

공 학 석 사 학 위 논 문

차등화 VS 노드를 고려한 우선순위
기반 최소 간섭 경로 멀티캐스트 RWA
알고리즘 연구



2009년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

송 승 미

공 학 석 사 학 위 논 문

차등화 VS 노드를 고려한 우선순위
기반 최소 간섭 경로 멀티캐스트 RWA
알고리즘 연구

지도교수 김 성 운

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2009년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

송 승 미

송승미의 공학석사 학위논문을 인준함

2009년 2월 25일



주 심 공학박사 정 신 일 인

위 원 공학박사 윤 종 락 인

위 원 공학박사 주 문 갑 인

목 차

I. 서론.....	1
II. RWA.....	3
1. 기존의 RWA 연구.....	3
1.1 DWDM 망 기반의 라우팅 방법.....	5
2. 최소 간섭 경로 라우팅 기술.....	21
2.1. MW-MIPR 알고리즘.....	21
2.2. VS-MIPMR 알고리즘.....	22
III. 차등화 VS 노드를 고려한 우선순위 기반 최소 간섭 경로 멀티캐스트 RWA 알고리즘.....	25
1. 차등화 VS PMIPMR 정의.....	26
2. 차등화 VS PMIPMR 절차.....	31
IV. 시뮬레이션 및 성능 평가.....	38
1. 네트워크 모델.....	38
2. 성능 분석 및 비교.....	39
VI. 결론.....	43
참고문헌.....	44

그림 목차

(그림 1) 기존에 연구된 파장 할당 문제	4
(그림 2) 기존에 연구된 라우팅 문제 및 제안된 알고리즘	4
(그림 3) 물리적인 네트워크 모형	13
(그림 4) 분할된 네트워크 모형	14
(그림 5) 첫 번째 세션에 대한 멀티캐스트 트리 형성	15
(그림 6) 두 번째 세션에 대한 멀티캐스트 트리 형성	16
(그림 7) Graph coloring 알고리즘	18
(그림 8) MW-MIPR 알고리즘 방법	22
(그림 9) VS-MIPMR 알고리즘 방법	24
(그림 10) DWDM 망에서 IPTV 서비스를 위한 멀티캐스트 서비스	26
(그림 11) 차등화 VS-PMIPMR 알고리즘 상세도	30
(그림 12) 차등화 VS PMIPMR 에 적용한 트리 구성 알고리즘	37
(그림 13) 테스트 네트워크 모델	39
(그림 14) 멀티캐스트 세션 요청에 따른 파장 수 비교	41
(그림 15) 멀티캐스트 세션 요청에 따른 파장채널수 비교	42

표 목차

<표 1> Source-based 트리 구성 방식 종류	9
<표 2> Steiner-based 트리 구성 방법 종류	9
<표 3> 세션에 따른 소스 및 목적지 노드	15



A Study on Differentiated Virtual Source Priority-based Minimum Interference Path Multicast Routing

Seung-Mi Song

*Department of Telecommunication Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Virtual Private Network (VPN) is an enterprise network based on a shared public network infrastructure but providing the same security, management, and throughput policies as applied in a private network. The primary advantages of "VPN over Internet" are cost-effectiveness and flexibility while coping with the exponential growth of Internet. However, with difficulties of providing sufficient transmission capacity for value-added and mission-critical services, the Optical VPN(OVPN) deploying Dense Wavelength-Division Multiplexing(DWDM) technology has been suggested as a favorable approach for realizing the future VPN services. In an OVPN, the Routing and Wavelength Assignment (RWA) problem is the most problem to improve the transparency and data rate of OVPN and therefore the Multicast Routing and Wavelength assignment problem has been the dominant issue in a DWDM-Based OVPN. In this paper, we propose a new Multicast Routing and Wavelength Assignment method for multicast sessions

called Differentiated-Virtual Source Priority-based Minimum Interference PathMulticast Routing(Differentiated-VS PMIPMR) algorithm to find alternative routes based on node priorities and limited Virtual Source(VS) nodes that have both splitting and wavelength conversion and divided into wavelength conversion ability, and then chooses a path that does not interfere with potential future multicast session requests when congestions occur in the network. The Differentiated-VS PMIPMR algorithm increases the wavelength utilization by avoiding congestion in future multicast session requests. We measured the performance of the proposed algorithm in terms of number of wavelength, wavelength channel. The simulation results demonstrate that the Differentiated-VS PMIPMR algorithm is superior to previous multicast routing algorithms using the VS-MIPMR algorithm.

I. 서론

최근, 통신 기술의 발전과 웹의 급격한 확산은 인터넷 사용자수와 다양한 실시간 멀티미디어 트래픽들의 폭발적 증가를 초래하였고, 차세대 인터넷 어플리케이션으로서 각광받고 있는 voice telephony, video-conference, Internet games 등과 같은 다양한 실시간 멀티미디어 서비스들이 기존 인터넷망에서 유니캐스트 라우팅 방식으로 제공되면서 사용자수의 한계와 서버의 부하 문제에 따른 여러 문제점을 안고 있다[1-3]. 이로 인해 한 번에 여러 사용자들에게 동일한 데이터를 보내야 하는 음성 및 비디오 서비스 등의 멀티미디어 서비스의 경우에는, 각 사용자들에게 데이터를 여러 번 전송하는 유니캐스트 라우팅(Unicast Routing) 방식에 비해 멀티캐스트 라우팅(Multicast Routing) 방식으로 전송하는 것이 대역폭 활용 면에서 더 효율적이다[3-5].

이러한 멀티미디어 서비스에 대한 요청이 급증함에 따라 멀티미디어 서비스 제공에 가장 적합한 기술로 평가받는 DWDM 기술을 사용한 차세대 광 인터넷 백본망에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있고, 이러한 DWDM 망에서 광경로 셋업 요구시에 송수신 노드 간에 최적의 경로를 선택하고, 선택된 경로에 효율적인 파장을 할당하는 RWA 문제가 파장의 효율적 이용 측면에서 매우 중요하게 다루어 지고 있다.

그러나 멀티캐스트 라우팅을 DWDM 기반의 차세대 광 인터넷망에 적용하기에는 여러 가지 문제점이 따르며, 특히 광 신호 분배기(optical signal splitter)의 사용으로 인한 비용의 증가와 광 전력 페널티(optical power penalty)의 보상 문제가 가장 근본적으로 해결되어야 할 문제로

남아있다. 따라서 이러한 제한 사항을 극복하기 위해서는 제한된 노드에 대해서만 광 전력 페널티를 사용하고, 낮은 연결 차단 확률(blocking probability)과 높은 자원 사용률을 보장하는 효율적인 알고리즘의 개발이 요구된다.

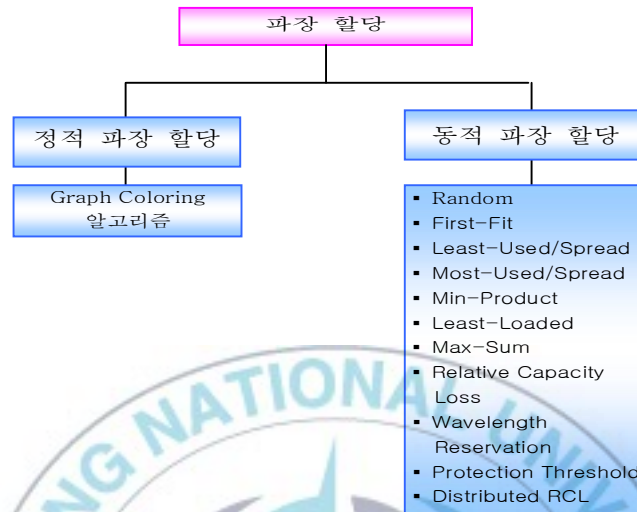
따라서 본 논문에서는 능력치가 다른 각각의 노드에 대해 우선순위를 고려하고 그 중에서도 우선순위가 가장 높고 비용 효과가 가장 큰 VS(Virtual Source) 노드의 파장변환 기능을 차등화 시켜 제공하며, VS 기반의 light-tree 구성 시 형성되는 분산 네트워크에 가장 적절한 라우팅 방식을 적용함으로써 멀티캐스트 서비스를 제공할 수 있는 새로운 개념의 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 2 장에서는 DWDM 기반의 차세대 광 인터넷망에서 기존의 RWA 연구에 대해 제시한다. 3 장에서는 새로운 개념의 멀티캐스트 라우팅 알고리즘인 차등화 VS-PMIPMR 을 제안한다. 4 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 분석하고, 결론은 5 장에서 기술한다.

II. RWA

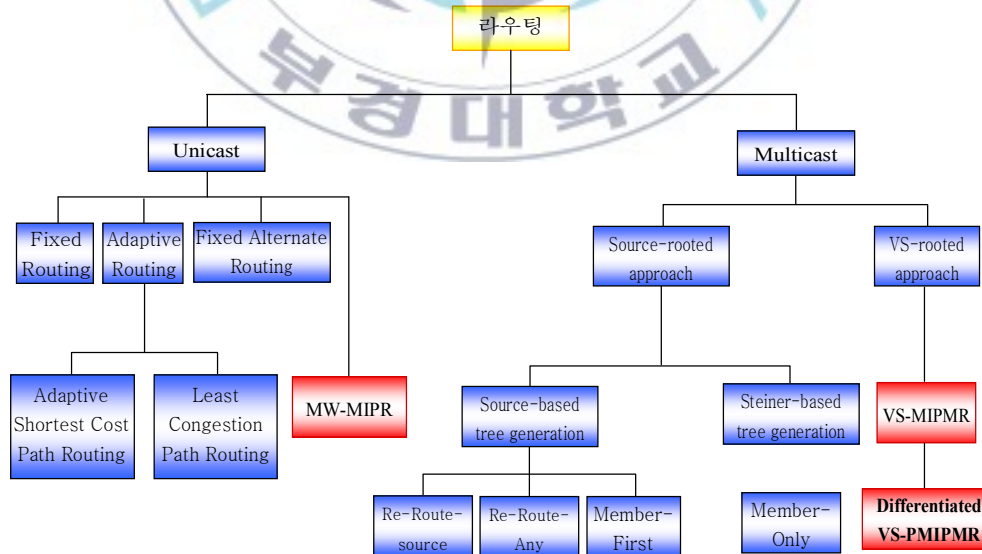
1. 기존의 RWA 연구

일반적으로 RWA 문제는 송수신 노드간의 광경로 설정 요구시 최적의 경로를 설정하고 선택 되어진 경로에 효율적으로 파장을 할당하는 문제로서, 한 파장당 수 Gbps 이상을 제공하는 DWDM 망에서는 망 대역폭의 효율적인 사용 측면에서 매우 중요하게 고려된다. 즉 제한된 자원의 상황에서 얼마나 많은 광경로를 셋업하는가, 혹은 광경로 셋업 요구시 블로킹 확률을 최소화하는 문제이다[7]. 이러한 RWA 문제는 트래픽 특성 및 노드에서의 파장 변환 기능 유무에 따라 여러 관점으로 접근되고 있다. 그러나 이러한 접근 방식들이 라우팅과 파장 할당을 복합적으로 고려하여 최적의 방안을 채택하기에는 어려움이 따르므로 기존의 RWA 문제를 고려한 연구에서는 (그림 1)과 (그림 2)와 같이 라우팅과 파장 할당을 분리하여 연구되어지고 있다.

(그림 1)에서와 같이 파장 할당 방식은 광경로 설정 요구들이 미리 알려져 있는 정적(static) 트래픽 조건하에서 고려되는 정적인 파장 할당 방법과 임의의 시간에 광경로 설정이 요구되는 동적(dynamic) 트래픽 관점에서 접근되는 동적인 파장 할당 방법으로 나누어 연구되고 있다. (그림 2)에서와 같이 DWDM 기반의 라우팅은 크게 유니캐스트, 브로드캐스트, 멀티캐스트 방식이 있다. 유니캐스트 방식은 1:1 전송방식이며, 브로드캐스트 방식은 1:All 의 전송방식이다. 그리고 멀티캐스트 방식은 1:N 또는 M::N 의 전송방식을 말한다.



(그림 1) 기존에 연구된 과장 할당 문제



(그림 2) 기존에 연구된 라우팅 문제 및 제안된 알고리즘

1.1 DWDM 망 기반의 라우팅 방법

1) 유니캐스트 라우팅

가. Fixed Routing (FR):

가장 기본적인 접근 방식으로 송수신 노드 사이에 고정된 경로를 정하고, 광경로 설정 요구시 항상 정해진 경로를 따라 라우팅하는 방식이다. 일반적으로 오프라인 상에서 최단경로 알고리즘(Dijkstra's, Bellman-Ford algorithms)을 이용하여 경로를 계산하며, Fixed Shortest Path Routing이 여기에 속한다. 광경로 설정 요청시, 광경로는 미리 결정되어진 경로를 이용하여 설정된다. 따라서 경로 선택이 단순한 장점이 있지만 파장이 제한되어 있을 때 경로 설정 요구의 차단 확률이 높고, failure 발생시 링크의 fault 상태 처리가 불가능하므로 엄청난 트래픽 손실을 야기한다.

나. Fixed Alternate Routing (FAR):

Fixed Alternate Routing 은 송수신 노드간 다수의 경로를 정해놓고 순차적으로 고려하여 선택하는 방식으로, 수신 노드까지 두 개 이상의 고정 경로가 라우팅 테이블에 유지되어 있다. 즉 광경로 설정 요청시, 라우팅 테이블에서 우선 순위를 따라 차례로 가능한 경로를 찾으며, 이 때 유지된 경로들은 서로 path-disjoint 한 특성을 지녀야 한다. 따라서 이 방식은 Fixed Routing 에 비해 경로 설정 요구에 대한 차단 확률을 상당히 줄여주며, 고장 허용범위를 어느 정도 제공한다. 또한 연결

요청시에 송수신간 두개의 path-disjoint 한 경로를 선택한 후, 이중 하나를 백업(backup) 경로로 미리 설정해둠으로써 failure 발생시 일어나는 막대한 트래픽 손실을 방지할 수 있다.

다. Adaptive Routing (AR):

Adaptive Routing 은 수시로 변하는 망의 상태에 따라 송수신간 경로를 동적으로 선택한다. 즉, 광경로 설정 요구시 가변적인 망의 상태를 따라 송수신 노드간에 모든 가능한 경로를 계산하고, 그 중에서 가장 최적의 경로로 라우팅한다[8]. 따라서 망의 상태를 라우팅 테이블에 지속적으로 갱신하기 위한 제어 관리 프로토콜 제공이 요구되므로 Fixed Routing 과 Fixed Alternate Routing 보다는 연결 요구에 대한 차단 확률이 작다. 또한 이 방식은 fault 에 대한 트래픽 보호 수단으로 백업 경로를 미리 설정하는 보호 기법 뿐만 아니라, failure 발생 후 백업 경로를 동적으로 설정하는 회복 기법도 구현 가능하므로 파장 사용의 효율성을 높여준다. Adaptive Routing 알고리즘에는 Adaptive Shortest-Cost Path Routing 방식과 Least Congestion Path(LCP) Routing 방식이 있다[8-9].

Adaptive Shortest-Cost Path Routing 방식에서 각 링크는 실시간 적으로 망의 상황에 따른 가중치를 지니며, 이 값을 기준해서 최소 비용 경로로 라우팅하는 방식이다. 만약 동일한 비용을 지닌 경로가 다수 개 존재하면 그 중의 하나가 무작위하게 선택되어진다. 파장 변환이 가능한 망에서도 사용이 적합하며, 이 때 파장 변환기 유무에 따라

비용을 줄 수 있다.

LCP(Least Congestion Path) Routing 방식은 Alternate Routing 과 유사하게 여러 개의 가능한 경로를 미리 결정해 놓고, 이들 중 혼잡이 제일 적은 경로를 선택하는 방식이다. 일반적으로 경로 내 가장 혼잡한 링크의 잔여 과장수를 기준해서 라우팅을 수행하며, 동일한 LCP 존재시 최단거리에 우선권을 준다. 따라서 Fixed Alternate Routing 보다는 성능이 좋으나, LCP 선택에서 각 예상 경로상의 모든 링크가 시험되므로 계산이 복잡한 단점도 지닌다.

2) 멀티캐스트 라우팅

멀티캐스트 트리는 (그림 2)에서처럼 크게 두 가지 형태의 접근이 가능하다. 즉 소스 노드를 근간으로 트리를 형성하는 소스 기반 접근 방법과 VS 를 근간으로 트리를 형성하는 VS 기반 접근 방법이 이에 해당하며, 두 방식 모두 Sparse Splitting Capability 네트워크를 기반으로 제안된다.

가. 소스 기반 접근:

소스 기반 접근 방법은 임의의 멀티캐스트 세션의 소스 노드를 그 트리의 근간으로 멀티캐스트 트리를 형성한다. 이로 인해 소스 기반 접근 방식은 소스 노드와 목적지 노드 사이의 각각의 경로 비용을

최소화 하거나, 전체 트리를 구성하는데 드는 총 비용을 최소화한다. 여기서 경로 비용이란 그 경로에서 사용되는 파장 채널의 수를 의미하며, 목적에 따라 멀티캐스트 트리를 형성하기 위한 두 가지 방법이 존재한다[10-11].

Source-based 트리 구성 알고리즘은 멀티캐스트 트리 형성할 때, 소스에서 각각의 목적지로의 개별 경로 비용을 최소화하는 것을 그 목적으로 한다. 이러한 방식에 기반을 둔 방식은 Re-Route-to-Source, Re-Route-to-Any, 그리고 Member-First 방식이며 <표 1>에 자세히 설명되어 있다.

Steiner-based 트리 구성 알고리즘은 각각의 목적지 노드를 멀티캐스트 트리에 더해가며 형성할 때, 멀티캐스트 트리의 총 비용을 최소화하는 것을 그 목적으로 한다. 이러한 방식에 기반을 둔 방식은 Member-Only 그리고 Capability-Based-Connection 방식[11]이며 <표 2>에 자세히 설명되어 있다.

<표 1> Source-based 트리 구성 방식 종류

	구성 방식
Re-route-to-Source	- 모든 MC(Multicast Capable) 노드들이 파장 변환 능력이 있다고 가정[12] - MC 노드가 분기점(Branching Point)일 경우: 전송하고자 하는 정보는 분할되어 하나 이상의 노드로 전달 - MI 노드가 분기점일 경우 - MI 노드에 연결된 하나의 분기를 제외한 모든 하향분기(Downstream Branch)는 MI 노드에 연결될 수 없음 - 연결되지 않은 하향분기의 목적지 노드는 소스로 향하는 반대의 최단 경로를 이용하여 목적지 노드로부터 소스노드로 향하는 길목의 MC 노드에 연결이 됨으로써 멀티캐스트 트리를 형성
Re-route-to-Any	- Re-Route-to-Source 방식의 변형된 형태로 우선 Re-Route-to-Source 방식과 동일하게 절단된 스패닝 트리가 형성 - 다음으로 MI 노드로 인해 분기점으로 연결되지 않은 노드는 반대의 최단 경로가 아닌 이미 멀티캐스트 트리군(Forest)에 연결된 목적지 노드 중 가장 가까이 위치한 노드로 연결되어 멀티캐스트 트리를 형성
Member-First	- 멀티캐스트 트리를 형성하는 동안 MC 노드의 활용유무를 체크 - Dijkstra 알고리즘을 이용하여 한 번에 하나의 링크가 멀티캐스트 트리에 속하게 되며, 이때 각 노드의 멀티캐스트 능력을 체크하기 위해 Fringe 링크의 개념이 도입 - Fringe 링크는 현재의 멀티캐스트 트리에 연결될 가능성이 있는 링크를 나타내며, 우선순위 대기로 구성 - 목적지 노드로 향하지 않는 노드에 비해 목적지 노드로 향하는 경로 상에 존재하는 Fringe 링크는 높은 우선순위를 부여 받아서 멀티캐스트 트리에 더해지게 되고, 그렇지 않은 Fringe 링크는 지워지게 되고 이러한 절차는 모든 목적지 노드가 멀티캐스트 트리에 연결될 때까지 지속

<표 2> Steiner-based 트리 구성 방법 종류

	구성 방법				
Member-only	- 멀티캐스트 트리를 형성하면서 하나의 멀티캐스트 트리에 가능한 많은 목적지 노드를 포함 - 만일 임의의 한 목적지 노드가 이전에 설립된 멀티캐스트 트리상의 노드 중 한 개 이상의 노드에 대해 같은 거리에 있으면 임의대로 멀티캐스트 트리에 연결 설정을 요청 - 멀티캐스트 트리에 속하지 않은 노드가 존재하면 모든 목적지 노드가 멀티캐스트 트리에 속해질 때 까지 동일한 절차를 반복하여 최종적으로 하나의 멀티캐스트 세션에 대한 멀티캐스트 트리군을 형성				
Capability-Based-Connection	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Member-only</th><th>Capability-Based-Connection</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td> - 분할 능력과 파장 변환 능력을 모두 갖추고 있는 노드로 마치 소스 노드와 유사하게 새로운 서브트리를 형성하는 역할을 할 수 있는 VS 노드를 이용하여, 파장 채널수의 이득을 가지는 방법 </td><td> - 각각의 서로 다른 능력을 지닌 노드들이 서로 서로에 대해 서로 다른 우선순위를 지닌다고 가정 - VS 노드가 가장 높은 우선순위를 가지게 되고, 다음으로 분할 노드, 파장 변환 노드, DaC(Drop and Continue) 노드의 순으로 우선순위를 가짐 - 분할 노드는 입력 메시지에 대해 한 개 이상의 분할된 메시지를 전달할 수 있으므로 WC 노드에 비해 높은 우선순위를 가지게 되며, WC 노드는 일반 DaC 노드에 비해 파장 할당 문제에 있어서 좀 더 많은 유연성을 제공하므로 DaC 노드에 비해 높은 우선순위를 가짐 </td></tr> </tbody> </table>	Member-only	Capability-Based-Connection	분할 능력과 파장 변환 능력을 모두 갖추고 있는 노드로 마치 소스 노드와 유사하게 새로운 서브트리를 형성하는 역할을 할 수 있는 VS 노드를 이용하여, 파장 채널수의 이득을 가지는 방법	- 각각의 서로 다른 능력을 지닌 노드들이 서로 서로에 대해 서로 다른 우선순위를 지닌다고 가정 - VS 노드가 가장 높은 우선순위를 가지게 되고, 다음으로 분할 노드, 파장 변환 노드, DaC(Drop and Continue) 노드의 순으로 우선순위를 가짐 - 분할 노드는 입력 메시지에 대해 한 개 이상의 분할된 메시지를 전달할 수 있으므로 WC 노드에 비해 높은 우선순위를 가지게 되며, WC 노드는 일반 DaC 노드에 비해 파장 할당 문제에 있어서 좀 더 많은 유연성을 제공하므로 DaC 노드에 비해 높은 우선순위를 가짐
Member-only	Capability-Based-Connection				
분할 능력과 파장 변환 능력을 모두 갖추고 있는 노드로 마치 소스 노드와 유사하게 새로운 서브트리를 형성하는 역할을 할 수 있는 VS 노드를 이용하여, 파장 채널수의 이득을 가지는 방법	- 각각의 서로 다른 능력을 지닌 노드들이 서로 서로에 대해 서로 다른 우선순위를 지닌다고 가정 - VS 노드가 가장 높은 우선순위를 가지게 되고, 다음으로 분할 노드, 파장 변환 노드, DaC(Drop and Continue) 노드의 순으로 우선순위를 가짐 - 분할 노드는 입력 메시지에 대해 한 개 이상의 분할된 메시지를 전달할 수 있으므로 WC 노드에 비해 높은 우선순위를 가지게 되며, WC 노드는 일반 DaC 노드에 비해 파장 할당 문제에 있어서 좀 더 많은 유연성을 제공하므로 DaC 노드에 비해 높은 우선순위를 가짐				

지금까지 살펴본 소스 기반 접근 방법 목적은 각각의 멀티캐스트 세션에 대한 멀티캐스트 트리를 형성하기 위해 트리의 총 비용을 최소화(Steiner-Based 트리 형성 방법) 하거나 소스 노드에서 목적지 노드로 향하는 각각의 경로 비용을 최소화(Source-based 트리 형성 방법)하는 것이다. 이로 인해 최단 경로를 찾기 위한 지연시간이 길어지는 단점 및 소스를 근간으로 멀티캐스트 트리를 형성하기 위해 계산해야 할 오버헤드가 많다는 단점이 있다. 또한 기존의 멀티캐스트 세션에 대해 임의의 목적지 노드의 추가 및 삭제시 새로이 멀티캐스트 트리를 형성해야 한다는 단점이 존재한다. 뿐만 아니라 임의의 노드 failure 시 새로이 멀티캐스트 트리를 형성해야 한다는 번거로움이 있으며, VS 노드가 멀티캐스트 트리 형성방법에 따른 적절한 경로에 위치해야만 splitter 의 역할을 할 수 있다는 단점으로 인해 불필요한 자원의 낭비(Excess resource usage)를 초래한다는 것이다. 이는 곧 전체 네트워크의 성능에 영향을 미치게 되고, 이로 인해 VS 를 중심으로 멀티캐스트 트리를 구성하기 위한 연구가 현재 수행 중이다.

나. VS-rooted 접근:

VS 기반 접근 방식은 앞서 살펴본 소스 기반 접근 방식의 한계점을 보완한다[9, 11, 16]. 이러한 형태의 알고리즘을 따르는 방식으로 Virtual Source-based 멀티캐스트 트리 구성 혹은 간단히 줄여서 VS-based 트리 방식이 있다. VS-based 트리 형성 방법은 우선 전체 네트워크에서 일부 노드가 VS 노드로 선정이 된다. 이때 VS 노드는 가장 높은 차수 즉

많은 수의 이웃 노드를 가지는 노드가 VS 노드로 선정이 된다. 이들 VS 노드들 간 상호 광경로가 형성이 되고, 형성된 경로를 이용하여 정보를 교환하면서 전체네트워크를 각각의 VS 노드를 중심으로 분할한다. 이후 멀티캐스트 트리가 형성될 때 VS 노드간의 분할한 지역과 상호 연결성을 기반으로 각 세션에 대한 멀티캐스트 트리를 형성하게 된다. 따라서 VS-based 트리 형성 방법은 크게 네트워크 분할 단계(Network Partitioning Phase)와 트리 형성 단계(Tree Generation Phase)로 나뉜다.

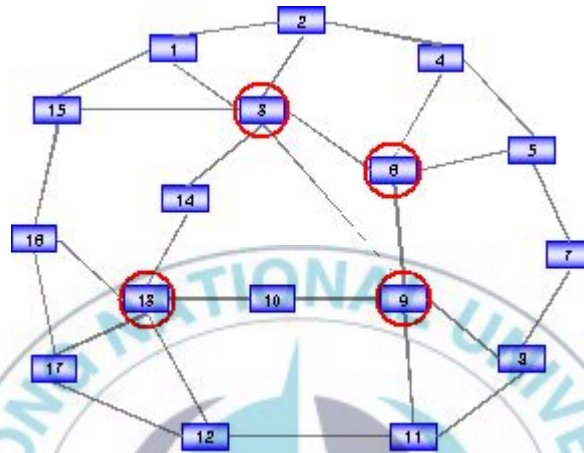
네트워크 분할 단계(Network Partitioning Phase)에서는 주어진 네트워크가 VS 노드의 주변 노드를 기반으로 몇 개의 부분으로 나누어진다. 즉 전체 네트워크에서 일부 노드가 VS 노드로 선출이 되며, 이들 선출된 모든 VS 노드사이의 경로가 설정된다. 이로써 모든 VS 노드는 서로에 대한 연결을 설립하여 전체 네트워크는 마치 VS 노드가 서로 연결된 집합으로 보이게 된다. 이러한 VS 노드는 주어진 멀티캐스트 세션에 대한 분배역할을 수행한다. 한편 네트워크의 나머지 노드들은 VS 노드를 근간으로 하여 서로 서로 그룹을 형성하게 되어 전체 네트워크는 각각의 VS 노드를 중심으로 나머지 노드가 여러 개의 클러스터를 형성한 것처럼 보이게 된다.

트리 형성 단계(Tree Generation Phase)는 각각의 멀티캐스트 세션 요청에 대한 소스 및 목적지 노드의 집합이 주어지면 네트워크 분할 단계에 의해 설정된 경로 연결 설정을 이용하여 멀티캐스트 트리를 형성한다.

주어진 멀티캐스트 세션 요청에 대해 멀티캐스트 트리를 형성하는 절차는 다음과 같다. 우선 멀티캐스트 세션의 소스 노드는 자신이 속한 구역의 VS 노드로 연결 설정을 요청한다. 이러한 VS 노드를 Primary Virtual Source(PVS) 노드라 부른다. 이에 반해 주어진 멀티캐스트 세션의 목적지 노드를 하나이상 가지고 있는 구역의 VS 노드를 Secondary Virtual Source(SVS) 노드라고 부른다. 각각의 세션에 대해 PVS 는 하나씩 존재하며, PVS 는 멀티캐스트 세션 요청 이전에 설정된 SVS 노드와의 연결 설정 경로를 이용하여 각각의 SVS 에 대한 목적지 노드와의 연결 설정을 수행할 수 있다.

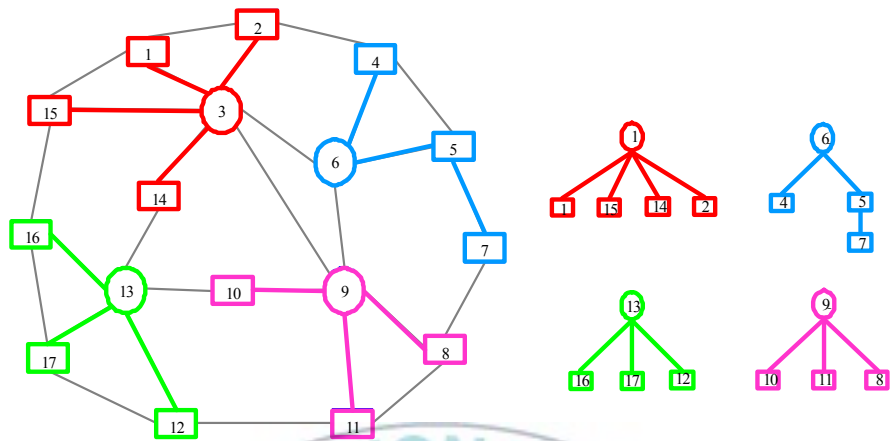
이처럼 VS-based 트리 형성 방법은 멀티캐스트 세션 이전에 VS 와 VS 사이의 경로가 이미 설정되어있어 임의의 멀티캐스트 세션 요청 시 요청에 따른 멀티캐스트 트리를 형성하는데 걸리는 지연시간이 Source-based 접근 방식에 비해 작다는 장점과 동시에 유동적인 노드의 추가 및 삭제에 대한 추가적인 멀티캐스트 트리 형성 절차가 불필요하므로 Source-based 접근 방식에 비해 좀 더 유연한 멀티캐스트 트리를 형성한다.

다.Virtual Source-Based tree 형성 방법의 예



(그림 3) 물리적인 네트워크 모형

Virtual Source 기반의 멀티캐스트 트리 형성 방법을 다음의 (그림 3)을 통해 살펴보자. 물리적인 네트워크의 구성은 (그림 3)과 같다. 이 경우 VS 노드를 선정하기 위해 각 노드의 차수를 살펴보면, 노드 3 은 차수 6, 노드 9 와 13 은 차수 5, 노드 6 은 차수 4, 노드 7, 10, 14 는 각각 차수 2, 그 밖의 노드는 차수가 모두 3 이다. 따라서 차수가 높은 노드 3, 6, 9, 13 가 VS 노드로 선정이 되며, 각 VS 노드는 서로 서로에 대한 경로 설정을 완료와 동시에 각 VS 노드를 중심으로 전체 네트워크를 (그림 4)과 같이 그룹화하게 된다.



(a) VS 노드를 중심으로 분할된 네트워크 (b) 모든 VS 노드를 중심으로 한 Trees

(그림 4) 분할된 네트워크 모형

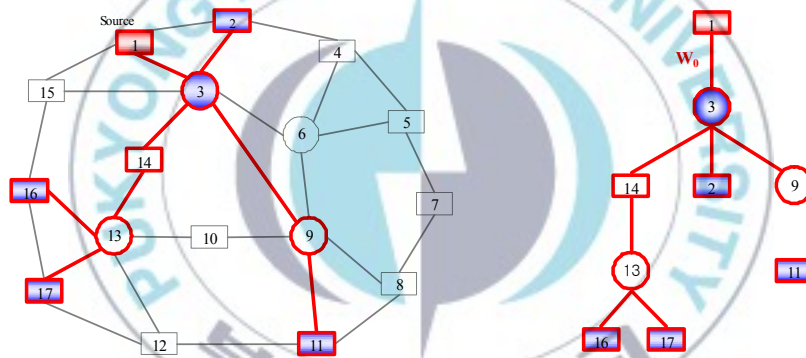
각 세션 별 소스 및 목적지 노드들의 집합이 <표 3>과 같을 때 세션에 따른 멀티캐스트 트리를 Virtual Source-based 트리 형성 방법을 통해 구하면 다음과 같다

소스 노드는 자신의 가장 가까운 노드를 Primary Virtual Source(PVS) 노드로 설정하고, PVS 노드(노드 3)에게 멀티캐스트 트리 경로 형성 요청을 한다. PVS 는 멀티캐스트 세션이전에 다른 VS 노드와 형성된 light 경로를 통해 SVS 노드를 찾아 멀티캐스트 세션에 대한 정보를 전송하면, 각각의 SVS 노드들은 자신의 구역에 할당된 일반 노드 중 해당 멀티캐스트 세션에 해당하는 노드에게 멀티캐스트 세션에 대한 정보를 전송하게 된다. (그림 5-(a))는 이러한 절차를 나타내며, (그림 5-(b))는 최종적으로 형성된 첫 번째 세션에 대한 멀티캐스트 트리를 나타내고, (그림 5-(c))는 형성된 멀티캐스트 트리에 파장이 할당된

분포를 나타낸다.

<표 3> 세션에 따른 소스 및 목적지 노드

세션	Source	Destination
1	1	2,3,11,16,17
2	4	1,2,5,7,10,11
3	16	2,3,8,11,12
4	8	1,4,5,9,10,15



(a) 첫 번째 session의 소스 및 목적지 노드 (b) 첫 번째 session

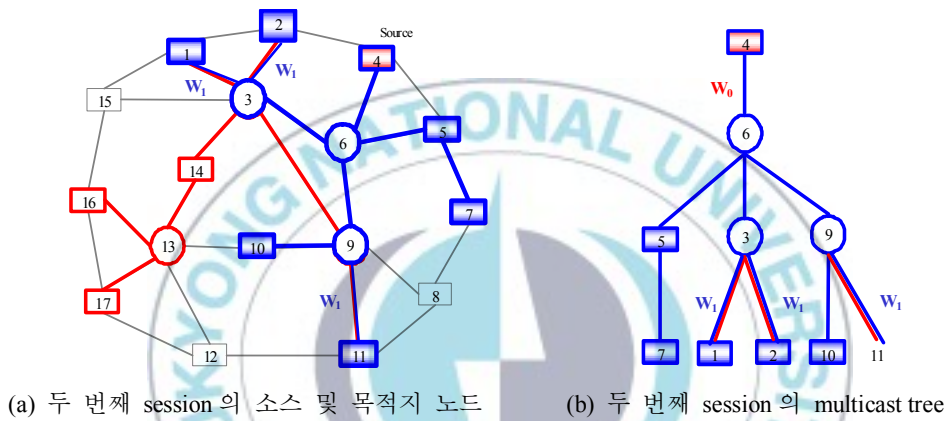
LP	Path	WL
1-3	1-3	W_0
3-2	3-2	W_0
3-9	3-9	W_0
3-13	3-14-13	W_0
9-11	9-11	W_0
13-16	13-16	W_0
13-17	13-17	W_0

(c) 첫 번째 multicast treed의 wavelength 할당

(그림 5) 첫 번째 세션에 대한 멀티캐스트 트리 형성

같은 형식으로 두 번째 세션에 대한 멀티캐스트 트리 형성 및 파장 할당을 (그림 6)에 보였다.

유사한 방식으로 세 번째, 네 번째 세션에 대한 멀티캐스트 트리를 구할 수 있다.



LP	Path	WL
4-6	4-6	W_0
6-3	6-3	W_0
6-9	6-9	W_0
6-5	6-5	W_0
6-7	6-5-7	W_0
3-1	3-1	W_1
3-2	3-2	W_1
9-10	9-10	W_0
9-11	9-11	W_1

(c) 두 번째 multicast tree의 wavelength 할당

(그림 6) 두 번째 세션에 대한 멀티캐스트 트리 형성

한편 VS-based 트리 형성방식은 VS 노드의 개수가 많을수록 멀티캐스트 세션 이전에 VS 간 자원을 예약하기 위한 파장 채널수가 증가하는 단점을 보이므로 네트워크 모델에 따른 적절한 VS 노드의 개수 선택이 중요하다[17].

1.2 DWDM 망 기반의 파장할당 방법

파장 할당 방법은 DWDM 망에서 광 라우팅 방식에 의해 정해진 최적의 경로를 따라 링크상에 각각의 파장을 할당하는 문제다. 즉, 주어진 링크상에서 광경로들이 동일한 파장을 공유하지 않으면서 파장을 가장 효율적으로 사용하기 위함으로, 트래픽 특성에 따라 두 가지 관점으로 나누어 접근한다.

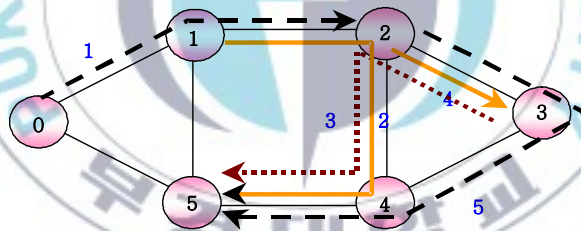
1) 정적 파장 할당

송수신간에 광경로 요청 집합이 미리 알려진 경우에 주어진 라우팅 경로를 따라 파장 할당을 수행하는 문제로서, 파장 연속성 제약조건 하에서 사용되는 파장의 수를 최소화 시키는데 중점을 두고 있다. 일반적으로 Graph-Coloring 알고리즘이 정적 파장 할당 방식에서 사용되며 절차는 다음과 같다[17].

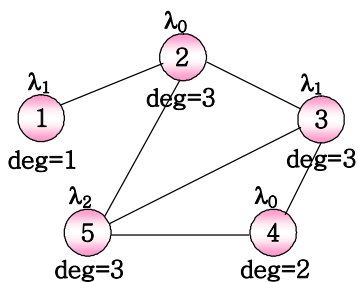
먼저 그래프상에 라우팅된 각각의 광경로를 노드로 표현하고, 공통의 링크를 거치는 경로(노드)들은 에지로 연결하여 그래프 $G(V, E)$ 를 구성한다.

다음으로 구성된 그래프 G 의 노드를 coloring 하고, 이 때 예지로 연결된 노드들은 서로 다른 색깔을 칠한다. 즉, 같은 링크를 경유하는 경로들은 동일한 파장을 가지지 않도록 할당하는 것이다.

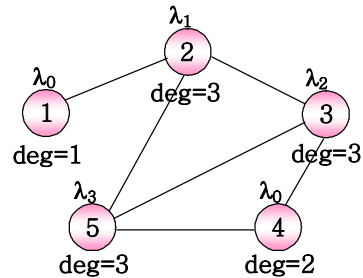
(그림 7)는 Graph-Coloring 알고리즘의 예로, 그림 7(a)와 같이 라우팅된 경로의 그래프 G 는 coloring 순서에 따라 사용되는 파장수가 달라진다. 여기서는 degree(광경로가 같은 링크를 다른 경로와 공유하는 정도)의 높낮음으로 우선 순위를 부여하여 coloring 하였으며, (b)와 같이 degree 가 높은 노드(광경로)부터 coloring(파장할당)하는 방식이 degree 가 낮은 노드부터 coloring 하는 (c)보다 사용되는 파장의 수를 최소화 시키는데 뛰어나다.



(a) 5 개의 광경로를 가지는 네트워크



(b) 최대 degree로부터 coloring



(c) 최소 degree로부터 coloring

(그림 7) Graph coloring 알고리즘

2) 동적 파장 할당

실시간으로 요구되는 광경로 요청에 대해 차단 확률을 최소화하는 방향으로 파장 할당을 수행하는 문제로서 Random, First-Fit, Least-Used/SPREAD, Most-Used/PACK, Min-Product, Least-Loaded, MAX-SUM, Related Capacity Loss, Distributed Related Capacity Loss, Wavelength Reservation, Protecting Threshold 등의 다양한 알고리즘이 연구되고 있다[6, 17].

R(Random)은 이용 가능한 파장 중에 하나를 랜덤하게 선택하여 경로상에 할당하는 방식이고, FF(First-Fit)는 모든 파장에 번호를 부여하여 낮은 번호의 파장부터 순차적으로 고려하여 할당하는 방식이다. 따라서 망의 전체 정보가 필요 없고, 파장을 모두 고려할 필요가 없기 때문에 계산이 쉽다. 또한 긴 경로에 높은 번호의 파장을 할당할 수 있는 확률이 높아져 짧은 경로와 긴 경로간의 공정성 면에서도 좋은 방식으로 현재 많이 사용되고 있다. LU(Least-Used)/SPREAD 방식은 망에서 최소(가장 빈번하지 않게)로 사용된 파장을 선택하여 할당하는 기법으로 파장들 사이의 부하 균형을 유지한다. 그러나 망 전체의 정보 관리와 복잡한 계산과정으로 실제적으로 이용하기에 어려움이 있다. MU(Most-Used)/PACK 방식은 LU 와 반대되는 개념으로, 망에서 최대(가장 빈번하게)로 사용된 파장을 선택하여 할당하는 기법이다. 따라서 LU 와 동일한 단점을 지니지만, 상대적으로 긴 경로에 파장 할당이 용이하므로 사용

가능한 파장수가 적은 망에서는 효과적이다. MP(Min-Product) 방식은 다중 파이버 망에서 파이버 수를 최소화시키기 위해 사용되는 기법으로, 만약 같은 값을 가지는 파장이 두 개 이상일 때는 낮은 번호의 파장을 우선적으로 선택하고, 이는 단일 파이버 망에서 FF 방식과 동일하다. LL(Least-Load) 방식은 경로내 가장 혼잡한 링크상에서 최소로 사용된 파장을 할당하는 방식으로, 다중 파이버 망에서 사용한다. 동일한 조건을 지닌 파장이 두 개 이상일 경우에는 가장 낮은 번호의 파장을 선택한다. M Σ (Max-Sum) 방식은 라우팅 결과 경로가 결정된 연결 요청들을 모두 고려하여 각 파장 할당이 차단 확률에 최소로 영향을 미치도록 하는 방법이다. 또한 RCL(Relative Capacity Loss) 방식은 경로상에서 이용 가능한 파장 수를 고려하여 M Σ 를 개선한 방식이다. 즉, 다른 경로의 차단 확률에 대한 잠재적 손실 가능성을 파장 수에 따라 상대적으로 고려하고, 이를 최소화시키는 파장을 할당한다. 따라서 M Σ 보다 성능이 좋은 반면, 분산 제어 망에서는 구현이 불가능하다. DRCL(Distributed Relative Capacity Loss) 방식은 RCL 을 분산 제어 망에서 사용하기 위해 변형한 것으로, 수신 노드를 제외한 모든 노드에 대해 RCL 을 고려하므로 계산이 복잡하다. Rsv(Wavelength Reservation) 방식은 특정 링크상에서 연속된 트래픽 전송을 위해 파장을 예약하는 방식으로, multi-hop 트래픽에서 성능이 뛰어나며 다른 파장 할당 기법과 복합적으로 사용된다. 마지막으로 Thr(Protection Threshold) 방식은 링크상에 이용 가능한 파장수가 주어진 threshold 값보다 크거나 같을 때 파장을 할당하는 방식으로, Rsv 처럼 단독으로 사용되지 않는다.

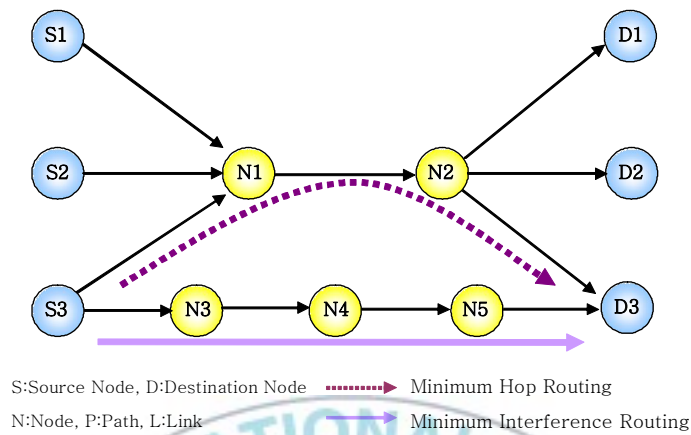
2. 최소 간섭 경로 라우팅 기술

2.1. MW-MIPR 알고리즘

DWDM 망에서는 대량의 멀티미디어 트래픽이 고속으로 전송되므로 자원의 효율적인 사용 및 QoS 서비스 제공 측면에서 망 상황이나 차단에 대한 고려가 필수적이며[18-21], 기존의 QoS RWA 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 광경로 사이의 간섭을 최소화하고 대역폭 보장에 중점을 둔 MW-MIPR 알고리즘을 제안하였다[19].

예를 들면, (그림 8)와 같이 최소 홉 수 알고리즘에 의해 송수신 노드 쌍(S3, D3) 사이에 경로 P1이 결정되었을 때, 미래에 연결 설정을 요청하는 다른 송수신 쌍들 (S1, D1)와 (S2, D2)의 경로는 노드 N1 과 N2 사이의 혼잡 링크 L을 경유하므로 잠재적인 차단을 경험할 확률이 높다. 따라서 최소 홉 경로 보다 홉 수는 많지만 다른 송수신 쌍에 대해 최소한의 영향을 미치는 경로 P2를 선택하는 것이 효율적이며, MW-MIPR 알고리즘은 미래의 잠재적인 연결 요구를 가지는 많은 송수신 쌍들에 대해 영향을 최소화 하는 경로를 선택한다.

또한 기존 연구에서 제안한 MW-MIPR 알고리즘에서는 라우팅 문제 뿐만 아니라 파장 연속성 문제까지 동시에 고려하여, 파장 변환기의 사용 유무에 따른 망의 특성에 맞춰 서로 상이한 알고리즘을 제시하였다.



(그림 8) MW-MIPR 알고리즘 방법

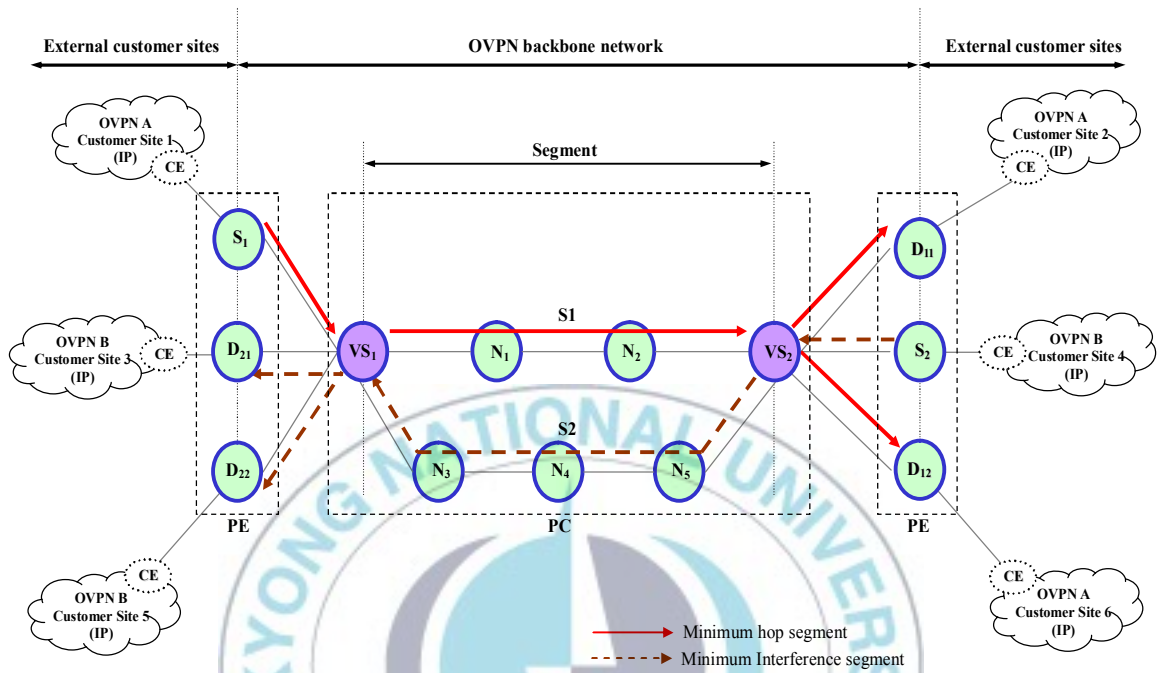
2.2. VS-MIPMR 알고리즘

DWDM 멀티캐스트 망에서는 대량의 멀티미디어 트래픽이 고속으로 전송되므로 자원의 효율적인 사용 및 QoS 서비스 제공 측면에서 망 상황이나 차단에 대한 고려가 필수적이며, 기존의 QoS MCRWA 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 light-tree 구성 시 광경로 사이의 간섭을 최소화하고 대역폭 보장에 중점을 둔 Virtual Source-based 방식의 MIPMR(Minimum Interference Path Multicast Routing) 알고리즘을 제안하였다.

VS-MIPMR 은 각각의 VS 노드를 기반으로 분산 네트워크를 구성한 후 이 분산 네트워크를 이용하여 트리를 구성하는 Virtual Source-based 방식에 미래의 잠재적인 서비스 요청에 대한 간섭을 최소화하고 대역폭 보장에 중점을 둔 MW-MIPR 알고리즘을 접목한 방식의

멀티캐스트 라우팅 알고리즘이다[22]. 기존의 VS-based 트리 형성 방식은 자원을 효율적으로 활용하고 light-tree 구성 시 지연시간이 적다는 장점을 가지고 있지만 미래의 잠재적인 서비스 요청에 대해서는 고려를 하지 않는다는 한계점을 보인다. 따라서 VS-MIPMR 은 Virtual Source-based 트리 형성 방식을 이용한 light-tree 구성 시 간섭이 일어날 가능성이 높은 VS 사이에 MW-MIPR 알고리즘을 적용함으로써 미래의 잠재적인 연결 요구에 대해 간섭을 최소화하는 light-tree 를 구성한다.

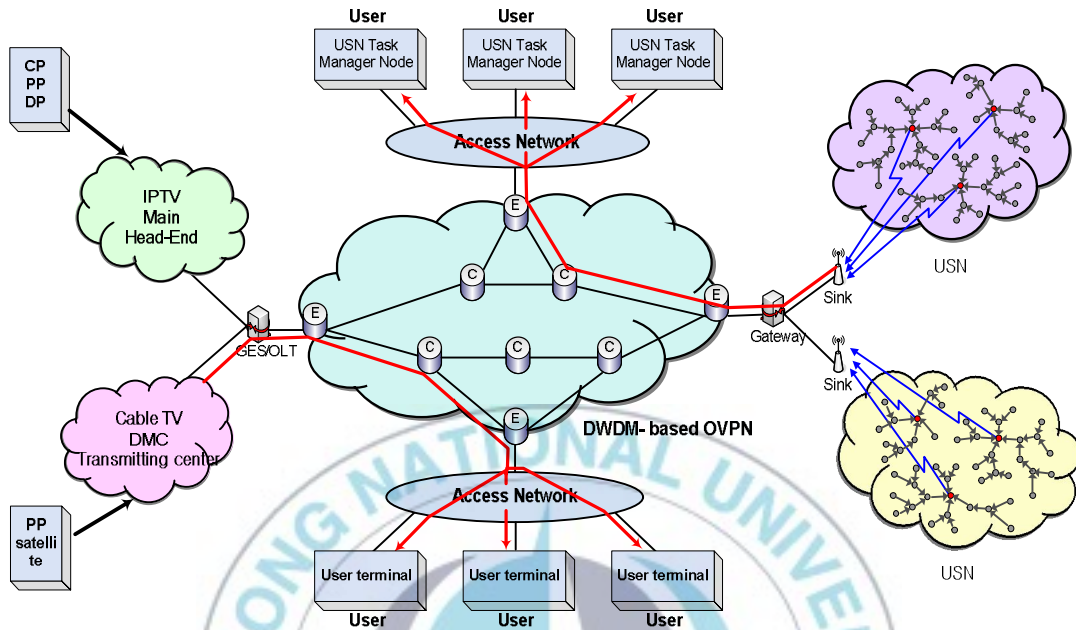
예를 들면 (그림 9)과 같이 VS 노드와 VS 노드 사이에 세그먼트 S1 이 결정되었을 때, 미래에 연결 설정을 원하는 다른 light-tree 쌍들 또한 목적지 노드에 따라 VS 노드와 VS 노드 사이의 혼잡링크를 경유하게 되므로 잠재적인 차단을 경험할 확률이 높다[7,11]. 따라서 최단 경로보다는 홉 수가 많지만 다른 송수신 쌍에 대해 최소한의 영향을 미치는 세그먼트 S2 를 선택해서 트리를 구성하는 것이 효율적이며, VS-MIPMR 알고리즘은 미래의 잠재적인 트리 구성 요구를 가지는 송수신 쌍들에 대해 영향을 최소화하는 경로를 통해 트리를 구성한다.



(그림 9) VS-MIPMR 알고리즘 방법

Ⅲ. 차등화 VS 노드를 고려한 우선순위 기반 최소 간섭 경로 멀티캐스트 RWA 알고리즘

멀티캐스트 서비스를 적용한 USN(Ubiquitous Sensor Network)과 사용 단말을 포함한 IPTV 서비스를 나타내는 (그림 10)에서와 같이 television broadcast, movie broadcast, 화상회의, 실시간 경매, 인터넷 게임 등의 멀티미디어 서비스 제공을 위해 DWDM 멀티캐스트 망에서는 대량의 멀티미디어 트래픽이 고속으로 전송되므로 자원의 효율적인 사용 측면에서 망 상황이나 차단에 대한 고려가 필수적이다. 따라서 본 MCRWA 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 능력치가 다른 각각의 노드에 대해 우선순위를 고려하고 그 중에서도 우선순위가 가장 높고 비용 효과가 가장 큰 VS 노드의 파장변환 기능을 차등화 시켜 제공하며, VS 기반의 light-tree 구성 시 형성되는 분산 네트워크에 가장 적절한 라우팅 방식을 적용하여 멀티캐스트 서비스를 제공할 수 있는 새로운 개념의 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제안한다.



(그림 10) DWDM 망에서 IPTV 서비스 제공을 위한 멀티캐스트 서비스

1. 차등화 VS PMIPMR 정의

멀티캐스트 라우팅을 위한 트리 형성 방법 중 Source-based 트리 형성 방식의 단점을 보완한 VS-based 트리 형성 방식은 자원을 효율적으로 활용하고 light tree 구성 시 지연시간이 적다는 장점을 가지고 있다. VS-MIMR 알고리즘 개발을 통해 VS-based 트리 형성 방식에 미래의 잠재적인 서비스 요청을 고려하여 VS-based 트리 형성 방식의 한계점을 보완하였으나, light-tree 구성시 능력치가 다른 노드에 대해 우선순위 및 VS 노드의 과장변환 기능을 차등화 시킨 차등화 VS 노드를 고려하지 않아 효율성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 차등

화된 능력을 가지는 각 노드를 고려하고, 그 중에서도 비용효과가 가장 큰 차등화 VS 노드를 사용한 후 VS-based 트리 형성 방식의 단점을 보완한 VS-MIPMR 알고리즘을 적용함으로써 차단 확률 및 자원 사용률을 개선할 수 있는 효율적인 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘으로 선택된 경로는 파장 사용측면 및 비용면에서 매우 효율적이며 VS-MIMR 알고리즘 보다 뛰어난 성능을 나타내었다.

(그림 11)은 제안된 알고리즘을 나타낸다. VS-Based 트리 형성 방법을 통해 VS 노드를 기반으로 크게 소스 노드에서 VS 노드, VS 노드에서 VS 노드, VS 노드에서 목적지와 같이 크게 3부분의 분산 네트워크를 구성한다. 파장 변환 기능과 파장 분할 기능을 가지는 VS 노드는 가장 뛰어난 성능을 가진 노드이나 비용문제가 가장 큰 문제이기 때문에 제한된 수의 VS 노드를 사용해야 한다. 이러한 비용문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 VS 노드의 파장 변환 기능을 차등화 시켜 이용함으로써 최저 비용의 광자원으로 최대의 광경로를 설정하고, 각각의 분산 네트워크에 대하여 가장 적절한 라우팅 방식을 고려함으로써 전체 네트워크의 성능을 향상 시킬 수 있다.

또한 VS-MIPMR은 VS-based 트리 형성 방식을 이용한 광 경로 구성 시 간섭이 일어날 가능성이 높은 VS 사이에 간섭을 최소화하는 알고리즘을 적용함으로써 미래의 잠재적인 연결 요구에 대해 간섭을 최소화하는 광 경로를 구성하여 VS-based 트리 형성 방식의 한계점을 보완하였으나 차등화된 능력을 가지고 있는 각 노드에 대해 고려하지 않아 효율성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 각 노드의 우

선순위를 고려하고, 그 중에서도 우선순위가 가장 높은 VS 노드 사이에 집중될 트래픽으로 인해 light-tree 구성시 간섭이 일어날 가능성이 높은 VS 노드 간의 분산 네트워크에 대하여 차등화 VS-PMIPMR 알고리즘을 적용하고, 상대적으로 간섭이 일어날 가능성이 적은 소스에서 VS 노드, VS 노드에서 목적지 사이에는 SHP 알고리즘을 적용하는 새로운 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제안한다.

(그림 11)은 미래의 잠재적 연결 요청을 $P_1=(S_1, D_{11})$, $P_2=(S_2, D_{21}$ and $D_{22})$ and $P_3=(S_3, D_{31})$, 세그먼트를 $S1=(VS_1, N_1, N_2, VS_2)$, $S2=(VS_1, N_3, N_4, N_5, VS_2)$ and $S3=(VS_1, N_6, N_7, N_8, VS_2)$ 로 가정한다. 첫 번째 멀티캐스트 세션 요청, P_1 을 위해서 세 가지 세그먼트 중 가장 높은 노드 우선순위와 가장 적은 홉 카운터를 가지는 세그먼트 S1이 선택된다. 두 번째 멀티캐스트 세션 요청, P_2 도 같은 이유로 S1을 공유한다. 그러나 망 상황에 따라 세 번째 멀티캐스트 세션 요청, P_3 에 대해 높은 우선순위와 최소 홉 수를 가지는 S1의 선택은 세그먼트 S1에서의 트래픽 집중을 가져오고 이로 인해 차단 확률을 증가시킨다. 그러므로 비록 S3이 S1보다 홉 수가 많더라도, S2보다 노드 우선순위가 높으면서 미래의 다른 멀티캐스트 세션 요청에 대한 최소의 간섭을 받는 S3 이용이 더 효율적이다.

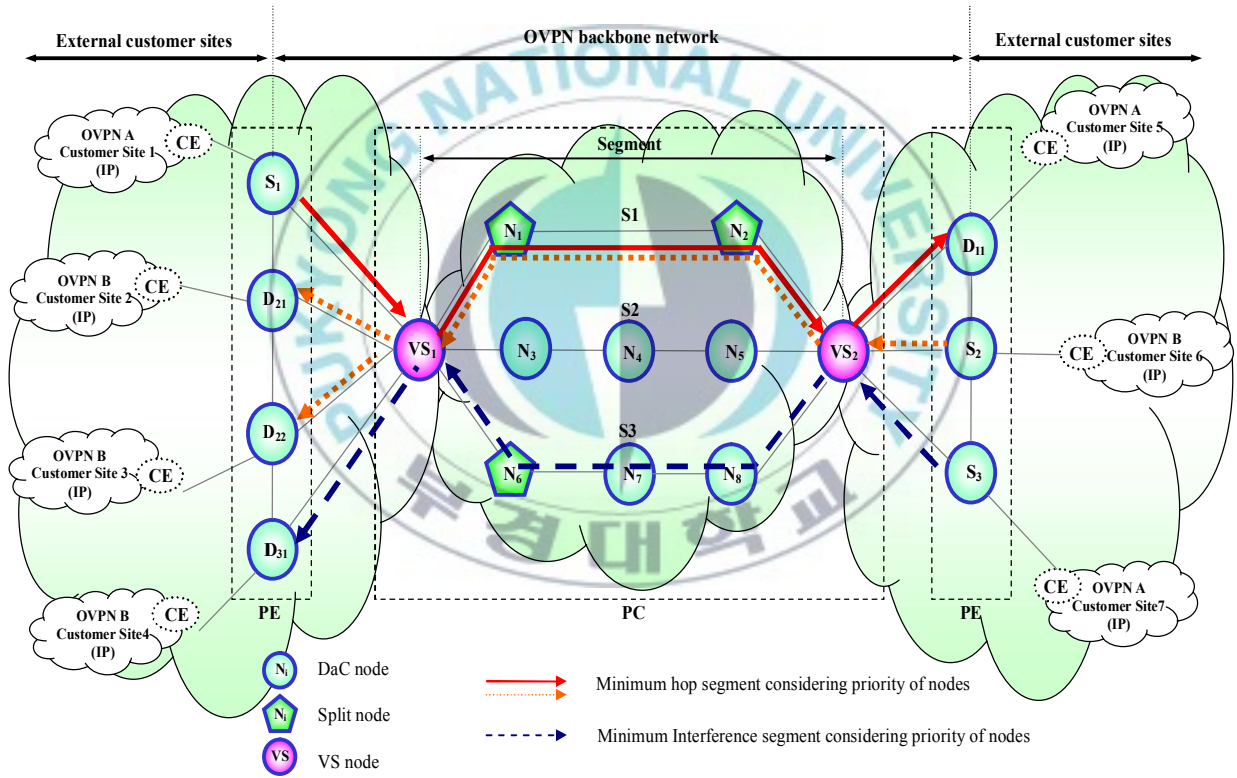
다음은 차등화 PMIPMR 알고리즘에 사용되는 기호들이다.

- $G(N, L, W)$: 주어진 네트워크 그래프, 여기서 N , L , 그리고 W 는 각각 노드들의 집합, 링크들의 집합, 그리고 링크당 모든 파장의 집합

을 나타낸다. 각 링크의 파장 수는 동일하다.

- P : 미래 멀티캐스트 세션 연결 요청에 의해 연결 설립이 요구될 수 있는 잠재적인 경로 간의 노드 쌍들의 집합 ((i, j) : 집합 P 의 원소)
- (a, b) : 현재 멀티캐스트 세션 연결 설정을 요구하는 노드 쌍들의 집합
- S_{ab}^n : 선택된 노드 쌍 (a, b) 의 최소 홉 수 세그먼트 (n 은 세그먼트의 인덱스, $1 \leq n \leq 3$)
- l_{ab}^n : S_{ab}^n 에서 최소의 파장을 가지고 있는 혼잡링크
- S_{ij} : 잠재적으로 요청할 수 있는 노드 쌍 (i, j) 간의 최소 홉 수 세그먼트
- $W(S_{ab}^n)$: S_{ab}^n 의 총 가중치 합
- α_{ab}^n : 멀티캐스트 세션 연결 요청 예약에 따른 통계적 세그먼트에 대한 노드 쌍 (a, b) 사이의 n 번째 세그먼트 가중치
- Ω_{ab}^n : S_{ab}^n 상에 First-Fit(FF) 방식에 의해 할당 가능한 파장
- $R(l_{ab})$: 노드 쌍 (a, b) 간 최소 파장수를 가지는 링크 l 의 사용 가능한 파장 수 ($\forall l \in L$)
- π_{ab}^n : S_{ab}^n 에 속하는 링크의 집합
- π_{ij} : S_{ij} 에 속하는 링크의 집합
- F_{ij} : S_{ij} 의 사용 가능한 파장 수
- Δ : S_{ab}^n 에서 사용 가능한 파장의 임계치(S_{ab}^n 에서 전체 파장의 30%가 해당)
- U_{ab}^n : S_{ab}^n 의 파장 이용률

- D_{VS} : VS 노드의 파장 변환율
- k_{VS} : VS 노드로 입력되는 파장 수
- Λ : 하나의 파이버당 수용가능한 파장 수
- $S_{priority}$: 최소 우선순위를 가지는 세그먼트 수



(그림 11) 차등화 VS-PMIPMR 알고리즘 상세도

2. 차등화 VS PMIPMR 절차

제안된 알고리즘에서 VS 노드의 파장 변환 기능을 차등화시킨 차등화 VS 노드의 사용은 최저 비용으로 노드 구성을 통해 한정된 광 자원으로 최대의 광 경로 설정을 함으로써 네트워크 구성에 대한 비용효과에 큰 영향을 미친다.

먼저, VS 노드의 파장 변환 정도를 나타내는 파라미터 D 정의함으로써 VS 노드를 차등화시킨 차등화 VS 노드의 일반화를 고려한다. 이와 같은 파라미터 D 를 바탕으로 식(1)을 파장 변환율로 정의한다.

$$D_{VS} = \frac{100 k_{VS}}{(\Lambda - 1)} \quad (1)$$

차등화 VS 노드는 크게 3가지 차등화 VS 노드로 구분하고, 식 (1)을 사용해서 VS 노드의 파장 변환 정도가 30% 이하일 경우에는 30%의 파장 변환 기능을 가진 차등화 VS 노드를 사용하고, 60% 이하일 경우에는 60%의 파장 변환 기능을 가진 차등화 VS 노드를 그 외에는 100%의 파장 변환 기능을 가진 차등화 노드를 사용한다.

다음으로 고려해야 할 요소는 최소 파장수를 가지는 혼잡링크가 포함된 세그먼트에서 이용 가능한 파장 수는 차단 확률의 관점에서 네트워크의 성능 향상을 위한 중요한 요소이다. 링크의 잔여 파장에 대한 임계치를 나타내는 파라미터 Δ 를 정의하여 자원의 효율적 사용을 고

려한다. 이와 같은 파라미터 Δ 를 바탕으로 식(2)을 임계 세그먼트로 정의한다.

$$C_{ab} : R(I_{ab}) < \Delta \quad (2)$$

이 식에서 적절한 임계치 Δ 의 결정은 효율적 파장 사용 측면에서 매우 중요하다. Δ 값이 너무 크면 혼잡 링크상으로 미래에 연결 결정을 위해 미리 예약되는 자원이 너무 많으므로 자원 낭비가 발생하는 반면, 너무 작으면 미래의 연결 요청에 대한 잠재적인 차단 확률이 높아질 가능성이 크다. 본 논문에서는 반복적인 실험을 통해 최적의 결과를 가져온 한 링크의 총 파장수의 30%를 임계치 Δ 값으로 적용했다. 이 결과는 각 링크의 파장 수를 고려하지 않은 결과이다.

다음 단계는 세그먼트에 세그먼트 가중치를 할당하는 것이다. 여기서 P_{ab}^n 는 n 번째 세그먼트 우선순위 가중치로 식(3)로 나타낸다.

$$P_{ab}^n = \frac{N(D_{ab}^n)}{N(T_{ab}^n)} \quad (3)$$

우선순위가 높은 세그먼트에 파장을 할당하기 전, 세그먼트의 혼잡도를 검사하고 그 세그먼트에서 파장 할당의 확률을 계산해야 한다.

주어진 세그먼트가 혼잡 세그먼트인지 판별은 식(4)으로 분류한다.

$$CS_{ij}(ab) : \{(\pi_{ab}^n \cap \pi_{ij}) \neq \phi\} \cap (\Omega_{ab}^n \in F_{ij})$$

$$\forall (i, j) \in P \setminus (a, b), \quad n = (1, 2, 3) \quad (4)$$

식 (4)은 미리 선택된 노드쌍 (i, j) 의 최소 홑 수 세그먼트 S_{ab}^n 에 대해 현재 멀티캐스트 세션을 요청한 노드쌍 (a, b) 세그먼트들의 혼잡 가능성을 나타내는 것이다. 현재 멀티캐스트 세션 설립을 요청한 노드쌍 (a, b) 의 n 번째 최소 홑 수 세그먼트의 링크 중에 (a, b) 를 제외한 모든 노드쌍 (i, j) 의 최소 홑 수 세그먼트에 속하는 링크와 공유되는 것이 있고, 현재 연결설정을 요청한 노드쌍 (a, b) 의 n 번째 최소 홑 수 세그먼트 상에 FF 방식에 의해 할당 가능한 파장(Ω_{ab}^n)이 미리 선택된 노드쌍 (i, j) 의 최소 홑 수 경로 S_{ij} 에서 사용가능한 파장 수 F_{ij} 에 포함되면 노드쌍 (a, b) 의 n 번째 최소 홑 수 세그먼트는 노드쌍 (i, j) 의 세그먼트에 대한 혼잡 세그먼트 $CS_{ij}(ab)$ 에 포함된다.

요청한 멀티캐스트 세션 연결을 위해 식 (4)에서 정의한대로 혼잡도 정도를 측정할 때 세그먼트의 파장수가 임계치 Δ 보다 작으면, 최적의 세그먼트 선택을 위해 각 세그먼트의 가중치를 계산한다.

현재 요청한 노드쌍 (a, b) 를 제외한 모든 노드쌍 (i, j) 집합 P 의 각 세그먼트 간의 가중치를 계산하기 위해 식 (5)을 이용한다.

$$W(S_{ab}^n) = \sum_{\forall (i, j) \in P \setminus (a, b)} \alpha_{ab}^n \cdot U_{ab}^n \quad (5)$$

전체 네트워크 모든 세그먼트의 가중치를 고려하는 것은 엄청난 계산량을 요구하기 때문에 본 알고리즘에서는 식 (5)을 이용하여 좀 더 제한적으로 세그먼트의 가중치를 정의하기로 하였다.

식 (5)에서 S_{ab}^n 의 파장 이용률 U_{ab}^n 는 노드쌍 (a, b) 의 n 번째 최소 홉 수 세그먼트가 다른 최소 홉 수 세그먼트 (i, j) 에 대해 혼잡 세그먼트에 한해서만 계산이 이루어지고 나머지 경우 그 값을 0으로 한다. $N(W)$ 은 한 링크에서 총 파장수를 의미한다. 결론적으로 모든 세그먼트에 대한 계산량이 줄어든 것을 알 수 있다.

차등화 PMIPMR 알고리즘으로 계산된 세그먼트가 임계 세그먼트로 판단되면, 이미 선택한 최소 홉 수 세그먼트를 선택할 수 있고 이것은 계산의 복잡성을 줄여줄 수 있다.

$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{if } (i, j) : S_{ab}^n \in CS_{ij}(ab)] \\ \quad U_{ab}^n = \frac{N(W) - R(l_{ab}^n)}{N(W)} \\ [\text{otherwise}] \\ \quad U_{ab}^n = 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

제안된 차등화 PMIPMR 알고리즘에서 계산의 복잡성을 줄이기 위해 첫 번째 세 개의 최소 홉 수 세그먼트를 선택하고 각 세그먼트에 대해 식(2)을 사용하여 우선순위 가중치를 계산한다. 그리고 다음의 세 가지 경우에 대해 최소 혼잡 세그먼트를 선택 할 수 있다.

경우 1. 최소 우선순위 가중치를 가지는 세그먼트의 수 = 1

$R(l_{ab}^n)$ 는 현재 사용 가능한 최소 P_{ab}^n 을 가지는 세그먼트의 n 번째 링크 파장들(l_{ab}^n)이다. 여기서 l_{ab}^n 는 세그먼트에서 가장 작은 수의 파장을 가진다. 세그먼트 가중치의 크기가 최소인 P_{ab}^n 을 가지는 세그먼트의 혼잡 링크 l_{ab}^n 에서 현재 사용가능한 파장 수가 이용 가능한 파장수의 임계치보다 크다면($R(l_{ab}^n) > \Delta$), 최소 우선순위 가중치를 가진 세그먼트를 선택하고, 임계치보다 작다면($R(l_{ab}^n) < \Delta$), 식 (4)을 이용하여 이미 선택한 3개의 세그먼트에 대한 가중치를 계산한 후 최소 우선순위 가중치를 가지는 세그먼트를 선택한다.

현재 연결설정 요청이 미래의 잠재적인 요구의 간섭을 최소화하는 경로를 설정하기 위해 각 세그먼트의 가중치가 결정된 후 이미 선택된 3개의 세그먼트 가운데 최소 가중치를 가지는 노드쌍 (a, b)의 세그먼트 트래픽의 경로로 설정된다.

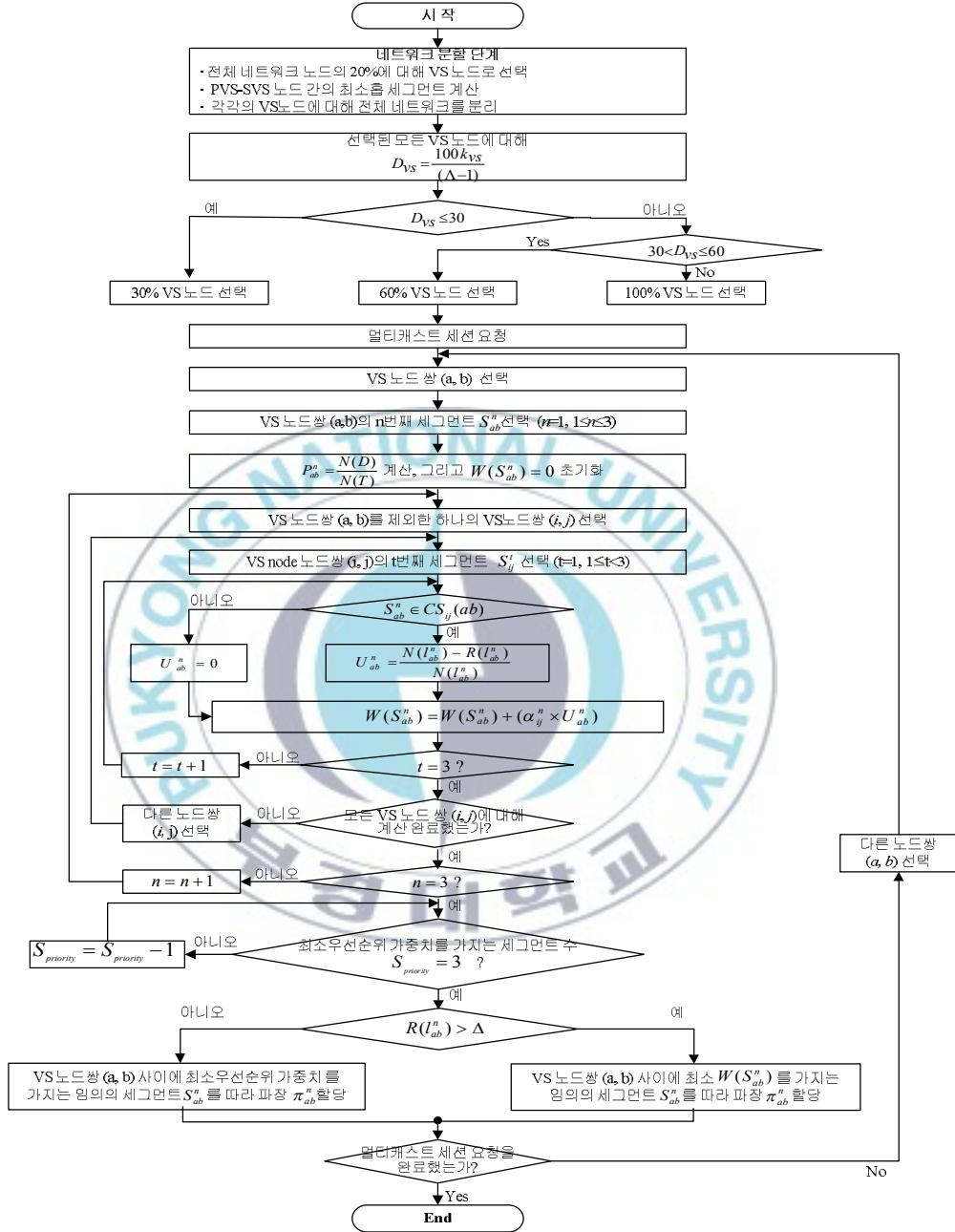
경우 2. 최소 우선순위 가중치를 가지는 세그먼트의 수 = 2

두 개의 세그먼트가 같은 최소 우선순위 가중치를 가질 경우를 고려한다. $R(l_{ab}^n) > \Delta$ 조건을 만족하는 세그먼트가 하나일 때는 그 세그먼트를 선택하지만 두 개의 세그먼트가 만족하면 둘 중 하나를 임의로 선택한다. $R(l_{ab}^n) > \Delta$ 조건을 만족하기 때문에 어떤 세그먼트를 선택하더라도 혼잡경로를 피할 수 있고, 임의로 선택함으로써 계산량도 줄일 수 있다. 선택된 3개 세그먼트 모두가 조건을 만족하지 않으면, 모든 세그먼트에 대해 세그먼트 가중치를 계산하여 간섭이 최소인 경로를 선택한다.

경우 3. 최소 우선순위 가중치를 가지는 세그먼트의 수 = 3

미리 선택된 세그먼트가 $R(l''_{ab}) > \Delta$ 을 만족하며 같은 우선순위 가중치를 가질 때 3개의 세그먼트 모두 세그먼트 가중치를 계산하고 최소 가중치를 가지는 세그먼트를 선택한다.





(그림 12) 차등화 VS PMIPMR 에 적용한 트리 구성 알고리즘

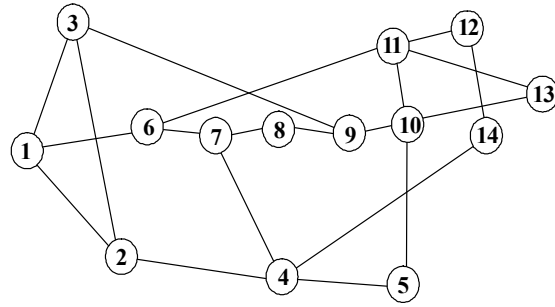
IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

1. 네트워크 모델

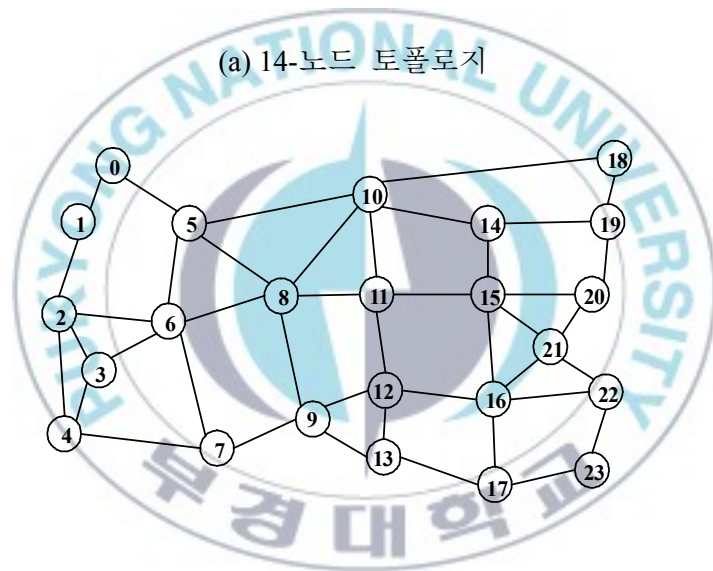
본 논문에서 제안한 알고리즘 차등화 VS-PMIPMR의 성능을 평가하기 위해서 (그림 13)과 같이 현재 DWDM 기술 관련 대부분의 논문에서 사용되는 망을 채택하였다.

첫 번째 망 내부에는 14개의 노드와 19개의 링크로 구성되어 있으며, 두 번째 망 내부에는 24개 노드와 42개의 링크로 구성되어 있다. 이 두가지의 망의 토폴로지에 대해 링크당 파이버의 수는 1개로 가정하고, 하나의 파이버당 8개의 파장을 허용할 수 있다고 가정하였다.

멀티캐스트 서비스에 참여한 송신 노드와 목적지 노드들의 개수를 나타내는 그룹 크기(GS: Group Size)는 각각의 모델에 있어서 0.3과 0.4로 설정하였다. 또한 송신 노드에 따른 목적지 노드의 위치는 동일한 분산 네트워크와 그렇지 않은 분산 네트워크에 균일하게 분포한다고 가정하였다.



(a) 14-노드 토폴로지



(b) 24-노드 토폴로지

(그림 13) 테스트 네트워크 모델

2. 성능 분석 및 비교

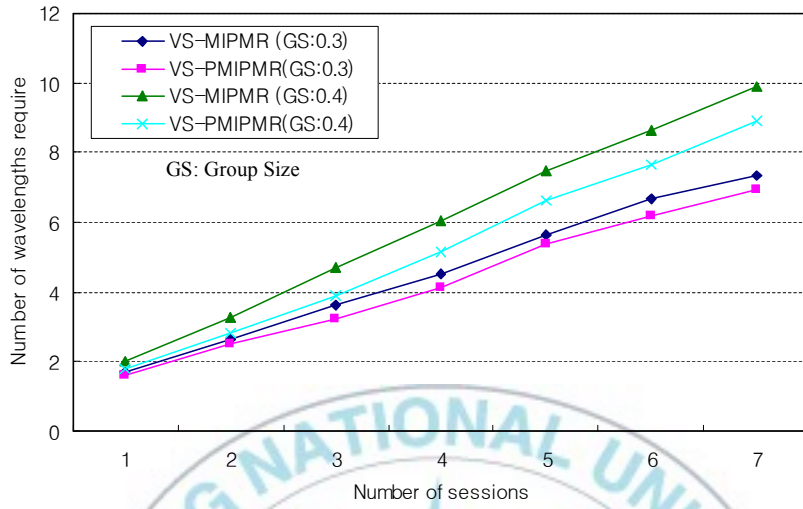
제안한 차등화 PMIPMR 알고리즘과 기존의 VS-MIPMR 알고리즘에

대해서 사용되는 파장 수와 파장 채널 수에 대해 시뮬레이션을 수행한다.

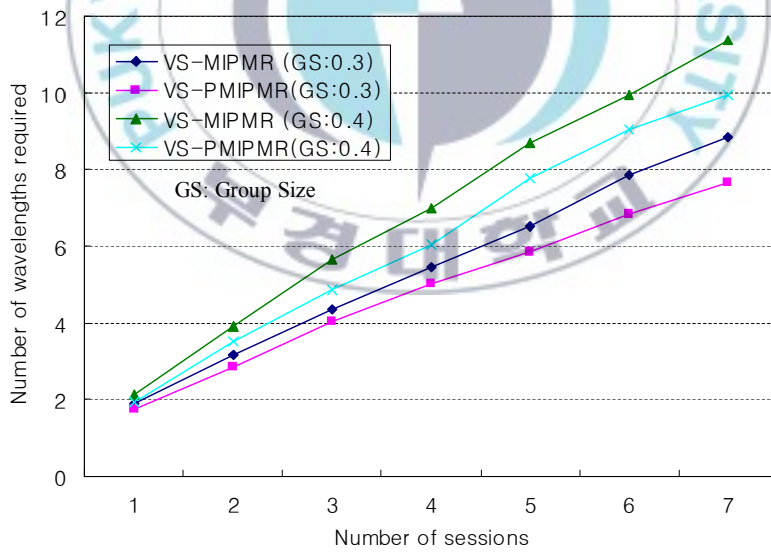
(그림 14)는 제안한 차등화 PMIPMR 알고리즘과 기존의 VS-MIPMR 알고리즘에 대해서 서비스 요청에 따른 필요한 파장수를 비교한 그림이다. 14-노드 토폴로지 및 24-노드 토폴로지 모두 제안한 알고리즘이 파장 사용에 있어서 기존의 방식에 비해 각각 7%, 14% 정도 개선되었음을 보인다. 또한 이러한 개선량은 요청되는 서비스의 수가 많아질수록 더 커진다는 것을 알 수 있는데 이는 제안한 알고리즘이 복잡한 노드 구성에 대한 각 능력치에 따른 노드의 우선순위를 고려하고 혼잡 상황 시 우회경로를 선택함으로써 특정 링크의 파장 사용을 제안하기 때문이다.

(그림 15)에서 보듯이 제안한 알고리즘은 비록 기존의 VS MIPMR 방식에 비해 사용되는 채널수에 있어서 2~3% 정도의 낭비를 가져온다. 이는 본 알고리즘이 혼잡링크를 피하기 위해 우회 경로를 선택하기 때문이다. 그러나 이러한 손실은 요청되는 서비스의 수가 많아질수록 점점 작아지며, 또한 이러한 채널수 손실은 네트워크가 커질수록 훨씬 작다는 것을 알 수 있다.

결국, 제안한 알고리즘은 네트워크 크기가 커면서, 각 노드 사이의 트래픽이 증가하는 상황에서 멀티캐스트 세션 요청이 높을수록 기존의 멀티캐스트 라우팅 방법보다 뛰어난 성능을 가짐을 성능 분석을 통해 알 수 있었다.

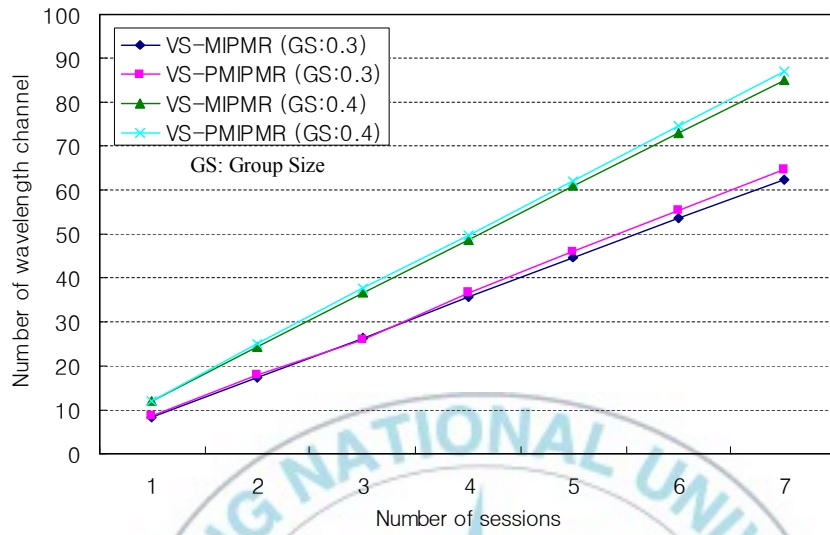


(a) 14-노드 토폴로지

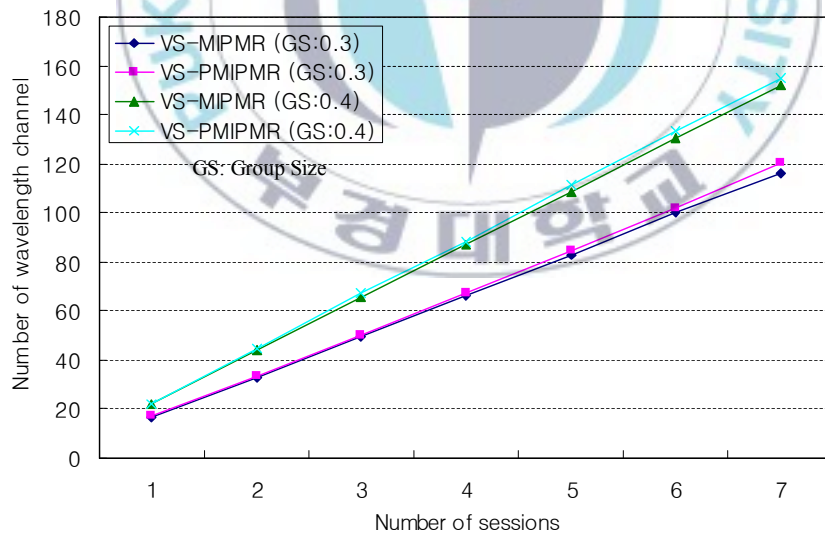


(a) 24-노드 토폴로지

(그림 14) 멀티캐스트 세션 요청에 따른 파장 수 비교



(a) 14-노드 토폴로지



(b) 24-노드 토폴로지

(그림 15) 멀티캐스트 세션 요청에 따른 파장채널수 비교

VI. 결론

본 논문에서는 DWDM 네트워크에서 RWA 문제 해결을 위해 능력치가 다른 노드에 대해 우선순위를 고려하고, 그 중에서 우선순위가 가장 높고 비용효과가 가장 큰 VS 노드의 파장변환 기능을 차등화시켜 제공하였다. 또한 미래의 잠재적 멀티캐스트 세션 연결 요청에 가장 영향을 줄이는 경로를 설정하는 차등화 VS-PMIPMR 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션 결과에 따르면 제안된 차등화 VS-PMIPMR 알고리즘은 서비스 요청에 따른 필요한 파장수가 VS-MIPMR 보다 좀 더 나은 성능을 보였다. 반면에 제안된 알고리즘은 혼잡링크를 피하기 위해 우회 경로를 선택하기 때문에 기존의 VS-MIPMR 알고리즘에 비해 사용되는 채널수에서 낭비를 가져온다. 그러나 이러한 손실은 요청되는 서비스 수가 많아질수록 점점 작아지며, 또한 이러한 채널 수 손실은 네트워크가 커질수록 훨씬 작다는 것을 알 수 있었다. 게다가 차등화된 VS 노드 사용으로 인해 파장사용률 및 생존률에 관계 없이 비용 측면에서 상당히 감소함으로써 전체 네트워크 비용을 감소시킬 수 있다.

향후 연구사항은 멀티캐스트 경로 선택 후에 고려되는 파장 할당 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 또한 각각의 분산 네트워크가 충분히 클 때 SHP 또는 FF 방법 대신에 각각의 분산 네트워크에 적합한 RWA 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Mi-Ra Yoon, Ju-Dong Shin, Chang-Hyun Jeong, Jun-Mo Jo, Oh-Han Kang, Sung-Un Kim, "Optical-LSP Establishment and a QoS Maintenance Scheme Based on Differentiated Optical QoS Classes in OVPNs," Photonic Network Communications, vol.7, no.2, pp.161-178, 2004.
- [2] Stephen French, Dimitrios Pendarakis, "Optical Virtual Private Networks: Applications, Functionality and Implementation, Photonic Network Communications," vol.7, no.3, pp. 277-238, 2004.
- [3] S. S. Dixit, "IP over WDM: building the next-generation optical internet," John Wiley & Sons publication, 2003.
- [4] Z. Zhang, et al., "An Overview of Virtual Private Network (VPN): IP VPN and Optical VPN," Photonic Network Communications, vol. 7, no. 3, pp. 213-225, 2004.
- [5] H. Ould-Brahim et al. "Generalized Provider-provisioned Port-based VPNs using BGP and GMPLS Toolkit," draft-ouldbrahim-ppvnpn-gvpn-bgp-gmpls-03.txt, IETF Internet Draft, 2003.
- [6] J.S. Choi and N. Golmie et al., "Classification of Routing and Wavelength Assignment Schemes in DWDM Networks," Proceedings of OPNET 2000, pp. 1109-1115, 2000.
- [7] L. Li and A. K. Somani, "Dynamic Wavelength Routing Using Congestion and Neighborhood Information," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 7, no. 5, pp. 779-786, 1999.

- [8] R. Malli, X. Zhang, C. Qiao: Benefit of Multicasting in All-Optical Networks, SPIE Proc. of Conf. All-Optical Networking, vol. 3531, (Boston, MA, Nov. 1998), pp. 209-220
- [9] Xijun Zhang, John Y. Wei, Chunming Qiao: Constrained multicast routing in WDM networks with sparse light splitting, IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol. 18, no. 12, Dec. 2000, pp. 1917-1927.
- [10] N. Sreenath, K. Satheesh, G. Mohan, C. S. R. Murthy: Virtual source based multicast routing in WDM optical networks, Proc. of IEEE ICON 2000, pp. 385-389.
- [11] N. Sreenath, N. Krishna Mohan Reddy, G. Mohan, C. S. R. Murthy: Virtual source based multicast routing in WDM networks with sparse light splitting, Proc. of 2001 IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing, (Dallas, Texas, May 2001), pp. 141-145.
- [12] Koushik Kar, Murali Kodialam, T. V. Lakshman: Minimum interference routing of bandwidth guaranteed tunnels with MPLS traffic engineering applications, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 12, Dec. 2000, pp. 2566-2579.
- [13] S. Xu et al., "Dynamic Routing and Assignment of Wavelength Algorithms in Multifiber Wavelength Division Multiplexing Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 10, pp. 2130-2137, October 2000.
- [14] N. Sreenath, C. Siva Ram Murthy, G. Mohan, Virtual Source Based Multicast Routing in WDM Optical networks, Photonic Network Communications, vol.3,

no.3, Jul. 2001, pp.213-226.

- [15] S. Xu et al., "Dynamic Routing and Assignment of Wavelength Algorithms in Multifiber Wavelength Division Multiplexing Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 10, pp. 2130-2137, October 2000.
- [16] C. Siva Ram Murthy, and Mohan Gurusamy, "WDM OPTICAL NETWORKS: Concepts, Design, and Algorithms," Prentice Hall PTR. ISBN: 0130606375 Published: Nov 26, 2001.
- [17] Banerjee, D., Mukherjee, B., A practical approach for routing and wavelength assignment in large wavelength-routed optical networks, Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, Vol. 14, No. 5, pp. 903-908, June 1996.
- [18] Koushik Kar, Murali Kodialam, T. V. Lakshman, "Minimum interference routing of bandwidth guaranteed tunnels with MPLS traffic engineering applications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 12, pp. 2566-2579, Dec. 2000.
- [19] J. G. Hwang, Jae-Il Jung, Yong-Jin Park, Jung-Hyun Bae, et al., "A RWA Algorithm for Differentiated Services with QoS Guarantees in the Next Generation Internet based on DWDM Networks," Photonic Network Communications, vol. 8, no. 3, pp. 319-334, Nov. 2004.
- [20] D. Bauer, "Minimum-Interference Routing based on Flow Maximization," IEE Electronics Letters, vol. 38, no. 8, pp. 364-365, April 2002.
- [21] Murali Kodialam, T. V. Lakshman, "Minimum Interference Routing with

Applications to MPLS Traffic Engineering,” Proc. of IEEE INFOCOM 2000, vol. 2, pp. 884-893, March 2000.

- [22] Jun-Mo Jo, Suk-Jin Lee, Kyung-Dong Hong, Chun-Jai Lee, Oh-Han Kang, Sung-Un Kim, “Virtual Source-based Minimum Interference Path Multicast Routing in Optical Virtual Private Networks,” Photonic Network Communication, accepted to be published.



감사의 글

먼저 지난 2년 동안 저를 열성을 다해 지도해 주시고, 오랫동안 물심양면으로 지원해 주신 김성운 교수님께 진심으로 감사 드리며 앞으로도 마음속 깊이 그 뜻을 간직하겠습니다. 또한 그리고 부족한 본 논문의 심사를 맡아 세심한 관심과 조언을 아끼지 않으신 정신일 교수님, 윤종락 교수님, 주문갑 교수님께도 깊이 감사 드리며, 아울러 정보통신공학과 모든 교수님께도 감사 드립니다.

연구실 생활에 있어 여러모로 도움을 많이 주셨던 석진, 경동, 춘재, 정미, 현훈, 종근, 진호, 상보 선배 등 졸업한 선배들과 석사 과정 동안 늘 즐거움과 어려움을 함께 나누었던 찬효선배, 현수 등 프로토콜공학 연구실원들, 대학원 생활을 함께 한 유정 선배, 진수 선배, 수아 언니에게도 감사의 말을 전합니다.

힘들 때나 기쁠 때 언제나 옆에서 힘이 되어준 나의 친구들 혜지, 송이, 아랑, 소현, 순홍, 소영, 해주, 영애, 지희, 윤영, 영재, 춘 그리고 스터디 선배, 후배, 동기 등 너희들 덕분에 웃음 잃지 않고 생활할 수 있었다고 진심으로 고마움의 마음을 전합니다.

끝으로 항상 저를 믿어주시고 아껴 주셨던 사랑하는 아버지와 어머니, 늘 미안하고 감사한 마음을 글로 대신 전합니다.

2009년 2월

송승미 올림