

# 광 버스트 스위칭 네트워크에서의 에너지 절감을 위한 상태천이결정 분석 모델

강동기\*, 윤찬현\*, 김영천\*\*

\*한국과학기술원 전기 및 전자 공학과

\*\*전북대학교 컴퓨터 공학과

e-mail : dkkang@kaist.ac.kr, chyoun@kaist.ac.kr  
yckim@jbnu.ac.kr

## An Analytical Model of Transition Decision for Energy Saving in Optical Burst Switching Network

Dong-Ki Kang\*, Chan-Hyun Youn\*, Young-Chon Kim\*\*

\*Dept of Electrical Engineering, KAIST

\*\*Dept of Computer Engineering, Chonbuk National University

### 요 약

최근에 녹색 IT 의 일환으로 IT 장비에서 소비하는 에너지 크기를 감소시킴으로써 발생하는 탄소 발생률을 줄이고, 장비 운용 비용을 낮추는 연구가 각광을 받고 있다. 그에 따라 본 논문에서는 차세대 통신망의 강력한 후보로 예상되는 광 버스트 스위칭 망에서 에너지 절감 기법 중 하나인 저 전력 대기 방식을 사용할 때 발생하는 에너지 소비량에 대한 수식 모델을 제안한다. 제안된 수식 모델에서는 입력되는 트래픽 패턴을 고려하여 가져갈 수 있는 상태천이확률을 구하고 이에 따른 에너지 소비량을 예측해 볼 수 있다.

### 1. 서론

네트워크 속도가 크게 증가하고 인터넷에서의 고화질 동영상, 이미지, 음악과 같은 대용량 콘텐츠 및 이를 제공하기 위한 웹 서비스 기술의 복잡성의 증가로 인하여 전세계적으로 트래픽량이 급증하고 이를 효과적으로 감당하기 위하여 필요한 네트워크 장치의 성능도 비례적으로 발전됨에 따라 네트워크 장치에서 발생하는 에너지 소비량도 크게 증가하고 있다.

폭발적으로 증가하는 트래픽을 감당하기 위하여 차세대 통신망의 강력한 후보로 예상되는 광 버스트 스위칭 (Optical Burst Switching : OBS) 망은 기존의 광 회선 스위칭 (Optical Circuit Switching : OCS) 망과 광 패킷 스위칭 (Optical Packet Switching : OPS) 망의 장점을 결합시킨 망으로써 데이터 전송 시 사용되는 프레임의 단위는 버스트 (Burst) 이다.

버스트를 생성하기 위해서 OBS 망의 에지 라우터 (Edge Router) 의 Receiver (Rx) 에서는 버스트 어셈블 알고리즘을 통하여 입력되는 패킷을 병합하는데, 병합하는 시간 동안 Transmitter (Tx) 는 아무런 동작을 수행하지 않는 유힬 (Idle) 상태를 가진다. 일반적으로 Tx 의 에너지 소비량은 Rx 의 10 배의 크기를 가지며, 에지 라우터 에너지 소비량의 대부분을 차지하므로 Idle 시간 동안 Tx 를 저 전력 대기 (Low Power Idle : LPI) 상태로 만듦으로써 장비의 에너지 소비량을 감소시킬 수 있다.

그러나 입력되는 트래픽의 양의 크기가 일정 이상 증

가하게 되면 LPI 방법을 사용할 때 오히려 에너지 소비가 더 증가하는 오버헤드가 발생할 수 있으며, 이에 따라 현재 입력되는 트래픽의 양을 고려하여 LPI 방법을 사용하지 유무를 결정하는 알고리즘이 연구 [4] 에서 제안된 바 있다.

본 논문에서는 현재 트래픽의 양을 관측하여 LPI 방법을 사용할 지 여부를 계산할 수 있는 확률 모델을 제안하고 OPNET Modeler 를 이용하여 검증하였다. 본 논문에서 제안하는 확률 모델 기본 개념을 더욱 확장하여 보다 다양한 트래픽 패턴에서의 달성 가능한 에너지 절감율을 구할 수 있는 수식 모델을 제안할 수 있을 것이다.

### 2. OBS 망에 대한 기존 연구

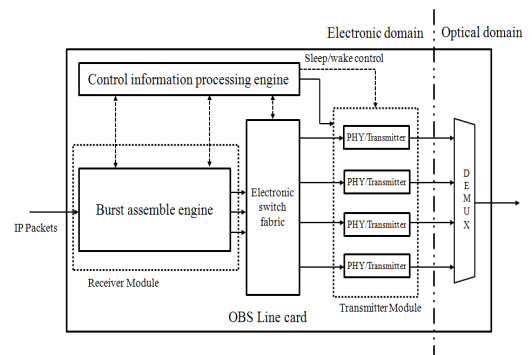


그림 1. OBS 망 에지 라우터 구조

그림 1 에서는 OBS 망의 에지 라우터 구조를 보인다.

패킷이 Rx module 에 입력되고 Burst Assemble Engine 에서 병합되어 버스트로 생성되고 Tx module 에 삽입되어 링크로 전송되는데, 서론에서 언급한 바와 같이 Tx module 은 Rx module 에서 버스트를 생성하는 동안 Idle 상태를 가진다. 입력되는 트래픽 패턴이 지수적인 분포 (Exponential Distribution) 을 따른다고 할 때 버스트 생성 간격 시간은 다음과 같다.

$$t_{avg\_burst\_i} = t_{avg\_pk\_i} + T_a \quad (1)$$

이때  $T_a$  는 버스트 어셈블 시간을 의미하며, 지수적 분포에서의 평균 패킷 도달 간격 시간은 다음과 같다.

$$t_{avg\_pk\_i} = \int_0^{\infty} x \cdot \lambda_r e^{-\lambda_r x} dx = \frac{1}{\lambda_r} \quad (2)$$

$\lambda_r$  는 단위 시간동안에 입력되는 평균 패킷 입력 개수이며 이에 따라 평균 수면 시간 및 총 수면 시간은

$$t_{avg\_sleep} = \frac{1}{\lambda_r} + T_a - \frac{L_{pk}(1 + \lambda_r T_a)}{C} \quad (3)$$

$$t_{total\_sleep} = t_{avg\_sleep} \times COUNT_{burst} \quad (4)$$

와 같다 [2].

(1) 식을 기반으로 버스트 도달 간격 시간의 PDF 함수를 구해보면,

$$\begin{aligned} t_{pk\_i} + T_a &= t_{burst\_i} \\ t_{pk\_i} &= t_{burst\_i} - T_a \\ f(t_{pk\_i}) &= \lambda_r e^{-\lambda_r t_{pk\_i}} = \lambda_r e^{-\lambda_r (t_{burst\_i} - T_a)} \\ f(t_{burst\_i}) &= \lambda_r e^{-\lambda_r (t_{burst\_i} - T_a)} \\ f(x) &= \lambda_r e^{-\lambda_r (x - T_a)} \end{aligned} \quad (5)$$

와 같으며, 이때 Tx module 로 입력되는 버스트를 처리하는데 걸리는 서비스 시간의 PMF 함수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} t_{burst\_s} &= \frac{L_{pk}(1 + COUNT_{pk\_assem})}{C} \\ COUNT_{pk\_assem} &= \frac{t_{burst\_s} \cdot C}{L_{pk}} - 1 \\ f(COUNT_{pk\_assem}) &= \frac{e^{-\lambda_a \lambda_a COUNT_{pk\_assem}}}{COUNT_{pk\_assem}!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{e^{-\lambda_a \lambda_a \frac{t_{burst\_s} \cdot C}{L_{pk}} - 1}}{\left(\frac{t_{burst\_s} \cdot C}{L_{pk}} - 1\right)!} \\ f(t_{burst\_s}) &= \frac{e^{-\lambda_a \lambda_a \frac{t_{burst\_s} \cdot C}{L_{pk}} - 1}}{\left(\frac{t_{burst\_s} \cdot C}{L_{pk}} - 1\right)!} \end{aligned} \quad (6)$$

결국 총 상태전이횟수를 구하는 식을 구하기 위해

$$\begin{aligned} P(COUNT_{pk\_assem} < n) & \quad n : real number \\ &= P(COUNT_{pk\_assem} = 0) + P(COUNT_{pk\_assem} = 1) \\ &+ \dots + P(COUNT_{pk\_assem} = \lceil n \rceil - 1) \\ P(COUNT_{pk\_assem} = N) &= \begin{cases} \frac{e^{-\lambda_a \lambda_a N}}{N!} & \text{if } N \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ n &= \frac{(ki - x + T_a - T_r)C}{L_{pk}} - 1 \end{aligned}$$

을 정의하고 수면 시간이  $x$  보다 큰 확률을 구하면,

$$\begin{aligned} P(t_{sleep} > x) &= P(t_{burst\_i} - (t_{burst\_s} + T_r) > x) \\ &= 1 - P(t_{pk\_i} \leq x - T_a + t_{burst\_s} + T_r) \\ &\approx 1 - \sum_{i=0}^{\infty} P(t_{pk\_i} = ki) P(ki \leq x - T_a + t_{burst\_s} + T_r) \\ &= 1 - \sum_{i=0}^{\infty} P(t_{pk\_i} = ki) (1 - P(x - T_a + t_{burst\_s} + T_r < ki)) \\ &= 1 - \sum_{i=0}^{\infty} P(t_{pk\_i} = ki) \left(1 - P(x - T_a + \frac{L_{pk}(1 + COUNT_{pk\_assem})}{C} + T_r < ki)\right) \\ &= 1 - \sum_{i=0}^{\infty} P(t_{pk\_i} = ki) \left(1 - P(COUNT_{pk\_assem} < \frac{(ki - x + T_a - T_r)C}{L_{pk}} - 1)\right) \\ &= 1 - \sum_{i=0}^{\infty} P(t_{pk\_i} = ki) \left(1 - \sum_{j=0}^{\lceil n \rceil - 1} \left(\frac{e^{-\lambda_a \lambda_a^j}}{j!}\right)\right) \\ &\approx 1 - \sum_{i=0}^{\infty} (\lambda_r e^{-\lambda_r ki} \cdot k) \left(1 - \sum_{j=0}^{\lceil n \rceil - 1} \left(\frac{e^{-\lambda_a \lambda_a^j}}{j!}\right)\right) \end{aligned}$$

그러므로, 수면 시간이  $x$  보다 큰 확률은

$$P(t_{sleep} > x) \approx 1 - \sum_{i=0}^{\infty} (\lambda_r e^{-\lambda_r ki} \cdot k) \left(1 - \sum_{j=0}^{\lceil n \rceil - 1} \left(\frac{e^{-\lambda_a \lambda_a^j}}{j!}\right)\right) \quad (7)$$

이며 수면 시간이  $x=0$  보다 클 때 상태전이를 수행할 수 있다고 결정할 수 있으므로 총 상태전이 횟수를 구하는 식은,

$$\begin{aligned} N_{transition} &= COUNT_{burst} \times P(t_{burst\_i} - (t_{burst\_s} + T_r) > x) \\ &= COUNT_{burst} \times P(t_{sleep} > 0) \end{aligned} \quad (8)$$

과 같다.

상태전이횟수  $N_{transition}$  이 크면 클수록 수면 모드로 들어갈 수 있는 구간 수가 증가하는 것이며 이는 보다 많은 에너지 절감을 달성할 수 있음을 의미한다.

### 3. 시뮬레이션 결과

parameter	value
$T_a$	0.001 sec
$L_{pk}$	12000 bits(=1500 Bytes)
link capacity $C$	1 Gbps
$T_{tr}$	0, 0.0005 sec
Traffic generation	Exponential Distribution
Analysis approaches	Numerical method Simulation

표 1. OPNET시뮬레이션 파라미터

본 논문에서 제안한 상태천이횟수 결정 분석 모델을 검증하기 위하여 OPNET Modeler 를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위해 사용한 파라미터는 표 1 에서 나타난다.  $T_a$  는 고정 값이며,  $L_{pk}$  는 인터넷 프레임의 평균 크기인 1500 Bytes 로 정의하였다. 상태천이시간  $T_{tr}$  은 네트워크 장치의 성능에 의하여 결정되는 값이며, 상태천이시간이 존재하지 않는  $T_{tr} = 0$  sec 인 경우와 상태천이시간이 존재하는  $T_{tr} = 0.0005$  sec 실제 경우를 반영한 경우를 구분하였다. 트래픽 생성기는 지수 분포에 기반을 두어 패킷을 생성하는 단일 노드로 가정하였다.

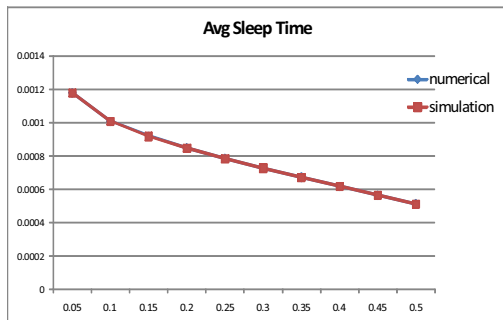


그림 2. 수식과 시뮬레이션의 평균 수면 시간 비교

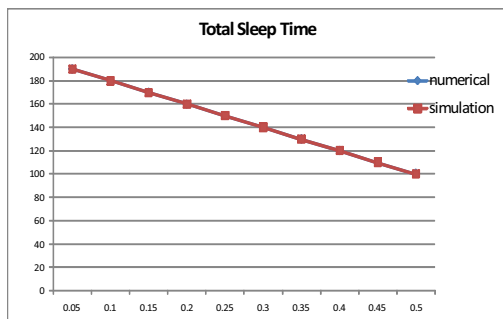


그림 3. 수식과 시뮬레이션의 총 수면 시간 비교

그림 2 와 3 은 상태천이시간이 0 인 이상적인 LPI 모델에서의 결과 그래프를 비교하였다.

그림 2에서는 수식과 시뮬레이션을 이용하여 구한 평균 수면 시간의 그래프를 보여준다. 부하가 증가할수록 평균 수면시간은 감소하며 두 그래프의 위치와 모양이 거의 일치함을 확인할 수 있다. Tx module 의 총 수면 시간은 그림 3 에서 나타나며 가로축의 단위는 (sec)이다. 총 수면 시간은 부하가 증가할수록 선형적으로 감소하는 그래프를 보여주며 역시 수식과 시뮬레이션의 결과가 일치한다.

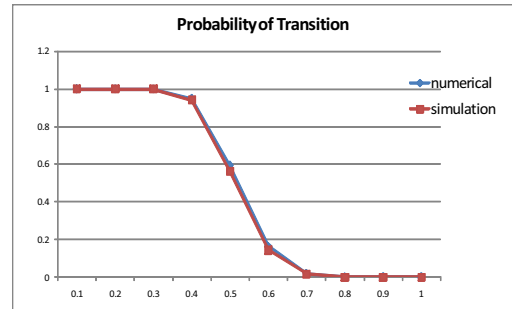


그림 4. 수식과 시뮬레이션의 상태천이확률 비교

그림 4 는 수식과 시뮬레이션을 통해 구한 상태천이확률 값을 부하 0.1-1 에서의 결과 그래프로 보여준다. 상태천이시간  $T_{tr}$  이 0.0005 (sec)이므로 실제 LPI 모델에서의 결과를 반영할 수 있다.

그림 4 에서 상태천이확률 그래프는 부하 0.3 까지 일정하다가 0.3 부터 0.7 까지는 급격히 감소되고 이후로부터는 거의 0 에 가까운 수치를 보여준다. 이는 부하가 일정 지점을 넘어서게 되면 상태천이시간이 수면시간의 크기를 초과하는 경우가 증가하여 수면 모드로 들어가기 위한 상태천이를 수행하는 횟수가 감소하기 때문이다. 상태천이확률을 구하는 수식에 의한 결과와 시뮬레이션을 수행한 결과 그래프는 거의 일치함을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 장비의 에너지 절감을 위해 저 전력 대기 (LPI) 기법을 사용하는 광 버스트 스위칭 (OBS) 망에서 입력되는 트래픽 패턴에 따라 에너지 절감을 달성할 수 있는 정도를 분석하기 위한 수식 모델을 제안하고 OPNET Modeler 를 이용하여 검증하였다. 제안한 모델에서는 수면 모드를 수행할 수 있을지의 여부를 결정하는 상태 천이의 횟수를 계산하여 에너지 절감율을 예측하였으며, 시뮬레이션 결과와 제안된 수식 모델의 결과가 일치함을 보임으로써 유효성을 확인하였다.

본 모델은 지수적인 트래픽 패턴 및 고정된 패킷 크기를 가정하여 제안한 모델로서 향후 연구에서는 실제적인 인터넷 트래픽 패턴을 반영할 수 있는 다양한 모델을 적용할 수 있는 일반적인 형태를 가지는 모델로 확장할 것이다.

### Acknowledgment

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-클라우드 Collaboration 기술 사업과 BK21 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-0020522)

### 참고문헌

- [1] D. Kang, W. Yang, R. Xie, Y. Kim, "Impact of Traffic Patterns and Burst Assembly on Energy Consumption in OBS networks," in Proceedings of the 12th UKSIM, pp.609-614, March 2010.
- [2] D. Kang, W. Yang, J. Lee and Y. Kim "Dynamic Time based Burst Assemble Scheme to Reduce Energy Consumption in OBS Network with Low-Power Idle," in Proceedings of the APCC, pp210~214, Nov. 2010.
- [3] 강동기, 양원혁, 이재영, 김영천, "수면 모드를 사용하는 OBS 망에서 트래픽 패턴 및 버스트 어셈블이 에너지 절감과 지연시간에 미치는 영향 분석", 한국 통신 학회 논문지, 제.36권 제2호, pp.111-119, 2011. 2
- [4] D.Kang, W. Yang, J. Jung, Y. Kim "Wake Transition Decision Algorithm for Energy Saving in OBS Network with LPI" in Proceedings of the ICNC, 2012.