

## 이중 문턱값 설정에 의한 ATM망의 트래픽 제어기법

正會員 丁 相 國\* 正會員 陳 庸 玉\*\*

## Traffic Control with Double Threshold in ATM Networks

Sang Gug Jong\*, Yong Ohk Chin\*\* *Regular Members*

## 要 約

본 논문은 2중 문턱값을 갖는 우선순위 스케줄링 알고리즘과 버퍼의 히스테리시스 특성을 이용한 트래픽 제어기법을 제안하였다. 2중 문턱값을 갖는 우선순위 스케줄링 알고리즘은 HOL과 QLT를 적용하였다. 버퍼의 히스테리시스 특성을 이용한 트래픽 제어기법으로는 히스테리시스성 QLT 알고리즘과 히스테리시스성 트래픽 유입제어를 제시하였다.

2중 문턱값을 갖는 동적 우선순위 스케줄링 알고리즘이 기존의 QLT 알고리즘보다, 셀손실율과 평균 지연에 있어서, 우수함을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 고찰하였다. 또 히스테리시스성 QLT 알고리즘과 트래픽 유입량 제어기법은 단일 문턱값을 이용한 방식보다 각각 효율이 개선됨을 알 수 있었다.

## ABSTRACT

In this paper, a priority scheduling algorithm with double threshold and a traffic control mechanism with hysteresis effect are proposed. The double threshold priority scheduling is studied based on HOL and QLT. The hysteresis effect traffic control is specified by hysteresis effect QLT and traffic rate control.

According to the simulation results, it can be shown that the proposed dynamic priority scheduling brings better processing performance than the existing QLT algorithm. And the results demonstrate that QLT and traffic rate control with hysteresis effect enhance the performance in comparison with those of single threshold.

## I. 서 론

고속 ATM 망은 광대역 복합정보의 다양한 형태 서비스를 종합적으로 지원할 수 있는 것이 큰 장점 중 하나이다. 그러나 이는 효율적인 과잉밀집 제어기법이 적용될 때 실현 가능해진다(1, 2). ATM 망에서의 과밀제어는 통신 서비스 별로 각 클래스가 요구하는 서비스 품질을 제공하고, 유용하고 넓은 대역폭을

\* 한국통신 연수원(KT TC)

\*\* 경희대학교 전자공학과

Dept. of Elec. Eng., Kyunghee Univ.

論文番號: 93241

接受日字: 1993年 12月 15日

효율적으로 사용 가능케한다. 또 과밀 제어는 실현이 간단하고, 기존과 미래의 응용 서비스에 충분히 적용될 수 있는 유연성을 가지야 한다(2).

ATM 망에서는 트래픽 제어기능으로서 망자원관리, 연결수락제어, 사용/망 파라메터 제어, 우선순위 제어, 트래픽 정형화, 고속 자원 관리 등이 있으며 과밀제어 관리기능으로서 선별적 선택기 및 순방향 과밀표식 등이 있다(3). 이들 중에서 과밀제어방법을 진술한 트래픽 제어기법이 사용될 수 있으며, ATM 망의 제어시점에 따라서 예방제어(Preventive Control)기법과 반응제어(Reactive Control)기법으로 분류하여 연구하고 있다(4). 특히 최근에는 예방제어 기법이 반응제어기법보다 효율면에서 ATM망에 더 적합한 것으로 보인다(2). 예방제어기법은 약제제어, 비트율제어, 전송제어 등을 들 수 있다. 이들 중에서 전송제어 또는 전송 스케줄링은 버퍼에서 트래픽 클래스 별로 출력링크로의 셀을 스케줄링함으로써 클래스 별 트래픽이 요구하는 통화품질을 만족시킬 수 있다(2, 4).

정상적인 트래픽 조건하에서는 선입선출법이나 크보다 공정성이 뛰어난 라운드로빈 방법과 같은 스케줄링의 이용시 약간의 손실과 지연을 고려해야한다. 그러나 여러종류의 트래픽을 갖는 망에서의 효율을 정교한 스케줄링 알고리즘의 선택으로 크게 개선될 수 있다(4). ATM 망에서는 클래스별 트래픽을 스케줄링하기 위해 MLT(Minimum Laxity Threshold)와 QLT(Queue Length Threshold)같은 동적우선순위를 고려함으로써 정적우선순위에 비해 성능을 개선시킬 수 있다(5, 6).

그러나 QLT는 문턱값의 비교 결과에 따라 실시간 트래픽이나 비실시간트래픽 중 하나를 우선순위로 서비스하므로, 실시간트래픽과 비실시간트래픽 내에 지연민감도를 달리하는 다중등급 트래픽 처리시 단일문턱값과의 비교 판단으로 우선순위를 결정하는 것은 서비스의 품질을 저하시킬 우려가 있다. 또 하나의 문제점은 단일 문턱값과의 비교결과에 따른 트래픽 서비스는 곧 버퍼의 상태를 변화시키고, 변화한 결과는 다른 종류의 트래픽을 서비스한다. 이러한 과정의 빈번한 반복은 버퍼상태를 불안정하게 하고 이는 곧 서비스품질의 저하요인이 될 수 있다(7).

본 논문에서는 첫번째 문제점의 해결책으로서 동적 우선순위 스케줄링을 개선한 이중문턱값을 갖는 우선순위 스케줄링과, 두번째 문제점의 해결책으로서 버퍼의 히스테리시스 특성(7)을 이용한 트래픽 제

어기법을 제안하였다. 이중 문턱값을 갖는 우선순위 스케줄링으로는 HOL과 QLT를 적용하였다(4, 5, 6, 8, 9). 버퍼의 히스테리시스 특성을 이용한 트래픽 제어기법으로는 히스테리시스상 QLT알고리즘과 히스테리시스상 트래픽 유입제어를 보였다(7). 또 기존의 QLT나 HOL에 비해서 제한한 알고리즘이 성능이 개선됨을 검증하기 위해이론을 통해 고찰하였다. 또 히스테리시스 특성을 갖는 버퍼의 수학적 모델선형 및 그 수학적 해석으로 셀의 상태 길이확률을 구하였다.

처론에 이어 II 장에서는 이중 문턱값을 갖는 우선순위 스케줄링, III 장에서는 버퍼의 히스테리시스 특성을 이용한 트래픽 제어기법을 제시하였다. IV 장에서는 시뮬레이션 및 그 결과를 고찰하며 V 장에서 결론을 맺는다.

## II. 이중 문턱값을 갖는 우선순위 스케줄링

### 1. 이중 문턱값을 갖는 QLT

QLT(Queue Length threshold) 동적 우선순위 스케줄링 기법은 대기행렬 비실시간 트래픽(NRT)의 셀의 수가 대기행렬 문턱값(Queue Threshold)보다 크면 NRT의 평균지연이 무한히 증가하므로 NRT에게 우선순위를 부여하고, 그외의 경우는 NRT의 평균지연을 일정량까지는 허용할 수 있으므로 실시간트래픽(RTT)을 우선순위로 서비스한다(4, 5, 6).

그러나 QLT 기법은 문턱값과의 비교 결과에 따라 실시간트래픽이나 비실시간트래픽 중 하나를 우선순위로 서비스하므로, 실시간트래픽과 비실시간트래픽 내에 지연민감도를 달리하는 다중등급 트래픽 처리시 단일 문턱값과의 비교 판단으로 우선순위를 결정하는 것은 서비스의 품질을 저하시킬 우려가 있다. 따라서 비실시간 트래픽내의 지연민감도의 등급차이와 그에 따른 서비스의 우선순위를 고려해야 한다. QLT 알고리즘과 같이 1개의 대기행렬 문턱값을 기준으로 우선순위를 결정할 경우, 셀손실이 증가하거나 평균지연이 커지는 2가지 문제점이 발생된다.

본 논문의 2중 대기행렬 문턱값 QLT(DQLT) 알고리즘은 비실시간 트래픽 내에 서비스의 특성에 따라 지연민감도가 다른 트래픽 등급의 구분이 가능하다는 가정하에, 2개의 등급 비실시간트래픽(NRT1)과 비실시간트래픽2(NRT2)를 고려하고 각각의 대기행렬 문턱값을 설정한다. 이 때 AAL의 트래픽등급 중 비실시간트래픽은 2등급이므로 2개의 대기행렬 문턱

값이 필요하다. DQLT 알고리즘의 처리 대상은 RTT와 NRT1 그리고 NRT2이며, 각 버퍼는 독립적이고 FIFO로 서비스한다.

처리방법은 NRT1과 NRT2의 버퍼에 큐잉된 셀의 수와 각각의 대기행렬 문턱값과 비교하여, 대기행렬 문턱값보다 큐잉 셀 수가 많은 트래픽에게 우선순위 서비스를 부여한다. 만일 두 등급 모두 각각의 대기행렬 문턱값을 넘지 못하면 RTT에게 우선순위를 부여하고 다음 우선순위는 대기행렬 문턱값에 대한 큐잉 셀 수의 비가 큰쪽을 먼저 서비스한다. 역으로 2개 등급의 큐잉 셀 수가 각각의 대기행렬 문턱값을 동시에 넘으면 각각의 대기행렬 문턱값에 대한 큐잉 셀 수의 비가 큰쪽부터 서비스하고 끝으로 RTT를 서비스한다(15).

2. 이중 문턱값을 갖는 HOL

HOL (Head of Line) 우선순위기법은 p개의 우선순위 트래픽 등급이 높은 우선순위로 서비스된다. 버퍼에서 우선순위 p인 트래픽의 평균지연시간은 첫째, 셀의 도착시 기존 셀이 서버에서 서비스받고 있는 경우와 둘째, 셀이 도착했을때 도착한 셀보다 높은 우선순위의 셀로 인해 버퍼에서 대기하는 경우, 그리고 셋째 우선순위 p인 트래픽이 들어와서 기다리는 동안 등급 1부터 등급 p-1까지의 높은 우선순위가 입력되어 기다리는 시간의 3가지 요인의 합이 된다. 따라서 우선순위 등급 p인 트래픽의 평균지연시간  $W_p$ 는 다음과 같다(8, 9).

$$W_p = \frac{W_0 + \sum_{i=1}^p \rho_i W_i}{1 - \sum_{i=1}^{p-1} \rho_i} \tag{1}$$

여기서  $W_0$ 는 셀의 도착시 기존의 셀이 서버에서 서비스 됨으로써 발생하는 평균 지연시간으로써

$$W_0 = \sum_{i=1}^{p-1} \rho_i \frac{b_i^{(2)}}{2b_i} \tag{2}$$

이다.  $\rho_i$ 는 i번째 셀이 임의의 순간에 서비스 받을 확률이며,  $b_i$ 는 잔여 서비스 평균 시간이다.

그림 1 (a)는 p개의 등급을 갖는 HOL 우선순위 모델이다. ATM 망에서는 우선순위의 등급을 트래픽의 지연 민감도에 따라 3등급으로 고려할 수 있으며, 이중 문턱값을 고려하면 그림 1 (b)와 같은 증가도가

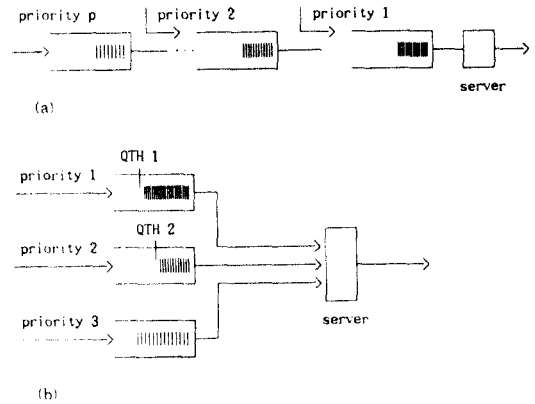


그림 1. HOL (a)HOL 모델 (b)이중 문턱값 HOL  
Fig. 1. HOL (a)HOL model (b)HOL with double threshold.

된다.

HOL은 미리 정해진 우선순위에 의해 서비스되는 정적 우선순위 스케줄링 방법으로서, 우선순위 1의 셀이 모두 서비스된 후에 우선순위 2로부터 p까지의 셀이 서비스되기 때문에 우선순위가 낮은 트래픽은 높은 우선순위 셀에 대해 항상 희생되는 단점을 갖고 있다. 이에 비해 2중 문턱값을 갖는 HOL은 그림 2의 알고리즘과 같이 대기행렬을 이루고있는 셀의 도착 정도에 따라 동적으로 우선순위가 스케줄링된다.

동작방법은 우선순위 1과 2의 셀의 크기가 문턱값 1과 2보다 각각 클때는 정해진 우선순위 별로 서비스된다. 우선순위 1의 셀의 크기가 문턱값 1보다 작을 때는 우선순위 2가 가장높은 우선순위를 갖게된다. 그러나 이때도 우선순위 2의 셀의 크기가, 문턱값 2보다 클 때에 우선순위를 갖고, 문턱값 2보다 작을 때는 다음의 우선순위인 비실시간 트래픽이 가장높은 우선순위를 갖는다. 즉 2중 문턱값을 갖는 HOL은 우선순위 1과 우선순위 2인 트래픽이 각각의 문턱값보다 클 때에만 비로서 자신이 갖고있는 우선순위 별로 서비스되고 그 외에는 다음 단계의 우선순위 트래픽이 서비스 됨으로써 링크의 사용율과 트래픽 처리율을 높일 수 있는 방법이다.

```
SVC(trf1, trf2, trf3)
:trf1, trf2, trf3 의 순서로 우선순위서비스한다.
procedure DHOL(QTH1, QTH2, qCELL1, qCELL2, PRI1, PRI2, PRI3)
//QTH1은 DHOL 알고리즘의 대기행열 문턱값1 이고
QTH2은 DHOL 알고리즘의 대기행열 문턱값2 이다.
qCELL1은 우선순위 1인 버퍼에서의 셀의 수이고.
qCELL2는 우선순위 2인 버퍼에서의 셀의 수이다.
PRI1, PRI2, PRI3는 각각 우선순위 1, 2, 3인 트래픽이다. //
if qCELL1>QTH1
case
:qCELL2>QTH2:
SVC(PRI1, PRI2, PRI3)
:qCELL2<QTH2:
SVC(PRI1, PRI3, PRI2)
end
else
case
:qCELL2>QTH2:
SVC(PRI2, PRI3, PRI1)
:qCELL2<QTH2:
SVC(PRI3, PRI1, PRI2)
end
end DHOL.
```

그림 2. 이중 문턱값 HOL 알고리즘  
Fig. 2. HOL with double threshold algorithm

### III. 히스테리시스 특성을 이용한 트래픽제어

#### 1. 히스테리시스성 QLT

QLT 알고리즘은 큐잉된 비실시간 셀의 수가 대기행열 문턱값보다 클경우 NRT에게 우선순위를 부여한다. 이 때 NRT 서비스가 시작되면 곧 비실시간 셀의 수가 대기행열 문턱값보다 작아지면 RTT를 서비스해야 한다. 이러한 반복은 짧은 시간에 계속되어 출력링크의 상태를 불안정하게 하고 서비스품질을 저하시킨다(7).

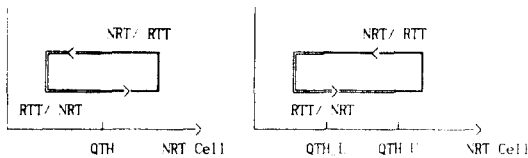


그림 3. QLT와 HQLT의 비교  
Fig. 3. Comparison of QLT and HQLT.

본 논문에 적용된 히스테리시스성 QLT(HQLT)는 대기행열 문턱상한치와 문턱하한치를 설정하여 버퍼의 과기상태 값에 따라 트래픽의 우선순위를 판단하고 처리한다. QLT와 HQLT에서 각각의 임계값

에 따른 우선순위 서비스의 비교를 그림 3에서 보인다. 그림 4는 HQLT 알고리즘의 흐름도이다.

```
SVC(trf1, trf2)
:trf1, trf2의 순서로 우선순위서비스한다.
procedure HQLT(QTH_L, QTH_U, qNRT, NRT, RTT)
//QTH_L은 HQLT 알고리즘의 대기행열 문턱 하한치이고,
QTH_U는 HQLT 알고리즘의 대기행열 문턱 상한치이다.
qNRT은 비실시간트래픽 버퍼에서 NRT의 셀의 수이다.
NRT, RTT는 각각 비실시간트래픽, 실시간트래픽이다.//
while qNRT >= QTH_U do
SVC(NRT, RTT)
case
:qNRT >= QTH_L :SVC(NRT, RTT)
:else: SVC(RTT, NRT)
end
end
end HQLT
```

그림 4. HQLT 알고리즘  
Fig. 4. Hysteresis effect QLT algorithm.

HQLT의 동작 방법은 비실시간셀의 수가 대기행열 문턱상한치가 될때까지는 RTT를 우선순위 서비스하다가 비실시간셀이 문턱상한치보다 커지면 NRT를 서비스한다. NRT서비스에 따라 셀이 감소하여 대기행열 문턱하한치에 이를 때까지는 NRT를 서비스하고, 비실시간 셀의 수가 하한치보다 작아지면 RTT를 서비스한다.

#### 2. 히스테리시스성 유입량제어

고속통신에서 셀의 비버 유입속도에 적합토록 문턱값 상한과 하한을 결정하는 히스테리시스 특성을 이용하여, 시스템 안정도를 높임으로써 서비스 품질을 향상시킬 수 있다.

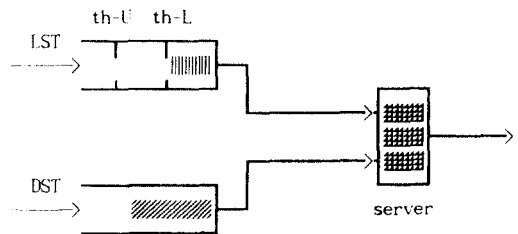


그림 5. 히스테리시스 특성을 이용한 트래픽 우선순위처리  
Fig. 5. Priority scheduling with hysteresis effect.

```

INP(trf_i) : trf_i를 버퍼에 입력시킨다.
SVC(trf1, trf2) : trf1, trf2의 순서로 우선순위 서비스한다.
procedure HFC(Qth_low, Qth_upper, q_cell, trf_loss, trf_delay)
//q_cell은 버퍼에 대기중인 셀의 크기이다.
Qth_low, Qth_upper는 각각 히스테리시스성 흐름제어(HFC)
알고리즘의 대기 문턱 하한치 및 상한치이다.
trf_loss, trf_delay는 각각 손실민감 트래픽 및
지연민감 트래픽이다. //
while q_cell >= Qth_upper do
INP(trf_delay)
SVC(trf_loss, trf_delay)
case
:q_cell >= Qth_upper :
INP(trf_delay)
SVC(trf_loss, trf_delay)
:else :
INP(trf_delay, trf_loss)
SVC(trf_delay, trf_loss)
end
end
end HFC
    
```

그림 6. 히스테리시스성 유입량 제어기법 알고리즘  
Fig. 6. Algorithm of rate control with hysteresis effect.

그림 3(a)와 같이 단일문턱값을 이용한 경우는 문턱값 전후에서 셀의 처리를 ON-OFF하는 시스템의 스위치 기능을 수행한다. 그러나 그림 3(b)와 같이 2개의 문턱값을 이용하면 초기에 입력셀의 크기가 문턱값 상한보다 작은 경우는 지연민감 트래픽(DST: Delay Sensitive Traffic)과 손실민감 트래픽(LST: Loss Sensitive Traffic)의 합인 전체의 트래픽을 입력버퍼에 유입시킴으로써 입력 트래픽밀도를 높이고, 문턱값 상한보다 클때는 버퍼의 입력 트래픽 밀도를 줄이기 위해 지연민감 트래픽만 받아들인다. 그 후 대기셀이 문턱값 하한에 이를 때까지는 같은 상태를 유지하여 문턱값 하한 이하가되면 상한이 될때까지 다시 전체의 트래픽을 입력시킨다.

버퍼 출력단의 트래픽 우선순위 처리방식에 있어서는 QLT 방식의 단일 문턱값방식을 개선하여 그림 5와 같이 히스테리시스 특성에 의한 서비스의 우선순위를 설정한다. 그림 6은 히스테리시스 특성을 이용한 흐름제어 및 트래픽 우선순위처리 알고리즘이다.

동작방법은 버퍼 내에 대기중인 손실민감트래픽 셀의 길이가 문턱값 상한에 도달한 때까지 지연민감 트래픽을 우선순위로 전송하고, 대기 셀의 길이가 문턱값 상한보다 크거나 서비스가 진행되어 문턱값 하한이 될 때 까지는 손실민감 트래픽을 우선순위로 전송한다. 그리고 같은 버퍼 내에서는 동일 종류 트래픽으로 가정하여 FIFO로 처리한다.

### 3. 히스테리시스성 QLT 해석

가입자와 접속되는 ATM 스위치 입력단은 가입자 트래픽원이 상호독립이고 그 수가 많으며, 같은 길이 셀을 타입슬롯 단위로 처리하며, 과거의 셀에는 영향 받지 않고 현재의 셀에 대해서만 미래를 알 수 있으므로 이산변수 마르코프체인(discrete parameter Markov chain) 시스템으로 해석이 가능해진다(8, 10).

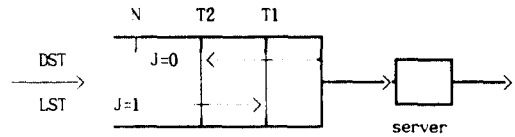


그림 7. 2중 문턱값해석 모델  
Fig. 7. Model of double threshold.

관찰대상의 트래픽은 우선순위가 높은 셀과 낮은 셀로 구성되고 이들은 각각 독립일때 이들의 합인 총 트래픽도 독립이 되므로 해석코자하는 히스테리시스성 흐름제어 시스템은 G/D/1으로 해석할 수 있다. 그러나 실제 시스템에서 트래픽원의 발생패턴을 MMPP (Markov Modulated Poisson Process), IPP (Interrupted Poisson Process), 및 CPP (Compound Poisson Process) 등으로 가정하면 이들 모두는 포아송과정의 변형이고 또 시스템에서의 셀도작용을 포아송과정으로 가정하면 M/D/1으로 모델링이 가능하다. 또 여기서 트래픽 처리시간을 일반분포로 가정한 M/G/1 큐잉모델로 근사시킴으로써 해석이 용이해진다(8). 따라서 다음은 제안 시스템을 M/G/1에 근기하여 2개 문턱값에 대한 큐잉해석을 보인다.

M/G/1에서는 imbedded 마르코프 연쇄방법, 보조변수를 이용한 경과시간 보조변수방법과 남은시간 보조변수 방법, 그리고 마르코프 재생과정(Markov regenerative process)방법으로 수학적해석이 가능하다(11, 12). 본 논문에서는 각 Time slot의 전송시점에서만 imbedded된  $N(T_n^+)$ 을 마르코프 연쇄로 하는 imbedded 마르코프 연쇄방법을 이용한다(8).

m 번째 셀이 서비스되는 시점에서 버퍼에 남아있는 셀의 수와 도착하는 셀의 수를 각각  $Q_m$ 과  $A_m$ 이라 하고,  $\lambda_L$ 과  $\lambda_H$ 를 각각 우선순위가 낮은셀과 높은셀의 평균 도착율이라할 때 총 통화율은  $\lambda = \lambda_L + \lambda_H$ 이 되며  $Q_{m+1}$ 은 다음과 같다(8).

$$Q_{m+1} = \begin{cases} \min(Q_m - 1 + A_{m+1}, N), & Q_m > 0 \\ A_{m+1}, & Q_m = 0 \end{cases} \quad (3)$$

그림 7에서 변수  $J, \pi_k, \pi_{(k,j)}, a_k, C_k, A_1, A_2, b_{n_1, n_2}$  를 다음과 같이 정의한다. 버퍼에서 셀의 상태 변화 과정은  $m$ 번째와 과거인  $m-n$ 번째 셀에서의  $n$  값으로 결정된다.

$$J = \begin{cases} 0, & T_1 < Q_m < T_2, Q_{m-n} = T_1 \\ 1, & T_1 < Q_m < T_2, Q_{m-n} = T_2 \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $m-n$ 은  $m$ 번째 time slot 이전에 마지막으로 입계집에 닿았던 시점을 의미한다. 또, 정상상태 (steady state) 상태에서의 buffer size가  $K$ 가 될 확률  $\pi_k$ 는 다음과 같다.

$$\pi_k = p^k Q_m = k! \quad 0 < k < T_1, T_2 < k < N \quad (5)$$

$$\pi_{(k,j)} = p^k Q_m = k, j = j \quad j = 0, 1, T_1 + 1 < k < T_2 - 1$$

$$a_k = p^k A_{m+1} = k / 0 \leq Q_m \leq T_1 \text{ or } j = 0 \quad (7)$$

$$= \frac{\lambda_1^k e^{-\lambda_1}}{k!} \quad \text{단 } T_1 \leq k$$

$A^1 = Q_m \leq T_1$  또는  $J = 0$ 일때 버퍼크기가  $T_2$ 될때까지 도착한 셀의 수

$A^2 =$  버퍼 크기가  $T_2$ 이상인 이후 도착한 셀의 수 (8)

$$b_{n_1, n_2} = p^{n_1} A^1 = n_1, A^2 = n_2$$

$$= \sum_{n=n_1+n_2}^{\infty} p^{n_1} A^1 = n_1, A^2 = n_2 / A_{m+1} = n! p^{A_{m+1} = n}$$

$$= \sum_{n=n_1+n_2}^{\infty} a_{n-n_1, n_1} C_{n_2} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda}\right)^{n_2} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda}\right)^{n-n_1-n_2} \quad (9)$$

정상 상태 (steady state)에서의 상태  $i$ 가 될 확률을  $\pi_i$ 라 하면 확률벡터  $\pi$ 는 다음과 같다.

$$\pi = (\pi_0, \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{T_1}, \pi_{(T_1+1,0)}, \pi_{(T_1+1,1)}, \dots, \pi_{(T_2-1,0)}, \pi_{(T_2-1,1)}, \dots, \pi_{T_2}, \dots, \pi_N) \quad (10)$$

$$P_{ij} = P^k Q_{m+1} = j / Q_m = i^k \quad (11)$$

시스템이 positive recurrent할 경우  $\pi = \pi P$ 를 만족하는 유일한 극한확률이 존재한다. 시스템이 유한하면 positive recurrent하므로 분시스템의 버퍼를 유한값  $N$ 으로 가정한 경우 positive recurrent하다 (8, 13). 즉 유한 상태 마르코프 연쇄(infinite state Markov chain)는 항상 정적분포(stationary distribution)를 갖는다. 그리고 전 확률법칙(total probability)에 따라서 다음 식을 만족한다.

$$\sum_{k=0}^{T_1} \pi_k = \sum_{k=T_2}^N \pi_k = \sum_{k=T_1+1}^{T_2-1} (\pi_{(k,0)} + \pi_{(k,1)}) = 1 \quad (12)$$

버퍼의 상태  $Q_m$ 에 따라 상태  $i$ 에서  $j$ 로 이동할 전이 확률  $P_{ij}$ 를 구한 결과는  $i$ 의 상태에 따라 다음과 같다.

1)  $i = 0$

$$P_{0j} = \begin{cases} a_0 + a_1 & j = 0 \\ a_{j+1} & 1 \leq j \leq T_2 \\ b_{T_2+1, j-T_2} & T_2+1 \leq j \leq N-1 \\ \sum_{l=N-T_2}^{N-T_2+1} b_{T_2+1, l} & j = N \end{cases}$$

2)  $1 \leq i \leq T_1$

$$P_{ij} = \begin{cases} a_{j-i+1} & i-1 \leq j \leq T_2 \\ b_{T_2-i+1, j-T_2} & T_2+1 \leq j \leq N-1 \\ \sum_{l=N-T_2}^{N-T_2+1} b_{T_2-i+1, l} & j = N \end{cases}$$

3)  $T_1+1 \leq i \leq T_2-1$

$$P_{(i,0),j} = \begin{cases} a_{j-i+1} & i-1 \leq j \leq T_2 \\ b_{T_2-i+1, j-T_2} & T_2+1 \leq j \leq N-1 \\ \sum_{l=N-T_2}^{N-T_2+1} b_{T_2-i+1, l} & j = N \end{cases}$$

$$P_{(i,1),j} = \begin{cases} C_{j-i+1} & i-1 \leq j \leq T_2 \\ \sum_{l=N-T_2+1}^N C_l & j = N \end{cases}$$

4)  $T_2 \leq i \leq N$

$$P_{(i,1),j} = \begin{cases} C_{j-i+1} & i-1 \leq j \leq T_2 \\ \sum_{l=N-T_2+1}^N C_l & j = N \end{cases} \quad (13)$$

### IV. 시뮬레이션 및 결과분석

#### 1. 트래픽 원 모델링

각 트래픽 등급은 AAL프로토콜 가능 타입 1, 2, 3, 4가 제공하는 서비스등급 A, B, C, D에 근거하였다 (3, 15). 트래픽 등급 B는 영상으로 가정하고, 2 상태 MMPP(Markov Modulated Poisson Process)로 모델링하였다. MMPP는 상태 i에서 j로 천이할 비율을 나타내는 무한소 생성 행렬식(infinitesimal generator) Q와 마르코프 체인이 i상태에 있을 때  $\lambda_i$ 의 포아송 도착율을 갖는 행렬식 A로 특성정보를 나타낼 수 있으며, m 상태 MMPP의 Q와 A는 다음과 같다(14).

$$Q = \begin{bmatrix} -q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_m \end{bmatrix}, \quad q_i = \sum_{j=1}^m -q_{ij}$$

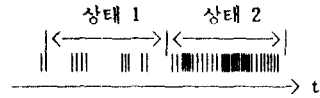
$$A = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \lambda_m \end{bmatrix} \quad (14)$$

2 상태 MMPP는 그림 8과 같은 모델에서 상태 1에서의 평균 지속시간과 평균셀 도착율이  $\gamma_a^{-1}$ 의 지수분포와  $\lambda_1$ 의 포아송 과정이며, 상태 2에서는  $\gamma_b^{-1}$ 의 지수분포와  $\lambda_2$ 의 포아송 과정이므로 Q와 A은 다음과 같다(14).

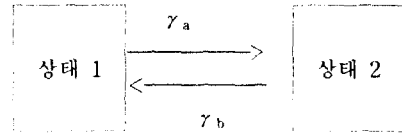
$$Q = \begin{bmatrix} -\gamma_a & \gamma_a \\ \gamma_b & -\gamma_b \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

트래픽 등급 A는 음성으로 가정하고, IPP로 모델링하였다. IPP는 2상태 MMPP의 특수한 경우로서 그림 8에서 상태 1과 상태 2가 ON과 OFF 상태에 해당하며 OFF 상태에서는 셀의 발생이 없다. ON 상태와 OFF 상태의 지속시간은 각각 평균  $\gamma_a^{-1}$ 과  $\gamma_b^{-1}$ 의 지수분포를 갖고, ON 상태에서의 셀의 도착은 평균 비율  $\lambda$ 의 포아송과정을 따른다.

트래픽 등급의 C는 멀티 데이터로 가정하고 멀티 데이터의 트래픽 특성은 CPP(Compound PP)를 따른다고 가정했다. CPP는  $\{Y_i\} = \text{iid}$  일때, 다음으로



(a)



(b)

특성 \ 상태	상태 1	상태 2
상태 분포	지수분포	지수분포
분포 평균	$\gamma_a^{-1}$	$\gamma_b^{-1}$
셀간 분포	지수분포	지수분포

(c)

그림 8. MMPP 모델 (a)셀발생 패턴 (b)상태 천이도 (c) 상태별 특성

Fig. 8. MPP Model (a)cell patterns (b)state transition diagram (c)MMPP characteristics.

정의된다(8).

$$X(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} Y_i \quad (16)$$

여기서  $N(T)$ 는 PP이다. 특히  $Y_i = 1$ 일때  $X(t)$ 는 포아송 프로세스가 되며,  $Y_i = 1, 2, 3 \dots$  일때  $X(t)$ 는 멀티도착을 의미한다.

트래픽 등급 D는 교신성 데이터로 가정하고 데이터 트래픽은 PP로 모델링하였다.  $[0, t]$  시간사이에 도착하는 데이터 호의 수를  $N(t)$ 라 하면 첫째  $N(0) = 0$ , 둘째  $N(t)$ 는 독립적으로 증가하며, 즉  $t_0 < t_1 \dots < t_n$  일때  $N(t_1) - N(t_0), N(t_2) - N(t_1), \dots, N(t_n) - N(t_{n-1})$ 이 독립이며, 셋째  $N(t+s) - N(s)$ 는 파라미터  $\lambda_t$ 를 평균으로 하는, 즉

$$P\{N(t+s) - N(s) = k\} = \frac{e^{-\lambda_t} \lambda_t^k}{k!} \quad (17)$$

의 분포를 가지므로  $\{N(t), t \in R^+\}$ 는 포아송 프로세스가 된다(13).

2. 시뮬레이션 및 결과고찰

본 시뮬레이션은 트래픽 제어를 위해, 버퍼의 최적 문턱값 설정시, 버퍼의 히스테리시스 특성을 이용한 제어기법이 기존방법에 대해 트래픽 처리의 성능향상을 보이기 위한 것이다. 또한 각각의 문턱값 환경에서 트래픽의 우선순위 처리만 하였을 때와 트래픽의 유입량 제어를 병행했을 때를 비교코자 한다.

이를 위해 2중 이상의 트래픽에 의한 우선순위서비스 결정시 단일문턱값을 이용할 때의 비교대상에서 히스테리시스 특성 문턱값의 최적치를 결정한다. 그 값을 이용하여 우선순위 스케줄링만 했을때와 유입량 제어를 같이 했을때를 트래픽밀도별로 비교하고, 1개 문턱값과 2개 문턱값 각각에 대해 스케줄링과 유입량 제어를 했을때를 비교하였다.

그림 9는 QLT와 DQLT를 트래픽 밀도변화에 따라 비교한 것이다. 이를 우선으로 부터 다음 사항을 확인할 수 있다. 첫째, 제한한 DQLT는 비실시간 트래픽을 지연 민감도의 대소에 따라 대기행렬 문턱값을 달리 설정하므로 QLT 메카니즘보다 셀 손실율과 평균지연 면에서 훨씬 우수한 성능을 보인다. 둘째, NRT1보다 NRT2는 지연 민감도가 더 크다는 가정하에 지연 민감도가 클수록 대기행렬 문턱값을 작게 요구한다. 결과 [QTH1, QTH2] = [160, 120]에서 만족한 성능을 얻을 수 있음을 보인다.

그림 10과 그림 11은 우선순위서비스 메카니즘에서 2중 문턱값의 최적치 선택을 위한 곡선이다. 문턱값 2개를 갖는 히스테리시스 특성에 의한 곡선은 모두 1개의 문턱값 곡선보다 향상된 값을 보인다. 2개 문턱값의 상한과 하한이 벌어질수록 성능이 향상되다가 다시 감소하는 것을 보인다. 여기서 최적치는 상한과 하한이 40-120으로써 상하한의 간격 60을 읽는다.

그림 12와 그림 13은 히스테리시스 특성에서 문턱값 상하한의 길이 변화에 따른 셀 손실율과 평균지연을 보인다. 트래픽밀도 0.7과 0.8에서 우선순위 스케줄링을 하였을 때와 트래픽 유입량 제어를 병행했을 때를 비교하면 셀 손실율은 후자가 향상되나 평균지연은 더 키지는 것을 알 수 있다. 이는 버퍼에 입력된 셀이 흐름제어 규칙에 의해 일부만 입력되기에 셀의 폐기가 적은 반면, 트래픽 발생으로부터 입력 후 처리완료 시점까지 기다리는 셀의 수는 증가하기 때문 예인 것으로 해석된다.

그림 14와 그림 15는 트래픽밀도 변화에 따른 각각의 성능을 보인다. 단일 문턱값과 2중 문턱값 설

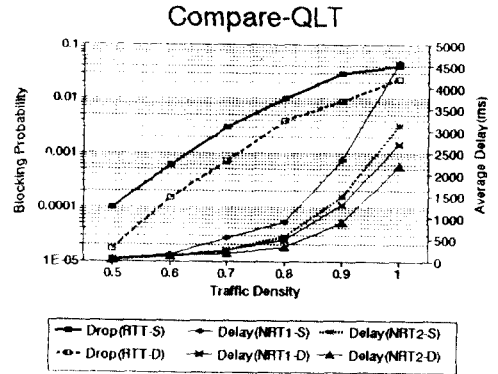


그림 9. QLT와 2중 문턱값 QLT의 비교  
Fig. 9. Comparison of QLT and DQLT.

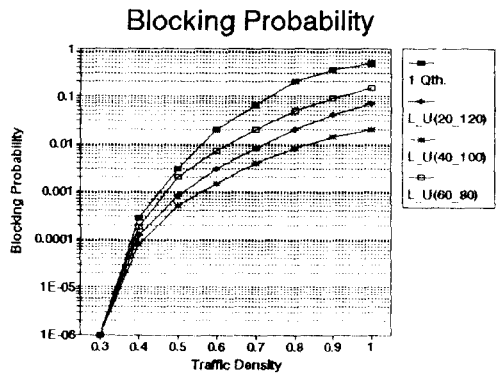


그림 10. 히스테리시스 문턱값에 따른 셀 손실율  
Fig. 10. Cell loss rate of hysteresis threshold.

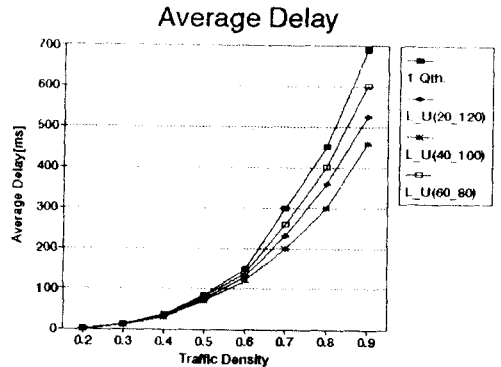


그림 11. 히스테리시스 문턱값에 따른 평균지연  
Fig. 11. Average delay of hysteresis threshold.



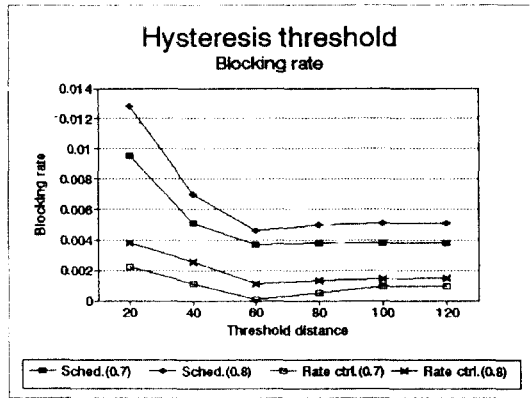


그림 12. 스케줄링과 유입량제어 시의 셀 손실율 비교  
Fig. 12. Cell loss rate of scheduling and rate control.

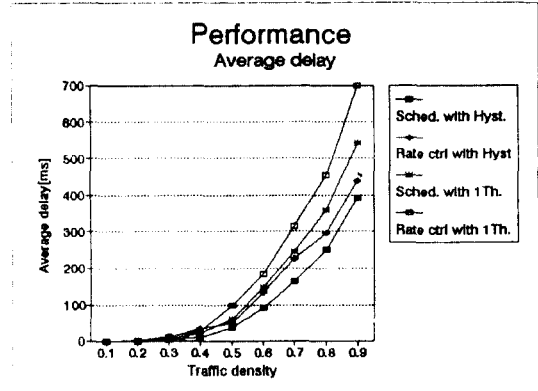


그림 15. 트래픽제어 방식별 평균 지연의 비교  
Fig. 15. Comparison of average delay of mechanisms.

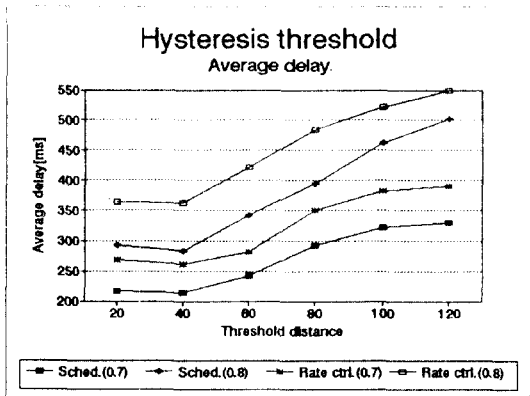


그림 13. 스케줄링과 유입량제어 시의 평균 지연 비교  
Fig. 13. Average delay of scheduling and rate control.

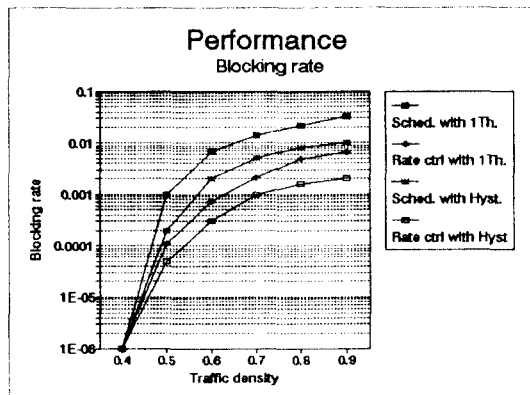


그림 14. 트래픽제어 방식별 셀 손실율의 비교  
Fig. 14. Comparison of cell loss rate of mechanisms.

정시 각각에 대해 우선순위 스케줄링과 유입량제어를 병행할 때 셀 손실율과 평균지연을 비교한다. 단일 문턱값 이용시 보다는 히스테리시스 특성에 의한 트래픽 처리가 셀 손실율과 평균지연 모두 향상됨을 알 수 있다. 또 진출한 바와 같이 유입량 제어를 병행할 경우 트래픽 스케줄링만 하는 것보다 셀 손실율은 향상되거나 평균지연은 증가하는 것을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문은 ATM망 환경에 적용될 수 있는 효율적인 트래픽 제어기법이 연구되었다. 동적우선순위 스케줄링 기법인 MLT와 QLT를 단서로 이중 문턱값을 갖는 우선순위 스케줄링 알고리즘과 버퍼의 히스테리시스 특성을 이용한 트래픽 제어기법을 제안하였다. 2중 문턱값을 갖는 HOL과 2중 문턱값을 갖는 QLT는 각각의 병렬버퍼가 갖고있는 문턱값을 기준으로 처리되므로 낮은 우선순위의 트래픽에도 공정한 서비스 기회가 부여되어 처리능력이 높아짐을 알 수 있었다.

히스테리시스 특성 조건하에 우선순위 스케줄링을 하였을 때와 스케줄링과 유입량 제어를 병행했을 때를 비교하면 셀 손실율은 후자가 향상되거나 평균지연은 더 커지는 것을 알 수 있다. 이는 버퍼에 입력될 셀이 흐름제어 규칙에 의해 일부만 입력되기에 셀의 폐기가 적은 반면, 트래픽 발생으로부터 입력 후 처리완료 시점까지 기다리는 셀의 수가 증가하기 때문인 것으로 해석되었다.

이상과 같이 단일 문턱값을 이용하는 것 보다는 히스테리시스특성에 의한 트래픽 처리가 셀 손실율과 평균지연에 있어서 모두 향상됨을 보였다.

고속 공중망은 트래픽의 집중이 심하므로 링크 효율성이 중요한 변수가 되며, 트래픽 처리 및 제어는 큰 의미를 갖을 것으로 보인다. 향후 분야용 프로세스의 변형된 임력 트래픽이 중첩되어 들어올 때 좀 더 효율적이고 간단한 서비스 스케줄링 기법이 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Ian F.Akyldiz, Izhak Rubin, Kazem Sohraby, "Teletraffic issues in ATM networks", Computer Networks and ISDN Systems, Vol.26, No.1, p.1-4, September 1993.
2. Imrich Chlamtac, Tao Zhang, "A counter based congestion control for ATM network", Computer Networks and ISDN Systems, Vol.26, No.1, p.5-27, September 1993.
3. CCITT, "Recommendation of the I.370 Series Submitted for Approval at the 10th CCITT Plenary Assembly", CCITT/COM18/RAPP/R117E1.DOC, July 1992.
4. Jaime Jungok Bae, Tatsuya Suda, "Survey of traffic Control Schemes and Protocol in ATM Networks", Proceedings of the IEEE, Vol.79, No.2, p.170-189, February, 1991.
5. Renu Chipalkatti, Jaes F. Kurose, Don Tow sley, "Scheduling Policies for Realtime and Non Realtime Traffic in a Statistical Multiplexer",

- IEEE Infocom, p.774-783, 1989.
6. Jay. Hyman, Aurel A. Lazar, Giovanni Pacifici, "Real Time Scheduling with Quality of Service Constraints", IEEE JSAC, Vol.9, No.7, p.1052-1063, Sep. 1991.
7. Kyoo Jeong Lee, Youngho Lim, "Performance Analysis of the Congestion Control Scheme in Signaling System NO.7", IEEE Infocom '89, p. 691-700 1989.
8. Leonard Kleinrock, Queueing system, Vol.1, p. 26-86, p.134-139, p.167-230, John Wiley and Sons, 1976.
9. Leonard Kleinrock, Queueing system, Vol.2, p. 119-126, John Wiley and Sons, 1976.
10. Dimitri Bertsekas, Robert Gallager, Data networks, p.186-265, Prentice Hall, 1992.
11. Bong Dae Choi and Kwang Kyu Park, "The M/G/1 Retrial Queue with Bernoulli Schedule", Queueing System 7, p.219-228, 1990.
12. Per Hokstad, "A Supplementary Variable Technique to the M/G/1 Queue", Scand J Statist 2, 1975.
13. Sheldon M. Ross, Stochastic Processes, p.100-114, p.31-46, 1980.
14. Takashi Okuda, Haruo Akimaru, Kazunori Nagai, "Performance evaluation for Multiclass Traffic in ATM Systems", ICC, p.207-211, 1992.
15. 정상국, 김용욱, "ATM 망에서 다중등급 통화유량 처리를 위한 동적 우선순위 스케줄링에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제 18권 제 2호, p. 279-287, 1993. 2.



丁 相 國(Sang Gug Jong) 正會員  
 1956年 11月 2日生  
 1980년 : 慶熙大學校 電子工學科 卒業(工學士)  
 1982년 : 慶熙大學校 大學院(工學碩士)  
 1985년 : 프랑스 파리 6大學 電子工學科(DESS)

1992년 : 慶熙大學校 大學院(博士과정수료)  
 1987년 1월 ~ 현재 : 한국통신 연구원 근무

陳 庸 玉(Yong Ohk Chin)

正會員

1943年 3月 21日生

1968年 2月 : 延世大學校 工科學 電氣工學科 卒業  
 1975年 2月 : 延世大學校 大學院 電子工學科(工學碩士)  
 1981年 8月 : 延世大學校 電子工學科(工學博士)  
 1980年 : 通信技術士  
 1976年 ~ 現在 : 慶熙大學校 工科學 電子工學科 教授