

논문-98-3-1-07

# 디지털 방송 서비스를 위한 MPEG-2 비디오 프로그램들의 결합 화질 제어

홍성훈\*, 김성대\*

## Joint Quality Control of MPEG-2 Video Programs for Digital Broadcasting Services

Sung-Hoon Hong and Seong-Dae Kim\*

### 요 약

현재 디지털 위성 TV, CATV, 디지털 지상 TV와 같은 디지털 방송 서비스에서는 MPEG-2로 압축된 다수의 비디오 프로그램들을 일정 비트율을 갖는 하나의 기존 방송 채널을 통하여 동시에 전송한다. 본 논문에서는 이러한 환경에서 각 프로그램을 VBR (Variable Bit Rate) 압축 부호화하는 부호화기들을 동시에 제어함으로써 프로그램들간의 상대적 화질을 정확하게 제어할 수 있는 결합 화질 제어 방식을 제안한다. 제안된 방식은 결합 화질 제어되는 모든 프로그램의 영상들에 대한 전체 목표 비트 할당과정에서 비디오 버퍼의 넘침과 고갈을 방지하고, 비트율-왜곡 곡선의 변형처리에 의하여 고화질을 요구하는 프로그램들과 나머지 프로그램들의 상대적인 화질을 PSNR 관점에서 정확하게 제어한다. 한편 본 논문에서는 결합 화질 제어의 기반이 되는 MPEG-2 비디오에 대한 비트율-왜곡 추정 방식을 제시하고 실험을 통하여 성능을 평가한다. 제안된 비트율-왜곡 추정의 장점은 추정을 위한 주 연산이 양자화기에 입력되는 DCT 계수의 히스토그램을 구하는 것이므로 계산량이 매우 적고, 추정 결과가 실제의 MPEG-2 비디오 응용에 적용할 수 있을 만큼 정확하다는 것이다. 실험 결과 제안된 화질 제어 방식은 한 채널을 통해 전송되는 비디오 프로그램들간의 상대적인 화질을 매우 정확하게 제어할 뿐만 아니라 각 프로그램을 독립적으로 부호화하는 방식에 비하여 보다 일관된 화질과 향상된 화질을 제공함을 확인하였다.

### Abstract

In digital broadcasting, services such as digital satellite TV, cable TV and digital terrestrial TV, several video programs are compressed by MPEG-2, and then simultaneously transmitted over a conventional CBR (Constant Bit Rate) broadcasting channel. In this paper, we propose a joint quality control scheme to be able to accurately control the relative picture quality among the video programs, which is achieved by simultaneously controlling the video encoders to generate the VBR (Variable Bit Rate) compressed video streams. Our quality control scheme can prevent the video buffer overflow and underflow by total target bit allocation process, and also exactly control the relative picture quality in terms of PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) between some programs requiring higher picture quality and others by rate-distortion modification. Furthermore we present a rate-distortion estimation method for MPEG-2 video, which is base of our joint quality control, and verify its performance by experiments. The most attractive features of this estimation method are as follows: 1) computational complexity is low because main operation for the estimation is to calculate the histogram of DCT coefficients into quantizer; 2) estimation results are very accurate enough to be applied to the practical MPEG-2 video coding applications. Simulation results show that the proposed joint quality control scheme accurately controls the relative picture quality among the video programs transmitted over a single channel as well as provides more consistent and higher picture quality than independent coding scheme that encodes each program independently.

\* 한국과학기술원 전기 및 전자공학과  
Dept. of Electrical Engineering, KAIST.

### I. 서론

현재 MPEG-2 [1] 등과 같은 새로운 영상 압축기술과 디지털 전송기술의 발달로 인하여 일정 비트율을 갖는 기존 전송 채널을 통하여 다수의 비디오 프로그램들을 동시에 전송하는 다중 비디오 프로그램 전송 환경이 가능하게 되었다. 이와 같은 환경의 예로는 디지털 위성방송, cable TV, 디지털 지상방송 등이 있다. 이와 같은 방송 서비스를 시청하는 시청자들은 보다 고품질, 고기능의 영상 서비스를 요구한다. 이와 같은 시청자들의 욕구를 만족시키기 위해서는 보다 넓은 채널 대역을 각 프로그램에 할당해야 한다. 그러나 이는 한 채널을 통해서 전송할 수 있는 프로그램의 수가 감소함을 의미한다. 그런데 비디오 프로그램들간에는 내용에 따라 시청자들이 보다 고품질을 요구하는 프로그램과 그렇지 않은 프로그램이 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 기존 CBR 방송 채널을 통하여 전송되는 다수의 프로그램들 사이의 상대적 화질을 프로그램의 중요도에 따라 미리 설정된 값으로 정확하게 유지시키는 결합 화질 제어 방식을 제안한다. 다수의 비디오 프로그램들을 부호화하여 하나의 CBR 채널을 통하여 전송하는 가장 전형적인 방법은 그림 1의 (a)에 나타난 바와 같이 모든 프로그램들을 독립적으로 CBR 압축하여 전송하는 독립 부호화 (independent coding) 방식이다. 그런데 프로그램내에 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 차별화 된 화질을 제공할 수 없다.

독립 부호화 방식의 문제를 개선하기 위해서 각 프로그램에 대해서 VBR 압축을 허용하는 방식들<sup>[6]-[9]</sup>이 연구되었다. 이 방식들은 그림 1의 (b)에 나타난 바와 같이 VBR로 압축된 비디오 프로그램을 발생시키는 다수의 부호화기들을 중앙 제어부에서 동시에 제어하여 각 비디오 프로그램의 전송률은 가변적이지만 다중화되어 CBR 채널을 통하여 전송되는 모든 프로그램들의 전송률 합을 일정하게 유지함으로써 VBR 압축의 장점인 균일하고 향상된 화질을 얻고자 하였다. Skazawa 등은<sup>[6]</sup> 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 등은<sup>[7][8]</sup> 다중화되는 모든 프로그램들의 프레임과 GOP들로 구성되는 super-프레임과 super-GOP 개념을 도입하여 마치 하나의 프로그램을 부호화 하는 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 따라서 다른 화질을 가질 수 있다. 또한 부호화에 실제로 적용되는 양자화 파라미터를 얻기 위해서는 적용 가능한 양자화 파라미터에 대한 비트 발생량을 미리 구해야 하므로

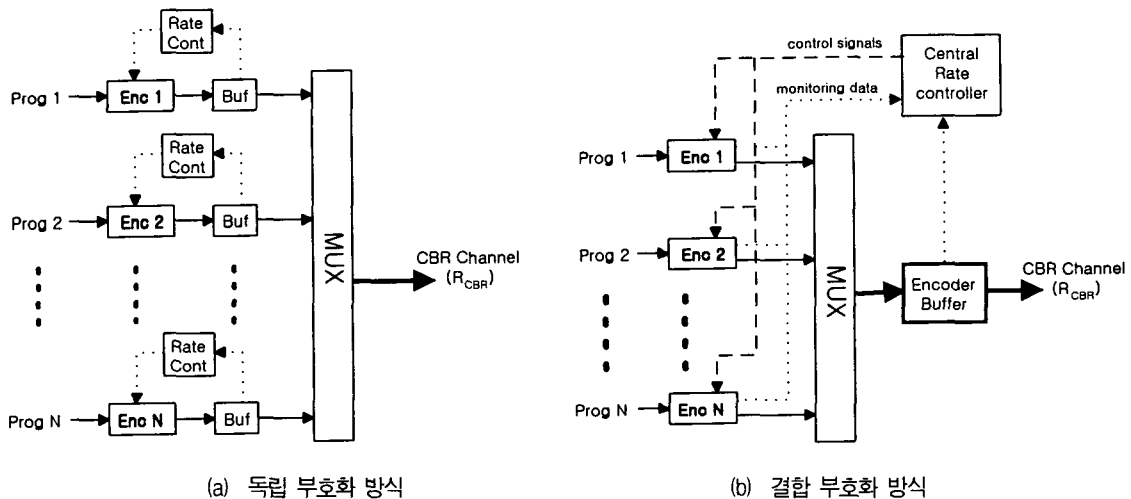


그림 1. 독립 부호화 방식과 결합 부호화 방식의 개념적 구성도

Fig. 1. Conceptual block diagrams of independent and joint video coding

구현상의 어려움이 있다. Keesman 등은<sup>19)</sup> 매 프레임 주기마다 부호화되는 전체 프로그램에 할당되는 비트량을 MPEG-2의 TM5에서 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. 또한 이 방식들<sup>16)-19)</sup>은 부호화되는 프로그램의 중요도에 따라 각 프로그램들간의 상대적 화질을 차별화할 수 없으므로 보다 향상된 서비스를 요구하는 시청자들의 욕구를 만족시키기 어렵다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 본 논문에서는 III장에서 제시되는 MPEG-2 비디오에 대한 비트율-왜곡 추정 결과를 이용하여 프로그램들간의 상대적 화질을 정확히 제어할 수 있는 결합 화질 제어 방식을 제안한다.

본 논문에서는 시청자들에게 보다 향상된 영상 서비스를 제공하기 위한 두 가지 시나리오를 제시한다. 첫 번째 시나리오는 기존 방식들의<sup>17)-19)</sup> 목적과 같이 모든 시청자들에게 제공되는 프로그램들의 화질을 일정하게 유지하는 것이다. 이 경우 기대되는 장점은 모든 시청자들에게 공정한 서비스를 제공할 수 있고, VBR 압축의 장점인 일관된 화질을 갖는 영상을 제공한다는 것이다. 또한 독립 부호화 방식에 비하여 모든 프로그램들로부터 발생하는 평균 왜곡을 감소시킬 수 있다. 이는 그림 2에 나타난 바와 같이 복잡한 영상이 단순한 영상에 비하여 비트량 증가에 의한 왜곡 감소효과가 크므로 단순한 영상에 할당되는 비트량의 일부를 복잡한 영상에 할당하면 평균 왜곡이 감소하게 된다. 두 번째 시나리오는 비디오 프로그램들간의 상대적 화질을 비디오 프로그램들의 중요도에 따라 차별화하는 것이다. 첫 번째 시나리오는 이 시나리오의 특수한 예로 프로그램들의 중요도를 동일하게 설정한 경우이다.

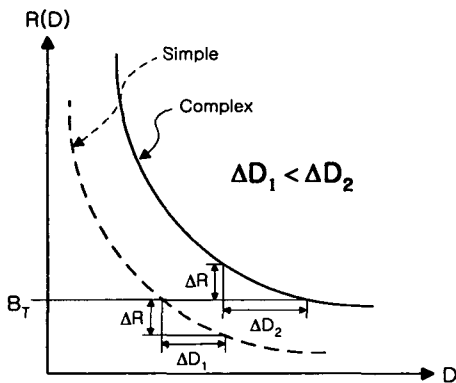


그림 2. 영상의 복잡도에 따른 비트 할당과 왜곡의 관계  
Fig. 2. Relationship between bit allocation and distortion according to the image complexity

제안된 결합 화질 제어의 성능을 평가하기 위하여 서로 다른 특성을 갖는 여러 비디오 프로그램들이 MPEG-2로 부호화되어 하나의 CBR 채널을 통하여 전송되는 환경에 제안된 방식을 적용하여 실험하였다. 실험 결과 제안된 방식은 프로그램들간의 상대적 화질을 중요도에 따라 미리 설정된 화질 값으로 정확하게 유지하고, VBR 압축의 장점인 일관되고 향상된 화질을 제공함을 확인할 수 있었다. 실제적인 측면에서도 제안된 방식은 비트율-왜곡 추정 과정을 포함한 연산 과정이 간단하므로 구현이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 제안된 결합 화질 제어방식의 기본 개념을 설명하고, III장에서는 제안된 결합 부호화에 적용되는 비트율-왜곡 추정방식을 제시한다. 제안된 결합 부호화의 상세한 설명을 IV장에서 다루고, V장에서는 실험을 통하여 제안된 방식의 성능을 평가한 후 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 결합 화질제어의 기본 개념

본 논문에서 제안하는 결합 화질 제어의 목적은 하나의 채널을 통하여 전송되는 프로그램들간의 상대적인 화질을 프로그램의 중요도에 따라 차별화함으로써 시청자들에게 만족할만한 비디오 서비스를 제공하는데 있다. 이러한 목적은 부호화될 각 프로그램의 영상에 대한 비트 (또는 양자화 파라미터) 할당에 의해서 달성될 수 있다. 즉, 결합 화질 제어되어 부호화된 프로그램들의 영상들간의 상대적 화질이 미리 설정된 화질비를 유지할 수 있도록 각 영상들에게 할당되는 비트량 (또는 양자화 파라미터)을 제어하는 것이다.

다중화되어 CBR 채널을 통하여 전송되는 비디오 프로그램의 수가  $N$ 이고 현재 프레임 기간 동안 부호화될 모든 영상들에 할당되는 전체 비트량을  $B_T$ 라할 때, 프로그램들간의 상대적인 왜곡의 비를  $1/\beta_1:1/\beta_2:\dots:1/\beta_N$ 로 유지하기 위해서는 식 (1)을 만족하도록  $B_T$ 를 부호화될 각 프로그램의 영상에 재 할당하면 된다.

$$B_1(D/\beta_1) + B_2(D/\beta_2) + \dots + B_k(D/\beta_k) + \dots + B_N(D/\beta_N) = B_T$$

where  $B_T \leq B_{max}$  (1)

여기서  $B_k(D/\beta_k)$ 는 부호화된  $k$ 번째 프로그램의 영상으로부터 발생하는 왜곡이  $D/\beta_k$ 가 되기 위해서 필요한 비트량이고,  $B_{max}$ 는 부호기 버퍼가 현재 프레임 기간 동안 버퍼의 넘침이 발생하지 않으면서 수용 가능한 최대 비트량을 의미한다.

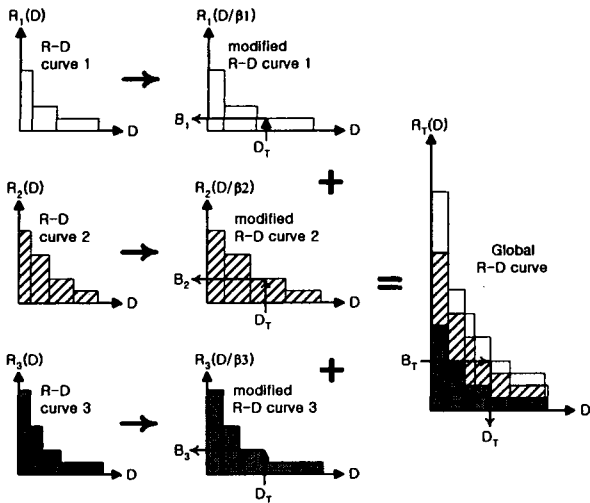


그림 3. 부호화 비트 재 할당의 기본 개념  
Fig. 3. Basic concept of bit re-allocation

본 논문에서 제시하는 비디오 프로그램들의 화질 제어의 기본 개념은 현재 부호화될 모든 프로그램들의 영상에 할당될 전체 목표 비트량  $B_T$ 를 부호화된 프로그램들의 상대적 화질이 미리 결정된 비율을 유지하도록 각 프로그램에 재 할당하는 것이다. 이 과정은 예를 들어 그림 3에 나타난 바와 같이 3개의 프로그램들간의 왜곡의 비가  $1/\beta_1:1/\beta_2:1/\beta_3$ 가 되도록 결합 화질 제어할 경우 우선 현재 부호화될 각 프로그램의 영상들에 대한 비트율-왜곡 곡선  $R_k(D)$ 들을 왜곡 축 (수평 축)으로 각 프로그램에 대한 왜곡 비의 역수만큼 확장하여 변형된 비트율-왜곡 곡선  $R_k(D/\beta_k)$ 들을 구한다. 그리고 이  $R_k(D/\beta_k)$ 들을 비트율 축 (수직 축)에 대하여 더함으로써 전체 비트율-왜곡 곡선  $R_T(D)$ 를 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, 부호화된 각 영상으로부터 발생하는 왜곡은  $D_k/\beta_k$ 가 된다.

그러나 이 비트 재 할당 과정에서 사용되는 비트율-왜곡 함수를 구하기 위해서는 MPEG-2에서 사용되는 양자화 파라미터가 31개이므로 31번의 양자화, 역양자화, IDCT, VLC, 그리고 왜곡 측정과 같은 처리과정이 추가로 필요하므로 실제 부호화 과정에 이를 적용하기는 어렵다. 따라서 본 논문에서는 실시간 비디오 처리에 적용할 수 있는 비트율-왜곡을 추정 방식을 제안하여 적용함으로써 이 문제를 해결한다.

### III. 비트율-왜곡 추정

MPEG-2<sup>[11]</sup>와 같이 MC-DCT 방식의 영상 부호화를 수행하는 표준 비디오 부호화 방식들<sup>[3]-[5]</sup>은 일반적으로 양자화 과정에 적용되는 양자화 스텝 크기 (Quantization Step Size: QS)를 조절하여 발생 비트량 또는 화질을 제어한다.

따라서 영상 부호화에 적용되는 QS에 대한 발생 비트량과 왜곡의 정확한 추정은 효율적이고도 정확한 비디오 부호화 제어에 도움을 준다. 여기서 양자화 스텝 크기 QS는 양자화 파라미터 QP의 함수로써  $n$  번째 양자화 파라미터를  $QP_n$  (보통  $QP_n = n$ )이라 하고 이에 대응하는 QS를  $QS_n$ 이라 하면 QS와 QP의 관계는 보통  $QS_n = 2 \times QP_n$ 이고  $QP_n < QP_{n+1}$ 이다.

이미 비트율-왜곡 추정에 관한 여러 연구들<sup>[10]-[15]</sup>이 발표되었으나 MPEG-2 비디오에 대한 정확한 모델을 제시하지 못하고 여전히 많은 계산량이 요구된다. 따라서 본 장에서는 MPEG-2를 기본 부호화 방식으로 사용하는 결합 화질 제어에 적용하기 위한 비트율-왜곡 추정방식을 제시하고 실험 결과를 보인다. 실험에 사용되는 부호화기는 MPEG-2의 TM5<sup>[2]</sup>를 적용하였다.

제안된 비트율-왜곡 추정의 주된 연산은 입력 신호에 대하여 히스토그램 또는 가중 히스토그램을 구하는 것이므로 계산량이 적고, 최종 결과식이 간단하다. 또한 제안된 추정 과정은 H.261<sup>[3]</sup>, MPEG-1<sup>[4]</sup>, H.263<sup>[5]</sup>등과 같은 다른 표준 비디오 부호화에도 동일한 방식으로 적용 가능하다.

#### 1. 적용되는 양자화 파라미터(QP)에 대응하는 비트 발생량 추정

MPEG-2 비디오 부호기의 출력 정보는 움직임 벡터, 각종 헤더 등과 같은 부가 정보와 DCT 계수로부터 발생되는 신호 정보로 구성된다. 여기서 양자화 파라미터 QP의 변화에 영향을 받는 신호 성분은 intra-DC를 제외한 DCT 계수들이고, 높은 비트율로 부호화할 경우 부호화기의 출력 비트량은 대부분 DCT 계수로부터 발생된다. 양자화 처리된 DCT 계수들은 run-length 부호화에 의하여 (zero-run,level)인 codeword로 변환된 후 가변 길이 부호화(VLC)하여 최종적인 비트열로 만들어진다. 여기서 (zero-run,level)로 표현되는 codeword의 수는 양자화 처리된 DCT 계수 중 영이 아닌 성분(Non-Zero Coefficient: NZC)의 수와 일치한다. 따라서 직관적으로 양자화된 DCT 계수로부터 발생되는 비트량은 NZC의 수에 비례할 것이라고 생각할 수 있다. 만일 한 영상에서 발생되는 codeword들에 대한 평균 코드 길이가 부호화에 적용되는 QP에 무관하게 일정하다면 DCT 계수로부터 발생되는 비트량과 NZC의 수는 선형적으로 비례하게 된다. 이와 같은 가정으로부터 적용되는 QP에 대응하는 비트 발생량

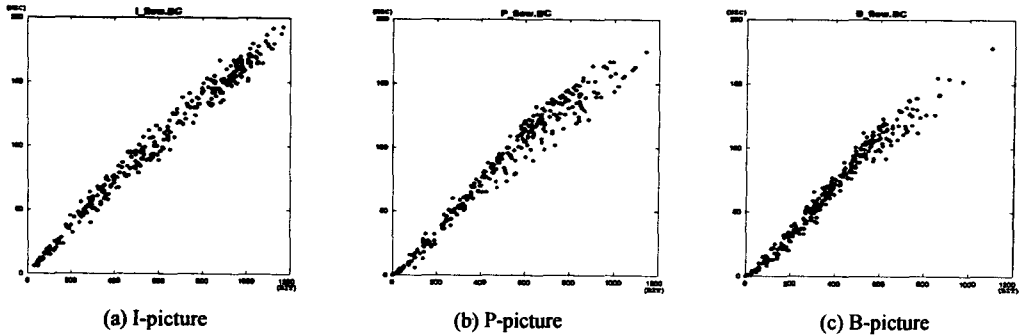


그림 4. MB당 발생하는 NZC 수와 발생 비트량의 관계  
 Fig. 4. Relationship between NZCs and bits generated per MB

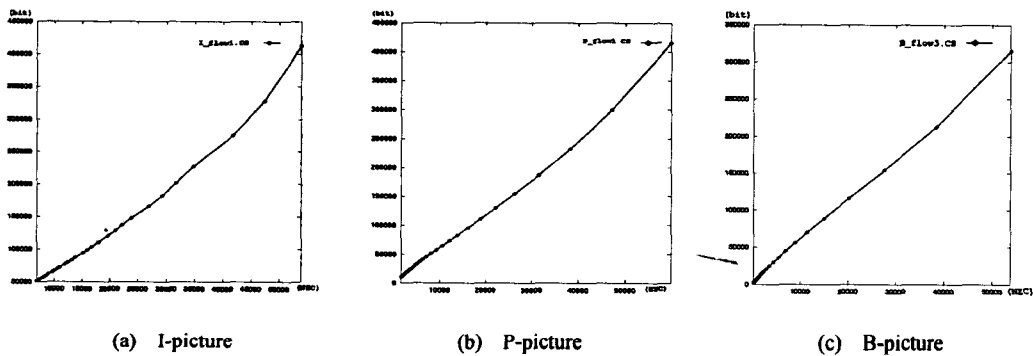


그림 5. 양자화 파라미터에 따른 프레임당 발생 비트량과 발생 NZC 개수와의 관계  
 Fig. 5. Relationship between NZCs and bits generated from a picture according to the applied quantization parameters

추정이 가능하다.

그림 4는 부호화 방식이 다른 I, P 그리고 B 프레임을 부호화하였을 때 MB (Macro Block)당 양자화된 DCT 계수로부터 발생하는 비트량과 NZC 개수의 관계를 나타낸 것으로, 발생 비트량과 NZC의 개수는 비교적 선형적으로 비례함을 보여준다. 한편 그림 5는 I, P 그리고 B 프레임에 대하여 적용되는 QP를 1에서 31로 증가 시킬 때 intra-DC를 제외한 DCT 계수로부터 발생하는 비트량과 NZC 수의 관계를 나타낸 것으로, 한 프레임에 포함된 모든 MB들에는 동일한 QP 값이 적용되고, P또는 B프레임을 부호화할 때 기준 프레임 (I 또는 P 프레임)은 QP=6으로 부호화한 영상을 사용하였다. 이 결과는 적용되는 QP가 1인 경우를 제외하면 영상의 내용이나 부호화 방식에 무관하게 적용되는 QP에 따라 발생하는 비트량과 NZC 개수의 관계가 비교적 선형적으로 비례함을 보여준다. 그런데 보통 QP가 1인 경우는 부호화기 버퍼의 고갈을 방지 위해서만 사용되고 정상적인 부호화 과정에서는 사용되지 않는다. 따라서 본 논문에서는 적용되는 양자화 파라미터에 따라 DCT 계수로부터 발생하는 비트량  $Sbit$ 을 NZC의 개수를 측정함으로써 식 2와 같이 근사적으로 추정한다.

$$Sbit(QP_n) = \alpha_I * NZC_I(QP_n) + \alpha_N * NZC_N(QP_n) \quad (2)$$

여기서 비례계수  $\alpha_I$ 는 이전 I-픽처로부터 발생한 비트량과 NZC들의 비이고,  $\alpha_N$ 은 현재 영상의 부호화 방식이 non-intra (P 또는 B type)인 경우 현재 영상과 동일한 부호화 방식으로 부호화된 이전 영상의 MB들 중 non-intra 방식으로 부호화된 MB들로부터 발생한 비트량과 NZC들의 비이다. 또한  $NZC_I(QP_n)$ 과  $NZC_N(QP_n)$ 은 각각 현재 영상에 포함된 MB들 중 intra MB들로부터 발생한 NZC와 non-intra MB들로부터 발생한 NZC의 수이다.

MPEG-2에서 사용되는 양자화 과정은 부호화 방식에 따라 intra와 non-intra 양자화 과정으로 분류되는데, MPEG-2의 TM5에서 제시한 양자화기는 다음과 같다<sup>[2]</sup>.

- Intra quantizer

$$\overline{ac}_N(i, j) = (16 * ac(i, j)) // W_N(i, j) \quad (3)$$

$$QAC_I(i, j) = \frac{[\overline{ac}_I(i, j) + \text{sign}(\overline{ac}_I(i, j)) * ((3 * QP) // 4)]}{2 * QP} \quad (4)$$

- Non-intra quantizer

$$\overline{ac}_l(i, j) = (16 \times ac(i, j)) / W_l(i, j) \quad (5)$$

$$QAC_N(i, j) = \frac{\overline{ac}_N(i, j)}{2 \times QP} \quad (6)$$

Intra-DC를 제외한 DCT 계수  $ac(i, j)$ 에 대한 양자화 과정은 우선 식 3 또는 5와 같이 양자화 매트릭스(quantization matrix)에 의한 개별적인 양자화를 수행한다. 여기서  $W_l(i, j)$ 와  $W_N(i, j)$ 는 각각 intra 그리고 non-intra 양자화 매트릭스의  $(i, j)$  성분이다. 양자화 매트릭스 처리된 DCT 계수 (즉,  $\overline{ac}_l(i, j)$  또는  $\overline{ac}_N(i, j)$ )는 식 4 또는 6과 같이 양자화 파라미터 QP에 의해서 양자화 처리된다. 여기서 QP는 보통 비트율 제어 알고리즘에 의해서 MB 또는 이 이상의 계층 단위로 조절될 수 있다. 한편 MPEG-2에서 사용되는 역 양자화는 각 MB의 부호화 방식에 따라 식 7 또는 8로 표현되는 다음 역 양자화기를 적용하여 수행된다<sup>11)</sup>.

- Intra dequantizer

$$REC_l(i, j) = (QAC_l(i, j) \times W_l(i, j) \times QS) / 16 \quad (7)$$

- Non-intra dequantizer

$$REC_N(i, j) = \{2 \times QAC_N(i, j) + \text{sign}(QAC_N(i, j))\} \times W_N(i, j) \times QP / 32 \quad (8)$$

그림 6은 QP가 2, 3일 때 식 4와 7로부터 얻어지는

intra 양자화와 식 6과 8로부터 얻어지는 non-intra 양자화의 입출력 특성을 나타낸 것이다. 빗금 친 영역에 존재하는 입력 신호 (즉,  $\overline{ac}_l(i, j)$  또는  $\overline{ac}_N(i, j)$ )들에 대한 양자화 처리 결과는 양자화에 적용되는 양자화 파라미터 QP가 2일 때는 영이 아니고 3일 때는 영이 된다.

MPEG-2에서 제시한 양자화기를 사용하여 부호화할 때 적용되는 양자화 파라미터에 따라 발생하는 NZC의 수는 다음 절차에 의해서 쉽게 구할 수 있고, 이 결과를 식 2에 대입함으로써 DCT 계수로부터 발생하는 비트량을 추정할 수 있다.

단계 1)  $AC(i, j) = \text{clipping}[\beta \times |\overline{ac}(i, j)|]$ 의 히스토그램을 구한다

$$NZC\_pdf[AC(i, j)] = NZC\_pdf[AC(i, j)] + 1 \quad (9)$$

여기서  $\text{clipping}[\cdot]$ 은 입력을 0에서 31로 제한된 정수로 변환하는 연산자이고,  $\beta$ 는 식 4 또는 6으로부터 유도되는 상수로서 intra 양자화기의 경우는 0.8이고 non-intra 양자화기의 경우는 0.5 이다. 따라서  $AC(i, j)$ 는 양자화 처리된 DCT 계수의 절대값 1이 되기 위한 QP 값을 의미한다. 예를 들어, non-intra 양자화기의 경우 식 6으로부터  $QAC_N(i, j)$ 의 절대값을 1로 만드는 QP 값은  $QP = 0.5 \times |\overline{ac}(i, j)|$ 이므로  $\beta$ 는 0.5가 된다. 결국  $NZC\_pdf[QP_n]$ 에는 양자화 과정에 적용되는 QP가  $QP_n$ 에서  $QP_{n+1}$ 로 증가할 때 이에 대응하는 NZC의 감소량이 저장된다. 즉  $QP_n$ 을 적용하여 양자화했을 때는 영이 아니고 한단계 증가된  $QP_{n+1}$ 를 적용하여 양자화하면 영으로 바뀌는 DCT 계수의 개수가  $NZC\_pdf[QP_n]$ 에 저장되는 것이다. 예를

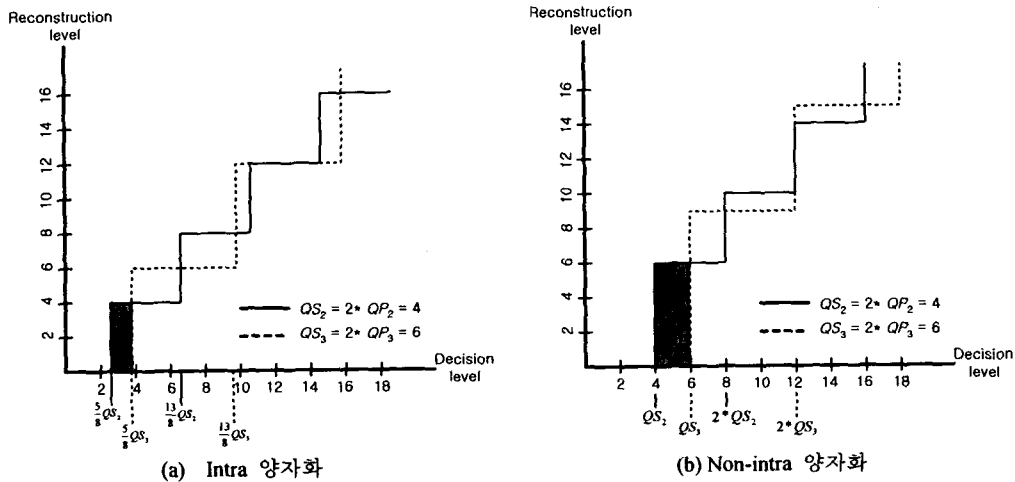


그림 6. MPEG-2 양자화 특성  
Fig. 6. MPEG-2 quantization characteristics

들어  $NZC\_pdf[2]$ 에는 그림 6에 나타난 양자화의 입출력 특성에서 빗금 친 영역에 존재하는 입력 신호 (즉,  $\overline{ac}_I(i, j)$  또는  $\overline{ac}_N(i, j)$ )의 개수가 저장된다.

2 단계)  $NZC\_pdf[QP]$ 의 누적 값을 구한다.

$$NZC\_cdf[QP_n] = \sum_{QP=n}^{31} NZC\_pdf[QP], \quad 1 \leq n \leq 31 \quad (10)$$

$NZC\_cdf[QP_n]$ 에는 적용되는 양자화 파라미터가  $QP_n$  일 때 발생하는  $NZC$ 의 개수가 저장된다. 그림 7은 식 9와 10으로부터 얻어진  $NZC\_pdf[QP]$ 와  $NZC\_cdf[QP]$ 의 예를 보여준다.

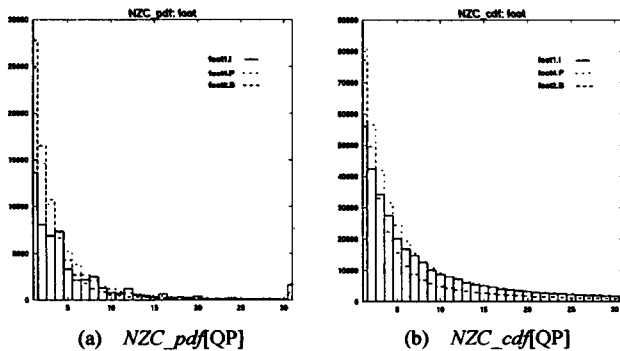


그림 7. I, P, B 프레임에 대한  $NZC\_pdf[QP]$ 와  $NZC\_cdf[QP]$ 의 예

Fig. 7. An example of  $NZC\_pdf[QP]$  and  $NZC\_cdf[QP]$  for I, P, and B frame

이와 같이 DCT 계수를 양자화 매트릭스 처리한 결과인  $\overline{ac}_I(i, j)$  또는  $\overline{ac}_N(i, j)$ 의 절대값에 0.8 또는 0.5을 곱한 값들의 히스토그램과 히스토그램의 누적 값을 구함으로써 적용되는 양자화 파라미터에 따라 발생하는  $NZC$ 의 수를 구할 수 있고, 이 값에 식 2의 관계를 적용하면 양자화 파라미터에 따라 DCT 계수들로부터 발생하는 비트량을 추정할 수 있다. 따라서 한 영상으로부터 발생하는 전체 비트량은 식 11로 추정할 수 있다.

$$Ebit(QP_n) = Sbit(QP_n) + Obit \quad (11)$$

여기서  $Obit$ 는 DCT 계수를 제외한 부가 정보로부터 발생한 비트량으로,  $Obit$ 는 QP 변화에 영향을 받지 않으므로 단지 한번의 비트 카운트에 의하여 정확하게 구할 수 있다.

2. 적용되는 양자화 파라미터에 대응하는 왜곡 추정

제한된 왜곡 추정 과정은 다음 두 가지 사실에 근거한

다. 첫째, 평균 자승 오차(Mean Squared Error: MSE) 관점에서의 왜곡은 양자화에 적용되는 양자화 스텝 크기  $QS$ 의 제곱에 비례한다. 실제적으로 표준 비디오 부호화 방식들에 사용되는 양자화기는 균일 양자화기(uniform quantizer)인데, 만일 양자화 과정이 이상적인 균일 양자화이고 양자화기의 입력 신호가 균일 분포를 갖는다면 적용되는  $QS$ 에 대한 왜곡(MSE)은  $QS^2/12$ 이다. 그런데, MPEG-2에서의 양자화는 모든 DCT 계수들에 대하여  $8 \times 8$  block단위로 양자화 매트릭스 처리를 수행한다. 따라서 양자화 스텝 크기가  $QS_{n-1}$ 에서  $QS_n$ 으로 증가할 때 양자화 매트릭스의 영향을 고려한 왜곡의 증가량은  $(QS_n^2 - QS_{n-1}^2) \times W(i, j)$ 에 비례한다. 둘째, 양자화 스텝 크기가  $QS_n$ 에서  $QS_{n+1}$ 로 한단계 증가할 때 왜곡의 증가에 영향을 미치는 입력 신호 성분들은  $QS_n$ 으로 양자화 처리했을 때 영이 되지 않은 성분들이다. 즉  $QS_{n-1}$ 을 적용했을 때 이미 영인 신호 성분은 왜곡의 증가에 영향을 미치지 못하고 다만  $QS_{n-1}$ 을 적용했을 때 존재하는 영이 아닌 신호 성분들만이 왜곡의 증가에 영향을 미친다. 본 절에서는 이와 같은 사실을 기반으로 하여 MPEG-2 부호화에 있어서 양자화에 적용되는  $QS$ 에 대한 MSE관점에서의 왜곡을 추정하는데, 제안된 왜곡 추정은 다음 절차에 따라 구해지는 가중 히스토그램과 이 가중 히스토그램의 누적 값을 이용한다.

1 단계) 양자화 매트릭스를 고려한  $AC(i, j)$ 의 가중 히스토그램을 구한다.

$$QM\_pdf[AC(i, j)] = QM\_pdf[AC(i, j)] + W^2(i, j) \quad (12)$$

여기서  $AC(i, j)$ 는 식 9에서 정의된 값이고,  $W^2(i, j)$ 는 양자화 매트릭스의  $(i, j)$  번째 성분을 제공한 값으로 미리 계산된 값을 사용하면 되므로 실제적인 연산은 덧셈 처리이다.

2 단계) 가중 히스토그램  $QM\_pdf[QP]$ 의 누적 값을 구한다.

$$QM\_cdf[QP_n] = \sum_{QP=n}^{31} QM\_pdf[QP], \quad 1 \leq n \leq 31 \quad (13)$$

식 13으로부터 얻어지는  $QM\_cdf[QP_n]$ 에는 적용되는 양자화 파라미터가  $QP_n$ 일 때 양자화된 DCT 계수들 중  $NZC$ 에 해당하는 양자화 매트릭스의 제곱 값들의 합이 저장된다. 그림 8은 MPEG-2의 기본 양자화 매트릭스를 사용했을 때 식 12로부터 얻어진  $QM\_pdf[QP]$ 와 식 13으로부터 얻어진  $QM\_cdf[QP]$ 의 예를 보여준다.

본 절에서 제안하는 왜곡 추정은 위에서 언급한 MPEG-2의 양자화 특성에서 결정 준위 (decision level)

사이에 존재하는 NZC들의 분포가 균일하다는 가정하에서 유도된다. 또한 MPEG-2의 양자화 처리는 부호화 방식에 따라 intra 와 non-intra 양자화 처리로 분류되고, 각 양자화 처리의 특성이 서로 다르므로 제안된 왜곡 추정방식은 적용되는 양자화 과정에 따라 다른 결과식을 갖는다.

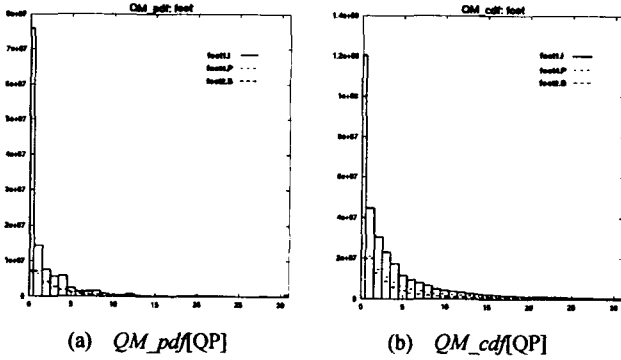


그림 8. I, P, B 프레임에 대한  $QM\_pdf[QP]$ 와  $QM\_cdf[QP]$ 의 예

Fig. 8. An example of  $QM\_pdf[QP]$  and  $QM\_cdf[QP]$  for I, P, and B frame

#### A. Intra 양자화에 대한 왜곡 추정

MPEG-2의 intra 양자화 특성에서 결정 준위 사이에 존재하는 입력 신호가 균일 분포를 갖는다면, 적용되는 양자화 스텝 크기가  $QS_n$  ( $n > 1$ )일 때 발생하는 왜곡 (MSE)은

$$\frac{1}{QS_n} \int_{\frac{5}{8}QS_n}^{\frac{13}{8}QS_n} (x - QS_n)^2 dx = \frac{19}{192} QS_n^2$$

이다 (그림 6의 (a) 참조). 따라서 양자화 스텝이  $QS_{n-1}$ 에서  $QS_n$ 로 한단계 증가할 때  $\frac{5}{8}QS_n$ 보다 큰 값을 갖는 입력 신호 성분들에 의해 증가된 왜곡의 합은 14와 같다.

$$\Delta E_I(QP_n) = \frac{19 \times (QS_n^2 - QS_{n-1}^2)}{192} \times \frac{QM\_cdf[QP_n]}{16^2}, \quad (14)$$

( $n > 1$ ).

한편  $\frac{5}{8}QS_{n-1}$ 에서  $\frac{5}{8}QS_n$  사이에 존재하는 균일 분포를 갖는 입력 신호 성분들에 의한 왜곡의 증가량은

$$\frac{1}{8} \frac{1}{(QS_n - QS_{n-1})} \int_{\frac{5}{8}QS_{n-1}}^{\frac{5}{8}QS_n} x^2 dx - \frac{19}{192} QS_{n-1}^2$$

$$= (6QS_{n-1}^2 + 25QS_{n-1}QS_n + 25QS_n^2)/192.$$

이 된다. 따라서  $\frac{5}{8}QS_{n-1}$ 에서  $\frac{5}{8}QS_n$ 사이에 존재하는 NZC들에 의해 증가되는 왜곡의 합은 식 15로 표현할 수 있다.

$$\Delta RE_I(QP_n) = \frac{(6QS_{n-1}^2 + 25QS_{n-1}QS_n + 25QS_n^2)}{192} \times \frac{QM\_pdf[QP_{n-1}]}{16^2}, \quad (n > 1) \quad (15)$$

결국 양자화 스텝 크기가  $QS_{n-1}$ 에서  $QS_n$ 으로 한 단계 증가할 때 intra 양자화에 의한 왜곡의 증가량은 식 16으로 추정되고 왜곡은 식 17로 추정할 수 있다.

$$\Delta D_I(QP_n) = \Delta E_I(QP_n) + \Delta RE_I(QP_n), \quad (n > 1) \quad (16)$$

$$D_I(QP_n) = D_I(QP_{n-1}) + \Delta D_I(QP_n)/I\_num \quad (17)$$

여기서  $I\_num$ 은 intra 방식으로 부호화되는 부호화 단위 내에 존재하는 화소의 개수이다. 예를 들어 부호화 단위가 block이라면  $I\_num$ 은 64이고, 부호화 단위가 한 프레임이라면 한 프레임 내에 존재하는 화소의 개수이다.

한편 제안된 왜곡 추정 과정에서 intra 양자화에 대한 초기 왜곡은 0에서  $\frac{5}{8}QS_1$ 사이에 존재하는 균일 분포를 갖는 입력 신호 성분들에 대한 왜곡이

$$\frac{1}{QS_1} \int_{\frac{5}{8}QS_1}^{\frac{13}{8}QS_1} x^2 dx = \frac{25}{192} QS_1^2$$

이므로 NZC에 의한 초기 왜곡은 식 18로 추정할 수 있다.

$$D_I(QP_1) = \frac{DC\_mse + (25QS_1^2 \times QM\_pdf[0] + 19QS_1^2 \times QM\_cdf[1]) (192 \times 16^2)}{I\_num} \quad (18)$$

여기서  $DC\_mse$ 는 DCT계수 중 intra-DC 성분으로부터 발생하는 왜곡의 합이다.

#### B. Non-intra 양자화에 대한 왜곡 추정

Non-intra 양자화에 대한 왜곡 추정도 intra 양자화에 대한 왜곡 추정과 동일한 유도 과정을 따른다. Non-intra 양자화 특성에서 결정 준위 사이에 존재하는 입력 신호가 균등 분포를 갖는다면, 적용되는 양자화 스텝 크기가  $QS_n$ 일 때 왜곡(MSE)은



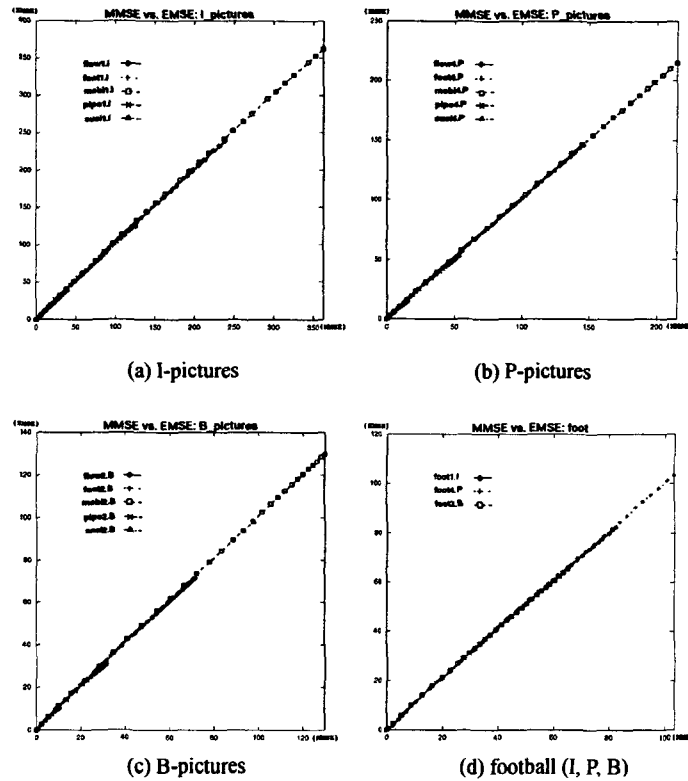


그림 9. 여러 실험 영상에 대한 측정 왜곡(MMSE)과 추정 왜곡(EMSE)의 관계  
 Fig. 9. Relationship between measured distortion(MMSE) and estimated distortion(EMSE)

$$\frac{1}{Q_{S_n}} \int_{Q_{S_n}}^{2Q_{S_n}} \left(x - \frac{3}{2}Q_{S_n}\right)^2 dx = \frac{1}{12}Q_{S_n}^2$$

이 된다 (그림 6의 (b) 참조). 따라서 양자화 스텝 크기가  $Q_{S_{n-1}}$ 에서  $Q_{S_n}$ 로 한단계 증가할 때  $Q_{S_n}$ 보다 큰 값을 갖는 입력 신호 성분에 대한 증가된 왜곡의 합은 식 19와 같다.

$$\Delta E_N(QP_n) = \frac{(Q_{S_n}^2 - Q_{S_{n-1}}^2)}{12} \times \frac{QM\_cdf[QP_n]}{16^2}, \quad (n > 1) \quad (19)$$

한편  $Q_{S_{n-1}}$ 에서  $Q_{S_n}$ 사이 존재하는 균등분포를 갖는 입력 신호 성분에 의한 왜곡의 증가는

$$\frac{1}{(Q_{S_n} - Q_{S_{n-1}})} \int_{Q_{S_{n-1}}}^{Q_{S_n}} x^2 dx - \frac{1}{12}Q_{S_{n-1}}^2 = \frac{1}{3} \left( Q_{S_n}^2 + Q_{S_n}Q_{S_{n-1}} + \frac{3}{4}Q_{S_{n-1}}^2 \right)$$

이다. 따라서  $Q_{S_{n-1}}$ 에서  $Q_{S_n}$ 사이 존재하는 NZC들에 의해 증가되는 왜곡의 합은 식 20과 같다.

$$\Delta RE_N(QP_n) = \frac{\left( Q_{S_n}^2 + Q_{S_n}Q_{S_{n-1}} + \frac{3}{4}Q_{S_{n-1}}^2 \right)}{3} \times \frac{QM\_pdf[QP_{n-1}]}{16^2}, \quad (n > 1) \quad (20)$$

결국 양자화 스텝 크기가  $Q_{S_{n-1}}$ 에서  $Q_{S_n}$ 으로 한 단계 증가할 때 non-intra 양자화에 의해 증가되는 왜곡의 합은 식 21로 추정되고, 왜곡은 식 22로 추정할 수 있다.

$$\Delta D_N(QP_n) = \Delta E_N(QP_n) + \Delta RE_N(QP_n), \quad (n > 1) \quad (21)$$

$$D_N(QP_n) = D_N(QP_{n-1}) + \Delta D_N(QP_n) / N\_num, \quad (n > 1) \quad (22)$$

여기서 N\_num은 non-intra 방식으로 부호화되는 부호화 단위 내에 존재하는 화소의 개수이다.

제안된 왜곡 추정 과정에서 non-intra 양자화에 대한 초기 왜곡은 0에서  $Q_{S_1}$ 사이 존재하는 균등 분포를 갖는 입력 신호 성분에 대한 왜곡이

$$\frac{1}{QS_1} \int_b^{QS_1} x^2 dx = \frac{1}{3} QS_1^2$$

이므로 NZC에 의한 초기 왜곡은 식 23과 같다.

$$D_N(QP_1) = \frac{QS_1^2 \times (4 \times QM\_pdf[0] + QM\_cdf[1])}{12 \times 16^2 \times N\_num} \quad (23)$$

만일 양자화 처리를 프레임 단위로 처리한다면 I 프레임에는 intra 양자화 처리만이 사용되지만 P 또는 B 프레임의 경우는 각 MB의 부호화 방식에 따라 intra와 non-intra 양자화 처리가 사용된다. 따라서 만일 왜곡 추정을 한 프레임 단위로 수행할 경우는 식 24를 사용하여 왜곡을 추정해야 한다.

$$D(QP_n) = D(QP_{n-1}) + \{\Delta D_I(QP_n) + \Delta D_N(QP_n)\} / \text{pixel\_num} \quad (24)$$

여기서 pixel\_num은 한 프레임 내에 존재하는 화소의 개수이고, 왜곡 증가량의 합인  $\Delta D_I(QP_n)$ 과  $\Delta D_N(QP_n)$ 의 산출에 사용되는 가중 히스토그램과 가중 히스토그램의 누적 값은 부호화 방식에 따라 각각 구해진 값들이다. 즉  $\Delta D_I(QP_n)$ 의 계산에는 intra 양자화 처리되는 DCT 계수들로부터 얻어진 가중 히스토그램과 누적 값이 사용되고,  $\Delta D_N(QP_n)$ 의 계산에는 non-intra 양자화 처리되는 DCT 계수들로부터 얻어진 가중 히스토그램과 누적 값이 사용된다.

그림 9의 (a)~(c)는 특성이 다른 여러 영상들을 각각 I, P, 그리고 B형식으로 부호화했을 때 식 24에 의해 추정된 왜곡과 실제로 양자화 파라미터를 변화 시키면서 측정된 왜곡의 관계를 보여주는데, 추정된 왜곡이 영상의 특성에 무관하게 측정된 왜곡과 선형적으로 비례한다. 또한 (d)는 'football' 영상을 I, P, 그리고 B 형식으로 부호화했을 때 식 24에 의해 추정된 왜곡과 실제로 양자화 파라미터를 변화 시키면서 측정된 왜곡의 관계를 나타낸 것으로, 제안된 왜곡 추정 결과가 부호화 방식에 무관하게 측정된 왜곡과 선형적으로 비례함을 보여준다. 이 결과들로부터 제안된 왜곡 추정이 실제 부호화 과정에 적용할 수 있을 만큼 정확함을 알 수 있다.

본 장에서는 부호화에 적용되는 양자화 파라미터에 따라 한 영상으로부터 발생하는 비트량과 왜곡을 추정하는 방식을 제안하였는데, 제안된 방식의 주된 연산은 양자화 매트릭스 처리된 DCT 계수들에 대하여 히스토그램 또는 가중 히스토그램을 구하는 것이므로 계산량이 적고 비교적 정확한 결과를 갖으므로 실시간 부호화에 적용이 가능하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 결합 화질 제어에는 제안된 비트율-왜곡 추정 결과를 사용한다.

## IV. 제안된 결합 화질 제어

본 장에서는 제안된 결합 화질 제어 처리과정에 대한 세부적인 내용을 기술한다. 제안된 결합 화질 제어는 우선 결합적으로 부호화될 프로그램들의 상대적인 화질비를 결정하고, 매 프레임 주기마다 다음의 처리 과정들을 수행한다. 첫번째 단계에서는 현재 부호화할 각 영상에 대하여 III장에서 제시한 추정방식에 의한 비트율-왜곡 함수를 구한다. 이 과정에 의하여 적용되는 양자화 파라미터에 따라 각 영상으로부터 발생하는 비트량과 왜곡을 예측할 수 있다. 두 번째 단계에서는 현재 부호화할 모든 영상들에 할당할 전체 목표 비트량을 구한다. 이때 이 전체 목표 비트량은 부호기 버퍼의 넘침이나 고갈이 발생하지 않는 범위에 있도록 조정되어지므로 버퍼 넘침과 고갈에 의한 정보 손실을 방지한다. 세 번째 단계는 첫번째 단계에서 구한 각 프로그램들의 왜곡 추정결과에 미리 결정된 상대적 화질비를 곱하여 변형된 비트율-왜곡 곡선들을 얻고, 이 곡선들로부터 전체 비트율-왜곡 곡선을 구한다. 네 번째 단계는 전체 비트율-왜곡 곡선으로부터 두 번째 단계에서 구한 전체 목표 비트량에 대응하는 목표 왜곡을 구하는 과정이다. 다섯번째 단계는 각 영상에 대한 변형된 왜곡 추정 결과를 이용하여 부호화한 영상의 왜곡이 목표 왜곡에 근접하도록 하는 양자화 파라미터를 구하고, 이 양자화 파라미터를 이용하여 부호화하는 과정이다.

### 1. 상대적 화질비 결정

MSE 관점에서 각 프로그램들간의 상대적인 화질비를 일정하게 유지하고자 할 경우는 그림 3에 나타난 바와 같이 상대적인 왜곡의 비를 직접 비트율-왜곡 곡선 변형에 사용되는 가중치로 적용할 수 있다. 그러나 만일  $k$  번째 프로그램이 PSNR 관점에서  $PSNR_Q$ 의 화질을 갖는 다른 프로그램과 비교하여  $\Delta PSNR_k$ 만큼의 화질차이를 유지하도록 할 경우는 PSNR과 MSE사이의 관계가

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

이므로  $k$  번째 프로그램의 비트율-왜곡 곡선 변형에 사용되는 가중치  $\beta_k$ 는 식 25와 같이 결정할 수 있다.

$$\beta_k = 10^{0.1 \times \Delta PSNR_k} \quad (25)$$

### 2. 전체 목표 비트량 결정

현재 부호화될 모든 프로그램들의 영상에 할당할 전체 목표 비트량은 다음 절차에 의해서 구해진다. 현재 부호화할 각 프로그램 영상에 대한 개별적인 목표 비트량을 독립적으로 구하고, 구해진 각 프로그램 영상의 목표 비트량

들을 더하여 전체 목표 비트량을 구한다. 그리고 이 전체 목표 비트량에 따라 결합 부호화한 결과가 부호화기 버퍼의 넘침이나 고갈이 발생하지 않는 범위에 있도록 전체 목표 비트량을 재조정한다.

각 프로그램 영상에 대한 개별적인 목표 비트량은 MPEG-2 TMS<sup>12)</sup>에서 제시하는 목표 비트 할당(target bit allocation) 방식을 확장하여 구한다. 현재 부호화할  $k$  번째 프로그램 영상의 부호화 방식이  $pct \in \{I, P, B\}$  일 때 이 영상에 할당되는 비트량  $T_{pct}(k)$ 은 다음과 같다.

$$T_{pct}(k) = \frac{X_{pct}(k)/K_{pct}}{\sum_{pct \in \{I, P, B\}} \frac{X_{pct}(k)}{K_{pct}} N_{pct}(k)} R(k)$$

여기서  $X_{pct}(k)$ 는  $k$  번째 프로그램의 영상에 대한 복잡도로써 현재 영상과 동일한 부호화 방식을 갖는 이전 영상에 적용된 평균 양자화 파라미터와 발생 비트량의 곱으로 표현되고,  $K_{pct}$ 는 양자화 매트릭스에 관련된 상수로  $K_I = K_P = 1.0$ 이고  $K_B = 1.4$ 이다.  $N_{pct}(k)$ 는  $k$  번째 프로그램의 현재 GOP에서 부호화 방식이  $pct$ 인 아직 부호화되지 않은 영상의 수를 나타낸다.  $R(k)$ 는  $k$  번째 프로그램의 현재 GOP에 할당된 비트량 중 잔여 비트량으로 다음과 같이 갱신된다.

매 프레임 주기마다 모든 영상이 부호화된 후  $R(k)$ 는 다음과 같이 갱신된다.

$$R(k) = R(k) - E_T/N$$

여기서  $E_T$ 는 현재 프레임 기간동안 결합 부호화되는 모든 영상들로부터 발생한 전체 비트량이고,  $N$ 은 결합 부호화되는 프로그램의 수이다. 또한  $R(k)$ 는 각 프로그램의 GOP 주기마다 다음과 같이 갱신된다.

$$R(k) = G(k) + R(k)$$

$$G(k) = (R_{CBR} \times N_{GOP}(k)) / (N \times frame\_rate)$$

여기서  $R_T$ 는 프로그램 전체에 대한 채널 전송률이고,  $N_{GOP}(k)$ 는  $k$  번째 프로그램의 한 GOP에 포함된 영상의 수이다.

이와 같이 구해진 각 프로그램에 대한 목표 비트량을 더하여 현재 부호화할 모든 프로그램 영상에 할당되는 전체 목표 비트량  $B_T$ 를 구한다.

$$B_T = \sum_{k=1}^N T_{pct}(k). \quad (26)$$

그러나 비트율 추정의 부정확성으로 인하여 추정된 전

체 목표 비트량과 실제로 부호화하여 발생하는 비트량이 일치하지 않을 수 있으므로 전체 목표 비트량  $B_T$ 가 지나치게 높거나 낮으면 부호기 버퍼의 넘침이나 고갈이 발생할 수 있다. 따라서 추정된 전체 목표 비트량은 부호기 버퍼 상태를 고려하여 다음과 같이 재 조정할 필요가 있다.

모든 프로그램들의 비트열들이 버퍼 크기가  $B_{max}^e$  인 부호기 버퍼에 저장된 후 채널 전송률이  $R_{CBR}$ 인 CBR 채널을 통하여 전송될 경우 부호기 버퍼의 넘침과 고갈이 발생하지 않을 조건은 다음과 같다.

$$0 \leq B_i^e \leq B_{max}^e, \quad \forall i \quad (27)$$

$$B_i^e = B_{i-1}^e + E_i - R_{CBR}T \quad (28)$$

여기서  $T$ 는 프레임 주기이고,  $B_i^e$ 는  $iT$ 인 순간 부호기 버퍼의 총만도이며  $E_i$ 는  $(i-1)T$ 에서  $iT$  기간 동안 부호기 버퍼에 입력되는 비트량이다. 식 27과 28로부터 부호기 버퍼의 넘침과 고갈이 발생하지 않을  $E_i$ 의 범위는

$$\frac{\text{Max}(0, R_{CBR}T - B_{i-1}^e)}{(= E_i^{\min})} \leq E_i \leq \frac{B_{max}^e + R_{CBR}T - B_{i-1}^e}{(= E_i^{\max})}$$

이다. 따라서 식 26에서 구한 전체 목표 비트량  $B_T$ 는 식 29와 같이 재 조정된다.

$$B_T = \text{Max}\left\{ (1+\lambda) \cdot E_i^{\min}, \text{Min}(B_T, (1-\gamma) \cdot E_i^{\max}) \right\} \quad (29)$$

여기서  $\lambda$ 와  $\gamma$ 는 부호기 버퍼 상태가 0 또는  $B_{max}^e$ 에 지나치게 근접하는 것을 막기 위한 상수로 본 논문에서는 모두 0.15를 적용하였다.

### 3. 변형된 전체 비트율-왜곡 곡선 $R_r(D)$ 산출

이 과정은 그림 3에 나타난 바와 같이 우선 현재 부호화될 프로그램들의 각 영상에 대한 비트율-왜곡 곡선  $R_k(D)$ 를 왜곡 축으로  $\beta_k$ 만큼 확장하여 변형된 비트율-왜곡 곡선  $R_k(D/\beta_k)$ 를 구한다. 여기서  $\beta_k$ 는 식 25로부터 구한 PSNR관점에서의 상대적 화질비이다. 실제적으로 각 프로그램 영상에 대한 비트율-왜곡 곡선의 변형은 식 24로부터 구한 왜곡의 추정 값에 상대적 화질비  $\beta_k$ 를 곱하는 과정이다. 이 변형된 곡선들을 비트율 축에 대하여 더함으로써 변형된 전체 비트율-왜곡 곡선  $R_T(D)$ 를 구한다. 여기서 각 프로그램 영상에 대한 비트율-왜곡 곡선은 계단 형태를 갖는데, 특히 본 논문에서와 같이 적용 가능한 양자화 파라미터가 31 종류이고 한 영상에 대하여 동일한 양자화 파라미터를 적용하여 부호화할 경우는 각 프로그램 영상에 대한 비트율-왜곡 곡선이 31 단계의 왜곡

값을 갖을 수 있다. 또한  $N$ 개의 프로그램이 결합 화질 제어되는 경우 전체 비트율-왜곡 곡선은 최대  $N \times 31$  단계의 왜곡 값을 갖을 수 있다.

4. 목표 왜곡 결정

이 과정은 현재 부호화할 모든 영상들을 전체 목표 비트량  $B_T$ 로 부호화할 때, 변형된 비트율-왜곡 곡선간의 왜곡의 차이가 최소화되는 왜곡 값을 구하는 과정이다. 즉, 그림 3에 나타난 바와 같이 현재 부호화할 각 프로그램 영상에 대한 변형된 전체 비트율-왜곡 곡선  $R_T(D)$ 와  $B_T$ 가 교차하는 점에 해당되는 왜곡 값이 목표 왜곡  $D_T$ 가 되고, 이는 식 (30)으로 구해진다.

$$D_T = \text{Min}\{D/R_T(D) \leq B_T\} \quad (30)$$

5. 양자화 파라미터 선택 및 부호화

이 과정은 각 프로그램의 영상에 대한 변형된 비트율-

왜곡 곡선  $R_k(D/\beta_k)$ 에서 목표 왜곡  $D_T$ 에 근접한 왜곡을 발생시키는 양자화 파라미터를 선택하여 부호화하는 것으로 각 프로그램의 영상에 대한 왜곡 추정 결과로부터 다음 식을 만족하는 양자화 파라미터  $QP$ 를 구하여 부호화 한다.

$$QP = \text{Min}_{1 < QP \leq 31} \{QP | D_T \leq \beta_k \times D_k(QP)\} \quad (31)$$

여기서  $D_k(QP)$ 는 현재 부호화될  $k$  번째 프로그램 영상에 대하여 양자화 파라미터  $QP$ 를 적용할 때 발생하는 왜곡의 추정 값이다.

V. 실험

제안된 결합 화질 제어의 성능을 평가하기 위하여 4종류의 비디오 프로그램들을 적용하여 실험을 수행하였다. 적용된 비디오 프로그램들은 CCIR601 형식(720×480 spatial resolution, 30 frames/sec, 4:2:0 format)을 갖는 표준 MPEG 비디오 시퀀스로 입력 프로그램의 순서는 *mobile*, *flower garden*, *football*, *popple* 시퀀스 순으로 이

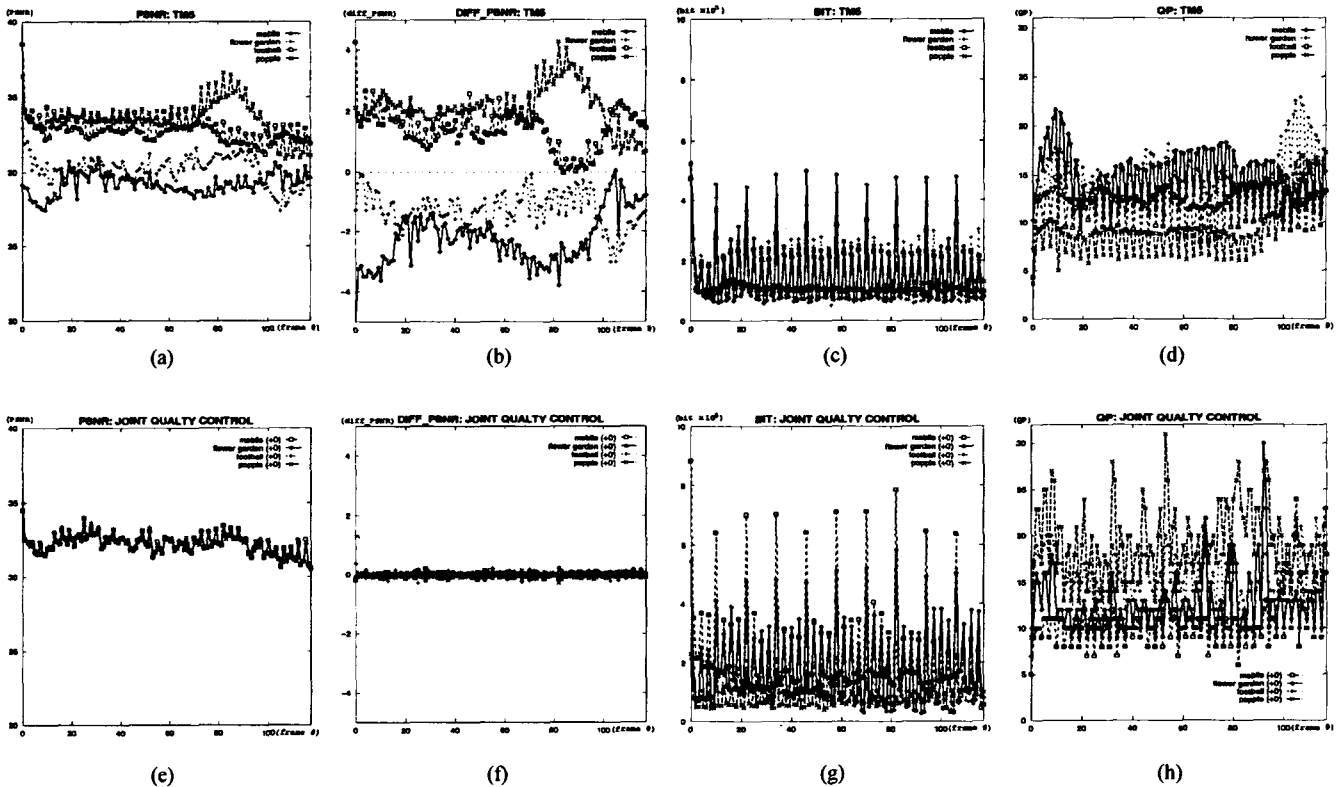


그림 10. 독립 부호화와 제안된 결합 부호화의 성능 비교 독립 부호화: (a)PSNR, (b)diff\_PSNR, (c)발생 비트량, (d)평균 QP. 제안 방식: e)PSNR, (f)diff\_PSNR, (g)발생 비트량, (h)평균 QP  
 Fig. 10. Performance comparison between the independent coding and the proposed joint quality control. Independent coding: (a)PSNR, (b)diff\_PSNR, (c)generated bits, (d)average QP. Proposed joint coding: (e)PSNR, (f)diff\_PSNR, (g)generated bits, (h)average QP

표 1. 독립 부호화와 제안된 결합 화질 제어의 성능 비교  
 Fig. 1. Performance comparison between the independent coding and the proposed joint quality control

	Independent coding: TM5 (4x4.5 Mbps)					Joint quality control (18 Mbps, ΔPSNR = 0.0:0.3)				
	PSNR	MSE	σ <sub>MSE</sub>	QP	Bit rate	PSNR	MSE	σ <sub>MSE</sub>	QP	Bit rate
mobile	29.25	77.24	10.07	14.69	4.5	32.59	39.26	5.67	10.80	6.36
flower	29.94	65.87	14.47	14.77	4.5	32.57	39.45	5.76	12.63	5.62
football	33.23	30.86	5.12	11.66	4.5	32.56	39.69	5.66	15.55	3.52
popple	33.36	29.94	7.93	9.35	4.5	32.55	39.95	5.70	19.66	2.50

는 대략적으로 영상의 복잡도가 높은 프로그램들의 순서와 같다. 채널 전송률  $R_{CBK}$ 은 18Mbps로 각 프로그램에 할당되는 평균 전송률은 4.5Mbps이다. 그리고 방송 서비스의 경우 전체 지연을 보통 300ms 설정하므로 부호기 및 복호기 버퍼의 크기는  $R_{CBK} \times 300ms (=5.4 \text{ Mbits})$ 로 설정하였다.

한편 GOP 구조는 모든 프로그램에 대하여 IBBPBBPBBPBB 형식의 고정된 구조를 사용하였고, 최악의 경우를 고려하기 위하여 I-프레임들이 각 프로그램들로부터 동시에 발생하는 것으로 설정했다.

그림 10은 서론에서 언급한 첫번째 시나리오에 대한 실험 결과로, 프로그램들간의 화질을 동일하게 유지하도록

결합 화질 제어한 경우(즉, 상대적 화질차  $\Delta PSNR_k = 0:0:0:0$ )와 각 프로그램을 TM5로 독립 부호화한 결과를 보여준다. (a)와 (e)는 PSNR관점에서의 성능을 나타낸 것으로 제안된 방식은 부호화된 프로그램들간의 화질을 매우 일정하게 유지함을 알 수 있다. (b)와 (f)는 부호화된 각 프로그램의 PSNR과 평균 PSNR의 차이를 나타낸 것으로  $diff\_PSNR_k$ 는

$$diff\_PSNR_k = PSNR_k - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PSNR_i \quad (32)$$

이다. 이 결과로부터 제안된 방식은 프로그램들간의 화질

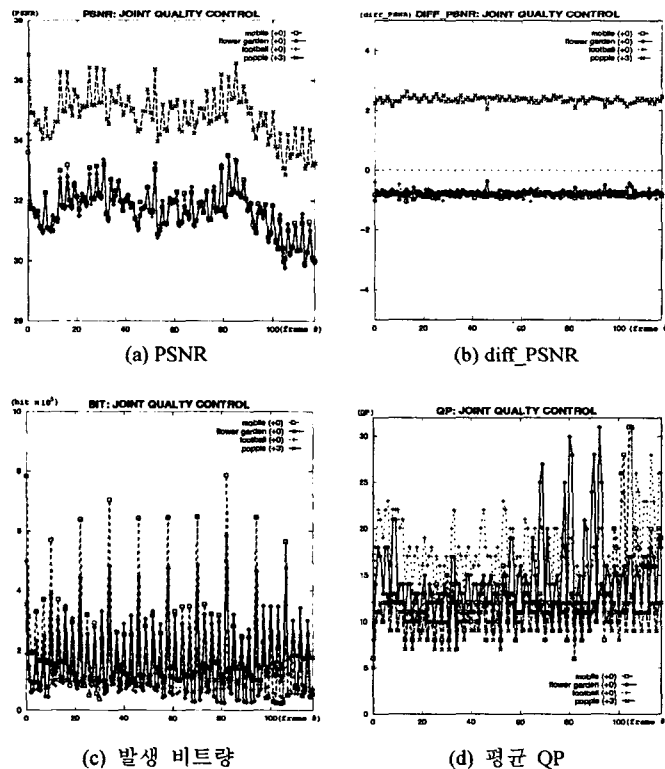


그림 11. 결합 화질 제어 처리 결과(채널 전송률=18Mbps; ΔPSNR=0:0:0:3)  
 Fig. 11. Coding results of joint quality control(channel rate=18Mbps; ΔPSNR=0:0:0:3)

이 매우 동일하게 유지함을 알 수 있다. 이는 (g)에 나타난 바와 같이 상대적으로 단순한 영상에 할당된 비트량의 일부를 복잡한 영상에 할당함으로써 모든 프로그램들간에 균일한 화질을 유지하게 되는 것이다. (d)와 (f)는 각 프로그램의 영상에 적용된 평균 양자화 파라미터를 나타낸 것으로 독립 부호화는 단순한 영상이 복잡한 영상에 비하여 작은 양자화 파라미터 값을 사용하여 부호화됨으로써 프로그램들간에 큰 화질 차이가 발생하지만, 제안된 결합 부호화 방식에서는 상대적으로 복잡한 영상에 작은 양자화 파라미터 값을 적용함으로써 프로그램들간에 화질을 균일하게 유지한다.

표 1은 그림 10에 대한 평균 부호화 결과를 나타낸 것으로, 제안된 결합 화질 제어방식은 모든 비디오 프로그램들간의 화질을 매우 균일하게 제어할 뿐만 아니라 각 프로그램에 대한 왜곡의 표준편차 ( $\sigma_{MSE}$ )들이 비교적 일정하고 적은 값을 갖으므로 각 프로그램에 대해서도 일관된 화질이 유지됨을 알 수 있다. 또한 모든 프로그램들로부터 발생하는 평균 왜곡도 크게 감소한다 (독립 부호화의 경우는 59.98이고 결합 화질 제어의 경우는 39.58이다).

그림 11은 두 번째 시나리오에 대한 실험 예로써, *popple* 시퀀스의 PSNR이 다른 시퀀스들에 비하여 3 dB

높도록 결합 화질 제어 했을 때 (즉,  $\Delta PSNR_k = 0:0:0:3$ ) 부호화된 결과를 보여준다. (a)는 PSNR관점에서의 성능을 나타낸 것이고, (b)는 부호화된 각 프로그램의 PSNR과 평균 PSNR의 차이를 나타낸 것으로, 부호화된 *popple* 시퀀스의 화질이 다른 시퀀스에 비하여 PSNR관점에서 매우 정확하게 3 dB 향상됨을 알 수 있다. (c)와 (d)는 각 시퀀스에 할당된 비트량과 평균 양자화 파라미터를 보여준다.

표 2 결합 화질 제어 처리 결과(채널 전송률=18Mbps; $\Delta PSNR=0:0:0:3$ )

Table 2. Coding results of joint quality control(channel rate=18Mbps; $\Delta PSNR=0:0:0:3$ )

	Joint quality control (18 Mbps; $\Delta PSNR = 0:0:0:3$ )				
	PSNR	MSE	$\sigma_{MSE}$	QP	Bit rate
mobile	32.02	44.87	7.57	12.50	5.62
flower	32.00	45.17	7.80	14.84	4.94
football	31.99	45.40	7.80	17.93	3.12
popple	35.11	21.91	3.88	10.42	4.32

표 2는 그림 11에 대한 평균 부호화 결과를 나타낸 것으로, 제안된 결합 화질 제어방식은 각 프로그램의 부호화

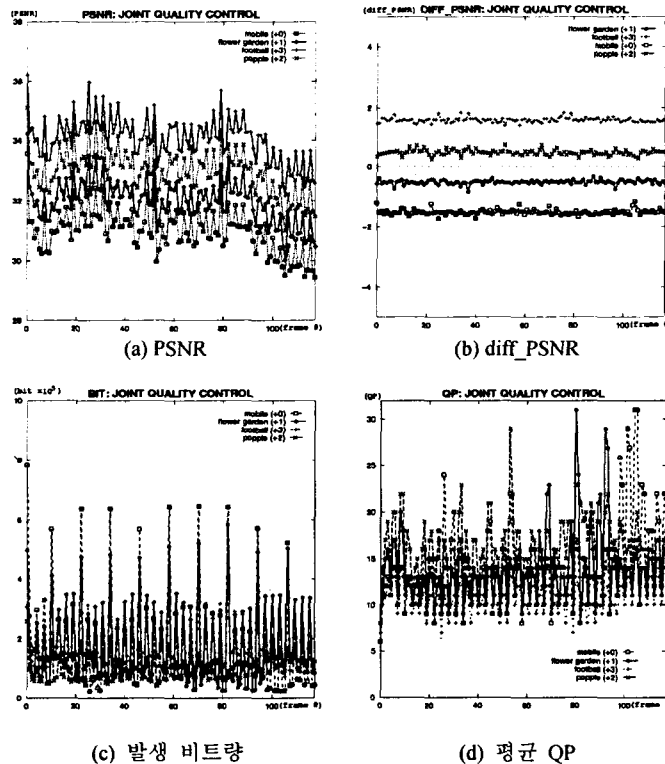


그림 12. 결합 화질 제어 처리 결과(채널 전송률=18Mbps; $\Delta PSNR=0:1:3:2$ )

Fig. 12. Coding results of joint quality control(channel rate=18Mbps; $\Delta PSNR=0:1:3:2$ )

결과가 미리 설정된 PSNR 관점에서의 상대적 화질을 유지하도록 매우 정확하게 제어함을 알 수 있다.

그림 12는 *flower garden*, *football*, 그리고 *popple* 시퀀스의 PSNR이 *mobile* 시퀀스에 비하여 각각 +1 dB, +3 dB, +2 dB 높도록 결합 화질 제어할 때 (즉,  $\Delta PSNR_k = 0:1:3:2$ ) 부호화된 결과를 보여준다. 이 경우도 부호화된 각 프로그램들간의 상대적 화질이 매우 정확하게 제어됨을 보여준다.

표 3. 결합 화질 제어 처리 결과(채널 전송률=18Mbps;  $\Delta PSNR = 0:1:3:2$ )  
 Tabel 3. Coding results of joint quality control(channel rate=18Mbps;  $\Delta PSNR=0:1:3:2$ )

	Joint quality control (18 Mbps; $\Delta PSNR = 0:1:3:2$ )				
	PSNR	MSE	$\sigma_{MSE}$	QP	Bit rate
mobile	31.30	52.85	8.24	14.60	5.28
flower	32.31	41.93	6.61	13.69	5.01
football	34.39	26.02	4.23	10.83	4.80
popple	33.32	33.35	5.45	16.41	2.91

표3은 그림 12에 대한 평균 부호화 결과를 나타낸 것으로, 화질 제어의 오차가 0.1 dB 이하일 만큼 제안 방식이 프로그램들의 화질을 매우 정확하게 제어함을 알 수 있다.

### VI. 결론

본 논문에서는 MPEG-2 비디오에 대한 비트율-왜곡 추정방식을 제안하고 서로 다른 특성을 갖는 여러 영상에 제안된 추정방식을 적용한 결과를 보였다. 또한 이 추정 결과에 근거하여 다수의 비디오 프로그램들이 하나의 채널을 통하여 전송하는 다중 비디오 프로그램 전송 환경에 적용되는 결합 화질 제어방식을 제안하고 실험을 통하여 성능을 평가했다.

제안된 비트율-왜곡 추정방식은 MPEG-2로 부호화된 영상에서 발생하는 비트량과 왜곡을 정확하게 추정하며, 특히 추정을 위한 주된 연산이 양자화에 입력되는 신호의 히스토그램 또는 가중 히스토그램을 구하는 것이므로 계산량이 매우 적다. 따라서 추정의 정확성과 추정을 위한 계산량 측면에서 제안된 방식은 실시간 MPEG-2 비디오 응용에 적용하기에 매우 적합한 방식이다. 또한 제안된 추정과정은 MPEG-2뿐만 아니라 H.261, H.263 또는 MPEG-1 등과 같은 다른 표준 부호화 방식에도 적용이 가능하다.

한편 제안된 결합 화질 제어방식은 결합 화질 제어되는 모든 프로그램들의 전체 전송률은 항상 일정하게 유지하면서 각 프로그램에 대해서는 프로그램의 중요도에 따라 미리 설정된 상대적 화질 차이를 유지하도록 VBR 압축을 수행한다. 제안된 결합 화질 제어의 장점은 첫째, 결합 화

질 제어되는 프로그램들간의 화질이 미리 설정된 상대적 화질을 매우 정확하게 유지하므로 시청자들에게 프로그램의 중요도에 따라 차별화 된 화질을 갖는 영상 서비스를 제공할 수 있다. 둘째, 비트율-왜곡 추정 과정을 포함하여 제안된 결합 화질 제어를 위해 추가되는 연산량이 적으므로 위성방송, CATV, 디지털 지상 방송과 같은 실시간 비디오 서비스 응용에 적용이 용이하다. 셋째, 전체 목표 비트량 결정 과정에서 버퍼 제약 조건을 만족시키므로 버퍼의 넘침이나 고갈을 방지한다. 또한 전체 목표 비트량이 각 프로그램에 대한 개별적인 목표 비트량 산출 결과로부터 얻어지므로 결합 화질 제어되는 영상들간의 부호화 방식이 동일할 필요가 없다. 그리고 한 영상에 동일한 양자화 파라미터를 적용하므로 한 영상 내에서도 일관된 화질이 유지된다.

### 참고문헌

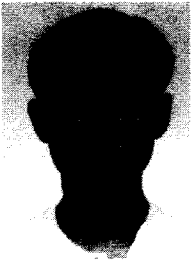
- [1] ISO-IEC/JTC1/SC29/WG11, "Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video," ISO-IEC 13818-2, Nov. 1994.
- [2] Document ISO-IEC/JTC1/SC29/WG11, "Test Model 5," Draft, Apr. 1993.
- [3] CCITT, Working Party XV/1, "Draft of recommendation H.261: Video code for audiovisual services at Px 64kbit/s," Jul. 1990.
- [4] ISO-IEC/JTC1/SC29/WG11, "Coding of moving pictures and associated audio," CD 11172-2, Nov. 1991.
- [5] ITU-T, Study Group 15, "Draft of recommendation H.263: Video coding for low bitrate communication," 2 May. 1996.T.
- [6] S. Sakazawa, Y. Takishima, M. Wada, and Y. Hatori, "Coding control scheme for a multi-encoder system," *6th International Workshop on Packet Video*, Brisbane, Australia, pp. 83-88, Mar. 1996.
- [7] L. Wang and A. Vincent, "Multi-program video coding with joint rate control," *IEEE GLOBECOM'96*, pp. 1516-1520.
- [8] L. Wang and A. Vincent, "Bit allocation for joint coding of multiple video programs," *SPIE VCIP'97*, pp. 149-158.
- [9] G. Keesman and D. Elias, "Analysis of joint bit-rate control in multi-program image coding," *SPIE VCIP'94*, pp. 1906-1917.
- [10] T. Berger, *Rate Distortion Theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1971.
- [11] N. S. Jayant and P. Noll, *Digital Coding of Waveforms*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1984.

- [12] H. Gish and J. N. Pierce, "Asyicient quantizing," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-14, pp. 676-683, Sep. 1968.
- [13] Chun-hang Choi and Oscar C. Au, "Fast piecewise linear approximation of rate-distortion functions for MPEG video," *SPIE VCIP'97*, pp. 1382-1393.
- [14] Yu-Ming Chien and David W. Lin, "Suboptimal quantization control employing approximate distortionrate relations for motion video coding," *SPIE VCIP'97*, pp. 138-148.
- [15] Hsueh-Ming Hang and Jiann-Jone Chen, "Source Model for Transform Video Coder and Its Application-Part I:Fundamental Theory," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 287-298, Apr. 1997.

---

 저 자 소 개
 

---

**홍 성 훈**

1988년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1995년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정  
 1991년 2월 ~ 현재 LG전자 멀티미디어 연구소  
 주관심분야: 비디오 부호화, 영상통신시스템, 멀티미디어 통신 등.

**김 성 대**

1907년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1979년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1983년 프랑스 ENSEEIHT 졸업(공학박사)  
 1984년 ~ 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수  
 주관심분야: 영상처리, 영상통신, 컴퓨터 비전, VLSI 구현 등