

화면간 상관성을 고려한 비트율 제어 방법

김 세 호, 이 정 우, 서 재 원  
 충북대학교, 한국전자통신연구원, 충북대학교

Rate Control for Using Temporal Correlation Between Frames

Se-Ho Kim\*, Jeong-Woo Lee\*\*, Jea-Won Suh\*

\*Chungbuk National University, \*\*Electronics and Telecommunication Research Institute

**Abstract** - 비트율 제어는 제한된 대역폭 내에서 더 좋은 화질을 제공하기 위해 필요로 하는 비디오 부호화의 구성요소이다. 본 논문에서는 저 전송률 환경에서의 모델기반율 제어 기법의 개선 방법에 대하여 연구하였다. H.263 TMN8과 MPEG-4 VM16은 비트율-왜곡 분석관점에서 접근한 모델기반 비트율 제어 알고리즘으로 양자화가 수행될 데이터의 특성 분포를 단일 모델로 정의하여 해석한다. 이는 실제적인 데이터 분포 특성을 지나치게 간략화하기 때문에 부호화 효율을 떨어뜨리는 원인이 될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 SAD값을 이용해 의미 있는 영역을 구하고, 이전 프레임의 양자화 변수들을 반영하여 양자화 변수를 결정하는 방법을 제안한다.

1. 서 론

저 비트율 환경에서 높은 부호화 효율을 얻기 위해서는 영상의 품질과 제약된 채널용량 사이의 균형을 조절하여 보다 좋은 부호화 효율을 제공하는 비트율 제어 알고리즘이 요구된다. 기존의 비트율 제어 알고리즘들은 크게 두가지로 나뉘어서 그 연구의 흐름이 진행되어왔다. 하나는 실험적으로 정의한 모델에 기반한 비트율 제어 방법들이 있다. MPEG-2 TM5의 비트율 제어 알고리즘 및 "Siwei"가 제안 했던 H.264 비트율 제어 알고리즘이 이에 해당한다[1][2]. "Siwei"의 방법은 MPEG-2 TM5와 같이 이전에 부호화되었던 영상의 복잡도를 계산하여 현재 프레임에 대하여 목표 비트량을 할당한다. 따라서 영상의 움직임이 비슷하거나 시간적으로 천천히 변화하는 경우에는 현재 프레임에 대한 목표 비트량을 효과적으로 할당할 수 있다. 그러나 영상간의 움직임이 많은 경우에는 현재 프레임에 목표 비트량을 효율적으로 대처하지 못한다. 또한 실제 부호화의 버퍼를 고려하지 않고, I, P, B 프레임 부호화 마다 가상버퍼를 사용하여 비트량을 제어함으로써 버퍼가 넘치거나 고갈되는 문제에 적절히 대처하지 못한다.

이런 문제들을 극복하기 위해 점차적으로 실제 발생하는 비트수와 양자화과정으로 인해 발생하는 왜곡의 정도를 이론적인 비트율-왜곡 분석 관점에서 접근하여 문제를 해결하는 방향으로 진행되었다. H.263 TMN8과 MPEG-4 VM16의 비트율 제어 알고리즘이 그러하다[3][4]. 그러나 비트율-왜곡 분석 관점에서 접근한 기법들도 양자화가 수행될 데이터의 특성 분포를 가우시안이나 라플라시안의 단일 모델로 정의하여 해석한다. 통계적 특성에 따른 단일 모델을 사용하기 때문에, 이 역시 장면이 급격히 변화하는 프레임에는 비트율-왜곡 모델을 예측하기 어려워 최적의 양자화 파라미터를 구할 수 없다. 또한 매크로블록 단위로 화면의 좌측상단 첫 매크로블록부터 차례로 양자화 변수가 결정되기 때문에 상위 매크로블록들의 잘못된 양자화 변수 결정으로 인해 나중에 결정되는 프레임 내 하위 매크로블록까지도 잘못된 양자화 변수가 결정되게 된다. 본 논문에서는 이러한 모델기반 비트율 제어 방법들의 문제들을 해결하기 위해 매크로블록 단위의 양자화 변수 결정시 프레임 내 의미가 있는 지역에 가중치를 두는 방법을 제안한다. 또한 이전 프레임의 양자화 변수들을 분석하고, 현재 프레임의 양자화 변수 결정시 반영하여 단일 비트율-왜곡 모델로 잘못 예측할 수 있는 양자화 변수 결정 방법을 개선한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1장에서는 본 논문에서 기반으로 하고 있는 H.263 TMN8의 비트율 제어에 대해서 기술한다. 2.2장에서는 제안한 비트율 제어 방법에 대해 설명하고, 2.3장에서는 제안한 방법의 성능을 비교한다. 마지막으로 결론과 의의를 기술한다.

2. 본 론

2.1 TMN8 비트율제어

TMN8 비트율 제어[3]는 보통 두 부분으로 구성된다. 프레임 수준에서의 목표 비트수를 할당하기 위한 부분과 매크로블록 단위의 양자화 변수를 결정하는 부분이다. 프레임 수준에서의 비트율 제어는 현재 프레임을 부호화하기 전에 부호화된 이전 프레임의 비트량(D)과 채널용량(R), 프레임 용(F)을 이용하여 식(1)과 같이 버퍼 충만도를 구해 프레임 스킵여부를 결정하고 부호화 하여야 할 현재 프레임의 목표 비트량을 식(2)와 같이 할당한다. 여기서 W가 미리 정해진 인계치(M=R/F) 보다 크다면 프레임 스킵이 이뤄진다.

$$W = \max(W_{prev} + D - R/F, 0) \quad (1)$$

$$B = \frac{R}{F} - \Delta, \quad \text{where } \Delta = \begin{cases} \frac{W}{F}, & W > 0.1 \times M \\ W - 0.1 \times M, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

매크로블록 단위의 비트율 제어는 프레임내 모든 매크로블록의 양자화 변수를 매크로블록 번호순으로 결정한다. 양자화 변수결정은 DCT계수의 통계적 특성을 라플라시안 분포로 가정하여 식(3)과 같이 표현하고, 왜곡 모델은 균등 양자화기를 통한 유니폼 분포를 가지는 DCT계수를 가정하여 식(4)와 같이 표현한다.

$$R(Q_i) = \sum_{i=1}^N A(K \frac{\sigma_i^2}{Q_i^2} + C) \quad (3)$$

$$D(Q_i) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha_i^2 \frac{Q_i^2}{12} \quad (4)$$

여기서  $Q_i$ ,  $\sigma_i$ ,  $\alpha_i$ 는 각각 i번째 매크로블록의 양자화 변수, 표준편차, 가중치를 나타내고, C는 헤더 비트수, K는 모델 파라미터, A는 매크로블록 내의 픽셀 수, N은 프레임 내의 매크로블록 수이다. 위의 비트율 모델과 왜곡 모델을 미분방정식에 의해 양자화 파라미터를 구하면 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$Q_i = \sqrt{\frac{AK \sigma_i}{L_i \alpha_i} \sum_{k=1}^N \alpha_k \sigma_k}, \quad 1 \leq i \leq N \quad (5)$$

$L_i = B_i - 256N_i C_i$ 는 현재 매크로블록을 포함한 아직 부호화되지 않은 매크로블록들의 비트량과 남은 목표 비트량( $B_i$ )과의 차로 만약,  $L_i$ 가 0보다 작다면 비트량 부족으로 양자화 변수는 최대치로 고정된다. 식(5)를 이용하여 양자화 변수가 결정되고 각 매크로블록의 부호화가 된 후에, 다음 부호화될 매크로블록을 위해 모델 변수 K를 업데이트 해준다.

이렇게 매크로블록 순서대로 양자화 변수를 결정하다 보면 영상의 특성을 잘못 반영하여 상위 매크로블록에서 많은 비트량을 소비해 버릴 수 있다. 이런 경우 부호화되지 않은 하위 매크로블록은 오버플로우를 막기 위해 목표 비트량의 적은 할당으로 높은 양자화 변수로 부호화 되거나, 강제로 고정된 최대치의 양자화 변수로 부호화 되어 진다. 반대로 언더플로우를 막기 위해 하위 매크로블록에 많은 비트량이 할당되어 상위 매크로블록에 비하여 낮은 양자화 변수가 결정되어 지기도 한다.

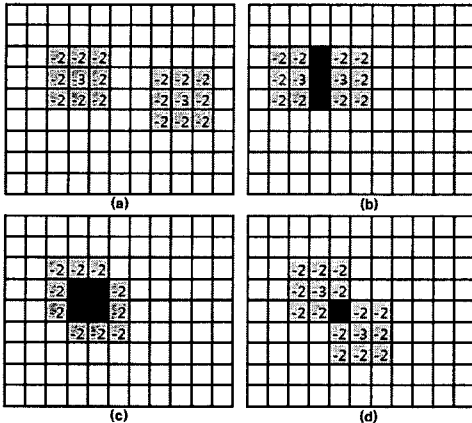
2.2 제안된 알고리즘

양자화로 인한 왜곡은 움직임 보상이 이뤄지고 난 차분 매크로블록의 표준편차( $\sigma$ )와 비례함을 식(6)에서 볼 수 있다. 식(6)은 식(4), (5)를 다시 표현한 것이다.

$$D = \frac{A}{12} \sum_{i=1}^K \frac{K_i \alpha_i \sigma_i S_i}{L_i} \quad (6)$$

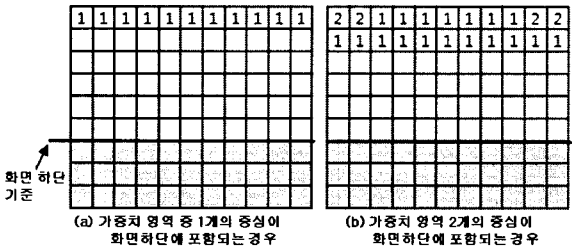
다시 말하면, 같은 크기의 양자화 변수로 양자화를 수행 할 경우 복잡도(larger  $\sigma$ )가 높은 차분 블록의 왜곡이 더 높음을 알 수 있다. 복잡도가 높은 차분 블록은 참조 매크로블록과 현재 매크로블록과의 차이가 큼을 의미하고, 이는 영상에서의 의미가 있는 영역인 사람 얼굴의 눈이나 입, 물체의 경계지역 일 수 있다. 그러므로 이러한 영역에 대해서는 보다 세밀하게 부호화 하여 화질을 보호, 개선 할 필요성이 있다. 차분 블록의 복잡도를 계산하는데 SAD(sum of absolute difference)값이나 차분 블록의 표준편차를 이용할 수 있다. 본 논문에서는 일반적으로 움직임 예측에 사용되는 SAD 값을 적용하여 복잡도를 계산하도록 했다. 영역의 크기는 가로 세로 3개씩 9개의 매크로블록 단위로 영역을 정했다. 각 영역별로 SAD값들의 합을 계산하는데 SAD값이 가장 큰 2개의 영역에 대해서는 식(5)를 이용하여 구해진 양자화 변수보다 낮은 변수로 양자화 시켰다. <그림1>은 QCIF 프레임 내 SAD값이 가장 높은 2개의 영역에 대해 각 매크로블록 별로 구해진 양자화 변수 값을 더 낮추어 주는 양을 표현한 것으로 (b), (c), (d)는 영역이

중복될 경우를 나타낸다.



〈그림 1〉가중치 영역의 양자화 변수 조정

이렇게 강제적으로 양자화 변수 값을 낮춰 줄때 영역이 프레임 상단에 위치할 경우에는 가중치영역에서 비트량을 소비한 만큼 하위 매크로블록의 양자화 변수가 크게 결정되어 오버플로우가 문제되지 않지만 하단에 위치할 경우는 가중치영역에서 낮은 양자화 변수로의 부호화로 오버플로우가 발생할 수 있다. 문제를 해결하기 위해 가중치가 적용되는 영역이 화면 하단에 위치 할 경우는 <그림2>와 같이 상위 매크로 블록들의 양자화 변수를 더해 주어 목표 비트율에 근접하도록 했다.



〈그림 2〉오버플로우를 막기위한 상위매크로블록 양자화변수 조정

복잡도를 이용한 화질개선 차원의 양자화 변수 보정 알고리즘에 더하여 양자화 변수의 결정과 부호화가 순차적으로 이루어질 때 발생할 수 있는 프레임내 화질 불균형을 개선하기 위해 다음과 같이 고려했다. 매크로블록 단위의 순차적 양자화 변수의 결정은 상위 매크로블록들의 부호화로 많은 비트량이 소비되는 경우 하위 매크로블록은 상대적으로 낮은 비트량을 할당받게 되고 이로 인해 하위 매크로블록의 화질이 상대적으로 악화된다. 반대로 상위 매크로블록 부호화에서의 적은 비트량 소비로 하위 매크로 블록에 상대적으로 낮은 양자화 변수가 할당되는 프레임 내 화질의 비균일 문제를 발생시킨다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 이전 프레임의 양자화 변수들의 상위 매크로블록들간 비균일 여부를 판단하여 현재 매크로블록의 양자화 변수 결정에 적용했다.

$$Q_{weight} = \begin{cases} \frac{\rho-4}{2}, & \rho > 10 \\ 2, & 6 < \rho \leq 10 \end{cases} \quad (7)$$

$$\rho = |Q_u - Q_b|$$

상위 매크로블록 2열의 평균양자화 변수( $Q_u$ )와 하위 매크로블록 2열의 평균양자화 변수( $Q_b$ )의 비교로 식(7)과 같은 양자화 변수 조정값( $Q_{weight}$ )을 얻는다. 상위 매크로블록 보다 하위 매크로블록의 양자화 변수평균 값이 크다면 상위 매크로블록 2열의 양자화 변수값에  $Q_{weight}$ 를 더해주고, 반대로 상위 매크로블록 보다 하위 매크로블록의 평균이 작다면 상위 매크로블록 2열의 양자화 변수값에  $Q_{weight}$ 를 빼준다.

### 2.3 실험 결과

본 논문에서 제안한 비트율 제어 기법의 성능을 검증하기 위해서 H.263의 TMN8과 TMN5와 비교하였다. 실험은 H.263을 기준으로 하여 I 프레임에 이어 P 프레임만이 연속되는 구조로 하였다. QCIF 포맷의 Foreman, Crew, M&D(Mother and Daughter), 그리고 Grandma 시퀀스 영상 300프레임을 대상으로 15f/s의 프레임율로 32, 48Kbps의 저 비트율 환경을 고려하여 실험하고 비교한 결과를 <표 1>에 정리 하였다.

〈표 1〉 제안된 방법과 성능 비교

		TMN5			TMN8			proposed		
		PSNR (dB)	Bits (Kbps)	Skip	PSNR (dB)	Bits (Kbps)	Skip	PSNR (dB)	Bits (Kbps)	Skip
Foreman	32K	28.83	31.86	18	28.42	32.61	8	28.46	32.60	8
	48K	30.29	47.88	16	29.90	48.59	0	29.93	48.60	0
Crew	32K	28.06	31.87	29	28.00	32.18	26	28.06	32.22	23
	48K	28.80	45.35	6	28.85	48.05	3	28.86	48.06	3
M&D	32K	33.68	32.43	23	32.42	32.02	0	32.45	32.02	0
Grandma	32K	34.94	35.05	0	35.05	32.20	0	35.07	32.17	0

결과를 보면 TMN5보다 TMN8과 제안된 알고리즘이 목표 비트량에 대한 발생 비트량이 우수한 것을 볼 수 있다. TMN5는 Foreman이나 M&D에서 PSNR은 높으나 프레임 스킵이 많이 발생함을 볼 수 있는데 이는 우수한 비트율 제어라고 볼 수 없다. 또한 프레임스킵이 발생하지 않았던 grandma영상의 경우 발생 비트량과 PSNR이 모두 악화되는 것을 볼 수 있다. 제안된 알고리즘은 TMN8과 비교하여 목표 비트량에 대한 발생 비트량은 비슷하게 유지하면서 전체적인 PSNR은 조금씩 향상된 것을 볼 수 있다. 특히 Crew(32K)영상의 경우 TMN8보다 프레임 스킵을 3프레임 줄이면서 PSNR은 0.06dB 향상 시켜준다.



〈그림 3〉 Foreman 결과 영상 비교

<그림3> 화질 평가를 위해 목표 비트수 32Kbps에서 부호화한 Foreman의 130번째 프레임의 영상과 얼굴부분 5x5 매크로블록들의 양자화 변수값이다. TMN8에 비해 제안된 방법이 주관적인 화질 평가에 영향을 주는 얼굴부분의 화질이 개선된 것을 볼 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 매크로블록 기반의 양자화 변수 추정을 통한 비트율 제어의 개선 알고리즘을 제시하였다. 전송 대역이 32~48Kbps로 낮게 한정된 채널에 영상 정보를 전송할 경우, 의미있는 정보를 갖는 영역에 양자화 변수 값의 가중치를 부여하여 부호화 효율이 향상 될 수 있도록 하였다. 또한 이전 프레임의 양자화 변수를 반영하여 모델기반 매크로블록단위 양자화 변수 결정시 발생하는 화면내 화질 불균형 현상을 개선해 보았다. 기존 알고리즘과 비교해볼 때 결과 데이터에 대한 객관적 평가에서 확인한 화질 개선이나 비트율 유지 효과는 작았지만, 화면간 프레임 스킵수를 줄여 화면간 이동의 부드러움을 느낄 수 있으며 화질 불균형 개선과 의미있는 영역에 가중치 부여로 사람의 시각에 미치는 주관적인 성능은 보다 많이 향상되어 졌다고 본다.

### 〈참 고 문 헌〉

- [1] MPEG-2, MPEG-2 Test Model5 (TM5) Doc. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N0400, Test Model Editing Committee, April 1993.
- [2] S. Ma, W. Gao, P. Gao, and Y. Lu, "Rate Control for Advanced Video Coding Standard," IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Vol. 2, pp.892-895, May 2003.
- [3] "Video Codec Test Model, Near-Term, Version 8 (TMN8)," ITU-T VCEG(ITU-T SG16 Q.6), Q15B46.doc, Sept. 1997.
- [4] MPEG-4, MPEG-4 Video Verification Model version 16 (VM16) Doc. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N3312, March 2000.
- [5] <http://www.fou.telenor.no/brukere/DVC/tmn5/>, Video Codec Test Model TMN5, Telenor Research (TR), January 1995.
- [6] Jyi-Chang Tsai, "Modified TMN8 Rate Control for Low-Delay Video Communications" IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, VOL. 14, NO.6, June 2004.