



과학기술부 지정 국가지정 연구실

## 광변조 방식 및 코딩 연구실

김용규, 정지채  
 고려대학교 정보통신대학 전자통신공학과  
 jcyj@korea.ac.kr

### 서론

최근 인터넷의 대중화와 멀티미디어 기술의 발달로 인해 인터넷 데이터 트래픽은 매년 폭발적으로 증가하고 있다. 이러한 데이터 통신의 수요를 충족하기 위해 네트워크의 용량 증대와 저렴화가 절실히 요구되고 있다. 이러한 급격한 데이터 트래픽의 증가에 대처하기 위한 파장 분할 다중 방식 기술의 발달로 인해, EDFA의 대역폭과 기존에 사용되는 intensity modulation 방식이 한계에 도달하고 있으며, 미래에 예상되는 데이터 트래픽 증가에 대처하기 위해 새로운 기술이 요구되고 있다. 고밀도 파장 분할 다중 방식 시스템의 전송 용량 증대를 위해 크게 두 가지의 접근 방법이 존재한다.

첫 번째는 사용 가능한 광섬유의 대역을 넓히는 것으로, 광섬유의 손실이 상대적으로 작은 S-, C-, L-band를 모두 사용하는 것이다(그림 1 참조). 두 번째는 광섬유 대역을 효율적으로 사용하기 위해, 주파수 효율성(spectral efficiency)을 향상시키는

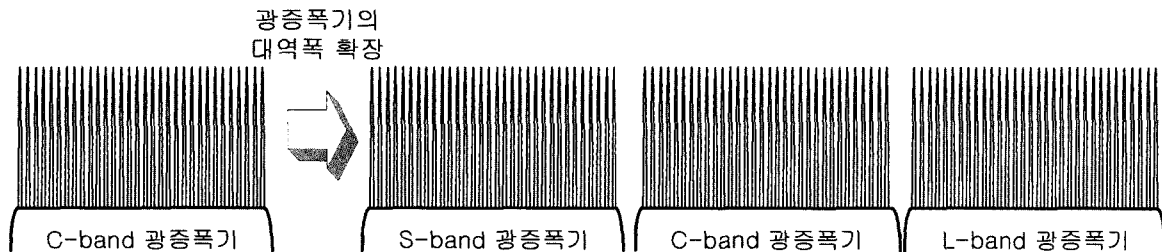


그림 1. S-와 L-band 광증폭기를 사용하여 대역폭 확장에 따른 광전송 용량의 증가

것이다. 주파수 효율성을 높이기 위해서는 WDM 시스템에서 채널 간격을 줄임으로써 가능하다. band내에 많은 채널을 동시에 전송시킴으로써 전송용량을 증가시키는 방법을 위하여, 정보 대역폭이 작은 새로운 변조 방식들이 필요하다(그림 2 참조).

첫 번째 방식인 대역폭 확장에 따른 용량증가는 기술의 성숙을 위해 많은 시간이 걸리며, 기존에 설치되어 있는 광증폭기의 교체를 위해 많은 비용이 필요하고 여러 종류의 광증폭기를 사용하는 DWDM 시스템의 운용 및 유지 보수의 어려움이 발생한다. 반면에, 두 번째 방법인 주파수 효율성이 증대된 차세대 광변조 방식은 시스템 운용 및 유지가 쉽고, 채널 코딩 기술을 접목하여 충분한 시스템 마진 확보로 광전송 용량의 증가 및 전송 거리의 확장에 기여할 수 있다. 따라서, 차세대 광변조 방식 및 채널 코딩 기술은 가입자망이나 기간망에 관계없이 설치된 광전송망의 효율적이고 경제적인 사용을 가능하게 할 것이다.

본 글에서는 고려대학교 광변조 방식 및 코딩 국가지정연구실에서 수행하고 있는 주파수 효율성이 증대된 광변조 방식에 대한 연구를 간단히 소개한다.

## 차세대 광변조 방식

기존의 광통신 시스템에서 사용해 오던 intensity modulation 방식인 Nonreturn-to-zero(NRZ)와 return-to-zero(RZ) 변조 방식은 광송수신기가 간단한 장점이 있지만, 주파수 대역폭이 크기 때문에 주파수 효율이 낮고, 광섬유의 분산이나 비선형 특성에 의한 단점을 가진다. 이러한 단점을 보완 할 수 있는 차세대 광변조 방식들이 제안되었다.

차세대 광변조 방식이 경쟁력을 갖기 위해서는 주파수 효율이 높고, 전송 거리가 길고, 저가로 구현이 가능해야 한다. 이러한 장점을 가지는 광변조 방식에 대해서 살펴보도록 하겠다.

### 1. 광 듀오바이너리(optical duobinary) 변조 방식<sup>1,2)</sup>

광 듀오바이너리 변조 방식은 인접 1레벨 신호간의 위상차를 180°가 되게 만들어 주어서 주파수 대역폭이 작고 광섬유 분산에 의한 내성이 강한 변조를 주는 방식이다.

차세대 광변조 방식을 통한 효율적인 대역폭 사용

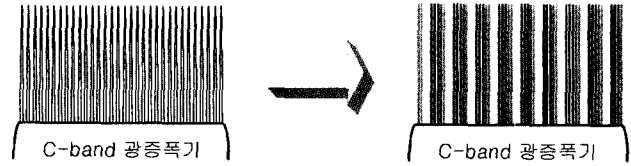


그림 2. 주파수 효율성이 증대된 차세대 광변조 방식을 통한 광전송 용량의 증대

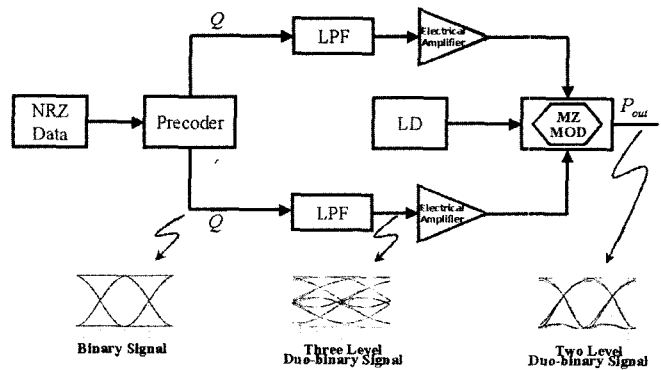


그림 3. 20 Gbps 광 듀오바이너리 송신기의 구조

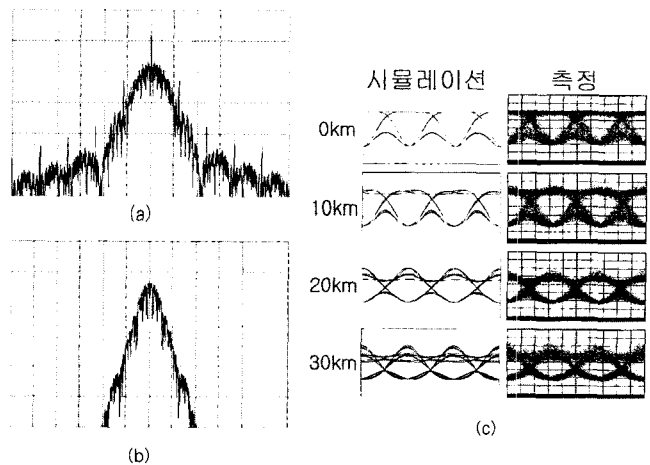


그림 4. (a) NRZ 신호의 스펙트럼 (b) 광 듀오바이너리 신호의 스펙트럼 (c) 20 Gbps 광 듀오바이너리 신호의 전송특성

그림 3은 광 듀오바이너리 송신기의 구조를 보여준다. LPF를 사용하여 2레벨 NRZ 신호를 3레벨 신호로 바꾸어 준 후 Mach-Zehnder 변조기를 거치면 2레벨 광 듀오바이너리 신호가 생성된다. 이 때 광 듀오바이너리 신호는 최초의 NRZ 신호와 다르기 때문에 LPF 앞에 precoder를 사용한다.

그림 4(a)와 (b)는 NRZ 신호와 광 듀오바이너리 신호의 스펙트럼을 보여준다. 광 듀오바이너리 신호는 NRZ 신호 보다 좁은 대역폭을 가지는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라, 20 Gbps NRZ 신호는 광섬유의 분산 때문에 표준 단일모드 광섬유에서 전송 거리가 약 20 km 로 제한 되지만 광 듀오바이너리 신호는 그림 4(c)에서 보듯이 30 km 이상 전송이 가능하다.

### 2. 위상 변조를 이용한 듀오바이너리 변조 방식<sup>[3]</sup>

일반적인 광듀오바이너리 신호는 광섬유의 분산에 강하지만, 광섬유 입력 파워가 클 경우 광섬유의 비선형성 중의 하나인 SPM(self phase modulation)에 의해 영향을 많이 받게 된다. 이러한 단점은 위상 변조를 이용한 듀오바이너리 변조 방식을 사용하면 극복할 수 있다.

위상 변조를 이용한 듀오바이너리는 위상 변조기를 사용하여 DPSK(differential phase shift keying) 신호를 만든 후 좁은 대역폭(약 신호 data rate의 절반 정도)을 가지는 광필터를 통과하면 만들 수 있다. 특히 광필터를 전송 후에 사용할 경우 그림 5에서 볼 수 있듯이 SPM에 의한 영향이 줄어들어서 전송특성이 좋아지게 된다.

### 3. VSB(Vestigial side band) 변조 방식<sup>[4,5]</sup>

일반적인 NRZ와 RZ 신호의 스펙트럼은 중심파장을 중심으로 좌우가 대칭적이다. 이러한 신호를 DSB(double side band)라고 하고, 양 side band 중에서 한 쪽 side band의 대부분을 필터 등으로 제거한 신호를 VSB 신호라고 한다.

VSB 방식을 사용하면 DSB에 비해 점유 대역폭을 절반으로 줄여서 주파수 효율성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 microstrip line과 같은 waveguide를 이용하여 electrical 분산 보상이 가능하므로 전송 거리를 늘릴 수 있다(그림 6 참조).

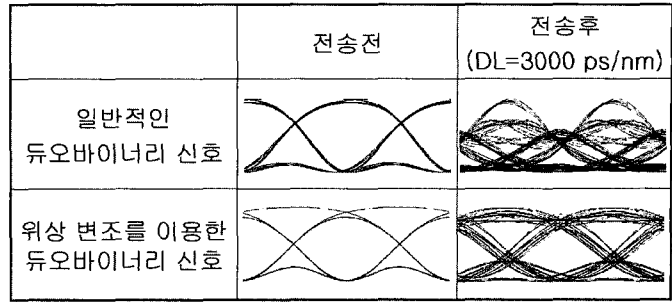


그림 5. 광입력 파워가 15 dBm 일 경우 전송 전후 아이 다이어그램

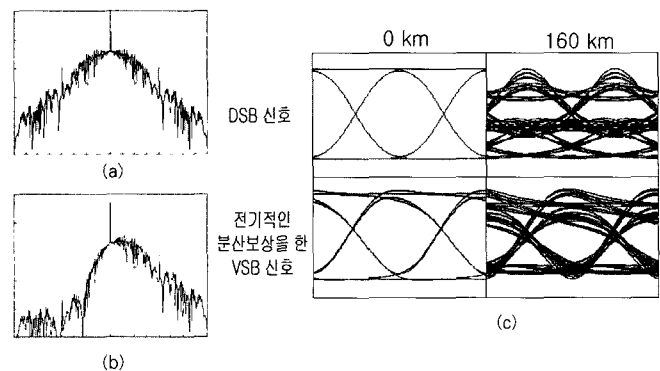


그림 6. (a) DSB 신호의 스펙트럼 (b) VSB 신호의 스펙트럼 (c) 10 Gbps DSB 신호와 전기적인 분산보상을 한 VSB 신호의 전송특성

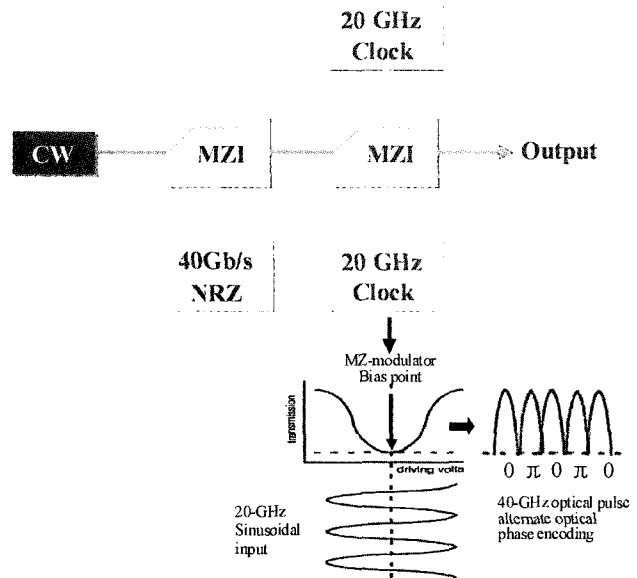


그림 7. 40Gb/s CS-RZ transmitter 구성도

#### 4. CS-RZ(Carrier suppressed-RZ) 변조 방식

40-Gb/s CS-RZ transmitter의 구성도는 그림 7과 같다. 송신기는 광원인 continuous wave(CW)와 두 개의 MZ modulator로 구성되어 있다. 변조부는 40Gb/s NRZ data를 변조시키는 부분과 two-mode beat clock pulse를 만드는 부분으로 구성되어 있다. 첫 번째 MZ modulator에서 40Gb/s NRZ data를 변조시킨 신호는 두 번째 MZ modulator에 인가된다. 두 번째 MZ modulator의 전극에 인가된 전기적 신호는 bias point를 transmission null point( $V_{\pi}$ )에 놓고 peak-to-peak swing 전압을  $2V_{\pi}$ 로 20GHz(data rate/2) sinusoidal clock를 인가한다. 인접된 펄스가 서로 다른 위상을 가진 two-mode beat optical clock pulse가 만들어지며, 40Gb/s NRZ data 신호와 결합하여 40Gb/s optical carrier-suppressed(CS) RZ 신호를 발생하게 된다. 그림 8에 40Gb/s CS-RZ 신호의 펄스 모양과 광 스펙트럼을 보여주고 있다. 일반적인 RZ의 변조대역폭을  $4B$ ( $B$ :data rate)라

하면 CS-RZ의 변조 대역폭은  $3B$ 가 된다. 따라서, 그림 8과 같이 광 스펙트럼을 보면 CS-RZ의 변조 대역폭(120GHz)이 RZ의 변조 대역폭(160GHz)에 비해 작음을 알 수 있으며, carrier의 성분이 suppressed 되었으므로 전송시에 광섬유에서 비선형 특성 및 분산에 대해 더 좋은 특성을 가짐을 예측할 수 있다.

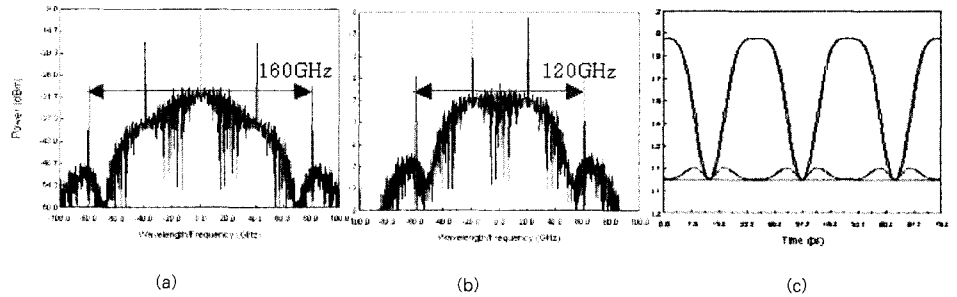


그림 8. 변조된 신호의 신호 스펙트럼: (a) 40Gb/s RZ 와 (b) 40Gb/s CS-RZ eye-diagram: (c) 40Gb/s CS-RZ

#### 결 론

고려대학교 광변조 방식 및 코딩 국가지정연구실은 주파수 효율을 높이기 위해 대역폭이 좁고, 광섬유의 분산과 비선형성에 강한 차세대 광변조 방식에 대해 연구하고 있다. 본 글에서는 현재까지 연구한 차세대 광변조 방식 중 듀오바이너리, 위상 변조방식을 이용한 듀오바이너리, 전기적인 분산보상이 가능한 VSB 변조 기술, CS-RZ에 대하여 간략히 정리 했다.

현재 본 연구실에서는 multilevel이 고려된 광변조 방식과 이러한 광변조 방식을 SCM(subcarrier multiplexing) 기술과 접목하여 주파수 효율을 보다 획기적으로 향상시킬 수 있는 기술을 연구 중이다. 이러한 기술들은 최근 폭발적으로 증가하는 인터넷 트래픽에 의한 수요를 충족 시킬 수 있는 시스템 전송 용량 증대에 기여 할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Jaehoon Lee, Sungkee Kim, Yonghoon Kim, Yonggyoo Kim, and Jichai Jeong, "Experimental and Theoretical Transmission Performance of 20 Gbps Optical Duobinary Modulation Using Standard Single Mode Fiber," in *Tech. Dig. Photonics Conference*, pp. 189-190, 2000.

- (2) Sung Kee Kim, Jaehoon Lee and Jichai Jeong, "Transmission Performance of 10Gbps Optical Duobinary Transmission Systems Considering Adjustable Chirp of Nonideal LiNbO<sub>3</sub> Mach-Zehnder Modulators Due to Applied Voltage Ratio and Filter Bandwidth," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 19, No. 4, pp. 465-470, Apr. 2001.
- (3) Yonggyoo Kim, Hodeok Jang, and Jichai Jeong, "Improvement of SPM Tolerance by Post-Filtering Duobinary Transmission Using Phase Modulator," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 15, no. 12, pp. 1285-1287, Dec. 2003.
- (4) Yonggyoo Kim, Sangil Kim, Inkyu Lee, and Jichai Jeong, "Optimization of Transmission Performance of 10 Gb/s Optical Vestigial Side Band Signals Using Electrical Dispersion Compensation by Numerical Simulation," revised for publication in *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electron.*
- (5) Jaehoon Lee, Seongha Kim, Yonghoon Kim, Yunje Oh, Seongtaek Hwang, and Jichai Jeong, "Optically Pre-amplified Receiver Performance Due to VSB Filtering for 40Gb/s Optical Signals Modulated With Various Formats," *Journal of the Lightwave Technology*, Vol. 21, No. 2, pp. 521-527, Feb. 2003.