Journal of the Korean Institute
of Industrial Engineers
Vol.23, No.1, March, 1997

MPEG 비디오원을 대상으로 한 트래픽 쉐이퍼의 성능 분석*

Performance Analysis of Traffic Shaper for an MPEG Video Source

이상천** · 이명용*** · 홍정식**** · 이창훈*****

S.C. Lee** · M.Y. Lee*** · J.S. Hong**** · C.H. Lie*****

Abstract

In this paper, performance analysis of video traffic shaper for Motion Picture Experts Group (MPEG) video traffic in an ATM network are investigated.

Traffic shaping for MPEG video traffic is proposed as a traffic control function in ATM networks. The proposed shaper smoothes video traffics by controling the ouput rate of the buffer, which is placed in an MPEG source, according to I,B,P frame sequences of MPEG. In performance analysis of an video traffic shaper, a periodic batch arrival model is suggested to describe cell streams in a frame of MPEG video traffic. The queueing model which has periodic indepentent batch arrival and periodic deterministic service time is used to obtain the cell loss ratio, the mean cell delay, and the measure of smoothing effect. Simulation results are used to validate this queueing model. The cell loss performance of ATM multiplxer is measured by simulation study with real MPEG-1 data. From the viewpoint of traffic load, the cell loss ratio is observed to be considerably high, whichis considered to result from the burstiness of MPEG video traffic. As a result, it is shown that the shaping decreases cell loss ratio of multiplexer. The results of this paper can be employed to establish a basic guideline in the implementation of a traffic control scheme and the design of ATM multiplexer for MPEG video traffic.

* 본 연구는 한국통신 통신망 연구소의 재정적 자원에 의해 수행되었음
본 연구의 일부는 "한국 경영과학회/대한 산업공학회 '95 춘계 공동 학술 대회" 에서 발표되었음

** (주) 대우전자부품 기술연구소
*** 한국통신 통신망연구소
**** 서울산업대학교 산업공학과
***** 서울대학교 산업공학과

1. 서 론

광대역종합정보통신망(B-ISDN : Broadband-Integrated Service Digital Network)은 빠른 전송속도와, 음성 및 데이타 그리고 비디오 트래픽이 통합되어 디지탈 방식으로 전송되는 두가지 특성을 갖고 있다. 이 특성을 해결하기 위하여 B-ISDN에서는 전송 방식으로 비동기 전달 모드(ATM : Asynchronous Transfer Mode)를 택하고 있다. ATM에서는 이러한 특성으로 말미암아 트래픽 제어의 비중이 매우 높아졌으며 특히, VBR 모드로 전송되는 비디오 트래픽의 제어문제가 큰 관심사로 등장하였다. 이에 따라, 비디오 트래픽에 대한 트래픽 제어와 예방 혼잡제어(preventive congestion control)에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 우선, 전형적인 비디오 코더(coder)로부터 발생되는 비디오 트래픽은 음성이나 데이타 트래픽에 비해 비트율 및 버스트니스가 매우 크고 비트율의 변동이 매우 심한 특성 때문에 최대 비트율(peak bit rate)이나 평균 비트율(mean bit rate) 등과 같이 장기적인 분포로부터 추정된 파라메터를 통해 트래픽을 제어하는 사용 파라미터 제어(UPC : Usage Parameter Control)나 호 연결 수락 제어(CAC : Connection Admission Control) 알고리즘들이 제시되었다. 그러나 이러한 기법들은 제어 반응시간이 길어지는 문제가 부각되어 비효율적이라는 것이 밝혀졌다[4,6]. 또한, 망 운영의 효율성 관점에서도 복잡한 비디오 트래픽의 특성을 어느 정도 감소시키면서 트래픽 흐름을 예측가능한 형태로 바꿔줄 필요성이 대두되어[4,5,6,7], 결국 비디오 트래픽의 특성을 반영한 새로운 접근법이 요구되고 있는 실정이다.

이러한 관점에서, 현재 많은 연구가 진행되고 있는 것이 '비디오 트래픽 쉐이퍼(shaper)'이다. 이러한 쉐이퍼의 역할은 개별 비디오 원에 부착된 버퍼에서 담당하여, 다중화 장치나 망에서의 트래픽 제어와는 별도로 일차적으로 수행되게 된다. 쉐이퍼를 통한 직접적 효과는 트래픽의 완만화(smoothing) 즉, 버스티니스의 감소와 비트율 변동폭의 감소이며, 이를 통해 통계적 다중화의 효율성 증진과 함께 예측가능한 또는, 수리적 모형화가 간단하게 될 수 있는 형태로 변환된 트래픽에 대한 동적 대역폭 할당(dynamic bandwidth allocation)이 효과적으로 수행될 수 있게 된다. 반면에, 버퍼링(buffering)을 통해서 쉐이퍼 기능이 수행되게 되므로, 지연(delay)이 수반되게 된다. 따라서, 쉐이퍼의 성능으로서 이러한 지연시간의 제약조건이 반드시 고려되어야 한다.

비디오 코더로부터 발생된 트래픽은 일단 버퍼에 대기하게 되는데, 이때 쉐이퍼 기능을 수행하는 이 버퍼에서의 "buffering strategy"에 따라 다양한 쉐이퍼가 존재하게 된다. 지금까지 제안되어 연구가 되고 있는 쉐이퍼의 물리적인 구현은 트래픽원에 버퍼를 두어 버퍼의 출력속도를 조절하는 것으로 구현되며, 출력속도는 UPC에서의 Leaky Bucket 과 같은 방법으로 토큰의 생성 속도를 셀(cell)의 입력 상태에 따라 바꿈으로써 조절된다. ATM 망에서의 쉐이퍼의 구현위치는 아래 그림과 같다.

비디오 트래픽의 경우, 최근 ITU-T(International Telecomunications Union - Telecommunication)에서 MPEG(Motion Picture Experts

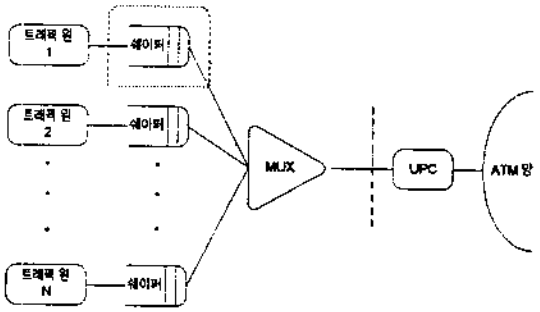

그림 1-1. ATM망에서의 쉐이퍼의 구현위치

Group)에 의한 비디오 트래픽의 코딩 알고리즘의 표준화 활동이 진행되고 있는 바, 본연구에서는 트래픽 입력모형으로 MPEG 비디오원을 선택하고, 쉐이퍼에서의 평균 셀지연, 셀손실률 및 트래픽 버스티니스 척도인 STDRATIO (Standard Deviation Ratio) 등의 쉐이퍼 성능함수를 쉐이퍼 파라미터의 함수로 표현하고자 한다. 그리고 마지막으로 시뮬레이션을 통해 쉐이퍼에 의한 완만화 효과가 다중화기의 셀손실률 개선에 미치는 정도를 살펴본다.

2. MPEG 비디오 트래픽

2.1 MPEG 코딩 알고리즘[4,8,9,10]

MPEG 비디오 코딩 알고리즘은 ITU-T에서 채택된 동화상에 대한 표준 코딩 알고리즘으로, 비디오 트래픽의 압축도를 높이기 위해 다음 두가지 기본기술을 바탕으로 한다. 먼저 시간 중복성(temporal redundancy)을 줄이기 위해서 프레임간 코딩 기법(Inter-Frame Coding) 과 공간 중복성을 줄이기 위해 프레임내 코딩기법(Intra-Frame Coding)을 사용한다. MPEG에서는 프레임내 코딩 기술로 기존의 정지화상 코딩에서 사용된 DCT(Discrete Cosine Transform)기법을 채택하였다. 프레임간 코딩 기법은 특히 높은 압축도를 보장하는 기술로서 MPEG의 핵심적인 사항이라 할 수 있다. 이 프레임간 코딩 기법에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다.

랜덤 액세스 및 압축률을 고려하여 MPEG에서는 Intra 영상(I), predicted 영상(P) 및 Interpolated 영상(B, 양방향 예측) 등 3가지 타입의 영상을 고려한다. I 영상은 랜덤 액세스를 위한 액세스 점을 제공하나 압축률은 높지 않다. P 영상은 이전 영상(I 또는 P)을 기준영상으로 이용한다. B 영상은 가장 높은 압축을 제공하나 예측을 위해서 이전 영상 및 다음 영상이 기준영상으로 필요하다. MPEG에서는 이와 같은 영상 타입들의 조합으로 랜덤 액세스를 보장하는 그림 2-1과 같은 GOP(Group of Picture) 구조를 도입했다. 아래 그림에서 N, M은 각각 I프레임, P프레임의 주기를 의미한다. 즉 MPEG 코딩에서의 프레임간 코딩기법은 동영상을 GOP를 사용하여 연속적으로 코딩함으로써 화면의 질 및 높은 압축도를 보장한다.

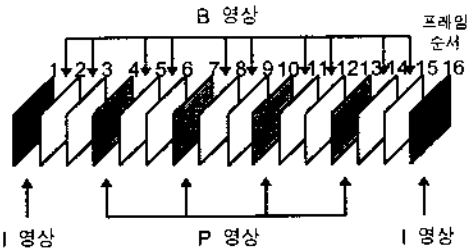

그림 2-1. MPEG의 GOP구조 (N=15, M=3)

2.2 MPEG 비디오 트래픽의 특성[4,10]

MPEG 비디오 트래픽은 코딩 파라미터인

N, M에 따라 트래픽의 특성이 달라지며 [4,10], 프레임의 순서에 따른 셀의 흐름에 있어서 아래 그림 2-2에서 보듯이 강한 주기성을 보여준다.

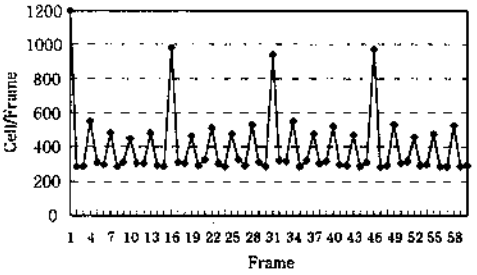

그림 2-2. MPEG 표본영상의 셀 흐름

MPEG 비디오 트래픽의 특성을 요약하면 아래와 같다.

- 셀의 흐름에는 뚜렷한 주기성이 보인다.
- I, B, P 방식에 따라 서로 독립적인 셀 흐름을 유지한다.
- ACF(Auto-Correlation Function)가 지수적으로 감소하지 않고, 서서히 감소하는 경향이 있으며, 주기성을 나타낸다.

3. 쉐이퍼 작동과정의 대기모형

3.1 MPEG 비디오 트래픽의 모형화

MPEG 코더를 거친 비디오 트래픽의 프레임당 셀흐름은 MPEG 의 프레임 주기(N,M)에 따라 강한 주기성을 보여주고, 각 I,B,P 프레임은 독립적인 셀흐름을 보여준다[4,10]. 이는 MPEG 코딩기법은 높은 압축도 및 화면의 질을 달성하기 위하여, 프레임을 일정한 순서로 코딩, 전송하는 코딩알고리즘의 특성에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. MPEG 비디오 트래픽과 관련된 최근의 연구[4]에서 I, B,P프레임당 비트수의 분포는 Gamma, Log-normal 분포로 적합시킬 수 있다고 알려져 있다.

본 연구에서는 MPEG 비디오 트래픽에 대해 각 I,B,P 프레임의 종류에 따른 프레임 수준에서의 셀율의 모형을 제시하고, MPEG 코딩 알고리즘의 프레임 주기성을 반영하는 GOP수준에서의 모형을 제시하였다. 먼저 프레임 수준에서의 셀흐름을 각 프레임별 셀수의 통계량을 사용하여 Gamma 확률 분포에 적합시켜 모형화 하였으며, 각 셀들은 프레임의 초기에 배치로 도착한다고 가정하였다. GOP 수준에서의 모형화는 MPEG 코딩의 주기성을 반영하기 위하여, 프레임 수준에서의 모형(Gamma 분포)이 MPEG 의 코딩 주기 N, M에 따라 반복되는 주기적 배치 모형(periodic-batch model) 으로 모형화하였다.

3.2 쉐이핑 정책

본 장에서 분석 대상이 되고 있는 MPEG 쉐이퍼는 MPEG의 프레임 순서에 따라서 출력속도를 조정하는 방식을 취하고 있다. 주기적으로 셀 출력속도를 조절하는 방식은 MPEG 코딩방식에 따라 I, B, P 프레임의 순서가 확정적으로 결정되므로, 쉐이퍼에서의 셀 출력속도를 이 프레임의 순서에 따라 주기적으로 조절해주는 방식이다. 즉 프레임당 셀수가 큰 I 프레임의 경우 좀더 빠른 속도로 셀을 다중화기로 보내고 상대적으로 프레임당 셀수가 작은 B 프레임의 경우 좀더 느린 속도로 셀을 다중화기로 보내면, 셀의 완만화 효과를 유지하면서 쉐이퍼에서의 셀 지연 및 셀 손실등의 성능함수에 있어서 더 좋은 결과를 가져올 수 있다. 또 셀지연 및 완

만화 효과를 위하여 I, P 프레임의 경우는 단일 출력률을 사용하고, B 프레임의 경우 직전 프레임의 종류에 따라 출력률을 조정하는 다단계 전송률을 사용한다.

주기적으로 셀 출력 속도를 조절하는 방식인 MPEG 쉐이핑 정책은 버퍼에서의 셀 수에 대한 관찰이 필요없고, 프레임마다 주기적으로 셀 출력속도를 조절하므로, 구현이 용이하다는 장점을 가지고 있다.

MPEG 쉐이퍼의 쉐이퍼 파라미터는 아래와 같다.

- 버퍼의 크기(b)
- 프레임별 셀 출력 속도(단위 : Cell/Frame)

  D_1 : I 프레임의 셀 출력속도

  D_2 : B 프레임의 셀 출력속도

  (D_{21} : 직전 프레임이 I, D_{22} : 직전 프레임이 B, D_{23} : 직전 프레임이 P)

  D_3 : P 프레임의 셀 출력속도

예를 들어 MPEG의 프레임 순서가 IBBPBBPBBPBB (N=12, M=3)인 경우 쉐이핑 정책은 $D_1D_{21}D_{22}D_3D_{23}D_{22}D_3D_{23}D_{22}D_3D_{23}D_{22}$ 가 된다.

3.3 쉐이퍼 작동과정의 대기 모형화

앞에서 정의한 MPEG 비디오 트래픽 모형 및 쉐이핑 정책을 사용하여 쉐이퍼 작동과정을 모형화하면 다음과 같다.

- 입력과정 : 프레임당 비트수는 Gamma 분포를 따르며, 셀수는 프레임의 순서에 따라 각 프레임의 초기에 배치로 도착하는 주기적 배치 모형을 따른다.
- 서비스 과정 : 셀 출력률은 프레임의 순서에 따라 주기적으로 조정되며, 확정적이다.

따라서 쉐이퍼 작동과정은 입력과정이 주기적 배치모형을 따르고, 서비스율이 프레임의 종류에 따라 확정적인 분포를 따르며, 버퍼의 크기가 유한인 특수한 대기모형으로 모형화될 수 있다.

4. 성능 함수 분석

앞의 대기모형에서 표본경로를 추적하면, I 프레임이 도착하는 시점에서의 버퍼에 있는 셀수를 상태로 하는 이산상태 마코프 연쇄가 된다. 평균 셀지연, 셀손실율 및 완만화 척도는 마코프 연쇄의 극한확률로부터 유도한다.

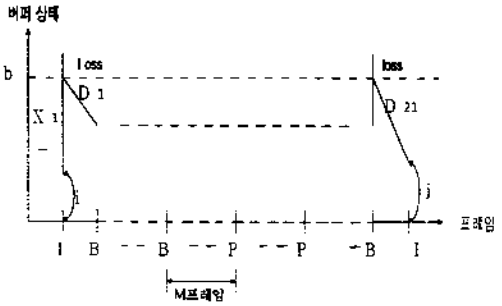

그림 4-1. 표본경로

위 그림에서 I 프레임이 도착한 시점에서 버퍼에 있는 셀 수는 직전 I 프레임이 도착한 시점에서 버퍼에 있는 셀 수 및 그 주기동안 B, P 프레임에서 도착하는 셀 수와 버퍼 출력률에 의해 결정되므로 이는 마코프 연쇄를 이룬다.

[기호정의]

B_i : 마코프 연쇄의 상태변수. i 번째 I 프레임이 도착했을 때의 버퍼에 있는 셀수

$b^{nm}{}_2$: MPEG 주기내의 n번째 P 프레임주

기내에 m번째 B 프레임이 도착했을 때의 버퍼상태

b^n_3 : MPEG 주기내의 n번째 P 프레임이 도착했을 때의 버퍼 상태

P_{ij} : 마코프 연쇄 전이확률 $Pr[B_{n+1}=j \mid B_n=i]$

P : 마코프 전이확률 행렬

P_1 : I 프레임에서의 전이확률 행렬

P_{212} : 직전 2프레임이 BI일 때 B 프레임에서의 전이확률 행렬

P_{221} : 직전 2 프레임이 IB일 때 B 프레임에서의 전이확률 행렬

P_{222} : 직전 2레임이 BB일 때 B 프레임에서의 전이확률 행렬

P_{223} : 직전 2프레임이 PB일 때 B 프레임에서의 전이확률 행렬

P_{232} : 직전 2프레임이 BP일때 B 프레임에서의 전이확률 행렬

P_3 : P 프레임에서의 전이확률 행렬

π : I 프레임에서의 극한확률 벡터

ε_{nm} : MPEG 주기내에서 n번째 P 주기내에 m 번째 B 프레임에서의 극한확률 벡터

ϕ_n : MPEG 주기내에서 n번째 P 프레임에서의 극한확률 벡터

f_1, f_2, f_3 : 프레임별 도착셀수 x_1, x_2, x_3의 확률질량함수

$\pi(k)$, $\varepsilon_{nm}(k)$, $\phi_n(k)$: 버퍼상태 k에서의 극한확률

4.1 마코프 연쇄확률

[그림4-1]에서 I 프레임 사이에는 (N-1)개의 B 프레임과 P 프레임이 존재하고 P 프레임 사이에는 (M-1)개의 B 프레임이 존재하므로 상태 전이확률 P_{ij}는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{ij} = Pr[B_{n+1}=j \mid B_n=i] = \sum_k \sum_s \cdots \sum_t \sum_p Pr[b_2^{[1]}=k \mid B_n=i] \cdot Pr[b_2^{[2]}=s \mid b_2^{[1]}=k] \cdots Pr[b_1^{\frac{N}{M}M-1}=p \mid b_2^{\frac{N}{M}M-2}=t] \cdot Pr[B_{n+1}=j \mid b_2^{\frac{N}{M}M-1}=p] \quad (4.1)$$

위 식을 행렬로 표시하면 아래와 같다. (M≥3)

$$P=P_1 \cdot P_{212} \cdot P_{221}\{P_{222}^{M-3} \cdot P_3 \cdot P_{232} \cdot P_{222}\}^{\frac{N}{M}-1} \cdot P_{222}^{M-3} \quad (4.2)$$

윗 식에서 각 전이확률의 크기는 직전 프레임의 상태 및 출력률에 의해 결정되므로 I, P 프레임의 경우에는 직전 프레임이 항상 B로 동일하지만, B 프레임의 경우 직전 2프레임에 따라 달라진다. 위의 각 전이확률 행렬들은 각 프레임에서 각각 다른 출력률을 가지므로 행렬의 크기는 서로 다르다. 마코프 연쇄의 전이확률은 위의 각 프레임에서의 전이확률행렬에 의해 결정되며 이 전이확률을 구하는 과정은 다음과 같다.

4.1.1. I 프레임에서의 전이확률 행렬

I 프레임에서의 전이확률은 I 프레임에서의 도착 셀 수와 출력률에 의해 결정된다. 즉, 다음 그림4-2로부터 $j=Max[0, Min[x_1+i, b]-D_1]$의 관계가 성립한다.

그리고 행렬의 크기를 살펴보면, i의 크기는 직전 프레임에서의 출력률이 D_{22}이므로, $b-D_{22}+1$이고, j 프레임에서의 출력률이 D_1이므로 $b-D_1+1$이다. 따라서 P_1 행렬의 크기는 $(b-D_{22}+1)\times(b-D_1+1)$ 이다. 또, 전이확률은 확률변수 x_1에 의해 결정되므로 $i=0, \ldots, b-D_{22}$

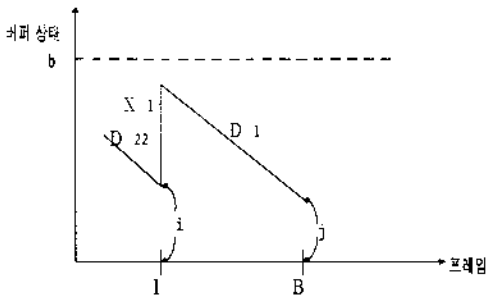

그림 4-2. I 프레임에서의 표본경로

에 대해 $[P_1]_{ij}$는 아래와 같다.

$$[P_1]_{ij}=\begin{cases} 0 \quad , & i \rangle D_1+j \\ \Pr[x_1 \le D_1-i], & j=0, \quad i \le D_1 \\ \Pr[x_1 = D_1+j-i], & j=1,\cdots,b-D_1-1 \\ \Pr[x_1 \ge b-i], & j=b-D_1 \end{cases} \tag{4.3}$$

4.1.2 B 프레임에서의 전이확률 행렬

먼저 직전 프레임이 I인 B프레임에서의 버퍼 상태는 $j=Max[0,\ Min[X_2+i,\ b]-D_{21}]$의 관계가 성립하고 I프레임에서와 같은 방법으로 전이확률 $[P_{212}]_{ij}$는 다음과 같이 표현된다.

$$[P_{212}]_{ij}=\begin{cases} 0 \quad , & i \rangle D_{21}+j. \\ \Pr[x_2 \le D_{21}-i], & j=0, \quad i \le D_{21}. \\ \Pr[x_2 = D_{21}+j-i], & j=1,\cdots, \quad b-D_{21}-1. \\ \Pr[x_2 \ge b-i], & j=b-D_{21}. \end{cases} \tag{4.4}$$

P_{212} 행렬의 크기는 직전 I 프레임의 서비스율이 D_1, B 프레임의 서비스율이 D_{21}이므로 $(b-D_1+1)\times(b-D_{21}+1)$이다. P_{221}, P_{222}, P_{223}, P_{232} 행렬도 위와 같이 표현되며, 각 행렬의 크기는 각각 $(b-D_{22}+1)\times(b-D_{21}+1)$, $(b-D_{22}+1)\times(b-D_{22}+1)$, $(b-D_{23}+1)\times(b-D_{22}+1)$, $(b-D_{22}+1)\times(b-D_{23}+1)$이다.

4.1.3 P 프레임에서의 전이확률 행렬

P 프레임 동안의 전이확률 행렬 P_3는 위와 같은 방법으로 구할 수 있다. P 프레임 동안의 버퍼 상태함수는 $j=Max[0,\ Min[x_3+i,\ b]-D_3]$의 관계가 성립한다. 따라서 $i = 0, \cdots, b-D_{22}$에 대해서 $[P_3]_{ij}$는 다음과 같다.

$$[P_3]_{ij}=\begin{cases} 0 \quad , & i \rangle D_3+j. \\ \Pr[x_3 \le D_3-i], & j=0, \quad i \le D_3. \\ \Pr[x_3 = D_3+j-i], & j=1,\cdots, b-D_3-1. \\ \Pr[x_3 \ge b-i], & j=b-D_3. \end{cases} \tag{4.5}$$

위 식에서 P 프레임 직전 프레임이 B 이고 출력률이 D_{22}이므로 $0 \le i \le b-D_{22}$이고, P 프레임 출력률이 D_3이므로 $0 \le j \le b-D_3$ 이다. 따라서 P_3의 크기는 $(b-D_{22}+1)\times(b-D_3+1)$이다.

4.2 마코프 연쇄 극한확률

4.2.1 π의 계산

I 프레임에서의 극한확률 π는 마코프 전이 행렬에 의해 다음 식으로부터 구해진다.

$$\begin{aligned} &\pi = \pi P \\ &\sum_k \pi(k)=1 \end{aligned} \tag{4.6}$$

4.2.2 $\varepsilon_{n,m}$의 계산

B 프레임에서의 극한확률 벡터 $\varepsilon_{n,m}$는 직전 프레임의 종류에 따라서 달라지며 π 및 프레임에서의 전이확률 행렬에 의해 다음의 순환식으로부터 구할 수 있다.

$$\varepsilon_{n,m}=\begin{cases} \pi \cdot P_1 & n=1, m=1. \\ \varepsilon_{n,m-1} \cdot P_{221} & n=1, m=2. \\ \tilde{\psi}_{n-1} \cdot P_3 & n \ne 1, m=1. \\ \varepsilon_{n,m-1} \cdot P_{223} & n \ne 1, m=2. \\ \varepsilon_{n,m-1} \cdot P_{222} & m \ne 1, 2. \end{cases} \tag{4.7}$$

4.2.3 ϕ_i의 계산

P프레임에서의 극한확률 벡터 ϕ_n는 $\varepsilon_{n,m}$로부터 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_n = \varepsilon_{n,M-1} \cdot P_{222} \tag{4.8}$$

4.3 셀손실률

[기호정의]

λ_{per} :1 주기동안 평균 도착 셀수

l :1 주기동안 손실 셀수(확률변수)

l_1 : I 프레임에서의 손실 셀수(확률변수)

$l_2^{n,m}$: B 프레임에서의 손실 셀수(확률변수)

l_3^{n} : P 프레임에서 손실 셀수(확률변수)

셀손실률(CLR : Cell Loss Ratio)은 마코프 연쇄의 극한 개념을 사용하면 다음과 같이 정의된다.

$$\text{셀손실률}(CLR) = \frac{\text{한주기동안 평균 손실 셀 수}(E[l])}{\text{한주기동안 평균 도착 셀 수}(\lambda_{per})} \tag{4.9}$$

윗식에서 먼저 λ_{per}는 주기동안 I,B,P 프레임의 수에 의해 결정되고 이는 다음과 같다.

$$\lambda_{per} = \lambda_I + (M-1)(\frac{N}{M})\lambda_B + (\frac{N}{M}-1)\lambda_P \tag{4.10}$$

4.3.1 $E[l]$의 계산

먼저 그림 4-1의 표본경로로부터 각 프레임에서의 셀 손실수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} l_1 &= Max(x_1+B_0-b,0) \\ l_2^{n,m} &= Max(x_2+b_2^{n,m}-b,0) \\ l_3^{n} &= Max(x_3+b_3^{n}-b,0) \end{aligned} \tag{4.11}$$

따라서 l은 한 주기 동안의 셀 손실수의 합으로 표현되며, 한 주기 동안의 평균 손실수 $E[l]$은 다음과 같이 표현된다.

$$E[l]=E[l_1]+\sum_{n=1}^{\frac{N}{M}-1}\sum_{m=1}^{M-1}\{E[l_2^{n,m}]+E[l_3^{n}]\}+\sum_{m=1}^{M-1}E[l_2^{\frac{N}{M}m}] \tag{4.12}$$

또, 위 식에서 $E[l_1]$, $E[l_2^{n,m}]$, $E[l_3^{n}]$ 는 각 프레임에서 버퍼 상태 확률을 극한확률로 근사화시키면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} E[l_1] &= E[Max(x_1+B_0-b,0)] \\ &= \sum_{x_1+k\geq b}(x_1+k-b)f_1(x_1)\,\pi(k) \\ E[l_2^{n,m}] &= E[Max(x_2+b_2^{n,m}-b,0)] \\ &= \sum_{x_2+k\geq b}(x_2+k-b)f_2(x_2)\,\varepsilon_{n,m}(k) \\ E[l_3^{n}] &= E[Max(x_3+b_3^{n}-b,0)] \\ &= \sum_{x_3+k\geq b}(x_3+k-b)f_3(x_3)\,\phi_n(k) \end{aligned} \tag{4.13}$$

4.4 셀지연

먼저 주기동안 각 프레임에서 버퍼에 있는 평균 셀 수를 마코프 극한확률을 이용하여 구한 다음, Little's Formula를 적용하여 셀지연(ED : Expected Delay)의 닫힌 해를 제시한다. Little's Formula에 의해 셀지연은 다음과 같이 정의된다.

$$ED=\frac{E[S]}{\lambda_{eff}} \tag{4.14}$$

[기호 정의]

S_1 : I 프레임 동안의 대기길이(확률변수)

$S_2^{n,m}$: B 프레임 동안의 대기길이(확률변수)

S_3^{n} : P 프레임 동안의 대기길이(확률변수)

S : 1 주기동안 각 프레임에서의 대기길이의 평균(확률변수)

λ_{eff} : 1주기동안 실질 평균 도착률

위에서 λ_{eff} 는 주기 동안 쉐이퍼로 들어오는 손실셀을 제외한 실질 도착률로서

$$\lambda_{eff} = \frac{1}{N}\lambda_{per} \cdot (1\text{-CLR}) \tag{4.15}$$

과 같이 표현된다. 따라서 주기 동안의 평균 대기 길이 $E[S]$는 각 프레임에서의 대기 길이의 평균으로 다음과 같이 표현된다.

$$E[S]=\frac{1}{N}[E[S_1]+\sum_{n=1}^{\frac{N}{M}-1}\sum_{m=1}^{M-1}\{E[S_2^{n,m}]+E[S_3^n]\} + \sum_{m=1}^{M-1}E[S_2^{\frac{N}{M}m}]] \tag{4.16}$$

윗 식에서 각 프레임에서의 평균 대기 길이 $E[S_1]$, $E[S_2^{n,m}]$, $E[S_3^n]$는 극한확률 및 프레임별 셀수의 분포함수로부터 다음과 같이 표현된다.

$$E[S_1]=\sum_{x_1+k}\le D_1\frac{1}{2D_1}(x_1+k)^2\cdot f_1(x_1)\,\pi(k) + \sum_{D_1<x_1+k\le b}\frac{1}{2}(2(x_1+k)-D_1)\cdot f_1(x_1)\,\pi(k) + \sum_{x_1+k\ge b}\frac{1}{2}(2b-D_1)\cdot f_1(x_1)\,\pi(k)$$

$$E[S_2^{n,m}]=\sum_{x_2+k}\le D_2\frac{1}{2D_2}(x_2+k)^2\cdot f_2(x)\,\varepsilon_{n,m}(k) \sum_{D_2<x_2+k\le b}\frac{1}{2}(2(x_2+k)-D_2)\cdot f_2(x_2)\,\varepsilon_{n,m}(k) + \sum_{x_2+k\ge b}\frac{1}{2}(2b-D_2)\cdot f_2(x_2)\,\varepsilon_{n,m}(k)$$

$$E[S_3^n]=\sum_{x_3+k\le D_3}\frac{1}{2D_3}(x_3+k)^2\cdot f_3(x_3)\,\psi_n(k) + \sum_{D_3<x_3+k\le b}\frac{1}{2}(2(x_3+k)-D_3)\cdot f_3(x_3)\,\psi_n(k) + \sum_{x_3+k\ge b}\frac{1}{2}(2b-D_3)\cdot f_3(x_3)\,\psi_n(k) \tag{4.17}$$

4.5 완만화척도

본 연구에서는 쉐이퍼를 거쳐나간 셀들의 완만화(smoothing)정도를 나타내는 척도로 1차 셀흐름과 2차 셀흐름의 프레임당 셀률 표준편차비(STDRATIO)를 사용한다.

셀률 표준편차비는 다음과 같다.

$$\text{표준편차비(STDRATIO)} = \frac{\text{출력셀률 표준편차}(\sigma(z))}{\text{입력셀률 표준편차}(\sigma(x))}$$

[기호정의]

x^k : 1차 셀흐름 (1주기내 k번째 프레임에서의 발생셀수)

z^k : 프레임당 출력셀수

z_1 : I 프레임에서의 출력셀수

$z_2^{n,m}$: B 프레임에서의 출력셀수

z_3^n : P 프레임에서의 출력셀수

MPEG의 입력 셀흐름의 입력과정은 주기(N)을 가지므로 입력 셀흐름의 평균 및 분산은 1주기 동안의 입력 셀흐름의 표본으로부터 구할 수 있다. 입력 셀흐름의 평균셀률(λ)는 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda = E(x)=\frac{1}{N}\left\{E(x_1)+\frac{N}{M}(M-1)E(x_2)+(\frac{N}{M}-1)E(x_3)\right\} =\frac{1}{N}\left\{\lambda_1+\frac{N}{M}(M-1)\,\lambda_2+(\frac{N}{M}-1)\,\lambda_3\right\} \tag{4.18}$$

또, 주기동안의 셀률의 분산($Var(x)$)는 다음과 같다.

$$Var(x)=\frac{1}{N}\sum_{k=i}^{N}(x^k-\lambda)^2 =\frac{1}{N}\left\{\sum_{k=1}^{N}(x^k)^2-2\lambda\sum_{k=1}^{N}x^k+N\lambda^2\right\} \tag{4.19}$$

따라서 입력 셀률의 분산($\sigma^2(x)$)는 다음과 같다.

$$\sigma^2(x)=E[Var(x)]$$
$$=\frac{1}{N}\left\{\sigma_1^2+\frac{N}{M}(M-1)\sigma_2^2+(\frac{N}{M}-1)\sigma_3^2\right\} \quad (4.20)$$
$$+\frac{1}{N}\left\{\lambda_1^2+\frac{N}{M}(M-1)\lambda_2^2+(\frac{N}{M}-1)\lambda_3^2\right\}-\lambda^2$$

이제 앞에서와 같은 방법으로 출력 셀흐름의 평균 및 분산을 구하기 위해 출력 셀흐름을 살펴보면 ,먼저 2차 셀흐름의 프레임별 셀수는

$$z_1=Min(D_1,\ x_1+B_0)$$
$$z_2^{n,m}=Min(D_2,\ x_2+b_2^{n,m}) \quad (4.21)$$
$$z_3^n=Min(D_3,\ x_3+b_3^n)$$

의 관계가 성립한다.

2차 셀흐름의 평균 (E(Z))은 1주기 동안 출력 셀 흐름에 의해,

$$E(z)=E[\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}z^k]$$
$$=\frac{1}{N}\left\{E(z_1)+\sum_{n=1}^{\frac{N}{M}-1}\sum_{m=1}^{M-1}\left\{E[z_2^{n,m}]+E[z_3^n]\right\}+\sum_{m=1}^{M-1}E[z_2^{\frac{N}{M}m}]\right\} \quad (4.22)$$

와 같다.

윗식에서 각 프레임에서의 평균 출력 셀수는 식 (4.21) 과 극한확률을 사용하면 다음과 같다.

$$E[z^1]=\sum_{x+l<D_1}(x+k)f_1(x)\pi(k)+\sum_{x+k\geq D_1}D_1\cdot f_1(x)\pi(k)$$
$$E[z_2^{n,m}]=\sum_{x+k<D_2}(x+k)\cdot f_2(x)\varepsilon_{n,m}(k)+\sum_{x+k\geq D_2}D_2\cdot f_2(x)\varepsilon_{n,m}(k)$$
$$E[z_3^n]=\sum_{x+k<D_3}(x+k)\cdot f_3(x)\phi_n(k)+\sum_{x+k\geq D_3}D_3\cdot f_3(x)\phi_n(k) \quad (4.23)$$

2차 셀흐름의 분산은 1차 셀 흐름과 같은 방법으로,

$$\sigma^2(z)=E[Var(z^k)]$$
$$=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}E[(z^k)^2]-\{E[z]\}^2$$
$$=\frac{1}{N}\left\{E[(Z_1)^2]+\sum_{n=1}^{\frac{N}{M}-1}\sum_{m=1}^{M-1}\{E[(z_2^{n,m})^2]+E[(z_3^n)^2]\}\right.$$
$$\left.+\sum_{m=1}^{M-1}E[(z_2^{\frac{N}{M}m})^2]\right\}-\{E[z]\}^2 \quad (4.24)$$

같다. 식 (4.24)에서 프레임별 출력 셀수는 식 (4.23)과 같은 방법으로 극한확률 및 입력 셀수의 분포로부터 유도될 수 있다.

5. 분석모형의 검증 및 다중화기 셀손실률 분석

5.1 분석모형의 검증

본 연구에서 제시된 분석모형의 검증을 위하여 Rose [4]의 MPEG-I 프레임당 비트수 데이터 중 Lambs.IPB 및 Dino.IPB 를 사용하였다. [4]에서 채택한 코딩 기법은 Berkely에서 개발된 MPEG-Encoder (Ver 1.3)이며, 이에 따른 코딩 파라미터는 다음과 같다.

- GOP 구조 : IBBPBBPBBPBB
- I 프레임 주기 (N) : 12
- P 프레임 주기 (M) : 3
- 양자화 계수 : I=10, B=18, P=14.

각 자료당 프레임수는 40,000 프레임(30분)이고, 프레임 크기는 40msec 이다. 각 자료에 대한 통계량은 다음과 같다.

최근 MPEG의 프레임당 비트율에 대한 통계적 연구 [4]에서 프레임당 비트수의 분포는 각 프레임의 종류에 따라 다양한 형태를 나타내며 이러한 다양한 형태를 근사화시킬 수 있는 분포로 Gamma 분포를 제시하였다. 본 연구에서도 프레임당 비트수의 분포로

표 5-1. MPEG-I 자료의 통계량

(단위 : cell/frame)

FILE	통계량	GOP	I 프레임	B 프레임	P 프레임
Lambs.IPB (양들의 침묵)	평 균(λ)	19.05	99.03	8.93	19.38
	분 산(σ^2)	849.7255	1112.72	68.8	439.77
	최대셀률	350			
Dino.IPB (쥬라기 공원)	평 균(λ)	34.06	143.44	19.04	37.66
	분 산(σ^2)	1474.65	918.13	135.17	632.50
	최대셀률	312			

Gamma 분포를 선택하여 수리적 모형에서 구한 성능 함수를 실제 MPEG 자료에 대한 시뮬레이션 결과와 비교함으로써 정밀성을 검증하였다. Gamma 분포의 분포 함수 및 평균, 분산은 다음과 같다.

$$f(t)=\frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}}t^{\alpha-1}e^{-\frac{t}{\beta}}$$
$$E[t]=\alpha\beta \qquad (5.1)$$
$$Var(t)=\alpha\beta^2$$

윗식과 비트율의 통계량으로 부터 Gamma 분포의 모수(α, β)는 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{\alpha}=\frac{\lambda^2\cdot 424^2}{\sigma^2\cdot 424^2}$$
$$\hat{\beta}=\frac{\sigma^2\cdot 424^2}{\lambda\cdot 424} \qquad (5.2)$$

윗식에서 I 셀은 53 byte로 이루어져 있으므로 비트량은 53 byte/cell x 8 bit/byte = 424 bit/cell 가 된다.

본 분석에 사용된 MPEG-I 자료의 각 프레임당 비트수를 Gamma 분포로 근사화시켰을 때 추정된 모수의 값은 다음 표와 같다.

위의 프레임당 비트수의 분포는 연속 분포이므로, 위의 Gamma 분포로부터 프레임당 셀수의 분포는 아래의 근사식을 이용하여 구하였다.

$$\Pr[X=k]=\int_{424(k-1)}^{424k}\frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}}t^{\alpha-1}e^{-\frac{t}{\beta}}dt \qquad (5.3)$$

본 검증에서는 각 프레임의 도착시점에서의 셀손실을 없애기 위해 버퍼의 크기를 최대 셀률로 하였으며, 단일 출력률($D_1=D_2=D_3$)

표 5-2. MPEG-I 자료에 대한 Gamma 분포 모수값

FILE	I 프레임		B 프레임		P 프레임	
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$
Lambs. IPB	8.81	4764.14	1.16	3266.65	0.85	9621.38
Dino. IPB	22.40	2713.93	2.68	3010.08	2.24	7119.31

을 사용하여 평균 셀지연 및 셀률 표준편차비를 비교하였다. 시뮬레이션은 실제 MPEG-1의 프레임별 비트수 자료를 사용하여 C 언어로 구현하였으며, 40,000프레임 동안 수행하였다. 위의 각 자료에 대한 분석 결과는 다음 그림과 같다.

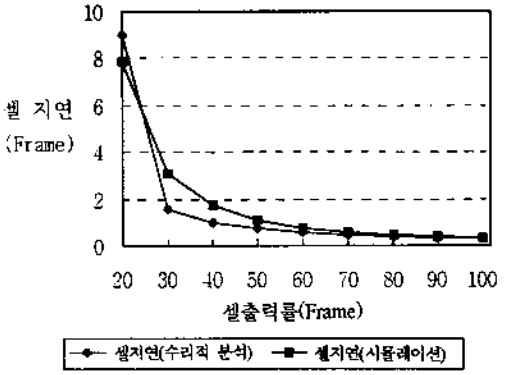

그림 5-1. Lambs.IPB 셀지연

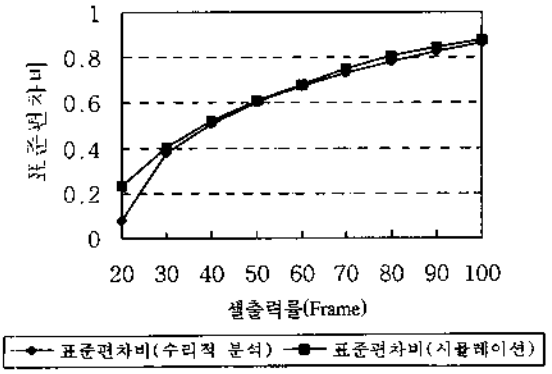

그림 5-2. Lambs.IPB 표준편차비

위 결과에서 보면 출력률이 낮은 경우, 수리적 분석 결과가 시뮬레이션 결과와 어느 정도 차이가 나지만 출력률이 큰 경우 수리적 모형은 시뮬레이션 결과와 매우 근사함을 알 수 있다. 이 차이는 실제 자료의 프레임당 셀수의 분포와 수리적 모형에서 사용된 Gamma 분포와의 차이에서 기인한 것이라 생각된다.

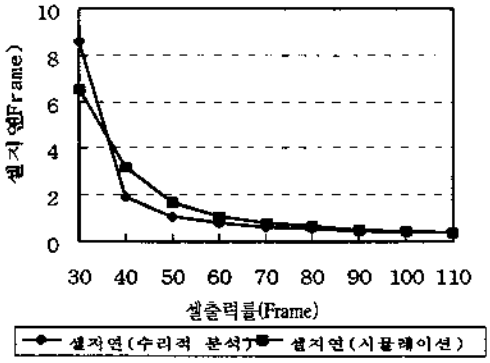

그림 5-3. Dino.IPB 셀지연

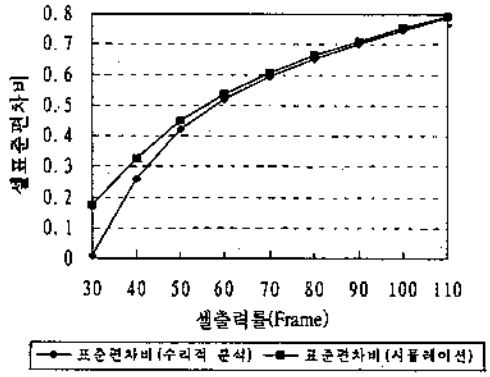

그림 5-4. Dino.IPB 표준편차비

5.2 다중화기에서의 셀손실률

쉐이퍼에 의한 셀흐름의 완만화 정도가 다중화기에서의 성능개선에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시뮬레이션을 사용하여, 동일한 MPEG 비디오 트래픽(Lambs.IPB)이 다중화될 때 셀손실률을 살펴보았다. 시뮬레이션은 C 언어로 구현하였으며, 소스 상관관계가 큰 경우(상대적으로 셀률이 큰 I 프레임이 같은 시점에 다중화될 때)에 있어서 각각, 쉐이퍼를 거친 셀흐름과 쉐이퍼를 거치지 않은 셀흐름에 대해 40,000프레임 동안 수행하였다. 또 시뮬레이션 시간을 줄이기 위하여 프

레임 동기화를 가정하였다. 쉐이퍼를 거친 경우에는 단일 출력률을 사용한 경우 평균 셀 지연이 0.5 프레임일 때 완만화효과가 최대(STDRATIO=0.7850)로 되는 쉐이퍼 출력률(76 cell/frame)에 대한 2차 셀호름을 입력 트래픽으로 사용하였으며, 쉐이퍼를 거치지 않은 경우에는 최대셀률(350 cell/frame)에 대한 2차 셀호름을 사용하였다. 그리고 다중화기의 출력률은 소스수가 50개일 경우 트래픽 부하가 0.8이 되도록 1190 cell/ frame으로 선택하였다. 다중화기 버퍼크기와 소스수에 따른 셀손실률의 결과는 다음과 같다.

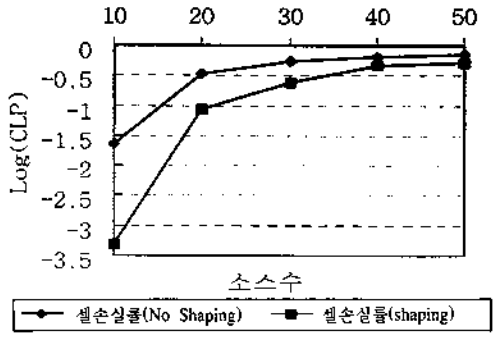

그림 5-5. 다중화기 셀손실률(버퍼=100cell)

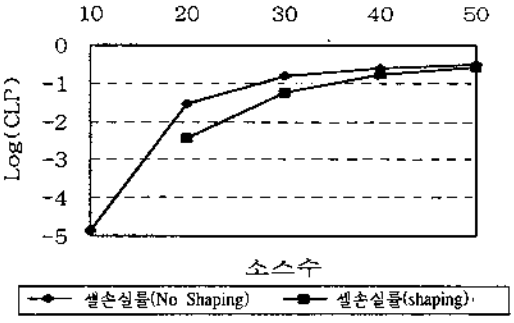

그림 5-6. 다중화기 셀손실률(버퍼=1000cell)

위 결과에서 보면 전체적으로 입력트래픽의 부하에 비해 상당히 큰 셀손실률을 보여준다. 이는 MPEG 트래픽의 특성인 주기에 따른 급격한 셀율의 변동에서 기인한다고 볼 수 있다.

쉐이핑 과정은 전체적으로 다중화기에서의 셀손실률을 감소시키는 역할을 수행하고 있음을 알 수 있고, 셀손실률을 감소시키는 정도는 트래픽 부하가 낮을수록 더 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 입력 트래픽의 부하가 큰 경우, 중첩된 소스의 버스티니스의 증가로 인해 비록 쉐이퍼를 거친다 하더라도 큰 셀손실을 감수 할 수밖에 없으므로, 셀손실의 개선정도는 작다고 할 수 있다.

6. 결론

최근 MPEG 코딩알고리즘이 ITU-T에 의해 표준 비디오 코딩 알고리즘으로 채택됨에 따라, MPEG 비디오 트래픽의 모형화 및 ATM 망에서의 트래픽 제어의 연구가 요구되고 있다.

MPEG 코딩 알고리즘은 비디오 트래픽의 압축도를 높이기 위하여 제시된 알고리즘으로, 프레임간 코딩 및 프레임내 코딩 기법을 조화시켜 사용하고 있으며, 이러한 코딩 알고리즘의 특성으로 인해 MPEG 비디오 트래픽은 프레임 수준에서 셀호름에 있어서 강한 주기성을 보인다고 알려져 있다.

본 연구에서는 MPEG 비디오 트래픽에 대해 각 I,B,P 프레임의 종류에 따른 프레임 수준에서의 셀률의 모형을 제시하고, MPEG 코딩 알고리즘의 프레임 주기성을 반영하는 GOP수준에서의 모형을 제시하였다. 프레임 수준에서의 셀률의 모형에서는 각 프레임에서의 셀수의 통계량을 사용하여 프레임의 종류에 따라 Gamma 분포를 사용하여 모형화

하였으며, GOP 수준에서의 모형화는 MPEG 코딩의 주기성을 반영하기 위하여, 프레임 수준에서의 모형이 MPEG 의 코딩 주기 N, M 에 따라 반복되는 주기적 배치 모형(periodic-batch model) 으로 모형화 하였다.

또, MPEG 비디오 트래픽의 트래픽 제어의 한 기법으로, 각 입력 소스에 버퍼를 두어 프레임의 종류에 따라 셀출력률을 조절함으로써, MPEG트래픽의 주기적 버스티니스를 완만화시키는 비디오 트래픽 쉐이퍼를 제안하였다. MPEG 비디오 트래픽 쉐이퍼의 트래픽 완만화 정도를 파악하기 위하여 MPEG 비디오 트래픽 모형 및 대기모형을 사용하여 트래픽 쉐이퍼에서의 성능(셀손실률, 셀지연, 완만화척도)을 분석하였다. 또 쉐이퍼를 거친 MPEG트래픽이 다중화될 때 다중화기의 셀손실률을 개선시키는 정도를 알아보기 위하여, 시뮬레이션을 사용하여 다중화기에서의 성능 분석을 수행하였다. 분석결과 MPEG 비디오 트래픽 쉐이퍼는 트래픽 부하가 적은 경우, 다중화기에서의 셀손실률을 감소시키는 역할을 효과적으로 수행하고 있음이 나타났다.

참 고 문 헌

[1] J. J. Bae and T. Suda, "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks", *Proceedings of IEEE*, Vol. 79, No. 2, pp.170-189, 1991.

[2] F. Bernabei, L. Gratta, and M. Listanti, et. al., "Analysis of Two Level Shaping of ON-OFF ATM Sources", *Proc. IEEE ICC '93*, 1993, pp.1380-1385.

[3] C. Blondia and O. Casals, "Performance Analysis of Statistical Multiplexing of VBR Sources", *Proc. INFOCOM '92*, Florence, Italy, 1992, pp.828-838.

[4] O. Rose, "Statistical Properties of MPEG Video Traffic and Their Impact on Traffic Modeling in ATM Systems", *University of Würzburg Institute of Computer Science Research Report Series, Report* No. 101, 1995.

[5] P. E. Boyer, F. M. Guillemin, M. J. Servel and J. P. Coudreuse, "Spacing Cells Protects and Enhances Utilization of ATM Networks Links", *IEEE Network Magazines*, September, pp.38-49, 1992.

[6] D. M. Cohen and Daniel P. Heyman, "A Simulation Study of Video Teleconferencing Traffic in ATM Networks", *IEEE INFOCOM '93*, Toronto, Canada, 1993, pp.894-901.

[7] ITU-T SG13 Recommendation I.371, *Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN*, Geneva, Switchland, March, 1995.

[8] P. Pancha and M. E. Zarki, "A Look at the MPEG Video Coding Standard for Variable Bit Rate Video Transmission", *Proc. INFOCOM '92*, Florence, Italy, 1992, pp.85-94.

[9] D. Reininger and D. Raychaudhuri, "Bit-Rate Characteristics of a VBR MPEG Video Encoder for ATM Networks", *Proc. INFOCOM '93*, Tronto, Canada, 1993, pp. 517-521.

[10] 강진규, "MPEG 코딩 하의 비디오 소스

모델링과 멀티플렉서 성능분석", 박사학위논문, 서울대학교 산업공학과, 1995.

[11] 이상천, "MPEG 비디오 트래픽 쉐이퍼의 파라미터 설계 및 ATM 다중화기의 성능 분석", 박사학위논문, 서울대학교 산업공학과, 1995.

[12] 한국통신 통신망연구소, "비디오 트래픽 모델링 연구", 1993.

95년 9월 최초 접수, 97년 2월 최종 수정