

OVPN에서 최적의 Optical-LSP를 설립하기 위한 OSPF-TE+ 내의 다중파장 최소간섭 경로 라우팅 알고리즘 적용 방안 연구

정창현[○], 현혜경[†], 강오한[†], 조광현, 김성운

부경대학교 정보통신공학과, 안동대학교 컴퓨터교육과[†]

{jch123[○], hyun}@mail1.pknu.ac.kr, hkyun80@hanmail.net[†], ohkang@andong.ac.kr[†],
kimsu@pknu.ac.kr

A Study on Multi-Wavelength-Minimum Interference Path Routing Algorithm Mapping Scheme in OSPF-TE+ for Establishing Optimal Optical-LSPs in OVPN

Chang-Hyun Jeong[○], Hae-Kyung Hyun[†], Oh-Han Kang[†], Kwang-Hyun Cho, Sung-Un Kim

Dept. of Telematics Engineering, Pukyong National University

Dept. of Computer Education, Andong National University[†]

요 약

IP망을 활용한 VPN(Virtual Private Network)에서의 QoS 보장 및 광대역 서비스 제공에 대한 해결 방안으로 차세대 광 인터넷을 통한 OVPN(Optical VPN) 기술이 제시되고 있다. 차세대 광 인터넷의 구현이 IP/GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching) over DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 프로토콜 프레임워크로 표준화되고 있는 현실에 비추어 볼 때, IP/GMPLS over DWDM 백본망을 통한 OVPN은 차세대 가상사설망으로써 멀티미디어 서비스 제공을 위한 최적의 방안이다. 이러한 멀티미디어 서비스 제공을 위한 OVPN에서는 최적의 Optical-LSP(Label Switched Path)의 설립이 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 차세대 OVPN의 모델 및 망의 blocking probability를 향상하기 위한 미래의 잠재적인 연결 요구에 대해 간섭을 최소화하면서 경로를 설정하는 MW-MIPR 라우팅 알고리즘을 제시하고 이를 라우팅 프로토콜인 OSPF-TE+(OSPF Extensions in Support of Generalized MPLS)에 맵핑하기 위한 방안을 제안한다.

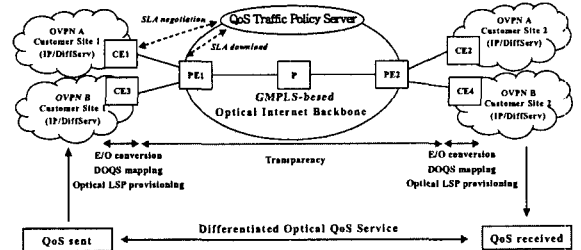
1. 서론

IP망을 활용한 VPN은 인터넷의 급격한 성장으로 비용과 운용 측면에서 효율적이지만, 멀티미디어 서비스 요구에 따른 QoS 보장 문제와 현 IP망의 TDM(Time Division Multiplexing) 전송체계 사용으로 인한 전송용량 부족 문제를 안고 있다. 이러한 IP 기반의 VPN에서 QoS 보장과 광대역폭 요구에 대한 해결책으로 차세대 광 인터넷을 통한 OVPN 기술이 제시되고 있다.

OVPN 구현에 있어 차세대 광 인터넷 백본망 기술은 DWDM 광 네트워크 기술을 활용하고, IP 전달을 위한 제어 프로토콜은 GMPLS 기술을 사용하는 IP/GMPLS over DWDM 프로토콜 프레임워크로 표준화되고 있는 현실에 비추어, IP/GMPLS over DWDM 백본망을 통한 OVPN(OVPN over IP/GMPLS over DWDM)은 차세대 VPN으로써 멀티미디어 서비스 제공을 위한 최적의 방안으로 고려되고 있다[1]. 이러한 멀티미디어 서비스 제공을 위한 OVPN에서는 최적의 Optical-LSP(Label Switched Path)의 설립이 요구되고 있으므로, 본 논문에서는 차등화된 광 QoS 서비스를 제공하는 DOQoS-OVPN 모델을 제시하고, 제안된 OVPN상에서 최적의 Optical-LSP 설립을 위한 라우팅 알고리즘인 MW-MIPR(Multi-Wavelength-Minimum Interference Path Routing)을 라우팅 프로토콜 OSPF-TE+에 적용하기 위한 방안을 제안한다. MW-MIPR은 현재의 경로설정이 미래의 연결 요구에 영향을 미치는 정도를 정량적으로 평가하여 가장 영향을 덜 미치는 경로의 결정을 수행한다.

이를 위해, 2장에서는 DOQoS 제공을 위한 OVPN의 구조 및 OSPF 동작 과정을 살펴보고, 3장에서는 최적의 Optical-LSP 설립을 위한 MW-MIPR 라우팅 알고리즘을 제시하며, 4장에서는 제시된 알고리즘을 OSPF-TE+ 라우팅 프로토콜에 적용하기 위한 방안을 제안하고, 5장에서 본 연구의 결론 및 향후 연구 추진 사항에 대해 기술한다.

2. OVPN의 구조 및 OSPF 동작

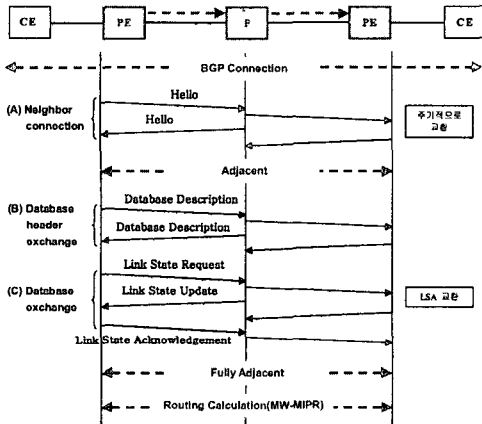


(그림 1). DOQoS-OVPN 모델

제안되는 OVPN 구조는 (그림 1)과 같이 전기적 제어 도메인인 가입자 사이트(Customer Site)들과 광 제어 도메인인 DWDM 기반의 백본망으로 구성되고, 이들 사이의 효율적인 제어를 위해

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

IP/GMPLS over DWDM 프로토콜을 사용한다. 외부 가입자 사이트는 차등화 서비스(Differentiated Service) 기반의 IP 망으로, 에지(edge) 노드인 CE(Client Edge)에서는 동일한 QoS를 가지는 패킷들을 aggregation하여 망의 복잡도를 줄이고 관리를 용이하게 한다. 내부 OVPN 백본망은 GMPLS 기반의 DWDM 망으로, 에지 노드인 PE (Provider Edge)와 코어(core) 노드인 P(Provider)로 구성되며 가입자 사이트에서 전달된 데이터 트래픽들을 광전 변환 없이 포워딩한다. 이때 QoS-TP 서버(QoS Traffic Policy Server)는 가입자 사이트와 SLA (Service Level Agreement) 파라미터들을 협상하고, 협상된 파라미터에 적합한 광경로를 설정하며, 종단간에 광경로를 통해 SLA를 만족하는 서비스가 제공될 수 있도록 망 전체를 관리하는 기능을 한다.



(그림 2). OVPN에서의 OSPF-TE+ 동작

OVPN에서 동작하는 라우팅 프로토콜로는 PE간의 라우팅과 CE와 PE간의 라우팅을 하는 MP-BGP(Multi-Protocol Extensions for Border Gateway Protocol-4)와 OVPN 백본망내의 PE와 P간의 라우팅과, P간의 라우팅을 하는 OSPF-TE+가 있으며, (그림 2)는 OVPN 백본망에서 PE간의 최적의 경로를 설정하기 위한 OSPF-TE+의 라우팅 정보 교환 절차이다.

(A)는 인접관계 형성과정으로, PE 사이의 인접 라우터 간에 Hello packet을 교환함으로써 이웃 노드와의 connection이 이루어지고, 이러한 인접관계가 형성된 상태를 "Adjacent"의 관계에 있다고 하며, Hello packet은 주기적으로 교환하여 인접관계를 유지한다.

(B)는 database header 교환 과정으로, Database Description packet을 통해 LSA(Link State Advertisements) header만을 교환하여 그 중에서 필요한 최신 정보를 확인한다.

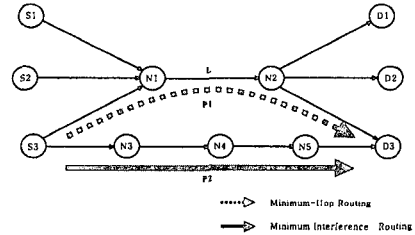
(C)는 database 교환 과정으로, (B)에서 LSA header 교환 후 필요한 최신 정보들을 Link State Request packet을 통해 요구하고, Link State Update packet에 LSA(Router-LSA, TE-LSA 등)를 포함하여 라우팅 정보를 전송한다. 그리고 Link State Acknowledgment packet으로 응답함으로써 초기 database 교환이 이루어지며, database exchange가 완료된 상태를 "Fully Adjacent"라 한다.

이렇게 update된 Link State Database를 이용하여서 PE간에 최적의 경로를 계산하게 되며, 이때 MW-MIPR 알고리즘을 이용하고자 한다.

이러한 라우팅 프로토콜에 의해 계산되어진 경로 상으로 RSVP-TE+(resource reservation protocol with traffic engineering extensions) 또는 CR-LDP+(the constraint-based routed label distribution protocol)와 같은 시그널링 프로토콜을 사용하여 Optical-LSP를 설정한다. 이때 경로상의 모든 노드에서 QoS 요구사항들을 만족하여 호 수락이 결정되면, OVPN의 Optical-LSP가

설정되고 자원이 예약된다.

3. MW-MIPR 라우팅 알고리즘



(그림 3). MW-MIPR 알고리즘 개념

기존 IP 망에서 OSPF 라우팅 프로토콜의 라우팅 알고리즘으로 Dijkstra 최소경로 알고리즘을 사용한다. 하지만 IP/GMPLS over DWDM 백본망을 통한 OVPN의 OSPF-TE+에 적용될 라우팅 알고리즘은 망 자원 즉 파장의 효율적인 사용이 고려되어야 한다.

따라서 본 논문에서 제시하는 MW-MIPR 알고리즘[2]은 미래에 잠재적인 연결 설정을 요구하는 많은 송수신 쌍들에 대해 영향을 최소로 미치는 경로를 선택하는 개념으로, 모든 노드에 파장 변환기를 사용하고 하나의 파이버를 가지는 DWDM 기반의 OVPN 백본망에서 최적의 효율성을 가진다. 예를 들면, (그림 3)에서 노드쌍 (S3, D3)간에 광경로 설정 요청이 들어올 경우, 노드 N1 과 N2 사이의 홑잡 링크 L 을 경유하는 최소 홑 경로 P1 보다는 홑수는 많지만 다른 송수신 쌍들 (S1,D1)와 (S2,D2)의 잠재적인 경로 설정 요구에 최소로 영향을 미치는 P2 경로상으로 연결 설정을 수행한다.

이후에 언급될 수식에 앞서 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 홑수 경로
- π_{sd} : p_{sd} 에 속하는 링크 집합
- $R(l)$: 링크 l 에 현재 이용 가능한 파장수 ($\forall l \in L$)
- 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 홑잡 링크의 집합
- α_{sd} : 송수신 노드쌍 (s, d)의 가중치

위에 언급된 기호들 중 C_{sd} 와 α_{sd} 는 MW-MIPR 알고리즘에서 가장 중요하게 사용되는 파라미터로서, C_{sd} 는 두 개 이상의 송수신 노드쌍들에 대해 최소 홑 경로상에서 공유되는 링크들로 결정되며, α_{sd} 는 각 송수신 노드쌍 (s, d)에 연결 요구가 들어오는 통계적인 수치에 따라 노드쌍 (s, d)의 중요성을 가중치로 반영한 것이다.

$$CL_WC_{sd} : (l \in C_{sd}) I (R(l) < \Delta) \quad (1)$$

식(1)은 미래의 연결 요구에 영향을 미치는 홑잡 가능 링크들을 나타내는 것으로, 파장 변환 기능을 지닌 Network에서는 링크상의 잔여 파장수도 고려하여 결정한다. 이 때 파라미터 Δ 는 현재

설정되는 링크의 잔여 파장수에 대한 임계치를 나타내는데, 이 값은 자원의 효율성 측면에서 매우 중요하게 사용된다. 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 적당하다.

$$\begin{cases} \partial F_{sd} / \partial R(l) = 1 & [if (s, d) : l \in CL_WC_{sd}] \\ \partial F_{sd} / \partial R(l) = 0 & [otherwise] \end{cases} \quad (2)$$

식(2)는 링크 l 에 파장이 할당 되었을 때, 송수신 노드쌍 (s, d) 의 최소 홉 경로 링크 집합인 π_{sd} 내 병목 링크상에서 이용 가능한 파장 수의 변화량을 나타내며, 링크가 혼잡링크에 포함되고 링크의 잔여 파장 수가 임계치 이하이면 1, 그 이외에는 0의 값을 부여한다.

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

식(3)은 링크의 가중치를 구하는 식으로, 링크 l 에 파장이 할당될 때 미래에 연결 설정을 요청하는 다른 송수신 쌍들에게 영향을 미치는 정도를 나타내는 식(2)와 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. 위 식을 바탕으로 모든 노드에 파장 변환기를 사용한 MW-MIPR 알고리즘은 다음과 같다.

```

MW-MIPR ( $L, M, w(l), \alpha_{sd}, R(l), C_{sd}, CL\_WC_{sd}$ )
(1) If connection is requested between a node pair  $(a, b)$  then {
(2)   For each link  $l$ , where  $\forall l \in L$  {
(3)     link weight  $w(l) = 0$ 
(4)     If  $R(l) < \Delta$  then {
(5)       For each node pair  $(s, d)$ , where  $\forall (s, d) \in M \setminus (a, b)$  {
(6)         node pair weight  $\alpha_{sd}$ 
(7)         If  $l \in C_{sd}$  then {
(8)            $CL\_WC_{sd} := CL\_WC_{sd} \vee l$ 
(9)            $w(l) := w(l) + \alpha_{sd}$  } } }
(10) Remove a link  $l$  from  $L$  with  $R(l) = 0$  }
(11) Choose the minimum hop path with the smallest  $w(l)$ 
      using the Dijkstra's algorithm
    
```

여기서 계산된 각 링크의 가중치 $w(l)$ 값이 작을수록 다른 송수신 노드쌍 (s, d) 의 잠재적인 경로 설정 요구에 영향을 최소로 미치는 링크이며, Dijkstra 최소 경로 알고리즘에 가중치 $w(l)$ 을 적용하여 미래의 경로 설정 요구에 최소로 영향을 미치면서 최소 홉수를 지나는 경로를 선택한다.

4. OSPF-TE+와 MW-MIPR 알고리즘 적용

차세대 OVPN에서는 GMPLS의 link state information 전송을 지원할 수 있도록 하는 OSPF 라우팅 프로토콜의 확장으로 OSPF-TE+[3]을 사용한다. 이에 가장 적절한 라우팅 알고리즘으로 제시한 MW-MIPR을 사용하기 위해서 라우팅 정보교환 시 망 자원인 파장 정보에 대한 교환이 요구된다. 따라서 MW-MIPR 라우팅 알고리즘을 적용하기 위해 필요한 파라미터로는, 링크에 대한 식별자와 링크의 최대 파장 수(Maximum wavelength number) 및 링크의 파장 임계치 계산을 위한 이용가능한 파장 수(Available wavelength number)가 필요하다. 이러한 파라미터를 맵핑하기 위

해 OSPF-TE+에 사용되는 라우터 간의 전달정보인 TE-LSA 포맷을 보면 <표 1>과 같다.

<표 1>의 Sub-TLV들 중 Maximum wavelength number는 Type 6의 Maximum bandwidth에 맵핑하여 링크의 전체 파장수를 전달하고, Available wavelength number는 Type 7의 Maximum reservable bandwidth에 맵핑하여 링크의 현재 이용가능한 파장 수를 전달하며, 이때 잔여 파장 수가 임계치 이하이면, 최소경로 외 다른 경로가 있을 경우 파장이 많은 경로를 선택한다. 링크 식별자는 Type 11의 Link local/remote identifiers를 사용하여 정보를 전달한다. 이러한 3개의 Sub-TLV를 이용하여 OSPF-TE+에 MW-MIPR 알고리즘을 적용할 수 있다.

<표 1>. TE-LSA에 포함된 Link TLV의 sub-TLV들

Sub-TLV Type	Length	Name
1	1	Link type
2	4	Link ID
3	4	Local interface IP address
4	4	Remote interface IP address
5	4	Traffic engineering metric
6	4	Maximum bandwidth
7	4	Maximum reservable bandwidth
8	32	Unreservable bandwidth
9	4	Administrative group
11	8	Link local/remote identifiers
14	4	Link protection type
15	variable	Interface switching capability descriptor
16	variable	Shared Risk Link Group

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 차등화된 광 QoS 서비스를 제공하는 DOQoS-OVPN 모델을 제시하고, IP/GMPLS over DWDM 백본망을 통한 OVPN에서 최적의 Optical-LSP를 설립하기 위해 OSPF-TE+의 라우팅 알고리즘으로 미래의 잠재적인 연결 요구에 대해 간섭을 최소화하면서 경로를 설정하는 MW-MIPR 알고리즘의 적용 방안을 제안하였다. 이전 논문[2]의 시뮬레이션 결과를 통해 MW-MIPR 알고리즘이 자원의 효율적 사용 측면에서 이전의 DWDM 망에서 사용된 라우팅 알고리즘보다 개선되었음을 알 수 있다.

향후 연구 사항으로는 최적의 Optical-LSP 설립을 보장하는 IP/GMPLS over DWDM 백본망을 통한 차세대 OVPN 환경에서 많은 제어 프로토콜들(MP-BGP, OSPF-TE+/IS-IS-TE+, RSVP-TE+/CR-LDP+, LMP+)의 전체적인 동작 과정 및 기능 확장에 대한 연구가 요구되어 진다. 그리고 최적의 GMPLS 지원을 위해 SRLG(Shared Risk Link Group)를 고려한 MW-MIPR 알고리즘 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] M. R. Yoon, et al., "Optical-LSP Establishment and a QoS Maintenance Scheme Based on Differentiated Optical QoS Classes in OVPNs," Photonic Network Communications, Vol. 7, No. 2, pp. 161-178, 2004

[2] C. H. Jeong, et al., "Multi-Wavelength-Minimum Interference Path Routing Algorithm for Establishing Optimal Optical-LSPs in OVPN," 한국통신학회 하계종합학술발표회, Vol.28, 2004

[3] K. Kompella, et al., "OSPF Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching," IETF Internet Draft, Oct. 2003

[4] D. Katz, et al., "Traffic Engineering(TE) Extensions to OSPF Version 2," IETF Internet Draft, Sep. 2003