

CDMA RF 신호 전송용 광 SCM 트랜시버에서 레이저 다이오드의 비선형 왜곡 보상

정회원 최영우*, 유진태**, 이길성**, 박진우**

Compensation of Laser Diode Nonlinearity in the Optical SCM System for CDMA RF Signal Transmission

Young-Woo Choi*, Jin-Tae Yu**, Kil-Sung Lee**, Jin-Woo Park** *Regular Members*

요 약

이동통신망에서 RF 신호를 송수신하는 기지국(base station)과 이동 통신 신호의 교환 전송을 담당하는 중앙국(central station)을 광섬유로 연결하여 구성하는 SCM(Subcarrier Multiplexing) 전송 시스템은 미래의 음성, 영상, 데이터 서비스 등의 이동통신 시스템에 적용할 수 있기 때문에 최근 관심이 커지고 있다. 이동통신망을 위한 SCM 광전송 시스템의 유용성에도 불구하고, CDMA RF 신호를 전송하는 과정에서 많은 물리적인 제약이 있다. 특히, 많은 가입자의 CDMA RF 신호가 하나의 레이저 다이오드(LD: Laser Diode)를 구동시킬 때, RF 신호의 합이 레이저 다이오드의 선형영역을 벗어나면 클리핑(clipping)이나 비선형 왜곡이 발생하여 시스템의 성능을 저하시키게 된다. 본 논문에서는 CDMA RF 신호의 SCM 광전송 성능분석을 통해 레이저 다이오드에 의해 발생하는 비선형 왜곡의 영향을 분석하고, 분석 결과로부터 레이저 다이오드에 의한 비선형 효과를 최소화 할 수 있는 비선형 왜곡 보상구조를 제안하였다. 또한 제안된 레이저 다이오드 비선형 보상기의 성능을 시뮬레이션과 실험을 통해 얻어진 BER로부터 측정하였다.

ABSTRACT

Optical SCM(Subcarrier Multiplexing) transmission system has earned more attention recently because it is required to adopt into the future mobile communications services such as voice, image and data services. In spite of the usefulness of SCM optical transmission system, some physical limitations of the system tends to be more serious for CDMA RF signal transmission, of which nonlinear characteristics of the LD(Laser Diode) is most serious. When many CDMA RF signals share a common frequency band, the cumulated RF signal power which is used to drive LD may often exceed the linear operation range of LD causing clipping and saturation in the converted optical signal. This paper analyzes the performance of optical SCM transmission system for CDMA RF signal transmission, and the limiting factors of the SCM system have been identified. Based on the analyses, a new optical SCM transceiver system is designed and implemented. The performance of the proposed SCM transceiver including LD nonlinearity compensator is measured and its effectiveness is proved in terms of BER improvement of the optical SCM system for CDMA RF signal transmission.

I. 서론

정보화 사회로의 본격적인 진입 단계에서 인터넷 사용자의 급격한 증가와 광대역 신호 전송을 기반으로 하는 다양한 멀티미디어 서비스가 구체적으로

* 한국 전자통신연구원 교환,전송 기술연구소
논문번호: 00372-0927, 접수일자: 2000년 9월 27일

** 고려대학교 전자공학과 광통신망 연구실(juty96@korea.ac.kr)

※ 본 연구는 한국과학재단 산학협동연구과제(98-2-07-05-01-2) 지원하에 수행되었습니다.

가시화되면서 가입자망에서도 신호 전송의 광대역화를 위한 새로운 망 설계 기술을 필요로 하게 되었다. 또한 기하 급수적으로 늘어나고 있는 이동전화, 인터넷 통신을 통한 음성, 동영상 서비스, 그리고 앞으로 제공될 IMT-2000 서비스와 같이 사회는 대량의 정보를 빠른 속도로 주고받는 기술을 요구하고 있다. 일반적인 망은 전화 및 데이터 서비스를 기초로 하는 유선망 구조를 기반으로 하였으나 이동 통신 서비스 등의 무선 통신 서비스 사용이 폭증하면서 무선 서비스를 제공하기 위한 통신망의 필요성이 급격히 부각되고 기존에 설치되었거나 설치 예정인 유선망을 상호 통합 운영하는 차원에서 망의 진화를 전제로 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 최근 무선 통신 기술의 발전으로 무선 통신 서비스가 기존 유선망 서비스를 위한 망의 트래픽을 초과하는 현상이 발생하고 있으며 이러한 경향은 이동 통신 서비스가 IMT-2000으로 진화하면서 더욱 심화될 것이다. 이러한 통신 서비스 환경의 변화에 대처하기 위해 이미 미국과 일본에서는 기지국간을 광섬유로 대체하는 투자를 계속하여 왔고 궁극적으로 광섬유가 최종 가입자에게까지 도달하는 FTTH (Fiber To The Home) 혹은 광섬유가 가입자의 근접 거리까지 도달하는 FTTC (Fiber To The Curb) 등을 실현하고자 노력 중이다.

최근 기지국간을 광섬유로 연결하는 망의 구조 제안 및 실험결과가 많이 발표되었다^{[1][2]}. 특히, 근래에 발표된 논문들 중에는 광링크 입력에서 무선 신호의 다이내믹범역(dynamic range)을 향상시키고^[3], 망의 구축비용을 절감하며, 전자소자 속도의 향상 및 광섬유를 통하여 가능한 높은 전력으로 빛의 입사를 가능하게 하는 등의 전송 링크 상의 성능에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 또한, 무선 신호의 합으로 하나의 LD를 구동할 때 LD에 의한 비선형 왜곡이 시스템의 성능에 제한을 가져오는 요소로 작용한다는 점에 착안하여 비선형 왜곡을 감소시키기 위한 기법으로 주파수 변환 스위칭^[4], LD 비선형 보상기^[5], FM 이중변조^[6]와 같은 방법이 제안되었다. 그러나 위의 연구들은 GSM과 같이 신호 다중화 방식으로 TDMA/FDMA 방식을 사용하는 시스템에 적합하도록 제안되었고 CDMA 신호 기반의 PCS 또는 광대역 CDMA 방식을 채택하고 있는 IMT-2000 시스템에는 최적의 전송 효율을 보장하지 못하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 광전송 링크를 SCM 방식으로 구성하여 하나의 캐리어 주파수에 서로 다른

PN 시퀀스를 이용해 가입자를 구별하는 CDMA 방식에 응용한 전송링크 시스템의 성능분석^{[7][8]} 및 실험을 통하여 시스템의 전송성능을 파악하였다. 또한, 무선신호의 합으로 LD를 구동시킬 때 발생하는 LD의 비선형 특성에 의해 발생하는 왜곡을 감소시키기 위한 새로운 형태의 비선형 왜곡 보상구조를 제안하고 성능 분석과 실험을 통해 이동 통신 신호 전송을 위한 SCM 광전송 시스템의 성능을 개선하였다.

II. 이동통신망에 적용된 SCM 광링크 시스템의 구조

그림 1은 기지국과 중앙국을 광섬유로 연결하고 SCM 방식을 이용하여 신호를 송수신 하는 이동통신망의 시스템 구조를 나타낸다. SCM(Subcarrier Multiplexing) 방식은 많은 수의 기저대역 신호들을 각각의 국부 발진기를 이용하여 주파수 분할 다중화를 한 후에 고속의 광원으로 전송하는 방법으로 수신단에서는 광검출기를 이용하여 전기신호로 변환하고 국부 발진기를 조정해서 원하는 채널을 얻는 다중화 방식을 말한다. 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 초고속과 기술을 그대로 적용할 수 있어 CATV 망과 광 PCS 시스템에서 사용되고 있는 방식이다. 그림 1에서 중앙국에서 이동국(MS: Mobile Station)으로의 하향링크(downlink)에서는 중앙국에서 하나의 RF 캐리어와 각 이동국에 유일하게 할당된 코드에 의해 변조된 신호가 LD를 구동하여 광신호로 변환되고 광섬유를 통해 기지국으로 전송되고 검출되어 각각 할당된 가입자에게 신호를 전송한다. 반면, 상향링크(uplink)에서는 각 가입자가 서로 다른 코드를 사용하여 신호를 전송하고, 각 가입자 무선신호의 합이 기지국의 LD를 구동하여 중앙국으로 전송되는 형태를 가지고 있다. 변조/복조, 스위칭기능, 송수신기능 등과 같은 신호처리과정이 중앙국에서 처리되고, 기지국은 전기/광 변환, 광/전기 변환기능과 RF신호의 송수신과 증폭기능만을 요구하므로 비교적 간단하고 저 비용의 기지국을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이동 통신을 위한 SCM 광링크 시스템이 제공할 수 있는 많은 이점도 있지만 광링크에서의 잡음과 LD의 비선형 특성은 시스템 성능의 저하를 가져오는 원인이 되며 RF 신호 입력

가시화되면서 가입자망에서도 신호 전송의 광대역화를 위한 새로운 망 설계 기술을 필요로 하게 되었다. 또한 기하 급수적으로 늘어나고 있는 이동전화, 인터넷 통신을 통한 음성, 동영상 서비스, 그리고 앞으로 제공될 IMT-2000 서비스와 같이 사회는 대량의 정보를 빠른 속도로 주고받는 기술을 요구하고 있다. 일반적인 망은 전화 및 데이터 서비스를 기초로 하는 유선망 구조를 기반으로 하였으나 이동 통신 서비스 등의 무선 통신 서비스 사용이 폭증하면서 무선 서비스를 제공하기 위한 통신망의 필요성이 급격히 부각되고 기존에 설치되었거나 설치 예정인 유선망을 상호 통합 운영하는 차원에서 망의 진화를 전제로 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 최근 무선 통신 기술의 발전으로 무선 통신 서비스가 기존 유선망 서비스를 위한 망의 트래픽을 초과하는 현상이 발생하고 있으며 이러한 경향은 이동 통신 서비스가 IMT-2000으로 진화하면서 더욱 심화될 것이다. 이러한 통신 서비스 환경의 변화에 대처하기 위해 이미 미국과 일본에서는 기지국간을 광섬유로 대체하는 투자를 계속하여 왔고 궁극적으로 광섬유가 최종 가입자에게까지 도달하는 FTTH (Fiber To The Home) 혹은 광섬유가 가입자의 근접 거리까지 도달하는 FTTC (Fiber To The Curb) 등을 실현하고자 노력 중이다.

최근 기지국간을 광섬유로 연결하는 망의 구조 제안 및 실험결과가 많이 발표되었다^{[1][2]}. 특히, 근래에 발표된 논문들 중에는 광링크 입력에서 무선 신호의 다이내믹범역(dynamic range)을 향상시키고^[3], 망의 구축비용을 절감하며, 전자소자 속도의 향상 및 광섬유를 통하여 가능한 높은 전력으로 빛의 입사를 가능하게 하는 등의 전송 링크 상의 성능에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 또한, 무선 신호의 합으로 하나의 LD를 구동할 때 LD에 의한 비선형 왜곡이 시스템의 성능에 제한을 가져오는 요소로 작용한다는 점에 착안하여 비선형 왜곡을 감소시키기 위한 기법으로 주파수 변환 스위칭^[4], LD 비선형 보상기^[5], FM 이중변조^[6]와 같은 방법이 제안되었다. 그러나 위의 연구들은 GSM과 같이 신호 다중화 방식으로 TDMA/FDMA 방식을 사용하는 시스템에 적합하도록 제안되었고 CDMA 신호 기반의 PCS 또는 광대역 CDMA 방식을 채택하고 있는 IMT-2000 시스템에는 최적의 전송 효율을 보장하지 못하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 광전송 링크를 SCM 방식으로 구성하여 하나의 캐리어 주파수에 서로 다른

PN 시퀀스를 이용해 가입자를 구별하는 CDMA 방식에 응용한 전송링크 시스템의 성능분석^{[7][8]} 및 실험을 통하여 시스템의 전송성능을 파악하였다. 또한, 무선신호의 합으로 LD를 구동시킬 때 발생하는 LD의 비선형 특성에 의해 발생하는 왜곡을 감소시키기 위한 새로운 형태의 비선형 왜곡 보상구조를 제안하고 성능 분석과 실험을 통해 이동 통신 신호 전송을 위한 SCM 광전송 시스템의 성능을 개선하였다.

II. 이동통신망에 적용된 SCM 광링크 시스템의 구조

그림 1은 기지국과 중앙국을 광섬유로 연결하고 SCM 방식을 이용하여 신호를 송수신 하는 이동통신망의 시스템 구조를 나타낸다. SCM(Subcarrier Multiplexing) 방식은 많은 수의 기저대역 신호들을 각각의 국부 발진기를 이용하여 주파수 분할 다중화를 한 후에 고속의 광원으로 전송하는 방법으로 수신단에서는 광검출기를 이용하여 전기신호로 변환하고 국부 발진기를 조정해서 원하는 채널을 얻는 다중화 방식을 말한다. 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 초고속과 기술을 그대로 적용할 수 있어 CATV 망과 광 PCS 시스템에서 사용되고 있는 방식이다. 그림 1에서 중앙국에서 이동국(MS: Mobile Station)으로의 하향링크(downlink)에서는 중앙국에서 하나의 RF 캐리어와 각 이동국에 유일하게 할당된 코드에 의해 변조된 신호가 LD를 구동하여 광신호로 변환되고 광섬유를 통해 기지국으로 전송되고 검출되어 각각 할당된 가입자에게 신호를 전송한다. 반면, 상향링크(uplink)에서는 각 가입자가 서로 다른 코드를 사용하여 신호를 전송하고, 각 가입자 무선신호의 합이 기지국의 LD를 구동하여 중앙국으로 전송되는 형태를 가지고 있다. 변조/복조, 스위칭기능, 송수신기능 등과 같은 신호처리과정이 중앙국에서 처리되고, 기지국은 전기/광 변환, 광/전기 변환기능과 RF신호의 송수신과 증폭기능만을 요구하므로 비교적 간단하고 저 비용의 기지국을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이동 통신을 위한 SCM 광링크 시스템이 제공할 수 있는 많은 이점도 있지만 광링크에서의 잡음과 LD의 비선형 특성은 시스템 성능의 저하를 가져오는 원인이 되며 RF 신호 입력

전력에 제한을 가하게 된다. 따라서 LD의 비선형에 의한 시스템의 성능저하를 감소시키고 RF 입력 전력의 다이내믹(dynamic) 영역을 확장하기 위해서는 높은 선형성(linearity)을 가진 LD를 사용하거나 LD의 비선형성을 보상할 수 있는 시스템이 필요함을 알 수 있다.

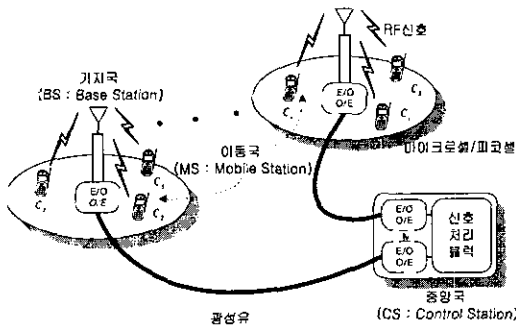


그림 1. CDMA RF 신호전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 구조

III. LD의 비선형 왜곡과 보상 구조

그림 2는 일반적인 LD의 입력 전류에 대한 출력 광전력 곡선을 나타내고 있다. SCM 방식은 많은 전기 신호의 합이 하나의 레이저를 구동하게 되는데, 이때 전기 신호의 합이 전류와 출력 광전력 곡선의 비선형 영역으로 들어가게 되면 비선형 왜곡이 일어나게 되고 임계 전류(threshold current)이하로 내려가게 되면 클리핑 현상이 일어나게 된다. 비선형 왜곡은 크게 정적 비선형성(static nonlinearity)과 고유 비선형성(intrinsic nonlinearity)으로 나눌 수 있다. 정적 비선형성은 메모리리스(memoryless) 비선형성이라고도 하며 LD 비선형성의 가장 간단한 모델이라 할 수 있다^[10].

본 논문에서 사용한 LD의 모델은 정적 비선형 모델이다. 일반적으로 정적 비선형 모델은 X 가 구동전류라고 할 때 식(1)과 같은 출력 Y 를 얻을 수 있다.

$$Y = C + P(X + a_2X^2 + a_3X^3 + \dots) \quad (1)$$

식 (1)에서 C , P 는 상수이고 일반적으로 a_4 , a_5 등은 작기 때문에 무시 가능하다. 이동 통신을 위해 사용하는 RF 주파수가 싱글옥타브(one octave)안에 있다면 주파수의 합과 차의 성분이 사용하는 신호 대역에 영향을 미치지 않기 때문에 2차 비선형은

무시할 수 있고 4차 이상의 고차 비선형에 의한 영향은 크기가 작아 시스템에 영향을 미치지 않는다고 가정하면 식 (1)은 다음과 같이 표현된다.

$$Y = X + a_3X^3 \quad (2)$$

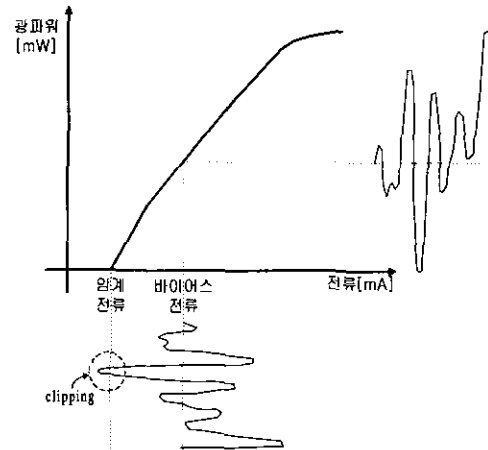


그림 2. LD의 전류에 대한 출력 광전력 곡선

식(2)에서 X 는 LD를 구동하는 CDMA RF 신호의 합이고, Y 는 출력 광전력을 나타내며, a_3 은 3차 비선형 상수를 나타내는 항이다. 식(2)에서 X^3 에 의해 발생하는 비선형 주파수 성분은 X^2 비선형 성분과는 달리 신호대역에 비선형 성분이 나타나게 되어 시스템의 성능을 저하시킨다. 가입자수의 증가에 따라 3차항 성분에 의한 영향은 점점 커지게 되므로 3차 비선형 성분에 의해 발생하는 비선형 왜곡을 제거함으로써 전송 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 LD 비선형 왜곡 보상구조를 나타내고 있다.

그림 3에서 m_0 는 광 변조지수를 나타내며 가입자 CDMA 신호의 합으로 LD를 구동할 때 입력 신호 레벨을 LD에 적합한 신호레벨로 맞도록 변환시켜주는 정도를 의미한다. LD의 모델은 식(2)의 정적비선형 모델을 적용하였다. 또한 광 검출기(PD)는 이상적인 선형 소자라고 가정하였다. 즉, LD의 광출력이 광 검출기에 입력되면 광 검출기는 광출력의 크기를 R 이라는 반응도(responsivity)를 통해 전류로 스케일링(scaling) 하는 것으로 볼 수 있다. 광 검출기를 통과한 신호를 증폭하는 증폭기는 LD 입력 이전의 전기신호 레벨과 같도록 증폭하는 역할을 한다.

그림 3에 제안된 비선형 보상의 동작원리는 다

음과 같다. $f(x) = x + a_3x^3$ 의 특성을 갖는 LD의 입력을 $\bar{x} = x \cdot m_0$ 라고 하면 2)와 3) 지점에서의 신호는 식(3), 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

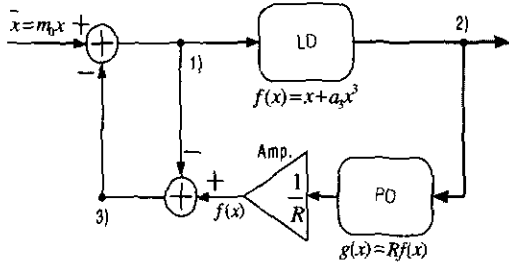


그림 3. LD의 비선형 왜곡 보상구조

$$f(\bar{x}) = \bar{x} + a_3 \bar{x}^3 \tag{3}$$

$$f(\bar{x}) - \bar{x} = \bar{x} + a_3 \bar{x}^3 - \bar{x} = a_3 \bar{x}^3 \tag{4}$$

두 번째 루프에서부터는 피드백 된 신호와 가입자 신호의 합으로 인하여 1)과 2), 3) 지점에서의 신호는 식(5), 식(6), 식(7)과 같이 표현할 수 있다. 이와 같은 과정을 반복하는 동안 식(6)에서의 LD의 출력에는 비선형 성분이 제거된 입력 \bar{x} 성분만 출력되게 된다.

$$x' = \bar{x} - a_3 \bar{x}^3 \tag{5}$$

$$\begin{aligned} f(x') &= f(\bar{x} - a_3 \bar{x}^3) \\ &= \bar{x} - a_3 \bar{x}^3 + a_3(\bar{x} - a_3 \bar{x}^3)^3 \\ &= \bar{x} - a_3 \bar{x}^3 + a_3(\bar{x}^3 - 3\bar{x} \cdot a_3 \bar{x}^3 + 3\bar{x} \cdot a_3^2 \bar{x}^6 - a_3^3 \bar{x}^9) \\ &\quad \xrightarrow{\text{무시가능}} \\ &= \bar{x} \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} f(x') - x' &= f(\bar{x} - a_3 \bar{x}^3) - (\bar{x} - a_3 \bar{x}^3) \\ &= \bar{x} - \bar{x} + a_3 \bar{x}^3 = a_3 \bar{x}^3 \end{aligned} \tag{7}$$

식(6)에서 볼 수 있듯이 4차이상의 항은 앞서 언급한 바와 같이 크기가 작기 때문에 시스템 성능에 영향을 미치지 않으므로 무시 가능하다. LD 광 출력이 입력 신호인 \bar{x} 와 같게되어 3차항에 의한 성분이 나타나지 않으므로 3차항에 의한 비선형 왜곡이 생기지 않는다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

본 장에서는 앞서 제안된 LD 비선형 보상구조를 기존 시스템에 적용하여 시스템의 시뮬레이션 성능을 살펴보았다. 본 논문에서는 BER을 산출하기 위해 몬테카를로 방식의 시뮬레이션 기법을 사용하였고, 시뮬레이션 구조는 그림 4와 같다.

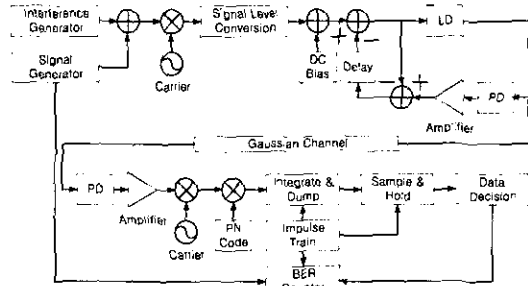


그림 4. LD의 보상구조를 적용한 시뮬레이션 구조

송신단의 신호는 랜덤한 형태를 갖는 PN 코드의 가입자 데이터를 곱하여 확산시킨 신호들을 한 블록으로 묶은 후 전체 가입자 신호를 합한 형태로 구현하였다. LD의 입력 신호 레벨을 조정하는 광 변조지수는 모델링 한 LD의 동작영역을 고려하여 0.001에서 0.02까지 변화시킬 수 있게 하였다. 신호 전송 시 광 링크의 잡음을 포함한 모든 잡음은 가우시안 잡음으로 가정하였고, 광섬유내에서의 손실(loss), 분산 현상(dispersion)등은 매우 작으므로 무시하였다. 수신단에서는 광 검출기를 통하여 수신한 후 증폭기를 통하여 신호를 증폭시키고, 캐리어를 곱하여 기저대역으로 끌어내린 후 PN 코드를 통하여 신호를 역확산 시켜주고 정합필터를 통과시켜서 데이터를 복구한다. 복구된 데이터는 송신단에서 보낸 데이터와 비교하여 BER을 산출하였다. 보상구조를 적용한 경우는 LD의 출력을 광 검출기로 검출한 후 증폭하고 LD의 입력 신호와 합한 후에 이를 다시 입력으로 피드백(feedback) 시키는 부분을 첨가하였다. 시뮬레이션 변수들은 다음과 같다.

가입자는 10명, 20명의 경우를 고려하였고, 각 가입자 데이터는 랜덤 데이터를 사용하였다. 각 가입자의 데이터는 1비트 당 620번의 샘플링을 하였고 총 전송 비트는 10000 비트이다. PN 코드의 길이는 31이며 각각은 직교성을 가진다. 그리고 변조 방식은 BPSK를 기준으로 하였다.

표 1. 성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경

성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경	
가입자수	10명, 20명
E_b/N_0	0 dB
가입자 데이터	random data
PN 코드 길이	31
변조방식	BPSK

그림 5는 10명 가입자의 경우 LD의 비선형 보상 구조를 적용했을 때와 적용하지 않았을 경우 광 변조지수의 변화에 따른 BER의 변화를 나타내었고, 그림 6은 20명가입자의 경우 비선형 보상구조를 적용한 시스템과 그렇지 않을 때에서의 광전송 결과에서 광 변조지수의 변화에 따른 BER의 변화를 나타낸 것이다.

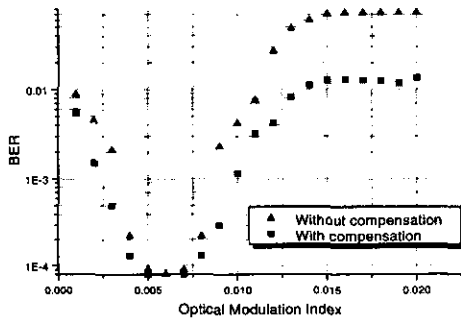


그림 5. 10명의 이동가입자 신호를 광 전송했을 경우

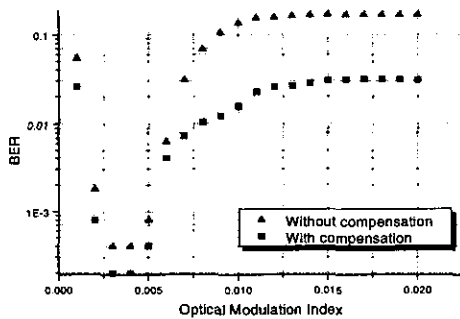


그림 6. 20명의 이동가입자 신호를 광 전송했을 경우

그림 5와 그림 6의 결과에서 볼 수 있듯이 광 변조지수가 점차 증가할수록 BER이 감소하다가 특정 광 변조지수 이상으로 LD 입력 레벨이 증가하면서 BER이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 LD의

입력 신호의 레벨이 점차 커지면서 LD 구동 입력 전류가 LD의 입력 전류에 대한 출력 광 전력 곡선의 비선형 영역으로 들어가게 되어 입력신호의 비선형 왜곡과 클리핑 현상이 발생하기 때문이다. 전체적으로 두 경우 모두 비선형 왜곡 보상구조를 적용했을 때 BER 성능은 각각 약7.3dB와 7.1dB의 BER 성능개선을 얻을 수 있었다.

V. 실험 및 결과 분석

본 장에서는 제안한 LD 비선형 보상구조의 전송 성능을 실험을 통해 성능을 확인하고자 한다. 본 논문에서 구성한 실험 셋업은 그림 7과 같다.

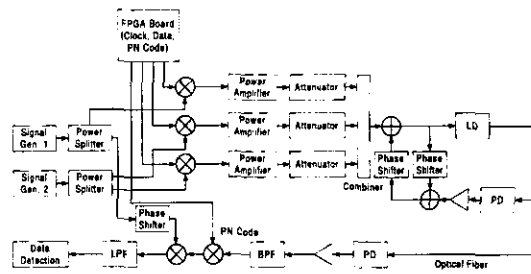


그림 7. 보상구조를 적용한 실험셋업

그림 7은 3명의 가입자가 존재하는 경우의 실험 셋업으로 캐리어 신호는 신호발생기를 이용하여 발생시킨다. 신호를 복구하는데 사용하는 캐리어 신호의 위상은 첫 번째 신호발생기에서 만들어진 캐리어 신호를 이용하여 추출하였다. 각 가입자에 대해 확산된 신호를 증폭하고 신호레벨 조정을 위하여 신호가 합해지기 전에 감쇄기를 두었다. CDMA 신호들의 합은 LD를 구동시키고 동시에 3차 비선형 성분을 보상하기 위한 보상을 통과하여 광섬유로 입사된다. 광섬유를 통해 전송된 신호들의 합은 수신단에서 광 검출기에 의해서 전기신호로 변환되고 증폭된다. 중심주파수가 1.855GHz, 대역폭이 30MHz 인 필터를 통과시키고 역확산 한 후 캐리어 신호를 곱하여 기저대역으로 끌어내린 후 데이터 검출 결과를 살펴보았다. 가입자신호는 38.4kbps 이고, PN 시퀀스는 1.2288Mcps 이다. 실험에서의 가정은 시뮬레이션과 동일하게 첫 번째 가입자의 신호를 복구한다고 가정하였다. 첫 번째 가입자의 신호와 PN 시퀀스의 패턴은 그림 8과 같고 확산된 신호에 캐리어를 곱한 신호의 스펙트럼은 그림 9와 같다.

3명의 가입자 신호를 동시에 인가할 경우의 신호 패턴은 그림 10과 같고, 이 때의 신호레벨은 1명의 신호레벨보다 커서 부분적으로 LD의 비선형 현상에 의해 영향을 받는 부분이 발생하게 된다. 이러한 경우 그림 11과 같이 수신된 신호는 비선형 왜곡에 의해서 1명의 가입자 신호를 전송했을 때 보다 어려움을 더 많이 발생시키게 된다.

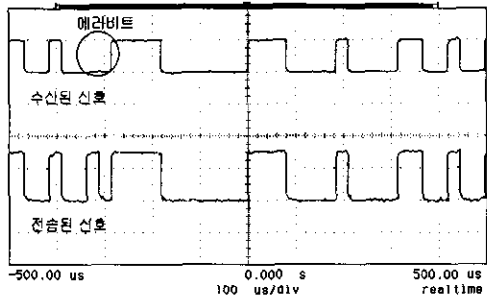


그림 8. 수신된 신호에서의 에러 비트 발생 상황

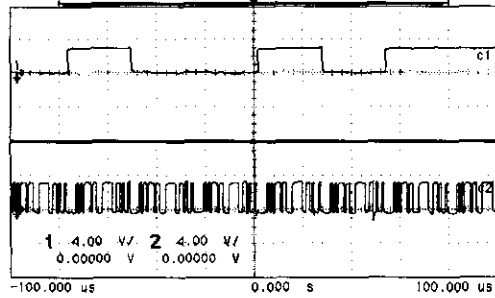


그림 9. 첫 번째 가입자의 신호와 PN 시퀀스의 패턴

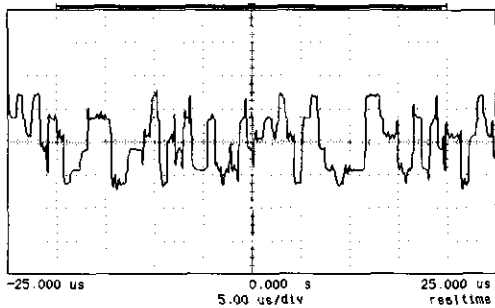


그림 10. 3명의 가입자 신호의 합

그림 7의 실험셋업에서 확산된 가입자 데이터 신호를 증폭하면 신호의 파워는 8.5dBm으로 측정된다. 각 신호는 각 감쇄기를 지나는데 두 번째, 세

번째 신호의 파워는 6dBm이 되도록 감쇄기를 2.5dB로 조절을 하고 첫 번째 가입자 신호의 파워는 가변이 될 수 있도록 감쇄기를 11dB에서 0dB까지 변화시키면서 결과를 얻었다. 이 이유는 가입자가 적을 때 작은 파워로 LD를 구동시키면 가입자 신호들의 합이 LD 비선형 영역으로 들어갈 확률이 작아 비선형 효과를 볼 수 없기 때문이다. 이것은 복구하고자 하는 첫 번째 가입자 신호에 간섭으로 작용하는 두 번째, 세 번째 가입자 신호의 파워에 대한 첫 번째 가입자 신호 파워의 비율 통해 시스템 성능을 간접적으로 볼 수 있다.

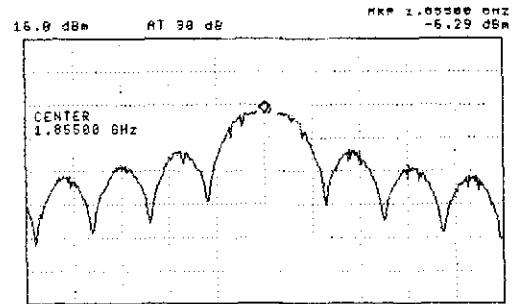


그림 11. 첫 번째 가입자 신호에 캐리어를 곱했을 경우의 스펙트럼

그림 12는 보상구조를 적용하지 않았을 경우 첫 번째 가입자 신호 파워의 크기에 따른 BER 성능을 보이고 있다. 감쇄기의 감쇄파워가 작을수록 즉 첫 번째 가입자 입력신호의 파워가 증가할수록 BER이 감소하다가 일정 파워 레벨 이후에는 오히려 BER이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 4장의 성능분석에서도 이미 얻을 수 있었던 결과로 일정 이상의 광 변조지수에서 입력 RF 신호가 LD의 비선형 현상에 의해 영향을 받았기 때문이다. 반면에 보상구조를 적용한 경우는 LD의 비선형 성분이 보상구조에 의해 완화되었기 때문에 그림 13과 같이 일정 파워 레벨 이후에도 더 이상 BER 성능이 나빠지지 않음을 알 수 있다. 감쇄기의 감쇄파워 2dB에서 0dB 범위 사이에서 보상구조를 적용하였을 때와 그렇지 않을 때의 BER 성능은 약 2dB에서 3.7dB까지 개선되었다.

시뮬레이션이나 실험에서 살펴본 바와 같이 제안한 LD 비선형 보상구조는 사용자의 수가 많아서 비선형 왜곡 현상이 많이 나타날 때 성능이 크게 향상됨을 볼 수 있다. 시뮬레이션에서는 각각 10명과 20명의 사용자를 가정하였기 때문에 보상구조를 적용하였을 경우 월등한 성능향상을 볼 수 있으나

실험에서는 3명의 사용자를 가정하였기 때문에 상대적으로 성능개선의 정도가 시뮬레이션에 비해 낮음을 볼 수 있다.

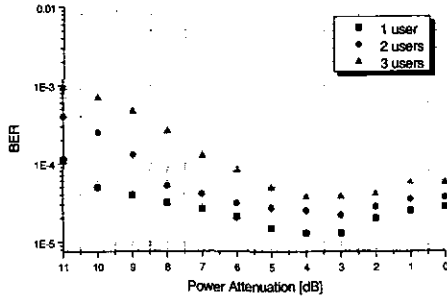


그림 12. 보상구조를 적용하지 않았을 경우의 BER

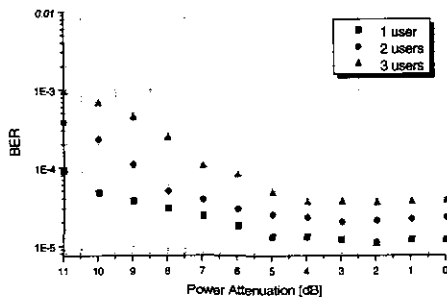


그림 13. 보상구조를 적용하였을 경우의 BER

VI. 결론

본 논문은 CDMA RF 신호전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 시뮬레이션과 실험을 통해 이동통신망에서 RF 신호를 송수신하는 기지국과 이동 통신 신호의 교환 전송을 담당하는 중앙국과의 링크를 구성하는 SCM 광링크에서 시스템의 성능에 지배적으로 영향을 미치는 LD의 비선형 왜곡에 대해서 살펴보고, 그 보상구조를 제안하여 결과를 살펴보았다. 비교적 작은 광 변조지수에서는 열잡음, 산탄잡음, 상대세기잡음과 같은 광링크 고유의 잡음에 의해 시스템 성능이 열화 되지만 비선형 왜곡은 큰 영향은 미치지 않는다. 하지만 큰 광 변조지수에서는 LD의 비선형 왜곡이 전체적인 성능에 지배적인 저하를 가져왔다.

본 논문에서 제안한 비선형 왜곡에 대한 보상구조를 적용했을 때, 시뮬레이션에서 10명의 사용자의 경우 7.3dB, 20명의 사용자의 경우 7.1dB정도의 BER 성능 향상을 볼 수 있었고, 실험결과 비선형

보상구조를 적용하였을 경우와 그렇지 않을 경우 약 2dB에서 3.7dB까지의 BER 성능 향상을 볼 수 있었다.

참고 문헌

- [1] H. Mizuguti, T. Okuno, S. Komaki and N. Morinaga, "Performance Analysis of Optical Fiber Link for Microcellular Mobile Communication Systems," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E76-C, no. 2, pp. 271-277, Feb, 1993.
- [2] Shozo Komaki and Eiichi Ogawa, "Trends of Fiber-Optic Microcellular Radio Communication Networks," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E79-C, no. 1, pp. 98-104, Jan, 1996.
- [3] J. C. Fan, C. L. Lu and L. G. Kazovsky, "Dynamic-Range Requirement for Microcellular Personal Communication systems Using Analog Fiber-Optic Links," *IEEE Trans. Microwave Theory Technol.*, vol. 45, no. 8, pp. 1390-1397, Aug, 1997.
- [4] Toshiaki Okuno, Hironori Mizuguti and Norihiko Morinaga, "A New Frequency Switching/IM3 Reduction Method in Fiber-Optic Microcellular System", *IEICE Trans. Commun.*, vol.E76-B, no. 9, pp.1178-1185, Sep. 1993.
- [5] Yuji Aburakawa and Hiroyuki Ohtsuka, "Predistorter Implementation of SLD in Fiber-Optic Wireless Systems," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E79-C, no. 1, pp. 52-59, Jan, 1996.
- [6] Hirofumi Ichikawa, Hiroyuki Ohtsuka and Takehiro Murase, "Fiber-Optic Microcell Radio System with a Spectrum Delivery Switch," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E76-C, no. 2, pp. 279-286, Feb, 1993.
- [7] 유진태, 최영우, 김용범, 이명문, 이용원, 박진우 "CDMA RF 신호 전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 성능분석," *한국통신학회 논문지*, 제25권, 제9B호, pp. 1542-1550, 2000년 9월.
- [8] J. Yu, Y. Kim, M. Lee, K. Lee, J. Park, "Analysis of Nonlinear Effects in Subcarrier Multiplexed Fiber Optic Links for CDMA RF Signal Transmissions," *Microwave and Optical Technology Letters* will be published in Apr,

