

3 준위 트래픽 성형기를 이용한 가변 비트율 영상 서비스에서의 신호원 클럭 주파수 복원

正會員 金敬洙*, 李秉基*

Source Clock Frequency Recovery for VBR Video Services Using Three-Level Traffic Shaper

Kyeong Soo Kim*, Byeong Gi Lee* Regular Members

要 約

본 논문에서는 B-ISDN에서 트래픽 성형 기능을 이용한 가변 비트율 (VBR: Variable Bit Rate) 영상 서비스에서의 신호원 클럭 주파수 복원 방법을 연구하였다. 먼저 VBR 입력 트래픽의 최대 셀률은 물론 최소 셀률도 제한할 수 있는 3 준위 트래픽 성형기 (TLTS: Three-Level Traffic Shaper) 를 제안하고, VBR 영상 신호원을 2 상태 MMPP (Markov-Modulated Poisson Process) 로 모델링하여 TLTS의 성능척도로서 셀 손실 확률, 버퍼 고갈 확률 및 최대 지연을 계산하였다. 이러한 TLTS를 이용하여 기존의 항등 비트율 (CBR: Constant Bit Rate) 서비스를 위한 동기 잔여 시간 스탬프 (SRTS: Synchronous Residual Time Stamp) 방법을 VBR 영상 서비스에서의 신호원 클럭 주파수 복원에 확장, 적용하고, 이를 위한 TLTS의 설계절차를 제시하였다. 끝으로 예제를 통하여 제시된 설계절차의 실용성을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we study the source clock frequency recovery method for variable bit rate (VBR) video services using traffic shaping in B-ISDN. We propose a three-level traffic shaper (TLTS) which is able to limit not only the maximum cell rate but also the minimum cell rate for VBR video sources. Modeling a VBR video source as a two-state Markov-modulated Poisson process (MMPP), we numerically evaluate the cell loss probability, the underflow probability, and the maximum delay as performance measures. Using TLTS, we extend the existing constant bit rate (CBR)-based synchronous residual time stamp (SRTS) method to the source clock frequency recovery in VBR video services, and develop a dimensioning procedure of the TLTS. Finally a numerical example is presented to demonstrate the practicality of the dimensioning procedure.

*Dept. of Electronics Engineering, Seoul
National University
論文番號 : 95071-0218
接受日字 : 1995年 2月 18日

I. 서 론

최근 비동기식 전달 모드 (ATM: Asynchronous Transfer Mode) 기술의 등장과 함께 각광을 받고 있는 영상 신호의 가변 비트율 (VBR: Variable Bit Rate) 부호화 및 전송 방식은, 전송과정에서 정보의 손실이 없는 경우, 일정한 화질을 제공하고 망내 자원 (resource) 을 효율적으로 이용할 수 있다는 점에서 기존의 항등 비트율 (CBR: Constant Bit Rate) 부호화 및 전송 방식에 비해서 많은 장점을 지니고 있다. 그러나 셀 손실과 셀 지연 변이가 불가피한 실제의 망 환경에서 VBR 방식이 CBR 방식을 대체하기 위해서는 해결돼야 할 사항들이 여러 가지가 있다. 우선 통계적 다중화 이득^[1]을 들 수 있는데, 통계적 다중화 이득은 CBR 방식에 대한 VBR 방식의 상대적 효율성을 나타내는 척도로서, 지금까지 VBR 영상 전송에 관한 연구의 대부분이 통계적 다중화 이득의 향상을 목적으로 하고 있다^{[2][3][4]}. 한편 신호원 클럭 주파수 복원 (SCFR: Source Clock Frequency Recovery) 도 해결되어야 할 중요한 사항이다. SCFR은 ATM 적응 계층 (AAL: ATM Adaptation Layer) 의 수렴 부계층 (CS: Convergence Sublayer) 에 속하는 기능으로서 수신측 AAL 사용자에게 송신측에 위치한 신호원의 클럭 주파수를 제공한다^[5]. CBR 서비스를 위한 AAL 1의 경우 동기 잔여 시간 스탬프 (SRTS: Synchronous Residual Time Stamp) 및 적응 클럭 (adaptive clock) 의 두 가지 방식이 권고안에 포함되어 있으나, VBR 서비스를 지원하는 AAL 2의 경우에는 아직까지 표준화된 방법이 존재하지 않는다. VBR 서비스에서는, CBR 서비스의 경우와는 달리, 일정 기간 내에 발생하는 셀의 개수가 가변적이므로 위의 두 가지 방법을 직접 적용할 수 없다. 한 가지 방법은 일정한 주기로 발생하는 데이터 단위 (예: 프레임 헤더) 마다 동기정보를 삽입하여 전송하는 것으로서 기존의 데이터 망에서 자주 이용되어 왔다^[6]. 그러나 이 방법은 AAL의 상위 계층에서 구현되므로 B-ISDN 표준과는 관련이 없고, 일반적으로 동기정보를 전송하는 간격이 CBR의 경우보다 매우 길기 때문에 재생클럭의 품질이 떨어진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 VBR 영상 전송에 따르는 동기 문제에 중점을 두고 이를 해결하기 위한 트래픽 성형 문제를 연

구하고자 한다. 먼저 VBR 입력 트래픽의 최대 및 최소 셀률을 동시에 제어할 수 있는 3 준위 트래픽 성형기 (TLTS: Three-Level Traffic Shaper) 를 제안하고 대기행렬 분석을 통해 TLTS의 성능척도를 계산하였다. 다음으로 VBR 영상 서비스에서의 SCFR을 위하여 AAL 1에서 권고된 SRTS를 VBR 영상 서비스에 확장 적용하는 방법을 제안하도록 하였다. 끝으로, 제안하고자 하는 SCFR 방법에 TLTS를 적용하기 위한 설계절차를 기술하고, 예제를 통하여 제시된 설계절차의 실용성을 보이도록 하였다.

II. 3 준위 트래픽 성형기

1. 구조 및 동작 설명

TLTS는 그림 1에 보인 바와 같이 제어기, 서버 및 버퍼로 이루어져 있다.

그림 1에서 q 는 대기행렬의 길이를, K 는 버퍼의 크기를, T 는 셀 서비스 주기를 나타내며, $l_n (n = 0, 1, 2, 3)$ 은 문턱값 (threshold value)을 가리킨다. 서버는 주기 T 의 시작점마다 셀을 처리한다. 제어기는 셀을 처리한 직후의 대기행렬 길이 q 를 조사하여 해당 셀 서비스 주기 T 를 조정하기 위하여 서버를 제어한다. q 와 T 간의 관계는 기정의된 서비스 주기값 $t_1, t_2, t_3 (t_1 \geq t_2 \geq t_3)$ 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다:

$$T = t_j, \quad l_{j-1} \leq q < l_j \quad \text{일 때.} \quad (2.1)$$

여기서 $l_0 = 0$ 이며, $l_3 = K$ 이다.

2. 대기행렬 분석

VBR 영상 서비스를 위한 신호원 모델로는 2 상태 MMPP (Markov-Modulated Poisson Process) 를 사용한다. 2 상태 MMPP는 마르코프 사슬 (MC: Markov Chain) 의 전이 행렬 $Q = \{q_{i,j}\}$, $i, j = 1, 2$, 와 도착률 벡터 $r = (r_1, r_2)$ 로 결정된다. 여기서 Q 는 $q_{1,1} = -q_{1,2}$, $q_{2,2} = -q_{2,1}$ 인 관계를 가지므로 결정해야 할 변수는 모두 네 개이다. 실제의 군집성 (bursty) 트래픽을 2 상태 MMPP로 모델링하기 위한 변수 정합 방법은 여러 가지가 제안된 바 있다^{[7][8]}. 그 중에서 VBR 영상 트래픽을 모델링하기 위해서 본 논문에서는 [8]에서 제안된 변수 정합 방법을 사용하고자 한다. 이 방법은 셀들의 최대값의 중요성을 반영하여 보다 정확하

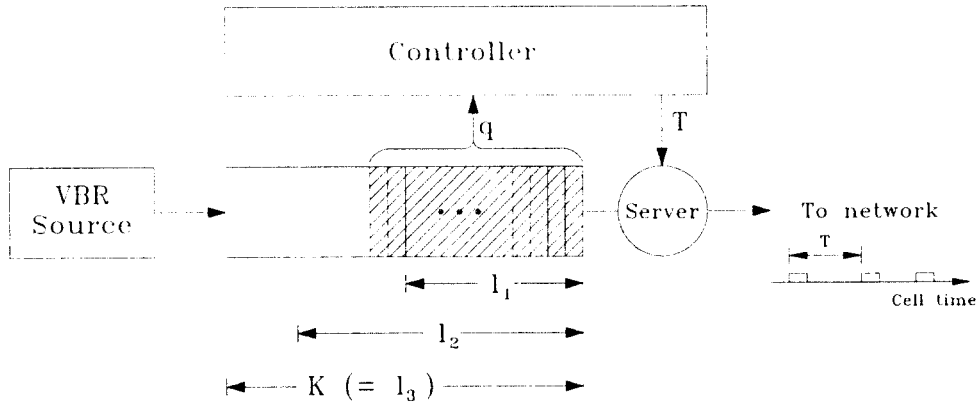


그림 1. 3 준위 트래픽 성형기.
Fig. 1. Three-level traffic shaper.

개 VBR 영상 신호와 같은 연관성 (correlated) 트래픽을 묘사한다. 이 방법에 따르면 2 상태 MMPP의 변수는 다음과 같이 결정된다:

$$r_1 = m + \sqrt{\alpha\nu}, \quad r_2 = m - \sqrt{\alpha\nu},$$

$$q_{1,2} = \frac{\rho}{\tau}, \quad q_{2,1} = \frac{1-\rho}{\tau}. \quad (2.2)$$

여기서 m , ν , α , 및 τ 는 각각 입력 셀들의 평균, 분산, 최대값 대 평균의 비 및 자기공분산 시간계수 (autocovariance time coefficient)¹⁹를 의미하며, $\rho = \alpha/(\alpha+1)$ 는 상태 2에 머물 확률을 나타낸다.

시스템 모델링을 위해서 불규칙 변수 (random variable) T_n , U_n , U'_n , A_n 및 J_n 을 각각 다음과 같이 정의한다: T_n 은 셀 시간을 단위로 하는 n 번째 서비스 주기를 나타낸다; U_n 과 U'_n 은 각각 n 번째 서비스 주기의 시작 직전과 직후의 버퍼 내의 셀의 개수를 나타낸다; A_n 은 T_n 셀 시간 동안 도착한 셀의 개수를 나타낸다; J_n 은 n 번째 서비스 주기의 시작점에서의 MMPP의 상태를 나타낸다. 그림 2는 각 불규칙 변수들간의 관계들을 보여준다.

그림 2에서 알 수 있듯이 불규칙 변수들은 다음 관계를 만족한다:

$$T_n = t_i, \quad l_{i-1} \leq U_n < l_i \text{ 일 때.} \quad (2.3)$$

$$U_{n+1} = \min(U_n + A_n, K). \quad (2.4)$$

$$U'_{n+1} = \max(U'_{n+1} - 1, 0). \quad (2.5)$$

정의된 불규칙 변수들을 이용하면 TLTS를 $(U(n), J(n))$ 을 상태로 하는 2차원 MC로 기술할 수 있다. 이때 전이 확률 행렬 P 는

$$P = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} & \cdots & P_{0,K-1} \\ P_{1,0} & P_{1,1} & \cdots & P_{1,K-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{K-1,0} & P_{K-1,1} & \cdots & P_{K-1,K-1} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

이다. 여기서 $P_{i,j}$ 는 (i, m) 번째 원소가 다음과 같이 정의되는 2차원 정방행렬이다:

$$P_{i,j}(l,m) \stackrel{\Delta}{=} \Pr\{U'_{n+1} = j, J_{n+1} = m \mid U_n = i, J_n = l\}. \quad (2.7)$$

또한 도착 확률 행렬 $A_{i,j}$ 를 (i, m) 번째 원소가 다음과 같이 주어지는 2차원 정방행렬로 정의한다:

$$A_{i,j}(l,m) = \Pr\{A_n = j, J_{n+1} = m \mid T_n = t_i, J_n = l\}. \quad (2.8)$$

$A_{i,j}$ 는 [10]에서 소개한 알고리즘에 의해서 효율적으로 구할 수 있다. 식 (2.3)에서 (2.5)를 고려하면 P 는 다음과 같이 구할 수 있다: $l_{m-1} \leq i < l_m$, $m = 1, 2, 3, \dots$ 인 i 에 대해서

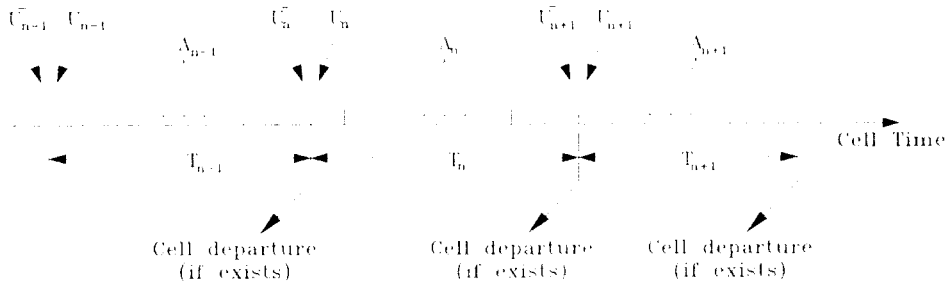


그림 2. 불규칙 변수들간의 관계.
Fig. 2. Relations among random variables.

$$P_{i,j} = \begin{cases} A_{1,0} + A_{1,1}, & i=j=0 \text{ 일 때,} \\ A_{m,j-i+1}, & i-1 \leq j < K-1 \text{ 일 때,} \\ \sum_{k=K-i}^{\infty} A_{m,k}, & j=K-1 \text{ 일 때,} \\ 0, & \text{그 밖의 경우.} \end{cases} \quad (2.9)$$

여기서 $\hat{0}$ 는 모든 원소가 0인 2차원 정방행렬이다.

정상 상태 (steady state) 확률 벡터 u 는 다음의 선형 연립방정식의 해로 주어진다:

$$\begin{cases} u \cdot P = u, \\ u \cdot e_{2K} = 1. \end{cases} \quad (2.10)$$

여기서 $u = (u_0, u_1, \dots, u_{K-1})$ 이고 e_{2K} 는 모든 원소가 1인 $2K$ 차원 열벡터 (column vector)이다. 또 $u_i = (u_{i,1}, u_{i,2})$ 이며

$$u_{i,j} = \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\{U_n = i, J_n = j\} \quad (2.11)$$

이다.

3. 성능척도

TLTS에서는 버퍼에서의 넘침 (overflow) 이나 고갈 (underflow) 이 가능한 한 적게 발생하는 것이 바람직하다. 버퍼 넘침은 셀 손실과 직결되며, 버퍼 고갈은 최소 셀수에 대한 TLTS의 제어능력을 약화시키고, III절에서 고찰하겠지만, 동기정보의 유실을 초래한다. 또한, 시간관련 서비스를 지원하기 위해서는 TLTS에서 셀이 겪을 수 있는 최대 지연을 제한하는 것이 중요하다. 따라서 셀 손실 확률, 버퍼 고갈 확률 및 최대 지연

을 TLTS의 성능척도로 결정하고 TLTS의 대기행렬 분석 결과를 이용하여 이들 각각을 구하도록 하겠다.

먼저 셀 손실 확률 P_{CL} 은 정상 상태 확률 벡터 u 와 도착 확률 행렬 $A_{i,j}$ 로부터 구할 수 있다. $P_{CL}(i,j)$ 를 $U=i$ 이고 $J=J$ 상태에서의 조건부 셀 손실 확률로 정의하면, 이는 [11]의 결과를 확장하여 다음과 같이 구할 수 있다. $l_{m-1} \leq i < l_m, m = 1, 2, 3, \dots$ 에 대해서

$$P_{CL}(i, j) = \sum_{k=K-i+1}^{\infty} \frac{i+k-K}{k} \frac{k! [A = k | U=i, J=j]}{k! [A | U=i, J=j]} \quad (2.12)$$

여기서 $U=i$ 이고 $J=J$ 조건을 제거하면 셀 손실 확률 P_{CL} 은

$$\begin{aligned} P_{CL} &= \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=1}^2 P_{CL}(i, j) u_{i,j} \\ &= \sum_{m=1}^2 \sum_{i=l_{m-1}}^{l_m-1} \sum_{j=1}^2 \left[\mu(t_m \Delta t) \right]^{(j)} \\ &\quad \sum_{k=K-i+1}^{\infty} (i+k-K) [A_{m,k} \cdot c_j]^{(j)} \end{aligned} \quad (2.13)$$

로 주어진다. 여기서 $(\cdot)^{(j)}$ 는 해당 벡터의 j 번째 원소를 가리키며, $\mu(t)$ 는 j 번째 원소가 $J(0)=J$ 일 때 $(0, t)$ 동안에 도착하는 셀의 개수의 기대값인 2차원 벡터이다¹²⁾.

다음으로 버퍼 고갈 확률 PUF를 구한다. 버퍼 고갈

은 $U=0$ 일 때 일어나므로, $U=0$ 이고 $J=i$ 인 경우의 조건부 버퍼 고갈 확률 $P_{UF}(i)$ 는

$$\begin{aligned} P_{UF}(i) &= \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\{U_{n+1}^- = 0 | U_n = 0, J_n = i\} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\{A_n = 0 | U_n = 0, J_n = i\} \\ &= [A_{1,0} \cdot e_2](i) \end{aligned} \quad (2.14)$$

로 주어진다. 따라서

$$\begin{aligned} P_{UF} &= \sum_{i=1}^2 P_{UF}(i) u_{0,i} \\ &= \sum_{i=1}^2 [A_{1,0} \cdot e_2](i) u_{0,i} \end{aligned} \quad (2.15)$$

이다

끝으로 최대 지연 D_{MAX} 는 다음과 같이 주어진다:

$$D_{MAX} = (l_1 - 1)t_1 + \sum_{j=2}^3 (l_j - l_{j-1})t_j. \quad (2.16)$$

Ⅲ. VBR 서비스를 위한 신호원 클럭 주파수 복원

1. 기본개념

먼저 제한하는 SCFR 방법의 기반이 되는 SRTS를 간략히 살펴보자. SRTS 방법의 기본개념은 서비스 클럭 주파수 f_s 와 망으로부터 얻은 기준 클럭 주파수 f_r 간의 차에 관한 정보 중에서 필요한 부분만 수신측에 보내자는 것이다. 즉, SRTS에서는 고정주기 L 셀 시간 동안의 주파수 차를 수신측이 f_s 와 f_r 의 공칭값 (nominal value) 으로부터 미리 알고 있는 부분을 제외한 나머지 부분을 잔여 시간 스탬프 (RTS: Residual Time Stamp) 의 형태로 전달한다. 따라서 수신측에서는 미리 알고 있는 주파수 차에 관한 정보와 전달받은 RTS를 이용하여 신호원의 클럭 주파수를 복원할 수 있게 된다.

VBR 서비스의 경우, CBR 서비스와는 달리, 일정 기간 내에 발생하는 셀의 개수가 가변적이므로 사용자는 동기정보를 AAL의 상위계층에서 일정 주기마다 생성되는 데이터 단위에 삽입하여 전송하든지, 아니면 주파수 차 정보를 전송하기 위하여 일정 기간 동안에 전송되는 셀의 최소 개수를 제한할 필요가 있다. 우리는 AAL 프로토콜과 관련이 있는 후자의 경우에 대하여, SRTS를

확장, 적용하고자 한다. 이때 최소 셀률을 제한하기 위해서 TLTS를 송신측에서 사용하는 것으로 가정한다. 제안하고자 하는 신호원 클럭 주파수 복원 방식을 그림 3에 보였다.

전송되는 RTS 비트들은 CBR 서비스의 경우 SN (Sequence Number) 에 의하여 구분되지만, VBR의 경우에는 한 RTS 주기 동안에 전송되는 셀들의 개수가 변하고 특정한 프레임 구조가 존재하지 않기 때문에 지시셀들에 의하여 구분하도록 한다. 이 지시셀은 CSI (Convergence Sublayer Indication) 비트를 1로 하여 전송한다. 셀 손실 상황에 대처하기 위해서는 첫 번째 지시셀이 항상 짝수 (또는 홀수로 고정) SN으로 시작되도록 하며 지시셀의 개수는 한 개 이상이 되도록 한다. 그림 3은 지시셀의 개수가 2이며 첫 번째 지시셀은 항상 짝수로 시작되도록 한 경우이다. 여기서는 연속된 두 개의 셀을 잃어버릴 확률이 매우 작다고 가정했다. 이 지시셀들의 뒤를 이어 RTS 비트들을 전달하는 셀들이 전송된다. 그림 3의 경우에는 네 개의 셀이 RTS 비트들을 전달한다. CSI 비트를 1로 하여 지시셀을 구분하도록 했기 때문에 두 개의 인접한 RTS 주기를 분별하기 위하여 지시셀도 RTS를 전달하는 셀도 아닌 적어도 한 개 이상의 셀이 존재해야 한다. 그림 3의 경우 한 RTS 주기 동안에 전송되어야 하는 셀의 최소 개수는 8이다. 따라서 RTS 주기를 충분히 크게 결정하든지 아니면 셀 간격의 최대치를 제한하여 동기신호를 전달하기 위한 최소 셀의 개수를 보장해야 한다.

VBR 서비스를 위하여 RTS 주기를 어떻게 결정할 것인가를 생각해 보자. 정규화된 평균 셀률 (normalized mean cell rate) 이 m 인 CBR 서비스의 경우, 한 RTS 주기 L 동안에 전송되어야 하는 셀의 최소 개수를 n 이라 하면 $mL = n$ 인 관계가 성립한다. 반면, VBR 서비스의 경우, 셀률이 가변적이므로 이 셀률의 변동을 고려하여 같은 평균 셀률을 가지는 CBR 서비스보다 RTS 주기를 크게 잡아야 한다. VBR 서비스의 정규화된 셀률의 분산이 ν 라 할 때, 평균으로부터 $k\sqrt{\nu}$ 만큼의 변동까지 고려한 RTS 주기는

$$(m - k\sqrt{\nu})L > n \quad (3.1)$$

인 관계를 만족해야 한다. 예를 들어, $k=1$ 이고 셀률의 확률 분포가 정규분포를 따르는 입력 트래픽의 경우, (3.1)을 만족하는 RTS 주기 L 은 0.8413 또는 그 이

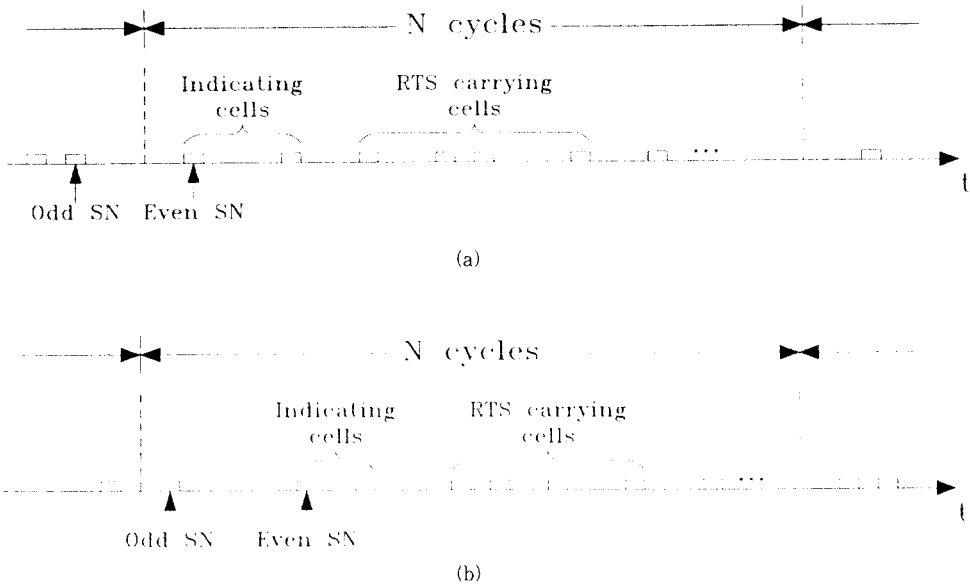


그림 3. VBR 서비스를 위한 SRTS 방법. (a) 첫 번째 셀이 짝수 SN인 경우, (b) 첫 번째 셀이 홀수 SN인 경우.
 Fig. 3. Illustration of the SRTS method for VBR services. (a) First cell with even SN, (b) first cell with odd SN.

상의 확률로 최소 셀의 개수 n 을 보장할 수 있다. 이렇게 결정된 L 은 $k\sqrt{p}$ 까지의 변동은 수용할 수 있지만 그 이상의 변동에 대해서는, 비록 확률적으로 매우 작은 값을 가진다 하더라도, 최소 셀의 개수를 보장하지 못한다. 따라서 이를 위해서 TLTS를 사용하여 신호원의 트래픽 특성을 변형시킬 필요가 있다. P_{UP} 가 충분히 작은 경우, TLTS를 통과한 셀 흐름의 최대 셀 간격은 t_1 으로 볼 수 있다. 이 t_1 은 다음 조건을 만족해야 한다:

$$n \times t_1 \leq L. \tag{3.2}$$

따라서 서비스에 대한 주어진 제한조건들을 만족하면서 t_1 이 식 (3.2)를 만족시키도록 TLTS를 설계하는 것이 관건이 된다.

2. 설계절차

만족되어야 하는 제한조건으로는 지연, 셀 손실 확률 및 버퍼 고갈 확률을 들 수 있다. 영상회의와 같은 서비스들에 대해서는 부호화된 비트들이 최대 4 프레임 넘지 않는 시간 내에 복호화기에 전달되어야 한다^[12]. 그러

나 전파 지연 (propagation delay) 및 대기행렬 지연 (queueing delay) 과 같은 망 내에서 발생하는 지연을 고려하면 TLTS로 인한 추가 지연은 4 프레임보다는 훨씬 작아야 한다. 셀 손실 확률은 호설정 시에 결정된 서비스 품질 (QoS: Quality of Service) 을 보장할 수 있도록 역시 작은 값으로 유지되어야 한다. 버퍼 고갈 확률은 QoS와 직접적인 관련은 없으나 SCFR의 성능에 영향을 미친다. 즉, 버퍼 고갈 확률의 값이 크면 클수록 (3.2)의 조건이 지켜지지 않게 된다. 그러므로 이러한 제한조건들을 만족시킬 수 있도록 SRTS와 TLTS의 변수들을 결정해야 한다.

TLTS에는 $l_1, l_2, l_3(=K), t_1, t_2, t_3$ 의 여섯 개의 변수가 있다. 먼저 셀 서비스 주기들을 결정하도록 한다. t_2 는 정규화된 평균 셀률의 역수로 고정한다. P_{UP} 가 매우 작다는 조건하에서 t_1 은 식 (3.2)를 만족하는 범위 내에서 결정한다. t_3 는 VBR 영상 신호원의 셀률 분포 X 를 이용하여 다음 부등식을 만족시키도록 결정한다:

$$P\{X \leq \frac{1}{t_1}\} \geq P\{X \geq \frac{1}{t_3}\}. \quad (3.3)$$

이때, 셀분포 X 는 정규분포 또는 감마 (gamma) 분포를 가진다는 사실이 잘 알려져 있다^[3].

다음으로 문턱값들을 결정하도록 한다. 셀이 TLTS 내에서 겪을 수 있는 최대 지연은

$$D_{MAX} = (I_1-1)t_1 + (I_2-I_1)t_2 + (I_3-I_2)t_3 \quad (3.4)$$

이다. 여기서 I_1 과 I_2 는 아직 결정되지 않았기 때문에 D_{MAX} 를 다음과 같이 근사한다:

$$D_{MAX} \approx I_3 t_2 = K t_2. \quad (3.5)$$

식 (3.5)와 지연에 대한 제한조건으로부터 $I_3 (=K)$ 를 결정할 수 있다. I_3 가 결정된 상태에서 I_1 과 I_2 를 P_{CL} 과 P_{UF} 가 주어진 제한조건을 만족하도록 결정한다. 그러나 P_{CL} 과 P_{UF} 는 II 절에서 구한 바와 같이 닫힌 형태 (closed form)의 간단한 함수로 주어지지 않으므로 I_1 과 I_2 는 그래프를 통해서 구한다. 이렇게 구한 문턱값들을 식 (3.4)에 대입하여 최대 지연 D_{MAX} 를 계산하고 그 값이 지연 제한조건을 지키는가를 조사한다. 만일 그 값이 제한조건을 벗어나는 경우에는, I_3 의 값을 감소

시킨 후 I_1 과 I_2 를 구하는 과정을 다시 반복한다.

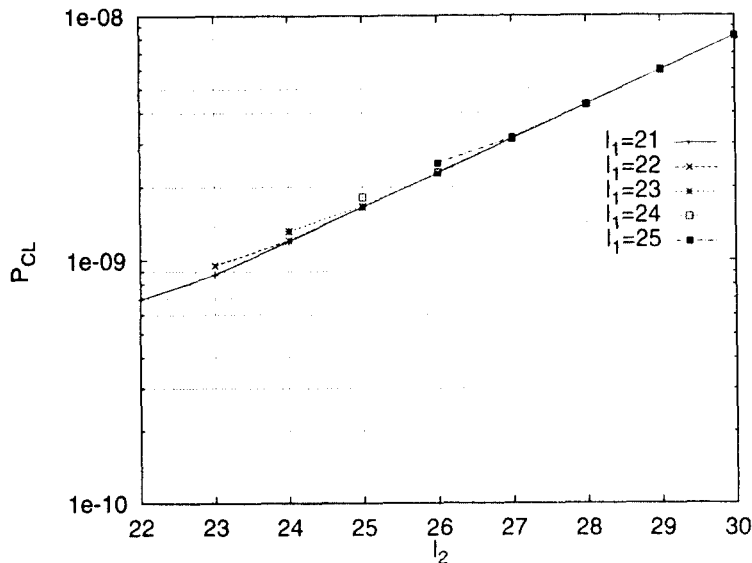
IV. 설계 예

155.520 Mbps B-ISDN 사용자-망 접면 (UNI: User Network Interface)의 유료부하 (payload) 용량은 149.760 Mbps이다. ATM 셀은 5 옥텟의 셀 헤더와 48 옥텟의 정보구간으로 이루어져 있으므로 UNI에서 사용자가 이용할 수 있는 최대 비트율은 135.361 Mbps이다. 또 영상 신호 전송을 위한 AAL 오버헤드로서 1 옥텟이 사용된다고 가정하면 실제 서비스에 이용 가능한 최대 비트율은 132.805 Mbps이다. 이러한 가정하에서 영상회의 트래픽에 관한 데이터^[3]로부터 다음과 같은 트래픽 파라미터들을 얻을 수 있다:

$$m=4.44e+3 \text{ cell/s}, \nu=6.42e+6, \alpha = 4.80, \tau = 2.58 \text{ s}. \quad (4.1)$$

따라서 식 (2.2)를 이용하여 MMPP 파라미터를 구하면 다음과 같다:

$$r_1 = 9.98e+3 \text{ cell/s}, r_2 = 3.28e+3 \text{ cell/s}, \\ q_{1,2} = 3.21e-1, q_{2,1} = 6.70e-2. \quad (4.2)$$



(a)

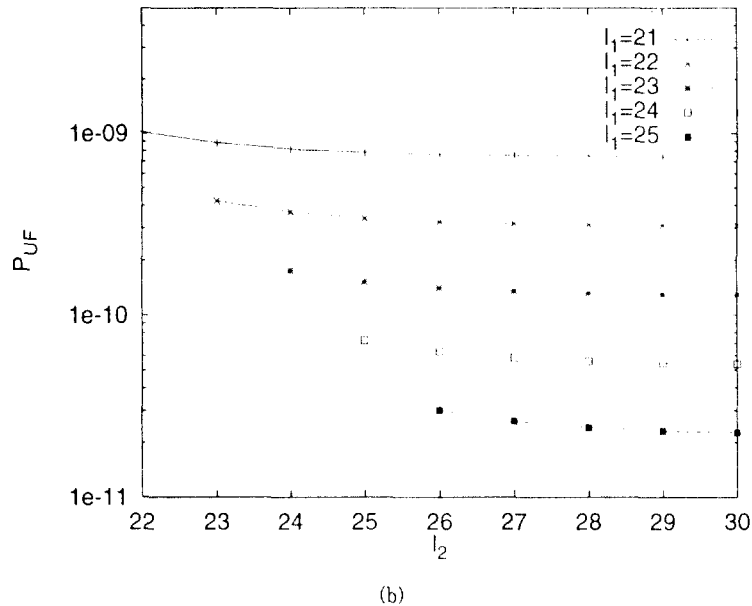


그림 4. l_1 과 l_2 에 따른 TLTS의 성능척도. (a) 셀 손실 확률, (b) 버퍼 고갈 확률.
 Fig. 4. Performance measures of TLTS vs. l_1 and l_2 . (a) Probability of cell loss, (b) probability of underflow.

이 영상 신호는 초당 25 프레임의 비율로 생성되었으며, 프레임 당 비트율의 분포는 감마분포를 따른다. 화면 주파수 (picture frequency) 에 대한 허용오차는 ITU-T 권고안 H.261에 규정된 ± 50 ppm으로 가정한다^[14]. 본 설계 예에서 f_s 는 [3]에서의 영상 부호화기의 최대 전송률인 8.5 MHz로 하고, RTS 비트 수는 CBR의 경우와 같이 4로 둔다. 또한 지시셀은 2개를 사용한다. 따라서 한 RTS 주기 동안 전송되어야 할 최소 셀의 개수 n 은 8이다. RTS 주기 L 은 식 (3.1)을 고려하여 1490 셀 시간으로 결정한다.

다음으로 제한조건을 고려하자. TLTS에서 추가되는 지연은 0.5 프레임, 즉 20 ms를 넘지 않도록 하고, 셀 손실 및 버퍼 고갈 확률은 각각 10^{-9} 보다 작도록 한다. 이는 대부분의 영상 서비스의 QOS를 만족시킬 수 있는 엄격한 수준이다^[15].

이러한 가정과 제한조건하에서 III절에서 기술한 설계 절차를 적용한다. 먼저 정규화된 평균 셀들의 역수 및 식 (3.2)에서 (3.5)로부터 셀 서비스 주기 및 l_3 를 다음과 같이 구할 수 있다:

$$l_3 (= K) = 80, t_1 = 162, t_2 = 79, t_3 = 30. \quad (4.3)$$

한편, l_1 과 l_2 를 결정하기 위해서 수행한 분석결과를 그림 4에 보였다.

주어진 제한조건들을 만족하는 범위 내에서 (3.4)의 D_{MAX} 가 최소가 되도록 l_1 과 l_2 를 결정하면 다음과 같다:

$$l_1 = 21, l_2 = 23, D_{MAX} = 14.56 \text{ ms}. \quad (4.4)$$

V. 결 론

본 논문에서는 트래픽 성형 기능을 이용한 VBR 영상 서비스에서의 SCFR 방법을 연구하였다. VBR 환경에서 신호원의 클럭 정보를 수신측에 전달하기 위해서는 전송되는 셀들의 최소치를 제한할 필요성이 있음을 감안하여 입력 트래픽의 최소 및 최대 셀수를 제어할 수 있는 TLTS를 제안하고 대기행렬 분석 결과를 이용하여 그 성능척도를 구하였다. 이 TLTS를 바탕으로 AAL 1

과 AAL 2의 공통성을 추구하는 방향에서 AAL 1의 표준으로 권고된 SRTS를 VBR 환경에 확장, 적용하는 방법을 제안하고, 이를 위한 TLTS의 설계절차 및 설계예를 제시하였다.

SRTS를 확장, 적용하는 데에 있어 RTS 주기의 결정은 매우 중요하다. RTS 주기는 RTS 바트들을 전달하는 데에 필요한 최소 셀을 포함할 수 있도록 충분히 길어야 한다. 반면, 복원된 신호원 클럭 주파수의 품질을 향상시키기 위해서는 RTS 주기가 짧은 것이 바람직하다. 이러한 상반된 요구조건을 만족시키는 것은 결국 최적화 문제로 귀결된다. 본 논문에서는, 비록 최적값은 아니지만, VBR 영상 신호의 특성을 고려하여 RTS 주기를 결정하기 위한 관계식 (3.1)을 제시하였다. TLTS의 설계과정 또한 복잡한 비선형 최적화 문제로 볼 수 있다. 즉, 제한조건을 만족시키면서 원하는 최대의 성능을 얻도록 각 변수를 결정해야 하는 것이다. 그러나, 관련된 P_{CL} , P_{UF} 및 D_{MAX} 의 계산과정이 매우 복잡함을 고려하여 본 논문에서는, RTS 주기의 결정에서와 같이, VBR 영상 신호의 셀분포를 이용한, 단순하면서도 실용적인 설계절차를 제시하였다. 이러한 설계절차의 실제적인 예를 IV절에 보였고, 그 결과를 통해 제시된 설계절차가 만족할만한 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

제안된 TLTS의 성능을 더욱 향상시키기 위해서는, 설계절차에 있어서의 비선형 최적화 문제에 대한 새로운 접근과 영상 신호의 VBR 부호화 및 전송방식에 있어서 또다른 중요한 문제인 통계적 다중화 이득을 함께 고려한 TLTS의 통합적인 설계절차 등에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. H. Heeke, "Realtime measurements on output signals of VBR video codecs," *Proceedings of VISICOM '91*, 1991.
2. J. W. Roberts, J. Guibert, and A. Simonian, "Network performance considerations in the design of a VBR codec," *Queueing, Performance and Control (ITC-13)*, 1991.
3. D. P. Heyman, A. Tabatabai, and T. V. Lakshman, "Statistical analysis and simulation study of video teleconference traffic in ATM networks," *IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol.*, vol. 2, no. 1, pp.49-59, Mar. 1992.
4. D. M. Cohen and D. P. Heyman, "Performance modeling of video teleconferencing in ATM networks," *IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol.*, vol. 3, no. 6, pp.408-420, Dec. 1993.
5. ITU-T Recommendation I.363 "B-ISDN ATM adaptation layer (AAL) specification," Mar. 1993.
6. B. G. Lee, M. Kang, and J. Lee, *Broadband telecommunications technology*, Artech House, 1993.
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. J. W. Lee and B. G. Lee, "Performance analysis of ATM cell multiplex with MMPP input," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E75-B, pp.709-714, Aug. 1992.
9. H. Heffes, "A class of data traffic processes - Covariance function characterization and related queueing results," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 59, pp.897-929, July/Aug. 1980.
10. D. M. Lucantoni and V. Ramaswami, "Efficient algorithm for solving the non-linear matrix equations arising in phase type queues," *Commun. Statist.-Stochastic Models*, vol. 1(1), pp.29-51, 1985.
11. P. Tran-Gia and H. Ahmadi, "Analysis of a discrete-time $G^M/D/1-S$ queueing system with application in packet-switching systems," *Proceedings of INFOCOM '88*, pp.861-870, 1988.
12. V. Ramaswami, "The N/G/1 queue and its detailed analysis," *Adv. Appl. Prob.*, vol. 12, pp.222-261, 1980.
13. T. Ott, T. V. Lakshman and A. Tabatabai, "A scheme for smoothing delay-sensitive traffic

offered to ATM networks." *Proceedings of INFOCOM'92*, pp.776-785, 1992.

14. ITU-T Recommendation H.261, "Video codec for audiovisual services at $p \times 64$ kbit/s." Mar. 1993.

15. ITU-TS Study Group 13, "Report of working party 4/13 (performance)-Part I-Meeting summary." COM13-R 21-E, Geneva, Mar. 1994.



金敬洙(Kyeong Soo Kim) 정회원

1966년생

1989년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업

1991년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1995년 8월 : 서울대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

현재 : 서울대학교 뉴미디어 통신 공동연구소 특별연구원

※주관심 분야 : 디지털 전송, 데이터 통신, 디지털 신호처리 및 유전자 이론 등



李秉基(Byeong Gi Lee) 정회원

1951년생

1974년 : 서울대학교 전자공학과 졸업

1978년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업

1982년 : University of California, Los Angeles(공학박사)

1974년~1979년 : 해군사관학교 교관

1982년~1984년 : Granger Associates, Santa Clara, CA, 연구원

1984년~1986년 : AT&T Bell Laboratories, North Andover, MA, 연구원

1986년 9월~현재 : 서울대학교 전자공학과 교수

※주관심 분야 : 디지털 신호처리, 디지털 전송, 광대역 통신망 및 회로이론 등