

광 버스트 교환 망의 성능향상을 위한 버스트 전송률 제어 방식

종신회원 이 수 경*, 준회원 김 래 영**

Burst Sending Rate Control Scheme to Improve the Performance of Optical Burst Switching Networks

Su kyoung Lee* *Regular Member*, Lae young Kim** *Associated Member*

요 약

광 버스트 교환 망에서 contention으로 인한 버스트의 손실은 망 성능에 중요한 영향을 끼친다. 많은 contention resolution 방식들이 제안되었지만 이들 중의 대부분은 contention을 방지하기 보다는 주로 수동적인 형태로 contention을 해결하는데 주력하고 있다. 본 논문에서는 망 내 트래픽 부하와 버스트 손실에 따라 버스트의 전송률을 제어하는 능동적인 contention avoidance 방식을 제안한다. 제안한 방식이, 기존의 광 버스트 전송률 제어 방식 및 버스트 전송률 제어를 제공하지 않는 일반적인 광 버스트 교환 모델과 비교하여 버스트 손실률이 향상됨과 동시에 처리율(throughput)도 보장함을, 시뮬레이션을 통해 입증한다.

Key Words : Optical Burst Switching(OBS); burst loss; contention avoidance; burst sending rate control; traffic load.

ABSTRACT

In Optical Burst Switching(OBS) networks, burst loss due to contention significantly affects the performance of networks. Even if many contention resolution schemes have been proposed, most of them have focused mainly on passively resolving contentions instead of avoiding them. In this paper, we propose an active contention avoidance scheme which controls a burst sending rate according to traffic load and burst loss in a network. Simulation results show that the proposed scheme can more effectively reduce the burst loss rate compared to existing OBS model with and without burst sending rate control, and at the same time guarantees throughput.

I. 서 론

전 세계적으로 인터넷 트래픽이 폭발적으로 증가함에 따라 기존의 전자식 스위치(electronic switch)와 전송기술은 사용자의 요구를 만족시키는데 한계에 다다르게 되었다. 따라서, 급증하는 인터넷 사용자를 효과적으로 수용하기 위해서는 광 통신 기술과 인터넷 기술을 결합하는 광 인터넷 기술이 필수적이다

이에 중간 노드에서 광전 변환을 제거함으로써, 광 대역폭을 제공하며 방대한 양의 데이터를 빠르게 처리할 수 있는 광 패킷 교환(OPS: Optical Packet Switching) 기술이 유망한 해결책으로 대두되고 있으나, 광 버퍼의 부재 등 광소자 측면에서 극복해야 할 기술적 제약들이 존재하는 바 현재로서는 구현이 어려운 실정이다. 따라서 OPS를 현실화하기 위한 과도 기적 대안으로 광 버퍼를 필요로 하지 않는 광 버스트

* 세종대학교 정보통신대학원 ** 연세대학교 컴퓨터과학과

논문번호 : KICS2004-10-236, 접수일자 : 2004년 10월 14일

**이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-003-D00248).

트 교환(OBS: Optical Burst Switching)^[1] 기술이 제안되었으며 다수의 학술 기관 및 산업체에서 활발히 연구되고 있다

광 버스트 교환 망 설계 시 주된 목표는 contention으로 인한 버스트의 손실을 최소화하는 것이다 Contention은 망 내 중간 노드(core node)에서 다수의 버스트가 동시에 동일한 링크상의 동일한 파장(wavelength)을 사용하려고 할 때 발생하는데 이는 광 버스트 교환 망의 중간 노드에 버퍼가 없기 때문에 발생하는 현상이다 Contention이 발생하면 contention을 일으킨 버스트 중 하나의 버스트만이 성공적으로 전송되고 나머지 버스트들은 손실된다 이를 해결하기 위한 대표적인 방안으로 Fiber Delay Line(FDL)을 이용한 버퍼링 우회 라우팅(deflection routing) 그리고 파장 변환(wavelength conversion)이 제안되었다^[2]. 그러나 이러한 contention resolution 방식들은 능동적으로 contention을 방지하기 보다는 contention이 발생한 후에 동작하는 수동적인 해결책이다. 이에 보다 능동적인 형태의 해결책으로 망 내 contention 상태를 고려하여 contention 발생을 억제함으로써 버스트 손실률을 감소시키는 contention avoidance 방식들이 제안되었다^[3,4,5].

[3]에서는 입력 노드(ingress node)가 주 경로(primary path)상의 혼잡(congestion) 상태에 따라 주 경로대신 대체 경로(alternate path)로 버스트를 전송하는 방안과 함께 최소 혼잡도를 갖는 경로를 동적으로 계산하는 방안도 제안하였다 [4]에서 contention을 방지하기 위해 제안한 Priority-based Wavelength Assignment(PWA)에서는 각 노드에서 분산적인 형태로 수집된 파장 우선순위 정보에 기반하여 버스트를 전송하기 위한 파장을 지정한다 [5]에서 제안한 TCP decoupling은 광 버스트 교환 망의 혼잡을 제어하기 위한 메커니즘으로 망으로 유입되는 트래픽 부하(load)를 제어함으로써 불필요한 버스트의 손실을 방지한다.

이러한 contention avoidance 방식들이 contention resolution 방식들에 비해 버스트의 손실을 더욱 줄여주는 것이 사실이나 앞에서 살펴본 contention avoidance 방식들은 여러 가지 문제점들을 갖고 있다. [3]과 [4]에서 제안된 방식들은 근본적으로 망 내로 유입되는 부하를 제어하지 못하므로 부하가 높을 때는 부하가 낮을 때처럼 효과적이지 못하다 이에 [5]에서는 광 버스트 교환 망으로 유입되는 부하를 제어하지 않는다면 결국 버스트의 손실률은 크게 증가할 것임을 지적하며 TCP 혼잡 제어 알고리즘을 사용한

트래픽 부하 제어 방식을 제안하였다 여기에서 사용하는 TCP 혼잡 제어 알고리즘은 버스트의 손실에 따라 동작한다 즉, 출력 노드(egress node)가 전송하는 ACK 메시지의 유무에 따라서 입력 노드에서 버스트의 전송률을 제어한다. 하지만 광 버스트 교환 망에서는 앞에서도 언급하였듯이 중간 노드에 버퍼가 없다는 특성으로 인해 버스트의 손실이 반드시 혼잡 때문에 발생하는 것이 아니라 망의 혼잡도가 낮은데도 불구하고 contention으로 인해 발생할 수 있다. 따라서 단지 버스트의 손실에 따라서 동작하는 트래픽 부하 제어 방식은 혼잡도가 낮은 경우에도 불필요하게 버스트의 전송률을 감소시킬 수 있다는 문제점을 안고 있다.

이에 본 논문에서는 기존의 TCP 트래픽만을 고려한 TCP 혼잡 제어 알고리즘을 그대로 차용하기보다는 Additive Increase/Loss Proportional Decrease(AIPD) 알고리즘^[6]에 기반한 OBS 계층에서의 새로운 버스트 전송률 제어 방식을 제안하고자 한다 제안한 버스트 전송률 제어 방식은 광 버스트 교환 망의 특성을 고려하여 버스트의 손실뿐만 아니라 트래픽 부하에 따라서 동작함으로써 보다 효과적으로 망에 유입되는 부하를 제어하여 버스트의 손실률을 최소화한다

2장에서는 본 논문에서 제안하는 버스트 전송률 제어 방식에 대해 자세히 살펴보고 3장에서는 제안한 방식의 성능을 버스트의 손실률과 처리율(throughput)을 토대로 평가한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다

II. 버스트 전송률 제어 방식

본 논문에서 제안하는 버스트 전송률 제어 방식에서는 입력 노드에서 Burst Sending Rate Controller (BSRC)가 Load Estimator(LE)와 협력하여 동작하며, 각 중간 노드에서는 Load Calculator(LC)가 구현됨으로써 입력 노드의 LE로 하여금 경로상의 부하 상태를 측정할 수 있도록 한다 그림 1의 입력 노드 구조에서 볼 수 있듯이 해당 입력 노드로부터 모든 출력 노드까지의 각각의 경로에 대해 BSRC가 구현된다. 이는 근거리 액세스 망으로부터 입력 노드로 입력된 트래픽을 버스트로 만들 때 동일한 출력 노드로 향하는 패킷들을 모아서 하나의 버스트로 만드는 광 버스트 교환 망의 특성에 기인한다. 즉, 근거리 액세스 망으로부터 패킷이 들어오면 Routing Module(RM)이 패킷이 가야할 출력 노드에 따라 버스트를 생성하기 위한 큐(queue)에 해당 패킷을 삽입한다. 버스

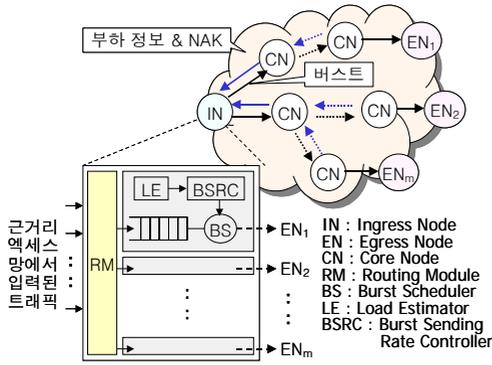


그림 1. 입력 노드의 구조

트가 생성된 후, 광 버스트 교환 망으로의 전송은 Burst Scheduler(BS)에 의해 스케줄되는데 이 동작은 본 논문에서 제안한 BSRC의 제어를 받는다

2.1 부하 측정

각 중간 노드에서는 [3]에서 제시한 것처럼 모든 출력 링크상의 부하가 주기적으로 계산되며 각 입력 노드에서는 모든 경로상의 평균 부하가 역시 주기적으로 측정된다. 부하를 계산하고 측정하기 위한 고정 주기를 T_L 이라 하자. 각 중간 노드 j 에서는 링크상의 부하를 계산하기 위해 다음의 정보를 유지한다

$\rho_{(j,k)}^s$: 주기 T_L 동안, link (j,k) 상에 성공적으로 스케줄된 버스트들의 길이(duration)

$\rho_{(j,k)}^d$: 주기 T_L 동안, link (j,k) 상에서 드롭(drop)된 버스트들의 길이

위의 정보를 바탕으로 각 출력 링크상의 부하는 매 T_L 시간마다 $\rho_{(i,k)} = (\rho_{(j,k)}^s + \rho_{(j,k)}^d) / T_L$ 과 같이 계산된다. 부하를 계산한 후, 중간 노드는 이 정보를 데이터 채널이 아닌 제어 정보를 전송하기 위해 별도로 설정된 제어 채널을 통해 모든 입력 노드에게 전송한다. 각 입력 노드는 다음과 같은 정보를 담은 Load Information Table(LIT)을 가지며, 여기에 있는 엔트리(entry)들은 중간 노드로부터 부하 정보를 받을 때마다 갱신된다.

$\rho_{(i,j)}$: 입력 노드에서 모든 도달 가능한 출력 노드까지의 각 경로상의 모든 link (i,j) 의 부하

$NAK_{(I,E)}$: 주기 T_L 동안, 입력 노드인 I 와 출력 노드인 E 간의 경로상의 혼잡 노드(즉, 버스트가 드롭된 노드)로부터 받은 NAK 메시지의 개수

$B_{(I,E)}$: 주기 T_L 동안, 경로 (I,E) 로 보낸 버스트의 개수

$\bar{B}_{(I,E)}$: 경로 (I,E) 로 보낸 버스트의 평균 개수

$R_{(I,E)}$: 경로 (I,E) 의 현재 버스트 전송률

제안한 방식에서는 광 버스트 교환 망을 지나던 버스트가 중간 노드에서 드롭될 경우, 이 노드는 해당 버스트를 보낸 입력 노드에게 버스트의 드롭을 알리고자 NAK 메시지를 전송한다. 따라서 $NAK_{(I,E)}$ 는 입력 노드가 혼잡 노드로부터 NAK 메시지를 받을 때마다 증가하며, $B_{(I,E)}$ 는 입력 노드가 광 버스트 교환 망으로 버스트를 내보낼 때마다 증가한다.

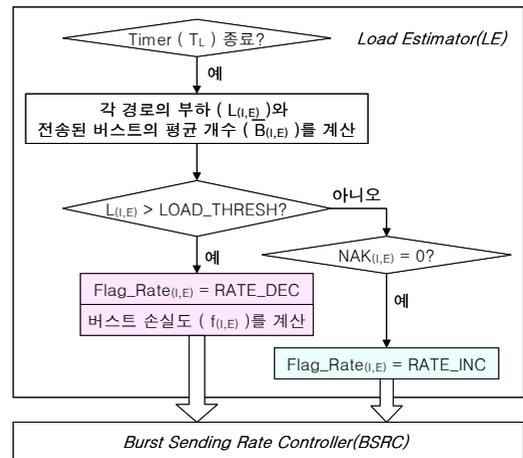


그림 2. Load Estimator의 동작

그림 2에서 보이는 입력 노드상의 LE의 자세한 동작은 다음과 같다.

단계 1) 부하 측정을 위한 타이머인 T_L 이 종료되면, LE가 각 경로상의 평균 부하를 $L_{(I,E)} = \sum_{j=1}^E \rho_{(i,i+1)} / H$ 와 같이 계산한다. 여기서 H 는 입력 노드인 I 와 출력 노드인 E 사이의 경로상의 홉(hop) 수이다. 또한 LE는 각 경로로 보낸 버스트의 평균 개수를 low-pass filter라고도 불리는 exponentially weighted moving average filter^[7]를 사용하여 계산한다. 즉, 전송된 버스트의 평균 개수는 $\bar{B}_{(I,E)} \leftarrow \omega \bar{B}_{(I,E)} + (1 - \omega) B_{(I,E)}$ 와 같이 계산되며, ω 는 필터 상수(filter constant)이다($0 \leq \omega < 1$).

단계 2) 전 단계에서 계산된 부하 값이 $LOAD_THRESH$ 보다 큰 경우 단계 3)으로 가고, 그렇지 않은 경우 단계 4)로 간다. 여기서 $LOAD_THRESH$ 는

버스트의 전송률을 감소시키지 않아도 되는 경로상의 부하의 한계치이다 다시 말해, 경로상의 평균 부하가 이 값을 초과할 경우에는 버스트 전송률이 감소되어야 한다.

단계 3) LE는 버스트 전송률을 감소시키기 위해 $Flag_Rate_{(L,E)}$ 를 $RATE_DEC$ 로 설정하고 버스트 손실도(fraction of burst loss)를 $f_{(L,E)} = NAK_{(L,E)} / \bar{B}_{(L,E)}$ 와 같이 계산한다. 그 다음 BSRC에게 $Flag_Rate_{(L,E)}$ 와 $f_{(L,E)}$ 의 값을 전달한다.

단계 4) $NAK_{(L,E)}$ 가 0이면, LE는 버스트 전송률을 증가시키기 위해 $Flag_Rate_{(L,E)}$ 를 $RATE_INC$ 로 설정하고, 이 값을 BSRC에게 전달한다.

TCP의 혼잡 제어와 같은, 기존의 전자식 패킷 교환 망을 위한 혼잡 제어 방식에서는 전송률의 감소가 패킷의 손실에 의해 일어난다 이는 기존의 패킷 교환 망에서의 패킷 손실은 망 내 혼잡으로 인해 발생한다는 사실에 기인한다 하지만 광 버스트 교환 망에서의 버스트의 손실은 망이 혼잡하지 않은 경우에도 contention에 의해서 랜덤하게 발생한다 따라서 광 버스트 교환 망에서 단지 버스트의 손실에 기인해 버스트의 전송률을 감소시키는 것은 부적절하다 이에 본 연구에서는 버스트의 전송률 제어를 위한 판단 기준으로 버스트의 손실뿐만 아니라 망 내 부하 상태도 고려한다. 따라서 제안한 방식은 혼잡으로 인한 버스트의 손실과 contention으로 인한 버스트의 손실을 구분함으로써 망 내 부하가 높지 않은 경우, 보다 효율적으로 버스트의 전송률을 제어할 수 있다 그림 2에서 알 수 있듯이 입력 노드가 주기 T_L 동안 NAK 메시지를 받더라도 만약 측정된 단대단 경로상의 평균 부하, $L_{(L,E)}$ 가 $LOAD_THRESH$ 를 넘지 않는다면 버스트의 전송률은 감소되지 않을 것이다.

2.2 버스트 전송률 제어 알고리즘

제안한 버스트 전송률 제어 방식은 AIPD 알고리즘⁶⁾에 기반한다 또한 각 입력 노드는 $MAX_SENDERATE$ 까지만 버스트를 전송할 수 있는데 이는 망의 모든 에지(edge) 노드들 간에 공정성(fairness)을 보장하기 위함이다 그림 2와 같이 LE로부터 전달받은 $Flag_Rate_{(L,E)}$ 와 $f_{(L,E)}$ 의 값에 기반하여 BSRC는 버스트 전송률을 다음과 같이 제어한다.

$$R_{(L,E)} \leftarrow R_{(L,E)} \times (1 - \beta f_{(L,E)})$$

$$\text{when } Flag_Rate_{(L,E)} = RATE_DEC \quad (1)$$

$$R_{(L,E)} \leftarrow \min(R_{(L,E)} + \alpha, MAX_SENDERATE)$$

$$\text{when } Flag_Rate_{(L,E)} = RATE_INC \quad (2)$$

위 수식에서 α 는 제안한 버스트 전송률 제어 방식이 전송률 기반(rate-based)이므로 광 버스트 교환 망의 링크 용량과 같은 단위(즉, bps)를 갖는 증가 상수(increase constant)이며, β 는 전송률 감소의 폭을 결정하는 조정 변수(tunable parameter)이다 ($\beta f_{(L,E)} < 1$).

제안한 전송률 제어 알고리즘에서는 경로상의 링크를 공유하는 많은 입력 노드들이 동시에 자신의 경로상의 부하가 $LOAD_THRESH$ 를 초과하더라도 이러한 모든 입력 노드들이 동일한 비율로 전송률을 감소시키지는 않는다 즉, [5]에서 사용한 잘 알려진 Additive Increase/Multiplicative Decrease(AIMD) 알고리즘⁸⁾과는 달리, 플로우(flow)의 전송률은 수식 (1)과 같이 버스트 손실도인 $f_{(L,E)}$ 의 값에 비례하여 감소된다. 이로 인해 제안된 방식은 [5]에서 경로상의 링크를 공유하는 많은 입력 노드들이 버스트의 손실로 인해 버스트의 전송률을 동시에 동일한 비율로 감소시킴으로써 발생할 수 있는 망 이용률(utilization) 저하 및 부하의 급격한 변동(fluctuation) 문제 (즉, global synchronization 문제)를 완화시킬 수 있다 전송률 증가 시, 경로상의 평균 부하가 $LOAD_THRESH$ 를 넘지 않고 입력 노드가 주기 T_L 동안 버스트의 손실을 경험하지 않으면, 수식 (2)와 같이 동일한 양 만큼 전송률을 증가시킨다.

III. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 Optical Burst Sending Rate Control(OBSRC) 방식의 성능을, AIMD에 기반한 TCP 전송률 제어에 의존하는 방식 (본 논문에서는 OBSRC-AIMD로 명명)⁵⁾ 및 버스트 전송률 제어를 제공하지 않는 일반적인 OBS 방식(OBS w/o BSRC)과 비교, 평가하기 위해 ns-2⁹⁾를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션은 14개의 노드와 21개의 링크를 갖는 NSFNet 토폴로지에서 수행되었으며 링크 용량은 10 Gbps이고 입력/출력 노드의 쌍인 N 은 $14 \times 13 = 182$ 개이다. 모든 입력 노드가 각 출력 노드로 향하는 버스트를 생성하는데 버스트의 도착은 Poisson process를 따르며, 버스트 하나의 크기는 평균 1 Mbyte로 negative exponential 분포를 갖는다.

시뮬레이션을 위해 필터 상수인 ω 는 0.7로¹⁷⁾, 증가 상수인 α 는 1 Mbps로, 조정 변수인 β 는 100으로 설정하였다. 설정된 β 값은 시뮬레이션 동안 관찰된

평균 버스트의 손실률에 기반하여 $f_{(u_e)}$ 의 평균값이 10^4 일 때 $\beta f_{(u_e)}$ 를 10^2 로 만들기 위해 조정된 값이다 각 경로의 혼잡의 척도인 $LOAD_THRESH$ 가 너무 높게 설정되면 제안한 방식이 혼잡에 너무 늦게 반응하는 반면 너무 낮게 설정되면 혼잡으로 인한 버스트의 손실과 contention으로 인한 버스트의 손실을 제대로 구분할 수 없게 된다 또한 각 트래픽 플로우에게 허용되는 최대 전송률인 $MAX_SENDERATE$ 은 모든 플로우들 간의 공정성을 보장하도록 해준다 이 두 변수들은 광 버스트 교환 망의 플로우 수(즉, 입력-출력 노드 쌍의 개수인 N)에 반비례하여 설정되어야 한다. 이에 $LOAD_THRESH$ 는 $0.7/N$ 으로, $MAX_SENDERATE$ 은 $10\text{ Gbps}/N$ 으로 각각 설정하였다

제안한 방식에 대해 T_L 을 각각 110과 200 msec로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였는데 이 값들은 시뮬레이션이 수행된 토폴로지의 평균 Round Trip Time(RTT, 약 23 msec)의 약 5배(즉, 110 msec)와 9배(즉, 200 msec)를 취한 값이다. OBSRC-AIMD 방식의 경우 버스트의 전송률이 플로우의 RTT 마다 조정되는데 반해, 제안한 방식에서는 전송률 조정이 RTT 마다 수신한 ACK 메시지에 의해 일어나는 것이 아니라 부하의 상태에 따라 일어나므로 T_L 은 RTT 보다 더 길게 설정되어도 무방하다

그림 3은 제안한 OBSRC 방식과 기존의 OBSRC-AIMD 및 OBS w/o BSRC 방식에 대해 트래픽 부하에 따른 버스트의 손실률을 보여준다. OBSRC-AIMD를 수행하기 위해 증가 상수는 제안한 방식과 동일한 1 Mbps로, 감소 상수는 TCP에서처럼 0.5로 설정하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 제안한 OBSRC의 버스트 손실률이 모든 부하에 걸쳐 OBS w/o BSRC의 버스트 손실률보다 훨씬 낮다. OBSRC-AIMD와 비교하였을 때, T_L 이 110 및 200 msec일 때 모두 제안한 방식의 성능이 모든 부하에 걸쳐 더 향상되었다. 특히 T_L 을 110 msec으로 설정한 제안한 방식의 경우 OBSRC-AIMD에 비해 부하가 0.1일 때는 15%, 부하가 0.6일 때는 12%의 성능향상을 보이며, T_L 을 200 msec으로 설정한 제안한 방식의 경우 OBSRC-AIMD에 비해 부하가 0.1일 때는 14%, 부하가 0.6일 때는 11%의 성능향상을 보인다. 이를 통해 버스트 전송률 제어를 위한 판단 기준으로 트래픽 부하와 버스트 손실을 모두 사용한 제안한 방식이, 판단 기준으로 단지 버스트 손실만을 사용한 OBSRC-AIMD 보다 부하가 높지 않은 경우(0.1-0.6)에 버스트 손실률 면에서 더욱 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다. 한편, 부하가 높은 경우(0.7-0.9)에는 제안한 OBSRC

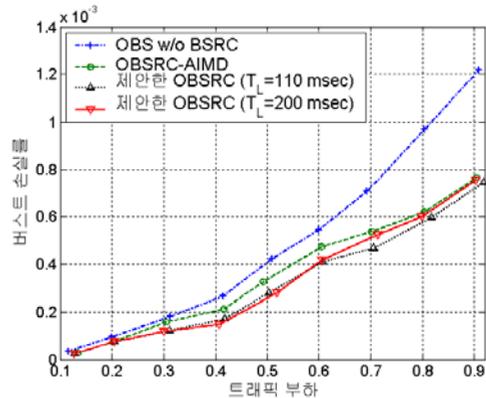


그림 3. 버스트 손실률

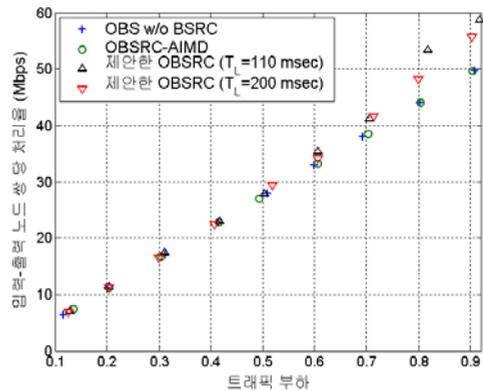


그림 4. 입력-출력 노드 쌍 당 처리율

방식 중, T_L 이 110 msec일 때가 200 msec일 때보다 더 좋은 성능을 보인다. 이는 부하를 계산하고 측정하기 위한 T_L 이 너무 길게 설정되면 BSRC가 망 혼잡 상태에 제대로 대응하지 못하며 이 T_L 값은 제안한 방식의 성능에 큰 영향을 미침을 나타낸다.

그림 4는 각기 다른 세 개의 방식에 대해 트래픽 부하에 따른 입력출력 노드 쌍 당 처리율을 보여준다. 부하가 0.1에서 0.5 사이일 때는 세 방식 모두 거의 비슷한 처리율을 보인 반면 부하가 0.6 보다 커지면 제안한 OBSRC 방식이 나머지 두 방식에 비해 더 좋은 처리율을 보인다. 이를 통해 우리는 제안한 방식이 버스트 손실률을 줄이기 위해 버스트 전송률을 제어함에도 불구하고 낮은 버스트 손실률을 유지함과 동시에 처리율도 보장함을 알 수 있다

IV. 결론

본 논문에서는 광 버스트 교환 망의 트래픽 부하

와 버스트 손실에 따라 버스트의 전송률을 제어하는 방식을 제안하였다. 제안한 방식은 버스트 전송률 제어를 위한 판단 기준으로 TCP 트래픽 특성이 아닌 광 버스트 교환 망 내 트래픽 부하와 버스트 손실을 사용함으로써, 혼잡에 따른 버스트 손실과 contention에 따른 버스트 손실을 구분하여 망 자원을 효율적으로 이용하면서 아울러 망의 버스트 손실률을 최소화한다. 시뮬레이션 결과는 제안한 방식이 기존의 TCP를 이용하여 전송률을 제어하는 광 버스트 교환 모델 및 전송률을 제어하지 않는 일반 광 버스트 교환 모델 모두에 비해 모든 부하에 걸쳐 버스트 손실률 면에서 더 좋은 성능을 보인다. 또한 제안한 방식은 전송률을 제어함에도 불구하고 낮은 버스트 손실률을 유지하면서 처리율도 보장함을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있었다

다양한 토폴로지 상에서 보다 세분화된 파라미터에 따른 시뮬레이션을 수행함과 동시에 수식(1)과 (2)의 확장으로 버스트 손실과 관련한 분석 모델을 개발, 평가하는 것이 향후 과제이다

참 고 문 헌

[1] C. Qiao, M. Yoo, "Optical Burst Switching (OBS)-A New Paradigm for an Optical Internet," *J. High Speed Networks*, vol.8, pp.69-84, 1999.

[2] S. Yao, B. Mukherjee, S. J. B. Yoo, S. Dixit, "A Unified Study of Contention-Resolution Schemes in Optical Packet-Switched Networks," *J. Lightwave Technology*, vol.21, Issue 3, pp.672-683, March 2003.

[3] G. P. V. Thodime, V. M. Vokkarane, J. P. Jue, "Dynamic Congestion-based Load Balanced Routing in Optical Burst-Switched Networks," *Proc. IEEE GLOBECOM 2003*, vol.5, pp.2628-2632, Dec. 2003.

[4] X. Wang, H. Morikawa, T. Aoyama, "Priority-based Wavelength Assignment Algorithm for Burst Switched WDM Optical Networks," *IEICE Transactions on Communications*, vol.E86-B, no.5, pp.1508-1514, May 2003.

[5] S. Y. Wang, "Using TCP Congestion Control to Improve the Performances of Optical Burst Switched Networks," *Proc. IEEE ICC*

'03, vol.2, pp.1438-1442, May 2003.

[6] K. W. Lee, T. Kim, V. Bharghavan, "A Comparison of Two Popular End-to-End Congestion Control Algorithms: The Case of AIMD and AIPD," *Proc. IEEE GLOBECOM 2001*, vol.3, pp.1580-1584, Nov. 2001.

[7] J. S. Hunter, "The Exponentially Weighted Moving Average," *Journal of Quality Technology*, vol.18, pp.203-209, 1986.

[8] D.-M. Chiu, R. Jain, "Analysis of the Increase and Decrease Algorithms for Congestion Avoidance in Computer Networks," *J. Computer Networks and ISDN Systems*, 1989.

[9] ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

이 수 경(Su kyoung Lee)

종신회원



1993년 2월 연세대학교 컴퓨터 과학과 학사
 1995년 2월 연세대학교 컴퓨터 과학과 석사
 2000년 8월 연세대학교 컴퓨터 과학과 박사
 2000년 8월~2003년 8월 National Institute of Standards and Technology, Advanced Networking Technologies Division
 2003년 9월~현재 세종대학교 정보통신대학원 교수
 <관심분야> QoS routing in optical Internet, Vertical handoff in wireless networks

김 래 영(Lae young Kim)

준회원



1994년 2월 이화여자대학교 전 자계산학과 학사
 1994년 1월~2000년 7월 삼성 전자
 2002년 8월 연세대학교 컴퓨터 과학과 석사
 2002년 9월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정
 <관심분야> 유·무선통신, 정보보호