

H.264/AVC를 위한 적응적 인트라 프레임 압축

박상현*

Adaptive Intra Frame Encoding for H.264/AVC

Sang-Hyun Park*

요약

인트라 프레임은 GOP (Group of Pictures)의 처음 프레임을 의미하며, H.264 표준에서 인트라 프레임의 모든 매크로블록은 하나의 양자화 파라미터로 압축한다. 그리고 인트라 프레임은 이후 프레임들을 압축할 때 사용하기 때문에 인트라 프레임의 압축 결과는 전체 프레임 그룹의 화질에 영향을 미친다. 따라서 인트라 프레임을 최적으로 압축할 수 있는 양자화 파라미터를 찾는 것은 화질 개선을 위해 중요한 요소이다. 본 논문에서는 실시간으로 인트라 프레임을 압축하기 위한 최적의 양자화 파라미터를 탐색하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 최적 양자화 파라미터의 특성에 대한 분석을 바탕으로 경사하강법을 이용하여 실시간으로 최적값을 탐색한다. 실험결과는 제안하는 방법이 최적 양자화 파라미터의 특성을 잘 반영하고 최적값도 정확하게 예측함을 보여준다.

ABSTRACT

In H.264 standard, an intra frame is the first frame of a GOP (Group of Pictures) and all macroblocks of an intra frame are encoded using the same quantization parameter. In addition, an intra frame is used for encoding the following frames of the same GOP so the encoding results of an intra frame affect the encoding results of the entire GOP. Thus, it is important to find the optimal quantization parameter of an intra frame for improving the quality of a GOP. In this paper, we propose an searching method for an optimal quantization parameter of an intra frame in real time. The proposed method uses a gradient descent method to find the optimal value based on characteristics of the optimal quantization parameters. Experimental results show that the proposed method captures the characteristics of the optimal quantization parameter and accurately estimates the optimal value.

키워드

Rate Control, Video Compression, H.264/AVC, Initial QP
비트율 제어, 영상 압축, H.264/AVC, 초기 QP

1. 서론

영상 압축에서 비트율 제어는 주어진 대역폭에 맞게 영상을 압축하면서 영상의 품질을 극대화하는 것을 목표로 한다. 즉, 비트율 제어는 영상을 압축한 결

과 비트가 주어진 대역폭을 초과하지 않도록 제어하면서 동시에 주어진 조건하에서 영상의 화질을 최적화하는 기능을 수행한다. 영상 데이터는 그 내용에 따라 다양한 중복성을 포함하게 되며 그 중복성을 어떻게 제거하느냐에 따라 영상의 품질이 달라진다. 따라

* 순천대학교 멀티미디어공학과(shark@scnu.ac.kr)

접수일자 : 2014. 09. 29

심사(수정)일자 : 2014. 11. 21

게재확정일자 : 2014. 12. 15

서 영상의 다양한 특성을 효과적으로 이용하여 양자화 파라미터 (Quantization Parameter : QP) 값을 적절하게 조정함으로써 영상의 품질을 극대화하는 것이 비트율 제어의 목표이다[1-2].

H.264 영상 압축 표준에서 제시된 비트율 제어 알고리즘은 기본적으로 압축 결과를 이용하여 압축할 프레임의 예측하는 방법을 사용한다. 예측을 위해 사용하는 정보는 이전 프레임과 압축할 프레임의 매크로블록간의 MAD (Mean Absolute Difference), 압축된 프레임에서 0으로 양자화된 비율 등의 정보들이다. 이러한 정보들을 사용할 때 발생하는 문제가 바로 잘 알려진 chicken-and-egg 딜레마이다. H.264 압축 표준을 위한 많은 비트율 제어 알고리즘들이 연구되어 왔으며, 많은 연구들이 이 chicken-and-egg 딜레마를 해결하기 위한 방법들이다. 많은 연구에서 이 문제를 해결하기 위하여 비트율-양자화 모델 또는 왜곡-양자화 모델 등을 제안하였다[3-5].

비트율 제어에서 chicken-and-egg 딜레마는 인터 프레임에 대한 것으로 이 문제를 해결하는 것은 중요하다. 하지만 비트율 제어에서 인트라 프레임도 중요하게 고려되어야 한다. H.264 표준에서 인트라 프레임은 하나의 양자화 파라미터로 압축된다. 그리고 인트라 프레임은 인터 프레임 압축에 사용된다. 따라서 인트라 프레임 압축에 사용할 양자화 파라미터는 전체 영상의 품질에 영향을 주게 된다. 인트라 프레임 압축에 사용되는 양자화 파라미터를 초기 양자화 파라미터 (initial QP : iQP)라고 한다.

일반적으로 iQP 는 픽셀 당 비트 수 (Bits Per Pixel : BPP)를 계산하여 결정한다. 이 방법은 H.264 참조 소프트웨어인 JVT 알고리즘에 적용되어 있다. BPP는 압축할 영상에 대해서는 전혀 고려하지 않고 영상의 해상도와 대역폭에 따라 iQP 를 결정하게 된다. 즉, BPP를 이용하는 알고리즘은 영상의 내용에 따라 최적의 iQP 를 제시하지 못하고 따라서 영상의 압축 품질을 저하시킬 수 있다. 본 논문에서는 영상의 특성을 고려하여 최적의 iQP 계산하는 알고리즘을 제안한다. 먼저 다양한 영상에 대해서 iQP 의 특성을 모델링하기 위한 방법을 제시하고 이를 바탕으로 실시간으로 iQP 를 결정하는 방법을 제시한다[6-7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 JVT 알고리즘에서 사용되는 초기 QP 값 결정 알고

리즘과 iQP 에 대한 관련 연구 동향에 대해서 설명한다. 3장에서는 iQP 를 모델링하기 위한 분석 내용과 제안하는 iQP 결정 알고리즘을 설명하고, 4장에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 연구 배경

H.264/AVC의 비트율 제어는 JVT-W057에 제시되어 있다[6]. 비트율 제어는 크게 세 개의 레이어별로 구성되며 본 논문에서는 세 개의 레이어 중 GOP 레이어 비트율 제어에 초점을 맞춘다. GOP는 압축된 영상을 복호화할 때 독립적으로 복호하는 단위이다. 즉, 하나의 GOP는 다른 GOP와 상관없이 복호할 수 있다. JVT-W057에서는 각 GOP의 첫 프레임과 두 번째 프레임은 비트율 제어를 적용하지 않고 고정 QP 값을 사용한다. 세 번째 프레임부터 비트율 제어가 적용된다. 이때 처음 두 프레임을 압축할 때 사용하는 양자화 파라미터를 초기 QP (iQP)라고 한다. 본 논문에서는 인트라 프레임 압축에 사용되는 iQP 의 설정방법을 제안한다.

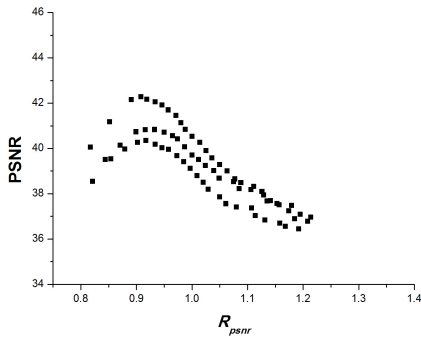
JVT-W057의 iQP 설정 방법은 이전 GOP의 압축 결과를 이용하여 식 (1)과 같이 결정된다.

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

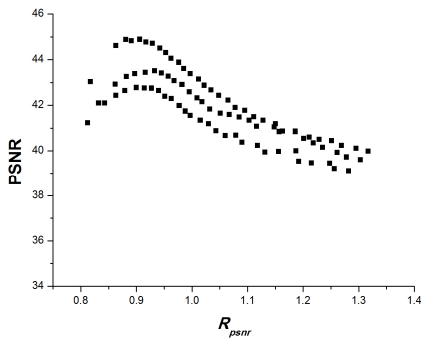
$$QP_1(i) = \min\{QP_1(i-1) + 2, QP_1(i)\}, \quad (1)$$

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

여기서 $QP_1(i)$ 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. GOP의 크기가 30 이상인 경우에 JVT에서는 이전 GOP의 P 프레임 압축에 사용된 QP들의 평균값 (\overline{PQP})에 2를 뺀 값으로 iQP 를 설정된다. 그리고 이 값은 이전 iQP 와의 차이가 2 이하가 되도록 조정된다. 이 방법은 간단하지만 개별 영상의 특징을 고려하지 않기 때문에 최적의 성능을 보여주지 못한다 [8].



(a) 64 kbps



(b) 100 kbps

그림 1. PSNR과 R_{psnr} 의 관계

Fig. 1 Relations between PSNR and R_{psnr}

개별 영상의 특성을 반영하기 위한 방법으로 인트라 프레임과 인터 프레임 사이의 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) 값을 이용하는 방법이 제안되었다 [8]. 이 알고리즘에서는 인트라 프레임인 I 프레임과 P 프레임의 PSNR 비율 (R_{psnr})을 이용한다. 한 GOP에 대해서 R_{psnr} 는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$R_{psnr} = \frac{PSNR_P}{PSNR_I} \tag{2}$$

여기서 $PSNR_I$ 는 I 프레임의 PSNR이고 $PSNR_P$ 는 GOP의 P 프레임들의 평균 PSNR이다. 여러 시험 영상을 대상으로 다양한 전송 대역폭에 대해서 R_{psnr} 특성을 분석했을 때 영상과 전송 대역폭에 따라 R_{psnr} 값은 달라진다. 같은 영상일 때도 GOP의 크기가 다르면 R_{psnr} 값은 역시 다른 값을 가진다. 하지만

GOP의 PSNR이 최대가 될 때의 R_{psnr} 값 (R_{op})은 비슷한 값을 가진다 [8]. 그림 1은 시험 영상을 64kbps 와 100 kbps로 압축했을 때 GOP의 PSNR과 R_{psnr} 의 관계를 보여준다. 같은 영상에 대해서 서로 다른 세 개의 GOP에 대해서 실험을 수행한 결과이다. 그림 1을 보면 GOP마다 다른 관계를 보여주지만 영상의 R_{op} 는 비슷한 값을 가짐을 알 수 있다. 그림 1(a)와 그림 1(b)를 비교하면 비슷한 R_{op} 를 가지는 것을 볼 수 있는데, R_{op} 는 전송대역폭에 따라 값이 변하는 것이 일반적이다.

영상을 압축했을 때 영상품질과 압축 파라미터 사이의 관계를 이용하면 영상의 품질을 개선할 수 있다. 그림 1에서 보여주고 있는 특성을 이용하여 영상의 품질을 개선할 때는 먼저 R_{op} 를 찾고 그 R_{op} 에 해당하는 iQP 를 다음 GOP에 적용하면 된다.

III. 제안하는 인트라 프레임 압축 방법

본 논문에서는 실시간으로 GOP의 PSNR을 최대한으로 하는 R_{psnr} 을 찾고 iQP 를 계산하여 다음 GOP의 인트라 프레임을 효과적으로 압축하는 방법을 제안한다. 그림 1을 단순한 형태로 표현하면 그림 2와 같이 위로 볼록한 볼록함수의 형태로 나타낼 수 있으며 볼록함수는 하나의 최대값을 가지는 함수 형태이다.

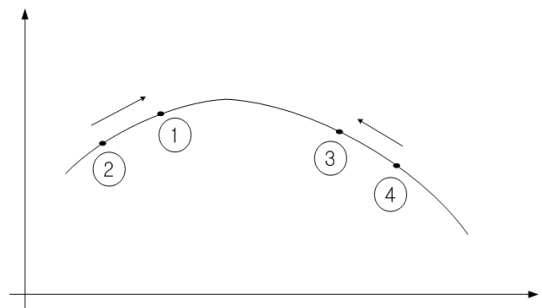


그림 2. PSNR과 R_{psnr} 의 관계

Fig. 2 Relations between PSNR and R_{psnr}

볼록함수의 경우 전역최대값 하나만 존재하는 비교적 간단한 형태이기 때문에 경사하강법 (Gradient Descent Method)를 사용하여 최대값을 탐색한다. 경

사하강법은 미분을 이용하여 탐색 방향을 결정하지만 미분을 계산하기 위해서는 그림 2의 볼록함수에 대한 수식이 찾아야 한다. 볼록함수의 수식을 찾는 것은 복잡하기 때문에 제안하는 알고리즘에서는 마지막으로 인코딩된 2개의 GOP의 측정값을 이용하여 기울기를 계산하여 탐색 방향을 결정한다. 기울기의 계산은 식 (3)과 같다.

$$Slope = \frac{PSNR(i) - PSNR(i-1)}{R_{psnr}(i) - R_{psnr}(i-1)} \quad (3)$$

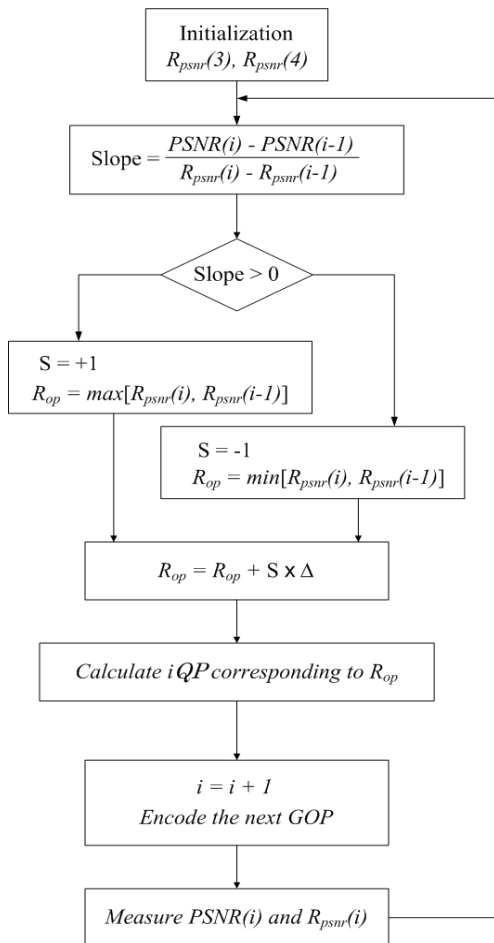


그림 3. 제안하는 알고리즘 요약
Fig. 3 Summary of the proposed algorithm

이동방향이 결정되면 이동할 양인 학습률 (Learn-

ing Rate)을 결정해야 한다. 하지만 제안하는 방법은 측정된 값을 기반으로 하기 때문에 약간의 추가적인 보정을 할 필요가 있다. 그림 2의 예에서 일반적인 사하강법의 경우 ①의 경우는 ②의 경우 이후에 나타나고 ③의 경우도 ④의 경우 이후에 나타난다. 즉, 최대값 방향으로 점진적으로 이동하게 된다. 이론적으로는 지속적으로 최대값으로 이동해 가지만 실측값을 사용하게 되면 모델의 예측 오류 등으로 최대값과 멀어지는 방향으로 이동하게 된다. 따라서 제안하는 방법에서는 식 (4)와 같은 보정을 수행한다.

$$\begin{aligned} \text{if}(Slope > 0) & \\ & R_{op} = \max[R_{psnr}(i), R_{psnr}(i-1)] \\ \text{else} & \\ & R_{op} = \min[R_{psnr}(i), R_{psnr}(i-1)] \end{aligned} \quad (4)$$

즉, *Slope*가 결정되면 두 값에 대해서 좀 더 최대값에 가까운 값을 학습량 계산의 기준점으로 사용한다.

학습량은 *iQP*를 계산하는 모델을 이용하였다. *iQP*와 R_{psnr} 은 선형의 관계를 가지기 때문에 식 (5)와 같이 모델링할 수 있다 [8].

$$R_{psnr} = a \cdot iQP(i) + b \quad (5)$$

제안하는 알고리즘의 학습량 계산은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} R_{op} &= R_{op} + S \times D \\ D &= a \end{aligned} \quad (6)$$

즉, 식 (4)에서 계산한 기준값에 대하여 기울기의 부호에 선형모델의 기울기인 *a*를 곱한 값만큼 이동하는 것이다. 선형모델의 기울기인 *a*는 *iQP*을 1만큼 이동시키는 값이지만 식 (4)에 따른 보정으로 실제로는 *iQP*값이 1보다 크게 이동하는 것이 가능하다.

목표 R_{psnr} 값인 R_{op} 가 결정되면 식 (5)를 이용하여 목표 *iQP*를 계산하고 이 값을 이용하여 다음 GOP를 압축한다. 이 전체과정을 반복하여 전체 영상을 압축한다.

마지막으로 제안하는 알고리즘의 초기화 과정을 설명한다. 제안하는 알고리즘은 *iQP*와 R_{psnr} 의 관계를 선형으로 모델링하는 식 (5)를 이용한다. 그런데 식 (5)는 모델의 파라미터를 구하기 위해 영상의 처음

두 개의 GOP를 정해진 값으로 압축하고 그 결과를 이용하여 반복적으로 파라미터를 예측한다. 따라서 제안하는 방법은 영상의 처음 두 개의 GOP는 기존의 방법을 따라 압축한다. 그리고 제안하는 알고리즘은 경사하강법을 적용하기 위해 미분을 사용하지 않고 이전 두 개의 GOP를 압축한 결과를 이용한다. 따라서 제안하는 방법에서는 세 번째와 네 번째 GOP도 정해진 값을 이용하여 압축하고 다섯 번째 GOP부터 그림 3의 알고리즘을 적용한다. 세 번째와 네 번째 GOP는 각각 0.95와 0.97의 R_{op} 값을 적용하여 압축하였으며, 이 값들을 적용했을 때 영상에 관계없이 비교적 좋은 PSNR 결과값을 보여주기 때문에 전체 영상의 품질에 큰 영향을 주지 않는다 [8].

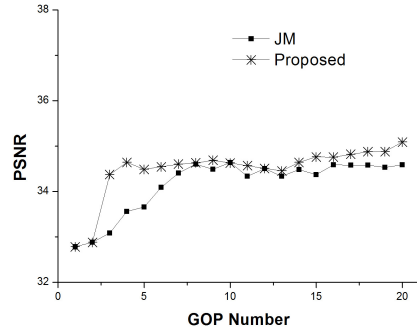
표 1. 실험환경
Table 1. Experimental environment

Source Resolution	176×144
Basic Unit	1
RDO	ON
Search Range	16
Reference Frames	2
Entropy Coding	CAVLC
GOP Structure	IPPPP
Intra Period	30
Network Bandwidth	80 kbps

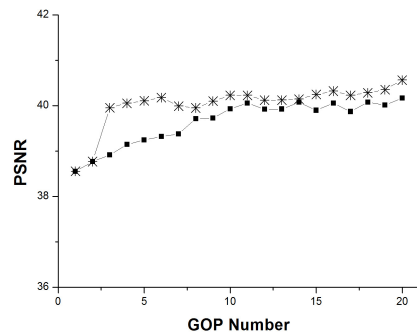
IV. 실험결과

제안하는 인트라 프레임 압축 방법의 성능을 분석하기 위해서 다양한 영상에 대해서 실험을 수행하였고, 제안하는 방법이 실시간으로 최적의 양자화 파라미터를 정확하게 예측하는지를 분석하였다. 본 논문에서는 저전송률에 적합한 영상을 중심으로 실험을 수행하였다. 저전송률에 적합한 응용은 원격감시, 화상 전화 등의 응용으로, 원격감시에 해당하는 Bridge-Close, Bridge-Far 시험영상과 화상 전화에 해당하는 Grandmother, Mother & Daughter 시험영상에 대한 실험결과를 제시한다. 실험에 사용한 H.264 코덱은 JVT에서 제공되는 참조 소프트웨어 중 최신 버전인 JM 18.4이며, 인트라 프레임 코딩에서 양자화 파라미

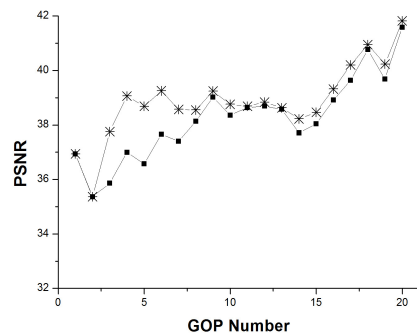
터를 계산하는 부분에 대해서 제안하는 알고리즘을 적용하였다. H.264 코딩에 필요한 파라미터는 표 1과 같다.



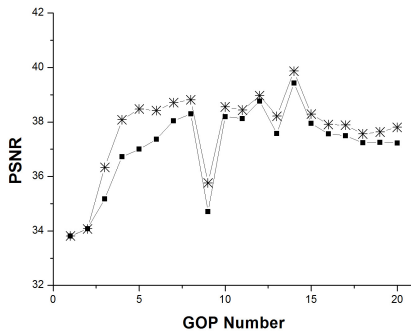
(a) Bridge-Close 시퀀스
(a) Bridge-Close sequence



(b) Bridge-Far 시퀀스
(b) Bridge-Far sequence



(c) Grandmother 시퀀스
(c) Grandmother sequence

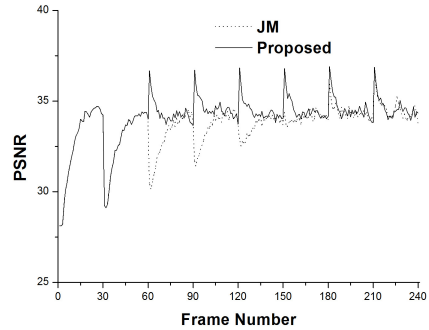


(d) Mother & Daughter 시퀀스
 (d) Mother & Daughter sequence
 그림 4. GOP의 PSNR 비교
 Fig. 4 Comparison of GOP PSNR

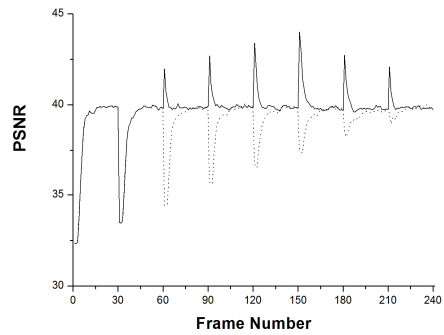
그림 4는 600개의 프레임에 대해서 제안하는 알고리즘과 JM 알고리즘을 적용했을 때 GOP의 PSNR을 비교한 결과를 보여준다. GOP의 크기가 30이기 때문에 600개의 프레임은 20개의 GOP로 구성된다. 처음 2개의 GOP는 동일하게 코딩되기 때문에 그 결과가 같고 세 번째 GOP부터 각 알고리즘의 차이를 관찰할 수 있다. 네 개의 비디오 시퀀스는 비교적 움직임이 적은 영상으로 JM 알고리즘이 *iQP* 값을 잘 예측하는 것으로 알려져 있다. 하지만 그림에서 볼 수 있듯이 영상압축의 초기 부분에서는 제안하는 알고리즘이 기존 알고리즘 보다 비교적 큰 차이 성능이 우수한 것을 알 수 있다. 또한 열 번째 GOP 이후에도 기존 알고리즘보다 조금씩 우수한 것을 보여주고 있으며, 특히 Bridge-Close 영상과 Bridge-Far 영상의 경우 비교적 큰 차이로 영상의 화질을 개선하고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 초기 8개의 GOP에 대해서 프레임 단위로 PSNR을 비교한 결과를 보여준다. 일반적으로 한 GOP에서 PSNR의 분포는 인트라 프레임이 가장 높고 인터 프레임이 점진적으로 감소하는 형태를 보일 때 전체 GOP의 PSNR이 큰 값을 가진다. 이것은 인트라 프레임의 화질이 나머지 인터 프레임에 영향을 미치기 때문인데, 인트라 프레임의 화질이 나쁠 경우 이를 참조하는 인터 프레임도 같이 나빠지게 되기 때문이다. JM 알고리즘은 초기 GOP의 인트라 프레임에 대한 *iQP* 값을 잘못 예측하여 인트라 프레임의 영상품질이 나쁘게 설정되기 때문에 전체적으로 영상

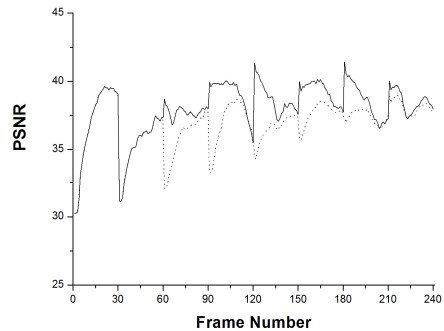
의 품질이 나쁘게 나타난다. 반면, 제안하는 알고리즘은 인트라 프레임의 영상 품질을 적절하게 설정하기 때문에 전체 GOP의 영상 품질을 크게 유지할 수 있게 하는 것을 알 수 있다.



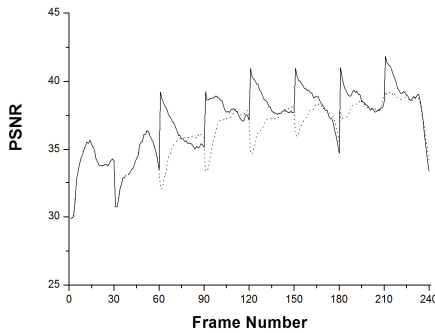
(a) Bridge-Close 시퀀스
 (a) Bridge-Close sequence



(b) Bridge-Far 시퀀스
 (b) Bridge-Far sequence

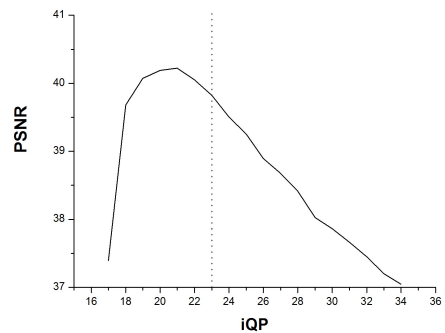


(c) Grandmother 시퀀스
 (c) Grandmother sequence



(d) Mother & Daughter 시퀀스
(d) Mother & Daughter sequence

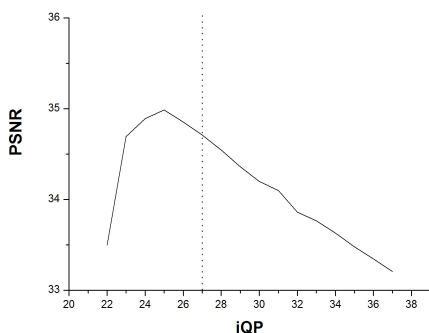
그림 5. 프레임별 PSNR 비교
Fig. 5 Comparison of frame PSNR



(b) Grandmother 시퀀스
(b) Grandmother sequence

그림 6. 최적 iQP 비교
Fig. 6 Comparison of optimal iQP

그림 6은 제안하는 알고리즘이 얼마나 정확하게 최적의 iQP 를 예측하는지를 확인하는 실험결과를 보여준다. 그림 6의 (a)는 Bridge-Close 영상의 17번째 GOP에 대해서 iQP 와 GOP의 PSNR 사이의 관계를 보여준다. 그림에서 최적의 iQP 는 25임을 알 수 있다. 점선은 제안하는 알고리즘에 의해 17번째 GOP에 설정된 iQP 를 의미하여 27로 설정된 것을 알 수 있다. 실제 최적값보다 2 큰 값으로 비교적 정확하게 설정된 것을 알 수 있다. 그림 6의 (b)는 Grandmother 영상의 17번째 GOP에 대해서 동일한 실험을 한 결과이다. 실제 최적 iQP 값은 21이지만 제안하는 알고리즘은 이보다 큰 23의 값을 설정하고 있으나 최적값과의 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다.



(a) Bridge-Close 시퀀스
(a) Bridge-Close sequence

V. 결론

본 논문에서는 H.264 영상압축에서 인트라 프레임 압축에 필요한 iQP 를 실시간으로 예측하는 방법을 제안하였다. iQP 를 찾기 위한 지표로 I 프레임과 P 프레임의 PSNR 비율을 이용하였으며 PSNR 비율이 불록함수 형태임을 고려하여 경사하강법을 실시간으로 적용하는 방법을 제안하였다. GOP의 PSNR을 최대화하는 PSNR 비율은 영상마다 고유한 값을 가지기 때문에 이 지표를 이용하면 영상의 특성을 반영할 수 있게 된다. 실험을 통해 단순히 영상의 해상도와 전송 대역폭만을 고려하여 iQP 를 계산하는 기존의 방법에 비해 제안하는 방법은 압축 초기부터 비교적 정확하게 최적의 iQP 를 예측함을 알 수 있었다.

제안하는 알고리즘은 영상의 특성에 맞게 iQP 를 설정하기 때문에 특히, 저전송률의 원격감시와 같이 전송 대역폭을 최대한 활용하여야 하는 응용에 효과적으로 사용될 수 있다. 또한, 제안하는 알고리즘은 영상압축의 초기에 뛰어난 성능을 보여준다. 따라서, 영상통화와 같이 이동 중에 사용하여 다양한 네트워크를 경유하게 되는 경우 전송 대역폭이 가변적이기 때문에 새로운 환경에 맞추어 새롭게 영상압축을 시작하는 응용에도 적합할 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] Z. Chen and K. N. Ngan, "Recent advances in rate control for video coding," *Signal Process. : Image Commun.*, vol. 22, Jan. 2007, pp. 19-38.
- [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," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 5, no. 1, Feb. 2010, pp. 23-30.
- [3] S.-W. Kwak, H. Choi, and J.-M. Yang, "A Real-time Video Transferring and Localization System in HSPDA Network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 7, no. 1, Feb. 2012, pp. 21-26.
- [4] H. Yun, Y. Seo, H. Choi, and D. Kim, "High-speed Intra Prediction Method for H.264 /AVC," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 10, no. 7, July. 2006, pp. 1172-1179.
- [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, July 2003, pp. 688-703.
- [6] K. Lim, G. Sullivan, and T. Wiegand, "Text Description of Joint Model Reference Encoding Methods and Decoding Concealment Methods," *Joint Video Team(JVT)-W057*, San Jose, CA, Apr. 2007.
- [7] 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, Jan. 2008, pp. 140-144.
- [8] S.-H. Park, "Initial QP Modeling for GOP Layer Rate Control," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 7, no. 6, Dec. 2012, pp. 1377-1383.

저자 소개



박상현(Sang-Hyun Park)

1995년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2002년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2001년 현대네트웍스(주) 과장

2004년 순천대학교 멀티미디어공학과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 패턴인식