

# 새로운 一般化 逆行列法에 의한 SPOT PAN 畫像데이터를 利用한 Landsat TM 畫像의 空間解像度 改善

(Spatial Resolution Improvement of Landsat TM Images Using a SPOT PAN Image Data Based on the New Generalized Inverse Matrix Method)

徐龍洙\*, 李健一\*\*

(Yong Su Seo and Kuhn Il Lee)

## 要約

일반화 역행렬을 이용한 인공위성 화상의 공간해상도 개선법은 기존의 다른 방법들에 비하여 그 성능이 우수하나 공간정보의 추출을 위한 계수값을 소화소와 대화소들 간의 관계로부터 계산하므로써 결과화상에는 블럭패턴이 남게되는 문제점을 갖는다. 본 논문에서는 공간정보의 추출을 위한 계수값의 계산방법을 달리한 새로운 일반화 역행렬법을 제안했다. 제안된 방법에서는 공간정보의 추출을 위한 계수값을 소화소와 소화소들 간의 관계로부터 계산해내므로 결과화상에는 블럭패턴이 나타나지 않을 뿐아니라 해상도가 크게 개선된다. 실제의 TM 화상데이터를 사용한 시뮬레이션 실험을 통하여 이를 입증하였다.

## Abstract

The performance of the improvement method of spatial resolution for satellite images based on the generalized inverse matrix is superior to the conventional methods. But, this method calculates the coefficient values for extracting the spatial information from the relation between a small pixel and large pixels. Accordingly it has the problem of remaining the blocky patterns at the result image. In this paper, a new generalized inverse matrix method is proposed which is different in the calculation method of coefficient values for extracting the spatial information. In the proposed method, it calculates the coefficient values for extracting the spatial information from the relation between a small pixel and small pixels. Consequently it can improve the spatial resolution more efficiently without remaining the blocky patterns at the result image. The effectiveness of the proposed method is varified by simulation experiments with real TM image data.

\*正會員, 東西工科大學校 情報通信工學科  
(Dept. of Inform. & Telecomm. Eng., Dongseo Univ.)

\*\* 正會員, 慶北大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)  
接受日字: 1993年 4月 10日

## I. 서론

원격탐사(remote sensing)에 의해 수집되는 각종 화상데이터의 공간해상도(spatial resolution)는 관측 파장대역, 센서의 감도 및 데이터의 이용목적 등 여러 가지 요인에 의해서 결정되므로 화상데이터의 공간해상도는 각각 다르다. Landsat 위성의 TM(thematic mapper) 센서에서는 공간해상도가 가시 및 근적외 대역에서 30 [m] 이고, 열적외 대역에서 120 [m] 이다. SPOT 위성의 PAN(panchromatic) 모드(mode)의 경우에는 공간해상도가 10 [m] 이고, XS(multispectral) 모드의 경우에는 20 [m] 이다. 또 MOS 1호 위성의 MESSR(multispectral electronic self scanning radiometer) 센서에서는 공간해상도가 50 [m] 이고, MSR(microwave scanning radiometer) 센서에서는 32 [km] 및 23 [km] 이며 VTIR(visible and thermal infrared radiometer) 센서에서는 900 [m] 및 2700 [m] 이다.

공간해상도가 10 [m] 인 SPOT PAN 화상데이터(이하 PAN 화상데이터라 부르기로함)는 공간해상도가 30 [m] 인 Landsat TM 화상데이터(이하 TM 화상데이터라 부르기로함)에 비해서 지표면 면적비 9 배나 상세히 지상정보를 수집하고 있다. 그러나 PAN 화상데이터는 단일 파장대역만의 정보인데 비하여 TM 화상데이터는 7개 대역에 걸쳐서 수집되는 다중분광 정보(multispectral information)이다. 따라서 고 공간해상도(high spatial resolution)의 PAN 화상데이터를 저 공간해상도(low spatial resolution)이나 다중분광 정보를 갖는 TM 화상데이터에 중합(merging)시켜, TM 화상의 해상도를 개선시키기 위한 연구가 널리 행해지고 있다.

지금까지 널리 사용되고 있는 공간해상도 개선 방법들로는 크게 결합(combination)법<sup>[1-4]</sup>, IHS 변환(intensity hue saturation transformation)법,<sup>[4]</sup> 주성분 분석(principal component analysis)법<sup>[9]</sup>, 고역필터 처리(high pass filtering)법<sup>[9, 11-13]</sup> 및 일반화 역행렬(generalized inverse matrix)법<sup>[14]</sup>의 5가지로 분류 할 수 있다. 이들 방법중 결합법은 저 공간해상도인 화상데이터와 고 공간해상도인 화상데이터를 더하거나 곱하여 하나의 화상데이터로 중합시키는 방법이며, 또 IHS 변환법, 주성분 분석법 및 고역필터 처리법의 3가지는 고 공간해상도인 화상데이터 그 자체를 저 공간해상도인 화상데이터의 하나의 성분 즉, 명암(intensity)성분, 주성분 및 고주파 성분으로 대체(component substitution)시키는 방

법들 이다. 이에 비하여 일반화 역행렬법은 고 공간해상도인 화상데이터에서 공간정보(spatial information)만을 추출한 후, 이를 이용하여 저 공간해상도인 화상데이터의 해상도를 고 공간해상도인 화상데이터의 해상도까지 개선시키는 새로운 방법이다. 그러나 이 방법에서는 공간정보의 추출을 위한 계수값을 소화소와 주변 대화소들 간의 관계로부터 계산해 내므로 결과화상에는 블럭패턴(blocky pattern)이 남을 뿐 아니라 해상도 개선효과도 크지 않다.

본 논문에서는 공간정보의 추출을 위한 계수값의 계산법을 달리한 새로운 일반화 역행렬법을 제안하였으며, 또한 기존의 대표적인 해상도 개선법과 일반화 역행렬법간의 개선성능을 비교하였다. 제안된 방법에서는 대화소의 화상데이터를 이동평균필터 처리한 후 소화소와 주변 소화소들 간의 관계로부터 그 계수값을 계산한다. 따라서 이 계수값으로써 처리한 화상에는 블럭패턴이 나타나지 않을 뿐 아니라 해상도가 크게 개선된다. 실제의 TM 화상데이터를 이용하여 시뮬레이션한 PAN 화상데이터와 TM 화상데이터를 가지고 해상도를 개선시킨 실험결과, 시각적 판독 및 통계적 수치에 의한 평가에서 본 논문의 방법이 기존의 방법들보다 개선성능이 우수함을 확인 하였다.

## II. 일반화 역행렬법에 의한 공간해상도 개선법

### 1. 일반화 역행렬법에 의한 공간해상도 개선

1988년 Inamura<sup>[15]</sup>에 의하여 제안된 이 방법에서는 화상데이터의 합성(composition)과 분해(decomposition)를 기본 수법으로 하여 고 공간해상도인 화상데이터로부터 공간정보만을 추출하여 이것을 저 공간해상도인 화상데이터에 이행시켜 공간해상도를 개선시켰다. 그림 1은 이 방법의 원리를 설명하기 위한 TM 및 PAN 화상데이터의 표현과 화소의 표기법이다.

원(original) PAN 화상데이터  $[S_{(i,m)j(x,y)}]$ 의 공간해상도는 10 [m] 이고 원 TM 화상데이터(가시 및 근적외 대역)  $[T_{(i,m)j}]$ 의 공간해상도는 30 [m] 이므로, 양 화상데이터간의 공간해상도는 지표면 면적비 9배의 차이가 있다. 따라서 이들 화상간의 연산을 위해서는 기하학적으로 위치를 일치시키는 작업(geometric registration)이 필요하다.<sup>[17]</sup> 이 작업을 행했다고 가정하면 양 화상에서 화소의 위치 관계는 그림 1과 같다. 이 그림에서 실선으로 에워싼 위치  $(i,m+j)$  (단,  $i, j=1,0,1$ )에 있는 TM 화상의 화소를  $T_{(i,m)j}$ 로 표기하고, 위치  $(i,m+j)$ 내에 점선으

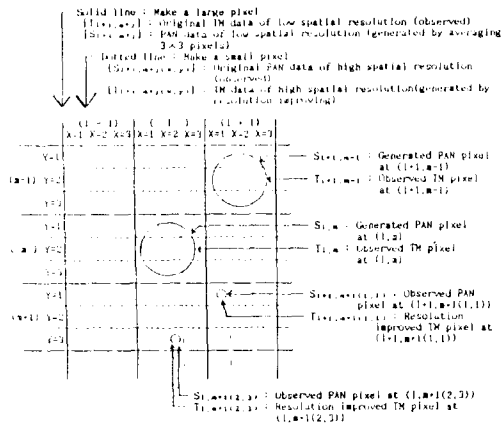


그림 1. Landsat TM 및 SPOT PAN 화상데이터의 표현과 화소의 표기

Fig. 1. Representation of Landsat TM and SPOT PAN image data, and pixel notations.

로 에워싼 PAN 화상의 화소들을  $S_{[i,m;j(x,y)]}$  (단,  $x,y=1,2,3$ )로 표기하면, 화소  $T_{[i,m;j]}$  내에는 9개의 화소  $S_{[i,m;j(x,y)]}$  가 있는 셈이다. 이때 화소  $T_{[i,m;j]}$  및  $S_{[i,m;j(x,y)]}$ 의 크기를 각각 대화소(large pixel) 및 소화소(small pixel)라 부르기로 한다. PAN 화상데이터  $[S_{[i,m;j(x,y)]}]$ 를 이용하여 이의 공간해상도와 같은 해상도를 가지는 TM 화상데이터  $[T_{[i,m;j(x,y)]}]$ 를 구하는 원리는 다음과 같다.

먼저 PAN 화상데이터  $[S_{[i,m;j(x,y)]}]$ 를 가지고 TM 화상데이터  $[T_{[i,m;j]}]$ 의 공간 해상도와 같은 해상도를 가지는 PAN 화상데이터  $[S_{[i,m;j]}]$ 를

$$S_{[i,m;j]} = \frac{1}{9} \sum_{x,y=1}^3 S_{[i,m;j(x,y)]} \quad (1)$$

로 구한다. 이 식에서와 같이 3x3 블럭단위로 9개의 소화소들을 평균하여 1개의 대화소의 화소값을 구하는 것을 화상데이터의 합성(composition)이라고 부른다.<sup>[14]</sup> 이 합성은 해상도를 저하시킨다는 의미에서 조시화(coarsening)라고도 부른다.<sup>[16]</sup>

다음에는 하나의 소화소  $S_{[i,m;j(x,y)]}$ 를 그 주변의 9개의 대화소  $S_{[i,m;j]}$ (단,  $i,j=1,0,1$ )들간의 1차 결합관계를

$$S_{[i,m;j(x,y)]} = \sum_{i,j=-1}^1 C_{[i,m;j(x,y)]} S_{[i,m;j]} \quad (2)$$

로 나타낸다. 이 식에서 계수  $C_{[i,m;j(x,y)]}$ 는 특정 소화소와 주변 대화소들과의 관계를 나타내므로, 이의 계

산은 화상데이터로부터 공간정보의 추출이라 한다. 또 이 계수는 동일지점의 지표면에 대해서는 센서 및 대역에 관계없이 일정하다고 가정한다.<sup>[15]</sup> PAN 화상데이터에 대한 소화소와 주변의 대화소들 간의 관계식 (2)를 TM 화상데이터에 대해서도 마찬가지로 나타내면

$$T_{[i,m;j(x,y)]} = \sum_{i,j=-1}^1 C_{[i,m;j(x,y)]} T_{[i,m;j]} \quad (3)$$

가 된다. 이 식(2) 및 식 (3)을 행렬로 표현하면

$$S_{[i,m;j(x,y)]} = S_{[i,m]} C_{[i,m;j(x,y)]} \quad (4)$$

$$T_{[i,m;j(x,y)]} = T_{[i,m]} C_{[i,m;j(x,y)]} \quad (5)$$

가 된다. 이때  $S_{[i,m]}$ ,  $C_{[i,m;j(x,y)]}$ ,  $T_{[i,m]}$ 는 각각

$$S_{[i,m]} = [S_{[i,m;-1]}, \dots, S_{[i,m]}, \dots, S_{[i,m;1]}] \quad (6)$$

$$C_{[i,m;j(x,y)]} = [C_{[i,m;j(x,y);-1]}, \dots, C_{[i,m;j(x,y)]}, \dots, C_{[i,m;j(x,y);1]}] \quad (7)$$

$$T_{[i,m]} = [T_{[i,m;-1]}, \dots, T_{[i,m]}, \dots, T_{[i,m;1]}] \quad (8)$$

이다. 식 (4)에서  $S_{[i,m]}$ 의 일반화 역행렬<sup>[18,19]</sup>을  $S_{[i,m]}^*$ 로 표기하면, 계수행렬  $C_{[i,m;j(x,y)]}$ 는

$$C_{[i,m;j(x,y)]} = S_{[i,m]}^* \cdot S_{[i,m;j(x,y)]} \quad (9)$$

로 계산된다. 이를 식 (5)에 대입하면

$$T_{[i,m;j(x,y)]} = T_{[i,m]} \cdot S_{[i,m]}^* \cdot S_{[i,m;j(x,y)]} \quad (10)$$

가 되므로 원하는 바의 공간해상도가 개선된 TM 화상데이터  $[T_{[i,m;j(x,y)]}]$ 를 얻을 수 있게 된다. 하나의 대화소로부터 화소값이 각각 다른 9개의 소화소들을 계산해내므로 이 과정을 화상데이터의 분해(decomposition)라 부른다.<sup>[14]</sup> 이 분해는 해상도를 개선시킨다는 의미에서 공간해상도의 개선이라고도 부른다.<sup>[15]</sup>

이 방법은 IHS 변환법, 주성분 분석법 및 고역필터 처리법에서와 같이 유사한 성분으로 대체시키는 것이 아니고 공간정보의 추출에 의하여 공간해상도를 개선시키는 방법이다. 그러나 이 방법에서는 소화소와 주변 대화소들 간의 관계로부터 계수를 계산해내기 때문에 식(10)에서  $T_{[i,m]} \cdot S_{[i,m]}^*$ 의 값은 대화소의 위치 (i,m)내에서는 소화소의 위치 x 및 y가 각각 1,

2 및 3인 9개 화소에 대하여 동일한 값을 가지므로 결과 화상에는 대화소의 크기에 해당되는 블록패턴이 남게 되며 개선효과도 크지 못하다. 따라서 이러한 문제점을 해결하면서 해상도 개선효과를 더욱 높일 수 있는 새로운 방법의 일반화 역행렬법을 제안한다.

2. 제안된 공간해상도 개선법

새로이 제안된 방법의 처리과정을 나타내는 블럭선도는 그림 2와 같다. 먼저 그림에서, 원 PAN 화상데이터  $[S_{x,y}]$  는 공간해상도가 10 [m] 이고, 화소간 간격(pixel spacing)도 10 [m] 이다. 이 화상데이터를  $3 \times 3$  블럭단위로 화소를 평균하여 화상데이터  $[A_{x,y}]$  를 구한다. 이 데이터에서  $3 \times 3$  블럭단위 내의 9개 화소들은 동일한 화소값을 가지므로, 이의 공간해상도는 30 [m] 이고 화소간 간격은 10 [m] 이다. 데이터  $[A_{x,y}]$  를  $3 \times 3$  이동평균필터 처리하여 화상데이터  $[TL_{x,y}]$  를 구한다. 이의 공간해상도는 30 [m] 이고 화소간 간격은 10 [m] 이지만, 화상데이터  $[A_{x,y}]$  와는 달리 화소의 값이 각각 다르다. 데이터  $[S_{x,y}]$  에서 임의의 1개의 화소  $S_{x,y}$  와 데이터  $[SL_{x,y}]$  에서 이 임의의 화소에 대응되는 위치의 화소 및  $3 \times 3$  주변의 화소들로 이루어지는 9개 화소  $SL_{x+i,y+j}$  (단,  $i,j=1,0,-1$ )들간의 1차 결합관계를

$$S_{x,y} = \sum_{i,j=-1}^1 C_{x+i,y+j} SL_{x+i,y+j} \quad (11)$$

로 나타낸다. 이 식으로부터 계수  $C_{x+i,y+j}$  (단,  $i,j=1,0,-1$ )를 계산해 둔다. 다음으로, 원 TM 화상데이터  $[T_{x,y}]$  는 공간해상도가 30 [m] 이고 화소간 간격도 30 [m] 이다. 이의 각 화소를 가로 및 세로 방향으로 3개씩 복제(duplication)하여 화상데이터  $[D_{x,y}]$  를 구한다. 이의 공간해상도는 30 [m] 이고 화소간 간격은 10 [m] 이다. 이 데이터와 PAN 화상데이터로부터 구한 데이터  $[A_{x,y}]$  간에 기하학적으로 위치를 일치시키는 작업을 행하였다면, 이들 데이터는 동일한 좌표 (X,Y)로 표기할 수 있다. 데이터  $[D_{x,y}]$  를  $3 \times 3$  이동평균필터 처리하여 데이터  $[TL_{x,y}]$  를 구한다. 이의 공간해상도는 30 [m] 이고 화소간 간격은 10 [m] 이다. 다음에는, 앞서 계산된 계수값  $C_{x+i,y+j}$  를 이용하여 TM 화상데이터  $[TL_{x,y}]$  로부터 공간해상도 및 화소간 간격이 각각 10 [m] 인 화상데이터  $[T_{x,y}]$  를 구한다. 이를 구하는 원리는 다음과 같다.

PAN 화상데이터에 대한 식(11)의 관계를 TM 화상데이터에 대해서도 마찬가지로 나타내면

$$T_{x,y} = \sum_{i,j=-1}^1 C_{x+i,y+j} TL_{x+i,y+j} \quad (12)$$

가 된다. 이 식(11) 및 식 (12)를 행렬로 표현하면

$$S_{x,y} = SL_{x,y} C_{x,y} \quad (13)$$

$$T_{x,y} = TL_{x,y} C_{x,y} \quad (14)$$

로 된다. 이때  $SL_{x,y}$ ,  $C_{x,y}$ ,  $TL_{x,y}$  는 각각

$$SL_{x,y} = [SL_{x-1,y-1}, \dots, SL_{x,y}, \dots, SL_{x+1,y+1}] \quad (15)$$

$$C_{x,y} = [C_{x-1,y-1}, \dots, C_{x,y}, \dots, C_{x+1,y+1}] \quad (16)$$

$$TL_{x,y} = [TL_{x-1,y-1}, \dots, TL_{x,y}, \dots, TL_{x+1,y+1}] \quad (17)$$

이다. 식 (13)에서  $SL_{x,y}$  의 일반화 역행렬을  $SL_{x,y}^{-1}$  로 표기하면 계수행렬  $C_{x,y}$  는

$$C_{x,y} = SL_{x,y}^{-1} \cdot S_{x,y} \quad (18)$$

로 된다. 이를 식 (14)에 대입하면

$$T_{x,y} = TL_{x,y} \cdot SL_{x,y}^{-1} \cdot S_{x,y} \quad (19)$$

가 되므로, 원하는 바의 공간해상도가 개선된 TM 화상데이터  $[T_{x,y}]$  를 얻을 수 있게 된다. 식 (19)는, 앞서의 식 (10)과는 달리 소화소와 주변 소화소들 간의 관계로부터 계수값을 계산해내는 것이 가능하다. 따라서 결과화상에 블록패턴이 나타나지 않을 뿐 아니라 해상도의 개선효과도 더 높일 수 있게 된다.

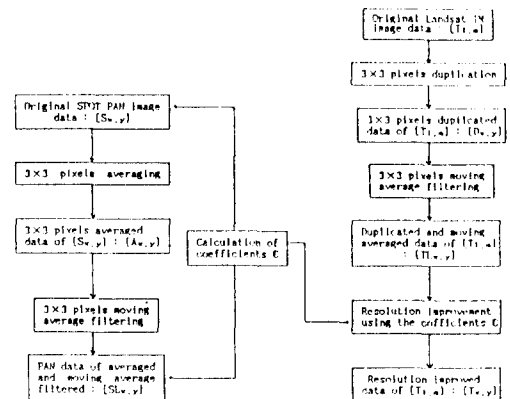


그림 2. 제안된 방법의 처리과정을 나타내는 블럭선도  
Fig. 2. Block diagram showing the processing procedures of the proposed method.

## II. 실험 결과 및 검토

### 1. 사용 데이터

본 논문에서 제안한 방법의 해상도 개선성능을 평가하기 위하여 실제의 인공위성 화상데이터를 사용하여 공간해상도 개선실험을 하였다. 해상도 개선 성능 실험은 공간해상도가 10 [m] 인 PAN 화상데이터와 공간해상도가 30 [m] 인 TM 화상데이터를 사용하는 것이 최적이나, TM 화상데이터에는 공간해상도가 10 [m] 인 데이터가 존재하지 않으므로, 본 논문의 방법으로 TM 데이터의 공간해상도를 10 [m] 까지 개선시켜도 그 결과를 비교 검토할 대상 화상데이터가 존재하지 않는다. 따라서 본 논문에서의 성능실험은 공간해상도가 30 [m] 인 TM 화상데이터만을 사용하여 다음에 설명한 바와같이 시뮬레이션한 데이터들을 사용하여 해상도 개선실험을 하였다. 실험에 사용한 화상데이터는 1989년 8월 31일 Landsat 5 호에 의해 수집된 부산지역의 TM 화상데이터(공간해상도가 120 [m] 인 대역 6은 제외)로서, 화상의 크기는 512×400 화소였다.

### 2. SPOT PAN 및 Landsat TM 화상데이터의 시뮬레이션

Landsat TM 센서의 대역 1, 2 및 3의 파장대역(0.45-0.69 m)을 합한 것과 SPOT PAN 모드의 파장대역(0.51-0.73 m)이 비슷하므로 TM 센서의 대역 1, 2 및 3의 화상데이터를 평균하여 이를 공간해상도가 10 [m] 인 PAN 화상데이터로 간주한다. 이 화상데이터를 화상으로 나타낸 것이 그림 3이다. 또 각 대역의 TM 화상데이터에서 3×3 블럭단위로 화소를 평균하여 이들을 공간해상도 30 [m] 인 각 대역별 TM 화상데이터로 간주한다. 이와같이 시뮬레이션한 PAN 데이터와 TM 데이터를 사용함으로써 얻을 수 있는 이점은, 첫째 PAN 데이터와 TM 데이터간에 기하학적으로 위치를 일치시키는 작업이 생략 가능하므로 성능평가 실험이 간단하며, 둘째로 해상도 개선결과의 해 화상(solution image)데이터에 해당하는 원 화상(original image)데이터가 존재하므로 성능평가를 확실히 행할 수 있다는 점이다.

### 3. 성능평가를 위한 실험 및 결과 검토

본 논문에서 제안한 해상도 개선법의 성능을 평가하기 위하여 비교의 대상으로 한 실험은, 결합법, IHS 변환법, 주성분 분석법, 고역필터 처리법중 해상도 개선성능이 가장 우수한 것으로 평가된<sup>[6]</sup> 고역필터 처리(high pass filtering : HPF)법과 일반화

역행렬(generalized inverse matrix : GIM)법 및 본 논문에서 제안한 새로운 방법의 일반화 역행렬(new GIM : NGIM)법이다. 각 해상도 개선법에 대하여 시각적 판독 및 통계적 수치에 의한 평가로 개선성능을 평가했다.

#### 1) 시각적 판독에 의한 평가

그림 4는 TM 대역 2의 원 화상이며, 그림 5는 그림 4의 화상을 3×3 블럭단위로 화소를 평균하여 구한 저 공간해상도의 화상으로 이의 공간해상도는 그림 4에 비하여 면적비 1/9로 저하된 것이다. 그림 5를 조시화 블럭크기(coarsening block size)가 3×3로 조시화된 화상이라 부르기로 한다. 본 논문의 목적은 그림 5에 비하여 고 공간해상도인 그림 3의 PAN 화상데이터를 활용하여 그림 5의 저 공간해상도인 TM 화상을 그림 4의 TM 화상의 공간해상도까지 해상도를 개선시키는 것이다.

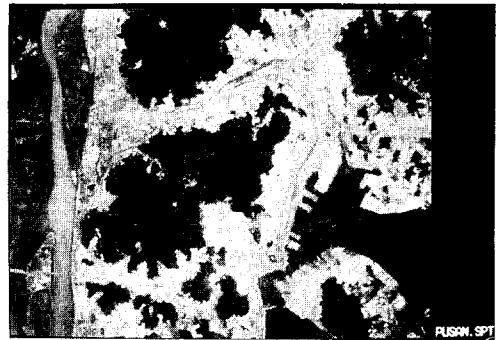


그림 3. TM 대역 1, 2 및 3의 화상을 평균하여 시뮬레이션한 PAN화상

Fig. 3. Simulated PAN image generated by averaging of TM band 1, 2 and 3.

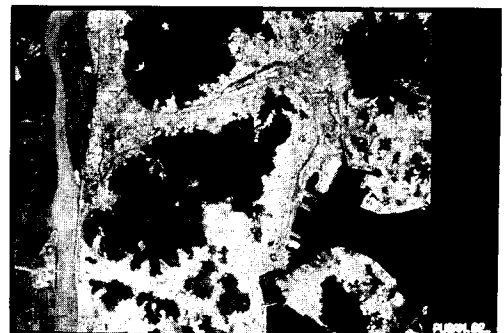


그림 4. TM 대역 2의 원화상

Fig. 4. Original TM image of band 2.

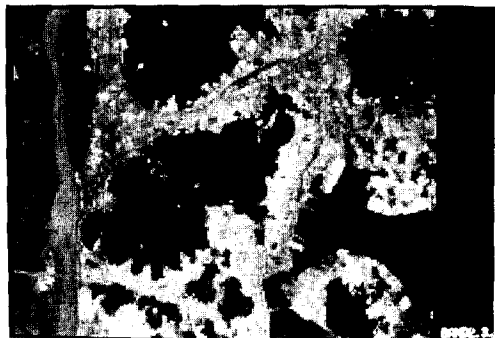
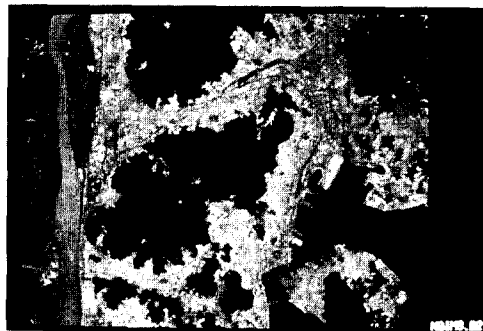


그림 5. 그림 화상에 대하여 3×3 화소 크기내의 화소값을 평균하여 구한 TM 대역 2의 저 공간해상도 화상

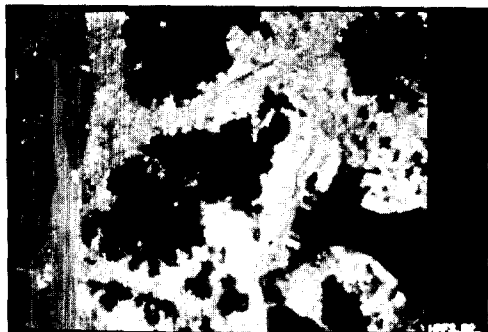
Fig. 5. Lpatial resolution image of the TM band 2 generated by averaging of gray-leel values within a 3×3 pixel windothe image of Fig. 4.



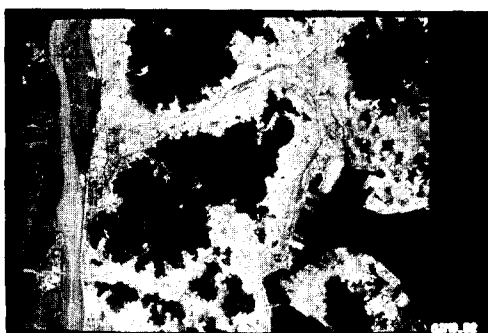
(c)

그림 6. 그림 5의 화상에 대하여 공간해상도를 개선시킨 결과의 화상 : (a) HPF 법 ; (b) GIM법 ; (c) NGIM법

Fig. 6. Result images of improved spatial resolution for the image of Fig. 5 : (a) HPF method ; (b) GIM method ; (c) NGIM method.



(a)



(b)

그림 5의 화상에 대하여 해상도를 개선시킨 결과의 화상이 그림 6 이다. HPF법으로 해상도를 개선시킨 그림 6(a)가 원 화상인 그림 4와 가장 큰 차이(명암이 다름, 시가지가 흐릿함 등)를 나타냄을 알 수 있고, GIM법으로 개선시킨 그림 6(b) 및 NGIM법으로 개선시킨 그림 6(c)는 원 화상과 차이를 알 수 없을 정도로 개선성능이 우수함을 알 수 있다. 이들 화상과 원 화상간의 차 화상(difference image)들은 그림 7에서와 같다. 이들 차 화상에서는 화소값이 너무 작아서 화상으로 나타내어도 눈에 보이지 않으므로 화소값을 10배하여 나타냈다. 그림 7에서, (a)가 원 화상과 가장 큰 차이가 있고, (b) 및 (c)는 원 화상과 차이가 극히 적음을 알 수 있으며, (b)보다는 (c)가 차이가 적으므로 NGIM법의 개선성능이 가장 우수함을 알 수 있다.

한편, 그림 3의 PAN 화상에 대하여 상관이 가장 작은 그림 8의 TM의 대역 4를 선택하여, 해상도 개선성능을 좀더 명확히 알아보기 위한 실험결과와 화상은 그림 9, 10 및 11에서와 같았다. 그림 9는 원 화상인 그림 8을 조시화 블록크기 15×15로 조시화시킨 화상으로 그림 8의 화상에 비하여 면적비 1/225로 해상도가 저하된 저 해상도 화상이다. 그림 9의 화상을 HPF법, GIM법 및 NGIM법으로 해상도를 개선시킨 것이 각각 그림 10의 (a), (b), (c)의 화상이다. 그림 10(a)의 HPF법에서는 시가지 부분, 산



(a)



(b)



(c)

그림 7. 그림 4의 화상에서 그림 6의 화상들을 뺀 차 화상 : (a) HPF 법 : (b)GIM법 : (c) NGIM법

Fig. 7. Difference images generated by subtracting the images of Fig.6 from the image of Fig. 4 : (a) HPF method : (b) GIM method : (c) NGIM method.

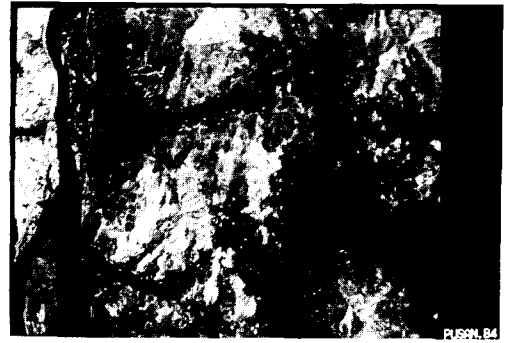


그림 8. TM 대역 4의 원 화상

Fig. 8. Original TM image of band 4.

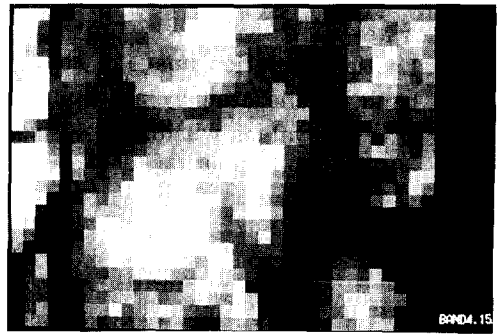
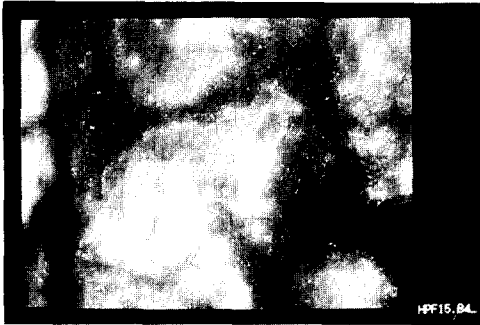


그림 9. 그림 8의 화상에 대하여 15×15 화소 크기내의 화소값을 평균하여 구한 TM 대역 4의 저 공간해상도 화상

Fig. 9. Low spatial resolution image of the TM band 4 generated by averaging of gray-level values within a 15×15 pixel window for the image of Fig. 8.

지 부분, 낙동강 부분 및 부산항의 바다 부분등 큰 부분으로 나누어 볼 때에는 식별이 가능하나 상세한 부분은 식별이 되지 않으므로 HPF법의 개선성능이 가장 뒤떨어짐을 알 수 있다. 그림 10(b)의 GIM법에서는 비교적 상세한 부분까지 식별할 수 있으나 조시화 크기에 해당하는 블럭패턴이 뚜렷이 나타남을 알 수 있다. 이에 비하여 그림 10(c)의 GIM법에서는 개선성능이 가장 우수하게 나타남을 알 수 있다. 그러나 이 화상도 원 화상과 비교 할 때 전체적으로 화상의 명암이 크게 차이가 나므로 분광특성이 크게 변화되었음을 알 수 있다. 그림 11은 원 화상인 그림 8과 개선 화상인 그림 10의 화상들간의 차 화상들이다. 이들 화상도 좀더 뚜렷하게 나타내기 위하여 화소값을 5배 하여 나타냈다. 그림 10 및 그림 11을 관찰하므로써 세가지 개선법중에서 본 논문에서 제안한



(a)



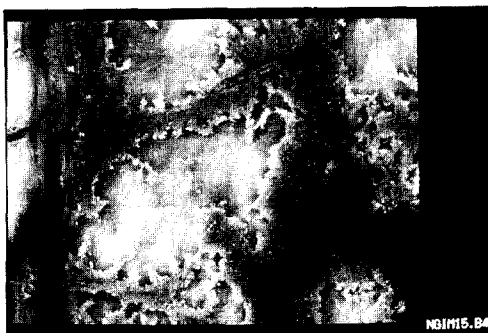
(a)



(b)



(b)



(c)



(c)

그림 10. 그림 9의 화상에서 대하여 공간해상도를 개선시킨 결과의 화상 : (a) HPF 법 ; (b)GIM법 ; (c) NGIM법

Fig. 10. Result images of improved spatial resolution for the image of Fig. 9 : (a) Hpf method (b) GIM method ; (c) NGIM method.

그림 11. 그림 8의 화상에서 그림 10의 화상들을 뺀 차 화상 : (a) HPF 법 ; (b)GIM법 ; (c) NGIM법

Fig. 11. Difference images generated by subtracting the images of Fig.10 from the image of Fig. 8 : (a) HPF method ; (b) GIM method ; (c) NGIM method.



NGIM법이 가장 우수한 개선성능을 나타내나, 세개 화상 모두에서 전체적으로 원 화상과 큰 차이를 나타내므로 이들 개선법들 간의 개선성능을 좀더 명확히 알아보기 위하여 다음절에서는 통계적 수치를 사용하여 평가하기로 한다.

2) 통계적 수치에 의한 평가

공간해상도 개선성능을 평가하기 위한 통계적 수치로는 평균자승 오차 (mean square error) 및 화소수의 백분률(차 화상에서 화소값이 0, 1 및 2인 화소수와 총 화소수간의 백분률)을 사용 하였다.<sup>[9]</sup> 원 화상과 해상도 개선결과의 화상간에 평균자승 오차를 계산한 것은 표 1 및 표 2에서와 같았다.

표 1은 조시화 블록크기가 3×3인 경우에 대한 원 화상데이터와 해상도가 개선된 화상데이터간의 평균자승 오차를 나타내고, 표 2는 조시화 블록크기가 15×15인 경우에 대한 평균자승 오차를 나타내고 있다. 이들 표에서 PAN 데이터와 상관인 큰 대역 1, 2 및 3 에서는 평균자승 오차가 적고 상관인 작은 대역 4,

표 1. 조시화 블록크기 3×3에 대한 원 화상데이터와 해상도 개선 화상데이터간의 평균자승 오차

Table 1. Mean square errors between original image data and resolution improved image data for the coarsened block size of 3×3.

Method	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
H P F*	26.05	15.49	32.37	53.79	92.95	40.01
G I M**	12.83	1.06	10.01	133.94	115.01	39.11
N G I M***	7.54	0.94	5.86	69.96	67.84	23.47

\* HPF : high pass filtering method  
 \*\* GIM : generalized inverse matrix method  
 \*\*\* NGIM : new generalized inverse matrix method

표 2. 조시화 블록크기 15×15에 대한 원 화상데이터와 해상도 개선 화상데이터간의 평균자승 오차

Table 2. Mean square errors between original image data and resolution improved image data for the coarsened block size of 15×15.

Method	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
H P F	95.95	62.72	115.01	195.54	325.93	149.15
G I M	29.27	1.28	23.87	368.08	305.65	96.69
N G I M	21.00	1.26	17.31	242.64	199.31	65.88

5 및 7에서는 평균 자승 오차가 큼을 알 수 있다. 대역 2에서 오차가 가장 작으므로 상관인 가장 큰 대역은 대역 2임을 알 수 있고, 대역 4에서 오차가 가장 크므로 상관인 가장 작은 대역은 대역 4임을 알 수 있다. 전체적인 개선성능의 비교에서는 HPF법 보다는 GIM법이, GIM법 보다는 NGIM법이 오차가 각각 작으므로, NGIM법의 해상도 개선성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 그러나 각 대역별 비교에서는 HPF법이 대역 4에서 가장 우수한 개선성능을 나타내고 있다. 이것은 GIM법 및 NGIM법에서 센서 및 대역에 상관 없이 공간정보가 일정하다고 가정했기 때문인 것으로 생각된다. 이 경우도 GIM법 보다는 NGIM법이 우수한 성능을 나타내었다. 표 3은 해상도 개선결과의 화상과 원 화상간의 화소값의 변화를

표 3. 화소값의 차이가 N(01) 및 N(012)인 화소수의 백분률  
 Table 3. Percent of number of pixels with a difference of N(01)\* and N(012)\*\*.

Band	Method	Coarsened block size			
		3 × 3		15 × 15	
		N(01)	N(012)	N(01)	N(012)
Band 1	HPF	28.5 %	32.9 %	15.9 %	20.4 %
	GIM	34.2	48.3	17.3	26.6
	NGIM	41.6	56.6	23.6	35.5
Band 2	HPF	29.9	32.2	15.8	18.3
	GIM	77.8	87.5	71.9	83.5
	NGIM	81.1	89.7	72.5	84.1
Band 3	HPF	26.8	31.2	14.6	19.4
	GIM	39.9	49.3	18.8	26.3
	NGIM	48.4	58.7	27.2	35.7
Band 4	HPF	15.3	20.0	6.0	8.2
	GIM	16.3	20.8	4.9	6.9
	NGIM	21.4	27.2	8.2	11.1
Band 5	HPF	13.7	18.2	5.8	8.3
	GIM	13.1	18.0	6.2	8.9
	NGIM	16.6	22.8	8.0	11.4
Band 7	HPF	20.1	25.0	9.2	12.3
	GIM	21.4	28.6	9.1	13.1
	NGIM	27.1	35.9	13.2	18.3

\* N(01) : number of pixels with a difference of one or zero gray level value at the difference images  
 \*\* N(012) : number of pixels with a difference of two or one or zero gray level value at the difference images

조사한 것이다. 원 화상의 화소값(회색 준위값)과 해상도 개선결과 화상의 화소값을 비교하여 화소값간의 차이가 없는(화소값의 차이가 0인) 화소의 갯수를  $N(0)$ 로, 차이가 1인 화소의 갯수를  $N(1)$ 로 나타내기로 하며,  $N(01)$ 은 차이가 0인 화소수와 차이가 1인 화소수를 합한 것을 뜻한다. 또  $N(012)$ 는 차이가 0인 화소수와 차이가 1인 화소수 및 차이가 2인 화소수를 합한 것을 뜻한다. 표 3은 조지화 블럭크기  $3 \times 3$  및  $15 \times 15$ 에 대하여 전체 화소수에 대한  $N(01)$  및  $N(012)$ 인 화소수의 백분율을 나타내고 있다. 수치가 클수록 원 화상과 해상도 개선결과 화상 간의 분광특성의 변화가 적음을 나타내며 양호한 개선성능을 나타내게 된다. 따라서 HPF법 보다는 GIM법이, GIM법보다는 NGIM법의 수치가 크므로, NGIM법이 가장 우수한 해상도 개선성능을 나타냄을 알 수 있다. 부분적으로는 대역 4 및 대역 5에서 GIM법이 HPF법보다 성능이 뒤떨어지는 것도 있으나, NGIM법은 모든 경우에서 HPF법 및 GIM법보다 성능이 우수함을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 고 공간해상도인 SPOT PAN 화상 데이터를 이용하여 저 공간해상도인 Landsat TM 화상의 공간해상도를 개선시키는 새로운 방법의 일반화 역행렬법을 제안하였으며, 또한 기존의 해상도 개선법들 중 개선성능이 가장 우수한 것으로 알려진 고역필터 처리법과 Inamura가 제안한 일반화 역행렬법간의 개선성능을 여러가지 평가척도를 사용하여 처음으로 비교평가하였다. 제안된 방법에서는 대화소의 화상데이터를 이동평균필터 처리한 후 소화소와 주변 소화소들간의 관계로부터 공간정보의 추출을 위한 계수값을 계산해내므로 해상도 개선결과 화상에는 블럭패턴이 나타나지 않을 뿐 아니라 해상도 개선효과도 높일 수 있다. 실제의 부산지역에 대한 TM 화상 데이터를 이용하여 시뮬레이션한 PAN 화상데이터와 TM 화상데이터를 사용하여 공간해상도 개선실험을 행하였으며, 실험결과에 대하여 시각적 판독 및 통계적 수치에 의한 성능을 평가했다. 개선성능을 평가한 결과, 기존의 해상도 개선법 중 대표적인 방법인 고역필터 처리법보다 일반화 역행렬법의 개선성능이 훨씬 우수하였으며, 기존의 일반화 역행렬법 보다는 본 논문의 새로운 방법의 일반화 역행렬법이 더욱 우수한 개선 성능을 나타냄을 확인 하였다. 특히 본 논문의 방법은 일반화 역행렬법의 문제점인 블럭패턴을 완전히 제거할 수 있었다. 면적비 9배의 해상도 개선

실험에서 시각적 판독으로는 원화상과 해상도 개선결과 화상간의 차이를 알 수 없을 정도로 양호하였다. 또 면적비 225배의 해상도 개선실험에서도 비교적 양호한 개선성능을 나타내었다. 따라서 본 방법은 PAN 화상과 TM 화상간의 해상도 개선 뿐 만 아니라 다른 종류의 화상간의 해상도를 개선시킬 때도 그대로 적용할 수 있다.

#### 參考文獻

- [1] G. Cliche, F. Bonn, and P. Teillet, "Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 51, no. 3, pp. 311-316, March 1985.
- [2] 大島太市, 坂井芳樹, 大池浩司, 杉村俊郎, 田中總太郎, "SPOT 데이터의重ね合せ畫像의比較研究," 日本リモートセンシング學會 第7回學術講演會論文集, PP. 97-98, 1987年12月.
- [3] 田中總太郎 杉村俊郎, "起伏のない微小地域のスポットHRVとランドサット TM畫像の重ね合わせについて," 日本リモートセンシング學會誌, vol. 8, no. 1, pp. 51-58, 1988.
- [4] R. Welch and M. Ehlers, "Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 53, no. 3, pp. 301-303, March, 1987.
- [5] R. Haydn, G. W. Dalke, and J. Henkel, "Application of the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement," *International Symposium on Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands, Cairo, Egypt*, pp. 599-616, January 1982.
- [6] J. R. Harris, R. Murray, and T. Hirose, "IHS transform for the integration of radar imagery with other remotely sensed data," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 56, no. 12, pp. 1631-1641, Dec. 1990.
- [7] W. J. Carper, T. M. Lillesand, and R.

- W. Kiefer, "The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 56, no. 4, pp. 459-467, April, 1990.
- [8] V. K. Shettigara, "A generalized Component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 5, no. 5, pp. 561-567, May 1992.
- [9] P. S. Chavez, S. C. Sides, and J. A. Anderson, "Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data : Landsat TM and SPOT panchromatic," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 57, no. 3, pp. 295-303, March 1991.
- [10] P. S. Chavez and A. Y. Kwarteng, "Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 55, no. 3, pp. 339-348, March 1989.
- [11] P. S. Chevez and J. A. Powell, "Comparison of the spectral information content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in the Phoenix, Arizona region," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 54, no. 12, pp. 1699-1708, Dec. 1988.
- [12] R. A. Schowengerdt, "Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 46, no. 10, pp. 1325-1334, Oct. 1980.
- [13] P. S. Chevez, "Digital merging of Landsat TM and digital NHAP data for 1:24,000-scale image mapping," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 52, no. 10, pp. 1637-1646, Oct. 1986.
- [14] 稲村 實, "カテゴリ-分解に基づくリモートセンシング画像データの解析," 電子情報通信學會論文誌, vol. J 70-C, no. 2, pp. 241-250, Feb. 1987.
- [15] 稲村 實, "高空間分解能可視, 近赤外画像を利用する 低空間分解能熱赤外画像の 空間分解能改善," 電子情報通信學會論文誌, vol. J 71-A, no. 2, pp. 497-504, Feb. 1988.
- [16] 稲村 實, 徐 龍洙, "SPOT HRV-P 画像を利用する 高空間分解能 LANDSAT TM画像の再構成," 日本リモートセンシング學會 第10回學術講演會論文集, 1990年12月, pp. 135-138.
- [17] R. A. Schowengerdt, "Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing," Academic Press, 1983, pp. 105-116.
- [18] 金 炳千 譯, "統計學을 위한 行列代數學," 自由아카데미, 1988, pp. 203-212.
- [19] R. A. Usmani, "Applied Linear Algebra," Marcel Dekker, INC, 1987, pp. 65-100.

著 者 紹 介



徐 龍 洙(正會員)

1952年 7月 6日生. 1975年 2月  
경북대학교 전자공학과 졸업(공학  
사). 1982年 2月 동아대학교 대학  
원 전자공학과 졸업(공학석사).  
1992年 2月 경북대학교 대학원 전  
자공학과 졸업(공학박사). 1990年  
3月 ~ 1991年 2月 日本 群馬대학 전기전자공학과  
(연구교수). 1979년 3月 ~ 1994年 2月 경남전문대  
학 전자과 부교수. 1994년 3月 ~ 현재 동서공과대학  
교 정보통신공학과 조교수. 주관심 분야는 화상처리  
및 인식, Remote Sensing, Medical Imaging. 정  
보통신 등임.

李 健 一(正會員) 第 24卷 第 4號 參照

현재 경북대학교 전자공학과 교수