

論文2003-40TC-10-2

동적 파장 할당 기법을 이용한 광 버스트 스위칭 네트워크에서의 절대적 QoS 제공

(Absolute Differentiated Services for Optical Burst Switching Networks Using Dynamic Wavelength Assignment)

金成暢*, 崔振植*, 姜玟縞*

(Sung-Chang Kim, Jin-Seek Choi, and Min-Ho Kang)

요약

본 논문에서는 동적 파장 할당 기법을 이용한 광 버스트 스위칭 네트워크에서의 절대적 QoS (quality of service) 제공 방안에 대하여 기술한다. 버퍼 또는 offset time 을 이용한 기존의 QoS 보장 방법과는 달리 본 논문에서 제안하는 동적 가상 파장 분할 (DVLP : dynamic virtual lambda partitioning) 방법은 버퍼 혹은 추가적인 offset time을 필요로 하지 않으며 절대적 QoS를 보장할 수 있는 특징이 있다. 이러한 새로운 동적 가상 파장 분할 방법은 파장 자원을 몇 개의 우선순위 파장 그룹으로 나누고, 절대적 QoS를 제공하기 위해 동적으로 파장 그룹을 재 설정하는 방법이다. 제안된 알고리즘의 성능 분석 및 시뮬레이션 결과를 통하여 긴 주기 및 짧은 주기 내에서도 절대적 QoS를 제공하는 것을 볼 수 있다. 또한 제한된 FDL(fiber delay line) 버퍼를 사용하여 동적 가상 파장 분할 방법의 효율을 더욱 높일 수 있음을 보였다.

Abstract

In this paper, we address how to provide absolute differentiated services for optical burst switching (OBS) networks based on dynamic wavelength assignment. Unlike existing quality of service (QoS), such as buffer-based and offset-time based scheme, our proposed dynamic virtual lambda partitioning (DVLP) scheme does not mandate any buffer or extra offset time, but can achieve absolute service differentiation between classes. This new DVLP scheme shares wavelength resources based on several different priority of classes in an efficient and QoS guaranteed manner. The performance results show that the proposed scheme effectively guarantees a target blocking probability of each traffic classes both in Poisson and Self-similar traffic environment.

Keywords : Optical Burst Switching, Absolute QoS, Dynamic Wavelength Assignment

I. 서론

* 正會員, 韓國情報通信大學校 光인터넷研究中心
(Optical Internet Research Center, Information and Communications University).

※ 본 연구는 KOSEF의 ERC 프로그램 일환인 OIRC 프로젝트의 지원으로 수행되었습니다.

接受日字:2003年9月7日, 수정완료일:2003年10月10日

IP 기반의 데이터 트래픽, 특히 실시간 멀티미디어 서비스 등의 증가와 더불어 전송 대역의 요구량도 증가하게 되었다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여 고밀도 파장 분할 다중화 기술(DWDM)과 같은 거대한 대역폭을 지원할 수 있는 광 통신 기술이 연구 개발되기 시작하였다. 이러한 앞선 광 통신 기술 개발과 함께 광/전 변

환 없이 IP 패킷을 직접 광 계층에 실어 보낼 수 있는 차세대 광 네트워크 구조 연구도 활발히 진행되어 왔다. 비록 광 패킷 스위칭 기술이 전광 백본 네트워크에 최적의 해법이라고 생각할 수 있으나 광 메모리와 전광 패킷 처리와 같은 기술적 제약이 존재하고 있다. 최근 이러한 제약을 극복 하기 위한 하나의 방법으로 광 버스트 스위칭 기술이 활발히 연구 되고 있다. 광 버스트 스위칭 기술은 스위칭 노드에서 광/전 변환을 하지 않음은 물론 버퍼를 사용하지 않는다는 장점이 있다. 하지만 광 버스트 네트워크를 실제로 구성하기 위해서는 풀어야 할 문제들이 아직 많이 남아 있다. 에지 노드 측면에서 보면 버스트 offset time 관리 및 버스트 생성 기법^[1] 등이 주요 문제점으로 볼 수 있다. 반면 코어 노드 측면에서는 데이터 및 제어 패킷의 스케줄링^[2], 보호 및 복구 방법, QoS 제공 방법, 충돌 방지 기법^[3] 등이 해결해야 할 문제점으로 남아 있다.

특히, QoS 제공 측면에서 보면 QoS offset time 기법^[4], 버스트 분할(segmentation)^[5], 비례적 차등화^[6], 우선 서비스(preemption)^[7], 우선 자원 예약(forward resource reservation)^[8] 등 현재까지 다양한 QoS 제공 방안이 광 버스트 네트워크에서 제안되어 왔다. 하지만 위에서 언급한 QoS 제공방안은 단지 상대적 QoS만을 제공하는 방법으로서 아무리 우선순위가 높은 클래스라 할지라도 제공할 수 있는 QoS 성능 상한선(upper bound)이 정해지지 않는다. 다시 말하면 각각의 클래스는 목표로 하는 QoS를 보장할 수 없고 네트워크의 트래픽 분포에 따라 각 클래스의 서비스가 결정됨을 의미한다.

차세대 실시간 인터넷 트래픽을 지원하기 위해서 광 버스트 스위치 네트워크 또한 각기 다른 사용자 요구에 만족하는 서비스를 지원해주어야 함은 당연하다. 하지만 아직까지 절대적 QoS를 제공하기 위한 방안에 대해서는 연구가 활발히 이루어지고 있지 않다. 기존의 인터넷 QoS제공 방법 (패킷 스케줄링, 버퍼 관리)등은 광 메모리와 전광 패킷처리와 같은 기술의 미성숙으로 인하여 광 버스트 스위칭 네트워크에서는 사용하기에 부적합하다. 따라서 광 레벨에서 QoS를 효과적으로 보장해 주기 위한 새로운 방법이 요구된다. 다음은 이러한 새로운 QoS제공 방안을 위한 고려 사항이다.

- 데이터 정보는 전/광 또는 광/전 변환 없이 각 중간 노드에서 광 레벨에서 처리되어야만 한다.
- 각 노드에서의 손실률 및 중단간의 지연 상한선은 보장되어야 한다.

- 네트워크 내에서의 QoS는 긴 주기(일 또는 달),는 물론 짧은 주기(분 또는 시간) 또한 보장되어야 한다.
- 패킷 처리 시간과 구현 단가 등을 포함하는 하드웨어 복잡도는 최소화 해야 한다.
- QoS 제공 방법은 확장이 용이해야 하며 신뢰성을 가져야 하며 광 네트워크특성에 부합하는 방법이어야 한다.

이러한 배경하에서 본 논문에서는 광 레벨에서 절대적 QoS를 보장하기 위한 새로운 방법인 동적 가상 파장 분할 방법을 제안한다. 본 알고리즘은 광섬유내의 여러 개의 파장을 몇 개의 우선순위 파장 그룹으로 나누고 동적으로 각 그룹의 파장을 재 할당하는 방법이다. 추가적으로 각 우선순위 트래픽 클래스들은 서로 다른 파장 그룹 접근 방법을 가진다. 예를 들면 높은 우선순위의 클래스는 자신과 동등한 우선순위의 파장 그룹 및 보다 낮은 우선순위의 파장 그룹에 대역폭을 예약할 수 있는 반면 낮은 우선순위의 트래픽 클래스는 자신보다 높은 우선순위의 파장그룹에 대역폭을 예약할 수 없다. 이러한 특징을 이용하여 제안한 알고리즘은 추가적인 offset time없이 각 클래스들의 목표 손실률을 만족시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안한 동적 가상 파장 분할 기법을 소개하고 자세한 동작 방법을 설명한다. III장에서는 동적 가상 파장 분할 기법의 성능분석을 다룬다. IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 III장의 성능분석의 타당성을 검증한다. 마지막으로 V장에서는 결론 및 차후 연구 방향에 대하여 논의한다.

II. 동적 가상 파장 분할 알고리즘

우리는 광 버스트 스위칭 네트워크가 전송율 R , 각 광섬유마다 W 개의 파장, 그리고 n 개의 우선순위 트래픽 클래스를 지원한다고 가정한다. 다음으로 우리는 몇 가지 변수를 정의한다.

$$W(i) = \{ [w_1, \dots, w_n] \mid 1 \leq w_1, \dots, w_n = W - n + 1, \sum_{j=1}^n w_j = W \}, \quad i = 1, 2, \dots$$

$$B(i) = \{ [b_1, \dots, b_n] \mid 0 \leq b_1, \dots, b_n \leq 1 \}$$

$$G = \{ [g_1, \dots, g_n] \mid 0 \leq g_1, \dots, g_n \leq 1 \}$$

우선 $W(i)$ 는 i 번째 버스트 제어 패킷(BCP: burst control packet)이 스케줄러에 도착하였을 때 각 파장그

룹이 보유하고 있는 파장의 수를 나타내는 집합이다. 여기서 각 파장그룹은 적어도 한 개 이상의 파장은 보유하고 있다라고 가정한다. $B(i)$ 는 노드에서 관찰하고 있는 각 클래스의 손실률을 나타내는 집합이다. G 는 각 클래스가 절대적으로 보장해 주어야 하는 목표 손실률을 나타내는 집합이다. 여기서 클래스 1은 최선의 서비스 (best effort service)를 나타내므로 목표 손실률인 g_1 은 특정 값으로 정의되지 않는다.

동적 가상 파장 분할 알고리즘은 다음과 같은 중요한 특징이 있다. 첫째, QoS 요구를 만족시키기 위한 적당한 수의 파장을 각 파장그룹에 할당하기 위하여 각 목표 손실률에 기반하여 트래픽량을 예측한다. 예를들면 n 번째 파장그룹내의 초기 파장의 개수인 w_n^0 은 목표로한 손실률 및 입력 트래픽의 양을 기반으로 하여 적당한 초기값을 정한다. 이러한 초기값은 일단 알고리즘이 동작하게 되면 현재 목표 손실률이 보장되고 있는지의 여부에 따라서 시간별로 동적으로 재 할당되기 때문에 초기값에 크게 영향을 받지 않는다. 둘째, 손실률의 보장 여부는 관찰하고 있는 손실률의 미분값으로 쉽게 구할 수 있다. 셋째, 각 파장그룹을 동적으로 재 구성하기 위하여 히스테리시스 특성을 갖는 threshold 기법을 사용하였다. 이러한 메커니즘을 통하여 입력 트래픽들이 시간에 따라서 크게 변화할 경우에도 파장 그룹의 재구성 빈도를 크게 완화 시킬 수 있다. 마지막으로 각 우선 순위 클래스들은 서로 다른 파장그룹 접근 권한을 가지고 있다. 예를 들면 가장 높은 우선순위인 n 클래스의 경우 파장그룹 n 에서부터 파장그룹 1까지의 모든 파장 그룹내의 파장에 대역폭을 예약할 수 있는 반면 가장 낮은 우선순위인 1 클래스의 경우에는 단지 파장 그룹 1에 속해있는 파장에만 대역폭을 예약할 수 있다.

<그림 1>에 동적 가상 파장 분할 알고리즘의 블록 다이어그램을 나타내었다. 우선 T^u 과 T^o 를 목표 손실률과 비교하여 낮은 손실률 과 높은 손실률의 발생 빈도로 각각 정의한다. 또한 TH^u 과 TH^o 은 히스테리시스 특성을 갖는 낮은 손실률 및 높은 손실률의 threshold 값으로 정의한다. 자기유사 (self-similar) 특성을 갖는 인터넷 트래픽의 영향을 최소화 하기 위하여 여러가지 시뮬레이션의 결과를 통하여 TH^o 값을 TH^u 보다 크게 설정해주어야 함을 발견 하였다. 지면의 제약으로 인하여 최적의 threshold 값을 결정하는 문제는 여기서 다루지 않지만 광범위한 시뮬레이션을 통하여 최적의 TH^u 와 TH^o 의 값을 500, 100으로 결정할 수 있었다.

<그림 1>에 보인 동적 가상 파장 분할 알고리즘의 동작 순서를 자세히 살펴보면, 우선 k 클래스의 BCP가 노드에 도착하면 스케줄러는 k 파장 그룹 내에 가용한 파장이 있는지 살펴본다. 만약 없다면 $k-1$ 파장 그룹내의 가용한 파장을 검색한다. 만약 파장 그룹 1까지 모두 검색한 결과 가용 파장이 존재하지 않으면 이러한 트래픽은 손실되고 k 클래스의 손실률은 증가된다. 만약 k 클래스의 손실률이 목표 손실률보다 크게 되면 T^o 값을 1증가 시키게 된다. 이러한 T^o 값이 만약 threshold 값인 TH^o 값보다 크게 되면 k 파장 그룹을 재구성 하게 된다. 파장 그룹 재구성 방법은 간단히 최선의 서비스 그룹인 1번 파장 그룹내의 파장을 k 번 파장 그룹으로 재구성하는 동작을 하게 된다. 이러한 동작순서가 <그림 1>의 오른쪽 가지를 나타내었다. 왼쪽 가지는 k 클래스의 BCP가 대역폭 예약에 성공하는 경우를 나타내고 실패하는 경우와 반대되는 동작을 하게 된다.

BCP가 특정 파장을 예약함에 있어 first fit, round robin, random 등 여러 가지 예약 방법이 존재하게 된다. 본 동적 가상 파장 분할 알고리즘에서는 LAUC-VF (latest available unused channel-void filling)^[2] 방법을 사용하였다. 이 방법은 데이터 채널내의 연속되는 두 개의 데이터 버스트 사이의 공간(void)을 효율적으로 사용하는 방법으로서 채널 사용률을 매우 높일 수 있는 장점을 가지고 있다.

제안한 동적 가상 파장 분할 알고리즘은 기존의 TDM (time division multiplexing) 네트워크에서의 트렁크 예약 방법과 유사한 점이 있으나 파장 분할 다중화 네트워크(WDM: wavelength division multiplexing)

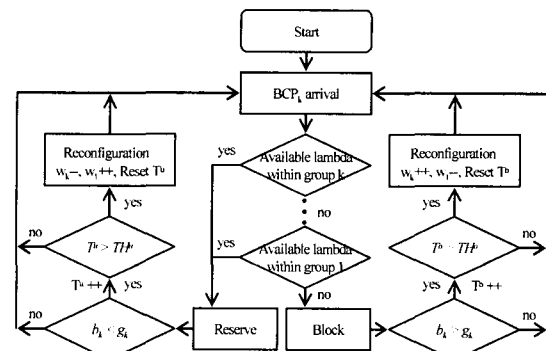


그림 1. 동적 가상 파장 분할 알고리즘의 블록 다이어그램

Fig. 1. Block diagram of DVLP algorithm.

에서 제공할 수 있는 대역폭의 크기(granularity) 및 광 버스트 스위칭 네트워크의 특징인 지연 예약(delayed reservation)등으로 인하여 전통적인 TDM네트워크에서의 성능과는 전혀 다른 성능 지수를 나타낼 수 밖에 없다.

III. 성능 분석

본 장에서는 동적 가상 파장 분할 알고리즘의 성능을 손실률 및 각 파장 그룹내의 평균 파장의 개수에 초점을 맞추어 분석을 실시 하였다. 총 트래픽 클래스는 n 개로 정의하고 만약 $n > i > j > 1$ 라면 클래스 i 는 클래스 j 에 비하여 높은 우선 순위를 가짐을 의미한다. 또한 i 클래스의 BCP는 포와송 분포 하에 도착율 ρ_i 를 가지며 지수 분포의 서비스율 μ_i 를 갖는다. 입력되는 부하는 $\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i$ 으로 정의되고 각각의 광 섬유 내에는 k 개의 서로 다른 파장이 존재한다고 가정한다. 이러한 가정하에서 우선순위 클래스를 두지 않는 경우M/M/k/k로 모델링 될 수 있고 잘 알려진 Erlang's B 공식을 이용하여 손실률을 구할 수 있다^[9].

$$P = B(k, \rho) = \frac{\rho^k / k!}{\sum_{i=0}^k \rho^i / i!} \quad (1)$$

이제부터 동적 가상 파장 할당 알고리즘을 사용하였을 경우 i 클래스의 손실률 $B^i, i = n, n-1, \dots, 2, 1$ 를 구해 본다. 먼저 전체 네트워크의 성능은 클래스의 개수와 관계없이 같다는 conservation 법칙이 성립함을 가정한다. (광 버스트 스위칭 네트워크에서 conservation 법칙이 성립함을 참고문헌 [4]에서 시뮬레이션을 통해 입증) 수식전개를 위하여 $\rho_{n,i}, w_{n,i}$ 는 각각 클래스 n 에서부터 클래스 i 까지의 부하 합 및 파장 개수의 합으로 정의하고 $\rho_{n,i} = \sum_{j=i}^n \rho_j, w_{n,i} = \sum_{j=i}^n w_j$ 와 같이 나타낼 수 있다. 우선 파장 그룹의 손실률을 구함으로써 쉽게 모든 클래스의 손실률을 구할 수 있다. 먼저 pr^n 으로 나타낼 수 있는 n 파장 그룹의 손실률을 구한다. n 클래스보다 낮은 클래스는 n 파장 그룹에 대역폭을 할당할 수 없으므로 pr^n 은 단지 n 클래스의 부하에 따라 정의될 수 있다. 따라서 (1)번 공식을 이용하여 n 파장 그룹의 손실률을 구해보면 $pr^n = B(w_n, \rho_n)$ 으로 간단히 나타낼 수 있다. 그러나 $n-1$ 파장 그룹의 손실률 pr^{n-1} 을 구하기 위해서는 두 가지 부하를 고려하여야 한다. 하나는 $n-1$ 클래스

의 입력부하 ρ_{n-1} 이고 다른 하나는 n 클래스의 부하 중 n 파장 그룹에서 파장을 할당 받지 못한 부하 $\rho_n \cdot pr^n$ 이다. 이러한 두 가지 부하가 $n-1$ 파장 그룹에서 경쟁을 하게 됨으로 $n-1$ 파장 그룹의 손실률은 $pr^{n-1} = B(w_{n-1}, \rho_{n-1} + \rho_n \cdot pr^n)$ 으로 나타낼 수 있다. <그림 2>에 트래픽 클래스와 파장 그룹간의 부하 관계를 나타내었다. 따라서 일반적인 파장 그룹인 $i (n > i > 1)$ 파장 그룹의 손실률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$pr^i = B(w_i, \rho_i + \sum_{j=i+1}^n (\rho_j \cdot \prod_{k=i+1}^j pr^k)) \quad (2)$$

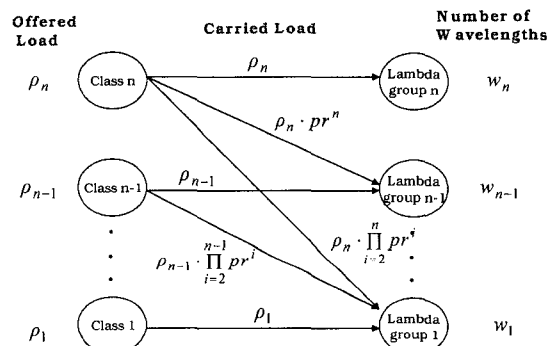


그림 2. 트래픽 클래스와 파장 그룹간의 관계
Fig. 2. Relationship between traffic classes and lambda groups.

이제부터 각 클래스의 손실률을 가장 낮은 우선순위인 클래스 1부터 구해보도록 한다. 클래스 1 트래픽은 우선 순위가 가장 낮은 클래스이므로 파장 그룹 1에 속해있는 파장만을 예약할 수 있다. 따라서 클래스 1의 손실률은 파장 그룹 1의 손실률과 같으므로 $B^1 = pr^1$ 으로 나타낼 수 있다. 클래스 2의 트래픽이 손실될 경우는 만약 클래스 2 트래픽이 파장 그룹 2와 파장 그룹 1 모두에서 대역폭 예약에 실패한 경우이므로 클래스 2의 손실률을 $B^2 = pr^1 \cdot pr^2$ 으로 나타낼 수 있다. 이와 같은 방법으로 일반적인 i 클래스의 손실률 B^i 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B^i = \prod_{j=1}^i pr^j \quad (3)$$

다음은 식 (3)을 바탕으로 하여 각각의 파장 그룹당 평균 파장 개수의 하한선과 상한선을 구해보도록 한다.

먼저 w_i^l and w_i^u , 을 i 클래스의 평균 파장 개수의 하한선 및 상한선으로 각각 정의한다. 하한선은 II장에서 설명한 바와 같이 적어도 1개의 파장은 파장그룹에 속해 있다고 가정하였으므로 $w_i^l = 1$ 이다. 상한선 w_i^u 는 현재 관찰하고 있는 손실률 B^i 가 목표 손실률인 g_i 를 만족시키고 있을 경우이다. 이러한 내용을 바탕으로 파장 그룹 n 부터 살펴보면 다음과 같은 식 (4)와 식 (5)를 만족한다.

$$B^n = g_n = \prod_{j=1}^n pr^j = pr^n \cdot g_{n-1} \tag{4}$$

$$pr^n = B(w_n^u, \rho_n) = \frac{g_n}{g_{n-1}} \tag{5}$$

따라서 식 (5)를 역변환하여 풀게되면 우리가 원하는 상한선 w_n^u 를 얻을 수 있다. 같은 방법으로 계속 수행하면 일반적인 파장그룹 i 의 상한선 w_i^u 를 다음과 같은 식으로 얻을 수 있다.

$$B(w_i^u, \rho_i + \sum_{j=i+1}^n (\rho_j \cdot \prod_{k=i+1}^j pr^k)) = \frac{g_i}{g_{i-1}} \tag{6}$$

IV. 시뮬레이션 및 결과

제안된 동적 파장 분할 알고리즘의 성능 평가를 위해 자바 기반의 광 버스트 스위칭 네트워크 시뮬레이터를 제작, 광범위한 실험을 수행 하였다. 시뮬레이션 모델로서 각각의 코어 노드들은 8x8의 포트를 가정하였고 클래스 1, 클래스 2, 클래스 3과 같이 3개의 우선순위 트래픽 클래스를 정의 하였다. 데이터 버스트의 스케줄링 알고리즘은 II장에서 언급한 LAUC-VF방법을 적용하였고 메모리 공간의 제약을 생각하여 한 채널당 10개의 void만을 저장 할 수 있도록 설정 하였다. 트래픽 부하의 분포는 클래스 1, 클래스 2, 클래스 3 각각 70%, 20%, 10%로 정하였으며 데이터 채널 스피드는 10Gbps로 설정 하였다.

기본적으로 입력 에지 노드에서 트래픽 shaping 기능을 제공한다면 광 버스트 스위칭 네트워크 내에서는 지수분포의 입력 트래픽 패턴이 영향을 미치는 반면 이러한 shaping 기능이 제공 되지 않는다면 인터넷의 자기 유사 특성이 그대로 광 버스트 스위치망에 전달될 것이다. 따라서 본 논문에서는 지수 분포의 입력 트래픽과

자기유사 특성을 가지는 입력 트래픽 두 가지 모두를 고려하였다. 자기 유사 특성의 트래픽으로는 Pareto 분포를 선택하였으며 Hurst 지수 H는 0.9로 설정 하였다.

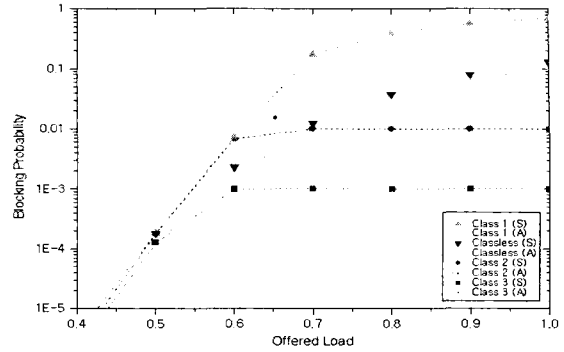


그림 3. 포와송 트래픽을 입력하였을 때 긴 주기 동안의 각 클래스의 평균 손실률 대 제공 부하
Fig. 3. Long term average blocking probability of each class via offered load when Poisson traffic is applied.

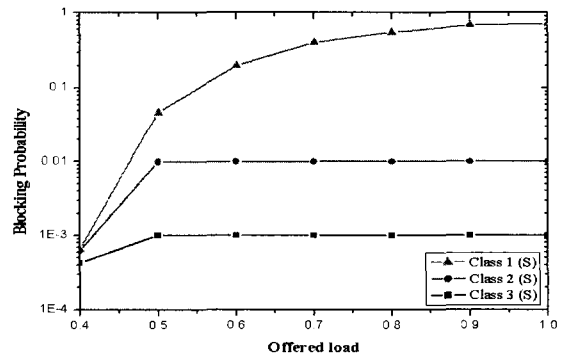


그림 4. Pareto 트래픽을 입력하였을 때 긴 주기 동안의 각 클래스의 평균 손실률 대 제공 부하
Fig. 4. Long term average blocking probability of each class via offered load when Pareto traffic is applied.

<그림 3>에서는 파장의 개수를 32로 설정하였을 때 각 클래스 마다 긴 주기 동안의 손실률을 제공되는 부하의 함수로 나타내었다. 또한 목표 손실률을 클래스 3은 10^{-3} , 클래스 2는 10^{-2} , 클래스 1은 최선의 서비스로 설정하였다. 결과에서 보듯이 성능 분석값 (A로 표기)이 시뮬레이션 값(S로 표기)과 일치하는 것을 볼 수 있다. 클래스 3 및 2와 클래스 1의 손실률을 비교해 보면 동적 파장 분할 알고리즘에 의한 절대적 QoS가 클래스 3 및 클래스 2에 제공되는 것을 볼 수 있다. 입력되는

부하가 증가함에도 불구하고 클래스 3 및 클래스 2는 목표 손실률인 10^{-3} 및 10^{-2} 을 제공하는 것을 볼 수 있다. 그러나 클래스 3의 낮은 목표 손실률을 제공하는 반면 이로 인하여 클래스 1의 손실률은 클래스를 나누지 않았을 경우보다 높아짐을 볼 수 있다. 이러한 결과를 통하여 conservation 법칙이 잘 성립 하는 것을 볼 수 있다.

Pareto 트래픽을 입력하였을 경우에도 클래스 3 및 클래스 2는 절대적 QoS를 제공하는 것을 <그림 4>에서 보였다. 입력되는 트래픽의 버스티(bursty)한 특성으로 인하여 최선의 서비스를 제공하는 클래스 1의 손실률이 포와송의 경우와 비교하여 약간 증가 한 것을 볼 수 있다.

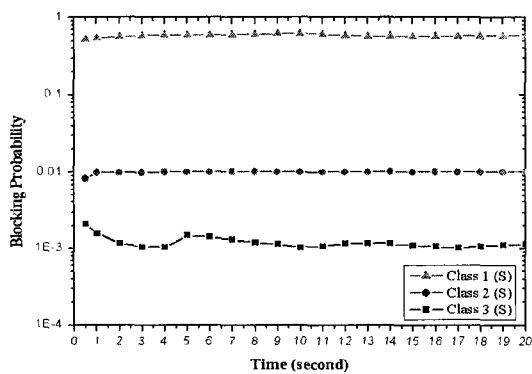


그림 5. 포와송 트래픽을 0.8의 부하로 입력하였을 때 짧은 주기 동안의 손실률 변화
 Fig. 5. Short term blocking probability of each class via time when the offered load is 0.8 and Poisson traffic applied.

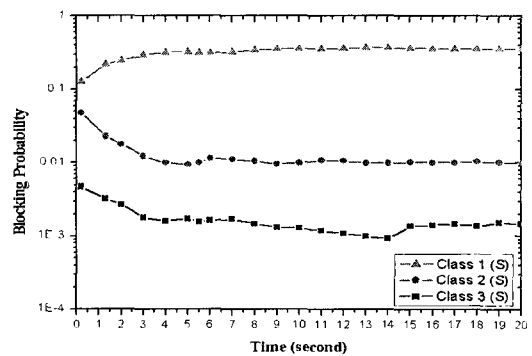


그림 6. Pareto 트래픽을 0.8의 부하로 입력하였을 때 짧은 주기 동안의 손실률 변화
 Fig. 6. Short term blocking probability of each class via time when the offered load is 0.8 and Pareto traffic applied.

동적 가상 파장 분할 알고리즘이 긴 주기 동안의 절대적 QoS뿐만 아니라 짧은 주기 동안에도 포와송 트래픽 및Pareto 트래픽 환경 하에서 목표 손실률을 만족함을 <그림 5>와 <그림 6>에서 보였다.

특히 <그림 5>의 클래스 2와 3의 손실률 변화를 살펴보면 초기 3초동안 목표 손실률을 보장하지 못함을 볼 수 있다. 이는 Pareto 트래픽의 버스티한 성질 및 파장 그룹에 초기 설정한 w_n^0 의 값이 예상치와 맞지 않음을 나타낸다. 하지만 이러한 정착 시간이 지나게 되면 목표 손실률을 정확히 보장해주는 것을 볼 수 있다.

<그림 7>과 <그림 8>에서는 각 파장 그룹 마다 동적으로 변화 하고 있음을 보였다. 파장 그룹 3과 2는 클

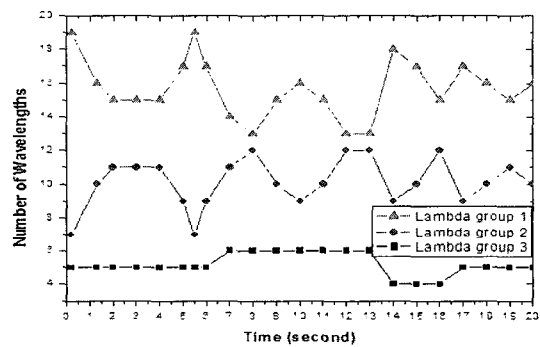


그림 7. 각 포트마다 32개의 파장을 사용하였고 포와송 트래픽을 0.8의 부하로 입력하였을 때 각 파장 그룹 마다 파장의 개수 변화

Fig. 7. The number of wavelengths per class for 32 wavelengths per port when the offered load is 0.8 and Poisson traffic is applied.

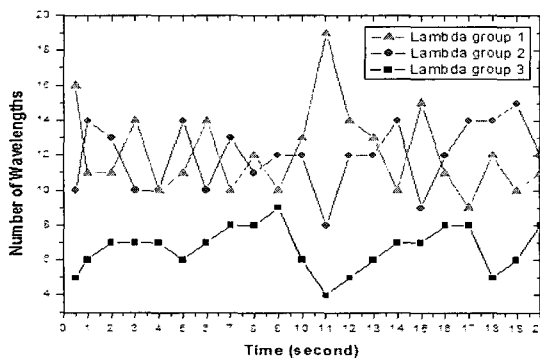


그림 8. 각 포트마다 32개의 파장을 사용하였고 Pareto 트래픽을 0.8의 부하로 입력하였을 때 각 파장 그룹 마다 파장의 개수 변화

Fig. 8. The number of wavelengths per class for 32 wavelengths per port when the offered load is 0.8 and Pareto traffic is applied.

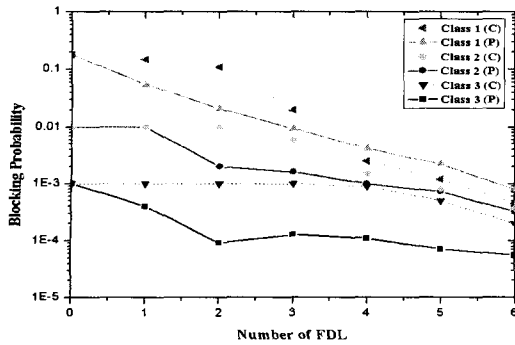


그림 9. 입력 포트에 제한된 FDL 버퍼를 사용하였을 경우 각 클래스의 평균 손실률

Fig. 9. Average number of blocking probability of each class when the limited FDL is used at the input ports by different accessing policy, where commonly used (c) and prioritized (p).

래스 3과 2의 목표 손실률을 보장하기 위해서 최소한의 파장만을 시간에 따라 가지게 되는 것을 볼 수 있다. 포와송 트래픽의 경우 파장 그룹 3에서는 목표 손실률을 보장하기 위하여 약 4개에서 6개의 파장만을 사용함을 볼 수 있다. 이와는 반대로 Pareto 트래픽의 경우 3개에서 9개까지의 파장을 동적으로 할당하는 것을 볼 수 있다. 이는 버스티한 트래픽 특성에 의한 것으로서 포와송 트래픽과 비교하여 평균적으로 더 많은 파장을 점유하고 있으며 파장 그룹의 재구성 빈도 또한 훨씬 자주 일어난다는 것을 볼 수 있다.

그리고 만약 목표 손실률을 더욱더 낮게 설정 한다면 파장 개수의 변화율은 점점 더 커짐을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다. 이러한 현상을 보상하기 위해서는 기존의 TH^c , TH^p 값들을 더욱 크게 설정하여 threshold 값의 민감성을 낮춤으로서 변화율을 최소화 할 수 있다.

추가적으로 제한된 FDL 버퍼를 중간 노드에 사용함으로써 얻을 수 있는 효과에 대하여 살펴 본다. <그림 9>에 두 가지 다른 FDL 사용 정책에 대하여 성능을 보였다. 하나는 모든 클래스가 공통으로 제한된 FDL을 사용할 수 있도록 하였으며(C 표현), 다른 하나는 높은 우선 순위 클래스에 우선권을 부여한 경우이다(P로 표현). 첫 번째의 경우 클래스 1이 대부분의 FDL 자원을 점유 함으로써 서비스의 차별화가 비교적 적게 나타난 반면 두 번째의 경우에는 그림에서 보듯이 클래스 3의 손실률이 현저히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 따라서 높은 우선 순위의 클래스에 제한된 FDL을 우선적으로 사용할 수 있게 함으로써 파장 그룹의 효율성을 더욱 높일 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 절대적 QoS를 제공하기 위한 방안으로서 동적 가상 파장 분할 방법을 제안 하였다. 이 방법은 파장을 동적으로 우선 순위에 따라 공유함으로써 효율적인 파장 사용을 할 수 있도록 하였으며 threshold 방법을 적용 함으로써 파장 재 그룹의 동작에 히스테리시스 특성을 갖게 하였다. 시뮬레이션의 결과에서는 제안한 동적 가상 파장 분할 알고리즘을 사용하여 각각의 클래스가 목표 손실률을 정확히 만족 함을 포와송 및 Pareto 분포의 입력 트래픽 하에서 보였다. 마지막으로 제한된 FDL 버퍼를 사용함으로써 제안된 알고리즘의 성능을 크게 높일 수 있음을 보였다. 주어진 목표 손실률에 따라 최적의 threshold 값들을 결정짓는 일과 본 알고리즘의 실행 가능영역 테스트등이 차후의 연구 방향이다.

참고 문헌

- [1] An Ge, Franco Callegati, and Lakshman S. Tamil, "On Optical Burst Switching and Self-Similar Traffic". IEEE Communication Letters, Vol. 4, No. 3, March 2000, pp. 98-100.
- [2] Y. Xiong, Vandenhoute, Hakki C, "Control Architecture in Optical Burst-Switched WDM Networks," IEEE JSAC vol.18, no.10, pp. 1838-1851, 2000.
- [3] Sungchang Kim, Namook Kim, and Minho Kang, "Contention Resolution for Optical Burst Switching Networks Using Alternative Routing", ICC 2002., Vol 5, pp. 2678 2681.
- [4] Yoo, M, Qiao, C "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-over-WDM Networks" JSAC, vol 18, no.10, pp. 2062-2071, 2000.
- [5] V. Vokkarane, Q. Zhang, J.P. Jue, and B. Chen. "Generalized burst assembly and scheduling techniques for QoS support to optical burst-switched networks." Globecom 2002, Vol 3, pp. 2747 - 2751.
- [6] Y. Chen, M. Hamdi, and D.H.K. Tsang, "Proportional QoS over OBS networks."

Globecom, 2001, vol. 3, pp. 1510-1514.
 [7] C. Loi and W. Liao and D. Yang. "Service Differentiation in Optical Burst Switched Networks." Globecom 2002, vol. 3, pp. 2313-2317.
 [8] J. Liu and N. Ansari. "Forward Resource

Reservation for QoS Provisioning in OBS Systems". Globecom 2002, vol 3, pp. 2777-2781.
 [9] L. Kleinrock, "Queueing Systems, volume 1: Theory". New York: Wiley Interscience, 1975.

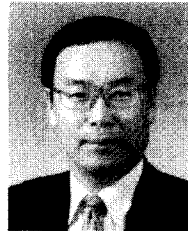
저 자 소 개



金 成 暢(正會員)
 1999년 2월 : 인하대학교 전기공학과(학사). 2002년 2월 : ICU 광 네트워크(석사). 2002년 3월~현재 : ICU 광 인터넷 연구센터 박사과정 재학 중. <주관심분야 : 인터넷 QoS, 라우팅 및 파장할당 알고리즘, 스케줄링, 망 성능분석>



崔 振 植(正會員)
 1985년 2월 : 서강대학교 전자공학과(학사). 1987년 2월 : KAIST 전기공학과(석사). 1995년 8월 : KAIST 전기공학과(박사). 1987년~1991년 : LG 정보통신 연구원. 1995년~2001년 : 공주대학교 정보통신학과 조교수. 1998년 9월~2000년 8월 : 미국 NIST 방문연구원. 2001년~현재 : ICU 조교수. <주관심분야 : 광 인터넷 프로토콜, QoS 보장 라우팅 및 스위칭>



姜 玟 綽(正會員)
 1969년 2월 : 서울대학교 전기공학과(학사). 1973년 5월 : Univ. of Missouri-Rolla, MSEE. 1977년 12월 : Univ of Texas at Austin, Ph.D. 1977년 8월~1978년 9월 : AT&T Bell lab. 1978년 9월~1988년 1월 : 한국전자통신연구원 광통신연구실장, 통신정보 연구단장. 1985년 6월~1988년 3월 : 과학기술부 전기전자 연구조정관. 1990년 2월~1999년 8월 : 한국통신 연구개발단장, 품질보증단장, 해외 본부장. 1999년~현재 : ICU 광 인터넷 연구센터 소장(교수). <주관심분야 : 광 네트워크, 광 인터넷 구조 및 프로토콜>