

## 광 SCM 전송방식에서 MZ 변조기를 통과한 DS-CDMA 신호의 성능분석

김 회 준 , 임 명 섭

전북대학교 전자, 정보공학부, 정보통신연구소

전화 : 063-270-2479 / 핸드폰 : 016-351-8882

### Performance Analysis of DS-CDMA Signal through MZ Modulator in Optical SCM Signal Transmission

Hoi Jun Kim, Myoung Seob Lim, Institute of information & communication  
Faculty of Electronic & Information Engineering Chonbuk National University  
E-mail : hjkim@hslab.chonbuk.ac.kr

#### Abstract

In this paper, it is analyzed the statistical characteristics on the transmission performance of the optical SCM transmission in the CDMA RF signal relay system. Using Mach-Zehnder modulator, optical signal is regenerated into CDMA RF signal. Transfer function model of Mach-Zehnder modulator is approximated to the third power of the input signal using Taylor series. BER results are analyzed under the multiple access interference and multi-path fading enviroment.

#### I. 서론

최근에 이동통신 서비스가 대중화됨에 따라 이동통신 사용자가 점차 증가하고 있으며, 지역적으로도 지금까지 이동통신 서비스가 미치지 못했던 산간 벽지, 낙도 뿐 아니라, 도심지역 중 전파환경이 열악해 전파 사각지대로 남아있는 지하 공간 및 아파트 단지 등에 이르기까지 더욱 고품질의 서비스를 원하고 있다. 그러나 이동통신 사업자가 이러한 요구를 수용하

기는 쉽지 않다. 통화량이 적은 지역에 막대한 비용을 투자해 기지국을 건설, 운용하는 것은 투자의 비효율성으로 이동통신 사업자의 경영 수지를 악화시킬 뿐만 아니라 국가적인 자원의 낭비를 초래하기 때문이다.

따라서 기존 이동통신 시스템과 다른 개념으로 대안을 마련하고 통화 품질을 제고시킬 방법으로 떠오르고 있는 광중계국 시스템의 전송 성능 분석이 필요하다.

본 논문은 다중경로 페이딩 특성을 가지고 있는 다중접속 간섭신호인 CDMA RF 신호를 전송하는데 있어서 광소자인 MZ(Mach-Zehnder) 변조기를 사용하는 광 SCM방식에서 출력신호의 통계적 특성을 분석하여 전송성능을 분석하였다. MZ 변조기의 transfer function model은 테일러 전개를 이용하여 입력신호가 3제곱이 되는 비선형 조건하에서 신호대 잡음비를 유도하여 BER 특성을 파악하였다.

#### II. 이동통신망을 위한 SCM 광링크 시스템 구조

SCM 방식은 많은 수의 기저대역 신호들을 각각의

\* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (2000-1-30200-007-3) 지원으로 수행되었습니다.

국부 발진기를 이용하여 주파수 분할 다중화를 한 후에 고속의 단일 광원으로 전송하는 방법으로 수신단에서는 MZ변조기를 이용하여 전기신호로 변환하고 국부 발진기를 조정해서 원하는 채널을 얻는 다중화 방식을 의미한다. SCM 방식은 아날로그 및 디지털 신호를 동시에 전송할 수 있는 장점을 가지고 있으며 여러 채널을 전송할 수 있기 때문에 광의 광대역을 효과적으로 이용할 수 있고, 현재의 초고주파 기술을 그대로 적용할 수 있어 CATV 망과 광 PCS 시스템에서 사용되고 있는 방식이다. [1]

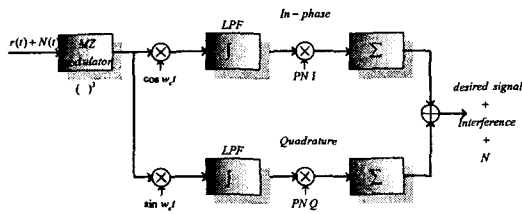


그림 1. 중앙국에서 MZ 변조기를 통과한 수신신호가 QPSK를 거쳐 복조되는 과정

그림 1은 CDMA RF 신호가 MZ 변조기를 통과한 후 SCM 시스템 성능분석 구조를 나타내고 있다. 이동국에서 발생된 CDMA 신호가 무선링크를 거쳐 기지국으로 송신되고, 기지국의 전기/광 변환을 통해 광신호로 변환된다. 변환된 광신호는 광섬유를 통해 중앙국으로 전송이 되고 중앙국에서 광/전기 변환을 통해 전기신호로 변환된 후 일반적인 CDMA 신호의 복조과정을 따른다.

### III. MZ 변조기의 transfer function model

MZ 변조기의 입력력 광 필터의 관계는 다음 방정식과 같다.

$$E_{out}(t) = \pm E_{in}(t) \cdot \cos\left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_b + V_m(t)}{V_x}\right] \quad \dots(1)$$

여기서  $V_b$ 는 바이어스 전압,  $V_m(t)$ 는 변조 전압이고  $V_x$ 는 MZ 변조기에서 위상을  $\pi$ 만큼 천이 시키는데 필요한 전압이다. 최대의 선형적인 변조 능력을 유도하기 위한 바이어스 포인트는  $V_b/V_x = 2k+1$ 이고,  $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 이다. 이러한 경우에 테일러 급수 전개식을 이용하여 (1)을 다음과 같이 다시 쓸수 있다.

$$E_{out}(t) = \pm E_{in}(t) \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(-1)^i}{(2i+1)!} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_m(t)}{V_x}\right)^{2i+1} \dots(2)$$

여기서  $E_{in}$  앞의 부호는  $k = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots$ 일 때

양의 값을 가지며,  $k=0, \pm 2, \pm 4, \dots$ 일 때 음의 값을 가진다. [2]

만약 변조신호의 진폭이 작을 때,  $V_m(t)/V_x \ll 1$  이면  $E_{out}(t) \approx \pm E_{in}(t) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_m(t)}{V_x}$ , 그렇지 않고 변조신호의 진폭이 클때는 고차 비선형에 의한 영향은 크기가 작아 시스템에 영향을 미치지 않는다고 가정하고 식(2)의  $i$ 는 0에서 1까지만 고려해 주면 다음과 같다.

$$E_{out}(t) = \pm E_{in}(t) \cdot \left\{ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_m(t)}{V_x} - \frac{1}{6} \cdot \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_m(t)}{V_x} \right)^3 \right\} \quad \dots(3)$$

### IV. 광 SCM 성능분석

MZ 변조기로 들어오는 신호가 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^L a_{k,l} d(t - \tau_{k,l}) [p_{l,k}(t - \tau_{k,l}) \cdot \cos\{w_c(t - \tau_{k,l}) + \phi_{k,l}\} + p_{l,k}(t - \tau_{k,l}) \cdot \sin\{w_c(t - \tau_{k,l}) + \phi_{k,l}\}] + N(t)$$

$k$ : 사용자의 수,  $l$ : 멀티패스의 수

$a_{k,l}$ :  $k$ 번째 사용자의  $l$ 번째 신호의 크기

$d_{k,l}$ :  $k$ 번째 사용자의  $l$ 번째 신호의 데이터

$p_{k,l}$ :  $k$ 번째 사용자의  $l$ 번째 신호의 코드신호

$\tau_{k,l}$ :  $k$ 번째 사용자의  $l$ 번째 신호의 랜덤 시간지연

식(4)에서 첫 번째 사용자의 첫 번째 신호가 우리가 필요한 신호의 데이터이고 나머지 신호는 간섭이므로 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$r(t) = a_{1,1} d(t - \tau_{1,1}) [p_{1,1}(t) \cos(w_c t) + p_{1,1}(t) \sin(w_c t)] + \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq 1}^L a_{k,l} d(t - \tau_{k,l}) [p_{l,k}(t - \tau_{k,l}) \cdot \cos\{w_c t + \theta_{k,l}\} + p_{l,k}(t - \tau_{k,l}) \cdot \sin\{w_c t + \theta_{k,l}\}] + N(t) \quad \dots(5)$$

식 (5)에서 계산을 간단히 하기 위해 수신측은 첫 번째 사용자의 첫번째로 도착한 멀티패스 성분  $\tau_{1,1}$ 와  $\phi_{1,1}$ 는 0으로 놓았으며  $-w_c \tau_{k,l} + \phi_{k,l} = \theta_{k,l}$  로 놓았다. 위상  $\theta_{k,l}$ 은 각각  $[0, 2\pi]$ 에서 균일한 분포를 가지면서 변환하고  $\tau_{k,l}$ 은  $[0, T_c]$  사이에서 균일한 분포를 갖는다.

식(5)를 식(3)에 대입하여 풀되 송신 데이터를 복원

광 SCM 전송방식에서 MZ 변조기를 통과한 DS-CDMA 신호의 성능분석

하기 위해서는 MZ 변조기를 통과해서 나온 신호에 캐리어를 곱하고 코드신호를 곱하여 역확산을 시킨후 한 비트 주기동안 적분하고 데이터를 판정하면 된다.

따라서 식을 풀면 원하는 신호의 항 ( $D$ )와 간섭 신호의 평균 분산 항 ( $\sigma_I^2$ )와 잡음의 분산항 ( $\sigma_N^2$ )이 다음과 같이 나온다.[3],[4]

$$D = \sqrt{\frac{E_b^{1,1}}{2}} \frac{\pi}{V_\pi} \left( 1 - \frac{1}{8V_\pi^2} \frac{\pi^2 a_{1,1}^2}{8} \right) a_1 \quad \dots(6)$$

$$\sigma_I^2 = 4/3 \left[ \left( \frac{\pi}{4V_\pi} \right)^2 \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L E_b^{k,l} + \left( \frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 \right.$$

$$\left. \left\{ \left( \frac{9}{8} \right)^2 E_b^{1,1} \frac{a_{1,1}^2}{2N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L a_{k,l}^2 + \left( \frac{3}{8} \right) \right\} \right.$$

$$\left. \frac{2E_b^{1,1}}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L a_{k,l}^4 + \left( \frac{3}{2} \right)^2 E_b^{1,1} \frac{a_{1,1}^2}{8N} \right.$$

$$\left. \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L a_{k,l}^2 + \frac{5E_b^{1,1}}{64N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L \right.$$

$$\left. \sum_{p=k}^N \sum_{q \neq k, l}^L a_{k,p}^2 a_{p,q}^2 + \left( \frac{3}{8} \right)^2 \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L \right.$$

$$E_b^{k,l} a_{k,l}^4 + \left( \frac{3}{8} \right)^2 \frac{4E_b^{1,1}}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L \sum_{p=k}^N \sum_{q \neq k, l}^L$$

$$a_{k,p}^2 a_{p,q}^2 + \frac{5}{32N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L \sum_{p=k}^N \sum_{q \neq k, l}^L$$

$$E_b^{k,l} a_{k,p}^2 a_{p,q}^2 + \left( \frac{1}{8} \right)^2 \frac{6}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L \sum_{p=k}^N \sum_{q \neq k, l}^L$$

$$\left. \left. \sum_{m=p}^N \sum_{n=q}^L E_b^{k,l} a_{p,q}^2 a_{m,n}^2 \right\} \right] \quad \dots(7)$$

$$\sigma_N^2 = N_0 \frac{\pi^2}{4V_\pi^2} + N_0 \frac{\pi^6}{64} \left( \frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 \left\{ \frac{45}{16} a_{1,1}^4 \right.$$

$$+ 9a_{1,1}^2 \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L a_{k,l}^2 + \frac{27}{8} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L a_{k,l}^4$$

$$+ \frac{9}{4} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L \sum_{p=k}^N \sum_{q \neq k, l}^L a_{k,p}^2 a_{p,q}^2$$

$$+ N_0 \frac{27}{4} a_{1,1}^2 + N_0 \frac{27}{4} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1, l \neq k}^L a_{k,l}^2$$

$$+ N_0 \frac{45}{4} \left. \right\} \quad \dots(8)$$

식 (6)~(8)로부터 SNR은 다음과 같다.

$$SNR = \frac{var(D)}{\sigma_I^2 + \sigma_N^2} \quad \dots(9)$$

식 (9)를 Q-함수를 이용하여 신호대 잡음비에 대한 여러 확률을 구할 수 있다.

$$P_e = Q(\sqrt{SNR}) \quad \dots(10)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad \dots(11)$$

V. 결과 분석

본 장에서는 앞장에서 구한 Q-함수를 이용하여 BER을 통해 성능분석 결과를 그래프로 나타낸다.

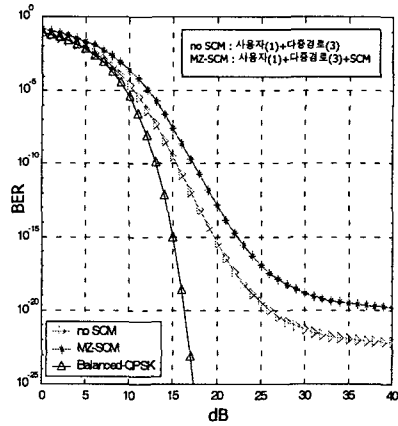


그림 2.  $V_\pi = 2V_m$  일 때 MZ-SCM 통과후 DS-CDMA 신호의 BER특성

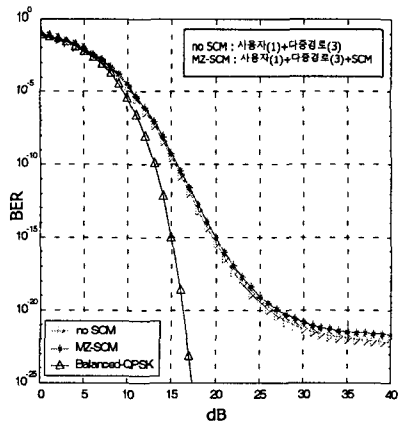


그림 3.  $V_\pi = 4V_m$  일 때 MZ-SCM 통과후 DS-CDMA 신호의 BER특성

그림 2와 3은 사용자 1명의 신호가 3개의 다중경로를 통해 수신될 때, MZ-SCM을 통과한 신호와 통과하지 않은 신호의 BER특성을 비교하였다. 그림 2와 3은  $V_x$ 값을  $V_m$  진폭크기의 각각 2배와 4배로 설정했을 때의 결과이다.

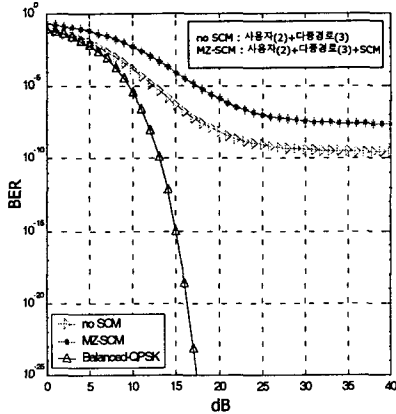


그림 4.  $V_x=2V_m$  일 때 MZ-SCM 통과후 DS-CDMA 신호의 BER특성

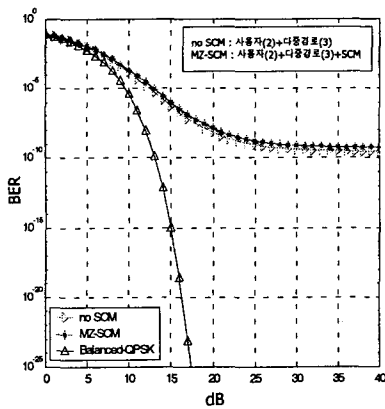


그림 5.  $V_x=4V_m$  일 때 MZ-SCM 통과후 DS-CDMA 신호의 BER특성

그림 4와 5는 사용자 2명에 다중경로가 3개일 때의  $V_x$ 값이  $V_m$ 의 진폭크기의 2배와 4배로 설정했을 때의 MZ-SCM을 통과한 신호와 그렇지 않은 신호의 BER특성을 나타내었다.

그림에서 알수 있듯이  $V_x$ 값이 증가함에 따라 기존의 BER에 접근함을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문은 다중경로 페이딩 특성을 가지고 있는 다중접속 간섭신호인 CDMA RF 신호를 전송하는데 있어서 광소자인 MZ(Mach-Zehnder) 변조기를 사용하는 광 SCM방식에서 출력신호의 통계적 특성을 분석하여 전송성능을 분석하였다. MZ 변조기의 transfer function model은 테일러 전개를 이용하여 입력신호가 3제곱이 되는 비선형 조건하에서 신호대 잡음비를 유도하여 BER 특성을 파악한 결과  $V_x$ 값의 상대크기가 4이상이었을 때 기존의 BER값에 근접하는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 제시한 분석 방법 및 전송성능의 결과는 DS-CDMA 방식의 PCS 시스템은 물론 광대역 CDMA 방식을 채택하고 있는 IMT-2000 시스템의 광 링크 설계에 효율적으로 이용될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] 유진태 외, "CDMA RF 신호 전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 성능분석," 한국통신학회, vol.25, no.9B, pp.1542-1550, Sep. 2000
- [2] S.L.Zhang, P.M.Lane, J.J.O'Reilly "Assessment of the Nonlinearity Tolerance of Different Modulation Schemes for Millimeter-Wave Fiber-Radio Systems Using MZ Modulators," IEEE Trans.Microwave Theory Tech, vol.45, no.8, pp.1403-1409, Aug 1997
- [3] John G. Proakis, "Digital communications," 3rd, McGraw-Hill, pp.37-41 1995
- [4] 전경훈, "Spread-Spectrum Communications," 홍릉출판사, pp.114-134, 1995