

論文99-36S-4-5

# 웨이브릿 변환과 선택적 예측 벡터 양자화를 이용한 인공위성 화상데이터의 부호화

## (Satellite Image Data Coding Using Wavelet Transform and Selectively Predictive Vector Quantization)

潘聲元\*, 金秉柱\*\*\*, 金慶圭\*, 鄭元植\*, 金榮春\*\*, 申容達\*\*, 李健一\*

(Seong-Won Ban, Byung-Ju Kim, Kyoung-Kyoo Kim, Won-Sik Cheong, Young-Choon Kim, Yong-Dal Shin, and Kuhn-Il Lee)

### 요 약

본 논문에서는 웨이브릿 변환과 선택적 예측 벡터양자화를 이용한 인공위성 화상데이터 부호화 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 대역내 중복성을 제거하기 위하여 각각의 대역을 웨이브릿 변환하고, 대역간 중복성을 제거하기 위해 예측하는 대역으로부터 생성된 임계치 지도를 이용하여 선택적 예측 벡터양자화를 행한다. 따라서 이 방법은 대역내 및 대역간 중복성을 효과적으로 제거하기 때문에 부호화 효율을 향상시킨다. 이 방법을 실제 Landsat TM 인공위성 화상데이터에 실험한 결과 기존의 방법에 비하여 부호화 효율이 향상됨을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we propose satellite image data coding using wavelet transform and selectively predictive vector quantization. In this method, we perform wavelet transform for each band to remove spatial redundancy and selectively predictive vector quantization to remove spectral redundancy using threshold map, which is made from predicting band. Thus, this method improves coding efficiency because of removing both spatial and spectral redundancy, effectively. Experiments on Landsat TM satellite image data show that coding efficiency of proposed method is better than that of conventional method.

### I. 서 론

\* 正會員, 慶北大學校 電氣電子工學部

(School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University)

\*\* 正會員, 嶺東大學校 電子工學部

(School of Electronic Engineering, Youngdong University)

\*\*\* 正會員, LG電子(주)

(LG Electronic Co.)

接受日字:1998年9月8日, 수정완료일:1999年1月7日

지구 관측용 인공위성으로부터 원격 감지(remote sensing)되어 얻어지는 화상 데이터는 지표 대상으로부터 빛의 반사 및 열의 방사를 가시 대역 및 적외선 대역등의 여러개의 파장 대역(band)별로 나뉘어져 동시에 수집되는 다분광(multispectral)의 것으로서, 환경 조사, 기상 관측, 자원 탐사, 지도 작성, 또는 재해 상황 조사 등의 여러 분야에 이용되고 있다<sup>[1]</sup>.

인공위성 화상데이터는 일반 화상과는 달리 같은 피사체를 파장 대역별로 얻는 것이므로, 공간적으로 뿐만

아니라 분광적으로도 많은 중복성(redundancy)을 가진다. 따라서 다분광 화상데이터는 공간적으로 존재하는 대역내(intraband) 중복성 및 분광적으로 존재하는 대역간(interband) 중복성을 제거함으로써 부호화 효율을 향상 시킬 수 있다.<sup>[2]-[5]</sup>

1992년 Gupta 등<sup>[6]</sup>은 분광적 특징 예측 벡터양자화(feature predictive VQ; FPVQ)를 통하여 대역내 중복성 및 대역간 중복성을 제거하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법에서는 대역단위의 예측이 부정확하고 부가 정보가 전송되어야 하는 단점을 가진다.

최근에는 웨이브릿 변환(wavelet transform; WT)을 이용한 화상데이터의 부호화에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>[7]-[9]</sup> 이러한 웨이브릿 변환은 시간과 주파수에 대한 국부성(locality)을 가지고 신호를 표현할 수 있어서 비정상 과정을 가지는 영상신호를 해석하는데 유리하고, 변환 영역이 인간의 시각 특성과 비슷한 다중 해상도(multiresolution)로 표현되는 장점을 갖는다.

본 논문에서는 웨이브릿 변환 및 선택적 예측 벡터양자화(selectively predictive vector quantization; SPVQ)를 이용한 인공위성 화상데이터의 부호화 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 먼저 각각의 대역에 대하여 웨이브릿 변환을 행한 후, 대역간 상관성이 가장 큰 대역을 기준대역으로 정하여 이를 DPCM 및 벡터양자화를 행한다. 또한 다른 대역들은 대역간 상관성이 높은 대역을 이용하여 에너지가 높은 블럭들만을 선택하여 예측 벡터양자화를 행한다. 이때, 에너지가 높은 블럭들의 위치정보는 예측하는 대역으로부터 얻어지는 임계치 지도(threshold map; THMAP)를 이용함으로써 위치정보를 나타내기 위한 부가 정보를 전송하지 않아도 된다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 실제의 인공위성 Landsat TM으로부터 얻은 화상데이터에 대하여 실험을 행한 결과, 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 낮은 비트율에서 좋은 화질을 얻음으로써 성능이 우수함을 확인하였다.

## II. 인공위성 화상데이터 및 웨이브릿 변환

### 1. 인공위성 화상데이터

인공위성에 의해 얻어지는 화상데이터는 일반적으로 지표대상물로부터 빛의 반사 및 열의 방사를 여러 개의 파장 대역으로 나뉘어져 수집되는 것으로서 파장

대역수 만큼의 화상데이터를 얻을 수 있다. 따라서 이 화상데이터는 공간적으로 2차원 및 분광적으로 1차원을 가지는 3차원 구조를 가진다. 이와 같은 화상데이터의 구조는 그림 1에서와 같다. 이 경우 화상데이터  $X$ 는

$$X = \{ X_1, X_2, \dots, X_n \} \quad (1)$$

로 나타낸다. 이때  $n$ 은 대역의 수를 나타내고,  $X_n$ 은 대역  $n$ 의 화상데이터를 의미한다. Landsat TM의 경우  $n=7$  로서,  $X_1, X_2,$  및  $X_3$ 는 가시 영역 그리고  $X_4, X_5, X_6,$  및  $X_7$ 은 적외선 영역의 화상데이터를 갖는다.

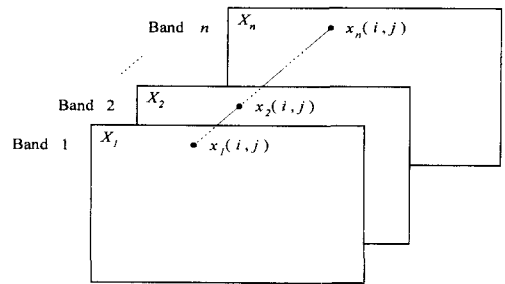


그림 1. 인공위성 화상데이터의 구조  
Fig. 1. Structure of satellite image data.

### 2. 웨이브릿 변환

웨이브릿 변환은 푸리에 변환(fourier transform)과 같이 기저함수(basis function)들의 집합으로 신호를 분해하는 하나의 방법으로서 임의의 함수를 시간-주파수 영역에서 동시에 국부성을 갖는 웨이브릿 기저함수의 선형 결합으로 표현하는 것이다. 웨이브릿 변환에서 기저 함수들은 원형(prototype) 웨이브릿 함수  $\psi(x)$ 의 신축(contraction), 팽창(dilation), 그리고 천이(translation)에 의해 생성된다. 즉,

$$\psi^{a,b}(x) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right), \quad a \in R, b \in R \quad (2)$$

와 같다. 여기서  $R$ 은 실수이고,  $a$ 는 원형 웨이브릿을 신축 및 팽창시키는 스케일 변수이며,  $b$ 는 천이 변수이다. 이산 웨이브릿은

$$a = a_0^m, b = nb_0 a_0^m, \quad a_0 > 1, b_0 > 0, m, n \in Z \quad (3)$$

와 같이 계수를 조정함으로써 표현된다. 여기는  $Z$ 는 정수이다.  $\psi_{m,n}(x)$ 를 이산 웨이브릿 기저함수라 하고  $c_{m,n}(f)$ 를 이산 웨이브릿 변환된 함수라 할 때 이산

웨이브릿 분해(decomposition)는

$$f = \sum c_{m,n}(f) \psi_{m,n} \quad (4)$$

$$c_{m,n}(f) = \langle \psi_{m,n}, f \rangle = \int \psi_{m,n}(x) f(x) dx \quad (5)$$

$$\psi_{m,n}(x) = \psi^{a_0^n b_0 a_0^m}(x) = a_0^{-\frac{m}{2}} \psi(a_0^{-m} x - n b_0) \quad (6)$$

와 같다. 여기서  $f$ 는 입력 함수이다.

웨이브릿 변환은 주파수 영역에서 국부적이고 공간 영역에서 많은 지연(lag)을 가지는 저주파 성분에 대해서는 긴 기저함수를 사용하여 공간 해상도(time resolution)를 줄이는 대신 주파수 해상도(frequency resolution)를 좋게 하고, 공간 영역에서 국부적이고 주파수 영역에서 넓은 대역을 가지는 고주파 성분에 대해서는 짧은 기저함수를 사용하여 주파수 해상도를 줄이는 대신 공간 해상도를 좋게 하는 장점이 있다.

### III. 제안한 인공위성 화상데이터의 부호화 방법

본 논문에서는 웨이브릿 변환과 선택적 예측 벡터양자화를 이용한 인공위성 화상데이터 부호화 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 그림 2에서와 같이 각대역을 웨이브릿 변환한 후, 대역간 상관성이 가장 높은 대역을 기준대역으로 선택하여 대역내(intraband) 부호화를 행함으로써 대역내 중복성을 제거한다. 다른 대역은 대역간 상관성이 높은 대역으로부터 생성된 임계치 지도를 이용하여 대역간(interband) 부호화를 행함으로써 대역간 중복성을 제거한다. 이렇게 함으로써 효과적으로 대역내 중복성과 대역간 중복성을 제거하여 부호화 효율을 향상시킬 수 있다.

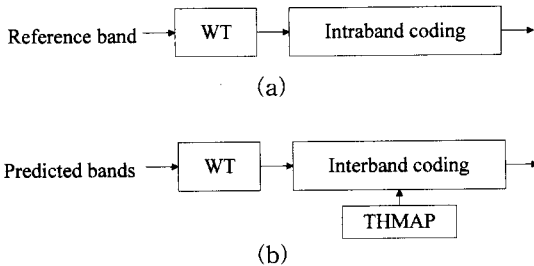


그림 2. 제안한 방법의 (a) 기준대역 및 (b) 예측대역 부호화

Fig. 2. (a) Reference band and (b) Predicted bands coding of the proposed method.

### 1. 기준대역 부호화

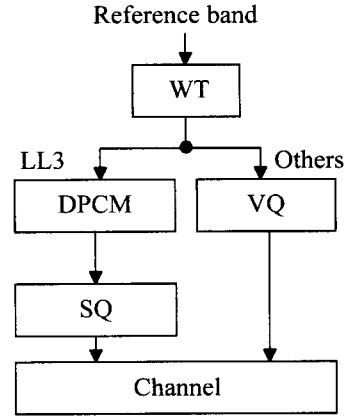


그림 3. 기준대역에 대한 대역내 부호화  
Fig. 3. Intraband coding for reference band.

대역간 상관성이 가장 높은 대역을 기준대역으로 선택하여 이의 대역내 중복성을 제거하기 위하여, 제안한 방법에서는 그림 3에서와 같이 먼저 웨이브릿 변환을 행한 후, 에너지가 가장 높은 LL3 부밴드에 대해서는 DPCM 후 스칼라 양자화를 행하여 전송하고, 다른 부밴드들은 벡터양자화를 행하여 전송한다.

LL3 부밴드의 대역내 중복성을 제거하기 위해서 2차원 DPCM을 적용하며 과거 화소의 가중치 합으로서 현재의 화소치를 예측하고 예측치와 실제 계수치와의 오차(error)만을 부호화 한다. 적용한 예측치  $\hat{X}$  및 실제 계수치와의 오차  $E$  는

$$\hat{X} = 0.5A + 0.5B \quad (7)$$

$$E = X - \hat{X}$$

와 같다. 예측에 사용되는 계수  $A$  및  $B$ 는 그림 4에서와 같다.

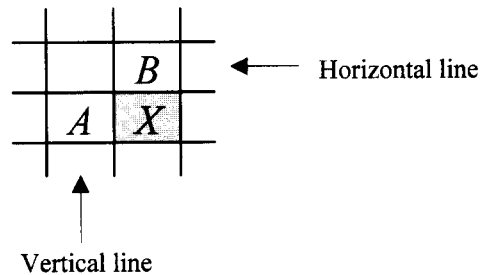


그림 4. 예측에 사용되는 계수들  
Fig. 4. Coefficients used for prediction.

LL3 부밴드를 제외한 다른 부밴드의 대역내 중복성을 제거하기 위하여 벡터양자화를 행한다. 이때 원영상을 웨이브릿 변환을 통하여 분해하면 각 레벨별로 공간해상도가 1/2씩 감소하는 특성을 이용하여, 각 레벨에 따라 벡터의 크기를 다르게 정하는 가변 벡터양자화(variable VQ)를 이용한다. 각 레벨에 대한 벡터의 크기는

$$M_i = 2^{2(L+1-i)} \quad i=1,2,\dots,L \quad (8)$$

와 같다. 여기서  $M_i$ 는 각 레벨에 따라 벡터를 형성하는 화소의 개수를 나타내고,  $i$ 는 레벨, 그리고  $L$ 은 최종 레벨을 나타낸다. 3-레벨 WT를 행할 때 각각의 레벨에 따른 벡터의 크기와 레벨간의 연결관계는 그림 5에서와 같다.

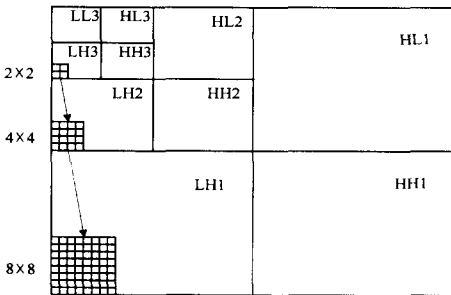


그림 5. 각 부밴드별 벡터 크기  
Fig. 5. Vector dimensions of each subband.

2. 예측대역 부호화

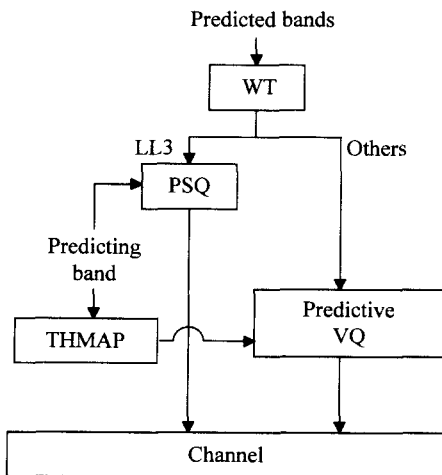


그림 6. 예측대역에 대한 대역간 부호화  
Fig. 6. Interband coding for predicted bands.

기준대역을 제외한 나머지 대역 즉, 예측대역에 대한 대역간 중복성을 제거하기 위하여 제안한 방법에서는 그림 6에서와 같이 대역간 상관성이 높은 대역을 이용하여 부호화를 행한다. 이때 에너지가 가장 많이 집중된 LL3 부밴드는 예측 스칼라 양자화 (predictive scalar quantization; PSQ)를 행하고, 다른 부밴드들은 선택적으로 예측 벡터양자화를 행하는 SPVQ를 행한다. LL3 부밴드를 PSQ하고 다른 부밴드들을 SPVQ함으로써 대역간 중복성을 효과적으로 제거하여 적은 비트율로 높은 화질을 얻을 수 있는 장점이 있다. 제안한 방법에서 모든 부밴드에 사용되는 예측기는 선형 예측기의 확장된 형태를 가진다. 즉,  $b$  대역의  $i$  부밴드에 대한 예측값,  $\hat{W}_b^i$  는

$$\hat{W}_b^i = A_b^i \hat{W}_{pred}^i + B_b^i \quad (9)$$

와 같다. 여기서  $\hat{W}_{pred}^i$ 는 양자화된  $i$  부밴드의 예측하는 대역의 계수값이다. 또한 계수  $A_b^i$  및  $B_b^i$  는 각각

$$A_b^i = \frac{cov(W_{pred}^i, W_b^i)}{var(W_{pred}^i)} \quad (10)$$

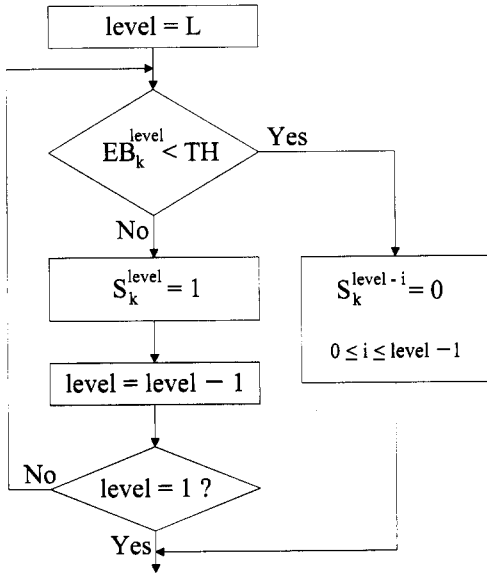
$$B_b^i = E[W_b^i] - A_b^i(E[W_{pred}^i]) \quad (11)$$

와 같다. 여기에서  $cov(\cdot)$ 는 공분산을,  $E[\cdot]$ 는 평균을 각각 나타낸다. 이와같이 제안한 방법에서는 각 부밴드에 대하여 각각의 특성에 맞는 예측 계수를 사용하므로 화상 전체에 대하여 같은 예측 계수를 사용하는 기존의 방법에 비하여 더 정확한 예측을 할 수 있다.

LL3 부밴드를 제외한 나머지 부밴드들은 대역간 상관성이 높은 대역을 이용하여 에너지가 높은 블럭들만을 선택적으로 예측 벡터양자화를 행한다. 이때, 에너지가 높은 블럭들의 위치정보는 예측하는 대역을 이용하여 얻어지는 임계치 지도를 이용한다. 따라서 에너지가 낮은 블럭들은 부호화를 행하지 않으므로써 화질의 열화가 거의 없이 비트량을 많이 감소시킬 수 있다.

3-레벨 웨이브릿 변환을 했을 때 임의의  $k$ 번째 블럭에서의 임계치 지도 작성에 관한 흐름도는 그림 7에서와 같다. 이에서 보는 바와 같이 예측하는 대역의 블럭 에너지가 임계치 보다 작다면 모든 레벨의 선택 코드 (selection code)를 '0'으로 설정하고, 그렇지 않다

면 현재 레벨의 선택 코드를 '1'로 설정하고 다음 레벨에 대해 반복한다. 이렇게 선택 코드가 '1'로 설정된 블록, 즉 에너지가 큰 블록에 대해서만 예측 벡터양자화를 행함으로써 별도의 부가정보를 전송할 필요 없이 에너지가 큰 블록에 대해서 부호화를 행함으로써 부호화 효율을 향상시킬 수 있다.



$EB_k^i$ : k-th block energy of i level in predicting band  
 $S_k^i$ : k-th selection code of i level  
 $L$ : the last level

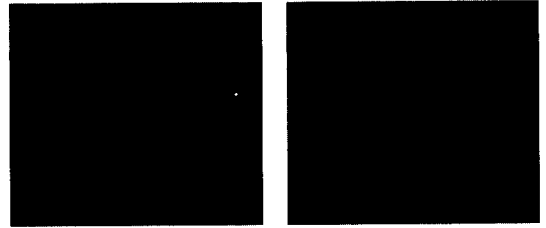
그림 7. 임계치 지도 작성의 흐름도  
 Fig. 7. Flowchart of threshold map.

IV. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 방법의 성능 평가를 위한 실험에서는 실제 인공위성 Landsat TM으로부터 얻어진 512×400 화소의 크기, 256 단계의 회색준위를 가지는 AREA-P 화상데이터를 사용하였으며, 웨이브릿 변환에는 Daubechies의 8-tap 필터<sup>[10]</sup>를 이용하여 3레벨 분할을 행하였다. AREA-P의 대역 1과 대역 4의 화상은 그림 8에서와 같았다.

제안한 방법에서 기준대역으로 선택하기 위해 인공위성으로부터 얻은 여러개의 화상데이터에 대하여 웨이브릿 변환 후 각각의 부밴드에 대하여 상관계수의 평균을 취한 결과는 표 I에서와 같았다, 이 표에서 보

는바와 같이 대역간 상관성이 가장 높은 대역 2를 기준대역으로 선택하였다.



(a) (b)

그림 8. AREA-P의 (a) 대역 1 및 (b) 대역 4의 화상  
 Fig. 8. (a) Band 1 and (b) band 4 images of AREA-P.

표 1. 여러개의 화상데이터에 대한 대역간 상관계수 행렬

Table 1. Interband correlation coefficient matrix for several multispectral data.

Band	1	2	3	4	5	6	7
1	1.000	0.906	0.889	0.177	0.468	0.286	0.635
2		1.000	0.950	0.212	0.544	0.260	0.671
3			1.000	0.199	0.521	0.280	0.683
4				1.000	0.554	0.115	0.256
5					1.000	0.252	0.835
6						1.000	0.324
7							1.000

본 논문에서 제안한 전체적인 부호화 순서는 그림 9에서와 같았다. 즉, 기준대역으로 선택된 대역 2를 웨이브릿 변환 후 VQ(WTVQ)하여 전송한 뒤, 대역 2와 대역간 상관성이 높은 대역 1, 대역 3, 그리고 대역 7을 대역 2로부터 만들어진 임계치 지도를 이용하여 SPVQ 하여 전송한다. 또한 대역 5는 대역 7과 대역간 상관성이 높으므로, 대역 7로부터 대역 5를 예측한다. 이때 대역 7은 대역 5를 예측하는 예측대역으로 설정되기 때문에 임계치가 '0'인 단순 예측 벡터양자화(PVQ)를 행하여 최대한 화질을 향상시켰다. 기준 대역 2와 대역 7에 의해서 생성된 임계치 지도는 그림 10에서와 같았다. 웨이브릿 분해 되면서 레벨이 올라감에 따라 에너지 집중도도 높아지기 때문에 그림에서와 같이 레벨이 증가함에 따라 선택되어지는 블록이 많아진다. 이러한 임계치 지도에 따라서 선택되어진 흰색 블록만 PVQ를 행함으로써 부가 정보가 필요치

않은 효율적인 부호화를 행할 수 있다.

나머지 모든 대역과 대역간 상관성이 낮은 대역 4와 대역 6은 대역 2와 같이 독립적으로 웨이브릿 변환 후 벡터양자화를 행하였다.

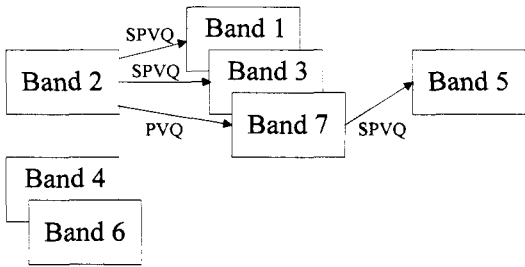


그림 9. 부호화 순서  
Fig. 9. Coding Sequence.

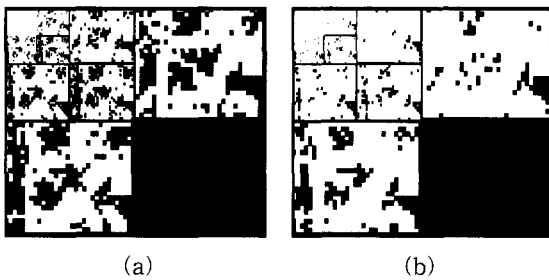


그림 10. (a) 대역 2 및 (b) 대역 7에 대한 임계치 지도(흰색:  $S_k = 1$ , 검은색:  $S_k = 0$ )  
Fig. 10. Threshold map of (a) band 2 and (b) band 7.(white:  $S_k = 1$ , black:  $S_k = 0$ )

기존의 FPVQ방법 및 대역간 상관성을 고려하지 않고 각 밴드를 독립적으로 WTVQ방법 및 제안한 방법에 의한 부호화 결과는 표 II에서와 같았다. 이에서 보는바와 같이 FPVQ에 비해 제안한 방법이 비트율에서는 평균 0.044 bpp 정도가 감소했고, PSNR에서는 1.88 dB 정도가 증가했다. 또한 각각의 대역에 대해서도 유사한, 혹은 낮은 비트율에서 PSNR은 0.26~4.77 dB 정도로 모두 증가하였다. 또한 WTVQ에 비해 제안한 방법이 비트율에서는 평균 0.014 bpp 정도가 감소했고, PSNR에서는 1.90 dB 정도가 증가했다. 또한 각각의 대역에 대해서도 유사한, 혹은 낮은 비트율에서 PSNR은 1.14~4.51 dB 정도로 모두 증가하였다.

대역내 부호화를 행한 대역 2, 대역 4, 그리고 대역 6을 살펴보면 웨이브릿 변환 영역에서 레벨에 따라 달라지는 에너지 집중도를 이용해서 가변 벡터양자화를

행함으로써 공간 영역에서 단순히 벡터양자화를 행한 기존의 방법에 비해 적은 비트율에서 높은 화질을 얻을 수 있었으며, 대역간 부호화를 행한 대역 1, 대역 3, 대역 7, 그리고 대역 5를 살펴보면 대역 1과 대역 3, 그리고 대역 7은 대역 2로부터, 대역 5는 대역 7로부터 생성된 임계치 지도에 의해서 선택적 예측 벡터양자화를 행함으로써 기존의 방법에 비해 부가 정보가 전송되지 않는 장점이 있어서 비슷한 비트율에서 높은 화질을 얻을 수 있었다.

이상의 결과에서 제안한 방법이 기존의 Gupta 등에 의한 방법 및 상관성을 고려하지 않은 단순 WTVQ 보다 대역내 및 대역간 존재하는 중복성을 효과적으로 제거하여 낮은 비트율에서 높은 화질을 얻음으로써 부호화 효율이 우수함을 확인할 수 있었다.

표 2. AREA-P 화상의 부호화 결과  
Table 2. Coding results for AREA-P.

Band	FPVQ		WTVQ		Proposed	
	Bit rate [bpp]	PSNR [dB]	Bit rate [bpp]	PSNR [dB]	Bit rate [bpp]	PSNR [dB]
1	0.292	37.58	0.320	34.42	0.292	38.65
2	0.625	40.80	0.430	41.41	0.430	41.41
3	0.276	37.39	0.320	33.14	0.276	37.65
4	0.414	30.89	0.414	33.32	0.414	33.32
5	0.346	27.63	0.367	28.99	0.346	32.40
6	0.313	43.40	0.203	46.58	0.203	46.58
7	0.414	35.10	0.414	34.76	0.414	35.90
AVG	0.383	36.11	0.353	36.09	0.339	37.99

#### IV. 결론

본 논문에서는 웨이브릿 변환 및 선택적 예측 벡터양자화를 이용한 인공위성 화상데이터의 부호화 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 먼저 각각의 대역에 대하여 웨이브릿 변환을 행한 후, 대역간 상관성이 가장 큰 대역을 기준대역으로 정하여 이를 DPCM 및 벡터양자화를 행한다. 또한 다른 대역들은 대역간 상관성이 높은 대역을 이용하여 에너지가 높은 블럭들만을 선택하여 예측 벡터양자화를 행한다. 이때, 에너지가 높은 블럭들의 위치정보는 예측하는 대역으로부터 얻어지는 임계치 지도를 이용함으로써 위치정보를 나타내기 위한 부가 정보를 전송하지 않아도 된다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 실제의

Landsat TM으로부터 얻은 인공위성 화상데이터에 대하여 컴퓨터 모의 실험을 행한 결과 제안한 방법이 기존의 Gupta 등의 방법에 비하여 평균 0.044 bpp 정도의 낮은 비트율에서 평균 0.26~4.77 dB 정도의 좋은 화질을 얻을 수 있었으며, 이로부터 제안한 방법의 성능이 우수함을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] T. M. Lillesand and R. W. Kiefer, *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York, 1994.
- [ 2 ] K. Sayood, "Data compression in remote sensing applications," *IEEE Geosci. and Remote Sensing Society Newsletter*, pp. 7-15, Sep. 1992.
- [ 3 ] J. Wang, K. Zhang, and S. Taeng, "Spectral and spatial decorrelation of Landsat-TM data for lossless compression," *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, vol. 33, no. 5, pp. 1277-1285, Sep. 1995.
- [ 4 ] V. D. Vaughn and T. S. Wilkinson, "System considerations for multispectral image compression designs," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 19-31, Jan. 1995.
- [ 5 ] N. D. Memon, K. Sayood, and S. S. Magliveras, "Lossless compression of multispectral image data," *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, vol. 32, no. 8, pp. 282-289, Mar. 1994.
- [ 6 ] S. Gupta and A. Gersho, "Feature predictive vector quantization of multispectral images," *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, vol. 30, no. 3, pp. 491-501, May 1992.
- [ 7 ] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image Coding Using Wavelet Transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, Apr. 1992.
- [ 8 ] 오충서, 김영태, 고희화, "웨이브릿 변환 영역에서 부 밴드 상호 상관성을 이용한 영상 부호화," *전자공학회논문지 제 33권 B편 제 8호*, pp. 89-95, 1996년 8월.
- [ 9 ] J. M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zero trees of Wavelet Coefficients," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 41, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [ 10 ] N. J. Fliege, *Multirate Digital Signal Processing*, John Wiley & Sons, New York, 1993.

### 저 자 소 개

潘 賢 元(正會員) 第 33卷 B編 第 8號 參照

현재 경북대학교 전자공학과 박사과정 재학중.



金 乘 柱(正會員)

1974年 5月 15日生 1997年 경북대 전자공학과 공학사, 1999年 경북대 전자공학과 공학석사. 현재 LG(주) 제품연구소 연구원.

金 慶 圭(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照

현재 경북대학교 전자공학과 박사과정 재학중.

鄭 元 植(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照

현재 경북대학교 전자공학과 박사과정 재학중.

金 榮 春(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照

현재 영동대학교 전자공학부 전임강사.

申 容 達(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照

현재 영동대학교 전자공학부 조교수.

李 健 一(正會員) 第 35卷 S編 第 11號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 교수.