DBpia



# ATM 망에서의 MPEG 비디오 트래픽 모델링을 통한 큐잉 해석 및 망 자원 할당에 관한 연구

정회원 유 상 조*, 박 수 열*, 김 성 대*

# Modeling, Queueing Analysis, and Network Resource Allocation of MPEG Video Traffic over ATM Networks

Sang-Jo Yoo*, Soo Yeal Park*, Seong-Dae Kim* *Regular Members*


## 요 약

본 논문에서는 ATM 망에서 향후 주문형 비디오, 영상회의 및 방송 등에 주로 사용될 가변 비트율의 MPEG 비디오 트래픽에 대한 모델링 방법을 제안하고 실시간 성능해석 및 등가 대역폭 할당 등을 위해 제안된 모델의 큐잉 해석 방안을 제시한다. 본 논문에서 제안한 MPEG 모델링 방법은 긴 주기의 비디오 비트 스트림의 비트 발생량 변화 패턴을 모델링하기 위해, 장면 단위 상태천이 모델을 세우고 장면상태 내에서의 프레임 타입간 비트 발생량의 상관관계와 GOP 패턴을 고려하여 각 프레임의 비트 발생량을 마코프 체인으로 모델링 한다. 제안된 모델을 일반적인 마코비안 트래픽 소스 형태로 만들어 셀 손실과 지연에 대한 실시간 큐잉해석 및 등가 대역폭 계산 방안을 제시하였다. 모의실험 결과 제안된 모델링 방법을 통한 셀 손실과 지연관점의 해석 해는 원 영상의 큐잉성능을 매우 잘 예측 할 수 있음을 확인 할 수 있다.

## ABSTRACT

For the performance analysis and traffic control of ATM networks carrying video sequences, we need an appropriate video traffic model. In this paper, we propose a new traffic model and its queueing solution for MPEG compressed videos which are widely used for many types of video applications at the moment. The proposed modeling scheme uses scene-based traffic characteristics and considers the correlation between frames of consecutive GOPs. Using a simple scene detection algorithm, scene changes and frame sequences are modeled by a two-dimensional continuous time Markov chain. We provide an analytic queueing solution in terms of the maximum cell transfer delay and the cell loss ratio. The simulation results show that our analytical model very well approximates the queueing performance of the original video. Finally, with the asymptotic approximation, we provide a method to estimate the effective bandwidth for the MPEG video sources with guarantee of user's quality of service requirements.


## I. 서 론

다양한 서비스를 통합하여 지원하여 주는 ATM 기반의 광대역 종합 정보 통신망 (B-ISDN)은 응용 서비스별로 서로 다른 전송속도와 서비스 품질(QoS : Quality of Service) 요구사항을 만족시켜 주어야 한다. ATM 기반의 통신망에서 수용할 트래픽은 기존의 전화망이나 데이터 통신망에서의 단일 형태의 트래픽뿐만 아니라 고속데이터 및 영상정보까지를 포함하는 다양한 멀티미디어 트래픽이 된다. 멀티미디어 서비스

* 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(sangjo@sdvision.kaist.ac.kr) 정회원
논문번호 : 98155-0406, 접수일자 : 1998년 4월 6일



www.dbpia.co.kr

환경에서 동영상은 멀티미디어 서비스의 가장 핵심적인 트래픽으로 이에 대한 연구는 매우 중요한 문제로 인식되고 있다.

실제 ATM 망에서 사용자가 요구하는 QoS를 보장하고 동시에 다중화 이득을 극대화 하기 위해서는 효과적인 대역폭 할당과 트래픽 제어가 수반되어야 한다. 이러한 기능을 수행하기 위해서는 먼저 복잡한 특성을 갖는 비디오 트래픽에 대한 정확한 통계적 모델링이 필요하다. 트래픽의 모델링은 망자원 분배의 효율적 설계, 셀 손실 확률 및 셀 지연 예측, 혼잡제어, 종단 단말의 흐름제어(flow control)를 위한 맨 처음의 단계로, 복잡한 특성의 트래픽을 몇 가지 통계적 파라미터로 모델화 하는 것이다. 실제 고속의 ATM 기반 통신망에서 트래픽 제어나 사용자 QoS 파라미터에 대한 망이 제공가능 한 범위 등을 예측하여 효율적으로 망 자원을 관리하기 위해서는 트래픽 모델에 대한 실시간의 큐잉해석이 가능하여야 한다.

본 논문에서는 현재 동영상 압축 기법으로 널리 사용되고 있고 향후 ATM 기반의 B-ISDN 및 무선 ATM 망에서의 주문형 비디오(VoD : Video on Demand), 영상회의, 방송 등에 주로 사용될 MPEG 압축 기법을 사용한 비디오 트래픽에 대한 모델링 방법을 제안한다. 또한 실시간 성능해석 및 등가 대역폭(effective bandwidth) 할당을 위해 제안된 모델의 큐잉 해석 방안을 제시한다. 지금까지 비디오 트래픽에 대한 많은 관련 연구가 이루어 졌으나 대부분 단일 압축모드(인터 또는 인트라 모드 압축) 만을 사용하고 장면 변화가 많지 않은 영상 회의 같은 응용에 대해 주로 적용되었다. MPEG 비디오 트래픽은 GOP (Group of Picture) 특성에 따라 주기적으로 I, B, P 프레임의 세가지 서로 다른 형태의 부호화 방법에 의한 트래픽에 발생되고 오랜 기간 동안 프레임간 상관관계가 비교적 큰, 매우 복잡한 통계적 특성을 보인다. 따라서 기존의 음성, 데이터, 및 단일 압축모드의 비디오 트래픽 모델링에 사용되었던 방법으로는 MPEG 비디오 트래픽에 대한 정확한 모델링과 큐잉해석이 어렵게 된다.

본 논문에서 제안한 MPEG 비디오 스트림 모델링 방법은 긴 주기의 비디오 비트 스트림의 변화 패턴을 모델링하기 위해 장면 단위 상태천이 모델을 세우고 장면상태 내에서의 프레임 타입간 비트 발생량 모델링을 위해 각 장면상태 마다 3개의 상태를 갖는 마코프 체인을 구성한다. 또한 제안된 모델을 일반적인 마코비안 트래픽 소스 형태로 만들어 셀 손실과 지연에 대한 큐잉해석 및 등가 대역폭 계산이 가능하도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II 장에서는 MPEG 비디오 트래픽의 모델링 및 큐잉해석과 관련된 기존의 연구현황을 살펴본다. 제 III장에서는 제안하는 MPEG 비디오 트래픽 모델링 방법을 설명한다. 제 IV 장에서는 제안된 트래픽 모델에 대한 큐잉해석을 통해 임의의 출력링크 속도에서 입력 트래픽의 셀 지연과 손실을 예측할 수 있는 방안을 제시한다. 제 V 장에서는 제안된 모델링 방법에 대한 큐잉해석이 실제 MPEG 비디오 스트림의 큐잉 특성을 얼마나 잘 예측하는 가에 대한 모의실험 결과를 보인다. 제 VI 장에서의 제 V 장에서의 큐잉해석의 점근적 근사식과 이를 이용한 MPEG 비디오 트래픽에 대한 등가 대역폭 할당 방법에 대해 살펴본다. 마지막으로 제 VII 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 비디오 트래픽에 대한 기존 연구

비디오 트래픽 모델링 방법에 대하여 많은 모델들이 제안되었으며, 대부분의 비디오 트래픽 모델은 다음과 같은 세가지 형태로 구분될 수 있다:

- 확률 상태천이(probability state transition) 행렬을 이용한 마코프(Markov) 체인 모델[1][2][3][4][12],
- AR(Autoregressive) 프로세스 모델[1][5][6][7][8][9],
- 프레임 비트발생량의 히스토그램에 근거한 모델 [3][10][11][13].

마코프 체인 형태의 모델로는 Maglaris[1]가 영상회의와 같이 트래픽의 변이(variation)가 심하지 않은 경우(single activity level)에 대해 1차원 마코프 체인 모델을 제안하였다. 이 모델은 Sen[2]에 의해 두개의 activity 레벨을 갖는 비디오 트래픽으로 확장되었다. 마코프 체인 기반의 비디오 트래픽 모델링은 큐잉 성능 등에 관한 많은 수학적 해석이 이미 이루어 졌고 또 가능하기 때문에 해석적인 장점을 가지고 있으나, 모델에서 발생된 트래픽의 자기상관함수(autocorrelation function)가 실제 트래픽과는 달리 지수함수 적으로 감소한다는 단점이 있다.

AR 프로세스 기반의 모델링은 Maglaris[1]과 Nomura[5]에 의해 비디오 트래픽의 시뮬레이션을 위해 처음 제안되었는데, 비디오 트래픽의 자기상관함수를 비교적 잘 표현할 수 있다는 장점으로 여러 모델들이 계속해서 제안되었다[6][7][8][9]. AR 모델은 기본적으로 자기상관함수를 비교적 잘 맞추나 모델 영상의 히스토그램 분포가 원래영상의 히스토그램과 차이가 있고, 아주 큰 비트량을 갖는 프레임은 발생시키지 못



www.dbpia.co.kr

하는 경우가 있으며 수학적 해석이 어렵다는 단점이 있다.

비트발생량의 히스토그램을 이용한 모델은 원 영상으로부터 프레임 타입별 비트 발생량에 대한 확률 밀도함수(probability density function)를 구하여 이것으로부터 모델 영상의 프레임별 비트를 발생시키는 방법으로, 모델링 자체가 쉽다는 장점이 있다. Skelly [10]는 비디오 트래픽의 큐잉 해석을 쉽게 하기 위해 히스토그램을 이용하여 M/D/1/N 마코프 모델 해석에 적용하였다. 프레임의 비트발생량의 확률밀도함수는 정규분포, 감마(gamma)[3], 로그노말(lognormal)[11] 함수 등으로 모델링 된다. 그러나 히스토그램을 이용한 모델링은 프레임간 상관관계를 정확히 모델링 하지 못한다.

비디오 트래픽 모델링을 통한 실시간 큐잉해석과 등가 대역폭 할당에 대한 연구로는 장면 전환이 거의 없는 비디오 스트림을 단순 마코프 체인으로 모델링하여 셀 손실 확률을 수학적으로 계산하는 방법이 제안되었다 [1][2]. MPEG 비디오 트래픽은 GOP 패턴에 따른 주기성과 서로 다른 압축모드로 구성된 I, B, P 프레임들의 시퀀스로 구성되므로 수학적 큐잉해석에 어려움이 있다. [14]에서는 I와 P 프레임만으로 구성된 MPEG 비디오 스트림을 각 프레임 타입별로 ON/OFF 모델을 세워 전체적으로 4개의 상태로 된 마코프 체인을 해석하였다. [15]에서는 I, B, P 프레임 각 타입을 대표하는 3개의 MMBP(Markov Modulated Bernoulli Process)를 구성하여 셀 손실 확률에 대한 수학적 해석을 수행하였다.

## III. 장면 검출을 통한 MPEG 비디오 트래픽 모델링

MPEG 비디오 트래픽은 그림 1과 같은 주기적인 GOP 패턴을 갖는데, GOP 패턴은 연속하는 두 I 프레임 사이의 수 $N$, I 프레임과 다음의 P 프레임 또는 연속하는 P 프레임 사이의 프레임 수 $M$으로 정의 할 수 있다. 일반적으로 전체 영상 스트림에서 $N$과 $M$은 고정적으로 사용된다. MPEG 비디오의 비트 스트림은 비디오의 내용에 따라 통계적 특성이 다르고, GOP 패턴에 따라 I, B, P 프레임이 주기적으로 나타나는 특성을 보이며, 프레임간 상관관계가 존재하기 때문에 통계적 모델링이 어렵다. 그림 2는 $N=12$, $M=3$인 “스타워즈(Starwars)” 영화영상을 ‘10(I), 18(B), 14(P)’ 양자화 스케일로 MPEG 부호화한 스트림으로 매우 복잡한 트래픽 형태를 가진다. 일반적으로 I 프레임의 비트량이 제일 많고 그 다음에 P 프레임, B 프레임의 순이다.

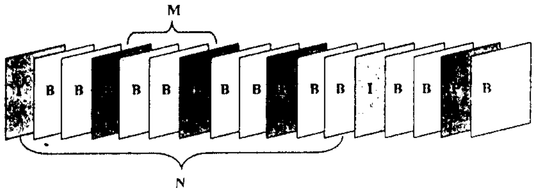


그림 1. MPEG 비디오 스트림의 GOP 패턴에 따른 프레임 배열

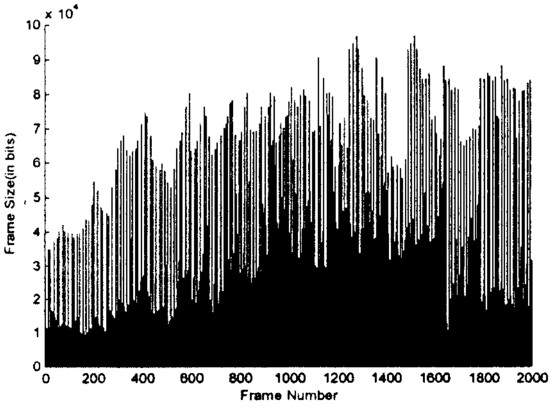


그림 2. “스타워즈” MPEG 비디오 스트림의 비트 발생 예

비디오 비트 스트림은 프레임간에 비교적 긴 구간 동안 큰 상관관계(correaltion)를 가지게 되며 이러한 상관관계는 망에서의 큐잉 성능을 결정하는 중요한 파라미터로 알려져 있다[1][2][12]. 본 논문에서는 MPEG 비디오 스트림이 가질 수 있는 상관관계를 다음과 같이 정의하고 모델에서 이러한 상관관계를 잘 표현 할 수 있도록 하였다:

- 긴 시간 구간에서, 장면[1] 전환으로 인한 인접 장면간 비트 발생량 흐름의 상관관계,
- 같은 장면내의 서로 다른 타입의 I, B, P 프레임들의 비트 발생량 비의 상관관계,
- 같은 장면내의 동일한 프레임 타입 시퀀스 들간의 비트 발생량 상관 관계,

1) 전체적인 비트 발생량의 변화점을 장면이라고 정의하고 이를 비디오 트래픽 모델링에 사용한다.



www.dbpia.co.kr

● 특정 GOP 패턴의 *N*, *M* 주기에 따른 프레임간 시퀀스의 상관관계.

### 1. 간단한 장면 검출 알고리즘

그림 2과 같이 MPEG 압축된 비디오 스트림은 시간 축 상에서 전체적인 비트 발생량의 변화(fluctuation)가 계속적으로 일어난다. 여기에서 중요한 점은 실제 영상에서 눈으로 보는 장면전환과 트래픽 모델링에서의 장면전환이 같을 필요가 없다는 것이다. 트래픽 모델링에서의 장면전환은 망 자원의 효과적 분배 및 사용등에 트래픽의 통계적 특성을 이용하기 위해 사용되기 때문에, 실제 시각적인 장면 전환 보다는 비트량의 통계적 변화가 더 중요하기 때문이다. 본 논문에서는 전체 MPEG 비디오 스트림에서 장면을 검출하기 위해 식 (1)과 같은 GOP 단위 평균 비트 발생량의 차이 비교를 이용한 장면 검출 알고리즘을 사용하였다. 식 (1)에서 $\{GOP(n): n=1,2,...\}$은 원 영상의 GOP 단위 비트 발생량이라고 정의하고, 만약 $n$번째 GOP가 $i$번째 장면의 시작 GOP일 때 다음조건을 만족하는 $n+k$ 번째 GOP가 $i$ 번째 장면의 마지막 GOP가 되고 $n+k+1$ 번째 GOP는 다음 $i+1$ 번째 장면의 시작 GOP가 된다. 식 (1)의 두 번째 식은 GOP의 비트 율 변화가 연속적으로 일어나는 경우를 장면으로 검출하기 위해 사용되었다. 임계값 $T_1$, $T_2$는 비디오의 특성에 따라 적절히 선택되어 진다.

$$\frac{|GOP(n+k+1)-GOP(n+k)|}{\sum_{j=n}^{n+k} GOP(j)/(k+1)} > T_2$$

$$\text{and, } \frac{|GOP(n+k+2)-GOP(n+k)|}{\sum_{j=n}^{n+k} GOP(j)/(k+1)} > T_2 \qquad (1)$$

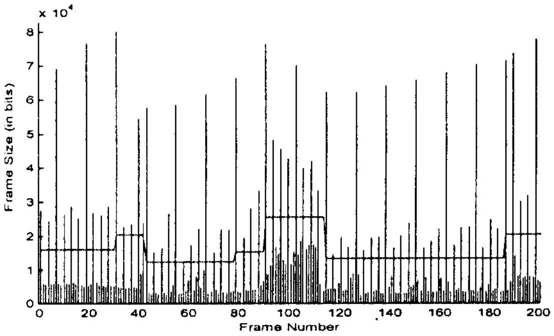


그림 3. 프레임 비트 발생량 시퀀스와 장면의 프레임 당 평균 비트발생량 시퀀스 비교

그림 3은 제안된 장면검출 알고리즘으로 검출된 장면을 프레임 단위 평균 비트 발생량 기준으로 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 장면은 수개~수십 개의 GOP 구간으로 이루어 진다. 또한 제안된 장면검출 방법은 일반적으로 장면전환이 GOP 내의 임의의 프레임 타입에서도 발생할 수 있으므로 I 프레임의 변이 만을 관측 [13] 하는 것보다 보다 정확히 비트 발생량의 변화를 검출 할 수 있다.

### 2. 상태천이 확률모델

MPEG 비디오 스트림에서 장면 단위 비트 스트림의 변화는 비교적 긴 시간 주기에서의 비트량의 변화 패턴을 반영한다. 본 절에서는 이러한 긴 시간 주기에 있어 평균 비트 발생량의 상관관계를 상태천이 모델로 모델링 한다. 여러 MPEG 비디오 스트림에 대한 실험결과 실제 장면의 비트 발생량 변화는 시각적 관측에서와 같이 랜덤하게 변화하기 보다는 전체적으로 연속적인 흐름을 갖는 다는 것이 관측되었다[16]. 즉 다음 장면의 평균 비트 발생량은 이전 장면의 평균 비트 발생량 근처에 있을 확률이 크다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 장면 단위 비트 발생량 상관관계 모델은 상태천이 모델로 적절히 표현될 수 있다.

1 절의 장면검출 알고리즘에 의해 검출된 장면은 각 장면의 평균 GOP단위 비트 발생량으로 대표되고, 장면 상태 천이 모델을 위해 장면이 갖을 수 있는 평균 GOP 비트 발생량의 범위는 원하는 장면상태(scene state) 수 만큼 양자화 된다. 따라서 각 장면이 어느 장면상태에 속하는 가는 해당 장면의 평균 GOP 비트 발생량이 어떤 장면 상태의 평균 GOP 비트 발생량 범위에 속하는 가에 의해 결정된다. 만약 인접한 두 장면이 같은 장면 상태에 속하면 두 장면은 결합되어 한 개의 장면으로 생각된다.

제 IV 장에서의 큐잉해석을 위해 프레임 단위 장면상태 천이 확률을 구한다. $S_n$을 $n$ 번째 프레임의 해당 장면상태를 나타내는 확률과정 이라 할 때, 임의의 프레임이 장면상태 $i$에 있을 때 다음 프레임이 같은 장면상태 $i$에 있을 확률 $p_{i,i}$는 장면상태 $i$에 속한 장면의 프레임 시퀀스 중 마지막 프레임 만을 제외하고는 장면상태 $i$에 계속 있으므로 실제 MPEG 비디오 스트림으로 부터 다음 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$P_{i,i} = \Pr\{S_{n+1}=i|S_n=i\} = \frac{Nf_i - Nsc_i}{Nf_i} \qquad (2)$$



www.dbpia.co.kr

여기서, $Nsc_i$ = 장면상태 $i$에 속한 총 장면 수

$Nf_i$ = 장면상태 $i$에 속한 총 프레임 수.

또한, 임의의 프레임이 장면상태 $i$에 있을 때 다음 프레임이 장면상태 에 있을 확률 $p_{i,j}$는 다음과 같이 결정된다.

$$P_{i,j} = \Pr\{S_{n+1} = j \mid S_n = i,\ j \neq i\} = \frac{Nsc_{ij}}{Nf_i} \qquad (3)$$

여기서,

$Nsc_{ij}$ = 장면상태 $i$에 속한 장면이 다음 프레임에서 장면상태 $j$로 바뀌는 횟수.

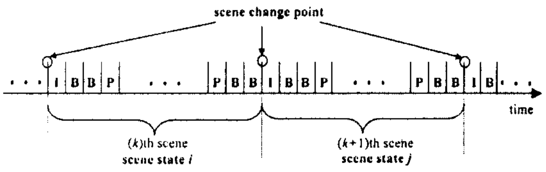


그림 4. 프레임 시퀀스에서의 상태 변화

식 (2)와 식 (3)에 의해 임의 프레임의 장면상태 천이모델이 그림 5와 같이 구해진다. 그림 5에서는 $K$개의 장면상태를 가정하였다. 결국 그림 5는 각 프레임 주기마다 다음 장면 상태로의 천이를 확률 $p_{i,j}$로 결정하게 되는 이산시간 마코프 체인이 된다.

각 장면상태에서는 그림 4에서와 같이 GOP 패턴에 따라 I, B, P 프레임이 주기적으로 나타나게 된다. 이러한 주기적 프레임 타입의 천이는 그림 6과 같은 확률 모델로 표현될 수 있다. 그림 6에서 $N$, $M$은 GOP 패턴 파라미터이다.

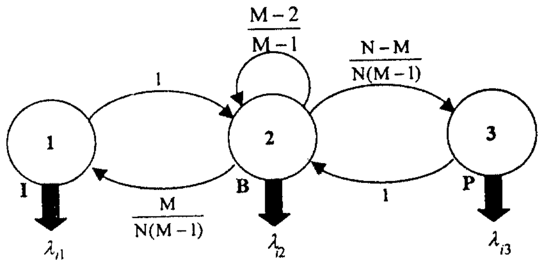


그림 6. 장면상태 $i$의 프레임 타입 천이확률 및 셀 발생률

동일 장면상태에서, 같은 프레임 타입을 갖는 프레임 시퀀스의 ATM 셀 발생량은 서로 유사하게 되며 (급격한 비트 발생량의 차이는 새로운 장면상태로의 천이를 의미하기 때문), 서로 다른 프레임 타입간 셀 발생량의 상관관계는 해당 장면상태에서의 평균 프레임 타입별 셀 발생량의 비로 모델링 될 수 있다. 본 논문에서는 장면 내 프레임 시퀀스의 프레임 당 셀 레이트(cells/sec)를 근사적으로 모델링하고 제 IV 장에서의 큐잉해석을 위하여 장면상태 $i$에서 모든 I, B, P 프레임의 셀 발생을 해당 상태 $i$의 평균 I, B, P 프레임 셀 레이트인 $\lambda_{i1}$, $\lambda_{i2}$, $\lambda_{i3}$으로 각각 모델링 한다 (여기서 인덱스 1, 2, 3은 각각 I, B, P 프레임 타입을 의미한다.). 따라서 장면상태 $i$내의 프레임 시퀀스는 3개의 프레임 타입 상태와, 장면상태 $i$와 프레임 타입 상태 $j$에 종속적인 $\lambda_{ij}$의 셀 레이트를 갖는 이산시간 마코프 체인이 된다. 모델링 파라미터인 $p_{i,j}$와 $\lambda_{ij}$는 원 영상 시퀀스로부터 실험적으로 얻어진다.

그림 7은 제안된 MPEG 비디오 트래픽 모델링 방법을 보여준다. 각 프레임은 해당 장면상태 $i$에서 매 프레임 주기 마다 $p_{i,i}$로 장면상태 $i$에 머물게 되며, 각 장면상태에서는 역시 매 프레임 주기마다 GOP 패턴에 따라 결정된 확률로 1 (I 프레임), 2 (B 프레임),

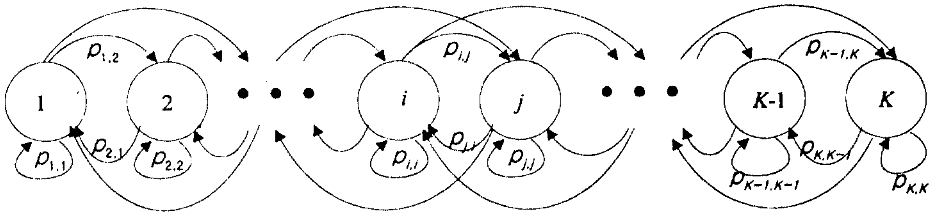


그림 5. 장면 상태 천이 모델



www.dbpia.co.kr

3 (P 프레임) 프레임 타입 상태로 천이하게 된다. 또한 각 1, 2, 3프레임 타입 상태에서는 한 프레임 기간동안 각각 $\lambda_{i1}$, $\lambda_{i2}$, $\lambda_{i3}$의 초당 셀 레이트로 셀을 발생시킨다. 본 논문에서는 MPEG 인코더 소스에서 각 프레임에서 발생되는 셀들이 한 프레임 기간에 동일하게 분포되어 발생된다고 가정한다. 또한 장면상태 $i$에서 매 프레임 주기마다 $p_{i,j}$의 확률로 장면상태 $j$로 천이되고 새로운 장면의 시작은 항상 GOP 단위로 시작되므로 다음 장면의 시작은 확률 1로 프레임 타입 상태 1 (I 프레임 타입에 해당)에서 시작된다.

## IV. QoS 파라미터에 대한 제안된 모델의 큐잉해석

ATM 포럼이나 ITU-T와 같은 국제 표준화 단체에서는 서비스에 대한 제약사항으로 서비스 품질(QoS) 파라미터를 정의하고 사용하고 있는데, 사용자는 호 요구 시 원하는 정도의 품질 요구사항을 망에게 요구할 수 있고 망에서는 사용자의 트래픽 형태와 서비스 품질 요구사항을 고려하여 요구된 호의 수락 여부를 결정하게 된다. 현제 정의되어있는 파라미터로는 ATM 계층 파라미터로 '셀 손실율 (cell loss ratio)', '최대 셀 전송지연 (maximum cell transfer delay', '셀 전송지연 변이 (cell delay variation)' 등이 있다[17]. 본 장에서는 제 III 장에서 제안한 MPEG 비디오 트래픽 모델에 대해 '셀 손실율'과 '최대 셀 전송지연' 관점에서의 큐잉해석을 수행한다. 본 장에서의 큐잉 모델은 그림 8에서와 같이 단일 MPEG 비디오 소스가 입력되고 출력링크 서버는 C (cells/sec)의 고정 셀 레이트로 동작된다. 서버는 충분히 큰 버퍼 크기(무한대로 가정)를 갖으며 도착 셀의 서비스 순서는 FIFO(First Input First Output) 방식으로 서비스 된다고 가정한다.

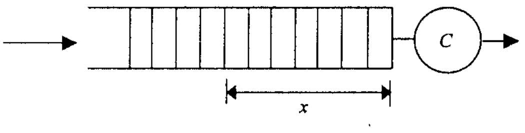


그림 8. 큐잉 모델

이러한 모델에서 사용자가 요구한 '최대 셀 전송지연'을 초과하는 셀은 모두 셀 손실로 생각한다. 사용자의 요구가 단일 노드의 망 품질 파라미터(network performance parameter) 값으로 다음과 같이 변환 될 수 있다.

$$\Pr(B > x) = G(x) \le p \tag{4}$$

위에서 $B$는 버퍼에 쌓이는 셀의 확률과정 이고, $x$와 $p$는 해당노드에서 지켜야 할 '최대 셀 전송지연'에 해당하는 버퍼 크기와 '셀 손실율' 이다. 본 장에서는 단일 소스 입력에 대한 $C$의 출력링크 레이트에

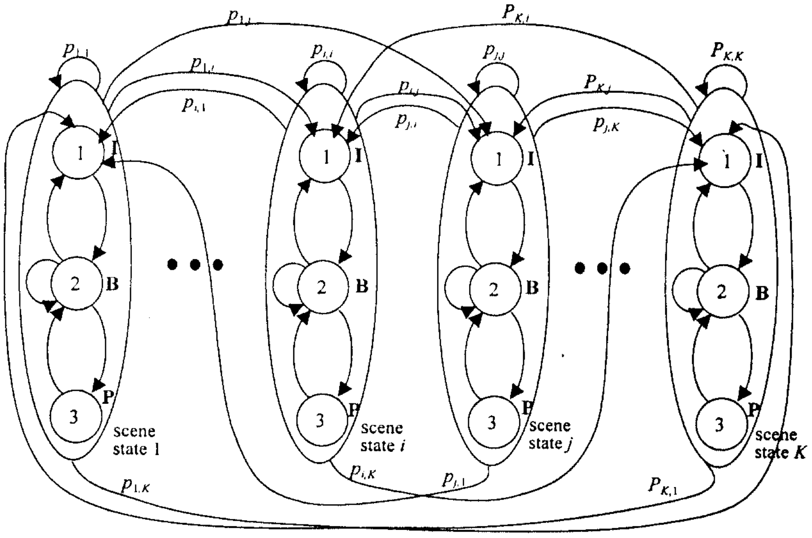


그림 7. 제안된 장면기반 MPEG 비디오 트래픽 모델



www.dbpia.co.kr

서 예측되는 셀 손실율 및 지연 등을 해석한다.

제 III 장의 트래픽 모델에 대하여, $S_n$과 $T_n$을 $n$번째 프레임에 대한 장면상태와 해당 장면상태에서의 프레임 타입 상태를 나타내는 확률과정이라고 정의하면, 제안된 트래픽 모델은 식 (5)의 이차원(two-dimensional) 마코프 체인 프로세스로 표현될 수 있다. 장면상태 $i$의 I, P, B 프레임 타입에 해당되는 상태를 각각 $(i,1)$, $(i,2)$, $(i,3)$으로 표기하고 장면상태 $i$의 평균 I, B, P 프레임 셀 레이트를 각각 $\lambda_{i1}, \lambda_{i2}, \lambda_{i3}$로 표기한다.

$$\{(S_n, T_n), n\geq 0\}$$
$$\text{with state space}\{(i, j) \mid i\in\{i, \cdots, K\},\ j\in\{1,2,3\}\} \tag{5}$$

상태 $(i,j)$에서 $(k,l)$로 천이할 확률을 $p_{(i,j),(k,l)}$로 정의하면, MPEG 비디오 셀 입력 프로세스에 대한 천이 확률 행렬(transition probability matrix) **P**를 얻을 수 있다. **P** 행렬은 $(K\times3)\times(K\times3)$ 크기를 갖고 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$\mathbf{P}=[p_{(i,j)(k,l)}]=\begin{bmatrix} p_{1,1}\mathbf{A} & p_{1,2}\mathbf{B} & \dots & p_{1,K-1}\mathbf{B} & p_{1,K}\mathbf{B} \\ p_{2,1}\mathbf{B} & p_{2,2}\mathbf{A} & \dots & p_{2,K-1}\mathbf{B} & p_{2,K}\mathbf{B} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{K-1,1}\mathbf{B} & p_{K-1,2}\mathbf{B} & \dots & p_{K-1,K-1}\mathbf{A} & p_{K-1,K}\mathbf{B} \\ p_{K,1}\mathbf{B} & p_{K,2}\mathbf{B} & \dots & p_{K,K-1}\mathbf{B} & p_{K,K}\mathbf{A} \end{bmatrix} \tag{6}$$

위식에서 $p_{i,j}$는 장면상태 $i$에서 장면상태 $j$로 천이할 확률이고, 행렬 **A**는 해당 장면상태에서 I, B, P 프레임간 GOP 패턴에 따른 천이확률을 나타내는 식 (7)의 $(3\times3)$ 행렬이다. 행렬 **B**는 현재 장면상태에서 다음 장면상태로 천이할 때 어떤 프레임 타입 상태로 이동하는 가를 나타내는 식 (8)의 $(3\times3)$ 행렬이다. 장면상태 변화 시 항상 다음 장면은 I 프레임에서 시작되므로 행렬 **B**는 첫번째 열(I 프레임 타입 상태에 해당)만 1벡터를 갖고 나머지 열은 $\underline{0}$ 벡터를 갖는다.

$$\mathbf{A}=[p_{(i,j)(i,k)}]=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{M}{N(M-1)} & \frac{M-2}{M-1} & \frac{N-M}{N(M-1)} \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$\mathbf{B}=[p_{(i,j)(j,k)} \mid i\neq j]=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{8}$$

또한, 각 상태 $(i,j)$에서의 셀 레이트를 나타내는 $(K\times3)\times(K\times3)$ 행렬 $\Lambda$를 다음 식 (9)로 정의하면 MPEG 비디오 트래픽은 행렬 조합 $\{\mathbf{P}, \Lambda\}$에 의해 완전히 기술된다.

$$\Lambda=\begin{bmatrix} \lambda_{11} & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{12} & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{13} & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \lambda_{K1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \lambda_{K2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \lambda_{K3} \end{bmatrix}$$
$$=\mathrm{diag}(\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \cdots, \lambda_{K1}, \lambda_{K2}, \lambda_{K3}) \tag{9}$$

위에서 정의된 천이 확률 행렬은 한 프레임 주기마다 천이가 일어나는 이산시간 마코프 프로세스이다. 실제 큐잉 문제는 연속시간으로 해석하는 것이 문제를 해결하기 쉽기 때문에 본 논문에서는 이산시간 시스템을 연속시간 시스템으로 근사화 하여 해석한다. 이산시간 체인의 천이 확률 행렬 **P**는 같은 안정상태(steady state) 확률과 자기상관 함수를 갖는 연속시간 체인의 천이율(transition rate) 행렬 **Q**로 쉽게 변환된다 [10][18].

$$\mathbf{Q}=\tau(\mathbf{P}-\mathbf{I})=\begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{1,1} & \mathbf{Q}_{1,2} & \cdots & \mathbf{Q}_{1,K-1} & \mathbf{Q}_{1,K} \\ \mathbf{Q}_{2,1} & \mathbf{Q}_{2,2} & \cdots & \mathbf{Q}_{2,K-1} & \mathbf{Q}_{2,K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{Q}_{K-1,1} & \mathbf{Q}_{K-1,2} & \cdots & \mathbf{Q}_{K-1,K-1} & \mathbf{Q}_{K-1,K} \\ \mathbf{Q}_{K,1} & \mathbf{Q}_{K,2} & \cdots & \mathbf{Q}_{K,K-1} & \mathbf{Q}_{K,K} \end{bmatrix} \tag{10}$$

여기서 $\tau$는 MPEG 비디오 소스의 초당 프레임 수(frames/sec)이고, **I**는 $(K\times3)\times(K\times3)$ 크기의 단위행렬(identity matrix)이다. $\mathbf{Q}_{i,k}$는 장면상태 $i$의 프레임 타입 상태에서 장면상태 $k$의 프레임 타입 상태로의 천이율을 나타내는 $(3\times3)$ 부 행렬이다.

$B(t)$, $T(t)$, $S(t)$를 각각 시간 $t$에서의 버퍼에 있는 셀 수(가상적인 유체 모델로 해석), 프레임 타입 상태, 장면상태를 나타낼 때, 시간 $t$에 입력 프로세스가 장면상태 $i$와 프레임 타입 상태 $j$에 있고 현재 버퍼 내용이 $x$를 초과 하지 않을 확률은 다음과 같이 정의된다.

$$F_j^i(t, x) = \Pr\{B(t)\leq x,\ T(t)=j,\ S(t)=i\}$$
$$(j\in\{1,2,3\},\ (j\in\{1,\cdots,K\}) \tag{11}$$



www.dbpia.co.kr

시간 $t$에서 $t+\triangle t$까지, 식 (11)의 순방향 천이식(forward transition equation)은 다음과 같다.

$$F_j^i(t+\triangle t, x) = \sum_{l=1, l\neq j}^{3} q_{lj}^{ii} F_l^i(t, x)\triangle t + \sum_{k=1, k\neq i}^{K} \sum_{l=1}^{3} q_{lj}^{ki} F_l^k(t, x)\triangle t + \left\{1-\left[\sum_{l=1, l\neq j}^{3} q_{jl}^{ii} + \sum_{k=1, k\neq i}^{K} \sum_{l=1}^{3} q_{jl}^{ik}\right]\triangle t\right\} F_j^i\{t, x-(\lambda_{ij}-C)\triangle t\} + O(\triangle t^2) \quad (12)$$

여기서, $q_{jl}^{ik}$는 행렬 $\mathbf{Q}_{i,k}$의 $j$ 행, $l$ 열의 원소이다. 식 (12)에서 $-\left[\sum_{l=1, l\neq j}^{3} q_{jl}^{ii} + \sum_{k=1, k\neq i}^{K} \sum_{l=1}^{3} q_{jl}^{ik}\right]$는 장면 상태 $i$, 프레임 타입 상태 $j$, 즉 $(i,j)$ 상태를 빠져나가는 레이트 이므로 이는 와 같다. 따라서,

$$F_j^i(t+\triangle t, x) - F_j^i\{t, x-(\lambda_{ij}-C)\triangle t\} = \sum_{l=1}^{3} q_{lj}^{ii} F_l^i(t, x)\triangle t + \sum_{k=1, k\neq i}^{K} \sum_{l=1}^{3} q_{lj}^{ki} F_l^k(t, x)\triangle t \quad (13)$$

$$\frac{\partial F_j^i(t,x)}{\partial t} + (\lambda_{ij}-C)\frac{\partial F_j^i(t,x)}{\partial x} = \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{3} q_{lj}^{ki} F_l^k(t,x) \quad (14)$$

만약 부하(utilization) $\rho$가 다음을 만족하면, 입력 프로세스는 극한 분포 $\lim_{t\to\infty} F_j^i(t, x) = F_j^i(x)$를 갖는 안정상태에 도달한다 [1].

$$\rho = \frac{E\{\lambda_{ij}\}}{C} < 1 \quad (15)$$

안정상태 분포는 다음 식으로 표현된다.

$$(\lambda_{ij}-C)\frac{dF_j^i(x)}{dx} = \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{3} q_{lj}^{ki} F_l^k(x) \quad (16)$$

벡터 $\mathbf{F}(x)$와 행렬 $\mathbf{D}$를 다음과 같이 정의하면,

$$\mathbf{F}(x) = [F_1^1(x), F_2^1(x), F_3^1(x), F_1^2(x), F_2^2(x), F_3^2(x), \cdots, F_1^K(x), F_2^K(x), F_3^K(x)]^T \quad (17)$$

$$\mathbf{D} = \Lambda - C\mathbf{I} \quad (18)$$

식 (16)의 식은 다음과 같은 단일 행렬식으로 표현된다.

$$\frac{d}{dx}\mathbf{F}(x)\mathbf{D} = \mathbf{F}(x)\mathbf{Q} \quad (19)$$

식 (19)에 대한 안정상태 해는 일반적 마코프 체인의 해석 해로 다음과 같은 형태를 갖는다는 것이 알려져 있다[1][19][20].

$$\mathbf{F}(x) = \sum_{i:\mathrm{Re}z_i<0} a_i \boldsymbol{\varphi}_i e^{z_i x} + \pi \quad (20)$$

위식에서 $\boldsymbol{\pi}$는 상태 $(i,j)$의 안정상태 확률을 나타내는 $(K\times 3)$차 벡터이고, $\boldsymbol{\pi}\mathbf{Q} = \mathbf{0}$, $\sum \pi_{ij} = 1$을 이용하여 구할 수 있다. 또한 $\{z_i, \boldsymbol{\varphi}_i\}$는 고유치/고유벡터(eigenvalue/eigenvector)의 쌍 집합으로 식 (21)의 고유치(eigenvalue) 문제의 해이다.

$$z_i \boldsymbol{\varphi}_i \mathbf{D} = \boldsymbol{\varphi}_i \mathbf{Q} \quad (21)$$

파라미터 조합 $\{a_i\}$는 다음의 경계조건으로부터 얻어지는 선형 방정식을 풀면 구해진다.

$$\lambda_{ij} > C \Rightarrow \pi_{ij} = 0 \quad (22)$$

마지막으로, 주어진 지연한계에 해당하는 버퍼크기 $x$를 초과하는 셀들에 대한 셀 손실률에 대한 해석식은 다음 식 (23)과 같다. < , >는 벡터의 내적을 의미한다.

$$G(x) = \Pr(B>x) = 1 - \langle \mathbf{F}(x), \mathbf{1} \rangle \quad (23)$$

## V. 큐잉해석 결과분석

본 장에서는 제 IV 장의 큐잉해석을 통해 얻은 셀 손실율과 실제 비디오 영상에 대한 모의실험 결과와의 비교 분석을 수행한다. 본 장의 실험에서는 [21]의 미리 MPEG 부호화된 비디오 스트림을 사용하였다. 실험에 사용한 영상은 GOP 패턴이 $N=12$, $M=3$인, 비교적 비트량 발생의 변화가 심한 약 1시간 40분량의 "스타워즈(Starwars)" 영화영상과 30분 분량의 "Talk"영상이다. 각 MPEG 비디오 스트림의 통계적 특성은 표 1과 같다.



www.dbpia.co.kr

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

| | 평균 | | 최대 | | 최소 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 스타워즈 | Talk | 스타워즈 | Talk | 스타워즈 | Talk |
| I 프레임 | 3,931.2 | 4,214.7 | 12,061.6 | 6,951.0 | 765.2 | 2,356.2 |
| P 프레임 | 1,501.9 | 964.5 | 11,347.2 | 4,528.1 | 142.7 | 210.9 |
| B 프레임 | 468.6 | 531.0 | 4,217.7 | 2,343.7 | 30.9 | 135.4 |
| 전 체 | 1,015.5 | 946.4 | 12,061.6 | 6,951.0 | 30.9 | 135.4 |

위 표 1에서 알 수 있듯이 "스타워즈" 실험 영상은 프레임 당 최대 셀 발생과 최소 셀 발생의 차이가 크고, PCR(Peak Cell Rate)이 평균 셀 레이트의 약 12배에 해당하는 상당히 셀 발생률의 변화가 심한 영상이고, "Talk" 영상은 비트 발생량의 변화가 "스타워즈"에 비해 크지 않다. 본 실험에서는 사용한 장면검출 파라미터 및 장면상태 통계는 표 2와 같다.

표 2. 장면검출 파라미터 및 장면상태 통계

| | 스타워즈 | Talk |
|---|---|---|
| $T_1$ | 0.15 | 0.15 |
| $T_2$ | 0.18 | 0.18 |
| 장면 당 평균 GOP 수 | 4.6 | 8.5 |
| 사용된 장면상태 수 | 61 | 44 |

본 장에서는 입력 셀 프로세스의 평균 레이트가 출력 링크 레이트의 30%, 50%, 70%가 되도록 출력링크 레이트 $C$를 설정하여, 최대 셀 전송지연에 해당하는 버퍼크기 $x$를 변화 시켜 가면서 실제 실험 영상의 셀 손실율과 해석적 추정치(식 (23))와의 비교를 수행한다. 그림 9와 그림 10은 셀 손실율에 대한 해석적 추정치가 원 영상의 모의실험 결과에 매우 근사함을 알 수 있다. 특히 본 논문에서 제안한 모델은 입력부하나 버퍼크기에 크게 영향을 받지 않고 실제의 셀 손실율에 대한 근사화 된 해를 제공한다.

두개의 MPEG 비디오에 대한 실험에서 장면검출을 위한 임계치 $T_1$, $T_2$는 장면길이가 평균적으로 수 초가 되도록 임의로 선택하였으며 실제 실험에서 이 임계치 값에 따른 성능의 변화는 거의 관측되지 않았다. 장면상태 수($K$)는 셀손률의 정확한 예측을 위해서는 10~60개 정도의 상태가 정의 되어야 함을 알 수 있었으며, 너무 적은 수의 상태 정의는 해석식의 정확도를 떨어뜨릴 수 있다.

본 실험에서는 실험에 사용된 비디오 시퀀스의 제한된 길이로 인해 실제적인 환경까지의 (ATM 포럼에서 정의에 의하면 상위계층에서의 오류 정정기능의 포함여부 및 비디오 품질 요구사항에 따른 손실율은 $10^{-5} \sim 10^{-9}$까지임) 셀손실율 비교는 수행할 수 없었으나, 그림 9, 10의 결과는 제안된 큐잉 해석식이 다양한 입력 로드 및 셀 지연 조건에서도 원영상의 큐잉동작을 잘 예측함을 보여준다.

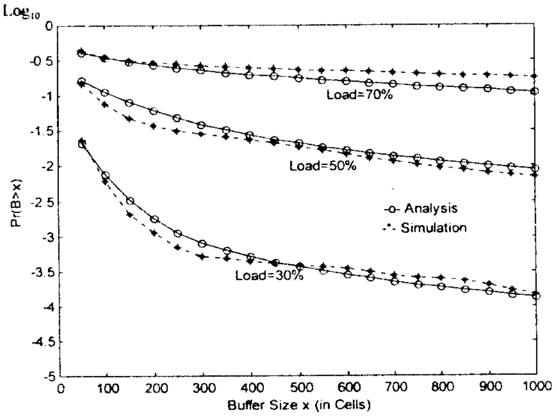


그림 9. "스타워즈" 영상에 대한 셀 손실율 비교

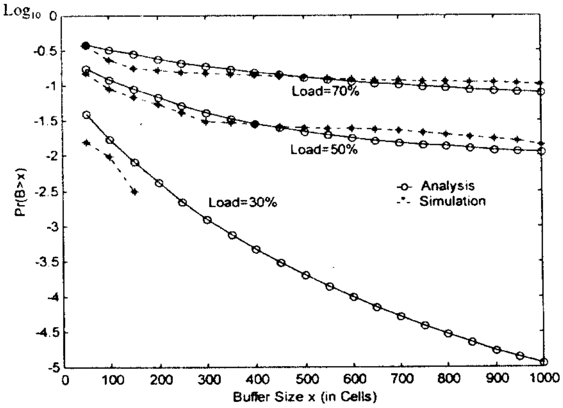


그림 10. "Talk" 영상에 대한 셀 손실율 비교

## VI. 점근적 근사식과 등가 대역폭

지금까지 제안된 MPEG 비디오 트래픽 모델이 원 영상 스트림의 통계적 특성을 잘 표현하고 있으며 근사화 된 수학적 큐잉 해를 구할 수 있음을 보였다.



www.dbpia.co.kr

본 장에서는 이러한 큐잉해석을 이용한 실제적인 응용으로, 사용자 트래픽 특성과 요구되는 QoS를 고려한 망 자원 할당을 위한 등가 대역폭 계산방법을 제시한다.

MPEG 비디오 트래픽에 대해 사용자가 원하는 '셀 손실율'과 '최대 셀 전송지연'을 만족시킬 수 있는 등가 대역폭의 계산은 식 (23) 식을 할당할 출력링크 대역폭 $C$에 대해 풀면 된다. 그러나 식 (23)을 이용해, 요구된 셀 손실율 $p$와 최대 셀 지연 $x$가 주어졌을 때 이에 대응되는 $C$를 구하는 것은 실시간 호 수락제어 시 사용하기에는 너무 복잡한 형태이므로 점근적 근사식 (asymptotic approximation)을 통하여 실시간으로 근사화 된 등가대역폭을 구하는 방법이 필요하다. 식 (20)의 버퍼내용의 분포함수는 식 (21)의 고유치 문제에서 음의 실수에 해당하는 고유치와 대응되는 고유벡터만으로 이루어진 함수식이다. 실제 이 함수식에 가장 큰 영향을 미치는 것은 가장 큰 음의 값을 가지는 고유치와 대응되는 고유벡터 임이 알려져 있다[19][20][22]. 또한 버퍼크기 $x \to \infty$에 따라 식 (20)은 가장 큰 음의 고유치와 고유벡터로 만의 식에 점근적으로 수렴한다. 따라서 본 논문에서는 식 (24)와 같이 가장 큰 음의 고유치와 고유벡터에 따른 점근적 근사식을 이용하여 근사화 된 등가대역폭을 계산한다. 여기서 max는 가장큰 음의 고유치와 고유벡터에 대응하는 인덱스 이다.

$$\mathbf{F}(x) = a_{\max}\, \boldsymbol{\varphi}_{\max}\, e^{z_{\max} x} + \boldsymbol{\pi} \tag{24}$$

그림 11과 그림 12는 "스타워즈"와 "Talk" MPEG

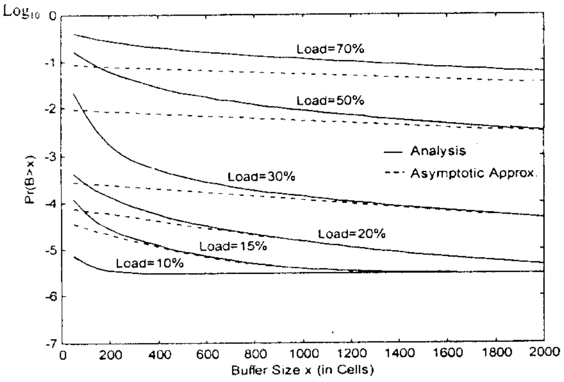


그림 11. "스타워즈" 영상에 대한 해석식과 점근적 근사식의 비교

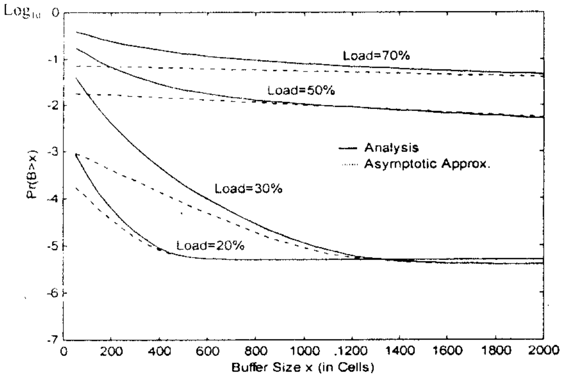


그림 12. "Talk" 영상에 대한 해석식과 점근적 근사식의 비교

비디오 스트림에 대해 제안된 모델링 방법에 대한 식 (20)의 해석식과 점근적 방법의 근사치에 대한 비교를 보여준다. 그림 11과 그림 12에서 알 수 있듯이 사용자가 요구하는 셀 손실율이 $10^{-3}$ 보다 작거나 최대 셀 전송지연에 해당하는 버퍼크기가 비교적 클 때 점근적 근사방법은 해석식을 잘 근사화 한다.

A. I. Elwalid *et. al*[20]와 G. Kesidis *et. al*[22]는 식 (19)로 표현되는 일반 마코프 체인의 등가 대역폭을, 위에서 설명한 점근적 근사화에 기초하여 구하는 방법을 제안하였다. 결국 사용자 요구사항을 만족시키는 입력 마코비안 트래픽에 대한 등가 대역폭은 식 (25)의 행렬에 대한 식 (26)로 정의 되는 양의 최대 고유치 $g_1(z_1)$에 해당한다.

$$\mathbf{A}(z_1) = \boldsymbol{\Lambda} - \frac{1}{z_1}\,\mathbf{Q} \tag{25}$$

$$g_i(z_1)\,\boldsymbol{\varphi} = \boldsymbol{\varphi}\mathbf{A}(z_1) \tag{26}$$

여기서, $z_1$ = 식 (21)로 부터 얻어지는 고유치중 가장 큰 음의 값.

$z_1$은 $p \to 0$ ($p$는 단일 노드문제에서 사용자가 요구하는 셀 손실율), 이고 $x \to \infty$ ($x$는 최대 셀 전송지연에 대응하는 버퍼크기) 일 때 식 (27) 값에 수렴한다[19][20][22][23].

$$z_1 \to \frac{\log p}{x} \tag{27}$$



www.dbpia.co.kr

따라서 제안된 MPEG 비디오 트래픽 모델에 대한 등가 대역폭은 식 (25)와 식 (26), (27)에 의해 근사적으로 구해진다. S개의 비디오 소스들이 서로 다른 QoS 요구사항과 트래픽 특성 $\{\mathbf{Q}^{(s)}, \Lambda^{(s)}\}$을 가지고 입력될 때 필요한 등가 대역폭은 식 (28)이 된다.

$$C = \sum_{s=1}^{S} g_1^{(s)}(z_1^{(s)}) \tag{28}$$

그림 13은 "스타워즈" MPEG 영상에 대해 버퍼크기가 100~2000 셀 까지, 셀 손실율을 $10^{-2}$~$10^{-9}$까지 변화 시킬 때, 제안된 큐잉모델로 부터의 $\{\mathbf{Q}, \Lambda\}$를 이용하여 계산한 등가 대역폭의 변화를 나타낸다. 등가 대역폭은 표 1의 평균 셀 레이트로 정규화 되었으며, 참고로 만약 최대 셀 발생률로 대역폭을 할당할 경우 평균 셀 레이트의 12배에 해당하는 망 자원이 필요하게 된다.

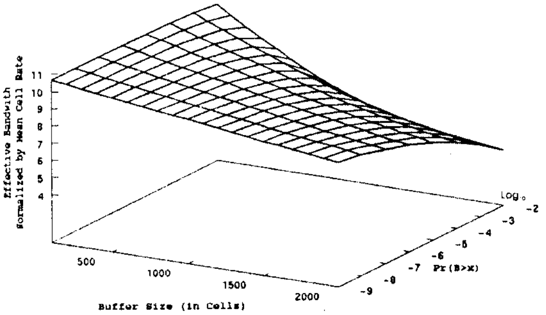


그림 13. "스타워즈" 영상에 대한 등가대역폭 변화

## VII. 결 론

ATM기반의 B-ISDN 망의 효율적인 운용과 사용자가 원하는 서비스 품질 요구사항을 만족시키기 위해서는 먼저 트래픽의 특성을 분석하고, 이에 대한 효과적인 트래픽 제어가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 트래픽에 대한 정확한 모델링과 큐잉해석에 대한 연구가 이루어 져야 한다.

본 논문에서는 ATM 망에서 가변비트율의 MPEG 비디오 스트림에 대한 트래픽 모델링과 큐잉해석을 통한 셀 손실율과 지연 관점의 큐잉성능 추정 및 등가 대역폭 할당에 관한 문제를 고찰하였다. 본 논문에서 제안한 MPEG 비디오 스트림 모델링 방법은 긴 주기의 비트 스트림의 변화 패턴을 모델링하기 위해 장면 단위 비트 발생량을 기반으로 한 상태천이 모델을 세우고 장면상태 내에서의 프레임 타입간 비트 발생량의 상관관계와 GOP 패턴을 고려하여 각 프레임 타입별 비트 발생량을 마코프 체인으로 모델링 하였다. 제안된 모델링 방법에 대한 큐잉해석을 통하여 QoS 파라미터에 대한 큐잉 성능 해를 제시하고, 해석적 방법의 해가 실제 원 영상의 큐잉성능을 잘 근사화 함을 보였다. 또한 실시간 대역할당을 위하여 점근적 근사화 방안을 이용한 등가 대역폭 할당방법을 제안하였다.

## 참 고 문 헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. D. M. Lucantoni, M. F. Neuts, and A. R. Reibman, "Methods for performance evaluation of VBR video traffic models", IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 2, No.2, pp.176-180, 1994.
5. M. Nomura, T. Fujii, and N. Ohta, "Basic characteristics of variable rate video coding in ATM environment", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.7, No.5, pp. 752-760, 1989.
6. A. L. Corte, A. Lombardo, S. Palazzo, and S. Zinna, "Modeling activity in VBR video sources", Signal Processing : Image Communications 3, pp. 167-178, 1991.
7. G. Ramamurth, and B. Sengupta, "Modeling and analysis of a variable bit rate video multiplexer", IEEE INFOCOM'92, pp. 817-827, 1992.
8. F. Yegenoglu, B. Jabbari, and Y. Zhang, "Motion-classified autoregressive modeling for variable bit



www.dbpia.co.kr

rate video", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.3, No.1, pp.42-53, 1993.
9. 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.
10. P. Skelly, M. Schwartz, and S. Dixit, "A histogram-based model for video traffic behaviour in an ATM multiplexer", IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 1, No.4, pp. 446-459, 1993.
11. M. Krunz, and H. Hughes, "A traffic model for MPEG-coded VBR streams", IEEE ICC'95, 1995.
12. O. Rose, "Simple and efficient models for variable bit rate MPEG video traffic", Performance Evaluation 30, pp. 69-85, 1997.
13. M. Krunz, and S. Tripathi, "Scene-based characterization of VBR MPEG-compressed video traffic", ACM SIGMETRICS '97, University of Maryland CS-TR-3573, 1997.
14. N. Mitrou, A. Andreatos, N. Lykouropoulos, and E. Protonotarious, "Transmission of MPEG streams through B-ISDN : tailoring profiles and levels to ATM channels", VCIP'94, SPIE Vol. 2308, pp. 1940-1951, 1994.
15. C. Ohta, K. Shinagawa, and Y. Onozato, "Cell loss properties for multiplexing of MPEG video sources considering picture coding types in ATM networks", IEEE ICC'96, 1996.
16. 유상조, 김성대, "장면기반 MPEG 비디오 트래픽 모델링 및 성능분석", JCCI '98, 1998.
17. "Traffic Management Specification Version 4.0", ATM Forum Technical Committee, 1996.
18. B-H. Roh, J-K. Kim, "An efficient traffic control framework for VBR MPEG video sources in ATM networks", IEEE ICC'97, 1997.
19. D. Anick, D. Mitra, and M. M Sondhi, "Stochastic theory of a data handling system with multiple sources", Bell Syst. Tech. J., Vol. 61, pp. 1871-1894, 1982.
20. A. I. Elwalid, and D. Mitra, "Effective bandwidth of general Markovian traffic sources and admission control of high speed networks", IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol.1, No. 3, pp. 329-343, 1993.
21. ftp-info3.informatik.uni-wuerzburg.de/pub/MPEG/
22. G. Kesidis, J. Walrand, and C.-S. Chang, "Effective bandwidth for multiclass Markov fluids and other ATM sources", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.1, No.4, pp. 424-428, 1993.
23. R. Guerin, H. Ahmadi, and M. Naghshineh, "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 9, No.7, pp. 968-981, 1991.

유 상 조(Sang-Jo Yoo) 정회원
1966년 10월 15일생
1984년 3월～1988년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
1988년 3월～1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
1990년 3월～현재 : 한국통신 연구개발본부 전임연구원
1997년 3월～현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정
<연구분야> 멀티미디어 통신, 트래픽 모델링 및 큐잉 해석, 멀티미디어 QoS 제어

박 수 열(Soo Yeal Park) 정회원
1965년 3월 14일생
1983년 3월～1987년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1988년 3월～1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
1990년 3월～1994년 9월 : 한국통신 통신망연구소
1994년 10월～1995년 8월 : Hankuk Microtec Research
1995년 9월～현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정
<연구분야> 멀티미디어 통신, 영상압축 및 전송, Networking, RealTime OS



www.dbpia.co.kr

김 성 대(Seong-Dae Kim) 정회원
1953년 12월 26일생
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
<연구분야> 영상처리, 영상통신, 컴퓨터 비젼, VLSI 구현등



www.dbpia.co.kr