

論文2003-40TC-10-3

# 광 네트워크를 위한 Hybrid 스위칭 시스템의 성능 분석

## (Performance Analysis of an Hybrid Switching System for Optical Networks)

李圭明\*, Bartek Wydrowski\*\*, Moshe Zukerman\*\*, 崔俊均\*,  
Chuan Heng Foh\*\*\*

(Gyu Myoung Lee\*, Bartek Wydrowski\*\*, Moshe Zukerman\*\*, Jun Kyun Choi\*, and Chuan Heng Foh\*\*\*)

### 요약

본 논문에서 광 네트워크에서 광 버스트 스위칭(Optical Burst Switching, OBS)과 광 회선 스위칭(Optical Circuit Switching, OCS) 기술의 장점을 동시에 가지는 새로운 광 hybrid 스위칭(Optical Hybrid Switching) 시스템을 제안한다. 이 시스템은 들어오는 IP 트래픽을 hybrid 스위칭을 위해 짧은(short-lived) 흐름과 긴(long-lived) 흐름 구분한다. 성능 분석을 위하여 시스템을 Markovian 환경에서 단일 서버 큐로서 모델링 한다. 버스트 생성 프로세스는 two-state Markov Modulated Poisson Process(MMPP)를 따른다고 가정하고 서비스율은 동시에 발생하는 OCS 세션의 수에 따라 변한다. OBS 버스트에 대한 평균 지연 및 큐 사이즈의 결과를 보인다.

### Abstract

In this paper, we propose a new optical hybrid switching system that takes advantage of both Optical Burst Switching (OBS) and Optical Circuit Switching (OCS) technologies. This system classifies incoming IP traffic flows into short-lived and long-lived flows for hybrid switching. For performance analysis, we model the system as a single server queue in a Markovian environment. The burst generation process is assumed to follow a two-state Markov Modulated Poisson Process (MMPP), and the service rate fluctuates based on the number of concurrent OCS sessions. Results of the mean delay and queue size for OBS bursts are derived.

**Keywords:** Optical hybrid switching, optical burst switching (OBS), flow classification

\* 正會員, 韓國情報通信大學校 工學部

(School of Engineering, Information and Communications University(ICU))

\*\* EEE Department, The University of Melbourne, Australia

\*\*\* School of Computer Engineering, Nanyang Tec-

hnological University, Singapore

※ 본 연구는 ICU 광인터넷 연구센터(OIRC)를 통한  
한국과학재단의 우수연구센터 지원금에 의하여 수  
행되었습니다.

接受日字:2003年9月7日, 수정완료일:2003年10月10日

## I. 서 론

광 네트워크 기술은 풍부한 대역폭 제공과 제어 능력의 관점에서 빠르게 진화되고 있다<sup>[1]</sup>. 여기에 광 네트워킹 분야의 연구가 전통적인 회선 중심의 네트워크에서 패킷 스위칭 능력을 가진 네트워크로 움직여가고 있다.

광 회선 교환(Optical Circuit Switching, OCS) 네트워크는 버스트한(bursty) 트래픽에 대하여 낮은 대역폭 사용 효율을 가지는 것으로 알려져 있다. 새로 등장한 광 버스트 스위칭(Optical Burst Switching, OBS) 기술은 OCS 보다 자원의 사용 효율을 개선하고 데이터를 좀 더 효율적으로 전달하고자 하는데 목적이 있다<sup>[2~6]</sup>. OBS는 광 소자에서 버퍼링의 어려움을 해결하고자 새로운 대안으로 나타난 스위칭 기술이라고 할 수 있다. OCS는 엄격한 서비스 품질 (Quality of Service, QoS) 보장을 요구하는 상당히 많이 집합된(aggregated) 긴(long-lived) 스트림을 전달하는 데 유용한 반면에 OBS는 버스트한 최선형(best-effort) 트래픽을 효율적으로 전달하는데 역할이 있다. 그러므로 OCS와 OBS를 결합하는 시스템을 고려하려는 것이 의미가 있다. 이렇게 결합된 회선 및 버스트 스위칭 시스템을 소위 hybrid 스위칭 시스템이라 한다<sup>[7]</sup>.

본 논문에서는 OCS와 OBS가 결합된 시스템을 고려해서 OCS/OBS 스위치의 이론적인 성능 분석 모델을 제안한다. 여기에서 현재 의견 일치를 이루고 있는 IP를 기반으로 하는 광 네트워크<sup>[8]</sup>에서 흐름 분류 기술을 이용한 새로운 광 hybrid 스위칭 시스템을 제안한다. 이 기술은 광 hybrid 스위칭 환경에서 들어오는 IP 트래픽을 트래픽 특성에 따른 QoS 제공을 위하여 짧은(short-lived) 흐름과 긴(long-lived) 흐름 구분한다. Short-lived 흐름은 몇몇 패킷들로만 이루어져 있는 반면 long-lived 트래픽은 회선 혹은 파장(wavelength) 스위칭에 더 적합하면서 전형적으로 지연에 민감한 실시간 스트림을 나타낸다. 제안한 메커니즘은 사용자의 QoS 요구사항을 충족시키면서 네트워크 사용 효율을 최대화하는데 목적이 있다.

성능 분석을 위하여 하나의 병목 현상(bottleneck)을 고려하고 모든 원격지 소스(혹은 애지 라우터에 있는 버퍼)에서 bottleneck에 관련된 모든 대기중인 버스트는 하나로 결합된 서버 큐(single combined server

queue, SSQ)로 가정한다.

이 SSQ에 있는 OBS 버스트에 가능한 대역폭은 hybrid 스위칭 시스템 상에서 운용중인 OCS 세션의 수에 따라 결정된다. 이것은 OBS 트래픽을 위한 평균 큐잉 지연을 유도하기 위한 것이다.

OBS 데이터 트래픽의 버스트한 특성을 반영하기 위하여, 도착 프로세스를 two state Markov Modulated Poisson Process (MMPP)로 모델링 한다. 이것은 두 가지의 도착 상태를 가지를 교대(alternating) 마르코비안(Markovian) 프로세스이다. [9]에서 MMPP가 버스트한 트래픽을 모델링 하는데 이용할 수 있다는 것을 이미 보였다.

SSQ는 주어진 OCS의 연결 부하의 영향에 따라서 OBS 버스트의 가능한 용량의 확률(stochastic) 특성을 반영하기 위해 Markovian 환경에서 큐로 모델링 된다. 여기서 OBS 버스트의 지연 특성에 대한 수식적인 결과를 얻기 위하여 [11]에 주어진 행렬 연산 방법을 이용한다.

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성된다. II장에서 광 애지 라우터에서 흐름 분류 기술을 이용한 새로운 hybrid 스위칭 시스템을 제안한다. 또한 III장에서는 이론적인 모델을 설명하고 IV장에서 hybrid 스위칭 시스템에 대한 성능 분석이 이루어진다. 마지막으로 V장에서 이 시스템에 대한 성능 분석 결과를 보인다.

## II. 광 hybrid 스위칭 시스템 구조

오늘날 IP 라우팅과 시그널링 프로토콜이 광 네트워크를 IP 기반으로 제어 하기 위하여 적용될 수 있다는 것으로 기술 진화가 이루어지고 있다. 특히, 멀티 프로토콜 라벨 스위칭(Multi-Protocol Label Switching, MPLS) 제어 평면을 광으로 확장한 멀티 프로토콜 람다 스위칭(Multi-Protocol Lambda Switching, MPS) 제어 평면이 이런 목적으로 제안 되었었다. 여기에 여러 스위칭 인터페이스를 지원할 수 있도록 확장하기 위한 제어 평면의 개념으로 GMPLS (generalized MPLS)가 제안되었다. 이런 메커니즘은 망 사업자나 서비스 제공자들로 하여금 새로운 서비스의 도입을 용이하게 할 수 있도록 하고 광의 엄청난 대역을 잘 이용할 수 있도록 하는 가장 경제적인 수단을 제공한다.

본 논문에서는 <그림 1>에서 보인 것처럼, 광 hybrid 스위칭이 적용된 GMPLS 기반 광 애지 라우터

에서 흐름 분류를 위한 새로운 구현 기술을 제안한다. QoS 제공을 위한 광 에지 라우터 기능 모델은 크게 제어 모듈과 스위칭 모듈로 구성된다. 제어 모듈에는 라벨 정보 베이스(Label Information Base, LIB)와 같은 제어 데이터 베이스를 가지고 있고 GMPLS 제어 모듈과 연결되어 있다. 또한 버스트 제어 및 스케줄링(scheduling) 기능을 수행한다. 스위칭 모듈은 회선 및 버스트 스위칭의 두 가지 측면을 결합한다. 즉 들어오는 IP 트래픽을 short-lived와 long-lived 흐름으로 구분하여 스위칭을 달리하는 것이다. 흐름 구분 메커니즘은 현재 있는 적응 흐름 분류 기법<sup>[14]</sup>을 이용한다. 분류된 흐름은 포워딩 동등 클래스(Forwarding Equivalence Class, FEC)에 따라 LIB를 통해 라벨이 할당된다.

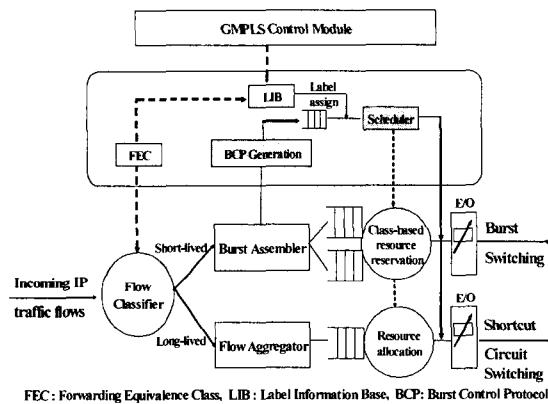


그림 1. 광 hybrid 스위칭 시스템 기능 구조  
Fig. 1. Optical hybrid switching system functional architecture.

Short-lived 트래픽 흐름에 대해서는, 여러 버스트들 사이에서 각 파장의 통계적 공유(statistical sharing)를 허용하기 때문에, 더 좋은 대역 이용 효율을 이루기 위해 OBS를 이용한다. 이런 흐름들은 버스트 어셈블러(Burst Assembler)에서 QoS 등급에 따라 클래스별로 별도의 버스트를 생성한다. 버스트 생성 프로토콜(Burst Generation Protocol, BCP)을 이용하여 각 클래스 기반으로 자원 예약을 수행하게 된다. 비디오 스트리밍과 같은 long-lived 트래픽 흐름에 대해서는, 광 회선 혹은 파장 스위칭을 위하여 흐름 집합기(Flow Aggregator)에서 여러 흐름을 집합된 흐름으로 한데 모은다. 그런 다음 이미 설정해 둔 OCS를 위한 회선에 각각의 흐름을 매핑 시키는 자원 할당 절차가 이루어

어지게 된다. 이 시스템에서 OBS 버스트를 위해 가용한 대역은 OCS 트래픽에 의해 차지하는 대역에 따라 달라지게 된다.

### III. 큐잉 모델

큐잉 모델은 서비스 대역이 동일한 크기의 여러개의 대역 단위로 구성된다는 가정에 기초를 한다. 원칙적으로 이것은 여러 개의 파장 중에 병목 현상이 발생된 링크 하나를 나타낸다. 병목 현상이 발생된 링크상의 부하는 OBS 트래픽 뿐만아니라 OCS 트래픽으로 구성된다. OCS가 사용하고 남은 전체 서비스 용량은 SSQ 모델대로 전체 OBS 트래픽을 서비스 하기 위해 사용된다. 본 논문의 SSQ에서 버스트는 병목 현상이 발생된 링크에서 서비스를 위해 기다리고 있는 버스트이다. 병목 현상이 발생된 링크에서 서비스 되지 않고 버퍼에 있는 버스트는 여기서는 트래픽으로 고려하지 않는다.

#### 1. OBS를 위한 short-lived 트래픽 생성 모델

OBS 버스트 생성 프로세스는 two state MMPP를 이용하여 모델링 한다. MMPP 프로세스는 short-lived 트래픽의 버스트한 특성을 반영한다.

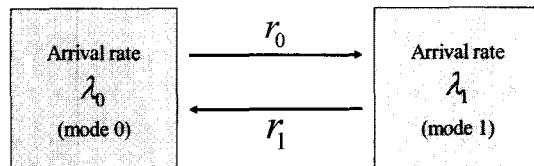


그림 2. OBS를 위한 short-lived 트래픽 모델(MMPP).  
Fig. 2. Short-lived traffic model for OBS(MMPP).

<그림 2>에서 보인 것처럼, two state MMPP는 두 가지의 버스트 생성 상태를 가진 alternating Markovian 프로세스이다. 여기서 생성 상태  $m$ 에서 생성 프로세스는 파라미터  $\lambda_m$  ( $m = 0, 1$ )을 갖는 포아송(Poisson) 프로세스이다. 각 생성 상태에서 머무르는 시간은 생성상태 0와 1에서 각각  $r_0^{-1}$ 과  $r_1^{-1}$ 의 평균 대기시간을 가지고서 지수적으로(exponentially) 분포된다. MMPP 트래픽의 평균과 분산 값은 [9]에 주어져 있다.  $N_t$  를 시간 간격  $(0, t)$  동안 생성된 일의 양이라고 정의하면, MMPP에 대하여  $N_t$  의 평균은  $E[N_t]$ 로 표시하고 다음과 같이 계산된다.

$$E[N_t] = \frac{\lambda_0 r_1 + \lambda_1 r_0}{r_0 + r_1} \cdot t$$

그리고  $N_t$  의 분산은  $V_t$  로 나타내고 다음과 같이 계산된다.

$$V_t = E[N_t] \left( 1 + \frac{2(\lambda_0 - \lambda_1)^2 r_0 r_1}{(r_0 + r_1)^2 (\lambda_0 r_1 + \lambda_1 r_0)} \right) - \frac{2(\lambda_0 - \lambda_1)^2 r_0 r_1}{(r_0 + r_1)^3 (\lambda_0 r_1 + \lambda_1 r_0) \cdot t} (1 - e^{-(r_0 + r_1)t})$$

OBS 버스트의 큐잉 프로세스는 SSQ 프로세스로 나타낼 수 있고 이로 인해 SSQ에서 OBS 버스트에 가용한 대역폭은 hybrid 스위칭 시스템 상에서 유통중인 OCS 세션의 수에 따라 변하게 된다. 또한 OCS 트래픽 부하에 따라서 OBS를 위한 대역폭이 수시로 변하게 된다. 여기에서 다른 지역에 있는 다양한 버스트의 서비스 순서는 평균 버스트 지역에 영향을 미치지 않는다고 가정한다.

## 2. OCS를 위한 long-lived 트래픽 생성 모델

long-lived 트래픽 스트림은 연결설정이 된 기간 동안 하나의 채널을 점유한다. Long-lived 트래픽은 또한 연결 설정이 된 기간 동안 일정한 속도로 패킷을 보내게 된다. Long-lived 트래픽 스트림의 수락은 트래픽 스트림을 위한 가용한 대역을 감소시키는 반면 long-lived 트래픽 스트림의 전달 완료때는 트래픽 스트림에 대한 가용한 대역이 증가하게 된다.

이와 같은 long-lived 트래픽 스트림이 요구하는 OCS 연결의 수락 및 전달은  $M/M/k/k$  프로세스로 모델링 될 수 있다. 여기서  $k$ 는 시스템에 의해 지원되는 연결의 최대수를 의미한다. Long-lived 트래픽 연결 도착 프로세스는 파라미터  $\lambda_c$ 를 가진 포아송이고 연결 유지 시간은 평균  $1/\mu_c$ 인 exponential로 가정한다.

## IV. 성능 분석

지금까지 Markovian 환경에서 하나의 큐로서 광 hybrid 스위칭을 모델링 해 왔고 이는 Matrix Geometric 솔루션<sup>[11]</sup>을 이용한 Neuts의 분석기법을 따른다. 본 장에서는 시스템에 대한 분석을 위해서

Infinitesimal generator를 먼저 소개하고 우리의 큐잉 문제에 적용되는 Neuts 솔루션에 대해 살펴본다.

### 1. Infinitesimal Generator

먼저 전체 링크 대역  $C$ 는 대역  $s$ 의  $c$  개 단위로 나뉘어 진다고 가정할 것이다. 여기서  $s$ 는 하나의 long-lived OCS 연결에 의해 사용되는 대역이다.  $c$  개의 대역 중에서  $d$  개는 오로지 short-lived OBS 버스트를 위해 예약된다. 그러므로 <그림 3>에서 보인 것처럼, 단지  $c-d$  개 대역만 long-lived OCS 연결을 위해 사용될 수 있다.

$$C = \text{Optical Hybrid Switching System Capacity}$$

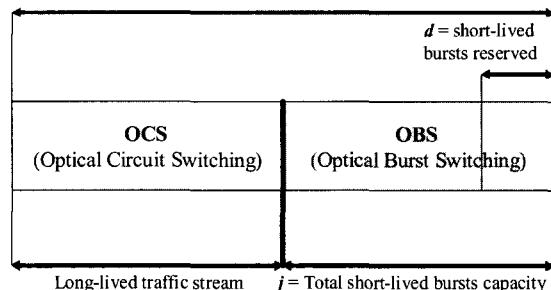
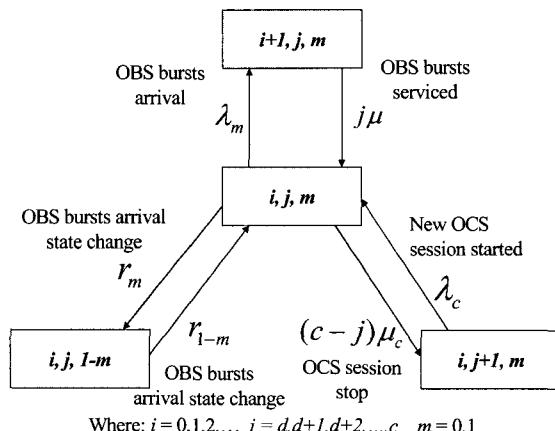


그림 3. 광 hybrid 스위칭 시스템 모델링

Fig. 3. Optical hybrid switching system modeling.



Where:  $i = 0, 1, 2, \dots$ ,  $j = d, d+1, d+2, \dots, c$ ,  $m = 0, 1$

그림 4. 상태 천이 다이어그램

Fig. 4. State transition diagram.

고려 중인 시스템의 상태는 삼차원 벡터  $(i, j, m)$ 로 표시된다. 여기서  $i$ 는 큐에 있는 short-lived OBS 버스트의 수 (현재 서비스 중인 버스트를 포함)를 의미한다.  $j$ 는 버스트를 위해 가용한 대역의 수이고,  $m$ 은 도착 상태를 나타낸다. ( $m$ 은 0과 1의 값을 취한다.)

OBS 버스트 서비스 율은 항상  $j\mu$  와 같다. 여기서  $\mu$ 는 한 대역단위당 제공되는 서비스 율을 의미한다. 즉

$j = d, d+1, d+2, \dots, c$  OBS 버스트 도착 율은  $\lambda_m$  ( $m = 0, 1$ )이다. 모든 가능한 상태 천이는 <그림 4>에 나타내었다. 따라서 <그림 4>는 infinitesimal generator 메트릭스  $G$  를 정의한다.

$G$  의 각 열에 있는 엔트리의 합은 0이다.  $\hat{h}_{i,j,m}$  를 상태  $(i,j,m)$ 에 있을 확률 값으로 정의하면, 벡터  $\hat{h}$  는 다음과 같다.

$$(\hat{h}_{0,d,0}, \hat{h}_{0,d,1}, \hat{h}_{0,d+1,0}, \hat{h}_{0,d+1,1}, \dots, \hat{h}_{0,c,1}, \hat{h}_{1,d,0}, \hat{h}_{1,d,1}, \hat{h}_{1,d+1,0}, \hat{h}_{1,d+1,1}, \dots, \hat{h}_{1,c,1}, \hat{h}_{2,d,0}, \hat{h}_{2,d,1}, \hat{h}_{2,d+1,0}, \hat{h}_{2,d+1,1}, \dots)$$

그러면 상태 천이 균형 등식은 다음과 같다.

$$\hat{h}G = 0.$$

정상 상태 큐 사이즈 분포  $x_i$  는  $\hat{h}$  와 관련되며 다음 등식이 성립된다.

$$x_i = \sum_m \sum_j \hat{h}_{i,j,m}.$$

이제 다른 접근 방법인 Neuts 분석을 이용하여  $x_i$  를 구한다.

## 2. Neuts의 솔루션

정상 상태 큐 사이즈 분포 벡터  $x$  는 Markovian 환경에서 유도된 OBS 버스트 SSQ의 파라미터를 고려하여 분석적으로 구해낼 수 있다. Markovian 환경은 다음의 두 가지 프로세스로 구성된다. 하나는 OBS 버스트 도착 상태 0와 1이고 나머지는 OCS 연결의 도착 및 출발 프로세스이다. 이들 프로세스는 서로 독립이고 환경 상태  $j$  와  $m$  을 결정한다. Markovian 환경의 천이 확률 메트릭스는  $Q$  로 나타내며 <그림 5>가  $Q$  메트릭스를 보여준다.

Markovian 랜덤 환경은 시스템에 OCS 연결의 수와 OBS 버스트 도착 상태를 결정하는 확률 프로세스이다. 앞에서 언급한 것처럼, OBS 버스트 서비스 율은 시스템에 OCS 연결 수에 따라 수시로 변한다. 각 환경 상태에 대하여, 벡터  $\mu$  에서 적합한 OBS 버스트 서비스 유파 벡터  $\lambda$  에서 적합한 OBS 버스트 도착율이 있다.

각 환경상태  $(j,m)$  에서 OBS 버스트 서비스 유파는 다음과 같다.

$$\mu_{j,m} = \mu_j = j\mu, \quad m = 0, 1 \text{ and } j = d, d+1, d+2, \dots, c$$

벡터  $\mu$  를 다음과 같이 정의하면,

$$\mu = (d\mu, (d+1)\mu, (d+2)\mu, \dots, c\mu)$$

각 환경 상태  $(j,m)$  에서 OBS 버스트 도착 유파는 다음과 같다.

$$\lambda_{j,m} = \lambda_m, \quad m = 0, 1 \text{ and } j = d, d+1, d+2, \dots, c$$

벡터  $\lambda$  는 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \lambda_0, \lambda_1, \lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_1)$$

예를 들면, 만약  $c = 120^\circ$  고  $d = 10^\circ$  면서  $j = 50$  이고  $m = 1^\circ$  면, OBS 버스트만을 위해 10개의 대역이 예약되어 있고 총 120개의 대역을 가지고 있는 것이며 시스템에 70 OCS 연결이 있고 OBS 버스트를 위해 사용한 50개의 대역이 있는 것이다. OBS 버스트 도착 유파는 1이고 그러면 OBS 버스트 서비스 프로세스는 파라미터  $50\mu$  를 가진다. (왜냐하면 OBS 버스트를 서비스하기 위해 50개 대역을 점유하고 있기 때문이다.) 그리고 OBS 버스트 도착 프로세스는 파라미터  $\lambda$  을 가진다.

큐는 infinitesimal generator  $G$  메트릭스를 가진 Quasi Birth-and Death 프로세스로서 모델링 될 수 있다.  $G$  메트릭스는 다음과 같이 나타낸다.

$$Q = \begin{bmatrix} -r_i & r_i & (c-d)\mu_i & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ r_i & -r_i & (c-d)\mu_i & 0 & (c-d)\mu_i & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \lambda_i & 0 & -\lambda_i & -r_i & (c-d-1)\mu_i & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_i & r_i & -\lambda_i & -r_i & (c-d-1)\mu_i & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_i & 0 & 0 & -\lambda_i & -r_i & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & -\lambda_i & -r_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & -\lambda_i & -r_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & \lambda_i & r_i & -\lambda_i & -r_i \end{bmatrix}$$

그림 5.  $Q$  메트릭스

Fig. 5. The matrix  $Q$ .

$$G = \begin{vmatrix} Q - \Delta(\lambda) & \Delta(\lambda) & 0 & 0 & \cdots \\ \Delta(\mu) & Q - \Delta(\lambda + \mu) & \Delta(\lambda) & 0 & \cdots \\ 0 & \Delta(\mu) & Q - \Delta(\lambda + \mu) & \Delta(\lambda) & \cdots \\ 0 & 0 & \Delta(\mu) & Q - \Delta(\lambda + \mu) & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \end{vmatrix}$$

여기서  $Q$  는 <그림 5>에서 나타낸 것처럼 Markovian 환경에서의 천이 확률 메트릭스이다.  $\Delta(z)$  는 벡터  $z$  의 대각(diagonal) 메트릭스이다.

큐가 안정적이라고 가정하면(즉, 평균 도착 율이 평균 서비스 율 보다 큰 경우), 광 hybrid 스위칭 시스템의 큐잉 성능을 결정하기 위해서는 큐 사이즈의 확률 분포를 나타내는 정상(stationary) 확률 벡터  $x = (x_0, x_1, x_2, \dots)$  가 결정되어야 한다.

Markovian 환경에서 M/M/1 큐의 Neuts의 유도과정 [11]을 이용하여, 이 문제를 다음과 같은 메트릭스 등식을 만족하는 메트릭스  $R$  을 위한 최소 솔루션을 구함으로서 해결할 수 있다.

$$R^2\Delta(\mu) + R(Q - \Delta(\lambda + \mu)) + \Delta(\lambda) = 0$$

여기서  $Q$ 는 Markovian 환경에서의 천이확률 메트릭스이고,  $\Delta(z)$  는 벡터  $z$  의 diagonal 메트릭스이다.

메트릭스  $R$ 은 주기적인 차감 알고리즘(cyclic reduction algorithm)<sup>[10, 15-18]</sup>을 이용하여 값을 구할 수 있다. 정상상태 큐의 stationary 확률 벡터  $x$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$x_k = \pi(I - R)R^k \quad \text{for } k \geq 0$$

여기서  $\pi$ 는  $Q$ 의 stationary 확률 벡터이다 (참고 문헌 [11]의 식 (6.2.5)). 벡터  $\pi$ 는 예를들어 successive relaxation과 같은 수치 해석 기법을 이용하여  $\pi \cdot Q = 0$  을 풀면 구할 수 있다.

평균 큐 사이즈는 stationary 확률 벡터  $x$  를 이용하여 계산된다. 평균 OBS 버스트 지연은 Little's law<sup>[2]</sup>를 이용하여 구할 수 있다. 버스트 지연은 한 버스트의 생성 시점부터 버스트의 마지막 비트가 보내진 시점까지의 기간을 의미한다. 따라서 평균지연은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{평균 OBS 버스트 도착 율} = \frac{\lambda_0 r_1 + \lambda_1 r_0}{r_0 + r_1}$$

$$\text{평균 큐 사이즈} = \sum_{i=1}^{+\infty} x_i \cdot i$$

$$\text{평균 OBS 버스트 지연} = \frac{\text{평균 큐 사이즈}}{\text{평균 버스트 도착 율}}$$

$$\text{이용 효율} = \frac{\text{평균 도착 율}}{\text{평균 서비스 율}}.$$

## V. 성능 결과

본 장에서 특정 파라미터에 대해 광 hybrid 스위칭 시스템을 위한 성능을 분석하였다. 이를 위해 다음과 같은 환경을 고려한다. 한 링크에 대하여 전체 120개의 가용한 대역단위가 있다. 120개의 가용한 대역단위 중에서 10개의 대역단위가 OBS 버스트만 서비스 하기위해 예약되어 있다. 각 링크는 10Gbps이다. OBS 세션의 평균 서비스 간격이 3분이다. OCS 부하는 OCS 연결에 가용한 대역이 30%의 이용 효율이 되도록 가정한다. <표 1>은 사용된 모든 파라미터에 대한 목록을 나타내었다. 이런 파라미터는 분석적인 접근방법으로 결과를 얻기 위해 사용된다.

<그림 6>은 OBS 버스트에 대한 평균지연과 이용

표 1. 모델 파라미터  
Table 1. Model parameters.

파라미터	값	의미
$\lambda_0$	가변	OBS state 0 버스트 생성 율
$\lambda_1$	$\lambda_1 = 5\lambda_0$	OBS state 1 버스트 생성 율
$r_0$	0.00001	State 0 to 1 천이 율
$r_1$	0.000001	State 1 to 0 천이 율
$\mu$	1/1000	단위 대역당 평균 OBS 버스트 서비스 율
$c$	120	링크 전체 대역 단위
$d$	10	OBS 버스트만을 위해 예약된 대역 단위
$\mu_c$	1/180000	1/(OCS 연결 유지 시간)
$\lambda_c$	$0.3(c-d)\mu_c$	OCS 연결 설정 율

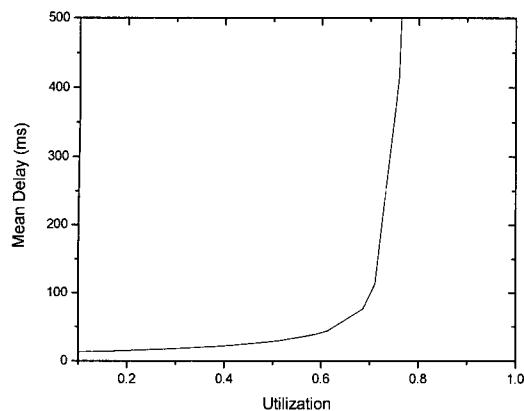


그림 6. OBS 버스트에 대한 평균 지연과 이용 효율간의 관계

Fig. 6. Mean delay versus utilization for OBS bursts.

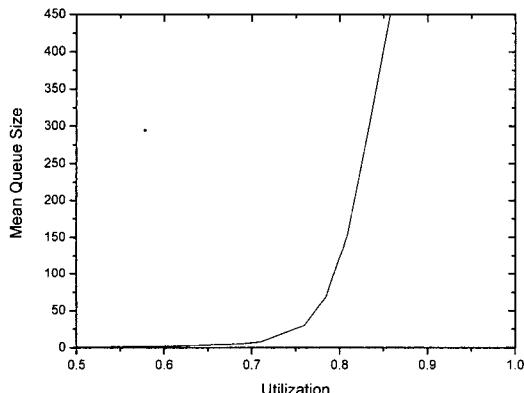


그림 7. 평균 큐 사이즈와 이용 효율간의 관계

Fig. 7. Mean queue size versus utilization.

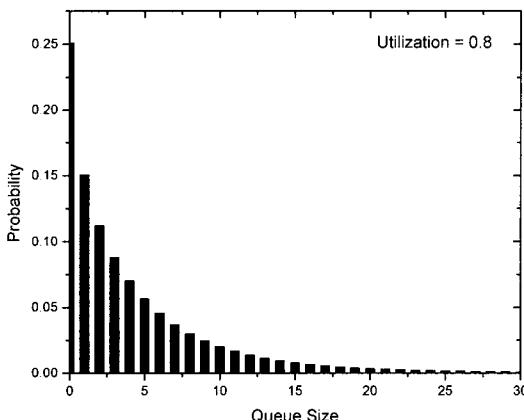


그림 8. OBS 버스트에 대한 큐 사이즈 확률 분포

Fig. 8. Queue size probability for OBS bursts.

효율간의 관계에 대한 결과 그래프를 보여준다. 평균 지연은 0.7 이상의 높은 이용 효율에 대하여 급격하게 증가된다. 따라서 이 결과는 적합한 버스트 지연을 가지고 광 hybrid 스위칭 시스템을 운영하기 위해서는 이용 효율이 70%를 넘지 않도록 유지해야 함을 의미한다. 유사하게, <그림 7>에서 보인 것과같이 평균 큐 사이즈도 높은 이용 효율에 대하여 마찬가지로 증가된다. 마지막으로 <그림 8>은 이용 효율이 0.8일 때 OBS 버스트에 대한 큐 사이즈 확률 분포를 보여준다.

## VI. 결 론

본 논문에서 OBS와 OCS를 결합한 새로운 광 hybrid 스위칭 시스템을 제안했다. 또한 이 시스템의 성능 분석을 위한 이론적인 모델링을 수행하였다. 여기서 OBS 트래픽의 버스트한 특성을 모델링 하기 위하여 MMPP를 이용하였으며 큐잉 성능 결과를 얻기 위해 matrix geometric 기법을 이용하였다. 이 논문은 QoS 요구사항을 만족시키면서 네트워크 이용 효율을 증가시키기 위한 광 hybrid 스위칭 시스템의 성능 분석을 위한 이론적인 틀을 제공하였다. 이 틀을 이용하여 향후 제안한 시스템에서 트래픽 특성에 따라 동적으로 OCS와 OBS의 비율을 최적으로 결정할 수 있도록 하는 기법에 대한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] Bala Rajagopalan, et al., "IP over optical networks: a framework," IETF internet- draft <[draft-ietf-ipo-framework-04.txt](#)>, Mar. 2003, work in progress.
- [2] C. Qiao, M. Yoo, "Choice, and feature and issues in optical burst switching", Optical Net. Mag., vol.1, No.2, Apr.2000, pp.36-44.
- [3] C. Qiao, "Labeled optical burst switching for IP over WDM integration", IEEE Comm. Mag., Sept. 2000, pp.104-114.
- [4] Yijun Xiong, Marc Vandenhoute, Hakki C. Cankaya, "Control architecture in optical burst-switched WDM networks", IEEE JSAC, Vol.18, No.10, Oct. 2000.
- [5] Ilia Baldine, George N. Rouskas, Harry G.

- Perros, Dan Stevenson, "JumpStart: A Just-in-time Signaling Architecture for WDM Burst-Switching Networks", IEEE Comm. Mag., Feb. 2002.
- [6] M. Dueser, I. de Miguel, P. Bayvel, D. Wischik, "Timescale analysis for wavelength-routed optical burst-switched (WR-OBS) networks," Proceedings of OFC 2002, March 2002.
- [7] Alberto Leon-Garcia, "Photonic burst switching," Whitepaper, Accelight networks, 2001, available at <http://www.accelight.com/>
- [8] Gyu Myoung Lee, Jun Kyun Choi, "Evolutional architecture of control plane for optical IP network," Proceedings of COIN 2002, pp. 25-27, July 2002.
- [9] H. Heffes and D.M. Lucantoni, "A Markov modulated characterization of packetized voice and data traffic and related statistical multiplexer performance," IEEE JSAC, vol. SAC-4, no-6, Sep.1986.
- [10] C.H. Foh, B. Meini, B. Wydrowski and M. Zukerman, "Modeling and performance evaluation of GPRS," Proceedings of IEEE VTC 2001, pp. 2108-2112, May 2001.
- [11] M. F. Neuts, Matrix-Geometric solutions in stochastic models: an algorithmic approach, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1981.
- [12] Chunsheng Xin, et.al, "On an IP-centric optical control plane," IEEE Comm. Mag. Sep. 2001.
- [13] L. Andersson, et al, "LDP specification," RFC3036, Jan. 2001.
- [14] Hao Che, San-qì Li, Arthur Lin, "Adaptive resource management for flow-based IP/ATM hybrid switching systems," IEEE/ACM Trans on Networking, vol. 6. no. 5. October 1998.
- [15] D.A. Bini, L. Gemignani, and B. Meini, "Computations with infinite Toeplitz matrices and polynomials," Linear Algebra Appl., 2001.
- [16] D.A. Bini and B. Meini, "On the solution of a nonlinear matrix equation arising in queueing problems," SIAM J. Matrix Anal. Appl., 17:906-926, 1996.
- [17] D.A. Bini and B. Meini, "Improved cyclic reduction for solving queueing problems," Numerical Algorithms, 15:57-74, 1997.
- [18] C. He, B. Meini, and N.H. Rhee. "A shifted cyclic reduction algorithm for QBD's," SIAM J. Matrix Anal. Appl., 2001.

## 저자 소개



李 圭 明(正會員)

1989년 : 흥익대학교 전자전기제어  
공학과 학사. 2000년 8월 : 한국정  
보통신대학원대학교 공학부 석사.  
2001년 9월 ~ 현재 : 한국정보통신  
대학원대학교 공학부 박사과정 재  
학중



崔 塏 均(正會員)

1982년 : 서울대학교 전자공학과  
학사. 1985년 : 한국과학기술원 전  
자공학과 석사. 1988년 : 한국과학  
기술원 전자공학과 박사, 1986년 6  
월 ~ 1998년 2월 : 한국전자통신연  
구소 재직, 1998년 3월 ~ 현재 : 한  
국정보통신대학원대학교 부교수 재직중