

MPEG 비디오 소스의 특성화 및 트래픽 모델링에 관한 연구

전 용 희[†] · 박 정 숙^{††}

요 약

광대역 종합정보 통신망에서 주문형 비디오 서비스 등의 멀티미디어 서비스가 본격적으로 도입됨에 따라 압축된 비디오의 전송이 전체 통신망 트래픽의 상당 부분을 차지할 것으로 기대된다. 따라서, 가변 비트율로 부호화된 비디오가 통계적 이득과 일정한 비디오 품질을 제공할 수 있는 장점 때문에 많이 사용이 될 것이다. 비디오 트래픽을 전송하기 위해서는 음성 및 데이터 보다 많은 대역폭을 요구하기 때문에 ATM 통신망에서의 적절한 자원 할당 기법의 설계를 위하여 비디오 소스의 특성화와 트래픽 모델링은 아주 중요하다. 그리고 셀 손실, 지연 및 지터 등과 같은 성능 척도를 분석하기 위하여도 적절한 통계적 소스 모델이 필요하다.

본 논문에서는 MPEG 비디오 소스에 대한 특성화와 트래픽 모델링에 대하여 분석 기술하였다. 모델들을 크게 두 가지 즉, 통계적 모델과 결정적 모델로 분류하였다. 통계적 모델에서는 AR(autoregressive), Markov, Markov와 AR의 복합, TES, 그리고 자기유사 모델로 분류하였다. 결정적 모델에서는 (σ, ρ) , 매개변수화된 모델, D-BIND, Empirical Envelopes 모델로 분류하였다. 각 모델들에 대한 특성, 장점 및 단점을 분석하고, 각 모델의 복잡도에 대하여 비교 분석하였다.

A study on the characterization and traffic modeling of MPEG video sources

Yong-Hee Jeon[†] · Jung-Sook Park^{††}

ABSTRACT

It is expected that the transport of compressed video will become a significant part of total network traffic because of the widespread introduction of multimedia services such as VOD(video on demand). Accordingly, VBR(variable bit-rate) encoded video will be widely used, due to its advantages in statistical multiplexing gain and consistent video quality. Since the transport of video traffic requires larger bandwidth than that of voice and data, the characterization of video source and traffic modeling is very important for the design of proper resource allocation scheme in ATM networks. Suitable statistical source models are also required to analyze performance metrics such as packet loss, delay and jitter.

In this paper, we analyzed and described on the characterization and traffic modeling of MPEG video sources. The models are broadly classified into two categories: i.e., statistical models and deterministic models. In statistical models, the models are categorized into five groups: AR(autoregressive), Markov, composite Markov and AR, TES, and self-

* 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

† 정 희 원 : 대구효성가톨릭대학교 전자정보공학부 교수

†† 준 희 원 : 대구효성가톨릭대학교 대학원 전산통계학과

논문접수: 1998년 5월 22일, 심사완료: 1998년 9월 3일

similar models. In deterministic models, the models are categorized into (σ, ρ) , parameterized model, D-BIND, and Empirical Envelopes models. Each model was analyzed for its characteristics along with corresponding advantages and shortcomings, and we made comparisons on the complexity of each model.

1. 서 론

정보화 사회의 도래가 가까워지고, 관련 산업 기술이 발전함에 따라 사용자의 요구가 단순한 문자 및 음성 정보 서비스에서 멀티미디어 서비스에 대한 요구로 변하고 있다. 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 통신망의 고속화가 요구되고, 이러한 배경에서 광대역 종합정보 통신망(B-ISDN: Broadband Integrated Services Digital Networks)이 출현하게 되었다. ATM(Asynchronous Transfer Mode)은 B-ISDN을 구현하기 위하여 필요한 교환 및 전송 기술이다.

B-ISDN망에서 수용할 대표적인 트래픽들로 음성, 데이터, 이미지(정지화상), 동화상(혹은 비디오) 등이 있다. 그 중에서 주문형 비디오(VOD: Video On Demand) 서비스 등의 대중화에 따라 가까운 장래에 압축된 비디오의 전송이 통신망을 지배할 것으로 예상된다. 그러므로, 가변 비트율(VBR: Variable Bit Rate)로 부호화된 비디오가 통계적 이득(statistical gain)과 일정한 비디오 품질을 제공할 수 있는 장점 때문에 통신망 트래픽의 상당 부분을 차지하게 될 것이다. 동화상 트래픽을 전송하기 위해서는 음성 및 데이터보다 넓은 대역폭(bandwidth)을 요구하기 때문에 동화상 트래픽에 대한 통계적 특성화(statistical characterization)가 적절한 ATM 통신망 구조와 자원 할당 방법의 설계를 위해서 필수적으로 해야 할 일이다. 망 시스템 개발자들은 통신망에서 제공하는 통신 서비스의 품질을 보장하기 위하여 트래픽 소스들이 통신망에 미칠 영향을 충분히 고려하여야 한다. 이를 위하여, 셀 손실, 지연 및 지터와 같은 성능 척도를 분석하기 위하여 적절한 통계적 소스 모델이 필요하다.

B-ISDN 구현의 성공 여부는 동화상 서비스를 어떻게 효율적으로 제공하는가에 달렸다 해도 과언이 아니다. 통신망 내에서 동화상 정보의 전송이 필요한 대표적인 서비스로는 원격 교육(Distance Learning), 원격 의료(Tele-medicine), 주문형 비디오, 전자상거래 시스템 등 여러 가지가 있다. 그러므로, 미래의 멀티미디어 서비스를 효과적으로 수행하기 위해서는 동화상 정보가

원활하게 유통이 될 수 있도록 하는 것이 필수적이다.

동화상 트래픽에 대한 특성을 이해하기 위해서는 동화상 트래픽의 비트율에 대한 지식이 필요하다. 비트율에 대한 통계적 특성화가, 멀티미디어 통신망에서 가장 중요한 기술적인 문제의 하나인 적절한 자원 할당(Resource Allocation) 알고리즘을 개발하기 위해서 필요하다. ATM 통신망을 사용함으로써, 가변 비트율 비디오 전송이 가능하고 비디오 소스 본래의 군집성(burstiness)을 이용할 수 있다.

근래에 동화상 정보의 세계적인 표준으로 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11에서 개발된 MPEG(Moving Picture Expert Group) 비디오 부호화 알고리즘이 채택되었다 [8]. 이와 같이 MPEG이 멀티미디어 통신을 위한 비디오 신호의 전송을 위한 표준화된 부호화 기법으로 선택됨에 따라서 MPEG 트래픽에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 그러나, 적절한 비디오 트래픽 모델을 선정하기 위해서는 각 모델의 특성 및 장단점을 잘 이해하여야 한다. MPEG 압축 알고리즘에 의하여 생성되는 비디오 트래픽은 알고리즘의 특성상 매우 군집적인 특성을 가지고 있고, 프레임들이 상호 관련되어 있어 트래픽 모델링을 더욱 어렵게 만든다. 따라서, 본 논문에서는 적절한 MPEG 비디오의 모델 선정을 위하여, 통계적 소스 모델과 결정적 모델의 대표적인 모델들에 대한 특성을 기술하고 각 모델을 비교 분석하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 절에서는 MPEG의 구조에 대하여 기술하였으며, 제 3 절에서는 MPEG 비디오 트래픽의 실험 데이터의 통계적 특성을 제시하고 분석하며, 제 4 절에서는 MPEG 비디오를 위한 통계적 모델을 제시하였으며, 제 5 절에서는 결정적 트래픽 모델에 대하여 기술하며, 제 6 절에서 평가 및 교찰을 하고, 제 7 절에서 결론으로 본 논문의 끝을 맺는다.

2. MPEG의 구조

압축된 비디오 트래픽은 가변 비트율을 가지는 스트림 트래픽이다. MPEG-1은 15Mbps에서 운영되며

CD-ROM과 같은 디지털 저장매체를 위한 비디오 신호의 압축을 다루고 있고, MPEG-2는 HDTV를 포함하는 보다 높은 품질의 부호화를 위한 것이다.

MPEG-2 부호화 알고리즘은 시간적(temporal), 공간적(spatial) 양 측면에서 비디오 소스에 대한 압축을 수행한다. 공간적 중복성은 이산 여현 변환(DCT: discrete cosine transform)과 엔트로피 코딩으로 제거하고, 시간적 중복성은 움직임 보상(motion compensation)을 이용하여 제거한다. 부호화된 스트림에서는 아래와 같은 세 가지 형태의 프레임이 존재한다:

- I(Intra) 프레임 : DCT 및 엔트로피 코딩에 기초하여 인트라 프레임(Intra-frame) 코딩만 사용한다. 즉, I 프레임은 코딩의 시작 부분으로서 이전의 프레임에 대한 정보를 이용하지 않고 독립적인 코딩에 의하여 얻어지는 프레임이다.

- P(Predictive) 프레임 : I 프레임과 유사한 코딩 알고리즘을 사용하나, 바로 이전의 I 또는 P 프레임으로부터 순방향 예측을 통하여 움직임 보상을 추가하여 얻어지는 프레임이다.

- B(Bi-directional) 프레임 : 움직임 보상이 이전의 I 또는 P 프레임, 다음의 I 또는 P 프레임, 혹은 그들 사이의 보간(interpolation)을 이용하는 것을 제외하고는 P 프레임과 유사하다. 즉, B 프레임은 이전 프레임과 다음에 나오는 I 또는 P 프레임의 내용을 고려한 양방향 예측을 통하여 얻어지는 프레임이다.

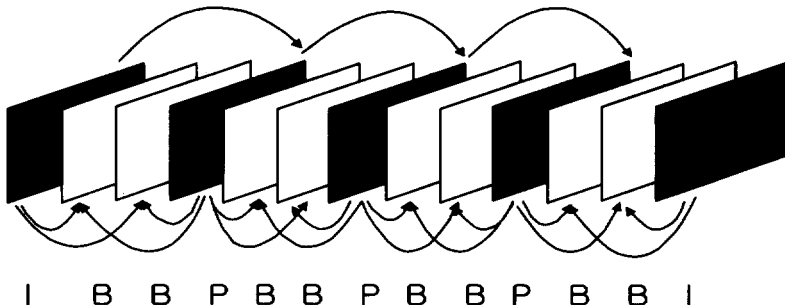
대표적으로, I 프레임은 P 프레임보다 많은 비트를 요구한다. B 프레임이 가장 낮은 대역폭 요구사항을 가지고 있다.

이와 같이 코딩된 프레임은 결정적인(deterministic)

주기적 순서로 배열된다. 예를 들어, IBBPBBPBBPBB와 같은 GOP(Group of Picture) 구조를 가진다. 그림 1에서 GOP 크기가 12인 MPEG 프레임을 보여준다. 일반적으로 전체 영상 스트림은 이와 같이 GOP 구조가 주기적인 패턴을 가진다. 그림 1에서는 두 I 프레임 사이의 수(N)가 12이고, I 프레임과 다음의 P 프레임 또는 연속하는 P 프레임 사이의 수(M)가 3인 경우를 보여준다.

3. MPEG 소스의 통계적 특성(Statistical Characteristics)

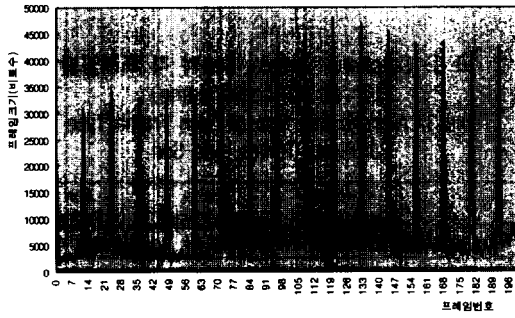
이 절에서 제시된 결과는 세 개의 MPEG 비디오 시퀀스를 사용하여 생성되었다. 그림 2는 스타워즈(Star Wars), 터미네이터-II, 양들의 침묵 트래이스 데이터의 비트율을 보여준다[7]. 그림 2에서 보는 것과 같이 비트율은 매우 군집적인 특성을 보여주고 있다. 군집성은 MPEG 압축 알고리즘에 의하여 생성되는 3가지 형태의 다른 프레임에 기인한다. 그림에서 I-프레임, B-프레임, P-프레임을 쉽게 식별할 수 있다. I-프레임이 비트율이 가장 크고 B-프레임이 가장 작다. 특히, GOP 시작점인 I 프레임의 위치에서 최대 트래픽이 발생함을 볼 수 있다. 그리고 같은 형태의 프레임 크기는 크게 상호관련(correlated)되어 있음을 알 수 있으며, GOP 패턴에 의한 의사 주기적인(pseudo-periodic) 특성을 보여준다. 그러므로 비디오 모델링에서 고려해야 할 통계적 특성은 자기상관함수(autocorrelation function)가 있다. 자기상관함수의 특성은 트래픽의 시간단위의 상관관계를 표시하며 통신망에서의 자원할당 기법에서 고려해야 할 중요한 변수로 작용한다. 이러한 VBR



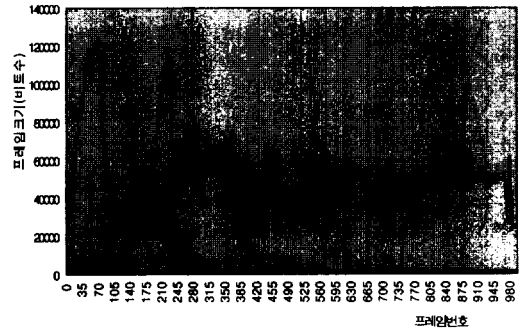
(그림 1) MPEG GOP 구조의 예
(Fig. 1) An Example of MPEG GOP Structure

MPEG 비디오의 통계적 특성은 트래픽 모델링을 어렵게 만든다.

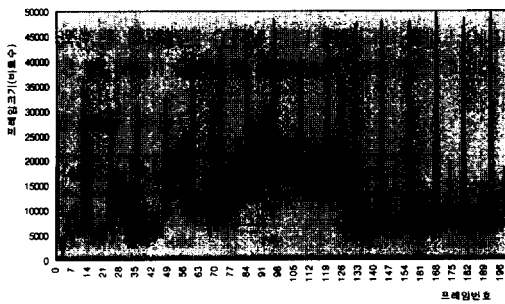
그림 3은 스타워즈의 I, P, B 프레임 형태별 비트율을 보여준다.



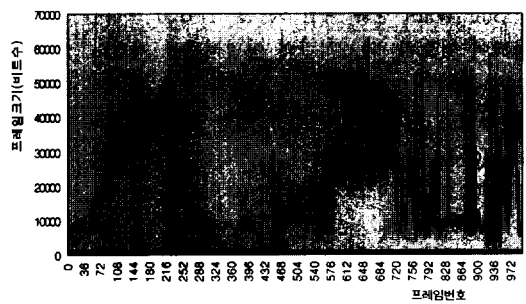
(a) 스타워즈



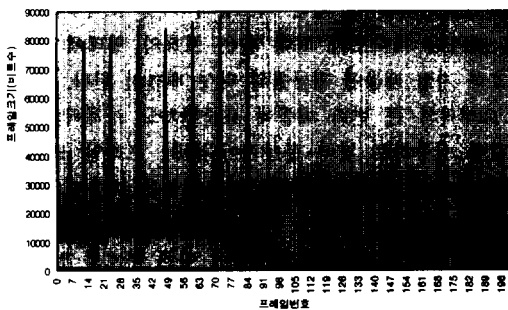
(a) I frames



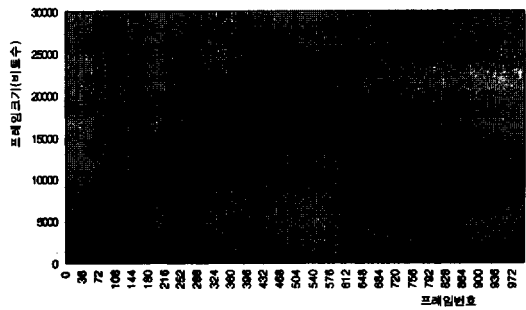
(b) 터미네이터-II



(b) P frames



(c) 양들의 침묵

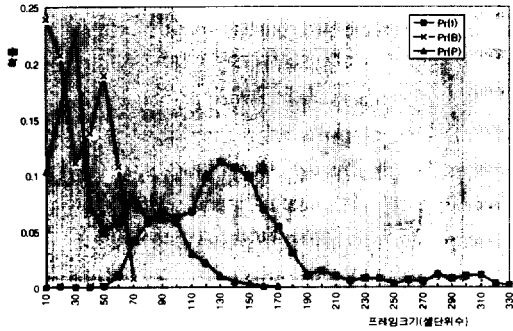


(c) B frames

(그림 2) MPEG 프레임의 비트율 변화
(Fig. 2) Bit Rate Variation of MPEG Frames

(그림 3) 스타워즈의 프레임 형태별 비트율 변화
(Fig. 3) Bit Rate Variation by Frame Types in the Star Wars

그림 4는 스타워즈의 I, P, B 프레임들의 프레임 크기별 히스토그램(histogram)이다.



(그림 4) 스타워즈의 프레임별 히스토그램
(Fig. 4) Histogram by Frame Types in the Star Wars

Star Wars 영화 시퀀스는 총 174126 프레임으로 구성되어 있으며, 약 2시간의 상영시간을 가진다. 그리고 GOP 크기는 12, $M=3$ 이며 표 1과 같은 통계적 데이터를 가지고 있다[29]. 여기서 셀당 48 바이트의 유효부하(payload)를 가정하였다.

<표 1> 영화 스타워즈 시퀀스의 통계적 데이터
(Table 1) Statistical Data of the Movie Star Wars Sequence

| 프레임 형태 | 수 | 평균(cells) | 최소값(cells) | 최대값(cells) | 변화 계수 |
|--------|--------|-----------|------------|------------|-------|
| 전체 | 174126 | 41.12 | 2 | 483 | 1.15 |
| I | 14511 | 157.74 | 31 | 483 | 0.33 |
| B | 116084 | 19.25 | 2 | 169 | 0.65 |
| P | 43531 | 60.58 | 6 | 454 | 0.63 |

MPEG 스트림에 대하여 I, B, P 세 가지 종류의 picture가 ATM 망에서 평균적으로 몇 개의 셀을 가지는가에 대한 결과를 표 2에서 보여주고 있다[35].

<표 2> MPEG 스트림의 각 프레임별 평균 셀 크기(cells /frame)
(Table 2) Average Cell Size of Each Frame Type in MPEG Streams

| 프레임 형식 | 프레임당 셀 수 |
|--------|----------|
| I 프레임 | 200~500 |
| B 프레임 | 15~50 |
| P 프레임 | 30~200 |

표 3은 Carphone, Tennis 그리고 Son의 부호화된 MPEG 스트림의 통계 데이터를 보여준다[35, 7]. GOP 크기는 12($N=12$)이며, $M=3$ 인 구조를 가지고 있다. 여기서 셀당 48바이트의 유효부하(payload)를 가정하였다.

<표 3> Carphone, Tennis, Son의 각 프레임별 평균 셀 크기(cells/frame)
(Table 3) Average Cell Size of Each Frame Type in Carphone, Tennis, and Son

| 프레임 형식 | Carphone [cells/frame] | Tennis [cells/frame] | Son [cells/frame] |
|--------|------------------------|----------------------|-------------------|
| I 프레임 | 182.90 | 240.02 | 384.90 |
| B 프레임 | 15.81 | 35.40 | 40.90 |
| P 프레임 | 32.33 | 169.00 | 222.67 |

표 4는 5개의 비디오에 대한 MPEG 트래픽의 통계적 특성을 보여준다.

<표 4> 5개의 비디오에 대한 MPEG 트래픽의 통계적 특성
(Table 4) Statistical Properties of MPEG Traffic for 5 Video

(단위: cells/frame)

| 비디오 | 평균(mean) | 표준편차 | 최대(peak) | 최대 대 평균비 |
|--------------|----------|------|----------|----------|
| star trek | 111 | 99 | 474 | 4.27 |
| football | 202 | 180 | 1004 | 4.97 |
| bike | 90 | 86 | 304 | 3.38 |
| table tennis | 173 | 182 | 582 | 3.36 |
| us | 60 | 52 | 263 | 4.38 |

표 4에서는 군집성의 척도로 가장 보편적으로 사용되고 있는 최대 대 평균 비트율의 비를 보여주고 있다. MPEG 비디오의 최대 율은 프레임 형태에 따른 부호화 기법 때문에 평균률의 다섯 배까지 된다. MPEG 트래픽의 큰 변화 때문에 표준편차도 트래픽의 평균값에 상응하는 것이 통상적이다[16]. 프레임 크기의 분포 이외에, MPEG 비디오 스트림들은 다음과 같은 상관(correlations) 성질을 가지고 있다[28].

- 1) 일정한 GOP 형태의 사용에 따른 부호화 알고리즘에 의하여 도입되는 주기적인 의존성,
- 2) 처음 수십 lag동안 GOP 크기의 강한 양(positive)의 상관, 여기서 GOP 크기는 하나의 GOP 프레임 크기들의 합으로 정의된다.
- 3) LRD(long-range dependence) 특성 즉, GOP 크기 시퀀스의 Hurst 파라미터는 0.5보다 크다.

4. 통계적 트래픽(Statistical Traffic) 모델

4.1 개요

기존의 비디오 트래픽 모델들은 영상 부호화 방법을 고려하지 않고, 비트율의 분포, 다른 1차(first order) 통계치 및 자기상관함수(autocorrelation functions)와 같은 어떤 비디오 소스의 통계적 파라미터를 정합하는데 그 초점을 맞추어 왔다. MPEG 트래픽은 GOP 구조로 인하여 추가적인 문제가 발생한다. 결과적으로, 대표적인 MPEG 구조는 비트율 특성에서 의사-주기적(quasi-periodic) 피크를 보여주게 된다. 그러므로, 상대적으로 높은 피크율이 요구되고 평균률은 그보다 훨씬 낮게 된다.

VBR 부호기에 의하여 생성되는 비트율은 영상화면, 영상 부호화 알고리즘, 그리고 화질 요구사항 등에 기인한다. 영상 소스모델은 비동기 전달 모드 통신망의 성능 평가 및 트래픽 제어를 위하여 간단하면서도 효과적인 변수들을 가져야 한다. 다른 형태의 비디오 트래픽, 즉, 방송 텔레비전, 영상회의 및 (말하고 듣는 사람을 보여주는) 좀더 긴 비디오 전화 순서에 대해서는, 두 가지의 상관관계가 존재하는 것이 분명하다. 그것은 비교적 빨리 없어지는 단기간의 상관(short-term correlation)과 천천히 사라지는 장기간의 상관(long-term correlation)이 된다. 단기간의 상관은 비트율에 있어서 조그만 변동(fluctuation)이 있는 균일한 활동에 해당되며, 그것의 영향은 수백 밀리 초의 단위동안 지속된다. 장기간 상관은 갑작스러운 화면 변경에 해당되며 그것의 영향은 수 초 단위동안 지속된다[30]. 긴 시간동안의 이러한 군집성이 유효한 트래픽 제어방법을 설계하는데 아주 중요하다.

지금까지 제안된 비디오 트래픽 모델은 크게 5가지의 범주로 분류될 수 있다: AR(Auto Regressive), Markov, AR과 Markov의 혼합 모델, TES 모델, 그리고 자기 유사(self-similar) 모델.

4.2 AR(autoregressive) 모델

MPEG에서는 영상 신호의 압축을 위하여 영상신호의 공간적 중복성과 시간적 중복성을 이용하므로, 인접한 영상은 상관관계가 높게 된다. 즉, 시간적으로 인접한 영상은 상관관계가 높으므로 이전 프레임에 의하여 다음 프레임을 예측하는 것이다. 이런 비례관계를 이용한 비디오 트래픽 모델이 AR 프로세스 모델이다.

[22]에서는 1차 AR 프로세스를 장면 변경이 없는 비디오 트래픽 모델링에 사용하였고, [30]에서는 이를 확장하여 장면의 전환이 있는 경우의 모델에 사용하였다.

M차 AR 프로세스는 (1)과 같이 기술될 수 있다.

$$\lambda(n) = \sum_{m=1}^M a_m \lambda(n-m) + bw(n) \quad (1)$$

여기서 $\lambda(n)$ 은 n번째 프레임동안 단일 소스의 비트율을 나타낸다. M은 모델 차수(order)이다. $w(n)$ 은 독립적인 가우스 확률 변수(random variable)의 순서(sequence)이며, $a_m (m=1, 2, \dots, M)$ 및 b는 계수이다. 만약 $w(n)$ 의 통계적 행위가 알려진다면, 다음 프레임의 비트율 $\lambda(n)$ 이 현재 프레임 비트율 $\lambda(n-1)$ 과 $w(n)$ 의 분포로부터 통계적으로 예측될 수 있다. 프로세스 $\lambda(n)$ 은 지수적인 자기공분산(autocovariance)을 가진 정상상태(steady state)를 가진다. 비트율이 평균치보다 작을 때는 증가하는 경향이 있고, 평균치보다 클 때는 감소하는 경향이 있는 성질을 가지는 것이 바람직하다 [13].

AR(2) 모델은 움직임이 거의 없는 비디오 회의 형태를 위한 프레임 계층에서 비트 및 셀들의 통계치를 포착하는데 좋은 결과를 제공하는 것으로 알려져 있다. 이 모델에 대한 계수는 lag 1에서 자기상관 계수를 사용하는 실험 데이터로부터 평가하는 것이 단순하다.

AR 모델은 장면 변경 없는 단일 비디오 소스의 비트율을 상당히 적절하게 근사화할 수 있게 한다. 그러나, AR 프로세스 모델은 큐잉모델 해석의 복잡성으로 인하여 추적할 수 없을 정도로 된다. 이 모델은 시뮬레이션에서의 사용에 더 적합하다.

AR 프로세스에 (2)와 같이 MA(moving average) 프로세스를 추가하면 ARMA(AR moving average) 프로세스 모델이 된다.

$$x(n) = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i x(n-i) + \sum_{j=0}^q b_j e(n) \quad (2)$$

ARMA 프로세스는 대표적으로 ARMA(p, q)로 기술되며, 여기서 p는 AR 부분의 차수(order)이며 q는 MA 부분의 차수이다. 계수 b_j 를 결정하는 것은 AR 프로세스보다 더 복잡하며 통상적으로 스펙트럼 분석이 요구된다.

4.3 Markov 모델

4.3.1 이산상태 연속시간 Markov 모델

이 모델에서는, 비트율이 유한개의 이산 준위(level)

로 양자화(quantize)된다. 준위 사이의 천이는 현재 준위에 의존하는 지수적인 천이율을 가지고 일어난다고 가정한다. 프로세스 $\lambda(t)$ 는 임의의 포와손 시간에 이산 점프로 연속시간 프로세스 $\overline{\lambda(t)}$ 에 의하여 근사화된다. 이 근사화는 양자화 스텝 A 를 감소시키고 표본율(sampling rate)을 증가함으로써 개선될 수 있다. $\overline{\lambda(t)}$ 의 상태 천이 다이어그램을 그림 5에서 보여주고 있다.

프로세스 $\overline{\lambda(t)}$ 는 여러 소스들의 집합(aggregation) 뿐만 아니라, 단일 소스를 묘사하기 위하여 사용될 수 있다. N 비디오 소스들로부터의 집합적인 도착 프로세스는 $M+1$ 준위들 사이를 천이할 수 있다. 그것의 상태 공간은 최대 준위까지의 양자화된 준위의 집합이 된다. 양자화 스텝의 값들을 결정하기 위하여, 프로세스 $\overline{\lambda(t)}$ 의 상태의 수, 천이율 α 와 β , 정상상태 평균, 분산(variance) 및 자기공분산 함수가, 측정된 데이터와 정합(match)된다. 즉, 이들 데이터를 이용하여 birth-death Markov 모델의 파라미터를 구해야 한다.

Markov 모델이 상태 i 에 있을 때 iA 라는 양의 트래픽을 발생한다고 하면 이때 Markov 모델이 발생하는 트래픽량 λ_D 는 iA 와 같다. i 상태에서 j 상태로의 천이율은 (3)과 같이 주어진다[34].

$$\begin{aligned} \gamma_{i,i+1} &= (M-1)\alpha, & i < M \\ \gamma_{i,i-1} &= i\beta, & i > 0 \\ \gamma_{i,i} &= 0, & \gamma_{i,j} &= 0, \quad |i-j| > 1 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, i 와 j 는 상수이다.

Markov 모델이 i 상태에 있을 확률 P_i 는 (4)와 같다.

$$P_i = \binom{M}{i} p^i (1-p)^{M-i}, \quad p = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (4)$$

Markov 모델이 i 상태에 있을 때 iA 라는 양의 트래픽을 발생하므로 평균 트래픽량은 (5)와 같다.

$$E[\lambda_D] = MAp \quad (5)$$

트래픽량의 분산과 자기 공분산 함수는 (6)과 같다.

$$\sigma^2(\lambda_D) = MA^2 p(1-p), \quad C(\tau) = C(0)e^{-(\alpha + \beta)\tau} \quad (6)$$

주어진 데이터 값을 만족하는 Markov 모델의 파라미터를 구하면 (7)과 같다.

$$\beta = \eta / (1 + N \frac{m^2}{vM}), \quad \alpha = \eta - \beta, \quad A = \frac{v}{m} + \frac{m}{M} \quad (7)$$

여기서 m, v 는 주어진 중첩 트래픽의 평균값과 트래픽의 분산을 나타내며 η 는 중첩 트래픽의 자기공분산 함수를 $ve^{-\eta\tau}$ 로 모델링하였을 때 해당되는 값이다. 식 (7)에 의하면 상태의 개수 M 을 늘리더라도 A 는 일정한 값 v/m 이하로 감소하지 않음을 알 수 있다. 이는 birth-death Markov 모델은 인접한 상태로만 천이가 가능하므로 주어진 분산값을 만족하려면 양자화 간격 A 가 일정한 값 이하로 될 수 없음을 의미한다.

중첩 트래픽을 모델링하기 위하여 중첩 트래픽의 평균, 분산과 같은 통계적인 자료가 필요한데, 이들 값은 개별 트래픽의 통계적인 값을 알면 (8)에 의하여 구할 수 있다.

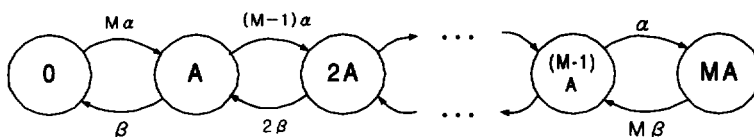
$$m = \sum_{i=1}^N m_i, \quad v = \sum_{i=1}^N v_i, \quad \mu_3 = \sum_{i=1}^N \mu_{3i} \quad (8)$$

여기서, m, v, μ_3 는 중첩 트래픽의 평균, 분산, 3차 중심 모멘트를 나타내고 m_i 는 i 번째 트래픽의 분산, μ_{3i} 는 i 번째 트래픽의 3차 중심 모멘트를 나타내며, N 은 중첩된 트래픽 소스의 개수를 의미한다. 트래픽의 자기상관함수를 $e^{-\eta\tau}$ 로 가정하면 중첩 트래픽의 자기상관함수는 (9)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\tau = \sum_{i=1}^N \frac{v_i}{v} \tau_i \quad (9)$$

4.3.2 Markov 체인 모델

균일한(uniform) 활동 수준을 가지고 있는 (즉, 말하고 있는 통화자를 보여주는) 영상 전화기(video telephony)에 대해서는, 지수분포의 상관관계를 가지는 1차원의 마코브(Markov) 체인 모델이 매우 좋은 근사화 방법이다. Markov 체인 모델의 일종으로 MMBP(Markov Modulated Bernoulli Process) 모델링이 있다. MMBP 모델에서 시간은 고정된 길이의 슬롯 크기로



(그림 5) 이산 상태 Markov 모델의 천이도
(Fig. 5) Transition Diagram of Discrete State Markov Model

이루어지는 것으로 가정한다. 각 슬롯이 셀을 포함할 확률은 n 상태 마코브 프로세스에 따라 변하는 파라미터를 가지는 베르누리 프로세스이다.

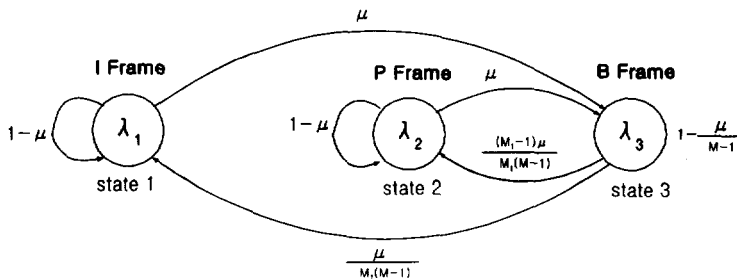
MPEG의 GOP 구조에 대하여 3 상태 MMBP로 모델링할 수 있다. 이를 위하여 두가지 파라미터, 즉 I 프레임과 P 프레임 사이에 존재하는 프레임의 개수인 M 과 GOP의 크기인 N 을 이용한다. 예를 들어, $M=3$, $N=12$ 일 때의 MPEG 시퀀스의 구조는 IBBPBBPBBPBB가 된다.

MPEG 비디오의 셀 스트림을 3-상태 MMBP에 의해 모델링하면 그림 6과 같은 상태 다이어그램으로 표시할 수 있다.

여기서, λ_i 를 각 프레임별 평균 셀 생성률이라 하고 μ_{ij} 를 i 프레임에서 j 프레임으로의 천이 확률이라고 한다. 여기서 i, j 의 값은 I = 1(상태 1), P = 2(상태 2), B = 3(상태 3)의 순서대로 할당한다. 첫 번째 프레임이 I 프레임이라고 할 때 μ_{ij} 의 값은 (10)과 같게 된다 [34]. 여기서 $M_1 = N/M$.

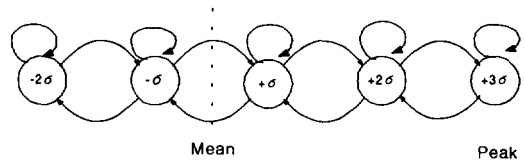
$$\mu_{i,j} = \begin{cases} 1 - \mu, & i=j=1, 2 \\ \mu, & i=1, 2, j=3 \\ \frac{1}{M_1} \cdot \frac{1}{M-1} \cdot \mu, & i=3, j=1 \\ \frac{M_1-1}{M_1} \cdot \frac{1}{M-1} \cdot \mu, & i=3, j=2 \\ 1 - \frac{1}{M-1} \cdot \mu, & i=j=3 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

여기서 $1/\mu$ 는 슬롯에서의 지속시간을 나타낸다. 각 상태 사이의 천이는 해당 셀이 생성된 후 바로 일어난다. MMBP 모델은 기존의 비트량만을 가지고 모델링하는 것과는 달리 MPEG의 특성을 이용하는 방법이 연구되고 있다.



(그림 6) MPEG 비디오 스트림의 3-상태 MMBP 모델
(Fig. 6) 3-State MMBP Model of MPEG Video Stream

[25]에서는 영화 Star Wars의 3분 40초 시퀀스에 해당하는 MPEG 프레임 및 슬라이스 계층의 마코브 체인 모델을 제안하였다. 이 모델에서 각 상태는 한 프레임 내의 셀의 수를 나타내는 것이 아니고, 하나의 표준 편차의 비트율의 변화를 나타내고 있다. 이것을 그림 7에서 보여주고 있다. 다른 GOP 크기에 대하여 천이 행렬이 주어지며, 일반적으로, GOP 크기가 클수록 마코브 체인에서 필요한 상태의 수가 많아진다. 그리고, 슬라이스 계층이 프레임 계층보다 많은 상태를 필요로 한다. 이 모델에서 요구되는 파라미터의 수는 프레임 계층에 대한 51에서 슬라이스 계층에 대한 102의 범위를 가지고 있으며, 평균 및 표준 편차는 실험적 트레이스 데이터로부터 평가되었고 표 5에서 요약된 바와 같이 천이확률의 수에 추가되었다.



(그림 7) 비디오 소스에 대한 마코브 체인 모델
(Fig. 7) Markov Chain Model for a Video Source

<표 5> 프레임 및 슬라이스 계층 모델들에 대한 천이확률 수
<Table 5> Transition Probability Count for Frame and Slice Layer Models

| GOP 크기 (N) | 프레임 형태 | 천이 확률 | |
|------------|--------|-------|------|
| | | 프레임 | 슬라이스 |
| 1 | I | 49 | 64 |
| 16 | I, P | 64 | 81 |
| 2688 | I | 64 | 100 |

4.4 Markov와 AR 프로세스의 복합 모델

[26]에서는 장면 변화의 효과를 포착하기 위하여 Markov 체인을 사용한 계층적 모델을 제안하였다. 이 모델은 두 개의 AR 프로세스들로 구성되어 있으며, 첫 번째는 단기간 lag에서 자기 상관 함수를 정합하기 위하여, 두 번째는 장기간 lag에서 자기상관을 정합하기 위하여 사용된다. 세 번째 프로세스는 장면 변화를 위해 사용되는 Markov 프로세스이다. 세 개의 프로세스들을 결합하면 (11)과 같은 최종 모델이 주어진다.

$$T_i = X_i + Y_i + Z_i \tag{11}$$

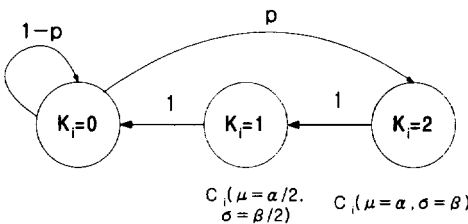
여기서,

$$X_i = a_1 X_{i-1} + A_i \tag{12}$$

$$Y_i = a_2 Y_{i-1} + B_i \tag{13}$$

$$Z_i = K_i C_i \tag{14}$$

방정식 (12)는 단기 lag에서 자기상관 함수가 실험 시퀀스와 정합되도록 하는 시퀀스를 생성하기 위하여 사용되고, 방정식 (13)은 장기 lag에서 동일한 목적을 위하여 사용된다. 두 개의 방정식은 AR(1) 프로세스이며, A_i, B_i 는 평균 μ_1, μ_2 와 표준 편차 σ_1, σ_2 를 가진 정상 분포이다. 방정식 (14)는 장면 변화가 발생할 때 필요한 여분의 비트들을 생성하기 위하여 사용된다. K_i 는 Markov 체인의 상태를 표시하고, C_i 는 평균과 분산이 K_i 에 의존하는 정상 분포 확률 변수이다. C_i 에 필요한 파라미터의 수는 평균과 분산을 α 와 β 의 함수로 함으로써 네 개에서 두 개로 감소된다. 여기서, $K_i=2$ 일 때 $\mu = \alpha, \sigma = \beta$ 가 되며, $K_i=1$ 일 때 $\mu = \alpha/2, \sigma = \beta/2$ 이다. 다음의 그림 8에서 보여주는 바와 같이 Markov 체인 모델을 사용하는 배경에는 장면 변화 후 두 개의 프레임에서 필요한 여분의 비트들을 생성하기 위한 것이다.



(그림 8) 장면 변경 프로세스의 Markov 체인
(Fig. 8) Markov Chain of Scene Change Process

4.5 TES(Transform-Expand-Sample) 모델

4.5.1 개요

AR 모델은 복잡성 때문에 대기 모델(Queueing Model)의 해석적 분석 및 연구에는 적합하지 못하다. 따라서 이러한 AR 모델의 단점을 해결하기 위하여 임의의 분포와 자기상관 계수함수를 동시에 만족하는 프로세스를 발생시키는 TES 프로세스가 제안되었다[23,27]. 즉, TES 프로세스는 실험적 데이터의 가장자리 분포(marginal distribution)와 자기 상관 함수를 동시에 맞추기 위해 설계되었다. 가장자리 분포에 대한 정확한 정합과 많은 자기 상관 함수를 근사화할 수 있는 TES 모델의 능력이 소스 모델을 구성하기 위한 장점이 된다.

TES는 보조 background 프로세스 $\{U_n\}$ 의 생성을 위한 하나의 방법이며, 이것은 목표 확률 변수 $\{X_n\}$ 들 사이에 의존성이 변하도록 해준다. 프로세스 $\{X_n\}$ 는 foreground 프로세스라고 하며 적절한 변환을 사용하여 $\{U_n\}$ 으로부터 생성된다. 프로세스 $\{U_n\}$ 은 모듈로 -1 (fractional part) 연산자에 기초한 단위 원상의 랜덤 워크(random walk)를 정의하며 $\langle x \rangle = x - [x]$ 으로 정의된다. $[x]$ 는 x 보다 작거나 동일한 가장 큰 정수(즉 floor function)를 나타낸다.

TES 모델의 발생은 다음의 2가지 과정으로 수행된다.

특히, TES background 프로세스로 다음과 같이 정의되는 두 가지 형태로 존재한다.

$$\begin{aligned}
 U_n^+ &= \begin{cases} U_0, & n=0 \\ \langle U_{n-1}^+ + V_n \rangle, & n>0 \end{cases} \\
 U_n^- &= \begin{cases} U_n^+, & n \text{ even} \\ 1 - U_n^+, & n \text{ odd} \end{cases} \tag{15}
 \end{aligned}$$

첫 번째 과정은 위와 같이 시퀀스 $\{U_n^+\}_{n=0}^\infty$ 와 $\{U_n^-\}_{n=0}^\infty$ 를 형성한다. 초기값 U_0 은 간격 $[0,1)$ 사이에서 균일하게 분포된다(uniformly distributed). Innovation sequence, $\{V_n\}$ 은 U_0 에 독립적인 동일하고 독립적인 분포(i.i.d.)를 가진 확률 변수의 순서로 구성된다. Background 프로세스 $\{U_n^+\}$ 은 음의 감소하는(negative decaying) 혹은 진동하는 자기상관 함수를, $\{U_n^-\}$ 은 홀수 및 짝수 lag 사이에서 극성에 변하는 자기상관을 발생시키기 위하여 사용된다.

균일한 innovation의 경우, $\{V_n\}$ 은 (16)과 같은 두 가지 파라미터에 의하여 결정된다.

$$V_n = L + (R - Z)Z_n \tag{16}$$

이것을 일반적으로 일단계(single-step) innovation

함수라 한다. 여기서 Z_n 은 간격 $[0,1)$ 에서 i.i.d.인 동시에 균일분포를 가진다. L, R 의 범위는 $-0.5 \leq L < R < 0.5$ 이다. 매개변수화(parameterization) (L, R) 은 다음과 같은 매개변수화 (α, ϕ) 와 동등하다.

$$\begin{aligned} \alpha &= R - L, \\ \phi &= \frac{R+L}{R-L} \end{aligned} \quad (17)$$

(α, ϕ) 매개변수화는 자기상관 함수를 계산하기에 편리하다. 변수 α 는 자기상관 함수의 크기를 조절하고 ϕ 는 진동(oscillations)을 조절한다.

Background 프로세스를 결정한 후 TES 프로세스를 발생시키기 위하여 필요한 두 번째 과정은 foreground 프로세스 (X_n) 을 정의하는 것이다. 이것은 background 프로세스 (U_n^+) 혹은 (U_n^-) 에 왜곡 함수(distortion function)라고 불리는 변환(transformation)을 가함으로써 행해진다. 통상적인 왜곡은 $D = H_Y^{-1} \circ S_\xi$ 의 형태이며, 여기서 H_Y^{-1} 은 실험 데이터의 누적 히스토그램의 역(inverse)이며, S_ξ 은 stitching 변환이다. Stitching 변환은 다음과 같은 stitching 매개변수에 의하여 정의된다.

$$S_\xi(y) = \begin{cases} \frac{y}{\xi} & 0 \leq y \leq \xi \\ \frac{1-y}{1-\xi} & \xi \leq y < 1 \end{cases} \quad (18)$$

S_ξ 은 원점을 지날 때 background TES 시퀀스의 표본 경로를 평활화(smooth)하기 위하여 설계된 중간 단계이다. ξ 의 범위는 $0 \leq \xi \leq 1$ 이다. 대부분의 경우, ξ 의 값은 0.5 근처에서 선택된다. Background 프로세스와 foreground 프로세스는 (19)와 같은 관계를 가진다.

$$X_n^+ = H_Y^{-1}(S_\xi(U_n^+)), \quad X_n^- = H_Y^{-1}(S_\xi(U_n^-)) \quad (19)$$

TES 모델은 다음과 같은 몇 가지의 장점을 가지고 있다[34].

- 1) 매개변수를 요구하지 않으므로 임의의 실험 데이터를 근사적으로 모델링할 수 있다.
- 2) 실험 데이터를 수치적으로 빠르게 모델링할 수 있다.
- 3) 모델링한 데이터를 발생할 때 수행속도가 빠르며 다양한 시퀀스로 변수의 발생이 가능하다.

이상과 같이 TES 모델을 이용하여 통신망의 모의 실험 시 실제에 유사한 트래픽을 발생시킬 수 있다.

4.5.2 일반 TES(G-TES) 프로세스를 사용한 프레임 계층 모델

영화 Star Wars의 DCT 부호화판에 대한 프레임 및 슬라이스 계층의 TES 모델을 [19]에서 개발하였다. 여기에서는 innovation 프로세스가 독립적이고 동일한 분포(즉, i.i.d.)가 아닌 일반적인 TES(G-TES: generalized TES) 프로세스를 사용하였다. 각 장면은 stationary 프로세스로 모델 하였으며 장면 길이는 (20)과 같은 매개변수를 가진 기하 분포(geometric distribution)를 따르고 있다.

$$p = \frac{1}{1 + E[L_n]} \quad (20)$$

여기서, $E[L_n]$ 은 장면 L_n 기간의 기대값이다. 장면 변화 경계는 인접 프레임들의 비트율에서의 절대 차이를 이용하여 결정되었다. 이 모델은 장면 변화 경계에서 관측되는 비트 율 크기에서의 큰 변화를 포착하고자 한다. 장면 변화 프로세스는 다음과 같은 innovation 프로세스로 반영될 수 있다.

$$V_n = (1 - W_n)(L + (R - L)Z_n) + W_n(-\frac{\alpha_c}{2} + \alpha_c Z_n) \quad (21)$$

여기서 $\{Z_n\}$ 은 간격 $[0,1)$ 에서 균일한 marginal을 가진 i.i.d. 랜덤 변수의 시퀀스이며, $\{W_n\}$ 은 장면 변화가 발생하였다는 것을 표시하는 i.i.d. 베르누리 랜덤 변수의 시퀀스이다. G-TES 매개변수는 휴리스틱하게 $\alpha_c = 0.28$ 이고 $R = -L = 0.001$ 로 결정되었다. 평균 장면 길이 $E[L_n]$ 은 대략 100 프레임으로 밝혀졌다.

약간의 수정으로 동일한 innovation 프로세스를 사용하여 슬라이스 계층 모델에 사용이 가능하다.

4.5.3 MPEG 비디오를 위한 합성(composite) TES(C-TES) 모델

I, B, P 프레임들을 포함하는 MPEG 시퀀스를 위한 모델이 [27]에 의하여 개발되었다. 이 모델은 I, B 프레임들에 대하여 background 프로세스 $\{U^+\}$ 를 사용하고, P 프레임에 대하여는 $\{U^-\}$ 를 사용하여, background 시퀀스 $\{U^{I+}\}, \{U^{B+}\}$ 와 $\{U^{P-}\}$ 을 준다. 이 모델에서는 장면 변화 프로세스는 고려되지 않았다.

MPEG에서는 GOP 구조 때문에 GOP 내부의 B, P 프레임들의 비트 수는 GOP의 시작부에 위치한 I 프레임에 의존한다. 예를 들어, $\{\dots I_2 B_3 B_4 P_2 B_5 B_6 P_3 B_7 B_8 I_3 \dots\}$ 의 프레임 시퀀스가 주어지면, B_3 와 P_2 에 대한 back-

ground 시퀀스 확률변수(variate)는 $U_2^{I+} = U_3^{B+} = U_2^{P-}$ 에 대한 background 시퀀스 확률변수와 같게 세트된다. I, B, P 프레임들에 대한 background 시퀀스의 관계가 그림 9에서 보여준다.

최종 모델은 각 프레임 형태 프로세스의 결정적 결합으로 구성된다. 프로세스 선택은 MPEG 부호화 매개변수 N, M 에 의하여 정의되는 GOP 프레임 시퀀스 패턴에 의하여 결정된다. 여기서 N 과 M 은 각각 I 프레임과 P 프레임의 거리를 의미한다. 세 개의 랜덤 프로세스는 (22)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} X_n^{I+} &= H_{V_1}^{-1}(S_{\xi_1}(U_n^{I+})), \\ X_n^{B+} &= H_{V_2}^{-1}(S_{\xi_2}(U_n^{B+})), \\ X_n^{P-} &= H_{V_3}^{-1}(S_{\xi_3}(U_n^{P-})). \end{aligned} \quad (22)$$

이 모델은 각 프레임 형태에 대하여 세 개의 $(\alpha, \phi, \xi)_{I,B,P}$, 즉, 총 9개의 매개 변수를 요구한다. IBP 프레임울 가진 MPEG 시퀀스는 슬라이스 계층 시퀀스에 의하여 생성되는 것과 유사하게 의사-주기적인(pseudo-periodic) 자기상관 함수를 보여준다. 이 행위는 IBP 프레임의 결정적 시퀀싱에 기인한 것이며 이 모델에 의하여 잘 포착될 수 있다.

4.6 자기유사(Self-Similar) 모델

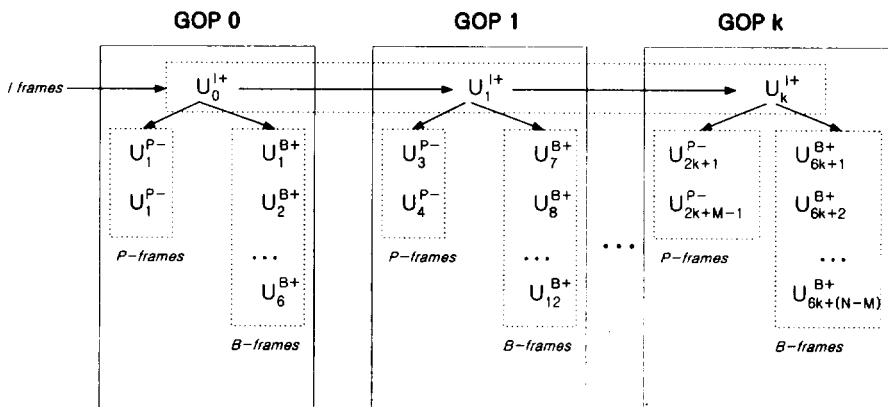
이 모델은 가장 최근에 연구되고 있는 트래픽 모델로 [20]에 의하여 제안된 이후 많은 연구가 이루어지고 있는 트래픽 모델 방법이다. 간단히 말해서, 어떤 프로

세스는 표본 간격(시간 스케일)의 기간에 관계없이, 프로세스의 표본들이 “유사(similar)”하게 나타나는 경우 자기-유사(self-similar) 혹은 fractal 하다고 말해진다. 즉, 이더넷 트래픽은 작은 시간 크기 (s, ms)에서나 큰 시간 크기 (min, h)에서 거의 유사한 모습을 보여준다. 이같은 성질은 기존의 전화 트래픽이나 패킷 트래픽에 대하여 고려된 트래픽 모델(예를 들어, 순수한 포와슨, 혹은 Poisson-batch 혹은 MMPP, fluid flow 모델 등)과는 매우 다른 것이다.

주요 관련된 연구로서, Leland 등은 이더넷상의 LAN 트래픽의 특성에 대하여 연구를 수행하였으며, Norros [24]는 트래픽의 자기 유사 특성을 고려한 대기해석에 대하여 연구를 수행하였으며, Beran[1] 등은 비디오 트래픽의 LRD(Long Range Dependence) 특성을 연구하였다. 자기-유사 프로세스의 중요한 특성 중의 하나는 이러한 LRD로서, 이는 트래픽의 자기상관 함수의 감소가 기존의 트래픽 모델보다 매우 느린 것을 의미하며, 다음과 같은 특성을 지니고 있다.

- 1) 자기상관 함수는 합계가 가능한(summable) 것이 아니다.
- 2) 낮은 주파수에서의 power spectrum은 경계되지 않으며 주파수가 0에 가까워짐에 따라 무한대로 된다(DC 성분).

이 행위는 자기상관 함수가 합계가 가능하고, 파워 스펙트럼이 낮은 주파수에서 경계되는 SRD(short-range dependent) 프로세스와는 다르다. Beran은 LRD가 VBR 시퀀스에 본질적인 것을 보여주었으며, LRD 프로세스



(그림 9) GOP 시퀀스에 관련한 I, P, B 프레임울 위한 background 프로세스의 생성
(Fig. 9) Generation of Background Processes for I, P and B Frames in relation to the GOP Sequence

가 다중화 성능에 부정적 영향을 줄 수 있다는 것을 보여주고, 이 특성을 포착하는 소스 모델을 개발하였다.

LRD 특성을 가지는 트래픽의 자기상관 함수는 $\gamma(k) \sim k^{-D}$ 와 같이 근사화되며, 여기서 k 는 lag index이며, $0 < D < 1$ 이다. 그러나 SRD 특성을 가지는 트래픽의 자기상관 함수는 $\gamma(k) \sim \rho^k$ 와 같이 근사화되며, 여기서 k 는 lag index이며 $0 < \rho < 1$ 이다. 다시 말하면, LRD 특성을 가지는 트래픽을 기존의 SRD 특성을 가지는 트래픽 모델로 모델링하는 경우 상관 관계는 실제의 경우보다 작게 예측되는 것이다.

LRD 특성의 또 다른 표현으로 Hurst 효과가 있는데, 이것은 추계적 과정(stochastic process) $X = (X_1, X_2, \dots)$ 에서, $X_k (1 \leq k \leq n)$ 프로세스의 표본 평균 $\bar{X}(n)$ 와 표본 분산 $S^2(n) = E\{(X_i - \bar{X}(n))^2\}$ 과의 관계를 기술한다. Hurst는 $R(n)/S(n)$ 의 기대값이 다음과 같이 asymptotic하게 되는 것을 발견하였다.

$$E[R(n)/S(n)] \sim cn^H, \quad n \rightarrow \infty \quad (23)$$

여기서, c 는 n 에 독립적인 양의 정수이며, $R(n)$ 은 조정된 범위이고, $S(n)$ 은 표본 표준 편차(standard deviation)이며, H 는 0.5와 1 사이의 값을 가지는 Hurst 파라미터이다. 재조정된 범위는 다음을 사용하여 구해진다.

$$\frac{R(n)}{S(n)} = \frac{\max(0, W_1, W_2, \dots, W_n) - \min(0, W_1, W_2, \dots, W_n)}{S(n)} \quad (24)$$

여기서,

$$W_0 = 0, \\ W_k = \sum_{i=1}^k X_i - k\bar{X}(n), \quad k=1, 2, \dots, n \quad (25)$$

여기서 X_i 는 실험 시퀀스이다.

$E[R(n)/S(n)]$ 은 다른 n 의 값에 대하여 계산되며, Pox 다이어그램에서 그려진다. 여기서 $\log(E[R(n)/S(n)])$ 은 y 축 상에 그려지며 $\log(n)$ 은 x 축 상에 그려진다. 그 다음 선형 회귀(linear regression)를 사용하여 Hurst 파라미터를 (26)에 의하여 평가한다.

$$H = \frac{\log E[R(n)/S(n)]}{\log n} \quad (26)$$

H 값은 0.5와 1 사이의 값을 가지며, SRD 특성을 지니는 트래픽의 경우 H 값은 0.5이다. 여러 다른 시퀀스에 대한 대표적인 H 값이 표 6에 주어져 있다.

〈표 6〉 여러 트래픽 형태의 Hurst 파라미터
(Table 6) Hurst Parameters of Various Traffic Types

| 트래픽 형태 | H 의 값 |
|------------------------|-------------|
| 컴퓨터 트래픽 | ≈ 1 |
| Star Wars(Motion JPEG) | 0.88 |
| Star Wars(MPEG IPB) | 0.86 |
| 화상 회의 | 0.6~0.75 |
| IID | 0.5 |

표 6에서 독립적이고 동일한 분포를 가지는 IID의 경우 H 값은 0.5이며 컴퓨터 트래픽에 대한 값은 거의 1임을 주목할 필요가 있다.

LRD 특성을 가지는 트래픽의 발생으로 주로 사용되는 프로세스들은 F-ARIMA(Fractional Auto-Regressive Integrated Moving Average) 프로세스[9]와 FFGN(Fast Fractional Gaussian Noise) 근사화 모델[4,9] 등이 있다. [12]에서는 I, B, P 프레임을 포함하는 MPEG 부호화된 Last Action Hero 영화에 대한 모델을 개발하였다. 이것은 단기간(short-term) 및 장기간(long-term) lag에서 자기상관 함수를 정합시키기 위하여 혼합 함수(hybrid function)를 사용하기 때문에 통일된 모델(unified model)이라고 한다. 따라서 LRD 특성과 SRD 특성을 지니는 프로세스를 파라미터를 변화시켜 발생시킬 수 있다. 이 모델은 단기 및 장기 lag에 대하여 동시에 자기상관 함수를 정합시키는 의미에서 가장 정확한 모델로 평가받고 있다.

5. 결정적 트래픽 모델(Deterministic Traffic Models)

5.1 개요

VOD 시스템에서는 MPEG에 의하여 압축된 비디오 데이터가 비디오 서버의 저장장치에 저장된다. 압축의 특성상 고정된 비디오 품질을 보장하기 위하여 가변 비트율(VBR)로 저장하는 것이 바람직하다. 가변 비트율 비디오 트래픽은 시간에 따라서 전송 비트율이 변하는 군집성을 가지고 있다. 가변 비트율 트래픽의 군집성이 망 자원의 효율적인 사용과 트래픽 소스에 대하여 종단간(end-to-end) 망 성능 보장을 하는 것을

어려운 문제로 만든다.

[5]에서는 서비스 품질 보장을 위하여 결정적 보장 및 통계적 보장의 두 가지 형태가 제안되었다[33]. 결정적 보장(deterministic guarantees)은 어떠한 상황하에서도 셀 손실이 발생하지 않고 항상 지연 한계를 지킬 수 있게 망 자원을 예약한다. 통계적 보장(statistical guarantees)은 결정적 보장에 비하여 적은 양의 망 자원을 예약하기 때문에 셀 손실이 발생할 수 있고 또한 지연 한계를 못 지킬 수 있다. 통계적 보장은 때때로 패킷을 폐기하거나 지연을 시키는 대가로 높은 망 이용률을 얻기 위하여 통계적 다중화(statistical multiplexing)를 사용한다. 통계적 보장을 제공하기 위하여 제안된 기존의 방법들은 도착 프로세스의 분명한 확률적인 성질을 이용하고 정상 상태 버퍼 오버플로우 확률과 같은 양들을 근사해로 구하였다[6]. 이러한 기법이 수락제어 알고리즘으로 사용되기 위하여는 현재의 모든 확립된 연결의 트래픽 사양과 성능 요구사항이 주어지고 새로운 소스에 대한 손실 및 지연 경계 위반 확률을 효과적으로 계산할 수 있어야 한다. 그러나, 다중화기의 비선형성으로 인하여 이러한 수락 제어 조건을 구하는 것은 추적할 수 없게(intractable) 되고 여러 가지 문제점들을 야기 시킨다. 통계적 모델의 문제점은 아래와 같다[17].

- 1) 소스의 통계적 모델은 수락 제어에 사용되기에 너무 복잡하거나 압축 비디오와 같은 VBR 소스의 군집성과 중요한 시간 상호연관성(correlations)을 포착하기에는 너무 단순하다.
- 2) 소스의 통계적 묘사는 최대율과 같은 결정적 묘사보다 망에 대하여 감시 활동하는 것(즉, 기술된 트래픽 묘사를 지키는 것을 보증하기 위하여 연결을 감시하는 것)이 본질적으로 더 어렵다.
- 3) 소스의 원래 통계적 모델은 해당 스트림이 단지한 개의 다중화기를 거친 후 유효하지 않게 된다.
- 4) 해석적 어려움 때문에 많은 해결책들이 이종의 소스와 이종의 서비스 품질 요구사항을 모두 처리할 수 없다.

가변 비트율 비디오 트래픽을 서비스 보장을 하면서 망에 수용하기 위한 하나의 중요한 어려운 점은 트래픽 소스의 역동성(dynamics)을 포착하는 적절한 트래픽의 특성화를 찾기 어려운데 있다. 지금까지 마코브 모델, AR 모델, TES, 및 자기 유사(self-similar)

등과 같은 모델을 사용하는 추계적 과정에 의하여 VBR 비디오 트래픽을 특성화하는데 의존하여 왔다. 이러한 통계적 모델은 소스의 통계적 특성을 이용함으로써 높은 망 이용률을 얻기 위하여 사용될 수 있는 장점이 있지만 아래와 같은 여러 가지 중요한 단점을 가지고 있다[31].

- 1) 통계적 트래픽 특성화를 실행하는 감시 기법(policing mechanism)을 구현하기가 어렵다.
- 2) 비디오 트래픽을 특성화하기 위한 대부분의 통계적 모델들이 군집성과 비디오 소스의 적절한 상관관계를 충분히 포착할 수 있을 만큼 강력하지 못하거나, 실제적인 구현을 하기에는 너무 복잡하다.
- 3) VBR 트래픽 특성화를 위한 통계적 방법은 단지 통계적 보장을 해주기 때문에 결정적 통신망 서비스에 적용될 수 없다.

통계적 서비스에 비하여 결정적 서비스는 무 손실, 비 지연 위반 서비스를 제공한다는 점에서 더 좋은 서비스 품질을 제공한다. 이것은 통계적 다중화를 배제하지만 최대율 할당 기법을 요구하지는 않는다. 결정적 서비스를 제공하기 위하여는 망은 서비스를 받는 모든 소스에 대하여 결정적 상한 경계를 필요로 한다. 이 방법은 소스의 트래픽 상세가 실행 가능하다는 부가적인 이점이 있다.

어느 한 연결의 사실상의 트래픽이 $A[\tau, \tau + t]$ 를 시간 간격 $[\tau, \tau + t]$ 에서의 트래픽 도착으로 정의하는 어떤 함수 A 에 의하여 주어진다면 A 에 대한 상한 경계는 모든 시간 $\tau \geq 0$ 와 모든 간격 $t \geq 0$ 에 대하여 아래가 성립된다면 함수 A^* 에 의하여 주어질 수 있다.

$$A[\tau, \tau + t] \leq A^*(t) \tag{27}$$

이런 성질을 만족하는 함수 $A^*(t)$ 를 트래픽 제한 함수(traffic constraint function)라 한다.

5.2 (σ, ρ) 모델[2]

(σ, ρ) 모델은 율(rate) 팩터 ρ 와 버스티니스 factor σ 에 의하여 트래픽을 묘사함으로써, 길이 t 의 어떤 구간에서도 한 연결의 트래픽이 $\sigma + \rho t$ 이하가 되도록 한다. 그러므로, (σ, ρ) 모델에 대한 트래픽 제한 함수는 (28)과 같다.

$$A^*(t) = \sigma + \rho t \tag{28}$$

5.3 Parameterized 결정적 트래픽 모델

매개 변수화된 결정적 트래픽 모델은 소스를 경계하는 트래픽 제한 함수를 정의한다. [5]에서는 (x_{min}, x_{ave}, I, S) 모델이 제안되었다. 여기서 각 파라미터의 의미는 다음과 같다.

- x_{min} : 최소 패킷 도착간 시간
- x_{ave} : 길이 I의 어떤 구간에서 최대 평균 패킷 도착간 시간
- s : 최대 패킷 크기

이 모델은 하나의 소스의 최악의 경우 매개변수화로 (29)와 같은 트래픽 제한 함수를 가진다.

$$A^*(t) = \lfloor \frac{t}{I} \rfloor \cdot \frac{I \cdot s}{x_{ave}} + \min \{ \lfloor \frac{t}{I} \rfloor \cdot \frac{I}{x_{min}}, \frac{I}{x_{ave}} \} \cdot s \tag{29}$$

5.4 D-BIND(Deterministic Bounding Interval Dependent) 트래픽 모델

(σ, ρ) 모델[2]과 $(X_{min}, X_{ave}, I, S_{max})$ 모델과 같은 결정적 트래픽 모델들은 다양한 간격 기간동안 소스가 보여주는 군집성을 포착할 수 없다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 D-BIND 트래픽 모델이 도입되었다[18].

이 모델에서는 복수의 간격길이동안 한계율(bounding rates)을 사용하여 트래픽을 특성화한다. 각 결정적 트래픽 모델은 매 길이 t 간격마다 소스를 제한 혹은 경계하는 트래픽 제한 함수 $b(t)$ 를 정의한다. 간격 $[t_1, t_2]$ 사이에서 한 연결의 도착을 $A[t_1, t_2]$ 로 정의하면 트래픽 제한 함수 $b(t)$ 는 $A[s, s+t] \leq b(t), \forall s, t > 0$ 일 것을 요구한다.

D-BIND 모델은 울-간격 쌍 $((R_k, I_k) | k=1, 2, \dots, P)$ 에 의하여 정의된다. 제한 함수는 (30)과 같은 구간별 선형 함수로 정의된다.

$$b(t) = \frac{R_k I_k - R_{k-1} I_{k-1}}{I_k - I_{k-1}} (t - I_k) + R_k I_k, \quad I_{k-1} \leq t \leq I_k \tag{30}$$

여기서 $b(0)=0$. 그리하여 울 R_k 는 (31)을 만족하도록 하는 길이 I_k 의 모든 간격에서 울에 대한 상한 경계로 볼 수 있다.

$$A[t, t+I_k] / I_k \leq R_k, \quad \forall t > 0, k=1, 2, \dots, P. \tag{31}$$

제한 함수는 길이 t 의 어떤 구간에서도 도착에 대한 요구되는 경계를 제공한다. 이렇게 함으로써 각 소스

의 개별 $b(t)$ 제한 함수들의 집합이 누적 서비스(cumulative services)의 상한 경계를 형성하게 된다. 예를 들어, 각각의 제한 $b_i(t)$ 에 의하여 제한되는 $j=1, 2, \dots, n$ 다중화된 연결을 가지고 있고, 링크 속도 l , 최대 패킷 크기 \bar{s} 인 FCFS 스케줄러에 대하여, 모든 연결에 대한 지연에 대한 결정적 상한 경계는 (32)와 같이 주어진다.

$$d = \frac{1}{l} \max_{t \geq 0} \{ \sum_{j=1}^n b_j(t) - lt + \bar{s} \} \tag{32}$$

동종(homogeneous)의 경우, 지연 경계 d 에 대하여 다중화될 수 있는 최대 연결의 수는 (33)과 같이 주어진다.

$$N(d) = \max \{ n | \frac{1}{l} \max_{t \geq 0} (nb(t) - lt + \bar{s}) \leq d \} \tag{33}$$

(σ, ρ) 모델의 확장된 형태로 볼 수 있는 $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ 모델이 [31]에서 제안되었다. 이 모델은 n 구간별 선형 concave 트래픽 제한 함수를 정의하기 때문에 D-BIND 모델의 특별한 경우로 볼 수 있다. $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ 모델은 (σ, ρ) 쌍들의 수 n 을 유지하고, 여기서 어떤 시간 간격 t 내의 트래픽 양은 $\min_i \{ \sigma_i + \rho_i t \}$ 로 제한된다. 그러므로, $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ 모델에 대한 트래픽 제한 함수는 (34)와 같이 표현될 수 있다.

$$A^*(t) = \min_{1 \leq i \leq n} (\sigma_i + \rho_i t) \tag{34}$$

5.5 Empirical Envelopes

이 모델은 미리 녹화된(pre-recorded) VBR 비디오 트래픽에 대한 결정적 서비스를 위하여 가장 정확한 트래픽 제한 함수를 제공해 준다. Empirical envelope E^* 는 (35)와 같이 도착 함수에 대한 가장 정확한 트래픽 제한 함수로 정의된다[31].

$$E^*(t) = \max_{\tau \geq 0} A[\tau, \tau + t] \quad \forall t \geq 0 \tag{35}$$

방정식 (35)는 $E^*(t)$ 가 길이 t 의 어떤 간격에서도 도착에 대한 시간-불변(time-invariant), tight bound임을 나타낸다. E^* 의 tightness는 임의의 트래픽 모델에 대한 어떤 트래픽 제한 함수 A^* 도 모든 t 에 대하여 $A^*(t) \geq E^*(t)$ 을 만족해야 함을 의미한다.

하나의 주어진 비디오 트레이스에 대한 empirical envelope는 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다. 프레임 시간 T 는 고정되고 각 비디오 프레임은 프레임

시간 T 상의 동일한 간격으로 전송되는 48바이트 ATM 셀로 분할된다. 비디오 소스 j 의 프레임 크기들의 순서가 (f_1, f_2, \dots, f_N) 에 의하여 주어지고 이 시퀀스의 전송이 시간 0에서 시작된다면, 시간 t 까지의 누적 셀 도착수를 기술하는 도착 함수 A 는 (36)과 같이 주어진다.

$$A[0, t] = \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{t}{T} \rfloor} f_i + (\frac{t}{T} - \lfloor \frac{t}{T} \rfloor) f_{\lfloor \frac{t}{T} \rfloor + 1}, \quad 0 \leq t \leq N \cdot T \quad (36)$$

방정식 (36)의 우변의 첫 항은 시간 t 에 완전히 전송된 프레임으로부터의 셀 수를 표시한다. 두 번째 항은 시간 t 에 전송되고 있는 프레임으로부터의 전송된 셀 수를 의미한다. empirical envelope는 방정식 (35)와 (36)을 결합함으로써 만들어질 수 있다.

다른 방법으로, E^* 는 (37)에 의하여 프레임 (f_1, f_2, \dots, f_N) 의 순서로부터 직접 얻을 수 있다.

$$E^*(i, T) = \max_{0 \leq k \leq N-i+1} \sum_{j=k}^N f_j \quad \text{for } i=1, 2, \dots, N \quad (37)$$

프레임 시간의 배수가 아닌 시간에서 empirical envelope의 값은 프레임 시간 $[i \cdot T, (i+1) \cdot T]$ 상에서 $E^*((i+1) \cdot T) - E^*(i \cdot T)$ 에서 셀 혹은 패킷들을 골고루 분산시켜 얻을 수 있다.

5.6 VBR MPEG 소스를 위한 결정적 트래픽 모델

MPEG 스트림을 결정적으로 특성화하기 위하여 $(I_{max}, P_{max}, B_{max}, N, M)$ 모델을 사용한다. 여기서, $I_{max}, P_{max}, B_{max}$ 는 각각 I 프레임, P 프레임, B 프레임의 최대 크기를 나타낸다(단, $I_{max} > P_{max} > B_{max}$ 임을 가정). N 과 M 은 정규적인 GOP 패턴을 나타내며, 아래와 같은 의미를 가진다.

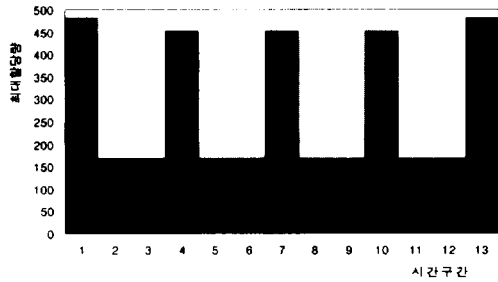
- N : 하나의 MPEG 스트림에서 두 인접 I 프레임들 사이의 프레임 수
- M : 하나의 MPEG 스트림에서 I 프레임과 먼저 오는 다음의 I/P 프레임 사이의 프레임 수

이와 같이 5가지의 변수를 가지고, VBR 스트림을 특성화하기 위하여 트래픽 제한 함수(constraint function)를 이용한 단순한 결정적 방법을 사용한다. 임의의 시간 $t > 0$ 에 i 번째 스트림에 도착한 트래픽의 양을 $A_i(t)$ 라 하면, 트래픽 제한 함수 $b_i(t)$ 는 항상 $A_i(t) \leq b_i(t), \forall t > 0$ 을 만족한다. 트래픽 제한 함수는 트래픽 도착 함수 A 에 시간 불변(time-invariant) 경계를 제공하며 그리하여 소스는 모든 시간 간격동안 경계(bound)된

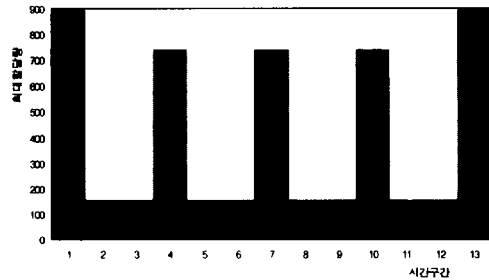
다. 그림 10에서 $N=12, M=3$ 을 가진 GOP 패턴에 기준한 Star Wars와 Wizard of Oz 비디오의 트래픽 제한 함수 $b(t)$ 의 예를 보여준다. 두 가지 비디오의 MPEG 트레이스 데이터는 표 7과 같다. 그림 10에서 보는 것과 같이 $b(t)$ 는 구간별 고정 함수(piecewise constant function)이다.

<표 7> 실험적 MPEG 트레이스의 경계치 데이터
<Table 7> Bounding Data of Empirical MPEG Trace

| Trace | 프레임수 | I _{max} | P _{max} | B _{max} |
|--------------|--------|------------------|------------------|------------------|
| Star Wars | 174136 | 483 | 454 | 169 |
| Wizard of Oz | 41760 | 894 | 742 | 157 |



(a) 스타워즈



(b) 오즈의 마법사

(그림 10) $N=12, M=3$ 의 GOP 패턴에 기초한 트래픽 제한 함수
(Fig. 10) Traffic Constraint Function based on $N=12, M=3$ GOP Pattern

6. 평가 및 고찰

트래픽 모델은 추계적 시스템의 성능 측정(통계치)을 정확히 할 수 있어야 한다. 예를 들어 VBR 소스를 가진 ATM 버퍼에 대한 셀 손실 확률에 관심이 있다

면, 좋은 모델은 그 시스템이 모의 실험될 때 성능 측정을 정확히 예측할 수 있는 표본 경로(sample path)를 생성하는 것이다. 어떤 소스 모델이 유효화(validation)되기 위하여 가능한 적은 수의 파라미터를 사용하면서 그것의 실험적 상대와 잘 부합되는 분포(distribution)와 자기상관(autocorrelation) 함수를 요구한다. 대표적으로 우리는 실험적 데이터를 Log-Normal, 혹은 Gamma와 같은 전통적인 분포에 맞추려고 한다. 분포를 정합하기 위하여 사용되는 통상적인 방법으로 QQ 플롯이 있다. 자기 상관 함수를 정합하는 것은 더욱 어려운 일이다. 자기 상관 함수는 추계적 과정 내의 시간적(선형적) 의존성을 대표하는 것이다.

본 논문에서는 ATM망에서의 주요한 트래픽 요소가 될 MPEG 비디오의 트래픽 모델링을 위하여 통계적 모델과 결정적 모델들에 대하여 기술하고 각 모델을 비교 분석하였으며, 장단점을 분석하였다. AR 모델은 장면 변경없는 단일 비디오 소스의 비트율을 상당히 적절하게 근사화할 수 있게 한다. 그러나, AR 프로세스 모델은 큐잉모델 해석의 복잡성으로 인하여 추적할 수 없을 정도로 된다. 이 모델은 시뮬레이션에서의 사용에 더 적합하다. ARMA 프로세스는 대표적으로 $ARMA(p,q)$ 로 기술되며, 여기서 p 는 AR 부분의 차수(order)이며 q 는 MA부분의 차수이다. 계수 b_i 를 결정하는 것은 AR 프로세스보다 더 복잡하며 통상적으로 스펙트럼 분석이 요구된다. 마코브 모델에서는 양자화 스텝의 값들을 결정하기 위하여, 프로세스 $\overline{x(n)}$ 의 상태의 수, 천이율 α 와 β , 정상상태 평균, 분산(variance) 및 자기공분산 함수가 측정된 데이터와 정합(match)된다. 즉, 이들 데이터를 이용하여 birth-death Markov 모델의 파라미터를 구해야 한다.

AR 모델은 복잡성 때문에 대기 모델(Queueing Model)의 해석적 분석 및 연구에는 적합하지 못하다. 따라서 이러한 AR 모델의 단점을 해결하기 위하여 임의의 분포와 자기상관 계수함수를 동시에 만족하는 프로세스를 발생시키는 TES 프로세스가 제안되었다. 즉, TES 프로세스는 실험적 데이터의 가장자리 분포(marginal distribution)와 자기 상관 함수를 동시에 맞추기 위해 설계되었다. Marginal 분포에 대한 정확한 정합과 많은 자기 상관 함수를 근사화할 수 있는 TES 모델의 능력으로 소스 모델을 구성하기 위한 좋은 선택이 되도록 한다. 자기-유사 프로세스의 중요한 특성 중의 하나는 LRD로서, 이는 트래픽의 자기상관 함수

의 감소가 기존의 트래픽 모델보다 매우 느린 것을 의미한다.

적은 수의 파라미터에 대한 요구사항은 그들이 실험적 데이터로부터 평가되어야 한다는 사실에 기인한다. 각 평가는 파라미터의 수가 증가될 때 모델의 정확성을 감소시키는 경향이 있는 어떤 양의 에러를 유발한다.

적절한 VBR 트래픽 모델의 선정을 위하여 제기되는 문제는 다음과 같은 것이 있다.

1. VBR 시퀀스가 상당한 장면 변화를 포함하고 있는가?
2. 프레임 형태 시퀀스 패턴은 H.261 혹은 MPEG 인가?
3. 시퀀스가 B 프레임을 포함하는가?
4. 프레임 형태 분포가 Lognormal, Gamma 등과 같은 기존의 분포에 맞는가?
5. 어느 레벨에서 모델될 것인가? 프레임, 슬라이스, GOB, 혹은 ATM 셀

이상의 질문에 대한 대답이 모델 사용자로 하여금 모의실험에 사용할 적절한 VBR 모델을 결정하는데 도움이 될 것이다. 다른 프레임 형태(IPB)를 포함하는 시퀀스는 각 프레임 형태를 포함하는 별도의 프로세스를 사용하는 모델이 필요할 것이며, 이것은 중요한 고려사항이다. 고려해야 할 또 다른 사항은 소스 프로세스의 가장자리 분포이다. 기존의 분포가 맞다면, 표본들이 기존의 많은 수학적 변환과정을 통하여 생성될 수 있지만, 그렇지 않은 경우 표본들은 실험적 히스토그램 위의 inversion 방법을 사용하여 생성되어야 한다. 아래의 표 8에 조사된 모델의 성질이 요약되어 있다[14].

VBR 비디오를 위한 적절한 모델의 선정 방법은 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 1) B 프레임을 가지고 있지 않은 비디오 회의를 위한 모델이나, 장면 변화가 거의 없거나 장면 변화가 없는 모델은 본 논문에서 기술하지 않은 DAR(Discrete Autoregressive)[11] 혹은 MRP(Markov Renewal Process)[21] 모델을 선택할 수 있다.
- 2) 장면 변화가 많은 모델로는 마코브 모델이나 자기 유사 모델을 사용할 수 있다. 각각이 장단점을 가지고 있다. 자기 유사 모델은 단지 하나의

파라미터(H)가 필요하다는 장점을 가진 반면, 마코브 체인은 많은 파라미터(전이 확률)를 필요로 한다. 그러나, 자기 유사 모델은 표본들을 생성하는데 포함되는 계산의 복잡도가 매우 높다는 단점이 있다. FFGN 모델은 이 문제를 다소 해결하여 주지만, 장면 변화 프로세스를 무시한 것으로부터 얻어진 결과는 너무 낙관적인(optimistic) 결과를 가져다준다는 것이 밝혀졌다.

- 3) I, B, P 프레임울 포함하는 MPEG 비디오를 위해서는 여러 가지 고려사항이 있다. 각 프레임 형태별 별도의 프로세스를 분명히 요구하고, 따라서 GOP 패턴에 따라서 각 프로세스를 결정적으로 선택한다는 가정은 유효하다. 이것은 시퀀스의 기간동안 GOP 패턴이 고정되어 있다는 사실에 기인하는 것이다.

그러나, 앞으로의 MPEG 압축 알고리즘은 비디오 내용에 따라서 프레임 형태 시퀀싱이 변하는 형태가 될 것이다. 이러한 경우, GOP 패턴에 대한 결정적 가정은 유효하지 않게 되고, 프레임 형태 선택 프로세스도 확률적이게 된다. 이것은 VBR MPEG 트래픽 모델링에 새로운 연구의 장을 열게 될 전망이다.

〈표 8〉 VBR 모델 성질의 요약
 〈Table 8〉 Summary of VBR Model Attributes

| 모델 형태 | 모델 레벨 | 장면변화 | B 프레임 고려여부 | 파라미터 |
|---------------------|----------|------|------------|----------|
| ARMA[10] | sub-프레임 | 고려않음 | 고려않음 | 1003 |
| AR/MC[26] | 프레임 | 고려 | 고려않음 | 8 |
| MC[25] | 프레임/슬라이스 | 고려않음 | 고려않음 | 51~102 |
| AR/MC[32] | 프레임 | 고려않음 | 고려않음 | 9 |
| AR[15] | 블럭 | 고려않음 | 고려않음 | 20 |
| TES[23] | GOB | 고려않음 | 고려않음 | $2K+3+H$ |
| GTES[19] | 프레임/슬라이스 | 고려 | 고려않음 | $5 + H$ |
| c- TES[27] | 프레임 | 고려않음 | 고려 | $9 + 3H$ |
| F-ARIMA[9] | 프레임 | 고려 | 고려않음 | 4 |
| FFGN[4] | 프레임 | 고려 | 고려 | 9 |
| Unified F-ARIMA[12] | 프레임 | 고려 | 고려 | $4 + 3H$ |
| ILD[3] | 프레임 | 고려않음 | 고려 | 6 |

* K: 주기적인 GOB 프로세스를 정합하기 위한 주파수 계수의 수,
 H: 실험적 분포를 정합하기 위하여 TES 프로세스에 의하여 요구되는 히스토그램 셀의 수

7. 결 론

통계적 트래픽 모델들이 가지는 하나의 중요한 점은, 가변 비트율 비디오 트래픽에 대해서 서비스 보장을 하면서 트래픽 소스의 역동성(dynamics)을 포착하는 적절한 트래픽의 특성화가 어려운데 있다. 통계적 모델로 마코브 모델, AR 모델, TES, 및 자기 유사(self-similar) 등과 같은 모델을 사용하는 추계적 과정에 의하여 VBR 비디오 트래픽을 특성화하는데 의존하여 왔다. 이러한 통계적 모델은 소스의 통계적 특성을 이용함으로써 높은 망 이용률을 얻기 위하여 사용될 수 있는 장점이 있지만 5절에서 기술한 바와 같은 중요한 단점도 가지고 있다.

통계적 서비스에 비하여 결정적 서비스는 무 손실, 비 지연 위반 서비스를 제공한다는 점에서 더 좋은 서비스 품질을 제공한다. 이것은 통계적 다중화를 배제하지만 최대율 할당 기법을 요구하지는 않는다. 결정적 서비스를 제공하기 위하여는 망은 서비스를 받는 모든 소스에 대하여 결정적 상한 경계를 필요로 한다. 이 방법은 소스의 트래픽 상세가 실행될 수 있다는 부가적인 이점이 있다.

이런 점에서 적절한 통계적 모델의 선정과 결정적 트래픽 모델을 이용한 시스템의 성능 비교 연구가 추후 필요하다고 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] J. Beran, R. Sherman, M. S. Taqqu, and W. Willinger, "Long-range dependence in variable-bit-rate video traffic," IEEE Trans. on Comm. Vol.43, pp.1566-1579, Feb./Mar./Apr. 1995.
- [2] R. Cruz, "A calculus for network delay, Part I: Network elements in isolation," IEEE Trans. Information Theory. Vol.37, No.1, pp.114-131, Jan. 1991.
- [3] J. Enssle, "Modeling and Statistical Multiplexing of VBR MPEG Compressed Video in ATM Networks," Proc. of 4th Workshop on High Speed Networks, pp.59-67, Sep. 1994.
- [4] J. Enssle, "Modeling of Short and Long Term Properties of VBR MPEG Compressed Video in ATM Networks," In Proc. of the 1995 Silicon

- Valley Networking Conf. & Expo. San Jose, Ca., pp.95-107, April 1995.
- [5] D. Ferrari and D. Verma, "A scheme for real-time channel establishment in wide-area networks," *IEEE JSAC*, 8(3), pp.368-379, April 1990.
- [6] Victor S. Frost and Benjamin Melamed, "Traffic Modeling For Telecommunications Networks," *IEEE Comm. Magazine*, pp.70-81, March 1994.
- [7] <ftp://mm-ftp.cs.berkeley.edu/pub/mpeg/movies/>
- [8] D. Le Gall, "MPEG: a video compression standard for multimedia applications," *Commun. ACM*, Vol.34, No.4, pp.46-58, April 1991.
- [9] M. W. Garrett and W. Willinger, "Analysis, modeling and generation of self-similar VBR video traffic," In *Proceedings of the ACM SIGCOMM '94 Conference*, pp.269-280, 1994.
- [10] Rito Grunenfelder, John P. Cosmas, Sam Manthorpe and Augustine Odinma-Okafor, "Characterization of Video Codecs as Autoregressive Moving Average processes and Related Queueing System Performance," *IEEE JSAC*, Vol.9 No.3, pp. 284-293, April 1991.
- [11] D. Heyman, A. Tabatabai, and T. V. Lakshman, "Statistical Analysis and Simulation Study of Video Teleconference Traffic in ATM Networks," *IEEE JSAC*, Vol.2, No.1, pp.49-59, March 1992.
- [12] C. Huang, M. Devetsikiotis, I. Lambadaris and R. Kaye, "Modeling and Simulation of Self-Similar Variable bit-rate Compressed Video: A Unified Approach," *ACM SIGCOMM*, pp.114-125, 1995.
- [13] Shan -S. Huang, "Source Modeling For Packet Video," *Conf. Proc. of ICC*, pp.1262-1267, 1988.
- [14] Michael R. Izquierdo and Douglas S. Reeves, "A Survey of Statistical Models for Variable Bit-Rate Compressed Video," *Technical Report TR97-10*, North Carolina State University, Raleigh, U.S.A. 1997.
- [15] B. Jabbari, F. Yegenoglu, Y. Kuo, S. Zafar, and Y. Q. Zhang, "Statistical Characterization and Block-Based Modeling of Motion-Adaptive Coded Video," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech.*, Vol.3, No.3, pp.199-207, June 1993.
- [16] Souhwan Jung and Heung Gyoon Ryu, "Traffic Characteristics and Effective Bandwidth Estimation for MPEG Sources," *Telecommunications Review*, Vol.6, No.2, pp.185-195, 1996.
- [17] E. Knightly and H. Zhang, "Traffic characterization and switch utilization using deterministic bounding interval dependent traffic models," *IEEE INFOCOM'95*, pp.1137-1145, April 1995.
- [18] Edward W. Knightly and Paola Rossaro, "Smoothing and Multiplexing Tradeoffs for Deterministic Performance Guarantees to VBR Video," *EECS Dept. U. C. Berkeley*, TR-95-033.
- [19] A. Lazar, G. Pacifini and D. E. Pendarakis, "Modeling Video Sources for Real-Time Scheduling," *IEEE Globecom*, Vol.2, pp.835-839, 1993.
- [20] W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, and D. V. Wilson, "On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic," *SIGCOMM*, pp.183-193, 1993.
- [21] David M. Lucatoni, Marcel F. Neuts and Amy Reibman, "Methods for Performance Evaluation of VBR Video Traffic Models," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol.2, No.2, pp.176-180, April 1994.
- [22] B. Maglaris, D. Anastassiou, P. Sen, G. Karlsson, and J. D. Robins, "Performance models of statistical multiplexing in packet video communications," *IEEE Trans. on Comm.* Vol.36, pp.834-844, July 1988.
- [23] B. Melamed, D. Raychaudhuri, B. Sengupta, and J. Zdepski, "TES-Based Video Source Modeling for Performance Evaluation of Integrated Networks," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol.42, No.10, pp.120-126, 1994.
- [24] I. Norros, "On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks," *IEEE JSAC*, Vol.13, pp.953-962, Aug. 1995.
- [25] Pramod Pancha and Magda El Zarki, "Bandwidth-Allocation Schemes for Variable-Bit-Rate

MPEG Sources in ATM Networks," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.3, No.3, pp.190-198, June 1993.

[26] G. Ramamurthy and B. Sengupta, "Modeling and Analysis of a Variable Bit Rate Multiplexer," IEEE INFOCOM, Vol.2, pp.817-827, May 1992.

[27] D. Reiningger, B. Melamed and D. Raychaudhuri, "Variable bit-rate MPEG Video: Characteristics, Modeling and Multiplexing," Proc. of the 14th Int. Teletraffic Congress-ITC14, pp.295-306, June 1994.

[28] O. Rose, "Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems," In Proc. of the 20th Annual Conf. on Local Computer Networks, pp.397-406, Oct. 1995.

[29] O. Rose, "Discrete-time Analysis of a Finite Buffer with VBR MPEG Video Traffic Input," Proceedings of ITC 15, pp.413-422. 1997.

[30] P. Sen, B. Maglaris, N. E. Rikli, and D. Anastassiou, "Models for packet switching of variable bit-rate video sources," IEEE JSAC, Vol. 7, pp.865-869, June 1989.

[31] Dallas E. Wrege, Edward W. Knightly, Hui Zhang, and Joerg Liebeherr, "Deterministic Delay Bounds for VBR Video in Packet-Switching Networks: Fundamental Limits and Practical Trade-Offs," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.4, No.3, pp.352-362, June 1996.

[32] F. Yegenoglu, B. Jabbari, Y. Q. Zhang, "Motion-Classified Autoregressive Modeling of Variable bit-rate Video," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech., Vol.3, No.1, pp.42-53, Feb. 1993.

[33] 이상권, 권위남, 조기호, 박재형, 김진천, 윤현수, 조정완, "MPEG 부호화된 VBR 비디오를 위한 대역폭 할당 기법", JCCI'97, pp.628-632, 1997.

[34] 이창범, "ATM망에서의 비디오 트래픽 모델링 방법", 전자통신연구원 주간기술동향, 97-18, pp.1-16, 1997.

[35] 진성기, 박재형, 김지중, 신정훈, 윤현수, "ATM 망에서 MPEG 서비스의 계층별 QoS 파라미터 변환," 한국정보과학회 봄 학술발표논문집, 제 24 권, 1호, pp.313-316, 1997.



전 용 희

yhjeon@cuth.cataegu.ac.kr

1978년 2월 고려대학교 전기공학
과(공학사)

1985년 8월~1987년 8월 미국 플
로리다공대 대학원 컴퓨
터공학과 수학

1989년 8월 미국 노스캐롤라이나주립대 Elec. and Comp.
Eng. 석사(MS)

1992년 12월 미국 노스캐롤라이나주립대 Elec. and
Comp. Eng. 박사(Ph.D)

1978년 1월~1978년 11월 삼성중공업(주) 근무

1978년 11월~1985년 7월 한국전력기술(주) 근무

1989년 1월~1989년 6월 미국 노스캐롤라이나주립대
Elec. and Comp. Eng. TA.

1989년 7월~1992년 9월 미국 노스캐롤라이나주립대
부설 CCSP(Center For Comm. & Signal Pro-
cessing), RA.

1992년 10월~1994년 2월 한국전자통신연구소 통신시
스템연구단 선임연구원

1994년 3월~현재 대구효성가톨릭대학교 전자정보공학
부, 조교수

관심분야 : 멀티미디어 통신, 통신망 성능분석, 컴퓨터
네트워크



박 정 속

jungsp@cuth.cataegu.ac.kr

1994년 2월 효성여자대학교 전자
계산학과(이학사)

1996년 8월 대구효성가톨릭대학교
전산통계학과(이학석사)

1996년 9월~현재 대구효성가톨릭
대학교 전산통계학과 박사
과정 재학

관심분야 : 멀티미디어 통신, 통신망 성능분석, 컴퓨터
네트워크