

화질 개선을 위한 새로운 비트율 제어 알고리즘

이정우*, 김대희*, 호요성*, 홍문호**, 이병렬**, 박종철**

* 광주과학기술원 정보통신공학과

** 전자부품종합기술연구소

A New Rate Control Algorithm for improving picture quality

Jeong-Woo Lee*, Dae-Hee Kim*, Yo-Sung Ho*
Mun-Ho Hong**, Byung-Ryul Lee**, Jong-Cheul Park**

* Dept. of Information & Communications, K-JIST

** Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

Test Model5, which is used widely for the MPEG-2 bit rate control, has several problems such as non-uniform picture quality, scene change and buffer underflow. Therefore, various algorithms have been developed to solve these problems. In this paper, we study various algorithms for the MPEG-2 bit rate control and compare their performances using software simulations. We also propose a new bit rate control strategy based on coded types of macroblocks within a picture.

1. 서론

많은 양의 정보를 포함하는 디지털 비디오 신호를 한정된 채널을 통해 전송하기 위해서는 신호의 손실을 최소화하면서 전송 비트율을 줄이는 데이터 압축이 필수적으로 요구된다. ISO/IEC에 의해 제정된 MPEG-2 비디오 압축 표준[1]은 연속되는 비디오 신호의 시간상의 상관성과 공간상의 상관성을 이용하여 데이터 압축을 수행한다.

MPEG-2는 DCT 변환을 수행한 후 그 계수를 양자화하여 양자화된 계수들을 Runlength/Huffman 코드를 이용하여 부호화하기 때문에 가변 길이의 비트열을 출력한다. 따라서 이러한 가변 비트열을 고정된 대역폭의 채널을 통하여 전송하기 위해서는 출력 비트열을 일정하게 내보낼 수 있도록 조절하는 채널 버퍼가 필요하다. 또한 비트열을 복원하는 과정에서 발생할 수 있는 버퍼 넘침이나 버퍼 결핍을 방지하기 위해서는 이를 제어하는 알고리즘도 구현되어야 한다. 이때 재구성된 화면의 화질은 주로 부호화 과정에서의 양자화 간격에 의해 결정되기 때문에, 비트율 제어 알고리즘은 비트열을 일정하게 내보내는 것과 동시에 재구성된 화면의 화질이 안정되도록 구현되어야 한다.

비록 MPEG-2 표준에서는 표준 비트율 제어 알고리즘을 규정하고 있지 않지만, 널리 사용되고 있는

Test Model 5(TM5)[2]는 목표 비트수 설정, 비트율 조정 그리고 적응 양자화로 이루어진 세 단계 비트율 제어 알고리즘을 사용한다. 하지만 이 알고리즘은 한 화면 내에서 일정한 화질을 제공하지 못한다는 점과 장면 전환이 발생하였을 때 이를 적절하게 조절할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 현재까지의 MPEG-2 비트율 제어 알고리즘은 TM5의 문제점들을 해결할 수 있는 알고리즘과 비트율 왜곡 정리(Rate Distortion Theory)에 기반한 최적의 양자화 변수를 구할 수 있는 알고리즘의 개발에 중점을 두어 개발되었다.

본 논문에서는 지금까지 제안된 여러 비트율 제어 알고리즘들을 같은 환경에서 구현하여 그들의 성능을 서로 비교 평가하고, 매크로블럭의 부호화 형태를 이용하여 복원된 영상에서 더 나은 화질을 보장하는 새로운 알고리즘을 제시한다.

2. TM5 비트율 제어 방법

TM5[2]는 일정한 출력을 유지하기 위해 목표 비트 할당, 비트율 조정 그리고 적응적 양자화로 이루어진 3단계 비트율 제어 방법을 사용한다. 목표 비트 할당 단계에서는 다음 화면을 부호화하기 위해 가능한 목표 비트수를 추정한다. 비트율 조정 단계에서는 현재의 버퍼 충만도(buffer fullness)를 이용하여 기준 양자화 변수(reference quantization parameter)를 매크로블럭 단위로 계산한다. 적응 양자화 단계에서는 부호화하려는 영상의 특성을 반영하는 공간 활동성(activity)을 계산하여 정규화(normalization)시킨 후, 두 번째 단계에서 계산된 기준 양자화 변수를 곱하여 실제 양자화 변수를 얻는다.

TM5 비트율 제어 방법은 비교적 좋은 성능을 보이지만 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 첫째는 각 매크로블럭에 할당되는 양자화 변수가 버퍼 충만도에 의해 결정되기 때문에 한 화면 내에서도 일정한 화질을 제공할 수 없다. 둘째는 영상을 부호화하는 중간에서 장면 전환이 발생하면 첫번째 단계에서 할당된 목표 비트와 적응 양자화 단계에서의 공간 활동도가 부

본 논문은 통상산업부와 정보통신부 및 과학기술처에서 시행한 선도기술개발의 기술개발 결과임을 밝혀둔다.

적절한 값이 되어 복원된 영상의 화질이 급격히 나빠진다.

3. TM5의 문제점을 해결하기 위한 방법

3.1 일정한 화질을 제공하기 위한 방법

한 화면 내에서 일정한 화질을 제공하기 위해 매크로블럭마다 다른 양자화 변수를 할당하는 TM5와는 달리, 한 화면 내에 있는 모든 매크로블럭에 같은 양자화 변수를 할당하는 방법이다. 최적의 양자화 변수를 정하기 위해 할당된 목표 비트수에 가장 가까운 비트수를 발생시키는 양자화 변수를 구한다. 이 방법은 선택된 양자화 변수마다 실제 발생하는 비트수를 조사해서, 발생 비트수와 목표 비트수의 차가 가장 적은 양자화 변수를 선택해야 하기 때문에, 실행 속도가 현저하게 저하되므로 실행 속도를 향상시킬 수 있는 알고리즘이 요구된다. 현재 선택된 양자화 변수가 부적절한 값으로 판단된 경우, 다음 양자화 변수가 선택되는 방법에 따라, Iterative Algorithm, Adaptive Modeling Technique, Binary-Tree Search Algorithm 세가지 방법으로 나눌 수 있다.

Iterative Algorithm[3]은 단순히 1단위만큼 증감시켜 다음 양자화 변수를 정하는 방법이다.

Adaptive Modeling Technique[4]은 연속된 두 개의 양자화 변수에 따른 발생 비트수를 구하고 이 값들을 이용해 선형 모델링을 한 후, 다음으로 선택될 양자화 변수를 구하는 방법이다. 이를 이용한 방법을 그림 1에 나타내었다.

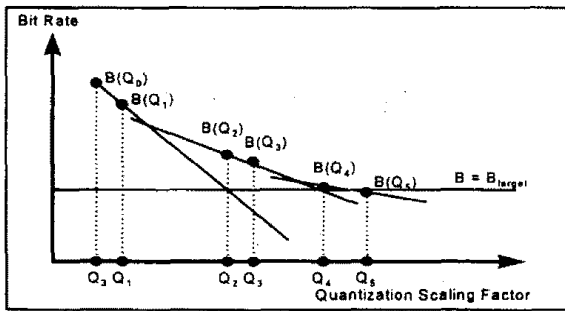


그림 1 Adaptive Modeling Technique

Binary-Tree Search Algorithm[5]은 화면마다 다른 반복 회수를 요구하는 Iterative algorithm과 Adaptive Modeling Technique 방법과는 달리, 양자화 변수를 위해 할당된 비트수가 MPEG-2와 같이 5비트로 정해져 있을 때, Tree 구조를 이용하여 다음으로 선택될 양자화 변수를 정하는 방법으로, 고정된 반복 회수가 요구되는 알고리즘이다. 이 경우에 5번의 반복 회수가 요구된다.

그림 2는 위에서 설명한 방법들과 TM5의 결과를 서로 비교한 것이다. 이 그림에서 보듯이 제안되어진 방법들이 TM5보다 더 나은 성능을 보인다. 하지만 실시간 처리가 어렵다는 단점이 있다. 실시간 처리가 가

능하고 목표 비트수에 가깝게 실제 비트를 할당하면서 매크로블럭마다 다른 양자화 변수를 할당할 수 있는 알고리즘이 요구된다.

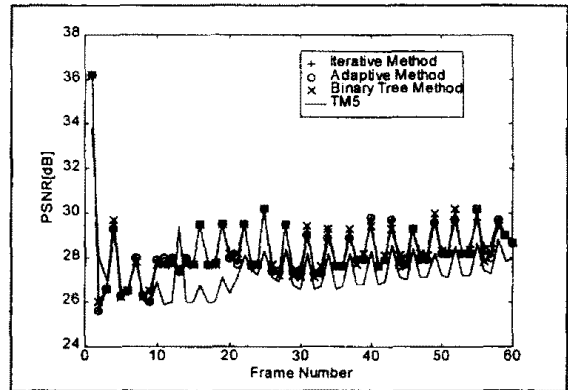


그림 2 PSNR 비교

3.2 장면 전환 문제를 해결하기 위한 방법

TM5는 부호화하려는 현재 화면의 목표 비트수 이전 화면에서 구해진 복잡도를 이용하여 계산하기 때문에 장면 전환이 발생한 경우, 현재 화면의 활동도가 이전 화면의 활동도보다 크게 되면 목표 비트가 적게 할당되어 화질이 떨어지게 된다. 따라서 장면 전환이 일어난 화면에 더 많은 비트를 할당하면서 버퍼 넘침이 발생되지 않도록 다른 화면에서 목표 비트수를 줄여야 하는데, 이를 처리하는 방법에 따라 skipped B 화면을 이용한 방법, 가변 GOP 구조를 이용한 방법, 새로운 목표 비트 할당에 의한 방법으로 나뉘어진다.

Skipped B 화면을 이용한 방법[6]은 장면 전환 화면 처리 직후의 B 화면을 실제로는 skipped 화면이 아니지만 강제로 skipped 화면으로 구현하여, 이 과정에서 얻어진 잉여 비트를 장면 전환이 일어난 화면에 할당하는 방법이다.

가변 GOP 구조를 이용한 방법[5]은 주어진 GOP안의 P 화면에서 장면 전환이 검출된 경우, 해당 P 화면을 I 화면으로 전환시켜 추가로 많은 비트를 할당하게 하여 화질의 열화 현상을 막는 방법이다. 이때, 추가로 소모된 비트는 장면 전환이 일어난 화면의 전이나 후의 I 화면을 강제로 P 화면으로 전환하여 일정한 출력 비트율을 유지한다.

새로운 목표 비트 할당에 의한 방법[7]은 비트 할당 이전에 장면 전환을 검출하여, 장면 전환이 발생한 전/후 화면에 목표 비트 할당 제어를 함으로써 장면 전환으로 인한 화질의 열화를 줄이는 방법이다. 이 방법은 장면 전환이 일어난 화면 이전 세 화면의 목표 비트수를 계산하고, 영상의 공간 활동성을 반영하여 실제로 할당되는 목표 비트수를 줄여, 장면 전환이 발생한 화면과 이후 두 B 화면에는 계산된 목표 비트수에 더해 주어 목표 비트 할당량을 늘려준다.

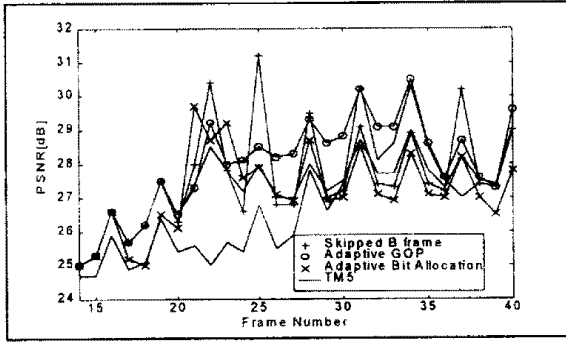


그림 3 장면 전환시 PSNR 비교

그림 3은 위에서 설명한 방법들의 PSNR 결과를 보여준다. 이 그림은 20번째 화면에서 장면 전환이 발생한 경우로서, 장면 전환 문제를 처리하는 방법 중 가변 GOP 구조를 이용한 방법이 다른 방법에 비해 더 나은 성능을 제공하는 것을 알 수 있다.

4. 순방향 비트율 제어 방법

버퍼의 상태에 따라 기준 양자화 변수를 정하는 TM5 방법과는 달리, 현재 화면의 상태 정보와 비트율 왜곡 함수를 이용하여 양자화 변수를 정하는 방법이다 [8]. 임의의 매크로블록을 DCT 변환 후, DCT 계수의 분포는 Laplacian 분포를 따른다는 성질을 이용하여 비트율 왜곡 함수를 구하고, 이를 기반으로 기준 양자화 변수를 구한 후, 버퍼의 상태에 따라 실제 양자화 변수를 구한다.

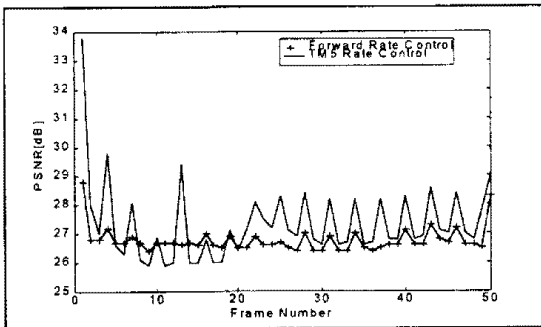


그림 4 순방향 비트율 제어와 TM5의 PSNR 비교

5. 매크로블록의 부호화 정보

MPEG-2 비디오 표준에서, 각각의 I, P, B 화면에 가능한 매크로블록의 부호화 형태로서 많은 항목이 존재하지만, 이러한 항목들은 모두 표 1에 보이는 항목으로 구분될 수 있다. 표 1에서 알 수 있듯이, I 화면에서는 모든 매크로블록이 MB_INTRA 형태로 부호화되며, P 화면과 B 화면 내에서도 임의의 매크로블록이 MB_INTRA 형태로 부호화될 수 있다. P 화면과 B 화면

Macroblock Type	화면 형태		
	I 화면	P 화면	B 화면
MB_INTRA	가능	가능	가능
MB_FORWARD		가능	가능
MB_BACKWARD			가능
MB_INTERPOLATION			가능
0		가능	

표 1 각 화면에서 가능한 매크로블록의 부호화 형태

에서는 매크로블록이 부호화되지 않는 skipped 매크로블록이 될 수 있는데, P 화면에서는 0에 해당하는 매크로블록에서만 skipped 매크로블록이 될 수 있으나 B 화면에서는 MB_INTRA 형태로 부호화되는 매크로블록을 제외한 모든 매크로블록에서 skipped 매크로블록이 발생될 수 있다. 표 2는 각각 120 화면으로 구성된 BUS 시퀀스와 BICYCLE 시퀀스를 TM5를 이용하여 부호화했을 때, 각각의 부호화 형태로 발생하는 매크로블록 개수의 평균값을 보인 것이다. 표 2에서 알 수 있듯이 P 화면과 B 화면에서도 상당수의 매크로블록이 MB_INTRA 형태로 부호화되는 것을 알 수 있다. 따라서 복원된 화면이 시각적으로 더 나은 화질을 가지기 위해서는 MB_INTRA에 해당하는 매크로블록에 버퍼 넘침이 발생되지 않는 범위에서 더 많은 비트를 할당해야 한다.

부호화 형태	BUS			BICYCLE		
	I	P	B	I	P	B
①	1350	583.6	251.2	1350	507.6	180.7
②		669.7	158.6		770.9	186.9
③			195.8			182.4
④			744.4			800.0
0		96.7			71.5	
⑤		9.9	17.5		6.6	7.5

- ① : MB_INTRA ② : MB_FORWARD ③ : MB_BACKWARD
- ④ : MB_INTERPOLATION(MB_FORWARD|MB_BACKWARD)
- ⑤ : skipped Macroblock

표 2 각 부호화 형태의 평균 발생 빈도수

6. 새로운 비트율 제어 알고리즘

TM5 비트율 제어 알고리즘은 매크로블록의 부호화 형태와는 관계없이 양자화 변수를 정한다. 하지만 매크로블록의 부호화 형태와 부호화된 매크로블록의 발생 비트수 사이에는 서로 밀접한 관계가 있으므로, 더 나은 성능을 위해서는 서로 연관된 관계에서 양자화 변수가 정해져야 한다. 한 화면에 대한 목표 비트수가 계산된 후, 기준 양자화 변수가 계산되고, 이 값을 기반으로 최종 양자화 변수가 구해지므로, 매크로블록의 부호화 형태에 관한 정보는 기준 양자화 변수나 최종 양자화 변수를 계산할 때에 사용될 수 있다.

하지만 기준 양자화 변수와 최종 양자화 변수는 상당한 차이를 보이므로, 매크로블럭의 부호화 정보가 최종 양자화 변수를 계산하는데 사용될 때, 더 나은 화질을 보장한다.

편의상 매크로블럭의 부호화 형태를 INTRA와 INTER 모드, 두 가지 형태로 나누었다. INTRA 모드는 MB_INTRA 형태로 부호화 되는 모든 매크로블럭들을 포함하고, INTER 모드는 MB_INTRA 이외의 형태로 부호화되는 모든 매크로블럭들을 포함한다. INTRA 모드와 INTER 모드로 부호화 되는 매크로블럭 개수들의 비율을 계산한 후, 이 값을 최종 양자화 변수를 계산하는 식에 적용한다. 다시 말해서, P 화면과 B 화면 내에서 MB_INTRA 형태로 부호화되는 매크로블럭의 최종 양자화 변수를 위에서 구한 비율만큼 감소시켜, 더 많은 비트를 할당한다. 여기서 버퍼 넘침이나 결핍을 방지하기 위해 할당된 비트만큼 INTER 모드로 부호화되는 매크로블럭에서 보상을 필요는 없다. INTER 모드로 부호화되는 매크로블럭 중 상당수가 skipped 매크로블럭으로 간주되어 출력 비트를 발생시키지 않기 때문이다. 위에서 설명한 절차를 다음에 요약하였다.

```

STEP1. Calculate the number of INTRA and INTER
        coded macroblocks

STEP2. Calculate the ratio of INTRA coded macroblocks
        and total macroblocks.

        Ratio =  $\frac{\text{the number of INTRA coded blocks}}{\text{the number of total blocks}}$ 

STEP3. If mb_type == MB_INTRA
        mquant -= mquant * Ratio

STEP4. If end_of_block == 1, go to STEP 1
        Else go to STEP 3
    
```

7. 실험 및 결과

실험은 120 프레임으로 구성된 BUS 시퀀스에 제안된 알고리즘을 적용하여 수행하였다. 시퀀스는 프레임 당 720x480, 초당 30프레임으로 구성되어있다. 6Mbps/s의 비트율에서 N=12, M=3으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 5는 TM5와 제안한 알고리즘에 대해 화면 당 PSNR(Peak-Signal-to-Noise Ratio)를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 제안된 방법은 PSNR 측면에서는 TM5보다 항상 나은 성능을 보인다고 볼 수는 없다. 하지만 제안된 방법으로 부호화된 시퀀스를 복호화한 후, 복원된 영상은 TM5보다 나은 성능을 보인다.

8. 결론

본 논문에서는 MPEG-2 비트율 제어 기법에 관한 방법들을 MPEG-2를 기반으로 하는 S/W로 구현하

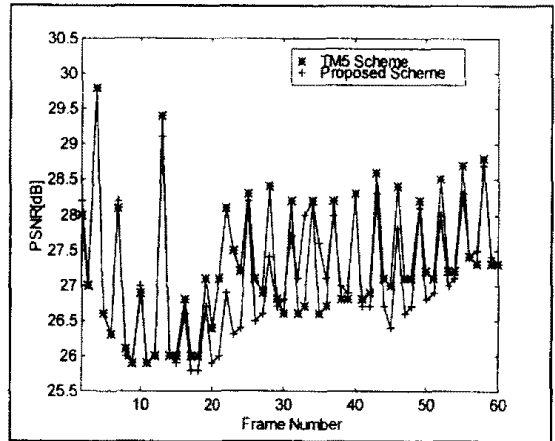


그림 5 제안된 방법과 TM5의 PSNR 비교(6Mbps/s)

여 그 성능을 비교하였다. 지금까지 많은 비트율 제어 방법들이 연구되었지만 개발된 방법들은 부호화되는 매크로블럭의 정보를 전혀 이용하지 않고 있다. 하지만 매크로블럭의 부호화 형태와 부호화된 매크로블럭의 발생 비트수 사이에는 서로 밀접한 관계가 있으므로, 더 나은 성능을 가지기 위해서는 서로 연관된 관계에서 양자화 변수가 정해져야 한다. 본 논문에서는 매크로블럭의 부호화 형태를 이용하여 출력 비트율을 알맞게 제어하면서, 재구성된 화면의 화질을 향상시키기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 P 화면과 B 화면 내에서 많은 수의 매크로블럭이 MB_INTRA 형태로 부호화되고, MB_INTRA 형태로 부호화되지 않은 매크로블럭 중 일부는 skipped 매크로블럭으로 간주되어 출력 비트를 발생하지 않는다는 사실을 이용한다. 제안된 알고리즘은 TM5보다 일관된 화질을 제공하며, 비트율이 낮을수록 더 나은 성능을 보인다.

9. 참고문헌

- [1] ISO/IEC 13818-2: "Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio: Video," International Standard, March 1996.
- [2] Test Model Editing Committee, "MPEG-2 Video Test Model 5," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG93 / 457, Apr. 1993.
- [3] L. Wang, "Bit rate Control For Hybrid DPCM/DCT Video Coding," Int. Workshop on HDTV, 1992.
- [4] L. Wang, "Adaptive Modeling For Bit Rate Control," Int. Workshop on HDTV, 1993.
- [5] L. Wang, "Rate Control For MPEG Video Coding," VCIP '94, pp. 53-64, 1994.
- [6] Y.S. Lee, Y.S. Ho and J.Y.Nam, "Bit Rate Control Scheme for Scene Change," KSPC '94, pp.113-116, 1994.
- [7] S. G. Lee, J. H. Cho, S. G. Park and S. W. Ra, "Scene Adaptive Bit Rate Control Strategy," VCIP '95, pp. 1461-1469, 1995.
- [8] C. Xiong and Y. He, "Forward Rate Control Strategy based on the Rate Distortion Theory for Video Coding," Tsinghua Univ. Press, Beijing, pp. 1441-1448, 1995.