

가변비트율 MPEG-2 비트열의 합성과 QoS를 고려한 다중화 이득에 관한 연구

正會員 張 升 起*, 徐 德 榮*, 慶 文 顯*, 朴 涉 亨**, 鄭 在 一**

A Study on Strategic Statistical Multiplexing of VBR MPEG Bit Streams and QoS Based Multiplexing Gains

Seung Gi Chang*, Doug Young Suh*, Moon Hyun Kyung*,
Seop Hyeong Park**, Jae Il Jung** *Regular Members*

※본 연구는 정보통신연구관리단의 '96 대학기초연구지원사업과 한국통신의 '96 정보통신기초연구과제의 결과의 일부임.

요 약

ATM망에서는 VBR(variable bit rate, 가변비트율) 트래픽 전송이 가능하다. 그런데, VBR 트래픽의 버스트니스(burstness)가 크면 QoS 보장을 위한 제어가 어려워진다. 특히 VBR 비디오 데이터의 경우 버스트니스는 주로 인트라 프레임 기간에 발생하며, 이 기간중 통계적 다중화시 셀이 손실될 가능성이 높아진다. 본 논문에서는 제한된 통신 자원하에서 좀 더 많은 수의 VBR MPEG 비디오 스트림을 전송하는 방법을 두 가지 제안한다. 첫 번째로 교환기에서 각 소스의 Intra 프레임을 겹치지 않도록 조절하여 다중화의 효과를 높이는 방법을 제안한다. 두 번째로는 계층 부호화 할 때 각 소스에서 트래픽을 제어하여 전송하는 평활화(smoothing) 방법을 제안한다. 계층간의 피크를 서로 겹치지 않게 코딩하여 합친 트래픽을 평활화한다. 제안한 두 방법은 새로이 제안하는 통계적 다중화 이득을 계산하는 방법에 따라 그 성능을 평가한다. 제안하는 통계적 다중화 이득 계산 방법에서는 셀 손실과 지연 및 지터 QoS 인자를 동시에 고려한다. 손실 인자와 시간 인자는 상관 관계를 가지며 서비스에 따라 다르게 인자가 설정된다.

*경희대학교 전자공학과 뉴미디어 통신 연구실
Dept. of Electronics, New Media Telecommunication Lab.,
Kyunghee University

**한국통신 통신망연구소
Korea Telecom Telecommunications Network Research Lab.
論文番號:96193-0629
接受日字:1996년 6월 29일

ABSTRACT

Over ATM network, variable bit rate(or VBR) traffic is allowed. Control of VBR traffic becomes difficult if it is bursty. VBR video traffic becomes so much bursty during intra frame period that much cell loss would occur when statistical multiplexed in ATM switch. To avoid cell loss, extra communication resources should be allocated, which reduces the capability of an ATM channel. In this paper, we propose two methods which enable a channel limited in resources to serve more VBR MPEG video bit streams. Firstly, we could reduce the bitrate fluctuation of a stastically multiplexed bundle of VBR video bit streams by reducing the number of intra frames overlapped at the same frame period. This method can be used in ATM switch which controls multiple video sources. Secondary, in two layer encoding, statistical multiplexing gains can be increased by letting peak bit rate durations of both layers not be overlapped. This results in more smooth traffic. The performance of proposed methods are demonstrated by a proposed calculation method of statistical multiplexing gains(or SMGs). The proposed SMG is based on both delay and cell loss QoS requirements at the same time.

I. 서 론

B-ISDN을 통하여 데이터, 오디오, 비디오, 그래픽과 같은 다양한 종류의 디지털 정보가 빠르게 제공될 것이다. 이러한 다양한 정보는 통계적인 특성에 있어서 각각 다르며, 같은 종류라 할지라도 서비스의 QoS 인자는 서비스에 따라 달라질 수 있다. 앞으로 사람들이 비디오에 더욱 더 관심을 갖게 되고 친숙하게 되어감에 따라 B-ISDN의 성공은 다양한 비디오 서비스를 얼마나 잘 제공할 수 있는가에 달려있다고 해도 과언이 아닐 것이다. 하지만 비디오의 정적, 동적 특성은 음성, 데이터와는 크게 다르다. 즉, 데이터량이 많고 지연에 상당히 민감하다. 게다가, 정보의 손실은 압축된 비디오 데이터에 심한 손상을 가져온다.

본 논문은 지연이 적고 셀 손실이 적으면서도 보다는 많은 MPEG-2 비디오 비트 스트림을 합성하는 방법을 제안한다. 그리고 나서 제안된 방법의 성능을 몇 가지 장점을 들어 입증한다. ATM은 매우 유연한 표준이며 MPEG-2 역시 이미지 포맷, 시간당 프레임, 화질 등 부호화 선택에 있어서 유연하다⁽¹⁾. 따라서, ATM과 MPEG-2가 제공할 수 있는 서비스 종류는 매우 다양하다. ATM의 중요한 장점은 가변 비트율 트래픽의 통계적 다중화에 있다. AAL 1을 제외한 모든 AAL 타입은 가변 비트율 트래픽을 지원한다. 가변 비트율로 부호화된 비디오 이미지의 경우 복잡성에 상관없이 화질이 일정하고, 부호화된 데이터는 부호화 되는

대로 전송될 수 있다. 다른 한편으로 고정 비트율로 부호화 할 때 단순한 이미지는 필요 이상 화질이 좋게 되며 복잡한 이미지는 화질이 나쁘게 된다. 고정 비트율을 위한 버퍼링은 지터를 발생시킨다.

가변 비트율 트래픽을 전송하는데 있어서 ATM의 중요한 장점은 통계적 다중화 이득을 사용함으로써 입증된다. 다중화 이득은 어떤 대역폭을 갖는 채널에 같은 셀 손실율을 갖는 다중화되는 고정 비트율 소스의 수에 대한 가변 비트율 소스의 비로 정의된다. 통계적 다중화 이득은 많은 연구 논문에서 제안되고 있지만 의미면에서 약간씩 다르다. 통계적 다중화 이득은 다양한 통계적인 방법을 이용하여 정의되었다. 초기의 연구에서는 셀 도착률에 대한 확률 밀도 함수를 사용했다. 이러한 방법은 시간적 상관성과 주기와 같은 시간적 특성을 고려하지 않은 방법이었다. 몇몇 연구자들은 확률 밀도 함수 뿐만 아니라 전력 스펙트럼 특성을 사용하기도 했다. 따라서 그들은 통계적 다중화의 동적 움직임을 볼 수 있었다.

한편 ATM망에서의 서비스는 가상 경로(virtual path)는 같고 가상 채널(virtual channel)은 다른 다중 비트 스트림으로 분해될 수 있다. 각각의 가상 채널은 각각의 통계적 특성에 맞는 방법으로 제어될 수 있다. 이러한 개념은 두 개 혹은 세 개의 비트 스트림으로 비디오 데이터 스트림을 부호화할 때 유용하다. 이러한 계층적 부호화는 MPEG-2 표준에서 사용할 수 있으며 주요 비트 스트림인 기본 계층은 최소한의

화질로 복호화 하는데 필요 불가결한 정보를 포함해야 한다. 이 계층에서 정보의 손실은 큰 문제가 되므로 기본 계층의 비트율을 일정하게 유지시키는 게 바람직하다.

압축된 이미지 프레임의 데이터 양은 부호화 방식, 즉 Intra, Predictive, Bidirectional에 따라 많은 차이를 갖는다. MPEG-2 비디오 비트 스트림에서 Intra 프레임은 주기적으로 발생한다. 우리는 다중화된 비디오 스트림에서 겹쳐진 Intra 프레임의 수를 최소화하는 것이 통계적인 특성을 안정하게 한다는 것을 알았다. 게다가, 우리는 한 계층의 Intra 프레임의 위치와 다른 계층의 Intra 프레임의 위치가 어긋나는 계층적 부호화 방식을 제안했으며 정적 및 동적 분석을 통하여 우리가 제안한 방식의 성능을 평가하였다. 이러한 방식은 다중 비트 스트림을 전송하는데 유용하리라 기대된다. 이 방법은 약 40 Mbps 안팎의 다중 비디오 스트림, CATV, HDTV, 다중 화상회의와 같은 응용 분야에서 유용하게 이용될 수 있다.

본 연구의 실질적인 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 다중화 이후 비트율의 변동을 줄이기 위해서 MPEG 가변 비트율 비디오의 특성을 사용했다. 비트 스트림은 0.5초 간격으로 거의 주기적이다. Intra 프레임 코딩의 비트율은 Inter 프레임 코딩의 비트율보다 훨씬 더 크다. 이전의 다중화 연구에서는 그 차이가 무시되어 왔다.

둘째, 다중화의 성능을 평가하기 위해서 QoS를 고려한 방법을 개발했다. 두 개의 다른 다중화 기법을 비교하기 위해서 같은 QoS 한계가 설정되어야 한다. 고려된 QoS 인자는 정보적 투명성(semantic transparency)에 대한 인자인 CLR(cell loss rate)와 시간적 투명성(temporal transparency)에 대한 인자인 지연을 포함한다.

셋째, 통계적 다중화의 "포화 효과"를 발견했다. 즉, 본 논문에서 제안한 방법으로 다중화를 한다면 아주 빠르게 가장 높은 통계적 다중화 이득까지 이를 수 있다는 것이다. 이 한계는 우리의 다중화 기법을 사용하지 않을 경우 무한한 개수의 비트 스트림을 통계적으로 다중화함으로써 얻어질 수 있다.

넷째, 우리는 기본 계층과 고급 계층의 높은 비트율 프레임이 다른 시간적 위치에 놓여 있는 계층적

부호화를 제안한다.

2장에서는 다중화 이득의 정의, 비디오 트래픽의 시간적 및 스펙트럼 특성, 다중화 효과의 계산을 다룬다. 3장에서는 2장에서 계산 방법들을 QoS 인자들을 고려하기 위해 수정한다. 4장에서는 가변 비트율 MPEG 비트율의 다중화 방법을 제안하고 그 성능을 평가하기 위한 방법을 제시한다. 2장, 3장에서 기술된 방법들을 사용하여 제안된 방법들의 성능 분석 결과가 5장에 있다. 이 장에는 비트율의 변화가 적은 계층 부호화 방법도 제안된다. 마지막으로 6장에서는 결론과 앞으로의 연구에 대하여 기술한다.

II. 통계적 다중화 이득(SMG: statistical multiplexing gain)

일반적으로 대부분의 데이터 형태는 비트율에 있어서 가변적인 반면 대부분의 통신 매체는 가변적인 대역폭을 허용하지 않았다. MPEG으로 부호화한 비디오를 고정 대역폭 채널로 전송하기 위해서는 지터와 복잡성 그리고 원하지 않는 화질 변동을 감수하여야 한다. 하지만, 허용된다면 가변 비트율로 비디오를 부호화 하는 것이 더 바람직하다. ATM 교환기는 동적인 대역폭을 허용하는 통계적 다중화 방식을 취한다. 통계적으로 가변 비트율 비트 스트림을 다중화함으로써 대역폭, 버퍼와 같은 한정된 통신 자원을 더욱 효과적으로 이용할 수 있다. 통계적 다중화 이득은 고정된 물리적인 채널을 통하여 전송될 수 있는 같은 질의 고정 비트율 비트 스트림에 대한 가변 비트율 비트 스트림의 수의 비율로 정의된다. 이러한 이득은 여러 가지 방법으로 계산되는데 크게는 정적 방법과 동적 방법으로 나눌 수 있다.

1. 정적 통계적 다중화 이득

이전의 논문들[2][3][4]에서 통계적 다중화 이득은 $G_s = \frac{M \cdot B_{\max}}{B_{\Sigma \max}}$ 로 정의되는데, 여기서 B_{\max} 는 각 비트 스트림의 최대 비트율을 나타낸다. 그리고 $B_{\Sigma \max}$ 는 통계적으로 M 개의 비트 스트림을 다중화 할 경우 전체 비트 스트림의 최대 비트율을 나타낸다. 하지만, 최대 비트율이라는 인자는 안정적이지 못하므로 통계적 다중화 이득을 계산하는데 있어서 확률 밀도 함수를

사용하는 것이 일반적이다[4]. 다른 소스로부터의 비트스트림이 통계적으로 다중화될 때 합쳐진 비트 스트림의 확률 밀도 함수는 소스가 개별적이라면 각 소스의 비트 스트림 확률 밀도 함수의 컨볼루션이 된다. 정규분포 $N(m, \sigma)$ 를 갖는 M 개의 소스가 다중화 되면 다중화된 전체 비트 스트림의 정규분포는 $N(Mm, \sqrt{M}\sigma)$ 가 되며 평균에 대한 표준 편차의 비는 $1/\sqrt{M}$ 로 줄어든다. 임의의 값 b 에 대하여 개별적인 확률 밀도 함수에서 $(m+b)$ 를 초과할 확률은 다중화된 확률 밀도 함수에서 $(Mm + \sqrt{M}b)$ 를 초과할 확률과 같다.

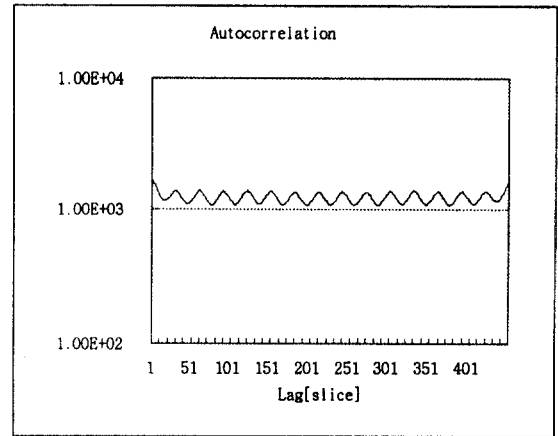
그 때의 통계적 다중화 이득은 $G_s = \frac{M(m+b)}{Mm + \sqrt{M}b}$ 이

된다. 만약 $m \approx b$ 이고 M 이 무한대가 될 때 이득은 2가 된다. 여기서 Gaussian 분포가 이용되지만 대부분의 압축된 비디오 데이터의 비트율의 확률 밀도 함수는 그림 2에서와 같이 Beta, Poisson 분포에 잘 근사화 될 수 있다. 그러나 위에서 논의된 통계적 다중화의 특성은 다음의 두 가지 이유 때문에 현실성이 부족하다. 첫째로 비트율의 시간적 변화를 white process라고 가정했지만 실제로는 그렇지 않다. 높은 비트율의 상태가 지속되면 될수록 더 많은 정보가 손실되는 반면 short spike(단발적인 피크현상)의 영향은 버퍼를 사용함으로써 완화시킬 수 있다. 둘째, 확률 밀도 함수는 샘플링 주기와 관계가 있다. 480 라인의 영상에 있어서 프레임 단위 비트율의 확률 밀도 함수는 슬라이스 단위의 30개의 확률 밀도 함수의 컨볼루션과 같다. 그러므로 프레임 단위의 비트율 분석은 슬라이스 단위의 분석에 비해 실제 상황에 대한 고려가 충분치 못하다.

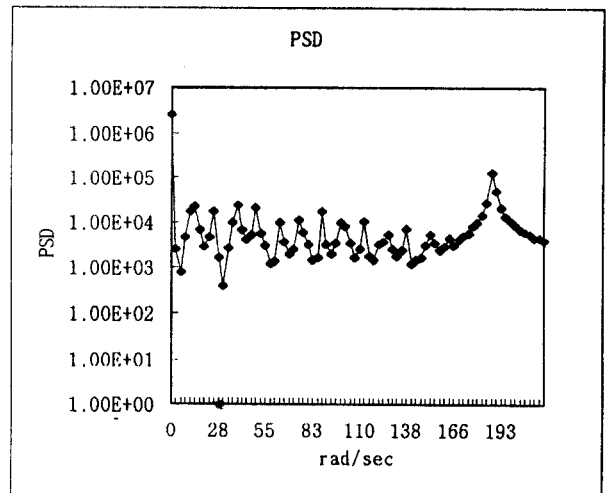
2. 동적 통계적 다중화 이득

자기 상관 함수와 그림 1에서 보여주는 전력 스펙트럼 밀도를 보면 MPEG-2 비트 스트림에 시간적 상관성이 있음을 알 수 있다.

188.5 rad/sec에서의 피크가 프레임 단위의 주기를 나타내고 12.56 rad/sec의 피크는 GOP 단위의 주기성을 나타낸다. 통계적 다중화 이득을 계산하는데 있어서 시간적 상관성의 효과는 큐잉 분석을 통하여 잘 평가될 수 있다[2][3]. 큐잉 분석은 비디오 서비스에 있어 QoS의 두 가지 측면 즉 화질과 지연을 다룬다. 화질은 평균 비트율과 셀 손실율과 관계 있다. 지연,



(a)



(b)

그림 1. (a) 자기상관 함수

Fig. 1 (a) Autocorrelation function

그림 1. (b) 셀 도착률의 전력 밀도

Fig. 1 (b) Power density of cell arrival rate

손실율, 버퍼 크기 등이 큐잉 분석으로 결정된다. [2]에서 통계적 다중화 이득은 주어진 CLR에서 비트율의 주기성과 버퍼 크기의 함수인 출력의 크기에 비교하여 계산된다. 그러나 이 방법에서의 통계적 다중화 이득은 동일한 손실 한계치는 고려하나 지연 한계는 고려하지 않는다. 여기서 지연은 큐에서 가능한 최대 지연이다.

$$(최대 지연) = (버퍼의 크기) / (출력 대역폭) \quad (1)$$

몇몇 실시간 응용에서는 일정한 시간(deadline)이 지난 후에 도착한 셀들은 손실된다. 이러한 제한은 최대 지연을 제한시간으로 설정하여 버퍼 크기를 정함으로써 구현할 수 있다. 통계적 다중화 이득은 다음과 같이 정의된다.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^M C_i}{C_E} \quad (2)$$

여기서 C_i 는 주어진 손실율에 대해 i 번째 소스에 요구되는 대역폭이고 C_E 는 다중화된 비트 스트림에 요구되는 대역폭이다. 따라서 G_d 는 대역폭 분배에 있어서 통계적 다중화의 효과를 나타낸다. 참고문헌 [2]에서는 단일 비트 스트림과 다중화된 비트 스트림의 대역폭이 같은 버퍼 크기의 조건에서 비교되기 때문에 각각의 대역폭은 최대 지연에서 서로 다르게 된다. 즉, 지연 QoS가 달라진다. 하지만, C 를 계산하는 방법을 수정함으로써 우리는 둘 모두에게 같은 QoS 인자를 보장할 수 있었다.

III. QoS를 고려한 통계적 다중화 이득

통계적 다중화 이득(SMG)은 통계적으로 다중화 되지 않은 비트 스트림에 요구되는 통신 자원의 양과 통계적으로 다중화 된 가변 비트율 비트 스트림에 요구되는 통신 자원의 양을 비교한다. 비교하기 전에 둘 모두 같은 화질의 비디오 서비스를 제공한다고 보장되어야 한다. 여기서, 화질은 정보적 투명성과 시간적 투명성 양면을 고려한다. 정보의 투명성은 셀 손실이나 셀 손실을 없는 화질로 표현되는 양이다. 그리고 시간적 투명성은 지터나 지연을 포함한다. 두 경우에 있어서 같은 비트 스트림을 사용하기 때문에 화질은 똑같이 유지된다. 지터는 디코더측에 지터 제거 과정을 두어 지연으로 바꿀 수 있다. 그러므로 다중화기의 성능은 셀손실율과 최대 허용 지연으로 분석된다. 최대 허용 지연은 버퍼의 크기에 비례한다. 우리는 셀 손실율과 최대 허용지연의 QoS 방법을 사용하는 통계적 다중화의 정의를 제안한다.

1. 정적 통계적 다중화 이득

2.1절에서 논의된 확률은 정보 손실이 일어나는 타임 슬롯의 개수와 관계 있다. 초기 연구에서는 음의 누적 밀도 함수가 통계적 다중화 효과를 증명하는데 사용되었다. x 가 슬라이스 단위의 셀 도착률이라면 $f(x)$ 는 그의 확률 밀도 함수이다. 이때 음의 누적 밀도 함수는

$$F(x) = \int_x^{\infty} f(t) dt \quad (3)$$

가 된다.

$F(x)$ 는 대역폭이 x 로 고정되어 있을 때, 전체 슬라이스의 수에 대한 셀손실이 일어나는 슬라이스의 비이다. 하지만, QoS를 고려한다면 출력에 대한 셀 손실율에 관심이 있게 된다. 여기서의 셀 손실율은 CLR 로 정의된다. x 가 최대 허용 대역폭이라면 $CLR(x)$ 는 다음과 같이 된다.

$$CLR(x) = \frac{\int_x^{\infty} (t-x)f(t) dt}{\int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt} \quad (4)$$

그림 5에서 $F(x)$ 와 $CLR(x)$ 를 비교하였다. $F(x)$ 는 항상 $CLR(x)$ 보다 크다.

2. 동적 통계적 다중화 이득

같은 QoS에서 통계적 다중화 이득의 계산:

본 논문에서는 버퍼의 크기가 출력 대역폭에 비해 하는 (식1)을 이용하는 방법을 제안한다.

즉 (최대 지연) = (버퍼의 크기) / (출력 대역폭)을 이용한다. 일반적인 다중화의 경우 각각의 비트 스트림에 할당된 버퍼의 크기는 고정되어 있고 대역폭은 개별적으로 할당되는 반면, 통계적 다중화에서는 대역폭과 버퍼는 통계적으로 다중화되는 비트 스트림에 의해 공유된다. 대역폭 C 는 다음과 같이 계산된다.

1. QoS 인자값, 즉, 최대 허용 지연 D 와 그리고 허용 손실율 L 을 결정한다.
2. 대역폭 C 를 선택하고 식 (1) 또는 $B = C \cdot D$ 를 사용하여 버퍼의 크기를 계산한다.
3. 하나의 비트 스트림에 대해 큐를 시뮬레이션하

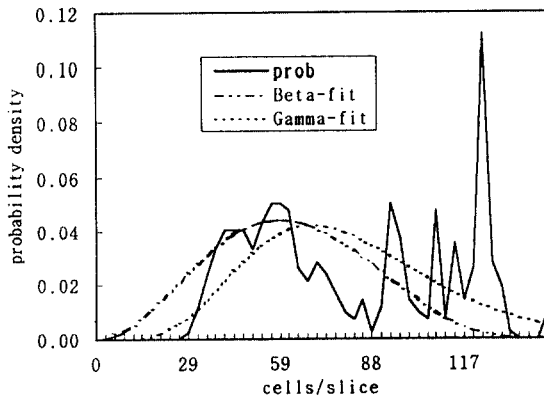
고 손실율을 계산한다.

4. 1번과 3번의 손실율 L 을 보간 하여 구할 수 있을 때까지 2와 3을 반복한다.

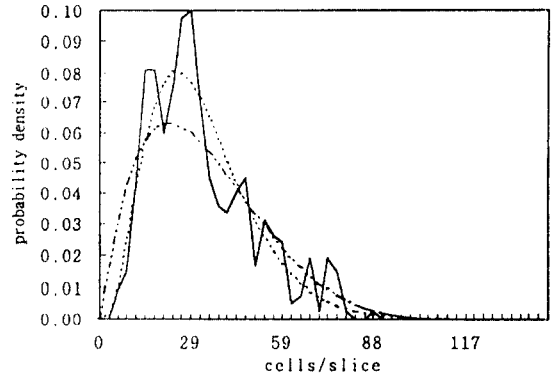
C_x 는 다중화 된 비트 스트림이 사용된다면 알 수 있다. 이러한 접근 방법은 대역폭 절약과 버퍼 공유가 분리되어 평가될 수 없다는 것을 보여준다. 게다가, 다중화 이득은 같은 손실(정보적 투명성)과 지연(시간적 투명성)의 QoS 조건에서 평가된다. 그 때 통계적 다중화 이득은 기존의 통계적 다중화 이득보다는 더 커지게 된다.

IV. 방법론적 통계적 다중화

Intra 프레임은 GOP(group of pictures, 일반적으로 15나 16프레임이다. 즉, 약 0.5초)의 주기를 갖고 주기적으로 발생되기 때문에 MPEG-2 비트 스트림은 대부분이 주기적이다. 그림 1에서 전력 스펙트럼 밀도는 $\omega_p = \frac{2\pi \times 30}{15}$ 에서 최고 값을 갖는다. 이것은 초당 30프레임, GOP당 15프레임, 그리고 프레임들 전부 Predictive로 구성한 경우(IPPPPPPPPPPPPP)에 대한 주기를 나타낸다. 이 주기성은 초기 연구에서는 무시되어 왔다. 그 주파수에서 에너지의 양은 Intra 프레임의 비트율과 Predictive의 비트율의 차이의 크기를



(a)



(b)

그림 2. (a) Intra와 (b) Predictive 프레임에 대한 셀도착률의 확률 밀도 함수

Fig. 2 Pdf of cell arrival rate for (a) Intra and (b) Predictive frames

반영한다. 일반적으로 Intra, Predictive, Bidirectional 방식의 비트율은 MPEG-2 Test Model 4에서 제시한 것처럼 160:60:42이다. 그림 2에서는 Intra와 Predictive 프레임 비트율의 확률 밀도 함수를 비교하였는데 Intra의 확률 밀도 함수(그림 2(a))는 Predictive의 확률 밀도 함수(그림 2(b))에 비해 더욱 넓게 퍼진다.

Intra 프레임 데이터는 다른 방식보다 셀 손실에 대한 영향을 받기가 쉽다. 다른 프레임에 비하여 Intra 프레임의 겹침은 비트 스트림이 다중화 될 때 바람직하지 않다. 만약에 다중화된 비디오 비트 스트림의 Intra 프레임의 시간적인 위치가 제어될 수 있다면 Intra 프레임이 겹치는 것을 피하려고 할 것이다.

단일계층 MPEG 비트스트림의 방법론적 다중화 :

만약에 N 개의 GOP를 갖는 M 개의 비디오 비트 스트림을 지능적으로 다중화 한다면 Intra 프레임이 시간적으로 겹치지 않게 노력할 것이다. 지능적으로 다중화하는 경우 같은 프레임 주기에 겹치는 Intra 프레임의 수는 $MinI$ 나 $MinI + 1$ 일 것이다. 여기서 $MinI$ 는 M/N 보다 크지 않은 가장 작은 정수이다.

N 프레임 주기 동안에 $(M - MinI \times N)$ 의 프레임 주기 동안은 $(MinI + 1)$ 개의 Intra 프레임이 겹치고 나머지 시간 동안에는 $MinI$ 개의 Intra 프레임이 겹치게

된다. 우리는 이러한 지능적인 다중화를 “controlled slotted”, 즉 CS라고 하고 다른 비제어 다중화를 “random slotted” 즉, RS라고 한다. CS 다중화는 표 2(b)에서 보여주고 있다. RS에서도 비트 스트림의 프레임 주기는 분석의 간편성을 위해서 동기화 된다고 가정한다. CS와 RS의 성능은 통계적 다중화 이득을 사용하여 비교된다. 앞으로 전개될 절에서는 RS와 CS의 통계적 다중화 이득을 계산하기 위해 방법들이 제안된다.

1. 통계적 다중화 이득(SMG)의 계산

먼저 몇 가지 함수를 정의하자.

$f_i(x)$: Intra 프레임의 셀 도착률의 확률 밀도 함수

$f_p(x)$: Predictive 프레임의 셀 도착률의 확률 밀도 함수

$f_i^{(n)}(x) = f_i(x) * f_i(x) * \dots * f_i(x)$: $f_i(x)$ 의 n번 컨볼루션

$f_n(x) = f_i^{(n)}(x) * f_p^{(M-n)}(x)$: M개의 다중화 된 비트 스트림 중에 n개가 Intra 프레임인 프레임 주기에서의 확률 밀도 함수

$F_n(x)$: $f_n(x)$ 의 음의 누적 밀도 함수

$$CLR_n(x) = \frac{\int_x^\infty (t-x)f_n(t) dt}{\int_0^\infty t \cdot f_n(t) dt} : \text{최대 허용 대역폭을 } x$$

로 할 때 셀 손실율

이때 CS의 음의 누적 밀도 함수 $F_{cs}(x)$ 는 다음과 같이 된다.

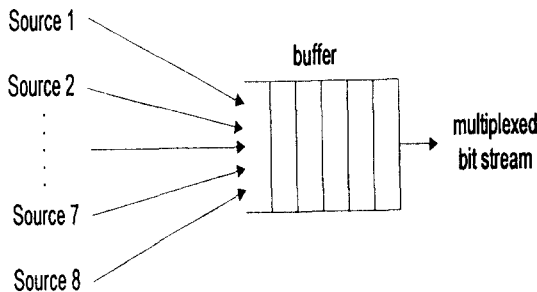


그림 3. Queueing 시뮬레이션 모델
Fig. 3 Queueing simulation model

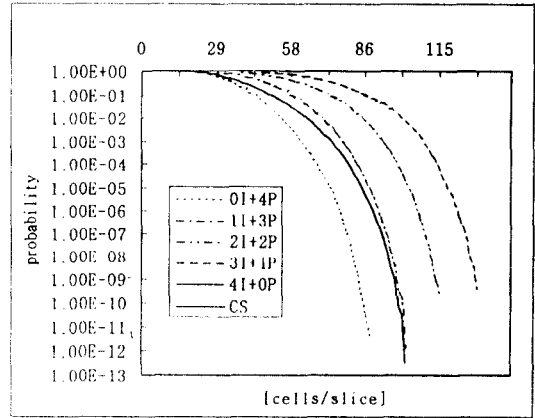


그림 4. 셀 도착률의 음의 확률 밀도 함수(GOP = 15, M = 4, 즉, 다중화된 4bit streams)

Fig. 4 Ncdf of cell arrival rate (GOP = 15 and M = 4, i.e. 4bit streams multiplexed)

$$F_{cs}(x) = \frac{1}{N} [(M - MinI \times N) F_{Mint+1}(x) + (N - M + MinI \times N) F_{MinI}(x)] \quad (5)$$

$F_{cs}(x)$ 는 그림 4에서 왼쪽에서 두 번째 있다. 예상하다시피 $F_{cs}(x)$ 는 항상 $F_{MinI}(x)$ 와 $F_{Mint+1}(x)$ 사이에 위치한다.

$F_{cs}(x)$ 는 대역폭이 x 로 제한되어 있을 때 CS의 음의 누적 밀도 함수이다. 마찬가지로 CS의 CLR 즉, $CLR_{cs}(x)$ 는 다음과 같이 된다.

$$CLR_{cs}(x) = \frac{1}{N} [(M - MinI \times N) CLR_{Mint+1}(x) + (N - M + MinI \times N) CLR_{MinI}(x)] \quad (6)$$

아무런 제어 없이 N개의 GOP를 갖는 M개의 비디오 스트림이 다중화되었을 때 Intra 프레임의 가능한 수는 $0 \leq n_t \leq M$ 사이에 있다. 하지만 하나의 비디오 스트림에 대하여 한 GOP당 한 개의 Intra 프레임이 있으므로 Intra 프레임의 확률은 $1/N$ 이고 Predictive 프레임의 확률은 $(N-1)/N$ 이다.

M 비트 스트림이 독립적이라고 가정을 한다면 그것은 이항 분포가 된다. 이 때,

$P_{n_i} = \text{Prob}\{\text{한 프레임 주기동안 } M \text{개의 프레임 중 } n_i \text{개의 Intra 프레임}\}$

$$= {}_M C_{n_i} \left(\frac{1}{N}\right)^{n_i} \left(\frac{N-1}{N}\right)^{M-n_i} \quad (7)$$

하지만, n_i 개의 Intra 프레임을 갖는 그 프레임 주기의 음의 누적 밀도 함수는 $P_{n_i} F_{n_i}(x)$ 이다. 그 때 x 의 대역폭으로 다중화된 비트 스트림의 음의 누적 밀도 함수와 CLR은 각각

$$F_{RS}(x) = \sum_{n_i} {}_M C_{n_i} \left(\frac{1}{N}\right)^{n_i} \left(\frac{N-1}{N}\right)^{M-n_i} F_{n_i}(x) \quad (8)$$

$$CLR_{RS}(x) = \sum_{n_i} {}_M C_{n_i} \left(\frac{1}{N}\right)^{n_i} \left(\frac{N-1}{N}\right)^{M-n_i} CLR_{n_i}(x) \quad (9)$$

와 같이 된다. 만약 Intra 프레임과 Predictive 프레임의 CLR이 $CLR_I(x)$ 과 $CLP_P(x)$ 라면, i 번째의 개별적인 비트 스트림의 CLR은

$$CLR_i(x) = \frac{1}{N} [CLR_I(x) + (N-1)CLP_P(x)] \quad (10)$$

가 되며, 이때 CS와 RS의 정적 통계적 다중화 이득은 각각 다음과 같이 된다.

$$G_{s, CS} = \frac{\sum_{i=1}^M x_i}{x_{\Sigma, CS}} \quad (11)$$

$$G_{s, RS} = \frac{\sum_{i=1}^M x_i}{x_{\Sigma, RS}} \quad (12)$$

여기서 $CLR_i(x_i) = CLR_{CS}(x_{\Sigma, CS}) = CLR_{RS}(x_{\Sigma, RS}) = L$ 이고 L 은 셀손실 QoS 인자로부터 허용 셀 손실율이다.

2. 동적인 통계적 다중화 이득(SMG)의 계산

정보적 투명성을 위한 QoS 인자에 추가하여 시간적 투명성을 위한 인자가 동적 통계적 다중화 이득에서는 반드시 고려된다. 우리의 제안에서 다중화기로 인해 발생된 최대 허용 지연은 모든 경우에 있어서 같도록 한다. 최대 지연 시간을 초과하는 셀에 대해서는 손실된 것으로 간주한다. 특정 출력 대역폭에서의 다중화기의 버퍼의 크기는 식 (1)에 의해서 계산된

다. 다른 대역폭에서 비트 스트림의 CLR은 그림 3에서 보여주는 것과 같이 큐잉 시뮬레이션 모델에 대해서 개별적인 $CLR_i(x)$ 가 계산된다. CS로 다중화된 비트 스트림은 쉽게 만들어질 수 있고 CS나 $CLR_{CS}(x)$ 를 계산하는데 사용된다. M비트 스트림의 Intra 프레임의 상대적인 위치의 조합의 수는 N^{M-1} 이고 그것은 $N=16$ 이고 $M=8$ 일 때 2.68×10^8 이다. RS에서는 경우의 수가 너무 많기 때문에 평가하기가 매우 어렵다. 표1에서 보여주는 것과 같이 $N=16$ 그리고 $M=8$ 일 때 Intra 프레임이 겹치는 형태는 22가지 경우가 존재한다. 첫 번째 경우에서는 모든 Intra 프레임이 같은 프레임 주기에 있을 때 확률이 $\frac{1}{2.68 \times 10^8}$ 임을 나타낸다. 마지막 경우는 CS에서와 같고 일어날 수 있는 확률이 0.101이다. 어떤 경우의 확률은 다음과 같은 식으로 구해진다.

$$P_r = \frac{\left(\frac{N!}{n_1! n_2! n_3! \dots}\right) \left(\frac{M!}{m_1! m_2! m_3! \dots}\right)}{N^M} \quad (13)$$

예를 들어, 표 2(a)의 13번째 경우에서 $N=15$ 중에 $n_1=2$ 프레임 슬롯은 3개의 intra프레임을 갖는 반면 $n_2=1$ 그리고 $n_3=13$ 프레임 슬롯에서는 각각 2개, 0개의 Intra 프레임 슬롯이 존재한다. $M=8$ 채널의 Intra 프레임은 $m_1=3, m_2=3, m_3=2$ 과 같이 분포한다. 그때 13번째 경우의 확률은

$$P_r = \frac{\left(\frac{16!}{2! 1! 13!}\right) \left(\frac{8!}{3! 3! 2!}\right)}{16^8} = 2.19 \times 10^{-4} \quad (14)$$

각각의 경우의 비트 스트림은 적당히 Intra 위치를 배치함으로써 만들 수 있고 $CLR_i(x)$ 는 큐잉 시뮬레이션을 통하여 구할 수 있다. 그때 $CLR_{RS}(x)$ 는 다음과 같이 된다.

$$CLR_{RS}(x) = \sum_{i=1}^M P_i \cdot CLR_i(x).$$

동적 통계적 다중화이득 G_d 는 역시 식(12)를 사용하여 계산할 수 있다.

V. 시뮬레이션 및 결과 분석

우리는 본 논문의 분석에서 실제적인 비디오트래픽 소스를 사용했다. 비트 스트림은 MPEG-2 인코더를 사용함으로써 만들 수 있다. SCIF 비디오는 평균 비트율이 3~4 Mbps 그리고 PSNR이 30~40 dB 정도의 비트 스트림으로 압축된다. 압축된 데이터는 ATM 셀로 나누어지는데 한 셀에 44바이트를 할당했다. 나머지 9 바이트는 5바이트의 ATM계층 헤더와 AAL 3/4 헤더로 구성된다. 그때 비트율은 셀도착률로 변환되는데 그것은 비트율과 선형적으로 비례한다. 비디오는 가변 비트율로 압축되었기 때문에 비퍼 제어와 적응적인 양자화 과정은 포함되지 않았다.

1. 정적 분석

주어진 CLR을 채널수로 다중화된 대역폭에 대해 $M=1$ 일 때의 대역폭의 비를 통계적 다중화 이득이라고 한다. Intra 프레임의 대역폭이 기울기가 거의 평행한 동안에 더 높기 때문에 Intra 프레임의 통계적 다중화 이득은 다음 표에서와 같이 Predictive 프레임에서의 통계적 다중화 이득보다 더 작다.

이것은 Intra 프레임의 셀도착률의 분포가 더욱 퍼져 있기 때문이다. 우리는 셀 손실율로 10^{-3} 를 선택했다. 하나의 채널인 경우에 대해서 이 값보다 더 작은 손실 확률을 갖는 경우를 계산하기 위해서 더 많은

표 1. 8개 채널이 다중화 될 때 RS에대한 Intra 프레임 분포의 조합

Table 1. Combinations of Intra Frame Distribution for RS (M = 8)

Class 번호	분포	확률	Class 번호	분포	확률
1	8	3.73×10^{-9}	12	4 1 1 1 1	8.54×10^{-3}
2	7 1	4.47×10^{-7}	13	3 3 2	2.19×10^{-4}
3	6 2	1.56×10^{-6}	14	3 3 1 1	2.85×10^{-3}
4	6 1 1	2.19×10^{-5}	15	3 2 2 1	8.54×10^{-3}
5	5 3	3.13×10^{-6}	16	3 2 1 1 1	6.83×10^{-2}
6	5 2 1	1.31×10^{-4}	17	3 1 1 1 1 1	7.52×10^{-2}
7	5 1 1 1	5.70×10^{-4}	18	2 2 2 2	1.07×10^{-3}
8	4 4	1.96×10^{-6}	19	2 2 2 1 1	5.13×10^{-2}
9	4 3 1	2.19×10^{-4}	20	2 2 1 1 1 1	2.82×10^{-1}
10	4 2 2	1.64×10^{-4}	21	2 1 1 1 1 1 1	3.76×10^{-1}
11	4 2 1 1	4.27×10^{-3}	22	1 1 1 1 1 1 1 1	1.21×10^{-1}

샘플 데이터가 필요하다. 다시 말하면 단일 채널의 pdf에 있어 평균값을 기준으로 오른쪽 면이 그렇게 정확하지 않다. 이는 데이터의 수가 많지 않기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 Gamma 함수에 fitting 시킴으로써 이런 문제를 해결했다.

그림 5는 표 1에서 보여준 intra와 predictive 프레임의 같은 CLE와 CLR(10^{-3})에서의 셀도착률 문턱값을 그래프로 나타낸 것이다. 여기서는 다중화되는 채널의 수가 증가할수록 도착률의 증가 정도는 감소하여 어느정도 이상의 채널이 되면 더 이상의 증가는 없다.

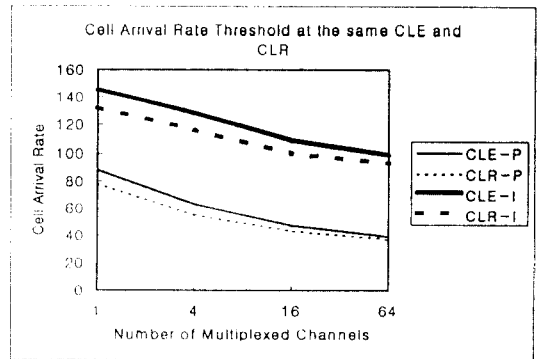


그림 5. Intra와 Predictive 프레임에 대한 같은 CLE와 CLR (10^{-3})에서의 셀 도착률 문턱 값

Fig. 5 Cell arrival rate threshold at the same CLE and CLR (10^{-3}) for Intra and Predictive Frames

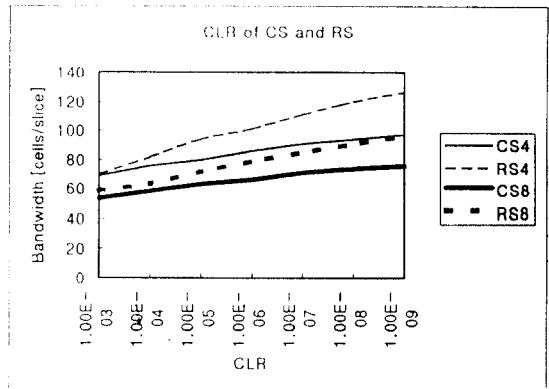


그림 6. 다중화 된 채널(M)이 4개, 8개 일때의 CS와 RS의 셀 손실율

Fig. 6 CLR of CS and RS, M = 4 and M = 8 (M is the number of multiplexed channel)

그것은 다중화시 “포화 효과”임을 의미한다. 즉, 16개나 64개 채널의 통계적 다중화 이득의 차이는 크지 않다. CS와 RS의 CLR은 그림 6에서 비교할 수 있다. CS의 통계적 다중화 이득이 더 크고 두 개의 차이가 CLR이 작아짐에 따라서 더 커진다.(CLR이 10^{-3} 보다 작을 때 RS는 CS보다 더 좋다. 하지만, 이 확률은 우리의 관심이 아니다.) RS 대신에 CS에 의해 발생된 초과 통계적 다중화 이득은 $(SMG_{CS}/SMG_{RS} - 1.0) \times 100$ 으로 계산할 수 있고 다음 표 2에서 보여준다.

표 2. 표 1의 예

Table 2. Examples of Table 1

(a) 22가지의 RS의 경우 중 13번째의 경우

(a) The 13-th class among 22 RS classes

채널 번호	프레임 수															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
2	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P
3	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P
4	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
5	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
6	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P
7	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P
8	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Intra의 수	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0

(b) CS(controlled slotted multiplexing)에서의 22번째의 경우
(b) The 22-nd class(CS, controlled slotted multiplexing)

채널 번호	프레임 수															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
2	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
3	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
4	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P
5	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P
6	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P
7	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P
8	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
Intra의 수	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

2. 동적 분석

실험에서 평균 셀 도착률이 35 cells/slice일 때 가장 높은 셀 도착률은 140cell/slice였다. 이와 같은 셀 도착률의 피크는 다중화기의 10 ms의 지연에 의해 잘 완화된다. ITU-T의 H.320에서 화상회의 서비스를 위해서 허용되는 단대단(end-to-end)지연은 약 200 msec이다. 허용 지연의 나머지는 인코더와 디코더에서 사용된다. 10 ms 이내의 지연을 허용할 때 한 채널에 대해서 약 77 cells/slice의 대역폭 한계에서 셀 손실은 없다.(그 대역폭에서 CLR은 급격히 줄어들었다.) 그것은 통계적 다중화 이득은 77/35 즉 2.2 보다 더 클

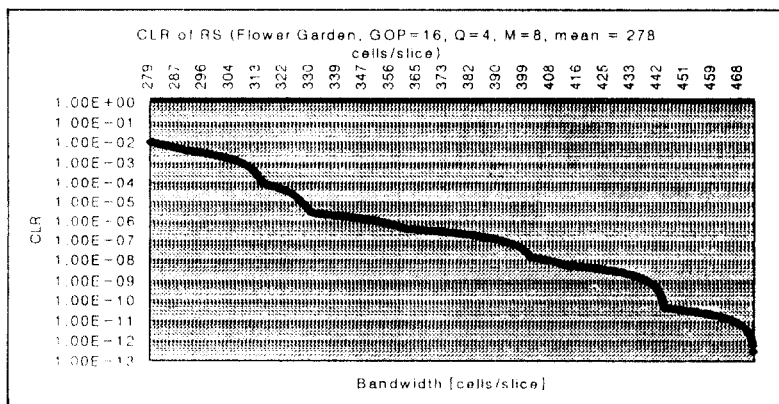


그림 7. RS인 경우의 셀손실율(Flower Garden)
Fig. 7 CLR of RS(Flower Garden)

수 없음을 의미한다. 이것이 이 실험에서 통계적 다중화 이득의 최고 한계를 나타낸다.

CS 다중화: 다중화되는 채널의 수가 증가함에 따라서 통계적 다중화 이득은 더욱 더 커지고 8개의 채널이 다중화될 때 한계치 2.2에 접근한다. 즉, $M=8$ 일 때 다중화된 비트 스트림은 고정 비트율 비트 스트림으로 생각될 수 있다. 그리고 채널을 다중화 하여도 통계적 다중화 이득은 더 이상 커지지 않는다. 그림 8에서 보여주는 것과 같이 $M \times$ 평균, 즉 8×35 인 비트율 280에서는 다중화된 비트 스트림은 고정 비트율 비트 스트림과 같이 보인다.

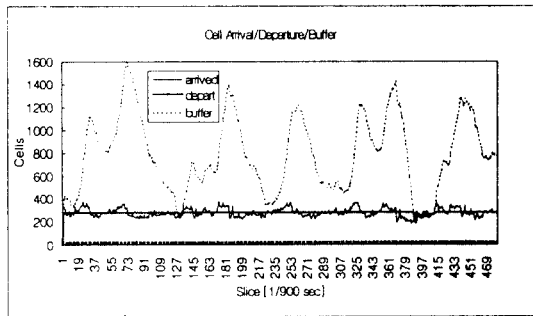


그림 8. GOP = 16, 다중화 된 채널이 8개이고 최대 허용 지연이 10 msec일 때 CS다중화의 Queuing History
Fig. 8 Queuing History of CS multiplexing(N = 16, M = 8, maximum allowable delay = 10 msec)

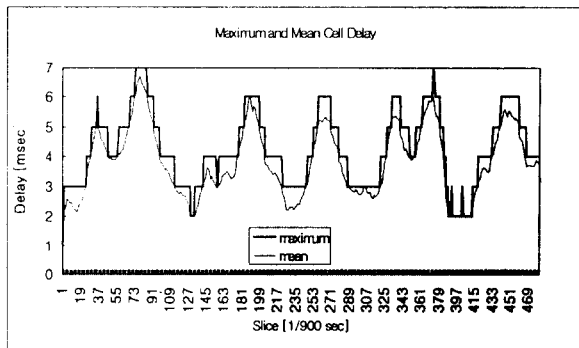


그림 9. GOP = 16, 다중화 된 채널이 8개이고 최대 허용 지연이 10 msec일 때 발생하는 CS 다중화 셀 지연
Fig. 9 Cell delay caused by CS multiplexing (N = 16, M = 8, maximum allowable delay = 10 msec)

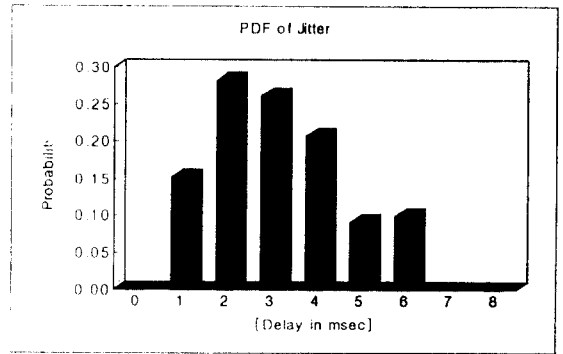


그림 10. GOP = 16, 다중화된 채널 8개이고 최대 허용 지연이 10 msec일 때 CS 다중화의 지터 분포
Fig. 10 Jitter of CS multiplexing(N = 16, M = 8, maximum allowable delay = 10msec)

그림 9와 10은 CS 다중화의 시간적 움직임을 보여준다. 최대 허용이 10msec로 정해져 있다 하더라도 최대 지연은 8 msec를 넘지 않는다.

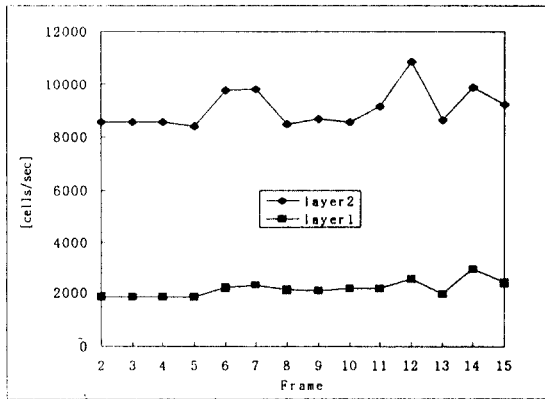
RS 다중화: $M=8, N=16$ 에 대해서 RS의 CLR은 4.2 절에서 설명된 방법으로 계산된다. 그림 7은 22개의 경우의 CLR을 사용하여 구해졌다. RS의 대역폭은 거의 CLR의 log값에 선형적으로 비례하여 증가된다. 반면 CS의 대역폭은 약 280에서 제한된다. CS의 통계적 다중화이득은 표 3에서 보여준다. 그리고 표 4는 8개 소스의 다중화시 CLR에 따른 이득율을 보여준다.

스펙트럼 분석: CS의 전력 스펙트럼 밀도에서 ω_p 에 위치한 에너지는 RS에서의 평균 전력 스펙트럼 밀도에서의 에너지보다 훨씬 더 적다. 이것은 CS의 셀 도착률의 주기적 변동이 RS에서의 것보다 더 작다는 것을 의미한다. 그러므로 CS의 다중화 이득이 더 크다는 것을 뜻하며 이것은 큐잉 실험으로써 입증된다.

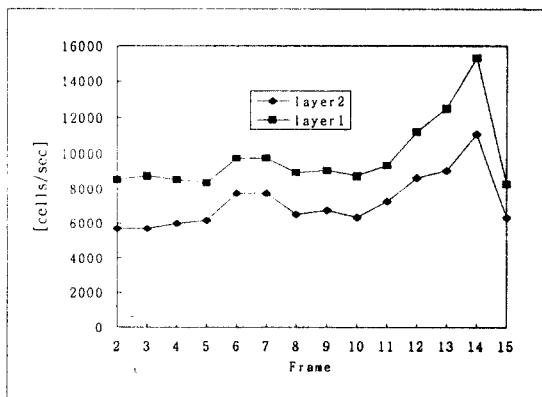
3. 셀도착률 변이를 완화하는 계층화 부호화

MPEG-2는 공간적 계층화, SNR 계층화, 시간적 계층화, 그리고 데이터 분리와 같은 4가지의 계층화 디코딩이 존재한다. 본 논문에서는 공간적 계층화에 대하여 셀 도착률의 변이를 완화시키는 방법을 제안한다. 지금까지 제안된 부호화기에서는 기본과 고급 계층의 Intra 프레임이 같은 프레임 주기에 위치한다. 그것은 Intra 프레임 주기에서 높은 비트율을 발생시

키며 이것은 다중화기에 더 많은 부하를 준다. 우리는 본 논문에서 Intra 프레임의 위치를 기본 계층과 고급 계층의 서로 다른 프레임 주기에 놓는 방법을 제안한다. 이것은 비트 스트림의 전체 비트율의 변동을 줄인다. 따라서 가장 중요한 기본 계층의 Intra 프레임의 프레임 주기 동안 다중화기의 부하를 줄일 수 있다. 이 방법은 MPEG-2의 4개의 계층화 중에서 공간적 계층화에만 적용이 되는데 공간적 계층화는 많은 응용에서 가장 중요하다. 우리가 제안한 방법의 성능은 고급 계층과 기본 계층의 평균 셀 도착률 사이의



(a)



(b)

그림 11. (a) spatial 계층과 (b) SNR 계층에 대한 기본계층과 전체에 대한 셀 도착률

Fig. 11 Cell arrival rate of base layer and total for (a) spatial scalability and (b) SNR scalability

비율에 달려있다. 공간적 계층화 인코딩에서 이 비율은 기본 계층의 양자화 레벨에 의해 조절 될 수 있다. 그 비율이 클수록 성능은 더 좋아진다. 그 비율로써 우리는 기본 계층/고급 계층=0.2를 선택하여 수행했다. 그림 13은 본 논문에서 제안하는 방법이다. 즉, 기본 계층과 고급 계층의 프레임 종류를 같게 하지 않고 서로 다르게 하여 전체 발생하는 비트율의 변동을 줄이고자 하는 방법이다.

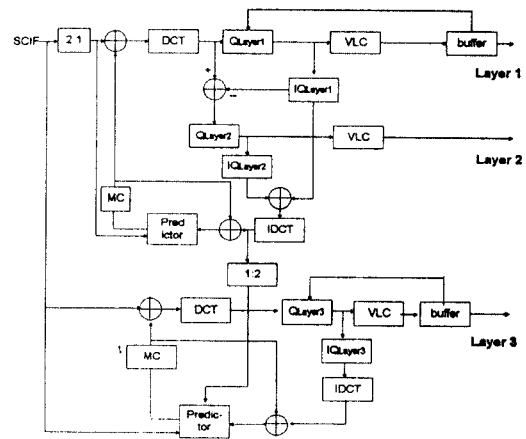


그림 12. 본 논문에서 제안한 공간 계층화 부호기의 구조
Fig. 12 Proposed structure of spatial scalability encoder

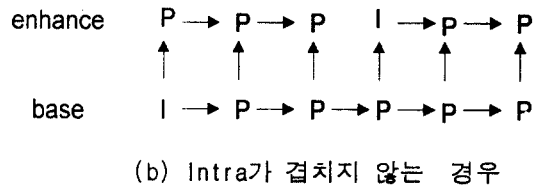
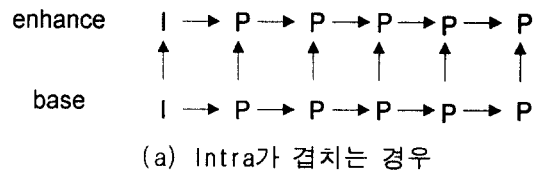


그림 13. (a) Intra가 겹치는 경우와 (b) Intra가 겹치지 않는 경우의 프레임 예측

Fig. 13 Frame Prediction algorithm (a) Intra overlapped (b) Intra not overlapped

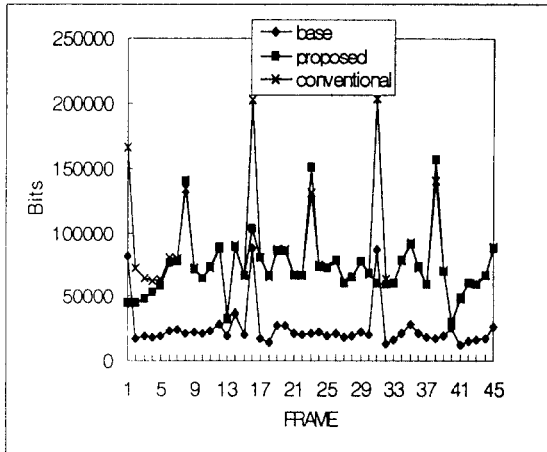


그림 14. 프레임당 비트율
Fig. 14 Bit rate of frames

그림 14는 제안한 방법과 기존의 방법에 따른 프레임당 비트율을 나타냈다. 기존의 방법이 기본 계층과 고급 계층 동시에 Intra 프레임이 발생되므로 전체 비트율은 같은 시간에 상당히 높은 버스트가 발생한다. 그러나 제안한 방법에서는 기본 계층과 고급 계층의 Intra 프레임의 위치가 서로 달라 전체적으로는 비트율의 변동이 낮아 버스트니스가 적다. 그림 15는 이 방법의 PSNR을 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 제안한 방법을 사용할 경우 화질저하는 발생하지 않았다.

그리고 그림 16은 기존의 방법과 제안한 방법에 대해 하나의 비트 스트림을 전송할 경우 필요한 대역폭

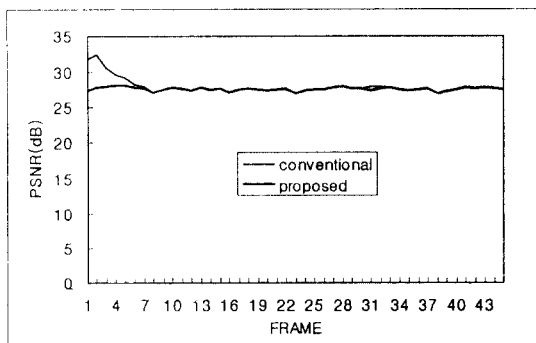


그림 15. 프레임당 PSNR
Fig. 15 PSNR of frames

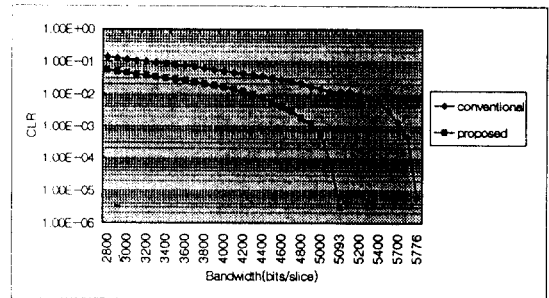


그림 16. 셀 손실율의 비교
Fig. 16 Comparison of cell loss rate

을 나타냈다. 예를 들어 하나의 비트 스트림을 전송할 경우 10^{-5} 이하의 셀 손실율로 전송하고자 할 경우 필요한 최소한의 대역폭은, 기존의 방법으로는 5.18 Mbps가 필요하나 제안한 방법에서는 약 4.58 Mbps면 충분하다. 따라서 제안한 방법을 이용하면 대역폭의 효율적 이용이 가능하다.

VI. 결 론

우리는 본 논문에서 가변 비트율 MPEG-2 비트 스트림의 다중화 방법을 제안했다. 이러한 방법은 다중화 된 비디오 비트 스트림을 전송하는데 유용한 것이다. 즉, CATV, HDTV, 다중 화상 회의와 같은 응용 분야에서 유용하게 이용될 수 있다. MPEG 가변 비트율 비트 스트림과 Intra와 Predictive 사이의 셀 도착률의 차이를 우리의 연구에서 살펴보았다. 통계적 다중화에 있어 Intra 프레임은 셀 도착률이 크므로 다른 프레임 주기에 위치하도록 요구된다. 우리는 이러한 기법의 성능을 정적 및 동적 방법을 통하여 분석했다. 두 가지 분석법에 대하여 우리는 CLR, 지연, 시도에 관한 QoS와 관계된 새로운 통계적 다중화 이득을 제안했다. 우리가 제안한 방법대로 비디오 비트 스트림을 다중화한다고 할 때 다중화된 8개의 비디오 비트 스트림에 의해 통계적 다중화 이득의 가장 높은 한계에 도달할 수 있다. 우리는 이것을 "포화 효과"라고 했다. 이러한 사실은 여러 응용분야에서 긴 시간에 해당하는 비디오 비트 스트림을 구성하는데 유용한 것이다.

향후 고려할 사항: 본 논문에서 다루지는 않았지만 장면 전환을 고려하는 것이 바람직하다. 또한 손실된 셀의 중요성의 정도에 따른 셀 손실을 평가하는 것도 바람직하리라고 본다. 한 GOP내에서 Intra 프레임의 셀은 나머지 프레임의 셀보다 10배 이상 더 중요하다. 움직임 벡터가 DCT의 계수보다 더 중요하다. 이것은 CLR이 화질의 QoS에 대한 계산방법으로서 충분하지 못하다는 것을 의미한다.

참 고 문 헌

1. ISO/IEC 13818-2, "Generic coding of moving pictures and associated audio: Video", Mar. 1994.
2. Wing-cheong Lau, San-qi Li, "Statistical multiplexing and buffer sharing in multimedia highspeed networks: A frequency domain perspective", GLOBECOM'95, vol.3, pp.1693-1700, 1995.
3. Nicola Blefari-Melazzi, "Study on statistical characteristics and queueing performance of MPEG1 and MPEG2 video sources", GLOBECOM'95, vol. 1, pp.488-493, 1995.
4. D. Heyman, A. Tabatai, T. V. Lakshman, "Statistical analysis and simulation study of teleconference traffic in ATM networks", GLOBECOM'91, vol.1, pp.21-27, 1991.
5. Mohammad Ghanbari, Vassilis Seferidis, "Efficient H.261 based two-layer video codecs for ATM networks", IEEE Tr. on Circuits and Systems for Video Technology, vol.5, no.2, pp.171-175 Apr., 1995.



張 升 起(Seung Gi Chang) 정희원

1966년 8월 10일생

1993년 2월: 경희대학교 공과대학
전자공학과 졸업(학사)

1995년 2월: 경희대학교 대학원
전자공학과 졸업(석사)

1995년 3월~현재: 경희대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※주관심분야: 영상압축, 영상 통신, 광대역통신 등.



慶 文 顯(Moon Hyun Kyung) 정희원

1972년 10월 6일생

1995년 2월: 경희대학교 공과대학
전자공학과 졸업(학사)

1995년 9월~현재: 경희대학교 대학원
전자공학과 석사과정

※주관심분야: ATM/B-ISDN, VOD 등.

徐 德 榮(Doug Young Suh) 정희원

한국통신학회 논문지 제20권 제7호 참조

朴 涉 亨(Seop Hyeong Park) 정희원

한국통신학회 논문지 제21권 제7호 참조



鄭 在 一(Jae Il Jung) 정희원

1959년 1월 14일생

1981년 2월: 한양대학교 공과대학
전자공학과(공학사)

1984년 2월: 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(공학석사)

1993년 6월: 프랑스 국립전기통신대학교(ENST) 네트워크공학과(공학박사)

1993년 1월~1993년 6월: 프랑스 국립전기통신연구소(CNET Lannion) 연구원

1994년 3월~현재: 한국통신 통신망 연구소 초고속망 연구실 응용기술연구팀장

※주관심분야: ATM/B-ISDN network, Quality of Service, Network performance