

이진 양자화에 의한 영상신호의
적응 예측 부호화

○ 김 용 우*

김 남 철**

*한국전기통신공사 사업지원본부 **경북대학교 전자공학과

Adaptive Predictive Coding with Two-Level Quantizer for Image

Yong Woo Kim, Nam Chul Kim

*KTA Research Center **Dept. of Electronics, Kyungpook National Univ.

Abstract

In this paper, an adaptive DPCM scheme is presented for encoding monochrome images with easy hardware implementation at a transmission rate of exactly 1 bit/pel. The system is mainly composed of a compensated mean predictor and an adaptive two-level quantizer with backward estimation. In this system, the predictor is a sort of two-dimensional ARMA predictor in which a moving-average part is added to the conventional mean predictor. The quantizer adapts to the local statistics of its input without overhead information. To reduce annoying granular noise in the reconstructed image, Lee filter is used after reconstruction in the receiver.

1. 서 론

여러가지 압축 부호화 방식중에서 예측 부호화 방식의 대표적인 DPCM(differential pulse code modulation)은 하드웨어 실현이 용이하며 실시간 처리에 적합하다는 이유로, 1952년 Cutler 에 의해 처음 제안된 이래 지금까지 활발히 연구되어 왔다. 특히, 최근에 여러가지 적응 예측 및 3-5 레벨의 양자화기를 사용하여 DPCM한 후 엔트로피 코딩하여, 1 bit/pel 부근의 극히 낮은 비트율로 전송하는 방식이 최근에 활발히 연구되었다[1,2]. 여기서

2레벨의 양자화기를 사용하여 연구된 예[2]도 있으나 전단 적응 양자화기의 사용에 따른 추가 정보의 전송 부담이 있으며, LPC 적응 예측 방식의 사용으로 인하여 시스템이 대단히 복잡할 뿐 만 아니라, 수신 영상의 품질이 배경과 윤곽에서 다소 떨어지는 결과를 나타냈다.

본 연구에서는 이진 양자화기에 의한, 1 bit/pel 전송율의 비교적 간단하면서도 수신 영상의 품질이 우수한 방식을 제안하였다. 여기서 사용하는 예측기로는 기존의 고정 AR (auto-regressive) 예측기에서 나타나는 윤곽 부분에서의 성능 저하를 보완하는 일종의 ARMA (auto-regressive moving-average) 예측기를 사용하였다. 그리고 양자화기는 기존의 전단 적응 양자화기에 사용된 분산추정법에 순간 압신법 (instantaneous compading) [3]을 보완하여 적응하는 후단 적응 양자화기를 사용하였다. 따라서 제안된 방식에서는 추가 정보의 전송이 필요하지 않으며 또한 엔트로피 코딩을 사용하지 않아 시스템이 간단하다. 이때 수신된 영상에서 입상 잡음 (granular noise)이 다소 문제가 되기 때문에, 이러한 입상 잡음을 제거하기 위해 예지보존 성능이 우수한 Lee 필터를 사용하여 수신영상을 복원함으로써 결과적으로 우수한 재생 영상을 얻고자 하였다.

2. 예 측 기

기본적인 DPCM 전체 시스템의 블록 선도는 그림1과

같다. 여기서는 DPCM 시스템의 두 주요부 중에서 먼저 예측기에 관하여 고찰하기로 한다. 본 연구에서는 시스템이 간단해 질 수 있도록 고정 예측기를 선택하고 양자화기를 적용하는 방식을 택하였다. 여기서 고정 예측기로는 AR 예측기의 대표적인 평균 예측기에 은좌에서의 예측 능력을 보완하는 보상 부분을 첨가하여 사용하였다.

일반적으로 예측기에 이용되는 주변 화소들의 위치를 그림2에 나타내었다. 여기서 X는 현재 화소의 밝기이고 S₁는 재생된 주변 화소의 밝기를 나타내는 값들이다. 본 연구에서 이러한 주변 화소를 이용하는 AR 예측기로는 다음과 같은 평균 예측기를 선택하였다.

$$\tilde{X} = (S_1 + S_2) / 2 \quad (1)$$

(1)식과 같은 형태의 AR 예측기는 영상이 정적적(stationary)인 부분에서는 예측 능력이 좋은 반면, 비정적적(non-stationary)인 은좌와 같은 부분에서는 예측 능력이 저하되어 예측 오차가 상당히 커지게 된다. 이를 보상하기 위해 본 연구에서는 MA(moving-average) 부분을 추가하여 다음과 같이 예측 하도록 하였다.

$$\tilde{X} = (S_1 + S_2) / 2 + 1/4 \sum_{i=1}^4 e_i \quad (2)$$

여기서 e_i는 각 화소 S_i의 양자화된 예측오차를 나타낸다. (2)식과 같은 ARMA 형태의 고정 예측기를 본 연구에서는 평균 보상 예측기라 칭한다. 제안된 평균보상 예측기의 AR 부분에서는 S₁, S₂, S₃ 및 S₄ 등을 포함한 과거의 재생 신호의 다수를 이용하지 않고 현재 화소와 가장 가까운 2 개의 화소를 예측에 적용하여 극부적으로 예측치가 더 빨리 신호를 따라갈 수 있게 했다. 그리고 MA 부분에서는 양자화된 예측 오차 신호들이 배경부분에서는 거의 백색 잡음과 유사해서 그 합이 영이 되지만 은좌에서는 디제 양 혹은 음의 값들로 구성되기 때문에 AR 예측의 부족한 값을 보상하게 된다.

3. 양자화기

본 연구에서 사용한 적응 양자화기는 그림3와

같다. 양자화 입력 신호의 표준 편차를 추정하여 이러한 추정치로 입력 신호를 정규화한 다음, 고정 양자화기에 입력시켜 양자화한 후 고정 양자화기 출력에 앞서 나누어준 추정치를 다시 곱해줌으로써 원래 입력 신호를 얻게 된다. 이러한 적응 양자화 과정을 수식화하면 다음과 같다.

$$q_k = R(i) \text{ if } T(i-1) < e_k / q_k < T(i), 1 \leq i \leq L \quad (3)$$

$$\hat{e}_k = \hat{\sigma}_k \cdot q_k$$

여기에서 L은 양자화기의 레벨수를 나타내며 \hat{e}_k 는 예측 오차, 그리고 T(i)와 R(i)는 각각 i번째 레벨의 판별값 및 재생값이다.

적응 양자화기에서 적응 인자를 구하는 방법은 전단 추정 방식(forward estimation, AFQ)과 후단 추정 방식(backward estimation, ABQ)으로 나눌 수 있는데, AFQ에서는 수신측에서 알 수 없는 양자화기의 입력 신호를 가지고 적응 인자를 구하기 때문에 이에 관한 정보를 수신측에 전해주어야 하고, 시스템 구현이 복잡한 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 추가적인 비트 할당이 필요 없는 ABQ 방법을 사용하였다.

ABQ에 있어 적응 인자 즉 예측오차의 표준편차는 다음과 같은 비례관계를 갖는 양자화된 예측오차의 표준편차로부터 구할 수 있다.

$$\sigma_e = 1/(1-Q(b))^{1/2} \cdot \sigma_{\hat{e}} \quad (4)$$

여기서 Q(b)는 비트수에 대한 양자화 잡음의 분산 및 예측 오차의 분산과의 비례 계수이다. Q(b)는 b=1일때 일반적으로 약 0.4 이상의 큰 값을 나타낸다. 본 연구에서는 확률 분포의 부정합 효과도 포함하여 1/(1-Q(b))^{1/2}을 C₁라 두고, 실험결과 구한 최적의 값을 사용하였다.

한편 본 연구에서는 양자화된 예측 오차의 표준 편차를 추정하기 위하여, AFQ에서 예측 오차의 표준 편차를 추정하기 위해 일반적으로 사용하는 다음과 같은 표준편차 추정법을 적용하였다.

$$\hat{\sigma}_{\hat{e}_1} = C_1 (1/4 \sum_{i=1}^4 \hat{e}_i^2)^{1/2} \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}_{\hat{e}_2} = C_2 (1/4 \sum_{i=1}^4 |\hat{e}_i|) \quad (6)$$

$$\hat{\sigma}_{\hat{e}_3} = C_3 \max(|\hat{e}_i|) \quad (7)$$

그런데 1 bit 에서는 양자화 잡음의 왜곡효과에 의하여 (4)식 및 (5)-(7)식으로만 추정할 경우 대단히 불안정하게 된다. 따라서 본 연구에서는 하드웨어 구현이 간단한 (7)식에, 적응 인자의 추정을 안정화시키기 위하여 순간압신법을 보완하여 다음과 같은 추정식을 제안하였다.

$$g_k = \hat{\sigma}_{e_k} = C \max(|\hat{e}_k|, 1) P^{d_k/4}$$

$$d_k = F(s_k, s_{k-1}, s_{k-2}) \quad (8)$$

$$s_k = \text{sgn } e_k$$

여기서 P 는 1 보다 큰 상수이고, d_k 는 표 1과 같은 s_k, s_{k-1}, s_{k-2} 의 함수이다.

4. 입상 잡음 제거

이진 양자화로 인하여 발생하는 배경 부분의 입상 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여, 선택 잡음에 대하여 비교적 좋은 특성을 나타내는 3 x 3 Lee 필터를 사용하여 이진 DPCM으로 얻은 영상을 필터링하였다. 본 연구에서는 이렇게 함으로써 배경 부분의 입상 잡음을 제거하면서도 윤곽을 잘 보존하게 하여 전체적인 화질을 개선토록 하였다.

5. 실험결과 및 검토

시뮬레이션에 사용된 영상은 8 비트의 256 x 256 GIRL 영상 데이터이다. 제안된 방식의 성능을 조사하고자 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 SNR을 비교하고, 처리된 영상을 디스플레이 장치에 출력시켜 주관적 성능 검사도 병행하였다. 여기서 SNR은 최대신호 전력 대 양자화 잡음의 전력 비율 말한다.

성능 비교를 위해 예측기로는 평균 예측기와 평균보상 예측기를 사용하고, 양자화기는 고정 양자화기 및 적응 양자화기를 사용하였다. 여기서 적응 양자화기를 사용하는 경우에는 적응 인자를 양자화기의 안정을 위해 g_{min} 과 g_{max} 으로 제한하였다. 또한 상수 C는 실험을 통해서 최적의 값인 C=1.5를 택했다. 고정 양자화기를 사용한 부분에서는 GIRL 영상 신호의 표준 편차를 영상 전체에 동일한 적응

인자로 하여 고정시켰다.

(1) DPCM 처리후 성능 비교

이진 DPCM에 대한 성능 비교는, 평균 예측기 및 고정 양자화기를 사용하는 비적용 시스템, 평균 예측기와 적응 양자화기를 사용하는 평균 예측 적응 시스템 그리고 제안된 평균보상 예측의 적응 시스템에 대하여 행하였으며, 그 결과는 표 2와 같다. 표 2에서 제안된 시스템은 비적용 시스템에 비해 6.5 dB 정도 개선되었으며, 평균 예측 적응 시스템에 비해서 2.5 dB 개선되었다. 이와 같이 처리된 영상을 디스플레이 장치에 출력한 결과는 그림4와 같다. 그림4에서 보면 기존의 두 시스템에서는 특히 윤곽에서 과부하 잡음이 심해 윤곽이 크게 뭉글어진 것을 볼 수 있으며, 다소의 입상 잡음도 눈에 띄었으나, 제안된 시스템에서 처리된 영상에서는 다소의 입상 잡음이 있기는 하나, 윤곽 부분을 상당히 잘 보존함을 알 수 있다. 그림5의 자 영상을 보면 이와 같은 윤곽 부분의 성능 향상을 더욱 쉽게 확인할 수 있다.

(2) 필터링에 의한 화질의 개선

그림4에 보인 영상들을 3x3 Lee 필터로서 필터링한 결과는 표 3와 같다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 평균 예측기와 고정양자화기의 시스템에서는 필터링으로인해 오히려 SNR 값이 더 낮아 졌으며 평균 예측 적응 시스템의 경우에는 약 0.6dB 개선되었고, 제안한 시스템에 있어서는 약 0.8 dB 정도 개선됨으로서 필터링에 의한 SNR 이득이 가장 큰 것으로 나타났다. 그리고 디스플레이 된 복원 영상을 보면, 비적용 시스템 및 평균예측 적응 시스템에 의한 결과에서는 배경의 입상 잡음은 제거되었으나, DPCM 처리시 과부하 잡음으로 인해 심하게 뭉글어진 윤곽을 필터링 과정에서 더욱 뭉글어 뜨려 전체적인 영상이 뭉뚱화됨을 볼 수 있다. 반면 제안된 시스템에 의한 결과에서는 본래시뮬 배경에서의 입상 잡음을 잘 제거하였고 윤곽도 크게 뭉글어 뜨리지 않아 화질이 크게 향상되었다.

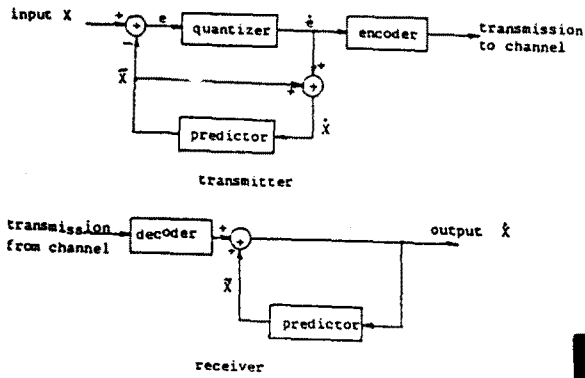


Fig.1 Block diagram of a basic DPCM system

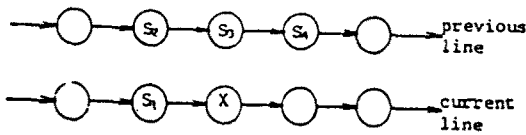


Fig.2 Position of picture elements used for prediction of element X

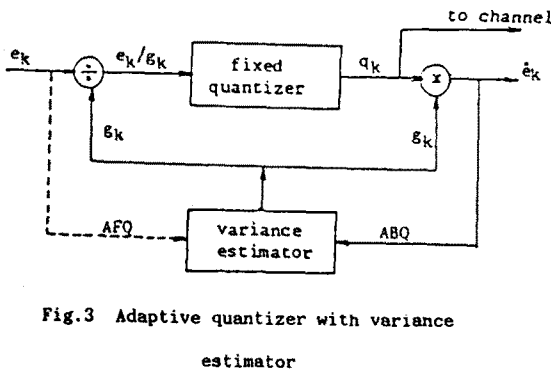


Fig.3 Adaptive quantizer with variance estimator

Table.2 Performance comparison in SNR for GIRL

schme parameter	non-adaptive with mean predictor	adaptive with mean predictor	adaptive with compensated mean predictor
standard deviation, g	10	(P=1.5)	(P=1.5)
constant, C	—	1.5	1.5
$\epsilon_{min}, \epsilon_{max}$	—	120	100
SNR	24.5	27.8	30.0



(a) original

(b) non-adaptive with mean predictor



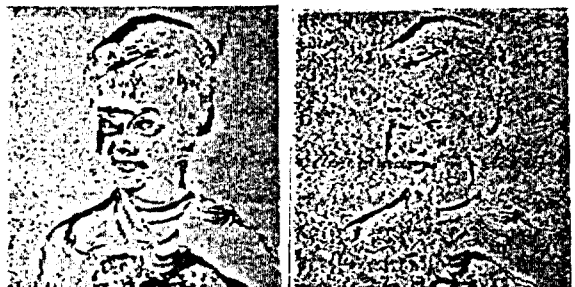
(c) adaptive with mean predictor

(d) adaptive with compensated mean predictor

Fig.4 Reconstructed images of two-level DPCM

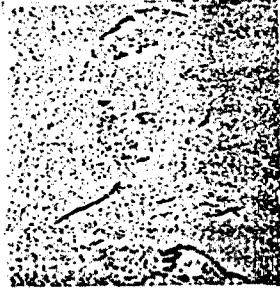
Table.1 Companding logic rule

s_k	s_{k-1}	s_{k-2}	d_k
+	+	+	1
-	-	-	1
-	-	+	0
+	+	-	0
-	+	+	-1
+	-	-	-1
-	+	-	-1
+	-	+	-1



(a) non-adaptive with mean predictor

(b) adaptive with mean predictor



(c) adaptive with compensated mean predictor

Fig.5 Error images for (b),(c) and (d) shown in Fig.4

(bias=4, amplification=4)

Table.3 Performance comparison in SNR after Lee filtering

schme parameter	non-adaptive with mean predictor	adaptive with mean predictor	adaptive with compensated mean predictor
before filtering	24.5	27.8	30.0
after filtering	24.4	28.4	30.8

참 고 문 헌

- [1] Maragos, P.A., Schafer, R.W. and Mersereau, R.M. : Two-dimensional linear prediction and its application to adaptive predictive coding of image, IEEE Trans. ASSP Vol.ASSP-32 : Dec. 1984
- [2] Zetterberg, L.H., Ericsson, S. and Couturier, C. : DPCM picture coding with two-dimensional control of adaptive quantization, IEEE Trans. Commun., Vol.COM-32 : 457-462 Apr. 1984
- [3] Jayant, N.S. : Digital coding of speech waveform:PCM, DPCM and DM quantizer, Proc. IEEE, Vol.62 : May 1974