# WDM/TDM 네트워크에서 차별화된 서비스 제공을 위한 파장 및 시간 슬롯 할당방식

## QoS-based Routing, Wavelength and Time-slot Assignment schemes

임재복, 이현태
목원대학교

Lim Jae-Bok, Lee Hyeun-Tae
Mokwon Univ.

**요약**

광 파장 경로 네트워크에서 시간슬롯을 도입한 RWTA(Routing, Wavelength and Time-slot Assignment)에서는 시간슬롯의 할당이 제공하는 연결의 대역폭을 결정한다. 본 논문에서는 RWTA 방식에서 요구되는 트래픽에 따라 시간슬롯을 제공하고 자원을 효율적으로 사용 할 수 있는 GBTA(Guaranteed-bandwidth Time-slot allocation) 알고리즘을 제안한다. GBTA는 보장된 시간슬롯을 할당함으로서 세션이 블록킹 되지 않고 연결될 확률을 높여 세션의 연결성을 보장하여 QoS의 요구사항을 만족시킨다.

## I. 서론

인터넷의 보급이 급증하고 넓은 대역폭을 요구하는 멀티미디어 서비스(오디오 및 비디오 스트림, 화상회의, 온라인 게임 등)가 빠르게 성장하고 있고, 여러 가지 형태로 인터넷에 접근하는 가입자들은 지역적으로 넓게 분포되어 있다. 이는 인터넷 망의 대역폭 확대를 요구하고 있으며, 단순한 대역폭의 증가만으로는 이러한 엄청난 수요를 충족시킬 수 없다. 왜냐하면 인터넷 트래픽이 단순히 양적으로 증가할 뿐만 아니라 특성상의 다양한 변화가 일어나고 있기 때문에 이러한 요구에 부응하기 위한 변화가 동반되어야 할 것이다. 그러므로 보다 높은 용량과 빠른 전송을 제공할 수 있는 네트워크의 필요성이 더욱 커지고 있다. 이러한 요구에 차세대 Backbone 네트워크로서 광케이블이 갖고 있는 잠재 전송 능력을 최대한 이용할 수 있는 파장분할다중화방식(Wavelength Division Multi -plexing : WDM) 기반의 광 네트워크에 대한 연구와 개발이 매우 활발하다[1].

확실한 전송률과 지연 범위 내에서 데이터 처리율(즉, packet) 즉 QoS 요구를 가지는 응용들을 multi-service 네트워크 상에서 어떠한 방법으로 전달할 것인가의 문제가 중요한 이슈이다. 현재 실시간 트래픽에 대하여, 사용자들 사이의 논리적인 관계에서 정확한 순서로 데이터 패킷의 전달은 연결 지향적인 방법을 따르기 쉽다. QoS의 요구를 가지는 연결 설정을 위해서는 파장 경로 네트워크를 자연스럽게 생각할 수 있다. 파장 경로 네트워크에서의 차별화된 서비스 제공하고 사용자들의 QoS 요구사항을 만족시키기 위해서는 어떤 경로를 선택하고 어떤 파장, 시간슬롯을 선택하는 것이 중요한 문제가 된다[2].

지금까지 광 네트워크 는 크게 두 가지 관점에서 연구되어 왔다. 하나는 광 패킷 스위칭 네트워크(optical packet switching network)이며, 다른 하나는 광회선 스위칭 파장 전송 네트워크(circuit- switched wavelength -routed (WR)network) 이다. 그러나 광 패킷 스위칭 방법은 버퍼링을 위한 기술적인 한계와 동기화 문제가 명확하게 해결되지 못했기 때문에 현재 네트워크 환경에 적용하기 어렵다는 측면을 지니며, 광 회선 스위칭 방법은 비효율적인 대역폭 활용 문제로 인한 문제점을 지니고 있다.

기존의 광 회선 스위칭 파장 전송 네트워크에서는 광 경로를 결정하기 위해 라우팅 경로를 설정한 후, 파장을 설정된 라우팅 경로에 할당하는 절차를 거치는데, 이를

라우팅과 파장 할당 문제 (Routing and Wavelength Assignment: RWA)라고 한다[3]. 그러나 이러한 RWA를 이용한 광 경로 설정은 많은 대역폭 낭비를 초래할 수 있다. 예를 들어, 광 회선 스위칭 파장 전송 네트워크에서 대부분의 연결은 실질적으로 할당된 파장의 적은 일부만을 사용하므로 하나의 연결이 비효율적으로 네트워크의 대역폭을 점유하게 되는 결과를 초래하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 시간 분할 멀티플렉싱에 기반한 파장 전송 네트워크 (TDM-based WR network)가 제안되었다[4, 5]. 시간 분할 멀티플렉싱에 기반한 파장 전송 네트워크 에서는 하나의 파장을 타임슬롯으로 세분하여 이를 광 경로 설정을 위한 대역폭 할당 단위로 고려하게 되는데, 이를 라우팅, 파장, 타임슬롯 할당 문제 (Routing, Wavelength and Time-Slot Assignment: RWTA)라고 한다.

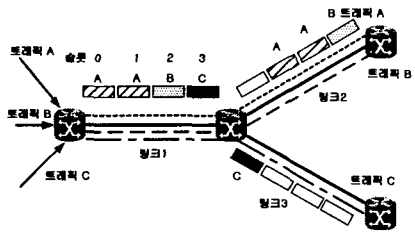
지금까지 제안된 RWA, RWTA의 광 네트워크에서는 사용자 레벨의 차별화된 서비스 요구사항에 무관하게 블록킹 확률만 고려하여 링크의 이용율을 높이는 방향으로 연구가 이루어져 왔다.

본 논문에서는 앞서 언급한 RWTA 개념을 도입하여 보다 효과적으로 대역폭을 사용할 뿐만 아니라 서비스별로 대역폭을 보장하기 위한 대역폭 보장형 시간슬롯 할당(GBTA)알고리즘을 제안한다. 이 GBTA는 블록킹 확률만 고려하는 네트워크에 최소한의 대역폭을 시간 슬롯의 수로 요구함으로써 서비스별로 대역폭을 보장하여 각 세션의 트래픽의 QoS 요구를 만족시킬 수 있다.

Ⅱ장은 QoS 기반의 광 경로 설정 기본 모델에 대해, Ⅲ장에서는 QoS 기반의 광 경로 설정 방법을 설명한다. Ⅳ장은 제안한 대역록 보장형 시간슬롯 할당 방법을 설명하고, Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

## Ⅱ. WDM/TDM 네트워크

TDM 기반의 파장 라우팅 네트워크를 WDM /TDM 이라고 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. 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.




▶▶그림 3 WDM/TDM 네트워크

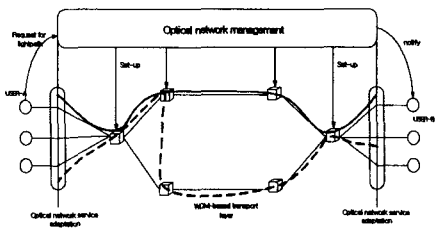
그림3은 WDM/TDM에서 시간슬롯을 할당하는 예이다. 각각의 파장은 4개의 시간슬롯으로 구성된 프레임들로 나누어진다. A세션 트래픽은 노드1에서 노드2를 지나 노드3으로 전달되는 경로이다. 이 경로는 링크1에 슬롯 0과1이 할당되고 링크2에 슬롯 1과2가 할당된다. 또한 C는 링크1에서는 슬롯3에, 링크3에서는 슬롯 0에 할당된다. 링크에서의 전달시간과 노드에서의 처리 지연의 결과는 다음 링크의 시간슬롯과 같지 않고 이동된 시간슬롯에 대해 할당한다. 이러한 복합적인 링크의 지연은 시간슬롯의 수를 고려하여야 하며, 광 동기장치(synchronizer)의 사용으로 해당 슬롯에 데이터를 할당할 수 있다. 예로, 한 슬롯의 지연이 하나의 링크를 지날 때라고 가정한다면 링크2에서는 이동된 시간슬롯을 쓰고 있음을 그림3에서 확인할 수 있다.

## Ⅲ. QoS 기반의 광 경로 설정

### 1. QoS 기반의 광 경로 설정 기본 모델

그림1은 파장 경로 네트워크에서 광 경로 설정 관리의 기본 모델이다. 파장 경로 네트워크는 광파이버로 서로 연결되어 있으며 user의 인터페이스에는 광 네트워

크 서비스 적응 유닛을 갖추고 있다고 가정한다. user A가 user B와 통신하기 원할 때, 연결을 설정을 위해 네트워크의 제어와 관리를 담당하는 유닛(optical network management)으로 연결 요청을 요구한다. QoS를 보장하는 자원의 예약이 이루어져야 하기 때문에 일반적으로 QoS 경로는 연결지향적이다. 파장 경로 네트워크는 해당 경로를 선택한 후 경로에 파장, 시간슬롯을 할당한 다음 연결을 위해 광 노드를 셀업한다. 또한 user A, B 사이에 신호 채널을 제공한다. 연결 설정의 과정후 userA, B는 설정된 경로를 통해서 보내고자 하는 데이터를 빠르고 고 품질의 파이버로 전달하게 된다. 성공적으로 광 경로를 셀업하기 위해서는 네트워크의 상태 정보를 수집하거나 유지 관리하는 것이 중요한데, 이것은 중앙집중 또는 분산의 방법으로 이루어진다.

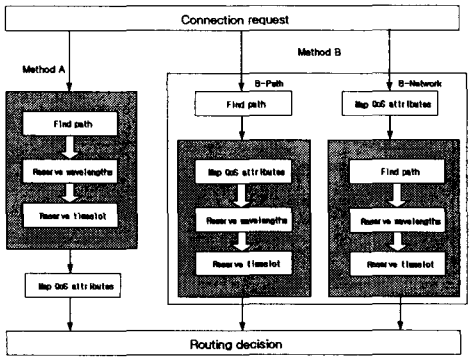



▶▶그림 1. 광 경로 설정을 위한 요청 과정

## 2. QoS 기반의 광 경로 설정의 방법

경로를 결정함에 있어서 QoS 특성을 어떻게 참조할 것인가의 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째의 경우에는 파장 라우팅과 QoS 특성 처리를 분리하는 것(method A)과 두 번째로 QoS 특성이 파장 라우팅 결정에 직접적으로 영향을 주도록 하는 방법이다(method B). 이것을 설명하기 위해서, WDM 네트워크의 다음의 라우팅 기능을 고려한다 : Find path, Reserve Wavelength, Reserve Time-slot, Map QoS Attributes.

Find path는 노드들이나 링크들의 말로써 발신지와 목적지 사이의 하나의 경로를 찾을 수 있는 기능이다. Reserve Wavelength는 동일한 링크에서 다른 파장을 예약하는 기능이다. Reserve Time-slot은 선택된 파장에 각각의 사용자에 시간슬롯을 예약하는 기능이다. Map QoS attributes는 QoS 특성과 전의 두 기능의 어느 하나와 일치시키는 것이다. 여기서는, QoS 특성은 네트워크 특성 참조하거나 사용자 요구사항을 참조하든지 두 가지 모두를 참조하면 된다. 이것은 그림2에서 보여준다.




▶▶ 그림 2. 연결 설정의 두 가지 방법

Method A는 특정 서비스 형태의 연결 요청에 대하여 QoS 특성 제어를 라우팅과 분리시키는 방법으로서, 경로는 그 서비스 형태와 분리되어서 찾게 되고 파장과 시간슬롯이 예약된다. 구한 경로에 대해 라우팅과 파장, 시간슬롯 할당의 방법이 이용된다. 경로와 파장, 시간슬롯과 같은 자원은 요청한 서비스 형태(Map QoS attributes)에 따라 체크가 되어 요구한 품질 특성에 부합되면 그 연결 요청은 수락된다.

Method B는 QoS 특성이 라우팅과 파장, 시간슬롯 할당하는데 직접적인 영향을 준다. 이 경우에는 경로를 찾거나 파장 또는 시간슬롯 또는 이 세 가지 모두의 기능을 모두 고려하여 품질 특성을 일치시킨다. B-Path는 요청한 서비스 형태에 대해 경로를 먼저 찾고 찾은 경로에 대해 품질 특성을 고려하여 파장, 시간슬롯을 예약하는 것이다. B-Network은 첫 번째로 요구한 QoS 특성을 확인한 다음 요청을 수용하기 위해 네트워크의 전 영역에서 경로와 파장, 시간슬롯을 예약하야 라우팅을 결정하게 된다.

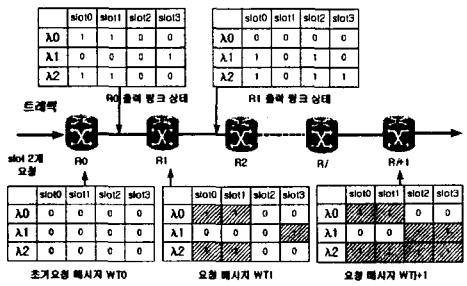
# Ⅳ. QoS를 고려한 시간슬롯 할당

## 1. 라우팅 구성과 자원 할당 방법

광 경로 설정을 하기 위해서 발신 노드는 목적지 노드

로 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[6].

그림3은 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.




▶▶ 그림 3. 요청 메시지 정보

슬롯을 두 개 요청하는 트래픽은 목적지까지 요구 메시지를 전달하고 목적지 노드는 요청 메시지를 받으면 수집한 정보를 바탕을 가용한 파장과 시간슬롯을 할당하여야 한다. 그림4-1에서는 λ0 파장의 2,3번째 슬롯과 λ1의 슬롯 1,2가 가용한 상태이다. 파장 할당과 시간슬롯의 할당은 3장에 언급한 할당 알고리즘 중에 하나를 택하여 사용하며 λ0 파장의 2,3번째 슬롯을 할당한다.

## 2. 분산 프로토콜

### 1) 제어 메시지 종류

프로토콜에 사용되는 제어 메시지는 표1과 같다[5].

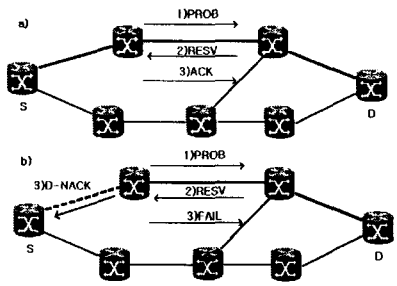
### 2) 광 경로 설정 과정

광 경로 설정 과정은 그림4 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.

[표1] 제어 메시지

| 메시지 종류 | 기 능 |
|---|---|
| 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) |

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.



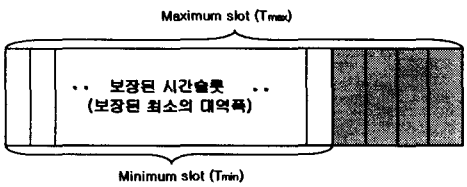

a) 성공적인 경로 설정 b) 경로 설정 실패

▶▶ 그림 4. 광 경로 설정 과정

## 3. GBTA 알고리즘

광 파장 경로 네트워크에서 시간슬롯을 도입한 RWTA에서는 시간슬롯의 할당이 제공하는 연결의 대역폭을 결정한다. 여기에서는 효과적으로 대역폭을 사용할 뿐만 아니라 서비스별로 대역폭을 보장하기 위한 대역폭 보장형 시간슬롯 할당(GBTA)알고리즘을 제안한다. GBTA는 블록킹 확률만 고려하는 파장 경로 네트워크에 최소한의 대역폭을 시간슬롯의 수로 요구함으로서 서비스별로 대역폭을 보장하여 각 세션 트래픽의 QoS 요구를 만족시킬 수 있다. 또한 네트워크의 혼잡이 발생시 보장된 시간슬롯을 할당함으로서 세션이 블록킹 되지 않고 연결될 확률을 높여 세션의 연결성을 보장하여 QoS의 요구사항을 만족시킨다.

각 세션은 시간슬롯을 요구함에 있어 최소한의 대역폭을 보장하기 위해 그림5와 같이 시간슬롯을 요구한다.




▶▶ 그림 5. 요구하는 시간슬롯

세션이 트래픽을 요구할 때에는 최대의 대역폭으로 요구를 한다. 네트워크의 자원이 가용할 때는 최대의 대역폭을 할당하고, 자원이 부족할 경우에는 보장된 시간슬롯 만큼만이라도 할당해 준다. 만일, 최대의 시간슬롯이 보장되지 않지만, 보장된 시간슬롯 이상이 가용하다면 네트워크에서 가용한 만큼만 시간슬롯을 할당해 준다. 세션 요구한 보장된 시간슬롯 이하일 때는 블록킹된다.

PROB 메시지의 자원수집 결과 목적지 노드는 경로상의 파장, 시간슬롯의 상태정보를 모두 가지고 있다. 목적지 노드에서의 자원의 예약, 그렇지 못할 경우를 정리하면 다음과 같다.

$T_{at}$ : 경로상에서 가용한 전체 시간슬롯
$T_{max}$ : 요청한 최대 시간슬롯
$T_{min}$ : 요청한 최소 시간슬롯
case 1 : $T_{at} > T_{max}$ → 최대의 시간슬롯 예약
case 2 : $T_{min}$□□ $T_{at} < T_{max}$ → 가용한 시간슬롯 예약
case 3 : $T_{at} < T_{min}$ → Blocking

## V. 결론

지금까지 제안된 RWA, RWTA의 광 네트워크에서는 사용자 레벨의 차별화된 서비스 요구사항에 무관하게 블록킹 확률만 고려하여 링크의 이용율을 높이는 방향으로 연구가 이루어져 왔다. 파장 경로 네트워크에서의 차별화된 서비스 제공하고 사용자들의 QoS 요구사항을 만족시키기 위해서는 어떤 경로를 선택하고 어떤 파장, 시간슬롯을 선택하는 것이 중요한 문제가 된다. RWTA에서는 시간 슬롯을 어떻게 할당하느냐가 QoS의 특징으로 나타나게 된다. 제안한 GBTA의 방법은 네트워크의 혼잡 발생시 요구한 시간슬롯을 보장함으로 블록킹 되지 않고 연결될 확률을 높여 요구한 QoS의 수용할 수 있을 것으로 기대된다. 차후 네트워크 트랙픽에 대한 분석과 실험, 시뮬레이션을 통한 성능 검증을 하여 GBTA에 대한 심도 있는 연구를 진행하겠다.

### ▌참고문헌▐

[1] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, "Design of Logical Topoloiges for Wavelength-Routed Optical Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 14, no. 5, June 1996.

[2] Admela Jukan, "QoS-based Wavelength Routing in Multi-Service WDM Networks", SpringerWien-NewYork, 2000.

[3] H. Zang and J. P. Jue and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength 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] 김진영, "WDM/TDM 네트워크에서 분산된 광 경로 설정 알고리즘", 목원대학교, 2001