

ATM 망에서의 MPEG-2 가변비트율 비디오 트래픽 모델링

한진희, 호요성
광주과학기술원 정보통신공학과
광주광역시 광산구 쌍암동 572 번지

MPEG-2 Variable Bit Rate Video Traffic Modeling in ATM Networks

Jinhee Han and Yo-Sung Ho
Kwang-Ju Institute of Science and Technology (K-JIST)
572 Ssang-am Dong Kwang-san Gu, Kwang-ju, 506-712, Korea
E-mail : jhhan@gogh.kjist.ac.kr

요약

기존에 제안된 AR(AutoRegressive)모델링이나 Markov Chain 모델링은 움직임이 적은 화상회의 영상에서 좋은 성능을 보이는 반면, 움직임이 많은 동영상 비디오 트래픽 모델링에는 적합하지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 3-State MMBP(Markov Modulated Bernoulli Process)와 GAR (Gamma AutoRegressive) 시퀀스를 이용한 새로운 가변비트율 비디오 트래픽 모델링 방식을 제안한다. MPEG-2 부호화시 발생하는 GOP 구조의 특성을 이용한 3-State MMBP 방식과 각 화면(I, P, B)에서 발생하는 비트수의 PDF 특성을 이용한 GAR 시퀀스는 각각의 화면 형태를 고려하여 모델링을 하기 때문에 기존 방식에 비해 정확한 결과를 보여주며, 각 화면내에서의 비트수 발생시 원영상의 특성을 잘 나타낸다.

1. 서론

향후 고속통신 서비스중에서 VBR(Variable Bit Rate) 비디오 서비스는 광대역 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 망에서 중요한 위치를 차지할 것이다. 특히, VBR 비디오 트래픽 모델링은 비디오 트래픽 제어의 필수 요소가 되기 때문에 ATM 망에서 중요한 비디오 연구 주제로 다루어진다. 가변비트율 부호화의 경우, 화질 저하는 각 서비스의 QoS(Quality Of Service)에 따라 결정되므로 비디오 화면의 복잡도와 무관하게 화질을 일정하게 유지할 수 있고, 사용자가 원하는 화질을 제공해 줄 수 있는 장점이 있다. 그러나 비트율이 계속 변화하므로 가변적인 트래픽을 예측하기 위한 트래픽 모델링이 필요하게 된다.

비디오 트래픽을 모델링하기 위해 Maglaris[1]과 Nomura[2]는 AR(1) 프로세스에 의해 모델링된 비디오 소스를 제안하였고, Reto는 비디오 소스의 모델링을 위해 ARMA 방식을 사용하였다 [3]. Heyman은 Markov Chain 모델링을 통해 보다 정확한 결과를 얻을 수 있음을 보여주었다 [4]. 그 외에, Xu[5]는 비디오 소스의 특성을 이용한 GAR(1) (First-Order Gamma Autoregressive) 모델을 최근에 새롭게 제안하였다. 그러나 지금까지 제안된 모델링은 모두 움직임이 적은 비디오 화상회의의 경우에 제안되었고, 움직임이 큰 동영상에 사용될 적합한 모델링은 지금까지 제안되지 않았다. 또한, MPEG-2 비디오 부호화 알고리즘을 사용하게 되면, GOP 구조내의 1-화면에 의해 일정한 간격마다 주기성이 나타나게 되는데, 기존의 모델로는 이러한 주기성을 자세히 나타낼 수 없었다.

이러한 상황을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 기존에 제안된 여러 가지 모델링의 특성을 이용하여 움직임이 많은 동영상 비디오 트래픽 모델링에 적합한 새로운 모델링을 제안한다. MPEG-2 부호화시 발생하는 GOP 구조의 특성을 이용한 3-State MMBP[6]는 각각의 화면 형태(I, P, B)를 고려하여 모델링하기 때문에 기존 방식에 비해 보다 정확한 비디오 트래픽을 모델링 할 수 있고, 각 화면 형태에서 발생하는 비트수의 PDF가 Gamma 분포와 근사적으로 일치하는 결과[7]를 이용하여 GAR(1)모델[5]을 사용하였다.

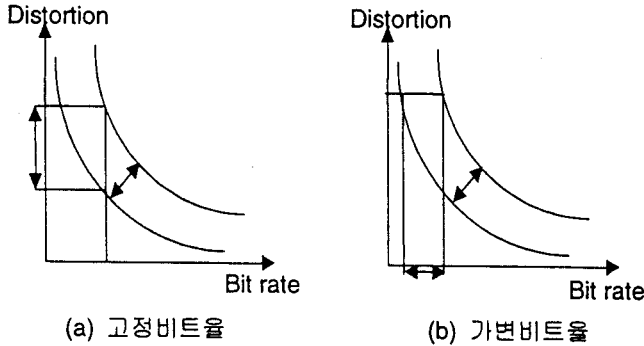
본 논문에서 제안한 모델링을 이용하면 기존에 제안된 AR, Markov Chain 방식과 달리 움직임이 많은 VBR MPEG-2 비디오 트래픽을 훨씬 정확하게 예측할 수 있고, MPEG-2의 GOP 특성에 의해 나타나는 주기성도 다른 모델링에서 보다 정확히 나타낼 수 있다. 결과적인 트래픽상의 비트수 PDF 역시 근사적으로 Gamma 분포와 일치함을 Q-Q 그림(Quantile-Quantile Plot)[7]을 통해 알 수 있다.

2. MPEG-2 VBR 비디오 트래픽 모델

기존의 비디오 부호화 방법은 고정된 대역폭을 가진 통신 채널을 이용하는 것을 가정하였으므로 고정비트율 부호화가 주류를 이루었다. 그러나, ATM은 매우 유연한 가변율 전송 방식이므로, CBR, VBR, ABR(Available Bit Rate), UBR(Unassigned Bit Rate)등 여러 가지 형태의 데이터 교환이 가능하다.

고정비트율(CBR, Constant Bit Rate) 부호화와 가변비트율(VBR, Variable Bit Rate) 부호화를 비교해 보면, 고정비트율 부호화의 경우 비트율은 채널에 따라 결정되며 전송도중 변화하지 않는다. 따라서 화면의 복잡도가 비교적 높은 화면에 있어서는 화질 저하가 심하고, 화면의 복잡도가 비

교적 낮은 화면에 있어서는 필요 이상으로 화질이 좋게 나타난다. 이와 달리 가변비트율 부호화의 경우, 화질 저하는 각 서비스의 QoS에 따라 결정되므로 비디오 화면의 복잡도와 무관하게 화질을 일정하게 유지할 수 있는 장점이 있다. 그러나 비트율이 계속 변화하므로 가변적인 트래픽을 예측하기 위한 트래픽의 모델링이 필요하게 된다. <그림 1>은 고정비트율과 가변비트율에 대한 비트율과 화질저하와의 관계를 나타내고 있다.



<그림 1> CBR과 VBR의 비트율과 화질저하와의 관계

2.1 3-State MMBP (Markov Modulated Bernoulli Process)

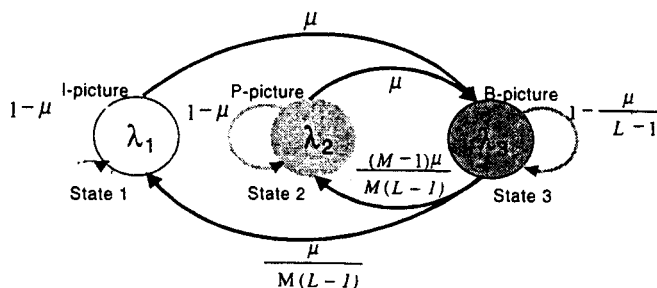
MPEG-2 부호화시에, I-P-B 패턴은 2개의 파라미터(1 화면과 P 화면간의 간격인 M과 I 화면간의 간격인 N)에 의해 결정될 수 있다. 예를 들어, M = 3, N = 15인 경우, 비디오 시퀀스열은 다음과 같이 나타난다.

I₀ B₁ B₂ P₃ B₄ B₅ P₆ B₇ B₈ P₉ B₁₀ B₁₁ P₁₂ B₁₃ B₁₄ I₁₅ B₁₆ •••••

비디오 시퀀스열에서 B-화면 그룹 이후로 발생하는 참조 화면들이 시퀀스의 전송시에 B-화면 그룹보다 앞서야 하기 때문에 전송순서는 다음과 같이 재배열된다.

I₀ P₃ B₁ B₂ P₆ B₄ B₅ P₉ B₇ B₈ P₁₂ B₁₀ B₁₁ I₁₅ B₁₃ B₁₄ P₁₈ •••••

맨 앞에 위치한 I 화면을 제외하면, 전송시퀀스는 참조화면과 그 이후에 발생하는 (M-1)개의 B 화면들로 구성된다. 이 점에 착안하여 I 화면을 포함한 IBB 묶음을 "I-그룹", P 화면을 포함한 PBB 묶음을 "P-그룹"으로 명명한다. 이때, I-그룹은 매 L = N/M 묶음마다 발생하게 되고, 1/L의 확률값을 갖게 된다. GOP 구조를 각 화면에 대한 3개의 구조로 나누어 각 화면에 대해 Bernoulli Process를 적용하였기 때문에 이 구조를 보통 3-State MMBP로 부른다. <그림 2>에 3-State MMBP 다이어그램을 보여주고 있다.



<그림 2> MPEG-2 비디오 시퀀스를 위한 3-State MMBP

여기서 λ_i는 i 화면의 cell 생성율을 나타낸다. μ_{i,j}는 i 화면에서 j 화면으로의 전이 확률이며, 그에 해당하는 값을 구해보면 식(1)과 같다.

$$\mu_{i,j} = \begin{cases} 1-\mu & : i=1,2, j=1,2 \\ \mu & : i=1,2, j=3 \\ \mu & : i=3, j=1 \\ \frac{M(L-1)}{(M-1)\mu} & : i=3, j=2 \\ \frac{M(L-1)}{M(L-1)} & : i=3, j=2 \\ 1-\frac{\mu}{(L-1)} & : i=j=3 \\ 0 & : otherwise \end{cases} \quad (1)$$

이때 I, P, B 화면은 각각 1, 2, 3의 숫자로 표기되어 있고, 1/μ는 프레임 지속시간을 나타낸다.

2.2 Gamma Autoregressive Model

일반적으로, {X_n}이 Stationary 시퀀스라고 가정하면,

$$X_n = \sum_{i=1}^p X_{n-i} + \varepsilon_n \quad (2)$$

로 나타낼 수 있고, {ε_n}은 백색잡음 시퀀스, {X_n}은 p 차 AR 시퀀스로 부른다. 만일 {X_n}이 Gamma 변수의 특성을 지니고 있다면, 우리는 위의 식을 p 차 GAR 시퀀스로 부를 수 있을 것이다. 간단히, 1 차 GAR 시퀀스(GAR(1))에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_n = \rho \cdot X_{n-1} + \varepsilon_n \quad (3)$$

이 시퀀스는 0 ≤ ρ ≤ 1의 조건이 만족되는 한 Asymptotic Stationary 특성을 만족하는 것으로 간주될 수 있다.

2.2.1 비디오 트래픽을 위한 GAR(1)의 생성

X_{n-1}은 ε_n과 독립적이므로, X_n의 Laplace-Stieltjes 변환 φ_{X_n}(s)은

$$\begin{aligned} \phi_{X_n}(s) &= E[\exp(-sX_n)] = E[\exp\{-s(\rho X_{n-1} + \varepsilon_n)\}] \\ &= \phi_{X_{n-1}}(\rho s) \cdot \phi_{\varepsilon_n}(s) \end{aligned} \quad (4)$$

과 같이 나타낼 수 있다.

또한, {ε_n}와 {X_n} 시퀀스 모두 Marginally Stationary하기 때문에 식(5)를 얻을 수 있게 된다.

$$\phi_{\varepsilon}(s) = \frac{\phi_{X}(s)}{\phi_{X}(\rho s)} \quad (5)$$

여기서 {X_n}은 파라미터 {λ, k}를 갖는 i.i.d.(Independent Identically Distributed) Gamma 랜덤변수의 시퀀스이고, 이 시퀀스의 PDF는 다음 식을 만족한다.

$$f_X(x) = \frac{\lambda^k x^{k-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(k)} \quad (6)$$

$$\Gamma(k) = \int_0^{\infty} t^{k-1} e^{-t} dt \quad (\lambda \geq 0; k > 0; x \geq 0) \quad (7)$$

에서 위에 기술한 내용을 토대로 $\{X_n\}$ 의 Laplace-Stieltjes 변환을 구해보면 아래와 같다.

$$\phi_X(s) = \left(\frac{\lambda}{\lambda + s} \right)^k \quad (8)$$

결과를 이용하면, $\phi_\varepsilon(s)$ 는 식(9)와 같이 정의된다.

$$\phi_\varepsilon(s) = \left(\frac{\lambda + \rho s}{\lambda + s} \right)^k = \left[\rho + (1-\rho) \frac{\lambda}{\lambda + s} \right]^k \quad (9)$$

Laplace-Stieltjes의 역변환을 구해보면, 잡음 시퀀스 $\{\varepsilon_n\}$ 을 구할 수 있다. 간단한 예로, $k=3$ 인 경우를 살펴보면

$$\phi_\varepsilon(s) = \rho^3 + 3\rho^2(1-\rho) \frac{\lambda}{\lambda + s} + 3\rho(1-\rho)^2 \left(\frac{\lambda}{\lambda + s} \right)^2 + (1-\rho)^3 \left(\frac{\lambda}{\lambda + s} \right)^3 \quad (10)$$

나타난다. GAR(1) Model로부터 $\{X_n\}$ 시퀀스를 생성하는 분방정식을 요약해 보면 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$X_n = \rho \cdot X_{n-1} + \varepsilon_n \quad (11)$$

$$= \begin{cases} \rho \cdot X_{n-1}, & w.p. \quad \rho^3 \\ \rho \cdot X_{n-1} + E_n, & w.p. \quad 3\rho^2(1-\rho) \\ \rho \cdot X_{n-1} + G_n(2), & w.p. \quad 3\rho(1-\rho)^2 \\ \rho \cdot X_{n-1} + G_n(3), & w.p. \quad (1-\rho)^3 \end{cases} \quad (12)$$

기서 w.p.은 weighted product의 약어이다.

(9)에서 사용되는 세가지 파라미터 λ , k , ρ 는 아래의 식에 의해 구할 수 있다.

$$\lambda = \frac{m}{v} \quad (13)$$

$$k = \frac{m^2}{v} \quad (14)$$

$$\rho = \frac{\sum [X_i - m][X_{i-1} - m]}{\sum [X_{i-1} - m]^2} \quad (i=2,3,\dots,N) \quad (15)$$

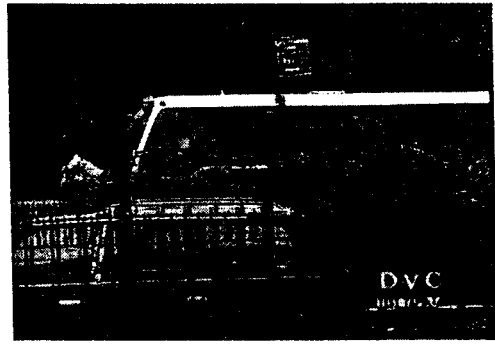
기서 m 과 v 는 원영상의 평균과 분산을 의미한다.

3. 실험 및 결과

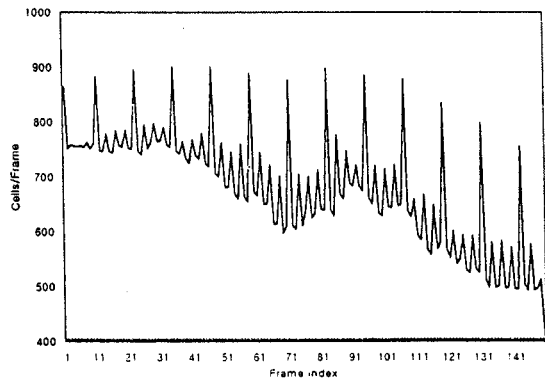
본 논문에서 제안된 모델링의 성능을 알아 보기 위해 720x480 ITU-R 601 형태의 Bus 시퀀스(150 프레임)를 사용하였고, $M=3$, $N=12$, 양자화 간격은 25로 설정하여 실험하였다. <그림 3>은 실험에서 사용된 Bus 시퀀스의 영상을 보여준다.

가변비트율 트래픽을 얻기 위해 양자화 간격을 조정하였고, MPEG-2 비디오 부호화 과정을 거쳐 출력된 Bus 시퀀스의 프레임당 Cells 수의 트래픽 율은 <그림 4>와 같다.

<그림 4>에 주어진 가변비트율 MPEG-2 비디오 트래픽을 모델링하기 위해 우선 각각의 화면 형태에 따른 3-State MMBP 모델을 적용하고, 전이 확률로 식(1)을 사용하였다. 각 화면당 발생하는 셀 수를 결정하기 위해, MPEG-2 내의 GOP 구조에서 각 화면의 프레임당 셀 수의 PDF 분포가 Gamma 분포와 근사적으로 일치함을 이용하여 GAR(1)을 사용한다. GAR(1)은 식(3)과 같고, 주어진 식에서 잡음 시퀀스 $\{\varepsilon_n\}$ 을 식(9)를 사용하여 구한다.



<그림 3> 실험영상 : Bus 시퀀스



<그림 4> 가변비트율 Bus 시퀀스의 출력 트래픽 율

<그림 5>의 (a)는 Bus 시퀀스와 AR 모델링, (b)는 Bus 시퀀스와 본 논문에서 제안된 모델링을 이용하여 얻어진 시퀀스의 자기상관함수 그래프를 보여준다. <그림 5>에서 알 수 있듯이, 본 논문에서 제안한 모델링이 Bus 시퀀스의 통계적 특성을 기존에 제안된 모델링보다 정확히 나타낸다. 또한, GOP의 특성으로 인해 나타나는 주기성도 제안한 모델링이 기존의 모델링보다 정확히 표현해 주는 것을 알 수 있다. 각 화면(I, P, B)에서의 프레임당 셀 수가 Gamma 분포와 유사함을 알아보기 위하여 Q-Q 그림을 사용하였다. Q-Q 그림은 이론적인 분포함수와 실험에 의해 얻어진 데이터와의 일치성을 쉽게 알아볼 수 있도록 점점해주는 데 많이 사용된다. <그림 6>은 각 화면에 대한 Q-Q 그림을 보여주고 있다. 그림에서 보면, $y=x$ 로 나타나는 직선이 Gamma 분포를 나타내고, 직선 위에 나타나있는 점들이 모델링으로부터 얻어진 데이터이다.

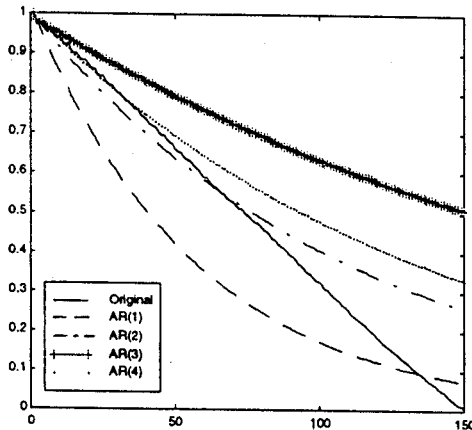
모델링된 데이터들이 직선과 일치하면, 가장 완벽한 일치성을 나타내는 것이다. 기울기는 같지만, y-절편 값이 다른 경우는 평균값의 오차에 의해 발생되고, y-절편은 같지만, 분포되어 있는 특성이 다른 경우에는 기울기가 달라진다.

본 논문에서 제안한 모델링을 사용한 경우, 각 화면에 따른 프레임당 셀 수는 Q-Q 그림을 통해 Gamma 분포와 근사적으로 유사하게 나타남을 알 수 있다. <그림 6>에서 보면, 기울기는 같지만 y-절편 값이 다르게 나타난다.

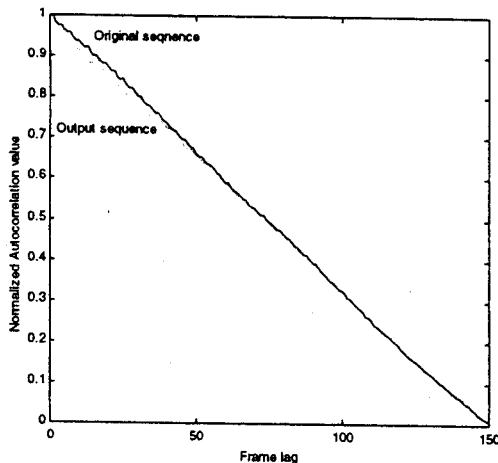
4. 결론

본 논문에서는 가변비트율 동영상 비디오 트래픽의 모델링을 위해 3-State MMBP와 GAR을 이용한 새로운 모델링을 제안하였다. 기존에 제안된 모델링은 움직임이 큰 동영상 트래픽 모델링에 부적합하며, 트래픽의 특성을 정확하게 나타내지 못하는 단점을 지니고 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 MPEG-2의 GOP 특성을 이용한 3-State

MMBP 모델링을 사용하였고, GOP 내의 각 화면에 대해 독립적으로 트래픽을 모델링하였다. 3-State MMBP 에서 전이 확률을 구한 후, 각 화면에서의 프레임당 셀수를 GAR 을 이용하여 얻었다. GAR 을 사용한 이유는 각 화면에서의 프레임당 셀 수 PDF 가 Gamma 분포와 근사적으로 유사하기 때문이다. 제안한 모델링을 이용하여 기존에 제안된 모델링 보다 가변비트율 비디오 트래픽의 특성과 GOP 의 특성으로 인해 나타나는 주기성을 정확히 나타낼 수 있었다. 또한 각 화면내에서 발생하는 프레임당 셀 수가 Gamma 분포와 근사적으로 유사함을 Q-Q 그림을 통해 알 수 있었다. 이러한 가변비트율 비디오 트래픽 모델링은 비디오 트래픽 제어와 네트워크 설계 등 많은 분야에 이용될 수 있을 것이다.



(a) Bus 시퀀스와 AR 모델링의 자기상관함수

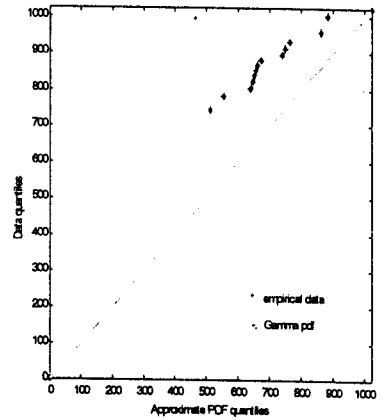


(b) Bus 시퀀스와 제안한 모델링의 자기상관함수

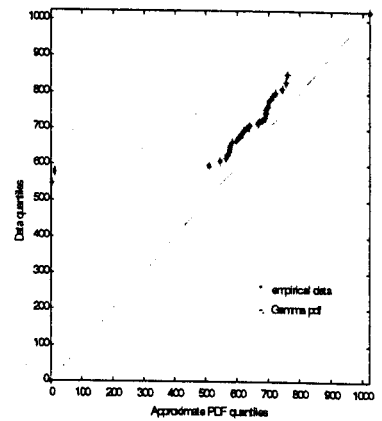
<그림 5> Bus 시퀀스와 모델링한 시퀀스의 자기상관함수

참 고 문 헌

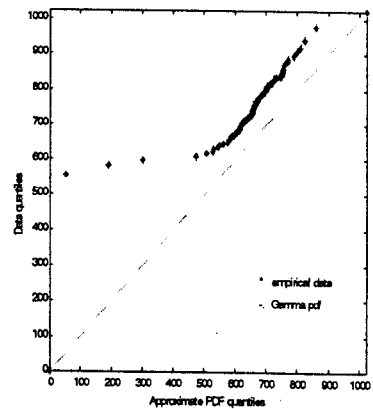
[1] B.Maglaris et al., "Performance Models of Statistical Multiplexing in Packet Video Communications," IEEE Trans. Commun., vol. 36, pp.834-843, July .1988.
 [2] M.Nomura, T.Fujii, and N.Ohta, "Basic Characteristics of Variable Bit Rate Video Coding in ATM Environment," IEEE J. Select. Areas Comm., vol. 7, pp. 752-760, 1989.
 [3] R. Grunenfelder, J.P. Cosmas et al., "Characterization of Video Codecs as Autoregressive Moving Average Process and Related Queueing System Performance," IEEE J. Sel. Areas Comm., vol 9, pp. 284-293, Mar. 1991.
 [4] D.P.Heyman, A. Tabatabai, and T.V.Lakshman, "Statistical



(a) I-화면



(b) P-화면



(c) B-화면

<그림 6> 각 화면의 프레임당 셀 수에 대한 Q-Q 그림

tical Analysis and Simulation Study of Video Teleconference Traffic in ATM Networks," IEEE Trans. Circuits syst. Video Technol., vol. 2, pp. 49-59, May. 1994.
 [5] Shugong Xu and Zailu Huang, "A Gamma Autoregressive Video Model on ATM Networks," IEEE Trans. Circuits syst. Video Technol., vol. 8, no.2, pp. 138-142, April. 1998.
 [6] C.Ohta, K.Shinagawa, and Y.Onozato, "Cell Loss Properties for Multiplexing of MPEG Video Sources Considering Picture Coding Types in ATM Networks," Proceedings of ICC/SUPERCOMM '96., pp. 1396-1400, 1996.
 [7] O.Rose, "Statistical Properties of MPEG Video Traffic and Their Impact on Traffic Modeling in ATM Systems," Proceedings of 20th Conference on Local Computer Networks, pp. 397-406, 1995.