

DWDM 망에서 차등화 서비스를 위한 최적의 RWA 알고리즘 연구

이익섭*, 송현수*, 배정현*, 김성운*
*부경대학교 정보통신공학과
e-mail : islee@mail1.pknu.ac.kr

A Study on Optimal RWA Algorithms for Differentiated Service in DWDM Networks

Ik-Seob Lee*, Hyun-Su Song*, Jung-Hyun Bae*, Sung-Un Kim*
*Dept. of Telematics Engineering, Pu-Kyong National University

요 약

차세대 인터넷 백본망에서 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplex) 기술은 네트워크의 증가하는 사용자 수와 요구 대역폭을 수용하기 위한 방법으로 빠르게 수용되고 있다. RWA(Routing and Wavelength Assignment) 문제는 DWDM 네트워크에서 효율적인 자원 활용 측면에서 최적의 경로 선택과 파장 할당을 위해 중요하다. 하지만 제안된 RWA 알고리즘은 네트워크의 혼잡 상황에 대한 고려가 미비하여 네트워크의 혼잡시 성능이 제한적이다. 이를 위해 본 논문에서는 미래의 잠재적인 연결 요구에 가장 영향을 줄이는 경로를 설정하는 MIPR(Minimum Interference Path Routing) 알고리즘을 제안한다. 또, 제안된 알고리즘을 이용하여 IP 차등화 서비스에서 QoS(Quality of Service) 제공을 위해 서비스 타입별로 차등화 된 라우팅 방법을 제공한다.

1. 서론

차세대 인터넷 백본망은 광 네트워크에서 한 파이버 당 여러 파장을 다중화하여 이용할 수 있는 DWDM 기술은 네트워크의 증가하는 사용자 수와 요구 대역폭을 수용하기 위한 방법으로 빠르게 수용되고 있다. DWDM 네트워크에서 광 경로는 광 네트워크 상에서 송신 노드에서 수신노드까지 광 신호가 지나가는 루트르써, 각 경로는 광 네트워크 상의 여러 링크를 거치게 된다. 일반적으로 광 경로를 결정하기 위해 광 라우팅이 수행 된다.

RWA 문제는 DWDM 네트워크에서 광경로의 셋업 요구시에 송수신 노드 간에 최적의 경로를 선택하고, 선택된 경로에 효율적인 파장을 할당하는 문제이다. 이것은 DWDM 망에서 파장의 효율적인 이용 측면에서 중요하게 다루어 지고 있다. 즉 일정한 트래픽을 위해 자원의 이용율을 최소화하는 문제, 혹은 동적인

광경로 셋업 요구와 해제시 연결의 blocking 확률을 최소화 하는 문제로 설명된다[1].

RWA 문제의 고려와 더불어, 인터넷 백본망이 DWDM 방식으로 변화하고 데이터 위주의 인터넷 서비스에서 음성, 영상등의 멀티미디어 서비스로 발전해감에 따라, 라우팅 문제도 QoS 를 고려한 방식으로의 접근이 한층 더 요구되고 있다.

RWA 문제를 해결하기 위해서 우리는 기존의 동적 라우팅 기반의 새로운 라우팅 알고리즘을 제시한다. MIPR 이라 불리는 제안된 알고리즘은 현재의 라우팅 결과가 이후의 연결 요구에 영향을 미치는 정도를 정량적으로 평가하여 가장 영향을 덜 미치는 경로를 결정하고, 파장 할당 기법을 최적의 라우팅을 위하여 라우팅 절차 이후에 고려하는 대신 경로 설정 중간에 파장 할당을 수행한다.

또한 DWDM 네트워크에서 많은 홉을 경유하는 경로는 물리적으로 전송 품질이 떨어지는 점[2]을 고려하여 IP 차등화 서비스(Differentiated Service)의 QoS 제공을 위해 각 서비스 타입 별로 각각 차등화 된 라우팅 방법을 제공한다.

* 본 연구는 정보통신연구진흥원의 대학기초연구지원 사업 과제 지원에 의하여 수행 되었음.

이를 위해 2장에서 기존의 DWDM 라우팅 및 파장 할당 기법과 MIRP의 기본 개념에 대해 설명하고, 3장에서 네트워크 노드에서 파장 변환기의 사용 유무에 따라 차별화 된 효율적인 RWA 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 IP 차등화 서비스를 위해 DWDM 네트워크에서 차등화 된 라우팅 방법을 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 기존 연구와 MIRP

2.1. 기존의 RWA 방식

기존의 RWA 문제를 고려한 연구에서 라우팅과 파장 할당에 관한 문제는 분리되어 수행되었다. 이것은 두 절차가 상호적으로 고려되지 못하므로 최적의 성능을 가지는 데는 미흡한 점이 있다. DWDM 망에서 라우팅 방식은 크게 고정 라우팅, 교대 라우팅, 동적 라우팅 등 3 가지 방식으로 분류된다. 고정 라우팅은 주어진 송수신 노드간에 항상 같은 경로를 선택하고, 일반적으로 오프라인 상에서 최단경로 알고리즘(Dijkstra's, Bellman-Ford algorithms)을 이용하여 계산한다. 경로 선택이 단순하지만, 자원이 제한적일 때 blocking 확률이 높다는 단점이 있다. 교대 라우팅은 다중의 경로를 유지하는 방식으로 수신 노드까지 2개 이상의 고정 경로를 가지는 테이블을 유지하고, 라우팅 테이블에서 우선순위에 의해 차례로 가능한 경로를 찾는 방식이다[3]. 두개 이상의 경로는 서로 link-disjoint 한 특성을 가져야 한다. 이 방식은 고정 라우팅에 비해 연결 요구의 blocking 확률을 상당히 줄여 준다. 동적 라우팅은 수시로 변하는 네트워크 상태에 따라 송수신간 경로를 동적으로 선택한다. 이미 제안된 동적 라우팅 기법은 네트워크의 상태를 고려한 링크의 가중치를 두어 라우팅을 수행하는 ASP(Adaptive Shortest Path) 라우팅, 선택된 경로 중 가장 혼잡이 적은 경로를 선택하는 LCP(Least Congested Path) 라우팅[4] 등이 있다.

주어진 링크상에서 두 광경로가 같은 파장을 공유하지 못하게 각 광경로에 파장을 할당하는 방법이 파장 할당 기법이다. Random, FF(First-Fit), LU(Least-Used), MU(Most-Used), Min-Product, Least-Loaded, MAX-SUM 등 많은 방식이 기존에 제안되었다[1]. 이중 FF 방식은 파장에 번호를 부여하고 사용 가능한 파장 중 가장 번호가 낮은 것부터 할당 하는 기법으로 글로벌 정보가 필요하지 않고, 간단하면서 파장의 이용이 비교적 효율적이고 여러 경로 간에 공정성 측면에서도 좋은 방식으로 현재 많이 사용되고 있다.

2.2. MIRP의 개념 및 기호 정의

DWDM 네트워크에서 일반적으로 많이 사용되는 라우팅 방식은 최소 흡수 알고리즘이다. 이 알고리즘은 송수신 노드간에 최소의 링크를 선택하므로 계산이 단순하지만 비교적 효율적인 네트워크 성능을 가진다. 하지만 프로세서 스피드의 빠른 증가에 의해, 계산 절차가 복잡하더라도 더 효율적인 알고리즘을 필요로 한다.

이 논문에서 제안되는 MIRP 알고리즘은 DWDM 네트워크에 연결 셋업 요구가 순차적으로 도착하고 이후의 연결 요구에 대한 정보를 가지고 있지 않을 때, 미래의 잠재적인 연결 요구를 가지는 많은 송수신 쌍에 영향을 줄이는 경로를 선택하는 개념이다. 비록 미래의 연결 요구는 완전하게 알려져 있지 않지만, 일반적으로 연결 요구를 생성하고 제거하는 노드 즉 송수신 노드의 쌍은 알려져 있다고 가정한다.

현재의 연결 요구가 송수신 쌍에 얼마나 영향을 주는가에 대한 값을 구체적으로 표현하기 위하여 $v(\text{maxflow value})$ 를 정의한다. 이것은 특정 송수신 쌍에 미치는 영향의 양을 측정하기 위한 파라미터이다. 즉 송수신 쌍간에 가능한 최소 흡수의 경로 중에서 병목 링크의 잔여 파장수가 최대인 경로의 값이다. 만약 특정 송수신 쌍에 연결 셋업이 요구되면 해당되는 v 값은 감소 하고, 또한 몇몇 다른 송수신 쌍의 v 값 역시 감소할 수 있다.

최소 간섭 경로는 모든 송수신쌍의 v 를 더한 값을 최대화 하는 경로를 선택한다. 이것은 미래의 연결 요구를 위해 가능한 자원을 보호할 뿐만 아니라, 링크의 failure 경우에도 경로의 재설정을 위해 가능한 자원을 제공할 수 있다.

다음은 알고리즘에 사용될 기호를 정의 하였다.

- $G(N,L,W)$: 주어진 네트워크
 → N : 노드의 집합, L : 링크의 집합
 W : 링크의 파장수
- P : 구별되는 노드 쌍의 집합
- S : 송신노드, D : 수신노드, a : 현재 연결 요구 수신 노드, b : 현재 연결 요구 수신 노드
- $\pi_{sd}(p)$: 송수신 노드 쌍의 최소 흡수 경로 p 의 링크 집합
- $R(l)$: 링크 l 의 사용 가능한 파장의 수
- S_p : 선택된 경로 P 에 속하는 가능한 파장 집합
- F_{sd} : 네트워크에서 송수신 노드간 $\pi_{sd}(p)$ 의 병목 링크의 사용 가능한 파장수
 (만약, 파장 변환기가 없으면, 송수신 노드 각각의 경로에서 S_p 의 값)
- α_{sd} : 송수신 쌍의 가중치
- C_{sd} : 송수신쌍의 $\pi_{sd}(p)$ 링크 중 혼잡 링크의 집합
 P 는 네트워크에서 알려져 있는 송수신 노드 쌍의 집합을 표현한다. $\pi_{sd}(p)$ 는 특정 송수신 노드간의 최소 흡수를 가지는 경로를 따르는 링크의 집합을 나타내고, α_{sd} 는 송수신 쌍의 가중치 값으로, 각각의 송수신 쌍에 통계적으로 얼마나 많은 연결 요구가 들어 오는가를 나타내는 수치이다. C_{sd} 는 혼잡 링크의 집합으로써 현재의 연결 요구가 설정될 때 송수신 노드쌍들의 최소 흡수 경로에 속하는 링크 중 영향을 받는 링크의 집합이다.

3. MIRP 알고리즘

DWDM 네트워크에서 파장 변환기의 사용은 파장 연속성 제약 조건을 없애고, 네트워크의 효율적 사용 측면에서 큰 영향을 미친다[5]. 하지만 현재 상황에서 파장 변환기를 전 노드에 걸쳐 사용하는 것은 비용

측면에서 바람직하지 못하다. 따라서 본 논문에서는 파장 변화기 사용 유무의 네트워크 특성에 맞춰 상이한 RWA 알고리즘을 제시한다.

3.1. 파장 변화기 사용 경우

파장 변화기를 사용하면 파장 연속성 제약이 없어진다. 따라서 파장 할당 문제를 고려할 필요가 없고 라우팅 문제는 보다 더 간단해진다. 즉 각 링크 가중치의 계산시 남아있는 파장의 양만을 고려할 수 있다. 주어진 문제를 해결하기 위해 링크를 위한 적절한 가중치를 결정하고, 가중치 값에 대한 최소 경로를 설정한다. 가중치를 결정하는 수식은 아래와 같다.

$$\max \sum \alpha_{sd} F_{sd} \quad (1)$$

$$\partial F_{sd} / \partial R(l) \quad (2)$$

$$w(l) = \sum_{(s,d) \in P \setminus (a,b)} \alpha_{sd} (\partial F_{sd} / \partial R(l)) \quad (3)$$

$$= \sum_{(s,d) \in C_{sd}} \alpha_{sd} \quad (4)$$

식(1)은 MIPR 알고리즘이 해결해야 할 문제로서, 라우팅시 각각의 송수신 노드쌍의 가중치 α_{sd} 를 가지는 송수신 쌍에서 최소 홉수 경로상의 병목 링크의 잔여 파장수와 가중치의 곱을 더한 값이 가장 커야하며, 이것은 현재 수행되는 경로설정이 다른 송수신 쌍의 미래의 경로설정에 가장 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 식(2)는 링크 l 에 파장이 할당 되었을 때, 송수신 노드 S, D 를 가지는 노드 쌍의 $\pi_{sd}(p)$ 의 병목 링크의 사용 가능한 파장 수의 변화량을 나타낸다. 식(3)은 링크의 가중치를 구하는 식으로, 링크 l 에 파장 할당이 수행시, 송수신 노드 쌍에 영향을 미치는 정도를 나타내는 식(2)와 각 송수신 쌍의 가중치 α_{sd} 를 곱하여 현재 연결 요구되는 (a,b) 노드 쌍을 제외한 나머지 노드쌍들의 값을 합한다. (4)식은 식(2)에서 링크 가 혼잡링크에 포함되면 1, 그 이외에는 0 의 값을 부여 하여 식(3)을 변형한 식이다.

(그림 1)은 파장변환기 사용시 MIPR 알고리즘을 나타내었다.

<p>INPUT : graph G(N,L,W), 송수신 노드쌍(a,b)를 가지는 연결 요구</p> <p>OUTPUT : 송수신 노드 a,b간의 경로 설정</p> <p>ALGORITHM</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 최소 홉수를 계산하고, Csd를 유지 $\forall (s,d) \in P \setminus (a,b)$ 2) 각 링크의 가중치를 계산 $w(l) = \sum_{(s,d) \in C_{sd}} \alpha_{sd}, \forall l \in L$ 3) 잔여 파장이 없는 링크를 제거 4) Dijkstra's 최소 경로 알고리즘을 사용하여 링크의 가중치 w(l)을 가진 네트워크에서 최단 경로를 계산 5) 계산된 경로를 따라 a노드에서 b노드 까지 경로 설정을 하고, 할당된 파장을 업데이트

(그림 1) 파장변환기 사용시 MIPR 알고리즘

여기서 계산된 각 링크의 가중치가 클수록 여러 송수신 노드의 최소 홉 경로에 영향을 많이 미치는 링크이므로, w(l) 값을 이용한 dijkstra's 최소 경로 알고리즘을 사용하여 최단 경로를 계산하여 가장 영향을 덜 미치는 경로를 선택한다.

3.2. 파장 변화기 미사용 경우

각 노드에 파장변환기가 존재할 때 각 링크의 가중치 계산시 잔여 파장의 양만을 고려하므로 위에서 제시한 알고리즘이 가능하다. 하지만 네트워크 노드에 파장 변화기가 없을 때, 광 경로를 따라 같은 파장을 사용해야 하는 파장 연속성 제약을 가지므로 어떤 파장이 할당되는가에 따라 링크의 가중치는 가변적이다. 이 특성은 경로 설정시 계산량의 엄청난 증가를 가져온다. 따라서 변형된 방식의 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 계산량을 줄이기 위해 링크의 가중치를 계산하는 대신, 각 송수신 쌍을 위해 최소 홉수를 가지는 미리 선택된 경로와 파장을 선택하고 유지한다. 이때 파장할당 방식은 비교적 간단하고 성능이 뛰어난 FF 방식을 선택한다. 일반적으로 선택 경로의 수는 2~4 개가 적당하며, 본 논문에서는 3 개로 한다.

만약에 선택된 경로와 파장이 할당 되었을 때, 각각 다른 송수신 노드쌍의 최소 홉수 경로에 어느 정도 영향을 미치는가에 따라 영향에 대한 차등화 된 값을 부여한다. 즉 파장이 할당되었을 때, 어떤 송수신 노드쌍의 최소 홉수 경로에 영향을 미치지 않으면 0 의 값, 영향을 미치지만 다른 사용 가능한 파장이 있을 때 0.5, 영향을 미치고 다른 사용 가능한 파장이 없을 때 1 의 값을 부여한다.

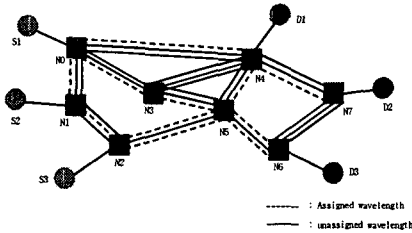
$$P_v(i) = \sum_{(s,d) \in P \setminus (a,b)} (\alpha_{sd})_i \cdot v_i \quad (5)$$

식(5)는 i 번째 미리 선택된 경로가 다른 송수신 노드쌍의 최소 홉수 경로에 미치는 영향을 나타낸 식이다. (그림 2)은 파장변환기 사용시 MIPR 알고리즘을 나타내었다.

<p>INPUT : graph G(N,L,W), 송수신 노드쌍(a,b)를 가지는 연결 요구</p> <p>OUTPUT : 송수신 노드 a,b간의 경로 설정</p> <p>ALGORITHM</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 각 송수신 노드쌍에 대해 미리 선택된 최소 홉수를 가지는 세개의 경로를 계산 2) 각 경로마다 FF 방식에 의해 파장 할당 3) 송수신 노드(a,b)를 가지는 연결 요구시, 계산된 (a,b)의 경로 각각에 대해 v값 결정 if 경로에 영향을 미치지 않을 때, v=0 else if 사용 가능한 파장이 있을 때, v=0.5 else 사용 가능한 파장이 없을 때, v=1 4) 각 경로에서 $P_v(i)$ 값 계산 $P_v(i) = \sum_{(s,d) \in P \setminus (a,b)} (\alpha_{sd})_i \cdot v_i$ 5) 계산된 값이 가장 작은 경로를 선택, 설정하고, 할당된 파장을 업데이트
--

(그림 2) 파장변환기 미사용시 MIPR 알고리즘

다음은 파장변환기 미사용시 알고리즘을 적용한 예를 제시한다. (그림 3)은 네트워크의 구성도와 사용중인 파장을 표현하였다.



(그림 3) 네트워크 구성 및 파장 사용 정보

S3-D1 연결 요구가 네트워크에 도착시, 미리 선택된 경로와 FF에 의한 파장 선택은 (표 1)과 같고, 각 송수신 노드쌍의 최소 홉 수 경로는 (표 2)와 같다.

(표 1) 선택 경로 및 파장

경로	경유 노드	할당 파장
P1	N2-N5-N4	λ_1
P2	N2-N5-N3-N4	λ_1
P3	N2-N1-N0-N4	λ_2

(표 2) 각 송수신 노드쌍의 최소 홉 수 경로

	D1	D2	D3
S1	N0-N4	N0-N4-N7	N0, N3, N5, N6
S2	N1, N0, N4	N1, N0, N4, N7	N1, N2, N5, N6
S3	N2, N5, N4	N2, N5, N6, N7	N2, N5, N6

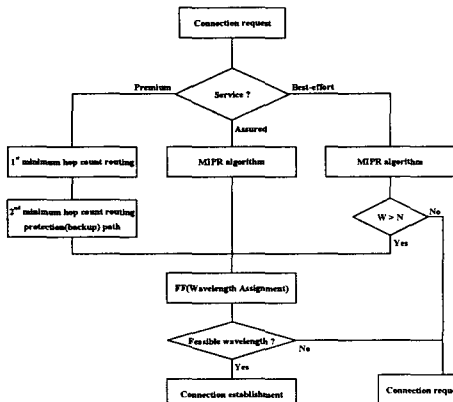
식(5)에 의해 각 경로의 $P_v(i)$ 값을 계산하면 표와 같다. 단 각 노드쌍의 가중치는 고려하지 않았다.

(표 3) 각 경로의 계산된 $P_v(i)$ 값

S-D	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-2	3-3	$P_v(i)$
P1	0	0	0	0	0	1	1	1	3
P2	0	0	1	0	0	1	1	1	4
P3	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	1

따라서 S3-D1 노드쌍에는 P3(N2-N1-N0-N4)의 λ_2 가 할당 된다. 이 경로가 이후의 다른 송수신 노드쌍의 최소 홉 수 경로에 가장 적게 영향을 준다.

4. 차등화 된 QoS 라우팅



(그림 4) 차등화 서비스를 위한 DWDM QoS 라우팅

(그림 4)는 차등화 된 QoS 라우팅을 위한 플로우 차트를 나타낸다.

IP 차등화 서비스 클래스는 premium, assured, best-effort 서비스로 분류된다. 이 장에서는 광 네트워크에서 많은 홉을 경유하는 경로는 물리적으로 전송 품질이 떨어지는 점을 고려하여, 차등화 서비스의 각 타입별로 차등화 된 DWDM 라우팅 방식을 제시한다.

우선 premium 서비스는 잔여 파장의 수에 상관없이 가능한 최소 홉 경로를 따라 경로를 설정한다. 이것은 premium 서비스의 가장 좋은 품질의 서비스를 제공해 주어야 하기 때문이다. Assured, best-effort 서비스는 앞에서 제안된 MIPR 라우팅 방식을 적용하여, premium 서비스의 최소 홉 경로를 보호한다. 또, best-effort 서비스는 선택된 경로의 병목 링크의 파장이 일정 수 이하로 남아 있을 때, premium 및 assured 서비스를 위해 block 시킬 수 있다. Premium 서비스는 통계적으로 전체 트래픽의 약 10% 밖에 차지하지 않으므로 네트워크 상태에 큰 영향은 미치지 않으면서, 상대적으로 가장 좋은 전송 품질을 유지 한다. 또한 경로의 failure 상황에 대한 경로 보호를 위해, 백업 경로를 지정 한다.

5. 결론

본 논문에서는 DWDM 네트워크에서 RWA 문제 해결을 위해 미래의 잠재적인 연결 요구에 가장 영향을 줄이는 경로를 설정하는 MIPR 알고리즘을 제안하였다. 또한, IP 차등화 서비스에서 QoS 제공을 위한 차등화 된 라우팅 방법을 제공 하였다.

향후 연구과제로는 제안된 MIPR 알고리즘과 기존의 방법에 대한 성능 비교에 대한 연구와, 최소 홉수 뿐만 아니라 DWDM 네트워크에 영향을 미치는 여러 QoS 파라미터를 고려한 RWA 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] H. Zang, Jason P. Jue and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength Routed Optical WDM Networks", Optical Networks Magazine, pp. 47- 60, Jan. 2000
- [2]. A. Jukan and H. R. van As, "Service-Specific Resource Allocation in WDM Networks with Quality Constraints," IEEE JSAC, Vol. 18, no. 10, pp. 2051- 2061, Oct. 2000
- [3] S. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Fixed-Alternate Routing and Wavelength Conversion in Wavelength Routed Optical Networks", Proc., IEEE GLOBECOM '98, vol. 4, pp. 2295-2302, Nov. 1998
- [4] L. Li and A.K.Somani, "Dynamic Wavelength Routing using Congestion and Neighborhood Information", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 7, No.5, Oct. 1999
- [5] M. Frey and T. Ndousse, "Wavelength conversion and call connection probability in WDM networks", IEEE Transactions on Communications, Vol. 49, No. 10 , pp. 1780 -1787, Oct. 2001