

결정론적 영상복원과정을 이용한 고해상도 위성영상 융합 품질 개선정도 평가

Evaluation of Quality Improvement Achieved by Deterministic Image Restoration methods on the Pan-Sharpning of High Resolution Satellite Image

변영기¹⁾ · 채태병²⁾

Byun, Young Gi · Chae, Tae Byeong

Abstract

High resolution Pan-sharpening technique is becoming increasingly important in the field of remote sensing image analysis as an essential image processing to improve the spatial resolution of original multispectral image. The general scheme of pan-sharpening technique consists of upsampling process of multispectral image and high-pass detail injection process using the panchromatic image. The upsampling process, however, brings about image blurring, and this lead to spectral distortion in the pan-sharpening process. In order to solve this problem, this paper presents a new method that adopts image restoration techniques based on optimization theory in the pan-sharpening process, and evaluates its efficiency and application possibility. In order to evaluate the effect of image restoration techniques on the pan-sharpening process, the result obtained using the existing method that used bicubic interpolation were compared visually and quantitatively with the results obtained using image restoration techniques. The quantitative comparison was done using some spectral distortion measures for use to evaluate the quality of pan-sharpened image.

Keywords : High resolution satellite images, Multispectral image, Pan-sharpening, Image restoration, Spectral distortion measure

초 록

고해상도 위성영상융합은 다중분광영상의 공간해상도를 향상시키기 위한 영상처리과정으로서 원격탐사 영상분석에서 그 중요성이 날로 커지고 있다. 고해상도 위성영상의 융합과정은 크게 다중분광영상의 크기 조절을 위한 업샘플링 과정과 흑백영상을 이용한 고주파 정보 주입과정으로 나눌 수 있다. 하지만 다중분광영상의 공간해상도를 강제적으로 키우는 업샘플링 과정에서 영상열화 현상이 수반되고 이는 이후 융합과정에서 분광정보를 왜곡시키는 하나의 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 최적화 기법에 근간을 둔 영상복원기법들을 위성영상 융합과정에 도입하여 이들의 효율성과 활용가능성을 평가하고자 하였다. 영상복원 기법들이 미치는 영향을 평가하기 위해 기존에 위성영상융합에 많이 사용된 공삼차 보간법을 이용한 방법과의 시각적/정량적 비교평가를 수행하였다. 정량적 비교평가 방법으로는 동일한 조건하에서 생성된 융합영상에 대한 분광왜곡 측정치를 이용하였다.

핵심어 : 고해상도 위성영상, 다중분광영상, 영상융합, 영상복원, 분광왜곡 측정치

1. 서 론

고해상도 영상지도 제작, 지형정보의 분석과 같은 공간정보 분야에 원격탐사 자료를 폭넓게 활용하기 위해

서는 높은 공간해상도와 다양한 분광특성을 가지는 위성영상의 취득이 필수적이다. 하지만 고해상도 위성영상의 경우 센서의 물리적인 한계로 인해 상기 요구사항을 완전히 충족시키는 고해상도 다중분광영상의 취득은

1) 교신저자 · 정희원 · 한국항공우주연구원 위성정보연구센터 선임연구원(E-mail: ygbyun@kari.re.kr)

2) 한국항공우주연구원 위성정보연구센터 선임연구원 · 영상운영지원팀 팀장(E-mail: tbchae@kari.re.kr)

이론적으로 불가능하다(Zhang, 2004). 따라서 원격탐사 분야에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 높은 공간해상도를 갖는 흑백영상의 고주파정보를 다중분광영상에 주입하여 고해상도 다중분광영상을 생성할 수 있는 다양한 영상융합(Pan-sharpening)기법들에 대한 연구가 1980년대 이후로 계속 진행되어 왔다. 일반적으로 영상 융합기법은 크게 MRA(Multi-Resolution Analysis)기반의 기법과 CS(Component-Substitution)기반의 알고리즘으로 분류할 수 있다. MRA기반의 융합방법은 웨이블릿(wavelet)이나 라플리시안 피라미드(laplacian pyramid)등을 이용하여 흑백영상내에 존재하는 고주파 정보를 추출하고 이를 다중분광영상에 주입함으로써 융합영상을 생성하는 방법으로 대표적으로 a'trous 웨이블릿 융합방법이 이에 속한다(Nunez 등, 1999). CS 기반 융합기법은 다중분광영상 정보를 이용하여 생성한 가상의 강도(intensity)영상과 흑백영상의 차를 다중분광영상에 주입하는 방식으로 ENVI 소프트웨어에 탑재되어 있는 GS(Gram-Schmidt)방법이 대표적인 방법이다(Dou 등, 2007). 이들 방법의 실행절차를 개략적으로 살펴보면 다중분광영상의 크기 조절을 위한 영상 재배열(resampling)과정과 흑백영상을 이용한 고주파 정보 주입과정으로 나누어 볼 수 있다. 기존 융합기법의 연구사례를 살펴보면 대다수 고주파 정보 생성 방법과 다중분광영상에 생성된 고주파 정보의 안정적인 주입을 위한 융합계수 고안 및 최적화 문제만을 연구의 화두로 다루고 있다(Rahmani 등, 2010; Garzelli 등, 2006; 최재완 등, 2010).

다중분광영상의 크기 조절을 위해, 기존의 융합기법들의 경우 주로 공삼차 보간(bicubic interpolation)기법을 이용하여 다중분광영상의 업샘플링을 수행하여 왔다. 하지만 이 기법의 경우 몇 가지 이상적인 가정 하에 단순히 영상의 확대에만 초점을 두기 때문에 업샘플링 수행 후 영상열화 현상이 발생한다(Parker 등, 1983). 이러한 영상보간 시 발생하는 영상열화문제를 해결하기 위해, 영상보간의 부표본화 과정을 일반적인 영상열화과정으로 모델링하여 영상복원 기술을 적용하려는 다양한 연구들이 시도되고 있다(Chan 등, 1998; Levin 등, 2007). 영상복원기술은 크게 결정론적(deterministic)접근 방식과 확률론적(stochastic)접근방식으로 나눌 수 있다. 확률론적 접근 방식은 입력영상을 확률론적 성분을 갖는 영상 시스템과 부가된 잡음이 혼재된 확률과정으로 간주하는 방식으로 최소평균제곱에러 또는 위너필터가 이러한 범주에 속한다. 이와는 달리 결정론적 접근 방식은 입력영

상과 영상시스템 모두 결정된 하나의 신호와 시스템이라고 가정하여 문제를 해결하는 방식으로, 확률론적 접근 방식에서와 같은 주파수 공간 변환 및 역변환 과정이 필요치 않고 대수학적 방법 또는 반복적 접근 방식으로 영상복원을 수행할 수 있다는 장점을 갖는다(Andrew 등, 1977).

영상확대 과정에서 발생하는 영상열화현상은 이후의 융합과정에서 분광왜곡의 하나의 원인이 될 수 있다. 이러한 문제 인식에 기인하여 본 연구에서는 영상확대 과정에서 발생하는 다중분광영상의 열화현상 개선에 연구의 초점을 두어 융합영상의 품질을 향상시키고자 하였다. 이를 위해 앞서 언급한 결정론적 접근법의 일종인 Richardson-Lucy(RL)반복 방법과 이의 정규화(regularization)제약조건을 활용한 영상복원기법을 CS 기반 융합 프레임워크(framework)에 통합하여 영상복원과정의 고해상도 위성영상 융합에 미치는 영향과 이의 활용가능성 및 효용성을 검증하고자 하였다. 그림 1은 본 연구에서 수행한 고해상도 위성영상 융합과정의 개략적인 연구 개념도를 나타낸 것이다. 우선 기존의 영상융합기법에서 가장 많이 활용해온 공삼차 보간기법을 이용하여 다중분광영상에 대한 업샘플링을 수행한 후 RL 방법과 이의 정규화 제약조건을 활용한 방법으로 영상복원을 수행한다. 각각의 영상복원과정을 통해 생성된 다중분광영상에 대해 동일한 조건하에서 CS 기반 영상융합을 수행한다. 본 연구에서 사용한 CS기반 융합기법으로는 원격탐사 분야에서 가장 많이 활용되고 있는 GS(Gram-Schmidt)방법에 근간을 둔 GSA(Gram-Schmidt Adaptive) 융합기법을 이용하였다. 또한 각각의 방법에 대한 상대적인 우수성을 검증하기 위해 시각적/정량적 비교평가를 수행하였다. 정량적 비교평가 방법으로는 최종 융합

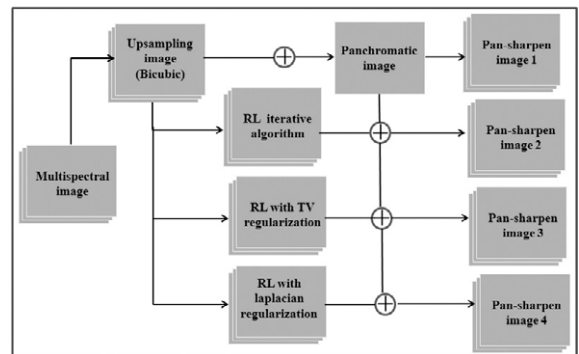


그림 1. 연구 개념도

영상의 분광왜곡(spectral distortion)측정치 결과를 비교 평가하는 방법을 사용하였다.

2. 결정론적 영상복원방식을 이용한 영상융합

2.1 Richardson-Lucy 영상 복원

RL 알고리즘은 화질열화 과정에서 푸아송(Poisson)노이즈가 발생한다고 가정하고, 식(1)과 같이 모델링한 수식에 의해 구해진 열화 영상과 주어진 열화된 영상의 우도(likelihood)를 최대화하도록 알고리즘을 반복적으로 수행하여 영상의 열화를 제거한다(Shepp 등, 1982).

$$P(B, k|I) = \prod_{x \in I} \frac{g(x)^{B(x)} e^{-g(x)}}{B(x)!}, \quad (1)$$

$$g(x) = \sum_{y \in k} I(y)k(x-y)$$

여기서, B 는 열화된 영상, k 는 점 확산함수(Point Spread Function), I 는 열화된 영상 B 로부터 추정하고자 하는 원본 영상을 나타내고, $g(x)$ 는 원본영상과 점 확산함수의 공간회선(spatial convolution)을 나타낸다. 영상 내 개별 화소들의 우도 값에 대한 조건부 독립을 가정하면, 식(1)을 최대화하는 해는 다음과 같은 조건을 만족한다.

$$I(x) \frac{\partial}{\partial I(x)} \ln \left(\prod_{x \in I} \frac{g(x)^{B(x)} e^{-g(x)}}{B(x)!} \right) = 0 \quad (2)$$

$$I(x) \sum_{x \in I} \frac{B(x)}{g(x)} \frac{\partial}{\partial I(x)} g(x) - I(x) \sum_{x \in I} \frac{\partial}{\partial I(x)} g(x) = 0$$

$$I(x) \sum_{y \in k} \frac{B(y)}{g(y)} k(y-x) - I(x) \sum_{y \in k} k(y-x) = 0$$

여기서, 점 확산함수의 원소들의 크기의 합이 $\sum k(y) = 1$ 이기 때문에 $\sum k(y-x) = 1$ 이 되고, 여기에 반복처리 과정을 도입하면 식(2)는 다음과 같이 표현된다.

$$I^{t+1}(x) = I^t(x) \sum_{y \in k} \frac{B(y)}{\sum_{z \in k} I^t(z)k(y-z)} k(y-x) \quad (3)$$

식(3)를 전체 영상에 대한 공간회선 과정으로 단순화하여 표현하면 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$I^{t+1} = I^t \times \tilde{k} * \frac{B}{k * I^t} \quad (4)$$

여기서, \tilde{k} , $*$ 는 각각 전치(transpose)와 회선 연산자를 나타내고, 분모항의 $B' = k * I^t$ 은 주어진 점확산 함수와 현재의 원본영상의 추정치로부터 구해진 열화된 영상을 나타낸다. 따라서 B/B' 는 주어진 열화 영상과 추정된 열화영상사이의 잔차를 반영하고 이를 반복적으로 통합함으로써 영상을 복원한다. 일반적으로 원본 영상의 초기치는 주어진 열화영상으로 $I^t = B$ 설정하여 알고리즘을 수행한다.

2.2.1 Total variation 정규화 방식

일반적으로 RL 알고리즘과 같은 반복적 영상복원방식들의 경우 반복처리과정에서 영상의 잡음성분이 증폭되는 문제점을 갖는다. 이러한 문제를 개선하기위해 영상복원과정에 정규화 제약조건(regularization term)을 추가함으로써 잡음성분의 증폭을 억제하는 효과를 가져올 수 있다. 정규화 제약조건을 갖는 RL알고리즘의 구성은 식(5)에서와 같이 베이즈 정리의 사전확률(prior probability) $P(I)$ 에 정규화 항목을 추가하는 방식으로 이루어진다.

$$\begin{aligned} & \operatorname{argmax}_I P(I|B, k) \\ & = \operatorname{argmax}_I P(B, k|I)P(I) \\ & = \operatorname{argmin}_I -L(B, k|I) - L(I) \\ & = \operatorname{argmin}_I \sum_{x \in I} (g(x) - B(x) \ln(g(x))) + \lambda R(I(x)) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, λ 는 데이터 항목과 정규화 항목사이의 상대적인 가중치를 조절하는 정규화 매개변수를 나타낸다. 반복적 접근 방식을 이용한 복원 영상 $I(x)$ 에 대한 식(5)의 최적해의 일반식은 다음과 같다.

$$I^{t+1}(x) = \frac{I^t(x)}{1 - \lambda \nabla R(I^t(x))} \sum_{y \in k} \frac{B(y)}{\sum_{z \in k} I^t(z)k(y-z)} k(y-x) \quad (6)$$

TV 정규화 기법은 영상 복원과정에서 정규화 제약조건으로 가장 많이 사용되는 방법으로 복원된 영상의 에지 크기의 합을 최소화함으로써 선명한 에지성분을 보존하면서 잡음성분의 증폭을 억제하는 효과를 갖는 방법이다(Chan 등, 1998).

$$I^{t+1} = \frac{I^t}{1 - \lambda \nabla R_{TV}(I)} \times \tilde{k} * \frac{B}{k * I^t}, \quad (7)$$

$$\nabla R_{TV}(I) = -\nabla \cdot \left(\frac{\nabla I^t}{|\nabla I^t|} \right)$$

여기서, ∇ 는 그래디언트(gradient) 연산자, $\nabla R_{TV}(I)$ 는 TV 정규화 제약조건을 나타낸다. 본 연구에서는 TV 정규화 매개변수로 0.002의 값을 사용하여 실험을 수행하였다.

2.2.2 라플라시안 정규화 방식

일반적으로 에지크기의 분포는 두꺼운 꼬리(heavy-tailed) 모양을 갖는 라플라시안(laplacian)분포를 따른다. 두꺼운 꼬리 분포의 특성은 평균근처의 분포가 뾰족하면서 양쪽 사이드가 두껍기 때문에 분포의 침도가 크다. 어떤 확률변수가 이러한 형태를 가지게 되면 양쪽 사이드에서 극단적인 값이 정규분포보다 더 자주 발생한다. 이러한 극단적인 값은 고주파 영역에 해당하는 영상의 잡음성분일 확률이 높다. 따라서 에지크기 분포를 라플라시안 분포로 모델링함으로써 영상의 선명한 에지성분을 보존하면서 영상의 잡음성분을 완화시키는 방법이 라플라시안 정규화 방식이며 다음과 같은 형태를 갖는다(Levin 등, 2007).

$$I^{t+1} = \frac{I^t}{1 - \lambda \nabla R_L(I)} \times \tilde{k} * \frac{B}{k * I^t}, \quad (8)$$

$$\nabla R_{TV}(I) = -\frac{1}{\eta} \exp\left(-\frac{1}{\eta} |\nabla I|^d\right) |\nabla I|^{d-1} \nabla^2 I$$

여기서, ∇^2 는 라플라시안 연산자, d 는 분포의 형태(shape)를 통제하는 매개변수, η 는 영상 잡음 성분의 분산정보를 나타내고, 본 연구에서는 실험에 사용한 파라미터 설정은 각각 $d=0.8$, $\eta=0.005$ 값으로 설정하여 실험을 수행하였다.

2.2 GSA 영상 융합기법

CS 기반의 영상융합기법은 다중분광 영상을 이용하여 인위적으로 생성한 가상의 강도 영상과 흑백영상의 차이를 다중분광영상에 적용하는 방법으로 일반식은 다음과 같다.

$$M_F(k) = (P_H - I_L) \cdot g(k) + M_E(k) \quad (9)$$

여기서, P_H , I_L 는 각각 원본 흑백영상과 입력데이터를 이용하여 생성한 가상의 강도 영상을 나타내고 $(P_H - I_L)$ 은 이들 두 데이터로의 차로부터 추출된 고주파 정보를 의미한다. $g(k)$ 는 다중분광영상에 추출된 고주파 정보 주입 시 발생하는 변동(variation)을 제어하는 융합계수를 나타내고 $M_E(k)$ 는 흑백영상과 동일한 공간 해상도로 확장된 다중분광영상을 나타낸다. 일반적으로 가상 강도 영상 생성, 고주파 정보 생성방법 및 융합계수 산정방식에 따라 국내외적으로 다양한 CS기반의 융합기법들이 제안되고 있다(최재완 등, 2010; Wang 등, 2005).

본 연구에서는 각 기법 별 영상복원 과정 수행 이후의 영상 융합과정에 있어서, 위성영상융합에 가장 많이 활용되고 있는 GS방법에 다중회귀분석 과정을 접목한 GSA융합 기법을 모든 방법에 동일하게 적용하였다(Aiazzi 등, 2007). 이 기법은 그림 2에 도시된 바와 같이, 원본 다중분광영상과 고해상도 흑백영상의 좌표를 표준화하고 다중분광영상의 크기를 흑백영상과 동일하게 조정하는 자료 입력 및 전처리 과정, 다중분광영상과 흑백영상간의 다중회귀분석과정을 통한 가상의 강도영상 생성 과정, 영상의 통계정보를 활용한 융합계수를 통한 영상 융합과정으로 구성되고, 그 구체적인 실행순서는 다음과 같다.

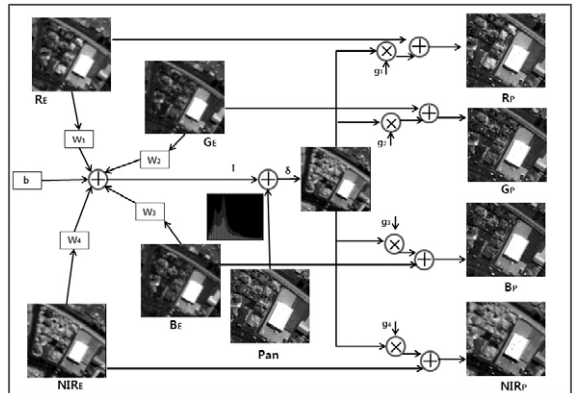


그림 2. GSA 융합기법의 개념도

Step 1. 우선 네 개의 밴드로 구성 되어 있는 저해상의 다중분광영상의 공간해상도를 공삼차(bicubic) 보간법을 사용하여 흑백영상의 공간해상도와 같게 업샘플링을 수행한다(그림 2의 R_E , G_E , B_E , NIR_E).

Step 2. 공간해상도가 확장된 다중분광정보 밴드들과 흑백영상 사이의 다중회귀분석 과정을 통해 추정된 회귀계수를 이용하여 가상의 강도(intensity) 영상(I_L)을 제작한다.

$$I_L = w_1R_E + w_2G_E + w_3B_E + w_4R_E + b \quad (10)$$

여기서, b 는 센서의 분광반응곡선이나 영상 획득 당시에 야기되는 추가적인 변동사항들을... 고려하는 오프셋(offset)값을 의미하고, $w_1 \dots w_4$ 는 흑백영상에 대한 다중분광밴드들의 상대적인 이득(gain)정보를 나타내는 회귀계수이다.

Step 3. 제작된 가상의 강도영상과 고해상 흑백영상과의 밝기값의 차이로 야기되는 분광왜곡을 줄이기 위해 고해상도 흑백영상을 가상의 강도영상에 맞추어 히스토그램 매칭을 수행한다.

$$P_H(p) = \frac{\sigma_I}{\sigma_p} (P(p) - \mu_p) + \mu_I \quad (11)$$

여기서, μ_I , μ_p , σ_I , σ_p 는 각각 강도영상과 고해상 흑백영상 화소값의 평균과 표준편차를 나타내고 $P(p)$ 는 고해상 흑백영상의 화소값을 의미한다.

Step 4. 식(9)를 이용한 융합영상 제작 시, 다중분광 영상의 통계치 정보를 고려하지 않고 고주파정보를 주입할 경우, 이는 과도한 고주파 정보의 주입을 야기시켜 분광왜곡의 한 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 GSA 기법에서는 다중분광영상 내에 존재하는 화소의 분산정보와 강도영상과의 공분산 정보를 고려한 식(12)와 같은 융합계수를 이용하여 분광값의 변동을 제어하는 방식으로 최종융합영상을 생성한다.

$$g_1 = \frac{cov(I_L, R_E)}{Var(I_L)}, \quad g_2 = \frac{cov(I_L, G_E)}{Var(I_L)}, \quad (12)$$

$$g_3 = \frac{cov(I_L, B_E)}{Var(I_L)}, \quad g_4 = \frac{cov(I_L, NIR_E)}{Var(I_L)}$$

2.3 정량적 평가 측정치

융합영상의 분광왜곡을 정량적으로 평가하기 위해서는 기준이 되는 참조자료가 필요하다. 하지만 융합영상과 동일한 공간해상도를 갖는 고해상도 다중분광영상이 존재하지 않기 때문에 본 연구에서는 융합영상의 공간해상도를 원본 다중분광영상의 공간해상도 크기로 강제

적으로 낮춰 융합결과를 평가하였다. 분광왜곡을 측정하기 위한 평가지수로는 ERGAS(Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse), SAM(Spectral Angle Mapper), UIQI(Universal Image Quality Index)지수를 사용하였다.

2.3.1 ERGAS 측정치

ERGAS 지수는 융합영상의 전역적인 분광정보의 질을 측정하는 대표적인 융합척도로 알려져 있으며, 구체적인 식은 다음과 같다(Ranchin 등, 2000).

$$ERGAS = 100 \times \frac{h}{l} \times \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{R^2(B_n)}{M_n^2}}, \quad (13)$$

$$\text{여기서 } R(B_n) = \sqrt{\frac{1}{X \times Y} \sum_{X \times Y} (F_n - \overline{MS_n})^2}$$

여기서, h 는 고해상도 흑백영상의 공간해상도, l 은 다중분광영상의 공간해상도, (R^2B_n) 은 n 번째 밴드의 융합영상(F_n)과 원본 다중분광 영상($\overline{MS_n}$)간의 평균제곱근 오차, M_n 은 융합과정에서 사용된 다중분광 영상의 n 번째 밴드의 평균화소값을 의미한다. ERGAS 지수는 두 벡터의 오차 크기를 정량화한 지수로 볼 수 있고, 값이 작을수록 융합영상의 분광정보 보존력이 뛰어난을 의미한다.

2.3.2 SAM 측정치

SAM 측정지수는 융합영상과 원본 다중분광영상 화소벡터가 이루는 각도의 차이를 이용하여 오차를 정량화한 지수이다. 원본 다중분광영상의 화소벡터를 v_1 , 융합영상의 화소벡터를 v_2 라고 가정하면 두 영상간의 SAM 지수는 다음식과 같다(Alpanrone 등, 2008).

$$SAM = \arccos\left(\frac{\langle v_1, v_2 \rangle}{\|v_1\| \times \|v_2\|}\right) \quad (14)$$

여기서, $\langle v_1, v_2 \rangle$ 는 두 벡터의 내적을 의미하고, $\|v_1\|$ 는 벡터의 크기를 나타낸다. SAM 지수도 ERGAS 지수와 마찬가지로 값이 작을수록 융합영상의 품질이 좋음을 의미한다.

2.3.3 UIQI 측정치

UIQI 측정지수는 융합영상과 원본 다중분광영상의 분광왜곡지수를 평가하는 측정치로, 두 영상의 상관도 손

실 및 화소값의 대비(contrast)왜곡을 지역적으로 모델링한 정량적 측정지수로 다음과 같이 정의된다(Wang 등, 2002).

$$\begin{aligned}
 UIQI &= \frac{4\sigma_{xy}x\bar{y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2]} \\
 &= \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x\sigma_y} \cdot \frac{2\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \cdot \frac{2\bar{x}\bar{y}}{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

여기서, σ_x, σ_y 는 각각 원본 다중분광영상과 융합영상의 표준편차를 나타내고, \bar{x}, \bar{y} 는 해당 영상들의 평균화소값을 의미하며 σ_{xy} 는 영상 간의 공분산을 나타낸다. UIQI는 식(15)에서같이 세가지 요소로 분해 할 수 있고, 각각의 요소는 영상간의 상관도, 화소값의 밝기 왜곡과 대비 왜곡을 설명하고 값이 1에 가까울수록 융합영상의 품질이 뛰어난을 의미한다. 다중밴드 영상간의 UIQI값은 일차적으로 각 밴드별로 특정 윈도우 영역 내의 지역적인 왜곡량을 산정하고 이들의 평균값을 이용하여 밴드별 UIQI를 산출 한 후, 각 밴드별 UIQI의 평균값을 전체 융합영상에 대한 분광평가지수로 선정한다. 일반적으로 고해상도 위성영상의 경우 16, 32, 64의 윈도우 크기를 사용하며, 본 연구에서는 16의 윈도우 크기를 가지는 UIQI로 융합영상의 분광왜곡을 평가하였다(Khan 등, 2009).

3. 실험 적용 및 평가

3.1 실험 대상지역

실험에 사용된 고해상도 위성영상은 공간해상도 0.5m급의 고해상 흑백영상과 2m급의 다중분광영상으로 구성된 호주 호바트 지역의 GeoEye-1 영상을 이용하였다. 실험 지역 선정에 있어서는 영상융합 결과가 지역 및 개체



(a) 고해상 흑백영상 (b) 저해상 다중분광영상
그림 3. 실험 대상지역

의 특성에 의하여 영향을 받을 수 있기 때문에, 본 연구에서는 다양한 개체 및 토지피복이 혼재하는 그림 3과 같은 도심지 지역을 실험 대상지역으로 선정하였다. 실험 대상지역의 크기는 화소단위로 고해상의 흑백영상의 경우 2048×2048 크기를 갖고 다중분광영상은 정확히 4배가 작은 512×512 크기를 갖는다. 또한, 모든 데이터는 노이즈 제거, 방사 보정 등의 전처리 과정을 거치지 않은 11bit 데이터로 설정하여 처리하였다.

3.2 실험 결과 및 평가

본 연구에서는 제안 기법의 성능 평가를 위해 기존 위성영상융합에 주로 적용된 공삼차 보간 기반의 융합방법과 영상복원기법을 접목한 융합결과와의 시각적/정량적 비교평가를 수행하였다. 그림 4는 실험 대상지역 내 일부 동일 지역에 대한, 각 방법별 융합결과의 확대 영상을 나타낸다. 기존 방법의 경우 융합영상 내의 일부 수목 및 도로 지역에 대하여 지역적인 열화현상이 발생함을 시각적으로 확인할 수 있었다. 시각적인 비교 평가 결과, 전체적으로 기존방식에 비해 영상복원기법을 적용한 융합방법들이 개별 개체들의 색상정보를 보다 잘 표현하였으며, 영상복원 방식에서는 전통적인 RL 방법보다는 정규화 방식을 도입한 융합기법들이 시각적으로 좀 더 나은 결과를 보였다. 이는 영상의 디테일 성분을 유지하면서 잡음증폭을 완화시키는 정규화 방식들의 특



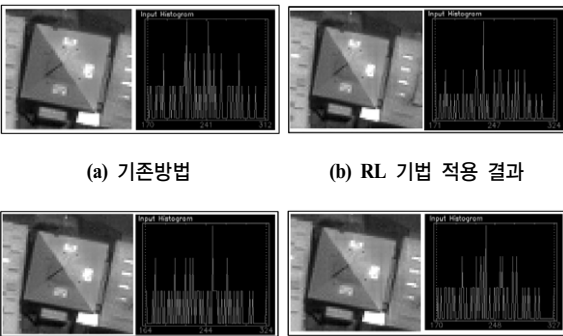
(a) 기존방법 (b) RL 기법 적용 결과



(c) TV 정규화 방식 적용 결과 (d) 라플라시안 정규화방식 적용 결과
그림 4. 일부 동일지역에 대한 결과 비교 영상

성에 기인한 결과이다.

융합기법들 간의 상대적인 시각적인 비교평가 방식은 분석자의 영상품질 판단 방식에 따라 달라질 수 있다는 맹점을 갖는다. 실제적으로 그림 4의 시각적인 비교평가 결과에서도 미세한 영상의 분광왜곡 및 열화현상에 의한 공간해상도 저하 현상을 한눈에 파악하기란 힘들다. 본 연구에서는 좀 더 구체적인 시각적인 평가를 위해, 심한 분광왜곡이 발생한 건물영역의 각 기법별 분광왜곡 정도를 그림 5와 같은 히스토그램을 통해 살펴보았다. 상대적인 평가를 위해 사용한 히스토그램은, 전체 건물영역 중 분광왜곡이 가장 심하게 발생한 건물의 위쪽 부분의 Red 밴드를 동일하게 절출(clipping)하여 제작하였다. 결과 영상들의 히스토그램을 통해서도 확인할 수 있듯이, 정규화 기법을 적용한 방법들이 다른 방법들에 비해 상대적으로 이상치가 작은 것을 확인할 수 있고, 라플라시안 정규화 방식의 결과가 가장 나은 결과를 보임을 확인할 수 있다.



(a) 기존방법

(b) RL 기법 적용 결과

(c) TV 정규화 방식 적용 결과 (d) 라플라시안 정규화방식 적용 결과
 그림 5. 일부 동일지역에 대한 결과 비교 영상

정량적 비교평가는 앞서 언급한 것과 같이 융합영상의 공간해상도를 강제적으로 저하시킨 영상과 원본 다중분광영상의 분광학적 차이를 측정하는 분광왜곡 측정치를 이용하여 이루어졌다. ERGAS, SAM, UIQI 측정치를 이용한 정량적 비교평가 결과, 표 1에서 확인할 수 있는 것처럼 모든 평가지수에서 영상복원 기법을 적용한 방식이 기존 방법에 비해 좀 더 나은 결과를 도출하였다. 측정값이 작을수록 분광정보 보존력이 뛰어난 것을 나타내는 ERGAS와 SAM 지수의 경우 영상복원기법을 적용한 방법들이 기존방법에 비해 0.08~0.02정도 작은 값을 도출하였다. UIQI 측정치 또한 영상복원기법을 적용한 방법이 0.03~0.01정도 높은 값을 보여 기존방법에

비해 분광왜곡이 작음을 알 수 있다. 적용된 영상복원기법 중에서는 라플라시안 정규화 기법을 이용한 방식이 다른 방법에 비해 좀 더 나은 결과를 도출하였다.

모든 측정지수에 대해서 기존방법에 비해 라플라시안 정규화기법을 이용한 방식이 좀 더 나은 결과를 보였지만 상대적으로 그 차이가 크지 않음을 확인할 수 있다. 이는 제작된 융합영상의 절대적인 정량적 평가를 수행할 수 있는 참조데이터의 부재로 인한 측정치의 과소평가에 의한 영향이 크다 할 수 있지만, 이를 고려하더라도 융합영상 품질 개선 정도가 만족할 만한 수준이라 할 수는 없다.

전체적으로 영상복원기법을 적용한 결과가 기존 방식에 비해 시각적/정량적 비교평가 결과 다소 나은 결과를 보였지만, 실험 반복 횟수를 50으로 설정한 영상복원 과정에 필요한 시간 복잡도에 비해 그 효율성이 다소 떨어지는 문제점을 갖았다.

표 1. 정량적 비교 평가 결과

	ERGAS (무척도)	SAM (radian)	UIQI (무척도)
기존방법(Bicubic)	3.56	0.99	0.91
전통적인 RL 방법	3.54	0.99	0.92
RL+TV 정규화 방법	3.53	0.97	0.92
RL+라플라시안 정규화 방법	3.48	0.89	0.94

4. 결론

본 연구에서는 고해상도 흑백영상과 다중분광영상을 이용한 고해상도 융합영상 생성을 위한 방안의 하나로, 업샘플링 수행과정에 최적화 기반 영상복원방식들을 접목하는 새로운 방법론을 제안하였다. 또한 제안기법의 효율성을 검증하기 위해, 공삼차 보간기법에 기반한 기존 방식에 의한 융합결과와 시각적/정량적 비교평가를 수행하였다. 실험 결과 전체적으로 영상복원기법들을 접목한 방식들이 기존방법에 비해 개별 개체들의 공간 저하 및 균질도 측면에서 시각적으로 보다 나은 결과를 보였고, RL 기법에 라플라시안 정규화 제약조건을 추가한 영상복원방식이 기존 방식에 비해 0.08~0.03정도의 범주로 분광왜곡에 대한 감쇠효과가 다소 좋음을 정량적으로 확인할 수 있었다. 알고리즘의 효율성 측면에서, 반복적 영상복원과정에 따른 시간 복잡도에 비해 융합

영상의 품질 개선 정도가 상대적으로 작아 그 효율성이 다소 떨어지는 문제점을 갖지만, 어떠한 추가적인 고주파 정보 삽입 과정 없이 다중분광영상에 대한 처리만으로 융합영상의 품질을 어느 정도 개선시킬 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 2010년 기술료사업-다중위성 최적임무 촬영계획기술 개발 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 최재완, 김용일 (2010), 영상의 분광 및 공간 특성을 이용한 고해상도 위성영상 융합 알고리즘, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 18권, 제 2호, pp. 79-86.
- Aiazzi, B., Baronti, S., and Selva, M. (2007), Improving component substitution pansharpening through multivariate regression of MS+Pan data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No. 10, pp. 3230-3239.
- Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A., and Nencini, F. (2004), A Global Quality Measurement of Pan-Sharpener Multispectral Imagery, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 1, No. 4, pp. 313-317.
- Andrew, H.C. and Hunt, B.R. (1977), *Digital image restoration*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Chan, T.F., and Wong, C.K. (1998), Total variation blind deconvolution, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 7, No. 3, pp. 370-375.
- Dou, W., Chen, Y., Li, X., and Sui, D. Z. (2007), A general framework for component substitution image fusion; An implementation using the fast fusion method, *Computers and Geosciences*, Vol. 33, pp. 219-228.
- Garzelli, A., and Nencini, F. (2006), PAN-sharpening of very high resolution multispectral images using genetic algorithms, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 13, pp. 3273-3292.
- Khan, M., Alparone, L., and Chanussot, J. (2009), Pansharpening Quality Assessment Using the Modulation Transfer Functions of Instruments, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No. 11, pp. 3880-3891.
- Levin, A., Fergus, R., Durand, F., and Freeman, W.T. (2007), Image and depth from a conventional camera with a coded aperture, *ACM Transaction on Graphics*, Vol. 26, No. 3.
- Nunez, J., Otazu, X., Fors, O., Prade, A., Pala, V., and Arbiol, R. (1991), Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 37, No. 3, pp. 1204-1211.
- Parker, J.A., Kenyon, R.V., and Troxel, D.E. (1983), Comparison of interpolating methods for image resampling, *IEEE Transaction on Medical Imaging*, Vol. 2, No. 1, pp. 31-39.
- Ranchin, T., and Wald, L. (2000), Fusion of High Spatial and Spectral Resolution Images: The ARSIS Concept and Its application, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, No. 1, pp. 49-61.
- Rabmani, S., Strait, M., Merkurjev, D., Moeller, M., and Wittman, T. (2010), An adaptive IHS pan-sharpening method, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 7, No. 4, pp. 746-750.
- Shepp, L.A., and Vardi, Y. (1982), Maximum likelihood reconstruction for emission tomography, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol. 1, No. 2, pp. 113-122.
- Wang, Z., and Bovik, A.C. (2002), Universal Image Quality Index, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 9, No. 3, pp. 81-84.
- Wang, Z., Ziou, D., Armenakis, C., Li, D., and Li, Q. (2005), A comparative analysis of image fusion methods, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 43, No. 6, pp. 1391-1420.
- Zhang, Y. (2004), Understanding image fusion, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 70, No. 6, pp. 653-660.