

# MCR+Equal Share 공평성을 만족하는 개선된 WRR 스케줄링 알고리즘

정희원 정경택\*

## Modified WRR Scheduling Algorithm for MCR+Equal Share Fairness Criterion

Kyung-Taek Chung\* *Regular Member*

요 약

WRR 기법은 ATM과 같은 계산의 단순성과 저 비용 구현의 장점을 가지고 있어 고속 패킷 스위칭 네트워크에서 셀 스케줄링 기법으로 널리 쓰인다. 그러나, WRR 기법은 버스티한 트래픽에 대해서 낮은 효율성의 문제점이 있다. 또한, WRR 기법은 입력 트래픽을 일정 비율로 스케줄링하기 때문에 ABR 서비스 클래스의 공평성 기준을 만족시킬 수 없다. 따라서 ABR VC들의 서비스를 위한 공평성 기준을 만족시키는 스케줄링 기법이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 ABR 서비스 클래스를 위한 공평성 기준들 중 MCR plus equal share를 만족시키는 스케줄링 기법을 제안한다. 제안된 알고리즘이 공평성 기준을 만족시키고, 네트워크 자원을 각 ABR VC들에게 공평하게 할당해 주는지를 시뮬레이션을 통하여 비교, 분석한다.

ABSTRACT

The fairness is the important factor for ABR. That is, a scheduling scheme allocates network resource fairly to each VC. The five fairness criteria for ABR service were defined by ATM Forum TM 4.0 specification.

A WRR scheduling scheme is widely used in ATM networks due to its simplicity and low cost of hardware implementation. It guarantees minimum cell rate according to the weight of each queue. However, it shows worse performance on bursty traffic. Because WRR scheme schedules input traffics according to predetermined weight, it cannot satisfies a fairness criterion, MCR plus equal share, for ABR service on ATM Forum TM 4.0 specification.

In this paper, we propose a scheduling scheme for satisfying the fairness criterion, which is MCR plus equal share. Throughout computer simulation, WRR and proposed scheduling schemes are compared with respect to fairness index and discrimination index. According to the simulation results, the proposed scheme shows higher fairness than WRR.

### I. 서론

ATM(Asynchronous Transfer Mode) Forum에서 현존하는 다양한 통신 서비스들을 전송율(Bit rate)과 QoS(Quality of Services)의 요구에 따라 CBR(Constant Bit Rate), rt-VBR(real time Variable

Bit Rate), nrt-VBR(non-real time Variable Bit Rate), UBR(Unspecified Bit Rate), ABR(Available Bit Rate)등과 같이 5가지 서비스 클래스로 나누어 정의하였다. 모든 서비스 클래스는 동일한 물리 링크를 공유하는데 CBR과 VBR의 서비스 클래스는 보장된 셀 전송율과 대역을 사용하여 전송을 하고,

\* 군산대학교 전자정보공학부 부교수(eoe604@kunsan.ac.kr)

논문번호 : 00375-0927, 접수일자 : 2000년 9월 27일

※ 본 논문은 2000년도 두뇌한국 21사업에 의하여 일부 지원되었음

UBR 서비스 클래스는 어떠한 대역이나 셀 전송을 보장받지 못하며 빈번한 셀 손실로 인한 사용자 터미널간의 재전송 기능이 가능한 애플리케이션에 유용한 서비스이다. ABR 서비스 클래스는 CBR과 VBR 서비스 클래스가 사용하고 남은 대역폭을 사용하며, 전송 지연 시간에 대해서는 민감하지 않으나 매우 적은 셀 손실률을 요하는 애플리케이션간에 귀환 흐름 제어기법을 사용하여 전송 대역을 공평하고 효율적으로 분배하고자 하는 서비스 클래스이다. 지연에 대한 엄격한 제한이 요구되지 않는 데이터 서비스의 경우 ABR 트래픽을 사용하는 것이 바람직하다. ATM이 지향하는 목표인 다양한 서비스 요구 조건과 특성을 갖는 사용자 트래픽을 수용하고 ABR 트래픽과 같은 버스티(bursty)하고 예측 불가능한 자원의 효율적인 사용을 위해서 집중적으로 연구되고 있는 분야가 트래픽 흐름 제어(traffic flow control) 및 폭주 제어(congestion control)이다. CBR, VBR 트래픽이 사용하고 남은 여분 대역을 사용하는 ABR 트래픽에 많은 관심을 가지고 있으며 ATM Forum을 중심으로 ABR 흐름 제어에 활발한 연구가 진행되고 있다. ABR 흐름 제어의 중요한 요구조건은 ABR 버퍼의 안정도, 높은 수율, 낮은 셀 손실률, 대역 이용의 공평성, 신속한 응답 특성, 변동하는 망 환경에의 적응성, 알고리즘 구현의 용이성 등이 있다.

트래픽 흐름 제어와 더불어 스위치의 출력에서 각 VC(Virtual Connection)에게 공평한 대역을 할당하기 위한 트래픽 스케줄링 알고리즘이 필수적이다. 트래픽 스케줄링 기법은 지연, 구현 복잡도, 대역할당의 공평성 등이 고려되어 설계된다. 특히, ABR 서비스 클래스를 제공하는 시스템에 사용하기 위한 스케줄링 기법에서 중요한 부분은 공평성 측면이다. 즉, 각 VC들에게 사용 가능한 대역을 공평하게 할당해줘야 한다<sup>1-3)</sup>.

ATM Forum TM 4.0 규정에서 ABR 서비스 클래스를 위한 5가지의 공평성 기준이 정의되었는데, 각 공평성 기준을 만족하는 스케줄링 기법이 요구된다. per-VC 큐잉을 사용하는 스케줄링 기법 중에서 성능을 보장하는 간단한 스케줄링 기법이 WRR (Weighted Round Robin) 기법이다<sup>4-7)</sup>. WRR 기법은 ATM과 같은 계산의 단순성과 저 비용 구현의 장점을 가지고 있어 고속 패킷 스위칭 네트워크에서 셀 스케줄링 기법으로 널리 쓰인다. 이 기법은 특정 큐의 서버에 대한 접근 시간의 양을 제어함으로써 대역을 할당한다. WRR 기법은 각 큐에

weight를 할당하여 할당된 weight에 따라 최소 대역을 보장한다. 따라서, 지연에 민감하지 않고 larger delay bounds에 포함되는 ABR 서비스 클래스에 WRR 기법을 응용한 알고리즘을 사용하면 계산의 단순성과 적은 구현 비용으로 ABR VC들에게 공평한 대역을 할당할 수 있다<sup>8,9)</sup>.

그러나, WRR 기법은 버스티한 트래픽에 대해서 낮은 효율성의 문제점이 있다. 또한, WRR 기법은 입력 트래픽을 일정 비율로 스케줄링하기 때문에 ABR 서비스 클래스의 공평성 기준을 만족시킬 수 없다. 예를 들어, 네 개의 ABR VC가 있고, 모든 VC에 할당할 수 있는 전체 사용 가능한 대역이 150Mbps라고 가정하자. 각 ABR VC1, VC2, VC3, VC4의 MCR(Minimum Cell Rate)이 50M, 30M, 20M, 10Mbps이고, 모든 VC들이 전송할 셀이 항상 큐에 존재한다고 가정하면, MCR plus equal share 공평성 기준에 근거하여 각 VC의 공평한 대역 할당은 60M, 40M, 30M, 20Mbps이다. 따라서, 각 VC들의 weight는 각각 6, 4, 3, 2이고, 위의 공평성 기준은 만족된다.

그러나, 버스트 특성 때문에 만약에 VC1의 큐에 전송할 셀이 일시적으로 전혀 없다고 가정하면, 위의 공평성 기준에 근거하여 VC2, VC3, VC4의 공평한 대역할당은 각각 60M, 50M, 40Mbps이 되어야 하지만 WRR 스케줄링 기법에 의한 VC2, VC3, VC4의 대역할당은 각각 66.7M, 50M, 33.3Mbps이 되기 때문에 WRR 스케줄링 기법은 위의 공평성 기준을 만족시키지 못한다.

따라서 본 논문에서는 위와 같은 ABR 서비스 클래스를 위한 공평성 기준을 만족하는 새로운 스케줄링 기법을 제안하고 제안된 알고리즘이 네트워크 자원을 각 ABR VC들에게 공평하게 할당해 주는지를 시뮬레이션을 통하여 분석한다. 본 논문의 2장에서는 WRR 스케줄링 기법에 대하여 알아보고, 3장에서는 제안된 스케줄링 기법에 대하여 상세하고 4장에서는 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 및 결과에 대해서 분석한다. 그리고 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. WRR 스케줄링 기법

WRR 기법은 ATM과 같은 고속 패킷 스위칭 네트워크에서 계산의 단순성과 저비용 구현의 장점을 가지고 있어 셀 스케줄링 기법으로 널리 쓰인다. 이 기법은 특정 큐의 서버에 대한 접근 시간의 양을

제어함으로서 대역을 할당한다. 또한, WRR은 각 큐에 대역을 보장해 주기 때문에 스케줄링 기법으로 많이 사용되었다. WRR은 각 큐에 weight를 할당하여 weight에 따라 최소 대역을 보장한다. 따라서, 지연에 민감하지 않은 ABR 서비스 클래스에 WRR을 응용한 알고리즘을 사용하면 계산의 단순성과 적은 구현 비용으로 ABR VC들에게 공평한 대역을 할당할 수 있다. WRR 기법은 RR(Round Robin) 스케줄링 알고리즘의 확장된 기법이다. 각 접속(connection)의 큐는 자신이 보낼 수 있는 패킷의 수를 계산할 수 있는 카운터를 가지고 있다. 이 카운터의 값은 각 접속에 할당된 weight 값으로 초기에는 동등하게 된다. 각 접속의 셀들은 '0'보다 큰 카운터 값을 가지고 있는 접속의 큐의 헤더부터 한 사이클 안에 보내어진다. 패킷을 보낸 후 접속의 카운터 값은 1이 감소된다. 모든 접속의 카운터 값 또는 큐의 길이가 '0'에 도달하게 되면 모든 카운터 값이 원래의 weight 값으로 복구된다<sup>5,6)</sup>.

그림 2.1은 WRR 기법을 나타내는데, 각각의 큐 1, 2, 3에 할당된 weight 값은 2, 1, 3이다. 그림 2.1에서 '0' 이상의 카운터 값을 가지고 있는 큐의 셀들은 순환적으로 보내어지고 여섯 개의 패킷을 보내고 카운터는 복구된다. 그래서 각각의 큐에 대해서 2/6, 1/6, 3/6 의 최소대역이 할당된다.

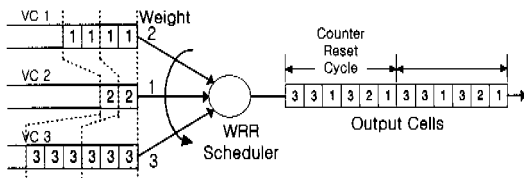


그림 2.1 WRR 기법의 구조

그러나, WRR 기법은 버스티한 트래픽에 대해서 낮은 효율성의 문제점이 있다. 또한 WRR 기법은 입력 트래픽을 일정율로 스케줄링하기 때문에 ABR 서비스 클래스의 공평성 기준을 만족시킬 수 없다. 따라서 ABR VC들의 서비스를 위한 공평성 기준을 만족시키는 스케줄링 기법이 필요하다.

### III. 제한된 스케줄링 기법

#### 1. 공평성 기준(MCR plus Equal Share)

네트워크의 주어진 링크에서 대역을 위해 경쟁하는 VC들은 두 개의 그룹으로 분리된다. 첫 번째 그

룹은 현재의 자신의 링크에서 병목(bottleneck)된 VC들이고, 두 번째 그룹은 다른 링크에서 병목된 VC들이다. 현재의 링크에서 병목된 VC들이란 할당받은 대역이 주어진 링크에서만 병목되는 VC를 말하고, 다른 링크에서 병목된 VC들이란 할당받은 대역이 현재의 링크 이외의 다른 링크에서 병목되는 VC를 말한다. 그림 3.1과 같이 150Mbps의 링크로 연결된 세 개의 스위치를 가진 네트워크를 가정하자. 이때 소스(S)들의 weight를 고려하지 않는다면, 소스 S1, S2, S3는 첫 번째 링크 L1을 공유하고 소스 S3, S4는 두 번째 링크 L2를 공유한다. 먼저 링크 대역을 경쟁하는 소스들에게 공평하게 분배한다. 링크 L1에서는 세 개의 경쟁 소스(S1,S2,S3)들에게 각각 50Mbps를 할당할 수 있고, 링크 L2에서는 두 개의 경쟁 소스(S3,S4)들에게 각각 75Mbps를 할당할 수 있다. 그러나, 소스 S3에게 링크 L2에서 75Mbps를 할당할 수 없다. 왜냐하면 링크 L1에서 50Mbps로 대역이 한정(bottleneck)되었기 때문이다. 그러므로 소스 S3에게 50Mbps를 할당하고, 소스 S4에는 링크 L2의 나머지 대역 100Mbps를 할당한다.

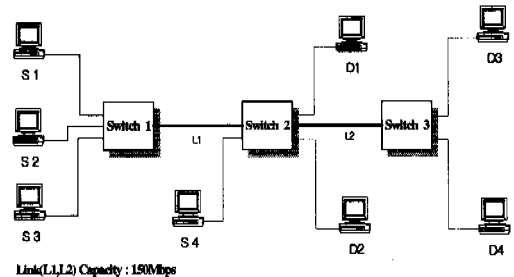


그림 3.1 3개의 노드로 구성된 모델

ABR 소스의 공평성 기준을 명확히 하기 위해 다음과 같은 파라미터들을 정의한다.

- A : 현재의 링크에서 모든 ABR VC가 사용할 가능한 전체 대역
- U : 다른 링크에서 병목된 ABR VC들의 대역의 합(PCRR(Peak Cell Rate)에 의해 제약받는 VC들도 포함)
- B : ( $= A - U$ ), 현재의 링크에서 ABR VC들에 의해 공유되는 대역
- N : active ABR VC의 총 수
- N' : 다른 링크에서 병목된 active ABR VC의 수
- n : ( $= N - N'$ ), 현재의 링크에서 active ABR VC의 수

$M$  :  $n$ 개의 active ABR VC들의 MCR의 합  
 $B(i)$  : ABR VC(i)의 공평한 할당 대역  
 $MCR(i)$  : ABR VC(i)의 MCR

1) MCR plus equal share

하나의 ABR VC에 대한 공평 대역할당은 자신의 MCR과 병목된 ABR VC들의 대역을 제외한 현재 링크의 사용 가능 대역을 현재 링크의 active VC의 개수로 나눈 동등한 대역 값을 합한 값이다.

$$B(i) = MCR(i) + (B - M)/n \quad (3.1)$$

모든 MCR 값들이 0에 가까워지면 이 조건은 Max-Min 공평성 기준으로 수렴된다. 이 조건을 만족시키기 위하여 스위치는 공평 대역 값을 계산하는데 ACR(Allowed Cell Rate) - MCR을 사용한다.

2. 공평성 기준을 만족하는 제안된 스케줄링 기법  
 공평성 기준은 식 3.1과 같이 표현된다. 즉,

$$B(i) = MCR(i) + (B - M)/n$$

이다. 예를 들어, 네 개의 ABR VC가 있고, 모든 ABR VC에게 할당될 수 있는 전체 사용 가능한 대역이 150Mbps라고 가정한다. VC1, VC2, VC3, VC4의 MCR이 각각 50M, 30M, 20M, 10Mbps이고, 모든 VC들의 큐에 항상 전송할 셀이 있다고 가정하면, MCR plus equal share의 공평성 기준에 따라 각 VC의 공평한 대역 할당은 60M, 40M, 30M, 20Mbps이다. 따라서, VC들의 weight는 각각 6, 4, 3, 2이고, 위의 공평성 기준은 만족된다.

그러나, 만약에 VC1의 큐에 전송할 셀이 일시적으로 전혀 없다고 가정하면, 위의 공평성 기준에 근거하여 VC2, VC3, VC4의 공평한 대역할당은 각각 60M, 50M, 40Mbps이다. 그러나, WRR 스케줄링 기법에 의한 VC2, VC3, VC4의 대역할당은 각각 66.7M, 50M, 33.3Mbps이다. 따라서 WRR 스케줄링 기법은 위의 공평성 기준을 만족시키지 못한다. 그러므로, 위의 공평성 기준을 만족하는 새로운 스케줄링 기법이 요구된다.

제안된 스케줄링 기법에서 사용되는 파라미터는 다음과 같다.

- $w(i)$  : 각 ABR VC(i)의 weight
- $w_{mcr}(i)$  : MCR에 대한 각 ABR VC(i)의 weight up 값
- $w_{eq}(i)$  : equal share에 대한 각 ABR VC(i)의

weight up 값

- $q(i)$  : 각 ABR VC(i)의 queue size
- $Q(i)$  : 각 ABR VC(i)에 할당된 Queue
- $t(i)$  : 각 ABR VC(i)의 셀 도착 시간
- $mcr(i)$  : 각 ABR VC(i)의 MCR
- $eq(i)$  : 각 ABR VC(i)의 equal share
- $t_{mcr}(i)$  : MCR에 대한 각 ABR VC(i)의 마지막 weight 갱신 시간
- $t_{eq}(i)$  : equal share에 대한 각 ABR VC(i)의 마지막 weight 갱신 시간
- $w_{lim}(i)$  : 각 ABR VC(i)의 weight 상한 값
- $count(i)$  : weight가 '0'보다 큰 모든 ABR VC들의 큐에 셀이 존재하지 않을 때 weight가 '0'인 다른 VC의 셀이 전송된다. 그때 서비스된 ABR VC의 count(i)를 '1' 증가시킨다.
- $count_{lim}(i)$  : 각 ABR VC의 count 상한 값

ABR VC에 대한 셀 스케줄링은 다음의 4단계로 구성이 된다.

1) 초기 단계

모든 값들을 초기화시킨다. 스위치에서 equal share의 값을 계산하여 스케줄링 서버에 알려준다. 서버는 이 equal share 값을 사용하여 weight를 갱신한다.

2) 셀 도착 단계

각 VC의 셀이 도착했을 때 셀 도착 시간을 저장하고 셀이 입력될 버퍼가 남아 있다면 셀을 각 VC의 큐에 입력시킨다.

3) 셀 스케줄링 단계

$w(i)$ 값이 0보다 큰 VC들 중 하나를 선택하여 셀을 전송한다. 이때 셀 선택 정책은 가장 큰 weight를 가진 VC를 선택하여 큐에 셀이 있는지 검색한 후 셀이 있으면 그 VC의 셀을 전송하고 만약에 셀이 없으면 다음의 weight 값을 가진 VC를 선택하여 셀이 있는지 검색한다. 이와 같은 순서로 계속해서 weight 값이 '0'보다 크고 셀이 있는 큐를 검색하여 큐에 셀이 있는 VC의 셀을 전송한다. 만약에 weight가 '0'보다 큰 VC의 큐에 셀이 없거나 모든 VC의 weight가 '0'일 때에는 RR방식으로 하나의 VC의 큐를 선택하여 셀을 전송한다.

4) weight 갱신 단계

각 VC의 셀 도착시간,  $t(i)$ ,와 MCR에 대한 마지막 weight 갱신 시간,  $t_{mcr}(i)$ ,와의 차이가  $1/mcr(i)$ 보다 크다면 weight는 현재의 weight,  $w(i)$ ,를  $w_{mcr}(i) = \lceil (t(i) - t_{mcr}(i)) / (1/mcr(i)) \rceil$ 만큼 증가시킨다.  $w(i) \geq w_{lim}$ 이면  $w(i)$ 값을  $w_{lim}$ 값으로 갱신하고,  $t_{mcr}(i)$ 를 새로운 값  $t_{mcr}(i) = t(i) + \{1/mcr(i)\}$ 로 갱신한다.  $w(i) < w_{lim}$ 이면,  $t_{mcr}(i) = t_{mcr}(i) + \{w_{mcr}(i)/mcr(i)\}$ 로 갱신한다. 또한,

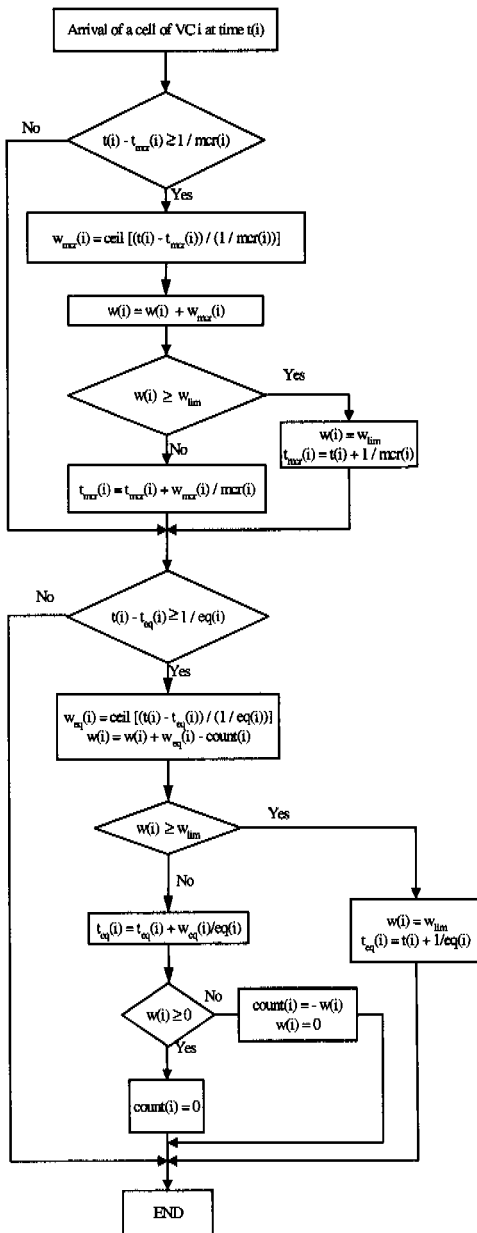


그림 3.2 제안된 스케줄링 기법의 흐름도

셀 도착 시간,  $t(i)$ ,와 equal share에 대한 weight 갱신 시간,  $t_{eq}(i)$ ,와의 차이가  $1/eq(i)$  시간보다 크면  $w(i)$ 는  $w_{eq}(i) = \lceil (t(i) - t_{eq}(i)) / (1/eq(i)) \rceil$ 만큼 증가시킨 후  $count(i)$ 값을 뺀다.  $w(i)$  값을  $w_{lim}$ 과 비교하여  $w(i) \geq w_{lim}$ 이면  $w(i)$ 값을  $w_{lim}$ 값으로 갱신하고,  $t_{eq}(i)$ 를 새로운 값,  $t_{eq}(i) = t(i) + \{1/eq(i)\}$ 로 갱신한다.  $w(i) < w_{lim}$ 이면  $t_{eq}(i) = t_{eq}(i) + \{w_{eq}(i)/eq(i)\}$ 로 갱신한다.

즉, 제안된 스케줄링 기법은 각 VC의 셀들을 최소한 MCR로 서비스하고, equal share도 보장을 해주기 때문에 공정성 기준을 만족한다. 그림 3.2는 공정성 기준을 만족하는 스케줄링 기법의 흐름도이다.

#### IV. 시뮬레이션 및 결과

##### 1. 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안된 알고리즘의 시뮬레이션을 위하여 그림 4.1과 같이 5개의 소스와 5개의 목적지를 갖는 단순한 네트워크 모델을 구성한다. 성능 측정을 위하여 스위치는 non-블로킹 특성을 가지며 스위치의 출력포트에 per-VC 버퍼를 사용한다. 그리고 ABR 서비스를 위하여 버퍼 용량은 무한대로 설정하고, 링크의 용량은 150Mbps로 가정한다. 그리고, 소스들은 하나의 경로로만 전송되는 버스트 소스로 가정한다. 버스트 소스는 전송 블록들 사이의 평균값이  $T_{off}$ 를 가지는 negative exponential distribution 특성을 가진다. 각 블록은 8kbytes로 고정되고 각 VC의 MCR은 50, 30, 10, 5, 5Mbps이다. 제안된 스케줄링 기법의 공평한 대역할당 여부를 공정성 기준에 준하여 공정성 지표를 계산하여 성능을 평가한다.

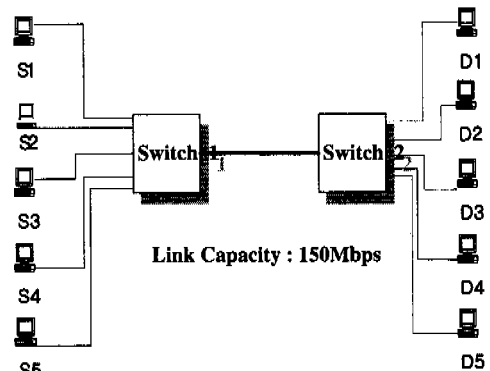


그림 4.1 시뮬레이션을 위한 네트워크 모델

2. 공평성 지표

스위치에 접속 설정된 각 VC에 대하여, 공평성 기준에 따라, 전체 대역에 대한 이상적인 대역 할당 값을 결정할 수 있고, 일정 시간 동안의 시뮬레이션에 의한 각 VC의 측정된 대역 사용량을 얻을 수 있다. 따라서, 주어진 공평성 기준에 대하여, WRR 기법과 제안된 스케줄링 기법의 전체 대역에 대한 이상적인 대역 할당 값과 시뮬레이션에 의하여 측정된 대역 사용량으로부터 공평성 지표를 구할 수 있다.

n개의 VC의 전체 대역에 대한 이상적인 대역 할당 값을  $\{\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n\}$ 로 표시하고, 시뮬레이션에 의한 측정된 대역 사용량을  $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n\}$ 로 표시한다면, 각 VC를 위한 정규화된 할당 값은  $x_i = \frac{\bar{x}_i}{\hat{x}_i}$ 로 계산할 수 있고, 공평성 지표(Fairness index)  $F(i)$ 는 다음의 식(4.1)과 같다.

$$F(i) = \frac{(\sum x_i)^2}{(n \times \sum x_i^2)} \quad (0 \leq F(i) \leq 1) \quad (4.1)$$

각 VC에 대한 할당 값,  $x_i$ 는 보통 시간에 따라 변하기 때문에 공평성 지표는 시간의 함수로서 나타난다. 따라서, 일정 간격 동안의 처리율을 사용하여 전체 공평성 지표를 계산할 수 있다. 공평성 지표는 0과 1 사이의 값으로서 불공평 지표(discrimination index)  $D(i)$ 를 식(4.2)와 같이 구할 수 있다.

$$D(i) = 1 - F(i) = 1 - \frac{(\sum x_i)^2}{(n \times \sum x_i^2)} \quad (4.2)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 제안된 스케줄링 기법의 성능 측정을 위해 여러 가지 상황을 고려하여 WRR 기법과 비교 분석하였다. 특히, ABR 트래픽에서 요구되는 스케줄링 기법의 기준으로서 공평성 지표와 불공평 지표를 이용하여 제안된 스케줄링 기법의 성능을 측정, 분석하였다.

1) VC의 셀 도착율 < 1 인 경우

시뮬레이션 파라미터는 공평성 기준에 대하여 VC1의 셀 평균 도착율이 일정 기간동안 MCR plus equal share보다 작을 때의 상황을 고려하여 성능을 측정하였다. VC1의 OnRate는 150Mbps로 설정하

였고 VC2에서 VC5까지는 OnRate를 100Mbps로 설정하였다. 스위치에서 각 VC의 평균 셀 도착율은 식(4.3)과 같이 구할 수 있다.

$$Mean \ Cell \ rate = OnRate \times MRate \quad (4.3)$$

예를 들어, OnRate가 150Mbps이고 MRate가 0.4라면 평균 셀 도착율은 150Mbps × 0.4 = 60 Mbps가 된다. 표 4.1에서 각 단계는 4 msec마다의 각 VC의 셀 도착율을 나타낸다.

표 4.1 각 VC의 셀 도착율(VC1<1)

스케	MRate	MRate	MRate	MRate	MRate
VC1	0.4	0.4	0.35	0.4	0.4
VC2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
VC3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
VC4	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
VC5	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

그림 4.2는 VC1에 대한 두 가지 스케줄링 기법의 셀 서비스율을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 VC1이 4 msec동안 MCR로 스위치에 도착한 후에 공평성 기준에 다시 수렴하는 시간을 비교해 보면 제안된 스케줄링 기법이 WRR 기법의 수렴시간과 비슷하지만 WRR 기법은 VC1의 공평성 기준인 60Mbps 이상으로 수렴함을 알 수가 있다. 따라서, WRR 기법은 ABR 트래픽의 대역 할당을 위한 공평성 기준을 만족시키지 못한다는 것을 알 수 있고, 반면에 제안된 기법은 공평성 기준을 만족시키는 것을 알 수 있다.

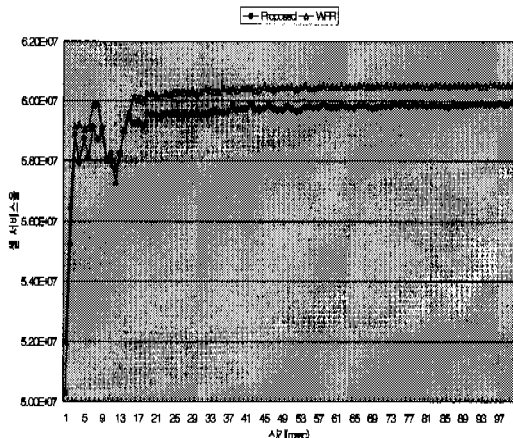


그림 4.2 각 스케줄링 기법의 셀 서비스율(VC1, VC1<1)

표 4.2는 제안된 스케줄링 기법과 WRR 기법의 공평성 및 불공평 지표 값을 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 제안된 기법의 불공평 지표 값은  $4.8 \times 10^{-6}$ , WRR의 불공평 지표 값은  $1.02 \times 10^{-3}$ 으로서 제안된 기법의 불공평 지표 값이 WRR 기법보다 매우 작은 것을 알 수 있다. 따라서, 제안된 기법이 ABR 트래픽을 위한 공평성 기준에 대해서 WRR 기법보다 매우 높은 공평성 지표 값을 가지는 것을 알 수 있다.

표 4.2 공평성 및 불공평 지표(VC1<1)

기법	VC 1	VC 2	VC 3	VC 4	VC 5
공평성 기준	60,000,000	40,000,000	20,000,000	15,000,000	15,000,000
제안된 기법	59,971,100	39,958,410	19,890,920	14,914,490	14,937,490
공평성 지표	0.9999952				
불공평 지표	$4.8 \times 10^{-6}$				
WRR 기법	60,583,450	40,349,390	20,081,410	14,153,660	14,153,660
공평성 지표	0.9989799				
불공평 지표	$1.02 \times 10^{-3}$				

2) VC의 셀 도착율 = 1 인 경우

시뮬레이션 파라미터는 공평성 기준에 대하여 모든 VC의 셀 평균 도착율이 MCR plus equal share와 같을 때의 상황을 고려하여 성능을 측정하였다. 표 4.3은 모든 VC의 셀이 스위치에 공평성 기준의 대역 할당 값과 같게 도착할 때 스위치에서 각 VC의 셀 도착율을 나타낸다.

표 4.3 각 VC의 셀 도착율(부하=1)

소스	Mrate	Mrate	Mrate	Mrate	Mrate
VC1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
VC2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
VC3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
VC4	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
VC5	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

표 4.4는 제안된 스케줄링 기법과 WRR 기법의 공평성 및 불공평 지표 값을 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 제안된 기법의 불공평 지표 값은

$7.3 \times 10^{-6}$ , WRR의 불공평 지표 값은  $8.66 \times 10^{-4}$ 으로서 제안된 기법의 불공평 지표 값이 WRR 기법보다 매우 작은 것을 알 수 있다. 따라서, 제안된 기법이 ABR 트래픽을 위한 공평성 기준에 대해서 WRR 기법보다 매우 높은 공평성 지표 값을 갖는 것을 알 수 있다.

표 4.4 공평성 및 불공평 지표(부하=1)

기법	VC 1	VC 2	VC 3	VC 4	VC 5
공평성 기준	60,000,000	40,000,000	20,000,000	15,000,000	15,000,000
제안된 기법	59,888,060	39,942,340	19,877,880	14,891,450	14,882,970
공평성 지표	0.9999927				
불공평 지표	$7.3 \times 10^{-6}$				
WRR 기법	60,566,490	40,366,350	20,089,890	14,229,990	14,229,990
공평성 지표	0.9991339				
불공평 지표	$8.66 \times 10^{-4}$				

3) VC의 셀 도착율 > 1 인 경우

시뮬레이션 파라미터는 공평성 기준에 대하여 모든 VC의 셀 평균 도착율의 합이 링크 용량을 초과할 때의 상황을 고려하여 성능을 측정하였다. 표 4.5는 모든 VC의 셀이 공평한 대역할당 값을 초과하여 스위치에 도착할 때의 각 VC의 셀 도착율을 나타낸다.

표 4.5 각 VC의 셀 도착율(부하>1)

소스	Mrate	Mrate	Mrate	Mrate	Mrate
VC1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
VC2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
VC3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
VC4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
VC5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

그림 4.3은 제안된 기법의 셀 서비스율을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 VC의 셀이 스위치에 MCR plus equal share양보다 많이 도착되었을 때 모든 VC의 셀 서비스율이 공평한 대역할당 값에 수렴한다. 따라서, 제안된 스케줄링 기법은 ABR 트래픽의 대역할당을 위한 공평성 기준을 만족하고, 매우 높은 공평성을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 4.4는 WRR 기법의 셀 서비스율을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 VC의 셀이 링크 용량을 초과하여 스위치에 도착했을 때 스위치에서의 셀 서비스율은 공평성 기준을 만족시키지 못한다는 것을 알 수 있다. 따라서, WRR 기법은 매우 낮은 공평성 지표 값을 보이는 것을 알 수 있다.

표 4.6은 제안된 스케줄링 기법과 WRR 기법의 공평성 및 불공평 지표 값을 나타낸다. 표에서 알

수 있듯이 제안된 기법의 불공평 지표 값은  $1.0 \times 10^{-7}$ , WRR의 불공평 지표 값은  $1.25 \times 10^{-1}$  으로서 높은 불공평 지표 값을 가지는 것을 알 수 있다. 즉, WRR 기법은 매우 낮은 공평성을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서, WRR 기법은 ABR 트래픽을 위한 셀 스케줄링 기법으로 사용할 경우 공평성을 만족시키지 못한다는 것을 알 수 있다.

### V. 결론

ATM이 지향하는 목표인 다양한 서비스 요구 조건과 특성을 갖는 사용자 트래픽을 수용하고 ABR 트래픽과 같은 버스티하고 예측 불가능한 자원의 효율적인 사용을 위해서 집중적으로 연구되고 있는 분야가 트래픽 흐름 제어 및 폭주 제어이다. 이 흐름제어와 더불어 스위치의 출력에서 각 VC에 공평한 대역을 할당하기 위한 트래픽 스케줄링 기법이 필수적이다. 트래픽 스케줄링 기법은 미래의 광대역 종합 정보통신망에서 QoS를 보장하기 위한 중요한 부분이다.

본 논문에서는 ABR 서비스를 위한 대역 할당의 공평성 기준인 MCR plus equal share를 만족하는 스케줄링 기법이 제안되었다. 여러 가지 상황을 고려하여 제안된 스케줄링 기법의 성능을 측정하였고, WRR 기법과 비교 분석하였다. 공평성 기준에 대하여 스위치에 VC1의 셀이 MCR로 도착되었을 때의 불공평 지표 값은 WRR 기법이  $1.02 \times 10^{-3}$ 인 반면에 제안된 기법이  $4.8 \times 10^{-6}$ 으로 제안된 기법의 불공평 지표 값이 매우 낮은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 즉, 제안된 기법이 매우 높은 공평성을 보이는 것을 알 수 있다. 그리고, 스위치에 셀이 링크 용량 이상으로 도착하였을 때의 불공평 지표 값은 WRR 기법이  $1.25 \times 10^{-1}$ 인 반면에 제안된 기법이  $1.0 \times 10^{-7}$ 으로 역시 제안된 기법이 매우 작은 불공평 지표 값을 가지는 것을 알 수 있다. 즉, 제안된 기법이 매우 높은 공평성을 가지는 것을 알 수 있다. 그러나, WRR 기법은 큰 불공평 지표 값을 가지며 동시에 공평성 기준을 만족시키지 못한다는 것을 알 수 있다. 이는 WRR 기법의 weight는 MCR의 비율로 미리 결정되어 셀을 서비스하기 때문이다.

시뮬레이션을 통하여 각 스케줄링 기법의 성능을 측정한 결과, 제안된 기법은 신속한 응답 시간 및 WRR 기법보다 공평성 지표 값이 1에 거의 근접하

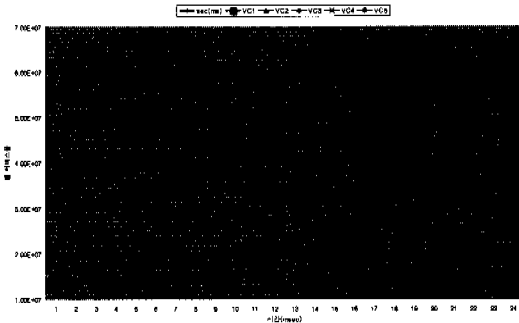


그림 4.3 제안된 기법의 셀 서비스율(부하>1)

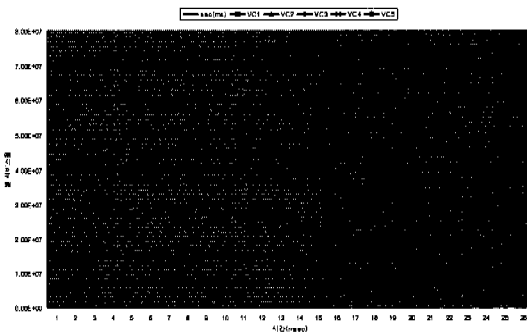


그림 4.4 WRR 기법의 셀 서비스율(부하>1)

표 4.6 공평성 및 불공평 지표(부하>1)

기법	VC 1	VC 2	VC 3	VC 4	VC 5
공평성 기준	60,000,000	40,000,000	20,000,000	15,000,000	15,000,000
제안된 기법	59,955,900	39,959,300	19,971,170	14,976,260	14,976,260
공평성 지표	0.9999999				
불공평 지표	$1.0 \times 10^{-7}$				
WRR 기법	74,898,240	44,954,210	14,993,220	7,496,608	7,496,608
공평성 지표	0.8749069				
불공평 지표	$1.25 \times 10^{-1}$				



는 높은 공평성을 제공하여 매우 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있었다. 따라서, 제안된 스케줄링 기법을 ATM 스위치에 수용하여 ABR 트래픽 서비스를 한다면 각 ABR VC들에게 MCR을 보장해 줄뿐만 아니라 공평한 대역을 할당해 줄 수 있으며 네트워크의 어떤 상황에서도 높은 공평성을 제공할 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] Y. T. Hou, H. H. Y. Tzeng, S. S. Panwar, and V. P. Kumar, "Fair Network Bandwidth Allocation with Minimum Rate Guarantee and Its ABR Implementations," *ICC'97*, 1997.

[2] N. Matsufuru, K. Nishimura, "Comparative Evaluation of Resource Allocation Strategies Using Weighted Round Robin Scheduler in ATM Switches," *IEICE Trans. Commun.*, Jan. 1999.

[3] U. Briem, E. Wallmeier, C. Beck, and F. Matthiesen, "Traffic Management for an ATM Switch with Per-VC Queueing: Concepts and Implementation," *IEEE Commun. Magazine*, pp. 88-93, 1998.

[4] Chiung-Shien Wu, "Link-sharing method for ABR/UBR services in ATM networks," *Computer Communications* 21, pp. 1131-1142, 1998.

[5] M. Katevinis, S. Sidiropoulos, C. Courcoubetis, "Weighted round-robin cell multiplexing in a general-purpose ATM switch chip," *IEEE J. on Sel. Area in Commun.*, Sep. 1991.

[6] Y. T. Wang, T. P. Lin, K. C. Gan, "An improved scheduling algorithm for weighted round-robin cell multiplexing in an ATM switch," *Proc. of IEEE ICC'94*, pp. 1032-1037, May 1994.

[7] S. Sathaye, "ATM Forum Traffic Management Specification, Version 4.0," *ATM Forum Technical Committee*, Mar. 1996.

[8] Namhee Kim, Sangtae Lee, Kiyong No, Kyungtaek Chung, Byoungsil Chon, "Buffer Management Method with Various Service Specification in ATM Switch," *Proc. IEEE TENCON'99*, pp. 546-549, 1999.

[9] M. Nabeshima, "New scheduling mechanisms for achieving fairness criteria," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E82-B, no. 6, June 1999.

[10] Jong-Lyoul On, Jin-Young Kim, Byun-Gon Kim, Hae-Sung Cho, Kwan-woong Kim, Kyung-Taek Chung, and Byoung-Sil Chon, "A Dynamic Bandwidth Reallocation Algorithm of Internal Links in ATM switch," *ITC-CSCC '99*, pp. 458-461, July 1999.

[11] 김변곤, 정경택, 전병실, "ATM 스위치 내부링크의 트래픽 제어를 위한 대역 재할당 알고리즘," *한국통신학회 논문지*, Vol. 25, No. 2B, pp. 265-270, Feb. 2000.

[12] 정경택, "ATM 스위치의 폭주 제어 및 최대 링크 이용률을 위한 대역 할당 알고리즘," *한국통신학회 논문지*, Vol. 25, No. 11A, pp. 1709-1716, Nov. 2000.

정 경 택(Kyung Taek Chung)

정회원

한국통신학회 논문지 제25권 11A호 참조  
현재: 군산대학교 전자정보공학부 부교수