

최적의 GIS 기반자료 확보를 위한 위성영상 융합기법 연구

김수철⁰ 한정현
 고려대학교 컴퓨터정보통신대학원 컴퓨터공학과
 고려대학교 컴퓨터통신공학부
 kscfuture@paran.com, jhan@korea.ac.kr

The Study of Satellite Image Fusion for the Guarantee of Optimal GIS Basic Data

SooChul Kim⁰ JungHyun Han
 Graduate School of Computer and Information Technology, Korea University
 Dept of Computer and Telecommunication Engineering, Korea University

요 약

위성영상으로부터 적절한 정보를 추출하여 GIS(지리정보시스템)의 기반자료로 활용하기 위해서는 공간 해상도와 분광해상도가 모두 우수한 양질의 고해상 영상을 확보해야 한다. 그러나 현재 운영되고 있는 위성영상은 이 두가지를 모두 만족시키지 못하므로 본 연구에서는 위성영상 융합기술을 사용할 것을 제안하였다. 그리하여 IHS·PCA·Wavelet 등의 융합기술들을 실험하였고 두가지 해상도를 모두 만족시키는 고해상 영상을 생산할 수 있음을 보였다. 또한, 실험 결과를 시각적·정량적으로 평가하여 IHS 융합기법이 가장 우수한 결과를 나타냄을 보였다.

1. 서 론

지구관측위성은 다양한 공간·방사·분광·주기 해상도로 서로 다른 전자기 스펙트럼 구간에 대한 영상을 제공한다. 이들 위성영상을 효과적으로 활용하기 위해 많은 영상융합(Image Fusion) 기법들이 개발되었으며 영상융합은 다수의 영상을 이용하여 이들 영상으로부터 획득할 수 있는 정보의 질을 개선하기 위한 수단이라고 할 수 있다.

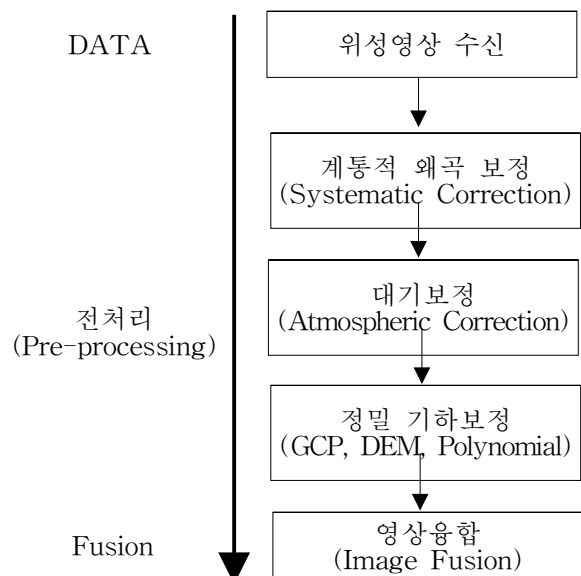
영상융합은 영상으로부터 정보를 추출하는 전체 과정에서 융합을 시행하는 시점에 따라 화소(Pixel) 단계의 융합, 특징(Feature) 단계의 융합 그리고 결정(Decision) 단계의 융합 등 세 가지로 분류된다. 하지만, 일반적으로 위성영상융합이라 함은 영상을 대상으로 고해상도의 흑백(Panchromatic)영상과 중·저해상도의 다중밴드(Multi-Spectral) 영상을 융합하여 고해상의 다중밴드 영상을 생성하는 "Pan-sharpening"을 의미한다. 이는 흑백과 다중밴드 영상의 화소값을 융합하여 새로운 영상을 생성하므로 화소 단계의 융합이라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 광학영상에 대한 화소 단계의 융합에 국한해서 다루고, 이후 본 연구에서 영상융합이라 함은 광학영상에 대한 화소 단계의 융합(Pan-Sharpning)을 의미하는 것으로 한다.

결국, 영상융합은 다중밴드 영상의 분광 정보를 그대로 유지하면서 공간 해상도를 흑백영상과 동일하게 증대시킴으로써, 흑백 및 다중밴드 영상의 정보를 모두 내포하는 단일 영상 생성 기법이다.

광학 지구관측위성은 흑백 영상이나 다중밴드 영상 또는 흑백 및 다중밴드 영상을 동시에 제공하는데, 일반적으로 흑백 영상은 단일 밴드인 반면에 공간 해상도가 높고, 다중밴드 영상은 분광 해상도는 높으나 공간 해상도는 흑백영상에 비해 상대적으로 낮다. 또한, 고해상도의 다중밴드 영상은 영상분류(Image Classification) 및 변화 탐지(Change Detection) 등에서 여러 가지 장점을 제공한다.

이로 인해, 흑백 영상과 다중밴드 영상의 상호 보완적인 정보를 모두 가지는 단일 영상의 필요성은 여러 응용분야에서 증대되고 있다. 따라서, 다중밴드 영상의 분광정보를 그대로 유지하면서 흑백영상의 공간해상도를 가지는 단일 영상을 생성하기 위한 "Pan-Sharpning" 기술이 개발되었고, 이 기술을 이용하여 최적화된 고해상의 영상을 지리정보시스템(GIS)의 기반자료로 활용한다면 한층 업그레이드된 정보를 사용자들에게 제공할 수 있을 것이다.

위성영상은 왜곡 보정을 위해 수신 후 방사 및 기하보정을 실시하게 된다. 또한, 광학 영상의 경우, 대기 등의 영향에 따른 왜곡 보정을 위해 대기 보정을 필요로 하는 경우도 있으며, 영상의 활용목적에 따라 정밀 기하보정 및 영상 상호정합 등의 영상처리 과정을 거치게 된다. 일반적인 영상 융합의 과정은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 일반적인 영상융합 과정

2. 위성영상 융합기법(Pan-Sharpening) 관련연구

2.1 영상융합 기법의 종류

일반적으로 영상융합 기법은 크게 영상의 색상 체계를 이용한 기법(Color related Techniques)과 통계적/수치적 방법(Statistical/Numerical Method)으로 분류 할 수 있다.

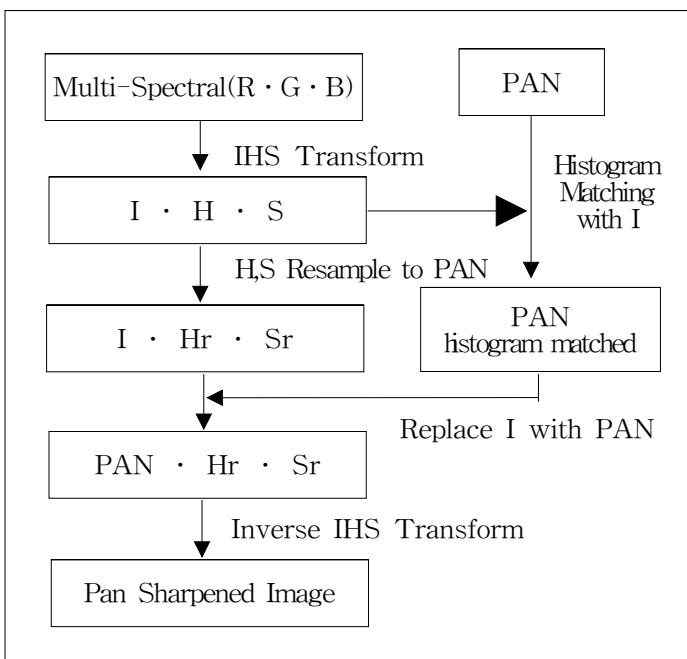
영상의 색상 체계를 이용한 기법으로는 IHS 변환이 있고, 통계적/수치적 방법으로는 PCA, Wavelet 변환 등이 대표적이다

2.1.1 IHS(Intensity · Hue · Saturation) 변환

일반적으로 색상을 수학적으로 표현하는 방법은 크게 삼자극치(Tri-stimulus Value)와 색도(Chromaticity)로 분류될 수 있다. 삼자극치는 인간의 원추세포가 인지할 수 있는 가시광선 영역의 세 가지 파장대역을 기준으로 삼원색(Red · Green · Blue)을 이용하여 모든 색상을 표현하는 방식이고, 색도는 순도(Purity)와 파장대역(Dominant Wavelength)으로 색을 표현하는 방식으로서 빛의 세 가지 속성인 명도(Intensity) · 색조(Hue) · 채도(Saturation)를 이용하여 모든 색상을 표현하는 방법이다. 이와 같이, 색상 표현을 위한 모델로써 IHS는 명도 정보를 실제 색상을 표현하는 색조 및 채도 정보와 분리할 수 있어 영상융합 및 분광특성개선(Spectral Enhancement) 등에 유용하다.

IHS 변환기법은 다중밴드 영상의 R · G · B 정보를 공간 정보(Spatial, I)와 분광정보(Spectral, H & S)로 분리해 준다. 그리고 흑백 영상은 색조와 채도 값이 없고 순수하게 명도 값만을 가진다. IHS 영역으로 변환된 다중밴드 영상의 명도 값을 흑백 영상의 명도 값으로 대체함으로써 공간 해상도가 증대된다는 것이 IHS 변환기법을 이용한 영상융합의 원리이다. 반면, H와 S는 변화가 없어 분광정보, 즉, 색상은 다중밴드 영상의 색상 그대로 유지된다.

IHS 변환을 이용한 영상융합 절차는 <그림 2>와 같다.

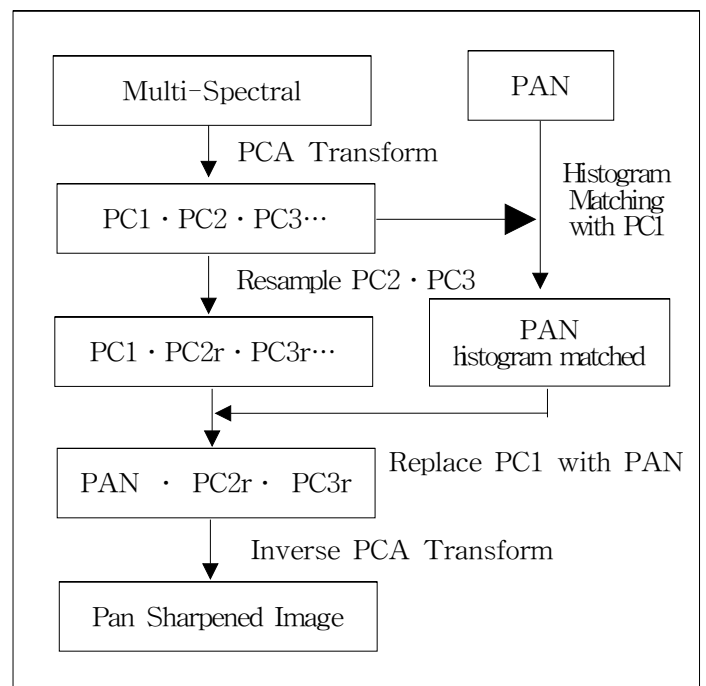


<그림 2> IHS 변환을 이용한 영상융합 절차

2.1.2 주성분 분석(PCA, Principal Component Analysis) 변환

PCA는 디지털 신호처리 · 통계 및 기타 많은 응용분야에 활용되는 통계적 기법으로 「Karhunen-Loeve Transform」 또는 「Hotelling Transform」으로도 알려져 있다. PCA는 다수의 상관변수(Correlated Variables)를 주성분이라고 불리는 비상관 변수(Uncorrelated Variables)의 집합으로 변환시키는 수학적 과정을 포함하고 있다. 결국, 다중밴드 영상을 PCA 변환할 경우, 각 밴드에 공통으로 포함되어 있는 정보는 첫 번째 주성분으로 표현되고 밴드별 고유의 분광 정보는 기타 주성분으로 각각 표현된다. 따라서, PCA 변환을 이용한 영상융합은 다중밴드 영상을 PCA 변환하여 첫 번째 주성분(PC1)을 고해상도 흑백 영상으로 대체하는 방법이다.

PCA 변환을 이용한 영상융합 절차는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> PCA 변환을 이용한 영상융합 절차

2.1.3 Wavelet 변환

Wavelet 융합기법은 영상을 다해상도(Multi resolution)로 단계별로 분해하는 Wavelet 변환기법을 이용한 영상 융합 방식으로써, Wavelet 변환은 크게 연속(Continuous) 및 불연속 (Discrete) 변환으로 분류될 수 있는데, 영상 처리에 사용되는 방식은 2차원 불연속 Wavelet 변환 방식이다.

Wavelet 변환은 원 영상에 행(Column)과 열(Row) 방향으로 고역통과(High-pass) 및 저역통과(Low-pass) 필터를 적용하여 원 영상에 비해 해상도가 4배 감소된 4개의 하위 영상(Sub-image)으로 분해(Decomposition)한다.

Wavelet 융합기법은 Wavelet 변환을 통해 분해된 고해상도 흑백 영상의 첫 번째 하위 영상을 저해상도 다중밴드 영상으로 대체한 후 Wavelet 역변환을 통해 고해상도의 다중밴드 영상을 생성하는 방식이다.

3. 위성영상 융합기법(Pan-Sharpening) 실험 및 성능평가

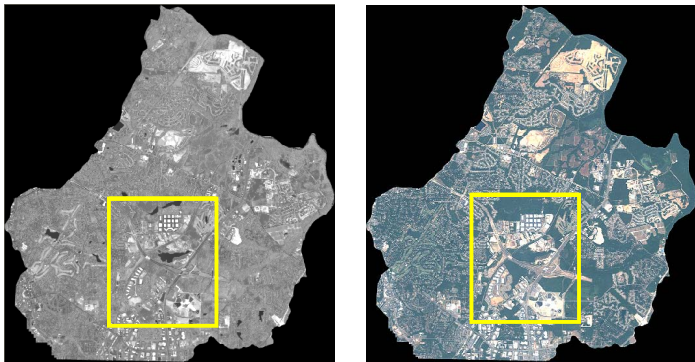
각 기법을 이용하여 실제 위성영상으로 영상융합을 실시하고 여러 측면에서 융합결과에 대한 성능을 평가하였다.

영상융합 실험에는 美 노스캐롤라이나주립대학교 부설 지구관측센터(CEO : Center for Earth Observation)에서 입수한 랄리市 지역 위성영상(QuickBird)과 ERDAS Imagine (Ver 8.7) 및 PCI(Ver 9.1) 영상처리 S/W를 이용하였다.

3.1 실험대상 위성영상

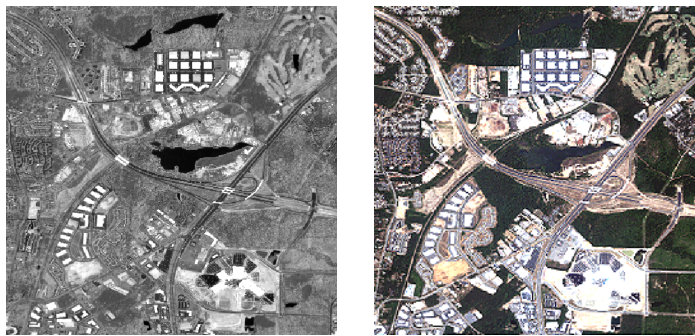
일반적으로 영상융합을 통해 가장 좋은 결과를 도출하기 위해서는 동일한 센서에서 동일한 조건하에 촬영된 흑백 및 다중밴드 영상을 이용하는 것이 바람직하다. 따라서 QuickBird 흑백 및 다중밴드 위성영상을 이용하여 각각의 영상융합 기법에 대한 상대적인 성능평가를 수행하였다.

본 실험에서 활용한 Quickbird 흑백 및 다중밴드 영상은 <그림 4>과 같다.



(a) 흑백 영상 원본

(b) 다중밴드 영상 원본



(c) 흑백 영상 Subset

(d) 다중밴드 영상 Subset

<그림4> 실험대상 QuickBird 영상

3.2 위성영상 융합기법 실험

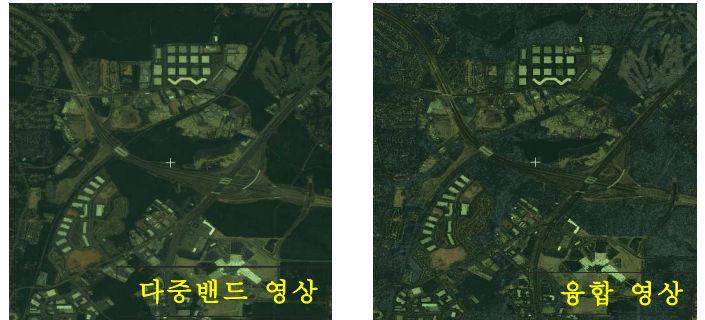
3.2.1 IHS 변환을 이용한 실험

IHS 변환을 통한 영상융합에는 PCI S/W에서 제공하는 FUSE 모듈을 이용하였다. 이 모듈은 RGB 형태의 칼라 영상을 흑백 영상과 융합하여 흑백 영상과 동일한 공간 해상도의 RGB 영상을 생성하는 모듈이다.

영상융합을 수행하면 융합영상의 공간 해상도가 다중밴드 영상에 비해 증대되었음을 쉽게 알 수 있고, 흑백 및 다중밴드 영상간 상호정합 상태가 양호하여 융합영상에서 색상의 번짐 현상은 나타나지 않음도 알 수 있다. 반면,

융합영상과 다중밴드 영상의 전반적인 색상에는 다소 차이가 있다. 이러한 현상은 IHS 변환을 이용한 영상융합 기법의 일반적인 특성인 분광 특성의 변화로 인해 나타나는 것으로 판단된다. 이러한 분광 특성의 변화는 융합에 사용한 흑백 및 다중밴드 영상의 과장대역이 상이할 경우에 주로 나타나는 현상으로 알려져 있다.

FUSS 모듈을 이용한 융합결과는 <그림 5>와 같다.



(a) 전체 영상



(b) 확대 영상

<그림 5> FUSS 모듈을 이용한 융합결과

3.2.2 주성분 분석(PCA) 변환을 이용한 실험

PCA 변환을 이용한 영상융합 실험에는 ERDAS S/W의 Resolution Merge 모듈을 이용하였다.

PCA 변환을 이용하여 제작한 융합영상은 다중밴드 영상에 비해 공간 해상도가 증대되었음을 알 수 있으며, IHS 변환을 통해서 얻어진 융합영상에 비해서 선명도가 우수한 것으로 판단된다. 하지만 영상의 전체적인 색상에서는 다중밴드 영상과 다소 차이를 보이며 색상이 자연스럽게 못하다. 일반적으로 PCA 영상융합은 대상지역에 상당히 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다.

Resolution Merge 모듈을 이용한 융합결과는 <그림 6>과 같다.



(a) 전체 영상



(b) 확대 영상

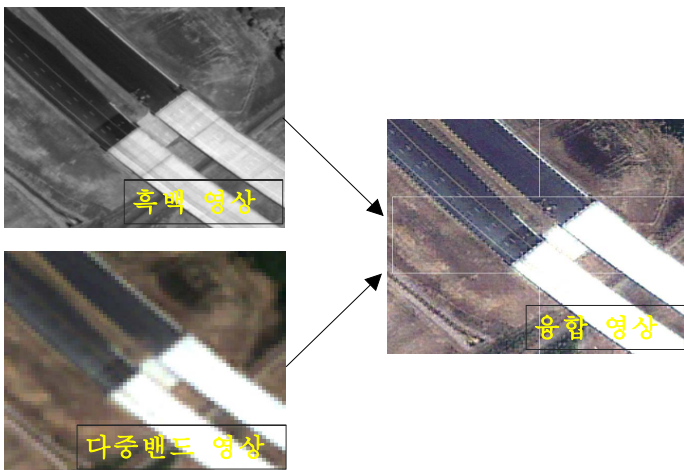
<그림 6> Resolution Merge 모듈을 이용한 융합결과

3.2.3 Wavelet 변환을 이용한 실험

Wavelet 변환을 이용한 영상융합 실험에는 ERDAS S/W의 Spectral Transform 모듈을 이용하였다.

Wavelet 변환을 이용한 영상융합은 Wavelet 변환으로 분해된 고해상 흑백 영상의 첫 번째 하위 영상을 저해상 다중밴드 영상으로 대체한 후 Wavelet 역변환을 통해 고해상의 다중밴드 영상을 생성하는 방식이다.

Spectral Transform 모듈을 이용한 융합결과는 <그림 7>과 같다.



<그림 7> Spectral Transform 모듈을 이용한 융합결과

3.3 위성영상 융합기법 성능평가

융합영상에 대한 특성을 평가하는 방법에는 주로 시각적인 방법과 정량적인 방법이 사용된다.

시각적 평가(Visual Evaluation)는 다중밴드 영상에 대한 융합영상의 시각적 해독력 증대 여부 및 색상의 변화 측면에서 주로 비교 평가되고, 정량적 평가(Quantitative Evaluation)는 다중밴드 영상과 융합영상간의 상관관계를 정량적으로 계산하여 융합에 따른 영상 특성의 변화를 평가하는 방법이다.

3.3.1 시각적 평가

PCA 융합영상은 시각적 해독력 측면에서는 우수하나 영상의 색상이 심하게 왜곡되어 나타나고 자연스럽지 못하다.

Wavelet 융합영상은 타 융합영상에 비해 선명하게 표현되지 않아 시각적 해독력 측면에서는 다소 떨어지나, 색상은

다중밴드 영상과 비교하여 유사하게 나타난다.

결론적으로, 시각적 해독력 증대 여부 및 색상의 변화 측면에서 융합영상을 평가한 결과 IHS 융합영상이 가장 우수하다고 볼 수 있다. 이를 통해 파장대역이 일치하는 흑백 영상과 다중밴드 영상을 활용한 IHS 영상융합 기법이 시각적으로 가장 우수한 융합영상을 생성할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3.2 정량적 평가

일반적으로 양질의 융합영상은 흑백영상의 공간정보와 다중밴드영상의 분광정보를 최대한 보유하고 원 영상의 밴드간 관계가 손상되지 않아야 한다. 이러한 기준에 따라 상관계수를 이용하여 융합영상을 정량적으로 평가한다.

두 영상간의 상관계수는 PCI S/W의 Geomatica Focus 모듈에서 제공하는 Raster Calculator 기능을 이용하여 계산하였다. IHS 영상융합 기법이 가장 우수한 결과를 보임을 알 수 있다.

Geomatica Focus 모듈을 이용한 융합결과는 <표 1>와 같다.

<표 1> Geomatica Focus 모듈을 이용한 융합결과

구분	밴드	밴드 #1	밴드 #2	밴드 #3	밴드 #4
다중밴드영상		0.734	0.786	0.763	0.628
융합 영상	IHS	0.981	0.997	0.977	-
	PCA	0.963	0.991	0.991	0.606
	Wavelet	0.763	0.812	0.791	0.661

4. 결 론

융합기법별 특성은 동일한 시점에 촬영한 Quickbird 위성 영상을 활용한 경우에 대한 특성으로 서로 다른 센서에서 촬영한 흑백 및 다중밴드영상을 활용할 경우 다소 다른 결과를 얻을 수도 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서 비교 검토한 3개의 융합기법의 특성을 고려하면 시각적·정량적 평가 모두 IHS 영상융합 기법이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 영상융합시 그 목적에 맞는 적절한 융합기법을 선택하여 사용하는 것 또한 중요한 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 융합영상과 다중밴드 영상간의 상관계수를 이용하여 융합영상이 다중밴드영상의 분광정보를 얼마나 잘 유지하는가를 판단하였으나, 실제로 다중밴드영상과 융합영상의 분광정보를 이용하여 다양한 분석작업을 수행함으로써 각 융합기법의 분광특성에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되며, 이렇게 해서 얻어진 최적화된 위성영상을 지리정보시스템(GIS)의 기반 자료로 이용한다면 사용자 요구에 걸맞는 효율적인 시스템 구축이 가능할 것으로 생각된다.

각각의 융합영상에 대한 시각적·정량적 평가결과를 토대로 한 융합기법별 특성은 <표 2>와 같다.

<표 2> 융합기법별 특성

융합기법	특성
IHS	<ul style="list-style-type: none"> ○ 융합을 통해 공간해상도가 증대 선명도 우수 ○ 흑백 및 다중밴드영상의 과장대역이 상이할 경우, 융합영상의 색상 왜곡이 심함 ○ 흑백 및 다중밴드영상의 과장대역이 일치할 경우, 분광정보 왜곡 현상 개선 - 영상의 색상 및 다중밴드영상과의 상관계수 등에서 타 기법에 비해 우수 ○ R · G · B 3개 밴드의 융합영상 생성 - 시각화 개선에 중점을 둔 융합기법
PCA	<ul style="list-style-type: none"> ○ 융합을 통해 공간해상도가 증대 선명도 우수 ○ 융합영상의 색상 왜곡이 심함 - 분광정보(Spectral Information)의 왜곡 ○ 다중밴드영상과 동일한 밴드의 융합 영상 생성
Wavelet	<ul style="list-style-type: none"> ○ 융합을 통해 공간해상도가 증대되나, 타 기법에 비해 선명도 다소 저하 - 다수의 화소들이 합쳐져서 경계선 부분이 거칠게 표현 ○ 융합영상의 색상은 다중밴드영상과 유사 - 분광정보(Spectral Information) 유지 - 다중밴드영상의 분광정보를 가장 잘 유지하는 기법 ○ 다중밴드영상과 동일한 밴드의 융합 영상 생성

참고 문헌

- [1] Jensen, John R., 2005, Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, 3rd Edition, Prentice-Hall.
- [2] Gibson, Paul J. and Power, Clare H., 2000, Introductory Remote Sensing: Digital Image Processing and Application, Routledge.
- [3] Goshtasby, Ardeshir A., 2005, Remote Sensing and Industrial Application: 2-D and 3-D Image Registration for Medical, Wiley Interscience.
- [4] Blum, Risk S. and Zheng, Liu, 2006, Multi-Sensor Image Fusion and It's Applications, Taylor & Francis.
- [5] Short, Nicholas M., 2006, The Remote Sensing Tutorial, NASA.
- [6] Pohl, C. and Van Genderen, J. L., 1998, "Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, methods and Applications," International Journal of Remote Sensing, vol. 99, no. 5, pp. 823-854.
- [7] Richards, John A., 1993, Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag.
- [8] Marain and Boros eds, 1996, Raster Imagery in Geographic Information Systems, OnWord Press.