

차세대 광인터넷 백본망에서 차등화 서비스 제공을 위한 RWA 알고리즘

(RWA Algorithm for Differentiated Service in Next
Generation Optical Internet Backbone Networks)

송현수[†] 배정현[†] 김성운^{**}

(Hyun-Su Song) (Jung-Hyun Bae) (Sung-Un Kim)

김영부^{***} 이현진^{****} 이재동^{*****}

(Young-Boo Kim) (Hyun-Jin Lee) (Jae-Dong Lee)

요약 차세대 인터넷 백본망에서 DWDM 기술은 인터넷 사용자의 증가와 그에 따른 요구 대역폭을 수용하기 위한 방안으로 점점 더 많은 관심이 집중되고 있다. 이러한 DWDM 망에서는 연결 요구에 대해 최적의 경로를 선택하고, 선택된 경로에 효율적으로 파장을 할당하는 RWA 문제가 자원 효율성 측면에서 매우 중요하다. 그러나 기존의 RWA 알고리즘들은 네트워크 상의 혼잡 상황을 고려하지 않아 성능이 매우 제한적이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 미래의 잠재적인 연결 요구에 대해 간섭을 최소화하면서 경로를 설정하는 MW-MIPR 알고리즘을 제안하고, 또한 차등화된 QoS 클래스 기반에 MW-MIPR 알고리즘을 적용함으로써 서비스 타입별로 차등적인 QoS 라우팅 방식을 제안한다. 그리고 기존의 알고리즘들과의 성능 비교를 통해 제안된 알고리즘의 효율성을 검증하였다.

키워드 : DWDM, RWA, MW-MIPR, QoS, OSNR, 보호 기법, 회복 기법

Abstract In the Next Generation Internet(NGI) backbone network, a Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) technology has been more and more highlighted to cover the increasing subscribers and bandwidth requirement. For such a DWDM network, Routing and Wavelength Assignment (RWA) is the essential problem to establish the optimal path and assign a wavelength efficiently to the selected path in resource utilization. However, the existing RWA algorithms do not consider the congestion in the network so that the performance of them is so limited. To solve this problem, in this paper, we introduce a new RWA algorithm, called Multi Wavelength-Minimum Interference Path Routing (MW-MIPR) that establishes a routing path to minimize the interference for many potential future connection setup request. And then, we also propose a wavelength-routed QoS routing scheme based on differentiated QoS classes with applying MW-MIPR algorithm. Simulation results are also given to prove the efficiency of the proposed algorithms.

Key words : DWDM, RWA, MW-MIPR, QoS, OSNR, Protection, Restoration

· 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10526-0) 지원으로 수행되었음

[†] 비 회 원 : 부경대학교 정보통신공학과
dukdsong@hanmail.net
bluefu@hanmail.net

^{**} 정 회 원 : 부경대학교 정보통신공학과 교수
kimsu@pknu.ac.kr

^{***} 비 회 원 : 한국전자통신연구원 네트워크구조팀 팀장
ybkim@etri.re.kr

^{****} 비 회 원 : 한국전자통신연구원 연구원
petrus@etri.re.kr

^{*****} 비 회 원 : 경남정보대학 IT학부 교수
jdlee@kit.ac.kr

논문접수 : 2003년 5월 15일

심사완료 : 2003년 11월 25일

1. 서론

통신기술의 발전과 웹(World Wide Web)의 급격한 확산에 따라 인터넷 사용자 수와 다양한 실시간 트래픽이 폭발적으로 증가하게 되었고, 이로 인해 기존의 인터넷망은 대역폭 부족문제에 직면하게 되었다. 또한 향후 멀티미디어 서비스와 같은 실시간 트래픽의 급증을 예측하기가 어려우므로 새로운 설계 개념에 입각한 기술 혁신이 요구되며, 이것을 해결하기 위한 방안이 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 전송 기술

을 기반으로 하는 광 인터넷이다. 즉, 스위칭 장치의 고성능화와 전송 체계의 광대역화를 위해 광섬유에 보다 많은 광 신호를 실어 보냄으로써 대역폭 부족 문제를 해결할 수 있다[1].

DWDM 망에서는 한 파장 당 수~수십 Gbps의 트래픽이 고속으로 전송되므로 망 대역폭의 효율적인 사용 측면에서 광경로 설정 요구시 최적의 경로를 선택하고 선택된 경로에 효율적인 파장을 할당하는 RWA (Routing and Wavelength Assignment) 문제가 매우 중요하게 다루어지고 있다.

또한 RWA 문제와 더불어, 차세대 인터넷 백본망이 TDM 망에서 DWDM 망으로 변화하고 데이터 위주의 인터넷 서비스에서 음성, 영상 등의 멀티미디어 서비스로 발전해감에 따라 RWA 문제도 QoS를 고려한 방식으로의 접근이 한층 더 요구되는 실정이다.

본 논문에서는 RWA 문제들을 해결하기 위하여, 기존의 TDM 기반의 MPLS 망에서 사용되는 Traffic Engineering 개념이 적용된 MIR(Minimum Interference Routing) 알고리즘[2]을 확장하여, 다중 파장이 사용되는 DWDM 망 환경에 적용한 MW-MIPR(Multi Wavelength-Minimum Interference Path Routing) 알고리즘을 제안하고, 또한 이를 차등화된 QoS 기반에 적용함으로써 서비스 타입별로 차등화된 QoS 라우팅 방식도 제안한다.

본 논문의 2장에서는 기존의 RWA 분야의 연구 동향

에 대해서 살펴보고, 3장에서는 MW-MIPR 알고리즘을 제안하고, 또한 다중 파장의 효율적 사용을 위해 파장 할당 방식까지 동시에 고려하여 파장 변환기의 사용 유무에 따라 그 특성에 맞는 형태로 MW-MIPR 알고리즘을 제안한다. 다른 한편으로는 다양한 사용자 요구에 맞는 서비스 제공을 위해 생존성 및 전송 품질 등의 QoS 파라미터를 도입하여 서비스 클래스별 차등화 된 QoS 라우팅 방식을 4장에서 제안한다. 그리고 5장에서는 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 기존의 알고리즘들과의 성능을 비교 및 분석한다.

2. 기존의 RWA 연구동향과 MIR 알고리즘

2.1 기존의 RWA 연구동향

현재 RWA 분야의 연구동향은 트래픽 특성 및 파장 변환 기능에 따라 여러 관점으로 접근되고 있다. 그러나 RWA 문제가 매우 복잡하고 난이하기 때문에 라우팅과 파장 할당을 복합적으로 고려한 최적의 해결 방안을 모색하기에는 어려움이 따른다. 따라서 현재 RWA에서 진행중인 대부분의 연구들은 라우팅과 파장할당을 각각 독립적인 문제로 분리하여 수행해왔다[3].

그림 1은 현재까지의 RWA 분야의 연구 동향을 도식으로 보여주고 있다. 전반적으로 라우팅 문제는 크게 Fixed Routing, Fixed Alternate Routing 및 Adaptive Routing 관점에서 고려되고 있으며, 뒤의 두 라우팅 방식은 망 장애시 전송되는 트래픽에 대한 보호 수단도

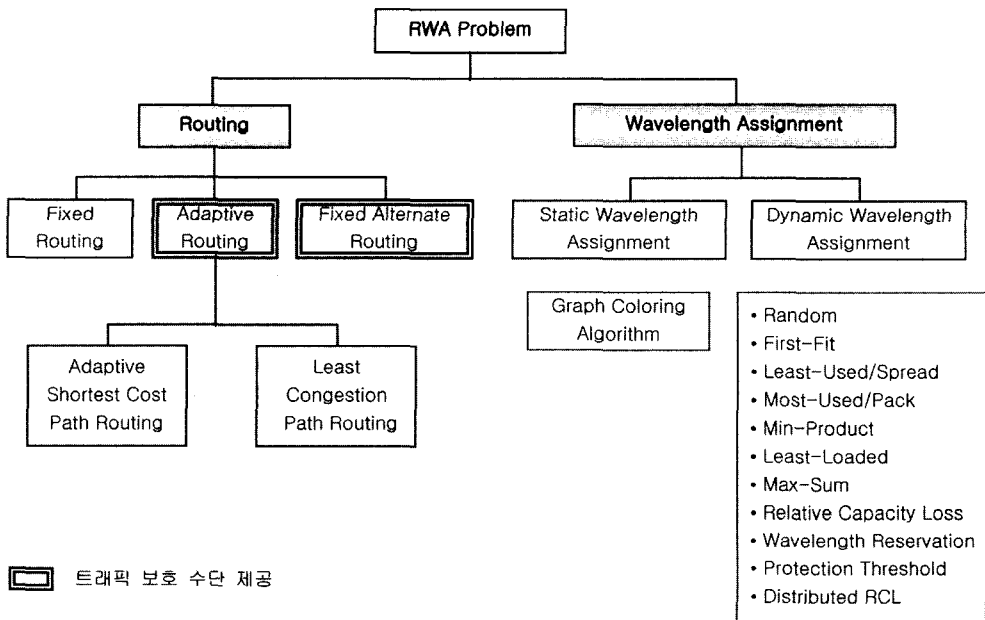


그림 1 현재 RWA 연구동향

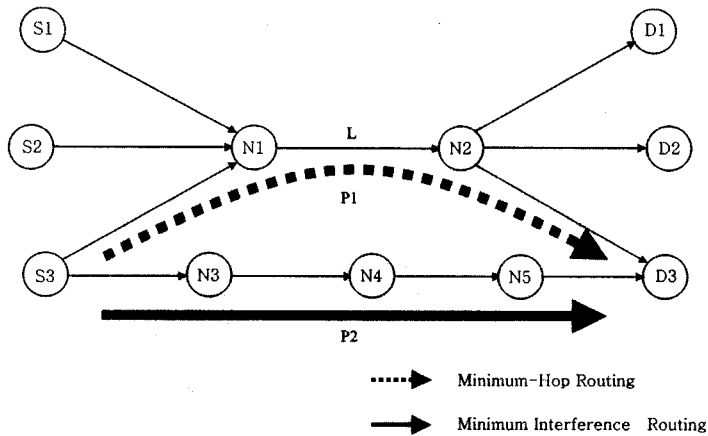


그림 2 Minimum Interference Routing(MIR)

제공한다[3]. 일반적으로 라우팅 방식은 현재 네트워크 상황을 고려하여 동적으로 경로를 설정하는 Adaptive Routing이 사용된다.

RWA 문제에서 파장 할당 문제는 트래픽 특성에 따라 두 가지 관점으로 나뉘어 연구되고있다. 먼저 광경로 설정 요구들이 미리 알려져 있고, 주로 망 설계 시 고려되는 정적인 트래픽 상황에서는 주로 graph coloring[3] 기법이 사용되며, 다음으로 임의의 시간에 광경로 설정이 요구되고, 실제 트래픽 전송에 사용되는 동적 트래픽 상황에서는 그림 1에서 제시된 동적 파장 할당(Dynamic Wavelength Assignment) 카테고리의 여러 가지 방식들이 적용된다[1,4]. 그림 1에 제시된 여러 가지 파장 할당 기법들은 제작각 특성들이 모두 다르므로 파장 할당 기법을 실제 적용시에는 망 토폴로지와 내부 구성상의 특성에 따라 적절하게 선택해야 한다.

본 논문에서는 라우팅 방식으로 동적 라우팅 기반(Adaptive Routing)에서 MPLS 망의 Traffic Engineering 기법이 적용된 MIR(Minimum Interference Routing) 알고리즘[2]을 확장하여, DWDM 망에서 최적의 효율성을 가질 수 있는 MW-MIPR 알고리즘을 제안하고, 파장 할당 방식으로는 계산량에 비해 비교적 성능이 뛰어난 기존의 FF(First Fit)[3] 방식을 적용하였다.

기존에 제안된 연구들을 분석해보면 일반적으로 파장 할당 방식보다는 라우팅 방식의 선택이 효율성에 더 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[3]. 따라서 본 논문에서는 라우팅 방식에 중점을 두나, 파장 할당 방식을 동시에 고려함으로써 파장 변환기 사용 유무에 따라 효과적인 알고리즘을 제시한다.

2.2 MIR(Minimum Interference Routing) 알고리즘

TDM 기반의 MPLS 망에서 사용되는 대부분의 라우팅 방식들은 동적 라우팅 방식의 최소 홉수 알고리즘을

기반으로 하고 있다. 이러한 알고리즘들은 송수신 노드 간에 최소의 링크를 선택하므로 계산은 단순하지만, 최소 홉수 경로 상에 트래픽이 집중되는 현상으로 인해 자원의 효율적인 사용 측면에서는 비효율적이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 현재 진행중인 몇몇 연구에서 광경로 사이의 간섭을 최소화하고, 대역폭 보장에 중점을 둔 라우팅 방식들이 제안되었다[2,5,6]. MIR 알고리즘[2]은 MPLS 망에서의 Traffic Engineering 기법을 적용하여, 특정 광경로에 부하의 집중을 방지하기 위해 제안된 방식이다.

예를 들면, 그림 2에서 송수신 노드 쌍(S3,D3) 사이에 최단 경로 P1이 결정되었을 때, 선택된 경로가 혼잡 링크 L을 경유하기 때문에, 미래에 연결 설정을 요청하는 다른 송수신 쌍들 (S1,D1)와 (S2,D2)는 잠재적으로 블록을 경험할 확률이 높다. 따라서 최소 홉수 경로 보다 홉수는 많지만 다른 송수신 쌍에 대해 최소한의 영향을 미치는 경로 P2를 선택하는 것이 효율적이다.

이와 같이 MIR 알고리즘은 병목 링크에서의 혼잡 상황에 의한 자원 낭비 문제를 해결하기 위해 제안된 방식으로 미래의 잠재적인 연결 요구를 가지는 많은 송수신 쌍들에 대해 영향을 최소화하는 최적의 경로를 선택한다. 여기서 구해진 최소 간섭 경로는 미래의 연결 요구를 위해 가용한 자원을 보호할 뿐만 아니라, 링크의 장애 시에도 경로의 재설정을 위한 자원을 제공할 수 있다.

병목 링크에서의 트래픽 집중으로 인한 대역폭 낭비 문제는 고속, 고대역폭의 트래픽을 전송하는 DWDM 망에서 더욱더 심각해질 수 있으며, 또한 단일 파장을 사용하는 MPLS 망과는 달리 다중 파장이 사용되는 DWDM 망에서는 파장의 효율적인 사용을 위해 파장 변환 기능에 대한 고려가 반드시 요구된다. 따라서 본

논문에서는 MPLS 망 기반에서 제안된 방식들을 DWDM 망의 특성에 맞게 확장하여, 라우팅 방식뿐만 아니라 파장 할당 방식까지 동시에 고려하여, 파장 변환기의 사용 유무에 따라 각각의 특성에 맞는 라우팅 방식을 제안한다.

3. MW-MIPR(Multi Wavelength-Minimum Interference Path Routing) 알고리즘

일반적으로 DWDM 망에서는 경로상의 모든 링크에서 동일한 파장을 사용해야 하는 파장 연속성 제약 조건을 가진다. 하지만 이러한 제약 조건은 파장 변환기의 사용으로 해결될 수 있으며, 또한 망 자원을 효율적으로 이용할 수 있다[7,8]. 따라서 본 논문에서 제안하는 MW-MIPR 알고리즘에서는 라우팅 문제뿐만 아니라, 파장 할당 문제까지 동시에 고려하여, 파장 변환기의 사용 유무에 따른 망의 특성에 맞는 최적의 알고리즘을 제시한다.

알고리즘 제시에 앞서 파장 변환기를 사용할 경우와 사용하지 않을 경우, MW-MIPR 알고리즘에서 사용되는 기호들을 다음과 같이 정의한다.

- N: 노드의 집합, L: 링크의 집합, W: 링크의 파장수
 - P: 연결 요청이 가능한 잠재적인 노드 쌍들의 집합
 - (s,d): 송,수신 노드 쌍
 - (a,b): 현재 연결 설정을 요구하는 노드 쌍
 - P_{sd}(i): 송,수신 노드 쌍(s,d)의 i번째 최소 흡수 경로 (P_{sd}: 최소 흡수 경로, i=1)
 - π_{sd}(P_{sd}(i)): 송수신 노드 쌍(s,d)의 최소 흡수 경로 P_{sd}(i)의 링크 집합
 - R(l): 링크 l의 사용 가능한 파장의 수
 - λ_{sd}(P_{sd}(i)): 송수신 노드간 π_{sd}(P_{sd}(i))에서 이용 가능한 파장 집합 중 파장 연속성 제약 조건을 만족하는 파장들의 집합
 - F_{sd}: 망에서 송수신 노드간 π_{sd}(P_{sd}(i))의 병목 링크의 사용 가능한 파장수
 - α_{sd}: 송수신 쌍의 가중치
 - C_{sd}: 송수신 쌍의 π_{sd}(P_{sd}(i)) 중 혼잡 링크의 집합
 - Δ: R(l)의 임계치(=0.3W)
 - Q_{sd}(P_{sd}(i)): i번째 최소 흡수 경로 P_{sd}(i)에 할당된 파장
- MW-MIPR 알고리즘에서는 α_{sd}와 C_{sd}가 가장 중요하게 사용되는 파라미터들이다. 이 중 α_{sd}는 송수신 쌍의 가중치를 나타내는 값으로, 각각의 송수신 쌍에 대해 통계적으로 얼마나 많은 연결 요구가 들어오는가를 나타내며, C_{sd} 파라미터는 현재의 연결 요구에 대한 경로 설정을 할 때, 다른 송수신 노드 쌍들의 최소 흡수 경로에 속하는 링크 중 현재의 연결 요구에 의해 설정된 경로와 트래픽 전송시 서로 공유하는 링크의 집합이다.

링크의 잔여 파장에 대한 임계치를 나타내는 파라미터 Δ를 정의하여 자원의 효율적 사용을 고려한다. 즉 Δ

값이 너무 크게 되면 혼잡 링크상으로 미래에 연결 설정을 위해 미리 예약되는 자원이 너무 많으므로 자원 낭비가 발생하며, 반면 너무 작게 되면 미래의 연결에 대해 잠재적으로 블록률이 높아질 가능성이 높게 된다. 시뮬레이션에 의하면 Δ값은 0.2W~0.4W 정도가 적당하나, 본 논문에서는 반복적인 실험을 통해 최적의 결과를 가져온 0.3W를 적용했다.

3.1 파장 변환기 사용시 MW-MIPR

파장 변환기를 사용할 경우, 파장 연속성 제약 조건이 없어진다. 따라서 파장 할당 문제는 경로 상의 링크에 잔여 파장이 존재하지만 하면 파장 할당이 가능하다. 그러나 본 논문에서 제안하는 MW-MIPR 알고리즘에서는 최소 간섭 경로를 선택하기 위해 잔여 파장의 임계치를 고려하여 파장을 할당한다. 주어진 문제를 해결하기 위해 각 링크에 적절한 가중치를 결정하고, 가중치 값에 대한 최소 경로를 설정한다. 다음은 가중치 결정에 사용되는 수식이다.

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

$$\begin{cases} \partial F_{sd} / \partial R(l) = 1, \text{ if } (s,d): l \in C_{sd} \cap R(l) < \Delta \\ \partial F_{sd} / \partial R(l) = 0, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} w(l) &= \sum_{\forall (s,d) \in P(a,b)} \alpha_{sd} (\partial F_{sd} / \partial R(l)) \\ &= \sum_{\forall (s,d) \in C_w \cap R(l) < \Delta} \alpha_{sd} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (1)은 MW-MIPR 알고리즘이 해결해야 할 문제로써, 경로 설정 과정에서 가중치 α_{sd}를 가지는 송수신 쌍에서 최소 흡수 경로상의 병목 링크의 잔여 파장 수와 가중치에 역수를 취한 값의 곱으로 최대화하는 문제이다. 즉, 이것은 현재 수행되는 경로설정이 다른 송수신 쌍들의 미래의 경로설정에 가장 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 식 (2)는 링크 l에 파장이 할당 되었을 때, 송수신 노드 S, D를 가지는 노드 쌍의 링크 집합인 π_{sd}(P_{sd}(i))에서 병목 링크의 사용 가능한 파장 수의 변화량을 나타내며, 링크가 혼잡링크에 포함되고, 링크의 잔여 파장이 임계치 이하이면 1, 그 이외에는 0의 값을 부여한다. 식 (3)은 링크의 가중치를 구하는 식으로, 링크 l에 파장이 할당될 때, 다른 송수신 노드 쌍들에게 영향을 미치는 정도를 나타내는 식 (2)와 각 송수신 쌍의 가중치의 역수 1/α_{sd}를 곱하여 현재 연결 설정이 요구되는 노드 쌍(a,b)을 제외한 나머지 노드 쌍(∀(s,d) ∈ P/(a,b))에서 계산된 것을 모두 합한 값이며, 이 값은 실제 경로 설정시 링크 가중치 값으로 사용된다. 식 (4)는 식 (2)에서 구해진 값을 식 (3)에 대입하여 간략화 한 것이며, 실제 경로 설정시 사용된다. 식 (3)에서 계산된 각 링크의 가중치는 그 값이 작을수록 다른 여러 송수신 노드들의 최소 흡수 경로에 영향을 적게 미

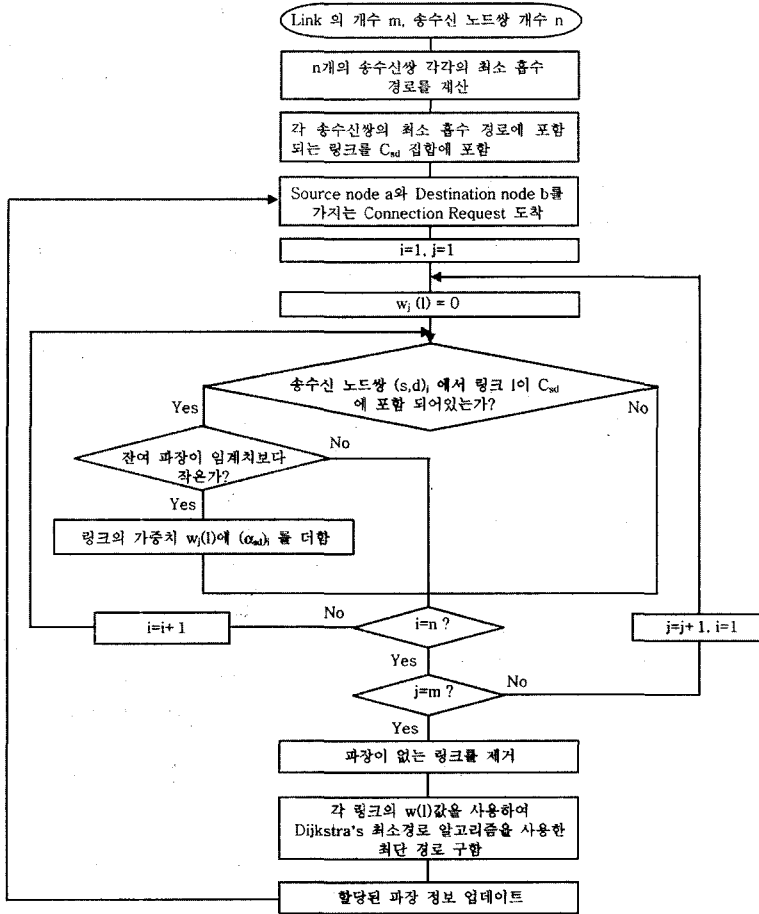


그림 3 파장 변환기 사용시 MW-MIPR 알고리즘

치는 링크이므로, Dijkstra 최소 경로 알고리즘에 가중치 $w(l)$ 을 적용하여 가장 간섭을 덜 미치면서 가능한 최단 경로를 선택한다.

그림 3은 파장 변환기 사용시 MW-MIPR 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

3.2 파장 변환기 미사용시 MW-MIPR

각 노드에 파장변환기가 존재할 때 각 링크의 가중치 계산 시 잔여 파장의 양만을 고려하므로 위에서 제시한 알고리즘이 가능하다. 하지만 네트워크 노드에 파장 변환기가 없을 경우, 광 경로를 따라 같은 파장을 사용해야 하는 파장 연속성 제약을 가지므로 어떤 파장이 할당되는가에 따라 링크의 가중치는 가변적이다. 이 특성은 경로 설정 시 계산량의 엄청난 증가를 가져올 수 있으므로, 변형된 방식의 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 계산량을 줄이기 위해 링크의 가중치를 계산하는 대신에 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 실험에 의하면 2~4개가 적당하며 본 논문에서는 3개로 한다. 다음은 파장 변환기를 사용하지 않을 경우, 가중치 결정에 사용된다.

$$\max \sum (\alpha_{sd} \cdot v_i)^{-1} \tag{5}$$

$$\left(\begin{array}{l} v_i(l)=1, \\ \text{if}(s,d): l \in C_{sd} \cap \{\Lambda_{sd} - \Omega_{sd}(p_{sd}(i))\} = \phi \\ v_i(l)=0.5, \\ \text{if}(s,d): l \in C_{sd} \cap \{\Lambda_{sd} - \Omega_{sd}(p_{sd}(i))\} \neq \phi \\ v_i(l)=0, \text{ otherwise} \end{array} \right) \tag{6}$$

$$w_p(i) = \sum_{\forall (s,d) \in P(a,b)} \alpha_{sd} \cdot v_i(l), \quad \forall l \in \pi_{ab}(p_{sd}(i)) \tag{7}$$

식 (5)는 파장 연속성 제약 조건을 가질 때, 최적의 경로를 선택할 조건이며, 식 (5)가 최대가 될 때, 선택된 경로는 혼잡 상황이 발생할 확률이 가장 낮고, 현재 트

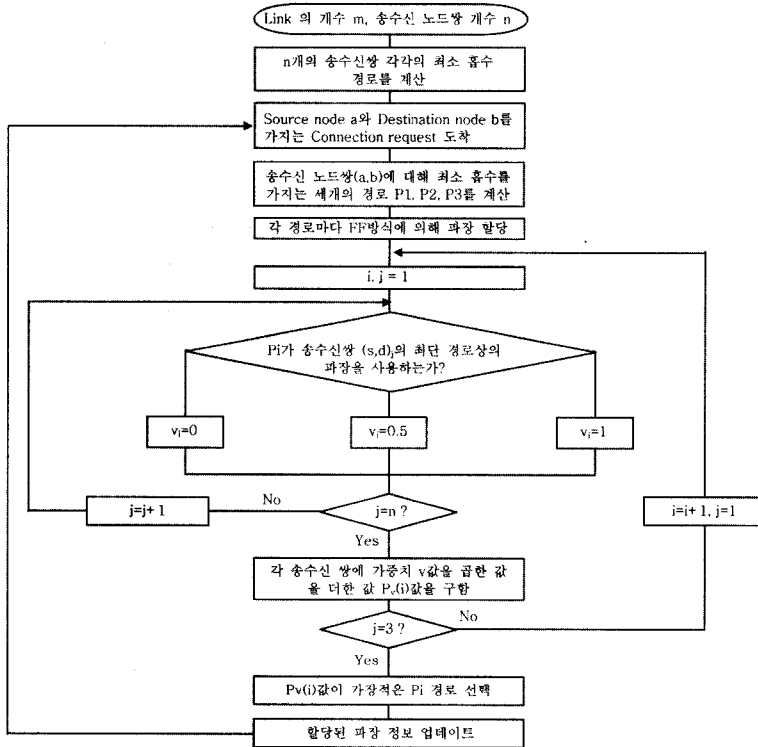


그림 4 파장 변환기 미 사용시 MW-MIPR 알고리즘

래픽량도 최소가 된다. 식 (6)에서는 만약 경로가 선택되고 파장이 할당 되었을 때, 다른 송수신 노드쌍의 최소 홉수 경로에 어느 정도 영향을 미치는가에 따라 각각 차등적인 값을 부여한다. 즉 파장이 할당되었을 때, 다른 송수신 노드 쌍의 최소 홉수 경로에 영향을 미치지 않으면 0, 영향을 미치나 가능한 파장이 있을 때는 0.5, 영향을 미치고 다른 사용 가능한 파장이 없을 때는 1의 값을 부여한다. 식 (7)은 i 번째 선택된 경로가 다른 송수신 노드 쌍의 최소 홉수 경로에 영향을 미치는 정도를 나타내고, i 개의 경로 중 미래의 연결 설정에 간섭을 최소화하는 경로, 즉 경로 가중치 $w_p(i)$ 가 가장 작은 값을 가지는 경로를 선택한다. 그리고 경로 가중치 $w_p(i)$ 는 식 (6)에 나타난 링크 당 가중치 $u_i(l)$ 와 송수신 노드 쌍간의 가중치의 곱으로 구해지며, 이 값은 실제 경로 선택 시 적용되는 수식이다. 그림 4는 파장 변환기 미 사용시 MW-MIPR 알고리즘을 나타내었다.

4. 차등화 된 QoS 라우팅

인터넷의 발전과 더불어 사용자의 서비스에 대한 요구가 다양해지고, 동시에 서비스 품질에 대한 요구가 높아지고 있다. 따라서 다양한 사용자 서비스 요구를 충족

시키기 위해 각 서비스 타입에 맞는 QoS의 고려가 필수적이다. 본 장에서는 이러한 문제의 해결 방안으로 각 서비스별로 차별화된 서비스를 제공하기 위한 QoS 파라미터를 도입하고, 각 서비스 클래스별 차등적 라우팅 기법을 제안한다.

4.1 QoS 보장을 위한 파라미터

차등화 서비스(DiffServ : Differentiated Service) 기반의 차세대 인터넷에서 제공되어야 하는 응용서비스들은 요구하는 QoS 수준에 따라 크게 Premium, Assured, Best-effort 서비스로 분류되며, QoS 보장을 위해 사용되는 파라미터들은 응용서비스가 요구하는 서비스 품질에 차별적으로 적용되어야 한다[9].

Premium 서비스는 인터넷 전화, 영상 회의, 서킷 에뮬레이션(Circuit emulation) 서비스와 같이 엄격한 실시간 요구사항을 가지는 응용서비스로 적은 손실, 지연, 지터 및 최대 전송률을 보장해 주는 서비스이다. Assured 서비스는 패킷 오디오나 패킷 비디오 서비스와 같이 네트워크의 혼잡 발생시에도 트래픽의 전송속도를 보장하는 서비스로 최소한의 통계적인 QoS를 보장한다. 최선형 서비스는 현재의 TCP와 UDP 기반에서 제공되는 서비스로써, 명시적인 QoS 보장을 요구하지 않는 서비스이다. 다음의 표 1은 앞에서 언급된 서비스 타입별

표 1 서비스 타입별 요구 사항

BER (Q)	$10^{-12}(7)$	$10^{-9}(6) \sim 10^{-7}(5.1)$	$10^{-5}(4.2)$
el.SNR	16.9 dB	15.5 dB~14.2 dB	12.5 dB
OSNR (f0=10Gbit/s)	19.5 dB	18.2 dB~16.8 dB	15.1 dB
Recovery scheme	Protection(1:1) /backup λ -LSP	Protection(N:1) /backup λ -LSP	Restoration at IP level
Resource allocation	C band : 1530nm~1565nm	L band : 1565nm~1625nm	L band : 1565nm~1625nm
Recovery time	<50msec (Detection time: <100msec)	<50msec (Detection time: <100msec)	1~100 sec (Detection time: 100msec 180sec)

요구 사항 즉, 각 서비스가 만족해야 하는 임계값을 나타낸다.

본 논문에서는 차등화 된 QoS 서비스 제공을 위해 2 종류의 QoS 파라미터를 도입한다. 첫째, 광 경로의 전송 품질에 관련된 QoS 파라미터이다. 광신호는 경로상의 구성요소 즉, OXC(Optical Cross-Connects), 파이버(fiber) 세그먼트, EDFA(Erbium Doped fiber Amplifier) 등을 지나면서 지터, 원더(wander), 간섭(crosstalk), ASE(Amplified Spontaneous Emission) 등의 원인으로 인해 신호의 손상을 입게 된다. 전송 신호의 손상은 목적지 노드를 향해 신호가 전달되면서 축적되기 때문에 광신호의 품질을 급격하게 저하시킨다. 대부분의 이러한 손상들은 수신 노드에서 BER을 계산함으로써 예측이 가능하다. 그러므로, BER은 광경로의 성능을 측정하는데 있어 매우 중요한 파라미터가 된다. 그러나 BER을 광 레벨에서 직접적으로 측정하기는 매우 어렵기 때문에 Q-factor를 사용하여 BER을 추정한다.

Q-factor는 시스템이 통계적인 가우시안 잡음을 발생한다고 가정했을 때, SNR(Signal to Noise Ratio) 값을 측정할 것이며, eye diagram의 측정값이 기반이 된다 [10]. 따라서 전송 품질에 관련된 QoS 파라미터는 다음의 (8), (9), (10) 식에 의해 결정되고[11], 측정된 SNR 값은 전체 경로상의 모든 링크에서 값이 제한되는 link constraint를 따르게 된다. 서비스 타입별 BER(Bit Error Rate), el.SNR(Electrical Signal to Noise Ratio), OSNR(Optical Signal to Noise Ratio)의 임계치(threshold)는 표 1에 나타난 것과 같다.

$$BER(Q) \cong (1/\sqrt{2\pi}) \cdot (\exp(-Q^2/2)/Q) \quad (8)$$

$$el.SNR = 10 \log Q^2 \quad (9)$$

$$OSNR_{0.1nm} = \frac{(1+r)(1+\sqrt{r})^2}{(1-r)^2} \cdot \frac{Be}{Bd} \cdot Q^2 \quad (10)$$

r=0.15(extinction ratio of the transmitted optical signal)
Be=0.75x for effective electrical noise bandwidth due to bit rate fo
Bd=12.6GHz or 0.1nm(optical bandwidth for OSNR measurement)

둘째, 서비스 타입별로 차별적인 생존성 메커니즘을 고려한다. QoS를 고려한 경로 설정시 Q-factor를 고려

한 BER과 OSNR은 실질적인 경로 설정 metric으로 사용되나, 생존성은 망의 보호 수단으로 전송 도중 장애 발생시 고려되는 요소이다. DWDM 망에서는 대용량의 트래픽이 고속으로 전송되므로 망 장애 시 정보의 손실이 매우 크다. 따라서 광경로 보호가 QoS 보장의 중요한 부분을 차지한다. 일반적인 DWDM 망의 생존성 메커니즘은 모든 플로우에 같은 보호 수준을 제공하였다. 그러나 이러한 방식은 거대한 백본 망에서 자원 이용이나, QoS 보장 측면에서 매우 비효율적이다. 따라서 망 생존성 모듈은 서비스 타입에 기반을 둔 보호 메커니즘의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 서비스별 차별화 된 생존성 보장을 위해 Premium, Assured, Best-effort 서비스에 대해 각각 1:1 보호(protection), N:1 보호(protection), 회복(restoration) 기법을 적용한다[12-14].

4.2 차등화 QoS 라우팅 방식

광 네트워크에서 많은 흐름을 점유하는 경로는 물리적으로 전송 품질이 떨어지는 점을 고려하여, 앞에서 분류된 차등화 서비스의 각 타입 별로 차등화 된 DWDM 라우팅 방식을 제시한다. 고려되는 QoS 속성은 라우팅 알고리즘, 생존성, 파장 할당 방식 등이다.

우선 라우팅 방식 측면에서, Premium, Assured 서비스는 가장 뛰어난 품질의 서비스가 제공되어야 하므로, 각 링크에서 최적의 OSNR 값을 가지는 경로를 선택하기 위해 잔여 파장의 수에 상관없이 파장의 OSNR 값에 의한 라우팅을 수행한다.

$$(OSNR)_l \geq OSNR_{th}, \forall l \in p_{sd} \quad (11)$$

경로의 OSNR 값은 식 (11)에 의해 결정 되고, 경로 설정시 경로 상의 모든 링크의 OSNR_l 값이 표 1에 나타난 것과 같이 각 서비스 타입에 대한 요구 사항(OSNR_{th})을 만족해야 한다. 따라서 OSNR 값에 의해 경로 설정이 수행되면, 표 1에 나타난 것과 같이 Premium 서비스에 대해서는 실질적으로 전송 품질이 우수한 파장 대역인 C band(1530nm~1565nm) 대역으로 경로가 설정되며, Assured 및 Best-effort 서비스에 대해서는 그보다 낮은 대역인 L band(1565nm~

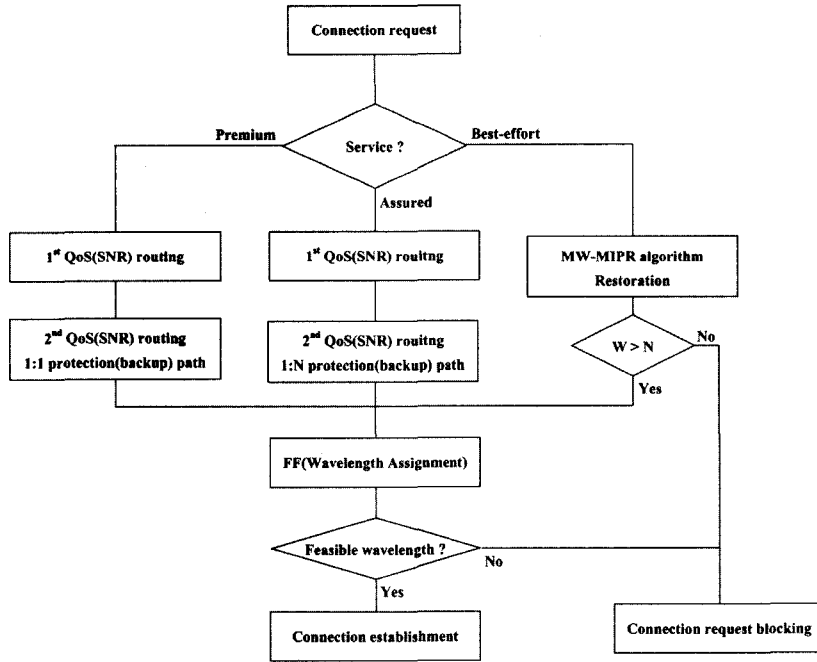


그림 5 차등화 된 QoS 라우팅

1625nm) 대역에서 경로가 설정된다. 이 때, Assured 서비스와 Best-effort 서비스에 대해서는 같은 파장 대역을 사용하나 Assured 서비스에 대해 파장을 할당에 우선권이 있다.

또한 망 장애시 광경로를 보호하기 위해, 서비스 별로 차등화 된 생존성 기법을 제공한다. 우선 Premium 서비스는 링크의 장애 시 미리 예약된 전용의 백업 경로를 통해 생존률을 100% 보장할 수 있는 (1:1) 보호(Protection)를 수행한다. Assured 서비스에 대해서는 백업 경로를 공유하여 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 (N:1) 보호(Protection)를 수행하며, 본 논문에서는 3:1 보호를 채택하였다. 그리고 Best-effort 서비스는 미리 자원을 예약하지 않고 장애 발생 후에 복구를 위한 경로를 탐색하는 회복(Restoration) 기법을 사용하였다. 이와 같이 생존성 기법은 각 서비스 특성에 따라 복구 시간 및 확률이 차등적으로 적용되고, 망 자원의 효율성 면에서도 좋은 성능을 가진다.

파장 할당 시, Best-effort 서비스를 위해 선택된 경로 상에서 병목 링크의 파장이 일정 수 이하로 남아 있을 때, Premium 및 Assured 서비스를 위해 블록 시킴으로써, 상위 레벨의 서비스에서 일어날 수 있는 블록을 어느 정도 제거할 수 있다.

그림 5는 앞에서 설명된 각 서비스 타입별 차등화 된 QoS 라우팅을 위한 흐름도를 나타낸다.

5. MW-MIPR 알고리즘 성능 분석 및 비교

5.1 실험 모델

본 논문에서는 제안된 MW-MIPR 알고리즘 및 차등화 된 QoS 라우팅 알고리즘의 성능 분석을 위하여 블록률에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 3장에서 제안된 MW-MIPR 알고리즘의 성능 평가를 위해 기존의 고정 및 동적 라우팅 알고리즘과 파장 변환기 사용 유무에 따라 각각 실험 결과를 비교 및 평가하였다. 그리고 4장에서 논의된 차등화 된 QoS 라우팅 방식에 대해서는 MW-MIPR 알고리즘의 성능 실험과 동일한 상황에서 성능을 비교 및 평가하였고, 또한 QoS를 고려할 경우 각 서비스 타입별 생존성 비율에 대해서도 성능 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 망의 토폴로지는 그림 6과 같이 현재 미국에서 WDM 망으로 사용되고, WDM 망 관련 대부분의 논문에서 망 토폴로지로 사용되는 NSF-

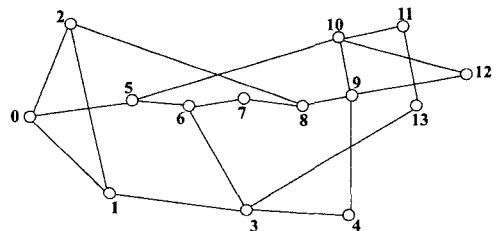


그림 6 14-노드 NSFnet

net을 채택하였다. 망 내부는 14개의 노드와 19개의 링크로 구성되어 있으며, 링크 당 파이버의 수는 1개, 파장의 수는 파이버 당 8개로 가정하였다.

경로 설정을 요구하는 송, 수신 노드 쌍들은 전체 노드 쌍들 중에서 7쌍을 임의로 선택하였고, 각각의 연결요구는 순차적으로 입력되고 각 노드 쌍들에 임의로 할당된다고 가정한다. 연결 설정 요구에 대한 블록은 작업(working) 경로 혹은 백업(backup) 경로를 설정할 수 없는 경우에 발생하며, 만약 작업 경로 설정 요구에 대해 블록이 발생한다면, 백업 경로에 대한 설정 절차는 수행되지 않는다.

5.2 성능 분석 및 비교

그림 7은 3장에서 제안된 MW-MIPR 알고리즘을 파장 변환기를 사용하지 않을 경우, 고정 라우팅, 동적 라우팅 방식과의 블록률 비교를 나타낸다. 망의 전체 용량을 고려하여 연결 요구량을 100%(트래픽 수=70)까지 증가시킬 때 각각의 블록률을 분석하였다. 트래픽이 망 전체 용량의 50%(트래픽 수=30)미만 일 때는 각 알고리즘의 블록률에서 거의 성능 차이를 나타내지 않지만, 50% 이상일 때, 망 용량의 포화 상태에 따라 각각의 알고리즘의 블록률이 급속하게 높아지고, 알고리즘의 종류에 따라 블록률의 차이가 나타남을 알 수 있다.

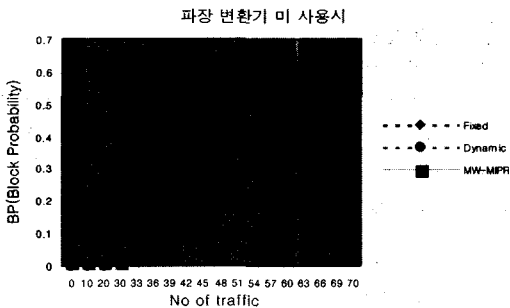


그림 7 파장 변환기 미 사용시 MW-MIPR 성능 비교

위의 실험 결과에서 고정 라우팅 방식이 전 구간에서 가장 높은 블록률을 나타내는데, 이는 고정 라우팅 방식이 채택된 경로의 사용으로 링크의 혼잡에 적절히 대응하지 못하기 때문이다. 제안된 MW-MIPR 알고리즘은 미래의 연결 요구에 대해 최소 간섭 경로로 연결을 설정하기 때문에 가장 성능이 우수하며, 동적 라우팅 방식에 비해 전 구간에서 평균 10~15% 정도의 성능이 개선됨을 알 수 있다.

그림 8은 파장 변환기를 사용한 경우 성능 비교를 나타낸다. 마찬가지로 이 실험 결과에서도 MW-MIPR 알고리즘이 동적 라우팅 방식에 비해 평균 10% 정도 성능이 개선됨을 알 수 있다. 그리고 그림 7과 비교해 볼

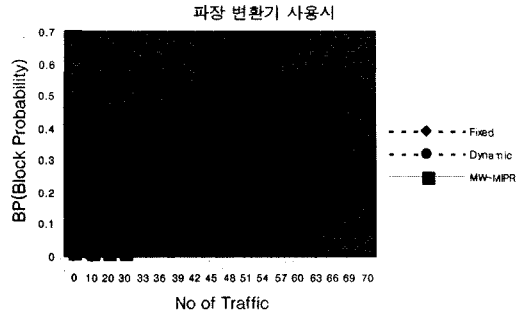


그림 8 파장 변환기 사용시 MW-MIPR 성능 비교

때, 모든 알고리즘에서 파장 변환기를 사용하지 않을 때보다 전체적으로 블록률이 낮게 나타남을 알 수 있는데, 이것은 파장 변환기 사용으로 각 노드에서 파장 변환을 수행하기 때문에 망의 자원을 보다 더 효율적으로 사용할 수 있음을 보여 준다.

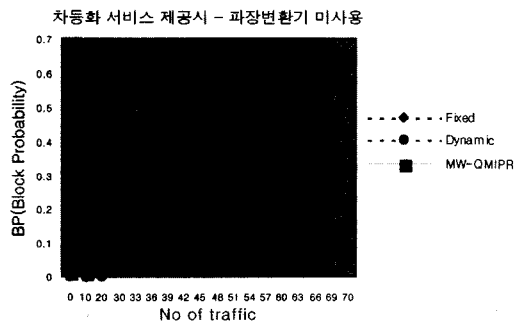


그림 9 파장 변환기 미 사용시 QoS 라우팅 성능 비교

그림 9는 앞서 4장에서 제안한 차등화된 QoS 라우팅 방식에서 파장 변환기를 사용하지 않을 경우의 성능 실험 결과를 보여준다. 각 서비스 타입별 연결 요구 비율은 각 서비스의 통계적인 트래픽 발생률에 근거하여 [15,16], Premium, Assured, Best-effort 서비스가 각각 1:3:6의 비율로 들어 온다고 가정하였다. 실험 결과에서는 MW-MIPR 알고리즘의 블록률이 전 구간에서 거의 고정 라우팅 방식과 유사하게 나타나고, 동적 라우팅 방식보다 20~25% 정도 높은 블록률을 나타내는 것을 알 수 있다. 그러나 이것은 QoS 보장을 위해 생존성 기법을 도입하여, Premium, Assured 서비스에 대해 미리 보호를 위한 파장을 예약하기 때문이다.

그림 10에서는 파장 변환기를 사용할 경우에 차등화된 QoS 라우팅 방식에 대한 성능 실험 결과를 보여 준다. 그림 8과 비교할 때, 파장 변환기 사용으로 인해 전체적으로 블록률이 개선되는 것을 알 수 있다.

그림 9와 10에서는 QoS를 고려(MW-QMIPR)할 경

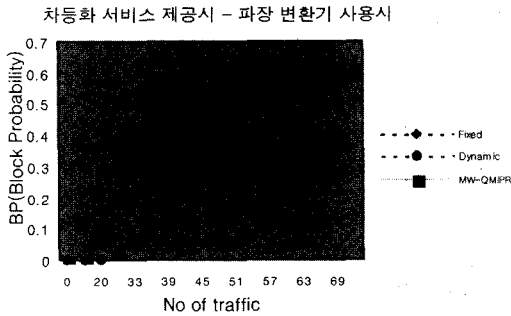


그림 10 파장 변환기 사용시 QoS 라우팅 성능 비교

우 Fixed, Dynamic 방식들보다 블록률이 높게 나타나는데, 이는 Fixed, Dynamic 방식이 아무런 보호 수단을 제공하지 않아 장애 발생시 대처 능력이 없는 반면, 생존성을 고려하여 라우팅을 수행했을 경우에는 표 2에 나타난 것과 같이 서비스별로 일정 수준 이상의 보호 능력을 가질 수 있다.

표 2 서비스 타입 별 생존성 비율

생존성 비율	Premium	Assured	Best-effort
생존성 비율	100%	45%	30/40%

표 2는 망내의 임의의 링크에 강제적으로 장애를 발생시켰을 경우, 작업 경로에 대한 생존 확률을 보여준다.

실험 결과에 나타난 서비스 타입 별 생존성 확률은 Premium 서비스가 100%, Assured 서비스가 45%의 결과를 나타내었고, Best-effort 서비스에서는 파장 변환기를 사용할 경우에는 40%, 파장 변환기를 사용하지 않을 경우에는 30%의 결과를 나타내었다.

주어진 조건 하에서 만약 최악의 장애 상황을 가정할 경우, Premium 서비스는 모든 경로에 대해 절대적인 생존성을 보장해 줄 수 있고, Assured 서비스 역시 Premium 서비스보다는 낮지만 정해진 비율에 따라 생존성을 절대적으로 보장해 줄 수 있다. 그러나 Best-effort 서비스에 대해서는 절대적인 생존성 보장이 어렵고, 단지 망의 상황에 따라 여유 자원이 있을 경우에만 생존성을 보장해 줄 수 있다. 위의 실험 결과는 생존성 비율을 측정하기 위해 높은 비율의 장애 상황을 가정했기 때문에 Assured, Best-effort 서비스에서 비교적 낮은 생존성 비율이 나타나는데, 실제 망 상황에서는 실험에서와 같이 높은 비율의 장애가 발생하지 않기 때문에 실제적으로는 훨씬 더 높은 생존성을 보장할 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 다중 파장이 사용되는 DWDM 망에서

RWA 문제 해결을 위해 미래의 잠재적인 연결 요구에 영향을 최소화하고, 동시에 노드에서의 파장 변환 기능을 고려하여 파장 변환기의 유무에 따라 그 특성에 맞는 형태로 MW-MIPR 알고리즘을 제안하였으며, 또한, 제안된 알고리즘을 적용하여 QoS 제공을 위한 차등화된 라우팅 방식을 제시하였다.

시뮬레이션 결과에서 제안된 알고리즘을 라우팅에 적용한 결과 이후의 연결 요구에 영향을 미치는 정도를 정량적으로 평가하여 가장 영향을 덜 미치는 경로를 결정함으로써 연결 요구에 대한 블록률이 감소됨을 증명하였으며, DWDM 망에서 서비스 타입별 차등화 된 QoS 제공을 위해 라우팅 방법 및 생존성을 고려한 파장 할당 방법을 제시하였는데, 이는 각 서비스의 수준에 맞는 서비스 제공 및 자원의 효율적 사용 측면에서도 효과가 있음이 밝혀졌다.

따라서 제안된 내용은 차세대 인터넷 백본망으로 사용될 DWDM 망의 제어 프로토콜인 GMPLS에 적용이 가능하다.

향후 연구과제로는 QoS 레벨을 좀 더 세밀하게 정의하여 RWA 문제를 확장할 필요가 있으며, 또한 파장 변환기를 사용할 경우, 파장 변환기의 위치 및 사용되는 변환기의 개수에 따른 신호 감쇠와 비용을 고려하여 설치 위치 및 개수의 변화에 따른 RWA 방식에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] S.U. Kim et al., "Standards Activities for Optical Transport Networks in ITU-T," Optical Network Magazine, Vol.2, No.2, Spring 2001.
- [2] Koushil Kar, Murali Kodialam, "Minimum Interference Routing of Bandwidth Guaranteed Tunnels with MPLS Traffic Engineering Applications," IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, Vol.18, No.12, DEC. 2000.
- [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] J. S. Choi, N. Golmie, F. Lapeyrere, F. Mouveaux, and D. Su, "Classification of Routing and Wavelength Assignment Schemes in DWDM Networks," OPNET, pp.1109-1115, Jan. 2000.
- [5] K.Kar et al., "MPLS traffic engineering using enhanced minimum interference routing: an approach based on lexicographic max-flow," IEEE IWQOS 00, pp.61-66, Jun. 2000.
- [6] D. Bauer, "Minimum-Interference Routing based

on flow maximization," Electronics Letters, Vol. 38, No.8, pp.364-365, Apr. 2002.

[7] 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.

[8] Venugopal K. R., "Performance analysis of wavelength converters in WDM wavelength routed optical networks," High performance Computing, 1998. HIPC 98. 5th International Conference On, 17-20, Dec. 1998, pp.239-246.

[9] S. Blake et al., "An Architecture for Differentiated Services," RFC 2475, IETF, December 1998.

[10] G.Bendelli et all., "Optical Performance Monitoring Techniques," ECOC 2000, Munich, 7 Sep. 2000, paper 11.4.1, pp.113-116.

[11] IETE RFC 1890 RTCP : RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control, January 1996.

[12] Andrea Fumagalli and Luca Valcarengi, "IP Restoration vs. WDM Protection: Is There an Optimal Choice?," IEEE Network, Vol 14, Issue 6, pp.34-41, Nov./Dec. 2000.

[13] S. Ramamurthy and Biswanath Mukherjee, "Survivable WDM Mesh Networks, Part I-Protection," IEEE INFOCOM 99. Vol.2, pp.744-751, 21-25 Mar. 1999.

[14] S. Ramamurthy and Biswanath Mukherjee, "Survivable WDM Mesh Networks, Part II-Restoration," IEEE Communications, ICC 99, Vol. 3, 1999.

[15] Jae-Dong Lee, Sun-Seok Lee, Sung-Un Kim, Jae-Il Jung, David H.Su, "Differentiated Wavelength Assignment with QoS Recovery for DWDM Next Generation Internet Backbone Networks," Photonic Network Communications, 5:2, 163-175, 2003.

[16] 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.



송 현 수
 1998년 3월~2002년 2월 부경대학교 정보통신공학과 졸업(학사). 2002년 3월~현재 부경대학교 정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 Optical Network, NGN, RWA, GMPLS



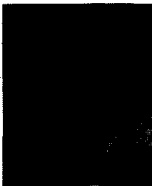
배 정 현
 1998년 3월~2002년 2월 부경대학교 정보통신공학과 졸업(학사). 2002년 3월~현재 부경대학교 정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 Optical Network, NGN, RWA, GMPLS



김 성 운
 1982년 12월~1985년 9월 한국 전자통신연구원, 연구원. 1985년 10월~1995년 8월 한국통신 연구개발본부, 연구실장. 1990년 8월 프랑스 국립 파리 7 대학교 정보공학과 석사. 1993년 8월 프랑스 국립 파리 7 대학교 정보공학과 박사. 2000년 8월~2001년 7월 미국 NIST 초빙 연구원, DARPA 과제 수행. 관심분야는 DWDM optical network, RWA, QoS, GMPLS, Protocol engineering



김 영 부
 1982년 한양대학교 공과대학 전기공학과(학사). 1984년 서울대학교 공과대학 전기공학과(석사). 1984년~현재 한국전자통신연구원 네트워크구조팀장. 관심분야는 네트워크 구조 연구, 차세대 네트워크 설계



이 현 진
 1997년 경북대학교 공과대학 전자공학과(학사). 1999년 경북대학교 공과대학 전자공학과(석사). 1999년~현재 한국전자통신연구원 연구원. 관심분야는 광인터넷 구조 연구, 차세대 네트워크 설계



이 재 동
 1986년 경북대학교 컴퓨터공학과 학사 1991년 경북대학교 컴퓨터공학과 석사 1991년~1997 삼성전자, 테이콤 근무. 1998년~현재 경남정보대학 IT학부 조교수. 2003년 부경대학교 정보통신공학과 박사. 관심분야는 DWDM optical network, RWA, QoS, GMPLS, Protocol engineering