

영상의 분광 및 공간 특성을 이용한 고해상도 위성영상 융합 알고리즘

Pan-Sharpening Algorithm of High-Spatial Resolution Satellite Image by Using Spectral and Spatial Characteristics

최재완* · 김용일**

Choi, Jae Wan · Kim, Yong Il

要 旨

일반적으로, 영상 융합은 서로 다른 특징을 가지는 2개 이상의 영상을 이용하여 각 영상의 장점 및 특징을 모두 가지는 하나의 영상으로 재구성하는 것을 의미한다. 특히, 원격탐사 분야에서의 영상융합은 멀티스펙트럴 영상의 공간해상도를 향상시키는 것을 의미하며 이러한 이유로 인하여 Pan-sharpening 기술로도 불리어진다. 특히, 융합영상은 변화탐지, 영상 지도 제작, 도시 분석 등 다양한 분야에 적용 가능하기 때문에 중요성이 증대되고 있다. 그러나, 기존에 제안된 알고리즘들은 멀티스펙트럴 영상의 분광정보를 왜곡시키거나, 융합 영상의 공간해상도가 흑백 영상의 공간해상도에 비하여 저하되는 문제를 지닌다. 이를 위해 본 논문에서는 멀티스펙트럴 영상의 분광 및 공간특성을 고려한 새로운 융합 방법론을 제안하였다. 본 알고리즘의 평가를 위해서 KOMPSAT-2, QuickBird 위성영상에 알고리즘을 적용을 하였으며, 기존의 영상융합 알고리즘에 비하여 공간적/분광적인 측면에서 모두 향상된 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : Pan-sharpening, 공간해상도 저하, 분광왜곡, 분광 및 공간특성, 영상 융합

Abstract

Generally, image fusion is defined as generating re-organized image by merging two or more data using special algorithms. In remote sensing, image fusion technique is called as Pan-sharpening algorithm because it aims to improve the spatial resolution of original multispectral image by using panchromatic image of high-spatial resolution. The pan-sharpened image has been an important task due to various applications such as change detection, digital map creation and urban analysis. However, most approaches have tended to distort the spectral information of the original multispectral data or decrease the spatial quality compared with the panchromatic image. In order to solve these problems, a novel pan-sharpening algorithm is proposed by considering the spectral and spatial characteristics of multispectral image. The algorithm is applied to the KOMPSAT-2 and QuickBird satellite image and the results showed that our method can improve the spectral/spatial quality compared with the existing fusion algorithms.

Keywords : Pan-sharpening, spatial quality decrease, spectral distortion, spectral and spatial characteristics, image fusion

1. 서 론

IKONOS-2, QuickBird, KOMPSAT-2와 같은 위성 영상들은 높은 해상도의 흑백영상과 다양한 분광파장 대를 가지는 멀티스펙트럴 영상을 동시에 제공하고 있다. 일반적으로 높은 공간해상도의 위성영상은 개체 추

출 및 영상 판독 등에 용이하며, 멀티스펙트럴 영상은 토지피복의 분류 및 개체의 분광특성 분석에 장점을 가지고 있다. 원격탐사를 이용한 다양한 분석을 위해서는 고해상도의 멀티스펙트럴 영상을 사용하는 것이 이상적이지만, 센서의 물리적 한계로 인하여 고해상도의 멀티스펙트럴 영상은 이론적으로 제공하는 것이 불가능

2010년 5월 6일 접수, 2010년 6월 2일 채택

* 정희원 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 공간정보연구실 박사과정(choijw11@snu.ac.kr)

** 교신저자 · 정희원 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 교수(yik@snu.ac.kr)

하다(Y. Zhang, 2004). 따라서, 원격탐사 분야에서는 영상융합을 이용하여 높은 공간해상도의 흑백영상을 이용하여 멀티스펙트럴 영상의 공간해상도가 강제적으로 증가된 영상을 생성하게 되며 이러한 이유로 영상융합은 Pan-sharpening이라는 방법론으로도 정의되고 있다(J. Lee, and C. Lee, 2010). 1980년대 이후로, 다양한 위성영상의 융합 알고리즘이 제안되었으며, 고해상도 위성영상의 융합 기술은 위성의 발사에 맞추어 그 중요성이 증대되고 있는 실정이다. 대표적인 영상융합 기법은 MRA(Multi-Resolution Analysis) 기반의 기법과 CS(Component-Substitution)기반의 알고리즘으로 분류할 수 있다. MRA 기반의 융합방법은 웨이블릿(wavelet)이나 라플라시안 피라미드(laplacian pyramid) 등을 이용하여 흑백영상내에 존재하는 고주파 정보를 추출한 후, 이를 멀티스펙트럴 영상에 주입함으로써 융합영상을 생성하게 된다. 대표적인 MRA기반의 알고리즘은 a'trous 웨이블릿 방법을 멀티스펙트럴 영상의 융합에 일반화한 AWL(Additive Wavlet LHS), AWL 알고리즘을 다중자료에 대하여 재정의한 AWLP(Propotional AWL), PCA 변환과 웨이블릿 변환을 조합한 AWPC(Additive Wavelet Principle Componet)이 멀티스펙트럴 영상의 융합에 효과적인 것으로 알려져 있다(J. Nunez et al, 1999; X. Otazu et al, 2005; M. Gonzalez-Audicana et al, 2005). 또한, 라플라시안 피라미드를 기반으로 하여, 고주파정보를 context 정보에 기반하여 지역적으로 주입하는 SDM(Spectral Distortion Minimization), CBD(Context Based Decision) 방법들은 기존의 웨이블릿 기법보다 영상의 분광정보를 효과적으로 보존하는 것으로 알려져있다(L. Alparone et al, 2003; B. Aiazzi et al, 2006). 그러나, 대부분의 MRA기반의 방법들은 멀티스펙트럴 영상의 분광정보를 효과적으로 보존시켜주는 장점을 가지고 있지만, 흑백영상의 고주파정보로 인하여 영상 내의 개체들의 경계가 모호해지거나 블러링 현상 등으로 인하여 융합영상의 공간해상도가 흑백영상의 공간해상도에 비하여 낮아지는 지역이 발생하는 문제점을 가지고 있다.

CS기반의 융합기법은 멀티스펙트럴 영상을 이용하여 생성한 가상의 저해상도 흑백영상과 고해상도의 원 흑백영상의 차를 원 멀티스펙트럴 영상에 주입하는 방법이다. IHS(Intensity-Hue- Saturation) 변환을 비롯한 다양한 CS기반의 알고리즘이 제안되었으며(T. M. Tu et al, 2004; M. Gonzalez-Audicana et al, 2006; W. Dou et al, 2007), 원격탐사 상용소프트웨어에서도 CS기반의 알고리즘인 GS(Gram-Schmidt) Spectral Sharpening 모듈 등이 개발되어 사용자들에게 활발히

사용되어지고 있다. CS기반의 알고리즘은 MRA기반의 방법에 대하여 뛰어난 공간해상도를 가지는 융합영상을 얻을 수 있지만, 멀티스펙트럴 영상의 분광정보 왜곡되는 문제를 가지고 있다.

위에서 언급한 MRA 및 CS 기반의 융합알고리즘들은 분광적/공간적 측면에서 장단점을 가지고 있으며, 이로 인하여 융합된 영상의 품질을 더욱 향상시킬 수 있는 가능성을 지니고 있다고 할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 분광/공간특성을 이용한 자동화된 변수를 추출하고, 이를 융합 기법에 적용하는 융합 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안한 방법은 해당 영상에 적합한 최적화된 변수를 생성하는 것이 핵심이며, 대표적 영상 융합 기법인 MRA 및 CS 기반의 융합방법에 모두 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 제안한 알고리즘의 평가를 위해서 KOMPSAT-2 및 QuickBird 위성영상에 본 알고리즘을 적용해보고, 기존의 대표적인 융합기법과 정량적/시각적 평가를 통하여 제안한 기법의 우수성을 검증하고자 하였다.

2. 일반적인 영상 융합 기법

원격탐사 분야에서의 영상융합 기법은 기본적으로 흑백영상으로부터 고주파 정보 혹은 에지 정보를 추출한 후 이를 멀티스펙트럴 영상에 주입하는 순서로 이루어진다. i 번째 저해상도 멀티스펙트럴 영상을 $M_L(i)$, 고해상도 흑백영상을 P_H , 고해상도 융합영상의 i 번째 밴드를 $M_F(i)$ 라고 정의할 때, $M_F(i)$ 을 생성하기 위한 융합식은 (1)과 같다(B. Aiazzi et al, 2009).

$$M_F(i) = High(P_H) \cdot \omega(i) + M_L(i) \quad (1)$$

여기서, $High(P_H)$ 는 고해상도 흑백영상에서 추출한 고주파 혹은 에지 정보를 의미하며, $\omega(i)$ 는 멀티스펙트럴 영상에 주입되는 정보를 조절할 계수이다. 결과적으로 융합영상의 품질은 $High(P_H)$ 와 $\omega(i)$ 의 구성에 따라서 결정되어진다.

2.1 MRA 기반의 영상 융합

MRA 기반의 융합기법은 흑백영상의 해상도 조정을 통하여 해상도가 저하된 흑백영상을 생성하고, 이를 멀티스펙트럴 영상에 주입하는 방법이다. MRA 기법을 위하여 식 (1)은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$M_F(i) = (P_H - P_L) \cdot \omega(i) + M_L(i) \quad (2)$$

여기서, P_L 은 저해상도의 흑백영상을 의미하며, MRA 기반의 알고리즘에서 P_L 은 웨이블릿 변환, 라플라시안 피라미드 혹은 특정 필터의 적용을 통하여 P_H 의 해상도를 강제적으로 저하시켜 획득하게 된다.

2.2 CS 기반의 영상 융합

CS 기반의 융합기법은 멀티스펙트럴 영상을 이용하여 인위적으로 생성한 가상의 저해상도 위성영상과 흑백영상의 차이를 멀티스펙트럴 영상에 적용하는 방법이다. CS 기반의 융합식은 식 (3)과 같다.

$$M_F(i) = (P_H - I_L) \cdot \omega(i) + M_L(i) \quad (3)$$

여기서, I_L 은 가상의 저해상도 위성영상을 의미한다. I_L 은 멀티스펙트럴 영상의 평균치, 멀티스펙트럴 영상과 고해상도 흑백영상 간의 회귀분석 혹은 선형식을 이용하여 생성되어 지는데 융합 알고리즘에 따라서 세부 알고리즘이 변화하게 된다.

3. 제안한 영상융합 알고리즘

MRA 기법 및 CS기반의 융합 영상 알고리즘은 고해상도 흑백영상에서 추출되어지는 정보와 $\omega(i)$ 에 의하여 결정되어진다. 이를 위해서 특정 알고리즘에서는 경험식을 이용하여 $\omega(i)$ 를 도출하거나, 멀티스펙트럴 영상과 가상의 저해상도 영상간의 통계치를 이용하여 결정하게 된다. 멀티스펙트럴 영상의 각 밴드는 분광과 장대에 따라서 가상의 저해상도영상 혹은 저해상도의 흑백영상과의 공간적/분광적 특성이 상이한 양상을 보인다. 기존의 연구에서는 이러한 흑백영상과 멀티스펙트럴 영상간의 공간/분광특성을 고려하기 위하여 표준편차의 비율 혹은 밴드간의 공분산 및 분산 비를 이용하여 융합식의 계수를 결정하였다. 특히, CS기반의 알고리즘 중 가장 성능이 우수한 것으로 알려져있는 GS 융합 기법은 공분산 및 분산비를 이용하여 계수를 추출하는데 이는 식 (4)와 같다(C. A. Laben, and B. V. Brower, 2000).

$$\omega(i) = \frac{cov(I_L, M_L(i))}{var(I_L)} \quad (4)$$

여기서, var 는 해당 영상 내에 존재하는 화소들의 분산을 cov 은 영상 간의 공분산을 의미한다. 하지만, 위의 식을 이용할 경우, 일부 밴드간의 공간/분광 특성의

비율이 낮게 책정되어 일부 영상의 해상도가 저하되는 문제가 발생하며, 분광왜곡량도 더욱 최소화시킬 수 있는 가능성을 포함하고 있기 때문에, 본 논문에서는 영상의 표준편차 비와 에지정보의 상관도를 이용하여 새로운 계수를 정의하였다. 첫 번째로, 멀티스펙트럴 각 밴드별 영상 $M_L(i)$ 과 멀티스펙트럴 영상과 고해상도 흑백영상간의 회귀분석을 통하여 생성한 가상의 저해상도 영상 I_L 간의 에지정보의 상관도를 구하기 위하여 각 영상에 식(5)와 같은 라플라시안 필터를 적용하여 각 영상에 해당하는 고주파 정보 $High(M_L(i))$, $High(I_L)$ 를 추출하였다(J. Zhou et al, 1998).

$$Filter = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)를 통하여 추출되어진 고주파 정보간의 상관도를 계산하여 영상 내에 존재하는 공간정보의 유사도를 측정하였다(식 (6)).

$$E(i) = corr(High(M_L(i)), High(I_L)) \quad (6)$$

식 (6)의 공간정보의 유사도를 융합을 위한 계수로 산정할 경우, 밴드간에 존재하는 화소값의 통계적인 차이가 반영되지 않을 수 있다. 이를 위해 식 (6)에서 제안한 공간정보의 유사도와 각 영상의 화소의 표준편차의 비를 이용하여 최종적으로 식 (7)과 같은 계수 산출식을 구성하였다.

$$\omega(i) = \sqrt{\frac{std(M_L(i))}{std(I_L)} \cdot E(i)} \cdot \min\left(\frac{std(M_L(i))}{std(I_L)}, E(i)\right) \quad (7)$$

식 (7)에서 확인할 수 있는 것과 같이 제안된 계수는 공간상관도와 표준편차의 비의 기하평균을 기본으로 하며, 흑백영상의 고주파 정보가 주입될때, 멀티스펙트럴 영상과의 화소값의 상대적인 차이로 인하여 화소값이 과대하게 변화되는 것을 방지하기 위하여 기하평균에 사용한 각 변수 중 최소치를 곱하여 줌으로써 해당 밴드의 특성에 맞게 계수가 조정되도록 조정하였다. 추가적으로 본 연구에서 제안한 계수는 MRA, CS기반의 영상융합 기법에 모두 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

4. 알고리즘의 적용 및 실험 방법

4.1 실험 방법

위성영상의 융합결과를 평가하기 위해서는 고해상도 흑백영상과 동일한 공간해상도를 가지는 고해상도의 멀티스펙트럴 영상이 존재해야 하지만, 기준이 될 자료는 실제 존재하지 않는다는 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 멀티스펙트럴 영상과 흑백영상과의 공간해상도 차이를 기준으로 하여, 각각의 영상을 해상도 차이의 비율만큼 공간해상도를 강제적으로 낮춘 영상을 사용하였다. 예를 들어, KOMPSAT-2 영상(멀티 4m, 흑백 1m)이 있다고 가정하면, 가우시안 필터와 영상 보간법을 이용하여 16m, 4m의 공간해상도를 가지는 멀티스펙트럴 및 흑백영상을 생성한다. 강제적으로 해상도가 저하된 영상을 이용하여 4m급의 멀티스펙트럴 영상을 생성한 후, 이를 원 멀티스펙트럴 영상과 비교하여 정량적 평가를 수행하였다(최재완과 김형태, 2008). 정량적 평가를 위해서는 영상의 분광왜곡량을 평가하는 척도인 ERGAS(Erreur Globale Adimensionnelle de Synthèse), SAM (Spectral Angle Mapper), Q4 지수를 사용하였다(L. Alparone et al, 2007). ERGAS는 융합영상의 전역적인 분광왜곡량을 정량화하는 척도로서 식 (8)과 같다.

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{RMSE^2(B_i)}{M_i^2}} \quad (8)$$

여기서, h 는 흑백영상의 공간해상도, l 은 멀티스펙트럴 영상의 공간해상도, B_i 는 i 번째 멀티스펙트럴 영상, $RMSE$ 는 융합영상과 원 멀티스펙트럴 영상간의 제곱근오차, M_i 는 융합영상 각각의 스펙트럴 영상 밴드의 평균 복사휘도이다. ERGAS는 값이 작을수록 융합영상의 분광왜곡량이 적음을 의미한다. SAM은 각 멀티스펙트럴 영상의 각 화소의 절대적인 분광각차이를 계산하는 알고리즘이다. 융합영상의 화소 벡터를 v , 원영상의 화소벡터를 \hat{v} 라고 할 때, 벡터간의 분광각 오차는 식 (9)를 통하여 계산할 수 있다.

$$SAM = \arccos \left(\frac{\langle v, \hat{v} \rangle}{\|v\|_2 \cdot \|\hat{v}\|_2} \right) \quad (9)$$

SAM 지수도 ERGAS와 마찬가지로 값이 작을수록 융합영상의 분광왜곡량이 적음을 의미한다. Q4 지수는 효율적인 영상융합평가지수로 알려진 Q지수를 멀티스

펙트럴 영상에 대하여 일반화되도록 수정한 지수이다. 멀티스펙트럴 영상의 한 화소를 다차원수(hypercomplex number)로 가정하여 융합영상과 원 멀티스펙트럴 영상간의 분광유사도를 측정하는 방법이며 식 (10)과 같다(L. Alparone et al, 2004).

$$Q4 = \frac{|\sigma_{z_1 z_2}|}{\sigma_{z_1} \sigma_{z_2}} \frac{2\sigma_{z_1} \sigma_{z_2}}{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2} \frac{2\|\bar{z}_1\| \|\bar{z}_2\|}{\|\bar{z}_1\|^2 + \|\bar{z}_2\|^2} \quad (10)$$

여기서, z_1 은 융합영상 화소의 다차원수 벡터, z_2 는 원 멀티스펙트럴 영상 화소의 다차원수 벡터, $\sigma_{z_1 z_2}$ 는 z_1 과 z_2 의 공분산, σ_{z_1} 은 융합영상 다차원수 벡터의 표준편차, \bar{z} 는 다차원수 벡터의 최확값을 의미한다. Q4 지수는 특정 윈도우 내의 화소에 대해서 구한 후, 이들의 평균값을 사용하며, 1에 근접할 수록 융합영상의 분광왜곡량이 적음을 의미한다. 본 연구에서는 64*64 크기의 윈도우를 사용하여 Q4지수를 산출하였다. 시각적 평가의 경우에는 해상도가 저하된 영상을 사용할 경우에 개체의 에지정보 등에 대한 세부적인 비교가 어렵기 때문에 원 멀티스펙트럴 영상과 흑백영상을 융합한 결과를 사용하여 융합 방법간의 결과 비교를 수행하였다. 제안한 알고리즘의 분광보존력과 시각적 판독력의 우수성을 검증하기 위해서 기존의 연구에서 우수한 성능을 보이는 것으로 알려진 MRA기반의 GLP, AWLP 알고리즘과 CS기반의 GIHS(Generalized IHS), GSA(GS Adaptive) 알고리즘과 비교평가를 수행하도록 하였다(B. Aiazzi et al, 2009; X. Otazu et al, 2005). 제안한 알고리즘의 계수는 MRA, CS기반의 기법에 모두 사용 가능하기 때문에 2가지의 융합 방법에 모두 적용해보았다.

4.2 사용데이터

본 실험에서는 2007년 10월 5일에 취득한 대전지역의 KOMPSAT-2 영상(공간해상도 : 1m(흑백영상 기준))과 2006년 10월 28일에 취득한 대전지역의 QuickBird영상(공간해상도 : 0.6m)을 사용하였다. 영상 중 도심지와 수목지역이 혼재한 512*512 화소지역(멀티스펙트럴 영상 기준)을 추출하여 융합대상으로 설정하였으며, 노이즈 제거나 스트레칭을 통해 화소값이 변화되지 않은 11 bit 원영상을 실험에 사용하였다. 대상지역은 그림 1과 같다.

4.3 제안한 알고리즘의 설정

제안한 알고리즘의 적용을 위하여 1차적으로 멀티스

펙트럴 영상 및 고해상도 흑백영상을 이용하여 가상의 저해상도 영상을 생성하게 된다. 생성한 저해상도 영상과, 멀티스펙트럴 영상, 흑백영상을 이용하여 식(7)의 밴드별 계수를 산정하게 된다. 흑백영상의 고주파 정보는 적용되는 융합방법에 따라서 변화하는데, CS기반의 경우, 흑백영상과 회귀분석을 통하여 생성한 저해상도 영상 간의 차이를 통하여 생성하며, MRA기반의 경우에는 고해상도 흑백영상에 $a'trous$ 웨이블릿 변환을 통하여 고주파정보를 생성하였다. CS, MRA 기반 기법을 통해 생성된 고주파 정보는 식 (2), (3), (7)을 통하여 멀티스펙트럴 영상에 주입되어 최종적으로 융합영상을 구성하였다.

5. 결 과

제안한 알고리즘의 정량적 평가는 앞에서 언급한 바와 같이 강제적으로 공간해상도를 저하시킨 영상을 사용하여 수행하였다. 이상적인 평가를 위하여 흑백영상 및 멀티스펙트럴 영상에 가우시안 필터를 적용한 후에 영상의 축소, 확대 과정을 거쳐 해상도가 저하된 영상을 생성하는 방법을 선택하였으며, 그림 1의 영상을 이용한 각 융합 알고리즘 별 융합영상의 결과는 표 1, 2와 같다.

표 1, 2에서 확인할 수 있는 것처럼 제안한 기법을 사용한 융합 영상의 결과가 기존의 알고리즘에 비하여 우수한 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 특히 CS기반의 융합 기법을 기반으로 하여 제안한 자동화 계수를 적용한 융합 결과가 전체적으로 가장 뛰어난 결과를 보임을 확인 할 수 있다. QuickBird 영상의 SAM 지수의 경우에 AWLP가 가장 좋은 결과를 보이기는 하지만 CS, MRA 기반 기법에 대하여 제안한 방법론을 적용하였을 경우에 위성영상에 상관없이 전반적으로 가장 안정적인 결과를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 표 1, 2 및 기존의 연구에서는 CS기반의 기법에 비하여 MRA 기반의 기법이 분광적으로 왜곡이 적다고 알려져있는데, 제안한 방법의 경우에는 CS 방법을 기반으로 하였을 때 분광왜곡량이 더욱 적은 것도 확인할 수 있었으며, 이는 제안한 알고리즘이 CS 기반의



(a) KOMPSAT-2 위성영상



(b) QuickBird 위성영상

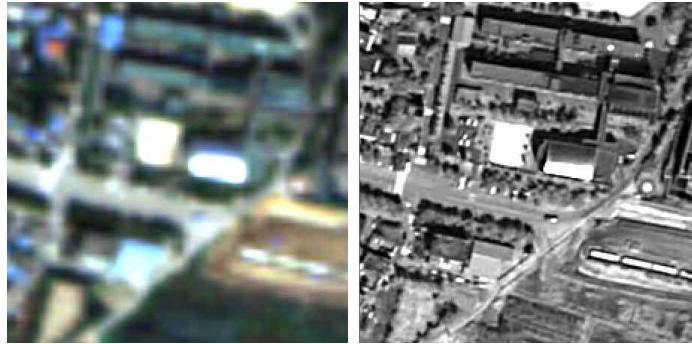
그림 1. 실험영상

표 1. KOMPSAT-2 영상의 융합 평가

	ERGAS	SAM	Q4
GIHS	2.509	3.003	0.882
GSA	2.512	2.954	0.892
GLP	2.567	3.043	0.906
AWLP	2.509	2.837	0.909
CS기반 제안방법	2.237	2.805	0.916
MRA기반 제안방법	2.326	2.905	0.918

표 2. QuickBird 영상의 융합 평가

	ERGAS	SAM	Q4
GIHS	3.68	3.263	0.866
GSA	2.296	2.536	0.932
GLP	2.355	2.504	0.938
AWLP	2.175	2.277	0.943
CS기반 제안방법	2.114	2.359	0.945
MRA기반 제안방법	2.139	2.397	0.945



(a) 멀티스펙트럴 영상 (b) 고해상도 흑백영상



(c) GIHS 융합 결과 (d) GSA 융합 결과 (e) 제안한 융합결과(CS기반)



(f) AWLP 융합 결과 (g) GLP 융합 결과 (h) 제안한 융합결과(MRA기반)

그림 2. KOMPSAT-2 영상에 대한 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘(CS 기반 및 MRA 기반)의 융합 결과의 세부 영상

융합기법을 기준으로 적용될 때 최적의 결과를 얻을 수 있다는 것을 의미하는 것으로 파악된다. 표 1, 2의 ERGAS, SAM, Q4 지수는 융합 영상과 원 영상과의 분광유사도를 표현하는 지수이기 때문에, 융합 알고리즘의 중요한 척도인 원 흑백영상의 공간해상도 유지를 평가할 수 없는 문제를 지니고 있다. 본 연구에서는 이러한 융합 영상의 공간해상도 유지를 평가하기 위해서 원 공간해상도의 KOMPSAT-2 영상을 융합하고 융합

결과의 공간해상력을 시각적으로 평가하고자 하였다. 원 해상도를 가지는 KOMPSAT-2 영상의 융합 결과는 그림 2와 같다. 그림 2에서 확인할 수 있는 것처럼 CS 기반의 알고리즘(그림 2(c), (d), (e))에 비하여 MRA 기반의 알고리즘(그림 2(f), (g), (h))의 융합결과에서 공간해상도의 저하가 발생함을 확인할 수 있다. 특히, 작은 개체들이 밀집해 있는 건물 지역의 명확도가 CS 기반의 융합 결과에 비해 낮은 모습을 보이며, 일부 식

생지역에서도 blurring이나 aliasing과 같은 문제점이 나타난다. 또한, 제안한 알고리즘의 결과(그림 2.(e), (h))는 기존방법과 유사하거나 좋은 시각적 관독력을 가지는 것을 확인할 수 있다. 분광왜곡에 있어서는 표 1과 마찬가지로 시각적인 측면에서도 제안한 알고리즘의 결과가 원 멀티스펙트럴 영상과 유사한 색상을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 결과적으로 제안한 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비하여 분광적/시각적 측면에서 모두 우수한 융합결과를 보였다.

6. 결론

본 연구에서는 고해상도 위성영상의 융합과정에서 발생하는 분광해상도의 왜곡 및 공간해상도의 저하문제를 최소화하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 멀티스펙트럴영상과 가상의 저해상도 영상간의 공간 정보 유사도와 표준편차의 비를 이용하여 영상 융합에 사용할 자동화된 계수를 추출하였다. 특히, 본 알고리즘에서 산정된 계수는 대표적인 영상 융합 기술인 CS, MRA 기반의 융합 기법에 모두 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 알고리즘의 우수성을 입증하기 위하여 KOMPSAT-2 및 QuickBird 영상에 대하여 여러 연구에서 기존에 제안된 알고리즘과의 비교 평가를 수행하였다. ERGAS, SAM, Q4 지수를 이용한 분광왜곡량의 정량적 평가 및 원래의 공간해상도를 가지는 영상을 이용한 융합영상의 시각적 평가를 통하여 본 논문에서 제안한 자동화된 계수 및 융합 결과가 기존의 알고리즘에 비하여 우수한 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20090085392).

참고문헌

1. 최재완, 김형태, 2008, "수정된 영상 유도 기법을 통한 융합영상의 분광정보 향상 알고리즘", *지형공간정보, 한국지형공간정보학회지*, 제 16권, 3호, pp. 15-20.
2. B. Aiazzi, L. Alparone, S. Baronti, A. Garzeli, and M. Selva, 2006, "MTF-tailored multiscale fusion of high-resolution MS and Pan imagery", *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, Vol.72, No.5, pp.591-596.

3. B. Aiazzi, S. Baronti, F. Lotti, and M. Selva, 2009, "A comparison between global and context-adaptive pansharpening of multispectral images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol.6, No.2, pp.302-306.
4. C. A. Laben, and B. V. Brower, 2000, "Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening", *U.S. Patent 6011875*, Tech. Rep., Eastman Kodak Company.
5. J. Lee, and C. Lee, 2010, "Fast and Efficient Panchromatic Sharpening", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.48, No.1, pp.155-163.
6. J. Nunez, X. Otazu, O. Fors, A. Prade, V. Pala, and R. Arbiol, 1999, "Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.37, No.3, pp.1204-1211.
7. J. Zhou, D. L. Civco, and J. A. Silander, 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.
8. L. Alparone, B. Aiazzi, S. Baronti, and A. Garzelli, 2003, "Sharpening of very high resolution images with spectral distortion minimization", *Proc. IGARSS*, pp.21-25.
9. L. Alparone, S. Baronti, A. Garzelli, and F. Nencini, 2004, "A global quality measurement of pan-sharpened multispectral imagery", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol.1, No.4, pp.313-317.
10. L. Alparone, L. Wald, J. Chausot, C. Thoma, O. Gamaba, and L. Mann Bruce, 2007, "Comparison of pan-sharpening algorithms: outcome of the 2006 GRS-S Data-Fusion Contest", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.45, No.10, pp.3012-3021.
11. M. Gonzalez-Audicana, X. Otazu, O. Fors and A. Seco, 2005, "Comparison between Mallat's and the a'trous discrete wavelet transformation based algorithms for the fusion of multispectral and panchromatic images", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.26, No.3, pp.595-614.
12. M. Gonzalez-Audicana, X. Otazu, O. Fors, and J. A. Alvarex-Mozos, 2006, "A low computational-cost

- method to fuse IKONOS images using the spectral response function of its sensors”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.44, No.6, pp.1683–1691.
13. T. M. Tu, P. S. Huang, C. L. Hung, and C. P. Chang, 2004, “A fast intensity– hue–saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol.1, No.4, pp.309–312.
 14. W. Dou, Y. Chen, X. Li and D. Z. Sui, 2007, “A general framework for component substitution image fusion: An implementation using the fast image fusion method”, *Computers & Geosciences*, Vol.33, pp.219–228.
 15. X. Otazu, M. Gonzalez–Audicana, O. Fors, and J. Nunez, 2005, “Introduction of sensor spectral response into image fusion methods. Application to wavelet–based methods”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.43, No.10, pp.2376–2385.
 16. Y. Zhang, 2004, “Understanding image fusion”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.70, No.6, pp.653–660.