
WDM/TDM 네트워크에서 광 경로 설정 알고리즘

임재복 · 김진영 · 이현태

A Lightpath Establishment Algorithm in WDM/TDM Networks

Lim jae-bok*, Kim jin-young, Lee hyeun-tae

요약

본 논문은 TDM 방식을 적용한 회선 교환 방식의 WDM 네트워크에서 라우팅, 파장 할당 및 시간슬롯 할당의 문제로서, 동적으로 광 경로를 설정하기 위한 분산 제어 프로토콜을 제안하였다. 제안한 분산 제어 프로토콜에서는 블록킹 확률을 줄일 수 있도록 후방 예약 방식을 사용하였다. 예약 실패를 최소화하기 위해 여러 채널을 예약하는 진취적 예약 방법과 단지 하나의 채널을 예약하는 보수적 예약 방법을 적용하여 두 개의 방법을 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 제안한 분산 프로토콜을 성능 평가하여 WDM/TDM 방식이 WDM 방식보다 성능이 우수함을 보이고 진취적 예약 방법이 적절한 채널 수를 사용할 경우 보수적 예약 방법보다 블록킹 확률을 줄일 수 있음을 보인다.

ABSTRACT

This paper presents the routing and wavelength and timeslot assignment problems for a circuit-switched time division multiplexed (TDM) wavelength-routed networks. In this paper, we propose an efficient distributed control protocol for establishing lightpath dynamically. The protocol uses backward reservation to reduce the chance of blocking. We use aggressive reservation method with usable multiple channels and select only one in multiple channel. We show through simulation that the proposed protocol improves the success rate in TDM-based lightpath establishment and the proposed aggressive reservation method improve blocking probability with appropriate reservation channel count.

키워드

WDM, TDM, RWTA, Distributed Control Protocol, Backward Reservation

I. 서 론

광 전송 네트워크에는 크게 광장 경로 네트워크(Wavelength Routed Network)와 광 패킷 교환 네트워크(Optical Packet Switching Network) 두 가지로 구분할 수 있다. 광 패킷 교환 네트워크는 복잡한 광 버퍼링 기술이 필요하며 현재는 실험적인 단계로 여전히 해결해야 할 문제를 가지고 있다. 반면에 광장 경로 네트워크는 현재 실현되

고 있는 기술이다. 광장 경로 네트워크는 회선 교환 방식의 네트워크 모델로서, 광 파이버로 서로 연결된 광 라우터로 구성된다[1].

광/전기적 그리고 전기적/광 변환이 없이 발신지에서 목적지까지 연결되는 통신 경로를 광 경로(Lightpath)라고 한다. 광 경로들의 집합으로 이루어지는 네트워크 구조를 논리적 토플로지 또는 가상 토플로지라고 한다. 하나의 광 섬유에서 수용할 수 있는 광장의 수가 한정되어 있기 때문에 모

* 목원대학교

접수일자 : 2003. 7. 18

든 노드 사이에 완전한 채널을 설정할 수 없다. 따라서, 제약사항이 있는 물리적 토플로지 상에 논리적 토플로지를 생성하기 위해서는 어떻게 라우팅하며 어떠한 파장을 광 경로에 할당할 것인가에 대한 문제를 해결해야 한다. 이러한 광 경로 설정을 위한 라우팅과 파장 할당 문제를 RWA(Routing and Wavelength Assignment)라고 부른다 [2][3]. 회선 스위칭 기반의 WDM 네트워크에서는 세션을 요구한 트래픽에 대하여 파장에 대한 대역폭을 완전히 다 사용하는 것이 가장 이상적이지만, 그렇지 못할 경우 대역폭의 낭비가 있게 된다. 즉, 파장에 남아 있는 대역폭이 있다고 하여도 다른 트래픽이 남은 파장을 사용할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 TDM(Time Division Multiplexing) 이용한 방법이 연구되었다 [4][5]. 세션의 대역폭의 요구에 대해 시간슬롯으로 지정하며 발신 노드에서 수신 노드까지의 경로에 적절한 파장과 시간슬롯을 할당한다. 따라서, 이러한 광 경로 설정을 위해서는 파장의 연속성 제약뿐만 아니라 시간슬롯의 제약 사항도 존재한다. 이 문제는 라우팅 및 파장과 및 시간슬롯 할당 (Routing, Wavelength and Timeslot Assignment : RWTA)이라고 부른다.

또한, 네트워크의 성능을 높이기 위해서는 효과적으로 광 경로를 설정하거나 해제하는 방법이 필요한데, 여기에는 중앙 집중 제어 방식과 분산 제어 방식이 있다.

본 논문에서는 TDM 방식을 적용한 WDM 네트워크에서 광 경로를 설정하기 위한 분산 제어 방식을 제안하였다. 이러한 분산 제어 방식에는 전방 예약과 후방 예약의 두 가지 형태가 있는데, 본 논문에서는 블록킹 확률을 줄일 수 있도록 후방 예약 방식을 사용하였다[6][7]. 자원을 예약할 때, 예약된 자원을 잠궈서 다른 광 경로가 예약된 자원을 사용하지 못하도록 하는데, 여러 채널을 예약하는 진취적 예약 방법(Aggressive Reservation Method)과 단지 하나의 채널을 예약하는 보수적 예약 방법(Conservation Reservation Method)이 있다[8]. 본 논문에서는 두 개의 방법을 시뮬레이션을 통해 비교하였다.

II장에서는 TDM 기반의 WDM/TDM 네트워크의 구조에 대해서, III장에서는 제안한 시간슬롯 기반의 네트워크에서 자원을 예약하는 프로토콜에 대해서 설명한다. IV장에서는 제안한 프로토콜의 시뮬레이션과 결과를 설명하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. WDM/TDM 네트워크의 구조

TDM 기반의 광 경로 라우팅 네트워크를 WDM/TDM이라고 한다. WDM/TDM에서 다중 세션은 TDM 프레임을 사용하는 단일 광 경로에 다중화될 수 있다. 세션의 대역폭의 요구는 시간슬롯(timeslot)으로 지정하며 발신 노드에서 목적지 노드까지의 경로에 적절한 광 경로와 시간슬롯을 할당한다. 따라서, WDM/TDM에서의 노드는 광경로뿐만 아니라 시간슬롯도 라우팅을 할 수 있다. 노드의 라우팅 패턴은 시간슬롯을 기반으로 재구성된다. 노드에 들어오는 시간슬롯은 미리 정해진 출력포트에 저장되지 않고 곧 바로 나간다. WDM에서 하나의 링크에 두 개의 광 경로를 설정하기 위해 다른 광 경로를 이용하여야 하지만 TDM 방법은 같은 광 경로의 주기를 다르게 시간을 할당하여 전송할 수 있는 방법이다. 따라서, 광 경로의 연속성 제약뿐만 아니라 시간슬롯의 제약 사항도 존재한다. 시간슬롯의 제약 사항은 할당된 시간슬롯이 하나의 노드를 지날 때마다 링크의 지연과 노드의 처리 시간 때문에 이동된 시간슬롯을 계산하여야 한다.

그림 1은 TDM 기반의 광 경로 네트워크에서 시간슬롯을 할당하는 예이다. 각각의 광 경로는 4개의 시간슬롯으로 구성된 프레임들로 나누어진다. A세션 트래픽은 노드1에서 노드2를 지나 노드3으로 전달되는 경로이다. 이 경로는 링크1에 슬롯 0과 1이 할당되고 링크2에 슬롯 1과 2가 할당된다. 또한 C는 링크1에서는 슬롯3에, 링크3에서는 슬롯 0에 할당된다. 링크에서의 전달시간과 노드에서의 처리 지연의 결과는 다음 링크의 시간슬롯과 같지 않고 이동된 시간슬롯에 대해 할당된다. 이러한 복합적인 링크의 지연은 시간슬롯의 수를 고려하여야 하며, 광 동기장치(synchronizer)

의 사용으로 해당 슬롯에 데이터를 할당할 수 있다. 예로, 한 슬롯의 지연이 하나의 링크를 지날 때라고 가정한다면 링크2에서는 이동된 시간슬롯을 쓰고 있음을 그림 1에서 확인할 수 있다.

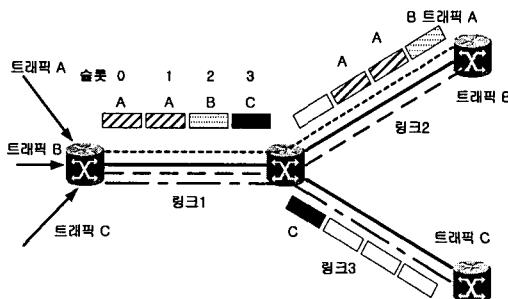


그림 4. WDM/TDM 파장 경로 네트워크
Fig. 1 WDM/TDM wavelength routed network

III. WDM/TDM 네트워크 기반에서 분산 프로토콜

본 논문에서는 보다 최근의 정보를 가지고 자원을 예약하는 후방 예약 프로토콜을 통해, 자원을 예약하는 과정에서 실패 확률을 줄여 전체적인 블록킹 확률을 줄이는 라우팅 구성과 자원 할당 방법과 분산 프로토콜을 제안한다.

1. 라우팅 구성과 자원 할당 방법

광 경로 설정을 하기 위해서 발신 노드는 목적지 노드로 선택한 경로를 따라 연결 요청 메시지를 보내야 한다. 제안한 구성에서는 목적지 노드를 찾기 위해 가장 짧은 경로를 선택하는 방법을 사용하였다. 광 경로 설정하기 위한 요청 메시지는 결정된 경로를 따라 목적지 노드로 전달한다. 또한 이 요청 메시지는 각각의 노드를 지날 때 링크의 자원 정보를 수집하는 방법을 사용하였다.

그림 2는 목적지 노드까지 보내지는 요청 메시지의 정보 수집 동작을 설명한다. 파장은 여러 개의 슬롯으로 구성된다. 초기 R0 노드에서 목적지 노드 Rj+1 노드까지 결정된 경로를 따라 전달되며 처음 노드 R0에서는 R1의 노드 사이의 사용되고 있는 정보를 업데이트 한다. 정보를 업데이트

하면서 사용할 수 없는 슬롯은 제외시킨다.

슬롯을 두 개 요청하는 트래픽은 목적지까지 요구 메시지를 전달하고 목적지 노드는 요청 메시지를 받으면 수집한 정보를 바탕을 가용한 파장과 시간슬롯을 할당하여야 한다. 그림 2에서는 λ0 파장의 2,3번째 슬롯과 λ1의 슬롯 1,2가 가용한 상태이다. 파장 할당과 시간슬롯의 할당은 FF(First-Fit), FFT(First-Fit Timeslot) 할당 알고리즘을 사용한다. FF와 FFT는 가능한 파장과 시간슬롯을 찾을 때 낮은 순서로부터 높은 순서로 차례로 파장과 시간슬롯을 찾는 방법이다. FF, FFT에 의해 그림 2에서는 λ0 파장의 2,3번째 슬롯이 할당된다.

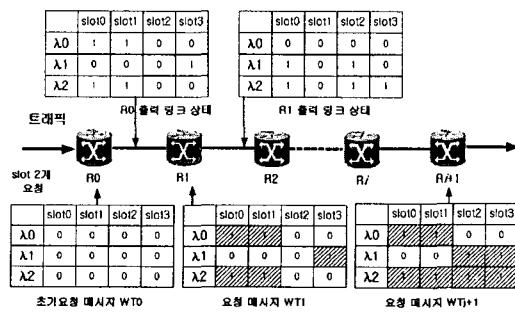


그림 2. 요청 메시지 정보
Fig. 2. Information of requested message

2. 분산 프로토콜

1) 제어 메시지 종류

프로토콜에 사용되는 제어 메시지는 표 1과 같다. 표 1. 제어 메시지

Table 1. Control message

메시지 종류	기능
PROB(probe)	연결요청을 위한 메시지(발신자)
RESV(reservation)	파장과 시간슬롯 예약을 위한 메시지(목적지)
ACK(acknowledgment)	성공적으로 광 경로 설정되었다는 메시지(발신자)
S-NACK(source-negative acknowledgment)	수집한 자원 전체가 사용하지 않은 상태이거나 링크로 전달하지 못하였을 경우의 요청실패 메시지(발신자, 중간노드)
D-NACK(destination-negative acknowledgment)	링크의 자원을 예약하지 못할 경우의 예약실패 메시지(목적지, 중간노드)
FAIL(fail)	예약실패 메시지(중간노드)

2) 광 경로 설정 과정

광 경로 설정 과정은 그림 3과 같이 이루어진다. a)의 경우는 발신 노드에 요구하는 트래픽이 발생하면 데이터를 보내기 전에 경로 설정을 위한 PROB 메시지를 목적지 노드로 보낸다. 이때 PROB 메시지는 미리 결정된 최단 경로를 사용한다. PROB 메시지는 목적지 노드까지 가면서 중간 링크의 가용한 자원을 수집한다. PROB 메시지를 받은 목적지 노드는 PROB 메시지가 수집한 자원을 바탕으로 파장 및 시간슬롯을 할당한다. 할당된 자원을 RESV 메시지로 발신 노드로 보내면서 중간 노드의 자원을 예약하며 또한 노드의 스위치를 구성한다. 발신 노드는 RESV 메시지를 받으면 목적지 노드에 ACK 메시지를 보내고 할당된 자원을 이용하여 데이터를 보낸다. b)의 경우는 목적지 노드나 RESV 메시지가 발신 노드로 전달될 때 자원을 할당할 수 없을 경우이다. 자원을 할당할 수 없는 경우 연결 실패 메시지인 D-NACK 메시지를 발신 노드로 보내고 목적지 노드로 FAIL 메시지를 보낸다. FAIL 메시지는 목적지 노드로 가면서 예약한 자원을 해제한다.

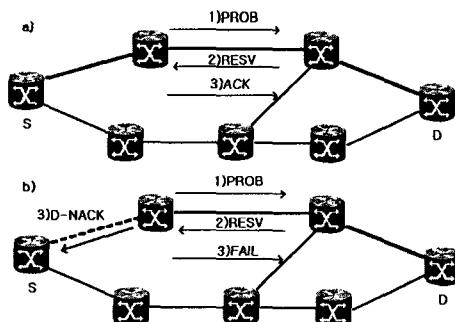


그림 6. 광 경로 설정 과정
a) 성공적인 경로 설정 b) 경로 설정 실패
Fig 3. Procedure of lightpath establishment
a) Success b) Fail

3) 자원 예약 잠금 방법

목적지 노드는 PROB 메시지를 받고 메시지의 수집된 정보에 의해 자원을 할당하고 RESV 메시지를 보낸다. 하지만 PROB 메시지는 자원을 예약하는 것이 아니기 때문에 RESV 메시지가 자원을

예약할 때 수집된 정보와는 다르게 다른 호에 의해 쓰여지고 있을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 자원 예약 잠금 방법을 사용한다. 자원을 예약할 때 다른 광 경로가 자원을 사용하지 못하도록 잠금 상태를 만든다. 하지만 RESV 메시지가 먼저 도착한 메시지가 자원을 잠금 상태로 만들 수 있기 때문에 진취적 예약과 보수적 예약의 방법을 사용한다. 진취적 예약 방법은 예약하는 과정에 있어서 여러 개의 가상 채널을 잡고 고 연결을 설정하기 위해 시도하며 그 중 하나의 채널만 통신 채널로 할당하고 나머지 채널은 해제한다. 보수적 예약 방법은 예약 과정에 있어서 하나의 채널만 사용한다.

IV. 성능 평가

제안한 프로토콜 방법을 사용하여 WDM 네트워크와 WDM/TDM 네트워크 그리고 WDM/TDM 네트워크에서 진취적 예약 방법과 보수적 예약 방법의 성능을 NS(Network Simulator)[7]를 통해 각각 비교하였다. 또한 진취적 예약 방법에서 예약하는 채널의 수에 따른 성능을 비교하였다.

그림 4는 WDM 네트워크와 WDM/TDM 네트워크의 블록킹 확률을 나타내는 그래프이다. 시뮬레이션은 25개의 노드를 갖고 링크의 연결 확률이 0.1인 것으로 가정하고 랜덤 토플로지를 발생하여 시뮬레이션 하였다. 여기서 모든 링크는 대역폭 10Mbps, 파이버 1개, 파장 12이고 TDM일 경우 시간슬롯을 2개부터 32개로 가변하여 분석하였다. 또한 링크의 지연은 매트로(metro) 망의 거리가 약 1~10Km임을 고려하여 0.05ms로 하였다. 파장 및 시간 슬롯 할당은 FF, FFT 방법을 사용하였다. 요구하는 트래픽은 0.25Mbps 기준으로 ±50% 랜덤하게 발생하도록 하였다. 노드 당 동시에 발생하는 트래픽 수는 144개이며 트래픽 부하를 증가 시켰을 경우 블록킹 확률을 구하였다. 시뮬레이션 결과 WDM 방식 보다 WDM에 TDM 방식을 적용하였을 경우 블록킹 확률이 낮아졌고, 시간슬롯을 증가하였을 경우 블록킹 확률이 더 낮

은 결과를 얻을 수 있다.

또한, 요구하는 트래픽이 약 0.25Mbps로 설정하였기 때문에 시간슬롯을 작게 함에 따라 블록킹 확률이 낮아짐을 볼 수 있다. 파장 하나의 대역폭을 사용하지 않을 경우 WDM방법보다 WDM/TDM 방법이 더 성능이 개선됨을 볼 수 있다.

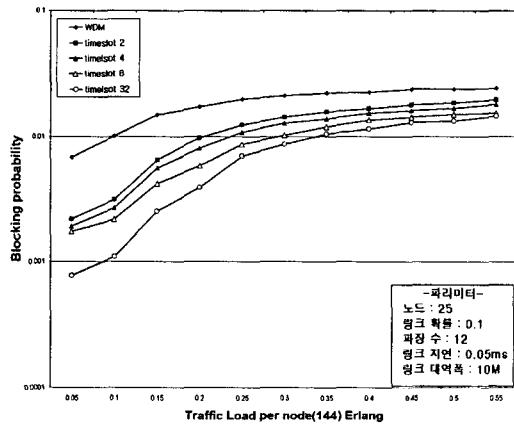


그림 4. WDM과 WDM/TDM 블록킹 확률
Fig 4. Blocking probability of WDM and WDM/TDM

그림 5는 WDM 네트워크와 WDM/TDM 네트워크의 링크 이용률을 나타낸다. WDM 방식 보다 WDM/TDM 방식을 사용하였을 경우 트래픽의 부하가 증가함에 따라 링크의 이용률이 높아졌으며, 시간슬롯을 2개에서 32개로 증가하였을 경우 링크 이용률이 높아졌다. 그러나 시간슬롯을 많이 증가하였을 경우 시간슬롯의 Guard time이 상대적으로 많아져서 대역폭의 소비와 스위칭의 부하가 높아지기 때문에 시간슬롯은 무한적으로 증가할 수 없다. 일반적으로 광 네트워크에서 하나의 파장이 10Gbps일 때 125μsec의 frame 간격 안에 1500bytes의 시간슬롯을 구성할 수 있다.

그림 6은 예약 채널 수에 따른 블록킹 확률을 나타내는 그래프로서 노드 당 동시에 발생하는 트래픽 수는 120일 때, 트래픽 부하를 증가시켰을 경우 광 경로 설정 시간의 변화를 나타내는 그래프이다. 25개의 노드와 링크의 연결 확률 0.1로 랜덤 토플로지에서 시뮬레이션 하였다. 여기서 모든 링크는 파

이번 1개, 파장 12, 시간슬롯 32개, 대역폭은 10Mbps로 같다. 또한 링크의 지연은 벡분 망의 거리가 약 20~100Km임을 고려하여 0.5ms로 하였다. 파장과 시간슬롯 할당 방법은 FF와 FFT 방법을 사용하였다. 진취적 방법에서 2개의 채널(aggr2)을 사용하였을 경우 보수적 방법(cons)보다 블록킹 확률이 약 20%가 낮은 결과를 보여준다.

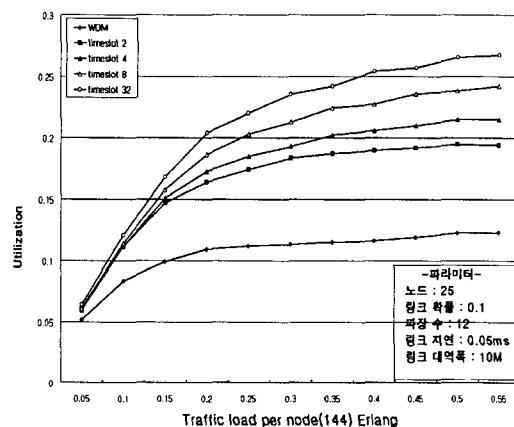


그림 5. WDM과 WDM/TDM 링크 이용률
Fig 5. Link utilization of WDM and WDM/TDM

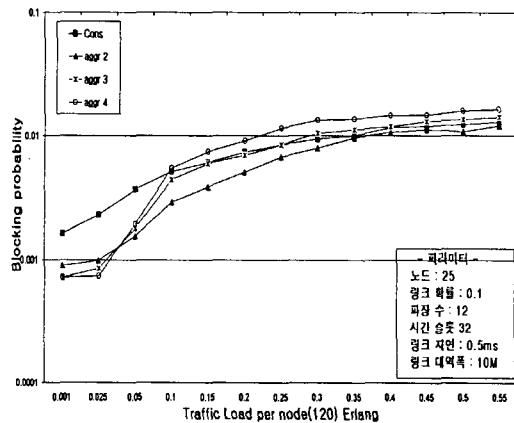


그림 6. 예약 채널 수에 따른 블록킹 확률
Fig 6. Blocking probability on reservation channel count

트래픽의 부하가 적을 경우에서 진취적인 방법의 3, 4개 채널 예약이 보수적 방법보다 할당할 수 있는 채널이 많으므로 블록킹 확률이 낮지만, 트

패스의 부하가 높을 때에는 많은 채널의 예약으로 오히려 보수적 방법보다 블록킹 확률이 높게 나왔다. 채널이 4개일 경우 트래픽의 부하 0.1에서, 3 개일 경우에는 트래픽의 부하 0.25에서 바뀌는 것을 확인할 수 있다. 파장 중 2개 채널을 사용하였을 경우 3, 4개를 사용하였을 때보다 성능이 더 좋게 나타났다.

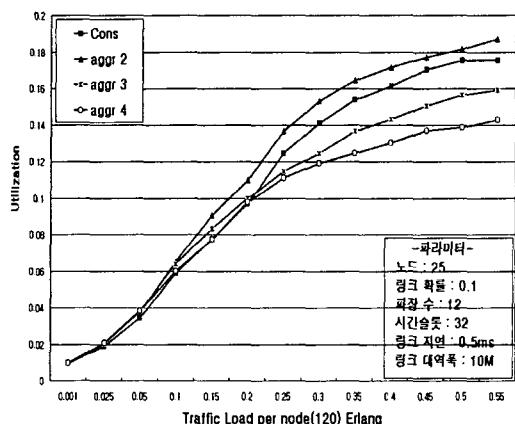


그림 7. 예약 채널 수에 따른 링크 이용률
Fig 7. Link utilization on reservation channel count

그림 7은 예약 채널 수에 따른 링크 이용률을 나타내는 그래프이다. 진취적 예약 방법에서 채널의 수가 2개일 경우 보수적 예약 방법보다 링크 이용률이 높지만 채널의 수가 3, 4개일 경우에는 트래픽의 부하가 높아짐에 따라 보수적 방법보다 낮은 이용률을 보인다. 이것은, 예약 실패를 줄이기 위해 적용한 진취적 예약 방법은 예약 채널 수를 2개 설정하였을 때 보수적 예약 방법보다 성능이 향상되었으며, 진취적 예약 방법에서 트래픽의 부하가 적을 때에는 많은 채널을 예약하는 것이 좋으며, 트래픽의 부하가 높아졌을 땐 오히려 적은 채널을 예약하는 것이 더 블록킹 확률이 적다는 것을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 확장성과 안정성을 고려한 WDM 네트워크에서 TDM 방식을 적용한 파장

경로 네트워크에 대해 제안하였다. 분산 프로토콜을 사용하여 WDM 네트워크에 TDM 방식을 적용하였을 경우 중앙 집중 방식에서와 같이 WDM 방식보다 블록킹 확률이 낮고 링크의 이용률의 향상된다는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 그리고 자원 예약을 용이하기 위해 후방 예약 프로토콜 방식을 사용하였으며, WDM/TDM 네트워크에서 경로를 선택하고 파장 및 시간슬롯을 예약과 할당을 하기 위한 각 제어 메시지 구조와 설정 방법을 제안하였다.

또한 예약 실패를 줄이기 위해 적용한 진취적 예약 방법은 예약 채널 수를 2개 설정하였을 때 보수적 예약 방법보다 성능이 향상되었으며, 진취적 예약 방법에서 트래픽의 부하가 높아졌을 땐 오히려 적은 채널을 예약하는 것이 더 블록킹 확률이 적다는 것을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

WDM/TDM 기반의 네트워크에서 더욱 연구할 부분은 자원 예약 실패를 하였을 경우 재전송 방식을 고려하는 것과 경로를 선택함에 있어서 적용적 경로 방식을 사용한다면 블록킹 확률을 낮추고 네트워크의 성능이 향상될 수 있는지 시뮬레이션을 통한 검증하는 것이다. 또한 트래픽의 양이 가변적일 경우, 진취적인 방법과 보수적인 방법을 상황에 맞게 선택하였을 경우에 네트워크의 성능에 어떤 영향을 주는지 검증해야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Krishna Sivalingam and Suresh Subramaniam, Eds., Optical WDM Network: Principles and Practice, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 2000.
- [2] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, "Design of Logical Topologies for Wavelength-Routed Optical Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 14, no. 5, June 1996.
- [3] H. Zang and J. P. Jue and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Division Multiplexed Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 3, March 2000.

- gth-Routed Optical WDM Net -works", Optical Networks Magazine, vol. 1, pp. 47-60, Jan. 2000.
- [4] Nen-Fu Huang, Guan-Hsiung Liaw, and ChuanPwu Wang, "A Novel all-optical transport network with time-shared wavelength channels," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 10, pp. 1863-1875, Oct. 2000.
- [5] Bo Wen and K. M. Sivalingam, "Routing, Wavelength and Time-slot Assignment in Time Division Multiplexed Wavelength -Routed Optica WDM Networks", in IEEE INFOCOM,(New York, NY), June 2002.
- [6] Andrei G. Stoica and Abhijit Sengupta, "On a dynamic wavelength assignment algorithm for wavelength routed all-optical networks", Optical Networks Magazine, Jan/Feb, 2002.
- [7] Jun Zheng and Hussein T. Mouftah, "Distributed Lightpath control based on destination routing in wavelength-routed WDM Networks", Optical Networks Magazine, July/Aug, 2002.
- [8] X. Yuan and R. Melhem and R. Gupta, "Distributed Path Reservation Algorithms for Multiplexed All-Optical interconnection Networks", IEEE Transaction on Compters, vol. 48, no. 12, Dec. 1999.
- [9] Bo Wen, Nilesh M. Bhide, Ramakrishna K. Shenai, and Krishna M. Sivalingam, "Optical Wavelength Division Multiplexing (WDM) Network Simulator (OWns): Architecture and Performance Studies" in SPIE Optical Ne -tworks Magazine Special Issue on "Simulation, CAD, and Measurement of Optical Networks", Sep/Oct. 2001.

저자 소개

**임재복(Jae-Bok Lim)**

2001년 목원대학교 정보통신공학
과 (공학사)
2003년 목원대학교 IT공학과 (공학
석사)

※ 관심분야 : 광 인터넷

**김진영(Jin-Young Kim)**

2000년 목원대학교 정보통신공학
과 (공학사)
2002년 목원대학교 전자 및 컴퓨
터공학과 (공학석사)

※ 관심분야 : 광 인터넷

**이현태(Hyun-Tae Lee)**

1983년 경북대학교 전자공학과(공
학사)
1986년 연세대학교 전자공학과(공
학석사)

1997년 연세대학교 전자공학과(공학박사)
1986년-1997년 한국전자통신연구원 선임연구원
1997년-현재 목원대학교 전자 및 전파학부 부교수
※ 관심분야 : 초고속통신망, 광 인터넷, e-Learning콘
텐츠, 임베디드 소프트웨어