

논문 2010-47TC-8-2

비동기 MC-CDMA 상향 링크 시스템에서의 잔류 주파수 옵셋 영향 분석

(Effect Analysis of Residual Frequency Offsets for Asynchronous MC-CDMA Uplink Systems)

고 균 병*, 우 중재**

(Kyun-Byoung Ko and Choong-Chae Woo)

요약

본 논문에서는 비동기 MC-CDMA 상향 링크 시스템의 주파수 옵셋의 영향을 주파수 선택적 다중경로 페이딩 채널에 대하여 분석하였다. 분석을 위하여 모든 사용자의 주파수 옵셋(FO: frequency offset)을 확률 변수들로 가정하였으며 원하는 사용자에 대한 주파수 옵셋 추정과 그 보상이 이루어짐을 가정하였다. 따라서 원하는 사용자의 경우 잔류 주파수 옵셋(residual frequency offset)이 존재하게 된다. 본 논문에서는 이러한 잔류 주파수 옵셋의 평균 오류율(BER: bit error rate)에 대한 영향을 분석한다. 우선 의사 분석적 기법(Semi-analytical method)으로 평균 오류율을 유도하고 근사화를 통하여 평균 오류율 성능을 밝혀진 형태로 유도하였다. 이에 더하여 잔류 주파수 옵셋에 의해 야기되는 SNR(signal to noise ratio) 감쇄를 조사하였다. 유도된 결과를 통하여 원하는 사용자의 주파수 옵셋 추정 오류가 정규화된 값으로 0.1보다 작은 경우에는 시스템 성능 저하 정도가 적음을 확인하였다.

Abstract

This paper presents an analysis of asynchronous multicarrier-code division multiple access (MC-CDMA) uplink systems over frequency-selective multipath fading channels when the frequency offsets (FOs) of all users are random variables and the frequency offset for the desired user is compensated. The effect of a residual frequency offset(RFO) on the average bit error rate (BER) is evaluated by the semi-analytical method, then the approximated BER performance is obtained as a closed-form expression. Moreover, the signal to noise ratio (SNR) loss caused by RFO is evaluated. Derived results show that the performance degradation due to RFO is negligible if the estimation error of RFO for the desired user is less than the normalized value of 0.1.

Keywords : MC-CDMA, Residual frequency offset, Multipath fading channel, SNR loss

I. 서 론

광범위하게 진행되어온 비동기 MC-CDMA 시스템

* 평생회원, 충주대학교 제어계측공학과
(Control and Instrumentation Engineering at Chungju National University)

** 정회원, 한서대학교 전자공학과
(Electronics, Computer and Communication Engineering at Hanseo University)

※ 이 논문은 2009년도 경부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2009-0072762)

접수일자: 2010년5월14일, 수정완료일: 2010년8월13일

에 관한 연구들 중에서 참고문헌 [1]에서는 Cyclic Prefix 형태의 보호구간을 갖는 경우에 대한 성능 분석 기법을 제안하였다. 또한 MC-CDMA 시스템의 주요 단점인 반송파 주파수 옵셋의 영향에 대한 연구들이 수행되어 왔다. 하지만 기존의 연구들은 동기식 시스템에 대한 연구가 대부분이었으며 비동기식이라 하더라도 분석상의 편의를 위해 모든 사용자가 같은 주파수 옵셋을 갖는다는 가정을 사용하였다^[2~4]. 이러한 가정은 하향 링크에 타당한 가정으로 상향 링크에는 맞지 않는 가정이다. 상향 링크의 경우 사용자들의 도플러 주파수가 각기 상이할 수 있으며 또한 사용자들이 송신기들과 수

신기 사이의 오실레이터가 다르기 때문이다. 그리고 일 반적으로 수신기에서는 반송파 주파수 옵셋에 대한 추정이 선행되고 추정값을 이용한 옵셋 보정이 수행된다. 하지만 기존의 연구^[2~4]에서는 옵셋 추정 및 보정을 고려하고 있지 못하다.

본 논문에서는 Cyclic Prefix 형태의 보호구간을 갖는 비동기 MC-CDMA 시스템에 대한 참고문헌 [1]의 성능 분석 기법을 확장하여 잔류 반송파 주파수 옵셋에 의한 시스템 성능을 분석하도록 한다.

II. 비동기 MC-CDMA 상향 링크 시스템

MC-CDMA 시스템의 송신기는 각 사용자에게 할당된 확산 코드를 사용하여 전송 심벌을 주파수 축에서 확산시키고, IDFT 장치를 이용하여 신호를 시간 축으로 변환한 후 보호구간을 Cyclic Prefix 형태로 삽입하여 전송하게 된다. 따라서 m 번째 사용자의 전송 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s_m(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} b_m^{[k]} c_{m,n} p(t - kT_S) e^{j2\pi f_{m,n} g(t)} \quad (1)$$

여기서 $f_{m,n} = (n + \epsilon_m)/T$ 이고 ϵ_m 은 m 번째 사용자의 정규화된 주파수 옵셋을 나타낸다. 본 논문에서는 모든 사용자들이 각기 다른 주파수 옵셋을 갖는다고 가정한다. 또한 ϵ_m 은 구간 $[-\Omega, \Omega]$ 에서 균일하게 분포하며 사용자들 간에 상호 독립적인 확률 변수들로 가정한다. 여기서 Ω 는 랜덤 주파수 옵셋의 영역을 나타내고, $b_m^{[k]} = \pm 1$ 는 m 번째 사용자의 k 번째 BPSK 심벌, $|c_{m,n}| = 1$ 는 m 번째 사용자의 n 번째 부반송파에 해당하는 확산 코드, $p(t)$ 는 구간 $[-T_G, T]$ 에서 값을 갖고 $\int_{-\infty}^{\infty} p^2[t - nT_S] dt = 1$ 을 만족하는 사각 필스신호를 의미한다. T 는 비트 간격을, T_G 는 보호구간을, $T_S (= T + T_G)$ 는 보호구간을 포함하는 MC-CDMA 심벌 간격을 각각 나타낸다. 그리고 Cyclic Prefix 형태의 보호구간을 나타내기 위하여 $g(t)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$g(t) = \begin{cases} (t+T) - kT_S, & kT_S - T_G \leq t < kT_S \\ t - kT_S, & kT_S \leq t < kT_S + T \end{cases} \quad (2)$$

다중경로 페일리 페이딩 채널의 채널 응답은 다음과 같이 표현할 수 있다^[5].

$$h_m(\tau; t) = \sum_{l=0}^{L-1} g_{m,l}(t) \delta(\tau - \tau_l) \quad (3)$$

여기서 t , τ , L 및 τ_l 은 시간, 경로 지연, 다중경로 수 및 l 번째 경로 성분의 지연 시간을 각각 나타낸다. 0 번째 심벌 간격 동안의 천천히 변하는 l 번째 경로의 채널 이득은 $g_{m,l}(t)|_{T_G \leq t < T} = g_{m,l} = \alpha_{m,l} e^{j\theta_{m,l}}$ 으로 표현할 수 있으며 여러 심벌 시간동안에 변하지 않는다고 가정한다. 크기 $\alpha_{m,l}$ 은 레일리 분포를 갖고 위상 $\theta_{m,l}$ 은 $[0, 2\pi)$ 동안에 균일하게 분포하면서 경로와 사용자들 간에 독립적인 랜덤 변수로 가정한다. 그리고 식 (3)을 DFT 할 때 m 번째 사용자의 n 번째 부반송파의 채널 응답은 다음과 같다.

$$H_{m,n} = \sum_{l=0}^{L-1} H_{m,n,l} = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_{m,l} e^{j\theta_{m,l}} e^{-j2\pi nl/N} \quad (4)$$

여기서 $\tau_l = lT_c$, $T_c = T/N$ 및 $H_{m,n,l} = \alpha_{m,l} e^{j\theta_{m,l}} e^{-j2\pi nl/N}$ 이다. 본 논문에서는 $\gamma_{m,l} = \alpha_{m,l}^2$, $\overline{\gamma_{m,l}} = E[\alpha_{m,l}^2]$ 및 $\overline{\gamma_m} = E\left[\sum_{l=0}^{L-1} \gamma_{m,l}\right] = \sum_{l=0}^{L-1} \overline{\gamma_{m,l}} = 1$ 을 가정하며, 경로들 간의 지수 함수적 감소 인자(Exponential Decay Factor)는 $1/L$ 로 가정한다.

사용자가 M 명인 단일 셀 환경에서, 수신 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$r(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \int_0^{T_{\max}} h_m(\tau; t) s_m(t - t_m - \tau) d\tau + n(t) \\ = \sum_{m=0}^{M-1} \left[\sum_{l=0}^{L-1} g_{m,l}(t) s_m(t - t_m - \tau_l) \right] + n(t) \quad (5)$$

여기서 t_m 은 m 번째 사용자의 비동기 전송 지연을 나타내고, $n(t)$ 는 평균이 0이고 전력 밀도 스펙트럼이 N_0 인 가산성 백색 잡음이다.

III. 잔류 주파수 옵셋의 영향에 따른 성능 분석

1. 정합여파기 출력

채널 추정 및 시간 동기가 완벽하다고 가정 한다면, 0 번째 사용자의 0 번째 심벌에 대한 정합 여파기 출력은 다음과 같다.

$$V_0 = \int_{t_0}^{t_0+T} \frac{r(t)}{\sqrt{\gamma_0} NT} \sum_{i=0}^{N-1} h_{0,i}^* c_{0,i}^* e^{-j2\pi \hat{f}_{0,i}(t-t_0)} dt \\ = D_0 + ICI_0 + MAI_0^{SC} + MAI_0^{OC} + \eta_0 \quad (6)$$

수신단에서 추정된 주파수 옵셋 $\hat{\epsilon}_0$ 를 이용하여 주파수 옵셋 보정이 이뤄진다고 할 때, $\hat{f}_{0,i} = (i + \epsilon_0)/T$ 는 0번째 사용자의 추정된 주파수 옵셋 $\hat{\epsilon}_0$ 을 포함한 0번째 사용자의 i 번째 부반송파이다. 따라서 $\Omega_0 = \epsilon_0 - \hat{\epsilon}_0$ 는 잔류 주파수 옵셋을 의미한다. 이러한 잔류 주파수 옵셋의 영향을 분석하기 위하여 여러 심벌 간격 동안에 잔류 주파수 옵셋은 상수라고 가정한다.

위 식에서 $D_0 = \left[\frac{\sin(\pi\Omega_0)}{\pi\Omega_0} e^{-j\pi\Omega_0} \right] b_0^{[0]} \sqrt{\gamma_0}$ 는 원하는

신호 성분으로 잔류 주파수 옵셋은 원하는 신호 성분의 크기 감쇄와 위상 변위를 야기함을 알 수 있다. 또한 부반송파간 직교성을 왜곡하여 다음 식으로 주어지는 인접반송파 간섭성분 ICI_0 을 야기함을 알 수 있다.

$$ICI_0 = \frac{\sin(\pi\Omega_0)}{\pi\Omega_0} \frac{b_0^{[0]}}{\sqrt{\gamma_0 N}} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{i=0, i \neq n}^{N-1} H_{0,n} H_{0,i}^* \times c_{0,n}^* c_{0,i} e^{-j\pi\Omega_0} \frac{\epsilon_0}{i - n + \epsilon_0} \quad (7)$$

MAI_0^{SC} 와 MAI_0^{OC} 는 같은 반송파에 의한 다중사용자 간섭성분 및 다른 반송파에 의한 다중사용자 간섭성분을 각각 나타내며 다음과 같다.

$$MAI_0^{SC} = \sum_{m=1}^{M-1} \int_{-(t_m - t_0)}^{-(t_m - t_0) + T} \left[\sum_{l=0}^{L-1} g_{m,l}(t) \times \sum_{k=-\infty, n=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} b_m^{[k]} c_{m,n} p(t - kT_S - \tau_i) e^{j2\pi f_{m,n} g(t - \tau_i)} \right] dt \quad (8)$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{\gamma_0 NT}} H_{0,n}^* c_{0,n}^* e^{-j2\pi \widehat{f}_{0,n}[t + (t_m - t_0)]} dt$$

$$MAI_0^{OC} = \sum_{m=1}^{M-1} \int_{-(t_m - t_0)}^{-(t_m - t_0) + T} \left[\sum_{l=0}^{L-1} g_{m,l}(t) \times \sum_{k=-\infty, n=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} b_m^{[k]} c_{m,n} p(t - kT_S - \tau_i) e^{j2\pi f_{m,n} g(t - \tau_i)} \right] dt \quad (9)$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{\gamma_0 NT}} \sum_{i=0, i \neq n}^{N-1} H_{0,i}^* c_{0,i}^* e^{-j2\pi \widehat{f}_{0,i}[t + (t_m - t_0)]} dt$$

η_0 는 AWGN에 의한 성분으로 평균은 0이고 분산은 N_0/NT 이다.

2. $\Delta_{m,0}$ 에 따른 간섭 성분의 표현 및 분석

본 논문에서는 0번째 사용자에 대한 m 번째 사용자의 상대적인 시간 차이를 다음과 같이 정의한다^[1].

$$\Delta_{m,0} = (t_m - t_0) - A_{m,0} T_S \quad (10)$$

여기서 $A_{m,0} = \lfloor (t_m - t_0) / T_S \rfloor$ 이고 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 를 넘지 않는 최대의 정수를 나타낸다. $\{\Delta_{m,0}\}$ 는 사용자들 간에 독립적이고 $[0, T_S)$ 에서 균일하게 분포하는 랜덤 변수로 가정한다. 따라서 MAI_0^{SC} 와 MAI_0^{OC} 는 $\Delta_{m,0}$ 의 영역에 따라 다르게 표현된다. 이는 참고문헌 [1]의 분석 기법을 통하여 유사하게 유도할 수 있다.

2. 간섭 성분 분석

본 논문에서는 CDMA 시스템의 성능분석에서 일반적으로 사용하는 가우시안 균사화를 적용하기 위하여 사용자들의 확산코드가 랜덤하다고 가정한다. 따라서 정합 여파기 출력값 V_0 는 평균이 D_0 이고 다음을 분산으로 갖는 조건부 복소 가우시안 랜덤 변수로 가정할 수 있다.

$$Var[V_0] = Var[MAI_0^{SC}] + Var[MAI_0^{OC}] + Var[ICI_0] + Var[\eta_0] \quad (11)$$

또한 앞 절에서 표현한 다중사용자 간섭성분을 랜덤 변수 $\{\theta_{m,0}\}, \{\gamma_{m,l}\}, \{c_{m,n}\}, \{b_m^{[k]}\}$ 및 $\{\Delta_{m,0}\}$ 에 대하여 평균을 취함으로써 다음을 얻을 수 있다.

$$Var[MAI_0^{SC}] = \frac{(M-1)\gamma_m}{N} \left[G_1(n,n) \frac{T_G}{T_S} + G_2(n,n) \frac{T}{T_S} \right] \quad (12)$$

$$Var[MAI_0^{OC}] = \frac{(M-1)\gamma_m}{N^2} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{i=0, i \neq n}^{N-1} \left[G_1(n,i) \frac{T_G}{T_S} + G_2(n,i) \frac{T}{T_S} \right] \quad (13)$$

$$Var[ICI_0|\eta_0, l] = \frac{\sin^2(\pi\Omega_0)}{N^2} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{i=0, i \neq n}^{N-1} \times \left[\frac{\gamma_0 + \frac{1}{\gamma_0} \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{p=0, p \neq l}^{L-1} \gamma_{0,l} \gamma_{0,p} \cos \left[2\pi(n-i) \frac{\tau_l - \tau_p}{T} \right]}{(n-i - \Omega_0)^2} \right] \quad (14)$$

여기서 $G_1(n,i) = E \left[\frac{\sin^2(\pi\Omega_m)}{\pi^2(n-i+\Omega_m)^2} \right]$ 이고 $G_2(n,i) = E \left[\frac{1 - \text{sinc}[2(n-i+\Omega_m)]}{\pi^2(n-i+\Omega_m)^2} \right]$ 이다. 또한 $\Omega_m = \epsilon_m - \hat{\epsilon}_0$ 는 잔류 주파수 옵셋 Ω_0 에 대해 $\Omega_m = \epsilon_m - \epsilon_0 + \Omega_0$ 로 표현할 수 있다. 따라서 Ω_m 의 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

$$f_{\Omega_m}(\Omega_m) = \begin{cases} \frac{1}{2\Omega} - \frac{1}{4\Omega^2} |\Omega_m - \Omega_0|, & \text{for } |\Omega_m - \Omega_0| < 2\Omega \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

그리고 $G_1(n,i)$ 과 $G_2(n,i)$ 는 Monte Carlo integral로 얻을 수 있다^[7].

3. 평균 오류율 분석

V_0 의 잡음 성분 각각의 항들이 순환 대칭(Circular symmetric)의 특성을 갖고 있으므로, 전체 잡음 성분도 순환 대칭의 특성을 갖고 있음을 알 수 있다^[6]. 즉 결정 변수 $Re\{V_0|\{\gamma_{0,i}\}\}$ 는 평균이 $Re\{D_0\}$ 이고 분산이 $Var[Re\{V_0|\{\gamma_{0,i}\}\}] = Var[V_0|\{\gamma_{0,i}\}]/2$ 인 실수 가우시안 랜덤 변수가 된다. 그러므로 주어진 $\{\gamma_{0,i}\}$ 에 대한 조건부 오류율은 다음과 같다.

$$P_0[e|\gamma_{0,l}] = Q(\sqrt{2SINR_0(\gamma_{0,l})}) \quad (16)$$

여기서 $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp(-t^2/2) dt$ 이고 $SINR_0 = |Re\{D_0\}|^2 / Var[V_0|\{\gamma_{0,i}\}]$ 이다. 따라서 조건부 오류율 $P_0[e|\{\gamma_{0,i}\}]$ 를 확률 변수 $\{\gamma_{0,i}\}$ 에 대해 평균을 취함으로써 평균 오류율은 다음과 같이 유도된다.

$$P_0[e] = \int_0^\infty \cdots \int_0^\infty f(\gamma_{0,0}, \dots, \gamma_{0,L-1}) \times Q(\sqrt{2SINR_0(\gamma_{0,l})}) d\gamma_{0,0} \cdots d\gamma_{0,L-1} \quad (17)$$

여기서 $f(\gamma_{0,0}, \dots, \gamma_{0,L-1})$ 은 $\{\gamma_{0,i}\}$ 의 결합 확률 밀도 함수이고 위 적분은 Monte Carlo integral로 얻을 수 있다^[7].

앞서 유도한 평균 오류율은 단혀진 형태가 아닌 의사 분석적 기법(Semi-analytical method)에 의한 것으로 이는 확률 변수 $\{\gamma_{0,i}\}$ 가 $Re\{D_0\}$ 및 $Var[V_0|\{\gamma_{0,i}\}]$ 에 포함되어 있기 때문이다. 따라서 ICI 항에 대한 부가적인 가우시안 근사화를 적용하여 다음을 얻는다.

$$Var[ICI_0]^{App} = Var[ICI_0|\gamma_{0,l}]_{\{\gamma_{0,i} = \bar{\gamma}_{0,i}\}_{i=0}^{L-1}} \quad (18)$$

부가적 가우시안 근사화는 Uplink CDMA 시스템에 일반적으로 사용되는 것으로 그 적확성은 이미 검증된 바 있다^[8]. 따라서 다음을 각각 얻는다.

$$Var[V_0]^{App} = Var[MAI_0^{SC}] + Var[MAI_0^{OC}] + Var[ICI_0]^{App} + Var[\eta_0] \quad (19)$$

$$P_0^{App}[e|\gamma_0] = Q(\sqrt{2SINR_0^{App}\gamma_0}) \quad (20)$$

여기서 $SINR_0^{App} = \text{sinc}^2(2\Omega_0) / Var[V_0]^{App}$ 이다. 따라서 단혀진 형태의 근사화된 평균 오류율은 다음과 같다^[5].

$$\begin{aligned} P_0[e] &= \int_0^\infty p(\gamma_0) P_0^{App}[e|\gamma_0] d\gamma_0 \\ &= \frac{1}{2} \sum_{l=0}^{L-1} \prod_{i=0, i \neq l}^{L-1} \frac{\bar{\gamma}_{0,i}}{\bar{\gamma}_{0,l} - \bar{\gamma}_{0,i}} \left[1 - \sqrt{\frac{SINR_0^{App}\bar{\gamma}_{0,l}}{1 + SINR_0^{App}\bar{\gamma}_{0,l}}} \right] \end{aligned} \quad (21)$$

여기서 γ_0 의 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

$$p(\gamma_0) = \sum_{l=0}^{L-1} \frac{1}{\bar{\gamma}_{0,l}} \left[\prod_{i=0, i \neq l}^{L-1} \frac{\bar{\gamma}_{0,i}}{\bar{\gamma}_{0,l} - \bar{\gamma}_{0,i}} \right] e^{-\frac{\gamma_0}{\bar{\gamma}_{0,l}}} \quad (22)$$

4. 잔류 주파수 옵셋에 의한 유효 SNR 손실

앞서 언급한 바와 같이 잔류 주파수 옵셋은 원하는 신호 성분의 간섭과 반송파간 직교성 파괴로 발생되는 ICI 성분으로 인한 성능 저하를 유발한다. 이러한 두 가지 영향을 고려해 본 논문에서는 신호대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio: SNR) 손실을 정의하고 그 영향을 비교 분석한다. 평균 SNR을 $\overline{SNR_0} = \frac{E[\gamma_0]}{N_0/NT}$ 로 정의할 때 평균 유효 SNR은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{SNR_0^{Eff}} &= \int_0^\infty \cdots \int_0^\infty f(\gamma_{0,0}, \dots, \gamma_{0,L-1}) \\ &\times \frac{|Re\{D_0\}|^2}{Var[ICI_0|\{\gamma_{0,i}\}] + Var[\eta_0]} d\gamma_{0,0} \cdots d\gamma_{0,L-1} \end{aligned} \quad (23)$$

그러므로 잔류 주파수 옵셋으로 인해 야기되는 SNR 손실을 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} SNR_{Loss}(dB) &= 10 \log_{10} \frac{\overline{SNR_0}}{\overline{SNR_0^{Eff}}} \\ &= \overline{SNR_0}(dB) - \overline{SNR_0^{Eff}}(dB) \end{aligned} \quad (24)$$

위의 식들을 통하여 잔류 주파수 옵셋이 없는 경우 즉, $\Omega_0 = 0$ 이면 $SNR_{Loss}(dB) = 0$ 임을 알 수 있다. 또한 이러한 유효 SNR 손실은 평균 오류율과 같이 근사화된 형태로 다음과 같이 유도된다.

$$\left[\overline{SNR_0^{Eff}} \right]^{App} = \frac{|Re\{D_0\}|^2_{\{\gamma_{0,i} = \bar{\gamma}_{0,i}\}_{i=0}^{L-1}}}{Var[ICI_0]^{App} + Var[\eta_0]} \quad (25)$$

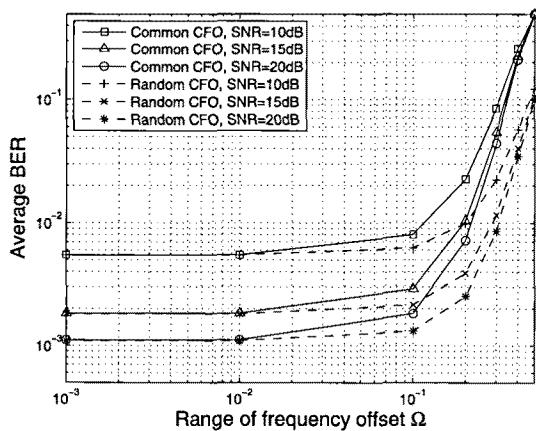
$$SNR_{Loss}^{App}(dB) = \overline{SNR_0}(dB) - \left[\overline{SNR_0^{Eff}} \right]^{App}(dB) \quad (26)$$

IV. 성능 분석 결과

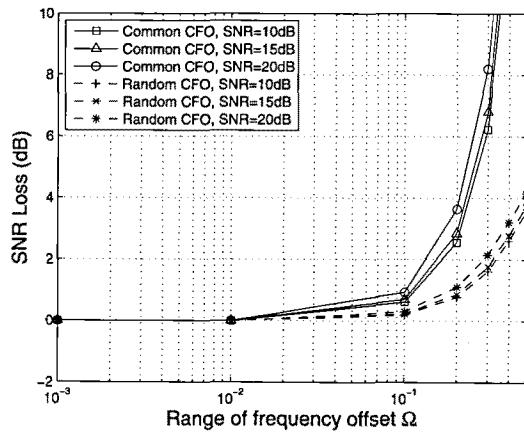
본 장에서는 보호구간을 갖는 비동기 MC-CDMA 상향 링크 시스템의 성능에 대한 잔류 반송파 옵셋의 영향을 주파수 선택적 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 확인하고 성능분석 결과를 비교 분석한다.

그림 1에서는 주파수 옵셋 영역에 따른 평균 오류율(a)과 SNR 감쇄(b)를 비교한다. 여기서는 모든 사용자의 주파수 옵셋이 각기 다른 확률 변수인 경우와 하나의 상수인 경우를 고려하였으며 원하는 사용자의 주파수 옵셋 보정을 적용하지 않았다. 그림을 통하여 모든

사용자들에 대해 상수 주파수 옵셋을 가정한 경우(기존의 분석)의 평균 오류율이 확률 변수로 주파수 옵셋을 가정한 경우보다 나쁜 성능을 나타낸다. 또한 그 성능 차가 주파수 옵셋에 비례한다. 이는 그림 (b)에 나타난 바와 같이 RFO에 의해 야기되는 SNR 감쇄가 과하게 예측되었기 때문이다. 결과적으로 상향 링크의 경우 모든 사용자의 주파수 옵셋이 각기 독립적인 확률 변수로 가정하는 본 논문의 가정이 보다 타당하다는 것을 알 수 있다. 따라서 이후의 결과들에서는 모든 사용자의 주파수 옵셋을 상호 독립적인 확률 변수로 그리고 원하는 사용자에 대한 주파수 옵셋 추정 및 보정이 수행되



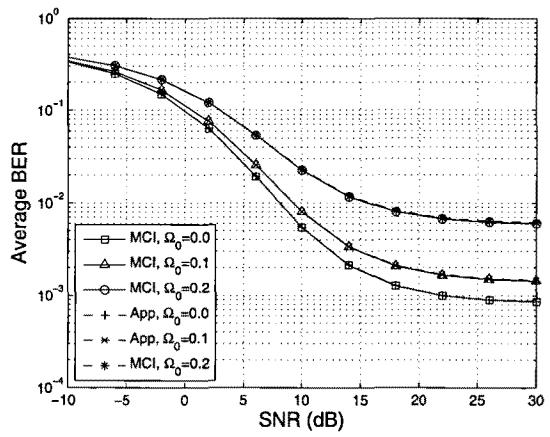
(a)



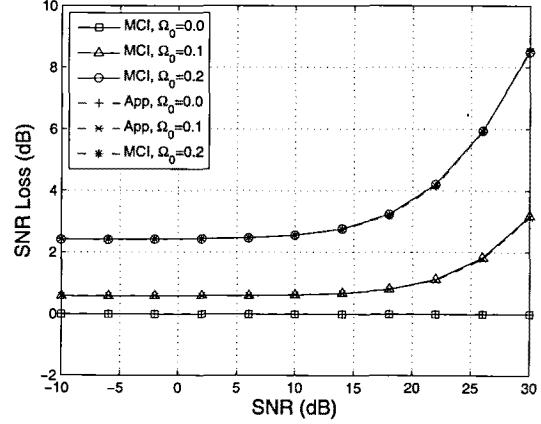
(b)

그림 1. 주파수 옵셋 보정이 없는 경우에 대한 주파수 옵셋 영역 변화에 따른 평균 오류율(a) 및 SNR 감쇄(b) ($N = 64$, $M = 10$, $L = 6$, $T_G = 8T_c$)

Fig. 1. Average BER(a) and SNR Loss(b) vs. Range of frequency offset w/o offset compensation.



(a)



(b)

그림 2. 주파수 옵셋 보정이 있는 경우에 대한 SNR 변화에 따른 평균 오류율(a) 및 SNR 감쇄(b) ($N = 64$, $M = 10$, $L = 8$, $T_G = 8T_c$, $\Omega = 0.5$)

Fig. 2. Average BER(a) and SNR Loss(b) vs. SNR with offset compensation.

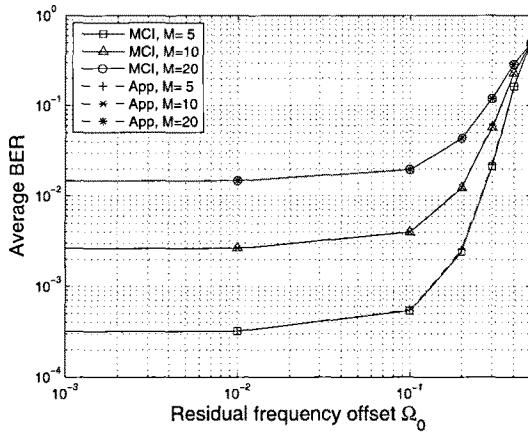


그림 3. 주파수 옵셋 보정이 있는 경우에 대한 잔류 주파수 옵셋 변화에 따른 평균 오류율 ($N = 64$, $L = 6$, $T_G = 8 T_c$, SNR=15dB, $\Omega = 0.5$)

Fig. 3. Average BER vs. Residual frequency offset with offset compensation.

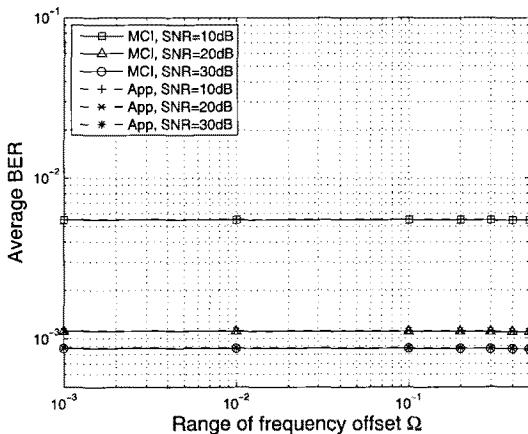


그림 4. 주파수 옵셋 보정이 있는 경우에 대한 주파수 옵셋 영역 변화에 따른 평균 오류율 ($N = 64$, $M = 10$, $L = 8$, $T_G = 8 T_c$, $\Omega_0 = 0.01$)

Fig. 4. Average BER vs. Range of frequency offset with offset compensation.

는 것을 가정한다.

그림 2에서는 SNR에 따른 평균 오류율(a)과 SNR 감쇄(b)를 나타낸다. 그림을 통하여 근사화된 분석 결과가 잔류 주파수 옵셋의 다양한 값에 상관없이 정확함을 확인할 수 있다. 또한 시스템 성능은 잔류 주파수 옵셋에 비례하여 저하됨을 알 수 있다. 이는 SNR 감쇄를 통해 확인할 수 있는데 잔류 주파수 옵셋이 큰 경우에는 SNR에 따른 SNR 감쇄 민감성이 커지게 된다.

그림 3은 잔류 주파수 옵셋에 따른 BER 성능을 나타낸다. 잔류 주파수 옵셋이 작은 경우에는 MAI 성분이

시스템 성능을 결정하는 주요 성분이 되지만, 잔류 주파수 옵셋이 0.1보다 커질 경우에는 ICI 성분이 시스템 성능을 결정하는 주요 성분이 되어 성능이 급격히 저하됨을 알 수 있다.

그림 4에서는 확률 변수인 주파수 옵셋이 분포하는 영역에 따른 BER 성능을 보여준다. 그림을 통하여 잔류 주파수 옵셋이 작은 경우 즉, 원하는 사용자의 주파수 옵셋 추정이 비교적 정확하게 수행되어 옵셋 보정이 이뤄진 경우에는 다른 사용자의 주파수 옵셋에 상관없이 일정한 성능을 유지함을 확인 할 수 있다. 그리고 이러한 경향은 다양한 SNR에서 유지됨을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 비동기 MC-CDMA 상향 링크 시스템에서 잔류 주파수 옵셋의 영향을 분석하기 위하여 모든 사용자의 주파수 옵셋은 확률 변수들로 가정하고 원하는 사용자에 대한 주파수 옵셋 추정 및 보정을 가정하였다. 그리고 잔류 주파수 옵셋에 의해 야기되는 SNR 감쇄와 평균 오류율을 유도하였다. 유도된 결과를 통하여 원하는 사용자의 주파수 옵셋 추정 오류가 정규화된 값 0.1보다 작은 경우에는 시스템 성능 저하 정도가 적음을 확인하였다. 또한 잔류 주파수 옵셋이 작은 경우에는 다른 사용자의 주파수 옵셋에 무관하게 성능 저하 정도가 무시할만하다는 사실을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 고균병, 홍대식 “비동기 MC-CDMA 시스템에 대한 보호구간의 영향 분석,” 한국통신학회 논문지, 제33권, 11호, pp. 851-859, 2008년 11월.
- [2] L. Tomba and W. A. Krzymien, “Sensitivity of the MC-CDMA Access Scheme to Carrier Phase Noise and Frequency Offset,” *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. 48, no. 5, pp. 1657-1665, Sep. 1999.
- [3] Heidi Steendam and Marc E. Moeneclaey, “The Effect of Carrier Frequency Offsets on Downlink and Uplink MC-DS CDMA,” *IEEE J. of Selected Areas in Comm.*, vol. 19, no. 12, pp. 2528-2536, Dec. 2001.
- [4] Kyunbyoung Ko, Taeyoung Kim, and Daesik Hong, “Performance evaluation for asynchronous MC-CDMA systems with an effect of carrier-frequency offsets,” in *Proc. IEEE ICC*,

- vol. 5, pp. 3447-3451, Anchorage Alaska, USA,
11-15 May 2003.
- [5] John G. Proakis, *Digital Communication*,
McGraw Hill, 1995.
- [6] 박명희, 홍대식 “사용자간 상대적인 시간오차에 의
한 OFDMA 역방향 시스템의 성능 분석,” 전자공
학회 논문지, 제42권, TC 편 2호, pp. 17-22, 2005
년 02월.
- [7] E. A. 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.
- [8] Kyunbyoung Ko, Mansic Joo, Hansup Lee, and
Daesik Hong, “Performance Analysis for
Multistage Interference Cancellers in
Asynchronous DS-CDMA Systems,” *IEEE
Comm. Letters*, vol. 6, no. 12, pp. 544-546, Dec.
2002.

저 자 소 개



고 균 병(평생회원)
1997년 연세대학교 전자공학과 학사
졸업.
1999년 연세대학교 전기전자공학
석사 졸업.
2004년 연세대학교 전기전자공학
박사 졸업.
2004년 3월~2007년 2월 삼성전자 통신연구소
2007년 3월~현재 국립충주대학교 제어계측
공학과
<주관심분야 : 이동통신, MIMO, 적응신호처리>



우 종 재(정회원)
2000년 순천대학교 전자공학과
학사 졸업.
2002년 연세대학교 전기전자공학
석사 졸업.
2007년 연세대학교 전기전자공학
박사 졸업.
2007년 9월~2009년 2월 삼성전자 통신연구소
2009년 3월~현재 한서대학교 전자컴퓨터통신
학과
<주관심분야 : 이동통신, 신호처리>