

## 2-차원 MMFF 모델을 이용한 2-계층 부호화 영상 트래픽의 모델링 및 성능 분석

正會員 安熙準\*, 盧炳希\*, 金在均\*

### 2-D MMFF Model and Performance Analysis of 2-layer coded Video Traffic Sources

Hee-Junc Ahn\*, Byeong-Hee Roh\*, Jae-Kyoon Kim\* Regular Members

#### 要 約

본 논문에서 2 계층 영상 부호화된 트래픽의 모델을 제시하였다. 또한 제안된 모델의 특성과 ATM망에서의 2 계층 부호화 방식의 영향을 분석하였다. BISDN의 ATM 전송방식은 영상 정보의 VBR전송을 가능하게된 반면, ATM방식은 망의 폭주 등으로 인한 셀 손실과 영상화질의 파급적 저하에 따른 문제점을 갖고 있다. 2계층 부호화 방식은 이러한 문제의 해결 방안으로 제시된 많은 방식 중에서 매우 효과적인 방식이다. 본 논문에서는 계층 부호화된 영상 트래픽의 특성을 파악하기 위하여 실제 부호화 방식으로 제안되고 있는 2계층 부호화 방식을 사용하여 부호화 하였으며, 이를 통하여 얻은 결과로부터 각 계층의 트래픽이 서로 상관되어 있음을 관측하였고 이의 근거를 논거 하였다. 이러한 사실로부터 2-차원 마르코프 동조 유체 모델(MMFF)에 기초한 2계층 부호화 영상의 트래픽 모델을 제시하고 분석하였다. 그 결과 다중화 성능을 예측하는데 있어서 시뮬레이션 결과와 일치하는 것을 볼 수 있었다. 이 모델을 사용하여 계층 부호화와 같은 우선 순위를 갖는 트래픽의 다중화 성능을 분석할 수 있었다.

#### ABSTRACT

In this paper, a model for two-layered video traffic is proposed. The performance analysis of the proposed model and the effects of two-layer coding schemes in ATM networks are also studied. ATM-based networks give the possibility to support image coding at variable bit rate(VBR). Two layer coding is one of the very promising methods among many proposed methods to compensate the cell loss, the major drawback in ATM networks. From the experimental data of the 2-layer coded video traffics, it is observed that traffic patterns of base layer and enhanced layer are highly correlated to each other, when constant image quality is kept. With this observation, coded two layered video traffic can be modeled as 2-dimensional Markov chain. The model well fit the real experimental data. The model was used for the analysis of the performance of statistical multiplexer with priorities in ATM networks.

\* 한국과학기술원 전기 및 전자공학과  
論文番號 : 95187-0523  
接受日字 : 1995年 5月 23日

## 1. 서 론

BISDN은 전달 모드로써 ATM(asynchronous transmission mode)을 채택하고 있다<sup>[12]</sup>. ATM 망은 VBR(variable bit rate) 영상신호를 수용할 수 있으므로, 고정 전송 방식(CBR)에 비하여 고정화질의 유지, 전송대역 사용의 효율성, 버퍼 제어에 요구되는 지연과 하드웨어의 감소 등의 장점을 갖는다. 반면 ATM 망은 셀손실 등의 문제점을 갖고 있다. 이러한 셀손실의 문제를 극복하기 위하여 많은 방법들이 제안되었으며, 그 중에서 2-계층영상 부호화는 이러한 방법들 중에 가장 효과적인 것으로 보고되고 있다<sup>[3, 8, 20, 25]</sup>. 2-계층 영상 부호화는 영상정보를 그 중요도에 따라 구분하여 전송함으로써 최소한의 화질을 유지시킬 수 있는 방법이다. 그러나 이에 관련된 연구는 영상 부호화 방법(coding scheme) 자체에 대한 연구가 주를 이루었고<sup>[11, 7, 8, 20]</sup>, 망과의 접속에 대한 연구는 상대적으로 미약하였다.

계층 부호화된 영상신호를 망을 통하여 전송할 때, 우선적으로 생각하여야 하는 것은 각 계층에 사용하기 적합한 트래픽의 양이다. 즉, 부호화 효율을 높이기 위해서는 기저계층(base layer)의 트래픽 양을 증가시켜서 부가계층(enhanced layer)에서 중복하여 부호화 되는 양을 방지해야 한다. 그러나 만약 기저계층의 양을 계속 증가시키면 기저계층에서 필요한 셀손실을 만족시킬 수 없다. 따라서 전체 데이터 전송 양에 대한 기저계층의 데이터양의 비가 0과 1사이의 범위에서 부호화 효율과 망의 효율을 최고로 하는 값이 존재한다고 볼 수 있다. 이것을 소위 "bit rate cake problem"이라 부른다<sup>[7]</sup>.

본 논문에서는 영상을 2-계층 부호화 하였을 때 기저계층과 부가계층의 트래픽양의 비교실험 결과를 통하여, 각 계층에서 발생하는 트래픽의 양이 상관성을 가지고 있음을 발견하였다. 즉 기저계층 트래픽의 양이 증가할 때 부가계층 트래픽의 양도 역시 증가하는 양상을 보이고, 반대의 경우도 마찬가지 양상을 보인다. 이러한 현상은 특정한 부호화 방식에 국한되지 않고 정보이론의 특성에 기인하는 것임을 유추할 수 있다. 따라서 이러한 성질을 특성화한 모델로서 본 논문에서는 전체 트래픽을 2 차원 마르코프 연쇄(2-dimensional Markov chain)를 적용하였고, 제안한 모델을 이용하여 ATM 망의 통계적 다중화기에서의 성능분석을 수행하였다.

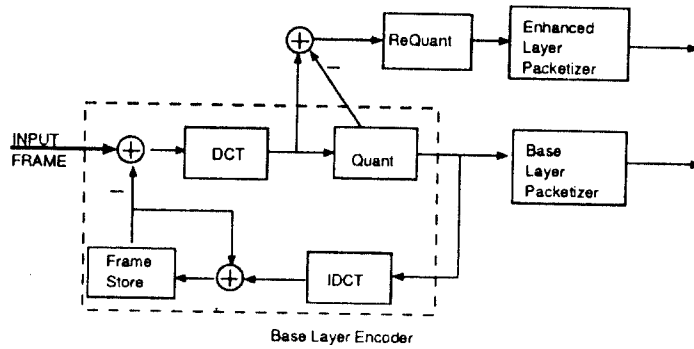
본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 제 2 절에서는 2-계층 부호화된 영상 신호의 트래픽 특성을 분석하고, 이에 적합한 모델을 제안한다. 제 3 절에서는 제안된 모델을 이용하여 ATM 망에서의 통계적 다중화 성능을 해석한다. 제 4 절에서는 이에 따른 분석 결과들을 살펴 보고 응용 방안에 대해서도 알아본다. 끝으로, 제 5 절에서는 이 논문의 결론과 의미를 살펴본다.

## 2. 2-계층 영상 트래픽 모델

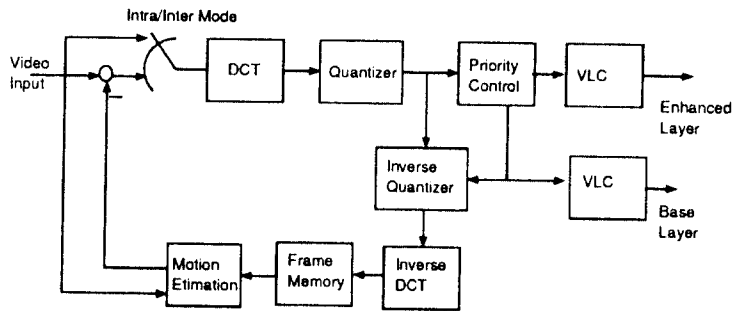
현재까지 영상 트래픽의 모델로서 MMFF(Markov modulated fluid flow)<sup>[17, 21]</sup>, MMPP(Markov modulated Poisson process)<sup>[10, 16, 22, 24]</sup>, D-BMAP(discrete-time batch Markovian arrival process)<sup>[4]</sup>등에 기초한 많은 모델들이 제시되었다. 본 논문에서는 계층 부호화된 영상신호의 트래픽에 대한 다중화 분석을 위한 해석 모델로서 1차원 MMFF 모델을 확장한 2차원 MMFF 모델을 사용한다. 이 모델은 한 개 또는 다중화된 입력의 트래픽을 연속시간 마르코프 연쇄에 따라 입력 양이 조절되는 모델이며 트래픽의 발생양이 시간적인 상관성을 갖는다. MMFF는 각 입력을 유체의 흐름(continuous)으로 근사시키는 버스트 준위(hurst level) 모델로서 셀 도착의 이산적인 성질과 랜덤한 성질(셀 준위 특성)을 고려하지 않는다. 그러나 ATM에서는 셀의 크기에 비해 전송용량이 매우 크므로 버스트 특성을 나타내는 분석 모델로 많이 사용되고 있다.

### 2.1 2-계층 영상 트래픽의 특성화

영상 트래픽의 특성은 영상의 종류가 영상전화용이나 TV영상이냐에 따라 다르고, 또한 부호화 방법에 따라 다르게 나타난다. 본 논문에서는 영상 부호화 방식으로 MC/DCT 방식을 사용하고, 장면 변화가 없는 경우에 대해서 중점적으로 고려한다. 이것은 MC/DCT 방식이 가장 현실적인 부호화 방법으로 보이고(H. 261, MPEG 등), 화면전환에 따른 연구는 이 모델의 확장으로 연구될 수 있기 때문이다<sup>[22, 26]</sup>. 우선 2-계층 영상 트래픽의 통계적 특성을 관찰하기 위하여 2계층 부호화 방식 중에서 가장 널리 연구되고 있는 두 가지 방식인 requantization 과 data partitioning 방식을 사용하여 부호화를 하였다<sup>[8, 20]</sup>. 그림 1은 각 부호화 방식에



(a) 재양자화를 통한 2계층 부호화 방식.  
 (a) A block diagram for the 2-layer coding using ReQ scheme.



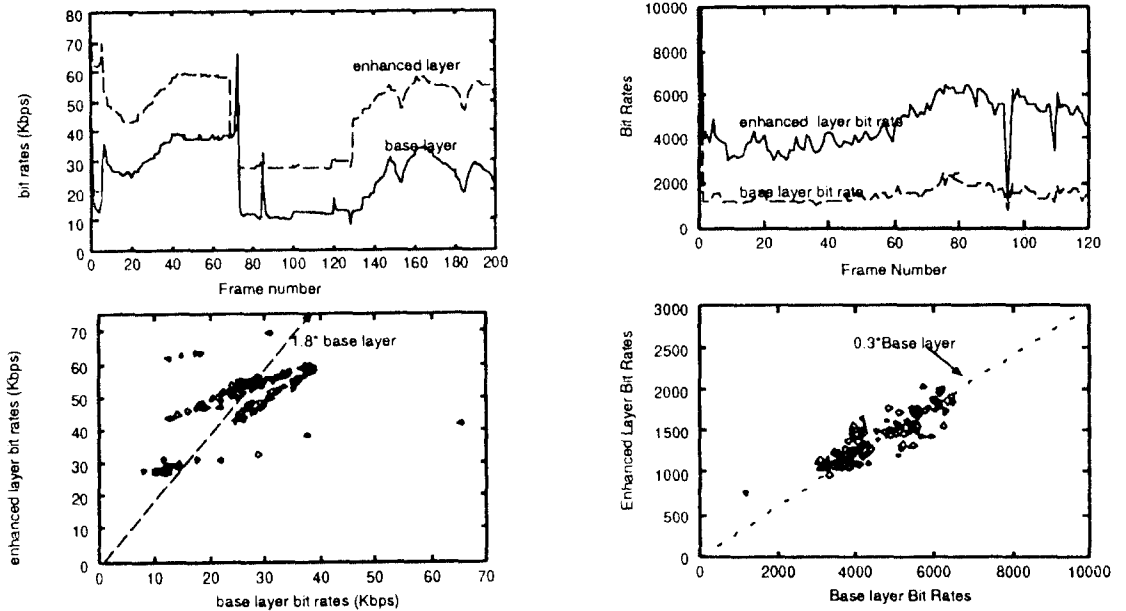
(b) 계수 분할을 통한 2계층 부호화 방식.  
 (b) A block diagram for the 2-layer coding using data partition scheme.

그림 1. 2계층 부호화 방식의 블록도.  
 Fig. 1. A block diagram for the 2-layer coding.

대한 블록도를 보여준다.

그림 2는 각기 그림 1에 나타난 방식으로 부호화한 각 계층에서의 데이터의 양을 각 프레임 단위로 표시한 그림(profile)과, 이들간의 상관도를 보여주기 위하여 수평축을 기저계층의 발생량, 수직 축을 부가계층의 발생량으로 하여 각 프레임 단위의 트래픽 발생량을 표시한 그림이다. 그림 2 (a)는 SIF(standard input format)규격의 TV용 영상인 pingpong 영상을 MC-DCT(motion compensation and discrete cosine transform)방식을 기초로 하여 SNR scalable 방식

을 사용하여 부호화한 각 계층간의 데이터양의 관계를 나타낸 그림이다(각 계층 SNR 28dB, 32dB로 유지시킴). 각 계층의 SNR을 각기 일정하게 유지시키기 위하여 DCT 계수의 양자화 스텝을 고정하여 사용하였다. 그림 2 (b)는 SIF규격의 영상 전화용 영상인 miss America를 계수 분리 방식에 의하여 계층 부호화한 결과이다(각 계층 SNR 32dB, 37dB). 이 경우도 각 계층의 SNR을 일정하게 하는 방법으로 기저계층으로 포함되는 DCT 계수의 수를 일정하게 고정하여 사용하였다.



(a) 재양자화에 의한 데이터 특성. (a) 2-layer coded bit-rate characteristics of 'pingpong' (REQ scheme).  
 (b) 계수분할에 의한 데이터 특성. (b) 2-layer coded bit-rate characteristics of 'Miss America' (FS scheme).

그림 2. 2 계층 부호화의 데이터 특성.  
 Fig. 2. 2-layer coded-rate characteristics.

그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 부호화 방식과 영상의 종류에 불구하고 각 계층간에 발생하는 데이터양에 상관도<sup>1)</sup>가 높다(positive correlation)는 사실을 관찰할 수 있었다.

이러한 실험적 사실은 화질과 발생 데이터양의 관계를 설명하는 rate-distortion theory에 근거하여 설명될 수 있다. 그림 3은 2계층 부호화 경우의 rate-distortion 함수를 보인 것이다. 위의 곡선은 부호화될 정보량이 많은 순간의 곡선이고, 아래의 곡선은 정보량이 적은 순간의 곡선이다. 영상의 특성이 복잡하거나 움직임이 큰 경우에는 각 계층에서 많은 데이터를 발생하게 되고, 반대로 단순하거나 움직임이 작은 경우에는 각 계층에서 함께 적은 데이터를 발생하게 된다. 따라서 각 계층이 일정한 화질을 유지하도록 부호화 하였을 경우 각 계층간에서 발생하는 트래픽양들 간에는 상관성

(positive correlation)이 존재함을 알 수 있다.

이러한 트래픽의 성질은 일반적으로 연구되는 정보원들이 통계적으로 독립인 경우 또는 완전히 일치하는 경우와는 매우 다른 성격을 갖는다. 따라서 이러한 성질을 나타내는 트래픽의 연구에 있어서는 상관도를 특성화하는 것이 필요하다.

상관성을 특성화하는 방법으로 본 논문에서는 기저계층의 트래픽을 특성화시킨 후, 부가계층의 트래픽을 기저계층과 같은 패턴을 갖는 부분과 다른 패턴을 갖는 부분으로 구분하려 특성화한다. 즉, n 번째 프레임에서 발생된 전체 트래픽양을  $R(n)$ , 이 중에서 기저계층의 트래픽양을  $R_b(n)$ , 부가계층의 트래픽양을  $R_e(n)$ 이라고 하고  $R = \{R(n), n = 0, 1, 2, 3, \dots\}$ ,  $R_b = \{R_b(n), n = 0, 1, 2, 3, \dots\}$ ,  $R_e = \{R_e(n), n = 0, 1, 2, 3, \dots\}$ 라고 정의하기로 한다.

1) 두 시퀀스  $A(n)$ ,  $B(n)$  사이의 상관도는  $\frac{E((A(n)-\bar{A})(B(n)-\bar{B}))}{\sqrt{Var(A(n))}\sqrt{Var(B(n))}}$  을 의미한다.

여기서  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ 는 각기 시퀀스  $A(n)$ ,  $B(n)$ 의 평균을 의미하고,  $V(\cdot)$ 는 분산을 의미한다.

이때  $R(n)$ ,  $R_b(n)$ ,  $R_e(n)$ 간에는 다음의 관계가 성립한다.

$$\begin{cases} R_b(n) \\ R_e(n) = R_{ec}(n) + R_{en}(n) \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $R_{ec}(n)$ 은 부가계층 중에서 기저계층과 같은 패턴을 갖는 부분으로서 기저계층의 트래픽과 상관성을 갖고있다. 즉,

$$R_{ec}(n) = \alpha' \cdot R_b(n) \quad (2)$$

여기서  $\alpha'$ 은 계층간의 상관도(cross correlation)를 의미하고 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha' = \frac{E[(R_b - E(R_b))(R_e - E(R_e))]}{\text{Var}(R_b)} \quad (3)$$

$R_b, R_{en}$ 은 서로 독립인 nonnegative sequence이다.  $R(n), R_b(n), R_e(n), R_{ec}(n), R_{en}(n)$ 과  $\alpha'$ 의 관계를 그림 4에 나타내었다.

이때  $\alpha$ 를 전체 트래픽의 양 중에 기저계층이 차지하는

양을 나타낸다. 즉

$$\alpha = \frac{E(\text{기저계층})}{E(\text{기저계층}) + E(\text{부가계층})} \quad (4)$$

이다. 여기서 볼 수 있듯이 상관도가 1이면  $\alpha'$ 은  $\alpha$ 가 되고 상관도가 0이면 0이 되어 직관적인 사실과 일치한다.

그림 4 (a)에서 기저계층과 부가계층의 트래픽양을 각각 수평, 수직 축에 표시할 경우, 상관도가 1인 경우 기울기  $\frac{\alpha'}{1-\alpha'}$ 인 직선 상에 표시되고, 상관도가 0에 가까울 수록 직선에서 멀리 떨어진 점들로 표시된다.

이로부터 2계층 영상 트래픽은 그림 4(b)와 같은 두 가지 형태의 단위 소스들의 중첩으로 나타낼 수 있다.

Type 1 단위소스는  $R_b$ 와  $R_{ec}$ 을 나타내는 on-off 형태의 정보원으로써 off상태에서는 트래픽 발생량이 없고 on 상태에서는  $(A_b + A_{ec})$ 만큼의 일정한 양으로 트래픽을 발생시킨다. 이때  $\lambda_1(\mu_1)$ 은 off(on)상태에서 on(off)상태로의 전이율을 나타낸다. Type 2 단위소스는  $R_{en}$ 을 나타내는 on-off 형태의 정보원으로써 on

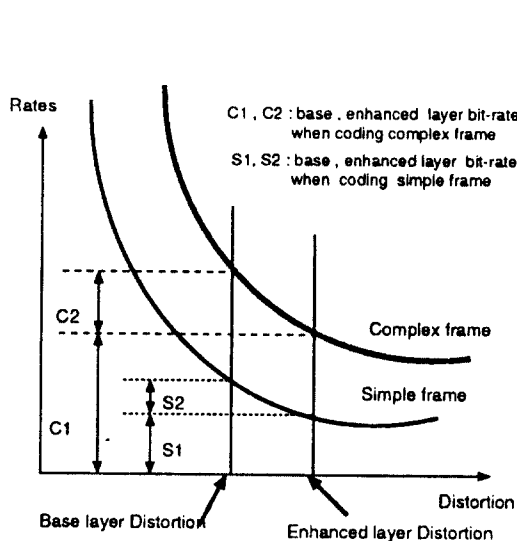


그림 3. 2계층 부호화와 Rate-distortion curve의 관계.  
Fig. 3. The Rate-distortion curve and two-layer coding bit rate characteristics.

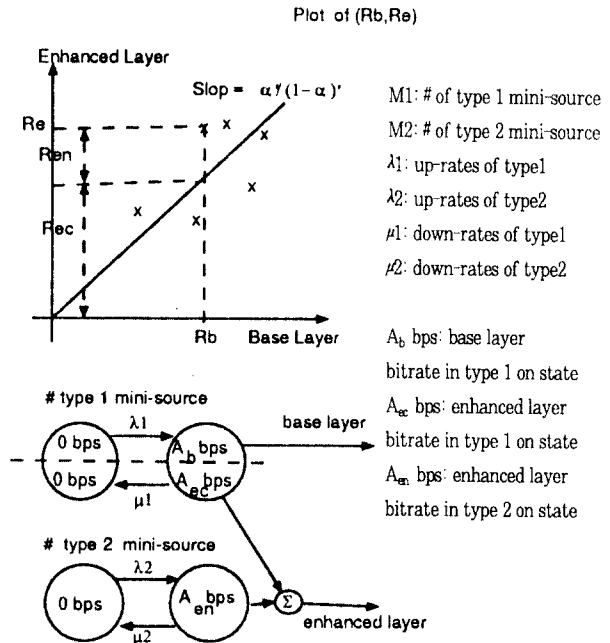


그림 4. Decomposition을 위한 mini-source로의 mapping.  
Fig. 4. The relation between 2-layer coded bit-rate characteristics and on-off mini sources.

상태에서는  $A_{en}$ 의 일정한 양으로 트래픽을 발생시킨다. 이때  $\lambda_2(\mu_2)$ 은 off(on)상태에서 on(off)상태로의 전이율을 나타낸다.

$R_b$ 와  $R_{ec}$ 는  $M_1$ 개의 Type 1 단위 소스의 중첩된 모델로써 나타낼 수 있고,  $A_{en}$ 은  $M_2$ 개의 Type 2 단위 소스의 중첩된 모델로써 나타내어 질 수 있다. 이때 Type 1과 Type 2들은 각각 독립이다.

이로부터 2계층 영상 트래픽은 그림 5와 같은 2차원 마르코프 연쇄로 나타내어질 수 있다. 그림 5에서 상태  $(i, j)$  ( $0 \leq i \leq M_1, 0 \leq j \leq M_2$ )는 각각 on상태에 있는 Type 1과 Type 2의 단위소스의 갯수를 의미한다.

2.2 2-계층 영상 트래픽의 모델 파라미터의 결정

앞 절에서와 같이 2계층 영상 트래픽을 2차원 마르코프 모델로 나타내기 위해서는, 모델의 변수들 ( $M_1, M_2, \mu_1, \lambda_2, \mu_2, \lambda_2, A_b, A_{ec}, A_{en}$ )이 필요하다.

이들 변수들은 각 계층의 트래픽에 대한 평균(mean), 분산(variance), 시변수( $\tau$ )와 각 계층간의 공분산(cross covariance)으로부터 구해진다. 즉,

$$M_1 \cdot A_b \cdot p_1 = N \cdot E(R_b) \tag{5a}$$

$$M_1 \cdot A_b^2 \cdot p_1(1-p_1) = N \cdot \text{Var}(R_b) \tag{5b}$$

$$\text{Var}(R_b)e^{-\tau_1} = \text{AutoCorrel}(R_b) \tag{5c}$$

$$\frac{1}{\lambda_1 + \mu_1} = \frac{1}{\tau_1} = \frac{1}{\text{Var}(R_b)} \int_0^{\infty} \text{AutoCorrel}(R_b) dt \tag{5d}$$

여기서  $p_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1}$ 은 Type 1단위소스가 on 상태에 있을 확률이고 N은 다중화된 입력 원의 수를 의미한다. 이로부터 ( $M_1, \lambda_1, \mu_1, A_b$ )를 결정할 수 있다.

또한, 이 모델에서 부가계층의 기저계층과의 상관도를 나타내는  $A_{ec}$ 는 식 (2)에 의하여 구하여 진다.

마지막으로 ( $M_1, \lambda_1, \mu_1, A_b$ )은  $R_{en}$  시퀀스에 대한 평균 ( $E(R_{en})$ ), 분산 ( $\text{Var}(R_{en})$ ), 시간 상관도( $\tau_2$ )로 주어진다. 우선 평균은 위에서 구한  $\alpha'$ 와  $\alpha$ 에 의하여 구해진다.

$$E(R_{en}) = E(R_e) - \alpha' \cdot E(R_b) \tag{6a}$$

$$\text{Var}(R_{en}) = \text{Var}(R_e) - (\alpha')^2 \cdot \text{Var}(R_b) \tag{6b}$$

$$\text{Var}(R_{en})e^{-\tau_2} = \text{AutoCorrel}(R_{en}) \tag{6c}$$

$$\tau^2 = \lambda_2 + \mu_2 \tag{6d}$$

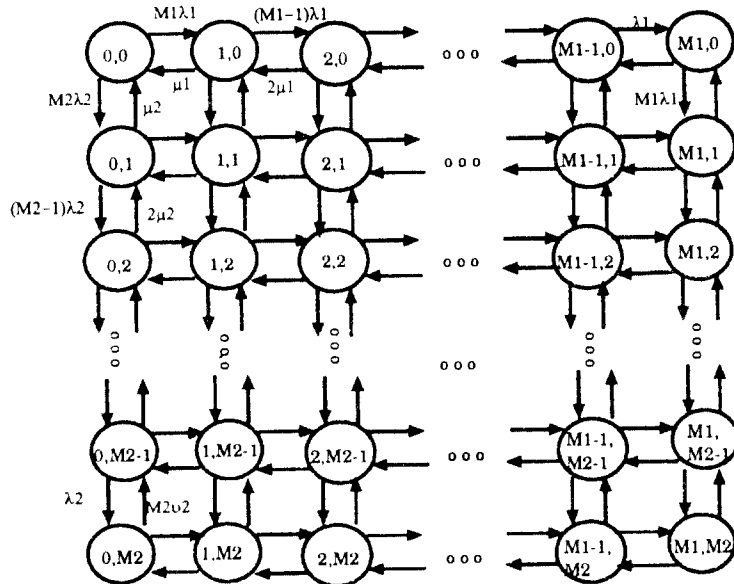


그림 5. 2계층 호화 영상 트래픽에 대한 2차원 입력 모형.  
Fig. 5. 2-D Markovian input Model for 2-layer coding input.

시퀀스  $R_{en}$ 에 대해서도 시퀀스  $R_b$ 에 대한 식 (5)와 유사한 식이 도출되고 식 (6)을 이용하여  $(M_1, \lambda_1, \mu_1, A_b)$ 을 구할 수 있다.

이상과 같이 2-계층 영상 트래픽의 모델링에 필요한 모든 변수들을 일치시킬 수 있고, 모델의 정확도는  $M_1, M_2$ 을 크게 하여,  $A_b, A_{ec}, A_{en}$ 을 작게 함으로써 향상시킬 수 있다. Maglaris 등은 MMFF 모델에서  $M_1, M_2$ 을 변화시키면서 그 결과가 수렴해 가는 것을 조사하였다.

### 3. 버퍼 모델 및 성능 해석

정보의 우선 순위에 따라 버퍼를 제어하는 방법에는 크게 시간 우선 제어와 손실 우선 순위 제어 방법이 있다. 전자의 예로는 HOL(head of line)방식이 있고 후자의 예로는 입력 제한 방식(partial buffer sharing)과 축출 방식(push out)이 있다<sup>[9, 14, 15]</sup>. 이러한 방식 중에 입력제한 방식은 성능 면에서 크게 무리가 없고, 그 제어 방식이 간단하여 ATM과 같이 고속의 망에서 널리 사용될 것으로 보인다. 이 방식은 미리 설정된 임계치를 넘으면 1차적인 폭주(congestion)로 간주하여 우선 순위가 높은 셀만을 받아들인다<sup>[5, 24]</sup>. 따라서 각 계층간의 셀손실율의 정도를 달리하는 버퍼제어 방식으로 본 논문에서는 선택적 입력 제한 방식을 사용한다. 그림 6은 이 방식으로 제어되는 버퍼의 개념도를 보여준다. 여기서  $B$ 는 버퍼의 크기이고,  $Q_{th}$ 는 입력의 제한이 시작되는 임계점이고,  $C$ 는 출력링크의 용량을 나타낸다.

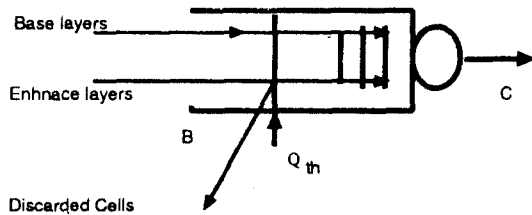


그림 6. 부분 buffer 공유 방식을 통한 우선 순위 제어.  
Fig. 6. Partial buffer sharing mechanism for priority mechanism.

$P_{i,j}(t, x)$ 을 시간  $t$ 에서 Markov chain이  $(i, j)$  상태에 있고 버퍼가  $x$  보다 작을 확률이라 하면 이에 대한 Chapman-Kolmogorov 의 forward 상태전이 방정식은 다음과 같이 두 범위에서 세워진다.

$$\begin{aligned}
 P_{ij}(t + \Delta t, x) = & \{1 - \Delta t(\mu_1 i + \mu_2 j + \lambda_1(M_1 - i) + \lambda_2(M_2 - j))\} \\
 & \cdot P_{i,j}(t, x - [i(A_b + A_{ec}) + jA_{en}] \Delta t) \\
 & + (M_1 - i + 1)\lambda_1 \Delta t P_{i+1,j}(t, x) \\
 & + (i + 1)\mu_1 \Delta t P_{i-1,j}(t, x) \\
 & + (M_2 - j + 1)\lambda_2 \Delta t P_{i,j+1}(t, x) \\
 & + (j + 1)\mu_2 \Delta t P_{i,j-1}(t, x) \\
 & + o(\Delta t) \\
 & (0 \leq i \leq M_1, \quad 0 \leq j \leq M_2) \quad (7a) \\
 & (0 \leq x < Q_{th}^-)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{ij}(t + \Delta t, x) = & \{1 - \Delta t(\mu_1 i + \mu_2 j + \lambda_1(M_1 - i) + \lambda_2(M_2 - j))\} \\
 & \cdot P_{i,j}(t, x - iA_b \Delta t) \\
 & + (M_1 - i + 1)\lambda_1 \Delta t P_{i-1,j}(t, x) \\
 & + (i + 1)\mu_1 \Delta t P_{i+1,j}(t, x) \\
 & + (M_2 - j + 1)\lambda_2 \Delta t P_{i,j+1}(t, x) \\
 & + (j + 1)\mu_2 \Delta t P_{i,j-1}(t, x) \\
 & + o(\Delta t) \quad (7b) \\
 & + (0 \leq i \leq M_1, \quad 0 \leq j \leq M_2) \\
 & + (Q_{th}^+ < x < B)
 \end{aligned}$$

이때 극한분포(limiting probability)는 유한 버퍼 모델인 경우는 어떠한 입력 트래픽에서도 존재하고 무한 버퍼(즉,  $B = \infty$ )인 경우는 기저계층 데이터양의 평균이 전송 율을 넘지 않는 조건에서 존재한다.

극한 확률분포  $F_{i,j}(x)$ 은 Markov chain이  $(i, j)$  상태에 있고, 버퍼가  $x$ 보다 작은 상태에 있을 때의 극한 확률 분포로 다음과 같이 정의된다.

$$F_{i,j} = \lim_{t \rightarrow \infty} P_{i,j}(x, t) \quad (8)$$

여기서  $F_{i,j}$ 를 구하는 자세한 과정은 Appendix에 나타내었다.

여기서 경계조건을 구해야 하는데 이는 다음과 같은 성질을 이용한다. 우선  $\{(i, j) | iA_b\} < C\}$ 인 입력 상태에서는 입력량이 제한되지 않더라도 출력 양이 입력보다 많으므로 버퍼를 초과할 확률이 존재하지 않는다.

한편  $\{(i, j) | i(A_b + A_{ec}) + jA_{en}\} < C\}$ 인 경우는 입력량이 입력이 제한되는 임계치 이상에서도 출력양보다 많으

므로 버퍼를 초과할 확률이 존재한다. 반면 이 경우에는 버퍼가 고갈되는 상황은 존재하지 않는다.

마지막으로  $\{(i,j) | i(A_b + A_{ec}) + jA_{en} > C, iA_b < C\}$ 인 경우는 버퍼의 양끝에서의 각기 위와 같은 조건을 적용할 수 있다. 또한 앞의 두 경우는 임계치에 머무를 확률이 극한 소(infinitesimal)이므로 그 점에서 연속적인 누적확률 분포를 갖는다. 그림 7은 전형적인 누적확률 분포의 모습과 이에 해당하는 입력상태를 나타낸다.

각 입력 상태에서의 버퍼의 분포확률을 얻을 수 있으므로 셀 지연 확률 및 셀 손실의 기대치 등을 얻을 수 있다. 버퍼에서 점유율(occupancy)이  $x$  이상일 확률, 즉 생존확률 함수(survival function)는 다음과 같다.

$$S(x) = \text{Prob}(\text{occupancy} > x) = 1 - \sum_{i,j} F_{i,j}(x) \quad (9)$$

이로부터 각 계층별 셀손실율과 셀 지연 확률은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{base layer의 셀손실율} &= \frac{\text{손실된 base layer 양}}{\text{발생된 base layer data 양}} \\ \text{발생된 base layer data 양} &= \sum_{i,j} p_{i,j}(iA_b) \\ \text{손실된 base layer data 양} &= \sum_{i,j} (iA_b - C)(p_{i,j} - F_{i,j}(B)) \\ \text{enhanced layer의 셀손실율} &= \frac{\text{손실된 enhanced layer 양}}{\text{발생된 enhanced layer data 양}} \end{aligned} \quad (10)$$

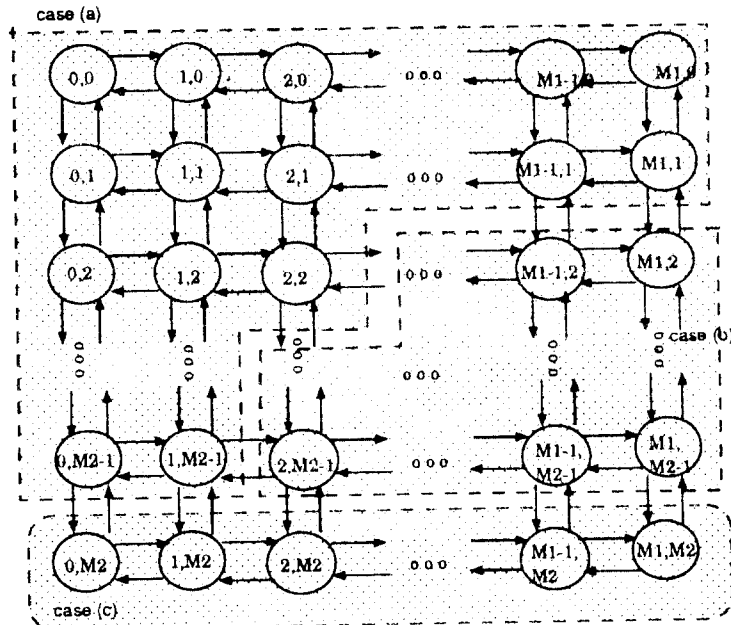
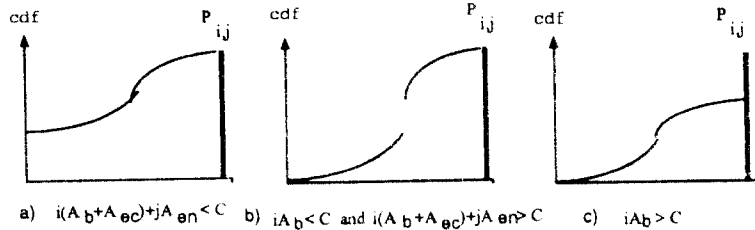


그림 7. 경계조건식의 예와 각기 해당하는 입력상태.  
Fig. 7. 2-D Markovian input states and related cdfs with boundary conditions.



발생된 enhanced layer data 양

$$= \sum_{i,j} p_{i,j} (iA_{ec} + jA_{en})$$

손실된 enhanced layer data 양

$$= \sum_{i,j} (p_{i,j} F_{i,j}(Q_{th}^+) - F_{i,j}(Q_{th}^-)) (iA_{ec} + jA_{en}) + \sum_{i,j} (iA_{ec} + jA_{en} - C) (F_{i,j}(Q_{th}^+) - F_{i,j}(Q_{th}^-)) \quad (11)$$

여기서  $Q = \{(i,j) | i(A_b + A_{ec}) + jA_{en} > C, iA_b < C\}$  인 입력 마르코프 체인의 상태공간을 의미하고,  $p_{i,j}$  는 마르코프 연쇄가  $(i, j)$  에 있을 확률로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

셀 지연은 각 데이터가 버퍼에 도착 시에 발견하는 버퍼의 길이로부터 입력상태를 고려하여 구할 수 있다<sup>[14]</sup>. 일단 버퍼에 들러간 경우에는 각 계층을 구별하지 않으므로(즉 시간 우선 순위를 사용하지 않음) 각 계층에 대한 계산은 거의 유사하다.

$Prob(\text{base layer cell delay} \leq t)$

$$= \frac{1}{T_{base}} \sum_{i,j} iA_b \cdot F_{i,j}(Ct)$$

$Prob(\text{enhanced layer cell delay} \leq t)$

$$= \frac{1}{T_{enhanced}} \sum_{i,j} (iA_{ec} + jA_{en}) \cdot F_{i,j}(Ct) \quad (12)$$

여기서  $T_{base}$  와  $T_{enhanced}$  는 각각 기저계층과 부가계층의 손실되지 않고 전송되는 데이터의 양으로, 각 계층의 전체 발생양에서 손실양을 뺀 양을 의미한다.

여기서 얻은 결과를 이용하면 2-계층영상의 데이터의 비에 따른 셀손실율과 셀지연을 구할 수 있다.

#### 4. 분석 결과

영상 트래픽의 특성은 영상의 종류가 영상전화용이나 TV영상이나에 따라, 그리고 부호화 방법에 따라 다르다. 여기서는 기본적으로 MC/DCT방식의 부호화 방법을 사용하였고 화면 변화가 없는 영상에 대하여 고려하였다. 화면전환에 따른 연구는 본 연구의 결과를 확장하여 적용 가능하다. 즉 화면 전환 등이 보통 한 셀의 전송율과 버퍼의 크기에 비하여 매우 길기 때문에 이를 가정하면 각 화면의 활동도에 따른 확률을 구하여 이를 합한 것과 같다고 생각할 수 있다[22,26]. 분석에서 사용된 변수 값들은 3절에서 부호화한 영상에서 추출하였다. Miss America영상의 경우  $\alpha=0.7$ 에서 기저계층 평균 4.7 Kbit/frame, SAR(standard deviation to

average ratio) = 0.46 부가계층 평균 2.1 Kbit/frame, SAR = 0.68, 상호 상관계수 0.86,  $\tau_1 = 1.9\text{sec}^{-1}$ ,  $\tau_2 = 3.5 \text{sec}^{-1}$ 으로 산출되었다.

그림 8.9.10.11에서 버퍼의 크기의 단위는 일관성을 유지하도록 시간(msec)으로 하였다.

#### 실 험 1 : 모델의 시뮬레이션과의 비교

트래픽 모델이 갖추어야할 중요한 성질 중의 하나는 모델이 실제 데이터 특성을 잘 예측하여야 하는 것이다. 또한, 모델은 셀손실을 보장해준다는 측면에서, 무조건 예측오차가 작은 것보다는 시뮬레이션 결과에 근사한 상한치(tight upper bound)를 제공하는 것이 바람직하다.

여기서 시뮬레이션은 각기 입력을 53 byte로 된 셀로 비동기적으로 발생된다고 가정하고 한 프레임에서 셀을 완전히 채우지 않은 셀은 다음 프레임으로 넘어가는 것으로 하였다.

그림 8 (a)는  $\alpha = 0.7$ ,  $\rho = 0.8$ 로 하면서 임계치를 사용하지 않는 경우이고, 그림 8 (b)와 (c)는 임계치를 30msec, 버퍼의 크기를 50 msec로 한 경우에 각각 중첩된 정보원의 수가 3개 5개인 경우에 제안된 모델이 실제결과와 일치하는가를 본 것이다.

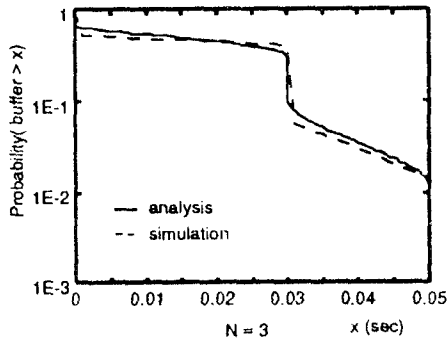
이 경우 버퍼가 10 msec 미만에서 버퍼의 크기 확률을 작게 예측하고 있고, 180msec 미만에서는 크게 예측하는 것을 볼 수 있고, 그 이외의 범위에서는 실험 결과와 거의 일치하고 있는 것을 볼 수 있다. 이처럼 MMFF방법이 버퍼의 크기가 매우 작은 범위에서의 확률을 작게 예측(underestimation)하는 것은 여러 논문에서 언급된 바 있다<sup>[14,17]</sup>. 이것은 MMFF 모델이 기본적으로 셀레벨보다는 버스트레벨에서의 특성에 초점을 맞추고 있기 때문이다.

#### 실 험 2 : 다중화 수의 변화에 따른 다중화 효과 비교

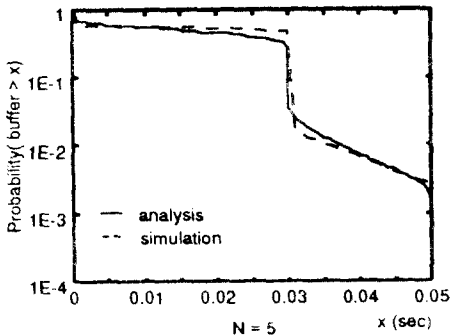
선택적 입력제한 방식을 사용했을 때 임계치 이후에서는 실질적으로 기저계층의 부하 양이 전체 부하 양이 되는 것이므로 이에 따른 분포곡선이 임계치 이상에서 급격히 감소하는 것을 예측할 수 있다. 그림 9는 이를 설명해 준다.

여기서 또한 임계치에서 불연속적인 분포가 존재하며, 이는 3 절에서 설명한 바와 같이 임계치에 머무르는 상태가 존재함을 설명한다.

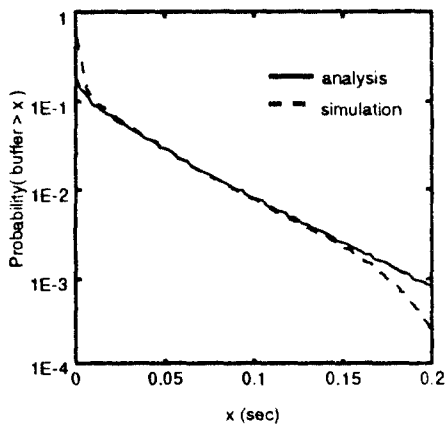
또한 다중화되는 정보원의 수가 많아지면 임계치 이후에서 분포곡선이 급격히 감소하여,  $Q_{th}$ 을  $B$ 에 가까이



(a)



(b)



(c)

그림 8. 시뮬레이션과 제안된 분석모델과의 결과 비교.  
Fig. 8. Comparison of multiplexing performance between Simulation and Analysis using proposed model.

하여도 충분히 셀손실율을 보장할 수 있어서 버퍼를 효율적으로 사용할 수 있다.

실험 3 상관도 변화에 따른 다중화 효과 비교

실험 3은 두 트래픽의 상관도에 따른 다중화효율에 미치는 영향을 분석하였다. 각 트래픽은 앞서 제시한 특성값(즉, 평균, 분산, 시상수)을 갖게 하고 각 상관도가 0.0, 0.5, 1.0인 모델의 변수를 구하여 분석하였다.

그림 10에서 상관도가 커질 수록 버퍼의 길이가 커질 확률이 높아지는 것을 볼 수 있다. 이 결과를 통하여 상관도가 높을 수록 다중화 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다.

실험 4 : 기저계층 비율 변화에 따른 셀손실율

그림 11은  $Q_{th} = 30 \text{ msec}$ ,  $B = 50 \text{ msec}$ 에서 자기 전체 트래픽 강도  $\rho$ 가 1.2, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7 인 경우에, 각 계층의 비율을 변화시켜 가면서 각 계층의 손실율을 표시한 그림이다. 특히, 단일 계층으로 영상을 전송한 것은  $\alpha = 1.0$ 의 경우로 생각할 수 있는데, 이 경우는 Maglaris등에 의한 결과와 거의 일치한다. 계층의 비율  $\alpha$ 를 변화함에 따라 기저계층의 셀손실율이 급격히 변화하는데 비하여, 부가계층의 셀손실율은 완만한 변화를 가져오는 것을 볼 수 있다.  $\alpha = 1.0$ 에서  $\rho = 0.7$  이상이면 셀손실율  $10^{-8}$ 을 만족시켜줄 수 없지만, 약  $\alpha$

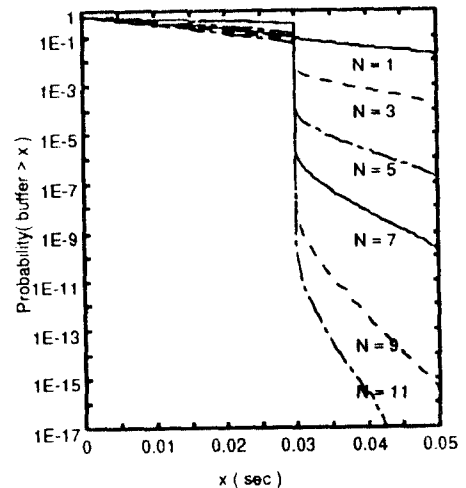


그림 9. 입력원 수에 따른 버퍼점유도의 변화.  
Fig. 9. Variation of multiplexing performance varying the input source number.

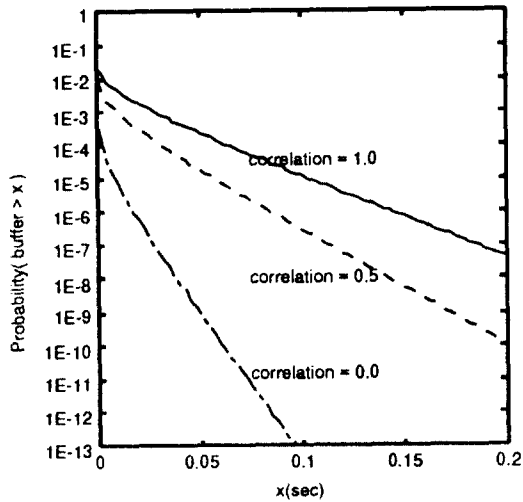


그림 10. 각 계층간 상관도의 변화에 따른 점유도.  
Fig. 10. Variation of multiplexing performance varying the correlation between 2 layers.

= 0.4에서는 전체 traffic intensity가 1.0 인 경우까지도 충분히 만족시켜줄을 보인다. 이것이 2-계층 부호화의 장점으로 볼 수 있다. 이것은 셀손실율이 traffic intensity에 지수 적으로 증가하기 때문이다. 따라서 두 계층에 VBR 방식을 사용하는 방식은 망의 효율을 충분히 증가시키면서 코딩 효율을 증가시킬 수 있다. 또한 각 계층간의 정보량의 비에 따라 부가계층의 셀손실율이 크게 변화되지 않는 것을 볼 수 있으며 따라서 부가 계층의 셀손실율을 낮춰주기가 어려운 것을 알 수 있다. 이것의 이유는 공유 버퍼방식이 임계값이 되기 전까지는 두 계층을 구분하지 않으므로, 임계치까지 오는 과정에서 그 비율의 영향을 받지 않기 때문인 것으로 생각된다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 계층간 상관성을 갖는 2-계층 영상 부호화된 트래픽의 모델을 2-차원 마르코프 연쇄에 기초하여 모델링하는 방법을 제안하였다. 제안된 모델의 검증을 위하여 실제 부호화를 통한 시뮬레이션 결과와 제안된 모델을 통한 다중화 성능의 비교에 있어서 상당히 일치함을 볼 수 있었다. 이 모델은 2-계층 영상뿐 아니라 상관성을 갖는 여러 가지 트래픽에 사용될 수 있을 것

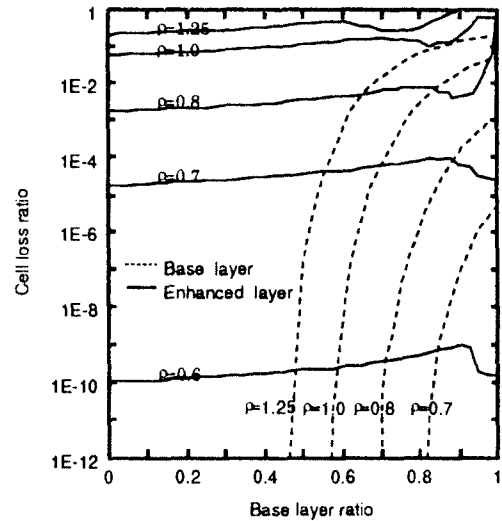


그림 11. 계층간 비율에 따른 셀손실 변화.  
Fig. 11. Variation of multiplexing performance varying the ratio of base layers.

로 보인다.

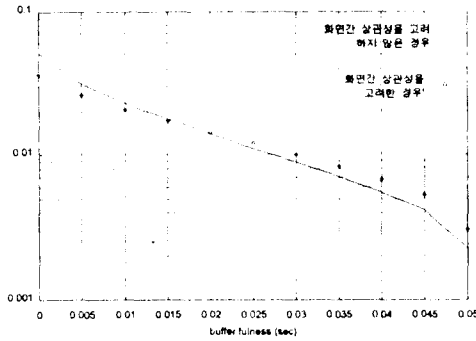
그러나 화면변화가 급격한 영상(TV 나 entertainment)에서는 이러한 연구 결과를 바로 적용하는 것에 한계가 있다. 즉 제안된 모델은 영상전환과 같이 급격한 화면 전환이 없는 영상에 대하여 바로 적용이 가능하다. 또한, 일반적으로 화면전환은 발생의 간격은 수 초 정도로 버퍼의 시간에 비하여 매우 길다. 따라서 화면 전환 시에서의 버퍼의 영향 무시하면, 각 화면내에서의 분포를 화면의 지연시간에 따라 가중적으로 고려하여 근사화할 수 있다. 이는 화면 변화에 의하여 일어나는 영향이 긴 화면시간으로 인하여 중요한 영향을 하지 못하기 때문이다.

다음은 이에대한 근사적인 계산 방법을 나타낸다.

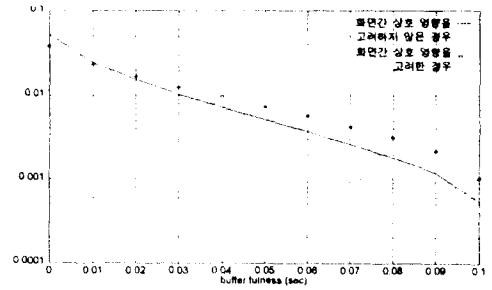
$$S(x) = \sum_{\text{scene \#}i} S(x | \text{scene \#}i) \cdot \Pr(\text{scene \#}i) \quad (13)$$

이러한 사실을 검증하기 위하여 Sen의 논문에 사용된 변수를 이용하여 50msec, 100msec buffer를 사용한 경우에 2차원으로 모델한 결과를 그림 12에 나타내었다. 이러한 결과는 Skelly<sup>(22)</sup>의 주장과 일치하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 이러한 방법이 완전한 해결책이라 볼 수는 없으며 이에대한 연구가 필요하다.

2-계층 부호화는 각계층간의 트래픽의 비에 성능이



(a) Sen[21]에서의 변수(소스수 3개, 버퍼크기 50msec)에 따른 다중화 효과



(b) Sen[21]에서의 변수(소스수 3개, 버퍼크기 100msec)에 따른 다중화 효과

그림 12. 화면간 변화를 고려하였을 경우와 각각을 히스토그램 적으로 가정한 경우의 비교  
Fig. 12. The Comparison between the considering the dynamical change of scene and approximating the scene level with histogram

매우 민감하게 반응한다. 따라서 2-계층 부호화에서 각 계층에 할당되는 부호화의 양을 적절히 하는 것이 2-계층 부호화의 본래 목적을 위하여 중요하다. 제안된 모델을 통하여 부호화 시에 필요한 각 계층의 트래픽의 양을 산출할 수 있으며, 또한 전체적인 traffic intensity에 따라 기저계층에 적합한 트래픽의 비율을 예측할 수 있다.

계층 부호화된 영상의 주관적인 화질을 위하여 기저 계층에 필요한 셀손실율은 최소한  $10^{-6} \sim 10^{-7}$  이하로 보장해주는 것이 필요하다<sup>23)</sup>. 또한 실험 결과 망의 traffic intensity를 0.5 이하로 하기 전에는 부가계층의 셀손실율  $10^{-1} \sim 10^{-2}$  이하로 낮추는 것이 어렵다. 따라서 망의 효율을 충분히 활용하기 위해서는 이를 고려한 계층 부호화 방식을 하여야 한다.

실제로 특정한 부호화 방식이 결정되더라도, 영상의 화질에 대한 평가함수를 구하는 것은 여러 요소가 결합되어 있을 뿐 아니라 영상의 종류와 부호화 방식에 의존하기 때문에 상당히 어렵다. 같은 이유로 손실에 의한 영향을 평가하는 것도 매우 어려운 일이다. 그러나, 계층간의 트래픽량의 비를 구하는데 있어서, 이 평가 함수를 구하는 것이 반드시 필요한 일이다. 따라서 이에 대한 연구가 시행되어야 한다.

Appendix

$F_{i,j}(x)$ 은 Markov chain이  $(i, j)$  상태이고 버퍼의 상태가  $x$ 보다 작은 상태에 있을 때의 극한 확률 분포, 즉  $\lim P_{i,j}(x, t)$ 로 정의하고,  $\vec{F}(x) = (F_{0,0}, F_{0,1}, \dots, F_{1,0}, F_{1,1}, \dots, F_{i,j}, \dots, F_{M_1,0}, F_{M_1,1}, \dots, F_{M_1,M_2-1}, F_{M_1,M_2})^T$ 로 표기하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} \frac{d}{dx} \vec{F}(x) D_u = -\vec{F}(x) M & (0 \leq x < Q_{th}^-) \\ \frac{d}{dx} \vec{F}(x) D_c = -\vec{F}(x) M & (Q_{th}^+ \leq x \leq B^-) \end{cases} \quad (A1.1)$$

$$\begin{cases} F_{i,j}(Q_{th}^-) = F_{i,j}(Q_{th}^+) \text{ and } F_{i,j}(B^-) = p_{i,j} \\ \quad (i(A_b + A_{ec}) + jA_{en}) < C \\ F_{i,j}(0) = 0 \text{ and } F_{i,j}(Q_{th}^-) = F_{i,j}(Q_{th}^+) \quad (iA_b > C) \\ F_{i,j}(0) = 0 \text{ and } F_{i,j}(B^-) = p_{i,j} \quad (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (A1.2)$$

여기서,

$$p_{i,j} = \binom{M_1}{i} \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1} \right)^i \left( \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1} \right)^{M_1-i} \cdot \binom{M_2}{j} \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \right)^j \left( \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} \right)^{M_2-j} \quad (A2.1)$$

$$\begin{cases} D_u = \text{Diag} \{d_{u0}, d_{u1}, \dots, d_{ui}, \dots, d_{uM_1}\} \\ D_c = \text{Diag} \{d_{c0}, d_{c1}, \dots, d_{ci}, \dots, d_{cM_1}\} \\ d_{ui} = \text{Diag} \{i(A_b + A_{ec}) - C, i(A_b + A_{ec}) + A_{en} - C, \dots, i(A_b + A_{ec}) + jA_{en} - C, \dots, i(A_b + A_{ec}) + M_2 A_{en} - C\} \\ d_{ci} = \text{Diag} \{iA_b - C, iA_b - C, \dots, iA_b - C, \dots, iA_b - C, \dots, iA_b - C\} \end{cases} \quad (A2.2)$$

$$\begin{cases} D_u = \text{Diag} \{d_{u0}, d_{u1}, \dots, d_{ui}, \dots, d_{uM_1}\} \\ D_c = \text{Diag} \{d_{c0}, d_{c1}, \dots, d_{ci}, \dots, d_{cM_1}\} \\ d_{ui} = \text{Diag} \{i(A_b + A_{ec}) - C, i(A_b + A_{ec}) + A_{en} - C, \dots, i(A_b + A_{ec}) + jA_{en} - C, \dots, i(A_b + A_{ec}) + M_2 A_{en} - C\} \\ d_{ci} = \text{Diag} \{iA_b - C, iA_b - C, \dots, iA_b - C, \dots, iA_b - C, \dots, iA_b - C\} \end{cases} \quad (A2.3)$$

$$M = M1 \oplus M2 \quad (A2.4)$$

$$M_i = \begin{pmatrix} -M_i \lambda_i & \mu_i & 0 \\ M_i \lambda_i - \lambda_i - (M_i - 1) \mu & 2\mu_i & \\ 0 & (M_i - 1) \lambda_i & -2\lambda_i - (M_i - 2) \mu_i \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} \quad (A2.5)$$

$$\left. \begin{matrix} 0 & 0 & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots \\ 3\mu_i & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{matrix} \right\} \cdot i = 1, 2$$

여기서 첨자 u(uncontrolled)와 c(controlled)는 폭주 전( $x \leq Q_{th}^-$ )과 폭주 후( $Q_{th}^+ \leq x \leq B$ )를 각각 나타내고,  $\oplus$ 는 Kronecker sum을 의미한다. 여기서 C는 채널의 전송 용량(link capacity)을 나타내고,  $M_1, M_2$ 은 모델의 단위 입력의 수이며,  $\mu, \lambda_1, \mu_2, \lambda_2$ 는 각각 단위입력의 상태 전이율이다.

결국  $2(M_1+1)(M_2+1)$ 개의 선형 미분방정식과  $2(M_1+1)(M_2+1)$ 개의 경계조건을 갖고 있으므로 잘 알려진 고유치 문제(eigenvalues problem)가 된다. 이 경우 유일한 해가 존재할 조건은  $D^{-1}M$  행렬이 singular 하지 않은 경우로서 행렬 M은 블록 삼각 대각 행렬(block tri-diagonal matrix)이므로 행렬 D가 singular 하지 않을 조건은  $iA_b \neq C$ 이고  $i(A_b + A_{ec}) + jA_{en} \neq C$ 이어야 한다.  $z^u, z^c$ 를 각기 임계치 후의 미분방정식의 고유치(eigenvalue)로 하고,  $\Psi^u, \Psi^c$ 를 각기 임계치 전후의 고유벡터(eigenvector)로 표현하면, 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\begin{aligned} z^c \cdot D^c \Psi^c &= M \Psi^c \\ z^u \cdot D^u \Psi^u &= M \Psi^u \end{aligned} \quad (A3.1)$$

$$\begin{cases} \vec{F}(x) = \sum_{k=0}^{(M_1+1)(M_2+1)} a_k^u \cdot \Psi_k^u \cdot e^{z^u x} \quad (x \leq Q_{th}^-) \\ \vec{F}(x) = \sum_{k=0}^{(M_1+1)(M_2+1)} a_k^c \cdot \Psi_k^c \cdot e^{z^c x} \quad (Q_{th}^+ \leq x \leq B) \end{cases} \quad (A3.2)$$

$$\begin{cases} F_{i,j}(Q_{th}^-) = F_{i,j}(Q_{th}^+) \text{ and } F_{i,j}(B^-) = p_{i,j} \\ \quad (i(A_b + A_{ec}) + jA_{en} < C) \\ F_{i,j}(0) = 0 \text{ and } F_{i,j}(Q_{th}^-) = F_{i,j}(Q_{th}^+) \\ \quad (iA_b < C) \\ F_{i,j}(0) = 0 \text{ and } F_{i,j}(B) = p_{i,j} \quad (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (A3.3)$$

여기서  $a_k^c, a_k^u$ 는 각기 경계치에 의하여 정해져야 할 계수들이다.

Anick 등<sup>(2)</sup>는 단위 on-off 연쇄에서의 birth-death 형태의 특수한 고유치 문제에 있어서 고속의 알고리즘을 제시하였다. 이 방법은 고유치를 결정하는 방정식을 생성함수의 형태로 전개하여 이의 특성을 이용하는 것이다. 이 논문에서는 2차원인 경우를 사용하므로 Anick의 방법을 확장하여 사용한다. 이 방법을 정리하면 다음과 같다.

$$z \cdot D \Psi = M \Psi \quad (A4)$$

식 (A3.1)의 양변에  $u^i \cdot v^j$ 를 곱하여 각 i, j에 대하여 합하고, 다음의 생성함수(generating function, 여기서는 이산공간이므로 Z-transform)의 정의를 사용하면,  $(M_1+1)(M_2+1)$ 개의 식을 하나의 식으로 표현이 가능하다.

$$\Psi(u, v) \equiv \sum_{i=0}^{M_1} \sum_{j=0}^{M_2} \phi_{i,j} u^i \cdot v^j \quad (A5)$$

여기서  $\phi_{i,j}$ 는 고유벡터  $\Psi$ 의  $i \cdot (M_2+1) + (j+1)$  번째 성분을 나타낸다.

이렇게 하여 얻어지는 생성함수의 일차 미분방정식의 해는 변수분리(separation of variables)에 의하여

$$\begin{aligned} \Psi(u, v) &= h(u) \cdot g(v) \\ &= (u-r_1)^{\alpha_1} (u-r_2)^{\alpha_2} (u-r_3)^{\alpha_3} (u-r_4)^{\alpha_4} \end{aligned} \quad (A6)$$

의 형태로 구할 수 있다. 그리고 각  $r_1, r_2, r_3, r_4$ 은 고유치에 의한 함수로서 표현된다.

임계치 미만의 범위에서의 변수는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{cases} r_1, r_2 = \frac{-[\mu_1 - \lambda_1 + z(A_b + A_{ec})] \pm \sqrt{[\mu_1 - \lambda_1 + z(A_b + A_{ec})]^2 + 4\lambda_1 \mu_1}}{2\lambda_1} \\ r_3, r_4 = \frac{-(\mu_2 - \lambda_2 + zA_{en}) \pm \sqrt{(\mu_1 - \lambda_1 + zA_{en})^2 + 4\lambda_2 \mu_2}}{2\lambda_2} \end{cases} \quad (A7)$$

여기에 식 (A6)이 식(A4), (A5) 즉, u와 v의 다항식(polynomial)이라는 조건을 적용하여 고유치에 제한 조건을 준다. 그 결과는 고유치의 조건은 다음 식 (A8)

과 같다.

$$\mathcal{P}(u, v) = (u-r_1)^k (u-r_2)^{M_1 k} (v-r_3)^l (v-r_4)^{M_2 l}$$

$$C_4 z^4 + C_3 z^3 + C_2 z^2 + C_1 z^1 + C_0 z^0 = 0 \quad (A8)$$

여기 사용된 계수들은 다음의 식을 전개하여 얻는다.

$$k \cdot \text{SQRT1} - \frac{zC}{2} + M_1 \lambda_1 + \frac{1}{2} M_1 [ (A_h + A_v) z$$

$$+ \mu_1 - \lambda_1 + \text{SQRT1} ] = -l \cdot \text{SQRT2} + \frac{zC}{2}$$

$$+ M_2 \lambda_2 + \frac{1}{2} M_2 [ A_{ev} z + \mu_2 - \lambda_2 + \text{SQRT2} ] \quad (A9)$$

여기서

$$\text{SQRT1} = \sqrt{[ (A_h + A_v) z + \mu_1 - \lambda_1 ]^2 + 4 \lambda_1 \mu_1}$$

$$\text{SQRT2} = \sqrt{[ A_{ev} z + \mu_2 - \lambda_2 ]^2 + 4 \lambda_2 \mu_2} \quad (A10)$$

이다.

위의 고유치에 대응하는 고유벡터의 (i, j)번째 성분은 다음 생성식의  $u^i v^j$ 의 계수로 구해진다. 여기에 사용되는 고유치(z)는 다음의 4차식으로 부터 구할 수 있다. 위의 결과 식들은 임계치 안쪽의 경우이고,  $Q_{th} \leq x \leq B$ 의 범위에서는 각각  $A_h + A_{ev}$ ,  $A_{ev}$  대신에  $A_h, 0$ 을 대입하여 구할 수 있다.

이로써 각 입력 상태에 대해 누적 확률분포를 구할 수 있다.

### 참고문헌

1. Heejune Ahn, "A performance model and analysis for 2-layer coded video traffic in ATM networks" KAIST Master Thesis(in Korean). Feb. 1995.
2. D. Anick, D. Mitra, and M. M. Sohni, "Stochastic theory of a data handling system with multiple source," B. S. T. J., vol. 61, Oct. 1982, pp.1871-1894.
3. J. J. Bae and T. Suda, "Survey of traffic control schemes and protocols in ATM networks," Proc of IEEE vol. 79, Feb. 1991.
4. C. Blondia and O. Casals, "Performance Analysis of on-off source shaping for ATM multiplexing", IEEE INFOCOM92, pp.828-838, 1992.
5. A. Elwalid and D. Mitra, "Fluid models for the analysis and design of statistical multiplexing with loss priorities on multiple classes of bursty traffic," IEEE INFOCOM 92, pp.415-425, 1992.
6. M. Ghanbari, "An adaptived H.261 two-layer video codec for ATM networks," IEEE Trans. on Commun., vol. 40, pp.1481-1490, Sep. 1992.
7. M. Ghanbari, "Two-layer coding of video signals for VBR network," IEEE. JSAC., vol. 7, pp.771-781, June, 1989.
8. M. Ghanbari and J. Azari, "Effect of bit rate variation of the base layer on the performance of two layer video codecs," IEEE Trans. on Circuit and System for Video technology, vol. 4, pp.8-17, Feb. 1994.
9. D. Gross, C. Harris, "Fundamentals of queuing theory" 2nd Ed., John Wiley and sons Press 1985.
10. H. Heffes, D. Lucantoni, "A Markov modulated Characterization of packet voice and data traffic and related statistical multiplexor performance," IEEE JSAC, vol. 4, pp.856-868, Sep. 1986.
11. C. J. Hollier, "A hierarchial subband coding scheme for videophone image on a B-ISDN," 4th international Workshop for Packet Video, 1991.
12. ITU-T Recommendations, I-series, March, 1993.
13. G. Karlsson and M. Vetterli, "Packet video and its integration into the network architecture," IEEE JSAC., vol. 7, June, 1989.
14. L. Kleinrock, "Queueing system," vol 1,2, Wiley, 1975.
15. H. Kroner, G. Hebutern, P. Boyer and A. Grravey, "Priority management in ATM switching Nodes," IEEE JSAC Vol. 9, April, 1991.
16. J. P. Leduc, "Multiplexing digital television sources on ATM networks," signal Processing:

Image communication, vol. 6, Feb. pp.435-462, 1994.

17. B. Maglaris, D. Anastassiou, P. Sen, G. Karlsson, and J. Robbin, "Performance models of static multiplexing in packet video communications," IEEE Trans. on Comm. vol. 36, pp.834-844, July 1988.

18. M. Marrafih, Y. Q. Zhang and R. L. Pickholtz, "Modeling and queueing analysis of variable-bit-rate coded video sources in ATM networks," IEEE Trans. on Circuit and System for Video technology, vol. 4, Apr. 1994.

19. MPEG Video Editorial Group, "Generic coding of moving pictures and associated audio: ISO/IEC 13818-2 CD," ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11, MPEG93/No. 602, 1993.

20. P. Pancha and M. Zarki, "Bandwidth allocation scheme for variable-bit-rate MPEG sources in ATM networks," IEEE Trans. on Circuit and System for Video technology, vol. 3, pp. Jun. 1993.

21. P. Sen, B. Maglaris, N. Rikli, and D. Anastassiou, "Models for packet switching of VBR video sources," IEEE JSAC, vol. 7, pp.865- 869, June 1989.

22. P. Skelly, and M. Schwartz, "A histogram-based model for video traffic behavior in an ATM multiplexor," IEEE/ACM Trans. on Networking, pp.446-459, Sep. 1993.

23. K. Yamazaki, "ATM networking and video-coding techniques for QoS control in B-ISDN," IEEE Trans. on Circuit and System for Video Technology, vol. 3, Jun. 1993.

24. N. Yin, S. Q. Li, Ta .E. Stern, "Congestion control for packet voice by selective packet discarding," IEEE trans. on Comm. vol. 38, pp.238-247, May. 1990.

25. Y. Q. Zhang, W. W. Wu, K. S. Kim, R. L. Pickholtz, and J. Ramasastry, "Variable bit-rate video transmission in the broadband ISDN environment," Proceeding of IEEE vol. 79, Feb. 1991.

26. J. Y. Hui, "Resource allocation for broadband networks," IEEE. JSAC, vol. 6, Dec. 1988.

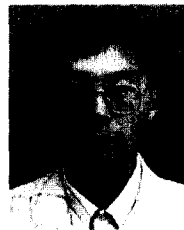


安熙準(Hee-June Ahn) 정회원

1970년 2월 26일생  
 1993년 2월 : 한국과학기술대학 (KIT) 전기 및 전자공학과 졸업(공학사)  
 1995년 2월 : 한국과학기술원 (KAIST) 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1993년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

※주관심 분야 : B-ISDN, Visual Multimedia Communication, Queueing Analysis, Computer Simulation.



盧炳希(Byeong-Hee Roh)정회원

1963년 8월 28일생  
 1987년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1989년 2월 : 한국과학기술원 (KAIST) 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1989년 3월~1994년 2월 : 한국통신 통신망 연구소 근무

1994년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

※주관심 분야 : B-ISDN Traffic Management, Multimedia Communication, Queueing Analysis

金 在 均(Jae-Kyoon Kim)

중신회원

1938년 9월 17일생

1962년 2월 : 한국항공대학 응용전자과 졸업(공학사)

1967년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1971년 8월 : 미국 University of South California(남가  
주대학교) 전자공학과(공학박사)

1972년 4월~1973년 3월 : 미국우주과학연구소(NASA)  
GSFC 연구원

1993년 1월~1994년 12월 : 한국통신학회 학회장

1993년 9월~현재 : KAIST 멀티미디어 통신 공동연구 센터장

1973년 4월~현재 : 한국과학기술원 교수(정교수)

\*주관심 분야 : Video Coding, Visual Multimedia  
Communication, B-ISDN