

평균-잔류신호 영상압축에 적용된 유한상태 투영벡터양자화

正會員 김 철 우*, 이 충 웅**

Finite-State Projection Vector Quantization Applied to Mean-Residual Compression of Images

Chul Woo Kim*, Choong Wong Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 평균-잔류신호를 이용한 영상 부호화에 투영을 적용한 영상압축 알고리즘을 제안한다. 영상은 구획들로 나누어져 평균-잔류신호를 이용하여 부호화되며, 구획의 평균값은 인접 구획들의 평균값에 의해 추정되어 엔트로피 부호화된다. 잔류신호의 부호화에는 8방향의 투영을 사용한 투영벡터양자화가 도입된다. 투영을 이용한 압축은 인접한 구획간의 투영방향에 따라 상태가 결정되는 유한상태벡터양자화가 사용되어 인접구획간의 상관성을 이용한다. 투영횟수를 나타내는 부가정보는 줄길이부호화되며, 투영방향을 표시하는 부가정보는 인접구획간의 투영방향에 따른 상관성을 이용하여 엔트로피 부호화된다. 제안된 알고리즘은 기존의 투영벡터 양자화 방법에 비해 PSNR 성능에서 우수할 뿐만 아니라, 복잡한 변환등을 이용한 부호화방법보다 가장자리 부분을 잘 보존함으로써 뛰어난 주관적 화질을 보여준다.

ABSTRACT

This paper proposes an image compression algorithm that adopts projection scheme on mean-residual method. Sub-blocks of an image are encoded using mean-residual method where mean value is predicted according to that of neighboring blocks. Projection scheme with 8 directions is applied to the compression of residual signals of blocks. Projection vectors are finite-state vector quantized according to the projection angle of neighboring blocks in order to exploit the correlation among them. Side information to represent the repetition of projection is run-length coded while the information for projection direction is compressed using entropy encoding. The proposed scheme appears to be better in PSNR performance when compared with conventional projection scheme

*서울대학교 공과대학원 전자공학과 박사과정
 **서울대학교부설 뉴미디어통신공동연구소 소장
 論文番號:96200-0712
 接受日字:1996年 7月 12日

as well as in subjective quality preserving the edges of images better than most transform methods which usually require heavy computational load.

I. 서 론

영상압축에 있어서 가장자리 정보는 원래 영상이 가지고 있는 중에서 많은 부분의 정보를 전달하는 것을 알려져 있다. 또한 인간의 시각적인 특성도 영상의 가장자리 부분에 민감하게 반응한다고 하는 여러 연구결과가 있다^(1, 2). 이러한 이유로 영상부호화 알고리즘에서는 높은 PSNR을 유지하는 것도 중요하지만, 이와 더불어 원래의 영상이 가지는 가장자리 부분을 잘 보존하는 것도 매우 중요한 부분이다. [3]에서 제안된 투영원리를 이용한 벡터양자화 방법은 이러한 면에서 간단하지만 우수한 영상부호화 알고리즘이라 할 수 있다. 제안된 알고리즘에서는 2차원 신호가 유한한 갯수의 투영에 의해서 점차 근사적으로 나타내어 질 수 있다는 투영원리를 도입함으로써⁽⁵⁾, 영상의 가장자리 부분을 효율적으로 보존할 수 있었다. 또한 제안된 알고리즘은 벡터 양자화를 위한 과정이외에서는 곱셈연산을 필요로 하지 않는다는 장점도 있다⁽³⁾. 하지만 이들에 의해서 제안된 알고리즘은 영상구획간의 상관성을 전혀 이용하지 않았다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 투영을 이용한 영상 부호화에서 알고리즘의 복잡도에는 거의 영향을 끼치지 않으면서도 구획간의 상관성을 효율적으로 이용하는 방법을 제안한다.

구획간의 상관성이 가장 두드러지게 나타나는 부분중의 하나는 인접한 구획간의 밝기의 연속성이다. 대부분의 영상에서 구획간의 밝기는 급격하게 불연속적으로 변하기보다는 어느 정도의 연속성을 유지한다고 알려져 있다⁽¹⁾. 본 논문에서는 DPCM과 결합된 평균-잔류신호 방법을 사용하여 이러한 구획간의 상관성을 이용하고자 한다.

또한 구획의 평균값이 구획간의 밝기로 대표되는 구획간의 상관성을 나타내는 중요한 척도이기는 하지만, 잔류 신호에도 상당부분 상관성이 존재하고 있다. 본 논문에서는 이렇게 잔류신호에 존재하는 구획간의 상관성을 잔류신호의 부호화에 도입되는 투영의 방향을 이용하여 줄이기 위하여 유한상태벡터양자화 (finite-state vector quantization)를 도입한다^(4, 6).

투영과정에서 투영방향을 나타내기 위한 정보또한 이러한 유한상태 방법을 이용하여 줄일 수 있게된다. 이 목적을 위하여 본 논문에서는 인접한 방향의 투영 방향에 따라 각기 다른 허프만 부호책을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 투영에 의한 영상복원의 원리에 대하여 간단히 설명하며, III 장에서는 평균-잔류신호 방법에 도입된 유한상태 벡터양자화 방법에 대해서 기술한다. IV장과 V장에서는 각각 실험결과와 결론을 기술한다.

II. 투영벡터양자화

1. 신호구획의 투영

T를 신호구획에서 투영을 행하는 연산자라고 하면, T는 신호구획을 투영방향으로 같은 선상에 있는 모든 화소들의 값의 합으로 이루어지는 벡터로 변환시킨다. 말하자면 투영 벡터의 각 원소들은 수평으로 일정한 각도를 가지는 투영선들상에 있는 화소값들의 합을 나타내게 된다.

$N \times N$ 의 크기를 가지는 디지털 신호구획 F 를 가정하고, 구획내의 화소값들을 $f(i, j)$ ($i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, N$)라고 하자. 이 때 수평선에 대해 θ 의 각도로 투영한 데이터 벡터를 $P_\theta = [p_{\theta, 1}, p_{\theta, 2}, \dots, p_{\theta, N}]$ 라고 한다 (K_θ 는 투영각도에 따라 다르다). 이 때 투영 데이터 벡터의 각 원소들은 (1)과 같이 표시된다.

$$p_{\theta, n} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N f(i, j) w_{\theta, n}(i, j) \quad (1)$$

$W_{\theta, n} = [w_{\theta, n}(i, j)]$ 는 각 원소가 0 혹은 1로 이루어진 $N \times N$ 행렬이다. 또한 행렬 $A = [a(i, j)]$, $B = [b(i, j)]$ 와 $C = [c(i, j)]$ $i, j=0, 1, \dots, N$ 이 있다고 할 때, 연산자 \otimes 를 (2)와 같이 정의하면

$$C = A \otimes B \iff c(i, j) = a(i, j)b(i, j) \quad i, j=0, 1, \dots, N \quad (2)$$

행렬 $W_{\theta, n}$ 의 각 원소 $w_{\theta, n}(i, j)$ 들은 $F \otimes W_{\theta, n}$ 가 신호구획 F 를 각도 θ 로 투영한 데이터 벡터의 n 번째 원소

가 되도록 정의된다. 이렇게 되기 위해서는 $W_{\theta, n}$ $[w(i, j)]$ 는 (3)과 같이 정의된다.

$$w(i, j) = \begin{cases} 1 & f(i, j) \text{가 } p_{\theta, n} \text{의 투영선상에 존재할 때} \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases} \quad (3)$$

(3)에 의해 (4)와 같은 결과가 도래된다.

$$\sum_{n=1}^{K_0} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w(i, j) = N \times N \quad (4)$$

따라서 P_{θ} 는 신호구획의 각도 θ 를 따라 투영된 데이터들의 벡터를 형성한다. 그림 1에 8×8 구획을 8방향으로 투영한 결과를 나타내었다.

2. 투영데이터들에 의한 신호구획의 복원

신호구획의 복원은 투영데이터들을 이용한 단일각복원(Single Angle Reconstruction, SAR)을 반복적으로 행함으로써 이루어질 수 있다⁽⁵⁾.

a. 단일각복원(Single Angle Reconstruction, SAR)

신호구획의 투영 데이터 P_{θ} 를 얻게 되면, 이를 통하여 신호구획의 복원을 실시할 수 있다. 복원된 신호구획 F' 는 (5)와 같이 구해질 수 있다.

$$F' = \frac{1}{\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N w_{\theta, n}(k, l)} \sum_{n=1}^{K_0} p_{\theta, n} W_{\theta, n} \quad (5)$$

위 (5)에서 보인 단일각의 투영에 의한 복원 과정을 단일각복원(SAR)이라고 한다.

b. 단일각복원의 반복적인 실행을 통한 신호의 복원
단일각복원에 의한 신호복원을 행할 때, 첫번째 복원된 신호를 $[F']^{(1)}$ 라고 하면 $[F']^{(n)}$ 는 (6)과 같이 나타난다.

$$[F']^{(n)} = \frac{1}{\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N w_{\theta, n}(k, l)} \sum_{n=1}^{K_0} [p_{\theta, n}]^{(n)} W_{\theta, n} \quad (6)$$

이 때 하나의 구획의 복원에 한 번 이상의 투영이 필요할 경우에, n번째로 투영될 데이터는 (7)에서와 같이 원래 신호구획과 복원된 신호의 차이로 대치된다.

$$[D]^{(n)} = F - [F']^{(n)} \quad (7)$$

또한 $[D]^{(n)}$ 는 (n+1)번째 투영을 위한 데이터가 된다. 따라서 n번째의 단일각복원에 의하여 신호는 (8)과 같이 복원된다.

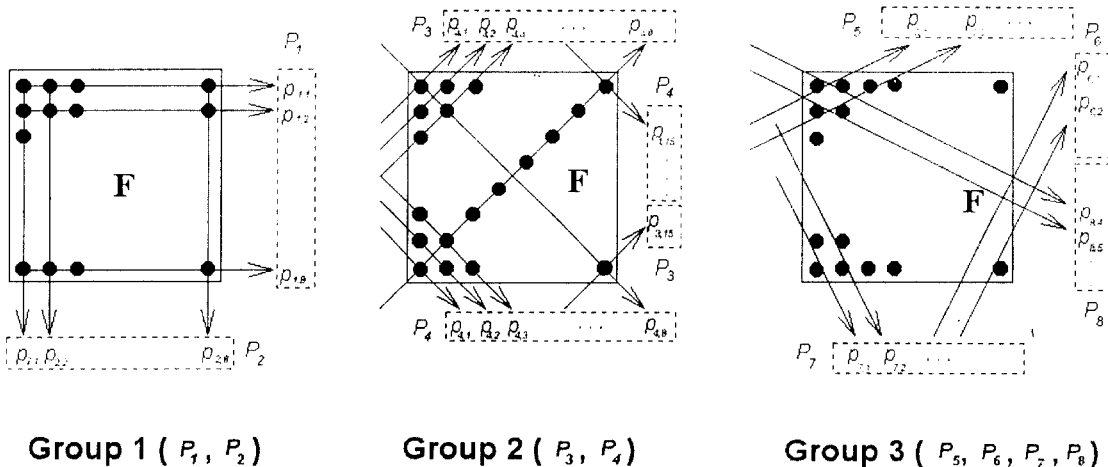


그림 1. 8×8 구획에서의 투영벡터들의 표현
Fig. 1. Representation of projection vectors on a 8×8 block.

$$[F']^{(n)} = [F']^{(n-1)} + T^{-1} (T[D])^{(n-1)} \quad (8)$$

여기서 T 는 신호구획 F 를 투영 데이터로 매핑하는 연산자이며, T^{-1} 는 단일각복원을 뜻한다. 즉,

$$T: F \rightarrow P_\theta \quad (9)$$

라고 하면 T 는 신호를 각도 θ 로 투영하여 투영 데이터로 변환하는 과정을 나타내게 되며, 그림 1에서 8×8 구획에 8방향으로 투영한 예를 나타내었다.

또한 위 1절과 2절에서 설명한 투영/단일각 복원 과정을 유한한 횟수로 반복함으로써 원래 신호를 복원해 낼 수 있다는 사실이 증명된 바 있다⁽⁵⁾.

3. 투영/단일각복원의 반복횟수

투영 및 복원에 대한 자세한 과정은 [3, 4]에서 얻을 수 있다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘에서는 이러한 투영/단일각복원 반복과정을 멈추는데 두 가지의 조건의 조건을 사용하였다. n 번째 투영/단일각복원에 의해 얻어진 $[F']^{(n)}$ 과 원래 신호 F 와의 평균자승오차 (Mean Squared Error, MSE) $MSE^{(n)}$ 는

$$MSE^{(n)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_n^2(i, j),$$

$$\text{단 } [D]^{(n)} = [d_n(i, j)], i=1, 2 \dots N, j=1, 2 \dots N$$

와 같이 정의되며, 이 때 투영/단일각복원 과정은 다음 (a)와 (b)의 조건중 하나를 만족하게 되면 중지한다.

$$(a) MSE^{(n)} < Thr_{mse}$$

$$(b) (MSE^{(n)} - MSE^{(n-1)}) / MSE^{(n-1)} < Thr_{ratio}$$

Thr_{mse} 와 Thr_{ratio} 는 미리 결정된 문턱치이다.

첫번째 조건은 여분의 비트들이 다른 구획의 복원에 좀 더 효과적으로 사용될 수 있음에도 불구하고, 현재 구획의 복원에 계속하여 사용되는 것은 방지한다. 이것은 최적화된 상황에서는 모든 구획들이 영상의 복원에 똑같은 정도의 중요도를 가져야 하기 때문이다⁽⁷⁾. 두번째 조건에서는 더 이상의 투영/단일각복원으로 인한 MSE의 감소량이 크지 않을 경우에, 더 이상의 필요없는 투영을 방지한다.

III. 평균-잔류신호방법에 도입된 유한상태벡터양자화

1. 평균값의 부호화

8×8 크기의 각 구획의 평균은 인접한 구획의 평균값들로 추정된 값과 DPCM된 후에 허프만 부호화된다. 그림 2에 현재 부호화되고 있는 구획의 평균값을 추정하는 구획의 위치에 대해서 나타내어져 있다. 즉 그림 2에서 표시된 현재 구획의 인접구획 $F_{i-1, j}$ 와 $F_{i, j-1}$ 의 평균값을 각각 $M(F_{i-1, j})$ 와 $M(F_{i, j-1})$ 로 표시할 때, 현재 구획의 평균값은 $(M(F_{i-1, j}) + M(F_{i, j-1})) / 2$ 로 추정된다. 이렇게 추정된 현재 구획의 평균값과 현재 부호화될 구획의 실제 평균값의 차이가 허프만 부호화 된다.

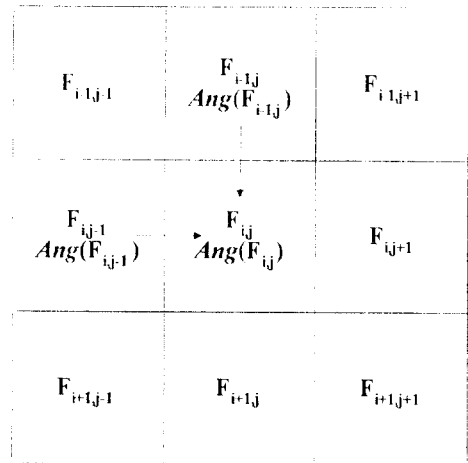


그림 2. 인접구획의 투영방향에 따른 구획의 상태변경
Fig. 2. State prediction according to projection angles of neighboring blocks.

2. 잔류신호의 유한상태투영벡터양자화

구획의 잔류신호는 그림 1에서 보는 바와 같이 8방향으로 투영된다. 이렇게 투영된 8가지 방향의 벡터들 중에서 복원되었을 때 원래의 영상을 가장 근접하게 나타내는 벡터와 투영방향을 부호화한다. 이 때 벡터의 부호화에는 유한상태벡터양자화가 쓰인다. 이 때 부호화되는 구획 $F_{i, j}$ 의 상태 $s_{i, j}$ 는 현재 구획의 위와 왼쪽 옆 구획의 투영방향에 의해 결정된다. 다시 말하면, 부호화된 구획 $F_{i, j}$ 의 투영방향을 $Ang(F_{i, j})$

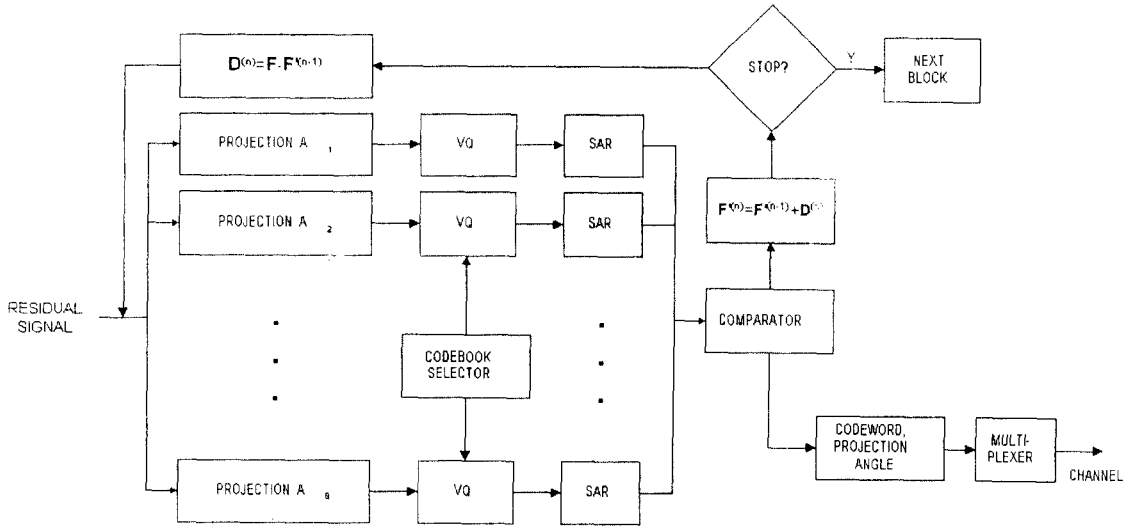


그림 3. 잔류신호의 투영벡터양자화 블록도
 Fig. 3. Block diagram of Projection VQ of residual signal

이라고 하면, 양자화상태는 (10)과 같이 결정된다.

$$s_{i,j} = f(\text{Ang}(\mathbf{F}_{i-1,j}), \text{Ang}(\mathbf{F}_{i,j-1}), \text{Ang}(\mathbf{F}_{i,j})) \quad (10)$$

즉, 현재 구획 $\mathbf{F}_{i,j}$ 의 잔류신호를 투영한 벡터들을 부호화하기 위한 부호책은 인접구획 $\mathbf{F}_{i-1,j}$, $\mathbf{F}_{i,j-1}$ 의 투영각도 $\text{Ang}(\mathbf{F}_{i-1,j})$, $\text{Ang}(\mathbf{F}_{i,j-1})$ 에 따라 각각 따로 존재하게 된다. 또한 현재 구획의 투영방향에 따라서 투영벡터의 차원이 달라지게 되므로 인접구획의 투영방향의 조합마다 현재 구획의 투영방향에 따른 각각의 부호책이 존재하게 된다. 따라서 현재 구획의 투영벡터 부호는 현재 상태와 현재 구획의 투영방향에 의해 (10)와 같이 결정되는 부호책에서 선택되게 된다. 그림 3에 잔류신호의 부호화 과정에 대한 블록도가 나타내어져 있다.

3. 부가정보의 부호화

투영벡터의 부호어이외에 전송이 필요한 부가정보로는 다음과 같이 두가지 종류가 필요하다.

- 매번의 투영마다 더 이상의 투영이 필요한가를 나타내는 비트 (1비트)

- 투영방향을 나타내기 위한 비트 (3비트)

따라서 각각의 투영마다 4비트의 부가정보가 부호화되어야 한다. 다음 a와 b에서 각각의 부가정보들에 대한 부호화 방법을 자세히 기술한다.

a. 매번의 투영마다 더 이상의 투영이 필요한가를 나타내는 비트

계속되는 투영여부를 나타내는 이 비트들은 줄길 이부호화(run-length)된다. 이 비트들은 일련의 비트열(bit stream)로 모여져서 ‘계속되는 투영이 필요함 (1)’을 나타내는 심볼과 ‘더 이상의 투영이 필요없음 (0)’을 나타내는 심볼의 최대 길이가 각각 7과 3이 되도록 줄길이부호화된다. 즉, 0과 1의 길이에 각각 2비트와 3비트를 할당하여 줄길이 부호화한다.

b. 투영방향을 나타내기 위한 비트 (3비트)

투영방향은 모두 8방향이므로 3비트가 부호화되어야 한다. 이들 투영방향은 투영벡터가 부호화된 것과 비슷한 방법으로 부호화된다. 즉, 투영방향의 부호화도 유한상태양자화 방법에 의해서 행해진다. 현재 부호화될 구획의 투영방향 $\text{Ang}(\mathbf{F}_{i,j})$ 은 엔트로피 부호화

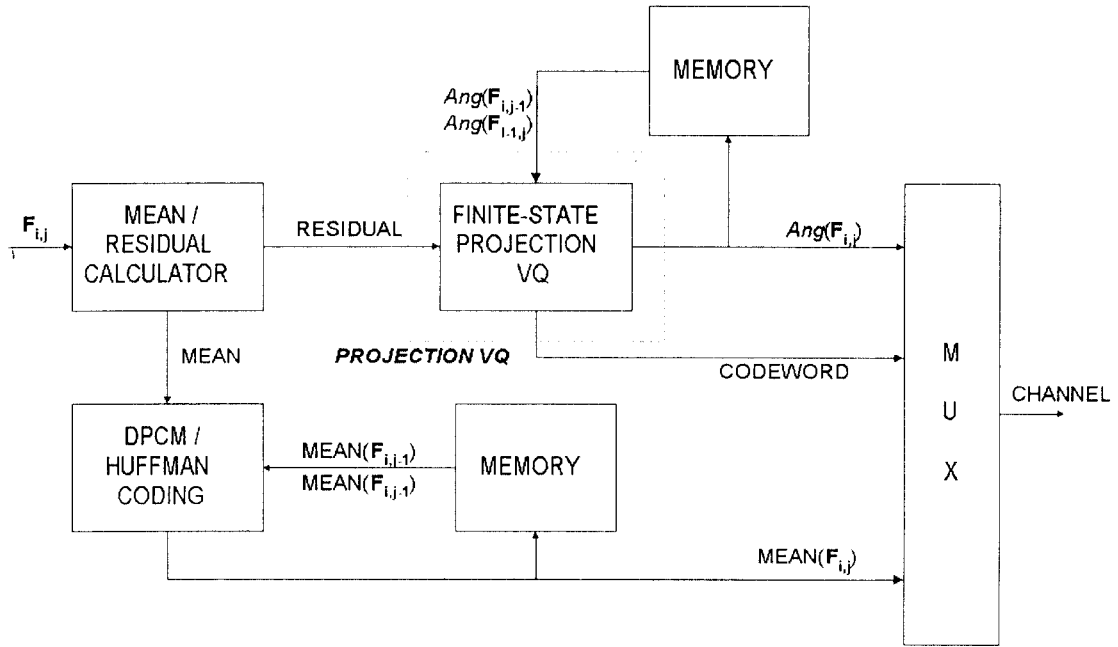


그림 4. 제안한 알고리즘의 전체적인 블록도
Fig. 4. Overall system block diagram of the proposed algorithm

된다. 이 때 허프만 부호책은 부호화될 구획의 위와 왼쪽 옆구획의 투영방향 $Ang(F_{i-1,j})$ 와 $Ang(F_{i,j-1})$ 에 따라 각각 존재한다. 따라서 허프만 부호책은 (4)에서 결정된 현재 부호화될 구획의 상태 $s_{i,j}$ 에 따라서 달라진다.

제안하는 알고리즘에 대한 전체적인 블록도가 그림 4에 나타나 있다. 그림 4에서 점선으로 표시한 유한상태투영벡터양자화에 관한 자세한 블록도는 그림 3에 이미 표시한 바 있다.

IV. 모의 실험 결과

512 × 512 크기의 LENA 영상이 실험에 사용되었다. 실험에서는 문턱치들을 변화시켜가며 얻어질 수 있는 여러 가지의 비트율과 PSNR에 대해서 기록하였다. 벡터양자화 부호책 생성과정에서는 LENA 영상을 제외한 23개의 512 × 512의 크기를 가지는 정지 영상들이 사용되었다. 부호책은 LBG 알고리즘을 사용하여 설계되었다⁽⁸⁾. 각 부호책의 크기는 256으로

고정시켰다. 또한 8개의 투영벡터들은 그림 1에서 보듯이 3개 각각 차원이 같은 그룹으로 분류될 수 있으며, 현재 부호화될 구획의 상태 추정에는 3장의 B에서 설명한 바와 같이 2개의 인접 구획의 투영방향에 의존하므로 총 27개의 부호책이 필요하게 된다. 실험 결과는 그림 5에 나타난 바와 같다. 제안된 알고리즘

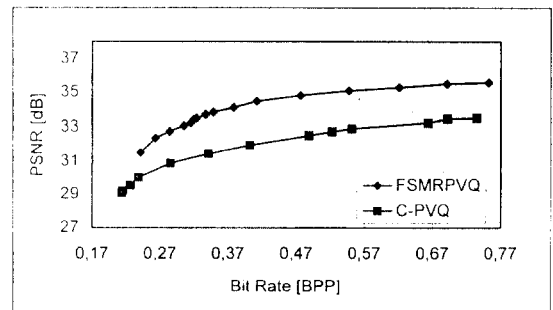


그림 5. 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘 성능비교
Fig. 5. Performance comparison of the proposed algorithm with the conventional one



(a)



(b)

그림 6. 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘에서의 LENA 영상 부호화 결과

- (a) 기존의 알고리즘 (0.330 bpp에서 30.844 dB)
- (b) 제안한 알고리즘 (0.330 bpp에서 32.170 dB)

Fig. 6. Comparison of decoded LENA in the proposed algorithm with the conventional one

- (a) Conventional algorithm (30.844 dB at 0.330 bpp)
- (b) Proposed algorithm (32.170 dB at 0.330 bpp)

(FSMRPVQ: Finite-State Mean-Residual Projection VQ)은 영상영역에서의 투영방법 (C-PVQ: Conventional Projection VQ)⁽¹⁾의 결과와 비교되었다.

그림 5에서 보듯이 제안된 FSMRPVQ는 PSNR 측면에서 기존 방법의 성능을 능가한다. FSMRPVQ는 C-PVQ에 비해서 약 1~2 dB의 성능 향상을 보인다. 그림 6에서는 FSMRPVQ와 C-PVQ로 각각 부호화된 LENA 영상을 보였다. 이에서 볼 수 있듯이 주관적 화질면에서도 가장자리부분이 잘 보존됨으로 인해서 뛰어난 영상압축성능을 보이고 있다.

또한 복호기에서는 곱셈연산이 필요없는 구조를 이루고 있으므로, 여러번의 복호가 필요한 데이터베이스나 인터넷 응용등에 효율적으로 적용될 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 유한상태방법을 투영영상복원에 적용하여 영상을 효율적으로 압축/복원하는 기법을 제안하였다. 모의실험결과로부터 제안된 알고리즘은 LENA 영상에 대해서 기존의 투영벡터양자화방법(3)에 비해서 약 1~2 dB의 성능개선을 보이면서도 계산의 복잡도는 그리 늘어나지 않은 것을 확인할 수 있었다. 실험결과에서 일정 비트율을 넘어가면서 포화되어 그 이상의 비트율에서도 성능의 개선이 이루어지지 않는 점을 볼 수 있다. 이러한 현상은 실험에 사용한 벡터 양자화 부호책에 엔트로피 제한 개념이 들어가지 않은 상태에서 제작된 것이기 때문에 나타나는 현상으로 풀이될 수 있다. 따라서 이러한 점을 개선하기 위해서는 방대한 크기의 부호책을 형성하거나, 부호책 생성시에 엔트로피 제한 방법을 도입하여야 할 것이다.

제안된 알고리즘은 기존의 투영 알고리즘에 비해 PSNR 성능에서 1~2 dB가량 우수한 성능을 나타내었다. 또한 영상의 가장자리를 잘 보존함에 따라 주관적화질 또한 상당히 개선되었다. 보다 효율적인 부가 데이터의 부호화 방법 및 문턱치들의 최적화 그리고 전술한 바와 같이 엔트로피 제한(entropy-constrained) 방법의 도입등은 앞으로의 연구과제라 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Jae S. Lim, "Two dimensional signal and image processing," Prentice Hall, pp. 423-437, 1990.
2. William K. Pratt "Digital Image Processing," John Wiley & Sons, pp. 478-487, 1978.
3. Hee Bok Park and Choong Woong Lee, "Image compression by vector quantization of projection data," IEICE Transactions On Information & Systems, Vol. E75-D, No. 1, pp. 148-155, Jan. 1992.
4. John Foster and Mari Ostendorf Dunham, "Finite-State Vector Quantization for Waveform Coding," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-31, pp. 348~359, May 1985.
5. P. R. Smith, T. M. Peters and R. H. T. Bates, "Image reconstruction from finite numbers of projections," Journal of Phys. and Math. Nuclear Gen., Vol. 6, pp. 361-382, Mar. 1973.
6. Robert M. Gray, "Vector Quantization, Invited Paper;IEEE ASSP Magazine, Vol. 1, pp. 4~29, Apr. 1984.
7. Y. Shoham and A. Gersho, "Efficient bit allocation for an arbitrary set of quantizers," IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 36, pp. 1445~1453, Sep. 1988.
8. Y. Linde, Andres Buzo and R. M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-28, pp. 84-95, Jan. 1980.



김 철 우(Chul Woo Kim)정회원
 1991년 2월:서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)
 1993년 2월:서울대학교 공과대학원 전자공학과 석사졸업(공학석사)
 1993년 2월~현재:서울대학교 공과대학원 전자공학과 박사과정 재학중
 ※주관심분야:영상신호처리, 영상통신, 패킷망전송



이 충 웅(Choong Wong Lee)정회원
 1958년:서울대학교 공과대학 졸업(공학사)
 1960년:서울대학교 공과대학원 졸업(공학석사)
 1972년:동경대학교 공과대학원 졸업(공학박사)
 1958년~1964년:국방과학연구소 연구원
 1966년~현재:서울대학교 전자공학과 교수
 1983년~1985년:IEEE(국제전기전자공학회) 한국지부 회장
 1988년:대한 의용 공학회 회장
 1989년:대한 전자공학회 회장, IEEE(국제전기전자공학회) Fellow(최고위원) 위촉
 현재:서울대학교부설 뉴미디어통신공동연구소 소장
 ※주관심분야:통신방식, 영상및 HDTV 신호처리, 의용생체공학, 미래통신