

적응적 전송률 기법을 이용한 이더넷에서 트래픽 패턴이 에너지 절약을 및 지연 시간에 미치는 영향

정회원 양 원 혁*, 준회원 강 동 기*, 종신회원 김 영 천*

Impact Analysis of Traffic Patterns on Energy Efficiency and Delay in Ethernet with Rate Adaptation

Won-Hyuk Yang* *Regular Member*, Dong-Ki Kang* *Associate Member*,
Young-Chon Kim**° *Lifelong Member*

요 약

최근 녹색 IT(Green IT)에 대한 관심이 증가하면서 많은 연구자들이 적응적 전송률(Rate adaptation)을 이용한 에너지 효율적 이더넷(Energy Efficient Ethernet: EEE)에 관심을 보이고 있다. 그러나 적응적 전송률은 트래픽 패턴에 따라 다른 에너지 효율성 및 전송률 변화에 따른 지연 시간의 편차를 보일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 적응적 전송률 기법을 이용한 이더넷에서 트래픽 패턴이 에너지 절약 및 지연 시간에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위하여 OPNET Modeler를 이용하여 다양한 트래픽 패턴 생성을 위한 포아송(Poisson) 프로세스 기반 및 파레토(Pareto) 분포 기반의 ON-OFF 트래픽 생성 모델과 적응적 전송률을 이용한 이더넷 노드를 구현하여 시뮬레이터를 설계하였다. 구현된 시뮬레이터를 이용하여 총 전송률 변화 횟수, 전송율 절감, 에너지 절약율, 평균 큐 지연 시간 관점에서 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 시뮬레이션 결과 적응적 전송률은 자기유사성을 갖는 IP 트래픽 패턴이 총 전송률 변화 횟수, 전송률 절감 및 에너지 절약율에 영향을 미침을 확인할 수 있었으며 높은 전송률 변화로 인한 오버헤드의 발생을 보였다.

Key Words : Green IT, Rate Adaptation, Ethernet, Energy Saving

ABSTRACT

As many researchers have been interested in Green IT, Energy Efficient Ethernet(EEE) with rate adaptation has recently begun to receive many attention. However, the rate adaptation scheme can have different energy efficiency and delay according to the characteristics of various traffic patterns. Therefore, in this paper, we analyze the impact of different traffic patterns on the energy efficiency and delay in Ethernet with rate adaptation. To do this, firstly we design a rate adaptation simulator which consists of Poisson based traffic generator, Pareto distribution based ON-OFF generator and Ethernet node with rate adaptation by using OPNET Modeler. Using this simulator, we perform the simulation in view of the total number of switching, transmission rate reduction, energy saving ratio and average queueing delay. Simulation results show that IP traffic patterns with high self-similarity affect the number of switching, rate reduction and energy saving ratio. Additionally, the transition overhead is caused due to the high self-similar traffic.

* 전북대학교 컴퓨터공학과 차세대통신망연구실(whayng@jbnu.ac.kr), (° : 교신저자) 영상정보통신기술연구소 (yckim@jbnu.ac.kr)
논문번호 : KICS2009-12-626, 접수일자 : 2009년 12월 17일, 최종논문접수일자 : 2010년 6월 28일

I. 서 론

최근 인터넷 유저의 증가로 인하여 NIC 및 이더넷 스위치 같은 IT 장비(IT Equipment)의 전송률은 계속적으로 증가하고 있다. IT 장비의 전송률이 증가함에 따라 IT장비에서 발생하는 에너지 소비(Energy Consumption) 또한 계속적으로 증가하고 있으며 이는 경제적, 사회적, 환경적인 문제로 발전할 수 있다. 현재 미국에서 평가한 자료에 따르면 미국 내에서 IT 장비 사용으로 인한 에너지 소모량은 전체 에너지 소모량의 2% 정도를 차지하고 있고 이는 연간 74TWh 이상의 전력량이며 금액으로는 연간 60억\$ 정도의 비용이 소모된다고 조사되었다. 또한 독일에서는 IT 장비로 인한 전력 소비량이 2%에서 5%까지 증가할 것으로 예상하고 있다.^[1,2] 이러한 IT 산업 발전에 따른 경제적, 환경문제를 해결하기 위해 많은 연구자들이 녹색 IT(Green IT)에 대한 관심을 보이고 있다.

하지만 이러한 IT 장비의 전송률의 지속적인 증가에도 불구하고 실제로 사용되는 링크의 이용률(utilization)은 트래픽 전송량이 높은 특정 시간 외에는 이용률이 평균 30% 측정되고 있다. 또한 대부분의 IT 장비들은 실제적인 사용 시간(Active time)보다 사용되지 않을 때의 대기 시간(Idle time)이 길다.^[2] 이러한 이유로 링크의 이용률이 높거나 낮을 때에도 같은 에너지의 소모가 발생한다. 또한 IT 장비의 에너지 소모량은 전송률이 증가함에 따라 계속적으로 증가한다. 이에 액세스 망(Access Network)에서 발생하는 에너지 문제를 해결하고자 IEEE 802.3az Task Force^[3]가 2007년 초에 출범하였고 IT 장비에서 에너지 소모를 줄이기 위한 방법으로 링크의 이용률에 따라서 전송률을 변화 시키는 적응적 전송률 기법(Rate Adaptation Function)이 제안되었다.^[4,5] 적응적 전송률은 OSI 계층 중 물리계층에서 트래픽 상황에 따라 송신부의 전송률을 제어하는 기법으로 망 상태와 입력 트래픽에 따라 전송률을 동적으로 증감시키는 방법이다.

그러나 적응적 전송률의 에너지 효율 및 지연시간은 지역이나 상황에 따라 다르게 발생하는 트래픽 패턴에 따라 항상 변할 수 있다. 현재 대부분의 통신망의 성능평가 및 하드웨어에 관한 평가는 포아송 프로세스 기반의 트래픽 모듈을 이용하여 실시되고 있다. 포아송 프로세스 기반의 트래픽 발생은 기존의 음성망의 성능 예측에 유용 할 수 있으나 자기유사성을 갖는 실제 IP 트래픽의 특성을 정확히 반영하지 못하므로 다양한 요소들이 잘못 평가될 수 있다.^[7]

이에 본 논문에서는 적응적 전송률 기법을 이용한 이더넷에서 트래픽 패턴이 에너지 효율성 및 지연 시간에 미치는 영향 분석을 수행하였다. 이를 위하여 OPNET Modeler를 이용하여 적응적 전송률 시뮬레이터를 설계하였다. 설계된 시뮬레이터는 다양한 트래픽 패턴을 생성하기 위한 포아송 프로세스 기반 트래픽 생성 모델 및 파레토 분포 기반의 ON-OFF 트래픽 생성기 모델과 적응적 전송률을 이용하는 이더넷 노드 모델로 구성된다. 파레토 분포 기반의 ON-OFF 트래픽 생성 모델은 실제 IP 트래픽이 가지는 특정한 자기유사성정도를 조절하여 다양한 트래픽 생성이 가능하며 적응적 전송률을 이용하는 이더넷 노드 모델은 입력 트래픽과 큐 상황에 따라 링크 동작 속도를 10M/100M/1Gbps로 변경시킨다. 제작된 시뮬레이터를 이용하여 전송률 변화 횟수, 전송률 감소율, 에너지 절약율과 평균 큐 지연 시간 관점에서 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과를 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 영향 분석을 위해 설계된 OPNET 시뮬레이터 설계에 대하여 설명하며, 3장에서는 2장에서 설계한 시뮬레이터를 이용하여 얻은 결과를 보이고 그 결과를 분석한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. OPNET Modeler를 이용한 적응적 전송률 시뮬레이터 설계

본 장에서는 적응적 전송률 기법을 이용한 이더넷에서 트래픽 패턴이 에너지 효율성 및 지연 시간에 미치는 영향 분석을 수행하기 위하여 설계된 OPNET Modeler를 이용한 적응적 전송률 시뮬레이터에 대하여 설명한다. 설계된 시뮬레이터는 트래픽 패턴 생성 모델과 적응적 전송률 기법을 이용한 이더넷 노드 모델로 구성된다.

2.1 다양한 트래픽 패턴 생성을 위한 트래픽 모델

2.1.1 포아송 프로세스 기반 트래픽 생성 모듈

포아송 프로세스 기반의 트래픽 생성 모듈은 분석의 단순화 등 많은 이론적 특징을 가지고 있어서 망의 성능을 측정하기 위해 사용되는 트래픽 생성 기법이다.^[6] 포아송 프로세스 기반의 트래픽 생성 모델은 패킷이 특정 유한 시간 T 동안 k 개의 패킷이 노드에 도착하는 포아송 도착을 기반으로 패킷을 생성한다. 이 포아송 도착은 지수적 상호 도착 시간(Exponential inter-arrival time)을 가지게 되므로 지수적 분포와 밀

접한 관련을 갖는다. 수식 (1)과 (2)은 포아송 도착과 지수적 분포와의 관계를 보인다.

$$P_r[k \text{ packets arrive} \in T] = \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T} \quad (1)$$

$$P_r[T_a < t] = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

여기서 T 는 시간 간격을 나타내며 T_a 는 도착 패킷들의 상호 도착 시간을 나타낸다. 따라서 포아송 도착의 상호 도착 시간은 지수적 분포를 따르는 것을 알 수 있다(그림 1). 또한 상호 도착 시간은 전송률과 평균 패킷 사이즈로서 계산되며 이는 식 (3)을 이용하여 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{inter-arrival time} \\ = \frac{\text{Average packet size}}{\text{total network capacity} \times \text{offerload}} \quad (3) \end{aligned}$$

이러한 지수적 상호 도착 시간을 갖는 포아송 프로세스 기반의 트래픽 생성 모듈은 패킷의 상호 간섭이 발생할 수 있다. 이는 지수적 상호 도착 시간은 패킷의 Head 시간만을 고려하고 패킷의 Tail 시간이 고려되지 않아 패킷이 중첩되어 발생하기 때문이다. 그림 2는 포아송 프로세스 기반의 트래픽 생성 모듈에서 발생하는 패킷 중첩 문제를 보인다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 패킷 사이즈와 상호 도착 시간을 고려하여 패킷의 중첩

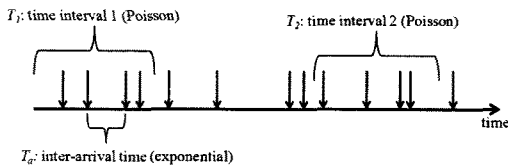


그림 1. 포아송 도착과 지수적 상호 도착 시간과의 관계

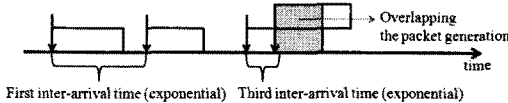


그림 2. 지수적 상호 도착 시간에 의한 패킷 중첩 문제

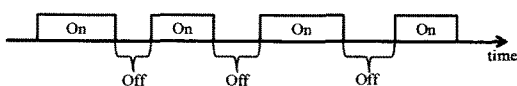


그림 3. 파레토 기반의 On-Off 트래픽 생성기의 패킷 발생

Packet Generation State

```

if(currnet time == next packet generation time)
    pkptr=Create_packet(Ethernet Format);
    end_time=Calculate_time(pkptr);
    decide the next packet inter-arrival time
    according to exponential distribution.
    if(next inter-arrival time < packet end time)
        next inter-arrival time = packet end time;
    end if
end if
wait next inter-arrival time.
    
```

그림 4. 포아송 프로세스 기반의 트래픽 생성 의사 코드

이 발생하지 않도록 트래픽 생성 모듈을 보완하였다. 다음은 이에 대한 의사 코드(Pseudo Code)를 보인다.

2.1.2 파레토 기반 On-Off 트래픽 생성 모듈

실제적으로 망에서 발생하는 자기유사성 또는 장기간 의존성을 갖는 트래픽은 파레토 분포를 이용하는 On-Off 트래픽 생성 모듈을 이용하여 발생시킬 수 있다.[7] 이 파레토 기반의 On-Off 트래픽 생성 모듈에서는 On 구간 동안 패킷이 발생하며 Off 구간 동안은 패킷이 발생하지 않는다(그림 3). On 구간에 대한 파레토 분포 시퀀스를 생성하기 위하여 다양한 크기의 패킷 트레인을 이용할 수 있으며 이 때 최소 크기의 패킷 트레인은 1로 설정하였다. 자기유사성의 정도는 허스트 파라미터 H에 의하여 결정되며 H는 0.5<H<1의 값을 갖는다. H 값이 1에 가까울수록 자기유사도가 크며 0.5에 가까울수록 자기유사도가 낮다.

논문 [7]에서는 파레토 기반의 ON-OFF 트래픽 생성 모듈을 OPNET으로 구현하고 이에 대한 성능평가를 실시하였다. 이 논문에서는 이 트래픽 생성 모듈을 구현 할 때 필요한 파라미터들과 H에 따른 자기유사도를 측정하였다. 특정 트래픽 소스에서 On 시간의 평균값이 ON이고 Off 시간의 평균값이 OFF라고 할 때 On-Off 모델에서 입력부하 L은

$$L = \frac{\overline{ON}}{\overline{ON} + \overline{OFF}} \quad (4)$$

이며 이때 Off 시간의 최소 값 b_{off} 는 식 (4)를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다 (이 때 On 시간의 최소 값 $b_{on}=1$ 이다.)

$$b_{off} = \frac{C_{on} \alpha_{off} - 1}{C_{off} \alpha_{off} - 1} \frac{\alpha_{on}}{\alpha_{on} - 1} \left[\frac{1 - S^{\alpha_{on}}}{1 - S^{\alpha_{off}}} \right] \left[\frac{1 - L}{L} \right] \quad (5)$$

식 (5)에서 C_{on} 과 C_{off} 는 On 과 Off 시간의 Coefficient 값이며 α_{on} 과 α_{off} 는 On 시간과 Off 시간의 파레토 분포의 *shape* 파라미터이다. 또한 S 는 컴퓨터에서 발생할 수 있는 난수의 최소 값을 나타낸다. 식 (5)에서 결정된 최소 시간과 H 를 결정하기 위한 α_{on} 과 α_{off} 를 입력 값으로 이용하여 OPNET에서는 트래픽을

발생시킨다.

2.1.3 생성된 트래픽 패턴의 자기유사성 분석

트래픽 패턴에 따른 에너지 절약률과 지연 시간의 영향 분석을 위하여 포아송 프로세스 기반 트래픽 생성기와 파레토 기반 ON-OFF 트래픽 생성기를 OPNET Modeler을 이용하여 구현하였다. 발생된 트래픽 패턴은 표 1과 같다.

그림 5는 구현된 트래픽 생성기를 이용하여 발생된 트래픽의 자기유사성을 나타낸다. 그림 4 (a) 와 (b)의 포아송 프로세스 기반 트래픽인 “Traffic pattern 1”은

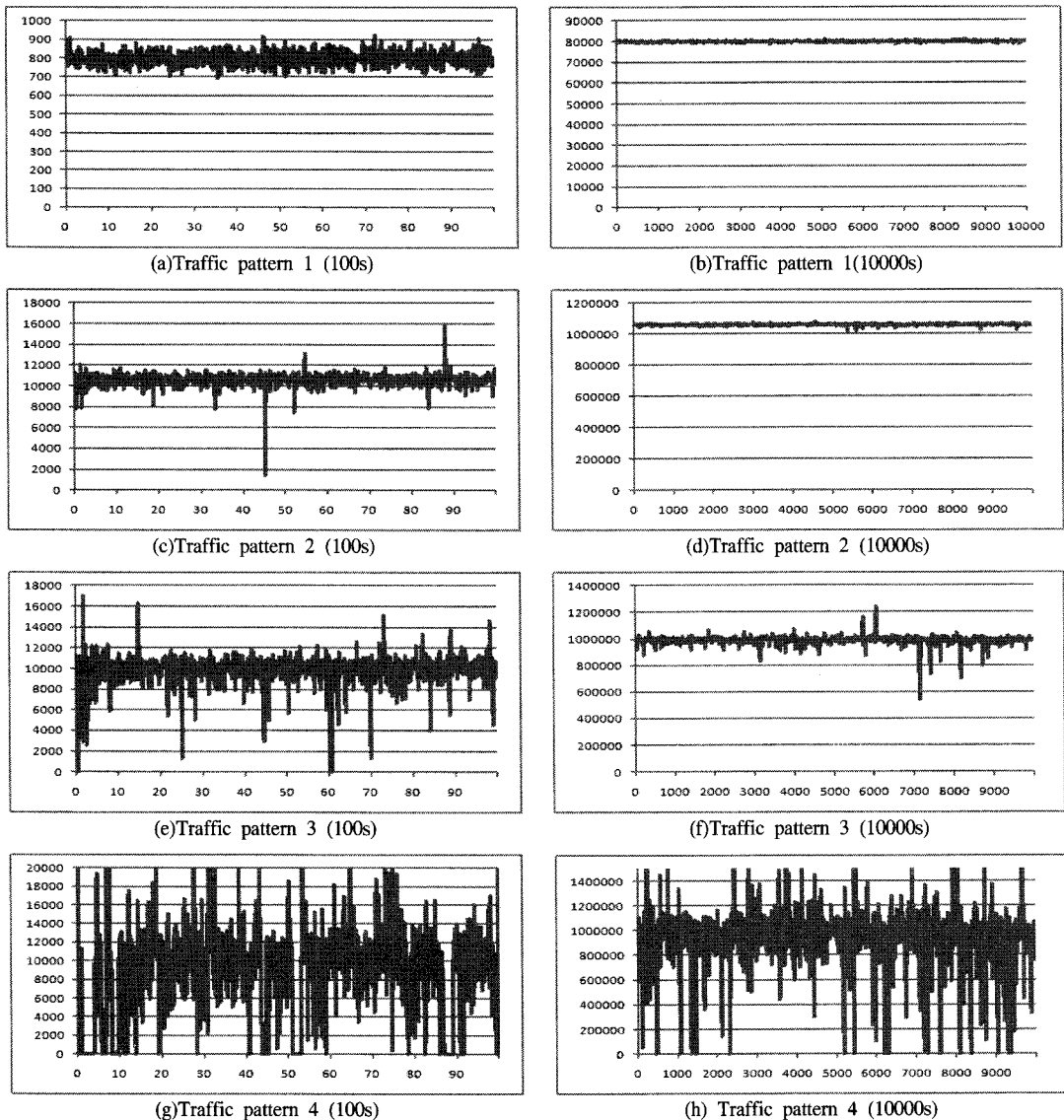


그림 5. 트래픽의 자기유사도 측정(X 축: time Y 축: 패킷 카운트)

표 1. 분석을 위해 사용된 트래픽 모델(boff 값은 이용률과 H에 따라 다른 값을 가짐)

Traffic Model		Input Value
Traffic Pattern 1	Poisson	Exponential (Mean value) according to utilization
Traffic Pattern 2	On-OFF(H=0.5)	On: Pareto (bon=1, aon=2) Off: Pareto (boff, aoff=1.9)
Traffic Pattern 3	On-OFF(H=0.7)	On: Pareto (bon=1, aon=1.6) Off: Pareto (boff, aoff=1.5)
Traffic Pattern 4	On-OFF(H=0.9)	On: Pareto (bon=1, aon=1.2) Off: Pareto (boff, aoff=1.1)

측정 시간이 길어질수록 버스트 특성을 잃고 평균값에 수렴하는 포아송 프로세스 기반의 트래픽의 특성을 보인다. 파레토 기반의 ON-OFF 트래픽 생성기를 이용한 “Traffic pattern 2, 3, 4”는 실제 IP 트래픽의 특성인 버스트 특성을 보이고 H 값에 따라 그 정도가 다름을 알 수 있다. H 값이 작은 “Traffic pattern 2”는 측정 시간이 길어질수록 포아송 프로세스 기반의 트래픽과 유사함을 보인다. 이는 H 값이 작을수록 자기 유사성이 낮음을 보인다. H 값이 커질수록 자기 유사성이 커짐을 그림 4의 (g) 그리고 (h)에서 볼 수 있다. H=0.9인 “Traffic pattern 4”는 측정시간이 아무리 길어지더라도 평균에 수렴하지 않고 버스트 특성을 잃지 않는 자기 유사성이 강한 트래픽임을 알 수 있다. 이렇듯 트래픽은 지역과 특성상 다양한 패턴을 가질 수 있으며 다양한 트래픽 패턴은 네트워크 장비나 하드웨어 설계에 영향을 미칠 수 있다.

2.2 적응적 전송률을 이용하는 이더넷 노드 구현

IT 장비에서 발생하는 에너지를 절약하기 위한 방법으로 적응적 전송률 기법이 제안되었다.^[3,4] 적

응적 전송률이란 링크의 이용률에 따라 전송률을 변화시키는 기법을 말한다. 링크의 전송률이 증가하면 그에 따른 전송 에너지가 증가한다. 따라서 상황에 맞게 링크의 전송률을 감소시키면 에너지의 소비를 줄일 수 있다. 예를 들어 링크의 이용률이 충분히 낮을 때에 링크의 속도가 10M/100Mbps를 사용할 수 있는 IT 장비인 경우 100Mbps 링크보다 10Mbps 링크를 사용한다.

본 장에서는 이러한 적응적 전송률을 이용하는 이더넷 노드(Ethernet node)를 OPNET을 이용하여 설계한다. 설계한 이더넷 노드는 큐를 이용하여 입력되는 트래픽의 부하(load)를 예측하고 이를 이용하여 링크의 전송률을 그에 맞게 변화 시킨다.

그림 6은 이더넷 노드의 노드 모델을 보인다. Traffic_generator는 포아송 기반의 트래픽과 파레토 기반의 ON-OFF 트래픽을 선택적으로 생성할 수 있

다. Traffic_generator에서 생성된 패킷은 이더넷 라우터로 입력되며 입력된 패킷은 이더넷 라우터에서 이용률에 맞게 설정된 링크의 속도에 맞게 처리되어 노드를 빠져나간다. 이더넷 라우터에서 처리된 패킷은 Sink로 전송되며 Sink 노드에서는 성능 측정에 필요한 정보들을 수집하고 난 뒤 도착한 패킷을 삭제한다.

그림 7은 이더넷 라우터의 기능을 정의한 OPNET 프로세스 모델이다. 각 기능은 상태 천이도로서 나타내지며 각 이벤트에 맞게 상태를 천이 시켜 기능을 수행한다. 이더넷 라우터의 상태는 INIT, IDLE, Queueing, transmission, release 그리고 end로 구분되며 각 상태의 동작은 표 2와 같다.

이더넷 라우터 프로세스 모델의 동작은 다음과 같다. 최초 동작 시, INIT 상태는 시뮬레이션에 필요한 변수 및 함수를 초기화 시키는 동작을 수행한다. 이 동작에서 각 전송률의 동작 시간을 검사하는 Timer 들이 초기화되며 전송률 변화 함수와 입력 부하 예측 함수가 초기화 된다. INIT 상태에서 벗어남과 동시에 패킷이 도착하지 않았다면 IDLE 상태에서 대기하며 단일 패킷 입력이 있으면 바로 Queueing 상태로 천이



그림 6. OPNET을 이용한 이더넷 노드 모델

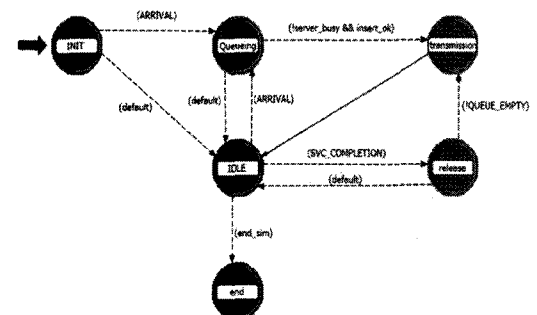


그림 7. 이더넷 라우터 프로세스 모델

표 2. 상태 동작 정의

상태 (state)	기능 (Function)
INIT	모듈 초기화 및 변수 설정
IDLE	패킷 입력 및 이벤트 대기
Queueing	입력 부하 측정 및 패킷을 큐에 저장
Transmission	전송률에 따른 패킷 전송 및 전송포트 점유 입력 부하에 따른 전송률 제어
release	패킷 전송 포트 점유 해제

하게 된다. IDLE 상태는 패킷의 입력이나 각각의 이벤트 발생만을 기다리며 다른 어떠한 동작도 수행하지 않는다.

패킷의 입력 이벤트(그림 6에서 ARRIVAL)가 발생한 경우 이동하게 되는 Queueing 상태에서는 패킷을 큐에 삽입 동작과 패킷 입력에 따른 입력 부하를 측정한다. 입력 부하 예측 방식은 지수적 이동 평균(Exponential Moving Average: EMA) 방식을 이용하였다. 패킷 입력이 끝난 후 현재 이전 입력 패킷이 처리 중이 아니라면(그림 6의 !TRNS_busy && insert_ok 이벤트) Transmission 상태로 천이하게 된다.

Transmission 상태에서는 큐에 저장되어있는 패킷을 꺼내어 전송한다. 이 상태에서는 큐에 저장되어 있는 패킷을 전송하기 전에 현재 입력 부하와 상황에 맞게 전송률을 단계별로 변화 시킨다. 전송률의 변화는 알고리즘에 따라 다를 수 있으며 일정한 시간(Rate change time)을 소모하게 된다. 전송되는 패킷은 패킷의 전송 시간 동안 출력 포트를 점유하게 되며 TRNS_busy 가 1로 설정된다. 따라서 이 시간 동안은 큐에 있는 다른 패킷을 전송할 수 없다. 모든 처리가 끝난 다음 패킷의 전송시간 뒤에 TRNS_COMPLETION 이벤트가 발생하게 되며 Transmission 상태에서 Release 상태로 천이하게 된다. 이 때 TRNS_busy 가 0으로 설정되고 큐에 있는 다음 패킷을 전송할 수 있게 된다. 만일 큐에 전송할 패킷이 남아 있지 않다면 IDLE 상태로 천이하여 큐에 패킷이 입력 될 때까지 대기하게 되며 반면에 큐에 전송할 패킷이 남아 있다면(그림 6의 !QUEUE_EMPTY 이벤트) 다시 Transmission 상태로 천이하여 위와 같은 동작을 계속적으로 반복하게 된다.

III. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 장에서는 2장에서 설계된 시뮬레이터를 이용하여 총 전송률 변화 횟수, 전송 감소율, 에너지 절약율과 평균 큐 지연 시간 관점에서 시뮬레이션을 수행하

고 그 결과를 비교/분석하였다. 이를 위하여 표 2의 트래픽 입력을 사용하였으며 1개의 무한 큐와 10M/100M/1Gbps 상용 이더넷 전송률을 사용하였다. 링크 전송률에 따른 에너지 소비율은 인텔 82541 Family 기가비트 이더넷 컨트롤러 기준으로 10Mbps에서 0.27Wh, 100Mbps에서 0.35Wh이며 1Gbps에서는 1.1Wh를 소비한다.^[8] 성능평가를 위해 사용된 전송률 변화 알고리즘은 논문 [3]에서 사용된 PratRA를 사용하였다. 표 3은 시뮬레이션 파라미터를 보인다.

표 4는 트래픽 패턴에 따른 총 전송률 변화 횟수를 보인다. 총 전송률 변화 횟수란 전송률의 증가 및 감소 횟수를 더한 값으로 나타낸다. 표 4에서 보는 바와 같이 Traffic pattern 1에서는 3~9% 이용률에서 낮은 전송률 변화 횟수를 보인다. 이는 입력 트래픽이 고루 분산되어 입력되므로 10Mbps의 전송률이 주로 이용되고 100Mbps의 전송률이 종종 사용되므로 전송률의 증감 없이 일정한 전송률로 전송되기 때문이다. 그러나 12~24%의 이용률에서는 전송률 변화 횟수가 증가

표 3. 시뮬레이션 환경 설정

Parameters	Value
사용된 큐의 수 (The number of queue)	1
큐의 크기 (Queue size)	무한(Unlimited)
사용된 링크의 전송률(Link rate)	10Mbps, 100Mbps, 1Gbps
링크 전송률에 따른 에너지 소비율	0.27Wh(10M), 0.35Wh(100M), 1.1Wh(1G)
사용된 전송률 변화 알고리즘	PractRA 전송률 변화 알고리즘

표 4. 총 전송률 변화 횟수

트래픽 패턴 이용률	총 전송률 변화 횟수			
	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3	Pattern 4
3	3	6181	11289	9017
6	3	7265	15349	19241
9	833	13229	24492	25835
12	23518	29991	36497	33076
15	29310	39072	44397	35307
18	12634	36996	45732	35582
21	2902	31054	43158	32654
24	538	25234	39046	32518
27	88	20538	35036	32026
30	8	16544	30914	31152

되다가 감소하는 현상을 보인다. 이는 이용률이 12~15% 일 때 10Mbps에서 100Mbps로 혹은 100Mbps 1Gbps로 잦은 전송률의 변화가 일어나기 때문이다. 18%~24% 이용률에서는 10Mbps 전송률은 사용되지 않고 100Mbps와 1Gbps의 전송률 위주로 패킷을 전송하게 되므로 전송률 변화 횟수가 점차적으로 감소된다. 27%~30% 이상에서는 10Mbps와 100Mbps가 거의 사용되지 않으므로 전송률의 변화 횟수가 낮게 측정된다. 그러나 Traffic pattern 2, 3, 4의 경우에는 낮은 이용률에서나 높은 이용률에서는 항상 높은 전송률 변화 횟수를 보인다. 이는 자기유사성 트래픽의 특징인 버스트 특성 때문이다. ON-OFF 트래픽의 경우 트래픽이 발생하는 ON 구간에서 큐에 패킷의 입력이 활발하여 전송률이 증가 하게 되고 OFF 구간에서는 큐에 남아 있는 패킷만을 처리하게 되므로 전송률의 감소가 발생한다. 이로 인하여 자기유사성을 갖는 트래픽은 각 전송률을 고르게 사용하게 되고 계속적으로 이를 반복하게 되므로 Traffic pattern 1에 비해 높은 상태 변화 횟수를 보인다. 또한 자기유사성이 낮은 트래픽에서는 이용률에 따른 증감이 비교적 뚜렷하게 보이지만 자기유사성이 높아질수록 이용률에 상관없이 거의 일정한 변화 횟수를 보임을 알 수 있다. 이는 자기유사성이 높아질수록 더욱 고르게 각 전송률을 이용하기 때문이다. 이 결과 자기유사성이 높은 트래픽의 경우 잦은 전송률 변화로 인하여 전송률 변화에 소모되는 에너지가 전송률 변화로 인하여 얻어지는 에너지 절감 효과를 넘어서는 에너지 오버헤드 발생을 초래 할 수 있다.

그림 8과 9는 트래픽 패턴에 따른 전송률 감소율과 에너지 절약률에 대한 그래프를 보인다. 전송 감소율은 다중 전송률의 사용과 단일 전송률 사용의 비이고 에너지 절약률은 각 전송률이 사용한 에너지와 단일 전송률이 소모한 에너지의 비이다. 식 (6)과 (7)은 전송 감소율과 에너지 절약률의 계산식을 보인다.

$$\text{Rate Reduction} = \frac{R_i \cdot \text{Time}_i - [R_1 \cdot \text{Time}_1 + R_2 \cdot \text{Time}_2 + \dots + R_n \cdot \text{Time}_n]}{R_i \cdot \text{Time}_i} \cdot 100 \quad (6)$$

$$\text{Energy Saving Ratio} = \frac{E_{R_i} \cdot \text{Time}_i - [E_{R_1} \cdot \text{Time}_1 + E_{R_2} \cdot \text{Time}_2 + \dots + E_{R_n} \cdot \text{Time}_n]}{E_{R_i} \cdot \text{Time}_i} \cdot 100 \quad (7)$$

여기서 R_i 는 사용가능한 전송률을 나타내며 Time_i 는 각 전송률에서 사용시간을 나타낸다. (여기서 $i=1,$

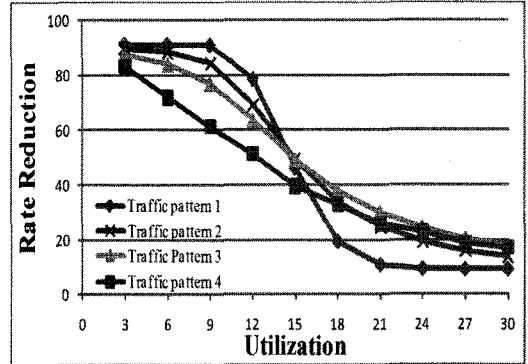


그림 8. 트래픽 패턴에 따른 전송률 감소율 변화

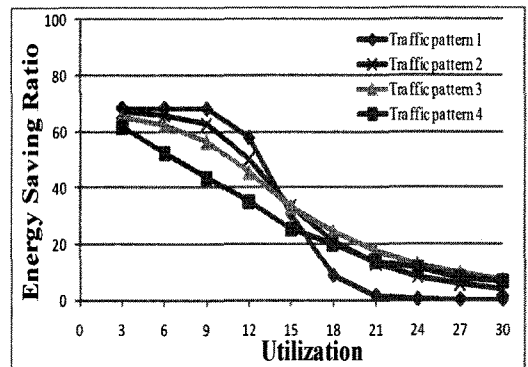


그림 9. 트래픽 패턴에 따른 에너지 절약률 변화

2, ..., n) Time_i 는 총 사용시간을 나타내며 E_{R_i} 는 각 전송률이 소모하는 에너지를 나타낸다.

그림 7과 8에서 이용률이 3~12%까지는 Traffic pattern 1의 감소율과 에너지 절약률이 더 좋다. 이는 트래픽 패턴 1에서는 이용률이 낮을 때 10Mbps의 전송률이 더 많이 사용되기 때문이다. 또한 같은 이용률 구간에서 자기유사성이 낮을수록 트래픽 패턴 1과 같은 이유로 좋은 감소율과 절약률을 보인다. 자기유사성이 가장 높은 Traffic pattern 4의 경우는 이용률이 낮더라도 모든 링크가 고르게 사용되므로 감소율과 절약률이 가장 나쁘다. 그러나 이용률이 15% 이상에서는 자기유사도가 높을수록 더 많은 감소율과 절약율을 보인다. Traffic pattern 1의 경우 15% 이상의 이용률에서는 더 이상 10Mbps는 더 이상 사용되지 못하고 대부분이 1Gbps 위주로 사용되므로 가장 낮은 감소율과 에너지 절약률을 보인다. 그에 반해 자기유사성을 갖는 트래픽의 경우 자기유사성이 높을수록 15% 이상의 이용률에서도 10Mbps와 100Mbps 사용하게 되므로 여전히 전송률 감소와 에너지 절약을 할 수 있

는 가능성이 있다.

그림 10은 트래픽 패턴에 따른 평균 지연시간 변화를 보인다. Traffic patter 1, 2와 3의 경우 12%까지 지연시간이 증가함을 알 수 있다. 이는 이용률이 점차적으로 높아지면서 10Mbps와 100Mbps, 1Gbps 전송률의 잦은 변화가 일어남으로 전송지연이 발생하기 때문이다. 잦은 변화로 인하여 12%까지는 평균 지연시간이 계속적으로 증가하다가 12% 이후에는 100Mbps 와 1Gbps 전송률을 사용하게 되므로 지연시간이 감소하게 된다. 그러나 자기유사성이 강한 Traffic pattern 4의 경우 평균 지연시간이 다른 패턴에 비해 낮게 측정되고 거의 동일한 지연시간을 보인다. 이는 자기유사성이 강한 트래픽의 경우 낮은 이용률에서도 10M/100M/1Gbps 전송률을 고르게 사용하기 때문이다. 따라서 자기유사성이 낮은 트래픽은 전송률 변화에 따른 지연시간 증가를 보이지만 자기유사성이 강해질수록 지연시간의 변화가 적은 것을 알 수 있다.

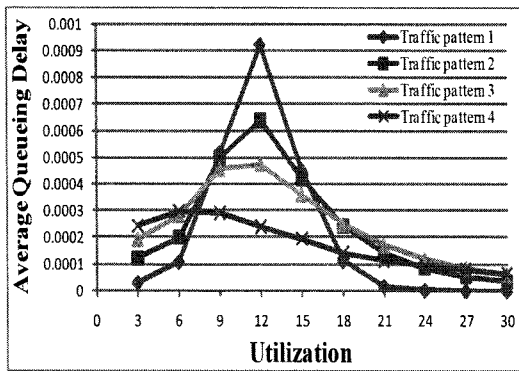


그림 10. 트래픽 패턴에 따른 평균 지연 시간 변화

IV. 결 론

본 논문에서는 적응적 전송률 기법을 이용한 이더넷에서 트래픽 패턴이 에너지 효율성 및 지연 시간에 미치는 영향 분석을 수행하였다. 이를 위하여 OPNET Modeler를 이용하여 포아송 프로세스 기반의 트래픽 생성 모듈 및 파레토 기반의 ON-OFF 트래픽 생성 모듈과 적응적 전송률을 갖는 이더넷 노드로 구성되는 시뮬레이터를 제작하였다. 이를 이용하여 다양한 트래픽 패턴이 적응적 전송률 기법의 에너지 효율성 및 지연 시간에 미치는 영향을 총 전송률 변화 횟수, 전송률 감소율, 에너지 절약률과 평균 큐 지연 시간 관점에서 비교/분석하였다.

시뮬레이션 결과 적응적 전송률은 자기유사성이 높은 실제 IP 트래픽 패턴에 많은 영향을 받음을 알 수 있다. 자기유사성이 높은 트래픽에서는 잦은 전송률 변화로 인한 전송률 변화에 소모되는 에너지가 전송률 변화로 인하여 얻어지는 에너지 절감 효과를 넘어서는 에너지 오버헤드가 발생할 수 있지만 15%~30% 사이의 이용률에서는 에너지 절약률을 높일 수 있음을 알 수 있었다. 또한 지연시간 측면에서 자기유사성이 높아질수록 각각의 전송률의 전송시간이 지연시간에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있었다.

따라서 효율적이고 실제 트래픽에 맞는 적응적 전송률을 구현하기 위해서는 위의 사항을 고려한 전송률 제어 알고리즘과 입력 트래픽 패턴을 효율적으로 예측할 수 있는 트래픽 패턴 인식 기술의 개발이 필요하다. 이러한 적용한 적응적 전송률을 위한 고려사항을 NIC(Network Interface Card)와 이더넷 스위치 등 IT 장치에 적용함으로써 에너지 효율적 네트워크 구축이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] C. Gunaratne, et al., "Managing energy consumption costs in desktop PCs and LAN switches with proxying, split TCP connections, and scaling of link speed", *International Journal of Network Management*, pp.217-310, 15, 2005.
- [2] R.S. Tucker, "A green internet", *Proceeding of LEOS 2008*, pp.4-5, Nov. 2008.
- [3] "IEEE P802.3az Energy Efficient Ethernet Task Force." Available at: <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/az/public/index.html>
- [4] Sergiu Nedevschi, et, "Reducing Network Energy Consumption via Sleeping and Rate-Adaptation", *Proceedings of NSDI 2008*, pp.323-336, 2008.
- [5] C. Gunaratne, et, "Reducing the energy consumption in Ethernet with Adaptive Link Rate (ALR)," *IEEE Trans. Computers*, Vol. 57, No.4, pp.448-461, 2008.
- [6] Vem Paxson and Sally Floyd, "Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling", *IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING*, Vol.3, No.3, June, 1995.
- [7] 한경은, 정광분, 이승현, 김영천, "OPNET을

이용한 자기유사성 트래픽 발생기 설계 및 성능 평가”, 한국통신학회논문지, 제31권 제 5A호, pp.441~450, 2006. 5

[8] Intel® 82541 Family Gigabit Ethernet Controlle Datasheet, <http://www.intel.com/design/network/specupdt/82541.htm>

강 동 기 (Dong-Ki Kang)

준회원



2009년 8월 전북대학교 전자
정보공학부

2009년 9월~현재 전북대학교
정보공학부 컴퓨터 공학전공
석사과정

<관심분야> Green IT, 광 네
트워크, 네트워크운영

양 원 혁 (Won-Hyuk Yang)

정회원

한국통신학회 논문지 제33권 제8호 참조
현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

김 영 천 (Young-Chon Kim)

종신회원

한국통신학회 논문지 제33권 제8호 참조
현재 전북대학교 컴퓨터공학과교수