

차세대 OVPN에서 생존성 보장 RWA 알고리즘

황진호[○], 권순영*, 김정녀**, 이상수**, 김성운[○]

[○]부경대학교 정보통신공학과, *안동대학교 컴퓨터교육과, **한국전자통신연구원
jhhwang@mail1.pknu.ac.kr, nalari2@hanmail.net, {jnkim, sangsu}@etri.re.kr, kimsu@pknu.ac.kr

Survivability Guaranteed RWA Algorithm in the Next Generation OVPN

Jin-Ho Hwang[○], Soun-Young Kwon*, Jeong-Nyeo Kim**, Sang-Su Lee**, Sung-Un Kim[○]

[○]Pukyong National University, *Andong National University, **Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

차세대 인터넷 백본망에서 DWDM 기술은 인터넷 사용자의 증가와 그에 따른 요구 대역폭을 수용하기 위한 방안으로 점점 더 많은 관심이 집중되고 있다. 그에 따라 기존의 IP 기반의 VPN (Virtual Private Network)에서 DWDM 기반의 OVPN (Optical VPN)이 차세대 VPN 서비스로 주목을 받고 있다. 이러한 OVPN 망에서는 연결 요구에 대해 최적의 경로를 선택하고, 선택된 경로에 효율적으로 파장을 할당하는 RWA 문제가 자원 효율성 측면에서 매우 중요하다. 또한 파이버 절단과 같은 망장애에 대해서 사용자의 트래픽을 보장하는 망생존성이 고려되어야만 한다. 그러나 기존의 RWA 알고리즘들은 망의 혼잡상황을 고려하지 않고, 또한 생존성을 보장하는 스킴을 제공하지 않아 성능이 매우 제한적이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 미래의 잠재적인 연결 요구에 대해 간섭을 최소화하면서 경로를 설정하는 RWA 알고리즘을 제안하고, 망 생존성 보장을 위해 Trap Avoidance(TA)와 Shared Risk Link Group(SRLG)을 고려하여 RWA 알고리즘을 적용함으로써 망생존성을 보장한다. 또한 기존의 알고리즘들과의 성능 비교를 통해 제안된 알고리즘의 효율성을 검증한다.

1. 서론

가상사설망 서비스인 인터넷 또는 통신사업자의 공중통신망으로 논리적인 망을 구성하여 마치 가입자가 고유의 사설통신망을 운용하고 있는 것과 같은 효과를 주는 서비스이다. IP망을 활용한 VPN은 인터넷의 급격한 성장으로 비용과 운용측면에서 매우 효율적이지만 멀티미디어 서비스 제공에 따른 QoS 보장 문제와 현 IP망의 TDM(Time Division Multiplexing) 전송체 사용으로 인한 전송용량 부족 문제를 안고 있다. 이러한 IP 기반의 VPN에서 QoS 보장과 광대역폭 제공에 대한 해결책으로 차세대 광 인터넷을 통한 OVPN기술이 제시되고 있다[1].

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

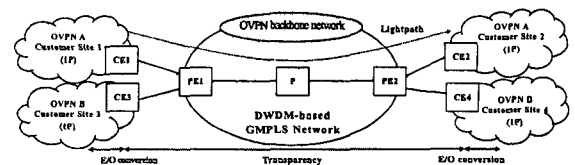
또한 RWA 문제와 더불어, IP를 사용하는 VPN에서 DWDM 기반의 OVPN 망으로 변화면서, 데이터 위주의 인터넷 서비스에서 음성, 영상 등의 멀티미디어 서비스로 발전해감에 따라 RWA 문제는 생존성을 고려한 방식으로 접근이 요구되고 있는 실정이다.

현재 OVPN의 망 생존성 문제는 매우 제한적으로 연구되고 있으며, DWDM의 광 네트워크에서 제안된 내용들이 OVPN의 상황에 맞게 적용되고 있다. 그러나 기존의 논문[2]은 trap avoidance (TA)문제[3]를 고려하지 않아 주경로는 존재하지만 복구경로는 존재하지 않고, 혹은 주경로와 복구경로가 동시에 장애가 발생하여 생존성을 보장할 수 없는 문제가 발생하였다. 즉 사용자가 원하는 서비스를 제공 받을 수 없는 상황을 고려하지 않아 생존성의 측면에서 치명적으로 동작이 제한된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 기존에 제안된 MIPR(Minimum Interference Path Routing)[4]알고리즘에서 효율성과 망 생존성을 동시에 고려한 SG-MIPR (Survivability Guaranteed-MIPR)알고리즘을 제안한다.

이를 위해 2장에서는 OVPN의 구조 및 망생존성을 분석한다. 그리고 3장에서는 OVPN에서 RWA와 망생존성을 동시에 고려하기 위한 요구 사항을 알아본 후, 4장에서 SG-MIPR 알고리즘을 제안한다. 5장에서 시뮬레이션을 통해 성능을 평가한 후, 6장에서 향후 과제에 대해서 언급한 후 결론을 맺는다.

2. OVPN구조 및 생존성 분석



[그림 1] OVPN 모델

제안되는 OVPN 구조는 [그림 1]과 같이 전기적 제어 도메인인 가입자 사이트(Customer Site)들과 광 제어 도메인인 DWDM 기반의 PE(Provider Edge) 노드와 P(Provider) 노드로 구성된다. 그리고 이들 사이의 효율적인 제어를 위해 IP/GMPLS over DWDM 프로토콜을 사용한다.

외부 가입자 사이트는 IP를 기반으로 사용자 데이터를 aggregation 또는 de-segregation한다. 또한 내부 OVPN백본망은 데이터를 광-전 변환 없이 투명(transparency)하게 포워딩한다.

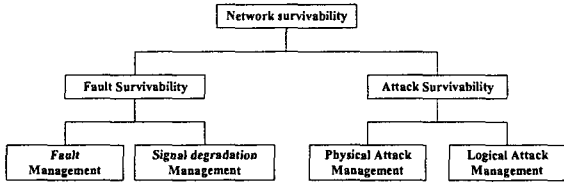
망 가입자에게 안정적이고 보안성 있는 VPN 서비스를 제공하는 것으로 정의되는 망생존성은 [그림 2]와 같이 fault survivability와 attack survivability로 분류된다.

일반적으로 fault survivability는 광소자들의 감작스런 결함과 Signal Degradation (SD)로 나뉘며, attack survivability는 공격의 목적에 따라 physical attack, logical attack으로 분류된다. 특히 physical attack은 [5]에서 분석된 바와 같이, 광소자의 동작특성을 교묘히 이용하여 SD를 유발하기 때문에 fault survivability와 마찬가지로

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

가지로 optical layer에서 관리될 필요가 있다.

한편 logical attack은 비권한자가 정보의 획득 및 조작을 목적으로 망에 접근하는 것으로써, 양자 키 분배방식(quantum cryptography)의 도입으로 관리될 수 있으나, 본 논문의 범위를 벗어나므로 언급을 피한다.



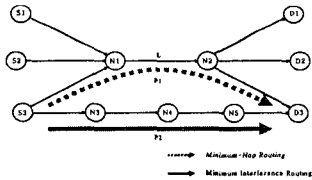
[그림 2] OVPN에서 망생존성 분석

3. OVPN에서 망생존성을 보장하기 위한 요구사항

3.1 MIPR 알고리즘

DWDM 망에서 일반적으로 사용되는 최소 흡수 라우팅 알고리즘은 계산이 단순한 반면 최소 흡 경로상으로 트래픽 집중을 야기하기 때문에 자원 사용 측면에서는 매우 비효율적이며, 대량의 트래픽을 고속으로 전송하는 DWDM 망에서는 심각한 망 대역폭 낭비를 가져온다[4].

MIPR 알고리즘은 미래에 잠재적인 연결 설정을 요구하는 많은 송수신 쌍들에 대해 영향을 최소로 미치는 경로를 선택하는 개념이다. 예를 들면, [그림 3]에서 노드쌍 (S3, D3)간에 광경로 설정 요청이 들어올 경우, 노드 N1과 N2사이의 혼잡 링크 L를 경유하는 최소 흡 경로 P1보다는 흡수는 많지만 다른 송수신 쌍들 (S1,D1)과 (S2,D2)의 잠재적인 경로 설정 요구에 최소로 영향을 미치는 P2 경로상으로 연결 설정을 수행한다.



[그림 3] MIPR 알고리즘 개념

3.2 망생존성 문제

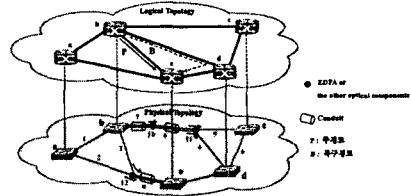
• Shared Risk Link Group

SRLG는 망장애로 인해 잠재적으로 동시에 장애를 일으킬 수 있는 공통의 광소자를 공유하는 링크그룹으로 정의된다. 이는 현재 GMPLS에서 constraint-based path computation에 있어서 가장 중요한 조건중의 하나로 연구가 활발히 진행 중이다.

또한, SRLG를 이용한 여러가지 보호(protection) 및 복구(restoration) 스크림들을 제공한다. 보호 스크림은 경로 설정 요청시 주 경로와 복구경로를 동시에 설정함으로써 빠른 회복을 보장한다. 그러나 복구스�크림은 주 경로에 장애가 발생한 경우 경로 설정 과정을 다시 수행하여 사용자 데이터를 전달함으로써 생존성을 보장한다. 복구 스크림의 경우 장애에서 회복까지의 시간이 오래 걸리는 단점을 지닌다. 결국 복구 스크림은 빠른 회복을 요구하는 OVPN에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 OVPN의 상황에 적합한 보호스�크림을 적용하였다.

주 경로와 복구 경로 설정 시, SRLG-disjoint을 유지하는 것은 망 생존성을 보장함에 있어서 필수적인 요구사항이다. 예를 들어, [그림 4]와 같이 b-e(P)간의 연결 요청에 대해 b-a-e는 여러 링크(2번, 3번)를 포함하는 conduit 9의 장애에 대해서 망생존성을 보장할 수가 없다. 그러나 b-d-e(P)의 경우 어떠한 하나의 장애에 대해서도

사용자의 트래픽을 보호함으로써 생존성을 보장할 수 있다.



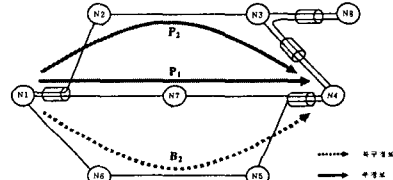
[그림 4] SRLG를 고려한 경로 설정 예

• Trap Avoidance 문제

[그림 5]는 현재 DWDM기반의 망에서 요청된 주 경로에 대해 복구경로가 존재하지 않는 trap문제에 대한 개념을 나타낸 것이다. Trap은 크게 real trap과 avoidable trap으로 나눌 수 있다[3].

우선, real trap은 [그림 5]의 N1과 N8과 같이 SRLG-disjoint를 만족하는 주 경로와 복구경로가 동시에 존재 할 수 없는 상황이다. 그리고 avoidable trap은 N1과 N4의 경우와 같이 shortest path first(SPF)등의 알고리즘으로 설립된 주 경로(P1)로 인해 SRLG-disjoint를 만족하는 복구경로가 존재하지 않는 경우이다.

Real trap의 경우 망 설계 시에 고려해야만 하나, avoidable trap의 경우 라우팅 알고리즘에 의해 최초 경로 설정 시에 고려함으로써 피할 수 있다. 즉, [그림 5]에서 보는 바와 같이 최초 경로 설정시 P1이 아닌 P2로 주 경로를 설정한다면 복구경로(B2)가 생존성 보장 스크림을 적용할 수 있게 된다.



[그림 5] Trap Avoidance 개념

4. SG-MIPR 알고리즘

본 논문에서 제안한 SG-MIPR 알고리즘은 라우팅 문제뿐만 아니라 망생존성을 보장하기 위해 TA와 SRLG를 고려한 알고리즘을 제시한다. 알고리즘 제시에 앞서 이후에 언급될 수식에 사용되는 기호들을 다음과 같이 정의한다.

- $G(N, L, W)$: 주어진 network graph (N : 노드의 집합, L : 링크의 집합, W : 링크의 총 파장수)
- M : 미래에 연결 요청 가능한 잠재적인 노드 쌍들의 집합 ((s, d) : 송수신 노드쌍, (a, b) : 현재 연결 설정을 요구하는 노드쌍)
- p_{sd} : 송수신 노드쌍 (s, d) 의 최소 흡수 경로
- π_{sd} : 송수신 노드쌍 (s, d) 의 최소 흡수 경로 p_{sd} 에 속하는 링크 집합
- $R(l)$: 링크 l 에 현재 이용 가능한 파장수 ($\forall l \in L$)
- W : 링크의 최대 이용 가능 파장수
- F_{sd} : 송수신 노드쌍 (s, d) 의 π_{sd} 에 속하는 링크들 중 병목 링크에서 사용 가능한 파장집합
- C_{sd} : 송수신 노드쌍 (s, d) 의 π_{sd} 에 속하는 링크들 중 혼잡 링크의 집합
- α_{sd} : 송수신 노드쌍 (s, d) 의 가중치
- $srlg_{ab}^l$: 노드쌍 (a, b) 사이의 링크 l 에 포함된 SRLG집합
- $srlg_{ab}^p$: 노드쌍 (a, b) 사이의 주 경로에 포함된 SRLG집합

본 논문에서 제안된 SG-MIPR 알고리즘은 이러한 기호들을

바탕으로 현재 연결 요청에 대해 최소 간섭 경로를 설정하며, 식(1)처럼 현재 수행되는 경로 설정이 다른 송수신 노드쌍 (s, d) 의 최소 흐름 경로상에 병목 링크의 잔여 파장수를 최대로 (즉, 잠재적인 경로 설정 요구에 영향을 최소로)하는 방향으로 라우팅 문제를 수행한다.

$$\max \sum_{(s,d) \in M(a,b)} F_{sd} / \alpha_{sd} \quad (1)$$

본 논문에서 제안하는 SG-MIPR 알고리즘은 미래의 연결 요구에 최소의 영향을 미치는 경로를 선택하기 위해 잔여 파장의 임계치를 고려하여 파장을 할당하며, 각 링크에 적절한 가중치를 결정하고 링크들의 가중치가 최소인 경로를 선택하여 라우팅 문제를 수행한다. 앞에 언급된 가중치 결정에 사용되는 수식은 다음과 같다.

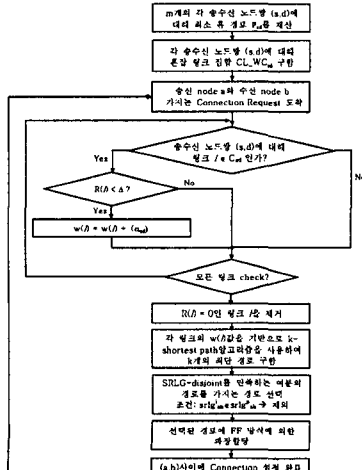
$$CL_WC_{sd} : (l \in C_{sd}) \cap (R(l) < \Delta) \quad (2)$$

$$\begin{cases} \partial F_{sd} / \partial R(l) = 1 & [if (s, d) : l \in CL_WC_{sd}] \\ \partial F_{sd} / \partial R(l) = 0 & [otherwise] \end{cases} \quad (3)$$

$$w(l) = \sum_{(s,d) \in M(a,b)} \alpha_{sd} (\partial F_{sd} / \partial R(l)) = \sum_{(s,d) \in CL_WC_{sd}} \alpha_{sd} \quad (4)$$

식(2)는 미래의 연결 요구에 영향을 미치는 혼잡 가능 링크들을 나타내는 것이며, 파라미터 Δ 는 현재 설정되는 링크의 잔여 파장수에 대한 임계치를 나타낸다. 즉, Δ 값이 너무 크면 혼잡 링크상으로 미래에 연결 설정을 위해 미리 예약되는 자원이 너무 많으므로 자원 낭비가 발생하는 반면, 너무 작으면 미래의 연결 요청에 대한 잠재적인 blocking probability가 높아질 가능성이 크다. 따라서 Δ 값은 일반적으로 0.2W ~ 0.4W 정도가 적당하며, 본 논문에서는 반복적인 실험을 통해 최적의 결과를 가져온 0.3W를 적용했다. 식(3)은 링크 l 에 파장이 할당 되었을 때, 송수신 노드쌍 (s, d) 의 최소 흐름 경로 링크 집합인 π_{sd} 내 병목 링크상에서 이용 가능한 파장수의 변화량을 나타내며, 링크가 혼잡링크에 포함되고 링크의 잔여 파장수가 임계치 이하이면 1, 그 이외에는 0의 값을 부여한다.

식(4)는 링크의 가중치를 구하는 식으로, 링크 l 에 파장이 할당될 때 미래에 연결 설정을 요청하는 다른 송수신 쌍들에게 영향을 미치는 정도를 나타내는 식(3)과 각 송수신 쌍의 가중치 α_{sd} 를 곱하여 현재 연결 설정을 요구하는 노드쌍 (a, b) 를 제외한 나머지 노드 쌍 $(\forall (s, d) \in M \setminus (a, b))$ 에서 계산된 값을 모두 합한다.



[그림 6] SG-MIPR 알고리즘

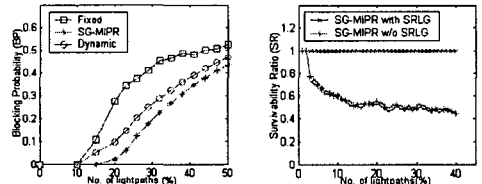
[그림 6]은 SG-MIPR 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다. 계산된 각 링크의 가중치 $w(l)$ 값이 작을수록 다른 송수신 노드쌍 (s, d) 의 잠재적인 경로 설정 요구에 영향을 최소로 미치는 링크이다. 또한, k-shortest path 알고리즘에 가중치 $w(l)$ 을 적용하여 미래의 경로 설정 요구에 최소로 영향을 미치면서 하나의 주경로에 대해 SRLG-disjoint 보조경로를 가지는 경로를 설정함으로써 TA를 해결한다. 그리고 파장 할당 측면에서 순차적으로 낮은 파장부터 할당하는 FF(First Fit)방식이 계산 복잡도가 적고 여러 경로간의 공정성 측면에서도 좋아 현재 많이 사용되고 있으며, 본 논문에서도 파장 할당 방식으로 FF 기법을 적용한다.

5. 시뮬레이션

본 논문에서 제안된 SG-MIPR 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 NSFnet(각 링크의 파이버=2개, 파장=8개)에서 망의 효율성을 측정하기 위해서 기존의 고정 및 동적 라우팅 알고리즘과 비교 및 평가하였다. 또한 망생존성 측면에서 SRLG를 고려하여 survivability ratio를 측정하였다. 전체 노드쌍들 중 7쌍을 잠재적인 송수신 노드쌍으로 선택하였고, 각 노드쌍 사이의 연결 요구는 순차적으로 입력된다 가정한다.

망의 전체 용량을 고려하여 트래픽 연결 요구량을 40%까지 증가시킬 때 각 라우팅 방식의 blocking probability를 비교하였고, [그림 7]에서 보듯이 SG-MIPR 알고리즘은 동적 라우팅 방식에 비해 전 구간에서 평균 10% 및 평균 10~15% 정도의 성능 개선을 가져왔다.

망생존성 측면에서 하나의 망장애에 대한 survivability ratio는 SRLG를 고려함으로써 100%보장할 수 있음을 확인할 수 있다.



[그림 7] SG-MIPR 알고리즘의 성능 평가

6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 DWDM 기반의 OVPN에서 망 상황을 고려한 RWA 문제 해결을 위하여 미래의 잠재적인 연결 요구에 대해 최소의 영향을 미치며, trap avoidance 문제와 SRLG를 고려한 경로로 연결 설정을 수행하는 SG-MIPR 알고리즘을 제안하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 알고리즘이 자원의 효율적 사용 측면에서 효과가 있고, 망생존성을 보장함을 보였다.

향후 연구 과제로는 DWDM 기반의 OVPN에서 발생할 수 있는 장애 혹은 공격을 고려한 SG-MIPR 알고리즘 연구와, SG-MIPR 알고리즘을 기반으로 DWDM 망의 다양한 QoS 파라미터를 복합적으로 고려하는 QoS-based RWA 알고리즘에 대한 연구가 요구된다.

참고 문헌

[1] Mi-Ra Yoon et al., "Optical LSP Establishment and a QoS Maintenance Scheme Based on Differentiated Optical QoS Classes in OVPNs," Photonic Network Commun., vol.7, no.2, pp.161-178, March 2004.
 [2] Yun Wang et al., "Dynamic Survivability in WDM Mesh Networks under Dynamic Traffic," Photonic Network Commun., vol.6, no.1, pp.5-24, July 2003.
 [3] Dahai Xu et al., "Trap avoidance and protection schemes in networks with shared risk link groups," Journal of Lightwave Technology, vol.21, no.11, pp.2683-2693, Nov. 2003
 [4] Jong-Gyu Hwang et al., "Multi-Wavelength-Minimum Interference Path Routing Algorithm for Establishing Optimal Optical-LSPs in OVPN" ICOIN 2004, Vol. 3, pp.1187~1196, 2004.2
 [5] Sung-un Kim et al., "Modeling Attack Problems and Protection Schemes in All-Optical Transport Networks," Optical Network Magazine, vol.3, no.4, pp.61-72, July/Aug. 2002.