

파장변환을 고려하는 WDM 네트워크에서 잔여 링크를 최대화하는 파장 할당 알고리즘

신자영⁰ 김성천

서강대학교 컴퓨터학과 고성능컴퓨터시스템연구소
sinja0@orgio.net⁰, ksc@arqlab1.sogang.ac.kr

Maximizing Residual Link Wavelength Assignment Algorithm in WDM Network considering Wavelength Conversion

Ja-Young Nahm⁰ Sung-Chun Kim

Dept. of Computer Science, Sogang University

요 약

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 가정하기 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 블러킹 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.

제 1 장 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[1].

WDM 네트워크는 파장 연속성 제한(wavelength continuity constraint)을 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. 다중 홉 네트워크는 파장 변환기(converter)를 사용하여 파장을 변환할 수 있다. 이것은 파장 연속성 제한을 고려하지 않아도 되기 때문에 파장의 활용성을 높일 수 있으며 블러킹 확률을 감소시킨다[1,2].

파장 변환을 고려한 RWA(Routing and Wavelength Assignment)는 라우팅과 파장 할당으로 구분되어 진다. 여기서는 파장 할당에 대해서만 논의하기로 한다. 선행된 연구들은 모든 노드들이 파장 변환기를 가지고 있다고 가정하거나, 각 변환기가 모든 파장을 변환할 것인지, 입력된 파장 중 일부만 변환 할 것인지의 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.

본 논문에서는 각 노드들이 보유한 파장 변환 능력을 현실적으로 고려하여 파장 할당을 하는 방식을 제안한

다. 경로가 요청되었을 경우 네트워크에서 사용 가능한 링크들의 집합을 구성한다. 잔여링크의 집합을 최대화하여 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 알아보고, 3장은 이 논문에서 제안하는 파장 변환을 고려하면서 잔여링크를 최대화하는 파장 할당 기법에 대해 설명한다. 4, 5장은 성능 평가를 분석하고 결론을 맺는다.

제 2 장 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 구성되며, 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 발생

할 수 있는 블러킹을 감소시키기 위해 파장의 전기적인 신호 변환을 사용하여 여러 개의 링크로 논리적인 링크를 형성하는 방법이다.

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 개발되어진다. 그렇기 때문에 WDM 네트워크도 대부분 링 토폴로지를 기반으로 하여 기존의 SONET/FDDI의 네트워크 관리 표준을 쉽게 적용할 수 있다[2].

2.3 파장 변환 문제

파장 변환은 크게 no conversion, fixed conversion, limited conversion, full conversion으로 구분된다. 파장 변환은 파장을 좀 더 효율적으로 사용하여 좋은 성능을 이끌어 내지만, 변환기에 따른 비용이 증가하기 때문에 sparse conversion의 개념을 사용한다[3,4]. 이것은 네트워크의 모든 노드들이 모두 변환기를 가지고 있지 않고 일부의 노드만이 변환기를 사용할 수 있다는 것을 가정한다.

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.

2.4.2 LEast Converter first(LEC)

LEC 알고리즘은 Dijkstra 알고리즘을 적용한 기법으로서 full conversion을 가정하고 있다. 파장을 변환하는 간선에 가장 적은 가중치를 부여하는 방법이다. 즉, 파장 변환을 가장 적게 한 광경로가 최적인 알고리즘이다.

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.

제 3 장 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. 앞서 제시한 FFW, LEC, LCC 알고리즘과 같이 다중 홉의 네트워크에서의 알고리즘들은 기존의 단일 홉 네트워크에서의 알고리즘들을 파장 변환을 고려한 방법들로 변형되었다.

선행 연구 기법들은 모든 노드들이 파장 변환기를 가지고 있는 Full conversion을 가정하고 있다. 모든 노드들이 모든 파장으로 변환할 수 있는 변환기를 보유하고 있다면 매우 낮은 블러킹을 보장하는 안정적인 네트워크를 구성하지만 현실적으로 막대한 비용이 소요될 것이다.

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 연결이 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. 각 행과 열은 파장 번호를 나타내며, 자기 자신으로 1을 취할 경우 그 파장은 다른 파장으로 변환이 불가능하다.

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.

N : 전체 노드의 개수, s : 근원지 노드(source node)
 d : 도착지 노드(destination node), w_i : 파장 i
 R_i : 잔여 링크들의 집합, $E_i^*(s, d)$: 잔여 링크 순서쌍
 $M_w(s, d)$: 잔여 링크 순서쌍 중 가장 길이가 긴 것
 $C_w^*(s, d)$: $M_w(s, d)$ 과 노드가 중복되는 순서쌍
 $P_n(w_i, w_j)$: 노드 n 에서 w_i 에서 w_j 로 파장 변환 여부
 사용 가능한 링크들 중 각 파장별로 순서쌍 $E_i^*(s, d)$ 을

형성한다. 이들 중에서 가장 길이가 긴 것을 선택하여 $M_w(s, d)$ 로 정하고 이 순서쌍과 경로가 중복되는 잔여 링크 순서쌍들을 조사하여 후보자 $C^k(s, d)$ 로 정한다. 선택된 후보자중에서 가장 길이가 긴 순서쌍부터 $M_w(s, d)$ 과 중복되는 노드들을 찾는다. 중복되는 노드들의 순열 행렬을 참고하여 파장 변환이 가능한지의 여부를 알아본다. 파장 변환이 가능하면 파장 변환을 하여 $M_w(s, d)$ 의 앞이나 뒤에 $C^k(s, d)$ 를 덧붙인다. 덧붙여진 잔여 링크 순서쌍을 중심으로 다시 노드가 중복되는 잔여 링크 순서쌍 후보들을 찾아내어 링의 길이만큼 집합을 만들 수 있을 때까지 덧붙여 준다. 만약 파장 변환이 불가능하다면 다른 후보자에서 파장 변환 여부를 살펴본다. 찾아진 후보자중에서 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 $E^k(s, d)$ 순서쌍들이 없을 경우에만 형성된다. 최대한 원이 되려는 것은 요청(request)이 들어왔을 경우 이를 만족할 수 있는 최적의 조건은 링 토폴로지에서는 원이어야 한다. 이는 잠재적으로 블러킹을 방지할 수 있다.

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 남겨둠으로써 어떤 트래픽이 요구되더라도 수용할 수 있도록 하기 위한 이 알고리즘의 목적을 살리기 위해서이다.

제 4 장 성능평가 및 결과분석

이 장에서는 앞에서 제안한 파장 할당 알고리즘을 실험을 통해 평가한다. 이 실험은 C Compiler를 사용하여 구현하였다.

4.1 트래픽(Traffic)

요청되는 트래픽은 실험한 시스템의 시간값을 기준으로 한 Random 분포를 따른다. 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.

4.2 성능 비교

파장 할당의 블러킹은 사용 가능한 파장의 개수, 파장 변환기 개수, 잔여 링크 집합 생성 비율에 따라서 비교할 수 있다. 그림 1에서 보이는 바와 같이 사용 가능한

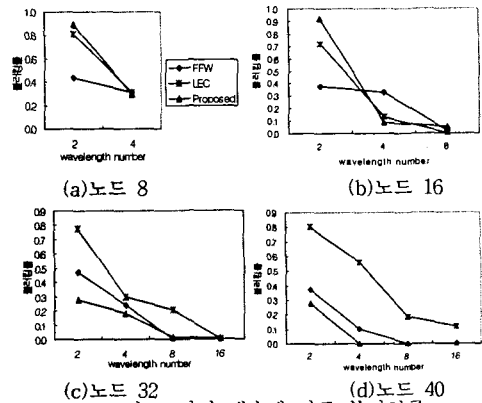


그림 1. 파장 개수에 따른 블러킹률

(변환률-100%, 잔여링크집합생성률-50%)

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

제 5 장 결론

광 네트워크의 규모가 점차 커감에 따라서 단일 홉으로 파장을 할당하기가 불가능해지고 있다. 이로 인해 파장 할당 블러킹률은 점차 높아진다.

그에 따른 해결책으로 다중 홉 네트워크로서의 파장 변환 기법이 활발하게 연구되고 있다. 하지만 각 노드들의 파장 변환 능력이나 요청되는 트래픽에 대한 가정이 일률적으로 적용되기 때문에 파장 변환기의 비용 때문에 변환기를 소유하지 않은 노드들에 대해서는 고려하고 있지 않다. 본 논문에서 제안된 기법은 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. 최대한의 잔여 링크 집합은 연속적으로 사용 가능한 링크를 비워두면서 다양한 트래픽이 할당될 수 있도록 한다.

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 성능 비교에서 최소 0%에서 최대 19%의 성능 향상을 보이며, 수행시간에 따른 성능비교에서는 LEC 기법보다는 최소 0%에서 최대 63%까지의 성능 향상을 보인다.

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, "Multiwavelength Optical Networks with Limited Wavelength Conversion", IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), December 1998, vol. 6, Issue 6, pp.744-754.