WDM-PON 시스템을 위한 광 송수신기 설계 및 구현

염진수* · 강선모** · 윤호군* · 허창우*

*목원대학교 IT공학과 · **주식회사 엠텍

Optical transceiver design and implementation for WDM-PON system

Jin-Su Yeom* · Seon-Mo Kang** · Ho-Kun Yoon* and Chang-Wu Hur*

요 약

오늘날 급격히 증가되고 있는 광 대역 멀티미디어 서비스, 초고속 대용량 인터넷 서비스 등을 가입자에게 제공하기 위해서는 광 가입자망 기반의 네트워크 구성이 필수적이다. 최근 효율적이고 경제적인 광 가입자망 구축을 위한 기술들이 빠르게 개발됨에 따라 효율적인 네트워크 구성이 가능하게 되었다. 이중 대표적인 기술로 PON(Passive Optical Network)을 이용하여 ONU(Optical Network Unit)를 공유하는 방식의 WDM(Wavelength Division Multiplexing)-PON 기술이 있으며, 이를 이용한 FTTH(Fiber to The Home)시스템에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 100BASE-TX 및 1000BASE-T Ethernet 신호를 입력받아 파장별 DFB-LD에 직접 변조하는 방식을 사용하여 WDM-PON 시스템에 적용할 수 있는 광 송수신기를 설계하고 이를 구현하였다.

Ⅰ. 서 론

오늘날 초고속 가입자망은 ADSL(Asynchronous Digital Subscriber Line) 과 Cable 망으로 대표되며, 하향속도 수 Mbps, 상향 수백 Kbps 정도로 향후의 고속 대용량 멀티미디어 서비스를 위해서는 다소 부족한 전송 성능을 가지고 있다. 또한 현재 52Mbps 이상 속도를 낼 수 있는 VDSL(Very high data rate Digital Subscriber Line)이 상용화 되어 있어 대안이 될 수 있지만 이것으로는 가정 인입구의 1, 2백 미터의 거리밖에 해결할 수 없어 나머지 대부분의 가입자망 구간은 장기적으로 다른 통신매체, 곧 광섬유로의 대체가 불가피한 실정이다. 그래서 이러한 문제를 해결할 수 있는 이상적인 방안으로 PON 기반의 FTTH가 고려되어 왔다.

현재의 PON 기술은 TDMA(Time Division Multiplexing Access) 기반의 ATM-PON(APON)과 Ethernet-PON(EPON)이 있다. 하지만 TDMA 기반의 PON들은 광파이버의 넓은 대역폭을 100% 활용할 수 없으며, 또한 미래의 증가되는 네트워크 어플리케이션에 의한 높은 대역폭 요구에 능동적으로 대체할 수 없는 단점을 가지고 있다. 때문에 기간망 구축에 널리 사용되고 있는 WDM 기술을 응용한 WDM-PON으로의 이동이 대두되고 있다. 하지만 PON 기술의 주 목적이 가능한 경제적으로 가정의 가입자까지 광파이버로 연결하는데 있으므로 TDMA에 상대적으로 높은 WDM 부품의 가격은 단점이다. 그러나 TDMA이 보다 높은 대역폭으로의 확장이 어렵고, WDM 부품이 빠르게 하락하고 있으며, 높은 대역폭이 요구되는 네트워크 어플리케이션의 출현은 현재의 TDMA PON을 WDM-PON으로 확장해야 하는 이유가 되고 있다.[1]

본 논문에서 우리는 IEEE 802.3 100BASE-TX 및 1000BASE-T Ethernet 신호를 입력받아 WDM-PON 시스템에 적용할 수 있는 광 송수신기를 설계하고 구현하는 데 목적을 두었다. 먼저 Ⅱ절에서 일반적인 TDMA PON과 WDM-PON의 시스템 개요에 대하여 논하고, 두 번째로 Ⅲ절에서 설계 및 구현하고자 하는 광 송수신기에 대하여 설명하도록 하겠다. 그리고 마지막으로 Ⅳ 절에서 이 논문에 대한 결론을 서술했다.

Ⅱ. PON 시스템 개요

Time Division Multiplexing Access(TDMA) 기반의 PON 시스템은 현재 크게 ITU-T G.983.1 기반의 ATM-PON과 IEEE802.3ah에서 다루고 있는 Ethernet-PON으로 나눌 수 있다.

[그림 1]에 ITU-T 권고안 G.983.1에서 명시하고 있는 ATM-PON 시스템의 구조를 나타내었다. [그림 1]과 같이 ATM-PON은 OLT(Optical Line Termination), ODN(Optical Distribution Network), ONU(Optical Network Unit)으로 구성되어 있다. OLT는 서비스 노드와 PON을 위한 SNI(Service Node Interface)상에 있으며, PON 시스템 전체를 관리하고 ONU와 함께 PON 상의 UNI(User Network Interface)와 SNI 사이에 ATM 전송 서비스를 제공한다.

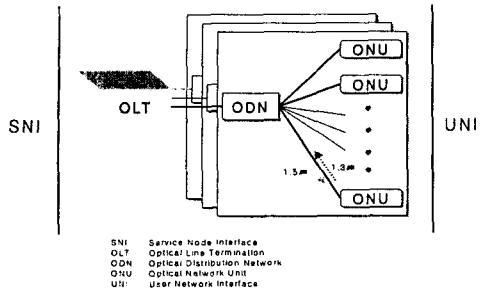


그림 1. ATM-PON의 시스템 구성도

ONU는 가입자의 인접지역에 설치되 OLT와 접속되는 장치이며, 또한 OLT와 같이 UNI와 SNI 사이에서 ATM 전송 서비스를 제공한다. ODN은 OLT와 여러 개의 ONU 사이의 광 경로를 제공하는 장치로 광 분배기와 같은 수동 광 부품이 사용된다. 이는 전원 공급이 필요 없으며, 전자기 간섭도 민감하지 않고 유지보수 비용도 적게 드는 장점이 있다. 여기서 사용되는 광파이버는 1.3㎛ 대역의 싱글 모드 파이버이다. 상향(ONU에서 OLT방향) 1.3㎛대 파장에 155.52 Mbps, 하향(OLT에서 ONU방향) 1.5㎛대 파장에 155.52 또는 622.08 Mbps의 속도로 하나의 광파이버로 다중화 되어 전송된다.[2][3]

Ethernet-PON은 IEEE EFM(Ethernet in the First Mile) 연구반에서 논의되는 새로운 IEEE 802.3ah Ethernet 해결책 중에 하나이다. 대부분의 중요한 기술을 ATM-PON의 기술을 활용하여, 기본적인 운용 방법이 ATM-PON과 유사하다. 다만 중요한 차이점 하나는 Ethernet-PON이 가변길이 프레임을 사용한다는 것이다. 이는 ATM-PON에 비해서 몇 가지 장점을 제공한다. [표 1]에 ATM-PON과 Ethernet-PON에 대한 중요한 몇 가지 차이점을 정리하였다.[1]

표 1. ATM-PON과 Ethernet-PON 비교

	ATM-PON	Ethernet-PON
표준화기구	ITU-T/FSAN	IEEE
속도	155/622 Mbps	1 Gbps
Protocol overhead	Large	Small
확장성	Low	High (up to 10 Gbps)
초기비용	Low	Mid to High
Service Integration	Good	Good
주요 적용 사업자	ILECs	CLECs

[그림 2]에 WDM-PON의 시스템 구성도를 나타내었다. WDM-PON은 각각의 가입자 혹은 서비스(Broadcast video 등)가 분리된 WDM 채널에 할당된다. 이들 채널들은 RN(Remote Node)에 위치한 WGR(Wave guide Grating Router) 또는 AWG(Arrayed Wave guide Grating)와 같은 수동 광소자를 이용하여 신호를 routing 및 multiplexing, demultiplexing하여 전송한다.[4]

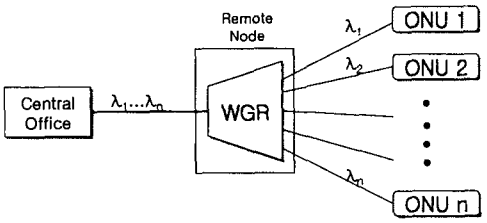


그림 2. WDM-PON의 시스템 구성도

III. 광 송수신기 설계

본 논문에서는 [그림 3]과 같은 구성을 하는 Ethernet 기반의 IP 서비스를 위한 WDM-PON 시스템에 적용할 수 있는 광 송수신기 설계를 목적으로 하였다.[5] 이 광 송수신기는 OLT 및 ONU에 장착되어 Ethernet 전송 서비스를 제공할 수 있도록 한다.

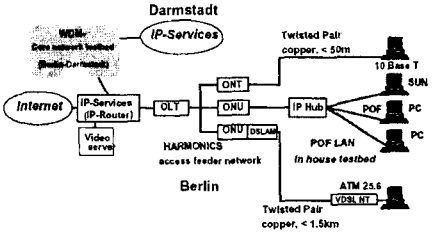


그림 3. Ethernet을 위한 WDM-PON 시스템 구성도

A. 전체 회로 구성

[그림 4]에 광 송수신기의 전체 구성도를 나타내었다. 전체 구성은 크게 DFB-LD 구동 회로, 신호 변조 및 수신회로, 인터페이스 회로의 3부분으로 나뉜다.

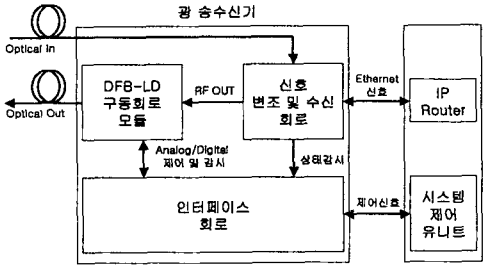


그림 4. 광 송수신기의 전체 구성도

DFB-LD 구동 회로는 LD(Laser Diode)에 전류 바이어스를 인가하여 광을 출력하도록 하며, DFB-LD 모듈 내부의 온도를 제어한다. 신호 변조 및 수신회로는 IP-Router로부터 IEEE 802.3 100BASE-TX 및 1000BASE-T Ethernet 신호를 입력받아 이를 100BASE-FX 및 1000BASE-X 로 변환하고 이를 다시 LD 변조 회로에 입력하여 LD에 직접 변조 시켜는 방법으로 신호를 광으로 전송한다. 또한 입력되는 광 신호를 O/E 변환 하고 이를 다시 100BASE-TX 및 1000BASE-T Ethernet 신호로 변환하여 IP-Router로 전달한다. 인터페이스 회로는 시스템 제어 유닛에서 광 송수신기 보드를 제어하고 성능을 감시할 수 있도록 정보를 제공하기 위한 회로이다. 마이크로프로세서, A/D 및 D/A 컨버터, FPGA로 구성되어 있다. 마이크로프로세서는 A/D 및 D/A 컨버터를 통해 DFB-LD 구동회로 모듈의 성능을 감시하고 제어하며, 이 모듈로부터 획득한 정보는 시스템 제어 유닛에서 참조 할 수 있도록 FPGA 내부 레지스터에 주기적으로 기록한다.

B. DFB-LD 구동 회로

DFB-LD 모듈은 Sumitomo Electric에 SLT5416 시리즈를 사용하였다. 모듈은 Laser Diode와 Module 내부의 온도를 제어하기 위한 TEC(Thermo Electric Cooler)로 구성된다. [그림 5]는 WDM용 DFB Laser Diode Module을 구동하기 위한 회로의 구성도이다. 이 구동회로는 정 전류 바이어스 회로와 온도 제어회로 되어 있다. LD의 구동은 LD의 Anode를 접지 시키고 Cathode에 역바이어스 전류를 인가하여 구동하였다.[6][7][8] [그림 5]의정 전류 바이어스 회로에서 LD에 인가되는 바이어스 전류를 I_b, 전류 제어전압을 $VIN1$, 그리고 R_b의 전압차를 측정한 전압을 V_{bias}라 하면 LD에 공급되는 전류 I_b는 다음과 같다.

$$I_b = \frac{V_{bias}}{R_b} \tag{1}$$

여기서, I_b는 다시 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$I_b = \frac{[V_b - (-5)] - 0.6}{R_b} \tag{2}$$

위 식에서 상수 (-5)는 공급전압이며, 상수 0.6은 전류가 공급되기 위한 문턱 전압이다. 그리고 여기서 V_b는 적분기의 출력전압을 나타내는 것으로 다음 식으로 표현된다.

$$V_b = -\frac{1}{CR}\int (V_{bias} - VIN1)dt \tag{3}$$

LD의 바이어스 전류 제어는 기본적으로 ACC(Auto Current Constant) 모드로 동작하도록 되어있으며, $VIN1$ 제어전압에 의해 바이어스 전류를 제어한다. 또한 DFB-LD 모듈 자체의 모니터 PD를 이용하여 출력되는 광 파워를 측정하였다. [그림 5]에서 출력 광 파워 V_{pow}은 다음 식과 같다.

$$V_{pow} = I_p R_f \tag{4}$$

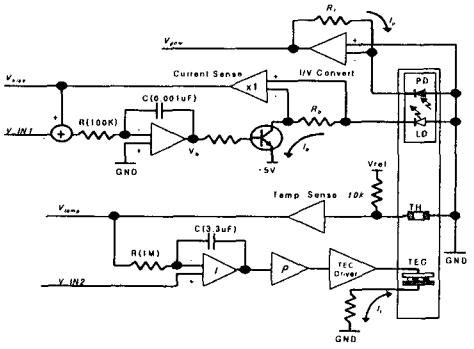


그림 5. DFB-LD 구동회로

I_p는 모니터 PD에 입사되는 광세기에 따른 PD의 출력 전류를 나타내며, R_f는 I/V 변환회로의 피드백 저항이다.

온도 제어 회로는 TEC에 인가되는 전류의 양과 방향으로 Module 내부를 가열시키거나 냉각시켜 온도를 안정화 시킨다.[9] [그림 5]에서 V_{temp}는 DFB-LD 모듈의 서미스터 값을 전압으로 측정한 것으로 1℃당 100㎷가 출력 되도록 하였다. $VIN2$는 온도 제어 전압이다. 여기서 TEC에 인가되는 전류 I_t는 다음 식과 같다.

$$I_t = \frac{PI}{R_{tec}} \tag{5}$$

R_{tec}는 TEC의 내부 저항 값이며, P는 비례 상수이고 I는 아래와 같다.

$$I = -\frac{1}{CR}\int (VIN2 - V_{temp})dt + VIN2 \tag{6}$$

TEC에 인가되는 전류는 최대 ±1.2A까지 공급될 수 있도록 구성하였다.

C. 신호 변조 및 수신회로

이 회로는 [그림 6]에 나타낸 것과 같이 100BASE-TX/1000BASE-T 신호를 100BASE-FX/1000BASE-X로 변환하는 회로와 이 신호를 입력받아 DFB-LD에 직접 변조하는 회로 그리고 입력되는 광 신호를 O/E 변환하는 수신회로로 되어있다. 100BASE-TX 신호의 경우 MLT-3(Multi Level Transmission 3)라는 부호화 방식을 사용한다. 이는 고, 중, 저의 세 레벨이 있어 데이터가 '1'→'0', '0'→'0'으로 바뀔 때에는 레벨이 그대로 이고 '1'→'1', '1'→'1' 일 때는 중앙에서 레벨이 바뀌는 방식으로 이를 직접 LD에 변조하여 보낼 경우 데이터가 깨지므로 NRZI(Non-Return to Zero Inversion)의 부호화 방법으로 변환하여야 한다. 1000BASE-T 신호의 경우에도 4쌍의 카테고리 5의 UTP (Unshielded Twisted Pair) Cable을 사용하여 5

Level PAM(Pulse Amplitude Modulation)로 부호화 하여 전송하므로 이 또한 시리얼 데이터로 변환하여 DFB-LD에 변조 시켜야 한다. 변환된 PECL 신호를 AC 커플링 하여 변조회로에 입력한다.[10] 수신회로는 JDS Uniphase사의 ERM537 Optical Receiver Module을 사용하여 그 출력에 Limiting Amplifier를 추가하여 구현하였다. Limiting Amp의 출력은 신호 변환회로로 입력되어 전송된다.

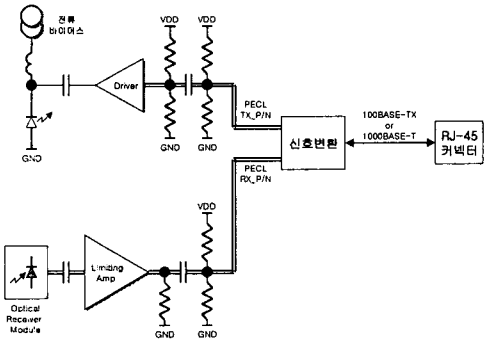


그림 6. 신호 변조 및 수신회로 구성도

D. 인터페이스 회로

[그림 7]은 인터페이스 회로의 구성도이다. 인터페이스 회로는 A/D 및 D/A 컨버터를 이용하여 마이크로프로세서로 DFB-LD 구동회로 모듈을 제어하고 시스템제어 유닛과 통신을 담당하도록 구성되어 있다. D/A 컨버터로 DFB-LD 모듈의 바이어스 전류 및 온도를 제어하며, A/D 컨버터로는 바이어스 전류, 온도, 출력 파워를 계측한다. 마이크로프로세서를 통한 전류 바이어스 제어 방법은 다음 식(7)과 같이 표현된다. 여기서, I_{set}은 사용자가 원하는 바이어스 전류 값이며 V_{bias}는 A/D 컨버터로부터 측정한 현재 LD에 공급되는 바이어스 전류의 전압 값이다. 이것은 식 (1)에의 전류로 환산될 수 있다. V_{out}은 D/A 컨버터를 통해 DFB-LD 구동회로 모듈에 바이어스 전류 제어 전압으로 입력되는 전압 값이다. f_a는 제어 점까지 얼마나 빠르게 도달 할 것인가를 결정하는 Factor이다.

$$V_{out} = \frac{I_{set}R_b - V_{bias}}{f_a} + V_{out} \quad (7)$$

$(I_{set}R_b - V_{bias}) > |10|$, 일 때;

식(7)의 방법은 LD의 바이어스 전류를 일정하게 유지하기 위한 방법이며, 출력 광 파워를 일정하게 유지하기 위해서는 식 (8)과 같은 방법을 이용한다. P_{set}은 사용자가 설정하고자 하는 파워 값으로 회로적으로 1㎽일 때 100㎷가 출력 되도록 R_f값을 조절하였다. V_{pow}는 식 (4)와 같으며, A/D 컨버터를 통해 측정되는 값이다. 여기서 f_a 역시 제어속도를 결정하기 위한 Factor이다.

$$V_{out} = \frac{100P_{set} - V_{pow}}{f_a} + V_{out} \quad (8)$$

$(100P_{set} - V_{pow}) > |10|$,일 때;

온도 제어도 바이어스 전류 제어 방법과 동일하며,

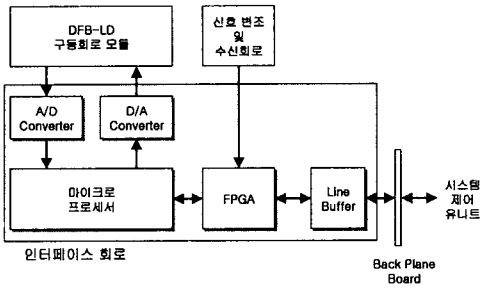


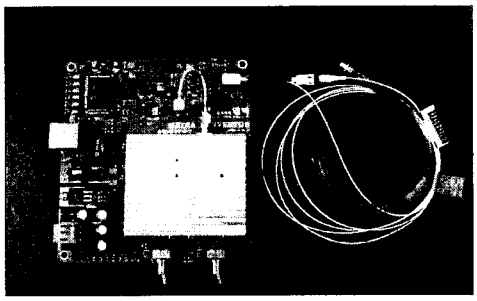
그림 7. 인터페이스 회로 구성도

사용자의 온도 제어 값을 T_{set}, A/D 컨버터를 통해 측정된 온도 값을 V_{temp}, D/A 컨버터 출력 값을 V_{out}으로 하면 식 (9)로 표현된다. 여기서 V_{temp}값은 1℃당 약 100㎷가 출력 되도록 회로가 구성되어 있다.

$$V_{out} = \frac{100T_{set} - V_{temp}}{f_a} + V_{out} \quad (9)$$

$(100T_{set} - V_{temp}) > |10|$, 일 때;

시스템제어 유닛과의 통신은 FPGA를 통해서 FPGA내부의 16bit Buffer를 공유하여 서로 정보를 주고받는다. 이 때 마이크로프로세스는 서로 충돌이 일어나지 않도록 Busy 신호를 감시하여 Idle상태일 때 읽고 쓰도록 하였다. [사진 1]은 구현된 광 송수신기이다.



[사진 1.WDM-PON용 광 송수신기

Ⅳ. 결 론

본 논문에서 100BASE-TX 및 1000BASE-T 신호를 입력받아 이를 변환하여 DFB-LD에 변조하는

방법으로 WDM-PON 시스템에 적용할 수 있는 광 송수신기를 설계하고 구현하였다. 구현상에 있어서 Ethernet 신호를 DFB-LD에 변조 가능한 신호로 변환하고 이를 서로 연결 하는데 어려움이 있었다. 광 송수신기 보드 2개를 연결하여 실험한 결과 만족스러운 결과를 얻었다. 그러나 현재는 설계와 구현에 목적을 두어 전송 테스트를 정확하게 실시하지 못했으며, 신호 품질도 아직은 측정하지 못한 상태로 앞으로의 과제라고 할 수 있다.

현재 FTTH 망 구축의 최대 걸림돌은 시스템을 구축에 드는 비용과 지역적인 영향에 있다. 지역적 영향 또한 좁은 지역에서 많은 가입자를 확보하기 위한 것으로 이 또한 비용 문제라 할 수 있다. 이런 점에서 볼 때 DFB-LD를 각 채널별로 사용하여 ONU를 구현하는 것은 아직은 많은 비용이 든다. 그러므로 현재로써는 구현에 의미를 두어야 할 것이다. WDM-PON에서 이런 비용적 문제점을 해결하기 위한 여러 방법들이 논문으로 발표되었다. 이러한 방법들은 KAIST 발표 자료인 "WDM-PON September 2001"에 잘 정리되어 있다. 하지만 아직은 이러한 방법들이 실용화되기 위해서는 많은 문제점을 가지고 있다.[11] 앞으로 보다 좋은 방법이 연구되고 광 부품들의 가격이 하락한다면 몇 년 안에 가정에까지 광으로 연결되어 보다나은 통신서비스가 가능하리라 기대해 본다.

참고문헌

[1] Kyeong Soo Kim "On The Evolution of PON-Based FTTH Solutions",Stanford Networking Research Center

[2] ITU-T Recommendation G.983.1 "Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)", 1998.

[3] Miyuki KUDOet al, "ATM-PON for Optical Communication Transmission/Reception Optical Module", Oki Technical Review, Vol. 68, No. 4, pp. 64-67, March, 2001.

[4] Guido Maier et al, "Design and Cost Performance of the Multistage WDM-PON Access Networks", J. Lightwave Technol., vol. 18, No. 2, pp. 125-143, February 2000.

[5] HARMONICS Lnc., "Whitepaper", March 29, 2001.

[6] Lattice Semi.Co., "Using the ispPAC 30 in a DWDM Laser Power Control Loop", *Application Note AN6028*, 2001

[7] Przemyslaw Otomanski, "Semiconductor laser controller - selected problems of design ", *Proc. SPIE* vol. 4237, pp. 126-130, 2000

[8] Eric P. Rudd, "Laser Diode Driver with 5-Decade Range", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 49, NO. 1, pp. 2-4, 2000

[9] Lattice Semi.Co., "Thermoelectric Temperature Control Using the ispPAC20", *Application Note AN6029*, 2001

[10] MAXIM Semi.Co., "Introduction to LVDS, PECL, and CML", *Application Note HFAN-1.0*, Rev 0: 9/00.

[11] KAIST., "WDM-PON September 2001", http://eeinfo.kiast.ac.kr