

원격 센싱된 인공위성 화상의 효율적인 부호화

김 영 춘*, 반 성 원**, 이 건 일*

An Efficient Coding of Remotely Sensed Satellite Image

Young-Choon Kim*, Seong-Won Ban**, and Kuhn-Il Lee*

요 약

본 논문에서는 영역분류 및 대역간 예측을 이용한 원격 센싱된 인공위성 화상의 효과적인 부호화 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 인공위성 화상데이터의 대역별 특성에 따라 각 화소벡터를 분류한 후, 대역내 중복성을 제거하기 위하여 하나의 기준대역에 대하여 분류영역별 대역내 벡터양자화를 행한다. 나머지 대역의 대역간 중복성을 제거시키기 위하여 분류영역별 대역간 예측을 행한다. 실제 LANDSAT-TM 인공위성 화상데이터에 대한 실험을 통하여 제안한 기법의 부호화 효율이 기존의 Gupta의 기법에 비하여 우수함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose an efficient coding method of remotely sensed satellite image using region classification and interband prediction. This method classifies each pixel vector considering spectral characteristics of satellite image data. Then we perform the classified intraband VQ to remove spatial (intraband) redundancy for a reference band image. To remove interband redundancy effectively, we perform the classified interband prediction for the remaining band images. Experiments on LANDSAT TM satellite image show that coding efficiency of the proposed method is better than that of the conventional Gupta's method.

1. 서 론

지구 관측용 인공위성에 장착된 센서로부터 원격 센싱(remote sensing)되어 얻어지는 화상데이터는 환경 조사, 기상 관측, 자원 탐사, 지도 작성 및 재해 조사 등의 여러 분야에 이용되고 있다.^[1] 최근 이들 원격 센서의 발달과 더불어 화상데이터의 양이 급격하게 증가함에 따라 이러한 많은 양의 화상데이터를 효율적으로 저장하거나 전송하는 연구가 활발히 진행되고 있다.^{[2]-[6]}

인공위성으로부터 원격 센싱되어 얻어지는 화상데이터는 지표대상물로부터 빛의 반사 및 열의 방사를 가시 대역 및 적외선 대역 등의 여러 개의 파장 대역(band) 별로 나뉘어져 동시에 수집되는 다분광(multispectral)의 것으로서, 미국의 LANDSAT-5호에서는 TM(thematic mapper) 및 MSS(multispectral scanner) 센서로 부터 각각 7개 및 4개 대역의 화상데이터를 얻고 있다.^[1] 따라서 이들 화상데이터는 공간적으로 뿐만 아니라 분광적으로도 많은 중복성(redundancy)을 가지기 때문에 공간적으로 존재하는 대역내(intraband) 중복성 및 분광적으로 존재하는 대역간(interband) 중복성을 제거시킴으로써 부호화 효율을 향상시킬 수 있다.^{[2]-[4]}

* 경북대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics, Kyungpook National University)

** LG 전자

(LG Electronics Inc.)

<접수일자 : 1997년 2월 26일>

Wang 등^[6]은 여러개의 다른 대역의 화소들과 대역내 주변 화소들을 이용하여 하나의 화소를 예측하는 부호화 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 정확하게 화소를 예측할 수 있으나 계산량이 많아지고 화소단위로 예측 계수를 전송하여야 하기 때문에 전송정보량이 많아진다. 또한 Rao 등^[7]은 대역 화상 중에서 상관성이 높은 두개 대역의 화상데이터를 이용하여 부블럭 단위로 예측하였다. 그러나 이 기법에서는 부블럭 단위로 예측 계수를 전송하여야 하기 때문에 전송정보량이 많아진다. 그리고 Gupta 등^[8]은 예측 백터양자화 기법(predictive VQ)을 제안하였다. 이 기법에서는 먼저 대역간 상관성이 가장 높은 하나의 대역(reference band)은 부블럭 단위로 부호화하고, 이로부터 나머지 대역을 예측하였다. 그러나 이 기법에서는 대역 단위로 예측함으로써 예측 계수에 대한 전송정보량은 적어지지만, 도시지역과 같이 다양한 종류의 영역으로 구성된 화상에 대하여는 예측이 부정확하여 부호화 효율이 저하된다.

본 논문에서는 영역분류(region classification) 및 대역간 예측(interband prediction)을 이용한 원격 센싱된 인공위성 화상의 부호화 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 먼저 각 화소벡터(pixel vector)를 유사한 반사특성을 가지는 영역으로 분류한다. 이렇게 분류된 영역을 기반으로 하여, 기준대역에 대해서 분류영역별 대역내 백터양자화(classified intraband VQ)를 행하여 대역내 중복성을 제거시키고, 나머지 대역들은 분류영역별 대역간 예측(classified interband prediciton)을 행하여 대역간 중복성을 제거시킨다. 그후 오차 백터양자화(residual VQ)를 행하여 화질을 향상시킨다. 따라서 제안한 기법은 화상내에 존재하는 각 지표대상물에 따라 예측을 행함으로써 화상내에 많은 영역이 혼재되어 있는 경우에도 대역내 및 대역간 중복성을 효과적으로 제거시켜 부호화 효율을 향상시킨다. 또한 예측을 보다 정확하게 함으로써 오차 백터양자화를 행하는 블럭의 수도 감소시킬 수 있어 비트율 및 계산량도 감소시킬 수 있다.

제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여 실제의 LANDSAT-TM 센서로부터 얻은 화상데이터에 대하여 부호화 실험을 행하여 기존의 기법과 비교하였다. 그 결과 제안한 기법이 기존의 기법에 비하여 낮은 비트율에서 좋은 화질을 얻으면서 계산량도 감소시켜 우수한 부호화 기법임을 확인하였다.

II. 지구관측용 인공위성 및 센서

1. 지구 관측용 인공위성 및 센서

지구 관측용 인공위성에서는 장착된 센서를 통하여 지상의 일정한 넓이의 데이터를 수집하여 지상 수신국으로 전송하게 된다.^[1] 현재 주요 지구 관측용 인공위성 및 이들에 장착된 여러 센서들의 대역수 및 지상해상도는 각각 표 1 및 표 2에서와 같다. 또한 이들중 AVHRR(advanced very high resolution radiometer), HRV(high resolution visible), TM, MSS 및 ETM+(enhanced TM plus)에 대한 파장대역은 그림 1에서와 같다.^{[1]-[3]} 이들에서 볼 수 있듯이 많은 대역수를 가지면서 높은 지상 해상도를 가지기 때문에 이로부터 얻어지는 화상데이터의 양도 대단히 많다는 것을 알 수 있다. 또한 이들 화상데이터는 여러 개의 파장 대역

표 1. 지구 관측용 인공위성
Table 1. Earth observing satellites.

Satellite	Launched	Sensors	Owner
LANDSAT-5	1984	TM, MSS	USA
JERS-1	1992	OPS	Japan
SPOT-3	1993	HRV	France
NOAA-11	1988	AVHRR	USA
LANDSAT-7*	1998	ETM+, MSS	USA

* 1998년 발사 예정

표 2. 센서의 대역수 및 지상 해상도
Table 2. Number of bands and spatial resolution of sensors.

Sensor	Number of bands	Spatial resolution [m ²]	Remarks
TM	7	30×30	Band 6: 120×120
MSS	4	82×82	
HRV	3+1	20×20, 10×10	
OPS	5	18×24	
AVHRR	5	1100×1100	
ETM+	7+1	30×30, 15×15	Band 6: 60×60
HIRIS	192	30×30	
AVIRIS	224	20×20	

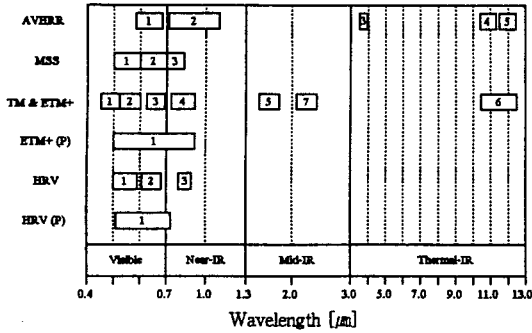


그림 1. AVHRR, MSS, TM, ETM+ 및 HRV 센서의 파장대역

Fig. 1. Wavelength range of AVHRR, MSS, TM, ETM+, and HRV sensors.

으로 나뉘어져 수집되므로 화상내에 공간적으로 존재하는 대역내 중복성 및 화상간에 분광적으로 존재하는 대역간 중복성이 동시에 존재한다. 따라서 이들 많은 양의 화상데이터를 효율적으로 저장하거나 전송하기 위해서는 이들 중복성을 효과적으로 제거시켜야 한다.

2. 인공위성 화상데이터의 표현

인공위성으로부터 얻는 화상데이터는 그림 2에서와 같이 공간적으로 2차원 및 분광적으로 1차원의 3차원 구조를 가지는 다분광 화상데이터이다. 이 경우 다분광 화상데이터 X 는

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\} \tag{1}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 n 은 대역의 수를 나타낸다. 임의 대역 b 의 화상 X_b 는

$$X_b = \{x_b(i, j) \mid 0 \leq i < M, 0 \leq j < N\} \tag{2}$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서 M 및 N 은 각각 화상의 수평 및 수직 방향의 화소수를 나타내고, $x_b(i, j)$ 는 대역 b 의 화상에서 (i, j) 번째 위치의 화소값을 뜻한다. 또한 다분광 화상데이터 X 의 각 대역 화상에서의 동일한 (i, j) 번째 위치의 화소들인 화소 벡터 $X(i, j)$ 는

$$X(i, j) = \{x_b(i, j) \mid 1 \leq b \leq n\} \tag{3}$$

로 나타낼 수 있다.

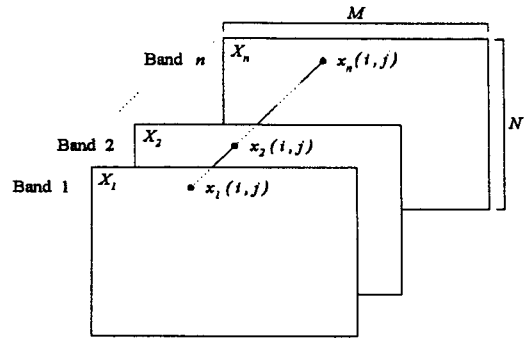


그림 2. 다분광 화상데이터의 구조

Fig. 2. Structure of multispectral image data.

III. 제안한 인공위성 화상의 부호화 기법

본 논문에서는 영역 분류 및 대역간 예측을 이용한 원격 센싱된 인공위성 화상의 부호화 기법을 제안하였다. 기존의 Gupta의 기법 및 제안한 기법의 블록 선도는 그림 3에서와 같다. 이에서 보는 바와 같이 제안한 기법

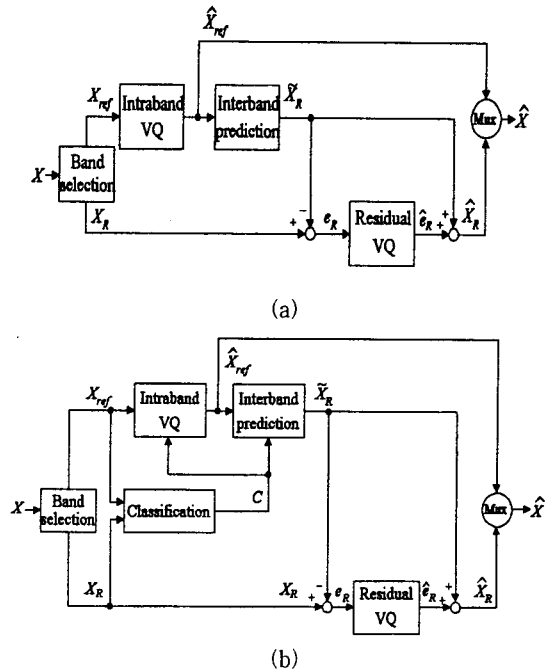


그림 3. (a) 기존의 기법 및 (b) 제안한 기법의 블록 선도

Fig. 3. Block diagram of (a) the conventional method and (b) the proposed method.

에서는 화상데이터의 각 지표대상물에 해당하는 분류영역 단위로 예측을 행함으로써 화상내에 여러 영역을 포함하는 복잡한 화상데이터인 경우에도 기존의 기법에 비하여 예측이 정확하여 부호화 효율을 향상시킬 수 있다.

1. 영역 분류

인공위성으로부터 얻는 화상데이터는 지표대상물의 빛의 반사 및 열의 방사 특성에 따라 수집된다. 지표대상물이 물(water) 영역의 경우에는 가시 영역에서 적외선 영역보다 높은 반사 특성을 보이는 반면, 삼림(forest) 영역의 경우에는 가시 영역보다는 적외선 영역에서 높은 반사 특성을 보인다.^[1] 따라서 제안한 기법에서는 이러한 지표대상물의 대역별 반사 특성을 이용하여 각 화소를 지표대상물에 따라 분류하였다.

다분광 화상데이터의 각 화소벡터에 대한 대역비 $r_b(i, j)$ 는

$$r_b(i, j) = \frac{x_b(i, j)}{x_{ref}(i, j)} \quad (4)$$

와 같다. 여기서 $b=1, \dots, n$ 이고, $x_{ref}(i, j)$ 및 $x_b(i, j)$ 는 각각 기준대역 및 대역 b 화상의 (i, j) 번째 위치의 화소값이다. 이때 결정되는 $r_b(i, j)$ 의 값은 지표대상물의 반사 특성에 따라 크게 변화한다. 예를 들어 LANDSAT-TM 센서의 경우, 가시 영역에 해당하는 대역 2를 기준대역으로 적외선 영역에 해당하는 대역 5의 $x_5(i, j)$ 를 비교하는 $r_5(i, j)$ 의 경우, 이 값은 강 및 바다에 대하여는 매우 작게, 잡초지 및 삼림 지역에 대하여는 매우 크게 각각 나타난다. 따라서 $r_b(i, j)$ 를 이용하여 화소의 영역을 결정할 수 있을 것이다. 이를 위하여 $r_b(i, j)$ 를 이진화한 $p_b(i, j)$ 는

$$p_b(i, j) = \begin{cases} 1, & r_b(i, j) \geq thd \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

이다. 이때 thd 는 문턱치를 뜻한다. 이 이진화된 대역비 $p_b(i, j)$ 의 전체 대역에 대한 대역비 벡터 $P(i, j)$ 는

$$P(i, j) = [p_1(i, j) \ p_2(i, j) \ \dots \ p_n(i, j)] \quad (6)$$

와 같다. 이 이진화된 대역비 벡터 $P(i, j)$ 의 형태에 따라 화소벡터 $X(i, j)$ 에 대한 영역을 결정하였다. 이

표 3. 각 영역에 대한 이진 표현된 대역비 p_b 의 예
Table 3. Example of band ratio p_b for each region.

p_b	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	P	C
Forest	1	1	0	1	1	1	1	1101111	0
Urban area	1	1	1	0	1	1	1	1110111	1
Water	1	1	0	0	0	1	0	1100010	2

경우 화소벡터 $X(i, j)$ 의 분류영역 $c(i, j)$ 는

$$c(i, j) = \text{Class}[P(i, j)] \quad (7)$$

와 같이 결정한다. 여기서 $\text{Class}[\cdot]$ 는 $P(i, j)$ 의 형태를 가지는 분류영역을 의미한다. 즉 동일한 형태를 가지는 화소벡터는 동일 영역으로 분류된다. LANDSAT-TM의 경우, 대역 2를 기준대역으로 하여 이진화된 대역비 p_b 를 계산한 결과는 표 3에서와 같았다. 이 표에서 볼수 있듯이 기준대역에 대한 이진화된 대역비 p_b 는 지표대상물에 따라 다르다는 것을 알 수 있다. 따라서 다분광 화상데이터를 유사한 대역비 $r_b(i, j)$ 를 가지는 영역으로 분류함으로써 대역내 중복성 및 대역간 중복성을 제거시킬 수 있다.

제안한 기법에서는 다분광 화상데이터를 부호화하기 위하여 $k \times k$ 블록 단위로 행한다. 따라서 전체 대역에 대한 (h, v) 번째 $n \times k \times k$ 크기의 블록 $X(h, v)$ 는

$$X(h, v) = \{X_1(h, v), X_2(h, v), \dots, X_n(h, v)\} \quad (8)$$

와 같이 표현될 수 있고, 이를 대표하는 영역을 결정하였다. 이때 $X_n(h, v)$ 는 대역 n 의 (h, v) 번째 $k \times k$ 크기의 블록을 뜻한다. 즉, $X(h, v)$ 의 대표영역 $C(h, v)$ 는

$$C(h, v) = \text{arg}[\max(\text{Number of } c(h+m, v+n))] \quad (9)$$

와 같이 블록 내의 각 화소벡터의 영역 중에서 가장 많은 영역으로 결정한다. 이때 $0 \leq m < k$ 및 $0 \leq n < k$ 이다. 이렇게 결정된 각 블록의 대표영역 C 를 수신측으로 전송한다.

2. 기준대역의 대역내 벡터양자화

수신측에서 기준대역으로 부터 대역간 예측된 나머지 대역 화상을 복원하기 위해서는 기준대역에 대한 정보를 수신측에 전송하여야 한다. 이때 기준대역은 나머지 대역들의 복원에 이용되기 때문에 높은 화질을 유지하면서 부호화 하여야 한다. 따라서 제안한 기법에서는 벡터양자화의 효율 및 대역간 상관성을 고려하여 기준대역을 선택한다. 즉, 제안한 기법에서 선택하는 기준대역 X_{ref} 는

$$X_{ref} = \arg[\min\{var(X_b)\}] \quad (10)$$

와 같이 선택한다. 이때 b 는 모든 대역들 중에서 대역간 상관성을 고려하여 다른 대역과 지상 해상도가 동일한 대역을 나타내고, $var(\cdot)$ 는 분산(variance)을 나타낸다. 이렇게 다른 대역과 상관성도 높으면서 공간적인 분산이 적은 대역을 선택함으로써 높은 화질을 유지하면서 낮은 비트율로 수신측으로 전송할 수 있다.

제안한 기법에서는 기준대역 X_{ref} 를 $k \times k$ 블록 단위로 분류영역별 벡터양자화를 행한다. 즉, (h, v) 번째 $k \times k$ 크기의 블록 $X_{ref}(h, v)$ 를 벡터양자화한 $\hat{X}_{ref}(h, v)$ 는

$$\hat{X}_{ref}(h, v) = f_c[X_{ref}(h, v)] \quad (11)$$

와 같다. 여기서 $f_c[\cdot]$ 은 식 (9)에서 결정한 대표영역 C 에 대한 벡터양자화기를 뜻한다. 이때 벡터양자화기의 선택된 인덱스를 수신측으로 전송한다.

이상에서와 같이 기준대역을 대역간 상관성이 높고 공간적인 변화량이 적은 대역을 선택하여 분류영역별로 벡터양자화를 행함으로써 대역내 중복성을 효과적으로 제거시킬 수 있고, 코드북의 크기를 감소시킬 수 있어 이에 따른 계산량을 감소시킬 수 있다.

3. 대역간 예측

기준대역을 제외한 나머지 대역 X_R 은

$$X_R = \{X_b | 1 \leq b \leq n, b \neq ref\} \quad (12)$$

와 같이 표현할 수 있다. 제안한 기법에서는 이들 나머지 대역은 양자화된 기준대역으로부터 분류영역별 대역간 예측을 행한다. 이때 기존의 기법에서의 예측기^[8]

를 이용하여 대역간 예측을 행한다. 즉 X_R 의 요소인 X_b 의 (h, v) 번째 블록에 대한 예측값 $\hat{X}_b(h, v)$ 는

$$\hat{X}_b(h, v) = A_b^c \cdot \hat{X}_{ref}(h, v) + B_b^c \quad (13)$$

이 된다. 여기서 C 는 식 (9)에 의해 결정된 (h, v) 번째 블록의 대표영역이며, 대역 b 의 C 영역에 대한 예측 계수 행렬 A_b^c 및 B_b^c 는 각각

$$A_b^c = E[(X_b^c - E[X_b^c])(X_{ref}^c - E[X_{ref}^c])^T] C_{X_{ref}^c}^{-1} \quad (14)$$

$$B_b^c = E[X_b^c] - A_b^c \cdot (E[X_{ref}^c]) \quad (15)$$

와 같다. 여기서 $E[\cdot]$, $[\cdot]^T$ 및 $[\cdot]^{-1}$ 은 평균, 전치 행렬 및 역행렬을 각각 나타내고, $[\cdot]^c$ 는 영역 C 를 가지는 화소들의 집합을 의미한다. 그리고 공분산 행렬을 나타내는 $C_{X_{ref}^c}$ 는

$$C_{X_{ref}^c} = E[(X_{ref}^c - E[X_{ref}^c])(X_{ref}^c - E[X_{ref}^c])^T] \quad (16)$$

와 같다. 따라서 나머지 대역 X_R 에 대한 예측 화상 \hat{X}_R 는

$$\hat{X}_R = \{\hat{X}_b | 1 \leq b \leq n \text{ and } b \neq ref\} \quad (17)$$

와 같이 얻어진다.

이상에서와 같이 기준대역을 제외한 나머지 대역에 대하여 분류 영역별로 예측을 행함으로써 더욱 정확하게 예측하여 대역간 중복성을 효과적으로 제거시켜 부호화할 수 있다.

4. 오차 벡터양자화

기준 대역을 제외한 나머지 대역 X_R 은 대역내 벡터양자화한 기준대역으로부터 대역간 예측을 행함으로써 얻어진다. 이때 이들 대역간 예측은 분류 영역 단위의 예측 계수값을 가지기 때문에 각 화소값들은 오차를 수반하게 된다. 즉, X_R 에 속하는 임의 대역 b 의 화상 X_b 의 각 화소의 오차 $e_b(i, j)$ 는

$$e_b(i, j) = x_b(i, j) - \hat{x}_b(i, j) \quad (18)$$

이 된다. 이때 이 오차의 크기가 작다면 복원된 화상의 화질에 거의 영향을 미치지 못하지만 오차의 크기가

크다면 복원된 화상의 화질을 저하시킨다. 따라서 제안한 기법에서는 복원 화상의 화질을 향상시키기 위하여 $k \times k$ 블럭 단위로 오차 벡터양자화를 행한다. 즉, $k \times k$ 블럭의 자승오차 $\|e_b(h, v)\|^2$ 는

$$\|e_b(h, v)\|^2 = \sum_{m=0}^{k-1} \sum_{n=0}^{k-1} |e_b(h+m, v+n)|^2 \quad (19)$$

와 같고, 이 자승오차가 주어진 문턱치보다 크다면 오차 벡터양자화를 행하고, 그렇지 않다면 부호화하지 않는다. 즉,

$$\begin{aligned} \text{if } (\|e_b(h, v)\|^2 > \text{thd}) \quad & e_b(h, v): \text{Residual VQ} \\ \text{else} \quad & e_b(h, v): \text{Non-coding} \end{aligned} \quad (20)$$

와 같이 행한다. 이때 선택 정보 및 만약 오차 벡터양자화를 행할 경우 선택된 코드북의 인덱스를 수신측으로 전송한다. 그 결과 수신측에서 복원되는 대역 b의 복원 화상 \hat{X}_b 는

$$\hat{X}_b = \hat{X}_b + \hat{e}_b \quad (21)$$

와 같다. 이때 \hat{e}_b 는 양자화된 오차 화상이다. 이를 나머지 대역 X_R 에 대해서 나타내면 \hat{X}_R 은

$$\hat{X}_R = \hat{X}_R + \hat{e}_R \quad (22)$$

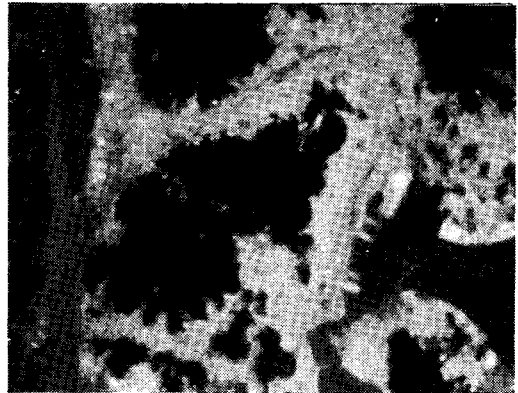
와 같이 얻을 수 있다. 이와 같이 $k \times k$ 블럭 단위로 예측 오차가 큰 블럭에 대해서만 벡터 양자화를 행함으로써 비트율을 감소시키면서 복원 화질을 향상시킨다. 또한 예측을 정확하게 함으로써 오차 벡터양자화를 행하는 블럭의 수를 감소시킬 수 있어 이에 대한 계산량 또한 감소시킬 수 있다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 제안한 기법은 원격센싱되어 얻어지는 화상데이터를 지표대상물의 반사특성에 따라 영역분류를 행하고, 각 분류영역별로 대역간 예측을 행함으로써 화상내에 여러 영역을 포함하는 화상인 경우에도 예측을 더욱 정확하게 하여 부호화 효율을 향상시킬 수 있다.

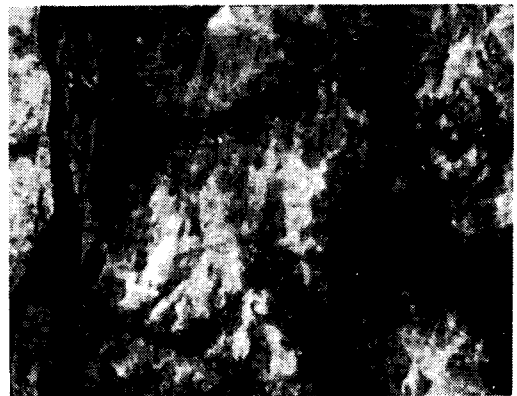
IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여 실제 인공위성으로부터 원격 센싱되어 얻은 화상에

대하여 부호화 실험을 행하였다. 이에 사용된 인공위성 화상데이터는 1989년 8월 31일 LANDSAT-5호 TM 센서에 의해서 수집된 데이터 AREA-P로서, 화상의 크기는 512×400 화소이고, 화소당 256 회색준위를 가지며, 7개 대역으로 구성되어 있다. 이에 대한 대역 1 및 대역 4의 화상은 그림 4에서와 같다. 이에서 볼 수 있듯이 AREA-P는 바다, 강, 산, 잡초지, 시가지 등의 많은 영역들이 혼재해 있는 복잡한 인공위성 화상데이터이다. 또한 기존의 기법 및 제안한 기법에서 예측 계수의 결정하기 위하여 AREA-P를 포함하는 LANDSAT-TM 으로부터 얻은 6개의 서로 다른 지역에 대한 인공위성 화상데이터를 사용하였다.



(a)



(b)

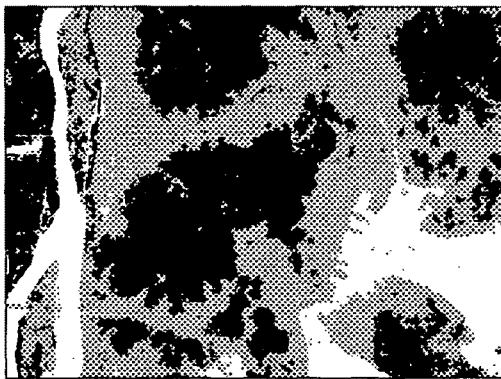
그림 4. AREA-P의 (a) 대역 1 및 (b) 대역 4 화상
Fig. 4. (a) Band 1 and (b) band 4 images of AREA-P.

표 4. AREA-P의 각 영역에 대한 분산값
Table 4. Variance value for each class of AREA-P.

Band	1	2	3	4	5	6	7
Total	243.8	100.4	300.5	662.3	950.1	99.6	391.2
Forest	32.3	19.8	37.4	290.2	273.9	18.5	57.9
Urban area	132.0	51.7	141.8	133.4	377.3	52.1	187.0
Water	61.5	65.9	224.3	118.6	106.3	37.7	31.7

화상데이터 AREA-P의 각 대역의 각 영역에 대한 분산값을 계산한 결과는 표 4에서와 같았다. 이 표에서 볼 수 있듯이 대역 2 및 대역 6이 가장 작은 분산값을 가짐을 알 수 있다. 이들 중에서 다른 대역과의 상관성을 고려하여 표 2에서 보는바와 같이 다른 대역과 동일한 지상해상도를 가지는 대역 2를 기준대역으로 선택하였고, 대역 6은 다른 대역과 해상도가 다르기 때문에 분류영역별 대역내 벡터양자화를 행하였다.

대역 2를 기준대역으로 선택하여 영역 분류를 행한 결과는 그림 5에서 보는바와 같이 크게 삼림, 물 및 시가지 영역의 세 영역으로 나타났다. 표 4에서 볼 수 있듯이 각 영역에 대한 분산값이 분류하지 않은 전체 대역에 대한 분산값보다 많이 줄어들어 대역내 중복성을 많이 제거시킬 수 있음을 알 수 있다.



■: Forest ▨: Urban area □: Water

그림 5. AREA-P에 대한 영역 분류 화상
Fig. 5. The classified image for AREA-P.

표 5. AREA-P에 대한 예측 화상의 PSNR[dB]
Table 5. PSNR[dB] of predicted images for AREA-P.

Band	Gupta's method	Proposed method
1	33.5	34.6
3	34.7	34.9
4	19.3	24.8
5	19.6	23.0
7	26.6	30.8
Average	26.7	29.6

기존의 Gupta의 기법 및 제안한 기법에서 블록의 크기를 4×4로 정하여 실험을 행한후, PSNR(peak-to-peak signal to noise ratio), 화소당 비트수(bits per pixel; bpp) 및 계산량에 대하여 비교하였다.

기존의 기법 및 제안한 기법에 의해 얻어진 예측 화상 \hat{X}_b 에 대한 PSNR을 계산한 결과는 표 5에서와 같았다. 제안한 기법에 의한 5개 대역에 대한 평균 PSNR이 기존의 기법에 의한 것보다 2.9 dB 정도 크게 증가하였음을 알 수 있다. 이는 지표대상물의 반사특성에 따라 영역분류를 행한후, 이에 대하여 대역간 예측을 행함으로써 대역간 중복성을 효과적으로 제거시킴을 알 수 있다. 각 대역별로 살펴보면, 대역 1 및 대역 3에서는 기준대역인 대역 2와 같은 가시 영역으로서 대역간 상관성이 높기 때문에 유사한 결과를 나타내지만, 영역 분류를 행함으로써 제안한 기법이 약 0.2 내지 1.1 dB 정도 증가하여 더욱 정확하게 예측하였음을 알 수 있다. 또한 적외선 영역에 해당하는 대역 4, 대역 5 및 대역 7은 제안한 기법에 의한 것이 기존의 기법에 의한 것보다 약 3.4 내지 5.5 dB 정도 크게 증가하였다. 이는 기준대역과 상관성이 낮기 때문에 분류영역별로 예측함으로써 대역간 중복성을 아주 효과적으로 제거하여 오차를 많이 감소시킴을 알 수 있다. 이들 예측결과로부터 제안한 기법에 의한 PSNR이 기존의 기법에 의한 것에 비하여 모든 대역들에서 증가하여 오차 벡터양자화를 행하는 블록의 수가 감소된다는 것을 알 수 있다. 즉, 제안한 기법에서는 오차 벡터양자화를 행하는 블록의 수가 감소하기 때문에 전송 비트율 및 코드북 탐색을 위한 계산량을 감소시킬 수 있다.

기존의 기법 및 제안한 기법에서 동일한 PSNR로 부호화했을때의 복원화상 \hat{X}_b 에 대한 비트율 및 부호

표 6. AREA-P에 대한 복원된 화상의 동일한 PSNR에서의 비트율 및 계산 복잡도
 Table 6. Bit rate and computational complexity of reconstructed images for AREA-P at the same PSNR.

Band	PSNR [dB]	Gupta's method		Proposed method	
		Bit rate [bpp]	C. C.*	Bit rate [bpp]	C. C.*
1	37.5	0.282	66.3	0.221	43.2
2	40.8	0.625	1024.0	0.556	581.3
3	37.1	0.222	48.7	0.189	33.7
4	32.5	0.531	241.9	0.452	192.5
5	30.2	0.536	244.5	0.454	193.0
6	43.4	0.313	32.0	0.297	23.4
7	34.8	0.346	84.0	0.290	63.4
Avg.	36.6	0.408	248.8	0.351	161.5

*C. C.(Computational complexity) : Number of multiplicative operations per pixel.

화기에서 행한 계산량을 계산한 결과는 표 6에서와 같다. 제안한 기법에 의한 7개 대역 전체에 대한 평균 비트율은 기존의 기법에 의한 것보다 0.057 bpp 정도로서 약 14.0% 감소하여 부호화 효율을 향상시킬 수 있다. 대역별로 살펴보면 먼저 대역내 벡터양자화를 행하는 대역 2 및 대역 6에서는 기존의 기법들에 비하여 제안한 기법에서 약 0.016 및 0.069 bpp 정도 감소하였음을 알 수 있다. 이는 제안한 기법이 분류영역별로 벡터양자화를 행함으로써 대역내 중복성을 효과적으로 제거시킬 수 있다. 대역간 예측을 행하는 나머지 대역들에서는 제안한 기법에 의한 것이 기존의 기법에 의한 것보다 약 0.033~0.082 bpp 정도 많이 감소하였다. 이는 제안한 기법에서는 지표대상물의 특성을 고려한 분류영역별로 예측함으로써 대역간 중복성을 효과적으로 제거시킬 수 있다.

기존의 기법 및 제안한 기법의 계산량을 살펴보면, 제안한 기법의 7개 대역에 대한 화소당 곱셈 계산량이 기존의 기법에 비하여 약 87.3회 정도로서 약 35.1% 정도 감소하여 부호화기의 성능을 향상시킬 수

있다. 대역내 벡터양자화를 행하는 대역 2 및 대역 6에서는 제안한 기법에서는 분류영역별로 벡터양자화를 행함으로써 코드북의 크기를 감소시킬 수 있어 기존의 기법에 비하여 각각 43.2% 및 26.9% 정도 많이 감소시킬 수 있다. 또한 분류영역별 대역간 예측을 행하는 나머지 대역들에서는 기존의 기법에 비하여 예측을 더욱 정확하게 하여 오차벡터양자화를 행하는 블록의 수를 감소시킴으로써 약 20.4~34.8% 정도 계산량을 감소시킬 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 실제의 인공위성 다분광 화상데이터에 대한 실험을 통하여 제안한 기법이 기존의 기법에 비하여 동일한 화질에서 비트율 및 계산량이 모두 감소하여 압축 효율이 우수함을 확인하였고, 특히 화상내에 여러 영역이 혼재해 있는 복잡한 화상인 경우에 대역내 중복성 및 대역간 중복성을 아주 효과적으로 제거시켜 우수한 압축 기법임을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 영역분류 및 대역간 예측을 이용한 원격 센싱된 인공위성 화상의 부호화 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 먼저 각 화소벡터를 유사한 반사 특성을 가지는 영역으로 분류한다. 이렇게 분류된 영역을 기반으로 하여, 기준대역에 대해서 분류영역별 대역내 벡터양자화를 행하여 대역내 중복성을 제거시키고, 나머지 대역들은 분류영역별 대역간 예측을 행하여 대역간 중복성을 제거시킨다. 그 후 오차 벡터양자화를 행하여 화질을 향상시킨다. 따라서 제안한 기법은 화상내에 존재하는 각 지표대상물에 따라 예측을 행함으로써 화상내에 많은 영역이 혼재되어 있는 경우에도 대역내 및 대역간 중복성을 효과적으로 제거시켜 부호화 효율을 향상시킨다. 또한 예측을 보다 정확하게 함으로써 오차 벡터양자화를 행하는 블록의 수도 감소시킬 수 있어 비트율 및 계산량도 감소시킬 수 있다.

제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여 실제의 LANDSAT-TM 센서로부터 얻은 화상데이터에 대하여 부호화 실험을 행하여 기존의 기법과 비교하였다. 그 결과 제안한 기법이 기존의 기법에 비하여 낮은 비트율에서 좋은 화질을 얻으면서 계산량도 감소시켜 우수한 부호화 기법임을 확인하였다.

참 고 문 헌

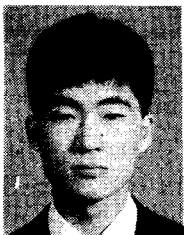
- [1] T. M. Lillesand and R. W. Kiefer, *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, 3rd Edition, 1994.
- [2] K. Sayood, "Data compression in remote sensing applications," *IEEE Geosci. and Remote Sensing Society Newsletter*, vol. 84, pp. 7-15, Sep. 1992.
- [3] V. D. Vaughn and T. S. Wilkinson, "System considerations for multispectral image compression designs," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 12, no. 1, pp. 19-31, Jan. 1995.
- [4] J. A. Saghri, A. G. Tescher, and J. T. Reagan, "Practical transform coding of multispectral imagery," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 12, no. 1, pp. 32-43, Jan. 1995.
- [5] 김영춘, 반성원, 김중곤, 서용수, 이진일, "영역분류 벡터양자화를 이용한 다중분광 화상데이터 압축," *대한전자공학회 논문지*, 제33권 B편 제8호, pp. 42-49, 1996년 8월.
- [6] J. Wang, K. Zhang, and S. Taeng, "Spectral and spatial decorrelation of Landsat-TM data for lossless compression," *IEEE Trans. on remote sensing*, vol. 34, no. 2, pp. 385-397, Mar. 1996.
- [7] A. K. Rao and S. Bhargava, "Multispectral data compression using bidirectional interband prediction," *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, vol. 33, no. 5, pp. 1277-1285, Sep. 1995.
- [8] 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.

著 者 紹 介



김 영 춘

1965년 11월 8일생. 1991년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사). 1993년 2월 경북대학교 전자공학과(공학석사). 1997년 2월 경북대학교 전자공학과(공학박사). 관심분야 : Remote sensing, Image processing and coding.



반 성 원

1970년 6월 15일생. 1995년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사). 1997년 2월 경북대학교 전자공학과(공학석사). 1997년~현재 LG전자 영상디스플레이 사업부. 관심분야 : Remote sensing, Image processing and coding.



이 진 일

1943년 2월 16일생. 1965년 2월 경북대학교 물리학과(이학사). 1970년 2월 경북대학교 물리학과(이학석사). 1984년 8월 부산대학교 물리학과(이학박사). 1982~1983년 12월 미국RPI 공대 연구교수 1969년 2월~현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수. 관심분야 : 비디오 공학 및 오디오 공학, SAW 센서 등