

Wavelet 변환을 이용한 우리별 수신영상 압축기법*

이 흥 규¹ · 김 성 환¹ · 김 경 숙² · 최 순 달³

¹한국과학기술원 전산학과, ²시스템 공학 연구소 지구환경정보연구부

³한국과학기술원 인공위성연구센터

REMOTELY SENSED IMAGE COMPRESSION BASED ON WAVELET TRANSFORM

Heung K. Lee¹, Seong W. Kim¹, Kyoung S. Kim² and Soon D. Choi³

¹CS Dept. KAIST, ²SERI KIST, ³SaTReC KAIST

(Received March 20, 1996; Accepted May 10, 1996)

요 약

본 논문에서는 인공위성을 통하여 수신되는 다중대역 영상을 압축하기 위한 방법을 제시한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 다대역 영상에서 보이는 대역간 상관성 및 대역내에서 각 화소간의 상관성을 줄이는 목표를 가지고, 화소간 상관성을 줄이기 위해서는 wavelet 변환을 사용하고, 대역간 상관성을 줄이기 위해서는 대역간 데이터블럭의 화소값간의 상관관계를 1차식으로 모델링하고 회귀(regression) 방법을 이용하여 대역간 화소 차이를 가감해 하여 데이터 압축율을 향상시킨다. 변환 계수는 데이터 압축율을 높이기 위해 변형된 힐버트 커브와 RLE 그리고 허프만 코딩을 이용하였다. 제안된 알고리즘은 우리별 1호 영상과 LANDSAT MSS 영상을 이용하여 실험하였으며, 성능평가 척도로는 원영상과 복원된 영상의 PSNR과 ISODATA를 이용할 때의 분류 능력을 비교하였다.

ABSTRACTS

In this paper, we present an image compression algorithm that is capable of significantly reducing the vast amount of information contained in multispectral images. The developed algorithm exploits the spectral and spatial correlations found in multispectral images. The scheme encodes the difference between images after contrast/brightness equalization to remove the spectral redundancy, and utilizes a two-dimensional wavelet transform to remove the spatial redundancy. The transformed images are then encoded by hilbert-curve scanning and run-length-encoding, followed by huffman coding. We also present the performance of the proposed algorithm with KITSAT-1 image as well as the

*본 연구는 1995년 인공위성연구센터 원격탐사과제에 의해 수행되었음.

LANDSAT MultiSpectral Scanner data. The loss of information is evaluated by peak signal to noise ratio(PSNR) and classification capability.

1. 서 론

원격탐사분야에서의 방대한 양의 영상 데이터를 처리하기 위한 방법은 인공위성내에서 데이터 수집과 동시에 압축을 진행하는 방법과, 인공위성에서 지상국으로 전송한 후에, 지상국의 데이터를 압축하는 방법으로 크게 나뉜다. 그러나 최근까지도 데이터 보존성 등의 문제로, 영상압축 기법을 크게 적용하지는 못했다.

영상압축기법에는 크게, 엔트로피 코딩이라 불리는 비손실압축 기법과, 변환을 기반으로 하는 손실압축기법으로 나뉘게 된다. 하지만, 비손실압축 기법으로는 영상압축비에 한계가 있기 때문에, 주관적 화질과 원격탐사에서 필요한 기계 분류(classification) 기능을 원영상과 거의 대등하게 제공하도록 해주는 압축기법이 필요하다. 최근, wavelet 변환이 응용수학의 한 분야로 연구되어, 빠른 계산시간 및 영상압축시의 에너지보존 등의 유용한 성질이 밝혀짐에 따라, 많은 응용분야가 새롭게 나타나고 있다. 본 논문에서는, 원격탐사 분야에서 인공위성에서 보내오는 영상 데이터를 지상국에서 유지하기 위한 영상압축 기법을 wavelet 변환을 이용하여 설계하고, 실험을 통하여 유용성을 검증했다.

본 논문에서는, 인공위성에서 받는 영상과 같이, 다중대역(multispectral) 영상 데이터를 효과적으로 압축할 수 있는 기법을 제안한다. 제안된 방법은 영상내에서 보여지는 화소와 화소 간의 근접성 뿐만이 아니라, 다중대역의 영상간에 존재하는 대역간 상관성 역시 제거하기 위해, 대역간의 등화를 통하여, 대역간의 상관성을 크게 한 후에, 상대적으로 작아진 오차를 코딩하는 형식을 취하였다. 변환된 영상은 힐버트 곡선을 이용하여, 스캔하고, run length coding (RLE)과 허프만 코딩을 이용하여 압축하였다. 위의 압축기법은 실제, LANDSAT 위성에서 수신한 MSS(multispectral scanner) 다중대역 영상에 적용하여 peak signal to noise ratio(PSNR)와 분류 기능의 저하 정도를 측정하여, 제안한 방법의 효용성을 보였다.

우선 2장에서는 wavelet 변환의 기본적인 사항을 다루고, 실제, 2차원 영상에 맞는 wavelet 변환을 제시한다. 이어 3장에서는, 다중대역 간의 상관성을 줄이기 위한 방법으로 다중대역간 등화기를 소개하였으며, 등화후에 대역간 오차가 줄어들므로 생기는 영상압축 이득을 고려한다. 또한, 영상압축의 후반부로서, 힐버트 곡선과 RLE을 이용한 엔트로피 코딩 방법도 제시한다. 이어서, 4장에서는 LANDSAT 위성에서 받는 MSS 영상과 우리별 1호에서 찍은 실험영상에 대하여 영상압축을 적용한 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. WAVELET 변환

이 장에서는, wavelet 변환의 기본적인 사항들과 영상 처리에 적용하기 위한 1차원 wavelet

변환의 확장 사항들을 검토한다.

2.1 Wavelet 분석

wavelet은 하나의 함수 ψ 의 확대/축소와 시간축으로의 이동으로 얻어지는 집합으로 다음과 같이 표현된다.

$$\psi^{a,b}(t) = \frac{1}{|a|^{1/2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

여기서, t 는 시간축상의 변수이며, 그림 1에서는 확대/축소 및 이동으로 만들어지는 함수를 보여주고 있다. 직관적으로, 축소된 형태의 wavelet은 시간상에서 빠른 간격으로 변하는 고주파 성분을 검출하는 역할을 하며, 확대된 형태의 wavelet은 시간상에서 천천히 변하는 저주파 성분을 검출하기에 알맞게 설계되어있음을 알 수 있다(Mallat 1989).

하나의 함수의 확대/축소로 정의되는 wavelet의 정의에서 알 수 있듯이, $a < 1$ 인 경우는 고주파 성분을 추출하는 wavelet에 대응된다. 위의 wavelet의 개념을 좀더 잘 파악하기 위해, 시간/주파수 그림에서 wavelet 기저들을 보게 되면, 그림 2(b)와 같음을 알 수 있다. 즉, 그림 2(a)의 윈도우 푸리에 변환과 비교해볼 때, 고주파 대역에 대해서는 wavelet 변환의 경우, 주파수 해상도는 후리에 변환에 비해 떨어지지만, 시간 해상도는 좋은 것을 볼 수 있으며, 시간/주파수 해상도간에, 상관관계가 있음을 고려해볼 때, 영상 처리에 있어서는 최적임을 알 수 있다(Daubechies 1988).

Wavelet 변환의 기본적인 생각은 어떠한 함수 f 도, wavelet 기저에의 투영으로 표시함으로써, 어떤 일정한 정확도로 근사할 수 있다는 점이다. 실제, 그러한 함수 분해는 $\psi^{a,b}$ 함수를 a, b 에 대하여, 일정 가중치를 가진 적분 형태로 표시하는 것이지만, 실제로는 이산적인 형태로

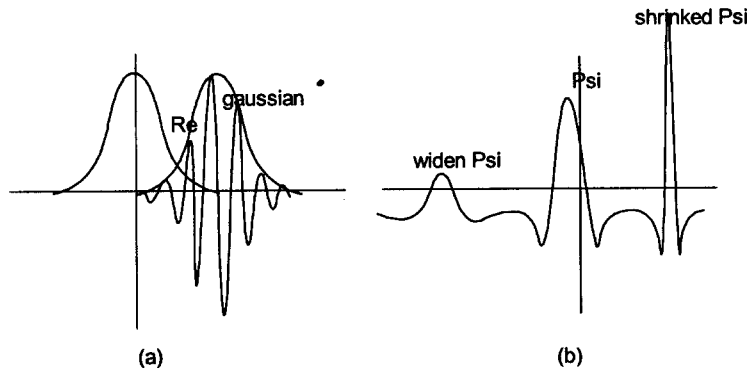


그림 1. 윈도우 푸리에 변환의 기저(a)와 wavelet 변환의 기저(b).

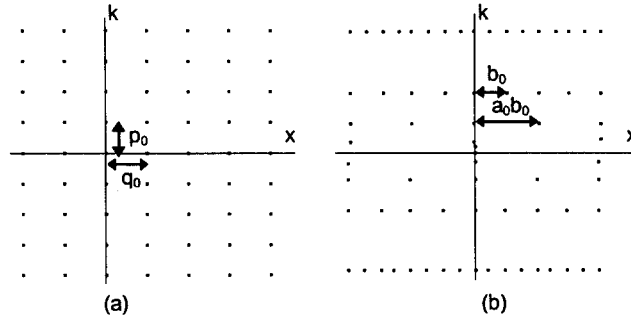


그림 2. 윈도우 푸리에 변환의 시간-주파수도(a)와 wavelet변환의 시간-주파수도(b).

다음과 같이 표시하게 된다. $a = a_0^m$, $b = nb_0 a_0^m$, 여기서, m, n 은 정수이고, $a_0 > 1$, $b_0 > 0$. 이런 경우에 $f = \sum c_{m,n}(f) \psi_{m,n}$, 여기서, $\psi_{m,n}(t) = \psi^{a_0^m n b_0 a_0^m}(t) = a_0^{-m/2} \psi(a_0^{-m} t - nb_0)$ 가 되며, $a_0 = 2, b_0 = 1$ 일 경우에는 특수하게, $\psi_{m,n}$ 이 직교 정규기저를 형성하게 되어, $c_{m,n}(f) = \langle \psi_{m,n}, f \rangle = \int \psi_{m,n}(x) f(x) dx$ 와 같이 만들 수 있다.

2.2 2차원 영상에의 확장

전 절에서 제시된, 1차원 신호에 대한 wavelet 변환을 2차원으로 확장하는 방법에는 여러 가지 있지만, 여기서는 간단하게, 1차원 변환을 가로, 세로로 확장한 것을 사용하며, 2차원 변환을 사용함으로써, 가로 주파수, 세로 주파수, 대각선 위주의 주파수에 대하여 각기 맞는 처리가 가능하다.

2차원 wavelet 변환을 위한 $\phi(x, y)$ 함수는 다음과 같이 1차원에서 이용하던, $\psi(x)$ 를 확장할 수 있다. 아래식에서, $\phi(x)$ 는 1차원 wavelet 변환에서 적용되는 scaling 함수이며, $\psi(x)$ 는 1차원 wavelet 변환에서의 wavelet 함수이다.

$$\begin{aligned} \phi(x,y) &= \phi(x) \phi(y) \\ \psi^H(x,y) &= \phi(x) \times \psi(y) \\ \psi^V(x,y) &= \psi(x) \times \phi(y) \\ \psi^D(x,y) &= \psi(x) \times \psi(y) \end{aligned}$$

그림 3은 한 영상을 2차원 wavelet 변환을 이용하여, 실제 어떻게 변환하는지를 도시적으로 보여주고 있다. 실제, wavelet 변환은 필터 h 와 g 를 이용하여, 구현하게 되는데, 한번의 분해과정으로, 4개의 부영상이 생기게 되며, 각 부영상은 원영상의 1/4의 크기를 가지며, 저대역 영상, 가로쪽의 고주파 영상, 세로쪽의 고주파 영상, 대각선 방향의 고주파 영상 등으로 나뉘게 된다.

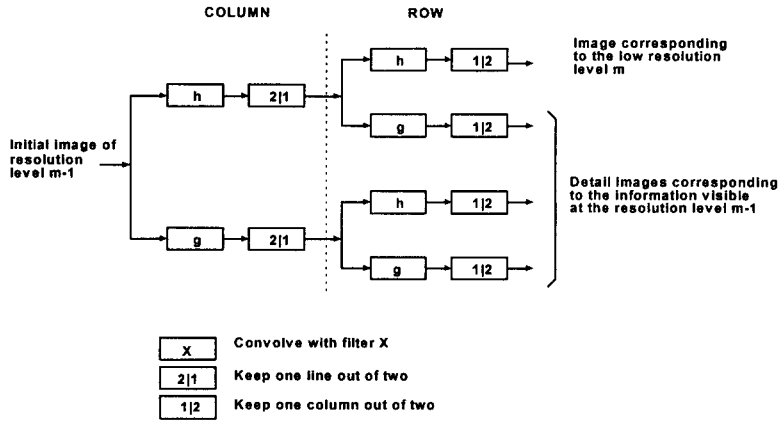


그림 3. wavelet 변환을 이용한 영상분해의 한 단계.

3. 다중대역 영상 코딩

이 장에서는 인공위성에서 수신하는 영상을 압축하기 위한 기법이 가져야 하는 기본적인 요구사항을 도출하고, 그러한 요구사항들을 효과적으로 제공하는 영상압축기법에 대하여 살핀다.

3.1 요구사항

본 논문에서 다루는 영상압축기법은 인공위성을 통하여, 지상국이 수신한 영상을 효과적으로 저장하기 위한 영상압축기법을 다루게 된다. 따라서, 상대적으로 고가의 컴퓨터를 이용하여 압축프로그램을 돌릴 수 있음을 감안하며, 계산속도는 차후의 고려사항이 된다. 따라서, 여기서는 고압축율을 얻는 압축기법, 그리고 화질은 사람이 보는 주관적 화질과 동시에, 기계 분류를 통해 원영상과 대조할 경우, 원영상과의 분류 오차 등을 비교해봄으로써 비교하고자 한다.

본 논문에서는 다중대역 영상압축기법을, wavelet 변환을 이용하여 설계하였으며, 그림 4에서는, 실험에 사용한 LANDSAT 위성에서 받은 multispectral scanner(MSS) 영상 데이터와 우리별 1호에서 받은 실험 영상을 보이고 있다. 그림 4(a)(b)(c)(d)는 LANDSAT 위성에서 받은 영상이며, 한국의 경기도 이천 지역을 보이고 있다. 그림 4(e)(f)는 이탈리아와 한국을 각각 보여주는 우리별 1호의 관측사진이다.

영상압축효율을 높이기 위해, 인공위성 영상에서 생기는 가능한 중복성을 고려하였다. 위성영상에서는 크게 세가지의 중복성이 존재하게 되는데, 한 영상을 구성하는 인접 화소들간의 유사성에서 생기는 공간 중복성(spatial redundancy), 위성영상을 구성하는 각 대역 영상간의 높은 유사성에서 비롯되는 대역상관성(spectral redundancy), 그리고, 실제 코딩시에 얻어지는 심볼들간의 상관성인 통계적 상관성(statistical redundancy) 등이다. 따라서, 이러한 세가지 중복성을

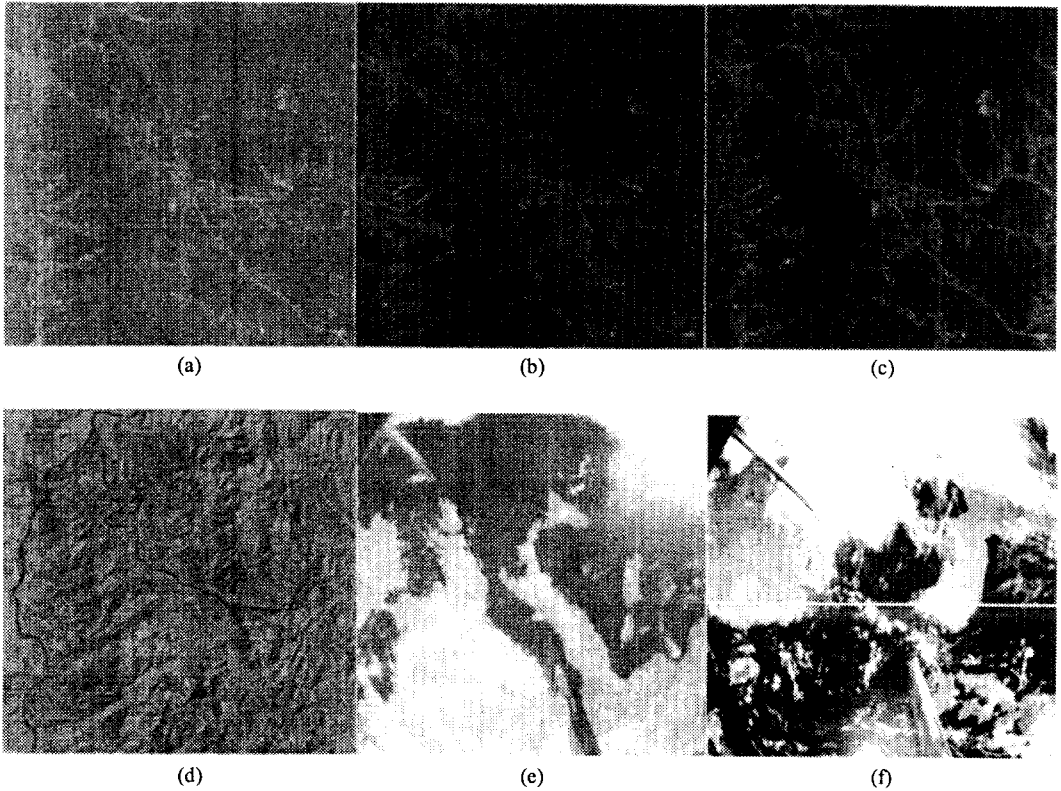


그림 4. 실험 영상: LANDSAT multispectral image (a) subch1.bin, (b) subch2.bin, (c) subch3.bin, (d) subch4.bin, KITSAT-1 image, (e) KITSAT-1 (Italy), (f) KITSAT-1 (Korea).

모두 제거할 수 있는 형태는 여러가지 코딩 기법을 결합한 하이브리드 형태가 되어야 한다.

본 논문에서 제시된 영상압축기법은 공간중복성을 제거하기 위해서는 wavelet 변환을 이용하였으며, 대역간 중복성을 제거하기 위해서는 밝기 등화기를 이용하였다. 또한 통계적 중복성을 제거하기 위해서는 힐버트 곡선과 RLE를 결합한 엔트로피 코딩 기법을 이용하였다. 제시된 영상압축기의 전체 블럭도는 그림 5에 보여지고 있으며, 크게 기준 대역에 대하여, 공간적 중복성을 제거하는 부분과 기준 영상과 타 대역의 영상과의 상관성을 제거하는 부분, 그리고 차이 영상을 압축하는 부분으로 나뉘게 되는데, 다음 절에 각각에 대해서 자세히 설명하도록 한다.

3.2 Wavelet 변환과 변환계수의 코딩

제시된 다중대역 영상압축기에는 wavelet 변환으로 Daubechies 9-3 필터를 이용하였으며, 그림 6은 송신기와 수신기에서 쓰이는 scaling 함수와 wavelet 함수를 각각 보여주고 있다. 또한

각각 사용된 필터 계수들은 표 1에 제시하였다.

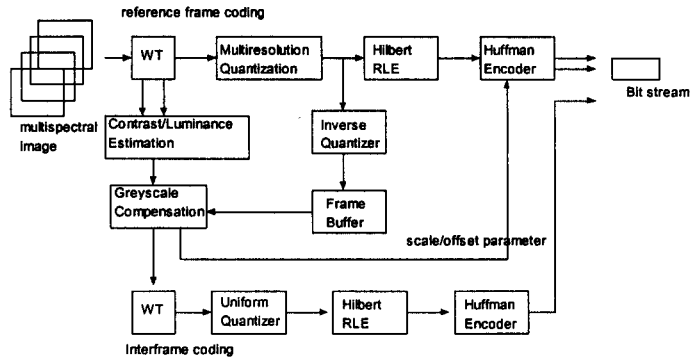


그림 5. 다중 대역 영상압축기.

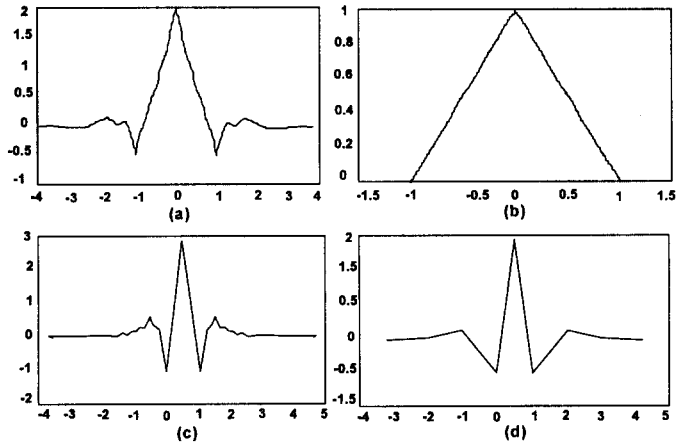


그림 6. Scaling 함수 $\phi, \tilde{\phi}$ 와 wavelets $\psi, \tilde{\psi}$ (a) Scaling 함수 ϕ , (b) Scaling 함수 $\tilde{\phi}$, (c) Wavelet ψ , (d) Wavelet $\tilde{\psi}$

표 1. Daubechie 9-3 필터의 필터 계수.

n	0	± 1	2	± 3	± 4
$2^{-1/2}h_n$	45/64	19/64	-1/8	-3/64	3/128
$2^{-1/2}\tilde{h}_n$	1/2	1/4	0	0	0

Wavelet 변환후에 대부분의 고주파 성분의 계수가 0의 값을 가지게 되는데, 그림 7(b)에서 보는 바와 같이, 실험영상에 대한 wavelet 변환을 적용할시에, 왼쪽위의 저주파수 영상을 제외하고, 대부분의 고주파 대역의 계수가 0의 값을 가짐을 알 수 있다. 또한, 실제로 대각선 성분의 주파수 성분은 코딩에서 아예 제외함으로써, 최소한 25%의 코딩 이득을 얻게 된다.

사람의 시각 시스템은 고주파 성분의 변환에 둔감하기 때문에, 적은 비트를 고주파 성분에 할당해도, 전체적인 주관적 화질에는 영향을 미치지 않는다. 따라서, 본 논문에서는 다음 그림 7(c)과 같이, 실험적인 양자화 테이블을 이용하여 영상을 압축하였다. 앞절에서 제시되었듯이, 대각선 성분의 영상 성분에 대해서는 아예 코딩을 고려하지 않았다.

Wavelet 변환후에 생기는 부영상들은 각각 다른 주파수 대역에 대응되는데, 고주파 대역의 경우에, 대부분이 0의 값을 가지게 된다. 따라서, 0을 스캔하는 방법에 따라 엔트로피 코딩부의 성능이 차이가 나게 되는데, 본 논문에서는 줄간격으로 엔트로피 코딩을 하는 방법 대신에, 그림 8과 같은 힐버트 곡선을 이용하여 엔트로피 코딩을 하게된다. 힐버트 곡선은 일정 구역에

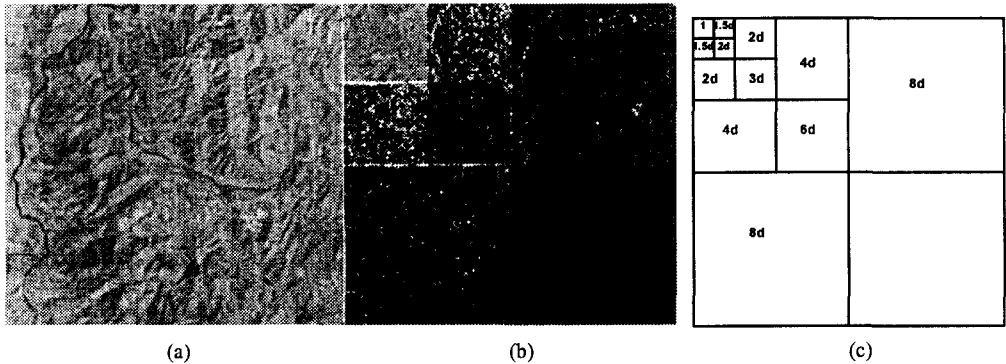


그림 7. (a) 샘플 영상 (b) 샘플 영상의 wavelet 변환(흰색점은 8 이상의 값을 의미) (c) 각각의 주파수 대역에 대한 bit allocation table.

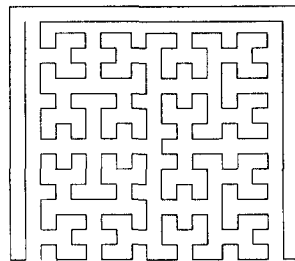


그림 8. 힐버트 곡선.

머무는 시간을 최대화할 수 있기 때문에, 엔트로피 코딩부로 RLE와 허프만 코딩을 고려할 경우, 0의 갯수를 최대화하여 코딩할 수 있다.

3.3 대역간 동화기

압축 효율을 높이기 위해, 부가적으로 고려한 것은 그림 4에서 보여지듯이 대역간의 대역 상관성을 줄이기 위한 방법이다. 다중대역 영상은 동화상을 구성하는 영상간에 존재하는 상관성과 비슷한 형태를 띠고 있다. 하지만, 동화상의 경우엔 일반적으로 밝기는 변하지않고 물체가 움직임으로 인한 영상이 바뀌었다고 보기 때문에, 움직임 추정을 통하여 영상간의 상관성을 제거하는 반면에, 다중대역 영상의 경우에는 같은 대상을 다른 주파수 대역에서 찍은 사진이기 때문에 근본적으로 물체의 움직임은 없다. 따라서, 다른 주파수 대역에서 찍음으로 인해 생긴 대역간의 밝기 및 대비 등을 서로 맞추어 대역간 상관성을 줄이는 것이 영상압축의 효율을 위해 필요할 것이다.

제시된 방법에서는 밝기의 변화폭이 가장 적은 대역을 기준 대역으로 정하고, 기준대역에서 다른 대역 영상으로 밝기와 대비를 동화함으로써 기준 영상과 맞추도록 한다. 이를 위하여 영상 동화에 대한 기본적인 모델을 만들었는데, 즉 $b_i = sa_i + o$, 여기서, b_i 는 기준 영상의 화소의 값이며, a_i 는 대응하는 다른 영상에서의 화소의 값이다. 여기서의 문제는 이제 다음과 같이 주어지는 R 의 값을 최소화하는 것이 된다.

$$R = \sum_{i=1}^n (sa_i + o - b)^2$$

문제를 좀더 형식적으로 정의하면, 다음과 같다. 기준영상과 다른 영상에서의 각각 대응하는 n 개의 화소를 포함하는 사각형을 잡는다. 그리고 각각 $a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n$ 로 잡는다. 여기서, 문제는 R 을 최소화하는 s 와 o 를 찾는 것이다. 즉 이러한 방법은 a_i 블록과 b_i 블록간의 최소 자승 오차를 최소화하는 밝기와 대비 파라미터를 구하는 것으로, R 의 값은 s 와 o 에 대해서 편미분한 결과가 0이 되는 때에 최소화된다.

$$s = \frac{[n^2 \sum_{i=1}^n (a_i b_i) - (\sum_{i=1}^n a_i)(\sum_{i=1}^n b_i)]}{[n^2 \sum_{i=1}^n a_i^2 - (\sum_{i=1}^n a_i)^2]}, \quad o = \frac{[n^2 \sum_{i=1}^n b_i - s \sum_{i=1}^n a_i]}{n^2}$$

그러한 경우에,

$$R = [\sum_{i=1}^n b_i^2 + s(\sum_{i=1}^n a_i^2 - 2(\sum_{i=1}^n a_i b_i) + 2o \sum_{i=1}^n a_i) + o(on^2 - 2 \sum_{i=1}^n b_i)] / n^2$$

s 와 o 는 처음 저주파 대역에 대하여 계산이 이루어진 후에, 차례로, 고주파 대역에 제시되어, 그림 9에서 보여지는 바와 같이, 등성하게 계산된다. 더구나, 고주파수 대각선 성분에 대해서는 아예 계산이 이루어지지 않는데, 이는 이미 서술된 대로, 이러한 주파수 성분이 제거되어도, 사람의 시각에는 거의 영향을 미치지 않기 때문이다.

s 와 o 를 추정 한 후에, 얻어지는 등화 오차는 원 영상과 등화된 영상간의 차이를 구함으로써 얻어진다. 역시, 대각선 성분의 고주파 성분은 고려하지 않으며, 각 대역에 맞추어 비트율을 할당하게 된다.

4. 실험 결과

이 장에서는 다중대역 영상압축기를 실제 인공위성 영상에 대하여 적용한 결과를 보인다. 실험영상으로는 LANDSAT 위성에서 받은 MSS 데이터와 우리별 1호에서 찍은 실험영상을 구하여 실험하였다. 그림 4에는 각각의 실험 영상을 보였고, 표 2에는 실험영상의 사양을 보였다.

다중대역 영상압축기는 크게 세부분으로 나뉘어진다. 기준 영상 압축기, 밝기 및 대비 파라미터 추정기, 그리고 등화된 영상을 이용하여, 영상간 오차를 압축하는 에러 압축기로 나뉜다. 따라서, 본 논문에서는 각각에 대해 따로 측정 기준을 설정하고 평가하기로 한다. 또한, 각각의 실험영상에 대하여 비트율과 화질을 보이기로 한다.

4.1 기준 영상 코딩의 평가

기준 영상 코딩 기법은 비트율과 오차로써 평가될 수 있다. 오차 평가로는 크게, 두가지를 고려할 수 있는데, 두 영상간의 평균 제곱 오차를 이용한 객관적 화질과, 최종 영상관찰자가 사람인 것을 고려하여, 사람이 직접 관찰한 화질인 주관적 화질로 크게 나뉜다. 이 논문에서는 객관적 화질과 원격탐사 응용에서 많이 쓰이는 분류 기법인 K-Means 클러스터링 방법을 이용한 분류기능에도 원영상과 비슷한 효과를 보인다는 점을 비교하도록 한다. $f(i, j)$, $r(i, j)$ 를 각각

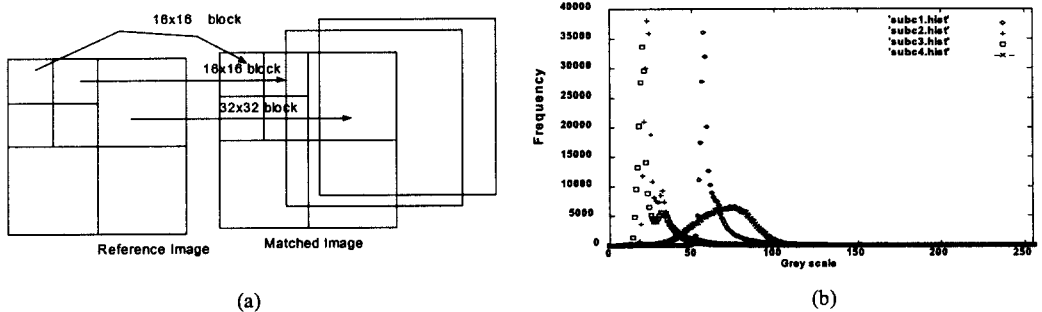


그림 9. 다중대역 영상값의 밝기와 대비 조절을 통한 등화기법: (a) 방법 (b) 실험 대역 영상의 화소값의 히스토그램.

표 2. 실험영상으로 쓰여진 다대역 영상들의 사양.

image	sensitivity (μm)	resolution
LANDSAT (subc1.bin)	0.5-0.6	82
LANDSAT (subc2.bin)	0.6-0.7	82
LANDSAT (subc3.bin)	0.7-0.8	82
LANDSAT (subc4.bin)	0.8-1.1	82
KITSAT (kaiw0008.bin)	wide view	low
KITSAT (kaiw000e.bin)	wide view	low

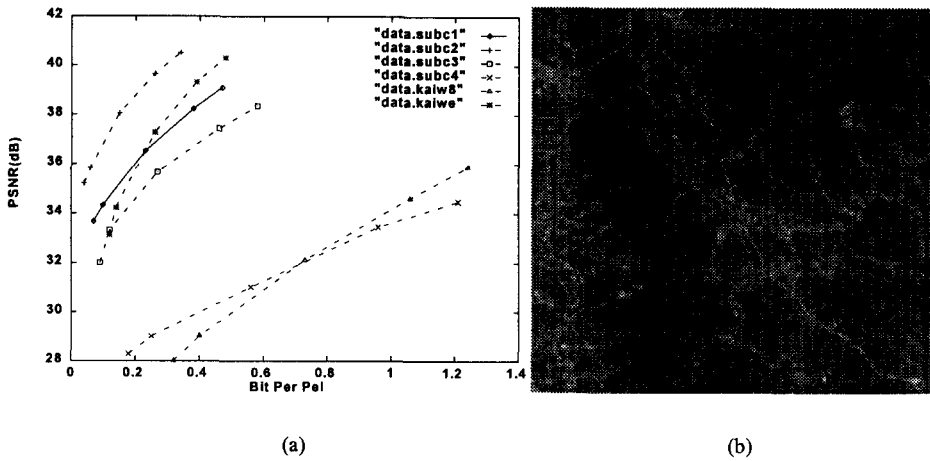


그림 10. (a) LANDSAT 위성영상의 rate-distortion (b) 0.25 bpp로 복원된 subc2.bin 영상.

원영상과 압축후 복원한 영상에서의 한화소의 값이라고 할때, 객관적 화질로 사용하는 PSNR는 다음과 같이 정의된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{(1/255)^2 \sum_{i=0}^{255} \sum_{j=0}^{255} [f(i,j) - r(i,j)]^2}$$

여기서 $f(i, j)$ 는 원영상이고 $r(i, j)$ 는 복원한 영상이다.

LANDSAT MSS 실험영상들을 제시된 방법을 이용하여 압축한 결과가 그림 10(a)에 나와 있다. 제시된 방법은 평균 0.40bpp(bit per pixel) 정도에서, 좋은 화질을 보이고 있으며, 그림 10(b)는 subc2.bin 영상을 0.25bpp 정도로 압축했다가 복원했을 경우의 영상을 보이고 있다.

4.2 등화기 평가

제안한 방법에서는 3단계 wavelet 변환을 적용하여, 등화기를 적용하였으며, 각 단계에서의 블럭의 크기는 16×16 , 32×32 , 64×64 로 정하였다. 또한 대비 파라미터인 s 와 밝기 파라미터인 o

의 추정에 각각 2byte를 할당하였다. 등화단계후에는 기준영상과 등화된 영상의 차이 영상은 작아진 동적 범위를 가지기 때문에, 적은 비트를 가지고 효율적으로 압축할 수 있게 된다.

4.3 계산량

지상국용의 영상압축기법으로는 계산량이 별로 문제가 되지 않지만, 실제로 영상을 배포할 경우, 원격탐사자들은 성능이 떨어지는 컴퓨터를 이용하여 영상을 복원하게 된다. 이때, 디코더에서 쓰이는 영상압축기법의 계산량이 문제가 되며, 제시된 영상압축기법에서 상대적으로 많은 시간을 차지하는 wavelet 변환의 경우에 $O(n \log n)$ 을 차지하는 푸리에 변환에 비해, $O(n)$ 의 적은 계산량이 걸리기 때문에 상대적으로 유용하다.

5. 결 론

본 논문에서는 인공위성에서 수신한 다중대역 영상에 대하여 wavelet 변환을 기반으로 한 영상압축기법을 적용하였으며, 제안한 영상압축기법이 다중대역 영상에서 보여지는 대역간의 상관성을 밝기와 대비 파라미터를 추정하는 과정을 통하여 제거됨을 보였으며, 실제로 우리별 1호의 영상과 LANDSAT MSS 영상 데이터에 적용하여 wavelet 변환을 기반으로 하는 방법이 주관적 화질면에서나 PSNR 측면의 객관적 화질 측면에서 유용함을 보였다. 또한 본 논문에서 제안된 방법은 압축률에 비해 계산량이 적으므로, 보안을 통하여 향후 우리별 3호 이후의 위성내 영상압축 및 전송시스템으로 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- Daubechies, I. 1988, IEEE Trans. on Information Theory, 38
 Mallat, S. G. 1989, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11