

지연 특성을 개선한 Modified-DWRR 셀 스케줄링 알고리즘

곽 지 영[†] · 남 지 승^{††}

요 약

본 논문에서는 기존의 DWRR(Dynamic Weighted Round Robin) 알고리즘이 고려하지 못한 실시간 트래픽의 지연 특성을 보장하면서, 비실시간 트래픽도 효율적으로 전송할 수 있는 셀 스케줄링 알고리즘을 제안하고자 한다. 이 스케줄링 알고리즘은 기존의 DWRR 알고리즘을 개선한 것으로, 지연 우선 순위 기반의 셀 전송방식을 추가하여 실시간 트래픽의 지연 특성을 보장하면서, 그로 인한 비실시간 트래픽의 셀 손실을 막기 위해 비실시간 트래픽에 임계치를 설정한다. 제안한 스케줄링 알고리즘은 지연 우선 순위 기반의 셀 전송방식이 추가되어 기존의 DWRR 알고리즘에 비하여 복잡도가 다소 증가될 수 있으나, 실시간 트래픽의 지연을 최소화하고 버퍼 크기를 감소시킬 수 있으며, CBR, VBR 트래픽 뿐만 아니라 대역폭에 유연성을 지니는 ABR 트래픽의 서비스를 효과적으로 지원한다.

A Modified-DWRR Cell Scheduling Algorithm improved the QoS of Delay

Ji-Young Kwak[†] · Ji-Seung Nam^{††}

ABSTRACT

In this paper, we propose a new scheduling algorithm that guarantees the delay property of real-time traffic, not considered in previous DWRR(Dynamic Weighted Round Robin) algorithm and also transmits non-real-time traffic efficiently. The proposed scheduling algorithm is a variation of DWRR algorithm to guarantee the delay property of real-time traffic by adding cell transmission method based on delay priority. It also uses the threshold to prevent the cell loss of non-real-time traffic due to cell transmission method based on delay priority. Proposed scheduling algorithm may increase some complexity over conventional DWRR scheme because of cell transmission method based on delay priority. However, the consideration of delay priority can minimize cell delay and require less size of temporary buffer. Also, the results of our performance study shows that the proposed scheduling algorithm has better performance than conventional DWRR scheme due to reliable ABR service and congestion avoidance capacity.

키워드: Traffic control, Scheduling(스케줄링), Delay, Real-time traffic, Non-real-time traffic, DWRR, WRR, ATM, CBR, RT-VBR, NRT-VBR, ABR

1. 서 론

최근에 정보가 음성, 텍스트, 데이터, 그래프 및 동영상이 복합된 멀티미디어 정보형태로 발전함에 따라 컴퓨터 통신망에서도 점차 데이터 및 음성으로부터 동영상의 정보전송이 가능한 광대역 정보통신 기능이 요구되고 있으며, 고속 LAN, WAN 및 광대역 정보 통신망이 개발되고 있다. 또한 다양한 형태의 정보인 음성, 데이터, 영상 등을 동일한 교환기술로 처리하기 위한 방안으로서 비동기식 전달 모드(ATM: Asynchronous Transfer Mode)를 사용하게 되었다. ATM은 모든 정보를 셀(cell)이라는 고정 길이의 짧은 패킷에 실어서 전송하는 멀티플렉싱(Multiplexing)/스위칭(switching)기술로서 광대역 종합통신망(Broadband Integrated Service Digital Network: B-ISDN)에 가장 적합한 전송 방식으로 각광을 받고 있다. 또한 ATM은 효율적인 대역폭 할당, 다양한 서비스 수용성 등의 장점 때문에 멀티미디어 트래픽에 적합하다고 알려져 있다[1, 2]. ATM 네트워크에서는 연결 설정시에 각 연결이 요구하는 최대 전송률보다 낮은 대역폭을 할당하는 통계적 멀티플렉싱(statistical multiplexing)에 의해 한정된 대역폭을 효율적으로 사용하기 때문에 네트워크 상에서 보다 많은 연결 설정이 가능하지만, 많은 수의 트래픽 소스들이 동시에 활성화될 경우, 네트워크 상에 과도한 트래픽이 유입되어 심각한 네트워크 혼잡이 발생할 수 있다[3]. 그러므로, 이를 적절히 예방하고 해결할 수 있는 트래픽 제어 기능이 요구된다[4]. 특히 기존의 데이터 네트워크와는 달리, ATM 네트워크에서는 여러 가지 트래픽이 혼재하는 멀티미디어 트래픽을 전송하기 때

[†] 준 회 원: 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어기술연구소
^{††} 종신회원: 전남대학교 컴퓨터공학과 교수
논문접수: 2001년 3월 16일, 심사완료: 2001년 8월 28일

문에, 지연 특성 및 셀 손실 허용률과 같은 특성을 바탕으로 한 트래픽 제어가 반드시 수행되어야 한다[5-7]. 셀 스케줄링과 같은 트래픽 제어(Traffic Control) 또는 트래픽 관리(Traffic Management) 방법을 적용함으로써, 네트워크 자원을 효율적으로 사용하면서 각 서비스 클래스에 대해서 네트워크가 적절한 QoS(Quality of Service)를 제공할 수 있을 것이다.

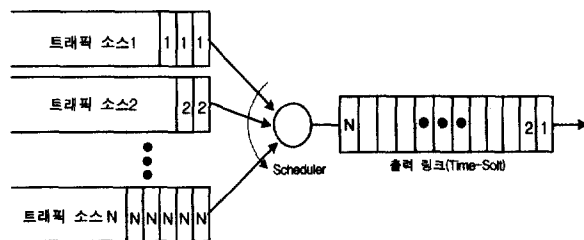
본 논문에서는 ATM 환경 하에서 다중 트래픽 속성을 지원하는 스위치 혹은 멀티플렉서에서 효율적인 성능을 나타내는 스케줄링 알고리즘을 제시하기 위해, 기존의 셀 기반의 스케줄링 알고리즘들을 고찰하였다. 고찰해 본 결과, 주로 트래픽의 공정한 대역폭 할당에 관한 셀 스케줄링 알고리즘들은 연구되었으나 트래픽의 서로 다른 지연 특성을 고려한 셀 스케줄링 알고리즘은 드물었다. 그리고, 기존의 알고리즘들이 주로 CBR(Constant Bit Rate), VBR(Variable Bit Rate)에 중심을 두는 방안을 제시함으로써, 현재 데이터 서비스를 위하여 각광받고 있는 ABR(Available Bit Rate)과 같은 트래픽 속성의 지원에 문제가 있음을 알아내었다. 그래서, 본 논문에서는 기존의 DWRR 알고리즘이 고려하지 못한 실시간성 트래픽의 지연 특성을 보장하고, ABR 트래픽의 서비스에 대한 미비점을 보완하는 셀 스케줄링 알고리즘을 제안하고, 그 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 평가하였다.

본 논문은 서론에 이어서, 2장에서 기존의 스케줄링 알고리즘의 특성 및 문제점을 고찰하고, 3장에서 제안한 셀 스케줄링 알고리즘을 기술한다. 4장에서는 기존의 DWRR 알고리즘과 제안한 셀 스케줄링 알고리즘의 성능을 비교하기 위한, 시뮬레이션 환경에 대하여 고찰하고, 시뮬레이션의 결과를 분석한 후, 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

2. 기존 스케줄링 알고리즘의 특성 및 문제점

2.1 셀 스케줄링

셀 스케줄링이란 스위치의 입력 링크로 들어오는 셀들을 출력 링크로 보낼 때 어떤 순서로 셀을 보낼지를 결정하는 것이다. 즉, 같은 출력 링크로 향하는 셀이 하나 이상일 경우는 셀 스케줄링에 의해서 각 타임 슬롯에 보내질 셀을 결정해야 한다.



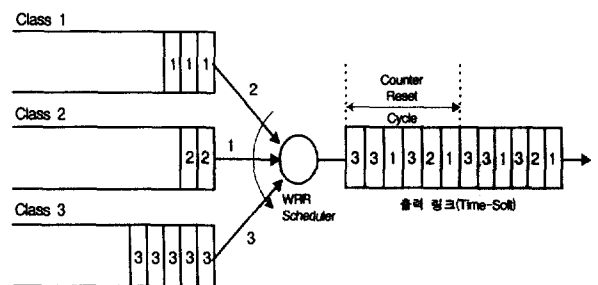
(그림 1) 셀 스케줄링

(그림 1)에서처럼 어느 소스를 먼저 보내느냐에 따라서 다른 소스는 셀을 전송할 수 없기 때문에, 그 만큼 입력 버퍼에 많은 셀이 쌓이게 되고 이것은 새로 도착한 셀이 서비스 받는데 있어서 커다란 지연을 일으키는 원인이 된다. 지연이 커지게 되면 실시간 서비스를 필요로 하는 CBR이나 RT-VBR(Real-Time Variable Bit Rate)[8, 9]과 같은 클래스의 셀에 대해서 품질의 저하를 가져온다. 따라서, 실시간 서비스를 필요로 하는 셀에 대해서는 우선적으로 출력 링크의 타임 슬롯을 사용하도록 하고, 비실시간성 트래픽은 실시간성 트래픽 다음에 서비스하는 것이 일반적이다.

2.2 기존의 스케줄링 알고리즘

2.2.1 WRR(Weighted Round Robin)

하나의 출력링크에 대하여 N개의 입력 VCC가 존재하는 경우, 각각의 연결에 대하여 고정적인 가중치를 부여한다. 따라서 일정 주기동안에 각각의 입력 VCC에 대하여 고정적인 가중치에 따른 차별적인 셀 전송 지원이 가능하도록 한다[10-13].

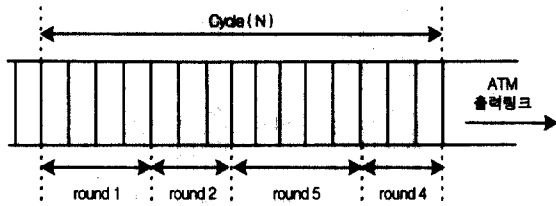


(그림 2) WRR 셀 스케줄링

WRR 알고리즘은 각 소스를 RR(Round-Robin) 방식에 의해서 서비스한다. 한 사이클에서 소스에 전송할 셀이 있고 사용 가능한 대역폭이 있을 때, 소스는 각각의 서비스 기회에 한 셀을 전송할 수 있다. 따라서, 고정적인 우선 순위 레벨에 근거해서 입력 소스의 트래픽에 대해서 차등 셀 전송 능력이 지원된다. 그러나, 이 방법은 정적이고 각 소스에 대해서 고정된 우선 순위 레벨을 가지기 때문에 단지 CBR 트래픽만이 고려되고 있다[10-13]. 따라서, VBR 트래픽과 같이 셀 발생률이 일정하지 않고 가변적인 트래픽의 경우 미리 정해진 가중치 벡터만을 이용해서 셀을 스케줄링 한다면, QoS를 보장받기 어렵게 될 뿐만 아니라 네트워크의 대역폭을 효율적으로 사용할 수 없게 된다.

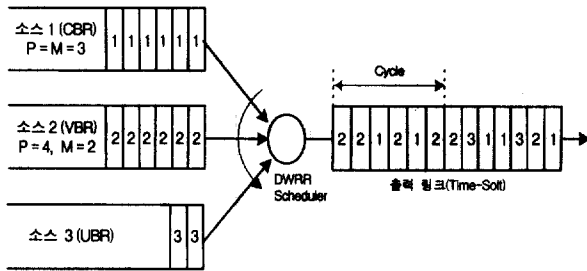
2.2.2 DWRR(Dynamic Weighted Round Robin)

DWRR 스케줄링 알고리즘은 WRR 알고리즘[10-13]의 단점을 보완한 것으로 트래픽의 Peak Cell Rate(PCR)과 Mean Cell Rate(MCR)에 해당하는 두 변수 P, M을 사용하여, ATM 환경에서의 대역폭 할당과 관계된 PCR, MCR을 지원할 수 있다.



(그림 3) 사이클과 라운드

DWRR 알고리즘은 (그림 3)과 같이, 사이클을 주기로 하여 각각의 채널들을 서비스하는 라운드를 가지며, 한번의 라운드에서 출력 링크에 대하여 출력을 요구하는 채널들을 RR 형태로 셀 단위 전송지원을 수행하도록 하고 있다. 그리고, 각각의 채널은 호 진입시 요구된 PCR과 MCR에 따른 P, M 두 변수 값을 가지며, 하나의 채널이 셀 전송을 서비스 받는 경우는 두 변수의 값을 하나씩 줄이므로, 출력 링크에 대한 각 VCC들의 출력 상황 및 사이클 내에서 해당 링크의 전송 가능한 잔여 대역폭을 나타내도록 되어 있다[14, 15].



(그림 4) DWRR 셀 스케줄링

<표 1>에서 정의한 P, M은 각각의 트래픽 특성에 따라 특정한 형태를 띠게 된다. 이에 대한 내용이 <표 2>에 나타나 있다.

<표 1> P, M의 정의

- P : 한 사이클에서 허용되는 최대 타임 슬롯 수
→ 트래픽 소스의 peak cell rate(PCR)에 따른 값
- M : 한 사이클에서 전송되는 평균 타임 슬롯 수
→ 트래픽 소스의 mean cell rate(MCR)에 따른 값
→ 「ABR 트래픽 : minimum cell rate(MCR)」

<표 2> 트래픽의 종류와 셀 발생률 사이의 관계

트래픽 소스 종류	P, M 사이의 관계
CBR 트래픽	$P^* = M^*$
VBR 트래픽	$P^* \geq M^*$
ABR 트래픽	$P^* \geq M^*$
UBR 트래픽	$P = M = 0$

* : 트래픽의 QoS에 영향을 미치는 값

<표 2>에서처럼 CBR 트래픽은 PCR과 MCR이 동일한

값을 가지고, VBR 트래픽은 PCR이 MCR보다 큰 값을 갖는다. 이러한 특성을 고려하여 스케줄링을 하기 때문에 DWRR 알고리즘은 WRR 알고리즘에 비해서 VBR 트래픽에 대해서 더 나은 성능을 보여준다. 즉, 제일 먼저 서비스하는 것은 CBR 트래픽과 MCR 이하의 VBR 트래픽이다. 다음으로 MCR 이상 PCR 이하의 VBR 트래픽이 서비스되고 마지막으로 UBR (Unspecified Bit Rate) 트래픽이 서비스된다[14, 15]. 그러나, 이 알고리즘에서 ABR[16, 17] 트래픽은 고려되지 않고 있다. 따라서, ABR 트래픽이 DWRR 알고리즘에 적용될 경우 ABR 트래픽은 VBR이나 UBR 트래픽으로 취급됨으로써, 망의 전체적인 효율을 떨어뜨리고 기존 다른 트래픽들의 QoS에 손실을 주는 단점을 가지고 있다. 그리고 이 알고리즘은 각 채널에 해당하는 트래픽의 PCR과 MCR에 따른 공정한 대역폭 할당을 제공하나, 각 채널에 해당하는 트래픽의 서로 다른 지연 특성을 고려하지 않고 있다.

3. 제안한 셀 스케줄링 알고리즘

ATM 계층에서 제공되는 멀티미디어 서비스에 대해 다양한 QoS를 제공하고 다양한 트래픽을 효율적으로 관리하기 위해, ATM Forum에서는 ATM 트래픽을 CBR, RT-VBR, NRT-VBR, ABR, UBR의 다섯 가지 서비스 클래스로 규정하고 있다. ATM 서비스 분류 중에서 CBR과 RT-VBR 트래픽은 주로 오디오나 비디오 등의 실시간 서비스에 응용되어지며, NRT-VBR, ABR과 UBR 트래픽은 실시간성이 요구되지 않는 데이터 서비스에 응용되어진다[18]. 현재 ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunications)와 ATM Forum 등에서 고려되는 서비스 품질 파라미터는 지연, 셀 손실률, 지연변이 등이 있으며, 이 중에서 지연은 멀티미디어 실시간 트래픽에 있어 정해진 최대 범위를 초과하는 경우 곧바로 셀 손실을 의미하게 되므로 매우 중요한 파라미터이다.

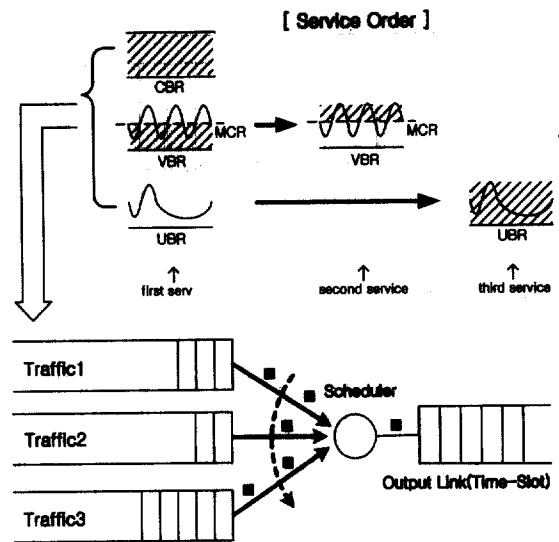
그런데, 기존의 DWRR 알고리즘은 각 채널에 해당하는 트래픽의 PCR과 MCR에 따른 공정한 대역폭 할당을 제공하나, 각 채널에 해당하는 트래픽의 서로 다른 지연 특성을 고려하지 않고 있다. 따라서 지연 특성을 고려하기 위해서, 비실시간 트래픽인 NRT-VBR, ABR 트래픽보다 서비스 지연 시간에 민감한 실시간 트래픽인 CBR, RT-VBR 트래픽에 높은 우선 순위를 제공한다면, 실시간 트래픽의 지연 시간을 줄일 수 있다. 그러나 실시간 트래픽의 지연 시간을 줄이기 위해 무조건 실시간 트래픽인 CBR, RT-VBR 트래픽을 비실시간 트래픽인 NRT-VBR, ABR 트래픽보다 먼저 서비스한다면, 실시간 트래픽을 서비스하는 동안 비실시간 트래픽은 계속 버퍼에 쌓여 언젠가는 버퍼의 오버플로우로 셀 손실이 발생하게 될지도 모른다. 이러한 오버플로우에 의해 손실된 셀들은 재전송을 통해 복원이 가능하지

만, 손실된 셀의 재전송으로 인하여 더 많은 트래픽들이 네트워크에 발생하여 네트워크의 혼잡을 가중시킬 수 있다.

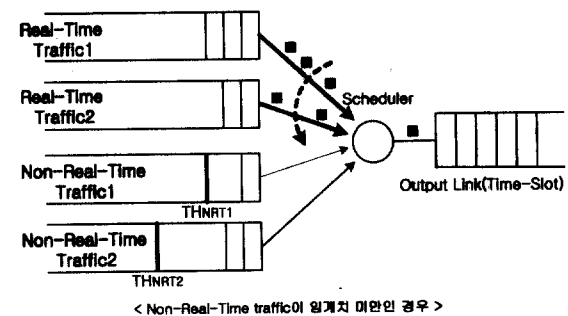
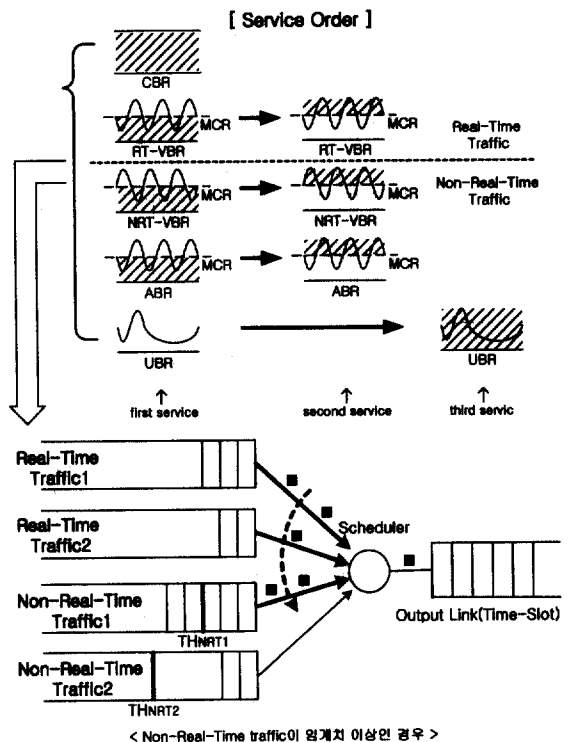
그러므로, 본 논문에서는 기존의 DWRR 알고리즘이 고려하지 못한 실시간 트래픽의 지연 특성을 보장하면서, 비실시간 트래픽도 효율적으로 전송할 수 있는 셀 스케줄링 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안한 셀 스케줄링 알고리즘은 기존의 DWRR 알고리즘을 개선한 것으로, 지연 우선 순위 기반의 셀 전송방식을 추가하여 실시간 트래픽의 지연 특성을 보장하면서, 그로 인한 비실시간 트래픽의 셀 손실을 막기 위해 비실시간 트래픽에 임계치를 설정하였다.

(그림 5)는 기존의 DWRR 셀 스케줄링 알고리즘의 서비스 방식을 나타내고, (그림 6)은 제안한 셀 스케줄링 알고리즘의 서비스 방식을 나타낸 것이다. (그림 5)와 (그림 6)에서 알 수 있듯이, 제안한 셀 스케줄링 알고리즘의 서비스 순서는 기존의 DWRR 알고리즘과 유사하나, 기존의 DWRR 알고리즘이 고려하지 않은 ABR 트래픽을 NRT-VBR 트래픽과 동일한 순서로 서비스한다. 그래서, 제일 먼저 CBR 트래픽과 MCR 이하의 RT-VBR, NRT-VBR, ABR 트래픽을 서비스하고, 다음으로 MCR이상 PCR이하의 RT-VBR, NRT-VBR, ABR 트래픽을 서비스한다. 그리고, 마지막으로 UBR 트래픽을 서비스한다. 그러나, 비실시간 트래픽 중에서 NRT-VBR 트래픽의 임계치를 ABR 트래픽의 임계치보다 작게 설정함으로써, ABR 트래픽보다는 NRT-VBR 트래픽에 높은 우선 순위를 제공한다. 또한, 서비스 받을 순서의 트래픽들을 서비스할 때, 기존의 DWRR 알고리즘은 서비스 받을 순서의 모든 트래픽들을 임의적인 순서에 의해 RR 방식으로 서비스하지만, 제안한 알고리즘은 서비스 받을 순서의 트래픽들 중에서 실시간 트래픽과 큐 길이가 임계치 이상인 비실시간 트래픽만을 RR 형태를 취해서 우선적으로 서비스한다. 즉, 제안한 셀 스케줄링 알고리즘은 서비스 받을 순서의 트래픽들 중에서 비실시간 트래픽인 NRT-VBR, ABR 트래픽이 설정한 임계치를 초과했는지의 여부를 판단해서, 임계치를 넘지 않는 경우에는 실시간 트래픽인 CBR, RT-VBR 트래픽만을 RR(Round Robin) 방식으로 서비스하고, 임계치를 넘은 경우에는 임계치를 넘은 비실시간 트래픽도 실시간 트래픽과 함께 RR 방식으로 서비스한다.

따라서, 제안한 셀 스케줄링 알고리즘은 실시간성 트래픽을 우선적으로 서비스함으로써, 기존의 DWRR 알고리즘에서 고려하지 못한 실시간성 트래픽의 지연 특성을 보장하여, 지연을 최소화하며 버퍼의 크기를 감소시킨다. 그리고, 비실시간 트래픽인 NRT-VBR, ABR 트래픽의 임계치 설정에 있어서, NRT-VBR 트래픽의 임계치를 ABR 트래픽의 임계치보다 작게 설정함으로써, ABR 트래픽보다는 NRT-VBR 트래픽에 높은 우선 순위를 제공하므로 NRT-VBR 트래픽의 QoS를 보장하면서 ABR 트래픽을 서비스할 수 있다.



(그림 5) 기존의 DWRR 셀 스케줄링 알고리즘의 서비스 방식



(그림 6) 제안한 셀 스케줄링 알고리즘의 서비스 방식

그리고 비실시간 트래픽인 NRT-VBR, ABR 트래픽의 최적의 임계치는 트래픽 상황에 따라 변하기 때문에 명확한 기준을 제시하기가 어렵다. 그래서, 본 논문에서는 임계치 설정의 명확한 기준은 아니지만 임계치 설정 시에 만족해야 할 기준들을 <표 3>에 제시하였다.

<표 3> 비실시간 트래픽의 임계치 설정 기준

1) $Th_{ABR} > Th_{NRT-VBR}$
2) $Th_{Non-Real-Time} < MCR_{Non-Real-Time}$
3) $0 < Th_{Non-Real-Time1} + \dots + Th_{Non-Real-TimeN} < MCR_{Real-Time1} + \dots + MCR_{Real-TimeM}$
<ul style="list-style-type: none"> • $Th_{Non-Real-Time1} + \dots + Th_{Non-Real-TimeN} = 0$: DWRR 셀 스케줄링 알고리즘 • $Th_{Non-Real-Time1} + \dots + Th_{Non-Real-TimeN} = MCR_{Real-Time1} + \dots + MCR_{Real-TimeM}$: 실시간 트래픽에 우선순위가 주어지는 셀 스케줄링 알고리즘
$Th_{Non-Real-Time}$: 비실시간 트래픽의 임계치
$MCR_{Non-Real-Time}$: 비실시간 트래픽의 MCR
$MCR_{Real-Time}$: 실시간 트래픽의 MCR
Th_{ABR} : ABR 트래픽의 임계치
$Th_{NRT-VBR}$: NRT-VBR 트래픽의 임계치

<표 3>의 1 항목은 ABR 트래픽을 NRT-VBR 트래픽과 동일하게 서비스하면서 ABR 트래픽의 임계치를 NRT-VBR 트래픽의 임계치보다 크게 설정함으로써 NRT-VBR 트래픽에 높은 우선 순위를 제공하기 위한 기준이다. 그리고 <표 3>의 2와 3 항목은 제안한 셀 스케줄링 알고리즘이 우선 트래픽의 MCR까지 서비스를 하고 나서 PCR까지 서비스를 하기 때문에 생겨난 기준이다. 이 기준에 의해서 임계치 설정 시의 상한값이 정해진다. 비실시간 트래픽의 임계치는 비실시간 트래픽의 MCR보다 작게 설정되어야 실시간 트래픽의 우선처리에만 치중된 서비스를 막을 수 있다. 또한, 설정된 임계치만큼 비실시간 트래픽이 서비스되지 못하는 동안 실시간 트래픽은 서비스 받을 수 있는 기회가 제공되지만, 우선 MCR까지 서비스를 받을 수 있으므로 비실시간 트래픽의 임계치는 실시간 트래픽의 MCR보다 크게 설정될 필요는 없다. 만약 비실시간 트래픽들의 임계치 값의 합이 0이라면 제안한 셀 스케줄링 알고리즘은 기존의 DWRR 셀 스케줄링 알고리즘과 동일해지고, 임계치 값의 합이 실시간 트래픽들의 MCR의 합과 동일하다면 제안한 셀 스케줄링 알고리즘은 실시간 트래픽 우선 처리 알고리즘이 될 것이다. 따라서, 비실시간 트래픽들의 임계치 합은 <표 3>의 3 항목을 만족해야 하는 것이다. 그러나, 앞서서도 이야기된 것처럼 최적의 임계치는 트래픽 상황에 따라 달라지므로, <표 3>의 모든 항목 조건에 맞는 임계치 값들 중에서 어느 임계치를 설정해야 하는가에 대한 명확한 기준을 제시하기가 어렵다.

본 논문에서 제안하는 셀 스케줄링 알고리즘은 <표 4>에 기술되어 있다. <표 4>에 정의된 것처럼, 제안한 셀 스

<표 4> 제안한 셀 스케줄링 알고리즘

<변수 정의>

N : 라임 슬롯의 단위로 표현되는 사이클의 크기
s : 트래픽 소스
bp(s) : 트래픽 소스 s의 peak cell rate
bm(s) : 트래픽 소스 s의 mean cell rate (ABR : minimum cell rate)

<상태 정의>

$S_1(States1)$: 트래픽 소스 s의 $P > 0, M < 0$ 인 상태.
→ 다음 라임드에서 셀 전송.
CBR 소스와 ABR 트래픽의 VBR, ABR 트래픽에 해당.
 $S_2(States2)$: 트래픽 소스 s의 $P > 0, M < 0$ 인 상태.
→ State1에 속하는 소스들이 존재하지 않는 경우에 서비스 가능.
MCR 이상 PCR 이하의 VBR, ABR 트래픽에 해당.
 $S_3(States3)$: 트래픽 소스 s의 $P < 0, M < 0$ 인 상태.
→ 할당받은 대역폭을 전부 사용한 경우이거나 그 순간에 셀 도착이 없는 경우. 다음 사이클에서 전송처리를 다시 부여받음.
• VBR → MCR(Mean Cell Rate), ABR → MCR(Minimum Cell Rate)

<알고리즘>

/* The cycle length is N and a set of n sources { s_1, s_2, \dots, s_n } is given */

Step 1: Let $P_i = bp(s_i)$ and $M_i = bm(s_i)$, for all $1 \leq i \leq n$
Step 2: Let $S_0 = \{\text{best-effort sources}\}$, $S_1 = \{s_1, s_2, \dots, s_n\} - S_0$
 $S_2 = S_3 = S_0' = S_{sum} = \phi$
 $S_{sum} = \{\text{State1 상태의 CBR, NRT-VBR 트래픽에 해당하는 sources}\}$
 $S_{sum} = \{\text{NRT-VBR, ABR 트래픽에 해당하는 sources}\}$
Step 3: $i = 0, S_0' = S_1$

```

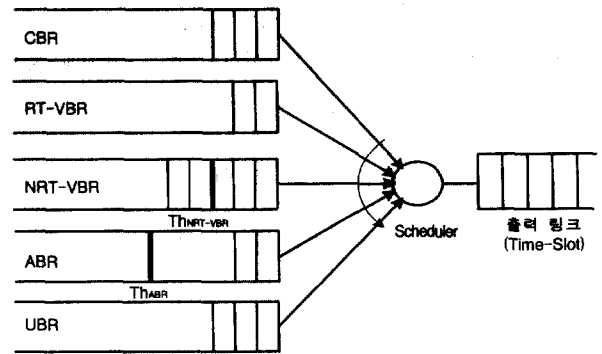
while(1 < N) do{
  if( $S_1 \neq \phi$ )
  {
     $S_1' = S_1$ ;
    while( $S_1' \neq \phi$ ) do{
       $S_{sum}' = S_{sum}$ ;
      while( $S_{sum}' \neq \phi$ ) do{
        select a source  $s_n$  from  $S_{sum}'$ ;
        if( $S_{sum}' == \phi$ )
           $Th_{s_n} = 0$ ;
        else
           $Th_{s_n} = \text{threshold value of } s_n$ ;
        if(( $S_1' \ni s_n$ ) && ( $QL_{s_n} \geq Th_{s_n}$ ))
           $S_1' = S_1' + \{s_n\}$ ;
        if(( $S_1' \ni s_n$ ) && ( $QL_{s_n} < Th_{s_n}$ ))
           $S_1' = S_1' - \{s_n\}$ ;
           $S_{sum}' = S_{sum}' - \{s_n\}$ ;
        }
        select a source  $s_n$  from  $S_1'$ ;
        visit  $s_n$ ;
         $S_1' = S_1' - s_n, i = i + 1$ ;
         $P_n = P_n - 1, M_n = M_n - 1$ ;
        check the new state of  $s_n$ ;
        If the state transits into State 2,
          Then move  $s_n$  from  $S_1'$  to  $S_2$ ;
        If the state transits into State 3,
          Then move  $s_n$  from  $S_1'$  to  $S_3$ ;
        }
        goto round;
      }else if( $S_2 \neq \phi$ ){
         $S_2' = S_2$ ;
        while( $S_2' \neq \phi$ ) do{
           $S_{sum}' = S_{sum}$ ;
          while( $S_{sum}' \neq \phi$ ) do{
            select a source  $s_n$  from  $S_{sum}'$ ;
            if( $S_{sum}' == \phi$ )
               $Th_{s_n} = 0$ ;
            else
               $Th_{s_n} = \text{threshold value of } s_n$ ;
            if(( $S_2' \ni s_n$ ) && ( $QL_{s_n} \geq Th_{s_n}$ ))
               $S_2' = S_2' + \{s_n\}$ ;
            if(( $S_2' \ni s_n$ ) && ( $QL_{s_n} < Th_{s_n}$ ))
               $S_2' = S_2' - \{s_n\}$ ;
               $S_{sum}' = S_{sum}' - \{s_n\}$ ;
            }
            select a source  $s_n$  from  $S_2'$ ;
            visit  $s_n$ ;
             $S_2' = S_2' - s_n, i = i + 1$ ;
             $P_n = P_n - 1$ ;
            check the new state of  $s_n$ ;
            If the state transits into State 3,
              Then move  $s_n$  from  $S_2'$  to  $S_3$ ;
            }
            goto round;
          }else{
            select a best effort source  $s_n$  from  $S_0$ ;
            visit  $s_n$ ;
             $S_0' = S_0' - s_n, i = i + 1$ ;
          }
        }
        round :
        if( $S_0' == \phi$ ), then {  $S_0' = S_0$ ; }
        check the new state of each source in  $S_0$  for the next round;
      }
    }
  }
}

```

케줄링 알고리즘에서는 DWRR 알고리즘에서와 같이 각각의 트래픽들에 대해 부여받은 P, M값에 따라서 State1(P > 0, M > 0), State2(P > 0, M = 0), State3(P = 0, M = 0)인 세 개의 상태를 정의하여 셀 스케줄링에 사용한다. <표 4>에 기술된 알고리즘에서의 S₁, S₂, S₃는 각각 상태정의의 State1, State2, State3에 해당된다. 각각의 트래픽 소스들은 트래픽의 종류와 전송하고자 하는 셀들의 존재 여부에 따라 정의한 상태들 중 하나에 속하게 된다. 각각의 트래픽 소스들은 셀 스케줄링 알고리즘이 수행되는 동안 새로운 셀의 도착 및 큐에 존재하던 셀의 전송에 의해 <표 4>에서 정의한 상태들 사이에서 천이를 일으키게 된다. <표 4>에 기술되어 있는 알고리즘의 흐름은 S₁(State1)에 있는 트래픽 소스들에 대해서 가장 먼저 서비스해주고, S₁(State1)에 존재하는 트래픽 소스들이 없을 경우, S₂(State2)의 트래픽 소스들을 서비스한다. 그리고 S_{1,2}(State1,2)에 존재하는 트래픽 소스들이 없을 경우, 가장 낮은 우선순위를 갖는 S₃(State3)의 트래픽 소스들을 서비스한다. 각각의 State에 속하는 모든 트래픽 소스들을 RR 방식으로 서비스하는 DWRR 알고리즘과는 달리, 제안한 셀 스케줄링 알고리즘은 비실시간 트래픽인 NRT-VBR, ABR 트래픽이 설정한 임계치를 초과했는지의 여부를 판단해서, 임계치를 넘지 않는 경우에는 실시간 트래픽인 CBR, RT-VBR 트래픽만을 RR 방식으로 서비스하고, 임계치를 넘은 경우에는 임계치를 넘은 비실시간 트래픽도 실시간 트래픽과 함께 RR 방식으로 서비스한다. 선택된 트래픽 소스에 전송할 셀이 있어서 셀을 출력 링크로 전송한 후에는, 현재 타임 슬롯에 대한 서비스가 끝났기 때문에 현재 타임 슬롯 인덱스를 하나 증가시킨다. 그리고 서비스를 받은 트래픽 소스의 Peak Cell Rate 카운터 P와 Mean Cell Rate 또는 Minimum Cell Rate 카운터 M의 값을 하나씩 감소시킨다. 그리고 나서, 서비스 받은 트래픽 소스의 다음 상태를 감소된 카운터 P값과 카운터 M값에 근거해서 결정한다. 결정된 다음 상태가 현재 상태와 다른 경우에는 상태천이가 일어나게 된다. 상태천이가 있는 경우에는 트래픽 소스를 현재 State에서 제거하고 다음 상태에 해당하는 State에 포함시킨다.

4. 시뮬레이션 및 결과 분석

본 논문에서 제안하는 셀 스케줄링 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 하기 위한 시뮬레이션 모델은 (그림 7)과 같다. 시뮬레이션 모델링은 UltraSAN을 이용하였으며, 출력 링크의 채널속도는 1.55Mbps로 설정하였다. 트래픽은 다섯 가지로 구성되어 있는데, 본 시뮬레이션에서는 보장해주어야 하는 트래픽 속성을 갖고 있는 CBR, RT-VBR, NRT-VBR, ABR 트래픽에 대해서만 고려하였으며, 보장해주지 않아도 되는 best-effort에 해당하는 UBR 트래픽은 제외하였다.



(그림 7) 시뮬레이션 모델

그리고 각각의 트래픽 모델링은 <표 5>와 같은데, CBR 트래픽은 트래픽 발생이 고정적인 셀 발생 크기와 고정적인 셀간 간격을 가지므로 Deterministic한 발생분포로 모델링하였고, RT-VBR, NRT-VBR, ABR 트래픽은 셀 발생률이 일정하지 않고 그 간격도 일정하지 않아서, 가변적으로 데이터가 발생하고 버스티(bursty)한 특성을 가지므로 ON-OFF 소스로 모델링하였다. <표 5>에서, CBR 트래픽에서의 λ는 셀 발생간격을 나타내고, ON-OFF 소스 모델에서의 λ는 ON 기간의 셀 발생률을 의미한다. 그리고 ON-OFF 소스 모델에서의 ON 기간과 OFF 기간을 각각 E[t_{on}], E[t_{off}]라고 나타내었다.

<표 5> 각 소스의 트래픽 모델

CBR	Deterministic Distribution, λ = 0.013
RT - VBR	ON - OFF, λ = 0.016, E[t _{on}] = 1.25, E[t _{off}] = 0.8
NRT - VBR	ON - OFF, λ = 0.0125, E[t _{on}] = 0.83, E[t _{off}] = 1.25
ABR	ON - OFF, λ = 0.016, E[t _{on}] = 0.5, E[t _{off}] = 0.5

ON-OFF 소스[19]로 모델링된 트래픽은 독립적인 ON과 OFF가 주기적으로 반복된다. ON 상태일 때 셀을 발생시키고 OFF 상태일 때는 아무런 동작을 하지 않는다. ON 구간은 지수분포를 따르는 확률 변수 t_{on}에 의해서 결정되어지고, OFF 구간은 지수 분포를 따르는 확률 변수 t_{off}에 의해서 결정되어지도록 모델링한다. ON 구간에서 발생하는 데이터의 양은 파라미터 λ_v를 갖는 포아송 (Poisson)분포를 따른다. ON-OFF 소스로 모델링된 트래픽에 대한 타임 슬롯의 효율 ρ는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

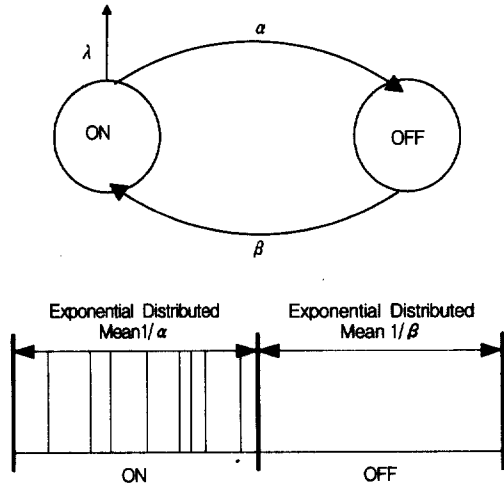
$$\rho = \frac{\lambda_v E[t_{on}]}{E[t_{on}] + E[t_{off}]}$$

그리고, ON-OFF 소스로 모델링된 트래픽에 대한 Peak Cell Rate 카운터 P와 Mean Cell Rate 카운터 M값은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, N은 (그림 3)의 싸이클 길이이다.

$$P = \lambda_v N$$

$$M = \rho N = \frac{\lambda_v N E[t_{on}]}{E[t_{on}] + E[t_{off}]}$$

(그림 8)은 일반적인 ON-OFF 소스 모델을 보이고 있다. 여기서, ON 상태에 있는 시간을 ON 기간 $1/\alpha$ 라고 하여 이 기간 동안에는 파라미터 λ 를 갖는 포아송 분포로 셀이 발생한다. OFF 기간 $1/\beta$ 에서는 셀 발생이 없다.



(그림 8) ON-OFF 소스 모델

본 논문의 성능 평가에서는 우선 ABR 트래픽의 임계치를 MCR의 $\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}$ 정도로 설정한 후, 각 세 경우마다 <표 3>의 모든 항목 조건에 맞는 값으로 NRT-VBR 트래픽의 임계치를 변화시키면서 여러 번 시뮬레이션을 하였다. 그리고 나서, 그 시뮬레이션 결과들 중 가장 최적의 임계치를 제시하고 그 결과를 나타낸 것이다. 그리고 이때 설정된 NRT-VBR, ABR 트래픽의 임계치는 각각 12, 20이다.

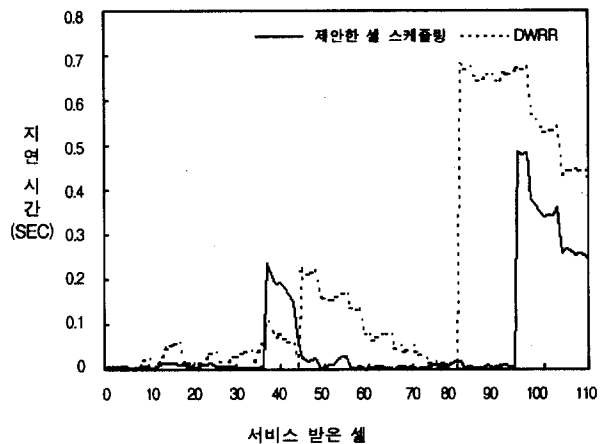
제한한 셀 스케줄링 알고리즘을 (그림 7)의 시뮬레이션 모델로 성능 평가한 결과는 (그림 9), (그림 10), (그림 11), (그림 12), <표 6>, <표 7>, <표 8>, <표 9>와 같다.

<표 6> 각 트래픽의 평균 Queue 길이 비교

트래픽의 종류	셀 스케줄링 방식	제한한 셀 스케줄링	DWRR 셀 스케줄링
CBR의 평균 큐 길이		16.19	18.06
RT-VBR의 평균 큐 길이		8.05	13.49
NRT-VBR의 평균 큐 길이		14.25	7.74
ABR의 평균 큐 길이		20.03	14.32

<표 6>은 NRT-VBR threshold와 ABR threshold를 각각 12, 20으로 설정했을 경우, 각 트래픽별로 기존의 DWRR 알고리즘과 제한한 셀 스케줄링 알고리즘의 평균 Queue 길이를 비교한 것이다. Queue 길이는 각 소스로부터 셀이 버

퍼에 도착해서 출력 링크로 나가기까지의 지연 시간과 관련이 있다. Queue 길이가 짧아지면 짧아질수록 Queue에 머무르는 시간이 작아지기 때문에 지연 시간도 작아진다고 할 수 있다. 따라서, <표 6>에서 보면 알 수 있듯이, 제안한 셀 스케줄링 알고리즘은 실시간 트래픽(CBR, RT-VBR)에 대해서 DWRR 알고리즘에 비해 더 나은 처리 지연 시간을 갖는다고 할 수 있다. 대신에, 상대적으로 비실시간 트래픽(NRT-VBR, ABR)은 기존의 DWRR 알고리즘에 비해 더 긴 Queue 길이를 갖는다. 비실시간 트래픽은 어느 정도의 지연 시간은 수용할 수 있으므로, 셀 손실이 발생되지 않는다면 Queue 길이가 길어진다고 해서 문제될 것은 없다.



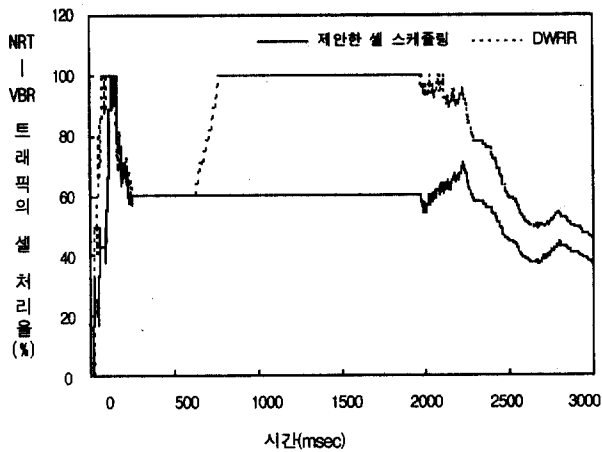
(그림 9) RT-VBR의 서비스 받은 셀에 따른 지연시간

<표 7> RT-VBR 트래픽의 평균 셀 지연 시간 비교

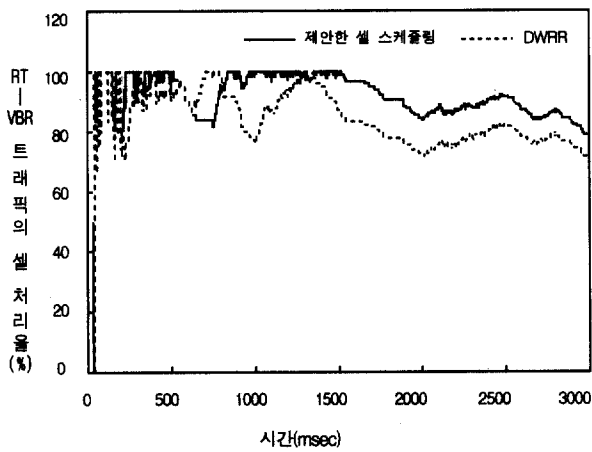
트래픽의 종류	셀 스케줄링 방식	제한한 셀 스케줄링	DWRR 셀 스케줄링
RT-VBR의 평균 셀 지연시간		0.091726s	0.246275s

그리고, (그림 9), <표 7>은 NRT-VBR threshold와 ABR threshold를 각각 12, 20으로 설정했을 경우, 실시간 트래픽 중에서 RT-VBR 트래픽의 서비스 받은 셀에 따른 지연 시간과 평균 셀 지연 시간을 기존의 DWRR 알고리즘과 비교한 결과이다. (그림 9), <표 7>을 보면, 제안한 셀 스케줄링 알고리즘이 실시간 트래픽(RT-VBR)에 있어서 기존의 DWRR 알고리즘보다 작은 지연 시간을 가짐을 알 수 있다. 그런데, 실시간 트래픽 중의 하나인 CBR 트래픽은 실시간 영상이나 음성 트래픽과 같이 고정된 전송 대역폭을 필요로 하는 서비스 분야에 응용되므로, PCR 이상으로 더 빨리 전송될 필요는 없다. 그래서, 본 논문에서는 실시간 트래픽 중에서 RT-VBR 트래픽의 지연 시간만을 기존의 DWRR 알고리즘과 비교하였다.

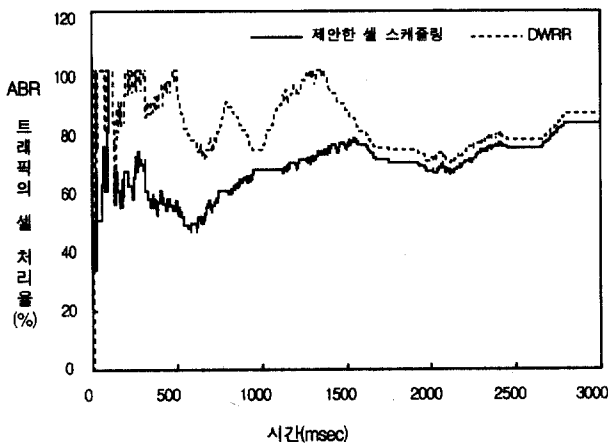
(그림 10), (그림 11), (그림 12)은 NRT-VBR threshold와 ABR threshold를 각각 12, 20으로 설정했을 경우, RT-VBR, NRT-VBR, ABR 트래픽의 시간에 따른 셀 처리율을



(그림 10) RT-VBR 트래픽의 시간에 따른 셀 처리율



(그림 11) NRT-VBR 트래픽의 시간에 따른 셀 처리율



(그림 12) ABR 트래픽의 시간에 따른 셀 처리율

<표 8> 각 트래픽의 평균 셀 처리율 비교

트래픽의 종류	셀 스케줄링 방식 제한한 셀 스케줄링	DWRR 셀 스케줄링
RT-VBR의 평균 셀 처리율	91.34%	83.43%
NRT-VBR의 평균 셀 처리율	56.82%	80.80%
ABR의 평균 셀 처리율	68.28%	82.62%

기존의 DWRR 알고리즘과 비교한 그래프이고, 이 데이터들의 평균을 구해서 각 트래픽의 평균 셀 처리율을 비교한 것이 <표 8>이다. (그림 10), (그림 11), (그림 12), <표 8>을 보면 알 수 있듯이, 제안한 셀 스케줄링 알고리즘에서는 실시간 트래픽인 RT-VBR 트래픽이 임계치를 넘지 않는 비실시간 트래픽보다 먼저 서비스를 받게 되므로, RT-VBR 트래픽의 셀 처리율이 기존의 DWRR 알고리즘보다 높을 수밖에 없다. 그리고, 실시간 트래픽 때문에 서비스 순서에 밀려난 비실시간 트래픽은 상대적으로 셀 처리율이 기존의 DWRR 알고리즘보다는 낮아지게 된다.

<표 9> 각 트래픽의 평균 셀 손실률 비교

트래픽의 종류	셀 스케줄링 방식 제한한 셀 스케줄링	DWRR 셀 스케줄링
RT-VBR의 평균 셀 손실률	0.18%	1.73%
NRT-VBR의 평균 셀 손실률	6.33%	3.95%
ABR의 평균 셀 손실률	2.71%	1.43%

<표 9>는 NRT-VBR threshold와 ABR threshold를 각각 12, 20으로 설정했을 경우, 각 트래픽의 평균 셀 손실률을 기존의 DWRR 알고리즘과 비교한 결과이다. 송신단에서 보낸 트래픽의 양이 임의의 값으로 일정한 경우, 트래픽의 처리량이 많아지면 많아질수록 트래픽의 손실률이 줄어드는 것은 당연하다. 따라서, 평균 셀 손실률은 평균 셀 처리율의 경우와 반대 현상이 나타나게 된다.

본 논문에서 제시한 비실시간 트래픽의 임계치 설정 기준이 명확한 기준은 아니므로, 제시한 기준의 조건을 만족하는 임계치들이 여러개 존재할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 제시한 기준의 조건을 만족하는 임계치 값들 중에서 어떤 임계치를 설정할 것인가에 관한 기준이 없으므로, 임계치를 변화시키면서 시뮬레이션을 여러 번 수행하여 최적의 임계치 값을 도출하였다. 이러한 과정을 통하여 임계치 설정이 중요하다는 것을 알게 되었다. 임계치를 너무 크게 설정한 경우, 실시간 트래픽의 지연 특성을 보장할 수 있으나 비실시간 트래픽은 Queue에 너무 많이 쌓여 오버플로우에 의해 셀이 손실될 수 있다. 반대로, 임계치를 너무 작게 설정한 경우, 비실시간 트래픽의 손실은 방지할 수 있으나 실시간 트래픽의 지연 특성을 제대로 보장할 수 없다. 따라서, 실시간 트래픽의 지연 특성도 보장하면서 비실시간 트래픽의 셀 손실을 방지할 수 있는 최적의 임계치를 선택하는 것은 중요하며, 이러한 최적의 임계치 값은 트래픽 상황에 따라 변화할 수 있다. 최적의 임계치 값을 구하는 것은 추후의 연구 과제로 진행하고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 DWRR 알고리즘이 고려하지 못한 실시간성 트래픽의 지연 특성을 보장하고, ABR 트래픽의

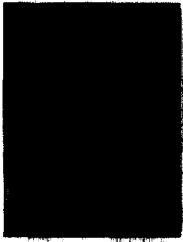
서비스에 대한 미비점을 보완하는 셀 스케줄링 알고리즘을 제안하고, 그 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 평가하였다. 제안한 셀 스케줄링 알고리즘은 기존의 DWRR 알고리즘을 개선한 것으로, 지연 우선순위 기반의 셀 전송방식을 추가하여 실시간 트래픽의 지연 특성을 보장하면서, 그로 인한 비실시간 트래픽의 셀 손실을 막기 위해 비실시간 트래픽에 임계치를 설정하였다. 제안한 스케줄링 알고리즘은 지연 우선순위 기반의 셀 전송방식이 추가되어 기존의 DWRR 알고리즘에 비하여 복잡도가 다소 증가되나, 실시간 트래픽의 지연을 최소화하고 버퍼 크기를 감소시켰으며, CBR, VBR 트래픽 뿐만 아니라 대역폭에 유연성을 지니는 ABR 트래픽의 서비스를 효과적으로 지원하였다.

시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘이 실시간 트래픽 (CBR, RT-VBR)에 대해서 기존의 DWRR 알고리즘에 비해 더 나은 처리 지연 시간을 가짐을 알 수 있었다. 그리고, 실시간 트래픽의 처리율이 기존의 DWRR 알고리즘보다 더 높게 나타나고, 비실시간 트래픽의 처리율이 상대적으로 낮게 나타남을 알 수 있었다. 또한 DWRR 알고리즘이 싸이클의 크기를 정함에 있어서, VBR과 CBR 트래픽만을 고려하였기에 발생하는 ABR 트래픽 서비스의 비신뢰성을, 전체 대역폭을 고려한 싸이클 크기를 사용함으로써 개선하였다. 이를 통하여 손실에 민감하여 스위치 내에 많은 양의 버퍼를 필요로 하는 ABR 트래픽이 과다한 CBR, VBR 트래픽으로 인하여 우선 순위에서 밀려나기 때문에 서비스되지 못하는 상황을 억제하여 신뢰성 있는 서비스를 보장하도록 하였다. 본 논문에서는 제시한 기준의 조건을 만족하는 임계치 값들 중에서 어떤 임계치를 설정할 것인가에 관한 기준이 없으므로, 임계치를 변화시키면서 시뮬레이션을 여러 번 수행하여 최적의 임계치 값을 도출하였다. 이러한 최적의 임계치 값은 트래픽 상황에 따라 변화할 수 있으므로, 실시간 트래픽의 지연 특성을 보장하면서 비실시간 트래픽의 셀 손실도 방지할 수 있는 최적의 임계치를 선택하는 것은 중요하다. 최적의 임계치 값을 구하는 것은 추후의 연구과제로 진행하고 있다.

참 고 문 헌

[1] H. Armbruster and K. Wimmer, "Broadband Multimedia Applications Using ATM Networks : High-Performance Computing, High-Capacity Storage, and High-Speed Communication," IEEE JSAC, Vol.10, No.9, pp.1382-1396, Dec. 1992.
 [2] D. E. McDysan and D. L. Spohn, ATM : Theory and Application, McGraw-Hill, 1995.
 [3] J. J. Bae and T. Suda, "Survey of Traffic Control Protocol in ATM Networks," IEEE GLOBECOM '90, pp.1-6, 1990.
 [4] D. Hong and T. Suda, "Congestion Control and Prevention in ATM Networks," IEEE Network Magazine, pp.10-16, Jul. 1991.

[5] K. Rothermel, "Priority Mechanisms in ATM Networks," IEEE GLOBECOM'90, pp.847-851, 1990.
 [6] Jorg Liebeherr, Dallas E. Wrege, "Priority Queue Schedulers with Approximate Sorting in Output-Buffered Switches," IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol.17, No.6, JUNE, 1999.
 [7] JEN M. HAH and MARIA C. YUANG, "A Delay and Loss Versatile Scheduling Discipline in ATM Switches," Computers Math. Applic. Vol.35, No.5, pp.93-106, 1998.
 [8] Ting li Ling and Ness Shroff, "Scheduling Real-Time Traffic in ATM Networks," Proceedings of INFOCOM '96, Sanfrancisco, USA, pp.2b.4.1-2b.4.8, Aug. 1996.
 [9] J. M. Hyman, A. A. Lazar, and G. Pacifici, "Real Time Scheduling with Quality of Service Constraints," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.9, pp.1052-1063, September. 1991.
 [10] M. Katevenis, S. Sidiropoulos, and C. Courcoubetis, "Weighted Round-Robin Cell Multiplexing in a General Purpose ATM Switch Chip," IEEE Journal on Selected Area in Communications, Vol.9, No.8, Oct. 1991.
 [11] Y. T. Wang, T. P. Lin and K. C. Gan, "An Improved Scheduling Algorithm for Weighted Round-Robin Cell Multiplexing in an ATM Switch," Proceedings of IEEE ICC94, New Orleans, Louisiana, USA, pp.1032-1037, May. 1994.
 [12] Hideyuki SHIMONISHI and Hiroshi SUZUKI, "Performance Analysis of Weighted Round Robin Cell Scheduling and Its Improvement in ATM Networks," IEICE TRANS. COMMUN. Vol.E81-B, No.5, MAY 1998.
 [13] Hiedetoshi YOKOTA, Mattias FORSBERG and Tohru ASAMI, "A New Frame-Based Packet Scheduling for Variable-Length Packet Switched Networks Architecture and Performance Analysis," IEICE TRANS. INF. & SYST., Vol.E82-D, No.4, APRIL, 1999.
 [14] C. S. Wu, Gin-Kou Ma and Bao Shuh P. Lin, "A Cell Scheduling Algorithm for VBR Traffic in an ATM Multiplexer," Proceedings of IEEE Globecom95, Singapore, pp.632-637, November. 1995.
 [15] Taek-Geun Kwon, Sook-Hyang Lee, and June-Kyung Rho, "Scheduling Algorithm for Real-Time Burst Traffic using Dynamic Weighted Round Robin," IEEE, 1998.
 [16] S. Muddu, F. M. Chiussi, C. Tryfonas, V. P. kumar, "Max-Min Rate Control Algorithm for Available Bit Rate Service in ATM Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Communications, ICC 96, Dallas, Texas, Vol.1, pp.412-418, Jun. 1996.
 [17] N. Ghani, J. W. Mark, "Dynamic Rate Based Control Algorithm for ABR Service in ATM Networks," Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference, Westminster, London, Vol.2, pp.1074-1079, Nov. 1996.
 [18] ATM Forum, "Traffic Management Specification Version 4.0," at-tm-0056.000, April. 1996.
 [19] K. Sohrawy, "Flow and Admission Control of ON-OFF Sources in High Speed Networks," IEEE Globecom '94 Tutorial 7 : ATM Architecture and Performance, Chapter 7.



곽 지 영

e-mail : jiyong@etri.re.kr

1999년 전남대학교 컴퓨터공학과 졸업
(학사)

2001년 전남대학교 일반대학원 컴퓨터
공학과 졸업(공학석사)

현재 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트
웨어기술연구소 정보가전연구부
모바일협동작업연구팀

관심분야 : Traffic Control, Scheduling, Performance Evaluation,
VoIP, SIP



남 지 승

e-mail : jsnam@chonnam.chonnam.ac.kr

1981년 인하대학교 전자공학과(공학사)

1985년 University of Alabama, Electrical
Engineering(공학석사)

1992년 University of Arizona, Electrical
& Computer Engineering
(공학박사)

1992년~1995년 한국전자통신연구소 선임연구원

1995년~현재 전남대학교 컴퓨터공학부 부교수

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 실시간 시스템, 병원정보 시스템