

SUCCESS 네트워크 구조에서의 WDM-PON을 위한 스케줄링 알고리즘

정회원 김 현 숙*

Scheduling Algorithm for WDM-PON in SUCCESS Network Architecture

Hyun Sook Kim* *Regular Members*

요 약

광대역 멀티미디어의 고품질 서비스를 제공하기 위한 가입자 전송 망 분야의 변화가 요구 되고 있는 요즘, PON에 대한 연구가 이를 실현시키기 위한 방안으로 크게 부각되고 있다. 본 논문에서는 SUCCESS(Stanford University aCESS : next generation hybrid WDM/TDM optical access network architecture) 구조에서의 WDM-PON을 위한 스케줄링 알고리즘을 제안하고자 한다. 경제적 구현을 실현하기 위해서는 공유되는 자원의 보다 효율적인 할당이 필요하며, 이를 위해 SUCCESS의 구조와 특성에 적절한 효율적인 스케줄링 알고리즘을 제안하고 있으며, 전체 시스템에서의 평균 패킷 지연시간 및 처리량에 대한 성능을 평가, 분석한다.

Key Words : SUCCESS, hybrid WDM/TDM, WDM-PON, scheduling, next generation access network.

ABSTRACT

Emerging high broad band multimedia service with high quality has led to demand for challenge of optical access network and Passive Optical Network is one of the most important technologies for future optical access network. In this paper, we study the scheduling algorithm for WDM-PON in SUCCESS network architecture, a next generation hybrid WDM/TDM optical access network architecture. Due to economic implementation of this architecture, the shared resources efficiently need to be assigned and then we propose the efficient scheduling algorithm based on specific architecture and characters of SUCCESS. We evaluate and analyze the performance in terms of the average packet delay and throughput of the whole system.

I. 서 론

비디오, HDTV(High Definition TV), 디지털 영화 및 고성능 오디오 전송 등과 같은 최근에 수요가 폭발적으로 증가하고 있는 광대역 멀티서비스들은 절대적인 QoS(Quality of Service)와 함께 고성능 광 가입자 망을 요구하고 있다^[1]. 광 가입자 망

의 통신 이용량은 기간망 통신 이용량에 비하여 상대적으로 적으나, 고품질, 고성능 통신이 요구되며 이를 만족시키기 위해서는 가입자 전송 분야의 근본적인 변화가 요구되고 있다^[2]. PON(Passive Optical Network)은 이러한 요구사항을 만족시키면서 FTTH(Fiber-To-The-Home), FTTB(Fiber-To-The-Business), FTTC (Fiber-To-The-Curb) 등을 경제적

* LG전자 이동통신기술연구소(hyunskim@lge.com)

논문번호 : KICS2005-04-145, 접수일자 : 2005년 4월 7일

※이 논문은 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연구지원에 의하여 연구되었음

으로 실현시키기 위해 가장 주목받고 있는 기술이다. 이러한 PON은 TDM(Time Division Multiplexing), WDM(Wavelength Division Multiplexing) 전송 기술을 기반으로 연구되고 있으나 융통성과 끊어짐이 없는 전송을 보장하기 위한 두 가지 방식의 결합은 여전히 많은 연구를 필요로 하고 있으며, [1][3][4]에서처럼 이와 같은 시도들이 많이 진행 중이다. [1]의 저자들은 현재의 TDM-PON과 미래의 WDM-PON을 지원하기 위한 차세대 hybrid WDM/TDM 광 가입자 망의 구조인 SUCCESS (Stanford University aCESS) 네트워크 구조를 제안하였다. 이 구조는 WDM-PON 사용자에게 보다 높은 대역폭을 제공하는 반면, 최소한의 업그레이드를 통하여 현재의 TDM-PON 상의 사용자를 위한 호환을 보장한다.

본 논문에서는 SUCCESS WDM-PON을 위한 스케줄링 알고리즘에 대하여 연구하고자 한다. 광 네트워크에서는 높은 가격의 WDM 광 구성요소를 사용함으로써 발생하는 비용을 줄이기 위하여 많은 사용자들이 tunable transmitter와 tunable 혹은 fixed receiver 등의 자원을 공유하게끔 하고 있다. 이러한 이유로 공유되는 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 스케줄링 알고리즘이 필요하다^[5].

2장에서는 SUCCESS WDM-PON의 구조를 살펴 보며, 3장에서 SUCCESS WDM-PON을 위한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 성능 분석을 위한 모델을 통하여 제안하는 알고리즘의 성능을 평가한 후, 5장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

II. SUCCESS WDM-PON 네트워크 구조

SUCCESS의 전체적인 구조는 그림 1과 같다^[1]. SUCCESS는 single-fiber collector ring 구조에 기반하며, CO(Central Office)와 ONU(Optical Networking Unit)들을 연결하는 여러 개의 분산된 star 구조가 collector ring에 연결되어 있다. star의 중심에는 RN(Remote Node)이 있으며, ONU들은 RN에 연결되어 있다. CO 안에 존재하는 OLT(Optical Line Terminal)은 트랜시버 카운트(transceiver counts)를 줄임으로써 시스템 전체의 비용을 줄이기 위하여 tunable transmitter와 receiver를 사용한다. 논리적으로 OLT와 각각의 RN 사이에는 point-to-point 연결이 존재한다. OLT의 tunable transmitter는 실제 데이터를 포함한 다운스트림 프레임과 업스트림

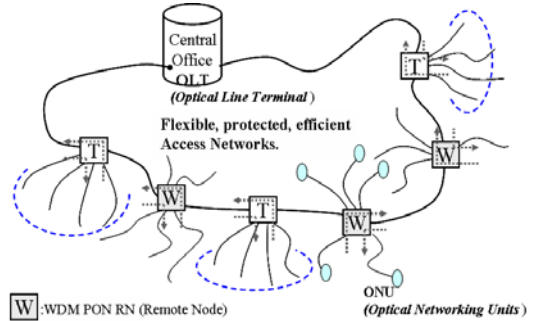


그림 1. SUCCESS 구조^[1]

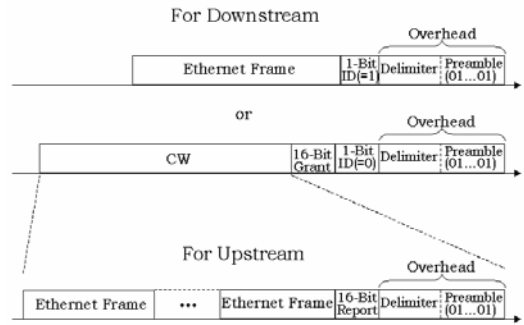


그림 2. MAC 프로토콜을 위한 프레임^[1]

을 위해 ONU에서 필요한 CW(Continuous Wave) 광 버스트들을 발생시킨다. 그러므로 SUCCESS 스케줄링 알고리즘은 모든 공유되는 자원들, 즉, tunable transmitter, tunable receiver, ONU에 할당된 wavelength 들의 상태를 유지해야 하며, 이를 적절하게 할당할 수 있어야 한다. 또한 OLT와 ONU 사이의 양방향 통신을 효과적으로 제공하기 위한 MAC 프로토콜의 주의 깊은 연구가 필요하다. SUCCESS에서 사용되는 다운스트림과 업스트림의 프레임 형식은 그림 2와 같다^[1].

III. 스케줄링 알고리즘

본 논문에서는 [1],[5]에서와 같이 W 개의 ONU, 즉, W 개의 wavelength, M 개의 tunable transmitter, N 개의 tunable receiver를 가정한다. 단지 업스트림을 위해 사용되는 tunable receiver와 달리 tunable transmitter는 업스트림과 다운스트림 모두를 위해 사용되기 때문에 일반적으로 receiver 보다 더 많은 transmitter가 필요하게 되어 $W \geq M \geq N$ 의 관계가 성립한다.

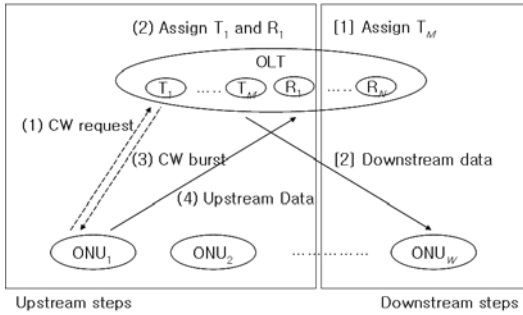


그림 3. 업스트림 다운스트림 전송 과정

그림 3에서는 OLT와 ONU 사이의 업스트림 다운스트림이 전송되는 과정을 간략하게 보여주고 있다. SUCCESS WDM-PON MAC 프로토콜은 in-band signaling 방식을 사용하기 때문에, 데이터 채널과 구별되는 별도의 제어 채널 및 제어 패킷이 없다. OLT는 주기적으로 ONU 안에 전송되기를 기다리며 저장되어 있는 업스트림 데이터의 양을 체크하고, ONU가 보낼 수 있는 데이터의 양을 알려주는 CW를 결정한다.

본 논문에서 제안하는 스케줄링 과정은 그림 4와 같다.

- Step 1: 하나의 프레임이 도착할 때까지 기다린다.
- Step 2: Classifier에서 프레임을 분류한다. 즉, 업스트림을 위한 프레임이라면, 업스트림 큐로 보낸다. 다운스트림을 위한 프레임이라면, 다운스트림 큐로 보낸다.
- Step 3: 업스트림 큐의 프레임은 전송을 위해서 T와 R이 모두 필요하므로 Group1에서 사용가능한 (T, R)의 쌍을 할당받는다. 다운스트림의 경우 단순히 T만 필요하므로 Group2에서 사용가능한 T를 할당받아 전송을 시작한다.

그림 4에서 보여주듯이 본 논문에서는 업스트림과 다운스트림이 할당 받을 수 있는 자원을 그룹화하여 분리하는 방식을 제안하고 있다. 그림 3에서 살펴본 SUCCESS의 데이터 전송 방식의 특성 상, 업스트림 데이터 전송의 경우, CW를 해당 ONU에게 보내기 위해서는 사용가능한 T를 할당하는 시점에서 이미 업스트림 데이터를 받을 수 있는 R를 할당해야하기 때문에 항상 (T, R)의 쌍으로 생각할 수 있다. 즉, 사용가능한 R이 존재하지 않는다면, T를 할당해도 사용할 수 있는 R이 있을 때 까지 기다려야하므로, 단지 T만 필요로 하는 다운스트림의

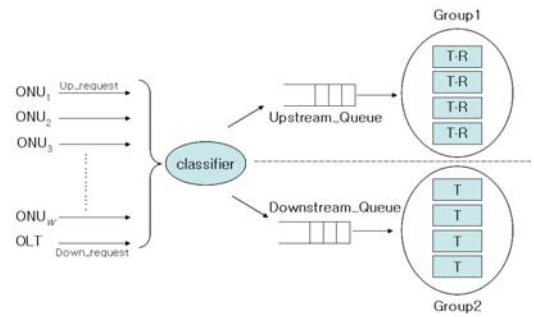


그림 4. 스케줄링의 과정

데이터 전송에서 이것을 이용하고자 그룹을 분리하여 효율적인 자원 이용을 기대한다.

이러한 스케줄링을 위해서는 CAT(Channel Available Time), TAT(Transmitter Available Time), RAT(Receiver Available Time), RTT(Round Trip Time) 등의 정보가 유지되어야 한다^[14]. 다음은 이러한 스케줄링 알고리즘의 수더코드를 보여준다.

begin

wait until a frame arrives;

if frame is for upstream;

select Receiver *i*

such that $RAT[i] \leq RAT[n]$,

for all $n=1, \dots, N, n \neq i$;

$t = \max(RAT[i] - RTT_i, CAT[k])$;

$RAT[i] = t + RTT_i$;

schedule Receiver at time $t + RTT_i$;

select Transmitter *j* such that

$\{TAT_{G1}[j] \leq TAT_{G1}[m]$

and $TAT_{G1}[j] \geq RAT[i]$

for all $m=1, \dots, M$ (in Group1), $m \neq j$;

$TAT_{G1}[j] = t + 1$; // $l = \text{length of frame}$

else // for downstream

select Transmitter *j'* such that

$\{TAT_{G2}[j'] \leq TAT_{G2}[m']$

for all $m'=1, \dots, M'$ (in Group2),

$m' \neq j'$;

$t = \max(TAT_{G2}[j'], CAT[k])$;

$TAT_{G2}[j'] = t + 1$; // $l = \text{length of frame}$

select channel *k* for corresponding ONUk;

$CAT[k] = t + 1$;

schedule Transmitter at time *t*;

end

IV. 성능 평가 및 분석

이 장에서는 평균 메시지 지연 시간 및 전체 데이터 전송량(Throughput)을 중심으로 SUCCESS 스케줄링 알고리즘의 성능을 분석하고자 한다.

본 논문에서는 다음과 같은 몇 가지 가정을 한다. 각각의 노드에 도착하는 메시지의 평균 도착률은 λ 의 Poisson 분포를 가지며, 평균 메시지 처리율은 $1/\mu$ 의 exponential 분포를 갖는다. 전체 시스템의 도착 트래픽률(aggregate arrival rate)을 θ 라 할 때 업스트림:다운스트림의 비율은 1:2이며, 모든 ONU는 OLT로부터의 떨어져 있는 거리가 동일하여 같은 RTT값을 갖는다. 업스트림과 다운스트림 큐잉 모델은 각각 독립된 M/M/c 큐잉 시스템이다. 큐의 크기는 무한하다고 가정한다.

시스템 전체의 평균 메시지 지연시간, t_s 는 다음과 같다.

$$t_s = \frac{1}{3} t_{up} + \frac{2}{3} t_{down} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} t_{up} &= \frac{3}{2} RTT + S_{up} + W_{up} \\ &= \frac{3}{2} RTT + 1/\mu_{up} + Q_{up}/\lambda_{up} \\ &= 1/\mu_{up} + \frac{\rho_{up} C(c, a_{up})}{\lambda_{up}(1-\rho_{up})} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} t_{down} &= \frac{1}{2} RTT + S_{down} + W_{down} \\ &= \frac{1}{2} RTT + 1/\mu_{down} + Q_{down}/\lambda_{down} \\ &= 1/\mu_{down} + \frac{\rho_{down} C(c, a_{down})}{\lambda_{down}(1-\rho_{down})} \end{aligned} \tag{3}$$

이때, S_{up}, S_{down} 은 업스트림, 다운스트림 각각의 평균 서비스 시간을, W_{up}, W_{down} 은 큐에서의 평균 지연시간을, Q_{up}, Q_{down} 은 큐에 들어있는 평균 메시지의 수를, $C(c, a) = \frac{(a^c/c!) \times P_0}{1-\rho}$, $a = \lambda/\mu$, $\rho = \lambda/c\mu$, $\lambda_{up} = \theta/3$, $\lambda_{down} = 2\theta/3$ 를 가리킨다^[6].

$M=2N$, $\theta=10\text{Gbps}$, $a_{up}=0.4$, $a_{down}=0.2$ 일 때, Receiver의 수가 증가함에 따른 업스트림, 다운스트림 및 시스템 전체 패킷의 평균지연시간은 그림 5, 6과 같다. Receiver의 수가 4이상인 경우, 성능향상의 폭이 비슷하여 안정적인 그래프가 보이며, 특히

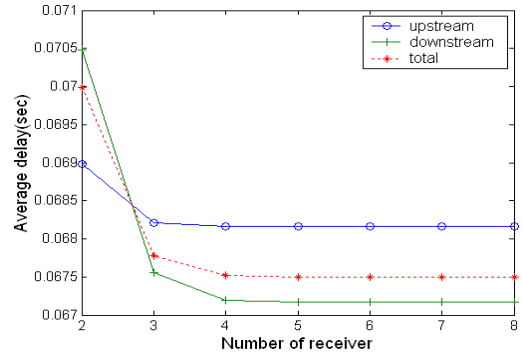


그림 5. Receiver 수의 증가에 따른 평균지연시간(RTT=0.001sec)

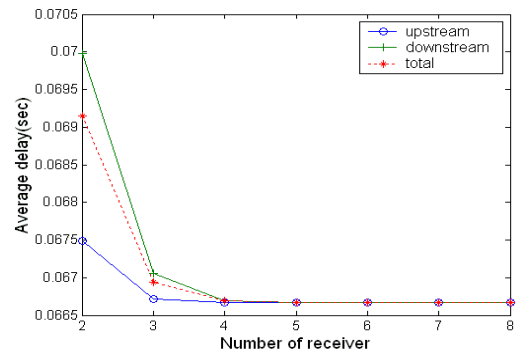


그림 6. Receiver 수의 증가에 따른 평균지연시간 (RTT=0)

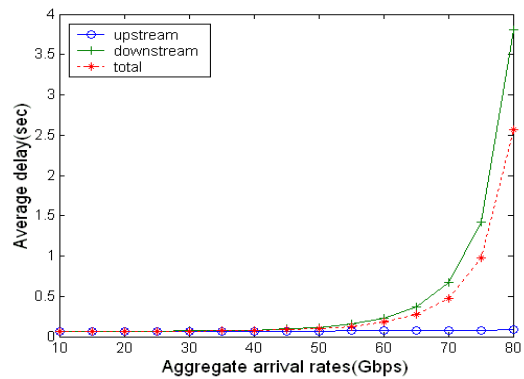


그림 7. θ 의 증가에 따른 평균지연시간 (N=4)

다운스트림의 경우 Receiver의 수가 적은 경우에 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

그림 7에서는 θ 의 값, 즉 aggregate arrival rate이 증가함에 따른 업스트림, 다운스트림 각각의 평균 지연시간과 시스템 전체의 평균 지연시간에 대한 변화를 보여준다. Receiver의 수가 증가함에 따른 변화에서와 마찬가지로, 다운스트림이 업스트림

보다 영향을 더욱 많이 받으며, 특히, 40Gbps 이상은 exponential한 그래프가 그려진다. 그림 8에서 알 수 있듯이 업스트림의 경우도 다운스트림 보다는 지연시간의 변화의 차이가 크지 않으나, 역시 40Gbps 이상에서는 큰 폭의 증가를 나타내고 있다. 또한 일반적으로 다운스트림의 양이 더 많으므로 전체 시스템의 평균 처리 지연시간 또한 다운스트림의 그래프와 유사함을 알 수 있다.

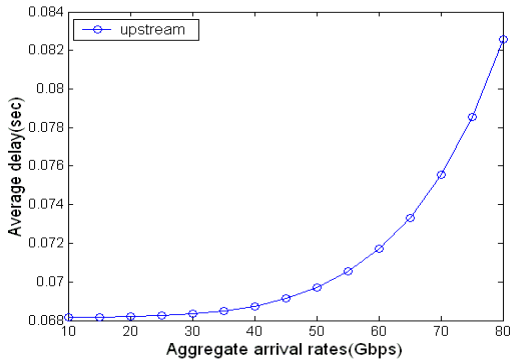


그림 8. θ 의 증가에 따른 업스트림 데이터 평균지연시간

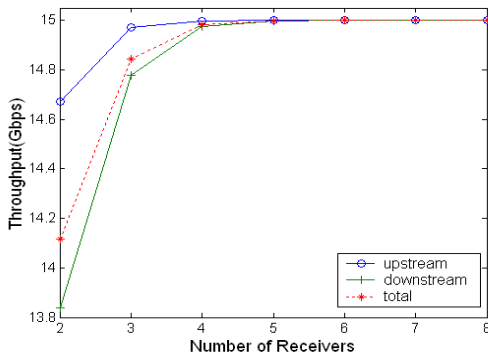


그림 9. Receiver 수의 증가에 따른 Throughput

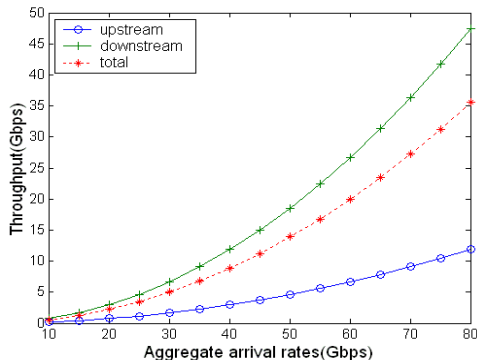


그림 10. θ 의 증가에 따른 Throughput

그림 9와 그림 10은 본 논문에서 제안하는 스케줄링 알고리즘에 의한 Throughput을 보여준다. 업스트림, 다운스트림 각각의 Throughput은 평균지연 시간과 유사하게 Receiver의 수가 4인 지점을 기점으로 큰 차이를 보이지 않으며, aggregate arrival rate이 증가함에 따라 Throughput이 증가한다.

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 SUCCESS 네트워크 구조에서의 WDM-PON을 위한 스케줄링 알고리즘을 제안하고 있으며, 이것은 비용을 최소화하기 위해 공유되는 자원, 즉, tunable transmitter, tunable receiver, wavelength 등을 효율적으로 사용하기 위해 중요한 역할을 한다. 특히, 본 논문에서는 업스트림과 다운스트림을 위한 자원의 그룹을 2개로 분리하는 방법을 사용하였으며, 이것은 SUCCESS의 특성상 별도의 제어채널 혹은 제어 패킷을 사용하지 않으며, 다운스트림 전송을 위해서는 반드시 transmitter와 receiver가 할당되어야만 하는 요소에 기인한다. 제안한 스케줄링 알고리즘의 성능 평가 결과 성능의 변화를 보이는 중요한 지점 즉, Receiver의 수 및 aggregative arrival rate등을 찾을 수 있었으며, 이것은 실제 네트워크에 적용 시 다운스트림 및 업스트림의 비율에 따라 융통성 있게 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

향후 연구 과제로서, 본 논문에서 제안한 스케줄링 알고리즘에 보다 나은 QoS를 보장하기 위한 우선 순위를 적용한 알고리즘 등으로 확장시키고자 한다.

참고 문헌

- [1] Fu-Tai An, Kyeong Soo Kim, David Gutierrez, Scott Yam, Eric Hu, Kapil Shrikhande, Leonid G. Kazovsky, "SUCCESS: A Next-Generation Hybrid WDM/TDM Optical Access Network Architecture", *IEEE/Optical Society of America JLT*, Vol. 22, No. 11, pp. 2557-2569, Nov., 2004
- [2] 최한규, 강안구, 유윤식, 문필주, 조규섭, "광가입자망의 설계와 경제성 분석에 관한 연구", *한국통신학회 논문지*, Vol. 26, No. 7A, pp. 1212-1219, 2001
- [3] Kevin Ross, Nicholas Bambos, Krishnan Kumaran, Iraj Saniee, Indra Widjaja,

“Scheduling Bursts in Time-Domain Wavelength Interleaved Networks”, *IEEE JSAC*, Vol. 21, No. 9, pp. 1441-1451, Nov. 2003

[4] Feiling Jia, Biswanath Mukherjee, Jason Iness, “Scheduling Variable-Length Messages in a Single-Hop Multichannel Local Light-wave Network”, *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol. 3, No. 4, pp. 477-488, Aug. 1995

[5] Kyeong Soo Kim, David Gutierrez, Fu-Tai An, Leonid G. Kazovsky, “Batch Scheduling Algorithm for SUCCESS WDM-PON”, *Proc. of Globecom*, Vol. 3, No. 29, pp. 1858-1839, Nov., 2004

[6] Leonard Kleinrock, *Queuing Systems Volume I: Theory*, A Wiley-interscience Pub., pp. 102, 1975

김 현 숙 (Hyun Sook Kim)

정회원



1997년 2월 덕성여자대학교
전산학과 졸업
1999년 8월 연세대학교 컴퓨
터과학과(석사)
2004년 2월 연세대학교 컴퓨
터과학과(박사)
2004년 4월~2005년 3월 Stan-
ford Univ. Post-doc.

2005년 4월~현재 LG 전자 이동통신기술연구소 표
준전략그룹 선임연구원
<관심분야> NGN, 광통신, QoS