

# ATM 망에서의 마코프 모델기반 VBR MPEG 비디오 트래픽 기술자에 대한 새로운 Policing 방법

정희원 유 상 조\*, 홍 성 훈\*\*, 김 성 대\*

## A New Policing Method for Markovian Traffic Descriptors of VBR MPEG Video Sources over ATM Networks

Sang-Jo Yoo\*, Sung-Hun Hong\*\*, Seong-Dae Kim\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 VBR MPEG 비디오 트래픽의 마코프 모델 기반 트래픽 기술자에 대해 효과적인 policing 방법을 제안한다. VBR 비디오 시퀀스에 대해 보다 효율적이고 정확한 자원할당 및QoS 예측을 위해 장면기반 마코프 모델을 이용한 트래픽 기술자를 사용하여 망에 그 트래픽 특성을 기술하고, 망에서는 이를 근거로 제안된 새로운 policing 알고리즘을 이용하여 모니터링을 수행한다. 마코프 모델의 안정상태 천이확률의 감시를 위해 장면상태 마다 대표성을 갖는 두 가지 감시 파라미터(평균 체류시간 및 평균 회귀시간)를 정의하여 이를 누적 평균의 형태로 모니터링 한다. 또한 장면상태의 프레임 타입별 평균 셀 발생률도 누적 평균을 이용하여 안정상태 값과 비교된다. Transient 구간에서의 변이를 고려하여 지수함수를 이용한 bounding 방법을 제시하였고, 이는 실제 비디오 시퀀스에 잘 맞는 것을 알 수 있다. 실험결과 마코프 모델 기반 트래픽 기술자에 대해 제안된 방법은 MPEG 비디오와 같은 매우 복잡한 트래픽에 대해서도 효과적인 모니터링이 가능하며 부적합 트래픽에 대해서도 좋은 감시성능을 보임을 알 수 있다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient policing mechanism for Markov model-based traffic descriptors of VBR MPEG video traffic. A VBR video sequence is described by a set of traffic descriptors using a scene-based Markov model to the network for the effective resource allocation and accurate QoS prediction. The network monitors the input traffic from the source using a proposed new policing method. For policing the steady state transition probability of scene states, we define two representative monitoring parameters (mean holding and recurrence time) for each state. For frame level cell rate policing of each scene state, accumulated average cell rates for the frame types are compared with the model parameters. We propose an exponential bounding function to accommodate dynamic behaviors during the transient period. Our simulation results show that the proposed policing mechanism for Markovian traffic descriptors monitors the sophisticated traffic such as MPEG video effectively and well protects network resources from the malicious or misbehaved traffic.

\* 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(sangjo@sdvision.kaist.ac.kr

\*\* LG전자(주)

논문번호 : 99344-0830, 접수일자 : 1999년 8월 30일

## I. 서론

최근의 통신망을 이용한 사용자 서비스는 과거의 음성 위주의 아날로그 통신에서 데이터 및 영상을 포함한 멀티미디어 서비스의 형태로 발전하고 있다. ITU-T에서 광대역 통신망의 기본 방식으로 표준화된 ATM은 이러한 멀티미디어 서비스를 수용하기 위해 효율적인 유연성을 제공한다. ATM 망에서는 다양한 종류의 트래픽을 수용하면서 사용자 응용서비스 각각의 서비스 품질(QoS : Quality of Services)을 만족시키기 위해 적절한 트래픽 제어가 필요하다. 트래픽 제어는 체증이 일어난 후에 처리하는 대응 제어(reactive control) 보다는 체증이 일어나지 않게 미리 예방하는 예방제어(preventive control)가 더 바람직 하다. 예방제어에서는 그림 1의 예에서와 같이 사용자는 사용자 트래픽을 잘 표현할 수 있는 몇 가지 파라미터를 이용하여 통신망에게 트래픽 기술자(traffic descriptor)를 호 설정 단계에서 전송한다. 또한 이때 사용자는 망에게 요구하는 서비스 품질(셀 손실률, 최대 지연, 지연변이 등)의 정도를 알려준다. 망에서는 트래픽 기술자와 QoS 파라미터 값을 이용해 망에서 할당 가능한 자원을 분석하고 이를 근거로 호 수락(call admission) 여부를 결정하게 된다. 호 수락 후 망은 사용자에게 협약 된 QoS를 보장하고 또한 사용자로부터의 트래픽이 협정된 트래픽 기술자 대로 잘 준수 되고 있는가를 감시하게 된다<sup>[1]</sup>.

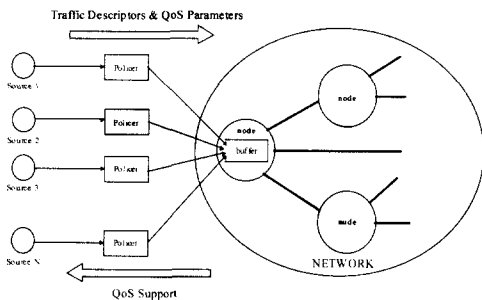


그림 1. ATM 망에서의 트래픽 제어

ATM 망에서 비디오 트래픽은 데이터 양이 많은 뿐만 아니라 가장 중요한 정보원으로 고려되고 있다. MPEG(Moving Picture Experts Group)은 영화, 오락, 영상회의 등을 포함한 많은 응용에서 사용되고 있는 영상 압축 부호화 방식으로, I, P, B의 세가지

다른 프레임 타입을 갖는다. 프레임 타입에 따라 셀 발생률의 차이가 크고 장면 변화에 따른 긴 주기의 셀 발생률의 변이가 심한 MPEG 비디오 트래픽은 기존의 리키 버킷 기반의 트래픽 기술자와 이에 대한 policing으로는 효과적인 트래픽 제어가 어렵다.

본 논문에서는 VBR MPEG 비디오 트래픽의 마코프 모델 기반 트래픽 기술자에 대해 효과적인 policing 방법을 제안한다. VBR MPEG 비디오 시퀀스는 보다 효율적이고 정확한 자원할당 및 QoS 예측을 위해 장면기반 마코프 모델을 이용한 트래픽 기술자로 망에 그 트래픽 특성이 기술되고 망에서는 이를 근거로 하여 제안된 새로운 policing 알고리즘을 이용한 모니터링을 수행한다. 제 II 장에서는 기존의 ATM 망에서의 policing 방법을 살펴보고 MPEG 비디오 트래픽 제어에 대한 문제점을 알아본다. 제 III 장에서는 마코프 모델 기반 MPEG 비디오 트래픽 기술자에 대해 설명하고, 제 IV 장에서 마코프 모델에 적합한 새로운 policing 방법을 제안한다. 제 V 장에서는 제안된 방법의 상세 알고리즘을 제시하고, 제 VI 장에서 모의실험을 통해 제안된 알고리즘의 policing 성능을 분석한다. 제 VII 장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. ATM 망에서의 Policing

ITU-T<sup>[2]</sup> 및 ATM 포럼<sup>[3]</sup>에서는 망에서의 UPC(Usage Parameter Control)를 위한 알고리즘으로 GCRA(Generic Cell Rate Algorithm)를 규정하였다. GCRA는 서로 등가(equivalent)인 가상 스케줄링(virtual scheduling) 알고리즘과, 연속상태 리키버킷(continuous-state leaky bucket) 알고리즘의 두 가지 형태로 규정된다. GCRA의 연속상태 리키버킷 알고리즘은 다음과 같이 간단하게 설명될 수 있다. UPC 단으로 입력되는 셀들은 서버에 의해 최대 PCR(Peak Cell Rate) 이하로 망으로 전달되고 이때 입력되는 셀들은 가상의 리키버킷에 들어간다. 초기 리키버킷은 비어있고 셀이 리키버킷의 출력 레이트인 SCR(Sustainable Cell Rate) 이상으로 들어오면 버킷에 쌓이게 된다. 만약 입력 셀이 버킷에 들어가지 못하고 넘치게 되면 해당 셀은 망과 협상된 트래픽 기술자를 위반한 것으로 간주한다. 위반(violation) 셀의 처리는 두 가지 방법이 있는데 망의 입력 단에서 폐기(discarding) 하거나 또는 ATM 셀의 헤더에 태깅(tagging)하여 일단 망으로의 전송을 허용하나 나중에 망에서 혼잡(congestion) 등의

상황이 발생하면 우선 폐기시키는 방법이 있다. 사용자가 요구하는 트래픽 기술자의 형태도 이러한 GCRA 알고리즘에 맞게 PCR, SCR, MBS (Maximum Burst Size)의 형태로 정의된다.

리키버킷 기반의 policing과 트래픽 기술자의 선정은 비교적 평탄한 트래픽 이나 덜 버스트(burst)한 트래픽에 대해 효과적인 성능을 보인다<sup>[4]</sup>. 그러나 평균대 최대치의 비가 크고 셀 발생률이 여러 레벨(multi-level)로 존재하는 비디오를 포함한 동적인 트래픽에 대해서는 SCR을 최대 셀 발생률(PCR)에 근사하게 하거나, MBS를 매우 크게 하여야 ATM 망에서 사용자가 원하는 낮은 셀 위반확률을 보장할 수 있다. 비 현실적인 MBS의 크기는 리키버킷의 반응시간을 길게 하고<sup>[5]</sup>, SCR을 PCR 값에 가깝게 선정하는 것은 통계적 다중화 이득을 감소시킨다<sup>[6]</sup>.

MPEG 비디오 트래픽은 프레임 타입별로 셀 발생량의 차이가 크고 매우 버스트 하므로 기존의 리키 버킷 기반 트래픽 기술자 만을 사용하여 효과적으로 트래픽 특성을 기술하기 어렵다. 또한 MPEG의 프레임 타입 중 I, P 프레임은 B 프레임에 비해 다른 프레임의 참조 프레임으로 사용되므로 그 중요도가 높다. 그러나 I, P 프레임은 B 프레임 보다 훨씬 버스트 해 단일 리키 버킷 기반 policing을 수행 할 경우 I, P 프레임의 감시에 문제가 있다. 또한 MPEG의 특성을 고려하여 트래픽 기술자를 디맨전닝할 경우 낮은 위반확률을 위해서는 긴 주기에서의 최악의 상황을 가정하여야 하므로 (PCR, SCR, MBS)를 보수적으로 선정하게 되고 이는 망 자원의 과다 할당으로 연결된다.

[7]은 MPEG 비디오의 policing을 위해 기존의 리키버킷 방법에 (I,P) 프레임 타입에 우선권을 높여, (I, P) 프레임 타입의 위반 셀이 많아져 혼잡이 발생하면 버퍼의 적합한 B 프레임 셀이나 위반률이 높은 다른 연결의 셀들을 폐기시키는 방법을 제안하였다. [8-9]는 프레임 타입별로 서로 다른 리키버킷의 사용을 고려하였다. [10]는 비디오 소스의 트래픽을 항상 몇 개의 일정 셀 레이트로만 발생시키고, 각 특정 셀레이트 상태에서의 평균 체류시간과 평균회귀 시간을 트래픽 파라미터로 전송하고 망에서 이를 근거로 슬라이딩 윈도우를 이용한 policing을 수행하는 방법을 제안하였다.

비디오 트래픽의 모델링에 있어, 셀 발생량의 변이를 확률적으로 표현하는 노력이 많이 있어왔다<sup>[11-17]</sup>. 이중 마코프 체인 기반 모델들[12-13][16]은

셀 발생량을 발생 특성을 잘 모델링 할 뿐더러 해석적 큐잉 해를 얻을 수 있다는 점에서 실시간 호수락제어 및 서비스 품질의 사전예측이 가능하다. 또한 리키버킷 기반의 ON-OFF 모델에 의한 대역 할당의 경우와 같이 필요한 대역을 과다 할당(over allocation)하지 않는다. 즉, 전체 비디오 시퀀스에서의 비트 발생량의 변화를 확률 천이 행렬로 표현하는 마코프 모델 기반의 트래픽 기술자를 사용할 경우 보다 효율적인 망 자원의 할당이 이루어 지고, 망에서의 셀 손실률 및 지연을 정확히 예측할 수 있다. 그러나 지금까지 비디오 트래픽을 마코프 체인으로 모델링하는 연구는 많이 있어 왔지만, 이를 트래픽 기술자로 사용할 경우에 있어 효율적인 policing 방법에 대한 연구는 거의 이루어 지지 않았다. 이는 확률 모델이 갖는 복잡성과 안정상태 확률에 대한 모니터링이 어렵기 때문이다.

본 논문에서는 VoD(Video on Demand) 서버와 같이 이미 부호화되어 있는 MPEG 비디오 스트림에 대해, 제안된 마코프 모델 기반 트래픽 기술자를 정의하고 이에 대한 policing 방법을 제안한다. 본 논문은 그림 2에서와 같이 비디오 인코더 단에서 한 프레임 정도의 버퍼를 가져서 각 프레임 타입 동안 셀들이 일정하게 분포함을 가정하였고, 항상 한 프레임의 셀들은 해당 프레임 타입 내에 존재하므로 프레임의 경계를 프레임 타입별로 알 수 있다고 가정하였다.

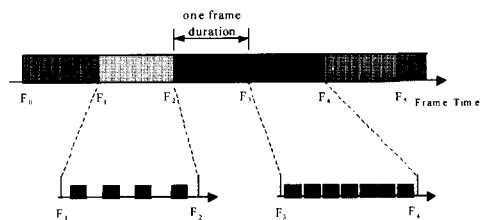


그림 2. VBR MPEG 인코더 셀 스트림 모델

### III. 마코프 모델 기반 MPEG 비디오 트래픽 기술자

본 논문에서는 VBR MPEG 트래픽 기술자 정의를 위해 마코프 체인 기반의 모델을 사용한다. 사용되는 트래픽 모델은 [18-19]에서 우리가 제안했던 장면기반 트래픽 모델링 방법을 적용한다. [18-19]에서 제안된 MPEG 비디오 트래픽 모델은 GOP

(Group of Pictures) 단위의 셀 발생률에 따른 장면 검출과 이를 이용한 장면 및 프레임 레벨의 마코프 체인으로 구성된다. 본 논문에서는 실시간 UPC를 위해 기 제안된 모델을 변형하였다. 실시간 UPC 지원을 위해 매 GOP의 첫 I 프레임 만의 관측으로 장면전환을 검출하고, 장면상태의 정의도 장면의 첫 번째 I 프레임의 셀 발생률을 기준으로 장면상태를 할당하도록 하였다. 본 논문에서 policing을 위한 MPEG 비디오 트래픽 기술자는 다음과 같은 방법으로 얻어진다.

전체 MPEG 비디오 스트림에서 장면을 검출하기 위해 식 (1)과 같은 I 프레임 단위 셀 발생량의 차이 비교를 이용한 장면 검출 알고리즘을 사용한다.  $\{I(n); n=1,2,\dots\}$ 은 원 영상의 I 프레임 단위 셀 발생량이라고 정의하고, 만약 n번째 I 프레임이 i번째 장면의 시작 프레임 일 때 다음 조건을 만족하는  $n+k$  번째 I 프레임이 i 번째 장면의 마지막 I 프레임이 되고  $n+k+1$  번째 I 프레임은 다음  $i+1$  번째 장면의 시작 프레임이 된다. 임계 값  $T$ 는 비디오의 특성에 따라 적절히 선택되어 진다.

$$\frac{|I(n+k+1)-I(n+k)|}{\sum_{j=n}^{n+k} I(j)/(k+1)} > T \quad (1)$$

MPEG 비디오 시퀀스의 각 장면은 장면 시작 I 프레임의 셀 발생량으로 대표된 후, 장면 전환 마코프 체인의 장면 상태 수  $K$ 를 결정한다. 만약 연속된 장면이 같은 장면 상태에 포함될 경우 두 장면은 합쳐져서 한 장면으로 고려된다.  $S_n$ 을 n 번째 프레임의 해당 장면상태를 나타내는 확률과정이라 할 때, 임의의 프레임이 장면상태  $i$ 에 있을 때 다음 프레임이 장면상태  $j$ 에 있을 확률  $p_{i,j}$ 는 다음과 같다.

$$p_{i,j} = \Pr\{S_{n+1} = j | S_n = i\} = \begin{cases} \frac{Nfr_i - Nsc_i}{Nfr_i}, & \text{if } j = i \\ \frac{Nsc_{ij}}{Nfr_i}, & \text{if } j \neq i \end{cases} \quad (2)$$

여기서,  $Nsc_i$  = 장면상태  $i$ 에 속한 총 장면 수,  $Nfr_i$  = 장면상태  $i$ 에 속한 총 프레임 수,  $Nsc_{ij}$  = 장면상태  $i$ 에 속한 장면이 다음 프레임에서 장면상태  $j$ 로 바뀌는 횟수.

그림 3은 [18-19]에 제안된 MPEG 비디오 트래픽 모델을 보여준다. 모델은  $K$ 개의 장면상태와 매 장면상태 내에 각 프레임 타입 별 프레임 상태로 이루어 진다. 각 장면상태에서는 GOP 패턴에 따라 I, B, P 프레임이 주기적으로 나타나게 된다. 이러

한 주기적 프레임 타입의 천이는 GOP 패턴 파라미터인  $N$ 과  $M$ 으로 표현될 수 있다. 각 프레임은 해당 장면상태  $i$ 에서 매 프레임 주기마다  $p_{i,i}$ 로 같은 장면상태  $i$ 에 머물게 되며,  $p_{i,j}$ 의 확률로 장면상태  $j$ 로 천이한다. 각 장면상태에서는 역시 매 프레임 주기마다 GOP 패턴에 따라 결정된 확률로 I, P, B 프레임 타입 상태로 천이하게 된다. 또한 각 1, 2, 3 프레임 타입(즉, I, P, B 프레임 타입) 상태에서는 한 프레임 기간동안 각각 장면상태  $i$ 에서의 프레임 타입별 평균 셀 발생량인  $\lambda_i^I, \lambda_i^P, \lambda_i^B$ 의 초당 셀 레이트로 셀을 발생시킨다. 새로운 장면의 시작은 항상 GOP 단위로 시작되므로 다음 장면은 확률 1로 I 프레임타입에서 시작된다.

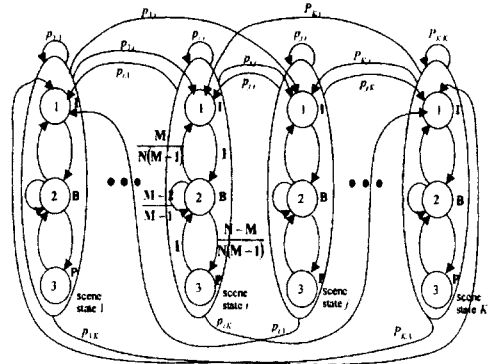


그림 3. 제안된 장면기반 MPEG 비디오 트래픽모델

제안된 모델에 대한 큐잉해석 식과 사용자가 요구한 QoS(최대 셀 지연, 셀 손실률)에 대한 실제 MPEG 비디오 시퀀스를 이용한 성능분석이 [18-19]에 제시되어있다. 성능분석 결과 제안된 모델은 원래 비디오 시퀀스의 큐잉성능을 잘 따른다는 것을 알 수 있었다. 이는 본 논문에서 policing의 대상으로 하고 있는 마코프 모델기반 트래픽 기술자의 사용이 QoS 예측이나 대역할당에 효과적임을 보여준다.

상태 장면상태  $i$  프레임 타입상태  $j$ 에서 장면상태  $k$  프레임 타입상태  $l$ 로 천이할 확률을  $p_{(i,j),(k,l)}$ 로 정의하면, MPEG 비디오 셀 입력 프로세스에 대한 천이 확률 행렬  $P_{model}$ 를 얻을 수 있다.

$$P_{model} = [p_{(i,j),(k,l)}]$$

$$= \begin{bmatrix} p_{1,1}A & p_{1,2}B & K & p_{1,K-1}B & p_{1,K}B \\ p_{2,1}B & p_{2,2}A & \Lambda & p_{2,K-1}B & p_{2,K}B \\ M & M & M & M & M \\ p_{K-1,1}B & p_{K-1,2}B & \Lambda & p_{K-1,K-1}A & p_{K-1,K}B \\ p_{K,1}B & p_{K,2}B & \Lambda & p_{K,K-1}B & p_{K,K}A \end{bmatrix}$$

$$A = [p_{(i,j),(i,k)}] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{M}{N(M-1)} & \frac{M-2}{M-1} & \frac{N-M}{N(M-1)} \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = [p_{(i,j),(j,k)} | i \neq j] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

또한, 각 상태 (i,j)에서의 셀 레이트를 나타내는 행렬 P를 다음 식으로 정의하면 MPEG 비디오 트래픽은 행렬 조합 {P<sub>model</sub>, A}에 의해 완전히 기술된다.

$$A = \text{diag} (\lambda_1^a, \lambda_1^b, \lambda_1^c, \lambda_1^d, \lambda_2^a, \lambda_2^b, \lambda_2^c) \quad (4)$$

ATM 망에서 트래픽 제어를 위해서는 사용자는 응용 서비스에 대한 트래픽 특성을 망에게 신고하여야 하고 망에서는 이를 기초로 사용자 QoS에 맞는 자원을 할당하고 실제 트래픽에 대한 policing을 수행하게 된다. 제안된 모델링 기반 트래픽 기술자는 트래픽은 행렬 조합 {P<sub>model</sub>, A}를 이용하게 된다. 실제 P<sub>model</sub> 행렬 중 A와 B 행렬은 GOP 패턴이 결정되면 사용자 트래픽 특성과 관계없이 결정되므로 사용자가 망에게 신고하는 트래픽 기술자는 만을 사용하면 된다. 여기서 P 행렬은 식 (5)의 장면상태 간 천이확률로 이루어진다.

$$P = [p_{(i,j)}] = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,K-1} & p_{1,K} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,K-1} & p_{2,K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{K-1,1} & p_{K-1,2} & \dots & p_{K-1,K-1} & p_{K-1,K} \\ p_{K,1} & p_{K,2} & \dots & p_{K,K-1} & p_{K,K} \end{bmatrix} \quad (5)$$

#### IV. 마코프 모델기반 트래픽 기술자에 대한 제안된 Policing 방법

##### 1. 문제점 분석

마코프 체인 기반 트래픽 기술자에 대한 policing은 현재까지 많은 연구결과가 발표되지 않았다. 실제 식 (4),(5)와 같은 장면상태의 프레임 타입별 평균 셀 발생량과 장면단위 천이 확률을 근거로 효과적이고 정확한 적합성의 검사는 매우 복잡하고 어려운 문제이다. 제 III 장에서의 제안된 것과 같은 마코프 체인 기반의 트래픽 기술자에 대한 policing을 어렵게 만드는 요인은 크게 다음과 같은 두 가지 문제로 생각 할 수 있다.

① 상태 수에 따른 감시대상 파라미터의 폭발적 증가 문제:

마코프 체인 기반 트래픽 기술자는 식 (5)와 같이 상태 천이 확률 행렬을 갖는다. 실제 입

력 트래픽의 적합성을 검사하기 위해서는 행렬의 각 천이 확률을 감시하여야 한다. 만약 상태수가 K라고 하면 감시대상 파라미터의 수는 (K×K)가 된다. 만약 K의 수가 커진다면 감시하여야 할 파라미터 수는 폭발적으로 증가하게 된다.

② Transient 구간에서의 확률 값의 동적 변화: 식 (5)의 확률 천이 행렬은 안정상태(steady state) 확률 값이다. 또한 식 (4) 역시 장면상태의 프레임 타입별 평균 셀 발생률을 의미한다. 이러한 긴 주기(즉, 전체 비디오 시퀀스)에 대한 파라미터는 실제 실시간 관측에서는 안정상태에 도달할 때까지 큰 변화를 가지는 transient 구간이 존재한다. 이 구간에서의 감시기준이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 두 가지 문제점을 해결하기 위해 상태천이 확률 행렬 값을 대표할 수 있는 감시 파라미터를 새롭게 정의하고 안정상태 확률에 이를 때 까지 transient 구간의 범위를 제약하는 지수함수를 도입하였다.

##### 2. 장면기반 마코프 모델 트래픽 기술자에 대한 policing 감시 파라미터

본 장에서는 1절에서 언급된 마코프 모델 트래픽 기술자의 감시에서의 문제 점을 해결하기 위해 식 (5)의 모든 장면상태 별 천이확률을 직접 모니터링 하는 대신 천이확률 행렬을 대표할 수 있는 대표 감시 파라미터를 각 장면상태마다 정의하여 사용할 수 있음을 보인다.

본 논문에서는 각 장면상태 별로 다음과 같은 두 가지의 감시 파라미터를 정의한다.

① 평균 체류 시간 (mean holding time) : m<sub>i</sub>

장면상태 i로 천이 하였을 때 다른 장면상태로 천이하기 전까지 장면상태 i에 머무르는 평균 프레임 수.

② 평균 회귀 시간 (mean recurrence time) : μ<sub>i</sub>

장면상태 i를 출발하여 다시 최초로 장면상태 i로 돌아오는데 소요되는 평균 회귀 프레임 수.

그림 4는 실제 비디오 시퀀스에서 체류시간과 회귀시간의 개념을 보여준다.

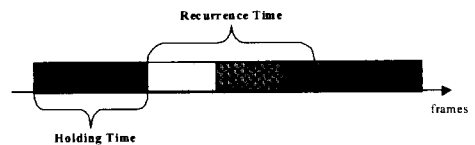


그림 4. 장면상태 i의 체류시간과 회귀시간 예

마코프 모델 트래픽 기술자로부터 policing을 위한 장면상태 별 평균 체류시간과 평균 회귀시간은 다음과 같이 구해진다. P 행렬로 정의되는 이산시간 마코프 체인에서 임의의 장면상태  $i$ 에 들어간 후 장면상태에 계속해서 머무르는 프레임 수가  $k$ 일 확률은 다음식과 같다.

$$\Pr\{X_i = k\} = p_{ii}^{k-1}(1 - p_{ii}) \quad (6)$$

식 (6)은 기하분포의 형태이고 장면상태  $i$ 의 평균 체류시간(단위:프레임)은 다음과 같다.

$$m_i = E[X_i] = \frac{1}{1 - p_{ii}} \quad (7)$$

장면상태  $i$ 의 평균 회귀시간은 RRT(Renewal Reward Theorem)에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$\pi_i = \frac{m_i}{m_i + \mu_i} \\ \therefore \mu_i = \frac{m_i - m_i \pi_i}{\pi_i} \quad (8)$$

여기서 는 임의 프레임이 장면상태  $i$ 일 안정상태 확률로,  $\Pi = \Pi P, \sum_i \pi_i = 1$  로부터 얻어진다.

P 행렬의 모든 상태 천이 확률을 모니터링하는 대신 각 장면상태별 평균 체류시간  $m_i$ 와 평균 회귀시간  $\mu_i$  만을 감시함으로써 장면상태 증가에 따른 감시 파라미터의 폭발적 증가를 막을 수 있다. 사용자 트래픽을 모니터링하여 장면상태  $i$ 에 할당된 트래픽의 평균 체류시간이  $m_i$ 를 초과하지 않는가를 검사함으로써 P 행렬의 대각선 천이 확률  $p_{ii}, i \in \{1, 2, 3, \dots, K\}$ 를 정확히 검증할 수 있다. 또한  $m_i$ 의 초과 여부와 함께 입력 트래픽의 장면상태  $i$ 의 평균 회귀시간이  $\mu_i$ 보다 빠르지 않은가를 검사함으로써,  $\Pi = \Pi P$ 로 표현되는 각 장면 상태별 안정상태 확률을 이용한 greedy한 P 행렬의 검증이 가능하다. 또한 평균 셀 발생률 트래픽 기술자  $\{s_1^a, s_1^b, s_1^c, \dots, s_k^a, s_k^b, s_k^c\}$ 는 입력 트래픽의 장면상태 별 프레임 타입의 평균 입력 셀률을 모니터링 함으로써 policing하게 된다.

### 3. 지수함수를 이용한 Transient 구간에서의 Policing 방법

2절에 기술된 바와 같이 ATM 망에서의 policing은 입력 트래픽에 대해 모델링에 사용된 것과 같은 장면전환 검출기를 사용함으로써 실시간으로 장면을 검출하고 장면의 처음 I 프레임 셀 발생률을 기초로 장면상태를 할당한다. 장면상태별 평균 체류시간, 평균 회귀시간, 그리고 I, P, B 프레임 타입별 평균

셀 발생률을 모니터링하여 트래픽 기술자로부터 해석적으로 유도된  $m_i, \mu_i, \{s_1^a, s_1^b, s_1^c\}$ 가 잘 준수되고 있는지를 검사하게 된다. 그러나 1절에서 설명한 바와 같이  $m_i, \mu_i, \{s_1^a, s_1^b, s_1^c\}$ 는 안정상태에서의 값인 반면 실측되는 트래픽은 transient 구간에서 상당히 변화가 심하게 된다. 이러한 변이(variation)를 수용하고 결국 안정상태 확률을 검증할 수 있도록 하기 위하여 본 논문에서는 그림 5와 같이 지수함수를 이용하여 transient 구간에 대한 policing을 수행한다. 실제 입력 트래픽의 관측은 누적 평균치(accumulated average value)를 이용한다.

관측된 누적 평균치가 트래픽 기술자로부터 유도된 값보다 클 경우(단, 평균 회귀시간의 경우 작을 경우) policing에서 부적합으로 고려되므로, 그림 5에서와 같이 해석 값으로 정규화 (단, 평균 회귀시간의 경우 역정규화)된 관측치가 적절한 지수함수로 유도되어 결국 안정상태 값으로 수렴하도록 하는 방법을 사용한다. 따라서 지수함수 이내의 변이는 policing에서 적합으로 판정되게 된다.

그림 5는 평균 체류시간에 대한 policing 예로, 입력 트래픽에 대한 장면상태 할당 후 해당 장면상태의 지금까지의 평균 체류시간을 계산하여 이것이 지수함수의 범위 안에 있는가를 판단한다. 그림에서 실선은 비디오 트레이스에서 각 장면단위로 실제 측정된 장면별 체류시간  $E_i^k[\text{Holding}]$ 을 해당 장면상태의 해석적 체류시간  $m_i$ 로 정규화 한 값을 보여준다. 여기서  $E_i^k[\text{Holding}]$ 는  $i$ 장면상태의  $k$ 번째 장면에서 그때까지의 누적 평균 체류시간으로 다음과 같이 구해진다.

$$E_i^k[\text{Holding}] = \frac{\sum_{n=1, \text{scene } n \in S_i}^k (\text{length of } n\text{-th scene})}{k} \quad (9)$$

여기서,  $S_i$ 는 장면상태  $i$ 에 속하는 장면의 집합이다.

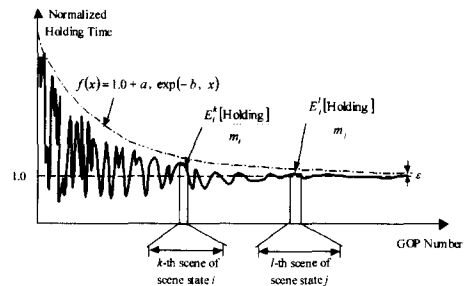


그림 5. Transient 구간의 지수함수 유도 예

지수함수  $f(x)$ 는 다음식으로 정의된다.

$$f(x) = 1.0 + a \times \exp(-bx) \quad (10)$$

$f(x)$ 의 파라미터  $a$ ,  $b$ 는 평균 체류시간( $a_m, b_m$ ), 평균 회귀시간( $a_\mu, b_\mu$ ), 평균 I 프레임 셀 발생률( $a_i, b_i$ ), 평균 P 프레임 셀 발생률( $a_p, b_p$ ), 평균 B 프레임 셀 발생률( $a_b, b_b$ ) 별로 각각 정의된다. 이들 파라미터는 사용자가 트래픽 기술자를 망에게 전송할 때 같이 전송하여 준다. 전체 policing 파라미터 집합  $\{a_m, b_m, a_\mu, b_\mu, a_i, b_i, a_p, b_p, a_b, b_b\}$ 는 실제 자원할당 등에 사용되는 트래픽 기술자는 아니지만 policing을 위한 파라미터로 사용된다.  $f(x)$ 는 장면상태에 관계없이 정의되며,  $x$ 는 평균 체류시간 및 회귀시간 함수에서는 GOP단위이고, 프레임 타입별 평균 셀 발생률 함수에서는 프레임 단위의 시간이다. 파라미터  $a, b$ 는 초기 프레임 또는 GOP 시간 동안의 최대 변이를 수용하고 비디오 시퀀스의 끝에서는 안정상태 확률로 수렴하도록 정의된다. 그림 5의  $\epsilon$ (tail margin)은 지수함수의 끝 부분 여유로, 안정상태 수렴 오차 한도이다. 이는 사용자가 신고하여야 하는 UPC 파라미터로 정의 할 수도 있고 망이 일반적으로 임의 값 이하로 유지하도록 사용자에게 지정할 수도 있다. 또한 마코프 모델 기반 자원 할당 시  $\epsilon$ 만큼의 추가 자원 할당으로 이 값을 수용 할 수도 있다. 본 연구에서는  $\epsilon$ 을 0.01 ~ 0.03까지 변화 시키며 UPC 성능을 측정하였다.

## V. Policing 알고리즘

### 1. 제안된 policing 구조

제안된 장면기반 마코프 체인 모델에 대한 policing 구조는 그림 6과 같다.

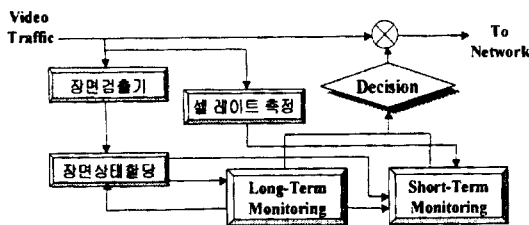


그림 6. 제안된 Policing 구조

그림 6에서와 같이 입력 트래픽은 모델링에 사용한 방법과 동일하게 식 (1)을 이용하여 장면 검출기

를 통해 장면전환 여부를 검출하게 된다. 장면전환이 새로이 검출되면 장면상태를 할당한다.

장면 당 policing은 다음의 두 가지 종류의 모니터링에 의해 수행된다.

#### ① Long-term 모니터링

Long-term 모니터링에서는 현재 GOP에 할당된 장면상태에 대해 현재 GOP까지의 해당 상태의 평균 체류시간 및 평균 회귀시간이 트래픽 기술자 확률 행렬 P에서 유도된 해석적 값을 이용한 지수함수 bound 내에 있는지 검사한다. 검사에 성공하면 short-term 모니터링을 수행한다.

#### ② Short-term 모니터링

Long-term 모니터링에서 적합 판정을 받으면, short-term 모니터링에서는 프레임에 할당된 장면상태에 대해 현재 프레임의 프레임 타입에 대한 지금까지의 평균 입력 셀률 (tagging이나 폐기 셀은 제외)이 에 기술된 허용입력 셀률 이하로 유지될 수 있는지 검사하여 허용되는 만큼의 셀을 망에 전달한다.

### 2. 상세 policing 알고리즘

그림 7은 long-term 모니터링의 자세한 순서도이다. Long-term 모니터링은 GOP단위로 수행된다 새로운 GOP(k) 시작 점에서(즉, k번째 I 프레임에서), 먼저 장면전환 검출을 통해 새로운 장면이 시작되는지를 판별한다. 새로운 장면이 시작되었으면 해당 장면에 대한 장면상태를 할당한다. 이전 장면에 대한 장면상태와 다른 경우 평균 회귀시간 검사를 수행하게 된다. 현재 장면을 포함하여 지금까지의 해당 장면상태 i의 평균 회귀시간  $\tilde{E}_i^{NS}[\text{Recurrence}]$ 이 비

교 값  $\frac{\mu_i}{1.0 + a_\mu \times \exp(-b_\mu k)}$ 보다 크면 평균 회귀시간 검사는 통과하게 된다.

회귀시간 검사를 통과하거나 현재 장면의 장면상태가 이전장면의 장면상태와 같은 경우 평균 체류시간 검사를 수행한다. 현재 GOP(k)를 포함한 해당 장면상태의 평균 체류시간  $\tilde{E}_i^{NS}[\text{Recurrence}]$ 이  $m_i \times (1.0 + a_m \times \exp(-b_m k))$ 보다 작으면 평균 체류시간 검사에서 적합 판정을 하게 된다. 이 경우 그림 8의 short-term 모니터링 절차를 따른다.

만약 평균 체류시간이나 평균 회귀시간 검사에서 해당 장면상태에 부적합 판정이 내려질 경우 인접 장면상태를 해당 GOP에 강제 할당해 다시 평균 회귀시간 및 체류시간 검사를 수행한다. 가능한 장

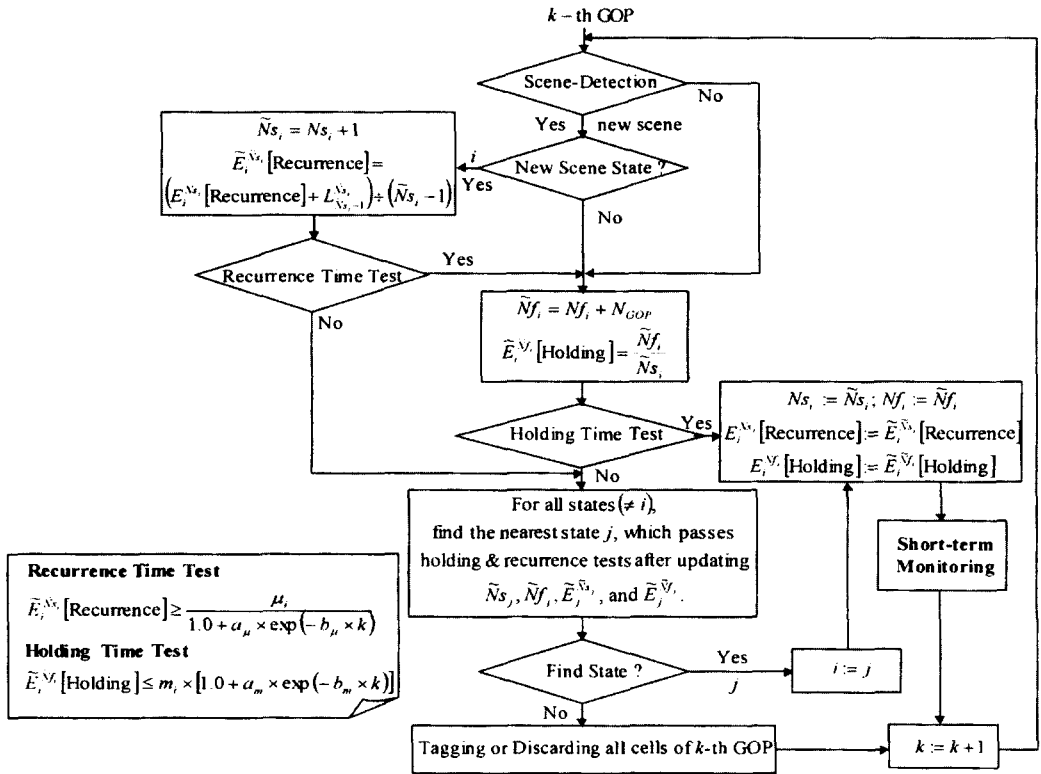


그림 7. Long-term 모니터링 순서도

면상태를 찾지 못할 경우 해당 GOP는 트래픽 기술자에 명기된 확률 분포에 따른 입력 트래픽 규제사항을 어긴 것이 되어 GOP 전체의 입력 셀은 위반 셀로 판정되어 태깅 되거나 폐기되게 된다.

그림 7에서  $N_s$ 와  $N_f$ 는 현재까지 장면상태  $i$ 의 총 장면 수와 총 프레임 수를 나타내고,  $L_{N_s-1}^{N_s}$ 는 장면상태  $i$ 의 이전 장면으로부터 현재  $N_s$ 번째 장면까지의 프레임 길이이다.  $N_{GOP}$ 는 GOP 구간 프레임 길이로 GOP 패턴 (N, M)의 N 값과 동일하다.

그림 8의 short-term 모니터링은 매 프레임 단위로 수행된다. Long-term 모니터링에서 적합 판정을 받은 GOP 내의 프레임이 입력되면 GOP 패턴 (N,M)에 의해 결정된 I, P, B 프레임의 배열 순서

에 근거하여 입력 프레임의 프레임 타입을 판단한다. 해당 프레임의 프레임 기간 중 입력되는 셀을 관측하여 지금까지 프레임이 속한 장면상태의 평균 프레임 타입 입력 셀수를 계산한다. 만약 계산된 값이 허용치 이내로 유지되면 해당 프레임의 모든 셀은 적합 판정을 받게 되고, 그렇지 않으면, 허용될 수 있는 범위의 셀만이 적합한 셀로 판정되어 망으로 전송된다.

그림 8에서  $N_f^{I, P, or B}$ 는 새로운 프레임의 입력 시, 해당 장면상태의 현재 프레임 타입에 대한 지금까지의 총 입력 프레임 수를 의미한다.  $N_c$ 은  $I$ 번째 프레임의 총 입력 셀 수이고  $N_c^{conform}$ 은  $N_c$ 개의 셀 중에서 평균 셀를 검사를 통과한 셀 수를 의미

표 1. 실험 MPEG 비디오 스트림의 통계적 특성(단위 cells/sec)

	평균		최대		최소	
	Star Wars	Talk Show	Star Wars	Talk Show	Star Wars	Talk Show
전체	1,015.5	946.4	12,061.6	6,951.0	30.9	135.4
B프레임	468.6	531.0	4,217.7	2,343.7	30.9	135.4
P프레임	1,501.9	964.5	11,347.2	4,528.1	142.7	210.9
I프레임	3,931.2	4,214.7	12,061.6	6,951.0	765.2	2,356.2



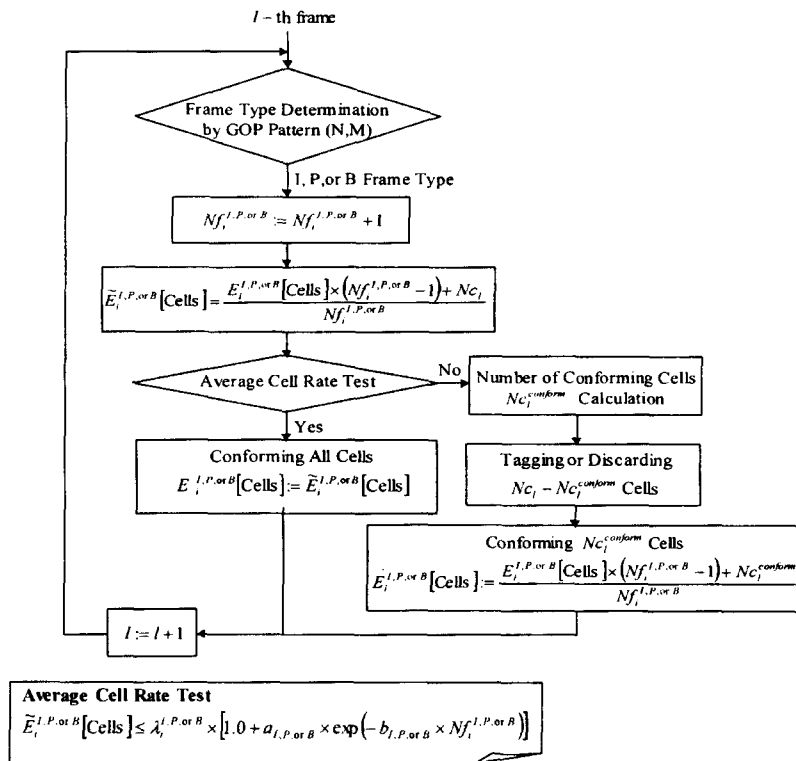


그림 8. Short-term 모니터링 순서도

한다. 본 논문에서  $Nc_i^{conform}$ 의 계산은 다음과 같다.

$$Nc_i^{conform} = \lambda_i^{I,P,or B} \times [1.0 + a_{I,P,or B} \times \exp(-b_{I,P,or B} \times Nf_i^{I,P,or B})] - (Nf_i^{I,P,or B} - 1) \times E_i^{I,P,or B}[\text{Cells}] \quad (11)$$

### VI. 모의실험

본 장에서는 제 V 장의 policing 알고리즘을 이용한 모의실험을 수행하고, 그 결과를 분석한다. 본 장의 실험에서는 [20]의 미리 MPEG 부호화된 비디오 스트림을 사용하였다. 실험에 사용한 영상은

표 2. 평균 체류/회귀 시간 (Star Wars) (단위: frames)

장면 상태	평균 체류시간		평균 회귀시간		장면 상태	평균 체류시간		평균 회귀시간	
	측정	해석적	측정	해석적		측정	해석적	측정	해석적
1	35.471	35.471	1064.810	1065.569	11	39.588	39.588	516.006	519.897
2	24.440	24.440	1260.000	1254.970	12	36.857	36.857	528.775	528.077
3	24.673	24.673	954.915	952.853	13	38.642	38.642	578.881	582.814
4	26.905	26.905	672.700	674.709	14	35.861	35.861	633.768	633.369
5	29.113	29.113	566.565	568.834	15	41.778	41.778	765.544	763.777
6	31.112	31.112	483.207	479.762	16	42.666	42.666	922.715	924.000
7	27.779	27.779	476.929	479.510	17	35.788	35.788	983.289	987.741
8	30.443	30.443	461.282	463.875	18	41.706	41.706	1164.535	1175.076
9	32.378	32.378	455.613	453.653	19	44.507	44.507	1535.669	1537.309
10	33.884	33.884	443.414	445.454	20	66.086	66.086	776.679	774.492

표 3. 평균 체류/회귀 시간("Talk Show")(단위: frames)

장면 상태	평균 체류시간		평균 회귀시간		장면 상태	평균 체류시간		평균 회귀시간	
	측정	해석적	측정	해석적		측정	해석적	측정	해석적
1	85.765	85.765	780.521	782.869	6	86.920	86.920	1640.200	1651.826
2	99.529	99.529	482.477	488.647	7	85.777	85.777	1377.076	1395.555
3	80.751	80.751	746.510	752.000	8	75.700	75.700	2026.000	2029.263
4	83.428	83.428	1806.800	1821.142	9	120.000	120.000	1974.000	1985.052
5	72.607	72.607	440.565	433.670	10	126.100	126.100	390.701	386.615

GOP 패턴이  $N=12, M=3$ 인, 비교적 프레임 당 셀 발생량 발생의 변화가 심한 약 1시간 40 분량의 "스타워즈 (Star Wars)" 영화영상과 30분 분량의 "Talk Show" 영상이다. 각 MPEG 비디오 스트림의 통계적 특성은 표 1과 같다. 실험을 위해 마코프 체인을 이용한 모델링에 있어, "Star Wars" 시퀀스에 대해서는 20개의 장면상태를 정의하였고, "Talk Show"를 위해서는 10개의 장면상태를 정의하였다. 장면검출을 위한 임계 값  $T$ 는 공히 0.05를 사용하였다.

표 2 및 표 3은 확률 천이 행렬  $P$ 로부터 policing을 위해 유도된 장면상태 별 해석적 평균 체류시간 및 평균 회귀시간이 실제 비디오 시퀀스로부터 측정된 값과 어느 정도 일치하는 가를 보여준다. 표에서 알 수 있듯이 평균 체류시간의 해석적 값은 실측과 동일하고 RRT에 의해 유도된 평균 회귀시간의 해석적 값은 실측에 아주 근사화 된 값으로 구해진다. 이는 행렬  $P$ 로부터 유도된 값으로 policing을 수행하는데 타당한 근거를 제시한다.

그림 9 및 그림 10은 "Star Wars"와 "Talk Show"에 대해 실제 시퀀스의 장면상태 평균 체류시간의 변화와 평균 회귀시간의 변화를 각각 보여주며, transient 구간의 수렴을 위해 지수함수를 이용한 bounding이 transient 구간에서의 변이를 잘

수용함을 보여주고 있다. 시퀀스로부터 실측된 장면상태 별 평균 체류시간 및 평균 회귀시간의 시간적 변화는  $P$  천이행렬로부터 유도된 해석적 값에 의해 정규화 및 역 정규화 되어 있다. 그림 11은 "Star Wars" 시퀀스의 I, P, B 프레임 타입별 장면상태 평균 셀 레이트의 변화와 지수함수를 이용한 bounding을 보여준다. 역시 지수함수를 이용함으로써 장면상태 별 프레임 타입 평균 셀 레이트의 변이를 잘 표현함을 알 수 있다.

그림의 지수함수는 시퀀스 끝에서의 꼬리여유(tail margin) 값  $\epsilon = 0.02$ 로 설정하여 파라미터  $\{a_m, b_m, a_\mu, b_\mu, a_I, b_I, a_P, b_P, a_B, b_B\}$ 를 구하였다. 그림 9,10,11에서 알 수 있듯이, 실제 비디오 시퀀스에서의 장면 상태 별 평균 체류시간, 평균 회귀시간 및 프레임 타입별 평균 셀 레이트는 시퀀스의 초기에는 해석적(즉 안정상태 값)을 중심으로 큰 변이를 보이지만 점차 안정상태 값으로 수렴한다. 또한 장면전환의 검출 및 장면상태 할당이 I 프레임 타입을 이용하여 결정되므로 I 프레임의 경우는 시퀀스의 초기에도 장면상태별 평균 셀 발생률이 안정상태 평균 값에 큰 변이가 없이 유지됨을 알 수 있다. 반면, P, B 프레임 타입은 I 프레임 타입에 비해 초기에 비교적 큰 변이를 보인다.

표 4는 "Star Wars"와 "Talk Show" 비디오 시퀀

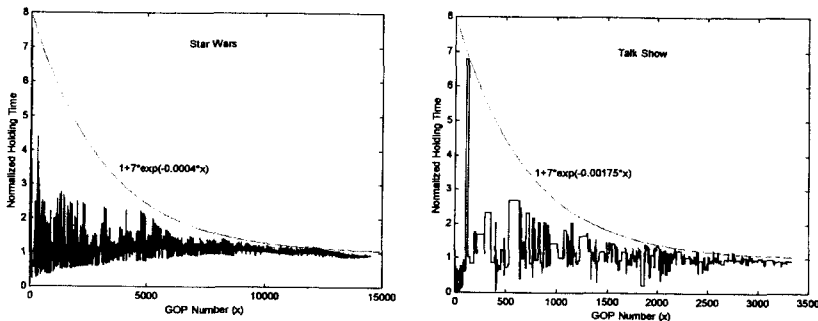


그림 9. 평균 체류시간 변화

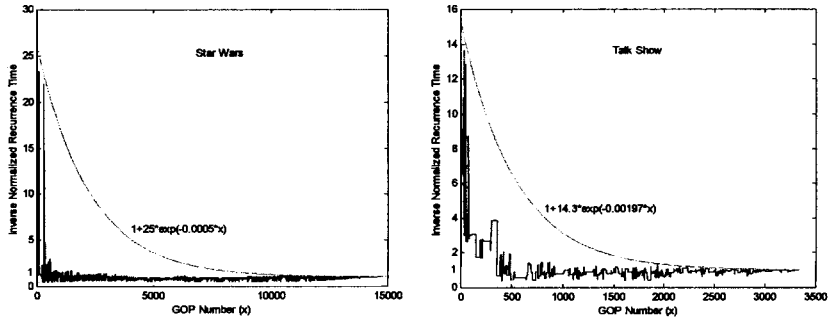


그림 10. 평균 회귀시간 변화

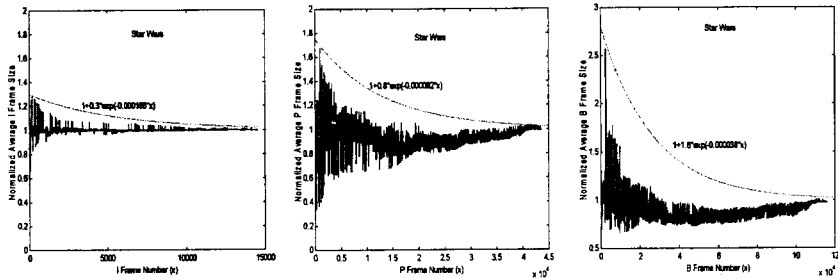


그림 11. 프레임 타입별 평균 셀 레이트 변화

스에 대해 제안된 policing 방법을 이용한 결과이다. 이상적인 트래픽 관리는 사용자가 원래의 비디오 시퀀스의 트래픽 특성을 잘 반영하는 트래픽 기술자를 망에게 신고할 경우 망에서는 해당 비디오 시퀀스가 입력될 때 위반으로 판정되는 셀이 없어야 한다. 그러나 실제의 경우 제한된 VBR 트래픽 기술자의 조합만으로 실제 비디오 시퀀스의 통계적 특성을 완전히 표현하는 것은 매우 어렵다. 본 논문에서 제안된 트래픽 기술자도 안정상태 장면상태 천이확률 행렬과 상태 당 프레임 타입별 평균 셀 레이트로 표시되므로 실제 입력 트래픽은 안정상태나 평균 값에서의 변이를 가지게 된다. 본 논문에서는 이러한 변이를 안정적으로 수용하기 위해 지수

분포의 bounding 함수를 사용하였다. 실제 표 4에서 알 수 있듯이 입력 스트림의 위반 확률은 이 bounding 함수의 꼬리여유(tail margin)  $\epsilon$  값에 따라 약간의 차이를 보이게 된다. 보다 작은 값의  $\epsilon$ 에서는 위반 확률이 커지게 되고 보다 큰 값의  $\epsilon$ 에서는 위반 확률이 0로 수렴한다. 실험적 결과에서는  $\epsilon \geq 0.03$ 의 영역에서는 위반확률이 0으로 근사화됨을 알 수 있었다. 이는 시퀀스의 끝 안정상태 값의 3% 여유에 해당한다. 4.3절에서 설명한 바와 같이 망에서는 마코프 체인 트래픽 기술자를 이용한 자원할당 후  $\epsilon$  만큼의 추가 자원할당 등의 방법으로 사용자가 policing을 위해 정의한  $\epsilon$ 을 수용할 수 있다.

표 4. 지수분포 꼬리여유(tail margin) 값( $\epsilon$ )에 따른 UPC 위반 확률

$\epsilon$	Star Wars			Talk Show		
	전체 셀 수	위반 셀 수	위반확률	전체 셀 수	위반 셀 수	위반확률
0.01	6,982,623	8,623	1.2310-3	1,494,523	2,540	1.7010-3
0.02	6, 982,623	2,376	3.4010-4	1,494,523	539	3.6110-4
0.03	6, 982,623	0	0	1,494,523	69	4.6110-5

표 5. Policing 파라미터 디멘전닝 (ACR=Average Cell Rate, LBS =Leaky Bucket Size).

		Star Wars	Talk Show
UPC 위반확률		$3.4010^{-4}$	$3.6110^{-4}$
제 $\epsilon$ 안 방법		0.02	0.02
Leaky bucket A	SCR	2031 cells/sec (=ACR/0.5)	1892 cells/sec (=ACR/0.5)
	LBS	2583 cells	1651 cells
Leaky bucket B	SCR	3385 cells/sec (=ACR/0.3)	3154 cells/sec (=ACR/0.3)
	LBS	247 cells	110 cells

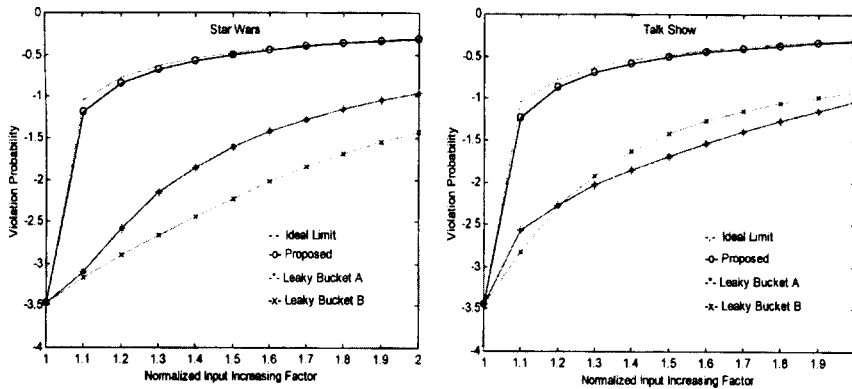


그림 12. 위반 트래픽에 대한 policing 성능 비교

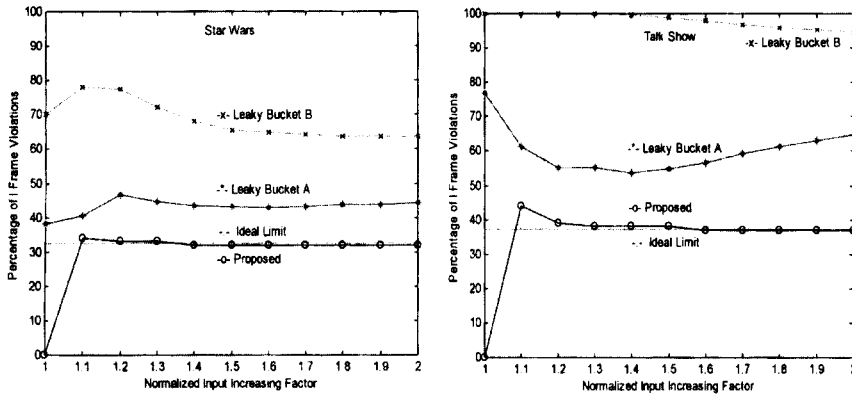


그림 13. I 프레임 셀의 부적합 비율 비교

그림 12는 사용자로부터의 입력 트래픽이 실제 트래픽 기술자 디멘전닝에 사용되었던 원래 트래픽 보다 과도하게 발생할 때의 policing 성능을 보여준다. 트래픽 기술자 보다 과도하게 발생하는 트래픽에 대해서는 policing을 통해 위반 셀을 정확히 가려내어야 한다. 그림의 정규화된 입력 증가 factor는 원래 시퀀스의 프레임 당 셀 발생 수에 대한 위반 트래픽의 프레임 당 셀 발생률의 비이다. 즉 위

반 트래픽을 만들기 위해 원래 시퀀스에 매 프레임마다 증가 factor 배 만큼의 셀을 발생 시켰다. 비교 대상 policing 방법들의 원래 비디오 시퀀스(정규화된 입력 증가 factor = 1.0)에 대한 파라미터 디멘전닝 결과는 표 5와 같다. 파라미터는 UPC 위반 확률이 “Star Wars”에 대해서는  $3.40 \times 10^{-4}$ , “Talk Show”에 대해서는  $3.61 \times 10^{-4}$ 이 되도록 설정되었고, 리키 버킷 A와 B는 각각 SCR이 ACR의 1/0.5,

1/0.3 배가 되도록 설정한 상태의 {SCR, LBS} 값을 갖는 리키 버킷 모델이다.

그림 12에서 알 수 있는 것과 같이 제안된 방법은 위반 트래픽에 대해 거의 이상적인 제어를 수행한다. 반면 리키 버킷 기반의 policing에서는 위반 트래픽을 정확히 감시하지 못한다.

그림 13은 정규화 된 입력 증가 factor를 변화 시킬 때 위반 셀 중에서 I 프레임 셀이 차지하는 비율을 도시한 것이다. I 프레임은 P 및 B 프레임의 참조 프레임으로 이용되므로 I 프레임의 손실은 실제 복호화 된 화질에 큰 저하를 가져온다. 제안된 방법은 I 프레임이 손실되는 비율을 리키 버킷 기반 policing 때보다 현저히 낮출 수 있음을 보여준다. 즉 리키버킷 기반 policing에서는 가장 버스트한 I 프레임에서 대부분의 손실이 일어 나지만 제안된 마코프 모델링 기반 policing에서는 각 프레임 별로 각기 다른 모니터링 파라미터를 사용함으로써 I 프레임 손실을 전체 위반 셀 중 실제 I 프레임으로부터 발생된 셀이 차지하는 비율(이상적 값)로 유지할 수 있다.

## Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 VBR MPEG 비디오 트래픽의 마코프 모델 기반 트래픽 기술자에 대해 효과적인 policing 방법을 제안하였다. 논문에서 사용한 마코프 모델 기반 트래픽 기술자는 비디오 트래픽의 long-term 상관관계를 위한 장면단위 상태를 정의하고 각 장면상태에서는 프레임 타입의 GOP 패턴에 따른 주기적 천이를 고려한 확률 모델이다. 기존의 리키버킷 기반 트래픽 기술자는 단일 소스에 대한 대역할당 및 QoS 예측의 부정확성과 과다 자원의 배분이라는 문제를 갖고 있다. 보다 정확한 트래픽의 기술은 본 논문에서 사용한 장면기반 마코프 모델로 가능하다.

이러한 마코프 모델기반 트래픽 기술자에 대한 policing 방법은 기존의 리키버킷 또는 윈도우 기반의 policing과는 달리 새로운 개념의 접근이 필요하다. 본 논문에서는 안정상태 천이확률의 감시를 위해 장면상태 마다 대표성을 갖는 두 가지 감시 파라미터 (평균 체류시간 및 평균 회귀시간)을 정의하여 이를 누적 평균의 형태로 감시한다. 또한 장면상태의 프레임 타입별 평균 셀 발생률도 누적 평균을 이용 안정상태 값과의 비교를 수행하게 된다. Transient 구간에서의 변이를 고려하여 지수합수를

이용한 bounding을 제시하였고, 이는 실제 비디오 시퀀스에 잘 맞는다는 것을 알 수 있었다. 제안된 policing 알고리즘을 이용한 실험결과 마코프 모델 기반 트래픽 기술자에 대해 제안된 방법은 안정적인 policing 성능을 보임을 확인할 수 있다. 또한 제안된 새로운 policing의 기본 개념은 VBR MPEG 비디오 트래픽 외에 기타 마코프 모델 기반 트래픽 기술자에 대한 감시의 목적에도 적용될 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] Irfan Khan and Victor O.K.Li, "Traffic control in ATM networks", Computer Networks and ISDN Systems 27, pp. 85-100, 1994.
- [2] ITU-T Recommendation I.371, "Traffic control and congestion control in B-ISDN", Geneva, July, 1995.
- [3] ATM Forum Specification, "Traffic management specification version 4.0", April, 1996.
- [4] Erwin P. Rathgeb, "Modeling and performance comparison of policing mechanisms for ATM networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 9, No.3, pp. 325-334, 1991
- [5] 이기봉, 송주석, 이준원, "BISDN ATM 환경에서의 트래픽 제어 방식에 관한 연구-가변 크기 창을 사용한 동적 사용 파라미터 제어", 한국통신학회 논문지, Vol.20, No.3, pp. 569-580, 1995.
- [6] W. Melody Moh and Neela Jorapur, "Advanced traffic policing mechanisms for VBR traffic over ATM networks", SPIE Vol.3231, pp. 394-405, 1997.
- [7] Wen-Tsuen, Wu-Sheng Huang, and Cheng-Ho Lin, "A policing algorithm for MPEG streams on ATM networks", IEEE ICC'97, pp. 545-549, 1997.
- [8] B-H. Roh and J-K. Kim, "An efficient traffic control framework for VBR MPEG video sources in ATM networks", IEEE ICC'97, 1997.
- [9] Pramod Pancha and Magda El Zarki, "Leaky bucket access control for VBR MPEG video", IEEE Infocom'95, pp. 796-803, 1995.

[10] Helmut Heeke, "A traffic-control algorithm for ATM networks", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.3, No.3, pp. 182-189, 1993.

[11] B. Maglaris, D. Anastassiou, P. Sen, G. Karlsson and J. D. Robbins, "Performance models of statistical multiplexing in packet video communication", IEEE Trans. Communications, Vol. 36, No.7, pp. 834-844, 1988.

[12] P. Sen, B. Maglaris, N. Rikli, and D. Anastassiou, "Models for packet switching of variable-bit-rate video sources", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 7, No. 5, pp. 865-869, 1989.

[13] D. P. Heyman, A. Tabatabai, and T. V. Lakshman, "Statistical analysis and simulation study of video teleconference traffic in ATM networks", IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Technology, Vol.2, No.1, pp. 49-59, 1992

[14] M. Krunz, and H. Hughes, "A traffic model for MPEG-coded VBR streams", IEEE ICC'95, 1995.

[15] O. Rose, "Simple and efficient models for variable bit rate MPEG video traffic", Performance Evaluation 30, pp. 69-85, 1997.

[16] J. C. Wu, Y Chen, and K Jiang, "Two models for variable bit rate MPEG sources", IEICE Trans. on Communications, Vol. E78-B, No.5, pp. 737-745, 1995.

[17] F. Yegenoglu, B. Jabbari, and Y. Zhang, "Motion-classified autoregressive modeling for variable bit rate video", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.3, No.1, pp.42-53, 1993

[18] 유상조, 박수열, 김성대, "ATM 망에서의 MPEG 비디오 트래픽 모델링을 통한 큐잉해석 및 망 자원 할당에 관한 연구", 한국통신학회논문지, Vol.23, No.10, pp. 2675-2687, 1998.

[19] S.-J. Yoo and S.-D. Kim, "Scene-based traffic modelling and queueing analysis of MPEG video sequences", IEE Electronics Letters, Vol. 34, No.15, pp. 1484-1486, 1998.

[20] ftp-info3.informatik.uni-uerzbug.de/pub/MPEG/

유 상 조(Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)

1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1990년 3월~현재 : 한국통신 연구개발본부

1997년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 멀티미디어 통신, 트래픽 모델링 및 큐잉해석, 멀티미디어 QoS 제어

홍 성 훈(Sung-Hoon Hong)

정회원

1999년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (공학박사)

1991년~현재 : LG 전자

한국통신학회 논문지 제 23권 5호 참조

김 성 대(Seong-Dae Kim)

정회원



1977년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1979년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (공학석사)

1983년 : 프랑스 INPT ENSEEIHT 졸업(공학박사)

1984년~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수

<주관심 분야> 영상처리, 영상통신, 컴퓨터 비전, VLSI 구현등