

ATM망에서의 임의의 시작 시간 배열을 갖는 다중화된 가변 비트율 MPEG 비디오 트래픽의 성능 해석

正會員 노 병 회*, 김 재 균**

Performance Analysis of Multiplexed VBR MPEG Video Traffic With Arbitrary Starting Times in ATM Networks

Byeong-hee Roh*, Jae-kyoon Kim** *Regular Members*

요 약

VBR(variable bit rate) MPEG 비디오 트래픽의 가장 큰 특징은 픽처 형태별로 상이한 통계 특성과 GOP (group of pictures) 구조에 따른 주기적인 트래픽 발생 패턴이다. 특히, GOP의 시작인 I-픽처에서는 다른 픽처들보다 매우 큰 양의 트래픽이 발생한다. 따라서, VBR MPEG 비디오 정보원이 다중화 될때 이들의 시작 시간 배열은 ATM 다중화기의 셀 손실 특성에 큰 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는 VBR MPEG 비디오 정보원들이 임의의 시작 시간 배열을 갖는 환경하에서의 ATM 다중화기의 성능 해석 모델을 제안하였다. 성능 해석을 위하여 개별 트래픽과 다중화된 트래픽을 NDPP(non-deterministic periodic process)로서 모델링 하였고, 다중화기는 U-state NDPP/D/1/B 큐잉 시스템으로 모델링하였다. 해석 결과는 모의 실험의 결과와 매우 유사한 경향임을 보여준다. 시작 시간 배열과 ATM 다중화기의 성능간의 관계를 고찰하므로써, 다중화 성능을 최대화하도록 다중화되는 VBR MPEG 비디오 정보원들의 시작 시간을 배열하기 위한 방안을 제시하였다.

ABSTRACT

Two main characteristics of VBR MPEG video traffic are different statistics according to different picture types and the periodic traffic pattern due to GOP structure. Especially, the I-pictures at the beginning of each GOP generate much more traffic than other pictures. When several VBR MPEG video sources are superposed, the I-picture starting times of these sources may significantly affect the cell loss characteristics of ATM multiplexers. In this paper, we propose a performance model for ATM multiplexers with VBR MPEG video sources whose starting times are arbitrary given. For analysis, both single and superposed source traffic are modeled as NDPPs (non-deterministic periodic processes), and the ATM multiplexer is modeled as a U-state NDPP/D/1/B queueing system. It is shown that the numerical results are very close to the simulation results. From the relationships between the starting time distributions and the corresponding multiplexer performances, some considerations for designing a scheduling policy in order to obtain the maximum multiplexing gain are presented.

* 삼성전자 정보통신총괄 네트워크개발그룹
** 한국과학기술원 전기및전자공학과
論文番號 : 97403-1104
接受日字 : 1997年 11月 4日

1. 서 론

“ATM망을 통한 MPEG 전송 응용(MPEG over ATM)”은 기존의 또는 향후의 멀티미디어 통신 응용에 있어서의 가장 가능성 있는 방안으로 기대되고 있다. ATM을 기반으로 하는 B-ISDN은 향후 고도 정보화 사회의 핵심 기반 통신망으로서 통신 속도가 수 Kbps에서 부터 수백 Mbps까지의 다양한 전송속도와 서로 다른 서비스 품질을 요구하는 트래픽 특성을 갖으면서 음성, 데이터, 영상 등의 서비스가 결합된 멀티미디어 서비스를 하나의 통신망으로 수용하는 것을 근본으로 하고 있다. 이러한 B-ISDN에서의 다양한 형태의 트래픽의 수용은 망 내에서의 트래픽 불확실성을 증대시킴으로써 폭주의 가능성을 내포한다. ITU-T와 ATM Forum등의 국제 표준화 단체들은 ATM망에서의 폭주를 제어하기 위한 여러 방안들을 제시하고 있다[1][2].

여러 다양한 정보원들 중에서 MPEG 비디오 정보원은 GOP (group of pictures)에 따라 I-, P-, B-픽처의 세가지 서로 다른 형태의 부호화 방법에 의하여 부호화가 이루어진다. 이때, 발생하는 트래픽 양은 I-픽처 일때 가장 크게 발생되고, B-픽처에서 가장 적게 발생되며, P-픽처에서는 이들의 중간 정도로 발생된다. 이들 픽처들은 GOP구조에 의하여 그림 1과 같이 주기적으로 나타난다. 이에 따라, MPEG 비디오 트래픽은 매우 복잡한 통계적 특성을 갖게 되고 주기적으로 형태가 반복되면서 매 주기의 시작인 I-픽처에서 피크 트래픽이 발생하는 형태를 나타나게 된다.

이러한 I-픽처에 의한 주기적인 피크의 발생은 ATM 노드의 다중화기에서의 통계적 다중화 성능에 지대한 영향을 줌이 알려져 있다. 즉, 동일한 수의 MPEG 비디오 정보원이 다중화된 경우에도 각 정보원들의 I-픽처 시작 시간의 배열 형태에 따라 셀 손실의 영향이 크게 달라 질 수 있다[3][4].

다중화된 가변비트율 (variable bit rate, VBR) MPEG 비디오 트래픽의 성능을 분석하기 위한 많은 방법들이 제안되었다. Mitrou등[5]은 I-픽처와 P-픽처로만 구성된 VBR MPEG 비디오 정보원을 각 픽처에서의 셀 발생 과정은 2-state ON/OFF 프로세스이고 이들간에 GOP 구조에 따라 확률적으로 천이가 이루

어지는 4-state MMRP (Markov modulated rate process)로 모델링하였다. 이 모델을 이용하여 Mitrou 등은 VBR MPEG 비디오 정보원에 대한 다중화 성능 분석을 시도하였다. Ohta 등[6]은 3-state MMBP (Markov modulated Bernoulli process)로서 I-, B-, P-픽처로 이루어진 VBR MPEG 비디오 정보원을 모델링하였다. 각 state는 각 픽처에서의 셀 발생 과정을 표현하고 있으며, 베루누이 분포에 따라 셀이 발생한다고 가정하였다. 이들 state 간에는 GOP 구조에 따라 확률적으로 천이가 이루어지는 것으로 모델링하였고, 이 모델을 이용하여 다중화된 VBR MPEG 비디오 트래픽에 대한 시불변 상태(steady state)와 천이 상태(transient state)에서의 셀 손실 확률을 유도하였다. Blefari-Melazzi [7]는 VBR MPEG 비디오 트래픽의 셀 발생 과정이 GOP 구조에 따라 주기적인 점을 이용하여 VBR MPEG 비디오 트래픽을 GOP구간을 주기로 하는 NDPP (non-deterministic periodic process)[8]로 모델링 하고 이를 이용하여 다중화기의 성능을 분석하였다. 이들 연구들에서는 다중화된 정보원들의 시작 시간들이 균등 또는 랜덤하게 분포되었거나[5][6], 픽처 시작 시간에서 시작 시간이 위치하는 제한된 경우[7]를 대상으로 하고 있다. 따라서, 이들은 다중화 성능을 단순히 다중화된 정보원의 수에 대한 함수로서만 제공할뿐, VBR MPEG 비디오의 일반적인 I-픽처 시작 시간 배열에 의한 셀 손실 확률 변화 특성을 반영하지 못하고 있다. 또한, VBR MPEG 비디오 정보원의 I-픽처 시작 시간 배열에 의한 효과를 반영한 연결 수락 제어[4][9]와 스케줄링 [10]방법들이 제안되었다. 그러나, 이들 방법들은 제어를 위한 방법들에 대한 연구로서 실제로 임의의 시작 시간 배열을 갖는 다중화된 VBR MPEG 비디오 정보원들에 대한 ATM 다중화기에서의 성능에 대한 해석 모델을 제시하지는 못하고 있다.

본 논문에서는 임의의 시작 시간 배열을 갖는 다중화된 VBR MPEG 비디오 정보원의 ATM 다중화기 성능을 해석하기 위한 모델을 제안한다. 제안하는 방법은 각 VBR MPEG 비디오 정보원을 NDPP로 모델링하고, 이를 이용하여 다중화된 정보원들이 일반적인 시작 시간 배열을 갖는 환경으로 확장시켰다. 실험 결과는 일반적인 시작 시간 환경에서의 다중화기 성

능을 잘 반영하고 있음을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 VBR MPEG 비디오 정보원의 특징을 살펴보고, 제3장에서는 VBR MPEG 비디오 트래픽을 U-State NDPP로 모델링하는 과정을 설명한다. 제4장에서는 일반적인 시작 시간 배열을 갖는 다중화된 VBR MPEG 비디오 트래픽의 다중화기를 U-state NDPP/D/I/B 큐잉 시스템으로 모델링 한 후 이 큐잉 시스템을 해석하며, 제5장에서는 실험 결과를 보여준다. 끝으로 제6장에서 결론을 맺는다.

II. VBR MPEG 비디오 트래픽 특성

MPEG 영상 부호화를 통하여는 다음 세가지의 픽처 형태가 나타난다[11]. i) 인트라 부호화 픽처(intra-coded picture, I-picture)로서 다른 픽처들에 대한 참조 없이 해당 픽처의 자체 정보만을 사용하여 부호화 된다 ii) 예측 부호화 픽처(predictive-coded picture, P-picture)로서, 바로 이전의 I-픽처나 P-픽처를 참조하여 움직임 보상 예측 방법에 의하여 부호화 된다. iii) 쌍방향 예측 부호화 픽처 (bidirectionally predictive-coded picture, B-picture)로서, 바로 이전 그리고 바로 후의 I-픽처 나 P-픽처들을 기준으로하여 움직임 보상 예측에 의하여 부호화 된다.

이들 각 I-픽처, P-픽처, B-픽처들은 GOP 구조에 의하여 주기적으로 나타나게 된다. GOP는 두개의 변수 (N,M) 에 의하여 특성화되는데, N은 I-픽처들간의 거리를 나타내고 M은 I-픽처와 P-픽처간 또는 P-픽처들간의 거리를 나타낸다. 연속적으로 부호화된 화면들은 GOP들로 구성되어 있으며, GOP는 독립적으로 복호될수 있는 가장 작은 단위로써 랜덤 액세스(random access)의 기준점을 제공한다. 한GOP는 I-픽처로 시작되어 일정한 간격으로 P-픽처가 나오고 그 사이를 B-픽처가 채운다. 이와 같이, MPEG 영상 부호화에서 GOP 구조는 MPEG의 부호화 방식과 이에 따른 데이터 발생 특성을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 그림 1은 GOP구조 (N,M)=(12,3)인 경우에 대한 각 픽처에 대한 부호화 방법을 보여 주고 있다.

각 픽처별로 상이한 부호화의 결과로, I-픽처에서 가장 많은 트래픽이 발생되고 B-픽처에서는 가장 작

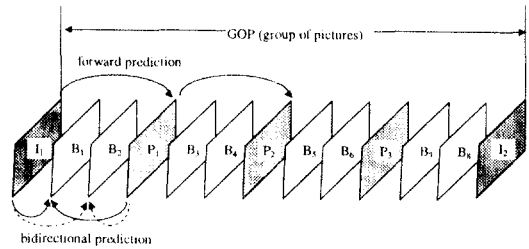


그림 1. GOP 구조가 (N,M)=(12,3)일때의 MPEG 부호화 모드
Fig. 1. MPEG coding mode when GOP structure (N,M)=(12,3)

은 양의 트래픽이 발생되며, P-픽처에서는 이들의 중간 정도로 트래픽이 발생된다. 그림 2는 Rose [13]의 연구를 통하여 공개된 독일의 TV 대담(talk show)을 GOP 구조 (N,M)=(12,3)에 의하여 MPEG-1 부호화한 데이터로서 매 픽처당 MPEG-1 부호화되어 발생된 비트량을 보여준다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 매 GOP마다 트래픽이 의사주기적인 형태를 보여 주고 있으며, 특히, GOP 시작점인 I-픽처의 위치에서 피크 트래픽이 발생함을 알 수 있다.

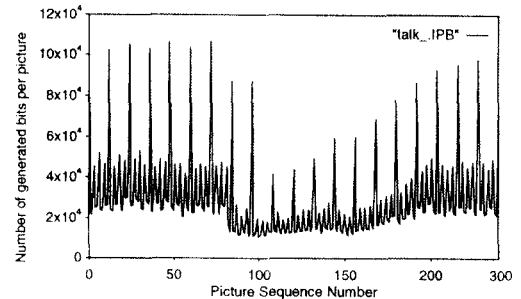


그림 2. MPEG 비디오 비트 스트림 예
Fig. 2. An example of VBR MPEG video bit stream

그림 3은 그림 2의 트래픽에 대한 자기 상관 (autocorrelation) 특성을 보여주고 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 전체 VBR MPEG 시퀀스에 대한 자기 상관 특성은 매우 복잡한 형태를 나타내지만, 전체 시퀀스 중에서 같은 픽처들만 추출하여 구성한 I-픽처 서브 시퀀스, P-픽처 서브 시퀀스, B-픽처 서브 시퀀스들에 대한 자기 상관 특성은 MPEG이 아닌 VBR 비디오 트래픽에서 보여주는 특성과 유사함을

알수 있다.

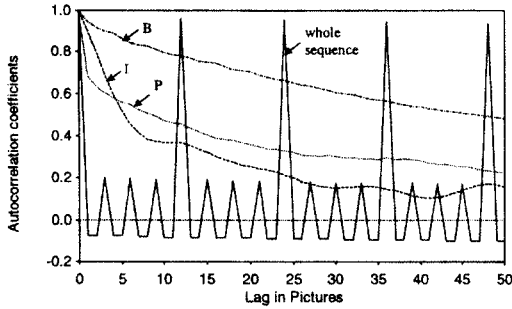


그림 3. 자기상관 계수 특성
Fig 3. Autocorrelation characteristics

그림 4는 그림 2의 트래픽의 픽처당 셀 발생량에 대한 확률 밀도 함수를 보여 주고 있다. 여기에서 한 셀내의 payload 크기는 48 바이트로 하였다. 전체 시퀀스에 대한 확률 밀도 함수에서는 상대적으로 빈도가 작은 I-픽처의 비중이 무시되고 있음을 알 수 있다. 또한, 각 I-픽처 서브 시퀀스 P-픽처 서브 시퀀스 B-픽처 서브 시퀀스들의 픽처당 셀 발생량에 대한 확률 밀도 함수는 MPEG이 아닌 VBR 비디오 트래픽과 유사한 형태를 보여줌을 알 수 있다.

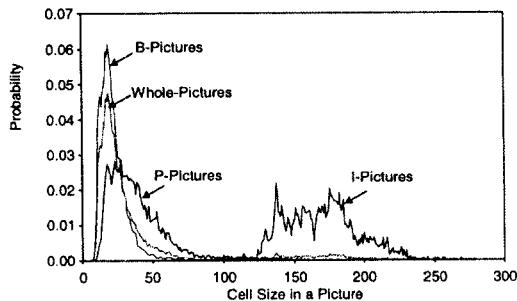


그림 4. 확률 밀도 함수 특성
Fig. 4. Probability mass functions

이상과 같이 VBR MPEG 비디오 정보원의 트래픽을 모델링 하기 위하여는 전체 시퀀스가 매우 복잡한 통계 특성을 갖고 있으므로 이로 부터 직접 트래픽 모델링하기는 매우 어렵다. 반면에, 각 서브 픽처 시퀀

스들은 각각 기존의 VBR 비디오 트래픽에서와 유사한 통계 특성을 보여주므로, 이들 각 서브 시퀀스에 대하여는 기존의 VBR 비디오 트래픽에서와 유사한 방법으로 트래픽 모델링이 가능하다. 그리고, 이들 서브 시퀀스간의 천이가 GOP 구조에 따른 주기적인 성질을 보유하도록 모델링함으로써 전체 시퀀스에 대한 트래픽을 모델링 할 수 있다[4-10]. 다음장에서는 VBR MPEG 비디오 트래픽 모델링 과정을 설명한다.

III. VBR MPEG 비디오 정보원 모델

1. 부호화기 출력 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 VBR MPEG 비디오 부호화기로부터 망으로 유입되는 셀들은 구간 고정율 (piecewise CBR)의 형태를 취한다. 즉, 부호화된 한 픽처에 대한 셀들은 일단 버퍼에 저장되었다가, 다음 픽처 시간동안 발생 셀수를 한 픽처 구간으로 나눈 일정한 셀율로 망으로 전송된다. 따라서, 전송을 위하여는 인코더에서는 한 픽처 구간동안의 지연이 요구된다.

2. 단일 VBR MPEG 비디오 트래픽 모델

$\{t_n, n=0, 1, 2, \dots\}$ 을 i -번째 정보원이 매 픽처에 대한 셀 전송을 시작하는 시간을 나타내는 시퀀스라 정의 하기로 한다. 앞 절의 부호화의 정의로부터 구간 $[t_n, t_{n+1})$ 동안에는 입력 셀율이 일정하게 유지된다. 이렇게 입력 셀율이 일정하게 유지되는 구간을 phase라 정의하기로 하고 구간 $[t_n, t_{n+1})$ 을 n -번째 phase라 부르기로 한다. 즉, 정보원의 매 프레임 시작 시간이 각 phase의 시작 시간이 된다 $\{X_n, n=0, 1, 2, \dots\}$ 을 각 phase동안의 입력 셀율이라 정의 하기로 한다.

(N, M) 을 정보원의 GOP 구조를 나타내는 파라미터라 하고 T 는 비디오 트래픽의 프레임율과 관련되는 파라미터로서, 정보원의 한 픽처동안에 해당하는 시간 기간에 해당한다. 또한, I-픽처, P-픽처 그리고 B-픽처 서브 시퀀스에 대한 확률 밀도 함수를 각각 $f_i(x)$, $f_p(x)$, $f_b(x)$ 라고 하기로 한다.

정보원의 셀 발생이 $t_0=0$ 에서 I-픽처에서 부터 시작 되었다고 가정할때, $t_n = n \cdot T$ 이고, 정보원에 대한 입력

셀율은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$X_n = \begin{cases} x & \text{with prob. } f_I(x) \text{ ,if } [t_n, t_{n+1}) \in I \\ x & \text{with prob. } f_P(x) \text{ ,if } [t_n, t_{n+1}) \in P \\ x & \text{with prob. } f_B(x) \text{ ,if } [t_n, t_{n+1}) \in B \end{cases} \quad (1)$$

여기에서 I, P, B 는 각각 I-픽처, P-픽처, B-픽처를 의미한다. 즉, 구간 $[t_n, t_{n+1})$ 에서 정보원이 I-픽처일때는 $f_I(x)$ 의 확률로서 x cells/frame의 셀율로 셀을 발생시키고, 마찬가지로 P-픽처이거나 B-픽처 일때는 $f_P(x)$ 나 $f_B(x)$ 의 확률을 갖고 x cells/frame의 셀율로 셀이 발생된다. VBR MPEG 비디오 트래픽은 GOP 구조에 따라 I-, P-, B-픽처가 일정하게 반복되는 주기적인 형태를 취하고 각 픽처에서는 각각의 확률 밀도에 따라 셀 발생율이 결정되므로, 이러한 셀 발생 과정을 NDPP (non-deterministic periodic process)라고 부른다[8].

3. 중첩된 VBR MPEG 비디오 트래픽 모델

여기에서는 K 개의 VBR MPEG 비디오 정보원이 다중화된 트래픽에 대한 모델을 설명한다. 이때 다중화되는 정보원들은 서로 동종(homogeneous)이거나 이종(heterogeneous)일 수 있다. 중첩된 트래픽 모델을 설명하기 위하여 단일 트래픽에서의 모델을 확장하여 표현하게 되고 사용되는 변수들에 대한 설명을 다음에 나타내었다.

K : 중첩된 정보원의 수

(N_k, M_k) : k -번째 정보원의 GOP 구조를 나타내는 파라미터($k=1, \dots, K$)

T_k : k -번째 정보원의 한 픽처 동안에 해당하는 시간 구간

s_k : k 번째 정보원의 시작 시간

$L_k (=N_k \cdot T_k)$ k 번째 정보원의 한 GOP에 대한 시간 구간(주기)

$f_{I,k}(x), f_{P,k}(x), f_{B,k}(x)$: k 번째 정보원의 I, P, B-픽처 구간동안 셀율에 대한 확률 밀도 함수

$\{t_{k,n}, n=0,1,2,\dots\}$ k 번째 정보원의 매 픽처 시작 시간에 대한 시퀀스

$L = LCM\{L_1, L_2, \dots, L_K\}$ 중첩된 정보원의 주기

$\{t_n, n=0,1,2,\dots\}$: 모든 $\{t_{k,n}$ 생략}를 시간축상에서

의 배열순으로 나열한 시퀀스

$\{t_n, t_{n+1}\}$: n -번째 phase 구간

U : 구간 $[0, L)$ 내의 t_n 의 갯수

$A_n \in \{0,1,2,\dots,U-1\}$: n -번째 phase 에서의 phase type

주기 $L_k (1 \leq k \leq K)$ 를 주기로 반복되는 형태를 갖는 트래픽이 중첩될 경우 중첩된 트래픽 또한 각 트래픽들의 주기의 최소 공배수인 $L = LCM\{L_1, L_2, \dots, L_K\}$ 를 새로운 주기로 하는 주기적인 트래픽이 된다[8]. 따라서, 중첩된 트래픽은 중첩되지 않는 연이은 시간 구간 $[0, L), [L, 2L), \dots$ 등에서 유사한 형태가 반복됨을 예상할 수 있다.

k -번째 정보원의 시작 시간이 s_k 인 경우, $t_{k,n} = s_k$ 이고 $t_{k,n} = t_{k,n-1} + T_k (n \geq 1)$ 에 의하여 구할 수 있다. $\{t_{k,n}, n=0,1,2,\dots\}$ 를 $t_{k,n}$ 를 시간축상에서 나타나는 순서대로 배열한 시퀀스라 정의하고, 편이상 $t_0 = 0$ 로 하기로 한다. 이때, $t_n \neq t_m$ 임에 주의한다. 즉, $t_{k,n}$ 이 일치하는 정보원들은 모두 동일한 시점으로 표현된다. 이때, U 를 구간 $[0, L)$ 내의 t_n 의 갯수라 정의하기로 한다. 즉,

$$U = \arg \max_{n > 0} \{n : t_n < L\} \quad (2)$$

다중화된 정보원 수(K)가 4개인 경우에 대한 시퀀스 $\{t_{k,n}, n, n \leq 0, 1 \leq k \leq K\}$ 과 $\{t_n, n \geq 0\}$ 을 그림 5에 나타내었다.

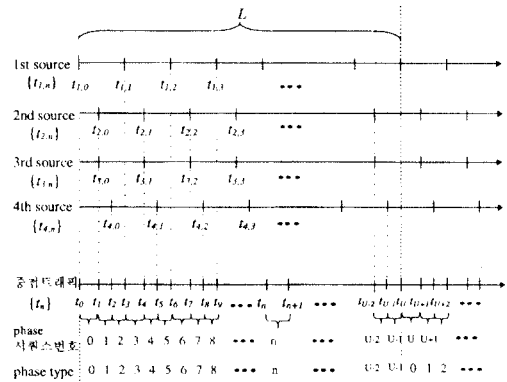


그림 5. phase 시작 시간 구성 예 ($K=4$ 의 경우)

Fig. 5. An example for obtaining starting time of each phase ($K=4$ case)

다중화된 트래픽의 n-번째 phase는 구간 $[t_n, t_{n+1})$ 동안의 중첩된 정보원들의 픽처 형태의 결합으로서 표현된다. 따라서, n-번째 phase에서의 발생 셀율은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$X_n = x \text{ with prob. } \tilde{f}_n(x) = f_{n,1}^* \cdot f_{n,2}^* \cdots \cdot f_{n,K}^*(x) \quad (3)$$

여기에서, *는 convolution을 의미한다. 또한, $J \in \{I, P, B\}$ 로서 $f_{n,k}^*$ 는 n-번째 phase에서 k-번째 정보원이 I-픽처 구간에 속할때는 $f_{I,k}(x)$ 가 되고 P-픽처일때는 $f_{P,k}(x)$ B-픽처일때는 $f_{B,k}(x)$ 가 됨을 의미한다. 이때, 중첩된 트래픽은 L을 주기로 하는 주기적인 형태를 취하므로 각 구성하는 각 정보원의 구성 요소 (픽처 형태)들은 주기 L마다 반복됨에 주의 한다. 따라서, 중첩된 트래픽을 표현하는 데는 주기 L 동안 나타나는 U 개의 phase type만 고려하면 된다.

$f_J(x) (J=0,1,\dots,U-1)$ 를 한 phase에서의 셀 발생 확률 분포가 type J일때의 발생 셀율에 대한 확률 분포 함수라 하면, $f_J(x)$ 는 type J phase를 구성하는 각 정보원의 픽처형태에 대한 셀 발생 확률 분포의 K-fold convolution에 의하여 구해진다. 즉,

$$\tilde{f}_J(x) = f_{J,1}^* \cdot f_{J,2}^* \cdots \cdot f_{J,K}^*(x) \quad , J=0,1,\dots,U-1 \quad (4)$$

여기에서, $J \in \{0,1,2,\dots,U-1\}$.

$A_n \in \{0,1,2,\dots,U-1\}$ 을 n-번째 phase의 phase-type이라 정의할때, 다중화된 트래픽에 대한 입력 셀율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_n = x \text{ with probability } \tilde{f}_J(x) \text{ if } A_n = J \quad (5)$$

이때, 주의할 것은 X_n 은 n-번째 phase동안 발생한 셀 수를 의미하는 것이 아니라 셀 발생율 (cells/sec)을 의미한다. 따라서, n-번째 phase동안의 발생 셀 수는 $X_n \cdot (t_{n+1} - t_n)$ 이 된다. 이와 같이, 다중화된 VBR MPEG 비디오 정보원은 U 개의 상태를 갖는 NDPP (U-NDPP)로 표현된다.

IV. 다중화기 성능 해석

여기에서는 다중화기의 성능을 해석한다. 이때, 모든 시간은 한 셀의 전송 시간인 고정 길이의 시간 슬롯

으로 구분되며 매 이벤트는 시간 슬롯의 시작점에서 시작한다고 가정한다. 따라서, 모든 시간 단위는 슬롯으로 표현된다.

1. 시스템 모델

ATM 다중화기는 시스템 크기가 B이고 서비스율이 C로 고정된 단일 서버로 구성된다. 버퍼가 모두 점유 되었을 때 도착한 셀들은 모두 폐기된다. ATM 다중화기에는 K개의 정보원이 연결되어 있고, 각 입력 정보원으로 부터의 셀 발생은 3.1.절에 나타낸 방법으로 이루어지며, 각 입력 정보원의 특성은 표현자 $\Gamma_k = [(N_k, M_k), \{f_{I,k}(x), f_{P,k}(x), f_{B,k}(x)\}, (S_k, T_k)] (k=1,2,\dots,K)$ 에 의하여 특징지어진다. K개의 VBR MPEG 비디오 정보원이 다중화된 ATM 다중화기의 모습을 그림 6에 나타내었다.

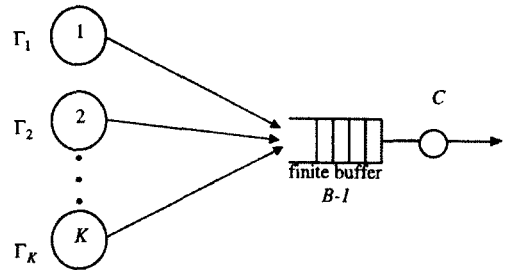


그림 6. ATM 다중화기 모델
Fig. 6. An ATM multiplexer model

2. 성능 해석

그림 6의 다중화기는 U-NDPP/D/1/B 큐잉 시스템으로 표현할 수 있다. 즉, 입력은 U개의 상태를 갖는 NDPP이고 버퍼 크기가 B-1이고 일정한 서비스율 C를 갖는 단일 서버 시스템이다. U-NDPP/D/1/B 큐잉 시스템의 성능 해석을 위하여 다음과 같은 변수들을 정의 하기로 한다.

Y_n : n-번째 phase 시작점 (t_n)에서의 system size

X_n : n-번째 phase 동안의 도착 셀율

$S_n (= t_{n+1} - t_n)$: n-번째 phase의 슬롯 단위의 시간 구간 또는 이동한 서비스될 트래픽 양(셀수)

A_n : n-번째 phase의 phase type

C_j : phase-type이 J 인 phase의 시간 구간 또는 이동 안 서비스될 트래픽 양

C : 링크 서비스율

(n+1)-번째 phase의 시작점에서의 버퍼 상태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{n+1} = \max \left\{ 0, \left\lceil y_n + (X_n - C) \frac{S_n}{C} \right\rceil \right\} \quad (6)$$

여기에서 $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 크거나 같은 최소의 정수를 의미한다.

$A_n = J$ 일때, $S_n = C_j$ 이고 식 (6)은 다음과 같이 다시 나타낼 있다.

$$y_{n+1} = \max \left\{ 0, \left\lceil y_n + (X_n - C) \frac{C_j}{C} \right\rceil \right\} \quad (7)$$

n-번째 phase에서의 phase type $A_n = J$ 일때, 시스템 크기가 i 에서 j 로 변화할 확률을 다음과 같이 정의하기로 한다.

$$P_{(i,j)}^J = \Pr \{ Y_{n+1} = j | Y_n = i, A_n = J \} \quad , (0 \leq i, j \leq B) \quad (8)$$

$h_j(i, j)$ 를 system size가 i 에서 j 로 변화가 가능하도록 하는 phase type J 구간동안의 X_n 의 최대 크기로 정의하면, $h_j(i, j)$ 는 식 (7)로 부터 다음과 같이 유도된다.

$$h_j(i, j) = \left\lceil C + \frac{C}{C_j} (j - i) \right\rceil \quad (9)$$

여기에서 $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 작거나 같은 최대 정수를 의미한다. $h_j(i, j)$ 를 정의하는 이유는 각 phase의 시간 간격이 다를 수 있으므로, 각 phase동안 서비스되는 트래픽 양 또한 달라질 수 있기 때문이다. 이의 의미를 쉽게 하기 위하여 $H_j(k)$ 를 다음과 같이 정의하기로 한다.

$$H_j(k) = h_j(i, j) |_{j=i+k} \quad (10)$$

$H_j(k)$ 는 시스템 크기의 변화가 k 가 되도록 하는 type J phase 동안의 X_n 의 최대값을 의미한다. 즉, 시스템

크기의 변화가 k 가 되기 위하여 요구되는 입력 트래픽의 양의 범위는 $H_j(k-1) < X_n \leq H_j(k)$ 가 된다.

이로 부터, type J phase에서의 시스템 크기 변화는 행렬의 크기가 $(B+1) \times (B+1)$ 인 상태 천이 확률 행렬 $P_j = [p_{(i,j)}^J]$ ($0 \leq i \leq B, 0 \leq j \leq B$)로서 나타낼 수 있고 행렬의 각 요소는 다음과 같이 구해진다.

$$P_{i,j}^J = \begin{cases} \sum_{k=0}^{h_j(i,0)} \tilde{f}_j(x) = \sum_{k=0}^{H_j(i)} \tilde{f}_j(x) & , j=0 \\ \sum_{x=1-(i,j-1)+1}^{h_j(i,j)} \tilde{f}_j(x) = \sum_{k=H_j(i-1)+1}^{H_j(j)} \tilde{f}_j(x) & , 0 < j < B \\ 1 - \sum_{j=0}^{B-1} P_{i,j}^J & , j=B \end{cases} \quad (11)$$

따라서, (11)로 부터 행렬 P_j 는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

$$P_j = \begin{bmatrix} \sum_{k=C_j}^0 G_i(k) & G_i(1) & G_i(2) & \dots & G_i(B-1) & 1 - \sum_{k=C_j}^{B-1} G_i(k) \\ \sum_{k=C_j}^{-1} G_i(k) & G_i(0) & G_i(1) & \dots & G_i(B-2) & 1 - \sum_{k=C_j}^{B-2} G_i(k) \\ \sum_{k=C_j}^{-2} G_i(k) & G_i(-1) & G_i(0) & \dots & G_i(B-3) & 1 - \sum_{k=C_j}^{B-3} G_i(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \sum_{k=C_j}^{-B} G_i(k) & G_i(-B+1) & G_i(-B+2) & \dots & G_i(-1) & 1 - \sum_{k=C_j}^{-1} G_i(k) \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기에서

$$G_i(n) = \sum_{k=H_j(n-1)+1}^{H_j(n)} f_j(k) \quad (13)$$

전체 중첩된 트래픽은 그림 6에서 표현한 바와 같이 L 을 주기로 phase type이 $0, 1, \dots, U-1, 0, 1, \dots$ 과 같이 반복되므로 전체적인 시스템 크기에 대한 상태 천이 확률 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \begin{bmatrix} 0 & P_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & P_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_{U,2} \\ P_{U,1} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

식 (14)와 같이 주어진 주기적인 마코프 체인(periodic Markov chain)에 대한 정상 상태 확률은 다음의 정리를 사용하므로써 쉽게 구할 수 있다[8]

정리 1.

식 (14)와 같은 천이 행렬 P를 갖는 유한이고 irreducible한 주기적인 마코프 체인에 대한 유일한 정상 상태에서의 확률 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$\pi = \frac{1}{U} (\pi'_0, \pi'_1, \dots, \pi'_{U-1}) \quad (15)$$

여기에서 $\pi = [\pi_0(0), \pi_0(1), \dots, \pi_0(B)]$ 는 행렬 B에 대한 유일한 정상 상태 확률 벡터이고, π'_j 는 π_j 에 대한 전이 행렬(transpose matrix)를 의미한다. 즉, $\pi_j Y = \pi_j, \pi_j e = 1$. 이때, e는 단위 벡터이고, $Y_j = P_0 \dots P_{j-1} P_0 \dots P_{j-1} (j=1,2,\dots,U-1), Y_0 = P_0 P_1 \dots P_{U-1} (j=0)$ 이다.

M_j 를 type J phase 구간 동안 발생한 평균 트래픽 양이라 하고 L_j 를 type J phase 구간동안 손실된 평균 트래픽 양이라 하면 이들은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

$$M_j = \frac{C_j}{C} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot \tilde{f}_j(k) \quad (16)$$

$$L_j = \sum_{m=0}^B \pi_{j-1}(m) \cdot \sum_{k=B+1-m}^{\infty} (k-B+m) G_j(k) \quad (17)$$

이로부터, type J phase 구간 동안의 셀 손실 확률은 다음과 같다.

$$CLP_j = \frac{L_j}{M_j} \quad (18)$$

M_a 와 L_a 를 각각 전체 평균 발생 트래픽양과 손실된 트래픽 양이라 하면, 이들은 total probability theorem에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$M_a = \frac{1}{U} \sum_{j=0}^{U-1} \frac{C_j}{C} \cdot M_j \quad (19)$$

$$L_a = \frac{1}{U} \sum_{j=0}^{U-1} \frac{C_j}{C} \cdot L_j \quad (20)$$

다중화 시스템의 전체 평균 셀 손실률은 다음과 같이 구해진다.

$$CLP_a = \frac{L_a}{M_a} \quad (21)$$

V. 실험 결과

실험을 위하여, 극장용 영화를 MPEG-1 부호화한 비트 시퀀스 ('StarWars')[12]와 독일 TV 대담 프로그램을 MPEG-1 부호화한 비트 시퀀스 ('TalkShow')[13]를 사용하였다. 데이터는 픽처당 발생 비트수로 구성되어 있으며, GOP 구조는 모두 (N,M) = (12,3)이다. 이들 시퀀스에 대한 주요 통계 특성을 표 1에 나타내었다.

표 1. 실험에 사용한 시퀀스의 기본 통계 특성 (단위: 픽처당 셀수) Table1 Statistics of sequences used in experiments (unit: cells/picture)

| 특성 sequence | 픽크 셀율 | | | | 평균 셀율 | | | |
|----------------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|------|------|
| | 전체 | I | P | B | 전체 | I | P | B |
| StarWars[12] | 483 | 483 | 454 | 169 | 41.1 | 157.7 | 60.6 | 19.3 |
| TalkShow[13] | 279 | 279 | 182 | 94 | 38.4 | 169.1 | 39.1 | 21.7 |

1. 시작 시간 배열이 다중화기 성능에 미치는 영향 제안된 방법이 임의의 시작 시간 배열을 갖는 VBR MPEG 비디오 정보원들의 다중화 성능을 잘 반영함을 보여주기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. 각 정보원들의 시작 시간 배열 구성은 다음과 같이 하였다. 다중화된 정보원의 수 K라 할때, 이들 K개의 정보원중에서 (K-1)개의 정보원의 시작 시간은 주기 L 내에서 균등 간격을 갖도록 고정하였다. 그리고, 나머지 K-번째 정보원의 시작 시간은 0에서부터 L까지 변화 시켰다. 즉, $s_k (k=1,2,\dots,K)$ 를 k-번째 정보원의 시작 시간이라 할 때, $s_k = (k-1) \cdot L / (k-1), k=1,2,\dots,K-1$ 이고 $s_k \in [0,L)$ 이다.

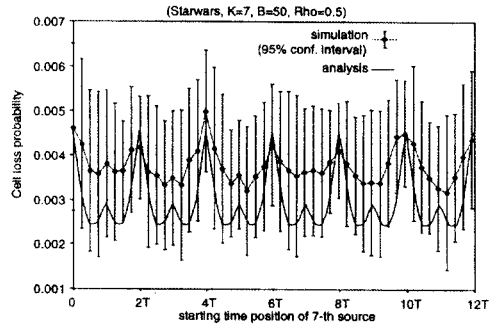
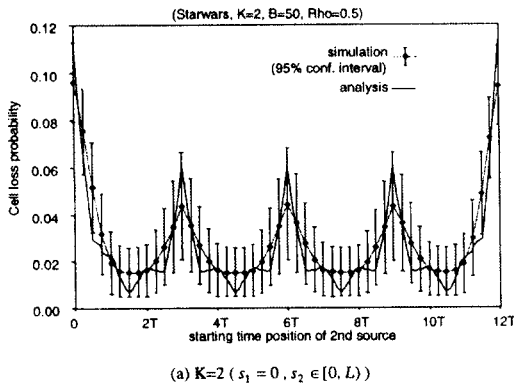
그림7과 그림8에는 각각 'StarWars'와 'TalkShow' 시퀀스에 대하여 다중화 정보원의 수(K)가 2와 7일 때의 다중화 성능을 나타내고 있다. 여기에서 평균 입력 셀율 대 서비스율의 비로 정의되는 트래픽 강도(ρ)는 0.5로 설정하였고, 시스템 크기(B)는 50 셀로 하였다. 또한, ATM 셀내의 유효 부하(payload)는 48 바이트로 구성하였다. 그림 7과 그림 8에서 K-번째 정보원의 시작 시간을 나타내는 가로 축에서 T는 한 픽처에 대한 시간 구간을 의미한다.

시작 시간 분포에 따른 다중화기 성능 변화는 K=2

일때 가장 잘 표현된다. 첫번째 정보원의 시작 시간은 $s_1 = 0$ 로 고정되어 있음에 주의한다. 두번째 정보원의 시작 시간이 $s_2 = 0$ 일때는 두 정보원의 I-픽처 시작 시간이 일치하므로 버스티니스가 가장 크게 되어 셀 손실률이 가장 크게 나타난다. s_2 가 0로 부터 멀어짐에 따라, 두 정보원의 I-픽처 구간의 겹치는 부분은 감소하게 되고, 셀 손실률 역시 감소 함을 알 수 있다. 그러나, s_2 가 $2T$ 를 지나면서는 두번째 정보원의 I-픽처 구간이 첫번째 정보원의 P-픽처 구간과 겹치게 되어 버스티니스가 다시 증가하게 되고, 셀 손실률 역시 증가한다. 특히, $s_2=3T, 6T, 9T$ 인 점에서는 두번째 정보원의 I-픽처 구간이 첫번째 정보원의 P-픽처 구간과 완전히 일치하는 지점으로서 버스티니스와 셀 손실률이 모두 서브 피크 형태를 보여준다. 이러한 양상이 주기적으로 L 까지 반복적으로 나타난다.

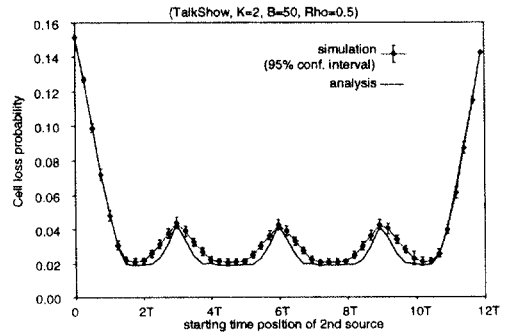
마찬가지로, $K=7$ 에 대한 현상도 설명가능하다. 특히, $K=7$ 인 경우 $s_7=T, 3T, 5T, 7T, 9T, 11T$ 인 부분에서 셀 손실확률이 감소하다 순간적으로 증가하는 양상을 보이는데, 이것은 Cohen 등[14]과 Feng 등[15]의 일부 연구들에서 언급된 바와 같이 VBR 비디오 트래픽의 경우 프레임 시작 시간이 동기화 될때 셀 손실 특성이 나빠지는 현상으로 여겨진다. 이에 대하여는 더 연구가 필요하다.

그림 7과 그림 8에서 볼수 있듯이 제안한 방법은 실험 결과보다 셀 손실 확률을 다소 과소 평가하는 경향을 보이나, 전체적으로 시작 시간 배열에 따른 셀 손실 변화의 양상을 잘 반영함을 알 수 있다.

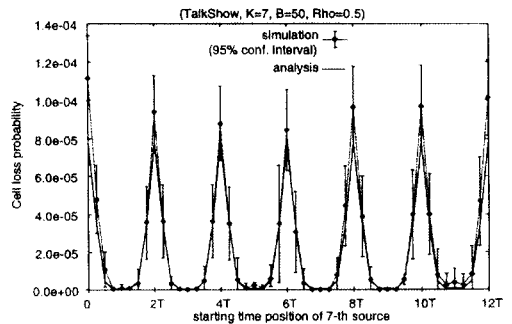


(b) $K=7$ ($s_1 = 0, s_2 = 2T, s_3 = 4T, s_4 = 6T, s_5 = 8T, s_6 = 10T, s_7 \in [0, L]$)

그림 7. 'StarWars' 시퀀스에 대한 다중화 성능 ($\rho=0.5, B=50$)
Fig. 7. Multiplexer performance of 'StarWars' sequence ($\rho=0.5, B=50$)



(a) $K=2$ ($s_1 = 0, s_2 \in [0, L]$)



(b) $K=7$ ($s_1 = 0, s_2 = 2T, s_3 = 4T, s_4 = 6T, s_5 = 8T, s_6 = 10T, s_7 \in [0, L]$)

그림 8. 'TalkShow' 시퀀스에 대한 다중화 성능 비교 ($\rho=0.5, B=50$)
Fig. 8. Multiplexer performances of 'TalkShow' sequence ($\rho=0.5, B=50$)

2. 다중화 성능을 최대화 하기 위한 시작 시간 배열 방안

여기에서는 제안한 성능 해석 모델의 응용으로서, 다중화 되는 정보원들의 시작 시간 배열이 가능한 VOD 서버등에서 다중화 성능을 최대화 하도록 시작 시간을 배열하기 위한 방안에 대하여 고찰한다.

그림 9에는 $K=4$ 인 경우에 대하여 시작 시간 배열 $S=(s_1, s_2, s_3, s_4)$ 을 다음과 같이 하였을 경우에 대한 결과를 보여준다. N_s 를 $s_1=0$ 로 하였을 때, 정보원들간의 시작 시간 간격으로서 다음과 같이 정의하기로 한다. 즉, $k=2, 3, 4$ 에 대하여 이다.

- i) $N_s=0$: 즉, $s=(0,0,0,0)$
- ii) $N_s=T$: 즉, $s=(0,T,2T,3T)$
- iii) $N_s=2T$: 즉, $s=(0,2T,4T,6T)$
- iv) $N_s=3T$: 즉, $s=(0,3T,6T,9T)$

여기에서 T 는 한 픽처에 대한 시간 간격을 의미한다. $N_s=0$ 일때는 모든 정보원의 시작 시간이 일치하는 경우이다. 또한, GOP 구조 $(N,M)=(12,3)$ 이므로, $N_s=3T$ 인 경우는 주기내에서 정보원의 시작 시간이 균등하게 배열(evenly spaced arrangement)된 경우에 해당한다.

쉽게 예상할 수 있듯이 $N_s=0$ 일때 가장 나쁜 다중화 성능이 나타난다. 대체적으로, $N_s=2T$ 일때 가장 좋은 성능이 나타나고, 그 다음으로 $N_s=T$ 일때가 $N_s=3T$ 일때 보다 더 나은 성능을 보여준다. 이것은 표 2를 통하여 설명된다. 표 2에는 그림 9 (b)의 'TalkShow' 시퀀스에 대하여, $B=70$ 셀, $\rho=0.7$ 일때 각 phase type을 구성하는 각 정보원의 픽처 형태와 이때의 셀 손실 확률을 보여준다. I-픽처와 P-픽처에서는 많은 수의 셀들이 발생되고 또한 많은 셀들이 손실될 가능성이 큰 쉽게 짐작할 수 있다. 표 2에서 볼 수 있듯이 I-픽처와 P-픽처가 겹쳐지는 정도와 이들 구간의 배열에 따라 셀 손실 특성이 결정된다. 즉, 한 phase내의 픽처 구성 요소가 I-픽처나 P-픽처가 많을 수록, 발생 셀수는 많아지고 결과적으로 많은 손실이 발생된다. 또한, 이들 구간 직후의 phase 시작 시간에서의 버퍼 크기가 커지게 되어 이 phase 동안에서의 셀 손실 특성에 영향을 주게 된다. 따라서, I-픽처 또는 P-픽처가 겹쳐지는 정도가 큰 phase들이 간격을 적게 하며 연속적으로 나타날때 셀 손실 파급 효과가 크게 나타난다.

다. 결과적으로 $N_s=0$ 일때 대부분의 셀들은 phase type-1에서 발생되어 이 구간에서 대다수의 손실이 발생되므로 가장 나쁜 셀 손실 특성을 나타내게 된다. 반면에 $N_s=2T$ 일때는 다른 경우에 비하여 I-픽처나 P-픽처의 겹침 정도가 작고 이들 구간간의 간격이 제일 크게 되므로 셀 손실 특성이 제일 좋게 나타나게 된다. 가장 적절한 스케줄링 방법으로서 쉽게 예상 가능한 방법은 정보원들을 주기내에 일정한 간격으로 배열 시키는 것이다. $N_s=3T$ 일때가 이러한 경우에 해당하는데, 이 경우 한 정보원의 I-픽처와 다른 정보원들의 P-픽처들이 일치하게 되어 나쁜 셀 손실 특성이 나타나게 된다.

이로부터, 다중화 성능을 최대화하기 위하여 정보원들의 시작 시간을 배열할 경우는 각 phase를 구성하

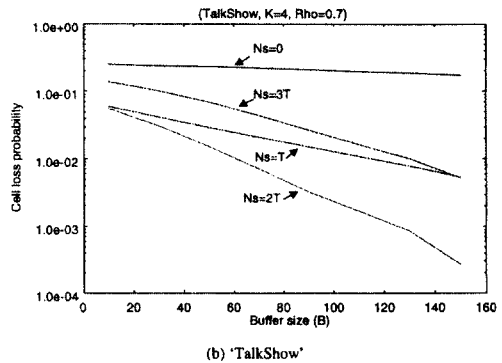
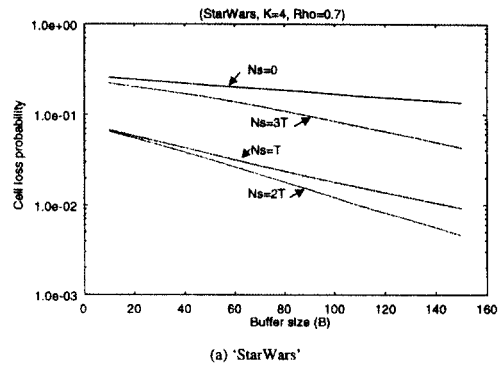


그림 9. 시작 시간 배열이 큐 성능에 미치는 영향 ($\rho=0.7$)
Fig.9. Effect of starting time distributions to queuing performances ($\rho=0.7$)

는 I-픽처나 P-픽처들의 겹침 정도가 작도록 하고 이들 I-픽처들이 나오는 phase들간의 간격을 가능한 최대로 할 것이 필요하다. 이에 대한 연구는 계속 더 진행되어야 할 것이다.

표 2. 각 phase-type 에서의 셀 손실 특성 ('TalkShow' 시퀀스, B=70, =0.7)

Table 2. Cell loss ratio in each phase-type for 'TalkShow' sequence (B=70, =0.7)

| phase type | phase 구성 픽처 형태 | | | | 셀 손실 확률 | | | |
|------------|----------------|------|------|------|----------|----------|----------|----------|
| | N_s | | | | N_c | | | |
| | 0 | T | 2T | 3T | 0 | T | 2T | 3T |
| 1 | 1111 | IBBP | IBBB | IPPP | 5.82e-01 | 1.95e-02 | 1.94e-02 | 6.94e-02 |
| 2 | BBBB | BIBB | BBPP | BBBB | 3.93e-07 | 2.77e-02 | 1.39e-04 | 1.80e-07 |
| 3 | BBBB | BBIP | BIBB | BBBB | 1.62e-10 | 3.49e-02 | 5.28e-03 | 1.83e-10 |
| 4 | PPPP | PBBI | PBBB | PIPP | 2.81e-03 | 7.11e-02 | 8.05e-04 | 6.94e-02 |
| 5 | BBBB | BPBB | BBIP | BBBB | 7.71e-09 | 3.31e-04 | 5.98e-03 | 1.80e-07 |
| 6 | BBBB | BBPB | BPBB | BBBB | 3.76e-10 | 9.89e-06 | 9.26e-05 | 1.83e-10 |
| 7 | PPPP | PBBP | PBBB | PPPI | 2.81e-03 | 2.03e-04 | 2.00e-02 | 6.94e-02 |
| 8 | BBBB | BPBB | BBPI | BBBB | 7.71e-09 | 7.29e-06 | 1.14e-04 | 1.80e-07 |
| 9 | BBBB | BBPB | BPBB | BBBB | 3.76e-10 | 5.35e-06 | 7.21e-06 | 1.83e-10 |
| 10 | PPPP | PBBP | PBBB | PPPI | 2.81e-03 | 2.02e-04 | 2.02e-04 | 6.94e-02 |
| 11 | BBBB | BPBB | BBPP | BBBB | 7.71e-10 | 7.29e-06 | 7.29e-06 | 1.80e-07 |
| 12 | BBBB | BBPB | BPBB | BBBB | 3.76e-10 | 5.35e-06 | 5.35e-06 | 1.83e-10 |
| 평균 셀 손실 확률 | | | | | 2.17e-01 | 2.05e-02 | 6.97e-03 | 4.36e-02 |

VI. 결론

VBR MPEG 비디오 트래픽은 GOP 구조에 따라 의사 주기적 (pseudo periodic) 이고, 매 GOP의 시작인 I-픽처에서 매우 큰 트래픽이 발생하는 매우 복잡한 형태를 보여준다. 따라서, 이들 VBR MPEG 비디오들이 다중화 될때 각 정보원의 I-픽처 시작 시간 배열에 따라 다중화된 트래픽의 셀 손실 특성은 크게 달라질 수 있다. 본 논문에서는 임의의 시작 시간 배열을 갖는 다중화된 VBR MPEG 비디오 트래픽의 성능 해석 모델을 제안하였다. 실험을 통하여 제안한 성능 해석 모델이 시작 시간 배열에 따른 셀 손실 변화 양상을 잘 반영함을 보였다. 제안 방법의 응용으로서, 시작 시간 배열이 가능한 VoD 서버에서 VBR MPEG 비디오 정보원들이 다중화될때, 다중화 성능을 최대화하도록 시작 시간을 배열하기 위한 방안을 제시하였다.

본 논문에서 제안하는 방법은 모든 VBR MPEG 비디오 정보원들이 중간 노드를 거치지 않고 처음으로 연결되는 ATM 다중화 노드를 대상으로 하고 있다. 이 경우, 각 VBR MPEG 비디오들로부터의 셀 전송 형태는 변형되지 않고 다중화기까지 유지되므로, 이들은 NDPP로 모델링 가능하다. 그러나, 연결이 여러 교환 노드를 경유하여 이루어 질 경우, 중간 노드들에서의 셀 전송 형태가 처음 노드에서 모델링된 NDPP 형태를 유지하는지의 여부는 확실하기 어렵다. 이와 같이, 연결이 여러 노드를 경유하여 이루어지는 경우에 대하여는 더 연구되어야 한다.

참고 문헌

1. ITU-T Rec. I.371, "Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN," Geneva, December, 1994
2. ATM Forum Draft Specification, "Traffic Management Specification Version 4.0," June, 1995
3. 노병희, 안희준, 김태용, 김재균, "ATM망에서의 VBR MPEG 비디오 정보원을 위한 효율적 연결 스케줄링 방안 연구," 한국통신학회 추계종합학술대회, 서울, 1995.11
4. 노병희, 안희준, 김재균, "VBR MPEG 비디오의 픽처형태별 등가 대역폭을 이용한 ATM망에서의 연결 수락 제어 방안," 제7회 통신정보합동 학술대회, 부산, 1997.4
5. N.Mitrou, A.Andreatos, N.Lykouropoulos and E.Protonotarios, "Transmission of MPEG Streams Through B-ISDN: Tailoring Profiles and Levels to ATM Channels," Proc. Visual Communications and Image Processing, SPIE Vol.2308, 1994, pp.1940-1951
6. C.Ohta, K.Shinagawa and Y.Onozato, "Cell Loss Properties for Multiplexing of MPEG Video Sources Considering Picture Coding Types in ATM Networks," Proc. IEEE ICC'96, Dallas, USA, June 1996, pp.1396-1400
7. N.Blefari-Melazzi, "Study of Statistical Characteristics and Queuing Performance of MPEG1 and MPEG2 Video Sources," Proc. IEEE Globecom'95,

- Singapore, November 1995, pp.488-493
8. R.Landry and I.Stavarakakis, "Non-Deterministic Periodic Packet Streams and Their Impact on a Finite-Capacity Multiplexer," Proc. IEEE Infocom' 94, Toronto, Canada, June1994, pp.224-231
 9. B-H. Roh and J-K. Kim, "An Efficient Traffic Control Framework for VBR MPEG Video Sources in ATM Networks," Proc. IEEE ICC' 97, Canada, 1997
 10. M.Krunz and S.K.Tripathi, "Exploiting the Temporal Structure of MPEG Video for the Reduction of Bandwidth Requirements," Proc. IEEE Infocom97, Japan, 1997
 11. ISO/IEC 13818-2, "Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Video," 1996
 12. M. Garrett, M.Vetterli, "Congestion Control Strategies for Packet Video," Proc. 4th Int. Workshop on Packet Video, Kyoto, Japan, March 1991
 13. O.Rose, "Statistical Properties of MPEG Video Traffic and Their Impact on Traffic Modeling in ATM Systems", Report No.101 of Research Report Series at University of Wurzburg Institute of Computer Science, 1992
 14. D.M.Cohen and D.P.Heyman, "Performance Modeling of Video Teleconferencing in ATM Networks," IEEE Tr. on Circuit and Systems for Video Technology, Vol.3, No.6, December, 1993, pp.408-420
 15. J. Feng, K.Lo, H. Mehrpour, "Simulation Analysis on Statistical Multiplexing of MPEG Video Sources," proc. Of IEEE ICC' 97, Canada, 1997



노 병 희 (Byeong-hee Roh) 정회원

1963년 8월 28일생

1987년 2월:한양대학교 전자공학과 (공학사)

1989년 2월:한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)

1989년 3월~1994년 3월:한국통신 통신망연구소

1998년 2월:한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)

1998년 2월~현재:삼성전자 선임연구원

※ 주관심분야: ATM 망 운용 및 성능평가, 멀티미디어 통신 응용

E-mail:bhroh12@samsung.co.kr.

김 재 균 (Jae-kyoon Kim)

정회원

1938년 9월 17일생

1962년 2월:한국 항공대학교 응용전자과 (공학사)

1967년 2월:서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1971년 8월:미국 남가주대학교 전자공학과 (공학박사)

1972년 4월~1973년 3월:미국 우주 과학 연구소 (NASA) GSFC 연구원

1973년 9월~현재:한국과학기술원 전기및전자공학과 교수

1993년 9월~현재:한국과학기술원 멀티미디어통신 공동연구센터장

※ 주관심분야:Information Theory, Video Coding, Visual Communications