

변화탐지를 위한 Hyperion 초분광 영상의 자동 기하보정과 밴드선택에 관한 연구

A Study on Automatic Co-registration and Band Selection of Hyperion Hyperspectral Images for Change Detection

김대성¹⁾ · 김용일²⁾ · 어양담³⁾

Kim, Dae Sung · Kim, Yong Il · Eo, Yang Dam

Abstract

This study focuses on co-registration and band selection, which are one of the pre-processing steps to apply the change detection technique using hyperspectral images. We carried out automatic co-registration by using the SIFT algorithm which performance was already established in the computer vision fields, and selected the bands for change detection by estimating the noise of image through the PIFs reflecting the radiometric consistency. The EM algorithm was also applied to select the band objectively. Hyperion images were used for the proposed techniques, and non-calibrated bands and striping noises contained in Hyperion image were removed. Throughout the results, we could develop the reliable co-registration procedure which coincided with accuracy within 0.2 pixels (RMSE) for change detection, and verified that band selection depending on the visual inspection could be objective by extracting the PIFs.

Keywords : Change detection, Pseudo-invariant feature, Scale-invariant feature transform, Band selection, Expectation-maximization algorithm

초 록

본 연구는 초분광 영상을 이용한 변화탐지 기법의 전처리 과정 중 하나인 영상간 기하보정과 밴드선택에 초점을 맞추고 있다. 최근 그 성능이 입증된 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 기법을 이용하여 자동화된 기하보정을 수행하였으며, 분광정보의 불변 특성을 반영하는 PIF(Pseudo-Invariant Feature)를 추출하여 영상의 잡음을 추정함으로써, 변화탐지를 위한 유효 밴드를 선택 하였다. 또한, 기대최대화(Expectation-Maximization) 기법을 이용한 객관적인 밴드선택 방법을 구현하였다. 제안된 기법들을 실제 적용하기 위해 Hyperion 영상을 사용하였으며, 영상에 나타나는 보정되지 않은 밴드 및 Striping 잡음의 특성을 부가적으로 제거하였다. 결과를 통해, 변화탐지를 위한 최소한의 요구조건인 0.2화소 이내의 정확도(RMSE)를 만족하는 신뢰도 높은 기하보정을 수행할 수 있었으며, 시각적인 판단에 의존하던 밴드선택을 PIF를 통해 객관화할 수 있음을 확인하였다.

핵심어 : 변화탐지, PIF, SIFT, 밴드선택, 기대최대화 기법

1. 서 론

넓은 지역을 주기적으로 관측할 수 있는 위성 영상의 장점은 지상의 변화를 탐지하는데 효과적이며, 이런 이유로 변화탐지는 원격탐사에 있어 중요한 분야 중 하나로

취급된다(Frank 등, 2003). 변화탐지란, 다른 시기에 관측된 데이터를 이용하여 대상물(object) 또는 현상(phenomena)들의 차이를 알아내는 과정으로 정의할 수 있으며(Singh, 1989), 변화의 유무를 판별하는 무감독 변화탐지와 변화의 양상을 추정하는 감독 변화탐지로 나누어진다

1) 학생회원 · 서울대학교 건설환경공학부 · 박사수료(E-mail:mutul94@emapl.com)

2) 연결저자 · 정희원 · 서울대학교 건설환경공학부 정교수 · 공학박사(E-mail:yik@snu.ac.kr)

3) 정희원 · 국방과학연구소 기술연구본부 선임연구원 · 공학박사(E-mail:eoandrew@yahoo.co.kr)

(Bruzzone 등, 2000). Lu 등(2004)은 변화탐지의 결과를 좌우하는 9가지 요소로서, ① 다중 시기(multi-temporal) 영상간 정확한 기하보정(geometric correction), ② 방사 보정 또는 방사정규화(radiometric normalization)¹⁾, ③ 신뢰도 높은 Ground Truth Data, ④ 적용되는 변화탐지 기법, ⑤ 실험 지역의 환경 및 조망의 복잡성, ⑥ 변화탐지 및 분류 계획, ⑦ 분석자의 기술 및 경험, ⑧ 실험 지역에 대한 분석 정보, ⑨ 시간의 제약 정도들을 제시하고 있다. 그 중 ①과 ②의 요소는 변화탐지를 위한 전처리 과정으로서, 나머지 요소들에 오차를 누적시킬 수 있으므로 매우 중요한 단계로 취급된다(Jensen, 2005).

최근 Hyperion 영상과 같은 초분광 영상을 이용한 지상의 속성 추출과 관련한 연구들이 국내에서도 활발히 이루어지고 있으며(김선화 등, 2005; 한동엽 등, 2006; Yoon 등, 2007), 변화탐지 분야에 이용하려는 연구도 일부 진행되고 있다(김대성 등, 2006; Frank 등, 2003; Nielsen 등, 2005). 이는 향후 원격탐사 센서의 발전으로 인한 높은 해상도²⁾의 데이터 취득에 대비한 선행 연구로 그 중요성이 매우 높다고 할 수 있다. 하지만 초분광 영상을 이용한 변화탐지의 경우 변화탐지 알고리즘에 초점을 맞추고 있는 반면, 변화탐지를 위한 전처리 과정에 대해서는 상대적으로 연구가 부족한 편이다.

Hyperion 영상은 2000년 11월 발사된 EO(Earth Observing)-1 위성에 의해 취득되는 최초의 상업적 중해상도 초분광 영상으로서, 관련 연구에 중요한 데이터로 이용되고 있다(Datt 등, 2003; Goodenough 등, 2003; Han 등, 2002). 그러나 보정되지 않은(not-calibrated) 밴드, Striping 잡음, 무작위(random) 잡음 등 변화탐지에 효과적이지 못한 결과를 초래할 수 있는 요인들이 발생한다. 이러한 Hyperion 영상의 문제점을 해결하기 위해 기하보정과 방사정규화 이외에 변화탐지를 위한 전처리 과정에서 함께 고려할 필요가 있다. 따라서 Hyperion 영상을 이용하여 변화탐지를 수행하는데 필요한 전처리 과정은 그림 1과 같이 나타낼 수 있으며, 본 연구는 방사 정규화를 제외한 전처리 과정 전반, 즉, ① 보정되지 않은 밴드제거(not-calibrated band removal)와 Striping 잡음제거(abnormal pixel correction), ② 영상간 기하보정 ③ 밴드선택(band selection)을 다루고 있다.

변화탐지와 관련한 대부분의 기하보정은 수동적인 방법에 의해 이루어지고 있으나, 시간의 소요가 많을 뿐만 아니라 한 화소 이내로 정합점(matching points)을 결정할 수 없으므로 기하보정 정확도도 낮아지는 단점이 발생한다. 이를 해결하기 위해 NCC(Normalized Cross Correlation), MI(Mutual Information) 등 자동 또는 반자동 방법들이 제안되고 있으나(Bentoutou 등, 2005), 정합의 신뢰도가 낮아 실제로는 잘 쓰이지 않고 있다. Dai 등(1998)은 기하보정 정확도가 변화탐지 결과에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하여, 기하보정 정확도가 0.2화소 이상일 경우 기대 정확도가 10%씩 낮아진다는 결과를 발표하였다. 또한, 기하보정의 영향(mis-registration)을 최소화하기 위해 영상 평활화(image smoothing), 적응 필터(adaptive filtering)와 같은 기법들을 제안한 연구들도 수행되었으나(Bruzzone 등, 2003), 이는 정밀한 기하보정이 우선된 뒤에 고려할 사항이다. 이를 위해 본 연구에서는 기하보정에 있어 성능이 입증된 SIFT 기법을 이용하여 신뢰도 높은 자동화된 영상 기하보정을 수행하고자 하였다.

밴드선택 기법은 크게 감독 방법과 무감독 방법의 두 가지로 나눌 수 있다(Bajcsy 등, 2004). 감독 밴드선택은 영상의 트레이닝 과정을 통해 추출된 샘플의 분리도를 이용하여 영상 분석에 필요한 밴드를 추출하는 방법이며, DAFE(Discriminant Analysis Feature Extraction), DBFE(Decision Boundary Feature Extraction)(Landgrebe, 2003),

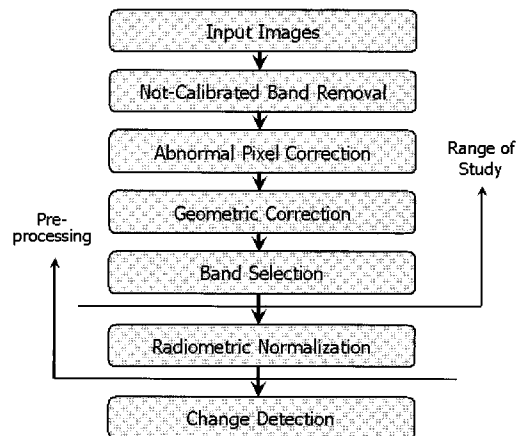


그림 1. 변화탐지를 위한 전처리 과정 및 연구 범위

- 1) 변화탐지 기법의 전처리 과정 중 필수적으로 수행해야 하는 단계로서, radiometric correction의 용어보다 radiometric normalization으로 많이 사용함
- 2) 공간(spatial)해상도, 분광(spectral)해상도, 방사(radiometric)해상도, 주기(temporal)해상도를 말하며, 향후 높은 해상도(high resolution)로의 계속적인 발전이 이루어지는 추세임

Instance Based Method, Regression Tree(Bajcsy 등, 2004) 등이 있다. 무감독 밴드선택은 영상에 포함된 정보의 양을 통계적으로 측정하거나 많은 정보를 포함하는 축(axis)으로 변환하여 순위(rank)를 부여하는 방법으로서, Information Entropy, Spatial Contrast, Correlation, PCA 기법, SNR(Signal-to-Noise Ratio), 극단화소비(Extrema Ratio) 등을 사용한다(Bajcsy 등, 2004; 한동엽 등, 2006).

Hyperion 영상의 밴드선택에 관한 연구로는 Datt 등(2003)이 46개의 밴드를 1차적으로 제거하고, 대기 보정 기법을 통해 176개를 추출하였으며, 대기 효과에 대한 밴드의 민감도 지수(Band Sensitivity Index)를 이용하여 155개의 안정적인 밴드(stable bands)를 선택하였다(표 1). 또한 수분 흡수 파장대와 낮은 SNR 특성을 보이는 밴드를 제거하여 162개 밴드를 분류에 이용한 연구가 있었으며(Goodenough 등, 2003), 한동엽 등(2006)은 극단화소비를 여러 지역의 Hyperion 영상에 적용하여 공통의 양호한 133개 밴드를 추출하기도 하였다.

기존의 밴드선택과는 달리 본 논문은 변화탐지를 위한 두 시기의 영상 모두를 사용하여 밴드선택을 수행하였다.

표 1. Datt 등(2003)이 제안한 155개의 안정적 Hyperion 밴드

Region	밴드 번호	파장대(nm)	밴드 개수
VNIR	10~57	447.17~925.41	48
SWIR	81~97	952.82~1114.2	17
	101~119	1154.6~1336.2	19
	134~164	1487.5~1790.2	31
	182~221	1971.8~2365.2	40

시간의 변화에도 분광특성이 변하지 않는 PIF를 자동으로 추출하여 밴드간 유사도를 측정함으로써 영상에 존재하는 잡음을 추정하였다.

2. Hyperion 영상 및 Striping 잡음 제거

2.1 Hyperion 영상과 센서잡음

Hyperion은 ALI(Advanced Land Imager), LAC(LEISA Atmospheric Corrector) 센서와 함께 EO-1 위성에 탑재된 Pushbroom 방식의 초분광 센서로서, 0.36~2.58 μ m 범위의 파장대를 연속적으로 약 10nm 간격의 242개 밴드로 이루어져 있다(Barry, 2001). VNIR(Visible/Near Infrared) 영역과 SWIR(Short Wave Infrared) 영역을 담당하는 두 가지 센서로 구성되어 있으며, VNIR 영역에서 70개 밴드, SWIR 영역에서 172개 밴드를 취득한다. 12bit의 방사 해상도와 30m의 공간 해상도를 가지며, 관측폭은 약 7.6km이다(EO-1 Homepage).

Hyperion 센서에 의해 발생하는 영상의 잡음은 크게 세 가지 형태를 보인다(Datt 등, 2003; 그림 2). 첫 번째 형태는 242개의 밴드 중 보정되지 않은 밴드를 말하며, 이는 모든 영상에 공통적으로 적용된다. 1~8번 밴드, 58~76번 밴드, 225~242번 밴드가 이에 속하고, 제거 후 남은 밴드의 수는 198개가 된다. 여기서, 56, 57, 77, 78번 밴드는 파장대가 서로 중첩되는 문제가 발생하므로, 보통 77번과 78번 밴드를 제거하여 최종적으로 196개의 밴드를 생성하게 된다.

두 번째는 영상에서 수직 방향으로 화소값의 이상이 발

잡음 유형	보정되지 않은 밴드	Striping 잡음			Smile Effect
영상 예					
잡음 설명	영상의 모든 화소값이 "0"인 형태	열의 모든 화소값이 "0"의 값을 보이는 형태	주변 화소보다 불규칙적인 값을 보이는 형태	주변 화소와 비슷한 패턴으로 Striping 잡음을 보이는 형태	MNF 영상에서 열 방향으로 단계적으로 화소값이 변함
제거 방법	직접 제거	인접 화소 평균	인접한 6개의 화소 평균 적용		보정 수행 안함

그림 2. Hyperion 영상의 센서 잡음 형태





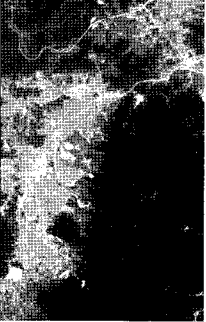
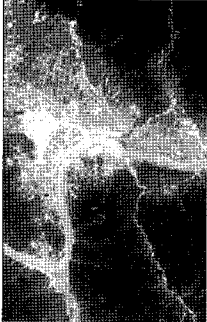
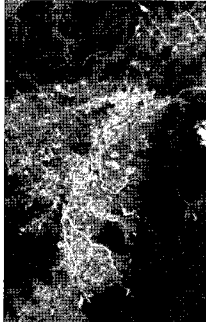
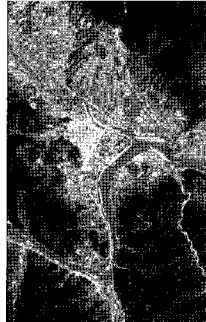
영상				
ID/촬영일시	EO1H1160342002093110PZ.L1R/2002.04.02		EO1H1160342002109110PZ.L1R/2002.04.18	
지역	서울	관악산, 안산	서울	관악산, 안산
영상				
ID/촬영일시	EO1H1150352002246110PZ.L1R/2002.09.03		EO1H1150352003265110PZ.L1R/2002.09.22	
지역	남원	구례	남원	구례

그림 3. 사용영상

생하는 Striping 잡음이다. Han 등(2002)은 Level 1A의 Hyperion 영상에 나타나는 Striping 잡음의 형태를 네 가지로 나누어 Striping 잡음이 존재하는 위치를 표로 정리하고 있으나, 실제 연구에 사용된 Level 1R 영상에서의 Striping 잡음을 확인한 결과 기존 연구의 Level 1A 및 1B 영상과는 다른 위치에서 Striping 잡음이 존재한다는 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 영상에서는 나타나지 않지만 MNF(Minimum Noise Fraction)와 같은 영상 변환 과정을 통해 나타나는 잡음을 들 수 있다. 이 잡음은 “Smile Effect”의 용어로 사용하며, 각 라인에 존재하는 256개의 감지기에서 파장 범위가 조금씩 다르기 때문에 나타나는 현상이다(Goodenough 등, 2003). 하지만 영상 변환 단계를 수행하지 않으므로, 본 연구에서는 Smile Effect는 고려하지 않았으며, 보정이 되지 않은 밴드와 Striping 잡음의 제거만을 수행하였다.

실제 적용을 위해 서울지역을 기준으로 한 2002년 4월 2일, 4월 18일 영상과 남원지역을 기준으로 2002년 9월 3일, 2003년 9월 22일 촬영한 Level 1R의 Hyperion 영상

을 사용하였다. 도십지, 산림, 수계를 포함하는 지역으로 4개의 데이터에서 각각 400화소 × 256화소 × 196밴드의 8개의 영상을 생성하여 실험에 사용하였다. 그림 3은 연구에 사용된 영상이며, Barry(2001)가 제안한 방법으로 R, G, B 밴드를 각각 29번(640.50nm), 23번(579.45nm), 16번 밴드(508.22nm)로 조합하였다.

2.2 Striping 잡음 제거

Striping 잡음은 Striping 잡음을 탐색하는 단계와 탐색된 Striping 잡음이 존재하는 열(column)을 보정하는 단계로 나누어 제거될 수 있다. Striping 잡음이 존재하는 열의 위치를 먼저 찾는 이유는 모든 열을 Striping 잡음으로 간주하여 보정할 경우 발생하는 영상의 화소값 왜곡을 방지하기 위함이다.

“0”의 화소값을 가지는 열(그림 2의 두 번째 영상 예)의 위치를 찾기 위해 각 밴드에 존재하는 열의 화소값 평균을 계산하였고, 평균이 “0”인 열을 Striping 잡음으로 간주한다. “0”의 화소값을 가지는 열의 번호는 모든 영상

표 2. “0”의 화소값을 가지는 열 번호

밴드 번호	66	71	88	137	141	162	172	173	175
열 번호	92	91	137	147	22	112	7	7	114
비고	VNIR 파장에서 1번 열과 SWIR 파장에서 256번 열도 함께 포함됨								

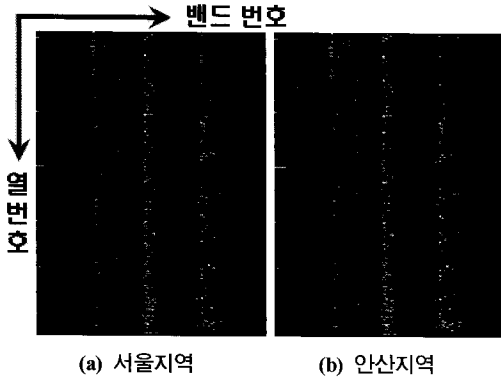


그림 4. 추출된 Striping 잡음의 열 번호 영상 예(주변 화소보다 불규칙적인 값을 보이는 형태; 총 8개의 열 번호 영상이 생성됨)

에 대해 공통적으로 나타난다(표 2). “0”의 화소값을 가지는 열은 인접 화소의 평균값으로 대체하였다.

나머지 형태의 Striping 잡음(그림 2의 3, 4번째 영상 예) 위치를 파악하기 위해 인접한 화소보다 적은 값을 가지는 화소가 일정 개수 이상일 때 Striping 잡음이 존재하는 열로 지정하였다. 본 연구에서는 각 열에 존재하는 400개의 화소 중 320개 이상을 임계값으로 사용하였다. 그림 4는 각 밴드에서 Striping 잡음이 존재하는 열 번호를 이진영상으로 나열한 예이다. 흰색 부분이 Striping 잡음이 존재하는 밴드와 열 번호를 나타내며, 그림에서 확인할 수 있듯 모든 지역에서 비슷한 패턴으로 Striping 잡음이 존재함을 알 수 있었다.

나머지 형태의 Striping 잡음을 제거하는 방법은 인접한 화소간의 선형 회귀식을 이용하는 방법(Bisun 등, 2003; 식 1)과 화소의 평균값을 이용하는 방법(Yoon 등, 2007; 식 2) 등이 있으며, 본 연구는 인접한 6개 화소의 평균값을 이용하여 보정하였다.

$$x'_{ijk} = \alpha_{ik}x_{ijk} + \beta_{ik} \quad (1)$$

$$x'_{ijk} = (x_{i-1j-1k} + x_{i-1jk} + x_{i-1j+1k} + x_{i+1j-1k} + x_{i+1jk} + x_{i+1j+1k})/6 \quad (2)$$

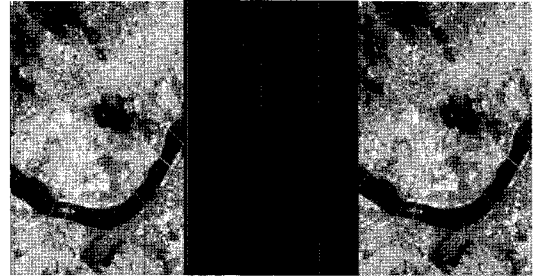


그림 5. Striping 잡음 보정 전, 차이, 후 영상(주변 화소보다 불규칙적인 값을 보이는 형태, 서울지역, 9번 밴드)

여기서, x'_{ijk} 는 새로운 화소값

i, j, k 는 각각 열, 행, 밴드

α_{ik} 는 Offset, β_{ik} 는 Gain

그림 5는 “주변 화소보다 불규칙적인 값을 보이는 형태”의 열을 보정한 결과 예이다. 결과를 통해 효과적으로 Striping 잡음이 보정된 것을 확인할 수 있으며, 보정된 열 이외의 화소값 변화는 없다. “주변 화소와 비슷한 패턴으로 Striping 잡음을 보이는 형태”의 경우 주변의 많은 화소들이 Striping 잡음을 포함하고 있어 보정을 수행하여도 그 결과가 향상되지는 않는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 이러한 밴드는 4장에서 설명할 밴드선택 단계에서 영상의 분석에 불필요한 밴드로 취급되어 대부분 제거된다.

3. 영상간 자동 기하보정

3.1 SIFT 기법

자동 기하보정 방법은 크게 영역 기반(area-based)과 피쳐 기반(feature-based)으로 나눌 수 있고(Zitová 등, 2003), 연구에 사용된 SIFT 기법은 피쳐 기반의 기하보정에 포함된다. SIFT 기법은 영상의 축척과 회전에 불변이고, 긴 범위의 어핀(affine) 변형, 시점변화, 잡음, 조명의 변화에 대해서 거의 영향을 받지 않는 자동 기하보정 기법이다(Lowe, 2004). 이미 컴퓨터 비전(Computer Vision) 분야의 다양한 근거리 카메라 영상에 적용되어 가장 효과적인 기하보정 기법으로 보고되고 있으며, 실제 다양한 해상도를 가진 위성영상에서도 그 성능이 입증된 바 있다(한동열 등, 2006). SIFT 기법은 크게 네 단계를 거쳐 기하보정을 수행하게 되며, 각 단계는 아래와 같다(Lowe, 2004).

- ① Scale-space Extrema Detection
- ② Keypoint Localization
- ③ Orientation Assignment
- ④ Keypoint Descriptor

여기서, ①, ②의 과정은 각 영상에서 특징점(interest points)을 추출하는 과정을 나타내며, ③, ④의 과정은 추출된 특징점을 정합하는 과정에 해당한다. ①, ②의 과정을 통해 추출된 특징점은 위치(x, y), 축척, 방향 정보를 포함하고 있으며, 이 정보를 이용하여 정규화 영역을 생성한 후 기울기 히스토그램(gradient histogram)을 구성하여 정규 방향을 결정하게 된다.

정규 방향과 영역이 생성된 특징점을 그림 6과 같이 4×4화소의 기울기 벡터를 8방향 성분, 즉 128차원(= 4×4×8)으로 나누어 SIFT 벡터로 생성한다. 생성된 각 특징점의 SIFT 벡터는 대응 영상의 특징점 SIFT 벡터와 Nearest Neighbor 탐색(가장 가까운 거리와 두 번째 가까운 거리와의 비-정합점을 추출을 위한 임계값으로 사용함)을 통해 최종 정합점을 결정하게 된다.

3.2 SIFT 기법을 이용한 자동 기하보정

그림 7은 구례지역의 두 영상에서 추출된 특징점을 정합한 결과 예이며, 각 영상에서 추출된 특징점과 정합점의 개수는 표 3에 정리하였다. 정합점 추출을 위해 사용

된 임계값은 0.65로 설정하였고, 어떤 변환을 통해 최근린 내삽법으로 영상을 재배열하였다. 그림 7에서 확인할 수 있듯, 잘못 정합된 특징점(Outlier)을 발견할 수 없었으며, 이는 Outlier를 제거하기 위한 후처리를 거치지 않아도 될 만큼 정합 신뢰도가 높다는 것을 의미한다. 최종적으로 기하보정 된 결과 영상의 공통 지역을 300화소 × 180화소 × 196밴드 크기로 각각 추출하였다. 그림 8은 기하보정이 이루어진 결과 및 공통 지역 추출의 예(구례 지역)를 보여주고 있다.

기하보정의 정량적인 정확도 평가를 위해 RMSE를 이용하였으며, 시각적 평가를 통해 기하보정 후의 결과를 확인하였다. 각 지역의 기하보정 후의 RMSE 값을 표 3에 함께 정리하였고, 모두 0.2화소 이내의 매우 낮은 RMSE 결과를 보임을 알 수 있다. 시각적 평가를 위해 기하보정된 두 영상을 30×30화소씩 번갈아 영상을 생성하였으며, 수계지역과 같은 영상에서 확인이 용이한 선형 피쳐들을 통해 기하보정 결과를 확인하였다. 그림 9는 서울(좌)과 구례지역(우)의 기하보정 결과이며, 선형 피쳐들의 연결이 자연스럽게 이어진 것을 볼 수 있다.

위에서 수행한 두 가지 평가를 통해 우리는 연구에 사용된 SIFT 기법이 별도의 후처리 과정을 거칠 필요가 없을 정도의 높은 정합 신뢰도와 정밀도 0.2화소 이내의 자동 기하보정을 수행할 수 있음을 확인하였다.

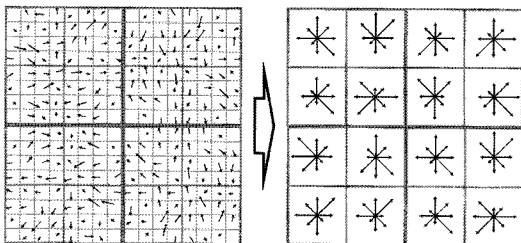


그림 6. SIFT 벡터

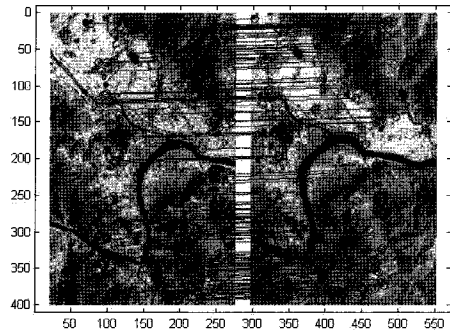


그림 7. 특징점의 정합 결과 예(구례지역)

표 3. 각 영상에서 추출된 특징점 개수, 정합점 개수, RMSE

지역	서울		안산		남원		구례	
	2002.04.02	2002.04.18	2002.04.02	2002.04.18	2002.09.03	2003.09.22	2002.09.03	2003.09.22
특징점(개)	1625	1608	2176	2308	2397	2218	2313	2279
정합점(개)	217		53		164		152	
RMSE(화소)	0.1004		0.0614		0.1652		0.0789	

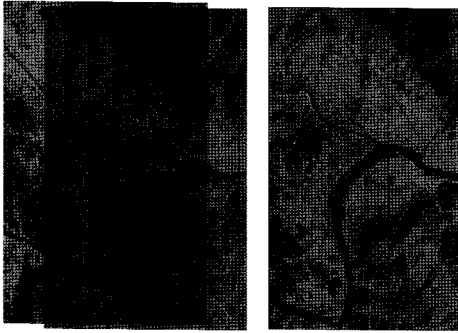


그림 8. 영상 기하보정 결과 및 공통지역 추출

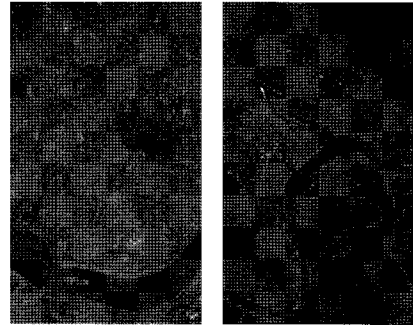


그림 9. 30×30화소씩 번갈아 생성된 영상

4. 유효 밴드선택(Band Selection)

4.1 PIF 추출을 통한 밴드선택

Hyperion 영상은 센서에 의해 존재하는 영상의 잡음 이외에 대기에 의한 잡음이 여러 밴드에 걸쳐 존재한다. 이러한 잡음은 지형을 식별할 수 있는 것과 그렇지 못한 정도의 무작위 잡음 형태를 보인다(그림 10). 잡음이 존재하는 밴드는 시각적인 방법으로 제거하는 것이 가장 일반적이지만 시간적으로 비효율적이며, 그림 10의 네 번째 영상과 같이 시각적 판단에 의해 제거하기에 모호한 밴드가 존재하게 된다.

본 연구는 시각적인 밴드선택과 비슷한 결과를 보이면서 객관적인 지표에 의해 밴드를 선택할 수 있는 자동화된 방법을 제안하고 있다. 이를 위해 변화탐지를 위한 두 시기 영상 모듈을 사용하였으며, 이는 단일 영상만을 이용하는 기존의 밴드선택 기법과 큰 차별성을 지닌다. 시간의 변화에도 분광특성이 변하지 않는 화소는 서로 높은 유사도를 지니고 있다. 하지만 영상이 잡음을 포함하고 있다면, 결국 잡음에 의해 같은 밴드의 두 영상은 낮은 유사도를 보일 것이다. 이 가정에 의거하여 분광정보의 불변특성을 반영하는 화소인 PIF를 추출하고, 추출된 PIF 간 유사도를 계산하여 잡음 밴드를 결정하였다.

PIF는 시간의 변화에도 화소값이 변하지 않아야 하며, 추출된 PIF의 화소값 범위가 넓어야 하는 등의 조건을 만족하여야 한다(Janzen 등, 2006). PIF를 추출하는 기존의 방법은 사용자에 의해 수동으로 추출하는 것이 일반적이며, 이는 주관적이고 추출할 수 있는 표본 수가 적어지는 단점이 발생한다(Du 등, 2002). 본 연구에서는 두 시기 영상의 화소간 상관계수를 통해 자동으로 추출하였으며(식 3), 화소값의 범위가 넓어야 하는 조건을 고려하여 화

밴드 유형	잡음 밴드		
영상 예			
설명	노이즈 매우 심함	지상의 형태 일부 확인	식별 가능한 노이즈 존재
밴드 유형	모호 밴드	양호 밴드 (VNIR)	양호 밴드 (SWIR)
영상 예			
설명	수계 지역에서 일부 확인	10번 밴드	47번 밴드

그림 10. Hyperion 영상의 잡음 밴드와 양호 밴드 예

소값의 최대, 최소를 기준으로 세 범위로 나누어 높은 상관계수를 가지는 화소를 5%씩 추출하였다.

$$C.C_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{Band} (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})(y_{ijk} - \bar{y}_{ij})}{\sqrt{\sum_{k=1}^{Band} (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2 \sum_{k=1}^{Band} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2}} \quad (3)$$

여기서, x_{ijk}, y_{ijk} 는 영상 화소값,

$\overline{x_{ij}}, \overline{y_{ij}}$ 는 영상 i, j 위치에서의 평균

추출된 PIF를 이용하여 각 밴드의 영상간 유사도(상관계수)를 측정하였다. 각 밴드의 유사도 결과를 이용하여 변화탐지에 사용할 유효 밴드를 선택하게 되며, 보다 객관화된 임계값을 설정하기 위해 기대최대화 기법을 적용하였다. 기대최대화 기법은 관측되지 않은 변수의 확률모델의 파라미터를 최대우도를 갖는 값으로 반복연산을 통해 찾아내는 통계적 기법으로서(Moon, 1996), E-step과 M-step의 두 단계로 구성된다. E-step은 혼합 가우시안 확률모델을 가정하여 각 파라미터의 기대값을 결정하며, M-step에서는 계산된 파라미터를 통해 모수를 추정한다. 추정된 모수들을 이용하여 E-step에서 새로운 기대값을 계산하는 반복과정으로 기대값을 최대로 하는 파라미터를 계산하고, 두 확률밀도 함수가 갖는 확률이 동일한 지점이 임계값이 된다. 임계값은 식 4에 의해서 계산할 수 있다.

$$(\sigma_A^2 - \sigma_B^2)\hat{T}^2 + 2(\mu_A\sigma_B^2 - \mu_B\sigma_A^2)\hat{T} + \mu_B^2\sigma_A^2 - \mu_A^2\sigma_B^2 + 2\sigma_A^2\sigma_B^2 \ln\left(\frac{\sigma_B P(w_A)}{\sigma_A P(w_B)}\right) = 0 \quad (4)$$

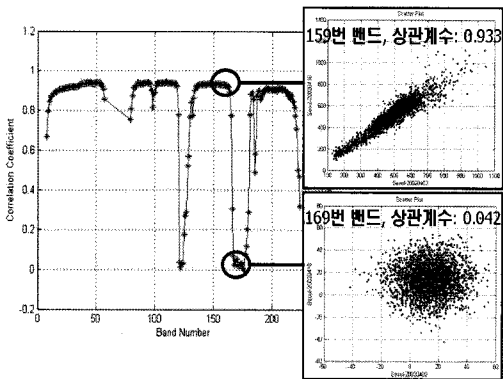


그림 11. 유사도 결과 그래프

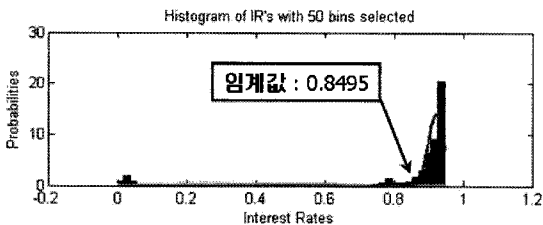


그림 12. 기대최대화 기법 적용 예(서울)

여기서, A, B는 클래스, μ_A 와 σ_A 는 각각 A의 평균과 표준편차, T는 임계값, $P(w_A)$ 는 A의 사전확률.

4.2 연구 적용

추출된 PIF를 통해 밴드간 유사도를 계산하였고, 계산된 유사도 결과를 토대로 낮은 유사도를 보이는 밴드가 잡음을 많이 포함하고 있다고 가정하여 제거하게 된다. 그림 11은 서울지역의 밴드간 유사도 측정 결과 그래프와 159번, 169번 밴드의 PIF Scatter Plot 예이다. 그림에서 159번 밴드는 밴드간 유사도가 매우 높음을 알 수 있으며, 169번 밴드보다 잡음을 적게 포함하고 있다는 것을 의미한다. 결과 그래프에서 일정한 임계값을 통해 잡음이 존재하는 밴드를 제거하게 되며, 기대최대화 기법을 통해 그 값을 결정하게 된다(그림 12). 표 4는 최대기대화 기법을 통해 결정된 임계값이며, 각 임계값을 통해 선택된 유효 밴드의 목록은 표 5에 정리하였다. 결과를 통해 지역과 시간에 따라 일부 밴드에 대해 차이를 보이기는 하지만 141개의 공통적으로 선택된 밴드들에 대해 신뢰도 높은 유효 밴드목록으로 추천할 수 있을 것으로 사료된다.

제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 Datt 등(2003)이 제안한 155개의 안정적인 밴드(표 1)와 비교를 수행하였

표 4. 기대최대화 기법 적용 후의 임계값

지역	서울	안산	남원	구례
임계값	0.8495	0.83607	0.8630	0.83432

표 5. 유효 선택 밴드 목록

지역	파장대	밴드 목록	개수
서울	VNIR	11~57	151
	SWIR	81~97, 99~119, 133~164, 182~184, 187~217	
안산	VNIR	10~55	143
	SWIR	83~96, 101~119, 134~164, 182~183, 187~217	
남원	VNIR	9~57	149
	SWIR	82~97, 101~119, 134~164, 183~184, 187~218	
구례	VNIR	9~57	154
	SWIR	81~97, 99~119, 134~164, 183~184, 187~219	
공통 추출 밴드		11~55, 83~96, 101~119, 134~164, 183, 187~217	141

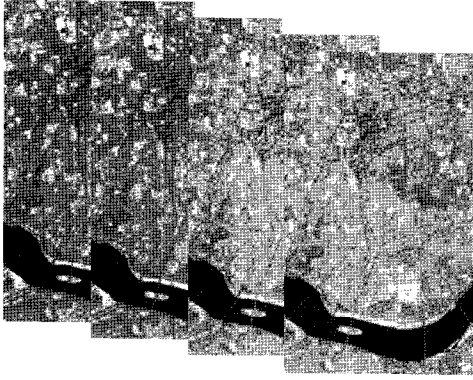


그림 13. 제안된 기법에 의해 추가로 선택된 밴드(좌로부터 99, 100, 131, 133번 밴드)



그림 14. Datt 등(2003)이 제안한 밴드 목록 중 제안 기법에서 선택되지 않은 밴드(좌로부터 185, 186, 220, 221번 밴드)

표 6. 155밴드와 비교 결과

지역	구분	밴드 목록	개수
서울	추가선택	99, 100, 131, 133	4
	미선택	185, 186, 220, 221	4
안산	추가선택	9, 99, 100, 131, 133	5
	미선택	57, 185, 186, 220, 221	5
남원	추가선택	8, 9, 99, 100	4
	미선택	185, 186, 220, 221	4
구례	추가선택	9, 99, 100	3
	미선택	185, 186, 221	3

으며, 이를 위해 높은 유사도를 가지는 순으로 동일하게 155개의 밴드를 추출하였다. 155개의 안정적인 밴드에 비교해 모든 지역에서 99번 밴드와 100번의 밴드가 추가로 선택되었으며, 서울지역에 대해 131, 133번의 밴드가 추가로 선택되었다. 또한 185번, 186번, 220번, 221번 밴드에 대해서는 추출하지 않았다(표 6). 이 밴드들을 시각적으로 평가해본 결과 본 연구에서 제안한 방법에 의해 추가로 선택된 밴드의 경우 양호한 밴드로 볼 수 있었으며(그림 13), 그림 14와 같이 선택되지 않은 밴드의 경우 잡음을 많이 포함하고 있어 제안된 기법이 밴드선택에 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구는 Hyperion 영상을 이용한 변화탐지 기법을 적용하기 위해 ① Striping 잡음 제거, ② SIFT 기법을 이용한 자동 기하보정, ③ PIF 추출을 통한 밴드선택 등의 전처리 과정을 수행하였다.

연구를 통해 Pushbroom 방식의 센서에 나타나는 Striping 잡음이 존재하는 열을 탐색하고 인접한 화소의 평균을 이용함으로써, “0”의 값을 보이는 열과 주변 화소보다 불규칙한 값을 보이는 열을 선택적으로 보정할 수 있었다. 또한 기하보정에 있어 이미 성능이 입증된 SIFT 기법을 적용하여 Dai 등(1998)의 연구 결과에서 제시한 0.2화소 이내의 정확도를 모든 실험 지역에 대해 만족하였으며, 후처리를 필요로 하지 않는 신뢰도 높은 자동 기하보정을 수행하였다. 마지막으로 기존의 단 영상을 이용한 밴드선택 방법과는 달리 변화탐지에 사용하는 모든 영상을 사용하여 밴드를 선택하였다. 이를 위해 PIF 추출을 통해 영상의 잡음을 추정하고, 최대치대화 기법을 적용하여 밴드선택의 자동화 및 객관성을 보장하도록 노력하였다. Datt 등(2003)이 제안한 155개의 안정적인 밴드와 비교한 결과 제안된 기법을 통해 추출한 밴드(99, 100, 131, 133번 밴드)가 기존의 밴드(185, 186, 220, 221번 밴드)보다 잡음이 덜 포함되어 있음을 시각적으로 확인할 수 있었다. 이는 제안된 기법이 잡음 추정을 통한 밴드선택에 효과적으로 적용될 수 있음을 의미한다.

향후 영상간 방사 정규화를 포함한 전처리 과정을 전반적으로 수행하여 초분광 영상의 변화탐지 알고리즘 적용을 위한 양질의 데이터를 제공하고, 전처리 과정에서 선별된 밴드의 모든 정보를 이용한 화소기반의 변화탐지 알고리즘에 대한 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 지능형국토정보기술혁신 사업단 및 서울대

학교 공학연구소의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- 김대성, 김용일 (2006), 화소간 유사도 측정 기법을 이용한 하이퍼스펙트럴 데이터의 무감독 변화탐지에 관한 연구, *춘계학술대회 발표회 논문집*, 한국측량학회, pp. 243-248.
- 김선화, 이규성, 마정림, 국민정 (2005), 초분광 원격탐사의 특성, 처리기법 및 활용 현황, *대한원격탐사학회지*, 대한원격탐사학회, Vol. 21, No. 4, pp. 341-369.
- 한동엽, 김대성, 김용일 (2006), 극단화소를 이용한 Hyperion 데이터의 노이즈 밴드제거, *대한원격탐사학회지*, 대한원격탐사학회, Vol. 22, No. 4, pp. 275-284.
- 한동엽, 김대성, 이재빈, 오재홍, 김용일 (2006), SIFT 기법을 이용한 중저해상도 위성영상간의 자동 기하보정, *한국측량학회지*, 한국측량학회, Vol. 24, No. 5, pp. 409-416.
- Bajcsy, P., and Groves, P. (2004), Methodology for Hyperspectral Band Selection, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 70, No. 7, pp. 793-802.
- Barry, P. (2001), *EO-1/Hyperion Science Data User's Guide*. TRW Space, Defense and Information Systems.
- Bentoutou, Y., Taleb, N., Kpalma, K., and Ronsin, J. (2005), An Automatic Image Registration for Applications in Remote Sensing, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 43, No. 9, pp. 2127-2137.
- Bisun, D., Tim R. M., Tom, G. V., Tom, G. V. N., David, L. B. J., and Jay, S. P. (2003), Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 41, No. 6, pp. 1246-1259.
- Bruzzone, L. and Cossu, R. (2003), An Adaptive Approach to Reducing Registration Noise Effects in Unsupervised Change Detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 41, No. 11, pp. 2455-2465.
- Bruzzone, L. and Priato, D. F. (2000), Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 38, No. 2, pp. 1171-1182.
- Dai, X., and Khorram, S. (1998), The Effects of Image Misregistration on the Accuracy of Remotely Sensed Change Detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 36, No. 5, pp. 1566-1577.
- Datt, B., McVicar, T. R., Niel, T. G. V., Jupp, D. L. B., and Pearlman, J. S. (2003), Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 41, No. 6, pp. 1246-1259.
- Du, Y., Teillet, P. M., and Cihlar, J. (2002), Radiometric Normalization of Multitemporal High-resolution Satellite Images with Quality Control for Land Cover Change Detection, *Remote Sensing of Environment*, ISRSE, Vol. 82, pp. 123-134.
- EO-1 Homepage, <http://eo1.usgs.gov/imagePreviews.php>
- Frank, M., and Canty, M. (2003), *Unsupervised Change Detection for Hyperspectral Images*, JPL Publication, 8th publication.
- Goodenough, D. G., Dyk, A., Niemann, K. O., Pearlman, J. S., Chen, H., Han, T., Murdoch, M., and West, C. (2003), Processing Hyperion and ALI for Forest Classification, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 41, No. 6, pp. 1321-1331.
- Han, T., Goodenough, D. G., Dyk, A., and Love, J. (2002), Detection and Correction of Abnormal Pixels in Hyperion Images, in *Proc. IGARSS*, Vol. 3, Toronto, Canada, pp. 1327-1330.
- Janzen, D. T., Fredeen, A. L., and Wheate, R. D. (2006), Radiometric Correction Techniques and Accuracy Assessment for Landsat TM Data in Remote Forested Regions, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 32, No. 5, pp. 330-340.
- Jensen, J. R. (2005), *Introductory Digital Image Processing - A Remote Sensing Perspective*, 3rd Edition, Prentice Hall, NY, USA, pp. 467-494.
- Landgrebe, D. A. (2003), *Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing*, Wiley-Interscience, NJ, USA, pp. 273-321.
- Lowe, D. G. (2004), Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints, *International Journal on Computer Vision*, IJCV, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E and Moran, E. (2004), Change Detection techniques, *International Journal of Remote Sensing*, IJRS, Vol. 25, No. 12, pp. 2365-2407.
- Moon, T. K. (1996), The Expectation- Maximization Algorithm, *IEEE Signal Processing Magazine*, IEEE, Vol. 13, No. 6, pp. 47-60.
- Nielsen, A. A., and Canty, M. J. (2005), Multi- and Hyperspectral Remote Sensing Change Detection with Generalized Difference Images by the IR-MAD Method, *International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images*, IEEE, Mississippi, USA, pp. 169-173.
- Singh, A. (1989), Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, IJRS, Vol. 10, pp. 989-1003.
- Yoon, Y., and Kim, Y. (2007), Application of Hyperion Hyperspectral Remote Sensing Data for Wildfire Fuel Mapping, *Korean Journal of Remote Sensing*, KSRS, Vol. 23, No. 1, pp. 21-32.
- Zitová, B., and Flusser, J. (2003), *Image Registration Methods: a Survey*, *Image and Vision Computing*, Vol. 21, No. 11, pp. 977-1,000.

(접수일 2007. 7. 2, 심사일 2007. 9. 6, 심사완료일 2007. 10. 13)