트래픽 엔지니어링의 기능 모델

Functional Model of Traffic Engineering

임석구
천안대학교 정보통신학부

Seog-Ku Lim(sklim@infocom.cheonan.ac.kr)

요약

본 논문에서는 인터넷에서의 트래픽 엔지니어링 체제를 구축하기 위하여 트래픽 엔지니어링을 수행하기 위한 상위레벨 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.

■ 중심어 : | 트래픽 엔지니어링 | 기능모델 | 트래픽 관리 | 용량 관리 | 네트워크 계획 |

Abstract

This paper presented high-level function model to achieve traffic engineering to construct traffic engineering infrastructure in Internet. Function model presented include traffic management, capacity management, and network planing. It is ensured that network performance is maximized under all conditions including load shifts and failures by traffic management. It is ensured that the network is designed and provisioned to meet performance objectives for network demands at minimum cost by capacity management. Also it is ensured that node and transport capacity is planned and deployed in advance of forecasted traffic growth by network planning.

■ keyword : | Traffic Engineering | Functional Model | Traffic Management | Capacity Management | Network Planning |

I. 서 론

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 이용하

접수번호 : #040804-001
접수일자 : 2004년 08월 04일
심사완료일 : 2004년 11월 02일
교신저자 : 임석구, e-mail : sklim@infocom.cheonan.ac.kr

면서 트래픽에 관련된 성능 요구사항을 만족해야 한다. 여기서 트래픽에 관련된 성능은 지연, 지연변이, 패킷 손실, 그리고 수율(Throughput) 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 용량계획, 라우팅 제어, 그리고 자원관리를 포함하며, 또한 트래픽 관리는 노드의 트래픽 제어 기능(트래픽 조절, 큐 관리, 스케줄링 등), 네트워크를 통한 트래픽 흐름을 조절하는 기타 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 종단간에 적용될 때 가장 효율적이지만 도메인내(Intra-Domain) 트래픽 엔지니어링을 중심적으로 설명한다. 서론에 이어 제 2 장에서는 트래픽 엔지니어링의 목적에 대해 설명하고 제3장에서는 트래픽 엔지니어링에 관한 체제(Framework)를 구축하기 위하여 인터넷 트래픽 엔지니어링에 관한 기능 모델을 제시하였다. 제4장에서는 트래픽 엔지니어링 기능을 수행하기 위한 프로세스 모델을 설명하였으며, 마지막으로 제5장에서는 결론을 맺는다.

II. 트래픽 엔지니어링의 목적

기존의 라우터로서 폭발적으로 증가하고 있는 인터넷 사용자와 실시간 트래픽을 수용하는데 한계가 있다. 이에 대한 대응책으로 Wire Speed 라우터의 연구와 QoS(Quality of Service) 지원 라우터의 연구가 진행중에 있다. 그러나 Wire Speed 라우터의 경우 하드웨어적인 방법으로 고속화의 문제를 해결하고 있으므로 다양한 기능의 추가가 어렵다. 또한 QoS를 지원하기 위해 RSVP(Resource Reservation Protocol)와 같은 연구가 진행되었으나 기존 인터넷의 특성으로 인해 만족할 만한 성과를 얻지 못하고 있는 실정이다. 기존의 라우터에서 고속화를 위해서 고속 라우터의 등장 및 QoS 지원을 위한 QoS 라우터가 등장하였지만 이 두 가지 요구사항을 동시에 만족시킬 수 있는 라우터는 아직 개발되지 못하고 있는 실정이다.

폭주(*Congestion*)의 발생 원인은 네트워크 자원 자체의 부족이나 네트워크의 부하를 균등하게 분배하지 못하는데 있다. 첫 번째 형태의 폭주 문제를 해결하기 위한 방법으로는 네트워크 자원을 늘려서 처리능력을 향상시키거나 고전적인 폭주제어 기술을 이용하는 방법이 있다. 고전적인 폭주제어 기술은 트래픽을 가용한 자원에 맞도록 조절하는 기술인데, 이러한 기술에는 비율제한(Rate Limiting), 윈도우 흐름제어(Window Flow Control), 라우터 큐 관리(Router Queue Management), 스케줄-기반 제어(Schedule-Based Control) 등이 있다. 두 번째 형태의 폭주 문제는 네트워크 어떤 부분은 자원 사용율이 낮은데 비해서 또 다른 부분은 자원 사용률이 매우 높은 경우에 발생한다. 이러한 사용율의 불균등은 RIP(Routing Information Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), IS-IS(Intermediate System to Intermediate System) 등과 같이 최단 경로만을 선택하는 라우팅 프로토콜의 사용 때문에 발생한다. 이러한 라우팅 프로토콜의 사용으로 인해 두 노드 사이의 최단 경로(*Shortest Path*)에 존재하는 라우터들과 노드들은 폭주가 자주 발생하지만, 이러한 경로 이외의 최단 경로가 아닌 다른 경로에 존재하는 라우터들과 노드들은 폭주가 발생하지 않는다. OSPF와 최근의 IS-IS에서는 여러 개의 최단 경로로 부하를 분배하는 ECMP(Equal Cost Multi Path)를 옵션으로 사용하는 방법도 제시하고 있지만 최단 경로가 단 하나만 존재하

는 경우에는 ECMP가 해결방안은 아니다. 또한 간단한 소규모의 네트워크에서는 네트워크 관리자가 각 링크의 비용(Cost)을 고려하여 수동으로 부하를 분배할 수도 있지만, 대규모의 복잡한 네트워크에서는 거의 불가능한 방법이다. 따라서 비효율적인 자원 할당에 기인한 두 번째 형태의 폭주 문제는 트래픽 엔지니어링을 통하여 해결 가능한 것으로 분석되고 있다.

이러한 관점에서 트래픽 엔지니어링과 관련된 주요 성능 목표는 트래픽 지향적인(Traffic Oriented) 성능 목표와 자원 지향적인(Resource Oriented) 성능 목표로 분류할 수 있다. 트래픽 지향적인 성능 목표는 트래픽 스트림의 QoS를 향상하는 측면을 포함한다. 단일급 최선형(Single Class Best Effort) 인터넷 서비스인 경우, 트래픽 지향적인 성능 목표는 최소 패킷 손실율, 최소 지연, 최대 수율, 그리고 SLA(Service Level Agreements)의 준수 여부 등을 포함한다. 단일급 최선형 인터넷 서비스에서 최소 패킷 손실율은 가장 중요한 트래픽 지향적인 성능 목표치 중의 하나이다. 통계적으로, 제한된 트래픽 지향적인 성능 목표(Peak to Peak 패킷 지연 변이, 손실율, 최대 패킷 전달지연)는 차등화된 서비스를 제공하려는 인터넷에서 매우 중요할 것이다.

자원 지향적인 성능 목표는 자원 이용의 최적화에 관련된 측면을 포함한다. 네트워크 자원의 효율적인 관리는 자원 지향적인 성능 목표에 도달하기 위한 수단인데, 특히 네트워크 자원의 일부가 이용율 면에서 여유가 있으면서 다른 일부가 폭주가 되거나 과잉 사용되지 않도록 보장하여야 한다. 대역폭은 현재의 네트워크에서는 매우 중요한 자원이므로 트래픽 엔지니어링의 중요 기능은 대역폭 자원을 효율적으로 관리하는 것이다. 폭주를 최소화 하는 것은 주로 트래픽 지향적인 성능 목표이기도 하며, 자원 지향적인 성능 목표이기도 하다. 여기서의 관심 사항은 순간적인 트래픽 버스트에 기인한 일시적인 폭주가 아닌 지속적인 폭주에 관련된 사항이다.

III. 트래픽 엔지니어링 기능 모델

트래픽 엔지니어링을 위한 모델은 그림 1과 같고, 중앙의 네트워크는 구조와 구성, 그리고 라우팅 테이블에 따라 다양한 형태를 갖는다. 네트워크 구성은 MAN (Metropolitan Area Networks), 도시간의 네트워크, 그리고 범세계적인 네트워크를 포함할 수 있다. 이것은 계층적인 구조와 비계층적인 구조 그리고 이들의 혼합된 형태를 지원한다. 라우팅 테이블은 특정 서비스에 대한 접속요구를 위하여 발신지 노드에서 착신지 노드로의 경로를 선택하기 위한 것이다. 고정 라우팅 테이블과 동적 라우팅 테이블이 가능하고 또한 계층적인 그리고 비계층적인 라우팅 테이블도 가능하다. 라우팅 테이블은 전기통신망의 트랜스포트 서비스와 다양한 트래픽을 지원하기 위해 사용된다.

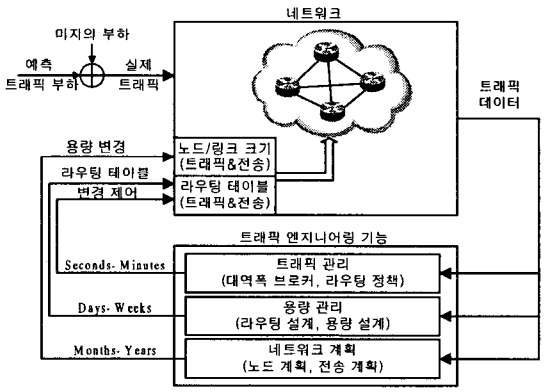

그림 1. 트래픽 엔지니어링 기능 모델

그림 1에 나타낸 트래픽 엔지니어링을 위한 모델을 기본적으로 트래픽 엔지니어링 기능은 트래픽 관리(Traffic Management), 용량 관리(Capacity Management), 그리고 네트워크 계획(Network Planning)으로 구성되며, 트래픽 관리, 용량 관리, 네트워크 계획이 네트워크 주위에서 상호 동작하는 것을 나타내었다[1]. 그림 1에 나타난 기능들은 IETF(Internet Engineering Task Force)내의 TEWG(Traffic Engineering Working Group)에서 채택한 트래픽 엔지니어링의 정의와 일치한다[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 보장한다. 트래픽 관리에 포함되는 기능들은 호 라우팅, 연결/베어러 경로 라우팅, QoS 자원 관리 방법, 라우팅 테이블 관리, 동적 전송 라우팅, 대역폭 제공 및 복구 등이 있으며, 이들 기능들은 네트워크 노드에 분산, 집중, 또한 이들의 혼합된 형태로 수행될 수 있다.

1.1 호 라우팅

호 라우팅 기능은 번호나 이름을 라우팅 주소로 번역하고, 이를 연결설정에 사용한다. 라우팅 주소의 종류로는 E.164 ATM 종단 시스템 주소(AESA: ATM End System Addresses), 네트워크 라우팅 주소(NRA: Network Routing Addresses), IP 주소가 있다. 트래픽 엔지니어링은 연결 설정을 위한 정보요소 내에 E.164-AESA 주소, NRA 및 IP 주소를 전달해야 한다. IP 기반 망에서는 IP 주소 체계가 표준 주소 할당 방법이 된다.

CIC(Call Identification Code)는 호 제어와 베어러 제어 연결 설정 정보요소 내에 운반되어야 하며, 이를 통해 호 제어 설정과 베어러 제어 설정 사이의 상호 운용이 가능하게 된다. SS7 ISUP 연결 설정 정보요소 내에 이러한 부가적인 파라미터를 운반하는 것을 BICC (Bearer Independent Call Control) 프로토콜이라고 한다.

1.2 연결/베어러 경로 라우팅

본 절에서는 네트워크 계층 연결 라우팅(계층 3 라우팅)을 의미하며, 이는 데이터 링크 계층과 물리 계층의 라우팅과는 다르다. 여기서 "링크"라는 용어는 "논리 링크"를 의미한다. 네트워크 계층의 연결 라우팅은 IP 기반인 경우 OSPF, BGP(Border Gateway Protocol), MPLS(Multi Protocol Label Switching)와 같은 관점에서 논의된다. ATM 기반인 경우는 PNNI(Private Network-to-Network Interface), UNI(User-to-Network Interface), AINI(ATM Inter-Network Interface)와 같은 관점에서 논의되며, TDM 기반인 경우는 E.170, E.350, E.351과 같은 관점에서 논의된다.

연결/베어러 경로 라우팅은 네트워크 내에서 발신 노드와 착신노드 사이의 경로를 선택한다. 베어러 경로 선택 방법은 고정 라우팅(Fixed Routing)과 동적 라우팅 방법으로 분류되며, 동적 라우팅은 시간기준 라우팅(Time-Dependent Routing), 상태기준 라우팅(State-Dependent Routing), 그리고 사건기준 라우팅(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.

계층적인 고정 라우팅은 IP 기반 망을 포함하는 모든 유형의 망에 적용되는 중요한 라우팅 방식이다.

시간기준 라우팅 방법은 동적 라우팅의 일종이며, 라우팅 테이블은 오프라인, 사전 계획에 따라 결정되고 주어진 시간 동안 수행된다. 또한 라우팅 테이블은 망에서의 트래픽 부하 변이는 예를 들어, 한 시간 단위로 측정된 부하 패턴에 따라 결정된다. 다양한 시간 단위가 사용되며 이를 부하 설정 기간(Load Set Period)이라 부른다. 전형적으로 망에서 이용되는 라우팅 테이블은 시간 단위의 트래픽 부하가 일치하지 않은 경우에 사용하면 많은 장점을 얻을 수 있다.

상태기준 라우팅에서 라우팅 테이블은 망의 상태에 따라 자동적으로 변경된다. 변화하는 망의 상태에 따라 경로 선택을 결정하기 위하여 라우팅 테이블 규칙이 구현되고 이는 상대적으로 짧은 시간 동안 사용된다. 네트워크 상태에 대한 정보는 중앙에서 수집되고 망의 노드로 분배된다. 일반적으로 이 방법은 각 연결 요구에 대한 대역폭 비용을 계산하고 이는 망에서의 부하 상태 또는 링크의 혼잡 상태와 같은 다양한 요인을 기반으로 한다.

사건기준 라우팅에서 라우팅 테이블은 선택된 루트 상에서 접속이 성공하였는지 또는 실패하였는지에 따라 지역적으로 변경된다. 사건기준 라우팅 학습(Learning) 방식에서 이전에 성공한 경로는 블러킹될 때까지 시도되고, 다른 경로는 랜덤한 시점에서 선택되어 다음 호에서 시도된다. 또한 사건기준 라우팅에서의 경로선택은

트래픽 부하패턴의 변화에 따라 변경될 수 있다.

1.3 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 기타 자원관리에 관련된 기능들을 포함한다.

QoS 자원관리 방법은 TDM-기반 망에서 성공적으로 적용되어 왔으며[3], IP-기반 망과 ATM-기반 망에도 확장되고 있다. QoS 자원관리 방법의 예로서 대역폭이 우선순위(Priority)에 따라 여러 가상 망에 할당되는 예를 고려할 수 있다. 이러한 가상 망 서비스의 예는 High-Priority Key 서비스(Defense 음성통신), Normal-Priority 서비스(Variable Rate, Interactive, Delay-Sensitive IP Telephony), Low-Priority 최선형 서비스(Variable Rate, Non-Interactive, Non-Delay-Sensitive Voice Mail, E-Mail, File Transfer) 등이 거론되고 있다. 가상 망에서 대역폭의 변화는 네트워크 용량에 대한 전체 통합 대역폭 요구를 토대로 에지 노드에 의해 결정된다. 통합 대역폭 요구를 토대로 에지 노드는 주기적으로 대역폭을 변화시키는데, 이에 따라 가상망의 대역폭 용량인 CR-LSP (Constraint - Based Routing Label Switched Path)가 변화된다.

QoS 자원관리는 흐름단위로(또는 호 단위로) 적용되거나 필요한 경우 IP-기반 망에서는 CR-LSP의 형태인 대역폭 파이프에 적용된다. QoS 자원관리는 아래와 같은 여러 클래스의 서비스에 대해서 공유 네트워크 상에서 서비스 통합을 제공한다.

- -CBR 서비스(음성, N-ISDN 디지털 데이터(64kbps, 384kbps, 1.536kbps), International Switched Transit, Priority Defense Communication, VPN, 800/Free-Phone, Fibre Preferred)
- -실시간 VBR 서비스(IP-Telephony, 압축 비디오)
- -비실시간 VBR 서비스(WWW 파일전송, Credit Card Check)
- - UBR 서비스(음성메일, E-Mail, 파일전송)

1.4 라우팅 테이블 관리

라우팅 테이블 관리는 망 구조를 토대로 라우팅 테이블과 경로 상태와 같은 정보를 관리한다. 토폴로지 변경, 상태 정보 및 라우팅 권고사항과 같은 라우팅 테이블 관리 정보는 라우팅 테이블에서의 경로 선택을 위한 라우팅 테이블 설계 규칙을 적용할 목적으로 이용된다. 관리 정보는 발신노드와 착신노드 또는 노드와 네트워크 요소(BBP: Bandwidth-Broker Processor) 사이에 교환된다. 이러한 정보는 라우팅 테이블을 발생하는데 사용되고, 라우팅 테이블은 경로 선정에 사용된다.

라우팅 테이블 설계 시 필수적인 토폴로지 데이터베이스의 자동 갱신과 동기화를 위하여 ATM과 IP 기반 망에서는 링크를 구별하도록 HELLO 프로토콜 기법을 이용한다. 토폴로지 데이터베이스의 동기화를 위하여 ATM 기반 망에서는 PTSE(PNNI Topology-State-Element) 교환이 이용되며, 토폴로지 데이터베이스에서의 노드, 링크 그리고 접근 가능한 주소 제공을 위하여 IP 기반 망에서 LSA(Link State Advertisement)가 이용된다[4][5][6].

1.5 동적 전송 라우팅

동적 전송 라우팅(Dynamic Transport Routing)은 OXC (Optical Cross Connects)와 같은 유연한 전송 교환 기술을 이용하여 노드들과 서비스들 사이의 전송 대역을 변경하기 위해 동적 트래픽 라우팅과 함께 이용된다. 동적 전송 라우팅은 설계의 단순성과 부하 변이와 망 오류를 잘 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 동적 전송 라우팅은 전송용량의 이용율과 성능을 향상시키기 위해 자동 링크 제공, 다양한 링크 라우팅 및 빠른 링크 복구의 능력을 제공한다[7][8]. OXC들은 요구 시 최고 일일 트래픽, 주단위 링크 용량 재설계, 또는 노드/전송 오류 시 긴급한 용량 복구와 같은 논리적인 전송 용량을 재설계한다. 최근에는 OXC를 이용한 계층 2의 논리적 링크 설정을 위해 MPLS의 제어 능력을 확장하는 연구가 진행 중이며, 이를 위해 밀집 파장 분할 다중화기(DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexer) 기술과 다중 프로토콜 Lambda 교환기술을 적용하려는 연구가 진행되고 있다.

1.6 대역폭 제공 및 복구

네트워크 관리에서 가장 중요한 개념 중의 하나는 네트워크의 생존성(Survivability)을 유지하는 것인데, 만일 노드나 링크에 오류(Fail)가 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 절체한다[9],[10].

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.

2.1 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 비효율적인 경로를 의미한다. 링크 용량 설계와 우회경로 이용율 사이에는 상호보완 관계가 존재한다[11],[12],[13].

2.2 최단 경로 선택 모델

최단경로 선택 모델은 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 망 구조와 같은 제한사항을 해지한다면 보다 효율적인 망 설계가 가능하다. 예를 들어 Dijkstra 방법[14]이 최단 경로 선택을 위해 사용된다. 계층적 경로에 국한되지 않고 최단 비계층적 경로의 선택을 허용하면서 보다 유연한 라우팅 계획을 이용하여 네트워크를 설계한다면 부가적인 장점을 얻을 수 있다.

2.3 다시간 네트워크 설계 모델

동적 라우팅은 고정 라우팅에 비해서 네트워크의 이용율을 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. 이러한 모델에는 이산 사건 흐름 최적화(DEFO : Discrete Event Flow Optimization) 모델, 트래픽 부하 흐름 최적화(TLFO: Traffic Load Flow Optimization) 모델[15][16][17], 그리고 가상 회선 흐름 최적화(VTFO : Virtual Trunking Flow Optimization) 모델을 포함한다. DEFO 모델은 자기 유사성을 갖는 트래픽을 모델링하는 데 유용하다.

2.4 일일 부하 변이 설계

망 설계 시 예측 트래픽 부하를 이용하는데, 예측된 평균 부하가 맞더라도 실제 발생 부하는 하루 동안 랜덤한 분산값을 갖는다[18][19]. 이러한 불확실성으로 인해 요구된 성능 수준을 유지하기 위하여 네트워크는 확장되어야 한다. 일일 변이 설계 모델을 기반으로 예측 부하 R에 대한 요구사항을 만족시키기 위한 해당 링크에서의 링크 대역 N, 명시된 실시간 평균 비율(IMR: Instantaneous- to-Mean Ratio) 및 일일 변이 가 결정된다. IMR과 대역 용량 N을 고정하여 일일 변이가 없는 예측 부하 하에서의 성능 요구사항을 만족하기 위한 대역 N에 해당하는 부하 Re를 구한다. 트래픽 부하 Re는 R을 대신하여 이용된다. 왜냐하면, Re가 일일 변이가 있는 상황에서 동일한 IMR 수준을 만족시키도록 동일한 대역을 필요로 하기 때문이다.

2.5 예측 불확실성을 고려한 예비용량 설계

네트워크의 용량 설계 시 트래픽 부하 처리에서 발생하는 오차를 해결하기 위한 수단이 필요하다. 측정된 트래픽 부하와 예측된 트래픽 부하 사이에는 차이가 있으며, 이러한 오차는 실제 발생하는 부하의 불확실성을 반영하며, 이들 예측 오차를 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[8].

3. 네트워크 계획 기능

네트워크 계획은 예측된 트래픽 증가에 앞서 노드와 전송 용량이 계획되고 배치됨을 보장한다. 노드 계획과 전달(Transport) 계획을 포함하는 네트워크 계획은 여러 해의 예측기간 동안을 토대로 운용되며, 네트워크 용량 확장은 네트워크 예측을 기초로 수년간에 걸친 기간 동안에 적용된다.

IV. 트래픽 엔지니어링 프로세스 모델

인터넷 트래픽 엔지니어링 상위레벨의 실제적인 측면을 알 수 있는 일반적인 프로세스 모델은 트래픽 엔지니어 또는 트래픽 엔지니어링 시스템이 운용 네트워크의 성능을 최적화시키는 일련의 동작들을 설명한다[20][21]. 트래픽 엔지니어링의 실행에 관한 상세한 사항은 네트워크마다 다르지만 여기서 설명하는 프로세스 모델은 앞에서 설명한 기능모델을 기반으로 일반적이고 광범위한 동작들을 나타낸다. 이 프로세스 모델은 자동적으로 실행되거나 운영자에 의해 명시적으로 또는 함축적으로 실행될 수 있다. 트래픽 엔지니어링의 프로세스 모델은 그림 2와 같이 크게 4 단계로 이루어지며, 프로세스 모델의 4가지 단계는 연속적으로 반복된다.

트래픽 엔지니어링 프로세스 모델의 첫 번째 단계는 네트워크의 운용을 지배하는 적절한 제어정책을 정의하는 것이다. 제어정책은 많이 사용되는 영업모델, 네트워크 비용구조, 운영상의 제한사항, 이용율, 그리고 최적화 기준 등을 토대로 수립된다.

프로세스 모델의 두 번째 단계는 운용 네트워크로부터 측정 데이터를 얻는 과정이며 트래픽 엔지니어링 모델에서의 궤환(Feedback) 요소에 해당한다. 네트워크로부터 과거의 데이터를 쉽게 얻지 못하는 경우에는 이전의 네트워크 작업부하와 예측부하를 반영한 통합적인 작업부하가 사용될 수 있다. 통합적인 작업부하는 트래픽 특성의 수학적인 모델이나 다른 수단을 사용하여 얻어진다.

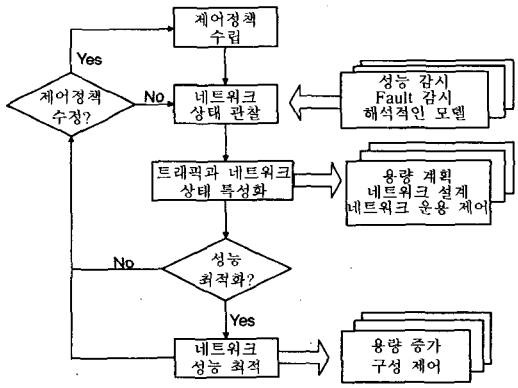

그림 2. 트래픽 엔지니어링 프로세스 모델

프로세스 모델의 세 번째 단계는 네트워크 상태를 분석하고 트래픽 부하를 산출하는 것이다. 성능분석은 예

방적(Proactive)이거나 반응적(Reactive)이다. 예방적 성능분석은 미래에 발생 가능한 문제들을 분석하는 것이며, 반응적 성능분석은 현재의 문제를 확인하고 진단을 통하여 이유를 결정하고 그리고 필요하다면 문제를 해결하기 위한 대안책을 평가하는 과정이다. 이와 관련하여 다양한 기술들이 분석과 시뮬레이션에 기초한 모델링을 포함하는 분석과정에서 사용될 수 있다. 프로세스 모델의 분석과정은 네트워크 상의 트래픽 집중 및 분산 조사를 포함하며, 제공된 트래픽 작업부하의 특성 식별을 포함하고, 링크 위치의 비효율성과 실패점 등과 같은 네트워크 이상 식별을 포함한다. 네트워크의 문제점은 열악한 네트워크 구조나 설계 그리고 구성상의 문제를 포함하여 많은 요소에 기인한다.

프로세스 모델의 네 번째 단계는 네트워크의 성능 최적화이다. 성능 최적화 단계는 여러 방안으로부터 필요한 동작을 결정하고 또한 사용할 프로세스를 결정하는 과정이다. 최적화는 제공 트래픽을 제어하거나 네트워크 상의 트래픽 분포를 제어하기 위하여 관련된 기술을 이용한다. 또한 라우터나 스위치를 추가하거나 IGP 메트릭스와 BGP 속성들과 같은 라우터에 관련된 파라미터를 시스템적으로 조정하거나 트래픽 관리 파라미터를 조정함으로써 최적화 동작들은 추가적으로 링크를 확장하거나 링크용량을 증가한다. 또한 네트워크 성능 최적화는 네트워크 구조, 네트워크 설계, 네트워크 용량, 네트워크 기술 등을 향상시키기 위하여 네트워크 계획 프로세스를 포함한다.

IV. 결 론

현재까지 연구된 결과들은 대부분 트래픽 엔지니어링의 기능모델 중 트래픽 관리 기능에 한정되었다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 트래픽 엔지니어링 체제를 구축하기 위하여 트래픽 엔지니어링의 목적과 트래픽 엔지니어링을 수행하기 위한 상위레벨에서의 기능 모델을 제시하였다. 기능 모델은 트래픽 관리, 용량 관리, 그리고 네트워크 계획으로 구성된다. 체계적인 트래픽 엔지니어링 기능모델은 네트워크 설계나 용량을 증가하려는 경우에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

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

인터넷에서의 트래픽 엔지니어링은 종단간에 적용될 때 가장 효율적이지만 본 논문에서는 도메인내(Intra-Domain) 트래픽 엔지니어링을 중심적으로 설명하였다. 현재의 인터넷 구조에서 도메인간(Inter-Domain) 트래픽 엔지니어링은 도메인내 트래픽 엔지니어링 보다 어렵다. 이는 기술적인 측면과 관리적인 측면 때문이다. 기술적으로 현재의 BGP 버젼은 도메인 경계를 가로질러 토폴로지와 링크 상태 정보를 전달하지 못한다. 이와 관련하여 안정성과 확장성 문제가 주의 깊게 고려되어야 한다. 관리적인 측면에서 도메인간의 네트워크 능력과 운용비용 사이에는 차이가 있다. 일반적으로 어떤 도메인에서 좋은 방식이 반드시 다른 도메인에서도 좋은 방식이 되지는 않는다. 더욱이 하나의 도메인이 네트워크에서 트래픽의 라우팅과 관리에 영향을 미치면서 다른 도메인을 수용하는 것은 바람직하지 않기 때문이다.

최종적으로 트래픽 엔지니어링의 기능모델을 요약하여 설명하면 다음과 같다.

(1) 트래픽 관리, 용량 예측, 일일 및 주단위 성능 측정 그리고 단기간의 망 조정을 위하여 트래픽 및 성능 측정이 필요하다.

(2) 트래픽 관리는 실시간 트래픽과 성능 자료의 수집 및 표시를 통한 망 성능의 측정을 위해 필요하며 이를 통해 코드 블록, 연결요구 간격 그리고 필요시 재 경로 제어가 가능하다.

(3) 용량 관리는 용량 예측, 일일 및 주 단위의 성능 측정 그리고 단기 망 조정을 위해 필요하다. 망에서의 서비스 문제를 규명하기 위하여 일일 및 주 단위 성능 측정이 요구되는데, 서비스에 문제

가 감지되면 단기적인 망 조정을 통하여 라우팅 테이블 갱신을 수행하고 필요시 서비스 문제를 해결하기 위하여 단기적으로 용량을 증가한다. 변경된 라우팅 테이블은 직접 또는 자동화된 라우팅 갱신 시스템을 통하여 교환 시스템으로 전달된다.

(4) 예외적으로 단기적인 용량 추가가 필요한 경우도 있지만, 대부분의 용량 변경은 한달 또는 일년 이상의 기간 동안에 용량을 예측, 계획, 스케줄링 및 관리된다.

(5) 또한 라우팅 설계와 용량 설계를 포함하는 망 설계가 용량 관리 기능 내에서 필요하다.

(6) 마지막으로 장기적인 노드 계획과 전송 망 계획을 위해서는 망 계획이 필요하며 이는 새로운 노드를 구현하고 전송 용량을 계획하기 위하여 한 달에서 일년까지의 계획을 수립하는 이용된다.

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

참 고 문 헌

[1] J. Ash, "TE & QoS Methods for IP-, ATM-, & TDM-Based Networks," Work in Progress, draft-ietf-tewg-qos-routing-01.txt, 2001.

[2] B. Rajagopalan et al., "IP over Optical Networks: A Framework," Internet Draft, Work in progress, draft-many-ip-optical-framework-02.txt, 2000.

[3] G. R. Ash, Dynamic Routing in Telecommunications Networks, McGraw-Hill, 1998.

[4] ITU-T Recommendation, Bearer Independent Call Control Protocol, 2000.

[5] B. Jamoussi, Editor, Constraint-Based LSP Setup using LDP, IETF draft-ietf-mpls-cr-ldp-03.txt, 2000.

[6] D. Awduche, L. Berger, D. Gan, T. Li, G. Swallow, V. Srinivasan, RSVP-TE: Extension to RSVP for LSP Tunnels, IETF Draft draft-ietf-mpls-rsvp-lsp-tunnel-05.txt>, 2000.

[7] G. R. Ash, Dynamic Routing in Telecommunications Networks, McGraw-Hill, 1998.

[8] R. L. Franks, H. Heffes, J. M. Holtzman, S. Horing, E. J. Messerli, "A Model Relating Measurements and Forecast Errors to the Provisioning of Direct Final Trunk Groups," Bell System Technical Journal, Vol. 58, No. 2, 1979.

[9] D. Awduche and Y. Rekhter, "Multiprocotol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control with Optical Crossconnects," IEEE Communications Magazine, 2001.

[10] Jin Ho Hahm et al., "Restoration Mechanisms and Signaling in Optical Networks," Internet Draft, Work in Progress, draft-many-optical-restoration-01.txt, 2001.

[11] D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell and J. McManus, "Requirements for Traffic Engineering over MPLS," RFC 2702, 1999.

[12] D. Awduche, "MPLS and Traffic Engineering in IP Networks," IEEE Communications Magazine, 1999.

[13] X. Xiao, A. Hannan, B. Bailey and L. Ni, "Traffic Engineering with MPLS in the Internet," IEEE Network magazine, 2000.

[14] E. W. Dijkstra, "A Note on Two Problems in Connection with Graphs," Numerical Mathematics, Vol.1, pp. 269-271, 1959.

[15] B. Jr. Yaged, "Long Range Planning for Communications Networks," Polytechnic Institute of Brooklyn, Ph.D. Thesis, 1971.

[16] B. Yaged, "Minimum Cost Design for Circuit Switched Networks," Networks, Vol. 3,pp. 193-224, 1973.

[17] J. E. Knepley, "Minimum Cost Design for Circuit Switched Networks," Technical Note Numbers 36-73, Defense Communications Engineering Center, System Engineering Facility, Reston, Virginia, 1973.

[18] R. I. Wilkinson, "A Study of Load and Service Variations in Toll Alternate Route Systems," Proceedings of the Second International Teletraffic Congress, The Hague, Netherlands, No.29, 1958.

[19] D. W. Hill, S. R. Neal, "The Traffic Capacity of a Probability Engineered Trunk Group," Bell System Technical Journal, Vol.55, No.7, 1976.

[20] D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell and J. McManus, "Requirements for Traffic Engineering over MPLS," RFC 2702, 1999.

[21] D. Awduche, "MPLS and Traffic Engineering in IP Networks," IEEE Communications Magazine, 1999.

저 자 소 개

임 석 구(Seog-Ku Lim) 정회원

- 1983년 : 한국항공대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)
- 1999년 : 한국항공대학교 전자공학과(공학박사)
- 1987년~1992년 : LG전자 중앙연구소
- 1992년~1994년 : 한국전자통신연구원
- 1994년~2001년 : 주성대학
- 2001년~현재 : 천안대학교 정보통신학부

<관심분야> : 트래픽 엔지니어링, 시뮬레이션, 이동통신시스템 성능분석, 광 네트워크