
동적 WDM네트워크를 위한 MDP기반의 단계적 망 재구성 기법

MDP-Based Stepwise Network Reconfiguration Scheme for Dynamic WDM Network

박병섭

인하공업전문대학 컴퓨터시스템과

ByoungSeob Park(bspark@inhac.ac.kr)

요약

본 논문에서는 새로운 가상 토폴로지 재구성 기법을 제안하여 WDM 기반의 클러스터 시스템 구현을 위한 이론 연구를 수행하였다. 제안 기법의 핵심 아이디어는 파장 할당이 요구되는 연결 요청을 최대한 이어서 집합을 형성하는 것으로, 각 집합은 서로 소이며 집합 내의 연결 요청들 중에는 링크의 중복이 일어나지 않도록 한다. 이러한 조건을 만족하도록 집합을 형성한 후, 각 집합마다 파장을 하나씩 할당한다. 이는 일괄적으로 재구성을 수행하는 방법이다. 제안된 기법은 OWns 시뮬레이션도구를 사용하여 측정된 결과, 블로킹 확률 및 ADM 이용률 측면에서 First-fit 기법에 비해 10% 정도의 블로킹 감소율과 30% 정도의 ADM 이용률이 향상 되었음을 보였다.

■ 중심어 : | WDM | 토폴로지 | 재구성알고리즘 | ADM | 블로킹 |

Abstract

We completed a new cluster system based on WDM by proposing virtual topology reconfiguration schemes. The key idea of the proposed scheme is to construct a set with the longest chains of requests of connecting nodes which need to be assigned a wavelength. All the sets have no common factor, that is, there is no duplicated link among the requests of connecting. After making the set satisfying this condition, we could assign a wavelength to per corresponding set. We could reconfigure a virtual topology with this scheme collectively. we compared our scheme to existing approaches by the OWns simulation tool. As the results, we gained improved performances, reducing 10% of blocking rate and improving 30% of ADM utilization in terms of the blocking probability and the ADM utilization.

■ keyword : | WDM | Topology | Reconfiguration Algorithm | ADM | Blocking |

1. 서론

클러스터 시스템 환경에서 네트워크는 일반 네트워크 환경에서처럼 과도한 트래픽이라든지 다양한 플트의 가능성, 그 이외에 발생 가능한 많은 임의의 상황들

이 고려되지 않으며 고려할 필요도 없다. 하지만 최근에는 FTTH(Fiber-To-The House) 개념이 현실화 되면서 가정마다 광통신을 이용하여 폭 넓은 대역폭이 제공되고 있으며, 이에 따라 보다 동적인 네트워크 상황에서 가상 토폴로지 재구성 기법에 관련한 연구가 요구

* 본 연구는 2006년도 인하공업전문대학 교내연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

접수번호 : #070921-005

접수일자 : 2007년 09월 21일

심사완료일 : 2007년 11월 27일

교신저자 : 박병섭, e-mail : bspark@inhac.ac.kr

된다[1][2]. 동적인 가상 토폴로지 재구성은 네트워크에 적응적인 토폴로지를 유지함으로써 혼잡도를 완화시켜 줄 수 있고 정보의 손실을 줄여 네트워크의 효율을 높여준다. 그리고 동적으로 재구성이 가능한 WDM 네트워크는 생존형 네트워크(survivable network) 구현을 가능하게 한다[3].

하지만 동적인 환경에서 일괄 처리로 재구성을 실행할 경우, 오히려 네트워크 효율을 떨어뜨리는 단점이 발생한다. 그 이유는 재구성 과정 중에 네트워크는 멈추어 있어 각 노드의 버퍼가 충분하지 않을 경우, 혹은 재구성 시간이 오래 걸리는 경우 버퍼 오버플로우로 인해 정보의 손실이 야기되기 때문이다. 또한 평균 트래픽 지연 시간 역시 증가하여 네트워크의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 이러한 문제점을 해결하고자 추가적으로 제안하는 방식이 단계별 재구성이다. 광경로의 설정과 해제를 일괄적으로 처리하는 것이 아니라 k 단계로 나누어 점차적으로 토폴로지를 재구성하는 방법이다. BE(Branch Exchange)를 이용하여 점진적으로 재구성을 시도하는 연구도 있었으며, 재조율 회수를 최소화할 수 있는 연구도 있었다[1].

제안하는 기법에서는 토폴로지가 전이되는 시퀀스를 적절하게 결정해 줌으로써 통신의 단절을 최소화하며 오버헤드를 줄일 수 있게 한다. 통신의 단절을 최소화한다는 것은 생존형 네트워크를 구현하겠다는 것과 일맥상통한다. 이때 동적 프로그래밍 기법을 이용하여 가상 토폴로지의 재구성 단계를 MDP(Markov Decision Process)로 해결함으로써 최적화된 전이 시퀀스를 얻는다. MDP를 이용한 이전의 동적 프로그래밍 기법들은 모두 새로 결정된 타겟(target) 토폴로지로 전이를 할 것인가 말 것인가에 대한 연구가 대부분이다[4][5]. 또한 기존 연구[6-8]에서는 비용 함수가 연결의 홉 수만을 고려한다. 하지만 단일홉 WDM 네트워크에서 홉 수는 큰 의미를 갖지 못한다. 이보다는 어떠한 시퀀스를 따라 토폴로지의 전이가 일어날 때, 생존성이 높아질 수도, 보다 트래픽 변화에 적응적일 수도 있다는 점에 초점을 맞추어 기존에 간과되었던 점을 고려한 기법을 제안하였다.

본 논문은 서론에 이어 제2장에서는 입력 태스크 특

성에 따른 토폴로지 결정정책에 대해 간략히 언급하고, 제3장에서는 본 논문에서 제안하는 가상 토폴로지 재구성 알고리즘을 설명한다. 제4장에서는 시뮬레이션의 성능비교 결과를 제시함으로써 제안된 기법의 타당성을 보이고, 마지막으로 제5장에서 결론을 맺는다.

II. 제안하는 가상 토폴로지 재구성기법

1. 다단계 가상토폴로지 재구성기법

가상 토폴로지를 재구성할 때 타겟 토폴로지가 결정되어 있는 상태라면 정적인 토폴로지 재구성 문제로 해결이 되겠지만, 동적인 환경을 고려해야 한다면 타겟 토폴로지를 미리 알 수 없으므로 상황에 맞추어 적응적으로 토폴로지를 재구성할 수 있어야 한다. 네트워크 상황의 변화가 심한 경우에 정적인 토폴로지 기법을 사용하는 것은 오히려 통신 오버헤드를 증가시킬 수 있으며, 또한 한 단계에 토폴로지를 재구성 한다면 정보의 손실이란 단점을 야기시킨다. 이러한 문제점을 해결하고자 여러 단계에 걸쳐 토폴로지를 재구성하는 기법을 제안하며 이는 보다 적응적인 방법이므로 네트워크의 생존성을 증가시킬 수 있다. 제안 기법은 동적인 프로그래밍 기법을 이용하여 재구성 시퀀스를 결정하는 것이다. 한 단계로 재구성을 하는 여러 단계로 재구성을 하는 처음 재구성을 시작할 부분을 결정해야하고, 어떤 순서로 재구성을 해나갈 것인지를 알아야 하는데, 이와 관련한 연구가 전무한 상황이다.

동적인 프로그래밍은 MDP로 주어진 완벽한 환경 모델에서 최적의 정책을 계산할 수 있는 알고리즘을 모두 이르는 말이다. 환경은 유한 MDP 모델로 표현되며 상태의 집합인 S와 행위의 집합인 A(s)로 표현한다. 이 두 집합의 동적인 특성은 전이 확률의 집합, $P_{ss'}^a = Pr \{ s_{t+1} = s' \mid s_t = s, a_t = a \}$, 으로 주어지고, 기대되는 직접적인 보상(reward)은 $R_{ss'}^a = E \{ r_{t+1} \mid a_t = a, s_t = s, s_{t+1} = s' \}$ 으로 나타낸다. 이처럼 네 가지 핵심 파라미터를 이용하며 동적 프로그래밍에서 핵심 아이디어인 가치함수(value

function)을 사용하여 최적의 해를 얻는다. 제안 기법의 핵심 아이디어는 다음 타겟 토폴로지로 재구성을 하기 위해 새로 설정해야하는 링크를 많이 가진 노드일수록 높은 우선순위를 부과한다. 새로 설정해야하는 링크가 많다는 것은 상대적으로 다른 노드에 비해 고립될 확률이 높다는 것을 의미한다. 고립된 노드에서 오류(fault)가 발생할 경우 복구하기 위해서는 상당한 오버헤드가 든다. 이러한 이유에서 네트워크의 생존성을 고려한다면 오류가 일어날 때에 복구를 위한 오버헤드가 크지 않으면서 적응적으로 토폴로지 재구성이 가능해야 한다. 한번 결정된 우선순위는 고정되지 않으며 단계마다 우선순위는 변경된다. 이로 인하여 동적으로 변화하는 네트워크 상황에 보다 적응적인 대처가 가능해진다.

- $d_{ij}(=d_{ji})$ - 노드 i에서 j까지의 물리적인 홉수
- $e_{ij}(=e_{ji})$ - 노드 i에서 j까지 설정해야 하는 광경로
- p_{ij} - 노드 i에서 j까지의 광경로

e_{ij} 는 타겟 토폴로지를 위해서 새로 설정해야 하는 광경로를 표시한다.

노드 i에서 다음 토폴로지로의 재구성을 위해 새로 설정해야 할 가상 링크의 전체 개수는 $E_i = \sum_j e_{ij}$ 이다.

네트워크에서 특정 노드에 트래픽이 집중되는 현상을 완화시키면서 네트워크 생존성을 증가시키기 위해 재구성 단계의 가장 첫 시퀀스는 최대의 E_i 값을 갖는 노드 i부터 시작된다. 제안 기법을 따라 첫 단계에서 재구성이 일어나야 할 노드를 선택한다면 아래의 예제에서는 두 개의 노드가 후보가 된다. 아래의 그림은 타겟 토폴로지가 메시인 예이다. 이러한 경우에는 각 노드 i에서 가장 링크를 설정했을 때, 엔드 노드의 E_i 를 계산하여 앞으로 고립될 확률이 보다 높은 노드를 선택하게 된다.

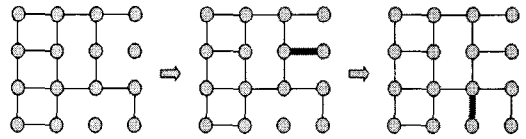


그림 1. 제안 기법의 수행 예

2. MDP 모델링

MDP 모델은 $\langle S, A, T, R \rangle$ 의 튜플로 표현된다. S는 가능한 상태(state)들의 집합을 나타내며, A는 각 상태에서 취할 수 있는 행위(action)의 집합을 나타낸다. 그리고 각 상태에서 특정한 행위를 취할 확률이 행렬의 형태로 주어지며 그때마다의 보상 혹은 비용 값 역시 행렬로 주어진다. 위의 예제를 다시 이용하여 S와 A를 설명하면 다음과 같다. 타겟 토폴로지로 전이되기 위해 새로 링크가 설정되어야 하는 노드들의 집합이 S가 된다. 집합 S의 원소가 취할 수 있는 행위의 집합이 A가 된다. 그림의 오른쪽에서 선택된 노드가 선택할 수 있는 모든 행위가 표현되어 있다. 세 방향의 화살표가 이를 나타내 주고 있으며, 보상함수의 값이 최대인 행위 $a \in A$ 를 선택한다.

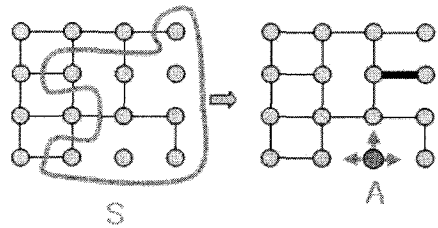


그림 2. MDP 모델링 예

보상함수 $R(i, j) = \sum_j (e_{ij} - d_{ij}/D)$ 로 정의한다. e_{ij} 는

앞에서 설명한 것과 같이 새로 설정해야할 링크의 수를 의미하며 d_{ij} 는 물리적인 홉 수를 나타낸다. D는 d_{ij} 의 평균값을 의미한다. 보상함수의 값을 구할 때 물리적인 홉 수를 고려하는 이유는 본 논문의 연구 결과로 제안한 정적인 가상 토폴로지 재구성 기법에서와 같은 이유이다. 홉 수가 많은 연결 하나에 파장을 할당하는 것보

다는 홑 수가 적은 여러 연결에 파장을 할당해 줌으로써 블로킹 발생률을 감소시킬 수 있다. 또한 네트워크 생존성 측면에서도 효과적이다. 홑 수가 많은 연결일수록 중간에 거쳐야 하는 노드가 많기 때문에 그렇지 않은 연결에 비해 상대적으로 오류가 일어날 확률이 높다. 오류가 일어날 확률이 적은 연결들을 먼저 처리해 줌으로써 블로킹 발생률을 낮출 수 있었다. 이를 이용하여 홑 수가 많은 연결에서 오류가 발생한다 해도 보다 복구하는 오버헤드를 줄일 수가 있다. 이를 이용하여 동적인 프로그래밍에서 가장 핵심이 되는 가치함수를 정의하면 다음과 같다.

$$V^*(i) = \max_a [R(i,a) + \sum_{j \in S} T(i,a,j)V^*(j)], (ij \in S, a \in A)$$

아래 그림은 트리 토폴로지에서 매쉬 토폴로지로 재구성을 하고자 할 경우 파장의 개수에 따라 가상 링크가 설정되는 시퀀스가 다르다는 것을 보여주는 한 예이다.

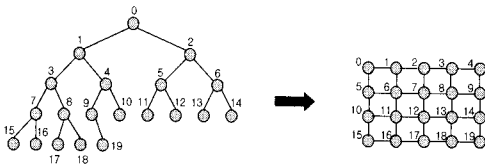
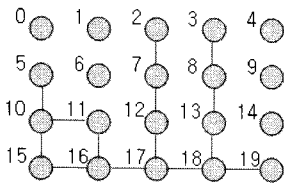
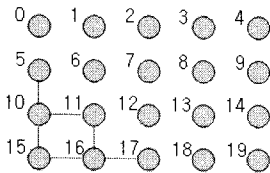


그림 3. 재구성 될 가상 토폴로지의 예



a) 파장 3개인 경우



b) 파장 5개인 경우

그림 4. 파장의 개수가 다른 경우의 블로킹 상황

파장이 3개일 때와 5개일 때 블로킹 되는 링크가 빨간 링크로 표현되어있다. 왼편의 경우, 가상 링크는 (0, 1) → (1, 6) → (6, 7) → (0, 5) → (1, 2) → (2, 3) → (3, 4) → ... 의 순서로 설정된다. 이와 달리, 오른편의 파장이 5개인 경우에는 네트워크 상황이 다르기 때문에 3개인 경우와 다른 순서를 제공한다. 이 때의 가상 링크는 (1, 2) → (2, 3) → (7, 8) → (3, 8) → (8, 13) → (12, 13) → (0, 1) → ... 의 순서로 설정된다. 파장이 3개인 경우 (0, 1) 링크가 첫 순서로 설정되었는데, 파장이 5개인 네트워크에서는 여덟 번째에 가서야 설정되는 것을 알 수 있다. 이처럼 네트워크 상황에 따라 고립된 노드의 수를 최소로 하는 기법을 제안하였다.

3. 제안 기법의 설계

이 기법은 여러 단계로 나누어 가상 토폴로지가 재구성되는 방법으로써 각 단계에 새로 설정되어야 하는 가상 링크에 순서를 부여하는 기법이다. 핵심 아이디어는 새로 설정해야 하는 링크를 많이 가지고 있는 노드일수록 높은 우선순위를 부여받는다라는 것이며 이를 MDP 모델링하여 동적 프로그래밍(dynamic programming) 기법으로 구현하였다.

Procedure IO_BLOCKING

IF source and destination nodes have available transceivers
next step
ELSE the request enters the wait-queue

Procedure WL_BLOCKING

IF the same wavelength can be assigned on all the links
along the path from the source to the destination,
wavelengths are candidate wavelengths
ELSE the request enters the wait-queue

Procedure SELECT WL

1. Count the number of segments for each candidate wavelength
2. Calculate the maximum segment length for each candidate wavelength
3. Select wavelength(s) having the maximum value after comparing with each other wavelengths' maximum segment length
- 4-1. if a wavelength was selected, assign that wavelength
- 4-2. if two or more wavelengths were selected, assign a wavelength which has the minimum number of segments

Procedure MDP

1. Select a state (start node) in a set of nodes which have virtual links to be established.
2. Select an action (lightpath) in a set of candidate lightpaths to connect.
3. Establish a lightpath

$$V^*(i) = \max_a [R(i, a) + \sum_{j \in S} T(i, a, j) V^*(j)]$$

Using this formulation, we perform this procedure. This procedure is repeated until deciding of all sequences.

4. Release lightpaths

III. 이론적 분석

1. 분석개요

WDM 네트워크 기반으로 클러스터 시스템을 구현하기 위해, 우선 태스크 그래프를 분석하여 제한된 자원을 효율적으로 관리하면서 논리적인 토폴로지가 완성될 수 있도록 해야 하며, 수행되는 태스크의 특성이 변화하면 그에 적응적으로 토폴로지를 재구성하는 기법이 요구된다. 광통신을 기반으로 하기 때문에 전송 지연 시간은 더 이상 성능 저하의 요인이 되지 못한다. 허나 블로킹 발생률을 감소시키기 위해 파장 변환을 허용할 시에는 광-전자 신호 전환으로 인한 통신 오버헤드가 발생하며 이는 동적인 네트워크 환경에서는 병목현상을 야기 시킨다. 또한 가상 토폴로지가 재구성되는 동안, 네트워크는 정지 상태가 되므로 토폴로지를 재구성하는 시간은 최소가 될 수 있어야 한다. 그렇지 않으면, 노드에서 버퍼 오버플로우가 발생하여 정보의 손실이 불가피하게 되며, 이를 처리하기 위한 오버헤드가 요구된다. 이러한 이유에서 단일 홉 WDM 네트워크를 기반으로 한 기법을 제안하였으며, 본 장에서는 기법을 분석하고, 본 논문 이외의 다른 환경에서의 적용 가능성을 파악한다.

제안 기법은 동적인 환경에서 네트워크의 생존성을 증가시키고, 토폴로지 재구성 시간으로 인한 오버헤드를 줄이기 위해 여러 단계에 걸쳐 적응적으로 토폴로지 재구성을 수행한다. 각 단계에 어떤 링크들을 먼저 설정하고 해제할 것인지 시퀀스를 적절하게 결정하는 문제를 MDP로 모델링하여 동적인 프로그래밍 기법으로

해결을 하였다. 동적인 프로그래밍은 항상 최적의 해를 제공하는 반면, 매우 큰 계산 복잡도로 인하여 성능 저하를 야기 시킨다. 3장의 실험적인 분석에서 네트워크 규모에 따라 최소한으로 요구되는 파장의 개수를 유추할 수 있다. 이러한 결과는 네트워크 시스템을 구성할 때 매우 유용하게 작용할 것이다. 파장이라는 리소스가 무제한이 아닌 이상, 이로 인한 블로킹은 불가피하기 때문에 최소한의 리소스를 이용하여 비용도 절감시키면서 성능도 보장할 수 있어야 하기 때문이다.

2. 고찰

동적 프로그래밍 기법을 간략히 설명하면, 변화하는 환경에 대해 가치함수의 값을 최대로 만드는 정책순차(policy sequence)를 찾아내는 것이다. 본 논문의 제안 기법은 폴트 발생이 빈번한 불안정한 네트워크에서도 적응적으로 대처할 수 있는 기법이다. 계산복잡도로 인하여 빠른 응답 시간을 요하는 실시간 네트워크에 적용하기에는 무리가 있으나, 최적의 정책과 네트워크 규모에 따라 요구되는 최소한의 파장 수 등은 유용하게 사용될 수 있다. 최적의 정책에 근접할 수 있는 기법을 연구할 때 척도로 사용될 수 있으며, 네트워크를 구성할 때 역시 도움이 되기 때문이다.

IV. 성능평가

1. 실험 요건

광 네트워크는 인터넷 백본 망을 위한 기술로만 사용되고 있으며, WDM 기술을 이용한 컴포넌트 기술의 제약이 크기 때문에 아직까지는 WDM 네트워크에 대한 연구들은 이론에 그치는 경우가 대부분이다. 한 예로, 광 스위치를 들 수 있는데, 현재의 기술로는 전자적인 변환 없이 광 신호로만 스위칭이 가능하지 않다. 하지만 대다수의 논문은 전자적인 변환을 거치지 않고, 광 신호만으로 스위칭이 가능하거나 ADM(Add/Drop Multiplexer) 노드를 통과할 수 있는 OADM(Optical ADM)을 가정하고 연구를 진행한다. 물론 신빙성 있는 시뮬레이션 결과가 연구들을 뒷받침해주어야 한다.

본 논문에서는 제안 기법을 이론으로만 제시하지 않

고, OWns를 이용하여 시뮬레이션을 수행함으로써 제안 기법의 정당성과 신뢰성을 입증하며 가상 미들웨어를 개발한다. OWns는 네트워크 시뮬레이터로 유명한 ns-2를 기반으로 하여 WDM을 구현한 것이다. 이러한 ns-2를 바탕으로 만들어 진 것이 OWns는 Bo Wen, Nilesh M. Bhide, Rama-krishna K. Shenai, and Krishna M.Sivalingam에 의해 구현되었다[9].

2. 시뮬레이션

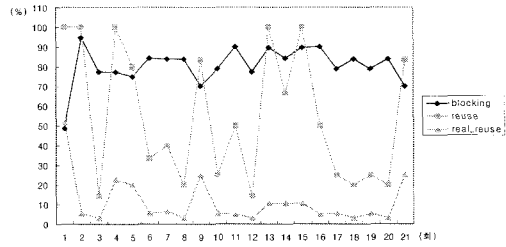
본 논문에서 제안하는 기법은 동적 프로그래밍 기법으로 구현되었다. 다시 말해서 네트워크를 MDP로 모델링 하였으며, 여러 파라미터 값을 변화시켜 시뮬레이션을 수행한 결과를 분석하겠다. 노드와 파장의 개수를 변화시켜가면서 블로킹 발생률과 파장의 재사용 비율 그리고 실질적인 파장의 재사용 비율을 측정하였다. 파장의 재사용이란 가상 토폴로지를 재구성할 시, 이전 가상 토폴로지에서도 요구되었고 타겟 토폴로지에서도 연결 요청이 있는 트래픽에 대해서는 토폴로지 재구성을 하지 않고, 기존에 사용하던 가상 링크를 그냥 두는 것을 의미한다. 동적인 네트워크 환경에서 여러 단계에 걸쳐 가상 토폴로지를 재구성 할 때 네트워크가 정상 상태에 있어야하는 오버헤드를 줄이고 동시에 각 연결 간의 채널 재조율에 드는 오버헤드를 줄이기 위해서는 재사용되는 가상 링크의 비율이 높아야 한다.

본 시뮬레이션에서는 가상링크가 재사용 되는 비율을 두 가지 방법으로 측정하였는데, 그 이유를 예를 들어 설명하겠다. 10개의 트래픽 중에 재구성 될 때 또 요구되는 트래픽이 한 개라고 가정해보자. 재구성 된 이후 같은 가상 링크를 사용하고 있다면 100% 재사용을 한 결과가 된다. 하지만 실제적으로 블로킹을 제외하고 새로 설정된 가상 링크들 중의 재사용 비율이 보다 중요하다. 그리하여 후자의 경우를 real_reuse로 나타냈다.

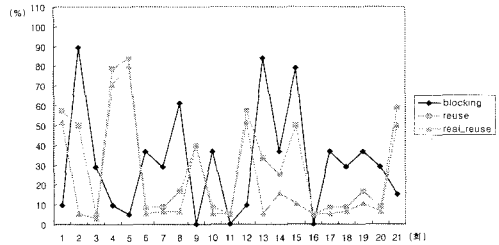
(1) 노드는 20개이고, 파장의 수가 1개부터 8개까지 변화

가상 토폴로지를 계속해서 재구성해나가면서 그때마다 사용가능한 파장이 1개인 경우부터 8개인 경우까지 실험한 결과 그래프이다. 물론 노드의 개수도 10개에서

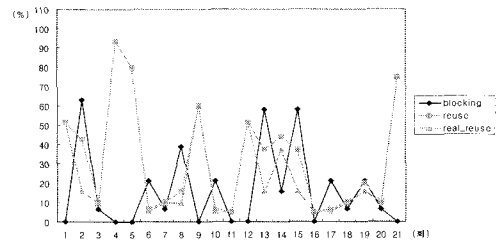
50개까지 변화시켰으나, 그래프의 추이가 같으므로 노드가 20개인 경우의 그래프만 소개한다. 각 그래프에는 해당 환경에서의 블로킹 발생률과 파장의 재사용 비율, 그리고 실제적인 재사용 비율이 표현되어 있다.



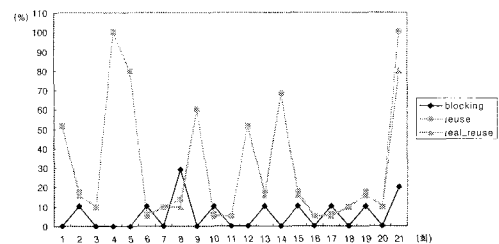
a) 노드 20개, 파장 1개



b) 노드 20개, 파장 4개



c) 노드 20개, 파장 6개



d) 노드 20개, 파장 8개

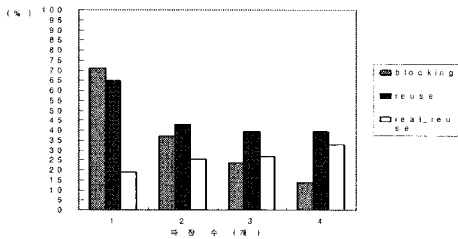
그림 5. 재구성 수행 중 블로킹 발생률, 가상 링크 재사용율, 실질 재사용율

이 실험을 통하여 SONET에 비해 WDM 기술 사용 시, 보다 효율적임을 알 수 있었으며, 또한 사용할 파장의 개수의 임계치(threshold) 값도 얻을 수 있었다. 파장이 8개인 경우, 평균 블로킹 발생률이 5.84%였다. 파장을 많이 사용할수록 블로킹이 감소하는 것은 사실이나, 8개 이상 10개, 20개의 파장을 사용한다는 것은 비용 효율적이지 못하다는 것을 유추할 수 있다.

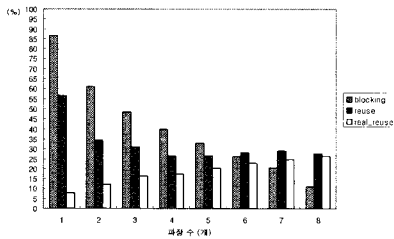
(2) 노드는 10개에서 50개까지, 파장은 1개에서 8개까지 변화

WDM 백본망의 경우에도 노드는 50개 이상으로 큰 네트워크로 형성되지 않는다. 그러므로 본 실험에서도 10개에서 50개까지 노드를 변화시키고, 파장의 개수를 변화시키며 위에서 실험한 시뮬레이션을 수행했을 때, 토폴로지 재구성 시 블로킹 발생 평균 값, reuse와 real_reuse의 평균을 살펴보겠다.

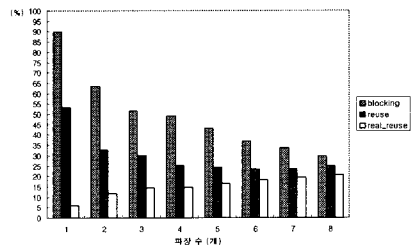
노드가 10개일 때에만 파장을 1개에서 4개까지 변화시켰는데, 그 이유는 앞의 실험 결과를 토대로 했을 때, 10개의 노드로 구성된 네트워크에 8개의 파장을 사용하는 것은 비효율적이기 때문이다.



a) 노드 10개인 경우



b) 노드 30개인 경우



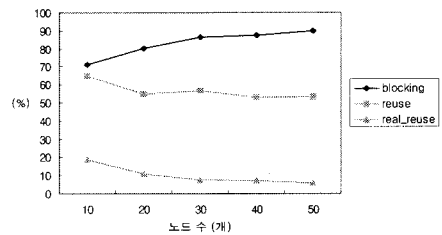
c) 노드 50개인 경우

그림 6. 평균 블로킹 발생률, 가상 링크 재사용율, 실질 재사용율

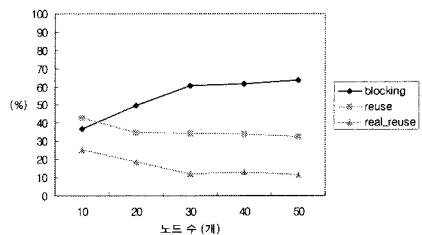
모든 그래프에서 파장의 개수가 증가함에 따라 블로킹이 감소하며 가상 링크의 재사용 비율도 감소함을 확인할 수 있다. 또한 reuse와 real_reuse의 편차가 줄어드는 것도 확인할 수 있다.

(3) 노드 수 증가에 따른 변화

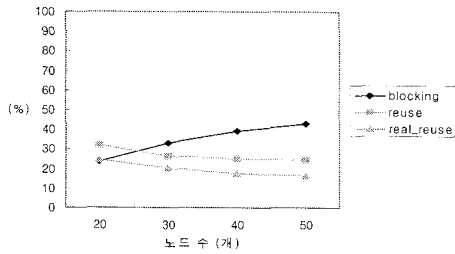
파장의 개수가 고정되어 있는 상태에서 노드 수가 증가함에 따라 어떤 결과가 나오는지 분석해 보았다. 노드 수가 증가했다는 것은 네트워크의 크기가 그만큼 크고, 트래픽이 보다 다양함을 의미한다. 아래의 그래프는 파장의 개수가 1개, 2개, 4개, 6개, 8개일 때 노드 수 변화에 따른 블로킹, 재사용 비율에 대한 평균값이다.



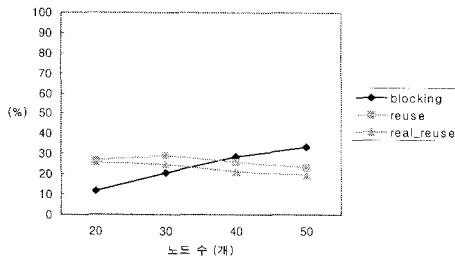
a) 파장 1개인 경우



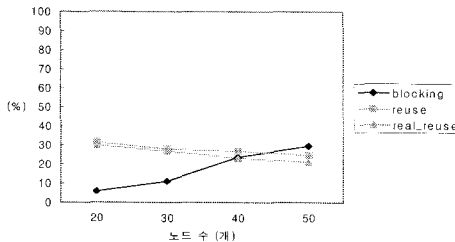
b) 파장 2개인 경우



c) 파장 4개인 경우



d) 파장 6개인 경우



e) 파장 8개인 경우

그림 7. 노드 수 변화에 따른 평균 블로킹 발생률, 가상 링크 재사용율, 실질 재사용율

그래프에서도 알 수 있듯이, 노드의 개수가 적을 때는 파장을 8개만 사용하더라도 거의 블로킹 프리(blocking free) 네트워크의 구현이 가능하다. 노드가 50개 일 때는 그보다 많은 파장이 있어야 블로킹 프리에 근접하게 된다. 각 그래프에서 노드가 증가함에 따라 블로킹 발생은 증가하나, 가상 링크의 재사용율은 감소함을 알 수 있다. 네트워크의 크기가 커짐에 따라 보다 다양한 트래픽이 발생하며 이로 인하여 블로킹 발생률이 증가했다고 분석할 수 있겠다. 같은 이유에서 한번 요청되었던 트래픽이 재구성 시에 또 요청될 확률

은 줄어들 수밖에 없으며, 결과적으로는 가상 링크 재사용 비율을 감소시키는 결과를 얻었다.

3. 결과 분석 및 활용

FTTH가 기반이 되어 사용자들이 인터넷에 연결을 하게 되고 홈 네트워크를 구성하게 된다. 광통신에서 광경로를 설정하기 위해서는 라우팅 경로 뿐만 아니라 파장 할당에 관련한 할당 연구가 필수적이다. 이러한 연구 결과는 앞으로의 WDM 백본망 네트워크에서 뿐만 아니라 FTTH 인프라 구축하는 데에 적용할 수 있다. 또한 네트워크의 진화 방향을 볼 때, 기존에 사용 중이었고 새로 연구되고 있는 망들 간에 원활한 통신이 가능하도록 해주는 연구가 요구된다. 이를 해결하고자 떠오른 해결책이 MPLS 프로토콜이다. 이는 WDM 기반 통신 프로토콜 연구 결과에서도 해결책으로 제시한 바 있다.

네트워크 상에서 이질적인 망을 통과할 때마다 그에 맞는 각기 다른 프로토콜의 사용으로 인하여 생기는 비효율적인 오버헤드 등을 감소시키고 각 망을 거치더라도 다른 IP 망에 투명하게 전달될 수 있는 프로토콜이 요구된다. IP over ATM의 경우, IP 패킷이 ATM 셀들로 나누어지고 다시 어셈블 되는 과정이 수반되어 오버헤드가 발생하는데 이를 해결하고자 현재 MPLS 프로토콜로 대체되고 있다. IP over SONET은 IP over ATM over SONET의 형태로 구현이 되기 때문에 이중 스위칭 구조이므로 비효율적이다. 이미 미국에서는 광레이블 스위칭 기술 연구가 추진 중에 있는데, 이는 레이블로 전송 패킷을 캡슐화하여 스위칭을 유도하는 MPLS 프로토콜의 개념과 일맥 상통하여 IP over WDM에서도 MPLS 프로토콜이 사용될 거라는 점을 시사하고 있다.

V. 결 론

본 논문에서 제안하는 기법은 MDP 모델링을 하여 동적 프로그래밍 기법으로 시뮬레이션 하였다. 파장과 노드의 수가 변화함에 따라 블로킹 발생율과 같은 트래

픽이 요청되었을 때 가상 링크의 재사용율, 전체 새로 설정된 트래픽 요청에 대한 가상 링크의 재사용율을 비교 분석하였다. 네트워크에 사용 가능한 파장의 수가 많아질수록 재사용율과 상대적으로 실질 트래픽에 관련된 재사용율과의 편차가 35% 가량 줄어들어 거의 일치함을 확인할 수 있었다. 이러한 결과가 시사하는 바는 네트워크의 규모에 따라서 최소한으로 요구되는 파장의 개수를 제시할 수 있다는 점이다. 시뮬레이션에서는 노드의 개수를 10개에서 50개까지 증가시켜 보았으며, 파장의 개수가 8개 이상인 경우 가상 링크 재사용율의 측면에서 더 큰 이득을 얻지 못할 거란 사실을 예측할 수 있었다. 물론 파장의 개수가 증가함에 따라 블로킹 발생률은 0%가 될 때까지 감소될 수 있다. 그러나 그로 인해 증가하는 네트워크 비용을 고려하지 않을 수 없으며, 적절한 임계치 값을 결정하여 트레이드-오프 관계를 해결해야 한다. 본 논문의 제안 기법 결과를 이용한다면 노드 50개 규모의 네트워크에서 파장수를 8 정도만 사용하면 효율적인 망 구성이 이루어질 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] P. Labourdette, George W. Hart, Anthony S. Acampora, "Branch-Exchange Sequences for Reconfiguration of Lightwave Networks," *IEEE Transactions on Communications*, Vol.42, No.10, pp.2822-2832, 1994(10).

[2] R. Jorg, "Heuristics versus Completeness for Graph Coloring," *Chicago Journal of Theoretical Computer Science The MIT Press*, Vol.2000, Article 1. 2000(2).

[3] J. S. Choi and D. Su, "A Functional Classification of Routing and Wavelength Assignment schemes in DWDM networks: Static case," *NRC 2000*, New Jersey, USA, APR, 2000.

[4] B. Kannan, S. Fotedar, and M. Gerla, "A two level optical star WDM metropolitan area network," *Global Telecommunications Conference*

GLOBECOM '94 IEEE, pp.563-566, 1994.

[5] H. Lee, J. Kim, S. J. Hong, and S. Lee "Processor allocation and task scheduling of matrix chain products on parallel systems," *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions*, Vol.14, No.4, APR pp.394-407, 2003

[6] N. Banerjee and S. Sharan, "A evolutionary algorithm for solving the single objective static routing and wavelength assignment problem in WDM networks," *Proceedings of International Conference*, pp.13-18, 2004.

[7] D. Coudert and H. Rivano, "Lightpath assignment for multifibers WDM networks with wavelength translators," *Global Telecommunications Conference, GLOBECOM '02. IEEE*, Vol.3, pp.2686-2690, 2002(11).

[8] R. Jorg, "Heuristics versus Completeness for Graph Coloring," *Chicago Journal of Theoretical Computer Science The MIT Press* Vol.2000, Article 1. 2000(2).

[9] <http://www.eecs.wsu.edu/~dawn/software/owms.html>

저자 소개

박 병 섭(ByoungSeob Park)

중신회원



- 1989년 2월 : 충북대 컴퓨터공학과(공학사)
 - 1992년 2월 : 서강대학교 컴퓨터학과(공학석사)
 - 1997년 2월 : 서강대학교 컴퓨터학과(공학박사)
 - 1997년 4월 ~ 2000년 2월 : 국방과학연구소 선임연구원
 - 2000년 3월 ~ 2002년 8월 : 우석대학교 컴퓨터교육과 교수
 - 2002년 9월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 컴퓨터시스템과 교수
- <관심분야> : WDM, Mobile-IPv6, RFID/USN