

비디오 원의 트래픽 모형화와 다중화 장치의 성능분석*

Traffic Modeling of Video Source and Performance Analysis of ATM Multiplexer

윤영하** · 홍정식*** · 이창훈**

Young Ha Yoon** · Jung Sik Hong*** · Chang Hoon Lie**

Abstract

In this study, the performance of ATM multiplexer with MPEG(Motion Pictures Experts Group) video is analyzed by considering the effect of the MPEG GOP(Group of Pictures) structure. By assuming that frame starting times are synchronized, aggregated traffics are considered to be transmitted at the beginning of each frame time units. The aggregated number of cells generated during a frame time unit is, therefore, derived from distributions of individual sources. The stationary probability of buffer occupancy can be easily obtained by using a property of the periodicity of aggregated traffics. Simulation approach is also used to determine the traffic load for a given probability of satisfying QoS(Quality of Service).

1. 서론

B-ISDN은 음성, 데이터 그리고 비디오 등의 다양한 서비스를 제공하면서, 이들 트래픽을 통합된 디지털 방식으로 전송하는 고속 통신망이다. B-ISDN이 채택한 전송방식인

ATM에서는, 전송속도와 요구되는 전송품질(QoS : Quality of Service)이 상이한 음성, 데이터 그리고 비디오 등의 다양한 트래픽이 동일한 망자원을 이용하면서 셀(cell)이라는 전송단위로 전송되게 된다. ATM방식이 제시된 것은 여러 VBR(Variable Bit Rate)원들로

* 본 논문은 '96 대한산업공학회/한국경영과학회 춘계공동학술대회에서 발표된 논문임

** 본 논문은 한국과학재단 핵심전문 연구비 지원(과제번호 951-1010-006-1)에 의한 것임

** 서울대학교 산업공학과

*** 서울 산업대학교 산업공학과

부터 발생된 셀들을 공통의 채널에 다중화시킴으로써 통계적 다중화의 효과를 높이고, 이를 통해 망자원 이용의 효율을 제고하기 위해서이다. 비디오 트래픽의 경우, 음성이나 데이터에 비해 전송되는 정보량이 많고 버스티(bursty)하기 때문에, 효율적인 망자원 이용을 위해서 코딩되는 정보량을 줄이는 다양한 압축기법들이 제시되었다. 따라서 비디오 트래픽 모형화 연구도 코딩 알고리즘에 따라 진행되었고, 특히 장면수준과 장면변화에 따른 비디오 트래픽 모형화가 주로 제시되었다. 이를 바탕으로 다중화 장치에 입력되는 통합된(aggregated) 트래픽의 모형화가 이루어지고 다중화 장치의 성능분석이 수행되었다. 이에 관한 자세한 서베이는 [1]을 참조하라.

그러나 최근 비디오 트래픽의 경우 MPEG (Motion Pictures Experts Group)로 코딩 알고리즘이 표준화됨에 따라, 이전과 다른 트래픽 모형화가 필요하게 되었다. MPEG 코딩이 기존의 코딩방식과 다른 점은 세 가지 코딩 방식(I, B, P 방식)이 확정적인(deterministic) 순서를 따른다는 점이다. MPEG 코딩은 프레임내 코딩(intraframe coding : I 방식)과 프레임간 코딩(interframe coding : B, P 방식)을 적절하게 조합하여 화면의 질과 전송 데이터의 압축도를 효과적으로 달성하고자 하는 코딩 방식이다. 즉 화면의 질을 높이고 오류의 전달을 방지하기 위하여 주기적으로 프레임내 코딩을 수행하고, 전송되는 비트량을 줄이기 위해 프레임간 코딩을 프레임내 코딩의 프레임 사이에서 수행하는 것이다. I 방식은 한 화면을 독립적으로 코딩하는 방식으로, 이 방식으로 코딩된 화면은 독립적으로 복원이 가능하고 이전에 전달된 오류에 영향을 받지

않기 때문에 화면의 품질을 높일 수 있고, 영상 데이터 베이스 검색과 같은 경우에는 랜덤 액세스(random access)에 대한 요구를 만족시키나, 높은 압축도를 달성하기는 어렵다. 프레임간 코딩은 연속되는 화면이 갖는 중복성을 줄이기 위한 방식으로, P 방식과 B 방식이 있다. P(Prediction)방식은 16×16 화소(pixel)로 이루어진 매크로 블록(macroblock) 단위로 움직임을 벡터로 나타내고, 이때 생기는 오류를 정정해주는 방식으로 이루어져 있다. B(Bidirectional Prediction)방식은 이전과 이후의 기준 프레임(I, P프레임)을 보간하여 코딩하는 방식이다. B 방식은 MPEG 코딩의 핵심적 기능으로서, 전송되는 데이터를 압축하는데 있어 가장 효과적이고, 두 기준 프레임의 평균을 취함으로써 잡음을 줄일 수 있다. 그러나 이전의 프레임뿐만 아니라 이후의 프레임도 기준 프레임으로 사용하기 때문에 프레임 재배열에 따르는 시간 지연이 생기므로, 실시간 전송을 하는 경우는 그 수가 제한된다.

I, B, P의 주기와 빈도는 프레임당 비트율 생성과 매우 밀접한 관계에 있는데, 이는 두 파라미터를 통해 조절된다. I가 반복되는 주기를 N, P가 반복되는 주기를 M이라 할 때, N이 크면 전송될 정보량을 줄일 수 있으나 화면의 정보에 대한 오차가 커지게 되며, M이 크면 비디오 데이터의 압축 효과를 높일 수 있으나 시간 지연이 커진다. N의 크기에 관하여 Pancha[2]는 그 값이 16 이상이면 데이터의 압축도에 있어서 그다지 효과적이지 않고, 고속의 정보 전송이 요구되는 ATM 상황을 감안할 때, M의 값은 3 이내로 하는 것이 바람직하다는 실험결과를 제시하였다.

N과 M에 의해 I, B, P 프레임의 순서가 결정되는데, 이 순서에 의해 반복되는 프레임들을 I 프레임으로 구분하여 모아놓은 것을 GOP (Group Of Picture)라 하고, N=12, M=3인 경우, MPEG 코딩의 GOP 구조는 그림 1과 같다.

그런데 개별 MPEG 비디오 트래픽들이 다중화 장치에 입력될 때의 셀 흐름은 개별 트래픽들의 I, B, P 프레임의 순서가 어떻게 정렬되어 있느냐에 따라 달라지게 된다. 즉 비디오 원의 정렬에 따라 통합된 트래픽이 달

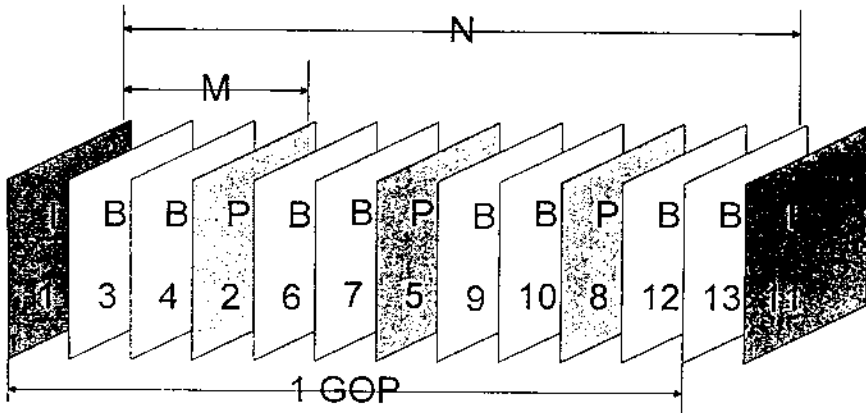


그림 1. MPEG 비디오 코딩의 GOP 구조

GOP 구조에 의해 MPEG 비디오 원에서 발생된 트래픽은 주기적인 셀 흐름을 보이게 된다. 그림 2는 MPEG 비디오 트래픽의 프레임당 셀 수의 흐름을 나타내고 있는데, 이 그림을 통해 프레임별 셀 수가 프레임 유형(I, B, P)에 따라 달라짐을 알 수 있다. 따라서 단일 MPEG 비디오 원의 트래픽 모형화 연구는 주로 프레임 유형별 셀 수의 모형화에 초점을 두고 있다[3, 4, 5]. Rose[5]는 이를 프레임 수준의 트래픽 모형화라 부르고 있으며, MPEG 비디오 원의 모형화에서 가장 중요한 요소임을 입증하였다.

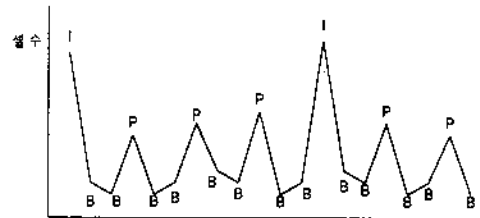


그림 2. 개별 비디오 원의 프레임당 셀 수의 흐름

현재까지, MPEG 비디오 트래픽에 관한 연구는 단일 비디오 원에 관한 트래픽 모형화와 이를 토대로 하여 다중화 장치의 성능분석을 시뮬레이션을 통해 시도하는 정도에 머무르고 있다.

그림 3은 2개의 개별 MPEG 트래픽이 다중화될 때, 서로 다른 비디오 원 정렬에 따른 통합된 트래픽의 서로 다른 셀 흐름을 나타내고 있다. 따라서 다중화 장치의 성능을 정확히 평가하기 위해서는 이러한 비디오 원의 정렬 효과를 반영해야 한다. 그러나 기존의 연구들은 비디오 원의 정렬 효과를 고려하지 않고 있거나[5], 정렬 효과를 최악의 경우와 최선의 경우로 단순화시켜 분석

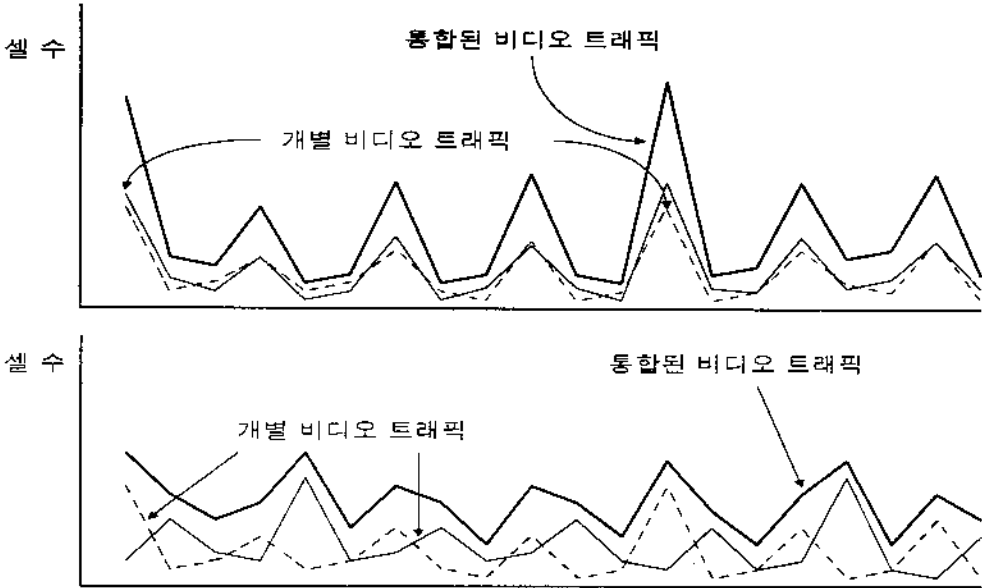


그림 3. 비디오 원의 정렬과 통합된 트래픽의 셀 수의 흐름

하고 있다[6].

본 연구에서는 다중화 장치에 입력되는 통합된 트래픽을 비디오 원의 정렬에 따라 모형화하고, 이를 바탕으로 다중화 장치의 성능 평가를 해석적인 방법을 통해 수행한다. 그리고 비디오 원의 정렬이 다중화장치의 성능에 미치는 영향을 분석한다.

2. 통합된 비디오 원의 트래픽 모형

2.1 개별 MPEG 비디오 원의 트래픽 모형

개별 MPEG 비디오 원의 트래픽은 세 가지 수준, 즉 셀 수준, 프레임 수준, GOP 수준상의 변동을 보인다. 이 중 다중화 장치의 성능추정에 가장 중요한 요소는 프레임 수준에서의 셀 수의 변동이다. 한 프레임 동안 발생한 셀 수는 I, B, P 프레임별로 별도의 모수를 갖는 감마분포나, 로그 정규분포로 모

형화할 수 있다[4].

MPEG 비디오 원의 경우, 프레임간 코딩을 위해 각 프레임이 1 프레임시간 동안 저장되었다 내보내는 프리버퍼링(pre-buffering) 과정을 거치므로, 프레임내에서의 셀들의 도착은 한 프레임 동안 일정한 간격으로 이루어진다고 가정한다. 따라서 발생한 셀 수를 F 라 하고 한 프레임의 지속시간을 단위시간으로 하면 셀 도착간격 시간은 $1/F$ 이 된다. 그리고 GOP 수준에서의 상관관계는 다중화 장치에의 영향이 크지 않으므로[4], 이를 바탕으로 개별 비디오 원에서 발생한 셀 흐름을 나타

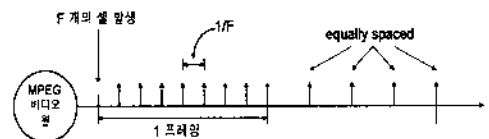


그림 4. 개별 MPEG 비디오 원에서 발생한 셀 흐름

내면 그림 4와 같다.

2.2 비디오 원 정렬(Source Alignment : SA)

통합된 트래픽의 한 프레임당 셀 수의 분포를 알기 위해서는 각 비디오 원이 어떤 프레임의 셀을 보내는가가 결정되어야 한다. 이를 위해서 GOP 내에서 k 번째에 오는 프레임을 k 프레임으로 정의한다. N=12, M=3 인 경우 프레임 순서는 그림 5와 같이 정의된다.

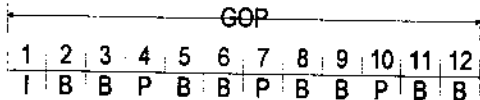


그림 5. GOP 내에서의 프레임 순서 정의

SA는 임의의 시점에서 각 비디오 원들이 I 프레임 주기 내에서 몇 번째 프레임에 있는가를 나타낸다. 예를 들어 SA가 (3,1,7)이면 첫 번째 비디오 원은 3번 프레임(B 프레임), 두 번째 비디오 원은 1번 프레임(I 프레임)이고, 세 번째 비디오 원은 7번 프레임(P 프레임)을 나타낸다. 그리고 한 프레임 시간이 지나면, 3번 프레임은 4번 프레임, 1번 프레임은 2번 프레임, 7번 프레임은 8번 프레임으로 바뀐다. 따라서 다음 프레임 도착시점에서 SA는 (4, 2, 8)이 된다. 이렇게 정의된 SA에 의해 임의의 시점에서 각 비디오 원들이 어떤 프레임의 셀을 보내고 있는지가 결정되게 된다.

2.3 통합된 비디오 원의 트래픽 모형

통합된 트래픽을 모형화하기 위해 다중화 장치에 연결된 각 비디오 원들의 프레임 시

작 시점이 동기화된다(각 개별 비디오 원들이 동시에 한 프레임의 데이터를 전송한다)고 가정한다. 프레임 동기화 가정에 대한 검증은 4절에서 다루어진다. 그리고 셀 도착은 개별 비디오 트래픽의 경우와 마찬가지로 한 프레임 동안 일정한 간격으로 이루어진다고 가정한다.

프레임 시작 시점이 동기화되면 통합된 트래픽도 프레임 시간 단위로 이산화시켜 모형화할 수 있다. 따라서 임의의 시점에서 각 비디오 원들이 보내고 있는 프레임 유형(I, B, P)이 결정되면, 한 프레임 시간 동안 도착하는 셀 수를 모형화할 수 있다.

한 프레임의 지속시간을 단위시간으로 할 때, 통합된 트래픽의 매 시간마다 각 비디오 원이 어떤 프레임의 셀을 보내고 있는지는 SA를 통해 알 수 있다. 확률변수 X_i 를 비디오 원 i 에서 한 프레임 동안 발생된 셀 수라 하면, n 개의 비디오 원에서 발생된 셀 수, X 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n \quad (2.1)$$

X_i 의 확률밀도함수를 f_i , X 의 분포를 g 라 하면, g 는 다음과 같이 f_i 의 축합(convolution)으로 나타낼 수 있다.

$$g = f_1 * f_2 * f_3 * \dots * f_n \quad (2.2)$$

여기서 f_i 는 비디오 원 i 에서 한 프레임 동안 발생된 셀 수의 분포를 나타낸다. 각 비디오 원에서의 셀 발생은 서로 독립적으로 이루어지기 때문에, f_i 들은 서로 독립적인 분포를 갖는다.

f_i 가 일반분포를 갖는 경우, 축합(convolution)을 계산하는 것은 어렵기 때문에, 본 연구에서는 g 의 분포를 감마분포로 가정하였다.

통합된 트래픽의 한 프레임 동안 발생된 셀 수의 분포를 연속분포인 감마분포로 근사화시킨다고 가정하는 경우, 셀 발생확률을 계산하기 위하여, 분포를 이산화시켜야 한다. 여기서 이산화시킨 분포를 h 라 하면, $h(k)$ 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 h(k) &= \int_{k-0.5}^{k+0.5} g(x) \\
 &= \int_{k-0.5}^{k+0.5} \frac{1}{\Gamma(a)\beta^a} x^{a-1} e^{-x/\beta} dx \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

감마분포, $g(x)$ 의 모수 a, β 는 다음과 같이 추정할 수 있다.

감마분포의 평균(μ), 분산(σ^2)은 각각 $a\beta, a\beta^2$ 이고, 비디오 원의 i 에서 1 프레임 동안 발생된 셀 수의 평균과 분산을 μ_i, σ_i^2 이라 하면, 통합된 트래픽의 프레임당 셀 수의 평균과 분산은 μ_i, σ_i^2 의 합으로 나타낼 수 있다. 여기서 μ_i, σ_i^2 은 셀을 발생시키는 프레임의 유형에 따라 서로 다른 값을 갖는다. 따라서 감마분포의 모수는 다음의 식을 이용해 추정할 수 있다.

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i, \quad \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \quad (2.4)$$

위의 식을 이용해서 추정한 감마분포의 모수 α^*, β^* 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha^* = \frac{\mu^2}{\sigma^2}, \quad \beta^* = \frac{\sigma^2}{\mu} \quad (2.5)$$

3. 다중화 장치의 성능 분석

통합된 트래픽을 대상으로 다중화 장치의 성능을 분석하기 위해서는 위에서 설명한 SA의 모든 경우를 고려해서 분석해야 하는 문제가 있다. 다중화 장치에 연결된 비디오 원의 수가 많아지면 SA의 모든 경우를 고려하는 것은 불가능해진다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 GOP 패턴의 순서를 확률적으로 가정하여 다중화 장치의 성능을 평가하고, SA가 다중화 장치에 미치는 영향을 평가하기 위해서 주어진 SA하에서 셀 손실률을 구하는 방법이 제시된다.

3.1 GOP 패턴의 순서를 확률적으로 가정하는 경우

개별 MPEG 비디오 트래픽의 GOP 패턴의 순서가 그림 6과 같이 마코프 연쇄를 이룬다고 가정한다. $N=12, M=3$ 인 경우 GOP 패턴의 순서는 /BBBBBPBBPBBBI/BB...가 된다. 이 경우 현재 I 또는 P이면 다음 시점에서는 B가 되고, B인 경우는 다음 시점에서 I, P, 또는 B가 된다. 이를 확률적으로 본다면, 현재 B는 다음 프레임에 1/8의 확률로 I, 3/8의 확률로 P, 4/8의 확률로 B로 바뀐다. 이를 이산시간 마코프 연쇄로 나타내면 다음 그림과 같이 된다.

이 경우 임의의 시점에서 I 프레임일 확률은 1/12, B의 경우 8/12, P의 경우 3/12이 되고, I 프레임에서 다음번 I 프레임까지의 평균 주기는 12가 된다. 그리고 I의 주기 내에서 P의 주기는 3이 된다.

일반적으로 위의 경우와 같이 마코프 연쇄

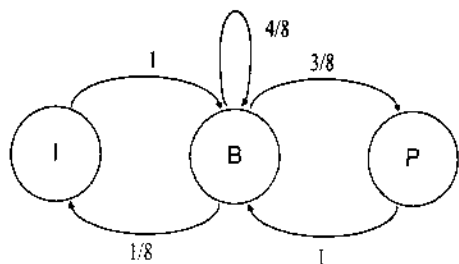


그림 6. 코딩 순서를 확률적으로 가정하는 경우의 상태 전이도

를 정의하는 경우, I 프레임의 평균 주기와 I의 주기 내에서 P의 평균 주기는 각각 N, M이 되고, I, B, P 프레임의 비율도 확정적인 순서일 때와 같다. 그러나 이렇게 GOP 패턴의 순서를 확률적으로 가정하는 경우, 다중화 장치의 성능을 비디오 원의 정렬에 관계없이 다중화 장치의 성능을 평균적으로 평가할 수 있는 이점이 있는 반면, 비디오 원 정렬의 효과를 반영할 수 없게 된다. 그리고 통합된 트래픽을 모형화할 때, 서로 이질적인 n개의 비디오 원이 다중화 되는 경우 상태수가 3ⁿ개가 되어 해석적인 접근이 힘들다. 이 모형을 바탕으로 다중화 장치의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가한 결과는 4절에서 다룬다.

3.2 확정적인 GOP 패턴의 순서를 유지하는 경우

비디오 원 정렬에 의해 다중화 장치에 입력되는 트래픽의 프레임당 셀 수는 각 비디오 원이 어떤 프레임의 셀을 보내느냐에 의해 결정된다. 한 프레임 동안 셀 도착이 일정한 간격으로 이루어진다고 가정하면 한 프레임 동안 도착한 셀 수와 서비스 받는 셀 수를 통해 다중화 장치의 상태가 결정되게

된다. 다중화 장치에서 한 프레임 동안 처리할 수 있는 셀 수를 D, 버퍼크기를 B, 시점(프레임 시작시점)k에 버퍼에 있는 셀 수를 b^k, 도착한 셀 수를 x^k라 하면, b^{k+1}는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b^{k+1} = \min\{B, \max\{0, b^k + x^k - D\}\} \quad (3.1)$$

즉 (b^k+x^k-D) < 0인 경우, 도착한 셀과 버퍼에 있는 셀들이 모두 서비스 받은 경우로 다음 프레임에는 버퍼가 비게 된다. (b^k+x^k-D) > B인 경우는 버퍼 용량을 초과하는 경우로 초과하는 양만큼은 손실이 일어나고 버퍼는 꽉 차게 된다. 그렇지 않은 경우 다음 프레임에 버퍼에 있는 셀 수는(b^k+x^k-D)이 된다.

임의의 시점에서 버퍼에 있는 셀 수는 이전 시점에서 버퍼에 있는 셀 수와 도착한 셀 수에 의해 결정되기 때문에 마코프 연쇄를 구성할 수 있다. 개별 비디오 트래픽이 I의 반복주기 N을 주기로 똑같은 확률과정이 반복되듯이, 통합된 트래픽도 일정한 주기로 똑같은 확률과정을 반복하게 된다. 특히 각 개별 비디오 원들의 I 반복주기가 모두 N이면 통합된 트래픽은 주기 N마다 똑같은 확률과정을 반복하게 된다.

3.2.1 전이확률 행렬(P)의 계산

통합된 트래픽의 주기를 T라 하고, X(t)를 시점(프레임 시작 시점) t에서의 버퍼에 있는 셀 수를 나타낸다고 하면, {X(t), t=0, T, 2T, 3T, ...}는 이산시간 마코프 연쇄를 이룬다. kT시점에서 (k+1)T시점으로의 버퍼상태의 전이확률 행렬은 kT시점과 (k+1)T시점사이의 j번째 시점에서의 버퍼상태의 전이행렬, P^(j)의

곱으로 계산될 수 있다.

$$P = P^{(1)} \cdot P^{(2)} \cdot P^{(3)} \dots P^{(T-1)} \cdot P^{(T)} \quad (3.2)$$

kT 시점과 $(k+1)T$ 시점 사이의 j 번째 시점에 도착하는 셀 수의 분포를 h_j , 누적분포를 H_j 라 하면, $P^{(j)}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P^{(j)} = \begin{pmatrix} p_{0,0} & p_{0,1} & p_{0,2} & \dots & p_{0,B-1} & p_{0,B} \\ p_{1,0} & p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,B-1} & p_{1,B} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{B,0} & p_{B,1} & p_{B,2} & \dots & p_{B,B-1} & p_{B,B} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

여기서 $p_{a,b}$ 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$p_{a,b} = \begin{cases} H_j(D-a), & b = 0 \\ h_j(D-a+b), & 0 < b < B \\ 1-H_j(D-a+B-1), & b = B \end{cases} \quad (3.4)$$

3.2.2 안정상태의 확률(stationary probability)의 계산

벡터 π 를 다음과 같이 정의하면, π 는 식 (3.5)를 만족한다.

$$\pi = (\pi_0, \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_B)$$

여기서 π_b 는 다음과 같이 정의된다.

$$\pi_b = \lim_{k \rightarrow \infty} \Pr\{X(kT) = b\}, b = 0, 1, 2, \dots, B$$

• 균형방정식(balance equation)

$$\begin{aligned} \pi &= \pi \cdot P \\ \pi \cdot e^T &= 1 \end{aligned} \quad (3.5)$$

그리고 벡터 $\pi^{(j)}$ 를 다음과 같이 정의하자.

$$\pi^{(j)} = (\pi_b^{(j)}, \pi_1^{(j)}, \pi_2^{(j)}, \dots, \pi_B^{(j)}), j = 1, 2, 3, \dots, T-1$$

여기서 $\pi_b^{(j)}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\pi_b^{(j)} = \lim_{k \rightarrow \infty} \Pr\{X(kT+j) = b\}, b = 1, 2, 3, \dots, B$$

• 벡터 $\pi^{(j)}$ 의 계산

벡터 $\pi^{(j)}$ 는 다음의 관계식을 이용해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \pi^{(0)} &= \pi, \quad P^{(0)} = P \\ \pi^{(j)} &= \pi^{(j-1)} \dots P^{(j-1)}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, T-1 \end{aligned} \quad (3.6)$$

3.2.3 셀 손실률(Cell Loss Probability)의 계산

셀 손실률(CLP)은 전체 도착한 셀 중 서비스 받지 못하고 손실된 셀의 비율로, 주기 T 동안 도착한 셀 수의 평균과 손실된 셀 수의 평균의 비율로 정의할 수 있다. 통합된 트래픽의 한 프레임당 도착하는 셀 수의 평균을 μ , 주기 T 동안 손실된 셀 수를 L 이라 할 때, 셀 손실률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$CLP = E\{L\}/T \cdot \mu \quad (3.7)$$

• $E\{L\}$ 의 계산

주기 T 내에서의 j 번째 프레임 도착시점에서 손실된 셀 수를 $L^{(j)}$ 라 하면, 주기 T 동안 손실된 셀 수 L 과 $E\{L\}$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = \sum_{j=1}^T L^{(j)} \quad (3.8)$$

$$E\{L\} = \sum_{j=1}^T E\{L^{(j)}\} \quad (3.9)$$

그리고 j 번째 프레임 도착시점에서의 평균 셀 손

실수 $E(L^j)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E(L^j) = \sum_{b=0}^B \pi_b^{(j)} \cdot E(L_b^{(j)}) \quad (3.10)$$

따라서 $E(L)$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$E(L) = \sum_{j=1}^T \sum_{b=0}^B \pi_b^{(j)} \cdot E(L_b^{(j)}) \quad (3.11)$$

여기서 $\pi_b^{(j)}$ 는 j 번째 프레임 도착시점에서의 버퍼상태가 b 일 확률이고, $E(L_b^{(j)})$ 는 j 번째 프레임 도착시점에서 버퍼상태가 b 일 때, 한 프레임 동안 손실된 셀 수의 평균을 나타낸다.

• $E(L_b^{(j)})$ 의 계산

j 번째 프레임 도착시점에서 다중화 장치에 입력되는 셀 수의 분포를 h_j 라 하면, $E(L_b^{(j)})$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

프레임 시작시점에 버퍼에 셀이 b 개 있고, 도착한 셀이 $(B+D-b+l)$ 개인 경우 l 개의 셀 손실이 일어난다. 그러므로,

$$E(L_b^{(j)}) = \sum_{l=1}^{\infty} l \cdot h_j(B+D-b+l) \quad (3.12)$$

식(3.7), (3.11)와 식(3.12)로부터, 셀 손실률은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$CLP = \frac{\sum_{j=1}^T \sum_{b=0}^B \pi_b^{(j)} \sum_{l=1}^{\infty} l \cdot h_j(B+D-b+l)}{T \cdot \mu} \quad (3.13)$$

4. 모형검증 및 다중화 효과 분석

4.1 통합된 비디오 원의 트래픽 모형화 검증

표 1은 실제 MPEG 방식으로 코딩했을 때, 발생된 프레임당 셀 수를 바탕으로 프레임 시작시점을 일치시킨 경우와 랜덤한 경우에

대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 여기서 비디오 원의 수는 10개, 각 비디오 원들의 GOP 패턴은 동일하고, 동질(homogeneous)인 비디오 원을 대상으로 하고 있다. 그리고 각 프레임별 셀 수의 평균은 I의 경우 143.44(cells/frame), B의 경우 19.04(cells/frame), P의 경우 37.66(cells/frame)이고, 분산은 각각 918.13(cells/frame), 135.17(cells/frame), 632.5(cells/frame)이다. 그리고 전체 셀 수의 평균은 19.05(cells/frame)이고 최대셀률은 350(cells/frame)이다.

표 1. 프레임 동기화 가정 검증

버퍼/서비스율	셀 손실률(Log(셀 손실률))	
	프레임 시작시점이 일치하는 경우	프레임 시작시점이 랜덤한 경우
10/500	0.023663(-1.62590)	0.023963(-1.62045)
20/500	0.016531(-1.78169)	0.016334(-1.78689)
50/500	0.013026(-1.88517)	0.012820(-1.89209)
100/500	0.007258(-2.13917)	0.006728(-2.17208)
200/500	0.002303(-2.63766)	0.002270(-2.64380)
500/500	0.000709(-3.14899)	0.000711(-3.14785)

이 표를 통해 알 수 있듯이 프레임 시작시점을 일치시켜도 다중화 장치의 성능에는 별 영향이 없음을 알 수 있다. 개별 비디오 원의 GOP 패턴의 순서를 확률적으로 가정한 경우와 확정적인 순서를 유지하는 경우의 시뮬레이션 결과는 표 2와 같다. 확률적인 순서를 가정하는 경우는 비디오 원의 정렬효과를 고려하지 않아도 되지만, 확정적인 순서를 유지하는 경우 정렬효과를 반영해야 한다. 확정적인 순서를 유지하는 경우의 셀 손실률을 얻기 위해서는 SA에 대한 시뮬레이션이 함께 이루어져야 한다. 표 2는 1000번의 SA

에 대한 실험을 통해 셀 손실률의 평균을 구한 결과이다.

표 2. 확률적 손서를 가정한 모형의 검증

버퍼/서비스율	셀 손실률(Log(셀 손실률))	
	코딩순서가 확률적인 경우	코딩순서가 확정적인 경우
10/500	0.022432(-1.64913)	0.023663(-1.62590)
20/500	0.017468(-1.75775)	0.016531(-1.78169)
50/500	0.012957(-1.88749)	0.013026(-1.88517)
100/500	0.005794(-2.23699)	0.007258(-2.13917)
200/500	0.001981(-2.70301)	0.002303(-2.63766)
500/500	0.000380(-3.41987)	0.000709(-3.14899)

표 3은 I 프레임의 주기 N = 12, P 프레임의 주기 M = 3인 경우의 랜덤하게 발생시킨 10개의 SA에 대해 셀 손실률을 DTMC를 이용해 구한 결과와 시뮬레이션을 통해 구한 결과를 보여주고 있다. 여기서 버퍼의 크기는 50이고, 다중화 장치의 서비스율은 500(cells/frame)이다.

SA는 각 비디오 원이 초기에 I 프레임 주기내의 몇 번째 프레임의 셀을 보내는가를 나타낸다. 비디오 원 정렬의 값이 1인 경우 I 프레임 주기내의 첫 번째 프레임 즉, I 프레임의 셀을 보내고 있는 것을 나타낸다.

위의 실험을 통해 알 수 있듯이, 똑같은 트래픽이 다중화 장치에 입력되는 상황이라 하더라도, 비디오 원의 정렬에 따라 셀 손실률이 상당히 차이가 남을 알 수 있다. 그리고 해석적인 방법을 이용해 구한 셀 손실률과 실제 데이터를 이용한 시뮬레이션 결과가 상당히 일치하고 있음을 알 수 있다.

표 3. DTMC를 이용한 분석모형 검증

비디오 원 정렬	셀 손실률	
	DTMC	시뮬레이션
(9,4,10,2,9,1,9,9,2,8)	0.02231	0.02234
(10,6,2,11,6,11,3,4,2,5)	0.00119	0.00125
(6,3,6,11,7,6,6,9,6,8)	0.06130	0.06139
(7,4,3,4,10,3,4,4,12,9)	0.03464	0.03469
(12,1,3,9,4,8,7,9,9,3)	0.01078	0.01074
(1,1,3,11,9,11,8,8,4,12)	0.00052	0.00059
(7,9,10,7,4,6,3,1,12,4)	0.00236	0.00245
(3,12,9,3,1,4,2,11,2,7)	0.00046	0.00050
(10,1,9,12,9,9,12,9,12,9)	0.08204	0.08205
(5,1,8,6,10,9,9,9,9,2)	0.02654	0.02656

4.2 비디오 원 정렬의 효과 분석

MPEG 비디오 트래픽은 비디오 원의 정렬에 따라 다중화 장치의 성능이 달라지게 된다. 특히 각 비디오 원들의 I 프레임 전송시점이 어떻게 분포되어 있는가가 중요하다. 동시에 I 프레임들이 다중화되는 경우가 최악의 경우이고, I 프레임들이 골고루 흩어져 들어오는 경우가 최선의 경우가 된다. 본 연구에서는 동시에 다중화되는 I 프레임의 개수를 이용해 비디오 원의 정렬의 효과를 분석한다. 그림 7은 12개의 MPEG 비디오 원이 다중화될 때, 다중화 장치의 버퍼 수에 따른 셀 손실률(상용로그 값)을 나타내고 있다. IMAX를 동시에 다중화되는 I 프레임의 개수라 할 때, 동시에 다중화 되는 I 프레임의 개수가 12개인 경우(IMAX=12인 경우)가 최악의 경우이고, 1개인 경우가 최선의 경우(IMAX=1)이다. 여기서 서비스율은 500(cells/frame)이다.

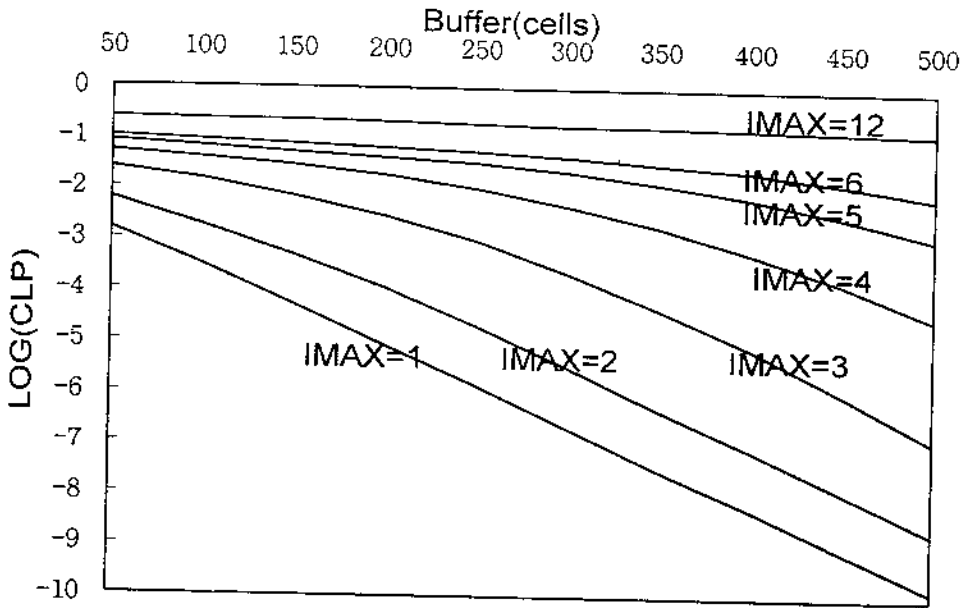


그림 7. 동시에 다중화되는 I 프레임의 개수에 따른 셀 손실률

4.3 MPEG 비디오 원의 다중화 효과분석

4.2절의 결과로부터, 다중화 장치의 성능은 트래픽의 양뿐만 아니라, 비디오 원의 정렬에도 영향을 받는다. 본 연구에서는 이러한 비디오 원의 정렬의 영향을 반영하기 위하여 셀 손실률의 허용범위를 벗어나지 않을 확률을 성능척도로 하여 실험을 실시하였다. 표 4는 다중화 장치에 연결된 비디오 원의 수에 따라, 허용된 셀 손실률을 만족할 확률을 1000개의 SA를 랜덤하게 발생시켜 실험한 결과이다.

위의 표에서 허용된 셀 손실률이 e-03, 허용된 셀 손실률을 만족할 확률 0.95로 하는 경우 다중화 장치에 연결될 수 있는 비디오 원의 수는 19개가 된다. 평균 셀 손실률을 이용해 다중화 장치에 연결될 수 있는 비디오 원의 수를 결정하면, 20이나 21개가 되는데,

표 4. 허용된 셀 손실률을 만족할 확률 (서비스율 : 825(cells/frame), 버퍼크기 : 412(cells))

비디오 원의 수	허용된 셀 손실률			평균 셀 손실률
	e-03	e-04	e-05	
14	0.999	0.997	0.985	5.12918e-06
15	0.998	0.989	0.968	1.01287e-06
16	0.995	0.975	0.916	1.96741e-05
17	0.990	0.964	0.874	4.14772e-05
18	0.973	0.883	0.736	9.77003e-05
19	0.960	0.788	0.500	0.000101916
20	0.885	0.603	0.238	0.000603596
21	0.740	0.310	0.057	0.00124022
22	0.460	0.050	0.001	0.00292058
23	0.094	0.000	0.000	0.00704109

이 경우 74~88% 가량의 비디오 원 정렬만이 셀 손실률 e-03을 만족하고 있고 12~36% 정도는 허용된 셀 손실률을 만족하지 못하는 경우가 발생한다.

5. 결론 및 추후 연구사항

MPEG 비디오 원에서 발생된 트래픽은 코딩 알고리즘의 특성으로 인하여 트래픽에 강한 주기성이 나타나게 된다. 이러한 주기성을 반영하기 위해 I, B, P 프레임의 순서를 유지하면서, 프레임별 셀 수는 서로 다른 분포를 가지는 모형으로 개별 비디오 트래픽을 모형화하였고, 통합된(Aggregated) 트래픽에 대해서도 프레임 동기화를 가정하여 모형화하였다. 다중화 장치에 도착하는 셀 수를 모형화 하기 위해서는 각 비디오 원들이 I, B, P 프레임 중 어떤 프레임의 트래픽을 보내고 있는지가 결정되어야 하는데, 이는 비디오 원 정렬을 통해 알 수 있다. 다중화 장치에서의 셀 손실률은 비디오 원의 정렬에 따라 매우 상이한 결과를 보이는데, 이를 반영하기 위해 허용된 셀 손실률을 만족할 확률을 이용해 다중화 장치에 연결될 수 있는 비디오 원의 수를 결정하였다.

비디오 트래픽의 경우 코딩 방식에 의해 생겨나는 프레임간 상관관계(correlation)뿐만 아니라 연속되는 화면의 유사성으로 인해 생기는 상관관계도 존재한다. 예를 들어 화면의 움직임이 심한 경우 전체적인 트래픽량은 증가하게 된다. 본 연구에서는 코딩 방식에 의해 생기는 상관관계만 반영하였는데, 더욱 정교한 분석을 위해서는 이러한 부분들을 반영할 수 있어야 한다. 즉 화면의 움직임 수준과 MPEG의 주기성을 동시에 고려하는 트래픽 모형화에 대한 연구가 요구된다.

6. 참고문헌

- [1] 한국통신 통신망연구소, "비디오 트래픽 모델링 연구", 한국통신 통신망연구소, 1993.
- [2] P. Pancha and M. E. Zarki, "A Look at the MPEG Video Coding Standard for Variable Bit Rate Video Transmission", IEEE INFOCOM '92, pp. 85-94, 1992.
- [3] O. Rose and M. R. Frater "Delivery of MPEG Video Services over ATM", Tech. Report No. 86, Univ. of Würzburg Institute of Computer Science, 1994
- [4] O. Rose "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, 1995
- [5] Marwan Krunz, Ron Sass, Herman Hughes, "Statistical Characteristics and Multiplexing of MPEG Streams", IEEE INFOCOM '95, pp. 455-462, 1995
- [6] O. Rose "Approximate Analysis of an ATM Multiplexer with MPEG Video Input", Tech. Report No. 79, Univ. of Würzburg Institute of Computer Science, 1994
- [7] J. J. Bae and T. Suda, "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks", Proc. IEEE, Vol. 79, No. 2, pp. 170-189, 1991.
- [8] G. Ramamurthy and B. Sengupta, "Modeling and Analysis of a Variable Bit Rate Video Multiplexer", IEEE INFOCOM '92, pp. 817-827, 1992.

- [9] D. Reininger and D. Raychaudhuri, "Bit-Rate Characteristics of a VBR MPEG Video Encoder for ATM Networks", IEEE INFOCOM '93, pp. 517-521, 1993.
- [10] M. Riyaz, I.E. Lambadaris, M. Davetsiotis and A. R. Kaye, "Modeling Prioritized MPEG Video Using TES and a Frame Spreading Strategy for Transmission in ATM Networks", IEEE INFOCOM '95, pp. 762-770, 1995
- [11] O. Rose and M. Ritter "A New Approach for the Dimensioning of Policing Functions for MPEG-Video Source in ATM-Systems" Tech. Report No. 97, Univ. of Würzburg Institute of Computer Science, 1995
- [12] Predrag R. Jelenkovic, Benjamin Melamed, "Automated TES Modeling of Compressed Video", IEEE INFOCOM '95, pp. 746-752, 1995
- [13] 이상천, "MPEG 비디오 트래픽 셰이퍼의 파라미터 설계 및 ATM 다중화가 성능분석", 박사논문, 서울대학교 산업공학과, 1995.