
적응적 베이직 유닛 레벨 H.264 비트율 제어

박상현*

Adaptive Basic Unit Level Rate Control for H.264

Sang-Hyun Park*

요 약

본 논문에서는 목표 비트량에 맞게 영상을 압축하는 베이직 유닛 레벨 비트율 제어 알고리즘을 제안한다. H.264 비디오 압축 표준은 다양한 압축 모드 및 최적화 방법을 사용하여 압축률을 향상 시키지만 복잡한 인코더 구조는 정확한 트래픽 제어를 어렵게 한다. 제안된 알고리즘에서는 한 프레임에 할당된 목표 비트량과 일치하는 결과 비트율을 생성하기 위해 한 프레임에 할당된 비트량을 각 베이직 유닛에 적절하게 분배하였고 목표치와 결과치의 차이를 다음 프레임에 반영하여 트래픽이 목표치에 수렴할 수 있게 한다. 제안하는 알고리즘과 기존 알고리즘간의 비교 실험은 제안하는 알고리즘이 목표 비트량과 일치하는 결과 비트를 생성하며 동시에 PSNR 성능에서 기존의 알고리즘 보다 우수함을 보여준다.

ABSTRACT

This paper proposes a new basic unit level rate control algorithm which generates the output bits corresponding to the target bits. The H.264 standard uses various coding modes and optimization methods to improve the compression performance, which makes it difficult to control the generated traffic accurately. In the proposed scheme, the allocated bits to a frame are distributed to all basic units properly to encode each basic unit according to the bit budget. After encoding the frame, the encoding parameters are adjusted according to the difference between the target and the resulting values. It is shown by experimental results that the new algorithm can generate output bit rates accurately corresponding to the target bit rates with the PSNR performance better than that of the existing rate control algorithm.

키워드

H.264, 베이직 유닛, 비트율 제어, 영상 압축

I. 서 론

비디오 코딩에서 비트율 제어는 MPEG, H.263, 및 H.264와 같은 다양한 표준에서 다양한 응용에 맞게 연구가 진행되고 있다 [1]. 비디오 인코더를 구현하기 위해서는 매크로블록 모드, 양자화 파라미터 (QP: Quantization Parameter), 프레임 타입 및 프레임 레이트와 같은 코딩

파라미터들이 결정되어야 한다. 이러한 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. 참고문헌 [2]와 [3]에서는

매크로블록 모드를 최적화할 때 QP 파라미터를 동시에 고려하고 있다. 그리고 [4-6]에서는 프레임 타입과 프레임 레이트를 결정할 때 QP 파라미터를 동시에 고려하고 있다.

H.264 비디오 표준은 이전의 표준들에 비해 아주 뛰어난 압축 효율 때문에 최근에 많은 관심을 받고 있다 [7]. H.264 비디오 표준은 다양한 영상 압축 기법들이 사용되었다. 특히 RDO라고 불리는 비트율-왜곡 (R-D: Rate-Distortion) 최적화 움직임 예측과 압축 모드 선택은 비디오 데이터의 압축률을 크게 향상시킨다. 또한 다양한 화면내 예측과 화면간 예측 모드 및 복수개의 참조 영상 사용 등으로 압축률을 극대화 한다 [8, 9]. 반면 이러한 특징들은 H.264에서 비트율 제어를 어렵게 한다. 특히 비트율 제어에서 가장 많이 사용되는 모델 기반 알고리즘을 적용할 때, 현재 영상의 통계치를 이용한 모델 적용을 어렵게 한다.

H.264 표준을 위한 다양한 모델 기반 베이직 유닛 비트율 제어 알고리즘들이 제안되었다. 여기서 베이직 유닛 (BU: Basic Unit)은 프레임, 슬라이스 또는 매크로블록이 될 수 있다. [10]에서는 [11]에서 제안된 2차 비트율-왜곡 모델을 이용하여 BU의 QP 값을 예측한다. 현재의 BU에 대한 MAD를 계산할 수 없기 때문에 이전 인코딩된 프레임의 MAD 값을 선형 모델에 적용하여 현재의 MAD 값을 예측한다. 그리고 헤더 데이터의 양은 이전 인코딩된 데이터의 값을 그대로 사용한다. 이러한 접근 방식은 크게 두 가지의 문제점이 있다. 첫 번째는 예측된 MAD 값이 정확하지 않다는 것이다. 특히 장면 전환이나 움직임이 많은 영상의 경우 실제의 MAD와 예측된 값과의 차이는 커진다. 두 번째 문제는 헤더 비트를 예측하기가 어렵다는 것이다. H.264 표준은 다양한 압축 모드를 제공하기 때문에 헤더 정보와 관련된 데이터의 양이 프레임에 따라 크게 변한다. 어떤 경우에는 영상 데이터보다 더 많은 양의 헤더 정보가 발생하기도 한다.

RDO와 비트율 제어간의 상호 의존적인 구조를 해결하기 위해 예측 모델을 사용할 경우 예측이 정확하지 않으면 압축 효율이 나빠질 뿐만 아니라 여러 가지 제약 사항을 만족시키지 못할 수가 있다. 특히 실시간 저전송률 비디오 압축의 경우 예측 오류로 인해 많이 트래픽이 발생하게 되면 프레임을 폐기해야 하고 이것은 영상의 품질을 더욱 악화시킨다. 본 논문에서는 기존의 예측 모델을 사용하면서도 최대한 압축 제한 사항을 만족시키는

비트율 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 한 프레임에 할당된 비트량에 맞게 결과 영상이 압축될 수 있도록 각 매크로블록의 QP 파라미터를 결정하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 CBR 환경에서 H.264 베이스라인 프로파일을 기준으로 구현되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 JM 프로그램에서 사용되는 BU 레벨 비트율 제어 알고리즘에 대해서 설명한다. 3장에서는 제안하는 BU 레벨 비트율 제어 알고리즘을 설명하고 4장에서는 제안하는 알고리즘과 JM 알고리즘과의 성능을 비교한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 연구 배경

H.264 표준에서 비트율 제어는 크게 GOP 레벨, 프레임 레벨, BU 레벨 비트율 제어로 구성된다. GOP 레벨 비트율 제어는 GOP 단위에 비트를 할당하는 것으로, 일반적으로 CBR 환경에서는 일정하게 할당한다. 프레임 레벨 비트율 제어는 각 프레임에 비트를 할당하는 것으로, 현재 버퍼에 남아 있는 데이터 양과 현재 GOP에서 인코딩 해야 할 프레임의 수 및 GOP에 할당된 비트 중 남은 양 등을 고려해서 결정된다. 마지막으로 BU 레벨 비트율 제어는 한 프레임에 할당된 비트가 결정되면 결과 비트가 할당된 비트량에 맞게 인코딩 되도록 조절하는 역할을 한다. 본 논문에서는 BU 레벨 비트율 제어 알고리즘에 대해서 설명한다.

최신의 BU 레벨 비트율 제어 알고리즘은 JM 11.0 소프트웨어에 구현된 알고리즘이다 [10]. BU 레벨 비트율 제어는 BU에 속하는 모든 매크로블록의 QP 값을 결정하는 것으로 결과 비트량이 최대한 목표 비트량에 가깝도록 QP 값을 결정한다. BU 레벨 비트율 제어의 단계별 설명은 다음과 같다.

단계 1: 수식 (1)을 이용하여 모든 i 프레임의 j 번째 BU의 MAD 예측한다.

$$\bar{\delta}_{ij} = a_1 \delta_{i-1,j} + a_2 \quad (1)$$

여기서 δ_{ij} 는 i 프레임의 j 번째 BU의 매크로블록들

의 실제 MAD 값들의 합이고 a_1 과 a_2 는 모델 파라미터이다.

단계 2: 현재 BU에 대한 비트를 할당한다. 예측된 MAD 값들을 이용하여 수식 (2)와 같이 비트를 할당한다.

$$\tilde{b}_{ij} = R_{ij} \cdot \frac{\tilde{\delta}_{ij}^2}{\sum_{k=j}^{N_{unit}} \tilde{\delta}_{ik}^2} \quad (2)$$

여기서 R_{ij} 는 프레임에 할당된 비트량에서 이미 압축된 BU에 사용된 비트량을 뺀 값이다. 즉 i 프레임에서 j BU를 압축하기 전에 남아있는 비트량이다. 따라서 R_{i1} 은 i 프레임에 할당된 비트량이 된다. 그리고 N_{unit} 은 전체 BU의 개수이다. 다음으로 BU의 헤더 데이터 양을 식 (3)과 같이 예측한다.

$$\begin{aligned} \tilde{m}_j &= \tilde{m}_{j-1}(1 - 1/j) + \hat{m}_j/j \\ m_j &= \tilde{m}_j \frac{j}{N_{unit}} + m_1 \left(1 - \frac{j}{N_{unit}}\right), \\ 1 \leq j \leq N_{unit} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 \hat{m}_j 는 현재 프레임에서 이미 인코딩된 BU들의 실제 헤더 데이터 양이고, m_1 은 이전 프레임의 BU 헤더의 평균 데이터 양이다. 현재 BU에 할당된 양과 헤더 데이터의 양의 예측치를 이용하여 영상 정보를 위해 할당되는 비트량을 수식 (4)와 같이 계산한다.

$$\hat{b}_{ij} = \tilde{b}_{ij} - m_j \quad (4)$$

단계 3: QP 값을 결정한다. 만약 현재의 BU가 첫 번째 BU이면 QP 값은 다음과 같이 이전 프레임의 평균 QP 값으로 결정된다.

$$QP_{i1} = \overline{QP}_{i-1}$$

여기서 \overline{QP}_i 는 i 프레임의 BU들의 QP 파라미터들의

평균이다. 만약 $R_{ij} < 0$ 이면, QP 값은 다음과 같이 이전 BU의 QP 값을 증가시킨 값으로 수정된다.

$$QP_{ij} = QP_{ij-1} + 1$$

위의 두 경우에 해당되지 않을 때 2차 비트율-왜곡 모델을 이용하여 QP 값을 결정한다.

$$\hat{b}_{ij} = c_1 \frac{\tilde{\delta}_{ij}}{Q_{s_{ij}}} + c_2 \frac{\tilde{\delta}_{ij}}{Q_{s_{ij}}^2} \quad (5)$$

여기서 $Q_{s_{ij}}$ 는 QP_{ij} 에 해당하는 양자화 스텝 (Quantization Step) 값이다. 마지막으로 영상 품질의 급격한 변화를 막기 위해 수식 (6)과 같이 다시 수정된다.

$$QP_{ij} = \max(\overline{QP}_{i-1} - 2, \min(\overline{QP}_{i-1} + 2, QP_{ij})) \quad (6)$$

단계 4: BU에 속한 모든 매크로블록에 대해서 RDO를 수행한다.

단계 5: MAD 예측과 2차 비트율-왜곡 모델에 사용된 파라미터들과 R_{ij} 를 갱신한다.

III. 제안하는 BU 레벨 비트율 제어

기존의 알고리즘을 적용했을 때 첫 번째 문제점은 목표치보다 많은 결과 비트가 발생한다는 것이다. 이러한 현상은 전송률이 낮을 때 더욱 두드러진다. 그림 1은 32kbps의 전송률로 Carphone 영상을 압축했을 때의 목표 버퍼 레벨과 실제 버퍼 레벨을 비교한 것이다. 목표치보다 많은 데이터들이 버퍼에 있는 것을 알 수 있다.

두 번째 문제는 한 프레임 내에서 먼저 인코딩되는 매크로블록이 작은 QP 파라미터로 압축되고 뒤로 갈수록 QP 값이 증가한다는 것이다. 그림 2는 Carphone 영상의 30번째 프레임과 70번째 프레임의 QP 값의 변화를 보여준다. 이것은 한 프레임 내에서 영상의 품질이 일정하지 않다는 것을 의미한다. 이러한 원인은 2차 비트율-왜곡 모델과 헤더 모델의 부정확성에 기인한다. 정확한 BU

레벨 비트율 제어를 위해서는 발생한 데이터 양에 맞게 QP 값을 적절히 조절해 줄 필요가 있다.

제안하는 알고리즘에서는 한 프레임 내에서 각 BU들이 자신의 MAD 값에 맞게 비트를 할당받을 수 있게 기존 알고리즘을 수정하였다. 먼저 각 BU에 수식 (7)을 이용하여 비트를 할당한다.

$$t_{ij} = R_{i1} \frac{\delta_{ij}^2}{\sum_{k=1}^{N_{unit}} \delta_{ik}^2} \quad (7)$$

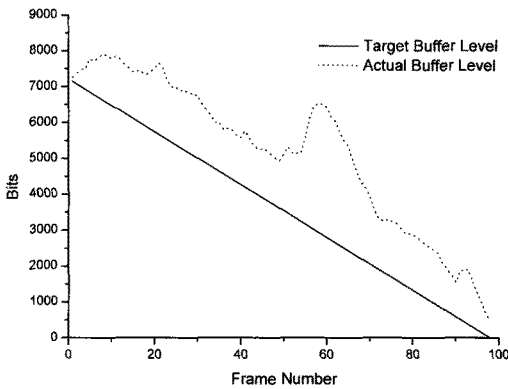


그림 1. JM 알고리즘을 적용했을 때 목표 버퍼 레벨과 실제 버퍼 레벨 비교.
Fig. 1. Comparison of target buffer level and actual buffer level with JM algorithm.

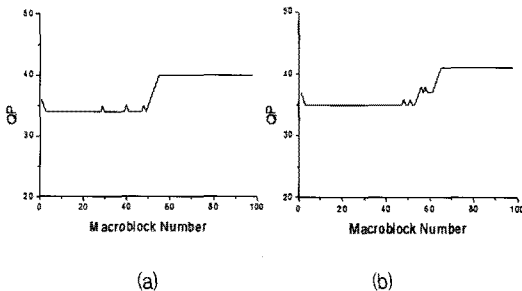


그림 2. JM 알고리즘을 적용했을 때 프레임 내 매크로블록의 QP 값 분포.
(a) 30번째 프레임, (b) 70번째 프레임.
Fig. 2. Distribution of QP values of Macroblocks in a frame with JM algorithm.
(a) 30th frame, (b) 70th frame.

또한 각 BU에 대한 누적 비트 할당량을 다음과 같이 계산한다.

$$T_{ij} = R_{i1} \cdot \sum_{k=j}^{N_{unit}} t_{ik} / \sum_{k=1}^{N_{unit}} t_{ik} \quad (8)$$

이 값은 i 프레임의 j 번째 BU를 인코딩하기 전에 남아 있어야 할 비트량을 나타낸다.

제안하는 알고리즘은 두 부분으로 이루어진다. 첫 번째 부분은 기존 알고리즘의 단계 3을 다음과 같이 수정한다.

$$\text{경우 1: } R_{ij} < (1 - \alpha) \cdot T_{ij}$$

이 경우는 이전 BU들을 인코딩할 때 너무 많은 비트들이 할당된 경우이다. 따라서 QP 값을 다음과 같이 증가시킨다.

$$QP_{ij} = QP_{ij-1} + 1$$

그리고 영상 품질의 급격한 변화를 막기 위해 식 (6)을 이용하여 수정한다.

$$\text{경우 2: } R_{ij} > (1 + \alpha) \cdot T_{ij}$$

이 경우는 이전 BU들을 인코딩할 때 너무 적은 비트들이 할당된 경우이다. 따라서 QP 값을 다음과 같이 감소시킨다.

$$QP_{ij} = QP_{ij-1} - 1$$

그리고 영상 품질의 급격한 변화를 막기 위해 식 (6)을 이용하여 수정한다.

$$\text{경우 3: } \textit{Otherwise}$$

이 경우는 이전 BU들을 인코딩할 때 적절하게 비트들이 사용되고 있는 경우이다. QP 값은 기존의 방식대로 결정된다.

제안하는 알고리즘의 두 번째 부분은 한 프레임의 압축이 완료된 후 평균 QP 값을 조정하는 것이다. 현재 프레임의 평균 QP 값은 다음 프레임의 첫 번째 BU의 QP 값으로 사용된다.

한 프레임의 압축이 완료된 후에 한 프레임에 할당된 값과 실제 발생한 비트량의 차이가 클 경우 현 프레임의 평균 QP 값을 다음 프레임의 시작 QP 값으로 사용하게 되면 그 차이가 계속 유지되는 현상이 발생한다. 제안하는 알고리즘에서는 한 프레임의 인코딩이 끝난 후 다음과 같이 평균 QP 값을 조정한다. i 프레임의 압축이 완료 되었을 때 발생한 결과 비트량을 R_i 라고 할 때 QP 값은 다음과 같이 조정된다.

$$\text{경우 1: } (R_i - R_{i-1}) > R_{i-1} \cdot \beta$$

이 경우는 목표치 보다 많은 비트율이 발생한 경우로 평균 QP 값을 다음과 같이 조정한다.

$$\overline{QP}_i = \overline{QP}_i + 1$$

$$\text{경우 2: } (R_i - R_{i-1}) < -R_{i-1} \cdot \beta$$

이 경우는 목표치 보다 적은 비트율이 발생한 경우로 평균 QP 값을 다음과 같이 조정한다.

$$\overline{QP}_i = \overline{QP}_i - 1$$

IV. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 JM 11.0에 사용된 비트율 제어 알고리즘 [10]과 성능을 비교 하였다. 각 알고리즘은 H.264 베이스라인 프로파일을 기반으로 구현되었다. 본 실험에서는 첫 프레임만 I-프레임으로 코딩하고 나머지 프레임은 P-프레임 타입으로 코딩하였다. 그리고 BU의 단위는 매크로블록으로 설정 하였다. 실험에 사용된 영상 시퀀스는 Carphone, Mother & Daughter (MD), Foreman 시퀀스이다. 세 시퀀스 모두 QCIF 영상 포맷 (176×144)이고 프레임 레이트는 30fps 이다.

그림 3은 Carphone 영상을 제안된 알고리즘으로 압축했을 때 목표 버퍼 레벨과 실제 버퍼 레벨을 보여준다. 그림 1의 JM 알고리즘과 비교했을 때 제안하는 알고리즘이 목표 버퍼 레벨에 맞게 영상을 압축하고 있음을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘에서는 각 프레임에 할당된 비트량에 맞게 각 BU의 QP 값을 조정하기 때문에

JM 알고리즘에 비해 정확한 양의 압축 데이터를 얻을 수 있다.

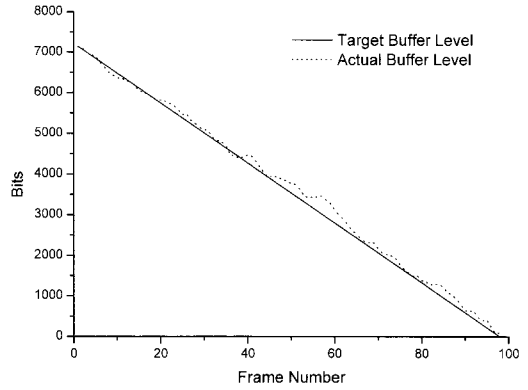


그림 3. 제안하는 알고리즘을 적용했을 때 목표 버퍼 레벨과 실제 버퍼 레벨 비교.

Fig. 3. Comparison of target buffer level and actual buffer level with the proposed algorithm.

그림 4는 Carphone 영상에 제안된 알고리즘을 적용했을 때 30번째 프레임과 70번째 프레임에서의 매크로블록에 따른 QP 값의 분포를 보여준다. 그림 2의 JM 알고리즘에서는 매크로블록 번호가 클 때 큰 값의 QP 값이 일정하게 분포하였다. 그림 4에서는 전체 매크로블록에 대해서 QP 값이 일정한 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이것은 제안된 고리즘에서는 각 매크로블록에 할당되는 비트량을 적절하게 통제함으로써 한 프레임에 할당된 비트가 골고루 전체 매크로블록에 할당되기 때문이다.

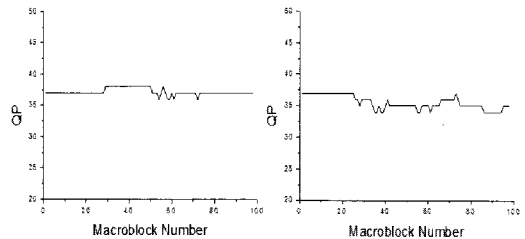


그림 4. 제안하는 알고리즘을 적용했을 때 프레임 내 매크로블록의 QP 값 분포.

(a) 30번째 프레임, (b) 70번째 프레임.

Fig. 4. Distribution of QP values of Macroblocks in a frame with the proposed algorithm.

(a) 30th frame, (b) 70th frame.

그림 5는 Carphone 영상을 압축했을 때의 PSNR 값을 비교한 것이다. 제안된 알고리즘이 PSNR 성능도 기존의 JM 알고리즘에 비해 뛰어난 것을 알 수 있다.

표 1은 세 가지 영상 시퀀스에 대해서 제안하는 알고리즘과 JM 알고리즘을 적용했을 때의 성능을 보여준다. 여기서 $\Delta Buff$ 는 목표 버퍼 레벨과 실제 버퍼 레벨의 차이를 평균한 값이다. 제안하는 알고리즘이 영상 시퀀스와 전송률에 상관없이 PSNR을 약간 향상시키는 것을 알 수 있다. 그리고 모든 경우에 대해서 제안하는 알고리즘을 적용했을 때 실제 버퍼 레벨이 목표 버퍼 레벨이 유사해지는 것을 알 수 있다.

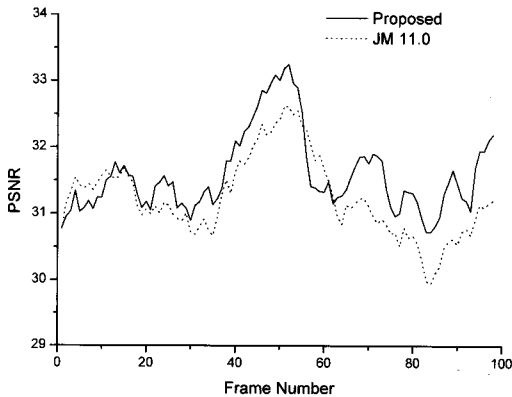


그림 5. PSNR 값 비교.
Fig. 5. Comparison of PSNR.

표 1. 제안된 알고리즘의 성능 비교
Table 1. Performance comparison of the proposed method

영상	알고리즘	전송률	PSNR	$\Delta Buff$
Carphone	Proposed	32kbps	31.58	122.83
	JM 11.0	64kbps	31.24	1616.94
	Proposed	32kbps	34.88	141.74
	JM 11.0	64kbps	34.65	1574.65
Foreman	Proposed	32kbps	29.62	273.03
	JM 11.0	64kbps	29.53	1296.37
	Proposed	32kbps	33.10	572.49
	JM 11.0	64kbps	33.03	1815.43
MD	Proposed	32kbps	36.19	348.80
	JM 11.0	64kbps	35.95	4032.20
	Proposed	32kbps	39.05	375.89
	JM 11.0	64kbps	39.00	6003.63

V. 결론

본 논문에서는 H.264 비트를 제어에서 BU 레벨 비트율 제어 알고리즘을 제안하였다. JM 모델에서 사용하는 BU 레벨 비트율 제어는 사용되는 모델의 부정확한 통계 예측으로 프레임 레벨 비트율 제어에 의한 목표 비트율과 일치하지 않는 결과 비트율을 보여준다. 제안하는 알고리즘에서는 할당된 비트량을 최대한 맞추기 위해 매크로블록마다 목표 비트량을 할당하여 QP 파라미터를 결정하고, 한 프레임의 압축이 완료된 후 결과 비트량과 목표 비트량의 차이에 맞게 평균 QP 값을 조정하여 다음 프레임을 압축할 때 동일한 현상이 반복되지 않도록 하였다. 실험 결과를 통해 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 목표 비트량에 결과 비트량을 근접시키는 것을 볼 수 있었다. 동시에 영상의 품질인 PSNR도 기존의 알고리즘에 비해 약간 향상되는 볼 수 있었다.

많은 프레임 레벨 비트율 제어 알고리즘이 제안되었다. 하지만 프레임 레벨에서 할당된 비트량이 결과 비트량과 다르면 프레임 레벨 비트율 제어는 의미가 없게 된다. 제안된 알고리즘은 한 프레임에 할당된 목표 비트량과 결과 비트량을 일치하게 하기 때문에 많은 프레임 레벨 비트율 제어 알고리즘들에 효과적으로 사용될 것으로 기대된다. 또한 제안된 알고리즘은 전송 버퍼가 크지 않은 환경에서 목표 비트량을 최대한 맞춰 영상을 압축함으로써 프레임 생략에 의한 영상 품질을 방지하기 때문에 저전송률 영상 통신에 효과적으로 사용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [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] G. M. Schuster and A. K. Katsaggelos, "Fast and efficient model and quantizer selection in the rate distortion sense for H.263," in *Proc. SPIE, Conf. Vis. Commun. Image Process.*, pp. 784 - 795, Mar. 1996.
- [3] D. Mukherjee and S. K. Mitra, "Combined mode selection and macroblock quantization step adaptation for the H.263 video encoder," in *Proc. IEEE Int. Conf.*

Image Process., pp. 26 - 29, Oct. 1997.

- [4] J. Lee and D. W. Dickinson, "Rate-distortion optimized frame type selection for MPEG encoding," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 7, no. 3, pp. 501 - 510, Jun. 1997.
- [5] S. Liu and C.-C. J. Kuo, "Joint temporal-spatial bit rate control for video coding with dependency," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 15 - 26, Jan. 2005.
- [6] H. Song and C.-C. J. Kuo, "Rate control for low-bit-rate video via variable-encoding frame rates," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 11, no. 4, pp. 512 - 521, Apr. 2001.
- [7] 윤홍준, 서영호, 최현준, 김동욱, "H.264/A VC의 고속 인트라 예측 방법," 한국해양정보통신학회논문지, vol. 10, no. 7, pp. 1172-1179, 2006년 7월.
- [8] 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.
- [9] 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, Jul. 2003.
- [10] Z. G. Li, W. Gao, F. Pan, S. W. Ma, K.P. Lim, G.N. Feng, X. Lin, S. Rahardja, H.Q. Lu, and Y. Lu, "Adaptive rate control for H.264," *J. Vis. Commun. Image R.*, vol 17, pp 376-406, Apr. 2006.
- [11] T. Chiang and Y.-Q. Zhang, "A new rate control scheme using quadratic rate distortion model," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 246 - 250, Feb. 1997.

저자소개

박 상 현 (Sang-Hyun Park)

한국해양정보통신학회 논문지 제10권 제7호 참조