

공간 상관도 기법에 따른 하이브리드 융합영상의 공간/분광 왜곡 평가

The comparison of spatial/spectral distortion on the hybrid pansharpened images by the spatial correlation methods

최재완¹⁾ · 김대성²⁾ · 김용일³⁾

Choi, Jae Wan · Kim, Dae Sung · Kim, Yong Il

Abstract

In remote sensing, it has been a difficult task to obtain a multispectral image with high spatial resolution because of the technical limitation of satellite sensors. In order to solve these problems, various pansharpening algorithms have been tried and proposed. However, most pansharpened images created by various approaches tend to distort the spectral characteristics of the original multispectral image or decrease the visual sharpness of the panchromatic image. To minimize the spectral distortion of pansharpened image while preserving spatial information of the panchromatic image, a hybrid pansharpening algorithm based on the spatial correlation was proposed. In this paper, we analyzed the spatial and spectral distortion of the hybrid pansharpened images generated by the various spatial correlation methods. In the experiments, we proved that the method by using Laplacian filtering was more efficient than other high frequency extraction algorithms in the viewpoint of spectral distortion and spatial sharpness.

Keywords : High frequency extraction, Hybrid pansharpening algorithm, Satellite sensor, Spatial correlation, Spatial/spectral distortion

초 록

원격탐사 분야에서 고해상도의 멀티스펙트럴 영상은 위성센서의 기술적인 제약 때문에 직접적으로 취득하기 어렵다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 다양한 위성영상 융합 기법이 제안되어졌다. 그러나, 대부분의 영상융합기법들은 원 멀티스펙트럴 영상의 분광정보를 왜곡시키거나 고해상도 흑백영상의 공간해상도에 비하여 융합영상의 공간해상도가 저하되는 문제점을 지닌다. 최근 들어, 융합영상의 분광왜곡을 최소화시키면서 공간해상도를 효율적으로 증가시킬 수 있는 공간상관도 기반의 하이브리드 융합 기법이 제안되었다. 본 연구에서는 하이브리드 융합기법에 다양한 공간상관도 추출 식을 적용하여 보고 이에 따른 분광/공간정보 왜곡의 양을 비교 평가하였다. 실험 결과, 라플라시안 필터를 이용한 하이브리드 융합 기법이 다른 고주파 정보 추출 기법에 비하여 하이브리드 융합 기법에 효과적으로 적용할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

핵심어 : 고주파 정보 추출, 하이브리드 융합 기법, 위성 센서, 공간상관도, 공간/분광 왜곡

1. 서 론

고해상도 영상지도의 제작, 지형정보 및 지표면의 분광 특성 분석과 같은 다양한 공간정보 분야에 원격탐사 자료

를 효과적으로 활용하기 위해서는 높은 공간해상도와 다양한 분광특성을 가지는 위성영상의 취득이 필수적이다. 이상적인 관점에서 다양한 응용분야에 위성영상을 사용하기 위해서는 고해상도 흑백영상과 동일한 공간해상도

1) 정회원 · 서울대학교 공학연구소 연구원(E-mail: choijw11@snu.ac.kr)
2) 정회원 · 건국대학교 신기술융합학과 전임연구원(E-mail: mutul94@snu.ac.kr)
3) 정회원 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 교수(E-mail: yik@snu.ac.kr)

를 가지는 고해상도 멀티스펙트럴 영상이 필요하지만, 센서의 기술적인 제약 때문에 고해상도의 멀티스펙트럴 영상은 직접적으로 취득할 수 없다(Zhang, 2004). 이러한 문제를 극복하기 위하여, 원격탐사 분야에서는 고해상도 흑백영상을 이용하여 멀티스펙트럴 영상의 공간해상도를 강제적으로 증가시키는 영상융합(pansharpening, image fusion) 기법들이 제안되었다.

최근, Tu et al. (2004)와 Dou et al. (2007) 등에 의하여 일반적인 영상융합기법들은 선형식을 이용하여 단순화시킬 수 있다는 것이 증명됨에 따라서, 더욱 많은 알고리즘들이 개발되었다. 기존에 제안된 영상융합 기법들은 크게 고해상도 흑백영상과 가상의 저해상도 영상 간의 고주파 정보(high frequency) 차이를 주입하여 융합영상을 생성하는 CS(Component-Substitution) 기반의 융합기법과, 고해상도 흑백영상과 강제적으로 공간해상도를 저하한 저해상도 흑백영상간의 특성 차이를 이용한MRA(Multi-Resolution Analysis) 기반의 융합기법으로 구분할 수 있다(Aiazzi et al., 2009). 또한, 다양한 원격탐사 상용소프트웨어에서도 독자적인 영상 융합 기법을 개발하여 사용자들에게 제공하고 있다(Aiazzi, et al., 2007; Zhang, 2004). 그러나 대부분의 영상융합 방법들을 통하여 생성된 고해상도 멀티스펙트럴 영상들은 융합과정에서 원 멀티스펙트럴 영상의 분광특성과 다른 특징을 가지게 되는 분광왜곡 현상과, 융합 영상 내의 개체들의 경계가 모호해지거나 블러링(blurring) 현상 등으로 인하여 흑백영상의 공간해상도에 비하여 융합 영상의 공간해상도가 저하되는 문제점이 발생할 수 있다(Aiazzi et al., 2006; Hong and Zhang, 2008).

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최재완(2011)은 융합 영상의 분광왜곡량을 최소화하면서 공간해상도를 효과적으로 증가시킬 수 있는 공간상관도 기반의 하이브리드 융합 기법을 제안하였다. 하이브리드 융합 기법을 위성영상에 효과적으로 적용하기 위해서는 최적의 융합 매개변수를 산정하는 것이 가장 중요한 요소이기 때문에, 본 연구에서는 융합 매개변수 추출과정에서 적용될 수 있는 다양한 공간상관도 산정 기법을 Geocye-1, Quick Bird-2 위성 영상에 적용하고 분광/공간왜곡을 최소화할 수 있는 하이브리드 융합 기법의 공간 상관도 추출기법을 구하고자 하였다. 논문의 세부적인 구성은 다음과 같다. 먼저, 영상 간 공간상관도 기반의 융합 매개변수 모델을 이용한 하이브리드 융합 기법에 대하여 살펴보고, 이에 따라 적용될 수 있는 공간 상관도 추출기법들에 대하여 분석하였다. 이를 바탕으로 하여, 원 공간해상도를 지니는 Geocye-1, Quick

Bird-2 위성영상에 융합 기법들을 적용하고 정량적/정성적인 비교평가를 수행하여 하이브리드 융합 기법에 적합한 최적의 공간 상관도 추출자를 결정하였다.

2. 영상 간 공간 상관도 기반의 융합 매개변수 모델을 이용한 하이브리드 융합 기법

IHS, PCA 융합 기법과 같은 전통적인 영상 융합기법은 2단계에 걸친 분광 변환식을 이용하여 구성된다. 그러나, Tu et al. (2004)와 Dou et al. (2007) 등은 대용량의 위성영상을 효과적으로 융합하기 위하여 영상 융합 모델을 식 (1)과 같은 선형식으로 일반화하였다.

$$MS_n^h = MS_n^l + \omega_n \cdot (P - I) \tag{1}$$

여기서, MS_n^h 는 융합 결과영상, MS_n^l 은 원 멀티스펙트럴 영상, P 는 고해상도 흑백영상, I 는 멀티스펙트럴 영상과 공간해상도가 동일한 임의의 영상, ω_n 는 융합 매개변수를 의미한다. 일반화된 영상 융합 기법은 영상 I 의 생성 방법에 따라서 크게 웨이블릿(wavelet), 영상 피라미드(image pyramid) 등을 이용하는 MRA(Multi Resolution Analysis) 기반의 융합 기법과 멀티스펙트럴 밴드 간의 조합영상과 흑백영상과의 관계를 이용하는 CS(Component-Substitution) 기반의 융합 기법으로 세부적으로 구분된다(Choi et al., 2011). 본 연구에서 적용하고자 하는 하이브리드 융합 기법은 CS 융합 기법을 기반으로 하는 것을 가정하였으며, 이를 위한 융합 매개변수 모델의 구성방법과 하이브리드 융합 알고리즘의 세부적인 내용은 다음과 같다(최재완, 2011).

2.1 공간 상관도 기반의 융합 매개변수 모델의 추정

멀티스펙트럴 영상과 고해상도 흑백영상 사이에는 공간적인 비상관성과 함께 영상 화소값의 범위 및 표준편차에 의한 분광적인 차이가 존재한다. 이를 반영하기 위하여 하이브리드 융합 기법에서는 멀티스펙트럴 영상 MS_n^l 에 의하여 히스토그램 조정된 흑백영상 P_n^l 과 MS_n^l 간의 회귀분석을 이용하여 생성된 I_n^l 을 추출하고, MS_n^l 과 I_n^l 간의 공간상관도 S_n 을 추출한다. 추출된 공간상관도를 이용하여 식 (2)와 같은 초기 융합 매개변수를 결정하였다.

$$\omega_n = \gamma_n \times \sqrt{\frac{\sigma_{MS_n^l}}{\sigma_{I_n^l}} \times S_n} \times \min\left(\frac{\sigma_{MS_n^l}}{\sigma_{I_n^l}}, S_n\right) \tag{2}$$

여기서, $\sigma_{MS_n^t}$, $\sigma_{I_n^t}$ 은 각각 영상 MS_n^t 와 I_n^t 의 표준편차 값을 의미하며, \min 은 최소값, γ_n 은 센서에 따른 임계치를 의미한다. 식 (2)은 세부 저해상도 영상 I_n^t 의 상대적인 표준편차를 이용하여 구성하였기 때문에 원 멀티스펙트럴 영상과 고해상도 흑백영상 간의 절대적인 표준편차의 비율이 반영되지 않기 때문에 융합 매개변수의 값이 과소 평가될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 영상의 엔트로피(entropy)와 전역적 표준편차를 이용한 경험적인 조정변수 γ_n 을 생성하여 다양한 위성센서에 대한 최적의 융합 매개변수 ω_n 을 추정하였다.

$$\gamma_n = \max\left(\frac{\sigma_{(MS_n^t)}}{\sigma_{(I_n^t)}}, \frac{\sigma_{(I_n^t)}}{\sigma_{(MS_n^t)}}\right), \left(\text{if } \frac{\frac{1}{N} \sum \text{entropy}(MS_n^t)}{\text{entropy}(I)} \leq 1.5\right) \quad (3)$$

$$= \frac{\sigma_{(I_n^t)}}{\sigma_{(MS_n^t)}}, \left(\text{if } \frac{\frac{1}{N} \sum \text{entropy}(MS_n^t)}{\text{entropy}(I)} > 1.5\right)$$

2.2 하이브리드 융합 기법

하이브리드 융합 기법은 일반적인 융합기법에서 사용되는 고주파 정보와 필터링 기법을 이용하여 추출한 고주파 정보를 혼합하여 공간해상도가 더욱 강조된 영상을 생성하는 방법이다. 하이브리드 융합 모델은 식 (4)와 같다.

$$MS_n^{h'} = MS_n^t + \omega_n \cdot (P_n' - I_n^t) + \lambda_n \times \omega_n \cdot H(P_n' - I_n^t) \quad (4)$$

여기서, λ_n 은 하이브리드 융합 모델의 임계치이며, 경험적으로 식 (5)를 이용하여 산출한다.

$$\lambda_n = (1 - S_n) / \gamma_n \quad (5)$$

식 (4)에서 확인할 수 있는 것과 같이, 하이브리드 융합 기법은 $\lambda_n = 0$ 인 경우에는 식 (1)의 일반적인 영상 융합 기법의 결과와 동일하다. 하이브리드 융합 모델에서 추가적으로 주입되는 고주파 정보 $H(P_n' - I_n^t)$ 은 CS기반의 융합 기법에 사용하는 고주파 정보 $(P_n' - I_n^t)$ 에 필터링 기법을 적용하여 공간정보 및 선형회귀식의 오차, 폐색 및 개체동과 같은 기하학적인 오차가 제거된 개체의 중심적인 에지정보만을 추가적으로 멀티스펙트럴 영상에 주입하고자 하였다. 이를 통해, 분광왜곡을 최소화하면서 영상의 전반적인 개체의 선명도를 향상시킬 수 있다.

3. 위성영상의 공간상관도 측정 기법

하이브리드 융합 모델을 구성하는 주요 변수 γ_n 와 ω_n 를 구하기 위해서는 최적의 공간상관도 S_n 을 추출하여야 한

다. 특히, 산림지역, 건물이나 차량 등의 일부 개체에 대해서 위성영상의 각 해당 밴드와 흑백영상은 다른 공간특성을 보이는 경우가 발생한다. 이러한 공간적인 비상관성을 보이는 영역들을 융합과정에서 고려하지 않는다면 분광 왜곡이 더욱 크게 발생할 수 있다. 따라서, 하이브리드 융합 기법을 포함한 일반적인 융합 모델들은 이러한 영상 간의 공간상관도를 효과적으로 추정해야 한다. 에지정보를 나타내는 영상 A, B 간의 상관도는 식 (6)을 통하여 정의된다.

$$S_n = \frac{E[(H(A)_{(x,y)} - \overline{H(A)}) \times (H(B)_{(x,y)} - \overline{H(B)})]}{\sigma_{H(A)} \times \sigma_{H(B)}}, (x \in X, y \in Y) \quad (6)$$

여기서, H 는 영상의 고주파 정보(에지 정보)를 추출하기 위한 추출기법을 의미한다. 따라서, 최적의 공간 상관도를 구하기 위해서는 적절한 추출기법 H 를 결정하는 것이 필수적이라고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 공간 상관도를 추출하기 위하여 원격탐사와 영상처리 분야에서 대표적으로 사용되는 고주파 정보 추출 기법들을 식 (6)에 적용하여 이에 대한 영향을 살펴보고자 하였다. 본 연구에서 고려한 고주파 정보 추출 기법들은 다음과 같다.

3.1 라플라시안 필터(Laplacian filter)

라플라시안 필터는 영상처리와 더불어, 원격탐사의 영상융합 부분에서도 가장 많이 사용되고 있는 공간 회선 필터(spatial convolution filter)로써, 영상의 에지를 추출하기 위하여 사용된다(Zhou et al., 1998). 영상 내의 특정 위치 (m, n) 의 에지정보를 구하기 위하여 $m-1 \leq x \leq m+1, n-1 \leq y \leq n+1$ 범위 내의 영상의 화소값들과 라플라시안 필터의 윈도우 내 값들과의 연산을 통하여 영상의 에지 정보를 구할 수 있다.

3.2 소벨 연산자(Sobel detector)

소벨 연산자는 라플라시안 필터와 마찬가지로 영상의 에지를 추출하기 위한 공간회선 필터의 일종이다. X, Y 축의 에지정보를 구하기 위한 필터를 적용한 후, 생성된 에지정보를 양의 크기를 가지는 정량적인 값으로 평가하는 방법이다. 소벨 연산자는 수직, 수평, 대각선 에지정보를 효과적으로 표현할 수 있는 특징을 지닌다.

3.3 평균 기울기(average gradient, A.G)

영상의 평균 기울기에 기반한 에지 추출자는 소벨 연산자와 유사한 형태를 가진다. X, Y 축에 대한 1차원 벡터를

이용하여 각 축방향으로의 에지를 추출한 후, 이에 대한 크기를 구하여 에지정보를 정량적으로 평가하는 방법이며, 융합 영상의 공간 정보를 정량화하는 척도로써 사용된다. 세부적인 식은 다음과 같다.

$$X = [1 - 1], Y = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$A.G = \sqrt{\frac{(X^2 + Y^2)}{2}} \quad (8)$$

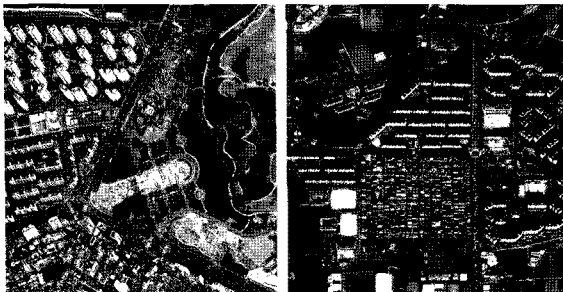
3.4 가우시안 필터링(Gaussian filtering)

가우시안 필터링은 주파수 영역(frequency domain)에서 수행되어지는 대표적인 공간 필터링 기법이다. 해당 영상을 고속 푸리에 연산(Fast Fourier Transform, FFT)를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후, 차단 주파수(cutoff frequency)를 이용한 가우시안 회선 마스크를 적용한다. 푸리에 변환된 영상과 해당 회선 마스크의 곱 연산을 적용한 후, 푸리에 역변환을 적용하면 가우시안 필터링된 해상도 저하영상을 얻을 수 있다. 최종적으로 원 영상과 가우시안 필터링된 해상도 저하영상의 차 연산을 이용하여 해당 영상의 고주파 정보를 추출할 수 있다. 본 연구에서는 위성 영상에 적합한 가우시안 회선 마스크를 생성하기 위하여 흑백영상에 0.17의 차단 주파수를 적용하였다(Khan et al., 2009).

4. 실험 및 평가

4.1 실험 대상지역

공간 상관도를 구하기 위한 4종류의 고주파 정보 추출 기법들에 따른 하이브리드 융합 모델의 분광왜곡 및 공간 해상도 저하의 영향을 분석하기 위하여 2006년 10월 28일



(a) Geocye-1 위성영상

(b) QuickBird-2 위성영상

그림 1. 연구 대상지역

에 대한민국 대전지역을 촬영한 QuickBird-2 영상과 2010년 4월 8일에 서울지역을 촬영한 Geocye-1, 고해상도 위성 영상을 사용하여 실험을 수행하였다(그림 1).

4.2 실험 방법

본 연구에서는, 선정된 4종류의 고주파 정보 추출기법을 이용하여 하이브리드 융합 모델에 사용할 매개변수 γ_n 와 ω_n 를 각각 산출하고, 이를 바탕으로 융합영상을 생성하였다. 특히, 최재완(2011)은 하이브리드 융합 모델에 적용하기 위한 최적의 융합 매개변수는 11×11 크기를 가지는 윈도우 기반의 연산을 통하여 융합 영상과 동일한 크기를 가지도록 하는 것이 융합 영상의 분광왜곡을 최소화할 수 있음을 실험을 통하여 증명하였다. 따라서, 본 연구에서도 지역적인 윈도우 기반의 연산을 통하여 식 (2)의 융합 매개변수를 추출하고자 하였으며, 이에 따라서 공간 상관도 추출자도 윈도우 기반의 연산과정을 사용하였다.

위의 과정을 통하여 생성된 위성영상의 융합결과를 평가하기 위해서는 고해상도 흑백영상과 동일한 공간해상도를 지니는 고해상도 멀티스펙트럴 영상이 존재하여야만 한다. 그러나, 고해상도 멀티스펙트럴 영상은 존재하지 않기 때문에 기준자료와의 직접적인 비교평가가 어려운 문제점을 지닌다. 따라서 융합영상의 분광왜곡과 공간정보를 정량적으로 판단하기 위하여 다음의 방법을 사용하였다. 먼저, 융합 영상의 공간정보를 판단하기 위해 영상의 평균 기울기 지수와 엔트로피 지수를 사용하였다(Chibani and Houacine, 2002). 평균 기울기 값과 엔트로피 지수는 영상 내의 화소값들이 얼마나 다양하게 분포하고 있는지를 평가할 수 있는 척도이다. 융합 영상의 분광왜곡 평가의 경우, 융합영상의 공간해상도를 저하시킨 결과 영상을 원 멀티스펙트럴 영상과 비교하는 방법을 수행하였다. 영상융합 평가 기법에서 가장 널리 사용되는 평가 지수인 ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse), SAM(Spectral Angle Mapper), UIQI(Universal Image Quality Index) 지수를 분광평가의 지표로 사용하였다(Alparone et al., 2007). 평가를 위한 비교대상 기법은 선정된 4종류의 고주파 정보 추출기법을 이용하여 생성된 하이브리드 융합 영상과 함께 대표적인 CS 기반 융합기법인 GIHS(Generalized IHS), GSA(Adaptive Gram-Schmidt) 융합 기법을 선정하여 본 연구에서 적용한 융합 기법의 결과를 상대적으로 비교하고자 하였다(Aiazzi et al., 2009). 다양한 평가지수를 사용하는 이유는 센서 혹은 영상에 따라서 각각의 지수들이 일정부분 상이한 결과를 나타낼 수

있기 때문이며, 이를 위해서 다양한 영상에 대한 여러 평가지수를 추출하여 전체적인 특징 및 경향성을 살펴보고자 하였다.

4.3 실험 평가 결과

4.2의 연구방법을 기반으로 하여 Geoeye-1, QuickBird-2 위성영상에 대하여 융합결과의 정량적인 비교평가를 수행하였다. ERGAS와 SAM 지수는 낮은 값을 가질수록 분광왜곡이 적음을 의미하며, UIQI는 값이 1.0에 가까울수록 분광왜곡이 적음을 의미한다. 또한, 공간정보량의 측면에서 평균 기울기, 엔트로피 지수들은 큰 값을 가질수록, 예지와 같은 공간정보를 많이 포함하고 있음을 의미한다.

표 1, 2와 같이 GIHS 융합결과는 정량적인 평가에 있어서 Geoeye-1 위성영상의 SAM 지수를 제외하고 모든 분광왜곡량 평가에 있어서 가장 낮은 수치를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 특히, 그림 3에서 확인할 수 있는 것처럼, QuickBird-2 위성영상에 대하여 GIHS 융합 기법은 타 기법에 비하여 분광왜곡이 큰 영상을 생성한다. GIHS는 융합 매개변수를 사용하지 않는 알고리즘이며, 이로 인하여 QuickBird-2 위성영상과 같은 특정 위성센서에 적용할 경우에 분광왜곡이 크게 발생한다. 또한, 추가적으로 ERGAS, UIQI 지수가 영상의 색상왜곡을 정량화함에 있

어서 SAM보다 유용할 수 있음을 그림 2, 3과 표 1, 2를 통하여 확인할 수 있다. GSA 융합기법은 시각적/정량적으로 볼 때, GIHS 융합 기법에 비하여 분광왜곡량이 적지만, 공간정보량도 상대적으로 작은 융합 영상이 생성된다. GIHS 융합 기법이 GSA 융합기법에 비하여 큰 공간정보량을 함유하고 있지만, 그림 3의 QuickBird-2 위성영상과 같이 분광왜곡이 크게 발생하는 경우에는 다양한 응용분야에서 융합영상을 효과적으로 사용할 수 없기 때문에, GSA 융합기법이 GIHS 기법에 비하여 다양한 센서에 대하여 효과적인 융합방법으로 판단된다. 평균기울기를 이용한 하이브리드 융합 결과는 Geoeye-1 실험결과에서 가장 우수한 ERGAS, UIQI 값을, QuickBird-2 실험결과에서는 가장 우수한 SAM 값을 가지지만, 하이브리드 융합 기법 중 가장 낮은 공간정보량 수치를 보였다. 라플라시안 필터를 이용한 하이브리드 융합기법은 평균기울기를 이용한 결과에 비하여 상대적으로 우수한 공간정보량을 보이며, 유사한 UIQI 지수를 가진다. 한편, 소벨 추출자를 이용한 하이브리드 융합 기법은 QuickBird-2 실험결과에 있어서는 타 고주파 정보 추출자를 이용한 결과들에 비해서는 높은 공간정보량을 보이며, 모든 실험 결과에 대하여 타 고주파 정보 추출자를 이용한 결과들보다 높은 ERGAS 값과 낮은 UIQI 결과를 보인다. 이는 소벨 추출자를 이용한 융합결과의 분광왜곡량이 타 고주파 정보 추출

표 1. Geoeye-1 위성영상의 정량적 평가 결과

		GIHS	GSA	하이브리드 융합 기법			
				라플라시안	소 벨	평균기울기	가우시안
분광왜곡량	ERGAS	1.282	1.197	1.044	1.094	1.032	1.063
	SAM	0.625	0.722	0.695	0.694	0.702	0.691
	UIQI	0.961	0.968	0.972	0.968	0.973	0.971
공간정보량	평균기울기	60.45	56.06	88.60	86.35	82.23	85.22
	엔트로피	1.957	1.949	2.110	2.104	2.096	2.103

표 2. QuickBird-2 위성영상의 정량적 평가 결과

		GIHS	GSA	하이브리드 융합 기법			
				라플라시안	소 벨	평균기울기	가우시안
분광왜곡량	ERGAS	3.171	1.828	2.001	2.092	1.998	2.042
	SAM	1.176	1.118	1.089	1.035	1.009	1.059
	UIQI	0.764	0.927	0.929	0.914	0.927	0.923
공간정보량	평균기울기	21.96	13.337	19.08	20.05	18.92	19.37
	엔트로피	0.709	0.606	0.669	0.679	0.667	0.672

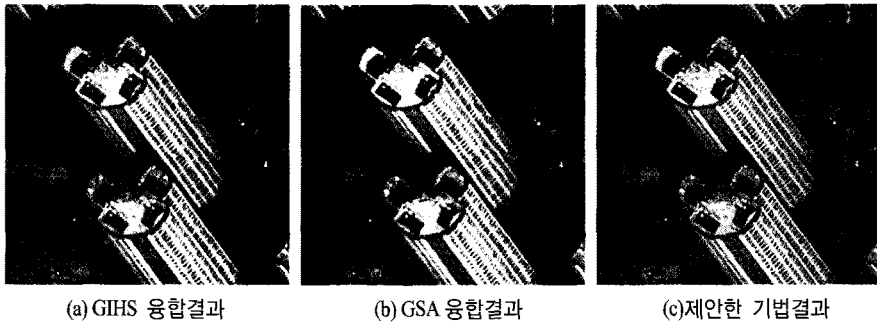


그림 2. 제한한 기법과 기존융합 기법의 비교 평가(Geocye-1)

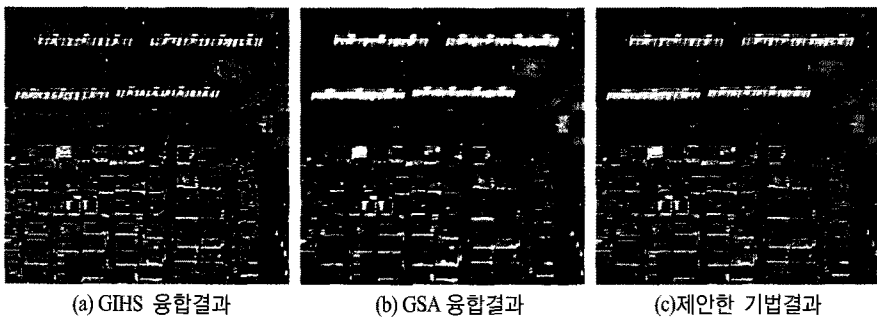


그림 3. 제한한 기법과 기존융합 기법의 비교 평가(QuickBird-2)

자를 이용한 결과들보다 클 수 있음을 의미한다. 가우시안 필터를 이용한 융합결과는 실험영상에 따라서 상이한 공간정보량 특성을 보이지만, UIQI, ERGAS 지수를 고려할 때, 분광왜곡의 감소라는 측면에서 라플라시안 필터를 이용한 결과에 비하여 낮은 결과를 보였다. 따라서, 분광왜곡의 측면에서는 라플라시안 필터와 평균기울기 기법을 이용하여 생성한 하이브리드 융합 기법이 다양한 위성영상에 대하여 우수한 성능을 보인다고 사료되며, 공간정보량까지 고려할 경우에는 라플라시안 필터를 이용한 기법이 전체적으로 위성영상에 적용하기에 적합한 융합기법으로 판단된다. 이를 시각적으로 명확히 검증하기 위하여, GIHS와 GSA 융합기법과 라플라시안 필터를 이용한 하이브리드 융합 결과를 시각적으로 비교하였다(그림 2, 3).

라플라시안 필터를 이용한 하이브리드 융합 결과는 Geocye-1, QuickBird-2 위성영상에 대하여 GSA 융합영상보다 선명한 영상을 생성함을 확인할 수 있다. 특히, QuickBird-2 위성영상의 경우, GSA 융합영상은 일부 건물 개체에 대하여 블러링(blurring) 현상이 발생하였다. QuickBird-2 위성영상에서 GIHS의 융합결과는 정량적인 평가에서는 높은 공간정보량을 보이지만, 큰 분광왜곡에 의하여 원 멀티스펙트럴 영상의 특성을 표현하지 못하고

있는 반면에 라플라시안 필터를 이용한 하이브리드 융합 결과는 모든 개체에 대하여 효과적인 공간해상도를 보임을 확인할 수 있다. 시각적/정량적 평가를 종합하여 살펴보면, GIHS는 일부 평가지수(SAM)가 좋은 성능을 보임에도 불구하고, 시각적으로 가장 큰 분광왜곡이 존재하는 융합영상을 생성하였다. 따라서, GSA 융합기법이 GIHS 기법에 비하여 시각적, 정량적으로 분광왜곡이 작은 융합영상을 생성함을 알 수 있었다. 또한, GSA 융합기법을 기준으로 하여 볼 때, 라플라시안 필터와 평균기울기 기법을 이용한 기법이 보다 낮은 분광왜곡을 보이며, 라플라시안 필터를 이용한 기법이 평균 기울기를 이용한 기법에 비하여 우수한 공간정보량 결과를 보이기 때문에 라플라시안 필터를 이용한 하이브리드 융합 기법이 분광왜곡과 공간정보량의 향상이라는 측면에서 가장 효과적인 융합기법으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 하이브리드 융합 기법에 사용될 수 있는 다양한 고주파 정보 추출기법들을 이용하여 영상 융합을 수행하여 보고, 이에 따른 정량적인 분석을 통하여

하이브리드 융합 기법에 적합한 최적의 공간상관도 추출자를 결정하고자 하였다. Geoeye-1, QuickBird-2 위성영상을 이용한 실험결과, 라플라시안 필터와 평균기울기 기법을 이용한 하이브리드 융합 기법이 타 고주파 정보 추출기법들에 비하여 분광왜곡이 적은 융합영상을 생성할 수 있음을 상대적 비교를 통해서 정량적으로 확인하였다. 특히, 라플라시안 필터를 이용한 기법은 평균 기울기를 이용한 기법에 비하여 우수한 공간정보량을 보이며, 기존에 제안된 일반적인 위성영상 융합 기법에 비하여 분광왜곡 및 공간해상도의 향상이라는 측면에서 다양한 위성센서에 대하여 우수한 융합영상을 생성할 수 있다는 것을 정량적 분석과 시각적 비교평가를 이용하여 확인하였다. KOMPSAT-2, IKONOS-2 등과 같은 더욱 다양한 위성영상을 이용한 실험을 통하여 위의 결과를 더욱 검증하고, 라플라시안 필터를 이용한 하이브리드 융합 기법의 품질을 더욱 향상시킬 수 있는 수정된 알고리즘에 대하여 향후 연구를 진행할 계획이다. 최종적으로, 해당 결과물은 위성영상의 전처리를 비롯한 개체 추출, 도심지 분석, 영상 지도 제작 등의 다양한 원격탐사 응용분야에 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20100027762)

참고문헌

최재완 (2011), 공간 상관도 기반의 자동화된 매개변수 추출을 이용한 고해상도 위성영상의 하이브리드 융합 기법, 서울대학교 공학박사 학위논문.

Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A., and Selva, M. (2006), MTF-tailored multiscale fusion of high-resolution MS and Pan imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, No. 5, pp. 591-596.

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.

Aiazzi, B., Baronti, S., Lotti, F., and Selva, M. (2009), A comparison between global and context-adaptive pansharpening of multispectral images, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 6, No. 2, pp. 302-306.

Alparone, L., Wald, L., Chanussot, J., Thomas, C., Gamba, O., and Mann Bruce, L. (2007), Comparison of pansharpening algorithms: outcome of the 2006 GRS-S Data-Fusion contest, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No. 10, pp. 3012-3021.

Chibani, Y., and Houacine, A. (2002), The joint use of IHS transform and redundant wavelet decomposition for fusion multispectral and panchromatic images, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, No. 18, 2002, pp. 3821-3833.

Choi, J., Yu, K., and Kim, Y. (2011), A new adaptive component-substitution-based satellite image fusion by using partial replacement, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 49, No. 1, pp. 295-309.

Dou, W., Chen, Y., Li, X., and Sui, D. Z. (2007), A general framework for component substitution image fusion: an implementation using the fast image fusion method, *Computers and Geosciences*, Vol. 33, No. 2, pp. 219-228.

Hong, G., and Zhang, Y. (2008), Comparison and improvement of wavelet-based image fusion, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 3, pp. 673-691.

Khan, M. 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.

Tu, T. M., Huang, P. S., Hung, C. L., and Chang, C. P. (2004), A fast Intensity-Hue-Saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 1, No. 4, pp. 309-312.

Zhang, Y. (2004), Understanding image fusion, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 70, No. 6, pp. 653-660.

Zhou, J., Civco, D. L., and Silander, J. A. (1998), A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 4, pp. 743-757.