

중복 Egress LSR 을 가진 MPLS 망에서 트래픽 엔지니어링

석용호, 이영석, 최양희, 김창훈*

서울대학교 컴퓨터공학부

*한국전자통신연구원

Traffic Engineering in MPLS Network with Redundant Egress LSR

Yongho Seok, Youngseok Lee, Yanghee Choi, Changhoon Kim*

School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

*Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

현재 인터넷의 급속한 성장은 백본망의 급격한 트래픽 증가와 이에 대한 새로운 네트워크 기술 개발의 필요성을 증가시키고 있다. MPLS(Multi-Protocol Label Switching), WDM(Wavelength-Division Multiplexing) 과 같은 기술들은 앞으로 백본망에서 여러 가지 문제들을 해결하기 위한 중요한 기술에 해당된다. 특히 MPLS 기술은 트래픽 엔지니어링 기능을 쉽게 제공 할 수 있다는 특징이 있다. 트래픽 엔지니어링을 통해 네트워크 자원은 보다 효율적으로 관리 될 수 있으며, 사용자에게 보다 향상된 서비스 품질을 제공할 수 있다. 본 논문에서는 MPLS 기능을 지원하는 망에서 트래픽 엔지니어링에 관한 문제들을 다루도록 하겠다. 전체 네트워크의 혼잡을 줄이기 위한 목적으로 트래픽 엔지니어링을 사용하였으며, MPLS 망은 중복 Egress LSR(Label Switched Router)을 가졌다고 가정하였다. 중복 Egress LSR 을 가진 MPLS 망에서의 트래픽 엔지니어링 문제는 선형 방정식(Linear Programming) 문제로 표현할 수 있으며, 본 논문에서는 해당하는 선형 방정식과 KORNET 망에서 트래픽 엔지니어링을 통한 성능 향상을 모의 실험을 통해 제시하였다.

1. 서론

현재 인터넷 백본망의 트래픽은 급격하게 증가하고 있는 상태이다. 때문에 네트워크 혼잡과 서비스 품질 저하와 같은 현상이 나타나고 있다. 백본망의 트래픽 증가로 인한 문제를 해결하기 위한 방법으로는, 네트워크 자원을 늘리는 것이 있을 수 있다. 한편으로 MPLS[1], WDM 과 같은 새로운 기술을 통한 해결책이 있을 수 있다. WDM 이란, 기존의 네트워크 자원을 효율적으로 사용하기 위해 여러 파장을 사용해서 데이터를 동시에 보내는 기술에 해당한다. 즉 전송 대역폭을 높일 수 있는 기술에 해당한다. 반면 MPLS 는 스위칭 기술에 해당하는 것으로, 레이블 교환 방

식(Label Swapping)에 의한 가상 연결(Virtual Connection)을 설정해서 트래픽을 전달하는 기술에 해당한다. MPLS 가 가지는 큰 특징은 가상 연결 설정을 명시적으로 쉽게 정할 수 있다는 것이다. 때문에 MPLS 기능을 지원하는 망에서 스위칭 경로(Label Switched Path)를 설정할 때, 전체 네트워크의 혼잡을 최소화하도록 트래픽 엔지니어링을 적용하면 백본망의 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있으면, 서비스 품질 역시 향상시킬 수 있다.

본 논문은 MPLS 망에서, 중복 Egress LSR 을 가진 경우에 전체 네트워크의 혼잡을 줄이기 위한 트래픽 엔지니어링 문제를 다루었다. 제 2 장에서는 MPLS 망에서 트래픽 엔지니어링과 관련된 기존의 연구내용을 정리하였다. 제 3

* 본 논문은 2001 년도 한국전자통신연구원(ETRI), 두뇌한국 21 과 국가지정연구실 프로젝트 지원을 받아 수행되었음

장에서는 본 논문에서 가정한 중복 Egress LSR 을 가진 MPLS 망에 대한 구체적인 설명과 트래픽 엔지니어링의 목적에 관한 문제 정의를 제시하였다. 제 4 장에서는 본 문제에 대한 해결 방안을 선형방정식을 통해 제안하였다. 제 5 장에서는 KORNET 망에서, 트래픽 엔지니어링을 적용한 모의 실험 결과를 제시 하였고 비교 분석하였다.

2. 관련 연구

현재까지 트래픽 엔지니어링에 관한 연구는 지속적으로 이루어져 왔다. ATM(Asynchronous Transfer Mode) 계층, IP(Internet Protocol) 계층 등, 여러 계층에서 각각 독립적으로 트래픽 엔지니어링에 관한 연구가 수행되었다. MPLS의 등장과 폭 넓은 사용은, MPLS가 트래픽 엔지니어링을 쉽게 제공할 수 있다는 장점과 더불어 MPLS 망에서의 트래픽 엔지니어링에 관한 연구를 활발하게 만들었다.

기존에 제시된 MPLS 망에서 트래픽 엔지니어링은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 선형방정식 형태로 문제를 정의해서 해결하는 것과[4] 정수 선형방정식(Integer Linear Programming)과 같은 NP 문제를 풀기 위한 heuristic 알고리즘을 통해 해결하는 것이다[5][6]. 다만, 기존의 연구에서 가정한 MPLS 망에서는 동일한 목적지로 향하는 Egress LSR 들이 한 개로만 구성되었다.

네트워크 혼잡을 최소화 시키기 위한 방법으로 트래픽 엔지니어링과 함께 연구되고 있는 분야는 다중 경로 라우팅이다[3]. 기존의 단일 경로 라우팅이 하나의 경로만을 사용해서 트래픽을 라우팅하는 것과 달리 다중 경로 라우팅은 여러 개의 경로를 동시에 사용해서 트래픽을 라우팅하는 기술에 해당한다. 유일 경로 라우팅 환경에서 트래픽 엔지니어링 문제는 NP 문제로 알려져 있으며, 다중 경로 라우팅 환경에서는 추가되는 제한 조건에 따라 문제가 P 혹은 NP 인지 결정되게 된다.

3. 문제 정의

본 논문에서는 MPLS 망에서 트래픽 엔지니어링에 대해 기술하고 있다. MPLS 망은 레이블 교환 스위칭 기능을 가

진 라우터(LSR)들과 링크들로 구성된다. LSR 들은 Ingress LSR 과 Egress 로 나눌 수 있다. Ingress LSR 을 통해 MPLS 망으로 트래픽이 들어오게 되며, Egress LSR 을 통해서 MPLS 망 밖으로 트래픽이 나가게 된다. 본 논문에서 가정한 MPLS 망은, 중복 Egress LSR 이 존재한다는 것이다.



<그림 1> 중복 Egress LSR

중복 Egress LSR 이란, <그림 1> 과 같이 1 번 Ingress LSR 로 들어온 트래픽의 Egress LSR 은 2, 3, 4 LSR 로 구성되는 것이다. 즉, 2, 3, 4 LSR 이 하나의 Egress LSR 을 구성하는 집합이 되며, 세 개의 LSR 중에서 임의의 하나의 LSR 을 사용해서 트래픽이 나가는 경우를 나타낸다. MPLS 망에서 중복 Egress LSR 을 가지는 경우는, 여러 종류로 나타나게 된다. 예를 들어, 서로 다른 AS 간에 peering 을 맺을 때[7], 여러 개의 NAP(Network Access Point)를 두게 된다. 즉 하나의 AS 가 MPLS 망으로 구성될 때, 다른 AS 로 가는 Egress LSR 은 NAP 개수만큼 중복되게 된다.

본 논문에서 트래픽 엔지니어링의 목적은 전체 네트워크의 혼잡을 줄이기 위한 것이다. 전체 네트워크의 혼잡을 줄이기 위한 방법으로, 가장 링크 이용율이 높은 링크의 이용율을 최소화 하도록 LSP 들을 설정하고 트래픽을 분산하는 것이다.

본 논문에서는 다중 경로 라우팅을 가정해서 트래픽 엔지니어링 문제를 다루었다. 즉 Ingress LSR 에서 Egress LSR 로 향하는 트래픽은 여러 경로를 동시에 사용해서 트래픽이 전송되게 된다. 여러 경로를 동시에 사용해서 트래픽을 전송하는 경우, 한 흐름 내에서 패킷 재배열(reordering) 문제가 발생하는데 이에 대한 해결책은 패킷 단위로 라우팅을 하지 않고 흐름 단위로 라우팅을 하는 것이다[2].

4. 중복 Egress LSR 을 가진 MPLS 망에서 트래픽 엔지니어링을 위한 선형 방정식

Minimize α

Subject to

$$\sum_{j:(i,j) \in E} X_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} X_{ji}^k = 0, k \in K, i \notin \{s_k, T_k\} \quad (1)$$

$$\sum_{j:(i,j) \in E} X_{ij}^k = 1, k \in K, i = s_k \quad (2)$$

$$\sum_{i \in T_k} \sum_{j:(j,i) \in E} X_{ji}^k = 1, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} d_k X_{ij}^{kp} \leq c_{ij} \alpha, (i, j) \in E \quad (4)$$

$$0 \leq X_{ij}^k \leq 1, \alpha \geq 0$$

중복 Egress LSR 을 가진 MPLS 망에서 네트워크 혼잡을 완화하기 위한 문제는 위의 선형 방정식을 통해 풀 수 있다. 선형 방정식의 목적은 α , 즉 링크 이용률이 가장 높은 링크의 이용률을 최소화 하는 것이다. 위의 식에서 T_k 는 트래픽 흐름 k 의 Egress LSR 집합을 나타낸다.

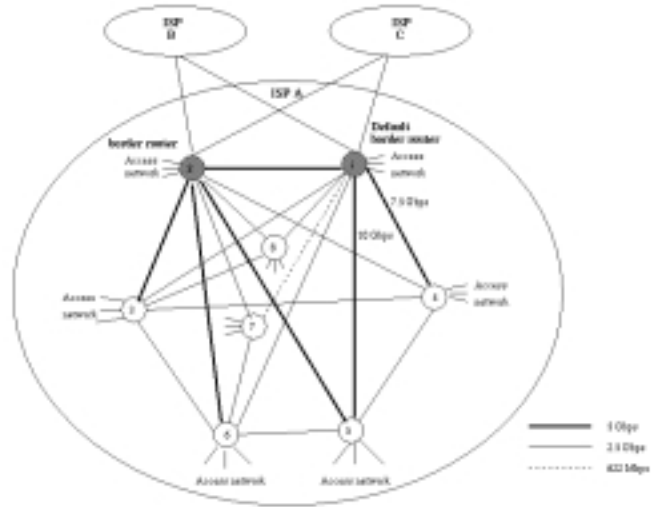
(1) 번식이 의미하는 것은, Ingress 와 Egress LSR 에 속하지 않는 LSR 의 경우, LSR 로 들어오는 트래픽 양은 LSR 에서 나가는 트래픽 양과 같다는 것을 의미한다. (2) 번식은, 트래픽 흐름 k 가 Ingress LSR 을 통해 MPLS 망으로 들어간다는 것을 의미한다. (3) 번식은, Egress LSR 집합 T_k 로 들어오는 트래픽 양은 Ingress LSR 로 들어온 트래픽 양과 같다는 것을 의미한다. (4) 번식은, α 는 가장 링크 이용률이 높은 링크의 이용률을 나타낸다.

위의 선형 방정식은 CPLEX 와 같은 프로그램을 사용해서 빠른 시간 안에 최적의 해를 구할 수 있다.

5. 모의 실험 결과

<그림 2> 는 모의 실험에서 사용한 MPLS 망의 구조를 보여 주고 있다. KONET 망의 구조를 추상화 시켜서 표현한 것으로 ISP(Internet Service Provider) B 와 C로 나가는 트래픽은 1 번과 2 번 Egress 들을 사용하게 된다. 즉 1 번과 2 번 LSR 이, 본 논문에서 언급한 중복 Egress LSR 에 해당

하게 된다.



<그림 2> 실험에 사용한 MPLS 망 구조

	Hye-hwa	Guro	Taejon	Taeju	Pusan	Gwangju	Pok-jeonju	Nam-dongju
Hye-hwa	0	1400	540	1000	1200	398	50	152
Guro	400	0	85	152	200	200	114	52
Taejon	70	20	0	10	10	10	10	10
Taeju	100	38	10	0	10	10	10	10
Pusan	180	40	10	10	0	10	10	5
Gwangju	84	40	10	10	10	0	10	5
Pok-jeonju	8	20	10	10	10	10	0	10
Nam-dongju	22	8	1	5	5	5	5	0

<그림 3> 실험상에서 각 LSR 간에 트래픽 양(Mbps)

모의 실험에서 사용한 각각의 LSR 간에 트래픽의 양은 일정 기간동안 관측한 데이터(그림 3)를 사용했다. 본 논문에서는 주어진 MPLS 망구조와 트래픽 양에 대한 자료를 바탕으로, 다음 네 가지 라우팅 기법에 대해, α 와 LSP의 개수, 사용한 자원의 양을 측정하였다.

- ✓ SH: 기존의 최단 경로를 사용하는 유일 경로 라우팅
- ✓ ECMP: 동일 비용을 가지는 경로들이 같은 트래픽 분산 비율을 가지는 다중 경로 라우팅
- ✓ TE: 중복 Egress LSR 을 고려하지 않은 트래픽 엔지니어링 결과를 이용한 다중 경로 라우팅
- ✓ Redundancy-aware TE(RA-TE): 중복 Egress LSR 을 고려한 트래픽 엔지니어링 결과를 이용한 다중 경로 라우팅

TE 와 RA-TE 의 차이는, 중복 Egress LSR 이 존재하지만 중복 Egress LSR 들을 서로 독립적인 Egress LSR 로 고려한 경우가 TE 가 되고, 본 논문에서 처럼 중복 LSR 들을 하나의 Egress LSR 에 해당하는 집합으로 고려한 경우가 RA-TE 가 된다.

각각의 라우팅 기법에 대한 α 값은 <표 1> 에 나와 있다. SH 는 가장 이용 율이 높은 링크의 이용 율이 28% 로 나타났으며, TE 는 α 값이 15% 로 나타났다. 즉 트래픽 엔지니어링을 통해 네트워크의 혼잡을 최소화 시킬 수 있었다. 또한 RA-TE 와 TE 의 결과는 RA-TE 가 α 값이 9% 로 TE 보다 좋은 결과를 얻었다. 중복 Egress LSR 을 가진 경우에, 본 논문에서 제안한 트래픽 엔지니어링 기법을 통해 보다 효과적으로 네트워크의 혼잡이 최소화 될 수 있다는 것을 보여 주고 있다.

각 라우팅 기법들이 사용한 네트워크 자원을 비교해 보면, 최단 경로를 사용하는 SH 와 ECMP 가 네트워크 자원은 가장 적게 사용하였다. 반면에 트래픽 엔지니어링을 사용하였을 경우에, 약 800Mbps 정도 보다 많은 자원을 사용하였다. 이러한 이유는 트래픽 엔지니어링에서는 네트워크 혼잡을 줄이기 위해 최단 경로 보다 긴 경로를 사용해서 라우팅을 했기 때문이다.

설정된 LSP 의 개수를 보면, SH 는 최단 경로를 가지는 유일의 경로를 사용하기 때문에 가장 적은 56 개의 LSP 가 사용되었다. 반면 TE 와 RA-TE 에서는 SH 보다 많은 64 개와 84 개의 LSP 를 사용해서 트래픽을 라우팅하였다.

기본적으로 트래픽 엔지니어링은, 기존의 최단 경로를 사용하는 단일 경로 라우팅에 비해 보다 많은 자원과 LSP 를 사용하지만 네트워크의 혼잡을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 중복 Egress LSR 이 존재할 경우, 본 논문에서 제시한 선형 방정식을 통해 해를 구했을 때, 중복 Egress LSR 을 고려하지 않은 경우에 비해 네트워크의 혼잡을 줄이는 결과를 얻을 수 있었다.

	SH	ECMP	TE	RA-TE
α (%)	28	28	15	9
Resource (Mbps)	6954	6954	7741	7741
총 LSP 개수	56	89	64	84

<표 1> 모의 실험 결과

6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 중복 Egress LSR 을 가진 MPLS 백본망에서 트래픽 엔지니어링에 관한 문제를 다루었다. 선형 방정식으로 문제를 정의하였으며, 이를 통해 가장 이상적인 LSP 경로 설정과 트래픽 분산 비율을 구할 수 있다는 것을 모의 실험을 통해 보였다. 본 논문에서 제시한 트래픽 엔지니어링 기법을 사용할 경우에, 기존의 유일 경로 라우팅 방식과 비교해서 전체 네트워크의 혼잡을 크게 완화 할 수 있었다. 특히 본 논문에서 중복 Egress LSR 을 고려한 트래픽 엔지니어링이 중복 Egress LSR 을 고려하지 않은 상태에서 트래픽 엔지니어링 보다 효과적으로 네트워크 자원을 사용할 수 있으면, 서비스 품질을 향상할 수 있었다.

향후 과제로는 AS 들간에 peering 을 맺을 때, NAP 를 설정하는 문제와 본 논문에서 제시한 트래픽 엔지니어링 문제를 복합해서 다룰 수 있다. 전체 네트워크의 혼잡을 최소화 하는 것과 peering 과 관련해서 요구되는 비용을 최소화 하는 문제를 함께 다룰 수 있다.

참고문헌

- [1] E. Rosen, A. Viswanathan and R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture", Internet RFC 3031, 2001
- [2] Z. Cao, Z. Wang and E. Zegura, "Performance of Hashing-Based Schemes for Internet Load Balancing", INFOCOM'2000
- [3] I. Cidon, R. Rom and Y. Shavit, "Analysis of Multi-Path Routing", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 7, no 6, pp. 885-896, Dec. 1999
- [4] Y. Wang and Z. Wang, "Explicit Routing Algorithm for Internet Traffic Engineering", ICCCN'99
- [5] A. Elwalid, C. Jin, S. Low and I. Widjaja, "MATE: MPLS Adaptive Traffic Engineering", INFOCOM'2001
- [6] M. Kodialam and T. V. Lakshman, "Minimum Interference Routing with Applications to MPLS Traffic Engineering", INFOCOM'2000
- [7] D. Awduche, J. Agobua and J. McManus, "An Approach To Optimal Peering Between Autonomous Systems in the Internet", IC3N, Oct. 1998