

論文2001-38SP-2-11

# MPEG-2 비디오 부호화를 위한 정확한 비트율 제어 알고리즘

## (An Accurate Bitrate Control Algorithm for MPEG-2 Video Coding)

李政祐\*, 扈堯盛\*

(Jeong-Woo Lee and Yo-Sung Ho)

## 요 약

MPEG-2 비디오 부호화 과정에서 비트율 제어를 위해 MPEG-2 Test Model 5 (TM5) 알고리즘이 널리 사용되고 있지만, 실제로는 각 화면에 할당되는 목표 비트수와 실제 부호화된 비트수가 잘 맞지 않아 한 GOP의 마지막 부분에서 버퍼 넘침 현상과 화질의 급격한 열화 현상이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 부호화하고자 하는 블록의 이전 블록에서 실제 발생된 비트수와 예측에 의한 비트수 사이의 관계를 이용하여 정확한 비트수를 할당함으로써, 각 화면의 목표 비트수와 실제 발생하는 부호화 비트수를 정합시키는 새로운 비트율 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 화면내에서 일관된 화질을 유지하며, 실시간 처리도 가능하다.

## Abstract

The MPEG-2 Test Model 5 (TM5) algorithm is widely used for bit rate control. In TM5, however, the target number of bits and the number of actual coding bits for each picture do not match well. Therefore, buffer overflow and picture quality degradation may occur at the end of the GOP. In this paper, we propose a new bit rate control algorithm for matching the target and the actual coding bits based on accurate bit allocation. The key idea of the proposed algorithm is to determine quantization parameters which enable us to generate the number of actual coding bits close to the target number of bits for each picture, while maintaining uniform picture quality and supporting real-time processing. The proposed algorithm exploits the relationship between the number of actual coding bits and the number of estimated bits of the previous macroblock.

## I. 서 론

대역이 제한된 전송 채널에서 디지털 비디오 신호를 전송하거나 디지털 저장 매체에 디지털 비디오 신호를 저장할 때, 화질의 손실을 최소화하면서 데이터 전송 대역폭을 줄이기 위해 비디오 압축 기술을 사용한다.

디지털 비디오 응용에 널리 채택되고 있는 MPEG-2 비디오 부호화 표준<sup>[1]</sup>은 비디오 시퀀스의 공간적 상관도와 시간적 상관도를 모두 이용한다. 비디오 시퀀스의 인접하는 화면들 사이에 존재하는 시간적 상관도는 움직임 예측과 움직임 보상에 의해 제거될 수 있다. MPEG-2 비디오 표준은 세 종류의 시간적 예측 모드를 이용하며, 예측 모드에 따라 세 가지 다른 형태의 화면을 정의한다. 이들은 화면내 부호화 화면인 I화면, 순방향 예측 부호화 화면인 P화면, 그리고 양방향 예측 부호화 화면인 B화면으로 구성된다. 시간적 예측 과정을 수행한 후에, 예측 오류값들 사이에 존재하는 공간

\* 正會員, 光州科學技術院 情報通信工學科  
(Dept. of Information and Communications, Kwangju  
Institute of Science and Technology)  
接受日字:2000年6月26日, 수정완료일:2000年12月4日

적 상관도는 이산 여현 변환(DCT)과 적응 양자화 과정을 이용하여 좀더 감소될 수 있다. 이와 같이 양자화된 계수는 Huffman표를 이용하여 엔트로피 부호화된다. 따라서 MPEG-2 비디오 부호기는 본질적으로 시간에 따라 발생하는 비트수가 다른 가변율(variable bit rate) 비트열을 만들어낸다.

가변율 비트열을 전송 대역폭이 고정된 채널을 통해 전송하고자 할 때, 출력 비트열의 동적인 변동을 평활화하기 위해 보통 채널 버퍼가 사용된다. 또 채널의 버퍼 넘침이나 결핍을 방지하기 위해 비트율 제어 알고리즘을 사용한다. 비트율 제어를 위해 일반적으로 버퍼 충만도와 부호화되는 화면의 특성을 이용하여 양자화 스텝 크기를 결정하는 방법을 사용한다. 복원된 화면의 화질은 양자화 스텝 크기에 크게 좌우되기 때문에 비트열의 비트율을 조절하는 것과 더불어 복원된 화면들의 화질을 안정시키는 것이 필요하다.

주어진 비트율로 제한된 전송 대역을 통해 좋은 비디오 화질을 얻기 위해서는 화질 왜곡이 화면 전체에서 일정해야 하므로, 부호화 목표 비트수를 화면에 적절하게 배분해야 한다. 양자화 오류에 대한 인간의 시각적 민감도는 보통 화면에 있는 질감(texture)의 양에 반비례한다. 인간의 시각은 평탄한 영역에서보다 값의 변화가 상당히 큰 영역에서의 왜곡에 덜 민감하므로, 값이 크게 변하지 않는 평탄한 영역은 좀더 정확한 양자화를 이용하여 부호화해야 한다. 이와 더불어, 부호화 목표 비트수는 시간적으로 연속하는 화면에서 화질이 일정하도록 적당하게 할당되어야 한다. 다양한 부호화 모드들이 혼합되어 사용되는 MPEG 비디오 부호화 알고리즘에서 이러한 사항들을 신중히 고려해야 한다. 직관적으로 생각해서, 움직이는 대상이 적은 비디오 화면을 부호화하면 대부분의 비트들은 I 화면에 할당되고, 반대로 복잡하게 움직이는 대상이 있다면 더 많은 비트들이 P화면과 B화면에 할당된다.

MPEG-2 비디오 표준은 복호화할 비디오 비트열의 구문 구조만을 규정하기 때문에 비트율 제어 알고리즘은 표준화 대상은 아니지만, MPEG-2 Test Model 5 (TM5)<sup>[2]</sup>에서 사용되는 알고리즘이 다양한 MPEG-2 비디오 부호화 응용들에 많이 사용되고 있다. TM5 알고리즘은 일반적인 비디오 시퀀스들에서는 좋은 성능을 보이지만, 다음과 같은 두 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째는 TM5 알고리즘은 화면내에서 일관된 화질을 유지하지 못한다는 것이며<sup>[3, 4]</sup>, 둘째는 장면 전환 현상을

효율적으로 처리하지 못한다는 점이다<sup>[5, 6]</sup>. TM5 알고리즘은 현재 부호화 화면에 할당하고자 하는 목표 비트수를 예측하기 위해 이전에 부호화된 화면에서 얻어진 정보를 이용하기 때문에, 장면 전환과 같은 현상이 일어나면 이전에 부호화된 화면에서 얻어진 정보는 더 이상 적절하지 않으므로 장면 전환이 일어난 다음의 화면들에서는 심각한 화질의 열화가 발생할 수 있다.

TM5 알고리즘에서는 매크로블록의 실제 양자화 변수를 결정하기 전에 참조 양자화 변수를 예측한다. TM5 알고리즘에서 각 매크로블록의 참조 양자화 변수와 실제 적용되는 양자화 변수를 조사하면, 두 변수들은 비트율의 측면에서 서로 상관도가 적기 때문에 상당히 다르다는 것을 알 수 있다. 다시 말해서, 화면의 목표 비트수와 실제 발생된 비트수가 서로 잘 맞지 않는다. 만약 현재 화면에 대해 할당된 목표 비트수보다 더 많은 부호화 비트수가 소모된다면, 결과적으로 현재 GOP의 남아있는 화면들에 할당될 수 있는 비트량이 충분하지 않게 된다. 이 경우에, 불충분한 부호화 목표 비트수가 GOP의 마지막 부분에 있는 화면들에 할당되어 심각한 화질의 열화와 버퍼의 넘침 현상이 발생할 수 있으므로, 목표 비트수에 거의 정확하게 부호화 비트수를 발생시켜 이 문제점을 해결해야 한다.

본 논문에서는 일관된 화질을 유지하면서 실제 부호화 비트수를 목표 비트수와 비슷하게 발생시키는 적응적 비트율 제어 알고리즘을 제안한다. 버퍼의 넘침과 결핍 현상을 피하기 위해 각 화면에 대해 실제로 발생하는 비트수를 할당된 목표 비트수와 비슷하게 한다. 또한 각 화면에서 일관된 화질을 얻기 위해 각 매크로블록에 대해 적당한 부호화 변수들을 선택한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II절에서는 제안된 알고리즘을 이해하기 위해 우선 MPEG-2 TM5 비트율 제어 알고리즘에 대해 간단히 살펴본다. III절에서는 제안된 알고리즘을 상세히 설명한다. 제안된 알고리즘을 평가하기 위한 실험 결과를 IV절에 제시하며, V절에서는 결론을 내린다.

## II. TM5 비트율 제어 알고리즘

본 논문에서 제안된 알고리즘을 이해하기 위해 우선 MPEG-2 TM5 비트율 제어 알고리즘에 대해 간략하게 살펴본다. TM5 알고리즘은 다음의 3단계로 구성된다.

## 1. 목표 비트 할당

첫번째 단계에서는 GOP와 GOP 내에 있는 각 화면의 목표 비트수를 할당한다. 각 GOP를 부호화하기 전에, 활용 가능한 비트수  $R_j$ 는 다음과 같이 갱신된다.

$$R_j = R_{j-1} + \frac{N \times bit\_rate}{picture\_rate} \quad (1)$$

여기서  $N$ 은 GOP내에 있는 화면의 수를 나타내며,  $bit\_rate$ 는 부호화 비트율,  $picture\_rate$ 는 복호화 과정에서 재구성된 화면들이 화면에 재현되는 율이다.  $R_j$ 는  $j$ 번째 화면을 부호화할 때 이용 가능한 비트수이고,  $j$ 번째 화면이 GOP의 첫 번째 화면인 경우에  $R_j$ 는 현재 GOP에 할당된 총 비트수이다.

할당된 목표 비트수를 이용하여 각 화면을 부호화한 후에, 다음 화면의 목표 비트수를 할당하기 위해 사용되는 이전 화면의 복잡도,  $X_i$ ,  $X_p$  그리고  $X_b$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$X_i = S_i \times Q_i \quad (2a)$$

$$X_p = S_p \times Q_p \quad (2b)$$

$$X_b = S_b \times Q_b \quad (2c)$$

$$R_j = R_{j-1} - S_{i,p,b} \quad (3)$$

여기서  $S_i$ ,  $S_p$  그리고  $S_b$ 는 각각 이전 I, P, B화면을 부호화하여 발생된 비트수이고,  $Q_i$ ,  $Q_p$ ,  $Q_b$ 는 화면내에 있는 매크로블록들의 평균 양자화 변수값이다.

앞에서 정의된 값들을 이용하여 GOP내에서 같은 형태로 부호화되는 다음 화면의 목표 비트수,  $T_i$ ,  $T_p$  혹은  $T_b$ 는 다음과 같이 설정된다.

$$T_i = \max \left\{ \frac{R}{1 + \frac{N_p X_p}{X_i K_p} + \frac{N_b X_b}{X_i K_b}}, \frac{bit\_rate}{8 \times picture\_rate} \right\} \quad (4a)$$

$$T_p = \max \left\{ \frac{R}{N_p + \frac{N_b K_p X_b}{K_b X_p}}, \frac{bit\_rate}{8 \times picture\_rate} \right\} \quad (4b)$$

$$T_b = \max \left\{ \frac{R}{N_b + \frac{N_p K_b X_p}{K_p X_b}}, \frac{bit\_rate}{8 \times picture\_rate} \right\} \quad (4c)$$

여기서  $K_p$ 와  $K_b$ 는 상수이고,  $R$ 은 현재 GOP에 할당된 남아있는 비트수이다.  $N_p$ 와  $N_b$ 는 각각 현재 GOP에 남아있는 P화면과 B화면의 수이고,  $bit\_rate / (8 \times picture\_rate)$ 는 MPEG-2 TM5 알고리즘에서 정의된 최소 목표 비트수이다.

## 2. 비트율 제어

비트율 제어를 위해 사용되는 참조 양자화 변수  $Q_j$ 는 버퍼 충만도의 상태에 따라 각 매크로블록 단위로 계산된다.  $j$ 번째 매크로블록을 부호화하기 전에 먼저 각 화면 형태별로 적당한 가상 버퍼 충만도가 계산된다.

$$d_j^i = d_0^i + B_{j-1} - \frac{T_i \times (j-1)}{MB_{cnt}} \quad (5a)$$

$$d_j^p = d_0^p + B_{j-1} - \frac{T_p \times (j-1)}{MB_{cnt}} \quad (5b)$$

$$d_j^b = d_0^b + B_{j-1} - \frac{T_b \times (j-1)}{MB_{cnt}} \quad (5c)$$

여기서  $d_0^i$ ,  $d_0^p$ ,  $d_0^b$ 는 각 화면 형태에 대응하는 초기 버퍼 충만도이고,  $B_{j-1}$ 는 현재 화면에서  $j-1$ 번째까지 모든 매크로블록들을 부호화하여 발생된 비트수이다.  $MB_{cnt}$ 는 화면에 있는 전체 매크로블록의 수이고, 버퍼 충만도  $d_j$ 는  $j$ 번째 매크로블록의 양자화 변수를 계산할 때 사용된다.

$$Q_j = \frac{d_j \times 31 \times picture\_rate}{2 \times bit\_rate} \quad (6)$$

이 식에서  $d_j$ 의 값이 커지면  $Q_j$ 의 값이 증가하여 매크로블록을 사용되는 비트수를 감소시키는 결과를 초래한다.

## 3. 적응 양자화

이 단계에서는 실제 양자화 과정에서 사용되는 양자화 변수값  $mquant$ 를 유도하기 위해, 대응하는 매크로

블록의 공간적 활동도를 이용하여 참조 양자화 변수를 변화시킨다.

$j$ 번째 매크로블록의 공간적 활동도는 4개의 프레임 기반 블록과 4개의 필드 기반 블록에서 원래 휘도값을 이용하여 계산된다.

$$act_j = 1 + \min_{sblk=1,8} (var\_sblk) \quad (7)$$

$$var\_sblk = \frac{1}{64} \sum_{k=1}^{64} (P_k - P_{mean})^2 \quad (8)$$

$$P_{mean} = \frac{1}{64} \sum_{k=1}^{64} P_k \quad (9)$$

여기서  $P_k$ 는 원영상 8x8 블록에 있는 휘도값이다.

정규화된 매크로블록 국부 활동도  $N\_act_j$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$N\_act_j = \frac{2 \times act_j + avg\_act}{act_j + 2 \times avg\_act} \quad (10)$$

여기서  $avg\_act$ 는 가장 최근에 부호화된 화면에서 계산된 평균 공간적 활동도이다. 실제 양자화 과정에서 사용되는  $j$ 번째 매크로블록의 양자화 변수는 다음과 같이 계산된다.

$$Mquant_j = Q_j \times N\_act_j \quad (11)$$

### III. 새로운 비트율 제어 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 목표 비트 할당 단계, 참조 양자화 변수 단계, 그리고 적응 양자화를 위한 목표 비트 정합 단계의 총 3단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 화면을 부호화하는데 이용 가능한 부호화 목표 비트수를 계산한다. 두 번째 단계는 화면내에서 일관된 화질을 제공하기 위해 각 매크로블록의 참조 양자화 변수를 예측한다. 세 번째 단계는 이전 매크로블록의 실제 발생된 비트수와 예측된 비트수의 차이를 이용하여 참조 양자화 변수값을 변화시킨다. 이 단계에서 화면 단위로 실제 부호화 비트수가 목표 비트수에 근접하는 것을 지원한다.

1. 목표 비트 할당  
각 화면의 부호화 목표 비트수  $T$ 는 TM5 알고리즘에

서 구한 것과 같이 식(4)에 의해 계산된다.

#### 2. 참조 양자화 변수

각 매크로블록의 참조 양자화 변수를 예측하기 위해, 본 논문은 비트율 왜곡 이론(Rate Distortion Theory)에 근거하여 다음과 같은 식을 정의한다<sup>[7]</sup>.

$$q_i = 2^C \times \gamma_i \quad (12)$$

여기서  $C$ 는 비트율을 조절하는 변수로서 매 화면마다 새로 계산된다. 변수  $\gamma_i$ 는 현재 매크로블록의 특징들을 나타내는 스케일링(scaling) 성분이다. 이 식 (12)에서 알 수 있듯이, 참조 양자화 변수  $q_i$ 를 계산하기 위해서는  $C$ 와  $\gamma_i$ 의 값들을 결정해야 한다.

$i$ 번째 매크로블록의 스케일링 성분  $\gamma_i$ 는 식 (10)에 있는  $N\_act_j$  값을 이용할 수 있다. 본 논문에서는 각 화면내에서 일관된 화질을 얻기 위한 스케일링 성분으로 인간의 시각적 민감도를 이용한다. 사람 눈의 인지도는 화면의 복잡한 영역보다 평탄한 영역에 존재하는 왜곡에 더 민감하기 때문에 평탄한 영역은 세밀한 양자화기를 이용하여 부호화한다. 다시 말해서, 화면의 복잡한 영역보다 평탄한 영역에 더 작은 양자화 변수값을 할당한다. 인간의 시각적 민감도를 표현하는 좋은 척도중의 하나는  $DC$  값에 의해 정규화된  $AC$  계수들의 합수이기 때문에<sup>[8]</sup>, 본 논문에서는  $\gamma_i$ 값을 계산하기 위해 다음과 같은 식을 정의한다.

$$\gamma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^3 \sum_{k=6}^{63} dct_{i,j,k}^2}{232} \frac{128}{\max(DC, DC_{min})}} \quad (13)$$

여기서  $j$ 는  $i$ 번째 매크로블록내에 있는 네 개의 휘도 블록의 번호이고,  $k$ 는 지그재그(zig-zag) 주사 순서로 DCT 계수들의 번호이다. 따라서  $dct_{i,j,k}$ 는  $i$ 번째 매크로블록내에 있는  $j$ 번째 블록의  $k$ 번째 DCT 계수의 값이고,  $DC$ 는 매크로블록에 있는 네 개의 블록들의  $DC$  계수들의 평균값이다.  $DC_{min}$ 은  $DC$  성분의 민감도를 줄이기 위해 사용되는 변수이다. 낮은 주파수 성분들을 나타내는 처음 다섯  $AC$  성분들은 스케일링 성분의 시각적 민감도와 밀접하게 연관되지 않기 때문에  $\gamma_i$  계산에 포함되지 않는다.

$\gamma_i$ 값은 화면의 내용에 따라 크게 변할 수 있기 때문에, 그림 1에 보이는 바와 같이  $\gamma_i$ 값의 범위를 제한한

다. 이를 위해 모든  $\gamma_i$  값들 중에서  $a$ 번째 가장 큰 값이  $\gamma_{\max}$ 로 사용되고,  $b$ 번째 가장 작은 값이  $\gamma_{\min}$ 으로 사용된다. 여기서  $a$ 와  $\beta$ 는 실험에 의해 각각  $0.2 MB_{cut}$ 와  $0.1 MB_{cut}$ 으로 설정되었다. 따라서  $\gamma_i$ 값은 다음과 같이 결정된다.

$$\gamma_i = \begin{cases} \gamma_{\max}, & \text{if } \gamma_i \geq \gamma_{\max} \\ \gamma_i, & \text{if } \gamma_{\min} \leq \gamma_i \leq \gamma_{\max} \\ \gamma_{\min}, & \text{if } \gamma_i \leq \gamma_{\min} \end{cases} \quad (14a)$$

$$\gamma_i = \gamma_i \quad (14b)$$

$$\gamma_i = \gamma_{\min} \quad (14c)$$

만약 시퀀스가 상당히 복잡한 영역이나 빨리 움직이는 객체를 포함하면  $\gamma_i$  값은 전체적으로 높고, 다른 상황에서는  $\gamma_i$  값은 낮다. 제안된 알고리즘이 잘 동작하도록 하기 위해,  $\gamma_i$  값은 다음 식을 이용하여 고정된 영역에서 변환된다.

$$\lambda = \frac{\gamma_{\text{high}} - \gamma_{\text{low}}}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}} \quad (15)$$

$$\gamma_i = \lambda(\gamma_i - \gamma_{\min}) + \gamma_{\text{low}} \quad (16)$$

여기서  $\gamma_{\text{high}}$ 와  $\gamma_{\text{low}}$ 는  $\gamma_i$  값이 제한된 범위내에 놓이기 전에  $\gamma_i$ 의 가장 큰 값과 가장 작은 값이다.

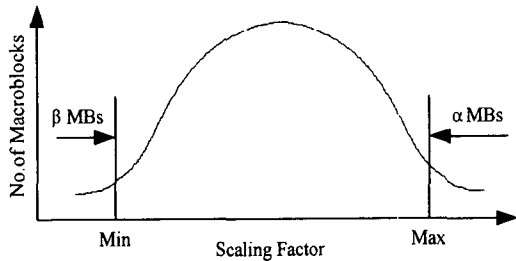


그림 1. 스케일링 성분의 범위  
Fig. 1. Range of Scaling Factor.

식 (12)를 이용하여 각 화면의  $C$  값을 결정하기 위해 본 논문에서는 평균 스케일링 성분과 양자화 변수를 설정한다. 스케일링 성분들의 평균값을 계산한 후에, 평균 스케일링 성분 값을 가지는 참조 매크로블록을 선택한다. 스케일링 성분들의 평균값은 다음과 같이 계산된다.

$$\Gamma = \sum_{i=1}^{MB_{cut}} \gamma_i \quad (17)$$

$$\gamma_{avg} = \frac{\Gamma}{MB_{cut}} \quad (18)$$

참조 매크로블록은 부호화되는 화면의 형태(I, P, B 화면)를 고려하여 선택된다. 참조 매크로블록을 실제 부호화하면서, 실제 부호화 비트수가 참조 매크로블록에 할당된 비트수에 근사하도록 초기 양자화 변수  $Q_{init}$  값을 결정한다. 이때  $C$  값은 식 (12)에 의해 다음과 같이 계산된다<sup>[9,10]</sup>.

$$C = \log_2 \frac{Q_{init}}{\gamma_{avg}} \quad (19)$$

비록  $C$  값을 계산하기 위한 과정이 반복적인 연산을 포함하지만, 제안된 알고리즘의 연산 복잡도는 TM5 알고리즘의 연산 복잡도와 비슷하다. 하지만 참조 매크로블록을 이용하여 초기 양자화 변수를 정하는 부호화 과정이 필요하기 때문에, 제안된 알고리즘의 부호화기 구조는 상당히 복잡하다. 만약 적당한 스케일링 성분  $\gamma_i$ 와 양자화 변수  $q_i$ 를 선택한다면,  $C$  값은 식 (12)에 의해 다음과 같이 좀더 쉽게 계산될 수 있다.

$$C = \log_2 \frac{q_i}{\gamma_i} \quad (20)$$

이를 위해 제안된 알고리즘은 먼저 식 (18)을 이용하여 스케일링 성분들의 평균값을 계산한다. 그리고 양자화 변수들의 평균값을 계산한다.

$$Q = \sum_{i=1}^{MB_{cut}} q_i \quad (21)$$

$$Q_{avg} = \frac{Q}{MB_{cut}} \quad (22)$$

결국  $C$  값은 식 (20)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$C^{[I,P,B]} = \log_2 \frac{Q^{[I,P,B]}}{\gamma_{avg}^{[I,P,B]}} \quad (23)$$

여기서  $C^I$ ,  $C^P$ ,  $C^B$ 는 각각 I화면, P화면, B화면에 해당하는  $C$  값이고,  $Q_{avg}^I$ ,  $Q_{avg}^P$ ,  $Q_{avg}^B$ 는 각 화면의 형태에 해당하는 평균 양자화 변수값이다. 또한  $\gamma_{avg}^I$ ,  $\gamma_{avg}^P$ ,  $\gamma_{avg}^B$ 는 평균 스케일링 성분값이다.

### 3. 적응 양자화를 위한 목표 비트 정합

이 단계에서 양자화 변수값은 목표 비트수와 실제 부호화 비트수의 차이를 최소화하기 위해 변화된다. 목표 비트수에 근사하게 실제 부호화 비트수를 발생시키기 위해 본 논문에서는 먼저 화면에 할당된 목표 비트수를 매크로블록에 분배하고, 각 매크로블록에 할당된 목표 비트수에 근접하게 실제 부호화 비트수를 발생시킨다.

이와 같은 동작을 위해, 본 논문에서는 이전 매크로블록의 실제 발생된 비트수  $BIT_{actual}$ 와 예측된 부호화 비트수  $BIT_{estimated}$ 의 관계를 이용한다. 이 두 변수 사이의 관계에서 만약  $BIT_{actual}$ 의 값이  $BIT_{estimated}$ 의 값보다 크면, 실제 발생된 비트수가 원래 할당하고자 했던 비트수보다 많다고 가정할 수 있기 때문에, 이 경우에 참조 양자화 변수값을 증가시킨다. 이와 같은 전략에서 우리는 두 가지 요소를 고려해야 한다. 첫째는  $BIT_{estimated}$  값을 결정해야 하며, 둘째는 현재 참조 양자화 변수에서 화질의 일관성을 유지하면서 실제 발생 비트수를 목표 비트수에 근접하게 하기 위해 가감해야 하는 양을 정해야 한다.

현재 매크로블록의 활동도가 크다는 것은 이 매크로블록에 상응하는 영역이 상당히 복잡하다는 것을 의미한다. 그러므로 양자화 변수가 모든 매크로블록에 대해 같은 값으로 고정되었다고 가정하면, 더 큰 활동도를 가지는 매크로블록에서 더 많은 비트수가 발생될 것이다. 여기서 우리는 매크로블록을 부호화해서 발생된 비트수는 그 매크로블록의 활동도에 선형적으로 비례한다고 가정할 수 있다. 즉,

$$BIT_{estimated} \propto B_{point} \times \gamma_i \quad (24)$$

$$B_{point} = \frac{T}{\Gamma} \quad (25)$$

여기서  $T$ 는 화면에 할당된 목표 비트수이고,  $\Gamma$ 는 식 (17)에 정의된 스케일링 성분의 전체 합이다.

P화면과 B화면에서 예측 모드로 부호화되는 매크로블록들은 위에서 정의한 매크로블록의 활동도만을 가지고 예측된 비트수보다는 적은 수의 부호화 비트수를 발생할 것이다. 따라서 현재 매크로블록의 부호화 비트수를 좀더 정확하게 예측하기 위해 본 논문에서는 현재 매크로블록과 같은 특성을 가지면서 이전에 부호화된 매크로블록들의 실제 부호화 비트수와 예측 비트수를 조사한다. 현재 매크로블록과 같은 부호화 모드와 활동도를 가지는 모든 이전 매크로블록의  $BIT_{estimated}$  값의 합과  $BIT_{actual}$  값의 합 사이의 비율을  $\Pi$ 이라 표시하면, 현재 매크로블록의 예측된 비트수  $BIT_{estimated}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$BIT_{estimated} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \gamma_i \cdot B_{point} \quad (26)$$

여기서  $\lambda_2$ 는 이전 매크로블록의 부호화 모드를 나타내는 상수이다. 본 논문에서는 매크로블록의 부호화 모드가 MB\_INTRA이면  $\lambda_2 = 1$ 로 설정하였고, MB\_INTRA를 제외한 매크로블록에서는  $\lambda_2 = 0.8$ 로 설정하였다.

그림 2는 양자화 스텝 크기를 적응적으로 결정하는 절차를 보여주고 있다. 그림 2에서 차분값  $D$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$D = BIT_{actual} - BIT_{estimated} \quad (27)$$

만약  $D$ 가 양수이면, 현재 할당된 목표 비트수보다 더 많은 부호화 비트수가 발생되기 때문에 현재 매크로블록의 참조 양자화 변수값을 증가시킨다. 참조 양자화 변수는 차분값의 절대값에 따라 적응적으로 변화된다.

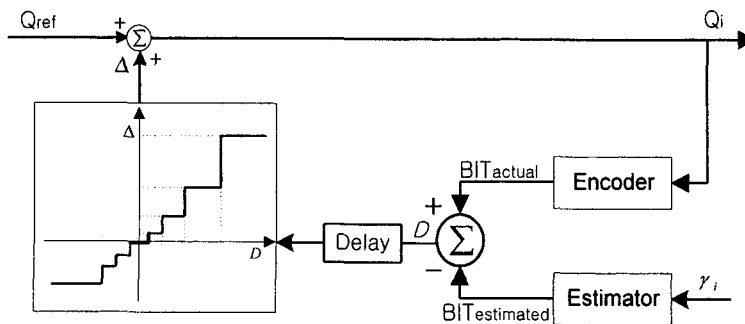


그림 2. 양자화 스텝 크기를 위한 적응 구조  
Fig. 2. Adaptive Mechanism for Quantization Step Size.

이제는 현재 매크로블록에서 조절되어야 하는 양자화 변수의 양을 결정해야 한다.  $i$ 번째 매크로블록의 양자화 변수  $Q_i$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$Q_i = Q_{ref} + \Delta \tag{28}$$

여기서  $Q_{ref}$ 는 현재 매크로블록의 참조 양자화 변수이고,  $\Delta$ 는 조절될 양자화 변수의 양이다. 따라서  $\Delta$  값이 크면 양자화 변수는 급격히 변해 복원된 매크로블록은 일관된 화질을 가질 수 없을 수도 있으므로 이러한 경우에는  $\Delta$  값을 여러 매크로블록으로 흩어지게 한다.

비트율 제어는 다음과 같이 수행된다<sup>[11]</sup>.

$$B = \frac{M}{\text{quantization step size}} \tag{29}$$

여기서  $B$ 는 화면에서 발생된 부호화 비트수이고,  $M$ 은 화면의 복잡도로 나타내는 상수이다.

그림 3은 매크로블록에 대한 비트율과 양자화 변수 사이의 관계를 보여준다. 그림 3에서 알 수 있듯이, 상수  $M$ 을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$M = B_{avg} \times Q_{init} = B_{ref} \times Q_{ref} \tag{30}$$

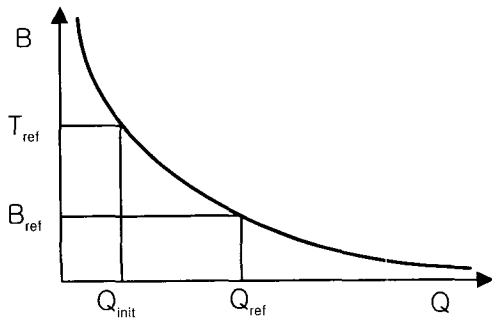


그림 3. 매크로블록 비트율과 양자화 변수의 관계  
Fig. 3. Relationship between Bitrate and Quantization Parameter for the Macroblock.

여기서  $B_{ref}$ 는 주어진 참조 양자화 변수  $Q_{ref}$ 에 대한 목표 비트수이다. 주어진 차분값을 위해 할당되는 부호화 비트수는 다음과 같다.

$$D_i = D_{i-1} + D \tag{31}$$

여기서  $D_i$ 는  $i$ 번째 매크로블록의 차분값  $D$ 이다. 현재

매크로블록을 부호화하기 전에  $D_i$  값은 다음과 같이 갱신된다.

$$D_i = D_{i-1} + D \tag{32}$$

화면을 부호화하기 시작할 때  $D_i$  값은 0으로 설정된다. 부호화 이전에 미리 결정되는  $D_i$ 와  $B_{ref}$  사이의 관계를 다음과 같이 정의하면

$$D_i = \eta \times B_{ref} \tag{33}$$

$B$  값은 식 (31)에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$B = B_{ref} - D_i = \frac{M}{Q_{ref} + \Delta} \tag{34}$$

따라서  $\Delta$  값은 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta = \frac{\eta \times Q_{ref}}{1 - \eta} \tag{35}$$

여기서  $\eta_{min} \leq \eta < 1$ 이다.

그림 4는 양자화 변수를 계산하기 위한 절차이다.

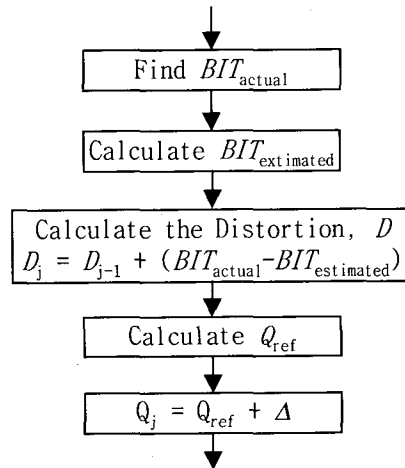


그림 4. 양자화 변수 계산을 위한 절차  
Fig. 4. The Procedure for Calculating the Quantization Parameter.

#### IV. 실험 결과

본 논문에서는 CCIR 601 영상 형식을 가지는 BUS 시퀀스, MILITARY PARADE 시퀀스와 TEMPLE 시퀀스를 이용하여 제안된 알고리즘의 성능을 검사하였

다. BUS 시퀀스와 MILITARY PARADE 시퀀스는 상당히 복잡한 영역과 빠른 움직임을 가지는 객체를 포함한다. TEMPLE 시퀀스는 비교적 평탄한 영역과 느리게 움직이는 객체만을 포함한다. 실험에 사용된 모든 시퀀스는 제안된 알고리즘과 TM5 알고리즘을 적용하여 각각 6 Mb/s로 부호화하였다. GOP 내에 있는 화면의 개수는  $12(N = 12)$ , I화면과 P화면 사이의 간격은  $3(M = 3)$ 으로 설정하였다.

그림 5(a)는 C 값을 반복 알고리즘을 이용하여 계산했을 때, 제안된 알고리즘과 TM5 알고리즘을 BUS 시퀀스에 적용한 후의 할당된 목표 비트수와 실제 부호화 비트수 사이의 차분값을 그래프로 나타낸 것이다. 그림 5(a)에서 살펴볼 수 있듯이, TM5 알고리즘에서는 상당히 큰 변화가 있는 반면에, 제안된 알고리즘에서는 실제 부호화 비트수가 목표 비트수에 상당히 근사하게 발생됨을 알 수 있다. 따라서 제안된 알고리즘에서는 버퍼 넘침과 버퍼 결핍 현상이 발생하지 않는다. 그림 5(b)는 복원된 시퀀스의 PSNR 값을 나타낸다. 제안된 알고리즘이 TM5 알고리즘에 비해 더 나은 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 실제 부호화 비트수가 목표 비트수의 한도를 과도하게 넘지 않기 때문에, 제안된 알고리즘을 이용하면 화질이 심하게 열화되지 않는다.

일관된 화질을 얻기 위한 과정에서 C 값을 계산하기 위해 반복 알고리즘을 이용할 수 있는데, 대부분의 반복 알고리즘의 연산 복잡도는 높지만 제안된 알고리즘의 연산 복잡도는 반복 알고리즘이 각 화면의 시작 부분에서 하나의 참조 매크로블록에서만 수행하여 C 값을 결정하기 때문에 그다지 높지 않다. 하지만 부호화기는 참조 매크로블록에 대해 부호화 과정이 수행되어야 하기 때문에 상당히 복잡하다.

그림 6와 그림 7은 제안된 알고리즘에 의해 C 값이 결정된 경우의 실험 결과를 보여주고 있다. 그림 6(a)와 그림 7(a)는 각각 MILITARY PARADE와 TEMPLE 시퀀스의 목표 비트수와 실제 부호화 비트수의 차이를 보여주고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 제안된 알고리즘은 그림 5에서 보여진 결과와 비슷한 성능을 가짐을 알 수 있다. 그림 6(b)와 그림 7(b)는 복원된 시퀀스의 PSNR을 보여준다. 이 그림에서 우리는 복잡하고 빠른 움직임을 가지는 시퀀스에서는 제안된 알고리즘이 TM5 알고리즘보다 더 나은 성능을 보이고, 단순하고 느리게 움직이는 시퀀스에서는 두 알고리즘이 비슷한 성능을 가지는 것을 알 수 있다. 제안된 알

고리즘은 크게 3단계로 구성되는데, 목표 비트 할당은 TM5와 같기 때문에 연산량은 같다. 연산의 오버헤드는 두 번째 단계와 세 번째 단계에서 발생하게 된다. 참조 양자화 변수값을 정하는 식 (12)는 TM5의 연산량과 비슷하다. 왜냐하면 식 (12)에서 이용되는 C값은 한 프레임에 대해 유일하게 결정되는 것이므로 실제 소요되는 연산량은 식 (13)과 같다. 식 (29)에서 식 (34)는 최종적으로 사용되는 식 (35)를 위한 유도 과정으로 실제 연산은 식 (35)를 이용하므로 TM5와 연산량이 유사하다. 표 1은 실제 BUS 시퀀스를 이용하여 100프레임을 부호화한 경우에 실제 소요된 시간을 나타낸다.

표 1. TM5와 제안된 알고리즘의 부호화 시간 비교

Table 1. Encoding Time Comparison between TM5 and Proposed Algorithm.

	TM5	제안된 알고리즘
부호화시간	14분 8초	14분 10초

### V. 결 론

본 논문에서는 정확한 비트 할당에 기반한 새로운 비트율 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 기본 핵심은 화면내에서 일관된 화질을 유지하고 실시간 처리를 지원하면서 실제 부호화 비트수가 할당된 목표 비트수에 가능한 한 근사하게 되도록 양자화 변수들을 결정하는 것이다. 현재 매크로블록의 부호화 비트수를 예측할 때, 이전 부호화 매크로블록의 활동도와 부호화 모드를 모두 고려한다. 제안된 알고리즘에서는 각 화면에 대해 할당된 목표 비트수와 실제 부호화 비트수가 서로 잘 맞기 때문에 버퍼의 넘침 현상이나 GOP의 후반 부분에서 화질의 열화가 전혀 발생하지 않았다. 제안된 알고리즘은 복잡하고 빠른 움직임 객체를 가지는 시퀀스에서는 기존의 TM5 알고리즘보다 나은 성능을 보여준다.

### 참 고 문 헌

[1] ISO/IEC IS 13818-2: "Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio: Video," March 1996.  
 [2] "MPEG-2 Video Test Model 5," ISO/IEC



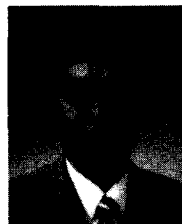
- JTCL/ SC29/WG11 MPEG93/457*, April 1993.
- [3] L. Wang, "Adaptive Modeling For Bit Rate Control," *Int. Workshop on HDTV*, pp 3A.1-10, Oct. 1993.
- [4] L. Wang, "Rate Control for MPEG Video Coding," *SPIE Visual Communications and Image Processing*, Vol. 2501, pp. 53-64, 1994.
- [5] S.G. Lee, J.H. Cho, S.G. Park and S.W. Ra, "Scene Adaptive Bit Rate Control Strategy," *SPIE Visual Communications and Image Processing*, Vol. 2501, pp. 1461-1469, 1995.
- [6] S. Park, Y. Lee and H. Chang, "A New MPEG-2 Rate Control Scheme Using Scene Change Detection," *ETRI Journal*, Vol. 18, No. 2, pp 61-74, July 1996.
- [7] T. Berger, *Rate Distortion Theory*, Prentice Hall, pp. 91-105, 1971.
- [8] M. Kawashima, C.T. Chen, F.C. Jeng and S. Singhal, "A New Rate Control Strategy for the MPEG Video Coding Algorithm," *Journal of Visual Comm and Image Repres.* Vol. 4, No. 3, pp. 254-262, Sept. 1993.
- [9] J.W. Lee and Y.S. Ho, "A New MPEG-2 Bitrate Control Algorithm based on Accurate Bit Allocation," *Int. Workshop on HDTV*, pp. 61-70, Oct. 1998.
- [10] J.W. Lee and Y.S. Ho, "Target Bit Matching for MPEG-2 Video Rate Control," *IEEE Region 10 Annual Conference*, pp. 66-69, Dec. 1998.
- [11] J. Mitchell, W. Pennebaker, C. Fogg and D. LeGall, *MPEG Video Compression Standard*, Chapman and Hall, 1997.

## 저 자 소 개



李 政 祐(正會員)

1996년 전북대학교 정보통신공학과 학사. 1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사. 1998년 3월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정



扈 堯 盛(正會員)

1981년 서울대학교 전자공학과 학사. 1983년 서울대학교 전자공학과 석사. 1989년 University of California at Santa Barbara, Department of Electrical and Computer Engineering 박사. 1983년~1995년 한국전자통신연구소 선임연구원. 1990~1993년 미국 필립스연구소 선임연구원. 1995년~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수 재직.