

論文2003-40TC-3-1

이동 위성 준동기 리턴링크에서 MC-CDMA와 MC-DS/CDMA 시스템의 비선형 왜곡에 대한 성능 비교 분석

(Performance Comparison on Non-linear Distortion for MC-CDMA and MC-DS/CDMA System in Mobile Satellite Quasi-synchronous 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 이동 위성 리턴링크에서 MC-CDMA와 MC-DS/CDMA 시스템의 성능을 분석한다. 각 사용자 단말의 리턴링크간 동기가 수 칩 이내인 준동기를 고려하였다. MC-CDMA와 MC-DS/CDMA의 송신 신호는 정포락선 신호가 아니기 때문에 송신 증폭기의 비선형성에 의한 왜곡을 받게 된다. MC-CDMA 시스템은 Walsh 코드를 이용해 주파수 영역 확산을 하기 때문에 증폭기 입력신호레벨이 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 낮게 되어 사용자 수가 1명인 경우 증폭기 입력 backoff가 0dB일 때는 2.3dB, 증폭기 입력 backoff가 6dB일 때는 1dB 성능이 우수하였다. 그러나 준동기 AWGN 채널에서 사용자 수가 증가하게 되면 MC-DS/CDMA 시스템이 많은 수의 부 반송파를 사용하는 MC-CDMA 시스템에 비해서 간섭량이 적어 성능이 매우 우수하였다.

Abstract

We analyze the performances of MC-CDMA and MC-DS/CDMA systems on quasi-synchronized mobile satellite return link. Quasi-synchronization is considered that chip offset between user terminals is within a few chips. Since the transmitted signals of MC-CDMA and MC-DS/CDMA systems have non-constant envelop, they are easily distorted by nonlinearity of transmit amplifier. Since the nonlinear amplifier input signal level of MC-CDMA system using Walsh code to employ frequency domain spreading is lower than that of MC-DS/CDMA system, performance of single user in MC-CDMA system is respectively 2.3dB and 1dB better than that of MC-DS/CDMA system when amplifier input backoff is 0dB and 6dB. However, since interference of MC-DS/CDMA is less than that of MC-CDMA with many subcarriers in quasi-synchronization and AWGN channel, MC-DS/CDMA system is much better than MC-CDMA system as the number of users increases.

Keywords : MC-CDMA, MC-DS/CDMA, nonlinear distortion, 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:2002年11月5日, 수정완료일:2003年2月8日

I. 서론

기존의 인터넷 서비스는 고속 데이터 유희를 구현하기 위해서 유선 시스템을 근간으로 발전되어 왔다. 인터넷 활용의 보편화와 다양한 서비스로 많은 응용분야들이 멀티미디어 통신에 이용되고 있다. 이러한 인터넷 서비스의 새로운 응용기술들의 발전에 따라 다양한 QoS를 만족시키는 멀티미디어 서비스에 대한 사용자의 요구가 급속도로 증가하는 추세에 있다.

특히, 위성을 기반으로 광역 서비스, 통신의 유연성, 방송 서비스, 내재해성 등의 이점을 이용하여 무선 인터넷 시스템에서 고속 데이터 패킷 전송에 대한 필요성과 연구에 대한 관심이 높아지고 있다. 이동시 64Kbps, 정지시 수 Mbps의 고속 데이터 전송율을 보장하고 많은 사용자와 우수한 통화품질을 유지하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다^[1-3].

IMT-2000 표준화에서 위성 시스템의 다중접속에 대한 표준화가 연구되고 있다. 위성 시스템의 다중접속 방식으로 DS/CDMA 방식을 채택하고 있고 이동시 64kbps에서 정지시 2Mbps의 서비스를 목표로 하고 있다.

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 변조 방식 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.

위성시스템의 리턴(return)링크는 주파수 대역으로 Ku 대역(상향: 14GHz, 하향: 12GHz)을 이용하고 있어서 범성형 기술상 다중경로 신호는 고려하지 않고 AWGN 채널을 가정한다. 그리고 육상이동통신의 역방향링크와는 다르게 고속 데이터 패킷 전송을 위해서 사용자 단말의 동기가 수 칩 이내로 유지되는 준동기 기술을 고려하게 된다. 이러한 리턴링크에서 고속 데이터 전송을 구현하기 위한 다중접속방식으로 다중 반송파 CDMA 시스템이 제안되고 있다^[1-2].

다중 반송파 CDMA 시스템은 직교코드와 다중 반송

파 수의 증가로 증폭기 입력신호 형태가 다중레벨이 된다. 따라서 송신 신호는 비선형 증폭기에 의한 왜곡을 받게 된다. 동기 다중 반송파 CDMA 시스템에서 SSPA(Solid State Power Amplifier) 증폭기의 비선형 왜곡에 대한 성능 연구는 활발히 진행되어지고 있다^[6]. 그러나 이동 위성 리턴링크 시스템에서 사용자 단말의 신호는 높은 전력으로 위성으로 송신되어야 때문에 비선형 증폭기 모델로 AM-AM(Amplitude Modulation to Amplitude Modulation)과 AM-PM(Amplitude Modulation to Phase Modulation) 왜곡이 모두 고려되는 Saleh 모델을 적용한다^[7].

본 논문은 위성 시스템의 다중접속방식으로 제안되는 다중 반송파 CDMA 시스템중 주파수 영역 확산 방식인 MC-CDMA(Multicarrier-CDMA) 시스템과 시간 영역 확산 방식인 MC-DS/CDMA(Multicarrier-DS/CDMA) 방식의 송수신기 구조를 연구한다. 또한 두 시스템에서 다중레벨 송신신호가 겪는 비선형 왜곡에 대한 성능을 준동기 이동 위성 리턴링크 채널 환경하에서 비교 분석한다.

II장에서는 MC-CDMA 시스템과 MC-DS/CDMA 시스템의 송수신기 구조를 설명하고 III장에서는 본 논문에서 고려한 비선형 증폭기 모델에 대해서 설명한다. IV장에서는 시스템 모델과 모의실험 결과를 분석하고 V장에서 결론을 정리한다.

II. 다중 반송파 CDMA 시스템

1. MC-CDMA 시스템

MC-CDMA 방식은 사용자 구분 코드 각각의 칩에 직교하는 서로 다른 직교 부 반송파를 할당하여 주파수 영역에서 확산하는 방식이다. MC-CDMA의 부 반송파 수는 확산이득과 동일하다. <그림 1>은 확산이득이 4인 경우의 MC-CDMA 시스템의 송신기 구조이다. 동일한 데이터를 각 경로에 전송하고, 전송된 데이터는 사용자 구분 코드 각 칩에 의해서 확산되고 직교 부 반송파에 의해서 변조된다. 이때 확산되는 데이터 비트의 구간은 칩 구간과 동일하다($T_b = T_c^{MC}$). 확산과 변조된 신호는 더해져서 다중레벨 형태로 증폭기를 통과한 후 채널을 통해 전송된다.

j 번째 사용자의 증폭기 입력신호 $s(t)$ 는 식 (1)처럼 표현될 수 있다.

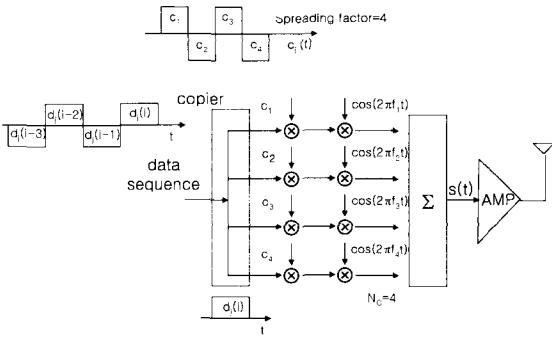


그림 1. MC-CDMA 시스템의 송신기 구조
Fig. 1. Transmitter structure of MC-CDMA system.

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

P 는 1명의 사용자에게 할당된 신호 전력이고 N_c 는 직교 부 반송파의 수이다. j 번째 사용자의 데이터 비트 $d_j(t)$ 는 식 (2)와 같이 정의될 수 있다. 또한 j 번째 사용자에게 할당된 m 번째 칩을 나타내는 $c_{j,m}(t)$ 는 식 (3)과 같이 정의될 수 있다. 이때 $c_{j,m}(t)$ 는 주파수 영역 확산을 하는 하나의 칩을 의미한다. ω_m 은 m 번째 경로의 부 반송파 주파수이다.

$$d_j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k \delta_{T_b}(t - kT_b),$$

$$\delta_{T_b}(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_b \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2)$$

$$c_{j,m}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k \delta_{T_c^{MC}}(t - kT_c^{MC}),$$

$$\delta_{T_c^{MC}}(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_c^{MC} \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3)$$

위의 식에서 d_k 와 c_k 는 1 또는 -1의 값을 갖는다. T_b 와 T_c^{MC} 는 각각 데이터 비트의 한 구간, 칩의 한 구간이고 $\delta_{T_b}(t)$ 와 $\delta_{T_c^{MC}}(t)$ 는 구형파 펄스를 나타낸다.

<그림 2>는 MC-CDMA 신호의 스펙트럼과 수신기의 구조이다. 수신신호는 복조와 역확산 및 LPF를 통과하여 더해진 후 검출된다. MC-CDMA 시스템에서 직교 부 반송파는 $1/T_c^{MC}$ 의 정수배 간격으로 분리되어 직교성을 유지한다. MC-CDMA 시스템은 MC-DS/CDMA 시스템과 동일한 확산이득을 얻기 위해서 보다 많은 부 반송파를 필요로 하게 된다. 이때 사용자 구분 코드로 Walsh 코드를 이용하면 0번의 Walsh 코드(W_0)를 제외

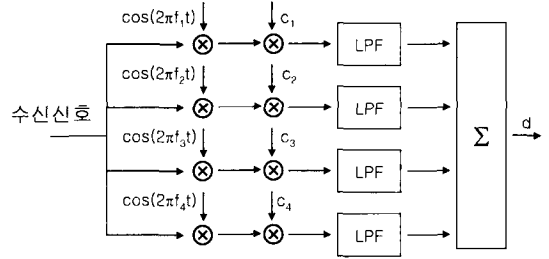
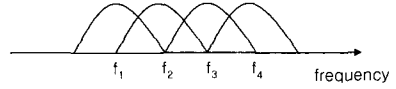


그림 2. MC-CDMA 시스템의 신호 스펙트럼과 수신기 구조
Fig. 2. Signal spectrum and receiver structure of MC-CDMA system.

한 모든 코드들은 1과 -1의 수가 동일하기 때문에 주파수 영역에서 확산과 변조된 후 더해진 증폭기 입력신호의 레벨은 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 낮게 된다. 수신신호 $r(t)$ 는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$r(t) = \sqrt{\frac{2P}{N_c}} \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^{N_c} d_j(t - \tau_j) c_{j,m}(t - \tau_j) \cos(\omega_m(t - \tau_j) - \phi_j) + n(t) \quad (4)$$

N 은 전체 사용자 수이고 τ_j 와 ϕ_j 는 각각 j 번째 사용자의 시간지연과 위상지연을 의미한다. 그리고 $n(t)$ 는 AWGN을 나타낸다.

2. MC-DS/CDMA 시스템

MC-DS/CDMA 시스템은 일반적인 DS-SS 방식에 고속 데이터 전송을 위해서 직렬화(Serial to

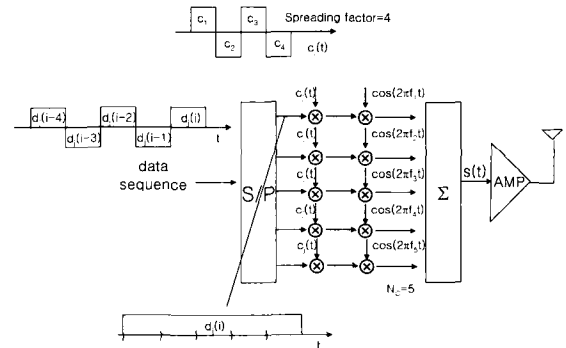


그림 3. MC-DS/CDMA 시스템의 송신기 구조
Fig. 3. Transmitter structure of MC-DS/CDMA system.

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 부 반송파에 의해서 변조된 후 더해져 다중레벨 신호형태로 증폭기를 통해서 전송되는 시간 영역 확산 방식이다. <그림 3>에 MC-DS/CDMA 시스템의 송신기 구조를 나타내었다. 확산이득은 4, 직교 부 반송파의 수가 5인 경우의 블록도이다.

MC-DS/CDMA 시스템에서 반송파의 수는 데이터 율에 의해서 결정되고 확산이득과는 다르다.

j 번째 사용자의 증폭기의 입력신호 $s(t)$ 는 식 (5)와 같다.

$$s(t) = \sqrt{\frac{2P}{N_c}} \sum_{m=1}^N d_{j,m}(t) c_j(t) \cos(\omega_m t) \quad (5)$$

P 는 1명의 사용자에게 할당된 신호 전력이고 N_c 는 부 반송파의 수이다. j 번째 사용자의 m 번째 부 반송파로 전송되는 데이터 비트 $d_{j,m}(t)$ 는 식 (6)과 같이 정의될 수 있다. 또한 j 번째 사용자에게 할당된 사용자 구분 코드 $c_j(t)$ 는 식 (7)과 같이 정의될 수 있다. ω_m 은 m 번째 경로의 부 반송파 주파수이다.

$$d_{j,m}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k p_{N_c T_b}(t - k N_c T_b),$$

$$p_{N_c T_b}(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < N_c T_b \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (6)$$

$$c_j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k p_{T_c}(t - k T_c),$$

$$p_{T_c}(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_c \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (7)$$

위의 식에서 d_k 와 c_k 는 1 또는 -1의 값을 갖는다. $N_c T_b$ 는 S/P변환을 겪은 데이터 비트의 한 구간이고, T_c 는 칩의 한 구간이다. 이때 병렬 데이터 스트림의 데이터 구간은 $SF \cdot T_c$ 와 같다($N_c T_b = SF \cdot T_c$, SF : spreading factor). $p_{N_c T_b}(t)$ 와 $p_{T_c}(t)$ 는 구형과 펄스를 나타낸다. 식 (7)의 j 번째 사용자 구분 코드 $c_j(t)$ 는 j 번째 사용자의 각 병렬 데이터 스트림에서 동일하게 사용되는 코드이다.

<그림 4>는 MC-DS/CDMA 신호의 스펙트럼과 수신기의 구조이다. 수신신호는 시간 영역에서 복조와 역확산 및 LPF를 통과한 후 경관정을 통해서 검출되고 P/S(Parallel to Serial : P/S) 과정을 하게 된다. MC-DS

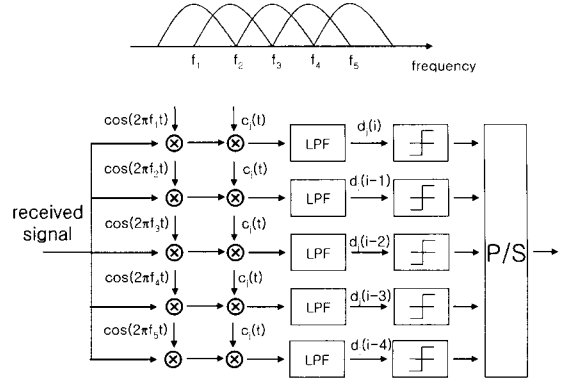


그림 4. MC-DS/CDMA 시스템의 신호 스펙트럼과 수신기 구조

Fig. 4. Signal spectrum and receiver structure of MC-DS/CDMA system.

/CDMA 시스템에서 직교 부 반송파는 $1/T_c$ 의 정수배 간격으로 분리되어 직교성을 유지한다.

수신신호 $r(t)$ 는 식 (8)과 같이 표현된다.

$$r(t) = \sqrt{\frac{2P}{N_c}} \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^N d_{j,m}(t - \tau_j) c_j(t - \tau_j) \cos(\omega_m(t - \tau_j) - \phi_j) + n(t) \quad (8)$$

N 은 전체 사용자 수이고, τ_j 와 ϕ_j 는 각각 j 번째 사용자의 시간지연과 위상지연을 의미하며 $n(t)$ 는 AWGN을 나타낸다.

III. 비선형 증폭기 모델링(Saleh model)

이동 위성 리턴링크 시스템에서 사용자 단말의 신호는 높은 전력으로 위성으로 전송되어야 하기 때문에 비선형 증폭기 모델로 AM-AM과 AM-PM 왜곡이 모두 고려되는 Saleh 모델을 적용하였다^[7].

고출력 증폭기의 비선형 왜곡 현상은 일반적으로 크게 신호의 크기 왜곡(AM-AM: Amplitude Modulation to Amplitude Modulation)과 위상 왜곡(AM-PM: Amplitude Modulation to Phase Modulation)으로 나눌 수 있다. AM-AM 왜곡은 증폭기 입력신호의 포락선에 따른 출력 신호의 포락선이 선형적이지 않고 비선형적으로 나타나면서 생기는 출력 신호의 크기 왜곡을 의미한다. 그리고, AM-PM 왜곡은 증폭기 출력 신호의 위상이 일정하지 못하고, 입력신호의 포락선에 따라 변하기 때문에 생기는 출력 신호의 위상 왜곡을 나타낸다.

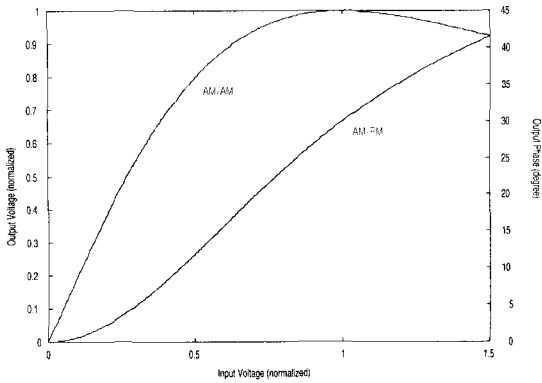


그림 5. 증폭기의 AM-AM, AM-PM 특성 곡선
Fig. 5. Characteristic curve for AM-AM, AM-PM of amplifier.

증폭기 입력신호를 $r(t)$ 라 하면, $r(t)$ 는 식 (9)와 같이 수학적으로 표현될 수 있다.

$$r(t) = \rho(t) \cos [\omega_0 t + \phi(t)] \quad (9)$$

여기서, ω_0 는 반송파 주파수이고, $\rho(t)$ 는 신호의 포락선을, $\phi(t)$ 는 신호의 위상을 의미한다. 증폭기 출력 신호를 $y(t)$ 라고 하면, $y(t)$ 는 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = A[\rho(t)] \cos \{\omega_0 t + \phi(t) + \Phi[\rho(t)]\} \quad (10)$$

여기서, $A[\rho(t)]$ 가 AM-AM 왜곡을, $\Phi[\rho(t)]$ 는 AM-PM 왜곡을 의미한다. 식 (11)과 식 (12), <그림 5>는 비선형 증폭기의 AM-AM 왜곡과 AM-PM 왜곡 특성이다^[7].

$$A[\rho(t)] = \frac{2\rho(t)}{1 + \rho^2(t)} \quad (11)$$

$$\Phi[\rho(t)] = \Phi_0 \frac{2\rho^2(t)}{1 + \rho^2(t)}, \quad \Phi_0 = \frac{\pi}{6} \quad (12)$$

IV. 시스템 모델 및 모의실험 결과 분석

1. MC-CDMA와 MC-DS/CDMA 시스템

고속 데이터 전송 서비스를 하기 위해서 사용자 단말의 리턴링크간 동기가 수 칩 이내인 준동기를 가정하였다. 시스템의 총 대역폭은 2.048MHz라 가정하였다. MC-DS/CDMA에서는 $\pm 1 T_c$, $\pm 2 T_c$ 의 사용자간 준동기 시간지연이 고려되었고 MC-CDMA에서는 MC-DS/

표 1. MC-CDMA 시스템과 MC-DS/CDMA 시스템 모델

Tabel. 1. System model of MC-CDMA system and MC-DS/CDMA system.

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

CDMA 시간지연과 동일한 $\pm 5/32 T_c^{MC}$, $\pm 10/32 T_c^{MC}$ 가 고려되었다.

이동 위성 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 코드를 사용하였다. MC-DS/CDMA에서는 확산이득을 32로 하였는데, 이와 동일한 확산이득을 얻기 위해서 MC-CDMA에서는 부 반송파의 수를 32로 하였다. 그리고 정보 데이터 율은 64Kbps로 하였다. 두 시스템에서 동일한 데이터 율을 고려하기 위해 MC-DS/CDMA는 부 반송파의 수를 5개로 하였다.

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

2. 모의실험 결과 분석

<그림 6>은 MC-DS/CDMA 시스템에서 준동기 +1 T_c , 비선형 증폭기의 입력 backoff가 0dB일 때의 성능이다. 사용자 수가 5, 10명인 경우는 10^{-3} BER에서 성능이 거의 동일하였는데 1명의 사용자에 비해서 0.5dB 저하되었고, 15명인 경우는 0.7dB 저하되었다. MC-DS/CDMA 시스템은 부 반송파의 수가 MC-CDMA 시스템에서 비해서 적기 때문에 사용자 수가 증가했을 때 성능이 크게 저하되지 않았다.

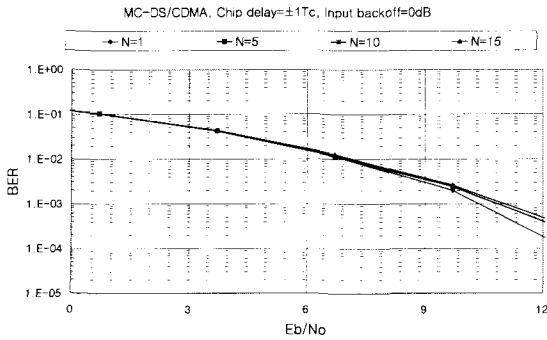


그림 6. MC-DS/CDMA 시스템(칩 시간지연= $\pm 1 T_c$, 입력 backoff=0dB)
 Fig. 6. MC-DS/CDMA system(chip time delay= $\pm 1 T_c$, input backoff=0dB).

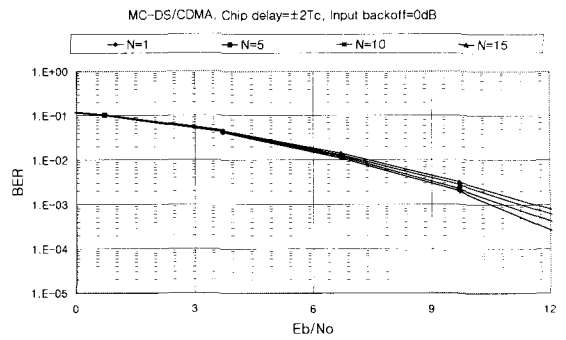


그림 8. MC-DS/CDMA 시스템(칩 시간지연= $\pm 2 T_c$, 입력 backoff=0dB)
 Fig. 8. MC-DS/CDMA system(chip time delay= $\pm 2 T_c$, input backoff=0dB).

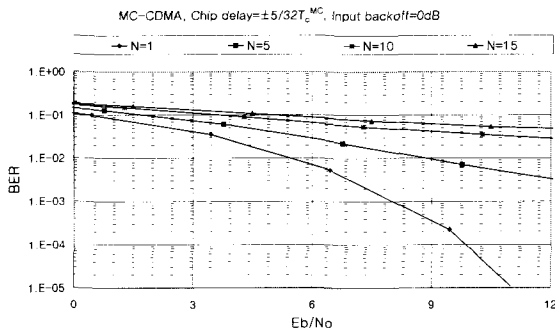


그림 7. MC-CDMA 시스템(칩 시간지연= $\pm 5/32 T_c^{MC}$, 입력 backoff=0dB)
 Fig. 7. MC-CDMA system(chip time delay= $\pm 5/32 T_c^{MC}$, input backoff=0dB).

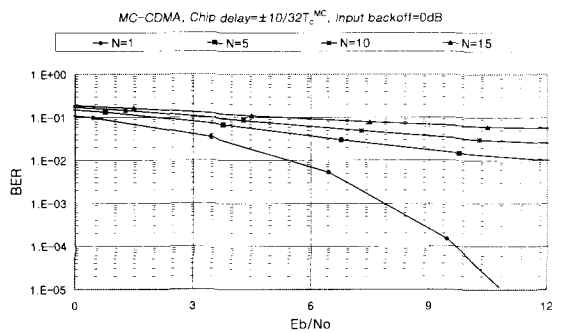


그림 9. MC-CDMA 시스템(칩 시간지연= $\pm 10/32 T_c^{MC}$, 입력 backoff=0dB)
 Fig. 9. MC-CDMA system(chip time delay= $\pm 10/32 T_c^{MC}$, input backoff=0dB).

<그림 7>은 MC-CDMA 시스템에서 준동기 $\pm 5/32 T_c^{MC}$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 0dB일 때의 성능이다. 이때 준동기 $\pm 5/32 T_c^{MC}$ 는 MC-DS/CDMA 시스템의 $\pm 1 T_c$ 와 동일한 시간지연이다. 사용자 수가 1명인 경우 사용자 구분 코드로 Walsh 코드를 이용하면 0번의 Walsh 코드(W_0)를 제외한 모든 코드들은 1과 -1의 수가 동일하기 때문에 주파수 영역에서 확산과 변조를 한 증폭기 입력신호의 레벨은 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 낮게 된다. 따라서 준동기 시간지연이 $\pm 5/32 T_c^{MC}$ 인 MC-CDMA 시스템의 경우가 $\pm 1 T_c$ 인 <그림 6>의 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 10^{-3} BER에서 2.3dB 성능이 우수하였다.

<그림 7>에서 사용자 수가 5, 10, 15명인 MC-CDMA 시스템의 경우는 증폭기의 비선형 왜곡과 많은 수의 부 반송파에 의한 간섭으로 인해서 여러 flow가

발생하였다. 따라서 사용자 수가 1명인 경우 MC-CDMA 시스템은 증폭기 입력신호의 레벨이 MC-DS/CDMA 시스템보다 낮게 되어 성능이 우수하였고 사용자 수가 증가하게 되면 MC-CDMA 시스템이 부 반송파에 의한 간섭량이 MC-DS/CDMA 시스템보다 증가하여 성능이 매우 저하됨을 알 수 있다.

<그림 8>은 MC-DS/CDMA 시스템에서 준동기 $\pm 2 T_c$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 0dB일 때의 성능이다. 사용자 수 1명과 비교해 5, 10, 15명인 경우 10-3 BER에서 각각 0.5dB, 0.9dB, 1.2dB 성능이 저하되었다. 또한 준동기 $\pm 1 T_c$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 0dB인 <그림 6>의 결과와 비교하여 사용자 수가 5명인 경우는 성능 변화가 거의 없었고 사용자 수가 10명인 경우는 0.4dB, 사용자 수가 15명인 경우는 0.5dB 성능이 저하되었다. 준동기 시스템에서 성능이 우수한 Walsh

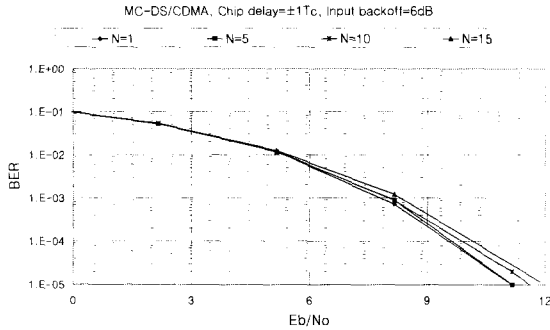


그림 10. MC-DS/CDMA 시스템(칩 시간지연= $\pm 1 T_c$, 입력 backoff=6dB)
 Fig. 10. MC-DS/CDMA system(chip time delay= $\pm 1 T_c$, input backoff=6dB).

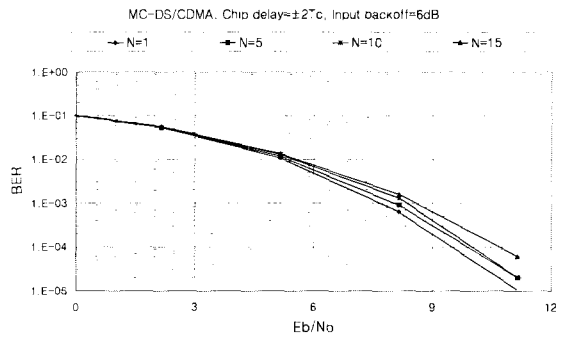


그림 12. MC-DS/CDMA 시스템(칩 시간지연= $\pm 2 T_c$, 입력 backoff=6dB)
 Fig. 12. MC-DS/CDMA system(chip time delay= $\pm 2 T_c$, input backoff=6dB).

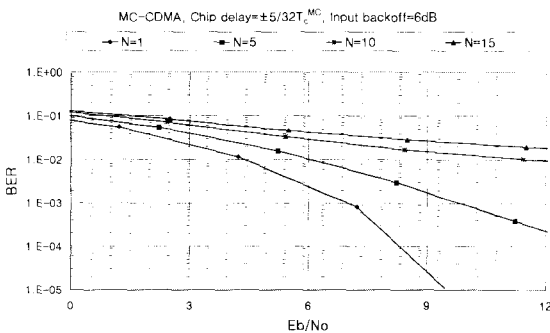


그림 11. MC-CDMA 시스템(칩 시간지연= $\pm 5/32 T_c^{MC}$, 입력 backoff=6dB)
 Fig. 11. MC-CDMA system(chip time delay= $\pm 5/32 T_c^{MC}$, input backoff=6dB).

코드의 사용으로 준동기 시간지연이 $\pm 1 T_c$ 증가했지만 성능에는 많은 영향을 주지는 않았다.

<그림 9>는 MC-CDMA 시스템에서 준동기 $\pm 10/32 T_c^{MC}$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 0dB일 때의 성능이다. 이때 준동기 $\pm 10/32 T_c^{MC}$ 는 MC-DS/CDMA 시스템의 $\pm 2 T_c$ 와 동일한 시간지연이다. 사용자 수가 5, 10, 15명인 경우는 준동기 $\pm 5/32 T_c$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 0dB인 <그림 7>의 결과와 비교하여 준동기 시간지연과 부 반송파 간섭으로 인해서 에러 flow가 10-2 BER 이상에서 발생하였다.

<그림 10>은 MC-DS/CDMA 시스템에서 준동기 $\pm 1 T_c$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 6dB일 때의 성능이다. 사용자 수가 5, 10명인 경우는 10^{-3} BER에서 성능이 거의 동일하였는데 1명의 사용자에게 비해서 0.3dB 저하되었고, 15명인 경우는 0.5dB 성능이 저하되었다. 또

한 준동기 $\pm 1 T_c$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 0dB인 <그림 6>의 결과와 비교했을 때 증폭기 입력 backoff 증가로 10^{-3} BER에서 2.4~2.6dB 성능이 개선되었다.

<그림 11>은 MC-CDMA 시스템에서 준동기 $\pm 5/32 T_c^{MC}$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 6dB일 때의 성능이다. 사용자 수가 5명인 경우는 1명의 사용자에게 비해서 10^{-3} BER에서 2.9dB 성능이 저하되었고 사용자 수가 10, 15명인 경우는 에러 flow가 발생하였다. <그림 10>의 준동기 $\pm 1 T_c$, 비선형 증폭기 입력 backoff가 6dB일 때의 결과와 비교하여 10-3 BER에서 사용자 수가 1명인 경우는 1dB 성능이 우수하였고 사용자 수가 5명인 경우는 MC-DS/CDMA 시스템이 1.6dB 우수하였다. 또한 사용자 수가 1명인 경우 준동기 $\pm 5/32 T_c^{MC}$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 0dB인 <그림 7>의 결과와 비교했을 때 증폭기 입력 backoff의 증가로 10^{-3} BER에서 1.1dB 성능이 개선되었다.

<그림 12>는 MC-DS/CDMA 시스템에서 준동기 $\pm 2 T_c$, 비선형 증폭기의 입력 backoff가 6dB일 때의 성능이다. 사용자 수 1명과 비교해 5, 10, 15명인 경우 10^{-3} BER에서 각각 0.4dB, 0.6dB, 0.9dB 성능이 저하되었다. 또한 준동기 $\pm 2 T_c$, 입력 backoff가 0dB인 <그림 8>의 결과와 비교했을 때 증폭기 입력 backoff의 증가로 10^{-3} BER에서 2.4~2.7dB 성능이 개선되었다. 그리고 준동기 $\pm 1 T_c$, 입력 backoff가 6dB인 <그림 10>의 결과와 비교했을 때 사용자 수가 5, 10, 15명인 경우 10^{-3} BER에서 각각 0.1dB, 0.3dB, 0.4dB 성능이 저하되었다.

<그림 13>은 MC-CDMA 시스템에서 준동기 $\pm 10/32$

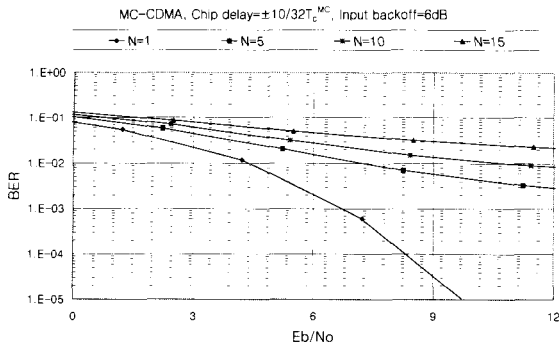


그림 13. MC-CDMA 시스템(칩 시간지연= $\pm 10/32 T_c^{MC}$, 입력 backoff=6dB)

Fig. 13. MC-CDMA system(chip time delay= $\pm 10/32 T_c^{MC}$, input backoff=0dB).

T_c^{MC} , 비선형 증폭기의 입력 backoff가 6dB일 때의 성능이다. 준동기 $\pm 2 T_c$, 입력 backoff가 0dB인 <그림 9>의 결과와 비교했을 때 증폭기 입력 backoff의 증가로 사용자 수가 1명인 경우 1.1dB 성능이 개선되었다.

결론적으로 비선형 왜곡이 고려된 이동 위성 리턴링크 준동기 채널에서 사용자 수가 1명인 경우는 MC-CDMA 시스템은 주파수 영역 확산을 하기 때문에 비선형 증폭기 입력신호 레벨이 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 낮게 되어 성능이 우수하였다. 사용자 수가 증가하게 되면 MC-DS/CDMA 시스템이 많은 수의 부 반송파를 사용하는 MC-CDMA 시스템에 비해서 간섭량이 적어 성능이 우수하였다. 즉, MC-CDMA 시스템은 비선형 왜곡에 의한 간섭은 적은 반면 부 반송파에 의한 간섭이 크고, MC-DS/CDMA 시스템은 부 반송파에 의한 간섭은 적은 반면 비선형 왜곡에 의해서 성능이 저하됨을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 이동 위성 인터넷 광역 서비스를 위한 리턴링크시 MC-DS/CDMA 방식과 MC-CDMA 방식을 적용했을 경우 송수신기 구조와 성능을 비교 분석하였다. MC-DS/CDMA 방식과 MC-CDMA 방식은 고속 데이터 전송을 위해서 다수의 반송파를 필요로 하게 되기 때문에 비선형 증폭기 입력신호가 다중레벨 형태로 되어 비선형 왜곡을 겪게 된다. 따라서 본 논문은 MC-DS/CDMA 방식과 MC-CDMA 방식에 대해서 비선형 왜곡에 의한 성능을 비교 분석하였다.

증폭기 입력 backoff가 0dB일 때는 사용자 수가 1명인 경우 MC-CDMA 방식이 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 2.3dB, 증폭기 입력 backoff가 6dB일 때는 1dB 성능이 우수하였다. MC-CDMA 시스템은 Walsh 코드를 이용해 주파수 영역 확산을 하기 때문에 증폭기 입력신호의 레벨이 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 낮게 되어 성능이 우수하였다. 그러나 준동기 상황에서 사용자 수가 증가하게 되면 MC-CDMA 시스템은 MC-DS/CDMA 시스템에 비해서 많은 수의 부 반송파를 사용하기 때문에 간섭량이 증가해서 성능이 매우 저하됨을 알 수 있다. 그러므로 MC-CDMA 시스템은 비선형 왜곡에 의한 간섭은 적은 반면 부 반송파에 의한 간섭이 크고, MC-DS/CDMA 시스템은 부 반송파에 의한 간섭은 적은 반면 비선형 왜곡에 의해서 성능이 저하됨을 알 수 있다.

결론적으로 이동 위성 시스템의 리턴링크에서 사용자 간 시간지연이 수 칩 이내인 준동기 기술이 유지되고 접속방식으로 MC-DS/CDMA 시스템을 이용한다면 고속 데이터 전송 서비스에서 우수한 성능을 보일 것으로 기대되고 기존 육상이동통신 시스템과도 호환이 매우 용이해 수용용량과 광역 서비스 면에서 높은 효율을 볼 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] R. Prasad, S. Hara, "An overview of multi-carrier CDMA," IEEE 4th International Symp., Vol. 1, pp. 107~114, 1996.
- [2] S. Hara, R. Prasad, "Overview of Multicarrier CDMA," IEEE Comm. Mag., Vol. 35, pp. 126~133, Dec. 1997.
- [3] S. B. Slimane, "Bandwidth efficiency of MC-CDMA signals," Electronics Letters 14th, Vol. 35, No. 21, pp. 1797~1798, 1999.
- [4] 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.
- [5] A. Conti, D. Dardari and V. Tralli, "An Analytical Framework for CDMA Systems with a Nonlinear Amplifier and AWGN," IEEE Trans.

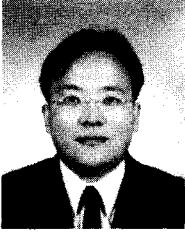
on comm., Vol. 50, No. 7, pp. 1110~1120, July 2002.

[6] H. Hathi, M. Rodrigues, I. Darwazeh and J. O'Reilly, "Performance Assessment of MC-CDMA and MC-DS/CDMA in the presence of High Power Amplifier Non-linearities," VTC

2002, pp. 1467-1471.

[7] A. A. M. Saleh and J. Salz, "Adaptive Linearization of Power Amplifiers in Digital Radio Systems," The Bell System Technical Journal, Vol. 62, April 1983, pp. 1019~1033.

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

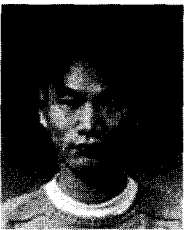
스템, MIMO-OFDM>



李 鎬 振(正會員)

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

<주관심분야 : 위성통신시스템>



崔 榮 寬(正會員)

1998년 2월 : 연세대학교 전파공학과공학사. 2000년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과공학석사. 2000년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정. <주관심분야 :

CDMA 이동통신시스템, 순/역방향 링크 빔 성형 기술, MIMO OFCDM 시스템>



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>