

OBS 망에서 버스트 충돌 회피를 위한 SCM 기반의 버스트 생성 기법

정회원 이 해 정*, 김 영 천*

Burst Assembly Scheme based on SCM for Avoidance of Burst Collision in Optical Burst-Switched Networks

Hae-Joung Lee*, Young-Chon Kim* *Regular Members*

요 약

버스트 제어 정보와 버스트를 offset 시간으로 분리하여 전송하는 광 버스트 스위칭 망에서 버스트 충돌 발생은 서비스 품질 저하를 초래하며 이러한 현상은 버스트 크기가 클수록 더욱더 심각해진다. 그러므로 노드에서 버스트 충돌 방지를 위한 효과적인 예방 대책이 반드시 수립되어야 한다. 그러나 현재 광 버스트 스위칭 망에서 제시되고 있는 버스트 충돌에 대한 다양한 접근 방법들은 버스트 충돌 발생 후 이를 해결하기 위한 방안으로 제시되고 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 기법은 Ingress 에지 노드에서 부 반송파 다중화 기술을 이용하여 버스트 전송 크기를 줄임으로써 코어 망에서 스케줄링 시 발생할 수 있는 버스트 충돌 확률을 미리 예방하는 방법이다. 이를 위해 본 논문에서는 부 반송파 다중화 기반의 광 버스트 스위칭 망에서 버스트 생성과 전송을 위한 모듈구조와 기법을 제안하였다. 또한, 제안된 기법에 대해 파장 개수와 부 반송파 개수에 따른 버스트 손실률, 처리율, 및 총 용량 관점에서 성능 평가를 실시하였다.

Key Words : OBS, SCM, Collision, Offset time.

ABSTRACT

Optical Burst Switched (OBS) networks usually employ one-way reservation by sending a burst control packet (BCP) with a specific offset time, before transmitting each data burst frame (BDF). Therefore, The quality of service may be degraded because contentions may lead to loss of BDFs. Especially, this phenomenon becomes more serious when burst size is longer. This necessitates an effective method of prevention to avoid burst collision in nodes. OBS networks can employ several methods to avoid such burst losses. One is that burst size is cut short to reduce burst loss probability during scheduling time. In this paper, we evaluate the burst generation and transmission using Sub-Carrier Multiplexing (SCM) in OBS networks. We propose an appropriate burst assembly architecture and transmission scheme based on SCM in OBS networks. The performance of SCM in OBS networks is examined in terms of number of Sub-Carriers per wavelength, burst loss probability, throughput, and total bandwidth of an optical fiber.

1. 서 론

새로운 세기의 시작과 더불어 전 세계적으로 인

터넷의 사용자의 수는 폭발적으로 증가하고 있다. 또한 통신망에서 이용되는 고속 멀티미디어를 이용한 가상교육, 웹, 그리고 전자 상거래 등의 다양한

* 전북대학교 컴퓨터공학과 차세대 통신망 연구실 (lhj9238, yckim@chonbuk.ac.kr)
 논문번호 : 040038-0202, 접수일자 : 2004년 1월 15일

※본 연구는 한국과학재단(KOSEF)의 광 인터넷연구센터 (OIRC) 프로젝트의 지원으로 수행되었습니다.

IP 데이터 서비스의 트래픽양은 현재의 음성 트래픽 양을 초과하여 향후 10년 내에 100배 이상의 증가를 보일 것으로 예상되고 있다. 특히 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 기술과 광 송수신기, 광 증폭기 등의 광소자 기술의 발전에 의해 구체화되기 시작한 광 인터넷에 대한 연구가 국내 외적으로 활발히 진행되고 있다.

이와 같은 광 인터넷 구축을 위한 광 교환 기술은 광회선 교환 방식 (Optical Circuit Switching; OCS)과 광 패킷 교환 방식 (Optical Packet Switching; OPS)으로 분류된다. OPS는 광 인터넷 구현을 위해 가장 이상적인 기술로 제시되고 있지만, 광 동기화와 같은 기술의 복잡성과 광 논리소자 기술의 미성숙 등으로 인하여 실제적인 구현에는 많은 시간이 요구된다. 그리고 현재 이용되고 있는 OCS의 파장단위의 교환은 데이터 트래픽의 대부분을 차지하는 인터넷 트래픽을 효율적으로 수용하기에 많은 제약을 갖는다. 최근에 새롭게 제안된 광 버스트 스위칭 (Optical Burst Switching; OBS) 기술은 OCS와 OPS의 장점만을 최대한 이용하여 광 인터넷 구축을 위한 현실적인 대안으로 활발히 논의되고 있다¹⁻⁴⁾.

OBS는 제어와 전송 기능을 분리하여 버스트 제어 패킷 (Burst Control Packet; BCP)을 먼저 전송하고, offset 시간 후에 버스트 데이터 프레임 (Burst Data Frame; BDF)을 데이터 채널로 전송함으로써 중간 노드에서 BDF 처리를 위한 버스트 지연과 광전 변환 (O/E/O Conversion)이 없는 종단간 투명한 데이터 채널 경로를 제공하는 장점이 있다. 또한, 우선순위가 높은 BDF에 대해서는 긴 offset 시간을 설정함으로써 채널예약에 우선권을 줄 수 있기 때문에 차별화 서비스 제공도 가능하다. 현재 OBS에 관련된 연구는 버스트 크기 결정, offset 시간 결정, 버스트 충돌해결, 스케줄링, 및 장애 복구 대책에 집중되고 있다. 특히, 버스트 크기 결정에 대한 연구는 중간 노드에서 버스트 충돌과 매우 밀접한 관계를 가지기 때문에 서비스 품질에 많은 영향을 끼치게 된다. OBS 망에서 버스트 간 충돌을 해결하기 위한 최선의 방법은 버스트 전송 크기를 줄여 스케줄링 시 버스트 충돌을 줄이는 것이다. 그러나 최적의 버스트 크기를 결정하기 위해서는 IP 트래픽의 self-similar 특성과 전기적 제어 처리 때문에 제한되는 최소 버스트 크기, IP 패킷의 최대 지연 시간을 고려하여 버스트 크기를 결정하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 OBS 기반의

WDM 망에서 광 부반송파 다중 방식 (Sub-Carrier Multiplexing; SCM)을 이용하여 버스트 크기를 줄이는 새로운 버스트 생성 구조와 기법을 제안하였고 제안된 기법에 대하여 성능 평가를 실시하였다.

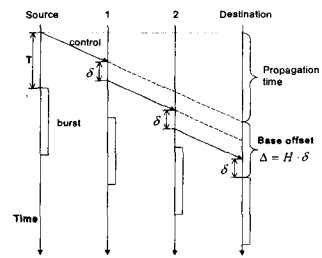
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 광 버스트 스위칭의 개요에 대해 설명한다. 3장에서는 SCM 기반의 버스트 생성 구조와 전송 기법을 제안하고 4장에서는 제안된 기법의 성능 평가를 실시하고 평가 결과를 다양한 측면에서 비교 분석하였다. 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 논하였다.

II. OBS 개념 및 구조

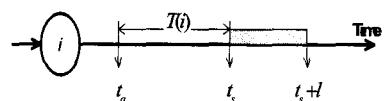
1. OBS 개념

OBS는 버스트 제어를 위한 전기적 처리 때문에 발생하는 중간 노드에서의 병목현상을 해결하기 위해 다수의 IP 패킷을 모아서 가변길이의 버스트를 생성하여 제어 채널과 분리된 데이터 채널을 통해 전송한다.

그림 1은 OBS 개념도이다. (a)는 BCP를 전송한 후 수신 측의 승인을 기다리지 않고 Offset 시간 후에 BDF를 전송하는 One-Way 예약 방식을 나타낸다. 그림에서 offset 시간을 T 로 표시하면, T 값은 수신 측까지의 노드 수 H 와 중간 노드에서의 버스트 제어 패킷 처리 시간 δ 에 의해 결정되고, 버스트가 중간노드에서 지연 없이 전송되기 위해서



(a) BCP와 BDF의 전송



(b) 자원 예약

그림 1. 광 버스트 스위칭

$T \geq H \times \delta$ 을 만족해야 한다. (b)는 임의의 노드 i 에 시간 t_a 에 BCP가 도착하고 offset 시간 $T(i)$ 가 지난 후 t_s 에 버스트가 도착하는 것을 나타낸다. BCP는 버스트가 도착하기 전에 노드 i 에서 버스트가 전송될 채널을 예약한다. 또한 채널 이용률을 높이기 위해서 채널 예약에 대한 스케줄링이 끝나는 시점이 아닌 버스트의 도착시간 t_s 부터 버스트의 전송이 종료되는 $t_s + \mu$ 까지 예약하는 지연 예약 (Delayed Reservation; DR) 방식을 사용한다. 그러므로 각 중간 노드가 BCP를 처리하는 동안 BDF장치를 위해 버퍼를 사용하지 않기 때문에 BDF는 광 계층에서 O-E-O 변환 없이 cut-through 방식으로 데이터의 투명성을 유지하면서 전송된다^[2].

2. OBS 구조

그림 2는 OBS 망의 구조와 각 구성요소를 나타내고 있다. OBS 망은 액세스 망 (Access Networks)을 코어 망 (Core Networks)에 연결시키는 에지 라우터 (Edge Router)와 버스트를 스위칭하는 코어 라우터 (Core Router), 그리고 라우터와 라우터를 연결하는 광 링크 (Optical Fiber)로 구성된다.

2.1 에지 라우터

OBS 망에서 에지 라우터는 다시 기능측면에서 ingress 에지 라우터 (Ingress Edge Router; IER)와 egress 에지 라우터 (Egress Edge Router; EER)로 구분되며, 각각 버스트의 생성과 IP 패킷의 분리 기능을 수행한다. 또한 IER에서는 버스트의 BCP와 BDF간의 Offset 시간도 결정한다. IER에서 요구되는 중요한 OBS 기술로는 버스트 생성 기술이다. 일반적으로 IER에 입력되는 IP 트래픽을 단순히 수신했다 하여 코어 망에 그대로 전송하는 경우에는 다중화된 IP 트래픽의 self-similarity와 버스트 특성이 계속 유지되어 망에 유입되는 패킷의 손실률이 증가하고 망 자원 이용률이 감소한다. 따라서 이러한 문제를 줄이기 위해 여러 개의 IP 패킷을 모아서 버스트로 생성하는 기법이 제안되었다^[4].

버스트 생성은 일반적으로 에지 노드에서 목적지 노드 수와 트래픽 클래스 수를 고려하여 개별적인 버스트 생성 큐와 공용 큐 또는 개별적인 버스트 전송 큐를 운영한다. 각 버스트 생성 큐는 타이머를 이용한 방법과 버스트의 크기를 제한하는 방법으로 버스트를 생성한다. 버스트의 크기를 제한하는 방식

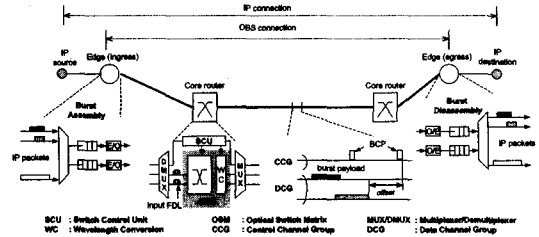


그림 2. OBS 망 구조

은 가변길이 패킷을 가정한 경우와 고정길이 패킷을 가정한 경우로 분류할 수 있는데 전자의 경우가 비 주기적 생성 기법에서 최대 크기를 제한하는 방식이며, 후자는 입력되는 패킷의 수를 합하여 버스트의 크기를 제한하는 방식이다. 크기를 제한하는 것은 버스트의 크기가 크면 클수록 채널 다중화 효과가 줄어들기 때문이다.

이와 같이 에지 라우터에서 버스트를 생성할 때는 트래픽의 self-similarity 특성 및 트래픽의 지연 요구, 망의 다중화 효과, 그리고 버스트 생성으로 인한 BCP 처리 오버헤드를 같이 고려하여 버스트의 크기와 생성 시간을 결정해야 한다.

2.2 코어 라우터

코어 라우터는 제어 정보인 BCP를 처리하여 후행하는 BDF의 출력 채널을 예약하는 기능과 BDF의 교환 기능을 담당한다. 그림 2에서와 같이 코어 라우터는 Input FDL (IFDL), 광교환부 (Optical Switching Matrix; OSM), 교환기 제어부 (Switch Control Unit; SCU), 그리고 경로배정 및 신호프로세서 (routing allocation and signaling processors)로 구성된다. IFDL이 사용되는 경우와 사용되지 않는 경우가 있는데 전자의 경우에는 IFDL이 BCP에 대한 처리 시간동안 BDF를 지연시키기 때문에 에지 노드에서 결정하는 기본 Offset 시간이 없어도 된다. 하지만 후자의 경우에는 홉 수를 고려하여 기본 offset 시간이 결정되는 경우이다. 경로배정 및 신호 프로세서는 연결에 대한 경로 설정 및 관리, 해제에 이용된다^[5]. 각 링크는 K 개의 파장 채널이 이용되며 제어 채널을 위하여 k 개의 CCG (Control Channel Group)가 사용되며 DCG (Data Channel Group)은 $(K - k)$ 가 이용된다. 또한 광 교환부는 버스트 충돌을 해결하기 위하여 코어 라우터에 있는 광교환부의 입력 또는 출력 단에 광 버퍼를 구성하여 해결하는 기법이 있는데 FDL의

단위 시간이 q 이고 B 개의 광 버퍼가 구성된 경우에 최대 $q \cdot B$ 만큼의 시간동안 버스트를 지연시킬 수 있다[5-7]. 하지만 전기적인 RAM을 이용한 랜덤 액세스 기술이 아직 광 영역에서는 개발이 되지 않았으며 FDL의 지연에 의한 버퍼 효과도 광섬유 길이의 제한으로 아직은 제한적으로 사용되고 있다. 그러므로 IER에서 전송되는 버스트의 길이를 줄임으로써 코어 라우터의 버스트 충돌 및 FDL의 단위 시간 q 을 효과적으로 줄이는 방법이 요구된다.

이와 같이 OBS 망은 에지 라우터와 코어 라우터로 구성되며 에지 라우터에서 버스트 크기 결정 문제는 코어 라우터에서 발생하는 버스트 충돌 문제와 이를 해결하기 위한 FDL 크기에 많은 영향을 끼치고 있다. 본 논문에서는 에지 라우터에서 버스트 크기를 줄이기 위한 방법으로 SCM 기반의 버스트 생성 기법에 대한 모듈을 설계하고 성능 평가를 수행하였다.

III. SCM 기반의 버스트 생성 모듈 설계

SCM은 여러 개의 신호를 라디오 주파수 (Radio Frequency; RF) 영역에서 다중화 하여 하나의 파장을 통해 전송하는 기법이다. SCM 기술을 사용하는 이유는 고주파 장비가 광 장비보다 더 발전했으며 고주파 발진기의 안정성과 고주파 필터의 주파수 선택이 광 발진기와 광 필터의 주파수 선택보다 매우 효과적이기 때문이다. 뿐만 아니라 RF 도메인은 RF 오실레이터가 작은 위상 잡음을 생성하므로 광 영역에서의 간섭 탐지보다 훨씬 용이하며 확장된 변조 포맷을 쉽게 구현 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 간단하고 적은 비용의 구현 때문에 SCM 기술은 다중 채널 디지털 광 신호에 많이 이용되고 있다^[8-11].

1. SCM 채널 용량 분석

초기 WDM 시스템들은 2.5Gb/s의 채널 용량을 사용하였다. 그러나 EDFA 이득 대역폭과 WDM 필터 기술을 결합한 발송지의 파장 안정성을 기반으로 100GHz의 채널 간격을 가지는 32개의 채널이 가능하게 되었다. 현재 상용되어지는 시스템들은 160에서 320개의 WDM 채널까지 사용할 수 있으며 채널 간격은 25GHz까지 줄일 수 있게 되었다. 또한, 현재 사용되고 있는 파장 영역은 기존의 EDFA 밴드 하에서 1530nm에서 1565nm의 C 밴드

와 추가적인 1565nm에서 1570nm까지의 L 밴드가 사용되고 있다.

그러므로 본 논문에서는 전체 대역폭에서 WDM 채널수에 따라 각기 다른 변조 기법을 적용하였을 경우에 사용 가능한 SCM 채널수와 전체용량을 분석하였다. 먼저 WDM 채널에 적용할 수 있는 SCM 채널수와 전체 전송 용량을 계산하기 위하여 다음의 변수를 정의하였다.

- i : SCM 채널수, G : 전체 대역폭
- W : 파장의 개수, N_{BB} : 베이스 밴드 채널수
- R_b : 채널의 데이터율, TC : 전체 전송 용량
- f_o : 파장(0)에 대한 베이스 밴드 주파수
- f_{BSG} : 반송파와 부반송파 주파수의 간격
- f_{SCM-B} : 변조 기법(QPSK, BPSK, 16PSK)에 따른 SCM의 주파수 영역
- f_{SSG} : SCM 사이의 주파수 간격

그림 3은 WDM 채널에 적용할 수 있는 SCM 채널수를 도식화한 그림이다.

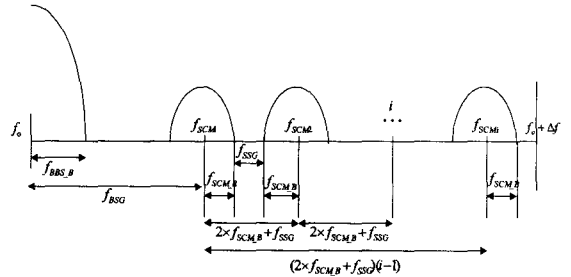


그림 3. WDM 채널에 적용할 수 있는 SCM 채널의 수 주 채널과 첫 번째 보조 채널의 보상을 위한 간격 f_{BSG} 은 다음과 같은 조건을 가진다.

$$f_{BSG} \gg \frac{R_b}{m} \times 8 \quad (1)$$

만약 채널의 데이터율이 R_b 일 때 변조 기법의 위상 지수 m 로 나눈 값의 8배 이상이 주 밴드와 첫 번째 보조 밴드의 간격 f_{BSG} 을 유지해야 한다. 보조 밴드와 보조 밴드와의 간격 f_{SSG} 은 변조 기법에 따른 보조 밴드의 대역폭 f_{SCM-B} 만큼 유지해

야 한다. 양측파대를 고려하면 하나의 전체 대역폭 G 에서 파장의 수가 N 이면 하나의 파장을 위한 채널 간격은 $G/2N$ 이다. 그러므로 하나의 WDM 채널에 적용할 수 있는 최대 SCM 채널수 i 는 식 (2) 과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta f \geq (f_o + f_{BSG}) + (2 \times f_{SCM-B} + f_{SSG}) \times (i-1) + f_{SCM-B}$$

$$\therefore [i] \leq \frac{\Delta f - (f_o + f_{BSG} + f_{SCM-B})}{2 \times f_{SCM-B} + f_{SSG}} + 1 \quad (2)$$

따라서 파장 개수와 SCM 개수에 따른 총 채널용량은 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$TC = R_b \cdot W \cdot (N_{BB} + i) \quad (3)$$

표 1은 식 (2)과 식(3)을 이용하여 한 채널의 데이터율 R_b 가 10Gb/s라 가정할 때 각 파장 수와 변조 기법에 따른 최대 SCM 채널수와 전체 용량을 계산한 표이다.

표 1. 파장 수에 따른 SCM 채널수와 총 채널용량

변조 기법 변수	BP SK			QP SK			16PS K		
	W	32			16			8	
N_{BB}	1			1			1		
f_{SCM-B}	10 Gb/s	5 Gb/s	2.5 Gb/s	10 Gb/s	5 Gb/s	2.5 Gb/s	10 Gb/s	5 Gb/s	2.5 Gb/s
f_{SSG}	10 Gb/s	5 Gb/s	2.5 Gb/s	10 Gb/s	5 Gb/s	2.5 Gb/s	10 Gb/s	5 Gb/s	2.5 Gb/s
i	0	1	4	1	4	11	4	11	24
TC	320 Gb/s	640 Gb/s	1600 Gb/s	320 Gb/s	800 Gb/s	1920 Gb/s	400 Gb/s	960 Gb/s	2000 Gb/s

표 1과 같이 각 변조 기법에 따라 충족할 수 있는 SCM 채널수와 총 용량이 달라짐을 확인 할 수 있고 파장수를 줄일수록 적용 할 수 있는 SCM 채널수가 증가하여 전체 용량을 늘릴 수 있음을 확인할 수 있다. 그러나 변조 기술의 발전 정도와 파장의 유용성을 고려하지 않고 단지 파장수를 줄여서 SCM 채널의 수와 전체 용량을 늘릴 수는 없으므로 망이 요구되어지는 적절한 파장 수와 변조기법에 따른 SCM 채널수를 고려해야만 한다.

2. SCM 기반의 버스트 생성 구조 및 생성 기법

OBS 망의 에지 라우터는 IP 패킷을 모아서 버스트를 생성하고 제어 정보를 설정하여 BCP를 생성한다. 이때 제어 정보는 근원지 및 목적지 주소와 파장 정보, offset 정보 및 QoS 정보 등이 포함된다. 그림 4는 IER에서 버스트 생성을 위한 SCM 기반의 버스트 생성 모듈 구조이다. 버스트 생성 모듈은 IP 소스, 클래스 분류기, 버스트 생성 큐, 각 채널에 모여진 버스트를 나누어서 전송 할 수 있는 버스트 전송 큐, 그리고 SCM 채널을 통해 나누어서 전송되는 버스트를 합칠 수 있는 멀티플렉서로 구성되어 있다. 버스트 생성 모듈에서 IP 소스는 파레토 분포 (pareto distribution)를 이용한 ON/OFF 트래픽 소스이며 최소 100 개 이상의 소스가 다중화 되어야 self-similarity 또는 Long Range Dependence (LRD) 특성을 갖는 인터넷 트래픽을 생성한다. 클래스 분류기에서는 각 클래스로 버스트가 분류되고 각 버스트 생성 큐에서 버스트를 생성한다. 생성된 버스트를 각 주 밴드와 보조 밴드로 전송하기 위해 생성된 버스트를 나누어서 전송할 수 있는 전송 큐로 보내서 변조한다. 변조된 채널은 멀티플렉서를 통해 다중화 하여 하나의 WDM 채널로 전송하는 구조이다.

IER 버스트 생성 모듈 구조에서 IP 패킷을 모아 버스트를 생성하는 기법에는 주기적 생성 기법과 비주기적 생성 기법이 있다. 이 중에서 비 주기적 생성 기법은 IP 패킷이 빈 큐에 처음으로 도착할 때 타이머가 작동하여 일정 시간동안 IP 패킷을 모아 버스트를 생성하는 기법이다. 이 방법은 구현이 용이하며 전송 측면에서도 주기적 생성 기법보다 적은 지연 특성을 가지고 있어 OBS 망에 적합한 방식으로 고려되고 있다.

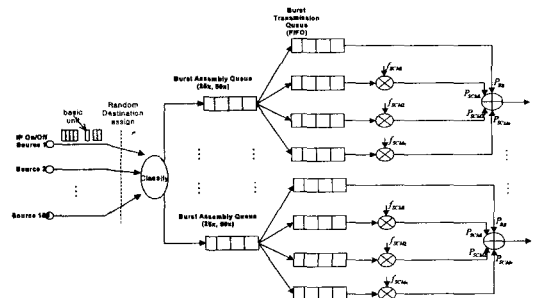


그림 4. IER 버스트 생성 모듈 구조

IER 버스트 생성 모듈에서 사용한 비주기적 버스트 생성 기법 알고리즘은 다음과 같다.

Notation

- $BAQ_i(i)$: i th Burst Assembly Queue에 모아진 버스트 길이
- $BAQ_t(i)$: i th Burst Assembly Queue 타이머
- $BAQ_T(i)$: i th Burst Assembly Queue의 버스트 생성 제한시간

Procedure

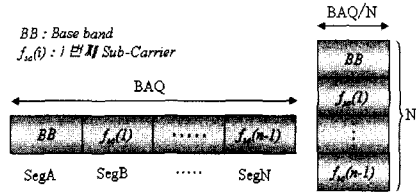
Non_Periodic_Burst_Assembly

```

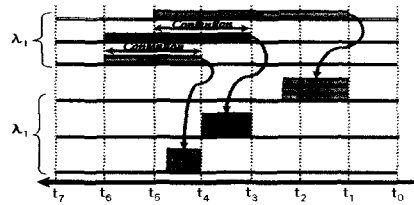
begin When a packet with length  $x$  arrives in  $BAQ(i)$ 
if (  $BAQ_i(i) = 0$  )  $BAQ_i(i) = 0$ ;
else {  $BAQ_i(i)++$  ;
       $BAQ_i(i) = BAQ_i(i) + x$ ;
      if (  $BAQ_i(i) \neq BAQ_T(i)$  )
        goto begin
      else
      {
         $BAQ_i(i) = BAQ_i(i)$ ;
         $BAQ_i(i) = 0$ ;
        return (  $BAQ_i(i)$  )
      }
    }
end Non_Periodic_Burst_Assembly
    
```

이와 같이 버스트 생성 큐에 모여진 버스트의 길이 $BAQ_i(i)$ 을 주어진 1개의 주 밴드와 $N-1$ 개의 보조 밴드로 구성된 N 개의 채널로 나누어서 버스트 전송 큐에 전달한다. 그림 5는 SCM 기반의 비 주기적 생성 기법으로 $BAQ_T(i)$ 동안 모은 버스트 $BAQ_i(i)$ 을 N 개의 채널로 나눈 버스트 전송 길이를 보여 주고 있다. 버스트의 전송 길이는 $BAQ_i(i)/N$ 로 줄어들게 된다. 따라서 버스트 전송 길이가 줄어들므로 인해 코어 라우터의 스케줄링 과정에서 발생할 수 있는 버스트 충돌 현상을 그림 5. (b)에서 보는 것과 같이 손실을 줄일 수 있다. 그러므로 전체 망 관점에서는 버스트 처리율 증가와 버스트 손실을 감소를 가져오며 버스트 충돌 시 요구되어지는 FDL의 크기도 줄일 수 있어 FDL의

비용 절감 효과를 가질 수 있다.



(a) 버스트 크기 변화



(b) 버스트 손실 감소(N=3)

그림 5. SCM을 이용한 버스트 크기 변화

IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

제안된 SCM 기반의 버스트 생성 모듈에 대한 성능 평가를 실시하기 위하여 OPNET 시뮬레이터를 이용하였다. 그림 6(a)은 OBS 기반의 NSF 모델을 나타내며 (b)는 NSF 망에 있는 각각의 노드들이 OBS의 기능을 수행하기 위하여 여러 개의 프로세스로 구성되었다.

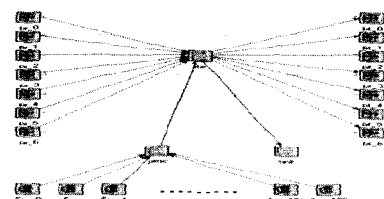
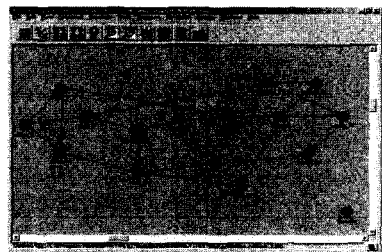


그림 6. OBS 기반의 NSF Network과 노드 모델

각각의 프로세스 기능을 살펴보면 pr/pt에서는 인접 노드로 BCP와 BDF의 전송과 수신을 담당하며 source 프로세스는 self-similarity 트래픽인 IP 패킷을 발생하며 proc 프로세스에서는 BDF와 BCP를 생성한다. 본 논문에서 제안한 SCM 기반의 버스트 생성 기법도 proc 노드에서 구현하였다. rte 프로세서는 라우팅과 버스트의 채널 예약을 위하여 LAUC_VF 기반의 스케줄링 기능을 담당한다. 각 노드에서 버스트 생성을 위해 버스트 도착률 λ 는 다음 식 (4)과 같다.

$$\lambda = \frac{\rho \cdot \mu \cdot W \cdot E \cdot 2}{n \cdot H} \quad (4)$$

n : 노드 수, E : 링크 수, ρ : 입력 부하

μ : Burst 처리율($\mu = \frac{R}{L}$), c : 출력 링크 파장 수

R : 채널의 Data rate, L : 버스트 크기

T : Offset 시간, P_d : 링크 전송 지연 시간

표 3는 시뮬레이션 파라미터를 나타내며 버스트 도착률 λ 를 결정하기 위해 버스트의 평균 길이는 평균 IP 패킷의 길이 500바이트의 25배와 양방향 링크를 사용하는 것으로 가정하였다. 성능평가 파라미터는 SCM 기반의 버스트 생성모듈에서 생성된 버스트를 망에 전송하여 코어 라우터에서 LAUC_VF 기반의 스케줄링을 이용할 때 발생하는 버스트 처리율과 버스트 손실률 그리고 광섬유의 총 용량에 대한 성능평가를 수행하였다. 또한 광섬유에서 총 용량이 같을 경우 파장 수에 따른 SCM 개수와 버스트 처리율 및 버스트 손실률에 대하여 성능평가를 수행하였다. 성능평가 파라미터는 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{처리율} = \frac{\text{성공한버스트의수}}{\text{발생한버스트의수}} \quad (5)$$

$$\text{버스트손실률} = \frac{\text{실패한버스트의수}}{\text{성공한버스트수} + \text{실패한버스트수}} \quad (6)$$

그림 7과 8은 파장 개수와 SCM 개수에 따른 처리율을 비교한 그래프이다. 그림 7은 파장 수가 32인 경우 SCM 개수에 따른 처리율을 보여주고 있으며 그림 8은 파장수가 8인 경우 SCM 개수 변화에 따른 처리율을 나타내고 있다. 그림 7과 8은 입력부

하가 0.4 이하에서는 거의 유사한 성능을 보이고 있으나 입력 부하가 높아질수록 SCM을 사용함으로써 채널의 수가 증가하여 코어 라우터에 전송되는 버스트 전송 크기가 감소하게 되어 처리율은 상승하는 현상을 볼 수 있다. 또한, 파장의 수가 많아질수록 적은 SCM 수를 사용하더라도 보다 나은 처리율을 나타내고 있다. 그러나 SCM를 사용하지 않을 경우에는 적은 파장을 이용하는 것보다 많은 파장을 이용할 경우 입력부하가 증가할수록 처리율은 상승하는 것을 확인할 수 있다.

그림 9와 10은 파장 개수와 SCM수에 따른 버스트 손실률에 대한 결과 그래프를 나타낸다. 그림 9는 파장 수가 32인 경우 SCM 개수에 따른 버스트 손실률 보여주고 있으며 그림 11은 파장수가 8인

표 2. 시뮬레이션 파라미터

항목	설정값
노드의 수 n	14
파장의 수 W	8, 16, 32
입력부하 ρ	0.2 ~ 0.8
버스트 길이 L	100,000bit
링크용량 L_b	1Gb/s
평균 홉의 수 H	2.362637
SCM 채널수	1,2,3,4
변조기법	QPSK

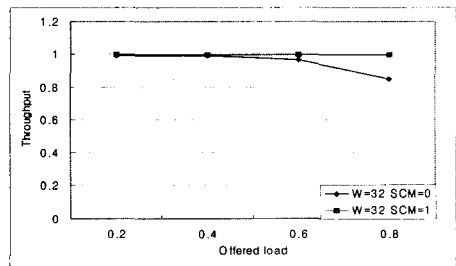


그림 7. 파장 수(32)와 SCM 개수에 따른 처리율

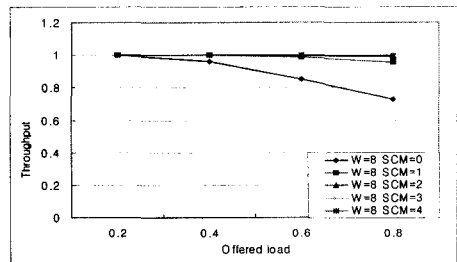


그림 8. 파장 수(8)와 SCM 개수에 따른 처리율

경우 SCM 개수 변화에 따른 버스트 손실률을 나타내고 있다. 그림 9와 10은 입력부하가 낮을수록 버스트 손실률이 감소함을 보여주고 있으며 각 파장에서 SCM을 사용하지 않을 경우에는 입력부하가 0.8인 경우 버스트 손실률이 10^{-1} 보다 높게 나타난다. 표 1에서 계산한 것과 같이 QPSK 변조 기법의 경우 파장의 개수가 32개인 경우에는 보조 밴드 채널을 1개만 이용할 수 있기 때문에 파장 개수가 32인 경우를 기준으로 성능평가를 수행하였다. 그림 9와 같이 파장이 32개인 경우 SCM을 1개만 사용하더라도 버스트 손실률이 10^{-3} 미만으로 줄어드는 반면 그림 10과 같이 파장이 8인 경우에는 10^{-3} 미만으로 버스트 손실률을 유지하기 위해서는 SCM 수가 4개가 요구되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 파장의 수가 많을수록 SCM 사용이 훨씬 효율성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 버스트가 파장을 선택할 수 있는 경우의 수가 파장의 수가 적은 경우보다 많은 경우가 훨씬 용이함을 나타낸다.

그림 11과 12는 파장 개수와 SCM 수에 따른 광섬유의 총 용량에 대한 결과이다. 그림 11은 파장 수가 32인 경우 SCM 개수에 따른 총 용량을 보여주고 있으며 그림 12는 파장수가 8인 경우 SCM 개수 변화에 따른 총 용량을 나타내고 있다. 그림 11은 입력부하 0.8에서 파장의 개수가 32인 경우 버스트 손실률이 10^{-3} 이하를 유지하기 위해서는 1개의 SCM이 필요하므로 하나의 채널 용량을 1Gb/s로 가정하였을 때 광섬유의 전체 용량은 64Gb/s가 된다. 그림 12에서는 파장의 개수가 8인 경우 광섬유용량 전체 용량은 40Gb/s까지 증가함을 보여주고 있다.

이와 같이 SCM을 이용한 버스트 생성 기법은 전체 망 성능 관점인 버스트 처리율, 버스트 손실률 및 광섬유 총 용량이 증가함을 확인할 수 있었다.

그림 13과 14는 광섬유 총 용량이 32Gb/s와 16Gb/s일 때 파장 개수와 SCM 수에 따른 처리율을 나타내고 있다. 그림 13과 같이 파장 개수가 32인 경우에는 SCM를 사용하지 못하여 처리율이 감소한 반면 파장 개수가 16과 8인 경우에는 SCM를 사용하여 처리율이 증가한다. 파장 개수가 16인 경우 SCM 개수를 1개만 사용하더라도 처리율은 파장 개수가 8이며 SCM 개수가 3인 경우와 거의 같은 성능을 나타내고 있다. 그림 14는 광섬유의 총 용량이 16Gb/s일 때 각 파장이 사용할 수 있는 SCM의

수에 따른 처리율을 나타낸 그림이다. 파장 개수가 16일 경우 SCM을 사용하지 못하여 처리율이 감소하지만 파장 개수가 8인 경우에는 SCM을 1개 사용하여 처리율이 향상됨을 알 수 있다.

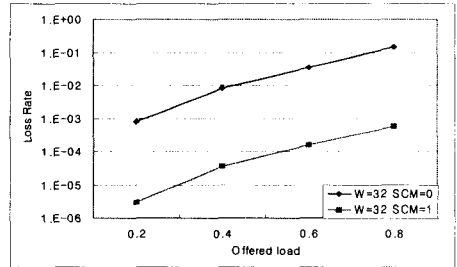


그림 9. 파장 수(32)와 SCM 개수에 따른 버스트 손실률

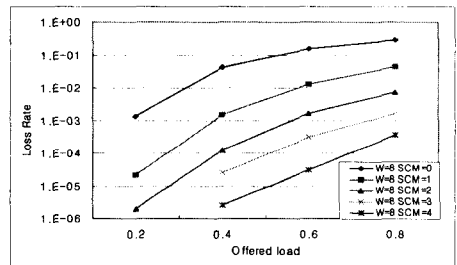


그림 10. 파장 수(8)와 SCM 개수에 따른 버스트 손실률

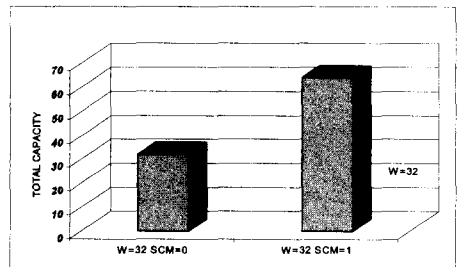


그림 11. 파장 수(32)와 SCM 개수에 따른 광섬유 총 용량

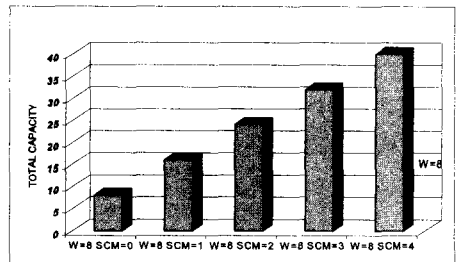


그림 12. 파장 수(8)와 SCM 개수에 따른 광섬유 총 용량

그림 15와 16은 광섬유 총 용량이 32Gb/s일 때 파장 개수와 SCM에 따른 버스트 손실률을 나타내고 있다. 그림 15에서는 입력부하가 0.4 이하인 경우에는 거의 성능이 비슷하지만 입력부하가 증가함에 따라 파장 개수가 32개이고 SCM을 사용하지 못하는 경우에는 버스트 손실률이 가파르게 증가하지만 파장 개수가 16과 8인 경우에는 SCM를 사용하므로 버스트 손실률이 현저히 감소함을 알 수 있다. 그림 16은 광섬유 총 용량이 16Gb/s일 때 파장 개수와 SCM 개수에 따른 버스트 손실률을 나타낸 그림이다. 파장 개수가 16인 경우 SCM을 사용하지 못하여 버스트 처리율이 감소하지만 파장 개수가 8이고 SCM을 1개 사용한 경우에는 처리율이 증가함을 알 수 있다. 하지만 그림 13과는 상이하게 입력 부하 0.8에서 처리율이 1에 근접하지 않음을 알 수 있다. 또한 그림 16과 같이 버스트 손실률은 거의 줄어들지 않음을 알 수 있다.

이러한 결과는 파장 개수에 따라 SCM의 성능 차이를 확인할 수 있으며 파장을 많이 사용하면서 SCM을 사용하는 것이 훨씬 더 높은 성능을 보임을 알 수 있었다. 하지만, 파장을 많이 사용하면서 SCM을 사용하지 않으면 적은 파장 개수에 SCM을 사용하는 것이 훨씬 더 좋은 성능을 보였다. 그러므로 망 설계 시 요구되어지는 광섬유의 총 용량을 고려하여 파장 개수와 SCM 개수를 결정하는 것은 매우 중요하다.

V. 결론

OBS 망은 다수의 IP 패킷을 모아서 버스트 단위로 전송하기 때문에 버스트 생성 기법에 따른 버스트 크기는 성능 향상에 매우 중요한 요소이다. 또한, OBS의 특성 때문에 중간 노드에서 버스트 충돌이 발생할 경우 이를 해결할 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 만약 광 RAM을 사용할 수 있다면 쉽게 버스트 지연을 통해 해결 가능하나 현재의 기술로는 많은 제약사항이 존재하고 있으므로 FDL을 사용하여 버스트 충돌을 해결하고 있다. 그러나 만약 버스트 크기가 매우 크다면 버스트 지연을 위하여 버스트 크기만큼의 FDL 크기가 요구된다. 그러므로 버스트 크기 결정은 OBS 망 성능에 많은 영향을 미친다.

본 논문에서는 SCM 기법을 이용하여 버스트 크기를 줄일 수 있는 버스트 생성 기법에 대한 연구

를 수행하였고 SCM 기법을 이용한 버스트 생성 구조와 기법을 제안하였다. 제안한 SCM 기반의 버스트 생성 및 전송 모듈 구조에서는 IER 구조에서만 SCM을 위한 추가적인 모듈이 요구되며 SCM을 사용함으로써 파장의 개수와 파장 변환기의 수를

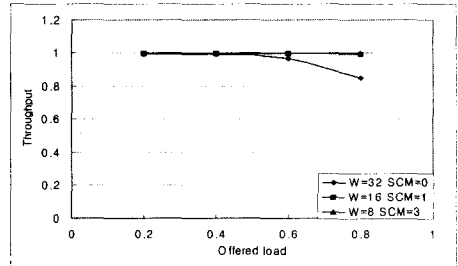


그림 13. 광섬유 총 용량(32Gb/s)에 따른 처리율

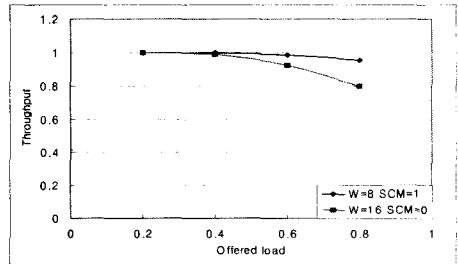


그림 14. 광섬유 총 용량(16Gb/s)에 따른 처리율

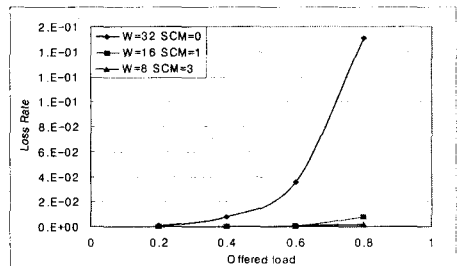


그림 15. 광섬유 총 용량(32Gb/s)에 따른 버스트 손실률

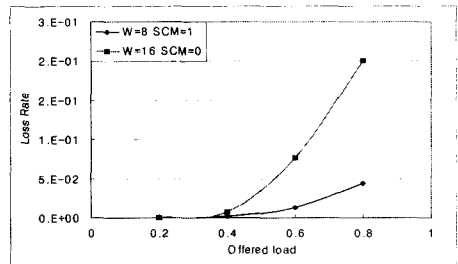


그림 16. 광섬유 총 용량(16Gb/s)에 따른 버스트 손실률

줄일 수 있는 장점을 가질 수 있다. 이와 같이 제안된 기법에 대해 다양한 디지털 변조 기법과 파장 개수 변화에 따른 SCM 개수를 결정하기 위한 수식 정의 및 계산을 실시하였다. 그리고 광섬유 총 용량 계산과 파장 개수별 SCM 적용에 따른 버스트 손실률, 버스트처리율에 대해 성능 평가를 실시하였으며 광섬유 총 용량이 같을 경우 SCM 개수와 파장 개수 결정을 위한 성능 평가를 수행하였다.

성능평가 결과 SCM를 사용할 경우 버스트 처리율의 증가, 버스트 손실률 감소 및 광섬유 총 용량이 증가함을 확인할 수 있었다. 그러나 광섬유 총 용량 관점에서 파장 개수와 SCM 수에 따른 적절한 성능 분석이 필요하며 OBS 망에 적합한 파장 개수와 SCM 수를 결정해야 할 것이다.

향후 연구는 제안된 SCM 기반의 버스트 생성 모델이 코어 라우터에서 효과적인 버스트 전송을 수행할 수 있는 OBS 노드 구조에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Jonathan S. Turner. "Terabit burst switching", *J. High Speed Networks*, pp. 3-16, 1998.

[2] C. Qiao , M. Yoo, "Optical burst switching(OBS) - a new paradigm for an Optical Internet," *J. High Speed Network(JHSN)*, vol. 8, no. 1, pp. 69-84, 1999.

[3] Y. Xiong, M. Vandenhoute, H. C. Cankaya, "Control Architecture in Optical Burst-Switched WDM Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 10, pp. 1838-1851, Oct. 2000.

[4] F. Callegati, H. C. Cankaya, Y. Xiong, M. Vandenhoute, "Design Issues of Optical IP Routers for Internet Backbone Application," *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 12, pp. 124-128, Dec. 1999.

[5] Hemant M. Chaskar, Sanjeev Verma, Rayadurgam Ravikanth, "A Framework to Support IP over WDM Using Optical Burst Switching," *Workshop on Optical Networks(WON)*, Jan. 2000.

[6] S. Verma, H. Chaskar, R. Ravikanth, "Optical Burst Switching: A viable Solution for Terabit IP Backbone," *IEEE Network*, vol. 14, no. 6, pp. 48-53, Nov/Dec. 2000.

[7] 소원호, 정태근, 김영천, "광 버스트 스위칭 망을 위한 버스트 생성 기법에 대한 성능 분석," *JCCI 2002*, vol. 1, III-D.4.1~4.

[8] Wen-Piao Lin; Ming-Seng Kao; Chi, S., "A DWDM/SCM self-healing architecture for broad-band subscriber networks", *Lightwave Technology, Journal of* , Volume: 21 Issue: 2 , Feb. 2003 Page(s): 319 -328

[9] J. Conradi, B. Davis, M. Sieben, D. Dodds, and S. Walklin, "Optical signal sideband transmission for dispersion avoidance and electrical dispersion compensation in microwave sub-carrier and baseband digital systems," *Electron Lett.*, Vol. 33. pp. 971-973, May 1997.

[10] J. Conradi, B. Davis, M. Sieben, D. Dodds, and S. Walklin, "Optical signal sideband transmission for dispersion avoidance and electrical dispersion compensation in microwave sub-carrier and baseband digital systems," *Electron Lett.*, Vol. 33. pp. 971-973, May 1997.

[11] Rongqing Hui, Benyuan Zhu, Renxiang Huang, Christopher T. Allen, Kenneth R. Demarest, and Douglas Richards, "Subcarrier Multiplexing for High-Speed Optical Transmission," *IEEE Journal on of lightwave technology*, vol. 20, no. 3, pp. 417-427, March. 2002.

이 해 정(Hae-Joung Lee) 정회원
한국통신학회 논문지 제 28권 제 9B호 참조
현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

김 영 천(Young-Chon Kim) 정회원
한국통신학회 논문지 제 19권 제 2호 참조
현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 교수