

효과적인 고해상도 비디오 처리를 위한 무손실 프레임 메모리 압축 기법

김종호*

*순천대학교 ICT 융합공학부

jhkim@sunchon.ac.kr

Lossless Frame Memory Compression for Effective High Resolution Video Processing

Jongho Kim*

*School of ICT Convergence Engineering, Sunchon National University

요 약

본 논문에서는 효과적인 고해상도 비디오 데이터의 처리를 위하여 부호화기 내에서 참조 영상을 저장하는 프레임 메모리를 압축하는 방법을 제안한다. 프레임 메모리는 응용분야의 특성상 무손실 압축 및 저 복잡도를 갖는 방법이 요구되는데, 블록 단위의 PCT 를 이용하여 픽셀 사이의 상관도를 제거하고, 적응적 GR 부호기를 이용하여 최종 비트열을 구성하여 압축하는 방법을 제안한다. 다양한 테스트 영상을 대상으로 실험한 결과 제안하는 방법이 기존의 압축 방법에 비해 압축 성능이 우수하면서 실행 시간으로 측정된 복잡도 측면에서 유사한 성능을 나타냄을 확인하였다. 압축 성능과 복잡도의 두가지 측면을 종합적으로 판단한 결과 제안하는 방법이 기존의 방법에 비해 충분히 경쟁력이 있음을 알 수 있다.

1. 서론

비디오를 포함한 영상 부호화 기술은 효율적인 전송 채널, 저장 매체 및 하드웨어 자원을 사용하기 위해 여전히 그 중요성이 줄어들지 않고 있다. 특히 HD (high definition) 및 UHD (ultra HD) 등의 고해상도 영상을 이용한 응용 분야 및 디스플레이 기술이 발전함에 따라 비디오 부호화기는 제한된 시간에 대량의 데이터를 처리해야 하는 부담이 증가하였다. 이에 대응하기 위하여 최근 HEVC (high efficient video coding) 표준화[1]가 완성되었고, VVC (versatile video coding)를 통해 더욱 다양한 종류의 데이터에 대해 향상된 부호화 방법을 표준화하기 위한 활동이 진행되고 있다.

비디오 부호화기에 관한 국제표준은 부호화 방식이 아니라 비트열(bitstream)의 구조와 이를 잘 해석해서 영상을 올바르게 재구성(reconstruction)할 수 있는 복호기(decoder)만을 대상으로 한다. 이에 따르면 부호기(encoder) 내에 움직임 예측 (motion estimation) 및 보상 (compensation) 과정을 위해서 전체 영상 또는 부분적으로 복호하여 저장할 필요가 있다. 기존에는 대상으로 하는 영상의 해상도가 낮고, 영상의 프레임율이 낮아 저장할 메모리의 용량이 문제되지 않았지만, 최근에는 다루는 영상의 해상도 및 프레임율이 매우

높아져서 이를 저장할 메모리 요구량이 급속하게 증가하였다. 이를 프레임 메모리(frame memory)라고 하는데, 프레임 메모리를 압축할 때에는 크게 두 가지 요구사항이 있다. (i) 효과적인 움직임 예측 및 보상 과정에 사용하기 위하여 무손실(lossless) 방식의 압축을 수행해야 할 것; (ii) 전체 부호화기의 복잡도에 영향을 주지 않도록 저 복잡도 구현이 가능할 것 등이다.

본 논문에서는 이러한 두 가지 요구사항을 만족하는 효과적인 프레임 메모리 압축 기법을 제안한다. 기존의 프레임 메모리 압축 방법에서는 복잡도를 줄이기 위하여 라인 기반 알고리즘이 연구되었는데, 특히 고해상도 영상에서는 라인에 포함된 픽셀들의 상관도가 크게 떨어지는 문제가 있다. 제안하는 알고리즘은 블록 단위의 방식을 사용하는데, 픽셀 사이의 상관도 제거는 JPEG XR (extended range)의 PCT (photo core transform)방법[2]을 기반으로 변형하여 적용하고, 적응적 Golomb-Rice (AGR: adaptive Golomb-Rice) 부호화 방식을 거쳐 부호화한다.

2. 제안하는 고해상도 영상의 무손실 압축 방법

제안하는 무손실 부호화 알고리즘의 전체적인 구조

는 다음과 같다. 입력 영상은 기존의 다양한 비디오 부호화기의 움직임 예측 및 보상의 단위와 동일한 16×16 크기의 MB (macroblock) 단위로 분할하여 PCT를 적용한다. 각 MB에 대해 PCT는 블록의 평균값인 1개의 DC 계수와 15개의 저주파 성분인 AD 계수, 고주파 성분인 240개의 AC 계수를 계산한다. 이후에 DC, AD, AC 성분은 주변 MB의 동일한 성분을 이용해 예측 과정을 거치고, 2차원 배열의 형태를 갖는 AD 및 AC 성분을 Rice mapping 과정을 거쳐 1차원 배열로 나타낸다. 이렇게 구한 DC 예측치와 1차원 배열의 AD 및 AC 예측치를 AGR을 통해 최종 부호화하여 비트열로 구성한다.

2.1 PCT 변환 및 예측

MB 단위의 픽셀 데이터에서 픽셀 사이의 상관도를 제거하기 위한 변환 기법으로서 본 논문에서는 무손실 정수 변환인 PCT를 사용한다. PCT는 두 단계로 이루어지는데, 먼저 하나의 MB를 16개의 4×4 블록 단위로 분할하고, 각 블록에 대해 PCT4 연산을 네 번 적용한다. 변환 후 각 블록의 좌측 상단에 위치한 계수 16개를 모아 하나의 4×4 DC 블록을 구성한다. 이때 남아있는 성분들을 고주파 성분(AC)이라고 하고, DC 블록에 대해 한번 더 변환을 수행한다. 두 번째 변환 후에 좌측 상단에 위치한 성분이 DC 성분이고, 나머지 성분은 저주파 성분(AD)이 된다. PCT4는 4×4 블록 단위의 PCT 연산을 의미하는데, 2×2 Hadamard 변환인 T_h , low-high 및 high-low 대역을 위한 2×2 필터인 $T_{odd, high-high}$ 대역을 위한 2×2 필터인 $T_{odd, odd}$ 로 구성되어 있다.

PCT 변환된 계수는 주변 블록의 계수를 이용해 차분치를 구하고, 이 차분치를 대상으로 부호화한다. 위쪽 MB의 DC 계수와 왼쪽 위 MB의 DC 계수의 차이를 W_H , 왼쪽 MB의 DC 계수와 왼쪽 위 MB의 DC 계수의 차이를 W_V 라고 할 때, W_H 가 4배의 W_V 보다 크면 현재 MB의 DC 계수를 왼쪽 MB의 DC 계수를 이용하여 예측하고, 반대로 W_V 가 4배의 W_H 보다 클 때에는 현재 MB의 DC 계수를 위쪽 MB의 DC 계수를 이용하여 예측한다. 두 경우에 해당하지 않을 때에는 현재 MB의 DC 계수를 왼쪽 위 MB의 DC 계수를 이용하여 예측한다. AD 계수는 DC 계수의 예측 방향과 동일한 방향으로 이루어지고 DC 계수가 왼쪽 위 MB의 계수를 이용할 때에는 예측하지 않는다. AC 계수들도 가로 방향의 차이와 세로 방향의 차이를 계산하여 차이가 더 적은 방향으로 예측을 수행하여 그 차분치를 부호화 대상으로 한다.

예측 과정 이후에 DC 계수를 제외한 PCT 계수는 효과적인 부호화 과정을 위하여 1차원 형태로 재배

열한다. 어느 방향에서 예측되었는지에 따라 (그림 1)에서 보는 바와 같이 스캔 순서가 다소 달라진다.

x	4	1	5
8	2	9	6
12	3	10	13
7	14	11	15

x	1	2	5
4	3	6	9
8	7	12	15
13	10	11	14

(a)

(b)

(그림 1) PCT 계수의 스캔 방향, (a) AD 계수 및 왼쪽 방향 예측의 AC 계수, (b) 위쪽 방향 예측의 AC 계수

제안하는 부호화 방법은 AGR을 사용하는데, 이는 음이 아닌 수를 입력으로 한다. 그러나 PCT 계수의 예측치는 양수와 음수를 모두 가질 수 있어, 이를 식 (1)의 Rice mapping에 의해 모두 음이 아닌 수로 만든다.

$$r = \begin{cases} 2n, & n \geq 0 \\ -2n - 1, & n < 0 \end{cases} \quad (1)$$

이때, n 은 입력되는 PCT 계수를 의미하고, r 은 Golomb-Rice 부호화기의 입력이 된다. 역방향 매핑은 r 의 LSB (least significant bit)가 n 의 부호를 나타내고, r 을 1-bit 오른쪽 시프트 연산을 적용하면 간단히 구할 수 있다.

2.2 적응적 Golomb-Rice 부호화

제안하는 방법에서는 예측된 PCT 계수에 대한 엔트로피 부호화 방법으로서 적응적 Golomb-Rice 부호화기를 사용한다. Golomb-Rice (GR) 부호화기는 양쪽 기하 분포 정수 데이터에 대해 최적 성능을 발휘하는 것으로 알려져 있다[3]. GR 부호화 방법은 비트 시프트 연산을 통해 간단히 2의 곱셈 및 나눗셈을 처리할 수 있어 처리 속도가 매우 빠르다.

최대의 압축 성능을 위하여 각 MB에 대해 모든 AD 및 AC 계수를 부호화하기 위한 비트수인 k 값을 계산한다. 최적 k 값은 입력 계수를 r 이라고 할 때, 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$length_{GR} = k + 1 + r/2^k \quad (2)$$

작은 r 값에 대해서는 작은 k 값이 짧은 GR 부호를 만들어내고, r 값이 커질수록 큰 k 값이 짧은 GR 부호를 만들어낸다. 따라서 k 값의 선택은 r 값에 따라 적응적으로 결정한다.

3. 실험 및 결과

제안하는 방법의 압축 성능을 평가하기 위하여 기존의 저 복잡도 무손실 압축 방법과 비교하였다. 기

존의 방법은 DAP (differential od adjacent pixel) 기법 및 Huffman 부호화 방법을 사용한 Song 의 방법[4], MHT (modified Hadamard Transform)과 Golomb-Rice 부호화 방식을 사용한 Lee 의 방법[5]이다. 다만 Lee 의 방법은 손실 압축 방법으로서 비교 실험을 위하여 양자화 과정을 제거하였다.

제안하는 알고리즘은 압축 성능과 복잡도 측면에서 비교 실험을 수행하였다. 압축 성능은 식 (3)에 의해 측정된 압축률을 측정하였고, 복잡도는 2.2GHz CPU 의 PC 에서 C++ 언어를 이용하여 각 방법을 구현하고, 이들을 10 회 실행하여 그 평균값을 측정하였다.

$$Comp_Ratio = (1 - (Comp_Size / Orig_Size)) \quad (3)$$

이때, $Comp_Size$ 는 압축된 영상을 비트열 형태로 저장한 파일의 크기이고, $Orig_Size$ 는 원 영상의 크기를 의미한다. <표 1>은 각 테스트 영상에 대한 $Comp_ratio$ 값을 정리한 결과를 나타낸다.

<표 1> 테스트 영상에 대한 $Comp_Ratio$ 결과

	Song	Lee	Proposed
Airplane	0.36	0.33	0.41
Barbara	0.27	0.29	0.31
Lena	0.30	0.31	0.39
Peppers	0.33	0.27	0.37
Average	0.30	0.29	0.36

<표 1>의 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 제안한 방법에 의한 압축 성능이 기존 방법에 비해 향상되었음을 확인할 수 있는데, Song 의 방법과 비교해서 약 16%의 성능 향상이 있었고, Lee 의 방법과 비교해서 약 18%의 성능 향상이 있었음을 알 수 있다. 각 테스트 영상에 대한 비교 알고리즘들의 평균 실행 시간을 <표 2>에 정리하였다.

<표 2> 테스트 영상에 대한 평균 실행 시간 (ms)

	Song	Lee	Proposed
Airplane	27.3	22.7	26.7
Barbara	32.1	26.6	31.1
Lena	27.6	21.2	25.5
Peppers	25.4	23.9	28.4
Average	27.8	23.3	27.8

<표 2>의 결과를 살펴보면, 제안하는 알고리즘의 실행 시간이 기존 방법에 비해 약간 증가하는 것을 볼 수 있다. Lee 의 방법에 의한 실행 시간이 가장 작지만 압축 성능이 가장 떨어지고, Song 의 방법은 Huffman 부호화를 위한 추가적인 메모리 양을 요구하기 때문에 응용에 제한이 있을 수 있다. 따라서 압축 성능과 실행 시간으로 측정된 복잡도를 종합적으로 고려할 때, 제안한 알고리즘은 충분히 경쟁력이 있다

고 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 효과적인 고해상도 비디오의 처리를 위하여 부호화기 내의 프레임 메모리를 압축하는 방법을 제안하였다. 프레임 메모리는 응용 분야의 특성에 의해 무손실 방식으로 압축되고, 저 복잡도를 가져야 한다. 이러한 사항을 만족하기 위하여 블록 단위 PCT 에 의해 픽셀 간 상관도를 제거하였고, 이를 적응적 GR 부호기를 이용하여 부호화하였다. 다양한 테스트 영상을 대상으로 실험한 결과 제안하는 방법이 기존의 방법에 비해 압축 성능 측면에서 우수한 성능을 나타내었고, 실행 시간으로 측정된 복잡도는 비슷한 수준을 나타내었다. 압축 성능 및 복잡도를 종합적으로 판단할 때, 제안하는 방법이 기존의 방법에 비해 충분히 경쟁력을 가질 수 있다고 판단된다. 본 연구 결과를 바탕으로 향후 복잡도를 줄이는 방법에 관한 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 순천대학교 교연비 사업에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] G. J. Sullivan, J. Ohm, W. J. Han, and T. Wiegand, "Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, 2012
- [2] F. Dufaux, G. J. Sullivan, and T. Ebrahimi, "The JPEG XR image coding standard," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 3, pp. 195-199, 2009
- [3] 2003N. Merhav, G. Seroussi, and M. J. Weinberger, "Optimal prefix codes for sources with two-sided geometric distributions," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 46, no. 1, pp. 121-135, 2000
- [4] T. Song and T. Shimamoto, "Reference frame data compression method for H.264/AVC," *IEICE Electronics Express*, vol. 4, no. 3, pp. 121-126, 2007
- [5] T. Lee, "A new frame-recompression algorithm and its hardware design for MPEG-2 video decoders," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 6, pp. 529-534,