

WDM 네트워크에서 가상 토폴로지 재구성을 위한 VTR 컨트롤러

유승연, 정영은, 신석규
한국정보통신기술협회 S/W시험인증센터
e-mail: {syvou, vejung, skshin}@tta.or.kr

The VTR Controller for reconfiguring virtual topology in WDM Networks

Seung-Yeon You, Yung-Eun Jung, and Seok-Kyoo Shin
S/W Quality Evaluation Section 5, S/W Quality Evaluation Center,
IT Testing & Certification Laboratory

요 약

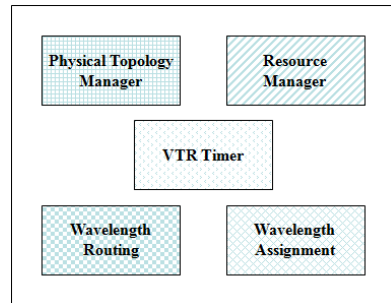
WDM 네트워크에서 QoS를 향상시키기 위해서는 가상 토폴로지를 효율적으로 재구성할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 토폴로지를 재구성할 시점을 결정하고 적절한 파장을 할당하는 기법을 제안함으로써 효과적으로 WDM 네트워크를 운영할 수 있는 WDM 컨트롤러를 제안한다.

1. 서론

WDM 네트워크에서 통신하기 위해서는 네트워크 트래픽에 파장을 할당하여 광경로(lightpath)를 설정해야 하는데 이러한 광경로의 집합을 가상 토폴로지라고 한다. 트래픽 패턴이 변화하면 기존의 가상 토폴로지는 더 이상 변화된 네트워크 상황에서 좋은 서비스를 제공할 수 없게 된다. 이러한 이유로 가상 토폴로지는 네트워크 상황을 반영하여 재구성되어야 한다[1-8, 10]. 본 논문에서는 가상 토폴로지 재구성을 효과적으로 수행함으로써 WDM 네트워크의 QoS(Quality of Service)를 향상시킬 수 있는 VTR (Virtual Topology Reconfiguration) 컨트롤러를 제안한다.

2. VTR 컨트롤러

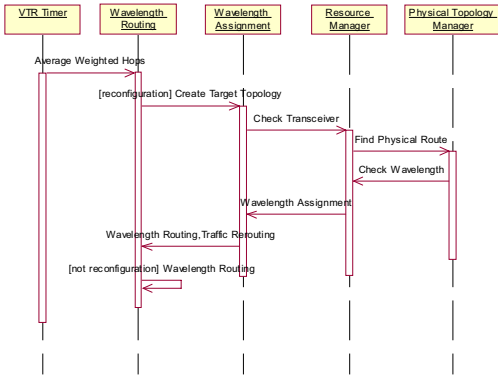
네트워크 트래픽 패턴이 변화함에 따라 동적으로 가상 토폴로지를 재구성함으로써 WDM 네트워크에서 QoS를 향상시킬 수 있다. 가상 토폴로지 재구성(VTR)은 크게 세 가지 단계로 수행된다. 가상 토폴로지 재구성 시점을 결정하는 부분이 첫 번째 단계이며 다음으로 네트워크 트래픽 패턴을 반영하여 이에 적응적인 가상 토폴로지를 구성하고, 기존의 가상 토폴로지서 새로 구성된 가상 토폴로지로의 전이를 완료하면 가상 토폴로지 재구성 수행이 완료된다. 본 논문에서 제안하는 VTR 컨트롤러는 그림 1과 같이 다섯 개의 모듈(VTR Timer, Physical Topology Manager, Resource Manager, Wavelength Routing, Wavelength Assignment)로 구성되어 있으며 가상 토폴로지 재구성 수행을 위해 각 모듈은 유기적으로 동작한다. 모듈들의 상호 작용을 간략하게 도식화하면 그림 2와 같다.



(그림 1) VTR 컨트롤러

VTR 컨트롤러 내의 각 모듈을 간략하게 설명하겠다. Wavelength Routing은 현재 광경로가 설정되어 서비스되고 있는 가상 토폴로지 정보를 관리하는 모듈이다. VTR Timer는 이 Wavelength Routing 모듈을 이용하여 가상 토폴로지가 재구성 될 시점을 결정한다. 재구성 시점이 결정되면 네트워크 트래픽 패턴을 분석하여 이에 적합한 파장을 할당함으로써 새로운 가상 토폴로지를 구성한다. 이 과정은 Wavelength Assignment 모듈에서 수행되며 이때 Physical Topology Manager와 Resource Manager 모듈이 유기적으로 동작하게 된다. Physical Topology Manager는 네트워크의 물리적인 토폴로지를 관리하고 라우팅을 담당하며, Resource Manager는 ADM(Add/Drop Multiplexer), 파장과 같은 WDM 네트워크 자원을 관리하는 모듈이다. 본 논문에서 제안하는 VTR 컨트롤러는 단일 홉 네트워크 구성을 기본으로 하지만, 네트워크의 일부 분은 멀티 홉으로 구성함으로써 순수 단일 홉 네트워크에서의 단점을 보완한다. VTR Timer 모듈이 가상 토폴로

지 재구성 시점을 결정하는 방법과 Wavelength Assignment 모듈이 과장을 할당하는 방법을 조금 더 구체적으로 설명하겠다.



(그림 2) VTR 컨트롤러 모듈 간 상호작용

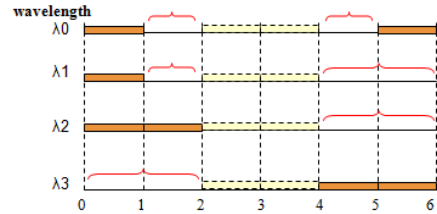
VTR Timer 모듈은 가상 홉 수, $h_{s,d}$ 가 아래의 식(1)과 같이 threshold 값 이상이 될 때를 가상 토폴로지 재구성 시점으로 결정한다. (s 는 출발지 노드, d 는 목적지 노드를 의미한다.) 아래 식에서 $t_{s,d}$ 는 노드 (s , d)사이의 트래픽 양을, T_{tot} 는 네트워크 전체 트래픽 양을 나타낸다.

$$\frac{\sum h_{s,d} \times t_{s,d}}{T_{tot}} \geq 1.5 \times T_{avg} \quad (1)$$

가상 홉 수 $h_{s,d}$ 가 1이라면 트래픽 (s , d)가 하나의 광경로로 연결되어 있음을 의미하며, 2이상이라면 2개 이상의 광경로를 사용하여 (s , d)가 멀티 홉으로 연결되어 있음을 의미한다. 식(1)에서는 threshold 값이 1.5로 표현되어 있는데 이는 현재 네트워크 트래픽이 평균 1.5 홉 이상으로 전송될 때 가상 토폴로지를 재구성한다. 네트워크 트래픽이 단일 홉으로 서비스되고 있지 않다는 것은 현재의 가상 토폴로지가 변화된 네트워크 패턴을 반영하지 못함을 의미하기 때문이다. 가상 홉 수가 1.5보다 작은 1.2나 1.3인 경우는 재구성을 하지 않는데, 즉 네트워크 트래픽의 일부는 멀티 홉 서비스를 지원함으로써 블로킹 발생률도 감소시킬 수 있고, 가상 토폴로지 재구성 횟수도 감소시킬 수 있게 된다. 만약 모든 네트워크 트래픽을 단일 홉으로만 전송하고 싶다면 threshold 값을 1로 변경하면 된다.

재구성을 수행하기로 결정되었다면 네트워크 트래픽 패턴을 반영한 가상 토폴로지를 구성해야 하는데 이는 과장 할당 알고리즘을 통하여 구성할 수 있다. Wavelength Assignment 모듈이 이를 수행하는데 이 모듈에서 사용하는 과장 할당 기법은 이전에 개발한 과장 할당 기법[9]을 사용한다. 간단하게 설명하면, 요청 트래픽에 과장을 할당

했을 때 네트워크에 불연속적인 링크의 수를 최소화 할 수 있는 과장을 선택하여 광경로를 설정하는 것이다. WDM 네트워크에 불연속적인 링크의 수가 적을수록 잠재적으로 블로킹 발생률을 줄이는 효과를 가져온다. 그림 3에서 보이는 네트워크 상황을 가정하고 (2, 4) 트래픽 요청이 있을 경우를 예로 들겠다.

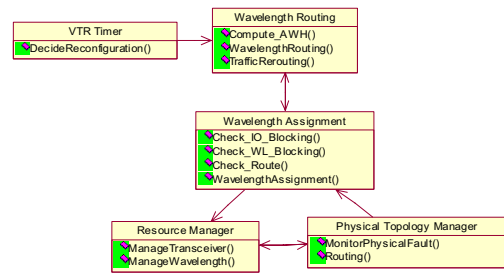


(그림 3) 네트워크의 예

4개의 과장 중 요청 트래픽에 할당된 후에 불연속적인 링크를 최소로 남기게 하는 과장을 선택하여 (2, 4) 트래픽에 할당한다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같으며 보다 구체적인 과장 할당 기법은 [9]을 참고한다.

$$\text{Max}_{\lambda} \frac{\sum_i |S_{\lambda,i}|}{N(S_{\lambda})} \quad (2)$$

VTR 컨트롤러 내부의 다섯 가지 모듈은 서로 유기적으로 동작해야 하며 구체적인 클래스 다이어그램은 그림 4와 같다.

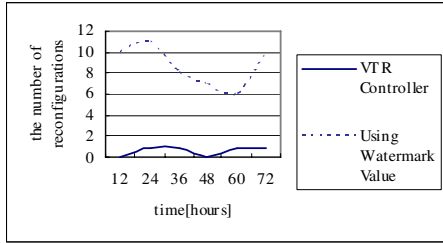


(그림 4) VTR 컨트롤러 모듈의 클래스 다이어그램

3. 시뮬레이션

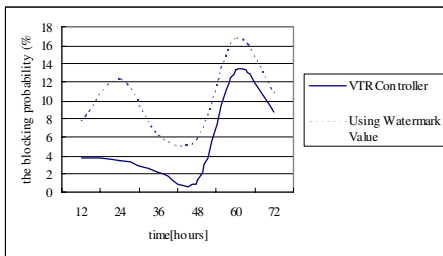
VTR 컨트롤러의 성능을 비교하기 위해 워터마크 값을 이용하여 가상 토폴로지 재구성 시점을 결정한 기법을 선택하였다. 네트워크 노드 수는 20개, 사용 가능한 과장의 수는 16개를 가정한 후 가상 토폴로지 재구성 횟수와 블로킹 발생률을 비교하였다. 그림 5는 가상 토폴로지 재구성 횟수를 비교한 결과이며 VTR 컨트롤러를 사용하였을

때 재구성 횟수가 현저히 감소된 것을 확인할 수 있었다. 그 이유는 트래픽의 양이 많고 적음을 기준으로 하지 않고, 트래픽이 서비스되는 가상 홉 수를 기준으로 재구성 시점을 결정했기 때문이다.



(그림 5) 가상 토폴로지 재구성 횟수

그림 6은 블로킹 발생률을 비교한 결과이며 VTR 컨트롤러를 사용할 경우 기존의 기법에 비해 약 44% 블로킹 발생률을 감소시켰다.



(그림 6) 블로킹 발생률

4. 결론

본 논문에서 우리는 VTR 컨트롤러를 제안하였으며 가상 토폴로지를 재구성하는 시점을 결정하는 기법과 변화된 네트워크 트래픽 패턴에 적응적인 가상 토폴로지를 구성하는 기법을 소개하였다. 제안한 VTR 컨트롤러는 기존의 기법들에 비해 보다 효과적으로 WDM 네트워크를 관리한다는 것을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 제안한 컨트롤러는 토폴로지 전이를 한 번에 수행한다. 기본적으로 토폴로지 전이가 일어나는 동안에는 네트워크가 정지되므로 전이할 광경로가 많을 경우 버퍼 오버플로우, 네트워크 서비스 지연 등의 단점을 유발한다. 현재는 이를 보완하기 위한 연구를 수행 중에 있다.

참고문헌

[1] B. Mukherjee, "WDM optical communication networks: Progress and challenges", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, IEEE, 2000, pp. 1810-1824.

[2] X. Yang and B. Ramamurthy, "An Analytical Model for Virtual Topology Reconfiguration in Optical Networks and A Case Study", IEEE ICCCN., IEEE, Miami, Florida, U.S.A., 2002, pp. 302-308.

[3] A. Narula-Tam and E. Modiano, "Dynamic Load Balancing in WDM Packet Networks With and Without Wavelength Constraints", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, IEEE, 2000, pp. 1972-1979.

[4] A. Gençata and B. Mukherjee, "Virtual-Topology Adaptation for WDM Mesh Networks Under Dynamic Traffic", IEEE/ACM Transactions on Networking, IEEE, 2003, pp. 236-247.

[5] B. Gillani, R. D. Kent, and A. K. Aggarwal, "Topology Reconfiguration Mechanism for Traffic Engineering in WDM Optical Network", High Performance Computing Systems and Applications 19th International Symposium, 2005, pp. 161-167.

[6] Q. Ho, M. Lee, "Converter-Aware Wavelength Assignment in WDM Networks with Limited-Range Conversion Capability", IEICE Transactions on Communications, IEICE, 2006, pp. 436-446.

[7] I. Alfouzan and A. Jayasumana, "Dynamic Reconfiguration of Wavelength-Routed WDM networks", In Proceedings IEEE ICN., IEEE, 2001, pp. 477-485.

[8] R. Dutta and G. N. Rouskas, "A Survey of Virtual Topology Design Algorithms for Wavelength Routed Optical Networks", Optical Networks Magazine, 2000, pp. 73-89.

[9] 유승연, 김성천 "동적인 WDM 네트워크에서 가상 링크의 불연속성을 감소시키는 파장 할당 기법", 한국정보처리학회논문지 제13-C권 제2호, 2006년 4월

[10] Seung-Yeon You and Sung-Chun Kim, "The Virtual Topology Reconfiguration Controller for WDM Networks", IEEE/ACIS, July, 2007.