

웨이브릿 영역에서의 영역분류와 대역간 예측 및 선택적 벡터 양자화를 이용한 다분광 화상데이터의 압축

°석 정 엽*, 반 성 원*, 김 병 주*, 박 경 남*, 김 영 춘,** 이 건 일*

*경북대학교 전자전기공학부, **영동대학교 전자공학부
대구광역시 북구 산격동 1370번지

Multispectral Image Compression Using Classification in Wavelet Domain and Classified Inter-channel Prediction and Selective Vector Quantization in Wavelet Domain

°Jung-Youp Suk, Seong-Won Ban*, Byung-Ju Kim*, Kyung-Nam Park*, Young-Choon Kim,** and Kuhn-Il Lee*

*School of Electronics, Kyungpook National University
1370 Sankyukdong Bukgu, Taegu, Korea

**School of Electronics, Youngdong University

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

Abstract

In this paper, we proposed multispectral image compression method using CIP (classified inter-channel prediction) and SVQ (selective vector quantization) in wavelet domain. First, multispectral image is wavelet transformed and classified into one of three classes considering reflection characteristics of the subband with the lowest resolution. Then, for a reference channel which has the highest correlation with other channels, the variable VQ is performed in the classified intra-channel to remove spatial redundancy. For other channels, the CIP is performed to remove spectral redundancy. Finally, the prediction error is reduced by performing SVQ. Experiments are carried out on a multispectral image. The results show that the proposed method reduce the bit rate at higher reconstructed image quality and improve the compression efficiency compared to conventional method.

I. 서 론

지구 관측용 인공위성을 통하여 원격 감지 (remote sensing)로 얻는 화상데이터는 지표 대상물로부터 빛의 반사 및 열의 방사를 가시 대역 및 적외선 대역 등의 여러개의 파장 대역 (channel)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 화상데이터는 일반 화상과는 달리 같은 피사체를 파장 대역별로 얻는 것이므로, 공간적으로 뿐만 아니라 분광적으로도 많은 중복성을 가진다.

1992년 Gupta 등^[1]은 분광적 특징 예측 벡터 양자화 (feature predictive vector quantization; FPVQ)를 통하

여 대역내 중복성 및 대역간 중복성을 제거하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법에서는 대역단위의 예측이 부정확할 뿐만 아니라, 기준 대역에 대한 비트양이 많아 부호화 효율이 저하된다. 1995년 Wang 등^[2]은 하나의 화소를 3차원 예측을 통하여 부호화 하는 무손실 부호화 방법을 제안하였으나, 이 방법에서는 화소단위로 예측함으로써 전송해야 할 정보량이 많아진다.

웨이브릿 변환 (wavelet transform; WT)을 이용한 화상 데이터의 압축에 관한 연구가 지난 몇 년 동안 진행되어 왔다.^{[3]-[5]} WT는 신호를 시간과 주파수에 대하여 국부적 (local)으로 표현할 수 있어서 비정상 과정 (nonstationary process)을 가지는 영상신호를 해석하는데 유리하고, 변환 영역이 인간의 시각 특성과 비슷한 다중 해상도 (multi-resolution)로 영상신호를 표현하는 장점을 갖는다.

본 논문에서는 웨이브릿 영역 (wavelet domain)에서의 각 부밴드의 상관성을 고려하여 영역분류 후, 각 부밴드별로 영역별 대역간 예측 및 선택적 벡터 양자화를 이용한 다분광 화상데이터의 효율적인 압축 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 각 대역을 웨이브릿 변환 후 각 대역의 기저밴드의 대역별 특성을 이용하여 영역분류를 행하였다. 그리고, 공간적 분산이 작고 분광적 상관성이 큰 기준 대역 (reference channel)을 결정한 뒤, 이를 영역별 스칼라 및 분류별 벡터양자화를 행하여 부호화 하였다. 또한 기준 대역과의 대역간 상관성이 큰 대역들에 대해서는 영역별 대역간 예측을 행한 후, 활동도가 높은 블록에 대해서만 선택적 벡터 양자화로 부호화를 행하였다. 이때, 활동도가 높은 블록들의 위치정보는 기준 대역으로부터 얻어지는 임계치 지도 (threshold map; THMAP)를 이용하였다. 즉, 제안한 방법에서는 각 대역에 대해 웨이브릿 영역에서의 영역분류 후 영역별 대역간 예측을 행함으로써 다분광 화상데이터에 존재하는 대역간 중복성을 제거하고 선택적 벡터 양자화를 행함으로써 대역내 중복성을 효과적으로 제거하여 압축효율을 향상시킨다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 실제의 Landsat TM (thematic mapper)으로부터 얻은 다분광 화상 데이터에 대하여 컴퓨터 모의 실험을 행한 결과, 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 저비트율에서 더 좋은 화질을 얻을 수 있었으며, 이로부터 제안한 방법의 성능이 우수함을 확인하였다.

II. 이론

본 논문에서는 웨이브릿 영역에서의 영역분류 후 영역별 대역간 예측과 선택적 벡터 양자화를 이용한 다분광 화상데이터 압축 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 우선 각 대역을 웨이브릿 변환 후, 기저밴드의 대역별 특성에 따라 영역분류를 행한 뒤 각 부밴드들의 상관성을 고려하여 나머지 밴드들에 확장함으로써 영역분류를 행한다. 이를 이용하여 기준 대역의 대역내 (intra-channel) 부호화에서는 최저해상도를 가지는 기저밴드 (baseband)에 대하여 영역별 스칼라 양자화 (classified scalar quantization; CSQ)를 행하고 나머지 부밴드들에 대해서 영역별 벡터 양자화 (classified vector quantization; CVQ)를 행함으로써 대역내 중복성을 제거한다. 그리고 대역간 부호화에서는 기준 대역을 중심으로 기저밴드는 영역별 예측 후 스칼라 양자화 (predicted scalar quantization; PSQ)를 행하고, 다른 부밴드들은 기준 대역을 이용하여 생성되는 임계치 지도에 의해서 영역별 SVQ를 행함으로써 대역간 중복성을 제거한다. 제안한 방법의 블록선도는 그림 1에서와 같다.

1. 제안한 다분광 화상데이터의 영역분류

인공위성으로부터 얻은 다분광 화상데이터는 일반적으로 지표대상물로부터 빛의 반사 및 열의 방사를 가지 영역 및 적외선 영역 등의 여러 개의 파장 대역으로 수집되는 데이터이다. 이 데이터는 공간적으로 2차원 및 분광적으로 1차원을 가지는 3차원 구조를 가진다. 이 경우 다분광 화상데이터 X 는

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

나타낼 수 있다. 여기서 n 은 대역의 수를 나타내고, X_n 은 대역 n 의 화상을 뜻한다. 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. 이때 지표 대상

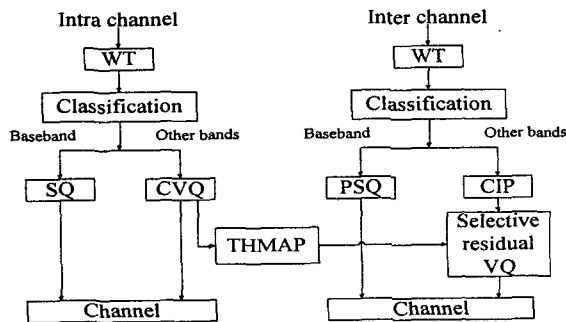


그림 1. 제안된 방법의 블록선도
Fig. 1. Blockdiagram of proposed method.

물은 각각의 파장 대역에 대해 다른 반사율을 가진다. 예를 들면 물의 경우 가시 영역에서는 높은 반사율을 보이고 적외선 영역으로 갈수록 낮은 반사율을 보이지만, 산림의 경우 가시 영역보다는 적외선 영역에서 높은 반사율을 보인다.

본 논문에서는 이와 같이 화상데이터가 영역별로 다른 반사율이 나타나는 것을 웨이브릿 영역으로 확장한다. 즉, 기저밴드를 영역분류 한 후에 각 밴드들의 상관성을 고려하여 나머지 밴드에 확장함으로써 영역분류를 행한다. 그리고 블록 단위의 벡터 양자화를 고려하여 블록 단위로 블록내의 평균값과 표준편차를 이용한다.

대역 b 의 기저밴드의 임의의 $N \times N$ 블록 B 의 대표값 R_b^B 는

$$R_b^B = E_b^B + SD_b^B \quad (2)$$

와 같이 결정한다. 여기에서 E_b^B 은 대역 b 의 기저밴드의 블록의 평균이며, SD_b^B 은 표준 편차이다. 이때 블록의 대표값 R_b^B 는 지표대상물과 각 대역에 따라서 다르게 나타난다. 따라서 각 대역에 대한 기저밴드의 임의의 블록 대표 벡터 V^B 은

$$V^B = [R_1^B, R_2^B, R_3^B, \dots, R_n^B] \quad (3)$$

와 같이 나타난다. 여기에서 n 은 대역의 수를 나타낸다. V^B 은 각 블록의 반사 특성에 의해 영역별로 다른 값을 가지며, 이 블록 대표 벡터들은 클러스터링 (clustering)의 반복 수행 (iteration)에 의하여 기저밴드에 대한 영역 기준값을 얻을 수 있다. 원격 감지된 화상데이터들로부터 제안한 영역분류를 행한 후 얻어진 영역 기준값은 그림 2에서와 같다. 이 그림에서 각 영역의 기준값이 영역에 따라 큰 차이가 나타남을 알 수 있다. 이렇게 얻어진 기준값을 기준으로 임의의 기저밴드내 블록 B 의 영역 C^B 는

$$C^B = \arg[\min(\sum_{i=1}^n |R_i^B - C_i^1|^2, \sum_{i=1}^n |R_i^B - C_i^2|^2, \sum_{i=1}^n |R_i^B - C_i^3|^2)] \quad (4)$$

로 결정된다. 여기에서 k 는 대역의 수를 나타내고, C_i^k 는

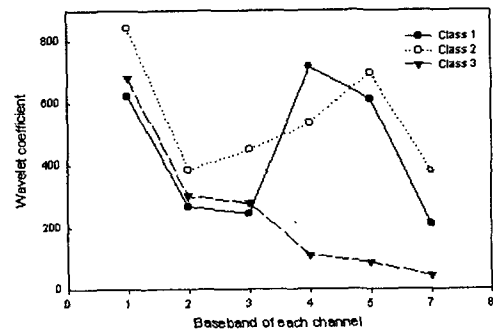


그림 2. 각 대역별 기저밴드의 웨이브릿 계수 영역기준값
Fig. 2. Reference value of wavelet coefficient in each classified baseband.

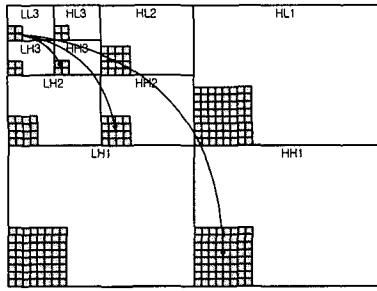


그림 3. 나머지 부밴드들의 영역분류 방법
Fig. 3. Classification method of other subbands.

영역 기준값을 나타낸다. 그리고 나머지 부밴드의 영역분류는 그림 3와 같이 각 부밴드의 상관성과 해상도를 고려하여 기저밴드의 영역분류 정보를 나머지 부밴드에 확장함으로써 분류한다. 따라서, 영역분류의 부가정보는 기저밴드만을 가지고 영역분류를 행하기 때문에 매우 적은 비트량을 할 수 있다.

2. 기준 대역의 부호화

기준 대역의 대역내 중복성을 제거하기 위해, 전체 화상의 화질이 큰 영향을 주고 에너지가 가장 높은 기저밴드의 웨이브릿 계수에 대해서는 영역별 스칼라 양자화를 행한다. 즉, 기저밴드의 스칼라 양자화된 웨이브릿 계수 $\hat{W}_{ref}^{LL3}(c)$ 은

$$\hat{W}_{ref}^{LL3}(c) = SQ(W_{ref}^{LL3}(c)) \quad (5)$$

와 같다. 여기에서 $SQ(\cdot)$ 는 스칼라 양자화, c 는 분류된 영역을 각각 나타낸다. 그리고 나머지 부밴드들은 영역별 벡터 양자화를 행한다. 이때 원영상을 웨이브릿 변환을 통하여 분해하면 각 레벨별로 공간해상도가 1/2씩 감소하기 때문에 각 레벨에 따라 벡터의 크기를 다르게 정하는 가변 벡터 양자화 (variable VQ)를 행한다. 레벨에 대한 벡터의 크기 M_l 는

$$M_l = 2^{2(L+1-l)}, \quad l=1,2,\dots,L \quad (6)$$

이다. 여기서 l 는 레벨, 그리고 L 은 최종 레벨을 나타낸다. 영역별 벡터 양자화된 웨이브릿 계수, $\hat{W}_{ref}^s(c)$ 는

$$\hat{W}_{ref}^s(c) = VQ(W_{ref}^s(c)) \quad (7)$$

와 같다. 여기에서 $VQ(\cdot)$ 는 벡터 양자화, s 는 부밴드를 각각 나타낸다.

3. 예측 대역의 부호화

제안한 방법에서 사용되는 예측기는 선형 예측기의 확장된 형태를 가지며, b 대역의 s 부밴드의 영역 c 에 대한 예측 값, $A_b^s(c)$ 는

$$\hat{W}_b^s(c) = A_b^s(c) \hat{W}_{ref}^s(c) + B_b^s(c) \quad (8)$$

이다. 여기서 예측 계수 $A_b^s(c)$ 및 $B_b^s(c)$ 는 각각

$$A_b^s(c) = \frac{cov(W_{ref}^s(c), W_b^s(c))}{var(W_{ref}^s(c))} \quad (9)$$

$$B_b^s(c) = E[W_b^s(c)] - A_b^s(c)(E[W_{ref}^s(c)]) \quad (10)$$

이다. 여기에서 $cov(\cdot)$ 는 공분산을, $E[\cdot]$ 는 평균을 각각 나타낸다.

예측 대역에 있어서도 기저밴드는 에너지가 가장 많이 모여 있으며, 전체 화상의 화질에 결정적인 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 영역별 예측을 통하여 얻어진 기저밴드의 차계수값은 스칼라 양자화를 행한다.

대역 b 의 기저밴드의 영역 c 의 차계수 $D_b^{LL3}(c)$ 는

$$D_b^{LL3}(c) = \hat{W}_b^{LL3}(c) - (A_b^{LL3}(c) \hat{W}_{ref}^{LL3}(c) + B_b^{LL3}(c)) \quad (11)$$

와 같이 얻어지며, 이를 스칼라 양자화를 행한다.

예측을 통하여 생성된 기저밴드를 제외한 나머지 부밴드는 예측 블록들의 화질을 향상시키기 위해 오차 블록들에 대해서 선택적 벡터 양자화를 행한다. 이때 대역 b , 부밴드 s 의 오차 블록 D_b^s 는

$$D_b^s = W_b^s(c) - \hat{W}_b^s(c) \quad (12)$$

이다. 이 오차 블록들은 대역간 상관성이 높은 기준 대역으로부터 만들어진 임계치 지도를 이용하여 활동도가 높은 블록들만을 선택적으로 벡터 양자화를 행한다. 이때, 활동도가 높은 블록들의 위치정보는 기준 대역으로부터 얻어지는 임계치 지도를 이용한다. 이를 이용하여 화질의 열화가 거의 없이 많은 비트량의 감소를 이룰 수 있다. 또한 본 논문에서는 기존의 방법과 비트율을 맞추기 위하여 문턱값을 조정한다. 임계치 지도를 만드는 과정은 기준 대역에서 각 부밴드별로 임계치 보다 높은 활동도를 갖는 블록에 대해서는 선택 부호 (selective code)를 '1'로 설정하고 임계치 보다 낮은 활동도를 갖는 블록에 대해서는 '0'으로 설정함으로써 만든다. 이를 이용하여 선택 부호가 '1'로 설정된 블록에 대해서만 선택적으로 벡터 양자화를 행하게 된다.

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 사용하였다. 이 데이터의 대역 1, 2, 3, 4, 5 및 7은 $30 \times 30m$ 해상도를 가지며 대역 6은 $120 \times 120m$ 해상도를 가진다. 그리고 벡터 양자화, 영역분류 대표값 및 예측 계수의 추출을 위하여 AREA-P 이외의 3개 화상데이터를 훈련데이터로 사용하였다. 비교 실험에 사용된 AREA-P의 대역 2와 5의 화상은 그림 4에서와 같았다. 또한 본 논문에서 제안한 방법으로 분류된 영역과 임계치 지도는 그림 5에서와 같았다. 웨이브릿 변환에는 Antonini의 9/7-tap 쌍직교 필터 (biorthogonal filter)를 이용하여 3-level WT을 행하였다. 그리고, 대역간 상관성이 높은 대역을 기준대역으로 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



그림 4. AREA-P의 (a) 대역 2 및 (b) 대역 5
Fig. 4. (a) channel 2 and (b) channel 5 images of AREA-P.

대역 2를 기준 대역으로 선택하였다. 그리고, 해상도가 다른 대역 6은 독립적으로 웨이브릿 영역에서 단순 영역 분류 벡터 양자화하여 전송하였다.

기존의 FPVQ 및 대역간 상관성을 고려하지 않고 각 대역을 독립적으로 웨이브릿 변환한 후 VQ (WTVQ)한 결과와 제안한 방법에 의해 각각 복원되는 화상에 대한 비트율 및 PSNR은 표II에서와 같았다. FPVQ에 비해 제안한 기법이 비트율에서는 평균 0.048 bpp 정도가 감소했고, PSNR에서는 1.15 dB 정도가 증가했다. 또한 각각의 대역에 대해서도 유사한, 혹은 낮은 비트율에서 PSNR이 0.12~5.32 dB 정도로 모두 증가하였다. 또한 WTVQ에 비해서도 제안한 기법이 낮은 비트율에서 PSNR이 약 1.00 dB 정도 증가했다. 그리고 각각의 대역에 대해서도 유사한, 혹은 낮은 비트율에서 PSNR은 0.12~1.99 dB 정도로 모두 증가하였다.

이상의 결과에서 제안한 방법이 기존의 FPVQ 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 영역에서 영역분류를 행한 후, 영역별 대역간 예측과 선택적 벡터 양자화를 이용한 다분광 화상데이터 압축 방법을 제안하였다. 이 방법은 먼저 화상데이터에서 각 대역의 반사 특성을 이용하여 웨이브릿 영역상에서 기저밴드를 중심으로 영역분류를 행한 후, 이 영역분류 정보를 이용하여 나머지 각 대역을 예측함으로써 대역간 중복성을 제거하였다. 그리고 기준 대역으로부터 만들어진 임계치 지도를 이용하여 선택적 벡터 양자화를 행하여 화질을 향상시켰다.

실제의 LANDSAT TM 센서로부터 얻은 화상데이터

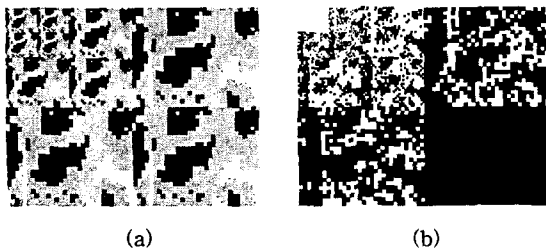


그림 5. AREA-P의 (a) 분류영역 및 (b) 임계치 지도
Fig. 5. (a) classified region and (b) THMAP of AREA-P.

표 I. 각 부밴드에 따른 대역간 상관계수들의 평균치 행렬
Table I. Inter-channel average correlation coefficient matrix.

Channel	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

표 II. 부호화한 AREA-P 화상의 유사한 비트율에서의 PSNR
Table II. PSNR under same bit rate of coded AREA-P image.

Channel	FPVQ		WTVQ		Proposed	
	Bit rate [bpp]	PSNR [dB]	Bit rate [bpp]	PSNR [dB]	Bit rate [bpp]	PSNR [dB]
1	0.318	35.75	0.334	34.74	0.299	36.44
2	0.500	38.64	0.460	38.64	0.451	38.76
3	0.286	35.30	0.324	33.59	0.285	35.58
4	0.498	31.57	0.453	32.17	0.430	32.31
5	0.515	29.64	0.449	29.09	0.438	30.30
6	0.313	42.37	0.261	47.23	0.199	47.69
7	0.367	33.97	0.402	33.01	0.326	34.27
AVG	0.394	35.32	0.389	35.49	0.346	36.47

에 대하여 부호화 실험을 통하여 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 더 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] J. Wang, K. Zhang, and S. Taeng, "Spectral and spatial decorrelation of Landat TM data for lossless compression," *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, vol. 33, no. 5, pp. 1277-1285, Sep. 1995.
- [3] J. M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zero trees of Wavelet Coefficients," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 41, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [4] N. J. Fliege, "Multirate Digital Signal Processing," JOHN WILEY & SONS, 1993.
- [5] W. S. Chen, F. C. Ou, L. C. Lin, and C. Hsin, "Image Coding using Vector Quantization with a Hierarchical Codebook in Wavelet domain," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 45, no. 1, pp. 36-45, Feb. 1999.