

쉐이퍼를 사용한 비디오 트래픽원의 다중화기 성능 분석

이상천¹ · 홍정완^{2*} · 김제승³

¹경상대학교 산업시스템공학부, 공학연구원 / ²한성대학교 산업시스템공학과 / ³상지대학교 산업공학과

Performance Analysis of the Multiplexer for Shaped Video Traffic Sources

S.C. Lee¹ · J.W. Hong² · C.S. Kim³

¹Division of Industrial and Systems Engineering, ERI, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701

²Department of Industrial and Systems Engineering, Hansung University, Seoul, 136-792

³Department of Industrial Engineering, Sangji University, Wonju, 220-702

This paper considers the problem of performance analysis for the multiplexer, when homogeneous periodic on-off sources are statistically multiplexed. Periodic on-off source model is defined that on-period and off-period are repeated by once in a deterministic periodic time and in on-period, cell arrives with deterministic time interval. In order to reflect periodicity of source model, we consider two multiplexing situation, such as random multiplexing and synchronized multiplexing. In both case, we obtain the overload-period distribution in the multiplexer, and an approximate method using the overload period distribution is suggested for obtaining the CLP(Cell Loss Probability) in the buffer of the multiplexer. A numerical example using MPEG-I real traffic samples and the results are also presented.

Keywords: multiplexer, traffic shaper, periodic on-off sources, video traffic sources

1. 서론

광대역 종합정보통신망(B-ISDN; Broadband-Integrated Service Digital Network)은 빠른 전송속도와 데이터, 음성 그리고 비디오 트래픽이 통합되어 디지털 방식으로 전송되는 특성을 갖고 있다. 특히 비디오 트래픽은 데이터, 음성 트래픽에 비해 비트율 및 버스티니스(burstiness)가 높은 특성을 가지고 있어, 망 차원에서의 트래픽 관리에 대한 다양한 연구들이 시도되고 있다. 비디오 트래픽에 대한 연구 방향은 비디오원 입장에서 부하율을 줄이기 위한 효율적인 부호화 기법의 개발 및 망에서의 버스티니스의 완화와 트래픽의 효율적인 전송을 위한 트래픽 제어 기법의 개발 등으로 분류 할 수 있다.

비디오 트래픽의 부호화 기술에 대해서는 1990년 이후 프레임 간 코딩 및 프레임 내 코딩 기법의 조합을 통한 IBP GOP (Group of Picture) 구조를 제안한 MPEG 부호화 기법이 표준 부호화 기법으로 채택되었다. 또 트래픽 제어 기법으로는 망 수준에서의 혼잡 제어 기법으로 사용자 파라미터 제어(UPC; Usage Parameter Control) 및 호 수락 제어(CAC; Call Admission Control) 기법들이 제안되었으며, 특히 비디오 원 수준에서 트래픽 버스티니스를 완화시키는 쉐이핑 기법(traffic shaper)이 효율적인 예방 제어 기법으로 대두되고 있다.

효율적인 비디오 트래픽 제어를 위해서는 제어 알고리즘을 반영하는 트래픽 모형과 다중화기(multiplexer)에서의 셀 손실률 및 셀 지연의 분석 모형이 개발되어야 한다. 비디오 트래픽

본 연구는 경상대학교 부속 공학연구원 학술연구재단의 지원에 의하여 이루어졌음.

*연락처: 홍정완 교수, 136-792 서울시 성북구 삼선동 3가 389 한성대학교 산업시스템공학과, Fax : 02-760-4490,

E-mail : jwhong@hansung.ac.kr

2005년 9월 접수, 1회 수정 후 2005년 11월 게재 확정.

모형과 관련한 연구는 1990년 이후 다양한 관점에서 다수의 모형들이 제시되었다. 이들 모형 중 장면 변환, 버스티니스 등 비디오 트래픽의 통계적 특성을 반영하고 분석의 용이성을 위해 마코프 계열의 on-off 모형이 가장 광범위하게 활용되고 있다. 그러나 이 모형의 단점은 하나의 가상 경로로 묶이는 트래픽원(source)의 수가 제한되어 있으며, 특히 MPEG 트래픽인 경우 트래픽 특성을 반영하지 못한다는 한계를 가지고 있다.

MPEG 비디오원의 경우 한 프레임 내에 발생하는 트래픽이 프레임 종류별로 매우 큰 편차를 갖는 특성을 지니고 있으며, 트래픽 셰이퍼를 사용한 트래픽 완만화 기법이 제안되었다. 또한 멀티미디어 트래픽에 있어서는 트래픽 변동률을 제어하기 위한 이중 리키버킷(dual leaky bucket) 등의 트래픽원 수준에서의 트래픽 제어 기법이 제안되고 있다. 이와 같이 트래픽 셰이퍼나 이중 리키버킷에 의해 제어되는 트래픽은 on-off 과정을 따르지만 on 길이와 off 길이의 합이 일정하고, on 상태에서의 셀 도착 과정이 결정적(deterministic)이라는 특징을 가지고 있다. 따라서 이러한 트래픽의 경우 on 길이와 off 길이가 지수 분포를 갖는 마코프 계열의 on-off 트래픽원과 구분하여 주기적 on-off 트래픽원으로 불린다.

본 연구에서는 주기적 on-off 트래픽원들에 대한 다중화기의 성능 분석을 다루며, 과부하(overload) 상황이 존재하는 모형으로 modulated $N * D / D / 1$ 모형(Norros *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 2000)의 확장에 해당한다고 볼 수 있다. 분석 과정은 먼저 트래픽원들의 다중화 과정을 동기화(synchronization)된 경우와 랜덤(random)한 경우로 나누고 각 경우에 대해 다중화기의 과부하 기간(overload period)의 분포를 유도하고, 이를 통해 셀손실률을 근사적으로 유도한다. 예제에서 시뮬레이션을 통해 분석 모형의 정밀도를 검증한다.

2. 연구 현황

MPEG 비디오 트래픽은 코딩 알고리즘의 특성으로 인해 프레임의 종류(I, P, B 프레임)에 따라 다른 셀률의 변동이 큰 통계적 특징을 보여주며, 프레임 내에서도 버스티니스가 큰 특성을 가지고 있다(Markov *et al.*, 2001). 이러한 비디오 트래픽의 통계적 특성을 고려한 다양한 호 수준(call level) 및 셀 수준(cell level)에서의 트래픽 관리 기법들이 제시되고 있다(Lichen, 2002; Alberti *et al.*, 2004).

주기적 on-off 트래픽은 셀 수준에서의 트래픽 관리 기법이 적용된 2차 셀 흐름의 모형으로 대표적 사례는 MPEG 비디오 트래픽 ATM망의 트래픽 관리의 기능을 수행하는 ATM 망 접속 카드(NIC; Network Interface Card)를 거친 셀 흐름에서 확인할 수 있다(Markov *et al.*, 2002). 즉, ATM 망 접속 카드의 실제 구현은 <Figure 1>과 같으며 이를 통과한 MPEG traffic의 on-기간 동안의 셀률은 토큰 버킷의 토큰 발생률에 의해 결정된다.

이러한 주기적 on-off 트래픽원들이 합쳐진 트래픽의 도착과정은 도착률이 시간에 따라 변하게 되므로 이중의 추계 과정(doubly stochastic process)이 된다. 이러한 이중적인 변동을 시간 축에 따라 셀 수준 변동과 버스트 수준 변동으로 구분하기도 한다. 이러한 주기적 on-off 트래픽원들을 입력으로 한 다중화 장치의 성능 분석을 위해 기존의 연구는 셀 수준(cell level) 변동과 버스트 수준(burst level) 변동을 반영하는 방식에 따라 크게 세 가지로 나누어진다.

첫째는 두 가지 변동을 모두 반영하고자 하는 것이고, 둘째는 셀 수준 변동만을 그리고 셋째는 버스트 수준의 변동만을 반영하고자 하는 것이다. 첫째 범주로는 대표적으로 MMPP (Markov Modulated Poisson Process) 모형에 의한 분석 방법 (Maglaris *et al.*, 1988)이 있으나, 분석방법론의 복잡성의 한계점을 갖고 있다. 둘째 셀 수준의 변동을 반영하는 분석 모형으로는 확정 입력률을 갖는 주기적 입력 모형(deterministic arrival model) 모형과 on-off가 반복되는 modulated 주기적 입력(modulated deterministic arrival model) 등을 들 수 있으며(Norros *et al.*, 1991), 특히 modulated 주기적 입력 모형은 트래픽 제어 기법이 적용된 2차 셀 흐름의 모형에 가장 적합한 것으로 평가된다. 셋째 범주에는 셀 도착률에 따른 도착 과정의 분해(decomposition)에 의한 분석 방법이 있다. SFF(Stochastic Fluid Flow) 모형이 MMPP 모형의 시간 제약을 극복하기 위한 대안으로 최근 널리 활용되어 이산 모형도 소개되고, 이를 바탕으로 한 하이브리드 방법도 고안되었다(Yoon *et al.*, 1999).

비디오 트래픽에 대한 다중화기의 수리적 성능 분석 연구는 크게 트래픽의 프레임 간 셀 수의 변화를 반영하는 버스트 수준 분석 및 프레임 내 셀 흐름 간격을 반영하는 셀 수준 분석으로 분류할 수 있는데, 이는 입력 트래픽원의 모형 및 분석 대상의 시간 범위에 의해 결정된다. 일반적으로 비디오 트래픽에서의 프레임당 셀 수(버스트 수준)는 양의 상관관계를 보이고 프레임 내 셀의 도착 시간 간격(셀 수준)은 음의 상관관계를 가진다고 알려져 있다(Norros *et al.*, 1991). 입력 트래픽 모형에 대한 다중

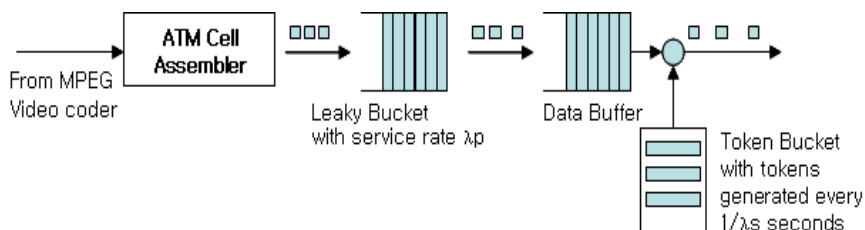


Figure 1. ATM NIC's implementation.

화기의 수리적 성능 분석 모형은 $MMPP/D/1$, $M/D/1$, $G/D/1$, $N*D/D/1$, $\sum N_i * D_i / D/1$ 모형으로 대별되며, 이에 대한 기존의 연구들을 정리하면 <Table 1>과 같다.

비디오 트래픽에 대한 기존의 다중화기의 수리적 성능 분석은 주로 $MMPP/D/1/K$ 대기 모형의 분석을 중심으로 이루어졌는데, 이는 비디오 트래픽을 기존의 IPP(Interrupted Poisson Process) 계열 트래픽의 축합(superposition) 모형으로 이해함으로써 트래픽 모형화가 용이하고, 행렬 분석 기법(matrix analytic method)을 통해 셀 손실률의 정밀해(exact solution)를 구할 수 있다는 데 그 의미를 가진다. 그러나 행렬 분석 기법은 셀 손실률에 대한 닫힌해(closed solution)를 제공해 주지 못할 뿐만 아니라, 입력 트래픽의 상태 수의 증가에 따라 버퍼 상태 전이 행렬의 크기가 지수적으로 증가하는 한계를 가지고 있다.

이에 따라 유체 흐름 근사화(fluid flow approximation) 및 $M/D/1/K$ 근사화 등의 기법들이 등장하였다. 유체 흐름 근사화에서는 버스트 수준에서의 입력 트래픽의 마코프 특성은 받아들이고, 버스트 수준 내에서의 셀 흐름은 연속적인 유체 흐름으로 가정함으로써 다중화기 버퍼 상태 전이를 미분방정식(differential equation)으로 모형화한 다음 버퍼 상태 확률을 유도하여 셀 손실률을 구한다. 유체 흐름 근사화는 상태의 수가 증가함에 따른 분석 복잡성(analytical complexity)은 어느 정도 해결되나, 셀 수준의 유체 흐름 가정으로 인하여 다중화기 버퍼의 크기가 큰 경우 비교적 좋은 해를 제공하지만, 버퍼 크기가 작을 경우 해의 정밀도를 보장할 수 없는 한계를 가지고 있다.

또 Skelly *et al.*(1993)은 입력 트래픽 셀들의 히스토그램에 바탕을 둔 $M/D/1/K$ 근사화 기법을 제시하였는데, 이는 분석 복잡성 및 해의 정밀성에 있어서 의미 있는 결과를 보여 주었다. Skelly *et al.*(1993)은 기존의 $MMPP$ 트래픽 모형에 있어서 입력 셀들의 마코프 전이 시간 간격이 셀 수준의 도착 시간 간격에 비해 상당히 크다는 점에 주목하였다. 즉 다중화기의 버퍼 상태 전이는 주로 셀 도착 시간 간격에 의해 결정되므로 기존의 $MMPP/D/1/K$ 모형은 몇 개의 $M/D/1/K$ 모형 조합으로 근사화가 가능함을 보였다. Skelly *et al.*(1993)은 $MMPP/D/1/K$ 모형을 8개의 $M/D/1/K$

모형으로 분해한 다음 다중화기의 셀 손실률을 이들 $M/D/1/K$ 모형의 셀 손실률의 가중 평균으로 근사화하였다.

쉐이퍼, 이중 리키버킷 등 트래픽원 수준의 트래픽 완만화 기법을 반영하는 셀 수준의 트래픽 모형화와 다중화기 성능 분석에 대한 연구가 진행되었다. 이에 대한 연구는 트래픽 완만화 기법에 의해 버스트 수준에서 셀의 도착 시간 간격이 일정한 주기를 갖는 주기적 입력 모형을 대상으로 하였으며, Norros *et al.*(1991)의 $\sum D_i / D/1$ 모형이 이에 해당한다. Norros *et al.*(1991)은 쉐이퍼를 거친 입력 트래픽 모형을 일정한 도착 시간 간격(주기)을 갖는 셀 흐름으로 가정하고, 이 트래픽들의 다중화 시점에서 따라 버퍼 전이 과정을 확률 모형화함으로써 버퍼 상태 확률 분포 함수를 유도하였다.

이들은 각 입력 트래픽들의 주기가 동일한 경우에 대해 대기 상태 확률 분포의 정밀해를 구하였으며, 주기가 다른 경우에 대해서는 해의 상한 및 하한을 제시하였다. $\sum D_i / D/1$ 모형은 쉐이퍼를 통한 입력 트래픽에 대해 셀 수준에서의 다중화 상태를 정확히 반영한 모형을 제시하였다는 데 의미를 둘 수 있으나, 쉐이퍼를 통한 셀 흐름을 주기적 흐름으로 단순화함으로써 트래픽의 버스트 수준에서의 모형을 반영하지 못하였다는 한계를 가지고 있다. 즉 버스티니스가 존재하는 트래픽을 쉐이퍼를 통해 일정한 시간 간격을 갖는 셀 흐름으로 완만화시킬 경우, 다중화기에서는 좋은 성능을 가져올 수 있지만, 쉐이퍼에서의 전위 버퍼가 커짐에 따라 시간 지연에 있어서 실제적인 문제를 야기시킬 수 있다.

주기적 on-off 모형에 대한 성능 분석 연구는 on 기간 동안의 셀 흐름을 유체 흐름으로 근사화시킨 SFFF 모형과 $N*D/D/1$ 모형을 확장한 modulated $N*D/D/1$ 모형을 들 수 있다. 이중 SFFF 모형은 프레임 수준에서의 셀 변동은 반영하나 셀 수준에서의 셀 변동을 유체 흐름으로 근사화시킴으로써 버퍼가 작은 경우 해의 정밀성을 보장하지 못하며, modulated $N*D/D/1$ 는 셀 수준의 셀 변동은 정확히 반영하나, 과부하가 존재하는 상황에서의 분석이 불가능하다는 한계를 갖고 있다.

Table 1. Previous analytical studies in the performance evaluation of multiplexer for video traffic sources

Video Traffic Input Model	Analytic Method	Researchers
DTMC(Discrete-Time Markov Chain)	- QNA(Queueing Network Analyzer) - Matrix Analytic Method	Blondia(1992)
MMPP(Markov-Modulated Poisson Process)	- $MMPP/D/1/K$ - Fluid Flow Approximation	Sen(1989) Magralis(1988)
MMFS(Markov-Modulated Fluid Source)	- Fluid Flow Approximation	Izmailov(1993)
Periodic Cell Arrival Model	- $\sum N_i * D_i / D/1$ - $N * D / D/1$	Norros(1991)
Periodic On-Off Model	- $M/D/1$ Approximation - Fluid Flow Approximation - Modulated $N * D / D/1$ - Probabilistic $n * D / D/1$	Skelly(1993) Norros(1991) Lee and Hong(2000)

3. 다중화기의 성능 분석

3.1 주기적 on-off 트래픽

주기적 on-off 트래픽은 평균 셀률(average cell rate) 및 최대 셀률(peak cell rate)을 통제하는 이중 리키버킷의 트래픽 및 프레임 단위의 트래픽 셰이핑 과정을 거친 MPEG 비디오 트래픽에 대한 모형으로 사용된다(Lee and Hong, 2000).

주기적 on-off 트래픽은 on-off 사이클 동안의 발생 셀 수 및 on-시간 동안의 셀 발생 간격으로 모형화되며, 이중 리키버킷 및 트래픽 셰이퍼의 작동 과정에 의해 사이클 길이 및 on-시간 동안의 셀 발생 간격은 일정하다.

3.2 분석 모형

주기적 on-off 트래픽원들에 대한 다중화기의 성능은 트래픽원의 사이클 길이가 동일하므로 다중화 시점에서의 트래픽원

들의 on-기간 시작 시점의 분포에 의존한다(Rose, 1995).

본 연구에서는 트래픽원들의 on-기간 시작 시점이 동일하게 동기화되어 있을 경우와 랜덤한 경우에 대해 다중화기 성능 분석을 시도한다. 특히 비디오 트래픽원들의 on-기간 시작 시점이 동기화되어 있을 경우 중첩 비디오 트래픽의 버스티니스는 가장 높고, 다중화기는 가장 나쁜 성능을 나타낸다. 동기화되어 있을 경우의 셀 손실률은 주기적 on-off 트래픽에 대한 상한해의 의미를 가진다고 할 수 있다.

본 분석에서 사용되는 기호를 정의하면 다음과 같다.

- 단위(time slot) : 입력 트래픽의 on-기간 동안의 셀 도착 시간 간격 = $1/D_s$
- X_i : i 번째 트래픽원의 사이클당 셀 수(확률 변수)
- $f(x), F(x)$: 프레임별 셀 수의 확률 분포 함수(p.d.f) 및 누적 확률 분포 함수(c.d.f)
- $\alpha_i(t)$: 1 사이클 내의 t 에서 i 번째 트래픽원이 on-상태에 있을 확률

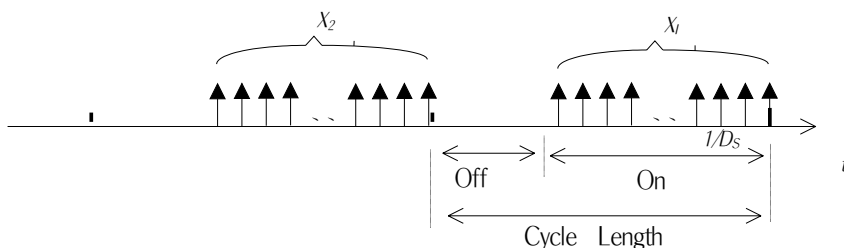
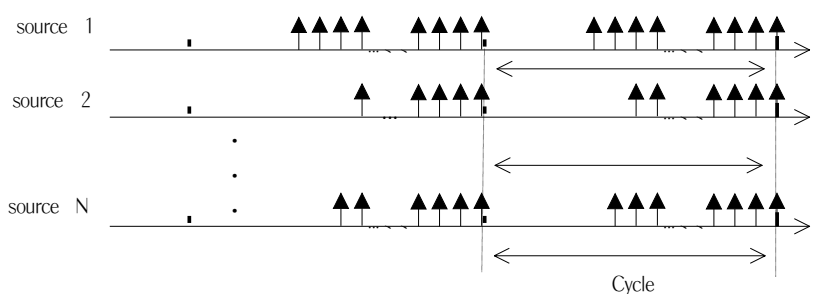
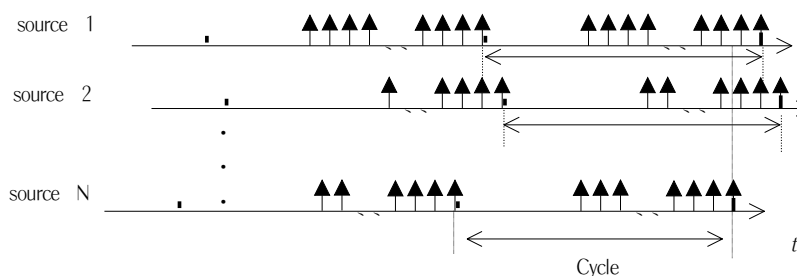


Figure 2. Traffic modeling for inputs of video traffic.



(a) Synchronous traffic



(b) Random traffic

Figure 3. Starting points of the on-period of video traffic sources at multiplexer.

- $\beta_i(t)$: 1 사이클 내의 t 에서 i 번째 트래픽원이 off-상태에 있을 확률 = $1 - \alpha_i(t)$
- N : 입력 비디오원의 수
- D : 다중화기 셀 출력률(cell/cycle)
- K : 다중화기 버퍼 크기(cell)
- OP : 과부하기간(1 사이클 동안 다중화기에서 입력 트래픽들의 셀 도착률이 다중화기 출력률보다 큰 기간(확률변수))
- $p_{op}(t)$: ATM 다중화기에서 1 프레임 내 t 시간 단위에 과부하가 발생할 확률
- $A(t)$: 1 사이클 내 t 동안의 누적 입력 셀 수(확률 변수)
- $a(t)$: 1 사이클 내 t 의 입력 셀률
- $B(t)$: 1 사이클 내 t 동안의 누적 출력 셀 수(확률 변수)
- L : 1 사이클 동안의 손실 셀 수(확률 변수)

1) 동기화된 경우

입력 트래픽원들의 프레임 시작 시점이 동기화되어 있으므로, 1 사이클 내에 하나의 입력 트래픽원은 on-기간이 먼저 시작하는 on-off 도착 과정을 따른다. 따라서 t 시간 단위에서 i 번째 트래픽원이 on-상태에 있을 확률은 사이클당 도착 셀 수의 확률 분포에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$\alpha_i(t) = \Pr[i_{th} \text{ 비디오원 state} = \text{on}] = \Pr[X_i \geq t] \quad (1)$$

또 동질의(homogeneous) 비디오 트래픽원은 사이클당 셀 수의 분포가 동일하므로 $\alpha_i(t)$ 는 i 에 상관없이 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha_i(t) = \Pr[X \geq t] \quad (2)$$

다중화기에서 비디오 트래픽의 도착률은 on-길이 가 짧은 순서대로 on-상태에 있는 비디오원이 하나씩 탈락되므로, <Figure 4>와 같이 감소함수의 형태를 보여 준다.

<Figure 4>로부터 on-상태의 비디오원이 하나씩 탈락됨에

따라 입력 트래픽 도착률은 D_S 만큼 감소하므로, 과부하 기간은 $(N-k)D_S > D$ 그리고 $(S-k-1)D_S \leq D$ 를 만족하는 k 번째 비디오원의 on-기간 t_k 가 된다. 따라서 과부하 기간을 결정하는 k 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$k = \max\{0, [N - D/D_S]\} \quad (3)$$

위 식에서 $[X]$ 는 X 보다 크지 않는 최대 정수를 나타낸다. 따라서 과부하 기간의 분포는 다음과 같이 이항 분포의 합으로 표현할 수 있다.

$$\Pr[OP = t_k > t] = \Pr[t \text{ 시점에 off인 소스 수가 } k \text{개 미만}] = \sum_{i=0}^{k-1} \binom{M}{i} \cdot \alpha(t)^{N-i} \cdot (1 - \alpha(t))^i, \text{ where } 0 \leq t \leq D_S \quad (4)$$

따라서 1 사이클 동안의 평균 과부하 기간은 다음과 같다.

$$E[t_k] = \sum_0^{D_S} \Pr[t_k > t] \text{ time slot} \quad (5)$$

위의 과부하 기간의 분포를 이용하면 1 사이클 동안의 손실 셀 수를 근사적으로 유도할 수 있다. 먼저 다중화기의 버퍼 크기를 K 라 할 때 1사이클 동안의 손실 셀 수는 과부하 기간 동안의 누적 입력 셀 수 및 누적 출력 셀 수의 함수로 $L = \max\{(A(t_k) - B(t_k) - K), 0\}$ 로 표현되며, 1사이클 동안의 평균 손실 셀 수는 다음과 같이 근사화시킬 수 있다

$$E[L] \approx \max\{(E[A(t_k)] - E[B(t_k)] - K), 0\} \quad (6)$$

<Figure 4>로부터 각 비디오원은 on-상태에서 1시간 단위 동안 1개의 셀을 발생시키므로 $A(t_k) = \sum_{j=1}^k t_j + (N-k)t_k$ 로 표현되며 따라서 과부하 기간 동안의 평균 도착 셀 수는 다음과 같다.

$$E[A(t_k)] = \sum_{j=1}^k E[t_j] + (N-k)E[t_k] \quad (7)$$

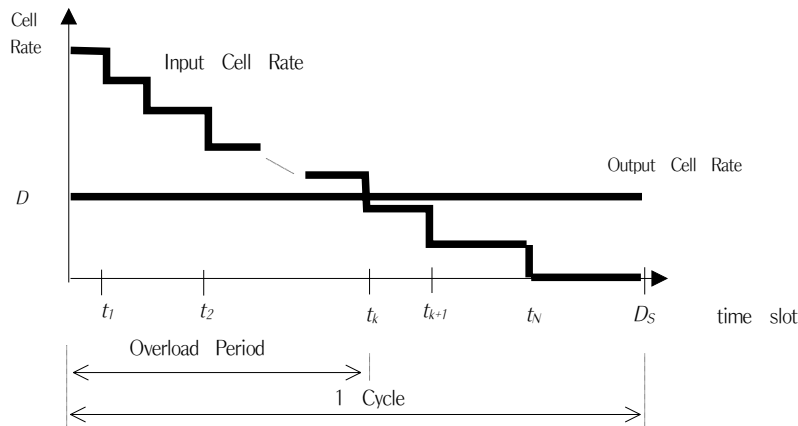


Figure 4. An example of cell rates in the synchronous traffic.

위 식에서 $E[t_j]$ 는 과부하 기간 분포와 같은 방법으로 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$E[t_j] = \sum_{l=0}^{D_s} \Pr\{t_j > l\} = \sum_{l=0}^{D_s} \sum_{i=0}^{j-1} \binom{M}{i} \cdot \alpha(t)^{N-i} \cdot (1-\alpha(t))^i \quad (8)$$

또 과부하 기간 동안의 평균 출력 셀 수는 1시간 단위 동안의 다중화기 출력률이 D/D_s 이므로 다음과 같이 표현된다.

$$E[B(t_k)] = E[t_k] \cdot D/D_s \quad (9)$$

결론적으로 주기적 on-off 과정이 반복될 때 정상 상태(steady state)를 가정하면, 다중화기의 셀 손실률은 1사이클 동안의 셀 손실률과 동일하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$CLP = \frac{\text{1사이클 동안의 평균 손실 셀 수}}{\text{1사이클 동안의 평균 입력 셀 수}} = \frac{E[LL]}{E[\sum_{j=1}^N t_j]} \quad (10)$$

또 위 식에서 $\sum_{j=1}^N t_j = \sum_{j=1}^N X_j$ 이므로 다중화기의 셀 손실률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$CLP = \frac{E[LL]}{N \cdot E[X]} \quad (11)$$

2) 랜덤한 경우

on-시작 시점이 랜덤한 경우 1사이클 내 t 시간 단위에서 입력 셀률은 t 시간 단위에서의 on-상태에 있는 비디오원 수에 의해 결정된다. 따라서 1사이클 동안의 입력 셀률의 함수는 개별 비디오원의 상태가 바뀔 때 따라 일정한 폭(D_s)으로 등락을 반복하는 계단 함수의 형태를 나타낸다. 이 경우 과부하 기간은 동기화된 경우와는 달리 <Figure 5>에 제시된 바와 같이 1사이클 내에서 수회 나타날 수 있다.

이 경우 t 시간 단위에서 과부하가 발생할 확률은 다음과 같

이 표현할 수 있다.

$$p_{op}(t) = \Pr\{a(t) > D\} = \Pr\{n(t) > D/D_s\} \quad (12)$$

t 시간 단위에서 on-상태에 있는 비디오원 수 $n(t)$ 의 분포를 유도하면 과부하 기간의 확률 분포를 유도할 수 있다. 이를 위해 개별 입력 비디오원의 모형을 살펴보자.

개별 비디오원은 1사이클 동안 on-off 과정을 1회 반복하며 임의의 시간 단위에서 on-상태에 있을 확률은 다음과 같이 근사화시킬 수 있다.

$$\alpha_i = \Pr\{\text{임의의 시점에서 } i_m \text{ 비디오원 state = on}\} = \alpha = E[X]/D \quad (13)$$

동질의 비디오 트래픽원에 대해 1사이클 내 임의의 다중화 시점에서 on-상태에 있는 비디오원의 수 n 은 이항 분포 $B(N, \alpha)$ 를 따르는 확률 변수로 근사화할 수 있으며, 1사이클 내 임의의 다중화 시점에서 과부하가 발생할 확률은 다음의 식으로부터 유도될 수 있다.

$$p_{op} = \Pr\{n > D/D_s\} = \sum_{i=[D/D_s+1]}^N \binom{M}{i} \alpha^i (1-\alpha)^{N-i} \quad (14)$$

또 1사이클 내의 평균 과부하 기간은 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$E[OP] = \sum_{i=1}^{D_s} p_{op} = p_{op} \cdot D_s \quad (15)$$

과부하 기간 동안 평균 손실 셀 수는 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$E[LL] \approx \max\{(E[A(OP)] - E[B(OP)] - K), 0\} \quad (16)$$

위 식에서 과부하 기간 동안 평균 도착 셀 수 $E[A(OP)]$ 는 다음과 같이 근사적으로 유도할 수 있다.

$$E[A(OP)] \approx E[a(OP)] \cdot E[OP] \quad (17)$$

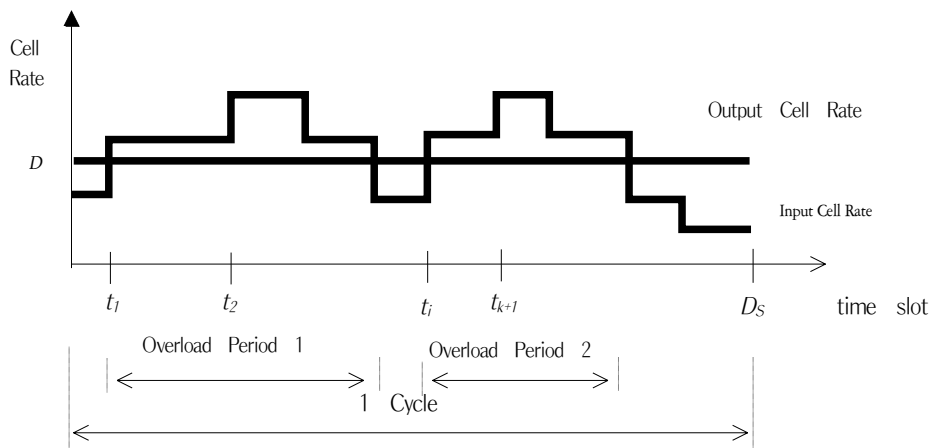


Figure 5. An example of cell rates in the random traffic

과부하 기간에서의 평균 입력 셀률 $E[a(OP)]$ 는 과부하 기간에서 on-상태에 있는 비디오원 수의 조건부 평균으로 표현할 수 있다.

$$E[a(OP)] = E[n \cdot D_s | n > D_s] \\ = \sum_{i=[D_s+1]}^N i \cdot \frac{\binom{M}{i} \alpha^i (1-\alpha)^{N-i}}{\sum_{j=[D_s+1]}^N \binom{M}{j} \alpha^j (1-\alpha)^{N-j}} \cdot D_s \quad (18)$$

따라서

$$E[A(OP)] = \sum_{i=[D_s+1]}^N i \cdot \binom{M}{i} \alpha^i (1-\alpha)^{N-i} \cdot D_s \quad (19)$$

이다. 과부하 기간 동안은 다중화기는 바쁜 상태(busy state)에 있으므로 평균 출력 셀 수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E[B(OP)] = D \cdot E[OP] \quad (20)$$

결론적으로 1프레임 동안의 셀 손실률은 다음과 같이 근사적으로 표현할 수 있다.

$$CLP = \frac{E[LL]}{N \cdot E[X]} \quad (21)$$

4. 예 제

본 예제에서는 “양들의 침묵(Silence of The Lambs)”에 대한 MPEG-I의 B프레임, P프레임의 트래픽 자료(Lee and Hong, 1999; Rose, 1995)를 사용하였다. 프레임당 셀 수는 프레임당 비트 수를 ATM 셀의 실제 정보량 크기인 384비트로 환산한 값이다. 셰이퍼 출력률(D_s)은 셰이퍼에서 셀 손실이 발생하지 않도록 하기 위해 최대 셀률로 결정하였으며 다중화기 출력률(D)은 입력 비디오 트래픽원 수가 50일 때 부하율이 80% 수준이 되도록

선택하였다.

일반적으로 MPEG-I 비디오 트래픽의 프레임당 비트량은 프레임의 종류에 따라 독립적인 분포를 따르며, 그 분포로는 Gamma 분포가 적합하다고 알려져 있다(Rose, 1995). 프레임당 비트량 분포로부터 프레임 종류에 따른 프레임당 셀 수의 분포는 연속분포 함수의 이산 근사화 기법에 의해 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$f(x) = \Pr[X = x] = \int_{384(x-1)}^{384x} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} w^{\alpha-1} e^{-\frac{w}{\beta}} dw \quad (22)$$

Table 5. Experimental parameters and statistics of video traffic

	Statistics(cell/frame)			Gamma Parameters		Experiment Parameters (cell/frame)	
	Average	Variance	Peak	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	D_s	D
Traffic 1 (B Frame)	8.92	68.75	144	1.16	2960.16	144	556
Traffic 2 (P Frame)	19.37	439.65	231	0.85	8717.95	231	1211

먼저 분석 모형을 사용하여 비디오원 수의 증가에 따른 트래픽의 평균 과부하 기간을 살펴보면 다음 <Figure 6>과 같다.

평균 과부하 기간은 랜덤한 경우가 동기화되어 있는 경우에 비해 트래픽 부하의 증가(비디오원 수)에 따른 증가율(기울기)이 더 큰 것으로 나타났다. 즉 트래픽 부하가 작은 경우, 시작 시점의 랜덤화는 과부하 기간을 상쇄시키는 효과를 나타내지만 트래픽 부하가 증가할수록 이 효과는 반감되는 것으로 해석 될 수 있다. 또 트래픽 부하가 일정 수준 이상에서는 랜덤한 경우의 과부하 기간이 동기화 경우에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 이는 셰이퍼 출력률이 평균 셀률에 비해 큰 경우, 동기화인 경우 과부하 기간은 프레임 초기에 집중되지만, 랜덤한 경우에는 과부하 기간이 프레임 전반에 걸쳐 분산되어 나타나는

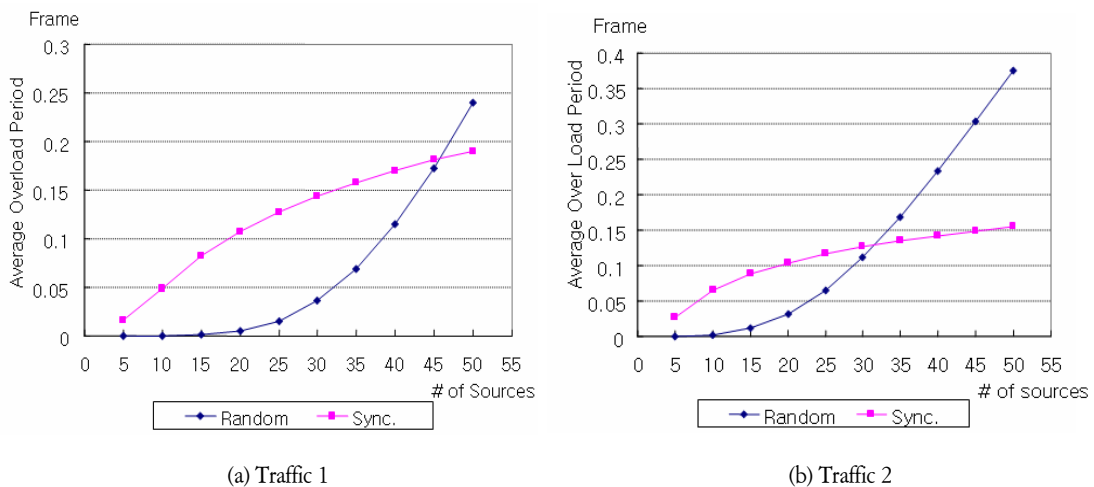


Figure 6. Average overload period.

결과로부터 이해할 수 있다.

본 연구의 셀 손실률 분석 결과와 MPEG-1 트래픽을 사용한 시뮬레이션 결과를 비교한 결과는 <Figure 7>과 같다. 시뮬레이션에서 트래픽원들 각각은 트래픽 1, 트래픽 2에 대해 각각 10,000프레임, 5,000프레임을 임의 선택하여 각 3회씩 실시하였으며, 버퍼 크기의 증가에 따른 셀 손실률의 변화를 비교하였다.

<Figure 7>에서 보면 동기화의 경우가 랜덤한 경우에 비해 본 연구의 분석 결과가 시뮬레이션의 결과에 상당히 근접한 것으로 나타났다. 특히 랜덤한 경우의 결과는 셀 손실률을 과소 평가하는 경향을 보여 준다. 이는 랜덤한 경우 과부하 기간이 프레임 내에서 확률적으로 수회 나타날 수 있고 또, 분석 방법에 있어서 과부하 기간 시작 시점에서 버퍼에 있는 셀을 고려하지 않은 근사화에서 기인한 결과로 이해할 수 있다.

<Figure 8>은 트래픽 1을 대상으로 랜덤한 경우와 동기화된 경우의 트래픽 부하율이 큰 경우(N=40, 50) 셀 손실률을 비교한 결과이다. 위 결과에서 보면, 랜덤한 경우가 동기화의 경우보다 훨씬 낮은 셀 손실률을 보여 주며, 버퍼 크기에 따른 셀 손실률 감소폭도 더 큰 것으로 나타났다. 특히 동기화된 경우는

과부하 기간 프레임 초기에 집중되므로 인해 트래픽 버스티니스가 급격하게 증가함으로써 주어진 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위해서는 상당한 크기의 버퍼가 필요하다는 것을 알 수 있다.

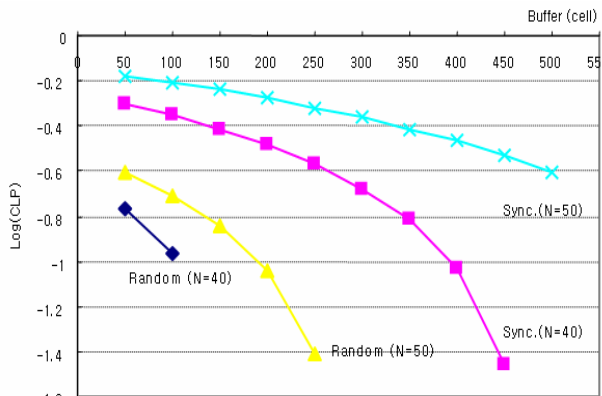
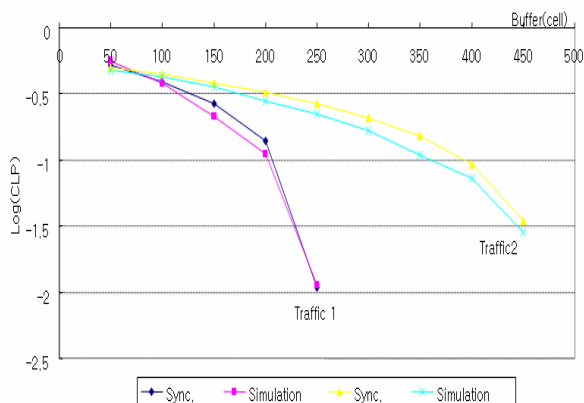
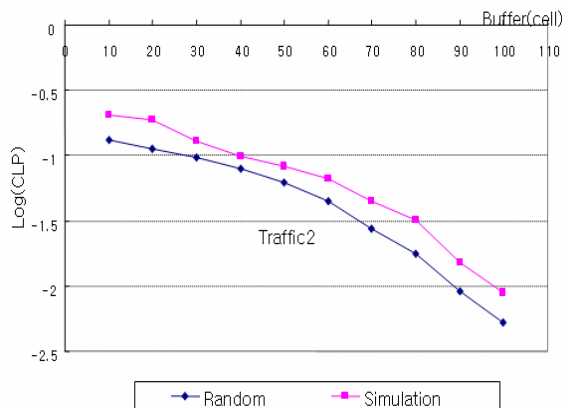
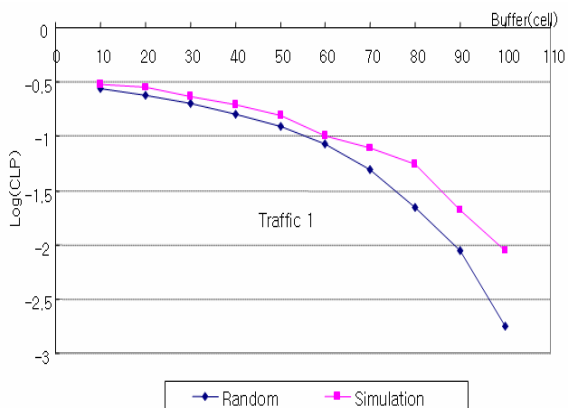


Figure 8. A Comparison of cell loss probability between synchronous traffic and random traffic in traffic 1.



(a) Synchronous traffic



(b) Random traffic

Figure 7. Cell loss probability of multiplexer (N = 40 in synchronous traffic, N = 30 in random traffic).

5. 결론

본 연구에서는 셀 수준의 다중화기 성능 분석 작업으로 개별 비디오원의 웨이퍼를 통해 발생하는 셀 수준의 셀 흐름을 모형화하고, 동질의 트래픽들이 다중화될 때, 다중화기에서의 과부하 기간의 분포를 유도하고, 이를 통해 셀 손실률을 근사적으로 유도하는 수리적 방법론을 제시하였다.

입력 비디오 트래픽 모형으로 사이클 내에서 on-off 과정이 반복되고, on-상태에서 셀 도착률이 일정한 주기적 on-off 모형을 제시하였다. 이 모형은 프레임 수준에서의 트래픽 웨이핑을 반영한 모형이라 할 수 있다.

다중화기 성능 분석에서는 개별 트래픽들의 주기성을 고려하기 위하여 다중화 시점이 동기화되어 있는 경우와 랜덤한 경우를 구분하여 수행하였다. 다중화기 성능 분석 과정은 먼저 프레임 내에서 트래픽 입력률이 다중화기 출력률보다 큰 과부하 기간의 분포를 유도하고, 이를 통해 다중화기의 셀 손실률을 과부하 기간 동안의 셀 입력률 및 셀 출력률의 함수로 근사화 시켜 제시하였다. 특히 다중화 시점이 동기화되어 있는 경우의 연구 결과는 순서 통계량을 기반으로 근사해를 제시한 기존의 연구(Lee and Hong, 1999)를 해의 정밀성 관점에서 개선하였으며, 분석 방법은 랜덤한 경우에도 적용 가능하여 응용 범위의 관점에서 그 의의가 있다고 여겨진다.

본 연구의 결과를 실제 MPEG-I 비디오 트래픽에 적용시킨 결과 시뮬레이션 결과와 근접한 결과를 얻을 수 있었다. 특히 동기화된 경우가 랜덤한 경우에 비해 상대적으로 우수한 해의 정밀도를 나타내고 있으며, 이 경우 다중화기 셀 손실률 분석은 버스티니스 관점에서 최악의 조건에서의 분석(worst case analysis)으로 셀 손실률의 상한해의 의미를 가진다고 할 수 있다.

본 연구 결과들은 서비스 QoS가 주어질 경우, 비디오 트래픽 웨이퍼의 최적 파라미터 결정 및 다중화기의 능력 및 버퍼 설계 등에 적용할 수 있을 것이라 여겨진다. 비디오 트래픽 모형화와 관련하여 프레임 수준에서의 셀 흐름에 있어서 시간적 상관관계를 반영할 수 있는 모형 개발에 대한 연구가 필요하고, 다중화기의 성능 분석 연구 작업과 관련하여 시간적 상관관계를 반영한 이질의 트래픽들이 다중화될 때의 상황을 일반화하는 작업이 필수적이며 이에 대한 추가적인 연구가 요구된다 하겠다.

참고문헌

Addie, R. G. and M. Zukerman (1993), A Gaussian Characterization of Correlated ATM Multiplexed Traffic and Related Queuing Studies, *Proc. INFOCOM '93*, 1404-1408.

Alberti, A.M., M.L. Bottoli, G.D. Breda and L.S. Mendes (2004), Modeling and Simulation of ATM Traffic Management, *Simulation*

Symposium 2004, 273-281.

Blondia, C. and O. Casals (1992), Performance Analysis of Statistical Multiplexing of VBR Sources, *Proc. INFOCOM '92*, 828-838.

Grunenfelder, R. and J.P. Cosmas (1991), Characterization of Video Codes as Auto-Regressive Moving Average Processes and Related Queuing System Performance, *IEEE JSAC*, 9, 284-293.

Huang J.H., et.al. (1992), Modeling and Subjective Assessment of Cell Discard in ATM Video, *Tech. Report, Department of Electronic Systems Engineering University of Essex*.

Lee, S.C. and J.S. Hong (1999), An Approximate Analysis of Cell Loss Probability of ATM Multiplexer with Homogeneous MPEG Video Sources, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 25(2), 162-172.

Lee, S.C. and J.W. Hong (2000), The Unfinished Work Transition Probability Distribution of Modulated n*D/D/1 Queue, *IE Interfaces*, 13(4), 738-744.

Li, S.Q. and H. Sheng (1991), Discrete Queuing Analysis of Multimedia Traffic with Diversity of Correlation and Burstiness Properties, *Proc. INFOCOM '91*.

Maglaris, B., D. Anastassiou, P. Sen, G. Karlsson and J.D. Robbins (1988), Performance Models of Statistical Multiplexing in Packet Video Communications, *IEEE Trans. on Communication*, 36(July), 834-844.

Markov, P. and H. Mehrpour (2001), Statistical Modeling of MPEG Coded Video, *Networks, 2001, Proceedings. Ninth IEEE International Conference*, 38-43.

Markov, P. and H. Mehrpour (2002a), Rate Renegotiation Algorithm with Dynamic Prediction Window for Efficient Transport of Streaming VBR MPEG Coded Video over ATM Networks, *Networks, 2002, Proceedings 10th IEEE International Conference*, 83-88.

Markov, P. and H. Mehrpour (2002b), Dynamic Bandwidth Allocation for Streaming MPEG Coded Video over ATM Networks, *Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on Volume 4*, 2325-2329.

Melamed, B., D. Raychaudhuri, B. Sengupta and J. Zdepski (1992), TES-Based Traffic Modeling for Performance Evaluation of Integrated Networks, *Proc. INFOCOM '92*, 75-84.

Norros, I., J.W. Roberts, A. Simonian and J.T. Virtamo (1991), The Superposition of Variable Bit Rate sources in an ATM Multiplexer, *IEEE JSAC*, 9, 378-387.

Ramamurthy, G. and B. Sengnpta (1992), Modeling and Analysis of a Variable Bit Rate Video Multiplexer, *Proc. INFOCOM '92*, 817-827.

Rose, O. (1995), Statistical Properties of MPEG Video Traffic and Their Impact on Modeling in ATM Systems *Tech. Report No.101, Univ. of Würzburg Institute of Computer Science*.

Skelly, P., et.al. (1993), A Histogram-Based Model for Video Traffic Behavior in an ATM Multiplexer, *IEEE/ACM Trans. Networking*, 446-459.

Yegenoglu, F., et.al. (1993), Motion-Classified Autoregressive Modeling of Variable Bit Rate Video, *IEEE Trans. Circuits and System for Video Technology*, 42-53.

Yoon, Y.H., C.H. Lie and J.S. Hong (1999), Overflow Probability Analysis and Bandwidth Allocation for Traffic Regulated by Dual Leaky Bucket, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 25(3), 404-410.

Zhang, L. (2002), A Congestion Control Method for Real-Time Applications in ATM Networks, *Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference on Volume 3*, 6-11.



이상천

서울대학교 산업공학과 학사
서울대학교 산업공학과 석사
서울대학교 산업공학과 박사
현재: 경상대학교 산업시스템공학부 부교수
관심분야: 정보통신시스템, 신뢰성 공학, 대기 이론



김제승

계명대학교 산업공학과 학사
서울대학교 산업공학과 석사
서울대학교 산업공학과 박사
현재: 상지대학교 시스템경영공학과 부교수
관심분야: 정보통신시스템, Queueing Theory



홍정완

서울대학교 산업공학과 학사
서울대학교 산업공학과 석사
서울대학교 산업공학과 박사
현재: 한성대학교 산업시스템공학과 부교수
관심분야: 정보통신시스템, Queueing Theory, 산업정보시스템