

OPNET을 이용한 대규모 망 성능 모의실험을 위한 시뮬레이터 설계 및 구현

정회원 박정숙*, 종신회원 전용희**^o

Design and Implementation of a Simulator for the Performance Simulation of a Large-Scale Network Using OPNET

Jeong-Sook Park* *Regular Member*, Yong-Hee Jeon**^o *Lifelong Member*

요약

최선형 서비스를 제공하는 인터넷 환경에서 다양한 서비스 품질 요구사항을 가지는 서비스들을 제공하기 위해서는 홵 성능이 아닌 종단 간 성능을 보장해야 한다. 종단 간 성능은 트래픽 흐름의 경로를 따라 많은 요인들에 의하여 영향을 받는다. 대부분의 기존 모의실험은 단일 노드나 몇 개의 노드에 대한 성능을 구하는 것으로 한정되어 있다. 대규모 망의 모의실험을 위하여 모의실험 실행 시간을 고려한 상당히 다른 방법이 필요하다. 본 논문에서는 대규모 망의 모의실험을 위하여 시뮬레이터 구현을 위한 요구사항을 도출하고 모의실험 방법을 제시한다. OPNET을 이용하여 도출한 모의실험 방법에 대한 시뮬레이터를 설계하고 구현한다. 구현된 시뮬레이터를 이용하여 대규모 초고속 국가 망에 대한 성능 평가를 수행한다. 자기유사 트래픽 모델을 사용하여, 대규모 망에 대한 종단 간 성능에 대한 몇 가지 결과를 제시한다.

Key Words : 자기유사 트래픽; 대규모 망 성능 평가; 모의실험; 트래픽 모델링

ABSTRACT

In the Internet environment in which best-effort services are provided, we need to guarantee end-to-end performance rather than hop performance to provide services with a variety of QoS(Quality of Service) requirements. The end-to-end performance is affected by many factors along the path of traffic flow. Most existing simulation studies are concentrated on a single node or a few nodes. We need much different approach considering the simulation execution time to simulate a large-scale network. In this paper, we derive requirements and present methodologies for the implementation of the simulator to simulate it. Then, we design and implement our simulator using OPNET. Performance evaluation is carried out using the simulator for large-scale KII (National Information Infrastructure in Korea). We use a self-similar traffic model and present some results on the end-to-end performance metric for the networks.

I. 서론

통신망 설계나 용량 예측 또는 새로운 기술의 적용 등에 있어서 성능 평가는 필수적으로 수행되어

야 하는 단계이다. 성능 평가 방법은 수학적 해석법, 시뮬레이션에 의한 방법, 측정에 의한 방법 등이 대표적이다. 그러나 현재 통신망은 무척 거대하고 복잡하여 수리적인 접근법으로는 정확한 해답을

* 한국전자통신연구원 정보보호연구부 무선보안응용연구팀 (jungsp@etri.re.kr),

** 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부 (yhjeon@cu.ac.kr)(^o:교신저자)

논문번호 : KICS-2007-09-395, 접수일자 : 2007년 9월 4일, 최종논문접수일자 : 2009년 2월 23일

얻기 힘들다. 또한 측정에 의한 방안은 실제 시스템이 존재해야 한다는 단점이 있으므로 이런 경우에는 시뮬레이션에 의한 방법에 주로 의존한다.

인터넷 망에서는 기존에 사용되던 노드 레벨에서의 접근법으로는 정확한 분석이 힘들다. 특히 인터넷에서는 종단 간 QoS(Quality of Service) 보장을 요구하는데, 망 내의 복잡한 요소에 의해 성능이 영향을 받으므로 단일 노드만의 평가로는 정확한 경향을 파악하기 어렵다. 또한 최근 트래픽의 특성이 자기유사성을 가진다는 사실이 밝혀지면서, 이러한 트래픽의 특성은 망의 성능 분석을 더욱 복잡하게 만든다. 자기유사성은 망의 용량 예측 및 설계, 트래픽 제어 및 자원 할당, 네트워크 QoS 문제 및 트래픽 합성 효과 예측에 중대한 영향을 미칠 수 있다.

인터넷은 망의 복잡성, 서비스의 다양화 등으로 인해 이론적인 접근법으로는 망 성능을 산출하는 것이 어려워 이론적인 연구가 아직 미진한 상황이므로 대부분의 성능평가를 시뮬레이션에 의존할 수밖에 없는 실정이다. 기존에는 시뮬레이션에 의한 접근법은 주로 노드 레벨에서 수행되었다. 인터넷 트래픽의 성능평가를 수행한 예들은 많은 문헌들에서 찾아볼 수 있지만, 대부분이 노드 레벨에서 평가한 것들이다^{11, 12}. 그러나 인터넷의 QoS 성능은 노드 자체의 평가만으로는 그 성능을 근접하게 얻는다는 것이 힘들다. 그 이유는 인터넷에서 트래픽은 목적지에 도달할 때까지 노드나 링크 등 많은 요소에 의해 영향을 받을 수 있고, 이러한 모든 요소들에 의해 QoS가 결정되기 때문이다. 특히 인터넷의 자기유사적인 트래픽 특성들은 개별적인 트래픽 흐름에 많은 영향을 미칠 수 있다. 따라서 인터넷 QoS 성능 평가는 네트워크 레벨에서 수행되는 것이 바람직하다고 판단된다.

그러나 네트워크 레벨에서 시뮬레이션을 수행하는 것은 몇 가지 문제점이 있다. 그 중 가장 큰 요소는 시뮬레이션 시간이다. 즉, 네트워크의 규모가 커지게 되면(네트워크 내의 노드 수가 증가하면) 시뮬레이션 수행 시간으로 인해서 성능 평가에 많은 비용과 시간을 소모한다¹³. 시뮬레이션의 목적이 적정한 시간 안에 성능을 예측하는 것이라는 관점에서는, 시뮬레이션 실행 시간 단축을 위한 접근이 없는 시뮬레이션 방법을 인터넷의 성능 평가에 적용한다는 것은 무리라고 할 수 있다. 일례로 현재 가장 많이 사용되는 시뮬레이션 분석 툴인 OPNET(Optimal NETWORK Performance)은 스위치나 라우터 등의 모델링을 아주 정밀하게 만들어서 이것을 4, 5개만 연결하더라도 시뮬레이션 시간을 예측하기 힘들게 만든다¹⁴. 만약 이

러한 모델을 그대로 적용한다면 LAN 규모의 성능도 제대로 예측하기 힘든 상황에 도달할 수 있다. 따라서 인터넷 망의 성능 평가에 있어서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 방법이 제시되어야 한다.

일반적으로, 시뮬레이션 모델은 목적에 따라 형상 및 기능이 달라질 수 있다. 인터넷 망과 같은 대규모 망에 대해 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 실행 시간을 고려하여 정밀도를 낮추는 등, 간략화한 후 모델링하는 작업이 필요하다. 또한, 이를 이론적으로 뒷받침하는 작업과 트래픽 패턴을 분석하는 일이 병행되어야 한다. 본 논문에서는 이를 위한 구체적인 작업들에 관하여 논하고 대규모 망 모델에 적용하여 성능 평가를 수행하고자 한다.

II. 모의실험 대상 시스템 구조

2.1 시뮬레이션 모델

본 논문에서 모델링하고자 하는 대상은 1995년부터 정부의 주도에 의해 구축이 시작되었던 2단계 초고속 국가망의 IPOA (IP Over ATM) 논리 구조이다. 이러한 2단계 초고속 국가망의 물리적 구성을 대상으로 전국 규모의 가상 인터넷 서비스 망을 설계하고 이에 대한 성능 평가를 수행하고자 한다.

초고속 국가망은 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 망을 기반으로 구성되어 있으며, 그러한 물리적인 망 위에서 인터넷 서비스를 제공할 수 있는 기술들 중 IPOA를 이용하여 논리적인 망을 설계하고자 한다. 또한 이에 대한 성능 평가는 모의실험에 의한 방법을 사용하고자 한다.

성능 평가를 위해 개발된 시뮬레이터는 네트워크 전체의 성능을 평가하는 것을 목적으로 하기 때문에 주어진 시간 내에 시뮬레이션이 수행될 수 있도록 최소한의 특성을 반영할 수 있는 한도 내에서 각 장치 모델을 최대한 단순화하여야 한다. 또한 시뮬레이터에는 다양한 규모와 특성을 지닌 여러 형태의 사용자 그룹에서 발생하는 트래픽을 생성하기 위하여 합성 트래픽 발생기를 개발, 사용하여야 한다. 성능 평가는 용량 평가에 초점을 맞추며, 시뮬레이터에서 담당하는 계층을 IP, ATM 계층으로 국한시키고 계층 간 관계를 이론적인 분석을 통하여 처리하고자 한다.

2단계 초고속 국가망의 물리적 구조는 그림 1과 같이 75개의 코어 및 에지 노드로 구성되는 2계위 교환망으로 구축되어 있다. 코어 노드는 ATM 교환기 사이에 권역별로 full-mesh 형태로 연결되고, 에지는 이중으로 코어 교환기에 접속되며, 가입자 접속은

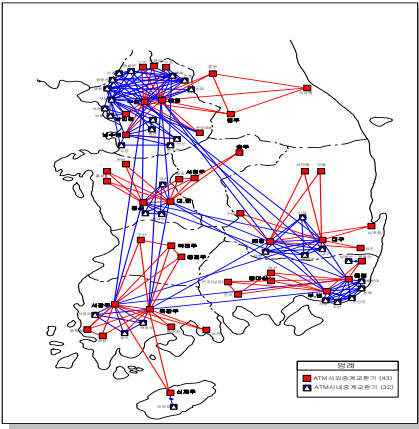


그림 1. 성능평가 대상 구조

액세스 노드를 통해 이루어진다. 또한 코어 노드와 에지 노드 간은 155Mbps의 ATM 링크로 연결되고 코어 노드끼리는 2.5Gbps의 링크로 연결된다.

2.2 시뮬레이션 고려 사항

본 논문에서는 시뮬레이터를 성능 평가에 사용할 목적으로 개발하고자 한다. 시뮬레이션 대상인 네트워크는 규모가 매우 크고 반복적인 설계 작업 수행이 요구되므로 시뮬레이터는 시뮬레이션 수행시간, 시뮬레이터의 유연성 및 시뮬레이터의 정밀도와 같은 몇 가지 사항들을 고려하여 설계되어야 한다.

즉, 네트워크를 위한 시뮬레이터는 성능지표를 산출할 수 있는 적절한 정밀도를 고려하면서 원하는 시간 내에 시뮬레이션이 수행될 수 있도록 설계해야 한다. 네트워크 평가를 위해 시뮬레이터가 생성해 내는 자료는 네트워크의 성능을 보여주는 지표가 되어야 하며, 인터넷에서 그 지표들은 전송지연, 처리율, 지연변이, 손실률, 연결 절단률 등이다. 이 중 모델을 간략화하기 위하여 전송 지연과 처리율만을 성능 지표로 고려하였다. 왜냐하면 지연변이 또는 손실률은 망 장치를 정밀하게 모델링해야 하기 때문이다.

III. 시뮬레이터 설계

3.1 논리 구조 설계

ATM 망으로 구성된 망에서 인터넷 서비스를 제공하기 위해서는 IP 레벨의 논리적인 구조 설계가 필요하다. IPOA 기술을 이용한 논리적인 망 설계를 위하여, IP 서비스를 위해서 각 노드에 라우터를 하나씩 배치하는 것으로 가정한다. 또한 시뮬레이터는 물리적인 망과 IP 계층의 논리적인 망을 동시에 고

려하여 설계해야 한다. 즉 IPOA 망에서 스위치는 ATM 셀을 교환하는 기능을 수행하며, IP 라우팅은 연결된 라우터가 수행한다. 따라서 IP 계층에서의 망 구조는 물리적 구성과 다른 모습을 나타낼 수 있으며, 다양한 형태의 망을 설계할 수 있다.

본 논문에서는 그림 1의 물리적인 망 구조에 대하여 IP 계층의 논리적인 망 구조를 2 계위의 LIS (Logical IP Subnet)로 설계하였다. 상위 계위는 5대 도시에 있는 10개의 코어 노드끼리의 연결에 사용되며, 하위 계위는 각 코어 노드와 에지 노드들 사이의 연결에 사용된다. 시뮬레이터 구축 시, 시뮬레이터의 네트워크 모델 외형은 그림 1의 물리적 교환망과 동일하게 구성할 수 있도록 제작하며, 각 노드 내부에는 IP 서비스를 위한 라우터, 트래픽 발생기 및 ATM 교환기를 추가적으로 고려한다.

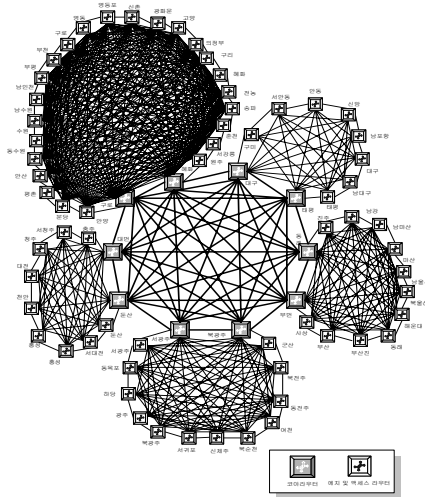
그림 2는 초고속 국가망을 IP 계층에서 논리적인 개념으로 설계한 예를 나타낸다. 코어 노드 연결은 fullmesh 형태로 연결되며, 코어 에지 간의 연결은 fullmesh 형태(a) 또는 star 형태(b)로 연결될 수 있으며, 경우에 따라 지역별로 적절한 경우를 선택한다.

3.2 설계 방안

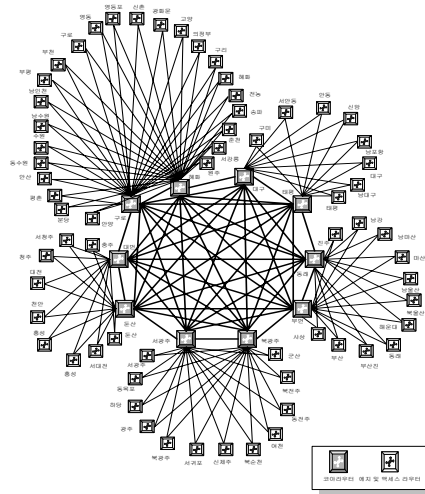
대규모 네트워크를 위한 시뮬레이터의 고려 사항은 전술한 바와 같이, 시뮬레이션 수행 시간을 만족시키기 위하여 성능이 어느 정도 만족되는 범위 내에서는 정밀도를 최대한 낮추어야 한다. 따라서 본 논문에서는 기본적으로 다음의 사항들을 고려하였다.

- 액세스 노드 이하의 구조는 고려하지 않는다. 대신 트래픽 발생기가 액세스 노드로 유입되는 합성 트래픽의 특성을 반영하도록 설계한다.
- 프로토콜 스택 중 IP 계층과 ATM 계층에서의 트래픽 특성만을 반영한다.
- RIP(Routing Information Protocol), OSPF(Open Shortest Path First), BGP(Border Gateway Protocol) 등의 프로토콜 및 신호 프로토콜과 같은 세부적인 특성은 무시하였다.
- 스위칭 테이블과 라우팅 테이블의 값들을 변형 시킴으로써 다양한 토폴로지 구성이 가능하도록 한다.
- 단말(액세스 노드)에서 자신으로 되돌아오는 트래픽은 고려하지 않는다.

대신 이들의 특성을 반영할 수 있는 방법이 필요한데, 본 논문에서는 다음의 작업을 수행하였다.



(a) Fullmesh 형



(b) Star 형

그림 2. 초고속 국가망의 논리 구조 설계

- 인터넷의 합성 트래픽은 자기유사성을 가진다는 연구결과를 바탕으로, 본 논문에서는 트래픽 발생기로 자기유사 모델을 사용하였다 [5-10].
- 프로토콜 스택을 단순화하는 대신 다음과 같은 추가적인 작업을 병행하였다.
 - 네트워크 성능 요구사항, 서비스 요구사항을 IP 계층의 성능 수치로 변환하는 작업
 - 응용 계층에서 발생하는 트래픽 패턴을 IP 계층의 트래픽 패턴으로 변환하는 작업
 - 하위 계층의 영향, 지연 및 손실에 미치는 영향, 링크에서 하위 계층으로 인해 손실되는 대역폭 등을 IP 계층에서 간단히 처리할 수

있는 방법을 개발하는 작업

- 수행 후 나타나는 성능 지표가 응용 계층에 미치는 영향을 분석하는 작업

3.3 네트워크 시뮬레이터 설계

3.3.1 요소 시뮬레이터

ATM 기반 인터넷 서비스 망의 시뮬레이터를 구현하는데 필요한 구성 요소로 스위치, 라우터, 링크를 고려한다. 이들 요소들의 설계에 필요한 입출력 파라미터를 표 1에 요약하였다. 이들 요소의 설계 역시 최소한의 성능이 반영되는 범위 내에서는 간략화하여 모델링할 필요가 있다.

스위치에서 1개 셀의 교환 속도는 성능지표의 수치에 비하여 무시할 수 있을 만큼 빠르기 때문에 설계를 단순화하기 위하여 큰 성능 차이를 나타내지 않는 부분은 상수 값으로 고정시켜 그 영향을 반영하였다.

3.3.2 시뮬레이터의 동작 과정

시뮬레이터의 구조를 동작적인 측면에서 그림 3과 같이 설계한다. 만약 한 노드의 발생기에서 IP 패킷이 발생되면 이것은 자신의 라우터에서 목적지에 따라 다음 목적지를 배당받고 ATM 셀로 분해되어 스위치로 전송되어 해당 노드로 교환된다. 중간에 있는 노드들은 IP 레벨의 라우팅이 필요한 경우는 라우터를 거쳐 다음 라우터로 보내지고, 라우터 간을 이동할 때는 ATM 셀로 분해되어 여러 개의 ATM 스위치를 거치게 된다. 최종 목적지에 도착한 패킷은 라우터를 거쳐 트래픽 싱크에서 성능을 계산하고 폐기된다.

3.4 트래픽 발생기 설계

트래픽 발생기는 그림 4와 같이, 사용자수 및 사용자 특성(가정 및 기업 가입자의 비율)을 매뉴 형태

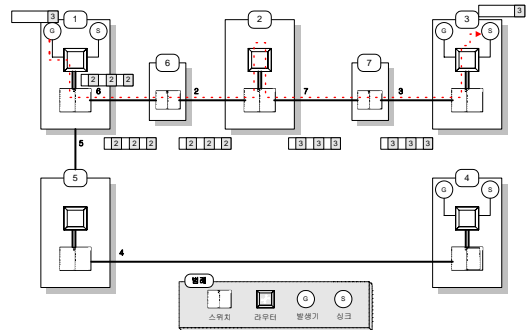


그림 3. 시뮬레이터의 중단간 동작 과정

표 1. 장치 시뮬레이터의 요소별 특성

항목 요소	출력 파라미터	입력 파라미터	기능
코어망 교환기	·노드 내 지연(μs) ·노드의 처리율 ·입출력 포트의 이용률	·경로정보 ·입출력 라인수 ·라인 인터페이스 용량	·코어 교환기의 성능 특성 반영 ·라인 인터페이스수 제한 없음 ·라우팅 기능
액세스망 교환기	·노드 내 지연(μs) ·노드의 처리율 ·입출력 포트의 이용률	·경로정보 ·입출력 라인수 ·라인 인터페이스 용량	·액세스 망 교환기의 성능특성 반영 ·라인 인터페이스수 제한 없음 ·라우팅 기능
라우터	·출력 링크 선택 ·라우터의 처리율 ·입출력 포트의 이용률	·경로정보(목적지, 다음노드) ·입출력 라인수 ·라인 인터페이스 용량 ·라우터의 처리능력	·IPOA 기능수행(IP패킷↔ATM셀) ·일반적 라우터 특성 반영 ·라우팅 속도는 패킷 길이에 의존 ·라우팅 기능
링 크	·셀의 지연(μs) ·링크 이용률	·링크용량(Mbps) ·링크의 길이(Km) ·패킷 유형	·전파 지연(μs) ·손실 고려하지 않음
트래픽 발생기	·단위시간당 트래픽발생량(목적지별)	·가입자수(명) ·가입자특성비율(가정,기업) ·라우터 입력 용량 ·목적지 노드, 목적지비율	·발생트래픽은 자기유사성 가짐 ·라우팅 정보, 발생시간 포함 ·가입자수, 가입자특성 (서비스 특성) 반영 ·목적지 번호, 비율을 계산하는 방법 은 선택
트래픽 싱 크	·목적노드별, 소스별 트래픽 전체 지연 ·전체 처리 능력		·트래픽의 통계치를 계산하는 것 외 에는 특별한 기능 없음

로 입력받아, 자기유사 트래픽 발생기와 패킷 크기 발생기 등 두 개의 난수 발생기를 사용하여 패킷 도착 간 시간과 패킷 크기를 발생시키도록 설계한다.

시뮬레이터에서 사용한 인터넷 트래픽 발생기는 내부적으로 두 개의 난수 발생기를 사용한다. 첫 번째는 자기유사 특성을 반영한 자기유사 트래픽 발생기로서 트래픽 발생 시점에 대한 난수를 발생시키며,

또 하나는 트래픽 크기에 관한 발생기로서 패킷 크기를 부여하게 된다. 인터넷 트래픽 발생기의 입력 값은 사용자수와 사용자 특성을 결정하는 기업 또는 가정가입자 수의 비율이다. 따라서 각 발생기에서 필요한 상수, 사용자 특성 값(H), 발생량 등은 데이터를 분석하여 내부 상수로 정의한다.

본 논문에서는 트래픽 발생기에 자기유사성을 반영하기 위해서 그림 4에서 보여준 것과 같은 ON/OFF 모델을 중첩시키는 방법을 사용한다. ON/OFF 소스 모델을 발생기에서 구현하고자 할 때는 다음의 값들을 사용자 입력이 아닌 내부적인 값으로 결정해야 하며, 각 값들의 의미는 다음과 같다.

k 는 확률변수가 취할 수 있는 최소값을 나타내는 것으로, 트래픽의 양 또는 비율에 관계된다. 따라서 스트림 발생량에 일치하도록 설정해야 하는데 식 (1)에 의해 구하였다. 단, A 는 테스트를 통하여 1인당 트래픽 발생량이 정해진 값으로 수렴할 수 있는 값으로 설정하였는데, 본 시뮬레이터에서는 값 0.2를 가진다.

$$k = A \times \frac{1}{\text{사용자 수}(m)} \tag{1}$$

m (사용자 수)는 ON/OFF 모델의 중첩수를 의미하는 것으로, 약 150 스트림 이상을 중첩시키면 자기

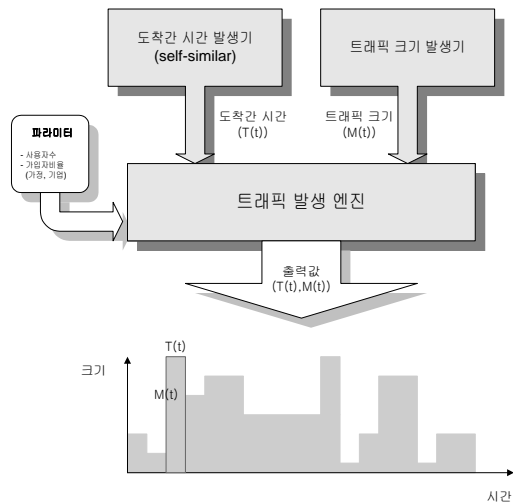


그림 4. 인터넷 트래픽 발생기 구조

유사성을 얻을 수 있다는 결과에 따라 500 스트림을 중첩시키는 것으로 설정하였다^[11]. ON/OFF 소스에 관련되는 결정 파라미터와는 별도로, 본 논문에서 구현하고자 하는 발생기는 인터넷 사용자의 특성 및 비율에 따른 트래픽을 표현하기 위해 미리 내부적으로 정의해야 할 몇 가지 값들이 있다.

- 1인당 사용량 : 한 지역에서 발생하는 트래픽의 총체적인 양은 1인당 사용량 값을 구하여 그 지역에서 발생하는 사용자수에 비례한다.
- 사용자 비율에 따른 H (허스트 상수): 인터넷 트래픽의 자기유사성을 반영하고자 H 값을 이용한다.
- 패킷 크기 분포 : 이것은 각 트래픽 발생구간 내에서의 각 패킷의 길이를 생성해 내기 위해 필요한 것이다. 부분적으로는 패킷 길이 분포도 heavy-tailed 분포의 특성을 가진다는 실험 결과가 있지만 이러한 결과가 전반적으로 모두 반영되는 것은 아니므로 좀 더 정밀한 사전조사를 통하여 공통적인 패킷 크기 분포를 수치화해 둘 필요가 있다.

여기서, 사용자 수는 발생 트래픽량에 대응되며, 사용자 특성은 트래픽의 성질인 자기 유사성을 반영한다. 이를 위해서는 입력 수치를 트래픽 특성으로 매핑시키는 작업이 발생기 내부에 구현되어야 하며, 필요한 상수, 사용자 특성 값(H), 발생량 등은 기존의 데이터를 분석하여 내부 상수로 내부적으로 정의되어 있도록 설계하였다.

IV. 시뮬레이터 구현

4.1 구현 환경

본 시뮬레이터의 제작은 UNIX 환경에서, 현재 통신망 시뮬레이션에 가장 많이 이용되고 있는 OPNET을 이용하였다. OPNET은 최근 이슈가 되고 있는 많은 프로토콜이 구현되어 있어서 인터넷과 ATM을 사용하는 네트워크 설계 및 프로토콜이나 정보통신기기의 개발 단계에서도 많이 이용되고 있다. 또한 OPNET 시뮬레이션 환경과 제작된 모형들은 그 신뢰성을 인정받아 IETF에서도 OPNET을 이용한 시뮬레이션 결과에 대해 인정하고 있다.

그러나 프로토콜별로 정밀하게 제작된 OPNET의 모델을 그대로 이용하여 시뮬레이션을 수행하게 되면 많은 시뮬레이션 수행 시간이 소요되기 때문에

인터넷 망의 성능 분석을 위하여 수행시간을 감소시킬 수 있는 방안을 모색해야 한다. 특히, 차세대 인터넷 망에서 사용될 프로토콜이나 기법들은 아직 개발 중이기 때문에 OPNET 모델과 연동시키기 위하여 많은 개발 노력을 기울일 필요가 없고, 간략화된 시뮬레이터가 필요하며, OPNET의 경우처럼 모든 계층을 자세히 구현하지 않고 특정한 계층에 대하여 시뮬레이터를 구현하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

4.2 요소 시뮬레이터 구현

라우터의 OPNET 모델링 결과는 그림 5와 같다. 코어 라우터는 (a)와 같은 구조를 가지며, IPOA 기능의 구현을 위해 라우터를 사용하며 IP 패킷과 ATM 셀 상호간의 변환 기능 및 라우팅 기능을 제공한다. 에지 라우터의 구조는 (b)와 같다. 트래픽 발생기에서 발생된 패킷의 목적지를 분석하여 경유해야 할 다음 노드를 찾아주는 기능을 하며, 자신이 목적지인 패킷을 트래픽 싱크로 전달하는 기능을 한다. 그 외의 부분은 코어 라우터와 동일하다.

스위치는 그림 6과 같이 코어 스위치와 에지 스위치의 모양은 모두 동일하게 비블록킹 출력 버퍼형으로 구현하였으며, 각각의 처리력만을 내부의 고정된 값으로 고려하였다.

트래픽 발생기는 그림 7과 같이 OPNET에서 제공되는 분포를 사용하지 않고 자기유사 트래픽 모델링을 위하여 중첩된 ON/OFF 소스 코드를 직접 제작하였다.

트래픽 발생기 구현에 필요한 파라미터들을 요약하면 그림 8과 같다. 이 중 사용자 수와 사용자 비율은 모의실험 시 사용자가 입력해야 하는 값이고, 1인

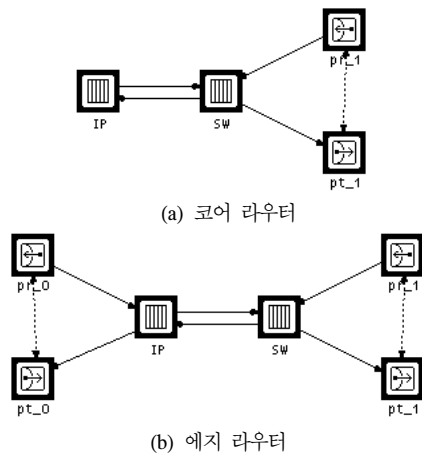


그림 5. OPNET 라우터 구현

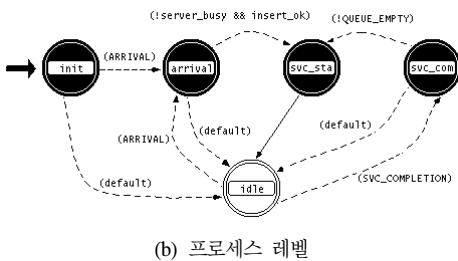
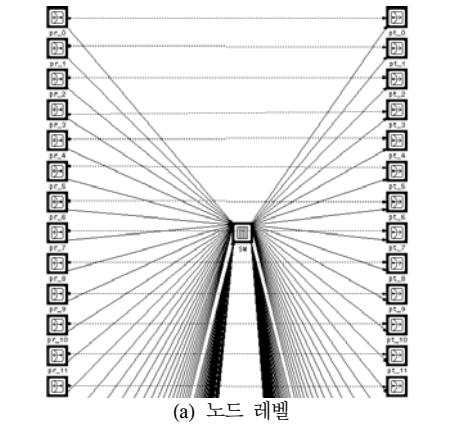


그림 6. OPNET 스위치 구현

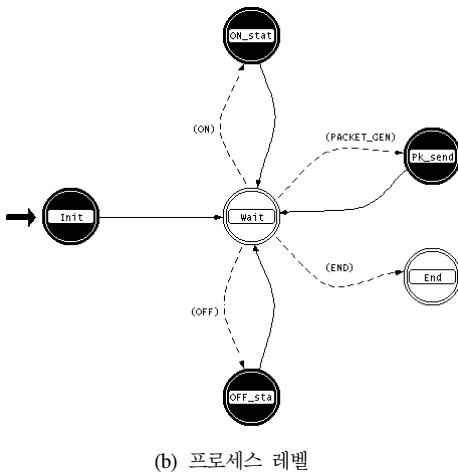
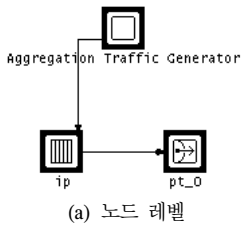


그림 7. 자기 유사 트래픽 발생기 구현

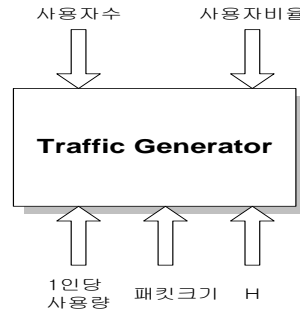


그림 8. 트래픽 발생기 구현에 필요한 파라미터들

당 사용량, 패킷 크기, H 값 등은 발생기에 내부적으로 구현되어야 하는 값이다.

트래픽 발생기의 구현 시 패킷 크기는 기존의 패킷 크기 분석 결과를 바탕으로 크기 및 비율을 미리 정하여 이 비율에 따라 패킷이 발생되도록 결정한다.

- 1인당 트래픽 발생량 : 1인당 트래픽 발생량을 26.6Kbps로 설정하였으며, 이 값은 최번 시의 1인당 평균 사용량을 의미한다.
- Hurst 상수 : 사용자 비율에 따른 Hurst 상수는 표 2와 같이 산출하였다. 이는 각 사용자 특성별 서비스 비율과 각 서비스의 H 값을 이용하여 산출한 값이다.
- 패킷 크기 분포 : 패킷 크기 분포는 각 트래픽 발생기에서의 각 패킷의 길이를 생성하기 위하여 필요하다. 본 논문에서는 인터넷 상의 자료를 바탕으로 표 3과 같이 산출하여 사용하였다 [12,13].

4.3 대규모 망 시뮬레이터 구현

완성된 시뮬레이터의 외형은 그림 9에 나타난 바와 같이, 그림 1의 물리망 구조와 동일하다. 예지 노

표 2. 가입자 비율에 따른 H값

구 분		H
가정(%)	기업(%)	
0	100	0.93
10	90	0.91
20	80	0.90
30	70	0.88
40	60	0.87
50	50	0.85
60	40	0.84
70	30	0.83
80	20	0.81
90	10	0.79
100	0	0.75

표 3. 패킷 크기 분포 표(단위: 바이트)

패킷 크기	비율(%)
0-40	30
40-300	4
300-600	4
600-900	46
900-1200	4
1500 이상	12

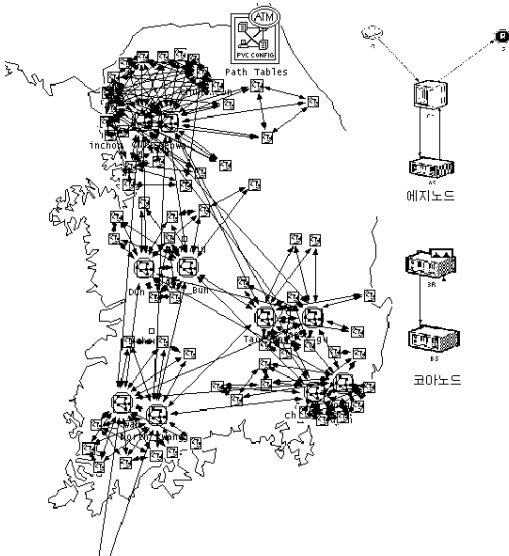


그림 9. 시뮬레이터 외형도

드는 트래픽 발생기, 싱크, 라우터로 구성되고, 코어 노드는 스위치와 라우터로 구성된다.

4.4 시뮬레이션 파라미터

4.4.1 입력 데이터 산출

시뮬레이션을 통하여 정확한 성능 평가가 이루어지기 위해서는 트래픽 발생량이나 그 특성을 실제 상황에 근접하도록 예측해야 한다. 그러나 현재로서는 지역별로 정확히 산출한 자료가 없기 때문에 부분적인 정보와 가정을 통하여 트래픽을 유추하였다. 이러한 특성치로는 지역별 트래픽 발생량 및 트래픽 패턴, 그리고 지역 간의 트래픽 흐름의 양 및 패턴 등이 있다. 그 중 지역간 트래픽 흐름의 양 및 패턴은 지역 간의 트래픽 이동성에 대한 조사가 선행되어야 하며 이에 대한 정보가 상당히 부족한 것이 현실이다.

그러므로 본 논문에서는 트래픽 발생량 예측을 위하여 다음과 같은 몇 가지 가정을 사용하며, 이를 바탕으로 특성화 작업을 수행하였다.

- 가정 1. 노드별 트래픽 발생량은 인구분포에 비례한다.
- 가정 2. 트래픽 유입량은 그 지역의 인구분포에 반 비례하고 유출량은 인구수에 비례하는 경향을 가진다.

본 논문에서 트래픽의 성질을 나타내기 위해 필요한 파라미터는 지역별 상대적인 트래픽 발생 크기와 그 특성이다. 본 논문에서는 트래픽 발생량은 지역별 인터넷 사용자 수로 특성화하였으며 발생하는 트래픽 형태의 특성은 각 지역별 가정가입자수와 기업가입자수의 비율의 조합에 의해 표현하였다¹⁴⁾.

(1) 지역별 트래픽 발생량

본 논문에서는 국가망에 예측되는 총트래픽에 대한 정보를 지역별 트래픽 발생량에 이용하였으며, 이를 위해 지역 간의 발생 트래픽 비율은 표 4와 같이 산출하였다. 이들은 대략적으로 서울, 경인 지역과 부산 지역의 트래픽을 합한 값이 전체 트래픽의 약 70-80% 정도로 가정하여 분배한 값이다.

본 논문에서는 트래픽 발생량을 peak time시 1인당 발생 트래픽량 및 인터넷 사용자수로 나타내었는데, 지역별 트래픽량에서 인터넷 사용자수를 유도해내는 과정은 다음과 같다.

- 지역별 발생량=총트래픽량× 지역별 발생비율
- 지역별 사용자수=지역별 발생량/1인당 트래픽량

또, 한 지역 내의 노드별 인터넷 사용자수를 설정하기 위해서 현재 지방자치정보 사이트에 조사되어 있는 지역별 인구분포를 참조하여 그림 10과 같이 계산한다¹⁵⁾.

(2) 트래픽 특성

각 지역별 트래픽 특성은 가정가입자 대 기업가입자의 비율로 표현하였다. 보편적인 조사 결과는 기업용 사용자는 약 60%, 가정사용자는 약 40% 정도의 비율을 나타내며, 지역별 특성을 반영하여 이 수치를 조정하였다¹⁶⁾. 표 5는 코어망의 노드별 사용자 특성을 나타낸다. 망 전체 노드의 노드별 사용자 특성은 표 5를 기준으로 추정에 의해 구한 값을 사용하는데, 표 6과 같다.

표 4. 지역별 발생 트래픽 비율

서울권역	부산권역	대구권역	대전권역	광주권역
60%	15%	8%	9%	8%

step 1. $(P_N^1, P_N^2, \dots, P_N^K)$

P_N^i : N 번째 지역의 i 번째 노드의 인구수
 K : N 번째 지역의 총 노드수

step 2. 모든 P_N^i 에 대해,

$$NTR_N^i = \frac{P_N^i}{\sum_{i=1}^K P_N^i} \quad (\text{노드 } i \text{ 의 트래픽 비율})$$

step 3. 모든 NTR_N^i 에 대해,

$NTV_N^i = RTV_N \times NTR_N^i$ (노드 i 의 트래픽량)
 RTV_N : 국가망 전체에 대한 N 번째 지역의 트래픽량

step 4. 모든 NTV_N^i 에 대해,

$NP_N^i = NTV_N^i \times TVP$ (노드 i 의 인터넷 사용자수)
 단, TVP : 1인당 평균 트래픽량

그림 10. 노드별 인구수 계산 알고리즘

표 5. 코어 노드별 트래픽 특성

노드#	비율(%)	
	가정	기업
구로	30	70
혜화	30	70
동래	30	70
부천	30	70
대구	40	60
태평	50	50
둔산	40	60
대번	40	60
서광주	40	60
북광주	50	50

표 6. 각 지역별 가정 가입자 및 기업 가입자의 비율

노드#	비율(%)		노드#	비율(%)		노드#	비율(%)		노드#	비율(%)	
	가정	기업		가정	기업		가정	기업		가정	기업
1	.	.	21	30	70	41	40	60	61	40	60
2	.	.	22	30	70	42	30	70	62	50	50
3	.	.	23	30	70	43	30	70	63	40	60
4	.	.	24	40	60	44	30	70	64	40	60
5	.	.	25	40	60	45	30	70	65	60	40
6	.	.	26	40	60	46	60	40	66	50	50
7	.	.	27	40	60	47	40	60	67	40	60
8	.	.	28	50	50	48	60	40	68	40	60
9	.	.	29	50	50	49	40	60	69	40	60
10	.	.	30	50	50	50	40	60	70	50	50
11	40	60	31	30	70	51	60	40	71	40	60
12	40	60	32	30	70	52	40	60	72	40	60
13	40	60	33	40	60	53	40	60	73	60	40
14	50	60	34	40	60	54	40	60	74	60	40
15	40	60	35	30	70	55	40	60	75	40	60
16	40	60	36	30	70	56	40	60			
17	40	60	37	30	70	57	50	50			
18	40	60	38	40	60	58	30	70			
19	40	60	39	50	50	59	30	70			
20	40	60	40	40	60	60	40	60			

표 7. 백본 노드의 외부 트래픽 유출 비율

목적지 소스	서울 지역	부산 지역	대구지역	대전지역	광주 지역
서울지역		1.5	2.6	2.5	2.5
부산지역	1.0		1.5	1.5	1.5
대구지역	1.5	1.3		1.0	1.0
대전지역	1.5	1.3	1.0		1.0
광주지역	1.5	1.3	1.0	1.0	

(3) 지역 간의 트래픽 흐름

각 지역에서 타 지역으로 나가는 트래픽의 비율 설정은 인터넷 상의 자료들을 참고하여 표 7과 같이 설정하였다. 단, 이 수치들은 완전한 정보를 바탕으로 한 것은 아니며 부분적인 정보와 본 문서에서 설정한 (가정 2)를 근거로 유추해 낸 값이다.

또한 한 지역 내에서 발생한 트래픽이 지역 내부의 다른 노드로 갈 수 있는 비율과 외부의 다른 지역으로 빠져나갈 수 있는 비율은 4:1 정도로 설정하였다. 이를 바탕으로 목적지별 목적지 비율을 계산하여 각 노드에서의 발생량 및 패킷의 목적지 비율을 계산할 수 있는데, 그 과정은 다음과 같다.

- N 지역의 i 노드의 트래픽 발생량 NTV_N^i
- N 지역의 i 노드에서 같은 지역의 다른 노드 j 로 나갈 확률 RD_{NN}^i

$$RD_{NN}^i = \frac{Rint_N^i}{Rint_N^i + Rext_N^i} \times \frac{NTV_N^i}{\sum_{i=1}^K NTV_N^i}$$

단, $Rint_N^i$: i 노드에서 같은 지역 다른 노드로 나갈 비율,
 $Rext_N^i$: i 노드에서 다른 지역으로 나갈 비율

- N 지역의 i 노드에서 다른 지역 L 의 노드 h 로 나갈 확률,

step 1. N 지역의 외부 트래픽 비율 매트릭스 (EF_N^1, \dots, EF_N^M) 에 대해,
 (M : 총 지역수)
 $\sum_{i=1}^M EF_N^i = 1$

step 2. N 지역의 노드 i 로부터 L 지역의 노드 h 로의 목적지 비율 RD_{NL}^i

$$RD_{NL}^i = \frac{Rext_N^i}{Rint_N^i + Rext_N^i} \times EF_{NL}^i \times \frac{NTV_L^h}{\sum_{i=1}^A NTV_L^i}$$

단, A : L 지역의 총 노드수

또한 위의 트래픽 발생량 및 목적지 비율 설정 값들을 통해서 각 링크나 노드에 걸리는 부하들을 계산해 볼 수 있는데, 이것은 다음과 같은 단계들을 거친다.

- ① 국가망 총 소요 대역폭 예측
- ② 각 지역별 트래픽량 분배
- ③ 백본망의 링크별 트래픽 비율 → 각 지역별 트래픽량 분배
- ④ 내부 트래픽 및 외부 트래픽 비율 예측
- ⑤ 한 지역의 총 발생 트래픽량 계산
- ⑥ 각 노드별로 발생 트래픽량 분배
- ⑦ 목적지 비율 산정
- ⑧ 트래픽량 × 목적지 비율
- ⑨ 노드나 링크에 대해 거쳐 가는 트래픽을 모두 합산

4.4.2 스위치의 성능

스위치의 성능을 나타내는 파라미터는 코어 스위치(ACE64 기준: 9Gbps의 처리율)인 경우엔 1,226,415cps, 액세스 스위치(CANS 기준 : 5Gbps의 처리율)인 경우에는 11,792,453cps로 설정하였다. 라우터의 성능을 나타내는 파라미터는 Tolly Group의 자료를 바탕으로 액세스 라우터는 1,000,000 1,200,000 pps, 코어라우터는 10,000,000 ~30,000,000 pps 정도의 성능을 가지는 것으로 설정하였다^[17,18]. 링크를 위한 파라미터는 백본망에 대해서는 2.5Gbps로, 그 외의 부분은 155.520Mbps로 설정하되, 순수한 트래픽 외의 트래픽 흐름을 위한 PVC 대역 및 하위 계층의 오버헤드를 제외하기 위하여 대역의 85%만을 유효 대역폭으로 설정하였다. 따라서 링크 용량은 각각 2,115,072,000bps와 132,950,000bps로 수치화될 수 있다.

4.4.3 성능 척도

인터넷 망의 성능 평가 시 사용되는 성능 척도에는 연결성, 처리율, 지연, 지연변이, 손실률 등이 있는데, 본 논문에서는 성능 평가를 위해서 지연과 처리율을 고려하였다. 용량의 충분 정도를 나타내는 척도로 차세대 인터넷에서 거론되는 종단간 평균 지연이 100ms 이내를 만족되어야 하는 것을 사용하였다. 처리율은 노드 및 링크에서의 처리율을 모두 고려하여야 한다. 이것은 용량 설계 부분과도 밀접한 것이며, 네트워크 폭주 제어에도 주요 정보로 활용될 수 있다.

V. 성능 모의실험

초고속 국가망의 성능에 대한 평가는 2단계로 수행되었다. 첫 번째 단계에서는, 10개의 코어 노드들만으로 구성된 LIS에 대한 성능을 평가하기 위한 작업이다. 이 단계에서는 트래픽 인가량에 따른 병목 지점을 찾고, 그 지점에서의 트래픽 병목 현상을 해

소하기 위해 여러 가지 대체 경로들을 탐색하여 최선의 대체 경로를 찾아내고 이 후에 발생하는 병목 현상에 대해서는 링크나 스위치 등의 장치들을 증설하는 방법을 제시한다.

두 번째 단계에서는, 75개의 노드들로 구성된 초고속 국가망 전체에 대한 성능평가를 수행한다. 이때 코어 노드에 대한 경로는 첫 번째 단계에서 결론으로 도출된 최적화된 코어 네트워크를 사용한다. 이 단계에서는 액세스 노드나 이들을 연결하는 링크들에 대한 병목 지점을 찾고 병목 현상이 발생한 지점의 병목 현상을 해소하기 위한 대안들을 찾기 위한 목적을 가진다.

이 단계에서 최적의 경로로 구성된 네트워크가 만들어지면, 그 다음엔 대상 네트워크에 대해서 트래픽량을 증가시켜 가며 어느 정도의 트래픽 증가 시 병목현상이 어느 지점부터 발생하는가를 관측하고 이를 해소하기 위한 대안들을 제시한다.

5.1 시나리오

본 논문에서 실험을 위한 시나리오는 성능평가 방법에 따라 코어망 평가에 관련되는 부분과 국가망 전체에 관련되는 부분으로 나누어 구성하였다. 표 8은 시나리오 구성을 보여준다.

설계된 시나리오들은 코어망의 성능을 평가하기 위한 용도로 사용된다. 즉, 지역 간의 트래픽 흐름을 수용하기에 코어망에 사용된 링크의 용량이나 노드의 처리력이 충분한지를 평가하기 위한 목적을 가진다. 코어망의 한 지역 내에 있는 코어 노드 하나씩이 직접적인 경로를 가지며 직접적인 경로가 없는 노드로 가기 위해서는 인접한 노드를 경유하여 갈 수 있다. 어떤 방법으로 목적지에 도달하는지는 시나리오에 의해 결정되는 논리적인 경로에 의존한다.

시나리오 1은 한 개의 코어 노드가 특정 액세스 노드의 In-out 트래픽의 관문이 되도록 설계한 경우로서, 소스에서는 해당 목적지로의 직접적인 링크가

표 8. 시나리오 구성

범 위	시나리오	코어망 형태	액세스망 형태
코어망	시나리오 1	Fullmesh	.
	시나리오 2	Half fullmesh	.
국 가 망 전체	시나리오 3	Fullmesh	Fullmesh
	시나리오 4	Fullmesh	Star
	시나리오 5	Half fullmesh	Fullmesh
	시나리오 6	Half fullmesh	Star

없는 경우는 (1) 소스 지역에 있는 코어 노드 중 해당 목적지 코어노드와 물리적으로 바로 연결되어 있는 코어 노드를 경유하여 트래픽을 전송하거나, (2) 목적지 지역의 해당 코어노드와 물리적으로 바로 연결되어 있는 코어 노드를 경유하여 트래픽을 전송하는 방법을 사용한다.

시나리오 2는 미리 경로를 고정시키지 않고 액세스 노드의 트래픽 발생기가 모의실험 시에 발생시키는 패킷의 목적지 주소에 따라 그 목적지에 직접적으로 연결되어 있는 노드를 직접 선택하도록 만드는 방법이다. 즉, 소스 지역에서는 해당 목적지 코어 노드에 바로 연결된 코어 노드를 선택하여 트래픽을 전송하므로 코어망은 사실상 2개의 논리망으로 분리되는 것과 같다. 이렇게 될 경우, 링크의 이용률은 모의실험 시의 트래픽 발생 형태에 의존하는 형태를 가지게 된다.

지역별 에지-코어 연결이 full-mesh인 경우 그림 2의 (a)로, 이 때 코어는 시나리오 1을 따른다. 시나리오 1의 Case 1의 코어망과 시나리오 3을 적용한 액세스 망에서 시나리오 1을 통해 얻어진 병목 발생 지점의 트래픽을 그대로 적용하여 테스트한다. 병목 현상이 발생하는 지점을 검토하고 이들에 대해서는 대체 경로를 적용하여 해소 방안을 찾는다. 병목 현상이 해소가 되지 않을 경우는 트래픽 수치를 낮추어 새로운 병목 지점을 찾고 이를 해소하기 위한 대안들을 제시한다. 성능을 향상시킬 수 있는 대안들을 제시하고 이들에 대한 성능을 실험한다.

지역별 에지-코어 연결이 Star형인 경우 그림 2의 (b)로 표 8의 시나리오 4에 해당한다. 이 때 코어는 시나리오 1을 따른다.

5.2 모의실험 결과

5.2.1 코어망의 성능 평가

코어망의 성능 평가는 총 트래픽 1.02Gbps에서부터 시작하여 트래픽량을 증가시켜 가면서 병목 현상이 발견되는 지점까지 시뮬레이션을 수행하였다. 노드별 인터넷 사용자수는 총 트래픽량에 따라 달라지며, 1.02, 9.443, 13.40 및 18Gbps에 대해 관측하였다. 그림 11은 각 노드별 평균 종단간 지연을 나타내기 위해 시뮬레이션 시간 5초 동안 실험한 결과이다.

총 트래픽량이 1.02Gbps에서 9.44Gbps가 될 때까지 코어망은 평가 기준인 종단간 지연 100ms 이내를 만족하고 있다. 9.44Gbps부터 구로와 해화 노드를 이용하는 트래픽의 지연이 증가하기 시작하며, 10Gbps

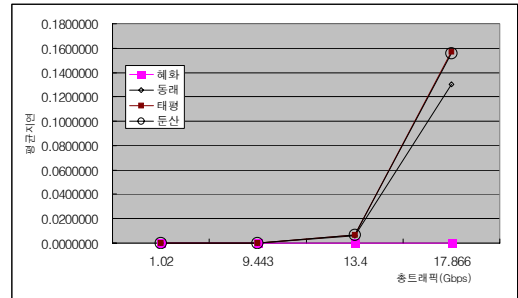


그림 11. 총트래픽량에 따른 노드별 평균지연 비교

를 초과하는 경우 망 용량이 더 이상 트래픽을 처리할 수 없는 상황이 된다.

관측된 병목점에 대해 병목현상을 유발하는 요인을 찾기 위해 각 노드에서 소스별 트래픽의 평균 종단간 지연, 트래픽 발생기와 라우터 간 회선의 사용률, 라우터와 스위치 간 회선 사용률을 관측하였다. 그 결과 병목현상으로 인해 문제가 발생한 트래픽이 서울 지역의 노드에서 생성된 트래픽이라는 사실을 관측할 수 있으며, 특히 서울 지역 노드의 트래픽 발생기와 라우터 사이에 병목이 발생한다는 사실로부터 코어 노드의 용량이 부적절하다는 결론에 도달할 수 있다.

5.2.2 망 전체의 성능 평가

망 전체의 성능 평가는 병목이 발생하지 않는 최대 총 트래픽량 9.44Gbps를 기준으로 전체망의 성능을 평가하였다. 표 9는 1.0초 동안 모의실험한 결과이다. 몇 개의 노드를 제외하고는 모두 200ms 이상의 지연이 발생하며, 계속 지연이 증가하는 추세에 있어 병목 현상이 극심하게 나타남을 알 수 있다. 이는 에지 간 및 에지와 코어 간의 회선 용량인 155Mbps가 매우 부족하다는 것을 의미하며 계획 단

표 9. 노드별 평균 종단간 지연(단위 : 초)

노드	종단간 지연	노드	종단간 지연	노드	종단간 지연	노드	종단간지연
남수원	0.218614	춘천	0.210591	부산	0.159440	충주	0.135417
남인천	0.223579	원주	0.212510	경주	0.150032	대전	0.140545
수원	0.214083	서강릉	0.210837	남포항	0.135835	신제주	0.101943
동수원	0.224112	광화문	0.212950	안동	0.130611	하당	0.096290
안산	0.218019	해화	0.238616	대구	0.152418	동목포	0.123472
평촌	0.223050	전농	0.215074	남대구	0.151692	서귀포	0.096201

계에서 회선 증가가 요구됨이 밝혀졌다.

현재 코어망에 사용된 모든 링크는 2.5Gbps의 유효 대역폭을 가지고 있으며, 스위치나 라우터의 성능은 이를 처리하기에 충분하다. 그러나 병목이 발생하는 10Gbps는 '99년말 예측치인 17.7Gbps에 못 미치기 때문에 초고속 국가망이 완성됨과 동시에 병목현상이 발생될 것으로 예측되었다. 이것은 즉시 네트워크 계획을 수정해야 함을 의미한다.

총 트래픽량이 10G를 넘으면서 병목이 발생하는 데 발생하는 지점이 서울의 에지 노드에서 코어 노드로 접속하는 지점과 라우터 스위치간 회선 등에서 발생하며, 이를 해결하기 위해서는 해당부분의 회선 증가가 요구되는데 라우터나 스위치의 라인 인터페이스 기술을 감안하면 결국 서울지역의 코어 노드를 증설하고 지역 내 각 중계국간의 회선을 증가시켜야 한다는 결론에 도달할 수 있었다.

네트워크 요소별 성능 검증은 만족스러운 결과를 보여주었다. 특히 자기 유사 트래픽 모델의 큐잉 지연을 테스트하였더니, 용량의 50% 이상의 부하가 걸리자 지연 값이 급격히 증가하여 어느 정도 신뢰성 있는 결과를 나타내었다. 또한 시뮬레이션은 수행시간이 2초를 실험하는데 약 72 시간 이하의 시간이 걸려 이들의 성능 또한 기대에 부응하는 결과를 나타내었다.

분석 결과, 2단계 초고속 국가망은 현재 인터넷 망에서 발생하는 회선 불균형 현상을 그대로 갖고 있음을 알 수 있다. 즉, 코어 또는 백본망의 성능은 상대적으로 높게 설계되고 액세스 회선이나 노드의 성능이 부족하여 병목이 발생하여 실제 성능수치는 낮으면서 백본망의 성능은 만족스러운 것으로 나타난다. 현재 설계된 2단계 초고속 국가망도 이러한 현상을 볼 수 있으며, 즉시 에지 백본망의 회선 및 노드용량의 재설계가 요구된다. 특히 코어 백본망의 경우도 10Gbps를 넘을 경우 병목현상이 발생하기 때문에 1년 이내에 네트워크 용량이 한계에 다다르게 되며, 최 번시에는 2Gbps정도의 트래픽만으로도 많은 폭주현상이 예상된다. 정확한 병목지점과 해결방안을 도출하기 위하여 다음과 같은 추가적인 시뮬레이션 수행이 요구된다.

- 10Gbps에서 병목이 발생하는 지점의 용량을 증가시켜 다른 부분, 특히 코어 간 장거리 회선에 병목이 발생하는지를 평가한다.
- 코어간 회선에 병목을 회피하기 위하여 대체 경로를 찾는다.

- 최번 시(평균 트래픽의 4~5배) 트래픽을 부과하였을 경우 병목현상이 발생하는 시기를 예측한다.
- 병목현상이 심한 서울 지역의 코어 노드를 증설하여 이를 평가한다.

단, 사용된 데이터 값이 많은 부분의 가정과 개략적인 산출로부터 생성된 것이므로 여기서 제시된 결과를 그대로 사용하기 어렵다. 이를 개선하려면 데이터를 정확한 자료 및 분석을 통하여 재평가해야 한다.

VI. 관련 연구

많은 수의 네트워크 시뮬레이터가 상업용뿐만 아니라 대학 연구 프로젝트에서 개발되었다. 이들 중 잘 알려진 상업용 시뮬레이터로는 Mil3 사의 OPNET, CACI 사의 COMNET, Cadence 사의 BoNeS 등이 있다. 그러나 이 도구 중에서 어느 것도 대규모 시뮬레이터로 개발된 것은 아니다. 공개 도메인에서 널리 사용되고 있는 시뮬레이터로는 NS(Network Simulator)가 있다. NS는 TCP와 라우터 스케줄링 알고리즘의 여러 가지를 지원하는 트랜스포트-레벨 시뮬레이터이다^[9]. [20]에서는 기존의 순차적 시뮬레이션 모델과 소프트웨어를 도입하여 확장 가능한 네트워크 시뮬레이션을 실현하기 위한 방법을 기술하고 있다. 이 실험에서는 1억 6백만 개의 PTS(the number of packet transmission that can be processed by a simulator per second of wallclock time)까지의 성능을 내기위하여 망개는 1,536 개의 프로세서를 구동하고 있다. [21]에서는 POSE(parallel object-oriented simulation environment)를 대규모 병렬 머신의 응용 성능 예측을 위하여 사용하고 있다. [21]에서는 대규모 통신망의 상세한 정밀 모델의 시뮬레이션 시간을 단축하기 위하여 병렬 실행을 효과적으로 이용하는 확장 가능한 시뮬레이션 환경을 기술한다.

본 논문에서는 본 연구실에서 보유하고 있는 상업용 시뮬레이터인 OPNET을 이용하여 자기-유사 트래픽 특성을 고려하여 초고속 국가망에 대한 시뮬레이터를 제작하였다.

VII. 결 론

본 논문에서는 대규모 망의 성능 평가를 수행하기 위해 시뮬레이터를 설계하고 구현하였다. 이를 이용하여 초고속 인터넷 망의 QoS 성능을 시뮬레이션

을 통하여 평가하였다. 평가 대상은 2단계 초고속 국가망의 물리적 구조에 IPOA 기술을 적용하여 가상 인터넷 서비스 망을 설계하였다. 성능 평가는 링크의 용량 평가 및 예측에 중점을 두었다.

인터넷 망은 종단간 QoS 성능 보장을 요구하며, 따라서 네트워크 레벨의 시뮬레이션을 필요로 한다. 그러나 기존의 노드 레벨의 시뮬레이션에 사용되어 오던 모델링 기법을 네트워크 레벨에 그대로 적용할 경우, 노드 수의 증가에 따라 시뮬레이션 시간이 급격히 증가하므로 적절한 시간 안에 성능을 평가한다는 것이 불가능할 수도 있다. 그러므로 성능 평가에 앞서 새로운 모델링 접근법을 필요로 한다.

본 논문에서는 이를 위해 시뮬레이션 수행 시간과 시뮬레이터의 정밀도 간의 상반 관계를 적절한 수준에서 만족시킬 수 있는 관점에서 문제 해결을 시도하였다. 즉, 구성장치의 정밀도가 어느 정도 지켜지는 범위 내에서 모델링을 최대한 간략화하였다. 또한 액세스 노드 이하의 구조를 단순화할 수 있는 방안을 적용하였다.

본 논문에서 개발한 시뮬레이터는 합성된 트래픽을 표현할 수 있는 자기유사 트래픽 발생기를 개발하여 액세스 노드 이하의 구조는 고려하지 않도록 되어 있다. 많은 트래픽 분석 및 데이터 처리 작업을 병행하여 대신 프로토콜 스택 중 IP 계층과 ATM 계층만을 구현에 포함하였다. 또한 실제와 동일한 물리적 형태로 네트워크 모델을 구성한 상태에서 스위칭 및 라우팅 테이블의 값들을 변형함으로써 다양한 토폴로지 구성이 가능하도록 만들었다.

수행된 시뮬레이션에서는 시뮬레이터보다는 입력 파라미터로 사용된 값 자체에서 약간의 오차가 발생할 가능성이 있다. 이것은 현재 인터넷 트래픽의 통계 자료 및 특성 규명에 대한 연구 결과가 부족하기 때문이며, 특히 국내의 경우 트래픽 측정 및 분석 활동이 매우 미진한 상태에서 기인한 것이다. 따라서 향후 보다 광범위한 트래픽 측정 및 분석 작업에 관한 지속적인 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

[1] N. Likhanov, B. Tsybakov and N.D. Georganas, "Analysis of an ATM Buffer with Self Similar("Fractal") Input Traffic", Proc. of the IEEE INFOCOM'95, Vol.3, April 1995.
 [2] P. Hall, "On the Effect of Measuring a Self Similar Process", SIAM Jour.

[3] 윤승현, "고속 인터넷 가입자 망의 논리구조 및 용량설계를 위한 모형", COMSW'98 학술발표대회 논문집, 1998년 7월.
 [4] OPNET Manual v.6, Mil3.
 [5] D. McDysan, QoS & Traffic Management in IP & ATM Networks, McGraw Hill Publishing Co., 2000.
 [6] B. Tsybakov and N.D. Georganas, "Self-Similar Traffic and Upper Bounds to Buffer Overflow Probability in an ATM Queue", Performance Evaluation, Vol. 32, No. 1, Febr. 1998.
 [7] W. E. Leland and Murad S. Taqqu, "On the Self Similar Nature of Ethernet Traffic(Extended Version)", 1994.
 [8] M. Crovella and A. Beswtavros, "Self-similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes", Proc. Of ACM Sigmetrics Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, May 1996.
 [9] A. Erramilli, O. Narayan and W. Willinger, "Experimental Queueing Analysis with Long range Dependent Packet", IEEE/ACM Transactions on Networking, April 1996.
 [10] V. Paxson and S. Floyd, "Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling", IEEE/ACM Transactions on Networking, June 1995.
 [11] B. Tsybakov and N.D. Georganas, "Self Similar Processes in Communications Networks", IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 44, No. 5, Sept. 1998.
 [12] <http://www.nlanr.net/NA/Learn/packetsizes.html>, WAN packet size distribution.
 [13] S. McCreary, and K. Claffy, "Trends in Wide Area IP Traffic Patterns", <http://www.caida.org/outreach/papers/AIX0005>.
 [14] P. Flandrin, "Wavelet Analysis and Synthesis of Fractional Brownian Motion", 1992.
 [15] 지방자치정보, <http://www.localpower.com/map1.htm>.
 [16] IMResearch, "KIUSE Report I", 1998년 6월.
 [17] The Tolly Group, "Cisco Systems 7513 Router Test Summary", No. 7295, Oct. 1997.
 [18] The Tolly Group, "Cabletron System SmartSwitch Router Test Summary", No. 8291, Oct. 1998.
 [19] Lokesh Bajaj, Mineo Takai, Rajat Ahuja, and Rajive Bagrodia, "Simulation of Large-Scale Heterogeneous

Communication Systems”, Proceedings of MILCOM'99, November 1999.

- [20] Fujimoto, R. M, et al., “Large-scale network simulation: how big? how fast?”, Proc. of Modeling, Analysis and Simulation of Computer Telecommunications Systems(MASCOTS), pp116-123, Oct. 2003.
- [21] Wilmarth T. L. et al., “Performance prediction using simulation of large-scale interconnection networks in POSE”, Proc. of Principles of Advanced and Distributed Simulation(PADS), pp.109-118. 2005.

박 정 숙 (Jeong-Sook Park)

정회원



1994년 2월 효성여자대학교 전
자계산학과 학사
1996년 8월 대구효성가톨릭대
학교 전산통계학과 석사
2001년 2월 대구가톨릭대학교
전산통계학과 박사
2001년 2월~현재 한국전자통신

연구원 근무

<관심분야> 성능평가, 인터넷 트래픽 측정, 신뢰보안 컴
퓨팅

전 용 희 (Yong-Hee Jeon)

중신회원



1971년 3월~1978년 2월 고려
대학교 전기전자전파공학부
1985년 8월~1987년 8월 미국
플로리다공대 대학원 컴퓨터공
학과
1987년8월~1992년 12월 미국
노스캐롤라이나주립대 대학원

Elec. and Comp. Eng. MS, Ph. D.

1978년 1월~1978년 11월 삼성중공업(주)
1978년 11월~1985년 7월 한국전력기술(주)
1979년 6월~1980년 6월 벨기에 벨가툼사 연수
1989년 1월~1989년 6월 미국 노스캐롤라이나주립대
Dept of Elec. and Comp. Eng. TA
1989년 7월~1992년 9월 미국 노스캐롤라이나주립대
부설 CCSP (Center For Comm. & Signal Proce-
ssing) RA
1992년 10월~1994년 2월 한국전자통신연구원 광대
역통신망연구부 선임연구원
1994년 3월~현재 대구가톨릭대학교 컴퓨터·정보통
신공학부 교수
2001년 1월~2006년 12월 한국통신학회 학회지 편집
위원
2001년 3월~2003년 2월 대구가톨릭대학교 공과대
학장 역임
2004년 2월~2005년 2월 한국전자통신연구원 정보
보호연구단 초빙연구원
2008년 1월~ 현재 한국정보보호학회 부회장
2009년 1월~ 현재 한국정보과학회 정보보호연구회
분과위원장
<관심분야> 네트워크 보안, BcN QoS & Security,
웹 모델링 및 대응 기술, 통신망 성능분석