

논문 2016-53-8-3

# IP 네트워크에서 적응적 역함수 버퍼링 구간을 적용한 버스트패킷 구성 방식에서 에너지 절약 특성

(Energy Saving Characteristics on Burst Packet Configuration  
Method using Adaptive Inverse-function Buffering Interval in  
IP Core Networks)

한 치 문\*

(Chimoon Han<sup>©</sup>)

요 약

IP 네트워크에서 에너지 절약을 위한 한 가지 방안으로 적응적 버퍼링 기법을 적용한 버스트 패킷 구성 및 그의 알고리즘에 대한 연구가 진행되어 왔다. 본 논문은 IP 네트워크의 ingress 라우터에서 버스트 스트림 패킷을 구성할 때, 에너지 절약을 위한 패킷 버퍼링 구간 결정 방법에 대해 검토한다. 특히 ingress 라우터의 입력 단에서 에너지 절약 효율을 높이기 위해 버스트 스트림 패킷을 만들 때 적응적 버퍼링 구간 및 구현 기법이 요구된다. 본 논문에서는 현재 버퍼링 구간은 과거 버퍼링 구간의 입력 트래픽을 기반으로 결정하는 최선의 적응적 역함수 버퍼링 결정 방식을 제안하고, 그의 에너지 절약과 지연 특성을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 본 논문에서 적절한 역 지수함수를 이용하여 버스트 스트림 패킷 구성을 위한 버퍼링 구간을 결정하면, 에너지 절약 효과의 개선 및 평균 지연 변이를 감소시킬 수 있음을 나타낸다. 이 방법은 다른 방법에 비해 우수한 특성을 가지고 있음을 확인한다. 그리고 제안 방법은 다양한 입력 트래픽 유형에 민감하게 반응하지 않으며, 실용적인 방법임을 나타낸다.

## Abstract

Nowadays the adaptive buffering techniques for burst stream packet configuration and its operation algorithm to save energy in IP core network have been studied. This paper explains the selection method of packet buffering interval for energy saving when configuring burst stream packet at the ingress router in IP core network. Especially the adaptive buffering interval and its implementation scheme are required to improve the energy saving efficiency at the input part of the ingress router. In this paper, we propose the best adaptive buffering scheme that a current buffering interval is adaptively buffering scheme based on the input traffic of the past buffering interval, and analyze its characteristics of energy saving and end-to-end delay by computer simulation. We show the improvement of energy saving effect and reduction of mean delay variation when using an appropriate inverse-function selecting the buffering interval for the configuration of burst stream packet in this paper. We confirm this method have superior properties compared to other method. The proposed method shows that it is less sensitive to the various input traffic type of ingress router and a practical method

**Keywords** : Energy Saving, Adaptive Buffering Interval, Time Asleep Rate, Buffer and Burst, Inverse Function

\* 평생회원, 한국외국어대학교 전자공학과  
(Department of Electronics Engineering, Hankuk  
University of Foreign Studies)

© Corresponding Author (E-mail : cmhan@hufs.ac.kr)

※ 본 논문은 2016년도 한국외국어대학교 교내 연구비  
지원에 의해 수행되었음.

Received ; June 30, 2016      Revised ; July 26, 2016

Accepted ; July 31, 2016

## I. 서 론

오늘날 에너지 소비에 대한 관심이 ICT (Information and Communication Technology) 분야에서 매력적인 주제 중 하나로 부상하고 있다. 특히 ICT 분야의 에너지 소모가 전 세계의 에너지 소모의 약 10% 정도이며, 가까운 미래에 더 증가 할 것으로 예측되고 있다<sup>[1~2]</sup>.

그린 네트워크 기술은 기존 네트워크 기술과 거의 동일한 성능을 가지면서 네트워크 에너지를 절감시키는 기술 개발을 목표로 하고 있다<sup>[3-6]</sup>. IP 네트워크에서 에너지 절약을 위한 기본 개념은 네트워크 내의 소자(device)가 특정 조건 아래에서 sleep 상태가 되어, 소자가 소모하는 에너지를 감소시키는 방식이다<sup>[6-9]</sup>. 현재까지 IP 네트워크에서 에너지 절약을 위한 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 네트워크 레벨에서 에너지 절약을 위한 최신 기술적 해법에 대해 조사 분석하여 보고되고 있다<sup>[10-11]</sup>.

IP 네트워크에서 적용 가능한 에너지 절약 해법은 WDM 계층과 IP 계층으로 나눌 수 있다. WDM 계층은 고속화를 도모하고, IP 계층은 라우터의 에너지 절약을 위해 reconfiguration이 가능한 IP 계층에 대해 주로 연구하고 있다<sup>[4, 10-11]</sup>. 특히 IP 계층에서 에너지 절약을 위한 한 방안으로, 네트워크 소자(라우터)의 에너지 프로파일에 기초하여 에너지 소모가 최소가 되도록 라우팅 경로를 찾는 방식이 있다<sup>[12-13]</sup>. 네트워크 소자(라우터)의 에너지 소모량은 부하에 의존하기 때문에, 네트워크는 소모하는 에너지가 최소인 경로를 찾아야 한다. 이 문제를 해결하기 위한 여러 가지 heuristic 방법이 제안되고 있다<sup>[14-15]</sup>. 이 방법들은 부하의 변동에 따라 경로가 변하는 단점이 있다.

또 다른 방안으로 네트워크의 에너지 효율을 개선하기 위해 어떤 링크 및 노드를 sleeping 시킨 후, 재구성된 네트워크에서 재 라우팅을 수행하여야 한다<sup>[12-13]</sup>. 이때 재 라우팅에 의해 네트워크 레벨의 QoS 열화 및 재 라우팅에 의한 overhead가 증가한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 특정 링크를 sleeping 상태로 하는 ESIR (Energy Saving IP Routing) 알고리즘을 제시하고 있다<sup>[8]</sup>. 이 알고리즘은 양방향으로 링크를 sleeping 상태로 만들 수 없는 단점을 가지고 있으며, 이는 실제 네트워크 적용에서 제한 요소가 된다. 그래서 routing path sharing 개념의 GPE(Green Partial Exportation) 알고리즘을 제시하고 있다<sup>[16]</sup>.

위 두 알고리즘의 문제는 sleeping 링크의 트래픽을 처리할 대안 링크를 sleeping link의 주변에서 찾아야 하기 때문에 대안 링크 선택의 자유도가 낮다. 따라서 에너지 절약 효율이 낮다.

IP 네트워크에서 에너지 절약을 위한 한 가지 방안으로, ingress 라우터에서 입력된 패킷을 버스트 스트림 패킷 형태로 재구성하여 버스트 패킷의 on 구간에서는 네트워크 소자를 on 상태, 버스트 패킷의 off 구간에서

는 네트워크 소자를 off 상태로 동작시켜 에너지를 절약하는 방법이 제시되어 있다<sup>[7]</sup>. 이 방법은 네트워크 소자의 하드웨어 레벨에서 간단하게 구현되어 에너지 절약이 가능한 방안이다.

본 논문에서는 문헌<sup>[7]</sup>에서 제시한 적응적 버퍼링 기법을 이용한 버스트 스트림 패킷 구성에 의한 에너지 절약 방법에 대해, 버스트 스트림 패킷 구성을 위한 버퍼링 구간 구성 함수와 에너지 절약 효율에 대한 특성을 분석한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어, 제 II장에서 네트워크 소자의 에너지 절약 모델을 간략히 설명하고, 제 III장에서는 본 개념을 적용하기 위해 버스트 패킷 구성 방법 및 동작 원리에 대해 설명한다. 이때 버스트 패킷 스트림 구성을 위한 버스트 구간 결정 방법을 제시하고, 이에 따른 지연 특성을 분석한다. 제 IV장에서는 시뮬레이션을 통해 본 버스트 구간 결정 방식의 특성을 나타내고, 제 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 소자의 에너지 모델 및 시스템 구성

### 1. 네트워크 소자의 에너지 모델<sup>[7]</sup>

현재 IP 네트워크에서 소자(라우터)가 처리하는 트래픽 유무에 따라 에너지 제어 가능한 “active 및 idle 모델”을 적용하여 에너지를 절약 할 수 있다. 이 모델에서 네트워크 소자는 트래픽을 처리할 때는 active 상태, 트래픽을 처리 하지 않을 때는 idle 상태가 되도록 구성한다. 그러면 네트워크에서 소모하는 에너지는 식(1) 및 그림 1과 같이 표현 할 수 있다.

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

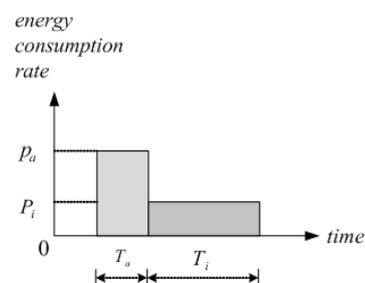


그림 1. 네트워크 소자의 에너지 모델  
Fig. 1. An energy model of network devices.

여기서  $P_a, P_i$ 는 active 및 idle 모드에서 소모하는 전력 소모율 ( $P_a \gg P_i$ )을 나타내고,  $T_a, T_i$ 는 각 모드

에서 소요한 시간을 나타낸다. 식(1)에서 보면, 에너지를 감소시킬 수 있는 방안은 ① active 기간  $T_a$ 을 줄이고, idle 기간  $T_i$ 을 늘리는 방법과 ② active 및 idle 모드에서 전력 소모율  $p_a, p_i$ 을 줄이는 방법, 그리고 ③ active 모드에서 전력 소모율  $p_a$ 을 네트워크 소자에 인가한 트래픽에 비례하는 방법을 생각 할 수 있다. 이 중 방법 ①을 적용하기 위해, 네트워크의 ingress 라우터 단에서 입력된 패킷을 재구성하여 네트워크를 통해 전달하는 방안을 생각한다. 이 부분에 대해 다음 절에서 설명한다.

## 2. 에너지 절약 시스템 구성<sup>[7]</sup>

방법 ①을 이용하여 IP core 네트워크에서 에너지 절약하는 방안은 ingress 라우터에서 입력된 패킷을 재구성하여 egress 라우터로 전달하는 방법이다. 이때 ingress 라우터에 입력되는 패킷은 egress 라우터 목적지 별로 분류되어, 일정 기간 동안 패킷을 모아 버스트 패킷 스트림으로 재구성하여 egress 라우터로 고속 전달하는 방식을 취함으로써, 네트워크 내 소자의 active 구간을 줄이고 idle 구간을 늘려 에너지 소모의 최소화가 가능한 방안이다. 이때 각각의 ingress 라우터에서는 하나의 버스트 열(train of bursts)로 여러 목적지 egress 라우터로 향하는 버스트 스트림 패킷들을 만들어 전달하며, 그 구성은 그림 2와 같다.

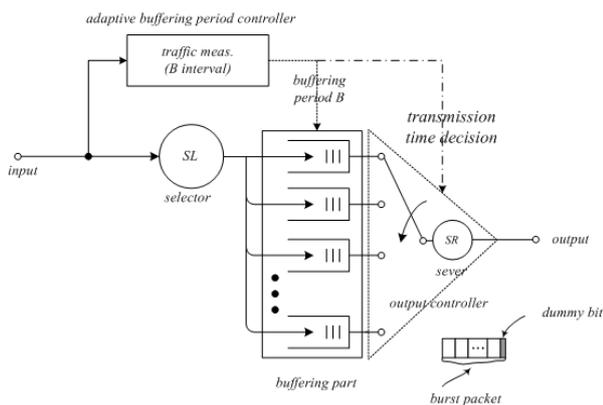


그림 2. Ingress 라우터에서 적응적 버퍼링을 이용한 버스트 스트림 패킷 구성도

Fig. 2. Adaptive buffer-and-burst scheme at ingress route.

그림 2는 ingress 라우터에서 출력 단으로 전달하기 위해 버스트 패킷 스트림을 구성하는 방법을 나타내고 있다. Ingress 라우터에서 입력 패킷은 SL(Selector)에 의해 출력 egress 라우터 별로 분류되어,  $B(i)msec$ 동

안 버퍼에 저장된다. 이때 저장된 패킷은 IP 네트워크의 링크 속도( $\geq$  ingress 입력 링크 속도)로 압축되어, 각 버퍼에 저장된 선두 패킷 앞에 dummy 비트를 더해 버스트 스트림 패킷 형태로 네트워크를 통해 출력 단으로 전달된다. 이때 버스트 스트림 패킷을 만들기 위해 필요한 구간  $B(i)$ 는 입력 트래픽에 따라 가변되도록 한다. 여기서  $B(i)$ 는  $i$ 번째 버스트 슬롯의 버퍼링 구간을 말한다.  $B(i)$ 에서 입력되는 패킷은 셀렉터(SL)에 의해 출력 egress 라우터별로 분류되어 버퍼에 저장되고,  $i+1$ 번째 burst 구간  $B(i+1)$ 의 시작 시점에서 서버에 의해, 각 버퍼에 저장된 패킷이 그림 3과 같은 버스트 스트림 형태로 네트워크를 통해 목적지 egress 라우터로 전달된다. 이때  $B(i)$ 구간 및 그 이전 구간에 입력되는 트래픽 량에 의해  $B(i+1)$ 구간이 결정되는 적응적 버퍼링 구간 결정 방식을 갖도록 한다. 이때 버퍼링 구간  $B(i)$ 의 결정은 입력 평균 트래픽 량에 의해 결정되도록 함수를 이용한다.

특히 burst 스트림의 전달 시점은 각 ingress 라우터에 의해 독립적으로 결정되기 때문에, 네트워크 내부의 라우터 사이에서 협조(inter-router coordination)는 필요하지 않다. 그러므로 네트워크에서 wake-on-arrival 기능이 제공된다면, 아주 간단하게 ingress 라우터에 패킷 buffering 및 burst 패킷 구성 기능을 갖는 회로의 구현만으로 실현 가능하다.

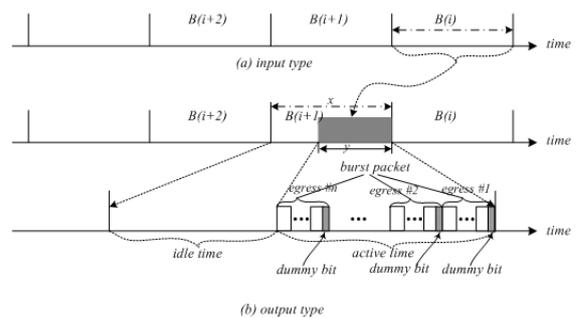


그림 3. 적응적 주기를 이용한 버스트 패킷 구성 방법  
Fig. 3. Burst packet configuration using dynamic burst period.

특히 idle 상태일 때 라우터의 링크 인터페이스 부분이 sleep 상태가 되어 라우터의 에너지 소모가 줄어든다. Active 상태에서는 버스트 패킷의 dummy bit에 의해 라우터의 링크 인터페이스가 활성화되고, 버스트 패킷을 forwarding한 후 일정시간 동안 연속적으로 버스트 패킷이 도착하지 않으면 다시 sleep 상태가 된다.

이러한 방법은 active 상태와 idle 상태 사이를 자주

천이(transition)를 유발 시키며, 이러한 천이는 천이 시간 (transition time)  $\delta$ 가 크면 에너지 saving에 제한 요소가 된다. 그리고 가능한 sleep 상태를 길게 만들기 위해, 적응적 버퍼링 개념을 이용한 버스트 구간  $B(i)$ 의 선정 알고리즘이 문헌<sup>[7]</sup>에 제되어 있다. 본 논문에서는 문헌<sup>[7]</sup>의 개념을 확장하여, 버스트 패킷을 만들기 위한 버퍼링 구간  $B(i)$ 를 적응적 역함수를 이용하여 결정하는 방법을 제시하고, 그 특성을 분석한다.

### III. 버스트 패킷 구성을 위해 역함수를 이용하여 적응적 버퍼링 구간 결정

#### 1. 역함수를 이용한 적응적 버퍼링 구간 결정 및 동작 방법

본 논문은 네트워크에서 idle 상태를 가능한 길게 유지시키기 위해, ingress 라우터에서 입력 패킷을 버스트 스트림 패킷으로 재구성하여 네트워크를 통해 출력 단으로 패킷을 전달하여 소모 에너지를 절약하는 것이 기본 목적이다.

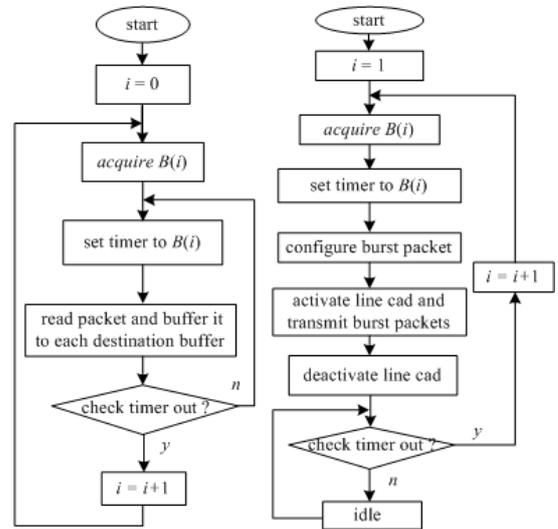
그러므로 ingress 라우터의 입력 트래픽 평균 부하에 의해 버퍼링 구간  $B(i)$ 를 결정하도록 하고, 이로 인해 중계 라우터에서 active 상태와 idle 상태 사이의 천이 (transition) 횟수를 줄여, 네트워크가 소모하는 에너지를 감소시키고자 한다.

Ingress 라우터에서 처리하는 입력 트래픽 량이 적으면 버퍼링 구간을 늘려 버스트 패킷을 구성하고, 입력 트래픽 량이 많으면 버퍼링 구간을 줄여 버스트 패킷을 구성하도록 한다. 이와 같이 구성하면, ingress 라우터에 입력되는 패킷이 적을 때도 어느 정도 길이의 버스트 패킷을 만들 수 있다. 그러면 중계 라우터의 입력 단에 버스트 패킷이 연속적으로 도착 할 확률이 상대적으로 높기 때문에 active/idle 상태 간 천이 횟수를 줄일 수 있다. 반면에 버스트 패킷 구성을 위해, 버퍼링 구간을 늘리면 패킷의 end-to-end 지연은 버퍼링 구간의 길이에 비례하여 증가한다. 그러나 부하가 낮은 경우, 라우터의 queueing 지연이 짧기 때문에 오히려 상대적으로 전체 지연 변이는 줄게 된다.

본 논문에서 제안하는 적응적 버퍼링 및 버스트 구성의 동작 과정을 그림 4에 나타냈다.

그림 4-(a)는 ingress 라우터에서, 버퍼링 구간  $B(i)$  동안 입력되는 패킷을 목적지 별로 분류하여 저장하는 과정을 나타내고, 그림4-(b)는  $B(i)$  동안에 저장된 패킷을  $B(i+1)$  구간 동안에 버스트 스트림 패킷을 만들어

네트워크로 전달하는 과정을 나타낸다.



(a) 패킷 분류 및 저장 (b) 버스트 패킷 구성 및 전달  
그림 4. Ingress 라우터에서 버퍼링 및 버스트 패킷 구성의 흐름도

Fig. 4. Functional diagram of buffering and burst packet configuration at ingress router.

특히 버퍼링 구간  $B(i)$ 은 ingress 라우터의 입력 패킷 평균 부하에 의해 적응적으로 결정한다. 이때 구간  $B(i)$  결정에 사용되는 함수는 평균 입력 부하를 변수로 하는 역함수를 사용하며, 식(2)와 같다.

$$f_1(x) = \frac{a}{1 - e^{-x}} + b \text{ ----- (2-a)}$$

$$f_2(x) = -ax + b \text{ ----- (2-b)}$$

여기서  $x$ 는 버퍼링 구간  $B(i)$ 를 결정하기 위한 함수의 입력 값이며, 이는  $B(i)$ 이전 구간에 입력된 평균 트래픽 부하이며, 상수  $a, b$ 는 버퍼링 구간의 범위를 조절하기 위한 값이다. 식(2-a)는 역 지수 함수 특성을 가지며, 식(2-b)는 역 선형 특성을 가진다. 이외에 다른 특성을 갖는 함수도 적용 할 수 있다.

식(2)을 이용하여 버퍼링 구간  $B(i)$ 는 그림 5와 같은 과정에 의해 구한다. 이때 초기 단계의  $B(0)$ 은 적절한 값을 정하고, 그 이후의  $B(i)$ 는 직전  $B(i)$ 구간에서 측정된 평균 입력 트래픽을 입력으로 하는 역함수를 이용하여 결정한다. 이때 직전 각  $B(i)$ 구간에서 측정된 트래픽의 가중치를 적용한다. 여기서  $L(i)$ 는  $i$  번째 버퍼링 구간에서 측정된 평균 입력 트래픽 량이며,  $x(i)$ 는  $i$  번째 구간 과  $i-1$  및  $i-2$  번째 구간에서 측정된 평균

입력 트래픽 량에 가중치를 곱한 값이다. 각 가중치  $\alpha, \beta, \gamma$  합은 1이다.

1.  $B(0) = \text{default value}, B_{\min} \leq B(i) \leq B_{\max}$
2.  $i = 0$
3. get  $x(i) = \alpha L(i) + \beta L(i-1) + \gamma L(i-2)$   
where  $\alpha + \beta + \gamma = 1$
4. calculation  $B(i+1)$  from eg. (2) using  $x(i)$
5. store  $B(i+1)$
6.  $i = i + 1$
7. go to step 3

그림 5. 입력 트래픽을 이용한 적응적 버퍼링 구간 결정 방법

Fig. 5. A decision method of adaptive buffering interval using input traffic of ingress router.

## 2. 에너지 절약 효과 및 지연 해석

본 방식에서 에너지 절약 (energy saving) 효과는 시스템의 asleep time 비율로 표시 할 수 있다. 이상적인 경우, sleep/awake의 천이에 의한 transition overhead  $\delta$  및 버스트 패킷 구성을 위해 필요한 dummy bit의 영향을 고려하지 않는다. 그러면 time asleep rate는  $1 - \rho$ 로 표현 할 수 있다. 이때  $\rho$ 는 ingress 라우터에 가해지는 평균 입력 트래픽 부하이다. 이처럼 upper bound 조건을 만족하는 알고리즘은 존재하지 않는다. 그러므로 transition overhead  $\delta$  및 dummy bit의 영향을 고려하면, 시스템의 time asleep rate는  $1 - (\rho + \xi)$ 로 표현 할 수 있다. 여기서  $\xi$ 는 시스템에서 천이 횟수 및 dummy bit의 길이에 관련된 변수이다.

그림 3에서 보면, ingress 라우터에서 입력 패킷이 목적지 별로 분류되어 버스트 패킷으로 재구성 되어 전송될 때, active 및 idle 구간으로 구분되어서 core 링크 속도로 전달된다. 따라서 time asleep rate는 버퍼링 구간의 active 비율과 edge/core 링크 비의 적(곱)을 1에서 뺀 값으로 주어진다.

본 방식에서 ingress 라우터 입력에서 egress 라우터 출력까지 각 경로의 end-to-end 지연은 버퍼링 구간  $B(i)$ 에서 발생하는 버퍼링 지연, 버스트 패킷의 중계 라우터의 queueing 지연, 각 라우터의 프로세싱 지연, 전송 지연의 합이다. 프로세싱 지연과 전송지연은 일정하고 작으므로 무시한다. 중계 라우터의 입력 패킷은 각 ingress 라우터의 버퍼링 구간  $B(i)$  동안에 수집한 패킷들로 구성된 버스트 스트림 패킷이다. 그러므로 각 중계 라우터에 입력되는 버스트 스트림 패킷은 발생률

$\lambda (= 1/B(i))$ , 평균 길이  $h$ 인 Poisson 분포로 가정한다. 중계 라우터는 각각 독립적이라고 가정하면, IP 네트워크에서 평균 지연은 M/M/1 모델로 근사화 하여 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$D_{mean} = B_{packet} + \sum_{i=1}^N EW_i = B_{packet} + \sum_{i=1}^N \frac{\rho_i}{\lambda_i(1-\rho_i)} \quad (3)$$

여기서  $\lambda_i$  및  $h_i$ 는 라우터 i에서 버스트 패킷의 발생률과 평균 길이를 의미하며,  $\rho_i = \lambda_i h_i$ 는 라우터 i의 입력 부하가 된다.  $B_{packet}$ 는 ingress 라우터에서 버스트 스트림 패킷으로 재구성하기 위해 버퍼링 구간에서 소모한 시간을 나타내며, 이 영향은 각 경로에서 단 한번만 발생한다.

본 방식에서는 역함수를 이용하여 동적으로  $B(i)$  구간을 결정하므로, ingress 라우터에 낮은 트래픽이 인가될 때,  $B(i)$ 는 높은 트래픽에 비해 상대적으로 길게 된다. 따라서 낮은 트래픽이 인가될 때, 버퍼링 구간  $B(i)$ 의 영향에 의한 지연은 더 길어지지만, 중계 라우터의 queueing 지연은 식(3)의 두 번째 항에 의해 높은 입력 트래픽에 비해 상대적으로 낮다. 그리고 낮은 트래픽 상황에서 길이가 긴 버스트 트래픽을 만들기 때문에, 네트워크 내의 transition time  $\delta$ 을 줄여 에너지 절약 효과를 기대 할 수 있다. 반면에 ingress 라우터에 높은 트래픽이 인가되면, 버퍼링 기간  $B(i)$ 는 상대적으로 줄어들지만, 중계 라우터에 의한 queueing 지연은 길어진다. 따라서 입력 부하의 차이에 대한 지연 효과를 어느 정도 상쇄 할 수 있다. 결론적으로 말하면 입력 부하가 클 때는 버퍼링에 의한 지연 특성을 개선하고, 입력 부하가 낮을 때는 네트워크에서 active /idle의 천이 횟수를 줄여 에너지를 절약 할 수 있다.

## IV. 특성 분석 및 평가

### 1. 시뮬레이션 네트워크 모델 및 방법<sup>[7]</sup>

역함수를 이용한 적응적 버퍼링 구간의 결정에 의한 최선의 함수 및 에너지 절약 특성을 분석하기 위해, 그림 6과 같은 간단한 시뮬레이션 네트워크 모델을 구성하였다.

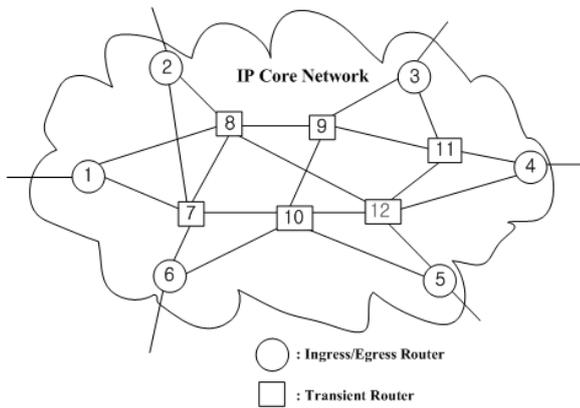


그림 6. 시뮬레이션 네트워크 모델  
Fig. 6. Simulation network model.

본 실험에서 식(2)와 같은 2개의 함수를 적용한 경우와 버퍼링 주기가 일정한 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 일반 조건은 문헌<sup>[7]</sup>과 동일하다. 그림에서  $\alpha : \beta : \gamma = 0.6 : 0.3 : 0.1$ 로 하였으며, 본 실험에서는 입력 트래픽이 각 출력으로 균등하게 분배된다고 가정하였다.

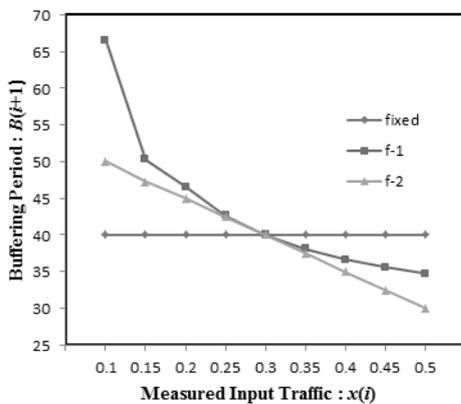


그림 7. 입력 트래픽에 따른 함수 별 버퍼링 구간  
Fig. 7. Buffering period of each function according to mean input traffic.

버퍼링 구간 결정을 위한 함수의 특성은 그림 7에 나타냈으며, 함수 f-1은 식(2-a)를 의미하며, 함수 f-2는 식(2-b)를 의미한다. 그리고 fixed의 의미는 입력 트래픽 량에 관계없이 버퍼링 구간이 항상 일정한 경우이다.

그림 7의 가로축은  $B(i+1)$  이전 버퍼링 구간에서 측정된 평균 트래픽 량  $x(i)$  이며, 세로축은 버퍼링 구간  $B(i+1)$ 이며, 단위는 msec이다. 트래픽 발생기는 4개의 ingress 라우터(그림 6의 1, 2, 3, 4)에 접속시켜 중계 라우터 12를 경유하여 egress 라우터 5를 지나가도록 설정하였다. 실험 결과는 네트워크 내 중계 노드(라우

터 12)에서 time asleep 비율을 측정하였다.

End-to-end 평균 지연은 4개의 ingress 라우터에서 중계 라우터 12를 경유하여 egress 라우터 5의 출력 단에서 측정한 각 경로의 값을 측정하여 평균하였다. 시뮬레이션은 ns-2을 사용하였다.

## 2. 성능 분석 및 평가

입력 트래픽 량에 따라 버스트 패킷 구성을 위한 버퍼링 구간  $B(i)$ 을 적응적으로 결정하여 에너지 절약 효과를 최대화 하고자 한다. 이때 에너지 효율은 특정 중계 라우터의 idle 구간의 시간 비율 즉 time asleep rate를 측정하였으며, 식(4)와 같이 나타낸다.

$$Time\ Asleep\ Rate(\%) = \frac{idle\ state}{idle\ state + active\ state} \quad (4)$$

End-to-end 평균 지연은 각 flow의 지연을 측정값의 평균으로 나타낸다. 시뮬레이션 모델에서 입력 트래픽을 CBR 모드로 발생 시키고, 역 지수함수 및 역 선형함수를 이용하여 버퍼링 구간  $B(i)$ 을 결정하는 방식에서 에너지 절약 효율을 그림 8에 나타냈다. 가로축은 ingress 라우터에 가해지는 CBR 모드의 평균 입력 부하이며, 세로축은 식(4)로 주어지는 time asleep rate를 나타냈다. 이때 dummy bit의 길이는 0.96m sec로 하였다.

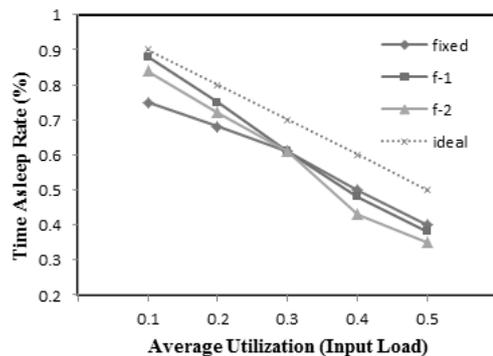


그림 8. CBR 트래픽 입력에서 에너지 절약 특성 ( $\delta = 0.96msec$ )

Fig. 8. Characteristics of energy saving for CBR input traffic ( $\delta = 0.96msec$ ).

그림 8에서  $B(i)$ 가 40msec로 일정한 경우를 fixed로 표시하였으며, f-1 및 f-2는 입력 부하에 따라  $B(i)$ 가 그림 7과 같이 적응적으로 변경되는 함수이다. Ideal 의

미는 이상적으로 얻을 수 있는 최대 time asleep rate 즉  $1-\rho$ 을 의미한다.

입력 부하가 적은 경우( $\rho=0.1, 0.2$ ), 함수 f-1을 이용하여  $B(i)$ 를 결정하는 방식이 다른 두 방식 보다 에너지 절약 효율이 우수함을 알 수 있다. 이는 입력 트래픽량이 적으면, 버스트 스트림 패킷 구성을 위해 패킷을 모우는 시간을 늘리는 방식이 에너지 절약 효율 면에서 우수하다. 즉 active/idle 간의 천이 횟수가 다른 2 방식 보다 줄어들어 asleep rate을 향상시키고 있음을 알 수 있다.

입력 부하  $\rho$ 가 0.3 이상인 경우, 버퍼링 구간  $B(i)$ 의 크기는 fixed > f1 > f2의 순이므로, 에너지 절약 효과도 같은 순으로 주어진다. 이러한 현상도 active/idle 간의 천이 횟수에 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그리고 입력 트래픽이 클수록 ideal 한 경우와 간격이 조금씩 더 벌어짐을 알 수 있다. 이는 상대적으로 천이 횟수가 증가한다는 것을 의미한다.

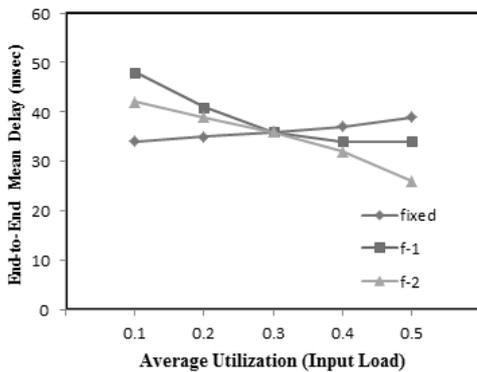


그림 9. CBR 트래픽 입력에서 평균 지연 특성 ( $\delta=0.96msec$ )  
Fig. 9. Characteristics of end-to-end mean delay for CBR input traffic ( $\delta=0.96msec$ ).

그림 9는 그림 8과 동일 조건에서, 각 flow에 대한 end-to-end 지연의 평균값을 나타냈다. 그림 9에서 지연 특성을 보면, 버퍼링 구간  $B(i)$ 에서 버스트 스트림 패킷을 구성하기 위해 트래픽을 모우는 시간과 버스트 스트림 패킷 구성에 필요한 시간이 큰 비중을 차지함을 볼 수 있다.

그 이유는 각 flow의 경로는 ingress 라우터와 1~3 개의 중계 라우터만을 경유하여 egress 라우터를 통과하기 때문이다. 그러므로 여러 중계 라우터를 통과하는 실제 네트워크에서는 식(5)의 두 번째 항이 증가하여, 상대적으로 높은 입력 부하에서 지연이 더 증가할 것이다. 따라서 전체적으로 지연 변동의 폭이 줄게 된다. 그

러므로 f1과 같은 역 지수 함수를 적용하여 버퍼링 구간을 설정하는 방식이 지연 변이 관점에서 유리할 것으로 추정할 수 있다.

다음에는 EXP 분포 입력 트래픽 패턴에 대해 에너지 절약 효율과 평균 지연 특성을 그림 10과 그림 11에 나타냈다. 조건은 그림 8과 그림 9는 동일하며, 차이점은 입력 트래픽 패턴이다.

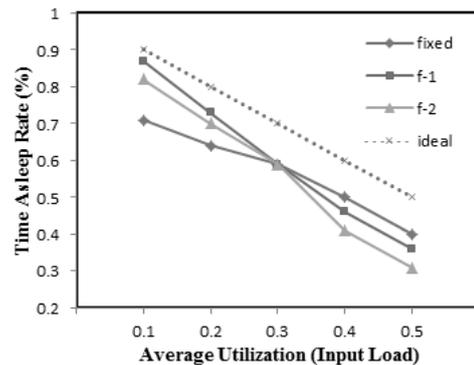


그림 10. EXP 트래픽 입력에서 에너지 절약 특성 ( $\delta=0.97msec$ )  
Fig. 10. Characteristics of energy saving for EXP input traffic ( $\delta=0.97msec$ ).

그림 8과 그림 10의 경향은 비슷하지만, asleep rate는 EXP 입력 트래픽 패턴보다 CBR 입력 트래픽 패턴이 약간 우수함을 알 수 있다. 본 방식은 입력 트래픽 패턴의 유무에 관계없이 ingress 라우터에서 버스트 스트림 트래픽으로 재구성하여 전달하기 때문에, 중계 라우터에서 asleep rate에는 거의 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 그림 11에서 보면, end-to-end 평균 지연 특성도 CBR 트래픽 입력의 지연 특성보다 약간 증가함을 알 수 있다.

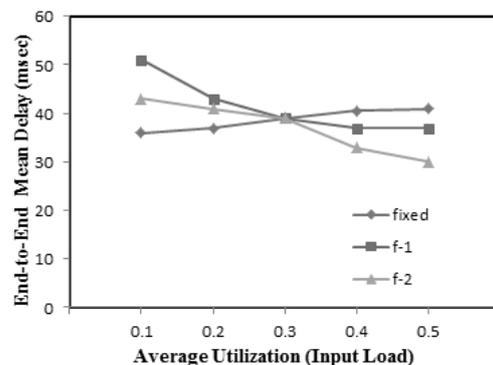


그림 11. EXP 트래픽 입력에서 평균 지연 특성 ( $\delta=0.96msec$ )  
Fig. 11. Characteristics of end-to-end mean delay for EXP input traffic ( $\delta=0.96msec$ ).

본 방식에서 입력 트래픽 패턴에 따른 에너지 절약 특성을 분석하기 버퍼링 구간  $B(i)$ 는  $40msec$ 로 일정하게 하고, 입력 부하별로 측정하여 그림 12에 나타냈다. 그림 12에서 보면, 입력 트래픽 유형별로 asleep rate는 약간의 차이가 있다. 즉 ingress 라우터에서 버스트 스트림 트래픽으로 재구성할 때, 입력 트래픽 패턴에 따라 버스트 스트림 패킷의 길이의 차이 때문에 중계 라우터에서 천이 횟수의 변화에 의해 발생한 것으로 추정된다. 입력 유형별로 보면,  $CBR > PARETO > EXP$  트래픽 순으로 asleep rate가 높게 나타나고 있다.

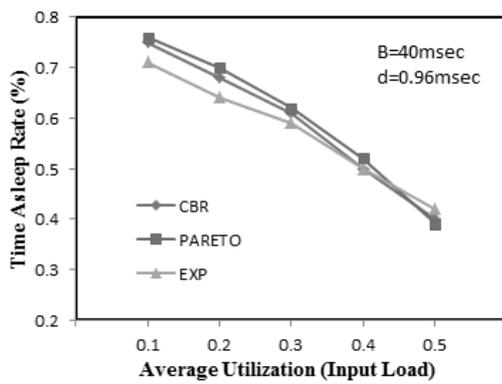


그림 12. 다양한 트래픽 입력에서 에너지 절약 특성 ( $\delta = 0.97msec, B = 40msec$ )

Fig. 12. Characteristics of energy saving for various input traffic ( $\delta = 0.97msec, B = 40msec$ ).

본 방식에서 제시한 역함수를 이용하여 동적 버퍼링 구간을 결정하면 asleep rate가 높아지므로, 에너지 절약 효과는 고정적으로 할당하는 방법보다 개선될 수 있다. 그리고 역함수 선택은 특정 입력 트래픽 값 이상에서는 완만한 특성을 갖고, 낮은 입력 트래픽에서는 버퍼링 구간을 증가 시킬 수 있는 특성의 함수가 효율적이라는 것을 확인하였다. 그 예로 역 지수 함수인  $f1$  형태가 다른 함수보다 우수함을 확인 하였다.

## V. 결 론

IP 네트워크에서 에너지 절약이 큰 이슈로 등장하면서, 다양한 에너지 절약 방법이 연구되고 있다. 본 논문은 IP core 네트워크의 ingress 라우터가 입력 패킷을 버스트 스트림 유형으로 재구성하여 전달하는 적응적 버퍼링 및 버스트 방식에서 버퍼링 구간 결정 방법에 대해 검토하였다.

본 논문에서 버퍼링 구간  $B(i)$ 은  $B(i)$  이전 구간의

입력 평균 트래픽 량에 일정 비율의 가중치를 적용한 값을 기반으로 결정하는 적응적 버퍼링 구간 결정 방안을 제시하였다. 그리고 버퍼링 구간 결정에서 역 지수 함수를 이용하는 것이 에너지 절약 관점에서 효율적임을 분명히 하였다. 본 논문에서 적용한 함수는 역 지수 함수와 역 선형함수, 그리고 고정 값이다. 이 3 종류에 대해 입력 트래픽 유형을 달리하면서 time asleep rate와 end-to-end 지연 특성을 분석하였다.

Ingress 라우터의 입력 트래픽이 적을 경우, 버퍼링 구간을 늘려서 가능한 버스트 스트림 형 패킷의 길이를 늘려서 중계 라우터에서 가능한 active/idle 간 천이 횟수를 줄여서 asleep rate 높이는 것이다. 또 입력 트래픽 량이 클 경우, 버퍼링 구간을 줄여 버퍼링 구간에 의한 지연을 줄이고, 반면에 버스트 트래픽 출현 빈도가 높기 때문에 연속적으로 중계 라우터에 도착할 확률도 높게 되어, idle/active간 천이 횟수를 줄여 asleep rate가 높이는 것이다.

이 목적을 실현하기 위해 적합한 버퍼링 구간 결정에 역 지수함수가 가장 적합하다는 것을 확인하였다. 역 지수함수를 사용할 경우, ingress 라우터의 입력 트래픽 패턴에 따른 asleep rate는 약간의 차이만 있음을 알았다. 그 이유는 ingress 라우터에서 패킷의 입력 유형을 버스트 스트림 형으로 변경하였기 때문으로 판단된다.

특히 본 논문은 버퍼링 구간을 역 지수 함수를 이용하여 적응적 결정 방식을 사용하면, time asleep rate 개선과 end-to-end 지연 변이를 감소시킬 수 있음을 분명히 하였다.

금후 역함수 입력으로 이용될 가중치 적용 방법에 대해 좀 더 구체적으로 연구 할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] Global Action Plan Report, An inefficient truth, <http://www.globalactionplan.org.uk/2007>.
- [2] Smart 2020, Enabling the Low-Carbon Economy in the Information Age, The Climate Group, London, U.K., 2008. (<http://www.smart2020.org>).
- [3] Tiago Silva and Artur Arsenio, "A Survey on Energy Efficiency for the Future Internet," International Journal of Computer and Communication Engineering (IJCCE), Vol. 2, No. 5, pp. 589-596, September 2013.
- [4] Yi Zhang, Pulak Chowdhury, Massimo Tornatore, and Biswanath Mukherjee, "Energy Efficiency in Telecom Optical Networks," IEEE Communications

- Surveys & Tutorials, Vol. 12, No. 4, pp. 441-458, 2010.
- [5] Raffaele Bolla, Roberto Bruschi, Franco Davoli, and Flavio Cucchietti, "Energy Efficiency in the Future Internet :A Survey of Existing Approaches and Trends in Energy-Aware Fixed Network Infrastructures," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 13, No. 2, pp. 223-244, 2011.
- [6] Aruna Prem Bianzino, Claude Chaudet, Dario Rossi, Jean-Louis Rougier, "A Survey of Green Networking Research," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 14, No1, First Quarter pp. 3-20, 2012.
- [7] Chimoon Han, "Adaptive Buffer and Burst Scheme and Its Characteristics for Energy Saving in Core IP Networks," Journal of IEK, Vol. 49, No.10, pp. 34-42, October 2012.
- [8] 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, Vol. 9, No.3, pp. 254-267, September 2012.
- [9] Gupta, M. and Singh, S., "Dynamic Ethernet Link Shutdown for Energy Conservation on Ethernet Links," in proc. of IEEE ICC'07, pp. 24-28, June 2007.
- [10] M. Nishan Dharmaweera, Rajendran Parthiban, and Y. Ahmet, Sekercio'glu, "Toward a Power-Efficient Backbone Network: The State of Research," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 17, No1, First Quarter 2015.
- [11] Filip Idzikowski, Luca Chiaraviglio, Antonio Cianfrani, Jorge L'opezVizca'no, Marco Polverini, Yabin Ye, "A Survey on Energy-Aware Design and Operation of Core Networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Issue 99, pp. 1453-1499, December 2015.
- [12] Juan Camilo Cardona Restrepo, Claus G. Gruber, and Carmen Mas Machuca, "Energy Profile Aware Routing," in proc. of IEEE ICCW, pp. 1-5, June 2009.
- [13] Bianzino A.P., Chaudet C., Larroca F., Rossi D. and Rougier J., "Energy-aware routing in IP networks: A reality check," in proc. of IEEE GLOBECOM Workshops, December 2010.
- [14] Yusik Seo, Chimoon Han "Energy Saving Characteristics of OSPF Routing based on Energy Profiles," Journal of KICS, vol. 40, No. 07, pp 1296-1308, July 2015.
- [15] Rosario G. Garroppo, Stefano Giordano, Gianfranco Neucioni, and Michele Pagano, "Energy Aware

- Routing based on Energy Characterization of Devices: Solutions and Analysis," in proc. of 2011 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), pp. 1-5, June 2011.
- [16] Luca Chiaraviglio, Antonio Cianfrani, Marco Listanti, Luigi Mignano, Marco Polverini, "Implementing Energy-aware Algorithms in Backbone Networks: a Transient Analysis," in proc. of 2015 IEEE ICC, pp. 142-148, June 2015.

저 자 소 개



한 치 문(평생회원)

The University of Tokyo, 전기공학 전공, 공학박사

1977년 2월~1983년 3월 KIST 연구원

1983년 4월~1997년 2월 ETRI 선임 및 책임 연구원, 교환 기술연

구단 계통 연구부장 역임

1997년 3월~현재 한국외국어대학교 전자공학과 교수

<주관심분야 : 에너지 saving 네트워크, 차세대 인터넷, 센서 네트워크, 네트워크 보안, 네트워크 설계 및 성능 분석 등>