퍼지 제어를 이용한 ATM망에서 PM에 관한 연구

신관철*.박세준**.양태규**

A Study on Policing Mechanism in ATM Network using Fuzzy Control

Kwan-Chul Shin*.Se-Jun Park**.Tae-Kyu Yang**

요 약

본 논문에서는 ATM 네트워크에서 예측할 수 없고 폭주가 가능한 입력의 트래픽 제어를 위한 Fuzzy Policing Mechanism(FPM)을 제안한다. FPM은 카운터, 감산기와 퍼지논리제어기(FLC)로 구성된다. FLC는 퍼지화기, 추론 엔진, 비퍼지화기로 구성된다. FLC의 출력은 감산기에 입력되어 카운터상태를 일정하게 조절하며 카운터는 셀의 전송을 제어하게 된다. 시뮬레이션에서는 Fulid Flow 방법에 의한 Leaky Bucket algorithm(LBM)과 FPM의 셀 손실 확률과 특성성능을 비교하였다. 시뮬레이션 결과, FPM은 LBM보다 작은 셀 손실 확률을 얻었으며 가변적인 트래픽 자원을 효율적으로 제어했다. 그리고 특성성능에서 FPM이 좋은 응답 특성 및 선택도를 보였다.

ABSTRACT

In this paper, I propose Fuzzy Policing Mechanism(FPM) over ATM networks for the control of traffic which is unpredictable and bursty source. The FPM is consist of counter, subtracter and Fuzzy Logic Controller(FLC). The FLC is divided to fuzzifier, inference engine and defuzzifer. The output of FLC inputs to the subtractor and it controls the counter. The counter works as a switch in transmission of cells. In simulation, I compared the FPM with the Leaky Bucket algorithm(LBM) in cell loss probability and performance characteristics. As a result, FPM gives lower cell loss probability than that of LBM and has good response behavior. The FPM efficiently controls the transmission of packets which are variable traffic source and, it also has good selectivity.

Keywords

Fuzzy Policing Mechanism(FPM), ATM, Leaky Bucket algorithm(LBM)

* 순천향대학교 학술정보처

** 목원대학교 공과대학 전자정보통신공학부

접수일자: 2001. 10. 06

Ⅰ. 서론

ATM은 모든 정보를 셀이라는 고정된 길이의 블록으로 나누어 이를 ATDM(Asynchronous Time Division Multiplexing)을 이용하여 네트워크에 입력한다. ATM 셀은 헤더부분과 정보부분으로 나누어지며 사용자 정보 전송 요구에 따라

대역폭이 동적으로 서비스에 할당되며 정보의유무에 따라 채널별 속도가 가변적이기 때문에 burst(버스트)한 트래픽을 집적시키는데 효과적이다. 그러나, ATM의 트래픽 집적화는 고속 전송 특성으로 인하여 폭주가 발생할 수 있고 예측할 수 없는 트래픽의 변화로 인하여 셀 전송지연, 셀 손실 등이 발생할 수 있다. 그러므로, 각 서비스에 대하여 셀의 전송 품질에 관한 요구를 만족시키고 망 내의 자원을 효율적으로 공유하기 위해 연결 설정 단계나 정보 전송 단계에서 트래픽 제어 기술이 요구된다. 트래픽 제어에는 연결수락제어(CAC : Connection Admission Control), 사용자/망 파라미터 제어(UPC/NPC : Usage Parameter Control/ Network Parameter Control), 우선순위제어(PC : Priority Control), 접속흐름제어(GFC : Generic Flow Control), 폭주제어 등이 있다. 만약 망에서 수용할 수 없을 정도의 버스트한 정보가 망에 입력될 경우 근본적이고 적극적인 제어방법이 필요하며 이런 제어의 방법으로 연결수락방법이 합리적이다. 이것은 호 접수 여부를 결정하는 기능을 의미하며 비율제어에 의한 방식, 등가 대역에 의한 방식, 측정에 의한 방식으로 구분된다.

본 논문은 트래픽 제어를 위하여 퍼지논리제어기(FLC : Fuzzy Logic Controller)를 갖는 PM(Policing Mechanism)을 설계하였다.

FPM(Fuzzy Policing Mechanism)은 입력 트래픽 특성을 전문가 지식기반의 FLC에 의하여 셀 전송을 제어한다. FLC의 입력신호로는 평균셀전송주기(MBD : Mean Burst Duration), 평균셀비전송주기(MSD : Mean Silence Duration) 그리고 카운터 상태(CS : Counter State)가 사용되며 퍼지제어 규칙을 기반으로 하는 추론 과정을 거친후 비퍼지화기에 의해서 제어된 셀률(CCR : Controlled Cell Rate)을 출력하게 된다. 이는 셀 전송주기의 셀 수와 함께 감산기에 입력되고 카운터상태를 일정하게 조절한다. 카운터는 감산기의 출력에 의해 셀 전송여부를 제어하게 된다. 시뮬레이션에서 기존의 LBM(Leaky Bucket policing Mechanism)[1][2]과 제안된 FPM의 입력 변화에 따른 셀 손실 확률과 성능특성을 비교한다.

Ⅱ. ATM 트래픽 제어

ATM은 사용자의 정보를 일정한 크기로 분할하여 셀을 구성하고 가상채널(VC)을 통해 전송하기 때문에 이와 관련된 연결 설정, 신호처리, 전송 및 교환 등에서 문제들이 발생하게 된다. 이런 사용자 정보의 트래픽을 제어하는 경우, 저속 및 고속데이터, 음성, 동화상 등과 같은 다양한 특성을 갖는 통신매체를 수용한다면 각 트래픽의 버스트 특성에 따라 대폭적인 트래픽 변동이나 트래픽 전송률을 야기시킬 수 있다. 그러므로 다양한 트래픽 특성을 갖는 호를 사용자에게 품질을 만족시키면서 망의 사용효율을 극대화하기 위하여 여러가지 트래픽 제어가 필요하다[3]-[9]. 이런 트래픽 제어를 위한 최적의 방법은 망과 사용자 사이에서 복잡하지 않고 서비스 품질을 만족시키고, 망의 사용량을 최대로 하는 것이다. 이를 위한 트래픽 제어 알고리즘은 간결성, 융통성, 견고성, 제어성 등의 요건을 가져야 한다. 또한 ATM 트래픽 제어 기술은 연결수락제어(CAC), 사용자 파라미터 제어(UPC), 우선순위 제어(PC)를 포함하며 트래픽을 교환할 경우 지연이 짧아야 하고 셀 손실률이 낮아야 한다. 그림 1은 여러가지 트래픽 및 폭주 제어 기능의 배치를 보이고 있다.

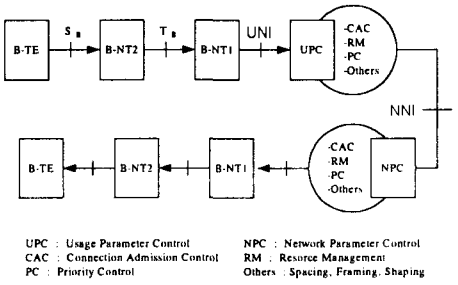

그림 1. 트래픽/폭주 제어 기능
Fig. 1 Traffic/Burstiness Control Function

트래픽을 제어하는 경우에는 전송로 용량에 따른 통계적 다중화시의 다중도 계산, 정보발생속도에 따른 최대효율특성 등이 고려되어야 하며, UNI/NNI(User

Network Interface/Network Network Interface)로 연결된 상호사이에서 셀 흐름이 상호 결정된 수준을 만족하는지와 QoS가 모든 사용자에게 만족하는지의 여부를 검사하고 적절하게 처리가 되는지를 알아야 한다. 이러한 적합성과 관련된 제어는 사용자파라미터제어(UPC), 망파라미터제어(NPC) 또는 폴리싱(policing)이라 하며 버스트 특성을 갖고 예측하기 힘든 트래픽의 셀 전송지연 및 셀 손실이 최적 상태가 되도록 조절한다. 이런 UPC/NPC는 대역폭과 자원을 사용자와의 트래픽 협상에 의해 사용자에게 할당되며 만약, UPC/NPC가 없다면 불공정한 상황이 발생하여 어떤 사용자에게 자원이 집중될 수 있다. UPC 알고리즘 방식은 버킷(bucket)으로 셀 흐름을 감시하는 LB(Leaky Bucket) 알고리즘이 있다.

2-1 Leaky Bucket 알고리즘

LB(Leaky Bucket) 알고리즘은 제어가 단순하여 고속 패킷 교환망의 트래픽 제어에 널리 사용되는 방법중에 하나이다. LBM은 그림 2와 같은 큐잉모델로 표현할 수 있으며 이 방식은 시스템에서는 주기적으로 토큰을 생성시키고 도착된 셀들은 토큰이 없는 경우에는 용량이 B인 큐에 대기해야 하며 큐가 차있는 경우에는 새로 도착한 셀들은 폐기한다. 토큰은 호 연결시 협정된 평균비트율로 생성되어 용량이 M인 토큰 풀에 저장되고 토큰풀이 가득 차있는 경우에는 폐기된다. 따라서 토큰 생성 주기에 따라 트래픽 파라미터 중의 평균 비트율을 제어할 수 있으며, 큐 및 토큰 풀의 크기에 따라 어느 정도의 최대 셀 비트율 및 버스트 지수를 제어한다. 또한 LBM은 망 노드가 폭주 상태일 때 정상적인 셀로부터 표시된 셀을 구별하는 처리시간

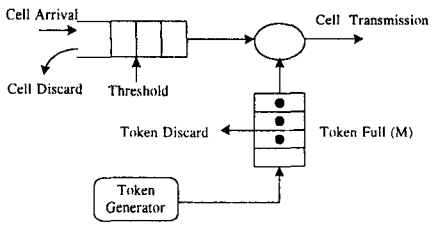

그림 2. Leaky Bucket에서 큐잉 모델
Fig. 2 Queueing Model in Leaky Bucket

이 부가적으로 요구되는 단점이 있으나 트래픽 소스에 의해서 발생되는 위반 셀들을 망 노드에 폭주가 발생할 때만 폐기하므로 망의 처리량을 높이 수 있는 장점이 있다.

시뮬레이션 과정에서 LBM 셀손실확률을 구하기 위하여 실제적인 LBM 셀손실확률과 유사한 Fluid Flow 방법을 사용하며 Fluid Flow에서 사용되는 입력파라미터는 표 1과 같다.

표 1. Fluid Flow 입력파라미터
Table 1 Fluid Flow Input Parameter

리키률(Leaky rate)	a
버퍼수	N(셀), M(bits)
최대비트전송률	b
평균전송주기	h
평균비전송주기	k

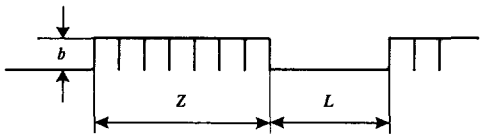

그림 3. ON/OFF 자원의 도달 과정
Fig. 3 Arrival Process of ON/OFF Source

LBM에 그림 3과 같은 형태의 신호가 입력된다고 가정한다면, 셀 전송주기는 랜덤변수 Z로 표현되며 최대전송률 b bps로 사용자 정보가 망에 입력된다. 그리고 셀 비전송주기는 랜덤변수 L로 표현되며 표 1과 같이 입력신호 파라미터에 의한 입력신호의 버스트성(β), 평균전송률(m), 평균버스트 길이(t)는 각각 식 (1), 식 (2), 식 (3)과 표현된다.

$$\beta = (h+k)/h \quad (1)$$

$$m = b \cdot h/(h+k) \quad (2)$$

$$t = b \cdot h \quad (3)$$

그림 4는 시간변화에 따른 버퍼 상태이며 여기서 Y와 X는 연속적인 버퍼의 상태를 나타낸다. 여기서 셀 전송주기 Z에서의 버퍼상태는 식 (4)와 같은 비트율로 커지게 된다.

$$b' = b - a(bit/s) \quad (4)$$

다음의 셀비전송주기 L에서 버퍼의 상태는 $a$bps의 비율로 줄어든다. 또한 버스트의 시작에서 버퍼의 상태는 식 (5)와 같이 표현된다.

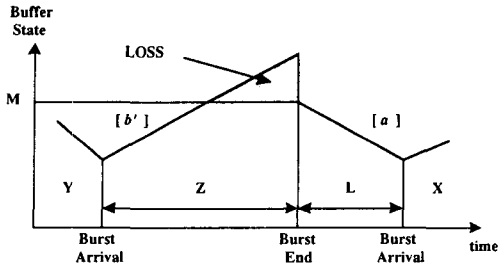

그림 4. 플로이드 흐름도
Fig. 4 Fluid Flow Approximation

$$X = [\ Y + b' \cdot Z - a \cdot L\ ]^{+} \quad (5)$$

여기서, $a < b$ 인 경우만 고려하며 다른 경우에는 버퍼를 항상 비우게 된다. 이때 분포함수는 식 (6)과 같이 표현되며[2], 버스트 주기에서 손실될 비트의 확률은 식 (7)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} F(x) &= \int_0^x f(y)dy \cdot \int_0^{(x-y)/b'} f_Z(z)\,dz \\ &+ \int_o^x f(y)dy \cdot \int_{(x-y)/b'}^{\infty} f_Z(z) \cdot \overline{F_L}[\frac{y+b'z-x}{a}]dz \\ &+ \int_x^{\infty} f(y)dy \cdot \int_0^{\infty} f_Z(z) \cdot \overline{F_L}[\frac{y+b'z-x}{a}]dz \end{aligned} \quad (6)$$

$$P = \int_0^M f(y)\overline{F_Z}(\frac{M-y}{b'})dy = \frac{\lambda_1-\lambda_2}{\lambda_1 e^{-(\lambda_1-\lambda_2)M}-\lambda_2} \quad (7)$$

여기서, λ_1, λ_2는 식 (8), 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_1'}{b'} = \frac{1}{h\,b'} = \frac{1}{h\,(b-a)} \quad (8)$$

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_2'}{a} = \frac{1}{k\,a} \quad (9)$$

또한, LBM의 셀손실확률은 식 (10)과 같고, Fluid Flow 방법에 의한 셀손실확률은 식 (11)과 같이 표현된다.

$$B = \frac{b'}{bh}\int_0^M f(y)dy \cdot \int_{(M-y)/b'}^{\infty}(z-\frac{M-y}{b'})f_Z(z)\,dz \quad (10)$$

$$B = \frac{b-a}{b} \cdot \frac{\lambda_1-\lambda_2}{\lambda_1 e^{-(\lambda_1-\lambda_2)M}-\lambda_2} \quad (11)$$

2-2 ATM 트래픽 모델링

ATM에서는 기존의 서비스와 연동되어 다양한 형태의 서비스 트래픽을 수용할 수 있어야 한다. 사용자는 호, 패킷, 음성 버스트, 화면, 문서 페이지와 같은 다양한 정보를 만들 수 있으며 이런 다양한 사용자 정보는 셀이라는 정보 블록으로 나누어 전달된다. 일반적으로 ATM에서는 정보의 흐름은 그림 5와 같은 버스트로 구성된 호와 셀들로 구성되는 다층구조의 특징을 갖는다. 호 레벨에서는 호와 호사이의 도착 시간의 분포가 나타나 있으며 하나의 호 발생 주기에는 정보의 버스트가 나오는 구간과 나오지 않는 구간으로 나타나며 이것이 버스트 레벨에서 표현되고 있고 버스트의 발생 간격과 버스트의 길이 등이 랜덤 변수로 사용될 수 있다. 하나의 버스트 구간에는 셀들이 발생할 수 있으므로 셀 레벨에서 고정 길이의 셀이 생성됨을 알 수 있다.

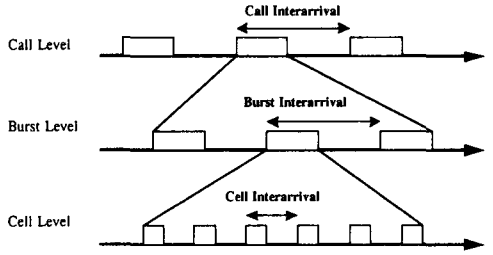

그림 5. 트래픽의 다층 구조
Fig. 5 Multi-Layer Structure of Traffic

Ⅲ. 퍼지논리제어기

1973년 Mamdani 교수가 퍼지이론을 스팀-엔진 제어에 성공적으로 적용한 이후 초기에는 공학분야를 중심으로 발전하였으며 1980년대에는 퍼지이론을 응용한 시스템들이 개발되었다. 응용의 관점에서 보면 퍼지 이론은 인간의 의사 결정 능력을 모방할 수 있는 도구이기 때문에 공학분야 뿐만 아니라 의학, 사회과학 등에 널리 이용될 수 있다[10]. 퍼지논리제어기의 구조는 그림 6과 같이 입력을 퍼지 언어 변수를 표현하는 퍼지화기, 퍼지화된 변수를 전문가 지식(Rule-

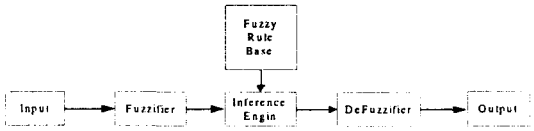

그림 6. 퍼지논리제어기의 구조
Fig. 6 Structure of Fuzzy Logic Controller

base)을 기반으로 출력 퍼지언어와 퍼지값을 추론하는 추론엔진, 그리고 추론된 퍼지언어와 퍼지값을 출력값으로 바꾸는 비퍼지화기로 이루어진다. 입력의 언어변수 및 퍼지제어규칙, 그리고 추론 방법은 제어기를 설계하는 전문가마다 다를 수 있다.

3-1 퍼지화기

제어대상이 주어지면 제어대상의 입력과 퍼지제어기의 출력변수가 결정되고, 또한 제어에 필요한 입력변수의 종류가 결정된다. 일반적으로, 퍼지논리제어기의 입력 변수에는 상태, 상태 오차, 상태 오차 미분, 상태 오차 적분 등이 사용된다. 퍼지논리제어기의 입출력변수를 결정한 후에는 입출력 변수들의 퍼지언어와 퍼지언어의 소속함수를 결정한다. 즉 ,퍼지논리제어기의 입출력 변수를 언어변수(퍼지 변수)로 취급하고 언어변수의 언어값(퍼지값)과 그들의 의미를 결정하는 것이다. 이런 입출력 변수들의 언어값의 종류와 그들의 소속함수의 형태는 퍼지논리제어시스템(FLCS)의 성능에 큰 영향을 미치며, 숙련작업자의 경험적 지식과 제어전문가의 지식을 활용하여 이들을 결정하게된다. 퍼지논리제어기의 입출력변수 퍼지분할(Fuzzy Partition)은 입출력변수의 퍼지값을 결정하고 퍼지제어규칙과 매우 밀접한 관계가 있다. 이런 퍼지언어의 소속함수는 여러 가지 형태로 사용할 수 있으나 단조증가(단조감소)형, 삼각형, 종형이 많이 사용된다. 그림 7은 삼각형 소속함수로 3개의 퍼지변수로 퍼지집합분할(a)과 7개의 퍼지변수로 퍼지집합분할(b)을 나타내고 있다.

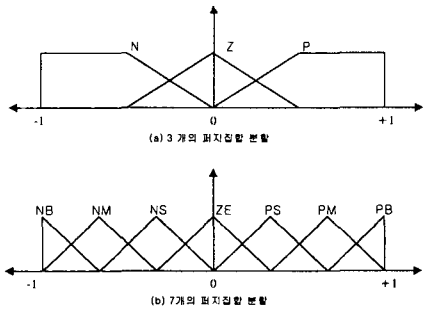

그림 7. 퍼지집합의 분할
Fig. 7 Partition of Fuzzy Set

소속함수가 종형인 경우 퍼지값은 식 (12)와 같이 표현되며, m_i와 σ_i는 각각 종형함수의 평균값과 폭이다. 퍼지논리제어기의 퍼지화기는 입력값를 퍼지값으로 전환하는 퍼지화 함수를 수행한다. 그러므로, 퍼지화기는 퍼지논리제어기의 입력을 퍼지집합으로의 맵핑으로 정의 할 수 있다. 단순한 퍼지화의 방법으로 x_0를 식 (13)의 소속함수가 퍼지집합 A로 즉, 하나의 퍼지 싱글톤(singleton)으로 맵핑하는 것이다.

$$\mu_{x_i}(x) = \exp\left(\frac{-(x-m_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) \tag{12}$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x = x_0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{13}$$

여기서 A의 소속함수 $\mu_A(x)$는 x가 x_0인 경우에는 1이고, 다른 x에서는 0이다. 이 방법은 퍼지화 개념이 구현하기 쉬우므로 퍼지제어에 널리 사용된다.

3-2 추론 엔진

퍼지제어규칙은 숙련운전자의 경험적 지식과 제어전문가의 지식을 활용하는 방법, 숙련운전자의 조작행위를 모델링하여 작성하는 방법, 제어대상의 퍼지모델을 기반으로 제어규칙을 작성하는 방법 그리고 학습에 의해 제어규칙을 작성하는 방법이 있으며 보통은 네가지의 방법을 복합적으로 사용하여 작성하게 된다. 대부분의 퍼지논리제어기에서 사용되는 제어규칙들은 프로세서 상태값에 따라 제어량을 결정하는 형태로서 다중입력단일출력(MISO : Multi Input Single Output)을 갖는 시스템의 경우 제어규칙들은 식 (14)와 같은 일반화된 형태로 표현된다.

$$R_i : \; IF\ x_1 = A_{i1},\ x_2 = A_{i2},\ \cdots,\ AND\ x_n = A_{in} \\ THEN\ u = f_i(x_1, x_2, \cdots, x_n) \tag{14}$$

여기서 $x_1, \cdots, x_n$은 프로세서의 상태를 나타내는 언어변수들이고, u는 프로세서의 제어량을 나타내는 언어변수이며, $A_{ij}, j=1, \cdots, n$은 언어변수 $x_1, \cdots, x_n$의 퍼지언어값이다. 위의 제어규칙은 모두 제어량 u를 결정하는 데 프로세스의 상태값을 활용하는 것이 특징이고 이러한 형태의 제어규칙을 상태평가 퍼지제어규칙이라고 한다. 또한 현재와 미래의 제어 동작들을 예측하고 제어목적들을 평가하는 목적평가 퍼지제어규칙이 있다. 이는 숙련운전자의 경험적 지식을 기

반으로 작성할 수 있다. 이런 퍼지제어규칙을 설계하는 경우에는 제어규칙의 완벽성, 제어규칙의 수, 제어규칙 사이의 모순성 등을 검토해야 한다. 제어규칙의 완벽성은 모든 상태값에 대하여 적절한 제어행위가 이루어지도록 제어규칙을 설계해야함을 의미하며 입출력변수들의 퍼지분할과 관계가 있으며 제어규칙의 수는 입출력변수들의 퍼지분할과 관련이 있으며 퍼지분할을 세밀히 하면 제어규칙의 수가 증가하고 결과적으로 제어기의 계산량이 증가하다. 제어규칙의 수의 결정에 관한 일반적인 방법은 없으며, 제어규칙의 수는 제어기의 성능, 언어변수의 선택 등에 관련이 있다. 추론엔진은 퍼지 논리와 근사 추론의 개념적인 구조화 작업으로 인간의 의사 결정 모델링에 해당하는 퍼지논리제어기의 핵심이다. 일반화된 Modus pones는 언어표현에서 특히 중요한 역할을 한다. 퍼지논리를 기반으로 하는 추론법은 계산이 복잡하기 때문에 시스템제어에 많이 사용되지 않는다. 퍼지 합성에는 sup-min 합성, sup-product 합성, sup-bounded-product 합성, sup-drastic-product 합성등이 있으며 퍼지논리제어기의 응용에서는 계산의 단순성과 그 효과로 인하여 sup-min 합성과 sup-product 합성이 일반적으로 많이 사용된다. Mamdani의 최소값 추론방법은 그림 8과 같다.

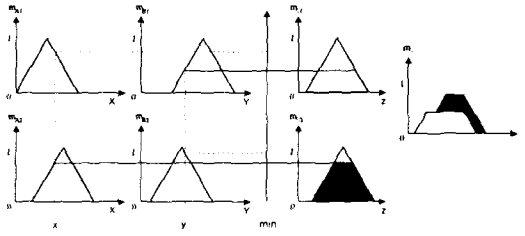

그림 8. Mamdani의 최소값 퍼지 추론
Fig. 8 Mamdani's Minimum Fuzzy Reasoning

3-3 비퍼지화기

프로세서의 입력은 보통의 수치값이어야 하므로 퍼지추론 결과인 퍼지값 B' 을 보통의 수치값 u로 변환할 필요가 있다. 퍼지값을 비퍼지값으로 변환하는 것을 비퍼지화라 하며 비퍼지화기는 식 (15)와 같이 표현된다.

$$u = defuzzifier(B') \qquad (15)$$

퍼지논리시스템에서 비퍼지화는 추론결과 B' 의 수치적 해석으로 이해할 수 있으며 일반적인 비퍼지화 기법으로 최대값 선택법(MAX criterion method), 최대값 평균(Mean Of Maximum method), 무게 중심법(Center Of Gravity method), 간략화된 COG 방법(Simplified COG)등이 있다. 간략화된 COG 방법(SCOG)는 개개의 퍼지 규칙 R_i에 의한 근사추론 결과 B_i' 을 식 (16)과 같은 COG 방법으로 비퍼지화값 u_i^*를 구한 다음에 전체규칙에 의한 비퍼지화된 추론결과 u^*를 식 (17)과 같이 얻게 된다.

$$u_i^* = \frac{\sum_{j=1}^{N} \mu_{B'}(u_j) \cdot u_j}{\sum_{j=1}^{N} \mu_{B'}(u_j)} \qquad (16)$$

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^{N} u_i^* \cdot \omega_i}{\sum_{i=1}^{N} \omega_i} \qquad (17)$$

ω_i는 퍼지제어규칙 R_i의 적합도이다. 이 간략화된 COG 방법은 구현이 쉽다는 장점이 있으며 비교적 작은 값의 u를 필요로 할 때, 즉 편차와 편차변화가 작을 때는 무게중심방법을 이용한 비퍼지화가 가장 민감하고 최대값 선택법을 이용한 비퍼지화가 가장 둔감한 결과를 나타내며, 비교적 큰 값의 u를 필요로 할 때, 즉 편차와 편차변화가 클 때에는 최대값 평균법을 이용한 비퍼지화가 가장 큰 제어량을 출력하고 무게중심법을 이용한 비퍼지화가 가장 작은 제어량을 출력한다.

Ⅳ. 퍼지 제어를 이용한 PM

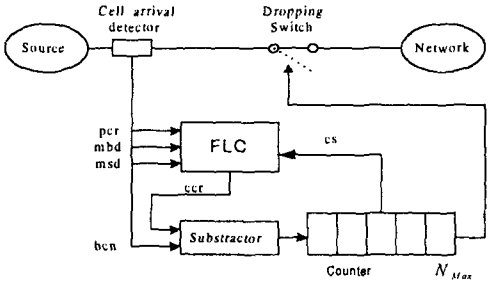

그림 9. FPM의 구조
Fig. 9 Structure of FPM

그림 9는 본 논문에서 제안하는 FPM이며 FPM은

퍼지논리제어기, 감산기, 카운터로 구성된다. 퍼지논리제어기는 FPM에서 가장 중요한 부분이며 입력신호의 특성을 짧은 시간내에 제어한다. 퍼지논리제어기는 퍼지화기, 추론엔진, 퍼지제어규칙과 비퍼지화기로 구성된다. 카운터의 주기능은 입력신호의 특성을 장기간에 걸쳐 조절한다. 만약 도착한 셀의 수가 지정된 수(카운터의 최대값)보다 큰 경우, FPM은 동작하여 초과된 셀들을 버리게 된다. 카운터상태(Counter State : *cs*)는 다음과 같이 식 (18)과 같이 표현된다.

$$cs = cs_0 + bcn - ccr \qquad (18)$$

여기서, cs_0는 카운터의 초기상태이다. *bcn*은 셀전송주기내에서의 셀 수이며 *ccr*은 FLC의 출력이다. *ccr*는 카운터상태가 변경되는 셀 수를 나타낸다.

FLC 입력은 최대셀전송률(Peak Cell Rate : pcr), 평균셀전송주기(Mean Burst Duration : mbd), 평균셀비전송주기(Mean Silence Duration : msd) 이며, FLC의 출력은 제이된 셀률(Controlled Cell Rate : ccr)이다. *ccr*은 감산기로 입력되며, 만약 *ccr*이 양수이면 카운터에 들어오는 셀의 수가 줄어들고 반대로 *ccr*이 음수이면 카운터에 들어오는 수는 커진다. 또한, 입력의 평균셀률이 무시할 수 있는 셀률보다 작다면 스위치는 ON 되어 모든 셀은 망에 전송된다. FLC는 카운터 상태가 N_{max}보다 작게 유지하고 만약 입력의 평균셀률이 무시할 수 있는 셀률보다 크게되면 FLC는 카운터 상태를 N_{max}보다 작게 하기 위해 카운터에 입력되는 수를 크게 하게 된다. 그리고 ccr은 스위치를 OFF하여 네트워크에 전송하려는 셀은 버려지게 된다. 이런 방법으로 FPM은 입력의 평균 셀률을 제어하게 된다. 입력신호는 평균 셀전송 주기와 평균셀비전송주기는 각각 랜덤변수 mbd, msd를 갖으며 셀전송주기에는 최대 전송률로 셀이 전송된다고 가정한다. 입력신호의 버스트성(sb: Source Burstiness), 평균셀전송주기에서의 셀수(bcn), 평균셀전송률(mcr)은 각각 식 (19), 식 (20), 식 (21)과 같이 표현된다.

$$sb = \frac{(mbd + msd)}{mbd} \qquad (19)$$

$$bcn = pcr \cdot mbd \qquad (20)$$

$$mcr = \frac{pcr \cdot mbd}{(mbd + msd)} \qquad (21)$$

FLC의 입출력변수의 소속함수로 삼각형소속함수(Triangular Membership function)를 사용한다. FLC 입력변수 pcr, mbd, msd, cs는 그림 10과 같은 삼각형 소속함수로 표현된다.

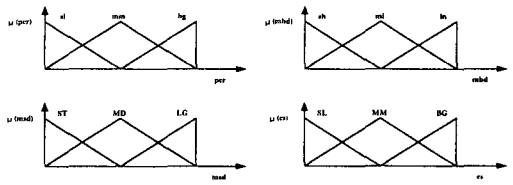

그림 10. 입력 파라미터의 소속 함수
Fig. 10 Membership Function of Source Parameter

FLC의 입력변수의 퍼지언어 변수는 각각 식 (22) ~ 식 (25)로 표현한다.

$$T(pcr) = \{ sl, mm, bg \} \qquad (22)$$

$$T(mbd) = \{ sh, mi, ln \} \qquad (23)$$

$$T(msd) = \{ ST, MD, LG \} \qquad (24)$$

$$T(cs) = \{ SL, MM, BG \} \qquad (25)$$

FLC는 입력으로부터 퍼지언어 및 언어값을 구하고 표 2와 같은 퍼지규칙기반(Fuzzy Rule-Base : FRB)에 의하여 출력값 *ccr*을 구하게 된다. 표 2에서 Rule 0은 식 (26)과 같이 IF-THEN으로 표현할 수 있다.

$$IF\ pcr = sl\ AND\ mbd = sh\ AND\ msd = ST\ AND\ cs = S\ Then\ ccr = I3 \qquad (26)$$

표 2. 퍼지규칙기반
Table 2 Fuzzy Rule-Base

Rule	pcr	mbd	msd	cs	ccr
0	sl	sh	ST	SL	I3
1	sl	mi	BG	MM	I2
2	sl	bg	ST	BG	NID
3	mm	sh	MD	SL	I3
4	mm	mi	ST	MM	I2
5	mm	sh	ST	BG	NID
6	bg	sh	MD	SL	I4
7	bg	BG	BG	MM	I2
8	bg	BG	MD	BG	NID

V. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션에서는 입력신호로 표 2와 같은 버스트한 특성을 갖는 Still Picture로 가정하며, Fluid Flow 방법에 의한 LBM의 셀손실 확률과 FLC의 셀손실 확률을 비교한다.

표 3. Still Picture 입력파라미터
Table 3 Still Picture Input Parameter

최대셀전송률(*pcr*)	2Mb/s ≒ 4716C/s
평균셀전송률(*mbd*)	500ms
평균셀비전송률(*msd*)	11000ms

그림 11은 표 3의 입력신호의 최대 전송률의 변화(mbd, msd : 일정)에 따른 FPM의 셀손실확률이다. 입력되는 셀수가 많아질수록 평균셀전송율(*mcr*)이 큰 경우, 셀손실확률이 큰 것을 보이고 있으며 셀손실확률이 0인 부분에서는 식 (21)에 의한 평균셀전송율(*mcr*)은 205 *c/s* 이다

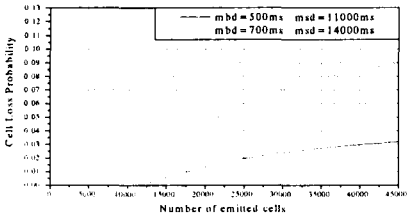

그림 11. FPM 셀손실확률
Fig. 11 FPM Cell Loss Probability

그림 12는 평균셀전송주기(*mbd*=500*ms*)와 평균셀비전송주기(*msd*=11000*ms*)에서 *pcr*의 변화에 따른 LBM과 FPM의 셀손실확률이다. *pcr*의 변화에 대하여 FPM은 LBM의 셀손실확률 보다 작은 셀손실확률을 갖는다.

그림 13은 평균셀전송률(*pcr* ≒ 4716 *c/s*)과 평균셀전송주기(*mbd*=500*ms*)에서 *msd* 의 변화에 따른 LBM과 FPM의 셀손실확률이다. *msd*의 변화에 대하여 FPM은 LBM의 의 셀손실확률보다 작은 셀손실확률을 갖는다.

그림 14는 평균셀전송률(*pcr* ≒ 4716 *c/s*)와 평균셀비전송주기(*msd*=11000*ms*)에서 *mbd* 의 변화에 따른 LBM과 FPM의 셀손실확률이며 평균전송주기의 변화에 대하여 FPM은 LBM의 셀손실확률보다 작은 셀손실확률을 갖는다.

그림 15는 *bcn*의 변화에 따른 셀손실확률을 보이고 있다. LBM의 경우 정규화된 *bcn*이 1보다 작은 곳에서 셀손실확률을 갖고 있으나, FPM의 경우 정규화된 *bcn*이 1보다 큰 곳에서 셀손실확률을 갖고 있다. 이것은 LBM보다 FPM이 좋은 응답 특성을 갖고 FPM이 LBM보다 더좋은 선택도(selectivity) 특성을 갖고 있음을 보여준다.

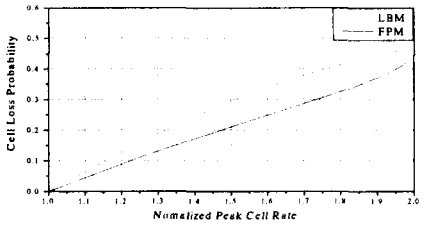

그림 12. pcr 변화에 따른 셀손실 확률
Fig. 12 Cell Loss Probability versus pcr

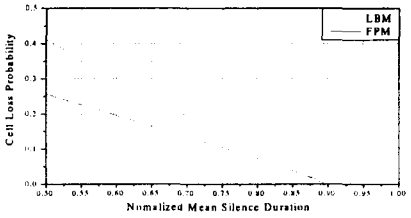

그림 13. msd 변화에 따른 셀손실확률
Fig. 13 Cell Loss Probability versus msd

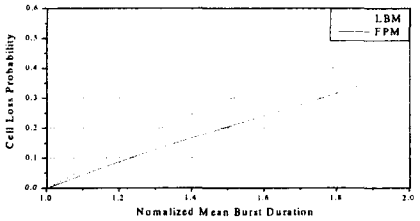

그림 14. mbd 변화에 따른 셀손실확률
Fig. 14 Cell Loss Probability versus mbd

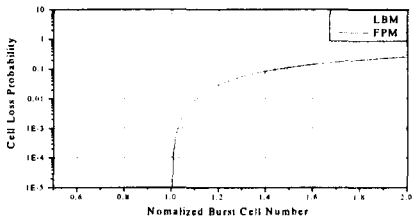

그림 15. bcn 변화에 따른 셀손실확률
Fig. 15 Cell Loss Probability versus bcn

Ⅵ. 결론

본 논문에서는 트래픽 제어를 위하여 퍼지논리제어기를 갖는 FPM을 제안하였고 비균일한 입력 트래픽을 제어하였다. FPM은 FLC, 감산기, 카운터로 구성된다. FLC는 입력을 퍼지화하고 추론엔진에서 퍼지제어 규칙을 기반으로 하여 출력퍼지언어 및 퍼지언어값을 결정하고 비퍼지화에서 출력퍼지언어 및 퍼지언어값을 간략화된 무게중심법으로 FLC의 출력값을 구한다. FLC의 출력은 감산기에 입력되며 감산기의 출력은 셀의 전송을 제어하는 카운터로 입력된다. FLC는 카운터상태를 일정하게 유지한다. 시뮬레이션에서 Fluid Flow 방법에 의한 LBM과 FPM을 비교하였다. FPM의 입력 신호는 버스트한 특성이 있는 Still Picture로 하였으며 입력 신호의 파라미터 평균셀전송주기($mbd=0.5s$), 평균셀비전송주기($msd=11s$), 최대셀전송률($pcr=4716c/s$) 등의 정규화된 값의 변화에 따른 LBM과 FPM의 셀손실확률을 비교하였고 성능 특성을 비교하였다. 시뮬레이션 결과, 버스트한 입력 신호의 정규화된 파라미터 변화에 대하여 FPM은 LBM보다 작은 셀손실확률로 셀 전송이 가능하였으며 성능 특성 비교에서 FPM이 LBM보다 빠른 응답 특성이 있고 높은 선택도를 보여주었다.

참고문헌

[1] L. Barolli, A. Koyama and S. Yokoyama, "A fuzzy policing mechanism for multimedia applicaitions over ATM Networks: a case study", IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E81-D, No. 8, pp. 917-927, August 1998.

[2] M. Butto´, E. Cavllero and A. Tonietti, "Effectiveness of the Leaky Bucket policing mechanism in ATM Networks", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 9, No. 3, pp. 335-342, April 1991.

[3] N. Yamanaka, Y Sato and K. Sato "Performance limitation of the Leaky Bucket algorithm for ATM Networks", IEEE Trans. Commun., Vol. 43, No. 8, pp. 2298-2300, August 1995.

[4] E. Rathgeb, "Modeling and performance comparison of policing mechanism for ATM Networks", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 9, No. 3, pp. 325-334, April 1991.

[5] L, Barolli and K. Tanno, "A fuzzy policing mechanism for still picture in ATM Networks", Proc. of LCN' 96, USA, pp.40-47, October 1996.

[6] Danny H. K. Tsang, Brahim Bensaou and Shirley T. C. Lam, "Fuzzy-Based rate Control for Real-Time MPEG Video", IEEE Trans. Fuzzy Sys., Vol. 6, No. 4, pp. 504-516, November 1998.

[7] L. Barolli, K. Tanno, "A fuzzy approach for source policing in ATM Networks", Proc. of ICOIN' 96. Korea, pp. 482-490, January 1996

[8] Seok-Yong OH, Dong-Jo Park, "Predictive fuzzy logic control for ABR traffic in ATM Networks", IEICE Trans. Commun. Vol. e82-b, No. 3, pp. 551-555, March 1999.

[9] V. Catania, G. Ficili and D. Panno, "On the impact of traffic algorithm on resource Management in ATM Networks", V. Catania et al. Computer Commun. 22, pp. 258-265, 1999.

[10] 채석, 오영석, 퍼지이론과제어, 청문각, 1995

신관철(Kwan-Chul Shin)

1998년 2월 목원대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2000년 2월 목원대학교 대학원 전자 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2000년~현재 순천향대학교 학술정보처

관심분야 : ATM, 퍼지제어

박세준(Se-Jun park)

1992년 2월 목원대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 8월 목원대학교 대학원 전자 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2000년~현재 목원대학교 대학원 전자 및 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 로봇제어, 퍼지제어, 신경망제어

양태규(Tae-Kyu Yang)
1982년2월 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1984년 2월 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1989년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1991년~현재 목원대학교 전자공학과 부교수
관심분야 : 로봇제어, 퍼지제어, 신경망제어