NG-PON2 시스템을 위한 전송채널용 파장 초기화 및 채널관리기술동향

정의석, 이은구, 문실구, 이상수, 원용욱*, 한상국*
한국전자통신연구원, *연세대학교

요 약

본 논문에서는 2012년 12월에 표준화가 확정된 NG-PON2(Next Generation-Passive Optical Network2)를 기반으로 하는 액세스 전달망 시스템에서 동작파장을 초기화하는 다양한 방법 및 전송 채널 관리기술에 대한 국내외 동향을 제시하고, 새로운 파장 초기화 및 채널관리 기법을 제안하고 실험결과를 제시한다. 제안되는 기법은 필터링된 파장가변 광원에서 각각 수신된 전기적 신호들간 크기차이를 계산하여 이를 통해, 파장대역을 할당한다. 확보된 파장영역에서 시스템 링크가 물리적으로 연결이 되면, 연결된 광루트를 통해 발생하는 광원의 역반사 효과를 이용하여 전송채널의 동작 파장의 정확도를 향상시킨다. 결정된 채널내에서 광원의 동작 파장의 정확도를 향상시키기 위해서 에코잉(echoing) 기법, 즉, 가입자 송신단에서 전송된 광원이 중앙 기지국 수신단에서 적절하게 수신이 되는지를 체크하게 된다. 이러한 기법을 이용하여, 광 회선 단말 장치가 광 종단 장치의 광원의 파장을 인지하지 못한 상태에서 동작파장을 찾는 시간이 최대 2초 이내에서 이루어짐을 확인하였다. 또한, 파장 가변형 레이저의 파장특성에 무관하게 동작함을 3개의 파장(1577.86nm, 1578.69nm, 1579.52nm)을 무작위로 선택하여 구동한 결과, 파장 대역 및 동작파장을 소수점 둘째자리까지 확보하는 것을 검증하였다.

Ⅰ. 서 론

최근에 다양한 유무선 통합 서비스들의 등장으로 네트워크 서비스 사업자들은 유무선 인터넷 속도의 급속한 증가를 맞이하고 있다. 이러한 네트워크 환경에 효율적으로 대처하기 위한 주요 해결책으로써, 파장분할 다중방식 가입자망 (WDM-PON: Wavelength division multiplexed-passive optical network)은 대용량 기가급 유무선 트래픽 지원, 높은 보안성, 프로토콜의 복잡성 완화를 장점으로 갖는 시스템으로 인식되어오고 있다. 파장분할 다중방식 가입자망의 다양한 광원들 중에, 파장가변형 레이저 다이오드는 기가급 속도 및 20 km이상 장거리 전송에 적합한 소자로서 인식되어오고 있다. 지금까지, 다양한 종류의 파장가변형 레이저 다이오드가 해당 네트워크 개발단계를 상용화 단계로 이끌기 위해서 제안되어 왔다 [1-2]. 이러한 종류의 광원을 개발하는데 가장 중요한 사항은 네트워크 물리계층을 자동으로 구성하기 위해서 할당 채널에 맞는 광원의 파장을 연결하는 것이 중요하다. 그러나, 광 회선 단말(OLT: Optical line terminal)과 광 종단 장치(ONT: Optical network terminal)간 물리계층 연결이 이루어지지 않으면, 파장을 할당하여 시스템 초기화를 위한 프로토콜을 사용하는 것이 불가능하게 된다. 그러므로, 광 종단 장치 단말이 스스로 할당 채널 광원의 파장을 초기화하도록 만드는 것이 필요하다 [2].

파장분할 다중방식 가입자망의 채널파장을 초기화 하는 기법은 다양하게 제안되어 왔다 [3-6]. 광 종단 장치의 송신단에서 페브리-페롯 에탈론 필터(Fabry-Perot Etalon filter)를 사용하거나, 파장가변형 필터를 사용하는 방법은 간단하지만, 해당 소자의 높은 제작 비용과 소형화가 어렵기 때문에. 가입자망에 적합한 방법이 되긴 어렵다 [3-4]. 다른 기법으로써, 디지털 수퍼모드 브래그 반사기(Digital super-mode Bragg reflector)를 사용하는 방법이 제안되었다 [5]. 그러나 이 소자의 사용은 범용의 파장가변형 광원에 부착하여 사용하기 어렵다는 단점이 있다. 레일라이 현상에의해 산란된 광원을 사용하는 방법은 해당광원에 의해 성능이 열화되는 현상을 보인다 [6].

본 논문에서는 파장가변형 광원을 기반으로 하는 파장분할 다중방식 가입자망을 위한 새로운 파장초기화 기법을 제안한다. 그것은 파장가변 필터링된 광원의 역산란을 이용한다. 이 방법을 이용하면, 동작 파장을 찾는데 소요되는 시간이 채널 수에 관계없이 일정하게 된다. 또한, 역산란 방법을 이용하여 할당된 채널을 확보한후, 파장의 정확도를 향상 시키기 위해서 에코잉(Echoing) 기법을 사용한다. 이 기법은 광 종단 장치의 파장 가변 광원모듈이 할당된 채널을 이용하여 광 회선 단말 장치의 수신단까지 빛을 전송한후 되돌아 오는 전기적 신호의 응답특성

을 통해 정확한 파장을 찾게 된다. 제안된 기법은 부가적인 광 및 전기적 소자가 파장가변 필터를 제외하고 요구되지 않는다. 또한, 파장분할 다중방식 가입자망 물리계층 구조 및 파장가변형 광원구조와 관계없이 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

Ⅱ. 제안된 기법의 동작원리

〈그림 1〉은 제안된 기법을 이용한 파장분할 다중방식 가입자 링크구조를 보여주고 있다. 각각의 광 종단 장치(ONT)는 채널 파장을 결정하는 모듈(WRD: Wavelength determination), 광 수신부(ORx: Optical receiver), 광 송신부(OTx: Optical transmitter), 그리고 데이터 처리부(MCU: Microcontroller unit)로 구성된다. 광 종단 장치 스스로 동작 파장을 초기화하는 작업은 일반적인 파장 탐색 과정을 거치기 때문에, 누화(crosstalk)현상 없이 구현된다. 제안된 파장 초기화 기법은 다음 2가지 단계로 구성된다. 첫번째 단계는 할당된 채널을 위한 파장대역이 결정된다. 이것은 2개의 다른 특성을 갖는 광필터에 의해 필터링된 2개의 광원들간 크기 차이를 이용하여 구현된다. 할당된 파장대역이 확보되면, 그 대역을 통해 전송되는 광원의 역산란 효과를 이용하여 결정된 파장대역안에서 광원의 동작 파장값이 정확하게 얻어진다. 위에서 언급한 파장 초기화 방법의 구체적인 설명은 아래에 기술하였다.

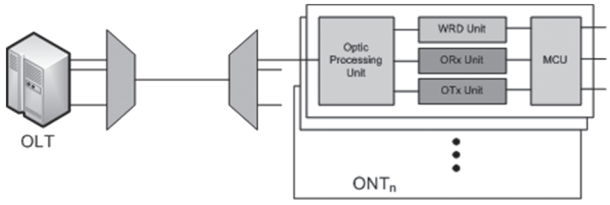


그림 1. 제안된 파장초기화 기법을 이용한 파장분할 다중방식 가입자망 구조

1. 필터링된 광원들간 크기 차이를 이용한 할당된 파장대역 결정방법

〈그림 2(a)〉는 제안된 기법을 구현하기 위한 수신모듈 구조를 보여주고 있다. 〈그림 2(a)〉에서 제시된 바와 같이, 해당 모듈은 광 커플러(coupler/splitter), 2개의 포토 다이오드(PD1, PD2), 광 필터(F(λ)), 그리고 각각의 포토 다이오드에서 수신되어 변환된 전기신호들 간의 크기차이를 계산하기 위한 블록으로 구성된다. 광 필터의 전송특성은 〈그림 2(b)〉에서 보여주고 있다. 〈그림 2(b)〉에서 알 수 있듯이, 동작 파장이 λx 에서 λy 까지 증가함에 따라 광 필터의 응답특성도 따라서 증가함을 알 수 있다. 여기에서 광 커플러는 스플리터로 대체 가능하며, 그것의 분기 비율은 시스템 링크 버짓(link budget)에 따라서 결정되어 진다. 〈그림 2(a)〉에서 보여지는 것처럼, 입력 광신호(Pin)의 크기는 광 커플러/스플리터에 의해 2 포트로 분기가 된다. 여기에서 분기율은 m:n으로 가정한다. 첫번째 포토다이오드(PD1)에서 수신된 전기신호의 크기는 mPin, 광 필터 통과 후, 두번째 포토 다이오드(PD2)에서 수신된 전기신호의 크기는 nPinF(λ)로 표현될 수 있다. 따라서, 두 전기 신호간 크기 차이는 mPin − nPinF(λ)가 된다. 동작 파장에 따른 2개의 전기신호간 응답특성은 〈그림 2(b)〉에서 보여주고 있다. 파란색 곡선과 초록색 곡선은 각각의 수신된 전기신호의 응답특성을 보여주고 있다. 이들간 크기차이를 보여주는 곡선은 빨간색에 해당된다. 크기차이를 계산하는 블록이 두 전기신호간 크기차이를 계산한 후, 차이값(D1)이 주어지고, 그 값에 해당하는 파장대역(W1)이 얻어지게 된다.

광 필터와 두번째 포토 다이오드는 광 수신 서브 어셈블리(ROSA: Receiver optical sub-assembly)의 단일 모듈로서 제작이 가능하다. 〈그림 2(a)〉에서 보여지는 것처럼, 2개의 포토 다이오드가 파장대역을 결정하기 위해서 사용되었지만, 첫번째 포토다이오드가 포함되어 있는 광/전기 변환 과정은 일반적인 광 수신 서브 어셈블리에서 RSSI(Received signal strength indication)핀을 사용하여 구현가능하다.

필터링된 광원들간 크기 차이값을 사용하여 파장 대역을 찾

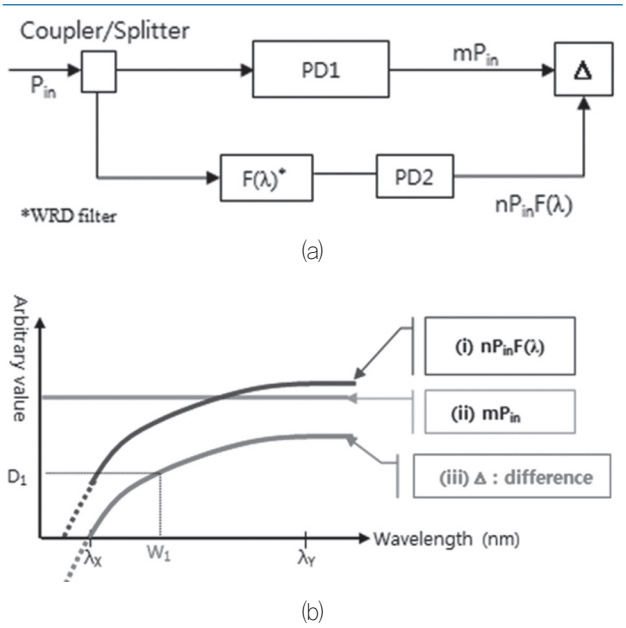


그림 2. (a) 광 필터를 이용한 파장 초기화 구조, (b) 파장에 따른 각각의 포토 다이오드에서 수신된 전기신호의 응답특성

는 알고리즘은 다음과 같다. 〈그림 3〉은 파장 대역을 찾는 알고리즘 순서도를 보여주고 있다. 먼저, 광 회선 단말의 모든 광원들이 빛을 발생하면서 각각의 채널에서 그것들의 파장들이 초기화되어 진다. 다음으로, 광 회선 단말의 모든 광원의 광신호는 각각의 광 종단 장치까지 2개의 배열 도파로 격자(arrayed waveguide grating)과 광 파이버(optical fiber)를 거쳐서 전송된다. 광 필터를 사용하여 각각의 포토다이오드를 거쳐서 변환된 전기신호들 간 크기 차이값이 구해지면서 각각의 광 종단 장치 모듈에서 해당하는 채널의 동작 파장이 계산되어 얻어지게 된다. 파장 값들은 마이크로 컨트롤러(MCU: Micro-controller unit)로 전송된다. 그것은 계산된 파장값에 가장 근접한 파장을 미리 제시되어 있는 파장리스트에서 찾게되고, 광 종단 장치까지 파장을 제어하는 파라미터들의 정보들을 전송하게 된다. 그 후에, 파장 가변 다이오드의 중심 파장은 파장 제어 파라미터들을 사용하여 파장 리스트에 제시되어 있는 값들로 변경된다. 이렇게 해서, 파장을 초기화 하는 첫번째 과정(파장대역을 찾는 과정)이 완료가 되면서, 파장분할 다중방식 가입자망 시스템의 물리적 링크가 임시적으로 연결된다.

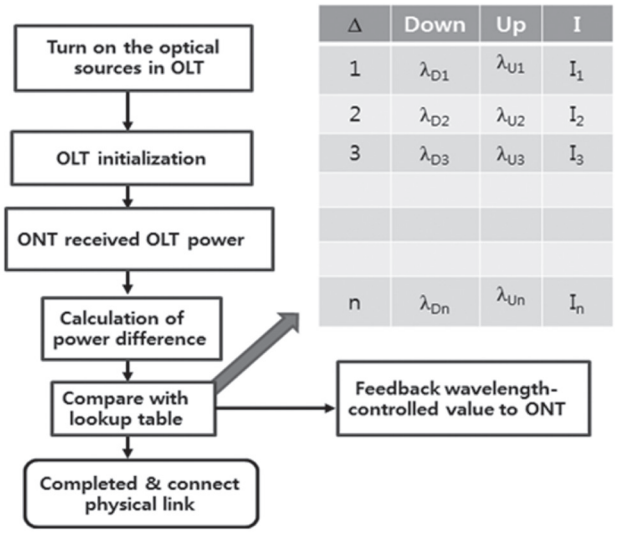


그림 3. 파장대역을 찾는 알고리즘 순서도

2. 필터링된 광원을 위해 할당된 전송 루트에서 발생하는 역산란 효과를 이용한 동작 파장의 정확도 향상 기법

파장대역을 찾는 과정이 완료되면, 물리적으로 연결된 포트에 할당된 파장영역은 전체 파장대역에 비해서 좁혀지게 된다. 직관적이면서 이해가 쉬운 설명을 위해, 〈그림 4〉에서 보여지는 것처럼, 할당된 파장영역에 위치한 파장의 개수는 3개로 가정한다. 동작파장의 정확도를 향상시키는 두번째 과정은 파장

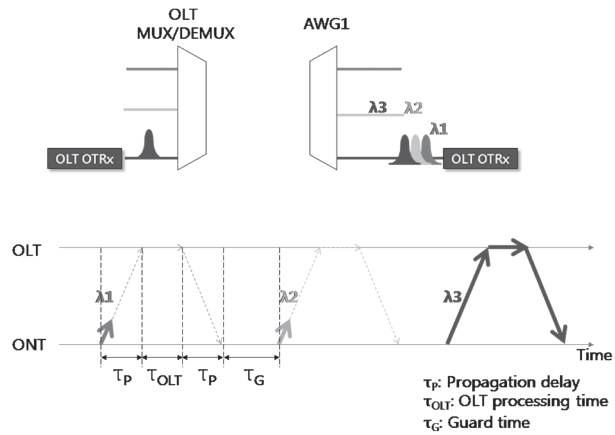


그림 4. 동작 파장의 정확도를 향상시키는 기법의 개념도

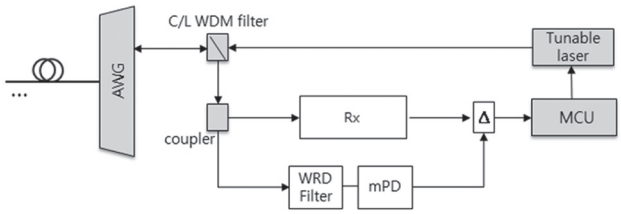
분할 다중방식 가입자망에서 할당된 전송 루트와 대응하는 광원의 응답유무를 통해 구현된다. II-1장에서 언급한 것처럼, 할당된 광원 전송 루트는 배열 도파로 격자의 광필터링 효과를 통해서 얻어지게 된다. 광 종단 장치에 위치한 광송수신기 모듈(OTRx: optical transceiver)에서 발생한 광신호는 그것의 파장이 연결된 포트에 할당되어 있는 파장에 일치하지 않으면 첫번째 배열 도파로 격자에 의해 필터링 되어 전송이 불가하게 된다. 전송이 되지 않는걸 확인한 후에, 광 종단 장치에 위치한 광송수신기 모듈 제어부분은 동작 파장을 변화 시키게 된다. 해당 광원이 할당된 채널의 파장과 같아지게 되면, 광 회선 장치의 제어모듈은 광송신기의 광원에 전류를 주입하여 빛을 발생시키게 된다. 이렇게 하여, 파장을 조절하는 과정은 완료되게 된다. 광 회선 장치는 광 종단 장치의 광송수신기 모듈에서 광 신호를 수신하기 전후에 광원을 켜는 조건과 꺼는 조건을 유지하게 된다. 제안된 방법은 광 종단 장치의 광송수신 모듈의 동작 파장이 연결된 포트의 할당된 채널에 맞게 조정되었는지를 확인하는 것을 가능하게 해준다.

Ⅲ. 실험결과 및 논의

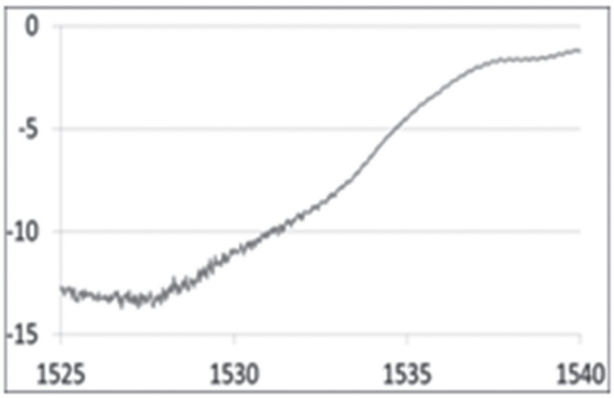
1. 파장대역을 결정하는 기법관련 실험결과

〈그림 5(a)〉는 제안된 구조의 구현가능성을 보이기 위한 실험 셋업을 보여주고 있다. 폴리머 도파로 격자에 기반을 둔 외부 공진기가 부착된 레이저 다이오드가 광 종단 장치에서 파장 가변형 광원으로서 사용되었다. 그것의 동작 파장은 열전 냉각 소자에 의해 제어된다. 이득 평탄화 광필터가 파장대역을 결정하기위한 광 필터로서 사용되었다. 〈그림 5(b)〉에서 보여지는 것처럼, 그것의 전송특성은 제안된 광필터 특성과 유사하다. 파

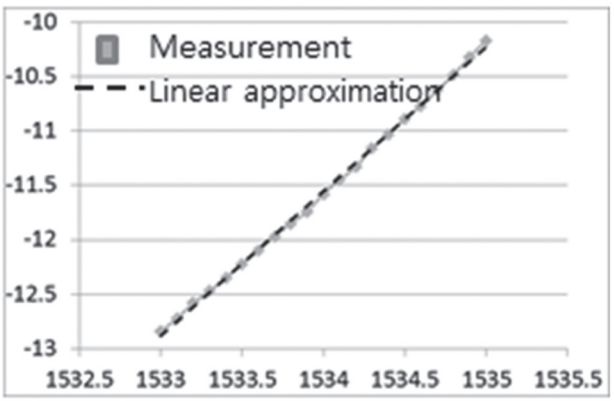
장이 1530nm에서 1540nm까지 증가함에 따라 전송응답특성도 같이 증가하는 경향을 보였다. 그러므로, 광 필터의 응답특성은 파장 해상도와 응용환경에 따라 선택이 가능하다. 광 커플러의 분기율은 90:10이었고, 광 종단 장치에서 2개의 광신호로 분기하기 위해서 사용되었다. 2개의 포토다이오드에서 수신후 변환된 전기적 신호들간 크기 차이를 계산하기 위한 전기적 모듈은 아날로그 및 디지털 회로를 이용하여 구현되었다. 〈그림 5(c)〉에서 보여지는 것처럼, 전기적 신호들간 크기 차이는 수신된 광신호의 파장이 1533nm에서 1535nm까지 증가함에 따라 비례함을 관찰하였다. 마이크로 컨트롤러는 파장 리스트에 제시되어 있는 가장 가까운 파장대역을 결정하였다. 그러므로, 파장대역을 찾기 위해서 전채널을 탐색할 필요가 없다. 제안된 기법은 어떠한 종류의 파장가변형 레이저 다이오드를 사용하든지 파장분할 다중방식 가입자망 시스템에 적용이 가능하다. 일반적인 파장가변형 레이저 다이오드의 파장안정성이 0.1dB이기 때문에, 파장 해상도는 0.1nm이하로 가능하다.



(a)



(b)

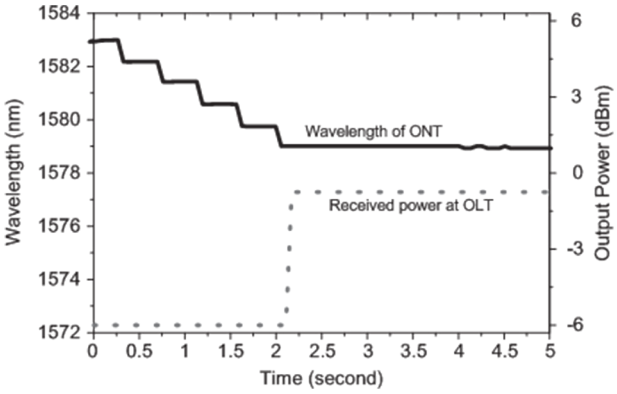


(C)

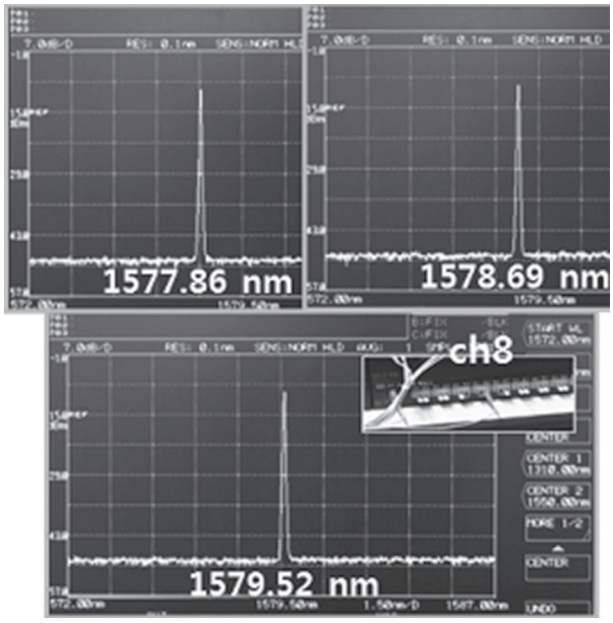
그림 5. (a)제안된 구조를 구현하기 위한 실험셋업, (b)측정된 이득 평탄화 필터의 응답특성, (c) 동작 파장에 따른 두 전기신호간 크기차이 변화

2. 결정된 파장대역내 광전송 루트를 사용하여 동작파장의 정확도를 향상시키는 기법 구현결과

파장대역은 III-1절에서 언급한 것처럼, 제안된 기법을 사용하여 결정되어진다. 광 종단장치의 제어모듈은 확보된 파장대역내에서 광송신기 모듈의 파장을 조절하게 된다. 〈그림 6(a)〉는 동작시간에 따른 동작 파장 및 출력 광전력의 변화를 보여주고 있다. 파장을 초기화 하는데 필요한 시간은 완벽한 파장



(a)



(b)

그림 6. (a)시스템 동작시간에 따른 파장 종단장치에 위치한 파장가변형 레이저 다이오드의 파장변화, (b)채널 대역에 따른 레이저 다이오드 동작 특성

의 변화를 보여주기까지 2초의 시간이 측정되었다. 그것에는 광 스펙트럼 분석기내의 측정프로그램을 이용하여 해당 데이터를 수집하는데 걸린 0.3초의 시간을 포함하고 있다. 광 회선 장치의 동작을 점검하기 위해서, 광 회선 장치의 광송신기 모듈의 출력 전력은 광수신기가 광 신호를 수신하기 전에, 오프 조건으로 인해 이용되었다.

실선과 점선은 각각 광 회선 장치의 광송신기 모듈의 동작파장 과 출력 신호 크기 변화를 보여주고 있다. 광 회선 장치의 광송신기 모듈의 광원이 없을 때에도, 광 종단 장치의 광송신기는 점차적으로 그것의 파장을 조절한다. 그러나, 〈그림 6(a)〉에서 보여지는 것 처럼, 송신기 모듈의 동작 파장은 광 수신기 모듈이 광 회선 장치의 광송신기 모듈의 광원을 수신한 후에, 연결된 포트에 할당되어 있는 파장에 맞추어진다. 광 회선 장치의 광송신기의 출력은 광 종단 장치의 파장이 할당된 것과 일치할 때, 측정이 되어졌다. 〈그림 6(b)〉에서 보여지는 것처럼, 파장가변형 레이저 다이오드의 파장무관하게 동작할 가능성이 분석되었다. 광 종단장치의 광송신기 모듈에서 발생한 광원의 파장은 배열된 도파로 격자의 연결된 포트에 고정되었음을 측정하여 확인하였다.

Ⅳ. 결론

파장 가변형 레이저 다이오드에 기반을 둔 파장분할 다중방식 가입자망 시스템에서 채널 파장을 초기화하는 새로운 기법이 제안되었다. 그것은 필터링된 광원들간 크기의 차이를 통한 파장대역을 확정하고, 확보된 파장대역에서 자연스럽게 형성된, 광원 전송루트에서 발생하는 역산란 현상을 이용하여 구현하였다. 다양한 실험결과에서, 파장을 초기화 하는데 걸리는 시간은 전송채널 개수와 관계없이, 2초 이내로 측정되었다.

이 방법은 파장초기화 구현을 위해서 부가적인 광소자 및 프로토콜이 필요없이 구현가능하다. 또한, 파장가변 레이저 다이오드를 구동하는 방법에 관계없이 적용가능함을 알 수 있다. 결국엔, 2개의 할당된 광원 전송루트가 사용되기 때문에, 파장가변형 레이저 다이오드의 광원 크기의 시간적 변화 및 잡음에 또한 민감하지 않음을 예상할 수 있다.

Acknowledgement

"본 연구는 미래창조과학부의 정부출연금사업의 일환으로 수행하였음. [13ZI1150, 트래픽 용량 증대를 위한 액세스 네트워크 원천기술 연구]"

참 고 문 헌

[1] A. Banerjee, Y.-I. Park, F. Clarke, H. Song, S.-H. Yang, G. Kramer, K.-J. Kim, and B. Mukherjee, "Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access: a review," Journal of Optical Networking 4, pp. 737-758 (2005).

[2] M. Roppelt, F. Pohl, K. Grobe, M. Eiselt, and J.-P. Elbers, "Tuning Methods for Uncooled Low-Cost Tunable Lasers in WDM-PON," in Proc. of OFC 2011 (Los Angeles Convention Center, Los Angeles, CA, USA), NTuB1.

[3] H. Nasu, T. Takagi, M. Oike, T. Nomura, and A. Kasukawa, "Ultrahigh Wavelength Stability Through Thermal Compensation in Wavelength-Monitor Integrated Laser Modules," IEEE Photon. Technol. Lett. 15, 380-382 (2003).

[4] H. Suzuki, M. Fujiwara, T. Suzuki, N. Yoshimoto, K. Iwatsuki, and T. Imai, "A Remote Wavelength Setting Procedure based on Wavelength Sense Random Access (λ-RA) for Power-splitter-based WDM-PON," in Proc. of ECOC 2006 (Palais des Festivals et des Congres, La Croisette, BP 272, 06403 Cannes, France), We3.P.157.

[5] H. Lee, A. Wonfor, R. V. Penty, I. H. White, G. Busico, R. Cush, and M. Wale, "Athermal Colourless C-band Optical Transmitter for Passive Optical Networks," in Proc. of ECOC2010 (Lingotto Congress Centre, Torino, Italy), Mo.1.B.2.

[6] S.-R. Mun, J.-H. Moon, S.-M. Oh, and C.-H. Lee, "A Self Wavelength Tracking Method for a Cost Effective WDM-PON with Tunable Lasers," in Proc. of OFC 2010 (San Diego Convention Center, San Diego, California, USA), OWG7.

약 력

정 의 석

1992년 항공대학교 공학사
1994년 항공대학교 공학석사
1994년~현재 한국전자통신연구원 광가입자연구실 책임연구원
관심분야: 가입자망, 유무선 융합 네트워크, 네트워크 보호 복구

이 은 구

2002년 충남대학교 이학사
2004년 충남대학교 이학석사
2009년 충남대학교 이학박사
2009년~현재 전자통신연구원 통신인터넷연구부문 광인터넷연구부 선임연구원
관심분야: WDM-PON, 파장분할다중화, 광트랜시버

문 실 구

2003년 경북대학교 전자공학과 공학사
2010년 KAIST 전기및전자공학과 공학박사
2010년~현재 ETRI 통신인터넷연구부문 광인터넷 연구부
관심분야: 가입자망 전송기술, WDM-PON

이 상 수

1988년 인하대학교 공학사
1990년 인하대학교 공학석사
2001년 인하대학교 공학박사
1990년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원 실장
2009년~현재 과학기술연합대학원 대학교 겸임교원
관심분야: 가입자망, 파장분할다중화

원 용 욱

1997년 연세대학교 공학사
1999년 연세대학교 공학석사
2008년 연세대학교 공학박사
2008년~2010년 연세대학교 TMS사업단 연구교수
2011년~현재 연세대학교 미래융합기술연구원 교수
관심분야: 소프트제어 유무선 전송기술, 가시광 무선 전송기술

약 력

한 상 국

1986년 연세대학교 전자공학사
1988년 University of Florida 전자공학석사
1994년 University of Florida 전자공학박사
1994년~1996년 현대전자 시스템 IC 연구소 선임 연구원
2005년~2007년 연세대학교 공과대학 부학장
2007년~2009년 연세창업센터 센터장
2007년~2009년 연세대학교 공학대학원 부원장
1996년~현재 연세대학교 전기전자학부 정교수
관심분야: Software defined optical transmission, Optical OFDM, WDM-PON system, Optical wireless communication