

H.264/AVC 비트율 제어를 위한 R-Q 모델링

박상현*

R-Q Modeling for H.264/AVC Rate Control

Sang-Hyun Park*

요약

비디오 코딩에서 GOP의 첫 번째 프레임인 I 프레임은 많은 비트를 발생시키는 인트라 모드로 압축되고 다음 프레임의 인터 모드 압축에 사용되기 때문에 I 프레임을 위한 초기 QP 값은 I 프레임뿐만 아니라 이후 프레임에도 영향을 주게 된다. 이전 연구에서 정확한 초기 QP 계산을 위해 I 프레임의 압축 후 비트량을 분석하였고, GOP의 PSNR을 최대로 하는 I 프레임의 비트량이 GOP에 상관없이 일정한 값을 가짐을 보였다. 본 논문에서는 기존 방법을 이용하여 최적의 I 프레임 비트량을 계산한 후 이 값을 이용하여 초기 QP를 계산할 수 있는 R-Q 모델을 제안한다. 제안하는 모델은 간단하면서도 적응적으로 모델 파라미터를 수정하기 때문에 실시간 응용에 적합하다. 실험 결과는 제안하는 모델이 초기 QP 계산에 필요한 트래픽 특성을 잘 반영하고 있으며 또한 실시간으로 모델 파라미터를 구하는 방법도 효과적으로 작동함을 보여준다.

ABSTRACT

The first frame of a GOP, an I frame, is encoded in intra mode which generates a larger number of bits. In addition, the I frame is used for the inter mode encoding of the following frames. Thus the initial QP for the I frame affects the first frame as well as the following frames. In our previous work, we analyzed the number of bits for an I frame and showed that the ratio of the number of bits which maximizes the PSNR of a GOP maintains similar value regardless of GOP's. In this paper, we propose a R-Q model which can be used for the calculation of the initial QP given the amount of bits for an I frame. The proposed model is simple and adaptively modifies model parameters, so it can be applicable to the real-time application. It is shown by experimental results that the proposed model captures initial QP characteristics effectively and the proposed method for model parameters accurately estimates the real values.

키워드

Initial QP, Rate Control, Traffic Model, Video Compression, H.264/AVC
R-Q 모델, 초기 QP, 비트율 제어, 영상 압축, H.264/AVC

1. 서론

비디오 코딩에서 비트율 제어는 MPEG, H.263, H.264와 같은 다양한 표준에서 다양한 응용에 맞게

연구가 진행되고 있다 [1][2]. 비디오 인코더를 구현하기 위해서는 매크로블록 모드, 양자화 파라미터 (QP: Quantization Parameter), 프레임 타입, 프레임 레이트와 같은 코딩 파라미터들이 결정되어야 한다. 이러한

* 교신저자(corresponding author) : 순천대학교 멀티미디어공학과(shark@scnu.ac.kr)
접수일자 : 2013. 07. 05

심사(수정)일자 : 2013. 08. 23

게재확정일자 : 2013. 09. 23

코딩 파라미터들을 어떻게 결정하는지는 비디오 표준에 명시되어 있지 않지만 코딩 파라미터의 설정은 비디오 압축에서 성능에 많은 영향을 주게 된다. 특히 비트율 제어에서 QP 값의 설정은 결과 영상의 비트율을 목표 비트율에 맞추게 하거나 버퍼의 오버플로우와 언더플로우를 방지하는데 중요한 역할을 수행한다 [2][3].

H.264 비디오 표준은 이전의 표준들에 비해 아주 뛰어난 압축 효율 때문에 최근에 많은 관심을 받고 있다 [4]. H.264 비디오 표준은 다양한 영상 압축 기법들이 사용되었다. 특히 RDO (Rate Distortion Optimization)라고 불리는 비트율-왜곡 (R-D: Rate-Distortion) 최적화 움직임 예측과 압축 모드 선택은 비디오 데이터의 압축율을 크게 향상시킨다. 또한 다양한 화면내 예측과 화면간 예측 모드 및 복수개의 참조 영상 사용 등으로 압축율을 극대화한다 [5][6].

기존의 많은 비트율 제어 알고리즘들은 최적의 QP를 찾기 위해 RDO와 영상의 통계치 간의 상호 의존적인 관계를 해결하기 위한 모델 개발에 초점을 맞추고 있다. 비트율 제어에서 모델은 중요한 요소이지만 그 외에는 다양한 요소들을 고려하여야 한다. 초기 QP (Initial QP)의 설정도 비트율 제어에서 중요한 요소이다. 많은 H.264/AVC의 비트율 제어 알고리즘에서 초기 QP는 JVT-W057에서 제안된 bpp (Bits Per Pixel)에 따라 설정하는 방법을 그대로 사용하고 있다 [7]. bpp 에 따라 설정하는 방법은 간단하지만 정확하지 않다는 치명적인 단점이 있다. 초기 QP 값은 다음 GOP (Group of Pictures)의 초기 QP 값에 영향을 미치기 때문에 처음 잘못 설정되면 그 효과가 다음 GOP까지 과급되어 전체 영상에 걸쳐 손실을 초래한다.

초기 QP 설정 문제는 영상의 처음뿐만 아니라 장면 전환에서도 적용된다. H.264/AVC는 인트라 코딩 프레임도 인트라 모드로 압축할 수 있다. 즉, 장면 전환이 발생하면 장면 전환된 첫 프레임은 이전 프레임과 연관성이 매우 낮기 때문에 이전 프레임을 이용한 영상 압축이 불가능해지고 따라서 인트라 모드로 압축되게 된다. 이때도 정확한 초기 QP 값이 설정되지 않으면 그 효과가 다음 GOP까지 과급되어 전체 영상의 품질을 저하시킨다[8].

정확한 초기 QP 계산을 위해 I 프레임의 비트량을

이용하는 방법이 제안되었다. 연구 결과는 한 GOP의 PSNR이 최대가 될 때의 I 프레임의 비트량과 GOP에 할당된 전체 비트량과의 비율이 특정 GOP에 상관없이 일정한 값을 가진다는 것이다 [9]. 본 논문에서는 이 특성을 이용하여 초기 QP를 계산할 때 사용될 수 있는 R-Q 모델을 제안한다. 즉, I 프레임의 비트량이 결정되었을 때 그 비트량에 해당하는 QP를 계산할 수 있는 모델을 제안한다. 하나의 영상은 시간에 따라 프레임들이 조금씩 변하는데 제안하는 모델은 이러한 특성을 고려하여 간단하면서도 적응적으로 모델 파라미터를 결정함으로써 모델의 정확성을 높이고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 알고리즘과 연구배경을 설명한다. 3장에서는 제안하는 초기 QP와 I 프레임 비트량의 관계에 대한 모델을 제시하고 실시간으로 모델 파라미터를 결정하는 알고리즘을 제안하며, 4장에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 연구 배경

H.264/AVC의 비트율 제어 알고리즘은 JVT-W057에 제시되어 있다 [7]. 비트율 제어는 레이어별로 구성되며 본 논문에서는 GOP 레이어 비트율 제어에 대해서 설명한다. JVT-W057에서는 각 GOP의 첫 프레임과 두 번째 프레임은 비트율 제어를 적용하지 않고 고정 QP 값을 사용한다. 세 번째 프레임부터 비트율 제어가 적용된다.

첫 GOP의 경우 초기 QP 값을 결정하는 방법은 다음과 같다. 영상 시퀀스의 시작인 첫 프레임은 이용할 수 있는 이전 프레임의 정보가 없기 때문에 단순히 프레임 레이트, 화면 크기, 목표 대역폭에 따라서 식 (1)과 같이 결정된다 [7].

$$bpp = \frac{\text{Target bandwidth}}{\text{Frame rate} \times \text{Frame size}} \quad (1)$$

여기서 bpp 는 픽셀당 비트수를 나타내고, Target bandwidth는 목표 대역폭을, Frame size는 한 프레임의 화소 수를 나타낸다. 이렇게 구해진 bpp 에 따라 식(2)와 같이 첫 GOP의 초기 QP 값 ($QP_1(1)$)이 결정된다.

$$QP_1(1) = \begin{cases} 40, & bpp \leq l_1 \\ 30, & l_1 < bpp \leq l_2 \\ 20, & l_2 < bpp \leq l_3 \\ 10, & bpp > l_3 \end{cases} \quad (2)$$

영상의 크기에 따라 권장하는 l_1, l_2, l_3 값은 표준안에 정의되어 있다 [7].

두 번째 GOP 부터는 첫 번째 프레임과 두 번째 프레임의 QP 값이 식 (3)과 같이 결정된다.

$$QP_1(i) = \overline{PQP}(i-1) - \min\left(2, \frac{N(i-1)}{15}\right),$$

$$QP_1(i) = \min\{QP_1(i-1) + 2, QP_1(i)\}, \quad (3)$$

$$QP_1(i) = \max\{QP_1(i-1) - 2, QP_1(i)\}.$$

여기서 $QP_1(i)$ 는 i 번째 GOP의 초기 QP이고 $N(i)$ 는 i 번째 GOP의 크기를 나타내며, $\overline{PQP}(i)$ 는 i 번째 GOP의 P 프레임 압축에 사용된 QP의 평균이다.

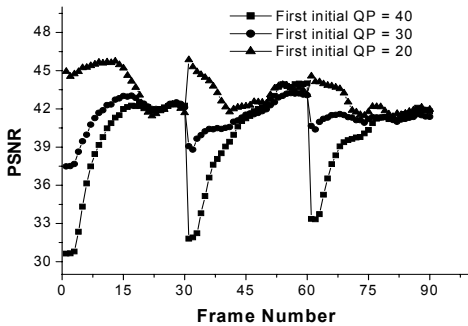


그림 1. 초기 QP가 각각 20, 30, 40 일 때 Akiyo 시퀀스에 대한 PSNR 비교

Fig. 1 PSNR comparison for Akiyo sequence when initial QP's are 20, 30, and 40

JVT 알고리즘은 영상의 특성은 고려하지 않고 단순히 프레임 레이트, 화면 크기, 목표 대역폭을 이용하여 초기 QP 값을 결정한다. 그림 1은 Akiyo 시퀀스를 초기 QP가 각각 20, 30, 40으로 설정하였을 때 연속된 세 개의 GOP의 PSNR 값을 보여준다. JVT 알고리즘을 적용하면 초기 QP는 40으로 설정된다. 그

림 1은 초기 QP가 20일 때 전체 영상의 PSNR이 초기 QP가 40일 때보다 뛰어난 것을 보여준다. 즉, Akiyo 시퀀스의 경우 JVT 알고리즘은 최적의 초기 QP를 설정하지 못함을 알 수 있다.

영상의 특성을 반영하여 I 프레임의 초기 QP를 결정하기 위해서는 I 프레임에 대한 R-Q 모델이 필요하다. R-Q 모델은 비트량과 양자화 파라미터 사이의 관계에 대한 모델을 말한다. I 프레임을 압축할 때 비트량을 결정하는 가장 큰 파라미터는 양자화 파라미터이다. 따라서 I 프레임에 대한 비트량과 양자화 파라미터에 대한 모델의 정확도는 비트율 제어의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. I 프레임에 정확하게 적용될 수 있는 R-Q 모델은 Cauchy-density를 기반으로 한 모델이 있다[10]. 하지만 실시간 압축에서 영상에 적용적으로 모델 파라미터를 결정하기에는 알고리즘이 너무 복잡하다.

본 논문에서는 JVT 알고리즘의 문제점을 개선하여 실시간으로 영상의 특성을 고려하여 GOP 레벨 비트율 제어를 수행하기에 적절한 R-Q 모델을 제안한다.

III. 제안하는 R-Q 모델

본 논문에서는 실시간 영상 압축에서 GOP 레벨 비트율 제어에 사용될 수 있는 R-Q 모델을 제안한다. 따라서 GOP의 구조는 B 프레임이 없는 “*IPPP...*”를 가정한다. 그리고 통신 대역폭은 전송률이 일정한 CBR을 가정한다.

이전 연구에서 실시간 영상 압축에서 한 GOP의 PSNR을 최대로 하는 초기 QP를 정확하게 찾기 위하여 I 프레임의 특성을 다양하게 분석하였다 [9]. 먼저 I 프레임 비트량과 GOP에 할당된 비트량의 비율인 $R Ratio$ 를 다음과 같이 정의하였다.

$$R Ratio = \frac{R_I}{R_{GOP}} \quad (4)$$

여기서 R_I 는 I 프레임을 압축한 결과 비트량이고 R_{GOP} 는 한 GOP에 할당된 비트량이다. CBR 환경에서 R_{GOP} 는 일정한 값을 가진다.

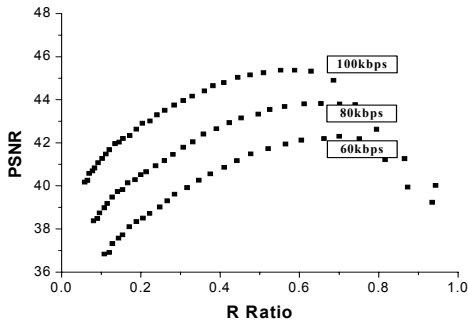


그림 2. 대역폭이 60, 80, 100 kbps 일 때 Akiyo 시퀀스의 R Ratio에 대한 PSNR 비교
 Fig. 2 PSNR comparison versus R Ratio for Akiyo sequence when the bandwidths are 60, 80, and 100 kbps

그림 2는 Akiyo 시퀀스를 대역폭이 60, 80, 100 kbps로 압축했을 때 R Ratio에 대한 PSNR 값을 보여준다. R Ratio이 증가함에 따라 PSNR이 증가하다가 최대값인 점을 지나 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 그리고 세 가지 대역폭에 대해서 PSNR이 최대가 되는 R Ratio가 유사하다는 것도 알 수 있다.

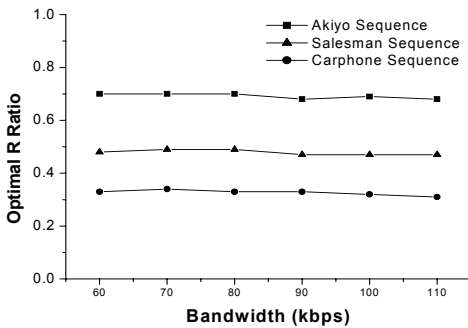
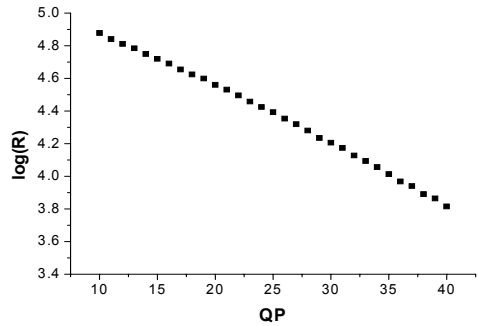


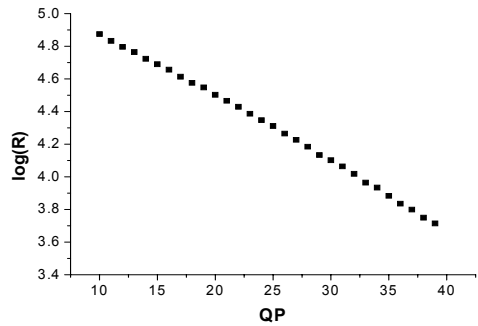
그림 3. Akiyo, Carphone, Salesman 시퀀스의 네트워크 대역폭에 대한 최적 R Ratio 비교
 Fig. 3 Optimal R Ratio Comparison versus network bandwidths for Akiyo, Carphone, and Salesman sequences

그림 3은 다양한 대역폭에 대해 최적 R Ratio를 비교한 결과를 보여준다. 여기서 최적 R Ratio는 한 GOP의 PSNR을 최대로 하는 R Ratio를 의미한다. 그림에서 각 영상은 대역폭에 상관없이 일정한 최적 R Ratio를 가지는 것을 알 수 있다. 즉, 최적

R Ratio는 영상의 고유한 특징이다.



(a) 첫 번째 프레임



(b) 다섯 번째 프레임

그림 4. Akiyo 시퀀스의 두 프레임에 대한 R-Q 관계
 Fig. 4 R-Q relationship for two frames of Akiyo sequence

각 영상의 고유한 특징인 최적 R Ratio를 알 때 이 정보를 이용하여 최적의 초기 QP를 구하기 위해서는 적절한 R-Q 모델이 필요하다. H.264 압축 표준에서 양자화와 관련된 파라미터는 양자화 스텝 (Q_{step})과 양자화 파라미터 (QP) 두 가지가 있다. 이전 압축 표준인 H.263의 경우 두 파라미터의 관계는 $Q_{step} = 2 \times QP$ 로 두 파라미터는 거의 같은 의미로 사용되었다. 하지만 H.264 표준의 경우 양자화 스텝을 비선형적으로 적용하기 때문에 두 파라미터의 관계는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$Q_{step} = 2^{(QP-4)/6} \tag{5}$$

따라서 R-Q 모델을 구할 때 Q_{step} 으로 모델링하는 것과 QP로 모델링하는 것은 다른 형태를 가지게 된다. 본 논문에서는 양자화에 바로 사용할 수 있는 QP 파라미터를 이용하여 R-Q 모델을 구한다.

다양한 영상에 대해서 비트량과 양자화 파라미터의 관계를 분석하였다. 그림 4는 Akiyo 시퀀스를 80kbps로 압축할 때 QP를 10에서 40까지 변화시키면서 I 프레임의 비트량을 측정하는 것이다. 그래프의 y 축은 비트량에 로그를 취한 값이다. 그림에서 볼 수 있듯이 비트량에 로그를 취한 값과 QP 사이에 선형 관계가 있음을 알 수 있다. 다양한 실험에서도 그림 4와 같은 관계를 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 R-Q 모델을 제안한다.

$$\log(R) = a \cdot QP + b \quad (6)$$

여기서 a 와 b 는 모델 파라미터이다. 각 영상의 고유한 특징인 최적 R Ratio를 알 때 식 (4)에서 R_{GOP} 는 일정하기 때문에 I 프레임에 할당된 비트량인 R_I 를 쉽게 구할 수 있고 이 값을 식 (6)에 대입하여 영상 압축에 필요한 초기 QP 값을 구할 수 있다.

이 모델을 이용하면 최적의 초기 QP를 쉽게 구할 수 있다. 하지만 모델 파라미터를 구하는 것은 간단하지 않다. 그림 4의 (a)와 (b)를 자세히 보면 그래프의 형태가 조금씩 다른데 이것은 모델 파라미터들이 비슷한 값을 가지지만 프레임에 따라 조금씩 달라지기 때문이다. 또한 실시간 압축에서는 데이터를 미리 분석할 수 없기 때문에 실시간으로 적용할 수 있는 적절한 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 Recursive Least Squares Estimation (RLSE) 방법 [11]을 이용하여 모델 파라미터를 결정한다. RLSE를 식 (6)에 적용하기 위해서는 다음 식에 맞게 상태를 정의하여야 한다.

$$y_i = H_i \cdot x_i + v_i, \quad (7)$$

제안하는 알고리즘에서는 다음과 같이 상태를 정의하고 정의된 상태를 바탕으로 필요한 파라미터도 정의하였다.

$$x_i = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix},$$

$$y_i = \ln(R), \quad (8)$$

$$H_i = (QP, 1),$$

$$E(v_i^2) = R_i.$$

여기서 값을 예측해야 하는 것은 모델 파라미터를 벡터 형식으로 표현한 x_i 이다. x_i 에 대한 예측값을 \hat{x}_i 라고 하면 예측값은 다음과 같이 재귀적으로 구할 수 있다.

$$K_i = P_{i-1} H_i^T (H_i P_{i-1} H_i^T + R_i)^{-1},$$

$$\hat{x}_i = \hat{x}_{i-1} + K_i (y_i - H_i \hat{x}_{i-1}), \quad (9)$$

$$P_i = (I - K_i H_i) P_{i-1} (I - K_i H_i)^T + K_i R_i K_i^T.$$

여기서 K_i 는 이전 예측값에 어느 정도 측정값을 반영하여 현재 예측값을 결정할지를 나타내는 가중치이고 P_i 는 예측 에러에 대한 공분산이다. 파라미터의 초기값을 결정하기 위하여 다양한 실험을 수행하였다. 그림 5는 Akiyo, Carphone, Salesman 시퀀스의 첫 프레임에 대한 압축 결과를 보여준다.

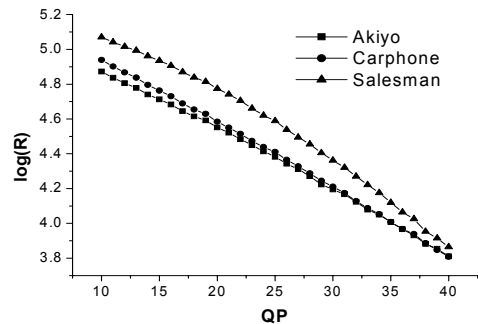


그림 5. Akiyo, Carphone, Salesman 시퀀스의 첫 프레임에 대한 R-Q 관계
Fig. 5 R-Q relationship for the first frames of Akiyo, Carphone, Salesman sequences

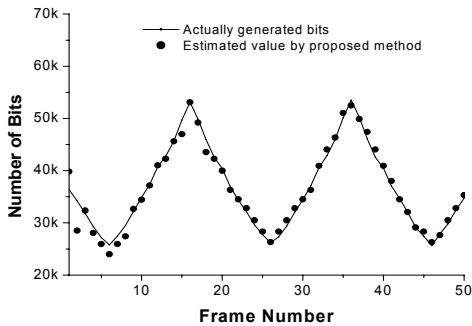
파라미터의 초기값은 여러 실험을 통해 다음과 같이 설정하였다.

$$x_0 = \begin{pmatrix} -0.035 \\ 5.3 \end{pmatrix} \quad (10)$$

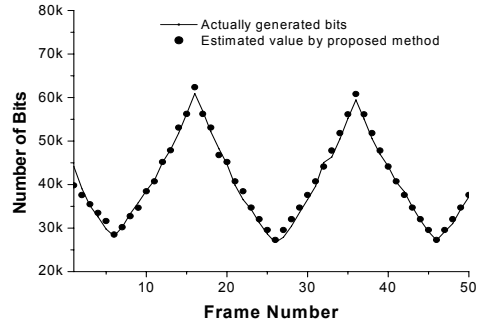
IV. 실험결과

제안하는 R-Q 모델의 성능을 분석하기 위해서 다양한 영상에 대해서 실험을 수행하였다. 또한 제안하는 파라미터 예측 방법이 실시간으로 모델 파라미터를 정확하게 예측하는지를 분석하였다. 영상 압축을 위해 H.264/AVC 참조 소프트웨어인 JVT 최신 버전 JM18.3을 사용하였다.

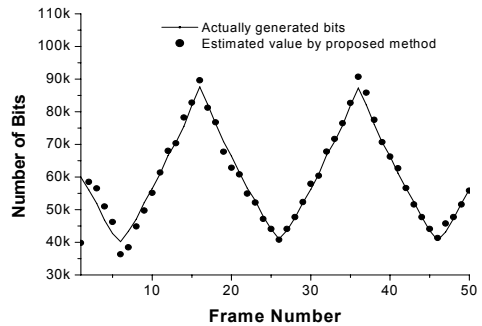
그림 6은 Akiyo, Carphone, Salesman, Silent 시퀀스를 대역폭 100kbps로 압축할 때 식 (8)과 (9)를 이용하여 모델 파라미터를 예측하고, 예측한 모델 파라미터와 식 (6)을 이용하여 I 프레임의 비트량을 예측한 값과 실제 I 프레임을 인코딩한 결과 비트량을 비교한 것이다. 제안하는 R-Q 모델은 I 프레임을 위한 것이기 때문에 GOP의 크기를 3으로 설정하였다. 저 전송률 영상 압축에서는 일반적으로 GOP의 크기가 이보다 크지만 이 실험의 목적은 I 프레임에 대한 모델이 적절한지를 확인하는 것이기 때문에 GOP의 크기는 문제가 되지 않는다. I 프레임을 위한 QP 값은 20에서 시작하여 25까지 증가한 후 다시 15까지 감소하고 다시 25까지 증가하는 것을 반복하도록 설정하였다.



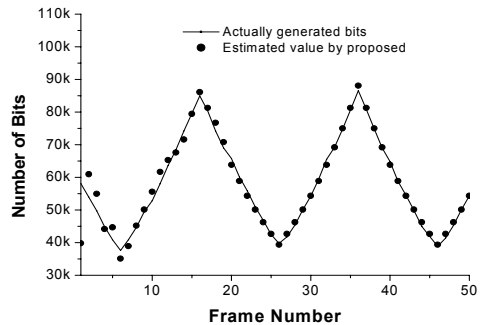
(a) Akiyo 시퀀스



(b) Carphone 시퀀스



(c) Salesman 시퀀스

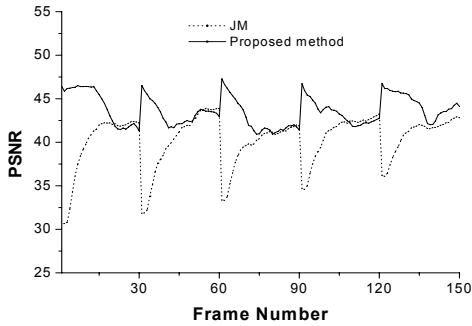


(d) Silent 시퀀스

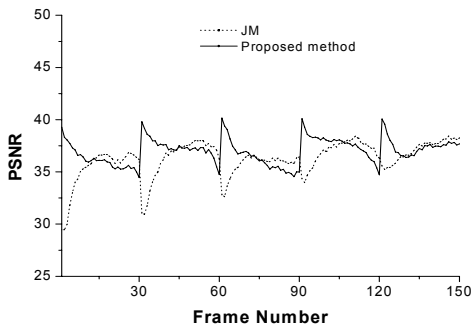
그림 6. 제안하는 R-Q 모델의 정확성 검증 실험
Fig. 6 Experiments for verifying the proposed R-Q model

그림에서 볼 수 있듯이 처음 몇 GOP 동안 약간의 오차가 발생하지만 데이터가 축적될수록 모델이 정확

하게 I 프레임의 비트량을 예측함을 알 수 있다. 또한 적응적 방식으로 최신 프레임의 특성을 파라미터에 반영하기 때문에 정확하게 비트량을 예측함을 알 수 있다.



(a) Akiyo 시퀀스



(b) Carphone 시퀀스

그림 7. 제안하는 R-Q 모델을 이용한 비트율 제어 알고리즘과 기존 알고리즘의 PSNR 비교

Fig. 7 PSNR comparison between existing method and the rate control algorithm with the proposed R-Q model

그림 7은 제안하는 R-Q 모델을 비트율 제어 알고리즘에 적용한 결과를 JM 소프트웨어에 적용된 JVT 알고리즘의 성능과 비교한 결과를 보여준다. 실험을 통해 Akiyo 시퀀스의 경우 최적 $R Ratio$ 가 50%이고 Carphone 시퀀스의 경우 최적 $R Ratio$ 가 25%임을 먼저 확인하였다. Akiyo 시퀀스의 경우 움직임이 많지 않아 I 프레임에 많은 비트를 할당하는 것이 전체 GOP의 PSNR을 향상시키고, Carphone 시퀀스의 경우 움직임 있는 영상으로 I 프레임에 너무 많은 비트를 할당하면 이후 프레임의 성능을 나쁘게 한다. 서로

다른 성격의 두 영상에 대해 각각의 최적 $R Ratio$ 가 주어졌을 때 제안하는 적응적 모델을 적용하여 초기 QP를 결정하여 영상을 압축하였다. 영상의 PSNR을 비교하기 위해 일반적으로 사용되는 GOP 크기인 30 프레임을 설정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안하는 알고리즘은 I 프레임을 위한 초기 QP를 적당하게 설정하기 때문에 I 프레임뿐만 아니라 이후 프레임들의 PSNR도 전체적으로 향상시키는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 H.264 비트율 제어에서 GOP 레이아웃 비트율 제어에 해당하는 초기 QP 값 결정에 필요한 R-Q 모델과 모델 파라미터를 실시간으로 예측하기 위한 알고리즘을 제안하였다. JVT에서 사용하는 초기 QP 값 결정 알고리즘은 영상의 복잡도를 고려하지 않으며, 영상의 크기와 프레임 레이트, 대역폭만을 고려하여 네 개의 범주로 나누고 각 범주마다 하나의 값을 할당하기 때문에 최적의 초기 QP 값을 찾기가 어렵다. 제안하는 알고리즘은 여러 GOP에 대해서 다양한 초기 QP를 이용하여 압축한 결과를 바탕으로 제안되었으며, 영상의 특성 및 전송 속도에 대한 특성을 효과적으로 반영할 수 있다. 실험결과에서 제안하는 모델이 I 프레임의 비트량을 실시간으로 정확하게 예측함을 확인하였고 제안하는 모델을 적용한 GOP 레벨 비트율 제어 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

제안하는 모델은 I 프레임의 비트량을 실시간으로 정확하게 예측하는 모델로 I 프레임의 비트량을 이용한 비트율 제어뿐만 아니라 실시간 I 프레임 비트량 예측이 필요한 다양한 응용에 활용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Z. Chen and K.N. Ngan, "Recent advances in rate control for video coding", *Signal Process.: Image Commun.*, Vol. 22, pp. 19-38, Jan, 2007.
- [2] Y.J. Shin, N.R. Son, N.D. Toan, and G.S. Lee, "H.264/AVC to MPEG-2 Video Transcoding

by using Motion Vector Clustering”, The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 1, pp. 23-30, 2010.

- [3] S.W. Kwak, H. Choi, and J.M. Yang, “A Real-time Video Transferring and Localization System in HSDPA Network”, The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 1, pp. 21-26, 2012.
- [4] S.H. Park, "Initial QP Modeling for GOP Layer Rate Control", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 6, pp. 1377-1383, 2012.
- [5] T. Wiegand, H. Schwarz, A. Joch, F. Kossentini, and G. J. Sullivan, "Rate-constrained coder control and comparison of video coding standards", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol. 7, pp. 688-703, Jul, 2003.
- [6] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard, and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding standard", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol. 7, No. 7, pp. 1-19, 2003.
- [7] K. Lim, G. Sullivan, and T. Wiegand, "Text Description of Joint Model Reference Encoding Methods and Decoding Concealment Methods", JVT-W057, San Jose, CA, Apr, 2007.
- [8] H. Wang and S. Kwong, "Rate-Distortion Optimization of Rate Control for H.264 With Adaptive Initial Quantization Parameter Determination", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol. 18, No. 1, pp. 140-144, 2008.
- [9] S. Park, “GOP Level Rate-Control for Real-Time Video Transmission”, International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, Vol. 8, No. 4, pp. 207-215, 2013.
- [10] N. Kamaci, Y. Altunbasak, and R. M. Mersereau, “Frame bit allocation for the H.264/ AVC video coder via Cauchy-density-based rate and distortion models”, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol. 15, No. 8, pp. 994-1006, 2005.
- [11] P.C. Young, "Recursive Estimation and Time-Series Analysis", Springer-Verlag Heidelberg, pp. 29-45, 2011.

저자 소개

박상현(Sang-Hyun Park)



1995년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2002년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2004년 순천대학교 멀티미디어공학과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 패턴인식