

# 예측오차 분포의 집중화를 이용한 비트율 개선

김형철, 조제황  
동신대학교 전기전자공학과

## Improvement of Bit Rate Using Concentration of the Distribution of Prediction Errors

HyungCheol Kim, CheHwang Cho  
Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.  
chcho@dongshinu.ac.kr

### 요 약

기존의 DPCM에 의한 압축방법은 예측오차를 양자화하여 전송한 후 복원하는 것으로 8레벨로 양자화하는 경우 3bpp의 비트율을 갖는다. 본 논문에서는 화소값의 압축에 의해 기존의 DPCM보다 예측오차값의 분포를 0을 중심으로 더 집중시킴으로써 더 낮은 비트율을 갖는 압축방법을 제안한다. 압축된 각 화소의 예측오차값은 DPCM방법에 의해 8-레벨로 양자화되고, 양자화된 예측오차의 양을 4와 2 단위로 분할하여 예측오차의 학습된 양으로 구성된 각각의 코드북과 비교한다. 비교 결과 코드북의 주소를 생성하여 전송하고, 복원시 화소값을 확장한다. 제안된 방법은 DPCM방법보다 2.4~4.06dB 낮은 복원 영상의 화질을 보이지만, 비트율은 2.17~2.31bpp를 얻음으로써 0.66~0.83bpp정도 개선할 수 있다.

### 1. 서 론

영상신호의 압축방법 중 화면내의 공간적 상관관계를 이용한 예측 부호화는 화소들간의 상관관계가 높은 점을 고려하여 현재 부호화된 화소의 값과 이미 부호화된 인접 화소값들로부터 구한 예측값과의 차인 예측오차를 양자화하여 전송하는 방법이다. 예측 부호화의 대표적인 방법인 DPCM(Differential Pulse Code Modulation)은 예측오차를 8-양자화 레벨로 양자화하는 경우, 3bpp(bit per pixel)의 비트율을 갖는다[1][2].

본 논문에서는 예측오차의 분포가 0을 중심으로 집

중되도록 위해서 화소값을 선처리한 후, 양자화된 예측오차의 일정한 양을 하나의 벡터로 취급하고, 발생 빈도가 큰 예측오차의 양을 코드북으로 한 코드북을 사용하여 기존 DPCM 보다 비트율을 낮추고자 한다. 코드북의 설계시 수신단에서의 비트 영의 동기화 문제를 고려하여 4-코드북과 2-코드북을 모두 포함하도록 하고, 계산량과 비트율이 가장 적은 경우에 해당하는 코드북의 크기를 선택한다.

### II. DPCM과 코드북의 선택

제안된 방법에서는 먼저 예측오차의 분포가 0을 중심으로 집중될 수 있도록 선처리 과정에서 영상 내의 모든 화소값을 압축하고, DPCM을 적용하여 현재의 화소값과 과거의 값들로부터 예측된 화소값을 구한다.

$$\hat{x}_m = \sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i x_i \quad (1)$$

여기에서  $\alpha_i$ 는 예측계수,  $x_i$ 은 예측에 사용된  $i$ 번째 화소,  $\hat{x}_m$ 은  $m$ 번째 예측화소이다.

영상의 1행과 1열의 화소에 대해서는 1차, 1D 예측기를 나머지 화소에 대해서는 3차, 2D 예측기를 사용하였으며, 보편적으로 사용되는 예측기는 다음과 같다[3].

$$\hat{x}_m = 0.97A \quad \text{혹은} \quad \hat{x}_m = 0.97C \quad (2)$$

$$\hat{x}_m = 0.75A - 0.50B + 0.75C \quad (3)$$

예측기를 통과한 후 발생하는 예측오차는 다음과 같으며,

$$e_m = x_m - \hat{x}_m \quad (4)$$

여기서  $x_m$ 은 전처리된 원 화소값을 나타낸다.

양자화기는 양자화될 신호( $e_m$ )와 양자화된 신호( $e^*_m$ )와의 평균 왜곡  $E[(e_m - e^*_m)^2]$ 이 최소가 되도록 설계된다. 8-레벨 Lloyd-Max 양자화기를 거쳐 양자화된 예측오차( $e^*_m$ )는 일정크기의 열로 나누어 하나의 벡터로 취급할 수 있으며, 이러한 벡터는 반복되는 예측오차 열을 대표하는 코드벡터로 구성된 코드북을 사용하여 예측오차 열의 중복성을 제거한다.

보다 일반적인 분포를 얻기 위해 256그레이 레벨을 갖는  $512 \times 512$ 화소의 영상 20개를 사용하여 각 화소에 대한 예측오차의 분포를 구한다.

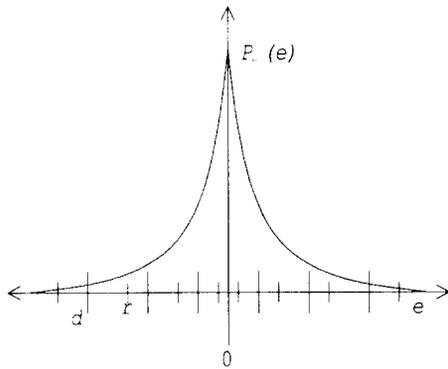


그림 1. 8-레벨 Lloyd-Max 양자화기

그림 1은 표1과 같이 8-레벨의 인덱스( $i$ ) 그리고 간격  $d_i$ 와  $d_{i+1}$  사이의 중앙값  $r_i$ 을 갖는 8-레벨 Lloyd-Max 양자화기이며,  $P_e(e)$ 은 확률 밀도이다.

표 1. 20개 영상에 대한 8-레벨 Lloyd-Max 양자화기

$i$	$(d_i, d_{i+1})$	$r_i$
0	-255, -9	-11
1	-9, -5	-6
2	-5, -2	3
3	2, 0	-1
4	0, 1	0
5	1, 4	2
6	4, 9	5
7	9, 255	10

입력된 영상은 전처리 과정 후 예측기와 양자화기를 거쳐 첫 번째 부호화기에서 양자화된 예측오차의 인덱스를 버퍼에 보내고, 인덱스는 일정 크기의 열로 저장된다. 저장된 열을 두 번째 부호화기에서 코드북의 코드벡터와 비교하여 일치하는 경우에는 코드벡터의 주소를 전송하며[4]-[6], 수신단에서는 송신단에서의 역과성을 수행하여 영상을 복원한다.

송신단과 수신단에서 사용될 코드북은 수신단에서 전송된 코드북 주소 비트 열의 동기화 문제를 고려하여 코드벡터의 원소가 4와 2인 경우를 모두 포함하게 설계되며, 양자화된 예측오차의 열, 즉 8-레벨 인덱스의 열의 수가 가장 많이 반복되는 순서로 코드북을 설계하여 비교하는 회수를 줄인다. 코드북의 코드벡터와 일치하는 양자화된 예측오차의 열의 수가 많을수록 비트율이 낮아지므로 적절한 코드북의 설계가 그 성능을 좌우한다. 코드북의 각 코드벡터와 일치하는 코드내의 화소의 비트율은 표 2와 같다.

표 2. 코드북 크기에 따른 선택 순서와 비트율

No.	codebook size			bpp	
	total	4-code	2-code	4-code	2-code
1	128	64	64	1.75	3.5
2	256	192	64	2.00	4.0
3	512	448	64	2.25	4.5

먼저 양자화된 예측오차의 열의 크기가 4인 코드의 비트율을  $BIT_1$ , 화소개수를  $num_1$ , 열의 크기가 2인 경우의 비트율을  $BIT_2$ , 화소개수를  $num_2$ 라고 했을 때 각 코드의 형태에 따른 비트율은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$bpp = \frac{\sum_{i=1}^2 BIT_i \times num_i}{512^2} \quad (5)$$

비트율의 설정은 사용되는 각 코드북의 크기와 효율성에 따라 있으므로 코드북을 선택할 때 코드벡터의 종류를 원소가 4와 2인 경우만을 선택하며, 이는 기존 DPCM 방법을 사용하여 전송하는 경우를 코드북에 포함할 때 7bpp 이상이 되어 전체 비트율이 높아지므로 이 경우를 제외하기 위해서 코드북 내의 2-코드 벡터의 개수를 64로 고정하여 선택한다.

여기서 예측오차 열의 크기를 4와 2로 제한한 이유는 그림 2과 같은 분포에서의 8, 16 등과 같은 열의 빈도수는 낮게 나타나는 것과, 비교 계산량이 증가되기 때문이다. 따라서 그림 2의 분포가 0을 중심으로 더 심

중되어 양자화 레벨을 줄일 수 있거나 비교 계산량의 증가를 감수하는 경우 비트율이 현저히 낮아질 것으로 기대된다.

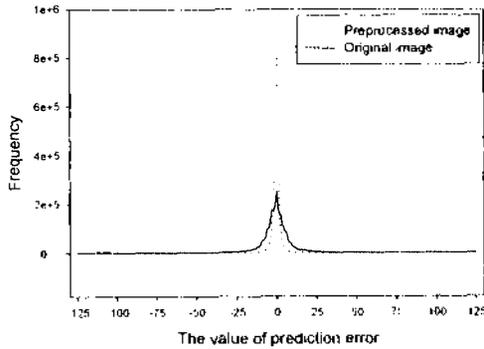


그림 2. 20개 영상에 대한 예측오차의 분포

### III. 실험 및 결과

본 실험에서는 미리 생성된 20개 영상에 대한 전역 코드북을 사용하여 표 2와 같은 순서를 따르며, 이는 수신된 비트 열의 동기화 문제를 고려하여 가장 효율적인 코드북을 선택하기 위해서이다.

입력된 영상은 예측기와 양자화기를 거쳐 순차적으로 양자화된 신호를 발생하는데 각 신호에 대응되는 예측오차를 크기가 4인 열로 나누고 코드벡터의 원소가 4인 코드북과 비교하여 일치하는 코드벡터의 주소를 전송한다. 해당하는 코드벡터가 없을 경우 다시 크기가 2인 열로 분할하여 코드벡터의 원소가 2인 코드북과 비교한 후 그 주소를 전송한다. 따라서 사용되는 코드북의 크기에 따라 비트율과 계산량이 결정된다.

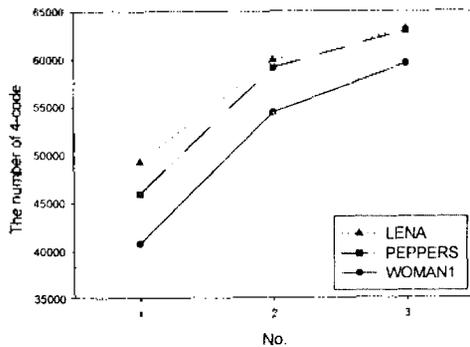


그림 3. 코드북과 일치하는 4-코드 개수

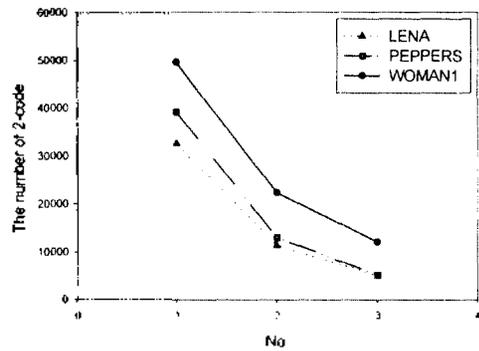


그림 4. 코드북과 일치하는 2-코드 개수

그림 3과 4는 코드북의 코드벡터와 일치하는 4-코드와 2-코드의 개수를 나타내며, 서로 반비례 관계에 있음을 알 수 있다. 따라서 코드북의 코드벡터와 일치하는 4-코드의 개수가 비트율을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 그림 5는 표 2의 선택 순서에 따라 제안된 방법의 비트율을 나타내며, No. 2에서 LENA영상의 경우 2.17bpp, PEPPERS영상에서는 2.20bpp, WOMAN1영상에서는 2.34bpp로 기존의 DPCM을 사용했을 때의 전송률인 3bpp보다 낮게 나타난다.

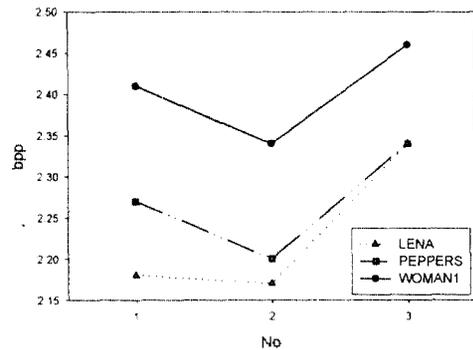


그림 5. 코드북에 따른 각 영상의 비트율

그림 6은 DPCM과 제안된 방법의 PSNR을 나타낸 것으로 Image No. 1은 LENA영상, No. 2는 PEPPERS영상, No. 3은 WOMAN1영상의 PSNR이며, 기존의 DPCM과 비교했을 때 2.1~4.06dB 정도 낮아진다. 그림 7은 실험 결과를 비교하기 위해 원 영상과 복원 영상을 제시한다.

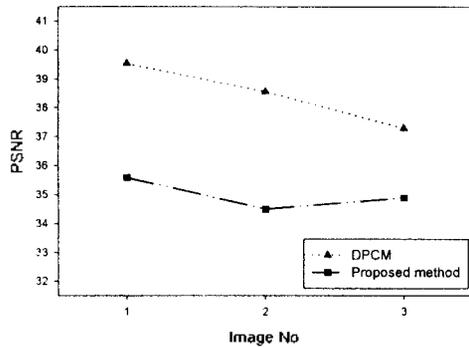


그림 6. DPCM과 제안된 방법의 PSNR



(a) Original LENA 영상



(b) 복원된 LENA 영상  
(PSNR=35.58dB)

그림 7. 복원된 LENA 영상

#### IV. 결 론

기존의 DPCM에서는 임의의 양자화 레벨에 의해 양

자화된 신호를 그대로 전송함으로써 화소마다 순차적으로 발생하는 양자화된 예측오차의 중복성을 제거할 수 없으나 제안된 방법에서는 자주 반복되어 나타나는 예측오차의 열을 코드벡터로 하는 코드북을 사용하여 양자화된 신호의 중복성을 제거할 수 있다.

코드북의 크기를 선택할 때에는 비트율과 효율성을 고려하여야 한다. 코드북의 크기가 클 경우에는 코드북의 코드벡터와 일치하는 코드 개수는 증가하지만 전송하는 코드북 주소의 비트수가 증가하여 전체 비트율이 높아지며, 코드북의 크기가 작은 경우에는 코드북의 코드벡터와 일치하는 코드 개수가 감소하여 간과적으로 비트율이 높아진다. 따라서 비트율이 크게 높아지지 않고 계산량이 적은 경우의 코드북을 선택하여야 한다.

제안된 방법의 효율성을 높이기 위해서는 양자화 레벨을 낮추어 예측오차 열의 중복성을 더욱 증가시키도록 해야 하는데 이 경우, 기존 DPCM 적용에서 알 수 있는 바와 같이 bpp는 낮출 수 있지만 복원 영상의 PSNR도 낮아지는 문제가 있다. 따라서 그림 3에 수이진 예측오차 분포에서 0을 중심으로 다 집중되는 분포를 얻을 수 있다면 양자화 레벨을 낮추더라도 PSNR은 적절히 유지하면서 bpp를 낮출 것으로 예상된다. 따라서 제안된 방법의 효율성은 이러한 예측오차 분포에 적용할 때 더 향상되리라 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. Chi-Yuan Chang and Jin-Jang Leou, "Detection and Elimination of 2-D transmission error patterns in DPCM images," *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 44, no. 1, pp. 1251-1256, Oct. 1996.
2. Wilmut Zschunke, "DPCM picture coding with adaptive prediction," *IEEE Trans. Comm.*, COM-25, pp. 1295-1302, Nov. 1977.
3. M. Rabbani and P. W. Jones, *Digital Image Compression Techniques*, SPIE Press, pp. 79-101, 1991.
4. L. Torres and J. Huguet, "An improvement on codebook search for vector quantization," *IEEE Trans. Comm.*, COM-42, pp. 208-210, 1994.
5. R. M. Gray, "Vector quantization," *IEEE ASSP Magazine*, pp. 4-29, Apr. 1984.
6. Y. Linde, A. Buzo and R. M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Trans. Comm.*, COM-28, pp. 84-95, 1980.