

논문97-2-2-11

부분 선형 근사 모델을 이용한 적응적 비트율 제어

조창형*, 정제창*, 최병욱*

An Adaptive Rate Control Using Piecewise Linear Approximation Model

Changhyung Cho*, Jechang Jeong*, and Byunguk Choi*

요 약

동영상 압축 표준인 MPEG이나 저속 통신용 비디오 부호화 표준인 H.263등과 같은 DPCM/DCT 복합 부호화기에서 비트율 제어는 매우 중요한 요소이다. 본 논문에서는 전송매체에서의 실시간 비디오 부호화나 저장 미디어 응용을 위하여 부분 선형 근사 모델을 이용한 간단한 적응적 비트율 제어 방법을 제안한다. 선형 모델에 기반한 기존의 버퍼 제어 기법은 버퍼 충만도에 따라서 선형적으로 양자화 매개변수를 제어하지만 제안된 방법은 영상 부호화에서 logarithmic관계라고 알려진 양자화 매개변수와 비트량의 비선형적인 관계를 부분적으로 선형 근사화시킨 모델을 이용한다. 또한, 보다 좋은 화질을 얻기 위하여 I 화면마다 공간영역에서 영상의 복잡도를 해석하여 적응적으로 제어한다. 실험적으로 기존의 선형 모델 방법과 비교하여 제안된 방법이 화질의 변화가 심하지 않으며 전체적으로 안정된 복원 영상을 얻었다.

Abstract

In video compression standards such as MPEG and H.263, rate control is one of the key components for good coding performance. This paper presents a simple adaptive rate control scheme using a piecewise linear approximation model. While conventional buffer control approach is performed by adjusting the quantization parameter linearly according to the buffer fullness, the proposed approach uses a piecewise linear approximation model derived from logarithmic relation between the quantization parameter and bitrate in data compression. In addition, a forward analyzer performed in the spatial domain is used to improve image quality. Simulation results demonstrate that the proposed method provides better performance than the conventional one and reduces the fluctuation of the PSNR per frame while maintaining the quality of the reconstructed frames at a relatively stable level.

I. 서 론

동영상 압축 표준인 MPEG이나 저속 통신용 비디오 부호화 표준인 H.263등과 같은 DPCM/DCT 복합 부호화기

[1-3]에서 비트율 제어 기법은 복원 영상의 화질에 매우 큰 영향을 미친다. 이 DPCM/DCT 복합 부호화 기법은 이웃한 화면간의 움직임 보상에 의해 시간방향의 중복성을 제거하고, DCT에 의해 공간방향의 중복성을 제거한다. 중복성이 제거된 신호는 양자화와 가변길이 부호화를 통해서 전송을 위한 비트스트림이 완성된다. 그러나, 허프만 부호화를 통해서 데이터들은 가변적으로 부호화되는 반면에 채널의 대역폭이 고정되어 있는 경우에는 데이터들은

*한양대학교 전자통신공학과

Dept. of Electronic Communication Engineering, Hanyang University

고정된 전송률로 전송되어야 한다. 따라서, 가변적인 데이터 발생량을 고정된 전송률로 전송하기 위해서는 버퍼가 필요하다. 이러한 버퍼에 입력되는 비트량은 범람(overflow)과 고갈(underflow)에 대비하여 입력 영상의 특성에 맞게 즉시 변화되어서 발생 비트량을 적절한 영역 내에서 제한하는 기법이 필요하다[3-6]. 일반적으로 양자화 조정이 자주 발생하면 출력 비트율의 변화가 적어지고 필요한 버퍼 크기는 작아지나 영상의 왜곡은 더 많이 발생한다[7]. 이러한 입력 영상에 대한 적응적인 비트율 제어[6-8]에서 고려해야 할 사항은 채널 버퍼의 크기를 얼마로 할 것인가와 양자화 비례 인자(quantization scaling factor)를 조절할 때 그 정도와 빈도수에 대한 문제이다.

비트율 제어 방식은 크게 현재 버퍼 상태에 따라 양자화 간격(stepsize)을 제어하는 backward 비트율 제어 기법과 영상의 복잡도를 예측하고 이를 비트 할당할 때 고려하는 방식인 forward 비트율 제어 기법으로 나눌 수 있다. Backward 비트율 제어 기법은 남아 있는 버퍼의 양, 전송 매체의 대역폭 등에 따라서 양자화 간격의 크기를 조절하여 신호에 맞게 양자화하는 것이며, forward 비트율 제어 기법은 입력 영상의 공간 활동도(activity)를 고려하여 양자화 간격이나 기타 비트 할당에 영향을 미치는 요소들을 제어하는 방법이다.

일반적으로, 비트율 제어 방법에는 버퍼 충만도에 따라 양자화 매개변수(parameter)를 조절하고 결정하는 모델 기반 알고리즘이 있다. 버퍼 충만도(buffer fullness)와 양자화 매개변수 관계에 관한 해석 모델들이 주어진 버퍼 충만도에 따라서 양자화 간격을 결정하는데 이용되어진다[6]. Viscito와 Gonzales[6]는 매크로블록의 화소값과 움직임 보상 오차 값의 평균 절대 오차를 클래스로 분류하여 양자화 매개변수와 함께 발생 비트량을 버퍼 충만도와 비트율의 통계적 특성에 따라 양자화 간격을 계산하는 함수를 도출하였고, 또한 각 화면 유형(picture-type)에 따라 활동도를 반영하는 부호화 난이도 인자(coding difficulty factor)를 미리 계산하고 이를 근거로 하여 비트 할당을 수행하였다. Puri[4]는 영상 모델에 따른 비트율과 화질과의 관계를 실험적으로 구한 후, 목표 화질과 양자화 매개변수, 발생 비트량을 분류하여 참조표(look-up table) 방식인 prestored 모델을 제안하였다는 방법들은 DCT 계수의 절대값 합, 화소값의 분산값, 또는 평균 절대 오차 등과 같은 영상 특성 매개변수를 정의하고, 이것과 양자화 값의 관계를 고려하여 공식을 도출하거나 참조표를 구현해서 매크로블록 발생 비트량을 예측. Tzou[9]는 많은 학습 영상에 기초한 통계적인 비트율과 양자화 모델을 제안하였다. 또한 복원된 연속된 영상의 화질의 개선하기 위해서 부호화 비트율을 예측하는데 이용하기 위한 확률적 모델이 제안되었다[5,10]. 이러한 대부분하는 forward 방법과 버퍼 충만도와 양자화 값이 선형적인 모델로 제어되는 backward 비트율 제어가 복합적으로 이용되어진다.

그러나, 단순한 forward 방법은 버퍼 피드백 제어에 비

해 성능은 향상되나, 계산상 고려해야 할 매개변수가 많다. 한편, 선형 모델로 제어되는 단순한 backward 방법은 버퍼 충만도가 높으면 양자화 매개변수는 증가되고, 버퍼 충만도가 낮으면 양자화 매개변수를 감소시켜 버퍼 충만도가 일정하도록 유지시키는 방법이다. 그러나, 이러한 선형적인 모델은 양자화 매개변수와 비트 발생량 관계를 잘 반영하지 못한다. 더구나, 매 화면마다 영상의 통계적 특성이 달라도 기존 방법은 영상의 통계적 특성에 관계없이 고정된 함수 관계를 갖기 때문에 기존의 선형적인 기법으로 비트율 제어를 하면 버퍼 범람이 발생되며 복원된 영상은 심한 화질 열화를 갖는다.

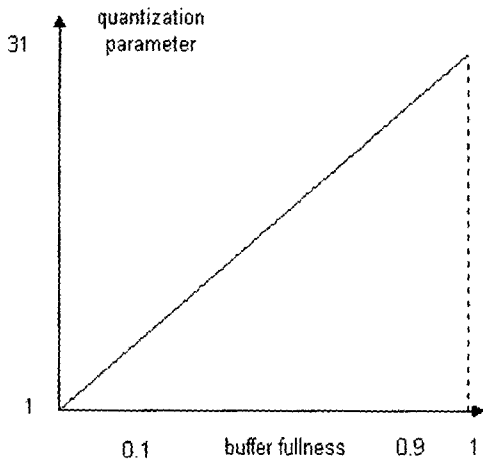
본 논문에서는 이러한 버퍼 범람이나 화질의 열화가 없는 간단한 적응적 비트율 제어 방법을 부분 선형 근사 모델(piecewise linear approximation model)을 이용하여 제안한다. logarithmic이라고 알려진 양자화 매개변수와 버퍼 충만도 관계를 부분적으로 선형 근사화시킨 모델을 이용하고 또한 영상의 복잡도를 해석하여 입력 영상의 특성에 따라 비트율을 적응적으로 제어한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 Shannon의 전송률 왜곡 이론에서 나타난 영상 부호화에서 양자화 매개변수와 비트량의 관계를 살펴본다. III장에서는 버퍼 상태와 양자화 매개변수와의 관계에서 버퍼 상태의 급격한 변화에도 화질의 변화가 심하지 않고 전체적으로 화질이 좋은 상태를 유지할 수 있도록 하는 부분 선형 모델을 설명하고, 매 I picture의 영상 복잡도를 이용하여 적응적으로 비트율을 제어하는 기법을 살펴본다. IV장에서는 모의 실험을 통하여 제안한 방법의 효율성을 입증하고 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 버퍼 충만도와 양자화 매개변수와의 관계

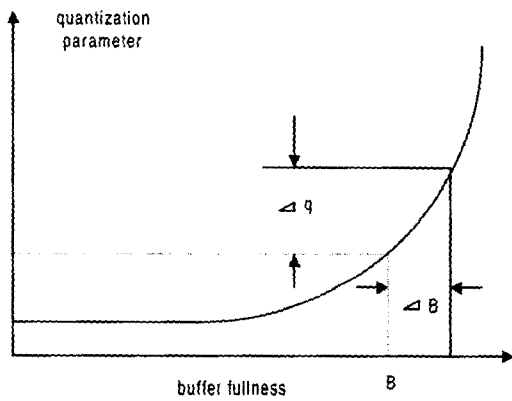
버퍼 충만도와 양자화 매개변수 사이의 관계를 그림 1과 같이 모델링 할 수 있다. 그림 1에서의 선형 모델 비트율 제어 방식은 버퍼 충만도(B)에 선형적인 관계로 양자화 매개변수, $MQUANT$ q 를 선택한다. 이 때, 선형 모델 비트율 제어 방법의 양자화 매개변수 q 는 식 (1)과 같이 결정된다. 식 (1)에서 현재 매크로블록을 양자화하기 위한 양자화 매개변수가 이전 매크로블록까지 사용된 버퍼 양에 비례함을 나타내고 있다.

$$q(n) = \frac{31}{BS} \times BF(n-1) \quad (1)$$

여기서 $q(n)$ 는 n 번째 매크로블록의 0과 31사이의 양자화 값이며, $BF(n-1)$ 는 $(n-1)$ 째 매크로블록에서 0에서 1사이의 정규화된 버퍼 충만도 값을, BS (buffer size)는 버퍼의 크기를 나타낸다.



(a)



(b)

그림 1. 버퍼 충만도와 양자화 매개변수 사이의 관계
 (a) 선형 모델, (b) 지수 모델
 Fig. 1. Relations between buffer fullness and quantization parameter
 (a) linear model (b) exponential model

한편, 영상 부호화에 있어서 양자화 전력과 비트 발생량 사이에 logarithmic 관계[11,12]가 있다는 것을 고려하면 선형 모델보다 개선된 비트율 제어를 할 수 있다. Shannon의 전송률 왜곡 이론[11]은 허용된 왜곡 준위 값에 대한 최소 데이터 비트량을 나타내고 있다. 왜곡의 척도 D 를 식 (2)와 같이 영상의 차이의 평균자승오차로 나타낸다고 할 때,

$$D = E [(x-y)^2] \quad (2)$$

x 에 대한 전송률 왜곡 함수는 source가 memoryless Gaussian이라는 가정 하에서 식 (3)과 같이 유도되어진다.

$$R_D = \begin{cases} \frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma^2}{D} & , D \leq \sigma^2 \\ 0 & , D > \sigma^2 \end{cases} \quad (3)$$

$$= \max [0, \frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma^2}{D}]$$

여기서, R_D 는 허용 왜곡 하에서 최소 평균 전송률이며, σ^2 는 가우스 랜덤 매개변수의 분산값이다. 즉, 영상 부호화에서 왜곡(distortion)과 비트율(bitrate) 사이의 관계는 식 (4)와 로그 함수 관계[12]이며, 왜곡은 식 (5)의 양자화 매개변수 q 의 제곱에 비례한다.

$$b = k \cdot \log \frac{\sigma^2}{D} \quad (4)$$

$$D = c_1 \cdot q^2 \quad (5)$$

여기서 k 와 c_1 은 상수(특히, 균일 양자화기에서는 k 는 0.5이고 c_1 은 1/12)이며, σ^2 은 부호화될 영상의 분산값이다.

그림 1의 (b)에서 버퍼 충만도가 ΔB 만큼 증가한다면 부호화기에서는 버퍼 충만도가 일정하도록 비트 발생량을 식 (6)과 같이 Δb 만큼 감소시킨다.

$$\Delta b = -c_2 \cdot \Delta B, \quad (6)$$

여기서 c_2 는 상수이다.

식 (4)와 (5)를 식 (6)에 대입하면 식 (7)과 같은 미분 방정식을 얻는다. 양변에 적분을 취하여 계산하면 B 와 q 사이의 지수 관계식인 식 (8)을 얻을 수 있다.

$$\frac{dq}{dB} = \frac{db}{dB} \cdot \frac{dq}{db} = c \cdot q \quad (7)$$

$$q = a \cdot \exp(cB) \quad (8)$$

여기서 c 는 $\frac{c_2}{2k}$ 이며, a 는 상수이다.

III. 적응적 비트율 제어

영상 신호 압축의 목표는 주어진 비트 전송률에서 단순히 버퍼 제어뿐만 아니라, 인간의 시각 특성을 고려하여 원 영상과 가깝게 보이도록 하는 것이다. 즉, 영상에서 프레임마다 SNR 차이가 많이 발생하면 전체적으로 좋은 화질을 얻지 못하고 깜박거리는 현상이 발생한다. 따라서 버퍼의 급격한 변화에도 화질의 변화가 심하지 않고 전체적으로 좋은 화질을 얻는 방법을 본 절에서는 II장에서

화질을 얻지 못하고 깜빡거리는 현상이 발생한다. 따라서 언급한 지수 모델을 수정하여 제시한다. 또한, 장면 해석(scene analysis)을 공간영역에서 수행하여 채널 버퍼 상태에 따라 슬라이스 단위로 조절된 양자화 간격을 각 매크로블록마다 재조정한다.

1. 적응적 비트율 제어

영상 시퀀스의 부호화 과정에서 발생하는 평균 비트율을 일정하게 유지함과 동시에 인접한 세 종류의 화면 유형 사이의 화질에 균형을 이룰 수 있도록 각 화면 유형에 비트 수를 적절히 분배해야 한다. 만약 움직임이나 변화가 작으면 I 화면에 더 높은 비율의 비트 할당이 이루어져야 하며, 반대의 경우 I 화면의 비트 할당을 줄이고 그 차를 P와 B 화면에 할당해야 한다. 일반적으로 I, P 화면에서는 양자화 간격을 세밀히 하고 화질을 높게 유지하는 반면, 역으로 B 화면에서는 화질을 낮게 억압하는 비트율 제어에 의해 평균적 화질(SNR)이 향상되는 것을 확인할 수 있다[1]. 이렇게 I, P, B 화면의 차별화된 방식으로 부호화된 영상의 부호화 비트는 약 4:2:1 정도의 비율을 가지게 된다. 이러한 각 화면에서의 부호량의 할당은 영상의 복잡도에 따라 적응적으로 변화되어야 한다. 즉, 화면내(Intra) 모드와 화면간(Inter) 모드로 매크로블록을 부호화할 경우 서로 다른 통계적 특성이 보이므로 비트율 생성량을 다르게 할 수 있도록 각 모드에 대하여 양자화 매개변수를 다르게 해야 한다.

또한, 앞에서 언급한 지수 모델을 버퍼 범람이나 고갈 없이 어떤 프레임에서 양자화 매개변수를 일정하게 유지시키기 위해서 영상의 복잡도에 따라 양자화 매개변수 범위를 적응적으로 변화시키면, 식 (8)을 식 (9)처럼 나타낼 수 있다.

$$q = a \cdot \exp(cB) + q_0 \tag{9}$$

여기서, q_0 는 각 모드에서 영상의 복잡도에 따라 적응적으로 변화시키는 오프셋이다.

이러한 양자화 매개변수 범위의 적응적 변화와 버퍼 충만도 사이의 관계를 그림 2에서 보이고 있다. 정상 영역(stationary region) BC에는 양자화 매개변수를 결정하는 부분의 기울기가 완만하고, 고갈이나 범람을 방지하기 위해서 AB와 CD영역에는 기울기가 급하다. 만약에, 버퍼가 꽉 차 있으면 적은 비트가 발생되도록 양자화 매개변수를 아주 크게 증가시키게 된다.

이러한 화면 유형과 영상의 통계적 특성에 따라 적응적으로 비트율을 제어하는 시스템의 블록도(block diagram)는 그림 3과 같은 구조를 갖는다. 입력 영상이 들어오면 초기 버퍼 충만도를 설정하고 버퍼 상태에 따라 양자화 간격을 결정한다.

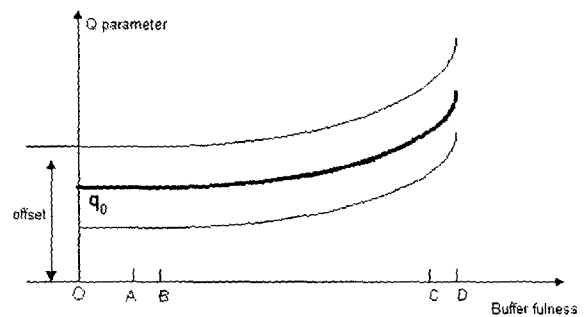


그림 2. 양자화 매개변수 범위의 적응적 변화
Fig. 2. Adaptive change of the range of quantization parameter

매 I 화면의 영상 복잡도를 공간영역에서 구하여 오프셋 q_0 을 구한다. 이 오프셋에 따라 양자화 매개변수의 범위를 적응적으로 변화시켜 매크로블록별로 양자화 한다. 부호화된 비트에 따라 버퍼 충만도가 변하므로 양자화 간격을 피드백으로 제어하게 된다.

영상 복잡도는 국부분산(local variance)[13], 시공간 주파수 성분에 대한 시각 전달 함수[14], 영상 특성 구분[15] 등을 이용하여 해석하는 방법이 있으나 본 논문에서는 실시간 응용을 고려하여 간단한 척도인 영상의 분산값 σ^2 을 사용한다.

2. 부분 선형 근사 모델(piecewise linear approximation model)

그러나, 지수 모델은 버퍼 범람이 일어날 확률이 선형 모델에 비하여 감소되는 반면 버퍼 고갈이 발생할 경우가 많고 화질 열화를 가져오는 단점이 있다. 화질의 열화 없이 버퍼 고갈이 일어날 확률을 줄이기 위해 그림 2에서 OB의 부분을 기울기가 급한 선형 직선으로, 또한 버퍼 범람이 발생할 확률을 더 줄이기 위해 CD 영역도 기울기가 급한 직선으로 수정한다. 이렇게 화질의 변화가 심하지 않고 전체적으로 화질이 좋은 상태를 유지할 수 있도록 지수 모델을 수정한 부분 선형 근사 모델은 그림 4와 같다. 또한, 복잡한 영상 다음 장면 전환이 발생하면, 버퍼 범람이 발생하여 어떠한 정보도 전송되지 못한다. 이러한 이유로, 버퍼 충만도를 기준 근처에 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 이렇게 되면, 장면 전환이 일어나도 버퍼 범람은 방지되며 장면 전환 다음 첫 프레임에 충분한 비트가 할당된다. 이것은 빠른 장면 전환 응답에 중요하다. 따라서, 버퍼 범람이나 고갈 없이 어떤 프레임에서 양자화 값을 일정하게 유지시키기 위해서는 그림 2처럼 오프셋을 적응적으로 변화시켜야 한다.

양자화 값 범위의 적응적 변화와 버퍼 충만도 사이의 관계를 선형 근사화시킨 모델을 그림 4에서 나타내 주고 있으며, 안정된 화질을 얻기 위해서 AB 영역에서는 양자

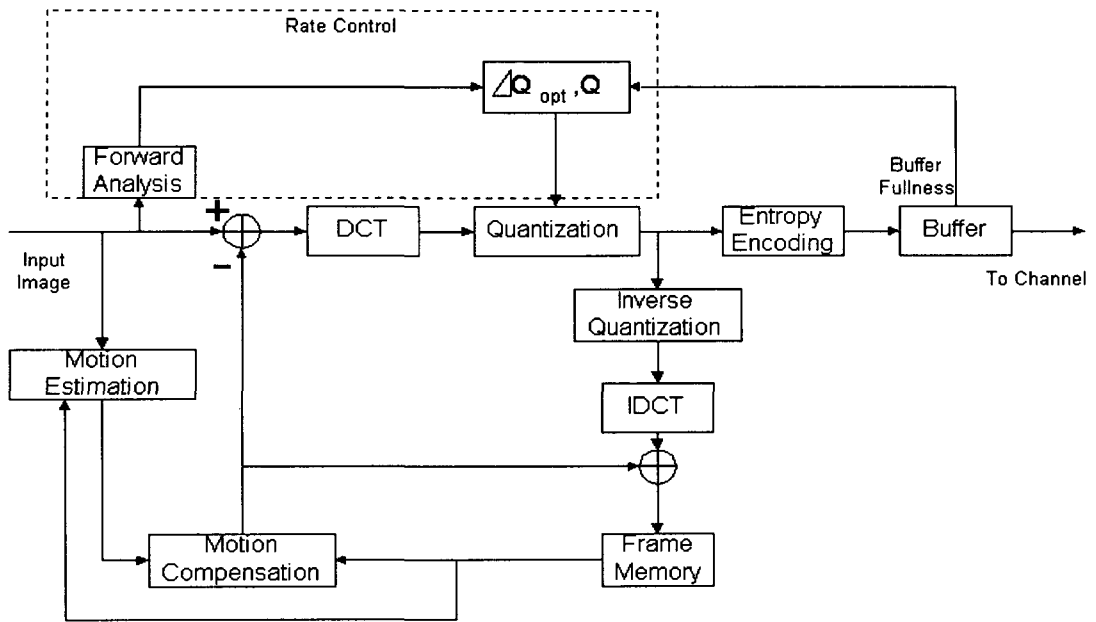


그림 3. 적응적 비트율 제어 블록도
 Fig. 3. Block diagram of the adaptive rate control algorithm

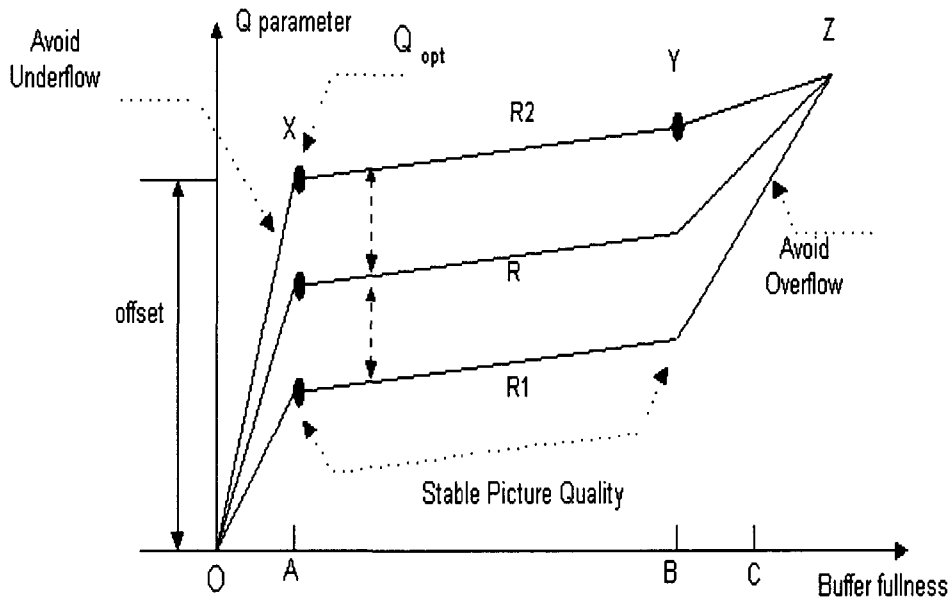


그림 4. 부분 선형 근사 모델
 Fig. 4. Piecewise linear approximation model

화 매개변수를 결정하는 부분의 기울기가 완만하고, 고갈이나 넘침을 방지하기 위해서 OA와 BC 영역에는 기울기가 급함을 알 수 있다. 특히, 넘침을 방지하기 위해서 OA보다 BC 영역을 더 넓게 설정하였다. 만약, 버퍼가 꽉 차 있다고 하면 적은 비트가 발생되도록 양자화 매개변수를 아주 크게 증가시킨다. 왜냐하면, 버퍼 고갈이 발생하면 stuff bit를 추가하여 전송하지만 버퍼 범람이 발생하면 전송이 일어나지 못하기 때문이다. 또한, 변화폭(fluctuation)이 크지 않도록 AB 영역의 기울기를 완만하게 하였다.

범람을 방지하면서 비트율에 따른 최적 제어를 위해서 장면 해석으로 그림 4에서 오프셋인 Q_{opt} 를 구한다. 영상이 복잡할수록 많은 비트를 발생시키므로 양자화 매개변수가 작아야 한다. 따라서, Q_{opt} 값은 영상의 복잡도에 비례하도록 매 I 화면의 분산값을 이용하여 식 (10)과 같이 정의한다.

$$Q_{opt} = m \cdot \sigma^2 + n \quad (10)$$

m, n 은 상수이며 σ^2 은 부호화될 영상의 분산값이다.

예를 들면, 그림 4에서 부분 선형 함수인 R로 초기화하고 매 I 화면의 분산값에 따라 Q_{opt} 를 결정하여 R1이나 R2 관계로 양자화 값을 결정한다.

한편, BF를 버퍼 충만도, BS를 버퍼 크기라고 하면 부분 선형 근사 함수 R은 식 (11)과 같이 정의한다.

$$R = \begin{cases} \frac{Q_{opt}}{A} \times BF & , 0 \leq BF < A \\ \frac{(Q_{opt}+2)}{B-A} \times BF + \left(Q_{opt} - \frac{(Q_{opt}+2)}{6} \right) & , A \leq BF < B \\ \frac{31-(Q_{opt}+2)}{C-B} \times BF + \frac{C(Q_{opt}+2)-31B}{C-B} & , B \leq BF < BS \end{cases} \quad (11)$$

IV. 실험 결과 및 고찰

본 장에서는 실험을 통하여 제안된 비트율 제어 기법의 성능을 평가한다. 성능 평가를 위하여 SUN SPARC-20에서 C 언어로 작성된 MPEG-1의 소프트웨어 부·복호화기에 제안된 알고리즘을 구현하여 수행하였다. PSNR 변화폭과 평균 양자화 간격을 객관적 성능 평가 기준 척도로 사용하였으며, 복원된 영상의 화질을 선형 모델로 부·복호화한 영상의 화질과 비교하는 주관적 화질 평가도 병행하였다. 복원 영상의 화질을 평가하기 위해서 식 (12)와 같이 PSNR을 이용하였다.

$$PSNR[dB] = 10 \log_{10} \left(\frac{M \cdot N \cdot 255^2}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \{x(m, n) - y(m, n)\}^2} \right) \quad (12)$$

여기서 영상의 크기는 $M \times N$ 이며, $x(m, n)$ 는 원 영상의 화소값을, $y(m, n)$ 는 복원 영상의 화소값을 나타낸다.

제한한 비트율 제어 방법의 효과를 보이기 위해서 실험 영상으로 SIF(352×240) 4:2:0 포맷 영상인 flower garden, football, table tennis 영상 시퀀스를 사용하였다. 실험 영상들은 SIF로 Y 성분은 352 pixel/line, 240 lines/frame이며, Cb, Cr은 Y크기의 가로 세로 각각 1/2크기이다. GOP가 N=12, M=3인 영상 구조로 구성하였고, CD-ROM 저장 미디어에서 비디오 CD의 비트율을 고려하여 목표 비트율을 1.15Mbps, 버퍼 크기는 320Kbits로 설정하여 부호화하였다. 또한, 초기 버퍼 충만도는 버퍼 크기의 4분의 1로 하였다. 매크로블록 단위로 양자화 하였으며 그림 4에서의 매개변수들은 표 1에 나타내었다.

표 1. 부분 선형 근사 모델 매개변수

Table 1. Piecewise linear approximation model parameter

parameter	value
A	0.125 (=1/8)
B	0.750 (=6/8)
C	0.875 (=7/8)
initial Q_{opt}	15

그림 4에서 비트 할당을 조절하는 최적의 Q_{opt} 를 선택하는 것이 중요하다. 전체적으로 화질의 변화가 적고 영상 특성에 따라 적응적으로 변화되어야 한다. 이러한 변화에 따르기 위해서 Q_{opt} 는 매 I 화면마다 복잡도 해석에 따라 변하게 하였다. 표 2는 각 영상 시퀀스의 I 화면의 평균 양자화 간격과 분산값에 대한 값들이다. 이 값들로부터 실험적으로 식 (10)의 m 과 n 을 얻었다. m 은 0.002275, n 은 5.264533이며, 이 값들은 표 3에서 각 영상 시퀀스의 Q_{opt} 과 일치한다.

표 2. 각 영상의 평균 양자화 간격과 분산값

Table 2. The average quantization stepsize (AQS) and the variance value of each sequence

frame	football		flower garden		table tennis	
	AQS	variance	AQS	variance	AQS	variance
1	5	847.29	6	3782.54	3	942.15
13	11	1324.76	14	3713.57	7	922.38
25	12	1672.68	14	3660.91	7	945.11
37	12	1800.96	14	3624.27	7	1116.76
49	12	1785.60	14	3720.42	7	1594.61
61	12	1717.72	14	3706.33	7	1886.09
73	12	1609.06	14	3634.28	7	1640.45
85	12	1856.96	14	3505.96	6	1617.96
97	12	1989.09	14	3444.16	6	1645.25
109	12	1979.61	14	3465.00	7	1831.55

표 3. 각 영상의 Q_{opt}
Table 3. Q_{opt} value of each sequence

image sequence	Q_{opt}
football	23
flower garden	27
table tennis	13

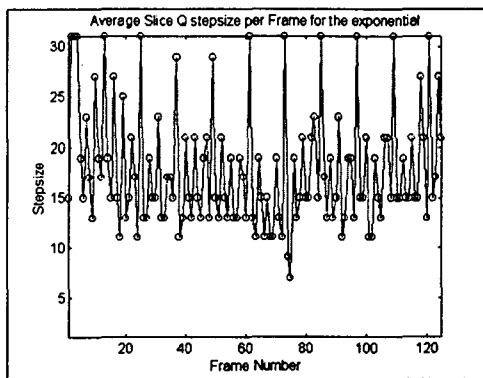
MPEG의 표준 영상을 가지고 컴퓨터 모의 실험을 통하여 제안한 비트율 제어 방식의 성능을 평가하였다. 표 4에서 각 영상 시퀀스에 대하여 지수 모델과 부분 선형 근사 모델을 비교하였다. 지수 모델로 부호화한 경우 평균 PSNR 값이 제안한 부분 선형 근사 모델보다 낮아서 화질 열화를 가져왔고 또한 그림 5에서 지수 모델은 버퍼 고갈이 발생하였으나 제안한 모델은 화질의 열하나 버퍼 고갈이 없다

표 4. 지수 모델과 부분 선형 근사 모델 비교
Table 4. Exponential model in comparison with piecewise linear approximation model

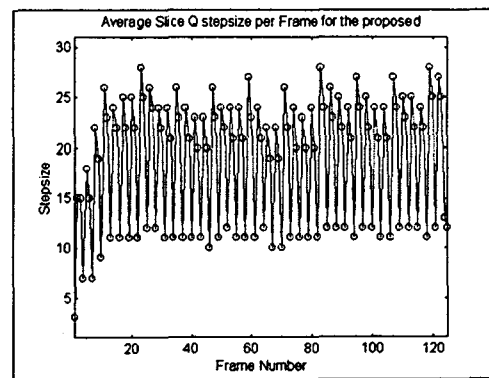
	football		flower garden		table tennis	
	exponential	proposed	exponential	proposed	exponential	proposed
average PSNR(dB)	25.1552	28.3494	23.1582	27.0910	27.0855	32.9871

표 5. 각 모델에 따른 DPF의 분산값과 평균 PSUR
Table 5. Variance of DPF and the average PSNR values corresponding to each model

	football			flower garden			table tennis		
	linear	UPLAM	proposed	linear	UPLAM	proposed	linear	UPLAM	proposed
variance of DPF	1.3276	1.2955	1.1386	0.7559	0.6126	0.6282	0.5589	0.5392	0.4027
average PSNR (dB)	28.4107	28.3682	28.3494	27.1632	27.0608	27.0910	33.4268	33.3857	32.9871



(a)



(b)

그림 5. 복원된 football 영상 시퀀스의 평균 양자화 간격 (a) 지수 모델 (b) 부분 선형 근사 모델
Fig. 5. The average quantization stepsize of the reconstructed football sequence (a) exponential model (b) piecewise linear approximation model

복잡도를 고려하지 않고 지수 모델을 단순히 부분 선형 근사화시킨 모델을 UPLAM(unadaptive piecewise linear approximation model)이라 할 때, 각 영상에 대해서 선형 모델, UPLAM 모델, 제안된 모델에 따라 비트율 제어를 한 경우 DPF의 분산값과 평균 PSNR을 표 5에 나타내었다. 객관적 기준으로 PSNR의 변화폭의 변동량을 프레임 간 PSNR 차이로 정의한 DPF(difference of PSNR per frame)를 이용한다. 표 6은 표 5로부터 제안된 방법의 DPF의 분산값 향상도이다. 그리고 그림 6, 그림 7, 그림 8은 각 영상 시퀀스에 대하여 기존의 선형 모델을 이용한 방법과 제안한 부분 선형 근사 모델을 이용한 방법의 PSNR 실험 결과이다. 그림 9는 flower garden 영상 시퀀스에 대한 기존의 선형 모델을 이용한 방법과 제안한 모델을 이용한 방법의 평균 양자화 간격의 실험 결과이다. 또한, 그림 10의 (a), (b), (c)는 그림 6, 7, 8의 일부분을 확대 비교한 그림이고 (d)는 flower garden 영상 시퀀스를 부호화할 때 버퍼 충만도의 상태 변화를 나타낸 그림이다.

표 5에서 부분 선형 근사화만 한 경우인 UPLAM은 football, flower garden, table tennis 영상 시퀀스에서 선형 모델에 비교하여 각각 3%, 24%, 4% 정도의 PSNR 변화폭 개선을 가져왔고 flower garden 영상 시퀀스 경우에는 버퍼 범람이 발생하지 않았다. 한편, 제안한 모델인 부분 선형 근사화에 I 화면의 복잡도를 고려한 방법은 표 5와 그림 6, 7, 8에서 알 수 있듯이 PSNR의 변화폭이 기존의 선형 모델 방법보다 더 작다. 또한, 표 5와 표 6에서 평균 PSNR 값은 선형 모델이나 제안한 방법이 비슷하지만 DPF의 분산값은 선형 모델에 비하여 제안한 방법이 작다. 즉, 화질의 열화 없이 PSNR의 변화폭을 감소시켜 전체적으로 균일한 화질을 얻었다. 그리고, 그림 9와 그림 10의 (d)에서 선형 모델 방법은 버퍼 충만도가 높아서 버퍼 범람이 발생하였으나 제안한 방법은 발생하지 않았다. 또한, 그림 7과 그림 10의 (d)에서 버퍼 활용도를 높일수록 보다 양호한 복원 화질을 얻을 수 있지만 버퍼 범람이 발생할 확률이 상대적으로 높아짐을 알 수 있다. 주관적 화질 평가에서도 영상을 확대한 경우 선형 모델은 깜빡거림이 있었으나 제안된 방법은 없었다.

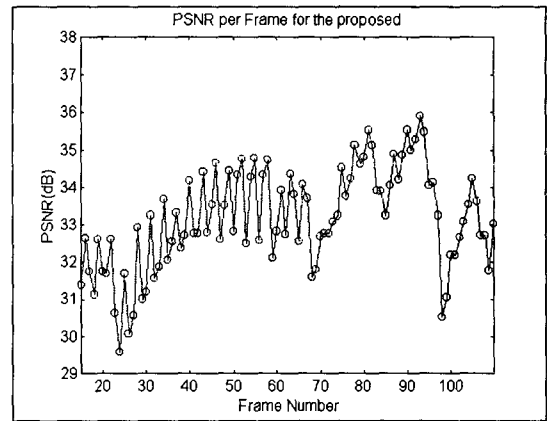
표 6. 제안된 방법의 DPF의 분산값 향상도

Table 6. Improvement in variance of DPF by the proposed method

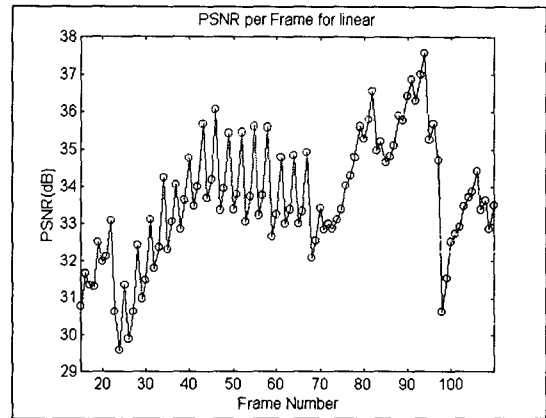
image sequence	improvement in variance of DPF
football	16.60%
flower garden	20.32%
table tennis	38.78%

그림 6, 7, 8, 9, 10으로부터 제안된 비트율 제어 방법이 선형 모델 기법에 비하여 PSNR 변화폭 및 주관적 화질에서 우수함을 알 수 있다.

같은 전송 비트율과 버퍼 크기에서 다른 실험 영상에 대한 결과도 이와 유사하였다. 따라서, 제안한 방법이 버퍼 범람과 고갈을 방지하면서 선형 모델보다 안정된 화질을 얻을 수 있었다.



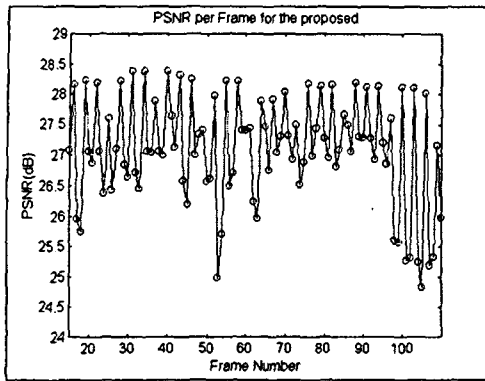
(a)



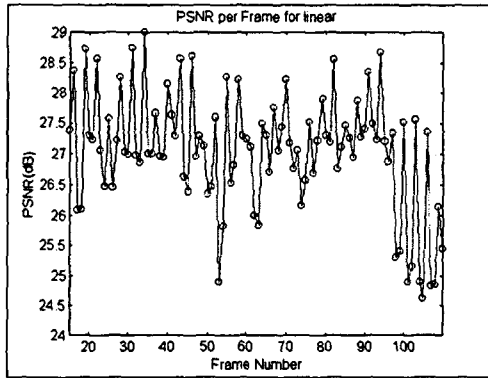
(b)

그림 6. 복원된 football 영상 시퀀스의 PSNR (a) 부분 선형 근사 모델 (b) 선형 모델

Fig. 6. The PSNR values of the reconstructed football sequence (a) piecewise linear approximation model (b) linear model

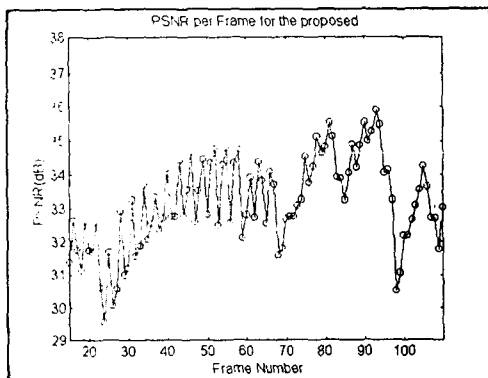


(a)

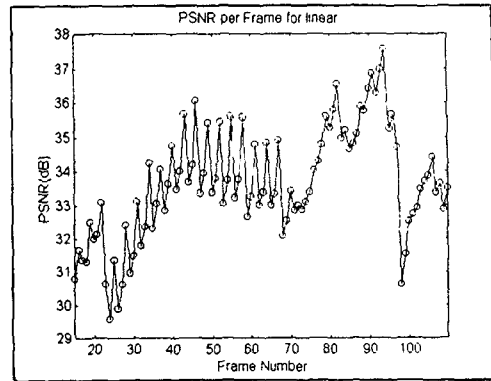


(b)

그림 7. 복원된 flower garden 영상 시퀀스의 PSNR (a) 부분 선형 근사 모델 (b) 선형 모델
Fig. 7. The PSNR values of the reconstructed flower garden sequence (a) piecewise linear approximation model (b) linear model

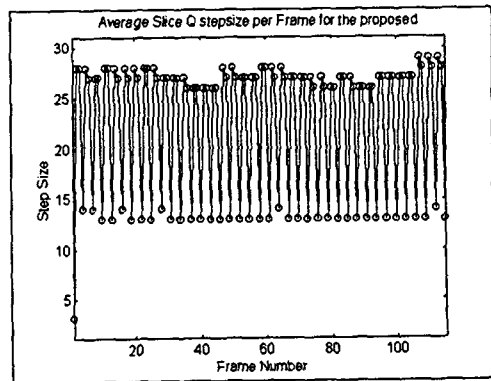


(a)

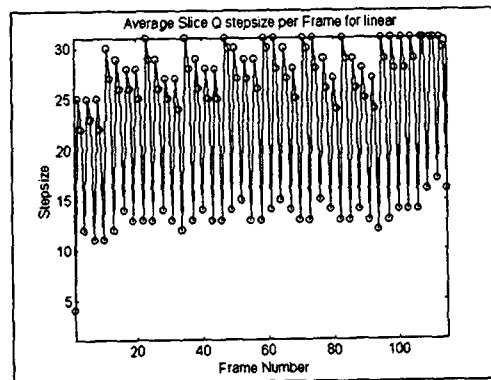


(b)

그림 8. 복원된 table tennis 영상 시퀀스의 PSNR (a) 부분 선형 근사 모델 (b) 선형 모델
Fig. 8. The PSNR values of the reconstructed table tennis sequence (a) piecewise linear approximation model (b) linear model

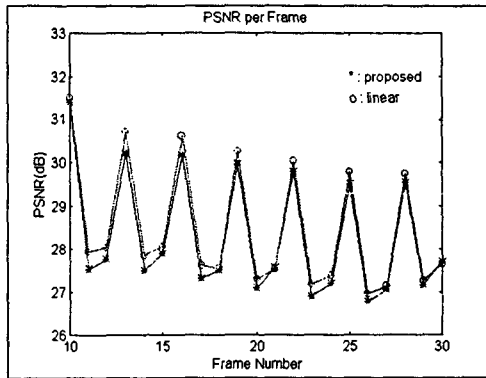


(a)

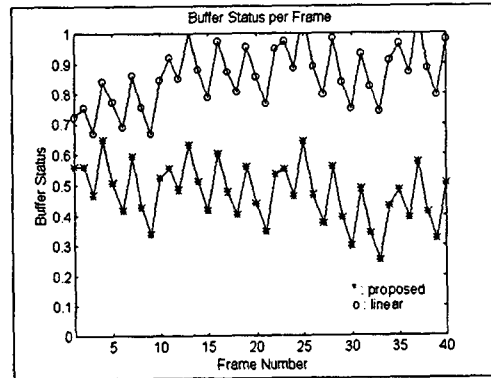


(b)

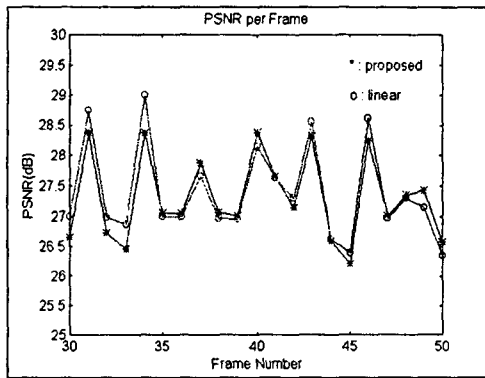
그림 9. 복원된 flower garden 영상 시퀀스의 평균 양자화 간격 (a) 부분 선형 근사 모델 (b) 선형 모델
Fig. 9. The average quantization stepsize of the reconstructed flower garden sequence (a) piecewise linear approximation model (b) linear model



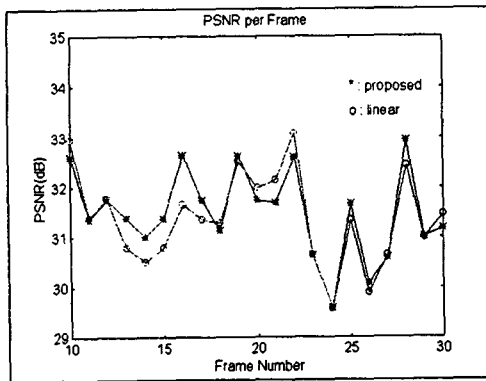
(a)



(d)



(b)



(c)

그림 10. 부분 선형 근사 모델과 선형 모델 비교

- (a) 복원된 football 영상 시퀀스의 PSNR
- (b) 복원된 flower garden 영상 시퀀스의 PSNR
- (c) 복원된 table tennis 영상 시퀀스의 PSNR
- (d) flower garden 영상 시퀀스를 부호화할 때 버퍼 충만도 변화

Fig. 10. Piecewise linear approximation model in comparison with linear model

- (a) PSNR values of the reconstructed football sequence
- (b) PSNR values of the reconstructed flower garden sequence
- (c) PSNR values of the reconstructed table tennis sequence
- (d) Buffer status when encoding flower garden sequence

IV. 결 론

본 논문에서는 영상의 균일한 화질을 유지하면서 입력 영상의 특성에 따라 부분 선형 근사 모델을 이용하여 비트율을 적응적으로 제어하는 간단한 방법을 제안하였다. 그리고, 양자화 매개변수의 오프셋을 버퍼 범람이나 고갈을 방지하기 위해서 버퍼 충만도에 따라 적응적으로 변화게 하여 범람과 고갈이 발생할 확률을 상당히 줄였고 실험을 통하여 주관적, 객관적 화질을 평가하였다. 실험 결과 범람을 방지할 뿐만 아니라 기존의 선형 모델 비트율 제어와 비교하여 각 프레임의 PSNR값의 변화폭을 감소시켜 주었다. 또한, 버퍼 상태의 급격한 변화에도 화질의 변화가 심하지 않고 전체적으로 화질이 좋은 상태를 유지할 수 있었다. 결론적으로, MPEG이나 H.263등과 같은 전송 매체에서의 실시간 비디오 부호화나 저장 미디어 응용 분야에서 선형 모델에 기반한 비트율 제어 방식보다 더 안정된 복원 영상의 화질을 기대할 수 있다.

향후 과제로는 간단하면서 좀 더 나은 영상을 얻는 효율적인 장면 해석에 관한 연구가 요구된다.

참고 문헌

- [1] ISO/IEC 11172-1/2/3 : "Information Technology - Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5Mb/s," International Standard, 1993.
- [2] Draft-T ITU-T Recommendation H.263, Dec. 1995.
- [3] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG-2 Video Test Model 5, Apr. 1993.
- [4] A. Puri and R. Aravind, "Motion compensated quantization," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 42, pp. 351-361, Dec. 1991.
- [5] Zdepski, D. Raychaudhuri, and K. Joseph, "Statistically based buffer control policies for constant rate transmission of compressed digital video," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-39, pp. 947-958, Jun. 1991.
- [6] E. Viscito and C. Gonzales, "A Video compression algorithm with adaptive bit allocation and quantization," *Proc. of Visual Communication and Image Processing*, vol. 1605, pp. 58-72, Nov. 1991.
- [7] Limin Wang, "Bit rate control for Hybrid DPCM/DCT Video Codec," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 4, no. 5, pp. 509-517, Oct. 1994.
- [8] C. Horne and A. Puri, "Video coding with adaptive quantization and rate control," *Proc. of Visual Communication and Image Processing*, vol. 1818, pp. 798-806, Nov. 1992.
- [9] K. H. Tzou, "An intrafield DCT-based HDTV coding for ATM networks," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 1, pp. 186-196, Jun. 1991.
- [10] A. Ortega, J. I. Ronda, N. Garcia, and P. J. Znfiria, "A model based approach to buffer occupancy control for TV and HDTV coder," *Proc. Fourth Int. Workshop on HDTV*, Sept. 1991.
- [11] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1989.
- [12] K. H. Yang, S. J. Lee, and C. W. Lee, "A new rate control scheme in HDTV systems", *Proc. of International Workshop on HDTV '93*, Oct. 1993.
- [13] M. R. El-Sakka and M. S. Kamel, "A segmentation criterion for digital image compression," *Proc. of IEEE ICIP '95*, pp. 2551-2554, 1995.
- [14] J. G. Robson, "Spatial and temporal contrast sensitivity functions of the visual system," *J. Opt. Soc. Am.*, pp. 1141, 1966.
- [15] Zenith/AT&T, "Digital spectrum compatible HDTV: Technical Details," Sept. 1991.

저자 소개



조창형

1996년 한양대학교 전자통신공학과 졸업
 현 재 한양대학교 대학원 전자통신공학과 석사과정
 주관심분야 : 영상신호처리, 영상 압축, 멀티미디어 및 디지털 통신 등



정제창

1980년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1982년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(공학석사)
 1990년 8월 미시간대학교(앤아버) 전기공학과 졸업(공학박사)
 1982년 2월 ~ 1986년 7월 한국방송공사 기술연구소 연구원(뉴미디어 연구개발)
 1990년 9월 ~ 1991년 1월 미시간대학교(앤아버) Postdoctorial Research Fellow
 1991년 2월 ~ 1995년 2월 삼성전자 멀티미디어 연구센터 신호처리연구소 수석연구원
 (HDTV 및 멀티미디어 연구 개발)
 현 재 한양대학교 전자통신공학과 조교수
 주관심분야 : 영상 및 음성 압축, 영상처리, 디지털 신호처리, 디지털 통신, VLSI 설계 등



최 병 옥

1973년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1978년 3월 일본 keio대학교 전기공학과 졸업(공학석사)

1981년 3월 일본 keio대학교 전기공학과 졸업(공학박사)

현 재 한양대학교 전자통신공학과 교수

주관심분야 : 인공지능 및 컴퓨터비전, 자연어처리, 멀티미디어 시스템