

광 패킷 교환기에서 QoS 보장을 위한 파장 변환 및 버퍼 관리 기법

정회원 김병철*, 조유제*, 최지연**, 김해근**

Wavelength Conversion and Buffer Management Schemes for QoS Guarantee in Optical Packet Switch

Byung-Chul Kim*, You-Ze Cho*, Jee-Yon Choi**, Hae-Geun Kim** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 광 패킷 교환기에서 QoS 보장을 위해 필수적인 트래픽 제어 기법을 제안하고 성능을 분석하였다. 이를 위해 우선 광 패킷 교환기의 일반적인 구조를 모델링하고, 이를 통하여 광 패킷 교환기에서의 트래픽 제어 기법 적용을 위한 구현 요소 및 요구 사항을 분석하였다. 그리고, 광 패킷 교환기의 특성을 반영하여 구현의 복잡도를 줄이면서 클래스 별 QoS의 차별화가 가능한 파장 변환 기법 및 버퍼 관리 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 파장 변환 기법의 유용성을 확인할 수 있었고, 제안된 버퍼 관리 기법을 통하여 트래픽 클래스 간의 패킷 손실률 및 수율 면에서 QoS의 차별화가 가능함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose and evaluate the performance of traffic management schemes for QoS guarantee in optical packet switch. First, we investigate the general model of optical packet switch and its traffic management techniques and requirements. And, we propose the wavelength conversion scheme and buffer management scheme that can support QoS differentiation, efficient resource usage, and reduced implementation complexities. Also, we investigate the performance of the proposed traffic management schemes using simulation. Simulation results show that wavelength conversion scheme is essential function for optical packet switch, and the proposed buffer management scheme can provide packet drop probability and throughput differentiation according to allocated bandwidth of each traffic class.

1. 서론

최근 인터넷을 통한 정보 전달이 기하급수적으로 늘어나 통신망을 통하여 전송되어야 하는 정보량이 폭발적으로 증가되고 있으며, 사용자의 서비스도 단순한 데이터뿐만 아니라 실시간 음성, 비디오 서비스 등으로 다양화되고 있다. 따라서, 현재 요구되고 있는 서비스들은 물론 앞으로 도래하게 될 다양한 트래픽 특성을 가지는 서비스들을 수용하고 광대역

및 고속의 서비스를 제공하기 위해서는 고속의 광대역 교환기가 필수적으로 요구된다. 이에 따라 전자적 교환기의 처리 용량의 한계를 극복하기 위해 전/광 변환을 거치지 않고 완전 광으로 처리하는 광 교환 기술의 중요성이 대두되고 있다.

현재 광 교환망의 발전 방향은 단순히 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 기술을 이용하여 전송 용량만을 증가시킨 점대점 연결 방식에서 스위칭 및 라우팅 등과 같은 몇몇 기능을 광학 부

* 경북대학교 전자전기공학부(bckim@palgong.knu.ac.kr, yzcho@ee.knu.ac.kr)

** 한국전자통신연구원 광라우팅연구부 ((jychoi, hgkim)@etri.re.kr)

논문번호 : K01092-0228, 접수일자 : 2001년 2월 28일

본에서 처리함으로써 파장 단위로 광 경로를 연결하는 회선 교환 방식으로 발전할 것으로 예측되고 있다. 그리고, 회선 교환 방식의 경우 정적인 라우팅 설정 방식에서 동적 라우팅 설정 방식으로 발전되며, 궁극적으로는 광 패킷 교환망으로 발전하게 될 것이다^[1]. 이러한 광 교환망에서 각 서비스들의 다양한 QoS를 보장하면서 망 자원의 효율적인 이용이 가능하도록 하는 트래픽 제어는 정보를 완전히 광으로 처리하여야 하기 때문에 기존 전기적 교환망에서의 트래픽 제어와는 다른 기법을 필요로 한다.

현재 연구되고 있는 광 교환망에서의 트래픽 제어 기법들을 살펴보면 우선 광 회선 교환망에서는 다중 파장을 이용한 광 경로의 라우팅 및 파장 할당에 관한 최적의 알고리즘을 도출하기 위한 연구가 활발히 진행 중에 있다^[2]. 그리고, 광 교환망에서의 시그널링 및 트래픽 엔지니어링을 위해 새로운 기법을 도입하기 보다는 기존 전기적인 교환망에서 모델링이 잘 되어 있는 MPLS (Multi-protocol Label Switching)를 도입하려는 노력의 일환으로 IETF (Internet Engineering Task Force), OIF (Optical Internetworking Forum) 및 ODSI (Optical Domain Service Interconnect) 등의 단체에서 활발히 표준화 작업을 진행하고 있다^[3]. 또한 광 회선 교환망에서 광 패킷 교환망으로의 진화 과정에서 중간 단계로 여겨지는 OBS (Optical Burst Switching)에서 QoS를 보장해 주기 위한 프로토콜에 관한 연구가 진행 중에 있다^[4].

광 소자의 기술 발전과 더불어 최종적인 단계가 될 광 패킷 교환망에서는 광 패킷 교환기내에서의 경쟁 발생을 사전에 방지하고, 발생시에는 데이터의 손실을 최소화하면서 경쟁을 해결하기 위한 트래픽 제어 기법의 연구가 진행되고 있다. 이러한 경쟁 해결 기법들로는 광 버퍼링 방식, deflection 라우팅 방식, 파장 변환 방식 및 이들을 결합한 방식들이 사용될 수 있다^[5]. 그러나, 이러한 방식들을 이용한 QoS 보장 및 차별화 방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 광 패킷 교환기에서 QoS 보장을 위해 필수적인 트래픽 제어 기법을 제안하고 성능을 분석한다. 이를 위해 우선 광 패킷 교환기의 일반적인 구조를 모델링하고, 이를 통하여 트래픽 제어 기법 적용을 위한 구현 요소 및 요구 사항을 분석한다. 그리고, 광 패킷 교환기의 특성을 반영하여 구현의 복잡도를 줄이면서 클래스 별 QoS의 차별

화가 가능한 파장 변환 기법 및 버퍼 관리 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석한다.

논문의 구성은 서론에 이어 II장에서 광 패킷 교환기의 일반적인 구조와 트래픽 제어 기법 적용을 위한 구현 요소 및 요구 사항을 분석하고 기존 방식들을 특성을 고찰한다. III장에서는 광 패킷 교환기에서 QoS 보장을 위해 트래픽 제어 기법으로 적용될 수 있는 파장 변환 기법 및 버퍼 관리 기법의 기존 방식을 제안한다. IV장에서는 시뮬레이션을 이용하여 제안된 방식의 성능을 패킷 손실율 및 수율의 관점에서 분석하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 광 패킷 교환기에서의 트래픽 제어 모델

WDM 기술을 기반으로 한 광 패킷 교환기는 패킷을 완전 광의 형태로 처리하므로 전기적 패킷 교환기에서 고려되는 트래픽 제어 모델에 광 패킷 교환기의 특성이 함께 고려되어 설계되어야 한다. 따라서, 본 장에서는 일반적인 광 패킷 교환기의 구조 및 논리적인 큐잉 모델을 고찰하여 이를 바탕으로 광 패킷 교환기에서의 트래픽 제어 요구 사항 및 기존 연구 동향을 살펴본다.

1. 광 패킷 교환기의 구조 및 논리적 큐잉 모델

광 패킷 교환기의 입력 포트에 다수 파장을 이용하여 광 패킷이 입력되면 각 패킷은 동기화 과정을 거친 후 패킷 헤더의 전광 변환을 통하여 헤더 정보를 교환기 제어부에서 인식하게 된다. 그리고, 이 정보를 이용한 전기적인 제어를 통하여 패킷의 페이로드는 전광변환 없이 광의 형태로 교환기 내부에서 라우팅된다. 이때 동일 출력 포트에 동시에 다수의 패킷이 출력을 원하게 되면 교환기 내에서 패킷의 충돌이 일어나고, 이로 인해 패킷 손실이 발생하게 된다. 광 패킷 교환기에서 이러한 충돌을 해결

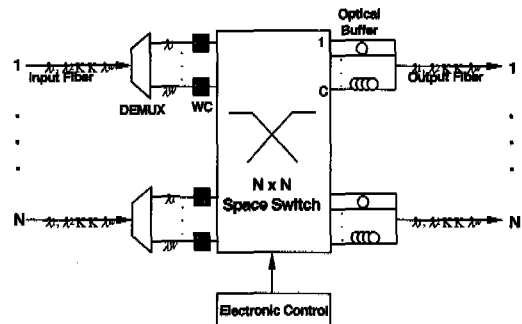


그림 1. 출력 버퍼형 광 패킷 교환기의 구조

하기 위해 사용되는 대표적인 기법으로는 파장 변환 기법과 버퍼링 기법 및 deflection 라우팅 기법이 있다^{[5][6]}.

Deflection 라우팅 기법은 다수의 패킷이 동일 출력 링크로 출력을 원할 경우에 우선 순위가 높은 패킷 하나만 원하는 링크로 라우팅하고 나머지는 다른 경로로 보냄으로써 경쟁을 해결하는 기법이다^[6]. 따라서, 다른 경로로 보내진 패킷들은 최소 경로로 라우팅된 패킷보다 더 긴 경로를 거치게 된다. 파장 변환 기법은 동시에 같은 출력 포트에 전송하고자 하는 패킷들을 서로 다른 파장으로 변환하여 충돌을 해결하는 기법이다^[8]. 그리고, 버퍼링 기법은 광 지연선을 이용하여 광 버퍼를 구현하고 충돌이 발생한 패킷들을 저장한 후 전송을 함으로써 패킷의 손실을 막는 방법이다. 광 패킷 교환기는 구현되는 버퍼의 위치 및 형태에 따라 출력 버퍼형 교환기, 공유 버퍼형 교환기, 순환 버퍼형 교환기 및 입력 버퍼형 교환기 등으로 분류할 수 있다. 그러나, 현재 연구되고 있는 대부분의 광 패킷 교환기는 구현 상의 복잡성 및 성능 등을 고려하여 출력 버퍼형 교환기가 고려되고 있다^[7]. 그리고, 일반적으로 연구되고 있는 광 패킷 교환기들의 경우 파장 변환 기법과 버퍼링 기법을 혼용하여 사용하는 경우가 대부분이다.

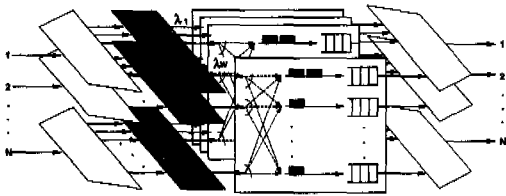
그림 1은 파장 변환 기법을 동시에 사용하는 NxN 출력 버퍼형 광 패킷 교환기의 간략한 구조이다. 그리고, 이 구조는 파장 변환기와 공간 교환기

를 이용하여 파장과 공간이라는 두 가지의 교환 구조를 가지는 교환기로 볼 수 있으며, 논리적인 큐잉 모델로 표현하면 그림 2와 같이 나타낼 있다. 우선 파장 평면 모델의 관점에서 광 패킷 교환기는 광 섬유 링크 상에서 전송에 이용되는 파장 수인 w 개의 독립적인 파장 평면으로 나누어 볼 수 있다. 이때 각 파장 평면은 독립적인 공간 스위치 구조로 생각할 수 있으며, 파장 평면간의 이동은 입력 단의 파장 변환기를 통해서 이루어 질 수 있다. 만약 파장 변환기를 사용하지 않는 교환기 구조일 경우 각 파장 평면간의 이동은 이루어 질 수 없다. 공간 평면 모델의 관점에서 살펴보면 각 출력 포트는 실제로는 하나의 버퍼를 사용하지만 파장의 수인 w 개의 논리적인 개별 서버와 큐를 가진 큐잉 모델로 볼 수 있다. 그리고, 이러한 다중 큐의 효율적인 제어를 위해서 파장 변환기가 이용되는 개념이다.

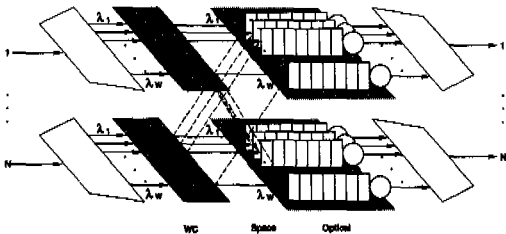
2. 광 패킷 교환기의 트래픽 제어 기법

파장 평면과 공간 평면의 교환 과정을 거치는 광 패킷 교환기에서 트래픽 제어를 수행하기 위해서는 단순히 공간적인 교환이 수행되는 전기적 패킷 교환기가 고려하지 않고 있는 파장 변환 과정 및 광 교환기 구성 소자의 특성이 고려되어야 한다. 즉, 광 패킷 교환기에서 사용되는 충돌 해결 기법을 적절히 이용하여 다수의 파장 채널을 효과적으로 사용하면 서비스 클래스에 따라 QoS를 차별화 할 수 있는 트래픽 제어 기법이 개발되어야 한다. 이들 중에 Deflection 라우팅 기법은 패킷들의 우선 순위에 따라 라우팅을 결정하여 QoS를 차별화할 수 있으나, 망 내의 라우팅과 연계된 전체적 망 규모의 고려가 이루어져야 하므로 본 논문에서는 고려하지 않았다. 따라서, 본 절에서는 트래픽 제어 기법으로 적용되는 파장 변환 기법과 버퍼링 기법의 기존 연구 동향과 구현 시의 고려 사항을 고찰한다. 우선 고속 광 패킷 교환기에서 QoS 보장을 위해서 사용되는 트래픽 제어 기법이 지녀야 될 일반적 요구 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 높은 효율 제공 : 교환기가 제공하는 수율을 최대화 하기 위해서 교환기 내부의 자원을 효과적으로 활용하면서 높은 효율성을 가져야 한다.
- QoS 지원 : 서로 다른 트래픽 흐름에 대한 차별화된 QoS를 제공하여야 한다.
- 공평성 있는 서비스 제공 : 같은 QoS를 가지는 트래픽 흐름들 간에 공평하게 망 자원을 이용할 수 있도록 하여야 한다.



(a) 파장 평면의 관점에서 본 큐잉 모델



(b) 공간 평면의 관점에서 본 큐잉 모델

그림 2. 출력 버퍼형 광 패킷 교환기의 논리적 큐잉 모델

- 전송의 순서 보장 : 교환기 내부의 전송 및 트래픽 제어 과정에서 패킷의 전송 순서가 보장되어야 한다.
- 구현의 용이성 : 광 패킷 교환기의 구성 소자의 특성을 반영하여 쉽게 구현이 가능하여야 하며 확장성을 가져야 한다.

1) 파장 변환 기법

광 패킷 교환기의 파장 변환기에서 적절한 파장 변환 기법을 적용하지 않을 경우에는 파장 자원의 낭비가 발생할 수도 있고, 동일한 트래픽 흐름에 속한 패킷의 순서가 보장되지 않을 수 있다.

기존 연구에서 제시된 광 패킷 교환기를 위한 파장 변환 기법들을 살펴 보면 일반적으로 충돌 방지를 위해 파장 변환을 이용했을 뿐 QoS의 차별화나 파장의 효율적인 이용에 대한 연구는 미흡하다. 동일 파장으로 전송 중 패킷의 충돌이 발생하면 버퍼링을 통해서 해결하고, 사용된 파장 영역에서 버퍼의 범람이 발생할 경우에만 버퍼의 용량이 남아 있는 다른 파장으로의 파장 변환을 수행한다^[8]. 이 경우에 가용 파장 중 일부는 부하가 작을 경우에도 다른 파장에서 폭주가 발생하여야만 이용되기 때문에 패킷 전달 지연이 증가하고, 교환기 내부의 자원을 효과적으로 이용하지 못 한다. 그리고, 늦게 도착한 패킷이 보다 작은 큐 길이를 가지는 파장으로 변환되는 경우가 발생하여 패킷의 전송 순서가 바뀔 수 있다. 따라서, 파장 변환기에서 전송 패킷의 파장 할당 시에 기본적인 충돌 방지 기능 뿐만 아니라 QoS의 차별화, 파장 자원의 효율적인 이용 및 패킷의 순서 보장등을 고려되어야 한다.

2) 버퍼 관리 및 스케줄링 기법

광 패킷 교환기에서 파장 변환을 거쳐서 해당 출력 버퍼로 입력된 패킷들은 각 파장 별로 별도의 논리적인 버퍼링 과정을 거쳐서 전송된다. 따라서, 버퍼링된 패킷들을 처리하는 버퍼 관리 및 스케줄링 과정을 통해서 적절한 QoS의 제공이 가능하다. 그러나, 광 패킷 교환기의 경우 기존 전기적 패킷 교환기에서와 같이 트래픽 클래스 간의 QoS 차별화를 위해서 별도의 버퍼를 사용하여 스케줄링을 적용한 방법의 구현이 용이하지 않다. 이는 광 패킷 교환기의 구현에 사용되는 버퍼가 광 지연선을 이용하기 때문에 트래픽 클래스 별로 별도의 큐를 구성하여 특정 큐를 서비스하고 나머지 큐는 서비스 대기 상태로 유지 시 발생하는 구현 상의 복잡성

때문이다. 즉, 서비스 대기 상태로 패킷을 유지하기 위해서는 각각의 서비스 클래스 별 큐가 순환 버퍼의 형태로만 구현되어야 하는 구현상의 제약점이 발생하며 버퍼 제어의 복잡성이 크게 증가하게 된다. 그리고, 각 트래픽 클래스의 큐 별로 순환 버퍼링 방식을 사용하게 되면 패킷 순서가 뒤바뀔 수 있고, 순환 횟수가 증가하면 광 신호의 비선형성 및 잡음이 증가하며, 광 지연선 버퍼의 특성으로 인하여 대용량 버퍼의 구현이 어렵다. 따라서, 기존 전기적 패킷 교환기와는 다른 접근 방식이 필요하다.

기존 연구에서는 공통 FIFO 버퍼상에서 단순한 패킷 우선 순위에 따른 버퍼 관리를 통해 패킷 손실의 차별화만 고려되고 있을 뿐 세분화된 트래픽 클래스 별 QoS 제공을 위한 구체적인 연구는 거의 이루어지고 있지 않은 상태이다^[9]. 따라서, 버퍼 관리 기법이나 스케줄링 과정을 통하여 트래픽 클래스 간의 QoS 차별화 및 공평성 있는 서비스 제공을 위한 효율적인 기법의 개발이 필요하다. 또한, 기본적인 광 패킷 교환기 구성 소자의 특성을 고려하여 구현의 용이성과 확장성을 가져야 한다.

III. 제안된 파장 변환 및 버퍼 관리 기법

앞에서 살펴 본 바와 같이 광 패킷 교환기에서 QoS 보장 및 차별화를 지원하기 위해서는 파장 변환기에서의 파장 할당과 광 버퍼에서의 버퍼 관리 기법을 동시에 고려하여 효율적으로 적용되어야 한다. 본 장에서는 파장의 효율적인 사용과 패킷 순서 보장을 위한 파장 변환 기법 및 트래픽 클래스에 따라 수율의 차별화를 제공하는 버퍼 관리 기법을 제안한다.

우선 파장 변환 기법 및 버퍼 관리 방식을 제공하기 위한 기본적인 개념을 그림 3에서 나타내었다. 제안된 파장 변환 기법에서는 출력 버퍼를 하나의 논리적인 공통 FIFO 형태로 관리가 가능하도록 파장 변환을 수행하고, 제안된 버퍼 관리 기법에서는 단

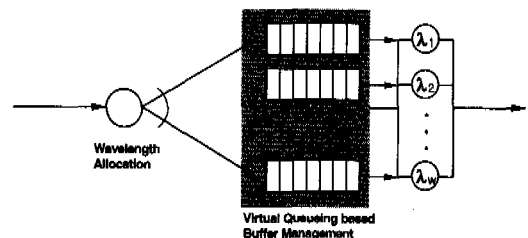


그림 3. 제안된 파장 변환 및 버퍼 관리 방식의 개념도

일 버퍼를 다수의 트래픽 클래스가 공유하여 이용하면서 스케줄링 방식을 모사하여 QoS의 차별화를 제공하도록 한다. 구체적인 파장 변환 기법 및 버퍼 관리 기법은 다음과 같다.

1. 파장 변환 기법

파장 변환기에서의 기본적인 충돌 방지 및 파장의 효율적인 사용과 패킷 순서 보장을 위해서 제안된 방식은 입력된 패킷의 파장 변환 시에 각 파장별 큐 길이를 카운터로 유지하고 이를 이용하여 가장 큐 길이를 작게 유지하고 있는 파장으로 변환하여 전달하도록 한다.

기존 방식의 경우에는 특정 파장의 버퍼 범람이 발생할 경우에만 큐 길이가 짧은 파장으로 변환하기 때문에 패킷 전송 지연 변이의 증가, 파장의 비효율적인 사용 및 패킷의 전송 순서를 보장할 수 없는 특징이 있다. 그러나, 제안된 방식과 같이 가장 작은 큐 길이를 유지하는 파장으로 파장 변환을 수행하게 되면 다수의 파장 버퍼를 단일 FIFO 버퍼 형태로 관리 할 수 있게 되므로 패킷 순서를 보장할 수 있다. 그리고, 언제나 전송되는 패킷은 사용 가능한 모든 파장을 찾아서 사용함으로써 파장 사용의 효율성을 높일 수 있으며, 전송 지연 변이를 최소화 할 수 있다.

제안된 방식을 구현할 때 발생하는 구현의 복잡성을 줄이기 위해서는 출력 포트 별로 다음 패킷이 입력될 때 사용될 파장을 가리키는 순환 카운터를 두고 이를 이용하여 round-robin 형태로 파장을 변환하도록 구현하면 된다.

2. 버퍼 관리 기법

제안된 버퍼 관리 방식은 앞에서 제안된 파장 변환 과정을 거쳐서 단일 FIFO 버퍼 형태로 관리되는 버퍼에서 트래픽 클래스 간에 일정 수율을 제공할 수 있도록 가상 큐 기반의 버퍼 관리 방식을 적

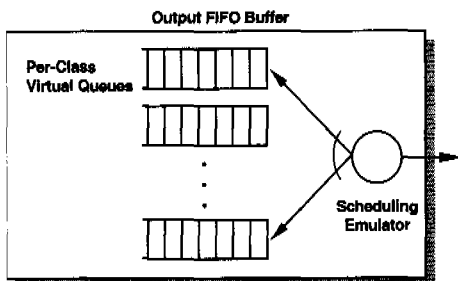


그림 4. 가상 큐 기반의 버퍼 관리 방식

용하였다. 가상 큐 기반의 버퍼 관리 방식은 최초로 ATM 망의 ABR 서비스, UBR 서비스 및 GFR 서비스 등에서 VC 간에 공평성 보장을 위해서 제안된 방식이다^{[10],[11]}. 본 논문에서는 이러한 가상 큐 기반의 버퍼 관리 방식을 광 패킷 교환기의 출력 버퍼 관리 기법에 적용함으로써 서비스 클래스 간에 할당된 대역폭을 보장할 수 있도록 한다.

제안된 버퍼 관리 방식은 그림 4에 나타난 것과 같은 개념으로 공통 FIFO 버퍼 상에서 트래픽 클래스 별로 논리적인 가상 큐로 구성한다. 즉, 실제 서비스는 공통 FIFO 버퍼의 형태로 처리되지만 각 트래픽 클래스 별로 별도의 큐 길이 카운터를 유지한다. 그리고, 이 가상 큐 길이는 각 트래픽 클래스에 속한 패킷이 입력될 때 증가시킨다. FIFO 버퍼 상에서 서비스는 큐잉된 순서를 따르지만 각 트래픽 클래스 별로 할당된 대역폭에 따라서 WRR (Weighted Round-Robin) 형태로 스케줄링되어 서비스되는 것처럼 감소시킨다. 따라서, 각 트래픽 클래스 별로 유지하는 가상 큐 길이는 버퍼 상에 입력된 트래픽 양과 자신에게 할당된 대역폭만큼의 서비스 양과의 차이를 나타내게 된다.

이상과 같이 유지하고 있는 가상 큐 길이를 기반으로 버퍼 범람의 우려가 있을 때 각 클래스 별로

```

W : Number of wavelength
B : Buffer depth
Q_length[i] : Queue length of output port i
VQ[i][j] : Virtual Queue length of output port i and class j
TH :Threshold for starting VQ based dropping
CTH[j] : Threshold for each class virtual queue length ( = TH/(# of classes) )
Weight[i][j] : Assigned weight of class
    
```

On packet arrival:

```

If Q_length[i] > WxB
    Discard packet;
Else if
    (TH < Q_length[i] <= WxB) and (VQ[i][j] > CTH[j])
    Discard packet;
Else
    Enqueue packet;
    Q_length[i] ++;
    VQ[i][j] ++;
    
```

On packet departure for each wavelength channel:

```

Q_length[i] --;
VQ[i][j] --;
If VQ[i][j] < -a
    VQ[i][j] = -a;
Weight[i][j] --; /* In WRR style */
If Weight[i][j] < 1 for all j
    Initialize Weight[i][j]
    
```

그림 5. 제안된 가상 큐 기반 버퍼 관리 기법의 의사 코드

할당된 대역폭을 초과하여 사용하고 있는 트래픽 클래스에 속한 패킷들을 폐기함으로써 대역폭을 공평하게 이용하도록 한다. 구체적으로 광 패킷 교환기의 출력 광 지연선 버퍼의 크기와 이용되는 파장의 수를 각각 B와 W로 가정한다면 실제 FIFO 버퍼의 크기는 $B \times W$ 로 가정 할 수 있고, 공통 FIFO의 큐 길이가 버퍼 크기의 일정 비율로 미리 정한 임계치를 초과하면 패킷의 폐기를 시작한다. 이때 가상 큐 길이가 버퍼를 공평하게 나눈 값 이상이 되는 트래픽 클래스의 패킷만을 선별적으로 폐기함으로써 트래픽 클래스간에 공평한 대역폭 사용이 이루어지도록 한다. 그리고, 가상 큐 길이는 실제 큐 길이 값이 아니기 때문에 자신에게 할당된 대역폭 이하로 트래픽이 계속해서 입력되면 무한히 감소할 수 있고, 이후에 이 트래픽 클래스의 패킷이 과도하게 입력되면 버스트한 서비스 특성으로 인하여 트래픽 클래스간에 공평성이 심각하게 훼손될 수 있으므로 특정 값 이하로 감소하는 것을 제한하였다. 이상에서 설명된 제안된 가상 큐 기반의 버퍼 관리 방식의 의사 코드를 표현하면 그림 5와 같다.

IV. 시뮬레이션을 통한 성능 분석

본 장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 파장 변환 기법 및 버퍼 관리 방식을 분석한다. 이를 위해서 범용 네트워크 시뮬레이터인 OPNET을 이용하여 WDM 기반의 출력 버퍼형 광 패킷 교환기 시뮬레이터를 구현하였다. 우선 파장 변환기를 사용하여 파장 변환 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 성능을 비교하여 파장 변환 기법의 사용의 유용성을 분석한다. 그리고, 파장 변환 기법을 적용하면서 버퍼 관리 방식으로 제안된 가상 큐 기반의 방식과 트래픽 클래스의 구분 없이 단순히 버퍼의 범람 시에 패킷을 폐기하는 방식을 비교하고, 가상 큐 기반 버퍼 관리 방식의 수율 보장 특성을 분석한다. 앞으로 편의상 버퍼 관리 방식에서 클래스의 구분 없이 버퍼 범람 시에 폐기하는 방식을 DT (Drop Tail)방식으로, 제안된 가상 큐 기반의 버퍼 관리 방식을 VQ (Virtual Queueing)방식으로 표기한다.

모든 시뮬레이션에서 4x4 규모의 교환기를 대상으로 하여 성능을 분석하였다. 그리고, 교환기의 각 입력 포트에 인가되는 트래픽 발생 모델은 독립적이며 Bernoulli 프로세스를 사용하여 필요한 트래픽 부하를 발생시켰다.

1. 파장 변환 기법의 성능 분석

본 절에서는 우선 파장 변환 기법의 적용 시 특성을 조사하기 위해서 파장 변환 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우로 나누어 4x4 규모의 교환기에서 파장을 1개에서 4개까지 변화시키면서 파장 변환을 적용한 경우의 성능 상의 장점을 살펴본다. 버퍼 관리 기법으로는 단순히 DT 방식을 가정하였고, 버퍼의 크기는 5 패킷으로 설정하였다.

그림 6과 그림 7에서는 파장 변환 기법을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우 파장 채널의 수에 따른 패킷 손실률과 수율을 보여주고 있다. 우선 파장 변환 기법을 적용하지 않은 경우의 패킷 손실률은 각 파장 채널 간에 이동이 있을 수 없기 때문에 다수의 파장을 이용하더라도 단일 파장을 사용한 경우와 같은 결과를 보여 주며, 다수개의 파장을 사용하면 파장 변환 기법을 적용한 경우에 비해 상당

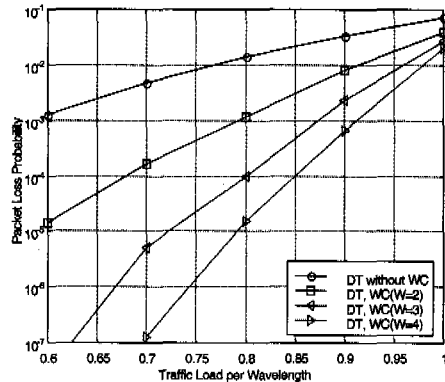


그림 6. 파장 변환 기법 적용과 트래픽 부하에 따른 패킷 손실률

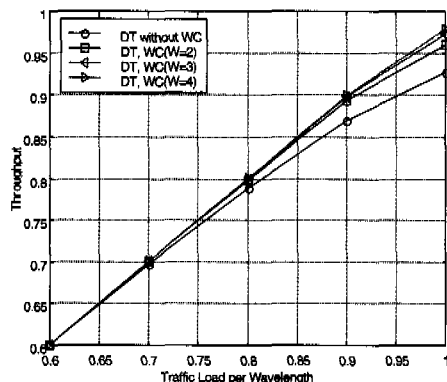


그림 7. 파장 변환 기법의 적용과 트래픽 부하에 따른 수율

히 큰 값을 보여 주고 있다. 그리고, 파장 변환 기법을 적용한 경우 파장의 수가 늘어남에 따라서 동일 버퍼 크기 하에서 교환기의 버퍼의 크기가 파장 수에 비례하여 증가한 것과 같은 효과를 가짐으로써 패킷 손실률이 급격히 줄어들음을 알 수 있다.

그리고, 수율의 결과에서 파장 변환을 사용하지 않은 경우 파장 변환을 사용할 때 부하가 큰 경우 수율의 저하가 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 따라서, WDM 기반의 광 패킷 교환기에서는 다중 파장 채널의 용량을 효율적으로 충분히 이용하기 위해서 파장 변환 기법이 필수적임을 알 있다. 그리고, 대용량 버퍼의 구현이 용이하지 않을 경우 여러 파장 채널에 파장 변환 기법의 적용만으로도 대용량 버퍼의 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

2. 버퍼 관리 기법의 성능 분석

본 절에서는 파장 변환 기법과 함께 제안된 가상 큐 기반의 버퍼 관리 방식을 사용한 경우의 성능을 분석한다. VQ 방식의 적용 시에 기본적으로 트래픽 클래스는 2가지 경우를 가정하였으며, 각각의 클래스에 대해 대역폭의 60%와 40%를 할당한 후 수율의 보장 여부를 살펴 본다. 그리고, 이를 4개의 클래스로 확장하여 각각의 트래픽 클래스에 대역폭의 40%, 30%, 20%, 10%를 할당할 경우의 성능도 살펴 본다. 이때 VQ 방식에서 패킷의 차별적인 폐기를 시작하는 임계치는 전체 버퍼 용량의 90%로 설정 하였다.

우선 2개의 트래픽 클래스를 가정한 경우에 하나의 출력 포트에 인가되는 각 트래픽 클래스의 부하를 동일하게 0.2에서 1로 변화시키면서 할당 대역폭 만큼의 공평한 수율을 보장하는지 살펴보았다. 이때 총 트래픽 부하는 0.4에서 2.0으로 변화시킨 경우가 되며 2개의 파장 채널을 사용한 경우를 가정하였다.

그림 8에서는 각 클래스의 트래픽 부하의 변화에 따른 각 방식의 패킷 손실률을 나타내었다. 우선 DT 방식으로 파장 변환 기법을 적용하지 않는 경우 패킷 손실률이 앞의 경우와 같이 가장 크게 나타남을 볼 수 있다. 그리고, VQ 방식의 총 트래픽의 평균 패킷 손실률이 파장 변환 기법을 적용한 DT 방식의 패킷 손실률과 근사함을 살펴 볼 수 있다. 또한 VQ 방식에서는 많은 대역폭을 할당한 Class 1의 패킷 손실률이 Class 2의 패킷 손실률에 비해 낮은 값을 보임을 알 수 있다. 그림 9에서는 각 방식에 대한 수율을 보여주고 있다. DT 방식의 경우 트래픽 클래스에 관계없이 동일한 패킷 손실

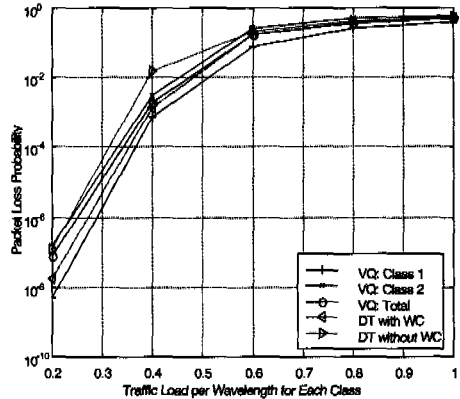
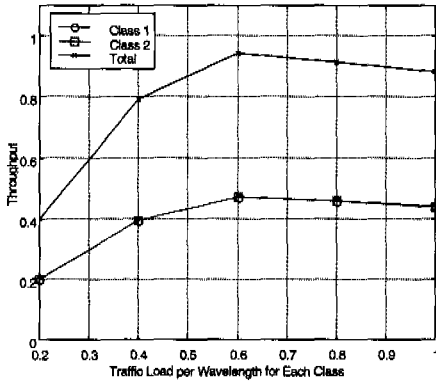


그림 8. 각 트래픽 클래스 별 트래픽 부하에 따른 패킷 손실률 (트래픽 클래스 수 = 2)

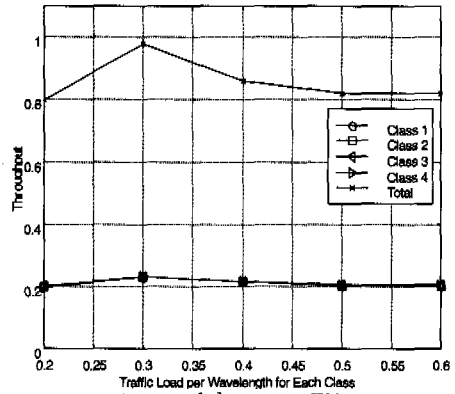
률을 보이므로 이에 따라 수율 역시 동일한 값을 보여 주고 있다. 그리고, 파장 변환 기법을 사용하지 않은 경우 파장 채널을 효과적으로 사용하지 못하여 수율의 저하가 발생함을 알 수 있다. 그러나, VQ 방식의 경우 대역폭을 효과적으로 사용하면서 할당 대역폭에 따른 차별화된 패킷의 폐기를 통해서 수율의 차별화를 보여준다.

다음으로 트래픽 클래스 수를 확장하여 4개로 한 경우의 수율에 대한 결과를 그림 10에 나타내었다. 이때 각 클래스의 트래픽 부하를 0.2에서 0.6까지 변화시켰다. 우선 2개의 트래픽 클래스를 사용한 경우와 같이 DT 방식의 경우에는 트래픽 클래스에 관계없이 패킷을 처리함으로써 동일한 패킷 손실률을 보이게 되게 수율의 차별화를 볼 수 없다. 그리고, 파장 변환 기법을 적용하지 않은 경우에 2개의 트래픽 클래스로 구분한 경우와 비교하여 더욱 심한 수율의 저하가 발생함을 볼 수 있다. VQ 방식의 경우에는 트래픽 클래스를 4개로 확장한 경우에도 트래픽 클래스에 따라 차별화된 폐기를 통하여 미리 할당한 대역폭에 근사한 수율을 보임을 알 수 있다. 따라서, 체인된 방식은 구현의 복잡성을 크게 증가시키지 않으면서 확장의 용이성을 가지고 있음을 알 수 있다.

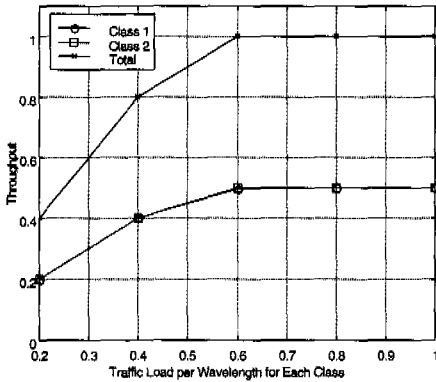
다음으로 각 클래스에 할당되는 대역폭의 할당량을 변화시키면서 수율이 할당량에 근사한 결과를 보이는지 여부를 분석한다. 이를 위해 특정 출력 포트에 각 트래픽 클래스 별로 1의 트래픽 부하를 인가하고 Class 1의 대역폭 할당량을 0.5에서 0.8로 변화시키면서 수율을 측정하였다. 파장 변환 기법을 적용한 경우에 2개의 파장 채널을 가정하였다.



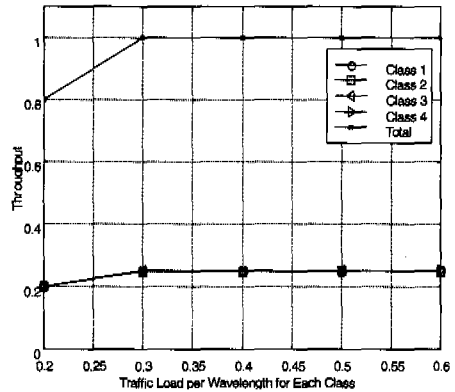
(a) DT 방식 (without WC)



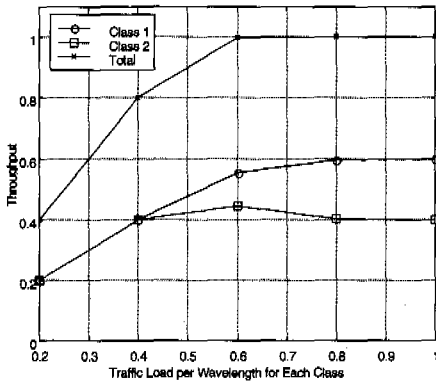
(a) DT 방식 (without WC)



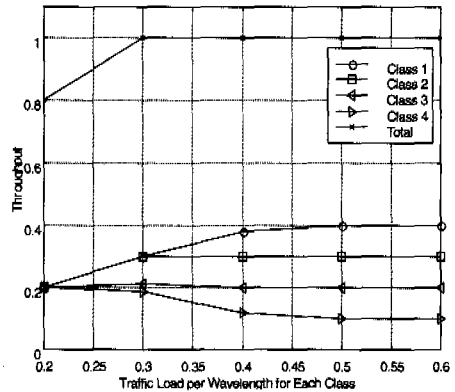
(b) DT 방식 (with WC)



(b) DT 방식 (with WC)



(c) VQ 방식



(c) VQ 방식

그림 9. 각 클래스별 트래픽 부하에 따른 수율 (트래픽 클래스 수 = 2)

그림 10. 각 클래스별 트래픽 부하에 따른 수율 (트래픽 클래스 수 = 4)

그림 11에 나타난 바와 같이 DT 방식의 경우 각 트래픽 클래스는 동일한 패킷 손실률의 적용을 받기 때문에 동일한 수율을 보인다. 그리고 지금까지

의 다른 결과들과 같이 파장 변환 기법을 적용하지 않은 경우에는 수율의 저하를 확인할 수 있다.

VQ 방식의 경우 할당량에 비례하는 수율의 변화

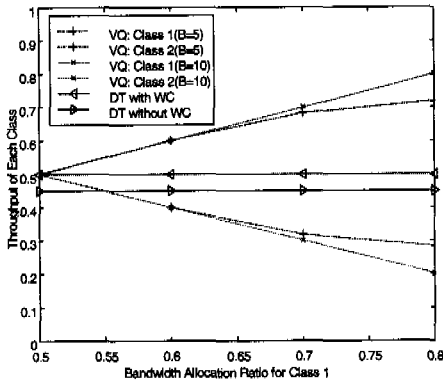


그림 11. Class 1의 대역폭 할당량에 따른 트래픽 클래스별 수율 (트래픽 클래스 수 = 2)

를 보여준다. 그러나, 버퍼 크기를 5로 정한 경우 대역폭 할당량의 비가 커질 때 정확히 대역폭을 보장하지는 못한다. 버퍼 크기를 10으로 증가시킨 경우에는 수율이 정확히 할당된 대역폭을 나타낼 수 있다. 이는 제안된 VQ 방식이 단일 FIFO 버퍼 형태에서 스케줄링을 모사함으로써 버퍼 용량이 작고 대역폭 할당의 불균형성이 커질 경우 클래스별 버퍼를 분리하여 스케줄링을 수행한 경우와 같이 완전히 이상적인 동작을 하지 않음을 보여준다. 그러나, 버퍼 용량이 어느 정도 커지면 거의 이상적인 수율을 보임을 알 수 있다. 버퍼 용량의 증가는 광 지연선 버퍼의 크기를 증가시키는 방법 외에 사용 파장 채널의 수를 늘임으로써도 가능하다.

V. 결론

본 논문에서는 광 패킷 교환기에서 QoS 보장을 위한 트래픽 제어 기법을 제안하고 성능을 분석하였다. 이를 위해 광 패킷 교환기의 동작을 모델링하여 트래픽 제어에 이용될 요소를 파장 변환 기법과 버퍼링 및 스케줄링 기법으로 구분하고, 광 패킷 교환기에 적용될 트래픽 제어 기법의 요구 사항을 정리하여 이를 바탕으로 파장 변환 기법과 버퍼 관리 기법을 제안하였다.

제안된 파장 변환 기법은 각 파장 별로 가장 큐 길이를 작게 유지하는 파장으로 전송 패킷의 파장을 변환함으로써 기본적인 충돌 방지 뿐만 아니라 파장의 효율적 사용, 패킷 전송의 순서 보장들을 제공한다. 그리고, 제안된 가상 큐 기반의 버퍼 관리 기법은 광 버퍼의 특성을 반영하여 단일 FIFO 버퍼 상에서 트래픽 클래스 별로 별도의 큐를 두고

스케줄링을 수행하는 기법을 모사하여 구현의 복잡성을 줄이면서도 트래픽 클래스간에 QoS의 차별화를 제공한다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석에서 파장 변환 기법 적용의 효율성을 확인하였고, 제안된 버퍼 관리 방식의 적용 시에 구현이 용이한 단일 FIFO 버퍼 형태를 유지하면서도 각 트래픽 클래스별 대역폭 할당량에 접근하는 수율의 차별화 및 패킷 손실률의 차별화가 이루어짐을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] N. Ghani, S. Dixit, and Ti-Shiang Wang, "On IP-over-WDM Integration," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, pp. 72-84, Mar. 2000.
- [2] D. Banerjee and B. Mukherjee, "A Practical Approach for Routing and Wavelength Assignment in Large Wavelength-Routed Optical Networks," *IEEE JSAC*, vol. 14, no. 5, pp. 903-908, June 1996.
- [3] D. Awduche et al., "Multi-Protocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control with Optical crossconnects," *Internet draft draft-awduche-mpls-te-optical-02.txt*, July 2000.
- [4] M. Yoo, C. Qiao, and S. Dixit, "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-over-WDM Networks," *IEEE JSAC*, vol. 18, no. 10, pp. 2062-2071, Oct. 2000.
- [5] S. Yao, B. Mukherjee, and S. Dixit, "Advances in Photonic Packet Switching: An Overview," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, pp. 84-94, Feb. 2000.
- [6] A. S. Acampora and I. A. Shah, "Multihop Lightwave Networks: A Comparison of Store-and-Forward and Hot-Potato Routing," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 40, no. 6, pp. 1082-1090, June 1992.
- [7] D. K. Hunter, M. C. Chia, and I. Andonovic, "Buffering in Optical Packet Switches," *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, vol. 16, no. 12, pp. 2081-2094, Dec. 1998.
- [8] S. L. Danielsen, P. B. Hansen, and K. E. Stubkjaer, "Wavelength Conversion in Optical Packet Switching," *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, vol. 16, no. 12, pp.

