

논문 2005-42TC-11-7

# S-V 채널 환경에서 UWB DS-CDMA/OFDM/MC-CDMA 시스템 성능 비교

( Performance Comparison of UWB DS-CDMA/OFDM/MC-CDMA System in S-V Channel Environment )

이 형 기\*, 곽 경 섭\*

( Hyung-Ki Lee and Kyung-Sup Kwak )

## 요 약

본 논문에서 UWB 시스템에 MC-CDMA 방식을 적용하여 성능을 분석하고 최근 표준화가 진행중인 DS-CDMA, OFDM 방식과 비교한다. DS-CDMA 방식은 다중경로 성분을 검출하기 위해 많은 Rake Finger들이 필요하기 때문에 시스템의 복잡도가 증가하고 OFDM 방식은 주파수 호핑을 사용하지 않는 상태에서 순간 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 나타내고 OFDM 방식과는 달리 매 순간마다 무든 전송대역을 사용함으로써 스펙트럼당 방사 전력이 낮아진다. 시뮬레이션 결과 단일 사용자일 경우 DS-CDMA 방식이 가장 우수한 결과를 보여주었지만, 다중사용자일 경우 MC-CDMA 방식이 더 우수한 성능을 보여주었다.

## Abstract

In this paper, we analyze the performance of UWB MC-CDMA system and compare it with DS-CDMA and OFDM systems, which have been drafting in standardization even now. Too many Rake Fingers are needed in the DS-CDMA system to separate multi-path signals, which results in high system complexity. OFDM radio power fails to qualify for FCC certification unless frequency hopping. From this reason, MC-CDMA system considered is proposed in this paper. It has lower complexity compared with 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. Simulation result show that the DS-CDMA system has better performance with single user, but MC-CDMA system shows best performance in case of multi user environment.

**Keywords:** UWB, MC-CDMA, DS-CDMA, OFDM

## I. 서 론

본 논문은 현재 표준화가 진행중인 Ultra Wide Band (UWB)에서 기존에 제안된 DS-CDMA 방식과 OFDM 방식간의 차이와 성능을 비교하고 두 시스템의 단점을 보완해 줄 수 있는 MC-CDMA 방식을 제안하고 성능을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. UWB와 같은 초광대역 시스템은 실내 무선채널 환경에서 매우 많은 다중

경로 성분을 갖게 되다. 이러한 다중경로 성분을 검출하기 위해 DS-CDMA 방식은 Rake 수신기를 사용하게 되는데 Rake 수신기의 평거 수가 증가하면 성능은 좋았지만 그에 따른 시스템의 복잡도가 급격히 증가하여 일정 수 이상의 평거를 사용할 수 없다. OFDM 방식은 다중경로 성분이 심볼구간 이내에 들어오면 별도의 등화기 없이도 충분한 성능을 발휘할 수 있는 장점이 있어 광대역 무선통신에 유리하다. 하지만 UWB는 광대역을 사용하는 대신 아주 낮은 파워로 신호를 전송해서 다른 시스템과의 간섭을 발생시키지 않아야 한다. 하지만 현재 제안된 OFDM 방식은 제한된 전력보다 높은 전력을 사용하여 주파수 호핑 방식을 이용해 평균

\* 정희원, 인하대학교 정보통신공학부  
( Inha University )

※ 본 연구는 대학IT연구센터과제(Inha UWB-ITRC)  
지원으로 수행되었습니다.

접수일자: 2005년6월30일, 수정완료일: 2005년10월19일

파워를 낮추는 방법을 사용하였지만 현재까지 표준화에서 인정받지 못하고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 CDMA 방식과 OFDM 방식의 혼합 방식인 MC-CDMA 방식을 제안한다.

본 논문의 구성은 II장에서 UWB 채널로 표준으로 채택된 S-V 채널모델에 대해 설명하고, III장에서 현재 제안된 DS-CDMA와 OFDM 방식에 대해 연구하였다. IV장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 MC-CDMA 방식에 대해 분석하고 V장에서 각각의 시뮬레이션 결과를 보인다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. UWB 채널 모델

UWB는 매우 넓은 대역폭을 사용하는 시스템으로 일반적인 채널 모델을 적용할 수 없다. 넓은 대역폭을 갖는 신호는 펄스 폭이 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 1번째 클러스터  $k$ 번째 레이의 다중경로 획득 상수로 크기와 위상을 포함하고 있고,  $T_l^i$ 는 1번째 클러스터의 도착 시간이고,  $\tau_{k,l}^i$ 는 1번째 클러스터 내의  $k$ 번째 레이의 도착 시간이며 1번째 클러스터 내의 첫번째 레이 시간  $\tau_{0,l} = 0$ 이다. 클러스터와 레이의 도착 시간은 지수분포를 따른다.  $X_i$ 는 로그노말 쉐도잉으로  $X = 10^{n/20}$ 이며  $n$ 은 평균이 0dB이고 표준편차가 3dB인 정규분포를 따른다. 클러스터 도착 시간과 레이 도착 시간의 분포는 다음과 같다.

$$p(T_l | T_{l-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], \quad l > 0$$

$$p(\tau_{k,l} | \tau_{(k-1),l}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1),l})], \quad k > 0$$

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.

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

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

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

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

위 식은 각각의 클러스터나 총 클러스터 파워가 지수적으로 감쇠한다는 것을 의미한다.  $\Omega_0$ 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 가능성은 매우 낮다. 따라서 모델을 단순화하기 위해 802.15.3a 모델에서는 이런 효과를 반영하지 않았다.

## III. UWB 시스템으로 제안된 DS-CDMA와 OFDM방식의 시스템 분석

### 3.1 DS-CDMA 방식 시스템 분석

DS-CDMA 방식은 XSI에서 제안한 모델로 주파수를 Low Band에 3.1GHz~5.15GHz, High Band에 5.85GHz~10.6GHz로 두 개의 밴드로 나누어 각각에 4.104GHz, 8.208 GHz의 단일 반송파를 사용하는 시스템이다. Low band에서의 symbol rate은 57Mbps이고, upper band에서의 symbol rate은 114Mbps이다.

DS-CDMA 시스템의 QPSK로 변조된  $j$ 번째 사용자의 DS-CDMA 심볼은 [9]에 따라 다음과 같다.

$$s_{(j)}^{DS}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{m=0}^{M-1} b_i(t) c_m^{(j)} p_c(t - mT_c - iT_s) \quad (2)$$

$b_i(t)$ 은  $i$ 번째 데이터 비트이고  $c_m^{(j)}$ 는  $j$ 번째 사용자

의 길이 M인 확산 코드의 m번째 성분이다.  $T_c$ 는 코드 주기이며,  $T_s$ 는 심볼 주기이다.  $p_c(t)$  필스 패형으로 다음과 같은 구형 필스를 가정한다.

$$p_c(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

S-V 채널을 통과한 후 수신기에서 수신된 데이터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_{DS}(t) &= \sum_{j=0}^{J-1} \int_{-\infty}^{\infty} s_{(j)}^{DS}(t-\tau) \otimes h^j(\tau; t) d\tau + n(t) \\ &= X \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{J-1} s_{(j)}^{DS}(t - T_l - \tau_{k,l}) \alpha_{k,l}(t) + n(t) \quad (3) \end{aligned}$$

여기서  $n(t)$ 는 백색 가우시안 잡음이다(AWGN).  $t = iT_s$ 에서 결정변수는 다음과 같다.

$$D_{DS}^{j'} = X \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_{k,l}^*(iT_s) \frac{1}{T_s} \int_{T_l + \tau_{k,l}}^{T_l + \tau_{k,l} + T_l} \sum_{m=0}^{M-1} c_m^{(j')} \cdot p_c(t - mT_c - iT_s) r_{DS}(t) dt \quad (4)$$

DS-CDMA 시스템은 Rake 수신기를 사용함으로써 다중경로 성분을 효과적으로 검출해 내어 성능은 좋아지나 그만큼 시스템의 복잡도는 증가하게 된다. 2장에서 보았듯이 초 광대역 채널의 수신신호의 다중경로 성분은 매우 많아서 DS-CDMA 시스템은 많은 수의 Rake 평거를 사용하여야 하는 단점이 있다.

### 3.2 OFDM 방식의 시스템 분석

MBOA측에서 제안한 Multi-band OFDM은 주파수를 3.1GHz부터 10.6GHz까지 528MHz씩 총 13개로 나누고 각각 세 개의 밴드로 묶어서 서비스를 제공한다. 서브캐리어는 128 point IFFT/FFT를 사용해서 만들어지고 변조방식은 QPSK를 사용한다. 평균 파워를 낮추기 위해 주파수 호평을 이용해 한 주파수 대역이 연속으로 전송되지 않도록 한다.

OFDM 송신기는 입력 데이터를 N개의 병렬 데이터열로 변환한 후 IFFT를 이용해 변조한 후 다시 직렬 데이터로 변환한다. 다중경로 간섭으로 인한 심벌들 간의 ISI를 줄이기 위해 보호구간  $\Delta$  동안 제로 패딩 데이터를 붙여준다. OFDM 신호의 복소 기저대역 신호는 [4]에 따라서 다음과 같다.

$$r_{RF}(t) = \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} r_k(t - kT_{SYM}) \exp(j2\pi f_k t) \right\} \quad (5)$$

$\operatorname{Re}()$ 는 복소 신호의 실수 부분을 나타내고,  $r_k(t)$ 는 t 번째 OFDM 심볼의 복소 기저대역 신호를 나타낸다. N은 OFDM 심볼 길이이고 TSYM은 심볼 주기이며,  $f_k$ 는 k번째 대역의 주파수이다. 모든 OFDM 심볼  $r_k(t)$ 는IFFT를 이용해 데이터, 파일럿, 훈련 심볼들로 이루어진 상수  $C_n(i)$ 의 특정한 조합으로 만들어진다. OFDM의 송신 신호는 [9]에 따라서 다음과 같다.

$$s_{OFDM}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-N_{st}/2}^{N_{st}/2} C_n(i) p_c(t - iT_{CP}) e^{j2\pi f_i(t - iT_{CP})} \quad (6)$$

파라미터  $\Delta_f$ 와  $N_{st}$ 는 각각 부반송파 주파수 간격과 이용된 총 부반송파의 수를 나타낸다. 결과적인 패형은  $T_{FFT} = 1/\Delta_f$ 의 구간을 갖는다.  $T_{CP}$ 에 의해 시간을 옮기는 것은 다중 경로의 효과를 완화하기 위해 OFDM에서 이용되는 circular prefix를 갖게 된다.  $p_c(t)$ 는 구형 필스를 나타내고  $T_{GI}$ 는 보호구간이다.

S-V 채널을 통과한 후 수신신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_{OFDM}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} s_{OFDM}(t-\tau) \otimes h^j(\tau; t) d\tau + n(t) \\ &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-N_{st}/2}^{N_{st}/2} z_n(t) C_n(i) p_c(t - iT_{CP}) e^{j2\pi f_i(t - iT_{CP})} + n(t) \quad (7) \end{aligned}$$

여기서  $z_n(t)$ 는 수신된 복소 엔벨로프에서 n번째 부반송파이다.

### IV. MC-CDMA System 분석

MC-CDMA 방식은 OFDM 방식에 CDMA 기술을 결합한 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 문제가 되는 방사 에너지 문제는 해결이 된다.

그림 1은 DS-CDMA, OFDM 방식과 MC-CDMA 방

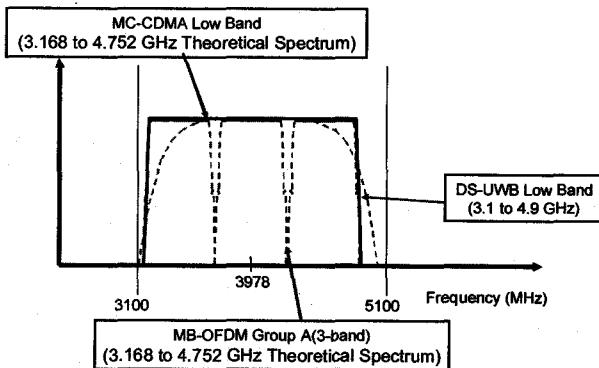


그림 1. DS-CDMA, OFDM, MC-CDMA 주파수 밴드 비교.

Fig. 1. Spectrum comparison of DS-CDMA, OFDM, MC-CDMA.

식에서 사용하는 주파수 밴드를 보여준다. DS-CDMA 주파수 밴드는 1.368MHz 폭을 사용하고 OFDM와 MC-CDMA는 1.584MHz 폭을 사용한다. DS-CDMA의 주파수는 필터를 통과한 후 양 옆으로 퍼지는 스펙트럼으로 인해 실제 차지하는 대역은 1.584MHz가 되고 OFDM과 MC-CDMA 방식은 주파수를 다중 반송파로 나누어 사용하기 때문에 필터를 통과한 주파수 대역이 상대적으로 급격하게 떨어진다. OFDM 방식은 이 대역을 세 개로 나누어 주파수 호평을 함으로써 평균 파워를 같게 한다. 하지만 주파수 호평을 사용하지 않을 경우 OFDM의 방사 파워는 FCC 규정을 초과하게 된다.

MC-CDMA 방식은 OFDM의 주파수 대역보다 세 배의 대역을 사용함으로써 같은 에너지의 신호를 보내기 위한 주파수 Hz당 파워를 1/3로 낮출 수 있다.

j번째 사용자의 송신 신호는 [9]에 따라 다음과 같다.

$$s_{MC}^j(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{p=0}^{P-1} \sum_{m=0}^{M-1} b_{j,p}(i) c_j(m) p_s(t - iT_s) e^{j2\pi(Pm+p)\Delta f'(t-iT_s)} \quad (8)$$

$$\Delta + T_s' = PT_s$$

$$\Delta f' = 1/(T_s' - \Delta)$$

입력 데이터  $b_{j,p}(i)$ 는 P개의 병렬 데이터로 변환되고, 각각의 데이터는 길이 M인 확산 코드  $\{c_j(0), c_j(1), \dots, c_j(M-1)\}$ 와 곱해지며,  $T_s$ 는 비트 주기이고  $T_s'$ 는 부반송파의 심볼 주기이다.  $\Delta$ 는 보호 구간이고  $\Delta f'$ 는 최소 부반송파 간격이다.  $p_s(t)$  펄스 파형으로 다음과 같은 구형 펄스를 가정한다.

$$p_s(t) = \begin{cases} 1, & -\Delta \leq t \leq T_s' - \Delta \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$b_{j,p}(i)$ 에 대한 부반송파 간격  $\Delta f = P/(T_s' - \Delta)$ 이다. M개의 코드가 할당된 송신된 파형은 P개의 부반송파로 이루어진 OFDM 신호와 같다. 채널을 통과한 수신된 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_{MC}(t) &= \sum_{j=0}^{J-1} \int_{-\infty}^{\infty} S_{MC}^j(t-\tau) \otimes h^j(\tau, t) d\tau + n(t) \\ &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{p=0}^{P-1} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{J-1} z_{p,m}^j(t) b_{j,p}(i) c_j(m) \\ &\quad \cdot p_s(t - iT_s') e^{j2\pi(Pm+p)\Delta f't} + n(t) \end{aligned} \quad (9)$$

$z_{p,m}^j(t)$ 는 j번째 사용자의 mP+p번째 수신된 복소 포락선이다.

MC-CDMA 수신기는 복잡한 부반송파 복구를 피하기 위해 차동 검출기를 사용하므로 OFDM 수신기와 비교했을 때 상당히 복잡하다. 수신 데이터  $b_{j,p}(i)$ 에 대한 부반송파 성분은 FFT에서 동기 검출되고 대역확산 이득을 얻기 위해  $g_{p,m}$ 을 곱해준다. 결정변수는 가중된 기저대역 성분들의 합으로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D_{MC}^j(t = iT_s') &= \sum_{m=0}^{M-1} G_j(m) \left( \sum_{j=0}^{J-1} z_m^j(iT_s') b_j c_j(m) + n_m(iT_s') \right) \\ &= b_j \sum_{m=0}^{M-1} G_j(m) z_m^j(iT_s') \\ &\quad + \sum_{j=0, j \neq j'}^{J-1} b_j \sum_{m=0}^{M-1} G_j(m) z_m^j(iT_s') c_j(m) \\ &\quad + \sum_{m=0}^{M-1} G_j(m) c_j(m) n_m(iT_s') \\ &= \alpha + \zeta + \eta \end{aligned} \quad (10)$$

$\alpha$ 는  $j'$  사용자의 수신 데이터로써

$$\alpha = b_j \sum_{m=0}^{M-1} G_j(m) z_m^j(iT_s')$$

이고,  $\zeta$ 는 다중 사용자의 간섭 성분(MUI)로

$$\zeta = \sum_{j=0, j \neq j'}^{J-1} b_j \sum_{m=0}^{M-1} G_j(m) z_m^j(iT_s') c_j(m) c_{j'}(m)$$

이며,  $\eta$ 는  $t = iT_s$ 에서 m번째 부반송파의 백색 가우시 안 잡음으로

$$\eta = \sum_{m=0}^{M-1} G_j(m) c_j(m) n_m(iT_s)$$

이다.

위 세 가지 성분이 단일 사용자 검출에 사용된다.

MRC 방법은 더 강한 신호에 약한 신호보다 더 많은 가중치를 주어 다이버시티 이득을 얻는 방법이다. 이에 따른 등화 이득  $G_j(m) = z_m^*$ 이다. 이 등화이득은 수신 신호의 채널 간섭과 위상 잡음을 보상해준다. 이 등화이득에 따른 수신 신호성분  $\alpha$ 는

$$\alpha = b_j \sum_{m=0}^{M-1} |z_m^j|^2$$

이고, 여기서 MUI는

$$\varsigma = \sum_{j=0, j \neq j'}^{J-1} b_j \sum_{m=0}^{M-1} |z_m^j|^2 c_j(m) c_{j'}(m)$$

이며, AWGN  $\eta$ 는

$$\eta = \sum_{m=0}^{M-1} z_m^* c_j(m) n_m(iT_s)$$

이다.

## V. 시뮬레이션 결과 분석

### 5.1 시뮬레이션 파라미터 선정

표 5-1은 각각의 시스템에 대해 모의 실험에서 사용할 파라미터들이다. 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 데이터를 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.

### 5.2 시뮬레이션결과 분석

그림 2는 채널모델 1, 2, 3, 4에서 DS-CDMA,

표 1. DS-CDMA/OFDM/MC-CDMA 파라미터 비교.  
Table 1. Parameter comparison of DS-CDMA/ OFDM /MC-CDMA.

	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	114 Mbps

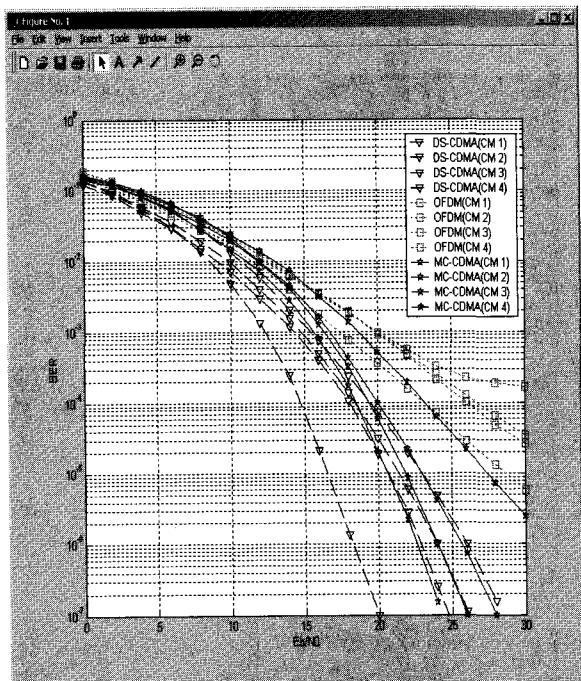


그림 2. DS-CDMA/OFDM/MC-CDMA 단일 사용자 성능 비교(CM 1).

Fig. 2. Single user performance comparison of DS-CDMA/OFDM/MC-CDMA(CM 1).

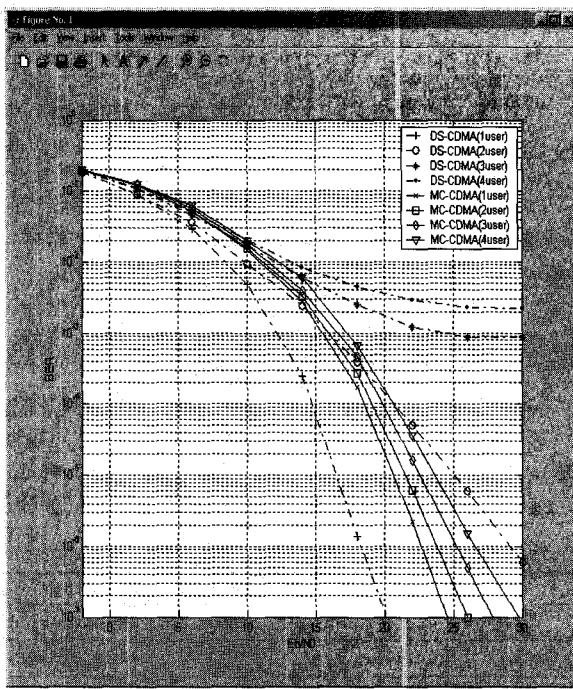


그림 3. DS-CDMA/MC-CDMA 다중 사용자 성능 비교(CM 1).

Fig. 3. Multi user performance comparison of DS-CDMA/MC-CDMA(CM 1).

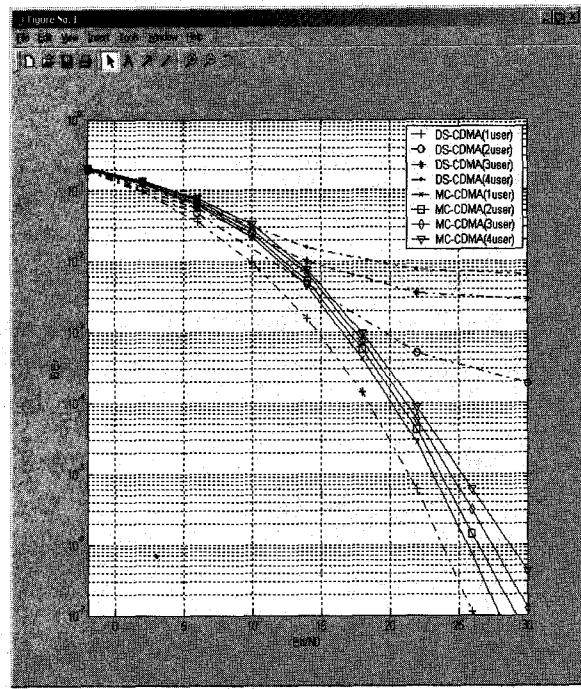


그림 5. DS-CDMA/MC-CDMA 다중 사용자 성능 비교(CM 3).

Fig. 5. Multi user performance comparison of DS-CDMA/MC-CDMA(CM 3).

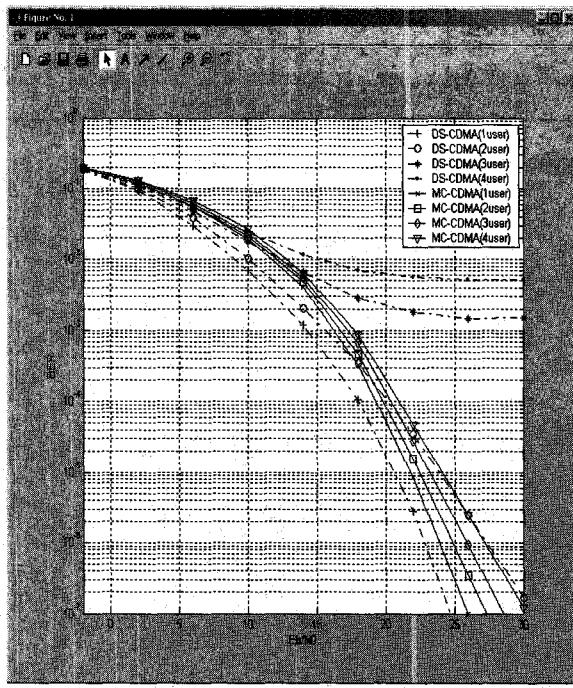


그림 4. DS-CDMA/MC-CDMA 다중 사용자 성능 비교(CM 2).

Fig. 4. Multi user performance comparison of DS-CDMA/MC-CDMA(CM 2).

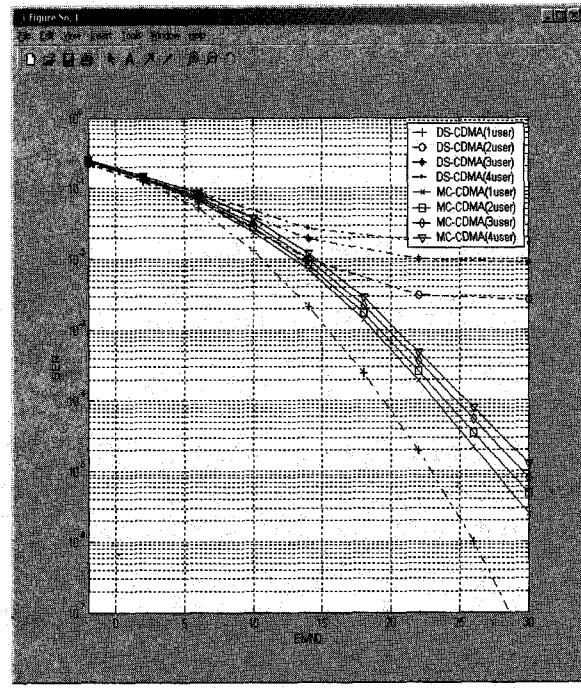


그림 6. DS-CDMA/MC-CDMA 다중 사용자 성능 비교(CM 4).

Fig. 6. Multi user performance comparison of DS-CDMA/MC-CDMA(CM 4).

OFDM 그리고 MC-CDMA 방식의 단일 사용자에 대한 성능 그래프를 보여주었다. DS-CDMA은 24개의 PN 코드와 16개의 RAKE 평거를 사용하였고, OFDM은 시

간, 주파수 다이버시티를 주었다. MC-CDMA는 16개의 WH 코드를 사용하였다. DS-CDMA와 MC-CDMA 방식에서 확산 이득을 얻기 위한 수신 방법은 MRC 방식

을 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 채널인데도 16개의 RAKE 수신기만을 사용하더라도 우수한 성능을 발휘하는 것을 볼 수 있다. OFDM은 모든 채널에서 가장 나쁜 성능을 보여준다. 이는 OFDM의 시간, 주파수 다이버시티가 큰 성능을 발휘하지 못하다는 것을 의미한다.

앞에서 DS-CDMA 방식은 단일 사용자일 때 MC-CDMA 방식보다 우수한 것을 보았다. 그림 3부터 6까지는 DS-CDMA와 MC-CDMA 방식의 다중 사용자 성능에 대한 시뮬레이션 결과이다. 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 코드 간의 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.

## VI. 결 론

본 논문은 현재 제안된 DS-CDMA 방식과 OFDM 방식의 UWB 시스템의 성능 향상 방법에 대해 연구하였다. DS-CDMA 방식은 다중경로 성분을 검출하기 위해 RAKE 수신기를 사용해야 한다. 하지만 RAKE 평거는 사용 개수에 따라 복잡도가 크게 증가하므로 일정 수준 이사의 RAKE 평거는 사용이 불가능하다. 때문에 본 시뮬레이션에서는 16개의 RAKE 평거를 사용하였다. 확산 코드는 DS-CDMA 방식은 24개를 사용하였고 MC-CDMA 방식은 16개의 WH 코드를 사용하였다. MC-CDMA 방식은 RAKE 평거를 사용하지 않기 때문에 상대적으로 DS-CDMA 방식보다 간단하지만 확산 코드 사용과 더 큰 FFT 크기로 인해 OFDM 방식보다 복잡하다. 하지만 OFDM 방식은 방사 파워가 상대적으로 커서 FCC에서 규제하고 있는 제한을 넘는다. MC-CDMA 방식은 OFDM 보다 세 배의 주파수 대역을 사용함으로써 같은 BER 성능일 경우 주파수당 방사 파워를 1/3로 낮출 수 있어 FCC의 제한을 만족할 수

있다.

시뮬레이션 결과 DS-CDMA 방식은 단일 사용자일 경우 MC-CDMA 방식보다 우수한 성능을 보여주었다. 하지만 다중 사용자일 경우 DS-CDMA 방식은 급격히 성능이 나빠지는 것을 볼 수 있다. 반면 MC-CDMA 방식은 단일 사용자일 경우는 DS-CDMA 방식보다 성능이 나쁘지만 다중 사용자일 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 다중사용자에서 우수한 성능을 보여주었기 때문에 향후 UWB 표준화 진행에 있어 하나의 대안으로 연구되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

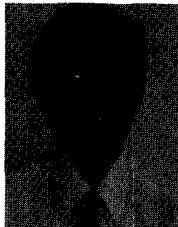
- [1] A. A. Saleh and R. A. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 5, pp. 128 - 137, Feb. 1987.
- [2] Jeffrey R. Foerster and Andreas F. Molisch, "A Channel Model for Ultrawideband Indoor Communication," Channel Modeling Subcommittee Report Final, November, 2002.
- [3] Paul Runkle, John McCorkle, Tim Miller, and Matt Welborn, "DS-CDMA: The modulation technology of choice for UWB communications," Ultra Wideband Systems and Technologies, 2003 IEEE Conference, NOVEMBER 2003.
- [4] Anj Batra and Jaiganesh Balakrishnan, "Design of a Multiband OFDM System for Realistic UWB Cahnnel Environments,"IEEE transactions on microwave theory and techniques, SEPTEMBER 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," IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, May 2002.
- [6] L. HANZO, M.MUNSTER, B.J. CHOI, T. KELLER, "OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting," p241-p252, WILEY
- [7] H. Luediger, S. Zeisberg, "UWB performance assessment base on recent FCC regulation and measured radio channel characteristics," CES Mobile Summit 2002, Thessaloniki, June 2002.

- [8] Shinsuke Hara, Ramjee Prasad, "Design and Performance of Multicarrier CDMA System in Frequency-Selective Rayleigh Fading Channels," IEEE Transactions on Vehicular technology, September 1999.
- [9] Shinsuke Hara, "Overview of Multicarrier CDMA," IEEE Communications Magazine, December 1997.

---

### 저자 소개

---



이 형 기(정회원)

1985년 2월 인하대학교  
전자공학과 (학사)  
1987년 8월 인하대학교  
전자공학과 (석사)  
1989년 6월 ~ 1992년 3월 LG 정보  
통신 네트워크사업부 근무  
1998년 2월 인하대학교 전자공학과 (박사수료)  
1992년 ~ 현재 재능대학 정보통신과 부교수  
<주관심분야 : UWB, 무선LAN, RF시스템>



곽 경 섭(정회원)

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 한국 통신학회 상임이사  
1999년 ~ 1999년 인하대학교 공과대학 전기전자,  
컴퓨터공학부 공학부장  
2001년 ~ 2002년 인하대학교  
정보통신전문대학원장  
2002년 ~ 현재 인하대학교 정보통신공학부 교수  
2002년 ~ 2003년 한국통신학회 부회장  
2004년 ~ 2005년 한국통신학회 감사  
2005년 ~ 현재 한국통신학회 수석 부회장  
<주관심분야 : Multiple Access Communication  
System, Mobile Satellite Communication  
System, Dta Network, Wireless Multimedia. >