

MODIS 해상도 향상을 위한 합성 방법의 비교

Comparison of the fusion methods for generating of 250m MODIS data

김선화, 강성진, 이규성

Sun-Hwa Kim, Sung-Jin Kang, and Kyu-Sung Lee

인하대학교 지리정보공학과 원격탐사연구실

E-mail: rssid@inha.ac.kr, Tel: 032-860-8805

요약: 최근 전 세계적으로 많이 활용되는 MODIS영상은 250m 밴드 2개, 500m 밴드 5개, 1km 해상도의 밴드 29개로 제공된다. 그러나, 국내의 경우 상대적으로 국토 면적이 작고, 그 구조가 복잡하여 MODIS영상의 1km, 500m의 낮은 공간해상도는 제약점으로 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 공간해상도의 제약점을 해결하기 위해, MODIS 250m 2개 밴드와 500m 5개 밴드 영상을 합성하여 250m 공간해상도의 7개 밴드를 제작하였다. 이를 위해 Wavelet 합성방법을 비롯한 7개 합성방법을 적용하였으며, 6개의 통계적 합성평가 척도를 적용하여 MODIS 합성 결과를 분석하였다. 연구 결과, 육안평가로는 LMVM 합성기법이 가장 선명한 합성영상을 제시하였으며, 합성평가 척도에서는 각 밴드별로 적합한 합성기법이 다르게 나왔으나, 전체적으로 PCA, LST, LMVM합성방법이 상대적으로 우수한 합성결과를 나타냈었다.

Key words: MODIS, 합성, 공간해상도, 합성평가척도

서론

전 지구를 하루에 총 4번을 촬영하는 Terra/Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS)영상은 36개의 풍부한 분광정보로 인해 최근 대기, 육지, 해양 분야에서 많이 활용되고 있다. MODIS의 밴드 구성을 살펴보면, 250m 공간해상도의 밴드 2개, 500m 밴드 5개, 1km 밴드 29개로 구성되어 있다. 또한 MODIS영상을 이용하여 다양한 주제 영상 및 자료들을 제공되고 있으며, 대부

분 1km의 공간해상도로 제공된다. 그러나, 국내의 경우 상대적으로 국토면적이 작고, 그 구성 구조가 복잡하여 1km MODIS영상의 활용이 제약되고 있는 실정이다. 또한 1km, 500m의 낮은 MODIS의 공간해상도는 MODIS 각종 주제 영상 및 자료의 정확도를 저하시키는 주요 요인으로 지적되어지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 시도로, Sirguey 등(2008; 2009)은 250m와 500m MODIS영상에 Wavelet합성기법을 적용하여 250m 합성된 MODIS영상으로 눈 탐지 정확도를 향상시켰다. 이

와 같은 MODIS의 공간해상도 향상은 국내의 MODIS 활용을 증대시킬 수 있으며, 각종 MODIS 주제영상 및 자료의 정확도를 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 250m 밴드 2개와 500m 밴드 5개에 기존의 다양한 합성기법을 적용하여 250m급 MODIS 영상을 제작하였으며, 다양한 합성 평가 척도를 통해 MODIS영상의 합성 결과를 비교, 분석하였다.

사용한 자료

다음 표 1은 본 합성연구에 사용된 MODIS 자료의 특징과 MODIS 밴드 구성을 보여주고 있다. 합성을 위해 본 연구에서는 남한 일대의 2005년 4월 5일 Terra MODIS radiance (MOD02)영상을 사용하였다. 합성의 대상은 250m MOD02QKM(밴드1,2)과 500m MOD02HKM(밴드3,4,5,6,7)영상으로 합성을 통해 250m MODIS 7개의 밴드영상을 획득할 수 있다.

표 1. 합성에 사용한 자료

제원	특징
센서	Terra MODIS
촬영일시	2005년 4월 5일 오전 10시 30분
자료	MOD02QKM, MOD02HKM
MOD02QKM (250m)	밴드1:0.62-0.67 μ m 밴드2:0.841-0.876 μ m
MOD02HKM (500m)	밴드3:0.459-0.479 μ m 밴드4:0.545-0.565 μ m 밴드5:1.230-1.250 μ m 밴드6:1.628-1.652 μ m 밴드7:2.105-2.155 μ m

합성 방법

기존의 영상 합성 사례에서는 한 개의 고해상도 영상과 여러 밴드의 저해상도영상의 합성이 시도되었다. 그러나 MODIS의 경우 고해상도 밴드가 2개, 저해상도 밴드가 5개 영상이므로, 합성 시 적합한 밴드 조합이 필요하다. 이는 합성의 대상인 고해상도 영상과 저해상도 영상이 비슷한 분광정보를 가질수록 합성 후 저해상도 영상의 분광정보가 유지되어야 하기 때문이다.

최적의 합성 결과를 위해 본 연구에서는 대상 영상의 통계치와 히스토그램을 비교, 분석하였다. 표 2에서와 같이 250m 적색광 영역의 밴드 1과 500m 청색광 영역의 밴드 3, 녹색광 영역의 밴드 4가 비슷한 radiance값의 범위와 통계치로 나타났다. 이와 함께 250m 근적외선 영역의 밴드 2와 500m 근적외선 영역의 밴드 5와 중적외선 밴드 6, 7과의 통계치가 상대적으로 비슷한 수치를 보였다. 이는 합성 시 가시광선밴드 구간과 근, 중적외선밴드 구간으로 나눠 합성을 수행해야 될 필요성을 보여주는 것이다.

표 2. MODIS 영상의 기초 통계치

통계치	평균	표준편차	최소값	최대값
Band1	2,048.0	292.7	0	8,605
Band2	3,890.9	932.3	0	20,613
Band3	4,779.6	356.4	0	6,329
Band4	3,734.0	367.9	0	5,998
Band5	3,587.8	1,213.4	0	7,496
Band 6	3,555.4	1,392.9	0	8,828
Band 7	2,999.6	1,269.3	0	9,940

통계치와 마찬가지로 히스토그램에서도 이 두개의 밴드조합 형태가 나타난다. 우선 가시광선영역의 밴드인 250m band 1 과 500m band 3, 4는 공통적으로 집중형 히스토그램의 모양을 보이고 있으며, 두개의 최빈값(peak)을 보이고 있다. 반면에 근, 중적외선 영역의 경우, 분산형 모양을 보이며, 3개의 최빈값(peak)을 공통적으로 나타냈다. 물론, 최빈값, 평균값, 표준편차값은 밴드별로 차이가 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 표 3에서와 같이 밴드 조합을 대상으로 다양한 합성 방법과 합성 척도를 적용할 예정이다.

표 3. 합성을 위한 밴드 조합

고해상도(250m)	저해상도(500m)
Band 1(0.645 μ m)	Band 3(0.469 μ m), Band 4(0.555 μ m)
Band 2(0.858 μ m)	Band 5(1.24 μ m), Band 6(1.64 μ m), Band 7(2.13 μ m)

본 연구에서는 Brovey 변환, PCA, Gram-Schmidt 합성방법, LMVM (local mean and variance matching method), Least square fusion, Wavelet, Wavelet-PCA 합성방법을 비교하였다.

우선 Brovey 변환 합성방법은 식 1과 같은 수학적 조합기술로, 고해상도영상을 저해상도 영상의 합으로 나눈 비를 각 저해상도영상에 곱한 형태이다. 본 방법은 일반적으로 영상 전체의 최소값과 최대값의 차이를 강조하는 방식으로 육안으로 합성 효과가 있으나, 본 저해상도 영상의 광학적 정보를 유지하는데 문제가 있다 (Karathanassi et al., 2007).

$$F_i = \frac{LR_i}{\sum LR_i} HR \quad \text{식 1}$$

Principle components fusion algorithm (PCA)는 수학적 변환을 이용한 합성방법으로 PCA 변환 후 PC-1자료를 고해상도 영상으로 대체 후 역 PCA변환한다. 이때 중적외선 밴드의 영상 전체 휘도 (luminance)와 가시광선밴드의 영상 전체 휘도가 같다는 가정으로 합성이 시도되어 진다(Karathanassi et al., 2007).

Gram-Schmidt 합성 방법은 PCA합성 방법과 비슷한 방식으로, 저해상도 영상으로부터 고해상도 영상을 시뮬레이션 한 후, 이 영상들에 Gram-Schmidt orthogonal 변환을 수행한다. 이때 첫 번째 GSO-1을 고해상도 영상으로 대체하여 역변환을 수행하는 방식을 취하고 있다 (Laben et al., 2000).

Local mean and variance matching (LMVM) 합성 방법은 다음 식 2와 같이, 고해상도영상의 지역적 평균값과 표준편차값을 저해상도영상의 지역적 통계치값에 맞추는 필터링 방식이다. 이를 통해, 저해상도영상과 합성 결과영상과의 분광적 차이를 최소화할 수 있는 방법이다.

$$F_{i,j} = \frac{(HR_{i,j} - \overline{HR_{i,j(w,h)}}) \times std(LR)_{i,j(w,h)}}{std(HR)_{i,j(w,h)}} + \overline{LR_{i,j(w,h)}} \quad \text{식 2}$$

Least square 합성 방법은 최적의 칼라 영상의 제작을 위해 저해상도영상, 고해상도 영상, 합성 결과영상의 화소값의 관계를 최소제곱법으로 추정하는 방식이다. 이러한 통계적 방식을 통해 보다 표준적이

고 자동적인 합성방법이 제시되었다 (Karathanassi et al., 2007).

Discrete wavelet 합성방법은 기존 연구 MODIS 합성연구에 사용되었던 ARSIS 방식을 적용하였으며, 그림 1과 같은 과정을 거친다. DWT를 거친 영상은 원 공간 해상도의 2배인 낮은 공간해상도를 가지게 되며, 1개의 contexture영상과 3개의 coefficient영상이 제작된다. 우선 250m 영상(고해상도)을 2번의 DWT를 거쳐 1km 공간해상도의 영상으로 분해하고, 500m 영상(저해상도)을 1번의 DWT를 수행하여 1km 공간해상도로 분해한다. 이때 두 종류의 1km 분해 영상 중 coefficient영상 간에 모델을 식 3과 같이 추정한다. 그 후 이 모델을 250m 영상(고해상도)에 1번의 DWT를 적용한 500m의 coefficient영상에 적용하여 새로운 500m coefficient영상을 제작 후, 이 영상들과 원 MODIS 500m 영상(저해상도)을 contexture영상으로 입력하여 역 DWT를 수행한다. 이를 통해 합성된 250m MODIS영상이 제작되어진다 (Sirguy et al., 2008; 2009).

$$C_{LR_{1-2}}^z = a^z C_{HR_{1-2}}^z + b^z \quad \text{식 3}$$

C: Coefficient 영상

Z: 대각선, 수직, 수평 방향

마지막으로 Wavelet-PCA 합성 방법으로, PCA변환 후, Wavelet 변화결과영상을 PC-1에 대체한 후 역 PCA변환을 수행하는 방식을 취한다(King and Wang, 2001). 이는 분광적 왜곡 및 손실을 최소화하기 위한 방법으로 개발되었다(Karathanassi et al., 2007).

합성 평가 지수

위와 같이 총 7개의 합성방법을 적용하고, 합성방법 및 결과를 비교하기 위해 본 연구에서는 육안판독과 함께 6개의 다양한 합성평가지수를 사용하였다. 이러한 평가지수는 원 500m MODIS 5개 밴드인 저해상도영상이 가지고 있던 분광 정보를 합성된 250m MODIS영상에서 얼마나 유지하는지에 대한 척도이다. 표 4에서는 각 평가지수의 수식을 보여주고 있으며, 상관계수, PSNR, UQI는 높을수록, RDM, RVD, DI는 낮을수록 합성결과가 좋다고 할 수 있다(Karathanassi et al., 2007).

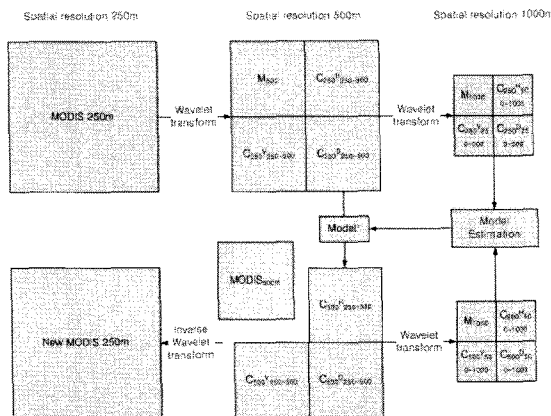


그림 1. DWT를 이용한 MODIS합성과정

- (1) 상관계수(Correlation)
- (2) Relative difference of means (RDM)
- (3) Relative variation difference(RVD)
- (4) Deviation index (DI)
- (5) Peak signal to noise ratio index (PSNR)
- (6) Universal Image Quality Index (UQI)

표 4. 합성 평가지수의 종류와 식
(F: 합성영상, LR: 저해상도영상)

척도	수식
RDM	$\frac{\overline{F-LR}}{\overline{LR}}$
RVD	$\frac{\sigma_F^2 - \sigma_{LR}^2}{\sigma_{LR}^2}$
DI	$\frac{1}{R \times C} \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C \frac{ F_{i,j} - LR_{i,j} }{LR_{i,j}}$
PSNR	$PSNR = 20 \log_{10} \frac{Peak}{\sqrt{MSE}}$ $MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - LR_i)^2$
UQI	$\frac{\sigma_{F \cdot LR}}{\sigma_F \sigma_{LR}} \frac{2\overline{F \cdot LR}}{(\overline{F})^2 + (\overline{LR})^2} \frac{2\sigma_{F \cdot LR}}{\sigma_F^2 + \sigma_{LR}^2}$

합성 결과

우선, 합성영상의 육안판독을 통해 해상도의 향상을 살펴볼 수 있었다. 그림 2에서와 같이 MODIS 500m 저해상도 원영상과 250m 합성 MODIS영상을 살펴보면, 해상도가 향상된 것을 볼 수 있다. 그러나, PCA나 Gram-Schmidt 합성방법은 원영상의 칼라합성영상과 비교할 때 약간 다른 색감을 나타내는 것을 볼 수 있다. 그 외에 다른 합성방법은 원영상과 거의 비슷한 합성영상을 제공하였다. 그중 육안으로 볼 때 LMVM 합성방법이 가장 선명한 합성영상을 나타내었는데 특히 육지 경계선 측면이 보다 선명하고, 색감도 본 영상과 가장 비슷한 결과를 보였다.

이와 함께 합성 평가척도를 살펴보면, 5개의 밴드(밴드 3, 4, 5, 6, 7)에 따라 다른 최적의 합성방법이 제시되었다. 우선, 가시광선밴드인 band 3과 근적외선 밴드

인 band 5는 PCA 합성방법이 가장 좋은 합성 결과를 보이며, 중적외선 밴드인 band 6, 7은 Gram-Schmidt 합성방법이 최적의 방법으로 제시되었다. 녹색광영역인 band 4는 LST와 LMVM방법이 최적의 합성방법으로 나타났다. MODIS의 전체 밴드를 대상으로 하였을 경우 표 5와 같이, LST, PCA, LMVM방법이 높은 평가척도를 보이고 있다.

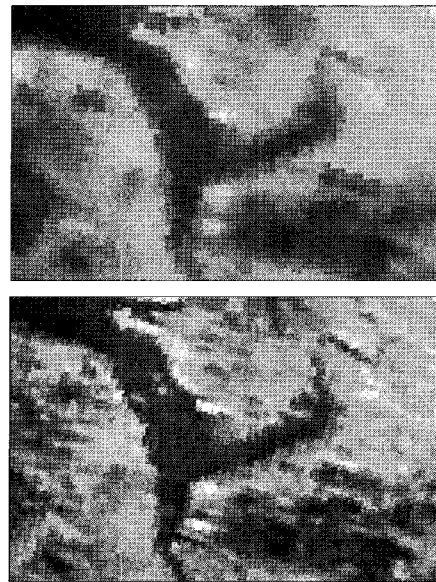


그림 2. 원 MODIS 500m영상(위)와 250m 합성영상(우)

결론

본 연구에서는 MODIS의 정확도를 향상시키고, 활용성을 증대시키는 방안으로 공간해상도를 향상시키는 연구를 진행하였다. 이를 위해 MODIS의 250m 밴드 2개와 500m 밴드 5개에 7개의 다양한 합성방법을 합성하여 250m 밴드 5개 영상을 제작하였다. 이 합성된 영상의 평가를 위해, 육안판독과 함께 6개의 평가척도를 사

표 5. MODIS 5개 밴드의 평균 합성 평가 척도

척도	Bro	PCA	Gram	LST	Wavelet	LMVM	W+PCA
Corr.	0.870	0.785	0.884	0.798	0.999	0.755	0.759
RDM	1.590	0.937	-0.213	-0.214	-0.750	-0.524	-0.210
RVD	2.214	1.893	-0.491	-0.451	-0.500	-0.213	-0.481
DI	2.091	1.039	0.444	0.427	0.500	0.420	0.447
PSNR	32.684	37.207	33.644	33.455	30.631	32.840	33.007
UQI	0.000025	0.000039	0.000030	0.000037	0.000003	0.000032	0.000016

용하였다. 육안판독결과 LMVM 합성결과가 가장 선명하면서 색감을 유지하는 것으로 나타났다. 평가척도의 경우 각 밴드별로 최적의 합성기법이 제시되었는데, 전체 밴드의 평균결과를 살펴보면, LST, PCA, LMVM 합성 방법이 합성결과가 우수하게 나타났다. 이와 같이, MODIS 500m 5개 밴드에 대해 단일의 최적합성방법이 제시되지 못한 원인으로는 MODIS의 합성방식이 기존 단일 고해상도영상과 다수의 저해상도영상의 합성 방식을 취한데 반해, MODIS는 2개의 고해상도영상과 다수의 저해상도영상의 합성 방식을 취하고 있기 때문으로 판단된다.

향후 연구에서는 MODIS의 다양한 밴드에 공통적으로 최적의 합성결과를 보이는 합성 기법 개발을 진행할 예정이다.

사사

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제(과제번호 : 07국토정보C03)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Karathanassi V., Kolokousis P., and

Ioannidou S., 2007. A comparison study on fusion methods using evaluation indicators, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28(10), pp.2309-2341.

King R. and Wang J., 2001. A wavelet based algorithm for pan sharpening Landsat 7 imagery, *IGARSS'01*, pp. 849-851.

Laben E.A., 2000. Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening(Gram-Schmidt), US patent: USA, Eastman Kodak Company.

Sirguey P. et al., 2008. Improving MODIS spatial resolution for snow mapping using Wavelet fusion and ARSIS concept, *IEEE Geoscience and Remote sensing letters*, Vol. 5(1):78-82.

Sirguey P. et al., 2009. Subpixel monitoring of the seasonal snow cover with MODIS at 250m spatial resolution in the Southern Alps of New Zealand: Methodology and accuracy assessment, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113:160-181.