

특집논문-01-6-2-04

디지털 방송 서비스를 위한 다수의 비디오 프로그램들의 선택적 화질 제어

홍성훈*, 유상조**

Selective Quality Control of Multiple Video Programs for Digital Broadcasting Service

Sung-Hoon hong* and Sang-Jo Yoo**

요 약

본 논문에서는 PSNR 관점에서 비디오 프로그램들 사이의 상대적인 화질을 정확하게 제어하는 선택적 화질 제어 시스템을 제시한다. 제안된 화질 제어 시스템은 하나의 일정 비트율 (CBR) 채널을 통해 전송되는 모든 프로그램들의 전송 비트율의 합을 일정하게 유지하면서도 각 비디오 프로그램에 대해서는 미리 설정된 상대적 화질을 유지하도록 가변 비트율 (VBR) 압축을 허용하는데, 이는 중앙 제어부에서 VBR 비디오 압축을 수행하는 비디오 부호기들을 동시에 제어하여 달성된다. 본 논문에서는 부호기/복호기 버퍼와 전체 전송 비트율에 대한 제약 조건의 해석에 근거한 버퍼 제어 방법도 제시한다. 다양한 실험을 통해 제안된 화질 제어 시스템은 비디오 버퍼의 넘침과 고갈을 방지하고 화질 제어의 오차가 0.1 dB를 넘지 않음을 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper presents a selective quality control system to control relative picture quality among the video programs in terms of Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). The selective quality control system allows variable bit rate (VBR) for each video program to maintain the pre-determined relative picture quality among aggregated video programs while keeping a constant bit rate for all programs to be transmitted over a single constant bit rate (CBR) channel. This is achieved by simultaneous controlling the video encoders to generate VBR video streams at the central controller. Furthermore, we also suggest a buffer regulation method based on the analysis of the constraints imposed by sender/receiver buffer sizes and the total transmission rate. Through various simulation results, it is found that the proposed quality control system guarantees that the video buffers neither overflow nor underflow and the quality control errors do not exceed 0.1 dB.

1. 서 론

현재 MPEG-2^[1] 등과 같은 영상 압축기술과 디지털 전송기술의 발달로 인하여 일정 비트율(constant bit rate

: CBR)을 갖는 기존 전송 채널을 통하여 다수의 비디오 프로그램들을 동시에 전송하는 다중 비디오 프로그램 전송 환경이 가능하게 되었다. 이와 같은 환경의 예로는 디지털 위성방송, 케이블 TV, 디지털 지상파 방송 등이 있다. 이와 같은 방송 서비스를 시청하는 시청자들은 보다 고화질, 고기능의 영상 서비스를 요구하는데, 시청자들의 욕구를 만족시키기 위해서는 보다 넓은 채널대역을 각 프로그램에 할당해야 한다. 그러나 이는 한 채널을 통해서 전송할 수 있는 프로그램의 수가 감소함을 의미한다. 그런데 비디오 프로그램들간에는 내용에 따라 시청자들이 보다 고화질을 요구하는 프로그램과 그렇지 않은 프로그램

* 전남대학교 정보통신공학과 (정보통신연구소)
School of Electronics & Computer Eng., Chonnam Natl. Univ.
(Information & Telecommunication Research Center)

** 인하대학교 정보통신전문대학원
The Graduate School of Information Technology & Telecommunications, Inha Univ.

* 본 논문은 "한국과학재단 지정 전남대학교 고품질전자부품 및 시스템 연구센터"의 연구비 지원에 의해 수행되었음

이 있다. 따라서 일정 대역을 갖는 채널을 통해 전송되는 비디오 프로그램들간의 상대적 화질을 비디오 프로그램들의 중요도에 따라 차별화할 수 있다면 보다 향상된 서비스를 시청자들에게 제공할 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 측면에서 하나의 CBR 방송 채널을 통하여 전송되는 다수의 프로그램들 사이의 상대적 화질을 프로그램의 중요도에 따라 미리 설정된 값으로 정확하게 유지시키는 화질 제어 방식을 제안한다.

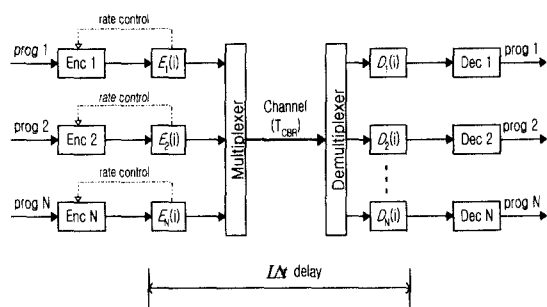


그림 1. 독립 부호화 시스템
Fig. 1. Independent coding system

다수의 비디오 프로그램들을 부호화하여 하나의 CBR 채널을 통하여 전송하는 가장 전형적인 방법은 그림 1에 나타난 바와 같이 각 프로그램을 독립적으로 CBR 압축하여 전송하는 독립 부호화(independent coding) 방식이다. 그런데 프로그램 내에 있는 영상의 복잡도는 시간에 따라 변할 수 있다. 그러므로 각 프로그램에 대하여 고정된 채널 대역을 할당하는 독립 부호화 방식은 시청자들에게 일관된 화질과 프로그램의 중요도에 따라 차별화된 화질을 제공할 수 없다.

독립 부호화 방식의 문제를 개선하기 위해서 각 프로그램에 대해서 VBR 압축을 허용하는 방식들^{[2]-[5][7]}이 연구되었다. 이 방식들은 VBR로 압축된 비디오 프로그램을 발생시키는 다수의 부호기들을 중앙 제어부에서 동시에 제어함으로써 각 비디오 프로그램의 전송률은 가변적이지만 다중화되어 CBR 채널을 통하여 전송되는 모든 프로그램들의 전송률 합을 일정하게 유지하여 VBR 압축의 장점인 균일하고 향상된 화질을 얻고자 하였다.

Skazawa 등^[2]은 간단한 비트율-왜곡 모델을 이용하여 다중화되는 프로그램들의 전체 왜곡을 최소화할 수 있도록 매 프레임 주기마다 부호화 되는 각 프로그램에 대역을 할당하는 방식을 제시했다. 그러나 간단한 비트율-왜곡 모델은 적용되는 영상에 따라 큰 오차가 발생할 수 있다. 만일 오차를 줄이기 위하여 고차의 모델을 적용할 경우

이 모델의 변수를 구하기 위해서 반복적인 부호화 처리와 같은 추가되는 연산이 증가하므로 구현에 어려움이 있다.

Wang 등^{[3][4]}은 다중화되는 모든 프로그램들의 프레임과 GOP들로 구성되는 super-프레임과 super-GOP 개념을 도입하여 마치 하나의 프로그램을 부호화하는 것과 같은 처리를 수행했다. 그리고 super-프레임에 대하여 할당된 비트량에 가장 근접한 비트를 발생시키는 하나의 양자화 파라미터를 부호화될 모든 영상들에 동일하게 적용함으로써 모든 프로그램들이 균일한 화질을 유지하고자 하였다. 그러나 이 영상들을 동일한 양자화 파라미터를 사용하여 부호화하더라도 영상의 내용에 따라 서로 다른 화질을 가질 수 있다. 또한 부호화에 실제로 적용되는 양자화 파라미터를 얻기 위해서는 적용 가능한 양자화 파라미터에 대한 비트 발생량을 미리 구해야 하므로 구현상의 어려움이 있다.

Keesman 등^[5]은 매 프레임 주기마다 부호화되는 전체 프로그램에 할당되는 비트량을 MPEG-2의 TM5^[6]에서 제시한 영상의 복잡도에 비례하게 각 프로그램에 할당하여 프로그램들간의 화질 차이를 최소화하고자 하였다. 그러나 비트 발생량과 평균 양자화 파라미터의 곱으로 구해지는 TM5의 복잡도는 실험적으로 구해진 근사화 결과이므로 동일한 영상에 대해서도 적용되는 양자화 파라미터에 따라 서로 다른 결과를 나타낸다. 따라서 모든 프로그램들에 대하여 동일한 화질을 보장하기 어렵다.

Hong 등^[7]은 실용적이면서도 매우 정밀한 비트율-왜곡 추정 모델을 이용하여 한 채널을 통해 전송되는 프로그램들의 화질을 동일하게 유지함으로써 모든 시청자들에게 공정한 화질을 제공하는 방안을 제시하였다. 그러나 이 방식은 각 수신기가 독립적인 디코더 버퍼를 갖는 경우에는 비디오 버퍼의 넘침과 고갈이 발생할 수 있다.

또한 이 방식들^{[2]-[5][7]}은 부호화되는 프로그램의 중요도에 따라 각 프로그램들간의 상대적 화질을 차별화할 수 없으므로 보다 향상된 서비스를 요구하는 시청자들의 욕구를 만족시키기 어렵고, 비디오 버퍼와 전체 전송 비트량에 대한 제약조건을 고려하지 않고있어 비디오 버퍼의 넘침과 고갈이 발생할 수 있다.

그림 2는 제안된 선택적 화질 제어 시스템을 나타낸 것으로, 송신측의 모든 부호기들은 공통의 비디오 버퍼를 사용하고 수신측의 복호기는 개별적인 자신의 버퍼를 사용한다. 부호기들의 출력 비트열들은 다중화되어 공통의 부호기 버퍼로 입력된 후 채널을 통해 전송된다. 한편 역다중화부에서는 채널로부터 입력되는 비트열에 포함된 PID(packet identifier) 값으로부터 관련 프로그램 정보를 식별하고 이 비트열을 해당 복호기 버퍼로 보낸다[8]. 이 시

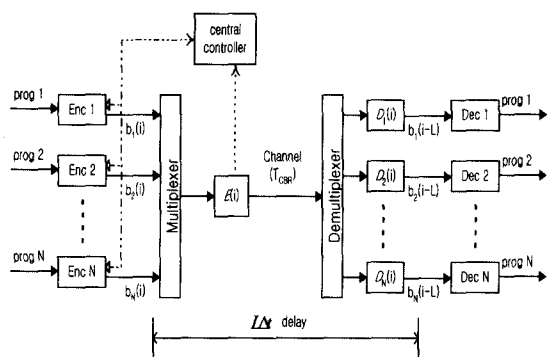


그림 2. 선택적 화질제어 시스템
Fig. 2. Selective quality control system

시스템은 중앙 제어부에서 다수의 부호기들을 동시에 제어하여 CBR 채널을 통하여 전송되는 모든 프로그램들의 전체 전송률의 합은 일정하지만 각 프로그램의 전송률은 미리 설정된 프로그램들 간의 상대적 화질을 유지할 수 있도록 가변적인 비트율을 할당한다. 또한 부호기들로부터 발생하는 전체 발생 비트량과 각 프로그램에 대한 전송 비트량을 제어함으로써 부호기와 복호기 버퍼들의 넘침과 고갈이 발생하지 않도록 한다. 이를 위하여 중앙 제어부는 각 부호기로부터 발생하는 비트량을 관찰하고, 매 프레임 주기마다 각 프로그램에 대한 양자화 파라미터와 전송 비트량을 결정한다. 선택적 화질 제어를 수행할 때 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 모든 프로그램들의 전송률의 합이 CBR 채널 대역보다 적어야 한다.
- ② 부호기와 복호기 버퍼들의 넘침과 고갈이 발생하지 않아야 한다.
- ③ 프로그램들 간의 상대적 화질이 프로그램의 중요도에 따라 미리 설정된 값을 유지해야 한다.

본 논문에서 제시하는 MPEG-2 비디오에 대한 선택적 화질 제어 시스템은 위의 고려 사항들을 정확하게 만족시키기 위하여 Hong 등이 제시한 비트율-왜곡 추정 결과^[9]를 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서 제안된 선택적 화질 제어에 사용되는 비트율-왜곡 추정에 대하여 간단히 소개하고, III 장에서 발생 비트량과 전송 비트량에 대한 제한조건의 해석을 통하여 비디오 버퍼들의 넘침과 고갈을 방지하는 방안을 제시한다. IV 장에서는 선택적 화질 제어 방식을 제시하고, V장에서 실험을 통하여 제안된 방식의 성능을 평가한 후 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. 비트율-왜곡 추정

본 장에서는 Hong 등^[9]이 제시한 새로운 개념의 비트율-왜곡 추정 모델의 개념과 특징 그리고 추정 절차에 대해 간략히 소개한다.

1. 비트 발생량 추정

MPEG-2 비디오 부호기의 출력 정보 중 양자화 파라미터 QP의 변화에 직접적인 영향을 받는 신호성분은 intra-DC를 제외한 DCT 계수들이고, 높은 비트율로 부호화할 경우 부호화기의 출력 비트량은 대부분 DCT 계수로부터 발생된다. DCT 계수에 대한 부호화는 우선 각 macroblock (MB)의 부호화 방식에 따라 intra또는 non-intra 양자화 처리가 수행되는데, MPEG-2 양자화는 양자화 매트릭스 처리 후 QP에 의한 실질적인 양자화가 수행된다. 양자화 처리된 DCT 계수들은 zig-zag 주사와 run-length 부호화에 의하여 (zero-run, level)인 codeword로 변환된 후 가변길이 부호화 (VLC)에 의하여 최종적인 비트열로 만들어진다. 여기서 codeword의 수는 양자화 처리된 DCT 계수 중 영이 아닌 성분(non-zero coefficients: NZC)의 수와 일치한다. 따라서 직관적으로 양자화된 DCT 계수로부터 발생하는 비트량은 NZC의 수에 비례할 것이라고 생각할 수 있다.

그림 3은 I, P 그리고 B 프레임에 대하여 적용되는 QP를 1에서 31로 증가시킬 때 프레임 당 intra-DC를 제외한 DCT 계수로부터 발생하는 비트량과 NZC 수의 관계를 나타낸 것이다. 이 결과로부터 비록 VLC가 사용되더라도 적용되는 QP에 따라 발생하는 비트량과 NZC 개수의 관계는 비교적 선형적으로 비례함을 보여준다. 따라서 현재 프레임에 적용되는 QP에 따라 DCT 계수들로부터 발생하는 비트량 $S(QP)$ 을 NZC의 개수를 측정함으로써 근사적으로 추정할 수 있다. 또한 적용되는 QP 값이 QP_n 일 때 현재 프레임으로부터 발생하는 전체 비트량은 (1)에 의해 추정할 수 있다.

$$\hat{E}(QP_n) = S(QP_n) + Obit \quad (1)$$

여기서 Obit는 QP 값의 변화에 직접적으로 영향을 받지 않는 정보로부터 발생하는 비트수로 한번의 비트 카운트(bit count)에 의해서 구해진다. 결국 비트 발생량의 추정을 위한 연산량은 양자화에 적용되는 QP 값에 대응하는 NZC의 수를 구하는 연산량에 좌우되는데, [9]에서는 양자화기에 입력되는 DCT 계수의 히스토그램만을 구함으로써 NZC의 수를 구하는 방법을 제시했다. 따라서 이 방

식은 비트량 추정을 위한 연산량이 매우 적다. 또한 비트량에 대한 추정오차가 2.5%를 넘지 않는다.

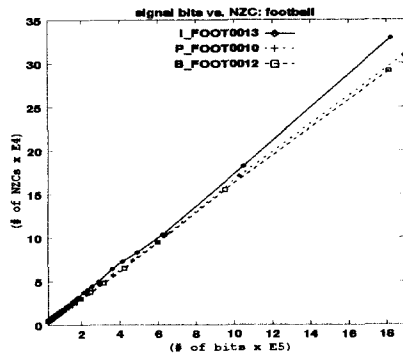


그림 3. QP를 1에서 31로 변화시킬 때 I, P, B 픽처의 프레임 당 발생하는 비트 수와 NZC 수의 관계
Fig. 3. Relationship between the number of NZCs and the number of bits generated per frame as the QP is increased from 1 to 31 for I-, P-, B-picture

2. 왜곡 추정

왜곡 추정은 다음 두 가지 사실에 근거한다. 첫째, MSE 관점에서의 왜곡은 양자화에 적용되는 양자화 스텝 크기(QS)의 제곱에 비례하는데, 양자화 매트릭스 영향을 고려하면 QS가 QS_{n-1} 에서 QS_n 으로 한단계 증가할 때 왜곡의 증가량은 $(QS_n^2 - QS_{n-1}^2) \times W^2(i, j)$ 에 비례한다. 여기서 $W^2(i, j)$ 는 양자화 매트릭스의 (i, j) 번째 성분의 제곱이다. 둘째, QS가 QS_{n-1} 에서 QS_n 으로 한단계 증가할 경우 QS= QS_{n-1} 에서 이미 '0'인 DCT 계수는 QS의 증가에 따른 왜곡 증가에 영향을 미치지 못하고 오직 NZC만이 왜곡 증가에 영향을 미친다.

참고문헌 [9]에서 제시한 왜곡 추정은 위의 사실과 이웃한 결정준위(decision level)에 있는 NZC들의 분포가 균일하다는 가정으로부터 유도되는데, 양자화 매트릭스 영향을 고려하기 위해 양자화기에 입력되는 DCT 계수에 대한 가중 히스토그램과 이의 누적치를 이용한다.

왜곡 추정 절차는 우선 DCT 계수에 대한 가중 히스토그램과 이의 누적치를 이용하여 양자화 방식이 $qt \in \{intra, non-intra\}$ 인 양자화에 적용되는 QS가 QS_{n-1} 에서 QS_n 으로 한단계 증가할 때 양자화에 의한 왜곡 증가량 $\Delta D_{qt}(QP_n)$ 을 추정한다. 그리고 이 추정 결과를 이용하여 QS= QS_n 일 때 한 프레임으로부터 발생하는 왜곡을 다음과 같이 추정한다.

$$\hat{D}(QP_n) = \hat{D}(QP_{n-1}) + \sum_{qt \in \{I, N\}} \{d_{qt} \times \Delta D_{qt}(QP_n)\} / p_num \quad (2)$$

여기서 p_num 은 한 프레임에 있는 화소의 수이고, d_{qt} 는 이전 프레임들에 대해서 실제로 측정된 왜곡과 추정된 왜곡의 비로부터 얻어지는 비례 계수이다. 그림 3은 I, P, 그리고 B-픽처에 대해 QP를 1에서 31까지 증가시키면서 측정된 왜곡(MMSE)과 식 (2)로 구한 추정왜곡(EMSE)의 관계를 보여준다. 이 결과는 추정왜곡이 측정왜곡에 대하여 선형적으로 비례하며 기울기가 영상의 부호화 방식에 무관하게 거의 '1'이 됨을 보여주는데, [9]의 실험 결과에 의하면 왜곡에 대한 추정 오차는 1.5%를 넘지 않는다.

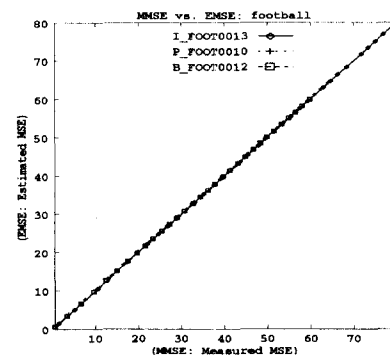


그림 4. 측정왜곡(MMSE)과 추정왜곡(EMSE)의 관계
Fig. 4. Relationship between measured distortions (MMSE) and estimated distortion (EMSE)

III. 비디오 버퍼 제한 조건

본 장에서는 그림 2에 나타난 선택적 화질 제어 시스템에서 부호기와 복호기 버퍼들의 넘침과 고갈이 발생하지 않도록 하는 방안을 제시한다. 버퍼 제한 조건과 관련된된 부호를 정의하면 다음과 같다.

N : 한 채널을 통해 전송되는 프로그램들의 수
$E(i)$: $i\Delta t$ 일 때 크기가 E^{\max} 인 공통 부호기 버퍼의 총 만도 (여기서 Δt 는 프레임 주기)
$b_k(i)$: $[(i-1)\Delta t, i\Delta t]$ 기간동안 k 번째 프로그램에서 발생한 비트량
$B(i)$: $[(i-1)\Delta t, i\Delta t]$ 기간동안 모든 프로그램에서 발생한 전체 비트량
$t_k(i)$: $[(i-1)\Delta t, i\Delta t]$ 기간동안 채널을 통해 전송된 k 번째 프로그램에 대한 전송 비트량
$T(i)$: $[(i-1)\Delta t, i\Delta t]$ 기간동안 채널을 통해 전송된 전체 전송 비트량
$D_k(i)$: $i\Delta t$ 일 때 크기가 D_k^{\max} 인 k 번째 프로그램에 대한 복호기 버퍼의 총만도

위의 정의로부터 그림2와 같이 전체 지연이 $L\Delta t$ (Δt 는 프레임 주기)인 선택적 화질 제어 시스템에서 부호기와 복호기 버퍼들의 넘침과 고갈이 발생하지 않기 위해서는 식 (3)과 식 (4)를 만족해야 한다. 또한 N 개의 VBR 비트열을 전송률이 T_{CBR} (bits/frame)인 CBR 채널을 통해 전송할 경우 모든 비트열에 대한 전송률의 합은 식 (5)를 만족해야 한다.

$$0 \leq E(i) \leq E^{\max} \quad (3)$$

$$0 \leq D_k(i) \leq D_k^{\max} \quad (4)$$

$$T(i) = \sum_{k=1}^N t_k(i) \leq T_{CBR} \quad (5)$$

그런데, 부호기 버퍼의 충만도 $E(i)$ 는

$$E(i) = E(i-1) + B(i) - T(i) \quad (6)$$

로 표현되므로 부호기 버퍼의 넘침과 고갈이 발생하지 않도록 하는 $B(i)$ 의 범위는 식 (3)과 식 (6)으로부터 다음과 같이 결정된다.

$$B(i) \in \left[\min_{B^e(i), \max_{B^e(i)}}, \max(T(i) - E(i-1), 0), E^{\max} + T(i) - E(i-1)) \right] \quad (7)$$

결국 전체 발생 비트량 $B(i)$ 가 식 (7)을 만족하도록 제어하면 공통 부호기 버퍼의 넘침과 고갈을 방지할 수 있다. 한편 k 번째 프로그램에 대한 복호기 버퍼의 충만도 $D_k(i)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$D_k(i) = D_k(i-1) + t_k(i) - b_k(i-L) \quad (8)$$

식 (4)와 식 (8)로부터 k 번째 프로그램에 대한 복호기 버퍼의 넘침과 고갈이 발생하지 않도록 하는 $t_k(i)$ 의 범위는 다음과 같이 구해진다.

$$t_k(i) \in \left[\min_{t_k^d(i), \max_{t_k^d(i)}}, \max(b_k(i-L) - D_k(i-1), 0), D_k^{\max} + b_k(i-L) - D_k(i-1) \right] \quad (9)$$

그런데 식 (9)에 나타난 $t_k(i)$ 의 범위는 현재 프레임에 대한 발생 비트량 또는 전송 비트량에 무관하게 이미 부호화된 이전 프레임들의 정보에 의해 결정됨을 알 수 있다. 또한 식 (5)와 식 (9)로부터 복호기 버퍼들의 넘침이

발생하지 않으면서 채널 사용 효율을 극대화하는 전체 전송 비트량 $T(i)$ 는 다음과 같이 선택된다.

$$T(i) = \min \left(\sum_{k=1}^N \max_{t_k^d(i), T_{CBR}} \right) \quad (10)$$

결국 복호기 버퍼의 넘침과 고갈은 각 프로그램에 대한 개별 전송 비트량 $t_k(i)$ 가 식 (9)를 만족하도록 식 (10)에서 구해진 전체 전송 비트량 $T(i)$ 를 적절히 분배함으로써 방지할 수 있다. 개별 전송 비트량 $\hat{t}_k(i)$ 의 결정 방식은 매 프레임 주기마다 다음과 같은 절차에 의해서 구한다.

< $t_k(i)$ 결정방법 >

Step1) 각 프로그램에 대하여 식 (9)에서 구해진 $t_k(i)$ 경계값을 평균한 $avg_t_k(i)$ 를 구한다.

$$avg_t_k(i) = (\min_{t_k^d(i)} + \max_{t_k^d(i)}) / 2, \quad \text{for } k=1, \dots, N \quad (11)$$

Step2) 전체 전송 비트량 $T(i)$ 를 $avg_t_k(i)$ 에 비례하게 분배하여 각 프로그램에 대한 전송 비트량의 추정값 $\hat{t}_k(i)$ 을 다음과 같이 구한다.

$$\hat{t}_k(i) = T(i) \times \frac{avg_t_k(i)}{\sum_{j \in S} avg_t_j(i)}, \quad \text{for } k \in S \quad (12)$$

여기서 S 는 아직 전송 비트량이 결정되지 않은 비트열 번호들의 집합이다. 따라서 초기 S 는 $S = \{1, \dots, N\}$ 이다.

Step 3) $k \in S$ 인 모든 $\hat{t}_k(i)$ 가 식 (9)의 범위 내에 있으면 $t_k(i) = \hat{t}_k(i)$ 을 할당한 후 중지한다. 그렇지 않으면 Step 4를 수행.

Step 4) $k \in S$ 인 프로그램 중 $\hat{t}_k(i)$ 가 식 (9)의 범위 밖에 있으면 $t_k(i)$ 에 식 (9)의 경계값을 할당하고, 전체 전송 비트량 $T(i)$ 에서 $t_k(i)$ 에 할당된 경계값을 뺀다.

Step 5) 만일 $\sum_{j \in S} \hat{t}_j(i) \leq T(i)$ 이면 $k \in S$ 인 모든 $t_k(i)$ 에 대하여 $t_k(i) = \hat{t}_k(i)$ 을 할당한 후 중지한다. 그렇지 않으면 Step 2 수행.

제안된 개별 전송 비트량 $t_k(i)$ 의 결정 방법은 전체 전송 비트량 $T(i)$ 를 (9)에서 구해진 $t_k(i)$ 의 경계값들을 평

균한 $avg_t_k(i)$ 에 비례하게 할당한다. 이는 가능하면 결정된 $t_k(i)$ 가 경계값들의 중간에 위치하게 함으로써 보다 안정된 화질 제어를 수행하기 위해서다. 만일 $t_k(i)$ 의 결정 과정이 첫번째 수행에서 Step 3를 만족하면 모든 비트열에 할당된 개별 전송 비트량의 합은 식 (10)에서 구해진 전체 전송 비트량 $T(i)$ 와 일치한다. 실제로 이 과정은 거의 항상 첫번째 수행에서 Step 3의 조건을 만족한다.

IV. 선택적 화질 제어

본 논문에서 제시하는 선택적 화질 제어의 기본 개념은 현재 부호화될 모든 영상들에게 할당할 전체 목표 비트량 B_T 를 프로그램들간의 상대적 화질이 미리 결정된 비율을 유지할 수 있도록 각 프로그램에 분배하는 것이다. 예를 들어 그림 5에 나타난 바와 같이 3개의 프로그램들을 MSE관점에서 화질비가 $1/\beta_1:1/\beta_2:1/\beta_3$ 가 되도록 선택적 화질 제어할 경우 우선 현재 부호화될 각 프로그램의 영상에 대한 비트율-왜곡 곡선 $R_k(D)$ 을 왜곡축(수평축)으로 각 프로그램에 대한 화질비만큼 확장하여 변형된 비트율-왜곡 곡선 $R_k(D/\beta_k)$ 을 구한다. 그리고 $R_k(D/\beta_k)$ 들을 비트율축(수직축)에 대하여 더함으로써 전체 비트율-왜곡 곡선 $R_T(D)$ 을 구하고, $R_T(D)$ 와 B_T 가 교차하는 점에 해당하는 왜곡 D_T 를 구한다. 그리고 D_T 와 $R_k(D/\beta_k)$ 가 교차하는 점에 해당하는 비트량 B_k 를 현재 부호화될 k 번째 프로그램의 영상에 할당한다. 결국 각 프로그램의 영상에 할당되는 비트량의 비는 $B_1: B_2: B_3$ 이고, 각 영상들간의 상대적인 왜곡의 비는 $1/\beta_1:1/\beta_2:1/\beta_3$ 가 되며, k 번째 프로그램의 영상에서 발생하는 왜곡은 D_T/β_k 가 된다.

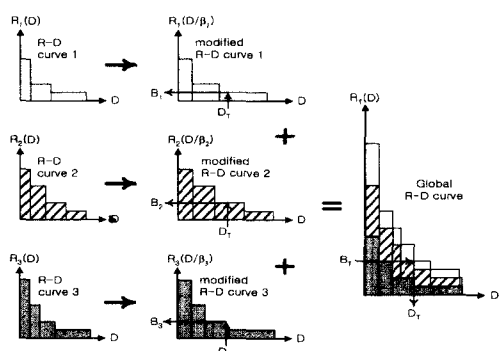


그림 5. 선택적 화질 제어를 위한 비트량 할당 방식
Fig. 5. Bit allocation method for selective quality control

제안된 선택적 화질 제어는 우선 결합적으로 부호화될 프로그램들의 상대적인 화질비를 결정하고, 매 프레임 주기마다 다음 처리과정을 수행한다. 첫번째 단계에서는 현재 부호화할 각 프레임에 대하여 II 장에서 소개한 추정방식에 의해 비트율-왜곡 함수를 구한다. 두 번째 단계에서는 현재 부호화할 모든 프레임들에 할당할 전체 목표 비트량을 구한다. 이때 이 전체 목표 비트량은 부호기 버퍼의 넘침이나 고갈이 발생하지 않는 범위에 있도록 조정되므로 버퍼 넘침과 고갈에 의한 정보손실을 방지한다. 세 번째 단계에서는 첫번째 단계에서 구한 각 프로그램의 왜곡 추정 결과에 미리 결정된 상대적 화질비를 곱하여 변형된 비트율-왜곡 곡선들을 얻고, 이 곡선들로부터 전체 비트율-왜곡 곡선을 구한다. 네 번째 단계에서는 전체 비트율-왜곡 곡선으로부터 두 번째 단계에서 구한 전체 목표 비트량에 대응하는 목표 왜곡을 구한다. 그리고 각 영상에 대한 변형된 왜곡 추정 결과가 목표 왜곡에 근접하도록 하는 양자화 파라미터를 구한 후, 이 양자화 파라미터를 이용하여 부호화한다. 그리고 각 프로그램에 대한 전송 비트량은 III 장에서 제시한 $t_k(i)$ 의 결정 방법에 의해 결정된다.

1. 상대적 화질비 결정

MSE 관점에서 프로그램들간의 상대적인 화질비를 일정하게 유지하고자 할 경우는 그림 4에서와 같이 상대적인 왜곡의 비를 직접 비트율-왜곡 곡선 변형에 사용되는 가중치로 사용할 수 있다. 그러나 만일 k 번째 프로그램이 PSNR 관점에서 PSNR_Q의 화질을 갖는 다른 프로그램 보다 $\Delta PSNR_k$ 만큼 향상된 화질을 유지하도록 할 경우는 PSNR과 MSE사이의 관계가

$$PSNR_Q + \Delta PSNR_k = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE_Q / \beta_k} \right) \quad (13)$$

이므로 k 번째 프로그램의 비트율-왜곡 곡선 변형에 사용되는 가중치 β_k 는 식 (14)와 같이 결정할 수 있다.

$$\beta_k = 10^{0.1 \times \Delta PSNR_k} \quad (14)$$

2. 전체 목표 비트량 결정

$[(i-1)\Delta t, i\Delta t]$ 기간동안 부호화되는 모든 프레임들에 할당할 전체 목표 비트량 $B(i)$ 는 다음 절차에 의해서 구

해진다. 우선 부호화될 각 프레임에 대한 개별적인 목표 비트량을 독립적으로 구하고, 구해진 개별 목표 비트량들을 더하여 전체 목표 비트량을 구한다. 그리고 이 전체 목표 비트량에 따라 결합 화질 제어한 결과가 부호기 버퍼의 넘침이나 고갈이 발생하지 않는 범위에 있도록 전체 목표 비트량을 재조정한다.

각 프로그램에 대한 개별적인 목표 비트량은 MPEG-2 TM5^[6]의 목표 비트 할당(target bit allocation) 방식을 확장하여 구한다. k 번째 프로그램의 현재 부호화될 프레임의 부호화 방식이 $pct \in \{I, P, B\}$ 일 때 이 프레임에 할당되는 비트량 b_k^{pct} 는 다음과 같다.

$$b_k^{pct} = \frac{X_k^{pct} / K^{pct}}{\sum_{pct \in \{I, P, B\}} \frac{X_k^{pct}}{K^{pct}} N_k^{pct}} R_k \quad (15)$$

여기서 X_k^{pct} 는 k 번째 프로그램의 현재 프레임에 대한 복잡도이고, K^{pct} 는 양자화 매트릭스에 관련된 상수이다. N_k^{pct} 는 k 번째 프로그램의 현재 GOP에서 부호화 방식이 pct 인 아직 부호화되지 않은 프레임의 수를 나타낸다. R_k 는 k 번째 프로그램의 현재 GOP에 할당된 비트량 중 잔여 비트량이다. 따라서 $[(i-1)\Delta t, i\Delta t]$ 기간동안 부호화되는 모든 프레임에 할당되는 전체 목표 비트량 $B(i)$ 는 b_k^{pct} 를 더하여 구한다.

$$B(i) = \sum_{k=1}^N b_k^{pct} \quad (16)$$

이와 같이 각 프로그램에 대한 개별적인 목표 비트량을 구한 후 이 목표 비트량들을 더하여 전체 목표 비트량을 얻으므로 결합 화질 제어되는 프레임들의 부호화 방식과 프로그램들 간의 GOP 구조가 동일할 필요가 없다. 식 (16)에서 구한 전체 목표 비트량은 식 (7)의 조건을 만족하도록 다음과 같이 수정한다.

$$B(i) = \max((1+\lambda) \times \min_{B^e}(i), \min(B(i), (1-\lambda) \times \max_{B^e}(i))) \quad (17)$$

여기서 λ 는 식 (16)에서 구한 $B(i)$ 가 식 (7)에 나타난 $B(i)$ 의 경계에 지나치게 접근하는 것을 방지하기 위한 상수로 비트율-왜곡 추정치의 정확도를 고려하면 0.1정도이면 충분하다.

3. 변형된 전체 비트율-왜곡 곡선 $R_T(D)$ 산출

이 과정은 그림 5에 나타난 바와 같이 우선 각 프로그램들의 현재 부호화될 프레임에 대한 비트율-왜곡 곡선 $R_k(D)$ 를 왜곡축으로 β_k 만큼 확장하여 변형된 비트율-왜곡 곡선 $R_k(D/\beta_k)$ 를 구한다. 여기서 β_k 는 식 (14)에서 구한 PSNR관점에서의 상대적 화질비이다. 실제적으로 각 프로그램 영상에 대한 비트율-왜곡 곡선의 변형은 식 (2)에서 구한 왜곡 추정 결과에 상대적 화질비 β_k 를 곱하는 과정이다. 이와 같이 변형된 곡선들을 비트율 축에 대하여 더함으로써 변형된 전체 비트율-왜곡 곡선 $R_T(D)$ 를 구한다.

4. 목표 왜곡 결정과 양자화 파라미터 선택

목표 왜곡 결정 과정은 현재 부호화할 모든 프레임들을 식 (17)에서 구한 전체 목표 비트량 $B(i)$ 로 부호화할 때, 변형된 비트율-왜곡 곡선간의 왜곡의 차이가 최소화되는 왜곡 값을 구하는 과정이다. 즉, 그림 5에 나타난 바와 같이 변형된 전체 비트율-왜곡 곡선 $R_T(D)$ 와 전체 목표 비트량 $B(i)$ 가 교차하는 점에 해당하는 왜곡 값이 목표 왜곡 D^T 가 되고, 이는 식 (18)과 같다.

$$D^T = \arg \min_D |R_T(D) - B(i)| \quad (18)$$

k 번째 프로그램의 현재 프레임에 적용할 양자화 파라미터 QP의 선택 과정은 이 프레임에 대한 변형된 비트율-왜곡 곡선 $R_k(D/\beta_k)$ 에서 목표 왜곡 D^T 에 근접한 왜곡을 발생시키는 양자화 파라미터를 선택하는 것이다. 즉, 식 (2)의 왜곡 추정 결과로부터 다음 식을 만족하는 QP 값을 구한다.

$$D^T = \arg \min_D |R_T(D) - B(i)| \quad (19)$$

여기서 는 식 (2)로부터 얻어진 k 번째 프로그램의 현재 프레임에 대한 왜곡의 추정 값이다.

각 프로그램에 대하여 식 (19)에 의해 선택된 QP 값을 적용하여 부호화하면 실제로 발생하는 전체 비트량이 전체 목표 비트량 $B(i)$ 와 일치하지는 않는다. 하지만 전체 목표 비트량 결정 과정에서 버퍼 충만도가 지나치게 높거나 낮음을 막기 위한 상수 (를 사용함으로써 버퍼의 고갈과 넘침을 막을 수 있다. 한편 III 장에서 제시한 $t_k(i)$ 의 결정 방법에 의해 개별 전송 비트량을 결정하면 복호기 버퍼들의 넘침과 고갈을 막을 수 있다.

V. 실험

4종류의 비디오 시퀀스들을 적용하여 제안된 결합 화질 제어에 대한 실험을 수행하였고, MPEG-2 TM5에 의해 독립적으로 CBR 압축 부호화한 경우와 비교함으로써 제안 방식의 성능을 평가했다. 적용된 비디오 프로그램들은 CCIR601 형식(720x480, 30 frames/sec, 4:2:0)을 갖는 표준 MPEG 비디오인 *mobile*, *flower garden*, *football*, *popple* 시퀀스이다. 한편 GOP 구조는 'IBBPBBPBBPBB' 형식의 고정된 구조를 사용하였고, 전체 지연은 방송 서비스를 고려하여 300ms 설정하였다.

그림 6은 4종류의 표준 MPEG 비디오 시퀀스를 각각 MPEG-2 TM5로 독립 부호화한 결과를 보여준다. 각 시 복호기 버퍼 크기는 5Mbps×300ms=1.5 Mbits로 설정된

스에 할당된 채널 전송률은 각각 5Mbps이고, 부호기와 했다. (a)는 각 시퀀스에 대한 PSNR을 보여주고, (b)는 부호화된 각 시퀀스의 *i*번째 프레임에 대한 PSNR과 평균 PSNR의 차이를 나타낸 것으로

$$diff_PSNR_k(i) = PSNR_k(i) - \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 PSNR_k(i) \quad (20)$$

이다. 이 결과들로부터 독립 부호화 방식은 부호화되는 비디오 프로그램들간의 화질 차이가 매우 큼을 알 수 있고 (10dB 정도의 화질 차이도 발생함), 단일 프로그램 내에서도 프레임들간에 화질 차이가 크고 일관되지 못한 화질을 제공한다. (c)와 (d)는 각각 부호기 버퍼와 복호기 버퍼의 충만도를 보여준다.

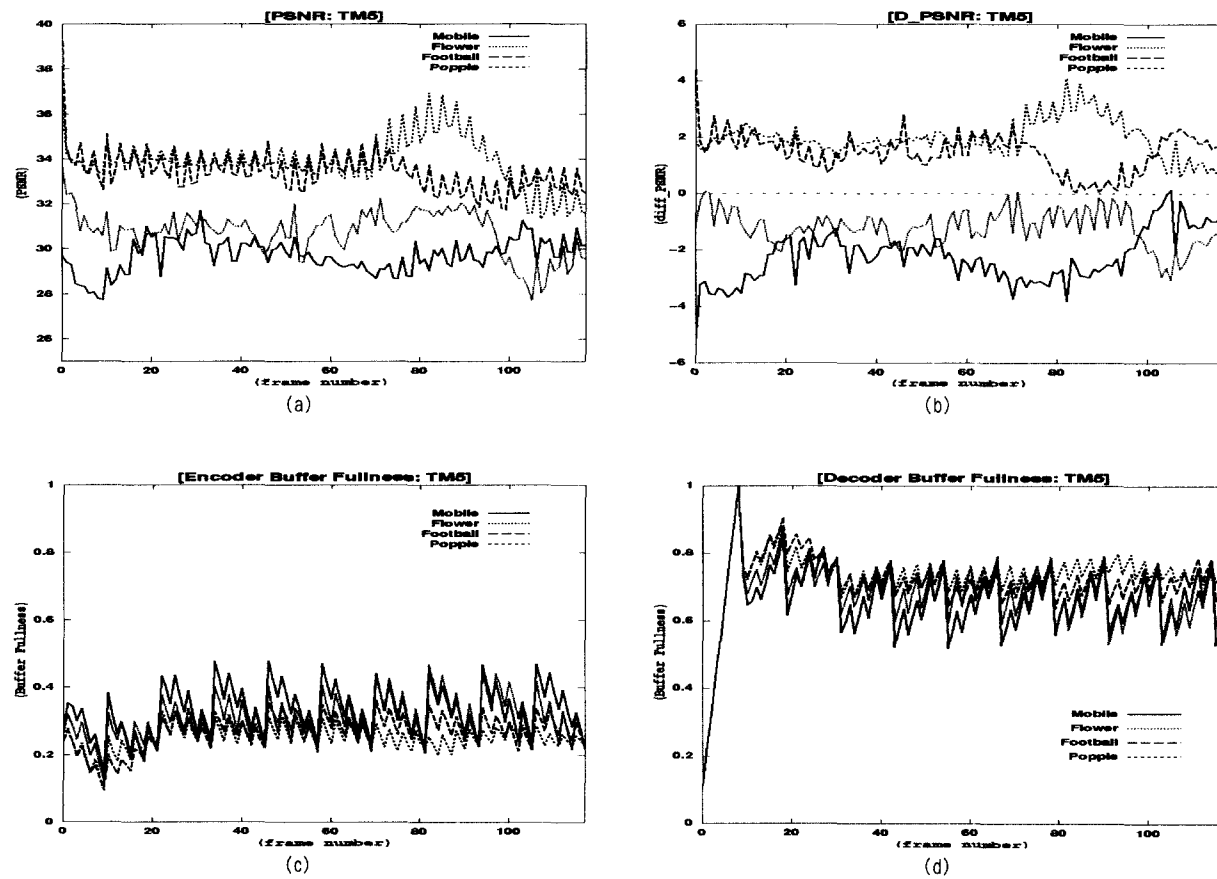


그림 6. 독립부호화 결과 (a) PSNR, (b) diff_PSNR, (c) 부호기 버퍼 상태, (d) 복호기 버퍼 상태
 Fig. 6. independent coding results: (a) PSNR, (b) diff_PSNR, (c) encoder buffer status, (d) decoder buffer status

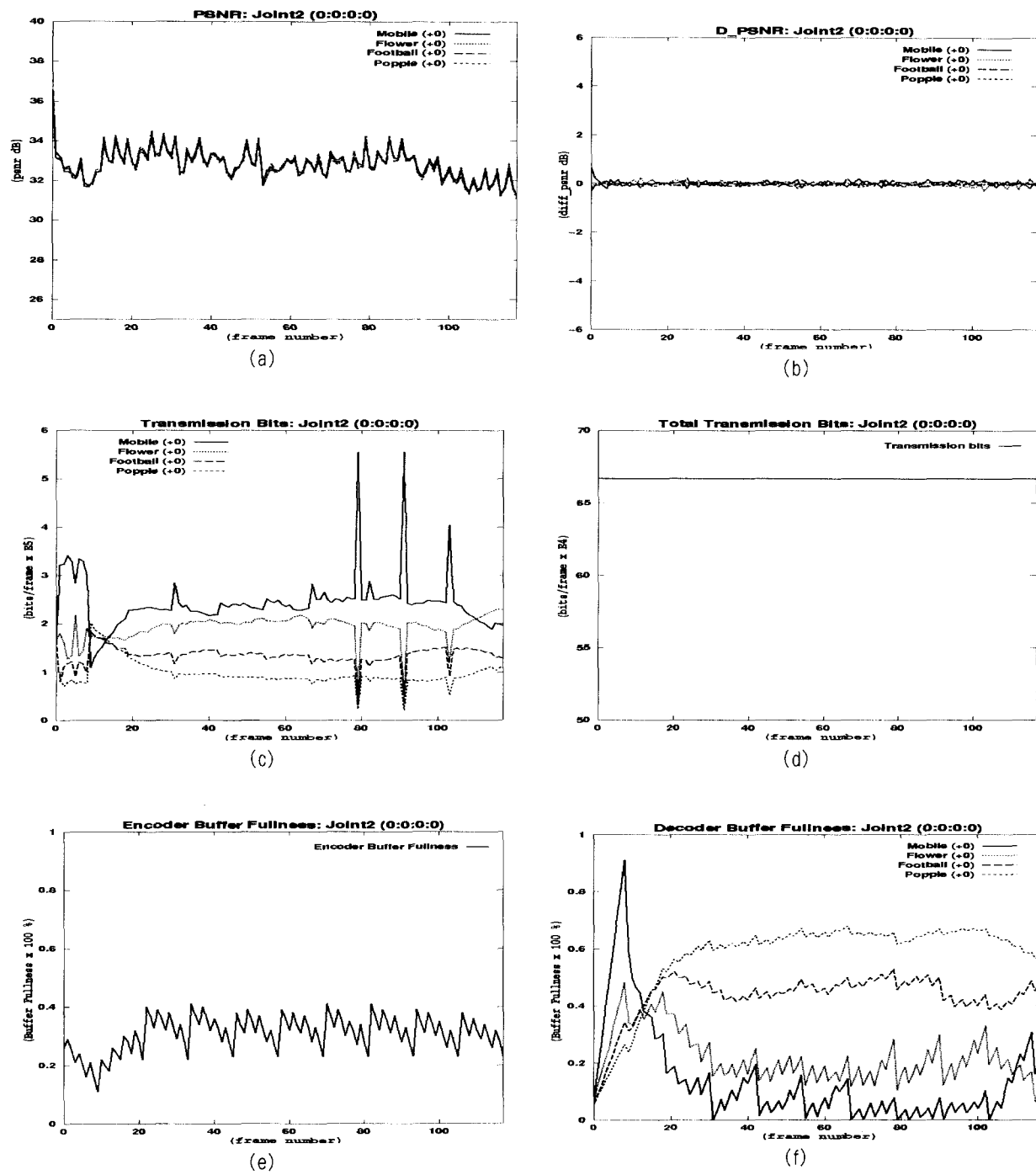


그림 7. 선택적 화질 제어 결과 ($\Delta\text{PSNR}=0:0:0:0$): (a) PSNR, (b) diff_PSNRk, (c) 개별 전송 비트량, (d) 전체 전송 비트량, (e) 공동 부호기 버퍼 상태, (f) 개별 복호기 버퍼 상태

Fig. 7. selective quality control results ($\Delta\text{PSNR}=0:0:0:0$): (a) PSNR, (b) diff_PSNRk, (c) individual transmission bits, (d) total transmission bits, (e) common encoder buffer status, (f) individual decoder buffer status

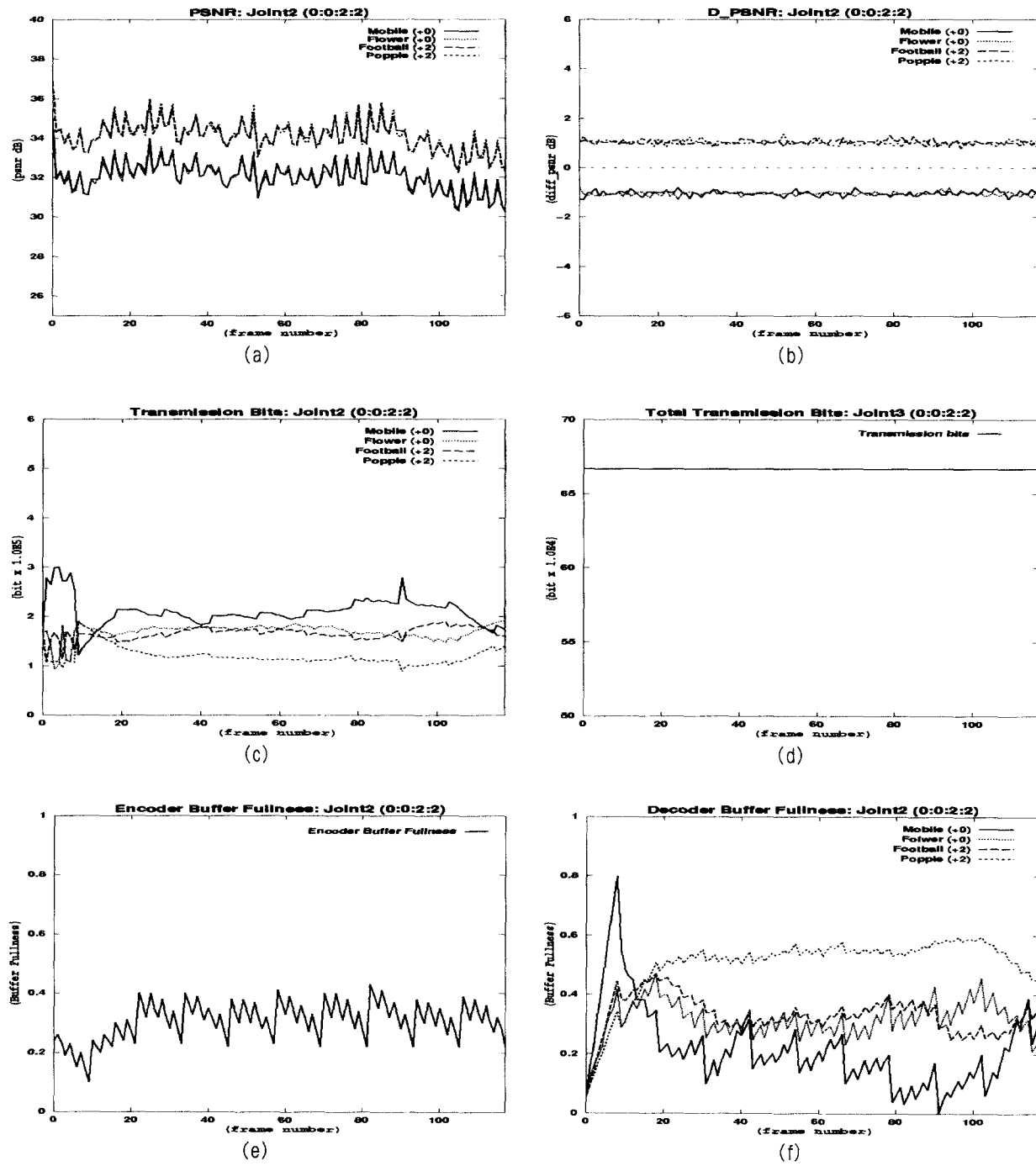


그림 8. 선택적 화질 제어 결과 (Δ PSNR=0:0:2:2): (a) PSNR, (b) diff_PSNRk, (c) 개별 전송 비트량, (d) 전체 전송 비트량, (e) 공통 부호기 버퍼 상태, (f) 개별 복호기 버퍼 상태

Fig. 8. selective quality control results (Δ PSNR=0:0:2:2): (a) PSNR, (b) diff_PSNRk, (c) individual transmission bits, (d) total transmission bits, (e) common encoder buffer status, (f) individual decoder buffer status

표 1. 선택적 화질 제어의 평균 부호화 결과
Table 1. Average coding result of the selective quality control

Input Seq.	$\Delta\text{PSNR} = 0:0:0:0$			$\Delta\text{PSNR} = 0:0:0:3$			$\Delta\text{PSNR} = 0:0:2:2$			$\Delta\text{PSNR} = 0:1:2:3$		
	PSNR (dB)	b_k (Kbits)	t_k (Kbits)	PSNR (dB)	b_k (Kbits)	t_k (Kbits)	PSNR (dB)	b_k (Kbits)	t_k (Kbits)	PSNR (dB)	b_k (Kbits)	t_k (Kbits)
Mobile	32.84	248.08	243.09	32.31	217.99	217.45	32.11	209.90	209.89	31.60	191.58	194.12
Flower	32.83	204.69	192.25	32.29	181.34	174.94	32.10	175.54	169.66	32.61	194.00	185.17
Football	32.82	128.82	134.13	32.27	112.99	121.86	34.13	166.58	166.60	33.64	150.61	153.68
Popple	32.80	92.38	97.20	35.35	161.87	152.41	34.12	121.98	120.52	34.68	137.87	133.69
Average	32.82	168.49	166.67	33.06	168.54	166.67	33.12	168.50	166.67	33.13	168.52	166.67

그림 7과 그림 8은 제안된 결합 화질 제어 결과를 나타낸 것으로, 전체 채널 전송률 R_{CBR} 은 20Mbps로 각 프로그램에 할당되는 평균 전송률은 5Mbps이다. 그리고 공통 부호기 버퍼의 크기는 $R_{CBR} \times 300\text{ms}$ (=6 Mbits)로 정하였고, 개별 복호기 버퍼의 크기는 $2(R_{CBR}/4) \times 300\text{ms}$ (=3 Mbits)로 설정했다.

그림 7은 프로그램들의 화질을 동일하게 유지하도록 결합 화질 제어했을 때 결과를 보여준다(즉, $\Delta\text{PSNR} = 0:0:0:0$). (a)는 PSNR 관점에서의 부호화된 성능을 나타낸 것이고, (b)는 diff_PSNR_k 을 보여준다. 이 결과로부터 부호화된 프로그램들간의 화질이 정확하게 제어됨을 알 수 있다. (c)는 각 시퀀스에 대한 개별 전송 비트량을 나타낸 것으로, III 장에서 제시한 개별 전송 비트량 결정 방법에 의하여 결정되었다. 이 결과에서 개별 전송 비트량은 시퀀스에 따라 서로 다른 값을 갖는다. 그러나 (d)에 나타난 전체 전송 비트량은 항상 일정하다. 이는 (10)으로부터 구해지는 전체 전송 비트량이 항상 T_{CBR} 이고, 개별 전송 비트량 결정에 있어서 항상 Step 3의 조건을 만족함을 의미한다. (e)는 공통 부호기 버퍼의 충만도를 나타낸 것이고, (f)는 개별 복호기 버퍼의 충만도를 나타낸 것이다.

그림 8은 *football*과 *popple* 시퀀스의 PSNR이 *mobile*과 *flower*시퀀스 보다 2dB 높도록 화질 제어한 결과(즉, $\Delta\text{PSNR} = 0:0:2:2$)를 보여주는데, 부호화된 프로그램들간의 화질이 정확하게 제어됨을 알 수 있다. 그리고 전체 전송 비트량은 그림 7과 동일하게 항상 T_{CBR} 을 유지한다.

표 1은 프로그램들간의 상대적 화질차 ΔPSNR 을 (0:0:0:0), (0:0:0:3), (0:0:2:2), (0:1:2:3)으로 설정했을 때 평균 부호화 결과를 나타낸 것이다. PSNR의 결과로부터 제안된 방식의 화질 제어 오차가 0.1dB를 넘지 않음을 알 수 있다. b_k 와 t_k 는 각각 k 번째 프로그램에 대한 프레임 당 평균 발생 비트량과 평균 전송 비트량을 나타낸 것이다. 평균 전송 비트량(t_k)은 시퀀스마다 서로 다른 값을 갖지만 이들에 대한 평균값은 T_{CBR} 로 항상 일정하다.

VI. 결론

본 논문에서는 다수의 비디오 프로그램들이 하나의 CBR 채널을 통하여 전송하는 환경에 적용되는 결합 화질 제어 시스템과 비디오 버퍼들의 넘침과 고갈을 방지하는 방안을 제시하였다. 제안된 시스템은 선택적 화질 제어되는 모든 프로그램들의 전체 전송률은 항상 채널 전송률을 넘지 않도록 하면서 각 프로그램에 대해서는 프로그램의 중요도에 따라 미리 설정된 상대적 화질 차이를 유지하도록 VBR 압축을 수행한다. 따라서 시청자들에게 프로그램의 중요도에 따라 차별화 된 화질을 갖는 비디오 서비스를 제공할 수 있다.

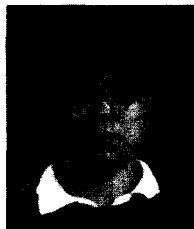
모의 실험을 통하여 제안된 선택적 화질 제어 시스템들의 성능을 평가한 결과 화질 제어 오차가 0.1dB를 넘지 않았고, 부호기와 복호기 버퍼들의 넘침과 고갈이 발생하지 않으며, 전체 전송 비트율이 항상 채널 전송률을 넘지 않음을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] ISO-IEC/JTC1/SC29/WG11, Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video, ISO-IEC 13818-2, Nov. 1994.
- [2] S. Sakazawa, Y. Takishima, M. Wada, and Y. Hatori, "Coding control scheme for a multi-encoder system," 6th Int. Workshop on Packet Video, Brisbane, Australia, pp. 83-88, March 1996.
- [3] L. Wang, A. Vincent and P. Coriveau, "Multi-program video coding with joint rate control," IEEE GLOBECOM'96, PP. 1516-1520.
- [4] L. Wang and A. Vincent, "Bit allocation for joint coding of multiple video programs," SPIE VCIP97, PP. 149-158.
- [5] G. Keesman and D. Elias, "Analysis of joint bit-rate

- control in multi-program image coding." SPIE VCIP94, PP. 1906-1917.
- [6] Document ISO-IEC/JTC/SC29/WG11, Test Model 5, Draft, Apr. 1993.
- [7] S-H Hong and S-D Kim, "Joint Video Coding of MPEG-2 Video Programs for Digital Broadcasting Services," IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 44, no. 2, June. 1998.
- [8] ISO-IEC/JTC1/SC29/WG11, Generic coding of moving pictures and associated audio information: System, ISO-IEC 13818-1, Nov. 1994.
- [9] S-H Hong and S-D Kim, "Histogram Based Rate-Distortion Estimation for MPEG-2 Video," IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing, vol. 146, no. 4, Aug. 1999.

저 자 소 개



홍 성 훈

1988년 2월 : 영남대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1999년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1991년 1월~2000년 7월 : LG 전자 DTV 연구소 책임연구원
 2000년 7월~현재 : 전남대학교 정보통신공학부 전임강사
 주관심분야 : 영상처리 및 압축 부호화, 멀티미디어 통신, 디지털TV, 영상처리용 VLSI 설계 등



유 상 조

1988년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 2000년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1990년 3월~2001년 2월 : 한국통신 연구개발본부 전임연구원
 2001년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신전문대학원 조교수
 주관심분야 : 멀티미디어 네트워킹, 통신망 트래픽 제어, 통신 프로토콜 설계