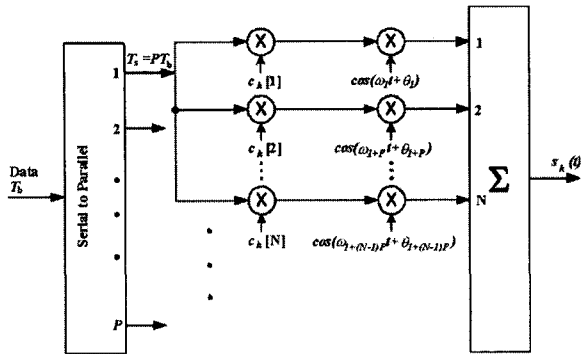


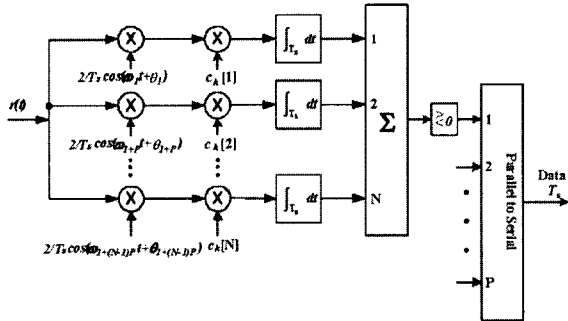
그림 1. MC-CDMA 시스템

갖는 최소 주파수 간격을 유지할 수 있다. 이와 같은 부반송파 간격을 유지하면 주파수 영역에서 각 부반송파는 인접한 부반송파들이 최대값(peak)을 갖는 위치에서 영 교차(zero crossing)하게 되므로 상호간 간섭이 없다. 즉, 각 부반송파들은 직교성을 만족하면서 서로 중첩하게 되므로 스펙트럼 효율을 높일 수 있다. 그림 1에서, 부반송파의 수와 처리이득(PG)는 같다고 가정한다[3]-[6]. 그러나 원래의 심볼율이 주파수 선택적 페이딩을 겪을 만큼 높다면 확산 전에 직/병렬(S/P)변환을 해준다. 즉, 높은 심볼율을 갖는 직렬 데이터 열은 F 개의 병렬 데이터열로 변환되어 각각 부 반송파에 실어 데이터를 전송하게 된다.

그림 2는 이러한 MC-CDMA 시스템의 송수신기와 수신기 구조를 보이고 있다. P/T_s 의 전송률을 갖는 데이터열은 직/병렬 변환에 의해 심볼 주기가 T_s 인 P 개의 부채널로 나누어 진다. 각 부채널에 전송된 데이터는 N 개의 병렬 부채널에 같은 데이터를 실음으로 해서 주파수 다이버시티를 사용할 수 있다. 각각의 병렬 부채널에 있는 $P \cdot N$ 개의 데이터는 같은 확산 시퀀스를 사용하여 확산 시킨다. 여기서 그림 1의 MC-CDMA 시스템은 그림 2의 시스템에서 $P=1$ 인 경우로 생각할 수 있다.



(a) 송신기



(b) 수신기

그림 2. 변형된 MC-CDMA 시스템

전송률이 서로 다른 다양한 서비스들을 하나로 통합한 다중 전송률(multirate) MC-CDMA 시스템 구현을 위해, 본 연구에서는 그림 2에서의 병렬 부채널의 수(P)를 변화시키는 방법으로 시스템을 구성한다. 예를 들어, 사용자들이 3개의 서로 다른 전송률(저, 중, 고)을 가지며 이들의 전송률은 정수 배의 관계에 있다고 가정하자. 저, 중 고 데이터율 사용자의 전송률을 각각 R_b , $2R_b$ 그리고 $3R_b$ 이라면 이러한 전송률을 갖는 사용자 그룹을 위해서 각각 $P=1$, $P=2$ 그리고 $P=3$ 인 MC-CDMA 시스템이 사용될 것이다. 본 연구에서는 2개의 전송률을 갖는 이중 전송률 MC-CDMA 시스템을 고려하기로 하며, R_b 와 $2R_b$ 의 전송률을 갖는 사용자들을 위해 각각 $P=1$ 과 $P=2$ 의 MC-CDMA 시스템을 사용할 것이다.

3. 이중전송률 MC-CDMA 시스템

MC-CDMA 시스템에서, 사용자 k 의 m 번째 신호를 전송하기 위한 출력신호는 식 (1)과 같다.

$$s_k(t) = \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N \sqrt{S_k} a_{k,p}[m] c_k[n] U_{T_s}(t - mT_s) \cos(\omega_i t + \theta_{k,i}) \quad (1)$$

여기서 $a_{k,p}[m]$ 은 사용자 k 의 P 개의 데이터 열중에서 m 번째 신호를 표시한다. 또한 $c_k[n]$ (단, $n = 1, 2, \dots, N$)는 사용자 k 의 확산부호를 나타내고 $U_{T_s}(t)$ 는 구간 $[0, T_s]$ 에서 단위 크기를 갖는 구형파이다. BPSK 변조방식을 사용한 이중 전송률 MC-CDMA 시스템에서, 저 데이터율(R_b) 사용자 그룹(G_1)의 사용자 수는 K_1 이고 고 데이터율($2R_b$) 사용자 그룹(G_2)의 사용자 수는 K_2 라 하면, 총 $K (= K_1 + K_2)$ 명이 존재하는 시스템의 전송신호는 식 (2)로 표시된다.

$$s(t) = \sum_{k_1=1}^{K_1} \sum_{n=1}^N \sqrt{S_{k_1}} a_{k_1,1}[m] c_{k_1}[n] U_{T_s}(t - mT_s) \cos(\omega_i t + \theta_{k_1,i}) + \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N \sqrt{S_{k_2}} a_{k_2,p}[m] c_{k_2}[n] U_{T_s}(t - mT_s) \cos(\omega_j t + \theta_{k_2,j}) \quad (2)$$

R_b 전송률을 갖는 저 전송률 그룹에서 $P=1$ 이므로 $T_s = T_b$ 가 되며 $f_i = f_c + (i-1)/T_s$ 이다. 그러나 $2R_b$ 의 전송률을 갖는 고 전송률 그룹에서는 $T_s = 2T_b$ 이고 $f_j = f_c + (j-1)/T_s$ 이며 첨자 j 는 식 (3)과 같다.

$$j = p + (n-1)P \quad (3)$$

이렇게 전송되어지는 신호는 단일 경로에 대하여 각 부반송파 주파수와 사용자에 따라 각각 다른 값을 가지므로, 채널의 임펄스 응답은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_k(t) = \beta_{k,i} e^{j\phi_{k,i}} \quad (4)$$

여기서 $\beta_{k,i}$ 과 $\phi_{k,i}$ 는 각각 사용자 k 의 i 번째 부반송파에 대한 감쇄성분과 위상변이 성분이다. $\beta_{k,i}$ 는 Rayleigh 페이딩분포를 가지며 $\phi_{k,i}$ 는 구간

$[0, 2\pi)$ 에서 균일분포(uniform distribution)를 갖는 것으로 가정한다. 이중 전송률 MC-CDMA 시스템의 수신기에 수신되어진 수신신호 $r(t)$ 는 식 (5)와 같다.

$$r(t) = \sum_{k_1=1}^{K_1} \sum_{n=1}^N \sqrt{S_{k_1}} \beta_{k_1,i} a_{k_1,i}[m] c_{k_1}[n] U_{T_s}(t-mT-\tau_{k_1}) \cos(\omega_i t + \phi_{k_1,i}) \\ + \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{p=2}^P \sum_{n=1}^N \sqrt{S_{k_2}} \beta_{k_2,j} a_{k_2,j}[m] c_{k_2}[n] U_{T_s}(t-mT-\tau_{k_2}) \cos(\omega_j t + \phi_{k_2,j}) \\ + n(t) \quad (5)$$

여기서 $\phi_{k,i} (= \theta_{k,i} + \varphi_{k,i} - \omega_i \tau_k)$ 는 위상왜곡성분이고 τ_k 는 사용자 k 의 수신신호의 지연시간으로 $[0, T_s]$ 에서 균일한 분포를 갖는다. 또한 $n(t)$ 는 단축 전력밀도 스펙트럼이 N_0 인 가산성 백색 가우시안(AWGN) 잡음이다.

3.1 저 전송률 사용자 그룹에서 사용자 신호의 검출

수신신호는 EGC(Equal Gain Combining) 결합 기법을 사용하는 그림 1(b)의 수신기를 통과한다. K_1 명이 존재하는 저 전송률 그룹(G_1)에서 첫 번째 사용자를 기준 사용자 할 경우, 기준 사용자의 m 번째 데이터를 위한 결정변수는 식 (6)과 같다.

$$Z_{G_1,1}^{(m)} = \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} r(t) \sum_{n=1}^N c_1[n] \frac{2}{T_s} \cos(\omega_i t + \phi_{1,i}) dt \\ = D_{G_1,1}^{(m)} + \bar{I}_{G_1,1} + \hat{I}_{G_1,1} + \tilde{I}_{G_1,1} + \eta_{G_1,1} \quad (6)$$

상관기 출력은 크게 사용자 신호, MAI 및 잡음 성분의 합으로 구성된다. 여기서 $\eta_{G_1,i}$ 은 평균(mean)이 0이고 분산(variance)이 $N_0 N / T_s$ 인 AWGN 잡음이다. 또한 $\overline{I_{G_1,1}}$, $\widehat{I_{G_1,1}}$ 과 $\widetilde{I_{G_1,1}}$ 들은 MAI 성분들로서 각각 동일 그룹(G_1)내 같은 주파수를 사용하는 다른 사용자들로부터 발생하는 간섭성분, 타 그룹(G_2)에 같은 주파수를 사용하는 사용자들로부터 발생하는 간섭성분 및 타 그룹(G_2)내 다른 주파수를 사용하는 사용자들로부터 발생하는 간섭성분들을 의미하며 다음 식들로 표현된다.

$$\bar{I}_{G_1,1} = \sqrt{S_{k_1}} \sum_{k_1=2}^{K_1} \sum_{n=1}^N \beta_{k_1,i} a_{k_1,i}[m - \tau_{k_1}] I_{1,k_1} \quad (7)$$

$$\hat{I}_{G_1,1} = \sqrt{S_{k_2}} \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{n=1}^N \beta_{k_2,j} a_{k_2,j}[m - \tau_{k_2}] I_{1,k_2} \quad (8)$$

$$\tilde{I}_{G_1,1} = \sqrt{S_{k_2}} \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{p=2}^P \sum_{n=1}^N \beta_{k_2,j} a_{k_2,p}[m - \tau_{k_2}] J_{1,k_2} \quad (9)$$

여기서

$$I_{1,k_1} = \frac{1}{T_s} \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} c_{k_1}[n - \tau_{k_1}] c_1[n] \cos(\phi_{1,i} - \phi_{k_1,i}) dt \quad (10)$$

$$I_{1,k_2} = \frac{1}{T_s} \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} c_{k_2}[n - \tau_{k_2}] c_1[n] \cos(\phi_{1,i} - \phi_{k_2,j}) dt \quad (11)$$

그리고

$$J_{1,k_2} = \frac{1}{T_s} \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} c_{k_2}[n - \tau_{k_2}] c_1[n] \cos((\omega_i - \omega_j)t + \phi_{1,i} - \phi_{k_2,j}) dt \quad (12)$$

이다. 타 사용자에 의한 간섭성분들, $\overline{I_{G_1,1}}$, $\widehat{I_{G_1,1}}$ 과 $\widetilde{I_{G_1,1}}$ 들은 각각 평균이 0인 가우시안 랜덤변수로 근사화시킬 수 있으며, 이 성분들은 서로 상관되지 않는 가우시안 랜덤변수 이므로 이들의 합 역시 가우시안 랜덤변수가 된다[6]-[7]. 저 전송률 그룹에서 첫 번째 사용자의 신호를 검출하기 위한 결정변수의 평균과 분산은 각각 다음으로 주어진다[2].

$$E[Z_{G_1,1}^{(m)}] = \sqrt{S_1} a_{1,1}[m] \sum_{n=1}^N \beta_{1,i} \quad (13)$$

$$\text{Var}[Z_{G_1,1}^{(m)}] = \frac{N_0 \cdot N}{T_s} + \frac{2(K_1 - 1)S_{k_1} \bar{P}_{k_1}}{3} \\ + \frac{2K_2 S_{k_2} \bar{P}_{k_2}}{3} + \frac{K_2 S_{k_2} \bar{P}_{k_2}}{2\pi^2} \sum_{p=2}^P \sum_{n=1}^N \frac{1}{(i-j)^2} \quad (14)$$

여기서 $\bar{P}_{k,i} = \frac{1}{2} E[(\beta_{k,i})^2]$ 는 사용자 k 의 i 번째 부반송파의 국부평균전력(local mean power)이며, 반송파의 국부평균전력이 동일하다고 가정하면 사용자 k 의 총 국부평균전력은 $\bar{P}_k = N \bar{P}_{k,i}$ 가 된다

다. 이와 같은 결과로서, $\beta_{Tot} = \sum_{n=1}^N \beta_{1,i}$ 가 주어진 경우 조건부 비트 오류율(BER)은 식 (15)와 같다

$$P[e|\{\beta_{Tot}\}] = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{\frac{1}{2} \left(\sum_{n=1}^N \beta_{1,i} \right)^2}{\sigma_{Z_{G_2,1}}^2}} \right) \quad (15)$$

여기서 $\sum_{n=1}^N \beta_{1,i}$ 는 i.i.d Rayleigh 분포를 갖는 랜덤변수의 합이며, 평균과 분산은 각각 $\mu_{\beta_{tot}} = \sqrt{\frac{\pi}{2} N \bar{P}_1}$, $\sigma_{\beta_{tot}}^2 = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \bar{P}_1$ 이다. 전체 오류율은 식 (15)를 이 랜덤변수에 대해 평균을 구함으로써 얻을 수 있다. N 이 크다고 가정하고 Central Limit Theorem의 근사화방법을 이용하여 다음과 같이 평균 비트오류율을 계산한다.

$$P_b(e) = \int_{-\infty}^{\infty} P[e|\{\beta_{Tot}\}] f(\beta_{Tot}) d\beta_{Tot} \quad (16)$$

신호전력(S)을 1로 가정하고, 검출에 의한 평균 비트오류 확률은 식 (17)과 같다.

$$P_b(e) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{\pi N \bar{P}_1}{4 \left(\frac{\pi}{2} \bar{P}_1 + \frac{N_0 \cdot N}{T_s} + \frac{2(K_1-1)\bar{P}_k}{3} + \frac{2K_2\bar{P}_k}{3} + \frac{K_2\bar{P}_k}{2\pi^2} \sum_{p=2}^P \sum_{n=1}^N \frac{1}{(i-j)^2} \right)}} \right) \quad (17)$$

3.2 고 전송률 사용자 그룹에서 사용자 신호의 검출

다중 전송률을 갖는 MC-CDMA 시스템에서, 높은 심볼률을 갖는 직렬 데이터 열은 직/병렬 변환에 의해 P 개의 병렬 데이터열로 변환되어 각각 부반송파에 실어 데이터를 전송하게 된다. 본 연구에서는 이중 전송률을 갖는 시스템을 고려하며 고 데이터율 사용자 그룹의 병렬 가지수, $P=2$ 로

가정한다. 이 장에서는 K_2 명이 존재하는 고 전송률 그룹(G_2)에서 첫 번째 사용자를 기준 사용자로 가정하며, 식 (5)로 표현되는 수신신호가 그림 2(b)의 수신기를 통과한다고 한다.

3.2.1 기준사용자의 첫번째 데이터 검출($p=1$)

첫 번째 사용자를 기준사용자라고 할 경우, 첫 번째 사용자의 첫 번째 데이터를 검출하기 위한 결정변수는 식 (18)과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{G_2,1}^{(1)} &= \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} r(t) \sum_{n=1}^N c_1[n] \frac{2}{T_s} \cos(\omega_j t + \phi_{1,j}) dt \\ &= D_{G_2,1}^{(1)} + \bar{I}_{G_2,1}^{(1)} + \hat{I}_{G_2,1}^{(1)} + \tilde{I}_{G_2,1}^{(1)} + \eta_{G_2,1}^{(1)} \end{aligned} \quad (18)$$

상관기 출력은 크게 사용자 신호, MAI 및 잡음 성분의 합으로 구성된다. 여기서 $\eta_{G_2,1}^{(1)}$ 은 평균이 0이고 분산이 $N_0 N / T_s$ 인 AWGN 잡음이다. 또한 $\bar{I}_{G_2,1}^{(1)}$, $\hat{I}_{G_2,1}^{(1)}$ 과 $\tilde{I}_{G_2,1}^{(1)}$ 들은 MAI 성분들로서 각각 다른 그룹(G_1)내 같은 주파수를 사용하는 사용자들로부터 발생하는 간섭성분, 동일 그룹(G_2)내 같은 주파수를 사용하는 다른 사용자들로부터 발생하는 간섭성분 및 동일그룹(G_2)내 다른 주파수를 사용하는 사용자들로부터 발생하는 간섭성분들을 의미하며 다음 식들로 표현된다.

$$\bar{I}_{G_2,1}^{(1)} = \sqrt{S_{k_1}} \sum_{k_1=1}^{K_1} \sum_{n=1}^N \beta_{k_1,i} a_{k_1,1}[m - \tau_{k_1}] I_{1,k_1} \quad (19)$$

$$\hat{I}_{G_2,1}^{(1)} = \sqrt{S_{k_2}} \sum_{k_2=2}^{K_2} \sum_{n=1}^N \beta_{k_2,j} a_{k_2,1}[m - \tau_{k_2}] I_{1,k_2} \quad (20)$$

$$\tilde{I}_{G_2,1}^{(1)} = \sqrt{S_{k_2}} \sum_{k_2=1}^{K_2} \sum_{p=2}^P \sum_{n=1}^N \beta_{k_2,j} a_{k_2,p}[m - \tau_{k_2}] J_{1,k_2} \quad (21)$$

이다. 3.1절의 해석방법에 따라, 고 전송률 그룹(G_2)에서 검출하고자 하는 신호가 첫 번째 사용자의 첫 번째 데이터라 할 경우에, 결정변수의 평균과 분산은 각각 식 (22)과 (23)로 주어지며, 검출에

의한 평균 비트오류 확률은 식 (24)과 같다.

$$E[Z_{G_2,1}^{(1)}] = \sqrt{S_1} a_{1,1} [1] \sum_{n=1}^N \beta_{1,j} \quad (22)$$

$$\text{Var}[Z_{G_2,1}^{(1)}] = \frac{N_0 \cdot N}{T_s} + \frac{K_1 S_k \bar{P}_k}{3} + \frac{(K_2 - 1) S_k \bar{P}_k}{3} + \frac{K_2 S_k \bar{P}_k}{2\pi^2} \sum_{p=2}^P \sum_{n=1}^N \frac{1}{(j-f)^2} \quad (23)$$

$$P[e] = \frac{1}{2} \text{erfc} \left[\sqrt{\frac{\frac{\pi N \bar{P}_1}{4 \left(2 - \frac{\pi}{2} \right) \bar{P}_1 + \frac{N_0 \cdot N}{T_s} + \frac{2K_1 \bar{P}_k}{3} + \frac{2(K_2 - 1) \bar{P}_k}{3} + \frac{K_2 \bar{P}_k}{2\pi^2} \sum_{p=2}^P \sum_{n=1}^N \frac{1}{(j-f)^2}}}{N \bar{P}_1}} \right] \quad (24)$$

여기서 j 는 식 (3)으로 표시되는 j 와 같지 않은 상수이다.

3.2.2 기준사용자의 두번째 데이터 검출 ($p = 2$ case)

첫번째 사용자를 기준사용자라고 할 경우라도 첫번째 사용자의 첫번째 데이터 이외의 데이터를 검출하는 경우도 발생하므로, 이 절에서는 $p = 2$ 경우를 위한 신호의 검출을 고려한다. 첫번째 사용자의 두번째 데이터를 검출하기 위한 결정변수는 식 (25)과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{G_2,1}^{(p)} &= \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} r(t) \sum_{n=1}^N c_2[n] \frac{2}{T_s} \cos(\omega_j t + \phi_{2,j}) dt \\ &= D_{G_2,1}^{(p)} + \bar{I}_{G_2,1}^{(p)} + \hat{I}_{G_2,1}^{(p)} + \tilde{I}_{G_2,1}^{(p)} + \eta_{G_2,1}^{(p)} \quad (25) \end{aligned}$$

여기서 본 연구의 해석을 위해서 $p = 2$ 로 놓고 해석해도 무방하다. 마찬가지로 상관기 출력은 크게 사용자 신호, MAI 및 잡음성분의 합으로 구성된다. 여기서 $\bar{I}_{G_2,1}^{(p)}$, $\hat{I}_{G_2,1}^{(p)}$ 과 $\tilde{I}_{G_2,1}^{(p)}$ 들은 MAI 성분들로서 각각 타 그룹(G_1)내 다른 주파수를 사용하는 사용자들로부터 발생하는 간섭성분, 동일 그룹(G_2)내 같은 주파수를 사용하는 다른 사용자들로부터 발생하는 간섭성분 및 동일그룹(G_2)내 다른 주파수를 사용하는 사용자들로부터 발생하는 간섭성분들을 의미한다.

3.2.1절의 해석방법에 따라, 고 전송률 그룹(G_2)에서 검출하기 위한 신호가 첫 번째 사용자의 P 번째 데이터라 할 경우에, 결정변수의 평균과 분산은 각각 식 (26)과 (27)으로 주어지며, 검출에 의한 평균 비트오류 확률은 식 (28)과 같다.

$$E[Z_{G_2,1}^{(p)}] = \sqrt{S_2} a_{1,p} [p] \sum_{n=1}^N \beta_{2,j} \quad (26)$$

$$\text{Var}[Z_{G_2,1}^{(p)}] = \frac{N_0 \cdot N}{T_s} + \frac{K_1 S_k \bar{P}_k}{2\pi^2} \sum_{n=1}^N \frac{1}{(i-j)^2} + \frac{(K_2 - 1) S_k \bar{P}_k}{3} + \frac{K_2 S_k \bar{P}_k}{2\pi^2} \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N \frac{1}{(j-f)^2} \quad (27)$$

$$P[e] = \frac{1}{2} \text{erfc} \left[\sqrt{\frac{\frac{\pi N \bar{P}_2}{4 \left(2 - \frac{\pi}{2} \right) \bar{P}_2 + \frac{N_0 \cdot N}{T_s} + \frac{K_1 \bar{P}_k}{2\pi^2} \sum_{n=1}^N \frac{1}{(i-j)^2} + \frac{2(K_2 - 1) \bar{P}_k}{3} + \frac{K_2 \bar{P}_k}{2\pi^2} \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N \frac{1}{(j-f)^2}}}{N \bar{P}_2}} \right] \quad (28)$$

전송되는 비트는 동일 확률을 갖는 P 개의 병렬 가지를 통해 전송된다고 가정하면 고 전송률을 갖는 시스템의 평균 비트 오류율은 식 (24)와 (28)에 의해 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$P_{ave}(e) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P P_p(e) \quad (29)$$

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에는 비동기 이중 전송률 DS-CDMA 시스템을 고려한다. 성능분석을 위해 제안된 시스템은 BPSK 변조방식을 사용하며 시스템에는 2개의 서로 다른 전송률을 갖는 사용자들이 존재한다고 가정한다. 여기서 저 데이터율 사용자의 전송률이 R_b 라면 고 데이터율 사용자의 전송률은 $2R_b$ 로 가정이다. 또한 최장길이(maximum length) 63을 갖는 PN(Pseudo random noise) 부호가 각 사용자에게 확산부호로 할당된다. 이론적으로 평가한 BER 성능을 사용자 수(K)와 비트 에너지대 잡음전력비(E_b/N_0)를 파라미터로 하여 AWGN과 레이리(Rayleigh) 페이딩 통신로에서 EGC 다이버시티 수

신기법 사용하는 것으로 하여 평가한다. 여기서 수신기는 확산부호를 알고 있으며 각 사용자에게에 대한 완전한 전력제어(power control)가 이루어진 것으로 가정한다.

그림 3은 저 데이터율 사용자의 관점에서 제안된 이중 전송률 MC-CDMA 시스템과 참고문헌 [6]의 시스템의 성능분석을 비교하였다. 여기서 총 사용자는 K 는 10명으로 가정하였으나, 제안된 시스템은 고 데이터율 사용자의 수(K_2)를 증가시키면서 성능을 비교하였다.

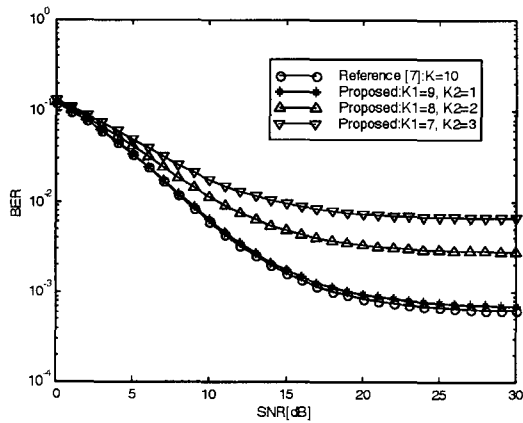


그림 3. 완벽한 채널 추정시 SNR에 따른 BER

그림 4는 $E_b/N_0=10\text{dB}$ 에 대하여 각 그룹별 사용자 증가에 따른 오류율의 변화를 표시하였다. 그림에서 확인할 수 있듯이 타 사용자에게에 의한 간섭 즉, MAI가 시스템의 성능에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 사용자 수가 20명 이상으로 증가하는 경우 신호를 복구하기 힘들 정도로 에러율이 높아짐을 알 수 있다. 또한 고데이터율 사용자의 수의 증가가 저 데이터율 사용자의 수의 증가보다 시스템의 성능 저하에 더욱 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

그림 5는 고 데이터율 사용자의 관점에서 제안된 이중 전송률 MC-CDMA 시스템과 참고문헌 [2]의 시스템과 성능분석을 비교하였다. 여기서 $P=2$, $E_b/N_0=10\text{dB}$ 에 대하여 각 그룹별 사용자 증가에 따른 오류율의 변화를 표시하였다. 저 데이터율 사용자에게 존재하지 않는 경우, 제안된 시스템과 기존 시스템의 성능은 유사 하였지만 고 데이

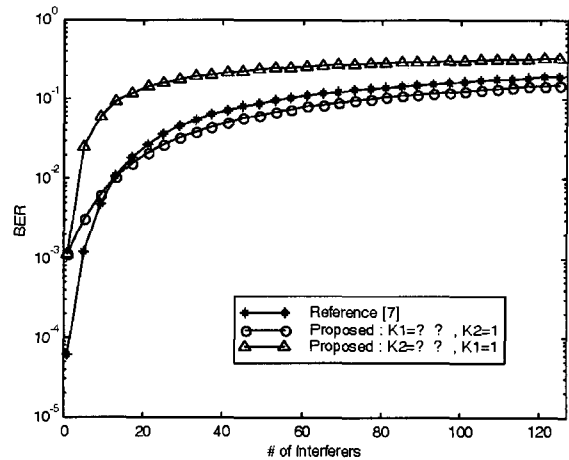


그림 4. 완벽한 채널 추정시 사용자 증가에 따른 BER

터율 사용자에게 존재하지 않는 경우는 오히려 제안된 시스템의 성능이 우수한 것을 알 수 있었다.

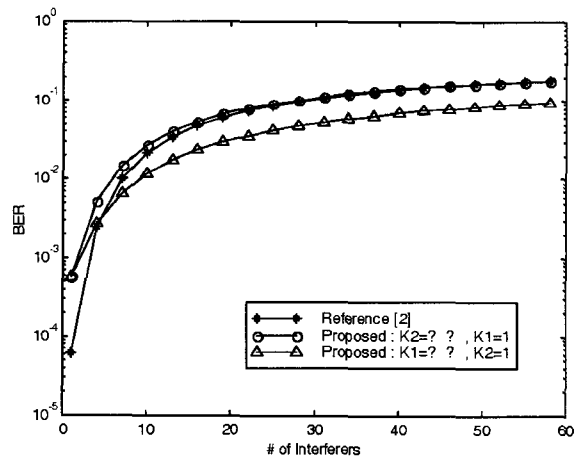


그림 5. $P=2$ 인 경우 사용자 증가에 따른 BER

5. 결론

본 논문에서는 단일 전송률 다중 반송파 코드분할 접속방식(MC-CDMA) 시스템의 기능을 향상하여, 전송률이 서로 다른 다양한 멀티미디어 서비스를 지원하기 위한 MC-CDMA 시스템을 소개하고 수식적으로 성능을 평가하였다. 비동기 MC-CDMA 시스템의 송신기에서 전송속도에 따라 병렬 부채널의 수를 조절함으로써 다중 전송률 시스템을 구현하였으며, 채널 환경은 AWGN을 이용한 레이리

(Rayleigh) 페이딩 채널을 고려하였다.

성능분석은 수학적 방법과 컴퓨터 시뮬레이션이 이용되었다. 분석 결과는 다중접속방식에서 타 사용자에게 의한 간섭 신호가 전체 시스템 성능에 많은 영향을 미치고 있고 따라서 실제 시스템에서는 간섭제거기가 필수적이라는 것을 알 수 있으며, SNR이 10dB인 경우 총 사용자 수가 20명을 넘게 되면 많은 비트 오류율을 보였다. 또한 제안된 다중 전송률 시스템에서 고 데이터율 사용자의 증가는 저 데이터율 사용자 증가에 비해 시스템 성능감소에 더욱 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 서로 두 배의 전송률을 갖는 사용자 그룹이 존재하는 이중전송률 시스템을 고려하였지만, 차후 여러가지 조건을 고려하는 다중 전송률 시스템으로 확장하여 해석하는 것이 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] E.A. Sourour and M. Nakagawa, "Performance of Orthogonal Multicarrier CDMA in Multipath Fading Channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 3, pp. 356-367, Mar. 1996.
- [2] X. Gui and T. S. Ng, "Performance of Asynchronous Orthogonal Multicarrier CDMA System in Frequency Selective Fading Channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 47, no. 7, pp. 1084-1091, July 1999.
- [3] Shinsuke Hara, "Overview of Multicarrier CDMA," *IEEE Commun. Magazine*, pp. 126-133, December, 1997.
- [4] S. Hara, T. Lee and R. Prasad, "BER Comparison of DS-CDMA and MC-CDMA for Frequency Selective Fading Channels," Proc. Of 7th Tyrrhenian International Workshop on Digital Commun., Sept. 1995.
- [5] R. Parasad and S. Hara, "An Overview of Multi-carrier CDMA," *IEEE 4th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications Proceedings*, Vo. 1, 107-114, Sept. 1996.
- [6] N. Yee, J. P. Linnartz and G. Fettweis, "Multi-Carrier CDMA in Indoor Wireless Radio Networks," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E77-B, pp. 900-904, July 1994.
- [7] Jiho Jang and Kwang Bok Lee, "Effects of frequency offset on MC/CDMA system performance," *IEEE Communications Letters*, Vol. 3, pp. 196-198, July 1999.
- [8] 박형근, 김웅배, 이연우, 은도현, 차균현, "다중 접속간섭(MAI) 제거기법을 적용한 MC-CDMA의 성능분석," 한국통신학회 논문지, 제 24권, 1B호, pp. 1-8, 1999.
- [9] Hoon Huh, Youngkwon Cho and Jaehong Lee, "Performance enhancement of a multicarrier DS/CDMA system through interference cancellation," *IEEE WCNC*, vol. 3, pp. 1576-1580, Sept. 1999.
- [10] P. Patel and J. Holtzman, "Analysis of a Simple Successive Interference Cancellation Scheme in a DS/CDMA System," *IEEE J. Select. Area Commun.*, vol. 12, no. 8, pp. 795-799, Aug. 1977.
- [11] M. B. Pursley, "Performance Evaluation for Phase-coded Spread Spectrum Multiple Access Communication-Part I: System Analysis," *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-25, No. 8, pp.795-799, Aug. 1977.



김 남 선 (Nam-Sun Kim)

- 정회원
- 1991년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 공학석사
- 1995년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 공학박사
- 2003~2004 : University of Tennessee 방문교수
- 1996년 3월~현재 : 대진대학교 통신공학과 부교수
- 관심분야: 디지털통신, 멀티미디어통신, 이동통신