

지연 조건을 갖는 VBR 부호화된 기본 스트림에 대한 라이브 멀티미디어 서비스 다중화 기법

정희원 김진수*

A Live Multimedia Multiplexing Method for VBR-coded Elementary Streams with Delay Constraints

Jin-soo Kim* *Regular Member*

요 약

현재 ATM망, giga-bit 이더넷, fast 이더넷 그리고 프레임-릴레이와 같은 고속 전송 망 구축 기술이 발전함에 따라 다양한 소비자 욕구를 촉진시키고 있다. 특히, 다양한 멀티미디어 서비스의 환경에서는 다중화되는 개개의 기본 스트림들에 대한 특성이 더욱 가변적임에 따라, 이를 효과적으로 다중화하여 망에 적응 및 연동시키는 기술은 필수적이다. 본 논문에서는 이와 같은 응용 환경을 고려하여 가변 비트율로 부호화 및 다중화하여 전송되는 과정에 있어서 지나친 전송 대역폭의 낭비를 초래하지 않고 다중화 전송 기법을 제안한다. 가변 비트율로 부호화된 기본 스트림의 각 액세스 단위에 대해 부과되는 지연 크기에 의한 제한 조건 관계식을 정의하고, 이것을 바탕으로 라이브 멀티미디어 서비스를 제공하는 효과적인 두가지 방안을 제안한다. 제안한 방법은 각각 시간적 측면만을 고려한 방법과 시간/공간적 측면을 동시에 고려한 방법으로 나누어 제안한다. 부호화된 Star-wars 데이터 트레이스를 이용한 모의 실험에서 제안된 방식은 크게 다중화 전송 스트림의 첨두율, 변화율 계수 그리고 유효 대역폭 측면에서 성능을 크게 개선시킴을 확인한다. 그리고, 저 지연을 갖는 멀티미디어 서비스에 대해 상대적으로 우수한 성능이 나타남을 확인한다.

ABSTRACT

In live multimedia applications with multiple variable bit rate (VBR)-coded elementary streams, it is necessary to develop an efficient mechanism of multiplexing these streams into a single stream and transmitting it over network without wasting excessive bandwidth. In this paper, we describe the constraint imposed by the delay bound and its iterative forms for each access unit of VBR-coded elementary streams. Based on these constraints and buffer fullness, two different multiplexing schemes are designed in such a way as to smooth maximally the multiplexed transmission rate by exploiting temporal or/and spatial averaging effects, respectively. Through computer experiments based on an MPEG-coded video trace of Star-wars, it is shown that the proposed scheme significantly reduces the peak rate, coefficient of variation, and effective bandwidth of the multiplexed transmission rate.

1. 서론

최근 초고속 정보 통신망 구축 기술의 발달로 인해 다양한 형태의 라이브 멀티미디어 서비스 개발

을 촉진시키고 있다. 즉, VoD (video-on-demand), video-broadcast 그리고 원격 교육(distance learning) 등을 포함한 다양한 형태의 실시간 멀티미디어 서비스에 대한 소비자의 욕구가 등장하고 있으며, 이

* 국립 한밭대학교 정보통신 컴퓨터공학부(jskim67@hanbat.ac.kr)
논문번호 : K01052-0206, 접수일자 : 2001년 2월 6일

에 부합하기 위한 기술들이 활발하게 개발되고 있다. 특히, 인터넷은 다른 망 구축 기술에 의해 이질적인 서비스를 적절하게 수용해야 하는 문제점을 안고 있으나, 프로토콜 스택별로 여러 가지 다른 해결 방법들이 존재한다. 물리 계층에서는 물리적인 전송상의 적응적 전력 제어 기법이 사용되고, 데이터 링크 계층에서는 전송상의 오류와 유효 전송물의 변화에 적응적으로 오류 검출/수정 및 재할당 기법으로 제어할 수 있다. 네트워크 계층에서는 과밀을 회피하고 망의 유동 자원 변화에 대한 동적인 re-routing 기법을 적절히 사용하여 수용할 수 있다. 트랜스포트 계층에서는 실시간 프로토콜(RTP : real-time protocol)과 실시간 스트리밍 프로토콜(RTSP : real-time streaming protocol)과 같은 프로토콜 계층의 기능을 적절히 사용하여 제어할 수 있다. 응용 계층에서는 매우 다양한 기법을 사용하여 망의 유동 자원의 변화에 적응시키는 것이 가능하다. 즉, 계층적 부호화 기법, 효율적 압축 기법, 대역 평활화 기법, 부호화율 세이핑, 오류 제어 기법 그리고 적응적 동기화 기법을 독립적으로 또는 복합적으로 취하여 멀티미디어 서비스를 수용하도록 할 수 있다^[1-5].

본 논문에서는 멀티미디어 서비스의 망 적응 기법으로 응용 계층에서의 멀티미디어 서비스 다중화 및 평활화 기법에 대해 논한다. 멀티미디어 서비스의 경우에는 개개의 기본 스트림 (elementary stream)은 독립적으로 부호화된다고 가정하며, 각각의 서비스 품질 (QoS : Quality of Service)은 응용 계층에서 주어지는 지연의 크기에 의해 제한한다. 이때 개개의 기본 스트림에 대한 서비스 특성을 왜곡시킬 없이 효과적으로 망에 수용하는 기법은 필수적이다. 기존의 기법은 주로 기본 스트림을 전체 다중화한 비트율이 일정한 비트율이 되도록 제어하는 기법들이 주로 제안되었다^[4,7]. 그러나, 이것은 개개의 기본 스트림의 특성을 고려하지 않은 방식이며, 결국에는 서비스 품질을 훼손하는 결과를 초래할 수도 있다. 또 다른 방법으로는 개개의 기본 스트림 단위로 부호화하고, 평활화를 하도록 하는 기법이다^[8-9]. 그러나, 이 기법은 개개의 기본 스트림의 특성만을 고려함으로써 전체적인 성능측면에서는 최적일 수 없다. 본 논문에서는 기존의 기법과 달리 개개의 기본 스트림이 갖는 시간적 변화 특성을 고려함과 동시에 기본 스트림간의 공간적인 특성을 동시에 고려하여 라이브 멀티미디어 서비스의 다중화 기법을 제안한다. 제안한 기법은 부호화된

기본 스트림의 접근 단위 (access unit) 데이터의 크기에 대하여 유한한 정보를 이용하며, 부호화율 제어에 대해서는 다루지 않는다.

II. 기본 스트림의 다중화 개념과 사용 기호

M -개의 기본 스트림에 대한 다중화 및 트래픽 평활화 시스템에 대한 개념적인 구성도는 [1]에서 제시된 블록도에 기초한다. 본 논문에서는 수신자 중심의 다중화 및 평활화를 위해서 부호화버퍼는 없고, 다중화 버퍼만이 존재한다고 가정한다. 또한, 개개의 스트림은 VBR로 부호화되며, 접근 단위 (access unit : 일반적으로 MPEG 영상의 경우에 단일 프레임 기간 또는 단일 슬라이스 시간에 해당되는 시간 간격임. 본 논문에서는 이에 대한 시간 간격을 Δt 로 나타냄.)는 PID (packet identifier)로 만들어 다중화하는 시점에 알려진다^[5,7].

본 논문의 전개를 위해 사용되는 파라미터에 대한 설명은 다음과 같다. 우선, $s_m(j)$ 는 m -번째 기본 스트림의 시간 간격 $[(j-1)\Delta t, j\Delta t)$ 동안에 부호화되어 발생하는 접근 단위를 나타내며, 이 간격동안 균일한 비트율로 발생된다고 가정한다. $r_m(j)$ 는 m -번째 기본 스트림의 시간 간격 $[(j-1)\Delta t, j\Delta t)$ 동안에 균일한 비트율로 다중화 및 전송된다. 개개의 기본 스트림에 대한 품질은 다르다고 가정을 하며, 그것에 대한 척도로 본 논문에서는 다중화 및 수신되는 지연의 크기로 제한한다. 즉, m -번째 기본 스트림에 대해 다중화 버퍼에서 지체될 수 있는 지연의 크기를 $D_m\Delta t$ 로 정의한다. 이것은 다중화 및 평활화를 위해 사용되는 지연의 크기가 $D_m\Delta t$ 로 제한된다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 망 내부에서의 지연 및 데이터 손실은 없다고 가정을 한다(물론, 이 부분은 구현상에 실제의 지연 크기를 고려해야 하지만, 본 논문의 접근이 상위 계층에서의 라이브 멀티미디어 서비스 방법이므로, 전개상 일반성을 잃지 않는다). 본 논문에서 부가적으로 사용되는 파라미터에 대한 정의는 다음과 같다.

M : 다중화되는 기본 스트림의 개수.

$B_{MUX,m}(j)$: $j\Delta t$ 시점에 m -번째 기본 스트림의 다중화 버퍼에 대한 충만도.

$B_{MUX}(j)$: $j\Delta t$ 시점에 다중화 버퍼 충만도 i.e.

$$B_{MUX}(j) = \sum_{m=1}^M B_{MUX,m}(j).$$

$B_{REC,m}(j)$: $j\Delta t$ 시점에 m -번째 기본 스트림의 복호기 버퍼에 대한 충만도.

$R(j)$: 시간 간격 $[(j-1)\Delta t, j\Delta t)$ 동안에 균일하게 다중화 버퍼에서 망으로 전송되는 다중화 전송률. 즉,

$$R(j) = \sum_{m=1}^M r_m(j).$$

위의 정의와 가정을 바탕으로 $j\Delta t$ 시점에 다중화 버퍼와 m -번째 기본 스트림에 대한 수신 버퍼의 충전도는 각각 다음과 같다^[5,7].

$$B_{MUX}(j) = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^j s_m(i) - \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^j r_m(i), j > 0 \quad (1)$$

$$B_{REC,m}(j) = \begin{cases} \sum_{i=1}^j r_m(i), j \leq D_m \\ \sum_{i=1}^j r_m(i) - \sum_{i=1}^{j-D_m} s_m(i), j > D_m \end{cases} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에 기초하여 다음의 두 개의 재귀적 등식 (recursive equations)으로 표현된다.

$$B_{MUX}(j) = B_{MUX}(j-1) + \sum_{m=1}^M s_m(j) - \sum_{m=1}^M r_m(j), j > 0 \quad (3)$$

$$B_{REC,m}(j) = \sum_{i=j-D_m+1}^{j-1} s_m(i) - B_{MUX,m}(j), j > D_m \quad (4)$$

본 논문에서는 이질적인 망 환경에 사용자 (소비자) 중심의 실시간 멀티미디어 서비스의 제공에 기초하기 때문에 다중화 버퍼의 크기는 일정한 크기로 제한하지 않는다. 즉, $0 \leq B_{MUX}^{size} \leq \infty$ (응용 및 구현 환경에 따라 다중화 버퍼의 크기를 유한한 크기로 제한할 수 있다.)로 둔다.

III. 기본 스트림의 접근 단위에 부과된 제한 조건들

1. m -번째 기본 스트림의 수신 버퍼 크기에 부여된 제한 조건

실시간 서비스가 제공되어 수신 버퍼의 넘침과 고갈 현상을 발생시키지 않고 적절하게 수신하도록 하는 것은 다중화 및 전송하는 시스템에게 부과되는 의무이다. 만일, m -번째 기본 스트림의 수신 버퍼 크기가 충분히 크다면, $r_m(j)$ 의 선택 가능한 값의 영역은 매우 크다. 그러나, 다양한 가격 또는 규격의 형태로 제공되는 수신측의 단말에서는 수신 버퍼의 크기는 제한적이라고 가정하는 것이 일반적이다. 따라서, $r_m(j)$ 의 선택 가능한 값은 수신 버퍼의 넘침을 방지하는 조건에 의해 제한된다^[5,7]. 식

(4)에서 $0 \leq B_{REC,m}(j) \leq B_{REC,m}^{size}$ 을 모든 j 에 대해 만족해야 하므로

$$0 \leq \sum_{i=j-D_m+1}^j r_m(i) - B_{MUX,m}(j-D_m) \leq B_{REC,m}^{size}, \text{ for } j > 0. \quad (5)$$

를 유지해야 한다. 그러므로, $r_m(j)$ 의 최대 값은 식 (4)와 (5)에 기초하여

$$r_m^{max}(j) \equiv \max \{ B_{REC,m}^{size} + B_{MUX,m}(j-D_m) - \sum_{i=j-D_m+1}^j r_m(i), 0 \} \quad (6)$$

또는

$$r_m^{max}(j) \equiv \max \{ B_{REC,m}^{size} + B_{MUX,m}(j-1) - \sum_{i=j-D_m+1}^{j-1} s_m(i), 0 \} \quad (7)$$

로 유도 정의한다.

2. 부호화된 접근 단위의 지연 크기에 부과된 제한 조건

$(j-1)\Delta t$ 시점에 다중화 버퍼에 전송을 위해 기다리는 m -번째 기본 스트림의 데이터는 지연 크기 즉, $D_m\Delta t$ 내에 다중화되어 전송되어야 한다. 다시 표현해서, 다중화 버퍼에 진입하는 시점의 시각과 다중화 버퍼를 빠져 나와 전송이 완료되는 시점에 대한 시각 차이의 크기는 $D_m\Delta t$ 보다 작아야 한다. 따라서,

$$(j-1) + \frac{\Delta s_m(j-J_m)}{r_m(j)} - t_{j-J_m} \leq D_m \quad (8)$$

을 만족하여야 한다. 여기서 사용된 기호에 대한 설명은 다음과 같다.

J_m : 이 값은 D_m 보다 작은 유한 값이고 $(j-1)\Delta t$ 시점에 m -번째 기본 스트림이 다중화 버퍼에 대기하고 있는 대기열의 길이에 해당한다.

$\Delta s_m(j-J_m)$: $(j-1)\Delta t$ 시점에 m -번째 기본 스트림이 전송을 하고 남은 $s_m(j-J_m)$ 의 일부분을 나타낸다.

$t_{j-J_m}\Delta t$: $\Delta s_m(j-J_m)$ 의 첫 번째 비트가 다중화 버퍼에 진입한 시점을 나타낸다.

식 (8)을 기초하여 $s_m(j-J_m)$ 의 전송 완료 시점은

$s_m(j-J_m+1)$ 의 전송 시작 시점으로 고려할 수 있다. 즉, $s_m(j-J_m)$ 의 전송이 완료되는 순간에 $s_m(j-J_m+1)$ 는 같은 다중화 전송률 $r_m(j)$ 로 전송되기 위해서는 다음의 제한 조건을 만족하여야 한다.

$$(j-1) + \frac{\Delta s_m(j-J_m)}{r_m(j)} + \frac{s_m(j-J_m+1)}{r_m(j)} - t_{j-J_m+1} \leq D_m \quad (9)$$

이 조건식을 연속적인 p 개의 접근 단위로 확장하면, $r_m(j)$ 의 하한 (lower bound)에 대한 제한 조건을 다음과 같이 유도 정의 한다.

$$r_m^l(j, 0) \equiv \frac{\Delta s_m(j-J_m)}{D_m + t_{j-J_m} - j + 1} \quad (10)$$

$$r_m^l(j, p) \equiv \frac{\Delta s_m(j-J_m) + \sum_{i=1}^p s_m(j-J_m+i)}{D_m + t_{j-J_m+p} - j + 1}, \quad 1 \leq p \leq J_m - 1 \quad (11)$$

$$r_m^l(j, p) \equiv \frac{1}{D_m + t_{j-J_m+p} - j + 1} \left\{ \Delta s_m(j-J_m) + \sum_{i=1}^{J_m-1} s_m(j-J_m+i) + \sum_{i=p}^{J_m-1} s'_m(j-J_m+i) \right\}, \quad \text{for } J_m \leq p \quad (12)$$

여기서 p 가 J_m 과 같거나 큰 값에 대해서는 다중화 버퍼에 저장된 값이 아니라, 앞으로 다중화 버퍼에 진입할 값을 예측하여야 하며 이것을 $s'_m(j-J_m+p)$ 로 표현하며, VBR로 부호화되는 기본 스트림에 대해 다양한 예측 방식을 사용할 수 있다. 그러나, 본 논문에서는 모의 실험 데이터에 따른 특성에 제한을 둔다.

3. 고갈 현상 방지와 일정률 전송 조건

다중화 버퍼내의 m -번째 기본 스트림 데이터가 $[(j-1)\Delta t, j\Delta t)$ 동안에 다중화하여 전송되어야 하는 데이터는 $\Delta s_m(j-J_m) + \sum_{i=1}^{J_m-1} s_m(j-J_m+i)$ 보다 작아야 한다 (만일, 그렇지 못하는 경우에는 자원의 낭비를 초래하는 패딩 비트가 추가되게 된다). 그러므로,

$$\Delta s_m(j-J_m) + \sum_{i=1}^{J_m-1} s_m(j-J_m+i) + s'_m(i) - r(i) \geq 0$$

을 만족하여야 하며, 이러한 조건을 q 개의 부호화된 데이터 단위까지 확장하여 동일한 전송률 $r_m(j)$ 로 다중화되기 위해서는 다음의 부등식이 동시에 만족되어야 한다.

$$\Delta s_m(j-J_m) + \sum_{i=1}^{J_m-1} s_m(j-J_m+i) + \sum_{i=1}^q s'_m(i) - q \cdot r(i) \geq 0$$

이 부등식으로부터 $r_m(j)$ 의 상한 (upper bound)에 대한 식은 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$r_m^u(j, q) \equiv \frac{\Delta s_m(j-J_m) + \sum_{i=1}^{J_m-1} s_m(j-J_m+i) + \sum_{i=1}^q s'_m(j+i)}{q}, \quad \text{for } 1 \leq q \quad (13)$$

$$r_m^u(j, q) \equiv 0, \quad \text{for } 0 \geq q \quad (14)$$

식 (10)-(14)로 부터 $p=J_m$ 은 $q=1$ 에 해당됨을 쉽게 알 수 있다. 또한, 이 사실을 확장해보면 $p \geq J_m$ 조건에 대해 $q=p-J_m+1$ 임을 확인할 수 있다.

IV. VBR로 부호화된 기본 스트림에 대한 다중화 및 평활화 기법

트래픽을 평활화하는 방법으로는 크게 두가지 방법으로 수행할 수 있다. 먼저, 개개의 기본 스트림이 갖고 있는 시간축 방향의 통계적 특성을 이용하여 III장에서 제안한 제한 조건을 만족시키면서 최대한 평활화한 후에 다중화를 수행하는 것이다. 다음으로는 개개의 기본 스트림이 갖고 있는 시간적 특성과 기본 스트림 상호간에 갖고 있는 공간적 특성을 동시에 고려하는 것이다. 본 논문에서는 이를 각각 TAM (temporal averaging and multiplexing) 과 STAM (spatial temporal averaging and multiplexing)으로 나타내기로 한다.

1. 시간축 평활화와 다중화 기법

시간축 평활화와 다중화 기법 (이하 TAM으로 표시함.)은 개개의 기본 스트림 단위로 최대한 평활화하는 방법이다. 이 기법은 근본적으로 참고문헌[7]에 제시된 방법을 이용한다. 즉, $r_m(j)$ 의 값에 대한 선택 방식은 개개의 기본 스트림 단위로 구해지고 $R(j)$ 값은 이 값들의 합으로 표현된다. 이 방식에 대한 알고리즘은 다음과 같다.

Step 0. Set $m = 1$ and go to Step 1.

Step 1. If there exists p satisfying $r_m^{\max}(j) \leq r_m^l(j, p)$ as p increases from 0 to $J_m - 1$ for the m -th elementary stream, let's denote $r_m(j) = r_m^{\max}(j)$ and go to Step 5.

Else let us define

$$r_m^{\min}(j) \equiv \max\{r_m^l(j, p), p=0, \dots, J_m-1\}$$

and go to Step 2.

Step 2. If $\max\{r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m)\} \geq$

$$\min\{r_m^u(j, 1), r_m^{\max}(j)\}, \text{ then}$$

$$r_m(j) = r_m^{\max}(j) \text{ and go to Step 5}$$

Else go to Step 3.

Step 3. Find the largest lookahead integer H such that

$$\max_{1 \leq h \leq H} \{r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m + h - 1)\} \leq$$

$$\min_{1 \leq h \leq H} \{r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j)\}$$

If $H = \infty$, then go to Step 4.

Else if

$$\max_{1 \leq h \leq H} \{r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m + h - 1)\} >$$

$$\min\{r_m^u(j, H + 1), r_m^{\max}(j)\}$$

$$r_m(j) =$$

$$\max_{1 \leq h \leq H} \{r_m^l(j, J_m + h - 1), r_m^{\min}(j)\}$$

and go to Step 5,

else

$$r_m(j) = \min_{1 \leq h \leq H} \{r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j)\}$$

and go to Step 5.

Step 4. If

$$r_m(j-1) \leq \max_{1 \leq h \leq \infty} \{r_m^l(j, J_m + h - 1), r_m^{\min}(j)\}$$

then

$$r_m(j) = \max_{1 \leq h \leq \infty} \{r_m^l(j, J_m + h - 1), r_m^{\min}(j)\}$$

and go to Step 5.

Else if

$$\max_{1 \leq h \leq \infty} \{r_m^l(j, J_m + h - 1), r_m^{\min}(j)\} \leq r_m(j-1)$$

$$\leq \min_{1 \leq h \leq \infty} \{r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j)\}, \text{ then}$$

$$r_m(j) = r_m(j-1) \text{ and go to Step 5,}$$

else

$$r_m(j) = \min_{1 \leq h \leq \infty} \{r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j)\}$$

and go to Step 5.

Step 5. Check whether $m = M$ or not.

If $m < M$, $m \leftarrow m + 1$ and go to Step 1.

Else $R(j) = \sum_{m=1}^M r_m(j)$ based on the selected values $r_m(j), m=1, \dots, M$.

2. 시공간축 평활화와 다중화 기법

시공간축 평활화와 다중화 기법 (이하 STAM으로 표시함.)은 개개의 기본 스트림과 다중화된 스트림을 동시에 최대로 평활화하는 방법이다. 이 기법은 VBR로 부호화된 개개의 기본 스트림과 기본 스트림 상호간의 공간적 관계를 이용하여 트래픽을 평활화하고 또한 다중화하는 기법이다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 다음과 같이 기술한다.

Step 1. For the $m=1, \dots, M$ -th elementary stream, check the following condition.

If there exists p satisfying $r_m^{\max}(j) \leq$

$$r_m^l(j, p) \text{ as } p \text{ increases from } 0 \text{ to } J_m - 1,$$

let us define $r_m^{\min}(j) \equiv r_m^{\max}(j)$.

Else let us define

$$r_m^{\min}(j) \equiv \max\{r_m^l(j, p), p=0, \dots, J_m-1\}.$$

Step 2.

$$\text{If } \sum_{m=1}^M \max\{r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m)\} \geq$$

$$\sum_{m=1}^M \min\{r_m^u(j, 1), r_m^{\max}(j)\},$$

then let us determine as $r_m(j) = r_m^{\max}(j)$

for the m -th elementary stream and

$$R(j) = \sum_{m=1}^M r_m^{\max}(j) \text{ for a multiplexed stream}$$

and stop.

Else go to Step 3.

Step 3. Find the largest lookahead integer H such that

$$\max_{1 \leq h \leq H} \sum_{m=1}^M \max\{r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m + h - 1)\} \leq$$

$$\min_{1 \leq h \leq H} \sum_{m=1}^M \min\{r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j)\}$$

If $H = \infty$, then go to Step 4.

Else if

$$\max_{1 \leq h \leq H} \sum_{m=1}^M \max\{r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m + h - 1)\} >$$

$$\min_{1 \leq h \leq H} \sum_{m=1}^M \min\{r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j)\} \text{ then}$$

$$R(j) = \max_{1 \leq h \leq H} \sum_{m=1}^M \max \{ r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m + h - 1) \}$$

and go to Step 5,

else then

$$R(j) = \min_{1 \leq h \leq H} \sum_{m=1}^M \min \{ r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j) \}$$

and go to Step 5.

Step 4. If

$$R(j-1) \leq$$

$$\max_{1 \leq h \leq \infty} \sum_{m=1}^M \max \{ r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m + h - 1) \},$$

the

$$R(j) = \max_{1 \leq h \leq \infty} \sum_{m=1}^M \max \{ r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m + h - 1) \}$$

and go to Step 5.

Else if

$$\max_{1 \leq h \leq \infty} \sum_{m=1}^M \max \{ r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m + h - 1) \}$$

$$\leq R(j-1) \leq \min_{1 \leq h \leq \infty} \sum_{m=1}^M \min \{ r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j) \},$$

then

$$R(j) = R(j-1),$$

else

$$R(j) = \min_{1 \leq h \leq \infty} \sum_{m=1}^M \min \{ r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j) \}$$

and go to Step 5.

Step 5. For the $m = 1, \dots, M$ -th elementary stream, let us decide $r_m(j)$ as

$$r_m(j) = \frac{A_m(j)}{\sum_{n=1}^M A_n(j)} \left(R(j) - \sum_{n=1}^M r_n^{\min}(j) \right) + r_m^{\min}(j)$$

where

$$A_m(j) = \min_{1 \leq h \leq H} \{ r_m^u(j, h), r_m^{\max}(j) \} - \max_{1 \leq h \leq H} \{ r_m^{\min}(j), r_m^l(j, J_m + h - 1) \}$$

and stop.

V. 모의 실험 결과

1. 모의실험 방법과 조건들

본 논문에서는 실시간 멀티미디어 서비스의 응용 예로써 다수개의 MPEG 방식에 의해 VBR로 압축 부호화된 비트 스트림을 이용한다. 모의 실험에 사용된 데이터는 Star-wars 시퀀스이고, GOP 패턴은 (GOPsize, P-period) = (12, 3)이다^[7]. 본 논문에서는 모의실험을 통한 성능 변화에 대한 비교의 편리

함을 위해 동질적 (homogeneous) 데이터에 기초하여 실험한다. 압축된 MPEG 영상 신호를 이용한 다중화와 평활화에 대한 모의실험 성능은 GOPsize 기간 내에서 다중화 시작 지점에 따라 크게 변화한다. 실제 멀티미디어 서비스의 구현에 있어서 다수개의 압축된 MPEG 영상 신호가 동기화되어 제공되는 경우 즉, M 개의 영상 정보원들이 동시에 I-프레임이 부호화되는 경우에는 최악의 성능을 보일 것이다. 따라서, 본 논문에서는 M 개의 기본 스트림이 다중화 되는 조건에 대해 최선의 경우 (best_spaced : 이후, BS로 표시함)와 최악의 경우 (worst_spaced : 이후, WS로 표시함)로 나누어 모의실험을 각각 수행한다. 또한, 다중화와 평활화 성능은 기본 스트림에 대응하는 수신버퍼 크기에 의존적임을 식 (7)과 (8)로부터 알 수 있을 것이다. 모의 실험의 논의의 간단화를 위해 $B_{REC,m}^{size} = 1.2 \cdot \max_j s_m(j)$ 로 하여 사용한다. 실제 수신 버퍼의 크기에 따른 성능의 변화에 대한 모의실험 방법들은 [7]에서 확인할 수 있다. 라이브 멀티미디어 서비스를 제공할 때, 개개의 기본 스트림에 부여되는 지연의 크기는 응용 환경에 따라 다양한 크기로 제약을 줄 수 있다. 본 논문에서 다루는 라이브 멀티미디어 서비스의 경우는 (i) 적은 양의 지연(실시간) 서비스와 (ii) 많은 양의 지연 서비스에 대해 모의 실험을 통해 성능을 비교 분석할 필요가 있으며, 이를 위해 적은 양의 지연으로 $D_m=3$ (예, DTV/HDTV방송과 같은 서비스)을 선택하고, 많은 양의 지연으로 1초의 시간에 해당되는 $D_m=30$ 을 선택한다. 본 논문에서는 M 개의 기본 스트림이 동일한 지연 조건을 갖는 경우에 대해 모의실험을 수행한다.

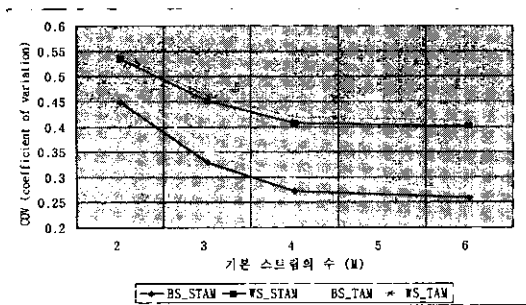
2. COV에 대한 특성

VBR 정보원에 대한 COV 특성은 전송되는 망 내부의 유효자원의 시간적인 변이 특성을 간접적으로 알려주는 정보이다^[5,7]. 그림 1은 $D_m = 3$ 과 $D_m = 30$ 일 때 M 의 변화에 따른 COV 성능 변화를 보여주고 있다. 저 지연 멀티미디어 서비스의 경우 즉, $D_m = 3$ 에서는 STAM과 TAM방식 모두 다중화 개수가 증가할수록 COV값을 감소시킬 수 있음을 보여주며, 근본적인 성능 차이는 입력되는 기본 스트림들간의 위상 관계에 의해 결정됨을 확인할 수 있다. 그러나, STAM방식과 TAM방식의 차이가 공간적 다중화 효과를 통하여 얻을 수 있는 성능 개선 효과이다. 한편, 지연의 양이 많이 요구되는 경우 즉, $D_m = 30$ 일 때는 M 의 증가에 따라 성능 개

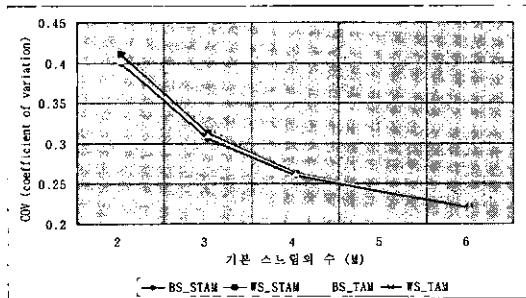
선이 더욱더 이루어 질 수 있음을 알 수 있으나, STAM 방식과 TAM방식 모두 성능 개선 정도가 미미해지는 특성을 보인다. 따라서, 지연의 양이 많이 허용되는 경우에는 다중화 개수가 작을 수록 STAM방식이 성능 개선이 크다는 것을 알 수 있다.

3. PAR에 대한 특성

VBR 정보원에 대한 PAR 특성은 손실없이 전송하기 위해 필요한 대역폭의 최대 크기를 나타내는 척도를 주로 사용된다^[5,7]. 그림 2에서, 저 지연 멀티미디어 서비스의 경우에 STAM과 TAM방식 모두 다중화 개수가 증가할수록 COV값을 감소시킴을 보여주며, 근본적인 성능 차이는 입력되는 기본 스트림들간의 위상 관계에 의해 결정됨을 확인할 수 있다. 그러나, 다중화 개수가 증가할수록 STAM방식이 TAM방식에 비해 뛰어난 성능을 보인다. 한편, 지연의 양이 많이 허용되는 경우 즉, $D_m = 30$ 일 때는 M 의 증가에 따라 성능 개선이 더욱더 크게 이루어 질 수 있음을 알 수 있으나, STAM 방식과 TAM방식 모두 성능 개선 차이는 미미해지는 특성을 보인다. 따라서, COV 특성 변화에서처럼 지연의 양이 많이 허용되는 경우에는 시간축 방향에 의해 충분히 평활화됨으로 인해 STAM방식에 의한 공간적 평활화 효과에 의한 성능 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

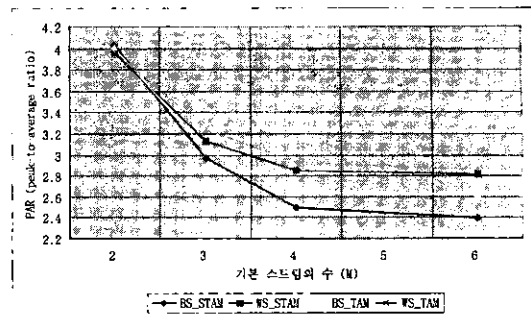


(a)

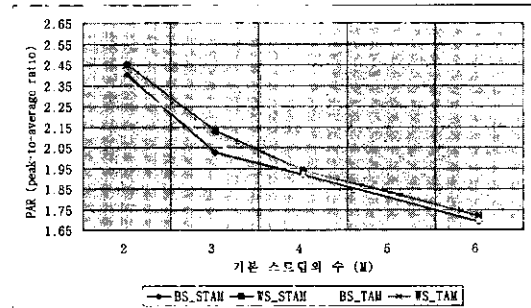


(b)

그림 1. COV특성 변화 (a) $D_m = 3$ (b) $D_m = 30$



(a)



(b)

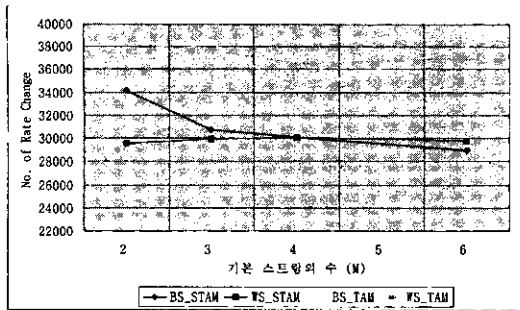
그림 2. PAR특성 변화 (a) $D_m = 3$ (b) $D_m = 30$

4. 비트율 변화 횟수에 대한 특성

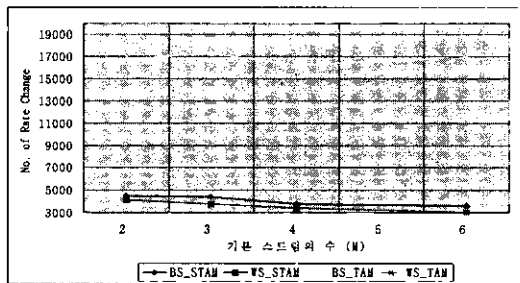
VBR 정보원에 대한 비트율 변화 횟수의 특성은 PCBR (piecewise CBR)로 전송하거나 또는 재협상을 통한 망자원의 효율적 관점에서의 제어 부담정도를 비교하는 척도로 사용된다^[5,7]. 본 논문의 주요 점은 PAR과 COV를 최소화하도록 알고리즘이 설계되었으나, 비트율 변화 횟수를 최소화하도록 쉽게 수정될 수 있다. 본 논문에서는 단지 STAM방식과 TAM방식에 의한 특성 차이를 비교하는 것이 주된 목적이다. $D_m = 3$ 인 경우보다도 $D_m = 30$ 일 때 비트율 변화에 대한 특성이 STAM방식이 뛰어나며, 이것은 입력된 기본 스트림들간의 위상과 M 의 변화에 무관한 성능을 보여주고 있다. 특히, 지연의 크기가 증가한 경우에는 STAM방식에 의한 성능 개선이 더욱더 뛰어남을 알 수 있는데, 이것은 STAM 알고리즘이 시공간적인 특성을 동시에 이용함에 기인한다.

5. 유효 대역 크기에 대한 특성

유효 대역 크기 (effective bandwidth)는 등가 대역 크기 (equivalent bandwidth)라고도 불리우며, 망 내부의 일정한 버퍼 크기 (B)가 주어짐을 가정하고 셀 손실 확률 (CLP : Cell Loss Probability)을 특



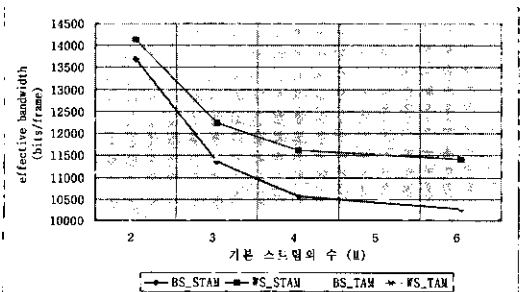
(a)



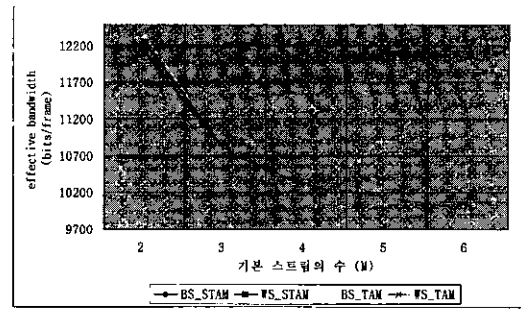
(b)

그림 3. 비트율 변화 횟수에 대한 특성 (a) $D_m = 3$ (b) $D_m = 30$

정 범위내로 유지시키기 위해 요구되는 대역 폭의 크기로 정의할 수 있다. 본 논문에서는 [8]에서 결과를 이용한다. 본 논문에서는 $CLP = 10^{-5}$ 로 하고, $B = M \times 5Kbytes$ 로 설정하여 얻은 결과가 그림 4에 주어진다. 저 지연 멀티미디어 서비스의 경우 즉, $D_m = 3$ 에서는 STAM과 TAM방식 모두 다중화 개수가 증가할수록 유효 대역 크기 값을 감소시킬 수 있음을 보여주며, 근본적인 성능 차이는 입력되는 기본 스트림들간의 위상 관계에 의해 결정됨을 확인할 수 있다. COV의 특성에서처럼 STAM방식과 TAM방식의 차이가 공간적 다중화 효과를 통하여 얻을 수 있는 성능 개선 효과이다. 한편, 지연의 양이 많이 요구되는 경우 즉, $D_m = 30$ 일 때는



(a)



(b)

그림 4. 유효 대역 크기에 대한 특성

M 의 증가에 따라 성능 개선이 더욱더 이루어 질 수 있음을 알 수 있으나, STAM 방식과 TAM방식 모두 성능 개선 정도가 미미해지는 특성을 보인다. 따라서, 지연의 양이 많이 허용되는 경우에는 다중화 개수가 작은 경우에 STAM방식이 성능 개선이 크다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 지연 조건에 의해 품질이 결정되는 다수개의 VBR로 부호화된 기본 스트림을 다중화하고 또한 평활화하는 두가지 기법을 제안하였다. 이를 위해, 개개의 기본 스트림에 부여되는 지연에 의한 제한 조건, 수신 버퍼 크기에 의해 부과되는 제한 조건 그리고 고갈 현상을 방지하는 제한 조건을 정의하였다. 이를 바탕으로 개개의 기본 스트림 단위로 평활화하고, 다중화하는 TAM 기법과 시간 영역과 동시에 공간 영역의 특성을 고려하여 다중화 및 평활화하는 STAM 기법을 각각 제안하고, 모의 실험을 통하여 성능 변화를 각각 분석 비교하였다. 모의 실험을 통하여 지연의 크기가 작은 영역에서는 STAM 기법이 상대적으로 우수한 성능을 보임을 알 수 있었으며, 지연의 크기가 증가할수록 성능의 차이는 작아짐을 보았다. 또한, TAM 방식과 STAM 방식간의 성능 차이는 지연의 크기가 충분한 경우에는 입력되는 기본스트림들간의 공간적인 위상 관계 및 다중화되는 기본 스트림의 개수에 무관한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 따라서 TAM 기법은 개개의 기본 스트림 단위의 접근 단위 제어가 허용되는 경우에 제한적으로 사용될 수 있으나, 다중화되는 기본 스트림 전체의 제어가 가능한 경우에는 STAM 기법을 효과적인 것으로 판단된다.

끝으로 본 논문에서 제안된 방식은 VBR로 부호화된 MPEG 영상 신호에 대해 적용하였으나, 일반적인 기본 스트림으로 확장할 수 있다. 그러나, 앞으로 뛰어난 성능을 유지하면서 좀더 단순화시키는 방식에 대한 연구가 부가적으로 수행되어야 할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] B.G.Haskell and A.R.Reibman, "Multiplexing of Variable Rate Encoded Streams," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.4, no.4, Aug. 1994.

[2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "ISO/IEC 13818-1: International Standard," April 1995.

[3] T.Ott, T.Lakshman, and A.Tabatabai, "A Scheme for Smoothing Delay-sensitive Traffic Offered to ATM Networks," in *Proc. of IEEE INFOCOM*, (Florence, Italy, May 1992), pp.776-785.

[4] J. M.McManus and K.W.Ross, "Video on Demand over ATM: Constant-rate Transmission and Transport," in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 1357-1362, March, 1996.

[5] A.R.Reibman and B.G.Haskell, "Constraints on Variable Bit Rate Video for ATM Networks," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.2, no.4, pp.361-371, Dec. 1992.

[6] M. Krunz and S. Tripathi, "Bandwidth Allocation for Multiplexed VBR Video Streams with Deterministic Guarantees," *IEEE ATM '96 Workshop*, (San Francisco, U.S.A., Aug.25-27)

[7] Rose. O, "Statistical Properties of MPEG Video Traffic and Their Impact on Traffic Modeling in ATM Systems," *University of Wuerzburg, Institute of Computer Science Research Report Series*. Report No. 101. February 1995.

[8] A. Dembo and O. Zeitouni, *Large Deviation Techniques and Applications*, Jones and Bartlett Publishers, 1992.

[9] J.S.Kim and J.K.Kim, "Adaptive Traffic Smoothing for Live VBR MPEG Video Service," *Computer Communications*, No. 21,

pp.644-653, June 1998.

[10] J.S.Kim, "An Efficient Live Multimedia Multiplexing Method for VBR-coded Elementary Streams with Delay Constraints," Submitted to *Computer Communications*, July. 2001.

[11] Liu, C.L. and J.W.Layland, "Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard Real-Time Environment," *Journal of ACM*, Vol.20, No.1, 1973, pp.46-61.

김진수(Jin-soo Kim)

정회원

한국통신학회 논문지 제26권 제3A호 참조