

다중화된 VBR MPEG 비디오의 최대 및 최소 CLR을 위한 새로운 연결의 시작 시간 산출 방법 및 응용 - I부. 스케줄링

정회원 노병희*, 종신회원 김재균**

Starting Time Selection Method of A New Request for Minimum and Maximum CLR of Superposed VBR MPEG Videos and Its Applications - Part I. Scheduling

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

요 약

VBR MPEG 비디오 정보원이 다중화 될 때 이들의 시작 시간 배열은 다중화 트래픽의 CLR 특성에 큰 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는 새로운 VBR MPEG 비디오가 연결되어 기존의 스트림과 다중화 될때 최대 및 최소 셀 손실이 추정되는 새로운 연결의 시작 시간을 선정하는 방법을 제안한다. 실험 결과는 제안하는 방법으로 구해진 시작 시간에서 다중화 트래픽의 CLR이 정확하게 최대 또는 최소가 됨을 보여준다. 제안 방법의 응용으로서 VOD서버등에서 최소 CLR을 얻기 위한 스케줄링 방법을 제안한다.

ABSTRACT

The arrangement of I-picture starting times of multiplexed variable bit rate (VBR) MPEG video sources may significantly affect the cell loss ratio (CLR) characteristics of superposed traffic. In this paper, we propose a starting time selection method of a new VBR MPEG video so that the minimum or maximum CLR is expected when it is superposed with existing stream. It is shown that the proposed starting time selection method can estimate the minimum and maximum CLR points exactly. As an application of the proposed method, we also propose an efficient scheduling method for minimum CLR in such as VOD.

I. 서론

MPEG 비디오 압축 방식은 광대역 멀티미디어 통신 환경에서의 동영상 제공을 위한 매우 유망한 방식중의 하나로서 기대되고 있다. 특히, 영상의 가변 비트율 (variable bit rate, VBR) 방식에 의한 압축 및 전송은 일정한 화질을 유지 시킴은 물론 망에서의 통계적 다중화 이득 측면에서 유리하다^[1].

VBR MPEG 비디오는 GOP (group of pictures) 구조에 따라 I-, P-, B-픽처의 세가지 서로 다른 방법에 의하여 부호화가 이루어진다^[2]. 각 픽처별로 상이한 부호화의 결과로, I-픽처에서 가장 많이, B-픽처에서는 가장 작게, P-픽처에서는 이들의 중간 정도로 트래픽이 발생된다. 따라서, 전체 트래픽은 GOP마다 의사주기적이고 (pseudo-periodic), GOP 시작점인 I-픽처에서 피크 형태의 트래픽이 발생되는 매우 복잡한 형태를 나타낸다.

* 삼성전자 정보통신총괄 (bhroh@ieee.org)

** 한국과학기술원 전기및전자공학과

논문번호: 98292-0715, 접수일자: 1998년 7월 15일

이러한 VBR MPEG 비디오의 복잡한 트래픽 특성은 망 자원 관리를 어렵게 하는 가장 큰 요인이 된다. 특히, I-픽처에 의한 주기적인 피크의 발생은 ATM 노드의 다중화기에서의 통계적 다중화 성능에 지대한 영향을 줄 수 있다. 즉, 동일한 수의 MPEG 비디오가 다중화된 경우에도 각 비디오들의 I-픽처 시작 시간의 배열 형태에 따라 CLR (cell loss ratio)의 영향이 크게 달라질 수 있다^[3]. 여러 표준화된 트래픽 제어 방식들^[4,5] 중에서 이러한 현상을 줄이기 위하여 기존 연구들에서 많이 사용되는 방법은 트래픽 평활화 (smoothing 또는 shaping)이다^[6-8]. 기본적으로, 트래픽 평활화는 각 정보원 별로 트래픽 흐름을 조절함으로써 다중화기에서의 버스티니스 정도를 줄이는 것을 목표로 한다. 그러나, VBR MPEG 비디오의 I-픽처 트래픽의 피크성은 매우 크므로 모든 정보원들이 CBR (constant bit rate) 전송을 하지 않는 한, 문제는 여전히 남게 된다^[5].

본 논문에서는 기존 VBR MPEG 비디오들의 다중화된 스트림에 새로운 VBR MPEG 비디오가 연결되어 다중화된 스트림이 최대 또는 최소 CLR을 갖도록 하는 이 새로운 비디오의 시작 시간 선정 방법을 제안한다. 또한, 제안된 방법의 응용으로서 다중화 스트림의 PCR (peak cell rate)과 CLR을 동시에 최소화하기 위한 스케줄링 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 VBR MPEG 비디오의 모델을, 제3장에서는 제안하는 시작 시간 선정 방법을 설명한다. 제4장에서는 제안 방법의 정확성에 대한 실험 결과를 보여주고, 제5장에서는 응용으로서 최소 CLR을 위한 스케줄링 방법을 설명한다. 끝으로, 제6장에서 결론을 맺는다.

II. VBR MPEG 비디오 트래픽 모델

VBR MPEG 비디오 트래픽의 전체 시퀀스는 매우 복잡한 통계 특성을 가지지만, 동일한 부호화 모드를 갖는 픽처들만 추출하여 구성한 서브 시퀀스들의 통계 특성은 MPEG이 아닌 VBR 비디오 트래픽과 유사한 통계 특성을 보여준다^[3]. 이러한 VBR MPEG 비디오 트래픽은 그림 1과 같이 픽처 형태 별로 다른 등가율을 갖고 GOP 구조를 반영한 주기적인 시변 등가율 시퀀스 (time-varying periodic rate envelope sequence, RES)로서 모델링 할 수 있다^[9-10].

$\{r_i^R(k), k=0,1,2,\dots\}$ 를 GOP 구조 (N_i, M_i) 를 갖는 i -번째 정보원이 원점(시작 시간=0인 점)에서 시작된 것으로 가정한 경우의 참조 RES라 하기로 한다. 여기에서 N_i 는 연속된 두개의 I-픽처간의 거리, M_i 는 두개의 연속된 P-픽처간의 거리를 나타낸다. 이때 시간은 한 셀 전송 시간과 같은 슬롯 길이 단위로 구분되었다고 가정한다. T_i 를 i -번째 정보원의 한 픽처에 대한 시간 길이(슬롯 단위)라 하면, 이 정보원의 주기는 $L_i=N_i T_i$ 가 된다. 그림 1에는 $r_i^R(k)$ 의 한 예를 보여주고 있다. 그림 1에서 R_i^I, R_i^P, R_i^B 는 각각 I-, P-, B-픽처에 대한 등가율 값들을 나타낸다. 이들 등가율 값으로는 각 픽처 형태에 대한 등가 대역^[10]이거나 PCR^[9]이거나 평균 셀 율등이 가능하다.

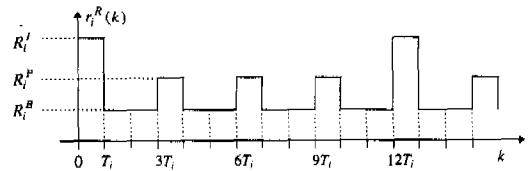


그림 1. $(N_i, M_i)=(12,3)$ 일때 i -번째 정보원의 참조 RES $r_i^R(k)$
 Fig. 1 An example of $r_i^R(k)$ when $(N_i, M_i)=(12,3)$

주기 $L_i (i=1, \dots, K)$ 를 갖는 K개의 주기적인 정보원이 다중화된 트래픽은 L_i 들의 최소 공배수인 주기 L 을 갖는 또 다른 주기적인 형태를 취한다. i -번째 정보원의 실제 시작 시간을 s_i 라고 하면, 이 정보원의 실제 RES는 $r_i(k) = r_i^R(k - \bar{s}_i)$ 가 된다. 이때, $\bar{s}_i = s_i \bmod L$. 다중화 트래픽의 RES $r_s(k)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_s(k) = \sum_{i=1}^K r_i(k) \tag{1}$$

표 1. 실험에 사용한 시퀀스의 기본 통계 특성 (단위: 픽처 당 셀 수)
 Table 1. Statistics of sequence used in experiments (unit: cells/picture)

전체	피크 셀 율			평균 셀 율			
	I	P	B	전체	I	P	B
483	483	454	169	41.1	157.7	60.6	19.3

표 1은 극장용 영화인 'Star Wars'를 MPEG-1 부호화한 비트열^[11]에 대한 주요 통계 특성을 보여준다. 한 셀 당 유효 부하는 48비트로 하였고,

GOP 구조 (N,M) = (12,3)이다.

의미한다.

III. 시작 시간 선정 방법

1. 시작 시간 배열과 큐잉 성능간의 관계

Li 등^[12]은 ON과 OFF기간이 고정된 주기적인 ON/OFF 형태를 갖는 입력 트래픽에 대하여, 평균 파워(average power)를 척도로 하여 입력 트래픽의 버스티니스와 큐잉 성능간의 관계를 주파수 영역에서 관찰하였다. 평균 파워는 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{P} = \sum_{n=0}^{L-1} \psi_n \quad (2)$$

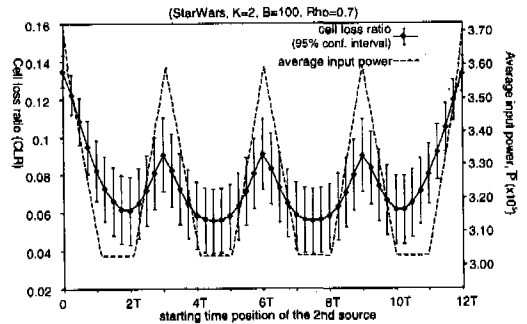
여기에서 $\Psi = [\psi_0, \psi_1, \dots, \psi_{L-1}]$ 는 입력 파워 스펙트럼 벡터로서 입력을 벡터 $\bar{r} = [r_s(0), \dots, r_s(L-1)]$ 에 대한 이산 시간 푸리에 변환 (discrete-time Fourier transform)을 통하여 구해진다. 즉,

$$\Psi = L^{-2} |DFT(\bar{r})|^2$$

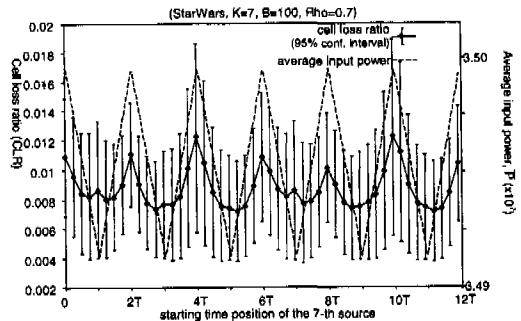
Li 등^[12]의 주요 관찰 결과는 큐잉 특성이 입력 트래픽의 평균 파워에 의하여 지배된다는 것이다. 즉, 입력 트래픽의 버스티니스가 커질수록 평균 파워도 증가하며, 버스티니스가 감소하면 평균 파워도 역시 감소한다. 이 결과는 VBR MPEG 비디오의 경우에도 확장 적용 가능하다. 즉, 동일한 수의 VBR MPEG 비디오가 다중화될 때, I-픽처 시작 시간이 동일하거나 매우 가까이 위치한 정보원의 수가 많아질수록 다중화 트래픽의 버스티니스는 증가하게 됨을 쉽게 짐작할 수 있다.

다중화된 VBR MPEG 비디오의 시작 시간 배열과 평균 파워(\bar{P}), CLR간의 관계를 조사하기 위하여 다음의 실험을 수행하였다. RES의 등가를 값들은 각 픽처들의 PCR들로 하였다. 다중화된 K 개의 정보원의 시작 시간 배열을 위하여, 이들 중 (K-1) 개의 정보원은 주기 L 내에서 균등 간격을 갖도록 고정하였고, 나머지 K-번째 정보원의 시작 시간은 0에서부터 L 까지 변화시켰다. 즉, (k=1,2,...,K)를 k-번째 정보원의 시작 시간이라 할 때, $s_k = (k-1) \cdot L / (K-1)$, k=1,2,...,K-1이고 $s_K \in [0, L)$.

그림 2 에는 'Star Wars' 시퀀스에 대하여, 시스템 크기(B)는 100셀, 트래픽 강도(ρ)는 0.7이고 다중화된 정보원의 수(K)가 각각 2, 7일 때에 대한 시작 시간 배열에 따른 CLR과 \bar{P} 의 변화를 나타내었다. 그림 2 에서 수평축은 K-번째 정보원의 시작 시간을 나타내고 T는 한 픽처에 대한 시간 길이를



(a) K=2 { $s_1=0, s_2 \in [0, 12T)$



(b) K=7 { $s_1=0, s_2=2T, s_3=4T, s_5=8T, s_6=10T, s_7 \in [0, 12T)$

그림 2. 시작 시간 배열, CLR, \bar{P} 간의 관계 (B=100, $\rho=0.7$)
Fig. 2 Relationships between starting time arrangement, CLR and \bar{P}

그림 2(a)는 K=2인 경우로서 $s_1=0$ 로 고정되어 있다. $s_2=0$ 일 때는 두 정보원의 I-픽처 시작 시간이 일치하므로 버스티니스가 가장 크게 되어 CLR과 \bar{P} 가 가장 크게 나타난다. s_2 가 0에서 T로 움직이면서 두 정보원의 I-픽처 구간의 겹치는 부분이 감소하게 되고 CLR과 \bar{P} 는 함께 감소한다. s_2 가 [T,2T)인 구간에서는 첫번째 정보원의 B-픽처와 두 번째 정보원의 I-픽처가 완전히 겹쳐지는 구간으로서, \bar{P} 는 변화 없이 최소값을 보여주고, CLR은 이 구간에서 감소하다 다시 증가하는 오목한(concave) 형태를 보여준다. 그러나, s_2 가 2T를 지나면서는 두 번째 정보원의 I-픽처 구간이 첫번째 정보원의 P-픽처 구간과 겹치게 되면서 CLR과 \bar{P} 는 다시 증가한다. 특히, $s_2=3T, 6T, 9T$ 인 점에서는 두 번째 정보원의 I-픽처 구간이 첫번째 정보원의 P-픽처 구간과 완전히 일치하는 부분으로서 CLR과 \bar{P} 모두 $s_2=0$ 인 점 다음의 새로운 피크 값을 보여준다. 이러한 양상이 주기적으로 L까지 반복적으로 나타난다. 그림 3 은 K=2일때, 다양한 버퍼 크기에 대한 CLR의 변

화를 보여준다. 버퍼가 커지는 경우에도, CLR의 변동폭만 변화할 뿐, 전체적으로 그림 2 (a)의 변화 양상은 그대로 유지됨을 알 수 있다. 그림 2(b)의 다중화 정보원의 수가 7인 경우도 마찬가지로 설명 가능하다.

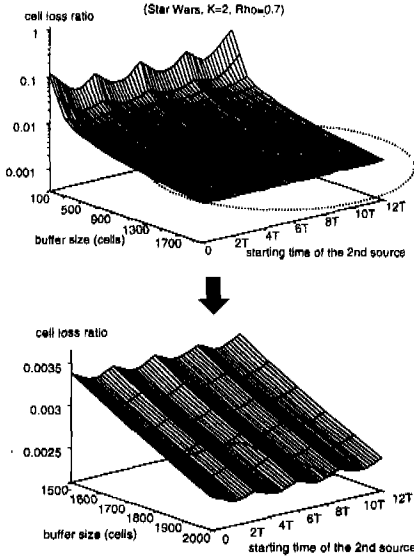


그림 3. K=2일때, 여러 버퍼크기에 대한 CLR변화
Fig. 3 CLR for various buffer sizes when K=2

이와 같이, CLR에 대한 그래프는 평균 파워에 대한 그래프와 동일한 양상을 보여준다. 이로부터, 다음과 같은 주요 관찰 결과들을 정리할 수 있다.

Observation 1 : 입력 트래픽의 평균 파워가 커질 수록, CLR 역시 커지며, 반대로 평균 파워가 감소하면 CLR도 감소하는 경향이 있다.

Observation 2 : CLR 곡선은 최소 평균 파워가 나타나는 부근에서 오목한 (concave) 형태를 나타낸다. 특히, 최소 평균 파워가 연속하여 나타나는 영역 (다음절에서는 이러한 영역을 세그먼트라 부른다) 내에서의 최소 CLR을 나타내는 지점은 이 영역의 중앙 부근이다.

Observation 3 : 각 세그먼트내에서의 최소 CLR은 최대 평균 파워가 나타나는 점에서 멀어질수록 감소하는 경향을 보여준다.

2. 최대 및 최소 CLR 예상 지점의 선정

앞에서의 관찰들의 주요 의미는 CLR이 최대 및 최소인 점은 각각 평균 파워가 최대와 최소인 점들 중의 한 점에서 나타난다는 것이다. 따라서, CLR이 최대 및 최소인 점을 구하기 위하여는 우선 평균

파워가 최대인 점과 최소인 점들을 찾아 내야만 한다.

Proposition 1 : (최대 및 최소 평균 파워 지점)

기존 연결들의 다중화 RES를 $r_e(k)$, 새로운 연결의 RES를 $r_n(k)$, 새로운 연결이 허가되었을때의 전체 다중화 RES를 $r_s(k)(=r_e(k)+r_n(k))$ 라 하기로 한다. $r_s(k)$ 의 평균 파워가 최대 또는 최소가 되는 새로운 연결의 시작 시간은 다음과 같다.

$$S_{max} = \left\{ s_{n,j}^{max}, j = 1, \dots, N_{max} \mid s_{n,j}^{max} = \arg \max_{0 \leq s_n < L} \sum_{k=s_n}^{s_n+T_n-1} r_e(k) \right\} \quad (3)$$

$$S_{min} = \left\{ s_{n,i}^{min}, i = 1, \dots, N_{min} \mid s_{n,i}^{min} = \arg \min_{0 \leq s_n < L} \sum_{k=s_n}^{s_n+T_n-1} r_e(k) \right\} \quad (4)$$

여기에서 N_{min} 과 N_{max} 는 집합 S_{max} 와 S_{min} 의 원소의 수이고, T_n 은 새로운 연결의 한 픽처에 대한 시간 길이를 의미한다.

증명 : 부록 참조

Proposition 1으로부터 최대 또는 최소 평균 파워 지점들이 결정되면, 이들 중에서 최대 또는 최소 CLR이 예상되는 지점을 선정하여야 한다. 이의 선정 방법은 다음과 같다.

그림 2 에서 보듯이, 최대 또는 최소 평균 파워 지점은 다수가 존재할 수 있다. 특히, 최소 평균 파워 지점은 연속적으로 나타날 수 있다. 이들 연속된 점들의 집합을 세그먼트라 정의하기로 한다. n_s 를 세그먼트의 수라하고, i -번째 세그먼트와 이의 원소를 $S_i = \{s_{i,1}, s_{i,2}, \dots, s_{i,m_i}\}$ 로 표현하기로 한다. 이때, $m_i (\geq 1)$ 는 S_i 의 원소의 수를 의미한다. 여기에서 $i=1, \dots, n_s$ 에 대하여, $s_{i,1} < s_{i,2} < \dots < s_{i,m_i}$ 라 가정하면, 다음과 같은 세그먼트들간의 관계를 얻을 수 있다.

- i) 모든 $(i,j=1, \dots, m_i)$ 에 대하여, $|s_{i,m_i} - s_{i,1}| > 1$.
- ii) $m_i \geq 2$ 일 때, $s_{i,n+1} - s_{i,n} = 1 (1 \leq n < m_i)$.
- iii) 모든 $i \neq j$ 에 대하여, $\bigcup_{i=1}^{n_s} S_i = S_{min}$, $S_i \cap S_j = \emptyset$.

c_i 를 i -번째 세그먼트의 중심이라 하면, 이는 다음과 같다.

$$c_i = s_{i,1} + \left[\frac{s_{i,m_i} - s_{i,1}}{2} \right], \quad i = 1, 2, \dots, n_s \quad (5)$$

Proposition 2 (최소 CLR 지점의 선정)

최대 평균 파워 지점들이 $s_{n,1}^{max} < s_{n,2}^{max} < \dots < s_{n,N}^{max}$

로 주어지고, 최소 평균 파워 지점들은 세그먼트 $S_i(i=1, \dots, n_s)$ 와 중심 c_i 로 주어졌다고 하기로 한다. d_i 를 i -번째 세그먼트에 대하여, c_i 와 c_i 전후의 가장 가까운 최대 평균 파워 지점에 대한 거리로서 다음과 같이 정의 하기로 한다. 즉,

$$d_i = \min_{1 \leq j \leq N_{max}} \left\{ |c_i - s_{n,j}^{max}|, |c_i - s_{n,j}^{min} - L| \right\}, \quad i=1, \dots, n_s \quad (6)$$

이때, 최소 CLR이 예상되는 점 s_n^{min} 은 최대 d_i 를 갖는 c_i 지점이다. 즉,

$$s_n^{min} = c_m \quad \text{여기에서} \quad m = \arg \max_{1 \leq i \leq n_s} d_i \quad (7)$$

증명 : Observation 2로부터, 지역적인 최소 CLR 지점들은 각 세그먼트의 중앙 지점에서 나타난다. Observation 3으로부터, 이들 지역적인 최소 CLR 점들 중에서 최소 CLR을 나타내는 지점은 식 (7)과 같이 최대 평균 파워 지점과의 거리가 가장 먼 지점이 된다.

Proposition 3 (최대 CLR 예상 지점의 선정)

최대 입력 파워 지점들이 $s_{n,j}^{max} (j=1, \dots, N_{max})$ 로 주어졌고, 최소 CLR 예상 지점이 s_n^{min} 로 주어졌을 때, 최대 CLR이 예상되는 지점 s_n^{max} 는 다음과 같다.

$$s_n^{max} = s_{n,m}^{max} \quad \text{여기에서} \quad m = \arg \max_{1 \leq j \leq N_{max}} |s_{n,j}^{max} - s_n^{min}| \quad (8)$$

증명 : Proposition 3은 Proposition2의 역으로 구해진다. 최대 CLR 지점은 최대 평균 파워 지점들 중의 하나에서 나타남에 주의한다. Proposition 2에서 최소 CLR 지점은 최대 평균 파워 지점으로부터 가장 먼 세그먼트의 중앙 지점이 되므로, 최대 CLR 지점은 최소 CLR 지점으로부터 가장 먼 거리의 최대 평균 파워 지점이 된다.

IV. 실험 결과

여기에서는 제안한 최대 및 최소 CLR 예상 시작 시간 선정 방법의 정확성을 보이기 위한 실험 결과에 대하여 서술한다.

표 2 는 랜덤 변수 생성 방법에 의하여 설정한 각 VBR MPEG 비디오의 시작 시간을 나타낸다. 이들 시작 시간들은 제안하는 시작 시간 선정 방법

에 의하여 설정되지 않고 랜덤 변수 생성을 통하여 설정 되었음에 주의한다.

표 2. 랜덤으로 각 정보원에 할당된 시작 시간
Table 2. Starting times assigned to each source

번호	시작시간	번호	시작시간	번호	시작시간	번호	시작 시간
1	0.00T	6	0.08T	11	7.75T	16	2.39T
2	0.36T	7	4.00T	12	4.37T	17	6.93T
3	4.06T	8	11.30T	13	6.21T	18	2.84T
4	2.83T	9	2.75T	14	10.69T	19	1.22T
5	4.42T	10	7.65T	15	10.45T	20	8.07T

그림 4 는 B=100, $\rho=0.7$ 일때, 'Star Wars' 시퀀스에 대하여 정보원들이 순차적으로 표 2 에서 주어진 시작 시간을 갖고 연결 될 때, 연결 정보원 수에 대하여 구한 CLR값들을 보여준다.

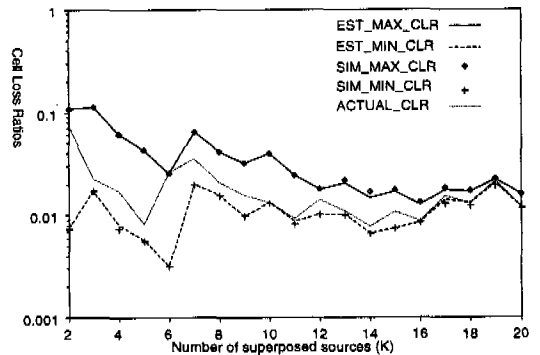


그림 4. 시작 시간 선정 방법의 정확성 실험 결과 (B=100, $\rho=0.7$)

Fig. 4 Experimental result for the exactness of the starting time selection method

그림 4 를 구하기 위한 실험 방법은 다음과 같다. 정보원의 수가 K일 때, 우선 K-1개 정보원의 시작 시간은 표 2 에 따라 할당하였다. 그리고, K-번째 정보원의 시작 시간을 s_n^{max} 와 s_n^{min} 으로 하여 구한 CLR을 각각 'EST_MAX_CLR' 과 'EST_MIN_CLR' 그래프로 표현하였다. 이에 반하여, K-번째 정보원의 시작 시간을 간격을 0.1T로 하여 0에서 L 까지 변화 시켜가면서 구한 CLR중 최대 와 최소값을 각각 'SIM_MAX_CLR'과 'SIM_MIN_CLR' 그래프에 나타내었고, 이들에 해당하는 시간들을 각각 a_n^{max} 와 a_n^{min} 으로 하였다. 또한, K-번째 정보원의 시작 시간을 표 2에 따라 할당한 후 구한 CLR을 'CTUAL_CLR'으로 표현하였다.

표 3 은 그림 4 에 대한 일부 수치 데이터를 보여준다.

표 3. 그림 4 에 대한 수치 데이터
Table 3. Some numeric data for Fig. 4

K	PROPOSED		SIMULATION		PROPOSED		SIMULATION			
	s_{n}^{\min}	s_{n}^{\max}	EST_M IN_CL R	SIM_M IN_CL R	s_{n}^{\max}	s_{n}^{\min}	EST_M AX_CL R	SIM_M AX_CL R		
2	(11.2T, 4.7T, 7.7T, 10.7,11T)	7.50T	7.47e-03	7.51T	7.46e-03	(0.00T)	0.00T	1.07e-01	0.00T	1.07e-01
4	(2T, 5.06T, 8T, 11T)	5.06T	7.94e-03	8.00T	7.22e-03	(0.36T)	0.36T	5.99e-02	0.30T	6.02e-02
6	(8.03T, 11T)	8.03T	3.14e-03	8.00T	3.13e-03	(0.00T)	0.00T	2.52e-02	0.00T	2.52e-02
8	(8.0T, 11T)	8.00T	1.55e-02	8.00T	1.55e-02	(0.08T)	0.08T	4.06e-02	0.10T	4.07e-02
10	(7.82T, 8T)	7.91T	1.33e-02	8.00T	1.31e-02	(0.00T)	0.00T	3.89e-02	0.00T	3.89e-02
15	(5.21T)	5.21T	7.42e-03	5.21T	7.42e-03	(4.42T)	4.42T	1.66e-02	4.20T	1.73e-02
20	(9.1T)	9.10T	1.18e-02	9.00T	1.16e-02	(4.45T)	4.45T	1.57e-02	4.10T	1.59e-02

그림 4 로 부터, 'EST_MAX_CLR'과 'EST_MIN_CLR' 그래프들은 거의 정확하게 'SIM_MAX_CLR'과 'SIM_MIN_CLR' 그래프들과 일치함을 알 수 있다.

표 3 으로 부터, s_{n}^{\max} 는 시뮬레이션으로부터 구한 a_{n}^{\max} 와 일치하거나 매우 근소한 차이만을 보여 줌을 알 수 있다. 또한, s_{n}^{\min} 은 대부분 a_{n}^{\min} 과 유사하나, 일부에서는 매우 다르게 나타나기도 한다. K=4인 경우, $s_{n}^{\min}=5.06T$ 이고 $a_{n}^{\min}=8.0T$ 로서 매우 다르나, 이 경우에도 a_{n}^{\min} 는 s_{\min} 의 원소 중 하나이고 이 지점들에서의 CLR 값은 매우 유사함을 보여준다. 이와 같이, 제안한 시작 시간 선정 방법을 통하여 구한 s_{n}^{\max} 와 s_{n}^{\min} 지점은 각각 정확하게 기존 연결이 주어진 상황에서, 새로운 연결로 인하여 야기되는 최대 및 최소 CLR 지점이 됨을 알 수 있다.

V. 응용 - 최소 CLR을 위한 스케줄링 방법

1. 시스템 모델

그림 5 는 주문형 비디오 제공을 위한 VOD 서버 시스템 모델을 보여준다. VOD 서버에서의 스케줄링 과정은 다음과 같다. 새로운 VBR MPEG 비디오에 대한 연결이 요청될 때, VOD 서버내의 스케줄러는 기존 연결들의 RES들과 시작 시간 정보를 이용하여 산출된 최소 CLR 예상 시간 s_{n}^{\min} 에 새로운 정보원의 시작 시간을 할당한다. 이때, 기존 연결들의 시작 시간은 변동이 없다. 즉, 제안하는 스케줄링 방법은 기존 연결들의 시작 시간은 변경하지 않고 새로 요청된 연결의 시작 시간만을 조절하여 다중화 트래픽의 CLR이 최소가 되도록 하는 것이다. 이와 같이, 제안 하는 스케줄링 방법은 다중화 트래픽의 CLR을 최소화를 목적으로 하므로 MC-scheduling (scheduling for minimum CLR)이라 부르기로 한다.

를 이용하여 산출된 최소 CLR 예상 시간 s_{n}^{\min} 에 새로운 정보원의 시작 시간을 할당한다. 이때, 기존 연결들의 시작 시간은 변동이 없다. 즉, 제안하는 스케줄링 방법은 기존 연결들의 시작 시간은 변경하지 않고 새로 요청된 연결의 시작 시간만을 조절하여 다중화 트래픽의 CLR이 최소가 되도록 하는 것이다. 이와 같이, 제안 하는 스케줄링 방법은 다중화 트래픽의 CLR을 최소화를 목적으로 하므로 MC-scheduling (scheduling for minimum CLR)이라 부르기로 한다.

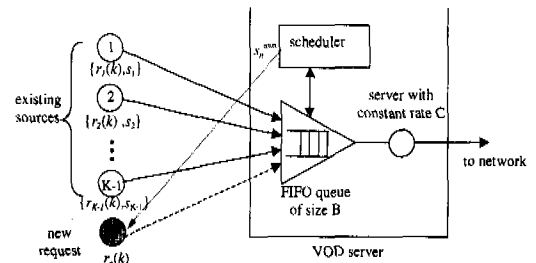


그림 5. 스케줄링 시스템 모델
Fig. 5 System model for scheduling

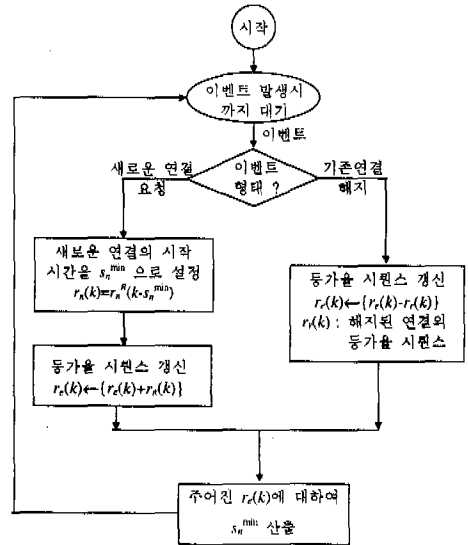


그림 6. s_{n}^{\min} 의 사전 산출 과정
Fig. 6 Procedure for prior-calculation of s_{n}^{\min}

새로운 정보원에 대한 최대 또는 최소 CLR이 예상되는 시작 시간, 식 (3)과 식 (4)에서 볼 수 있듯이, 단지 기존 연결들에 대한 정보들만을 이용하여 산출된다. 따라서, 새로운 연결에 대한 s_{n}^{\min} 은

이 연결이 요청되기 전에 미리 산출되어 저장 가능하다. 이러한 일련의 과정을 그림 6에 나타내었다. 따라서, 스케줄링 과정시 $s_{min}^{(k)}$ 값을 산출하기 위한 별도의 과정이 요구되지 않고 실시간으로 처리가 가능하다.

2. 스케줄링 성능

제안된 스케줄링 방법 (MC-scheduling) 의 성능을 다음의 방법들과 비교하였다.

- i) W-scheduling : 모든 정보원들의 시작 시간이 일치함.
- ii) R-scheduling : 각 정보원들의 시작 시간을 랜덤하게 설정한 경우로서, 스케줄링이 적용되지 않는 경우임.
- iii) E-scheduling : 인접한 두 정보원들간의 시작 시간 간격을 균등하게 함.
- iv) MP-scheduling : 다중화 스트림의 PCR을 최소화하도록 하는 방법^[9].

스케줄링된 다중화 스트림의 피크 셀 율의 평활화(smoothness) 성능을 조사하기 위하여 다음과 같이 정의된 등가 대역폭^[9]을 사용하였다.

$$EB = \frac{1}{K} \max_{0 \leq k < L} \sum_{i=1}^K r_i(k) \quad (9)$$

식 (9)는 PCR 기반으로 대역폭을 할당할 때, 한 정보원당 평균적으로 할당되는 최대 대역폭으로서, 이 값이 작을수록 평활화 성능이 좋다. 그림 7에는 EB를 I-픽처의 PCR로 정규화한 값 (EB/PCR')을 다중화 정보원의 수에 대한 함수로써 나타내고 있다. 스케줄링을 적용한 MC-scheduling, MP-scheduling, E-scheduling들은 스케줄링을 적용하지 않은 R-scheduling과 W-scheduling에 비하여 평활화 성능이 월등히 좋음을 알 수 있다. [9]에서는 각 정보원의 시작 시간이 다른 정보원의 픽처 시작 시간중의 하나에 할당되는 경우, MP-scheduling은 최대 평활화 성능을 얻을 수 있음을 증명하고 있다. 그림 7로부터, 다중화 정보원의 수가 많아질수록, MC-scheduling과 E-scheduling의 평활화 성능은 MP-scheduling의 성능에 수렴함을 알 수 있다.

CLR은 망 응용시의 스케줄링 방식의 성능을 표현하기 위한 매우 주요한 요소중의 하나이다. 그림 8은 C=15.5Mbps, B=100일때의 CLR 특성을 보여준다. 실험에서 각 정보원의 시작 픽처 위치는 임의

의 I-픽처를 랜덤하게 선정하였다. 공정한 비교를 위하여, 모든 스케줄링 방법들에서 각 정보원의 시작 픽처 위치는 동일하게 하였고, 시작 시간만 각 스케줄링 방법에 의하여 결정하였다. MC-scheduling, MP-scheduling, E-scheduling등의 스케줄링을 채용한 방법들은 R-scheduling이나 W-scheduling보다 월등히 나은 CLR 특성을 보여준다. 부하가 큰 영역 ($\rho < 0.85$)에서는 MC-scheduling, MP-scheduling, E-scheduling의 성능이 거의 유사하나, 부하가 다소 작은 영역 ($\rho < 0.85$)에서는 MC-scheduling과 E-scheduling은 MP-scheduling 보다 더 나은 CLR 특성을 보여준다.

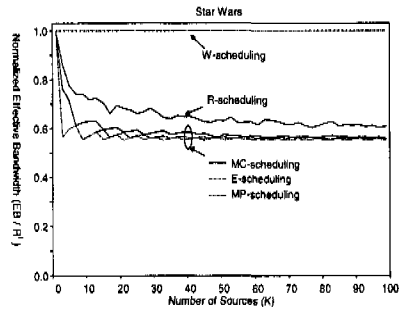


그림 7. 평활화 성능
Fig. 7 Smoothness performances

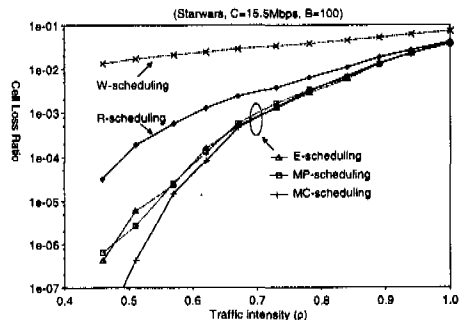


그림 8. CLR 특성 (C=15.5Mbps, B=100)
Fig. 8 CLR characteristics

E-scheduling은 매 연결들이 허용되거나, 기존 연결들이 해지 될 때마다 모든 정보원들의 시작 시간을 변경하여야 하므로, 실제적인 환경에서 적용하기는 많은 제약이 있다. 반면에, MC-scheduling은 기존 연결들의 시작 시간은 변경하지 않고 새로운 연결의 시작 시간만 조절하므로 실제 응용 측면에서 더 가치가 있다.

VI. 결론

VBR MPEG 비디오들이 다중화 될 때 이들의 시작 시간 배열은 다중화 트래픽의 CLR에 큰 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는, 우선적으로 VBR MPEG 비디오들의 시작 시간 배열이 다중화 성능에 미치는 영향에 대하여 살펴 보았고, 새로운 연결에 의하여 전체 다중화 스트림의 최대 또는 최소 CLR이 예상되는 새로운 연결의 시작 시간 선정 방법을 제안하였다. 또한, 응용으로서 최소 CLR을 위한 스케줄링 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 기초가 되는 최대 또는 최소 CLR 예상되는 새로운 정보원의 연결 시작 시간의 산출은 새로운 연결이 요청되기 전에 미리 계산되어 저장되므로, 제안하는 스케줄링 방법은 VOD서버등에서의 시작 시간 스케줄링등의 응용에 실시간으로 적용 가능하다.

본 논문에서는 모든 VBR MPEG 비디오들이 경유 노드를 갖지 않고 처음으로 연결되는 다중화기를 대상으로 하였다. 중간 노드에서 VBR MPEG 비디오 정보원들이 처음으로 새로 연결되고 다른 노드로 부터의 유입 트래픽이 있는 경우는 더 연구되어야 할 과제이다.

부록

proposition 1의 증명

$\bar{P}_e, \bar{P}_n, \bar{P}_s$ 를 각각 $r_e(k), r_n(k)$ 와 $r_s(k)$ 에 대한 평균 파워라 하기로 한다. 이때, 새로운 정보원의 시작 시간을 s_n 이라 하고 참조 RES는 $r_n^R(k)$ 라 하기로 한다. 이때, $r_n(k)$ 는 고정되어 변하지 않으며, $r_n(k)$ 는 s_n 에 따라 변하게 됨에 주의한다.

Parseval의 정리^[13]로부터 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$\bar{P}_s = \bar{P}_e + \bar{P}_n + 2L^{-1} \sum_{k=0}^{L-1} \{r_e(k) \cdot r_n^R(k - s_n)\} \quad (A.1)$$

\bar{P}_e 와 \bar{P}_n 은 의 변화에 따라 변하지 않으므로, 식 (A.1)에서 s_n 에 의하여 변화되는 부분은 식 (A.1)의 우변의 세 번째 항의 합 부분이다. 이 변화되는 부분을 다음과 같이 나타내기로 한다.

$$\bar{P}_D \equiv \sum_{k=0}^{L-1} r_m(k) = \sum_{k=0}^{L-1} \{r_e(k) \cdot r_n^R(k - s_n)\} \quad (A.2)$$

즉, \bar{P}_D 가 최대(또는 최소)가 되는 s_n 지점에서 \bar{P}_s 는 최대(또는 최소)가 된다. 해석을 단순화하기 위하여, 다음과 같은 경우를 고려한다. 즉, $R_n^P = R_n^B$. $r_{n,1}(k)$ 과 $r_{n,2}(k)$ 를 각각 새로운 정보원의 시작시간이 $s_{n,1}$ 과 $s_{n,2}$ 일 때의 RES라 하기로 한다. 또한, $\bar{P}_{D,1}$ 와 $\bar{P}_{D,2}$ 를 각각 $r_{n,1}(k)$ 와 $r_{n,2}(k)$ 일 때의 \bar{P}_D 라 하기로 하면, 이들의 차이값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{P}_{D,1} - \bar{P}_{D,2} &= \sum_{k=0}^L r_e(k) r_{n,1}(k) - \sum_{k=0}^L r_e(k) r_{n,2}(k) \\ &= (R_n^I - R_n^P) \cdot \{W(s_{n,1}) - W(s_{n,2})\} \quad (A.3) \end{aligned}$$

여기에서 $W(s_{n,1}) = \sum_{k=s_{n,1}}^{s_{n,1}+T_m-1} r_e(k)$, $W(s_{n,2}) = \sum_{k=s_{n,2}}^{s_{n,2}+T_m-1} r_e(k)$ 즉, $W(s_{n,1})$ 와 $W(s_{n,2})$ 은 각각 $r_{n,1}(k)$ 와 $r_{n,2}(k)$ 의 I-픽처 구간내의 $r_e(k)$ 의 합을 의미한다. 이때, 대부분의 VBR MPEG 비디오 트래픽의 특성은 $(R_n^I - R_n^P)$ 은 0보다 큰 상수값을 나타낸다. 따라서, $W(s_{n,1}) \geq W(s_{n,2})$ 이면 $\bar{P}_{D,1} \geq \bar{P}_{D,2}$ 이고 반대로, $W(s_{n,1}) \leq W(s_{n,2})$ 이면 $\bar{P}_{D,1} \leq \bar{P}_{D,2}$ 이다. 즉, 새로운 연결의 I-픽처 구간내의 기존 연결의 RES의 합의 크기 $W(s_n)$ 이 최대 또는 최소가 되는 점에서 \bar{P}_s 는 최대 또는 최소가 된다.

참고 문헌

1. R.O.Onvural, *Asynchronous Transfer Mode Networks: Performance Issues*, Artech House, 2nd ed., 1995
2. D.Le.Gall, "The MPEG Video Compression Algorithm," *Signal Processing: Image Communication* 4, pp.129-140, 1992
3. 노병희, 김재균, "ATM망에서의 임의의 시작시간 배열을 갖는 다중화된 가변 비트율 MPEG 비디오 트래픽의 성능 해석", 한국통신학회 논문지 제23권 제6호, 1998년 6월
4. ITU-T Rec. I.371, "Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN", Geneva, July 1995
5. ATM Forum Draft Specification, "Traffic Management Specification Version 4.0," June 1995

