

수면 모드를 사용하는 OBS 망에서 트래픽 패턴 및 버스트 어셈블이 에너지 절감과 지연시간에 미치는 영향 분석

준회원 강 동 기*, 정회원 양 원 혁*, 준회원 이 재 영, 종신회원 김 영 천*^o

Effect of Energy Saving and Delay on Burst Assemble and Traffic Pattern in OBS Networks with Sleeping Mode

Dong-Ki Kang* *Associate Member*, Won-Hyuk Yang* *Regular Member*,
Jae-Young Lee* *Associate Member*, Young-Chon Kim*^o *Lifelong Member*

요 약

최근에 Green IT에 대한 관심이 증가함에 따라 네트워크 장치에서 발생하는 에너지의 소비를 줄이기 위한 연구가 지속적으로 증가하고 있다. 본 논문에서는 수면모드 (sleeping mode)를 이용하는 OBS 네트워크에서 트래픽 패턴 및 버스트 어셈블 알고리즘이 에너지 절감과 지연시간에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위하여 OPNET Modeler 를 사용하여 지수 분포와 파레토 분포를 가지는 트래픽 생성 모델과 시간 및 길이 기반의 버스트 어셈블 알고리즘을 수행하는 라우터 모델을 구현하고 시뮬레이션을 수행한다. 구현된 시뮬레이터를 통하여 트래픽 패턴 및 버스트 어셈블 방식에 따른 슬리핑 시간, 상태 천이 횟수, 패킷 지연시간 및 에너지 절감을 측정하고 분석한다.

Key Words : Green IT, Sleeping mode, OBS, Energy Saving, Burst assembly

ABSTRACT

As Green-IT has attracted a lot of attention in recent years, many researches have been interested in reducing the energy consumption of network equipments. In this paper, we analyze the energy saving ratio and delay performance according to various traffic patterns and burst assemble algorithms in OBS network with sleeping mode. To do this, we design the traffic generators, which are based on exponential distribution and Pareto distribution, and the router model, which has the time based and length based burst assemble algorithms by using OPNET modeler. Through OPNET simulator, we evaluate the energy saving performance in terms of the sleeping time, the number of transitions and packet delay.

I. 서 론

최근에 인터넷의 규모가 급격하게 커짐에 따라 네트워크 장비에서 요구되는 대역폭은 점점 증가하고

있다. 또한 인터넷 사용자가 계속적으로 증가함에 따라 NIC 및 라우터 같은 네트워크 장비의 수가 급증하고 있다. 이에 따라 네트워크에서 소모되는 에너지가 지속적으로 증가하므로 이를 줄이기 위한 관심이 높

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0013822)

* 전북대학교 컴퓨터공학과 차세대통신망연구실 (dkkang@jbnu.ac.kr, yckim@jbnu.ac.kr), (^o : 교신저자)

논문번호 : KICS2010-09-458, 접수일자 : 2010년 9월 25일, 최종논문접수일자 : 2011년 1월 27일

아지고 있다.

미국의 경우 인터넷과 네트워크 장비의 에너지 소비량이 연간 74 TWh에 이르며, 이는 약 60억 달러의 비용을 소비하는 것으로 나타난다. 그리고 NIC 등 인터넷 네트워크 장치에서 소비되는 에너지는 5.3 TWh에 이르는 것으로 보고되었다¹¹⁾. 그러나 네트워크 장비는 대부분의 시간동안 패킷이 입력되지 않는 유휴상태 (Idle state)를 유지하고, 유휴상태에서도 패킷이 처리되는 활동상태 (Busy state)와 동일한 전력을 소비한다¹²⁾. 이와 같은 불필요한 에너지 소비의 문제를 해결하기 위하여 수면 모드 (sleeping mode)에 많은 관심이 집중되고 있다¹³⁾. 처리할 트래픽이 없는 유휴상태에서는 수면 모드 (sleep mode)를 운용하여 불필요하게 낭비되는 에너지의 양을 최소화 하고, 패킷이 입력되는 활동 상태에서는 활성모드 (active mode)로 전환되도록 운용함으로써 에너지 소비를 절감할 수 있다.

에너지 소비 절감을 위한 기존의 수면 모드의 연구는 주로 무선 통신 분야에서만 수행되어져 왔으며, 유선망에서는 다루어지지 않았다. 그러나 위에서 언급한 것과 같이, 최근에 유선망 장비에서 소비되는 에너지의 크기가 급격히 증가함에 따라 유선망에서의 에너지 소비 절감을 위한 수면 모드 연구에 대한 중요성이 커지고 있다.

본 논문에서는 수면 모드를 사용하는 OBS(Optical burst switching) 망에서 트래픽 패턴과 버스트 어셈블 (burst assemble) 방식이 에너지 절감 및 지연시간에 미치는 영향을 분석하였다. 트래픽 패턴에 따른 수면 모드의 성능 측정을 위하여 파레토 분포 (Pareto distribution)기반의 ON-OFF 패킷 생성 모델을 구현하였다. 파레토 분포 트래픽은 자기 유사성 (self-similarity)을 가지므로 현재의 인터넷 트래픽의 형태를 잘 반영할 수 있으며, 허스트 파라미터를 조정함으로써 다양한 트래픽 패턴 생성이 가능하다¹⁴⁾.

현재 OBS 망에서는 데이터를 전송하기 위한 기본 단위로 버스트를 사용하며, 버스트를 생성하기 위하여 버스트 어셈블 알고리즘을 이용한다. 그러나 기존의 버스트 어셈블에 관한 여러 연구들은 망 자원의 효율적인 사용 및 성능에만 초점을 맞추어서 수행되어졌으며, 노드의 에너지 소모의 측면은 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 노드의 에너지 절감을 위한 수면 모드의 성능 관점에서 버스트 어셈블 알고리즘을 고려하였다. 버스트 어셈블 알고리즘은 버스트를 생성하기 위하여 임계값(threshold value)을 갖는다. 임계값은 일반적으로 시간 기반 임계값 (time based

threshold value) 및 길이 기반 임계값 (length based threshold value) 으로 구분할 수 있으며 임계값의 크기에 따라 수면 모드의 성능의 결과가 달라진다. 이를 측정하기 위하여 OPNET modeler를 통해 수면 모드를 사용하는 라우터 모델을 구현하고 시뮬레이션을 수행하였다. 트래픽 생성모델로 지수분포 트래픽과 파레토 분포 트래픽 생성기를 구현하여 트래픽을 생성하였고 버스트 어셈블 임계값을 가지는 큐 모델을 구현하여 버스트를 생성하였다. 시뮬레이션을 통하여 트래픽의 자기 유사성의 정도와 버스트 어셈블 알고리즘의 임계값에 따른 에너지 절감율을 측정하고 분석하였다. 수면 모드의 성능은 총 수면 시간, 상태전이 횟수와 버스트 어셈블로 인해 발생하는 패킷 지연시간 관점에서 측정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 수면 모드 및 트래픽 생성모델에 관하여 소개하고 임계값에 따른 버스트 어셈블 알고리즘을 논의한다. 3장은 OPNET modeler를 이용하여 수면 모드를 수행하는 라우터를 구현한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 트래픽 패턴과 버스트 어셈블 알고리즘에 따른 에너지 절감 성능의 영향을 측정하고 분석하며 5장에서 결론을 맺는다.

II. 수면 모드를 고려한 트래픽 생성 모델 및 버스트 어셈블 알고리즘

2.1 수면 모드

그림 1은 에너지 절감을 위한 수면 모드의 간단한 상태전이도를 보인다. 수면 모드에서는 네트워크상에서 트래픽이 흐르고 있는 활동상태에서는 트래픽을 처리하기 위하여 일반적인 전력량을 소비하는 활성 모드를 유지하며, 들어오는 트래픽이 없을 때에는 네트워크 장비가 사용되지 않는 유휴상태로써 활성 모드보다 적은 전력량을 소비하는 수면 모드를 수행한다. 네트워크 장비가 수면모드에서 활성 모드로 혹은 활성모드에서 수면 모드로 전환될 때에는 상태 전이

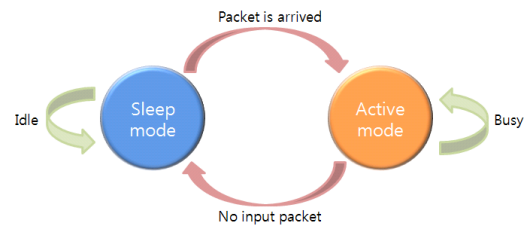


그림 1. 수면 모드를 가지는 라우터의 상태 전이도

가 발생하는데 상태전이 시에는 일반적으로 추가적인 전력 소모가 발생한다⁴⁾. 하나의 노드에서 사용되는 총 에너지의 크기를 E , 노드가 사용되는 총 시간을 T 라고 정의했을 때, 수면 모드를 사용하는 노드에서 발생하는 에너지 소비량은 다음과 같다.

$$T = T_a + T_s + T_t \quad (1)$$

$$E = P_a * T_a + P_s * T_s + P_t * T_t \quad (P_a > P_s) \quad (2)$$

P_a 는 네트워크 장비가 활성모드일 때 사용되는 전력량이며, P_s 는 수면 모드일 때 사용되는 전력량이다. P_t 는 상태 천이 시에 발생하는 전력 소모량으로 P_a 와 동일하거나 더 크다. 총 에너지 소모량 E 는 T_s 가 길어질수록 그리고 T_a, T_t 가 짧아질수록 그 크기가 감소하게 되므로 에너지 절감율이 더 증가한다. 수면 모드 및 상태 천이 시에 소모 되는 전력량은 네트워크 장치의 성능에 의하여 결정되는 요소이며, 트래픽 생성 패턴 및 알고리즘에 의하여 수면 시간, 활성 시간, 상태 천이의 횟수를 조절할 수 있다.

2.2 트래픽 생성 모델

2.2.1 지수 분포 트래픽 생성 모델

주로 전통적인 음성 기반의 통신망의 성능 측정을 위한 연구에서 포아송 프로세스(Poisson process) 기반의 트래픽 생성 모델이 사용되어져 왔다. 포아송 분포는 라우터로 패킷이 입력되는 도착을 특정 시간동안 관찰할 때 그 도착횟수가 만드는 분포를 말하며 이 분포를 기반으로 생성되는 패킷들의 도착 시간 간격은 지수적 분포(exponential distribution)를 가진다. 포아송 분포식은 다음과 같다.

$$P_r[k] = \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T} \quad (3)$$

패킷이 입력되는 특정시간을 T 라고 할 때 도착하는 패킷의 개수는 k 로 정의할 수 있다. 식 (3)에 의하여 지수적 분포를 가지는 패킷들의 도착 시간 간격 (T_{IA})은 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$P_r[T_{IA} < t] = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4)$$

지수 분포 트래픽 생성 모델을 기반으로 한 기존의 망 분석은 용량 설계 및 성능 예측에 유용하지만 음성

이 아닌 실제 IP 트래픽의 특성을 효과적으로 반영하기가 어려우므로 다음에 논의되는 파레토 분포 기반의 트래픽 생성 모델을 고려한다.

2.2.2 파레토 분포 트래픽 생성 모델

포아송 프로세스 기반의 트래픽 생성기에서 발생되어지는 트래픽은 지수적 분포의 특성을 가지는데 이는 인터넷에서 발생하는 트래픽의 90% 이상을 차지하는 IP 트래픽의 특성을 제대로 반영할 수 없다. 특히 IP 트래픽은 다중화의 정도나 측정하는 단위 시간과 상관없이 트래픽이 언제나 불규칙한 발생 분포를 나타내는 특성이 자기 유사성을 가지므로 이를 고려하기 위하여 파레토 분포를 기반으로 한 ON-OFF 트래픽 생성기를 이용하였다. 일반적으로 파레토 분포는 다음과 같은 PDF 식을 갖는다⁵⁾.

$$P(x) = \frac{ab^a}{x^{a+1}}, \quad a \geq b \quad (5)$$

a 는 shape 파라미터이며, b 는 location 파라미터로서 x 의 최소값을 의미한다.

ON-OFF 트래픽 생성기에서는 On 주기 동안에는 패킷을 생성하여 전송하고 Off 주기 동안에는 패킷이 생성되지 않는다. 그림 2에서 이와 같은 과정을 보인다.

ON-OFF 트래픽 생성기에서 On 주기의 평균값을 \overline{ON} 이라 하고 Off 주기의 평균값을 \overline{OFF} 라 할 때 i 번의 트래픽 생성기에서의 주어진 부하량을 L_i 라고 하면 Off 주기의 평균값을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\overline{OFF}_i = \overline{ON}_i \left(\frac{1 - L_i}{L_i} \right) \quad (6)$$

주어진 트래픽 생성기에서의 패킷 크기를 k 라 놓고 On 주기의 최소값을 M_{on} , Off 주기의 최소값을 M_{off} 라고 할 때 최소값 M_{off} 는 다음과 같이 구할 수 있다^{5,6)}.

$$M_{off} = k \frac{T_{off}}{T_{on}} \times \frac{1 - S^{T_{on}}}{1 - S^{T_{off}}} \times \left(\frac{1}{L_i} - 1 \right) \quad (7)$$

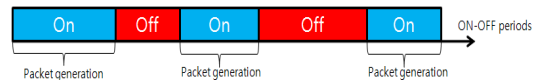


그림 2. 파레토 분포에 기반한 ON-OFF 트래픽 생성

식 (7)에서 $T_{on} = \frac{\alpha_{on}-1}{\alpha_{on}}$, $T_{off} = \frac{\alpha_{off}-1}{\alpha_{off}}$ 이며, α_{on} 과 α_{off} 는 On 과 Off 주기를 결정하는 shape 파라미터 값이다. a_{on}, a_{off} 값에 따라 트래픽의 입력 부하 및 자기 유사성의 정도를 결정할 수 있다. S 는 컴퓨터에서 발생시킬 수 있는 가장 작은 난수 값을 의미한다⁵⁾. 트래픽의 자기 유사성의 정도를 나타내는 값으로써 허스트 파라미터 $H(0.5 < H < 1)$ 가 사용되며, $H = (3 - \alpha) / 2$ 의 관계식을 가진다. H 값이 1 에 가까워질수록 자기 유사성의 정도가 커지며, 0.5 에 가까워질수록 자기 유사성의 정도가 낮아진다.

2.3 트래픽 생성 모델

OBS 망에서는 다양한 형태의 트래픽이 입력 노드(Ingress node)에 도착하면 입력 노드는 패킷을 우선 순위(Priority)에 따라 분류하여 버스트로 어셈블하고, 이에 대한 버스트 제어 패킷(BCP: Burst Control Packet)을 생성하여 먼저 전송하고 오프셋 시간(Offset Time) 후에 버스트를 전송함으로써 광/전 변환없이 버스트의 전송이 가능하게 한다⁷⁾.

OBS 망에서의 트래픽의 기본전송단위인 버스트를 생성하기 위하여 입력 노드안의 라우터에서는 도착하는 패킷들을 일단 버퍼의 입력 큐 안에 대기시킨 후에 미리 설정된 임계값을 검사하여, 임계값이 만족될 때 버스트를 생성하고 출력 큐로 전송한다. 그러므로 임계값의 종류에 따라서 버스트 어셈블 알고리즘을 분류할 수 있으며, OBS 망에서는 크게 시간 기반 임계값 버스트 어셈블(time based burst assemble)과 길이 기반 임계값 버스트 어셈블(length based burst assemble) 방식을 사용하여 버스트를 생성하고 전송할 수 있다⁸⁾.

수면모드를 사용하는 라우터에서 입력 큐가 임계값을 만족할 때까지 도착하는 패킷들을 큐 안에 모을 동안 출력 큐는 유희상태를 유지하므로 수면 모드로 전환하여 에너지 소비를 줄이고, 임계값이 만족되어 입력 큐가 버스트를 생성하고 전송하면 출력 큐는 다시 활성 모드로 전환하여 버스트를 수신하고 이를 링크로 방출한다. 임계값에 의하여 출력 큐가 수면 모드를 수행하는 시간을 결정할 수 있는데 임계값이 크면 클수록 수면 시간이 증가되며 임계값이 작아지면 수면 시간 역시 감소한다. 수면 시간이 증가되면 에너지 절감율은 향상되지만 OBS 망의 패킷 큐잉 지연(packet queuing delay)과 같은 QoS 는 감소되므로 이를 적절히 조정해야 한다.

각각의 임계값에 따른 버스트 어셈블 방식은 다음

과 같이 수행된다.

2.3.1 시간 기반 임계값 버스트 어셈블

노드의 라우터 안의 입력 큐는 버스트 어셈블을 위하여 미리 정의된 시간 T 를 가지고 있다. 시간 T 는 입력 큐 안에 첫 번째 패킷이 도착할 때 카운트 되기 시작하며 0에 도달하여 만료가 되면 입력 큐 안에 모인 패킷들을 하나의 버스트로 병합(aggregation)하여 출력 큐로 전송하고, 시간 T 를 재설정한다. 버스트를 전송한 이후에 그 다음 첫 번째 패킷이 입력 큐 안에 도착하면 시간 T 는 다시 카운트 되며 같은 동작을 수행한다. 시간 기반 임계값 버스트 어셈블에서는 시간 T 가 고정되어 있으므로, 입력 트래픽의 부하와 관계없이 일정한 버스트 생성 시간 및 수면 시간을 가질 수 있지만 부하에 따라 생성되는 버스트의 길이는 일정하지 않고 변화한다. 부하가 낮을 때에는 시간 T 동안 들어오는 패킷의 크기가 작기 때문에, 버스트의 길이가 짧지만, 부하가 높을 때에는 버스트의 길이 역시 크게 증가한다.

2.3.2 길이 기반 임계값 버스트 어셈블

미리 정의된 길이 값 L을 가지고 있는 라우터에서의 입력 큐는 큐에 패킷이 도달할 때마다 큐 안에 대기하고 있는 패킷들과 도달한 패킷의 길이를 더한 총합을 측정하여 그 길이 값이 미리 정의된 임계값 L을 초과하게 되면, 패킷들을 버스트로 병합하여 출력 큐로 전송한다. 버스트 생성을 위한 길이 임계값 L 이 고정되어 있으므로 생성되는 버스트의 길이는 일정한 크기를 보장할 수 있지만 부하에 따라 버스트 생성시간이 달라지며 버스트 생성시간에 따라 수면시간이 결정된다. 입력 트래픽의 부하가 낮으면 버스트를 생성하는 시간이 크게 증가하므로 수면시간이 증가하지만 큐 안에 대기하는 패킷들의 평균 지연 시간도 매우 커지며, 부하가 높으면 버스트를 생성하는 시간이 감소되므로 평균 패킷 지연 시간은 감소하지만 버스트의 생성 횟수가 증가하고 출력 큐의 수면시간 역시 감소하므로 노드의 에너지 절감율이 낮아진다.

낮은 부하에서 길이 기반 임계값 버스트 어셈블 방식에서는 버스트를 생성하기 위한 시간이 길기 때문에 시간 기반 임계값 버스트 어셈블 방식보다 더 높은 수면 모드 성능을 달성할 수 있으며 높은 부하에서는 시간 기반 임계값 버스트 어셈블 방식이 길이 기반의 경우 보다 버스트 생성시간이 더욱 길어지므로 수면 시간이 더 크다. 그러므로 트래픽의 패턴을 고려하여 부하에 따라 적절한 임계값을 선택하여 수면 모드의

성능과 망의 QoS를 최적화 시키는 것이 앞으로의 연구에 중요한 과제가 될 수 있다.

III. OPNET Modeler를 통한 시뮬레이터 구현

본 논문에서는 수면 모드를 지원하는 라우터 모델을 설계하고 시뮬레이션을 수행하기 위하여 OPNET modeler를 사용하였다. 또한 OBS 망에서의 버스트 어셈블 알고리즘을 사용하여 수면 모드가 에너지 절감 성능을 향상시키는 정도를 측정하였다.

표 1 에서 본 논문의 시뮬레이션 수행을 위한 여러 환경 파라미터를 보인다. 패킷을 생성하는 트래픽 생성기는 단일 소스이며 링크 속도는 1Gbps 이다. 평균 패킷 크기는 일반적인 이더넷 프레임 크기인 600 bytes 로 설정하였으며^[9], 상태 천이 시간은 10 microseconds 로 가정하였다. 상태 천이 시간은 고정된 값이며, 수면 모드를 수행하는 라우터의 성능에 따라 결정될 수 있다^[2]. 트래픽의 생성 패턴에 따른 성능 결과를 분석하기 위하여 자기 유사성을 결정하는 변수 H 는 자기 유사성이 높은 순으로 0.9, 0.7, 0.5, 3 개의 값을 구분하여 설정하였고 버스트 어셈블 알고리즘을 수행하기 위한 시간 임계값 및 길이 임계값을 각각 크기별로 나누어서 설정하였다.

그림 3 과 같이 패킷을 생성하는 트래픽 생성기 Gen 에서 패킷이 생성되어 라우터로 전송되면, 라우터는 패킷을 받아 처리하여 Sink er 로 방출한다. 라우터에는 도착하는 패킷들을 수신하기 위한 입력 큐와 모인 패킷을 버스트로 수신하여 링크로 방출하는 출력 큐가 존재하는데 입력 큐가 버스트를 생성하기 위하여 패킷들을 모으는 시간 동안 출력 큐는 수면 모드를 수행하여 에너지 소비를 감소시킨다.

그림 4 는 라우터에서 수면 모드를 수행하게 하기 위한 과정을 보여주는 프로세스 모델이다. 각 상태별로 수행하는 기능은 표 2 에서 설명된다.

라우터가 init인 상태에서 수면 모드를 수행하기 위

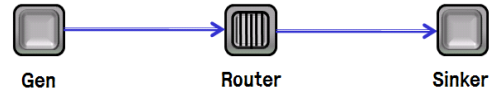


그림 3. 수면 모드를 위한 단일 노드 모델

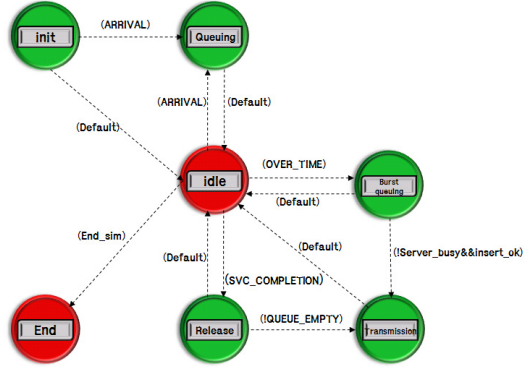


그림 4. 수면 모드를 지원하는 라우터의 프로세스 모델

표 2. 라우터 프로세스 모델의 각 상태의 기능

상태	기능
init	시뮬레이션을 위한 여러 변수들을 초기화
Queuing	도착하는 패킷들을 입력 큐에 저장
Idle	트래픽의 흐름이 존재하지 않는 유희상태
Burst queueing	입력 큐 안의 패킷들을 모아 버스트를 생성
transmission	생성된 버스트를 출력 큐에 전송
Release	버스트를 링크로 방출
End	시뮬레이션 결과를 출력

한 여러 변수가 정의되고 임계값이 초기화 된다. Queuing 상태에서는 라우터에 트래픽 생성기에서 일정시간 간격으로 생성되어 도착하는 패킷들을 입력 큐에 저장하며 임계값을 검사한다. 패킷의 흐름이 없을 때에 라우터는 Idle 상태를 유지하며 시간 임계값 혹은 길이 임계값을 만족할 경우에는 Burst queueing

표 1. OPNET modeler 시뮬레이션의 환경 파라미터

Parameter	Value
The number of source	Single Generator
Link rate	1Gbit/sec
Avg packet size	600 bytes
Transition time	10 microseconds
Hurst parameter H	0.5, 0.7, 0.9
Time threshold	1, 0.1, 0.01 ms
Length threshold	1Mbits, 100Kbits, 10Kbits

상태가 되며 입력 큐 안에 있는 패킷들을 모두 병합하여 한 개의 버스트로 만들고 출력 큐로 전송하며 임계값을 다시 초기화 시킨다. transmission 상태는 생성된 버스트가 출력 큐로 전송되는 시간의 흐름을 표현하며 출력 큐에 있는 버스트가 현재 방출이 되어있지 않은 상태라면 지연이 발생한다. Release 상태에서 출력 큐는 전송된 버스트를 링크로 방출하는 동작을 수행하며 End 상태에서 모든 시뮬레이션이 완료되고 수면 시간, 패킷 지연시간, 상태 천이 횟수 등의 결과가 출력된다.

IV. 시뮬레이션 결과 분석

4.1 트래픽 패턴에 따른 수면 모드의 성능 비교

그림 5에서 트래픽의 자기 유사성의 정도에 따라 달라지는 수면 시간의 크기를 보여주고 있다. 자기 유사성이 가장 낮은 지수 분포 트래픽의 경우에 수면 시간이 가장 낮으며 자기 유사성이 가장 높은 $H=0.9$ 인 경우의 트래픽이 발생할 때 수면 시간이 가장 높게 나타난다. 이는 자기 유사성이 높은 트래픽은 패킷 도착 시간의 분포가 버스티(bursty)한 특성을 띄게 되므로 라우터가 활성 모드에서 수면 모드로 수면 모드에서 활성 모드로 전환되는 상태 천이 횟수가 줄어들기 때문이다. 그림 6에서는 트래픽의 자기 유사성에 따른 상태 천이 횟수를 보여준다. 상태 천이 횟수는 자기

유사성이 낮은 지수분포 트래픽에서 가장 많고, $H=0.9$ 인 트래픽의 경우에 가장 적다. 그림 5에서 살펴본 바와 마찬가지로 높은 자기 유사성 트래픽의 버스티 특성에 의해 상태 천이 횟수가 감소되기 때문이다.

그림 7에서는 수면 모드를 사용하지 않았을 때 라우터의 에너지 소비를 100퍼센트로 두고 수면 모드를 사용한 경우에 트래픽의 패턴에 따른 에너지 소비 비율을 그래프로 보여주고 있다. 에너지 소비 계산을 위하여 1Gbps 링크 속도에서 On 상태의 경우에는 100% 전력 소비를, Off 상태인 경우에는 On 상태의 에너지의 10%의 전력을 소비한다고 가정하였다^[9]. 링크 부하가 0.1 일 때 $H=0.9$ 인 경우에는 에너지 소비 비율이 약 23% 정도지만 지수 분포인 경우에는 비율이 45%로써 $H=0.9$ 인 경우보다 약 2 배의 에너지 소비를 보여준다. 이는 그림 5 과 6에서 살펴본 대로 자기 유사성이 높을수록 도착하는 패킷들이 한 시점에 모여서 오는 경향이 증가하므로 상태천이횟수가 감소되고 수면 시간이 증가되기 때문이다. 링크 부하량이 0.5 일 때는 $H=0.9$ 인 경우 62%, 지수 분포인 경우에는 91% 정도의 에너지를 소비하며 약 1.5 배 차이의 에너지 소비를 보여준다. 부하가 증가하면 증가할수록 트래픽의 자기 유사성의 정도와 상관없이 패킷들의 도착 간격 시간이 작아지고 횟수도 줄어들기 때문에 에너지 절감의 정도가 감소한다. 그림 8에서는 트래픽의 패턴에 따른 전체 에너지 소비에 대한 상태천이횟

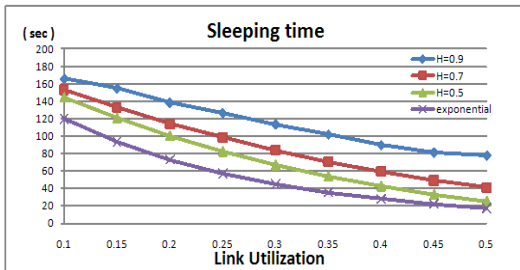


그림 5. 트래픽 패턴에 따른 수면 시간

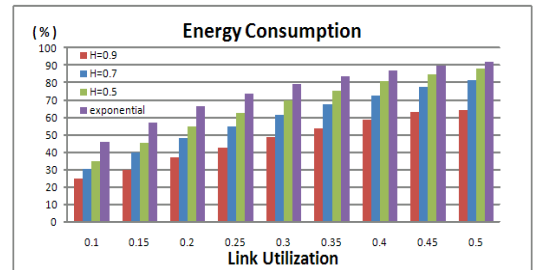


그림 7. 트래픽 패턴에 따른 에너지 소비

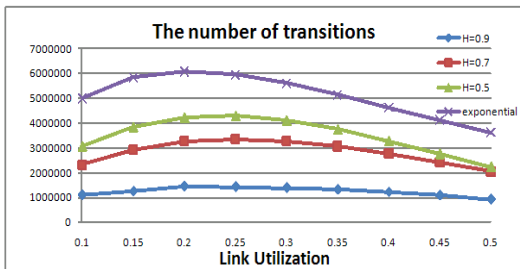


그림 6. 트래픽 패턴에 따른 상태천이횟수

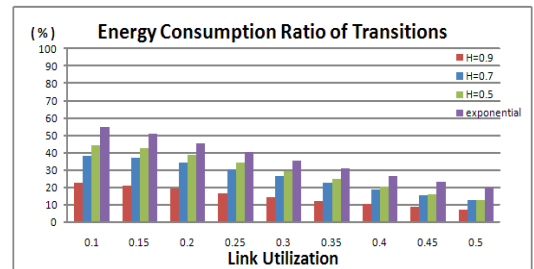


그림 8. 상태천이횟수의 에너지 소비 비율

수의 소비 비율을 보여주는데, 부하 0.1에서 H=0.9 인 경우에는 상태천이횟수가 전체 에너지 소비에서 약 20% 정도의 비율을 차지하지만 지수 분포인 경우에는 55%를 차지한다. 즉 자기 유사성이 높으면 높을수록 수면 모드로 인한 에너지 절감의 정도가 증가하는 주된 이유는 상태천이횟수의 감소에 있음을 알 수 있다.

4.2 버스트 어셈블 방법에 따른 수면 모드의 성능 비교

그림 9 에서는 시간 임계값이 1ms, 0.1ms, 0.01ms 일 때와 길이 임계값 1Mbits, 100Kbits, 10Kbits 일 때, 그리고 어셈블을 하지 않을 때의 수면 시간을 비교하여 보여준다. 링크 부하가 0.1 이고 길이 임계값이 1Mbits 일 때의 에너지 절감은 약 82% 이며, 어셈블을 하지 않을 때 에너지는 73% 가 절감된다. 버스트 어셈블을 하면 입력 큐에 도착한 패킷들이 출력 큐로 곧바로 전송되지 않고 버스트를 생성하기 위한 임계값이 만족될 때까지 큐 안에 대기하는 시간이 존재하고 그 시간동안 출력 큐는 수면 모드를 수행할 수 있으므로 수면 시간이 증가한다. 또한 링크 부하가 0.5 인 경우에는 길이 임계값이 1Mbits 일 때 에너지 절감이 45%, 어셈블을 하지 않을 때 35%가 달성된다. 링크 부하가 증가하면 증가할수록 수면 모드를 수행할 수 있는 횟수 및 시간간격이 감소되고 상태천이 횟수는 증가하므로 전체 수면 시간이 감소된다. 시간 임계값과 길이 임계값 두 가지의 경우 모두 임계값이 크면 클수록 에너지 절감율이 증가하는데 이는 패킷들이 큐 안에 대기하는 시간이 증가하므로 수면 시간 역시 증가하기 때문이다. 시간 임계값이 0.01ms 인 경우에는 버스트 어셈블을 하지 않을 때의 에너지 절감율과 거의 비슷한 결과를 보여주는데 이는 임계값이 일정 크기 이하로 작아지게 되면 어셈블을 하지 않는 단일 패킷과 거의 비슷한 크기의 버스트를 생성하게 되므로 어셈블에 의한 에너지 절감의 향상을 달성하기 어려워지기 때문이다.

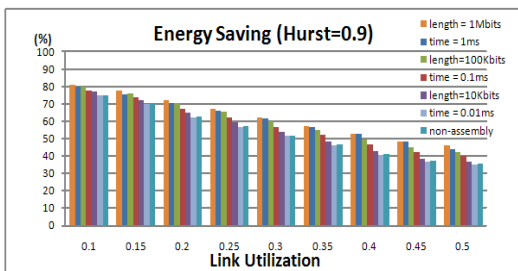


그림 9. 버스트 어셈블에 따른 에너지 절감 (H=0.9)

그림 10 은 패킷 도착 시간이 지수분포일 때의 에너지 절감율을 보여주는데 H=0.9 일 때의 결과와 동일한 그래프를 보여준다. 그러나 그림 9 와 그림 10 에서의 각각의 임계값에 따른 에너지 절감의 정도차이가 다르게 나타난다. H=0.9 인 경우에는 버스트 어셈블의 임계값에 따른 에너지 절감의 증가폭이 약 10% 안팎으로 비교적 작은 반면, 지수분포인 경우에는 약 30~40% 정도로 높게 나타난다. 이러한 결과가 나타나는 이유는 자기 유사성이 높은 트래픽의 경우에는 패킷이 큐에 도착할 때 버스티한 특성을 가지게 되므로 단일 패킷들로 고루 나누어져서 도착하기보다 특정시간대에 모여서 오는 경향을 가진다. 즉 패킷의 도착 패턴이 어느 정도의 버스트 어셈블 효과를 가지게 되므로 입력 큐에서 버스트 어셈블을 하더라도 에너지 절감율이 크게 증가하지 않는다. 그러나 지수분포의 경우와 같이 트래픽의 자기 유사성이 낮을 때에는 패킷들이 단일 패킷으로 일정한 시간간격으로 도착하게 되므로 버스트 어셈블을 수행할 때 에너지 절감 성능이 크게 향상된다. 그러나 트래픽의 자기 유사성의 정도와 상관없이 버스트 어셈블을 할 때 버스트 어셈블을 하지 않을 때보다 더 높은 에너지 절감의 성능을 보여줌을 확인할 수 있다.

그림 11은 시간 임계값과 길이 임계값에 따르는 평균 패킷 큐잉 지연의 결과그래프를 보여준다. 임계값

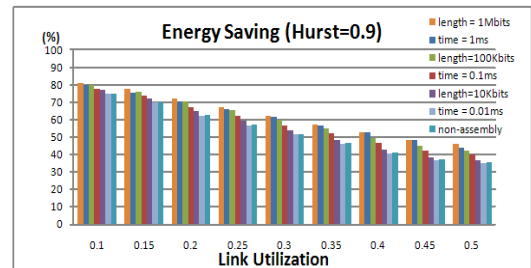


그림 10. 버스트 어셈블에 따른 에너지 절감 (Expo)

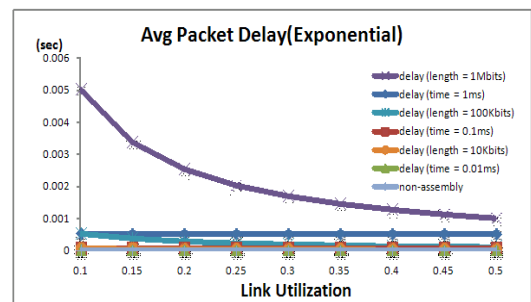


그림 11. 버스트 어셈블에 따른 평균 패킷 큐잉 지연

이 커지면 커질수록 모인 패킷이 입력 큐 안에 대기하는 시간이 길어지게 되므로 패킷 지연 시간이 증가한다. 그림 11에서 부하가 0.1 일 때 길이 임계값이 1Mbits 인 경우에 평균 패킷 지연이 약 0.5ms 로 가장 크며 버스트 어셈블을 하지 않는 경우에 패킷 지연은 무시 할 수 있을 정도로 작은 값으로 나타났다. 시간 임계값은 부하가 증가함에도 불구하고 거의 일정한 값을 유지하는데 이는 부하가 증가해도 시간임계값의 버스트 어셈블 시간은 고정된 값을 가지므로 패킷 지연에 큰 영향을 끼치지 않기 때문이다.

그러나 길이 임계값의 경우에는 부하가 증가함에 따라 패킷 지연이 감소된다. 이는 부하가 증가하면 증가할수록 단위 시간동안 유입 되는 패킷의 양이 많아 지므로 길이 임계값에서는 버스트를 보다 빠르게 생성하여 전송하기 때문에 패킷들이 입력 큐 안에 대기하는 시간이 짧아진다. 그러므로 부하가 증가하면 증가할수록 평균 패킷 지연 시간은 감소한다. 그림 10 과 그림 11 를 비교하면 길이 임계값이 1Mbits 인 경우에 가장 높은 에너지 절감의 결과를 달성할 수 있지만 패킷 지연은 시간 임계값 1ms 인 경우보다도 약 5 ~ 10 배의 패킷 지연을 발생시킨다. 패킷 지연 시간이 크게 차이나는 반면에 에너지 절감율의 크기 차이는 1~2% 밖에 나지 않기 때문에 에너지 절감과 네트워크의 QoS 를 동시에 고려한다면 시간 임계값 1ms 가 길이 임계값 1Mbits 보다도 더욱 적절한 선택 임계값 이 될 수 있다.

동일한 버스트 생성 길이를 가지는 길이 임계값과 시간 임계값의 경우에는 에너지 절감의 측면에서는 길이 임계값이 더욱 좋은 성능을 나타내지만 패킷 지연과 같은 QoS 측면에서는 시간 임계값이 좋은 성능을 나타낸다. 또한 부하가 증가하면 증가할수록 길이 임계값의 패킷 지연이 감소되어 시간 임계값과 비슷한 패킷 지연 시간을 나타내게 되므로, 이 두 가지의 임계값의 특성을 고려하여 서비스의 품질을 보장하면서도 에너지 절감의 성능은 증가시키는 적절한 임계값 선택이 중요한 이슈가 될 수 있다.

V. 결 론

최근 급증하는 에너지 절감 문제를 해결하기 위해 Green-IT 에 대한 관심이 증가하고 있다. 이를 위한 접근 방법으로 수면 모드에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 이전의 연구들은 근거리 망 혹은 가입자 망에 연구의 초점이 맞춰져 있으며 백본 망에 대한 연구는 미비한 편이다.

본 논문에서는 수면 모드를 적용한 OBS 망에서 다양한 트래픽 패턴과 버스트 어셈블 알고리즘에 따른 에너지 절감 성능과 지연시간의 영향을 분석하였다. 이를 위하여 기존의 지수 분포 트래픽 모델과 Pareto 분포 기반의 트래픽 생성 모델을 이용하여 다양한 트래픽 패턴을 생성하였다. 이를 이용하여 다양한 자기 유사성을 가지는 트래픽들을 생성하여 OBS 망에서 수면 모드에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 버스트 어셈블을 위하여 사용되어지는 시간 임계값 및 길이 임계값을 고려하여 수면 모드의 성능을 에너지 절감율과 상태천이횟수, 패킷 지연시간 관점에서 분석 및 비교하였다.

시뮬레이션 결과 트래픽 패턴의 종류에 따른 수면 모드의 성능은 트래픽 버스트 특성으로 인하여 상태 천이 오버헤드가 적은 H=0.9 일 때 에너지 절감율이 가장 높게 나타났다. 반대로 자기 유사성이 없는 지수 분포 트래픽인 경우에는 패킷들의 분산정도가 일정하므로 상태 천이가 자주 발생함에 따라 에너지 절감율이 가장 낮게 나타났다. 버스트 어셈블 알고리즘의 영향은 버스트 생성을 위한 임계값이 커질수록 패킷들이 큐 안에 대기하는 시간이 증가하므로 수면 시간이 증가하게 된다. 길이 임계값이 1 Mbit 인 경우에 길이 임계값이 10Kbit인 경우보다 약 10 ~ 50 % 의 에너지 절감의 성능이 더 높게 나타났으며, 어셈블을 하지 않은 경우보다는 최대 5 배 정도의 에너지 절감율의 차이를 보였다. 그러나 임계값이 증가하면 큐에서 패킷들의 대기시간이 증가하여 패킷 큐잉 지연 시간이 증가하게 되므로 에너지 절감율과 지연 시간을 고려한 임계값의 결정이 요구된다.

따라서 향후 연구에서는 위의 연구결과를 바탕으로 버퍼의 크기와 지연시간을 고려한 에너지 절감을 최적화할 수 있는 임계값을 결정하는 동적인 버스트 어셈블 알고리즘 설계를 수행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] B. Nordman and K. Christensen, "Reducing the Energy Consumption of Network Devices," Tutorial presented at the July 2005 IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee Plenary Session, <http://www.csee.usf.edu/~christen/energy/pubs.html>, July 2005.
- [2] S. Nedeveschi, L. Popa, G. Iannaccone, S. Ratnasamy, And D. Wetherall, "Reducing Network Energy Consumption via Sleeping and

