

# ATM망에서 버퍼점유율을 이용한 지능적인 트래픽 제어 방법

정회원 허 선 동\*, 박 동 선\*\*

## Intelligent Traffic Control with the Buffer Occupancy in ATM Networks

Sun-Dong Heo\*, Dong-sun Park\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 윈도우에 기반을 둔 지능적인 폴리싱 메커니즘을 제안한다. 이전의 메커니즘들이 소스 파라미터만을 인수로 삼은 반면에, 제안 알고리즘은 링크의 현재 상태를 고려할 수 있도록 망으로부터 얻어진 추가 파라미터를 이용한다. ATM 교환기 노드에서 링크의 점유율을 나타내는 버퍼점유율을 추가 파라미터로 제안하였다. 또한, 소스 트래픽의 효과적인 제어를 위해서 퍼지 논리에 따라 다음 윈도우의 셀 허용치를 결정한다. 제안 알고리즘의 모의실험 결과는 본 알고리즘이 기존 퍼지 알고리즘과 같이 기본 요구사항을 잘 수행함을 보여 준다. 그리고, 제안한 버퍼점유율을 포함시킴으로서 다중화기의 셀량에 따른 분산치가 다른 알고리즘에 비해 훨씬 안정되어 감을 보이고 있다. 이러한 점에서, 제안 알고리즘이 귀환 정보인 버퍼점유율을 이용해 폭주를 피하는 등의 더 좋은 망 상태를 추가적인 장점으로 확인할 수 있다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose an intelligent policing algorithm based on the window mechanism. While previous mechanisms are limited to use the only source parameters, the proposed algorithm utilized an additional parameter obtained from the network side to consider the current state of the link. The additional parameter is the buffer occupancy which represents the current occupation rate of an ATM switching node. For the efficient control of the source traffics, the algorithm determines the number of cells allowed in the next window using the fuzzy logic. The simulation results for the proposed algorithm show that the algorithm performs well for the basic requirements as the previous fuzzy mechanism. And the variance of the number of cells in the multiplexer is much stabilized, comparing to other algorithms by including the proposed buffer occupancy. From that point, we can recognize that the proposed algorithm has the additional advantage that the network has the better condition in avoiding the congestion with the feedback information, the buffer occupancy.

### I. 서론

디지털 통신의 대중화로 인한 전송 트래픽의 양적 증가와 질적 향상에 따라 트래픽 제어 및 통신

망 관리의 중요성이 부각되고 있다. 또한, 기존의 통신망이 동일 트래픽을 전송하여 온 것에 비해서, ATM망은 서로 다른 QoS 요구조건을 갖는 망 서비스를 제공해야 하므로 각종 B-ISDN 서비스들을 공존시켜 전송하는 데에 많은 어려움이 따른다.

\* 에프케이메카테크(주) 기기개발실,

\*\* 전북대학교 전자·정보공학부, 영상·정보신기술연구소(dsparm@moak.chonbuk.ac.kr)

논문번호 : 99433-1027, 접수일자 : 1999년 10월 27일

\* 본 연구는 전북대학교 영상·정보신기술연구소 관리로 수행되었습니다.

사용자의 요청에 의한 호는 통신망을 통해 전달하고자 하는 정보를 원하는 곳까지 운반하기 위해 일정한 과정을 거치게 된다. 송신 단에서 수신 단까지의 통신망을 통한 일련의 과정에서, 먼저 호 설정 단계의 CAC는 사용자의 요청을 받아들여 연결설정을 할 것인지를 결정하는 기능을 한다. 새로운 호에 할당할 자원이 충분치 않으면 호를 요청한 사용자에게 호 설정 불가능 신호를 되돌려 보내고, 새로운 호가 설정된 경우에는 사용자가 보낼 트래픽에 대한 계약(Traffic Contract)을 맺게 된다<sup>[2]</sup>. 이에 관여하는 파라미터에는 Peak Cell Rate, Average Cell Rate, Burstiness, Peak Duration 등의 트래픽 소스를 좌우하는 파라미터와 소스가 요구하는 QoS를 명시하는 파라미터가 있다. 즉, CAC는 호 설정시 현재의 망 자원을 고려하여 호 설정 여부를 결정하게 된다.

정보 전송 단계에서는 전달하고자 하는 정보를 원하는 곳까지 전송하는 기능을 하며, 호가 설정된 이후의 과정이므로 폴리싱이 그 역할을 담당한다. 이는 사용자와 망의 협상준수를 감시하는 트래픽 제어의 한 방법으로 유효한 ATM연결에 대해 트래픽을 감시하고 제한한다. 또한, 의도치 않은 동작이나 고의로 발생시킨 오류동작에 의한 새로운 연결이 이미 설정된 연결의 QoS 요구조건을 저하시키지 못하게 하며, 망 자원을 보호하는데 주목적을 두고 있다. 따라서, 폴리싱은 현재 설정된 모든 호의 QoS를 보장함과 동시에 각 사용자가 호 설정 계약을 준수하고 있는지 트래픽량을 감시함으로써 망을 관리하게 된다.

CAC와 폴리싱은 모두 트래픽 제어와 망 관리에 관여하고 있다는 점에서 공통점을 가지고 있지만 CAC가 망 입구에서 호 설정여부에 관련되어 있는 반면, 폴리싱은 망 내에서 트래픽을 감시하므로 이들은 제어시점에 있어서 큰 차이점을 가지고 있다. 그러나, 효율적인 통신망 관리를 위해서는 망 입구에서뿐만 아니라 망 내에서의 감시 및 제어가 적극적으로 이루어져야 하므로 망 자원을 보호하고 망 자원의 효율을 높이는데 주목적을 두고 있는 폴리싱은 필수적으로 이루어져야 한다.

통신망 관리에 대한 연구가 진행되어 오는 동안 많은 폴리싱 기법들이 소개되어 왔으며 이에 따른 요구사항들도 제기되고 있다. 폴리싱 기능을 위한 기본 요구사항에는 선택성(Selectivity), 반응성(Responsiveness) 등이 있으며, 각종 메커니즘은 이러한 요구사항들을 만족시켜야 한다. 그리고, 만족

정도에 따라 메커니즘의 성능을 평가하게 된다. 기존 메커니즘에는 가장 간단한 구조를 갖는 Leaky Bucket (LB)과 일정한 크기의 시간 간격에 윈도우를 적용하여 셀의 수를 감시하는 윈도우 기반(Window-based) 메커니즘, 더 나아가서 인공지능을 적용한 퍼지 기반(Fuzzy-based) 메커니즘 등이 있다. 이러한 메커니즘들은 사용자와 망이 계약할 때 내세운 사용자 파라미터들을 인수로 가지며, 그 파라미터에 기반을 두고 트래픽을 제어하게 된다. 그러나, 트래픽 계약시 파라미터 값은 고정되어 있는 반면, 실제 전송되는 트래픽량은 소스 및 망 상태에 따라 변하므로 실제 트래픽 양을 살피지 않고 사용자 파라미터만으로 트래픽을 제어하는 메커니즘에 문제를 제기할 수 있다.

본 논문에서는 계약시의 트래픽량과 현재 상태의 트래픽량에 차이를 줄이기 위해 기존 사용자 파라미터 외에 현재의 망 상태를 유추할 수 있는 망 내 정보를 인수로 이용한다. 또한, Soft-decision을 가능하게 하는 퍼지이론을 적용하여 효율을 높인 지능적인 폴리싱 메커니즘을 제안한다.

II장은 ATM망의 기존 폴리싱 메커니즘에 대한 비교와 폴리싱의 기본 요구사항에 대해 간단히 설명하고, III장에서는 본 논문에 적용한 퍼지이론을 기술하며 제안된 버퍼점유율을 이용한 지능적인 폴리싱 메커니즘을 설명한다. IV장에서는 앞장의 이론을 뒷받침할 수 있는 모델을 세워 시뮬레이션을 함으로써 성능평가에 대한 결과를 보이고 분석한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. ATM망의 폴리싱 메커니즘과 기본 요구사항

ATM망의 폴리싱 메커니즘을 소개한 2장에서는 CAC와 폴리싱을 포함한 ATM망에서의 트래픽 제어 과정을 나열하고, 효과적인 통신 망 관리를 위해서는 CAC는 물론 폴리싱에 의한 트래픽 제어가 왜 필수적으로 이루어져야 하는지 그 이유를 설명한다. 이는 CAC가 호 설정 과정에만 관련되어 사용자의 트래픽 파라미터만으로 제어하는 반면 폴리싱은 호 설정 과정 이후에 망 내의 트래픽을 감시하므로 망 차원에서 효율을 높이기 위해서 폴리싱을 통한 제어가 이루어져야 함을 보인다.

ATM 통신 방식은 전송하고자 하는 정보를 고정 길이의 ATM 셀로 분할 또는 조합하여 통계적 다중화(Statistical Multiplexing) 단계를 거쳐 셀의 연속적인 흐름에 의해 정보를 전달한다. ATM망은 다

양한 트래픽에 대하여 망 자원 사용의 유연성을 제공하는 반면, 사용자들의 다양한 요구를 만족시키기 위해서는 복잡한 트래픽 제어가 불가피하다. 이 방식은 대역 사용에 있어서는 효율을 높일 수 있으나, 예측 불가능한 트래픽의 발생 등으로 인해 망이 폭주상태에 빠질 수 있다. 따라서, 원활한 통신망을 운영하기 위해서는 망 흐름에 따른 트래픽 제어가 요구된다.

그림 1은 ATM 망에서의 트래픽 제어 과정을 나타낸 것이다. 새로운 사용자가 호 설정을 요구해 왔을 때 호 설정이 수락되는 경우를 예로 든 것이다.

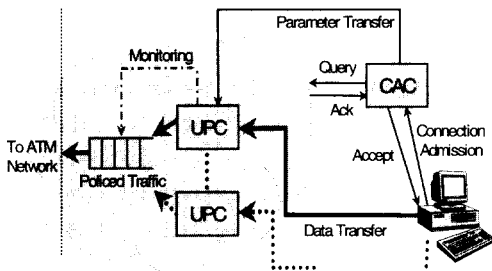


그림 1. 버퍼점유율을 포함한 트래픽 제어

먼저 CAC를 통해 사용자의 호 설정이 요구되며, CAC는 망 관리자에게 질의한 후, 망 자원이 새로운 사용자를 수용할 수 있을 때 Ack 신호를 돌려 보냄으로서 새로운 호가 설정된다. 그림에서 보듯이 호가 설정된 이후에는 폴리싱이 망 관리를 하며, ATM망에서는 예측할 수 없는 트래픽의 발생으로 인해 망이 폭주상태에 빠질 수 있으므로 원활한 통신망 관리를 위해서 폴리싱을 이용하여 트래픽 파라미터를 감시한다.

ATM망 내의 트래픽 제어를 위해 폴리싱 기법을 사용하며, 기존의 폴리싱 메커니즘에는 Leaky Bucket(LB) 알고리즘과 윈도우 기반의 Jumping Windows (JW), Exponentially Weighted Moving Average (EWMA), Moving Windows (MW) 메커니즘과 퍼지 이론을 사용한 메커니즘이 있다. 각각의 폴리싱 메커니즘이 만족해야 하는 기본 요구사항을 가진다. 2.1에서는 폴리싱의 기본 요구사항을 설명하며, 2.2에서는 기존의 폴리싱 메커니즘을 소개하고 특징을 설명한다.

### 2.1 폴리싱의 기본 요구사항

효과적이고 실행 가능한 폴리싱을 위해서 다음의 요구사항이 정의되며, 폴리싱 메커니즘은 기본적으로

로 다음의 요구사항을 만족시켜야 한다<sup>[8]9)</sup>.

- 선택성 (Selectivity)
- 반응성 (Responsiveness)
- 간단성 (Simplicity)

첫 번째로 선택성은 사용자와 망간의 계약을 어기는 트래픽을 인지하는 것은 물론이고, 작은 범위 내의 트래픽 변화에 너무 민감하여 허용될 수 있는 부분을 잘못 인식할 수 있는 오류확률(False Alarm Probability)을 줄이기 위한 요구사항이다. 즉, 사용자가 계약을 평균적으로 잘 지키고 있는지를 감시하게 된다. 오류를 줄이고 선택성을 좋게 하기 위해서는 폴리싱 측면에서 관찰하는 범위를 늘려야 한다는 결론을 갖는다. 두 번째로 반응성은 시간과 접목된 요구사항으로 위배된 사용자를 얼마만큼 빨리 인식하느냐와 관련된다. 선택성에서의 상황과는 반대로 관찰의 폭을 줄일수록 반응성을 좋게 나타나기 때문에 선택성과 반응성의 두 가지 요구사항의 상반된 관계를 고려해야 한다. 마지막 요구사항은 메커니즘의 간단성이다. 메커니즘을 구현할 때 그 복잡도를 포함하며, 비용의 효율성까지도 포함한다.

이들은 메커니즘의 자체성능을 평가하는데 사용하지만 메커니즘간의 비교 분석에도 사용될 수 있다.

### 2.2 기존 폴리싱 메커니즘

기존 폴리싱 메커니즘에는 가장 간단한 구조로 많이 알려져 있는 LB와 윈도우 기반 메커니즘, 그리고 퍼지 기반 메커니즘이 있다<sup>[4)</sup>.

#### 2.2.1 Leaky Bucket 메커니즘

가장 간단한 구조를 갖는 Leaky bucket 메커니즘은 호 설정 단계에서 협정된 셀률과 소스에서 보내는 실제 셀률의 차이를 제어하는 것을 목표로 하며, 그림 2에서 보듯이 교환기 노드에서 고정된 크기의 버퍼를 사용한다<sup>[6]7)</sup>. 계수기의 증감을 이용해 버퍼안의 셀량을 확인함으로써 셀을 전송하거나 폐기한다. 소스에서 셀이 발생될 때마다 계수기의 값은 하나씩 증가하게 되고, 발생된 셀의 망 입력과는 독립적으로 주기적인 일정 리키율(Leaky rate)을 가짐으로 셀을 전송한다. 이 메커니즘에서는 선택성을 만족시키기 위해 False Alarm Probability를 낮추어야 하며 이를 위해서는 버킷의 크기가 커야 한다. 반면, 다른 요구사항인 반응성은 버퍼의 크기가 증가할수록 반응시간 또한 길어지게 되므로 버킷의 크

기가 작아야 한다. 그러므로, 선택성과 반응성을 적절히 만족시킬 수 있도록 상호균형에 의해 버퍼크기가 결정되어야 한다.

LB 메커니즘은 입력 트래픽에 따라 두 개의 파라미터 - 리키율과 버퍼크기, -만으로 제어하기 때문에 일반적으로 기존의 폴리싱 메커니즘 중에서 세 번째 요구사항인 간단성을 가장 잘 만족시킨다. 또한, 트래픽의 최대 비트율 제어에도 비교적 우수한 성능을 보이지만, 평균 비트율 제어에는 효과적이지 못한 것으로 평가되고 있다.

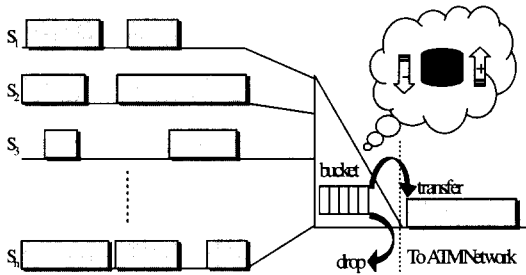


그림 2. Leaky Bucket 메커니즘

2.2.2 윈도우 기반 메커니즘

윈도우 기반 메커니즘의 기본 개념은 크기가 일정한 윈도우를 시간영역에 적용하여 셀량을 감시하는 것으로서 윈도우를 어떻게 적용하느냐에 따라 여러 가지 메커니즘으로 구분된다. 또한, 메커니즘마다 윈도우에서 받아들일 수 있는 최대 셀량을 고정 또는 가변으로 다르게 정함으로써 최대 셀량도 윈도우 기반의 여러 가지 메커니즘들을 구분하는 요인이 된다<sup>[4]</sup>.

위의 두 가지 요인에 의해 구분되는 윈도우 기반 메커니즘에는 위에서 언급한 JW, EWMA, MW 등이 있다.

JW는 고정 크기의 윈도우에 수용가능한 셀을 정하여 상한선을 초과하는 셀을 폐기시킨다. 윈도우마다 반복되는 이러한 동작은 고정된 값의 파라미터를 사용하기 때문에 트래픽량에 적절한 대응이 용이하지 못하다는 단점을 가진다.

반면, EWMA는 고정된 간격의 윈도우를 사용한다는 점에서 JW와 같지만 최대셀수가 윈도우당 허용되는 평균셀 수와 이전 윈도우에서 허용된 셀수에 의해 결정된다.

그림 3은 랜덤하게 발생한 셀들이 EWMA 메커니즘을 통과한 결과로서 이를 시간영역에서 살펴본 것이다. 이전 윈도우의 셀량을 파악하여 다음 윈도

우에 적용하는 EWMA는 시간 축을 동일한 크기의 윈도우로 나누며, i번째 윈도우에서 허용되는 최대 셀수(Ni)는 윈도우 당 허용되는 평균 셀 수(N)와 이전 윈도우에서 허용된 셀수(Xi-1)의 지수적 가중합으로 결정된다.

$$N_i = \frac{N - \gamma S_{i-1}}{1 - \gamma} \quad 0 \leq \gamma < 1 \quad (1)$$

$$S_{i-1} = (1 - \gamma)X_{i-1} + \gamma S_{i-2} \quad (2)$$

식(1)과 (2)는 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$N_i = \frac{N - (1 - \gamma)(\gamma X_{i-1} + \dots + \gamma^{i-1} X_1) - \gamma^{i+1} S_0}{1 - \gamma} \quad (3)$$

EWMA 메커니즘은 윈도우마다 이전 윈도우의 셀 수에 따라 다음 윈도우의 허용치가 적용되므로 어느 정도 셀 흐름을 반영한다고 할 수 있었다. 그러나, 통신 서비스의 가속화와 멀티미디어화에 더불어 망을 통해 고속의 트래픽이 전송되기 때문에 이전 윈도우의 흐름만으로는 망의 빠른 변화에 대처할 수 없다. 따라서, 이 메커니즘이 망 전체의 흐름을 파악했다고 보기는 힘들다.

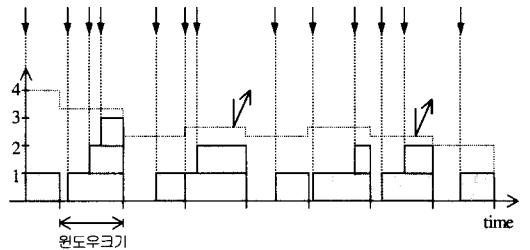


그림 3. 윈도우에 기반한 EWMA 메커니즘

2.2.3 기존 Fuzzy 메커니즘

이전의 폴리싱 메커니즘이 한계점에 부딪히자 트래픽 제어에 인공지능을 적용하기 위한 노력이 진행되었다. 말로 표현되는 애매한 변수를 수학적으로 모델링한 최초 퍼지 알고리즘이 Vincenzo Catania에 의해 제안되었다<sup>[4]</sup>. 언어변수의 수학적 모델링을 가능하게 한 퍼지이론은 논리값을 0 이나 1이 아닌 [0,1]구간을 사용하여 Soft-decision을 함으로서 상황에 따라 유연하게 대처할 수 있게 하였다. 그러나, 퍼지 기반의 메커니즘도 소스의 트래픽 파라미터만을 퍼지의 입력으로 하고 있어 여전히 망 상태에 유기적인 못하다는 단점을 내포하고 있다<sup>[10]</sup>.

퍼지이론은 제안 메커니즘에 적용되었으므로 뒤

에서 다시 언급하기로 한다.

### 2.3 기존 메커니즘의 비교

그림 4는 기존의 폴리싱 메커니즘들을 비교한 것이다. 가로축은 협정된 셀룰과 실제 셀룰의 비로서 ' $\sigma$ '로 나타낸 것이며, 세로축은 가로축에 따른 에러율로서 ' $P_e$ '로 표현한 것이다. 이는 각 사용자들이 협정 파라미터를 평균적으로 잘 지키고 있는지의 여부를 감시하며, 폴리싱 메커니즘의 기본 요구사항 중 하나인 선택성을 평가한 것이다. 이상적인 경우에는  $\sigma$ 가 '1'값을 가지며 협정 파라미터와 실제 셀룰이 같으므로 사용자가 계약을 잘 이행하고 있음을 의미한다.  $\sigma$  값이 커질수록 협정 파라미터에 비해 실제 셀룰이 많아지는 것이며 이는 협정된 파라미터와는 달리 사용자가 전송 가능한 트래픽량보다 더 많은 양을 전송하고 있음을 의미한다.

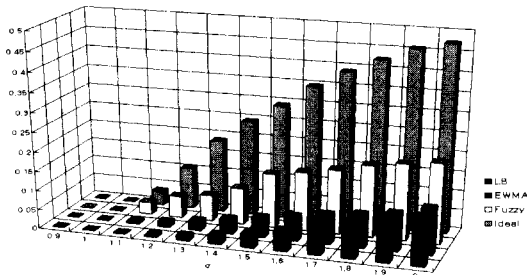


그림 4. 기존 폴리싱 메커니즘의 비교

실험 대상 메커니즘은 가장 널리 알려지고 사용되는 Leaky Bucket과 윈도우 기반 메커니즘에서 이전 윈도우의 셀량을 다음 윈도우에 반영하는 EWMA, 그리고 기존의 퍼지기법이며, 이상곡선과 비교하였다. 이 비교실험에서는 선택성이 좋은 메커니즘일 때,  $\sigma$  값이 커질수록 에러확률도 커진다. Leaky Bucket이나 EWMA는 협정 파라미터보다 많은 양의 셀을 보내고 있음에도 불구하고 위반 셀을 가려내지 못하는 결과를 보이지만, 퍼지이론을 적용한 기존 퍼지기법이 다른 메커니즘에 비해 이상곡선에 접근하고 있음을 확인할 수 있다. 반응성에서도 마찬가지로 다른 메커니즘에 비해서 발생된 셀에 대해 빠른 움직임을 보임으로 퍼지기법이 선택성뿐만 아니라 반응성도 만족시키고 있다<sup>41[8]</sup>.

### III. 버퍼점유율을 사용한 지능적 폴리싱 메커니즘

기본적으로 과거의 망과 현재의 망은 여러 가지

면에서 차이가 있겠지만, 두드러진 차이점은 망이 포함하는 트래픽의 종류가 서로 다르다는 것이다. 따라서 기존에 다루어 왔던 저속의 동일 트래픽과는 달리 다양한 종류의 트래픽을 감시하고 제어하기 위해서 트래픽 제어 기법 자체가 달라져야 한다. 앞에서 살펴보았듯이 기존의 메커니즘은 망 상태와는 동떨어져 사용자가 주는 트래픽 파라미터만으로 제어를 하고 망 관리를 해 왔다. 동일 데이터만을 저속으로 전송했던 과거의 트래픽은 사용자 파라미터만으로도 어느 정도 효과가 있는 제어가 가능했지만, 기존의 저속 데이터뿐만 아니라 고속의 데이터까지를 포함하여 다양한 비트율을 전송하는 ATM망에서는 사용자마다 다양한 데이터 전송을 요구하고 있어 좀 더 고도화되고 지능화된 제어 메커니즘이 불가피하다.

따라서, ATM 망을 통해 전달되는 정보들의 감시와 관리 및 제어를 위해서는 기존의 폴리싱 메커니즘과는 다른 새로운 트래픽 제어기법이 필요하다. 또한, 정보를 고속으로 전송하기 위해서 트래픽 제어도 고속이 되지 않으면 안되므로 트래픽 계약시 이용한 사용자 파라미터 외에 망 상태를 반영하는 트래픽 정보가 있어야 한다. 트래픽 제어 속도가 망 속도를 따라가지 못할 경우, 대부분의 폴리싱 메커니즘은 망의 과거 상태에 대한 트래픽 제어를 하기 쉽다. 예를 들어 망 상태가 원활하게 이루어졌던 ( $i-1$ )시점에 호 설정을 요구해 오는 사용자가 많았다고 하자. ( $i-1$ )시점에서는 망 상태가 원활하게 이루어지고 있었고, 각각의 사용자를 받아들여도 망이 수용할 수 있는 상태였기 때문에 호 설정 요구를 받아들였을 것이다. 이 때문에  $i$ 시점에서 망은 폭주상태가 되었고, 이에 따라 선택된 셀을 폐기해야 했다. 위와 같은 과정이 망의 변화에 따라 빠른 속도로 이루어졌지만, 폴리싱 메커니즘이 그 속도를 따라가지 못하고 조금 전의 상태, 즉 망 운영이 원활하게 이루어지고 있던 ( $i-1$ )시점을 인지하고 그에 따라 트래픽 제어를 한다면 망 상태에 관계없는, 아무런 의미가 없는 망 관리를 하게 된다.

기존 폴리싱 메커니즘이 현재의 ATM망을 위한 트래픽 제어 메커니즘으로 사용될 수 없는 가장 큰 문제점이 사용자의 요구에, 그리고 망의 빠른 변화에 부응하지 못하는 데 있으므로 이러한 문제점을 해결하기 위해 교환기 노드로부터의 귀환정보인 버퍼점유율을 제안 폴리싱 메커니즘의 파라미터로 사용한다. 망 상태와 유기적이지 못한 사용자 파라미터의 적용으로 기존의 폴리싱 메커니즘은 망의 빠

른 변화를 따라갈 수 없기 때문에 새로운 알고리즘에서는 현재의 트래픽 상태를 반영하는 망 상태 정보를 이용하는 것이다.

### 3.1 퍼지 이론의 적용

#### 3.1.1 퍼지이론의 개요

퍼지이론의 기본을 이루는 퍼지집합은 보통집합(Crisp Set)의 확장개념으로서 어떤 사실이 얼마나 정확한가를 사람이 느끼는 감각에 맞추어 확률로 나타낸다. 따라서, 다루어지는 변수도 숫자가 아닌 언어변수(Linguistic Variable)를 사용하며, 이러한 개념을 이론화한 퍼지는 불확실한 집합을 그대로 표현하는 데 효과적이다<sup>12)</sup>.

퍼지집합에서는 원소의 소속정도를 멤버함수(Membership Function)에 의해서 표현할 수 있다. 단, 보통집합에서 원소와 비원소간에 구분이 확실한 반면, 퍼지집합에서는 집합의 경계가 애매하여 '0', 또는 '1'이 아닌 구간 [0, 1]로 '0'과 '1'사이의 모든 실수로 매핑시킨다. 이로서 불확실한 집합의 경계를 표현할 수 있으며, 주어진 퍼지규칙과 사실의 모임으로부터 추론(Inference)과정을 거쳐 논리적으로 타당한 새로운 사실을 얻어낸다. 이렇게 해서 퍼지이론은 연산에 있어서 복잡한 수학적 모델을 필요로 하지 않고 단순한 방법의 연산과정만으로 가능하므로 하드웨어 구현이 쉬우며, 연산이 병렬처리되므로 제어속도가 빠르다는 장점이 있다.

### 3.2 버퍼점유율의 도입과 적용

다양한 특성의 사용자 트래픽이 다양한 비트율을 갖기 때문에 망 상태를 파악하여 트래픽량에 반영하는 것이 망 관리에 중요한 요소가 된다. 망 상태를 반영하는 상태정보를 이용하여 제어할 때 비로소 현재의 망 상태에 적응적인 트래픽 제어를 하게 되며, 트래픽 제어의 기본 취지에 상응하게 된다.

#### 3.2.1 버퍼점유율의 도입

ATM망의 트래픽 제어시, 망의 빠른 변화에 대응할 수 있는 적극적인 제어를 하기 위해 현재의 망 상태를 반영하는 망 상태 정보를 적용한다. 망 내 상태정보로서 버퍼점유율을 사용하며, 퍼지 이론을 적용함으로써 현재의 망 상태변화에 따라 지능적으로 트래픽을 제어하게 한다. 교환기 노드로부터의 귀환정보인 버퍼점유율의 도입함에 따라 망 상태에 유기적인 트래픽 제어가 가능하게 되었으며, 여기에 퍼지 이론을 적용함으로써 망의 빠른 상태 변화에

따라 지능적인 트래픽 제어를 가능하게 한다. 또한, 호 설정 요구가 받아들여지면 사용자는 ATM교환기 단을 거치게 되는데, 버퍼점유율은 교환기 내 버퍼의 포화정도를 가능하는 기준이 된다. 이는 망의 수용능력을 가능할 수도 있으며, 망 내의 밀집현상 및 해소상황을 나타내는 척도로 사용되기도 한다.

#### 3.2.2 버퍼점유율의 적용

망 상태를 반영하는 파라미터를 추출하기 위해서는 사용자로부터의 고정 파라미터가 아니라 망 내에서 운영하고 관리되는 가변의 파라미터가 필요하다. 본 논문에서는 망 상태를 반영하는 파라미터로 ATM 교환기 노드의 버퍼점유율을 선택하였으며, 그림 1에서처럼 트래픽 제어에 포함시켰다. 이는 호 설정 과정을 거친 후 통계적 다중화를 할 때 버퍼에 포함된 셀 수를 감시함으로써 트래픽량을 파악한다. ATM교환기 노드에서의 감시결과는 귀환되어 폴리스싱에 적용되며, 이는 망 상태에 따른 제어를 의미한다. 선택된 버퍼점유율은 CAC에서 연결 수락 여부를 결정하는 요인으로 작용하고, 망의 수용능력을 가능할 수 있으며, 망 내의 밀집현상 및 해소상황을 나타내는 척도로 사용된다. 이는 그림 1의 ATM망의 트래픽 제어와 비교할 수 있다.

### 3.3 버퍼점유율을 인수로 하는 퍼지 기법

본 논문에서 제안된 망 상태에 적응적인 폴리스싱 알고리즘을 구현하기 위해서 버퍼점유율을 인수로 하는 퍼지 기법에 대해 알아본다.

사용자의 각 노드는 다양한 트래픽 소스를 가지고 망에 접근하며, 다중화기에서 링크로의 셀들은 각 사용자의 호 설정 및 연결 수락과정에서의 셀수에 비해 고속이다. 일단 연결이 설정되면 망은 폴리스싱 메커니즘에 의해 관리되며, 퍼지이론과 결합될 때 우선적으로 입력력 파라미터를 구성하게 된다.

#### 3.3.1 퍼지의 입력력 파라미터

퍼지이론과 결합될 때 우선적으로 멤버함수를 구성한다. 멤버함수로 구성되는 파라미터에는 연결 후 윈도우당 평균 도착 셀 수에 해당하는  $A_i$ , 이전 윈도우의 허용치에 해당하는  $P_i$ , 이전 윈도우의 도착 셀 수에 해당하는  $E_i$ , ATM 교환기의 버퍼점유율  $L_i$ 의 입력 파라미터와 다음 윈도우의 허용치에 대한 증감을 나타내는  $\Delta P_{i+1}$ 의 출력 파라미터가 있다.

첫 번째 파라미터는 사용자의 long-term 추세를

암시해 주고, 두 번째 파라미터는 현재 동작을 가리킨다. 세번째 파라미터인 마지막 윈도우에서  $P_i$  값은 메커니즘이 그 사용자에게 가지고 있는 현재의 허용 정도를 가리킨다. 네 번째 파라미터는  $L_i$ 로 연결이 시작된 후 ATM 교환기 노드의 버퍼내 점유율을 나타낸다. 이러한 파라미터들은 퍼지의 입력 파라미터를 구성하는 네 개의 언어변수들이다<sup>[4]</sup>. 위의 입력 파라미터에 의해 구해진 출력 파라미터는 언어변수  $\Delta P_{i+1}$ 로서 문턱치  $P_i$ 에 의해 계산되며, 다음은 구성된 파라미터에 대한 멤버함수이다. 그림 5(a),(b)는 입력 파라미터의 멤버함수이며, 그림 6은 출력 파라미터의 멤버함수이다.

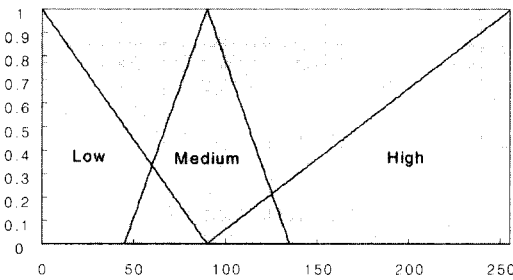


그림 5(a) 입력 멤버함수 :  $A, E, L_i$

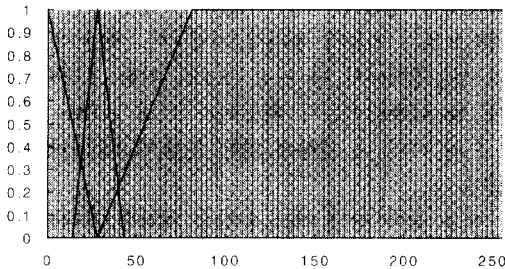


그림 5(b) 입력 멤버함수 :  $P_i$

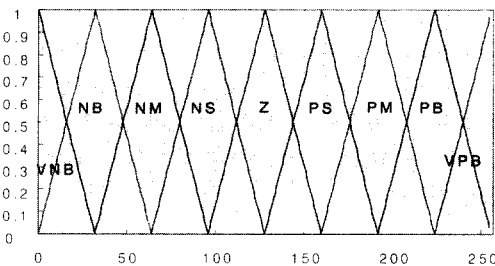


그림 6. 출력 멤버함수 :  $\Delta P_{i+1}$

퍼지의 입력 파라미터는 Low, Medium, High의 세단계로 나누었으며, 입력에 대해 좀 더 세밀한 대응을 하기 위해 출력 파라미터는 9단계로 나누었다. 출력 파라미터,  $\Delta P_{i+1}$ 이 가질 수 있는 9개의 값은 VPH(Very Positive High), PH (Positive High), PM(Positive Medium), PL(Positive Low), Z(Zero), NL(Negative Low), NM(Negative Medium), NH (Negative High), VNH(Very Negative High)이며 출력 값은 다음 윈도우에 적용하게 된다.

### 3.3.2 퍼지 규칙

앞 장에서 설명된 퍼지 이론에 따라 사용자의 동작을 나타내는 파라미터와 트래픽 제어변수는 언어변수와 퍼지 집합으로 구성된다. 퍼지 시스템 모델은 제어 규칙의 집합에 의해 표현되며, 이는 시스템 파라미터를 변경시켜가며 Tuning 과정을 통해 얻어졌다.

퍼지 제어 규칙은 세 단계로 구성된 네 개의 입력 파라미터와 이홉 단계로 구성된 하나의 출력 파라미터의 조합으로 이끌어 낼 수 있다.  $A_i, P_i, E_i, L_i$ 의 조합으로 이루어진 퍼지 규칙은 총 81개가 존재하지만 발생 불가능한 규칙을 제외하여 54개만을 적용 규칙으로 삼는다. 윈도우 기반 알고리즘에서 망의 상태정보를 이용하여 이전 윈도우까지의 결과로부터 출력 파라미터  $\Delta P_{i+1}$ 을 구할 때에는 네 개의 입력 파라미터가 퍼지의 논리곱의 관계에 있으므로, 최소값을 구하여 다음 윈도우의 증가분으로 사용한다. 즉, 퍼지 제어 규칙에 적용하여 출력 파라미터의 이홉 단계 중 하나를 이끌어 내어 다음 윈도우에 적용한 후, 중간값(Centroid)을 다음 윈도우의 증가분  $\Delta P_{i+1}$ 으로 사용한다.

표 1의 퍼지 제어 규칙에서 제외된 27개의 불가능한 규칙은 다음과 같은 이유에서 비롯된다. 연결 후부터의 평균 도착셀 수  $A_i$ 가 Low인 경우에 이전 윈도우의 허용치에 해당하는  $P_i$ 는 언제나 High이다. 또한  $A_i$ 가 Medium일 때  $P_i$ 는 Low일 수 없으므로  $P_i$ 는 High와 Medium만이 존재한다. 마지막으로  $A_i$ 가 High일 경우,  $P_i$ 는 Low, Medium, High가 가능하다. 평균 도착 셀이 많아짐에 따라 예민해진 망이 작은 움직임에도 민감하게 반응함을 방지하게 하기 위한 경우에는  $P_i$ 가 Low이고,  $P_i$ 가 High인 경우는 연결 초기부터 위배된 셀이 발생되는 상황이다.

표 1. 퍼지 규칙

	A <sub>i</sub>	P <sub>i</sub>	E <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	ΔP <sub>i-1</sub>
1	L	H	L	L	VPH
2	L	H	L	M	PH
3	L	H	L	H	PM
4	L	H	M	L	PM
5	L	H	M	M	PL
6	L	H	M	H	Z
7	L	H	H	L	PL
8	L	H	H	M	Z
9	L	H	H	H	NL
10	M	M	L	L	VPH
11	M	M	L	M	PH
12	M	M	L	H	PM
13	M	M	M	L	PM
14	M	M	M	M	PL
15	M	M	M	H	Z
16	M	M	H	L	PL
17	M	M	H	M	Z
18	M	M	H	H	NL
19	M	H	L	L	VPH
20	M	H	L	M	PH
21	M	H	L	H	PM
22	M	H	M	L	PL
23	M	H	M	M	Z
24	M	H	M	H	NL
25	M	H	H	L	NM
26	M	H	H	M	NH
27	M	H	H	H	VNH
28	H	L	L	L	VPH
29	H	L	L	M	PH
30	H	L	L	H	PM
31	H	L	M	L	PH
32	H	L	M	M	PM
33	H	L	M	H	PL
34	H	L	H	L	PM
35	H	L	H	M	PL
36	H	L	H	H	Z
37	H	M	L	L	VPH
38	H	M	L	M	PH
39	H	M	L	H	PM
40	H	M	M	L	PH
41	H	M	M	M	PM
42	H	M	M	H	PL
43	H	M	H	L	PL
44	H	M	H	M	Z
45	H	M	H	H	NL
46	H	H	L	L	Z
47	H	H	L	M	NL
48	H	H	L	H	NM
49	H	H	M	L	NL
50	H	H	M	M	NM
51	H	H	M	H	NH
52	H	H	H	L	NM
53	H	H	H	M	NH
54	H	H	H	H	VNH

#### IV. 성능평가

본 장에서는 제안한 폴리싱 알고리즘의 성능을 평가한다. 시뮬레이션을 하기 위한 소스모델로 On-Off 모델을 선택하며, 다른 메커니즘과의 비교 분석을 통해 제안 알고리즘의 성능이 뛰어난을 보인다.

인공지능에 기초한 해를 발견하고, Soft-Computing의 장점을 이용한다는 관점에서 퍼지 논리를 사용한 Vincenzo의 알고리즘에 이어 제안 메커니즘은 망 상태에 적응적이면서 지능적으로 트래픽을 제어한다.

##### 4.1 소스모델

제안한 폴리싱 알고리즘의 성능 평가를 위한 소스모델로 그림 7과 같이 Burst와 Silence가 반복되는 On-Off 소스모델을 사용한다<sup>8)</sup>.

일정 시간동안 셀이 전송되는 On상태에서는 기하

학적 분포(Geometric Distribution)에 의해 전송할 셀 수를 정하고, 셀의 흐름이 없는 Off상태에서는 지수 분포(Exponential Distribution)에 의해 시간을 구한다. Burst 셀 수를 구하기 위해 평균값  $E[X]=5(\text{Cells})$ 에 기초하며, 일정기간동안 셀이 전송된 후에는 평균값  $E[S]=0.14772(\text{sec})$ 를 가지는 Silence time을 구한다. 이 때 On상태의 하나의 셀이 전송되는 시간간격  $\Delta$ 는 16(msec)로 하며, 퍼지 이론의 멤버함수로 짜여진 윈도우당 평균 도착 셀 수, 이전 윈도우의 허용치, 이전 윈도우의 실제 셀 수와 함께 버퍼점유율도 256레벨로 일반화한다.

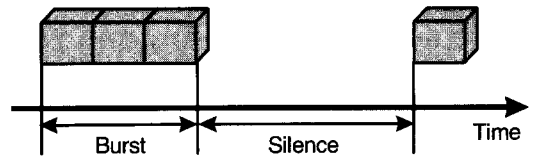


그림 7. 트래픽 소스 모델

##### 4.2 성능평가를 위한 파라미터

제안 폴리싱 메커니즘의 성능을 평가하게 위해서는 측정 파라미터가 필요하다. 본 논문에서 추구하는 바는 기본적으로 전송하고자 하는 정보를 오류 없이 원하는 곳까지 전송하는 것이지만, 정보 전달 과정에서 행해지는 망 측면의 트래픽 제어이며 구체적으로는 지능적 폴리싱 기법이다. 제안 메커니즘의 성능평가에서 망 자원 보호를 위한 트래픽 감시가 잘 이루어지는지 확인하기 위해 ATM 교환기 노드의 버퍼 내 셀량에 대한 분산(Variance)을 측정했다.

예를 들어 만약 어느 순간에 예약한 트래픽 파라미터보다 더 높은 셀률로 전송을 시작하는 사용자를 생각한다면, 연결이 지속됨에 따라 그것을 허락할 것인가의 여부와, 얼마나 오랫동안 폴리싱이 그러한 위법행위를 허락할 지 설정하는 것은 의문이다. 만약, 사실상 과도한 허용이 있어 연결이 끊어지려 한다면, 발생할지도 모를 망의 폭주를 발견하는 데 실패할 위험이 있다. 다른 한편으로 제어가 엄격하여 사용자의 전송률이 연결의 나머지 기간동안 현저히 감소한다면 얼마간의 False Alarm이 발생할 것이다.

##### 4.3 실험 결과

망 자원의 보호차원에서 트래픽을 관리하므로 사용자의 요구는 물론 망 측면에서도 만족시킬 메커



니즘을 정의하는데 중요한 목적이 있다. 특히, 제한된 폴리싱 메커니즘의 목표는 낮은 False Alarm Probability를 유지하고, 동시에 높은 반응성을 가지고 위배된 셀을 발견하는 것이다. 이미 지적한 바와 같이 이상적인 폴리싱 메커니즘은 Long-term의 계약한 파라미터가 잘 지켜지는 동안에 Short-term의 변동(Fluctuation)이 허용되어야 하고 또한 발생한 위반을 즉시 인지해야 한다. 사용자가 높은 전송률의 구간을 나타낼 때 허용할지의 여부는 나중에 결정되는 것처럼, 연결의 지속 기간을 초기에 알 수 없기 때문에, 이러한 목적을 이루기 위해서는 정확한 제어 전략이 선택되어야 한다.

소스모형을 이용해서 긴 시간(Long-term)에 걸친 평균 셀률인  $\lambda$ 를 식(4)과 같이 구하고,  $\lambda$ 를 이용해서 윈도우 크기를 정한다. 식(5)에 의해 정해진 윈도우 크기에 따라 윈도우당 최대 셀 수를 구한 후, 호 설정 과정 및 정보 전송 과정의 시뮬레이션을 시작한다.

$$\lambda = \frac{1}{\frac{E[S]}{E[X]} + \Delta} \quad \Delta: \text{intercell time} \quad (4)$$

$$\text{width} = \frac{N_s}{\lambda} \quad N_s: \# \text{ of cells per sec} \quad (5)$$

망 내의 트래픽 상태정보인 버퍼점유율을 파라미터로 삼고, 실제 망 상태에 따른 관리가 이루어지는지 확인하기 위해 사용자는 랜덤하게 발생해 호 설정 과정을 거쳐 받아들인다. 정보 전송 과정에서는 ATM 교환기 노드에서 버퍼의 포화정도를 살펴며, 성능 분석의 요인으로 분산을 구한다. 그림 8은 시뮬레이션이 진행되는 동안 버퍼를 감시하여 시간축에 대해 셀 량의 흩어진 정도 즉, 분산값을 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 통해 시간이 지남에 따라 분산값이 안정되어 감을 확인하였으며, 그림 8에 대한 이해를 돕기 위해 그림 9(a)와 그림 9(b)는 동일 테

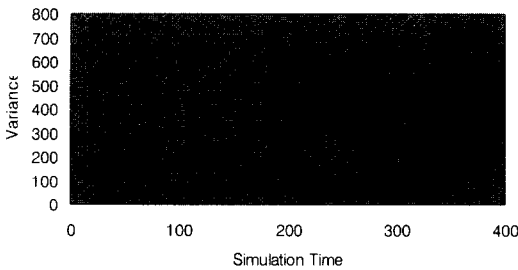


그림 8. 버퍼점유율의 분산

이터로 구성하였으며, 시뮬레이션 시간에 따라 함께 표현하였다.

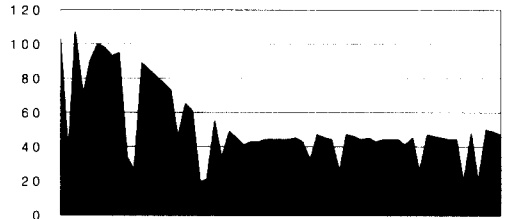


그림 9(a) 시간축에 대한 버퍼내 분포

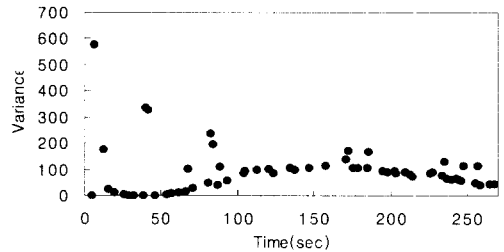


그림 9(b) 시간축에 대한 버퍼점유율의 분산

본 논문의 접근에서, 제어는 연결의 시작부터 제어가 실행되는 순간까지 사용자 행동의 전체적인 평가에 기초하고 있다. 높은 전송률의 기간은 연결의 시작에서 협상된 값을 초과하지 않는 한 평균적인 트래픽량은 허용한다.

망 전송의 시작단계인 시뮬레이션 시간,  $t = 80$  일 때까지는 사용자의 의존도가 높아 사용자가 보내는 소스에 따라 버퍼 내 트래픽량이 정해졌으며, 버퍼점유율의 분산도 일정하지 않았지만,  $t = 80$  이후에는 폴리싱의 기능에 따라 버퍼 내 트래픽량이 조절되고 있으며, 이에 따라 버퍼점유율의 분산도 안정되어 간다.

그림 10은 망 상태정보인 버퍼점유율을 퍼지의 입력 파라미터로 사용한 것과 그렇지 않은 것에 대한 실험결과로 역시 버퍼점유율의 분산값을 비교하였다. 표 2는 버퍼점유율 적용전후의 평균 분산 값을 비교한 것으로 초기 적응기간을 포함한 전체 평균과 적용후의 평균치를 계산하였다.

표 2에서 보듯이 제한 폴리싱 메커니즘이 실제로 버퍼점유율을 도입하여 제어할 때까지는 어느 정도의 시간이 필요하다. 이러한 이유때문에 전체 실험 시간의 평균값에서는 버퍼점유율의 적용 여부에 따

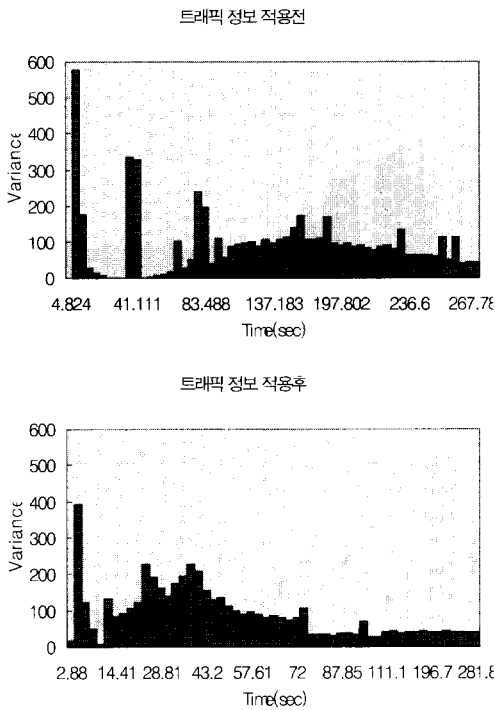


그림 10. 버퍼점유율 적용 전후의 결과

라 큰 차이를 갖지는 않는다. 하지만, 폴리싱이 제 기능을 하는  $t = 80$  이후에서는 버퍼점유율을 적용하기 전과는 달리 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 전체 실험 시간의 평균도 시뮬레이션 시간이 길어질수록 점점 값의 차이가 커지며 이는 망 상태를 반영하는 버퍼점유율을 적용하였을 때 안정된 폴리싱을 수행함을 의미한다.

### V. 결론

본 논문에서는 ATM교환기 노드에서 현재의 망 상태를 반영할 수 있는 망 상태 정보를 이용한 폴리싱 메커니즘을 제안하였다.

통신망 사용자의 요구가 다양해지고 고도화됨에 따라 다양한 서비스를 제공할 수 있는 ATM망이 부각되었고, 이에 따라 망의 효율적인 통신망 관리 및 트래픽 제어는 불가피하게 되었다. 기존의 많은 메커니즘이 소개되어 왔지만 기존의 폴리싱 메커니즘이 사용자가 제공하는 파라미터만을 가짐으로 현재의 망 상태와는 동떨어진 제어를 해왔다. 따라서, 사용자로부터 얻은 사용자 파라미터 외에 현재의 망 상태를 나타내는 파라미터가 요구되었고 이를 적용

할 때 비로소 망 상태에 적응적인 트래픽 제어를 하게 된다.

현재의 교환기 노드의 트래픽 상태를 파악할 수 있는 망 정보로서 버퍼점유율을 사용하였다. 호 설정 단계를 거쳐 정보 전송 단계에 이르면, 사용자는 ATM 교환기를 거치게 되는데, 버퍼점유율은 교환기 내 버퍼의 포화정도를 가늠하는 파라미터이다. 버퍼점유율은 호 설정 단계에서 계약시 사용자로부터의 트래픽 파라미터와는 다른 의미를 갖는다. 그 이유는 사용자가 새로운 호 설정을 위해 제공하는 파라미터는 고정된 값인 반면 실제 망 상태는 언제나 유동적이라는 점에서 오는 차이점 때문이다. 따라서, ATM 교환기 노드상태를 파악할 수 있는 버퍼점유율을 사용함으로써 폴리싱 메커니즘은 현재의 망 상태에 유기적으로 동작하게 되며, 여기에 soft-decision을 가능하게 한 퍼지 이론을 적용함으로써 빠른 망 상태 변화에 따라 지능적으로 대응한다.

또한, 제안한 적응적 폴리싱 메커니즘의 객관적 성능평가를 위해 기존 메커니즘의 비교 분석을 하였으며, 가장 우수한 성능을 보였던 퍼지 기반 메커니즘과도 비교하였다. ATM 교환기 노드의 버퍼점유율을 적용하기 위해서 어느 정도의 시간이 필요하며, 폴리싱이 제 기능을 나타내는 시간 이후에는 망 상태정보의 적용여부에 따라 57.48%의 뚜렷한 감소를 보였다. 이 결과에 따라 제안 알고리즘은 폴리싱의 기본 요구사항을 충족시키는 것은 물론 다른 메커니즘과의 비교에서도 제안한 버퍼점유율을 사용함으로써 분산값이 더 안정되어 감을 확인하였다. ATM 교환기 노드의 귀환정보인 버퍼점유율을 적용한 폴리싱 메커니즘은 망 운영 및 관리에 있어서 망의 폭주를 피할 수 있다는 큰 장점을 가지므로 이는 여러 종류의 소스를 다양한 비트율로 전송하는 ATM망에 적합하다.

앞으로는 사용자 파라미터보다 망 상태를 나타내는 정보가 더 큰 비중을 차지하게 될 것이며, 그러한 의미에서 제안한 버퍼점유율 이외에 다른 망 상태정보를 적용할 수 있으며, 트래픽의 흐름을 내포하는 파라미터가 많을수록 망에 유기적인 폴리싱이 이루어 질 것이다.

### 참고 문헌

[1] Rainer Haendel, Manfred N. Huber, Stefan Schroeder, "ATM Networks : Concepts, Protocols, Applications", Addison-Wesley, 1994.

[2] ITU-T Recommendation I.371, "Traffic Control and Congestion Control in BISDN", *Frozen Issue*, May 1995.

[3] David E. McDysan, Darren L. Spohn, "ATM Theory and Application", *McGraw Hill*, 1994.

[4] Vincenzo Catania, Giuseppe Ficili, "A Comparative Analysis of Fuzzy Versus Conventional Policing Mechanisms for ATM Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pp.449-459, VOL. 4, NO. 3, June 1996.

[5] Fabrice Guillemin and Alain Dupuis, "A basic requirement for the policing function in ATM Networks", *Computer Networks and ISDN Systems*, page 311-320, 1992.

[6] Naoaki, Youichi, Kenichi, "Performance Limitation of Leaky Bucket Algorithm for Usage Parameter Control and Bandwidth Allocation Methods", *IEICE Trans. Comm.*, VOL E75-B, NO. 2. Feb. 1992.

[7] Milena Butto, Elisa Cavallero, and Alberto Tonietti, "Effectiveness of the "Leaky Bucket" Policing Mechanism in ATM Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 9, No. 3, APRIL 1991.

[8] Erwin P. Rathgeb, "Modeling and Performance Comparison of Policing Mechanisms for ATM Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, pp.325-334, VOL. 9, NO. 3, Apr. 1991.

[9] Erwin P. Rathgeb, Thomas H. Theimer, "The Policing Function in ATM Networks", *ISS*, Vol. V, page 127~130, 1990.

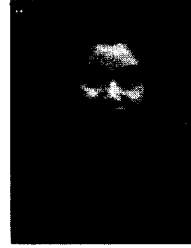
[10] K. Uehara and K. Hirota, "Fuzzy Connection Admission Control for ATM Networks Based on Possibility Distribution of Cell Loss Ratio", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 2, Feb. 1997.

[11] Ahmed A. Tarraf, Ibrahim W. Habib, and Tarek N. Saadawi, "Intelligent Traffic Control for ATM Broadband Networks", *IEEE Communications Magazine*, October 1995.

[12] James C. Bezdek, Sankar K. Pal, "Fuzzy Models For Pattern Recognition", *IEEE Press*, 1991.

허 선 동(Sun-Dong Heo)

정회원



1997년 2월 : 전북대학교

정보 통신공학과 졸업

1999년 2월 : 전북대학교

정보 통신공학과 석사

1999년 3월~현재 :

에프케이메카테크(주)

<주관심 분야> 통신망관리, 데이터통신, 전송, 금융 자동화, ATM network

박 동 선(Dong-Sun Park)

정회원

한국통신학회 논문지 제24권 제5B호 참조