

NETWORK MANIAS WHITE PAPER

메트로 네트워크를 위한 전광 패킷 스위칭: 기회와 도전

(All-Optical Packet Switching for Metropolitan Area Networks: Opportunities and Challenges)

by 김학용(hykim@ieee.org)

요약 - 네트워크의 빠른 진화는 인터넷 트래픽의 성장뿐만 아니라 그런 진화를 가능하게 하는 기술들의 발전에 의해 꾸준히 이루어져오고 있다. 전광(全光) 패킷 스위칭은 높은 효율, 풍부한 라우팅 기능, 그리고 뛰어난 유연성을 제공하며, 이러한 특성들은 전광 패킷 스위칭을 현재의 네트워크보다 훨씬 역동적이고 많은 기능을 요구하는 차세대 메트로 네트워크의 훌륭한 대안으로 제시되고 있다. 본고에서는 전광 패킷 스위치 네트워크의 설계와 관련된 구조적인 문제점들을 논의하고, 그러한 미래의 네트워크가 사용자에게 성능 및 단순성을 갖는 단대단(end-to-end) 연결성을 제공하기 위해 다른 네트워크 요소들과 얼마나 잘 통합될 수 있는지에 대한 안목을 제시할 것이다.

1. 머리말

네트워크 트래픽 요구 및 네트워킹 기술에 있어서 기초적이면서도 중요한 발전이 지난 수년 동안 이루어졌다. 네트워크 운영자, 통신 사업자, 그리고 서비스 제공자들은 전에 없이 증가하는 사용자들의 대역폭 및 신속한 서비스의 제공, 다양한 기능과 같은 요구를 만족시키기 위해 즉각 새로운 기술을 받아들여 왔다. 결국, 네트워크 구조는 DWDM 그리고 MPLS와 같은 새로운 기술들과 함께 꾸준히 진화하고 있으며, 수십 년 전에 정의된 OSI 네트워크 계층들은 새로운 네트워크 환경에 더 이상 적용할 수 없게 되었다.

전형적으로, 비트들의 실제 전송은 광에 의해 이루어지는 반면, 네트워크 내부의 지능(예를 들면, 라우팅 정보의 분배와 데이터의 전달 등)은 전기적인 방식으로 구현된다. 이것은 복잡한 처리, 감독, 그리고 교환과 같은 기능을 수행하도록 전자공학이 꾸준히 발전된 반면, 광학은 데이터의 전송을 중심으로 발전을 했기 때문이다. 전자회로가 완만한 속도로 발전하고 광학 기술이 눈부신 진보를 함에 따라, 스위칭과 같이 점점 더 지능적인 기능들이 광의 영역에서 구현되는 것은 어쩔 수 없는 추세인 것 같다.

그동안 우리가 보아온 것처럼, SONET, ATM, 그리고 MPLS와 같이 기존의 것들을 깨뜨리는 기술들에 의해 네트워크는 진화되고 있다. 결국, 전광 패킷 스위칭도 그러한 기술의 하나로 나타나서 차세대 네트워크에 상당한 영향을 끼칠 것이라는 것이 우리의 생각이다. 그동안 구현 및 구조적인 이슈들에 대해 많은 다양한 연구가 이루어져 왔다. 본고에서는, 이러한 이슈들을 간단히 논의할 뿐만 아니라, 전광 패킷 스위칭이 보다 유연한 차세대 메트로 네트워크를 구축하는데 어떻게 사용될 수 있는지에 대한 높은 안목을 제공할 것이다.

2. 메트로 네트워크를 위한 전광 패킷 스위치

2.1. 네트워크 요구사항

단대단 연결의 구조에서 현재의 네트워크는 액세스 네트워크(access network), 메트로 네트워크(MAN), 그리고 백본 네트워크(WAN)의 세 개의 중요한 부분으로 구성된다.

* 이 글은 IEEE Communications Magazine 2001년 3월호(vol. 39, no. 3)에 게재된 Shun Yao, S.J. Ben Yoo, Biswanath Mukherjee의 "All-Optical Packet Switching for Metropolitan Area Networks: Opportunities and Challenges"을 번역한 것이다. 그림을 비롯해 일부 내용이 변경되거나 추가되었음을 밝힌다.

** 김학용은 광주과학기술원 정보통신공학과 통신망 연구실 박사 5년차로 재학중이다. Web: <http://charly.kjist.ac.kr/~hykim/>
E-mail : hykim@ieee.org

경우에 따라서는 그림 1에 보이는 것처럼 여러 개의 메트로 네트워크를 하위 계층으로 두는 지역 네트워크(regional network)를 포함시키기도 한다. 액세스 네트워크는 최종 사용자(end user)들의 트래픽을 모으는 임무를 담당하고 있으며, 거리상으로 수십 마일(수십 Km) 이내의 범위에 국한된다. 빌딩 사이의 이더넷이나 지역 ISP들에 의해 운영되는 네트워크들이 액세스 네트워크의 예가 될 수 있다. 메트로 네트워크는 서로 다른 액세스 네트워크 사이에 트래픽을 전달하거나 트래픽의 일부를 백본 네트워크로 보내는 역할을 맡고 있다. 메트로 네트워크의 크기는 흔히 수백 마일 이내로 제한된다. 마지막으로, 백본 네트워크는 수백에서 수천 마일 떨어져 있는 메트로 네트워크 혹은 지역 네트워크를 연결한다. 광학은 백본 네트워크의 전송 부분에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 네트워크의 이러한 세 부분은 서로 다른 특성을 갖는 사용자 데이터에 대한 단대단 전달 경로를 완성시킨다. 액세스 네트워크는 주로 낮은 대역폭을 사용하는 최종 사용자들을 담당하므로, 메트로 네트워크나 백본 네트워크에서처럼 높은 대역폭을 제공할 필요가 없다. 액세스 네트워크를 구축할 때의 중요한 고려사항은 비용이 저렴하게 유지되어야 한다는 것이다. 따라서, 대부분의 액세스 네트워크는 간단한 MAC 프로토콜과 함께 구리선과 같은 전기적인 매체나 재생이 필요하지 않은 저가의 파이버 시스템과 같은 수동 광학 소자들을 사용한다. 메트로 네트워크에서는, 액세스 네트워크나 금융 기관 혹은 전국적인 규모의 신뢰할 수 있는 높은 대역폭의 연결을 필요로 하는 대규모 ISP들처럼 높은 대역폭을 사용하는 최종 사용자들이 고객에 해당한다. 메트로 네트워크는 best-effort 기반 무연결(connectionless) 전송에서 QoS 기반의 연결지향성(connection-oriented) 가상 회선과 같은 다양한 서비스 품질을 제공할 필요가 있다. 또한, 빠르게 성장하고 있는 액세스 네트워크를 수용하기 위해서는 확장성도 제공해야 한다. 메트로 네트워크가 대처해야 할 또 다른 이슈는 트래픽 패턴의 시간 의존성이다. 네트워크의 과중한 로드는 근무시간동안 시내의 비즈니스 영역에서 저녁시간의 도시 근교 주택지로 이동할 것이다. 메트로 네트워크 트래픽의 일부는 동일한 메트로 네트워크 내부에서 움직일 것이며, 나머지는 백본 네트워크를 통해 다른 메트로 네트워크로 전송되어야 할 것이다. 백본 네트워크는 100 마일 이상의 범위에서 다양한 경로 길이를 수용할 수 있으나, 때때로 다수의 메트로 네트워크가 가까이 위치하고 있는 인구 밀집 지역의 경우는 훨씬 더 짧을 수 있다. 메트로 네트워크의 트래픽과 비교해 볼 때, 백본 네트워크의 트래픽은 통합되고 비교적 다듬어진 형태이며 상대적으로 정적이고 예측 가능한 특성을 가지고 있다. 백본 네트워크의 연결성을 제공하기 위해 높은 대역폭의 lightpath들이 사용되고 있다.

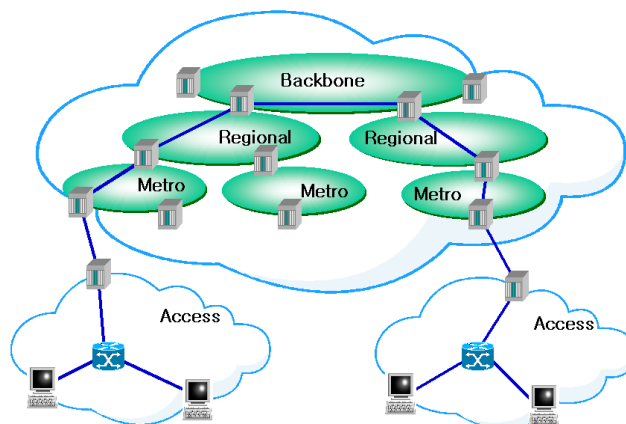


그림 1. 단대단 연결 구조.

고정된 네트워크 구조가 없고 가속되는 성장세 때문에, 다수의 신생 기업들이 메트로 네트워크를 그들의 주요 시장으로 삼고 있다. 미래의 메트로 네트워크는 다양한 크기의 대역폭과 더불어 높은 대역폭을 사용자에게 제공해야만 한다. 한편, 다양한 인터넷 애플리케이션의 등장과 전에 없이 증가하는 사용자의 수는 뛰어난 확장성, 다중 프로토콜 지원, 그리고 고속 제공 능력을 갖는 미래형 메트로 네트워크를 요구하고 있다. 오늘날의 전형적인 메트로 네트워크는 링 구조와 SONET 기술(그림 2)에 기반을 두고 있다. 기본적으로, SONET add/drop multiplexer (ADM)에 의해 연결이 설정되며, 상호 연결된 링 구조의 경우에는 digital crossconnect (DCS)에 의해 연결이 설정된다. SONET 장비들은 하나의 파장 내에서 TDM 부채널 스위칭을 제공한다. SONET 단말, ADM, 그리고 DCS 모두 광-전-광 (OEO) 변환과 시간 다중/역다중을 필요로 한다. 최근에, 몇몇 기업들은 optical crossconnect (OXC) 기반의 제품들을 생산하기 시작했다. OXC는 특정 파장을 통해 운반되는 데이터를 시간 역다중화를 거치지 않고 파장 스위칭을 실행할 수 있도록 해 준다. 최근에 IETF의 다중 프로토콜 램다 스위치 (MPLS)와 generalized multiprotocol label switching (GMPLS) 단체들은 파장의 사용을 촉진하기 위해 (그렇게 함으로써, IP 라우터와 결합될 때 단대단 연결성을 제공) MPLS를 사용할 것을 더욱 요구하고 있다. 비록 OXC와 optical ADM (OADM)이 비트들의 처리를 피하고 시간의 영역에서 그럭저럭 처리할 수 있다 하더라도, 입자성은 단일 파장보다 더 작게 세분화 될 수 없게 된다. 결국, OXC와 OADM로 구축된 메트로 네트워크들의 유연성은 제한되게 된다.

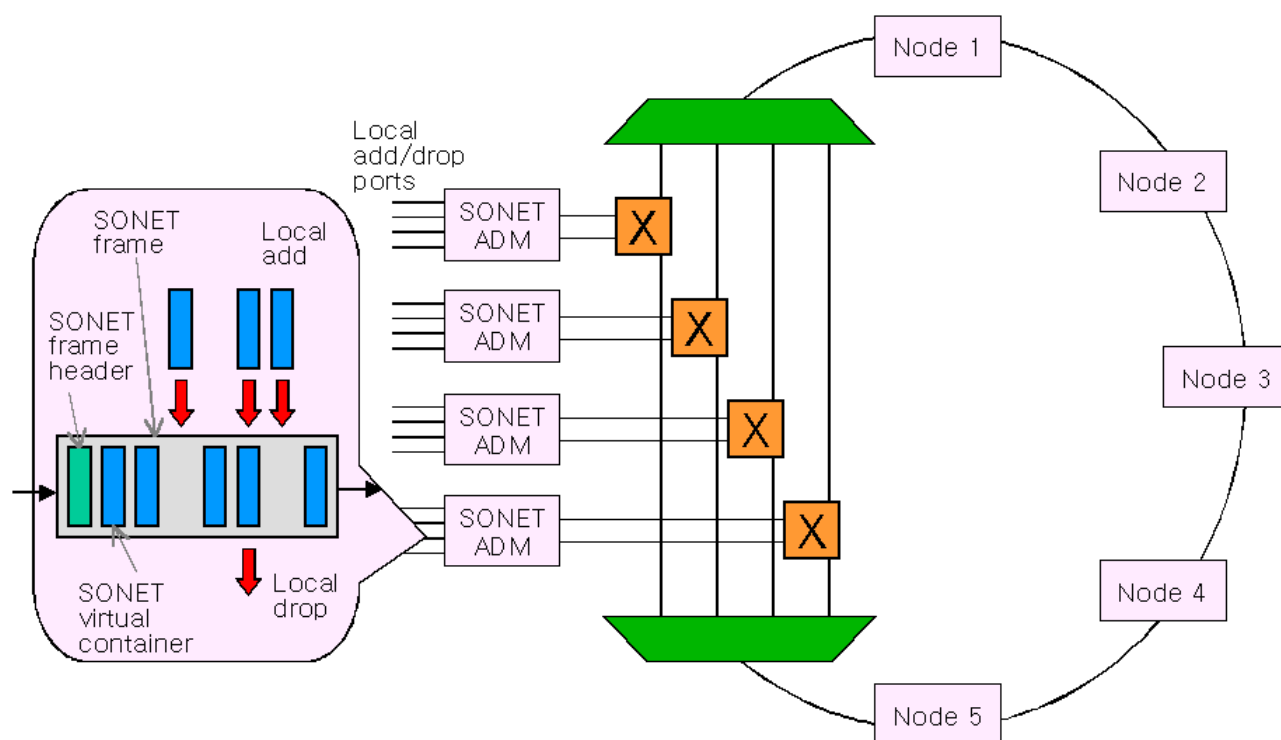


그림 2. SONET 링 기반 네트워크.

2.2. 전광 패킷 스위칭의 전망

높은 성능과 패킷 레벨의 스위칭을 결합하면서 전광 패킷 스위칭은 메트로 네트워크 어플리케이션에 대한 훌륭한 대안으로 등장하고 있다. 비록 과거의 대부분의 연구가 연구 기관에서 수행되었고 전광 패킷 스위칭 노드의 어떠한 최종적인 구조적 설계를 하기 위해서는 시간이 더 필요하지만, 전광 패킷 스위치가 가져야 하는 두 가지 공통적인 특징이 있다.

- 스위칭은 OEO 변환 없이 광의 영역에서 수행되어야 한다. 전광 스위칭은 보다 높은 성능과 적은 파워 소비를 보장한다.
- 스위치는 패킷 레벨 스위칭을 수행할 수 있어야 한다. 이것은 전광 패킷 스위치가 OXC와 다른 점이다. 이론적으로, 스위치 패브릭은 파장과 같이 보다 커다란 대역폭(granularity) 수준에서 스위칭을 수행할 수 있어야 한다.

서로 다른 연구단체에서 제안된 구조들이 어느 정도 다르기는 하지만, 이러한 두 가지 주요한 특징은 똑같이 유지된다. 그림 3은 전광 패킷 스위칭 노드의 일반적인 구조를 보여주고 있다.

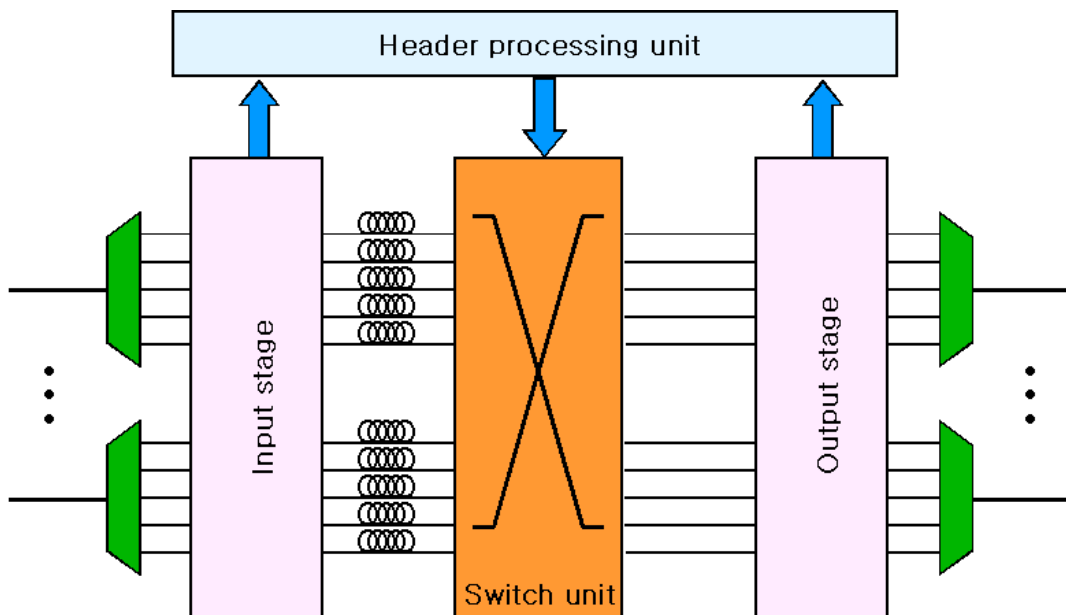


그림 3. 전광 패킷 스위치의 일반적인 구조.

입력단(input stage)은 필요할 때 선행 증폭을 담당하고, 패킷 헤더를 읽으며 패킷 정렬을 수행한다. 지연선(delay line)이 입력단과 스위치 유닛 사이에서 사용되며, 패킷이 스위치 유닛에 들어가기 전에 헤더 처리 유닛(header processing unit)이 스위치를 구성하도록 충분한 시간을 제공한다. 헤더 처리 유닛은 헤더를 읽고 그에 따라 스위치를 구성한다. 스위치 유닛은 패킷을 목적지 포트에 스위칭 하는 것 이외에 충돌 해결(contention resolution)도 수행한다. 출력단(output stage)은 header rewriting 및 필요시에는 파워 증폭을 수행한다.

전광 패킷 스위치 구조에 관해 더 논의하기 전에 전광 패킷 스위칭을 미래 네트워크에 결합시킴으로써 얻을 수 있는 것이 무엇인가 살펴볼 필요가 있다.

오늘날 IP 라우터의 편재(ubiquity)는 뛰어난 유연성을 가진 패킷 스위칭이 빠르게 변하는 네트워크에 적응할 수 있음을 보여주는 예다. IP 네트워크는 연결지향성(TCP) 트래픽뿐만 아니라 무연결(UDP) 트래픽을 운반할 수 있으며, ATM이나 SONET과 같이 다양한 하부 계층 기술 위에 구축될 수 있다. 마찬가지로, 전광 패킷 교환 네트워크도 상이한 상위 계층으로부터 트래픽을 운반할 수 있다. IP의 제약으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 단순한 목적지 기반 경로 설정(routing)은 경로 설정 기능 및 트래픽 엔지니어링에 제약을 부여한다.
- 전기적 영역에서의 스위칭은 속도와 파워 소비에 의해 제한된다.

MPLS는 exact-match forwarding algorithm과 constraint-based routing을 사용해서 성공적으로 첫번째 이슈를 해결했다. 전광 패킷 스위칭은 OEO 변환에 의한 병목현상을 제거할 것이며 높은 성능, 뛰어난 유연성, 그리고 MPLS의 라우팅 기능과 비슷한 풍부한 라우팅 기능들의 조합을 제공할 것이다.

미래의 메트로 네트워크는 다양한 사용자들로 구성됨으로써 매우 동적인 네트워크가 될 것이다. 서로 다른 사용자들은 상이한 서비스를 요구할 것이다. 예를 들어, 기업 고객들은 주로 IP에 의해 생성된 트래픽을 갖게 될 것이며, 따라서 중요한 사무실들 사이에 높은 대역폭의 IP 기반 연결성을 필요로 할 것이다. 금융 기관과 같은 높은 대역폭을 필요로 하는 high-end 고객들은 매우 신뢰할 수 있는 연결지향성 연결을 요구할 것이다. 캠퍼스 네트워크나 지역 ISP들은 주로 웹 트래픽으로 구성된 IP 트래픽을 발생할 것이며, 따라서 best-effort IP 기반 연결성을 요구할 것이다. 전광 패킷 스위칭은 다양한 입자성을 스위칭 할 수 있는 특성을 가지고 있기 때문에 이러한 다양한 요구를 만족시키기 위해 뛰어난 서비스의 다양성을 제공할 수 있을 것이다. 전광 패킷 스위치는 payload data의 실제 비트들을 읽지 않으므로, 임의의 시간 동안 어떤 스위칭 상태에 머물러 있을 수 있다. 이런 고유한 특성은 광범위한 영역의 서비스를 제공할 수 있게 해준다. 예를 들면, 캠퍼스 네트워크나 low-end ISP에 대해서는 best-effort 서비스를 제공할 수 있으며, 기업 고객들에게는 ATM과 비슷한 신뢰할 수 있는 가상 회선 서비스를 제공할 수 있다. 또한, high-end 고객들에 대해서는 완전히 보호되는 lightpath를 제공할 수 있다.

메트로 네트워크용으로 전광 패킷 스위칭을 사용함으로써 얻을 수 있는 또 하나의 장점은 라우팅과 시그널링을 위해 기존의 프로토콜을 사용할 수 있다는 것이다. IETF에서 진행중인 작업은 IP 라우터와 OXC를 함께 사용함으로써 완벽하게(seamlessly) 통합된 네트워크를 구축하기 위해 MPLS 프로토콜을 확장하는 것이다 [1]. 미래에는 일반화된 MPLS가 label switched router(LSR)와 OXC 모두에서 운용될 것이다. 전광 패킷 스위치가 LSR과 OXC 모두의 기능을 할 수 있으므로, 동일한 프로토콜을 사용하여 기존의 장비들과 통합하는 것이 쉬워질 것이다.

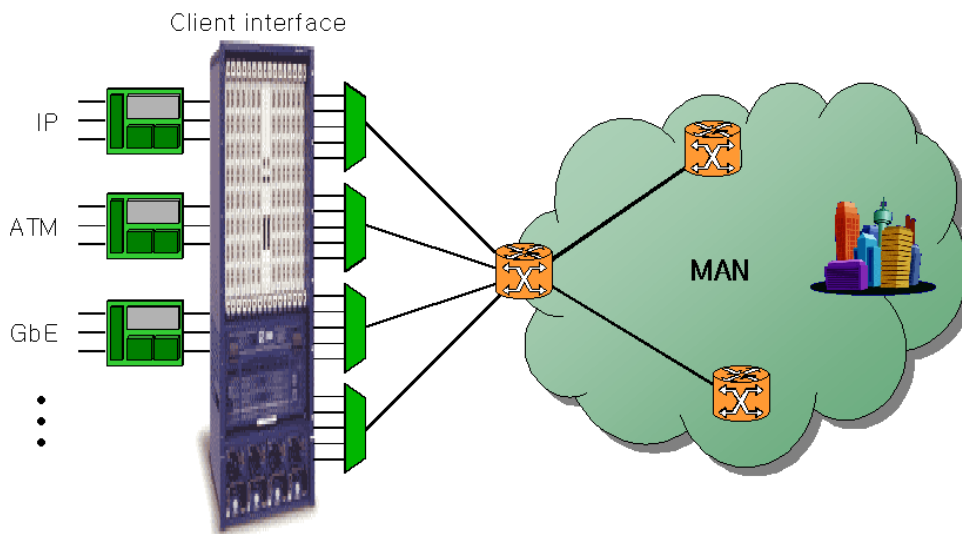
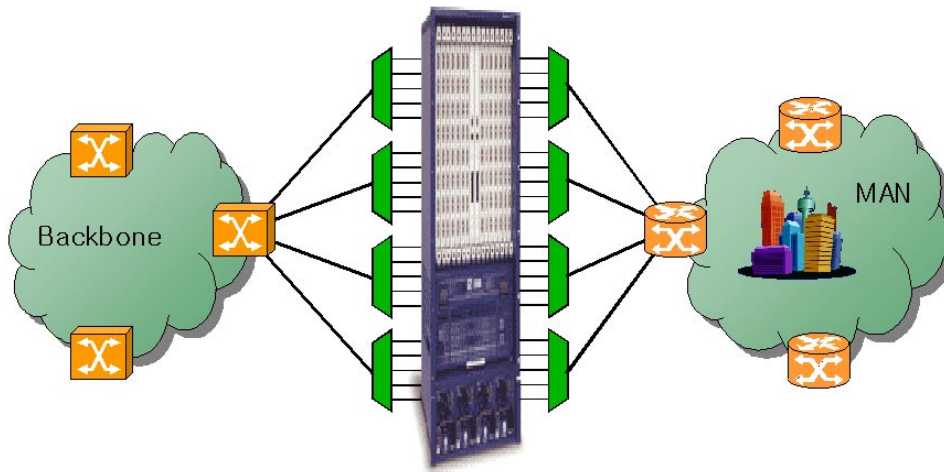


그림 4. 전광 패킷 스위치 교환 메트로 네트워크와 액세스 네트워크 사이의 인터페이스

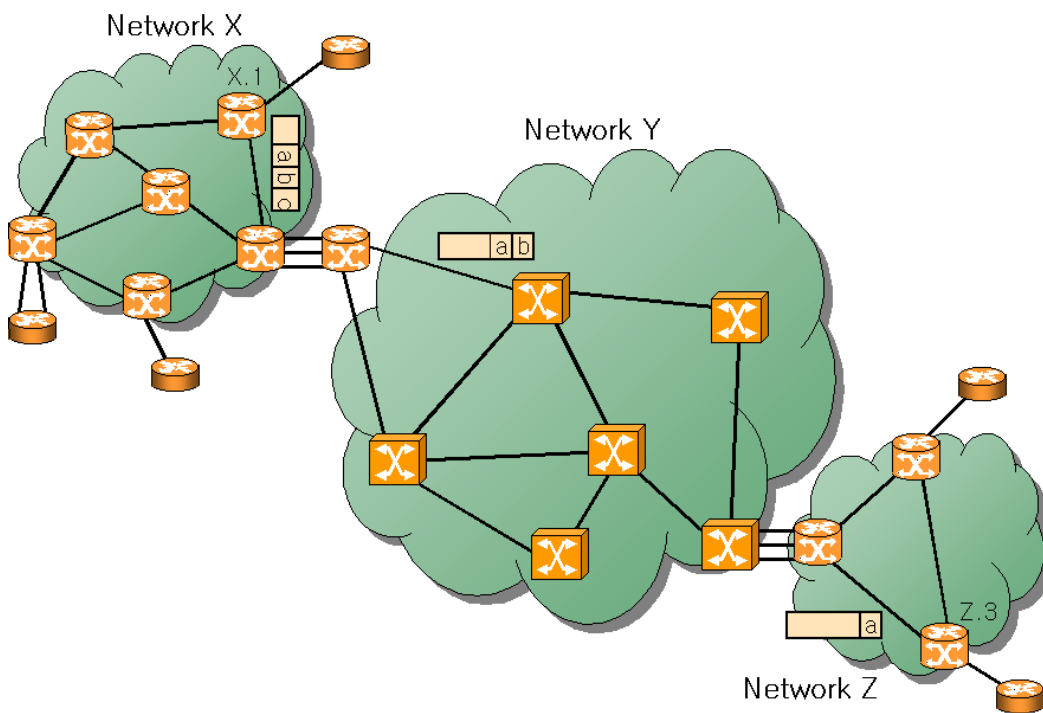
2.3. 인터넷망 인터페이스

전술한 것과 같은 전광 패킷 스위칭의 특성들은 전광 패킷 스위치를 메트로 네트워크용의 훌륭한 대안으로 만든다. 하지만, 단대단 연결성을 이루기 위해서는 어떻게 전광 패킷 교환 메트로 네트워크가 네트워크의 나머지 부분과 연결될 수 있는지를 고려해 보아야 한다. 고객의 측면에서 보면, 액세스 네트워크와 high-end 사용자들이 될 것이며, 그들의 네트워크는 주로 IP 라우터나 ATM 스위치로 구성됐을 것이다. 다른 편에서, 메트로 네트워크는 고속 백본 네트워크와 연결되는 하나 이상의 출력 노드(egress node)를 가지고 있어야 할 것이다.

그림 4는 전광 패킷 스위치 노드를 고객 측면에서 바라본 것이다. Client interface는 IP, ATM, 그리고 SONET처럼 서로 다른 프로토콜에 기반을 두어, 계층 3 혹은 계층 2의 트래픽을 처리하거나 어떤 파장이 요구될 때는 연결 요구들을 처리할 수 있어야 한다. IP 패킷의 경우는 client interface는 우선 IP 헤더를 볼 것이고 라우팅 테이블에 따라서 광 헤더를 부여한 후, 그 패킷을 다음 전광 패킷 스위칭 노드로 전송할 것이다. 전광 패킷 스위칭을 제대로 이용하기 위해서는 client interface가 사용자 트래픽을 통합하고 광의 속도로 스위칭 하기 위해서 광 인터페이스를 갖는 고성능의 edge LSR과 같은 장비여야 한다.



(a)



(b)

그림 5. 전광 패킷 교환 메트로 네트워크를 OXC 백본과 상호 연결하는 두 가지 방법 :
(a) 인터페이스에서 전기적인 장치를 사용; (b) label stacking과 end-to-end signaling을 사용

전광 패킷 교환 메트로 네트워크에서 백본 네트워크로 패킷을 전달하는 방법에는 두 가지가 있다. 첫번째 것은 그림 5.(a)에 보이는 것처럼 출력 노드(egress node)를 갖는 것이다. 출력 노드는 OEO 변환을 수행하고 계층 3 혹은 계층 2 헤더를 읽어 처리한 후 백본 네트워크를 통해 설정된 lightpath로 패킷을 전송한다. 이 방식은 MPLS에서 사용되는 overlay 모델(OXC 네트워크의 내부에서는 네트워크 외부가 불명확하다.)과 유사하다. 그림 5.(b)에 보이는 다른 방법은 전광 패킷 교환 노드 혹은 백본 네트워크의 다른 쪽에 있는 LSR로 패킷을 전송하기 위해 label stacking을 사용하는 것이다. 이 방식은 label switched path (LSP) 설정 기간 동안 완전한 전송 경로를 통해 전달될 수 있도록 몇몇 네트워크 부분으로부터 레이블 연결 정보를 필요로 할 것이다. 그림 5.(b)에 보이는 예에서는, 하나의 패킷이 노드 X.1에서 노드 Z.3로 가야만 한다. 네트워크 X와 Z는 전광 패킷 교환 메트로 네트워크이며, 네트워크 Y는 OXC 백본 네트워크이다. MPLS가 네트워크 Y 상에서 운용된다고 가정하면, 레이블 연결 정보는 파장 지수 b가 될 것이다. LSP 설정 단계에서, 네트워크 Z와 Y는 노드 X.1에게 레이블 연결 정보를 보낼 것이다. (전광 패킷 스위칭에서는 label swapping이 전기적인 영역에서처럼 사소한 문제가 아니므로, 네트워크-segment에 대해 하나의 고유한 레이블을 가정한다.) 노드 X.1은 세 개의 네트워크로부터의 레이블들(네트워크 Z로부터의 레이블 a, 네트워크 Y로부터의 레이블/파장 지수 b, 네트워크 X로부터의 레이블 c)을 결합(stack)시켜 하나의 광 헤더를 만들고 그것을 패킷에 할당한다. 패킷이 네트워크 X를 떠날 때, 출력 노드는 stack으로부터 하나의 레이블을 떼어내고 네트워크 Y의 입력 노드(ingress node)는 파장을 할당하기 위해 다음 단계의 레이블(레이블 b)을 사용한다. 네트워크 Y의 출력 노드에서 동일한 레이블 제거 과정이 수행되며, 결국 패킷은 원하던 출력 노드 Z.3에 도착하게 될 것이다. 만약, 광 label swapping이 가능하다면, 레이블 연결 정보를 소스 노드로 보내는 것은 필요하지 않게 된다. 이때, 레이블들은 지역적인 의미만을 갖게 된다.

3. 전광 패킷 스위칭 구조

3.1. Slotted 및 Unslotted 네트워크

일반적으로 전광 패킷 교환 네트워크는 slotted와 unslotted의 두 가지 부류로 구분될 수 있다. Slotted 네트워크에서 패킷들은 고정된 길이를 가지고 있으며 타임 슬롯에 맞추어 배치된다. 타임 슬롯의 크기는 패킷 전후의 가드 타임(guard time)을 허용하기 위해 패킷 크기 보다 크다. 하나의 특정한 노드는 여러 상향(upstream) 노드들로부터 입력 파이버가 연결되어 있으므로 파이버들의 슬롯 경계는 동기화 되어있지 않다. 서로 다른 전달 거리 및 온도 변화로 인해 슬롯 경계에는 시간 변동이 있을 수 있다. 공간 스위치를 사용하는 경우는, 패킷이 공간 스위치로 들어가기 전에 슬롯을 정렬하기 위해 동기화 구조가 필요한 경우도 있다. 그런 구조는 제한된 해상도를 가지며 요구되는 지연을 만들어내기 위해 서로 다른 길이를 갖는 switched fiber delay line을 사용해서 구현될 수도 있다. Slotted 네트워크는 패킷들의 크기가 동일하고 전체적인 조정을 통해 제어되므로 unslotted 네트워크보다 적은 충돌을 일으킨다. 이것은 CSMA/CD 네트워크에서의 slotted ALOHA 프로토콜과 유사하다. Slotted 네트워크에 대한 다른 개발 동기는 광 버퍼링이 오직 fiber delay line(FDL)을 가지고 구현될 수 있기 때문이다. FDL은 고정 딜레이를 갖는 엄격한 FIFO 큐에 해당된다.

Unslotted 네트워크에서 패킷들은 가변 크기를 가지며 스위치에 들어가기 전에 정렬되지 않는다. 스위치는 모든 패킷들을 그때그때 교환해야 한다. 이런 형태의 네트워크는 충돌이 많이 발생하며 따라서 높은 패킷 손실 확률을 갖게 된다. Unslotted 네트워크에 대한 노드의 구조는 동기화 단계가 필요하지 않으므로 slotted 네트워크의 구조보다 간단할 수 있다. 더군다나, 입력단 및 출력단에서 패킷 분할 및 재결합도 필요하지 않으므로 결과적으로 unslotted 네트워크를 순수한 IP 패킷의 교환에 적합하도록 만든다.

3.2. 충돌 해결 (Contention Resolution)

전광 패킷 교환 네트워크에서, 두 개 이상의 패킷이 같은 파장을 사용하여 동일한 출력 포트를 떠나려 할 때 충돌이 발생하게 된다. 충돌을 해결하는 방식은 패킷 손실률, 평균 패킷 지연, 평균 홉간 거리, 네트워크의 효율의 측면에서 네트워크의 성능에 상당한 영향을 미친다. 전기적 패킷 교환 네트워크에서는 store-and-forward 기술을 사용하여 충돌을 해결한다. Store-and-forward 방식에서 충돌 상태에 있는 패킷은 메모리에 저장되었다가 어느 정도 시간이 흐른 후 출력 포트가 자유롭게 되었을 때 내보내진다. 이 방식은 전기적인 RAM (Random Access Memory) 때문에 가능하게 된다. 하지만, 그에 상응하는 광 RAM이 가용하지 않기 때문에 다른 접근법이 사용되어야 한다. 한편, WDM 네트워크는 충돌 해결을 위해 파장이라고 하는 하나의 새로운 차원을 제공한다. 따라서, 파장, 시간, 공간 이라는 3가지 차원에서 충돌 해결을 고찰해 볼 수 있다.

파장 변환은 최단 경로 혹은 최소 홉 사이의 거리를 유지시키며 추가적인 지연(latency)을 발생시키지 않는 가장 효율적인 충돌 해결 기법이다. 파장 변환기들은 패킷의 파장을 변환시키기 위해 사용되어지며, 결과적으로 여러 개의 패킷이 동시에 동일한 출력 포트에 보내어질 수 있게 된다.

시간 버퍼링에 있어서는, 충돌 상태에 있는 패킷을 지연시키고 임의의 시간 후에 내보내기 위해 스위치와 함께 FDL(fiber delay line)을 사용하는 것이 전형적인 방법이다. FDL은 고정된 지연(delay)을 갖는 strict FIFO 큐이기 때문에 전기적인 RAM에 비해서 아주 비효율적이다. 충돌을 효과적으로 해결하기 위해서는, 통상 많은 양의 FDL이 필요하다. 임의의 노드에서 많은 파이버를 취급하는 것은 어려운 일이 될 수도 있다.

공간 편향(space deflection)에 있어서는, 충돌 상태의 패킷은 요구되는 출력 포트가 아닌 다른 출력 포트에 보내어진다. 사실, 네트워크의 일부는 이러한 패킷을 저장하기 위한 버퍼로 사용된다. 비록 패킷들이 다른 노드로 보내어지지만, 이 노드는 그런 패킷들이 그들의 최종 목적지를 향하도록 경로설정을 할 수 있어야 한다. 편향 방법의 단점은 이 방식이 추가의 링크 전달 지연을 가져오며 패킷들을 뒤섞인 채로 도착하게 한다는 것이다.

앞에서 소개한 것을 제외한 충돌을 해결하기 위한 또 하나의 방법은 OBS(optical burst switching)을 사용하는 것이다 [2]. OBS에서의 스위칭은 버스트에 대해 이루어진다. 이때 버스트는 수 메가바이트의 데이터로 이루어진 여러 개의 IP 패킷들이다. OBS에서 소스 노드는 버스트가 지나가게 될 경로상의 모든 스위치에 제어 패킷을 내보내게 된다. 스위치들로부터 어떤 ACK도 받아들이지 않은 채, 특정한 offset time이 지나면 소스 노드로부터 버스트는 내보내진다. 버스트가 스위치에 도착할 때까지, 스위치는 버스트를 위해 필요한 포트를 예약해 두며, 버스트가 스위치를 통과해 가면 예약을 해제하게 된다.

제어 패킷과 데이터 버스트 사이의 offset time의 양을 잘 조작함으로써, 다른 서비스 클래스를 수용할 수도 있다. OBS에서는, 다수의 작은 크기의 패킷으로 버스트를 만들기 때문에, 작은 크기의 IP 패킷들은 (예를 들면, ICMP와 같은 40 바이트의 IP 패킷이나 44 바이트의 TCP ACK 패킷 등) 상대적으로 홀대를 받게 된다. OBS와 전광 패킷 스위칭(OPS: Optical Packet Switching)과의 차이는 주로 스위치 제어 소프트웨어에 있다. 따라서, 전광 패킷 교환 노드는 OBS를 수행하도록 구성될 수도 있다.

3.3. 노드 구조

전광 패킷 스위칭을 수행하기 위한 노드 구조들이 일부 제안되었으며, 그 중 대표적인 예는 European KEOPS 방송-선택 (broadcast-and-select) 스위치이다 [3]. 비록 이 구조에서는 파장 변환기가 사용되지만, 파장 변환기는 충돌을 해결하는 대신 공간 스위칭과 지연(delay) 선택 기능을 수행하기 위해 반도체 amplifier gate들과 함께 사용된다. 충돌은 FDL에 의해 해결된다. 방송-선택 스위치의 특성상, 다수 ($N \times (N+K)$)의 반도체 amplifier gate가 사용된다. (N 은 스위칭 입력 포트의 수이며 K 는 FDL의 수)

영국의 Strathclyde 대학에서 개발된 WASPNET 구조는 충돌 해결을 위해 가변 파장 변환기 (TWC: tunable wavelength converter), AWG(arrayed waveguide grating), FDL을 사용한다 [4]. 이 스위치는 두 단계로 이루어져 있으며, 첫번째 단계는 충돌 해결을, 두번째 단계는 공간 스위칭을 담당하고 있다. 이 구조는 $2N \times 2N$ 의 AWG, $4N$ 의 파장 변환기, 하나의 $N \times N$ 공간 스위치, 그리고 다수의 FDL을 필요로 한다. KEOPS 및 WASPNET 구조 모두 고정 패킷 길이를 가정한다.

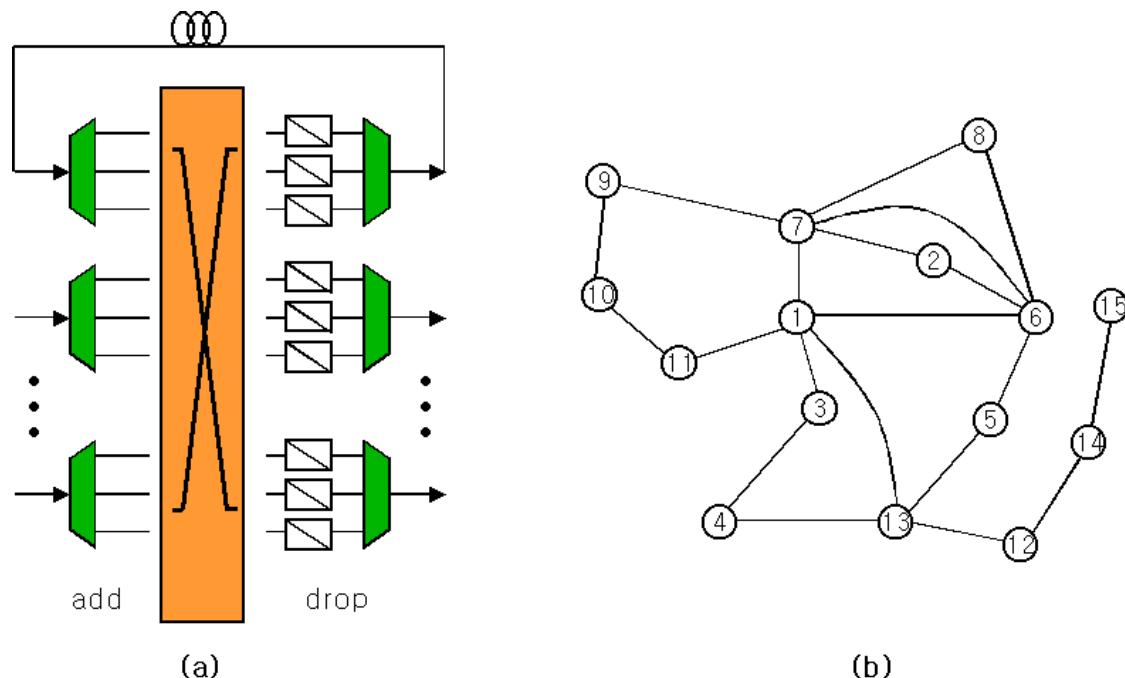


그림 6. (a) 파장 변환, 광 버퍼링, deflection routing을 사용한 단순한 전광 패킷 스위치 구조
(b) 모의실험에 사용된 네트워크 구조

과장, 시간, 공간을 혼합한 혼합형 충돌 해결 방식은 어느 한가지 방식에 의한 충돌 해결에 비해 높은 성능을 제공한다 [5]. 더군다나, 과장 변환 및 편향 라우팅(deflection routing)은 FDL을 줄이는 데에 도움이 된다. 그림 6.(a)는 충돌 해결을 위해 현재 고려되고 있는 노드 구조를 보여준다. 노드는 공간 스위치의 출력 포트에 놓여진 과장 변환기와 다수의 FDL로 구성되었으며, 비교적 단순한 구조를 취하고 있다. [6]에 제시된 시뮬레이션 결과는 4 FDL을 가지고 30%보다 낮은 transmitter load에 대해 전체 패킷 손실률이 1% 이하로 유지될 수 있음을 보여준다. 시뮬레이션에 사용된 네트워크 구조는 그림 6.(b)에 보이고 있으며, 패킷 크기가 지수적으로 분포하는 unslotted 동작을 가정하였다.

어떤 전광 패킷 스위치가 실현가능하기 위해서는 네트워크 안정상태에서의 패킷 손실률이 1%보다 훨씬 낮아야 한다. 1%는 현실적인 TCP 커넥션들에 대한 상한에 해당한다 [7]. 더군다나, 전광 패킷 스위치가 미래의 테라비트 IP 라우터 혹은 LSR에 대해 경쟁력을 갖기 위해서는 각 과장당 10 Gbps 이상으로 동작해야 한다. 40 Gbps 혹은 그 이상에서는 신호가 여러 스위치 노드의 다양한 소자들을 통과한 이후에 재생될 필요가 있을 것이다. 만약, 네트워크 전체에 걸쳐 OEO 변환이 바람직하지 않은 경우에는 전광 신호 재생은 추구되어야 할 것이다.

4. 실현가능 기술들 (Enabling Technologies)

전광 패킷 스위칭 노드의 핵심은 스위치 패브릭이다. 패킷 레벨로 수 Gbps 교환을 수행하기 위해서 스위치는 나노 세컨드의 스위칭 시간을 가져야 한다. MEMS (Micro-Electronic Machine System) 기술은 오직 밀리 세컨드 스위칭을 수행할 수 있기 때문에 전광 패킷 스위칭에 사용할 수 없다. 나이오베이트(LiNbO₃) 기반 스위치 소자 및 반도체 광 앰프(SOA: Semiconductor Optical Amplifier)는 잠재적인 후보들이다. 다른 대안으로는 초고속 가변 레이저, 과장 변환기, 그리고 AWG와 같은 정적인 과장 경로설정 장치를 사용해서 고속 대용량의 스위치 패브릭을 구성하는 것이다. 이 방법은 AWG 장치가 대용량의 포트 수를 가지기 때문에 2x2 스위치 소자들을 여러 단계에 걸쳐 연쇄적으로 연결하지 않아도 되도록 만든다.

과장 변환은 충돌 해결에 있어 핵심적인 기술이다. 비록 현재의 과장 변환 수준이 다른 장치들처럼 성숙한 단계는 아니지만, 여유 분의 과장 변환기가 있는 한 이것은 단지 시간의 문제일 뿐이다. 예를 들어, Alcatel은 이미 전광 능동 Mach-Zehnder 구조에 기반을 둔 10 GHz에서 동작하는 과장 변환기를 개발해 놓은 상태이다. 전광 패킷 스위칭에서 매개변수에 의한 과장 변환(parametric wavelength conversion)은 여러 개의 과장을 동시에 변환시킬 수 있기 때문에 특별한 관심거리이다 [8].

광 RAM에 대한 연구는 여전히 초기 단계에 머물러 있다. 반면, 실험실 차원에서는 전망이 밝은 몇 가지 발견이 이루어진 상태이다. (예를 들면, 초음파 분자 스위치 [9] 및 분자 트랜지스터 [10]) 광 RAM이 가용할 때까지 광 버퍼로써 FDL에 의존해야 할 것이다.

소프트웨어의 측면에서, 전광 패킷 교환 네트워크는 시그널링을 적절히 확장함으로써 기존의 MPLS/MPλS 프로토콜을 사용할 수 있으며, 라우팅 정보의 분배를 위해 IP 라우팅 프로토콜을 사용할 수 있다. 전광 패킷 스위치에 한정된 또 다른 프로토콜 계층을 새로 개발할 필요가 없다.

5. 요약 및 정리

IP 트래픽 처리 데이터가 지수적인 증가함에 따라 메트로 네트워크는 아주 다양한 고객을 잘 관리해야 하며 대역폭 제공 및 서비스 품질의 관점에서 서로 다른 고객의 요구 사항을 만족시켜야 한다. 전광 패킷 스위칭은 유연하며 고성능을 제공하고 확장성이 있는 MAN을 구축하는데 있어 적절한 후보로 생각된다. 일반화된 MPLS 프로토콜에 의해 강화된 전광 패킷 스위치 네트워크는 패킷, 버스트, 그리고 회선과 같은 다양한 스위칭 입자성을 제공할 수 있으며, 다양한 사용자 데이터 포맷을 지원할 수 있다. 고속 IP 라우터 및 LSR과 경쟁하기 위해서, 전광 패킷 스위치는 10 Gbps 이상으로 동작해야 한다. 비트율이 40 Gbps에 다다르면 광 재생은 필요할 것이다.

파장 변환, 광 버퍼링, 편향 라우팅을 사용하는 단순한 노드 구조가 제안되었으며 불규칙적인 망 구조 상에서 시뮬레이션 되었다. 현재의 스위칭 및 버퍼링 기술로는, 패킷 손실률, 네트워크 효율, 노드의 복잡성 사이에서 trade-off를 해야 한다. 광 RAM에 있어 비약적인 발전이 이루어지기 전까지, 고속 대규모의 스위치 패브릭과 파장 변환기는 중요한 실현가능 기술들이다.

참고문헌

- [1] P. Ashwood-Smith et al., "Generalized MPLS - Signaling Functional Description," Internet draft, draft-ietf-mpls-generalized-signaling-01.txt, Nov. 2000.
- [2] C. Qiao and M. Yoo, "Optical Burst Switching (OBS): A New Paradigm for an Optical Internet," J. High Speed Networks, Special Issue on Optical Networking, vol. 8, no. 1, Jan. 1999, pp. 69-84.
- [3] C. Guillemot et al., "Transparent Optical Packet Switching: The European ACTS KEOPS project Approach," IEEE/OSA J. Lightwave Tech., vol. 16, no. 12, Dec. 1998, pp. 2117-2134.
- [4] D.K. Hunter et al., "WASPBET: A Wavelength Switched Packet Network," IEEE Commun. Mag., Mar. 1999, pp. 120-129.
- [5] S. Yao et al., "All-Optical Packet-Switched Networks: A Study of Contentions-Resolution Schemes in an Irregular Mesh Network with Variable-Sized Packets," Proc. OptiComm 2000, Richardson, TX, Nov. 2000.
- [6] S. Yao, S.J.B. Yoo, and B. Mukherjee, "A Comparison Study between Slotted and Unslotted All-Optical Packet-Switched Network with Priority-Based Routing," OFC'01, Anaheim, CA, Mar. 2001.
- [7] T.V. Lakshman and U. Madhow, "The Performance of TCP/IP for Networks with High Bandwidth-Delay Products and Random Loss," IEEE/ACM Trans. Net., vol. 5, Jun, 1997, pp. 336-350.
- [8] S.J.B. Yoo et al., "Wavelength Conversion by Difference-frequency Generation in AlGaAs Waveguides with Periodic Domain Inversion Achieved by Wafer Bonding," Appl. Phys. Lett., 68, 1996, pp. 2609-2611.
- [9] <http://www.calmech.com>; also see U.S. Patent, R. R. Schumaker, no. US05237067, "Optoelectronic Tautomeric Compositions."
- [10] http://www.ornl.gov/Press_Releases/archive/mr20000214-01.html