

고화질 정지화 테스트 스트림의 생성을 위한 목표비트 할당 알고리즘

정희원 이 광순*, 한 찬호**, 장 수욱**, 김 은수**, 송 규익**

Target bit allocation algorithm for generation of high quality static test stream

Gwang soon Lee*, Chan ho Han**, Soo wook Jang**
Eun su Kim**, Kyu ik Sohng** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 DTV 수신기의 비디오 화질 테스트용으로 사용될 수 있는 정지화 비디오 테스트 패턴의 압축을 위해 새로운 비트율 제어방법을 제안하였다 특히 기존 MPEG-2의 비트율 제어에서 목표비트 할당 방법은 동영상에 적합하도록 정의되어 있는 반면에 본 논문에서 제안한 목표비트 할당방법은 정지화 테스트 패턴의 압축에 적합하도록 하였다 즉 정지화 테스트 패턴과 같은 움직임이 거의 없는 영상을 인코딩했을 경우에 발생하는 비트량과 평균 양자화 변수값은 매 GOP마다 I, P, 및 B 픽처의 종류에 따라 분포가 비슷하다는 특성을 이용하여 본 논문에서는 GOP단위로 목표 비트를 할당하도록 하였다 이를 위해 정지화 영상의 압축에 적합한 정규화된 복잡도를 정의하고 이를 지속적인 GOP단위의 화질 평가를 통해 갱신 및 유지함으로써 최적의 화질을 일정하게 유지하도록 하였다 제안한 알고리즘의 실험을 위해 인코딩된 테스트 스트림을 디코딩하여 화질을 평가한 결과 안정된 비트율과 우수한 화질을 얻을 수 있었다.

Key Words : MPEG 2; rate control; test pattern; target bit allocation.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a method for compressing the static video test patterns in high quality to test the picture quality in DTV. In our method, we use the fact that the generated bits and average quantization value have almost identical distribution characteristics per each GOP and we propose a new target bit allocation method suitable for compressing the static test pattern while the target bit allocation method in MPEG-2 TM5 is suitable for the moving picture. The proposed target bit allocation method is to maintain the high quality video continuously by using the normalized complexities which are updated or maintained by means of picture qualities at each GOP. Experiment result showed that the test pattern stream encoded by MPEG-2 software with the proposed algorithm had a stable bit rate and good video quality during the decoding process.

* 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 방송시스템연구그룹(gsllee@etri.re.kr),

** 경북대학교 전자전기공학부 음향 및 영상 신호처리 연구실(chhan@ee.knu.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-08-175, 접수일자 : 2004년 08월 31일

I. 서론

디지털 방송 서비스의 증가에 따라 디지털 방송 시스템을 구성하는 각종 장치를 테스트하기 위한 요구가 증대되고 있다. 특히 디지털 TV (DTV)에 대한 오디오의 음질, 비디오의 화질, 기능 및 신뢰성검증이 중요하게 대두되고 있다.^[1] DTV의 기능 및 성능을 각각 테스트하기 위해서는 MPEG-2, DVB, 및 ATSC에 표준에 부합되면서 고품질 및 안정성을 제공할 수 있는 전용의 테스트 신호원이 필요하게 된다. 테스트 신호원으로는 검증된 인코딩 알고리즘에 의해 미리 생성된 다양한 테스트 스트림이 보편적으로 사용되며 이 테스트 스트림은 개발 및 생산을 위한 테스트 과정에 신뢰적으로 사용될 수 있어야 한다.

DTV 수신기의 개발 및 생산 과정에서 안정된 비디오 화질을 평가하기 위한 테스트 스트림은 비디오의 문제점을 명확히 판별할 수 있어야 한다 이를 위해서는 전통적인 테스트에 사용되고 있는 컬러바 (color bar) 및 멀티 버스트 (multiburst)와 같은 정지화 테스트 패턴을 최고의 화질로 디스플레이 함으로써 DTV의 화질을 평가할 수 있는 테스트 스트림의 생성이 필요하다.^[2] 그러나 MPEG-2 비디오 압축은 손실 압축이기 때문에 원 영상이 압축되고 복원되는 과정에서 양자화 손실이 발생하여 복원된 영상은 원 영상과의 차이가 발생한다. 테스트 스트림을 사용할 경우, 수신기를 테스트하기 위하여 복원된 영상과 원 영상을 비교하는 것은 실제적으로 불가능하기 때문에, 테스트 스트림은 가능한 영상에 가까운 최고의 화질을 안정적으로 제공할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 DTV 수신기의 비디오 화질 테스트용으로 사용될 수 있는 정지화 비디오 테스트 패턴에 대한 고품질 비디오 스트림의 생성 방법을 제안한다. 이를 위해서 정지화 영상의 압축에 적합한 새로운 목표비트 할당 방법을 제안하였다. 기존 MPEG-2의 비트율 제어에서 목표비트 할당방법은 동영상에 적합하도록 정의 되어 있는 반면에 본 논문에서 제안한 목표비트 할당방법은 정지화 테스트 패턴의 압축에 적합하도록 하였다. 정지화 테스트 패턴과 같은 움직임이 거의 없는 영상을 인코딩했을 경우에 발생하는 비트량과 평균 양자화 변수값은 매 GOP (group of picture) 마다 I, P, 및 B 픽처의 종류에 따라 분포가 비슷하다. 본 논문에서는 이 특성을 이용하여 GOP단위로 목표 비트를 할당

하도록 하였다. 이를 위해 정지화 영상의 특성에 적합한 정규화된 복잡도를 정의하고 이를 지속적인 GOP 단위의 화질 평가를 통해 갱신 및 유지함으로써 최적의 화질을 일정하게 유지하도록 하였다.

II. 기존 MPEG-2 TM5 비트율 제어 알고리즘

MPEG-2에서 생성되는 비트량은 원 영상의 복잡도와 인코더의 여러 변수들의 설정에 따라 달라질 수 있다. 따라서 인코더에서는 가상 버퍼를 두고 전송되는 비트량을 미리 예측하여 발생하는 비트량을 제어하게 된다. MPEG-2 TM5 (test model 5)에서의 비트율 제어 과정은 크게 목표 비트 할당, 비트율 제어, 및 적응 양자화의 3 단계 과정으로 나누어진다.^{[3],[4]}

목표 비트 할당 과정에서는 먼저 각 영상별로 초기 복잡도를 설정하여 인코딩을 시작하고 하나의 영상이 인코딩된 후 인코딩 영상의 실제 사용 비트량과 평균 양자화 값을 고려하여 다음 영상의 복잡도는 다음과 같이 계산된다.

$$X_{i,p,b} = S_{i,p,b} \times Q_{i,p,b} \tag{1}$$

여기서 $S_{i,p,b}$ 는 각각 I, P, 및 B 픽처를 부호화하여 발생된 비트수이고, $Q_{i,p,b}$ 는 화면내에 있는 매크로 블록들의 평균 양자화 변수값이다.

GOP내에서 같은 형태로 부호화되는 다음 픽처의 목표 비트 수 T_i , T_p , 및 T_b 는 다음과 같이 설정된다.

$$\begin{aligned}
 T_i &= \max \left\{ \frac{R}{1 + \frac{N_p X_p}{X_i K_p} + \frac{N_b X_b}{X_i K_b}}, \frac{bit_rate}{8 \times picture_rate} \right\} \\
 T_p &= \max \left\{ \frac{R}{N_p + \frac{N_b K_p X_b}{K_b X_p}}, \frac{bit_rate}{8 \times picture_rate} \right\} \\
 T_b &= \max \left\{ \frac{R}{N_b + \frac{N_p K_b X_p}{K_p X_b}}, \frac{bit_rate}{8 \times picture_rate} \right\}
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 K_p 와 K_b 는 상수이고, R 은 현재 GOP에 할당된 남아있는 비트수이며, N_p 와 N_b 는 각각 현재

GOP에 남아 있는 P픽처와 B픽처의 수이다. 비트율 제어과정에서는 버퍼 충만도의 상태에 따라 각 매크로 블록 단위마다 참조 양자화 변수가 계산되며 마지막으로 적응 양자화 과정에서는 현재 버퍼의 상태와 영상의 공간적인 분산을 토대로 인코딩되는 픽처의 양자화 간격을 조정함으로써 버퍼의 상태를 일정하게 유지하게 한다.

III. 정지화 테스트 스트림의 생성에 적합한 목표 비트 할당 방법의 제안

본 논문에서는 기존 MPEG-2의 알고리즘을 이용해서 정지화 비디오 테스트 패턴을 압축할 경우, 고 화질로 테스트 영상을 압축하기 위해서 새로운 비트율 제어 방법을 제안하였다. MPEG-2에서의 목표 비트 할당방법은 동영상에 적합하도록 식(2)에서와 같이 I, P, 및 B 픽처에 따라 다르게 할당됨을 알 수 있었다. 본 논문에서는 정지화 테스트 패턴의 압축에 적합한 목표비트 할당방법을 제안하고자 한다.

정지화 테스트 패턴과 같이 움직임이 거의 없는 영상을 인코딩했을 경우에 발생하는 비트량과 평균 양자화 변수값은 매 GOP마다 I, P, 및 B 픽처의 종류에 따라 분포가 비슷하다. 이러한 상황에서는 이전 GOP에서 계산된 복잡도에 대한 정보가 현재 GOP의 복잡도 추정에 참고가 될 수 있을 것이므로 GOP단위로 목표 비트를 할당하는 것이 적합할 것이다. 따라서 본 논문에서는 이 특성을 이용하여 지속적으로 GOP단위의 화질을 평가함으로써 최적의 화질을 일정하게 얻을 수 있는 그림 1에서와 같은 목표비트 할당방법을 제안하였다. 이 알고리즘에서는 매 GOP마다의 평균 화질을 계산하고 이것이

GOP의 최대 평균 화질보다 크면 GOP에서의 목표 비트 할당분포를 갱신하고 그렇지 않으면 유지하도록 하였다.

3.1 GOP 단위의 목표치 할당

본 논문에서 제안하는 방법으로 목표치를 할당하기 위해서는 인코딩 초기에는 MPEG-2 TM5에서의 초기치로 목표비트를 할당한다. 여기서 발생하는 비트량을 참조하여 픽처 특성의 측정 기준이 되는 복잡도는 식 (1)에서와 같이 계산된다. 본 논문에서는 이전 GOP에서 계산되는 각 픽처별도의 복잡도를 이용하여, 현재 GOP의 각 픽처에서 효율적인 목표 비트를 할당하도록 그림 2 및 식 (3)에서와 같이 정규화된 복잡도를 정의하였다. 그림 2에서와 같이 정규화된 복잡도는 GOP마다 평균 픽처의 화질을 참조하여 갱신 혹은 유지됨으로써 최고의 화질을 일정하게 유지할 수 있게 된다.

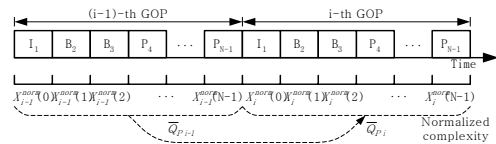


그림 2. GOP와 제안한 정규화된 복잡도와와의 관계

VBV 버퍼상태가 안정화된 시점인 i 번째 GOP에서 k 번째 픽처에서의 정규화된 복잡도 $X_i^{norm}(k)$ 는 다음과 같이 정의하였다.

$$X_i^{norm}(k) = \frac{\alpha(k) \cdot X_i(k)}{X_{total}} \quad \text{for } k=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3)$$

여기서

$$X_{total} = \sum_{k=0}^{N-1} \alpha(k) X_i(k), \quad X_i(k) = S_i(k) \times Q_i(k)$$

이다. $X_i(k)$ 는 i 번째 GOP에서 식 (1)에서와 같이 계산되는 k 번째 픽처에서의 복잡도에 해당하며 X_{total} 은 정규화하기 위해 한 GOP에 해당하는 0번째부터 $N-1$ 번째 픽처까지의 복잡도를 합한 값이다. 또한, $\alpha(k)$ 는 I, P, 및 B 픽처의 종류에 따른 목표 비트의 할당에 있어서 서로 다른 가중치를 갖게 하기 위한 비례계수이다. 정지화 테스트 패턴에서는 움직임이 거의 없으므로 I 픽처에 많은 가중치를 두어야 할 것이다.

따라서, 임의의 GOP내에서 I, P, 및 B의 각 픽

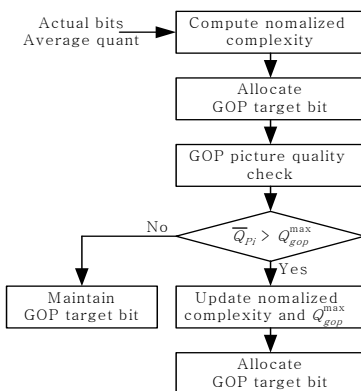


그림 1. 제안한 정지화 영상 압축에 적합한 목표비트 할당 알고리즘

처별로 할당되는 목표 비트량 T_i , T_P , 및 T_B 는

$$T_i : T_P : T_B = X_i^{norm} : X_P^{norm} : X_B^{norm} \quad (4)$$

와 같은 비율을 유지할 것이다. 최종적으로 식 (3)에서와 같이 정의된 정규화된 복잡도를 이용하여 i 번째 GOP에서 k 번째 픽처의 목표 비트량 $T_i(k)$ 는 다음과 같이 할당된다

$$T_i(k) = X_i^{norm}(k) \times B_i^{total} \quad \text{for } k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (5)$$

여기서

$$B_i^{total} = R_{i-1} + N \times B_{pic}, \quad B_{pic} = \frac{R_{bit}}{R_{pic}}$$

이다. B_{pic} 은 균일하게 할당했을 경우의 픽처당 비트량이고 R_{i-1} 은 이전 GOP에서 남은 비트량이며 이를 바탕으로 계산되는 B_i^{total} 은 현재 i 번째 GOP에 할당되는 총 비트량이다. 결과적으로 각 픽처에 할당되는 목표 비트량 $T_i(k)$ 는 전체 GOP의 비트량 B_i^{total} 으로부터 정규화된 복잡도 $X_i^{norm}(k)$ 에 의해 각각 비율적으로 할당된다

3.2 GOP 단위의 목표비트 갱신

본 논문에서 식 (5)로 계산되는 목표비트는 매 GOP마다의 평균 화질을 계산하여 갱신 혹은 유지될 수 있게 하였다. 먼저 현재 GOP의 평균 화질 \bar{Q}_{pi} 를 이전 GOP까지에서의 최대 GOP 평균 화질인 Q_{gop}^{max} 와 비교한다. 이때 현재 GOP의 평균 화질 \bar{Q}_{pi} 이 Q_{gop}^{max} 보다 크면 현재 GOP에서의 정규화된 복잡도와 이를 이용한 목표 비트 할당을 갱신하고 그렇지 않을 경우에는 GOP 내의 각 픽처별로 목표비트를 그대로 유지하도록 다음과 같은 알고리즘을 사용하였다

IF ($\bar{Q}_{pi} > Q_{gop}^{max}$)

update normalized complexity

allocate GOP target bit

$$Q_{gop}^{max} = \bar{Q}_{pi}$$

ELSE

maintain GOP target bit

where, $\bar{Q}_{pi} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Q_{pi}(k)$

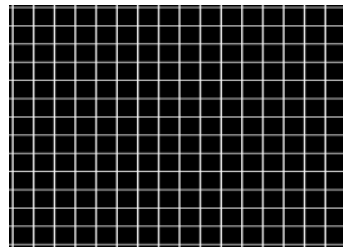
여기서 $Q_{pi}(k)$ 는 i 번째 GOP에서 k 번째 픽처의

화질이다.

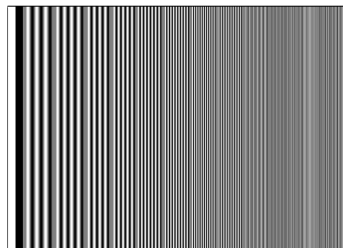
결과적으로 제안한 알고리즘에서는 GOP단위로 발생하는 픽처의 평균 화질을 조사한 후, GOP에서의 평균화질이 최대가 될 수 있게 정규화된 복잡도와 목표비트를 지속적으로 갱신시키고 이를 통해 양질의 화질을 계속 유지할 수 있게 하였다

IV. 실험 결과 및 고찰

본 절에서는 제안한 목표비트 할당 방법을 사용하여 컴퓨터 모의실험을 하였고 이를 통해 정지화 테스트 패턴의 화질을 평가하였다. 제안 알고리즘을 테스트하기 위해 그림 3에서와 같이 1280×720 HD 급 해상도의 멀티버스트 패턴 1920×1080의 크로스해치 (crosshatch) 패턴 및 KNU (Kyungpook national university, KNU) 복합 테스트 패턴⁵⁾을 사용하였다. 제안 알고리즘이 적용된 MPEG-2로 정지



(a)



(b)



(c)

그림 3. 테스트 패턴 (a) 크로스해치, (b) 멀티버스트 및 (c) KNU 복합테스트 패턴⁵⁾

화 비디오 테스트 패턴을 압축하고 스트림으로 제작하면서 VBV 버퍼의 상태, 및 디코딩 시의 PSNR 값을 통해서 제안 알고리즘의 성능을 평가하였다.

이 패턴들은 이산 여현 변환 및 매크로 블록의 크기를 고려하여 효율적으로 압축될 수 있도록 16 픽셀의 매크로 블록 또는 8 픽셀 단위로 경계면이 정렬되어 있다. 또한 정지화 영상의 압축에 비롯해 발생하는 VBV 버퍼의 넘침 현상은 제로 추가방법을^[6] 이용하여 해결하였다. 제안된 목표비트 할당 방법을 사용하기 위한 식 (3)에서의 $\alpha(k)$ 는 I, P, 및 B 픽처에 대해 각각 실험적으로 1, 0.4, 및 0.4로 결정되었다. 여기서 P 및 B 픽처에 대한 $\alpha(k)$ 값이 더 작아지면 매크로 블록 양자화 스케일 인자가 최소값이 되어 더 이상의 화질 개선은 일어나지 않았다.

제한한 알고리즘을 사용하여 정지화 테스트 패턴들을 압축했을 경우 화질을 평가한 결과는 표 1에 서와 같다. 테스트 결과, 휘도 신호의 경우에는 3 dB에서 5 dB정도 우수하고 색차 신호는 1 dB내지 2 dB정도 우수함을 보여 주었다.

KNU 복합 테스트 패턴을 제한한 방법으로 압축할 경우, 압축된 비디오 스트림의 PSNR의 변화를 그림 4에 나타내었고, 화질평가를 위해 영상의 일부분을 그림 5에서 비교하였다. 제한한 방법은 12 Mbps의 동일한 전송률에서 평균 PSNR이 휘도 신호는 54.04 dB 이고, 색차 신호는 각각 59.1 dB와 59.3 dB로 기존의 MPEG-2를 사용한 압축 방법보다 휘도 신호에서 5 dB 정도 더 우수함을 보였다. 또한 화질의 변화도 휘도 신호의 경우 1 dB 이내로 안정됨을 이 그림으로 확인할 수 있다.

표 1. 정지화 테스트 패턴에 대한 기존 방법과 제안한 방법에서의 평균 PSNR

Test images	Video rate [Mbps]	PSNR [dB]					
		Conventional			Proposed		
		Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
Multiburst	4	49.9	INF	INF	52.2	INF	INF
Crosshatch	6	44.4	INF	INF	59.6	INF	INF
KNU Composite	8	37.7	52.0	52.3	40.1	54.3	54.4
KNU Composite	12	49.2	58.8	59.1	54.0	59.1	59.3

INF : Infinity

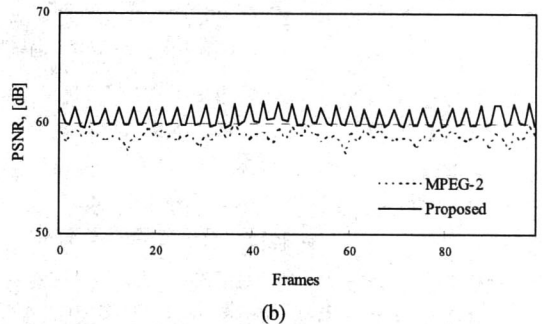
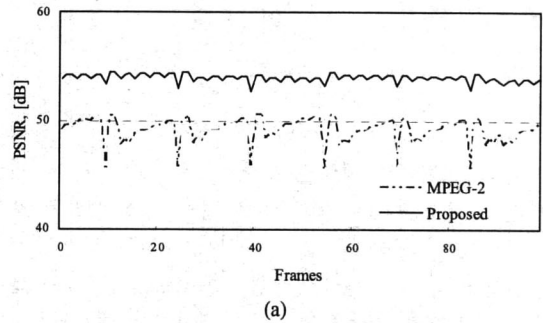


그림 4. KNU복합 테스트 패턴을 12 Mbps로 압축하였을 때의 PSNR의 값 (a) 휘도 신호 및 (b) 색차 신호

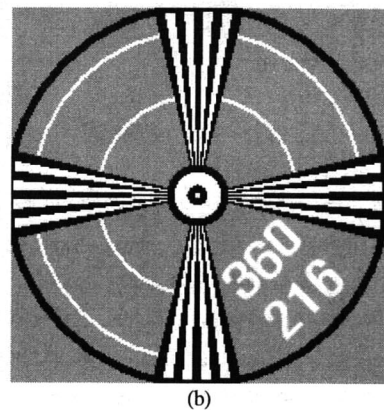
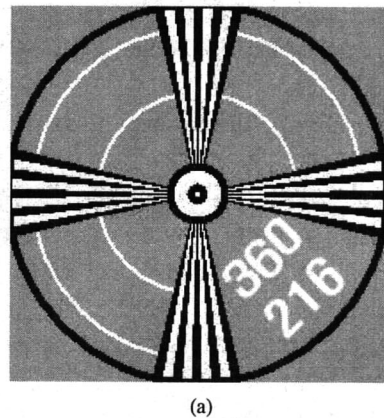


그림 5. KNU복합 비디오 테스트 패턴을 12 Mbps로 압축하였을 때의 화질 비교 (a) MPEG-2 및 (b) 제안방식

