

WDM Mesh 네트워크에서 IP 트래픽을 수용하기 위한 분산형 가상토폴로지 적응 기법

정회원 김 일 래*, 이 성 근*, 종신회원 이 용 원*, 정회원 장 순 혁***, 이 명 문**
종신회원 박 진 우*

Distributed Virtual Topology Adaptation Method to Support IP Traffic in WDM Mesh Networks

Eallae Kim*, Sungkuen Lee* *Regular Members*, Yongwon Lee* *Lifelong Member*,
Sunhyok Chang***, Myungmoon Lee** *Regular Members*, Jinwoo Park* *Lifelong Member*

요 약

논문에서는 인터넷 트래픽 환경에서 예측하기 어려운 동적 트래픽은 물론 양방향 비대칭적 트래픽을 광 네트워크 기술을 이용하여, WDM(Wavelength Division Multiplexing) Mesh 네트워크로 수용하는 방안을 제안한다. 제안된 방안에서는 중간 노드(intermediate node)에서 변동하는 인터넷 트래픽에 대한 IP 라우터의 스위칭 통계정보를 기반으로 새로운 광경로를 결정하도록 함으로써, 네트워크의 동적인 그리고 분산적인 트래픽 제어가 이루어지도록 하였다. 이로써 인터넷 트래픽의 실시간적 변동에 따른 RWA(Routing and Wavelength Assignment)의 효율성 열화 효과를 줄이면서 네트워크의 확장성과 유연성이 개선되도록 하였다. 본 논문에서는 노드에서의 트래픽 형상 분석방법과 광경로 설정/절체 과정에 대해 설명하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 개념의 성능을 분석하였다.

Key Words : WDM Mesh Networks, Dynamic Traffic, Optical Networks, Virtual Topology Adaptation, Decentralized Algorithm

ABSTRACT

We propose a new approach to accommodate bidirectional asymmetric traffic demands as well as unexpected dynamic internet traffic variation in the WDM mesh network by using optical networking technologies. In the proposed scheme, an intermediate node determines the optical path based on the switching statistics of IP router of the node which characterizes the Internet traffic variation, which in effect provides a dynamic and distributed traffic control over the network. It is expected to reduce the efficiency deterioration of RWA(Routing and Wavelength Assignment) due to the real-time variation of Internet traffic so that expandability and flexibility of the network can be enhanced. In this paper, we describe a methodology for traffic behavior analysis at a node, and the decision policy of the establishment/release of optical path. In addition, we evaluate the performance of the proposed scheme through the computer simulations.

※ 본 연구는 한국전자통신연구원(ETRI)과 고려대학교 IT연구센터(ITRC)의 지원으로 수행되었습니다.

* 고려대학교 전자컴퓨터공학과 차세대 네트워크 연구실 (carhead@korea.ac.kr)

** 수원과학대학 정보통신과 (mmlee@ssc.ac.kr), *** 한국전자통신연구원 광대역통합망연구단 (shchang@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2006-10-449, 접수일자 : 2006년 10월 23일, 최종논문접수일자 : 2007년 1월 5일

I. 서론

인터넷의 급속한 발전에 따라 사용자의 서비스에 대한 요구가 다양해지고 동시에 서비스의 품질에 대한 요구가 높아지고 있다. 특히 고품질의 인터넷 멀티미디어 서비스의 도입으로 전송망에서 요구되는 최대 대역폭과 트래픽의 실시간 변동량이 크게 증가하게 되었다. 이에 따른 종래의 트래픽 제어 방법에서는 단순히 초고속의 IP 패킷 스위칭을 채용하여 감당하려는 시도가 이루어지고 있지만 이러한 고속 스위칭 능력으로만 해결하는 것은 기술적으로나 비용적인 측면에서 점차 어려울 것이라 예견되고 있다. 한편, 전송 용량 측면에서 수백 개의 파장을 다중화하는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기술과 이와 관련된 광소자들의 비약적인 발전으로 과거에 비해 비트 당 전송단가는 현저히 하락하고 있다. 특히, 파장 단위로 광경로를 자유롭게 설정할 수 있는 OXC(Optical Cross-connect)와 같은 광 장비의 개발은 광 네트워킹에 대한 가능성과 필요성을 대두시키게 하였다. 이는 앞으로의 전송망은 전통적인 IP 네트워크에서 단순한 라우터 간의 고정된 단일 링크에서 벗어나, 라우터 간의 복수개의 가변적인 링크를 제공할 수 있는 지능형 광통신망으로 변화가 요구되고 있다^{[1][3]}.

지금까지의 지능형 광통신망 설계에 대한 연구는 정적 트래픽 통계를 이용하여, 광경로들의 집합으로 표현되는 가상 토폴로지(virtual topology)를 최적화하는 RWA(Routing Wavelength Assignment) 문제를 통해 해결하였다^{[4][8]}. 또한 동적 트래픽 환경을 가정한 가상 토폴로지의 재구성에 관한 연구는, 예측한 미래의 트래픽 패턴에 가장 적절한 가상 토폴로지를 우선 찾아내고, 현재의 가상 토폴로지부터 변화된 가상 토폴로지로 수정하는 방법에 관한 연구가 주류를 이루었다^{[9][12]}. 그러나 이러한 접근 방법은 현재까지의 트래픽 경향으로부터 미래의 트래픽 패턴에 대한 정확한 예측이 가능해야 한다는 가정과 현재의 가상 토폴로지에서의 미래의 가상 토폴로지의 변화를 위해 복잡한 계산과정과 다단계의 수정과정을 필요로 하는 한계성을 갖는다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 제시된 연구 중에는 동적인 IP 트래픽 특성 하에 광경로 부하와 설정된 임계값(상한 위터마크와 하한 위터마크)의 비교를 통해 가상 토폴로지를 재구성하는 적응기법이 제안되었다^[13]. 이 연구에서는 시간에 따라 변동하는 트래픽을 모니터링 하여, 특정 광경로의 부하

가 설정된 임계값 이상으로 증가할 경우, 그 경로에 대해 새로운 광경로를 추가하는 방법을 제안하였다. 그리하여 앞서 지적한 문제점인 미래의 트래픽 패턴에 대한 정확한 예측의 필요성과 가상 토폴로지의 변환을 위한 복잡한 다단계 재구성의 문제점들은 해결하였다. 하지만 이 또한 혼잡한 광경로 위주로 가상 토폴로지를 재구성을 해야 하는 한계성과 네트워크의 모든 트래픽 흐름에 대한 정보를 수집/분석해야 하는 현실적인 어려움은 여전히 존재하고 있다.

본 논문에서는 트래픽 패턴이 급변화하는 동적인 네트워크 환경하에서 기존 네트워크 설계방식의 한계성은 완화시키면서, 가상망 재설정을 지속적으로 간편하게 수행할 수 있는 네트워크 제어방식을 제안하고자 한다. 이러한 수행을 위해 본 방식에서는 트래픽 이동 경로상의 중간 노드에서 측정된 스위칭 통계정보를 바탕으로 각 노드의 필요에 따라 광경로를 설정하는 분산 알고리즘을 채용하였다. 이는 기존 개념에서 벗어나, 정확한 미래 트래픽 패턴 예측의 필요성, 복잡한 RWA 알고리즘의 수행, 추가적인 제어신호로 인한 부하의 문제들을 충분히 완화시키며, 쉽고 빠르게 가상 토폴로지를 재구성할 수 있는 기법으로 예견된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 노드 구조, 광경로 설정/절체 판단 방법과 광경로 설정/절체 과정을 통해 제안하는 분산시스템 구조를 설명한다. 3장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안하는 개념의 성능분석과 제안 구조의 성능에 영향을 주는 주요인자(상한 임계값과 하한 임계값)의 특성에 대해 알아본다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺도록 한다.

II. 제안된 분산시스템 구조와 동작

2.1 노드 구조

구조는 전기적인 패킷 스위칭을 하는 IP 라우터와 파장 스위칭을 담당하는 OXC로 구성된 다중계층(multilayer) 구조를 가지며, 광경로를 설정을 담당하는 OXC는 노드의 IP 라우터의 제어신호를 통해 수동적으로 동작한다^[2]. 이 둘은 서로 내부 링크(internal links)를 통해 연결되며, IP 라우터는 노드를 통해 멀티 홉으로 지나는 트래픽들에 대해서는 전기적인 스위칭 정보를 통해 노드(IP 라우터)를 지나가는 트래픽의 형상을 파악한다. 이러한 각 노드의 트래픽 형상분석 결과는 해당 노드에서 광경로

를 설정/절체하는 기준으로 이용되며, 이는 네트워크의 모든 노드가 독립적으로 광경로를 재설정 할 수 있는 기반을 마련한다. 이후 이러한 분석을 통해 새로운 광경로의 설정/절체 필요 시, 광경로 변경에 참여하는 노드는 기존 라우팅 프로토콜과 광경로 변경에 관한 메시지를 이용하여 광경로를 재설정하게 된다.

제안된 개념에서 광경로를 설정/절체하는 절차로는 두 가지 방법이 있을 수 있으며, 첫 번째는 기존에 사용 중에 있는 포트만을 이용해서 광경로를 변경하는 방법이며, 두 번째는 광경로 변경을 위해 각 링크마다 여분의 포트를 이용할 수 있다는 가정을 두고 광경로 변경을 수행하는 방법이다. 기존에 사용중인 포트를 이용하여 광경로를 재설정하는 전자의 경우에는 광경로의 재설정을 위해 사용중인 경로의 포트를 특정시점에서 잠시 중단시켜야 하는 문제점을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 두 가지 방법 중 네트워크의 모든 노드가 광경로 재설정을 위해 여분의 포트와 파장을 하나 이상 갖고 있다는 가정하에 광경로 설정/절체 과정을 설명하도록 한다.

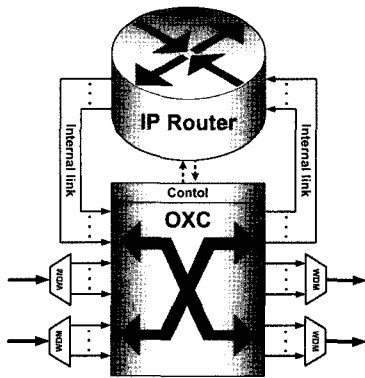


그림 1. 제안된 개념의 노드 구조

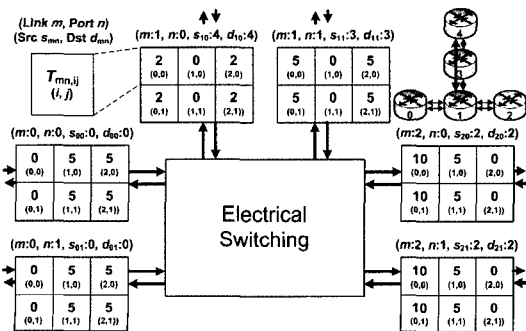


그림 2. 제안된 구조의 스위칭 경향 분석 방법

2.2 광경로 설정/절체 판단 기법

앞서 언급했듯이 제안하는 개념의 광경로 재설정은 각 노드의 현재 스위칭 되는 트래픽의 형상 분석을 기본으로 한다. 이러한 분석을 통해 특정 노드 사이에 상한 임계값 이상의 큰 트래픽 흐름이 발생할 경우, 그 흐름에 대해 새로운 광경로를 설정하도록 한다. 반대로 하한 임계값 이하의 적은 트래픽 흐름이 존재할 경우, 그 경로에 대해 광경로를 절체하도록 한다.

제안하는 방식에 의하여 노드의 IP 라우터에서 포트별로 스위칭 되는 과정과 그로 인한 트래픽 흐름을 그림 2에서 예시하고 있다. 그림에서 예시한 각각의 값들은 노드 1의 IP 라우터에서 스위칭 되는 트래픽 흐름을 나타내고 있으며, 노드는 3개의 링크(m)와 각 링크에 2개의 포트(n)를 갖고 있다고 가정하였다. 각 포트에 나타난 행렬 값은 각 포트를 통해 나가는 트래픽 양($T_{mn,ij}$)을 나타내며, 이 행렬 값들을 통해 노드에서 스위칭 되는 트래픽 형상을 파악할 수 있다. 각 포트가 갖고 있는 행렬 값의 열은 이 포트로 스위칭 되어 들어오는 입력 링크(i)를 나타내고 행은 그 링크에 속한 입력 포트(j)를 나타낸다. 결국 노드에서 스위칭 되는 트래픽 양을 $T_{mn,ij}$ 로 정의 할 수 있으며, 이는 (i, j) 포트에서 (m, n) 포트로의 스위칭 되는 트래픽 양을 나타내게 된다. 또한 각 입력/출력 포트와 연결된 인접노드를 나타내는 포트정보는 s_{mn} 과 d_{mn} 으로 나타내게 되며, s_{mn} 은 노드의 (m, n) 입력포트와 연결된 광경로의 소스 노드를 의미하며, d_{mn} 은 노드의 (m, n) 출력포트와 연결된 광경로의 목적지 노드를 의미한다. 이러한 스위칭 정보와 포트정보를 통해 자신의 노드와 연결된 모든 노드쌍의 트래픽 흐름을 확인 할 수 있게 된다. 예를 들어 노드 0에서 노드 4로 가는 트래픽 흐름의 총합은 노드의 입력 포트정보 ($s_{00}:0, s_{01}:0$) 값이 0인 (0, 0)과 (0, 1) 포트에서, 목적지 포트정보($d_{10}:4$) 값이 4인 (1, 0) 포트에 가는 트래픽 흐름을 확인하여 알 수 있다. 즉, 이 값은 $T_{10,00}(2), T_{10,00}(2)$ 의 합으로 총 4의 흐름을 갖는 것을 알 수 있다. 이와 비슷한 방법으로 광경로 설정/절체 판단은 포트의 인접 소스 노드(s_{mn})와 목적지 노드(d_{mn})가 같은 트래픽 흐름들을 조사하여 그 트래픽 양이 상한 임계값(W_H) 이상의 흐름을 가지는 경로에 대해서는 새로운 광경로를 설정하게 되며, 목적지 노드(d_{mn})가 같은 포트의 트래픽 흐름의 총합이 하한 임계값(W_L) 이하를 가질 경우는 그 광경로에 대해 절체하게 된다.

그림 3은 앞서 설명한 광경로 재설정 방법에 관

한 의사코드(pseudo code)를 나타낸다. 의사코드에서 C 는 자신(N_{now})과 연결된 노드를 (인접 소스 노드, 인접 목적지 노드) 조합으로 갖는 순서쌍 집합이다. $n(C)$ 는 C 의 원소의 개수, 즉 순서쌍 조합의 총 가지 수를 의미하며 해당 노드에서는 각각의 순서쌍 조합(c_k)에 대해 트래픽 흐름을 분석한다. 이러한 분석을 통해 특정 조합(c_k) 경로의 트래픽 총합(L_{add})이 상한 임계값(W_H) 이상을 가질 경우에는, 그 경로(인접 소스 노드: N_s , 인접 목적지 노드: N_d)에 대해 새로운 광경로를 요청하게 된다. 광경로 절체를 위해서는 자신 노드(N_{now})에서 출력되는 트래픽 흐름을 분석하여 절체를 결정하게 된다. 이러한 분석은 목적지 노드(d_{mn})가 같은 포트들의 트래픽 총합(L_{dit})을 계산함으로써 풀이될 수 있으며, 총합이 광경로 개수(cnt) * 하한 임계값(W_L) 이하를 가질 경우에는 그 경로(자신노드(N_{now}) \Rightarrow 목적지 노드(N_d))에 대해 절체요청을 하도록 한다. 절체판단에서 쓰이는 $cnt * W_L$ 값은 자신의 노드와 연결된 특정 목적지 노드에 대해 중복된 광경로가 존재할 경우를 위한 것으로서 하나의 광경로($cnt=1$)가 존재할 경우는 지정된 하한 임계값(W_L)을 이용하게 되며, 두 개 이상의 광경로가 존재할 경우에는 중복 광경로 개수를 고려하여 광경로를 절체하도록 한다(광경로 절체시기 조정을 위해 변경 가능). 이러한 분석 방법을 이용하고 상한 임계값(W_H)과 하한 임계값(W_L)을 각각 40과 10으로 가정했을 경우, 그림 2의 노드 1(N_{now})에서는, 노드 0(N_s)에서 노드 2(N_d)로 스위칭 되는 경로에 대해 새로운 광경로를 요청하게 된다. 이러한 이유는 앞서 설명한 분석방법을 통해 $T_{mn,ij}$ 값($T_{20,00}:10, T_{20,01}:10, T_{21,00}:10, T_{21,01}:10$)의 총 합이 40임을 확인 할 수 있고, 이는 노드 0에서 노드 2로 스위칭 되는 양(L_{add})이 상한 임계값($W_H: 40$) 이상을 갖는 큰 흐름이 존재하기 때문이다. 또한 광경로 절체를 위한 동작으로 노드 4를 목적지 노드로 갖는 출력 포트($m:1, n:0$)의 트래픽 총 합($T_{10,00}:2, T_{10,01}:2, T_{10,10}:0, T_{10,11}:0, T_{10,20}:2, T_{10,21}:2$)이 하한 임계값($W_L:10$) 이하인 8을 가짐을 알 수 있고, 광경로의 효율적인 사용을 위해 포트($m:1, n:0$)을 통해 노드 1(N_{now})과 노드 4(N_d)를 연결하는 광경로에 대해서는 절체요청을 하게 된다. 이러한 판단과정은 주기적 혹은 연속적으로 이루어지게 되며, 이러한 광경로 변경요청에 대한 광경로 설정/절체 과정은 다음 절에서 설명한다.

```

• 포트 (link i, port j) 에서 포트 (link m, port n)로 스위칭 되는 트래픽 양:  $T_{mn,j}$ 
• 입력 포트 (link m, port n) 와 연결된 링크의 src 노드:  $s_{mn}, S = \{s_{mn}\}$ 
• 출력 포트 (link m, port n) 와 연결된 링크의 dst 노드:  $d_{mn}, D = \{d_{mn}\}$ 

0  $N_{now} \leftarrow$  자신 노드
1  $c_k = \{(x, y) | x \in S, y \in D\} \quad k = 1, 2, \dots, C = \{c_k\}$ 
2  $k \leftarrow 1$ 
3 while  $k \leq n(C)$  do
4    $L_{add} \leftarrow 0, L_{dit} \leftarrow 0, cnt \leftarrow 0$ 
5    $(N_s, N_d) \leftarrow c_k$ 
6   for all  $m, n$  do
7     if  $d_{mn} == N_d$  then
8       for all  $ij$  do
9          $L_{dit} \leftarrow L_{dit} + T_{mn,j}$ 
10         $cnt \leftarrow cnt + 1$ 
11        if  $s_{ij} == N_s$  then
12           $L_{add} \leftarrow L_{add} + T_{mn,j}$ 
13        endif
14      endfor
15    endif
16  endfor
17  if  $L_{add} \geq W_H$  then
18    Request new bypass connection ( $N_s, N_d$ )
19  elseif  $L_{dit} \leq cnt * W_L$  then
20    Release the bypass connection ( $N_{now}, N_d$ )
21  endif
22   $k = k + 1$ 
23 endwhile
    
```

그림 3. 광경로 설정/절체 판단 알고리즘

2.3 광경로 설정 과정

그림 4와 같이 노드가 위치하고, 모든 노드는 앞서 설명한 광경로 판단과정을 통한 모니터링 동작을 수행하고 있다고 가정한다. 이러한 과정 중, 노드 1에서 노드 0과 노드 2를 연결하는 새로운 광경로를 요청하는 것을 설명한다. 노드 1은 광경로를 설정하기 위해, 노드 0과 노드 2에게 여분의 포트를 이용한 새로운 광경로 설정을 요청한다. 요청이 인접 노드(노드 0, 노드 2) 모두에게 수락될 경우, 노드 1은 자신의 OXC의 연결을 재설정하여, 노드 0과 노드 2를 연결하는 새로운 광경로를 여분의 포트를 이용하여 설정한다. 설정된 광경로에 대한 정보는 기존 라우팅 프로토콜이나 광경로 업데이트 메시지를 통해 주변 노드에게 알리며, 그에 따라 주변 라우터는 새롭게 설정된 광경로를 인지하게 된다. 라우터가 새로운 광경로를 인지함으로써, 노드 0과 노드 2를 연결하는 새로운 광경로 설정이 완료되며, 이전의 멀티 홉 경로를 통해 흐르던 트래픽 흐름들은 자연스럽게 새롭게 생성된 짧은 광경로를 통해 흐르게 된다. 이후 점차 새롭게 설정된 광경로

를 통해 흐르는 트래픽 양은 증가하게 되고, 이에 따라 이전에 사용한 멀티 홉 경로를 통한 트래픽 흐름들은 점차 줄어들게 된다. 이렇게 트래픽 흐름이 줄어든 멀티 홉 경로는 새로운 여분의 포트에 재할당하기 위해, 3계층의 라우팅과 포워딩 테이블을 수정하여 멀티 홉 경로의 트래픽 흐름을 완전히 멈추게 한다. 노드 1에서는 이와 같이 완전히 트래픽 흐름이 멈춘 멀티 홉 포트는 새로운 여분의 포트에 할당되며, 주변 노드에게도 이와 같은 정보를 알려 새로운 여분의 포트를 할당하는 것을 돕게 된다. 이러한 과정은 이후 요청될 수 있는 새로운 광경로 설정/절체 과정에서 필요한 여분의 포트를 새롭게 마련하기 위한 과정이다.

새로운 광경로를 여분의 포트를 이용하여 설정할 것을 요구한다. 이에 따라 광경로상의 중간 노드(1)의 OXC는 광경로를 재설정하여, 노드 0에서 노드 1로 연결된 경로와 노드 1에서 노드 2로 각각 연결된 멀티 홉 광경로를 설정한다. 새롭게 설정된 각각의 광경로에 대해서 인접 노드에게 업데이트 메시지를 통해 알리게 된다. 인접 노드는 새롭게 설정된 광경로 인지 후, 라우팅 테이블과 포워딩 테이블을 수정하여 트래픽을 멀티 홉 경로를 통해 흐르게 한다. 이와 같이 기존흐름을 우회시킬 멀티 홉 경로가 설정된 이후에는 절체요청이 들어온 광경로를 제거하는 절차를 수행하도록 한다. 먼저 설정되어 있는 절체 할 광경로의 흐름을 멈추기 위해 라우터(0)의 라우팅 테이블과 포워딩 테이블을 수정한다. 절체 경로의 트래픽 흐름이 완전히 멈추게 되면, 광경로를 절체하도록 하고 절체된 포트는 이후 요청될 수 있는 새로운 광경로 설정/절체 과정에서 필요한 여분의 포트에 이용한다. 모든 과정 이후에는 기존의 트래픽 흐름은 멀티 홉 경로를 통하거나, 다른 경로를 통해 흐르게 된다.

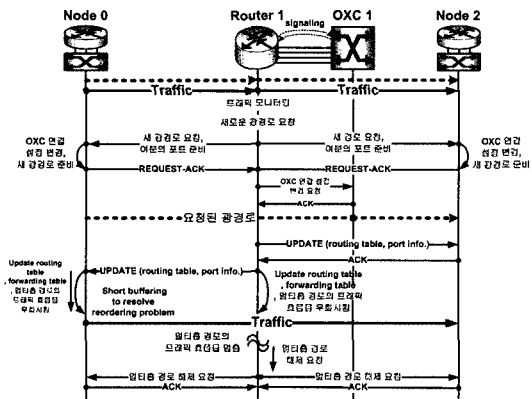


그림 4. 광경로 설정과정 흐름도

2.4 광경로 절체 과정

그림 5는 광경로 절체 과정에 대한 흐름도로, 이는 이전 광경로 설정 흐름도에서 노드 0과 노드 2를 연결한 광경로를 절체하는 과정에 대해 나타낸다. 전체적인 동작은 절체 할 광경로상의 각각의 홉에 대해서 새로운 광경로를 여분의 포트를 이용하여 설정한 후, 절체요청이 들어온 광경로를 제거하도록 한다. 절체과정의 주체는 절체 광경로의 시작 노드(0)에서 이루어지며, 앞서 설명한 광경로 결정 방법을 이용해 네트워크의 모든 노드는 광경로 절체 판단을 위한 모니터링 동작을 수행하게 된다. 앞서 설명한 분석을 통해, 노드 0에서는 노드 1을 통과하여 노드 2를 연결하는 광경로에 대해서 절체를 요청하게 된다. 광경로 절체 요청으로, 노드 0은 절체할 광경로의 경로상에 있는 노드 1과 노드 2에게 광경로의 절체가 가능한지를 우선 확인한다. 이러한 요청이 경로상의 모든 노드(1, 2)에서 수락될 경우, 노드 0은 노드 1과 노드 2에게 멀티 홉으로 가는

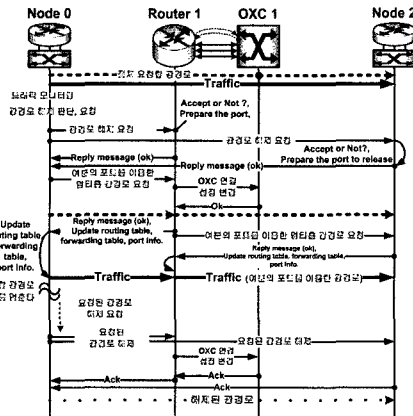


그림 5. 광경로 절체과정 흐름도

III. 성능 분석

3.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 제안된 구조의 성능 분석을 위해 16개의 노드와 24개의 링크를 갖는 NSFNet 형상을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 하나의 링크에서 사용하는 포트의 총 수는 10개로 가정하며, 각 노드는 전 파장변환 기능을 가지고 있다고 가정한다. 동적인 트래픽 환경을 설정하기 위하여 서로 다른 임의의 두 노드를 선택 후, 일정 스트림

의 트래픽양(u) 만큼 트래픽 시작 시점(arrival rate: λ)부터 일정한 유지시간(service rate: μ) 동안 가상 토폴로지(virtual topology)상에서 가장 짧은 홉 경로를 거쳐 생성 유지하였다. 네트워크에 가해지는 부하는 포아송(Poisson) 분포를 이용한 동적 트래픽을 가정하였으며, 네트워크에 가해지는 평균 부하(load: ρ)는 식 (1)을 통해 나타낼 수 있다. 제안 기법을 통해 광경로가 변경되었을 경우, 기존 3계층 라우팅 프로토콜 동작을 적용하기 위해, 광경로 변경 이후 트래픽 뿐만 아니라 기존 트래픽도 가상 토폴로지상에서 가장 짧은 새로운 경로를 통한 흐름으로 재설정하였다.

$$\rho = \frac{p \times \lambda \times u}{\mu \times C} \quad (1)$$

본고의 시뮬레이션 실험 환경에서 사용한 파라미터 값은 표 1을 통해 확인할 수 있다.

표 1. 네트워크 파라미터

Parameter	Value
트래픽 스트림 서비스 빈도(λ)	0.01
링크의 포트 수(p)	10
포트의 최대 용량 (C)	100
트래픽 스트림의 단위 부하량(u)	4

이러한 시뮬레이션의 결과물로 첫째 네트워크의 트래픽 부하가 변환에 따라 트래픽이 망 내의 노드에서 얼마만큼 스위칭 부하가 감소하는지와 트래픽의 평균경유 노드 수(hop)를 확인해 보았다. 총 스위칭 부하($T_{Totaload}$)에 대해서는 식 (2)를 통해 나타낼 수 있으며, 이는 망 내 모든 노드(N)의 모든 포트(m, n, i, j)에서 흐르는 트래픽 양의 총합을 나타낸다. 이를 통해 제안 개념을 이용할 경우, 노드에서 스위칭되는 트래픽 부하가 얼마나 감소하는지 확인할 수 있다.

$$T_{Totaload} = \sum_k \sum_{m,n} \sum_{i,j} T_{k,m,n,i,j} \quad k=1,2,\dots,N \quad (2)$$

3.2 성능 분석

3.2.1 총 스위칭 로드와 평균 홉 거리를 통한 성능 분석

본 논문에서 제안한 개념은 각 노드가 독립적으로 트래픽 특성을 분석하여 새로운 광경로를 설정

함으로써 노드의 IP 라우터의 전기적인 스위칭 부하를 줄인다. 결국 성능평가의 초점은 스위칭 부하 감소에 있으며, 이러한 결과는 그림 7, 8에서 확인할 수 있다. 결과에서 실선(none bypass function)으로 나타낸 것은 제안된 개념을 적용하지 않은 상태에서의 총 스위칭양을 나타내었고 그 이외의 결과는 제안된 개념을 적용하고 광경로 설정/절체 임계값(W_H, W_L)을 변화하면서 나타낸 결과값이다. 모든 결과는 부하가 증가함에 따라 총 스위칭양은 증가하였지만, 제안된 개념을 적용한 결과값들은 적응적으로 새로운 광경로를 설정/절체함으로써 총 스위칭양이 증가하는 기울기가 상대적으로 작은 것을 확인할 수 있다.

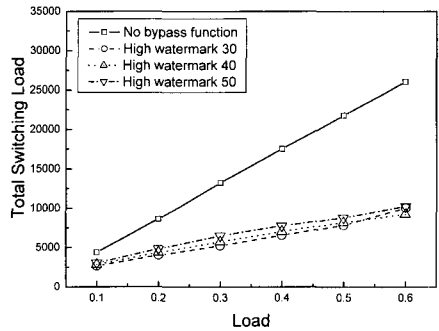


그림 7. 총 패킷 스위칭 부하 ($W_L = 8$)

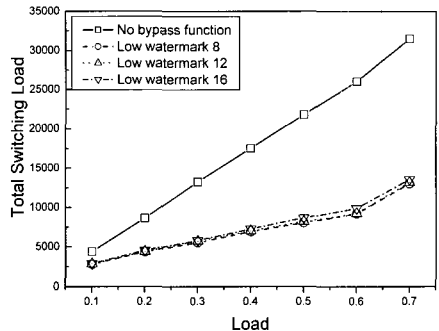


그림 8. 총 패킷 스위칭 부하 ($W_H = 30$)

또한 결과 그림 9, 10을 통해 네트워크의 부하가 증가함에 따라 트래픽의 평균 홉 거리(average hop distance)를 알아봄으로써 트래픽 지연에 대한 성능을 확인할 수 있다. 실선으로 나타낸 것은 제안 개념을 적용하지 않은 상태에서 부하가 증가함에 따라 트래픽의 평균 홉 거리를 나타냈으며, 그 이외의 결과는 각각의 광경로 설정/절체 기준임계값에 따른 트래픽의 평균 홉 거리를 나타낸다. 직관적으로 네트워크의 부하가 설정 임계값 이하로 적을 경우에

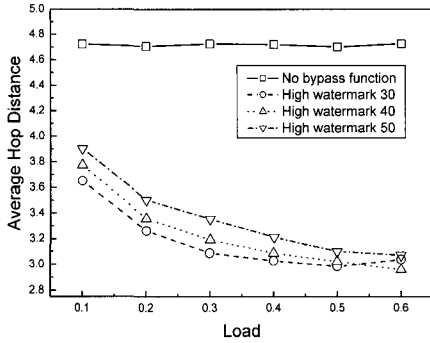


그림 9. 평균 홉 거리 ($W_L = 8$)

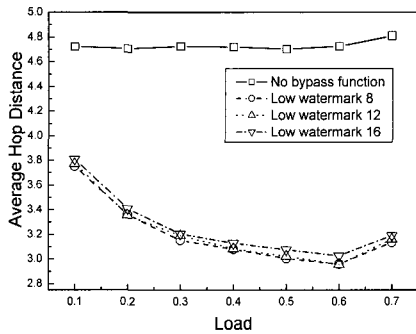


그림 10. 평균 홉 거리 ($W_H = 30$)

는, 광경로 설정이 일어나지 않아 평균 홉 거리가 긴 반면, 그것을 기준으로 트래픽 부하가 증가함에 따라 점차 적응적으로 새로운 광경로가 설정되기 때문에 점점 짧은 평균 홉 거리를 가지게 되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 포화 상태의 트래픽 부하(0.6-0.7)가 네트워크를 통과할 경우, 평균 홉 거리가 다시 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 이는 네트워크가 수용하기 힘든 트래픽 할당으로 인한 현상으로 풀이 할 수 있으며, 시뮬레이션 상황에서도 그 시점에서 트래픽 드롭(drop)이 발생하기 시작하였다.

이러한 결과를 통해 제안된 개념은 동적인 트래픽 환경에서도 미래의 트래픽에 대한 예측이나 가정없이 현재 네트워크의 트래픽 경향에 맞게 적응적으로 가상토폴로지를 재구성 할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

3.2.2 광경로 설정 임계값(W_H , W_L)에 대한 영향

이전 연구^[13]에서 나타난 바와 같이 제안된 개념에서도 광경로 설정/절체의 상한 워터마크(W_H)과 하한 워터마크(W_L)는 성능을 결정하는 주요한 요소로 작용하게 된다. 이번 소절에서는 이에 대한 성능

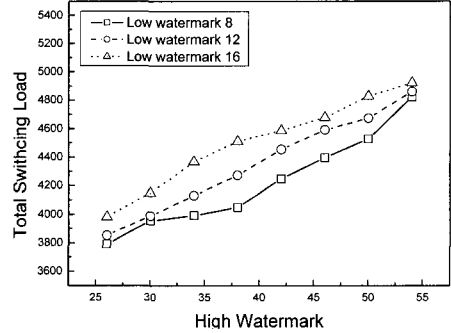


그림 11. 총 스위칭 부하로 알아 본 상한 임계값(W_H) 특성

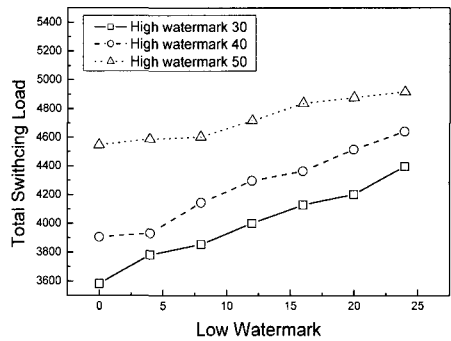


그림 12. 총 스위칭 부하로 알아 본 하한 임계값(W_L) 특성

을 비교 분석하기 위해 상한/하한 임계값의 변화에 따라 총 스위칭 부하와 생성된 광경로의 유지시간을 통해 제안된 개념의 성능 변화를 알아 보았다.

그림 11, 12는 상한 임계값(W_H)의 변화에 따른 네트워크의 총 스위칭 부하를 나타낸다. 기본적으로 상한 임계값이 증가함에 따라 네트워크의 총 스위칭 부하는 대략적으로 선형적인 특성을 보이며 증가함을 알 수 있다. 이는 상한 임계값이 증가함에 따라 새로운 광경로를 설정하는 시기가 더 많은 양의 트래픽이 같은 경로의 흐름을 만들 때 요청되므로 나타나는 현상임을 알 수 있다.

결과 그림 13, 14에서는 하한 임계값(W_L)의 변화에 따른 네트워크의 총 스위칭량(total switching load)을 알아보았다. 이 또한 하한 임계값이 증가함에 따라 총 스위칭 부하는 선형적인 특성을 보이며 증가함을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 생성된 광경로를 통해 흐르는 트래픽 흐름이 상당 부분 존재하더라도 그 광경로를 절체하고 그 경로를 멀티홉 경로로 만들기 때문에 전체 스위칭량은 다소 증가하는 것을 알 수 있다.

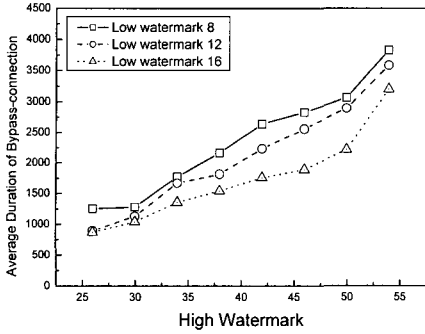


그림 13. 광경로 평균 유지시간으로 알아 본 상한 임계값(W_H) 특성

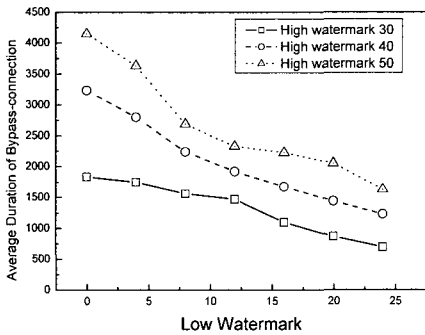


그림 14. 광경로 평균 유지시간으로 알아 본 하한 임계값(W_L) 특성

이러한 광경로 설정/절체 기준값에 대한 영향으로 나타낼 수 있는 또 하나의 변수는 생성된 광경로의 평균 유지시간(average duration of bypass connection)이다. 이러한 분석이 필요한 이유는 광경로가 자주 변경되거나, 혹은 변화한 트래픽 환경에 대해 적응 하는 시간이 너무 길어질 경우, 또 다른 네트워크 문제를 야기 할 수 있기 때문이다. 결과 그림 11과 12는 임계값 변화에 따른 설정된 광경로의 평균 유지시간을 비교한 결과이다. 이전 스위칭 부하로 알아본 결과에서는 상한 임계값이 증가함에 따라 스위칭 부하도 증가하여 되도록 작은 상한 임계값이 유리한 특성을 보였지만, 생성된 광경로 유지시간으로 확인한 결과에서는 상한 임계값이 증가함에 따라 유지시간도 증가하는 특성을 보여 큰 상한 임계값이 네트워크 관리 측면에서는 더 유리한 특성을 보이는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 결과는 광경로 설정 시, 상당히 많은 트래픽이 같은 경로를 통과할 때만 새로운 광경로를 설정하기 때문이다. 하한 임계값의 변화에 따른 광경로 유지시간에 대한 특성은 하한 임계값이 커짐에 따

라 광경로 유지시간은 점점 작아지는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 결과는 총 스위칭량과 생성된 광경로 유지시간 두 가지 측면 모두 하한 임계값이 작아질수록 유리한 특성을 보이는 결과이다. 하지만 이는 사용률이 적은 광경로에 대해서도 절체를 하지 않아서, 이후에 들어오는 바이패스 경로 요청 메시지를 수용할 수 없는 상황이 발생할 수 있으며, 네트워크 부하가 증가 할 경우 트래픽이 짧은 경로가 아닌 우회 경로를 통해 흐르는 다른 문제점을 야기할 수 있다.

이와 같은 결과를 통해 상한/하한 임계값 설정은 제안하는 개념의 성능을 결정하는 중요한 요소임을 확인할 수 있었으며, 각각의 변화에 따른 네트워크 스위칭 부하와 광경로 평균 유지시간 등을 통해 상한/하한 임계값에 대한 특성과 개략적인 설정지표를 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 기존 가상 토폴로지 설계 알고리즘에서 탈피하여, 분산 알고리즘 방식에 초점을 맞추고, 트래픽 흐름을 파악할 수 있는 중간 노드(intermediate node)의 라우터에서 간단한 트래픽 형상분석을 통해 광경로를 설정하는 방법을 제안하였다. 이러한 동작을 위해, 본 논문에서는 중간 노드에서 트래픽 형상을 분석하는 방법과 광경로를 설정/해제하는 절차에 대해 설명하였다. 성능 분석을 위해 NSFNet 형상을 가정하고 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 개념이 네트워크 부하가 증가함에 따라 적응적으로 새로운 광경로가 설정됨을 확인할 수 있었으며, 그에 따라 네트워크의 총 스위칭 양과 평균 홉(hop) 거리가 줄어들음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 제안된 구조는 분산 시스템을 바탕으로 하여, 기존 중앙 집중식 알고리즘에서 망의 감독 노드가 망 전체를 관리하는 것에 드는 추가적인 제어 트래픽 부하의 문제점과, 미래의 트래픽 패턴 예측이나 네트워크 전체 노드의 트래픽 경향 분석을 통한 복잡한 RWA 알고리즘(라우팅 알고리즘, 파장할당 알고리즘) 수행의 문제점을 피할 수 있었다. 결국, 제안된 개념은 동적으로 변화하는 IP 트래픽 환경에서 간소한 광경로 판단 방법과 실제 광경로 설정에 필요한 노드와의 연계만을 통해 빠르고 쉽게 가상 토폴로지를 재구성할 수 있는 새로운 방안으로 제시 될 수 있을 것으로 기대 된다.

참 고 문 헌

[1] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan, *Optical Networks: A Practical Perspective*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann., 2002.

[2] E. Oki, K. Shiimoto, D. Shimazaki, N. Yamanaka, "Dynamic multilayer routing schemes in GMPLS-based IP+optical networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, pp.108 - 114, Jan. 2005.

[3] A. Jaisczyk, "Automatically switched optical networks: benefits and requirements," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, pp.S10-S15, Feb 2005

[4] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, "Design of logical topologies for wavelength-routed optical networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 14, pp. 840-851, June 1996.

[5] R. Dutta and G. N. Rouskas, "A survey of virtual topology design algorithms for wavelength routed optical networks," *Opt. Networks Mag.*, vol. 1, no. 1, pp.73-89, Jan. 2000.

[6] H. Zang, J. Jue, and B. Mukherjee, "A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM networks," *Opt. Networks Mag.*, vol. 1, no. 1, pp. 47-60, Jan. 2000.

[7] B. Mukherjee, "WDM optical communication networks: progress and challenges," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, pp. 1810-1824, Oct. 2000.

[8] H. Zang, J.P. Jue, L. Sahasrabudhe, R. Ramamurthy, B. Mukherjee, "Dynamic lightpath establishment in wavelength routed WDM networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, pp.100 - 108, Sept. 2001.

[9] J. P. Labourdte and A. S. Acampora, "Branch-exchange Sequences for Reconfiguration of Lightwave Networks," *IEEE Trans Commun.*, vol. 42, no. 10, pp. 2822-2832, Oct. 1994..

[10] K. Bala et al., "Towards hitless reconfiguration in WDM optical networks for ATM transport," in *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 316-320, 1996.

[11] I. Baldine and G. N. Rouskas, "Dynamic Load Balancing in Broadcast WDM Networks with Tuning Latencies," in *Proc. IEEE INFOCOM*, vol. 1, pp. 78-85, 1998.

[12] I. Baldine and G.N. Rouskas, "Traffic adaptive WDM networks: A study of reconfiguration

issues," *J. Lightwave Technol.*, vol. 19, pp. 433-455, Apr. 2001.

[13] A. Gencata and B. Mukherjee, "Virtualtopology adaptation for WDM mesh networks under dynamic traffic," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 11, pp. 236-247, April 2003.

김 일 래 (Eallae Kim)



정회원

2004년 2월 고려대학교 전자 및
정보공학과 학사
2004년 3월 고려대학교 전자공
학과 석박사통합과정
<관심분야> 광통신, 광통신망 설계

이 성 근 (Sungkuen Lee)



정회원

2004년 2월 고려대학교 전기전
자전파공학과 학사
2004년 3월 고려대학교 전자공
학과 석박사통합과정
<관심분야> 광통신, 무선통신공
학

이 용 원 (Yongwon Lee)



종신회원

1997년 2월 고려대학교 전자공
학과 학사
1999년 8월 고려대학교 전자공
학과 석사
2007년 2월 고려대학교 전자공
학과 박사
<관심분야> 광전송, 광통신망,

비선형 분산 보상

장 순 혁 (Sunhyok Chang)

정회원



1994년 2월 한국과학기술원 물리학과 학사
1996년 2월 한국과학기술원 물리학과 석사
2000년 2월 한국과학기술원 물리학과 박사
2000년~현재 한국전자통신연구원 광대역통합망연구단 선임연구원

<관심분야> WDM 시스템 기술, 광 네트워크, 광증폭기, 광섬유 비선형 현상 등

박 진 우 (Jinwoo Park)

종신회원



1979년 2월 고려대학교 전자공학 학과 학사
1981년 한국통신기술연구소 연구원
1987년 11월 버지니아 주립대학교 박사
1988년 3월~1989년2월 명지대학교 전자공학과 교수

1989년 3월~현재 고려대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 통신네트워크, IP mobility, 광통신망

이 명 문 (Myungmoon Lee)

정회원



1991년 2월 고려대학교 전자전산공학과 학사
1993년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
1993년~1996년 LG전자 멀티미디어연구소 주임연구원
2002년 2월 고려대학교 전자공학과 박사

2003년 3월~현재 수원과학대학 정보통신과 조교수
<관심분야> 광통신망, 데이터통신망