

웨이브릿 변환 및 선택적 예측 벡터 양자화를 이용한 다분광 화상데이터 압축

김 병 주, 반 성 원*, 김 경 규*, 정 원 식*, 김 영 춘**, 이 건 일*

*경북대학교 전자공학과, **영동대학교 전자공학부

대구광역시 북구 산격동 1370번지

Multispectral Image Data Compression Using Wavelet Transform and Selective Predicted Vector Quantization

Byung-Ju Kim, Seong-Won Ban*, Kyoung-Kyoo Kim*, Won-Sik Cheong*, Young-Choon Kim**,
and Kuhn-Il Lee*

*Dept. of Electronics, Kyungpook National University

1370 Sankyukdong Bukgu, Taegu, Korea

** Dept. of Electronics, Youngdong University

San 12-1 Seolge-ri, Youngdong-eup, Youngdong-gun, Chungbuk, 370-800, Korea

Abstract

Future land remote sensing satellite systems will likely be constrained in terms of communication bandwidth. To alleviate this limitation, the data must be compressed. Image data obtained from satellite exhibit a high degree of spatial and spectral correlations that must be properly exploited. In this paper we propose multispectral image data compression using wavelet transform and selective predicted vector quantization. The proposed method is based on accurately predicting other band from reference band and reducing bit rate through threshold map. we can achieve better compression efficiency than conventional methods.

I. 서 론

지구 관측용 인공위성을 통하여 원격 감지 (remote sensing)로 얻는 화상 데이터는 지표 대상물로부터 빛의 반사 및 열의 방사를 가지 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.

인공위성 다분광 화상 데이터는 일반 화상과는 달리 같은 피사체를 파장 대역별로 얻는 것이므로, 공간적으로 뿐만 아니라 분광적으로도 많은 중복성 (redundancy)을 가진다. 따라서 다분광 화상 데이터 압축에서는 공간적으로 존재하는 대역내 (intraband) 중복성 및 분광적으

로 존재하는 대역간 (interband) 중복성을 제거함으로써 압축 효율을 향상 시킬 수 있다.

1992년 Gupta 등^[1]은 분광적 특징 예측 벡터 양자화 (feature predictive VQ; FPVQ)를 통하여 대역내 중복성 및 대역간 중복성을 제거하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법에서는 대역단위의 예측이 부정확하여 압축효율이 낮은 뿐만 아니라, 기준 대역에 대한 비트의 양이 많고, 부가 비트가 전송되어야 하는 단점이 있다.

최근에는 웨이브릿 변환을 이용한 화상데이터의 압축에 대한 연구가 진행되고 있다.^{[2]-[4]} 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 (wavelet transform; WT) 및 선택적 예측 벡터 양자화 (selective predicted vector quantization; SPVQ)를 이용한 다분광 화상데이터 압축 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 먼저 각각의 대역에 대하여 웨이브릿 변환을 행한 후, 대역간 상관성이 가장 큰 대역을 기준 대역으로 정하여 이를 벡터 양자화 하여 전송하였다. 또한 다른 대역들은 기준 대역을 이용하여 에너지가 높은 블록들만을 선택적으로 예측 벡터 양자화를 행하였다. 이때, 에너지가 높은 블록들의 위치정보는 기준 대역을 이용하여 얻어지는 임계치 지도 (threshold map; THMAP)를 이용하였다. 이를 이용함으로써 위치정보를 나타내기 위한 부가 정보가 전송되지 않는 장점을 가질 수 있게 되어서, 낮은 비트율 (bit rate)에서 높은 화질을 얻을

수 있었다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 실제의 Landsat TM으로부터 얻은 다분광 화상데이터에 대하여 컴퓨터 모의 실험을 행한 결과, 제안한 방법이 기존의 Gupta 등의 방법에 비하여 더 낮은 비트율에서 더 좋은 화질을 얻을 수 있었으며, 이로부터 제안한 방법의 성능이 우수함을 확인하였다.

II. 이론

본 논문에서는 웨이브릿 변환과 선택적 예측 벡터 양자화를 이용한 다분광 화상데이터 압축 기법을 제안하였다. 이 방법에서는 그림 1에서와 같이 각대역을 웨이브릿 변환한 후, 기준 대역 (reference band)의 부호화에서는 가장 낮은 해상도를 가지는 부밴드 (LL3)는 대역내 DPCM을 행하고 다른 부밴드들은 벡터 양자화를 행함으로써 대역내 중복성을 제거한다.

그리고 다른 대역 (other band)의 부호화에서 LL3 부밴드는 기준 대역을 이용하여 예측 스칼라 양자화 (predicted scalar quantization; PSQ)를 행하고 다른 부밴드들은 기준 대역을 이용하여 생성되는 임계치 지도에 의해서 SPVQ를 행함으로써 대역간 중복성을 제거한다.

1. 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, 팽창 (contraction / dilation), 그리고 천이 (translation)에 의해 생성된다. 즉,

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

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

변수이다. 이산 웨이브릿은

$$a = a_0^m, b = nb_0 a_0^m, \quad a_0 > 1, b_0 > 0, m, n \in Z \quad (2)$$

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

$$f = \sum c_{m,n}(f) \psi_{m,n} \quad (3)$$

$$c_{m,n}(f) = \langle \psi_{m,n}, f \rangle = \int \psi_{m,n}(x) f(x) dx \quad (4)$$

$$\psi_{m,n}(x) = \psi^{a_0^m n b_0, a_0^m}(x) = a_0^{-\frac{m}{2}} \psi(a_0^{-m} x - n b_0) \quad (5)$$

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.

본 논문에서는 대역내 중복성을 제거하기 위하여 각 대역별로 웨이브릿 변환을 행한다.

2. 기준 대역 부호화

기준 대역의 대역내 중복성을 제거하기 위하여, LL3 부밴드에 대해서는 DPCM을 적용하여 스칼라 양자화를 행하여 전송하고, 다른 부밴드들은 벡터 양자화를 이용하여 전송한다. 이때 원영상을 웨이브릿 변환을 통하여 분해하면 각 레벨별로 공간해상도가 1/2씩 감소하는 특성을 이용하여, 각 레벨에 따라 벡터의 크기를 다르게 정하는 가변 벡터 양자화 (variable VQ)를 이용한다. 각 레벨에 대한 벡터의 크기는

$$M_i = 2^{2i}, \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (6)$$

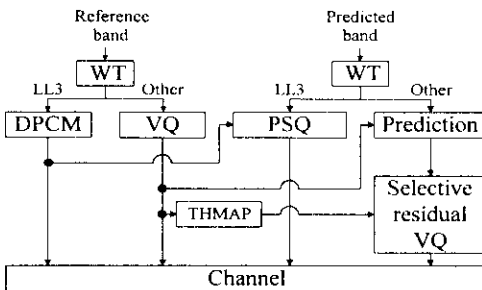


그림 1. 제안한 방법의 블락선도
Fig. 1. Block diagram of the proposed method.

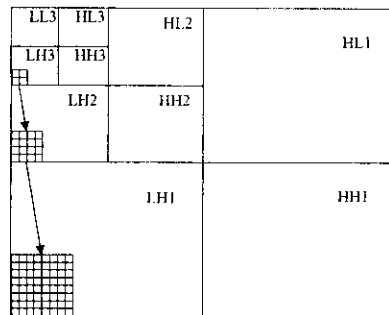


그림 2. 각 부밴드별 벡터 크기
Fig. 2. Vector dimensions of each subband.

와 같다. 여기서 M_i 는 각 레벨에 따라 벡터를 형성하는 화소의 개수를 나타내고, i 는 레벨, 그리고 L 은 최종 레벨을 나타낸다.

3-level WT를 행할 때 각각의 레벨에 따른 벡터의 크기와 레벨간의 연결관계는 그림 2에서와 같다.^[4]

3. 예측 부호화

기준 대역을 제외한 다른 대역의 부호화에서는 대역간 중복성을 제거하기 위하여 대역내 벡터 양자화된 기준 대역을 이용하여 LL3 부밴드는 PSQ를 행하고, 다른 부밴드들은 SPVQ를 행한다.

제안한 방법에서 사용되는 예측기는 선형 예측기의 확장된 형태를 가지며, b 대역의 i 부대역에 대한 예측값, \hat{W}_b^i 는

$$\hat{W}_b^i = A_b^i \hat{W}_{ref}^i + B_b^i \quad (7)$$

와 같다. 여기서 계수 A_b^i 및 B_b^i 는 각각

$$A_b^i = \frac{cov(W_{ref}^i, W_b^i)}{var(W_{ref}^i)} \quad (8)$$

$$B_b^i = E[W_b^i] - A_b^i(E[W_{ref}^i]) \quad (9)$$

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 부밴드의 부호화에서는 각 계수값과 기준 대역으로부터 예측된 계수값의 차이를 구하여 이를 스칼라 양자화 하는 PSQ를 행한다.

LL3 부밴드를 제외한 나머지 부밴드들은 대역간 상관성이 가장 높은 기준 대역을 이용하여 에너지가 높은 블록들만을 선택적으로 예측 벡터 양자화를 행한다. 이때, 에너지가 높은 블록들의 위치정보는 기준 대역을 이용하여 얻어지는 임계치 지도를 이용한다. 이를 이용하여 에너지가 낮은 블록들을 부호화에서 제외시킴으로써 화질의 열화가 거의 없이 많은 비트량의 감소를 이룰 수 있다. 임계치 지도를 만드는 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{If}(EB_k^i < TH) \{ \\ & \quad S_k^i = 0 \\ & \quad \text{If}(i=1) \quad S_k^{i+1} = S_k^{i+2} = 0 \\ & \quad \text{If}(i=2) \quad S_k^{i+1} = 0 \\ & \} \\ & \text{else} \quad S_k^i = 1 \end{aligned}$$

where, EB_k^i : k -th block energy of i level
 S_k^i : k -th selective code of i level
 N : number of blocks in each subband
 $i = 1, 2, 3 \quad k = 1, 2, \dots, N$.

즉, 먼저 기준 대역의 레벨 1에 대하여 각 블록의 에너지와 임계치를 비교하여 임계치 보다 작은 에너지를 갖는 블록은 선택 부호 (selective code)를 '0'으로 설정하고, 임계치 보다 큰 블록은 선택 부호를 '1'로 설정한다. 이때 선택 부호가 '0'으로 설정된 블록에 대해서는 레벨 2 및 레벨 3의 같은 위치에 존재하는 블록의 선택 부호도 '0'으로 설정하여 다음 레벨에서 임계치와 비교를 하지 않는다. 레벨 2 및 3에 대해서도 같은 방법으로 선택 부호를 설정한다. 이렇게 함으로써 부밴드 간의 중복성을 제거한다.

이렇게 설정된 임계치 지도에 따라 $S_k^i = 1$ 로 설정된 블록에 대해서만 예측 벡터 양자화를 행한다.

III. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 방법의 성능 평가를 위한 실험에서는 Landsat TM으로부터 얻어진 512×400 화소의 크기, 256 단계의 회색준위를 가지는 AREA-P 화상데이터를 사용하였으며, 웨이브릿 변환에는 Daubechies의 8-tap 필터^[5]를 이용하여 3레벨 분할을 행하였다. AREA-P의 대역 1과 대역 4의 화상은 그림 3에서와 같았다.

대역간 상관성이 높은 대역을 기준 대역으로 선택하기 위해 각 대역에 대하여 AREA-P의 웨이브릿 변환 후 각각의 부밴드에 대하여 계수들의 상관성을 구하여 평균을 취한 결과는 표 I에서와 같았고, 이 표에서와 같이 대역간 상관성이 높은 대역 2를 기준 대역으로

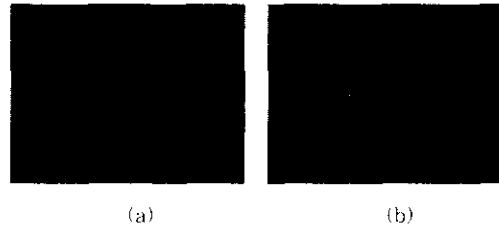


그림 3. AREA-P의 (a) 대역 1 및 (b) 대역 4의 화상

Fig. 3. (a) band 1 and (b) band 4 images of AREA-P.



그림 4. (a) 대역 2 및 (b) 대역 7에 대한 임계치 지도 (흰색: $S_k^i = 1$, 검은색: $S_k^i = 0$)

Fig. 4. THMAP of (a) band 2 and (b) band 7. (White level: $S_k^i = 1$, black level: $S_k^i = 0$).

표 I. AREA-P에 대한 각각의 부밴드에 따른 대역간 상관계수들의 평균치 행렬

Table I. Interband average correlation coefficient matrix for each subband for AREA-P.

Band	1	2	3	4	5	6	7
1	1.000	0.914	0.890	0.167	0.553	0.286	0.676
2		1.000	0.957	0.247	0.616	0.264	0.712
3			1.000	0.194	0.610	0.269	0.715
4				1.000	0.531	0.052	0.269
5					1.000	0.252	0.874
6						1.000	0.303
7							1.000

선택하였다.

기준 대역을 웨이브릿 변환 후 VQ 하여 전송한 뒤, 기준 대역과 대역간 상관성이 높은 대역 1, 대역 3, 그리고 대역 7을 SPVQ 하여 전송한다. 또한 대역 5는 대역 7과 대역간 상관성이 높으므로, 대역 7을 다시 기준대역으로 선택하여 대역 5를 예측한다. 이때 대역 7은 대역 5를 예측하는 기준 대역으로 설정되기 때문에 임계치가 '0' 인 단순 예측 벡터 양자화를 행하여 최대한 화질을 향상시켰다. 기준 대역 2와 기준 대역 7에 의해서 생성된 임계치 지도는 그림 4에서와 같았다.

대역간 상관성이 낮은 나머지 대역 4와 대역 6은 독립적으로 웨이브릿 변환 후 벡터 양자화를 행하였다.

기준의 FPVQ 및 대역간 상관성을 고려하지 않고 각 밴드를 독립적으로 웨이브릿 변환한 후 VQ (WTVQ)한 결과와 제안한 기법에 의해 각각 복원되는 화상에 대한 비트율 및 PSNR은 표 II에서와 같았다.

FPVQ에 비해 제안한 기법이 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.

WTVQ에 비해 제안한 기법이 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

표 II. 부호화한 AREA-P 화상의 유사한 비트율에서의 PSNR

Table II. PSNR under same bit rate of coded AREA-P images.

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

모두 증가하였다.

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 압축 효율이 우수함을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 웨이브릿 변환 및 선택적 예측 벡터 양자화를 이용한 다분광 화상데이터 압축 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 먼저 각각의 대역에 대하여 웨이브릿 변환을 행한 후, 대역간 상관성이 가장 큰 대역을 기준 대역으로 정하여 이를 벡터 양자화 하여 전송하였다. 또한 다른 대역들은 기준 대역을 이용하여 에너지가 높은 블록들만을 선택적으로 예측 벡터 양자화를 행하였다. 이때, 에너지가 높은 블록들의 위치정보는 기준 대역을 이용하여 얻어지는 임계치 지도를 이용하였다. 이를 이용함으로써 위치정보를 나타내기 위한 부가 정보가 전송되지 않는 장점을 가질 수 있게 되어서, 낮은 비트율에서 높은 화질을 얻을 수 있었다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 실제의 Landsat TM으로부터 얻은 다분광 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.

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 오충식, 김영태, 고희화, "웨이브릿 변환 영역에서 부 밴드 상호 상관성을 이용한 영상 부호화," 전자공학회논문지 제 33권 B편 제 8호, pp. 89-95, 1996년 8월.
- [4] J. M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zero trees of Wavelet Coefficients," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 41, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [5] N. J. Fliege, "Multirate Digital Signal Processing," JOHN WILEY & SONS, 1993.
- [6] S. Tang, J. Wang, and K. Zhang, "Spatial and spectral decorrelation for lossless data compression of Landsat-TM imagery," *Proc. IGARSS '94*, vol. 1, pp. 332-334, 1994.