

# 트래픽 엔지니어링의 기능 모델

## Function Model of Traffic Engineering

임 석 구

천안대학교

Lim Seog-Ku

Cheonan University

### 요약

본 논문에서는 인터넷에서의 트래픽 엔지니어링 체제를 구축하기 위하여 트래픽 엔지니어링을 수행하기 위한 기능 모델을 제시하였다. 제시한 기능 모델은 트래픽 관리, 용량 관리, 그리고 네트워크 계획으로 구성된다. 트래픽 관리는 다양한 조건하에서 네트워크 성능을 최대화하는 것을 목적으로 하며, 용량 관리는 최소의 비용으로 네트워크 요구에 대한 성능 목표치를 만족시키기 위하여 네트워크가 설계되고 제공됨을 목적으로 한다. 또한 네트워크 계획은 예측된 트래픽 증가에 앞서 노드와 전송 용량이 계획되고 배치됨을 보장한다.

## I. 서론

인터넷 트래픽 엔지니어링(Traffic Engineering)은 네트워크 자원을 효율적으로 사용하면서 트래픽을 네트워크 전체에 가능한 균등히 분배하여 사용자들이 원하는 서비스 품질을 보장해주면서 동시에 네트워크 자원의 활용도를 극대화시키는 기술이다. 인터넷 트래픽 엔지니어링의 주요 목적은 트래픽 레벨과 자원 레벨에서 운용 네트워크의 성능을 향상시키는 것인데, 이것은 네트워크 자원을 경제적으로 그리고 신뢰성 있게 이용하면서 트래픽에 관련된 성능 요구사항을 만족해야 한다. 여기서 트래픽에 관련된 성능은 지연, 지연변이, 패킷 손실, 그리고 수율 등으로 평가된다.

인터넷은 소스 노드에서 목적지 노드로 트래픽을 라우팅한다. 그러므로 인터넷 트래픽 엔지니어링이 수행하는 가장 중요한 기능 중의 하나는 라우팅 기능의 제어와 최적화이며, 가장 효율적인 방법으로 트래픽을 조절하는 것이다. 트래픽 엔지니어링의 최적화는 용량 관리(Capacity Management)와 트래픽 관리(Traffic Management)를 통해서 얻을 수 있다. 용량 관리는 용량 계획, 라우팅 제어, 그리고 자원관리를 포함하며, 또한 트래픽 관리는 노드의 트래픽 제어 기능(트래픽 조절, 큐 관리, 스케줄링 등), 네트워크를 통한 트래픽 흐름을 조절하는 기타 다른 기능, 또는 서로 다른 패킷 간 또는 서로 다른 트래픽 스트림간에서 네트워크 자원의 액세스를 조정하는 다른 기능을 포함한다.

인터넷 트래픽 엔지니어링의 제어 측면은 네트워크 사건(Event)에 대해 시간적인 범위에 따른 다양한 해결 방안을 제공한다. 인터넷 트래픽 엔지니어링의 또 다른 중요한 측면은 네트워크 성능 평가인데, 이것은 트래픽 엔지니어링 방법의 효율성을 평가하는데 중요하며 또한 네트워크 성능 목표와의 일치성을 입증하는데도 중요하다. 성능평가로부터의 결과들은 현재의 문제들을 식별하고, 네트워크를 다시 최적화하는데 사용되거나 미래의 가능한 문제들을 예측하는데 사용될 수 있다.

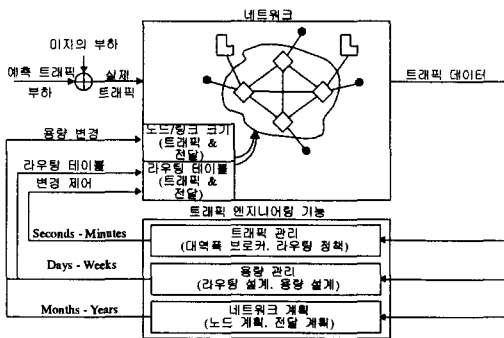
인터넷 트래픽 엔지니어링은 중단간에 적용될 때 가장 효율적이지만 도메인내(Intra-Domain) 트래픽 엔지니어링을 중심으로 설명한다. 서론에 이어 제 II 절에서는 트래픽 엔지니어링에 관한 체제(Framework)를 구축하기 위하여 인터넷 트래픽 엔지니어링에 관한 기능 모델을 제시하며, 제3절에서는 결론을 맺는다.

인터넷 트래픽 엔지니어링은 중단간에 적용될 때 가장 효율적이지만 도메인내(Intra-Domain) 트래픽 엔지니어링을 중심으로 설명한다. 서론에 이어 제 II 절에서는 트래픽 엔지니어링에 관한 체제(Framework)를 구축하기 위하여 인터넷 트래픽 엔지니어링에 관한 기능 모델을 제시하며, 제3절에서는 결론을 맺는다.

## II. 트래픽 엔지니어링 기능 모델

최근 폭발적으로 증가하고 있는 인터넷 사용자와 실

시간 트래픽 때문에 기존의 라우터를 가지고는 이 문제를 근본적으로 해결하는데 한계가 있다. 폭주(Congestion)의 발생 원인은 네트워크 자원 자체의 부족이나 네트워크의 부하를 균등하게 분배하지 못하는데 있다. 이러한 관점에서 트래픽 엔지니어링과 관련된 주요 성능 목표는 트래픽 지향적인(Traffic Oriented) 성능 목표와 자원 지향적인(Resource Oriented) 성능 목표로 분류할 수 있다.



▶▶ 그림 1. 트래픽 엔지니어링 기능 모델

인터넷에서의 트래픽 엔지니어링을 위한 모델을 그림 1에 나타내었는데, 기본적으로 트래픽 엔지니어링 기능은 트래픽 관리(Traffic Management), 용량 관리(Capacity Management), 그리고 네트워크 계획(Network Planning)으로 구성되며, 그림에는 트래픽 관리, 용량 관리, 네트워크 계획이 네트워크 주위에서 상호 동작하는 것을 나타낸다[1]. 그림 1에 나타난 기능들은 IETF(Internet Engineering Task Force)내의 TEWG(Traffic Engineering Working Group)에서 채택한 트래픽 엔지니어링의 정의와 일치한다[2].

### 2.1 트래픽 관리 기능

트래픽 엔지니어링 기능 중에서 현재까지의 대부분의 연구들은 이러한 기능 중에서 트래픽 관리 기능을 주요 대상으로 하였다. 트래픽 관리는 부하이동과 오류를 포함하는 모든 조건 하에서 네트워크 성능을 최대화하는 것을 보장하며, 트래픽 관리에 포함되는 기능들은 네트워크 노드에 분산, 집중, 또한 이들의 혼합된 형태로 수행될 수도 있다.

#### (1) 호 라우팅

호 라우팅은 번호(또는 이름)을 라우팅 주소로 번역하며, 라우팅 주소들은 라우팅 목적으로 사용되며, 그리고 연결 설정 정보요소(IE: information element)로서 전달되어야 한다.

#### (2) 접속/배어러 경로 라우팅

접속/배어러 경로 라우팅은 네트워크 내에서 발신 노드로부터 착신노드까지의 경로를 선택한다. 배어러 경로 선택 방법은 고정 라우팅(FR: fixed routing), 시간 종속 라우팅(TDR: time-dependent routing), 상태종속 라우팅(SDR: state-dependent routing), 그리고 사건종속 라우팅(EDR: event-dependent routing)으로 분류된다. 이러한 방법들은 라우팅 테이블에 의해 이루어지며, 라우팅 테이블은 주어진 접속 또는 대역폭 할당 요구를 위하여 루트로부터 하나의 경로를 선택하기 위한 규칙이나 루트로 이루어진다.

#### (3) QoS 자원 관리 방법

QoS 자원 관리 기능들은 CoS(Class-of-Service), 정책-기반 라우팅 테이블, 접속 수락, 대역폭 할당, 대역폭 보호, 대역폭 예약, 우선순위 라우팅, 우선순위 큐잉, 그리고 다른 자원관리에 관련된 기능들을 포함한다.

#### (4) 라우팅 테이블 관리

토폴로지 갱신, 상태 정보 및 라우팅 권고사항과 같은 라우팅 테이블 관리 정보는 라우팅 테이블에서의 경로 선택을 위한 라우팅 테이블 설계 규칙을 적용할 목적으로 이용된다. 이 정보는 노드와 노드 사이에 교환되는데, 노드와 노드 사이의 예는 발신노드와 착신노드 또는 노드와 네트워크 요소(BBP: bandwidth-broker processor)이다. 이러한 정보는 라우팅 테이블을 발생하는데 사용되고, 라우팅 테이블은 경로선택에 사용된다.

#### (5) 동적 전송 라우팅

동적 전송 라우팅은 OXC(Optical Cross Connects)와 같은 유연한 트랜스포트 교환 기술을 이용하여 노드들과 서비스들 사이의 트랜스포트 대역을 바꾸기 위해

동적 트래픽 라우팅과 함께 이용된다. 동적 트랜스포트 라우팅은 설계의 단순성과 부하 변이와 망 오류를 잘 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 동적 전송 라우팅은 전송 용량 이용율과 성능을 향상시키기 위해 자동 링크 제공, 다양한 링크 라우팅 및 빠른 링크 복구의 능력을 제공한다. OXC들은 요구시 최고 일일 트래픽, 주 단위 링크 용량 재설계, 또는 노드/전송 오류시 긴급한 용량 복구와 같은 논리적인 트랜스포트 용량을 재 설계한다. MPLS의 제어 능력들은 OXC를 이용한 계층 2의 논리적 링크 설정을 위해 제안되었다.

#### (6) 대역폭 제공 및 복구

네트워크 관리에서 가장 중요한 개념 중의 하나는 네트워크의 생존성(Survivability)을 유지하는 것인데, 만일 노드나 링크에 Fail이 발생하는 경우에도 손상받은 루트는 가능한 빨리 복구되어야 한다.

광 네트워크에서의 대역폭 제공과 복구의 기본 개념은 Lambda Switching을 하는 OXC(Optical Crossconnect) 시스템을 토대로 설명 가능하다. OXC는 여러 개의 입력과 출력 Lambda 포트를 갖고 있으며, 이들은 인접한 OXC들을 연결하고, 여러 개의 입출력 데이터 포트는 라우터에 연결되어 있다. OXC는 OSC(OXC Switching Controller)와 OXC switch fabric으로 구성된다. OSC는 수신한 메시지를 적절한 제어 명령으로 변환하고 이 명령어를 OXC fabric으로 전송하며, 이러한 명령을 토대로 연쇄적인 접속들은 OXC를 통하여 End-to-end Lightpath를 형성한다.

Lightpath 복구 메커니즘은 링크 Failure가 Failure 발생의 인접 노드에서 검출될 때, Lightpath상의 Ingress 노드와 Egress 노드에게 이를 알린다. 이후 복구방식에 따라 Ingress 노드와 Egress 노드는 End-to-end Backup Lightpath를 계산한다. Backup Lightpath가 설정될 때, Ingress 노드와 Egress 노드는 손상된 일차 Lightpath를 Backup Lightpath로 대체한다[3],[4].

## 2.2 용량 관리 기능

용량 관리는 최소의 비용으로 네트워크 요구에 대한 성능 목표치를 만족시키기 위하여 네트워크가 설계되고 제공됨을 보장한다. 용량 관리는 수 개월에서부터 일년 또는 그 이상의 시간에 걸쳐서 계획하고, 일정을 세워서 제공된다. 예외적인 상황에서의 서비스 문제를 해결하기 위하여 단기간(일주일에서 수 주일 동안)을 기초로 용량은 증가될 수도 있다. 용량 관리에 포함되어 있는 네트워크 설계는 라우팅 설계와 용량 설계 모두를 포함한다. 라우팅 설계는 용량 관리에서 제공하는 용량을 고려하고, 필요에 따라 서비스 문제를 수정하기 위한 주당 또는 가능하면 실시간으로 라우팅 테이블을 조정한다. 변경된 테이블은 직접적으로 또는 자동화된 라우팅 변경 시스템을 경유하여 스위칭 시스템 내에서 제공된다.

#### (1) 링크 용량 설계

최단경로에서 처리된 트래픽과 우회경로에서 처리되는 트래픽 사이의 상관관계를 규명한다. 점유율이 높은 링크는 보다 효율적이지만 이는 링크의 과부하를 일으키며 결국 트래픽이 직접 링크가 아닌 우회경로를 통해 전달되도록 한다. 우회경로는 보다 길고 비 효율적인 경로를 의미한다. 링크 용량 설계와 우회경로 이용을 사이에는 상호보완 관계가 존재한다[5],[6],[7].

#### (2) 최단 경로 선택 모델

최단경로 선택모델은 보다 효율적이고 유연한 라우팅을 설계하기 위한 최단 경로 결정을 가능하게 한다. 계층적 라우팅과 같은 라우팅 방법은 경로 선택을 제한하고 비효율적인 설계 방안을 제공하며 유연성을 제한한다. 비용을 기준으로 경로를 선택하고 계층적 망구조와 같은 제한사항을 해지한다면 보다 효율적인 망 설계가 가능하다. 계층적 경로에 국한되지 않고 최단 비계층적 경로의 선택을 허용하면서 보다 유연한 라우팅 계획을 이용하여 네트워크를 설계한다면 추가적인 장점을 얻을 수 있다.

#### (3) 다시간 네트워크 설계 모델

동적 라우팅은 고정 라우팅에 비해서 네트워크의 이

용율을 향상시킨다. 왜냐하면 고정 라우팅은 업무/주거용, 시간 영역, 계절 변이 및 다른 원인으로 발생하는 트래픽 부하 변이에 효율적으로 반응하지 못하기 때문이다. 동적 라우팅 설계는 트래픽 유형과 설계 용량에 따른 라우팅 테이블 관리를 통해 효율적으로 네트워크의 이용율을 증대시킨다.

#### (4) 일일 부하 변이 설계

망 설계시 예측 트래픽 부하를 이용하는데, 예측된 평균 부하가 맞더라도 실제 발생 부하는 하루 동안 랜덤한 분산값을 갖는다. 이러한 불확실성으로 인해 요구된 성능 수준을 유지하기 위하여 네트워크는 확장되어야 한다. 일일 변이 설계 모델을 기반으로 예측 부하  $R$ 에 대한 요구사항을 만족시키기 위한 해당 링크에서의 링크 대역  $N$ , 명시된 실시간 평균 비율(IMR: instantaneous-to-mean ratio) 및 일일 변이  $\gamma$ 가 결정된다. IMR과 대역 용량  $N$ 을 고정하여 일일 변이가 없는 예측 부하 하에서의 성능 요구사항을 만족하기 위한 대역  $N$ 에 해당하는 부하  $R_e$ 를 구한다. 트래픽 부하  $R_e$ 는  $R$ 을 대신하여 이용된다. 왜냐하면,  $R_e$ 가 일일 변이가 있는 상황에서 동일한 IMR 수준을 만족시키도록 동일한 대역을 필요로 하기 때문이다.

#### (5) 예측 불확실성/예비용량 설계

네트워크의 용량 설계시 트래픽 부하 처리에서 발생하는 에러를 해결하기 위한 수단이 필요하다. 측정된 트래픽 부하와 예측된 트래픽 부하 사이에는 차이가 있으며, 이러한 에러는 실제 발생하는 부하의 불확실성을 반영하며, 이들 예측 에러를 고려하여 네트워크의 평균 부하를 처리할 수 있도록 충분한 용량이 제공되어야 한다. 이러한 불확실성으로 인해 손실 확률 및 지연 확률 등과 같은 서비스 기준의 목표치를 만족시키도록 네트워크는 확장되어야 한다.

### 2.3 네트워크 계획 기능

네트워크 계획은 예측된 트래픽 증가에 앞서 노드와 전송 용량이 계획되고 배치됨을 보장한다. 노드 계획과 전달(Transport) 계획을 포함하는 네트워크 계획은 여

러 해의 예측기간 동안을 토대로 운용되며, 네트워크 용량 확장은 네트워크 예측을 기초로 수년간에 걸친 기간 동안에 적용된다.

## III. 결론

본 논문은 트래픽 엔지니어링 체제를 구축하기 위하여 트래픽 엔지니어링의 목적과 트래픽 엔지니어링을 수행하기 위한 기능 모델을 제시하였다. 기능 모델은 트래픽 관리, 용량 관리, 그리고 네트워크 계획으로 구성된다.

트래픽 관리는 다양한 조건하에서 네트워크 성능을 최대화하는 것을 목적으로 하며, 호 라우팅, 접속/배어러 경로 라우팅, QoS 자원 관리 방법, 라우팅 테이블 관리, 동적 전송 라우팅, 대역폭 제공 및 복구 등을 포함한다.

용량 관리는 최소의 비용으로 네트워크 요구에 대한 성능 목표치를 만족시키기 위하여 네트워크가 설계되고 제공됨을 목적으로 하며, 링크 용량 설계, 최단 경로 선택 모델, 다시간 네트워크 설계 모델, 일일 부하 변이 설계, 예측 불확실성/예비용량 설계 등을 포함한다.

마지막으로 네트워크 계획은 예측된 트래픽 증가에 앞서 노드와 전송 용량이 계획되고 배치됨을 보장한다.

추후에는 본 논문에서 제시한 기능 모델을 고려한 광인터넷에서의 트래픽 엔지니어링에 관한 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

#### ■ 참고문헌 ■

- [1] J. Ash, "TE & QoS Methods for IP-, ATM-, & TDM-Based Networks," Work in Progress, draft-ietf-tewg-qos-routing-01.txt, Mar. 2001.
- [2] B. Rajagopalan et al., "IP over Optical Networks: A Framework," Internet Draft, Work in progress, draft-many-ip-optical-framework-02.txt, November 2000.
- [3] D. Awduche and Y. Rekhter, "Multiprotocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control with Optical Crossconnects", IEEE Communications Magazine, March 2001.
- [4] Jin Ho Hahm et al., "Restoration Mechanisms and Signaling in Optical Networks," Internet Draft,

Work in Progress, draft-many-optical-restoration-01.txt, July 2001

- [5] D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell, J. McManus, "Requirements for Traffic Engineering over MPLS," RFC 2702, Sep. 1999.
- [6] D. Awduche, "MPLS and Traffic Engineering in IP Networks," IEEE Communications Magazine, Dec. 1999.
- [7] X. Xiao, A. Hannan, B. Bailey, L. Ni, "Traffic Engineering with MPLS in the Internet," IEEE Network magazine, Mar. 2000.