

WDM/TDM 네트워크에서 분산 광경로 설정 알고리즘

임재복*, 김진영, 이현태
목원대학교

A Distributed Lightpath Establishment Algorithm in WDM/TDM Networks

Lim jae-bok*, Kim jin-young, Lee hyeun-tae
Mokwon Univ.
E-mail : josua76@mokwon.ac.kr

요 약

본 논문은 TDM 방식을 적용한 WDM/TDM 네트워크에서 광경로를 설정하기 위한 분산 제어 방식을 제안하였다. 제안된 분산 제어 방식에서는 블로킹 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.

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.

I. 서론

광/전기적 그리고 전기적/광 변환이 없이 발신지에서 목적지까지 연결되는 통신 경로를 광 경로(Lightpath)라고 한다. 광 경로들의 집합으로 이루어지는 네트워크 구조를 논리적 토폴로지 또는 가상 토폴로지라고 한다. 하나의 광섬유에서 사용할 수 있는 파장의 수가 한정되어 있기 때문에 모든 노드 사이에 완전한 채널을 설정할 수 없다. 따라서, 제약사항이 있는 물리적 토폴로지 상에 논리적 토폴로지를 생성하기 위해서는 어떻게 라우팅하며 어떠한 파장을 광 경로에 할당할 것인가에 대한 문제를 해결해야 한다. 이러한 광 경로 설정을 위

한 라우팅과 파장 할당 문제를 RWA(Routing and Wavelength Assignment)라고 부른다[1][2]. 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 [3][4]. 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 존재한

다. 이 문제는 라우팅 및 파장과 및 시간슬롯 할당. (Routing, Wavelength and Timeslot Assignment: RWTA)라고 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/TDM 네트워크에서 광경로를 설정하기 위한 분산 제어 방식을 제안하였다. 제안된 분산 제어 방식에서는 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.

II장은 WDM/TDM 네트워크의 구조에 대해, III장에서는 제안한 시간슬롯 기반의 네트워크에 자원을 예약하는 프로토콜을 설명하였다. IV장은 제안한 프로토콜의 시뮬레이션과 결과를 설명하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. WDM/TDM 네트워크의 구조

TDM 기반의 파장 라우팅 네트워크를 WDM/TDM이라고 한다. WDM/TDM에서 다중 세션은 TDM 프레임을 사용하는 단일 파장에 다중화될 수 있다. 세션의 대역폭의 요구는 시간슬롯으로 지정하며 발신 노드에서 목적지 노드까지의 경로에 적절한 파장과 시간슬롯(timeslot)을 할당한다. 따라서, WDM/TDM에서의 노드는 파장뿐만이 아니라 시간슬롯도 라우팅을 할 수 있는 능력을 가지고 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 파장을 이용하여야 하지만 TDM 방법은 같은 파장의 주기를 다르게 시간을 할당하여 전송할 수 있는 방법이다. 따라서, 파장의 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.

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

[5][6].

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.

그림1은 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 바탕으로 가용한 파장과 시간슬롯을 할당하여야 한다. 그림4-1에서는 λ_0 파장의 2,3번째 슬롯과 λ_1 의 슬롯 1,2가 가용한 상태이다. 파장 할당과 시간슬롯의 할당은 3장에 언급한 할당 알고리즘 중에 하나를 택하여 사용하며 λ_0 파장의 2,3 번째 슬롯을 할당한다.

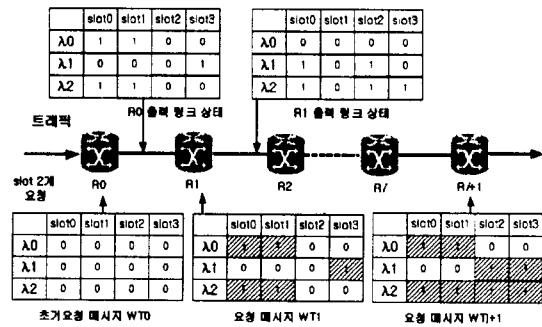


그림1. 요청 메시지 정보

2. 분산 프로토콜

1) 제어 메시지 종류

프로토콜에 사용되는 제어 메시지는 표1과 같다[5].

표1. 제어 메시지.

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

2) 광 경로 설정 과정

광 경로 설정 과정은 그림2와 같이 이루어진다. a)의 경우는 발신 노드에 요구하는 트래픽이 발생하면 데이터를 보내기 전에 경로 설정을 위한 PROB 제어 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 전달 될 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.

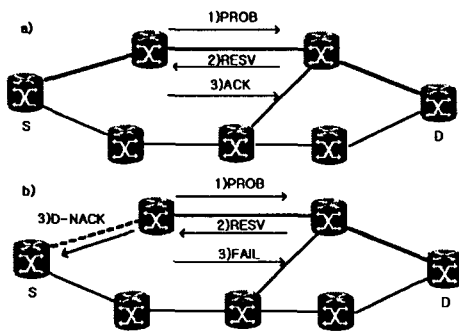


그림 4. 광 경로 설정 과정

a) 성공적인 경로 설정 b) 경로 설정 실패

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 때문

에 RESV 메시지가 자원을 예약할 때 수집된 정보와는 다르게 다른 호에 의해 쓰여지고 있을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 자원 예약 잠금 방법을 사용한다. 자원을 예약할 때 다른 자원이 사용하지 못하도록 잠금 상태를 만든다. 하지만 RESV 메시지가 먼저 도착한 메시지가 자원을 잠금 상태로 만들 수 있기 때문에 진취적 예약과 보수적 예약의 방법을 사용한다[8]. 진취적 예약 방법은 예약하는 과정에 있어서 여러 개의 가상 채널을 잠그고 연결을 설정하기 위해 시도하며 그 중 하나의 채널만 통신 채널로 할당하고 나머지 채널은 해제한다. 보수적 예약 방법은 예약 과정에 있어서 하나의 채널만 사용한다.

IV. 성능평가

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

그림3은 예약 채널 수에 따른 블록킹 확률을 나타내는 그래프로서 노드 당 동시에 발생하는 트래픽 수는 120일때, 트래픽 부하를 증가시켰을 경우 광 경로 설정 시간의 변화를 나타내는 그래프이다. 25개의 노드와 링크의 연결 확률 0.1로 랜덤 토폴로지로서 시뮬레이션 하였다. 여기서 모든 링크는 파이버 1개, 파장 12, 시간슬롯 32개로 같다. 또한 링크의 지연은 백본 망의 거리가 약 20~100Km 임을 고려하여 0.5ms로 하였다. 파장과 시간슬롯 할당 방법은 FF(first-fit)와 FFT(first-fit-timeslot) 방법을 사용하였다[1][4]. FF와 FFT는 가능한 파장과 시간슬롯을 찾을때 낮은 순서로부터 높은 순서로 차례로 파장과 시간슬롯을 찾는 방법이다. 진취적 방법에서 2개의 채널(aggr2)을 사용하였을 경우 보수적 방법(cons)보다 블록킹 확률이 약 20%가 낮은 결과를 보여준다.

그림4는 예약 채널 수에 따른 링크 이용률을 나타내는 그래프이다. 진취적 예약 방법에서 채널의 수가 2개일 경우 보수적 예약 방법보다 링크 이용률이 높지만 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.

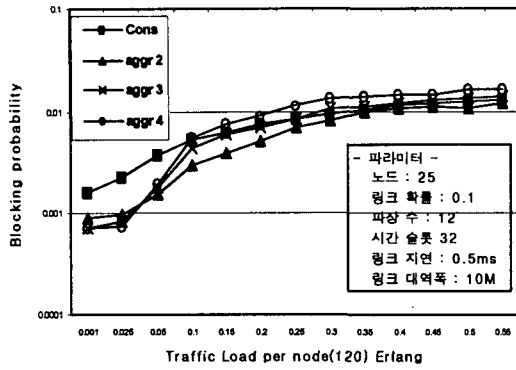


그림3. 예약 채널 수에 따른 블로킹 확률

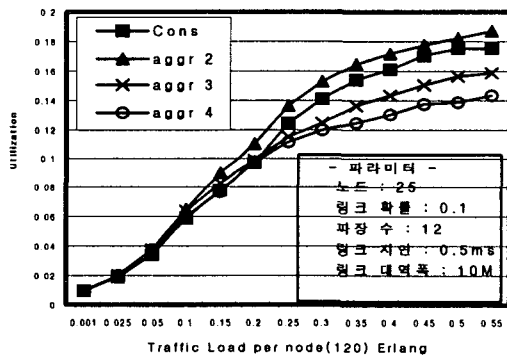


그림4. 예약 채널 수에 따른 링크 이용률

V. 결론

본 논문에서는 WDM 네트워크에 TDM 방식을 적용하였을 경우 중앙 집중 방식에서와 같이 WDM 방식보다 블로킹 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 적을 때에는 많은 채널을 예약하는 것이 좋으며, 트래픽의 부하가 높아졌을 땐 오히려 적은 채널을 예약하는 것이 더 블로킹 확률이 적다는 것을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

WDM/TDM네트워크의 분산 제어 방식에서 더욱 연구할

부분은 자원 예약 실패를 하였을 경우 재전송 방식을 고려하는 것과 경로를 선택함에 있어서 적응적 경로 방식을 사용하면 블로킹 확률을 낮추고 네트워크의 성능이 향상될 수 있는지 시뮬레이션을 통한 검증하는 것이다.

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] H. Zang and J. P. Jue and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks", *Optical Networks Magazine*, vol. 1, pp. 47-60, Jan. 2000.
- [3] Nen-Fu Huang, Guan-Hsiung Liaw, and Chuan-Pwu 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.
- [4] Bo Wen and K. M. Sivalingam, "Routing, Wavelength and Time-slot Assignment in Time Division Multiplexed Wavelength-Routed Optical WDM Networks", in *IEEE INFOCOM*, (New York, NY), June 2002.
- [5] Andrei G. Stoica and Abhijit Sengupta, "On a dynamic wavelength assignment algorithm for wavelength routed all-optical networks", *Optical Networks Magazine*, Jan/Feb, 2002.
- [6] Jun Zheng and Hussein T. Mouftah, "Distributed Lightpath control based on destination routing in wavelength-routed WDM Networks", *Optical Networks Magazine*, July/Aug, 2002.
- [7] 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 Networks Magazine Special Issue on "Simulation, CAD, and Measurement of Optical Networks"*, Sep/Oct. 2001.
- [18] X. Yuan and R. Melhem and R. Gupta, "Distributed Path Reservation Algorithms for Multiplexed All-Optical Interconnection Networks"