공학석사 학위논문

DWDM 망에서 차등화 서비스를 위한 최적의 RWA 알고리즘 연구

2002 年 8 月

부경대학교 대학원

정보통신공학과

이 익 섭

공학석사 학위논문

DWDM 망에서 차등화 서비스를 위한 최적의 RWA 알고리즘 연구

지도교수 김 성 운

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2002 年 8 月

부경대학교 대학원

정보통신공학과

이 익 섭

이익섭의 공학석사 학위논문을 인준함

2002 년 6 월 29 일

주 심 공학박사 정 신 일 **(인)**

위 원 공학박사 정 연 호 **(인)**

위 원 공학박사 김 성 운 **(인)**

목 차

A Study on Optimal RWA Algorithms for Differentiated Service in DWDM Networks

Ik-Seob Lee

Department of Telematics Engineering, Graduate School.
Pukyong National University

Abstract

Within Dense-Wavelength Division Multiplexing (DWDM) Optical Transport Network (OTN) for providing QoS guaranteed service over IP/GMPLS framework, QoS routing plays a vital role of selecting network routes with sufficient resources for the required QoS parameters, for example routes satisfying the QoS requirements for every admitted connection and achieving the global efficiency in resource utilization. Moreover, in the process of allocating a wavelength along a QoS routing path, a differentiated (i.e., service flow oriented) wavelength allocation mechanism is needed if we consider QoS recovery capability in response to the QoS failure or degradation led by devices failures or attack-induced faults in OTN. In this thesis, we propose a new Routing and Wavelength Assignment (RWA) algorithm, called Minimum Interference Path Routing (MIPR) that establishes a routing path to be reduced the interference for many potential future connection setup request. And then, we also propose a wavelength-routed QoS routing scheme with the differentiated QoS class by applying MIPR algorithm to provide a solution to the QoS routing. Simulation results are also given to prove the efficiency of the proposed algorithms.

1장 서론

차세대 인터넷 백본망은 광 네트워크에서 한 파이버 당 여러 파장을 다중화하여 이용할 수 있는 DWDM 기술은 네트워크의 증가하는 사용자 수와 요구 대역폭을 수용하기 위한 방법으로 빠르게 수용되고 있다. DWDM 네트워크에서 광 경로는 광 네트워크상에서 송신 노드에서 수신 노드까지 광 신호가 지나가는 루트로써, 각 경로는 광 네트워크 상의 여러 링크를 거치게 된다. 일반적으로 광 경로를 결정하기 위해 광 라우팅이 수행 된다.

RWA 문제는 DWDM 네트워크에서 광경로의 셋업 요구시에 송수신 노드 간에 최적의 경로를 선택하고, 선택된 경로에 효율적인 파장을 할당하는 문제이다. 이것은 DWDM 망에서 파장의 효율적인 이용 측면에서 중요하게 다루어 지고 있다. 즉 일정한 트래픽을 위해 자원의 이용율을 최소화하는 문제, 혹은 동적인 광경로 셋업 요구와 해제시 연결의 blocking 확률을 최소화 하는 문제로 설명된다[1].

RWA 문제의 고려와 더불어, 인터넷 백본망이 DWDM 방식으로 변화하고 데이터 위주의 인터넷 서비스에서 음성, 영상등의 멀티미디어 서비스로 발전해 감에 따라, 라우팅 문제도 QoS를 고려한 방식으로의 접근이 한층 더 요구되고 있다.

RWA 문제를 해결하기 위해서 우리는 기존의 동적 라우팅 기반의 새로운 라우팅 알고리즘을 제시한다. MIPR이라 불리는 제안된 알고리즘은

현재의 라우팅 결과가 이후의 연결 요구에 영향을 미치는 정도를 정량적으로 평가하여 가장 영향을 덜 미치는 경로를 결정하고, 파장 할당 기법을 최적의 라우팅을 위하여 라우팅 절차 이후에 고려하는 대신 경로 설정 중간에 파장 할당을 수행한다.

또한 MIPR 알고리즘을 적용하면 DWDM 네트워크에서 많은 홉을 경유하는 경로는 물리적으로 전송 품질이 떨어지는 점[2]을 고려하여 IP 차등화 서비스(Differenciated Service)의 QoS 제공을 위해 각 서비스 타입별로 각각 차등화 된 라우팅 방법을 제공 할 수 있다.

본 논문의 2장에서는 기존의 DWDM 라우팅 및 파장 할당 기법에 대해 설명하고, 3장에서는 제시된 MIRP의 기본 개념 설명 및 네트워크 노드에서 파장 변환기의 사용 유무에 따라 차별화 된 효율적인 MIPR RWA 알고리즘을 제시한다. 또한, 4장에서는 제안된 MIPR 알고리즘을 적용하여 IP 차등화 서비스를 위해 DWDM 네트워크에서 QoS에 따라 차등화 된 라우팅 방법을 제시한다. 본 논문의 5장에서는 앞에서 제안한 MIPR 알고리즘과 차등화된 라우팅 방식에 대한 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2 장 DWDM 망에서의 QoS 및 라우팅

2.1 DWDM 망

가. 인터넷 백본망 발전 추세

인터넷의 데이터 트래픽은 급증하고 있으며 이에 의한 증가 추세는 이미 전화망에서의 음성 트래픽을 초과하였다. 지수적으로 증가하는 인터넷 사용 인구 및 다양한 멀티미디어 응용 기술은 인터넷 트래픽을 계속적으로 증가 시킬 것이다.

이에 반해 기존의 인터넷이 가지고 있는 가장 큰 문제점은 무엇보다도 낮은 네트워크 회선의 대역폭과 느린 전송속도에 있다. 현재의 인터넷은 모든 사용자의 요구를 충족시키기에는 아직 미비한 실정이고, IP 트래픽의 양적인 증가로 인해 현재의 라우터와 망 요소들에 많은 부담을 주고 있다. 이처럼 사용자들의 증가와 사용들이 요구하는 서비스가 다양해짐에 따라 사용자들에게 일정 수준 이상의 서비스를 제공하는 것이 중요한 문제가 되었다.

현재 인터넷 백본망 구축 기술은 ATM(Asynchronous Transfer Mode)망을 기반으로 하는 IP/ATM over SONET(Synchronous Optical NETwork)구조가 대부분이다. 기존의 네트웍은 데이터를 위해서는 프레임 릴레이 또는 ATM, 사설망을 위해서는 전용선, 음성 전화를 위해서는 SONET TDM(Time Division Multiplex), 방송 비디오를 위해서는 D1등 각 종류의

트래픽 및 서비스에 따라서 서로 다른 네트워을 구축하였다. 이러한 관점에서 ATM은 동일한 네트웍에서 다양한 서비스들을 통합할 수 있는 장점과 가상 사설망을 쉽게 구현할 수 있는 기능을 제공하기 때문에 통합 네트웍 기술로 발전할 수 있었다.

트래픽의 발전 추세에 의하면 인터넷 트래픽이 압도적으로 많아지고 있고, 음성 및 비디오 등의 많은 서비스들이 IP상에서 지원됨에 따라 IP에 최적인 망을 구현하는 것이 중요해졌다. 하지만 이런 측면에서 고려할 때, IP over ATM 기술은 확장성이 떨어지고, 셀 오버헤드가 비교적 큰 단점을 가진다.

IP over ATM 기술에서는 ATM 계층에서의 10% 정도의 cell 오버헤드와 패킷을 셀로 분할 및 재조립하는 SAR(Segmentation and Reassembly) 오버헤드가 발생하게 된다. 최근의 라우터 구현 기술이 포트당 40Gbps(OC-768)로 증가 됨에 따라 고속 스위칭 기능을 하는 ATM의 역할도 줄어들게 되었다. 또한, 대용량의 대역폭을 지원할 경우 SVC(Switched Virtual Circuit) 셋업 시간 동안 많은 데이터를 버퍼에 저장하여야 하므로, SVC 셋업 시간으로 인한 처리율 손실 또한 무시할 수 없다.

차세대 인터넷은 통신거리, 접속방식에 구애되지 않는 초고속, 대용량 정보의 전달이 가능하여야 한다. 이와 같은 능력을 제공하기 위해서는 광통신 기술과 인터넷 기술을 결합하는 광 인터넷 외에는 다른 기술적인 대안을 찾기 힘든 실정이다. DWDM 기술은 전송 링크의 속도를 현재 광링크의 수용 가능한 채널을 1000개까지 늘임으로써 10Tbps 시스템이 가

능하다[3].

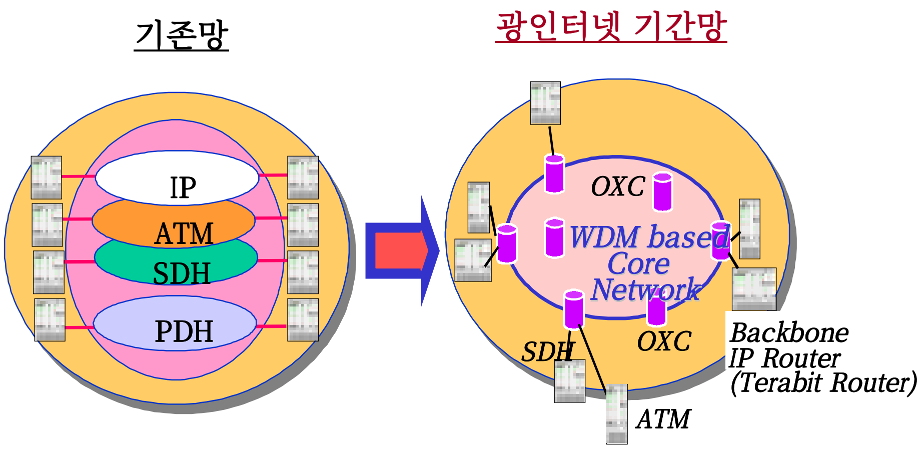
차세대 인터넷이 현재 인터넷의 속도를 1000배 이상으로 향상시키고, QoS와 망의 확장성을 보장하여 인터넷 이용을 효율적으로 하기 위한 넓은 개념이라면, 광 인터넷은 광이 가지는 광대역성, 무간섭성, 병렬성 등의 특성을 이용하여 현재 인터넷의 문제점을 획기적으로 개선하는 차세대 인터넷을 구현하는 최적의 해결책이다.

나. DWDM 기술 및 망의 진화

광 전송기술은 1980년대부터 전화통신 네트워의 대역폭을 확충하는데 중요한 역할을 해 왔다. 1980년대 후반부터 개발된 WDM 기술의 발전은 광 링크의 가용 대역을 획기적으로 증대 시킬 수 있게 되었는데, TDM 시스템의 경우 용량 증대에는 많은 제약이 있어 40Gbps 시스템이 아직 상용화되고 있지 않지만 DWDM 기술을 이용하게 되면 한 광 파이버를 통해 수백 Gbps를 쉽게 지원할 수 있다. 더욱이 DWDM은 일종의 FDM(Frequency Division Multiplex)방식이기 때문에 광 대역을 소규모 단위로 분할하여 사용할 수 있고, 여러 독립적인 신호들의 통합 수용도 가능해 진다. 이와 함께 광파이버, 광증폭기, 레이저, 필터 등 광소자 기술의 발전으로 ADM(Add-Drop Multiplexer)이나 OXC(Optical Cross Connection)와 같은 첨단 DWDM 시스템 구현이 가능해지고 있다. 이 시스템은 파장별로 라우팅, 추가, 제거, 교환 처리가 가능하기 때문에 통신망의 대역 제

공 능력 및 성능을 대폭 향상시킬 수 있다. 또한 DWDM은 파장 라우팅을 이용하여 광 물리 계층 위에 IP 라우터나 ATM 스위치로 이루어지는 가상 상위 계층을 형성할 수 있기 때문에 IP 라우터나 ATM 스위치에서의 처리 능력과 광 링크의 전달 능력 사이의 격차를 해소할 수 있으며 기존 인터넷에서 지원이 불가능하던 트래픽 엔지니어링 기능 구현이 용이해진다[4-5].

광 전송기술의 발달로 지금까지 네트웍 주력 장비로 사용된 ATM 교환기와 SONET 전송장치의 기능을 간략화해서, WADM (Wavelength Add Drop Multiplexer) 또는 WXC(Wavelength Cross Connector) 같은 DWDM 장치 위에 인터넷 트래픽을 싣기 위해서 IP/ATM/SDH over DWDM 기술의 상용화가 시작되고 있다.



(그림1) 인터넷 백본망의 변화

이에 따라 (그림1)에서 보듯이, 기존의 인터넷 망은 중심에 IP, ATM, PDH, SDH등이 개별적으로 구축 운영되고 있으나 앞으로의 광인터넷 백본망은 WDM망이 이 역할을 수행하고, 기존망들은 주변의 액세스 망 역할을 수행하는 IP over DWDM 형태로 발전된다.

2.2 DWDM 망에서의 라우팅

가. 기존망 기반의 라우팅

라우팅은 가능한 경로 혹은 트리 중 가장 최소의 cost를 가지는 경로를 찾는 문제이며, 네트웍 상의 여러 링크를 경유하며 지나간다.

라우팅 기법[6]은 소스 라우팅, 분산 라우팅, 계층적 라우팅 등 크게 3가지 종류로 분류할 수 있다. 소스 라우팅은 각각의 노드가 망 토폴로지와 모든 링크의 정보를 포함하는 완전한 망 전체의 정보를 유지하고, 소스 노드에서 전체 정보를 참조하여 가능한 경로를 정한다. 분산 라우팅은 홉간의 라우팅이라 이야기 되며, 경로는 각 노드에서 분산 처리 방식의 계산에 의해 수행된다. 모든 노드에서 전체 망 상황을 distance vector 형태로 관리한다. 계층적 라우팅에서 각 노드는 서브 그룹으로 재귀적 방식에 의해 클러스터링(multi-level hierarchy)되며, 각 물리적 노드는 같은 그룹의 상세한 망 상황 정보와 다른 그룹의 전체 망 상황 정보를 유지한다. 그룹의 경계 노드는 그룹 내에서 소스 라우팅을 수행한다.

각 라우팅 기법들의 장단점을 살펴보면, 우선 소스 라우팅은 소스 노드가 완전한 망 전체의 정보를 관리하므로 루프에 자유로운 경로를 보장하고, 구현, 평가, 업그레이드가 쉽다. 하지만, 망의 크기가 커지면 망 상태를 나타내는 파리미터의 변화에 동적으로 대처하기 위한 전체 망 상태의 업데이트를 위한 과부하가 너무 커지는 단점(scalability problem)을 가지고 있고, 상태 메시지의 전송 지연으로 인해 소스 노드에 부정확한 망 상황 정보를 제공 할수 있다. 또한 소스의 계산 부하가 높다.

분산 라우팅은 라우팅 응답 시간이 짧고 확장성의 장점을 가지고 있다. 반면에, 상세한 망 토폴로지와 링크 상태 정보가 없기 때문에 효과적인 설계가 어렵고, 각 노드 망 상태 정보의 불일치로 경로 설정 시 루프가 발생할 가능성이 있다.

계층적 라우팅은 소스 라우팅의 확장성 문제를 위한 대안으로 사용되며, 그 예로 ATM PNNI가 있다. 또한 각 그룹을 위해 소스 라우팅이 사용되어 소스 라우팅의 이점을 가지고 많은 노드가 라우팅 수행을 공유한다. 그러나, 단점으로 통합된 망의 상태가 부정확하다.

나. DWDM 망 기반의 라우팅

DWDM 망에서 라우팅과 관련된 문제는 RWA(Routing and Wavelength Assignment(RWA) 문제라 불린다. 즉, 광경로의 셋업 요구시 송수신 노드 쌍간에 최적의 경로를 선택하고, 선택된 경로를 따라 효율적으로 파장을

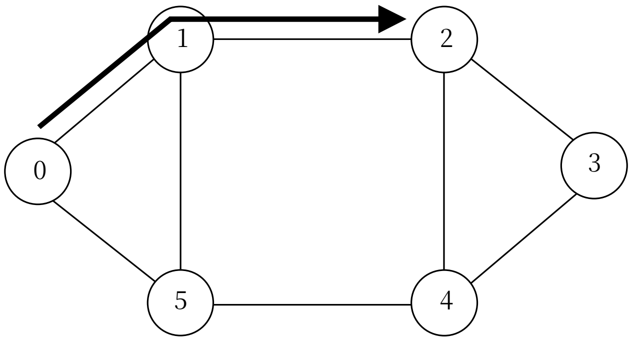
할당하는 문제이다. 이것은 DWDM망에서 자원의 효율적인 이용 측면에서 중요하게 다루어 지고 있다. 즉 제한된 자원의 상황에서 얼마나 많은 광경로를 셋업하는가, 혹은 광경로 셋업 요구시 블록킹 확률을 최소화하는 문제이다. 기존의 RWA 문제를 고려한 연구에서 라우팅과 파장 할당에 관한 문제는 분리되어 수행되었다. 이것은 두 절차가 상호적으로 고려되지 못하므로 최적의 성능을 가지는 데는 미흡한 점이 있다.

(1) 광 라우팅

광경로는 광 네트웍 상에서 송신 노드에서 수신 노드까지 광 신호가 지나가는 길로써, 각 경로는 광 네트웍 상의 여러 링크를 경유하며 지나간다. 일반적으로 광 경로를 결정하기 위해 광 라우팅이 수행 된다.

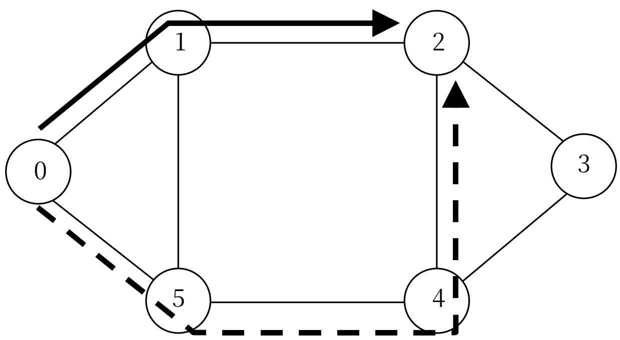
광 라우팅 방법은 크게 고정 라우팅, 교대 라우팅 그리고 동적 라우팅으로 분류 된다[7-8]. 고정 라우팅은 최소 길이 경로를 따르는 고정된 경로를 정하고, 광경로의 셋업 요구시에 항상 정해진 같은 경로를 따라 라우팅하는 방식이다. 일반적으로 오프라인 상에서 최단경로 알고리즘(Dijkstra’s, Bellman-Ford algorithms)을 이용하여 계산한다. 경로 선택이 단순하지만, 자원이 제한적일때 blocking 확률이 높다는 단점이 있다.

(그림2)는 경로가 미리 결정 된 고정 라우팅을 나타낸 그림이다.



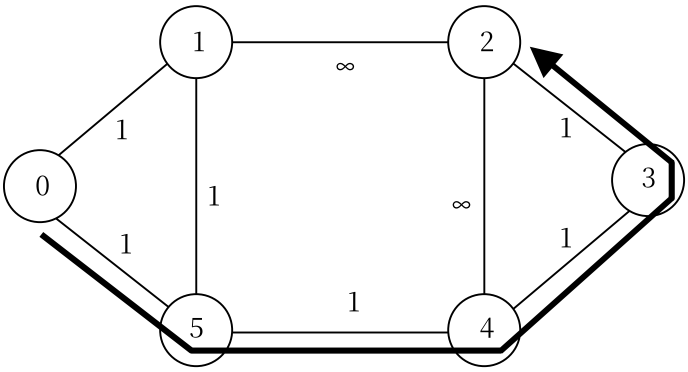
(그림2) 고정 라우팅

교대 라우팅은 여러 개의 단거리 경로를 정해놓고 차례로 할당하는 방식이다. 라우팅은 다중의 경로를 유지하는 방식으로 수신 노드까지 2개 이상의 고정 결로를 가지는 테이블을 유지하고, 라우팅 테이블에서 우선 순위에 의해 차례로 가능한 경로를 찾는 방식이다. 두개 이상의 경로는 서로 link-disjoint한 특성을 가져야 한다. 이 방식은 고정 라우팅에 비해 연결 요구의 blocking 확률을 상당히 줄여준다. (그림3)은 교대 라우팅을 나타낸 그림이다.



(그림3) 교대 라우팅

동적 라우팅은 앞에서 소개된 정적 라우팅 기법보다 더 효율적인 방식으로 망 및 링크 상태에 따라 송수신 쌍 간에 모든 가능한 경로가 계산되고, 그 중에서 어느 순간에 가장 최적의 경로를 선택한다. 즉, 수시로 변하는 네트워크 상태에 따라 송수신간 경로를 동적으로 선택한다. 이전에 제안된 대표적인 동적 라우팅 알고리즘은 LCP(Least Congestion Path) 알고리즘으로 여러 개의 가능한 경로를 미리 결정해 놓고, 혼잡이 제일 적은 경로를 선택하는 방식이다. (그림4)는 동적 라우팅 방식의 예를 나타낸 그림이다. 각 링크는 실시간 적으로 혼잡 상황에 따른 값을 가지고, 링크의 값에 의해 최소 비용 경로 알고리즘을 사용하여 경로를 결정한다.

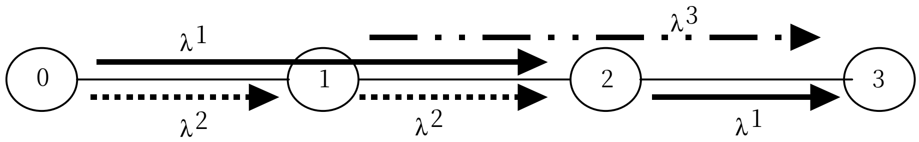


(그림4) 동적 라우팅

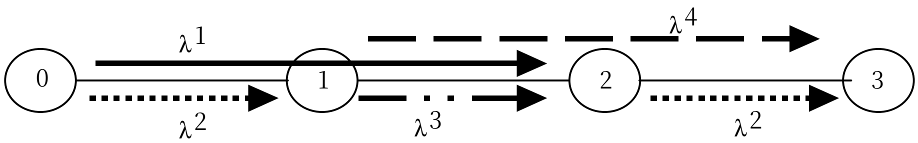
(2) 파장 할당

파장 할당 방법은 DWDM망에서 광 라우팅 방식에 의해 정해진 최적의 경로를 통해 링크상에 개별적인 파장을 할당하는 문제로, 라우팅 경

로상에서 자원, 즉 파장을 가장 효율적으로 사용하기 위함이다. 주어진 링크상에서 두 광경로가 같은 파장을 공유하지 못하게 각 광경로에 파장을 할당하는 방법이 파장 할당 기법이다[9-10].



(a) 효율적 파장 할당



(b) 비효율적 파장 할당

(그림5) 효율적 파장 할당의 예

(그림5)는 효율적인 파장 할당의 중요성을 나타낸 그림이다. 파장 연속성 제약에 의해 같은 광경로 셋업 요구가 들어 왔을 때, (a)는 3개의 파장만이 사용되지만, 파장 할당을 비 효율적으로 수행했을 때 (b)와 같이 4개의 다른 파장이 사용되는 것을 볼 수 있다.

Random, FF(First-Fit), LU(Least-Used), MU(Most-Used), Min-Product, Least-Loaded, MAX-SUM 등 많은 방식이 기존에 제안되었다. RCL(Related

Capacity Loss) 방식은 망에서 모든 가능한 경로를 고려하여, 현재의 셋업 요구의 설립후에 남아있는 경로의 파장 용량을 최대화 시키는 방법으로 용량 손실이 가장 적은 파장을 할당한다. 기존에 제안된 방법중 RCL방식이 효율적인 자원의 사용 측면에서 좋은 성능을 나타낸다. 하지만 RCL은 고정 라우팅에 바탕을 둔 파장 할당 방식으로 동적 라우팅 방식에 적용하는 것은 상당히 어렵고 복잡하다. 일반적으로 DWDM 광 네트워 백본망은 동적 라우팅 환경을 요구한다. FF는 각각의 링크상의 모든 파장을 순서화 하고, 가능한 파장를 찾을때 낮은 순서의 파장을 먼저 할당하는 방식이다. FF의 장점은 전체 정보가 필요 없고, 파장을 모두 고려할 필요가 없기 때문에 계산 복잡도가 작다. 또한, 사용되는 파장 공간은 낮은 번호로 모여지므로 긴 경로를 높은 번호의 파장에 할당 할수 있는 확률이 높아져서 짧은 경로와 긴 경로간의 공정성에도 좋은 방식으로 현재 많이 사용되고 있다.

2.3 DWDM QoS 파라미터

가. 기존망 기반의 QoS 파라미터

QoS 라우팅은 QoS 파라미터를 고려한 최적의 경로 또는 트리를 결정하는 것이다. QoS 라우팅은 여러 종류의 QoS 제약을 가지는데, 특성에 따라 대역폭, 버퍼 공간등의 병목 링크의 상태에 의해서 결정되는 링크

관련 QoS 메트릭스와 경로를 따라 각 링크의 값들의 합에 의해 결정되는 지연 시간, 지터, 링크 코스트 등의 경로 관련 QoS 메트릭스로 분류된다. 대역폭, 지연시간, 지터, 링크 코스트 등 여러 가지 QoS 메트릭스는 함께 고려 되어 질 때 다루기 어려운 라우팅 문제를 발생 시킨다. 2개 이상의 독립적인 경로 상의 제약을 가지는 가능한 경로를 탐색하는 문제는 NP-complete하다. QoS 라우팅은 망 상태에 상당히 민감하다. 우선 상태는 링크의 변동에 의해 동적으로 변화하고, 망의 크기가 클수록 상태 정보의 업데이트가 어려워진다(특히, 무선 환경을 포함할 때). 또한, 상태 정보의 업데이트가 늦어지면, QoS 라우팅 알고리즘의 성능은 심각하게 저하된다[11].

나. DWDM 망 기반의 QoS 파라미터

차세대 인터넷 백본망이 DWDM 방식으로 발전해 가고, 또한 데이터 위주의 인터넷 서비스에서 음성, 영상등의 멀티미디어 서비스로 발전해 감에 따라, 라우팅 문제도 QoS를 고려한 방식으로의 접근이 더 한층 요구되고 있다.

일반적으로 TDM망에서 거론되는 QoS 메트릭스와는 다른 형태의 QoS 속성들은 WDM망에서 요구를 하는데 일반적으로 요구 되는 속성들은 다음과 같다.

- 전송 품질
- 보호 및 회복 기법
- 망 관리 기법
- 정책

그러나 아직 멀티미디어 서비스 별로 위에서 제시된 속성들의 특성의 범위가 명확히 제한된 것은 없으나 아래와 같이 여러 속성의 특성을 정의 할 수 있다[2].

(1) 광경로의 특성

DWDM에서 광경로의 성능은 경로에 속한 광 구성요소에 의해 결정된다. 즉, 전송 신호의 손상 원인은 지터, 혼선, Amplified Spontaneous Emission(ASE) 등이 있고 위의 원인에 의해 수신측의 BER이 높아지게 된다. 실시간으로 광경로의 BER을 측정하는 메커니즘은 각각의 광경로에서 요구되는 최소 BER 임계치를 가진다. 만약 임계치를 만족하면 호를 수락하고, 만족하지 못하면 호는 끊어진다.

(2) 광경로의 보호

광경로의 보호 서비스 능력은 광 네트워크에서 QoS 보장의 중요한 부분이다. 광경로의 보호는 광 선로 절단, 파장 실패등의 상황에 투명한 광경로를 제공한다. 일반적인 DWDM 망의 생존성 메커니즘은 모든 플로

우에 같은 보호 수준을 제공한다. 거대한 메쉬 망에서, 차등화 서비스 모델 환경을 제공하는 어플리케이션에서 보장형 서비스를 위한 위의 방법은 비효율적이다. 따라서 망 생존성 모듈은 클래스에 기반을 둔 보호 메커니즘의 개발을 필요로 한다. 메쉬 DWDM 망에서 (1:1), (1+1) 기법 보다 (1:n) 기법을 도입하면 높은 우선순위의 파이버를 먼저 복구하고, 파이버의 효율적인 사용면에서 좋다. 파장 보호를 위해서도 이 방식을 적용 가능하다[12-13].

(3) 광경로의 보안

다중 기가비트 파장 통신은 서비스 거부, 도청등 다양한 형태의 공에 의해 피해를 입기 쉽다. DWDM상의 3가지 공격유형은 트래픽 해독, 도청, 공격에 의한 광신호 붕괴등이 있다. 이런 공격에 의해 QoS 저하를 야기하는데, 공격 신호를 가지는 합법적인 과 전력 신호 전송, 혼선을 유발할 수 있다. 공격 탐지 방법은 초기 연구상태에 있다.

(4) 광경로의 모니터링

validity, integrity, quality 능력은 OTN 제어, 관리를 위한 중요한 부분이다. 망의 사용 가능한가에 대한 연속적인 모니터링과 요구에 의한 모니터링등 여러 형태의 모니터링이 수행 되어야 한다. ITU-T에서 제안된 모니터링의 3가지 형태는 다음과 같다.

▪ Intrusive 모니터링 : 지속성을 위해 파장과 파이버 성능을 측정, 시험 기간 동안 연결을 연기 시킴

▪ Inherent 모니터링 : OCh 계층이 OMS 계층에 의해 제공되는 오버헤드 처리시 모니터링을 수행, 전 연결 상황을 모니터링 할 수 없음

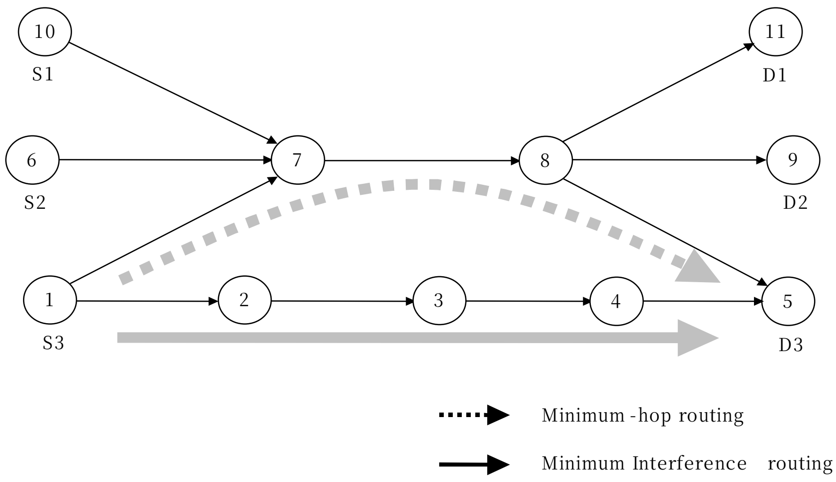
▪ Non-intrusive 모니터링 : 실제 정보의 청취와 오버헤드에 의해 연결 상황을 모니터링

위와 같이 광경로는 여러가지 파라미터에 의해 각각의 클래스로 분류된다. 그리하여 인터넷 전화, 영상 회의, 가상 전용선 등 고정된 최대 전송율로 트래픽을 발생시키는 서비스에 가장 좋은 품질의 광 파장을 할당하여 주므로써 DWDM망에서의 QoS 서비스를 제공하여 줄 수 있다.

3 장 MIPR 알고리즘

3.1 MIPR 의 개념 및 기호 정의

DWDM 네트워크에서 일반적으로 많이 사용되는 라우팅 방식은 최소 홉수 알고리즘이다. 이 알고리즘은 송수신 노드간에 최소의 링크를 선택하므로 계산이 단순하지만 비교적 효율적인 네트워크 성능을 가진다. 하지만 프로세서 스피드의 빠른 증가에 의해, 계산 절차가 복잡하더라도 더 효율적인 알고리즘을 필요로 한다. (그림6)은 최소 홉수 알고리즘에 의해 경로가 결정 되었을 때, 여러 송수신 쌍에 대한 상당한 자원 감소가 일어나는 것을 나타낸다. 따라서 최소 홉수 경로 보다 홉수는 많지만 다른 송수신쌍에 덜 영향을 미치는 경로를 선택이 효율이 좋다.



(그림6) Minimum Interference Routing

이 논문에서 제안되는 MIPR 알고리즘은 DWDM 네트워크에 연결 셋업 요구가 순차적으로 도착하고 이후의 연결 요구에 대한 정보를 가지고 있지 않을 때, 미래의 잠재적인 연결 요구를 가지는 많은 송수신 쌍에 영향을 줄이는 경로를 선택하는 개념이다. 비록 미래의 연결 요구는 완전하게 알려져 있지 않지만, 일반적으로 연결 요구를 생성하고 제거하는 노드 즉 송수신 노드의 쌍은 알려져 있다고 가정한다.

현재의 연결 요구가 송수신 쌍에 얼마나 영향을 주는가에 대한 값을 구체적으로 표현하기 위하여 v(maxflow value)를 정의한다. 이것은 특정 송수신 쌍에 미치는 영향의 양을 측정하기 위한 파라미터이다. 즉 송수신 쌍간에 가능한 최소 홉수의 경로 중에서 병목 링크의 잔여 파장수가 최대인 경로의 값이다. 만약 특정 송수신 쌍에 연결 셋업이 요구되면 해당 되는 v 값은 감소 하고, 또한 몇몇 다른 송수신 쌍의 v값 역시 감소 할 수 있다.

최소 간섭 경로는 모든 송수신쌍의 v를 더한 값을 최대화 하는 경로를 선택한다. 이것은 미래의 연결 요구를 위해 가능한 자원을 보호할 뿐만 아니라, 링크의 failure 경우에도 경로의 재설정을 위해 가능한 자원을 제공할 수 있다.

다음은 알고리즘에 사용될 기호를 정의 하였다.

• G(N,L,W) : 주어진 네트워크

→N: 노드의 집합, L: 링크의 집합, W: 링크의 파장수

• P : 구별되는 노드 쌍의 집합

• S : 송신노드, D : 수신노드, a : 현재 연결 요구 송신 노드, b : 현재 연결 요구 수신 노드

• $\pi_{sd}(p)$: 송수신 노드 쌍의 최소 홉수 경로 p의 링크 집합

• R(l) : 링크 l의 사용 가능한 파장의 수

• S_p : 선택 된 경로 P에 속하는 가능한 파장 집합

• F_{sd} : 네트워크에서 송수신 노드간 $\pi_{sd}(p)$의 병목 링크의 사용 가능한 파장수 (만약, 파장 변환기가 없으면, 송수신 노드 각각의 경로에서 S_p의 값)

• α_{sd} : 송수신 쌍의 가중치

• C_{sd} : 송수신쌍의 $\pi_{sd}(p)$ 링크 중 혼잡 링크의 집합

P는 네트워크에서 알려져 있는 송수신 노드 쌍의 집합을 표현한다. $\pi_{sd}(p)$는 특정 송수신 노드간의 최소 홉수를 가지는 경로를 따르는 링크의 집합을 나타내고, α_{sd}는 송수신 쌍의 가중치 값으로, 각각의 송수신 쌍에 통계적으로 얼마나 많은 연결 요구가 들어 오는 가를 나타내는 수치이다. C_{sd}는 혼잡 링크의 집합으로써 현재의 연결 요구가 설정될 때 송수신 노드쌍들의 최소 홉수 경로에 속하는 링크 중 영향을 받는 링크의 집합이다.

3.2 파장 변환기 사용시 MIPR 알고리즘

DWDM 네트워크에서 파장 변환기의 사용은 파장 연속성 제약 조건을 없애고, 네트워크의 효율적 사용 측면에서 큰 영향을 미친다[14]. 하지만 현재 상황에서 파장 변환기를 전 노드에 걸쳐 사용하는 것은 비용 측면에서 바람직하지 못하다. 따라서 본 논문에서는 파장 변화기 사용 유무의 네트워크 특성에 맞춰 상이한 RWA 알고리즘을 제시한다.

파장 변환기를 사용하면 파장 연속성 제약이 없어진다. 따라서 파장 할당 문제를 고려 할 필요가 없고 라우팅 문제는 보다 더 간단해진다. 즉 각 링크 가중치의 계산시 남아있는 파장의 양만을 고려할 수 있다. 주어진 문제를 해결하기 위해 링크를 위한 적절한 가중치를 결정하고, 가중치 값에 대한 최소 경로를 설정한다. 가중치를 결정하는 수식은 아래와 같다.

$$\max \sum \alpha_{sd} F_{sd} \tag{1}$$

$$\partial F_{sd} / \partial R(l) \tag{2}$$

$$w(l) = \sum_{(s,d) \in P \backslash (a,b)} \alpha_{sd} (\partial F_{sd} / \partial R(l)) \tag{3}$$

$$= \sum_{(s,d): 1 \in C_{sd}} \alpha_{sd} \tag{4}$$

식(1)은 MIPR알고리즘이 해결해야 할 문제로써, 라우팅시 각각의 송수신 노드쌍의 가중치 α_{sd}를 가지는 송수신 쌍에서 최소 홉수 경로상의 병

목 링크의 잔여 파장수와 가중치의 곱을 더한 값이 가장 커야하며, 이것은 현재 수행되는 경로설정이 다른 송수신 쌍의 미래의 경로설정에 가장 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 식(2)는 링크l에 파장이 할당 되었을 때, 송수신 노드 S, D를 가지는 노드 쌍의 $\pi_{sd}(p)$의 병목 링크의 사용 가능한 파장 수의 변화량을 나타낸다. 식(3)은 링크의 가중치를 구하는 식으로, 링크 l에 파장 할당이 수행시, 송수신 노드 쌍에 영향을 미치는 정도를 나타내는 식(2)와 각 송수신 쌍의 가중치 α_{sd}를 곱하여 현재 연결 요구되는 (a,b) 노드 쌍을 제외한 나머지 노드쌍들의 값을 합한다. (4)식은 식(2)에서 링크가 혼잡링크에 포함되면 1, 그 이외에는 0의 값을 부여하여 식(3)을 변형한 식이다. (그림7)은 파장변환기 사용시 MIPR 알고리즘을 나타내었다.

INPUT : graph G(N,L,W), 송수신 노드쌍(a,b)를 가지는 연결 요구
OUTPUT : 송수신 노드 a,b간의 경로 설정
ALGORITHM
1) 최소 홉수를 계산하고, C_{sd} 를 유지
   $\forall(s,d) \in P \setminus (a,b)$
2) 각 링크의 가중치를 계산
   $w(l) = \sum_{(s,d):l \in C_{sd}} \alpha_{sd}, \forall l \in L$
3) 잔여 파장이 없는 링크를 제거
4) Dijkstra's 최소 경로 알고리즘을 사용하여 링크의 가중치 w(l)을 가진 네트워크에서 최단 경로를 계산
5) 계산된 경로를 따라 a노드에서 b노드 까지 경로 설정을 하고, 할당된 파장을 업데이트

(그림7) 파장변환기 사용시 MIPR 알고리즘

여기서 계산된 각 링크의 가중치가 클수록 여러 송수신 노드의 최소 홉 경로에 영향을 많이 미치는 링크이므로, w(l) 값을 이용한 dijkstra's 최소 경로 알고리즘을 사용하여 최단 경로를 계산하여 가장 영향을 덜 미치는 경로를 선택한다.

3.3 파장 변화기 미사용시 MIPR 알고리즘

각 노드에 파장변환기가 존재할 때 각 링크의 가중치 계산시 잔여 파장의 양만을 고려하므로 위에서 제시한 알고리즘이 가능하다. 하지만 네트워크 노드에 파장 변환기가 없을 때, 광 경로를 따라 같은 파장을 사용해야 하는 파장 연속성 제약을 가지므로 어떤 파장이 할당되는 가에 따라 링크의 가중치는 가변적이다. 이 특성은 경로 설정시 계산량의 엄청난 증가를 가져온다. 따라서 변형된 방식의 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 계산량을 줄이기 위해 링크의 가중치를 계산하는 대신, 각 송수신 쌍을 위해 최소 홉 수를 가지는 미리 선택된 경로와 파장을 선택하고 유지한다. 이때 파장할당 방식은 비교적 간단하고 성능이 뛰어난 FF 방식을 선택한다. 일반적으로 선택 경로의 수는 2~4개가 적당하며, 본 논문에서는 3개로 한다.

만약에 선택된 경로와 파장이 할당 되었을 때, 각각 다른 송수신 노드 상의 최소 홉 수 경로에 어느 정도 영향을 미치는가에 따라 영향에 대한

차등화 된 값을 부여한다. 즉 파장이 할당되었을 때, 어떤 송수신 노드쌍의 최소 홉 수 경로에 영향을 미치지 않으면 0의 값, 영향을 미치지만 다른 사용 가능한 파장이 있을 때 0.5, 영향을 미치고 다른 사용 가능한 파장이 없을 때 1의 값을 부여한다.

$$P_v(i) = \sum_{(s,d) \in P \backslash (a,b)} (\alpha_{sd})_i \cdot v_i \qquad (5)$$

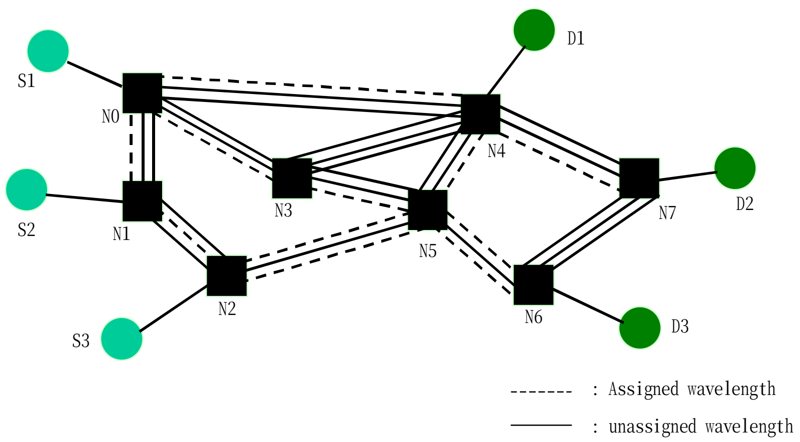
식(5)는 i번째 미리 선택된 경로가 다른 송수신 노드쌍의 최소 홉 수 경로에 미치는 영향을 나타낸 식이다. (그림8)은 파장변환기 사용시 MIPR 알고리즘을 나타내었다.

INPUT : graph G(N,L,W), 송수신 노드쌍(a,b)를 가지는 연결 요구
OUTPUT : 송수신 노드 a,b간의 경로 설정
ALGORITHM

1) 각 송수신 노드쌍에 대해 미리 선택된 최소 홉 수를 가지는 세개의 경로를 계산
2) 각 경로마다 FF 방식에 의해 파장 할당
3) 송수신 노드(a, b)를 가지는 연결 요구시, 계산된 (a,b)의 경로 각각에 대해 v값 결정
   if 경로에 영향을 미치지 않을 때, v=0
   else if 사용 가능한 파장이 있을 때, v=0.5
   else 사용 가능한 파장이 없을 때, v=1
4) 각 경로에서 $P_v(i)$ 값 계산
   $$P_v(i) = \sum_{(s,d) \in P \backslash (a,b)} (\alpha_{sd})_i \cdot v_i$$
5) 계산된 값이 가장 작은 경로를 선택, 설정 하고, 할당된 파장을 업데이트

(그림8) 파장변환기 미사용시 MIPR 알고리즘

다음은 파장변환기 미사용시 알고리즘을 적용한 예를 제시한다. (그림9)는 네트워크의 구성도와 사용중인 파장을 표현하였다. 점선으로 표시된 링크가 할당된 파장을 나타내고, 실선 부분이 할당되지 않은 파장을 나타낸다. 송신 노드와 수신 노드는 편의 상 3개씩 가정하였다.



(그림9) 네트워크 구성 및 파장 사용 정보

위의 망 상태에서 S3-D1 연결 요구가 네트워크에 도착했다고 가정할 때, 미리 선택된 경로와 FF에 의한 파장 선택은 제안 된 MIPR 알고리즘에 의해 아래의 (표1)과 같다. 또한, 각 송수신 노드쌍의 최소 홉 수 경로는 (표2)와 같다.

(표1) 선택 경로 및 파장

경로	경유 노드	할당 파장
P1	N2-N5-N4	$\lambda 1$
P2	N2-N5-N3-N4	$\lambda 1$
P3	N2-N1-N0-N4	$\lambda 2$

(표2) 각 송수신 노드쌍의 최소 홉수 경로

	D1	D2	D3
S1	N0-N4	N0-N4-N7	N0, N3, N5, N6
S2	N1, N0, N4	N1, N0, N4, N7	N1, N2, N5, N6
S3	N2, N5, N4	N2, N5, N6, N7	N2, N5, N6

식(5)에 의해 각 경로의 $P_v(i)$ 값을 계산하면 (표3)과 같다. 단 각 노드쌍의 가중치는 고려하지 않았다.

(표3) 각 경로의 계산된 $P_{v(i)}$ 값

S-D	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-2	3-3	$P_{v(i)}$
P1	0	0	0	0	0	1	1	1	3
P2	0	0	1	0	0	1	1	1	4
P3	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	1

현재 할당되는 경로의 파장이 각 송수신 노드쌍의 파장에 영향을 미치지 않을 때의 값은 0, 예로 P1 할당시 송수신 노드쌍 (1,1)의 연결 가능한 파장은 영향을 받지 않는다. 파장에 영향을 미치지만, 다른 할당 가능한 파장이 존재할 때 0.5, 그 예로 P3 경로에 파장을 할당시 송수신 노드쌍 (1,1)의 연결 가능한 파장이 감소하지만 다른 가능한 파장이 존재한다. 마지막으로 파장에 영향을 미치고, 다른 할당 가능한 파장도 없을 때의 값은 가장 높은 1을 가진다.

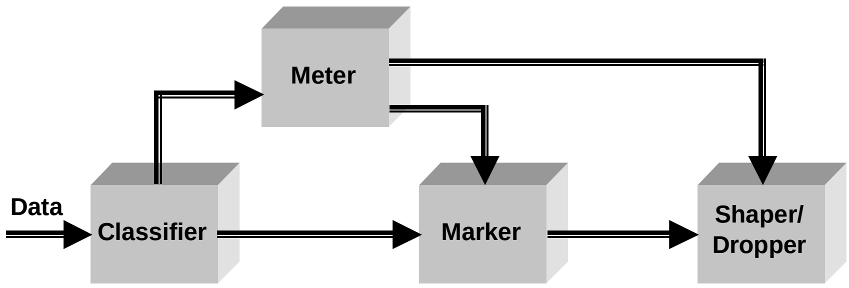
따라서 S3-D1 노드쌍에는 P3(N2-N1-N0-N4)의 λ2가 할당 된다. 이 경로가 이후의 다른 송수신 노드쌍의 최소 홉 수 경로에 가장 적게 영향을 준다.

4장 차등화 된 QoS 라우팅

이 장에서는 IP QoS 차등화 서비스 바탕을 둔 DWDM 망의 차등화 된 QoS 라우팅 방식에 대해 제안한다.

4.1 차등화 서비스 QoS 모델

차등화 서비스는 IPv4의 우선 순위 표시 서비스를 개선한 것으로 이 보다는 잘 정의된 서비스들을 적용하여 인터넷에서 다양한 서비스 품질을 제공할 수 있도록 하는 기본 패러다임을 사용하고 있다. 이를 위해 차등화 서비스에서는 특정 서비스 품질을 사용하는 응용 프로그램에 의해서 요구될 수 있는 유용한 종단간 서비스의 집합을 미리 정의하고 있다. 이를 PHB(Per-Hop Behavior)라고 정의하고 있으며 현재는 최선형 서비스와 몇 개의 우선 순위를 갖는 서비스만을 정의한다. 이와 같은 차등화 서비스는 망에서는 입력된 패킷을 미리 계약된 서비스에 맞추어 처리하기 때문에 플로우 별로 상태나 정보를 유지할 필요가 없다는 장점이 있다.



(그림10) 차등화 서비스의 에지 라우터 구조

(그림10)는 차등화 서비스 네트웍의 에지 라우터가 수행하는 트래픽 조절 기능의 개념적인 구조이다. 에지 라우터는 동일한 DSCP 값을 가지는 패킷들의 집합인 BA(Behavior Aggregates)에 대해 트래픽 조절 기능을 수행하며, 이 기능은 classifier, meter, marker, shaper, dropper에 의해 이루어진다.

Classifier는 패킷을 분류하는 역할을 수행하며, 패킷을 분류하는 기준에 따라 MF(Multi-field) 분류와 BA 분류로 나뉜다. MF 분류는 패킷의 DS 필드 외에 IP 주소, 포트 번호, 프로토콜 타입을 참고하여 패킷을 분류하는 반면, BA 분류는 단지 DS 필드에 의해 패킷을 분류한다. 이 classifier는 에지 라우터에서만 존재하는 것이 아니라 차등화 서비스를 지원하는 네트웍 내 모든 라우터에 존재한다.

Premium 서비스는 인터넷 전화, 영상 회의, 가상 전용선 등 고정된 최대 전송율로 트래픽을 발생시키는 가입자를 위한 서비스로써, EF(Expedited Forwarding) PHB를 이용한다. EF PHB는 적은 손실, 지연, 지

터 및 최대 전송률을 보장해 주며, 양질의 서비스를 요구하는 트래픽을 서비스하기에 적절한 PHB이다. EF PHB에 해당하는 패킷의 속도는 사전에 계약된 SLA의 최대 사용 대역폭에 따라 엄격하게 지켜져야 하며, 계약된 대역폭을 초과해서 들어오는 EF 트래픽에 대해서는 shaper가 계약된 속도로 조정하고 shaper의 사용에도 불구하고 조절이 안되는 트래픽은 폐기한다. 이렇게 쉐이핑된 트래픽은 엄격한 PQ(Priority Queuing) 혹은 높은 가중치를 할당 받은 WFQ(Weighted Fair Queuing) 등의 스케줄링 기법을 통해 엄격한 서비스를 제공받는다.

Assured 서비스는 네트웍의 혼잡 발생시에도 신뢰성 있는 서비스를 요구하는 가입자를 위한 서비스로써, AF(Assured Forwarding) PHB를 이용한다. AF PHB은 혼잡 상황에서도 트래픽의 최소 전송 속도를 보장하는 PHB이다. 이러한 AF PHB는 4개의 클래스와 각 클래스마다 서로 다른 3개의 폐기 우선 순위로 구분된다. 각 클래스는 패킷 손실, 지연, 지터와 같은 다양한 QoS 요소 등으로 구분되고, 각 클래스에 정의된 트래픽 속도의 초과 여부에 따라 해당하는 드롭 확률을 적용하여 각 집합 간의 폐기 우선 순위를 결정한다. 이렇게 AF 트래픽에 폐기 우선 순위가 결정되면 혼잡 발생시에도 폐기 우선 순위가 낮은 트래픽은 어느 정도 신뢰성 있는 서비스를 제공받을 수 있다.

최선형 서비스는 Default PHB를 이용하는데, 특정 서비스를 요구하지 않는 패킷에 대해서는 기본적으로 Default PHB로 서비스를 해 준다. 이 PHB에서 패킷은 입력된 순서대로 출력되고, 손실이 발생할 수도 있다.

지연은 가능한 최소화되고 대역폭은 가능한 많이 이용된다. Default PHB 에 대한 서비스 수준은 다른 PHB의 출력 링크의 요구가 없을 때 서비스 해 주는 것을 원칙으로 한다.

4.2 사용되는 QoS 파라미터

위에서 제시된 차등화 된 QoS 서비스를 위해 2종류의 QoS 파라미터를 도입한다.

첫째, 광 경로의 전송 품질에 관련 된 QoS 파라미터이다. 앞에서 서술되었듯이 DWDM에서 광경로의 성능은 경로에 속한 광 구성요소에 의해 결정된다. 즉, 전송 신호의 손상 원인은 지터, 혼선, Amplified Spontaneous Emission(ASE) 등이 있고 위의 원인에 의해 각 링크의 파장 별 SNR의 값이 결정되게 된다.

$$BER(Q) \cong (1/\sqrt{2\pi}) \cdot (\exp(-Q^2/2)/Q) \tag{6}$$

$$SNR = 10\log Q^2 \tag{7}$$

SNR의 값은 위의 (6), (7) 식에 의해 결정 된다. 측정된 SNR 값은 연결의 전체 경로를 따라 값이 제한되는 path constraint를 따르게 된다.

두번째, 광 경로의 생존성에 관련된 QoS 파라미터를 고려한다. 광경로의 보호 능력은 광 네트워크에서 QoS 보장의 중요한 부분이다. 광경로의 보호는 광 선로 절단, 파장 실패등의 상황에 투명한 광경로를 제공한다. 일반적인 DWDM 망의 생존성 메커니즘은 모든 플로우에 같은 보호 수준을 제공한다. 거대한 메쉬 망에서, 차등화 서비스 모델 환경을 제공하는 어플리케이션에서 보장형 서비스를 위한 위의 방법은 비효율적이다. 따라서 망 생존성 모듈은 클래스에 기반을 둔 보호 메커니즘의 개발을 필요로 한다.

4.3 차등화 QoS 라우팅 방식의 제안

IP 차등화 서비스 클래스는 premium, assured, best-effort 서비스로 분류된다. 광 네트워크에서 많은 홉을 경유하는 경로는 물리적으로 전송 품질이 떨어지는 점을 고려하여, 차등화 서비스의 각 타입 별로 차등화 된 DWDM 라우팅 방식을 제시한다. 고려 되어지는 QoS 속성은 라우팅 알고리즘, 생존성, 파장 할당 방식 등이다.

우선 라우팅 방식 측면에서, Premium, Assured 서비스는 잔여 파장의 수에 상관없이 SNR 파라미터에 의해 경로의 각 링크 파장 SNR의 값에 의한 라우팅을 수행한다. 이것은 Premium 및 Assured 서비스는 가장 뛰어

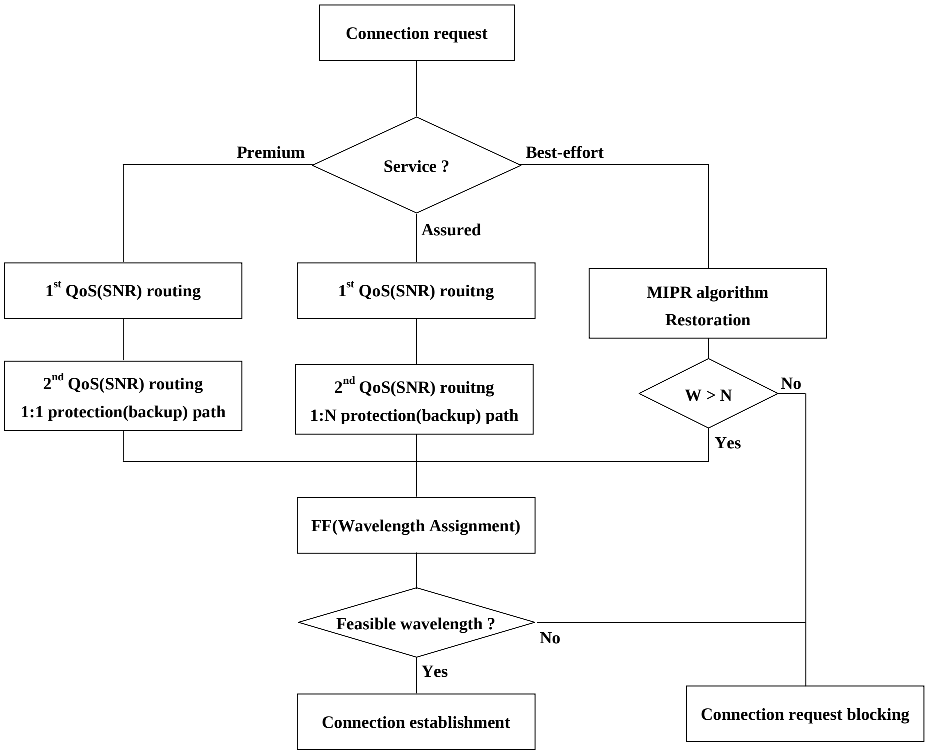
난 품질의 서비스가 제공 되어야 하기 때문이다.

$$(SNR)_P = \sum_{i=1}^{n} (SNR)_i / i \tag{8}$$

경로의 SNR 값은 식(8)에 의해 결정 된다.

Best-effort 서비스는 앞에서 제안된 MIRP 라우팅 방식을 적용하여, 앞의 클래스 서비스의 최상의 SNR 경로를 보호한다. Premium 서비스는 통계적으로 전체 트래픽의 약 10% 밖에 차지하지 않으므로 네트워크 상태에 큰 영향은 미치지 않으면서, 상대적으로 가장 좋은 전송 품질을 유지한다.

또한 경로의 failure 상황에 대한 경로 보호를 위해, 서비스 별로 차등화 된 생존성 기법을 제공한다. 우선 가장 중요한 premium 서비스는 링크의 failure 시 미리 예약된 전용의 백업 경로를 통해 (1:1) 보호를 수행한다. Assured 서비스는 백업 경로를 공유하여 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 (N:1) 보호를 수행한다. Best-effort 서비스는 failure 후에 복구를 위한 경로를 탐색하는 회복 기법을 사용하여 생존성을 보장한다. 이와 같이 차등적인 생존성 기법은 각 서비스 특성에 따라 복구 시간 및 확률이 차등적으로 적용되고, 망 자원의 효율성 측면에서도 좋은 성능을 가진다.

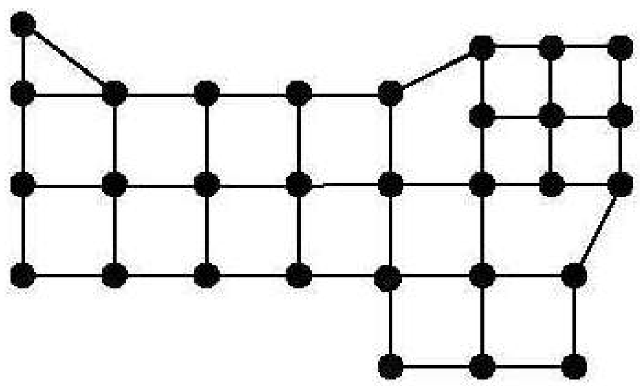


(그림11) 차등화 서비스를 위한 DWDM QoS 라우팅

best-effort 서비스는 선택된 경로의 병목 링크의 파장이 일정 수 이하로 남아 있을 때, premium 및 assured 서비스를 위해 block 시킬 수 있다. (그림11)은 위에서 설명한 각 서비스 별로 차등화 된 QoS 라우팅을 위한 플로우 차트를 나타낸 그림이다.

5 장 성능 평가

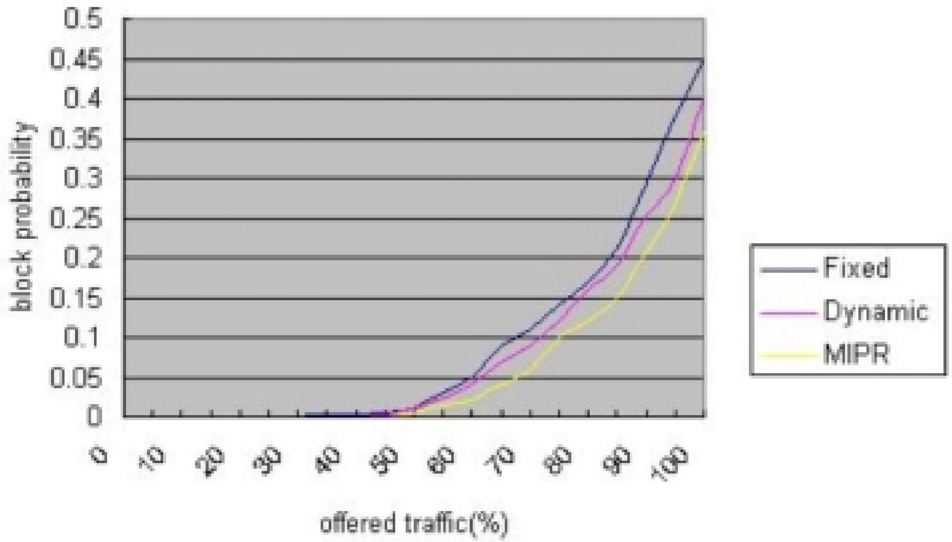
이 장에서는 앞에서 제안한 MIPR 알고리즘과 차등화 된 QoS 라우팅 방식에 대한 성능 평가를 서술한다. 평가에 사용된 망의 토폴로지는 (그림11)과 같이 현재 미국에서 WDM 망으로 사용 되고 있는 NSFnet을 사용하였다. NSFnet은 WDM 망 관련 대부분의 논문에서 망 토폴로지로 사용되고 있다. 또한, 각 링크 당 파이버의 수는 1개, 파장의 수는 8개로 고정하였다. 송 수신 노드쌍을 가지는 고정된 광 경로는 임의로 15쌍을 정하고, 각각의 연결 요구는 순차적으로 입력되고 각 광경로에 랜덤하게 할당 되고, 랜덤한 시간 후에 할당된 광 경로의 파장은 제거 된다.



(그림11) NSFnet 망 토폴로지

5.1 MIPR 알고리즘

우선 3장에서 제안한 MIPR 알고리즘을 파장변환기의 유무에 따라 개별적으로 고정 라우팅, 동적 라우팅 방식과 blocking 확률의 비교에 의해 성능 평가를 실시 하였다.

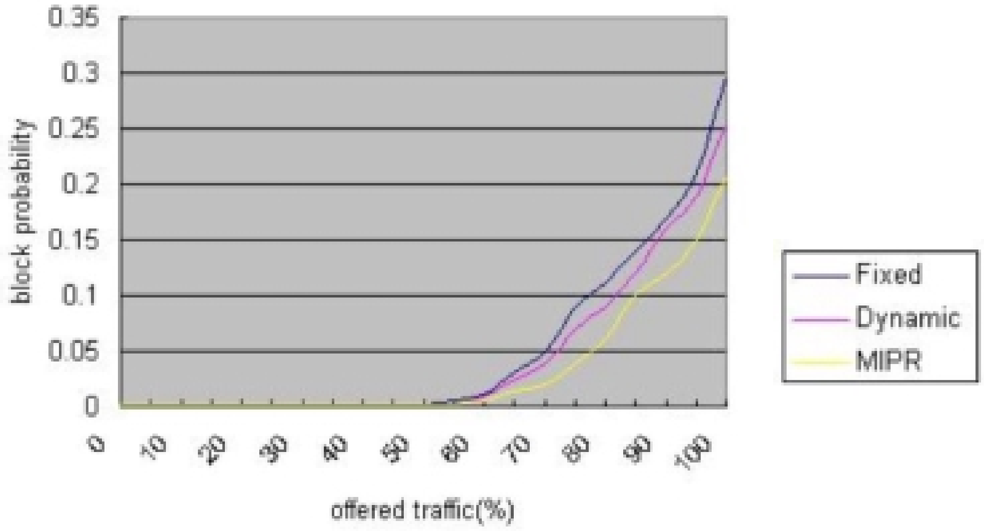


(그림12) MIPR 알고리즘의 blocking 확률 – 파장변환기 미 사용시

(그림12)는 파장 변환기 미 사용시에 blocking 확률을 비교한 그림이다. 망의 용량을 고려하여 연결 요구 트래픽을 100%까지 증가 시킬 때 각각의 blocking 확률을 분석하였다. 트래픽이 50% 미만 일때는 각 알고리즘

의 blocking 확률은 극히 미미하고, 성능 차이를 나타내지 않지만, 50% 이상일 때, 망 파장 용량의 포화 상태에 따라 각각의 알고리즘의 blocking 확률이 급속하게 높아지고, 알고리즘의 종류에 따라 blocking 확률의 차이를 볼 수 있다.

고정 라우팅 방식은 blocking 확률이 제일 높게 나왔다. 고정 라우팅 방식은 고정된 경로가 할당 되므로 링크의 혼잡에 제대로 대응 하지 못하는 단점을 가지고 있기 때문이다. 제안된 MIPR 알고리즘은 각 송수신 쌍에 영향을 덜 미치기 위한 과정에 따라 라우팅을 수행하므로 동적 라우팅 알고리즘에 비해 20% 정도의 blocking 확률을 줄이는 효과를 가져왔다.

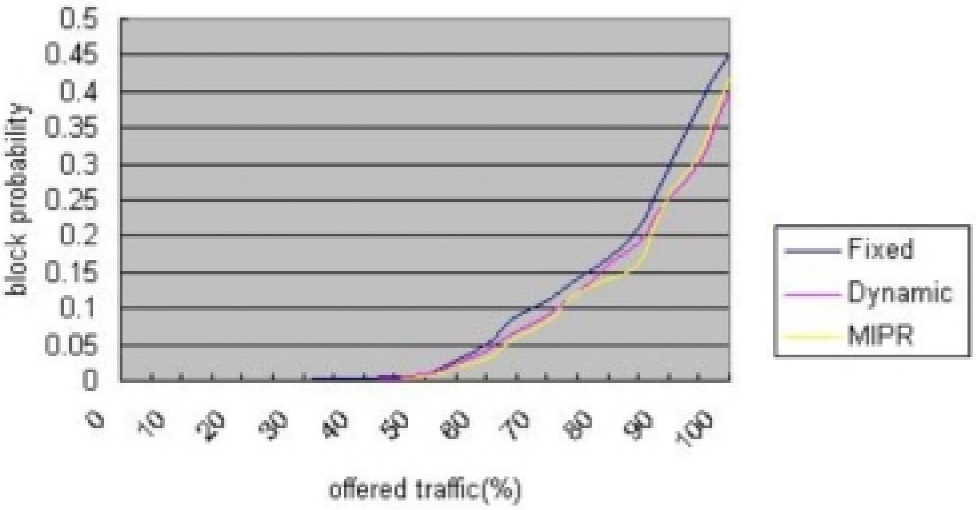


(그림13) MIPR 알고리즘의 blocking 확률 – 파장변환기 사용시

(그림13)은 파장변환기를 사용한 그림이다. 여기서도 파장변환기를 사용하지 않을때와 마찬가지로 MIPR 알고리즘의 blocking 확률이 가장 적게 나왔다. (그림12)와 비교하여 파장변환기를 사용할 때 blocking 확률은 사용하지 않을 때 보다 성능이 개선 된 것을 볼 수 있다. 이 결과는 파장 변환기를 사용하므로 각 노드에서 파장 변환 수행으로 망의 링크 파장을 효율적으로 사용할 수 있음을 보여 준다.

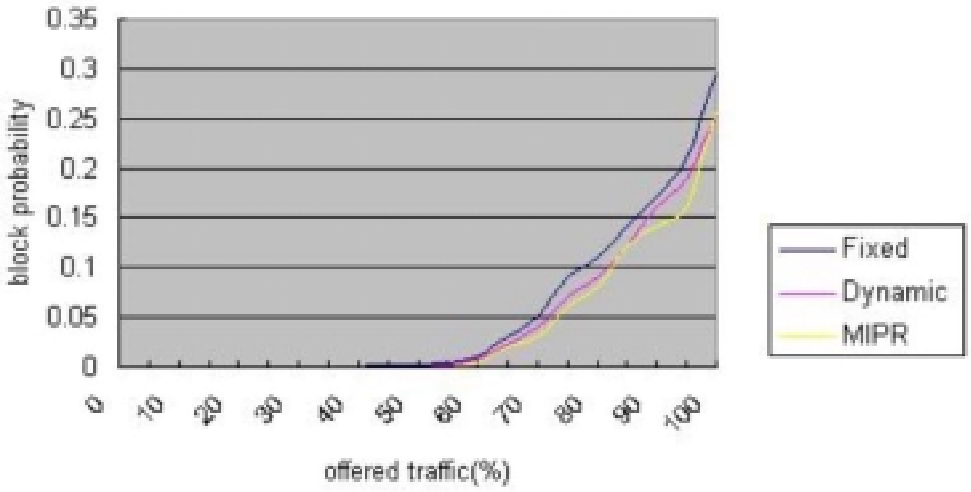
5.2 차등화 된 QoS 라우팅 방식

DWDM 망에서 차등화 QoS 서비스를 제공해 주기 위해 4장에서 차등화 QoS 라우팅 방식을 제안 하였다. Premium, Assured, Best-effort 서비스 각각에 차등적인 라우팅 방식, 생존성 방식을 제공한다. 이때, 기존의 고정, 동적 라우팅 방식과의 blocking 확률 비교와, 각 서비스 타입 별 생존성 확률을 비교 하였다. 각 서비스 타입 별 연결 요구 비율은 Premium, Assured, Best-effort 서비스가 각각 1:3:6의 비율로 들어 온다고 가정 하였다.



(그림14) 차등화 서비스 제공시 blocking 확률 – 파장변환기 미 사용시

(그림14)는 차등화 된 QoS 라우팅 제공시 파장변환기를 사용하지 않을 때의 blocking 확률을 비교한 그림이다. 고정, 동적 라우팅 방식은 각 서비스 클래스 별로 동일한 라우팅 방식을 적용하였고, 생존성 기법을 도입하지 않았다. Best-effort 서비스에 MIPR 알고리즘을 사용한 제안된 방식은 동적 라우팅과 비슷한 blocking 확률을 가진다. 이것은 제안된 알고리즘이 premium 서비스에 1:1 path protection을 제공하므로 추가의 파장을 예약 하기 때문이다. 결과적으로 blocking 확률 측면에서 성능의 개선을 가져 왔다고 할 수 있다.



(그림15) 차등화 서비스 제공시 blocking 확률 – 파장변환기 사용시

(그림15)는 차등화 된 QoS 라우팅 제공시 파장변환기를 사용하였을 때의 blocking 확률을 비교한 그림이다. 이 결과도 이전의 (그림14)와 비슷한 결과를 보이지만, 파장 변환기를 사용하므로 blocking 확률이 개선 된 것을 볼 수 있다.

다음으로 링크의 fault 상황을 가정 했을 때, 연결된 path의 각 서비스 타입 별 생존성 비율을 분석하였다.

(표4) 서비스 타입 별 생존성 비율

	Premium	Assured	Best-effort
Survivability(%)	100	93	75

(표4)에서 보듯이 각 서비스 타입 별 생존성 확률은 Premium 서비스가 100%, Assured 서비스가 93%, Best-effort 서비스가 75%의 결과를 나타내었다. Premium 서비스는 1:1 protection을 제공하기 때문에 fault 상황에서 모든 경로가 복구 됨을 알 수 있고, 1:n protection 및 restoration 방식이 제공되는 Assured 및 Best-effort 서비스는 생존율이 떨어지는 것을 볼 수 있다.

6장 결론

본 논문에서는 DWDM 네트워크에서 RWA 문제 해결을 위해 미래의 잠재적인 연결 요구에 가장 영향을 줄이는 경로를 설정하는 MIPR 알고리즘을 제안하였다. 또한, 제안된 알고리즘을 적용하여 IP 차등화 서비스에서 QoS 제공을 위한 차등화 된 라우팅 방법을 제시 하였다.

시뮬레이션 결과에 따르면 제안된 알고리즘을 라우팅에 적용한 결과 이후의 연결 요구에 영향을 미치는 정도를 정량적으로 평가하여 가장 영향을 덜 미치는 경로를 결정함으로 인해 연결 요구의 blocking 확률을 감소 시킴이 증명 되었다.

또한, DWDM 망에서 차등화 서비스의 QoS 제공을 위해 각 서비스 타입 별로 차등화 된 라우팅 방법 및 생존성을 고려 파장 할당 방법을 제시하였는데, 이는 각 서비스의 수준에 맞는 서비스 제공 및 자원의 효율적 사용 측면에서도 효과가 있음이 밝혀졌다.

제안된 내용은 차세대 인터넷 백본망으로 사용될 DWDM 망의 제어 프로토콜인 GMPLS에 적용이 가능하다.

참고문헌

[1] H. Zang, Jason P. Jue and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength Routed Optical WDM Networks", Optical Networks Magazine, pp. 47- 60, Jan. 2000

[2] A. Jukan and H. R. van As, "Service-Specific Resource Allocation in WDM Networks with Quality Constraints," IEEE JSAC, Vol. 18, no. 10, pp. 2051- 2061, Oct. 2000

[3] 이종현 외, "광 인터넷 기술동향 및 진화 방안," ETRI 주간기술동향 1000 호, 2001 년 6 월

[4] T. Chung et al., "Architectural and Engineering Issues for Building an Optical Internet," draft, 1998; http://www.canet2.net

[5] B. Mukherjee, "Optical Communications Networks," New York, Mcgraw-Hill, 1997

[6] Shigang Chen and Klara Nahrstedt, "An Overview of Quality-of-Service Routing for the Next Generation High-Speed Network: Problems and Solutions," IEEE Network Magazine, Nov. 1998

[7] S. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Fixed-Alternate Routing and Wavelength Conversion in Wavelength Routed Optical Networks", Proc., IEEE GLOBECOM '98, vol. 4, pp. 2295-2302, Nov. 1998

[8] L. Li and A.K.Somani, "Dynamic Wavelength Routing using Congestion and Neighborhood Information", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 7, No.5, Oct. 1999

[9] G. Li and R. Simha, "On the wavelength assignment problem in

multifiber WDM star and ring networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 9, no. 1, pp. 60-68, Feb. 2001

[10] A. K. Somani and M. Azizoglu, "Wavelength assignment algorithms for wavelength routed interconnection of LANs," Journal of Lightwave Technology, vol. 18, no. 12, pp. 1807-1817, Dec. 2000

[11] Q. Ma and P. Steenkiste, "Quality-of-Service Routing with Performance Guarantees," 4th International IFIP Workshop on Quality of Service, May 1997

[12] S. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Survivable WDM Mesh Networks. Part I-Protection," Proc. INFOCOM '99, pp.744-751, Vol. 2, Mar. 1999

[13] S. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Survivable WDM Mesh Networks. Part II-Restoration," Proc. ICC '99, pp.2023-2030, Vol. 3, 1999

[14] M. Frey and T. Ndousse, "Wavelength conversion and call connection probability in WDM networks", IEEE Transactions on Communications, Vol. 49, No. 10 , pp. 1780 –1787, Oct. 2001