

트래픽 엔지니어링 프로세스 모델

임석구*

요 약

본 논문에서는 인터넷에서의 트래픽 엔지니어링을 수행하기 위한 프로세스 모델을 제시한다. 프로세스 모델은 4 단계로 이루어지는데, 첫번째 단계는 네트워크의 운용을 지배하는 적절한 제어정책을 정의하고, 두 번째 단계는 운용 네트워크로부터의 측정 데이터를 얻는 과정이다. 세 번째 단계에서는 네트워크 상태를 분석하고 트래픽 부하를 산출하며, 마지막 단계에서는 네트워크의 성능을 최적화하는데 이와 같은 프로세스 모델의 4 단계는 연속적으로 반복되는 프로세스 모델이다.

Traffic Engineering Process Model

Seog-Ku Lim*

ABSTRACT

This paper presents process model to accomplish traffic engineering in Internet. The process model consists of 4 stages. The first stage is the formulation of a control policy dominated network operation. The second stage is the observation of the network state through a set of monitoring functions. The third stage is the characterization of traffic and analysis of the network state. The final stage is the optimization of network performance. the four stages of the process model defined above are iterated.

Key words : traffic engineering, IP/WDM, process model

1. 서 론

트래픽 엔지니어링(traffic engineering)은 망 자원을 효율적으로 사용하면서 트래픽을 망 전체에 가능한 균등히 분배하여 사용자들이 원하는 서비스 품질을 보장 해주면서 동시에 망 자원의 활용도를 극대화시키는 기술이다[1]. 트래픽 엔지니어링의 주요 목적은 트래픽 레벨과 자원 레벨에서 운용 망의 성능을 향상시키는 것인데, 이것은 망 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 트래픽 엔지니어링이 수행하는 가장 중요한 기능 중의 하나는 라우팅 기능의 제어와 최적화이며, 가장 효율적인 방법으로 트래픽을 조절

하는 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 다른 기능, 또는 서로 다른 패킷 간 또는 서로 다른 트래픽 스트림간에서 네트워크 자원의 액세스를 조정하는 다른 기능을 포함한다.

트래픽 엔지니어링의 제어 측면은 네트워크 사건(Event)에 대해 시간적인 범위에 따른 다양한 해결방안을 제공한다. 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,

※ 제일저자(First Author) : 임석구, 주소 : 충남 천안시 안서동 115번지 천안대학교 정보통신학부, 전화 : (041) 620-9478, Fax : (041) 620-9507,

E-mail : sklim@infocom.cheonan.ac.kr

접수일 : 2004년 4월 27일, 완료일 : 2004년 6월 27일

* 정회원.

네트워크를 다시 최적화하는데 사용되거나 미래의 가능한 문제들을 예측하는데 사용될 수 있다.

인터넷에서 트래픽 엔지니어링은 종단간에 적용될 때 가장 효율적이지만 본 논문에서는 도메인내(Intra-Domain) 트래픽 엔지니어링을 중심으로 설명한다. 서론에 이어 제2장에서는 트래픽 엔지니어링의 목적을 설명하고 이어서 제3장에서는 트래픽 엔지니어링에 관한 체제(framework)를 구축하기 위하여 인터넷 트래픽 엔지니어링에 관한 프로세스 모델을 설명한다. 제4장에서는 프로세스 모델을 기반으로 하는 IP/WDM에서의 트래픽 엔지니어링 기능 구조를 간략하게 서술하고 마지막으로 제5장에서는 결론을 맺는다.

2. 트래픽 엔지니어링의 목적

기존의 라우터로서 폭발적으로 증가하고 있는 인터넷 사용자와 실시간 트래픽을 수용하는데는 한계가 있다. 이에 대한 대응책으로 wire speed 라우터의 연구와 QoS 지원 라우터의 연구가 진행 중에 있다. 그러나 wire speed 라우터의 경우 하드웨어적인 방법으로 고속화의 문제를 해결하고 있으므로 다양한 기능의 추가가 어렵다. 또한 QoS를 지원하기 위해 RSVP와 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 가용 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 낮음에 비해서 또 다른 부분은 자원 사용률이 매우 높은 경우에 발생한다. 이러한 사용율의 불균등은 RIP, OSPF, IS-IS 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 방식

도 제시하고 있지만 최단 경로가 단 하나만 존재하는 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. single class 최선형(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. single class 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 제공하는 앞으로의 인터넷에서 매우 중요할 것이다.

자원 지향적인 성능 목표는 자원 이용의 최적화에 관련된 측면을 포함한다. 네트워크 자원의 효율적인 관리하는 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 효율적으로 대역폭 자원을 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.

3. 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 [2][3]. 트래픽 엔지니어링의 실행에 관한 상세한 사항은 네트워크마다 다르지만 본 논문에서 제시하는 프로세스 모델은 일반적이고 광범위한 동작들을 나타낸다. 이 프로세스 모델은 자동적으로 실행되거나 운영자에 의해 명시적으로 또는 함축적으로 실행될 수 있다. 트래픽 엔지니어링의 프로세스 모델은 그림 1과 같이 크게 4 단계로 이루어지며, 프로세스 모델의 4가지 단계

는 연속적으로 반복된다.

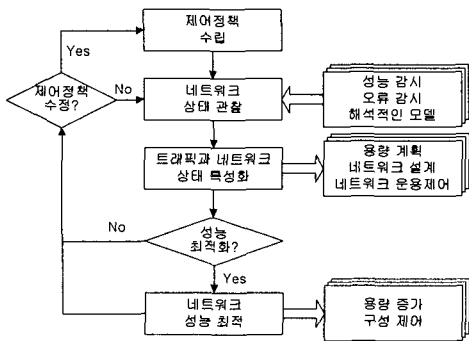


그림 1. 트래픽 엔지니어링 프로세스 모델

트래픽 엔지니어링 프로세스 모델의 첫번째 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 네트워크 상태를 분석하고 트래픽 부하를 산출하는 것이다. 성능분석은 예방적(proactive)이거나 반응적(reactive)이다. 예방적 성능분석은 미래에 발생 가능한 문제들을 분석하는 것이며, 반응적 성능분석은 현재의 문제를 확인하고 진단을 통하여 원인을 분석하고 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. 네트워크 이상은 많은 요소에 기인하며, 열악한 네트워크 구조나 설계 그리고 구성상의 문제가 포함된다. 트래픽 매트릭스는 분석 프로세스의 일부로서 구성된다. 네트워크 분석은 또한 서술적이거나 규정적일 수 있다.

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

프로세스 모델의 네 번째 단계는 네트워크의 성능 최적화이다. 성능 최적화 단계는 여러 방법으로부터 필요한 동작을 결정하고 또한 사용할 프로세스를 결정하는 과정이다. 최적화는 제공 트래픽(offered traffic)을 제어하거나 네트워크 상의 트래픽 분포를 제어하기 위하여 관련된 기술을 이용한다. 또한 라우터나 스위치를 추가하거나 IGP 매트릭스와 BGP 속성들과 같은 라우

터에 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.

트래픽 엔지니어링 프로세스 모델은 3개의 서브시스템으로 이루어지며, 측정, 모델링 및 분석, 그리고 최적화이다.

3.1 측정

측정은 트래픽 엔지니어링 기능에 매우 중요하다. 네트워크의 운용상태는 궁극적으로 측정에 의해서 결정될 수 있다. 또한 측정은 트래픽 엔지니어링 제어 서브시스템이 사용할 제한 데이터를 제공하기 때문에 측정은 최적화 기능에 중요하다. 측정 데이터는 네트워크 내부와 외부에서 발생하는 사건에 대응하여 네트워크 성능을 적응적으로 최적화하는데 사용된다. 또한 측정은 네트워크의 서비스 품질을 결정하는데 필요하고, 트래픽 엔지니어링 정책의 효율성을 평가하는 데에도 필요하다.

인터넷에서 트래픽 엔지니어링 기능을 지원하기 위한 측정 시스템을 개발할 때, 다음과 같은 사항들은 주의 깊게 고려되어야 한다. 측정이 왜 필요한지, 측정에 필요한 파라미터는 무엇인지, 어떻게 측정을 하는지, 어디서 측정을 하는지, 언제 측정을 하는지, 얼마나 자주 측정을 하는지, 측정의 정확도와 신뢰도는 어느 정도의 레벨인지, 현실적으로 얻을 수 있는 측정의 정확도와 신뢰도는 어느 정도의 레벨인지, 측정 시스템이 감시하는 네트워크 요소와 변수에 방해물 받는데, 이는 어느 정도인지, 측정의 적절한 비용은 얼마인지? 등은 주의 깊게 고려되어야 한다. 이러한 문제에 대한 해법은 트래픽 엔지니어링에 사용되는 측정도구와 방법론에 의해 결정된다.

측정과 평가 사이에는 차이점이 있다. 측정은 네트워크 파라미터와 변수들의 상태에 관한 가공하지 않은 데이터(raw data)를 제공하며, 평가는 감시 대상 시스템을 추정하기 위하여 가공하지 않은 데이터를 이용한다.

트래픽 엔지니어링 기능을 지원하는 측정은 여러 레벨에서 일어날 수 있다. 예를 들면, 측정은 패킷레벨 특성, 흐름레벨 특성, 사용자 레벨 특성, 트래픽 통합 특성, 요소레벨 특성, 네트워크 범위의 특성 등을 얻는데 사용될 수 있다.

3.2 모델링, 분석, 그리고 시뮬레이션

모델링과 분석은 인터넷 트래픽 엔지니어링의 또 다른 중요한 측면이다. 모델링은 이론적인 구성과 관련된 트래픽의 특성과 네트워크 속성을 나타내는 물리적인 표현을 포함한다. 네트워크 모델은 링크나 노드의 속성과 제한 사항들과 같은 네트워크 특성 및 속성들을 얻을 수 있는 이론적인 표현이다. 네트워크 모델은 다양한 조건 하에서 네트워크 성능을 예측하거나 네트워크

를 확장하기 위하여 사용될 수 있는 분석이나 시뮬레이션 용이하게 한다.

일반적으로 인터넷 트래픽 엔지니어링 모델은 구조적인 모델 또는 동작적인 모델로 분류할 수 있다. 구조적인 모델은 네트워크와 네트워크 요소들의 구조에 관련되며, 동작적인 모델은 네트워크의 역학과 트래픽 부하에 관련된다.

트래픽 소스에 관한 정확한 동작모델은 특히 분석에 중요하다. 운용 네트워크로부터 얻은 경험적인 데이터와 일치하는 동작 트래픽 소스 모델의 개발은 인터넷 트래픽 엔지니어링에서의 주요 연구 과제이다. 현재까지의 연구 결과에 의하면 인터넷 트래픽은 다양한 시간 범위에 걸쳐서 광범위하게 burstiness하게 변하며, 통계적으로 자기 유사적(self-similar)임을 보여 주었다. 이것은 트래픽이 모든 시간 스케일에서 유사함을 의미하며, 허스트 상수(Hurst parameter)로 알려진 단일 파라메타로 프랙탈(fractal) 특성을 설명할 수 있다. 인터넷 데이터 트래픽의 버스트성을 분석하기 위해 Log-normal, Weibull, Pareto와 같은 heavy-tailed 분포가 사용된다.

3.3 시뮬레이션

네트워크 시뮬레이션 도구들은 트래픽 엔지니어링에 매우 중요하다. 대규모 네트워크의 동작을 실제적으로 분석하는 것은 복잡하기 때문에 네트워크 성능연구는 시뮬레이션을 통하여 효율적으로 수행될 수 있다. 좋은 네트워크 시뮬레이터는 안전한 방법으로 다양한 조건 하에서 네트워크 특성을 묘사하거나 가시화하는데 사용된다. 예를 들면, 네트워크 시뮬레이터는 폭주된 자원과 핫-스팟(hot-spot)을 묘사하는데 사용될 수 있으며, 네트워크 성능에 문제가 있는 경우 이에 대한 해결방안을 제공하는데 사용될 수 있다. 또한 좋은 시뮬레이터는 운용 네트워크의 개입 없이도 네트워크 문제에 대한 해결방안의 효율성을 입증하는데 사용되며, 원하는 목표치를 얻지 못한 네트워크를 업그레이드하는데 사용하기도 한다. 나아가서 네트워크 계획 과정에서 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 오류점, 병목 가능성과 핫-스팟과 같은 사항들을 얻을 수 있다.

라우팅 시뮬레이터는 대규모 네트워크에서 특히 중요하다. 라우팅 시뮬레이터는 현재의 라우팅 프로토콜에 의하여 트래픽을 라우트하는 경우 사용되지 않는 링크를 확인 할 수 있다. 또한 시뮬레이터는 민감도 연구뿐만 아니라 시나리오 기반의 분석과 변화 기반의 분석을 수행하는데 사용될 수 있다. 시뮬레이션 결과는 여러 면에서 적절한 동작의 초기에 사용될 수 있다. 예를 들면, 네트워크 시뮬레이션의 중요한 응용은 앞으로의 트래픽 요구를 수용하기 위하여 어떻게 네트워크가 진화하고 성장하는지를 예측하는 것이다.

3.4 최적화

네트워크 성능 최적화는 네트워크 문제들을 해결 가능한 개념으로의 변환, 해의 식별, 그리고 해의 응용 등

에 의하여 네트워크 문제들을 해결한다. 네트워크 성능 최적화는 두가지 측면이 있는데, 먼저 올바른(corrective) 최적화인 경우, 이미 발생하였거나 초기의 문제를 수정하는 것을 목표로 한다. 반면에 완전한(perfective) 최적화인 경우, 명확한 문제가 존재하지 않거나 예측이 어려운 경우에서도 네트워크 성능을 향상시키는 것을 목표로 한다.

네트워크 성능 최적화는 연속적인 프로세스이므로 성능 최적화는 실시간 최적화와 비실시간 네트워크 계획으로 구성된다. 이들의 차이는 주로 상대적인 운용 시간과 동작의 규모이다. 실시간 최적화의 예는 폭주를 예방하거나 완화시키기 위하여, 만족스러운 서비스를 제공하기 위하여, 그리고 자원의 이용율을 최적화하기 위하여 현재의 네트워크 하부에 있는 트래픽의 매핑 및 분포를 조절하는 것이다. 실시간 최적화는 얼마나 네트워크 설계가 잘 되었는지에 관계없이 트래픽 요구와 같은 랜덤한 사건들 때문에 필요하다. 이러한 사건들은 운용 네트워크 상에 폭주나 다른 문제들을 유발시킨다. 실시간 최적화는 단기간에서 중기간에 해당하는 문제들을 해결한다. 실시간 최적화의 예는 큐 관리, IGP/BGP 매트릭스 튜닝, 그리고 트래픽 트렁크의 경로를 변경하기 위하여 MPLS(multi-protocol label switching)와 같은 기술을 사용한다[4][5].

비실시간 네트워크 계획의 기능은 구조, 기술, 토폴로지, 그리고 네트워크 능력을 시스템적으로 향상시키기 위한 동작을 시작한다. 네트워크에 문제가 있을 때, 실시간 최적화는 신속한 해결방안을 제공한다. 즉각적인 응답이 필요하기 때문에 실시간 해는 항상 최선이 아닐 수도 있다. 이후에 네트워크 계획은 해결책을 개선하거나 현상을 향상시킬 필요가 있다. 또한 네트워크 계획은 시간에 따른 트래픽 증가와 트래픽 분포 변화를 지원하기 위하여 네트워크를 확장할 필요가 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 네트워크 계획에 의하여 네트워크의 토폴로지와 처리능력은 변화된다. 분명히 네트워크 계획과 실시간 성능 최적화는 상호 보완적인 동작이며, 잘 계획되고 잘 설계된 네트워크는 매우 용이하게 실시간 최적화를 수행한다. 안정도는 실시간 네트워크 성능 최적화에서 중요하게 고려되는 사항이다.

4. IP/WDM 트래픽 엔지니어링 기능구조

IP/WDM 트래픽 엔지니어링 체제 중에서 기본적인 메커니즘은 광경로(lightpath)와 가상경로(virtual path)이다. WDM 망의 고유한 성질은 광경로와 가상 토폴로지의 재구성 가능성(reconfigurability)이다[6]. 즉, 물리적인 광 토폴로지에 대해 물리적인 WDM 망은 광경로로 구성된 다수의 토폴로지를 지원할 수 있다. 트래픽 엔지니어링 프로세스 모델을 고려하여 그림 2에는 IP/WDM에서의 주요 기능요소를 나타내었으며, 각각의 기능은 다음과 같다.

(1) 트래픽 모니터링

이 구성요소는 라우터/스위치 또는 링크로부터 트래픽 통계를 수집한다. 이를 지원하기 위해 IP/WDM 망은 IP 트래픽을 모니터링한다.

(2) 트래픽 분석

이 구성요소는 의사결정을 위하여 수집된 통계를 활용한다. 변경된 경우에는 분석 보고서가 만들어진다.

(3) 대역폭 projection

이 구성요소는 과거와 현재의 측정치와 트래픽 특성을 기반으로 가까운 미래의 대역폭 요구를 예측하는데 사용된다.

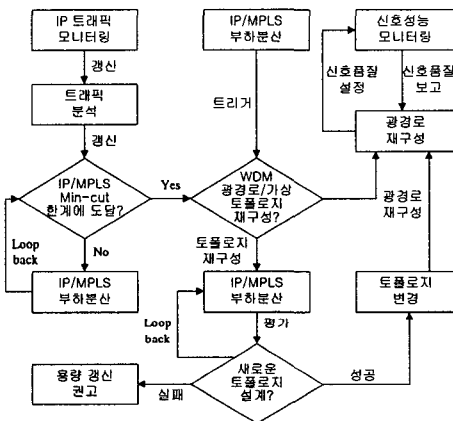


그림 2. IP/WDM 트래픽 엔지니어링 기능 구조

(4) 신호성능 모니터링

이 구성요소는 파장 채널의 광신호 품질을 관찰한다. 신호 품질은 파장 라우팅과 오류(fault) 관리에 복잡하고 동적인 요소이다. 신호 품질은 단지 광경로 재구성에만 사용된다.

(5) 트래픽 엔지니어링 재구성 트리거

이 구성요소는 망 레벨에서의 재구성이 수행될 때 결정할 일련의 정책들로 구성된다. 이것은 트래픽 조건, 대역폭 projection, 그리고 다른 운영적 문제(일시적인 요인에 의한 영향의 억제, 망 수렴에 필요한 적절한 시간 보존)들을 기초로 한다.

(6) 광 경로 토폴로지 설계

이 구성요소는 트래픽 측정치와 예측치를 토대로 망 토폴로지를 계산한다. 이것은 주어진 요구 매트릭스(망에 인가되는 트래픽 부하)에 대해 특정 제한사항(예를 들어, nodal degree, 인터페이스 용량) 하에서 특정 목표치(예를 들어, 수율을 극대화)를 위한 그래프(WDM 계층에서 광경로에 의해 연결된 IP 라우터)를 최적화하는 것으로 간주될 수 있다. 이러한 것은 일반적으로 NP-complete problem이다. 최적 그래프를 위한 탐색은 많은 계산량이 요구된다. 트래픽 패턴이 재구성을 트리거하기 때문에 재구성이 실제 완료될 시점에서 최적 그래프는 최적이지 않을 수도 있다. 이를 위한 실제적인 접근방안은 global optimality 대신에 가격-효율성, 빠른

수렴도, ongoing 트래픽의 영향 최소화 등과 같은 특정 목표치를 주 대상으로 하는 휴리스틱 알고리즘(heuristic algorithms)을 사용하는 것이다.

(7) 토폴로지 변경(topology migration)

이 구성요소는 기존 토폴로지에서 신규 토폴로지로 망 이동을 계획하기 위한 알고리즘으로 구성된다. 심지어 WDM 계층 자원이 충분하더라도 이전에 관련된 문제가 있다. 예를 들면, WDM 재구성이 대용량 채널(파장당 OC-192 까지)을 다루는 경우 자원할당의 변경은 많은 중단 가입자 트래픽에 많은 영향을 미친다. 이전 과정은 각 WDM 광경로를 제거하고 설정하는 과정으로 이루어진다. 트래픽 흐름은 각 이전단계 중간과 이후에 광경로 변화에 적응하여야만 한다.

(8) 광경로 재구성(lightpath reconfiguration)

이 구성요소는 각 광경로를 재구성(제거 및 설정)하기 위해 사용되며, 이 과정은 아래와 같은 모듈이 포함된다.

- 광경로 라우팅 알고리즘은 광경로 계산에 필요하다. 광경로 루트가 나타나 있지 않은 경우 이 구성요소는 명시적인 라우팅 경로를 계산한다. 예를 들어 임의의 라우팅 프로토콜(예를 들어 OSPF)이 사용되는 경우, 라우팅 경로는 local 라우팅 테이블로부터 얻을 수 있다.
- 경로 설정/해제 메커니즘은 경로의 제거 및 설정에 필요하다. 예를 들어 신호 프로토콜.
- 인터페이스 관리는 인터페이스와 관련 정보의 update를 수행한다. 광경로 재구성은 WDM 클라이언트 인터페이스를 하나의 다른 광경로로 재할당할 수도 있다. 이것은 WDM 인터페이스가 IP 망에 영향을 미칠 것이다. IP 라우팅은 IP 어드레싱을 필요로 하고 또한 하나의 IP subnet내에서의 패킷 포워딩을 허용한다. 새로운 IP 토폴로지는 IP 인터페이스 주소 변화를 요구하기도 한다.

5. 결론

본 논문에서는 트래픽 엔지니어링 상위레벨의 실제적인 측면을 알 수 있는 일반적인 프로세스 모델을 제시하였다. 프로세스 모델은 운용 네트워크의 성능을 최적화시키는 일련의 동작들을 포함한다.

트래픽 엔지니어링의 프로세스 모델은 4 단계로 이루어지는데, 첫 번째 단계는 네트워크의 운용을 지배하는 적절한 제어정책을 정의하고, 두 번째 단계는 운용 네트워크로부터의 측정 데이터를 얻는 과정이며 이 단계는 트래픽 엔지니어링 모델에서의 변환 요소에 해당한다. 세 번째 단계에서는 네트워크 상태를 분석하고 트래픽 부하를 산출하며, 마지막 단계에서는 네트워크의 성능을 최적화하는데 이와 같은 프로세스 모델의 4 단계는 연속적으로 반복된다.

트래픽 엔지니어링 프로세스 모델을 기반으로 하여 IP/WDM에서의 트래픽 엔지니어링 기능 구조를 간략하게 제시하였다. IP/WDM에서의 트래픽 엔지니어링 기능 구조는 트래픽 모니터링, 트래픽 분석, 대역폭 projection, 신호성능 모니터링, 트래픽 엔지니어링 재구성 트리거, 광 경로 토폴로지 설계, 토폴로지 변경, 광 경로 재구성으로 이루어져 있다.

최근의 연구 결과에 의하면 MPLS나 GMPLS(generalized multi protocol label switching) 기반의 접근 방법이 IP 네트워크에서의 트래픽 엔지니어링을 위한 최선의 방법임을 제시하고 있다[5]. 이러한 관점에서 본 논문에서 제안한 프로세스 모델은 MPLS나 GMPLS 기반의 트래픽 엔지니어링에 적용하기가 매우 용이하지만, 단순히 상위레벨에서의 트래픽 엔지니어링 측면만을 제시한 단점도 있다.

앞으로는 광을 기반으로 하는 네트워크에서 제안한 프로세스 모델을 적용하는 경우 이에 관련된 연구가 심도있게 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, Mar. 2001.
- [2] D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell, J. McManus, "Requirements for Traffic Engineering over MPLS," RFC 2702, Sep. 1999.
- [3] D. Awduche, "MPLS and Traffic Engineering in IP Networks," IEEE Communications Magazine, Dec. 1999.
- [4] D. Awduche and Y. Rekhter, "Multiprotocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control with Optical Crossconnects", IEEE Communications Magazine, March 2001.
- [5] X. Xiao, A. Hannan, B. Bailey, L. Ni, "Traffic Engineering with MPLS in the Internet," IEEE Network magazine, Mar. 2000.
- [6] B. Rajagopalan et al., "IP over Optical Networks: A Framework," Internet Draft, Work in progress, draft-many-ip-optical-framework-02.txt, November 2000.



임 석 구

1983년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과(공학사)

1987년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과(공학석사)

1999년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과(공학박사)

1987년 1월 ~ 1992년 2월 : LG 정보통신

1992년 2월 ~ 1994년 2월 : 한국전자통신연구원

1994년 3월 ~ 2001년 2월 : 주성대학

2001년 3월 ~ 현재 : 천안대학교 정보통신학부 조교수

관심분야 : 트래픽 엔지니어링, 이동통신시스템 성능 분석, 광 네트워크