

## 비디오 준무손실 압축을 위한 효율적인 레이트 컨트롤 알고리즘

조 범 식\* · 김 영 로\*\*

### *Efficient rate control algorithm for video near-lossless compression*

Joh, Beom Seok · Kim, Young Ro

#### 〈Abstract〉

In this paper, we propose efficient rate control algorithm for video near-lossless compression. The proposed method adjusts pixel error range using amounts of previous encoded bits and target bits at a slice encoding interval. Thus, encoded bits by the proposed method are transmitted well through limited bandwidth without overflow. Also, target bits and encoded bits can be controlled according to transmission policy. Experimental results show that our proposed method not only almost fits compression ratio, but also has better image quality.

Key Words : Rate Control, Near-lossless Compression, Target Bits, Encoded Bits, Bandwidth

## I. 서론

준무손실 부호화는 영상의 목적에 따라 무손실에 가깝게 부호화하는 것을 뜻한다. MPEG, H.264를 이용한 부호화 방법은 사용자가 감상하기 어렵지 않을 정도로 손실을 가지고 부호화한다. 그러나, 의료영상, 증거 영상 등 손실이 없거나 거의 없는 준무손실 같이 부호화하기는 어렵다. 따라서 무손실, 준무손실 부호화방법이 제안되었다[1-9, 11-14]. 현재 제안된 비디오 준무손실 부호화 알고리즘들은 프레임간(Interframe) 차이를 부호화하는 방법[13]과 프레임내(Intraframe)에서 주변 화소들의 에지의 방향에 따른 예측 차이를 컨텍스트(context) 부호화하는 방법[8]이 있다. 그러나 움직임 추정 방법을 이용한

프레임간 부호화 방법은 많은 메모리와 연산을 필요로 하게 되고, 프레임간 움직임의 변화가 심할 경우 예측 에러가 많이 발생하여 압축의 효율이 떨어지는 문제점이 있다. 또한 기존 프레임내 부호화 방법은 영상의 복잡도 (complexity)에 따라 압축률의 차이가 크에도 불구하고 고정된 컨텍스트 부호화 방법 때문에 전송 대역폭에 따라 효과적으로 압축률을 조절하지 못하는 단점이 있다.

따라서 이 논문에서는 기존 방법들과 비하여 손실을 최소화하며 적응적으로 레이트 컨트롤하는 비디오 준무손실 압축 알고리즘을 제안한다.

## II. 기존 준무손실 알고리즘

FELIC[11], CALIC[1], JPEG-LS[8], 그리고 VLDC[14]와

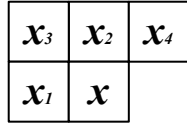
\* 명지전문대학 컴퓨터정보과 부교수(제1저자, 교신저자)

\*\* 명지전문대학 컴퓨터정보과 부교수

같은 무손실/준무손실 압축 방법들은 크게 de-correlation 하는 prediction 부분과 예측하여 남은 에러를 부호화하는 context coding 부분으로 구성된다.

### 1. 예측

화소 간 상관관계(correlation)를 줄이기 위하여 JPEG-LS[8]에서는 그림 1과 같이 이미 부호화된 주변의 화소  $x_1, x_2, x_3$ , 그리고  $x_4$ 를 이용하여 현재 부호화 위치의 화소  $x$ 를 예측한다.



<그림 1> 부호화하는 화소 및 주변 화소들 - JPEG-LS

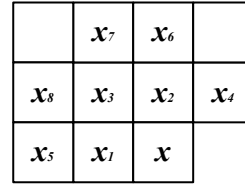
다음 식과 같이 고정된 예측기를 이용하여 수직, 수평 에지를 측정한다. 이때 에지가 없다고 판단하면 선형으로 예측을 한다. 고정된 예측기는 부호화하는 현재 위치의 화소  $x$ 의 예측값  $x'$ 를 다음과 같이 구한다.

$$x' = \begin{cases} \min(x_1, x_2), & \text{if } x_3 \geq \max(x_1, x_2) \\ \max(x_1, x_2), & \text{if } x_3 \leq \min(x_1, x_2) \\ x_1 + x_2 - x_3, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

예측기는 현재의 위치의 왼쪽에서 수직의 에지가 있을 경우  $x_2$ 을 예측값  $x'$ 으로 선택한다. 또는 현재의 위치의 위쪽에서 가로의 에지가 있을 경우  $x_1$ 을 선택한다. 만약 에지가 없다고 판단하면  $x_1 + x_2 - x_3$ 의 값을 예측값  $x'$ 으로 선택한다. 이와 같이 예측기는 미디언(median) 형태를 가지므로 MED(median edge detector)라고 부른다.

CALIC[1]에서는 경사 적응 예측기(GAP: Gradient-Adjusted Predictor)를 이용하여 현재 위치 화소 주변의

경사 강도에 따라 적응적으로  $x'$ 를 예측한다. 그러므로, 기존의 선형 예측보다도 좋은 예측 결과를 가진다. 그러나 MED 보다도 주변화소 들을 많이 사용하여 연산량이 크고 메모리를 많이 사용하는 단점이 있다. GAP은 먼저 현재 화소  $x$  주변의 수평, 수직 에지  $d_h, d_v$ 를 각각 다음과 같이 측정한다.



<그림 2> 부호화하는 화소 및 주변 화소들 - CALIC

$$d_h = |x_5 - x_1| + |x_3 - x_2| + |x_2 - x_4| \quad (2)$$

$$d_v = |x_6 - x_2| + |x_3 - x_1| + |x_7 - x_3|.$$

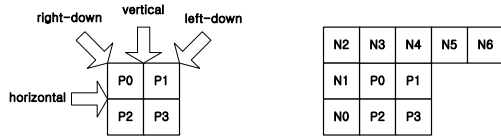
위에서 측정된  $d_h, d_v$ 를 가지고  $x'$ 를 다음과 같이 조건에 따라 가중치를 주어 구한다.

$$\begin{aligned} & \text{IF } (d_v - d_h > T_1) \text{ \{sharp horizontal edge\} } x' = x_1 \\ & \text{ELSE IF } (d_v - d_h < -T_1) \text{ \{sharp vertical edge\} } x' = x_2 \\ & \text{ELSE } \{x' = (x_1 + x_2)/2 + (x_4 - x_3)/4; \\ & \text{IF } (d_v - d_h > T_2) \quad \text{\{horizontal edge\}} \\ & \quad \quad \quad x' = (x' + x_1)/2 \\ & \text{ELSE IF } (d_v - d_h > T_3) \text{ \{weak horizontal edge\}} \\ & \quad \quad \quad x' = (3x' + x_1)/4 \quad (3) \\ & \text{ELSE IF } (d_v - d_h < -T_2) \text{ \{vertical edge\}} \\ & \quad \quad \quad x' = (x' + x_2)/2 \\ & \text{ELSE IF } (d_v - d_h < -T_3) \text{ \{weak vertical edge\}} \\ & \quad \quad \quad x' = (3x' + x_2)/4 \\ & \quad \quad \quad \} \end{aligned}$$

여기서  $T_1, T_2$ , 그리고  $T_3$ 는 실험적으로 구한 임계치이다. 8 비트 영상에서  $T_1 = 80, T_2 = 32$ , 그리고  $T_3 = 8$

이 가장 좋은 예측 결과를 보인다.

VLIDC[14]에서는 인트라 예측부(intra predictor)를 이용하여 주변화소들을 이용하여 2x2 단위로 예지의 경사를 다음 그림과 같이 4개의 방향에서 가장 차이가 적게 나는 방향으로 예측한다.



<그림 3> 방향성예측과 부호화하는 화소 및 주변 화소들 - VLIDC

여기서 수직으로 차이값을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 D0 &= P0 - N3 & (4) \\
 D1 &= P1 - N4 \\
 D2 &= P2 - P0 \\
 D3 &= P3 - P1
 \end{aligned}$$

이와 같이 나머지 3방향에서도 차이를 구한 다음 최소 차이가 나는 방향으로 예지가 있다고 판단하고 그 방향의 차이를 DPCM/PCM 부호화 한다.

## 2. 부호화

예측한 결과, 즉 에러를 부호화할 때 컨텍스트(context) 방법 또는 DPCM/PCM 방법을 이용하여 부호화한다. 컨텍스트 모델은 여러 형태로 만들 수 있으나, JPEG-LS와 CALIC에서는 국부 경사(local gradient)에 따른 에러 즉, 예측한 값과 실제 화소 값의 차이를 모델링하여 구한다. 그러므로 컨텍스트에 대한 움직임은 예측에 대한 확률적 형태를 나타낸다.

예측 잔여 에러는 Huffman 또는 Golomb 컨텍스트 인코더를 이용하여 부호화한다. Golomb 인코더는 부호화 테이블을 저장할 필요가 없어 매우 효과적인 코딩 방법이다[10]. 특히 2<sup>th</sup> 형태의 Golomb-Rice 코드는 더욱 간단한

코딩 과정을 가진다. Golomb 코드는 가변 길이 코드이며 Huffman 코드와 비슷하다. 그렇지만 값에 대한 확률적 모델을 바탕으로 하기 때문에 적응적으로 부호화를 할 수 있다. 임의의 수를 부호화하기 위하여 먼저 제수(divisor)로 나누고 이에 따른 몫과 나머지를 구한다. 몫은 unary notation으로 부호화하고 나머지는 binary notation으로 부호화한다. 실제로 몫과 나머지를 구분하기 위하여 먼저 몫을 부호화한 다음 구분자를 표기하고 나머지를 부호화한다. Golomb-Rice 코드는 쉬프트(shift)와 마스크(mask)를 이용하여 나누기 연산을 할 수 있어 효율적인 구현을 가능하게 한다. 예를 들어 0부터 7까지의 수를 제수 4인 Golomb-Rice 코드로 나타내면 다음과 같다.

<표 1> 공격도구의 유형 및 특성

Code	Value	Quotient	Remainder
1 00	0	0	0
1 01	1	0	1
1 10	2	0	2
1 11	3	0	3
0 1 00	4	1	0
0 1 01	5	1	1
0 1 10	6	1	2
0 1 11	7	1	3

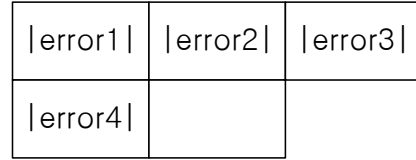
VLIDC[14]에서 이용한 DPCM/PCM 방법은 2x2 블록을 구성하는 4개의 화소들의 예측 차이를 하위비트 쉬프트하여 절단함으로써 영상 데이터를 압축한다. 이때 R, G, B 각각 쉬프트하는 형태를 다음과 같이 모드화하여 4개의 비트로 부호화한다.

<표 2> VLIDC 코드

mode	coding mode	bit shift[R/G/B]
0	DPCM	0/0/0
1	DPCM	1/0/1
2	DPCM	1/1/1
3	DPCM	2/1/2
4	DPCM	2/2/2

5	DPCM	3/2/3
6	DPCM	3/3/3
7	DPCM	4/3/4
8	DPCM	4/4/4
9	DPCM	5/4/5
10	DPCM	5/5/5
11	PCM	6/5/6
12	reserved	N/A
13	reserved	N/A
14	reserved	N/A
15	reserved	N/A

안한 알고리즘은 주변 화소들의 예측 에러 절대값들의 합을 이용하여 다음과 같이 적절한 k를 선택하였다.



<그림 4> Golomb 코딩 k를 구하기 위한 에러 데이터

### III. 제안하는 준무손실 알고리즘

제안하는 준무손실 알고리즘은 연산량과 메모리를 고려하여 예측기를 MED[6]를 사용하고, 슬라이스 단위로 허용 에러 범위 Near를 정하여 부호화함으로써 레이트 컨트롤 한다.

#### 1. 슬라이스 따른 허용 에러 범위

허용 에러 범위에 따라 슬라이스 별로 부호화되는 비트량에 차이가 생긴다. 허용 에러 범위를 0으로 하면 무손실 압축이 되지만 그만큼 압축 효율이 떨어진다. 반면 에러 허용 범위를 크게 하면 화질의 많은 열화를 가져올 수 있다. 따라서 효과적으로 화질을 유지하면서 압축 효율을 높힐 수 있도록 레이트 컨트롤한다. 이때 슬라이스 단위로 에러 허용 범위를 설정한다.

화소예측은 앞서 설명한 바와 같이 주변화소들을 이용하여 현재 위치의 화소값을 예측한다. 슬라이스 비트량 예측은 Golomb 인코딩 방식을 따른 비트량을 예측한다. Golomb 인코딩은 예측 에러를 2의 k승( $2^k$ )으로 나누어 몫(unary), 구분자(separator), 나머지(binary)로 표현한다. 예를 들어 예측에러가 20이고 k가 4이면 0 1 0100 으로 인코딩된다. k가 1일 경우 000000000 1 0 으로 인코딩된다. 제

```
SAD = |Error1|+|Error2|+|Error3|+|Error4|;
for(golombk = 0; cnt<SAD; golombk++){ (5)
    cnt = cnt * 2;
}
```

여기서 예측 에러(Error)는 -128~127 범위의 값을 가진다. 선택한 golombk를 이용하여 현재 슬라이스는 부호화한다. 이때 예측 에러는 음수도 가질 수 있으므로 Golomb 인코딩방식에 맞게 양수로 전환하는 Error Mapping을 먼저 하고, golombk를 이용하여 몫, 구분자, 나머지에 해당하는 비트를 부호화한다.

#### 2. 레이트 컨트롤

기존 알고리즘들은 단순히 허용 예측 에러를 프레임별로 정하고 준무손실 압축을 한다. 따라서 전송대역폭에 적절하게 압축량을 조절할 수 없다. 본 논문에서 제안하는 방법은 전송대역폭에 맞게 프레임별 목표 비트량을 정하고 압축을 프레임 목표 비트량에 맞추어 부호화하도록 한다.

먼저 인코딩을 하면서 부호화된 비트량에 따라 슬라이스별로 새롭게 허용 예측 에러 범위 Near를 정한다. 다음과 같이 2가지 경우로 Near를 이용하여 레이트 컨트롤할 수 있다.

case 1인 경우 현재 Near로 부호화하고 부호화된 량이 현재 부호화 위치에서 목표비트량을 초과하면 Near

를 증가시켜 다음 슬라이스를 부호화한다.

이와 반대로 case 2인 경우 현재 부호화된 량이 목표 부호화량 보다 적어 Near를 감소, 즉 허용 에러 범위를 감소시켜 슬라이스를 부호화한다. 따라서 무손실에 가깝게 부호화한다.

case 1

if( 현재까지의 목표 부호화량  
< 현재까지의 부호화된 량 ) Near=Near+1;

case 2

if( 현재까지의 목표 부호화량  
> 현재까지의 부호화된 량 ) Near=Near-1;

#### IV. 실험

제한한 적응적 준무손실 영상 부호화 알고리즘을 테스트하기 위하여 다양한 패턴이 있는 512×512 RGB 영상들로, "Airplane", "Baboon", "House", 그리고 "Lena"를 사용하였다. 제한한 알고리즘을 이용하여 다양한 압축률로 압축 작업 후 복원하였다. 또한 기존 준무손실 알고리즘과 비교하기 위하여 3배 압축에 따른 PSNR을 구하였다. 그림 5는 "Airplane" 영상의 압축률 1, 2, 3, 4배에 따라 압축하고 복원한 영상이다. 압축률 1부터 4까지 화질을 보면 시각적으

로 차이를 느끼지 못한다. 일반적으로 PSNR이 50 dB 이상이면 시각적으로 차이를 느끼지 못하며 제안한 방법으로 압축률 4배까지 50 dB 이상의 화질을 유지하였다.

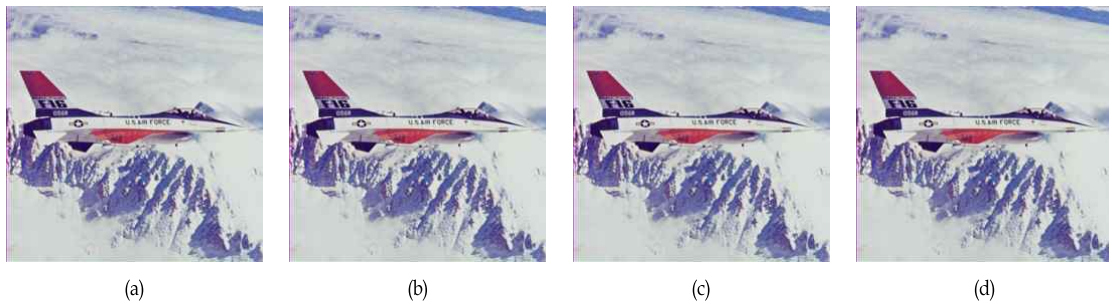
표 3은 제안하는 방법과 3배로 고정되게 압축하는 기존 알고리즘 VLIDC[14]과의 비교를 나타낸 표이다. 영상의 화질 측정 방법으로는 PSNR을 이용하였다. "Airplane" 영상의 경우 제안하는 방법이 VLIDC 보다 약 0.8 dB 열화된 결과를 가진다. 하지만, 제안하는 준무손실 압축 방법이 일반적으로 향상된 결과를 얻을 수 있다. 한편, 기존 알고리즘과 다르게 제안하는 알고리즘은 압축률을 3배로 고정되지 않고 다양한 압축률로 목표 부호화량에 맞추어 압축할 수 있다.

<표 1> 공격도구의 유형 및 특성

	VLIDC	Proposed method
Airplane	102.75	101.96
Baboon	80.50	83.30
House	95.30	95.38
Lena	99.42	100.55
Average	94.49	93.55

#### V. 결론

이 논문에서는 효율적으로 부호화하는 비트량을 조절하는 방법을 이용하여 비디오 준무손실 압축을 하는 레



<그림 5> Airplane 복원 영상, (a) 1배 압축, (b) 2배 압축, (c) 3배 압축, (d) 4배 압축

이트 컨트롤 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 방법은 부호화를 진행하면서 슬라이스 단위로 허용 에러범위를 조절함으로써 원하는 압축률로 부호화 할 수 있다. 실험 결과, 제안한 알고리즘이 기존 준무손실 알고리즘에 비하여 다양한 압축률로 부호화할 수 있으며 또한 일반적으로 향상된 화질을 얻을 수 있다.

## 참고문헌

- [1] X. Wu and N. Memon, "Context-based, adaptive, lossless image coding," *IEEE Trans. Communications*, vol. 45, no. 4, Apr. 1997, pp. 437-444.
- [2] X. Wu, "Efficient lossless compression of continuous-tone images via context selection and quantization," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, May 1997, pp. 656-664.
- [3] X. Wu and N. Memon, "Context-based lossless interband compression-extending CALIC," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, no. 6, Jun 2000, pp. 994-1001.
- [4] E. Magli, "Optimized onboard lossless and near-lossless compression of hyperspectral data using CALIC," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 1, no. 1, Jan. 2004, pp. 21-25.
- [5] W. Ding, F. Wu, X. Wu, and S. Li, "Adaptive directional lifting-based wavelet transform for image coding," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 16, no. 2, Feb. 2007.
- [6] M. J. Weinberger, J. Rissanen, and R. B. Arps, "Application of universal context modeling to lossless compression of gray-scale images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 5, Apr. 1996, pp. 576-586.
- [7] M. J. Weinberger, and G. Seroussi, "Sequential prediction and ranking in universal context modeling and data compression," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 43, Sept. 1997, pp. 1697-1706.
- [8] M. J. Weinberger, G. Seroussi, and G. Sapiro, "The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, no. 8, Aug. 2000, pp. 1309-1324.
- [9] X. Li and M. T. Orchard, "Edge-directed prediction for lossless compression of natural images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 10, no. 6, Jun. 2001, pp. 813-817.
- [10] S. W. Golomb, "Run-length encodings," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-12, Jul. 1966, pp. 399-401.
- [11] P. G. Howard and J. S. Vitter, "Fast and efficient lossless image compression," in *Proc. 1993 Data Compression Conf., Snowbird, UT, Mar. 1993*, pp. 351-360.
- [12] N. D. Memon and K. Sayood, "Lossless compression of video sequences," *IEEE Trans. Communications*, vol. 44, no. 10, Oct. 1996, pp. 1340-1345.
- [13] E. S. G. Carotti and J. C. D. Martin, "Motion-compensated lossless video coding in the CALIC framework," *Proceedings of the 5th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*, Athens, GR, Dec. 2005, pp. 600-605.
- [14] S. J. Lee, S. H. LEE, and D. H. Kim, "Method and apparatus for visually lossless image data compression," *Korea Patent No. 10-2008-0049535*, Samsung Electronics Ltd.

■ 저자소개 ■



조 범 석  
Joh, Beom Seok

2002년~현재  
명지전문대학 컴퓨터정보과 부교수  
2001년 명지대학교 대학원 컴퓨터공학과  
(공학박사)  
1988년 명지대학교 대학원 컴퓨터공학과  
(공학석사)  
1986년 명지대학교 공과대학 컴퓨터공학과  
(공학사)

관심분야 : 멀티미디어 검색기법/데이터베이스,  
Ubiquitous Computing, Cloud  
Computing  
E-mail : jkseok@mjc.ac.kr



김 영 로  
Kim, Young Ro

2003년~현재  
명지전문대학 컴퓨터정보과 부교수  
2001년~2003년  
삼성전자 시스템LSI 책임연구원  
2001년 고려대학교 전자공학과  
(컴퓨터공학박사)  
1996년 고려대학교 전자공학과  
(컴퓨터공학석사)  
1993년 고려대학교 전자공학과 (공학사)

관심분야 : 신호 및 영상처리, 멀티미디어 통신  
E-mail : foryoung@mjc.ac.kr

논문접수일 : 2010년 3월 13일  
수 정 일 : 2010년 4월 15일  
게재확정일 : 2010년 4월 21일