

## 저해상도 Multispectral 영상의 고해상도 재구축

이 상 훈<sup>†</sup>

경원대학교

### High Resolution Reconstruction of Multispectral Imagery with Low Resolution

Sang-Hoon Lee<sup>†</sup>

Kyungwon University

**Abstract :** This study presents an approach to reconstruct high-resolution imagery for multispectral imagery of low-resolution using panchromatic imagery of high-resolution. The proposed scheme reconstructs a high-resolution image which agrees with original spectral values. It uses a linear model of high-and low- resolution images and consists of two stages. The first one is to perform a global estimation of the least square error on the basis of a linear model of low-resolution image associated with high-resolution feature, and next local correction then makes the reconstructed image locally fit to the original spectral values. In this study, the new method was applied to KOMPSAT-1 EOC image of 6m and LANDSAT ETM+ of 30m, and an 1m RGB image was also generated from 4m IKONOS multispectral data. The results show its capability to reconstruct high-resolution imagery from multispectral data of low-resolution.

**Key Words :** High-resolution, Reconstruction, Least Square Error, RGB Image.

**요약 :** 본 연구에서는 고해상도의 panchromatic 영상을 이용하여 저해상도의 multispectral 영상을 고해상도로 재구축하는 방법을 제시하고 있다. 제안된 방법은 저해상도와 고해상도 간의 선형 모형 사용하여 실제의 spectral 값에 부합하는 고해상도 영상을 재구축하며 두 단계로 이루어진다. 첫 단계는 고해상도 feature와 연관된 저해상도의 선형 모형을 이용하여 최소 자승 오류 법에 의한 global 추정 과정이고 두 번째 단계는 재구축된 영상을 지역적으로 원래의 spectral 값과 일관되게 만드는 local 수정 과정이다. 본 연구에서 제안 방법을 이용하여 6m KOMPSAT-1 EOC 자료와 30m LANDSAT ETM+에 적용하였고 또한 IKONOS 1m RGB 영상 생성하였다. 실험 결과는 새로이 제시된 방법이 저해상도 Multispectral 영상의 고해상도 재구축에 탁월한 성능을 가지고 있음을 보여주었다.

### 1. 서 론

요즈음 원격탐사 센서 기술의 발전으로 인하여 관측

지표면에 대한 서로 보완적이고 혹은 중복되는 정보를 갖고 있는 다양한 multisensor 자료가 획득되고 있다. 지표면의 정확한 분석을 위하여 다양한 분광 정보를 필

2007년 12월 1일 접수 ; 2007년 12월 19일 수리.

<sup>†</sup> 교신저자: 이상훈(shl@kyungwon.ac.kr)

요하나 multispectral 자료는 상대적으로 작은 목적물을 탐지하기 위해서는 적합하지 않은 상대적으로 낮은 공간 해상도를 가지고 있다. 지표면의 자세한 공간 구조에 대한 정보는 고해상도의 panchromatic 영상자료를 통해서 얻을 수 있다. 그러므로 panchromatic 영상을 이용한 multispectral 자료의 고해상도화는 지표면 피복 분석을 위한 시각적 해석이나 자동 인식의 정확성 향상을 위하여 필요하다.

주로 이러한 multispectral 고해상도화는 panchromatic 영상을 이용한 RGB영상 생성하기 위하여 사용되었다 (Zhang and Hong, 2005). 원격 탐사에서 일반적으로 사용되는 고해상도화 알고리즘은 IHS Transform (Carper et al., 1990; Chavez et al., 1991), Principal Component Analysis (PCA) (Chavez and Kwarteng, 1989; Chavez et al., 1991), Brovey Transform (Civco et al., 1995), High Pass Filtering (Shettigara, 1992)에 기반하고 있다. 이 중에서 IHS 기술이 실제 활용에서 가장 많이 사용되어 왔다. 최근에는 multiresolution decomposition 기반한 알고리즘인 Discrete Wavelet Transform (DWT) (Li et al., 1995; Yockey, 1995; Zhou et al., 1998)과 Discrete Wavelet Frame Transform (DWFT) (Li et al., 2002)이 널리 사용되고 있다.

그러나 위의 통상적인 방법들은 고해상도화 과정에서 panchromatic 영상을 multispectral 자료에 합성하는 융합에 의해 이루어 지므로 재구축 과정에서 실제 spectral 값의 변형이 생길 수 있다. 본 연구는 저해상도와 고해상도 간의 선형 모형 사용하여 실제 spectral 값에 부합하는 고해상도 영상을 재구축하는 방법을 새로이 제시한다.

## 2. 고해상도화 영상 모형

하나의 화소에 해당하는 지역이 여러 특성의 소 지역으로 구성되어 있다면 그 화소의 spectral 값은 화소에 포함된 소 지역의 물리적 특성과 관련된 spectral 값의 평균으로 가정할 수 있다. 이러한 가정아래 저해상도의 하나의 화소가 고해상도 K개의 화소 지역에 해당한다면

$$z_i^{Low} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K z_{i(j)}^{High} \quad (1)$$

$z_i^{Low}$ : 저해상도 i번째 화소의 spectral 값

$z_{i(j)}^{High}$ : 저해상도 i번째 화소 지역 내 고해상도 j번째 화소의 spectral 값.

만약 동일한 특성을 가진 feature의 spectral 값이 균일하고 고해상도 영상에 존재하는 feature의 수가 m개 라면 식 (1)은 다음과 같이 표현될 것이다:

$$z_i^{Low} = \sum_{k=1}^m r_{ik} x_k \quad (2)$$

$x_k$ : 고해상도 영상의 k번째 feature의 spectral 값

$r_{ik}$ : 저해상도 i번째 화소 지역 내 k번째 feature에 속하는 고해상도 화소의 비율.

식 (2)에 근거하여 n개 화소의 저해상도 영상에 대한 고해상도화를 위한 영상 모형은

$$Y = RX + \varepsilon \quad (3)$$

$Y = \{y_i, i=1, \dots, n\}$ : 저해상도 영상의 관측 spectral 값  $n \times 1$  벡터

$X = \{x_k, k=1, \dots, m\}$ : 고해상도 feature의 spectral 값  $m \times 1$  벡터

$R = \{r_{ik}\}$ : 저해상도 화소 내 고해상도 feature의 비율 값  $n \times m$  행렬

$\varepsilon = \{\varepsilon_i, i=1, \dots, n\}$ : 저해상도 영상의 noise 값  $n \times 1$  벡터.

Fig. 1은  $2 \times 2$ 의 저해상도와  $4 \times 4$ 의 고해상도 간에 선형 관계를 나타내는 식 (3)의 간단한 예이다. 이 예에서 고해상도는 4개의 feature를 가지고 있으며 행렬 R의 각 행은 저해상도 각 화소에 포함된 고해상도 feature의 화소 비율로 구성된다.

10	20
30	40

1	1	1	4
2	3	3	4
2	3	3	4
2	1	1	4

$$Y = \begin{bmatrix} 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/4 & 1/4 & 0 \\ 1/4 & 0 & 1/4 & 1/2 \\ 1/4 & 1/2 & 1/4 & 0 \\ 1/4 & 0 & 1/4 & 1/2 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

Fig. 1. 고해상도화 모형의 예.

### 3. 고해상도화 과정

고해상도화 작업은  $X$ 에 대한 global 추정과 local 수정 과정으로 이루어진다. global 추정 과정은 주어진 전 영상에 대하여 식 (3)을 통하여  $X$ 를 추정하여 고해상도의 각 feature에 저해상도 값이 배당이 된다. 배당된 저해상도 값으로 고해상도 feature를 표현하면 global 추정에 의한 고해상도 영상을 얻을 것이며 저해상도 spectral 값을 가지면서 고해상도의 자세한 공간 구조를 나타낼 것이다. 그러나 지역 간에 spectral 값의 변화가 존재하므로 전 지역을 고려하여 추정된 값은 지역적으로 원래의 관측 값과 차이가 날 것이다. 고해상도의 자세한 공간 구조를 유지하기 위해서는 지역적으로 근접한 화소들 사이의 feature 값 차이는 유지되어야 한다. Local 수정 과정은 근접 지역 내에서 feature 값의 차이를 유지한 채 지역의 원래 spectral 값에 일치시키는 과정이다.

#### 1) 최소 자승 오류 Feature 값의 Global 추정

식 (3)에서 노이즈가 Gaussian 분포를 가진다면 식 (3)에서  $\varepsilon^T \varepsilon$ 를 최소로 하는 feature 값의 최소 자승 오류 추정치는 최대 우도를 가진다:

$$\varepsilon^T \varepsilon = (Y - \mathbf{R}X)^T (Y - \mathbf{R}X). \quad (4)$$

식 (4)의 2차 함수의 최소치는 1차 미분 식을 0으로 하는 값이다.

$$\begin{aligned} \mathbf{R}^T Y - \mathbf{R}^T \mathbf{R} X &= 0 \\ \hat{X} &= (\mathbf{R}^T \mathbf{R})^{-1} \mathbf{R}^T Y \end{aligned} \quad (5)$$

#### 2) Feature 값의 Local 수정

지역적 연속성을 고려하기 위하여 저해상도에서 정의되는 윈도우를 이용하여 local 수정의 근접 지역 범위를 정한다. 저해상도  $i$ 번째 화소를 중심으로 하는 윈도우를  $W_i$ 라 하면:

$$\begin{aligned} \hat{z}_{i(j)}^{high} &= \sum_{k=1}^m r_{ik} \hat{x}(F_{i(j)}) + \delta_i \\ \delta_i &= \frac{\sum_{i \in W_i} \left( y_i - \sum_{k=1}^m r_{ik} \hat{x}_k \right)}{\text{sizeof}(W_i)} \end{aligned} \quad (6)$$

sizeof( $W_i$ ):  $W_i$ 의 크기

$F_{i(j)}$ : 저해상도  $i$ 번째 화소 지역 내 고해상도  $j$ 번째 화소의 feature

$\hat{x}(F)$ : 고해상도 feature  $F$ 에 대해 global 추정된 spectral 값.

$\delta_i$ : 저해상도  $i$ 번째 화소의 correction factor

$\{\hat{z}_{i(j)}^{high}\}$ : 고해상도 spectral 영상.

식 (6)의  $\delta_i$ 에서  $i$ 번째 화소만을 포함하는 윈도우를 사용하면 저해상도  $i$ 번째 화소에 속하는 고해상도 화소의 추정 spectral 값을 합하면  $i$ 번째 화소의 관측 spectral 값에 일치한다, 즉

$$y_i = \sum_j \hat{z}_{i(j)}^{high}.$$

적절한 크기의 윈도우를 선택하면 지역적으로 연속적이면서 지역 관측 값에 일관되는 spectral 값을 얻을 수 있다.

### 4. 실험 결과

본 연구에서는 경기도 용인/능평 지역에서 관측된 KOMPSAT 1호 EOC 6m급 고해상도 자료를 이용하여 30m급 3 밴드 (NIR, Red, Green) LANDSAT ETM+ 자료의 고해상도화 실험을 시도하였다. 고해상도 EOC의 크기는  $1400 \times 1900$ 이고 multispectral 자료의 크기는  $280 \times 380$ 이고 이 실험에서는 EOC 영상은 8비트 자료이므로 0을 제외한 최대 수인 255개의 고해상도 feature를 가정하였다. Fig. 2는 실험에 사용된 영상 자료와 고해상도로 재구성된 결과 자료를 보여주고 있다. Fig. 3의 graph는 global 추정을 통하여 구해진 255개의 feature에 대응하는 multispectral 밴드의 8비트 값을 나타내고 있다 (관측 EOC 자료의 8비트 값은 23에서 254 사이에 분포하므로 실제로는 232개의 feature를 가진다). Fig. 4는 실험 자료의 관측 지역 중 도시 지역을 포함한 좌상귀의 소 지역에 대한 확대 영상을 보여주고 있다. 이 figure에서 (b)는 저해상도 관측 multispectral 자료로서 원래의 크기를 25배로 단순히 resample한 영상이며 그리고 식 (6)의 윈도우 크기를 달리 한 결과들이 figure에 포함되어 있다. Fig. 4에 보여지듯이 저해상도 하나의 화소에 해당하는 윈도우를 사용했을 때 계산된 local 수정은 고해상도의 자세한 공간 구조를 적절히 나타내는 데 실패한 반면 윈도우를 크게 했을 경우

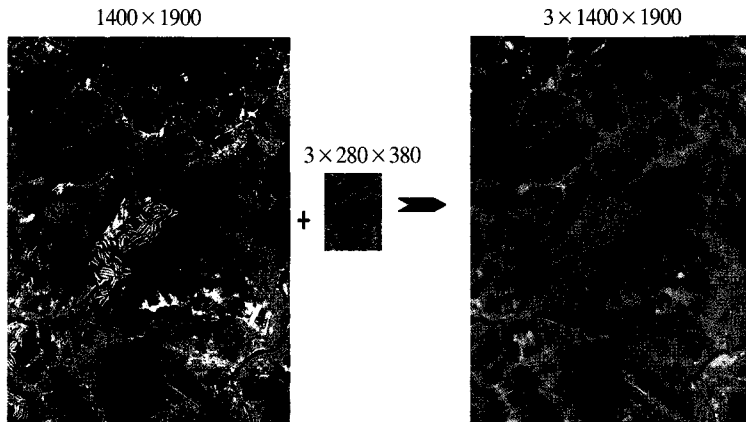


Fig. 2. 6m high-resolution reconstruction of 30m 3-band LANDSAT ETM+ using 6m KOMPSAT-1 EOC image.

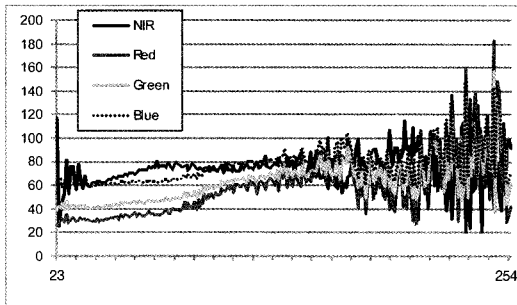


Fig. 3. Global estimation of high resolution features.

재구축된 multispectral 영상은 어느정도 자세한 구조를 보여주었다. 윈도우의 크기는 저해상도와 고해상도의 비율에 따라 달라지겠지만 주위의 어느 정도 넓은 지역을 포함할 수 있는 크기의 윈도우를 선택하는 것이 바람직 할 것이다.

다음으로 안양의 IKONOS 영상 자료에 고해상도 재구축을 적용하였다. 즉 1m panchromatic 영상을 사용

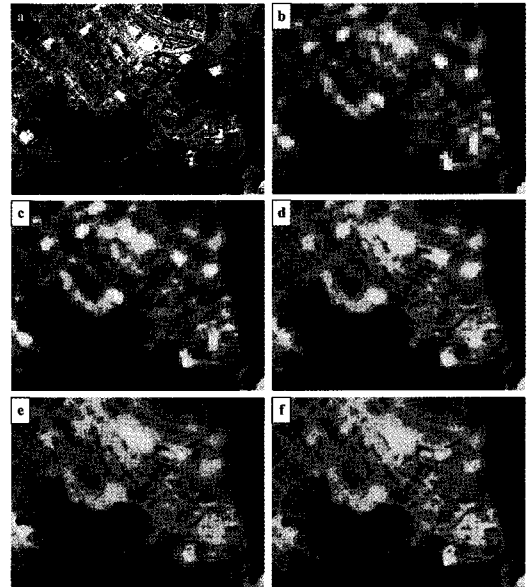


Fig. 4. Enlarged images of sub-area of Fig. 2: a) EOC observed image, b) 3-band LANDSAT ETM+ image (resized image same as EOC), reconstructed images of 3-band high resolution with window size of (c)  $1 \times 1$ , (d)  $3 \times 3$ , (e)  $5 \times 5$ , (f)  $7 \times 7$ .

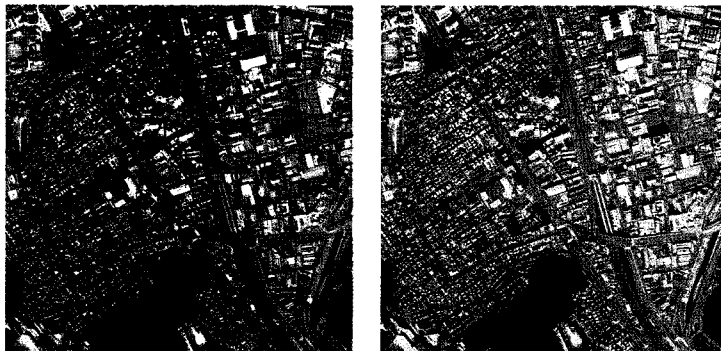


Fig. 5. Comparison of RGB image generated by the proposed method (right) to one provided by agency (left).

## 5. 결론

본 연구에서는 고해상도의 panchromatic 영상을 이용하여 저해상도의 multispectral 영상을 고해상도로 재구축하는 새로운 방법을 제시하고 있다. 제안된 고해상도 재구축은 저해상도를 위한 고해상도 feature의 선형 모형을 이용하여 최소 자승 오류 법에 의한 global 추정을 한다. 이 과정에서 고해상도 feature에 상응하는 spectral 값을 추정하여 개개의 feature에 spectral 값을 배당함으로써 global 추정에 의해 표현된 고해상도 spectral 값의 영상은 원래의 고해상도가 보여주는 자세한 공간 구조를 갖게 된다. 그리고 재구축된 영상을 지역적으로 원래의 spectral 값과 일관되게 만들고 자세한 공간 구조를 손상시키지 않게 하기 위하여 서로 근접한 feature들 간의 spectral 값의 차이는 유지하도록 local 수정을 한다. 적절한 local 수정을 위해서는 correction factor는 적정 크기의 윈도우를 사용하여 주위의 수정과 관련하여 계산이 되어야 한다. 통상적으로 사용되고 있는 방법은 panchromatic 영상을 multispectral 자료와 합성하여 고해상도의 multispectral 혹은 RGB 영상을 구축하므로 실제 spectral 값의 변형을 초래할 수 있다. 그러나 본 연구의 제안 방법은 저해상도와 고해상도 간의 선형모형을 통하여 재구축되므로 서로 다른 밴드의 spectral 값 간의 합성이 이루어 지지 않으므로 실험 결과에서 보듯이 실제 spectral 값과 부합하는 고해상도 영상을 생성한다.

## 사 사

본 연구는 학진-D00801 과제와 경원대학교의 학술 지원에 의해 수행되었다.

## 참고문헌

Carper, W. J., T. M. Lillesand, and R. W. Kiefer, 1990. The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data.

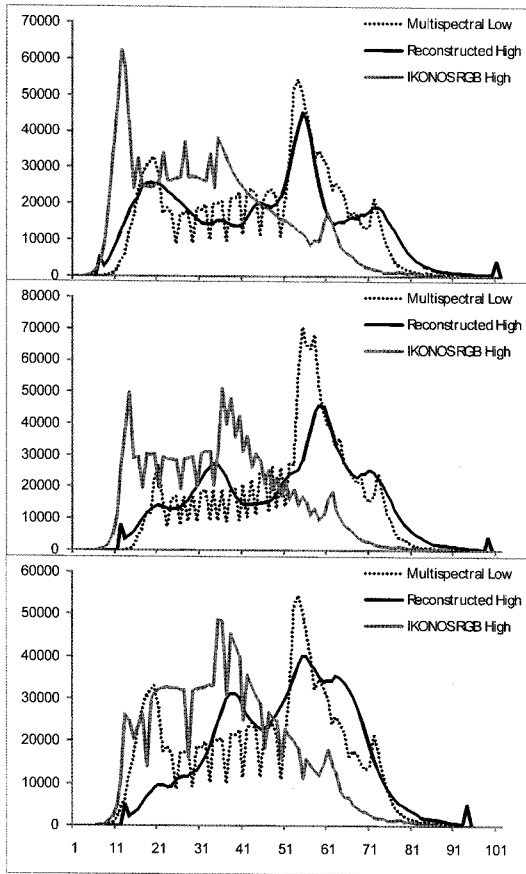


Fig. 6. Comparison of data distribution between RGB images reconstructed by the proposed method and provided by agency (from top, Red, Green, Blue bands).

하여 4m multispectral 영상을 1m 영상으로 재구축 하였다. Fig. 5는 1m로 재구축된 RGB 영상(오른쪽)과 영상 구입시 agency에서 제공해주는 1m RGB 영상(왼쪽)을 보여주고 있다. 이 두 영상을 비교하면 약간의 색감은 차이가 있으나 고해상도의 자세한 공간 구조를 나타내는 데는 별반 차이가 없다. Fig. 6는 실제 multispectral 자료와 Fig. 5에 보여진 각 RGB 자료의 값의 분포를 비교한 graph를 갖고 있다. 실제 multispectral 자료는 4m 이므로 실제 분포 값에 16배를 한 값으로 표시하였다. 이 figure에서 볼 수 있듯이 본 연구 방법에 의해 재구축된 자료는 실제 분포 값에 어느 정도 부합한 반면 agency의 영상은 실제의 분포와 많은 차이가 있었다.

- Photogramm. Eng. Rem. Sens.* 56(4): 459-467.
- Chavez, P. S. and A. Y. Kwarteng, 1989. Extracting spectral contrast in Landsat thematic mapper image data using selective component analysis. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.* 55(3): 339-348.
- Chavez, P. S., S. C. Sildes, and J. A. Anderson, 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.* 57(3): 295-303.
- Civco, D. L., Y. Wang, and J. A. Silander, 1995. Characterizing forest ecosystems in Connecticut by integrating Landsat TM and SPOT panchromatic data. *Proceedings 1995 Annual ASPRS/ACSM Convention*, Charlotte, NC, 2, pp. 216-224.
- Li, H., B. S. Manjunath, and S. K. Mitra, 1995. Multisensor image fusion using the wavelet transform. *Graph. Model. Image Process.* 57(3): 235-245.
- Li, S., J. T. Kwok, and Y. Wang, 2002. Using the discrete wavelet frame transform to merge Landsat TM and SPOT panchromatic images. *Inform. Fusion.* 3(1): 17-23.
- Shettigara, V. K., 1992. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.* 58(5): 561-567.
- Yockey, D. A., 1995. Image merging and data fusion by means of the discrete two-dimensional wavelet transform. *J. Opt. Soc. Amer. A* 12(9): 1834-1841.
- Zhou, J., D. L. Civco, and J. A. Silander, 1998. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. *Internat. J. Rem. Sens.* 19(4): 743-757.