

論文96-33A-10-6

# 수정된 equivalent capacity를 이용한 VBR MPEG 비디오 트래픽의 등가대역폭 계산방법

## (Computation Method of Effective Bandwidth of VBR MPEG Video Traffic Using the Modified Equivalent Capacity)

河卿鳳\*, 李昌範\*\*, 朴來弘\*

(Kyeong Bong Ha, Chang Bum Lee, and Rae-Hong Park)

### 요 약

중첩 VBR (Variable Bit Rate) MPEG (Moving Picture Experts Group) 비디오 트래픽의 등가대역폭의 계산방법을 제안하였다. 중첩 MPEG 비디오 트래픽의 등가대역폭을 계산하기 위하여 먼저 입력 MPEG 트래픽을 프레임 타입에 따라 I, B와 P 프레임 트래픽으로 분류하였다. 프레임 타입에 따른 중첩 트래픽의 통계적 특성을 이용하여 중첩 MPEG 트래픽의 통계적 특성을 계산하였다. 중첩 I 프레임 트래픽의 등가대역폭은 가우스 바운드를 이용하여 계산하였고 중첩 B와 P 프레임 트래픽의 등가대역폭은 수정된 equivalent capacity를 이용하여 계산하였다. 중첩 MPEG 비디오 트래픽의 등가대역폭은 중첩 I 프레임의 가우스 바운드와 중첩 B와 P 프레임의 수정된 equivalent capacity를 더하여 계산하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법이 중첩 MPEG 트래픽의 등가대역폭을 효율적으로 예측함을 보였다.

### Abstract

A method for computing effective bandwidth of aggregated variable bit rate (VBR) moving picture experts group (MPEG) video traffic is proposed. To compute statistical characteristics of aggregated MPEG traffic, first we split input MPEG traffic into I, B, and P frame traffics and aggregate respective I, B, and P frame traffics according to the frame type. Second statistical characteristics of the aggregated MPEG traffic are obtained using those of aggregated I, B, and P frame traffics. The effective bandwidth of the aggregated I frame traffic is computed by using the Gaussian bound. Using the modified equivalent capacity, we obtain the effective bandwidths of aggregated B and P frame traffics and then compute the effective bandwidth of the combined B and P frame traffic. Finally the effective bandwidth of the aggregated MPEG traffic is computed by adding the Gaussian bound of the aggregated I frame traffic and modified equivalent capacity of combined B and P frame traffic. Computer simulation shows that the proposed method estimates effective bandwidth of the aggregated MPEG traffic well.

\* 正會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Sogang Univ.)

\*\* 正會員, 電子通信研究所, 뉴미디어서비스 研究室

(New Media Service Sec., ETRI)

接受日字:1995年9月14日, 수정완료일:1996年10月7日

### I. 서론

기존의 협대역 종합정보 통신망 (N-ISDN: Narrowband-Integrated Services Digital Network)의 한계를 극복하기 위하여 광대역 종합정보 통신망 (B-ISDN: Broadband-ISDN)의 필요성이 증대되고 있

다. 즉 멀티미디어와 실시간 영상서비스를 위해서는 기존의 통신망과 통신방식으로는 대역폭의 측면에서 한계가 있기 때문이다. 광대역 종합정보통신망은 멀티미디어와 실시간 비디오 서비스와 같은 새로운 형태의 서비스의 제공과 기존의 데이터 통신망과 음성 통신망과의 통합을 목표로 하고 있다.

ATM (Asynchronous Transfer Mode)은 B-ISDN의 구현기술로서 가장 유력한 방법이다. 비동기식 전송방식 (ATM)은 기존의 동기식 전송방식 (STM: Synchronous Transfer Mode)과 달리 각 터미날에 고정적인 대역을 할당하는 것이 아니라 필요에 따라 적응적으로 대역을 할당하는 특징을 지닌다. ATM망은 통계적 다중화 이득을 이용하므로 대역을 효율적으로 이용하는 장점이 있지만 쉽게 폭주상황에 빠질 수 있는 단점이 있다. 따라서 효율적인 트래픽 제어기가 필요하며 이를 위하여 비디오 트래픽의 증가대역폭의 계산에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 ATM망에서의 주된 비디오 트래픽으로 예상되는 VBR MPEG 비디오 트래픽의 증가대역폭의 계산방법을 제안하였다. 비디오 트래픽의 증가대역폭은 트래픽 제어와 대역할당을 간단하게 해주는 장점이 있다.

MPEG 비디오 트래픽의 특징은 I, B와 P 프레임 트래픽으로 구성되는 특징을 보이는데 제안한 방법에서는 먼저 VBR MPEG 트래픽의 중첩을 분석하였다. MPEG 트래픽의 모델링을 위하여 TES (Transform Expand Sample) 프로세스<sup>[1,2]</sup>를 사용하였고 모델링된 TES 프로세스를 이용하여 큐잉 시뮬레이션에 사용하였다. 중첩 VBR MPEG 비디오 트래픽의 증가대역폭을 계산하기 위하여 중첩 B와 P 프레임 트래픽의 증가대역폭과 중첩 I 프레임의 증가대역폭을 더하여 구하였다. 중첩 I 프레임 트래픽의 증가대역폭은 가우스 바운드를 이용하였고 중첩 B와 P 프레임의 트래픽의 증가대역폭은 Guérin 등이 제안한 equivalent capacity<sup>[3]</sup>를 변형한 수정된 equivalent capacity<sup>[4]</sup>를 이용하여 증가대역폭을 계산하였다.<sup>[5]</sup>

## II. VBR MPEG 비디오 트래픽의 통계적 특성과 모델링

### 1. MPEG 비디오 트래픽의 통계적 특성

VBR MPEG 비디오 트래픽을 모델링하기 위해서는

실제의 데이터가 필요한데 본 연구에서는 Bellcore의 공개 데이터를 이용하였다. 약 2시간 가량의 영화를 MPEG-1 표준으로 부호화하였는데 Garrett와 Fernandez에 의하여 만들어졌다 (FTP from thumper.bellcore.com, directory pub/vbr.video.trace, file MPEG.data). 이의 부호화 특성을 보면 표 1과 같다. GOP의 크기는 12프레임이고 초당 24 프레임으로 부호화하였는데 이는 실제 영화의 필름을 디지털이징하여 원영상을 얻었기 때문이다.

표 1. MPEG 실험 데이터의 부호화 조건  
Table 1. Encoding information of MPEG traffic data.

프레임/초		24
해상도	루미넌스 (Y)	240×352
	크로미넌스 (U & V)	120×176
프레임의 순서		IBBPBFBFBFB IBB.....
GOP 크기		12 프레임

부호화된 트래픽의 각 프레임별 통계적 값들을 보면 표 2와 같다. I 프레임의 경우 프레임별 비트량이 B 프레임보다 매우 큰 것을 볼 수 있다. 또한 I 프레임의 분산이 B 프레임의 분산보다 큰 특징을 보이고 있다. 그러나 GOP내에는 I 프레임보다 B 프레임의 빈도가 높으므로 GOP내의 비트량을 고려하면 B 프레임과 I 프레임이 비슷한 비트량을 보인다. I 프레임의 평균 발생 비트량이 B 프레임의 평균 발생 비트량보다 약 9배 정도 크기 때문에 VBR MPEG 트래픽의 변화가 매우 심한 것을 볼 수 있다. 이는 기존의 트래픽 모델과는 매우 다른 특성이다.

표 2. MPEG 실험 데이터의 전체 및 프레임별 통계적 값 (비트/프레임)

Table 2. Overall and framewise statistical characteristics of MPEG traffic data used in experiments (Bits/Fram- me).

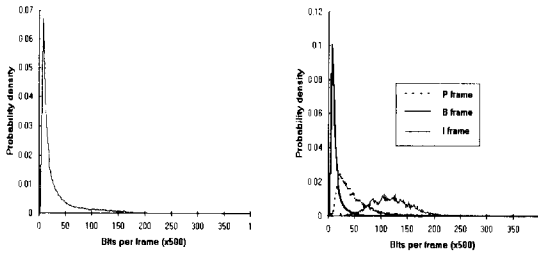
	평균	2차 모멘트	3차 모멘트	분산	3차 중심 모멘트
전체 프레임 (비트)	$1.56 \times 10^4$	$5.73 \times 10^8$	$3.36 \times 10^{13}$	$3.3 \times 10^8$	$1.44 \times 10^{13}$
I 프레임 (비트)	$6.04 \times 10^4$	$4.04 \times 10^9$	$2.97 \times 10^{14}$	$3.92 \times 10^8$	$5.39 \times 10^{12}$
B 프레임 (비트)	$7.2 \times 10^3$	$7.5 \times 10^7$	$1.14 \times 10^{12}$	$2.32 \times 10^7$	$2.64 \times 10^{11}$
P 프레임 (비트)	$2.31 \times 10^4$	$7.37 \times 10^8$	$3.26 \times 10^{13}$	$2.15 \times 10^8$	$5.48 \times 10^{12}$

1) 히스토그램

그림 1은 MPEG 실험 데이터의 확률분포를 보여주고 있다. 그림 1(a)는 전체 프레임의 확률분포를 나타내고 그림 1(b)는 각 프레임별 확률분포를 나타내고 있다. I 프레임은 상대적으로 높은 비트율을 보이며 크게 분포하고 B 프레임은 낮은 비트율을 보이며 집중되어 분포하는 특징을 보인다.

2) 자기상관함수

그림 2는 전체 프레임과 각 프레임의 자기상관함수를 보이고 있다. 전체 프레임의 자기상관 함수는 intra 프레임주기와 predicted 프레임의 주기와 관련하여 주기적인 피크값을 보이고 있으며 상당히 긴 lag후에도 높은 값을 가지는 특징과 lag 1 자기상관함수가 매우 작은 값을 보이는 특징도 보이고 있다. 그러나 각 프레임 별로 자기상관 함수를 구해보면 자기상관 함수가 지수적으로 감소하는 특징을 보이고 있다.<sup>[6]</sup>

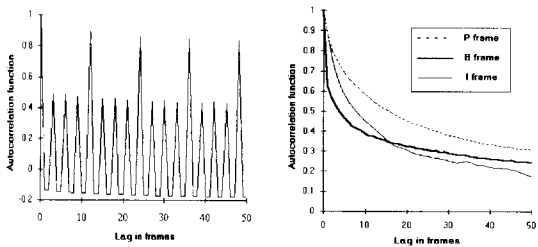


(a) (b)

그림 1. MPEG 실험 데이터의 히스토그램  
(a) 전체 프레임 (b) 각 프레임

Fig. 1. Histogram of MPEG traffic data used in experiments.

(a) Overall MPEG traffic. (b) Framewise traffic.



(a) (b)

그림 2. MPEG 실험 데이터의 자기상관함수  
(a) 전체 프레임 (b) 각 프레임

Fig. 2. Autocorrelation function of MPEG traffic data used in experiments.

(a) Overall MPEG traffic. (b) Framewise traffic.

2. TES 프로세스를 이용한 MPEG 비디오 트래픽 모델링

MPEG 트래픽을 모델링하기 위하여 TES 모델을 사용하였다. TES 모델은 임의의 히스토그램과 자기상관함수를 가지는 랜덤 프로세스를 모델링하기 위하여 사용된다.<sup>[1,2]</sup> 한개의 MPEG 트래픽을 모델링하기 위하여 3개의 TES 프로세스가 필요하며 각각의 TES 프로세스는 I, B와 P 프레임 트래픽을 나타낸다. 각각의 프레임을 나타내는 트래픽을 모델링한 후 각 프레임의 발생순서에 따라 MPEG 트래픽을 발생시켰다.

TES 프로세스는 백그라운드 (background) 프로세스와 포그라운드 (foreground) 프로세스로 구성되는데 최종적인 결과는 포그라운드 프로세스이다. 백그라운드 프로세스는 0과 1사이에서 일정하게 분포되며 이노베이션 (innovation) 프로세스에 의하여 제어된다. 백그라운드 프로세스는 MPEG 트래픽의 cdf (cumulative density function)를 이용하여 포그라운드 프로세스로 변환된다. TES 프로세스의 자기상관함수는 이노베이션 프로세스의 파라미터를 변화시켜서 원하는 형태의 모양을 얻는다. 백그라운드 프로세스  $U_n$  은

$$U_n = \begin{cases} U_0, & n=0 \\ \langle U_{n-1} + V_n \rangle, & n > 0 \end{cases} \quad (1)$$

와 같이 정의되며 여기서  $n$ 은 시간을 나타내는 변수이며  $\langle x \rangle$ 는  $x$ 의 소수부를 나타내는 연산자이다.  $V_n$ 은 이노베이션 프로세스를 나타내며

$$V_n = \begin{cases} L_1 + (R_1 - L_1)Z_n, & \text{with probability } P_1 \\ L_2 + (R_2 - L_2)Z_n, & \text{with probability } P_2 \end{cases} \quad (2)$$

와 같이 정의되며 여기서  $L_1, L_2, R_1,$  와  $R_2$  는 상수이고  $Z_n$  는 0과 1사이에서 일정하게 분포된 랜덤 프로세스이다. 포그라운드 프로세스  $X_n$  는

$$X_n = H^{-1}(S_\xi(U_n)) \quad (3)$$

와 같이 정의되며  $H^{-1}$  는 MPEG 트래픽의 cdf를 나타내고  $S_\xi$  는 스티칭 (stitching) 함수로

$$S_\xi(y) = \begin{cases} y/\xi, & 0 \leq y \leq \xi \\ (1-y)/(1-\xi), & \xi \leq y \leq 1. \end{cases} \quad (4)$$

와 같이 정의된다.

그림 3은 TES 프로세스를 이용하여 발생한 트래픽의 히스토그램과 자기상관함수를 보인다. 그림 3(a)는 TES 프로세스를 이용하여 발생시킨 트래픽의 히스토

그램을 보이며 3(b)는 자기상관함수를 보이고 있다. 모델링된 프로세스의 히스토그램과 자기상관함수가 실제의 MPEG 데이터와 거의 일치함을 볼 수 있다.

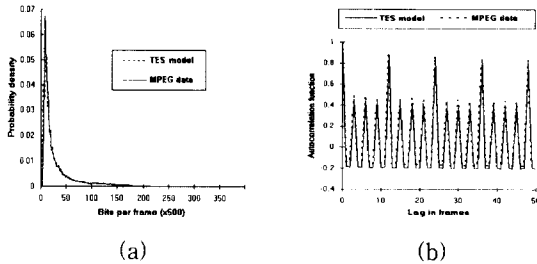


그림 3. TES 프로세스를 이용하여 발생한 MPEG 프로세스의 통계적 특성

(a) 히스토그램 (b) 자기상관함수

Fig. 3. Statistical characteristics of the process generated by TES modeling.

(a) histogram. (b) autocorrelation function.

### III. 수정된 equivalent capacity를 이용한 중첩 VBR MPEG 비디오 트래픽의 등가대역폭 계산

ATM망에서의 주된 비디오 트래픽은 MPEG 비디오 트래픽으로 예상된다. 이는 MPEG이 영상 부호화 표준이기 때문이다. 기존의 비디오 트래픽의 모델은 주로 MPEG 비디오 트래픽을 모델링한 것이 아니고 특정한 부호화 알고리즘에 의한 비디오 트래픽 모델이었다. 따라서 ATM망에서 MPEG 비디오 트래픽의 전송을 위한 트래픽 제어방법의 개발을 위하여 MPEG 비디오 트래픽모델의 개발이 필요하다. II장에서 살펴본 바와 같이 MPEG 비디오 트래픽은 I, B와 P 프레임 트래픽으로 구성되는데 I, B와 P 프레임 트래픽은 매우 다른 특성을 보인다. 본장에서는 이러한 특징과 수정된 equivalent capacity<sup>[45]</sup>를 이용하여 VBR MPEG 비디오 트래픽의 등가대역폭 계산방법에 대하여 기술한다

#### 1. 수정된 equivalent capacity

##### 1) 가우스 바운드

가우스 바운드는 다중화된 트래픽의 비트량의 통계적 제한값이다. 중첩 트래픽의 가우스 근사화를 이용한 등가대역폭  $c$ 는

$$c = m + \alpha\sigma \tag{5}$$

와 같이 정의되며 여기서  $m$ 과  $\sigma$ 는 중첩 트래픽의 평균과 표준편차를 나타내며  $\alpha$ 는 상수이며

$$\alpha = \sqrt{2 \ln(1/\epsilon) - \ln 2\pi} \tag{6}$$

와 같이 주어진다. 여기서  $\epsilon$ 는 목표 오버플로우 확률을 나타낸다.

#### 2) 중첩 트래픽의 통계적 특성계산

중첩 트래픽의 통계적값은 다음과 같은 과정으로 구할 수 있는데<sup>[7]</sup>:

$$m = \sum_{i=1}^N m_i, \quad \mu_2 = \sum_{i=1}^N \mu_{2,i}, \quad \mu_3 = \sum_{i=1}^N \mu_{3,i}, \quad R(1) = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_{2,i}}{\mu_2} R_i(1) \tag{7}$$

여기서  $N$ 은 트래픽 소스의 개수를 나타내고  $m, \mu_2, \mu_3, R(1)$ 는 중첩 트래픽의 평균, 2차와 3차 중심 모멘트, lag 1 자기상관함수를 나타내며  $m_i, \mu_{2,i}, \mu_{3,i}, R_i(1)$ 는 각각  $i$ 번째 트래픽의 평균, 2차와 3차 중심 모멘트, lag 1 자기상관함수를 나타낸다. 그림 4는 제안한 방법의 블록도를 보이고 있다.

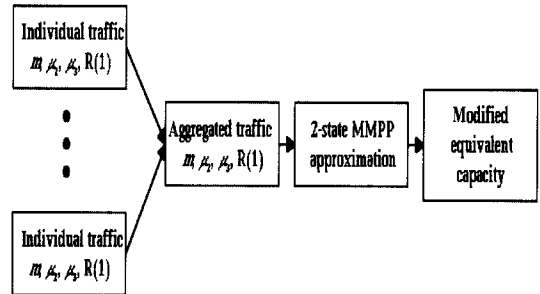


그림 4. 중첩 비디오 트래픽의 등가대역폭의 계산을 위한 제안한 수정된 equivalent capacity 방법

Fig. 4. Proposed method for computation of the total effective bandwidth of aggregated MPEG traffic.

$W$  라는 랜덤 프로세스의 lag 1 자기상관함수는

$$R(1) = \frac{E[W_i W_{i+1}] - E^2[W]}{\text{Var}[W]} \tag{8}$$

와 같이 정의되며 여기서  $E[W]$ 와  $\text{Var}[W]$ 는 랜덤프로세스  $W$ 의 기대값과 분산을 나타낸다.

#### 3) 수정된 equivalent capacity

본 논문에서는 중첩 트래픽을 2-상태 MMPP로 근사화하고 Heffes의 매칭기법을 이용하여 2-상태 MMPP 파라미터를 구한다.<sup>[7]</sup> 2-상태 MMPP 파라

미터는

$$r_{high} = \frac{\ln(1/R(1))}{(1+\eta)}, \quad r_{low} = \frac{\eta \ln(1/R(1))}{(1+\eta)} \quad (9)$$

$$\lambda_{high} = m + \sqrt{\mu_2/\eta}, \quad \lambda_{low} = m - \sqrt{\mu_2\eta} \quad (10)$$

와 같이 구해지고 여기서  $\eta = 1 + \frac{\delta}{2}(\delta - \sqrt{4 + \delta^2})$ ,  $\delta = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}}$  이다.  $r_{high}$ 와  $r_{low}$ 는 각 high 상태와 low 상태로부터의 transition out rate이며  $\lambda_{high}$ 와  $\lambda_{low}$ 는 각 상태에서의 트래픽의 도착율이다. Guérin 등은 on-off 트래픽소스의 등가대역폭을 계산하기 위하여 equivalent capacity를 제안하였는데 본 논문에서는 2-상태 MMPP의 등가대역폭을 계산하기 위하여 equivalent capacity를 변형하여 수정된 equivalent capacity를 제안하였다. 이는 2-상태 MMPP의 등가대역폭의 계산을 위해서이다. 수정된 equivalent capacity  $c$ 는

$$c = (\lambda_{high} - \lambda_{low}) \frac{y - X + \sqrt{(y - X)^2 + 4X\rho y}}{2y} + \lambda_{low} \quad (11)$$

와 같이 정의되며 여기서  $X$ 는 버퍼용량을 의미하고 상수  $y$ 와  $\rho$ 는

$$y = \ln(1/\epsilon)(1 - \rho)(\lambda_{high} - \lambda_{low})/r_{high} \quad (12)$$

$$\rho = r_{low}/(r_{high} + r_{low}) \quad (13)$$

와 같이 주어진다.

## 2. 수정된 equivalent capacity를 이용한 중첩 VBR MPEG 트래픽의 등가대역폭 계산과정

### 1) VBR MPEG 비디오 트래픽의 중첩

MPEG 트래픽은 매우 심한 변화를 보이는데 이는 각 프레임의 트래픽이 매우 다른 평균값을 가지기 때문이다. I 프레임 트래픽의 평균값은 B 프레임 트래픽의 평균값보다 약 9배 정도 크며, 따라서 중첩 MPEG 트래픽의 버스트니스(burstiness)는 I 프레임의 시작 위치에 큰 영향을 받는다. 따라서 높은 통계적 다중화 이득을 얻기 위해서 I 프레임의 시작위치를 비동기화시켰다.

그림 5는 시작위치가 엇갈린 중첩 MPEG 비디오 트래픽을 분석하기 위한 블록도를 보이고 있다. 처음 단계로 입력 MPEG 비디오 신호를 I, B와 P 프레임 신호로 분리한 후 각각 프레임 타입에 따라 I, B와 P 프레임 신호끼리 중첩시켰다. 다음 단계로 중첩 I, B와 P 프레임신호의 통계적 특성을 이용하여 중첩 MPEG 비디오 트래픽의 통계적 특징을 계산하였다. 그림 5에서

보인 것처럼 MPEG 신호를 프레임 타입에 따라 분리한 것은 각각 프레임 타입의 트래픽이 비슷한 특징을 보이기 때문이다.

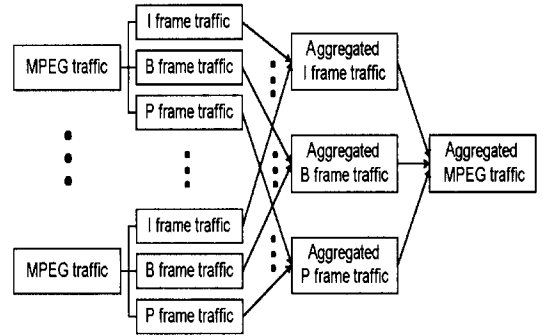


그림 5. 중첩 MPEG 트래픽의 분석을 위한 블록도  
Fig. 5. Blockdiagram for analysis of aggregated MPEG traffic.

그림 6은 I 프레임 트래픽의 중첩을 보이고 있다. 서로 다른 트래픽소스에서 발생하는 트래픽은 서로 독립적이며 I 프레임 트래픽의 주기는 12프레임이므로 중첩 I 프레임의 시간축에서의 상관관계는 매우 작다.

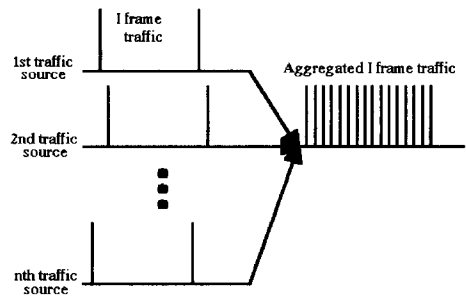


그림 6. 엇갈리게 중첩된 I 프레임 트래픽  
Fig. 6. Diagram of asynchronously aggregated I frame traffic.

### 2) 제안한 수정된 equivalent capacity를 이용한 중첩 VBR MPEG 트래픽의 등가대역폭 계산과정<sup>[8]</sup>

그림 7은 중첩 MPEG 트래픽의 등가대역폭의 계산을 위한 제안한 방법의 블록도를 보여준다. 제안한 방법에서는 중첩 I 프레임의 대역을 구하기 위하여 가우스 바운드를 이용하였는데 이는 중첩 I 프레임 트래픽이 프레임간에 상관관계가 작기 때문이다. 또한 중첩 I 프레임 트래픽은 인접한 프레임의 트래픽 간에는 독립적이거나 12의 배수의 프레임의 트래픽간에는 관련이 있

다. 중첩 B, P 프레임 트래픽의 대역폭은 제안한 수정된 equivalent capacity를 이용하여 구하였는데 이는 중첩 B, P 프레임 트래픽의 프레임간의 상관관계가 지수적으로 감소하는 형태를 보이기 때문이다. 중첩 MPEG 트래픽의 등가대역폭은 중첩 I 프레임의 대역폭과 중첩 B와 P 프레임의 대역폭을 더하여 구한다.

B 프레임 트래픽과 P 프레임 트래픽의 등가대역폭을 B 프레임과 P 프레임 트래픽을 더한 후 등가대역폭을 구한 이유는 B 프레임 트래픽과 P 프레임 트래픽이 이전에 발생한 트래픽과 관련이 있기 때문이다.

프레임의 시작위치가 엇갈리게 조정된 중첩 프레임의 통계적 특성은

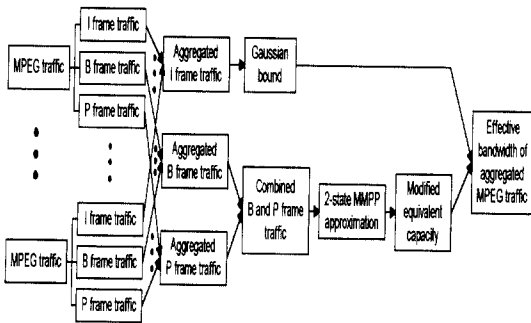


그림 7. 제안한 중첩 VBR MPEG 트래픽의 등가대역폭 계산방법의 블록도

Fig. 7. Proposed method for computation of the total effective bandwidth of aggregated MPEG traffic.

$$m_{\Sigma FT} = \frac{N_{FT}}{N_{GOP}} \sum_{i=1}^N m_i^{FT}, \quad \mu_{2, \Sigma FT} = \frac{N_{FT}}{N_{GOP}} \sum_{i=1}^N \mu_{2,i}^{FT}$$

$$\mu_{3, \Sigma FT} = \frac{N_{FT}}{N_{GOP}} \sum_{i=1}^N \mu_{3,i}^{FT} \quad (14)$$

와 같이 구해지며 여기서 FT는 I, B와 P 프레임중 하나를 나타내며  $N_{FT}$  는 FT 타입의 프레임의 GOP 내의 프레임수를 나타낸다. 아래첨자  $\Sigma FT$  는 FT 타입 프레임의 중첩 트래픽을 나타낸다.  $N_{GOP}$  는 하나의 GOP내의 프레임의 수를 나타낸다. 각 트래픽 소스에서 발생하는 트래픽은 독립적이므로 중첩 I 프레임과 P 프레임의 lag 1 자기상관관계 함수값은 작은 값을 가진다. 각각의 I, B와 P 프레임 트래픽의 특징값이 계산된 후 중첩 B 프레임 트래픽과 P 프레임 트래픽을 중첩시켜서 중첩 (B+P) 프레임의 통계적 특징값을 계산하였다. 중첩 MPEG 트래픽의 등가대역폭은 중첩 I 프레임 트래픽의 가우스 바운드와 중첩 (B+P) 프레임

트래픽의 수정된 equivalent capacity를 더하여 구하였다. 중첩 (B+P) 프레임 트래픽의 통계적 특징값은

$$m_{\Sigma(B+P)} = m_{\Sigma B} + m_{\Sigma P} \quad (15)$$

$$\mu_{2, \Sigma(B+P)} = \mu_{2, \Sigma B} + \mu_{2, \Sigma P} \quad (16)$$

$$\mu_{3, \Sigma(B+P)} = \mu_{3, \Sigma B} + \mu_{3, \Sigma P} \quad (17)$$

$$R_{\Sigma(B+P)}(1) = (\mu_{2, \Sigma B} R_{\Sigma B}(1) + \mu_{2, \Sigma P} R_{\Sigma P}(1)) / \mu_{\Sigma(B+P)} \quad (18)$$

와 같이 계산되며 여기서 아래첨자  $\Sigma B$  와  $\Sigma P$  는 중첩 B 프레임 트래픽과 중첩 P 프레임 트래픽을 나타낸다. 마찬가지로 아래첨자  $\Sigma(B+P)$  는 중첩 (B+P) 프레임 트래픽을 의미한다. 중첩 MPEG 트래픽의 등가대역폭 C는

$$C = c_{\Sigma(B+P)} + m_{\Sigma I} + \alpha \sigma_{\Sigma I} \quad (19)$$

와 같고 여기서  $c_{\Sigma(B+P)}$ 는 중첩 (B+P) 프레임 트래픽의 수정된 equivalent capacity를 나타낸다.  $m_{\Sigma I}$  와  $\sigma_{\Sigma I}$  는 각각 중첩 I 프레임 트래픽의 평균과 표준편차를 의미한다.

#### IV. 실험결과 및 분석

제안한 방법의 효율성을 확인하기 위하여 먼저 주어진 링크 용량, 버퍼 용량, 입력 트래픽 소스의 개수에 대하여 버퍼 오버플로우 확률을 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 시뮬레이션에는 TES 프로세스를 입력 MPEG 트래픽을 발생하기 위하여 사용하였다. 각 MPEG 트래픽 소스는 매 프레임마다 트래픽을 멀티플렉서에 보낸다. 시뮬레이션에서 구하여진 버퍼 오버플로우 확률과 입력 트래픽 파라미터, 버퍼 용량을 이용하여 중첩 MPEG 트래픽의 등가대역폭을 구하였다. 다음 계산된 등가대역폭과 시뮬레이션에 사용된 링크 용량을 비교하였다.

실험결과를 보이기 전에 중첩 VBR MPEG 트래픽의 등가대역폭을 구하는 다음과 같은 또 다른 가능한 방법을 생각해볼 수 있다. 중첩 VBR MPEG 트래픽의 등가대역폭을 중첩 I 프레임 트래픽의 가우스 바운드와 각각의 중첩 B 프레임과 P 프레임 트래픽의 수정된 equivalent capacity를 더하여 구하는 방법이다. 이 방법은 제안한 방법보다 약간 큰 값으로 추정하는데 등가대역폭을 개별 트래픽의 equivalent capacity를 더하여 구하는 경우가 등가대역폭을 과예측하는 특

성에 기인한다. 중첩 MPEG 트래픽의 통계적 특성을 구한 후 등가대역폭을 구하는 경우 I 프레임 트래픽의 특성을 이용하지 못하는 단점이 있다.

그림 8은 버퍼 용량과 utilization을 변화시킨 경우의 버퍼 오버플로우 확률을 이용하여 MPEG 트래픽의 통계적 다중화 시뮬레이션의 결과를 보인다. 동일한 버퍼 용량과 utilization인 경우 트래픽 소스의 개수가 증가할수록 낮은 버퍼 오버플로우 확률이 구해진다. 이는 MPEG 트래픽 소스의 개수가 증가할수록 중첩 트래픽의 버스트니스가 감소하기 때문이다. MPEG 트래픽의 통계적 다중화 결과가 기존의 AR (autoregressive) 또는 Markovian 트래픽 모델의 통계적 다중화 결과와 비슷한 결과를 보임을 시뮬레이션을 통하여 볼 수 있다.

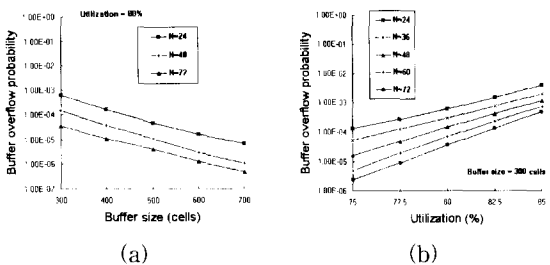


그림 8. MPEG 비디오 트래픽의 다중화 시뮬레이션 결과 (a) 버퍼 크기의 변화에 따른 버퍼 오버플로우 (b) Utilization의 변화에 따른 버퍼 오버플로우

Fig. 8. Queueing simulation results of MPEG traffic. (a) Buffer overflow probability as a function of the buffer size. (b) Buffer overflow probability as a function of utilization.

그림 9는 가우스 방법, 평균을 이용한 방법, 시뮬레이션, 제안한 방법의 성능비교를 보인다. 그림 9(a)과 9(b)는 버퍼의 용량이 300셀인 경우의 utilization과 MPEG 트래픽 소스의 개수를 변화시키는 경우의 등가대역폭의 변화를 나타낸다. 평균 트래픽값은 필요대역의 하한값을 의미하고 가우스 바운드는 필요대역의 통계적 상한값을 의미한다. 그림에서 시뮬레이션은 시뮬레이션에 사용된 링크의 용량을 의미한다. 중첩 MPEG 트래픽의 분산은 중첩 I, B와 P 프레임의 분산으로부터 계산되었다. 만약 중첩 MPEG 트래픽의 분산이 개별 MPEG 트래픽의 분산으로부터 계산될 경우 중첩 I, B와 P 프레임의 분산으로부터 계산되는 경우

보다 큰 값이 계산된다. 이는 중첩 MPEG 트래픽의 분산이 개별 MPEG 트래픽의 분산으로부터 계산하는 경우 I 프레임의 위치가 엇갈리게 조정되었다는 가정이 반영되지 않았기 때문이다. 만약 링크의 용량이 평균 트래픽값보다 작게 할당되는 경우 평균 버퍼 오버플로우 확률은 1에 근접하게 된다. 따라서 등가대역폭은 트래픽의 평균값과 가우스 바운드 사이값을 가져야 한다. 본 연구에서는 제안한 방법에 의하여 구한 등가대역폭을 시뮬레이션에 사용된 링크용량과 비교하였다. 이미 기술한 바와 같이 시뮬레이션을 통하여 먼저 버퍼오버플로우 확률을 구하고 제안한 방법에서 이를 이용하여 등가대역폭을 계산하였기 때문에 본 논문에서는 시뮬레이션에 사용된 링크 용량을 정확한 값으로 생각한다. 그림 9는 제안한 방법이 중첩 MPEG 트래픽의 등가대역을 효율적으로 예측함을 보이고 있다.

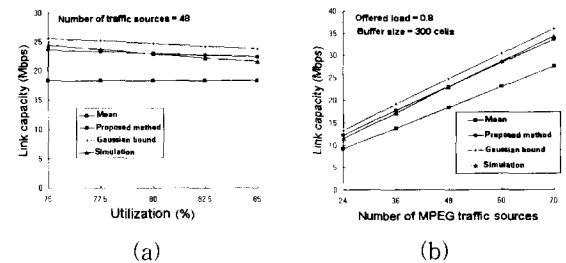


그림 9. 여러가지 방법에 의한 등가대역폭의 계산 (버퍼 크기 = 300 셀)

(a) utilization의 변화에 따른 등가대역폭 (b) 트래픽 소스 개수의 변화에 따른 등가대역폭

Fig. 9. Performance comparison of various methods (buffer size = 300 cells).

(a) Link capacity as a function of utilization. (b) Link capacity as a function of the number of MPEG traffic sources.

## V. 결 론

본 논문에서는 중첩 VBR MPEG 비디오 트래픽의 등가대역폭의 계산방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 중첩 VBR MPEG 비디오 트래픽의 등가대역폭을 계산하기 위하여 각 프레임별 중첩 트래픽의 등가대역폭을 계산한후 이를 이용하여 중첩 MPEG 비디오 트래픽의 등가대역폭을 계산하였다. 중첩 I 프레임 트래픽의 등가대역폭은 가우스 바운드를 이용하였고 중첩 B와 P 프레임 트래픽의 등가대역폭은 수정된 equivalent capacity를 이용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을

통하여 제안한 방법의 효율성을 보였다. 추후과제로는 MPEG 비디오 트래픽의 LRD (Long Range Dependence) 특성 분석에 관한 연구이다.

### 참 고 문 헌

- [1] B. Melamed, D. Raychaudhuri, B. Sengupta, and J. Zdepski, "TES-based video source modeling for performance evaluation of integrated networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-42, pp. 2773-2777, Oct. 1994.
- [2] D. Reininger, B. Melamed, and D. Raychaudhuri, "Variable bit rate MPEG video: Characteristics, modeling and multiplexing," in *Proc. 13th Int. Teletraffic Cong.*, pp. 295-306, Antibes Juan-les-Pins, France, June 1994.
- [3] R. Guerin, H. Ahmadi, and M. Naghshineh, "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-9, pp. 968-981, Sep. 1991.
- [4] C. B. Lee, K. B. Ha, and R.-H. Park, "Connection admission control for video traffic using modified equivalent capacity," in *Proc. IEEE GLOBECOM '95*, pp. 427-431, Singapore, Nov. 1995.
- [5] K. B. Ha, C. B. Lee and R.-H. Park, "Connection admission control for heterogeneous VBR video traffic in ATM network," *Electronics Letters*, vol. 31, pp. 1548-1549, Aug. 1995.
- [6] M. Krunz, R. Sass, and H. Hughes, "Statistical characteristics and multiplexing of MPEG streams," in *Proc. IEEE INFOCOM '95*, pp. 455-462, Boston, MA, June 1995.
- [7] H. Heffes and D. M. Lucantoni, "A Markov modulated characterization of packetized voice and data traffic and related statistical multiplexer performance," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-4, pp. 856-868, Sep. 1986.
- [8] C. B. Lee, K. B. Ha, and R.-H. Park, "Computation of effective bandwidth of aggregated VBR MPEG video traffic in ATM networks using the modified equivalent capacity," in *Proc. 1996 IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 627-631, Dallas, Texas, June 1996.

---

### 저 자 소 개

---

河 卿 鳳(正會員) 第 33卷 A編 第 10號 參照  
현재 삼성전자 근무

李 昌 範(正會員) 第 33卷 A編 第 10號 參照  
현재 한국전자통신연구소 선임연구원

朴 來 弘(正會員) 第 33卷 B編 第 9號 參照  
현재 서강대학교 전자공학과 교수