광대역 레일리 채널에서 서로 다른 대역폭을 갖는 W-CDMA 시스템의 성능에 관한 연구

정회원 이 주 석*, 부 수 일**, 김 철 성***

On the performance of W-CDMA system with Different Bandwidth over Wideband Rayleigh Channel

Ju-Seog Lee*, Su-Il Boo**, Cheol-Sung Kim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 서로 다른 대역폭을 갖는 비동기 W-CDMA 시스템의 성능을 비교하였다. 채널은 이산적인 다중경로 성분으로 구성되어 있는 광대역 다중경로 환경을 고려하였고, 이 다중경로 성분의 각각의 크기는 레일리 분포를 갖는 것으로 가정하였다.

W-CDMA 시스템의 대역폭에 따라 1칩 구간 내의 다중경로의 수가 다르기 때문에, 다른 대역폭을 갖는 각각의 W-CDMA 시스템은 서로 다른 다중경로의 영향을 겪게 된다. 시스템의 용량에 따른 평균 에러확률을 유도하였고, DS-CDMA 시스템에서 EGC(Equal Gain Combining) 다이버시티를 채용한 레이크 수신기를 사용하여 시스템의 대역폭에 따른 용량을 비교하였다.

ABSTRACT

In this paper, we compare the performance of asynchronous W-CDMA system with different bandwidth. We take into consideration of wideband multipath channel environment which consists of discrete multipath components whose strength is Rayleigh distributed. Each CDMA system with different bandwidth experience different effects of multipath because there are different number of multipath within one chip duration according to the spreading bandwidth. We derive the average error probability versus the capacity, and compare the capacity of W-CDMA systems using the RAKE receiver with EGC diversity.

I. 서 론

최근에 셀룰러 무선 시스템의 응용 분야에 CDMA가 많은 연구가들의 관심을 끌고 있다.[1,2] 국내에서는 미국의 디지털 셀룰러 무선 접속 규격인 IS-95에 기반을 둔 CDMA방식이 한국통신기술협회에 의하여 잠정 표준인 TTA-KO 62로서 제정되었고, 1996년부터 디지털 셀룰러가 시작되었다.

CDMA 시스템은 1.25MHz의 대역폭을 갖는 DS-CDMA를 PCS에 적용하여 성공적으로 상용화되어 현재 서비스 중에 있다. 그러나 멀티미디어 환경에서 고속 데이터를 전송하기 위한 협대역 전송방식은 한계가 있으므로 대역폭 효율과 가입자 용량 면에서 우수한 W-CDMA 방식들이 제안되고 있다. 3세대 무선통신 시스템인 FPLMTS/IMT-2000을 위해 스웨덴의 Ericsson사가 개발한 CoDiT(Code Division Test bed), 일본의 NTT DoCoMo(Do Communication Mobile) 시스템들은 주로 5, 10, 20MHz의 광대역 시스템이며, 2Mbps의 고속 전송률이 요구되는 FPLMTS를 위해 멀티코드 방식, 멀티캐리어 방식 등 여러 가지 방법들이 제안되었다.[3] 그리고 최근 몇 년 동안 서로 다른 대역폭을

* 전남대학교 전기공학과(chskim@chonnam.chonnam.ac.kr)
** 서남대학교 의용공학과 *** 전남대학교 컴퓨터공학과(chskim@chonnam.chonnam.ac.kr)
논문번호 : 98451-1014 접수일자 : 1998년 10월 14일

갖는 W-CDMA 방식의 성능에 관한 연구가 추진되고 있다.[4,5]

본 논문에서는 채널의 모델을 고정하고(즉, 다중경로의 빈(bin) 간격을 고정 : 100[nsec]), CDMA시스템들의 사용 주파수에 따라 한 칩 기간 동안 수신되는 다중 경로의 영향을 고려하였다. 이처럼 무선 이동 채널에서 W-CDMA 시스템이 대역폭에 따라 다중 경로의 영향이 다른 점에 착안하여 서로 다른 대역폭을 갖는 CDMA 시스템의 성능을 비교 평가하였다.

2장에서는 선형 필터를 사용하여 광대역 채널을 모델링 하였는데, 채널 환경은 교통이 혼잡한 도심 지역과 교통이 한산한 시골 지역을 고려하였다.

3장에서는 다중경로 페이딩 환경에서 W-CDMA를 해석하였고, 서로 다른 대역폭을 갖는 시스템에서 수신된 신호의 크기에 대한 통계를 구하였다. 그리고 사용자의 수에 따른 비동기 시스템의 평균 에러확률을 구하였다.

4장에서는 원하는 사용자와 원하지 않는 사용자의 다중경로들을 고려하여 평균 에러확률과 용량을 모의실험 하였다.

마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구방향에 대한 제안을 하였다

Ⅱ. 광대역 다중경로 채널의 모델링

W-CDMA 시스템의 성능을 평가하기 위하여 적절한 광대역 다중경로 채널(wideband multipath channel)을 모델링 할 필요가 있다. 시스템 모델은 한 개의 기지국(base station)과 k+1 사용자의 이동국(mobile unit)으로 구성되어 있고, 다중경로 페이딩, 잡음 채널을 가정했다. 각 링크는 기저대역 복소 채널 임펄스 응답(complex-valued low-pass impulse response)을 갖는 선형 필터로 모델화 할 수 있고 이를 그림1에 나타냈다.[6]

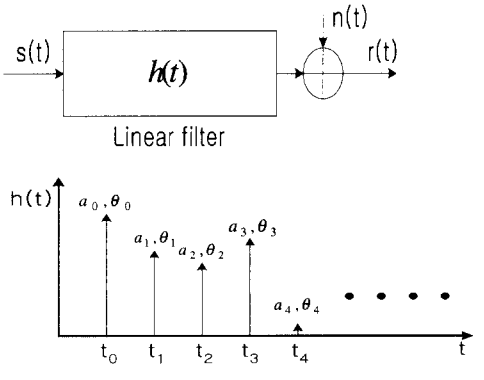


그림 1. 광대역 다중경로 채널 모델

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L} a_l \, \delta(t-t_l) \, e^{-j\theta_l} \tag{1}$$

L은 링크에서 총 다중경로의 수, a_l, t_l, θ_l은 각각 l번째 경로의 세기, 지연 시간, 위상이다. 그리고 모든 링크는 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$인 가산성 백색 가우시안 잡음 n(t)가 존재한다고 가정했다.

광대역 다중경로 채널을 모델링 하기 위해 이런 변수들의 분포를 구했다.[6,7] 수신기에서 신호에 기여하는 많은 수의 산란체(scatterers)가 채널에 존재한다면, 중심극한정리(central limit theorem)에 의해서 채널의 임펄스 응답은 복소 가우시안 과정을 갖는다. 가우시안 과정의 평균이 "0" 이면 임펄스 응답의 포락선은 레일리 분포를 갖는다. 다중경로의 반송파 위상 θ_l은 $[0,2\pi]$ 에서 균일 분포를 갖는 상호 독립인 랜덤 변수로 사전 확률(a priori)을 가정할 수 있지만, 경로의 시간지연 t_l, 경로의 크기 a_l의 사전 확률은 다양하다. 본 논문에서는 다중경로의 세기 a_l의 분포를 보편적으로 대부분 가정하는 레일리 분포를 갖는다고 가정했다.[7,8]

$$P(a_l) = \frac{a_l}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{a_l^2}{2\sigma^2}\right) \tag{2}$$

l번째 다중경로 세기의 평균값 $\mu_l = E[a_l]$ (l = 0,1,2,…,L)은 경우에 따라 다르지만 일반적으로 도심 지역에서는 l이 증가할 때 지수함수에 따라 천천히 감소하던지 아니면 일정한 값을 갖는다. 그러나 시골 혹은 개방 영역에서는 l이 증가할 때 지수함수에 따라 이 값은 빨리 감소한다.

다중경로 채널의 시간 해상도(time resolution)는 채널의 대역폭에 의해 제한되고 광대역 시스템은 보다 짧은 시간 해상도(shorter time resolution), 협대역 시스템은 보다 긴 시간 해상도(longer time resolution)를 갖는다. 그러므로 협대역 채널 모델에 기초를 둔 광대역 시스템은 분해 가능한 많은 다중경로가 존재하더라도 협대역 채널 모델을 사용하여 정확하게 분해 할 수는 없다. 역으로 광대역 채널 모델에 기초하여 협대역 시스템을 분석한다면, 분해 가능한 다중경로들이 협대역 시스템에 존재하지만 협대역 시스템의 낮은 분해능으로 높은 분해능을 갖는 신호(high resolution signal)를 구별할 수 없으

므로, 다중경로들이 랜덤하게 더해져서 수신기의 출력에서 한 값으로 나타난다.

본 논문에서는 시스템의 대역폭에 따른 수신신호 크기의 통계와 비트 오율의 변화를 고찰하는데 중점을 두고있다. 그리고 채널을 모델링 하기 위해 채널의 대역폭을 10MHz로 가정하였으므로 각 다중경로의 시간 해상도는 100[nsec]에 해당된다. 따라서 10MHz보다 작거나 같은 대역폭을 갖는 W-CDMA 시스템의 해석에 이 모델을 사용할 수 있다.

Ⅲ. 다중경로 페이딩 채널에서 W-CDMA의 해석

W-CDMA 시스템을 해석하기 위해 수신 신호는 k+1개의 DS 파형으로 구성되고, 서로 비동기적으로 동작한다고 가정했다. 변조 신호는 coherent BPSK 신호라고 가정하고 일반적인 동기 수신기를 그림 2에 나타냈다.

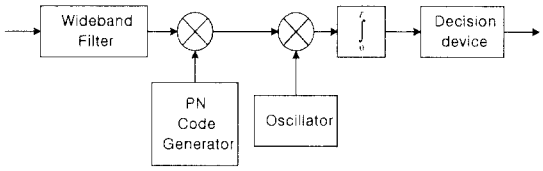


그림 2. CDMA 수신기의 블록도

해석을 위해 완전한 전력 제어, 완전한 코드, 반송파, 비트 동기를 가정했다. k번째 전송된 신호는 다음과 같다.

$$s_k(t) = m_k(t)c_k(t)\exp(jw_0t) \tag{3}$$

여기서 m_k(t) 는 k번째 사용자의 데이터를 나타내는 랜덤 이진시퀀스(random binary sequence)이고, c_K(t)는 k번째 사용자의 확산 시퀀스(spreading sequence)이다.

전체 수신된 신호 r(t)는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K}\sum_{l=0}^{L} a_{k,l}\, m_k(t-\tau_{k,l})\; c_k(t-\tau_{k,l}) \exp[j\;\{w_0(t-\tau_{k,l})+\theta_{k,l}\}\;] + n(t) \tag{4}$$

k=0은 원하는 사용자의 신호를 나타내고, k=1, 2,…,K는 원하지 않는 사용자를 나타낸다. $l=0$ 는 맨 처음 도착하는 신호를 나타내고, l = 1,2,…,L은 첫 번째, 두 번째, …,L번째 다중경로 신호를 나타낸다. $\tau_{k,l}$은 임펄스 응답에서 k번째 사용자의 l번째 다중경로 신호의 시간 지연을 나타내고, $\theta_{k,l}$ 은 이에 해당되는 위상 천이를 나타낸다. 시간 지연 $\tau_{0,0}$와 위상 천이 $\theta_{0,0}$을 해석의 편의상 "0" 이라고 가정한다. 다른 시간 지연과 위상 천이는 $\tau_{0,0}$와 $\theta_{0,0}$ 를 기준으로 한 상대적 위상 천이 $\phi_{k,l}$ 로 표현했다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K}\sum_{l=0}^{L} a_{k,l}\, m_k(t-\tau_{k,l})\; c_k(t-\tau_{k,l}) \exp\{j(w_0t+\phi_{k,l})\} + n(t)$$
$$(i.e\quad \phi_{k,l} = -w_0\tau_{k,l}+\theta_{k,l}\;,\; \tau_{0,0}=\phi_{0,0}=0) \tag{5}$$

수신된 신호 r(t)은 3개의 서로 다른 성분으로 나누어 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{l=0}^{L} a_{0,l}\, m_o(t-\tau_{0,l})\; c_0(t-\tau_{0,l})\; \exp j(w_0t+\phi_{0,l}) \\ &\quad + \sum_{k=1}^{L}\sum_{l=0}^{L} a_{k,l} m_k(t-\tau_{k,l}) c_k(t-\tau_{k,l}) + n(t) \\ &= s_0(t)+s_i(t)+n(t) \end{aligned} \tag{6}$$

여기서 $s_0(t)$는 원하는 사용자의 다중경로 성분, $s_i(t)$는 원하지 않는 사용자의 다중경로 성분이고 n(t)는 잡음 성분을 나타낸다.

수신 신호 r(t)가 국부 발진기와 상관기를 통과한 후 t=T에서 출력 Z(T)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z(t) &= \int_0^T 2r(t)c_0(t)\cos(w_0t+\theta_0)dt \\ &= \int_0^T 2\;\{s_0(t)+s_i(t)+n(t)\}\;\; c_0(t)\cos(w_0t+\theta_0)dt \\ &= S+I+N \end{aligned} \tag{7}$$

여기서 S는 신호의 크기, I는 간섭의 크기, N은 가우시안 잡음의 크기를 나타낸다.

먼저 S의 통계적 특성을 살펴보자.

$$\begin{aligned} S &= Re[\int_0^T 2s_0(t)c_0(t)\cos(w_0t+\theta_0)dt] \\ &= Re[\int_0^T 2\sum_{l=0}^{L} a_{0,l}\, m_0(t-\tau_{0,l})\; c_0(t-\tau_{0,l}) \\ &\quad c_0(t)\cos(w_0t+\theta_0)\exp\;\{j(w_0t+\phi_{0,l})\}\;dt] \\ &= Re[\sum_{l=0}^{L} a_{0,l}\exp j(\phi_{0,l}-\theta_0) \\ &\quad \int_0^T m_0(t-\tau_{0,l})\; c_0(t-\tau_{0,l})c_0(t)dt] \end{aligned} \tag{8}$$

시간 옵셋 $\tau_{0,l}$이 존재하더라도 이 값이 T에 비

해 매우 작기 때문에 [0, T]의 구간에서 $m_0(t-\tau_{0,l})$는 거의 일정하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S = Re[\sum_{l=0}^{L} a_{0,l} \exp j(\phi_{0,l}-\theta_0)\, m_0(t-\tau_{0,l}) \int_0^T c_0(t-\tau_{0,l})c_0(t)dt] \quad (9)$$

부분 상관의 영향을 무시하고 원하는 사용자의 전송 데이터 심볼($m_0(t)$)이 +1이라고 가정하면 위 식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} S &= Re[\{\sum_{l=0}^{L} a_{0,l} \exp(j\phi_{0,l}) R_c(\tau_{0,l})\} \{\exp(-j\theta_0)\}] \\ &= Re[\{|R|\exp(j\theta')\} \{\exp(-j\theta_0)\}] \\ &= Re[|R|\exp j\{(\theta'-\theta_0)\}] \end{aligned} \quad (10)$$

여기서

$R_c(\tau_{0,l}) = \int_0^T c_0(t-\tau_{0,l})c_0(t)dt$ 이다. 그리고 완전한 반송파 동기를 가정했으므로 수신기의 국부 발진기의 위상 θ_0와 수신 신호의 위상 θ'은 같다고 가정한다. S를 실수 부분 U와 허수 부분 V로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S &= |R| = \sqrt{(U^2+V^2)} \\ U &= \sum_{l=0}^{L} a_{0,l} \cos(\phi_{0,l})\, R_c(\tau_{0,l}) \\ V &= \sum_{l=0}^{L} a_{0,l} \sin(\phi_{0,l})\, R_c(\tau_{0,l}) \end{aligned} \quad (11)$$

$a_{0,l}$은 $a_{0,l}$을 크기 A로 정규화한 값이고, 신호의 세기 $a_{0,l}Ae^{-\delta l}$을 $a_{0,l}$에 대입하면 다음과 같다.

$$S = \left| \sum_{l=0}^{L} a_{0,l} Ae^{-\delta l} \exp(j\phi_{0,l})\, R_c(\tau_{0,l}) \right| \quad (12)$$

(11)식에서 주어진 l에 대해서 A, $e^{-\delta l}$, $R_c(\tau_{0,l})$ 은 상수인 반면 $a_{0,l}$과 $\cos\phi_{0,l}$은 랜덤변수이다. S의 통계적 분포를 구하기 위해, 채널 모델에서 최소의 분해 가능한 경로 도착 시간 (the minimum resolvable path arrival time)을 ΔT 로 가정했다. S는 가중치 복소 랜덤변수들의 합의 절대값이므로 T_c, ΔT, $R_c(\tau_{0,l})$와 δ가 서로 다른 관계를 갖는 여러 가지의 경우를 고려했다.

확산 코드의 1칩 구간이 최소 분해 가능한 도착 시간 ΔT 보다 매우 길다면 ($T_c \gg \Delta$T: N-CDMA), 1칩 구간 내에 많은 다중경로가 존재하게 되며, 식 (12)처럼 가중치가 주어지고, 랜덤하게 더해져서 출력에서 다중경로 페이딩 S를 발생시킨다. 첫 번째 도착한 신호로부터 1칩 구간 이상 떨어진 다중경로 신호는 수신기에서 확산 코드의 자기상관함수 $R_c(\tau_{0,l})$의 특성에 의해 무시할 수 있을 만큼 적어진다. 1칩 구간에 많은 다중경로가 존재하면 U와 V는 서로 독립인 가우시안 랜덤변수이기 때문에 협대역 이동 무선 채널에서 출력 S는 레일리 분포가 된다. 확산 코드의 칩 구간이 매우 짧은 경우($T_c \sim \Delta$T : W-CDMA)를 고려하면, 1칩 구간 내에 아주 소수의 다중경로 신호만이 존재하므로 N-CDMA 경우처럼 랜덤하지는 않다. 극단적인 경우에, 칩 구간이 모든 다중경로를 분해할 수 있을 정도로 매우 짧을 경우($T_c \cong \Delta$T : 광대역 W-CDMA), 1칩 구간 내에 단지 1개의 다중경로 신호만이 존재하므로 다른 다중경로 신호들은 자기상관함수의 특성에 의해 그 영향을 무시할 수 있다. 이 경우 S의 통계적 분포는 단일 직접 경로의 통계적 분포와 같다. 이러한 다중경로의 영향을 N-CDMA와 W-CDMA에 대해 그림3에 나타냈다.

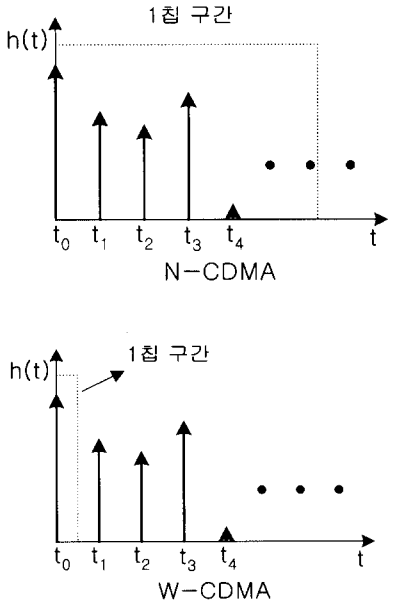


그림 3. N-CDMA와 W-CDMA에서 다중경로의 영향

둘째로, 간섭 I의 통계적 특성은 중심극한정리에 의해 가우시안 분포를 갖는다고 가정할 수 있으므로 다음 식으로 표현할 수 있다.[9,10]

$$E[I]=0 \tag{13-1}$$

$$Var[I] = KA^2T^2\frac{V^2}{3G}\sum_{i=0}^{L}e^{-2\delta i} \tag{13-2}$$

여기서 G는 처리 이득이고 V^2는 $E[a_{k,i}^2]$이며 T는 비트 구간이다.

마지막으로, 가산성 가우시안 잡음 N의 통계적 특성을 고려하면

$$N=\int_0^T 2n(t)c_0(t)\cos(w_0t+\theta_0)dt$$

$$E[N]=0 \tag{14-1}$$

$$Var[N]=N_0T \tag{14-2}$$

지금까지 Z(T)의 각 성분 S, I, N의 통계적 분포를 구하였으므로 S에 대해 Z(T)의 조건부 통계를 구하면 다음과 같다.

$$E[Z(T)|S]=E[S+I+N]=S+E[I]+E[N]=S \tag{15-1}$$

$$Var[Z(T)\ |S]=Var[I+N]=Var[I]+Var[N] \tag{15-2}$$

모든 다중경로 성분을 사용하기 위해 그림 4와 같이 레이크 수신기를 사용하였고, 레이크 수신기의 가지 수는 칩 구간과 시스템의 대역폭에 의해 결정된다[4,5].

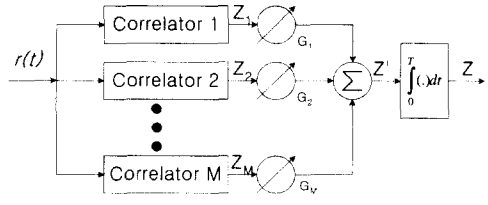


그림 4. M개의 가지를 갖는 레이크 수신기

EGC에서 가지이득을 $G_1=G_2=\ \ldots\ =G_M=1$로 가정하면 S, I, N의 통계치는 다음처럼 수정된다.

$$S=\sum_{i=1}^{M}S_i \tag{16-1}$$

$$Var[I]=\sum_{i=1}^{M}Var\ [I_i] \tag{16-2}$$

$$Var[N]=\sum_{i=1}^{M}Var[N_i] \tag{16-3}$$

S에 대한 조건부 에러확률은 다음과 같다.

$$P(Error\ |S\ )=Q\left(\frac{E[Z(T)\ |S]}{\sqrt{Var[Z(T)\ |S]}}\right)$$

$$=Q\left(\frac{S}{\sqrt{Var[I\ ]+Var[N\ ]}}\right) \tag{17}$$

그리고 평균 에러확률은 다음과 같다.

$$P_e=\int_s P(Error\ |S)\ P(S)dS \tag{18}$$

여기서 $P(S)$는 수신된 신호의 확률밀도함수이다.

Ⅳ. 모의 실험

본 논문에서는 광대역 CDMA 채널에서 W-CDMA 시스템의 성능과 N-CDMA 시스템의 성능을 비교하였다. 성능을 비교하기 위해 서로 다른 2개의 채널 환경과 서로 다른 4개의 대역폭을 고려하였다. 본 논문에서 고려한 두 개의 채널 환경은 다음과 같다.

1) 교통이 혼잡한 도심 지역
   : 지연 확산 Δ = 2.3[μsec], 기울기 δ = 0.3
2) 교통이 한산한 시골 지역
   : 지연 확산 Δ = 0.3[μsec], 기울기 δ = 1

모의실험에서 사용한 대역폭은 N-CDMA 1.25 MHz, W-CDMA 2.5MHz, 5MHz, 매우 광대역인 W-CDMA는 10MHz이다. 서로 다른 대역폭을 갖는 CDMA 시스템의 성능을 비교하기 위해 고려한 대역폭과 데이터 전송율(data rate), 처리이득(processing gain)은 아래의 표1과 같다. CDMA 시스템의 성능이 가산성 잡음보다 간섭에 의해 영향을 많이 받으므로 interference limited system으로 가정하여, 가산성 잡음은 본 논문에서는 고려하지 않고 비트 오율을 구했다. 그리고 다중경로 성분을 사용하기 위해 EGC를 채용한 레이크 수신기를 사용하였다.

모의 실험은 각 CDMA 시스템에서 컴퓨터 수치해석을 이용해서 레일리 랜덤변수 a_i을 발생시키고,

표 1. CDMA 시스템의 대역폭, 처리이득, 데이터 전송율

대역폭	처리이득	데이터전송율
1.25MHZ	125	10Kbps
2.5MHZ	250	10Kbps
5MHZ	500	10Kbps
10MHZ	1000	10Kbps

식(12)를 사용하여 수신 신호를 발생시켰다. 이 수신 신호의 크기에 대한 통계치를 그림 5와 그림 6

에 나타냈다. 간섭 성분은 식(13-2)와 식(16-2)를 이용해서 구하였고, 이에 따른 각 시스템의 성능은 각 시스템의 확률밀도함수에 기초하여 서로 다른 환경에서 사용자 수에 따른 비트 오율을 그림 7, 그림 8에 나타냈다.

표 2와 표 3에서는 동일한 대역폭 10MHz를 기준으로 hybrid FDMA/CDMA를 적용한 경우에 사용자의 수에 따른 비트 오율을 나타냈다. W-CDMA는 대역폭이 넓어서 많은 다이버시티 가지(branch)를 이용할 수 있으므로 성능이 더욱 좋다는 것을 알 수 있지만 N-CDMA의 대역폭 보다 몇 배의 넓은 대역폭을 필요로 한다. 따라서 서로 다른 대역폭의 공정한 비교를 위해서는 주어진 동일한 대역폭을 아래의 그림 9처럼 hybrid FDMA/CDMA 방식으로 비교를 하였다. 그러므로 W-CDMA 시스템의 용량은 전체 대역 W에 존재하는 N-CDMA 시스템의 성능을 N배 했다. 1.25MHz의 CDMA 시스템에서는 10MHz 내에 총 8개의 hybrid FDMA/CDMA 시스템이 존재하고 각 주파수별로 서로 다른 사용자를 수용할 수 있으므로, 10MHz에서의 사용자 수는 1.25MHz에서의 사용자 수를 8배하여 성능을 비교하였다

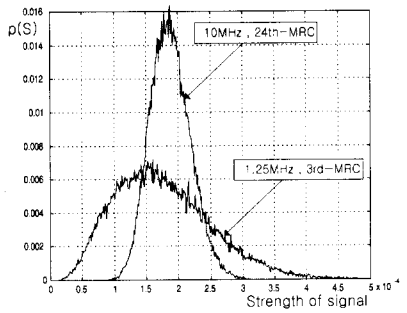


그림 5. 도심 지역에서의 신호크기 S의 확률밀도함수

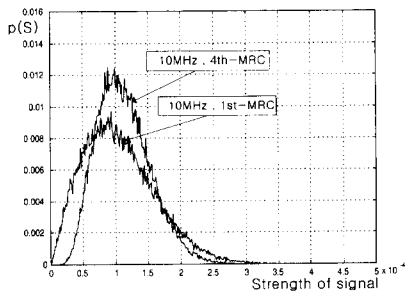


그림 6. 시골 지역에서의 신호크기 S의 확률밀도함수

그림 5와 그림 6에서 수신 신호의 분포는 수신 전력을 정규화한 분포이므로 같은 전력을 갖는다. 그림 5에서 임계값 "0" 부근에 존재하는 많은 신호들은 신호의 크기가 아주 작기 때문에 전력에 거의 영향을 주지 못하지만 간섭 성분이 가우시안 분포를 갖기 때문에 비트 오율에 많은 영향을 준다. 그림 5와 그림 6의 1.25MHz 시스템에서 수신 신호의 분포는 레일리 분포와 유사하고, 10MHz 시스템에서는 24개의 다이버시티 가지의 신호들이 더해지므로 중심극한정리에 의해 가우시안 분포에 접근함을 볼 수 있다.

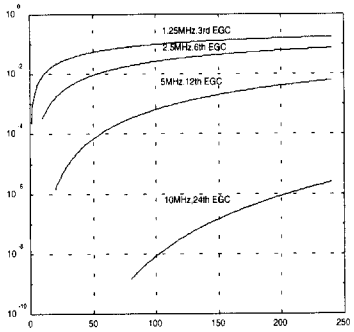


그림 7. 도심 지역에서 사용자수에 따른 BER

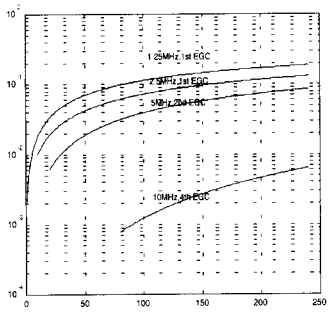


그림 8. 시골 지역에서 사용자수에 따른 BER

표 2. 도심 지역에서의 비트 오율

대역폭 \ 사용자 수	80	160	240
10MHz	$1.3*10^{-9}$	$2.1*10^{-7}$	$2.5*10^{-6}$
5MHz	$3.8*10^{-5}$	$3.3*10^{-4}$	$2.4*10^{-3}$
2.5MHz	$1.6*10^{-3}$	$6.3*10^{-3}$	$1.9*10^{-2}$
1.25MHz	$8.9*10^{-3}$	$2.1*10^{-2}$	$4.4*10^{-2}$

표 3. 시골 지역에서의 비트 오율

대역폭 \ 사용자 수	80	160	240
10MHz	$7.8*10^{-4}$	$3.1*10^{-3}$	$6.4*10^{-3}$
5MHz	$1.4*10^{-2}$	$3.1*10^{-2}$	$6.1*10^{-2}$
2.5MHz	$1.9*10^{-2}$	$3.5*10^{-2}$	$6.1*10^{-2}$
1.25MHz	$1.8*10^{-2}$	$3.3*10^{-2}$	$5.9*10^{-2}$

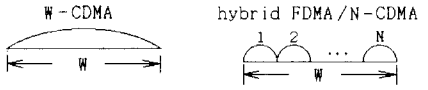


그림 9. W-CDMA 시스템과 hybrid FDMA/CDMA 시스템의 동일한 총 대역폭

그림 5 와 그림 6의 10MHz 시스템의 수신 신호 분포에는 1.25MHz 시스템의 수신 신호 분포보다 크기가 큰 신호들이 많이 존재하고, 1.25MHz 시스템의 수신 신호 분포에는 10MHz 시스템의 수신 신호 분포보다 임계값 "0" 부근에 작은 신호들이 많이 존재한다. 이러한 임계값 부근에 존재하는 신호들이 오율에 많은 영향을 주므로 1.25MHz 시스템이 10MHz 시스템보다 성능이 저하되는 것을 그림 7 과 그림 8에서 볼 수 있다.

10MHz 시스템에서는 보다 짧은 시간 해상도를 갖기 때문에(즉, 한 칩 구간 내에 한 개의 다중 경로 성분만이 존재하므로) 다른 3개의 시스템에 비해 성능이 매우 우수함을 그림 7과 그림 8에서 볼 수 있다.

5MHz의 시스템의 성능은 10MHz의 시스템과 유사한 특성을 보이지만 1칩 구간 내에 2개의 다중 경로가 페이저 합의 한 값으로 존재하므로 10MHz의 시스템보다 분해능이 낮아져서 성능이 저하되는 것을 그림 7과 그림 8에서 볼 수 있다.

2.5MHz의 시스템에서는 보다 긴 시간 해상도를 갖기 때문에 한 칩 구간 내에 4개의 다중경로가 페이저 합의 한 값으로 존재하므로 분해능이 저하되어 10MHz, 5MHz 시스템보다 성능이 저하됨을 그림 7과 그림 8에서 볼 수 있다. 시골 지역에서는 시간 지연이 커질 수록 프로파일의 크기가 크게 감소하므로 이러한 빈(bin)을 통해 들어온 다중 경로의 크기도 매우 작아진다. 그러나 도심 지역에서는 프로파일의 크기가 서서히 감소하므로 이러한 빈(bin)을 통해 들어온 다중 경로들의 전력을 이용하면 성능이 개선됨을 그림 7과 그림8의 비교에서 볼 수 있다.

1.25MHz 시스템은 2.5MHz의 시스템과 유사한 특성을 보이지만 1칩 구간 내에 8개의 다중 경로가 페이저 합의 한 값으로 존재하므로 분해능이 2.5MHz의 시스템보다 더 낮아져서 성능이 저하됨을 그림 7과 그림 8에서 볼 수 있다.

V. 결 론

이 논문에서는 다른 대역폭을 갖는 비동기 CDMA시스템의 성능을 평가하였다. 다중 경로 채널을 선형 필터로 모델링 하였고, 각 다중경로의 크기는 레일리 분포를 갖는다고 가정하였다. 지금까지는 대부분 시스템의 성능에 대한 해석을 시스템의 대역폭에 상관없이 동일한 채널을 가정하여 단순하게 해석하였다. 그러나 본 논문에서는 대역폭에 따라 다중 경로의 영향이 다른 점에 착안하여 서로 다른 대역폭을 갖는 CDMA 시스템의 성능을 비교 평가하였다. 이때 CDMA 시스템은 대역폭에 따라 수신된 신호의 통계적 특성이 달라지고, 따라서 비트 오율도 달라짐을 볼 수 있다. 그림 5와 그림 6에서 수신된 신호의 통계는 N-CDMA에서는 레일리와 유사한 분포를 갖고, W-CDMA 시스템에서는 가우시안과 유사한 분포를 갖는 것을 볼 수 있다. 그림 7과 그림 8, 그리고 표 1과 표 2의 비교에서 프로파일의 세기가 지수적으로 감소하는 이론적 모델에서 EGC를 사용하면 시골 지역보다 도심 지역에서 시스템의 성능이 우수함을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 다중 경로의 수가 도심 지역보다는 상대적으로 적은 시골 지역에서 성능이 우수할 것이라는 사실과 상반된 결론을 얻었다. 이러한 이유는 레이크 수신기에서 시간 다이버시티를 사용하므로 도심 지역에서는 상대적으로 많은 다중 경로의 전력을 이용하여 수신 신호 전력의 크기를 키울 수 있지만 시골 지역에서는 상대적으로 적은 다중경로의 수를 사용하기 때문에 도심 지역의 성능이 시골 지역보다 우수함을 알 수 있다. 그리고 광대역 시스템일수록 협대역 시스템보다 대역폭이 넓으므로 시간 분해능이 좋아져서 시스템의 성능이 개선됨을 알 수 있다.

차후의 연구 계획은 수신된 신호와 비트 오율에 대한 정량적인 해석과 실제 채널 환경의 프로파일를 사용하여 시스템의 대역폭에 따른 성능을 분석하는 것이다.

참 고 문 헌

[1] William C. Y. Lee, "Overview of cellular CDMA", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. VT-40, no. 2, pp. 291-301, May, 1991.

[2] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, A. J. Viterbi, et al., "On the capacity of a cellular CDMA systems", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. VT-40, no. 2,

pp. 303 - 312, May, 1991.

[3] S. Kondo and L.B. Milstein, "On the Use of Multicarrier Direct Sequence Spread Spectrum Systems", *Proc. IEEE MILCOM'93*, Boston, MA, Oct., 1993, pp. 52-56.

[4] T.Eng and L.B.Milstein, "Comparison of hybrid FDMA/CDMA systems in frequency-selective Rayleigth fading", *IEEE J-SAC*, vol. J-SAC 12, no. 5, pp. 938-951, June, 1994.

[5] D.L.Noneakee, M. B. Pursley, "On the chip rate of CDMA systems with doubly fading and RAKE reception", *IEEE J-SAC* vol. J-SAC 12, no. 5, pp. 853-861, June, 1994.

[6] G. L. Turin et at., "A statistical model of urban radio propagation", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. VT-21, pp. 1-9, Feb., 1972.

[7] H. Suzuki "A statistical model for urban radio propagation", *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-25, no. 7, pp. 673-680, July, 1977.

[8] J. G. Proakis *Digital Communications*, Mc-Graw Hill, rd Ed. 1995.

[9] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple access communication-Part I: System analysis", *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-25, pp. 795-799, Aug., 1977.

[10] R. L. Pickholtz, D. L. Schilling, and L. B. Milstein, "Theory of spread spectrum communications-A Tutorial", *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-30, pp. 855-844, May, 1982.

본 논문은 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구 지원사업으로 수행된 결과의 일부임.

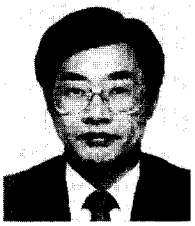
이 주 석(Ju-Seog Lee) 정회원

1985년 2월 : 조선대학교 전자공학과 졸업 공학사
1988년 1월~11월 : (주)대우전자
1991년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업 공학석사
1993년 3월~현재 : 전남대학교 대학원 전기공학과 박사과정
1992년 2월~현재 : 순천제일대학 전자정보과 조교수
<주관심 분야> 이동통신, 부호이론

부 수 일(Su-Il Boo) 정회원

1986년 2월 : 전남대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1991년 8월 : 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학석사)
1996년 2월 : 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사)
1996년 3월~현재 : 서남대학교 의용공학과 전임강사
<주관심 분야> 이동통신방식, CDMA 시스템, 디지털통신, PACS

김 철 성(Cheol-Sung Kim) 정회원



1977년 2월 : 서울대학교 전자공학과졸업 (공학사)
1979년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과졸업 (공학석사)
1987년 12월 : University of Arizona졸업 (공학박사)
1979년~1983년 : 국방과학연구소
1983년~1984년 : 대우중공업 기술연구소
1985년~1987년 : University of Arizona (Research Associate)
1987년~1989년 : 한국전자통신연구소(이동통신연구실장 역임)
1989년~1995년 : 전남대학교 전자공학과 부교수
1997년 2월~1998년 2월 : Univ. of California, San Diego 방문 교수
1995년 3월~현재 : 전남대학교 컴퓨터공학과 부교수
<주관심 분야> 이동통신시스템, W-CDMA, 디지털통신방식