

파장변환을 고려하는 WDM 네트워크에서 잔여 링크의 최대화를 고려하는 파장 할당 알고리즘 (Wavelength Assignment Algorithm Considering Maximizing Residual Link in WDM Network with Wavelength Conversion)

신 자 영 * 김 성 천 **
(Ja-Young Shin) (Sung-Chun Kim)

요약 본 논문에서는 WDM 네트워크에서 보다 현실적인 파장 변환을 고려하면서 잔여링크를 최대화시킬 수 있는 파장 할당 알고리즘을 제시한다. 기존의 기법들은 각 노드들의 파장 변환 능력을 무시하고 전체 네트워크의 파장 변환 능력을 일률적으로 고정시킨 것을 가장하기 때문에 비효율적이라 할 수 있다. 제안된 기법은 각 노드의 파장 변환 능력을 각각 고려하면서 사용 가능한 잔여링크의 집합을 가능한 최대화 할 수 있는 링(Ring)의 형태로 만든다. 이것은 잔여링크를 최대화하여 어떤 경로 요구가 있더라도 파장을 할당할 수 있게 한다. 그렇기 때문에 네트워크에서의 블리킹 확률을 최대 19%까지 낮출 수 있었으며, 파장 변환 횟수에서 대략 40%의 성능 향상을 보이고, 네트워크의 활용성을 높일 수 있음을 성능 비교를 통해서 볼 수 있다.

키워드 : WDM, 파장할당

Abstract This paper proposes that wavelength assignment algorithm maximizes residual links considering more real wavelength conversion in the WDM network. The existing algorithms are inefficient that they ignore wavelength conversion ability in each nodes and fixed uniformly wavelength conversion ability on all nodes. Proposed method makes a ring shape that maximize available residual links considering wavelength conversion ability in each nodes. Maximizing residual links can assign a wavelength for any path require. Then blocking probability is reduced by the maximum 19 percent and wavelength conversion number is improved by about 40 percent. These can be showed in performance evaluation

Key words : WDM, wavelength assignment

1. 서 론

인터넷의 사용자 증가와 멀티미디어 서비스의 증가에 따라서 네트워크는 점점 더 많은 대역폭을 요구하게 되었다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서 광 네트워크를 사용하게 되었고, 그 중 WDM(Wavelength Division Multiplexing, 파장 분할 다중화)방식의 네트워크가 차세대 전송 장치로서 주목받고 있다. 이 방식은 커다란 대역폭을 최대한 활용하기 위해 여러 개의 광 채널을

한 개의 광섬유에 묶어서 전송할 수 있기 때문에 여러 개의 신호를 한번에 전송하기에 용이하다[1].

WDM 네트워크는 파장 연속성 제한(wavelength continuity constraint)를 지켜야 하는 각 노드에서 신호의 변환을 거치지 않는 하나의 논리적 링크로 연결되는 단일 홉 방식과 각 노드에서 신호의 변환을 거쳐서 몇 개의 링크로 연결되는 다중 홉 방식으로 이루어진다. 본 논문에서는 파장 변환에 대해 고려함으로써 다중 홉 네트워크를 기반으로 하기 때문에 다중 홉에 대해서만 기술하겠다. 다중 홉 네트워크는 파장 변환기(converter)를 사용하여 파장을 변환할 수 있다. 파장 변환기는 입력포트로부터 받아들인 파장을 다른 파장으로 튜닝(tuning)해서 출력포트로 내보낼 수 있다. 이것은 파장 연속성 제한을 고려하지 않아도 되기 때문에 파장의 활

* 이 연구는 2005년도 서강대학교 교내 연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

† 비 회 원 : 서강대학교 컴퓨터학과
sinja0@hanmail.net

** 종신회원 : 서강대학교 컴퓨터학과 교수
ksc@arqlab1.sogang.ac.kr

논문접수 : 2004년 4월 13일
심사완료 : 2005년 8월 19일

용성을 높일 수 있으며 블러킹 확률을 감소시킨다[1-3]. 파장 변환을 고려한 RWA(Routing and Wavelength Assignment)는 라우팅과 파장 할당으로 구분되어 진다. 여기서는 파장 할당에 대해서만 고려하기로 하였다. 선행된 연구들은 모든 노드들이 파장 변환기를 가지고 있다고 가정하거나, 각 변환기가 모든 파장을 변환할 것인지, 입력된 파장 중 일부만 변환 할 것 인지의 여부만을 논의해 왔다. 이처럼 기존 연구들은 일률적으로 네트워크의 노드들의 능력을 고정시킨 것이기 때문에 현실적인 노드들의 파장 변환 능력을 무시해 왔다. 비현실적으로 각 노드들의 파장 변환 능력을 고려하여 실험한 결과는 신뢰할 수가 없기 때문에 현실적으로 파장 변환 능력을 고려한 실험이 필요하다[3,4].

본 논문에서는 각 노드들이 보유한 파장 변환 능력을 현실적으로 고려하여 파장 할당을 하는 방식을 제안한다. 단 방향 링구조의 네트워크와 트래픽은 정적과 동적인 경우 모두를 가정한다. 네트워크의 각 노드들은 파장 변환기를 소유할 수도 있고 소유하지 않을 수도 있으며, 입력된 각 파장은 하나의 파장으로만 튜닝이 가능하며 자신 그대로 튜닝될 수도 있고 다른 파장으로 변환 할 수도 있다. 각 노드들은 이러한 정보를 순열행렬로 가지고 있다.

경로가 요청되었을 경우 네트워크에서 사용 가능한 링크들의 집합을 구성한다. 이때의 집합은 파장 변환 행렬을 고려하여 최대한 원으로 만들게 한다. 이것은 잔여 링크의 집합을 최대화하는 것으로 후에 임의의 경로 요구가 들어왔을 경우 파장 할당이 용이하도록 할 수 있다. 이 방식은 잔여링크가 원으로 구성되어져 있거나 최대한 큰 집합으로 구성되어져 있다면 어떠한 요구도 충족시켜줄 수 있기 때문에 블러킹 확률을 감소시키고, 사용되지 않는 작은 크기의 링크들을 집합으로 형성해 파장을 할당하기 때문에 파장 활용성이 높아진다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 WDM 네트워크에서의 파장 할당과 WDM 네트워크의 구조와 파장 변환과 파장 변환을 고려한 파장 할당과 기존의 파장 할당 기법들에 대해 대하여 알아보며, 3장은 이 논문에서 제안하는 파장 변환을 고려하면서 잔여링크를 최대화하는 파장 할당 기법에 대해 설명한다. 4, 5장은 성능 평가를 분석하고 결론을 맺는다.

2. WDM 네트워크와 파장 할당 알고리즘

2.1 RWA 문제

WDM 네트워크에서는 광경로를 이용하여 통신한다. 이러한 광경로를 설정하는 과정이 WDM 네트워크에서 가장 중요한 과정인 RWA 문제이다. 광경로는 라우팅을 통해서 물리적인 링크를 구성하고 파장 할당을 통해서

논리적인 링크를 모두 구성된 후에야 형성될 수 있다.

광경로는 단일 홉과 다중 홉으로 구성될 수 있다. 단일 홉은 파장 연속성 제한(wavelength continuity constraint)을 기본으로 하기 때문에 각 노드에서 파장의 신호의 변환을 일으키지 않고 거쳐서 하나의 논리적인 링크를 형성한다. 다중 홉은 파장 연속성 제한을 유지함으로써 발생할 수 있는 블러킹을 감소시키기 위해 파장의 전기적인 신호 변환을 사용하여 여러 개의 링크로 논리적인 링크를 형성하는 방법이다. 본 논문에서는 다중 홉방식을 기본으로 연구하였다.

파장 할당 문제는 정적인 트래픽과 동적인 트래픽으로 구분된다. 정적인 트래픽은 통신의 집합이 미리 알려져 있는 것을 말하며, 파장이나 네트워크의 광파이버같은 네트워크의 자원을 최소화 하는 것이 목적이다.

정적인 트래픽에서의 RWA는 SLE(Static Lightpath Establishment) 문제가 된다. SLE 문제는 ILP(Integer Linear Program)으로 정형화된다. 동적인 트래픽은 트래픽이 도착할 경우 광경로가 형성되는 경우이다. 이 경우 언제든지 구성될 수 있는 링크의 연결과 통신 블러킹을 최소화 하는 것이 목적이다. 동적인 트래픽에서의 RWA는 DLE(Dynamic Lightpath Establishment) 문제로 다양한 방법이 연구되고 있다[1].

2.2 네트워크 구조

WDM 네트워크는 성형(star), 버스(bus), 메쉬(mesh), 링(ring) 토폴로지(topology) 등의 다양한 형태로 구성될 수 있다. 현재 WDM 네트워크에서는 대부분 링 토폴로지를 많이 사용하고 있다. 광 네트워크에 앞서 많이 사용되고 있던 SONET이나 FDDI(fiber Distributed Data Interface) 네트워크가 링 토폴로지를 사용하고 있다. 큰 추가 비용 없이 단지 회선의 증가만 있으면 되기 때문에 WDM 네트워크는 SONET/FDDI를 기반으로 개발되어 진다. 그렇기 때문에 WDM 네트워크도 대부분 링 토폴로지를 기반으로 하여 기존의 SONET/FDDI의 네트워크 관리 표준을 쉽게 적용할 수 있다[2].

링 토폴로지는 노드나 파이버에 문제가 발생하였을 때, 신속하게 네트워크를 복구할 수 있다는 것이 큰 장점이다. 노드나 파이버에 문제가 발생하면 다른 파이버 링으로 신속하게 교체 할 수 있기 때문에 지속적인 통신에 방해가 가지 않는다. 본 논문에서는 링 토폴로지를 기반으로 하는 다중 홉 네트워크의 경우를 다룬다.

2.3 파장 변환 문제

본 논문에서 기반으로 하고 있는 다중 홉 네트워크는 파장 변환이 가능하다는 것을 가정하고 있다. 파장 변환은 각 노드에서 들어오는 파장을 전기적으로 전환하여 출력되는 파장을 다르게 하는 것이다.

파장 변환은 크게 no conversion, fixed conversion,

limited conversion, full conversion으로 구분된다. No conversion은 파장 변환 없이 노드를 통과(bypass)한다. Fixed conversion은 입력된 파장이 오직 하나의 다른 파장으로만 변환이 될 수 있으며, limited conversion은 입력된 파장이 명시된 파장의 집합 중 어느 파장으로든 변환이 가능한 경우이다. Full conversion은 입력된 파장이 모든 파장으로 변환이 가능하지만 그에 대한 비용이 너무 크다.

파장 변환은 파장을 좀 더 효율적으로 사용하여 좋은 성능을 이끌어 내지만, 변환기에 따른 비용이 증가하기 때문에 sparse conversion의 개념을 사용한다[3,4]. Sparse conversion은 네트워크의 모든 노드들이 모두 변환기를 가지고 있지 않고 일부의 노드만이 변환기를 사용할 수 있다는 것을 가정한다. 이것은 파장을 좀 더 효율적으로 사용하면서 그에 따른 비용을 감소시켜준다.

2.4 파장 할당 알고리즘

2.4.1 First-Fit Wavelength first(FFW)

FFW 알고리즘은 Full conversion을 가정하고 있다. 가능하다면 단일 홉으로 연결하면서 해당 노드에서 해당 파장이 사용할 수 없다면 사용 가능한 파장 중에서 미리 정의된 인덱스 중에서 인덱스가 가장 작은 파장을 선택하여 파장 변환을 한다. 요청에 대해 만족할 수 없을 경우엔 다시 처음으로 돌아가 다른 파장으로 다시 시작하는 feedback 기능을 가지고 있다. 이것은 사용 가능한 하나의 파장을 찾거나 광경로를 완전히 설정할 수 없을 때까지 반복하게 된다. 아래 그림 1(a)에서 광경로는 근원지 노드에서 사용 가능한 파장 중 가장 인덱스가 작은 파장을 선택하여 광경로를 선택한 결과이다[4].

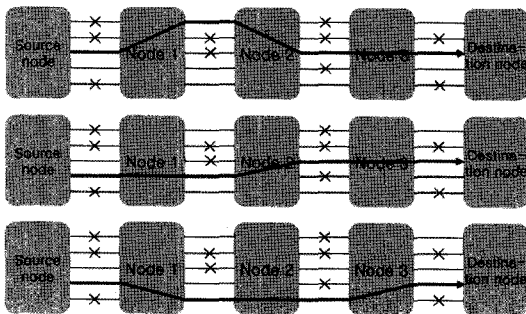


그림 1 FFW, LEC, LCC에 의해 설정된 광경로

2.4.2 LEast Converter first(LEC)

LEC 알고리즘은 Dijkstra 알고리즘을 적용한 기법으로서 full conversion을 가정하고 있다. 가장 적은 변환기의 수를 가지는 광경로를 설정한다. LEC 알고리즘은 각 간선에 가중치를 부여하여 가장 작은 가중치를 가지

고 있는 광경로를 선택한다. 또한 임의의 source와 destination을 정하고 임의의 노드의 각 간선은 0의 가중치를 지니게 된다. 각 간선들의 경우에 가중치를 부여하고, 이러한 가중치들로 광경로를 형성한 다음 가장 작은 가중치를 가진 광경로를 최적의 경로로 선택하게 된다. 즉, 파장 변환을 가장 적게 한 광경로가 최적인 알고리즘이다. 아래 그림 1(b)에서 노드 2에서 파장 변환하는 것이 가장 적은 파장 변환 수를 가지게 되며, 가장 작은 가중치를 가진 광경로이다[4].

2.4.3 Least Conversion Cost first(LCC)

LCC 알고리즘은 LEC 알고리즘과 비슷하게 수행된다. 하지만 LCC 알고리즘의 가중치 함수는 LEC 알고리즘의 가중치 함수와 다르게 적용된다. 이 알고리즘은 파장 변환기에 대한 활용성이 높은 노드에서 파장을 변환할수록 비용이 더 많이 소요된다는 것을 가정한다. 즉, 파장 변환을 많이 하는 노드에서 파장을 변환하면 해당 노드에 많은 부담을 안겨주는 것이 되기 때문에 더 많은 비용을 요구한다. 아래 그림 1(c)에서 보면 노드 1과 노드 3에서 파장 변환하는 것이 증분 비용 함수가 가장 작은 광경로이다[4].

3. 개선된 파장 할당 기법

3.1 선행 기법 문제점

WDM 네트워크에서 단일 홉으로 파장을 할당하는 알고리즘은 파장 연속성을 유지해야 하기 때문에 많은 블러킹이 발생할 수 있다. 또한 점차 WDM 네트워크의 발전에 따라 단일 홉만으로 증가하는 요구들을 다 만족할 수는 없다. 그래서 파장 변환을 사용하여 다중 홉으로 파장을 할당하는 알고리즘들의 연구가 활발히 진행되고 있다. 앞서 제시한 FFW, LEC, LCC 알고리즘과 같이 다중 홉의 네트워크에서의 알고리즘들은 기존의 단일 홉 네트워크에서의 알고리즘들을 파장 변환을 고려한 방법들로 변형되었다. 앞서 제시한 선행 연구 기법들은 모든 노드들이 파장 변환기를 가지고 있고, 파장 변환은 Full conversion을 가정하고 있다. 모든 노드들이 모든 파장으로 변환할 수 있는 변환기를 보유하고 있다면 매우 낮은 블러킹을 보장하는 안정적인 네트워크의 형태를 지닐 것이다. 하지만 현실적으로 그것은 막대한 비용이 소요된다[3,4].

3.2 파장 변환 방법

선행 기법들의 무리한 가정으로 인한 문제점들을 해소하기 위해 본 논문에서는 Limited conversion의 형태를 변형한 파장 변환 기법을 사용할 것이다. 변환할 수 있는 파장의 집합을 지정하지 않고, 각 노드가 실제로 가지고 있는 파장 변환 능력을 순열행렬(permutation matrix)로 표현하며, 각 파장은 최대한 단일 홉으로 연

결이 가능하도록 하는 형식을 취한다. 이 방식은 파장 변환기를 거칠 경우에만 전기적 라우팅을 한다는 것을 가정한다. 나가는 파장과 들어오는 파장의 수는 같으며 변환이 가능한 곳에 1을 취하고 하나의 파장으로만 변환이 가능하다. 그림 2는 4개의 파장을 사용하는 노드 i에서의 파장 변환 순열행렬이다. 각 행과 열은 파장 번호를 나타내며, 자기 자신으로 1을 취할 경우 그 파장은 다른 파장으로 변환이 불가능하다.

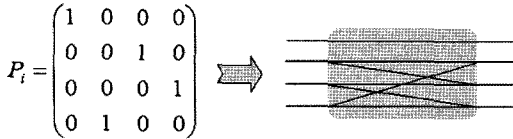


그림 2 노드 i에서의 파장 변환 순열행렬

3.3 잔여링크를 최대화하는 파장 할당 알고리즘

본 논문에서 제시하는 알고리즘은 파장 변환을 고려하면서 어떤 요구에도 만족할 수 있도록 잔여 링크를 최대화하여 파장 할당을 하는 알고리즘이다. WDM 네트워크 구조는 단 방향 링 토폴로지를 기반으로 하며, 각 노드에서의 파장 변환은 Limited conversion을 기반으로 하여 수정된 형태의 파장변환을 가정한다.

3.3.1 잔여 링크 집합

잔여 링크 집합은 각 파장별로 사용 가능한 링크들의 집합이다. 현재 사용 가능한 링크들의 순서쌍을 파장별로 형성하여서 파장 변환이 가능한 노드에서 변환을 하면서 커다란 집합을 만들어서 블러킹을 감소시키는 것이 잔여 링크 집합 생성의 목적이다. 다음은 많이 사용되는 용어들이다.

N : 전체 노드의 개수, s : 근원지 노드(source node)

d : 도착지 노드(destination node), w_i : 파장 i

R_i : 잔여 링크들의 집합, $E_n^w(s,d)$: 잔여 링크 순서쌍

$M_w(s,d)$: 잔여 링크 순서쌍 중 가장 길이가 긴 것

$C_i^w(s,d)$: $M_w(s,d)$ 과 노드가 중복되는 순서쌍

$P_n(w_i, w_j)$: 노드 n에서 w_i 에서 w_j 로 파장 변환 여부

사용 가능한 링크들 중 각 파장별로 순서쌍 $E_n^w(s,d)$ 을 형성한다. 이들 중에서 가장 길이가 긴 것을 선택하여 $M_w(s,d)$ 로 정하고 이 순서쌍과 경로가 중복되는 잔여 링크 순서쌍들을 조사하여 후보자 $C_i^w(s,d)$ 로 정한다. 선택된 $C_i^w(s,d)$ 들 중에서 가장 길이가 긴 순서쌍부터 $M_w(s,d)$ 과 중복되는 노드들을 찾는다. 중복되는 노드들의 순열행렬을 참고하여 $M_w(s,d)$ 에서 $C_i^w(s,d)$ 로의 파장 변환이 가능한지의 여부를 알아본다. 식 (1)을 이용하여 파장 변환이 가능하면 파장 변환을 하여

$M_w(s,d)$ 의 앞이나 뒤에 $C_i^w(s,d)$ 를 덧붙인다.

$$P_n(w_i, w_j) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (1)$$

덧붙여진 잔여 링크 순서쌍을 중심으로 다시 노드가 중복되는 잔여 링크 순서쌍 후보들을 찾아내어 링의 길이만큼 집합을 만들 수 있을 때까지 덧붙여 준다. 만약 $C_i^w(s,d)$ 에서 파장 변환이 불가능하다면 다른 후보자 $C_i^w(s,d)$ 에서 파장 변환 여부를 살펴본다. 찾아진 후보자 $C_i^w(s,d)$ 순서쌍 중에서 파장 변환이 가능한 순서쌍이 하나도 없을 경우 $M_w(s,d)$ 은 그 자체로 잔여 링크 집합 R_i 이 된다. 잔여 링크 집합 R_i 은 최대한 원이 되거나 더 이상 겹쳐지는 $E_n^w(s,d)$ 순서쌍들이 없을 경우에만 형성된다. 최대한 원이 되려는 것은 요청(request)이 들어왔을 경우 이를 만족할 수 있는 최적의 조건은 링 토폴로지에서는 원이어야 한다. 원을 형성할 경우 다른 트래픽에 대한 100% 보장이 있기 때문에 잠재적으로 블러킹을 방지할 수 있다.

$$M_w(s,d) = \text{Max}\{E_n^w(s,d)\} \quad (2)$$

3.3.2 파장 할당

앞에서 만들어진 잔여 링크 집합들로 파장을 할당하게 된다. 동적인 트래픽의 경우 요청 트래픽이 도착할 때마다 잔여 링크 집합을 형성하여 할당하거나 주기적으로 잔여 링크 집합을 형성하여 많은 비용이 소요되지 않도록 할 수 있다. 트래픽이 요청되면 형성된 잔여 링크 집합 중 요청된 트래픽을 수용할 수 있는 잔여 링크 집합 중에서 길이가 가장 작은 잔여 링크 집합에 할당된다.

길이가 가장 작은 잔여 링크 집합에 할당되는 것은 가장 길이가 긴 집합을 남겨둬으로써 어떤 트래픽이 요구되더라도 수용할 수 있도록 하기 위한 이 알고리즘의 목적을 살리기 위해서이다. 또한 가능한 요청된 트래픽에 알맞게 잔여 링크를 제공하여 매우 작게 잔여 링크들이 띄엄띄엄 있는 것을 방지하기 위해서이기도 하다. 매우 작은 잔여 링크들이 여기저기 있으면 대부분의 요청된 트래픽을 수용할 수 없을 것이다.

$$\begin{aligned} E_1^3(6,3) \\ E_1^2(3,0) \\ E_1^1(0,2), \quad E_2^1(3,5) \\ E_1^0(6,4) \end{aligned} \quad (3)$$

$$P_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad P_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

그림 3 노드 0과 3에서의 순열행렬

다음은 파장 할당 예이다. 요청된 트래픽은 (2,5)이며, 여기서 사용 가능한 잔여 링크는 식 (3)과 같으며, 그림 3은 이 네트워크에서 노드 0과 3에서의 파장 변환능력을 순열행렬로 나타낸 것이다. 요청된 트래픽 (2,5)가 단일 흐름으로 연결이 불가능하기 때문에 다중 흐름으로 다음과 같은 과정을 거쳐 할당한다.

- 가장 긴 트래픽은 파장 w0의 (6,4)이다.
- 덧붙여질 후보자는 w1의 (3,5)와 w2의 (3,0)이다.
- 길이가 긴 후보자에 대해 변환 여부를 확인해본다.
- 노드 3과 4가 중복되는데 노드 3에서 w3에서 w2로 파장 변환이 불가능하고 노드 4는 파장 변환 능력을 갖고 있지 않기 때문에 나머지 후보자와 비교해본다.
- w1의 (3,5)와 노드 3과 4에서 중복되는데 노드 3에서 w0에서 w1로 변환이 가능하기 때문에 노드 3에서 변환한다.
- 순서쌍 (6,5)가 형성되고, 여기서 (3,4)가 잘리게 된다.
- 만들어진 잔여 링크 집합은 다음과 같다.
 $\{(6,3)(3,5), \{(6,0)(0,2), \{(3,4), \{(0,3), (3,0)\}$
- 집합 $\{(6,3)(3,5)$ 와 $\{(0,3), (3,0)\}$ 이 요청된 트래픽을 만족한다. 이중 길이가 작은 집합이 $\{(6,3)(3,5)$ 이기 때문에 트래픽은 이 잔여 링크 집합에 할당된다.

제안된 기법으로 파장을 할당하면 되도록 잔여 링크 집합을 최대한 크게 계속 유지할 수 있으며 다음에 큰 길이의 트래픽이 요청되어도 파장을 할당 할 수 있는 가능성이 커진다.

4. 성능평가 및 결과분석

이 장에서는 앞에서 제안한 파장 할당 알고리즘을 실험을 통해 평가한다. 이 실험은 C Compiler를 사용하여 구현하였으며, 파장 할당에서 라우팅을 고려하지 않도록 하겠다.

4.1 트래픽(Traffic)

요청되는 트래픽은 실험한 시스템의 시간값을 기준으로 한 Random 분포를 따른다. 각 시간값은 유사한 시간을 기초로 할 경우 유사한 트래픽이 발생되기 때문에 실험 주기를 주어 유사한 트래픽을 방지하였다. WDM 네트워크가 주로 백본(Backbone)망에서 사용되기 때문에 노드는 40개까지만 가정하였으며 파장의 개수는 각 노드의 수의 50%를 넘지 않도록 하였다. 또한 잔여 링크 집합 생성 비율은 트래픽의 100%, 70%, 50%, 20%, 1%의 비율로 가정하였다. 요청되는 트래픽의 파장 점유 시간은 100~1000(microsecond)까지 난수발생기를 통해서 동적으로 주어진다.

4.2 평가 요소

실험에 사용되는 파라미터는 노드의 수와, 트래픽 요청 분포, 변환기 개수 등이 있다. 동적인 트래픽을 가정

할 때 기존의 기법들에 비하여 파장 할당 수행 시간을 늘어난다는 것을 볼 수 있다. 현실적인 파장 변환 능력을 고려하는 기법이기 때문에 각 노드들의 파장 변환 능력을 따로 계산해 주어야 하며, 잔여 링크 집합을 계산해야 하기 때문에 수행 시간이 늘어난다. 이것을 해결하기 위하여 각 트래픽이 요청될 때마다 잔여 링크 집합을 계산하거나, 몇 개의 트래픽을 처리하고 잔여 링크 집합을 계산하였다. 잔여 링크 집합은 일정한 비율로 트래픽을 처리할 때마다 계산하였다. 처리되는 트래픽의 주기를 줄일수록 파장 할당 수행 시간을 늘였으며 블러킹률은 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림 4는 각 노드와 잔여 링크집합 생성비율에 대해 파장 4개와 변환기 50%의 비율일 경우의 수행시간을 측정된 것이다.

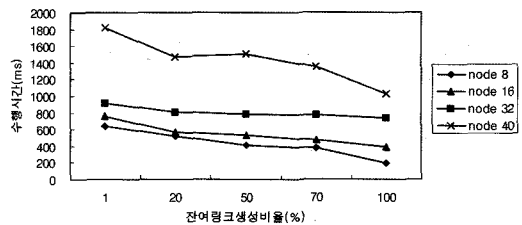


그림 4 잔여링크생성비율에 대한 수행시간

그림 5는 각 노드와 잔여 링크 생성비율에서 파장 4개 일 경우의 블러킹률을 측정된 것이다. 1%의 잔여 링크 집합 생성비율은 트래픽이 요청될 때마다 잔여 링크 집합을 다시 생성하며, 50%의 비율은 요청되는 트래픽의 중간에 잔여 링크 집합을 다시 생성하는 것을 말한다. 100%는 트래픽 발생 초기에 생성된 잔여 링크 집합을 지속적으로 사용하기 때문에 블러킹이 증가함을 볼 수 있다. 각 요청 트래픽들의 파장 점유 시간이 지나면 다음 트래픽이 요청될 때 해제되기 때문에 잔여 링크 집합을 자주 생성하는 것은 사용 가능한 잔여 링크 집합을 크게 만들 수 있다. 그렇기 때문에 임의의 트래픽이 요청되어도 할당이 가능해져서 블러킹률을 감소시킨다.

그림 6은 전체 네트워크에서 파장 변환기의 개수로 실험을 달리 하였다. 각 파장 변환기 개수의 비율은 전체 노드의 개수의 0%, 20%, 50%, 80%, 100%로 실험

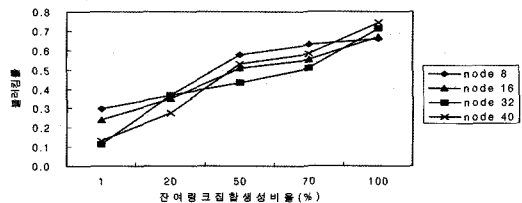


그림 5 잔여링크집합 생성비율에 대한 블러킹률

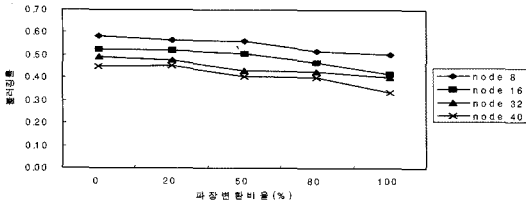


그림 6 파장변환비율에 대한 블러킹률

하였다. 파장 변환기를 가질 수 있는 노드는 난수발생기로 선정하였다. 파장 변환기의 개수가 많을수록 블러킹률은 감소함을 볼 수 있다.

제안된 기법은 다른 알고리즘들과 비교하여 수행시간, 블러킹률, 사용된 파장의 개수, 파장 변환 횟수 등에 대해 비교할 수 있다. 파장 변환 횟수가 커질수록 사용된 파장 변환기가 많기 때문에 그만큼 비용이 증가하게 된다. 파장 변환 횟수가 적을수록 좀더 단일 홉 네트워크와 유사한 성능을 보이기 때문에 더 효율적이다.

비교되는 기법은 First-fit wavelength first(FFW)와 Least converter first(LEC) 기법이다. LCC와 LEC기법의 결과가 유사하기 때문이다. 논문에서 제안한 기법이 LEC 기법보다 수치상으로는 효율적이지 않지만 LEC 기법은 비현실적인 가정을 하였기 때문에 현실적으로 가정하여 실현한 제안된 기법의 실험결과와 유사하기 때문에 효율적이라 할 수 있겠다.

4.3 성능 비교

먼저 제안 알고리즘에 대한 파장 할당의 수행시간에 대한 성능을 알아보기 위하여, 각 파장과 변환기의 개수와 잔여 링크 집합 생성 비율에 대해 비교하여 보았다.

그림 7에서 파장의 개수에 따른 수행시간은 적은 파장을 사용하는 경우가 수행시간이 좀더 짧은 것을 볼 수 있다. 여기서 FFW 기법이 가장 적은 수행시간을 가지는 것을 볼 수 있다. 적은 수의 노드에서는 제안된 기법의 수행시간이 크지만 좀더 큰 노드에서는 LEC 기법이 제일 수행시간이 긴 것을 볼 수 있다. LEC기법은 모든 경로를 계산해봐야 하기 때문에 노드의 수와 파장이 많을수록 수행시간이 매우 길어진다. 또한 파장 변환기의 개수에 대해서는 네트워크가 소유하고 있는 파장 변환기의 개수에 따른 수행시간을 그림 8에서 볼 수 있다. 여기서 파장 변환기가 제일 많고 적을 때의 수행시간이 가장 적음을 볼 수 있다. 이것은 파장변환기가 제일 많을 때 갈 수 있는 경로가 많기 때문에 경로 계산하는데 시간이 적게 걸리기 때문이다. 반대로 파장 변환기의 개수가 적을 때 더 가야할 경로가 적기 때문에 수행시간이 적다.

상대적으로 중간정도의 파장 변환기 개수를 가질 때 수행시간이 가장 오래 걸린다. 이것은 각 노드에서 파장

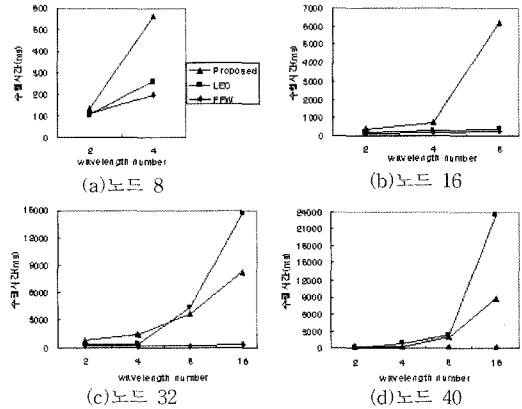


그림 7 파장 개수에 따른 수행시간 (변환률-50%, 잔여링크집합생성률-50%)

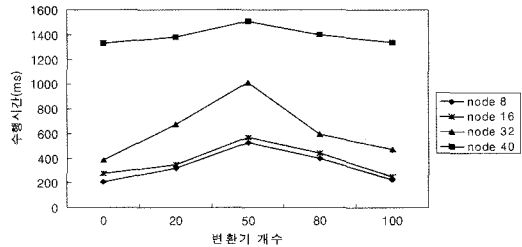


그림 8 파장 변환기에 따른 수행시간 (잔여링크집합생성률-50%)

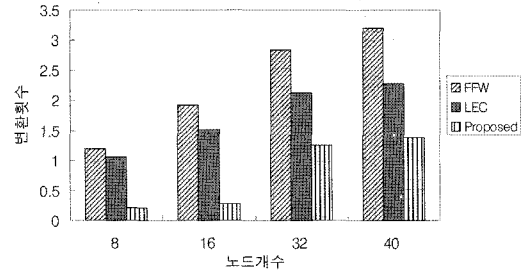


그림 9 노드의 개수에 따른 파장 변환 횟수 (변환률-100%, 잔여링크집합생성률-50%)

변환 능력을 고려하여 잔여 링크 집합을 생성하기 때문이다. 그림 9는 노드의 개수에 따른 FFW, LEC, 제안된 기법의 노드의 개수에 따른 파장 변환 횟수를 측정 한 것이다. 각 경우는 4개의 파장과, 변환을 50%, 잔여 링크집합생성 비율 50%를 기반으로 하고 있다. 노드의 개수가 많을수록 다양한 크기의 트래픽이 요청되기 때문에 파장 변환을 더욱더 많이 요구하게 된다.

파장 할당의 블러킹은 사용 가능한 파장의 개수, 파장 변환기 개수, 잔여 링크 집합 생성 비율에 따라서 비교할 수 있다. 그림 10에서 보이는 바와 같이 사용 가능한

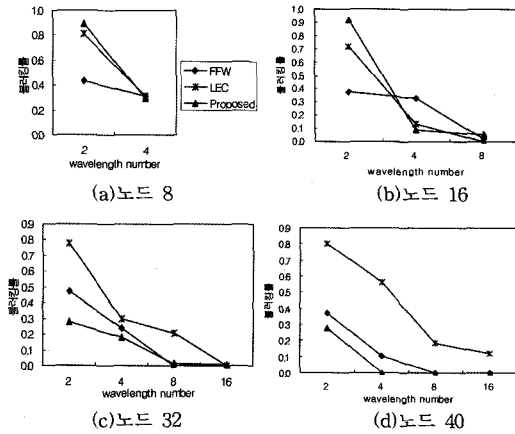


그림 10 파장 개수에 따른 블러킹률

파장의 개수와 노드의 개수가 많을수록 블러킹의 비율은 감소한다. 이때 FFW와 LEC가 모든 노드가 변환기를 소유하고 있음을 가정하기 때문에 제안된 기법도 변환을 100%를 가정하고 실험하였다. 적은 노드에서는 블러킹률이 크지만 노드가 많은 경우에는 블러킹률이 제일 적음을 볼 수 있다.

5. 결론

WDM 네트워크에서는 라우팅과 파장 할당이 매우 중요하다. 그중 파장 할당 기법은 여러 관점에 따라 효율적인 기법이 달라지고 있다. 광 네트워크의 규모가 점차 커감에 따라서 단일 홉으로 파장을 할당하기가 불가능해지고 있다. 파장을 점유하고 있는 트래픽이 끝날 때까지 기다려야 하거나 그렇지 않으면 할당이 되지 못한다. 이로 인해 파장 할당 블러킹률은 점차 높아진다.

그에 따른 해결책으로 다중 홉 네트워크로서의 파장 변환 기법이 활발하게 연구되고 있다. 하지만 아직 연구가 미비하기 때문에 현실적이지 못한 가정을 바탕으로 연구가 진행되고 있다. 각 노드들의 파장 변환 능력이나 요청되는 트래픽에 대한 가정이 일률적으로 적용되기 때문에 파장 변환기의 비용 때문에 변환기를 소유하지 않은 노드들에 대해서는 고려하고 있지 않다. 파장 변환기의 비용이 아직까지는 매우 높은 편이기 때문에 네트워크에 속해 있는 모든 노드들이 파장 변환기를 소유할 수는 없다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결할 수 있도록 각 노드들의 파장 변환 능력을 좀 더 현실적으로 고려하고자 하였다. 제안된 기법은 보다 현실적인 환경에 적용할 수 있는 기법으로 FFW, LEC기법과 비교하여 보았다. 이전 기법들과 다르게 전체 네트워크에서 파장 변환기를 소유하고 있는 노드들을 제한하였다. 파장 변환을 이용하여 블러킹률을 좀더 감소시키고 사용

가능한 링크들을 집합의 형태로 만들어 파장 할당을 효율적으로 하였다. 잔여 링크 집합은 최대한 크게 하여 될 수 있으면 링 네트워크 구조이기 때문에 링의 형태를 띠도록 구성하게 된다. 최대한의 잔여 링크 집합은 연속적으로 사용 가능한 링크를 비워두면서 다양한 트래픽이 할당될 수 있도록 한다.

제안된 기법은 어떠한 트래픽이 요청되어도 거의 만족시킬 수 있으며, 다중 홉으로 할당되기 때문에 블러킹률도 적다. 또한 잔여 링크 집합을 최대한으로 남겨두면서 할당하기 때문에 더욱더 블러킹이 감소된다. 파장 변환을 많이 보유하고 있을수록 블러킹은 감소되지만 시간복잡도는 커져만 간다. 적은 수의 파장 변환기를 사용하여 FFW, LEC 기법들과 비교하여 좀더 낮은 블러킹과 수행시간을 보인다는 면에서 제안된 기법은 효율적이라 할 수 있다. 이러한 사실을 뒷받침하는 다른 증거들로 블러킹률에 따른 성능비교에서 최소 0%에서 최대 19%의 성능 향상을 보임을 볼 수 있다. 또한 수행시간에 따른 성능비교에서는 LEC 기법보다는 최소 0%에서 최대 63%까지의 성능 향상을 보임을 볼 수 있다. 하지만 FFW 기법보다는 최고 98%인 성능 감소를 볼 수 있다.

제안된 기법을 통하여 기존 기법들보다 향상된 성능을 볼 수 있었으나 네트워크에 대하여 트래픽 발생에 대해 여러 가지 확률 분포들을 적용하여 전체 네트워크에 균등하게 트래픽이 발생하였거나, 부분적으로 집중이 되었을 경우에 대한 고려가 필요하다고 생각된다. 또한 WDM 네트워크의 기술이 발달될수록 기존의 링 토폴로지에 대한 변형이 많아질 것이 분명하기 때문에 여러 토폴로지에 대한 확장 연구와 현재 WDM은 네트워크의 외부 노드(ingress node)에서 수행되는 중앙집중 방식으로 진행되기 때문에 분산된 환경을 고려할 수 있는 향후 연구도 필요하다고 여겨진다.

참고 문헌

- [1] Hui Zang, Jason P. Jue and Biswanath Mukherjee, "A Review of Routing and wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks," Optical Networks Magazine, January 2000, vol. 1, No 1, pp.47-60.
- [2] Rajiv Ramswami and Galen H.Sasaki, "Multi-wavelength Optical Networks with Limited Wavelength Conversion," IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), December 1998, vol. 6, Issue 6, pp.744-754.
- [3] George N. rouskas, "Routing and Wavelength Assignment in Optical WDM Networks," Wiley Encyclopedia of Telecommunications, (John Proakis, Editor), John Wiley & Sons, 2001.

- [4] Y. Zhang, K. Taira, H. Takagi and S. K. Das
 "An Efficient Heuristic for Routing and Wave-
 length Assignment in Optical Networks," Pro-
 ceedings of International Conference on
 Communications (ICC), New York, Apr 2002. pp.
 2734-2739.



신 자 영

2002년 경기대학교 전자계산학과 공학학
 사. 2004년 서강대학교 컴퓨터학과 공학
 석사



김 성 천

1975년 서울대학교 공과대학 공업교육학
 (전기전공)학사. 1979년 Wayne State
 Univ. 컴퓨터공학 공학석사. 1982년
 Wayne State Univ. 컴퓨터공학 공학박
 사. 1982년~1984년 캘리포니아주립대
 조교수. 1984년~1985년 금성반도체(주)

책임연구원. 1986년~1989년 서강대학교 공과대학 전자계산
 소 부소장. 1989년~1991년 서강대학교 공과대학 전자계산
 학과 학과장. 1985년~현재 서강대학교 공과대학 전자계산
 학과 교수(1992.9~현재). 1989년~현재 한국정보과학회 병
 렬처리시스템 연구회 부위원장(1989~1993), 위원장(1994~
 1997), 대한전자공학회 및 한국통신학회 논문지 편집위원
 (1991~현재, 1993~현재). 관심분야 병렬처리시스템
 (Parallel Computer Architecture, Interconnection
 Network)