

제한된 수의 튜닝 가능한 파장변환기와 내부파장을 갖는 하이브리드 버퍼 구조의 광 패킷 스위치

Hybrid Buffer Structured Optical Packet Switch with the Limited Numbers of Tunable Wavelength Converters and Internal Wavelengths

임 헌 국*
Huhnkuk Lim

요 약

광 패킷 스위칭 기술은 대용량 인터넷 트래픽을 패킷레벨에서 보다 유동적인 대역폭으로 전송해 줄 수 있으며, WDM 계층과 IP 계층을 유연하게 통합 해 줄 수 있기 때문에 차세대 광 인터넷을 위한 가장 강력한 스위칭 기술 중 하나이다. 광 패킷 스위칭 기술의 연구는 동기식 망 안에서의 연구와 비동기식 망 안에서의 연구로 나뉘며 본 논문에서는 인터넷 트래픽과 같은 비동기 가변길이 패킷들을 위한 광 패킷 스위치 내부에 경합해결 이슈에 초점이 맞추어져 있다. 하이브리드 버퍼는 광 지연 선로 버퍼와 전자 버퍼로 구성 되어 비동기 가변길이 패킷들의 경합 해결을 위한 하나의 대체 버퍼로서 패킷 손실 확률을 감소시키기 위해 소개된바 있다. 그런데 스위치 내부의 자원 중 튜닝 가능한 파장 변환기의 개수와 내부 파장 개수를 고려한 광 패킷 스위치의 디자인은 스위치 비용과 자원 이용 효율을 결정짓는 매우 중대한 이슈이다. 따라서 본 논문에서는 한정된 수의 튜닝 가능한 파장 변환기와 내부 파장 개수를 고려한 하이브리드 버퍼 구조형 광 패킷 스위치를 설계하고 그것의 스케줄링 알고리즘을 소개하고자 한다. 제안한 스케줄링 알고리즘은 광 지연 선로 버퍼만을 갖는 기존의 LAUC-VF 알고리즘과 비교하여 더 나은 패킷 손실 확률을 제공해 줄 수 있었다.

Abstract

Optical packet switching (OPS) is a strong candidate for the next-generation internet, since it has a fine switching granularity at the packet level for providing flexible bandwidth, and provides seamless integration between WDM layer and IP layer. Optical packet switching have been studied in two categories: OPS in synchronous and OPS in asynchronous networks. In this article we are focused on contention resolution of OPS in asynchronous networks. The hybrid buffer have been addressed, to reduce packet loss further as one of the alternative buffer structures for contention resolution of asynchronous and variable length packets, which consists of the FDL buffer and the electronic buffer. The OPS design issue for the limited number of TWCs and internal wavelengths is important in the aspect of switch cost and resource efficiency. Therefore, an hybrid buffer structured optical packet switch and its scheduling algorithm is presented for considering the limited number of TWCs and internal wavelengths, for contention resolution of asynchronous and variable length packets. The proposed algorithm could lead to the packet loss improvement compared to the legacy LAUC-VF algorithm with only the FDL buffer.

☞ Keyword : Optical packet switch, hybrid buffer, scheduling algorithm, Tunable wavelength converter, internal wavelength FDL buffer, electronic buffer

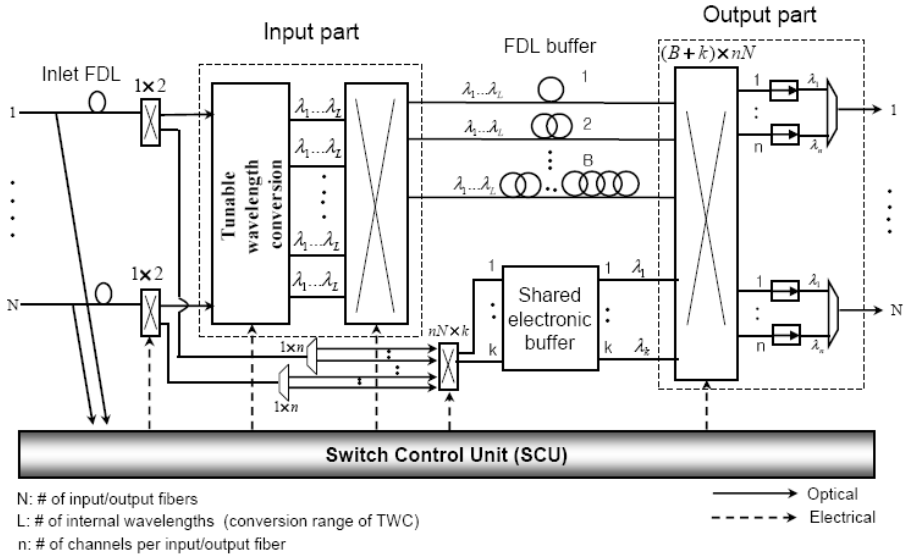
1. 서 론

광 패킷 스위칭 기술은 대용량 인터넷 트래픽

을 패킷레벨에서 보다 유동적인 대역폭으로 전송해 줄 수 있으며, WDM 계층과 IP 계층을 유연하게 통합 해 줄 수 있기 때문에 차세대 광 인터넷을 위한 가장 강력한 스위칭 기술 중 하나라고 말할 수 있다. 광 패킷 스위칭 기술의 연구는 동기식 망 안에서의 연구와 비동기식 망 안에서의 연

* 정 회 원 : 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅본부 선임연구원 hklm@kisti.re.kr

[2009/02/18 투고 - 2009/02/23 심사 - 2009/03/25 심사완료]



(그림 1) 한정된 수의 TWC와 내부 파장을 갖는 하이브리드 버퍼 구조의 광 패킷 스위치

구로 나뉘며, 최근 들어선 인터넷 트래픽과 같은 비동기 가변길이 패킷들을 위한 광 패킷 스위칭 기술 연구가 활발히 진행 되고 있다 [1-6]. 그러한 연구들 가운데 기존의 광 지연선로 버퍼와 전자 버퍼로 구성되는 하이브리드 버퍼 구조가 비동기 가변길이 광 패킷의 경합 해결을 위한 버퍼 구조 중 하나로 제안 된 바 있다 [3].

광 패킷 스위치에 입력 패킷들의 경합을 해결 해 줄시 보다 많은 수의 튜닝 가능한 파장 변환기 (TWCs: Tunable wavelength converters)와 내부의 파장은 고정된 버퍼 사이즈

아래에서 한층 패킷 손실 확률을 낮추어줄 이 점을 갖는다. 하지만 광 패킷 스위치 시스템 비용 은 보다 더 많은 수의 파장 변환기와 보다 더 넓은 범주의 파장 변환의 원인으로 증가 되어 진다. TWC 수와 그것의 변환 범주는 시스템 비용과 스위치 자원의 이용 효율에 관계되기 때문에 중요한 디자인 이슈가 될 수 있다. 따라서 한정된 자 원을 고려한 광 패킷 스위치

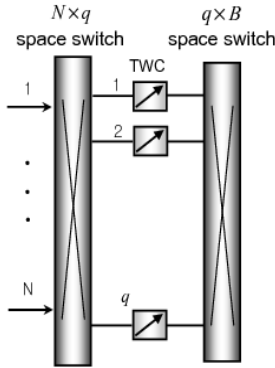
의 디자인 노력이 패킷 손실을 감소시키기 위 한 노력과 함께 요구되어 진다. 오로지 광 지연 선로 버퍼만을 갖는 광 패킷 스위치 내부에 한정

된 수의 FWCs (Fixed Wavelength Converters)와 내 부 파장을 고려한 디자인 노력에 관련된 연구가 소개되었을지라도 하이브리드 버퍼 구조를 고려 해주며 제한된 수의 자원 하에서 패킷 손실 확률 을 감소 시켜주려는 디자인 노력은 아직까지 소 개된 바가 없다 [4, 5]. 다만 하이브리드 버퍼 구조 를 갖는 광 패킷 스위치와 그것의 스케줄링 알고 리즘이 fully 가정된 TWC 수와 내부 파장 개수 아 래에서 소개 되었다 [3].

따라서 본 논문에서는 한정된 수의 TWC와 내 부파장을 고려해 주는 하이브리드 버퍼 구조의 광 패킷 스위치를 소개하고, 그러한 스위치 구조 하에서 동작 할 수 있는 제안된 스케줄링 알고리 즘의 패킷 손실 확률을 오로지 광 지연 선로 버퍼 만을 갖는 광 패킷 스위치에서 제한된 수의 TWC 와 내부파장을

고려해주기 위해 변형된 LAUC-VF (latest available unused channel with void filling) [7] 알고 리즘의 패킷 손실 확률과 비교하였다 [8].

2. 제한된 수의 TWC와 내부 파장을 갖는 하이브리드 버퍼 구조형 광 패키지 스위치



N: the number of input/output fibers
 q: the number of converters that is shared for all input fibers
 M: the total number of converters
 B: Buffer depth of the FDL buffer (i.e., the number of FDLs)

(그림 2) Fully shared TWC 구조
 ($0 < q \leq M$, $M \leq nN$)

하이브리드 버퍼를 갖는 광 패키지 스위치를 <그림 1>과 같이 네 개의 주요한 기능 블록 (입력 파트, 하이브리드 버퍼, 출력 파트, 스위치 제어 파트)로 구성하였고 각각은 공간 스위치로 연결하였다. 파장 변환 단계는 광 지연 선로 버퍼에게만 적용되어 지며, 전자 버퍼에 들어오고자 하는 입력 패킷들의 충돌을 해결해 주기 위해 다양한 공간 스위치를 사용하였다. 입력 파트 안에 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_L$ 의 파장 변환 범주를 갖는 TWCs는 각각의 입력 패킷이 광 지연 선로 버퍼 안에 L 개의 WDM 채널 중 유용한 하나의 채널로 파장을 변환해준다. 보다 많은 수의 TWC 가 고정된 버퍼 사이즈 하에서 더 작은 패킷 손실 확률을 보장해 줄 수 있을지라도 시스템 비용과 연관된 자원 낭비를 막아주기 위해 제한된 수의 TWC 가 고려되어야 한다. 광 지연 선로 버퍼를 이용하여 입력 패킷에 대해 출력 파이버 내부에 유용한 하나의 채널을 발견 할 시, TWC 수의 부족으로 기인한 패킷 손실을 완벽하게 제거하기 위해서는 nN 개의 TWCs

(입력 파이버 당 n TWCs)가 고려되어야 한다.

입력 파트 안에 세 개의 TWC 구조 (not shared, partially shared, fully shared)가 가능 할 지라도 <그림 2> 안에 가장 효율적인 통계 다중화 효과를 갖는 fully shared 형 TWC 구조가 고려되었다.

공유형 광 지연 선로 버퍼는 광 지연 선로의 일련의 집합(1, 2, ..., i, ..., B-1, B)으로 구성되어 지며 i_{th} 광 지연 선로는 광 지연 선로 버퍼의 가장 기본이 되는 단위 지연 선로(Delay line length D)의 i 배에 해당하는 길이 D_i 에 해당하는 광 지연 선로를 나타낸다 ($1 \leq i \leq B$).

스위치 안에 내부 파장 개수는 광 지연 선로 버퍼 안에 이용 가능한 WDM 채널의 개수와 같으며, 공유형 광 지연 선로 버퍼 내부에 WDM 채널의 부족으로 기인한 패킷 손실을 완벽하게 제어하기 위해서는 역시 nN 개의 내부 파장 개수가 고려되어야 한다. 그러나 광 지연 선로 내부에 가능한 WDM 채널의 수는 100GHz의 채널 스페이싱을 가정할 경우 수십 채널로 제한되어 지므로 하이브리드형 버퍼 구조하의 내부 파장 개수 또한 하나의 파이버 안에 이용 가능한 최대 WDM 채널 수 아래의 값이 되어야한다

전자버퍼는 오버플로우 패킷 (광 지연 선로 버퍼에 의해 하나의 이용 가능한 출력 채널을 찾는데 실패한 패킷)을 저장하기 위해 k 개의 입력 단과 출력 단을 갖는다. 출력 파트 안에 FWCs (Fixed Wavelength Converters)는 광 지연 선로 버퍼에 의해 지연 되어진 각각의 패킷에 대해 출력 파이버 상에 예약되어진 하나의 채널로 파장 변환을 수행하며, 출력 파이버 당 n 개의 FWCs가 고려되어야 한다.

SCU(Switch Control Unit)는 패킷 스케줄링 이후 스케줄링 되어진 패킷의 라우팅을 위해 필요한 각각의 스위치 요소들을 제어, 관리하는 역할을 수행한다.

3. 제한된 수의 TWC와 내부 파장을 위해 제안된 알고리즘

비동기 가변길이 패킷 들을 위한 기존의 스케줄링 알고리즘 들이 광 패킷 스위치 내부에 TWC와 내부 파장 개수를 Fully 가정하고 나아가고자 하는 출력 파이버 안에 하나의 채널을 찾는 데에 만 대부분 초점을 맞춘 반면, 제안된 알고리즘은 하이브리드 버퍼 하에서 아웃풋 채널뿐 아니라 하나의 이용 가능한 TWC와 광 지연 선로 버퍼 안에 하나의 이용 가능한 내부의 파장 또한 찾기 위해 설계되었다.

제안된 알고리즘이 <그림 3>안에 표현되었다. 먼저 t 가 패킷이 스위치에 도착한 시간이라 하고, q 가 하나의 입력 패킷을 전송하기 위해 선택된 채널이라 정의한다. 먼저 LAUC-VF 알고리즘이 광 지연 선로 버퍼를 사용하여 하나의 출력 채널 q 를 찾기 위해 사용되어 진다 [6]. LAUC-VF 알고리즘에서 각각의 광 지연 선로에 의해 지연된 시각 $k = t + D_i$ 과 각각의 채널 상에 존재하는 스케줄 되어진 패킷 사이의 시간 간격을 Gap이라 정의하며, Channel_Search_by_FDLs (k) 함수는 가장 작은 Gap을 갖는 하나의 채널 q 를 선택 한다 [6]. 이용 가능한 출력 채널 q 가 지연 시각 $k = t + D_i$ 에서 발견 되어 진다면 선택된 i_{th} 광 지연 선로 안에 하나의 채널이 유용한지 검사한다. 하나의 채널이 이용 가능하다면, 하나의 TWC가 입력 패킷의 파장을 선택 되어진 i_{th} 광 지연 선로 안에 하나의 유용한 파장으로 변환하기 위해 이용 가능 한지 검사 되어 지고, i_{th} 광 지연 선로 안에 하나의 유용한 채널이 존재하지 않는다면 도착한 입력 패킷은 손실 된다. 하나의 TWC가 이용 가능 하다면 선택된 q 채널의 Wavelength queue 정보에 Update_Information (q) 함수에 의해 업데이트 되고, 그렇지 않으면 도착한 입력 패킷은 손실 된다.

B : buffer depth, t : packet arrival time
 n : # of channels per input/output

```

i=0; k=t;
while (i ≤ B) /* Execute LAUC-VF algorithm */
{
    q = Channel_Search_by_FDLs (k);

    if (q > -1 && q < n)
    {
        if (a channel in the selected i FDL is available)
        {
            if (a TWC is available)
            {
                Update_Information (q); return ; /* Update wavelength queue
                information of q channel */
            }
            else { nl ++; return ; } /* Increment of # of loss packets */
        }
        else { nl ++; return ; } /* Increment of # of loss packets */
    }
    if (q == -1)
    {
        i = i + 1;
        k = t + i * D; /* Let k be the time delayed as much as
        D_i = i * D from packet arrival time t */
    }
}

if (q == -1) /* Execute the Void phase and the Queue end phase
algorithms for overflow packets */
{
    j=0;
    while (j < n) { /* Executes void phase algorithm */

        q = Void_Search (j); /* See if a void smaller than the packet length
        of overflow packet in j channel is available */

        if (q > -1 && q < n) { /* if a channel q is searched */
            if (an electronic buffer input and an output are available ) {
                Update_Information (q); return ;
            }
            else { nl ++; return ; } /* Increment of # of loss packets */
        }
        if (q == -1) j ++;
    }

    j=0;
    while (j < n) { /* Executes queue end phase algorithm */

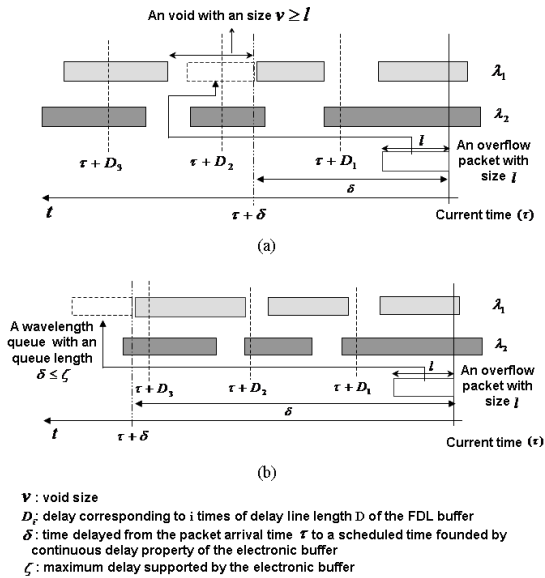
        q = Queue_End_Search (j); /* See if a queue length of a channel j is
        smaller than the maximum delay of the electronic buffer */

        if (q > -1 && q < n) { /* if a channel q searched */
            if (an electronic buffer input and an output are available ) {
                Update_Information (q); return ;
            }
            else { nl ++; return ; } /* Increment of # of loss packets */
        }
        if (q == -1) j ++;
    }
}

if (q == -1) { nl ++; return ; } /* Increment of # of loss packets */

```

(그림 3) 제안된 알고리즘



(그림 4) 전자 버퍼링을 위한 두 가지 phase 의 예.
 (a) Void phase. (b) Queue end phase (2개의 램다 채널을 가정한 출력 파이버의 Wavelength queue 정보를 묘사하였음)

이용 가능한 출력 채널 q 가 광 지연 선로 버퍼의 가능한 모든 지연 시간 들을 사용하여 발견되어 지지 않을 시 그 입력 패킷을 오버플로우 패킷이라 정의하고 오버플로우 패킷에 대해 전자 버퍼링 phase가 수행 되어 진다. 오버플로우 패킷을 위한 유용한 출력 채널 q 는 전자 버퍼가 주는 연속적인 시간 지연 효과를 사용하여 두 개의 phase (void phase, queue end phase)를 통해 찾게 되어 진다. 하나의 유용한 출력 채널 q 가 두 개의 phase에 의해 발견되어지면 하나의 이용 가능한 전자 버퍼 입/출력 단자가 존재하는지가 검사되어 지며, 발견되어지지 않으면 그 오버플로우 패킷은 손실된다. 하나의 전자 버퍼 입/출력 단자가 이용가능하다면 q 채널의 Wavelength queue 정보가 Update_Information (q) 함수에 의해 업데이트 되고, 그렇지 않으면 패킷은 손실된다. 하나의 출력 채널 q 를 성공적으로 찾아 전자 버퍼 안에 저장된

오버플로우 패킷은 예약되어진 전자 버퍼의 출력 단자를 통해 예약되어진 시각에 q 채널을 통해 재 전송 된다. void phase와 queue end phase를 위한 각각의 예가 <그림 4> 안에 묘사되며, 전자 버퍼링에서는 void phase가 먼저 수행 되며 queue end phase가 이후에 수행된다.

4. 성능 평가

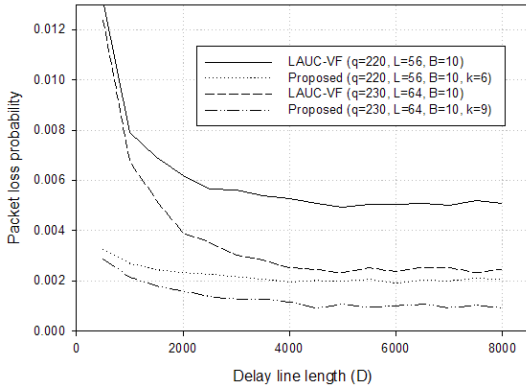
4.1 시뮬레이션 모델

<그림 1> 안에 <그림 2>의 fully shared TWC 구조를 허용하는 광 패킷 스위치가 시뮬레이션을 위해 고려되었다. 입력 트래픽은 ON과 OFF의 구간이 $T_{on} = \lfloor bytes / U^{1/\alpha} \rfloor$ 와 $T_{off} = \lfloor bytes' / U^{1/\alpha} \rfloor$ 으로 정의되는 Pareto heavy tailed 분포를 갖는 Self similar aggregate 트래픽이 적용되었다 [1,3]. ON 구간은

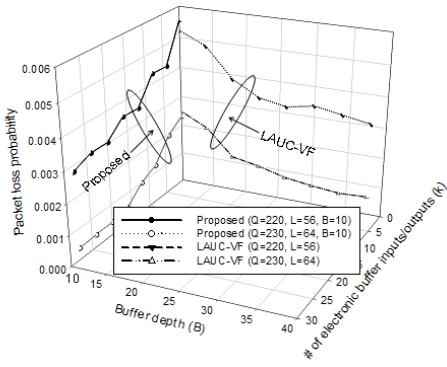
Packet burst (가변 길이 패킷)를 나타내며, OFF 구간은 Inter-arrival time을 나타낸다. U 는 $(0,1]$ 위 에 유니폼 랜덤 변수를, $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 floor 함수를 나타낸다. Hurst parameter H 는 인터넷 트래픽의 자기 상관 정도를 나타내며 H 와 α 와의 관계는 $H = (3-\alpha)/2$ 와 같다. bytes 는 ON 구간의 최소 를 의미해주며 400 바이트로 선택되었다 ($0.5 \leq H \leq 1$) [1,3]. α 와 bytes 값이 결정된다면 bytes' 가 하나의 주어진 로드 (ρ)를 만들기 위해 가변 변수 값으로 사용 될 수 있다.

4.2 시뮬레이션 결과

먼저 <그림 5>와 같이 delay line length (D) 의 증가에 따른 패킷 손실 확률이 제안된 알고리즘과 LAUC-VF 알고리즘에 대해 평가되었다. 두 개의 한정된 수의 파장 변환기와 내부의 파장 개수 ($(q=220, L=56)$, $(q=230, L=64)$)의 예에 대해 하이브리드 버퍼 ($B=10, k=6$ or 9)를 갖는 제안된 알



(그림 5) Delay line length (D) 의 함수로서의 패킷 손실 확률 ($N=16, n=16, \zeta=100 \cdot \overline{T_{on}}, \alpha=1.2, \rho=0.8$)

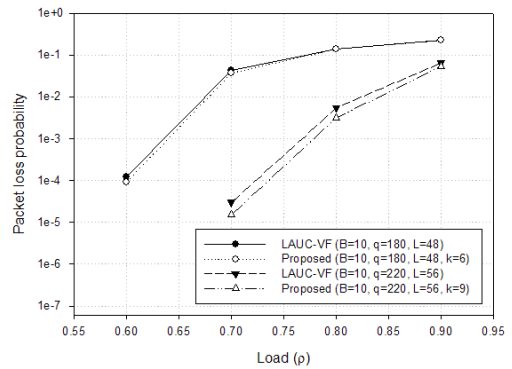


(그림 6) LAUC-VF 알고리즘의 광 지연 선로 개수 (B : Buffer depth)의 함수와 제안된 알고리즘의 전자 버퍼 입력/출력 개수 (k)의 함수로서의 패킷 손실 확률 ($N=16, n=16, \zeta=100 \cdot \overline{T_{on}}, \alpha=1.2, \rho=0.8$)

고리즘이 오로지 광 지연선로 버퍼 (B=10) 만을 갖는 LAUC-VF 알고리즘보다 더 좋은 성능을 얻을 수 있었다.

<그림 6>은 LAUC-VF 알고리즘에 대해 B 의 함수로서의 패킷 손실 확률을 보여준다. 두 개의 한정된 자원 ((q=220, L=56), (q=230, L=64)) 예에 대해, k의 증가에 따른 제안된 알고리즘이 B의 증가에 따른 LAUC-VF 의 알고리즘 보다 더 나은 성능을 가졌다. 또한 한가지 여기서 주목해야 할

사실은 광 패킷 스위치 내부에 광 지연 선로 개수 (B) 는 수십 개 정도로 한정되어 지며 무한히 증가 할 수 없는 디자인 특성을 갖는 다는 것이다 [3]. 예를 들어 광 지연 선로 버퍼의 개수가 B=10 으로 제한되어진다면 B=10 이상의 패킷 손실 확률은 실제로는 제공 할 수 없다. 따라서 B=10 이상에서 광 지연 선로 버퍼가 제공해 줄 수 없는 패킷 손실 확률을 하이브리드형 버퍼 구조 하에서는 실제 제공해 줄 수 있다.



(그림 7) 로드 (ρ)의 함수로서의 패킷 손실 확률 ($N=16, n=16, \zeta=100 \cdot \overline{T_{on}}, \alpha=1.2$)

<그림 7>은 두 개의 알고리즘에 대해 로드(ρ)의 함수로서의 패킷 손실 확률을 보여 준다. 두 개의 한정된 자원 ((q=180, L=48), (q=220, L=56)) 예에 대해 제안된 알고리즘은 LAUC-VF 알고리즘의 패킷 손실 확률과 비교하여 더 나은 성능을 가졌다.

광 패킷 스위칭 네트워크 하에서의 주요한 성능 지표는 패킷 손실 확률이며 본 논문상에선 표현되진 않았지만 스위치 내부에서 겪는 패킷 큐잉 딜레이에 대해서도 제안된 알고리즘은 보다 조밀한 Void filling 효과에 기인하여 성능 향상에 기여할 수 있었다. 또한 위의 결과들로부터 제한된 수의 튜닝 가능한 파장 변환기와 내부 파장 개수 하에서 패킷 손실 확률이 제안된 알고리즘과 하이브리드 버퍼의 연속적인 시간 지연 효과의 도움에 의해 향상되어 질수 있음을 확인 할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 한정된 수의 튜닝 가능한 파장 변환기와 내부 파장을 고려해주는 하이브리드 버퍼 구조의 광 패킷 스위치가 자원 낭비를 막아주기 위한 일환으로 제안되었다. 또한 한정된 수의 자원을 고려해주는 하이브리드 버퍼 구조의 광 패킷 스위치를 위한 스케줄링 알고리즘이 제안되었으며, 제안된 알고리즘의 패킷 손실 확률이 오로지 광 지연 선로 버퍼만을 갖는 기존의 LAUC-VF 알고리즘과 비교되었다. 제안된 알고리즘과 하이브리드 버퍼의 추가적인 연속 시간 지연 효과에 의해 패킷 손실 확률이 향상됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] L. Tancevski, S. Yegnanarayanan, G. Castanon, L. Tamil, F. Masetti and T. McDermott , "Optical Routing of Asynchronous, Variable Length Packets," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 18, No. 10, pp. 2084-2093, Oct. 2000.
- [2] L. Tancevski, L. Tamil and F. Callegati, "Nondegenerate Buffers: An Approach for Building Large Optical Memories," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 11, No. 8, pp. 1072-1074, Aug. 1999.
- [3] H. Lim and C.-S. Park, "Performance Evaluation of the Optical Packet Switch with Hybrid Buffer Structure for the Contention Resolution of Asynchronous Variable Length Packets," IEICE Trans. Commun., Vol. E87-B, No. 5, pp. 1421-1426, May 2004.
- [4] F. Callegati, G. Corazza, and C. Raffaelli, "Design of a WDM optical packet switch for IP traffic," in Proc. IEEE GLOBECOM. 2000, Vol. 2, pp. 1283-1287, Dec. 2000.
- [5] F. Callegati, G. Corazza, C. Raffaelli , "Exploitation of DWDM for Optical Packet Switching with Quality of Service Guarantees," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 20, Issue 1, pp. 190-201, Jan. 2002
- [6] T. Zhang, K. Lu, J. P. Jue, "Shared fiber delay line buffers in asynchronous optical packet switches," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 24, No 4, pp. 118-127, April 2006
- [7] Y. Xiong, M. Vandenhoute and Hakki C. Cankaya, "Control Architecture in Optical Burst-switched WDM Networks," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 18, No. 10, pp. 1838-1851, Oct. 2000.
- [8] H. Lim, K. Go, D. Kim and K. Cho., "Hybrid buffer structured optical packet switch for the limited numbers of tunable wavelength converters and internal wavelengths," in Proc. APIC-IST 2008, pp.151-156, Dec. 2008.

◎ 저 자 소 개 ◎



임 현 국 (Huhnkuk Lim)

1999년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업 (학사)

2001년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업 (석사)

2006년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업 (박사)

2006년 3월~현재: 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅본부 선임연구원

관심분야 : GMPLS enabled Optical Networks, Optical Internet, Optical Packet/Burst Switching, RWA Algorithms in Wavelength Routed Networks

E-mail: hklim@kisti.re.kr