

# 광 네트워크에서 최근성을 이용한 타임슬롯 할당 알고리즘

정지웅<sup>0</sup> 황두일 김중권  
서울대학교 전기.컴퓨터공학부  
(jwjeong<sup>0</sup>, dhwang, ckim)<sup>0</sup>@popeye.snu.ac.kr

## Recency-based Time-slot Assignment Algorithm for Wavelength-routed Optical WDM Networks

Ji-Woong Jeong<sup>0</sup> Doo-Il Hwang Chong-Kwon Kim  
School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

### 요 약

기존의 연구에서는 광 경로를 설정할 때 파장 전체를 할당함으로써 많은 대역폭 낭비를 초래하였고, 타임슬롯을 할당할 때 처음 소스 노드에서 사용할 타임슬롯을 정하여 호 연결 설정 (call setup) 을 함으로써 광 경로가 블록킹될 확률이 높았다. 본 논문에서는 광 네트워크에서 효율적으로 RWTA 문제를 해결하기 위한 새로운 타임슬롯 할당 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 호 연결 설정 시간까지의 타임슬롯 할당을 지연함으로써 광 경로가 블록킹될 확률을 최소화 할 수 있는 장점을 지닌 최근성 (recency) 에 근거한 타임슬롯 할당 알고리즘이다.

### 1. 서론

오늘날 인터넷을 이용해 많은 사용자들은 다양한 멀티미디어 어플리케이션을 이용하고 있다. 사용자들은 VOD나 화상 회의 등의 서비스를 이용하는 경우 보다 안정되고, 높은 수준의 서비스를 받기 원하므로 멀티미디어 서비스들은 더욱 더 많은 대역폭을 지원해야 하는 한편, 빠르고 안정된 속도를 낼 수 있는 네트워크 환경의 구축이 절실히 요구되고 있다. 이러한 사용자들의 요구를 충족시키기 위해서 현재 패킷 유선망보다 빠르고 안정된 서비스를 지원할 수 있는 광 네트워크 환경의 구축이 적절한 해결방안이라 할 수 있다.

지금까지 광 네트워크는 크게 두 가지 관점에서 연구되어 왔다 [2]. 하나는 광 패킷 스위칭 네트워크 (optical packet switching network)이며, 다른 하나는 광 회선 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[4]. 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[1]. 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.

본 논문에서는 앞서 언급했던 RWTA 개념을 도입하여 보다 효율적인 대역폭 사용을 위해 타임슬롯 할당 시 최근성 (recency) 에 근거한 타임슬롯 할당 정책인 최근성 기반 타임슬롯 할당 알고리즘 (Recency-based Time-slot Allocation Algorithm: RTAA)을 제안한다. RTAA는 라우팅을 위해 [3],[6]에서 제안된 WDM Aware Weight function에 근거한 라우팅 경로 선택 알고리즘을 도입하고, 파장의 할당은 [5]에서 제시한 Least Loaded (LL) 알고리즘을 이용하며, 타임슬롯 할당은 각 파장의 상태 정보를 저장하고 있는 플래그 비트에 근거해 가장 최근에 사용되지 않았던 파장을 선택하는 방식으로 이루어진다.

### 2. 관련 연구

파장 전송 광 파장 분할 멀티플렉싱 네트워크 (Wavelength-routed optical WDM network)에서 라우팅 경로 선택 알고리즘은 WDM-aware weight 함수를 이용하는데 hop-based (HW), distance (DW), available wavelengths (AW), hop count and available wavelengths (HAW) 등이 [6]에 제시되어 있으며, Least Resistance Weight Function (LRW)이 [3]에서 제안된 바 있다.

한편, 선택된 라우팅 경로에 파장을 할당하기 위한 알고리즘은 근사적인 방법 측면에서 연구되어 왔는데 [4],[5]에 Random, First-Fit (FF), Most-Used (MU), Least-Used (LU), Least-Loaded (LL), Max-Sum ( $M\Sigma$ ), Relative Capacity Loss (RCL) 등이 제시되어 있다. 이들 메커니즘을 비교한 결과를 살펴보면, RCL과  $M\Sigma$  방법이 다른 방법들에 비해 상대적으로 좋은 성능을

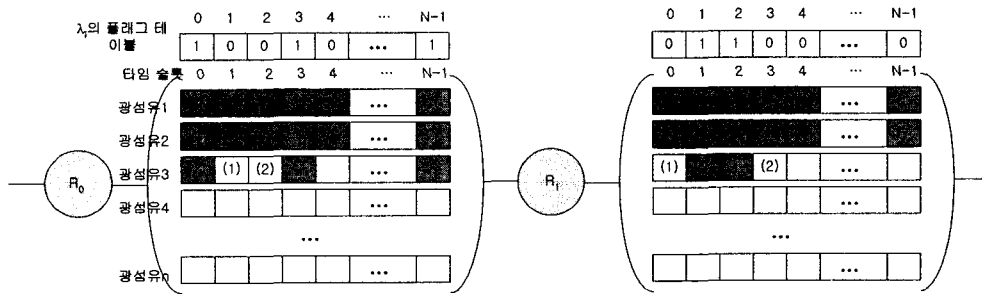


그림 1 광 경로 상의 타임슬롯 할당과 플래그 테이블

보이지만, 알고리즘의 복잡도가 높고 트래픽 요구 셋 (traffic request set)이 미리 알려져야 한다는 점에서 RCL과 MZ 방법은 동적으로 트래픽 요구가 들어오는 경우에는 적합하지 않다. 그러나 LL 알고리즘은 Random, FF, LU 등의 알고리즘보다 성능이 좋고, RCL, MZ 보다 계산상의 복잡도가 낮아 동적으로 트래픽 요구가 들어오는 경우에 적합하다.

결론으로 타임슬롯 할당 알고리즘으로 Least Loaded Time-slot assignment (LLT) 알고리즘이 [3]에 제안되어 있다. 그러나 LLT에서 타임슬롯의 상태 정보는 경로상의 모든 소스 노드에서 글로벌 테이블에 의해 유지되어야 하는 하고, 글로벌 테이블은 동적인 세션의 연결과 릴리즈의 변화에 따라 업데이트되어야 하기 때문에 LLT는 multi-mode multi-fiber 환경에서 동작을 할 경우 상당한 오버헤드를 초래할 가능성이 있다.

Session ID	Slot IDs	Session ID	Slot IDs
...	...	...	...
j	slot1→slot2	j	slot0→slot3

< R<sub>0</sub>의 세션테이블 >
< R<sub>1</sub>의 세션테이블 >

그림 2 세션 j가 할당된 후 세션 테이블의 변화

### 3. RTAA: Recency-based Time-slot Assignment Algorithm

#### 3.1 가정

본 논문에서 제안되는 새로운 알고리즘 RTAA는 RWTA 문제에서 타임슬롯 할당 측면에서 기존의 방안들보다 효율적인 방안이다. RTAA는 기본적으로 빠른 광네트워크 환경에 잘 적용될 수 있도록 하기 위해 단순하면서도 좋은 성능을 내는 점에 초점을 맞추고 있다.

RTAA는 라우팅 경로 선택 알고리즘으로 [3]에 제안된 Least Resistance Weight 함수를 이용하여, 파장 할당을 위해 [4],[5]에 제안된 LL 알고리즘을 이용한다. RTAA는 아웃오브밴드 시그널링 (out-of-band signaling)을 이용하여 컨트롤 정보를 다른 광 스위치에 전달하는데, 기존의 유선 네트워크의 라우팅 알고리즘에 사용되었던 OSPF와 같은 프로토콜을 이용하여 정보를 전파시킨다.

또한 RTAA가 동작하는 환경은 다수의 광섬유가 존재하고, 각 광섬유에는 다수의 파장이 존재하는 멀티 광섬유-멀티 모드 환경이다. RTAA는 RWTA 문제를 광 회선 스위칭 네트워크에 적용하여 타임슬롯을 할당하게 된다. 또한 각각의 타임슬롯은 타임슬롯 교환기 (time-slot interchanger)를 통해 할당될 수 있음을 가정한다.

#### 3.2 RTAA의 테이블 구조

RTAA에서 각각의 노드들은 링크상의 타임슬롯이 사용 중인지

나타내는 플래그 정보를 담고 있는 플래그테이블과 각각의 노드와 관련된 세션에 대한 정보를 담고 있는 세션 테이블을 관리한다. 플래그테이블은 각각의 타임슬롯 아이디와 타임슬롯이 사용 중인지 여부를 알려주는 플래그를 위한 필드를 지니고, 세션 테이블은 노드와 관련된 세션 아이디와 각 세션에 할당되어 있는 타임슬롯 아이디 필드를 지니고 있다. RTAA는 두 테이블이 지닌 정보를 바탕으로 사용 가능한 타임슬롯에 데이터를 실어 전송한다.

플래그테이블은 단순한 배열 구조로 나타낼 수 있다. 플래그테이블은 각 플래그에 한 비트만을 할당하여 파장이 사용 중이 아니면 0의 값을, 파장이 사용 중이면 1의 값을 갖게 된다. 세션테이블은 각 세션이 현재 사용 하고 있는 타임슬롯 아이디 정보를 지니며, 세션 아이디와 타임슬롯은 포인터로 연결이 되어 있도록 하는 한편, 각각의 타임슬롯 간에도 포인터 연결을 두어 체인의 형태로 관리한다. 세션 테이블은 생성된 세션의 순서에 따라 차례로 채워지게 되며, 각 세션이 네트워크 자원을 반납하게 되면 해당 세션은 테이블에서 제거된다. 또한 세션테이블에는 세션 아이디를 가리키고 있는 포인터가 하나 존재하는데, 이 포인터는 플래그가 모두 1로 설정되어 있을 때 사용된다.

#### 3.3 RTAA 알고리즘

RTAA의 타임슬롯 할당 정책은 사용되는 각각 타임슬롯의 최근성 (recency)에 기반하여 이루어진다. 즉, 가장 최근에 사용한 타임슬롯의 사용을 피해 타임슬롯을 할당하는 정책이라 할 수 있는 것이다. RTAA 알고리즘의 동작 과정을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 광 경로가 결정되고 파장이 할당되고 나면, 할당된 각 파장 중에서 플래그가 0으로 설정된 타임슬롯을 선택한다. 각 타임슬롯에는 순서대로 0부터 N-1까지 아이디를 부여한다. 각 타임슬롯에는 한 비트의 플래그가 있어 해당 타임슬롯이 할당되고 나면 플래그를 1로 설정한다. 플래그가 1로 설정되어 있으면 그 타임슬롯이 최근성에 근거했을 때 사용된 슬롯이라고 간주한다.

광 경로 상에 있는 각 파장에 0으로 설정된 플래그가 세션에 의해서 요청된 타임슬롯의 개수보다 많다면 FF (First Fit) 방법으로 타임슬롯을 할당하게 된다.

그림 1은 특정 광 경로상에 타임슬롯이 할당된 것을 보여주고 있다. 그림 1에서 세션 j가 두 개의 타임슬롯을 요구하게 된다면 플래그에 0으로 표시된 타임슬롯 중에서 그림에서 (1),(2)라고 표시된 부분에 타임슬롯을 할당하게 된다.

그림 2는 세션 j가 타임슬롯을 할당 받은 후 스위치 R0와 R1에 있는 세션 테이블을 나타내고 있다. 새롭게 할당 받은 세션은 세션 테이블의 제일 아래 위치하게 된다. 그림에서 보이듯이 할당 받은 각 슬롯은 포인터로 연결되어 있다.

최악의 경우 모든 타임슬롯 플래그가 1로 설정되어 있다면, 이 경우 세션테이블을 참조해야만 한다. 세션테이블의 첫 번째 목록은 현재 노드와 관련된 세션 중 가장 먼저 생성된 세션이므로, 이 세션은 가까운 시간 안에 먼저 네트워크 자원을 반납할 가능성이

높다. 또한, 지금까지 타임슬롯을 할당하면서 세션테이블의 첫 번째 목록에 있는 타임슬롯들은 플래그가 1로 설정되어 있었기 때문에 이 타임슬롯들을 피하는 쪽으로 할당 되었을 가능성이 높다. 따라서, 모든 플래그가 1로 설정되어 있는 경우, 세션테이블의 상단에 존재하는 세션들을 위부터 차례로 참조해서 할당하면 보다 효율적인 타임슬롯 할당이 이루어 진다.

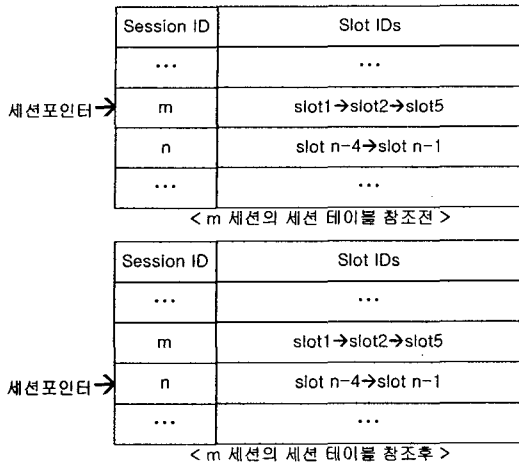


그림 3 세션 테이블에서 세션 포인터의 이동

세션에 의해서 요청된 타임슬롯의 개수가 0으로 설정된 플래그보다 많이 요구하게 된다면, 먼저 0으로 설정된 타임슬롯을 할당한 후 세션테이블을 참조해서 나머지 타임슬롯을 할당하게 된다. 세션테이블을 참조해서 할당하는 방법은 위에서 설명한 세션테이블 참조 방법과 동일하다.

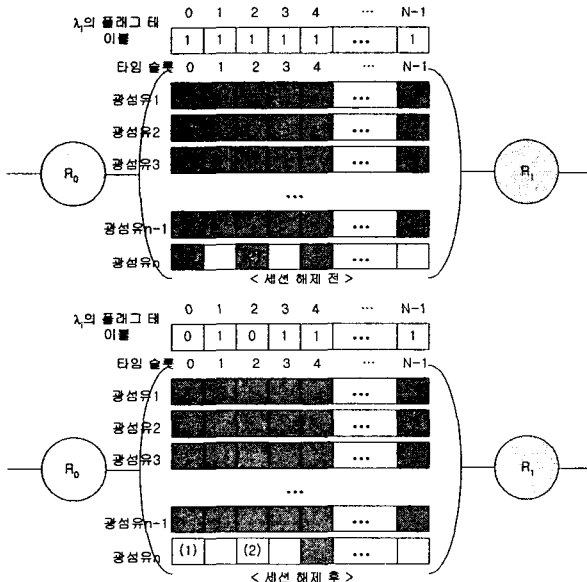


그림 4 연결 해제 후 타임슬롯 플래그의 변화

그림 3은 타임슬롯의 플래그가 모두 1로 설정되었거나 세션이

요청한 타임슬롯이 0으로 설정된 것보다 많을 때 세션 테이블을 참조한 모습을 보여주고 있다. 세션포인터가 세션 m을 가리키고 있으므로 slot 1,2,5를 참조해서 타임슬롯을 할당한다. 그리고 나서 세션포인터는 세션 n을 가리키도록 이동하고 다음에도 타임슬롯 플래그가 모두 1로 설정되었을 때, 세션포인터가 가리키고 있는 세션 n 목록을 참조하여 slot n-4, n-1등을 할당하게 된다.

또한 세션테이블에서 특정한 세션을 참조하여 타임슬롯을 할당하였다면, 다음 세션으로 포인터를 옮기고 차후에 세션테이블을 다시 참조하게 된다면, 포인터가 가리키고 있는 세션을 참조해서 타임슬롯을 할당한다.

한편, 링크의 특정한 타임슬롯을 사용하던 연결이 끊어지고 끊어진 연결에 의해 사용되었던 네트워크 자원이 해제되어야 하는 경우(release), RTAA는 우선 세션테이블을 보고 해당 타임슬롯의 플래그를 0으로 설정한다. 이 경우 만약 포인터가 가리키고 있는 세션이 릴리즈된다면, 이 포인터는 바로 다음에 있는 세션을 가리키게 된다.

그림 4는 타임슬롯 0,2를 사용하던 특정 세션이 연결을 해제한 모습을 보여주고 있다. 그림에서 (1),(2)로 표시된 부분이 타임슬롯이 해제된 부분이다. 그림에서 보이듯이 플래그 테이블에 있는 플래그는 1에서 0로 각각 변하고 이 타임슬롯은 플래그가 0으로 변함으로써 한 세션을 더 수용할 수 있게 된다. 이 그림에서 보이듯이 플래그가 0으로 표시되어 있음은 최소한 한 세션은 더 할당 받을 수 있음을 보여 준다.

4. 결론

지금까지 광 네트워크에서 효율적으로 RWTA 문제를 해결하기 위한 새로운 타임슬롯 할당 알고리즘을 제시하였다. 본 논문에서 제시된 타임슬롯 할당 알고리즘은 호 연결 설정 시간까지의 타임슬롯 할당을 지연함으로써 광 경로가 블록킹될 확률을 최소화 한다. RTAA는 이종의 광 네트워크 환경에서도 효율적인 성능을 보여줄 수 있을 것으로 기대한다. 차후 RTAA에 대한 분석과 실험을 통한 성능 검증등 하여 RTAA에 대한 심도 있는 연구를 진행하겠다.

5. 참고문헌

[1] Nen-Fu Huang, Guan-Hsiung Liaw, and Chuan-Pwu Wang, " A Novel All-Optical Transport Network with Time-Shared Wavelength Channels," IEEE JSAC Vol 18, Oct 2000  
 [2] Sanjeev Verma, Hemant Chaskar, and Rayadurgam Ravikanth, " Optical Burst Switching: A Viable Solution for Terabit IP Backbone," IEEE Network, November/December 2000  
 [3] Bo Wen and Krishna M. Sivalingam, " Routing, Wavelength and Time-Slot Assignment in Time Division Multiplexed Wavelength-Routed Optical WDM Networks," IEEE INFOCOM 2002  
 [4] H. Zang, 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, Jan 2000  
 [5] E. Karasan and E. Ayanoglu, " Effects of wavelength routing and selection algorithms on wavelength conversion gain in WDM networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol 6, Apr 1998  
 [6] Nilesh M. Bhide, Krishna M. Sivalingam, and Tibor Fabry-Asztalos, " Routing Mechanisms Employing Adaptive Weight Functions for Shortest Path Routing in Optical WDM Networks," Journal of Photonic Network Communicatons, vol 3, July 2001