

MC-CDMA 방식을 적용한 UWB 시스템의 성능평가

이형기[†], 김철순^{‡‡}, 곽경섭^{***}

요 약

본 논문은 최근 표준화(IEEE802.15.3a)가 진행중인 Ultra Wideband(UWB) 시스템에서 현재 제안된 방식인 DS-CDMA 방식과 OFDM 방식을 혼합한 형태인 MC-CDMA 방식을 UWB 시스템에 적용하고, 그 성능을 평가한다. DS-CDMA 방식은 다중경로 성분을 검출하기 위해 많은 Rake Finger들이 필요하기 때문에 시스템의 복잡도가 증가하고 OFDM 방식은 주파수 호핑을 끈 상태에서 방사 전력이 FCC에서 규정을 만족하지 못한다. 따라서 두 시스템의 혼합 형태인 MC-CDMA 방식이 시스템의 복잡도는 DS-CDMA 보다 간단하면서 주파수 선택적 페이딩 채널에서 좋은 성능을 발휘하고 OFDM 방식보다 넓은 대역폭을 사용함으로써 스펙트럼당 방사 전력이 낮아진다. MC-CDMA 방식을 수식적으로 분석하고 DS-CDMA, OFDM 방식과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교하였다.

Performance of MC-CDMA Based UWB System

Hyung-Ki Lee[†], Cheol-Soon Kim^{‡‡}, Kyung-Sup Kwak^{***}

ABSTRACT

In this paper, we evaluated Ultra Wideband MC-CDMA system which is the combination of DS-CDMA and OFDM systems, which have been drafting in current standardization for IEEE802.15.3a. Too many Rake Fingers are demanded in the DS-CDMA system to detect multi-path signals, which results in high system complexity. OFDM system fails to qualify for FCC certification unless frequency hopping is off. MC-CDMA has lower complexity compared to DS-CDMA and shows good performance against frequency selective fading. In addition, for a wide-band communication, less radio power per spectrum is allowed in the MC-CDMA system than in an OFDM system. The MC-CDMA system is analyzed by a numerical formula and compared with DS-CDMA and OFDM by a computer simulation.

Key words: UWB(초광대역), MC-CDMA(다중반송파 코드분할다중접속), DS-CDMA(Direct Sequence 코드분할다중접속), OFDM(직교주파수분할방식)

1. 서 론

본 논문은 현재 표준화가 진행 중인 Ultra Wide Band(UWB)에서 기존의 제안된 방식인 DS-CDMA 방식과 OFDM 방식의 단점을 보완해 줄 수 있는 MC-CDMA 방식을 UWB시스템에 제안하고 성능을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. UWB와 같은 초

광대역 시스템은 실내 무선채널 환경에서 매우 많은 다중경로 성분을 갖게 된다. 이러한 다중경로 성분을 검출하기 위해 DS-CDMA 방식은 RAKE 평거를 사용하게 되는데 RAKE 평거의 수가 증가하면 성능은 좋아지지만 그에 따른 시스템의 복잡도가 급격히 증가하여 일정 수 이상의 RAKE 평거를 사용할 수 없다. OFDM 방식은 다중경로 성분이 심볼구간 이내에

* 교신저자(Corresponding Author): 이형기, 주소: 인천 광역시 동구 송림4동(401-714) 전화: 017-738-2212, FAX: 032)890-7149, E-mail: leehk@mail.jnc.ac.kr

접수일: 2005년 4월 21일, 완료일: 2005년 8월 5일

[†] 정회원, 재능대학 정보통신과 부교수

^{‡‡} 정회원, 유한대학 정보통신과 겸임교수

(E-mail: kcs4205@ppp.kornet.net)

*** 정회원, 한국통신학회 수석 부회장

(E-mail: kskwak@inha.ac.kr)

* 본 연구는 대학IT연구센터과제 (Inha UWB-ITRC) 지원으로 수행되었음.

들어오면 별도의 등화기 없이도 충분한 성능을 발휘할 수 있는 장점이 있어 광대역 무선통신에 유리하다. 하지만 UWB는 광대역을 사용하는 대신 아주 낮은 파워로 신호를 보내게 해서 다른 시스템과의 간섭을 발생시키지 않아야 한다. 하지만 현재 제안된 OFDM 방식은 제한된 파워보다 높은 파워를 사용하여 주파수 호평 방식을 이용해 평균 파워를 낮추는 방법을 사용하였지만 현재의 표준화에 문제점으로 제기되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 CDMA 방식과 OFDM 방식의 혼합 방식인 MC-CDMA 방식을 제안한다.

2절에서 UWB 채널의 표준으로 채택된 S-V 채널 모델에 대해 기술하였고, 3절에서는 본 논문에서 제안하고 있는 MC-CDMA 방식에 대해 분석하였고 4절에서 각각의 시뮬레이션 결과를 보여주었다. 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

2. UWB 채널 모델

2.1 IEEE 802.15.3a 표준 채널 모델

UWB는 매우 넓은 대역폭을 사용하는 시스템으로 일반적인 채널 모델을 적용할 수 없다. 넓은 대역폭을 갖는 신호는 필스폭이 아주 짧아 단지 몇 개의 다중경로 성분만이 겹치게 되어 중심극한 정리를 이용하는 통계적 채널 모델인 Rayleigh 채널모델을 사용할 수 없다.

IEEE UWB 채널 모델은 Saleh-Valenzuela (S-V) 모델 [1]을 약간 수정한 인텔에서 제안한 모델 [2]이 표준으로 채택되었다. S-V 모델과 차이점은 다중경로 신호의 크기가 로그노말 분포를 따르고 위상이 $\{\pm 1\}$ 로 랜덤한 값을 갖는 것이다. 따라서 다중경로 채널의 임펄스 응답은 다음과 같다.

$$h_i(t) = X_i \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l}^i \delta(t - T_l^i - \tau_{k,l}^i) \quad (1)$$

$\alpha_{k,l}^i$ 는 l번째 클러스터 k번째 레이의 다중경로 획득 상수로 크기와 위상을 포함하고 있고, T_l^i 는 l번째 클러스터의 도착 시간이고, $\tau_{k,l}^i$ 는 l번째 클러스터 내의 k번째 레이의 도착 시간이며 l번째 클러스터 내의 첫번째 레이 시간 $\tau_{0,l} = 0$ 이다. 클러스터와 레이의 도착 시간은 지수분포를 따른다. X_i 는 로그노말 셰도잉으로 $X = 10^{n/20}$ 이며 n은 평균이 0dB이고 표준

편차가 3dB인 정규분포를 따른다. 클러스터 도착 시간과 레이 도착 시간의 분포는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} p(T_l | T_{l-1}) &= \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], \quad l > 0 \\ p(\tau_{k,l} | \tau_{(k-1),l}) &= \lambda \exp[-\lambda(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1),l})], \quad k > 0 \end{aligned} \quad (2)$$

소규모 페이딩과 대규모 페이딩 상수로 이루어진 채널 상수 $\alpha_{k,l} = p_{k,l} \xi_l \beta_{k,l}$ 이다. 이 상수들은 로그노말 분포를 따른다.

$$20 \log 10(\xi_l \beta_{k,l}) \sim \text{Normal}(\mu_{k,l}, \sigma_1^2 + \sigma_2^2), \quad (3)$$

$$|\xi_l \beta_{k,l}| = 10^{(\mu_{k,l} + n_1 + n_2)/20}$$

클러스터와 레이의 출현 개수 n_1 과 n_2 는 서로 독립이다. 평균 전력 지연 프로파일은 다음과 같다.

$$E[|\xi_l \beta_{k,l}|^2] = \Omega_0 e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_{k,l}/\gamma} \quad (4)$$

위 식은 각각의 클러스터나 총 클러스터 파워가 지수적으로 감쇠한다는 것을 의미한다. Ω_0 는 첫 번째 클러스터의 첫 번째 경로의 평균 에너지이며 $p_{k,l}$ 는 반사로 인한 신호의 반전을 계산하기 위한 +/-1 값이다. 여기에 클러스터와 레이의 도착 율은 불변한다고 가정한다. 아주 작은 지연 시간 동안의 도착 율은 큰 지연에 비해 매우 작다. 작은 초과 지연을 갖는 송신기에서 수신기로의 전파경로는 물리적으로 가능성이 매우 낮다. 따라서 모델을 단순화하기 위해 IEEE 802.15.3a 모델에서는 이런 효과를 반영하지 않았다.

3. MC-CDMA System 분석

3.1 MC-CDMA 방식

MC-CDMA 방식은 OFDM 방식에 CDMA 기술을 합친 방식으로 OFDM 방식에서 얻는 다중경로 환경에서의 우수한 성능을 그대로 가지며 또한 CDMA 방식을 사용함으로써 주파수 다이버시티 효과를 얻음과 동시에 다중사용 기능을 제공한다. 하지만 이 방식은 OFDM 방식보다 더 큰 FFT 사이즈와 확산코드의 사용으로 복잡도가 증가하게 된다. 하지만 더 넓은 주파수 대역의 사용으로 OFDM에서 문제 가 되는 방사 에너지 문제는 해결이 된다.

그림 1은 MC-CDMA의 송신기를 보여준다. q개의 입력 데이터는 병렬 데이터로 변환되고 각각 다른 부반송파에 N_p 개의 확산코드가 곱해진다. 심벌 주기 T_s 는 qT_b 가 되고 부반송파간의 간격은 $1/T_s$ 가 된다. 부반송파 주파수는 다음과 같이 배열한다.

$$f_{ij} = f_0 + \frac{1}{T_s} [(i-1) + (j-1)q] \quad (5)$$

식 (6)는 q개의 인접 부반송파를 표현하며 같은 행의 두 개의 부반송파의 최소 간격은 q/T_s 이다. 그림 1에서 직렬-병렬 변환된 후 k 사용자의 q개의 데이터 비트는 주파수 도메인에서 확산된 후 각각의 부반송파로 변조된다. 변조 후 다시 합쳐진 데이터의 송신 신호는 다음과 같다.

$$s_k(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{N_p} \sqrt{\frac{2P}{N_p}} b_{ki}[n] c_k[j-1] P_{r_i}(t-nT_s) \cos(2\pi f_{ij} t + \phi_{ij}^{(k)}) \quad (6)$$

여기서 $b_{ki}[n]$ 은 k 사용자의 i번째 데이터 열을 나타내고 $c_k[j]$ 는 k 사용자에 할당된 확산코드이며 코드 길이는 N_p 이다. $P_{r_i}(t)$ 는 구형펄스로 구간 $0 \leq t \leq \tau$ 에서 $P_r(t)=1$ 이며 그 이외 구간에서는 0이다. f_{ij} 는 i번째 데이터 열의 j번째 코드에 할당된 부반송파 주파수이다. $[0, 2\pi)$ 반송파 변조시 발생하는 $\phi_{ij}^{(k)}$ 는 랜덤 위상이며에서 균등분포이다. 주파수 선택적 페이팅을 격차 않게 하기 위해 심볼 주기는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$1/T_s \ll (\Delta B)_c \quad (7)$$

$(\Delta B)_c$ 는 채널의 동기 대역폭을 나타내며 채널의 다중경로 지연 확산에서 측정된다. 또한 같은 데이터 비트에 할당된 칩 구간동안 독립적인 페이팅을 격도록 하기 위해 다음 조건을 만족해야 한다.

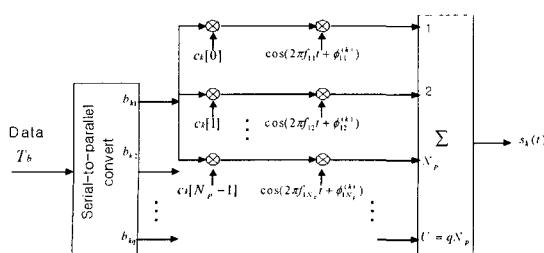


그림 1. MC-CDMA 송신기

$$(\Delta B)_c \ll q/T_s \quad (8)$$

위의 두식을 합치면 $1/T_s \ll (\Delta B)_c \ll q/T_s$ 가 된다. 시스템이 두 가지 조건을 모두 만족시키지 못할 경우 $1/T_s$ 를 줄이거나 q를 늘려야 한다.

3.2 MC-CDMA 수신기

MC-CDMA 수신기는 부반송파의 확산 이득을 얻기 위해 차등 검출기를 사용하므로 OFDM 수신기와 비교했을 때 상당히 복잡하다. 그림 2는 j번째 사용자에 대한 MC-CDMA 수신기를 보여준다.

수신기에 수신된 데이터는 다음과 같이 표현한다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^{N_p} \sqrt{\frac{2P}{N_p}} \alpha_{ij}^{(k)} b_{ki}[n] c_k[j-1] P_{r_i}(t-nT_s - \tau_k) \cos(2\pi f_{ij} t + \phi_{ij}^{(k)}) + n(t) \quad (9)$$

여기서 $\alpha_{ij}^{(k)}$ 는 채널의 임펄스 응답이고 $\phi_{ij}^{(k)} = \phi_{ij}^{(k)} - 2\pi f_{ij} \tau_k$ 로 $[0, 2\pi)$ 에서 균등분포이다. τ_k 는 지연시간을 나타내며 각각 다른 k에 대해 iid로 보고 $[0, T_s]$ 에서 균등분포이다. $n(t)$ 는 AWGN을 나타내고 평균이 0이고 PSD는 $N_0/2$ 이다.

수신 데이터 $b_{j,p}^{(i)}$ 에 대한 부반송파 성분은 DFT에서 동기 검출되고 주파수 영역에서 흐트러진 수신 신호의 에너지를 조합하기 위해 대역확산 이득을 곱해준다.

한 사용자의 u번째 데이터 스트림에서 0번째 데이터 비트의 결정변수는 다음과 같다.

$$Z_u = \sum_{n=0}^{M-1} Z_{uv}, \\ Z_{uv} = \int_0^{T_s} r(t) c(v) g_{uv} \cos(2\pi f_{uv} t + \phi_{uv}) dt \quad (10)$$

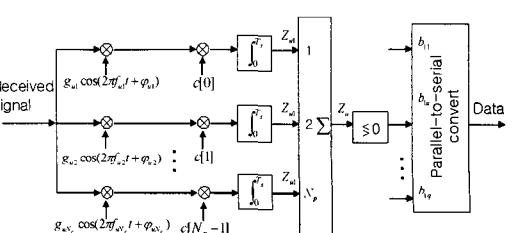


그림 2. MC-CDMA 수신기

$\{g_{uv}, v=1,2,\dots,N_p\}$ 는 다이버시티 이득을 얻기 위한 가중치로 최대비합성(MRC) 방식을 이용한다. 식 (10)는 식 (9)를 이용해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{uv} = \sqrt{\frac{P}{2N_p}} T_s \left[D_{uv} + \sum_{k=2}^K I_1^{(k)} + \sum_{k=2}^K \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq v \\ \text{for } i=u}}^{N_p} I_2^{(k)} + \eta_{uv} \right]$$

$$D_{uv} = \alpha_{uv} g_{uv} b_u [0] \quad (11)$$

$b_u[0]$ 은 u번 째 부반송파에 전송되는 0번째 데이터 비트를 나타낸다. 부반송파는 서로 직교하기 때문에 자기 자신의 간섭은 없다. 다른 사용자의 간섭은 두 가지 형태로 구분된다. 첫 번째 부분 $I_1^{(k)}$ 은 부반송파가 서로 같은 주파수 f_{uv} 를 갖으므로 써 생기는 것으로 다음과 같다.

$$I_1^{(k)} = \frac{\alpha_{uv}^{(k)} g_{uv} \cos \theta_{uv}^{(k)}}{T_s} (b_{kv}[-1] c_k[v-1] c_k[v-1] r_k + b_{kv}[0] c_k[v-1] c_k[v-1] (T_s - r_k)) \quad (12)$$

여기서 $\theta_{uv}^{(k)} = \varphi_{uv}^{(k)} - \varphi_{kv}$ 이다.

두 번째 부분 $I_2^{(k)}$ 은 부반송파 주파수 $\{f_j, i=1,2,\dots,q, j=1,2,\dots,N_p; j \neq v \text{ for } i=u\}$ 가 다른 부반송파로 인해 발생하는 부분이다.

$$I_2^{(k)} = \frac{\alpha_{uv}^{(k)} g_{uv}}{T_s} (R_j^{(k)}(\tau_k) + \hat{R}_j^{(k)}(\tau_k)) \quad (13)$$

$R_j^{(k)}(\tau_k)$ 과 $\hat{R}_j^{(k)}(\tau_k)$ 은 침 구간 cross-correlation 함수다. η_{uv} 는 AWGN n(t)로 인해 발생하는 부분으로 다음과 같다.

$$\eta_{uv} = \left(\sqrt{\frac{P}{2N_p}} T_s \right)^{-1} \int_{0}^{T_s} n(t) c[v-1] g_{uv} \cos(2\pi f_{uv} t + \phi_{uv}) dt \quad (14)$$

3.3 노이즈와 잡음 분석

비트 에러 확률을 구하기 위해 Z_u 의 확률밀도함수(PDF)를 구하기 위해 식 (10)에 있는 각각의 간섭을 따로따로 계산하도록 한다.

첫 번째 부분인 다중 사용자 간섭 $I_1^{(k)}$ 은 평균이 0인 가우시안 랜덤 변수로 보면 $I_1^{(k)}$ 의 분산은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Var[I_1^{(k)}] = E_{\tau_k, \theta_{uv}^{(k)}}[(I_1^{(k)})^2] \quad (15)$$

$E_{\tau_k, \theta_{uv}^{(k)}}[\cdot]$ 는 랜덤 변수 $\tau_k \in [0, T_s], \theta_{uv}^{(k)} \in [0, 2\pi]$ 범

위에서 평균을 나타낸다. 식 (12)에 따라 식 (15)로 다시 표현하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Var[I_1^{(k)}] = \frac{1}{3} g_{uv}^2 \quad (16)$$

여기서 각 부반송파는 단지 하나의 수신경로만을 가진다고 보고 주파수비 선택적 페이딩을 겪는다고 가정하기 때문에 $E[\alpha_{uv}^{(k)}]^2 = 1$ 이라고 놓고 계산 하였다.

두 번째 다중 사용자 간섭 $I_2^{(k)}$ 도 평균이 0인 가우시안 랜덤 변수로 볼 수 있다. 식 (13)에 따라 $I_2^{(k)}$ 의 분산은 다음과 같다.

$$Var[I_2^{(k)}] = \frac{g_{uv}^2}{2\pi^2 [(i-u)+(j-v)q]^2} \quad (17)$$

마지막으로 식 (14)의 η_{uv} 의 분산은 다음과 같다.

$$Var[\eta_{uv}] = \frac{N_p N_0}{2E_b} g_{uv}^2 \quad (18)$$

여기서 $E_b = PT$ 는 비트당 에너지이다.

3.4 에러 확률

MRC 방식을 적용해서 식 (10)의 결정 변수 Z_u 의 PDF를 유도하도록 한다. 다중 사용자 간섭은 아주 많은 독립변수들의 합이기 때문에 가우시안 노이즈로 근사화 한다. 따라서 식 (10)의 Z_u 는 정규화된 평균을 갖는 가우시안 랜덤 변수로 근사화 할 수 있다.

$$E[Z_u] = \sum_{v=1}^{N_p} E[Z_{uv}] = b_u[0] \sum_{v=1}^{N_p} \alpha_{uv} g_{uv} \quad (19)$$

채널의 감쇠 $\alpha_{uv}, v=1,2,\dots,N_p$ 에 따른 조건 BER 공식은 다음과 같이 주어진다.

$$P_b(\gamma) = Q(\sqrt{2\gamma}) \quad (20)$$

$Q(\cdot)$ 은 가우시안 Q-함수를 나타내며 다음과 같다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt \quad (21)$$

MRC 방식은 다이버시티 이득을 얻기 위해 채널

의 임펄스 응답을 곱해주는 방식으로 식 (19)에서 $g_{uv} = \alpha_{uv}$ 를 대입한다. 따라서 식 (20)의 변수 γ 를 MRC 방식을 이용해 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\gamma = \bar{\gamma}_c \sum_{v=1}^{N_p} \alpha_{uv}^2 \quad (22)$$

$$\bar{\gamma}_c = \left[\frac{2(K-1)}{3} + 2(K-1)q(N_p-1)\bar{I}_M + \left(\frac{E_b}{N_0 N_p} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (23)$$

BER P_b 는 식 (20)의 $P_b(\gamma)$ 에 γ 의 PDF를 적분한 값을 가중치를 주어 계산한다.

$$P_b = \int_0^\infty Q(\sqrt{2\gamma})f(\lambda)d\gamma \quad (24)$$

$f(\lambda)$ 는 γ 의 PDF이다. α_{uv} 가 S-V 채널의 랜덤 변수이기 때문에 $f(\lambda)$ 는 log-normal 분포의 PDF를 따른다.

$$f(\gamma) = \frac{1}{\sigma\gamma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln\gamma - \bar{\gamma}_c)^2}{2\sigma^2}\right), \quad \gamma \geq 0 \quad (25)$$

식 (25)에서 채널의 파라미터는 2절에서 설명한 S-V 채널에서 각각의 채널 특성에 따른 파라미터를 넣고 계산하여야 한다.

4. 시뮬레이션 결과 분석

4.1 시뮬레이션-파라미터 설정

표 1은 3가지 방식의 시스템의 파라미터에 대한 비교이다. 세 시스템의 주파수 밴드는 DS-CDMA와 MC-CDMA 방식은 동등한 대역을 사용하고 OFDM 방식은 528 MHz로 1/3만 사용한다. 시뮬레이션에서 주파수 호평은 사용하지 않는다. MC-CDMA 시스템에 사용되는 확산코드는 길이 16인 Walsh-Hadamard (WH)를 사용하고 DS-CDMA 시스템에 사용되는 확산코드는 길이 24인 터너리 PN코드를 사용한다. WH 코드는 직교코드로서 하향링크에서 수신 신호의 직교성이 유지될 때 성능이 좋기 때문에 MC-CDMA 방식에서 유리하지만 DS-CDMA 방식에서는 심볼간의 ISI로 인하여 직교성이 유지될 수 없기 때문에 PN 코드를 사용한다. OFDM도 성능 향상을 위해 시간도메인과 주파수 도메인에 같은 테이

표 1. DS-CDMA/OFDM/MC-CDMA 파라미터 비교

	DS-CDMA	OFDM	MC-CDMA
Spectrum Band	1.386GHz	528MHz	1.584GHz
Diversity	Time diversity	Time, Frequency diversity	Frequency diversity
SF Code	24 PN Code		16 WH Code
FFT		128	256
Data Tone		100	200
Modulation	QPSK	QPSK	QPSK
Symbol Length	17.54 ns	312.5 ns	219.333ns
Prefix Length		60.6ns	53.0303ns
Guard Interval		9.5ns	4.6518ns
Data Rate	114 Mbps	160 Mbps	160 Mbps

터를 실어 보내어 다이버시티를 한다. OFDM은 128개의 FFT 사이즈를 사용하지만 MC-CDMA는 더 광대역을 사용하기 때문에 256개의 FFT를 사용한다. Data Rate는 DS-CDMA 방식과 MC-CDMA 방식은 같지만 OFDM 방식은 시간, 주파수 도메인 다이버시티를 모두 하더라도 상대적으로 더 크다. 하지만 OFDM 방식은 단일 사용자만 가능하므로 직접적인 비교는 의미가 없다.

4.2 시뮬레이션 결과 분석

그림 3은 IEEE 802.15.3a에서 제안된 CM1, CM2, CM3, CM4 채널모델 1, 2, 3, 4에서 DS-CDMA, OFDM 그리고 MC-CDMA 방식의 단일 사용자에 대한 성능 그래프를 보여주었다. DS-CDMA는 24개의 PN 코드와 16개의 RAKE 평거를 사용하였고, OFDM은 시간, 주파수 도메인 다이버시티를 주었다. MC-CDMA는 16개의 Walsh-Hadamard 코드를 사용하였다. DS-CDMA와 MC-CDMA 방식에서 다이버시티 이득을 얻기 위한 수신 방법은 MRC 방식을 사용하였다. 단일 사용자일 경우 네 가지 채널 모두 DS-CDMA 방식이 우수한 것을 볼 수 있다. 이는 DS-CDMA 방식이 24개의 PN코드를 사용하여 얻는 이득이 MC-CDMA 방식의 16개의 WH코드를 사용하는 것 보다 다이버시티 효과가 크다는 것을 의미한다. CM4는 무수히 많은 다중경로가 있는 채널인데

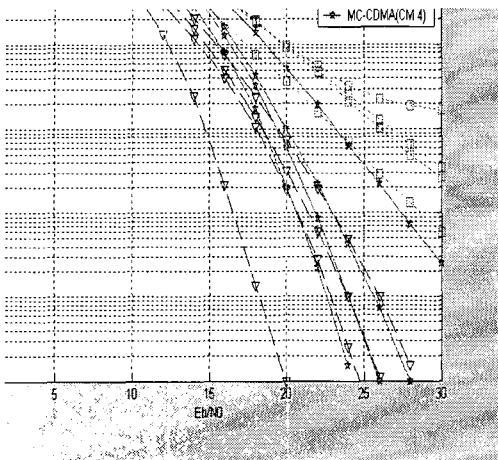


그림 3. DS-CDMA/OFDM/MC-CDMA 단일사용자 성능 비교(CM 1).

도 16개의 RAKE 평거만을 사용하더라도 우수한 성능을 발휘하는 것을 볼 수 있다. OFDM은 모든 채널에서 가장 나쁜 성능을 보여준다. 이는 OFDM의 시간, 주파수 다이버시티가 큰 성능을 발휘하지 못한다는 것을 의미한다.

앞에서 DS-CDMA 방식은 단일 사용자일 때 MC-CDMA 방식보다 우수한 것을 보았다. 그림 4부터 7까지는 DS-CDMA와 MC-CDMA 방식의 다중 사용자 성능에 대한 시뮬레이션 결과이다. 전체적인 시뮬레이션 결과 MC-CDMA 방식이 다중 사용자일 경우 성능이 훨씬 우수한 것을 볼 수 있다. 이는 DS-CDMA 방식에서 사용하는 PN코드가 주파수 선택적 페이딩 환경에서 코드간의 직교성이 나빠져서 자신의 코드를 구분해 내지 못하는 것이다. MC-CDMA 방식은 주파수 선택적 페이딩에 대해 강하기 때문에 코드간의 직교성이 깨지지 않기 때문에 사용자가 많아도 성능 열화가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 세부적인 분석은 다음과 같다.

그림 4는 LOS가 있고 송, 수신기 사이가 4m이내인 다중사용자 환경에서 MC-CDMA시스템이 DS-CDMA시스템보다 성능이 나은 것을 보여준다. MC-CDMA시스템은 사용자수를 증가시킬수록 성능이 개선되는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 송, 수신기 사이가 4m이내인 거리에서 non-LOS를 적용한 환경에서 DS-CDMA와 MC-CDMA시스템의 사용자를 증가시키면서 성능을 비교 분석한다. 이 채널에는 다중경로 성분의 개수가

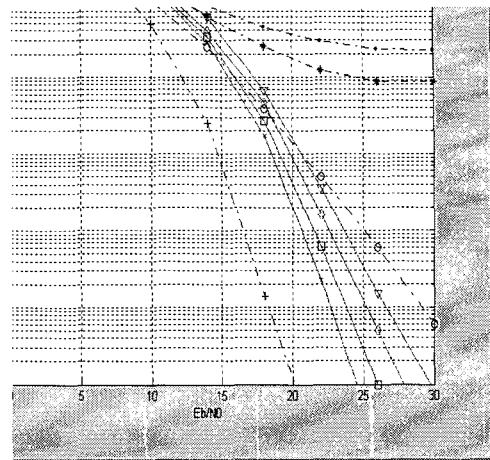


그림 4. DS-CDMA/MC-CDMA 다중 사용자 성능 비교(CM 1).

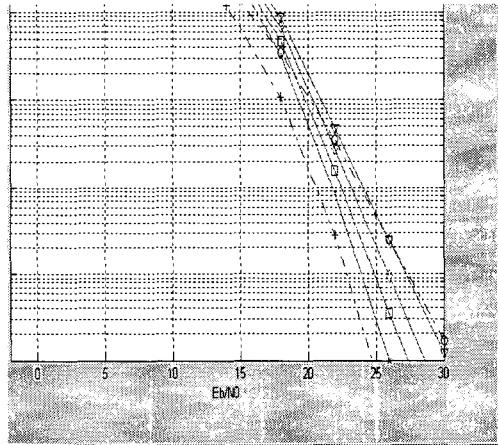


그림 5. DS-CDMA/MC-CDMA 다중 사용자 성능 비교(CM 2).

36개 이상으로 DS-CDMA시스템은 16개의 RAKE 평거만으로 충분히 검출해내기가 어려워 MC-CDMA 시스템보다 성능이 좋지 않음을 보인다.

그림 6은 non-LOS를 적용한 환경이고 4-10m거리에서 DS-CDMA시스템과 MC-CDMA시스템의 사용자를 증가시키면서 성능을 비교 분석한다. 이 실험모델의 다중경로성분이 62개 정도이다. 이러한 채널환경에서 DS-CDMA시스템은 16개의 RAKE 평거로는 다중경로 성분을 검출해내기 힘들고 24개 PN code를 사용한 DS-CDMA시스템이 16개의 WH code를 사용한 MC-CDMA시스템보다도 성능이 나쁜 것을 볼 수 있다. 그러나 최대지연시간이 100ns이

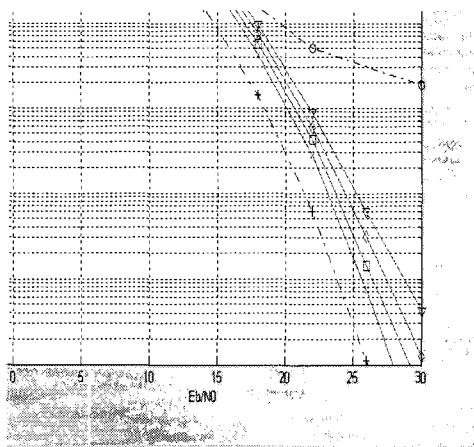


그림 6. DS-CDMA/MC-CDMA 다중 사용자 성능 비교 (CM 3).

상으로 MC-CDMA의 보호구간인 54.0936ns보다 길기 때문에 MC-CDMA 시스템은 실험채널모델 1,2보다 성능이 많이 나빠진 것을 볼 수 있다.

그림 7은 지연확산이 25ns로 다중경로의 분산을 가장 크게 적용한 환경에서 DS-CDMA 시스템과 MC-CDMA 시스템의 사용자수를 증가시키면서 측정한 결과이다. 사용자수를 증가 시킬수록 MC-CDMA 시스템의 성능이 좋게 나타나지만 전체적인 성능 열화가 심하게 나타난다.

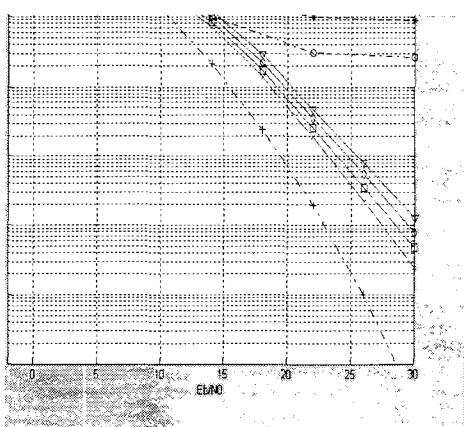


그림 7. DS-CDMA/MC-CDMA 다중 사용자 성능 비교 (CM 4).

5. 결 론

본 논문은 현재 제안된 DS-CDMA 방식과 OFDM

방식의 성능 향상을 위해 두 시스템의 혼합형인 MC-CDMA 방식에 대해 연구하였다. DS-CDMA 방식은 다중경로 성분을 검출하기 위해 RAKE 평거를 사용해야 한다. 하지만 RAKE 평거는 사용 개수에 따라 복잡도가 무한정 증가하므로 일정 수준 이상의 RAKE 평거는 사용이 어렵다. 때문에 본 시뮬레이션에서는 16개의 RAKE 평거만을 사용하였다. 확산 코드는 DS-CDMA 방식은 24개를 사용하였고 MC-CDMA 방식은 16개의 Walsh-Hadamard 코드를 사용하였다. MC-CDMA 방식은 RAKE 평거를 사용하지 않기 때문에 상대적으로 DS-CDMA 방식 보다 간단하지만 확산코드 사용과 더 큰 FFT 크기로 인해 OFDM 방식보다 복잡하다. 하지만 OFDM 방식은 방사 파워가 상대적으로 커서 FCC에서 규제하고 있는 제한을 넘는다.

시뮬레이션 결과 DS-CDMA 방식은 단일 사용자 일 경우 MC-CDMA 방식보다 우수한 성능을 보여주었다. 하지만 다중 사용자 일 경우 DS-CDMA 방식은 급격히 성능이 나빠지는 것을 볼 수 있다. 반면 MC-CDMA 방식은 단일 사용자 일 경우는 DS-CDMA 방식보다 성능이 나쁘지만 다중 사용자 일 경우에도 성능 열화가 거의 없다는 것을 보여주었다. OFDM 방식은 모든 채널에서 가장 나쁜 성능을 보여주었다.

MC-CDMA 방식은 현재 표준화에 제안되어 있진 않지만 UWB와 같은 광대역 통신에 적합한 시스템으로 시뮬레이션 결과 다중 사용자에서 우수한 성능을 보여주었기 때문에 향후 UWB 표준화 진행에 있어 하나의 대안으로 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

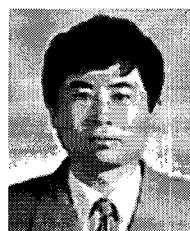
- [1] A. A. Saleh and R. A. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 5, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [2] J. R. Foerster and A. F. Molisch, "A channel model for ultrawideband indoor communication," *Channel Modeling Sub-committee Report Final*, Nov. 2002.
- [3] P. Runkle, J. McCorkle, T. Miller, and M. Welborn, "DS-CDMA: The modulation tech-

- nology of choice for UWB communications," *Proc. IEEE Ultra Wideband Systems and Technologies*, pp. 364-368, Nov. 2003.
- [4] A. Batra and J. Balakrishnan, "Design of a multiband OFDM system for realistic UWB channel environments," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 52, pp. 2123-2138, Sept. 2004.
- [5] J. R. Foerster, "The performance of a direct-sequence spread spectrum ultra-wideband system in the presence of multipath, narrowband, interference, and multiuser interference," *Proc. IEEE Ultra Wideband Systems and Technologies* pp. 87-91, May 2002.
- [6] L. Hanzo, M. Munster, B. J. Choi, and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting*, Wiley, 2003.
- [7] H. Luediger and S. Zeisberg, "UWB performance assessment base on recent FCC regulation and measured radio channel characteristics," *CESs Mobile Summit 2002*, Thessaloniki, June 2002.
- [8] S. Hara, and R. Prasad, "Design and performance of multicarrier CDMA system in frequency-selective rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, Vol. 48, pp. 1584-1595, Sept. 1999.
- [9] S. Hara, "Overview of multicarrier CDMA," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, pp. 126-133, Dec. 1997.



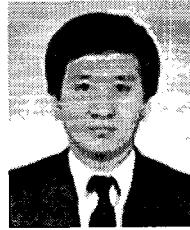
이 형 기

1985년 2월 인하대학교 전자공학과 (학사)
 1987년 8월 인하대학교 전자공학과 (석사)
 1989년 6월 ~ 1992년 3월 LG정보통신 네트워크사업부 근무
 2006년 2월 인하대학교 전자공학과(박사졸업예정)
 1992년 ~ 현재 재능대학 정보통신과 부교수
 관심분야: UWB, 무선LAN, RF시스템



김 철 순

1996년 인천대학교 전자계산학과 (공학사)
 1998년 인하대학교 정보공학과 (공학석사)
 2005년 인하대학교 전전컴 공학부 멀티미디어공학 전공 (공학박사)
 2001년 ~ 현재 유한대학 정보통신과 겸임교수
 관심분야: 멀티미디어 통신, 초광대역 통신, 지능통신망,



곽 경 섭

1979년 인하대학교 전기공학과 (공학석사)
 1981년 미국 University of Southern California 대학원 (EE석사)
 1988년 미국 University of California San Diego 대학원 (통신이론 및 시스템 박사)
 1988년 ~ 1989년 미국 Hughes network system 연구원
 1989년 ~ 1990년 미국 IBM 연구원
 1990년 ~ 2002년 인하대학교 전자공학과 교수
 1995년 ~ 1999년 IEEE Seoul Section 총무이사
 1995년 ~ 2001년 한국통신학회 상임이사
 1999년 ~ 1999년 인하대학교 공과대학 전기, 전자, 컴퓨터공학부 공학부장
 2001년 ~ 2002년 인하대학교 정보통신전문대학원장
 2002년 ~ 현재 인하대학교 정보통신공학부 교수
 2002년 ~ 2003년 한국통신학회 부회장
 2004년 ~ 2005년 한국통신학회 감사
 2006년 ~ 현재 한국통신학회 회장
 관심분야: Multiple Access Communication System, Mobile Satellite Communication System, Dta Network, Wireless Multimedia.