

예측오차 열의 중복성 제거에 의한 비트율 개선

Improvement of Bit Rate by Removing the Repeated Sequences of Prediction Errors

김형철*, 조제황*

(Hyung Cheol Kim*, Che Hwang Cho*)

요약

본 논문에서는 기존의 DPCM에 의한 압축방법보다 더 낮은 비트율을 갖는 압축방법을 제안한다. 각 화소의 예측오차 값은 DPCM방법에 의해 양자화되고, 양자화된 예측오차의 열은 예측오차의 학습된 열로 구성된 코드북과 비교된다. 비교 과정은 벡터양자화 방법과 동일하고, 그 결과 코드북의 주소들을 생성한다. 제안된 방법은 DPCM과 동일한 복원 영상의 화질을 보이지만, 더 낮은 비트율을 얻을 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we propose one new compression method to get lower bit rate than the convenient compression method by DPCM. The prediction errors of each pixel are quantized by DPCM, and the sequences of quantized prediction errors are compared with the codebook which is designed from train sequences of those. The process of comparison is equal to that of a vector quantization, the results of comparison generate the address of the codebook. The proposed method has the quality of a restored image same as the DPCM, but can obtain lower bit rate than that.

I. 서론

영상신호의 압축방법에는 공간적 상관관계를 이용한 예측부호화 방법과 영상을 상관관계가 줄어든 영역으로 변환하여 부호화 하는 변환부호화 방법과 이 두 방식을 조합한 복합부호화 방법 등이 있다. 예측부호화는 화소들간의 상관관계가 높은 짐을 고려하여 현재 부호화될 화소의 값과 이미 부호화된 인접 화소값들로부터 구한 예측값과의 차인 예측오차를 양자화하여 전송하는 방법으로 예측오차의 분산이 원래 영상신호의 분산에 비해 적어진다는 짐을 이용하는 것이다. 예측부호화는 크게 무손실 예측부호화와 손실 예측부호화로 나눌 수 있으며, DPCM(Differential Pulse Code Modulation)은 예측부호화의 대표적인 방법으로써 예측오차를 8-양자화 레벨로 양자화하는 경우, 3bpp(bit per pixel)의 비트율을 갖는다[1]-[3].

본 논문에서는 양자화된 예측오차의 일정한 열을 하나의 벡터로 취급하고, 발생 빈도가 큰 예측오차의 열을 코드 벡터로 한 코드북을 사용하여 기존 DPCM 보다 비트율을 낮추고자 한다. 또한 4-코드벡터와 2-코드벡터의 주소들을 전송한 후 수신단에서의 비트 열의 동기화 문제를 고려하여 4-코드벡터와 2-코드벡터를 모두 포함하는 코드북

을 설계한다. 그 결과 기존 DPCM을 적용한 경우와 동일한 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)의 복원 영상을 얻지만, 비트율은 0.18~0.5bpp 정도 낮출 수 있다.

송신단과 수신단에서 사용되는 코드북은 예측오차의 열과 비교하는 과정에서 계산량으로 인해 비교속도에 영향을 미치게된다. 따라서 계산량과 비트율이 가장 적은 경우에 해당하는 코드북의 크기를 선택함으로써 이러한 문제점을 줄일 수 있다.

II. DPCM 방법

DPCM은 화소간의 상관관계를 이용하여 현재의 화소 값과 과거의 값들로부터 예측한 값과의 차인 예측오차를 양자화하여 전송하는 것으로 예측된 화소값은 다음과 같다.

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

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

DPCM의 성능은 예측기와 양자화기의 설계에 따라 좌우되는데, 예측기는 평균자승 예측오차가 최소화되도록 설계한다[4]. 영상의 1행과 1열의 화소에 대해서는 1차, 1D 예측기를 나머지 화소에 대해서는 3차, 2D 예측기를 사용

* 동신대학교 전기전자공학과
접수일자 : 1998년 8월 24일

하였으며, 보편적으로 사용되는 예측기는 다음과 같다[5].

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

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

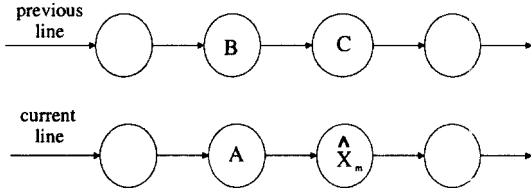


그림 1. 예측기에 사용된 화소 분포
Fig. 1. Pixel distribution used in a predictor.

예측기를 통과한 후 발생하는 예측오차는 다음과 같으며,

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

여기서 x_m 은 원 화소값을 나타낸다.

양자화기는 양자화된 신호(e_m)와 양자화된 산호(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 있다. 이러한 벡터는 반복되는 예측오차의 열을 대표하는 코드벡터로 구성된 코드북을 사용하여 예측오차 열의 중복성을 제거한다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 방법의 블록도이다. 입력

된 영상은 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[6]-[8], 수신단에서는 송신단에서의 역과정을 수행하여 영상을 복원한다.

III. 코드북에 따른 비트율 계산

보다 일반적인 분포를 얻기 위해 표 1에 주어진 것과 같이 256그레이 레벨을 갖는 512×512 화소의 영상 20개를 사용하여 그림 3과 같이 각 화소에 대한 예측오차의 분포를 구한다. 그림 4는 표 2와 같이 8-레벨의 인덱스(i) 그리고 간격 d ,와 d_{i+1} 사이의 중앙값 r ,을 갖는 8-레벨 Lloyd-Max 양자화기이며, $P_e(e)$ 은 확률 밀도이다. 송

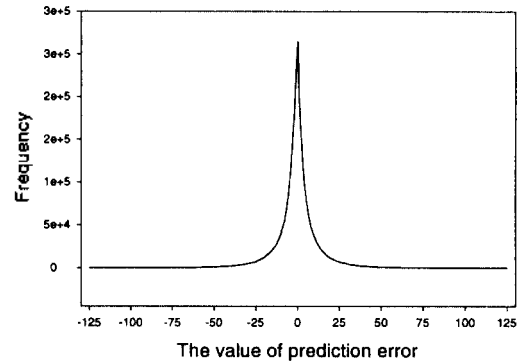


그림 3. 20개 영상에 대한 예측오차의 분포
Fig. 3. The distribution of prediction error for 20 images.

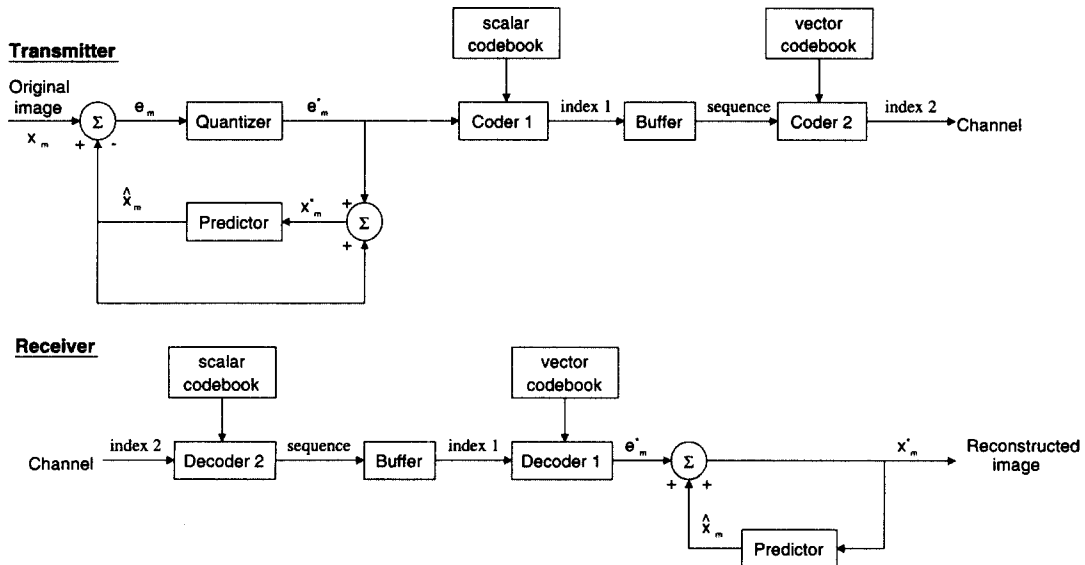


그림 2. 제안된 DPCM 블록도
Fig. 2. The block diagram of the proposed DPCM.

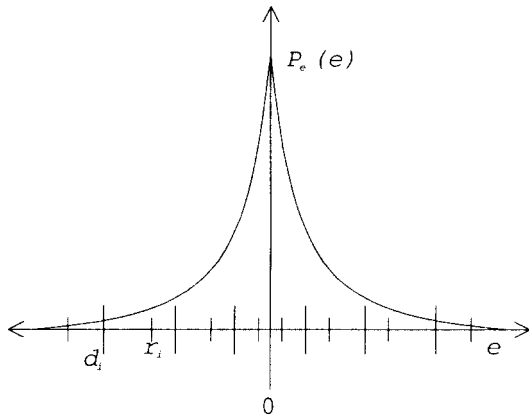


그림 4. 8-레벨 Lloyd-Max 양자화기
Fig. 4. 8-level Lloyd-Max quantizer.

4와 2인 두 가지에 대해 설계되는데, 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 비트율은 낮아지므로 적절한 코드북의 설계가 그 성능을 좌우한다.

표 1. 시험 영상
Table 1. Test images.

No.	Name	No.	Name
1	AIRFIELD	11	LAX
2	AIRPLANE	12	LENA
3	BARB	13	MAN
4	BOAT	14	MANDRILL.S
5	BRIDGE	15	MILKDROP
6	CLOTH	16	PEPPERS
7	COUPLE	17	SPACE
8	CROWD	18	WOMAN1
9	GOLDHILL	19	WOMAN2
10	LAKE	20	ZELDA

표 2. 20개 영상에 대한 8-레벨 Lloyd-Max 양자화기
Table 2. 8-level Lloyd-Max quantizer for 20 images.

i	(d_i, d_{i+1})	r_i
0	-255, -50	-63
1	-50, -29	-36
2	-29, -17	-21
3	-17, -8	-12
4	-8, -1	-4
5	-1, 8	2
6	8, 28	14
7	28, 255	42

코드북이 생성된 후 입력된 영상신호는 예측기와 양자화기를 통과하고, 양자화된 예측오차는 열의 크기가 4와 2인 2가지의 코드로 분류되고, 미리 생성된 코드북을 사용하여 예측오차의 열과 일치하는 코드북의 코드벡터를 찾는다. 코드북의 각 코드벡터와 일치하는 코드내의 화소의 비트율은 표 3과 같다.

표 3. 코드의 비트율
Table 3. Bit rate of code.

코드북 크기	비트율 (bpp)	
	4-code	2-code
128	1.75	3.5
256	2.00	4.0
512	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 결정은 사용되는 각 코드북의 크기와 효율성에 달려있으므로 코드북을 선택할 때 기존 DPCM 방법을 사용하여 전송하는 경우 7bpp 이상이 되어 전체 비트율이 높아지므로 이 경우를 제외하기 위해서 코드북 내의 2-코드벡터의 개수를 64로 고정하여 선택한다.

여기서 예측오차 열의 크기를 4와 2로 제한한 이유는 그림 3과 같은 분포에서의 8, 16 등과 같은 열의 빈도수는 낮게 나타나는 것과, 비교 계산량이 증가되기 때문이다. 따라서 그림 3의 분포가 0을 중심으로 더 집중되어 양자화 레벨을 줄일 수 있거나 비교 계산량의 증가를 감수하는 경우 비트율이 현저히 낮아질 것으로 기대된다.

IV. 실험 및 결과

본 실험에서는 미리 생성된 20개 영상에 대한 전역 코드북을 사용하여 표 4와 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.

표 4. 코드북의 선택 순서

Table 4. The selection order of codebooks.

No.	codebook size		
	total	4-code	2-code
1	128	64	64
2	256	192	64
3	512	448	64

그림 5와 그림 6은 코드북의 코드벡터와 일치하는 4-코드와 2-코드의 개수를 나타내고, 그림 7은 AIRPLANE, LENA, AIRFIELD 영상에 대해 표 4의 선택 순서에 따라 제안된 방법의 비트율을 나타낸다.

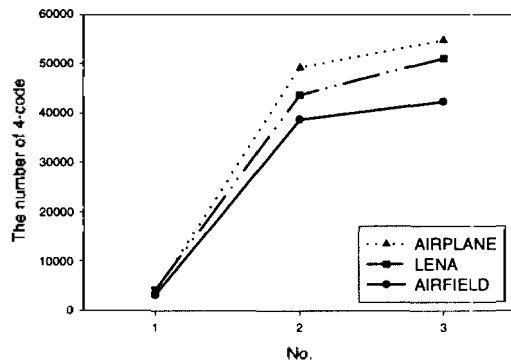


그림 5. 코드북과 일치하는 4-코드 개수
Fig. 5. The number of 4-code equaling codebooks.

비트율은 AIRPLANE 영상의 경우 No. 2에서 2.50bpp, LENA 영상의 경우 2.62bpp, AIRFIELD 영상에서는 2.82bpp로 가장 낮은 비트율을 보이며, No. 1에서는 3bpp 이상으로 나타난다. No. 3에서는 AIRPLANE 영상의 경우 2.62bpp, LENA 영상의 경우 2.75bpp로 기존의 DPCM을 사용했을 때의 전송률인 3bpp보다 낮게 나타난다.

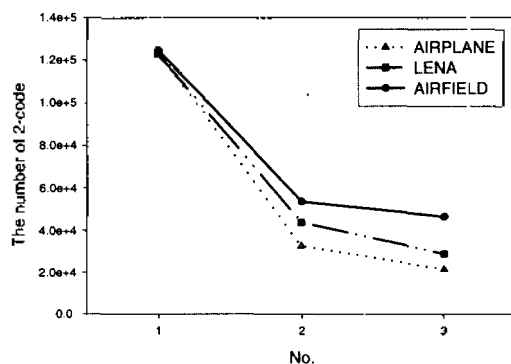


그림 6. 코드북과 일치하는 2-코드 개수
Fig. 6. The number of 2-code equaling codebooks.

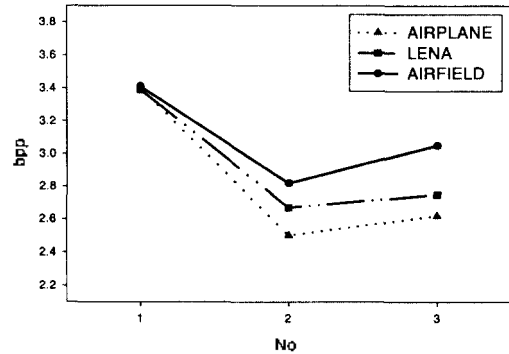


그림 7. 코드북에 따른 비트율
Fig. 7. Bit rate versus codebooks.

위의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 코드북의 크기가 클수록 표 3에서와 같이 4-코드와 2코드의 비트율이 높아져 전체 비트율은 높게 나타나고, 코드북의 크기가 작을수록 4-코드와 2코드의 비트율은 낮아지지만 코드북의 코드벡터와 일치하는 코드 개수가 감소하여 전체 비트율은 높아진다.

V. 결론

기존의 DPCM에서는 임의의 양자화 레벨에 의해 양자화된 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 높아진다. 또한 코드북의 크기가 작은 경우에는 코드북의 코드벡터와 일치하는 코드 개수가 감소하여 결과적으로 비트율이 높아진다. 따라서 비트율이 크게 높아지지 않고 계산량이 적은 경우의 코드북을 선택하여야 한다.

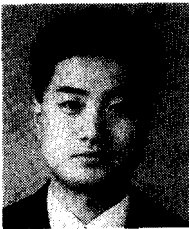
기존의 DPCM의 비트율인 3bpp와 비교하기 위해서 표 4와 같은 순서를 적용하였을 경우, No. 2에서 비트율은 AIRPLANE 영상의 경우 0.5bpp, LENA 영상의 경우 0.38bpp, AIRFIELD 영상에서는 0.18bpp가 개선된다. 제안된 방법의 효율성을 높이기 위해서는 양자화 레벨을 낮추어 예측오차 열의 중복성을 더욱 증가시키도록 해야 한다. 양자화 레벨을 낮추는 경우, 기존 DPCM 적용에서 알 수 있는 바와 같이 bpp는 낮출 수 있지만 복원 영상의 PSNR도 낮아지는 문제가 있다. 따라서 그림 3에 주어진 예측오차 분포에서 0을 중심으로 더 집중되는 분포를 얻을 수 있다면 양자화 레벨을 낮추더라도 PSNR은 적절히 유지하면서 bpp를 낮출 것으로 예상된다. 따라서 제안된 방

법의 효율성은 이러한 예측오차 분포에 적용할 때 더 향상되리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. Khalid Sayood, *Introduction to Data Compression*, Morgan Kaufmann Publishers, pp. 262-271, 1996.
2. Dhiraj K. Sharma and Arun N. Netravali, "Design of quantizers for DPCM coding of picture signals," *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-25, pp. 1267-1274, Nov. 1977.
3. 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.
4. Willmut Zschunke, "DPCM picture coding with adaptive prediction," *IEEE Trans. Comm.*, COM-25, pp. 1295-1302, Nov. 1977.
5. M. Rabbani and P. W. Jones, *Digital Image Compression Techniques*, SPIE Press, pp. 79-101, 1991.
6. L. Torres and J. Huguet, "An improvement on codebook search for vector quantization," *IEEE Trans. Comm.*, COM-42, pp. 208-210, 1994.
7. R. M. Gray, "Vector quantization," *IEEE ASSP Magazine*, pp. 4-29, Apr. 1984.
8. Y. Linde, A. Buzo and R. M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Trans. Comm.*, COM-28, pp. 84-95, 1980.

▲김 형 칠(Hyung Cheol Kim)



1997년 2월 : 동신대학교 전자공학과
졸업(공학사)

1997년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 전기
전자공학과(석사과정)

※주관심분야: 영상압축, 영상처리, 패턴인식

▲조 제 황(CheHwang Cho)

한국음향학회지 제16권 1호 참조