

MPEG 비디오원을 대상으로 한 트래픽 셰이퍼의 성능 분석¹⁾ (Performance Analysis of Traffic Shaper for an MPEG video Source)

이상천*, 이명용**, 홍정식***, 이창훈*

- * 서울대학교 산업공학과
- ** 한국 통신 통신망 연구소
- *** 서울 산업대학교 산업공학과

ABSTRACT

본연구에서는 MPEG 트래픽과 같이 셀 흐름에 주기성을 갖는 비디오 트래픽 모형에 대한 셰이핑 정책을 제시하고, 셰이퍼에서의 셀손실율, 셀지연, 및 완만화 효과를 분석하였다. 분석 모형으로는 이산 상태 마코프 연쇄를 사용하였으며, 예제를 통해 시뮬레이션 결과와 비교하므로써 분석모형을 검증하였다. 분석 결과 셀지연 및 완만화 효과 사이에는 서비스율의 증가에 따라 trade off가 존재함이 나타났다. 본연구는 ATM 트래픽관리에 있어서 다중화 장치에서의 성능분석과 병행하여 셰이퍼의 설계 설계에 있어서 정량화된 기초자료를 제공할수 있을 것이라 여겨진다.

I. 서론

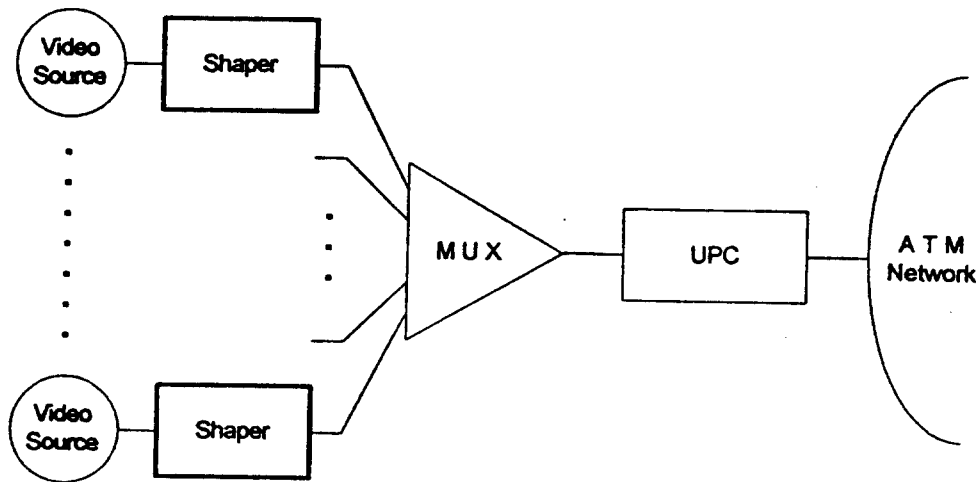
광대역 종합 정보 통신망(B-ISDN : Broadband-Integrated Service Digital Network)은 빠른 전송속도와 음성 및 데이터 그리고 비디오 트래픽이 통합된 디지털 방식으로 전송되는 두가지 큰 특성을 가지고 있다. 이 특성을 해결하기 위하여 B-ISDN에서는 전송 방식으로 비동기 전송 모드(ATM : Asynchronous Transfer Mode)를 택하고 있다. ATM에서는 이러한 특성으로 말미암아 트래픽 제어의 비중이 매우 높아졌으며 특히, VBR 모드로 전송되는 비디오 트래픽의 제어문제가 큰 관심사로 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 발생하는 비디오 트래픽은 음성이나 데이터 트래픽에 비해 비트율 및 버스트니스가 매우 크고 비트율의 변동이 매우 심한 특성때문에 최대 비트율(peak bit rate)이나 평균 비트율(mean bit rate) 등과 같이 장기적인 분포로부터 추정된 파라미터를 통해 트래픽을 제어하는 사용자 파라메타 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 어

1 본연구는 한국 통신 통신망 연구소의 재정적 지원에 의해 이루어졌음

는 정도 감소시키면서 트래픽 흐름을 예측가능한 형태로 바꿔줄 필요성이 대두되게 되어[4,5,6,7], 결국 비디오 트래픽의 특성을 반영한 새로운 접근법이 요구되고 있는 실정이다.

이러한 관점에서, 현재 많은 연구가 진행되고 있는 것이 “비디오 트래픽 셰이퍼(shaper)”이다. 이러한 셰이퍼의 역할은 개별 비디오 원에 부착된 버퍼에서 담당하여, 다중화 장치나 망에서의 트래픽 제어와는 별도로 일차적으로 수행되게 된다. 셰이퍼를 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 셰이퍼 기능이 수행되게 되므로, 지연(delay)이 수반되게 된다. 따라서, 셰이퍼의 성능으로서 이러한 지연시간의 제약조건이 반드시 고려되어야 한다.

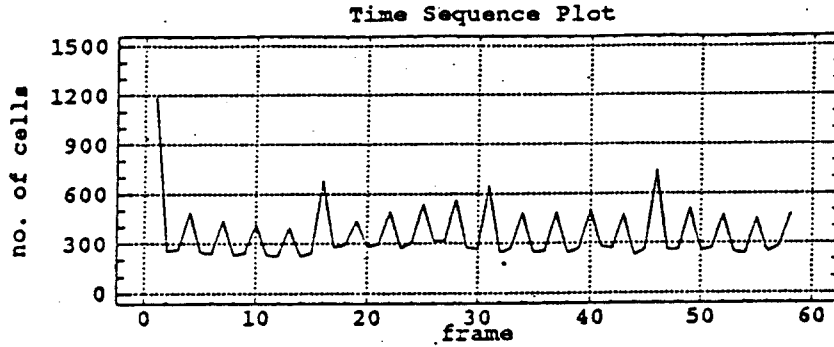
비디오 코더로부터 발생된 트래픽은 일단 버퍼에 대기하게 되는데, 이 때 셰이퍼 기능을 수행하는 이 버퍼에서의 “buffering strategy”에 따라 다양한 셰이퍼가 존재하게 된다. 지금까지 제안되어 연구가 되고 있는 셰이퍼의 물리적인 구현은 트래픽원에 버퍼를 두어 버퍼의 출력속도를 조절하는 것으로 구현되며, 출력속도는 UPC에서의 Leaky Bucket 과 같은 방법으로 토큰의 생성 속도를 셀(cell)의 입력 상태에 따라 조절된다. ATM 망에서의 셰이퍼의 구현위치는 아래 그림과 같다.



[그림 1-1] ATM망에서의 셰이퍼의 구현위치

비디오 트래픽의 경우, 최근 ITU-T(International Telecommunication Union -Telecom)에서 MPEG(Motion Pictures Experts Group)에 의한 비디오 트래픽의 코딩 알고리즘의 표준화 활동이 진행되고 있는 바, 본연구에서는 트래픽 입력모형으로 MPEG 비디오원을 선택하고, 셰이퍼에서의 셀지연 및 셀손실을 및 트래픽 버스티니스 척도인 SAR(Standard deviation to Average Ratio) 등의 셰이퍼 성능함수를 셰이퍼 파라메타의 함수로 표현하고자 한다.

주기성을 보여준다.



N=15, M=3인 경우 Football 영상

[그림 2-2] MPEG 표본영상의 셀 흐름

MPEG 비디오 트래픽의 특성을 요약하면 아래와 같다.

- 셀수의 흐름에는 뚜렷한 주기성이 보여진다.
- I, B, P 방식에 따라 서로 독립적인 셀 흐름을 유지한다.
- ACF(AutoCorrelation Function)가 지수적으로 감소하지 않고 서서히 감소하는 경향이 있으며, 주기성을 나타낸다.
- 장면변화 등의 화면 움직임이 심한 경우는 셀 흐름의 패턴이 변한다.

III. 웨이퍼 작동과정의 대기모형

III.1 MPEG 비디오 트래픽의 모형화

MPEG 코더를 거친 비디오 트래픽의 프레임당 셀수는, 첫째 I, B, P 프레임의 시퀀스에 따라 강한 주기성을 보여주고, 각 I,B,P 프레임은 독립적인 셀흐름을 보여준다. 이 주기성을 반영하기 위해 다음 모형을 제시한다. I, B, P 프레임에 따른 셀수는 각각 독립적인 분포를 따르는 것으로 가정하고, 이 독립적인 분포로는 비디오 트래픽에서 각 프레임당 셀 수의 자동상관계수를 잘 반영한다고 알려져 있는 포아송 분포를 사용한다. 즉 프레임내에서의 공간 중복성 압축정도는 포아송 분포를 사용하여 반영하고, 프레임간 시간 중복성 압축은 프레임 종류에 따라 포아송 분포의 모수를 다르게 하므로써 반영하였다. 또 웨이퍼의 overflow를 방지하고 프레임당 최대 비트율을 반영하기 위하여, 상한을 최대 비트율로 하는 절단 포아송분포(truncated poisson distribution)를 사용하였다. 이들 셀이 웨이퍼로 들어오는 과정은 배치(batch)모형으로 모형화 하였다.

이에 따른 각각의 확률변수를 정의하면 아래와 같고, 단위는 Cell/Frame 이다.

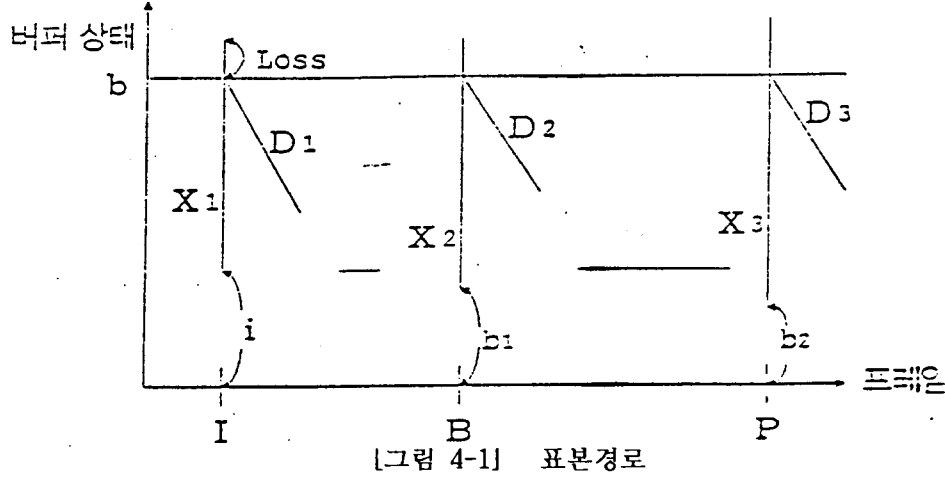
[확률 변수 정의]

$$X_1 = I \text{ 프레임의 프레임당 셀 수} \sim \text{Truncated Poisson}(\lambda_I)$$

$$X_2 = B \text{ 프레임의 프레임당 셀 수} \sim \text{Truncated Poisson}(\lambda_B)$$

$$X_3 = P \text{ 프레임의 프레임당 셀 수} \sim \text{Truncated Poisson}(\lambda_P)$$

앞의 $D^{[B(X_i)]} / D_i / 1 / K$ 의 대기모형에서 표본경로를 추적하면, I 프레임이 도착하는 시점에서의 버퍼에 있는 셀 수를 상태로 하는 이산상태 마코프 연쇄가 된다. 셀손실 및 셀지연은 마코프 연쇄의 극한 확률로부터 유도한다.



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

먼저 본 장에서 사용되는 기호를 정리하면 다음과 같다.

[기호정리]

· MPEG 파라메타 및 확률변수

N : MPEG 주기(I 프레임의 주기)

M : P 프레임의 주기

B_i : 마코프 연쇄의 상태변수. i 번째 프레임이 도착했을때의 버퍼에 있는 셀 수

b_{1j}^i : 한 주기내의 i번째 P주기 내에 j번째 B 프레임이 도착했을 때의 버퍼 상태

b_2^i : 한 주기내의 i번째 P 프레임이 도착했을때의 버퍼 상태

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

P : 마코프 전이 확률행렬

P_1 : I 프레임에서의 전이확률 행렬

P_{21} : 직전 프레임이 I일때 B 프레임에서의 전이확률 행렬

P_{22} : 직전 프레임이 B일때 B 프레임에서의 전이확률 행렬

P_{23} : 직전 프레임이 P일때 B 프레임에서의 전이확률 행렬

$$X_1, X_2, X_3 < \text{PBR}$$

위의 모형을 사용하여 MPEG 셰이퍼로 들어오는 프레임당 프레임당 셀흐름은 프레임의 시퀀스에 따라 셀수가 결정되는 D-BPPP (Discrete-Batch Periodic Poisson Process) 과정으로 모형화 할 수 있다.

III.2 셰이핑 정책

본연구에서는 셰이퍼 정책 으로 MPEG 주기에 따라서 출력속도를 조정하는 방식을 채택한다. 이는 코딩방식에 따라 I, B, P 프레임의 순서가 확정적으로 결정되므로, 셰이퍼에서의 셀 출력속도를 이 프레임의 순서에 따라 주기적으로 조절해주는 방식이다. 즉 프레임당 셀수가 큰 I 프레임의 경우 좀더 빠른 속도로 셀을 다중화 장치로 보내고 상대적으로 프레임당 셀수가 작은 B 프레임의 경우 좀더 느린 속도로 셀을 다중화 장치로 보내면, N-수준 셰이퍼에서와 같은 셀의 완만화 효과를 유지하면서 셰이퍼에서의 셀 지연 및 셀 손실등의 성능함수에 있어서 더 좋은 결과를 가져올 수 있다고 생각된다. 이에 따른 셰이퍼 파라미터는 아래와 같다.

- 버퍼의 크기(b) : 셀 지연을 고려하여 PBR 이내로 한다.
- 프레임별 셀 출력 속도(단위 : Cell/Frame)

$$D_1 : \text{I 프레임의 셀 출력속도}$$

$$D_2 : \text{B 프레임의 셀 출력속도}$$

$$D_3 : \text{P 프레임의 셀 출력속도}$$

III.3 셰이퍼 작동과정의 대기 모형화

앞에서 정의한 MPEG 비디오 트래픽 모형 및 셰이핑 정책을 사용하여 셰이퍼 작동과정을 모형화하면 다음과 같다.

- 입력과정 : 프레임당 발생하는 셀 수, X_1, X_2, X_3 는 절단 포아송 분포를 따르며 각 프레임의 초기에 배치로 입력된다.
- 버퍼크기 : 셰이퍼 파라미터로 PBR 이내로 한다.
- 서비스 과정 : 서비스율은 프레임에 따라 조정되는 셀 출력률이며 확정적이다.

따라서 셰이퍼 작동과정은 프레임당 셀수가 D-BPPP과정을 따르고, 서비스율이 프레임의 순서에 따라 확정적인 분포를 따르며 버퍼의 크기가 유한인 $D^{[B(X_i)]} / D_i / 1 / K$ 의 특수한 대기모형으로 모형화될 수 있다.

IV. 성능 함수 분석

P_3 : P 프레임에서의 전이확률 행렬

$\tilde{\pi}$: I프레임에서의 극한 확률 벡터

$\tilde{\varepsilon}_{ij}$: 한주기내의 i 번째 P주기내에 j 번째 B프레임에서의 극한 확률 벡터

$\tilde{\psi}_i$: 주기내의 i 번째 P프레임에서의 극한 확률 벡터

f_1, f_2, f_3 : 프레임별 도착셀수의 확률 질량 함수(pmf : probability mass function)

$\pi(k), \varepsilon_{ij}(k), \psi_i(k)$: 버퍼 상태 k 에서의 극한 확률

VI.1 마코프 연쇄 확률

그림에서 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.

$$P_{ij} = \Pr[B_{n+1} = j | B_n = i] = \sum_k \sum_s \cdots \sum_t \sum_p \Pr[b_1^{11} = k | B_n = i] \cdot \Pr[b_1^{12} = s | b_1^{11} = k] \cdots \Pr[b_1^{\frac{N}{M} \cdot M-1} = p | b_1^{\frac{N}{M} \cdot M-2} = t] \cdot \Pr[B_{n+1} = j | b_1^{\frac{N}{M} \cdot M-1} = p] \quad \cdots (4.1)$$

위 식을 행렬로 표시하면 아래와 같다.

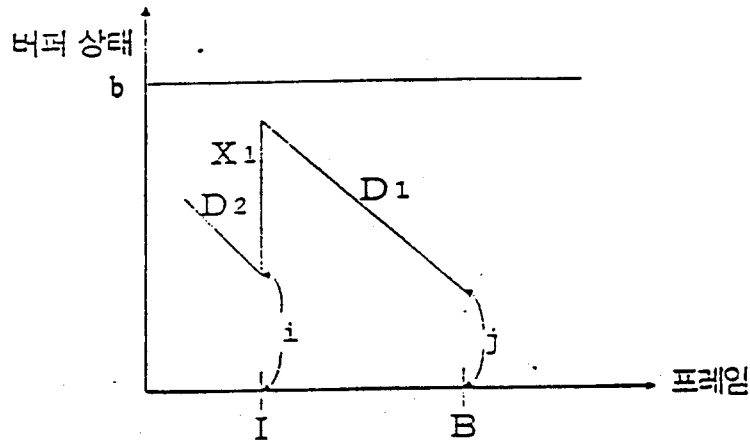
$$P = P_1 \cdot P_{21} \cdot (P_{22}^{M-2} \cdot P_3 \cdot P_{23})^{\frac{N}{M}-1} \cdot P_{22}^{M-2} \quad \cdots (4.2)$$

위 식에서 각 전이확률의 크기는 직전 프레임 및 출력물에 의해 결정되므로 I, P 프레임의 경우에는 직전 프레임이 항상 B로 동일하지만, B 프레임의 경우 직전 프레임에 따라 달라진다.

위의 각 전이확률 행렬들은 각 프레임에서 각각 다른 출력물을 가지므로 행렬의 크기는 서로 다르다. 마코프 연쇄의 전이확률은 위의 각 프레임에서의 전이확률행렬 $P_1, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_3$ 에 의해 결정되며 이 전이확률을 구하는 과정은 다음과 같다.

가. I 프레임에서의 전이확률행렬(P_1)

I 프레임에서의 전이확률은 I 프레임에서의 도착 셀 수와 출력물에 의해 결정된다. 즉, 다음 그림[4-2]로부터 $j = \text{Max}[0, \text{Min}[X_1 + i, b] - D_1]$ 의 관계가 성립한다.



[그림 4-2] I 프레임에서의 표본경로

그리고 행렬의 크기를 살펴보면, i 의 크기는 직전 프레임에서의 출력률이 D_2 이므로, $b-D_2+1$ 이고 j 프레임에서의 출력률이 D_1 이므로 $b-D_1+1$ 이다. 따라서 P_1 행렬의 크기는 $(b-D_2+1) \times (b-D_1+1)$ 이다.

이 전이확률은 확률변수 X_1 에 의해 결정되므로 $i=0, \dots, b-D_2$ 에 대해 $[P_1]_{ij}$ 는 아래와 같다.

$$[P_1]_{ij} = \begin{cases} 0 & , i > D_1+j \\ \Pr[X_1 \leq D_1 - i] & , j = 0, i \leq D_1 \\ \Pr[X_1 = D_1 + j - i] & , j = 1, \dots, b-D_1-1 \\ \Pr[X_1 \geq b - i] & , j = b-D_1 \end{cases} \dots (4.3)$$

나. B 프레임에서의 전이확률행렬(P_{21}, P_{22}, P_{23})

먼저 직전 프레임이 I인 경우 B 프레임 동안의 전이확률 행렬 P_{21} 을 구하면 아래 그림으로부터 $j = \text{Max}[0, \text{Min}[X_2+i, b] - D_2]$ 의 관계가 성립한다.

따라서 $i = 0, \dots, b-D_1$ 에 대해 $[P_2]_{ij}$ 는 다음과 같다.

$$[P_{21}]_{ij} = \begin{cases} 0 & , i > D_2+j. \\ \Pr[X \leq D_2 - i] & , j = 0, i \leq D_2. \\ \Pr[X_2 = D_2 + j - i] & , j = 1, \dots, b-D_2-1. \\ \Pr[X_2 \geq b - i] & , j = b-D_2. \end{cases} \dots(4.3)$$

P_{21} 행렬의 크기는 직전 I 프레임의 서비스율이 D_1 , B 프레임의 서비스율이

D_2 이므로 $(b-D_1+1) \times (b-D_2+1)$ 이다.

P_{22} , P_{23} 행렬도 위와 같이 표현되며, 각 행렬의 크기는 각각 $(b-D_2+1) \times (b-D_2+1)$, $(b-D_3+1) \times (b-D_2+1)$ 이다.

다. P 프레임에서의 전이확률행렬(P_3)

P 프레임 동안의 전이확률 행렬 P_3 는 위와 같은 방법으로 구할 수 있다. 즉 다음의 그림에서, $j = \text{Max}[0, \text{Min}[X_3+i, b] - D_3]$ 의 관계가 성립한다. 따라서 $i = 0, \dots, b-D_2$ 에 대해서 $[P_3]_{ij}$ 는 다음과 같다.

$$[P_3]_{ij} = \begin{cases} 0, & i > D_3 + j. \\ \text{Pr}[X_3 \leq D_3 - i], & j = 0, i \leq D_3. \\ \text{Pr}[X_3 = D_3 + j - i], & j = 1, \dots, b-D_3-1. \\ \text{Pr}[X_3 \geq b - i], & j = b-D_3. \end{cases} \quad \dots(4.4)$$

위 식에서 P 프레임 직전 프레임이 B이고 출력률이 D_2 이므로 $0 \leq i \leq b-D_2$ 이고, P 프레임 직전 프레임이 B이고 출력률이 D_3 이므로 $0 \leq j \leq b-D_3$ 이다. 따라서 $[P_3]_{ij}$ 의 크기는 $(b-D_2+1) \times (b-D_3+1)$ 이다.

IV.2 마코프 연쇄 극한 확률

가. $\tilde{\pi}$ 의 계산

I프레임에서의 극한 확률 $\tilde{\pi}$ 는 마코프 전이 행렬에 의해 다음식으로부터 구해진다.

$$\begin{aligned} \tilde{\pi} &= \tilde{\pi} P \\ \sum_k \pi(k) &= 1 \end{aligned} \quad \dots(4.5)$$

나. $\tilde{\varepsilon}_{ij}$ 의 계산

B프레임에서의 극한 확률 벡터 $\tilde{\varepsilon}_{ij}$ 는 직전 프레임의 종류에 따라서 달라지며 $\tilde{\pi}$ 및 프레임에서의 전이확률행렬 $P_1, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_3$ 에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$\tilde{\varepsilon}_{ij} = \begin{cases} \tilde{\pi} \cdot P_1 & i=1, j=1: \text{직전프레임이 I인 경우} \\ \tilde{\pi} \cdot P_1 \cdot P_{21} \cdot (P_{22}^{M-1} \cdot P_3 \cdot P_{23})^{i-1} \cdot P_{22}^{j-1} & j \neq 1: \text{직전프레임이 B인 경우} \\ \tilde{\pi} \cdot P_1 \cdot P_{21} \cdot (P_{22}^{M-1} \cdot P_3 \cdot P_{23})^{i-1} \cdot P_{22}^{M-1} \cdot P_3 & i \neq 1, j=1: \text{직전프레임이 P인 경우} \end{cases} \quad \dots(4.6)$$

다. $\tilde{\varphi}_i$ 의 계산

P프레임에서의 극한 확률 벡터 $\tilde{\sigma}_i$ 는 $\tilde{\varepsilon}_{ij}$ 와 같은 방법으로 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{\varphi}_i = \tilde{\pi} \cdot P_1 \cdot P_{21} \cdot (P_{22}^{M-1} \cdot P_3 \cdot P_{23})^{i-1} \cdot P_{22}^{M-1} \quad \dots(4.7)$$

IV.3 셀손실률(CLR)

먼저 기호를 정의하자.

[기호정리]

λ_{per} : 한주기동안 평균 도착 셀 수.

l : 한주기동안 손실 셀 수(r.v)

l_1 : I 프레임에서 손실 셀 수(r.v)

l_2^B : B 프레임에서 손실 셀 수 (r.v)

l_3^P : P 프레임에서 손실 셀 수 (r.v)

셀손실율은 마코프 연쇄의 극한 개념을 사용하면 다음과 같이 정의된다.

$$\text{셀 손실율}(CLR) = \frac{\text{한주기동안 평균 손실 셀 수}[E(l)]}{\text{한주기동안 평균 도착 셀 수}(\lambda_{per})} \quad \dots(4.8)$$

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

$$\lambda_{per} = \lambda_I + (M-1)\left(\frac{N}{M}\right)\lambda_B + \left(\frac{N}{M}-1\right)\lambda_P \quad \dots(4.9)$$

가. E(l)의 계산

한주기동안 손실 셀 수는 각 프레임에서 손실 셀 수의 합으로 표현할 수 있다. 즉, 그림 [4-1]로부터 각 프레임에서의 셀 손실수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 l_1 &= \text{Max}(x_1 + B_0 - b, 0) \\
 l_2^{\ddot{u}} &= \text{Max}(x_2 + b_1^{\ddot{u}} - b, 0) \quad \dots(4.10) \\
 l_3^i &= \text{Max}(x_3 + b_2^i - b, 0)
 \end{aligned}$$

따라서 1은 한주기동안의 손실수의 합으로 표현되며, 한주기동안의 평균 손실수 $E[l]$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$E[l] = E[l_1] + \sum_{i=1}^{\frac{N}{M}-1} \sum_{j=1}^{M-1} \{E[l_2^{\ddot{u}}] + E[l_3^i]\} + \sum_{j=1}^{M-1} E[l_2^{\frac{N}{M}-1, j}] \quad \dots(4.11)$$

또, 위 식에서 $E[l_1]$, $E[l_2^{\ddot{u}}]$, $E[l_3^i]$ 는 각 프레임에서 버퍼 상태 확률을 극한 확률로 근사화시키면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 E[l_1] &= E[\text{Max}(x_1 + B_0 - b, 0)] = \sum_{x+k \geq b} (x+k-b)f_1(x)\pi(k) \\
 E[l_2^{\ddot{u}}] &= E[\text{Max}(x_2 + b_1^{\ddot{u}} - b, 0)] = \sum_{x+k \geq b} (x+k-b)f_2(x)\epsilon_{\ddot{u}}(k) \quad \dots(4.12) \\
 E[l_3^i] &= E[\text{Max}(x_3 + b_2^i - b, 0)] = \sum_{x+k \geq b} (x+k-b)f_3(x)\sigma_i(k)
 \end{aligned}$$

IV.4 셀지연(ED)

먼저 주기동안 각 프레임에서 버퍼에 있는 평균 셀 수를 마코프 극한 확률을 이용하여 구한다음, Little's Formula를 적용하여 셀지연의 닫힌해를 제시한다. 먼저 다음의 확률 변수와 기호를 정리하자.

[기호 정의]

- S_1 : I 프레임이 들어온 후 대기길이(r, v)
- $S_2^{\ddot{u}}$: B 프레임이 들어온 후 대기길이(r, v)
- S_3^i : P 프레임이 들어온 후 대기길이(r, v)
- S : 주기동안 각 프레임에서의 대기길이의 평균(r, v)
- λ_{eff} : 주기동안의 실질 평균 도착율

Little's Formula에 의해 셀지연은 다음과 같이 정의된다.

$$ED = \frac{E[S]}{\lambda_{eff}} \quad \dots(4.13)$$

위에서 λ_{eff} 는 주기 동안 웨이프로 들어오는 손실 셀을 제외한 실질 도착률로서

$$\lambda_{eff} = \frac{1}{N} \lambda_{per} \cdot (1 - CRL) \quad \dots(4.14)$$

과 같이 표현 된다. 따라서 주기 동안의 평균 대기 길이 E(S) 는 각 프레임에
서의 대기 길이의 평균으로 다음과 같이 표현 된다.

$$E[S] = \frac{1}{N} [E[S_1] + \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{M-1} \{ E[S_2^{ij}] + E[S_3^i] \} + \sum_{j=1}^{M-1} E[S_2^{\frac{N}{M}-1,j}]] \quad \dots(4.15)$$

윗 식에서 각 프레임에서의 평균 대기 길이 E[S₁], E[S₂^{ij}], E[S₃ⁱ] 는
극한 확률 및 프레임별 셀수의 분포함수로 부터 다음과 같이 표현 된다.

$$\begin{aligned} E[S_1] &= \sum_{x+k \leq D_1} \frac{1}{2D_1} (x+k)^2 \cdot f_1(x) \pi(k) + \sum_{D_1 < x+k \leq b} (2(x+k) - D_1) \cdot f_1(x) \pi(k) \\ &+ \sum_{x+k \geq b} (2b - D_1) \cdot f_1(x) \pi(k) \\ E[S_2^{ij}] &= \sum_{x+k \leq D_2} \frac{1}{2D_2} (x+k)^2 \cdot f_2(x) \epsilon_{ij}(k) + \sum_{D_2 < x+k \leq b} (2(x+k) - D_2) \cdot f_2(x) \epsilon_{ij}(k) \\ &+ \sum_{x+k \geq b} (2b - D_2) \cdot f_2(x) \epsilon_{ij}(k) \\ E[S_3^i] &= \sum_{x+k \leq D_3} \frac{1}{2D_3} (x+k)^2 \cdot f_1(x) \phi_i(k) + \sum_{D_3 < x+k \leq b} (2(x+k) - D_3) \cdot f_1(x) \phi_i(k) \\ &+ \sum_{x+k \geq b} (2b - D_3) \cdot f_1(x) \phi_i(k) \quad \dots(4.16) \end{aligned}$$

IV.5 완만화척도

본 연구에서는 버스트니스의 척도로 입력 셀수에 대한 출력셀들의 표준편차비(STDRATIO)를 사용한다.

[기호정리]

X^k : 입력셀흐름 (1주기내 k번째 프레임에서의 발생 셀수)

σ₁, σ₂, σ₃ : I, B, P 프레임의 셀률 표준 편차

Z^k : 출력셀흐름.

Z₁ : I프레임에서의 출력셀흐름.

Z₂^{ij} : B프레임에서의 출력셀흐름.

Z₃ⁱ : P프레임에서의 출력셀흐름

MPEG의 입력 셀흐름의 입력과정은 주기(N)을 가지므로 입력 셀흐름의 평균 및 분
산은 1주기 동안의 입력 셀흐름의 표본으로부터 구할 수 있다.

위에서 주기동안의 평균셀률(λ)는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\lambda = E(x) &= \frac{1}{N} \left\{ E(x_1) + \frac{N}{M} (M-1) E(x_2) + \left(\frac{N}{M} - 1 \right) E(x_3) \right\} \\ &= \frac{1}{N} \left\{ \lambda_I + \frac{N}{M} (M-1) \lambda_B + \left(\frac{N}{M} - 1 \right) \lambda_P \right\} \quad \dots(4.17)\end{aligned}$$

또, 주기동안의 셀률의 분산($\text{Var}(x)$)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\text{Var}(x) &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x^k - \lambda)^2 \\ &= \frac{1}{N} \left\{ \sum_{k=1}^N (x^k)^2 - 2\lambda \sum_{k=1}^N X^k + N\lambda^2 \right\} \quad \dots(4.18)\end{aligned}$$

따라서 입력 셀률의 분산($\sigma^2(x)$)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\sigma^2(x) &= E[\text{Var}(x)] \\ &= \frac{1}{N} \left\{ \sigma_1^2 + \frac{N}{M} (M-1) \sigma_2^2 + \left(\frac{N}{M} - 1 \right) \sigma_3^2 \right\} \\ &\quad + \frac{1}{N} \left\{ \lambda_I^2 + \frac{N}{M} (M-1) \lambda_B^2 + \left(\frac{N}{M} - 1 \right) \lambda_P^2 \right\} - \lambda^2 \quad \dots(4.19)\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}Z_1 &= \text{Min}(D_1, x_1 + B_0) \\ Z_2^{jj} &= \text{Min}(D_2, x_2 + b_2^{jj}) \quad \dots(4.20) \\ Z_3^i &= \text{Min}(D_3, x_3 + b_1^i)\end{aligned}$$

의 관계가 성립한다.

출력 셀호름의 평균($E(Z)$)은 1주기 동안 출력 셀 호름에 의해,

$$\begin{aligned}E(Z) &= E \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Z^k \right] \\ &= \frac{1}{N} \left\{ E(Z_1) + \sum_{i=1}^{\frac{N}{M}-1} \sum_{j=1}^{M-1} \{ E[Z_2^{jj}] + E[Z_3^i] \} + \sum_{j=1}^{M-1} E[Z_2^{\frac{N}{M}, j}] \right\} \\ &\quad \dots(4.21)\end{aligned}$$

와 같다. 위식에서 각 프레임에서의 평균 출력 셀수는 식 (4.20) 과, 극한 확률을 사용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
E[Z^1] &= \sum_{x+k < D_1} (x+k) f_1(x) \pi(k) + \sum_{x+k \geq D_1} D_1 \cdot f_1(x) \pi(k) \\
E[Z_2^{ij}] &= \sum_{x+k < D_2} (x+k) \cdot f_2(x) \epsilon_{ij}(k) + \sum_{x+k \geq D_2} b \cdot f_2(x) \epsilon_{ij}(k) \quad \dots(4.22) \\
E[Z_3^i] &= \sum_{x+k < D_3} (x+k) \cdot f_3(x) \phi_i(k) + \sum_{x+k \geq D_3} b \cdot f_3(x) \phi_i(k)
\end{aligned}$$

출력 셀흐름의 분산은 입력 셀 흐름과 같은 방법으로,

$$\begin{aligned}
\sigma^2(Z) &= E[\text{Var}(Z^k)] \\
&= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N E[(Z^k)^2] - \{ E[Z] \}^2 \\
&= \frac{1}{N} \left\{ E(Z_1) + \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{M-1} \{ E[(Z_2^{ij})^2] + E[(Z_3^i)^2] \} + \sum_{j=1}^{M-1} E[(Z_2^{\frac{N}{M}, j})^2] \right\} \quad \dots(4.23)
\end{aligned}$$

같다. 식 (4.23)에서 프레임별 출력 셀수는 식 (4.22)과 같은 방법으로 극한 확률 및 입력 셀수의 분포로부터 유도될 수 있다.

V. 예제

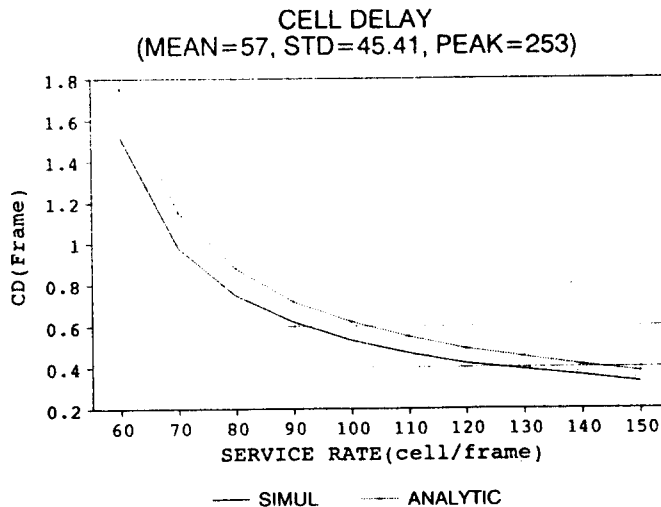
본연구의 예제는 [4]의 MPEG-1 데이터중 "ATP 테니스" 의 자료를 Poisson 으로 근사화 시켜 사용하였다. 각 자료의 통계량은 다음과 같다.

ATP 테니스: N=12, M=3.

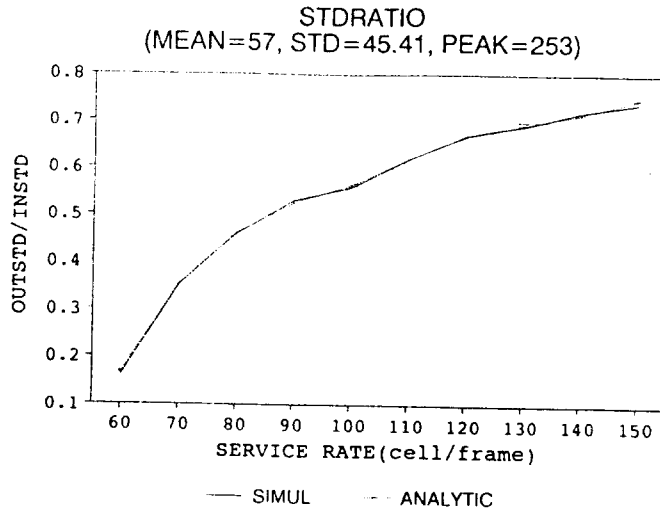
평균셀률 = 57, 셀률 표준편차 = 45.41, 최대 셀률=253

I프레임 평균=197, B프레임 평균=35, P프레임 평균=70

본예제에서 버퍼의 크기는 셀손실을 줄이기 위해 최대셀율로 유지했으며, 서비스율은 단일 서비스율을 사용하였다. 셀손실율을 0으로 유지하면서 서비스율의 변화에 따른 셀지연 및 표준편차비는 다음 그림과 같다.



[그림 5-1] 서비스율에 따른 셀지연



[그림 5-2] 서비스율에 따른 표준편차비

위 그림으로 부터 셀지연은 서비스율의 증가에 따라 줄어들지만, 표준편차비는 증가하는 것으로 나타났다.

VI. 결론 및 추후 연구 방향

본 연구에서는 MPEG 트래픽과 같은 주기적 특성을 지니는 입력 트래픽에 대한 셰이퍼의 성능 분석의 방법론을 제시하였다. 그리고 예제를 통해 시뮬레이션 결과와 비교하므로써 수리적 방법론을 검증하였다.

분석 결과, 셀손실율을 어느 수준 이하로 유지하면서 셀지연 및 셀율의 완만화 효과를 나타내는 표준편차의 비는 서비스율에 따라 trade off가 존재한다고 여겨진다. 현재 이 trade off를 이용한 셰이퍼의 최적설계 방안에 대해서 연구중에 있다. 또 셰이퍼의 목적은 ATM 망에서 일정한 QoS(Quality of Service)를 유지하면서 다중화 장치로 들어가는 셀흐름의 완만화에 있으므로, 셰이퍼의 성능 분석 작업은 다중화 장치에서의 성능 분석 작업과 병행하여 진행되어야 한다. 셰이퍼의 최적 설계 방안 및 다중화 장치에서의 성능 분석 작업은 ATM망에서의 트래픽 관리에 있어서 중요한 기초자료를 제공한다.

완만화된 셀흐름에 따른 다중화 장치에서의 성능분석에 대한 연구도 현재 진행중에 있다.

[참고문헌]

1. J. J. Bae and T. Suda, "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks", Proc. IEEE, Vol. 79, No. 2, pp170-189, 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, pp1380-1385, 1993.
3. C. Blondia and O. Casals, "Performance Analysis of Statistical Multiplexing of

- VBR Sources", Proc. INFOCOM '92, pp828-838, 1992.
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. Serval and J. P. Coudreuse, "Spacing Cells Protects and Enhances Utilization of ATM Networks Links", IEEE Network, September, pp38-49, 1992.
 6. D. M. Cohen and Daniel P. Heyman, "A Simulation Study of Video Teleconferencing Traffic in ATM Networks", IEEE INFOCOM '93, pp894-901, 1993.
 7. ITU-T SGXIII Recommendation I.371, Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN, Temporary Document, Geneva, March, 1994.
 8. P. Pancha and M. E. Zarki, "A Look at the MPEG Video Coding Standard for Variable Bit Rate Video Transmission", Proc. INFOCOM '92, pp85-94, 1992.
 9. D. Reininger and D. Raychaudhuri, "Bit-Rate Characteristics of a VBR MPEG Video Encoder for ATM Networks", IProc. INFOCOM '93, pp517-521, 1993.
 10. 강 진규, "MPEG 코딩 하의 비디오 소스 모델링과 멀티플렉서 성능분석", 박사논문, 서울대학교 산업공학과, 1995.
 11. 한국통신 통신망연구소, "비디오 트래픽 모델링 연구", 1993.