

광 SCM 전송방식에서 MZ 변조기를 통과한 DS-CDMA 신호의 성능분석

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

김 회 준 · 임 명 섭

Hoi Jun Kim · Myoung Seob Lim

요 약

향후 CDMA 디지털 셀룰러 이동통신망에서는 안테나와 RF 송·수신기만을 갖춘 다수의 소형 기지국들을 광섬유를 이용하여 중앙국으로 연결시키는 SCM (Subcarrier Multiplexing) 광링크 시스템의 수요가 많이 예상된다.

본 논문에서는 CDMA RF 신호전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 성능분석을 위하여 MZ (Mach-Zehnder) 변조기의 전달함수를 입력신호가 3제곱이 되어 출력되는 비선형으로 모델링 하였다. 그리고 페이딩 채널 영향으로 다중경로 신호성분을 가지고 소형 기지국에 수신되는 여러 다중 가입자 CDMA 신호들이 MZ 변조기를 통과한 후 복조되는 과정에서 생기는 다중접속 간섭신호를 유도하여 성능분석을 하였다.

Abstract

It is expected that the SCM (SubCarrier Multiplexing) optical link system, in which a number of small scale base stations with only antenna and RF transceiver are connected to central station through optical fiber, is in demand.

In order to analyze the performance of SCM optical link system for RF signal transmission, MZ(Mach-Zehnder) modulator's transfer function is modelled as nonlinear form with the cube of input signal. And considering the multiple access interferences occurred in the demodulation of other users' CDMA signals with multipath components after passing through MZ modulator, the BER performance is analyzed.

Key words : optical SCM, MZ modulator, CDMA

I. 서 론

최근에 이동통신 서비스가 대중화 됨에 따라 이동통신 사용자 수가 점차 증가하고 있다. 따라서, 한정된 주파수 자원에서 이동통신 시스템의 가입자 수용용량을 증대시키기 위해 기지국의 무선 서비스

구역(cell)의 서비스 반경이 줄어든 마이크로 셀, 피코 셀이 운영되고 있다. 특히, 대도시에서는 사람들이 많이 모이는 상업지역 중 전파음영 현상이 있는 지하공간이 많이 생겨나고 있다.

따라서 이러한 지역에 안테나와 RF신호 전송 장치만을 갖춘 저비용의 소형 기지국들을 설치하고,

「본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (2000-1-30200-007-3) 지원으로 수행되었습니다.
전북대학교 전자정보공학부(Division of Electronic & Information Engineering, Chonbuk National University)
정보통신연구센터(Research Center of Information & Communication)
· 논문 번호 : 20010822-111
· 수정완료일자 : 2002년 3월 4일

광섬유로 중앙국으로 연결하는 SCM 광링크 시스템이 많이 연구, 개발되고 있다.

그러나, CDMA 이동통신 신호는 여러명의 가입자가 동일한 주파수를 공유하고, 각 사용자의 신호가 페이딩 채널에서 다중경로 신호가 발생하여 수신부에 수신되므로, 복조과정에서 원하는 가입자 신호의 다중경로 성분중 한 경로 신호를 복조할 때 자기신호의 다른 다중경로 신호성분 및 다른 가입자 신호들의 모든 다중경로 신호성분들로 인해 다중접속 간섭신호가 발생한다. 그리고, SCM 광링크 시스템에서는 RF신호를 광신호로 변환하는 소자의 비선형성에 의해서 신호가 왜곡될 수 있다.

본 논문에서는 한 개의 레이저 다이오드를 써서 양방향 변조가 가능한 MZ (Mach-Zehnder) 변조기에 입력신호가 3제곱이 되어 출력되는 비선형성과

다중접속 간섭신호가 존재하는 상황을 모델링 하였다. 따라서, 앞서 언급한 이동통신의 페이딩 채널에서 여러개의 다중경로 신호성분을 갖는 여러 사용자의 CDMA RF신호가 안테나에서 수신되어 MZ 변조기를 통과한 후 CDMA 복조기에서 복조되는 과정에서의 간섭신호 성분을 유도하고, BER 값을 구해 성능왜곡 현상을 분석하였다.

II. 이동통신망을 위한 SCM 광링크 시스템 구조

SCM 방식은 많은 수의 기저대역 신호들을 각각의 국부 발진기를 이용하여 주파수 분할 다중화를 한 후에 고속의 단일 광원으로 전송하는 방법으로 수신단에서는 광다이오드를 이용하여 전기신호로

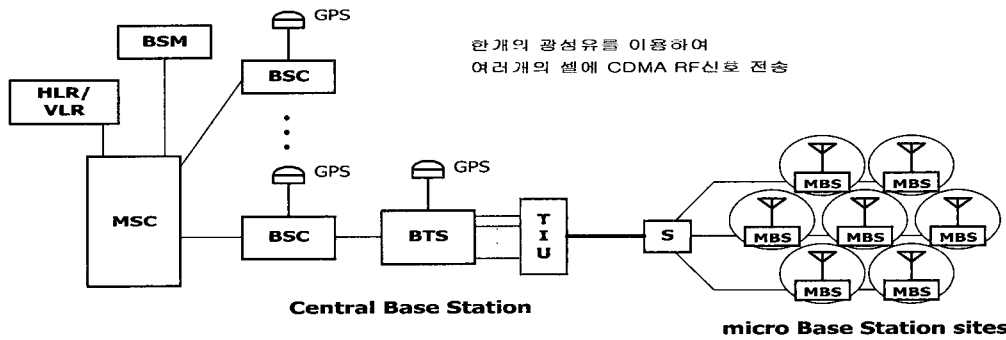


그림 1. SCM 광링크 시스템
Fig. 1. SCM optical link system.

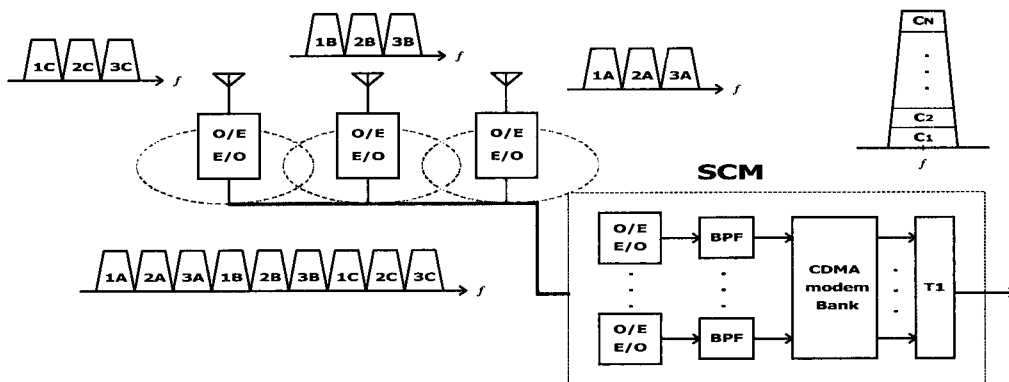


그림 2. SCM 광링크 시스템의 CDMA 신호 다중화
Fig. 2. Multiplexing of CDMA signals in SCM optical link system.

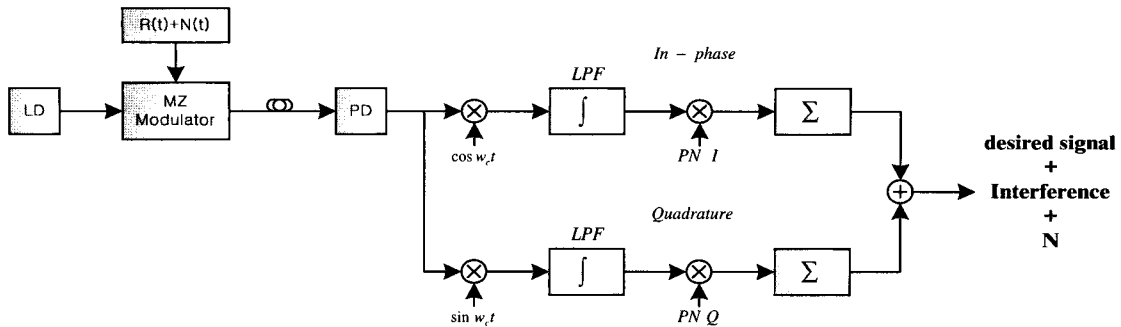


그림 3. 중앙국에서 MZ 변조기를 통과한 수신신호가 QPSK를 거쳐 복조되는 과정

Fig. 3. Demodulation procedure of the received signals through MZ modulator in the base station receiver.

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 1은 SCM 광링크 시스템의 전체적인 구조를 나타낸다. 각각의 마이크로 셀에 기지국이 있고 기지국 각각에 주파수 대역을 할당한 후 이 기지국을 통해 들어온 CDMA RF 신호가 그림 2에서와 같이 전기/광 변조기를 통과한 후 광섬유를 통해서 전송된다. 광섬유를 통해 들어온 신호는 중앙국에서 다시 광/전기 변조기를 통과한 후 기저대역 신호로 천이되어 원하는 신호를 처리하는 과정을 보이고 있다.

그림 3은 CDMA RF 신호가 MZ 변조기를 통과한 후 역 확산 과정을 통해 복조되는 광 SCM 시스템의 CDMA 수신부 구조를 나타내고 있다. 이동국에서 발생된 CDMA 신호는 무선링크를 거쳐 기지국 안테나에서 수신되고, 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

광 SCM 방식에서 전기/광 변환소자로 쓰이는

MZ 변조기의 입출력 광 필터의 관계는 식 (1)과 같다.

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

여기서 V_b 는 바이어스 전압, $V_m(t)$ 는 변조 전압이고 V_π 는 MZ 변조기에서 위상을 π 만큼 천이 시키는데 필요한 전압이다. 최대의 선형적인 변조 능력을 유도하기 위한 바이어스 포인트는 $V_b/V_\pi = 2k+1$ 이고, $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 이다.

그림 4는 MZ 변조기의 특성 곡선을 나타내고 있는데 V_b/V_π 부분에서 최대의 선형적인 변조 능력을 유도할 수 있고 식 (1)에서 $V_m(t)$ 가 V_π 보다 상대적으로 작을 때 선형적인 변조가 이루어진다.

그림 5는 V_b/V_π 가 증가함에 따라 $\frac{E_{out}(t)}{V_m(t)}$ 비율의 최대값과 최소값을 보여주고 있다. 최대값과

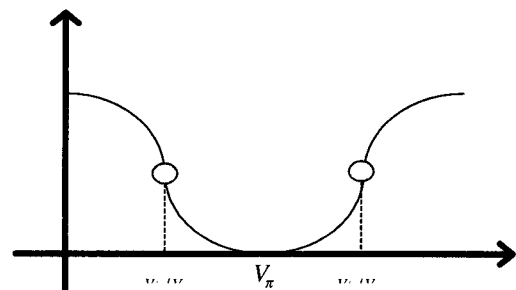
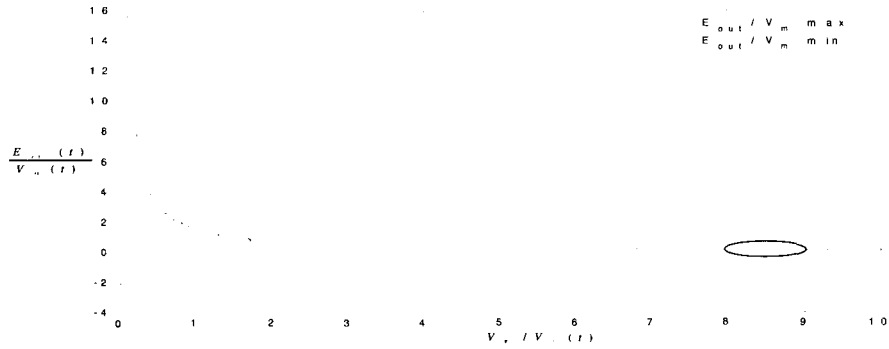


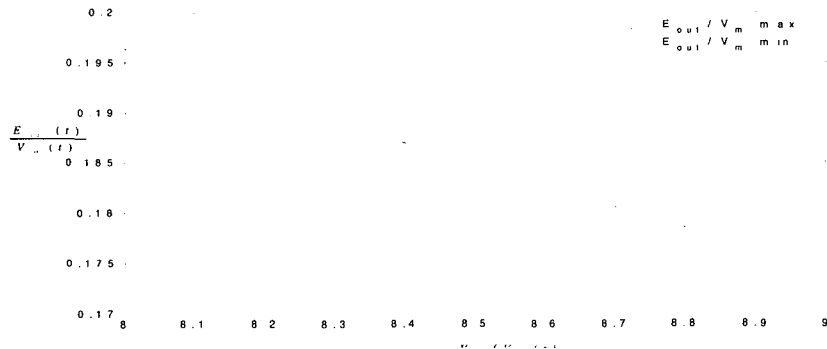
그림 4. MZ 변조기의 특성곡선

Fig. 4. Characteristic curve of MZ modulator.



(a) $V_{\pi}/V_m(t)$ 가 증가함에 따른 $\frac{E_{out}(t)}{V_m(t)}$ 의 변화량

(a) $\frac{E_{out}(t)}{V_m(t)}$ according to $V_{\pi}/V_m(t)$



(b) 그림 (a)의 표시된 부분의 확대도

(b) Enlargement of indicative part of (a)

그림 5. $V_{\pi}/V_m(t)$ 가 증가함에 따른 $\frac{E_{out}(t)}{V_m(t)}$ 의 최대값과 최소값

Fig. 5. Maximum and minimum value of $\frac{E_{out}(t)}{V_m(t)}$ according to $V_{\pi}/V_m(t)$

최소값이 같아질 때 완전한 선형성을 가지는데 그림 5에서 보면 $V_{\pi}/V_m(t)$ 값이 무한대로 가야만 선형 조건을 만족한다.

위의 식 (1)을 테일러 급수 전개식을 이용하여 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

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

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, $V_m(t)/V_{\pi} \ll 1$ 이면

$$E_{out}(t) \approx \pm E_{in}(t) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_m(t)}{V_{\pi}} \quad (3)$$

으로 표현된다. 그림 6의 (a)~(c)는 $V_{\pi}/V_m(t) = 3.4$ 일 때 $E_{out}(t)$ 값을 테일러 전개하여 $i=0$ 까지만 식 (3)에 대입하여 $E_{out}(t)$ 대 $V_m(t)$ 의 비율값과 그 비율의 분산값을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 비율값이 일정하게 변함을 볼 수 있으며 비율의 분산값의 최대치가 2×10^{-6} 값으로 일정한 값이 나오게 되어 선형성이 유지됨을 알 수 있다. 그러나 변조신호가 V_{π} 에 비해 아주 작으면 선형성은 좋아지나 신호대 잡음비가 나빠지므로 변조신호를 V_{π} 에 비해 너무 작게 할 수는 없다. 따라서

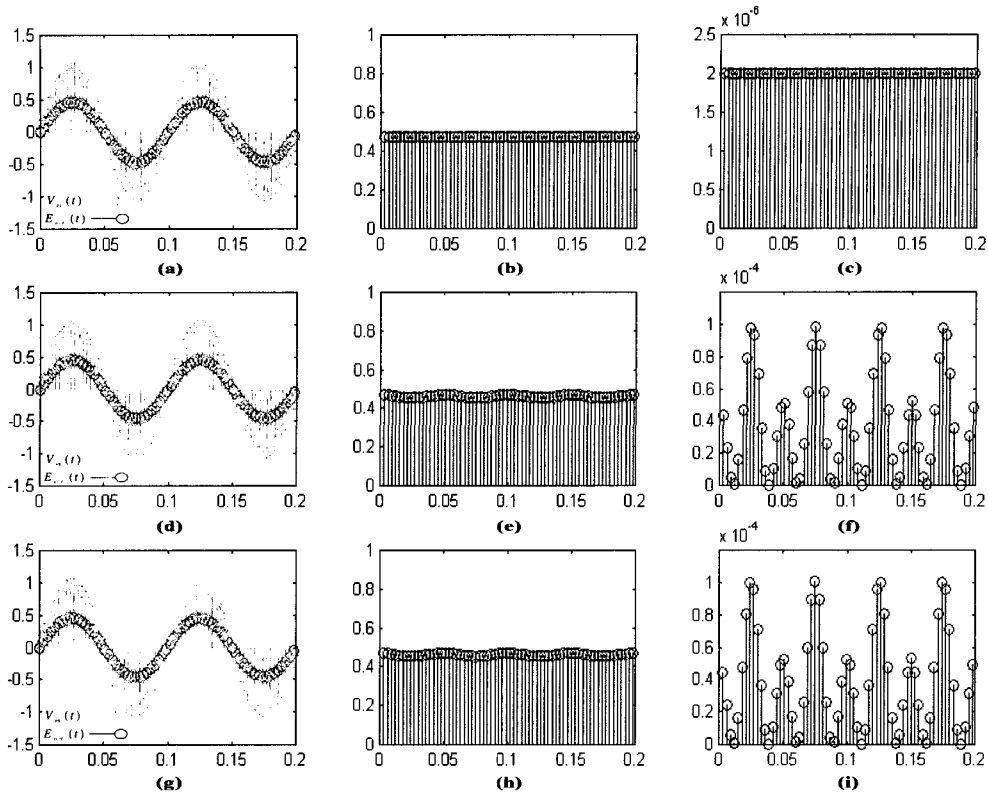


그림 6. $V_{\pi}/V_m(t)=3.34$ 일 때, $E_{out}(t)$ 대 $V_m(t)$ 의 비율과 비율의 분산값

Fig. 6. Ratio of $E_{out}(t)$ versus $V_m(t)$, and its variance, when $V_{\pi}/V_m(t)=3.34$

- (a)~(c) 수신된 신호($V_m(t)$)와 MZ변조기를 통과한 신호($E_{out}(t)$)의 $i=0$ 까지 테일러 전개한 신호의 파형, 비율값, 비율의 분산값을 각각 나타냄.
- (d)~(f) 수신된 신호($V_m(t)$)와 MZ변조기를 통과한 원신호($E_{out}(t)$)의 파형, 비율값, 비율의 분산값을 각각 나타냄.
- (g)~(i) 수신된 신호($V_m(t)$)와 MZ변조기를 통과한 신호($E_{out}(t)$)의 $i=0\sim 1$ 까지 테일러 전개한 신호의 파형, 비율값, 비율의 분산값을 각각 나타냄.
- (a)~(c) Waveforms, Ratio, variance of Ratio between received signal and MZ modulator output signal, respectively. ($E_{out}(t)$ is approximated by Taylor series by $i=0$)
- (d)~(f) Waveforms, Ratio, variance of Ratio between received signal and MZ modulator output signal, respectively. ($E_{out}(t)$ is approximated by Taylor series by $i=0\sim\infty$)
- (g)~(i) Waveforms, Ratio, variance of Ratio between received signal and MZ modulator output signal, respectively. ($E_{out}(t)$ is approximated by Taylor series by $i=0\sim 1$)

변조신호의 진폭이 커서 입력 신호와 V_{π} 의 크기비가 3.34일 때 고차 비선형에 의한 영향은 크기가 작아 시스템에 영향을 미치지 않는다고 가정하고 식 (2)의 i 는 0에서 1까지만 고려해두면 식 (4)와 같다.

$$E_{out}(t) = \pm E_m(t) \cdot \left\{ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_m(t)}{V_{\pi}} - \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_m(t)}{V_{\pi}} \right)^3 \right\} \quad (4)$$

그림 6의 (d)~(f)는 $V_{\pi}/V_m(t)=3.34$ 일 때 $E_{out}(t)$ 값을 테일러 전개시키지 않고 원신호 그대로를 식 (1)에 대입하여 $E_{out}(t)$ 대 $V_m(t)$ 의 비율값과 그 비율의 분산값을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 비율의 분산값의 최대치가 10^{-4} 값을 나타내고 있다.

그림 6의 (g)~(i)는 $V_n/V_m(t)=3.34$ 일 때 $E_{out}(t)$ 값을 테일러 전개하여 $i=0\sim 1$ 까지만 식 (4)에 대입하여 $E_{out}(t)$ 대 $V_m(t)$ 의 비율값과 그 비율의 분산값을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 비율값이 원신호를 집어 넣었을 때와 거의 같은 값을 가짐을 볼 수 있으며 비율의 분산값의 최대치가 10^{-4} 값으로 이또한 원신호를 집어넣었을 때와 같은 값을 가진다. 따라서 본 논문에서는 식 (4)를 MZ 변조기의 비선형 모델로 적용한다.

IV. 광 SCM 성능분석

기저국으로부터 광신호로 전송된 CDMA RF 신호가 MZ 변조기로 들어올 때 신호는 다음과 같다.

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

- 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 시간 지연
- $\phi_{k,l}$: k 번째 사용자의 l 번째 신호의 랜덤 위상

식 (5)에서 첫 번째 사용자($k=1$)의 첫 번째 신호($l=1$)가 우리가 필요한 신호의 데이터이고 나머지 신호는 간섭이므로 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$r(t) = a_{1,1} d(t - \tau_{1,1}) [p_{l,1}(t) \cos(w_c t) + p_{Q,1}(t) \cdot \sin(w_c t)] + \sum_{k=1}^K \sum_{l \neq 1, 1} a_{k,l} d(t - \tau_{k,l}) \cdot [p_{l,k}(t - \tau_{k,l}) \cdot \cos\{w_c t + \theta_{k,l}\} + p_{Q,k}(t - \tau_{k,l}) \cdot \sin\{w_c t + \theta_{k,l}\}] + N(t) \quad (6)$$

식 (6)에서 계산을 간단히 하기 위해 수신측은 첫 번째 사용자($k=1$)의 첫 번째로 도착한 멀티패스($l=1$) 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 $[0, 2\pi)$ 에

서 균일한 분포를 가지면서 변환하고 $\tau_{k,l}$ 은 $[0, T_c]$ 사이에서 균일한 분포를 갖는다.

송신 데이터를 복원하기 위해서는 식 (6)을 식 (4)에서 근사화시킨 MZ 변조기의 모델에 대입하여 나온 신호에 캐리어를 곱하고 코드신호를 곱하여 역확산을 시킨 후 한 비트 주기동안 적분하고 데이터를 판정하는 과정을 겪는다.

먼저 동위상 경로(In-phase)쪽으로 들어가는 신호 r_I 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_I &= \sqrt{\frac{2}{T}} \int_0^T E_{out}(t) p_{l,1}(t) \cos w_c t dt \\ &= \sqrt{\frac{2}{T}} \int_0^T \left[\frac{\pi r(t)}{2 V_\pi} - \frac{1}{6} \frac{\pi^3}{8} \frac{r^3(t)}{V_\pi^3} \right] p_{l,1}(t) \cos w_c t dt \\ &= \sqrt{\frac{2}{T}} \frac{\pi}{2} \int_0^T \left[\frac{1}{V_\pi} \{D_I(t) + I_{l,k}(t) + N(t)\} - \frac{1}{6} \frac{\pi^2}{4} \frac{1}{V_\pi^3} \{D_I^3(t) + 3D_I^2(t)I_{l,k}(t) + 3D_I^2(t)N(t) + 3D_I(t) \cdot (t)I_{l,k}^2(t) + 6D_I(t)I_{l,k}(t)N(t) + 3D_I(t)N^2(t) + I_{l,k}^3(t) + 3I_{l,k}^2(t)N(t) + 3I_{l,k}(t)N^2(t) + N^3(t)\} \right] p_{l,1}(t) \cos w_c t dt \\ &= \sqrt{\frac{2}{T}} \frac{\pi}{2} \int_0^T \left[\frac{1}{V_\pi} D_I(t) - \frac{1}{6} \frac{\pi^2}{4} \frac{1}{V_\pi^3} D_I^3(t) \right] p_{l,1}(t) \cdot \cos w_c t dt + \sqrt{\frac{2}{T}} \frac{\pi}{2} \int_0^T \left[\frac{1}{V_\pi} \{I_{l,k}(t) + N(t)\} - \frac{1}{6} \frac{\pi^2}{4} \frac{1}{V_\pi^3} \{3D_I^2(t)I_{l,k}(t) + 3D_I^2(t)N(t) + 3D_I(t) \cdot I_{l,k}^2(t) + 6D_I(t)I_{l,k}(t)N(t) + 3D_I(t)N^2(t) + I_{l,k}^3(t) + 3I_{l,k}^2(t)N(t) + 3I_{l,k}(t)N^2(t) + N^3(t)\} \right] p_{l,1}(t) \cos w_c t dt \\ &= \frac{\pi}{2} \frac{1}{V_\pi} \sqrt{\frac{E_b^{1,1}}{2}} a_{1,1} \left(1 - \frac{1}{8} \frac{\pi^2 a_{1,1}^2}{V_\pi^2} \right) \\ &\quad + \sqrt{\frac{2}{T}} \frac{\pi}{2} \int_0^T \left[\frac{1}{V_\pi} \{I_{l,k}(t) + N(t)\} - \frac{1}{6} \frac{\pi^2}{4} \frac{1}{V_\pi^3} \cdot \{3D_I^2(t)I_{l,k}(t) + 3D_I^2(t)N(t) + 3D_I(t)I_{l,k}^2(t) + 6D_I(t) \cdot I_{l,k}(t)N(t) + 3D_I(t)N^2(t) + I_{l,k}^3(t) + 3I_{l,k}^2(t)N(t) + 3I_{l,k}(t)N^2(t) + N^3(t)\} \right] p_{l,1}(t) \cos w_c t dt \quad (7) \end{aligned}$$

여기서

$$r(t) = D_I(t) + I_{l,k}(t) + N(t), \quad \sqrt{E_b^{1,1}} = \sqrt{\frac{\alpha_{1,1}^2 T}{2}}$$

$N(t)$: 잡음

$$D_I(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} a_{1,1} d(t) p_{l,1}(t) \cos w_c t$$

광 SCM 전송방식에서 MZ 변조기를 통과한 DS-CDMA 신호의 성능분석

$$I_{l,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} a_{1,1} d(t) p_{Q,1}(t) \sin w_c t + \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L \frac{a_{k,l}}{\sqrt{2}} \cdot 2 \left[\left(\frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \frac{9}{8} \frac{E_b^{1,1}}{T} \right)^2 \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L E_b^{k,l} [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] \right] \quad (9-2)$$

$$d(t - \tau_{k,l}) \left\{ p_{l,k}(t - \tau_{k,l}) \cos(w_c t + \theta_{k,l}) + p_{Q,k}(t - \tau_{k,l}) \sin(w_c t + \theta_{k,l}) \right\}$$

다음으로 직교위상 경로(Quadrature)쪽으로 들어가는 신호 r_Q 는 다음과 같다.

$$r_Q = \frac{\pi}{2} \frac{1}{V_\pi} \sqrt{\frac{E_b^{1,1}}{2}} a_{1,1} \left(1 - \frac{1}{8V_\pi^2} \frac{\pi^2 a_{1,1}^2}{8} \right) + \sqrt{\frac{2}{T}} \frac{\pi}{2} \int_0^T \left[\frac{1}{V_\pi} \{ I_{Q,k}(t) + N(t) \} - \frac{1}{6} \frac{\pi^2}{4} \frac{1}{V_\pi^3} \cdot 3D_Q^2(t) I_{Q,k}(t) + 3D_Q^2(t) N(t) + 3D_Q(t) I_{Q,k}^2(t) + 6D_Q(t) I_{Q,k}(t) N(t) + 3D_Q(t) N^2(t) + I_{Q,k}^3(t) + 3I_{Q,k}^2(t) N(t) + 3I_{Q,k}(t) N^2(t) + N^3(t) \} p_{Q,1}(t) \sin w_c t dt \quad (8)$$

여기서

$$r(t) = D_Q(t) + I_{Q,k}(t) + N(t), \quad \sqrt{E_b^{1,1}} = \sqrt{\frac{a_{1,1}^2 T}{2}},$$

$N(t)$: 잡음

$$D_Q(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} a_{1,1} d(t) p_{Q,1}(t) \sin w_c t$$

$$I_{Q,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} a_{1,1} d(t) p_{l,1}(t) \cos w_c t + \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^L \frac{a_{k,l}}{\sqrt{2}} d(t - \tau_{k,l}) \left\{ p_{l,k}(t - \tau_{k,l}) \cos(w_c t + \theta_{k,l}) + p_{Q,k}(t - \tau_{k,l}) \sin(w_c t + \theta_{k,l}) \right\}$$

식 (7)과 (8)에서 r_I 의 각각의 항들이 가지는 분산 값과 r_Q 의 각각의 항들이 가지는 분산값은 같은 값을 가지므로 전체 분산값은 r_I 를 구한 다음 2배를 곱하면 된다.

다음은 동위상 경로와 직교위상 경로 신호를 합한 후의 각각 항들의 분산값 들이다.

(i) $I_k(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\left(\frac{\pi}{4V_\pi} \right)^2 \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L E_b^{k,l} [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] \right] \quad (9-1)$$

(ii) $3D^2(t)I_k(t)$ 항의 분산

(iii) $3D(t)I_k^2(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\left(\frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \frac{3}{8} \right)^2 \frac{8E_b^{1,1}}{NT^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L (E_b^{k,l})^2 [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] \sin^2(2\theta_{k,l}) + \left(\frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \frac{3}{2} \frac{E_b^{1,1}}{T} \right)^2 \frac{1}{2N} \cdot \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L E_b^{k,l} [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] + \left(\frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 \frac{E_b^{1,1}}{2NT^2} \left[\sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L \sum_{p=k}^N \sum_{q=k,l}^L E_b^{k,l} E_b^{p,q} [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] \frac{5}{8} \right] \right] \quad (9-3)$$

(iv) $I_k^3(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\left(\frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \frac{3}{16} \right)^2 \frac{8(E_b^{1,1})^2}{NT^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L E_b^{k,l} [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] + \left(\frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \frac{3}{8} \right)^2 \frac{8E_b^{1,1}}{NT^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L (E_b^{k,l})^2 [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] \cos^2(2\theta_{k,l}) + \left(\frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \frac{3}{8} \right)^2 \frac{8}{NT^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L (E_b^{k,l})^3 [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] + \left(\frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \frac{3}{16} \right)^2 \frac{16E_b^{1,1}}{NT^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L \sum_{p,q=k,l}^N E_b^{k,l} E_b^p [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] + \left(\frac{\pi^3}{8} \frac{3}{6V_\pi^3} \right)^2 \frac{5}{8NT^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L \sum_{p,q=k,l}^N (E_b^{k,l})^2 E_b^p [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] + \left(\frac{\pi^3}{8} \frac{1}{6V_\pi^3} \frac{1}{8} \right)^2 \frac{24}{NT^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L \sum_{p,q=k,l}^N \sum_{m,n=p,q}^N E_b^{k,l} E_b^p E_b^m [(1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2] \right] \quad (9-4)$$

(v) $N(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\frac{\pi^2 N_0}{8V_\pi^2} \right] \quad (9-5)$$

(vi) $3D^2(t)N(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\frac{N_0}{2} \frac{\pi^6}{64} \left(\frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 \frac{45}{32} a_{1,1}^2 \right] \quad (9-6)$$

(vii) $6D(t)I_k(t)N(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\frac{N_0}{2} \frac{\pi^6}{64} \left(\frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 a_{1,1}^2 \left\{ \frac{9}{8} a_{1,1}^2 + \frac{27}{4} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1,1}^L a_{k,l}^2 \right\} \right] \quad (9-7)$$

(viii) $3D(t)N^2(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\frac{N_0^2}{2} \frac{\pi^6}{64} \left(\frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 \frac{81}{16} a_{1,1}^2 \right] \quad (9-8)$$

식 (9-8)의 값은 평균값이 0이 아닌 값을 가지는데 식을 간단히 하기 위해 평균을 0으로 놓고 계산하였다. 따라서 비트오율 곡선을 그리는데 있어 상한(upper bound) 된 값을 얻게된다.

(ix) $3I_k^2(t)N(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\frac{N_0^2}{2} \frac{\pi^6}{64} \left(\frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 \left\{ \frac{9}{32} a_{1,1}^2 + \frac{27}{8} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N a_{k,l}^2 + \frac{9}{4} a_{1,1}^2 \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N a_{k,l}^2 \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{9}{4} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{p,q=k,l}^N \sum_{p,q=k,l}^N a_{k,p}^2 a_{p,q}^2 \right\} \right] \quad (9-9)$$

(x) $3I_k(t)N^2(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\frac{N_0^2}{2} \frac{\pi^6}{64} \left(\frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 \frac{27}{16} \left\{ a_{1,1}^2 + 4 \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N a_{k,l}^2 \right\} \right] \quad (9-10)$$

(xi) $3N^3(t)$ 항의 분산

$$2 \left[\frac{N_0^3}{2} \frac{\pi^6}{64} \left(\frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 \frac{45}{4} \right] \quad (9-11)$$

여기서

$$N = \frac{T}{T_c}, \quad 0 \leq \mu_{\epsilon,l} = \left(\frac{\tau_{\epsilon,l}}{T_c} \right) < 1$$

따라서 식 (7), (8), (9)로부터 원하는 신호의 항 (D)와 간섭 신호의 평균 분산 항 (σ_I^2)와 잡음의 분산항 (σ_N^2)이 다음과 같이 나온다.[3],[4]

$$D = \sqrt{\frac{E_b^{1,1}}{2}} \frac{\pi}{V_\pi} \left(1 - \frac{1}{8V_\pi^2} \frac{\pi^2 a_{1,1}^2}{8} \right) a_{1,1} \quad (10)$$

$$\sigma_I^2 = 4/3 \left[\left(\frac{\pi}{4V_\pi} \right)^2 \frac{1}{N} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N E_b^{1,1} + \left(\frac{\pi^2}{8} \frac{1}{6V_\pi^2} \right)^2 \left\{ \left(\frac{9}{8} \right)^2 E_b^{1,1} \frac{a_{1,1}^2}{2N} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N a_{k,l}^2 \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{3}{8} \right)^2 \frac{2E_b^{1,1}}{N} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N a_{k,l}^2 + \left(\frac{3}{2} \right)^2 E_b^{1,1} \frac{a_{1,1}^2}{8N} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N a_{k,l}^2 \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{5E_b^{1,1}}{64N} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{p,q=k,l}^N \sum_{p,q=k,l}^N a_{k,p}^2 a_{p,q}^2 + \left(\frac{3}{16} \right)^2 \frac{2a_{1,1}^2}{N} E_b^{1,1} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N a_{k,l}^2 \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{3}{8} \right)^2 \frac{2}{N} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N E_b^{1,1} a_{k,l}^2 + \left(\frac{3}{16} \right)^2 \frac{4E_b^{1,1}}{N} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{p,q=k,l}^N \sum_{p,q=k,l}^N a_{k,p}^2 a_{p,q}^2 \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{5}{32N} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{p,q=k,l}^N \sum_{p,q=k,l}^N E_b^{1,1} a_{k,p}^2 a_{p,q}^2 \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{1}{8} \right)^2 \frac{6}{N} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{p,q=k,l}^N \sum_{p,q=k,l}^N \sum_{m,n=p,q}^N \sum_{m,n=p,q}^N E_b^{1,1} a_{k,m}^2 a_{m,n}^2 \right\} \right] \quad (11)$$

$$\sigma_N^2 = N_0 \frac{\pi^2}{4V_\pi^2} + N_0 \frac{\pi^2}{64} \left(\frac{1}{6V_\pi^3} \right)^2 \left\{ \frac{45}{16} a_{1,1}^2 - 9a_{1,1}^2 \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N a_{k,l}^2 + \frac{27}{8} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N a_{k,l}^2 \right. \\ \left. + \frac{9}{4} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{p,q=k,l}^N \sum_{p,q=k,l}^N a_{k,p}^2 a_{p,q}^2 + N_0 \frac{27}{4} a_{1,1}^2 + N_0 \frac{27}{4} \sum_{k,l=1,1}^N \sum_{k,l=1,1}^N a_{k,l}^2 + N_0^2 \frac{45}{4} \right\} \quad (12)$$

식 (10)~(12)로부터 SNR은 다음과 같다.

$$SNR = \frac{var(D)}{\sigma_I^2 + \sigma_N^2} \quad (13)$$

식 (13)을 Q-함수를 이용하여 신호대 잡음비에 대한 예리 확률을 구할 수 있다.

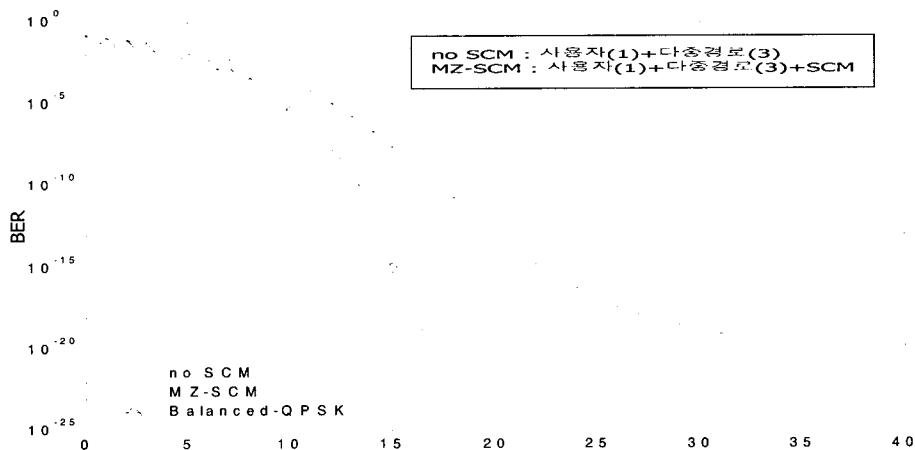


그림 7. $V_\pi = 2V_m$ 일 때 MZ-SCM 통과후 DS-CDMA 신호의 BER특성
 Fig. 7. The BER characteristic of the DS-CDMA signal through the MZ -SCM, when $V_\pi = 2V_m$.

광 SCM 전송방식에서 MZ 변조기를 통과한 DS-CDMA 신호의 성능분석

$$P_e = Q(\sqrt{SNR}) \quad (14)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (15)$$

V. 결과 분석

본 장에서는 앞장에서 구한 Q-함수를 이용하여 BER을 통해 성능분석 결과를 그래프로 나타낸다. 그림 7과 8은 사용자 1명의 신호가 3개의 다중경로를 통해 수신될 때, MZ-SCM을 통과한 신호와 통과하지 않은 신호의 BER특성을 비교하였다. 그림 7과

8은 V_{π} 값을 V_m 진폭크기의 각각 2배와 4배로 설정했을 때의 결과이다.

그림 9와 10은 사용자 2명에 다중경로가 3개일 때의 V_{π} 값이 V_m 의 진폭크기의 2배와 4배로 설정했을 때의 MZ-SCM을 통과한 신호와 그렇지 않은 신호의 BER특성을 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 V_{π} 값이 증가함에 따라 기존의 BER에 접근함을 알 수 있다.

그림 11은 6 dB에서 사용자가 증가함에 따른 BER 특성곡선을 나타내었다.

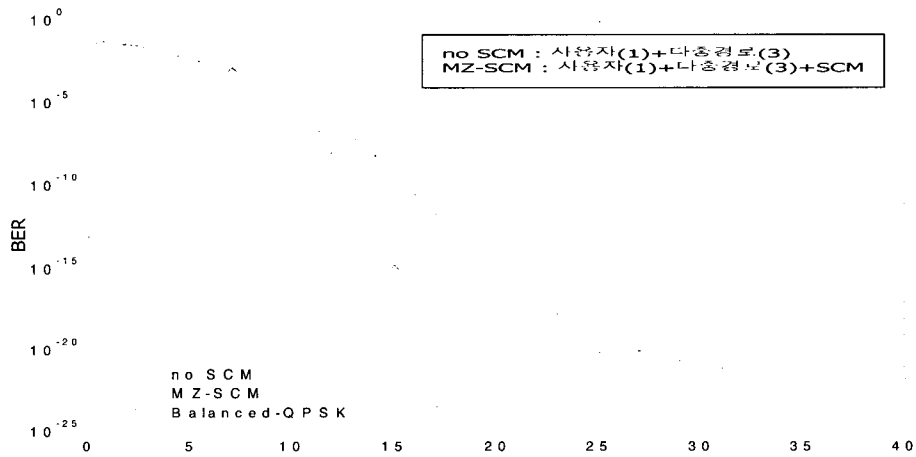


그림 8. $V_{\pi}=4V_m$ 일 때 MZ-SCM 통과후 DS-CDMA 신호의 BER특성

Fig. 8. The BER characteristic of the DS-CDMA signal through the MZ -SCM, when $V_{\pi}=4V_m$.

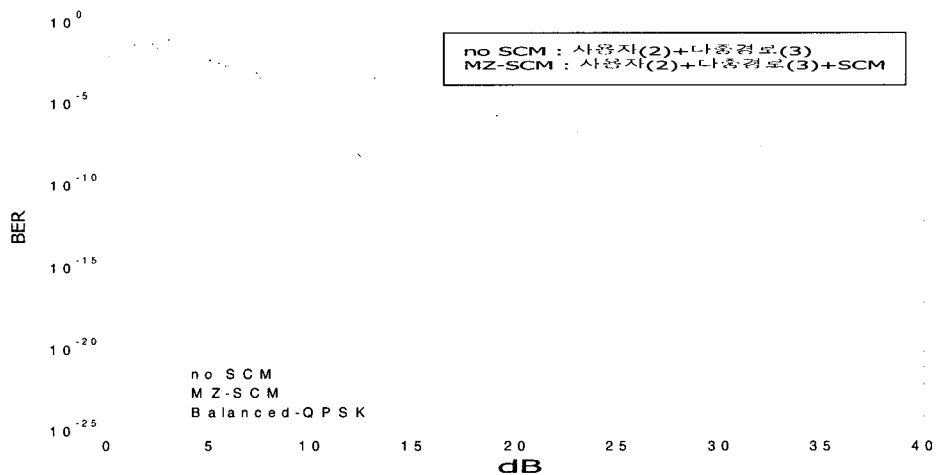


그림 9. $V_{\pi}=2V_m$ 일 때 MZ-SCM 통과후 DS-CDMA 신호의 BER특성

Fig. 9. The BER characteristic of the DS-CDMA signal through the MZ -SCM, when $V_{\pi}=2V_m$.

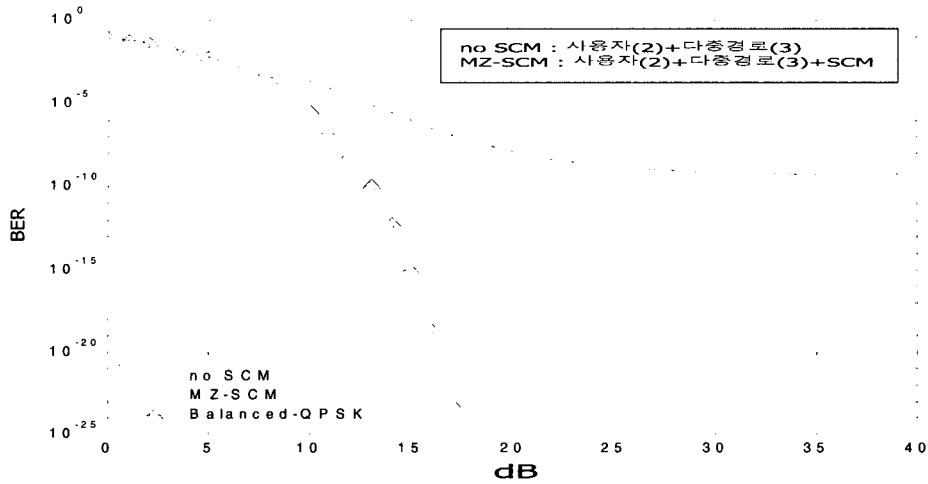


그림 10. $V_x=4V_m$ 일 때 MZ-SCM 통과후 DS-CDMA 신호의 BER특성

Fig. 10. The BER characteristic of the DS-CDMA signal through the MZ -SCM, when $V_x=4V_m$.

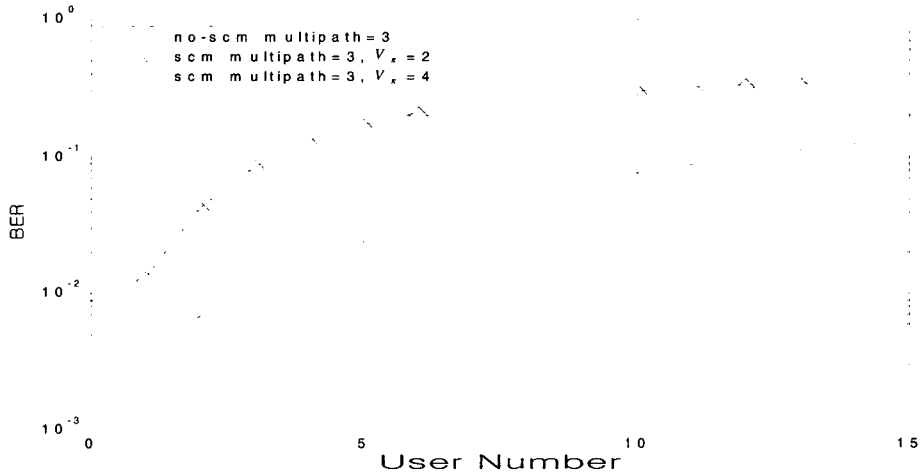


그림 11. 6 dB에서 사용자가 증가함에 따른 BER 특성곡선

Fig. 11. The BER characteristic according to number user when signal to noise ration is 6 dB.

V_x 값이 2일 경우 상당한 성능의 열화가 있음을 알 수 있으며, V_x 값을 4로 설정하였을 때 기존의 BER 값에 근사함을 알 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문은 다중경로 페이딩 특성을 가지고 있는 다중접속 간섭신호인 CDMA RF 신호를 전송하는데 있어서 광소자인 MZ 변조기를 사용하는 광

SCM방식에서 출력신호의 통계적 특성을 분석하여 전송성능을 분석하였다. 여러 개의 다중경로가 있는 페이딩 채널 및 여러 명의 가입자가 있는 환경에서 MZ 변조기의 전달함수 모델은 테일러 전개를 이용하여 입력신호가 3제곱이 되는 비선형 조건 하에서 신호대 잡음비를 유도하여 BER 특성을 파악한 결과 V_x 값의 상대크기가 4 이상이었을 때 기존의 BER값에 근접하는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 제시한 분석 방법 및 전송성능의 결

과는 DS-CDMA 방식의 PCS 시스템은 물론 광대역 CDMA 방식을 채택하고 있는 IMT-2000 시스템의 광링크 설계에 효율적으로 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[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,

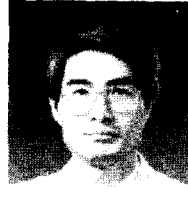
"Assessment of the nonlinearity tolerance of different modulation schemes for millimeter-wave fiber-radio systems using MZ modulators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, no. 8, pp. 1403-1409, Aug. 1997.
 [3] John G. Proakis, "Digital Communications," 3rd, McGraw-Hill, pp. 37-41, 1995.
 [4] 전경훈, "Spread-Spectrum Communications", 홍릉출판사, pp. 114-134, 1995.

김 회 준



2001년 2월: 전북대학교 물리학/정보통신공학과 (이학사/공학사)
 2001년 3월~현재: 전북대학교 정보통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] CDMA 이동통신, 광SCM 전송시스템

임 명 섭



1980년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1982년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1984년 1월~1985년 9월: 대우통신 종합연구소
 1985년 9월~1996년 10월: 한국전자통신연구원 이동통신 기술연구단 신호처리연구실장
 1996년 10년~현재: 전북대학교 전자정보공학부 부교수, 정보통신연구소
 [주 관심분야] Advanced CDMA Modem기술 (W-CDMA, MC-CDMA, SSB-DS/CDMA, Cellular System Engineering), Wireless LAN용 OFDM 변복조기, Home-PNA 2.0 Modem기술개발, 통신신호처리 기술개발, 광 SCM 전송시스템