

논문 2004-41TC-1-1

광 버스트 교환 망에서 차등적 다중 서비스 제공을 위한 offset 시간 결정 및 성능 평가

Performance Evaluation and Offset Time Decision for Supporting Differential Multiple Services in Optical Burst Switched Networks

소 원 호*, 김 영 천**

(W.H. So and Y.C. Kim)

요 약

본 논문에서는 광 통신망에서 서비스 차별화를 제공하기 위하여 광 버스트 교환 (Optical Burst Switching; OBS) 기술의 특징을 이용한다. 제시된 기법은 제어 패킷과 버스트 데이터간의 offset 시간을 이용하는 방식으로서 다중 서비스를 지원하기 위하여 서비스마다 서로 다른 크기의 offset 시간을 이용한다. 이를 위하여 서비스 차등률과 보존 범칙에 의해서 버스트 손실률을 결정하고 이 서비스 요구 QoS 에 맞는 offset 시간을 결정한다. 제시된 첫 번째 방식은 상위 클래스와 하위 클래스로 분류되는 두 종류의 서비스를 고려하여 상위 클래스의 요구 QoS에 적합한 offset 시간을 결정하는 알고리즘이다. 두 번째 알고리즘은 두 종류이상의 다중 서비스 클래스 환경에 맞도록 첫 번째 알고리즘에 이용된 분석 방법을 확장한다. 제시된 알고리즘은 서비스를 상위 그룹과 하위 그룹으로 구분하며 상위 그룹의 QoS를 위한 offset 시간을 먼저 결정하고, 이것을 이용하여 각 서비스에 맞는 offset 시간을 최종적으로 결정한다. 제시된 알고리즘의 성능 평가는 시뮬레이션을 이용한다. 사용자가 요구하는 서비스 차등률에 맞는 offset 시간을 제안된 알고리즘에 의해서 결정하고 요구 버스트 손실률이 만족됨을 보인다.

Abstract

In this paper, we take advantage of the characteristics of optical burst switching (OBS) to support service-differentiation in optical networks. With the offset time between control packet and burst data, the proposed scheme uses different offset time of each service class. As contrasted with the previous method, in which the high priority service use only long offset time, it derives the burst loss rate as a QoS parameter in consideration of conservation law and given service-differential ratios and decides a reasonable offset time for this QoS finally. Firstly proposed method classifies services into one of high or low class and is an algorithm deciding the offset time for supporting the required QoS of high class. In order to consider the multi-classes environment, we expand the analysis method of first algorithm and propose the second algorithm. It divides services into one of high or low group according to their burst loss rate and decides the offset time for high group, and lastly cumulates the offset time of each class. The proposed algorithms are evaluated through simulation. The result of simulation is compared with that of analysis to verify the proposed scheme.

Keywords: Differential services, Quality of service, Optical burst switching, Offset time, Optical networks

I. 서 론

* 정회원, 순천대학교 컴퓨터교육과
(Dept. of Computer Education Suncheon National University)

** 정회원, 전북대학교 컴퓨터공학과
(Dept. of Computer Engineering Chonbuk National University)

※ 본 연구는 한국과학재단(KOSEF)의 광인터넷연구센터(OIRC) 프로젝트의 지원으로 이루어졌습니다.

접수일자: 2003년 11월 8일, 수정완료일: 2003년 12월 3일

현재 인터넷은 전자 우편, 파일 전송, WWW와 같은 기본적인 서비스뿐만 아니라 고속 데이터, 전자 상거래, 가상 교육, 인터넷 전화, 화상회의, 그리고 실시간 멀티 미디어 서비스와 같은 고속·대용량의 서비스를 제공하고 있다. 이와 함께 인터넷 사용자의 폭발적인 증가

는 TCP/IP기반의 광대역 데이터 통신의 역할이 점차 증대되고 있음을 나타낸다. 따라서 이러한 환경 변화에 대처하기 위하여 현재의 인터넷을 WDM (Wavelength Division Multiplexing)기술과 광 교환 기술을 이용한 광 인터넷으로 발전시키기 위한 많은 연구와 실험이 전 세계적으로 진행되고 있다^[1-3].

광 인터넷 구성을 위한 광 교환 방식은 광 회선 교환(Optical Circuit Switching; OCS)과 광 패킷 교환(Optical Packet Switching; OPS)으로 크게 분류된다. 광 회선 교환은 단순하게 운용될 수 있는 장점이 있지만 채널 사용 시간과 관계없이 채널의 설정과 해제과정에 대하여 일정한 신호방식에 대한 오버헤드 시간이 요구된다. 따라서 상대적으로 작은 채널 사용 시간을 요구하는 IP 트래픽을 수용하면 자원의 비효율적인 사용으로 대역폭의 낭비가 심하게 발생한다. 이에 비해 광 패킷 교환은 고정 길이의 패킷을 이용하여 채널을 동적으로 이용할 수 있어서 채널의 이용 효율을 증가시키는 장점을 지닌다. 그러나 현실적으로 광 논리 소자 기술의 미비와 단순한 광 버퍼 기능으로 광 신호를 모두 전광(全光)영역에서 처리하기란 매우 어려운 상황이다^[4,5].

광 버스트 교환(Optical Burst Switching; OBS)은 이러한 OCS와 OPS 방식의 단점을 보완하고 장점만을 이용한 새로운 광 교환 기술로서 최근 국내외적으로 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, OBS 기술은 미래의 IP over WDM망에서 요구하는 서비스 차별화 및 QoS (Quality of Service) 보장을 광 계층에서 제공할 수 있을 것으로 기대되고 있으며 이에 대한 결과들이 그동안 다수 제시되었다^[6-11]. 지금까지 제시된 OBS 망에서의 QoS 제공 기법은 스케줄링 기반, 라우팅 기반, 그리고 offset 기반 방식으로 세 가지이다. 스케줄링을 이용하는 기법은 두 가지로, OBS 망의 코어 노드에서 클래스마다 독립된 큐를 구성하여 우선순위가 높은 큐에 저장된 제어 패킷을 먼저 처리하는 방식이 있으며, 또한 스케줄링된 결과, 즉 버스트 손실률을 관리하여 클래스마다 서비스를 차별화는 방식이 있다. 전자는 서비스 클래스에 대한 버스트의 길이와 offset 시간에 대한 엄격한 제한 조건이 선행되며 후자는 많은 스케줄링 결과를 관리해야 하는 단점을 갖는다^[6,7]. 세그먼트와 라우팅에 의한 방식은 버스트를 세그먼트(segment)로 구성하여 우회(deflection) 경로를 이용한 방식이다^[8]. 연구 결과에 의하면 세그먼트 단위로 버스

트가 스케줄링 될 수 있기 때문에 버스트의 손실을 크게 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 반면에 세그먼트의 크기 결정과 중간 노드에서 제어 패킷의 생성과 관리가 어려운 단점을 갖는다. 마지막으로 offset을 이용한 기법에서는 상위 우선순위 서비스에 긴 offset 시간을 설정함으로써 채널 예약에 대한 기회를 상위 클래스 버스트가 선점(先占)하는 방식이다. 이 방식은 다른 방식에 비해서 단순하고 QoS 제공에 대한 코어 노드의 부담을 줄이는 장점을 갖는다. 하지만 서비스에 대한 사용자의 요구와 망의 상황을 고려하여 offset 시간을 적절하게 결정할 수 있다면, 단순히 긴 offset 시간을 우선순위가 높은 버스트에 적용하는 지금의 방식은 불필요한 전송 지연을 허용하는 것을 의미한다^[9-11].

따라서 본 논문에서는 사용자 요구 QoS와 OBS 망 환경을 고려하여 기존의 단순한 긴 offset 시간 설정 방식의 결점을 극복하고 다중 서비스 환경에서 다중 서비스 차등률을 고려한 서비스 차별화 방식을 제시한다. 이 방식은 OBS 망의 서비스를 우선순위에 따라서 구분하며 서비스 차등률이 각각 주어질 때, 보존 법칙 (conservation law)과 기존에 제시된 offset 시간 결정 (Offset Time Decision; OTD) 알고리즘을 이용하여 적합한 offset 시간을 결정한다. 제시된 기법은 단일 노드와 OBS 망 환경을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 기존 방식과 비교하여 성능을 평가한다.

II. 광 버스트 교환망의 offset 기반 서비스 차별화

OBS 망에서 offset 기반의 서비스 차별화 방식을 살펴보기 위해서는 망을 구성하는 노드의 특성과 기본적인 OBS 기술을 같이 고려해야 한다. 먼저 이후에 본 논문에서 사용될 기본 기술과 관련 용어를 살펴보자.

일반적으로 OBS망은 에지 노드, 코어 노드, 그리고 파장 분할 다중화 (WDM)기술을 이용한 광 링크로 구성된다. 첫째, 에지 노드는 IP 패킷들을 모아서 데이터 버스트 (data burst frame; DBF)를 생성한다. 또한 DBF에 대한 제어 패킷 (burst control packet; BCP)을 생성하여 제어 채널로 전송하고 이후에 DBF를 데이터 채널로 전송한다. 에지 노드에서 목적지 주소와 서비스 특성이 같은 IP 패킷들을 모아서 DBF를 구성하며, BCP는 DBF에 대한 제어 정보로서 코어 망에서 경로배정에 사용되는

표 1. 코어 노드의 입력단 광지연선의 사용 유무에 따른 offset 시간 비교
 Table 1. Offset time comparison in terms of Inlet-FDL usage in core node

서비스 입력단광지연선	상위 클래스 서비스		하위 클래스 서비스	
	에지노드의 설정	코어노드의 처리	에지노드의 설정	코어노드의 처리
사용안함 (구조-I)	* $t_b = h \cdot \delta, t_q = 5L$ $t_{offset}^1 = h \cdot \delta + 5L$	$t_{offset}^1 = 5L + \delta(h-1)$	$t_b = h \cdot \delta$ $t_{offset}^0 = t_b = h \cdot \delta$	$t_{offset}^0 = \delta(h-1)$
사용함 (구조-II)	$t_q = 5L$ $t_{offset}^1 = t_q = 5L$	$t_{offset}^1 = 5L$	$t_{offset}^0 = 0$	$t_{offset}^0 = 0$

* t_b : 기본 offset 시간

t_q : QoS offset 시간 (서비스 차별화를 위한 offset 시간)

t_{offset}^i : class i 의 총 offset 시간

δ : SCU에서 BCP처리 시간 및 OSM 설정 시간

h : 근원지에서 목적지까지의 홉 수

L : 평균 버스트 크기

근원지/목적지 에지 노드 주소, QoS 파라미터, offset 시간, 버스트 길이, 파장 채널 번호, TTL (Time-To-Live) 등의 정보를 포함한다. 둘째, 코어 노드는 WDM을 위한 MUX/DMUX (Multiplexer/ Demultiplexer), 입력단 광지연선 (inlet-fiber delay line; Inlet-FDL), 교환기 제어부 (switch control unit; SCU), 광교환부 (optical switching matrix; OSM), 그리고 파장 변환부로 구성된다. 코어 노드의 SCU는 에지 노드에서 전송된 BCP를 처리하여 후행하는 DBF에 대한 채널 예약과 OSM의 설정을 제어한다. 따라서 후행하는 DBF는 광영역에서 cut-through 방식으로 OSM을 지연 없이 통과하여 전송된다^[4,5].

이와 같은 OBS 기술을 이용한 offset 기반의 서비스 차별화 방법은 우선순위가 높은 버스트 (class 1)에 긴 offset 시간을 설정하고 우선순위가 낮은 버스트 (class 0)에는 offset을 사용하지 않는다. 예를 들면, 같은 시간에 출력 링크에 전송이 될 DBF가 동시에 2개가 있다면, 이 버스트들의 BCP 중에서 먼저 처리되는 BCP의 DBF가 채널 사용에 대한 우선권을 갖는다. 따라서 버스트와 제어 패킷 사이에 일정한 시간 간격인 offset을 이용하는 버스트가 있다면, 이 버스트는 offset 시간을 사용하지 않는 버스트에 비해서 채널을 그 만큼 빨리 예약할 수 있다. 만일 class 1의 offset 시간이 class 0 DBF의 최대 크기보다 크다면 항상 class 1의 채널 예약은 가능하다. 하지만 코어 노드에서 입력단 광지연선의 사용 유무에 따라서 offset 시간의 설정 방법과 처

리 방식이 다르며 이것이 offset 기반의 서비스 차별화에 영향을 미치게 된다.

표 1은 코어 노드에서 입력단 광지연선의 사용 유무에 따른 offset 시간의 설정과 처리 방식을 비교한 것이다. 설명이 쉽게 하기 위하여 offset 시간을 두 종류로 분류하여 설명한다. 첫 번째는 base-offset (t_b)으로서 DBF가 소스에서 목적지까지 전송될 때 중간노드에서 BCP를 처리하는데 필요한 시간의 합으로 결정된다. 즉, 표 1에서 알 수 있듯이 $t_b = h \cdot \delta$ 이다. 두 번째는 qos-offset (t_q)으로서 위에서 설명한 서비스 차등을 위하여 사용되는 시간이다.

구조-I는 코어 노드에서 입력단 광지연선을 사용하지 않는 경우다. 에지 노드는 중간 노드에서 BCP가 처리되는 시간을 고려하여 각 클래스에 맞는 offset 시간을 결정한다. 따라서 상위 클래스는 qos-offset 시간이 고려되어 $t_{offset}^1 = h \cdot \delta + 5L$ 로 하위 클래스는 $t_{offset}^0 = t_b = h \cdot \delta$ 로 설정된다. 이때 h 는 통신망에서 발생할 수 있는 가장 긴 홉 수의 연결을 고려해야만 상위 클래스와 하위 클래스 간에 완전한 차등이 발생한다^[9,11]. 만일 그렇지 않다면 긴 홉을 갖는 하위 클래스가 짧은 홉을 갖는 상위 클래스보다 채널 사용에 우선권을 갖는 경우가 발생하여 서비스 차별에 의미가 사라진다. 따라서 이 구조는 서비스 차등을 위하여 짧은 홉을 갖는 상위 클래스도 연결의 최대 홉 수로 base-offset 시간이 결정되는 단점을 갖는다. 구조-II는 코어 노드에서 입력단 광지연선을 사용하는 경우다. 이

구조는 각 코어 노드에서 입력단 광지연선을 이용하여 DBF를 지연시킴으로써 BCP 처리를 위한 에지에서의 지연 시간(base-offset)을 제거한다. 따라서 어떤 연결이라도 offset 시간을 $t_{offset}^1 - t_{offset}^0 = 5L$ 로 유지할 수 있다. 물론 광지연선을 사용하기 때문에 BCP 처리 시간만큼의 수 km의 광섬유가 필요하다. 하지만 최근 40Gbps 급의 광송수신 소자 기술의 발전과, 광 교환의 OSM부분에 AWG (Arrayed Waveguide Grating) 기술을 사용함으로써 BCP 처리와 광 경로 설정이 고속화되고 있기 때문에 입력단 광지연선의 길이는 앞으로 계속 감소될 것이다^[12]. 따라서 본 논문에서는 구조-II를 코어 노드로 가정하고 남은 장을 진행한다.

III. 차등적 다중 서비스 제공 기법

본 논문에서 제시하는 차등적 다중 서비스 제공을 위해서는 서비스가 상위 클래스와 하위 클래스로 분류되는 경우를 가정하여 BCP에 설정되는 offset 시간과 버스트 손실률 (burst loss rate; BLR)간의 관계를 먼저 분석해야 한다. 따라서 본 장에서는 필요한 변수와 offset 시간의 영향 분석을 시작으로 차등적 다중 서비스 제공 기법을 제시한다.

3.1 Offset 시간과 버스트 손실률의 관계

다음은 광 버스트 교환 망에서 offset에 의한 손실률의 분석을 위한 변수정의이다. WDM 기반의 광 링크 하나를 대상으로 변수를 정의한다.

- n : 서비스 클래스의 개수, 최하위 우선순위는 class 0, 최상위 우선순위는 class $n - 1$ 이다.
- k : 버스트 데이터 전송을 위한 파장 채널 수
- L_i : class i 의 평균 버스트 크기
- λ_i : class i 의 평균 버스트 도착률
- μ_i : class i 의 평균 서비스율, $1/L_i$
- ρ_i : class i 의 입력 부하, $\lambda_i/(\mu_i \cdot k)$ 이며 이것을 r_i/k 으로 표현한다. 여기서 $r_i = \lambda_i/\mu_i$ 이고 따라서 전체 입력 부하 $\rho = \sum_{i=0}^{n-1} \rho_i$ 이다.
- pb_i : class i 의 버스트 손실률

이제 정의된 변수를 이용하여 offset 시간과 버스트 손실률과의 관계를 살펴보자. 첫째, qos-offset 시간을 사용하지 않는 경우, 즉 서비스를 차등적으로 제공하지

않는 경우의 버스트 손실률을 보면 식(1)과 같은 Erlang-B (M/M/k/k) 손실 공식으로 표현된다.

$$B(\rho, k) = \frac{1/k! \cdot r^k}{\sum_{m=0}^k 1/m! \cdot r^m} \quad (1)$$

여기서 $r = \rho \cdot k$ 이고, 식(1)은 하나의 출력 링크의 전체 입력 부하를 고려했을 때 결정되는 버스트 손실률이 된다. 따라서 qos-offset이 없는 경우는 서비스의 우선순위에 관계없이 모두 같은 손실 특성을 갖는다.

둘째, 두 개의 클래스 ($n = 2$ 이고 하위 클래스는 class 0이고 상위 클래스는 class 1)를 지원하고 qos-offset 시간을 이용하여 서비스를 차별하는 경우를 보자. 이때 class 0과 class 1의 base-offset 시간은 무시한다. 따라서 $t_0 = 0$ 이고, t_1 은 $0 \leq t_1 < \infty$ 인 값으로 설정될 수 있다. [9]와 [11]에서는 상위 클래스를 하위 클래스로부터 완전히 차별화시키기 위하여 qos-offset 시간을 사용하였다. 따라서 상위 클래스의 offset은 하위 클래스의 최대 버스트 길이보다 길게 설정하였다. 여기에서는 버스트의 크기를 지수 분포로 가정하고 하위 클래스의 데이터 버스트의 약 99%이상 상위 클래스 offset 보다 작도록 $t_1 = 5 \cdot L_0$ 이상으로 결정하였다. 하지만 본 논문에서는 각 서비스간의 버스트 손실률의 차이를 고려하여 서비스를 차별화하기 때문에 단순히 qos-offset 시간을 무한대로 가정한 기존 분석, $pb_1 = B(\rho_1, k)$ 을 이용할 수 없다. [10]과 [13]에서는 qos-offset이 일정한 크기로 설정될 때, 상위 클래스의 버스트 손실률에 대한 분석을 제시하였다. 여기서는 임의의 offset² 시간 t 을 갖는 class 1의 버스트 손실은 t 가 $0 \leq t < \infty$ 일 때 우선순위가 낮은 하위 class 0의 영향을 받는다. 따라서 상위 클래스에 대한 버스트 손실은 다음 식을 이용하여 결정된다.

$$\begin{aligned} pb_1 &= B(A_1^t, k) \\ &= B(\rho_1 + \rho_0^t, k) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 ρ_0^t 은 class 1의 offset이 t 로 설정되었을 때 class 0 버스트 중 class 1의 손실에 영향을 주는 입력 부하이다. 이때 t 가 각각 $\infty, 0$, 그리고 $0 < x < \infty$ 을 만

1) 이후로 qos-offset을 특별한 언급이 없는 한 offset 시간으로 표기한다.

족하는 x 인 경우에 $\rho_0^\infty = 0$, $\rho_0^0 = \rho_0$, 그리고 $\rho_0^x = \rho_0(1 - pb_0)(1 - F_x)$ 로 결정된다. 세 번째 경우의 F_x 는 class 0의 CDF(Cumulative Distribution Function)로서 x 보다 작은 class 0 버스트의 비율을 나타낸다. 따라서 $\rho_0(1 - pb_0)(1 - F_x)$ 은 버스트에 대한 채널 예약 과정에서 class 0가 채널 예약에 성공하고, 그때 버스트의 크기가 상위 클래스인 class 1의 offset x 보다 큰 트래픽 양을 의미한다. Offset 시간을 고려하여 상위 클래스의 BLR을 결정하고 반대로 사용자의 요구 BLR에 적합한 상위 클래스의 offset 시간을 결정하는 방식도 본 연구의 선행 연구로서 [13]에 제시되었다. 좀더 자세한 내용에 대해서는 [10]과 [13]을 참고하기 바란다.

3.2 서비스 차등률을 고려한 차등 서비스 제공

본 절에서는 앞 절의 offset 시간과 BLR간의 관계를 이용한다. 또한 서비스간의 무제한적인 차등이 아닌 사용자가 결정한 서비스 차등률을 고려하여 상위 클래스와 하위 클래스가 분별되도록 offset 시간을 결정하여 차등적 서비스를 제공한다.

(1) 2개의 서비스를 위한 서비스 차등률을 고려한 offset 시간 결정

본 논문에서 고려하는 서비스 차등률 (service-differentiation ratio; SDR)은 상위 클래스의 버스트 손실률에 대한 하위 클래스의 버스트 손실률 비율로 정의한다. 그림 1의 상위 클래스 i 의 서비스 차등률 d_i 는 상위 클래스 i 의 손실률에 대한 하위 클래스 $i-1$ 의 손실률 비율임을 나타낸다. 예를 들며 $n=2$ 이고 $i=1$ 경우에 $d_1 = 10$ 이면, class 0의 버스트 손실률은 class 1의 손실률, pb_1 의 10배를 의미한다.

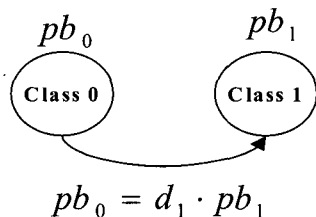


그림 1. 서비스 차등률 개념
Fig. 1. Definition of service-differentiation ratio

이제 서비스 차등률 d_i 을 고려하여 각 클래스의 버스트 손실률을 결정한다. 각 클래스의 pb_i 를 구하기 위

하여 class 0부터 결정하고 class 1 순서로 BLR을 결정한다. 주어진 파라미터가 파장수, 전체 입력부하, 그리고 $c_i (= \rho_i/\rho)$ 와 d_i 가 주어질 때, class 0의 pb_0 는 다음 식을 만족한다.

$$pb_0 = d_1 \cdot pb_1 \tag{3}$$

$$pb_{all} = c_0 \cdot pb_0 + c_1 \cdot pb_1 \tag{4}$$

여기서 pb_{all} 은 Erlang 손실 공식에 의해서 결정되기 때문에 식(3)과 식(4)는 2차 연립방정식이 되며 pb_1 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} pb_{all} &= c_0 \cdot d_1 \cdot pb_1 + c_1 \cdot pb_1 \\ &= (c_0 \cdot d_1 + c_1)pb_1 \\ \therefore pb_1 &= \frac{pb_{all}}{c_0d_1 + c_1} \end{aligned} \tag{5}$$

이때 class 0과 class 1의 d_1 은 class 1의 offset (즉 qos-offset) 시간 t_1 에 의해서 유지되며 이것은 [13]에서 제시된 offset 시간 결정 (offset time decision; OTD) 알고리즘을 이용하여 pb_1 이 주어질 때 결정될 수 있다.

```

□ Input:  $k, \rho_0, \rho_1, d_1$  (class 1's required SDR)
□ Output:  $t$ (offset time of class 1 to support the required SDR)
□ Algorithm: OTDA_SDR ( $k, \rho_0, \rho_1, d_1$ )
  begin
    Total offered load is  $\rho_0 + \rho_1$ .
    Compute  $c_i$  of each service.
    Decide  $pb_1$  by using Eq. 4 and Eq. 5. as the conservation law
    Offset time  $t$  is determined with OTD ( $k, \rho_0, \rho_1, pb_1$ )
  end
  
```

그림 2. 서비스 차등률을 이용한 offset 시간 결정 알고리즘
Fig. 2. Offset time decision algorithm using SDR

OTD 알고리즘은 앞 절의 식(1)과 식(2)의 관계를 역함수로 표현한 HLF (Heuristic Loss Formula)를 이용한다. 식(1)과 식(2)에서 알 수 있듯이 class 1의 요구 BLR이 주어질 때 offset 시간을 결정할 수 있다. 하지만 역함수를 바로 결정할 수 없기 때문에 경험적인 검증을 통하여 HLF를 결정하였고 OTD 알고리즘에 이용

되었다. 알고리즘은 OTD (k, ρ_0, ρ_1, pb_1)인 함수이며 입력 파라미터로는 파장수, 하위 클래스와 상위 클래스의 입력부하, 그리고 상위 클래스의 요구 버스트 손실률을 이용한다. 따라서 본 논문에서는 OTD 알고리즘을 이용하여 그림 2와 같이 2개의 서비스에 대한 서비스 차등률을 고려한 offset 시간 결정 알고리즘을 제안한다.

(2) n 개의 서비스를 위한 서비스 차등률을 고려한 offset 시간 결정

본 절에서는 앞 절에서 고려한 2개의 클래스를 확장하여 2개 이상의 클래스에서 서비스 차등률과 offset 시간과의 관계를 분석한다. 또한 n 개의 서비스 클래스를 고려할 때, 서비스 간에 요구되는 서비스 차등률을 이용하여 이를 만족하는 각 클래스의 offset 시간을 결정하는 알고리즘을 제안한다. 다음은 제안된 알고리즘을 위한 가정과 변수 정의이다. 먼저 요구 서비스 차등률이 적용되는 OBS 코어 라우터는 파장 변환이 가능하다. 또한 코어 라우터의 출력 링크 하나를 대상으로 하며 n 개의 서로 다른 서비스 클래스가 이 출력 링크를 공유하는 것으로 가정한다. 이때 class 0이 최하위 우선순위 클래스이며 class $n-1$ 이 최상위 우선순위 클래스이다. 다음은 분석을 위하여 추가적으로 필요한 변수이다.

- d_{i-1}^i : 서비스 차등률로서 그림 3과 같이 class i 에 대한 class $i-1$ 의 BLR 비율 ($d_{i-1}^i > 0$)
- $\rho_{n-1,j}$: class $n-1$ 부터 class j 까지의 인가된 부하의 합
- $PB_{n-1,j}$: class $n-1$ 부터 class j 까지의 전체 버스트 손실률. 따라서 $PB_{n-1,0}$ 는 출력 링크의 전체 인가된 부하를 고려한 BLR로서 Erlang 손실 공식에 의해서 $B(\rho_{n-1,0}, k)$ 로 표현되며 $B(\rho_{ab}, k)$ 과 같이 표현
- t_{i-1}^i : class 0에서 class $i-1$ 까지의 하위 그룹 $PB_{i-1,0}$ 와 class i 에서 class $n-1$ 까지의 상위 그룹 $PB_{n-1,i}$ 을 고려하여 결정된 offset 시간. 그림 4와 같이 여러 개의 클래스를 그룹으로 모을 때, 상위 클래스 그룹과 하위 클래스 그룹으로 분류할 수 있으며 상위 클래스 그룹의 요구 BLR $PB_{n-1,i}$ 을 만

족하기 위한 offset 시간

- t_i : class i 만을 위한 실제 offset 시간. 단, $t_0 = 0$ 으로 가정

이때 각 클래스에 대하여 class i 의 BLR은 pb_i 로 표현하며, $\rho_{n-1,j}$ 와 $PB_{n-1,j}$ 은 각각 클래스 j 에서 $n-1$ 까지의 입력부하의 합과 클래스 j 에서 $n-1$ 을 모두 고려한 부분적인 버스트 손실률을 의미하기 때문에 $\rho_{n-1,j} = \sum_{i=j}^{n-1} \rho_i$ 이고 $PB_{n-1,j} = B(\rho_{n-1,j}, k)$ 이다. 따라서 앞 절에서 살펴본 바와 같이 클래스가 2개일 때, 전체 입력부하를 고려하면 $PB_{0,1} = B(\rho, k)$ 이며 이것을 클래스의 개수에 관계없이 전체 버스트 손실률은 일정하다는 보존 법칙이라 한다. 이 법칙을 이용하고 전체 입력부하에 대한 클래스 i 의 비율을 $c_i = \rho_i/\rho$ 로 정의할 때, $PB_{0,1} = \sum_{i=0}^1 c_i \cdot pb_i$ 이다. 이와 같은 변수 정의를 기반으로 각 서비스 클래스와 offset 시간과의 관계를 분석하고 offset 시간 결정 알고리즘을 기술한다.

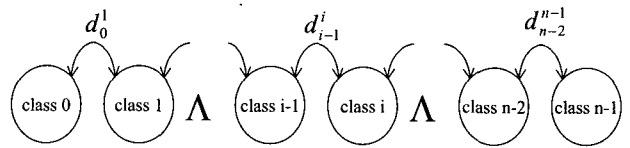


그림 3. n 개의 서비스 클래스를 고려한 서비스 차등률
Fig. 3. Service differentiation ratio in consideration of n service classes

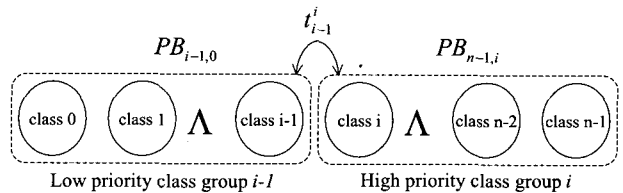


그림 4. 상위 클래스 그룹의 요구 버스트 손실률을 만족하기 위한 offset 시간
Fig. 4. Offset time to guarantee the required burst loss rate of high class group

첫 번째 단계는, 먼저 서비스 차등률과 보존 법칙을 이용하여 각 클래스의 요구 BLR을 결정한다. 이를 위해서 서비스 차등률의 정의를 이용하며 식(6)과 같은 클래스간의 관계를 나타낼 수 있다. 일반적으로 상위 클래스는 하위 클래스에 비해서 BLR의 손실률이 낮기 때문에 가능하다.

$$pb_{i-1} = d_{i-1}^i \cdot pb_i \quad (6)$$

또한 보존 법칙에 의해서 $PB_{n-1,0} \cdot \rho_{n-1,0}$ 은 식(7)과 같이 표현된다.

$$PB_{n-1,0} \cdot \rho_{n-1,0} = pb_0\rho_0 + \dots + pb_{n-1}\rho_{n-1} = \sum_{j=0}^{n-1} pb_j \cdot \rho_j \quad (7)$$

이때, 식(6)에 의해서 각 클래스는 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$pb_{n-2} = d_{n-2}^{n-1} \cdot pb_{n-1} \\ \vdots \\ pb_0 = d_0^1 \cdot pb_1 \quad (8)$$

이것을 다시 정리하면 다음과 같고,

$$pb_{n-2} = d_{n-2}^{n-1} \cdot pb_{n-1} \\ \vdots \\ pb_0 = d_0^1 \cdot d_1^2 \cdot d_2^3 \dots d_{n-3}^{n-2} \cdot d_{n-2}^{n-1} \cdot pb_{n-1} \quad (9)$$

다시 일반화하면 $pb_i = \prod_{j=i+1}^{n-1} d_j^j \cdot pb_{n-1}$ 이다.

따라서 식 (7)을 이용하면 서비스 차등률이 주어질 때, class $n-1$ 의 손실률을 결정할 수 있다.

$$pb_{n-1} = PB_{n-1,0}\rho_{n-1,0} / (\rho_0 d_0^1 \dots d_{n-2}^{n-1} + \rho_1 d_1^2 \dots d_{n-2}^{n-1} + \dots + \rho_{n-1}) = \frac{PB_{n-1,0}\rho_{n-1,0}}{\sum_{j=0}^{n-1} (\rho_j \cdot \prod_{k=j+1}^{n-1} d_k^k)} \quad (10)$$

결정된 class $n-1$ 의 손실률을 이용하면 식(8)과 식(9)에 의해서 나머지 클래스의 손실률도 결정할 수 있다.

두 번째 단계는, 결정된 각 클래스의 요구 BLR을 이용하여 이를 만족시킬 수 있는 offset 시간을 결정하는 것이다. 이를 위하여 다음과 같은 방법을 제안한다.

- 상위 클래스 그룹과 하위 클래스 그룹으로 서비스를 분류한다.
- 그룹의 BLR과 인가된 부하를 이용하여 보존 법칙을 생성한다.
- 기존의 OTD() 알고리즘을 이용하여 그룹간의 offset 시간을 결정한다.
- 각 클래스의 offset 시간을 결정한다.

예를 들면 그림 5와 같이 4개의 클래스가 있는 경우에 최상위 클래스는 class 3이고 최하위 클래스는 class 0이다. 이때, Case 1은 class 3이 상위 클래스 그룹이 되며 class 0부터 class 2까지를 하위 클래스 그룹으로 분류하고 이에 대한 그룹간의 차등을 위한 offset 시간 t_3^3 을 결정한다. 나머지 경우에 대해서도 같은 방식으로 분류하여 Case 2와 Case 3에 대하여 각각 t_1^2 과 t_0^1 을 결정한다. 따라서 각 그룹간의 offset 시간을 이용하여 최종적으로 각 클래스에 대한 offset 시간을 결정할 수 있다. 다음은 제안된 offset 결정 방식에 대한 분석이다.

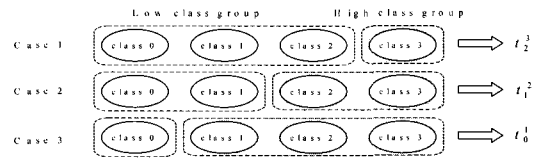


그림 5. 상위 클래스 그룹과 하위 클래스 그룹간의 offset 시간 결정

Fig. 5. Offset time decision between the high class group and the low class group

그룹이 분류되면 상위 그룹과 하위 그룹간의 관계를 보존 법칙에 의해서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$PB_{n-1,0}\rho_{n-1,0} = PB_{n-1,i}\rho_{n-1,i} + PB_{i-1,0}\rho_{i-1,0} \quad (11)$$

이때 상위 그룹에 대한 요구 BLR이 $PB_{n-1,i}$ 이기 때문에 OTD 알고리즘의 $OTD(k, \rho_{i-1,0}, \rho_{n-1,i}, PB_{n-1,i})$ 를 이용하면 t_{i-1}^i 을 결정할 수 있다. 이때 $PB_{n-1,i}$ 와 $PB_{i-1,0}$ 은 식(7)과 식(11)의 관계를 이용하여 다음과 같이 결정되며 OTD() 알고리즘에 적용된다.

$$\begin{cases} PB_{n-1,i} = \frac{(pb_{n-1}\rho_{n-1} + \dots + pb_i\rho_i)}{\rho_{n-1,i}} \\ PB_{i-1,0} = \frac{(pb_{i-1}\rho_{i-1} + \dots + pb_0\rho_0)}{\rho_{i-1,0}} \end{cases} \quad (12)$$

이와 같은 과정을 그림 5와 같이 상위 클래스부터 하위 클래스까지 순서적으로 적용하면 각 그룹 간에 차별화를 위한 offset 시간 $t_{n-2}^{n-1}, \dots, t_{i-1}^i, \dots, t_0^1$ 를 각각 구할 수 있다. 따라서 각 서비스의 서비스 차등률에 의해서 요구되는 BLR를 보장하기 위한 각 클래스의

offset 시간은 그룹에서 결정된 offset 시간의 합으로 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} t_0 &= 0 \\ t_1 &= t_0^1 \\ &\vdots \\ t_{n-1} &= t_0^1 + \dots + t_{n-2}^{n-1} \end{aligned} \quad (13)$$

이것을 일반화하면 $t_i = \sum_{j=1}^i t_{j-1}^j$, $i > 0$ 이다.

□ **Input:** k, n, ρ_i, d_{j-1}^j , ($i = 0, \dots, n-1$, $j = 1, \dots, n-1$)

□ **Output:** t_i (offset time of class i to support the required BLR)

□ **Algorithm:** OTDA_N_SDR ($k, n, \rho_0, \dots, \rho_{n-1}, d_0^1, \dots, d_{n-2}^{n-1}$)

begin

Total offered load is $\sum_{i=0}^{n-1} \rho_i$

Calculate pb_i by using Eq. (7) through Eq. (10) considering d_{i-1}^i

for $i = 1$ **to** $n-1$

Use Eq. (11) as the conservation law

$t_{i-1}^i = \text{OTDA}(k, \rho_{i-1}, 0, \rho_{n-1}, i, PB_{n-1}, i)$

for $i = 1$ **to** $n-1$

$t_i = \sum_{j=1}^i t_{j-1}^j$

end

그림 6. n 개 서비스의 서비스 차등률을 고려한 offset 시간 결정 알고리즘

Fig. 6. Offset time decision algorithm considering the service-differentiation ratios of n services

그림 6은 n 개의 서비스 클래스와 $n-1$ 개의 서비스 차등률을 고려하여 각 클래스의 offset 시간을 결정하는 OSTD_N_SDR 알고리즘이다. 각 클래스의 인가된 부하를 이용하여 전체 인가된 부하를 결정하고 서비스 차등률에 따른 각 클래스의 요구 BLR을 결정한다. 다음으로 상위 그룹과 하위 그룹을 나누고 보존 법칙을 이용하여 그룹간의 offset 시간을 먼저 결정한다. 결정된 그룹간의 offset 시간은 최종적으로 각 클래스의 요구 BLR을 충족시키기 위한 offset 시간 결정에 이용된다.

IV. 성능 평가 및 토론

본 논문에서 제시한 알고리즘의 평가를 위하여 네트워크 시뮬레이터를 이용한다. WDM기반의 OBS 망을

AweSim 시뮬레이션 툴을 이용하여 구축하였으며 단일 OBS 노드와 6-노드 네트워크에서 알고리즘을 적용하여 평가한다. 그림 7은 시뮬레이션에서 고려한 조건 및 OBS 네트워크 모델이다. 성능 평가는 서비스 차등률이 주어질 때, 이를 만족하는 offset 시간 결정과 시뮬레이션 동안 이 offset 시간을 갖는 각 클래스의 요구 BLR의 충족 정도를 확인한다.

파라미터	내용
데이터 채널수	8개
제어 채널수	1개
버스트 크기	2.5Gbps로 전송될 때 40us
버스트 도착 시간	지수 분포
버스트 길이	지수 분포

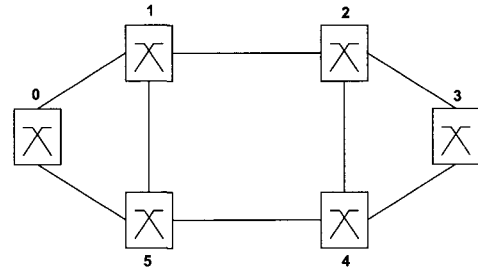


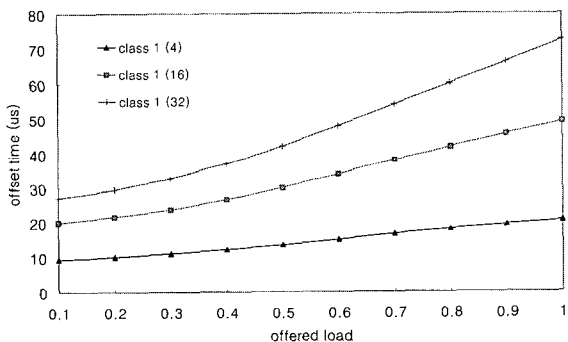
그림 7. 시뮬레이션 가정 및 6-노드 실험 OBS 망

Fig. 7. Simulation assumption and 6 node OBS network model

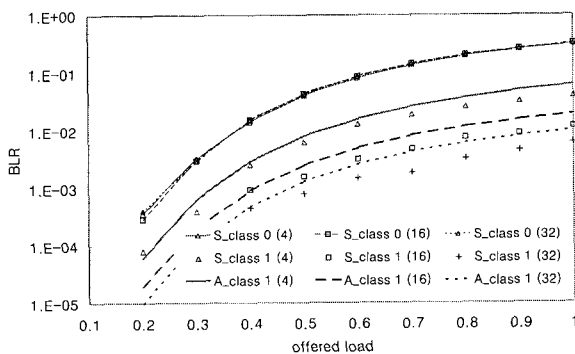
기준에 제시된 서비스 차별화 방식은 상위 클래스 서비스에 단순히 긴 offset 시간을 적용함으로써 상위 클래스의 BLR과 하위 클래스의 BLR이 최대 1000배 이상이 되는 경우도 발생한다[9]. 하지만 본 연구에서는 서비스 차등률에 대한 offset 시간을 결정함으로써 서비스 간에 차별화를 제어할 수 있다.

그림 8은 두 개의 클래스만을 가정하고 단일 노드에서 다양한 서비스 차등률(SDR) 값을 고려한 제안된 서비스 차별화 기법에 대한 성능 결과이다. 그림 8(a)는 상위 클래스의 버스트 손실률이 하위 클래스 보다 4배, 16배, 그리고 32배 낮게 유지되도록 SDR값 (즉, $d_1 = 4, 16, 32$)을 요구했을 때, OTDA_SDR 알고리즘에 의해서 결정된 결과이다. 전체적으로 입력 부하가 증가하면서 요구 SDR을 유지하기 위해서는 offset 시간이 증가됨을 알 수 있다. SDR을 고려하지 않은 기존의 방식은 평균 버스트 크기의 최소 6배($40\text{us} \times 6 = 240\text{us}$) 정도의 offset 시간을 요구하지만 결과에서 보듯이 제안된 방식은 요구 SDR에

맞게 알고리즘에 의해서 offset 시간이 결정된다. 그림 8(b)는 결정된 offset 시간을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과와 분석에 의한 결과의 비교이다. 이것은 요구 SDR값이 주어질 때 OTDA_SDR 알고리즘에 의해서 결정된 offset 시간을 시뮬레이션에 적용하여 얻은 class 1의 BLR과 class 0의 BLR, 그리고 식(5)와 요구 SDR을 이용하여 계산한 BLR과의 비교이다. 상위 클래스인 class 1의 BLR 결과는 분석에 의한 결과와 실험에 의한 결과가 유사함을 알 수 있다. 그림에서 주어진 SDR값에 따른 class 1의 손실률 차이는 분석에 의한 결과와 유사하게 SDR값이 증가할수록 크게 증가한다. 또한 class 0의 손실률은 요구 SDR값이 작을수록 낮은 결과를 보이고 SDR값이 클수록 높은 손실률을 보인다. 하지만 그 차이가 아주 적기 때문에 그림에서는 거의 차이를 구분할 수 없다. 이와 같은 결과는 OTDA_SDR 알고리즘에 의해서 요구 SDR에 만족하는 서비스 차별화가 가능함을 나타낸다.



(a) offset 시간



(b) 버스트 손실률 비교

그림 8. 서비스 차등률을 고려한 offset 시간과 버스트 손실률

Fig. 8. Offset time and burst loss rate considering service-differentiation ratio

그림 9는 입력 부하가 0.8일 때 일정한 시간동안

class 1의 버스트를 스케줄링하면서 발생하는 손실을 계속 관찰한 결과다. 시뮬레이션에서는 10ms를 기본 단위 시간으로 100시간을 관찰한다. 매 단위 시간이 끝날 때, 그때까지의 class 1의 버스트 손실률을 출력하였다. 결과에 의하면 식(3)의 $pb_0 = d_1 \cdot pb_1$ 의 관계가 지속적으로 유지됨을 알 수 있다. 기본 단위 시간인 10ms가 OBS망 관점에서 매우 짧은 시간임을 생각하면 본 논문에서 제시한 서비스 차별화 기법이 효과적으로 상위 클래스에 대한 서비스 차별화를 지원함을 알 수 있다. 분석에 의한 결과와 시뮬레이션에 의한 결과의 차이는 offset 시간을 결정할 때 사용한 OTDA_SDR에서 사용된 OTD() 알고리즘이 [13]에서 제시한 경험적인 버스트 손실률인 HLF를 기반으로 제시되었기 때문이다. 하지만 class 1의 손실률이 요구 SDR을 충분히 만족하며 이때의 offset 시간은 긴 offset 시간을 사용하는 기존 방식보다도 offset 지연이 짧은 것을 알 수 있다.

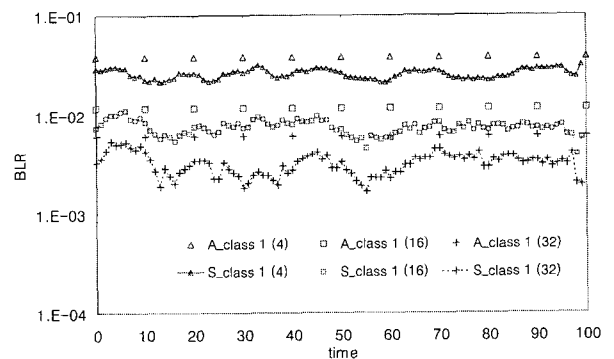


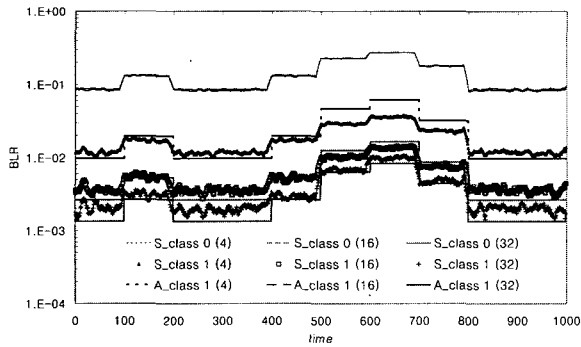
그림 9. 버스트 손실률의 관찰

Fig. 9. Monitoring of burst loss rate

다음은 6-노드 OBS 실험망이 균등 트래픽 상황일 때 연결의 홉 수를 고려하여 제시된 서비스 차별화 기법의 성능 결과이다. 그림 10(a)는 SDR값이 4, 16, 그리고 32일 때, 각 연결의 홉 수를 고려하여 결정된 상위 클래스 버스트의 offset 시간이다. 입력 부하가 0.8이고 SDR값이 4일 때, class 0의 BLR에 대한 class 1의 BLR이 4배정도 낮기 위해서는 1홉의 연결은 class 1이 15us, 2홉은 27us, 3홉은 35us인 offset 시간을 유지하고 버스트가 전송되어야 한다. 본 논문에서는 균등 트래픽 환경을 고려했기 때문에 연결의 근원지 노드에 관계없이 모든 class 1 버스트는 동일한 크기의

요구 SDR \ 홉 수 입력부하	4배			16배			32배		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.5	11	20	26	29	42	51	41	57	68
0.6	12	22	29	33	47	58	47	65	79
0.7	14	24	32	37	53	65	53	74	90
0.8	15	27	35	40	59	73	59	84	103
0.9	16	29	38	44	65	81	65	94	119

(a) 홉 수에 따른 offset 시간 (단위:us)



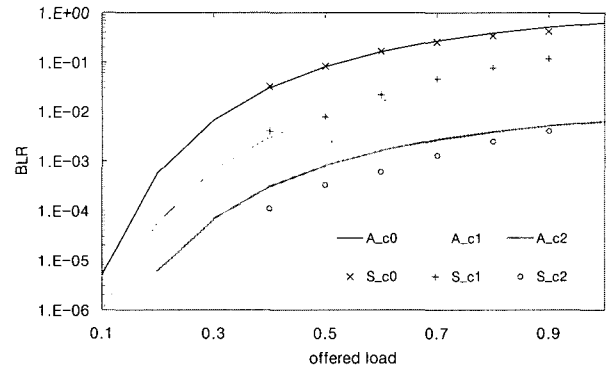
(b) 6노드 망에서 서비스 차별화

그림 10. 6노드 네트워크에서의 서비스 차별화
Fig. 10. Service differentiation in 6 node network

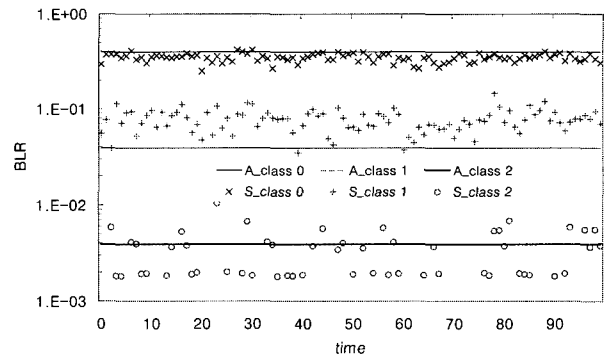
offset 시간으로 전송된다. 또한 16배와 32배의 경우에도 offset 시간만 증가되는 차이점만 있고 offset의 적용 방법은 동일하다. 그림 10(b)는 그림 10(a)에서 결정된 offset 시간을 이용하여 얻은 class 1과 class 0의 성능 결과이다. 망의 입력 부하를 일정 시간동안(10ms)을 단위 시간으로 하는 100시간만 유지하고 0.5와 0.9 사이에서 변화시키면서 제시된 서비스 차별화 기법의 성능을 분석하였다. Class 0의 성능은 SDR이 다르게 적용된 경우에도 큰 변화가 없지만 class 1의 BLR은 SDR값에 따라서 변화를 보인다. 분석으로도 유사한 결과를 얻었으며 이것은 연결의 홉 수를 고려한 제안된 서비스 차별화 기법이 효과적으로 OBS 망에 적용됨을 의미한다.

다음은 n 개의 서비스 클래스를 가정한 시뮬레이션 환경에 대한 성능 분석이다. 먼저 그림 11(a)는 $n = 3$ 이고 각 서비스간의 서비스 차등률은 10으로 같게 설정할 때, 각 서비스의 버스트 손실률이다. 제시된 알고리즘 OTDA_N_SDR에 의해서 class 0의 offset 시간은 0이지만 나머지 상위 클래스는 각각 알맞은 offset 시간이 결정된다. 결정된 offset 시간으로 수행된 시뮬레이션 결과는 서비스 차등률이 10이기 때문에 약 10배

정도의 손실률의 차이를 보이고 있다. 따라서 제시된 알고리즘에 의해서 요구 서비스 차등률에 의한 서비스 차등화가 가능함을 알 수 있다. 또한 분석 결과와 시뮬레이션 결과의 비교는 제안된 알고리즘에 의해서 결정된 offset 시간이 클래스의 요구에 맞게 결정됨을 의미한다. 따라서 2개 이상의 서비스 환경에서 제안된 다중 서비스에 대한 분석과 OTDA_N_SDR 알고리즘이 적용됨을 알 수 있다. 그림 11(b)는 같은 조건에서 수행된 실험 결과로 그림 9에서 수행한 방법과 동일하게 데이터를 측정하였다. 제안된 알고리즘이 안정적으로 서비스 차별화를 지원하고 두개 이상의 클래스 환경에서도 적용될 수 있음을 의미한다.



(a) 차등적 서비스 제공

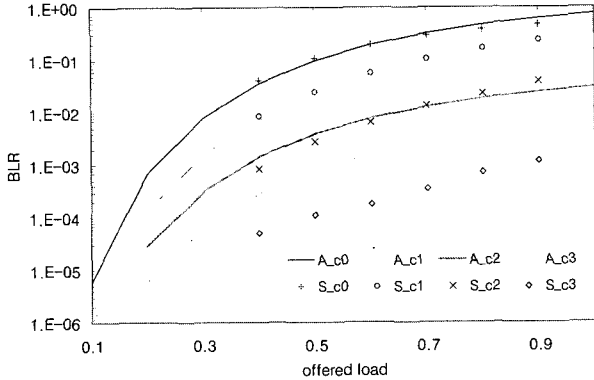


(b) 버스트 손실률의 관찰

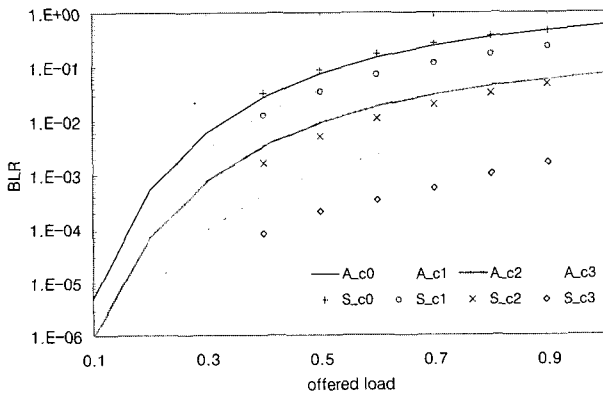
그림 11. 세 종류의 서비스 클래스의 버스트 손실률 (서비스 차등률 = 10)
Fig. 11. Burst loss rates of three service classes (SDR = 10)

그림 12는 $n = 4$ 이고 서비스 차등률이 각각 $d_0^1 = d_1^2 = d_2^3 = 5$ 와 $d_0^1 = 2, d_1^2 = 4, d_2^3 = 8$ 와 같이 주어질 때, 수행된 실험 결과이다. 주어진 SDR값이 다양하게 적용된 경우에도 실험 결과와 분석 결과가 유사함을 알 수 있다.

이것은 위에서 제시한 다중 클래스에 대한 offset 시간 결정의 분석과 알고리즘이 적합함을 의미한다.



(a) 모든 서비스 차등률이 5인 경우



(b) 서비스간의 서비스 차등률이 각각 2, 4, 8인 경우

그림 12. 네 종류의 서비스 클래스의 버스트 손실률
Fig. 12. Burst loss rates of four service classes

본 논문에서 도출한 실험 결과는 차등화하기 위한 서비스의 개수가 증가할 때, 실제 요구하는 최상위 클래스의 BLR보다 더 낮은 BLR 결과를 보인다. 이것은 최상위 클래스의 offset 시간이 제안된 알고리즘에 의해서 적정하게 결정될 크기보다 크게 결정되었음을 나타낸다. 이것은 기존에 제시된 OTD 알고리즘의 offset 시간 결정에서 경험적 손실식을 이용하기 때문에 발생한다. 따라서 향후 OTD 알고리즘의 정확성을 증가시키기 위한 연구가 요구된다. 하지만 기존 OTD 알고리즘의 정확성이 다소 미흡할 지라도 본 논문에서 제시된 분석과 OTDA_SDR, OTDA_N_SDR 알고리즘은 다음과 같은 의미를 갖는다. 첫째, 정확한 요구 BLR을 만족할 수는 없지만 10^{-4} 이하의 요구 BLR 상한선 (최상위 서비스의 서비스 차등률에 의해서 결정된 BLR)은

다소 긴 offset 시간에 의해서 만족될 수 있다. 둘째, 최근 인터넷 위원회에서는 IP 트래픽을 Stream과 Elastic 트래픽과 같이 2개로 구분하며 최대 3, 4개로 구분한다는 것을 감안하면 본 논문에서 제안한 알고리즘은 OBS 기반의 서비스 차별화에 적용될 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 광 버스트 교환 망에서 서비스 차별화를 제공하기 위하여 QoS 파라미터인 요구 버스트 손실률과 offset 시간 관계를 분석하고 이를 기반 한 알고리즘을 제안하여 망에서 차등적 서비스를 제공한다. 사용자가 요구하는 서비스의 품질은 요구 서비스 차등률로 정의하고, 이를 만족시키기 위하여 기존의 offset 시간 결정 알고리즘을 이용한다. 첫째, 상위 클래스와 하위 클래스로 분류되는 두개의 서비스에 대하여 주어진 서비스 차등률과 보존 법칙을 이용하여 각 서비스의 요구 버스트 손실률을 결정한다. 결정된 상위 클래스 요구 QoS는 제안된 OTDA_SDR 알고리즘에 의해서 결정된 offset 시간으로 만족됨을 보인다. 둘째, 두개 이상의 서비스가 차등적으로 OBS 망에서 운용되기 위한 OTDA_N_SDR 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 각 서비스의 offset 시간을 결정하기 위하여 서비스를 상위 그룹과 하위 그룹으로 구분하여 그룹에 대한 offset 시간을 먼저 결정하고, 각 그룹의 누적 offset 시간을 합하여 각 클래스의 offset 시간을 최종적으로 결정한다. 시뮬레이션을 이용하여 제안된 알고리즘에 의해서 결정된 offset 시간이 각 서비스의 요구 서비스 품질을 만족시키는지 분석 결과와 비교하여 검증하였다. 제안된 방식은 상위 클래스 (또는 그룹)의 입력 부하와 요구 서비스 차등률만을 고려하여 간단하게 적용되는 특징을 갖는다. 또한 요구 SDR에 맞게 상위 클래스의 offset 시간이 결정되기 때문에 버스트가 생성되는 에지 노드에서 불필요한 긴 offset 시간 지연이 필요치 않다.

향후 연구로는 제안된 알고리즘의 기반이 되는 OTD 알고리즘의 정확성 향상, 간단한 연결 수락 제어 알고리즘 (connection admission control; CAC)과 OBS 기술의 특성이 고려된 서비스 품질 보장 방식이 기존 방식과 비교를 통하여 분석되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] F. Callegati, H. C. Cankaya, Y. Xiong, M. Vandenhoute, "Design Issues of Optical IP Routers for Internet Backbone Applications," *IEEE Communications Magazine*, December 1999.
- [2] M. Dueser and P. Bayvel, "Bandwidth Utilisation and Wavelength Re-Use in WDM Optical Burst-Switched Packet Networks," *Proc. IFIP/TC6 5th Working Conference on Optical Network Design and Modelling (ONDM 2001)*, vol. 1, Vienna, 5 - 7 Feb. 2001
- [3] S. Verma, H. Chaskar, R. Ravikanth, "Optical Burst Switching: A Viable Solution for Terabit IP Backbone," *IEEE Network* Nov/Dec 2000.
- [4] T. Battestilli and H. Perros, "An Introduction to Optical Burst Switching," *IEEE Optical Communications*, Aug. 2003.
- [5] C. Qiao, "Labeled optical burst switching for IP-over-WDM integration," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, Issue: 9, pp. 104 -114, Sept. 2000.
- [6] M. Yang, S.Q. Zheng, D. Verchere, "A QoS supporting scheduling algorithm for optical burst switching DWDM networks," *IEEE GLOBECOM '01*, Vol. 1, pp. 86-91, 2001
- [7] Y. Chen, M. Hamdi, and D.H.K. Tsang, "Proportional QoS over OBS networks," *Proceedings, IEEE GLOBECOM 2001*, vol. 3, pp. 1510 -1514.
- [8] V. Vokkarane, J. Jue, "Prioritized Routing and Burst Segmentation for QoS in Optical Burst-Switched Networks," *Proceedings, Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2002*, Anaheim, CA, March 2002.
- [9] M. Yoo, C. Qiao, "Supporting multiple classes of services in IP over WDM networks," *Proceedings of IEEE GLOBECOM 99*, pp. 1023-1027., Dec. 1999.
- [10] K. Dolzer, C. Gauger, J. Spath, S. Bodamer, "Evaluation of Reservation Mechanisms in Optical Burst Switching," *AE International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 55, No. 1, 2001.
- [11] H.L. Vu and M. Zukerman, "Blocking Probability for Priority Classes in Optical Burst Switching Networks," *IEEE Communications Letters*, Vol. 6, No. 5, May 2002.
- [12] J. Cheyns, C. Develder, E. Van Breusegem, A. Ackaert, M. Pickavet, P. Demeester, "Routing in an AWG-Based Optical Packet Switch," *Photonic Network Communications*, 5:1, 69-80, 2003.
- [13] 소원호, 차윤호, 노선식, 김영천, "광 버스트 스위칭 망에서 QoS 보장을 위한 Offset 시간 결정 알고리즘 설계 및 성능 평가," *한국통신학회논문지 제27권 1C호* pp. 1-10, 2002.

저 자 소 개

소원호(정회원) 제35권 S편 제8호 참조.

현재 순천대학교 컴퓨터교육과 전임강사

김영천(정회원) 제32권 A편 제9호 참조.

현재 전북대학교 컴퓨터공학과 교수