

차세대 광 패킷 인터넷을 위한 통합 네트워크 제어 구조

An Integrated Network Control Framework for the Next-Generation Optical Internet

박 성 용
(Sung-Yong Park)

Abstract · With the current advances in optical WDM (Wavelength Division Multiplexing) networking technologies and the increasing demand for network bandwidth, the Next Generation Internet is expected to be a network that runs IP (Internet Protocol) directly over WDM-based optical networks. The network control architecture for the IP over WDM networks is different from that of traditional Internet since the underlying WDM devices have more constraints than electronic IP routers such as the lack of optical buffers and wavelength continuity property, etc. In this paper we introduce several architectural models for implementing IP over WDM networks and propose an integrated network control framework for the IP over WDM networks. This framework leverages the traffic engineering control architecture for the MPLS (Multi-Protocol Label Switching) networks and is mainly developed for the IP over packet-switched WDM networks. We also report several preliminary simulation results of contention resolution schemes in the packet-switched WDM networks.

Keywords : network control, optical network, WDM, IP over WDM, MPLS, IP router

1. 서론

광 파장 다중화 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 기술은 하나의 광섬유 안에서 동시에 여러 개의 파장에 독립적으로 데이터를 전송하여 테라 비트 이상의 전송을 가능하게 해주는 기술이다. 최근 인터넷 트래픽의 폭발적인 증가와 더불어 WDM 기술이 IP (Internet Protocol) 트래픽을 위한 전달계층으로 사용되고 있지만, 현재까지 주로 사용되어온 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 이나 SONET (Synchronous Optical Network) 등의 기술과 혼합되어, IP 패킷이나 흐름을 (flow) ATM 이나 SONET 프레임으로 변환하고, 결과 프레임을 다시 WDM 위에서 전송하는 계층적인 구조로 적용되어왔다. 결과적으로, 패킷 다중화와 역다중화 기능 (multiplexing/demultiplexing), 패킷정합 기능 (segmentation/reassembly) 및 계층관리 등과 같은 기능들이 각 계층에서 불필요하게 중복되어 광 전달 계층의 속도를 충분히 반영할 수 없었다[1] 따라서, 차세대 인터넷망의 복잡성을 경감하고, 속도의 향상 및 다양한 서비스 질의 보장을 위해서는 WDM 장비위에 바로 IP 트래픽을 전송하는 IPoW (Internet Protocol over WDM) 기술이 필요하다.

하지만, IPoW 기술을 현재의 인터넷에 적용하기 위해서는, 기존의 IP 트래픽을 전송했던 IP 라우터들이 WDM 장비들과 적절히 통합되어야 하고, 광 버퍼 구현의 어려움이나 파장을 연속적으로 유지해야하는 특성(wavelength continuity property) 등의 제약사항 때문에 기존에 사용되었던 네트워크 제어구조를 모두 적용하기가 불가능하다.

최근에 IETF를 (Internet Engineering Task Force) 통하여, IP 와 WDM 을 통합 제어하는 기법으로 MPλS (Multi-Protocol Lambda Switching) 라는 기술이 소개되었다[2]. MPλS 기술은 기존에 MPLS (Multi-Protocol Label Switching) 프로토콜을 위해 개발된 트래픽 제어 기능을 [3] IP 망과 WDM 망에 동시에 적용하여 통합적인 네트워크 제어를 가능하게 해주는 기술로 많은 연구자 및 산업계의 관심을 끌고있다. 하지만, MPλS 에서는 IP 패킷이나 흐름을 전송하기 위해 미리 파장단위의 광 경로를 (light path) 설정해야 하는 회선교환 방식이므로, 패킷 방식의 인터넷 트래픽을 전송하기에는 여전히 많은 제약점을 지니고있다. 따라서, 차세대 광 인터넷을 효율적으로 지원하기 위해서는 패킷 방식의 인터넷 트래픽을 광 패킷 단위로 교환해 줄 수 있는 광 패킷 인터넷의 필요성이 대두된다.

본 논문에서는 차세대 광 패킷 인터넷의 핵심 장비가 될 광 IP 라우터의 네트워크 제어구조와 구성요소를 제시하고, IPoW 구조를 구현하기 위한 문제점 및 해결방안을 설명한다. 본 논문에서 제시하는 모델은 MPLS 의 트래픽 제어 모델을 광 네트워크에 적용하여 광 MPLS를 (Optical MPLS) 구현하기 위한 것으로, 광 패킷 단위의 교환을 위한 네트워크 제어구조가 (예: 레이블 할당 및 분배, 트래픽 제어, 패킷 충돌방지 기법 등) 회선 방식의 MPλS 와는 다르다. 또한, 본 논문에서는 광 IP 라우터 내에 광 버퍼가 없는 경우 광 패킷간의 충돌을 해결하기 위한 방법들, 예를 들면 하나의 광섬유 안에서의 파장변환 (wavelength conversion) 기법, 여러 개의 광섬유를 동시에 (parallel) 연결하는 기법, 일부 파장을 미리 예약해놓고 충돌 시 사용하는 기법 (reserved wavelength) 에 대한 실험 결과 및 분석을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 IPoW를 구

접수일자 · 2000. 5. 1., 수정완료일 · 2000. 6. 30.

박성용 · 서강대학교 컴퓨터학과

※ 이 연구는 2000년도 서강대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

현하기 위한 여러 가지 모델을 설명하고, 3 장에서는 광 패킷 망을 위한 IPoW 통합 제어구조를 소개한다. 4 장에서는 충돌제어에 대한 여러 기법을 소개하고 실험 결과를 분석한다. 마지막으로, 5 장에서는 결론을 맺는다.

II. IPoW 구현 모델

IPoW를 구현하기 위해서는 IP 라우터와 WDM 장비간의 연결이 어떤 형태로 제공되는지에 따라 크게 3 가지 구조로 나눌 수 있다. 첫째로, 인접한 IP 라우터간에 대역폭을 높이기 위하여 WDM 장비를 점대점으로 (point-to-point) 연결하여 두 지점간의 광대역 연결 통로로만 사용하는 구조 (IPoPW: IP over Point-to-point WDM), 둘째로, IP 라우터를 재구성 가능한 (re-configurable) 광 크로스 커넥트에 (OXC: Optical Cross-Connect) 연결하고 OXC는 필요에 따라 광섬유의 파장을 자유롭게 재구성할 수 있도록 설정하여 IP 패킷이나 흐름이 WDM에서 제공하는 대역폭을 유용하게 이용하도록 하는 구조 (IPoRW: IP over Re-configurable WDM), 셋째로, 광 패킷 단위로 교환이 가능한 WDM 장비를 이용하여 IP 패킷이나 흐름을 광 패킷 단위로 교환할 수 있도록 하는 구조 (IPoSW: IP over Switched WDM) 이다.

1. IPoPW (IP over Point-to-point WDM) 구조: 1 세대

이 구조는 그림 1에서 보여주고 있는 것처럼 인접한 IP 라우터들이 다중 파장을 (multi-wavelength) 갖고있는 광 섬유로 연결되어 있고, 라우터의 라인 카드는 하나의 파장을 연결할 수 있도록 설계된 구조이다. 결과적으로 라우터간의 다중 파장은 단지 높은 대역폭을 제공하기 위한 수단으로 사용되며, 네트워크의 망 구성 상태(topology) 및 설정 상태 (configuration) 는 변하지 않는다. 이 구조에서 IP 패킷은 ATM이나 SONET에서 제공하는 프레임 구조에 따라 파장 위에 전송되고, 망 관리는 주로 중앙 집중 식으로 (centralized) 이루어진다. 현재 많은 IP 라우터 제조 업체가 이 구조에 맞는 제품을 출시하고 있고, 많은 장거리 회선 업체 (long distance carrier) 들이 이 구조를 사용하여 백본 망을 구성하고 있다.

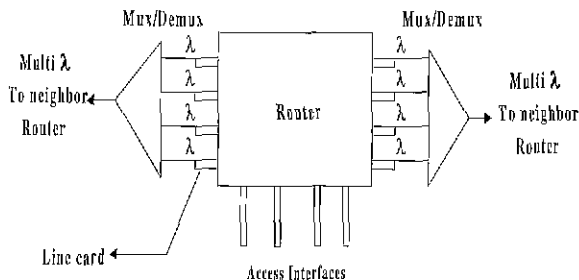


그림 1. IPoPW 구조.
Fig. 1 IPoPW Architecture.

2. IPoRW (IP over Re-configurable WDM) 구조: 2 세대

이 구조는 그림 2에서 보여주고 있는 것처럼 IP 라우터의 라인 카드가 OXC의 포트에 연결된 구조이다. OXC는 특정 입력포트를 지정된 출력포트로 교환할 수 있는 능력

을 갖고 있으며 다른 OXC와는 광 섬유내의 다중 파장을 이용하여 매쉬 (mesh) 형태로 연결된다. 결과적으로, IP 라우터의 특정 라인 인터페이스는 망 내의 다른 IP 라우터의 라인 인터페이스로도 연결 및 재구성이 가능한 구조이다. OXC는 호제어 (signaling) 프로토콜에 의해 제어되며 광 경로의 설정 및 해제를 수행한다.

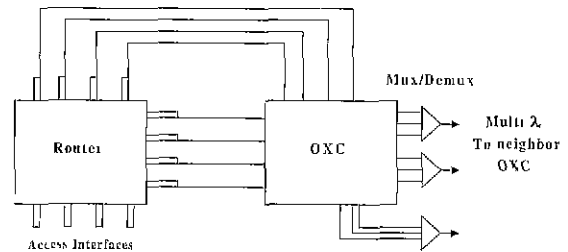


그림 2. IPoRW 구조.
Fig. 2 IPoRW architecture.

이 구조는 OXC가 제어되는 방식에 따라 크게 2 가지 형태로 (오버레이 방식, 통합 방식) 구현 가능하다. 첫째로, 오버레이 방식에서는 (overlay model) IP 망과 WDM 망을 구분하여 서로 클라이언트 (IP 망) - 서버 (WDM 망) 의 관계를 갖도록 구성한다. 두 망에는 독립적인 호 제어 프로토콜 및 경로제어 (routing) 프로토콜이 존재하며, 망 구성 상태 (topology) 가 서로 다를 수 있다. 결과적으로, IP 망에서의 경로는 WDM 망에서의 경로를 통하여 설정된다. 둘째로, 통합 방식에서는 (integrated model) IP 망과 WDM 망이 하나의 통합된 형태로 구성되며 하나의 호제어 프로토콜과 경로제어 프로토콜에 의하여 두 망이 제어된다. 일반적으로 광 경로의 설정을 위하여 IP 망에서 사용되고있는 호제어 프로토콜 및 경로제어 프로토콜을 사용한다. 이 구조에서는 IP 라우터와 OXC가 하나의 통합된 장비로 구현될 수 있으며, 이 경우 통합된 장비는 하나의 IP 주소에 의해서 구분된다

현재 IPoW를 구현하기 위한 기술로 관심을 끌고있는 MPλS 기술이 통합 방식에 의한 구조이다. MPλS 에서는 MPLS 에서 사용되어오던 호제어 및 경로제어 프로토콜, 예를들면 RSVP (Resource reSerVation Protocol) [4] 나 CR-LDP (Constraint-based Label Distribution Protocol)[5]와 같은 호제어 프로토콜과 OSPF (Open Shortest Path First)[6]나 IS-IS (Intermediate System-Intermediate System)[7] 와 같은 링크 기반의 경로 제어 프로토콜을 WDM 망에 적용할 수 있도록 수정하여 [8]-[12] 광 경로 제어에 사용한다. 현재 많은 라우터나 OXC 제조 업체들이 이 구조에 맞는 장비를 개발하고 있지만, 이 구조는 IP 패킷이나 흐름을 전송하기 이전에 파장 단위의 광 경로를 설정해야하는 회선교환 방식을 채택하고 있기 때문에 WDM 망에서 제공하는 광 대역폭을 효율적으로 이용할 수 없다는 단점이 있다.

3. IPoSW (IP over Switched WDM) 구조: 3 세대

이 구조에서는 IP 라우터와 연결되는 WDM 장비가

OXC와는 달리 광 패킷 단위의 교환이 가능하다는 점이 IPoRW와 다르다. 이 구조는 차세대 광 패킷 인터넷을 구현하기에 가장 적합한 구조이지만, 광 버퍼의 구현이나 광 헤더 등의 광 처리 기술이 아직 미흡하여 실용화 단계에 있지 못하다. 현재 연구가 진행중인 대부분의 WDM 교환 장비는 광섬유를 사용한 지연라인 (delay line) 을 통하여 광 버퍼를 대신하고 있으며, 광 헤더의 처리 또한 전자적으로 (electronic processing) 수행하고 있다. 이 구조가 실용화되기 위해서는 광 처리 기술의 개발이 선행되어야 하며, 기존의 네트워크 제어구조도 WDM 망의 특성에 적합하도록 변경되어야 한다. 현재 광 처리 기술의 발전 추세로 볼 때 이 구조가 수년 이내에 실용화 될 것으로 예상되며 본 논문에서는 이 구조에 대한 네트워크 제어구조를 제시한다. 이 구조도 IPoRW처럼 두 종류로 (오버레이 방식, 통합 방식) 구현 될 수 있으며 본 논문에서는 통합 방식에 의한 구조를 제시한다.

III. 광 IP 라우터를 위한 통합 네트워크 제어 구조

본 논문에서 제안하는 광 IP 라우터를 위한 네트워크 제어구조는 MPLS의 트래픽 제어를 위해 개발된 구조를 광 패킷 네트워크에 적용하여 패킷 단위의 교환을 가능하게 해주는 통합 네트워크 제어구조이다. 그림 3은 광 패킷 기반 IP 라우터의 구조를 보여준다.

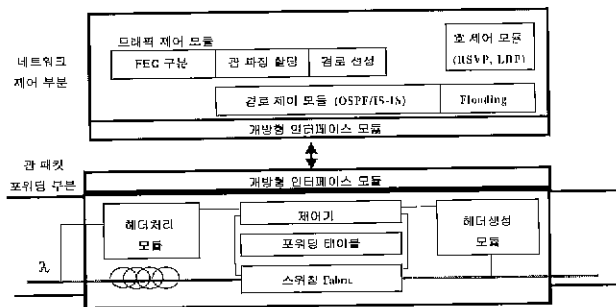


그림 3. 광 IP 라우터를 위한 통합 네트워크 제어 구조.

Fig. 3. Integrated network control architecture

그림 3에서 보여주는 것처럼 광 IP 라우터는 크게 네트워크 제어 부분과 광 패킷 포워딩 부분으로 나누어진다. 네트워크를 제어하는 부분과 실제 패킷이 포워딩 되는 부분을 분리함으로써 네트워크 제어를 데이터의 전송과 무관하게 수행할 수 있으며, 이는 데이터 전송 시 발생하는 오버헤드를 최소화하여 광 패킷이 최대의 속도로 포워딩 되도록 한다. 이 절에서는 광 IP 라우터를 구성하는 두 부분과 각 부분을 구성하고 있는 각 모듈의 기능을 소개한다.

1. 네트워크 제어 부분

네트워크 제어 부분은 크게 경로 제어를 담당하는 경로 제어 모듈, 호 제어를 담당하는 호 제어 모듈, 트래픽의 제어를 담당하는 트래픽 제어 모듈, 그리고 WDM 스위치 (포워딩 부분) 를 개방형 인터페이스를 통하여 제어할 수 있도록 하는 개방형 인터페이스 모듈로 구성되어 있다.

경로 제어 모듈 (routing module)

경로 제어 모듈에서는 네트워크의 모든 광 IP 라우터가 네트워크에 대한 일치된 상태를 (consistent view) 유지할 수 있도록 하기 위하여 필요한 정보를 각 라우터에 전달하는 (flooding) 기능을 수행한다. 경로 제어 프로토콜 (routing protocol) 에 의해 전달되는 정보는 네트워크의 구성상태 (topology) 정보, 각 링크의 상태 정보 (광 파장 할당 상태, 트래픽 상태, 등), 및 각 IP 라우터의 가용 능력 (capacity) 정보 (광섬유 수, 광섬유 당 파장 수, 등) 가 있다. 전달된 모든 정보는 향후 트래픽 제어 모듈에 의해 분석되어 최적의 광 패킷 교환 경로를 (LSOP: Label Switched Optical Path) 설정할 때나 경로내의 광 파장을 할당할 때 사용된다. 본 논문에서 제안하는 네트워크 제어 구조는 통합 구조로서 하나의 경로 제어 프로토콜을 사용하여 IP 경로와 광 파장 경로를 제어하며, IP 망에서 사용되는 링크 기반의 프로토콜을 (OSPF, IS-IS) 확장하여 사용한다.

IP 망에서 사용되던 기존 링크 기반의 경로 제어 프로토콜은 (OSPF 나 IS-IS) 사실상 네트워크 구성 정보 (topology) 만을 전달하도록 구현되어 있어서 각 링크의 상태 정보나 각 IP 라우터의 가용능력 정보를 전달할 수 없다. 이를 전달하기 위해서는 기존 프로토콜의 확장이 필요한데, 예를들면, OSPF를 사용하여 확장할 경우 OSPF에서 네트워크 구성정보 이외의 정보를 전달할 수 있도록 정의된 부가기능 (opaque LSA: Link State Advertisement) 을 사용하여 확장되어야 한다.

호 제어 모듈 (signaling module)

호 제어 모듈은 트래픽 제어 모듈에 의해서 구동되며, 트래픽 제어 모듈에 의해 선정된 최적의 경로 (광섬유 경로) 와 광 파장을 통하여 광 패킷 교환 경로를 설정하는 기능을 수행한다. 광 패킷 교환 경로 설정 시 효율적인 충돌 방지를 위하여 보조 경로의 (alternative LSOP) 설정이 가능하며 광 패킷의 충돌이나 네트워크의 오류 시 다른 경로를 택하여 패킷이 신속히 전달될 수 있도록 해준다. 또한, 효율적인 서비스 질 (QoS: Quality of Service) 제어를 위하여 패킷마다 우선순위 (priority) 를 부여할 수 있도록 해주어 높은 우선순위를 가진 패킷이 우선순위가 낮은 패킷의 경로를 선점 (preemption) 할 수 있도록 해준다. 본 논문에서 제안하는 통합 방식의 제어를 위해서는 MPLS에서 사용되는 RSVP나 CR-LDP를 사용하여 광 레이블 (optical label) 을 할당하거나 전달할 수 있도록 확장되어야 한다.

트래픽 제어 모듈 (traffic engineering module)

트래픽 제어 모듈의 기능은 크게 3 가지로 나눌 수 있다. 첫째로, 광 패킷 망의 망 진입 라우터 (ingress router) 에서는 망으로 진입되는 IP 패킷을 분석하여 같은 광 패킷 교환 경로 (LSOP) 로 전달될 수 있는 패킷의 흐름을 구분해야 한다. 트래픽 제어 모듈에서는 이 특정 흐름을 동일 포워딩 클래스 (FEC: Forwarding Equivalence Class) 라고 정의하고 동일 포워딩 클래스에 해당되는 모든 패킷들에 동일한 레이블 값을 배정한다. 둘째로, 동일 포워딩 클

래스로 구분된 트래픽은 동일한 광 패킷 교환 경로를 경유하여 최종 목적지에 도달하며 트래픽 제어 모듈에서는 최적의 경로를 선정한다. 최적의 경로를 선정하기 위해서는 경로제어 모듈을 통하여 각 IP 라우터로부터 전달된 정보를 이용하고, 경로 선정을 위한 계산은 온라인 (on-line) 또는 오프라인 (off-line) 으로 수행될 수 있다. 셋째로, 동일 포워딩 클래스로 구분된 트래픽의 전송에 사용될 광 파장의 할당 (wavelength assignment) 을 수행한다. 네트워크의 이용효율 (utilization) 을 높이기 위해서는 되도록 다수의 동일 포워딩 클래스를 하나의 광 파장을 통하여 전달될 수 있도록 해야하며, 전송 시 예상되는 패킷의 충돌을 최소화 할 수 있도록 할당되어야 한다. 향후 개발될 IP 라우터에는 상기의 3 가지 기능 이외에 효율적인 트래픽 관리를 위한 다양한 트래픽 제어기능들, 예를들면 파장간의 부하균등을 위한 부하배분 (load balancing) 기능이나 부하측정 (load monitoring) 기능 등이 구현되어야 한다.

개방형 인터페이스 모듈 (open switch interface module)

개방형 인터페이스 모듈은 광 패킷의 교환을 담당할 WDM 스위치 (포워딩 부분) 를 표준화된 인터페이스를 통하여 제어하기 위한 제어함수를 구현한 모듈이다. 표준화된 인터페이스를 통하여 WDM 스위치를 제어하기 때문에 네트워크 제어 부분과 광 패킷 포워딩 부분은 하나의 장비에 통합될 필요가 없으며, 표준을 따르는 서로 다른 업체의 장비를 사용할 수 있다는 장점이 있다. 이 모듈에는 패킷 포워딩 테이블을 제어하는 명령어 (예: 입력 레이블 / 출력 레이블 / 출력 포트 설정 명령어), 스위치 내부의 각 구성 요소의 제어를 위한 인자 (parameter) 를 설정하는 명령어, 현재 스위치의 상태를 보고하는 명령어 (예: 포워딩 패킷수, 충돌 패킷수, 스위치의 총 광섬유 수, 광섬유 당 파장수) 등이 구현된다.

2. 광 패킷 포워딩 부분

광 패킷 포워딩 부분은 실제 광 패킷의 교환을 담당하는 부분으로 헤더 처리 모듈, 제어기, 포워딩 테이블, 스위칭 매트릭스 및 헤더 생성 모듈로 구성되어 있다 (그림 3 참조). 광 파장 위에 전송되는 광 패킷은 일반적으로 헤더와 데이터 부분으로 구성되어 있으며 스위치의 포트에 입력 시 헤더 처리 모듈에 의해서 광 헤더 부분과 데이터 부분으로 분류된다. 광 헤더는 데이터와 같은 파장 상에 전송되거나 (in band) 또는 별도의 채널을 통하여 전송 (out of band) 될 수 있다. 헤더 처리 모듈에 의해 분류된 광 헤더 중 레이블 값은 헤더 생성 모듈에 의해서 포워딩 테이블에 정의된 출력 레이블 값으로 변경되어 (label swapping) 정해진 광 파장을 통하여 재 전송된다. 입력 레이블에 대한 출력 레이블의 변환 정보는 네트워크 제어 부분의 흐름 제어 프로토콜에 의해 결정되어 각 라우터에 전달되며 개방형 인터페이스 명령어를 통하여 포워딩 테이블에 저장된다. 제어기는 WDM 스위치내의 각 부분을 제어하는 역할을 담당한다. 헤더 처리 모듈에 의해 분류된 데이터 부분은 광 헤더 처리 시간 (header processing time) 및 데이터의 교환에 소요되는 시간 (switching time) 만큼 지연되어야 하며 이것은 일반적으로 지연라인 (delay line)을 통하여

구현된다.

IV. 충돌 제어 기법

차세대 광 패킷 IP 라우터를 위한 네트워크 제어구조는 광 패킷 포워딩을 담당하는 WDM 스위치의 기능 및 제약 사항에 따라 달라질 수 있다. 패킷기반의 WDM 스위치를 구현하는데 필요한 여러가지 기술 중 광 버퍼의 구현은 패킷의 충돌을 줄일 수 있는 핵심기술이지만 그 기술 수준이 아직 초기단계에 있기 때문에 대부분의 WDM 스위치들은 광 버퍼가 없거나 또는 지연라인을 사용하여 광 버퍼를 대신하도록 구현되고있다. 이 절에서는 광 버퍼가 없는 WDM 스위치에서 패킷의 충돌을 줄일 수 있는 방안들을 소개하고 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 분석한다.

광 버퍼가 없는 경우 패킷의 손실률 (packet loss ratio) 을 줄일 수 있는 방법으로는 1) 광 파장변환 방법 (wavelength conversion), 2) 광 파장의 변환이 불가능할 경우 여러 개의 광섬유를 병렬로 연결하여 사용하는 방법 (parallel fiber), 3) 패킷 충돌 시 사용할 광 파장을 미리 예약한 후 패킷의 충돌 시 사용하는 방법 (wavelength reservation), 4) 패킷에 우선순위를 두어 패킷 충돌 시 우선순위가 높은 패킷을 전송하는 방법 (packet priority), 5) 패킷 충돌 시 다른 경로 (다른 포트) 를 통하여 우회하는 방법 등이 연구되고 있다. 본 절에서는 이들 중 1) ~ 3) 에 대한 방안과 시뮬레이션 결과를 소개한다.

이 절의 모든 시뮬레이션은 5 x 5 토러스 (torus) 네트워크상에서 수행했으며, 토러스 상의 각 노드는 광 IP 라우터를, 링크는 양방향이며 각 파장의 속도가 각각 24 Gbps 인 다중파장 인터페이스를 가정한다. 또한 헤더 처리 시간과 패킷 스위칭 시간은 각각 100 us 으로 가정한다. 광섬유 내의 파장 수는 8 개부터 128 개까지 8 개 단위로 변화하면서 적용하였으며, 시뮬레이션의 시간을 단축하기 위해 패킷 손실률 (PLR: packet loss rate) 이 10^{-5} 이 될 때까지 측정했다.

1. 광 파장변환 (wavelength conversion) 방법

일반적으로 광 네트워크에서는 광 패킷을 목적지까지 전송하기 위해서 출발지에서 할당된 광 파장을 목적지까지 동일하게 유지하여야 한다 (wavelength continuity property). 하나의 광섬유에 전송될 수 있는 광 파장의 수

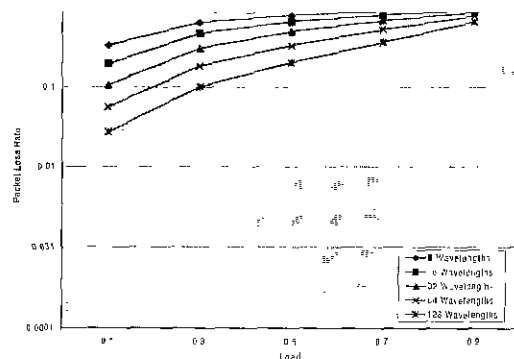


그림 4. 광 파장변환이 없는 경우 패킷 손실률.
Fig. 4. PLR without wavelength conversion.

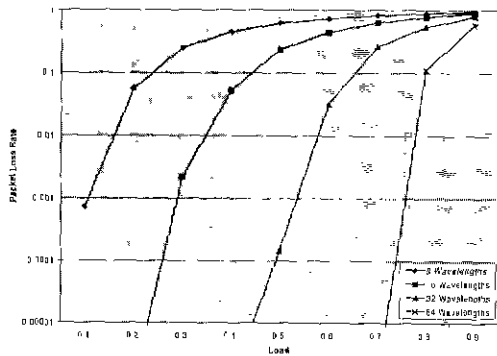


그림 5. 광 파장변환이 있는 경우 패킷 손실률.
Fig. 5. PLR with wavelength conversion.

가 급격히 늘어나고 있는 것이 사실이지만, 출발지에서 할당된 파장을 목적지까지 유지해야 될 경우 네트워크의 중간 노드에서 패킷의 충돌이 발생하여 패킷의 손실이 일어날 확률이 높다. 이 문제에 대한 해결책으로 제한된 방법이 광 파장변환 기법이다. 그림 4 와 5 는 각각 광 파장변환이 없는 경우와 광 파장변환이 있는 경우의 패킷 손실률을 보여준다.

그림 4 와 5 에서 보여주는 것처럼 광 파장변환이 없는 경우에 비해 광 파장변환이 있는 경우 패킷 손실률이 대단히 감소한 것을 볼 수 있으며, 이 현상은 광섬유 내의 광 파장의 수가 많을수록 더욱 현격히 줄어들었다.

2. 다중 광섬유 사용 (multiple parallel fibers) 방법

광 파장변환 방법은 그림 5 에서 보여준 것처럼 패킷의 손실률을 줄여줄 수 있는 유용한 방법이지만 구현이 까다롭고 비용이 많이 소모된다는 단점을 지니고 있다. 광 파장변환 방법의 대안으로 두 라우터간을 여러 개의 광섬유로 연결해 놓고 패킷의 충돌이 발생할 경우 다른 광섬유의 같은 파장으로 변환해주는 방법을 사용할 수 있다. 이 방법은 기술적인 구현이 까다로운 광 파장변환을 구현하지 않아도 된다는 장점이 있지만 여러 개의 광섬유를 연결하는 비용이 많이 든다. 광 파장변환 방법과 다중 광섬유 사용 방법간의 선택은 향후 각 방법을 구현하는데 소모되는 비용에 따라 결정될 것이다.

그림 6 은 라우터내의 총 파장의 개수를 고정해 놓고 (64 파장) 두 라우터간의 광섬유의 숫자를 변화했을 경우

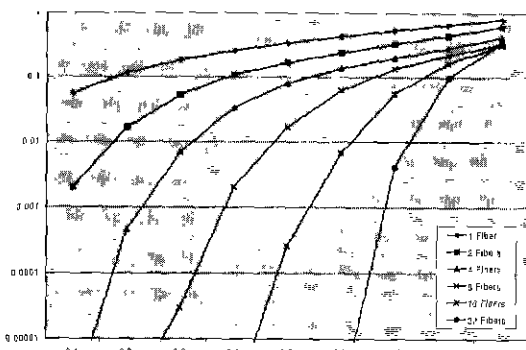


그림 6. 다중 광섬유 사용 시 패킷 손실률.
Fig. 6. PLR with multiple parallel fibers.

의 패킷 손실률을 보여준다 (32 광섬유의 경우 각 광섬유당 파장의 수는 2 개다).

패킷의 충돌이 발생했을 경우 다른 광섬유를 사용하여 전달하는 방식은 의미적으로는 하나의 광섬유 내에서 다른 파장을 사용해 패킷을 전달하는 광 파장 변환방법과 유사하며, 그림 6 에서 볼 수 있는 것처럼 광섬유의 숫자를 늘릴수록 패킷의 손실률을 줄일 수 있었다.

3. 광 파장예약 방법 (wavelength reservation)

하나의 광섬유 내에 속하는 모든 파장에 광 파장변환 방법을 적용할 수 없을 경우, 일부의 파장을 예약해 놓고 패킷의 충돌 시 사용하는 방법이다. 이 방법에서는 예약되지 않은 파장 사이에서 광 파장변환이 허용되지 않으며, 패킷의 충돌이 발생할 경우 예약된 파장으로의 변환이 수행된다. 예약된 파장으로 변환된 파장은 다음 노드에서 다시 예약되지 않은 파장으로 변환되며 이것이 불가능할 경우 계속해서 예약된 파장을 이용하여 전달된다.

그림 7 은 16 개의 파장을 갖고있는 광섬유에서 각각 4 개, 8 개, 12 개의 파장을 예약해 놓고 패킷의 충돌에 사용했을 경우의 패킷 손실률이다 그림에서 볼 수 있는 것처럼 예약된 파장의 수를 늘릴수록 패킷의 손실률을 감소시킬 수 있었다.

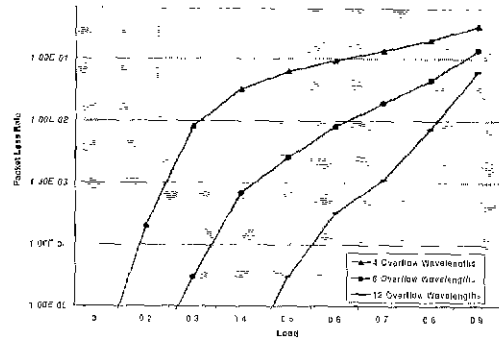


그림 7. 광 파장 예약 시 패킷 손실률.
Fig. 7. PLR with wavelength reservation.

V. 결론

본 논문에서는 차세대 광 패킷 인터넷의 핵심 장비가 될 광 IP 라우터의 네트워크 제어구조를 소개했다. 광 IP 라우터의 네트워크 제어구조는 WDM 장비로부터의 여러 가지 제약 조건 때문에 기존의 IP 라우터와는 상이하다. 특히 광 버퍼의 부족이나 파장의 연속성을 유지해야 하는 특징 등은 네트워크 제어구조를 더욱 복잡하게 한다. 본 논문에서 제시한 통합 기반의 네트워크 제어구조는 이와 같은 복잡성을 단순화시키고 IP 트래픽을 광 패킷 망 위에서 효율적으로 전송할 수 있는 구조이다. 광 패킷 인터넷을 위한 광 IP 라우터가 실용화되기 위해서는 광 버퍼의 구현이 선행되어야 하며, 4 절에서 소개한 여러 가지의 방법을 통한 패킷 손실률의 감소가 이루어져야 한다.

참고문헌

[1] Nasir Ghani, et al., "On IP-over-WDM integration," *IEEE Communication Magazine*, pp. 72-84, March,

- 2000.
- [2] D. Awduche, et al., "Multi-protocol lambda switching: Combining MPLS traffic engineering control with optical cross-connects," *IETF Internet Draft*, Nov., 1999.
 - [3] P. Vaananen, R. Ravikanth, "Framework for traffic management in MPLS networks," *IETF Internet Draft*, Mar., 1998.
 - [4] R. Braden, et al., "Resource reservation protocol (RSVP) - version 1 functional specification," *IETF RFC 2205*, Sept., 1997.
 - [5] B. Jamoussi, et al., "Constraint-based LSP setup using LDP," *IETF Internet Draft*, Sept., 1999
 - [6] J. Moy, "OSPF version 2," *IETF RFC 2178*, July, 1997.
 - [7] "Intermediate system to intermediate system intra-domain routing protocol," *ISO 112*, 1992.
 - [8] K. Kompella, et al., "Extensions to IS-IS/OSPF and RSVP in support of MPL(lambda)S," *IETF Internet Draft*, Feb., 2000.
 - [9] Y. Fan, et al., "Extensions to CR-LDP and RSVP-TE for optical path set-up," *IETF Internet Draft*, Mar., 2000.
 - [10] Z. B. Tang, et al., "Extensions to CR-LDP for path establishment in optical networks," *IETF Internet Draft*, Mar., 2000.
 - [11] D. Saha, et al., "RSVP extensions for signaling optical paths," *IETF Internet Draft*, Mar., 2000.
 - [12] J. P. Lang, et al., "Extensions to RSVP for optical networking," *IETF Internet Draft*, Mar., 2000.



박성용

1987년 서강대 전자계산학과 졸업.
1994년 Syracuse 대학 Computer
Science 석사, 동대학 박사(1998). 1998
년~1999년 Bellcore 연구소 연구원,
1999년~현재 서강대학교 컴퓨터학과
조교수. 관심분야는 분산시스템, 초고

속 통신망, 인터넷 통신, 운영체제.