

특 집

DWDM 기반의 광 인터넷에서 라우팅과 파장할당(RWA)

김성운*, 배정현*, 김영부**

*부경대학교 정보통신공학과, **한국전자통신연구원

I. 서 론

통신기술의 발전과 웹(World Wide Web)의 급격한 확산에 따라 인터넷 사용자 수와 다양한 실시간 트래픽이 폭발적으로 증가하였고, 이로 인해 TDM 전송 체계 기반의 기존 인터넷망은 전송용량 부족 문제에 직면하게 되었다. 더구나 향후 트래픽 급증에 대한 예측이 어려우므로 전송 체계 설계 개념에 입각한 새로운 기술이 요구되며, 이러한 기술이 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 전송 기술을 기반의 광 인터넷이다. 즉, 스위칭 장치의 고성능화 및 전송 체계의 광대역화를 위해 광섬유에 보다 많은 광신호를 실어보내는 DWDM 망 기반의 차세대 인터넷으로 발전되고 있다.

DWDM 망 구조에서 송수신 노드간의 광신호는 광경로를 통해 전송되어지며, 광경로 설정 요구시 최적의 경로를 선택하고, 선택된 경로에 효율적인 파장을 할당하는 RWA(Routing and Wavelength Assignment) 문제가 매우 중요한 문제로 대두되었다. 즉, 이는 일정한 트래픽에 대해 파장의 사용률을 최소화하는 문제, 혹은 한정된 자원으로 광경로 설정을 최대화하는 문제로 요약된다. 그러나 두 절차를 상호 복합적으로 고려한 최적의 해결 방안을 찾기에는 RWA 문제가 매우 난이하며, 현재까지 RWA 문제를 고려한 대부분의 연구들은 라우팅과 파장할당을 각각 독립적인 문제로 분리하여 수행해 왔다.

본 고에서는 DWDM 기반의 광 인터넷에서 RWA 문제를 다양한 관점에서 분석하고, 현재까

지 제안된 다수의 접근 방식을 소개한다. 더불어 기존의 연구 동향 및 결과를 요약하고, 이를 바탕으로 앞으로의 RWA 문제 연구 방향을 전망한다.

II. RWA

1. RWA 문제 정의 및 접근방향

DWDM 망에서 RWA 문제는 송수신 노드간의 광경로 설정 요구시 최적의 경로를 설정하고(라우팅 문제) 선택되어진 경로에 효율적으로 파장을 할당하는(파장할당 문제) 문제로서, 한 파장 당 수 Gbps 이상을 제공하는 DWDM 망에서는 망 대역폭의 효율적인 사용 측면에서 매우 중요하게 고려된다. 이와 같은 RWA 문제를 해결하기 위한 연구는 트래픽 형태에 따라 크게 SLE(Static Lightpath Establishment)와 DLE(Dynamic Lightpath Establishment) 관점에서 접근되며, 각각의 특성은 다음의 설명과 같이 요약된다^[1].

먼저 SLE는 광경로 설정 요구들이 미리 알려져 있는 정적(static) 트래픽 조건하에서 고려되는 RWA 문제로서, 라우팅과 파장 할당은 오프라인상에서 수행된다. 주로 망 구축시에 이용되며, 일정한 트래픽 요청에 대해 사용되는 파장을 최소화시키면서 경로 설정을 최대화하는데 중점을 둔다. 따라서 장거리보다는 단거리 경로 설정 요구를 선택하며, 이들간의 형평성 문제가 중요한 이슈로 부각된다.

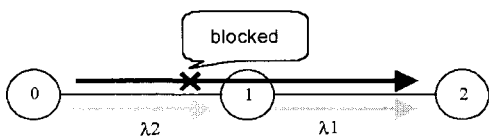
다음으로 DLE에 관한 RWA 문제는 임의의 시간에 광경로 설정이 요구되는 동적(dynamic) 트래픽 관점에서 접근되는 것으로, 실제 동적 환경하의 트래픽 전송시에 논의된다. 그러므로 이 방식은 온라인 서비스상에서 라우팅과 파장 할당을 수행하며, 경로 설정 요청에 대한 blocking 확률을 최소화시키는데 목적을 둔다.

2. 파장 변환기 유무에 따른 RWA 문제

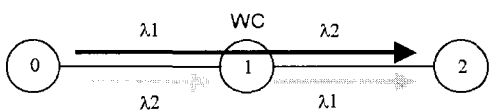
RWA 문제는 트래픽 형태 뿐만 아니라 노드에서 파장 변환(wavelength conversion) 기능을 제공하는 여부에 따라서도 고려된다.

먼저 노드에서 파장 변환기를 사용하지 않을 때, RWA 문제는 광경로내 모든 링크에서 동일한 파장을 사용해야 하는, 이른바 파장 연속성 제약조건을 만족해야 한다. 예로서, 주어진 파장이 λ_1, λ_2 이고 설정된 경로가 <그림 1>과 같은 상황일 때, 노드 0에서 2까지 연결 요청이 올 경우 이들간에는 파장 연속성을 만족하지 못하므로 경로 설정이 허락되지 않는다. 따라서 링크에 파장이 있음에도 불구하고 사용되지 못함으로 심각한 대역폭 낭비를 초래하는 문제점을 지닌다.

이에 반해 파장 변환기가 존재하는 노드에서는 <그림 2>처럼 파장 연속성 제약조건 없이 경로내 다른 파장 할당이 가능해지므로 망 대역폭의 사용 측면에서 효율적인 방법으로 고려된다. 특히, 모든 노드에서 파장 전체 영역으로 변환을 제공하는 파장 변환기가 사용될 경우에는 라우팅 문제만 고려될 뿐 파장 할당 문제는 중요치 않다.



<그림 1> 파장 변환기 없을 때 RWA 문제



<그림 2> 파장 변환기 존재 시 RWA 문제

그러나 파장 변환기가 고비용임을 감안한다면 이를 망 전체에 설치하는 것은 비용상 문제가 있고, 변환기를 최적의 위치에 선별적으로 배치하더라도 거의 동일한 성능 이득을 가질 수 있기 때문에 실제 망에서는 널리 사용되지 않는 방법이다.

따라서 DWDM 망에서는 일반적으로 파장 변환기를 제한적으로 사용하는 방식이 사용되며, 이 경우 다음의 세 가지 기법으로 요약된다^[2].

- **sparse conversion**: 파장 변환기를 최적의 위치에 배치하는 방법으로 경제적으로나 성능면에서 뛰어난 반면, 최적 위치 선정 알고리즘이 복잡하다.
- **converter sharing**: 교환기 내 다수의 신호들이 파장 변환기를 공유하는 방법으로, 설치 요구되는 파장 변환기 수는 사용되는 라우팅 알고리즘 또는 파장 할당 방식의 blocking 요구율에 의존한다.
- **제한된 영역의 wavelength conversion**: 제한된 영역 내에서 파장을 변환하는 방법으로, 식 (1)은 입력 파장에 대한 출력 파장의 범위를 나타낸다.

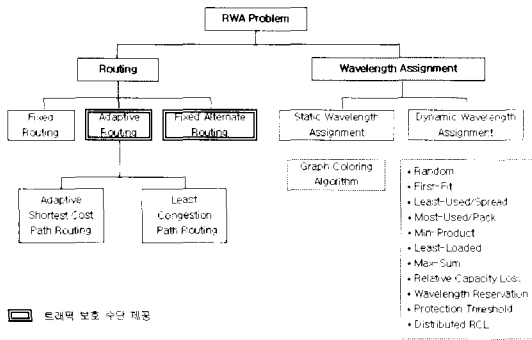
$$\lambda_i \rightarrow \lambda_{\max}(i-k, 1) \leq \lambda_o \leq \lambda_{\min}(i+k, w) \quad (1)$$

즉 링크에 w 개의 파장이 존재하고 변환 가능한 파장이 k 개 일 때, 입력파장 λ_i 에 대해서 출력파장 λ_o 는 식 (1)의 범위 내에서 할당된다.

3. 기존의 RWA 연구 동향

앞 절에서 분석된 내용처럼, RWA 문제는 트래픽 특성 및 노드에서의 파장 변환 기능 유무에 따라 여러 관점으로 접근되고 있다. 그러나 이러한 접근 방식들이 라우팅과 파장 할당을 복합적으로 고려하여 최적의 방안을 채택하기에는 어려움이 따른다^[3].

따라서 기존의 RWA 문제를 고려한 연구들은 이를 좀 더 쉽게 다루고자 라우팅과 파장 할당을 각각 독립적인 문제로 분리하여 수행해 왔으며, 현재까지의 연구 동향은 <그림 3>으로 요약된다. 전반적으로 라우팅 문제는 크게 Fixed Rou-



〈그림 3〉 현재 RWA 문제 연구동향

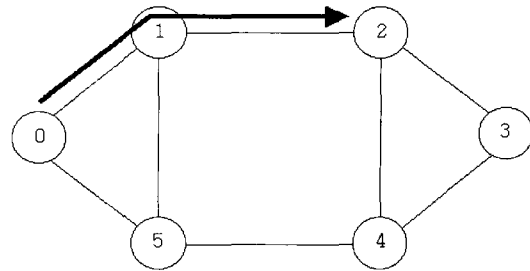
ting, Fixed Alternate Routing 및 Adaptive Routing 관점에서 고려되고 있고, 뒤의 두 라우팅 방식은 failure 발생시 전송되는 트래픽에 대한 보호 수단도 제공한다^{[4][5]}. 또한 과장 할당에 관한 문제는 정적 트래픽과 동적 트래픽 관점으로 나뉘어 다수의 연구가 진행되고 있으며, 3장과 4장에서는 RWA 문제를 해결하기 위해 제안된 방식들을 좀 더 구체적으로 논의한다.

III. Routing

광경로는 송수신 노드간에 광신호가 지나가는 길로서, 각 경로는 여러 링크를 경유하여 지나간다. 이 장에서는 광경로를 결정하기 위해 일반적으로 사용되는 라우팅 방식들 즉, Fixed Routing, Fixed Alternate Routing 그리고 Adaptive Routing의 개념을 설명한다.

1. Fixed Routing

가장 기본적인 접근 방식으로 송수신 노드 사이에 고정된 경로를 결정하고, 광경로 설정 요구시 항상 정해진 경로를 따라 라우팅하는 방식이다. 일반적으로 오프라인 상에서 최단경로 알고리즘(Dijkstras 또는 Bellman-Ford algorithms)을 이용하여 경로를 정하며, Fixed Shortest Path Routing이 여기에 속한다. 〈그림 4〉는 Fixed Routing 개념을 설명한 그림으로, 노



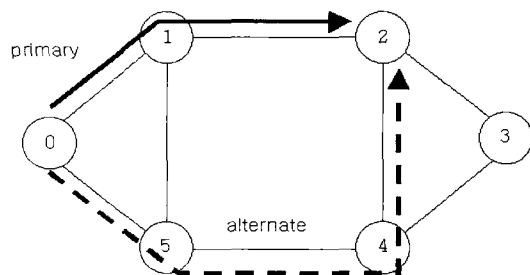
〈그림 4〉 Fixed Routing

드 0에서 2까지의 광신호는 미리 결정되어진 광경로(0-1-2)를 통해 전송된다.

따라서 경로 선택이 단순한 장점이 있지만 사용 가능한 파장수가 제한되어 있을 때 경로 설정 요구에 대한 blocking 확률이 높고, failure 발생시 링크의 fault 상태 처리가 불가능하므로 엄청난 트래픽 손실을 야기한다.

2. Fixed Alternate Routing

Fixed Alternate Routing은 송수신 노드간 다수의 예비 경로를 정해놓고 순차적으로 고려하여 해당 경로를 선택하는 방식으로, 수신노드까지 두 개 이상의 고정된 예비 경로가 라우팅 테이블에 유지되어야 한다. 즉 광경로 설정 요청시, 라우팅 테이블에서 제약 조건에 따른 우선 순위 결정으로 가능한 경로를 찾으며, 이 때 유지된 경로들은 서로 path-disjoint한 특성을 지녀야 한다. 따라서 Fixed Routing에 비해 경로 설정 요구에 대한 blocking 확률을 감소시키며, fault-tolerance 가능성을 제공한다. 또한 연결 요청시에 송수신간 두개의 path-disjoint한 경로를 선



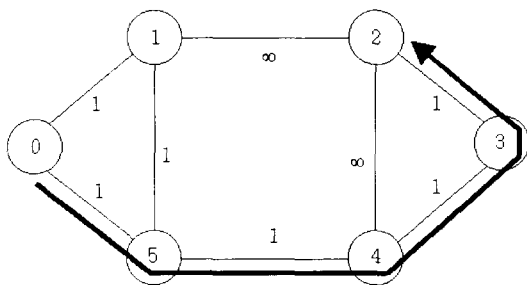
〈그림 5〉 Fixed Alternate Routing

택한 후, 이 중 하나를 백업(backup) 경로로 미리 설정해둠으로써 failure 발생시 일어나는 막대한 트래픽 손실을 방지할 수 있다. <그림 5>는 Fixed Alternate Routing 개념을 나타낸 것으로, 기본(primary) 경로는 송수신 노드 사이에 유지되고 있는 경로들 중 첫번째 경로를 나타낸다. 만약 이 길로 경로가 수락되지 못하면, 다른 교대(alternate) 경로로 결정하여 노드 0과 2사이의 연결 요청을 수행한다.

3. Adaptive Routing

Adaptive Routing은 앞 소절들에서 소개된 라우팅 기법들보다 더 효율적인 방식으로 수시로 변하는 망의 상태에 따라 송수신간 경로를 동적으로 선택한다. 즉, 광경로 설정 요구시 가변적인 망의 상태를 고려하여 송수신 노드간에 가능한 경로를 계산하고, 그 중에서 가장 최적의 경로를 선택하는 방법이다. 따라서 망의 상태를 지속적으로 고려하여 라우팅 테이블을 유지하기 위한 제어 관리 프로토콜이 요구되고, 결과적으로 Fixed나 Fixed Alternate Routing 보다는 blocking 확률이 낮다. <그림 6>은 그 예를 나타낸 것으로, 망에서 링크(1, 2)와 (2, 4)가 혼잡 상황일 때 Fixed Routing<그림 4>와 Fixed Alternate Routing<그림 5>에서는 노드 0과 2사이의 광경로 설정 요청이 block된 반면, Adaptive Routing에서는 망의 상태에 따라 다른 경로(0-5-4-3-2)로 라우팅이 가능하다.

또한 이 방식은 링크나 노드 fault에 대한 트래픽 보호 수단으로 백업 경로를 미리 설정하는



<그림 6> Adaptive Routing

protection 기법 또는, failure 발생 후 백업 경로를 동적으로 재 설정하는 rest-oration 기법도 구현 가능하므로 파장 사용의 효율성을 높게 한다. 현재 사용되고 있는 대표적인 Adaptive Routing 알고리즘은 다음과 같다.

• Adaptive Shortest-Cost Path Routing

각 링크는 실시간 적으로 망의 상황에 따른 가중치를 지니며, 이 값을 기준해서 최소 비용 경로로 라우팅하는 방식이다. 만약 동일한 비용을 지닌 경로가 다수개 존재하면 그 중의 하나가 무작위하게 선택된다. 파장 변환 기능이 제공되는 망에서도 사용이 적합하며, 이 때 파장 변환기 유무도 비용 계산의 한 요소이다.

• LCP(Least Congestion Path) Routing

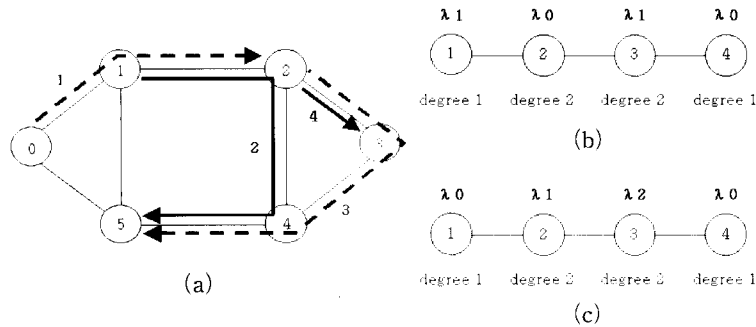
LCP Routing은 Alternate Routing과 유사하게 여러개의 가능한 경로를 미리 결정해 놓고, 이들 중 혼잡이 제일 적은 경로를 선택하는 방식이다. 일반적으로 경로 내 가장 혼잡한 링크의 잔여 파장수를 기준해서 라우팅을 수행하며, 동일한 LCP 존재시 최단거리에 우선권을 준다. 따라서 Fixed Alternate Routing 보다는 성능이 좋으나, LCP 선택에서 각 예상 경로상의 모든 링크가 시험되므로 계산이 복잡한 단점도 지닌다.

IV. Wavelength Assignment

파장 할당 방법은 DWDM망에서 광 라우팅 방식에 의해 정해진 최적의 경로를 따라 링크상에 각각의 파장을 할당하는 문제다. 즉, 주어진 링크상에서 광경로들이 동일한 파장을 공유하지 않으면서 파장을 가장 효율적으로 사용하기 위함으로, 트래픽 특성에 따라 두 가지 관점으로 나누어 접근한다.

1. Static Wavelength Assignment

송수신 간에 광경로 요청 집합이 미리 알려진 경우에 주어진 라우팅 경로를 따라 파장 할당을



〈그림 7〉 Graph-Coloring 알고리즘

수행하는 문제로서, 파장 연속성 제약조건 하에서 사용되는 파장의 수를 최소화 시키는데 중점을 두고 있다. 일반적으로 Graph-Coloring 알고리즘이 정적 파장 할당 방식에서 사용되며 절차는 다음과 같다.

1. 그래프상에 라우팅된 각각의 광경로를 노드로 표현하고, 공통의 링크를 거치는 경로(노드)들은 에지로 연결하여 그래프 $G(V: \text{노드}, E: \text{에지})$ 를 구성한다.
2. 구성된 그래프 G 의 노드를 coloring하고, 이때 에지로 연결된 노드들은 서로 다른 색깔을 칠한다. 즉, 같은 링크를 경유하는 경로들은 동일한 파장을 가지지 않도록 할당하는 것이다.

〈그림 7〉은 Graph-Coloring 알고리즘의 예로, 〈그림 7(a)〉와 같이 라우팅된 경로의 그래프 G 는 coloring 순서에 따라 사용되는 파장수가 달라진다. 이 그림에서는 degree(링크 사용의 중복도)의 높낮음으로 우선 순위를 부여하여 coloring 하였으며, (b)와 같이 degree가 높은 노드(광경로)부터 coloring(파장 할당)하는 방식이 degree가 낮은 노드부터 coloring하는 방식 (c)보다 사용되는 파장의 수를 최소화하는데 효과적이다.

2. Dynamic Wavelength Assignment

실시간 적으로 요구되는 광경로 요청에 대해 blocking 확률을 최소화하는 방향으로 파장 할

당을 수행하는 문제로서, 이 소절에서는 현재까지 제안된 Random, First-Fit, Least-Used/SPREAD, Most-Used/PACK, Min-Product, Least-Loaded, MAX-SUM, Related Capacity Loss, Distributed Related Capacity Loss, Wavelength Reservation, Protecting Threshold 등의 다양한 알고리즘들을 분석한다.^[6-10]

- R(Random)

이용 가능한 파장 중에 하나를 random하게 선택하여 경로상에 할당한다.

- FF(First-Fit)

모든 파장에 번호를 부여하고, 낮은 번호의 파장부터 순차적으로 고려하여 할당하는 방식이다. 따라서 망의 전체 정보가 필요 없고, 파장을 모두 고려할 필요가 없기 때문에 계산이 쉽다. 또한 긴 경로에 높은 번호의 파장을 할당할 수 있는 확률이 높아져 짧은 경로와 긴 경로간의 공정성면에서도 좋은 방식으로 현재 많이 사용되고 있다.

- LU(Least-Used)/SPREAD

망에서 최소(가장 빈번하지 않게)로 사용된 파장을 선택하여 할당하는 기법으로 파장들 사이의 부하 균형을 유지한다. 그러나 망 전체의 정보 관리와 복잡한 계산과정으로 실제적으로 이용하기에 어려움이 있다.

- MU(Most-Used)/PACK

LU와 반대되는 개념으로, 망에서 최대(가장 빈번하게)로 사용된 파장을 선택하여 할당하는

기법이다. 따라서 LU와 동일한 단점을 지니지만, 상대적으로 긴 경로에 파장 할당이 용이하므로 사용가능한 파장수가 적은 망에서는 효과적이다.

- MP (Min-Product)

다중 fiber 망에서 fiber 수를 최소화시키기 위해 사용되는 기법으로, 식 (2)의 값을 최소로 가지는 파장을 할당한다. 여기서 D_{ij} 는 링크 l 과 파장 j 에 사용되는 fiber 수를 나타내며, 식 (2)는 이 값을 경로를 따라 곱한 값이다.

$$\prod_{l \in \pi(p)} D_{ij} \quad (2)$$

만약 같은 값을 가지는 파장이 두 개 이상일 때는 낮은 번호의 파장을 우선적으로 선택하고, 이는 단일 fiber 망에서 FF 방식과 동일하다.

- LL (Least-Load)

경로내 가장 혼잡한 링크상에서 최소로 사용된 파장을 할당하는 방식으로, 다중 fiber 망에서 사용한다.

$$\max_{i \in s_p} \min_{l \in \pi(p)} (M_l - D_{ij}) \quad (3)$$

식 (3)에서 M_l 은 link l 의 fiber 수를 나타내며, 동일한 조건을 지닌 파장이 두개 이상일 경우에는 가장 낮은 번호의 파장을 선택한다.

- MΣ (Max-Sum)

라우팅 결과 경로가 결정된 연결 요청들을 모두 고려하여 각 파장 할당이 blocking 율에 최소로 영향을 미치도록 하는 방법이다.

- RCL (Relative Capacity Loss)

경로상에서 이용 가능한 파장 수를 고려하여 MΣ을 개선한 방식이다. 즉, 다른 경로의 blocking 율에 대한 잠재적 손실 가능성을 파장 수에 따라 상대적으로 고려하고, 이를 최소화시키는 파장을 할당한다. 따라서 MΣ보다 성능이 좋은 반면, 분산 제어 망에서는 구현이 불가능하다.

- DRCL (Distributed Relative Capacity Loss)

RCL을 분산 제어 망에서 사용하기 위해 변형한 것으로, 수신 노드를 제외한 모든 노드에 대해 RCL을 고려하므로 계산이 복잡하다.

- Rsv (Wavelength Reservation)

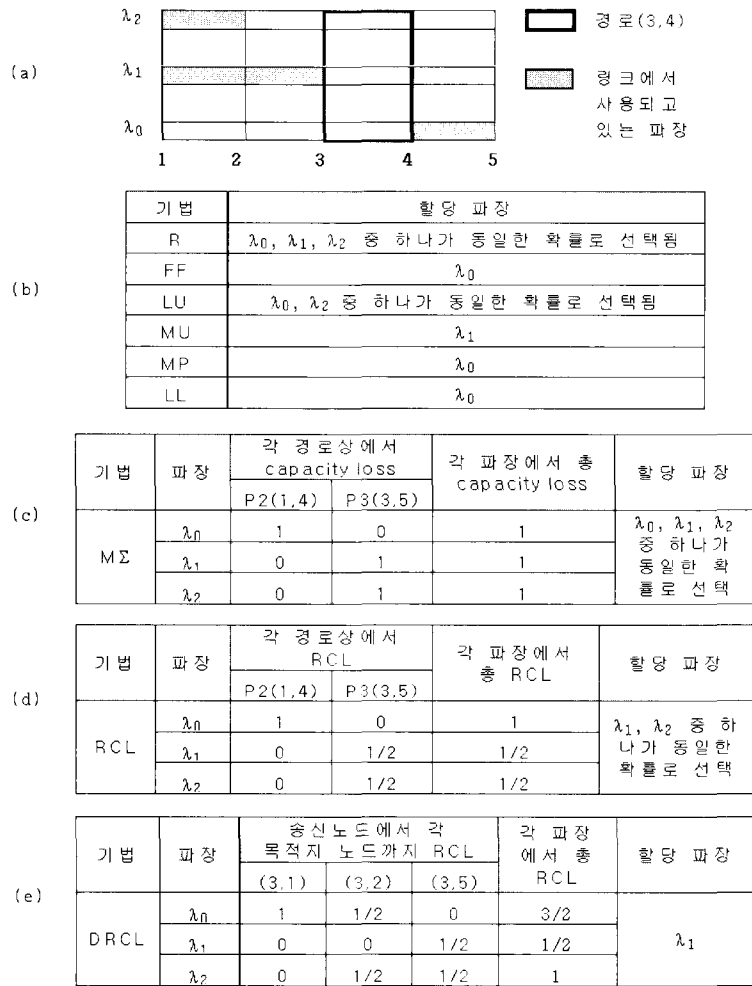
특정 링크상에서 연속된 트래픽 전송을 위해 파장을 예약하는 방식으로, multi-hop 트래픽에서 성능이 뛰어나며 다른 파장 할당 기법과 복합적으로 사용된다.

- Thr (Protection Threshold)

링크상에 이용 가능한 파장수가 주어진 threshold 값보다 크거나 같을 때 파장을 할당하는 방식으로, Rsv처럼 단독으로 사용되지 않는다.

지금까지 동적 파장 할당을 수행하기 위해 제안된 여러 기법들을 살펴보았으며, 이들을 좀 더 쉽게 접근하고자 <그림 8>과 같은 예를 제시한다. 먼저 <그림 8(a)>는 노드 5개(노드1-5)가 일렬로 연결된 단일 fiber 망으로서, 각 링크 당 3개의 파장을 사용하며 노드에서는 파장 변환 기능을 제공하지 않는다. 이 때 경로(3, 4)의 설정이 요구되면 3개의 파장 λ_0 , λ_1 및 λ_2 가 경로 상에서 고려되고, 위에서 언급한 알고리즘들을 사용할 경우 <그림 8(b)-(e)>와 같은 파장 할당 결과를 가져온다.

우선 <그림 8(b)>를 분석하면, R 방법에서는 λ_0 - λ_2 중 하나가 동일한 확률로 할당되어지며, FF 사용시에는 λ_0 가 할당된다. 여기서 λ_0 는 MP와 LL 방법에서도 할당 가능한데, 이는 단일 fiber 망에서 MP와 LL이 FF와 동일하게 동작하기 때문이다. 또한 LU는 망에서 최소로 사용되는 λ_0 와 λ_2 중 하나를 선택하고, MU는 최대로 사용되는 λ_1 을 할당한다. 그 외 MΣ<그림 8(c)>와 RCL<그림 8(d)> 방법은 경로(3, 4)와 같은 링크를 경유하는 두 개의 다른 경로(1, 4)와 경로(3, 5)를 고려하여 경로(3, 4) 설정 후에 경로(1, 4)와 경로(3, 5)의 block율에 영향을 최소로 미치는 파장을 할당하는데, 이 때 MΣ은 경로(3, 4) 설정이 경로(1, 4)와 경로(3, 5)를 block시킬 가능성이 있을 때 확률값을 1로 주고 가능성이 없으면 0을 할당하는 반면, RCL은 각 링크에 이용 가능한 파장 수에 따라 block될 확률을 상대적으로 부여한다. 다시 말해서 MΣ은 각 파장에 대하여 모든 경로에 미치는 손실 가능성을 합한 값이 제일 적은 λ_0 - λ_2 중 하나가 선택되고, RCL



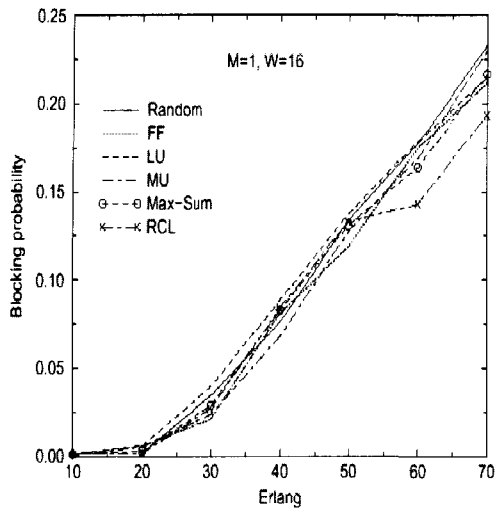
〈그림 8〉 Dynamic Wavelength Assignment 예

은 경로 손실을 상대적으로 최소화시키는 λ_1 과 λ_2 중 하나가 할당된다. 마지막으로 DRCL〈그림 8 (e)〉는 송신 노드에서 수신노드를 제외한 모든 노드까지의 RCL을 구하고, 이 값을 최소로 가지는 λ_1 을 할당한다.

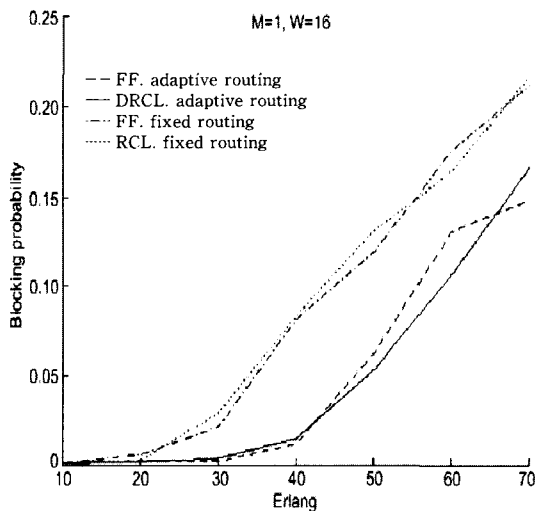
V. 결 론

본 고에서는 DWDM 망에서 매우 중요하게 다루어지는 RWA 문제를 다양한 각도에서 분석

하고, RWA 문제를 해결하기 위해 기존에 제안된 다수의 접근 방식들을 살펴보았다. 현재까지 RWA 문제에 관한 대부분의 연구들은 라우팅과 파장 할당을 각각 독립적인 문제로 다루어 왔으며, 이는 두 절차를 통합적으로 고려할 경우 하나의 요소에 대한 최적의 성능 방안이 다른 요소의 성능을 저하시키는 양면성을 띠기 때문이다. 기존에 제안된 다수의 연구 결과들을 분석해보면, RWA 문제는 파장할당 기법보다는 라우팅 방식의 선택에서 성능 차이를 크게 보였으며, 그 중에서도 Adaptive Routing 방식이 가장 뛰어나다 〈그림 9(b) 참조〉. 다른 한편으로 파장할당 측면



(a) 과장 할당 기법 비교 (Fixed Routing 동일하게 적용)



(b) 라우팅 방식 비교

〈그림 9〉 기존의 RWA 문제 연구 결과

에서는 전반적으로 부하가 작을 때 사용되는 과장 수를 줄이는 기법인 MP등이 성능이 좋으나, 부하가 높아질수록 망 전체의 과장이나 부하 균형을 고려한 RCL, LL 등이 더 우수하다(그림 9 (a) 참조). 〈그림 9〉는 단일 fiber (M : fiber 수) 망에서 16개의 과장(W : 과장 수)을 사용할 때 연결 blocking 확률 측면에서 RWA 문제를 고려한 기존의 연구 결과를 분석한 그림으로,

(a)는 Fixed Routing을 동일하게 적용하였을 때 과장 할당 기법들을 비교해 놓은 것이며, (b)는 FF와 RCL 각각의 방법들에 대해 Fixed Routing과 Adaptive Routing 방식을 모두 적용하였을 때 라우팅 방식들의 성능을 비교한 것이다.

지금까지 RWA 문제는 QoS 클래스에 관계된 트래픽 특성들을 고려하지 않고, 단지 사용되는 과장을 최소화하면서 경로 설정을 최대화하는 목적으로만 연구되어져 왔다. 그러나 인터넷이 정보 전달망의 핵심 수단으로 사용되면서 사용자들은 다양한 서비스 및 서비스 클래스 별 품질 보장을 요구하고 있으며, 이는 DWDM 망에서도 예외는 아니다. 더욱이 많은 멀티미디어 서비스 트래픽을 전송하는 DWDM 망에서 QoS가 보장된 만족한 서비스 제공 문제는 더욱더 절실하나, 단순히 기존의 방식만으로는 RWA 문제 속에 QoS를 포함하여 해결할 수 있는 방안이 없다. 따라서 QoS 측면도 고려한 RWA 문제에 대한 연구가 앞으로 이루어져야 하며, 더 나아가 멀티캐스트 측면에서도 이에 대한 고려가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Choi, N. Golmie, F. Lapeyrere, F. Mouton, and D. Su, "Classification of Routing and Wavelength Assignment Schemes in DWDM Networks", OPNET, pp.1109-1115, Jan. 2000
- [2] J. Iness and B. Mukherjee, "Sparse Wavelength Conversion in Wavelength-Routed WDM Networks", Photonic Network Communications, vol.1, pp. 183-205, Nov. 1999
- [3] 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

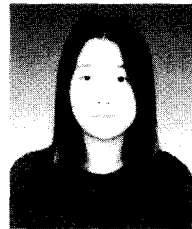
- [4] S. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Fixed-Alternate Routing and Wavelength Conversion in Wavelength Routed Optical Networks", IEEE/GLOBECOM, vol.4, pp.2295-2302, Nov. 1998
- [5] L. Li and A. K. Somani, "Dynamic Wavelength Routing using Congestion and Neighborhood Information", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.7, No.5, Oct. 1999
- [6] S. Subramaniam and R. A. Barry, "Wavelength Assignment in Fixed Routing WDM Networks", IEEE/ICC, vol.1, pp.406-410, June 1997.
- [7] E. Karasan and E. Ayanoglu, "Effects of Wavelength Routing and selection Algorithms on Wavelength Conversion Gain in WDM Optical Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.6, no.2, pp.186-196, Apr. 1998
- [8] A. Birman and A. Kershenbaum, "Routing and Wavelength Assignment Methods in Single-Hop All-Optical Networks with Blocking", IEEE/INFOCOM, vol.2, pp.431-438, Apr. 1995
- [9] R. A. Barry and S. Subramaniam, "The MAX-SUM Wavelength Assignment Algorithm for WDM Ring Networks", OFC 97, Feb. 1997.
- [10] X. Zhang and C. Qiao, "Wavelength Assignment for Dynamic Traffic in Multi-fiber WDM Networks", IC3N, pp.479-485, Oct. 1998

저자 소개



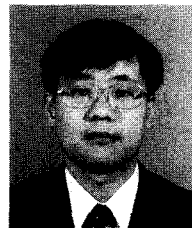
金成寬

1990년 8월 프랑스 국립 파리 7 대학교 정보공학과 석사, 1993년 8월 프랑스 국립 파리 7 대학교 정보공학과 박사, 1982년 12월~1985년 9월: 한국 전자통신연구원, 연구원 1985년 10월~1995년 8월: 한국통신 연구개발본부, 연구실장, 1995년~현재: 부경대학교 정보통신과 부교수, 2000년 8월~2001년 7월: 미국 NIST 초빙연구원, DARPA 과제 수행, <주관심 분야: DWDM optical network, RWA, QoS, GMPLS, protocol engineering>



裴丁賢

2001년 2월 부경대학교 정보통신공학과(공학사), 2001년 3월~현재: 부경대학교 정보통신공학과 석사 1년, <주관심 분야: RWA, DWDM optical network, QoS>



金榮夫

1982년 한양대학교 전기공학과(공학사), 1984년 한양대학교 전기공학과(공학석사), 1984년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원, 광네트워크구조팀장, <주관심 분야: 광인터넷, 광인터넷 진화 전략, 네트워크 구조 및 망 계획, 개방형 네트워크 구조>