

가입자망에서의 서비스 품질 기반 ATM 스케줄링 알고리즘

정연서* 오창석**

QoS-based Scheduling Algorithm for ATM in the Broadband Access Networks

Youn-Seo Jeong* Chang-Suk Oh**

요 약

본 논문에서는 광대역 가입자 액세스망의 인프라 기술인 ATM 노드에서의 셀 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 기존의 트레인 스케줄링 알고리즘(Train scheduling algorithm)이나 차오 스케줄링 알고리즘(Chao scheduling algorithm), 동적 스케줄링 알고리즘(Dynamic scheduling algorithm) 등의 ATM 스케줄링 알고리즘들은 셀 손실률이 높고 전송 채널의 낭비가 많은 단점이 있다. 본 연구에서는 다양한 멀티미디어 서비스 제공을 위해 입력 소스 트래픽의 QoS 등급에 기초를 둔 제어 방식을 제안한다. 먼저 다양한 서비스 품질을 만족시키기 위한 스케줄링 알고리즘과 기능적 구조를 설계하고, 모의실험을 통해 패킷 손실율과 평균지연 측면에서 알고리즘의 성능을 고찰한다.

Abstract

This paper proposes a new scheduling algorithm for broadband ATM access network. The existed scheduling algorithms(Train, Chao, Dynamic scheduling algorithm) have high cell loss rate and waste channel. These proposed mechanism utilize to control of multimedia services based on the quality of service level of the input traffic. This paper suggests a functional architecture of scheduling and the scheduling algorithm to satisfy various QoS requirements. The performance measures of interest, namely steady-state cell loss probability and average delay, are discussed by simulation results.

* 충북대학교 컴퓨터공학과 박사과정, 한국전자통신연구원 인턴연구원

** 충북대학교 컴퓨터공학과 교수

논문 접수 : 2000년 11월 20일 심사 완료 : 2001년 1월 20일

문에서는 이들 알고리즘의 성능을 개선하기 위해서 트래픽 등급을 이용해서 우선 순위방식으로 다중화하는 스케줄링 알고리즘을 제안하고 실험하였다.

I. 서론

컴퓨터와 정보통신 기술의 발전으로 전세계는 산업사회를 벗어나 지식/정보화 사회로 변화하고 있다. 특히 웹의 등장과 시작된 인터넷의 확산은 지금까지 단순한 데이터 전달 서비스에서 멀티미디어 데이터 처리를 위한 제반 기술들이 필요하게 되었다. 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 다양한 서비스 품질(QoS:Quality of Service)을 갖는 이질적인 트래픽들을 통신망에서 개개의 서로 다른 QoS를 만족시켜 주어야 한다[12]. 이러한 서비스들의 제공을 위해 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 기술이 LAN(Local Area Network)이나 Business Network, 캠퍼스 망 등에 폭 넓게 채택될 것으로 예상된다. QoS 보장을 위해서 가장 중요한 요소는 망이 제공하는 서비스 실행 순서에 의존하는 전달 지연으로 패킷을 전달하는 스케줄링 알고리즘은 인터넷 트래픽 제어의 핵심 요소라 할 수 있다. 스케줄링은 패킷들의 우선 순위를 결정하고 그 우선 순위에 따라서 전송하게 되는 트래픽 제어 기법으로 사용자마다 트래픽의 발생량은 예측할 수 없고, 각 패킷의 처리시간도 다른 패킷과 비교하기 어렵고 매우 복잡한 알고리즘을 통한 계산을 필요로 하기 때문에 짧은 시간 안에 처리를 해야하는 고속의 스위치에서는 구현이 불가능하다. 따라서 사용자마다 서비스 대역을 다양하게 할당해 주기 위해서는 각 큐의 서비스 순서를 동적으로 할당 할 수 있는 방법이 필요하다. 또 트래픽 특성에 따라 해당 큐들의 처리순서 조정이 가능하고, 사용자에게 제공하기로 한 용량을 보장해 주면서 다른 트래픽이 쓰지 않는 용량을 사용자들에게 균등하게 할당해 줄 수 있는 효율성과 각 패킷들의 긴급도에 따라 처리 순서를 결정할 수 있는 방법이 필요하다[3,4].

ATM의 스케줄링 알고리즘은 주로 통계적 다중화 기법이 연구되어 오고 있다[7,10,13]. 트레인 스케줄링 알고리즘(Train scheduling algorithm)과 차오(Chao scheduling algorithm), 동적 스케줄링 알고리즘(Dynamic scheduling algorithm) 등은 각각의 셀 손실률이 높고 전송 채널 용량이 낭비되는 단점이 있다[13]. 본 논

II. 기존의 스케줄링 알고리즘

특성이 다양한 여러 형태의 트래픽들이 전송로와 대역폭을 효과적으로 이용하도록 하기 위하여 ATM 다중화기는 여러 개의 입력선로와 출력선로 그리고, 각 입력선로로부터 데이터들을 서비스하기 위한 스케줄러로 구성된다. 이 스케줄러는 입력선로간의 서비스 공평성을 위하여 적절한 스케줄링 알고리즘이 필요하다.

1. 트레인 스케줄링(Train scheduling)

알고리즘

트레인 스케줄링 방식은 여러 개의 버퍼와 빈 슬롯 발생기(Empty slot generator)로 구성되어 있다. 각 입력 버퍼들은 순차적으로 연결되어 있기 때문에 슬롯 발생기에서 가까운 곳에 있는 버퍼들의 경우 더 많은 슬롯을 할당 받는 경우가 발생하기 때문에 상위 버퍼에 트래픽이 많을 경우 하위의 버퍼들에서 오버플로우가 많이 발생하여 셀 손실율이 증가하게 된다[4,9].

2. 차오 스케줄링(Chao scheduling)

알고리즘

트레인 스케줄링의 고정 우선순위의 문제점을 해결하기 위하여 버퍼의 출력단에 스위치와 제어기(controller)를 설치, 서비스되는 셀들의 우선순위를 변경 가능하도록 하였다. 우선순위가 변경 가능한 장점은 있으나, 실질적인 셀 손실을 감소를 위한 스케줄링 방법은 제시되고 있지 않다[4].

3. 동적 스케줄링(Dynamic scheduling)

알고리즘

동적 스케줄링은 버퍼들의 상태를 감시, 가득찬 버퍼를 먼저 서비스하는 조건을 추가하여 입력버퍼의 오버플로우 조건을 줄이게 된다. 허나, 셀 손실율을 감소시키는

효과는 있으나, 폭주 상태의 버퍼 발생시, 서비스 중인 버퍼의 셀 전송을 중단시켜야 하므로 셀 송신의 채널 용량을 낭비하는 단점이 있다[4.13].

III. 스케줄링 알고리즘의 설계

제안된 스케줄링 알고리즘은 QoS 제공을 위해 트래픽들을 클래스 별로 나누어 등급에 따라 서비스를 하기 때문에 먼저 특성을 살려 트래픽을 적절하게 분류하여야 한다.

1. 트래픽 분류

트래픽의 QoS 요구사항을 준수하면서 다중화하기 위하여, 먼저 프로토콜의 특성과 요구사항을 적절히 반영하는 파라미터를 선정하고, 트래픽을 분류하여야 한다. 현실적으로 트래픽 등급은 개별 소스 타입의 요구사항 및 그 서비스의 품질에 부합하도록 3-5 단계로 분류하는 것이 효과적이다. 트래픽 분류는 체증제어, 우선순위 제어, 사용 파라미터 제어, 호수락 제어, 통계적 다중화 및 스위칭 등의 목적에 따라 다양하게 나눌 수 있다. ITU-T의 B-ISDN 프로토콜 참조모델에서는 인터넷서비스의 근원지와 목적지 사이의 타이밍 동기, 비트율, 서비스 연결 형태에 따라 5가지로 분류하고 있다[1.6]. C.R. Kalmanek는 CBR, VBR 그리고 데이터 트래픽으로 분류하였으며, H. Gilbert는 CBR, VBR Video, VBR Data 등으로 체증제어를 목적으로 B-ISDN 전달망 관점에서 분류하였다[5.11]. 또한, P. Boyer는 효과적인 체증제어를 위하여 CBR, VBR video, data 1, data 2 등 4개의 트래픽으로 분류하였으며, B.T.Doshi는 CBR, VBR video, data1, data2, data3의 5개 등급으로 나누어 체증제어에 이용하고 있다. 이 외에도 T.Tagagi는 다중화를 위해 셀 손실 및 셀 지연의 허용도에 따라 4단계 분류방법을 제시하였다.

ATM의 QoS는 같은 연결에 속한 모든 셀에 대해서 동일한 특성을 갖고, 그 연결이 지속되는 동안 일정한 값을 유지하므로, 이것을 이용해서 트래픽을 분류할 수 있으며, 유사한 특성을 가진 트래픽들을 같은 등급에 속하도록 분류할 수 있다. 서비스의 특성을 가장 잘 표현하는

QoS 파라미터를 기준으로 하여 트래픽을 분류한다면 다중화에 효과적임을 알 수 있다[2.5.8].

이에 본 논문에서는 트래픽 분류를 위한 QoS 파라미터로서 대역폭, 패킷 지연율, 패킷 손실을, 그리고 패킷 지연 변이를 정의하였고, 표 1과 같이 패킷 지연 민감 트래픽을 기본으로 등급 1, 등급 2, 등급 3, 그리고 등급 4의 4가지 트래픽 등급으로 분류하였다.

표 1. QoS 등급에 기초한 트래픽 분류표
Table 1. QoS level based Traffic classification table

우선 순위	서비스 형태	패킷 지연	대역폭	패킷 손실	효율	예
1	실시간 서비스	sensitive to delay & delay variation Pd < 1's ms CDV < 10µs	BW < 100M	tolerant Ploss < 10-6 (voice 10-2)	-	- Continuous Video - Voice
2	VBR 비디오 서비스	sensitive Pd < 1's ms CDV < 10µs	BW < 10M	sensitive Ploss < 10-6	High Burstiness	- Digital Audio - Image Transfer
3	VBR interactive 서비스	sensitive Pd < 10's ms	BW < 1M	sensitive Ploss < 10-9	Burstiness	- Distributed Processing - Administrative Routine
4	VBR 데이터 서비스	tolerant Pd < 10's sec	전체	Very sensitive Ploss < 10-9	High Burstiness	- File Transfer

2. 제안 스케줄링 알고리즘

제안된 스케줄링 알고리즘은 버퍼의 상태 정보와 셀 도착 및 출력 시점에서 셀 레벨에 대한 정보를 받아서 출력될 셀이 버퍼를 출발하기 전에 출력 액세스를 제어하는 동적인 우선순위 방식을 채택하여 구현한다. 스케줄링 알고리즘의 4개 QoS 등급의 트래픽을 지원하는 하나의 스케줄러와 이를 공유하는 4개의 FIFO버퍼(QoS 등급당 한 개의 버퍼)로 구성된다.

여기서 스케줄러는 고정 용량 C bits/sec와 고정된 셀 크기를 갖고 시간축에 따라 분할된 채널 형태(slotted channel)로 모델링되며, 서비스 용량은 $u = C/53$ cells/sec로 정의된다. 스케줄러는 1 사이클 동안 최대 H 만큼 셀을 출력하게 되며, 이 범위 내에서 개별적인 QoS 등급버퍼에 대한 액세스 동작인 4개 서브 사이클(C1, C2, C3, C4)로 나누어진다.

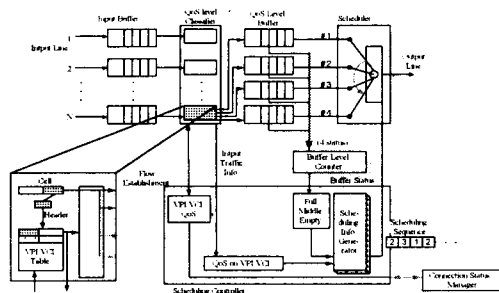


그림 1. 제안 스케줄링 알고리즘
Fig 1. Scheduling algorithm

2.. 알고리즘의 동작

스케줄링 알고리즘은 다음과 같은 3가지의 메카니즘을 이용하여 출력 우선순위를 동적으로 부여하는 방법으로 동작하게 된다.

2.1 QoS 등급별 차등 우선순위 부여(Priority Policy)

상위 QoS 등급버퍼의 셀은 항상 하위 QoS 등급버퍼의 셀에 우선하여 서비스되며, 버퍼마다 고정적인 우선순위를 가지므로 스케줄러는 상위 우선순위의 버퍼부터 차례로 액세스 하게된다.

2.2 가득찬 버퍼에 대한 임계치 적용

(Threshold policy in a full buffer)

QoS 등급별로 고정된 우선 순위를 부여하는 2.1의 메카니즘은 하위 우선순위의 버퍼에서 셀 손실이 발생할 확률이 매우 크기 때문에 하위 등급의 트래픽에 대해서 QoS를 보장하지 못하게 된다. 이를 보완하기 위한 방법으로 바로 임계치 적용 메카니즘을 사용한다. 버퍼에 저장된 셀이 오버플로우가 되기전 정해진 임계치에 다다르게 되면 QoS 등급에 상관없이 해당 버퍼에서 임계치 이하로 내려갈 때까지 우선적으로 해당 버퍼의 셀을 출력하게 된다. 이러한 QoS 등급버퍼는 등급마다 각기 다른 임계치를 가진다.

모든 QoS 등급버퍼의 초기 임계치 $Q_{th}(i)$ 는 버퍼의 임계치를 나타낸다. 모든 QoS 등급버퍼의 초기 임계치 $Q_{th}(i)$ 는 버퍼가 가득찰 때의 값 $Q_r(i)$ 보다 1이 작은 값

$(Q_r(i) - Q_{th}(i) = 1)$ 으로 주어진다. 따라서 이 메카니즘을 사용하면 버퍼가 가득 찬 트래픽에 대해서 QoS 등급에 상관없이 1회에 한하여 최고 우선순위를 가지며, 출력자원을 고려하여 스케줄러에 의해서 가변된다. 다음의 식 (1)과 (2)는 임계치를 고려한 서브 사이클별 출력 파라미터인 h^1, h^2, h^3, h^4 와 스케줄러의 출력 셀 용량 H와의 관계를 표현한 것이다.

- $Q(i) > Q_{th}(i)$ 일 때 (i 번째 버퍼에서 오버플로우가 발생)

$$\begin{aligned}
 h^1 &= 0 \text{ 이 아닐 때 : } H = h^1 + h^2 + h^3 + h^4, h^i = h^i + 1 \\
 h^1 &= 0 \text{ : } \\
 H &= h^2 + h^3 + h^4, h^i = h^i + 1 \quad (1) \\
 h^1, h^2 &= 0 \text{ : } \\
 H &= h^3 + h^4, h^i = h^i + 1 \\
 h^1, h^2, h^3 &= 0 \text{ : } \\
 H &= h^i
 \end{aligned}$$

- $Q(i) < Q_{th}(i)$ 일 때 (어떤 버퍼에서도 오버플로우가 발생하지 않음)

$$\begin{aligned}
 h^1 &= 0 \text{ 이 아닐 때 : } H = h^1 + h^2 + h^3 + h^4 \\
 h^1 &= 0 \text{ : } H = h^2 + h^3 + h^4 \\
 h^1, h^2 &= 0 \text{ : } H = h^3 + h^4 \quad (2) \\
 h^3 &= 0 \text{ : } H = h^1
 \end{aligned}$$

2.3 FIFO 스케줄링

같은 QoS 등급에 속한 버퍼에서는 FIFO(First In First Out) 원리에 의하여 버퍼에 먼저 입력된 셀부터 먼저 출력한다.

동작순서를 살펴보면 먼저 각 사이클의 시작점에서 스케줄러는 이전의 사이클 동안에 도착한 셀의 수효와 협상에 의한 QoS 등급을 고려하여 최대 사이클 길이 H 및 각 QoS 등급 버퍼별로 서비스 받아야 할 셀의 수, 즉, h^1, h^2, h^3, h^4 를 결정한다. 즉, 각 사이클동안 서비스되는 셀은 이전 사이클에서 버퍼에 도달한 셀의 수를 관측하여 반영하게 된다. 이어서 QoS 등급별 차등 우선순위 부여 메카니즘에 따라 우선순위가 높은 버퍼에서부터 FIFO 원칙에 따라 전송셀 단위로 출력하며 높은 우선순위 버퍼의 셀이 모두 전송되면 다음 우선순위 버퍼로 셀 전송 순서를 넘긴다. 또한, 스케줄러는 항상 QoS 등급버퍼에 저장된 셀의 값 $Q(i)$ 를 관찰하게 되는데, 낮은 우

선순위를 갖는 버퍼에서 오버플로우가 일어나면 ($Q(i) > Q_{th}(i)$), 그 트래픽에 대한 일정 임계치 범위 ($Q_f(i) - Q_{th}(i)$) 동안 최고 우선순위를 부여하여 셀을 출력한다. 스케줄링 알고리즘은 이러한 동작 중에서도 망의 상태를 고려하여 QoS 등급버퍼의 상태를 관측하여 다음 사이클동안 전송할 셀 수를 스케줄러의 QoS 등급별 전송 용량을 나타내는 파라미터인 h^i 에 반영시킨다.

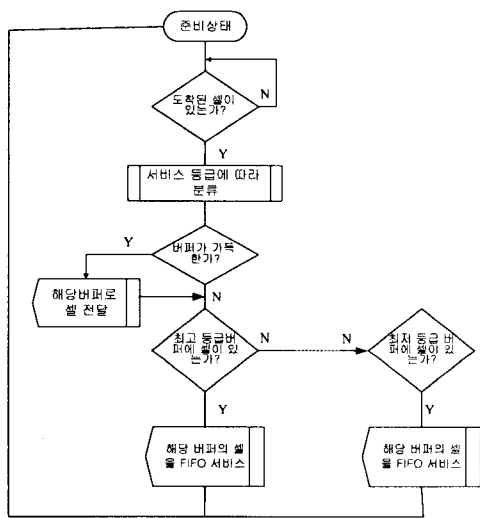


그림 2. 스케줄링 알고리즘 처리 흐름도
Fig 2. Operational diagram of scheduling algorithm

IV. 실험 및 결과 분석

1. 실험

실험은 제안한 알고리즘과 고정된 우선순위를 갖고 각 버퍼에게 균일한 대역을 할당하는 고정 스케줄링(static scheduling, simple scheduling) 알고리즘, 모든 트래픽에 우선 순위를 균등하게 부여하고 이 정보와 버퍼의 상태를 고려하여 스케줄링하는 허브 스케줄링(hub scheduling) 방식에 대하여 함께 실시하였으며, 각 스케줄링 알고리즘의 성능 분석한 결과를 그래프로 비교하였다.

각 입력은 고정된 셀 크기와 고정된 용량을 가진 슬롯화된 채널로 모델화 하였으며, 스케줄러의 서비스율은 한 사이클 동안 버퍼를 스캔하는 횟수로 정의하였다. 또한, 각각의 QoS 등급 버퍼의 크기는 각각 50개 셀을 저장할 수 있는 용량으로 가정하였으며, 4개의 등급버퍼에 인가되는 트래픽량은 모두 동일한 것으로 가정하였다. 또한, 4개의 입력선로에 인가되는 트래픽 모델은 각 입력선로의 트래픽 도달 프로세스(Arrival Process)가 동일한 평균 도착률을 가지는 유니폼 트래픽 모델(Uniform Traffic Model)을 적용하였다.

다음에 제시되는 성능 결과는 앞에서 기술한 조건하에서 컴퓨터 실험을 10^6 셀 시간동안, 입력부하를 0.05 ~ 0.95까지 변화시키면서 실시하여 얻어졌으며, 변환 상태(transient state)에서의 수치는 제외하고 정상상태(steady-state)에서의 결과에 대해서 분석 및 검토하였다.

2. 결과 분석 및 고찰

이 절에서는 결과로부터 얻어진 입력부하에 대한 셀 손실 특성 및 셀 지연 변이 특성과 QoS 등급버퍼의 용량 변화에 대한 셀 손실 특성을 분석한 후 알고리즘에 대한 성능을 고찰한다.

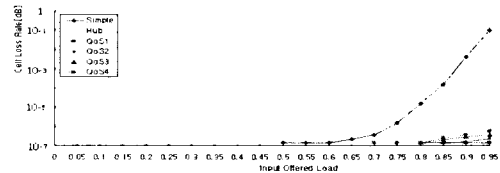


그림 3. 입력 부하에 따른 셀 손실 특성
Fig 3. Cell Loss Rate vs. Input Offered Load

그림 3에서는 입력 부하에 대한 스케줄링 알고리즘의 셀 손실 특성을 나타내었다. 제안된 QoS기반의 스케줄링 알고리즘은 0.8미만의 가용율에 대하여 거의 셀 손실이 일어나지 않았다. 그러나, 고정 스케줄링 방식과 허브 스케줄링 방식의 경우에는 입력 부하가 0.6 이상 일 때부터 셀 손실 확률이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 이는 제안된 스케줄링 알고리즘이 가득찬 버퍼에 대한 우선순위 적용 메카니즘을 채용함으로써, 낮은 우선순위 서비스에 대한 셀 손실 특성을 상당히 개선할 수 있기 때문이다.

그림 4는 4개의 QoS 등급에 대한 셀 지연 변이 특성을 입력 부하에 대한 함수로 나타낸 결과이다. 고정 스케줄링 방식과 허브 스케줄링 방식의 경우에 비하여 우수하게 나타났으며, 상위 우선순위 트래픽의 셀 지연 변이가

하위 우선순위 트래픽에 대한 특성보다 양호하게 나타났다. 또, 입력 부하가 증가하여도 셀 지연 변이의 최대값은 일정값 이내에서 유지되는 특성을 나타내었다.

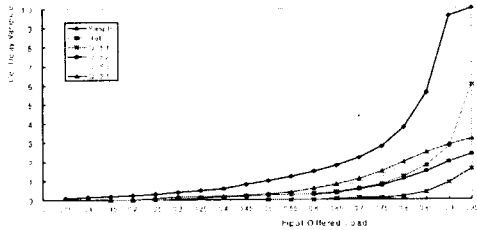


그림 4. 입력 부하에 대한 셀 지연변이 특성
Fig 4. Cell Delay Variance vs. Input Offered Load

그림 5는 본 실험모델의 셀 손실 특성을 QoS 등급버퍼 크기의 함수로써 나타낸 것으로써, 버퍼 용량에 대한 셀 손실 확률은 높은 우선순위 트래픽은 물론 낮은 우선순위 트래픽에 대해서도 좋은 특성을 보여주고 있다.

제한한 스케줄링 알고리즘과 다른 두 가지 스케줄링 알고리즘을 실험하여 얻어진 특성 그래프를 분석한 결과, QoS 등급에 따른 스케줄링 알고리즘에서 다음과 같은 특징을 관찰할 수 있었다.

QoS 등급이 높은 트래픽에 대한 셀 손실율은 고정 스케줄링 알고리즘 및 허브 스케줄링 알고리즘을 갖는 ATM 다중화기와 비교해 볼 때, 본 스케줄링 알고리즘을 채용한 ATM 다중화기의 셀 손실율이 낮게 나타났다.

특히 입력 트래픽의 부하가 0.5에서 0.8사이에서 셀 손실율이 매우 개선되었으며, QoS 등급이 높은 실시간 트래픽의 경우 QoS 등급이 낮은 트래픽보다 셀 지연율도 개선되었다.

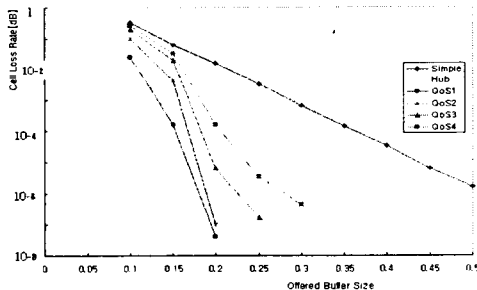


그림 5. 버퍼 용량에 대한 셀 손실 특성
Fig 5. Cell loss rate vs. Offered buffer size

QoS 등급이 낮고 버스트한 특성을 갖는 데이터 트래픽의 셀 지연 특성은 허브 스케줄링 알고리즘보다 나쁘게 나타났는데, 이는 실시간 트래픽에 우선적으로 액세스 기회를 부여함에 따라 나타난 현상으로 사료된다. QoS등급이 낮은 데이터 트래픽에 대한 셀 손실 확률은 다른 스케줄링 알고리즘보다 상당히 개선됨을 알 수 있었는데 이는 우선순위 메카니즘과 함께 임계치 적용 메카니즘을 사용함으로써 낮은 우선순위 트래픽에 있어서의 셀 손실을 줄일 수 있기 때문이다. 제안 스케줄링 알고리즘은 낮은 셀 손실 확률(10^{-9})을 요구하는 데이터 트래픽에 대하여 효과적인 다중화 방법이 될 수 있을 것이다. 그리고, 입력 트래픽 부하가 매우 높을 경우(0.8이상), 다른 스케줄링 알고리즘과 비교하여 낮은 셀 지연 변이를 갖고, 또한 셀 지연 변이가 일정 수치 이내에서 유지되는 특성을 나타내었다.

V. 결론

앞의 결과를 고찰해 볼 때, 제안한 스케줄링 알고리즘에서 QoS를 기반으로 한 서비스 순위 제어를 채용함으로써, 실시간 트래픽에 대하여 낮은 셀 손실 확률 및 낮은 셀 지연확률을 얻을 수 있었다. 이는 낮은 손실 확률과 낮은 지연을 요구하는 서비스 트래픽 처리에 있어서 주목할 만한 장점이 될 수 있다. 또한, 데이터 트래픽과 같은 셀 지연 특성이 낮은 서비스에 대해서는 가득찬 버퍼에 대하여 임계치를 적용함으로써 셀 손실 확률이 개선할 수 있는 등, 요구되는 QoS를 적절하게 만족시키면서 다양한 트래픽을 다중화할 수 있음을 알 수 있었다. 실제에 있어서 가입자의 서비스 트래픽은 실험에서 가정된 임의 도착 트래픽(Random Arrival Traffic)보다 더욱 버스트하고 다양한 특성을 갖기 때문에, QoS를 기반으로 한 스케줄링 방법은 실시간 트래픽에 대하여 셀 지연 및 셀 지연 변이 특성면에서, 데이터 트래픽과 비교해 셀 손실면에서 효과적인 결과를 나타낼 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] ATM Forum, "ATM User-Network Interface Specification, Ver.3.0," Jan. 1993.
- [2] ATM Forum, "ATM User-Network Interface Specification, ver. 2.0, Jan. 1992.
- [3] F. Valki and H. Saito, "On Congestion Control in ATM Networks," IEEE LTS Magazine, pp.55-65, Aug. 1991.
- [4] H.J.Chao, "Design of Transmission and Multiplexing Systems for Broadband Packet Networks," IEEE J.SAC, Vol. 6, No, pp.1511-1520, Dec. 1988.
- [5] H. Gilbert, O. Aboul-Magd, and V. Phung, "Developing a Cohesive Traffic Management Strategy for ATM Networks," IEEE Com. Magazine, pp.36-45 Oct. 1991.
- [6] ITU-T SG XVIII, TD9, Swiss Geneva Meeting, Jan. 1993.
- [7] J.M. Hyman, A.A. Lazar, and G. Pacifici, "Real-Time Scheduling with Quality of Service Constraints," IEEE J. Sel. Areas Comm., Vol. SAC-9, No. 7, pp.1052-1063, Sep. 1991.
- [8] J.W. Roberts, "Traffic Control in the B-ISDN," Computer Networks and ISDN Systems 25, North-Holland, pp. 1055-1064, 1993.
- [9] L. T. Wu, S. H. Lee and T. T. Lee, "Dynamic TDM : A Packet Approach to Broadband Networking," ICC'87, Seattle, Washington, pp.110-118, June 1987.
- [10] M. Katevenis, S. Sidiropoulos, and C. Courcoubetis, "Weighted Round-Robin Cell Multiplexing in a General purpose ATM Switch Chip," IEEE J. Sel. Areas commun., Vol. 9, No. 8, pp. 1265-1279, Oct. 1991.
- [11] M.Wernik, O.Aboul-Magd, H.Gilbert, "Traffic Management for B-ISDN," IEEE J. SAC., pp.10-19, Sep. 1992.
- [12] R.O. Onvural, "Asynchronous Transfer Mode Network," Performance Issues, 2nd ed., Artech House, Norwood, pp.169-174, 1995.
- [13] W.T. Chen, N. Huang, P. Sheu, and Y. Chang, "A New ATM Multiplexer with Dynamic Scheduling," ISC'91, pp.136-139, Dec. 1991.

저자 소개



정 연 서

1994년 : 청주대학교 전자계산학과(공학사)
 1996년 : 충북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
 1997년 ~ 현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 2000년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 인턴연구원



오 참 석

2000년 ~ 현재 : 충북대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 컴퓨터전공 주임교수
 1990년 12 ~ 1991년 12 : (미) Stanford 대학교 객원교수
 1982년 12 ~ 1984년 9 : 한국전자통신연구원