

# 훈련 알고리즘을 이용한 변환격자코드에 의한 영상신호 압축

김 동 윤

=Abstract=

## Transform Trellis Image Coding Using a Training Algorithm

Dong-youn Kim

The transform trellis code is an optimal source code as a block size and the constraint length of a shift register go to infinite for stationary Gaussian sources with the squared-error distortion measure. However to implement this code, we have to choose the finite block size and constraint length. Moreover real-world sources are inherently nonstationary. To overcome these difficulties, we developed a training algorithm for the transform trellis code. The trained transform trellis code which uses the same rates to each block led to a variation in the resulting distortion from one block to another. To alleviate this non-uniformity in the encoded image, we constructed clusters from the variance of the training data and assigned different rates for each cluster.

**Key words :** Transform trellis code, Training algorithm, Image coding, 변환격자코드, 훈련알고리즘, 영상신호 압축

### 서 론

다양한 의료영상 촬영장비에서 발생하는 의료영상데이터를 디지털형태로 관리할 경우 필름형태로 관리시 발생하는 인적, 시간적 및 공간적 문제를 해결할 수 있다는 의료영상의 저장 및 관리 시스템에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있으며, 현재 의료영상 촬영장비들이 디지털 영상을 출력하는 형태로 바뀌고 있는 추세이다. 그러나 디지털화된 영상은 많은양의 데이터를 포함하므로 인하여 디지털 의료영상정보의 효율적인 저장, 관리 및 고속 전송에 문제점이 제기된다. 그러므로 이러한 디지털 영상데이터에서 서로 중복되는 데이터를 줄여서 동일한 혹은 육안으로 분간할 수 없을 정도의 해상도를 갖는 범위에서의 영상 데이터 압축은 필수적이다.

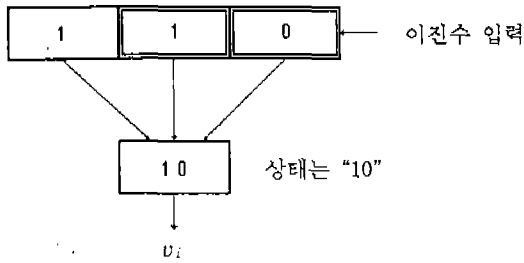
최적 데이터 압축법으로는 블럭(Block), 트리(Tree), 격자(Trellis) 코드가 있는데, 이중에서도 격자코드는 부호화하고자 하는 데이터의 샘플수가 많아짐에 따라 코드북의 크기와 계산량이 선형적으로 증가하므로 가장 효과적인 부호화 방법이다. Viterbi 와 Omura 는 이산시간 memoryless 데이터에 대해 최적 격자코드가 존재함을 최초로 증명했다<sup>1)</sup>. 변환 영역에서는, Mazor 와 Pearlman이 시프터 레지스트의 구속길이가 길어짐에 따라 재생신호와 본래신호의 자승오차가 정보량 왜곡 함수에 기하 급수적으로 접근하는 변환 격자코드가 존재함을 최초로 증명하였다<sup>2)</sup>. 이 코드는 연속적인 스펙트럼을 갖는 이산시간 정상 가우시안 소오스의 어떤 부호율에 대해서도 성립한다. 변환격자코드는 랜덤코딩의 개념을 이용한것으로 재생에 사용될 격자 가지위의 부 코드 단어(sub-codeword)들은 최

\* 연세대학교 보건과학대학 의용전자공학과

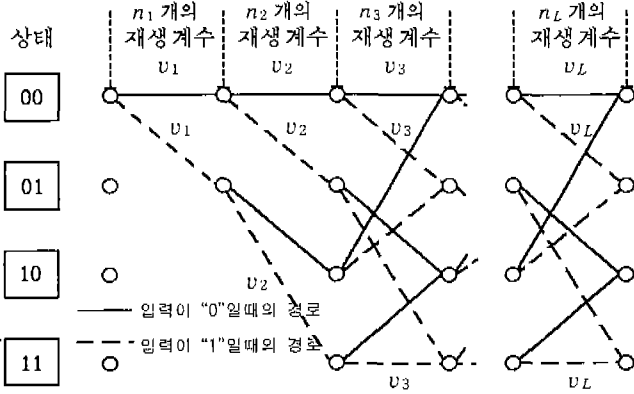
\* Dept. of Biomedical Eng., College of Health Science Yonsei University

† 본 논문은 1992년도 교육부 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

통신저자: 김동윤, (222-701) 강원도 원주군 흥업면 매지리 234, Tel. (0371) 41-0434, Fax. (0371) 41-0197



a) 이진수 디코더



b) 격자구조

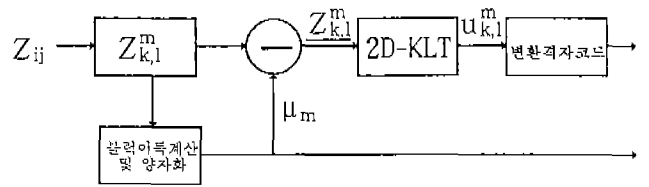
$v = (v_1, v_2, \dots, v_l, \dots, v_L)$  여기서  
 $v_l = (v_{N_{l-1}+1}, v_{N_{l-1}+2}, \dots, v_{N_{l-1}+n_l}), N_{l-1} = \sum_{i=1}^{l-1} n_i$

그림 1. 격자코드의 구조 (q=2, K=3)  
 Fig. 1. Structure of a terllis code

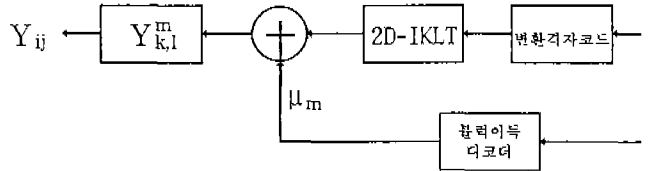
적 테스트 채널의 확률 분포로부터 임의로 선택되어지므로 부호화하고자 하는 데이터의 샘플수가 많아짐에 따라 좋은 코드가 될 확률이 높다. 즉, 변환 격자코드는 시프터 레지스터의 구성길이와 부호화 하고자하는 샘플수가 무한히 길때 최적코드가 된다<sup>2,3)</sup>.

그러나, 변환 격자 코드를 실제 데이터에 적용하기 위해서는 유한한 구성 길이를 갖는 시프터 레지스터를 사용해야 하고, 부호화할 블록의 데이터 샘플수는 한정되어 있으므로, 이런 유한한 크기의 구성길이와 블록에 대해서는 변환 격자코드의 최적성은 더이상 유지되지 않는다. 또한 실제 데이터들의 통계적 특성은 비정상적이므로, 정상적 모델로부터 선택된 코드복과는 잘 맞지 않게된다<sup>4)</sup>.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 극복하기 위해서 영상 신호용 변환 격자 코드를 위한 훈련 알고리즘과 영상 신호 블록간의 전력의 변화에 따른 부호화 오차를 줄이기 위한 이득 적응법을 개발하고자 한다.



a) 인코더



b) 디코더

그림 2. 영상신호용 변환격자코드 시스템  
 Fig. 2. Block diagram of the terllis code for the image coding

## 본 문

### 1. 격자 코드의 구조

격자코드의 구조는 블록크기,  $N$ , 과 원하는 부호율,  $R$ , 이 주어지면, 이로부터 격자코드 구성에 필요한 레벨의 수,  $L$ , 가지계수,  $q$ , 및 시프터 레지스터의 제약 길이,  $K$ , 가 정해진다. 각 레벨에서의 총 노드 수는  $q^{K-1}$ 이다. 여기서  $K-1$ 은 시프터 레지스터에서 상태 (state)를 표시하기 위해 사용된 비트의 수이다. 가지계수,  $q$ , 는 각 노드로 부터 나오는 가지수 이고, 이는 레지스터에 하나의 전송신호가 들어왔을때 변환 가능한 상태의 수이다. 레벨과 레벨사이의 연결가능한 수는 새로운 전송신호가 레지스터에 들어왔을 때 상태간의 변환 가능한 수와 일치한다. 그림 1은 가지계수,  $q=2$ 와 시프터 레지스터 길이,  $K=3$ 에 대한 격자의 예이다. 격자의  $l$ 번째 레벨의 각 가지는  $m$ 개의 재생 계수를 가진 벡터  $v_l$ 로 이루어져 있다.

### 2. 영상신호용 변환 격자 코드 시스템

그림 2는 영상신호용 변환격자코드 시스템의 블록선도이다.  $Z_{i,j}$ 를  $N \times N$ 개의 화소로 이루어진 영상 데이터를 나타낸다고 하자. 여기서,  $i, j=0, 1, 2, \dots, N-1$ 이다. 그리고,  $Z_{i,j}$ 를  $p \times p$ 개의 화소를 가진 블록으로 나누고,  $m$ 번째 블록을  $Z_{k,l}^m$ 으로 표시하자, 여기서  $m=1, 2, 3, \dots, (N/p)^2$ 이며,  $k, l=0, 1, 2, \dots, p-1$ 이다. 그리고,  $m$ 번째 블록  $Z_{k,l}^m$ 내의 화소들의 평균을  $\mu_m$ 이라 하고,  $Z_{k,l}^m$ 의 각 화소에 블록 평균  $\mu_m$ 을 감하여 얻어진 블록을  $\underline{Z}_{k,l}^m$ 으로 표시하자 ( $Z_{k,l}^m = \underline{Z}_{k,l}^m + \mu_m$ )

$\mu_m$ ). 인코더에서는 이런 평균이 0인,  $\underline{Z}_{k,l}^m$ 에 대해 2D-KLT (2 Dimensional-Karhunen Loeve Transform)를 적용하여 분산이  $\lambda_{k,l}^m$ 인 2차원 비상관 변환 계수  $U_{k,l}^m$ 을 얻는다. 만약 각 블록의 확률분포가 가우시안이면 평균 자승 오차왜곡에 대한 정보량 왜곡 함수는 다음과 같다<sup>3)</sup>.

$$D_\theta^m = \frac{1}{p^2} \sum_{k=0}^{p-1} \sum_{l=0}^{p-1} \min \{ \theta_m, \lambda_{k,l}^m \} \quad (1)$$

$$R_m(D_\theta^m) = \frac{1}{p^2} \sum_{k=0}^{p-1} \sum_{l=0}^{p-1} \max \{ 0, \frac{1}{2} \log_2 \frac{\lambda_{k,l}^m}{\theta_m} \} \quad (2)$$

$R_m(D_\theta^m)$ 는 평균 자승 오차  $D_\theta^m$ 에 대한  $m$ 번째 블록의 최적 부호율이다.

본 논문에서는 2D-KLT 대신에 2D-DCT(2 Dimensional-Discrete Cosine Transform)를 사용하였는데, 그 이유는 2D-DCT가 2D-KLT보다 빠른 계산 알고리즘을 가졌고, 그 성능면에서도 2D-KLT에 매우 가깝기 때문이다. 대부분의 영상 데이터에 대해서, 2D-DCT는 변환하고자 하는 블록의 크기가 커짐에 따라 거의 비 상관된 계수를 만든다. 이런 DCT과정은 점근적으로 가우시안이므로 이런 계수들은 서로 독립적인 가우시안 랜덤 함수로 취급할 수 있다. 각 화소들을 독립적이라 가정하고, 식 (1)과 (2)에 있는  $\lambda_{k,l}^m$ 을 2D-DCT의 변환 계수의 분산으로 대치함으로써, DCT에 대한 최적 정보량 왜곡 함수를 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 각 블록의 최적 부호율에 대한 변환 격자코드를 탐색하여 입력 변환 계수에 대한 최소 자승 왜곡을 갖는 재생변환계수를 얻고 이에 해당하는 경로에 관한 정보만을 디코더로 보낸다. 디코더는 인코더와 같은 변환격자코드를 가지고 있으므로 수신된 경로정보로부터 재생변환 계수를 얻을 수 있고, 재생 변환계수에 대하여 2D-IKLT (2 Dimensional-Inverse Karhunen Loeve Transform)를 적용하여 재생된 화소값을 얻는다. 마지막으로 인코더에서 감해졌던 블록의 평균  $\mu_m$ 을 각 화소에 더함으로써 재생된 영상을 얻는다.

### 3. 영상신호용 변환격자코드의 구성

영상 데이터 부호화를 위해서는 2.2절에서와 같이 각 블록의 분산,  $\lambda_{k,l}^m$ 으로부터 이에 해당하는 변환격자코드를 구성해야 한다. 그러나, 이런 경우 격자코드를 매 블록마다 구성해야하므로 많은 계산량이 요구된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 본 논문에서는 훈련데이터의 평균 분산으로부터 하나의 변환격자코드를 구성하고 블록에 따른 통계적 특성의 변화를 훈련 알고리즘과 이득저용법을 사용하여 극복하고자 한다.

격자의 각 가지 재생계수와 벡터는 아래의 방법으로 정한다. 먼저, 훈련 데이터에서 얻어진 2 차원 평균 분산( $\lambda_{k,l} : k, l=0, 1, \dots, p-1$ )으로부터 1차원 격자를 구성하기 위하여 분산이 작은 순서부터 큰 순서로 1차원으로 재 배열한다( $\lambda_a, a=0, 1, 2, \dots, p^2-1$ ). 이와같은 순서로 재 배열하는 이유는 초기 격자의  $K-1$  레벨은 모든 가지가 형성되지 않는데 이에 큰 분산을 갖는 계수를 부호화에 사용될 경우 발생할 수 있는 부호화 오차를 줄이기 위해서이다. 그리고, 이런 순서는 이 격자를 사용한 모든 영상 데이터의 부호화에 적용된다. 1차원으로 배열된 스펙트럼,  $\lambda_a$ ,과 원하는 부호율에 대해 정보량 왜곡 함수식 (1), (2)를 적용하여 각 계수에 따른 부호율,  $r_a$ ,를 구한다. 각 레벨에서의 재생 계수,  $n_i$ ,은 각 레벨에서 실제 사용할 수 있는 부호율  $\log_2 q/n_m$ 과  $r_a$ 사이의 오차가 최소로 되는 값으로 한다. 최대의 부호율을 수용하기 위해서는, 가지계수,  $q$ ,가 다음과 같아야 한다<sup>3)</sup>.

$$\log_2 q \geq \max \{ r_a \} \quad (3)$$

그러나,  $q$ 를 식 (3)과 같은 방법으로 선택하면 코드북이 너무 크게 되므로 최적 부호율을 할당시에 주어진 코드북의 크기를 고려하여  $K=3, q=8$ 에 대하여 식 (4)와 (5)를 사용하여  $l$ 번째 가지에 있는 재생계수,  $n_i$ ,과 총 레벨수,  $L$ ,을 다음식으로 부터 선택한다.

$$r_{il} \frac{\log_2 q}{n_i} \geq r_a \quad (4)$$

$$\frac{L-1}{N} \log_2 q < R \leq \frac{L}{N} \log_2 q \quad (5)$$

문턱치,  $r_{il}$ ,는 이론적으로는 1이나 이런 경우 할당된 부호율  $R=(L/N) \log_2 q$ 는 우리가 원하는 부호율 보다 많아 지므로  $r_{il}$ 를 조절하여  $L$ 이 식 (5)을 만족하는  $m$ 을 정한다.

$l$ 번째 가지의 재생 부벡터  $v_l$ 은  $P_{n_l}(v_l)$ 으로부터 임의로 선택되어지고, 그 식은 다음과 같다.

$$P_{n_l}(v_l) = \prod_{a \in J_{N_m}} \frac{1}{\sqrt{2\pi(\lambda_a - \theta)}} \exp \left\{ -\frac{(v_a)^2}{2(\lambda_a - \theta)} \right\} \quad (6)$$

여기서,  $J_{N_m} = \{N_{l-1}+1, N_{l-1}+2, \dots, N_{l-1}+m\}$ 이고,  $N_{l-1} = \sum_{i=1}^{l-1} m_i$ 이다. 또한  $\theta$ 는  $\lambda_a$ 에 대한 식 (1), (2)에서의 정보량 왜곡 파라미터이다.

### 4. 훈련 알고리즘

훈련 데이터의 평균 스펙트럼으로부터 얻어진 초기 변

환경자 코드를 훈련시키기 위해서 필요한 탐색 알고리즘으로는 트리코드의 탐색에 사용된  $M$ -알고리즘을 사용하였고<sup>6)</sup>,  $M$ -알고리즘은 격자내에서 최소 왜곡 경로를 찾기 위해서 각 격자 레벨에서 왜곡이 제일 적은  $M$ 개의 경로만을 다음 레벨로 확장하여 나간다. 이런 과정은 격자코드의 마지막 레벨까지 계속된다. 마지막 레벨에서는 왜곡이 제일 적은 노드에서 역으로 경로를 추적하므로써 왜곡이 최소인 재생 단어와 경로 정보를 얻게한다. 각 가지의 재생 부 코드를 새롭게 하는데에는 일반화된 Lloyd-Max 알고리즘을 사용하여 각 가지의 부코드로 재생된 훈련 데이터의 평균을 취하는 방법을 사용하였다<sup>7)</sup>.

다음은 훈련 알고리즘을 설명하기 위해서 사용한 파라미터들이다.

- $l$     격자 레벨의 인덱스
- $k$     격자 가지의 인덱스
- $m$     훈련 데이터의 블럭 인덱스
- $L$     격자의 전체 레벨의 수
- $K$     시프터 레지스터의 구속 길이
- $q$     각 노드에 있는 가지의 수(가지 계수)
- $D^{(i)}$      $i$ 번째 반복에서의 블럭당 자승 오차 왜곡
- $C^{(i)}$      $i$ 번째 반복후의 격자 코드
- $b_k^i$      $i$ 번째 레벨의  $k$ 번째 가지의 부 코드 단어
- $u^m$      $m$ 번째 블럭의 변환된 훈련 데이터
- $u_i^m$      $u_i^m$ 의  $i$ 번째 레벨의 변환계수
- $v^m$      $u^m$ 의 재생된 벡터
- $v_i^m$      $v_i^m$ 의  $i$ 번째 레벨의 부 코드 단어
- $I_k^i$      $b_k^i$ 으로 인코딩된 훈련 벡터의 블럭 인덱스 집합
- $|I_k^i|$      $I_k^i$ 내에 있는 블럭 인덱스의 수
- $M$     마지막 레벨에서 최소 왜곡을 가진 코드벡터가 선택될 때까지 격자 코드 탐색에서 한 레벨에서 다음 레벨로 진행해 나갈때 각 레벨에서 기억하고 있는 가지의 수
- $f$      $u^m$ 을  $v^m$ 으로 사상하는 함수

○ 훈련 알고리즘

1. 초기화: 왜곡 문턱치  $\epsilon > 0$ , 초기코드  $C^{(0)}$ , 훈련 데이터  $\{u^m : m=0, 1, \dots, n-1\}$  및  $M$  값 등이 주어지고,  $i=0$ ,  $D^- = \infty$ 라고 정한다.
2. 주어진 격자 코드  $C^{(i)}$ 에 대해  $m$ 번째 블럭의 훈련 데이터  $u^m$ 을 이에 해당하는 재생 벡터인  $v^m$ 으로 사상하는 함수  $f$ 로는  $M$ 알고리즘을 사용하였다. 즉,  $f(u^m) = v^m$ . 예를 들면,  $m$ 번째 블럭의 훈련 데이터  $u^m$ 에 대한 재생된 벡터  $v^m$ 은  $M$ 알고리즘에서 얻어진 최소 왜곡

을 갖는 재생된 벡터이고 이때의 경로로부터 각 레벨에서 어느 격자 가지의 부코드 단어가 선택되었는지 알 수 있다. 즉,  $u^m$ 에 대한 재생된 벡터,  $v^m$ 은  $(v_1^m, v_2^m, \dots, v_L^m)$ 이고,  $v_i^m$ 은 최소 왜곡 경로상에 있는  $b_k^i$ 중의 하나가 된다. 또한, 블럭 인덱스  $m$ 은  $v_i^m$ 에 사용된 격자 코드의 해당 가지 부 코드 단어,  $b_k^i$ 의 인덱스 집합인  $I_k^i$ 에 저장된다. 이와같은 과정은 훈련 데이터의 모든 블럭에 대해 행하여지고, 각 반복에서의 평균 왜곡  $D^{(i)}$ 를 계산한다.

3. 만약  $(D^{(i-1)} - D^{(i)})/D^{(i)} \leq \epsilon$  이면, 반복을 중지하고  $C^{(i)}$ 를 최종 코드로 정하고, 그렇지 않으면 다음 단계로 간다.
4. 격자 코드는 각 레벨의 부 코드 단어,  $b_k^i$ 를 새롭게(update)하기 위해서는 해당되는 부 코드 단어로 재생된 훈련 데이터,  $u_i^m$ 의 평균값으로 대치한다. 즉,  $b_k^i = \frac{1}{|I_k^i|} \sum_{m \in I_k^i} u_i^m$ 가 된다. 만약 집합  $I_k^i$ 이 공 집합이면  $b_k^i$ 은 그대로 둔다. 그리고,  $i=i+1$ 로 하고 2단계로 간다.

### 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션에서는 17장의 영상을 훈련 데이터로 사용하였고, 다음 절의 3 가지 방법으로 구성된 변환 격자 코드에 대하여 각 코드의 성능을 측정하기 위해서 훈련 데이터에 포함되지 않은  $512 \times 512$  크기의 *LENA*, *PEPPERS* 영상과 훈련 데이터로 사용된  $512 \times 480$  크기의 *GIRL* 영상을 테스트 영상으로 사용하였다. 재생된 영상과 원래 영상과의 왜곡을 측정하기 위해서 peak-to-peak SNR (PSNR)을 사용하였다.

본 논문에서 사용된 격자코드의 부호율은 화소당 0.5비트를 목표로 하였으며 격자코드 구성에 사용된 값은  $K=3$ ,  $q=8$ 이며, 변환에 사용된 블럭의 크기는  $16 \times 16$  이다. 각 블럭의 평균,  $\mu_m$ 은 8비트로 uniform quantization 하였다. 격자코드 탐색시 사용된  $M$ 은 16 이었다.

#### 1. 변환격자 코드

변환격자코드는 훈련 데이터에서 얻은 평균 분산,  $\lambda_u$ 로 부터 구성하였고, 각 격자 가지의 부 코드단어는 식 (6)로 부터 선택하였다. 즉, 훈련 데이터가 정상 가우시안 소스(stationary Gaussian source)이고, 블럭 크기가 무한히 길때 이론적으로 이 방법이 최적이다. 그러나, 실제 영상 데이터는 정상 가우시안 소스가 아니고, 블럭크기도 무한히 길게 택할 수 없으므로 이 방법으로는 매우 바람직한 방법이 아니나 다른 방법들과 비교하기 위해서 적용하여 보았다.

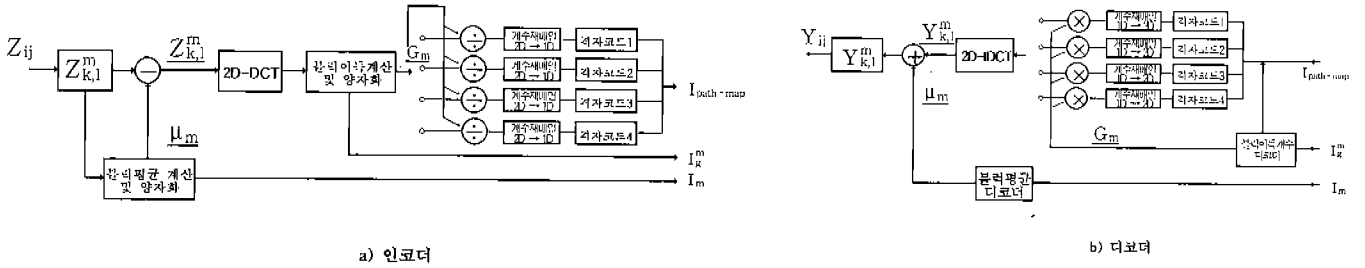


그림 3. 이득적응 훈련 변환 격자코드 시스템  
 Fig. 3. Block diagram of the Gain-adaptive scheme for the image coding

### 2. 훈련 변환격자 코드

위의 변환격자 코드를 초기 코드로 하고 이에 훈련 알고리즘을 사용하였다. 이때 사용된  $\epsilon$ 은 0.05 였다. 이 방법은 실제 영상데이터의 변화하는 통계적 특성에 적응하기 위해서 많은 훈련 데이터를 사용할수록 좋으나 훈련 알고리즘의 반복 (iteration) 시간등을 고려하여 훈련 데이터의 수를 결정하였다.

### 3. 이득적응 훈련 변환격자 코드

그림 3은 이득 적응 훈련 변환격자코드 시스템의 블록 선도이다. 입력 영상  $Z_{i,j}$ 를  $16 \times 16$ 의 블록으로 나눈  $m$ 번째 블록  $Z_{k,l}^m$ 에 대하여 블록 평균  $\mu_m$ 을 계산하고  $\mu_m$ 을 8비트로 양자화한  $\mu_m$ 를  $Z_{k,l}^m$ 에서 맨  $Z_{k,l}^m$ 에 대해  $16 \times 16$ 의 2D-DCT를 행한다. 변환된 각 블록계수  $U_{k,l}^m$ 으로부터 이득 계수를 다음과 같이 구한다.

$$G_m = \sqrt{\sum_{k=0}^{15} \sum_{l=0}^{15} \{U_{k,l}^m\}^2} \quad (7)$$

블록의 이득계수,  $G_m$ 를 8비트로 양자화한,  $G_m$ 으로부터 이에 해당하는 cluster가 정해지고 각 cluster는 그곳에 속하는 훈련데이터로부터 구성된 변환격자 코드와 2차원 변환계수의 1차원 재배열 순서를 가진다. 1차원 변환계수에 대하여 각 변환격자 코드는  $M$  알고리즘을 사용하여 탐색하며 최소 왜곡을 갖는 재생 벡터를 구하고, 이에 해당하는 경로지도,  $I_{path-map}$ ,와 양자화한 블록 평균,  $I_m$ , 및 이득계수,  $I_g^m$ ,에 관한 정보를 디코더로 보낸다. 디코더는 수신된 이득계수 정보,  $I_g^m$ ,로부터 인코더에서 사용되었던 격자코드를 선택할 수 있고, 수신된 경로지도 정보,  $I_{path-map}$ ,로부터 정규화된(normalized) 재생 변환계수를 얻을 수 있으며, 여기에 1차원 변환계수를 2차원으로 재배열한 후 블록

이득 계수를 곱하고 인코더에서의 역순으로 계수를 2차원으로 바꾸어 2D-IDCT를 취하여  $Y_{k,l}^m$ 을 얻는다. 마지막으로 블록 평균을 더함으로써 인코더로부터의 재생 블록,  $Y_{k,l}^m$ ,을 얻는다.

본 논문에서는 4개의 cluster를 구성하였으며, 각 cluster의 문턱치는 각 cluster의 전체 전력이 같도록하게 정하였다. 전력이 큰 블록(분산이 큰 블록)은 화소값이 많이 변하므로 원하는 부호율 보다 많은 부호율을 할당하고 전력이 적은 블록(분산이 적은 블록)은 화소값의 변화가 적으므로 원하는 부호율 보다 적은 부호율을 할당하여 전체적으로는 원하는 부호율에 접근한 값에서 부호율을 갖도록 하였다. 각 cluster에 대한 부호율 할당 과정은 다음과 같다.

#### o 부호율 할당 과정

1. 우선 cluster의 수를 결정한 후, 각 cluster의 평균 스펙트럼에 대해 모두 같은 왜곡  $\theta$ 을 갖도록 하는 부호율을 정보량 왜곡 함수로부터 할당하였다.

$$R^C = \frac{1}{p^2} \sum_{a=0}^{p^2-1} \max \left\{ 0, \frac{1}{2} \log_2 \frac{\lambda_a^C}{\theta} \right\} \quad (8)$$

$$R = E[R^C] = \sum_{C=1}^d \text{Prob}(C) R^C \quad (9)$$

여기서  $\lambda_a^C$ 는  $C$ 번째 cluster의 1차원 평균 스펙트럼을 나타내며,  $R^C$ 는 왜곡  $\theta$ 에 대한  $C$ 번째의 cluster에 할당된 부호화율이며,  $R$ 은 원하는 부호율이다.  $\text{Prob}(C)$ 는 부블럭이  $C$ 번째 cluster에 속할 확률이다.

2. 만약 이렇게 얻어진 전체 부호율이 원하는 부호율보다 높거나 낮으면,  $\theta$ 를 크게하거나 적게하여 1번째 단계로 간다.

#### 4. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

표 1은 위의 3가지 코드에서 얻어진 영상들의 PSNR 과

표 1. 각 코드에 따른 재생영상의 PSNR  
Table 1. PSNR of each coding scheme

	LENA	PEPPERS	GIRL
변환격자코드(dB)	28.8	29.9	29.9
부호율(bits/pixel)	0.53	0.53	0.53
훈련변환격자코드(dB)	31.9	32.5	34.3
부호율(bits/pixel)	0.53	0.53	0.53
이득적응			
훈련변환격자코드(dB)	34.0	34.4	38.5
부호율(bits/pixel)	0.58	0.58	0.51



그림 4. 각코드에 따른 LENA영상  
Fig. 4. Results of LENA image for each coding scheme

부호율을 나타내고 있으며 그림 4는 재생된 영상을 보여 주고 있다. 변환격자코드에서 얻어진 영상은 블러킹 효과가 매우 심하게 나타나 있고, PSNR도 낮았으나 훈련변환 격자코드를 사용하였을때는 비교적 완화된 블러킹 효과와 PSNR도 변환격자 코드의 경우보다 많이 향상되었다. 그리고 이득적응 변환 격자코드는 거의 육안으로 구분이 되지 않을 정도로 재생된 영상이 완전했다. 각 코드에 따른 전체 부호율은 변환격자 코드와 훈련변환 격자코드는 하

나의 격자 코드를 사용하므로 부호율이 일정하다. 0.5 비트(격자코드)+8 비트(블럭평균 양자화에 사용된 비트 수)/16×16=0.5315 비트/화소. 그러나 이득적응 훈련변환 격자코드는 영상에 따라 각 cluster에 속하는 블럭 이득의 분포가 다르므로 인하여 약간의 부호율의 차이가 발생하였다.

### 결론 및 고찰

본 논문은 영상 신호용 훈련 변환 격자 코드와 이를 개선한 이득 적응법들을 제안 하였고, 이 결과를 다른 코드와 비교 분석하였다. 변환으로는 16×16의 2차원 DCT를 사용하였다. 본 논문에서 사용된 K=3, q=8이며, 각 레벨에서 기억하는 최소 왜곡 경로수 M은 16을 사용하였다.

훈련 변환격자 코드에서는 변환격자코드에서 발생하는 영상 데이터의 비정상성으로 인한 왜곡을 많이 줄일 수 있었으나, 블럭간의 전력에 따른 부호율이 모두 동일함으로 인한 블러킹 효과가 문제로 대두되었다. 그러나 이득적응 훈련변환격자코드는 모든 블럭에 같은 왜곡이 일어나도록 하기 위하여 블럭의 전력에 따라 다른 부호율을 할당하여 블러킹 효과를 제거하여 시각적(visually) 뿐만 아니라 PSNR도 매우 우수하였다. 이러한 방법을 현재 개발된 DCT과 병행하여 하드웨어적으로 실현시킬경우 임상용의 의료영상 압축에 매우 효율적으로 이용될 수 있으리라 생각된다.

### References

1. A.J. Viterbi and J.K. Omura. *Trellis encoding of memoryless discrete-time sources with a fidelity criterion*. IEEE Trans. Inform. Theory, vol.IT-20, pp.325-332, May 1974
2. B.Mazor and W.A.Pearlman. *A Trellis Code Construction and Coding Theorm*. IEEE Trans. Inform. Th. vol. IT-29, no.6, 924-930, Nov. 1983
3. B.Mazor and W.A.Pearlman. *A Transform Trellis Code with Applications to Speech*. IEEE Trans. Comm., vol. COM-33, 1109-1116, Oct.1985
4. D.Y.Kim and W.A.Pearlman. *A Trained Transform Trellis Code for Stationary Gaussian Sources*. Proc. of the 1989 Conf. On Information Sciences and Systems, pp.718-722, Baltimore, 1989
5. T.Berger: *Rate Distortion Theory*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1971
6. J.B. Anderson and J.B. Bodie. *Tree Encoding of Speech*. IEEE Trans. Inform. Th.,vol. IT-21, no.4, pp.379-389, July 1975
7. Y.Linde, A.Buzo and R.M.Gray. *An Algorithm for Vector Quantization*. IEEE Trans. Comm.,vol.COM-28, no.1, pp.84-95, Jan. 1980