

# 다중화된 VBR MPEG 비디오의 최대 및 최소 CLR을 위한 새로운 연결의 시작 시간 산출 방법 및 응용 - II부. 연결 수락 제어

정회원 노병희\*, 김재균\*\*

## Starting Time Selection Method of A New Request for Minimum and Maximum CLR of Superposed VBR MPEG Videos and Its Application - Part II. CAC

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

### 요 약

VBR MPEG 비디오들이 다중화 될 때, 이들의 연결 시작 시간 분포를 고려하지 않고 CAC를 수행할 경우, QoS 요구를 만족할 것으로 판정되어 수용된 정보원에 대하여도 QoS 보장에 실패할 가능성이 존재한다. 본 논문에서는 중첩된 VBR MPEG 비디오들의 시작 시간 배열을 고려하여 QoS 보장을 위한 CAC 방안을 제안한다. 제안하는 CAC 방법은 기존의 연결 상황에서 새로운 연결이 수용된 경우 이로 인하여 최대 셀 손실이 추정되는 새로운 연결의 시작 시간을 찾아내고, 이를 이용하여 CAC를 수행한다. 실험 결과들은 제안하는 방법은 QoS 보장과 망 이용 효율을 높일 수 있음을 보여준다.

### ABSTRACT

When VBR MPEG videos are multiplexed, if connection admission control (CAC) is carried out without consideration of starting time arrangement, there exist possibilities not to guarantee quality of service (QoS) even for any accepted source. In this paper, in order to guarantee QoS, we propose a new CAC method with consideration of starting time information of superposed VBR MPEG video sources in ATM networks. For CAC, we also propose a starting time selection method that the new request can cause maximum or minimum cell loss ration of superposed traffic. Experimental results show that the proposed method can guarantee QoS and increase network utilization.

### I. 서론

MPEG 비디오는 각기 다른 방식으로 부호화된 I-, P-, B-픽처의 세가지의 픽처 형태를 갖는다<sup>[1]</sup>. 이들은 GOP (group of pictures) 구조에 의하여 주기적으로 나타나고, I-픽처에서 가장 많게, B-픽처에서는 가장 작게, P-픽처에서는 이들의 중간 정도로 트래픽이 발생된다. 따라서, VBR (variable bit rate)

MPEG 비디오 트래픽은 매우 복잡한 통계 특성을 갖고 GOP에 따라 의사 주기적이며, 매 주기의 시작인 I-픽처에서 피크 트래픽이 발생하는 형태를 나타낸다. 노 등<sup>[2]</sup>은 동일한 수의 VBR MPEG 비디오들이 다중화된 경우에도 각 정보원들의 I-픽처 시작 시간의 배열 형태에 따라 CLR (cell loss ratio) 이 크게 달라 짐을 해석적으로 보이고 있다.

따라서, VBR MPEG 비디오들의 시작 시간 분포

\* 삼성전자 정보통신총괄 (bhroh@ieee.org)  
논문번호 : 98293-0715, 접수일자 : 1998년 7월 15일

\*\* 한국과학기술원 전기및전자공학과

를 고려하지 않고 기존의 해석적인 방법<sup>[3,4]</sup>에 의하여 연결 수락 제어 (connection admission control, CAC) 를 수행할 경우, QoS (quality of service) 요구를 만족할 것으로 판정되어 수용된 정보원에 대하여도 QoS 보장에 실패할 가능성이 존재한다. 노 등<sup>[2]</sup>과 Blefari-Melazzi<sup>[5]</sup>는 시작 시간을 고려한 성능 해석 모델을 제안하고 있으나, 이는 매우 큰 계산량을 요구하므로 실시간 처리가 요구되는 CAC에는 적용하기가 어렵다. Roh 등<sup>[6]</sup>은 VBR MPEG 비디오의 시작 시간을 고려한 CAC 방법을 제안하고 있으나, 이 방법은 연결들의 시작 시간이 명확히 주어진 경우에만 적용 가능하므로, 새로운 연결의 시작 시간을 정확히 예상할 수 없는 실제 환경에서는 직접 적용하기에 부적합하다.

VBR MPEG 비디오들이 다중화되는 경우, 확실한 QoS 보장을 위하여 CAC는 최악의 상황을 고려하여 연결 수용 여부를 결정하여야 한다. 기존의 가능한 방법들<sup>[2,5]</sup>을 이용하여 이를 보장하는 방안은 모든 VBR MPEG 비디오들의 I-픽처 시작 시간이 모두 일치하는 경우를 고려하여 CAC를 수행하는 것이다. 그러나, I-픽처에서의 셀 발생은 다른 픽처들에 비하여 매우 크므로 망 자원 이용 효율이 극히 저하된다. 가장 합리적인 방법은 시작 시간을 알고 있는 기존 연결들에 대하여, 새로운 정보원이 수용될 때, 이로 인하여 최대 CLR이 예상되는 새로운 정보원에 대한 시작 시간을 찾아내어 이를 이용한 적절한 CAC를 수행하는 것이다.

노 등<sup>[7]</sup>은 다중화된 VBR MPEG 비디오의 최대 및 최소 CLR을 위한 새로운 연결의 시작 시간 선정 방법을 제안하고 있다. 본 논문에서는 <sup>[7]</sup>의 응용으로서, VBR MPEG 비디오의 시작 시간 정보를 고려함으로써 확실한 QoS 보장이 가능한 CAC 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 VBR MPEG 비디오의 시작 시간이 다중화기의 CLR 특성에 미치는 영향에 대하여 살펴보고, 제3장에서는 <sup>[7]</sup>에서 제안된 시작 시간 선정 방법을 간략히 기술하고, 제4장에서는 제안하는 CAC 방법을 설명한다. 제5장에서는 실험 결과를 보여주고, 제6장에서는 결론을 맺는다.

## II. 시작 시간 배열이 다중화기 성능에 미치는 영향

일반적인 ATM 스위칭 노드에서의 연결 설정 과

정은 다음과 같다. 새로운 정보원은 QoS 요구와 트래픽 파라미터들을 제시함으로써 연결을 요청한다. 연결의 경로를 따르는 스위칭 시스템들은 현재의 부하 상태와 이들 파라미터들을 고려하여 요청한 QoS를 만족시킬 수 있다고 판단되면 새로운 연결을 수용한다. 이러한 일련의 과정은 시그널링 채널을 통하여 이루어지고, 연결이 허용되면 실제 데이터 전송을 위한 새로운 채널이 형성된다. 이 새로운 채널이 형성된 후, 새로 연결된 정보원은 바로 셀 전송을 시작할 수도 있고, 어느 정도 지연되어 시작할 수도 있다. 즉, 연결 설정시에는 이 정보원의 셀 전송은 어느 시점부터 시작될지 사실상 예측할 수 없다. 정보원의 시작 시간은 연결이 허용된후, 첫번째 셀이 다중화기에 도착한 시간으로 설정 가능하다.

VBR MPEG 비디오들이 다중화될때, 새로운 정보원의 시작 시간이 다중화기의 CLR QoS에 어떠한 영향을 주는지를 조사하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. 실험을 위하여, 영화 'Star Wars'를 MPEG-1 부호화한 비트 시퀀스인 'Star Wars' 시퀀스<sup>[8]</sup>와, TV의 대담 프로인 'Talk Show' 시퀀스와 화상 회의 비디오인 'Video Conf' 시퀀스<sup>[9]</sup>를 사용하였다. GOP 구조는 모두 (N,M)=(12,3)이다. 여기서 N은 I-픽처들간의 거리를, M은 연이은 두개의 P-픽처간 거리를 의미한다. 표 1 에는 이들 시퀀스에 대한 주요 통계 특성을 나타내었다. 한 셀 당 유효 부하는 48 바이트로 하였다.

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

특성 sequence	피크 셀 수				평균 셀 수			
	전체	I	P	B	전체	I	P	B
Star Wars[8]	483	483	483	169	41.1	157.7	60.6	19.3
Talk Show[9]	279	279	182	94	38.4	169.1	39.1	21.7
Video Conf [9]	121	121	43	24	16.2	115.4	10.5	5.9

ATM 다중화기에 중첩된 VBR MPEG 비디오의 수가 K일 때, K-1개 정보원의 시작 시간은 주기 L 내에서 랜덤하게 할당하여 고정시켰다. 주기 L에 대한 설명은 3장을 참조할 수 있다. 이것은 정보원들의 시작 시간이 uniform 분포를 갖는다고 가정하는 상황을 반영한 것이다. 그리고, 마지막 K-번째 정보원의 시작 시간을 0에서 L까지 변화 시켜가면서 각 시간에서의 CLR에 대한 확률 분포를 조사하였다.

그림 1은 'Star Wars' 시퀀스에 대하여, 시스템 크기(B)가 100 셀이고 트래픽 강도 ( $\rho$ )는 0.7이고, 다중화된 정보원의 수(K)가 2, 10일 때에 대하여 3회 수행한 실험에 의한 CLR의 확률 분포를 보여준다. 또한, 표 2는 그림 1에 대하여 CLR에 대한 최소값, 최대값, 평균값을 보여준다.

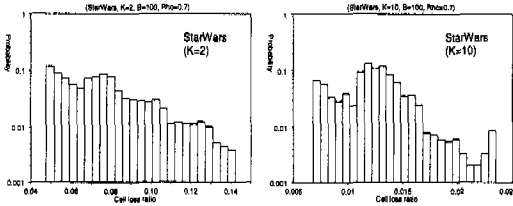


그림 1. 시작 시간 배열에 따른 CLR 변화에 대한 확률 분포 ( $B=100, \rho=0.7$ )

Fig. 1 Probability densities for CLR variations according to starting time distributions

표 2. 그림 1에서의 셀 손실율에 대한 최대, 최소, 평균값

Table 2. maximum, minimum and mean value of cell loss ratio of Fig. 1

Sequence	items K	Cell loss ratio		
		최소값	최대값	평균값
Star Wars	2	4.772e-02	1.423e-01	7.513e-02
	10	6.841e-03	2.349e-02	1.229e-02
	15	5.397e-03	3.382e-02	1.362e-02

그림 1 과 표 2에서 보듯이, 기존 VBR MPEG 비디오의 시작 시간이 고정된 상황에서 새로운 정보원의 시작 시간에 따라 CLR이 크게 달라짐을 알 수 있다. 예를들어 K=2일 때, CLR이 0.047에서부터 0.142까지 매우 크게 변한다. 기존의 해석적인 방법<sup>[3,4]</sup>등에서는 CLR을 시작 시간과 무관하게 단순히 정보원의 수에 대한 함수로서 제공한다. 따라서, 연결 시작 시간 분포를 고려하지 않고 CAC를 수행할 경우, QoS 요구를 만족할 것으로 판정되어 수용된 정보원에 대하여도 QoS 보장에 실패할 가능성이 존재한다.

확실한 QoS 보장을 위하여 CAC는 최악의 상황을 고려하여 연결 수용 여부를 결정하여야 한다. 기존 방법들로서 이를 보장하는 방안은 모든 VBR MPEG 비디오들의 I-픽처 시작 시간이 일치하는 경우를 가정하여 CAC를 수행하는 것이다. 그러나, I-픽처에서의 셀 발생은 다른 픽처 형태들에서의 셀 발생에 비하여 매우 크므로 망 자원 이용 효율이 극히 저하된다.

이를 극복하기 위한 가장 합리적인 방법중의 하나는 다음과 같다. 기존 연결들의 시작 시간들은 알고 있는 상황에서 새로운 정보원이 연결을 요구하였다 고 가정한다. 새로운 정보원의 실제 시작 시간은 정확히 예상할 수 없으므로, 새로운 정보원으로 인하여 최대 CLR이 예상되는 새로운 정보원의 시작 시간을 찾아냄으로써, 최악의 상황을 반영할 수 있다. 즉, 새로운 정보원이 최대 CLR 예상 시간에서 연결을 시작할 것으로 가정하여 CAC를 수행하는 것이다. 이럼으로써, 망 자원을 낭비하지 않고 QoS를 보장할 수 있게 된다.

### III. 시작 시간 선정 방법

본 장에서는 [7]에서 제안된 새로운 VBR MPEG 비디오에 의하여 전체 다중화 트래픽의 최대 및 최소 CLR이 예상되는 시작 시간을 선정하는 방법을 기술한다.

VBR MPEG 비디오 트래픽은 픽처 형태별로 다른 등가율(rate envelope)을 갖고 GOP 구조를 반영한 그림 2와 같은 주기적인 시변 등가율 시퀀스(time-varying periodic rate envelope sequence, RES)로서 모델링된다. 그림 2는 GOP 구조가  $(N_i, M_i)$ 인 i-번째 VBR MPEG 비디오 정보원의 시작 시간이 원점인 경우를 가정한 참조 RES  $r_i^R(k)$ 를 보여준다.

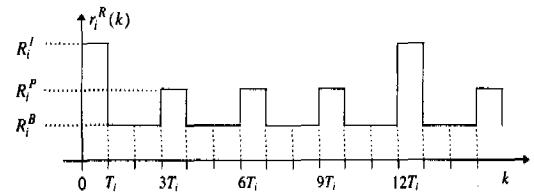


그림 2.  $(N_i, M_i)=(12,3)$ 인 참조 RES  $r_i^R(k)$

Fig. 2. An example of  $r_i^R(k)$  with  $(N_i, M_i)=(12,3)$

i-번째 정보원의 실제 시작 시간을  $s_i$ 라고 하면, 이 정보원의 실제 RES는  $r_i(k) = r_i^R(k - s_i)$ 가 된다.  $T_i$ 를 i-번째 정보원의 한 픽처에 대한 시간 길이(슬롯 단위)라 하면, 이 정보원의 주기는  $L_i = N_i T_i$ 가 된다. 주기  $L_i$  ( $i=1, \dots, K$ )를 갖는 K개의 주기적인 정보원이 다중화된 트래픽은 새로운 주기  $L$ 을 갖는 또 다른 주기적인 형태를 취한다. 이때  $L$ 은  $L_i$ 들의 최소 공배수가 된다.  $r_s(k)$ 를 다중화된 트래픽에 대한 RES라고 하면, 이는 다음과 같다.

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

기존에 연결중인 VBR MPEG 비디오들의 다중화 RES를  $r_e(k)$ 라 할 때, 새로 연결되는 VBR MPEG 비디오  $r_n(k)$ 에 의하여 전체 다중화 트래픽  $r_s(k)$  ( $= r_e(k) + r_n(k)$ )의 CLR이 최대 또는 최소가 될 것으로 예상되는 후보 시간들의 집합은 다음과 같다.

$$\mathcal{S}_{\max} = \left\{ s_{n,j}^{\max}, j=1, \dots, N_{\max} \mid s_{n,j}^{\max} = \arg \max_{0 \leq s_n < L} \sum_{k=s_n}^{s_n+T_n-1} r_e(k) \right\} \quad (2)$$

$$\mathcal{S}_{\min} = \left\{ s_{n,i}^{\min}, i=1, \dots, N_{\min} \mid s_{n,i}^{\min} = \arg \min_{0 \leq s_n < L} \sum_{k=s_n}^{s_n+T_n-1} r_e(k) \right\} \quad (3)$$

여기에서  $N_{\min}$  과  $N_{\max}$  는 집합  $\mathcal{S}_{\max}$  와  $\mathcal{S}_{\min}$  의 원소의 수이고,  $T_n$  은 새로운 연결의 한 픽처에 대한 시간 길이를 의미한다. 이때,  $s_{n,1}^{\max} < s_{n,2}^{\max} < \dots < s_{n,N_{\max}}^{\max}$

$\mathcal{S}_{\min}$  의 원소들 중에서 연속적인  $s_{n,i}^{\min}$  점들의 집합을 세그먼트(segment)라 정의하기로 한다.  $n_s$  를 세그먼트의 수라하고,  $i$ -번째 세그먼트와  $i$ 의 원소를  $\mathcal{S}_i = \{s_{i,1}, s_{i,2}, \dots, s_{i,m_i}\}$  로 표현하기로 한다. 이때,  $s_{i,1} < s_{i,2} < \dots < s_{i,m_i}$ ,  $\mathcal{S}_i \subset \mathcal{S}_{\min}$  이고  $m_i (\geq 1)$  는  $\mathcal{S}_i$  의 원소의 수를 의미한다.  $c_i$  를  $i$ -번째 세그먼트의 중심이라 하면, 이는 다음과 같다.

$$c_i = s_{i,1} + \left\lfloor \frac{s_{i,m_i} - s_{i,1}}{2} \right\rfloor, \quad i=1, 2, \dots, n_s \quad (4)$$

$d_i$  를  $i$ -번째 세그먼트에 대하여,  $c_i$  와  $c_i$  전후의 가장 가까운 최대 평균 입력 파워 시간간의 거리로서 다음과 같이 정의 하기로 한다. 즉,

$$d_i = \min_{1 \leq j \leq N_{\max}} \left\{ |c_i - s_{n,j}^{\max}|, |c_i - s_{n,j}^{\max} - L| \right\}, \quad i=1, \dots, n_s \quad (5)$$

이때, 최소 CLR이 예상되는 시간  $s_n^{\min}$  은 최대  $d_i$  를 갖는  $c_i$  이다. 즉,

$$s_n^{\min} = c_m \quad \text{여기에서} \quad m = \arg \max_{1 \leq i \leq n_s} d_i \quad (6)$$

또한, 최대 CLR이 예상되는 시작 시간  $s_n^{\max}$  는 다음과 같다.

$$s_n^{\max} = s_{n,m}^{\max} \quad \text{여기에서} \quad m = \arg \max_{1 \leq j \leq N_{\max}} |s_{n,j}^{\max} - s_n^{\min}| \quad (7)$$

#### IV. 시작 시간 배업을 고려한 연결 수락 제어

본 논문에서의 CAC를 위한 환경은 다음과 같다. ATM 다중화기는 링크 용량이 C인 단일 서버와 크기가 B인 FIFO 방식의 버퍼로 구성된다. 모든 연결된 VBR MPEG 비디오들은 다른 노드를 경유하지 않고 이 ATM 다중화기에 첫번째로 접속되어 있고 이들의 트래픽 표현자는  $(N_i, M_i, T_i, R_i^I, R_i^P, R_i^B)$  이다. 여기에서  $(N_i, M_i)$  는 GOP 파라미터,  $T_i$  는 한 픽처에 대한 슬롯 단위의 시간 길이,  $(R_i^I, R_i^P, R_i^B)$  는 I-, P-, B-픽처들에 대한 등가율 값들이다. 또한, 현재 ATM 다중화기에 연결된 VBR MPEG 비디오 정보원의 수는 K-1 이고, 이들의 시작 시간과 RES는  $s_i$  와  $r_i(k)$  ( $k \geq 0, i=1, \dots, K-1$ )로 주어졌다고 가정한다. 이때, 참조 RES가  $r_n^k(k)$ 인 새로운 K-번째 VBR MPEG 비디오가 연결을 요청하였다고 가정한다.

##### 1. 등가율 값의 결정

각 정보원의 RES의 등가율 값들은 다음과 같이 여러 방법을 통하여 결정될 수 있다.

##### (1) 단일 PCR

전체 시퀀스의 PCR (peak cell rate)만을 이용하여 RES를 구성하는 방법으로서, 기존의 PCR 기반의 자원 할당이나 CAC 방법들<sup>[10]</sup>에서 사용된다. 대부분의 MPEG 비디오의 경우 전체 시퀀스의 PCR은 I-픽처의 PCR과 동일하므로,  $(R_i^I, R_i^P, R_i^B) = (PCR_i^I, PCR_i^I, PCR_i^I)$  여기에서  $PCR_i^I, PCR_i^P$  와  $PCR_i^B$  는 각각  $i$ -번째 VBR MPEG 비디오의 I-, P-, B-픽처에 대한 PCR을 의미한다. 이경우, 표 2 에서와 같이 I-픽처의 PCR은 다른 픽처들의 PCR에 비하여 매우 크므로, 망 자원의 심각한 낭비가 불가피하다.

##### (2) 픽처 형태별 PCR

VBR MPEG 비디오는 픽처 형태별로 매우 상이한 통계 특성을 갖으므로, 전체 시퀀스의 PCR만을 고려하기 보다는 픽처 형태별로 각 픽처에 대한 PCR을 사용하므로써 망 이용 효율을 개선할 수 있다<sup>[6][11]</sup>. 즉,  $(R_i^I, R_i^P, R_i^B) = (PCR_i^I, PCR_i^P, PCR_i^B)$ .

##### (3) 픽처 형태별 등가율 대역

PCR 기반의 CAC는 링크 이용 효율 측면에서

유용한 방법이라고 할 수 없다. 이에 반하여, PCR 대신에 등가 대역폭 (effective bandwidth, EB)을 사용함으로써 링크 이용 효율을 증대시킬 수 있다. 이 경우,  $i$ -번째 VBR MPEG 비디오의 등가용 값은  $(R_i^c, R_i^f, R_i^b) = (C_{E,i}^c, C_{E,i}^f, C_{E,i}^b)$ 가 된다. 여기에서  $C_{E,i}^c, C_{E,i}^f, C_{E,i}^b$ 는 각각 I-, P-, B-픽처들에 대한 EB를 의미한다. 이들 EB는 다음과 같이 구할 수 있다<sup>[6]</sup>.

우선적으로, I-픽처 서브시퀀스에 대하여 고려하기로 한다. I-픽처 서브시퀀스는 전체 시퀀스에서 I-픽처만 추출하여 이들의 순서는 변하지 않게 구성된 시퀀스로서 정의된다.  $(a_i, r_i, c_i)$ 를 평균 셀 율, 최대 셀 율, 1-lag 자기 상관 계수를 의미하는 I-픽처 서브 시퀀스에 대한 트래픽 표현자로서 나타내기 위하여 셀 율을  $[0, r_i]$ 를  $A_i$ 의 등간격으로  $M_i + 1$ 개의 레벨로 양자화하여 표현하기로 하면, 셀 도착 과정 (cell arrival process)은  $M_i$ 개의 i.i.d. 미니 정보원의 중첩으로 근사화 할 수 있다. 각 미니 정보원은 활성 상태에서는  $A_i$ 의 일정한 율로 셀을 생성하고 휴지 상태에서의 셀 발생은 없다.  $P_i = [P_{mk}^i] (0 \leq m, k \leq M_i)$ 를 도착 과정에 대한 상태 천이 행렬이라 하면 이의 원소  $P_{mk}^i$ 는 다음과 같이 구해진다<sup>[12]</sup>.

$$P_{mk}^i = \frac{\sum_{l=\max(k-M_i, -m)}^{\min(k, m)} \binom{m}{l} \binom{M_i - m}{k - l} \alpha_i^l (1 - \alpha_i)^{m-l}}{(1 - \beta_i)^{k-l} \beta_i^{(M_i - m) - k - l}} \quad (8)$$

여기에서  $\alpha_i$ 와  $\beta_i$ 는 미니 정보원들의 활성 상태와 휴지 상태에 대한 천이 확률을 의미하고, 이들은  $(a_i, r_i, c_i)$ 의 관계로부터 쉽게 구해진다<sup>[13]</sup>. 셀 율 행렬은 다음과 같이 정의 된다. 즉,  $A_i = \text{diag}\{0, A_i, 2A_i, \dots, M_i A_i\}$ . 이와 같이 셀 도착 과정이  $(P_i, A_i)$ 의 이산 시간 마코프 체인으로 표현되는 I-픽처 서브 시퀀스에 대한 EB는 다음과 같다<sup>[14]</sup>.

$$C_E^i = \delta^{-1} h(\delta) \quad (9)$$

여기에서  $h(\delta) = R \log \{ \zeta(e^{\delta A_i} P_i) \}$ 로서  $R$ 은 상태 천이간의 시간 간격,  $\delta$ 은  $B$ 와  $X$ 가 각각 다중화기의 시스템 크기와 임의의 시간에서의 다중화기의 버퍼 상태를 의미할 때,  $\Pr\{X > B\} \leq e^{-B\delta}$ 로서 정의되는 QoS 파라미터이다. 또한,  $\zeta(G)$ 는 행렬  $G$ 의 spectral radius를 의미한다.

유사한 방법으로, P-, B-픽처 서브시퀀스에 대한

$(P_P, A_P)$ 와  $(P_B, A_B)$ 로부터 등가 대역폭  $C_E^P$ 와  $C_E^B$ 를 구할 수 있다.

## 2. 시작 시간 배열을 고려한 CAC

CAC를 위한 새로운 연결의 시작 시간은 다음의 여러 환경에 따라 달라질 수 있다.

### (1) 새로운 연결의 시작 시간의 선정

#### • 일반 ATM 다중화기에서의 CAC

일반적인 ATM 다중화기들은 각 연결된 정보원들의 시작 시간을 조절할 수 없다. ATM 다중화기들에서 기존에 연결중인 정보원들의 시작 시간  $s_i (k \geq 0, i=1, \dots, K-1)$ 들은 이들이 연결 허용된 후 다중화기에 첫번째 셀이 전송된 시간으로 설정할 수 있다. 그러나, 새로 연결을 요청한  $K$ -번째 정보원의 실제 시작 시간  $s_K$ 를 연결 설정시의 CAC 과정에서 알아내기는 불가능하다. 이 경우에, CAC를 위하여는 이 새로운 정보원의 연결로 인하여 최대 CLR을 야기시키게 되는 최악의 조건을 고려하여야만 한다. 따라서, CAC를 위한 새로운 연결의 가상 시작 시간은 최대 CLR 예상 시간인  $s_K^{\max}$ 가 된다. 즉,  $s_K = s_K^{\max}$  CAC 과정을 통하여 이 새로운 연결 요구가 허용되면, 이 정보원에 대한 실제 시작 시간은 기존 연결들에서와 마찬가지로 첫번째 셀이 ATM 다중화기에 수신된 시간으로 설정하면 된다.

#### • VOD (video on demand) 서버에서의 CAC

ATM 다중화기와 달리 미리 저장된 비디오를 전송하는 주문형 비디오 제공 시스템에서의 VOD 서버는 각 연결의 시작 시간을 조절 가능하다. 따라서, VOD 서버는 새로운 연결이 요청되었을 때 이의 시작 시간을 최소 CLR이 예상되는 시간  $s_K^{\min}$ 에 할당 가능하다. 이 연결 요구가 허용되었을 때, 실제로 이 연결은 할당된  $s_K^{\min}$ 에서 전송을 시작하게 된다.

#### • 고속 자원 관리가 가능한 연결중의 재협상 과정에서의 CAC

비디오 시퀀스들은 현저히 다른 트래픽 통계 특성을 갖는 장면 변화 (scene change)가 많이 나타나고 각 장면들에 따라 요구되는 망 자원은 달라지므로, 연결 설정시에 정보원의 모든 트래픽 표현자를 제시하는 것이 매우 어렵다. 따라서, 망 이용 효율의 관점에서, 전체 연결 시간동안 연결 설정시의 파

라미터만을 이용하는 것은 비 효율적이다. 이것은 QoS 보장의 관점에서, 각 연결에 대한 망 자원 할당은 최악의 조건을 고려하여 이루어져야 하기 때문이다. 적절한 방법에 의하여 장면 변화를 찾아낼 수 있고 이에 대한 트래픽 특성을 예측해 낼 수 있다면, 망 이용 효율은 동적으로 자원을 할당하는 고속 자원 관리 프로토콜<sup>[15]</sup>을 사용함으로써 개선시킬 수 있다. 즉, 기존 연결내에서 현저한 트래픽 변화를 갖는 장면 변화가 검출되면, 이 연결로부터 망 자원의 재할당에 대한 새로운 재협상 요구가 가능하다. 이때, 새로운 요구는 연결의 시작 시간을 변화시키지는 않으므로, 이 새로운 요구의 시작 시간은 사전에 설정된 이 연결의 시작시간으로서 주어진다.

(2) 연결 수락 제어

일단 모든 VBR MPEG 비디오 정보원들의 시작 시간들이 주어지면, 새로운 연결 요구와 기존 연결들을 포함한 다중화 트래픽의 RES 를 식 (1)로부터 구할수 있다.  $Y_{max}$  를  $r_s(k)$  의 최대 증가율 값이라 하기로 한다. 즉,

$$r_{max} = \max_{0 \leq k < L} r_s(k) \quad (10)$$

연결 허용을 위한 조건은 다음과 같다. 즉, C를 링크의 전송율이라 할 때,  $r_{max} \leq C$ 이면 새로 요청된 연결 요구는 허용되고, 반대의 경우는 거부된다.

$s_n^{max}$ 와  $s_n^{min}$ 은 식 (2)와 (3)에서 볼 수 있듯이, 새로운 정보원과는 무관하게 단지 기존 연결들에 대한 연결 시작 시간과 RES 정보만을 이용하여 산출 가능하다. 따라서,  $s_n^{max}$ 와  $s_n^{min}$ 은 연결이 요청되기 전에 미리 산출 가능하다. 이러한 일련의 과정을 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서와 같이 기존 연결이 해지 되거나 새로운 연결이 허용될 때마다 이들 값들은 미리 산출되어 다음 연결 요청시의 CAC 과정에서 이용된다. 따라서, CAC 과정시  $s_n^{max}$  값을 산출하기 위한 별도의 과정이 요구되지 않고 실시간으로 처리가 가능하다.

제한하는 CAC는 MPEG이 아닌 VBR 비디오, 음성이나 데이터등과 같은 다른 클래스의 트래픽이 다중화 되는 경우에도 쉽게 확장 가능하다. 이들 트래픽 클래스들은 VBR MPEG 비디오에서와 같은 픽처 형태별로 매우 상이한 트래픽을 갖지 않으므로, 이들 트래픽들은 단일 증가율을 갖는 RES로 표현 가능하다. 따라서, 이들 트래픽들이 새로 연결

될 때, 다중화 트래픽의 RES는 기존 RES에 새로운 연결의 증가율값 만큼의 레벨을 일정하게 증가시킨 형태가 된다.

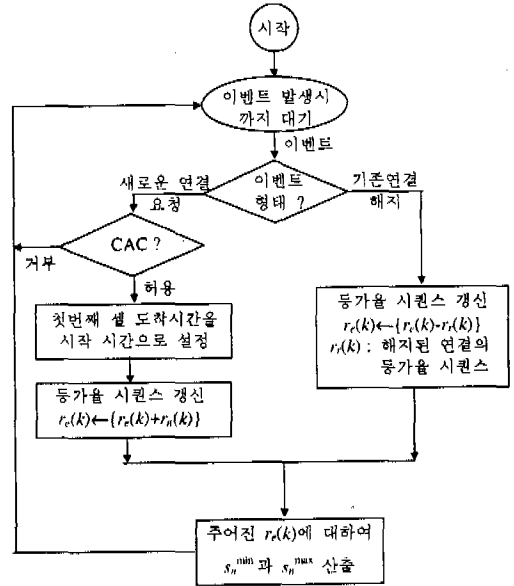


그림 3. 실시간 CAC 과정  
Fig. 3 Procedure of real-time CAC

V. 실험 결과

제한된 CAC가 QoS를 보장할 수 있음을 보이기 위하여 [7]에서와 유사하게 그림 4의 실험을 수행하였다. 표 3은 그림 4의 실험을 위하여 랜덤 변수 생성 방법에 의하여 설정한 각 VBR MPEG 비디오 정보원의 시작 시간을 나타낸다. 그림 4의 그래프들을 구한 방법은 다음과 같다. 정보원의 수가 K일 때, K-1개 정보원의 시작 시간은 표 3에 따라 할당한 후, K-번째 정보원의 시작 시간을  $s_n^{max}$ 와  $s_n^{min}$ 으로 하여 구한 CLR을 각각 'EST\_MAX\_CLR'와 'EST\_MIN\_CLR' 그래프로 표현하였다. K-번째 정보원의 시작 시간을 0에서 L까지 변화 시켜 가면서 구한 CLR중 최대와 최소값을 각각 'SIM\_MAX\_CLR'와 'SIM\_MIN\_CLR' 그래프에 나타내었다. 그리고, K-번째 정보원의 시작 시간을 표 3에 따라 할당한 후 구한 CLR을 'ACTUAL\_CLR'로 표현하였다. 이때, 다중화기 버퍼 크기는 100셀, 트래픽 강도는 0.7로 고정하였다. 그림 4에서 보듯이  $s_n^{max}$ 와  $s_n^{min}$ 에서의 CLR은 실

험을 통하여 구한 최대 및 최소 CLR과 거의 정확하게 일치하고, 새로운 K-번째 정보원의 실제 CLR은 최대 와 최소 CLR간에서 매우 크게 변화함을 알 수 있다. 따라서, [2]에서와 같이 주어진 시작 시간 상황에서의 CLR을 정확히 계산 가능하고 실시간 처리가 가능한 방법이 존재하여 이를 사용하여 CAC에 적용할 경우, 새로운 정보원의 시작 시간을  $s_n^{max}$ 로 하면 QoS를 확실히 보장할 수 있다.

표 3. 그림 4의 실험을 위하여 랜덤으로 각 정보원에 할당된 시작 시간  
Table 3. Starting times assigned to each source used for experiment of Fig. 4

번호	시작 시간	번호	시작 시간	번호	시작 시간	번호	시작 시간
1	0.00T	6	8.55T	11	1.83T	16	1.30T
2	11.75T	7	10.94T	12	0.74T	17	6.41T
3	7.43T	8	6.69T	13	9.30T	18	3.73T
4	7.45T	9	3.67T	14	2.60T	19	8.51T
5	11.93T	10	4.92T	15	7.25T	20	4.01T

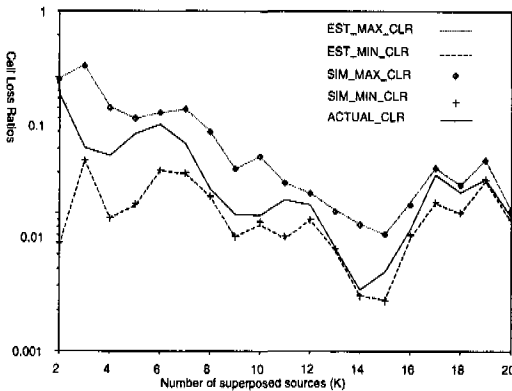


그림 4. 시작 시간 배열에 따른 CLR 변화 (B=100, ρ=0.7)  
Fig. 4 CLR variation according to starting time arrangement

그림 5는 증가율 값을 픽처 형태별 PCR로 설정하여 CAC를 할 때, 즉,  $(R_s^i, R_s^f, R_s^p) = (PCR_s^i, PCR_s^f, PCR_s^p)$ , 여러 시작 시간 방법이 적용된 경우에 대한 연결 허용 영역을 보여준다. 이때, 버퍼는 없고 C=155Mbps로 하였다. 그림 5에서 WORST는 모든 정보원의 시작 시간이 일치하는 경우를, EQUIV는 정보원의 시작 시간 간격을 균등하게 한 경우를, VOD는 정보원의 시작 시간을  $s_n^{min}$ 로 조절 한 경우를 나타낸다. 또한, RANDOM은 시작 시간들이 랜덤하게 배열되는 경우를 나타내고, 각기 다

른 시작 시간 배열을 갖는 5회의 실험을 수행하여 구하였다. WORST의 경우 가장 나쁜 망 이용 효율을 얻게 되고, 시작 시간을 고려하여 CAC를 수행한 RANDOM, EQUIV, VOD방법의 경우는 WORST에 비하여 상당히 큰 망 이용 효율을 얻을 수 있다. 또한, 시작 시간이 조절된 경우인 EQUIV와 VOD는 시작 시간이 조절 안된 RANDOM 방법보다 월등한 망 이용 효율을 보여준다. EQUIV는 VOD 방법과 비슷하거나 약간 나쁜 망 이용 효율을 보여준다. EQUIV는 연결이 새로 허용되고 해지 될 때마다 시작 시간을 모두 재배열하여야 하므로 실제 환경에서 사용하기에 부적절하다. 반면에, VOD는 새로운 연결의 시작 시간만 조절하여 EQUIV보다 나은 성능을 얻을 수 있으므로 더 효율적이다.

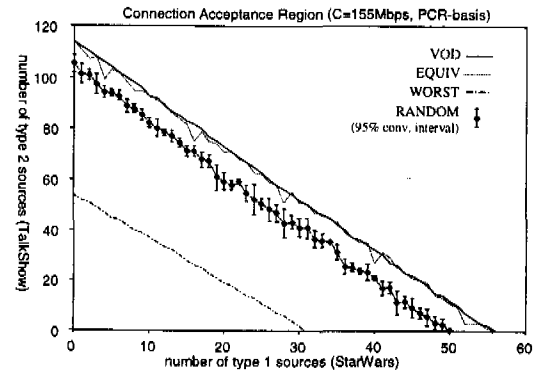
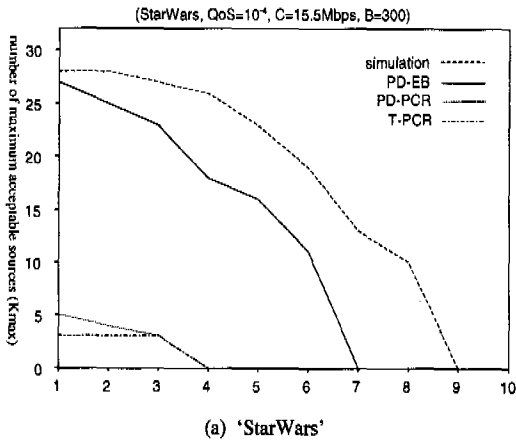


그림 5. 픽처 형태별 PCR 기반의 연결 허용 영역 (C=155 Mbps)  
Fig. 5 Acceptance Region based on picture-type dependent PCR (C=155 Mbps)

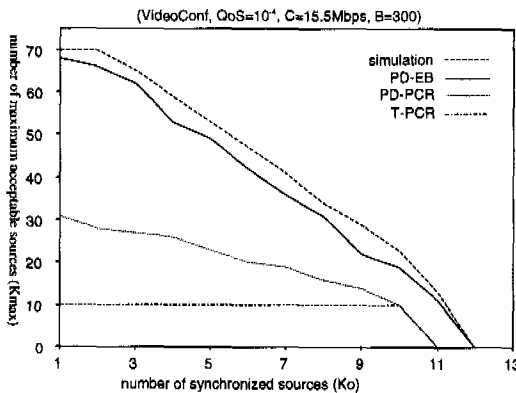
I-픽처 시작 시간 배열에 의한 CLR 변화 효과를 다른 방법으로 보이기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. K개의 다중화된 정보원중에서  $K_0$ 개의 정보원의 시작 시간은 원점에서 일치시키고, 나머지  $(K-K_0)$ 개의 정보원들의 시작시간은 주기  $[0, L)$ 내에서 등간격을 갖도록 배열하였다. 즉,  $s_i = 0$  ( $1 \leq i \leq K_0$ ),  $s_i = (i - K_0) \cdot \tau$  ( $K_0 < i \leq K$ ) 여기에서  $\tau = L \cdot (K - K_0 + 1)^{-1}$ . 그림 6은 C=15.5Mbps, B=300 cells, QoS 요구가  $\Pr\{X>B\} \leq 10^{-4}$ 인 경우에 대하여  $K_0$ 의 변화에 대한 최대 허용 가능한 VBR MPEG 비디오의 수( $K_{max}$ )를 보여준다. 실제로 대부분의 비디오 응용에서 QoS는  $10^{-9}$ 이하가 요구되지만 시뮬레이션을 위한 컴퓨팅 파워 및 시간의 제한에 의하여  $10^{-4}$ 인 경우에 대하여 실험하였다.

다음의 세가지 CAC 방법이 비교되었다.

- (i) PD-EB :  $(R_i^l, R_i^f, R_i^p) = (C_{EB}^l, C_{EB}^f, C_{EB}^p)$
- (ii) PD-PCR :  $(R_i^l, R_i^f, R_i^p) = (PCR_i^l, PCR_i^f, PCR_i^p)$
- (iii) T-PCR :  $(R_i^l, R_i^f, R_i^p) = (PCR_i^l, PCR_i^f, PCR_i^p)$



(a) 'StarWars'



(b) 'VideoConf'

그림 6. 시작 시간 변화에 따른 연결 허용 영역 ( $C=15.5Mbps, B=300, QoS=10^{-4}$ )

Fig. 6. Connection acceptance region by varying starting time

그림 6에서 시뮬레이션 결과는  $K_0$ 가 증가함에 따라,  $K_{max}$ 는 급히 감소함을 보여준다. 전체적으로, PD-EB와 PD-PCR 방식은 시뮬레이션 결과와 유사한 양상을 보이나, T-PCR 방식은  $K_0$ 의 변화와 무관하게 일정한 값을 나타낸다. 또한, PCR 기반으로 CAC를 수행하는 경우에도, 픽처 형태별 PCR을 적용한 PD-PCR 방식이 단일 PCR을 적용한 T-PCR 방식에 비하여 더 나은 효율을 보여줄 수 있다.  $K_0$ 가 증가함에 따른 PD-EB 방식과 시뮬레이션의  $K_{max}$ 값들간의 편차는 'Star Wars' 시퀀스의 경우는

점점 커지는 경향을 보이나, 'Video Conf' 시퀀스의 경우는 전체적으로 거의 일정한 경향을 보여준다. 이러한 현상은 'Star Wars'는 현저히 다른 통계 특성을 갖고 자주 변하는 다양한 장면들로 구성되어 있고, 'Video Conf'는 전체적으로 유사한 트래픽 특성을 갖는 시퀀스로 구성되어 있기 때문이다. RES등과 같은 대부분의 VBR 비디오 트래픽 모델들은 급격한 특성 변화가 없는 경우 기본 가정으로 한다. 그림 6을 위하여 구한 'Star Wars'에 대한 EB도 이러한 가정하에 구해진다. 이렇게 구해진 EB는 전체 시퀀스에 적용할 때, 그림 6에서와 같이 시뮬레이션 결과와 현저한 차이의 발생이 불가피하다. 반면에, 'Video Conf' 시퀀스는 장면 변화가 거의 없는 시퀀스로서, 구해진 EB로 전체 시퀀스를 표현 가능하므로 시뮬레이션 결과로부터 많이 벗어나지 않는다. 또한, PD-PCR과 T-PCR간의 차이에 의한 망 효율 증대 효과도 'Video Conf' 시퀀스가 'Star Wars' 시퀀스의 경우 보다 더 좋다. 따라서, 'Star Wars'와 같이 다양한 장면 변화를 갖는 시퀀스들에 대하여는, 연결 설정시의 파라미터를 전체 시퀀스에 대하여 적용하기 보다는 적절한 장면 변화 검출 방법을 도입한 고속 자원 관리 방법<sup>[15]</sup>을 적용하는 것이 망 이용 효율 측면에서 유리할 것이다. 이에 대한 연구는 본 연구의 범위를 벗어나고 더욱 연구되어야 할 필요가 있다. 이러한 방법이 적용될 경우, 제한한 시작 시간을 고려한 PD-EB 기반의 CAC가 매우 유용하게 사용될 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는, 노 등<sup>[7]</sup>이 제안한 전체 다중화 트래픽의 최대 또는 최소 CLR이 예상되는 새로운 VBR MPEG 비디오의 시작 시간 선정 방법을 이용하여 일반 ATM 다중화기, VOD 서버, 고속 자원 관리 환경하에서의 확실한 QoS 보장과 망 이용 효율 증대를 위한 CAC 방안을 제안하였다. 제안된 CAC 방법은 실시간 처리가 가능하며, ITU-T에서의 REM (rate envelope multiplexing)<sup>[10]</sup> 환경에 응용 가능하다.

제안된 방법은 모든 VBR MPEG 비디오들이 경우 노드를 갖지 않고 직접 다중화기에 연결된 환경을 대상으로 하고 있다. 이때, 각 VBR MPEG 비디오들로부터 이 다중화기까지의 셀 전송 형태는 RES로 모델링 할 수 있다. 그러나, 연결이 여러 노드를 경유할 경우, 중간 노드들에서의 셀 전송 형태



