

논문 2011-48SP-4-11

# 변환 영역 Wyner-Ziv 잔차 신호 부호화를 위한 적응적 양자화

( Adaptive Quantization for Transform Domain Wyner-Ziv Residual  
Coding of Video )

조 현 명\*, 심 혁 재\*, 전 병 우\*\*

( Hyonmyong Cho, Hiuk Jae Shim, and Byeungwoo Jeon )

## 요 약

Wyner-Ziv 부호화에서의 시간예측은 원본 영상을 알 수 없는 Wyner-Ziv 복호화기에서 이루어지기 때문에 압축성능 저하를 피할 수 없었다. 이를 해결할 방안으로 Wyner-Ziv 부호화기의 가장 큰 장점인 부호화기의 경량화를 유지하면서도 최소한의 시간예측을 부호화기에서 하기 위하여 제안된 기술이 Wyner-Ziv 잔차 신호 부호화 기술이다. 이 기술은 키 프레임과 부호화 하는 Wyner-Ziv 프레임간의 단순한 차로 만들어진 잔차 신호를 분산비디오 부호화 하는 것이다. 하지만, 화소 영역에서 이 잔차 신호 부호화 기술을 적용할 경우 기존의 화소영역 Wyner-Ziv 부호화보다는 성능이 개선되지만, 변환영역 Wyner-Ziv 부호화 기술과는 유사한 성능에 그쳤다. 이에 변환영역 WZ 잔차 신호 부호화 기술개발의 시도가 있었으나, 기존의 변환영역 WZ 부호화가 사용하는 양자화와의 호환성 문제로 성능 저하가 있었다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 기존의 고정적인 양자화 행렬과 양자화 레벨을 WZ 프레임의 잔차 신호에 따라 적응적으로 바꿀 수 있는 양자화를 제안한다. 제안 방법은 Wyner-Ziv 프레임만 고려하였을 때, 4개의 영상에서 평균 약 22%의 BDBR 이득과 약 1.2dB의 BDPSNR 이득을 보인다.

## Abstract

Since prediction processes such as motion estimation motion compensation are not at the WZ video encoder but at its decoder, WZ video compression cannot have better performance than that of conventional video encoder. In order to implement the prediction process with low complexity at the encoder, WZ residual coding was proposed. Instead of original WZ frames, WZ residual coding encodes the residual signal between key frames and WZ frames. Although the proposed WZ residual coding has good performance in pixel domain, it does not have any improvements in transform domain compared to transform domain WZ coding. The WZ residual coding in transform domain is difficult to have better performance, because pre-defined quantization matrices in WZ coding are not compatible with WZ residual coding. In this paper, we propose a new quantization method modifying quantization matrix and quantization step size adaptively for transform domain WZ residual coding. Experimental result shows 22% gain in BDBR and 1.2dB gain in BDPSNR.

**Keywords :** Distributed Video Coding (DVC), Wyner-Ziv coding, WZ residual coding, Quantization

## I. 서 론

MPEG-2/4, H.26x와 같은 기존 비디오 부호화 기술

\* 학생회원, \*\* 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부 (School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업 연구임 (No. 20100008030)

접수일자: 2011년3월15일, 수정완료일: 2011년4월12일

에서는 움직임 예측 및 보상과정을 통하여 영상에 존재하는 시간 중복성을 제거하기 때문에 부호화기의 복잡도가 복호화기에 비해 상대적으로 매우 높다. 이러한 구조적 특징으로 인해 기존의 비디오 부호화 기술은 단방향 방송과 같이 소수의 복잡한 구조의 부호화기와 절대 다수의 상대적으로 간단한 복호화기를 사용하는 환경에서 널리 사용되었다. 하지만, 단방향의 방송 환경을 벗어나 양방향성이 강조되는 최근의 통신-방송 융합환경에서는, 영상 촬영/녹화 기능이 추가된 각종 휴대 단

말의 보편화와 함께 부호화기의 복잡도와 전력 소모량이 중요한 요소로 자리 잡으면서, 이에 대응하는 새로운 비디오 부호화 기술의 필요성이 대두되고 있다.

최근 이러한 요구에 따라 분산 비디오 부호화 기술(DVC : Distributed Video Coding)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 분산 비디오 부호화 기술은 1970년대에 발표된 Slepian-Wolf 이론과 Wyner-Ziv 이론을 기반으로 하고 있다<sup>[1-2]</sup>. 예측 영상 (Predictor, Y)에 대한 정보를 부호화기와 복호화기가 서로 사용하였던 기존의 비디오 부호화 기술과는 다르게, 예측 영상의 정보를 복호화기에서만 사용하더라도 원본영상 (X)의 무손실 복원이 가능한 최소의 정보량은  $H(X|Y)$ 임을 수학적으로 증명한 것이 Slepian-Wolf 이론이다<sup>[1]</sup>. Wyner-Ziv 이론은 Slepian-Wolf 이론을 바탕으로, 무손실 압축이 아닌 손실 압축의 경우에도 예측 부호화 방법과 동일한 왜곡 성능을 얻을 수 있다는 것을 증명하였다<sup>[2]</sup>. 두 이론에 따르면, 부호화기의 복잡도를 줄이기 위해 영상을 독립적으로 부호화하더라도 복호화기가 영상의 상호 유사성을 이용하여 복호화 한다면, 기존의 부호화 기술과 동일한 압축 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 기존의 부호화기가 수행했던 고복잡도의 움직임 예측 및 보상과정을 복호화기가 대신 수행하도록 하여 부호화기 복잡도를 근본적으로 낮출 수 있다는 것을 의미한다.

분산 비디오 부호화의 대표적 구조는 크게 두 가지다. 첫 번째는 현재 널리 사용되고 있는 스탠포드 대학의 Wyner-Ziv(WZ)<sup>[3]</sup> 부호화 구조이며, 두 번째는 UC 버클리 대학의 PRISM<sup>[4]</sup> 구조이다. WZ 부호화 기술은 입력 영상을 키(Key) 프레임과 WZ 프레임으로 나누어 영상을 부호화 한다. 키 프레임은 기존의 H.26x 인트라 부호화기와 같은 통상의 인트라부호화 기술을 사용하며, WZ 프레임은 LDPC<sup>[5]</sup>와 같은 채널 부호를 사용하는 WZ 부호화 기술을 적용하여 독립적으로 부호화 한다. WZ 복호화기는 전송 받은, 부호화된 키 프레임을 선택된 인트라 복호화 방법을 사용해 복원한 후, 복원된 키 프레임간의 시간적 유사도에 기반한 보간법(MCTI : Motion Compensated Temporal Interpolation)을 사용하여 WZ프레임에 대한 예측 영상으로 간주할 수 있는 보조정보(Side Information)<sup>[6]</sup>를 생성한다. 이때, 원본 영상과 보조정보의 차이를 잡음(Noise)으로 간주하는데, 이러한 잡음은 통신 채널에서 발생한 실제 잡음이 아니기 때문에 가상 채널 잡음(Virtual Channel Noise)이라고 부른다. 보조 정보에 발생한 가상 채널 잡음을 제거

하기 위해 복호화기는 부호화기에 패리티를 요청하고, 이에 따라 전송 받은 패리티를 사용하여 영상을 복원한다. 이와 같이 WZ 부호화의 기술을 사용하면 기존의 H.26x와 같은 비디오 압축 기술에서 부호화기가 수행하던 움직임 예측과정을 복호화기에서 실행되도록 할 수 있다. 이러한 WZ 부호화 기술은 부호화기의 경량화를 이끌어냈지만, 원본 영상을 알 수 없는 복호화기에서 움직임 예측을 수행하기 때문에 압축성능 향상에 어려움이 있었다. 이에 부호화기의 경량화 장점을 최대한 유지하는 범위내에서 최소한의 시간축 예측을 부호화기에서 하도록 고안된 방법이 바로 인접한 키 프레임과 WZ 프레임의 단순한 잔차 신호를 사용하는 WZ 잔차 신호 부호화 기술(Wyner-Ziv Residual Coding)<sup>[7]</sup>이다.

이 기술은 부호화할 원본 WZ 프레임을 그대로 WZ 부호화 하는 대신, 복호화기에서 사용 가능한 인접한 키프레임과의 잔차 신호를 계산하여 이를 WZ 부호화 한다. 키 프레임과의 잔차 신호를 구할 때는 부호화기의 낮은 복잡도를 유지하기 위해 움직임 예측 및 보상을 사용하는 대신 단순한 프레임 간의 차만을 계산한다. 복호화기에서는 생성된 보조정보와 전송받은 키 프레임과의 잔차 신호를 사용하여 새로운 보조정보를 생성한다. 이 후 패리티정보를 사용하여 잔차 신호를 복구하여 키 프레임의 값에 이를 더해줌으로써 최종적으로 원본 영상을 복구하게 된다. 일반적으로 영상의 움직임이 적어 프레임간의 유사도가 높을수록 WZ 잔차 신호 부호화 기술이 우수한 성능을 보인다. 하지만 WZ 부호화에서 사용하는 양자화 행렬(QM : Quantization Matrix)<sup>[8]</sup>은 잔차 신호를 고려하여 설계된 행렬이 아니기 때문에, 기존 양자화를 그대로 사용할 경우 WZ 잔차 신호 부호화의 성능저하가 발생했다. 따라서 본 논문에서는 WZ 잔차 신호 부호화의 성능 저하를 해결할 방안으로, 잔차 신호의 변화에 가변적인 잔차 신호 적응적 양자화를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 II장에서는 WZ 부호화의 양자화에 대해 알아보고, III장에서는 WZ 잔차 신호 부호화와 제안하는 양자화 방법을 다룬다. IV장에서는 제안하는 방법의 실험 및 결과를 분석하고, V장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대해 논의한다.

## II. WZ 부호화의 양자화

### 1. WZ 부호화에서의 양자화 기술

WZ 부호화기에 입력된 영상은 키 프레임과 WZ 프레임으로 나뉘어져 부호화된다. 키 프레임은 (t-1)과 (t+1) 시간대의 프레임이며 인트라 부호화기를 사용하여 부호화된다. WZ 프레임은 (t) 시간대의 프레임이며, 이 프레임들의 블록들은 4x4 블록 단위의 정수 DCT 변환을 통해 각각 16개의 DCT계수로 변환되며, 한 프레임 내의 각 블록에 존재하는 모든 동일한 주파수 성분들이 모여 하나의 주파수 밴드로 구성된다. 각 주파수 밴드는 해당 주파수 성분에 따라 각각 M비트로 양자화<sup>[8]</sup> 된다. 이때의 양자화 레벨은 기존 비디오 부호화의 양자화 파라미터(QP : Quantization Parameter)에 대응되는 개념인 그림 1의 양자화 행렬에 따라 결정되는데, 높은 레벨(QM1 → QM8)의 양자화 행렬을 사용할수록 높은 비트율과 높은 PSNR을 가지게 된다.

<table border="1"> <tr><td>16</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> <p>QM1</p>	16	8	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td>32</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> <p>QM2</p>	32	8	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td>32</td><td>8</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> <p>QM3</p>	32	8	4	0	8	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td>32</td><td>16</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>16</td><td>8</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> <p>QM4</p>	32	16	8	4	16	8	4	0	8	4	0	0	4	0	0	0
16	8	0	0																																																																
8	0	0	0																																																																
0	0	0	0																																																																
0	0	0	0																																																																
32	8	0	0																																																																
8	0	0	0																																																																
0	0	0	0																																																																
0	0	0	0																																																																
32	8	4	0																																																																
8	4	0	0																																																																
4	0	0	0																																																																
0	0	0	0																																																																
32	16	8	4																																																																
16	8	4	0																																																																
8	4	0	0																																																																
4	0	0	0																																																																
<table border="1"> <tr><td>32</td><td>16</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>16</td><td>8</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>4</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> <p>QM5</p>	32	16	8	4	16	8	4	4	8	4	4	0	4	4	0	0	<table border="1"> <tr><td>64</td><td>16</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>16</td><td>8</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>8</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>4</td><td>4</td><td>0</td></tr> </table> <p>QM6</p>	64	16	8	8	16	8	8	4	8	8	4	4	8	4	4	0	<table border="1"> <tr><td>64</td><td>32</td><td>16</td><td>8</td></tr> <tr><td>32</td><td>16</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>16</td><td>8</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>4</td><td>4</td><td>0</td></tr> </table> <p>QM7</p>	64	32	16	8	32	16	8	4	16	8	4	4	8	4	4	0	<table border="1"> <tr><td>128</td><td>64</td><td>32</td><td>16</td></tr> <tr><td>64</td><td>32</td><td>16</td><td>8</td></tr> <tr><td>32</td><td>16</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>16</td><td>8</td><td>4</td><td>0</td></tr> </table> <p>QM8</p>	128	64	32	16	64	32	16	8	32	16	8	4	16	8	4	0
32	16	8	4																																																																
16	8	4	4																																																																
8	4	4	0																																																																
4	4	0	0																																																																
64	16	8	8																																																																
16	8	8	4																																																																
8	8	4	4																																																																
8	4	4	0																																																																
64	32	16	8																																																																
32	16	8	4																																																																
16	8	4	4																																																																
8	4	4	0																																																																
128	64	32	16																																																																
64	32	16	8																																																																
32	16	8	4																																																																
16	8	4	0																																																																

그림 1. 변환 영역 WZ 부호화 기술의 양자화 행렬  
Fig. 1. Quantization matrices in transform domain WZ encoding.

가. DC 성분 양자화

DCT의 DC 성분은 주어진 4x4 블록의 평균 에너지를 나타내기 때문에, 양수의 값을 가지게 된다. 따라서 DC 성분의 양자화는 데드존이 없는 균일 양자화를 적용한다. DC 성분의 양자화 스텝 크기는 다음과 같다.

$$W_{DC} = 2^{10-M_{DC}} \tag{1}$$

여기서  $W_{DC}$ 는 DC의 양자화 스텝 크기이며,  $M_{DC}$ 는 DC의 양자화 비트이고,  $2^{M_{DC}}$ 는 그림 1의 DC 위치의 값과 같다.

나. AC 성분 양자화

DCT의 AC 성분 값은 주로 0 근처에 분포하기 때문에, 0을 포함하는 구간에 대한 양자화 스텝이 다른 양자화 스텝 크기보다 2배 크기를 갖는 데드존 균일 양자

표 1. WZ 부호화 기술과 WZ 잔차 신호 부호화 기술의 양자화 스텝 크기 (QM8의 예)

Table 1. Quantization step size of WZ encoder and WZ residual encoder (example of QM8).

	WZ 부호화	WZ 잔차 신호 부호화
계수범위	$[0, 2^{10}]$	$[-12, 22]$
양자화스텝 크기	8	1

화가 사용된다. DC 성분은  $[0, 2^{10}]$ 의 고정적인 범위를 가지지만, AC 성분은 각 프레임의 성질에 따라 다양한 범위를 가진다. k번째 주파수 밴드의 양자화 스텝 크기는 식 (2)와 같이 구한다.

$$W_k = \left\lceil \frac{2 |V_k|_{\max}}{2^{M_k}} \right\rceil \tag{2}$$

여기서  $W_k$ ,  $|V_k|_{\max}$ ,  $M_k$ 는 각각 k번째 AC 성분의 양자화 스텝 크기, 최대값의 절대값, 그리고 양자화 비트를 나타낸다.  $\lceil x \rceil$ 는 x를 넘지 않는 가장 가까운 정수를 의미한다.

III. WZ 잔차 신호 부호화 및 제안 양자화 방법

1. WZ 잔차 신호 부호화

WZ 잔차 신호 부호화 기술은 Aaron 등이 처음으로 제안하였으며<sup>[7]</sup>, 이후 이를 바탕으로 여러 가지 응용 기술들이 제안되었다<sup>[9~11]</sup>. [7]에서 제안한 기술은 당시 변환 영역 기반의 방법에 비해 복잡도가 더 낮기 때문에 주목을 받고 있던 픽셀 영역을 기반으로 설계된 WZ 부호화 기술이다. 하지만 픽셀 영역 WZ 부호화 기술은 변환 영역 WZ 부호화 기술의 성능에 미치지 못하기 때문에<sup>[12]</sup>, 최근 연구들은 대부분 변환 영역으로 집중되었다. 이러한 추세를 따라 변환 영역 WZ 부호화 기술에서도 잔차 신호를 활용하는 시도<sup>[13]</sup>가 있었지만, 양자화 과정에 문제점이 있었다. 움직임이 적은 영상에서 잔차 신호는 대부분 0에 가까운 값을 가지게 되었고 일반 WZ 양자화 행렬을 적용하면 양자화 스텝 크기가 너무 작아서 복호화기가 생성한 보조정보와의 노이즈가 상대적으로 크게 되었다. 그 결과 복호화기에서 요구하는 페리티 비트가 많아져서, 즉 비트율이 크게 증가하여 변환영역 WZ 부호화보다 성능이 크게 떨어지는 단점이 있다.

표 1은 Hall monitor 영상에 식 (1)의 WZ 부호화 기

표 2. DC 성분 평균 요구 패리티의 비율  
Table 2. The average rate of requested parity data for DC coefficients.

비트플레인	WZ 부호화 (%)	WZ 잔차 신호 부호화 (%)
7 (MSB)	6.92	19.50
6	4.23	12.88
5	7.89	24.74
4	21.97	50.36
3	29.32	77.45
2	52.71	96.09
1 (LSB)	82.83	100.00

술과 식 (3)의 WZ 잔차 신호 부호화 기술을 동일 QM8 로 적용하여 양자화 하였을 때, DC 성분의 범위와 양자화 스텝 크기를 나타낸 것이다. 양자화 스텝 크기가 8 에서 1로 크게 줄어들었고, 양자화 스텝 크기가 줄어들 에 따라 LDPC 패리티 데이터에 대한 요구량이 증가한다. 표 2는 DC성분의 특정 비트를 복호화하기 위해 필요한 패리티가, 총 66개의 패리티 중 몇 %인지를 나타낸다. 이 표에 의하면, DC 성분에서 요구된 패리티가 MSB부터 LSB까지 전체 비트 플레인에서 모두 증가한 것을 알 수 있다. 이와 같은 패리티 증가는 DC 성분뿐만 아니라 AC 성분에서도 발생한다. 이처럼 잔차 신호로 인해 줄어든 스텝 크기는 패리티 요구량의 증가로 비트율을 증가시켜 성능 저하의 원인이 된다는 것을 알 수 있다. [13]에서는 이를 해결하기 위해서, 실험 결과를 바탕으로 새롭게 설계된 양자화 행렬과 양자화 방법을 제안하였다. 키 프레임의 화질과 영상의 특성이 WZ 잔차 신호 부호화 성능에 큰 영향을 미치기 때문에, [13]에서는 복호화기의 키 프레임으로 원본 영상을 사용하였고, 움직임이 적은 영상으로 실험을 하였다. 하지만 복호화기에서 원본 영상을 알 수 없기 때문에 실험 결과를 기반으로 결정된 설정은 한계를 갖게 된다. 또한 움직임이 적은 영상인 Salesman, Mother & Daughter와 같은 영상의 실험 결과를 기반으로 최적화된 양자화를 제안하였기 때문에 일반적으로 적용하기 어려운 기술이다.

2. WZ 잔차 신호의 적응적 양자화

WZ 잔차 신호 부호화 양자화 스텝 크기를 구하는 방법은, DC의 경우는 식 (3)과 같고, AC의 경우는 식 (4)와 같다.

$$W'_{DC} = \left\lceil \frac{DC'_{max} - DC'_{min}}{2^{M'_{DC}}} \right\rceil \tag{3}$$

$$W'_k = \left\lceil \frac{2|V'_k|_{max}}{2^{M'_k}} \right\rceil \tag{4}$$

식 (3)에서  $W'_{DC}$ ,  $DC'_{max}$ ,  $DC'_{min}$ ,  $M'_{DC}$ 는 각각 잔차 신호의 DC 성분의 양자화 스텝 크기, 최대값, 최소값, 그리고 양자화 비트를 나타낸다. 또한 식 (4)의  $W'_k$ ,  $|V'_k|_{max}$ ,  $M'_k$ 는 각각 잔차 신호의 AC 성분의 양자화 스텝 크기, 최대값의 절대값, 양자화 비트를 나타낸다. 식 (1)과 비교해 식 (3)이 바뀐 이유는 DC 성분의 잔차 신호는 항상 양수이던 기존 범위  $[0, 2^{10}]$ 와 다르게 음수가 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 DC 성분의 잔차 신호인  $DC'$ 의 범위는  $[DC'_{min}, DC'_{max}]$ 로 볼 수 있고, 이 범위를 양자화 레벨로 나누어 양자화 스텝 크기를 계산할 수 있다.

제안한 방법에서는 WZ 부호화 양자화와 동일하게

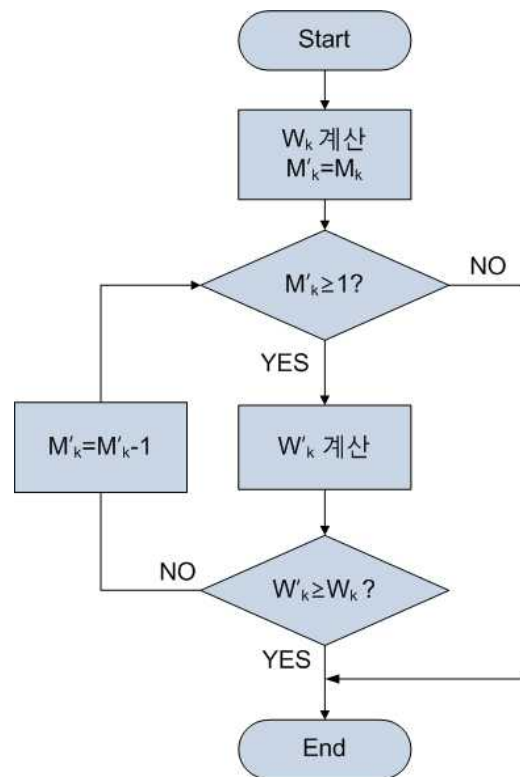


그림 2. 제안하는 양자화 스텝 크기와 양자화 레벨을 정하는 방법 순서도

Fig. 2. Proposed method deciding quantization step size and quantization level.

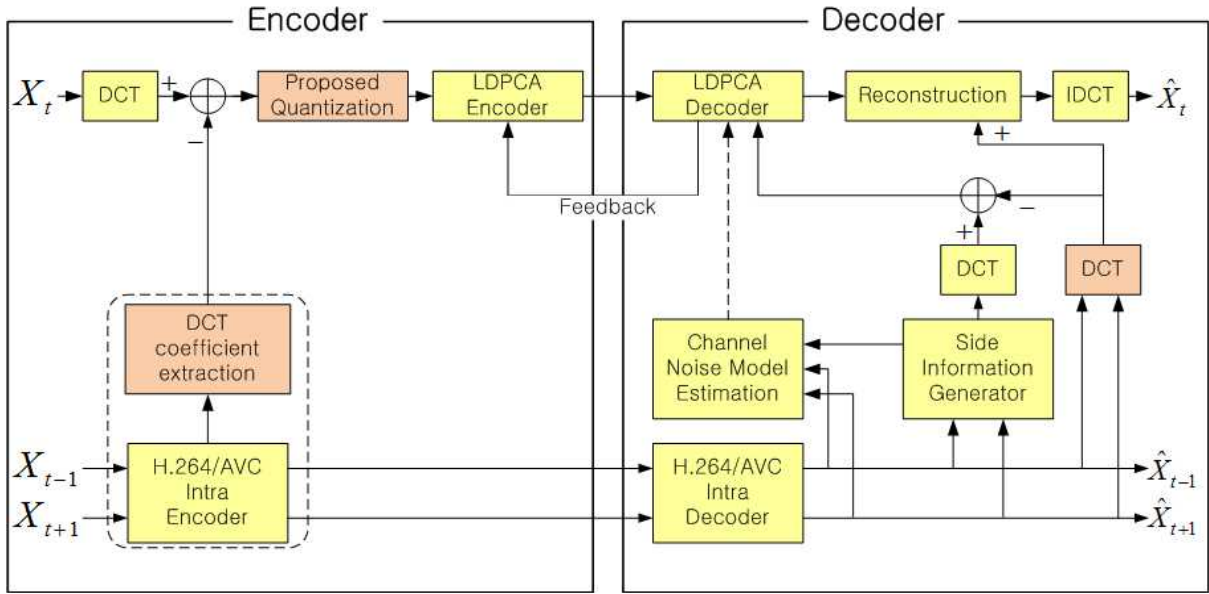


그림 3. 제안하는 변환 영역 WZ 잔차 신호 부호화 복호화기 구조  
 Fig. 3. Structure of the proposed transform domain WZ residual encoder and decoder

DC 성분에는 균일 양자화, AC 성분에서는 테드존 균일 양자화를 사용한다. 하지만, 제안방법에서는 잔차 신호의 범위가 원본 영상 신호의 범위보다 작기 때문에 나타나는 스텝 크기의 축소를 방지하기 위해서, 잔차 신호가 아닌 원본 신호에서의 양자화 스텝 크기와 잔차 신호로 구한 스텝 크기를 비교하는 과정이 포함된다. 만약 기존의 스텝 크기보다 잔차 신호 양자화 스텝의 크기가 작다면, 비트율이 증가하여 성능 저하가 될 것으로 예상할 수 있다. 하지만 만약 해당 양자화 비트를 1 비트 줄인다면, 양자화 레벨은 1/2이 되고 양자화 스텝 크기는 2배로 커지게 된다. 이러한 특성을 사용한 제안하는 WZ 잔차 신호 적응적 양자화 기법은 그림 2의 순서도와 같다. 먼저 원본 신호의 양자화 스텝 크기( $W_k$ )를 정하고, 잔차 신호 양자화 비트의 값( $M'_k$ )을 원본 신호 양자화 비트( $M_k$ )와 같게 한다. 만약  $M'_k$ 가 1보다 크거나 같다면,  $M'_k$ 로 잔차 신호 양자화 스텝( $W'_k$ )을 구한다. 계산한  $W'_k$ 가  $W_k$ 보다 작다면  $M'_k$ 의 값을 1 비트 줄이고 다시  $W'_k$ 를 계산한다. 이와 같은 과정을  $W_k$ 가 원본신호의 양자화 스텝 크기보다 커질 때( $W'_k \geq W_k$ )까지 반복하게 된다. 이 과정에서 1 비트로 양자화 하여도 잔차 신호 양자화 스텝 크기가 원본 양자화 스텝 크기보다 작을 수 있다. 이 경우에는 양자화 행렬 상에서 양자화 하는 성분을 유지하기 위해서, 0 비트가 아닌 최소 1 비트로 양자화를 하도록 하였다. 따라서 제안 양자화 방법은 고정적이던 기존 양자화 행렬을 잔차 신호의 특성에 따라 적응적으

로 변화시킨다. 제안 방법은 부호화기에서 각 주파수 성분의 양자화 레벨을 복호화기에 전송해야하는데, 이 때 전송되는 데이터의 양은 무시할 수 있을 정도로 작다. 또한, 제안 방법은 양자화 스텝 크기를 구하기 위해 반복적인 연산을 수행하지만 반복되는 구간이 최대 7회이고, 양자화 전체 연산의 반복이 아닌 스텝 사이즈의 비교만을 하기 때문에 복잡도를 거의 증가시키지 않는다.

변환영역 잔차 신호를 만드는 방법은 크게 두 가지가 있다. 하나는 키 프레임과 WZ프레임의 잔차 신호를 DCT 변환하는 것이고, 또 다른 방법은 키 프레임과 WZ 프레임을 각각 DCT 변환한 값들간의 차를 잔차 신호로 사용하는 것이다. 정수 DCT는 선형적인 연산이기 때문에 두 경우의 결과는 같지만, 제안한 방법에서는 부호화기에서 원본 신호의 주파수 계수값을 알아야 하기 때문에 두 번째 경우를 사용해야만 한다. 또한, 키 프레임과의 단순한 차이보다는 이웃하는 (t-1), (t+1) 키 프레임들의 평균값과의 차를 사용하면, WZ 프레임과 더 높은 상관도를 얻을 수 있다. 이를 고려해 제안하는 WZ 잔차 신호 부호화의 구조는 그림 3과 같다.

#### IV. 실험 및 결과

##### 1. 실험 방법

본 논문에서 제안하는 WZ 잔차 신호 적응적 양자화 기법을 평가하기 위해 사용한 WZ 부호화 기술은 [14~

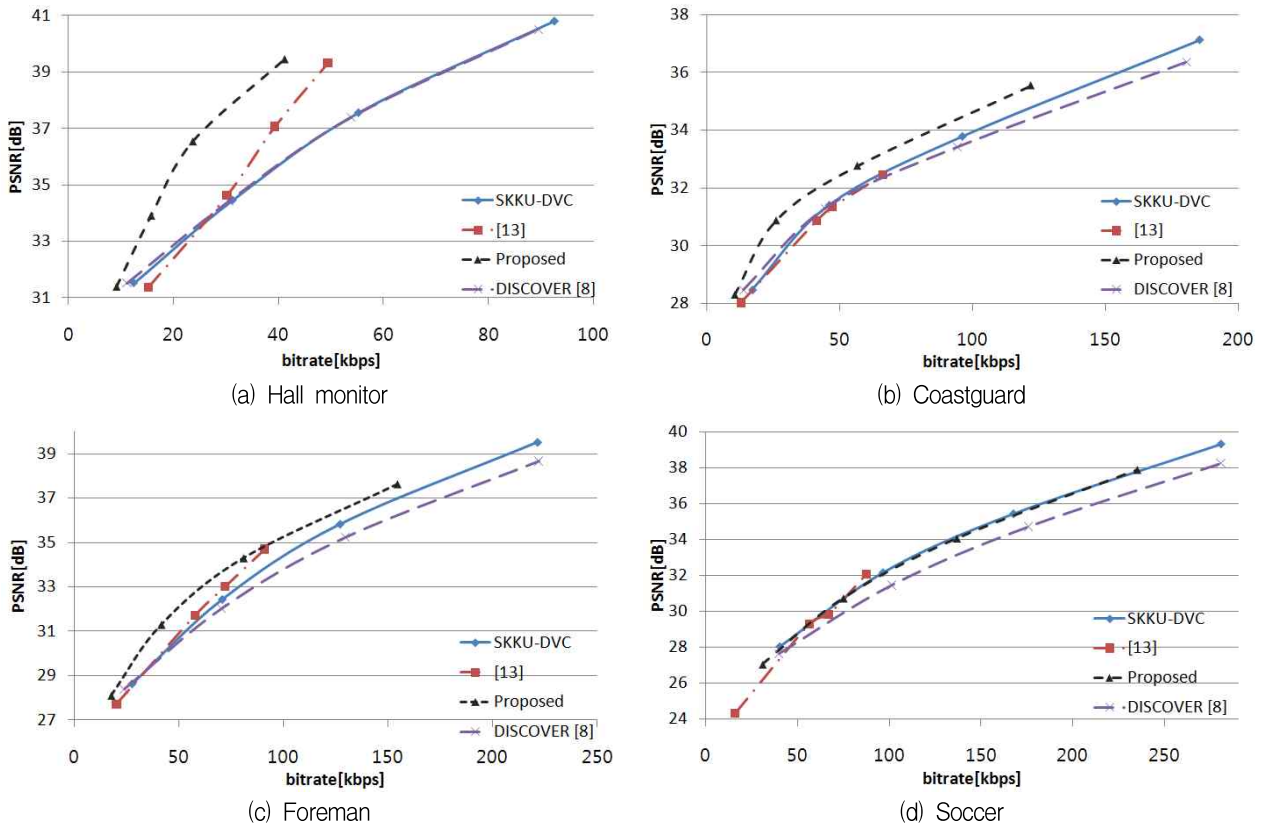


그림 4. 영상별 윌 왜곡 성능 그래프  
 Fig. 4. Rate-distortion curves of test sequences.

16]에서 사용한 SKKU-DVC이다. SKKU-DVC에 제안 방법과 [13]의 기술을 적용한 결과를 비교하였다. [13]의 기술에서 잔차 신호를 구하는 방법은 제안 방법과 동일하게 이웃하는 키 프레임의 평균값과의 차로 구하였다. 실험에 사용한 영상은 Hall monitor, Coastguard, Foreman, Soccer 영상의 휘도 성분(Luminance)이다. 영상들은 각각 150 프레임씩이고, Hall monitor의 경우에만 165 프레임이다. 영상의 크기는 모두 QCIF이고 프레임 윌은 15Hz이며 GOP의 크기는 2(I-WZ)이다. 양자화 행렬은 QM1, QM5, QM7, QM8을 사용하였고, 이에 상응하는 키 프레임의 QP은 [12]와 동일하다. 따라서 Hall monitor 영상은 37, 33, 29, 24; Coastguard 영상은 38, 33, 30, 26; Foreman 영상은 40, 34, 29, 25; 그리고 Soccer 영상은 44, 36, 31, 25로 QP를 설정하여 실험하였다. 실험을 통하여 변환영역 WZ 부호화 기술과 제안한 양자화를 사용한 WZ 잔차 신호 부호화 기술의 성능을 비교하였으며, 결과는 WZ 프레임에 대한 결과이다.

2. 실험 결과

표 3은 윌 왜곡 성능에 기반한 BDBR과 BDPSNR의 결과를 보여준다. 제안 방법은 영상의 특성에 따라 결과가 크게 차이가 발생하였는데, 움직임이 적은 Hall monitor 영상에서는 BDBR로 -43.73%, BDPSNR에서는 2.88dB라는 큰 성능 이득이 있었다. 영상에 움직임이 다소 포함된 Coastguard와 Foreman은 약 20%대의

표 3. 실험 결과 (BDBR, BDPSNR)  
 Table 3. Experimental result. (BDBR, BDPSNR).

영상	제안 방법		[13]의 방법	
	BDBR (%)	BDPSNR [dB]	BDBR (%)	BDPSNR [dB]
Hall monitor	-43.73	2.88	-11.01	0.31
Coastguard	-25.48	0.88	6.53	-0.31
Foreman	-20.15	1.11	-6.13	0.33
Soccer	1.04	-0.07	3.87	0.05
Average	-22.08	1.20	1.69	0.10

표 4. 제안 방법과 기존방법[13]의 양자화 결과 분석

Table 4. The analysis of quantization results of [13] and the proposed method.

영상	성분	WZ 부호화			제안 방법			[13]		
		양자화 레벨 (M 비트)	주파수 밴드 범위	양자화 스텝 크기	양자화 레벨 (M 비트)	주파수 밴드 범위	양자화 스텝 크기	양자화 레벨 (M 비트)	주파수 밴드 범위	양자화 스텝 크기
Hall monitor	DC	128(7bit)	[0, 1024]	8	4(2bit)	[-12, 22]	9	32(5bit)	[-12, 22]	2
	AC1	64(6bit)	[-306, 306]	10	2(1bit)	[-14, 14]	14	16(4bit)	[-14, 14]	1
	AC3	32(5bit)	[-275, 275]	18	2(1bit)	[-19, 19]	19	8(3bit)	[-19, 19]	5
	AC6	16(4bit)	[-83, 83]	11	2(1bit)	[-10, 10]	10	4(2bit)	[-10, 10]	5
	AC10	8(3bit)	[-57, 57]	15	2(1bit)	[-10, 10]	10	4(2bit)	[-10, 10]	5
	AC13	4(2bit)	[-42, 42]	21	2(1bit)	[-10, 10]	10	4(2bit)	[-10, 10]	5
Soccer	DC	128(7bit)	[0, 1024]	8	64(6bit)	[-453, 286]	12	32(5bit)	[-453, 286]	24
	AC1	64(6bit)	[-236, 236]	8	64(6bit)	[-258, 258]	9	16(4bit)	[-258, 258]	33
	AC3	32(5bit)	[-98, 98]	7	32(5bit)	[-146, 146]	10	8(3bit)	[-146, 146]	37
	AC6	16(4bit)	[-57, 57]	8	16(4bit)	[-62, 62]	8	4(2bit)	[-62, 62]	31
	AC10	8(3bit)	[-38, 38]	10	8(3bit)	[-54, 54]	14	4(2bit)	[-54, 54]	27
	AC13	4(2bit)	[-28, 28]	65	4(2bit)	[-44, 44]	22	4(2bit)	[-44, 44]	22

BDBR 이득과 약 1dB의 BDPSNR 이득이 있었다. 반면, 가장 움직임이 많은 Soccer의 경우 이득이 없었다. [13]의 방법은 움직임이 적은 Hall monitor에서 비교적 좋은 성능 이득이 있었고, 전체적으로 BDBR -1.69%, BDPSNR 0.1 dB의 평균 성능 이득이 있다.

서로 다른 양자화 행렬에 따른 특성 변화를 관측하기 위해 그림 4의 윗 왜곡 그래프를 보면, [13]은 움직임이 적은 영상에 맞춰 설계하였기 때문에 Hall monitor에서는 적절하게 비트율이 줄고 성능 이득이 있지만, 움직임이 많은 영상에서는 PSNR의 손실이 상대적으로 커서 성능 이득이 없다. 하지만 제안방법은 적응적으로 변화하기 때문에 영상의 특성에 ([13]과 같이) 큰 영향을 받지 않고, 전체적으로 성능이 크게 향상 되었다.

제안 방법이 움직임이 적은 영상에서 좋은 성능을 보이는 이유는 이러한 영상의 잔차 신호가 WZ 프레임과 높은 상관도를 가져서 주파수 밴드 범위를 상당히 낮추기 때문이다. 줄어든 성분 범위는 제안한 방법을 거쳐 WZ 부호화 기술보다 더 적은 비트로 양자화를 한다. 원본 신호의 양자화 스텝 크기보다 크지만 유사한 스텝 크기로 양자화를 하더라도 잔차 신호에 더 적은 양자화 비트를 할당하기 때문에, 복호화기에서 요청하는 패리티 자체가 크게 줄게 된다. 표 4는 WZ 부호화 기술과 제안 방법에서의 양자화 결과를 성능 이득이 가장 큰

Hall monitor와 이득이 없었던 Soccer 영상의 첫 번째 프레임을 비교한 결과이다. Hall monitor의 경우 주파수 밴드 범위가 크게 줄어서, 양자화에 쓰이는 비트 역시 크게 감소한 것을 알 수 있다. 그 결과 WZ 부호화와 비교시 많은 비트를 절약하여 양자화 비트를 줄인 것을 알 수 있다. 특히 AC6, AC10과 AC13의 경우 1비트 양자화로 WZ 부호화보다 더 작은 양자화 스텝 크기를 가지고 있다. 반면, Soccer의 경우에는 주파수 밴드의 범위가 전체적으로 증가하여 DC 성분을 제외하고 양자화에 이득을 본 비트가 전혀 없다. AC 성분의 대부분은 같은 양자화 레벨로 더 큰 스텝 크기를 가지기 때문에 PSNR값이 약간 감소하는 결과가 나타났다. 하지만 거의 성능 저하가 발생하지 않았기 때문에, 제안 방법은 키 프레임과의 상관도가 떨어지고, 움직임이 많은 영상에도 적용 가능하다. 반면에, 표 4와 같이, [13]의 기술은 비교적 움직임이 적은 영상의 실험적 결과에 기반해 양자화 행렬이 설계되었기 때문에, Hall monitor와 Soccer 등의 영상에서 특성을 잘 반영하지 못하고 있음을 확인할 수 있다.

## V. 결론

키 프레임과 WZ 프레임간의 높은 상관도에도 불구하고

하고, WZ 잔차 신호 부호화에 기존의 양자화 기술을 적용하면 큰 성능 저하가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 WZ 잔차 신호 적응적 양자화 기법을 제안하였다. 제안 방법은 움직임이 적은 영상에서 큰 성능 이득을 얻을 수 있었으며, 움직임이 많은 영상에서는 성능 손실이 거의 없었다. 이러한 실험 결과는 제안한 기술이 영상의 특성에 적응적으로 양자화를 수행한다는 것을 보여준다. 그동안 WZ 부호화 기술은 일반적으로 GOP의 크기가 2인 I-WZ 환경에서만 적용되던 한계가 있었다. 하지만 제안한 방법이 WZ 프레임의 부호화 성능을 크게 향상시키기 때문에, WZ 부호화 기술의 GOP의 크기가 2 이상인 경우에 큰 효과를 볼 것으로 기대되며, 이에 관한 연구가 추가적으로 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Slepian and J. K. Wolf, "Noiseless Coding of Correlated Information Source," IEEE Trans. on Information Theory, vol. IT-19, no. 4, pp. 471-480. July 1973.
- [2] A. Wyner and J. Ziv, "The Rate-distortion Function for Source Coding with Side Information at The Decoder," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 22, pp. 1-10, July 1976.
- [3] A. Aaron, R. Zhang, and B. Girod, "Wyner-Ziv Coding of Motion Video," Proc. of Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp. 240-244, Pacific Grove, CA, USA, November 2002.
- [4] R. Puri and K. Ramchandran, "PRISM: A New Robust Video Coding Architecture Based on Distributed Compression Principles," Proc. of 40th Allerton Conference on Communication, Control and Computing, pp. 1-10, Allerton, USA, October 2002.
- [5] D. J. C. Mackay, "Good error-correcting codes based on very sparse matrices," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 45, pp. 399-431, Mar. 1999.
- [6] B. Ko, J. Sim, and B. Jeon, "Wyner-Ziv Video Coding with Side Matching for Improved Side Information," Pacific-rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT). vol.4872, pp.816-825, Dec. 2007.
- [7] A. Aaron, D. Varodayan and B. Girod, "Wyner-Ziv residual coding of video," Proc. of Picture Coding Symposium, PCS-2006, Beijing, China, April 2006.
- [8] C. Brites, J. Ascenso, and F. Pereira, "Improving transform domain Wyner-Ziv coding performance," Proc. of IEEE International Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 525-528, Toulouse, France, May 2006.
- [9] Jui-Chiu Chiang, Kuan-Liang Chen, Chang-Ming Lee, Wen-Nung Lie, "Improved Frame/Block Based Wyner-Ziv Residual Video Coding," Pervasive Systems, Algorithms, and Networks (ISPAN), 2009 10th International Symposium on 14-16 Dec. 2009.
- [10] Wang Anhong, Zhao Yao, Pan Jeng-Shyang, "Residual Distributed Video Coding Based on LQR-Hash," Chinese Journal of Electronics Vol.18, No.1, Jan. 2009.
- [11] Zhipeng Jin, et. al, "Wyner-Ziv Residual Coding for Wireless Multi-View System," Proc. of Visual Communications and Image Processing 2007.
- [12] X. Artigas, J. Ascenso, M. Dalai, S. Klomp, D. Kubasov, M. Ouaret, "The discover codec: architecture, techniques and evaluation," proc. of Picture Coding Symposium, 2007.
- [13] M.B.Baden, H.Kodikara Arachchi, S.T.Worrall, A.M.Kondoz, "Transform Domain Residual Coding Technique for Distributed Video Coding" Proc. of Picture Coding Symposium, 2007.
- [14] 고봉혁, 심혁재, 전병우, "센서네트워크상의 응용을 위한 터보 복호화 오류정정기법을 이용한 경량화 비디오 부호화 방법," 전자공학회논문지, 제 45권, SP편, 제 1호, 11-21쪽, 2008년 1월.
- [15] 박천호, 심혁재, 전병우, "잡음 모델 선택을 이용한 Wyner-Ziv 비디오 압축," 전자공학회논문지, 제 46권, 제 4호, 58-66쪽, 2009년 7월.
- [16] 오양근, 심혁재, 전병우, "적응적 경관정 출력을 이용한 고속 분산 비디오 복호화 기술," 전자공학회 논문지, 제 47권, SP편, 제 6호, 66-74쪽, 2010년 11월.



## — 저 자 소 개 —



조 현 명(학생회원)  
2010년 건국대학교 전자공학과  
졸업 (학사).  
2009년~현재 성균관대학교 정보  
통신공학부 석사과정  
<주관심분야: 멀티미디어 영상압  
축, 신호처리>



전 병 우(정회원)  
1985년 서울대학교 전자공학과  
졸업 (학사).  
1987년 서울대학교 전자공학과  
졸업 (석사).  
1992년 Purdue Univ, School of  
Elec. 졸업 (공학박사)  
1993년~1997년 삼성전자 신호처리연구소  
수석연구원  
1997년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수  
<주관심분야 : 멀티미디어 영상압축, 영상인식,  
신호처리>



심 혁 재(학생회원)  
2000년 성균관대학교 전자공학과  
졸업 (학사).  
2002년 성균관대학교 정보통신  
공학부 졸업 (석사).  
2002년~현재 성균관대학교 정보  
통신공학부 박사과정  
<주관심분야 : 멀티미디어 영상압축, 신호처리>