

# 저전송률 비디오 부호기를 위한 최적 비트율 제어 기법 연구

한성욱, 최윤식  
연세대학교 전기전자공학과

## A Study on Optimal Rate Control for Low Bit Rate Coder

Seong-Wook Han, Yoon-Sik Choe  
Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University  
E-mail : suphan@yonsei.ac.kr, yschoe@yonsei.ac.kr

### 요 약

비트율 제어 기법은 일정한 양의 비트만을 사용하여 최상의 화질을 얻기 위한 것이다. 그 중에서 최적의 비트율 제어기법(Optimal Rate Control)은 실시간 전송이 필요 없는 응용 분야에서 사용하거나 또는 모델 기반 비트율 제어기법의 성능을 평가하기 위하여 사용되었다. 하지만 기존의 방법들을 저전송률 비디오 부호기에 적용하였을 때에는, 양자화 매개변수간의 의존관계 때문에 최적의 해를 구하지 못하는 문제점이 생겼다. 따라서, 본 논문에서는 라그랑제 비용함수를 사용한 비터비 알고리즘을 이용하여 저 전송률 비디오 부호기에 적용할 수 있는 최적의 비트율 제어기법을 제안할 것이다.

### 1. 서론

통신 기술의 급속한 발전으로 인해 이동 통신 상에서의 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다. 하지만 비교적 적은 양의 데이터만을 전송할 수 있는 이동 통신 채널 환경에서 깨끗한 화질의 영상을 안정적이면서도 빠르게 서비스하는 일은 매우 어렵다. 이와 같은 문제들을 해결하는 기술이 디지털 동영상에서의 비트율 제어(Rate Control) 기법이다.

비트율 제어 기법은 일정한 양의 비트를 사용하여 안정적인 전송이 가능하게 하면서 보다 좋은 화질로 비디오를 압축하는 방법에 관한 연구이다. 비트율 제어 기법은 비트 할당 기법이라고도 부르는데, 매크로 블록마다 양자화 스텝 크기를 조절하여 왜곡을 최소로 만들 수 있는 비트 량을 할당하기 때문이다.

이런 이유로 실제로 비트율에 따른 왜곡을 계산하여 구한 율-왜곡 함수를 이용하여 오버플로우를 막으면서 동시에 가장 좋은 화질을 얻을 수 있는 양자화 크기를 결정하는 여러 가지 방법들이 제안되었다. 이 방법들은 라그랑제 방법(Lagrangian method) [1][2][3][4][5]과 다이나믹 프로그래밍(dynamic

programming)[6]을 이용한 것으로 나뉘어 진다. 다이나믹 프로그래밍은 비터비 알고리즘[7]을 이용하여 최적의 해를 구하지만, 프레임의 최대 비트율이  $R$ 일 때  $R^2$  번씩의 계산을 해야하는 복잡성의 문제가 있었다.[8] 그래서 계산량은 비교적 줄이면서도 최적의 해에 매우 근사한 부분적인 최적의 해를 구할 수 있는 방법으로 제안된 것이 라그랑제 방법이다.

하지만 기존의 비트 할당 기법에서 최적의 해로 구한 양자화 크기를 부호화하기 위해 사용된 방식은, MPEG-1이나 MPEG-2에서 사용되는 MQQUANT이다. 프레임의 매크로 블록마다 가장 적합한 양자화 크기를 찾았기 때문에, 이를 부호화하기 위해서는 5 비트로 양자화 크기를 부호화하는 MQQUANT 방식을 사용할 수 밖에 없었다. 하지만 H.263나 MPEG-4와 같이 저 전송률을 목적으로 하는 압축 표준에서는 이전 블록의 양자화 크기와 현 블록의 양자화 크기의 차이를 2 비트로 부호화하는 DQUANT 방식을 사용한다.

본 논문에서는 MQQUANT대신 DQUANT를 사용했을 때의 문제점과, 이를 해결하기 위한 방안을 제안할 것이다. DQUANT를 사용하는 저전송률 부호기에 기

존 방식을 그대로 사용한다면, 매크로 블록의 양자화 크기사이에 의존 문제를 생기기 때문에, 최적 해를 찾지 못하는 문제점이 생긴다. 이를 해결하기 위해, 우리는 라그랑제 비용함수를 사용한 비터비 알고리즘을 적용하여 해결할 것이다.

아래의 2장에서는 일반적인 라그랑제 최적화에 대해 기술하고, 기존의 라그랑제 방법을 저 전송율 비디오 부호기에 적용했을 때 발생하는 문제점에 대해 논할 것이다. 3장에서 이 문제들을 해결하기 위해 제안하는 라그랑제 비용함수를 이용한 비터비 알고리즘을 설명할 것이다. 4장에서는 제안한 최적 비트율 기법의 실험결과를 보일 것이고, 5장의 결론에서는 향후의 연구과제를 제시한다.

## 2. 라그랑제 최적화(Lagrangian Optimization)

비트율 제어는 사용할 수 있는 비트량이 한정되어 있을 때, 가장 좋은 화질의 영상을 얻기 위하여 양자화기를 어떻게 설계할 것인가에 관한 연구이다. 식(1)은 프레임의 사용 비트량이  $R_T$ 로 제한되었을 때, 왜곡( $D(Q)$ )을 최소로 만드는 양자화 크기(QP)를 찾는 식이다. 이와 같은 제한 조건이 있는 최소값을 찾기 위해 라그랑제 방법을 이용하여 변형시켰다.

$$\min D(Q) \quad s.t. \quad R(Q) \leq R_T$$

$$\Leftrightarrow Q^*, \lambda^* = \arg \min (D(Q) + \lambda[R(Q) - R_T]) \quad (1)$$

MPEG과 H.263 등의 블록 기반의 압축 표준들은 매크로 블록마다 서로 독립적으로 부호화하기 때문에 식(1)을 식(2)로 변형시킬 수 있다. 식(2)는 프레임의 비용함수를 최소화하기 위하여, 프레임 전체의 모든  $\sum J_{i,j}(\lambda)$ 의 합을 최소화하는 것은 매크로 블록마다 각각의  $J_{i,j}(\lambda)$ 를 최소화시키는 것과 동일하다는 것을 보여준다.

$$\min \left( \sum_{i=1}^N d_{i, \alpha(i)} + \lambda r_{i, \alpha(i)} \right) = \sum_{i=1}^N \min (d_{i, \alpha(i)} + \lambda r_{i, \alpha(i)}) \quad (2)$$

기존의 라그랑제 방법에서는, 식(2)에 의해 각 매크로 블록마다  $d_i + \lambda r_i$ 가 최소가 되는 QP값을 찾았다. 하지만 이런 방법을 적용할 수 있는 경우는 전체 매크로 블록들의  $d_i + \lambda r_i$  합이 최소값과  $d_i + \lambda r_i$ 의 최소값들의 합이 동일한 경우에만 적용할 수 있다.

즉, 매크로 블록마다 최소를 구한 것이 전체적으로도 최소를 이룬다는 가정이 있어야 한다. MQUANT를 이용한 방식에서는 매크로 블록마다 독립적으로 부호화하기 때문에 가능했다. 그러나 DQUANT를 이용하는 경우에는, 이전 매크로 블록의 QP값을 찾은 경우, 다음 매크로 블록은 {QP-2, QP-1, QP, QP+1, QP+2}의 범위의 값밖에 사용할 수 없기 때문에, 매크로 블록들의 QP 값들이 서로 독립적이지 않다. 따라서 식(2)가 성립하지 않고, 기존의 일반적인 라그랑제 방법으로는 최적의 QP값들을 찾을 수 없다.

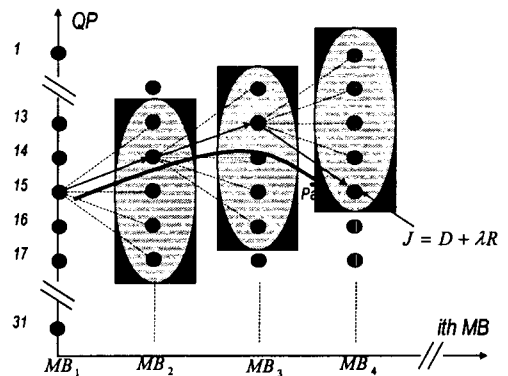


그림 1 라그랑제 방법의 DQUANT 방식 적용 예

그림1은 DQUANT를 이용하는 부호기에 기존의 라그랑제 방법을 적용한 예이다. 그림에서 첫 번째 매크로 블록( $MB_1$ )의 비용함수인  $d_1 + \lambda r_1$ 을 최소로 만드는 QP값을 15라고 가정하자.  $MB_1$ 의 QP가 15이기 때문에  $MB_2$ 는 QP값을 {13, 14, 15, 16, 17}의 값만 가질 수 있다. 따라서,  $d_2 + \lambda r_2$ 를 최소로 만드는 QP값도 {13, 14, 15, 16, 17}의 범위에서 밖에 찾을 수 없다. 이때  $MB_2$ 의 최적 QP로 찾은 값을 14라고 하자.  $MB_3$ 에서도 역시 {12, 13, 14, 15, 16}의 제한 범위에서  $d_3 + \lambda r_3$ 를 최소로 만드는 QP값을 찾는다. 결과적으로는,  $MB_N$ 에서도 비용함수를 최소로 만드는 QP의 집합을 찾을 수는 있다. 하지만, 그림1에서 보면 알 수 있듯이 비용함수를 최소로 만드는 QP를 구성하는 과정에서 비교하는 대상이  $MB_1$ 을 제외하고는 5개로 한정되어 있어서 최적의 해를 얻을 수는 없다.

이런 문제들을 해결하기 위해 3절에서는 매크로 블록간의 의존 관계 때문에 생긴 문제를 해결하기 위해 제안한 라그랑제 비용함수를 이용한 비터비 알고리즘에 대해 설명할 것이다.

### 3. 저전송을 비디오 부호기를 위한 최적 비트율 제어 기법 제안

#### 3.1 최적 비트율 제어 기법의 부호화 과정

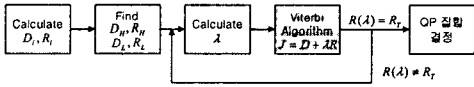


그림 2 DQUANT를 적용한 최적의 비트율 제어기법

그림2는 제안 알고리즘을 설명하는 간단한 블록도이다. 하나의 프레임을 구성하고 있는 모든 매크로 블록에서 QP값을 {1, 2, ..., 31}로 설정하였을 경우의 각각의 왜곡( $D_i$ )과 비트량( $R_i$ )을 구하고,  $D_H, D_L, R_H, R_L, \lambda$  값을 찾는 과정은 기존의 방법과 동일하다. 본 논문에서 제안한 부분은, 그림3에서 빗금친 블록에 해당하는 비터비 알고리즘이다. 제안한 알고리즘에 관한 내용은 아래 3.2절에서 자세히 설명할 것이다.

#### 3.2 라그랑제 비용함수를 이용한 비터비 알고리즘

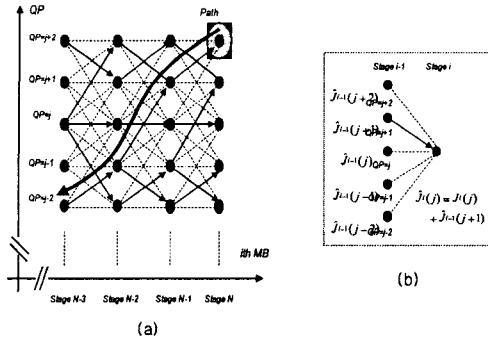


그림 3 라그랑제 비용함수를 이용한 비터비 알고리즘

(a) 제안한 비터비 알고리즘의 개념도

(b) stage  $i$  ( $MB_i$ )에서 QP= $j$ 일때의 비용함수

2.1절에서 언급한 것과 같이 기존의 라그랑제 방법에서는  $d_i + \lambda r_i$ 를 최소로 만드는 QP를 매크로 블록마다 찾았기 때문에 최적의 해를 구할 수 없었다. 따라서 본 논문에서는  $d_i + \lambda r_i$ 인 라그랑제 비용함수를 비

터비 알고리즘의 비용함수로 사용하여 매크로 블록간의 의존관계와 관계없이 최적의 해를 구하였다.

$$\widehat{J}_i(j) = \widehat{J}_{i-1}(j+1) + J_i(j) \quad (3)$$

$\widehat{J}_i(j)$  : QP가  $j$ 일때의  $MB_i$ 에서 누적 비용

$\widehat{J}_{i-1}(j+1)$  : QP가  $j+1$ 일때의  $MB_{i-1}$ 의 누적 비용

$J_i(j)$  :  $MB_i$ 에서 QP를  $j$ 로 설정했을 때의 비용

$$(\ = D_i(j) + \lambda R_i(j) \ )$$

제안한 비터비 알고리즘의 비용함수는 그림 3.(b)에 나타내었다.  $MB_{i-1}$ 의 { $j-2, j-1, j, j+1, j+2$ }중에서 최소의 비용함수를 가지는 QP를 찾는다. 그림에서 진한 화살표인  $J_{i-1}(j+1)$ 가 가장 작다고 한다 면,  $MB_i$ 의 QP가  $j$ 일때의 비용함수는 식(3)이다.

비트율 제어 기법의 목적은

$$Q^* = \arg \min \left\{ \sum_{j=1}^N (D_i(j) + \lambda R_i(j)) \right\} \quad (4)$$

$D_i(j)$  :  $MB_i$ 에서 QP를  $j$ 로 설정했을 때의 왜곡

$R_i(j)$  :  $MB_i$ 에서 QP를  $j$ 로 설정했을 때의 비트량

를 만족시키는 {  $Q_1^*, Q_2^*, \dots, Q_N^*$  } 를 찾는 것이다. 그림3.(a)에서 stage N에 해당하는  $MB_N$ 에의 {1, 2, ..., 31}사이의 모든 QP값들에는 첫 번째 매크로 블록부터 마지막 매크로 블록까지의 모든 비용함수들의 누적합(=  $\sum_{j=1}^N (D_i(j) + \lambda R_i(j))$ ) 을 가지게 된다. 따라서,  $MB_N$ 에서 각 QP값들의 비용함수들중 최소값을 가지는 QP를 찾으면 식(4)를 만족시키는 QP의 집합을 찾을 수 있다.

그림3.(a)를 이용하여 예를 들어 설명하겠다.  $MB_N$ 에서 최소 비용을 갖는 QP가  $j+2$ (그림에서 빗금친 원에 해당하는 QP 값)라고 가정하자.  $\widehat{J}_N(j+2)$ 의 값은  $\widehat{J}_{N-1}(j+1)$ (그림의 진한 화살표) 으로부터 구했기 때문에,  $MB_{N-1}$ 에서 최소 비용을 구하기 위해 설정된 QP는  $j+1$ 이다. 그러므로  $Q_{N-1}^*$ 의 값은  $j+1$ 이다.  $\widehat{J}_{N-1}(j+1)$ 의 값은  $\widehat{J}_{N-2}(j-1)$  으로부터

구했기 때문에  $Q_{N-2}^* = j-1$  이다. 이런 과정을  $MB_1$  까지 반복하면, 최적의 해  $\{Q_1^*, Q_2^*, \dots, Q_N^*\}$  를 구할 수 있다. 따라서, 현재 매크로 블록의 양자화 값이  $i$ 일 때 다음 매크로 블록의 양자화 값은  $\{i-2, i-1, i, i+1, i+2\}$  의 범위안에 있어야 한다는 제약조건하에 최적의 해를 구할 수 있다.

**알고리즘 1. 라그랑제-비터비 알고리즘**

- step 1. 알고리즘 2.1의 step 3에서 구한  $\lambda$ 를 이용하여  $J = D_i(j) + \lambda R_i(j)$  를 구한다.  
 $(i = \{1, 2, \dots, N\}, j = \{1, 2, \dots, 31\})$
- step 2. set  $i = 2$  ( $MB_2$  부터 시작)
  - step 2.1 QP= $j$ 라면 이전 매크로 블록의 QP들중  $\{j-2, j-1, j, j+1, j+2\}$  의 다섯 개중 비용함수가 가장 작은 QP를 찾는다.
  - step 2.2  $\hat{J}_i(j) = \hat{J}_{i-1}(j+1) + J_i(j)$  수행
  - step 2.3 최소 비용의 이전 이전 QP를 저장
  - step 2.4 if( $i == N$ ) go step 3  
 else set  $i = i+1$ , go step 2.1
- step 3.  $MB_N$ 에서 최소 비용을 가지는 QP를 찾아  $Q_N^*$ 으로 설정한다.
- step 4. set  $i = N$  ( $MB_N$  부터 시작)
  - step 4.1  $\hat{J}_i(j)$  구할 때, 저장된  $MB_{i-1}$ 의 QP를  $Q_{i-1}^*$ 으로 설정.
  - step 4.2 if( $i == 2$ ) 최적의 해 모두 구함.  
 else set  $i = i-1$ , go step 4.1

**4. 실험 및 결과**

**4. 1 실험 방법**

기존의 라그랑제 방법을 이용하여 최적의 양자화 스텝 크기를 찾아 이를 MQQUANT를 사용하여 부호화한 경우와 본 논문에서 제안한 DQUANT를 사용한 부호화의 최적의 비트를 제어기법을 비교하고 성능을 분석할 것이다. 실험은 QCIF(176×144) 형태의 영상을 사용하였고, 전체 프레임은 하나의 GOV(일반적인 압축 표준의 GOP)로 정의하여 MPEG-4 simple profile/level 0 로 압축하였다. P 프레임에만 비트를 제어기법을 적용하였다. 기존 기법과 제안한 기법 모

두 고정 프레임 율을 사용하였고, 프레임 스킵은 없도록 설정하였다. 프레임단위의 비트 할당에 관한 연구가 아니라 프레임에 비트가 고정되어 있을 때, 매크로 블록에 비트를 할당하는 기법에 관한 연구이기 때문이다.

**4.2 실험 결과**

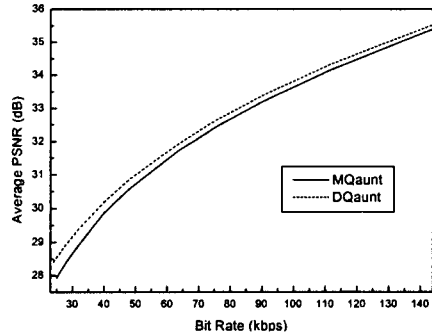


그림 4 R-D 그래프(Foreman sequence)

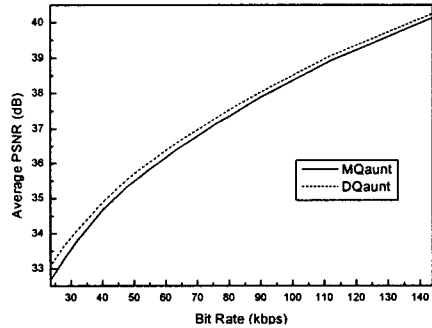


그림 5 R-D 그래프(Susie sequence)

상식적으로 생각할 때 MQQUANT를 이용한 기술이 각각의 매크로 블록마다 1부터 31사이의 최적의 양자화 스텝 크기를 찾아서 부호화 하기 때문에 성능이 좋을 것이라고 예상할 수 있다. DQUANT를 이용하여 최적의 해를 구한 기법은 이전 매크로 블록과의 +2부터 -2사이의 차이 값만을 부호화하기 때문에 제한된 최적 해를 찾을 수 밖에 없기 때문이다. 하지만 실제로는 DQUANT 최적 비트 할당 기법이 MQQUANT 이용한 기법에 비해 최대 0.5dB에서 최소 0.1dB 정도 성능향상이 있음을 확인했다. 이와 같은 결과가 생기는 이유는 DQUANT는 양자화 매개변수를 부호화하는데 2 비트를 사용하고, MQQUANT는 5 비트를 사용하기 때문이다. DQUANT를 이용한 경우, 한 프레임마다 MQQUANT를 사용한 경우 보다 최

소 297 비트(=3비트×99 blocks), 최대 495 비트(=5비트×99)까지 헤더의 비트 사용량을 줄일 수 있다.

물론, MQUANT 최적 기법보다 DQUANT 최적 기법의 성능이 월등하다는 결과도 중요하지만, 무엇보다 제안한 최적 기법의 의의는 MQUANT를 사용하지 않고, DQUANT를 사용하여 비트율 제어의 최적의 해를 찾았기 때문에 H.263과 MPEG-4 등의 저전송을 비트율 제어기법에 적용할 수 있다는 점이다.

## 5. 결론

기존의 최적 비트율 제어 기법에 관한 연구들에서는 MPEG-2에서 사용하는 MQUANT를 이용할 수 밖에 없었다. 매크로 블록의 QP간 의존관계를 해결하지 못했기 때문이다. 이런 문제점들을 해결하기 위해, 라그랑제 비용함수를 이용하는 비터비 알고리즘을 제안하였다. 기존 연구들에서는 매크로 블록마다 비용함수를 최소로 만드는 QP를 각각 찾았다. 하지만 DQUANT를 사용할 때는 위에서 언급한 것과 같이 QP간의 의존관계 때문에, 비터비 알고리즘의 비용함수를 이전 매크로 블록까지의 비용함수들의 누적함수로 설정하고, 이를 최소로 만드는 QP를 찾아 최적의 QP를 구성하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 DQUANT를 사용하여 최적의 해를 구했기 때문에, 저 전송을 비디오 압축 표준에도 적용할 수 있는 기법이다. 또한 MQUANT를 이용한 기법과 성능을 비교하여도 PSNR이 0.2dB 이상 증가되었다. 매 프레임마다 QP를 부호화하기 위해 약 300비트 정도 절약할 수 있기 때문이다.

최적 비트율 제어기법은 R-D 특성을 미리 계산하는 과정이 전체 연산 시간의 약 70% 이상을 차지한다. 따라서 R-D 특성을 모든 QP에 관하여 전부 계산하는 것이 아니라 가능한 QP들 중의 일부만을 직접 계산하고, 나머지는 보간법 등을 통하여 시간을 단축할 수 있을 것이다. 또는 실제 R-D 특성과 유사한 모델을 설정하여 부호화 시간을 보다 단축해야 할 것이다.

## [참고문헌]

- [1] S. W. Wu and A. Gersho, "Rate-constrained optimal block-adaptive coding for digital tape recording of HDTV," IEEE Trans. CSVT, vol. 1, pp. 100-112, 1991
- [2] J. Choi and D. Park, "A stable feedback control of the buffer state using the controlled language multiplier method," IEEE Trans. Image Processing, vol. 3, pp. 546-558, 1994
- [3] K. Ramchandran, A. Ortega and M. Vetterli, "Bit allocation for dependent quantization with applications to multi-resolution and MPEG video coders", IEEE Trans. IP, vol. 3, no. 5, pp 553-545, 1994
- [4] D.W. Lin, M.H. Wang, and J.J. Chen, "Optimal delayed-coding of video sequences subject to a buffer-size constraint," in Proc. SPIE Visual Commun. and Image Processing '93, Cambridge, MA, pp 223-234, 1993
- [5] J. Lee and B. W. Dickinson, "Joint optimization of frame type selection and bit allocation for MPEG video encoders," IEEE Trnas. Image Processing, vol. 3, pp. 26-40, 1994
- [6] A. Ortega, K. Ramchandran and M. Vetterli, "Optimal trellis-based buffered compression and fast approximations", IEEE Trans. IP, vol. 3, no. 1, pp 26-40, 1994
- [7] A. J. Viterbi and J. K. Omura, *Principles of digital communications and coding*, McGraw-Hill, New York, 1979
- [8] A. Ortega and K. Ramchandran, "Rate-distortion methods for image and video compression", IEEE Signal Processing Magazine, pp. 23-50, Nov. 1998