

논문 2012-49-10-5

에너지 절약을 위해 적응적 버퍼링 기법을 이용한 버스트 구성 방법 및 특성

(Adaptive Buffer and Burst Scheme and Its Characteristics for Energy Saving in Core IP Networks)

한 치 문*

(Chimoon Han)

요 약

IP Network에서 에너지 절감에 기본이 되는 에너지 절약 power 모델에 대해 분석 하고, 에너지 절약이 가능한 한 가지 방안으로 적응적 버퍼링 기법을 적용한 버스트 패킷 구성(adaptive buffering and burst) 방식 및 그의 구현 알고리즘을 제안하고, 그 특징을 설명한다. 본 논문에서는 core IP 네트워크의 ingress router에서 buffering 기간 B를 입력 트래픽에 따라 동적으로 변경하는 적응적 버퍼링 방법과 구성 방법을 설명한다. 이 방법은 주어진 범위의 버퍼링 기간 내에서, ingress 라우터의 입력 트래픽 량이 적으면 버퍼링 주기를 길게, 입력 트래픽 량이 많으면 버퍼링 주기를 짧게 조절하는 방식이며, 이는 네트워크 내에서 입력 트래픽이 적을 때 idle/active의 transition 횟수를 줄이고, 입력 트래픽이 클 때는 중계 라우터에서 버스트의 연속성에 의해 idle/active의 transition 횟수를 줄여 네트워크의 idle 기간을 늘려 에너지 절약 효과를 높이고 있다. 본 방식은 시뮬레이션을 통해 idle period를 증가시킬 수 있음을 보여 주고, 에너지를 절약 할 수 있음을 확인 한다. 특히 본 제안 방식은 네트워크 특성과 적절히 타협하면, 네트워크 에너지를 절약 할 수 있는 방안을 분명히 한다.

Abstract

This paper analyses the energy saving basic power models in core IP networks, and proposes the adaptive buffer and burst scheme which is a possible energy saving method, and its implementation algorithm in core IP networks. Especially this paper describes the adaptive buffer and burst scheme dynamically varying the buffering interval B according to the input traffic volume of ingress router, and explains the operation principle of proposed scheme. This method is to adjust the buffering interval B according to input traffic volume of ingress router, that is increasing the interval B when input traffic volume is low, and decreasing the interval B when input traffic volume is high between some given interval regions. This method can get the high energy saving effect as decreasing the transition number of idle/active in networks when input traffic volume is low, and decreasing the transition number of idle/active by the continuous of burst packets in transit router when input traffic volume is high. This paper shows the increasing of asleep rate for the energy saving of core IP networks and confirms the energy saving of core IP networks by the computer simulation. We confirmed that proposed method can be save the energy of IP networks by properly trade off network performances.

Keywords : Energy Saving, Adaptive Buffering & Burst Scheme, Energy Model, Sleep, Ingress/Egress

* 정회원, 한국의국어대학교 전자공학과
(Hankuk University of Foreign Studies,
Department of Electronics Engineering)

※ 본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로
연구재단의 기초연구사업지원을 받아 수행된 것
임(과제번호: 2011-0010070)

접수일자: 2012년8월13일, 수정완료일: 2012년9월19일

I. 서 론

오늘날 에너지 소비의 절약에 대한 생각은 ICT (Information and Communication Technology) 분야에
서 고조되고 있으며, IP 네트워크는 전체 에너지 소비

에 큰 기여를 하고 있다는 것은 주지의 사실이다. 특히 미국 네트워크의 전력 소모는 연간 5 ~ 24TWh로 추정하며^[1~2], 년 20~25%로 성장을 예측하고 있다. 따라서 네트워크 소자 및 프로세서에서 energy-aware의 기능을 갖도록 하는 것을 일반적으로 Green IP Networking이라 한다. 특히 에너지 소비량의 감축은 인터넷에서 가장 도전적인 연구 중의 한 분야이다. 인터넷은 네트워크 자원(resource)의 일일 및 시간 트래픽 변동을 무시하고 피크 시간대의 트래픽을 기반으로 설계되었기 때문에 에너지 절약을 위해 다양한 방법을 고려할 수 있다. 네트워크는 전자 소자 및 프로세서로 이루어진 라우터 및 링크로 구성되어, 사용자 트래픽을 전달하고 있다. 네트워크를 통해 전달되는 사용자 트래픽은 다양하게 변하지만, 네트워크는 항상 액티브 상태로 동작하고 있다. 그리고 밤 시간대의 트래픽은 피크 시간대 트래픽의 80% 이하로 알려져 있다. 에너지 절약을 위해, IP 네트워크에서 트래픽 제어 방법으로는 트래픽을 전달할 때, idle 및 active 상태에 초점을 맞추어 보면 다양한 방법을 도출할 수 있다. 에너지 소비 절약 전략은 전체 네트워크 구조(overall network infrastructure)에 실제 트래픽 조건을 적용함으로써 달성할 수 있다. 따라서 네트워크 레벨과 소자 레벨로 나누어 보면, 전자는 네트워크 device의 subset 즉 router 및 link 들이 low power 상태에 놓일 수 있기 때문에 네트워크 routing을 변경할 목적으로 라우팅 메커니즘 변경에 관한 연구이다. 이러한 전략은 네트워크 제어 및 라우팅 프로토콜에 충격을 주고 있다. 그러나 최근의 연구는 트래픽 요구 및 QoS 제한에 대한 지식을 기반으로 power aware routing algorithm을 제안하고 있다^[3~4]. 이러한 조건들은 현재의 라우팅 프로토콜인 OSPF에서 보장되지 않는다. 후자는 네트워크 소자가 동작하는 트래픽(부하)에 비례하여 에너지 소모가 변하는 네트워크 소자에 대한 연구이다^[5].

본 논문에서는 IP 네트워크에서 전력 소모를 최소화하기 위해, 네트워크에 제공되는 트래픽의 제어 관점에서 다루어 보고자 한다. 제II장에서는 IP 네트워크에서 소모하는 에너지 모델을 idle 및 active 관점에서 표현하고, 에너지 절약 가능한 방법을 모색한다. 제III장에서는 IP 네트워크에서 에너지 절약 방법으로 3가지 유형을 요약 정리하여 설명한다. 제IV장에서는 네트워크에서 트래픽을 집중시켜 sleep 상태를 확장 및 트래픽 량

에 따라 버퍼링 구간을 동적으로 변화시켜 에너지를 절감하는 새로운 방법으로 “Adaptive Buffer and Burst Scheme” 방식을 제안하고, 그의 동작 알고리즘 및 특성을 설명한다. 제 V장에서는 본 방식의 특성을 시뮬레이션을 통해 평가한다. 그리고 제VI장에서는 결론을 맺는다.

II. 에너지 절약 Power 모델

IP 네트워크를 구성하는 네트워크 소자는 항상 에너지를 소비하고 있으므로, 이 에너지 소모를 트래픽에 따라 에너지 소모가 최소가 되도록 제어할 수 있는 “Active 및 Idle 모델”이 있다.

이 모델에서 네트워크 소자는 입출력 트래픽을 처리할 때는 active 상태, 트래픽을 처리하지 않을 때는 idle 상태이다. Idle 상태에서는 전원만 on상태이므로, 네트워크 소자에서 소모하는 에너지는 그림 1 및 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$E = p_a T_a + p_i T_i \quad (1)$$

여기서 p_a, p_i 는 active 및 idle 모드에서 전력 소모율 ($p_a \ll p_i$)을 나타내고, T_a, T_i 는 각각의 모드에서 소모된 시간을 나타낸다. 식(1)에서 에너지를 감소시킬 수 있는 방법은 ① active 기간 T_a 을 줄이고, idle 기간 T_i 을 늘리는 방법과 ② idle 모드에서 전력 소모율 p_i 을 줄이는 방법, 그리고 ③ active 모드에서 전력 소모율 p_a 을 네트워크 소자에 인가한 트래픽에 비례하도록 구성하는 방법을 생각할 수 있다.

여러 방법 중 가능한 한 가지 방법으로 네트워크 내

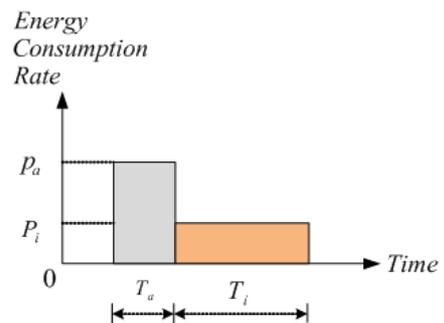


그림 1. 네트워크 소자의 에너지 소모 모델
Fig. 1. Energy consumption model of network devices.

에서 입력 트래픽에 의해 idle 및 active 상태를 교대로 가지도록 하여 에너지를 절약하는 것이 가능하다. 이때 네트워크 내의 소자(라우터 등)가 idle 및 active간의 천이 회수, 그리고 천이 시간이 시스템 및 에너지 절약 특성에 많은 영향을 준다. 따라서 이러한 상황을 고려한 에너지 절약 방법으로 네트워크 입력(라우터)에서 입력 트래픽을 재구성하여 전달하면 효율적일 수도 있다. 재구성에는 여러 가지 방안이 있으나, 주로 buffer and burst 방식을 이용 하지만, 이를 개선한 한 방법으로 buffering 주기를 입력 트래픽 량에 따라 동적으로 변화하는 adaptive buffer and burst 방식을 제IV장에서 제안하고 설명한다.

III. 에너지 절약 방법 및 전략

1. 네트워크 소자를 Sleep 상태로 만드는 방법

Sleep 상태는 네트워크에서 프로세서가 작업(부하)이 없을 때, 모든 시스템의 sub-component을 sleep 상태로 돕으로 저전력 소모가 일어나도록 만드는 것을 말한다. Sleeping은 idle일 때 소모되는 전력 즉 $p_i T_i$ 에서 p_i 을 sleep mode의 전력 소모율 p_s (여기서 $p_s < p_i$)로 줄이는 상태이다.

이때, sleep state을 특정화하는 parameter는 sleep state의 in 및 out으로 상태 천이(transition)에 소요되는 시간 δ 이다. δ 의 큰 값은 네트워크 소자(element)가 적절히 sleep mode에 들어 갈 때 상태천이(transition) 영역을 증가시킨다. 그러므로 δ 은 잠재적인 energy saving에 결정적인 영향을 준다. 네트워크 장비는 sleep state을 invoking 및 exiting하는 mechanism을 지원해야 한다. 이 방법은 “timer-drivensleeping”과 “wake-on-arrival(WoA)” 방법이 있다. 전자는 sleep 상태로 들어가기 전에, 네트워크 소자는 sleep 상태를 빠져 나올 미래의 시간을 규정하며, sleeping interface에 도착한 모든 packet는 잃어버린다. 후자는 router가 자동적으로 입력 단에서 입력 트래픽을 센싱하여 wake-up 하는 것이다^[6]. 따라서 선로상에서 packet을 sensing하는 회로는 sleep mode에서도 항상 power on 상태로 두어야 한다.

2. 네트워크에서 Rate를 Adaptation하는 방법

일반적으로 낮은 주파수에서 동작하는 네트워크 소

자가 에너지 소모를 감소시키는 것이 가능하다. 간단하게 말하면, 동작 속도를 낮추면 꽤 정확하게 상당한 에너지를 절약 할 수 있다. 예를 들면, 이더넷 링크는 10Gbps에서 동작 할 때 10~20W의 전력 소모에 비해 100Mbps~1Gbps사이에서 동작할 때 2~4W의 전력을 소모한다고 한다^[7]. 또 낮은 주파수에서의 동작은 동작 전압을 줄이는 dynamic voltage scaling(DVS) 방법의 사용을 가능하게 한다. 이것은 전원(power)을 입방적으로 scale하는 것이 가능하며, 에너지 소모는 동작 주파수에 대해 2차식으로 주어진다. 따라서 이 방식은 현재 마이크로프로세서에서 흔히 사용되고 있으며, 이러한 기술을 네트워크 링크 및 관련 장비(line card, transceiver etc.)에 적용 할 것을 염두에 두고 알고리즘을 개발 할 수 있다. 실제적인 모델로 개개의 링크의 인터페이스에서 수신 및 송신을 위해 각각 독립적인 속도(rate)을 갖는다고 가정하고, 에너지 절약은 실제로 switch fabric 및 router processor의 동작 rate을 scale 할 수 있지만, 직접 네트워크 element의 interface card나 link에 적용하는 방법도 있다.

3. 트래픽을 집중시켜 네트워크의 여분의 노드 및 링크를 power down 상태로 두는 방법

현재 IP 네트워크의 설계는 네트워크 신뢰성 및 안정성 등을 고려하여 over-provisioning으로 설계되어 있다. 따라서 네트워크 dimensioning에서 가장 흔한 green 에너지 전략 중 하나는 자원 통합(resource consolidation)이다. 이 기술은 어떤 주어진 시간에 사용하지 않은 device에 의해 에너지 소모를 감소시키는데 있다. 특정 네트워크에서 트래픽 레벨이 개략적으로 잘 알려진 일일 및 주간 행위(behavior)에 따를 때, 네트워크의 device 및 link의 subset으로 트래픽 flow을 모우고, 다른 device는 순간적으로 power off을 허용 할 수 있다. 이러한 해법은 모든 링크상의 최대 이용율을 제한하고, 연결성 및 QoS을 유지하여야 한다. 즉 요구되는 performance는 보장해 주어야 한다. Flow aggregation은 IP 네트워크에서 routing weight의 적절한 구조(configuration)를 통해 달성 할 수 있다. 이러한 연구는 참고문헌 [3~4]에서 시도되었다. 그러므로 이러한 연구는 green routing을 최적화 문제로 공식화하고, 수학적으로 달성하여 energy 절약에 대해 평가할 필요가 있다.

IV. Adaptive Buffer and Burst Scheme 방식

1. 적응적 버퍼링 및 버스트 구성 방법

Core IP네트워크에서 에너지 절약 방법 중 하나인 buffer-and-burst 방식은 ingress router에서 입력 패킷을 목적지 별로 분류하여 고속으로 egress router로 전달하는 방식을 취함으로써 네트워크 내 소자의 active 시간을 줄이고 idle 시간을 늘려서 에너지 소모를 최소화 하는 방안이다.

각각의 ingress router에서는 하나의 버스트 열(train of bursts)로 여러 목적지 egress router로 향하는 버스트 패킷들을 만들어 송신하며, 그 구성도는 그림 2와 같다.

Ingress router에서 입력 패킷은 목적지별로 S(Selector)에 의해 분류된 후, 일정기간 $Bmsec$ 동안 버퍼에 저장된다. 저장된 패킷은 core IP network의 링크 속도(\geq ingress 입력 링크 속도)로 압축되어 버스트 형태로 네트워크를 통해 출력단으로 전달된다. 이때 i 번째의 burst 구간 $B(i)$ 에서 입력되는 패킷은 셀렉터(S)에 의해 출력 egress 라우터별로 분류되어 버퍼에 저장되고, $i+1$ 번째 burst 구간 $B(i+1)$ 의 시작 시점에서 서버에 의해, $B(i)$ 구간에서 버퍼에 저장된 패킷이 그림 3과 같은 버스트 패킷 형태로 구성되어 네트워크를 통해 목적지 egress 라우터로 전달된다. 특히 burst가 전송되는 시점은 각 ingress router에 의해 독립적으로 결정되기 때문에 네트워크 내부 라우터 사이의 협조

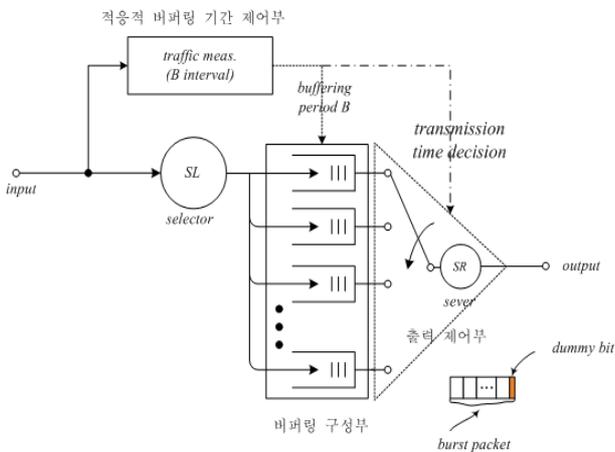


그림 2. 적응적 버퍼링 및 버스트 구성도(at Ingress Router)
Fig. 2. Adaptive Buffer and Burst(B&B) Scheme(at Ingress Router).

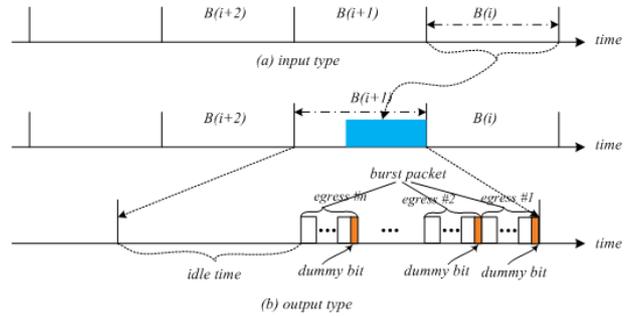


그림 3. Ingress router에서 입출력 형태
Fig. 3. Input and output type at ingress router.

(inter-router coordination)는 필요하지 않다. 만약에 wake-on-arrival 기능을 제공하는 네트워크에서 구현한다면, 아주 간단하게 ingress node에 buffer-and-burst 기능 갖는 회로의 구현만으로 가능하다.

이와 같은 방법에 의해, idle 상태일 때 중계 라우터의 링크 인터페이스의 일부 기능을 제외한 대부분 기능은 sleep된다. 그리고 라우터는 incoming(dummy) 패킷에 의해 깨워지며, 패킷을 forwarding한 후 일정시간 동안 연속적으로 패킷이 도착하지 않으면 다시 sleep 상태로 되돌아간다. 이러한 방법은 active 및 sleep 사이에 자주 천이(transition)를 유발 시키며, 이는 링크 속도(link speed)가 높거나 transition time δ 가 클 때, 에너지 saving을 제한시킬 요소가 된다. 특히 가능한 sleep 상태를 길게 많이 만들기 위해, 에너지 절약(energy saving)과 네트워크 성능(network performance) 사이에 타협(tradeoff) 하여 제어 하도록 한다. 따라서 이를 고려한 새로운 알고리즘이 요구된다.

따라서 본 논문에서 새로운 개념으로 적응적 버퍼링 구간(adaptive buffering interval) “ B ”의 개념을 도입하고, 이때 B 는 각 ingress 라우터에서 입력 트래픽량에 따라 특정 구간 범위 내에서 동적으로 변하는 adaptive buffering 및 burst 방식이다. B 의 가변 범위는 에너지 절약과 네트워크 성능 간에 적절히 타협하여 선택하여야 한다. Ingress router는 매 $Bmsec$ 동안 입력 트래픽을 목적지 별로 저장하고, 매 다음번의 버퍼링 기간 $Bmsec$ 를 결정함과 동시에, 이전 $Bmsec$ 동안 동일 목적지에 저장된 패킷을 한 개의 버스트 패킷으로 만들어 출력으로 전달한다.

2. 적응적 버퍼링 및 버스트 동작 알고리즘

본 논문에서 제안하는 적응적 버퍼링 개념의 기본 아

이디어는 ingress 라우터의 입력 트래픽 부하에 따라 버퍼링 구간 B 을 특정 범위 내에서 가변 시키는 방법이다. 따라서 중계 라우터에서 active와 idle 사이의 천이(transition) 횟수를 줄여 에너지 절감 효과를 높이는 것이 주목적이다. 즉, ingress 라우터에서 처리하는 입력 트래픽 양이 적으면 버퍼링 기간을 늘려서 가능한 버스트 패킷의 길이를 길게 만들고, 입력 트래픽 양이 많으면 버퍼링 기간을 줄여도 중계 라우터에서 버스트 패킷이 연속적으로 도착 확률이 높기 때문에 버스트 길이는 늘리는 효과를 가져 올 수 있다.

그러므로 본 논문의 주안점은 입력 트래픽이 적을 때도 긴 버스트 패킷을 만들 수 있도록 하는 것이다. 그러면 중간 라우터에서 버스트 패킷이 연속적으로 도착 확률이 상대적으로 높기 때문에 sleep/idle간 천이(transition) 횟수를 줄일 수 있다. 그래서 천이(transition) 횟수 감소에 의한 에너지 절감 효과가 기대된다.

본 논문에서 제안하는 적응적 버퍼링 및 버스트 구성의 동작 과정을 요약하면, ingress router에서 동작은 다음과 같으며, 블록도를 그림 4에 나타냈다.

단계 1: 입력 IP 패킷을 저장하여 버스트 패킷을 만들기 위해 요구되는 버퍼링 가변 구간 $B(B_{min} \leq$

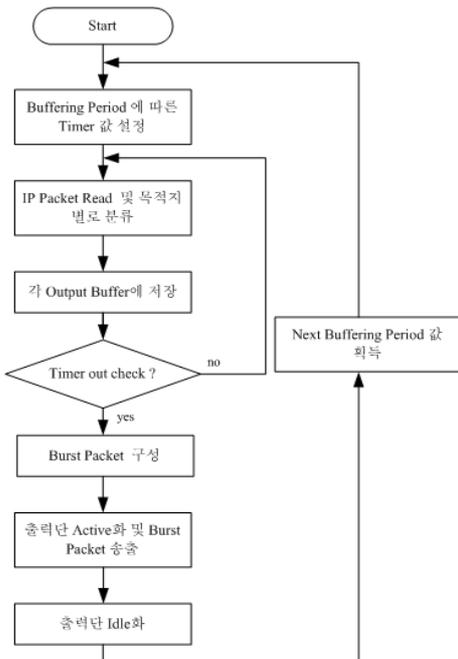


그림 4. Adaptive Buffer 및 Burst Scheme의 기능도
Fig. 4. Functional diagram of adaptive buffer and burst scheme.

$B \leq B_{max}$)의 범위 내에서 B 의 초기 값을 결정하고, 버퍼링 및 버스트 패킷을 만들기 위해 필요한 기능 외 모든 기능은 idle 상태.

단계 2: 버퍼링 구간 $B(i)$ 에 해당하는 타이머를 가동시키고, 입력단에서 입력되는 IP 패킷을 수신한 후 목적지 별로 분류하여 해당 전송버퍼에 저장한다. 이 과정을 타이머가 종료될 때까지 반복 저장.

단계 3: 타이머가 종료되면, 현재 전송버퍼에 저장되어 있는 IP 패킷을 이용하여 목적지 별 버스트 패킷을 만든다. 이때 버스트 패킷의 전단에 dummy bit을 삽입.

단계 4: 출력단을 active화 하고, 버스트 패킷을 전송한 후에 출력단을 idle화 시키고, 전 단계의 트래픽 량을 기초로 하여 다음 단계의 버퍼링 구간 $B(i+1)$ 을 결정 한다. 그리고 단계 2로 가서 반복 수행.

적응적 버퍼링 및 버스트(Adaptive buffer and burst) 방식에서 버퍼링 구간 B 을 결정하는 알고리즘의 한 예는 그림 5와 같다. 여기서 $B(i), B(i+1)$ 은 현재 및 다음 버퍼링의 구간을 나타내며, 이 구간은 $B_{min} \leq B(i) \leq B_{max}$ 내에서 n 개의 이산적 값을 가지며, 각 값은 ingress 라우터에 입력되는 트래픽과 일대일 대응관계를 갖도록 한다. $T(i)$ 는 i 주기에서 ingress

```

1:  $B(0) = \text{default value}, B_{min} \leq B(i) \leq B_{max}$ 
2: Find  $B(i+1)$ 
3: if  $(T(i) \in T(i-1)_{region})$  {
4:    $B(i+1) = B(i)$ 
5: } else {
6:   if  $(T(i) > T(i-1)_{region})$  {
7:      $S(i) = B(i) - \Delta T$ 
8:     if  $(S(i) > B_{min})$  {
9:        $B(i+1) = S(i)$ 
10:    } else {
11:       $B(i+1) = B_{min}$ 
12:    }
13:   } else {
14:      $S(i) = B(i) + \Delta T$ 
15:     if  $(S(i) < B_{max})$  {
16:        $B(i+1) = S(i)$ 
17:     } else {
18:        $B(i+1) = B_{max}$ 
19:     }
20:   }
21:  $i = i + 1$ 
22: go to 2 (next procedure)
  
```

그림 5 Adaptive buffering 기간 B 결정 방식의 예
Fig. 5. An example of decision method of adaptive buffering period B.

라우터가 처리한 평균 트래픽 량을 나타낸다. ΔT 는 버퍼링 구간에서 n 개의 이산 값을 가질 때 구간 값의 증감을 나타내는 값이다. 또 $T(i)_{region}$ 은 현재 버퍼링 구간 $B(i)$ 가 처리하는 입력 트래픽 영역을 나타낸다.

본 방식의 특성으로 에너지 절약(energy saving) 효과와 성능(지연 특성)에 대해 설명한다. 우선 가장 이상적인 경우의 upper bound 값과 adaptive burst and buffer(B&B) 방식을 특정 입력 트래픽에 대한 에너지 절약 효과를 sleep time 비율로 표시 할 수 있다. 이상적인 B&B 방식의 경우, sleep/wake의 천이에 의한 transition overhead δ 을 고려하지 않으면, time asleep rate는 $1 - \mu$ 로 표현 할 수 있다. 이때 μ 는 네트워크에 가해지는 입력 부하이다. 따라서 이상과 같이 upper bound 조건을 실현 할 수 있는 알고리즘은 존재하지 않는다.

그러나 adaptive B&B 방식의 end-to-end delay 특성은 버퍼링 구간 $B(i)$ 에 따라 다르며, $B(i)$ 에 의한 지연 영향은 ingress router에 의해서만 발생하므로 모든 end-to-end 경로에서 단 한번만 영향을 끼친다. 따라서 ingress router에 낮은 트래픽이 인가될 때, 버퍼링 기간 $B(i)$ 는 상대적으로 높은 트래픽에 비해 길게 된다. 따라서 낮은 트래픽일 때, 버퍼링에 의한 end-to-end 지연은 더 길어지지만, queuing 지연은 상대적으로 높은 입력 트래픽에 비해 아주 낮기 때문에 전체적으로 보면 낮은 트래픽 상황에서는 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 그리고 낮은 트래픽 상황에서도 길이가 긴 버스트 트래픽을 만들어 네트워크 내의 transition time δ 을 줄여 에너지 절약 효과를 기대 할 수 있다. 반면에 ingress router에 높은 트래픽이 인가되면, 버퍼링 기간 $B(i)$ 는 상대적으로 줄어든다. 그러므로 버퍼링에 의한 end-to-end 지연을 줄여, queuing 지연은 길어진 효과를 어느 정도 상쇄 할 수 있다. 결론적으로 말하면 트래픽 부하가 클 때는 버퍼링에 의한 지연 특성을 개선하고, 부하가 낮을 때는 네트워크에서 idle/active의 transition 횟수를 줄여 에너지를 절약 할 수 있다.

V. 특성 분석 및 평가

1. 시뮬레이션 네트워크 모델

본 방식의 에너지 절약 특성을 분석하기 위해, 그림

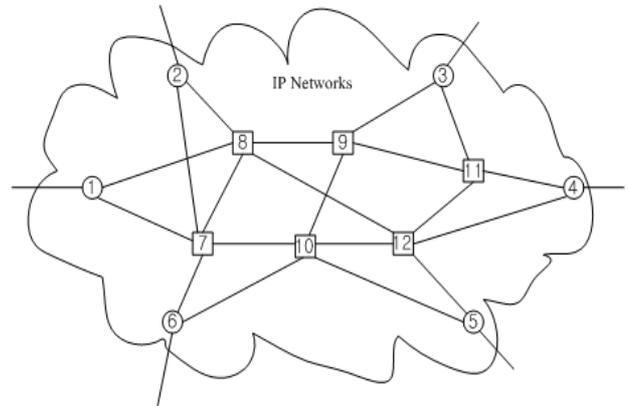


그림 6. 시뮬레이션 네트워크 모델
Fig. 6. Network simulation model.

6과 같은 네트워크 시뮬레이션 모델을 구성하였다. 6개의 ingress/egress 라우터와 6개의 중계 라우터로 구성되며, ingress/egress 라우터만 적응적 버퍼링 기능을 갖고, 중계 라우터는 입력 신호에 의해 awake 되어 active 되며, 일정시간 동안 연속적인 packet이 도착하지 않으면 sleep 상태로 천이 한다고 가정한다. 이러한 기능을 중계 라우터에서 갖는다. 또 시뮬레이션을 간단하게 하기 위해, 입력 패킷은 균등하게 모든 출력으로 향한다고 가정한다. 또 라우터의 입력 링크의 용량은 50Mbit/s, 내부 링크 용량은 50Mbit/s 로 동일하게 하였다. 실험 결과로 asleep time 비율은 네트워크 내 임의의 중계 노드(라우터 12)에서 측정하였다. 지연은 라우터 12를 통과하는 한 개의 flow에 대해 측정하였다. 입력 트래픽은 CBR 트래픽을 적용하였으며, 시뮬레이션은 ns-2를 사용하였다. 또 시뮬레이션 수행에서 버스트 패킷 구성 시 필요한 dummy bit에 해당되는 값을 transition overhead δ 로 가정하였다.

2. 특성 분석 및 평가

본 방식에서 버퍼링 기간 B 의 변화에 대한 특성을 그림 7에 나타냈다. 그림 7은 $\delta = 9.6\mu\text{sec}$ 의 조건에서 중계 라우터 12에 가해지는 입력 부하의 변화에 대해, 중계 라우터 12가 idle 상태로 될 수 있는 비율 즉 asleep 비율을 나타냈다. 다시 말하면, x축은 라우터에 가해지는 전체 입력 부하, y축은 라우터를 idle 상태로 둘 수 있는 시간 비율을 나타냈다.

그림 7의 결과에서 보면, 버퍼링 기간 B 가 짧으면, transition 발생 횟수가 증가하게 되어 asleep rate가 떨어짐을 알 수 있다. B 가 짧고, 입력 부하가 클 때는 네

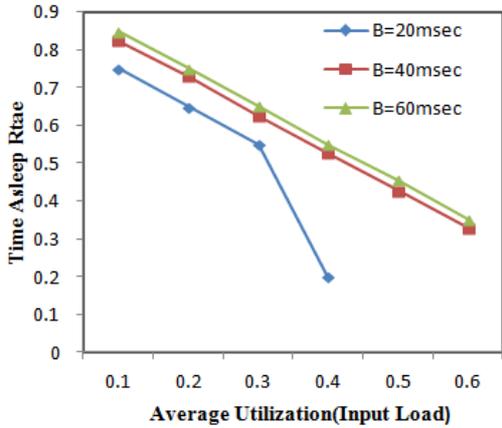


그림 7. 버퍼링 기간 B에 따른 idle 특성
 Fig. 7. Idle characteristics according to buffering period B.

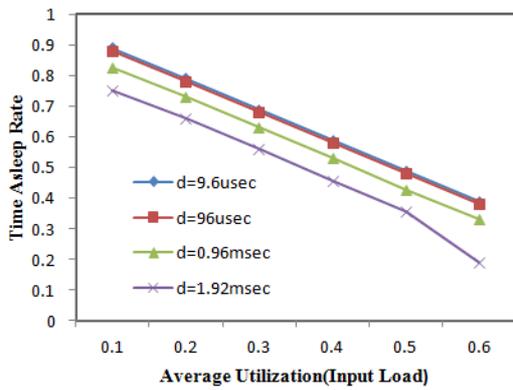


그림 8. Transition time δ 의 변화에 따른 idle 특성
 Fig. 8. Idle characteristics according to transition time δ .

트위크 내부에서 transition 발생 횟수가 급격히 증가하여 asleep rate가 급격히 줄어짐을 알 수 있다.

버퍼링 기간 B=40msec에서 transition overhead δ 의 변화에 대한 특성을 그림 8에 나타냈다.

즉 δ 값을 증가 시키면, 네트워크의 asleep rate가 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 sleep/wake의 transition time δ 및 dummy bit을 가능한 줄이는 것이 효과적이다. 이는 실제 네트워크에서 강력한 하드웨어가 필요한 부분이다.

버퍼링 기간 B와 transition time δ 의 상관 관계 특성을 입력부하가 0.4인 조건에서 그림 9에 나타냈다. 그림 9에서 보면, transition time δ 가 적은 부분에서는 버퍼링 주기 B의 크기와 δ 가 별로 관련이 없어 보이며, δ 가 특정 값 이상이면 asleep rate에 영향을 주고 있다. 즉

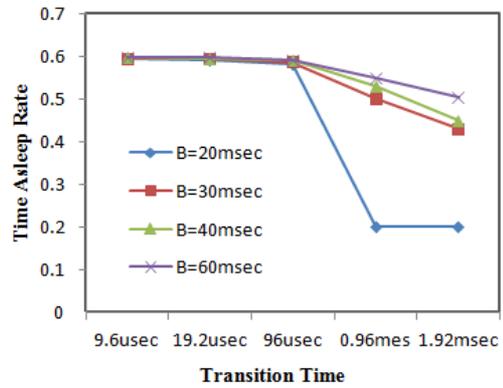


그림 9. Transition time δ 와 버퍼링 기간과의 관계
 Fig. 9. Relation transmission time δ and buffering period B.

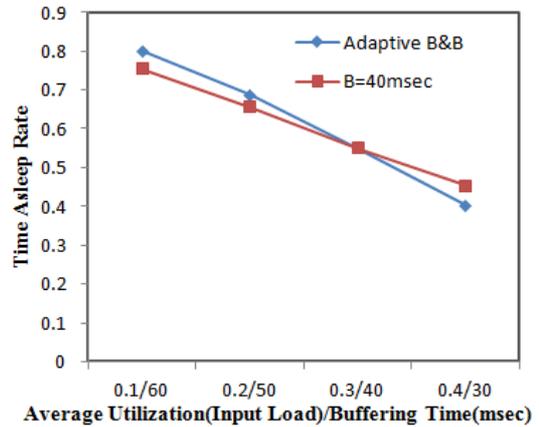


그림 10. 적응적 버퍼링 및 버스트에서 asleep rate 특성 ($\delta = 1.92msec$)
 Fig. 10. Asleep rate of adaptive buffering and burst scheme ($\delta = 1.92msec$).

적절한 δ 값 선정이 필요하다. 이 값은 하드웨어와 관련이 있음을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 adaptive 버퍼링 기간의 특성을 조사하기 위해, 입력 부하별로 버퍼링 주기를 변화 시키면서 asleep rate 특성을 그림 10에 나타냈다. 그림 10에서 적응적 버퍼링 및 버스트의 경우, 가로 축의 x/y의 의미는 x는 입력 부하, y는 버퍼링 기간을 나타내었으며, 이와 비교하기 위해 버퍼링 기간 B=40msec로 고정시킨 버퍼링 및 버스트의 결과와 함께 나타냈다.

그림 10에서 보면, 입력 트래픽이 적으면, 버퍼링 주기를 늘리고, 입력 트래픽이 크면 버퍼링 주기를 줄이는 방식이 버퍼링 주기를 일정하게 하는 방식 보다 asleep rate가 우수하다. 그러나 그림 10에서 부하가 0.4

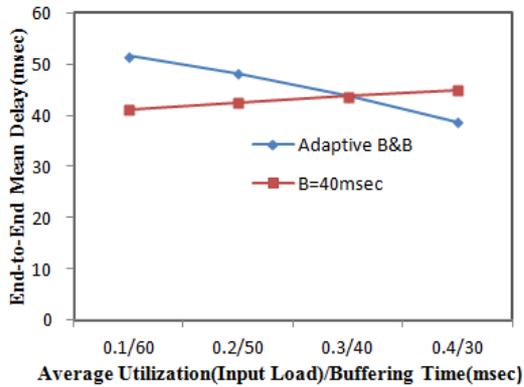


그림 11. 적응적 버퍼링에서 평균 지연 특성 ($\delta = 1.92msec$)

Fig. 11. Mean delay characteristics of adaptive buffering and burst scheme ($\delta = 1.92msec$).

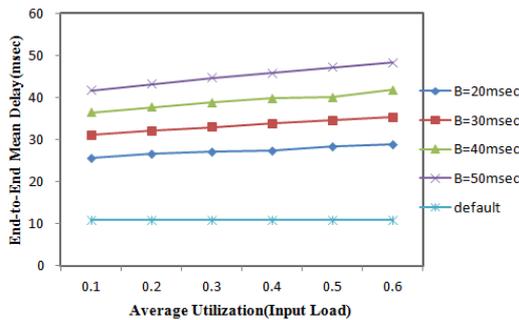


그림 12. 평균 지연 특성 ($\delta = 0.96msec$)

Fig. 12. Mean delay characteristics of buffering and burst scheme ($\delta = 1.92msec$).

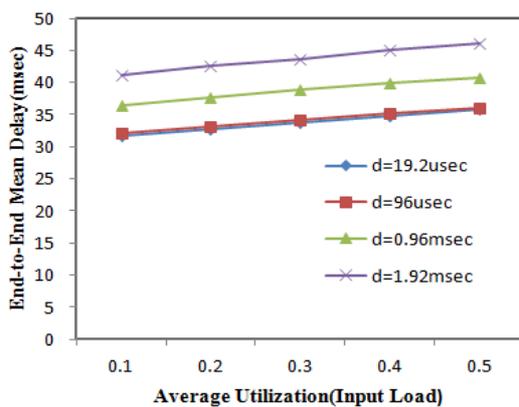


그림 13. 평균 지연 특성 (B=40msec)

Fig. 13. Mean delay characteristics of buffering and burst scheme (B=40msec).

이상일 때, 적응적 버퍼링 방식이 고정 버퍼링 방식 보다 sleep rate가 조금 줄여지고 있다. 이는 시뮬레이션 수행 시 라우터 12에서 입력되는 세션의 수가 적어 입

력 랜덤 효과가 적은데 기인한 것으로 해석된다. 그러나 입력 세션 수가 많으면 개선 될 것으로 본다.

그림 11에 적응적 버퍼링 방식의 지연 특성을 나타냈다. 입력 부하가 적으면, 버퍼링 시간이 길기 때문에 평균 지연이 증가하고 있으며, 입력 부하가 크면 버퍼링 시간이 작아서 평균 지연이 감소하고 있다. 그림 10 및 그림 11의 결과에서 알 수 있듯이, 입력 부하에 따라 버퍼링 시간을 조절하면, asleep rate 및 지연 특성을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.

버퍼링 시간 B의 변화에 대한 end-to-end 지연 특성을 그림 12, 그리고 δ 의 변화에 대한 평균 지연 특성을 그림 13에 나타냈다.

그림 12는 $\delta = 0.96msec$ 에서 버퍼링 시간 B의 변화에 따른 중단간 평균 지연 특성을 나타냈다. 버퍼링 시간 B가 크면, 입력 라우터에서 버퍼링 시간 B의 영향만큼 지연이 발생하므로 지연이 증가함을 알 수 있다. 실제 그림 3에서 보면, ingress 라우터에서 버퍼링 시간 B 동안에 버퍼링한 후, 버스트 형태로 곧 바로 전달되므로 버퍼링에 의한 지연은 B 보다 적다는 것을 알 수 있다. 따라서 그 영향이 그림 12에서 알 수 있다.

그림 13은 δ 가 크면 평균지연이 증가하고 있다. 이는 wake/sleep 천이에 소요되는 시간 및 천이 횟수가 증가하면 평균 지연도 증가함을 알 수 있다.

이상의 실험 결과에서 알 수 있듯이, 입력 트래픽 량에 따라 버퍼링 구간을 적응적으로 변경하는 알고리즘을 이용하여 버퍼링 구간을 변경시키면, IP 네트워크 내의 라우터의 asleep rate를 높여 idle 기간을 늘려서 에너지를 절약 할 수 있음을 확인 할 수 있다.

VI. 결 론

인터넷의 네트워크 자원(resource)은 일일 및 시간 트래픽의 변동을 무시하고, 피크 시간대의 트래픽을 기반으로 설계되었기 때문에, 이를 고려한 에너지 절약 모델을 분석하였다. 그리고 IP 네트워크를 구성하는 모든 소자 및 프로세서는 항상 active 상태로 동작하도록 설계 되어 있으므로, 이를 고려한 에너지 절약 모델 개념을 노드의 부하가 없을 때는 sleep 상태, 또는 부하가 따라 네트워크의 동작 주파수 가변 방법 적용, 그리고 네트워크 트래픽을 집중시켜 네트워크의 subset을 power down 시키는 방법으로 에너지를 절약 할 수 있

음을 설명하였다. 이와 같은 다양한 방법 중 가장 현실적이고 구현이 쉬운 적응적 버퍼링 및 버스트 구성 (adaptive buffer and burst) 방법을 이용한 에너지 절약 방법을 제안하고, core IP 네트워크의 ingress 라우터에서 구현 방법과 동작 알고리즘을 제시하고, 그의 특성을 시뮬레이션을 통해 정량적으로 나타냈다.

결론적으로, 본 논문에서 제안하는 적응적 버퍼링 및 버스트 방식은 입력 트래픽이 낮은 경우는 버퍼링 시간을 증가시켜, 네트워크에서 active/idle의 transition 횟수가 감소되어 asleep 기간을 늘리는 결과를 확인하였다. 그러나 입력 트래픽이 높은 경우, 버퍼링 시간을 감소시켜 버퍼링에 의한 지연 감소 및 중간 라우터에서 랜덤하게 도착하는 버스트의 수가 증가되어 transition 횟수를 감소시키는 효과가 있음을 확인하였다.

따라서 본 제안 방식은 지연특성을 만족 시키면서 asleep rate를 높여 에너지를 감소시킬 수 있음을 분명히 하였다.

또 금후 과제로 IP 네트워크의 내부 링크 속도에 따른 특성, 그리고 본 제안 방식의 특성을 구현하기 위한 하드웨어 변경 부분 및 실제 네트워크 환경에서 운용하기 위한 특성 등이 평가 되어야 한다.

LAN Switches with Proxying,” Split TCP Connections and Scaling of Link Speed, Oct. 2005.

저 자 소 개



한 치 문(정회원)-교신저자
The University of Tokyo, 전기공학 전공, 공학박사
1977년 2월~1983년 3월 KIST 연구원
1983년 4월~1997년 2월: ETRI 선임 및 책임연구원, 교환기술연구단 계통연구부장 역임

1997년~현재 한국외국어대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 에너지 saving 네트워크, 차세대 인터넷, 센서 네트워크, 네트워크 보안, 네트워크 설계 및 성능 분석 등>

참 고 문 헌

- [1] B .Nordman, “Energy Efficient Ethernet,” Outstanding Questions, 2007.
- [2] K. W. Roth, F. Goldstein, et al., “Energy Consumption by Office and Telecommunication Equipment in Commercial Buildings–Volume I: Energy Consumption Baseline,” Tech. Rep. 72895-00, Arthur D. Little, Inc, Jan. 2002.
- [3] Antonio Cianfrani, Vincenzo Eramo, et al., “An OSPF-Integrated Routing Strategy for QoS-Aware Energy Saving in IP Backbone Networks,” IEEE Transactions on Network and Service Management, March 2012.
- [4] Juan Camilo Cardona Restrepo et al., “Energy Profile Aware Routing,” IEEE ICCW 2009.
- [5] Gupta, M. and Singh, S., “Dynamic Ethernet Link Shutdown for Energy Conservation on Ethernet Links,” IEEE ICC 2007.
- [6] Cisco Systems, “NetFlow Services and Applications,” White Paper, 2000.
- [7] C. Gunaratne, K. Christensen, et al., “Managing Energy Consumption Costs in Desktop PCs and