

Fast IHS 변환을 이용한 trade-off 영상 융합기법

김용현*, 김윤수**

A Trade-off Image Fusion Technique Using
Fast Intensity-Hue-Saturation Transform

Yong-Hyun Kim*, Youn-Soo Kim**

Abstract

In the satellite image fusion, the most important point is to preserve both the spatial detail of panchromatic(PAN) image and the spectral information of multispectral(MS) image. Among various image fusion techniques, fusion technique using Intensity-Hue-Saturation(IHS) transform is widely used and it has advantage that computation is very simple. In this study, a fusion technique using fast IHS transform and trade-off parameter α^i proposed. Proposed fusion technique permits customization of the trade-off between the spectral information and spatial detail quality of the fused image through the evaluation of two quality indices: a spectral index(the spectral ERGAS) and a spatial one(the spatial ERGAS). Based on the result of experiment using IKONOS image, we confirmed the proposed fusion technique was more effective in preserving spatial detail and spectral information than existing fusion techniques using fast IHS transform.

초 록

위성영상의 융합에 있어, 가장 중요한 점은 전정영상의 공간적 세밀함과 다중분광영상의 분광정보 모두를 보존하는 것이다. 다양한 영상융합 기법 중에서, IHS 변환을 이용한 융합기법은 폭넓게 사용되고 있으며, 계산과정이 매우 단순하다는 장점을 갖고 있다. 본 연구에서는, fast IHS 변환과 trade-off 파라미터 α^i 를 이용한 융합기법을 제안한다. 제안한 융합 기법은 분광 ERGAS와 공간 ERGAS의 평가를 통하여, 융합영상에서 분광정보와 공간적 세밀함 사이의 trade-off 최적화를 가능하게 한다. IKONOS 영상의 실험결과, 제안한 기법은 기존의 fast IHS 변환을 이용한 융합기법에 비해 공간적 세밀함과 분광정보의 보존측면에서 더 효과적임을 확인할 수 있었다.

키워드 : 영상융합(image fusion), fast IHS 변환(Intensity-Hue-Saturation transform), trade-off

접수일(2008년12월17일), 수정일(1차 : 2009년 9월 12일, 2차 : 2009년10월 6일, 게재 확정일 : 2009년 11월 1일)

* 위성정보연구소/kyh@kari.re.kr

** 위성정보연구소 /younsoo@kari.re.kr

1. 서 론

영상융합(image fusion)은 두 장 이상의 영상을 특정 알고리즘을 이용하여 통합해 새로운 영상을 생성하는 기법이다(Pohl and Genderen, 1998). 일반적으로 높은 공간해상도(spatial resolution)를 갖지만 낮은 분광해상도(spectral resolution)를 갖는 전정영상과 낮은 공간해상도와 높은 분광해상도를 갖는 다중분광영상을 통합하는 기법을 영상융합이라 하며, 원격탐사(remote sensing)에서 중요한 연부 분야 중 하나이다.

영상융합은 pan-sharpening 또는 resolution merging의 용어로도 사용되며, 융합결과는 형태가 복잡한 도시지역의 개체추출(feature extraction) 및 인식(recognition), 도시계획, 환경, 영상분류(image classification), 농업과 같은 다양한 분야에서 활용되고 있다(Malpical, 2007).

동일센서의 영상융합은 공간해상도가 높은 전정영상과 분광해상도가 높은 다중분광영상을 융합하여 전정영상의 공간해상도와 다중분광영상의 분광해상도를 갖는 영상을 생성하는 기법이다. 현재까지 많은 영상융합 기법들이 제안되었지만, 분광정보의 보존 측면에서 충분하지 못한 결과를 나타내었다. 따라서 융합결과의 공간적 세밀함을 유지하면서 분광정보의 왜곡(distortion) 현상을 최소화 하는 것은 영상융합에 있어 매우 중요하다.(Zhang, 2004).

융합결과에 있어서 전정영상의 공간적 세밀함과 다중분광영상의 분광정보는 서로 trade-off 관계에 있으며, 최근 융합결과의 평가 인덱스인 ERGAS(Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse; Wald, 2002)를 이용하여 공간적 세밀함과 분광정보의 보존 정도를 동일하게 만족할 수 있는 융합기법이 제안되었다(Lillo-Saavedra and Gonzalo, 2006). Lillo-Saavedra 등은 a'trous 웨이블릿 알고리즘을 적용하였고, 각각의 웨이블릿 분해 단계에 따른 결과를 평가하였다.

본 연구에서는 Lillo-Saavedra 등이 제안한 trade-off 방법을 이용하였으며, 융합기법은 a'trous 알고리즘에 비해 상대적으로 계산과정이

단순하고 널리 사용되고 있는 fast IHS 융합기법의 적용을 통하여 그 결과를 평가하였다. 실험은 2001년에 촬영된 대전지역의 IKONOS 영상을 이용하였다.

2. IHS 융합기법

2.1 IHS 변환

IHS(Intensity-Hue-Saturation) 변환을 이용한 융합기법은 영상융합 분야에서 폭넓게 사용되고 있으며 그 계산과정의 단순함에 큰 장점이 있다. IHS 변환은 R-G-B 밴드를 IHS 공간으로 변환하며, 변환된 공간에서 intensity 영상을 전정영상으로 교체한 뒤 원래의 saturation, hue 성분과 함께 역 IHS 변환을 하여 융합결과를 획득하게 된다. IHS 변환은 식 (1)과 같이 표현되며, 식 (2)를 통하여 융합된 영상을 생성하게 된다.

$$\begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{2\sqrt{2}}{6} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PAN \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2 Fast IHS 변환

Tu 등(2004)은 식 (1)을 식(3)과 같이 변형하는 fast IHS 융합기법을 제안하였다. 식 (3)을 통하여, 융합결과는 단순히 $\delta = PAN - I$ 의 계산을 통한 덧셈 연산만으로 획득할 수 있게 된다. 제안한 기법은 웨이블릿 융합기법 등이 가질 수 있는 상대적인 계산과정의 복잡성과 소요시간에 비해 단순한

덧셈, 뺄셈연산을 통하여 융합영상을 획득할 수 있는 장점을 갖고 있다.

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I+(PAN-I) \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I+\delta \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R+\delta \\ G+\delta \\ B+\delta \end{bmatrix}$$

where,

$$\delta = PAN - I$$

이상적인 영상의 센서는 그림 1과 같이 밴드 각각의 분광반응 곡선의 overlap이 없으며 전정영상의 파장대가 이상적으로 R-G-B-NIR 밴드를 포함하고 있게 된다. 하지만 IKONOS 영상의 경우 그림 2와 같이 green 밴드와 blue 밴드는 overlap 되어 있으며 전정영상의 파장 범위가 blue밴드를 포함하지 못하고 있음을 확인할 수 있다.

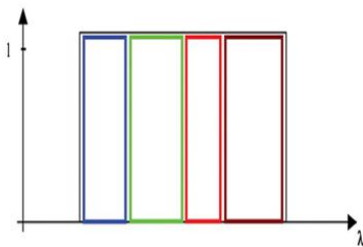


그림 1. 이상적인 센서의 spectral response

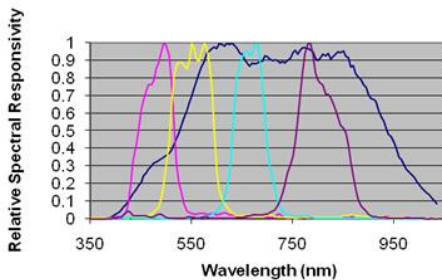


그림 2. IKONOS의 relative spectral response

Tu 등(2004)은 이와 같은 분광정보의 왜곡 원인을 해결하고, 세 개의 밴드만을 융합할 수 있는 IHS 융합기법을 NIR 밴드를 포함한 네 개의 밴드를 융합할 수 있도록 식 (5)를 제안하였다.

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \\ NIR' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R+\delta' \\ G+\delta' \\ B+\delta' \\ NIR+\delta' \end{bmatrix} \quad (4)$$

where,

$$\delta' = PAN - I' = PAN - (R + G + B + NIR)/4$$

$$I' = (R + G + B + NIR)/4$$

제안된 기법은 NIR 밴드를 포함하여 융합결과를 생성할 수 있으며, 전정영상의 파장 범위가 NIR 밴드를 포함하고 있는 것을 고려한 융합기법이다. 제안된 기법은 식 (3)과 같이 단순한 δ' 의 계산만으로 융합결과를 획득할 수 있다. 하지만 식생지역의 경우 R-G-B 밴드에 비해 NIR 밴드에서 높은 reflectance 값을 갖게 되며, 그림 2에서 볼 수 있듯이 각 밴드의 mismatch를 고려한 기법으로 식 (5)가 제안되었다(Tu 등, 2004).

$$\begin{bmatrix} R'' \\ G'' \\ B'' \\ NIR'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R+\delta'' \\ G+\delta'' \\ B+\delta'' \\ NIR+\delta'' \end{bmatrix} \quad (5)$$

where,

$$\delta'' = PAN - I'' = PAN - \frac{(R+a \times G+b \times B+NIR)}{3}$$

$$I'' = (R + a \times G + b \times B + NIR)/3$$

식 (5)는 green 밴드와 blue 밴드에 계수 적용을 통하여 intensity 영상을 생성하게 된다. 계수는 $a+b=1$ 과 $a>b$ 의 제약조건을 통하여 생성되었으며, 식에서 a 와 b 는 각각 0.75와 0.25이며 92개 IKONOS 영상의 실험결과 최고의 상관계수를 갖게 되는 계수이다.

3. Trade-off 융합기법

3.1 Trade-off 방법

Lillo-Saavedra and Gonzalo(2006)는 a'trous 웨이블릿 알고리즘을 이용한 trade-off 융합기법을 제안하였다. 제안한 기법은 식 (6)과 같다.

$$FUS_i = MS_i + \alpha^i \sum_{k=1}^W C_{PAN_k}^i \quad (6)$$

제안한 기법은 a'trous 알고리즘 웨이블릿 평면 $\sum_{k=1}^W C_{PAN_k}^i$ 에 weighting factor α^i 의 곱셈 연산을 이용하여 공간적 세밀함과 분광정보의 보존을 동일한 ERGAS 기준으로 만족하는 융합기법이다. 식 (6)에서 FUS_i 는 융합영상의 i 밴드를 의미하며, MS_i 는 원래의 다중분광영상의 i 밴드를 의미한다.

본 연구에서는 a'trous 알고리즘을 이용한 trade-off 융합기법대신 상대적으로 계산과정이 단순한 fast IHS 융합기법을 이용한 trade-off 융합기법을 제안한다. 제안한 융합기법은 식 (7)과 같이 표현할 수 있다. 식 (7)에서 δ'' 는 앞서 식 (5)에서 계산된 값을 이용하였다.

$$FUS_i = MS_i + \alpha^i \delta'' \quad (7)$$

α^i 는 0 ~ 2사이의 값을 0.1 단위로 사용하였다. α^i 의 값이 0일 경우에는 원래의 다중분광영상을 의미하며, 1일 경우에는 본래의 fast IHS 융합기법을 의미한다. α^i 의 값이 증가할수록 융합 결과에서 전정영상의 공간적 세밀함이 증가된다.

3.2 ERGAS

ERGAS(wald, 2002)는 융합영상의 결과를 평가하는 인덱스로서 spatial ERGAS는 융합결과와

원래의 전정영상과 비교를 하며, spectral ERGAS의 경우 융합결과와 원래의 다중분광영상과 비교를 하게 된다. spatial ERGAS는 식 (8)과 같이 표현되며 spectral ERGAS는 식(9)와 같이 표현된다.

$$ERGAS_{spatial} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N_{Bands}} \sum_{i=1}^{N_{Bands}} \left[\frac{RMSE_{spatial}^2(Band_i)}{(MS_i)^2} \right]} \quad (8)$$

$$ERGAS_{spectral} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N_{Bands}} \sum_{i=1}^{N_{Bands}} \left[\frac{RMSE_{spectral}^2(Band_i)}{(MS_i)^2} \right]} \quad (9)$$

where,

$$RMSE(Band_i) = \frac{1}{NP} \sqrt{\sum_{k=1}^{NP} (MS_i(k) - FUS_i(k))^2}$$

$$RMSE(Band_i) = \frac{1}{NP} \sqrt{\sum_{k=1}^{NP} (PAN_i(k) - FUS_i(k))^2}$$

ERGAS는 이상적인 융합결과일 때 0의 값을 갖으며 값이 낮을수록 정보를 효과적으로 보존하는 융합기법임을 의미한다. 식 (8)과 (9)에서 h 와 l 은 전정영상과 다중분광영상의 공간해상도를 의미하며 NP 는 융합결과와 화소 개수를 의미한다.

4. 실험 및 평가

4.1 사용 데이터

사용데이터는 2001년 11월 21일 촬영된 대전 지역의 IKONOS 영상을 이용하였다. IKONOS 위성은 표 1에 따른 파장 범위와 해상도의 영상을 제공하고 있다.

표 1. IKONOS 위성

Band		Spectral Range (μm)	Spatial resolution
M S	R	0.632 - 0.698	4m
	G	0.506 - 0.595	
	B	0.445 - 0.516	
	NIR	0.757 - 0.853	
PAN		0.526 - 0.929	1m

사용된 영상은 그림 3, 4와 같다. 대전의 엑스포 과학 공원 일대의 영상을 전정영상을 기준으로 512*512의 크기로 subset 영상을 구성하여 실험을 진행하였다.



그림 3. 실험지역(MS)



그림 4. 실험지역(PAN)

4.2 평가

평가는 α^i 의 변화에 따른 spatial ERGAS와 spectral ERGAS의 값을 평가 하였고 두 ERGAS

가 같은 값을 나타내는 α^i 를 탐색하였다.

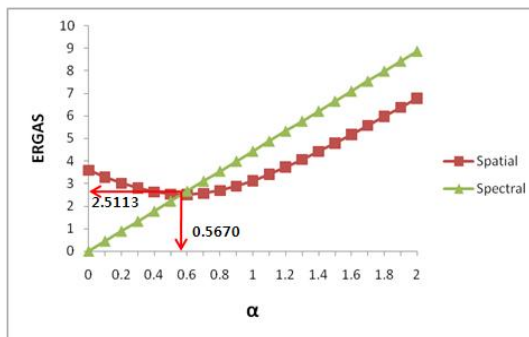


그림 5. α^i 값의 변화에 따른 ERGAS의 변화

표 2. α^i 값의 변화에 따른 ERGAS

α^i	Spatial ERGAS	Spectral ERGAS
0	3.5844	0
0.1	3.2819	0.4433
0.2	3.0145	0.8865
0.3	2.7921	1.3298
0.4	2.6263	1.7731
0.5	2.5283	2.2164
0.6	2.5059	2.6596
0.7	2.5613	3.1029
0.8	2.6895	3.5462
0.9	2.8810	3.9894
1.0	3.1240	4.4327
1.1	3.4075	4.8760
1.2	3.7224	5.3193
1.3	4.0613	5.7625
1.4	4.4187	6.2058
1.5	4.7905	6.6491
1.6	5.1736	7.0923
1.7	5.5656	7.5356
1.8	5.9647	7.9789
1.9	6.3697	8.4222
2.0	6.7795	8.8654

실험은 4m의 전정영상과 16m의 다중분광영상을 생성한 후 융합하여 4m의 원래의 다중분광영

상과 ERGAS를 계산하였다. 그림 5에서 확인할 수 있듯이 α^i 값이 증가할수록 spectral ERGAS의 경우 선형적으로 증가하며, spatial ERGAS의 경우 감소하다 일정 값 이후에는 증가함을 확인할 수 있다.



그림 6. Fast IHS($\alpha^i=1$) RGB 조합



그림 7. trade-off Fast IHS($\alpha^i=0.5670$) RGB 조합

실험결과 spectral ERGAS와 spatial ERGAS를 동일한 기준으로 만족하는 α^i 값은 0.5670으로 평가되었으며, 이때의 spectral ERGAS와 spatial ERGAS는 2.5133 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 식 (5)를 이용한 융합기법의 경우($\alpha^i=1$) spectral ERGAS는 4.4327, spatial ERGAS는 3.1240을 나타내어 fast IHS 융합기법의 경우 분광정보의 보존정도가 공간적 세밀함의 유지에 비해 부족함을 확인할 수 있다. 그림 6과 그림 7의 비교에서도, 그림 6의 Fast IHS 융합기법은 그림 7의 trade-off FIHS 융합기법에 비해 상대적으로 많은 에지(edge) 정보를 포함하고 있지만 영상이 전체적으로 밝고 부자연스러운 모습을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 IKONOS 영상의 융합에 있어 전정영상의 공간적 세밀함과 다중분광영상의 분광정보를 동일한 ERGAS 기준으로 만족하는 fast IHS trade-off 융합기법을 제안하였다. 대전지역 IKONOS 영상의 실험결과, 기존의 fast IHS 융합기법에 비해 향상된 결과를 나타내었음을 확인할 수 있었다. trade-off 방법은 식 (7) 또는 (8)과 같이 표현할 수 있는 모든 융합기법에 적용이 가능하며, 융합 결과영상에서 모두 놓칠 수 없는 공간적 세밀함과 분광정보를 모두 만족시킬 수 있는 융합기법이다. 생성된 융합영상은 향상된 분광정보와 공간적 세밀함을 갖는 다중분광영상으로써, 도시지역의 효과적인 개체추출과 고해상도 분류 주제도 작성 등에서 활용될 것으로 기대된다.

향후 향상된 융합영상 생성을 위해 intensity 영상의 생성 방법의 변환을 연구할 계획에 있으며, KOMPSAT-2 와 QuickBird 등의 고해상도 영상에 제안한 융합기법을 적용하여 검증해 보고자 한다.

참 고 문 헌

Lillo-Saacedra, M., and Gonzalo, C., 2006, Spectral of spatial quality for fused satellite imagery? A trade-off solution using the wavelet a'trous algorithm, International Journal of Remote SEnsing, Vol. 27, No. 7, 1453-1464.

Malpica, J.A. 2007, Hue adjustment to IHS pan-sharpened IKONOS imagery for vegetation enhancement, IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing, Vol. 4, No. 1, pp. 27-31.

Pohl, C., and van Genderen, J.L. 1998, Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and application. International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 5, pp. 823-854.

Tu, T.M., Huang, P.S., Hung, C.L., Chang, C.P., 2004, A fast Intensity-Hue-Saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery, IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing, Vol. 4, No. 1, pp. 27-31.

Wald, L. 2002, Data Fusion: Definitions and architectures fusion of images of different spatial resolution, Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris.

Zhang, Y. 2004, Understanding image fusion, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 70, No. 6, pp. 653-760.