

論文 2003-40TC-8-2

## 이동위성 리턴링크에서 준동기 MC-CDMA와 MC-DS/CDMA 성능 분석

(Performance Analysis of Quasi-synchronous MC-CDMA  
and MC-DS/CDMA in Mobile Satellite Return Link)

安致勳\*, 崔榮寬\*, 李鎬振\*\*, 金東九\*

(Chi Hun Ahn, Young kwan Choi, Ho Jin Lee, and Dong Ku Kim)

### 요약

준동기 이동위성 리턴링크에서 MC-CDMA와 MC-DS/CDMA 시스템의 성능을 분석한다. 단말 사이의 칩 오프셋이 수 칩 이내인 준동기가 고려되었다. Walsh 코드를 사용한 MC-DS/CDMA 시스템은 준동기  $\pm 0.5 T_c$ , MC-CDMA 시스템의 준동기  $\pm 5/64 T_c^{MC}$  상황에서 사용자가 5명인 경우 MC-CDMA 시스템의 성능에 비해 10<sup>-3</sup> BER에서 0.3dB 우수하였다. Walsh 코드를 사용한 MC-DS/CDMA는 extended m 코드, gold 코드를 사용할 때와 비교하여 0.2dB 이상 성능이 우수하였다. Walsh 코드를 사용한 MC-CDMA 시스템은 사용자가 5명인 경우 준동기  $\pm 5/32 T_c^{MC}$  이하이면 gold 코드에 비해서 성능이 1.2dB 이상 우수하였다.

### Abstract

We analyze the performance of MC-CDMA and MC-DS/CDMA system on quasi-synchronized mobile satellite return link. Quasi-synchronization is considered that chip offset between terminals is within a few chips. In 10<sup>-3</sup> BER, performance of MC-DS/CDMA system with walsh code is 0.3dB better than that of MC-CDMA system when the number of user is 5 from  $-0.5 T_c$  to  $0.5 T_c$  quasi-synchronization of MC-DS/CDMA system and from  $-5/64 T_c^{MC}$  to  $5/64 T_c^{MC}$  quasi-synchronization of MC-CDMA system. MC-DS/CDMA system with walsh code is over 0.2dB better than that of MC-DS/CDMA system with extended m code and gold code. MC-CDMA system with walsh code is over 1.2dB better than that of MC-CDMA system with gold code when the number of user is 5 and lower than from  $-5/32 T_c^{MC}$  to  $5/32 T_c^{MC}$  quasi-synchronization.

**Keywords** : MC-CDMA, MC-DS/CDMA, quasi-synchronization

\* 正會員, 延世大學校 電氣電子工學科  
(Yonsei University, Dept. of Electrical and Electronic  
Engineering)  
\*\* 正會員, 韓國電子通信研究院  
(Electronics and Telecommunications Research Institute)  
接受日字: 2003年3月20日, 수정완료일: 2003年8月16日

### I. 서론

최근 몇 년간 인터넷 서비스의 이용이 폭발적으로 증가하는 추세에 있다. 기존 인터넷망은 유선을 이용한 고속 데이터 전송을 구현하는 시스템에 관심이 집중되어 있었다. 급속도로 진행되고 있는 인터넷의 새로운 응용 기술 개발에 따라서 여러 QoS를 제공하는 멀티미디어

서비스에 대한 사용자의 다양한 요구가 증대되고 있다.

특히, 위성을 이용한 무선 인터넷 시스템에서 고속 데이터 패킷 전송에 대한 필요성과 연구에 대한 관심이 높아지고 있다. 이때 위성은 중계기의 역할뿐만 아니라, 집과 사무실에서 직접 위성과 연결을 하는 Direct 인터넷 기술로 발전하고 있다. 이러한 위성을 현 무선망과 접속하여 이동성을 보장해 주고, 수용용량을 극대화 할 수 있는 전송기술에 대한 연구에 관심이 모아지고 있다<sup>[1-4]</sup>.

위성 인터넷 서비스의 특징으로는 첫째, PSTN(Public Switched Telephone Network)에서의 저속 전송속도 문제를 해결하여 128Kbps-1Mbps까지의 서비스를 저가로 제공하는 점과 동보성과 광역성을 이용한 전국의 특정 다수지역에 동시에 데이터, 오디오 및 비디오등 멀티미디어 서비스를 전송하여 서비스 이용을 희망하는 누구라도 손쉽게 저가의 장비 및 통신요금으로 자신이 원하는 정보를 3-15Mbps의 전송속도로 수신이 가능하다는 점이다<sup>[9]</sup>.

차세대 이동통신은 육상이동통신 시스템이 포함된 위성이동통신을 이용하여 범용 개인휴대통신으로 발전하고 있다. IMT-2000 위성시스템에서는 LEO(Low Altitude Earth Orbit) / MEO(Medium Altitude Earth Orbit) / GEO(Geostationary Earth Orbit)등에 대해 변조방식 및 다중접속방식 등에 대한 표준화가 진행되고는 있지만 위성을 이용한 무선 인터넷 및 가변 전송속도를 지원하는 멀티미디어 서비스에 필요한 변조방식이나 다중접속방식 등에 대한 실질적 연구는 아직 미흡한 상황이다.

본 논문에서는 위성을 이용한 고속 무선 인터넷 서비스의 리턴링크 다중접속방식으로 이용 가능한 다중반송파 시간영역 확산방식인 직접대역확산 부호분할 다중접속방식(MC-DS/CDMA), 주파수영역 확산방식인 다중반송파 부호분할 다중접속방식(MC-CDMA)을 비교 분석한다<sup>[5, 10]</sup>.

특히, MC-DS/CDMA 방식과 MC-CDMA 방식을 준동기(quasi-synchronization) 상황에서 성능을 비교 분석한다. 기존의 이동통신시스템 역방향 링크에서는 사용자 간 동기화 전혀 맞지 않는 비동기 상황에서 시스템이 구현되었는데, 이동위성 리턴링크는 고속 데이터 패킷이 전송되기전 사용자간 준동기를 유지하는 기술이 선행된다는 가정하에 준동기 상황이 고려된다. 또한 준동기 리턴링크 채널에 적합한 채널구분 코드에 대한 성능을 분석한다.

II장에서는 이동위성 리턴링크에서 고려될 수 있는 고속 패킷 데이터 전송이 가능한 다중반송파와 CDMA 시스템에 대한 송수신기 구조 및 특성에 대해서 연구하고, III장에서는 MC-DS/CDMA 시스템과 MC-CDMA 시스템의 신호를 모델링하였으며, IV장에서는 MC-DS/CDMA 시스템과 MC-CDMA 시스템 사양과 모의실험의 결과를 분석하였고 V장에서는 결론을 정리한다.

## II. 다중 반송파와 CDMA 시스템

### 1. MC-DS/CDMA 시스템

MC-DS/CDMA 시스템은 일반적인 DS-SS 방식에 고속 데이터 전송을 위해서 직병렬회로(Serial to Parallel: S/P)와 다중 반송파가 이용된다. 데이터 열을 S/P 변환에 의해서 각 병렬경로로 전송하고 사용자 구분 직교 코드에 의해 확산되며, 서로 다른 직교 부반송파에 의해서 변조된 후 전송되는 시간영역 확산 방식이다. <그림 1>에 MC-DS/CDMA 시스템의 송신기 구조를 나타내었다. 확산이득은 4, 직교 부반송파의 수가 5인 경우의 블록도이다. MC-DS/CDMA 시스템에서 반송파 수는 데이터 율에 의해서 결정되고 확산이득과는 다르다.

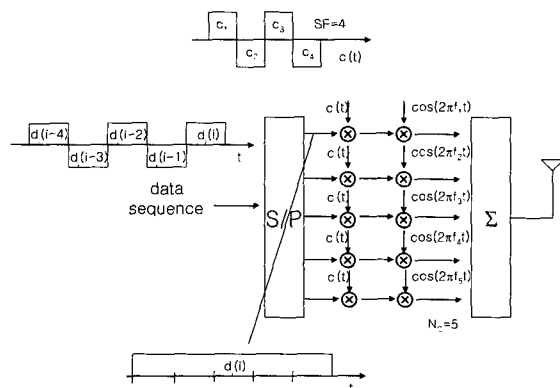


그림 1. MC-DS/CDMA 시스템의 송신기 구조  
Fig. 1. Transmitter structure of MC-DS/CDMA system.

<그림 2>는 MC-DS/CDMA 신호의 스펙트럼과 수신기의 구조이다. 수신신호는 시간영역에서 복조와 역확산 및 LPF를 통과한 후 경관정을 통해서 검출되고 P/S (Parallel to Serial: P/S) 과정을 하게된다. MC-DS/CDMA 시스템에서 직교 부반송파는  $1/T_c$ 의 정수배 간

격으로 분리되어 직교성을 유지한다.

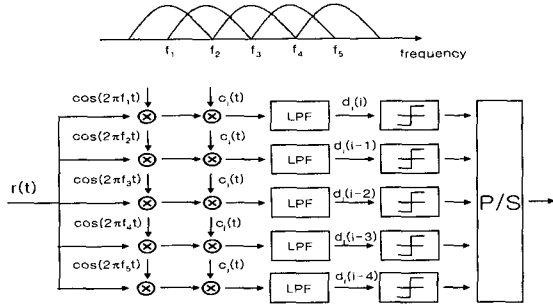


그림 2. MC-DS/CDMA 시스템의 신호 스펙트럼과 수신기 구조  
Fig. 2. Signal spectrum and receiver structure of MC-DS/CDMA system.

2. MC-CDMA 시스템

MC-CDMA 방식은 사용자 구분 코드 각각의 칩에 직교하는 서로 다른 직교 부반송파를 할당하여 주파수 영역에서 확산하는 방식이다. MC-CDMA의 부반송파 수는 확산이득과 동일하다. <그림 3>은 확산이득이 4인 경우 MC-CDMA 시스템의 송신기 구조이다. 동일한 데이터를 각 병렬 경로에 전송하고 사용자 구분 코드 칩에 의해서 확산되며 변조된다. 이때 확산된 데이터 비트 구간 ( $T$ )은 칩 구간 ( $T_c^{MC}$ )과 동일하다.

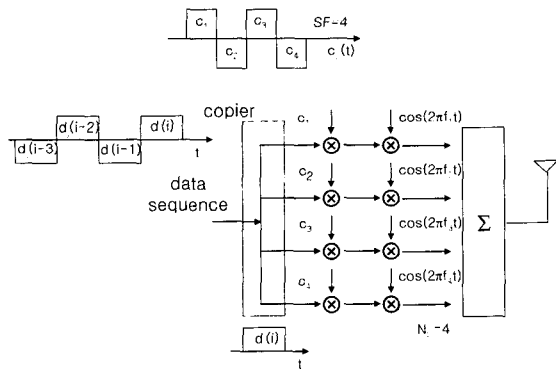


그림 3. MC-CDMA 시스템의 송신기 구조  
Fig. 3. Transmitter structure of MC-CDMA system.

<그림 4>는 MC-CDMA 신호의 스펙트럼과 수신기의 구조이다. 수신신호는 주파수영역에서 복조와 역확산 및 LPF를 통과하여 더해진 후 검출된다. MC-CDMA 시스템에서 직교 부반송파는  $1/T_c^{MC}$ 의 정수배 간격으로 분리된다. 그리고 MC-CDMA 시스템은 MC-DS/

CDMA 시스템과 동일한 확산이득을 얻기 위해서 보다 많은 부반송파를 필요로 하게 된다.

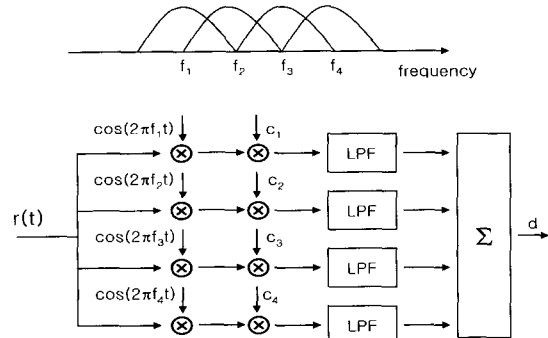


그림 4. MC-CDMA 시스템의 신호 스펙트럼과 수신기 구조  
Fig. 4. Signal spectrum and receiver structure of MC-CDMA system.

III. 다중 반송파 CDMA 시스템 신호 모델

1. MC-DS/CDMA 시스템 신호 모델

MC-DS/CDMA 시스템에서  $j$ 번째 사용자의 송신신호  $s_j(t)$ 는 식 (1)과 같다.

$$s_j(t) = \sqrt{\frac{2P}{M}} \sum_{m=1}^M d_{j,m}(t) c_j(t) \cos(\omega_m t) \quad (1)$$

$P$ 는 단일 사용자에게 할당된 신호 전력이고  $M$ 은 부반송파의 수이다.  $j$ 번째 사용자의  $m$ 번째 부반송파로 전송되는 데이터 비트  $d_{j,m}(t)$ 는 식 (2)와 같이 정의될 수 있다. 또한  $j$ 번째 사용자에게 할당된 사용자 구분 코드  $c_j(t)$ 는 식 (3)과 같이 정의될 수 있다.  $\omega_m$ 은  $m$ 번째 경로의 부반송파 주파수이다.

$$d_{j,m}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k b_T(t - kT), \quad b_T(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2)$$

$$c_j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k b_{T_c}(t - kT_c), \quad b_{T_c}(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_c \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3)$$

위의 식에서  $d_k$ 와  $c_k$ 는 1 또는 -1의 값을 갖는다.  $T$ 는 S/P변환을 한 데이터 비트 구간이고,  $T_c$ 는 칩 구간이다. 이때 병렬 데이터 스트림의 데이터 구간은  $SF \cdot T_c$ 와 같다 ( $T = SF \cdot T_c$ ,  $SF$ : spreading factor).  $b_T(t)$ 와  $b_{T_c}(t)$ 는 구형과 펄스를 나타낸다.  $j$ 번째 사용자 구분 코드  $c_j(t)$ 는  $j$ 번째 사용자의 각 병렬 데이터

스트림에서 동일하게 사용되는 코드이다.

$N$ 명의 사용자와  $M$ 개의 부반송파를 사용하는 MC-DS/CDMA 이동위성 리턴링크의 수신신호는 식 (4)와 같다.

$$r(t) = \sqrt{\frac{2P}{M}} \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M c_n(t - \tau_n - lT) d_{nm}(t - \tau_n - lT) \times \cos(\omega_m(t - \tau_n) - \phi_n) + n(t) \quad (4)$$

$\tau_n$ 은  $n$ 번째 사용자의 지연시간이며  $c_n(t - \tau_n - lT)$ 는 코드 주기가  $T$ 인  $n$ 번째 사용자의 시간지연된 사용자 구분 직교 코드이다.  $d_{nm}(t - \tau_n - lT)$ 는  $n$ 번째 사용자의 시간지연된  $m$ 번째 부반송파로 전송되는 데이터 비트이고,  $\omega_m(t - \tau_n)$ 은  $n$ 번째 사용자의 시간지연된  $m$ 번째 부반송파 주파수이다.  $\phi_n$ 은  $n$ 번째 사용자의 위상 지연이고  $n(t)$ 는 AWGN 잡음이다.

$$\omega_m \tau_n + \phi_n = \theta_{nm} \quad (5)$$

위상 에러를 식 (5)와 같이 정의하면 이동위성 리턴링크의 수신신호는 식 (6)과 같다.

$$r(t) = \sqrt{\frac{2P}{M}} \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M c_n(t - \tau_n - lT) d_{nm}(t - \tau_n - lT) \times \cos(\omega_m t - \theta_{nm}) + n(t) \quad (6)$$

수신기에서 코히어런트 검출을 한다고 가정하여  $j$ 번째 사용자의  $k$ 번째 부반송파로 전송되는 신호를 검출하기 위해서 역확산하고 복조하게 되면 식 (7)과 같이 신호 성분( $s(i)$ )과 자기 신호의 다른 부반송파에 의한 간섭 성분( $\psi_m(i)$ ), 다른 사용자 신호의 간섭 성분( $\psi_{out}(i)$ ), 그리고 부가잡음 성분( $N(i)$ )으로 나뉘어진다.

$$Z_{jk}(i) = \int_{iT+\tau_j}^{(i+1)T+\tau_j} r(t) c_j(t - \tau_j - lT) \cos(\omega_k t - \theta_{jk}) dt = s(i) + \psi_m(i) + \psi_{out}(i) + N(i) \quad (7)$$

식 (7)에서 저역통과여파된 신호 성분( $s(i)$ )는 식 (8)과 같이 표현된다.

$$s(i) = \pm \sqrt{\frac{P}{2M}} T \quad (8)$$

이동위성 리턴링크에서는 단일경로만 있다고 가정한다. 만약 다중경로 신호가 존재한다면 다른 위성으로 신

호가 송신되기 때문에 이동단말의 고성능 안테나에 의해서 다중경로는 극복할 수 있다고 가정한다. 또한 코히어런트 검출방식이라 하면 자기 신호의 다른 부반송파에 의한 간섭 성분( $\psi_m(i)$ )은 직교성이 유지되기 때문에 0이 된다.

저역통과 여파된 다른 사용자들 간섭 성분을 계산하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} \psi_{out}(i) &= \sqrt{\frac{P}{2M}} \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1, n \neq j}^N \sum_{m=1}^M \{ \cos(\theta_{jk} - \theta_{nm}) \\ &\times \int_{iT+\tau_j}^{(i+1)T+\tau_j} d_{nm}(t - \tau_n - lT) c_n(t - \tau_n - lT) c_j(t - \tau_j - lT) \\ &\times \cos((\omega_m - \omega_k)t) dt - \sin(\theta_{jk} - \theta_{nm}) \int_{iT+\tau_j}^{(i+1)T+\tau_j} \\ &d_{nm}(t - \tau_n - lT) c_n(t - \tau_n - lT) \\ &\times c_j(t - \tau_j - lT) \sin((\omega_m - \omega_k)t) dt \} \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)는 시간지연이 있는 칩간 상관관계에 의한 함수로 되어있다. 그러므로 칩간 상관관계로 간략히 표현하면 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} \psi_{out}(i) &= \sqrt{\frac{P}{2M}} \sum_{n=1, n \neq j}^N \sum_{m=1}^M [ \cos(\theta_{jk} - \theta_{nm}) \\ &\{ P_{nj}(\tau_n - \tau_j) \widehat{d_{nm}^+}(i-1) + \widehat{F}_{nj}(\tau_n - \tau_j) \widehat{d_{nm}^-}(i) \\ &- \sin(\theta_{jk} - \theta_{nm}) \{ Q_{nj}(\tau_n - \tau_j) \widehat{d_{nm}^+}(i-1) \\ &+ \widehat{Q}_{nj}(\tau_n - \tau_j) \widehat{d_{nm}^-}(i) \} ] \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)에서  $P_{nj}(\tau_n - \tau_j)$ ,  $\widehat{F}_{nj}(\tau_n - \tau_j)$ ,  $Q_{nj}(\tau_n - \tau_j)$ ,  $\widehat{Q}_{nj}(\tau_n - \tau_j)$ 는 식 (11)에 나타난 것처럼 시간지연이 있는 칩간 상관관계와 부반송파의 차이에 의한 함수에 의해서 정의된 것이다. 따라서, 다른 사용자에 의한 간섭 성분은 시간지연된 데이터 비트, 그리고 이때 지연된 칩간 상관관계와 부반송파의 차에 의해서 결정된다.

$$\begin{aligned} P_{nj}(\tau_n - \tau_j) &= \int_{iT+\tau_j}^{iT+\tau_n} c_n(t - \tau_n + T) c_j(t - \tau_j) \cos((\omega_m - \omega_k)t) dt \\ \widehat{F}_{nj}(\tau_n - \tau_j) &= \int_{iT+\tau_n}^{(i+1)T+\tau_n} c_n(t - \tau_n) c_j(t - \tau_j) \cos((\omega_m - \omega_k)t) dt \\ Q_{nj}(\tau_n - \tau_j) &= \int_{iT+\tau_j}^{iT+\tau_n} c_n(t - \tau_n + T) c_j(t - \tau_j) \sin((\omega_m - \omega_k)t) dt \\ \widehat{Q}_{nj}(\tau_n - \tau_j) &= \int_{iT+\tau_n}^{(i+1)T+\tau_n} c_n(t - \tau_n) c_j(t - \tau_j) \sin((\omega_m - \omega_k)t) dt \end{aligned} \quad (11)$$

<그림 5>은  $n$ 번째 사용자 시간지연  $\tau_n$ 이 존재할 경우 검출하고자 하는 데이터 비트와 다른 사용자간 동기

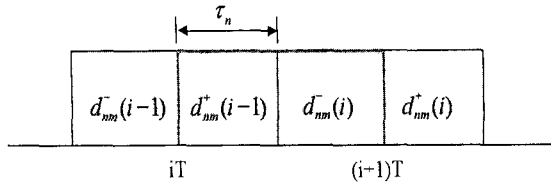


그림 5. 지연된 다른 사용자와의 데이터 비트  
Fig. 5. Delayed data bit of other user.

가 어긋나 있는 경우를 그린 그림이다.  $d_{nm}^+(i-1)$ 는  $n$  번째 사용자의  $m$  번째 부반송파로 전송되는  $i-1$  번째 데이터의 앞 부분이고  $d_{nm}^-(i)$ 는  $n$  번째 사용자의  $m$  번째 부반송파로 전송되는  $i$  번째 데이터의 뒷 부분이다. 결과적으로 신호의 제곱과 자기 신호의 다른 부반송파에 의한 간섭, 다른 사용자간 간섭, AWGN 잡음에 대한 제곱의 평균을 계산해 보면 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned}
 E[s^2(i)] &= \frac{P}{2M} T^2 \\
 E[\phi_{in}^2(i)] &= 0 \\
 E[\phi_{out}^2(i)] &= \frac{P}{4M} \sum_{n=1, n \neq j}^N \sum_{m=1}^M \{ E[P_{nj}^2(\tau_n - \tau_j)] \\
 &\quad + E[\widehat{P}_{nj}^2(\tau_n - \tau_j)] + E[Q_{nj}^2(\tau_n - \tau_j)] \\
 &\quad + E[\widehat{Q}_{nj}^2(\tau_n - \tau_j)] \} E[N^2(i)] = \frac{N_0 T}{4} \quad (12)
 \end{aligned}$$

2. MC-CDMA 시스템 신호 모델

MC-CDMA 시스템에서  $j$  번째 사용자의 송신신호  $s_j(t)$ 는 식 (13)과 같다.

$$s_j(t) = \sqrt{\frac{2P}{M}} \sum_{m=1}^M d_j(t) c_{j,m}(t) \cos(\omega_m t) \quad (13)$$

$P$ 는 신호 전력,  $M$ 은 직교 부반송파의 수,  $\omega_m$ 은  $m$  번째 경로의 부반송파 주파수이다.  $j$  번째 사용자의 데이터 비트  $d_j(t)$ 와 할당된  $m$  번째 칩을 나타내는  $c_{j,m}(t)$ 는 각각 식 (14)와 (15)와 같이 정의될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 d_j(t) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k p_{T_b}(t - kT_b), \\
 p_{T_b}(t) &= \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_b \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (14)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{j,m}(t) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k p_{T_c^{MC}}(t - kT_c^{MC}), \\
 p_{T_c^{MC}}(t) &= \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_c^{MC} \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (15)
 \end{aligned}$$

$d_k$ 와  $c_k$ 는 1, -1의 값을 갖고  $T_b$ 는 병렬 데이터 스트림 데이터 비트 구간,  $T_c^{MC}$ 는 칩 구간,  $p_{T_b}(t)$ 와  $p_{T_c^{MC}}(t)$ 는 구형파 펄스이다.

$N$ 명의 사용자와  $M$ 개의 부반송파를 사용하는 MC-CDMA 이동위성 리턴링크의 수신신호는 식 (16)과 같다.

$$\begin{aligned}
 r(t) &= \sqrt{\frac{2P}{M}} \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M d_n(t - \tau_n - lT_b) \\
 &\quad \times c_{nm}(t - \tau_n - lT_b) \cos(\omega_m(t - \tau_n) - \phi_n) + n(t) \quad (16)
 \end{aligned}$$

$c_{nm}(t - \tau_n - lT_b)$ 은  $n$  번째 사용자 시간지연된 사용자 구분 직교 코드의  $m$  번째 부반송파에 할당된 칩,  $d_n(t - \tau_n - lT_b)$ 는 데이터 비트,  $\omega_m(t - \tau_n)$ 은  $m$  번째 부반송파 주파수,  $\phi_n$ 은 위상 지연,  $n(t)$ 는 AWGN 잡음이다.

$$\omega_m \tau_n + \phi_n = \theta_{nm} \quad (17)$$

위상 에러를 식 (17)과 같이 다시 정리하면 리턴링크의 수신신호는 식 (18)과 같다.

$$\begin{aligned}
 r(t) &= \sqrt{\frac{2P}{M}} \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M d_n(t - \tau_n - lT) \\
 &\quad \times c_{nm}(t - \tau_n - lT) \cos(\omega_m t - \theta_{nm}) + n(t) \quad (18)
 \end{aligned}$$

수신기에서 코히어런트 검출을 한다고 가정하여  $j$  번째 사용자의  $i$  번째 데이터 비트를 검출하면 식 (19)와 같이 신호성분( $s(i)$ )과 다른 사용자 신호의 간섭성분( $\phi_{out}(i)$ ), 그리고 부가잡음 성분( $N(i)$ )으로 나뉘어진다.

$$\begin{aligned}
 Z_j(i) &= \int_{iT + \tau_i}^{(i+1)T + \tau_i} r(t) \sum_{a=1}^M c_{ja}(t - \tau_j - lT) \cos(\omega_a t - \theta_{ja}) dt \\
 &= s(i) + \phi_{out}(i) + N(i) \quad (19)
 \end{aligned}$$

저역통과 여파된 신호성분  $s(i)$ 는 식 (20)과 같이 표현된다.

$$s(i) = \pm \sqrt{\frac{MP}{2}} T \quad (20)$$

저역통과 여파기를 통과한 후의 다른 사용자들 간섭성분을 계산하면 식 (21)과 같다.

$$\phi_{out}(i) = \sqrt{\frac{P}{2M}} \sum_{n=1, n \neq j}^N \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^M [\cos(\theta_{ja} - \theta_{nm})]$$

$$\begin{aligned} & \times \{R_{nj}(\tau_n - \tau_j)d_n^+(i-1) + \widehat{R}_{nj}(\tau_n - \tau_j)d_n^-(i)\} \\ & - \sin(\theta_{ja} - \theta_{nm}) \times \{S_{nj}(\tau_n - \tau_j)d_n^+(i-1) \\ & \times \{S_{nj}(\tau_n - \tau_j)d_n^+(i-1) + \widehat{S}_{nj}(\tau_n - \tau_j)d_n^-(i)\} \end{aligned} \quad (21)$$

식 (21)은 식 (10)처럼 시간지연이 있는 칩간 상관관계에 의한 함수로 표현할 수 있다. 이때  $R_{nj}(\tau_n - \tau_j)$ ,  $\widehat{R}_{nj}(\tau_n - \tau_j)$ ,  $S_{nj}(\tau_n - \tau_j)$ ,  $\widehat{S}_{nj}(\tau_n - \tau_j)$ 은 식 (22)에서 나타낸 것처럼 칩간 상관관계와 부반송파의 차에 의한 함수에 의해서 정의된다.

$$\begin{aligned} R_{nj}(\tau_n - \tau_j) &= \int_{iT+\tau}^{iT+\tau} c_{nm}(t-\tau_n+T)c_{ja}(t-\tau_j)\cos((\omega_n-\omega_a)t)dt \\ \widehat{R}_{nj}(\tau_n - \tau_j) &= \int_{iT+\tau}^{(i+1)T+\tau} c_{nm}(t-\tau_n)c_{ja}(t-\tau_j)\cos((\omega_n-\omega_a)t)dt \\ S_{nj}(\tau_n - \tau_j) &= \int_{iT+\tau}^{iT+\tau} c_{nm}(t-\tau_n+T)c_{ja}(t-\tau_j)\sin((\omega_n-\omega_a)t)dt \\ \widehat{S}_{nj}(\tau_n - \tau_j) &= \int_{iT+\tau}^{(i+1)T+\tau} c_{nm}(t-\tau_n)c_{ja}(t-\tau_j)\sin((\omega_n-\omega_a)t)dt \end{aligned} \quad (22)$$

$d_n^+(i-1)$ 는  $n$ 번째 사용자의 전송되는  $i-1$ 번째 데이터의 앞 부분이고  $d_n^-(i)$ 는  $n$ 번째 사용자의 전송되는  $i$ 번째 데이터의 뒷 부분이다.

그러므로 신호의 제곱과 다른 사용자간 간섭, AWGN 잡음에 대한 제곱의 평균을 계산해 보면 식 (23)과 같다.

$$\begin{aligned} E[s^2(i)] &= \frac{MP}{2} T^2 \\ E[\phi_{mul}^2(i)] &= \frac{P}{4M} \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^M \{E[R_{nj}^2(\tau_n - \tau_j)] \\ & + E[\widehat{S}_{nj}^2(\tau_n - \tau_j)]\} E[N^2(i)] = \frac{N_oMT}{4} \end{aligned} \quad (23)$$

#### IV. 모의실험 결과 및 분석

##### 1. MC-DS/CDMA와 MC-CDMA 시스템 사양

기존 DS-SS-CDMA 시스템에서는 역방향 링크에서 사용자간 비동기(Asynchronous)를 고려하는데 이때 다른 사용자들의 상호상관 값에 의한 간섭의 증가로 성능이 열화된다. 그러나 이동위성 리턴링크 시스템에서는 우수한 성능과 고속 데이터 전송을 위해서 상호상관 값을 최소화하여 다른 사용자들의 간섭을 경감시키는 단말간 동기기가 수 칩 이내인 준동기를 가정한다. MC-DS/CDMA에서 준동기  $\pm 0.5 T_c$ 는 모든 사용자 단말간 동기기가 -

표 1. MC-DS/CDMA와 MC-CDMA 시스템 사양

Table 1. System configuration for MC-DS/CDMA and MC-CDMA.

	MC-CDMA	MC-DS/CDMA
총 대역폭	2.048MHz	2.048MHz
변 조	BPSK	BPSK
사용자 구분 코드	Walsh 코드, Extended m, Gold	Walsh 코드, Extended m, Gold
확산이득 (SF)	32	32
부반송파의 수	32	5
사용자간 지연시간 (uniform 분포)	$\pm 5/64 T_c^{MC}$ , $\pm 5/32 T_c^{MC}$ , $\pm 10/32 T_c^{MC}$ , $\pm 20/32 T_c^{MC}$	$\pm 0.5 T_c$ , $\pm 1 T_c$ , $\pm 2 T_c$ , $\pm 4 T_c$
검출방식	코히어런트 검출	코히어런트 검출
chip rate	64Kcps	409.6Kcps
데이터 율	64Kbps	64Kbps

1/2칩에서 1/2칩 내로 유지되는 것을 의미하고 MC-CDMA 시스템에서  $\pm 5/64 T_c^{MC}$ 는 MC-DS/CDMA의  $\pm 0.5 T_c$ 와 절대적 시간지연이 동일한 경우를 의미한다. 본 논문에서는 MC-DS/CDMA에서는  $\pm 0.5 T_c$ ,  $\pm 1 T_c$ ,  $\pm 2 T_c$ ,  $\pm 4 T_c$ 의 사용자간 준동기 시간지연을 고려하였고 MC-CDMA에서는 MC-DS/CDMA 시간지연과 동일한  $\pm 5/64 T_c^{MC}$ ,  $\pm 5/32 T_c^{MC}$ ,  $\pm 10/32 T_c^{MC}$ ,  $\pm 20/32 T_c^{MC}$ 를 고려되었다.

시스템의 총 대역폭은 2.048MHz라 가정하였다.

이동위성 리턴링크는 주파수 대역을 Ku 대역을 사용하고 있어서 빔성형 기술상 다중경로 신호는 고려하지 않고 AWGN 채널 환경을 가정한다. 또한 수신단에서는 코히어런트 검출을 한다고 가정하였다. 두 시스템의 변조는 BPSK를 이용하였고, 사용자 구분 코드는 walsh, extended m, gold 코드를 사용하였다. MC-DS/CDMA에서는 확산이득을 32로 하였는데, 이와 동일한 확산이득을 얻기 위해서 MC-CDMA에서는 부반송파의 수를 32로 하였다. 그리고 전송 데이터 율은 64Kbps로 하였다. 두 시스템에서 동일한 데이터 율을 고려하기 위해 MC-DS/CDMA는 부반송파의 수를 5개로 하였다.

MC-CDMA 시스템과 MC-DS/CDMA 시스템 사양에 대해서 <표 1>에 요약하였다.

2. MC-DS/CDMA 시스템 성능 결과 및 분석

<그림 6~9>는 준동기 AWGN 채널에서 사용자 구분 코드에 따른 MC-DS/CDMA 시스템의 성능이다. <그림 6>은 사용자간 시간지연이  $\pm 0.5 T_c$ 이내의 uniform 분포를 갖는 경우의 결과이다. 요구되는 BER을  $10^{-3}$ 으로 했을 때 사용자 수가 5명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 0.1dB, gold 코드를 사용했을 때는 0.4dB 성능이 저하되었고 extended-m 코드를 사용했을 때는  $4 \times 10^3$  BER에서 에러 floor가 발생하였다. 사용자 수가 20명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 0.4dB 성능이 저하되었고, gold 코드와 extended-m 코드를 사용했을 때는 각각  $2 \times 10^3$ ,  $4 \times 10^3$  BER에서 에러 floor가 발생하였다.

<그림 7>는 사용자간 시간지연이  $\pm 1 T_c$ 이내의

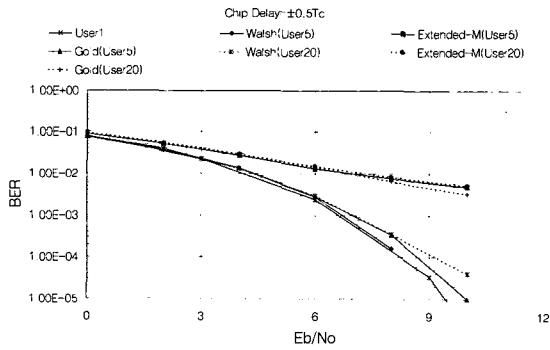


그림 6. 사용자 구분 코드에 따른 BER(MC-DS/CDMA, 사용자=5, 20명, 시간지연= $\pm 0.5 T_c$ )  
 Fig. 6. BER for user specific code.(MC-DS/CDMA, User=5, 20, time delay= $\pm 0.5 T_c$ )

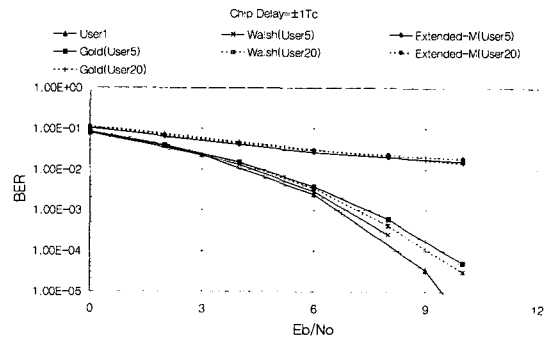


그림 7. 사용자 구분 코드에 따른 BER(MC-DS/CDMA, 사용자=5, 20명, 시간지연= $\pm 1 T_c$ )  
 Fig. 7. BER for user specific code.(MC-DS/CDMA, User=5, 20, time delay= $\pm 1 T_c$ )

uniform 분포를 갖는 경우이다.  $10^3$  BER에서 사용자 수가 5명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 0.2dB, gold 코드를 사용했을 때는 0.8dB 성능이 저하되었고 extended-m 코드를 사용했을 때는  $1.5 \times 10^2$  BER에서 에러 floor가 발생하였다. 사용자 수가 20명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 0.5dB 성능이 저하되었고, gold 코드와 extended-m 코드를 사용했을 때는 각각  $1.4 \times 10^2$ ,  $1.8 \times 10^2$  BER에서 에러 floor가 발생하였다.

<그림 8>은 사용자간 시간지연이  $\pm 2 T_c$ 이내의 uniform 분포를 갖는 경우의 결과이다.  $10^3$  BER에서 사용자 수가 5명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 사용자간 시간지연  $\pm 1 T_c$ 의 결과와 유사하게 0.2dB, gold 코드를 사용했을 때는 2.2dB 성능이 저하되었고 extended-m 코드를 사용했을 때는  $2 \times 10^2$  BER에서 에러 floor가 발생하였다. 사용자 수가 20명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 1.2dB 성능이 저하되었고, gold 코드와 extended-m 코드를 사용했을 때는  $2.5 \times 10^2$  BER에서 에러 floor가 발생하였다.

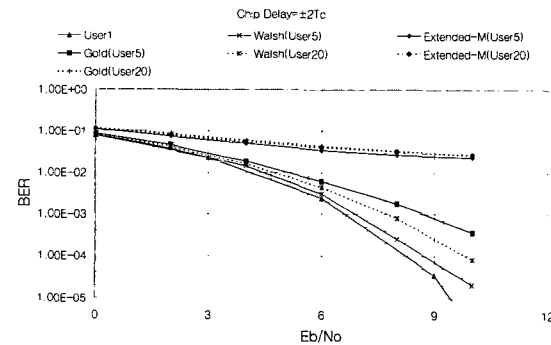


그림 8. 사용자 구분 코드에 따른 BER(MC-DS/CDMA, 사용자=5, 20명, 시간지연= $\pm 2 T_c$ )  
 Fig. 8. BER for user specific code.(MC-DS/CDMA, User=5, 20, time delay= $\pm 2 T_c$ )

<그림 9>는 사용자간 시간지연이  $\pm 4 T_c$ 이내의 uniform 분포를 갖는 경우의 결과이다.  $10^3$  BER에서 사용자 수가 5명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 0.5dB, gold 코드를 사용했을 때는 2.6dB 성능이 저하되었고 extended-m 코드를 사용했을 때는  $2 \times 10^2$  BER에서 에러 floor가 발생하였다. 사용자 수가 20명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 2.3dB 성능이 저하되었고, gold 코드와 extended-m 코드를 사용했을 때는  $3 \times 10^2$  BER에서 에러 floor가 발생하였다.

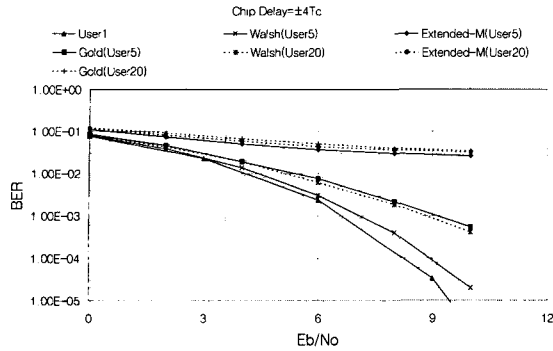


그림 9. 사용자 구분 코드에 따른 BER(MC-DS/CDMA, 사용자=5, 20명, 시간지연= $\pm 4 T_c$ )  
 Fig. 9. BER for user specific code.(MC-DS/CDMA, User=5, 20, time delay= $\pm 4 T_c$ )

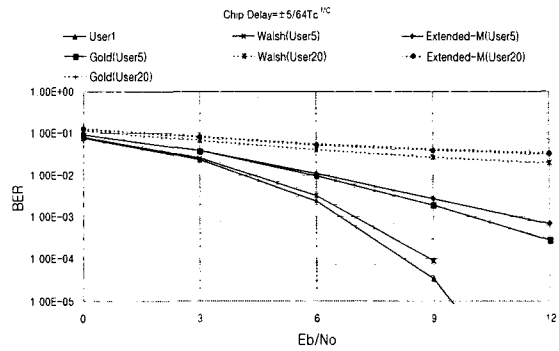


그림 10. 사용자 구분 코드에 따른 BER(MC-CDMA, 사용자=5, 20명, 시간지연= $\pm 5/64 T_c^{MC}$ )  
 Fig. 10. BER for user specific code.(MC-CDMA, User=5, 20, time delay= $\pm 5/64 T_c^{MC}$ )

<그림 6~9>에서 볼 수 있듯이 준동기 MC-DS/CDMA 시스템에서의 채널 구분 코드로는 walsh 코드의 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 사용자간 지연 시간이  $\pm 0.5 T_c \sim \pm 4 T_c$  범위 내의 준동기에서는 사용자 5명인 경우 walsh 코드를 사용할 때 gold 코드에 비해서 최대 2.1dB 성능이 우수했고 extended-m 코드를 사용할 경우는 에러 floor가 발생하여 성능이 가장 좋지 않았다. 사용자가 20명인 경우는 gold 코드와 extended-m 코드는 에러 floor가 생겼지만 walsh 코드를 사용하게 되면 단일 사용자에 비해서 2.3dB이하 성능이 저하되었다.

3. MC-CDMA 시스템 성능 결과 및 분석

<그림 10~13>은 준동기 AWGN 채널에서 사용자 구분 코드에 따른 MC-CDMA 시스템의 성능이다.

<그림 10>는 MC-DS/CDMA 시스템의  $\pm 0.5 T_c$ 와 동일한 시간지연인  $\pm 5/64 T_c^{MC}$  이내의 uniform 분포를 갖는 경우의 결과이다.  $10^{-3}$  BER에서 사용자 수가 5명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 단일 사용자의 성능과 비교해 0.3dB, gold 코드를 사용했을 때는 3.2dB 성능이 저하되었고 extended-m 코드를 사용했을 때는 4.2dB 성능이 저하되었다. 사용자 수가 20명인 경우는 walsh 코드를 사용했을 때  $10^{-2}$ , gold 코드, extended-m 코드를 사용했을 때는  $2 \times 10^{-2}$  BER에서 에러 floor가 발생하였다. 준동기 MC-CDMA 시스템은 준동기 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 많은 부반송파에 의한 간섭량이 증가하여 성능이 매우 저하됨을 알 수 있다.

<그림 11>은 MC-DS/CDMA 시스템의  $\pm 1 T_c$ 와 동

일한 시간지연인  $\pm 5/32 T_c^{MC}$  이내의 uniform 분포를 갖는 경우의 결과이다. 요구되는 BER을  $10^{-3}$ 으로 했을 때 사용자 수가 5명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 2.3dB, gold 코드를 사용했을 때는 3.5dB 성능이 저하되었고 extended-m 코드를 사용했을 때는 4.2dB 성능이 저하되었다. 사용자 수가 20명인 경우는 모든 코드의 경우 <그림 10>와 유사한 에러 floor가 발생하였다.

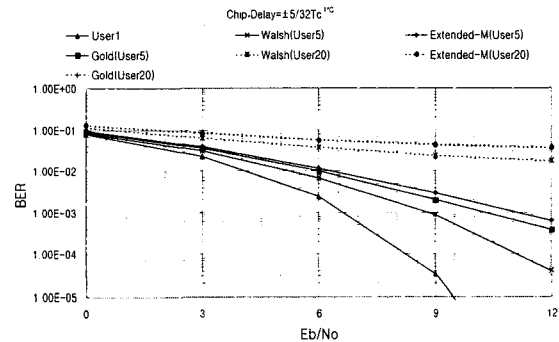


그림 11. 사용자 구분 코드에 따른 BER(MC-CDMA, 사용자=5, 20명, 시간지연= $\pm 5/32 T_c^{MC}$ )  
 Fig. 11. BER for user specific code.(MC-CDMA, User=5, 20, time delay= $\pm 5/32 T_c^{MC}$ )

<그림 12>은 MC-DS/CDMA 시스템의  $\pm 2 T_c$ 와 동일한 시간지연인  $\pm 10/32 T_c^{MC}$  이내의 uniform 분포를 갖는 경우의 결과이다.  $10^{-3}$  BER에서 사용자 수가 5명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는 성능이 급격히 저하되어  $10^{-3}$  BER에서 에러 floor가 생겼고 gold 코드를 사용했을 때는 3.4dB, extended-m 코드를 사용했을 때



는 3.8dB 성능이 저하되었다. 사용자 수가 20명인 경우는 모든 코드의 경우 <그림 12>와 유사한 에러 floor가 발생하였다.

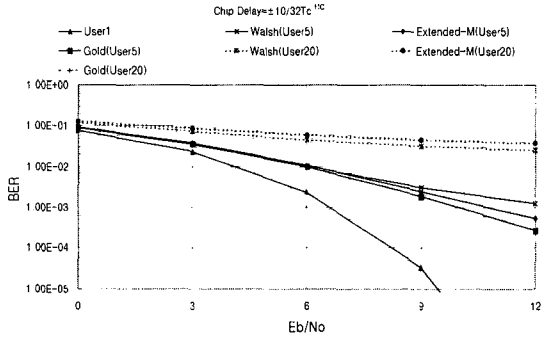


그림 12. 사용자 구분 코드에 따른 BER(MC-CDMA, 사용자=5, 20명, 시간지연=±10/32  $T_c^{MC}$ )

Fig. 12. BER for user specific code.(MC-CDMA, User=5, 20, time delay=±10/32  $T_c^{MC}$ )

<그림 13>은 MC-DS/CDMA 시스템의 ±4  $T_c$ 와 동일한 시간지연인 ±20/32  $T_c^{MC}$  이내의 uniform 분포를 갖는 경우의 결과이다. 요구되는 BER을  $10^{-3}$ 으로 했을 때 사용자 수가 5명인 경우 walsh 코드를 사용했을 때는  $2.5 \times 10^{-3}$  BER에서 에러 floor가 생겼고, gold 코드를 사용했을 때는 3.3dB, extended-m 코드를 사용했을 때는 3.6dB 성능이 저하되었다. 사용자 수가 20명인 경우는 모든 코드의 경우 <그림 10>와 유사한 에러 floor가 발생하였다.

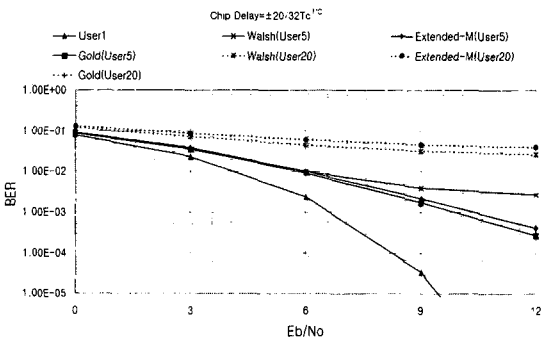


그림 13. 사용자 구분 코드에 따른 BER(MC-CDMA, 사용자=5, 20명, 시간지연=±20/32  $T_c^{MC}$ )

Fig. 13. BER for user specific code.(MC-CDMA, User=5, 20, time delay=±20/32  $T_c^{MC}$ )

<그림 10~13>에서 볼 수 있듯이 사용자가 5명인 경

우 사용자간 시간지연이 ±5/32  $T_c^{MC}$  이하이면 walsh 코드가 gold 코드에 비해서 성능이 1.2dB 이상 우수하고, 사용자간 시간지연이 ±15/32  $T_c^{MC}$  이상이면 gold 코드의 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 사용자가 20명인 경우는 walsh 코드, gold 코드, extended-m 코드 모두 에러 floor가 발생하였다. 따라서 이동위성 리턴링크 준동기 AWGN채널에서 MC-CDMA 시스템은 사용자 수의 증가에 따라 부반송파간 간섭량이 증가하여 성능이 매우 저하됨을 알 수 있다.

4. MC-DS/CDMA와 MC-CDMA 시스템 성능 비교 및 분석

<그림 14~16>은 AWGN 채널에서 MC-DS/CDMA와 MC-CDMA 시스템을 비교한 결과이다. 사용된 채널 구분 코드로는 준동기 환경에서 성능이 가장 우수했던 walsh 코드를 이용하였다.

<그림 14>는 MC-DS/CDMA 시스템의 준동기 ±0.5  $T_c$ , MC-CDMA 시스템의 준동기 ±5/64  $T_c^{MC}$  상황하에서의 성능 비교이다. 사용자가 5명인 경우 MC-DS/CDMA 시스템의 성능이 MC-CDMA 시스템의 성능에 비해  $10^{-3}$  BER에서 0.3dB 우수하였고 사용자가 20명인 경우는 MC-DS/CDMA 시스템은 단일 사용자에게 비해서 0.4dB 성능이 저하된 반면 MC-CDMA 시스템은 에러 floor가 발생하였다.

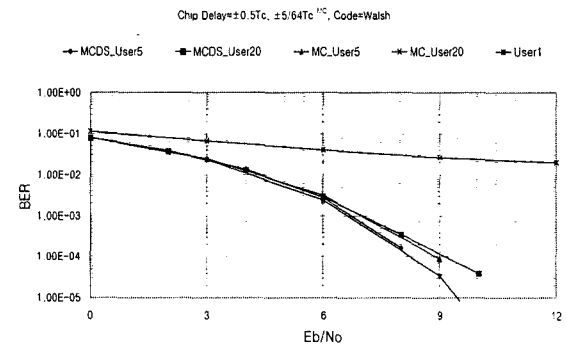


그림 14. MC-DS/CDMA와 MC-CDMA 시스템 비교 (시간지연=±0.5  $T_c$ (MC-DS/CDMA), ±5/64  $T_c^{MC}$ (MC-CDMA))

Fig. 14. Comparison of MC-DS/CDMA and MC-CDMA system.(time delay=±0.5  $T_c$ (MC-DS/CDMA), ±5/64  $T_c^{MC}$ (MC-CDMA))

<그림 15>은 MC-DS/CDMA 시스템의 준동기 ±2  $T_c$ , MC-CDMA 시스템의 준동기 ±10/32  $T_c^{MC}$  상황하

에서의 성능 비교이다. 사용자가 5명인 경우 MC-CDMA 시스템은  $10^{-3}$ 에서 에러 floor가 생겼기 때문에  $10^{-2}$  BER에서 MC-DS/CDMA 시스템의 성능과 비교해 본다면 1.6dB 성능이 저하됨을 알 수 있다. 사용자가 20명인 경우는 MC-CDMA 시스템은  $2 \times 10^{-2}$ 에서 에러 floor가 발생하였고 MC-DS/CDMA 시스템은  $10^{-3}$  BER에서 단일 사용자 성능과 비교해 1.2dB 성능이 저하되었다.

<그림 16>은 MC-DS/CDMA 시스템의 준동기  $\pm 4 T_c$ , MC-CDMA 시스템의 준동기  $\pm 20/32 T_c^{MC}$  상황에서에서의 성능 비교이다. 사용자가 5명인 경우 MC-

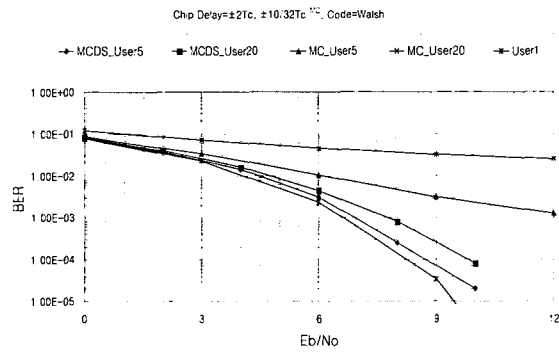


그림 15. MC-DS/CDMA와 MC-CDMA 시스템 비교 (시간지연= $\pm 2 T_c$ (MC-DS/CDMA),  $\pm 10/32 T_c^{MC}$ (MC-CDMA))

Fig. 15. Comparison of MC-DS/CDMA and MC-CDMA system.(time delay= $\pm 2 T_c$ (MC-DS/CDMA),  $\pm 10/32 T_c^{MC}$ (MC-CDMA))

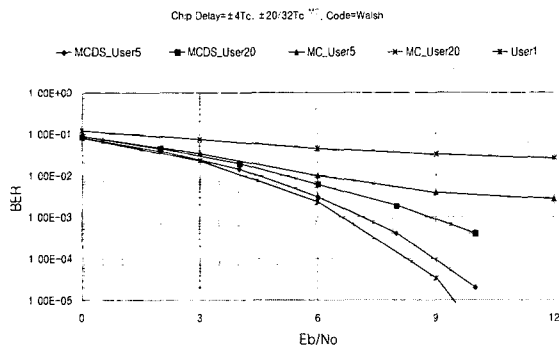


그림 16. MC-DS/CDMA와 MC-CDMA 시스템 비교 (시간지연= $\pm 4 T_c$ (MC-DS/CDMA),  $\pm 20/32 T_c^{MC}$ (MC-CDMA))

Fig. 16. Comparison of MC-DS/CDMA and MC-CDMA system.(time delay= $\pm 4 T_c$ (MC-DS/CDMA),  $\pm 20/32 T_c^{MC}$ (MC-CDMA))

CDMA 시스템은  $2.5 \times 10^{-3}$ 에서 에러 floor가 생겼기 때문에  $10^{-2}$  BER에서 MC-DS/CDMA 시스템의 성능과 비교해 본다면 1.5dB 성능이 저하되었다. 사용자가 20명인 경우는 MC-CDMA 시스템은  $2 \times 10^{-2}$ 에서 에러 floor가 발생하였고 MC-DS/CDMA 시스템은  $10^{-3}$  BER에서 단일 사용자 성능과 비교해 2.3dB 성능이 저하되었다.

V. 결론

이동위성 인터넷 광역 서비스를 위한 리턴링크시 MC-DS/CDMA 방식과 MC-CDMA 방식을 적용했을 경우에 대해 송수신기 구조 및 시스템의 성능을 비교 분석하였다. MC-DS/CDMA방식이 기존 육상이동통신 시스템의 망과 기술들을 최대한 이용할 수 있고 고속 멀티미디어 통신에 적합함을 보였다.

Walsh 코드를 사용한 MC-DS/CDMA 시스템의 준동기  $\pm 0.5 T_c$ , MC-CDMA 시스템의 준동기  $\pm 5/64 T_c^{MC}$  상황하에서는 사용자가 5명인 경우 MC-DS/CDMA 시스템의 성능이 MC-CDMA 시스템의 성능에 비해  $10^{-3}$  BER에서 0.3dB 우수하였다. Walsh 코드를 사용한 MC-DS/CDMA은 extended m 코드, gold 코드를 사용할 때와 비교하여 0.2dB 이상 성능이 우수하였다. Walsh 코드를 사용한 MC-CDMA 시스템은 사용자가 5명인 경우 준동기  $\pm 5/32 T_c^{MC}$  이하이면 gold 코드에 비해서 1.2dB 이상 우수하였다. 또한 준동기 MC-CDMA 시스템에서는 사용자가 20명일때 에러 floor가 발생하는데 준동기 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 많은 부반송파에 의한 간섭량이 증가하기 때문이다.

따라서 MC-DS/CDMA 시스템은 채널 구분 코드로 walsh 코드를 이용하고 사용자간 준동기가 고려되면 높은 수용용량을 유지하게 된다. 반면 MC-CDMA 시스템은 사용자간 준동기를 고려해도 사용자가 5명 이상이 되면 성능이 급격히 저하되어 임의의 BER로 수렴하게 된다.

결론적으로, 모든 사용자간 시간지연을 준동기 내로 유지시킬 수 있는 동기기술이 수반되고, 채널 구분 코드로 walsh 코드를 활용하며 고속 멀티미디어 데이터를 전송할 수 있는 접속기술로 MC-DS/CDMA 방식을 이용한다면 수용용량과 주파수 효율면에서 최대의 효율을 볼 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] D. Boudreau, G. Caire, G. E. Corazza, R. D. Gaudenzi, G. Gallinaro, M. Luglio, R. Lyons, J. Romero-Garcia, A. Vernucci, H. Widmer, "Wide-band CDMA for the UMTS/IMT-2000 satellite component," VTC 2002, Vol. 51, pp. 306~331, Mar. 2002.
- [2] R. D. Gaudenzi, T. Garde, F. Giannetti, M. Luise, "Orthogonal CDMA transmission for satellite-based mobile communications radio networks," Global Telecommunications Conference, Vol.1, pp. 100~104, 1994.
- [3] L.S. Zhang, R.E. Sheriff, J.G. Gardiner, "Simulation and analysis of the capacity of CDMA for spectrum sharing between satellite-mobile systems," Digital Satellite Communications Tenth International Conference, Vol.1, pp. 203~207, May 1995.
- [4] R. D. Gaudenzi, T. Garde, F. Giannetti, M. Luise, "A performance comparison of orthogonal code division multiple-access techniques for mobile satellite communications," Selected Areas in Communications, IEEE Journal, Vol. 13, pp. 32~332, Feb. 1995.
- [5] R. Prasad, S. Hara, "An overview of multi-carrier CDMA," IEEE 4th International Symp., Vol. 1, pp. 107~114, 1996.
- [6] S. Hara, R. Prasad, "Overview of Multicarrier CDMA," IEEE Comm. Mag., Vol. 35, pp. 126~133, Dec. 1997.
- [7] S. B. Slimane, "Bandwidth efficiency of MC-CDMA signals," Electronics Letters 14th, Vol. 35, No. 21, pp. 1797~1798, 1999.
- [8] X. Gui, T. S. Ng, "Performance of Asynchronous Orthogonal Multicarrier CDMA System in Frequency Selective Fading Channel," IEEE Trans. on comm., Vol. 47, No. 7, pp. 1084~1091, July 1999.
- [9] 박형근, 김용배, 이연우, 은도현, 차균현, "다중 접속 간섭 (MAI) 제거 기법을 적용한 MC-CDMA의 성능 분석," 한국통신학회논문지, v.24 no.1B, pp. 1~9, 1999. 1
- [10] 김태영, 고근병, 이영조, 강창연, 홍대석, "부반송파 간 상관 관계가 존재하는 페이딩 채널에서 주파수 천이를 고려한 MC-CDMA 시스템의 성능 분석," 한국통신학회논문지, v.26 no.3A, pp. 481~487, 2001
- [11] 연순홍, 부기진, 이명수, "위성 인터넷 기술과 서비스," 한국통신학회지, 제17권 6호, pp. 749~761, 2000. 6

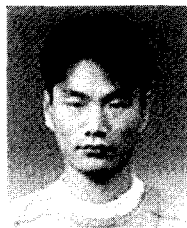
저 자 소 개



安 致 勳(正會員)

1996년 2월 : 충북대학교 정보통신 공학과공학사. 1998년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과공학석사. 1999년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정. <주관심분야 : CDMA 이동통신시스템, 3G/4G 시

스템, MIMO-OFDM>



崔 榮 寬(正會員)

1998년 2월 : 연세대학교 전과공학과공학사. 2000년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과공학석사. 2000년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정. <주관심분야 : CDMA 이동통신시스템, 순/역방향

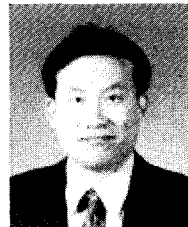
링크 빔 성형 기술, MIMO OFCDM 시스템>



李 鎬 振(正會員)

1981년 : 서울대학교 전자공학과공학사. 1983년 : 서울대학교 전자공학과공학석사. 1990년 : 서울대학교 전자공학과공학박사. 1983년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원.

<주관심분야 : 위성통신시스템>



金 東 九(正會員)

1983년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과공학사. 1985년 : U.S.C. Dept. of Electrical Engineering 공학석사. 1992년 : U.S.C. Dept. of Electrical Engineering 공학박사. 1999년~현재 : 연세대학교 공과대학 기계전자

공학부 부교수. <주관심분야 : CDMA 이동통신시스템, 3G/4G 시스템, MIMO-OFDM, 오류정정부호>