

구간평균 그래프 기반의 버퍼존 개념을 적용한 Hyperion 초분광영상의 변화화소 추출 Extraction of Changed Pixels for Hyperion Hyperspectral Images Using Range Average Based Buffer Zone Concept

김대성¹⁾ · 편무욱²⁾

Kim, Dae Sung · Pyen, Mu Wook

Abstract

This study is aimed to perform more reliable unsupervised change detection through the re-extraction of the changed pixels which were extracted with global thresholding by applying buffer zone concept. First, three buffer zone was divided on the basis of the thresholding value which was determined using range average and the maximum distance point from a straight line. We re-extracted the changed pixels by performing unsupervised classification for buffer zone II which consists of changed pixels and unchanged pixels. The proposed method was implemented in Hyperion hyperspectral images and evaluated comparing to the existing global thresholding method. The experimental results demonstrated that the proposed method performed more accuracy change detection for vegetation area even if extracted slightly more changed pixels.

Keywords : Hyperspectral Images, Unsupervised Change Detection, Buffer Zone, Thresholdings, Spectral Correlation Mapper

초 록

본 연구는 단일 임계값으로 결정된 변화화소를 버퍼존 개념을 적용하여 재추출함으로써, 보다 신뢰도 높은 무감독변화탐지를 수행하는데 목적이 있다. 우선, 그래프 생성기법과 직선과의 최대거리를 통해 결정된 임계값을 기반으로 세 개의 버퍼존을 생성하였다. 이 중 변화화소와 무변화화소가 혼재하는 구간인 버퍼존 II에 대해 무감독분류를 수행하여 변화화소를 재추출하였다. Hyperion 초분광영상을 사용하여 제안기법을 적용하였으며, 단일 임계값 방법을 적용한 변화탐지 결과와의 비교를 통해 제안기법의 성능을 평가하였다. 결과를 통해, 버퍼존 기법이 다소 많은 변화화소를 추출하였으나, 산림지역에 대해 보다 정확한 변화탐지를 수행함을 확인할 수 있었다.

핵심어 : 초분광영상, 무감독변화탐지, 버퍼존, 임계값, 분광상관기법

1. 서 론

높은 분광해상도(high spectral resolution) 특성을 보이는 초분광영상(hyperspectral images)은 기존의 다중분광영상(multispectral images)에 비해 보다 세밀한 분석을 가능하게 하는 이점을 가지고 있으며(Goetz, 1992; Van der Meer 등, 2001; Chang, 2003), LiDAR, SAR와 함께 향후

가장 수요 증가가 기대되는 데이터로 인식되고 있다 (Mondello 등, 2008). 최근에는 항공기 초분광영상이나 Hyperion과 같은 위성 초분광영상의 축척된 데이터로부터 다중시기 영상(multi-temporal images)을 사용자가 제공받을 수 있게 됨에 따라, 초분광영상을 이용한 변화탐지(change detection) 연구가 조금씩 활기를 띠고 있다 (Schaum 등, 2004; Eismann 등, 2008; Vongsy, 2009; Farah

1) 주저자 · 정회원 · 건국대학교 신기술융합학과 전임연구원(E-mail: mutul94@snu.ac.kr)

2) 교신저자 · 정회원 · 건국대학교 신기술융합학과 교수(E-mail: neptune@konkuk.ac.kr)

등, 2010; Manolakis 등, 2010; Meola 등, 2010). 또한 발전된 형태의 초분광센서를 탑재한 위성들이 계획되어 있고, 국내에서도 항공기 초분광센서의 도입이 검토되고 있는 점을 미루어볼 때, 초분광영상을 이용한 변화탐지의 선행연구가 필요한 시점이라고 할 수 있다.

변화탐지는 그 결과물에 따라 크게 무감독변화탐지(unsupervised change detection)와 감독변화탐지 기법으로 나눌 수 있으며, 이 중 무감독변화탐지는 영상 화소값 연산에 의해 변화유무(change/non-change) 정보만을 판단하는 기법을 말한다(Bruzzone 등, 2000). 대상지역의 사전 정보를 얻을 수 없거나 자동화된 방식으로 단순 변화정보만을 추출하고자 하는 경우에 간단하게 적용될 수 있는 장점으로 인해, 최근까지도 관련 연구가 다양하게 진행되고 있다(Singh, 1989; Richards 등, 2005; Ghosh 등, 2009). 무감독변화탐지 결과의 추출을 위해서는 영상 전처리(image pre-processing), 영상비교(image comparison), 영상분석(image analysis)의 주요 과정을 거치게 된다(Singh, 1989; Bruzzone 등, 2000; Castllana 등, 2007; Ghosh 등, 2010). 영상비교 단계에서는 영상차, 영상비, CVA(Change Vector Analysis) 방법 등을 통한 영상의 화소간 비교(pixel by pixel comparison) 연산이 이루어지게 되며, 영상분석 단계에서는 일반적으로 '히스토그램(histogram) 기반'의 '단일 임계값(global thresholding)'을 통해 변화유무 정보를 추출하게 된다(Singh, 1989; Ghosh 등, 2010). 하지만, 이러한 방식을 초분광영상에 적용하기 위해서는 밴드선택(band selection)이나 밴드추출(band extraction)과 같은 전처리 과정을 통해 적절한 밴드를 생성해야 하는 또 다른 문제가 수반되며, 무엇보다 기존에 취득되고 있는 다중분광영상 분석 기법을 크게 벗어나지 못하므로 초분광영상의 취득 목적을 퇴색시킨다(Nielsen, 2007; Eismann 등, 2008; Meola 등, 2010). 따라서, 초분광영상만이 가지고 있는 높은 분광해상도를 활용한 새로운 변화탐지 기법의 개발이 필요하며, 최근 분광각(spectral angle), 분광상관(spectral correlation) 등과 같은 유사도 측정기법(similarity measurement)을 영상비교 단계에서 적용하는 연구들이 일부 이루어지고 있다(Carvalho Junior 등, 2007; Wen 등, 2009, 김대성 등, 2008; 김대성 등, 2011).

영상분석 단계에서 이루어지는 '히스토그램 기반'의 '단일 임계값'을 결정하는 방식은 가장 보편적이고 간편한 방법임에는 틀림없다. 하지만, 문제점이 존재하는 것도 사실이다. 특히, 초분광영상을 이용한 영상비교 단계

에서 유사도 측정기법을 적용하여 생성된 영상을 히스토그램으로 형상화하면, 한쪽으로 치우쳐진 가우시안 형태를 보인다(김대성 등, 2011). 이는 확률분포를 이용하는 기본 가정에 위배될 수 있으며, 히스토그램에 기반을 둔 기존의 기법을 적용하는데 한계가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 단일 임계값을 기준으로 추출된 변화화소들 중에는 무변화화소들이 존재할 수 있으며, 그와 반대의 경우도 발생할 것이다. 특히, 임계값 주변을 중심으로 변화와 무변화화소가 혼재되어 있을 가능성은 더욱더 커진다.

본 연구는 기존의 '히스토그램 기반'의 '단일 임계값' 방식에서 벗어나 '구간평균(range average) 그래프 기반'의 '버퍼존(buffer zone)' 개념을 적용한 새로운 접근의 변화탐지 기법을 제안하고 있다. 구간평균은 생성된 그래프의 모양을 이용함으로써, 영상비교 단계에서 계산된 결과값에 대한 임계값을 먼저 결정하지 않고, 변화화소 개수에 대한 임계값을 먼저 결정한다는 점에서 기존의 히스토그램 기반 기법과 근본적인 차이를 보인다. 버퍼존 개념은 단일 임계값을 기준으로 일정 범위 내에 변화 및 무변화화소가 혼재하는 구간을 의미하며, 무감독분광각(unsupervised spectral angle mapper)이라는 클러스터링 기법(clustering method)을 통해 버퍼존 내에 존재하는 변화 및 무변화화소들을 재추출함으로써, 단일 임계값 방식이 가진 한계를 해결하고자 노력하였다.

2. 무감독변화탐지 기법

2.1 기존의 무감독변화탐지 연구

'히스토그램 기반'의 '단일 임계값' 방식을 이용한 무감독변화탐지 연구는 사용자가 임의적으로 임계값을 결정하거나 이 과정을 반복하여 최종적으로 임계값을 결정(trial-and-error procedure)하는 시각적 방법과 결과영상의 평균과 분산을 이용하여 적절한 임계값을 결정하는 통계적 측정을 통해 주로 수행되어 왔다(Singh, 1989; Lu 등, 2004). 이러한 방법들은 사용자의 판단이 결과를 결정하므로 객관성이 결여되는 문제가 발생한다(Lu 등, 2004). 결과의 정확도와 객관성을 높이기 위한 방법으로서, 가우시안 특성을 이용하는 기대최대화 기법(Bruzzone 등, 2000; Bazi 등, 2007)이나 두 히스토그램의 분산합이 최대가 되는 지점으로 임계값을 결정하는 Otsu 기법(Otsu, 1979)이 연구되었다. Rosin 등(2001)은 히스토그램의 피크점(peak)과 끝점을 이은 직선의 직교선과 만

나는 히스토그램 값을 임계값으로 정하는 간단한 방법인 교점방법(corner method)을 제시하였다.

하지만, ‘히스토그램 기반’의 ‘단일 임계값’ 방식의 다양한 연구에 비해 그 이외의 기법에 대한 연구는 미진한 실정이다. Wu 등(2005)은 히스토그램 기반의 변화탐지 문제를 지적하고, 누적히스토그램과 직선의 최대거리를 이용하여 동작탐지를 수행하였으며, 김대성 등(2008)은 누적유사도 평균과 기울기를 이용하여 변화탐지를 수행하기도 하였다. 단일 임계값 이외에는 퍼지함수(fuzzy set)를 이용한 방식이 주로 제안되고 있다 (Metternicht, 1999; Ghosh 등, 2009).

2.2 구간평균 그래프 기반의 버퍼존 개념을 적용한 무감독변화탐지

2.2.1 구간평균 그래프 생성

앞서 언급하였듯, 그래프 생성기법은 초분광영상의 유사도 측정시 나타나는 히스토그램의 문제를 해결하기 위해 제안된 방법이다(김대성 등, 2011). 그림 1은 구간평균이라는 그래프 생성기법과 직선과의 최대거리를 이용하여 무감독변화탐지를 위한 임계값 결정 방법을 설명하고 있다. 다중시기 영상에 대한 유사도를 측정하게 되면 동일지점에 위치한 화소들의 분광정보 유사성을 나타내는 하나의 새로운 영상이 생성된다. 유사도 값이 높다면 그 지점의 화소는 변화가 덜 이루어진 것으로 볼 수 있으며, 유사도 값이 낮다면 반대의 경우로 판단할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 특성을 이용하기 위해 유사도 값을 높은 순에서 낮은 순으로 정렬한 후, 100개의 화소를 하나의 구간으로 구분하여 평균하는 ‘구간평균’ 그래프를 생성하였다. 그림 1의 구간평균 그래프를 보면, 계산된 결과값이 어느 시점에서 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 뚜렷한 화소특성 차이를 보이는 지점, 즉, 변화 및 무변화화소를 나누는 임계값이 위치할 가능성이 높다는 것을 의미한다. 김대성 등(2011)은 구간평균 그래프를 기반으로 그래프의 끝 점을 이은 직선과 가장 먼 지점을 임계값으로 결정하는 새로운 기법을 제안하여 기존의 기법과 비슷하거나 높은 정확도를 보임을 확인하였다.

2.2.2 버퍼존 결정

본 연구는 단일화된 임계값 주변에 변화화소와 무변화화소가 혼재되어 있을 것이라는 가정에 기초하여, 임

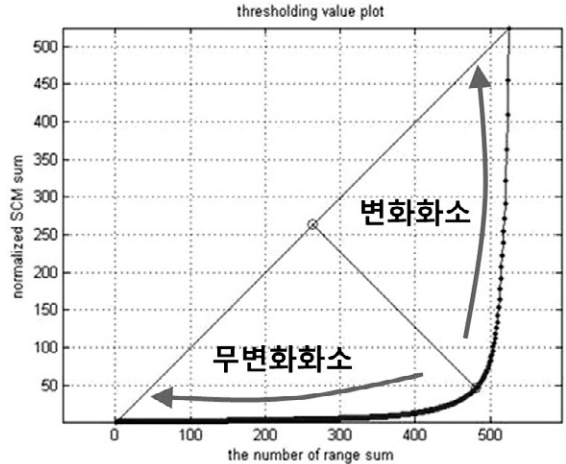


그림 1. 구간평균 그래프와 직선과의 최대거리를 통한 무감독 변화탐지 개념

계값을 중심으로 하는 별도의 구간을 나누는 방식으로 새로운 무감독변화탐지를 수행하고자 하였다. 임계값 주변의 변화화소가 혼재된 구간을 ‘버퍼존’이라고 칭하고, 버퍼존 내에 위치하는 화소에 대해 클러스터링 기법을 적용하여 변화화소를 재추출하였다. 그림 2는 구간평균 그래프를 기준으로 버퍼존을 생성하는 방법에 대해 설명하고 있다.

버퍼존을 생성하는 순서는 다음과 같다. ① 구간평균 그래프와 직선과의 최대거리 개념을 적용하여 초기 임계값을 결정한다. ② 초기에 결정된 임계값을 기준으로 나뉜 두 구간의 데이터에 대해 회귀식을 구성한다. 예를 들어, 서울지역은 임계값을 기준으로 좌측(무변화화소 지역)의 데이터가 495개가 되며, 우측(변화화소 지역)은 30개가 된다. 회귀식은 좌우측의 데이터를 이용하여 계산된다. ③ 계산된 두 개의 회귀식과 동일한 기울기를 가지는 접점을 찾는다. 그림 2에서 빨간색으로 표시된 직선이 회귀식의 기울기와 동일한 접선의 직선식을 의미한다. 기울기는 구간평균 그래프의 미분을 이용한다. ④ 회귀식과 가장 유사한 기울기를 가지는 구간을 버퍼존 구분을 위한 새로운 임계값으로 결정한다(그림 2의 파란색 점). 임계값은 화소의 개수에 대응하는 지점과 동일한 의미로 사용되며, 이를 기준으로 세 개의 버퍼존(버퍼존 I, II, III)이 생성된다. 세 개의 버퍼존은 무변화화소 구간으로 판단되는 버퍼존 I, 변화화소와 무변화화소가 혼재하는 버퍼존 II, 변화화소가 존재하는 버퍼존 III으로 구성된다.

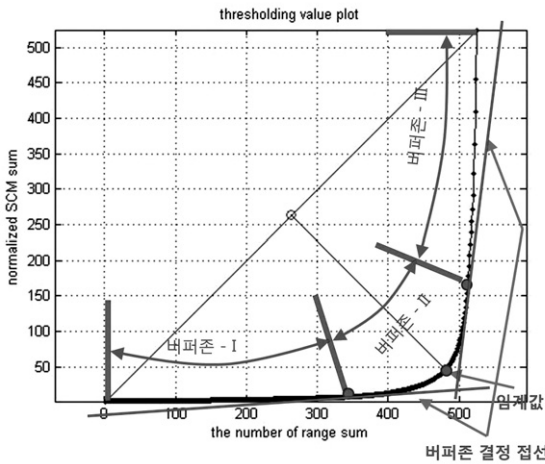


그림 2. 버퍼존 생성 개념도

2.2.3 클러스터링 기법 적용을 통한 변화화소 재추출
 버퍼존 I과 III은 명백하게 변화 또는 무변화된 화소가 존재하는 구간으로 볼 수 있으므로, 변화화소를 재추출하는 대상에서 제외하였다. 버퍼존 II는 변화화소와 무변화화소가 혼재하는 구간이기 때문에, 무감독변화탐지를 통해 단일 임계값을 설정하여 나뉜 변화지역과 무변화지역의 화소들이 반대의 특성을 보일 수 있다는 의심을 가지고 접근하였다. 이를 위해 클러스터링 기법을 도입하였다. 만약 변화가 이루어지지 않은 화소라면, 분광특성이 비슷하므로 클러스터링 기법을 서로 교차하여 적용할 경우에도 동일한 클러스터로 편입되어야 하며, 변화가 이루어진 것이라면, 동일한 클러스터로 편입되지 않아야 한다.

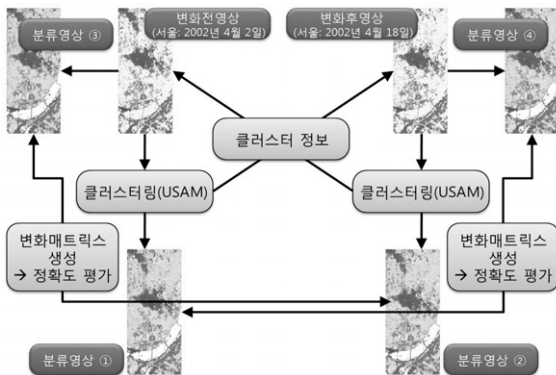


그림 3. 버퍼존 II의 화소를 이용한 클러스터링 과정

본 연구에서 적용된 기본적인 개념은 시기 1의 영상에 먼저 클러스터링을 수행하여 추출된 클러스터 정보를 다른 시기 영상에 동일하게 사용하여 클러스터링을 수행하는 방식이다. 또한 반대의 경우에 대해서도 클러스터링을 적용하는 방식으로 실험을 진행하였다. 그림 3은 버퍼존 II의 화소들에 대해 수행한 클러스터링 과정을 설명하고 있다. 먼저 두 영상(상단의 네 개 그림 중 중간 두 영상)에 대해 독립적으로 클러스터링을 수행한 후 추출된 클러스터 정보를 다른 두 영상에 교차하여 입력한 후 클러스터링을 수행한다. 따라서 클러스터링을 통해 생성된 분류영상은 총 네 개가 된다(분류영상 ①~④). 이 중 동일한 클러스터를 사용한 분류영상 ①과 ④, 분류영상 ②와 ③을 서로 비교하게 되면 변화화소가 얼마나 많이 존재하는지를 계산할 수 있게 된다. 이러한 방법을 통해 추출된 세 가지 결과물(둘 다 무변화화소, 하나만 무변화화소, 둘 다 변화화소) 중 둘 다 변화화소로 추출된 경우에 대해서 명백하게 변화화소로 결정지을 수 있다고 판단하였다. 클러스터링은 Sohn 등(2002)이 제안한 무감독분광각 기법(unsupervised spectral angle mapper)을 통해 수행되었으며, 지역이 넓지 않은 점을 감안하여 네 개의 클러스터를 가정하였다. 반복계산은 클러스터의 화소 이동이 1% 미만일 때 멈추도록 하였다.

3. 알고리즘 적용

3.1 실험 방법 및 데이터

제안기법의 실제 적용을 위해서 서울(안양), 남원(구례)의 두 지역을 촬영한 다중시기 Hyperion 초분광영상을 사용하였다. 서울(안양)은 2001년 봄(4월 2일과 4월 18일) 시기의 짧은 시간차이를 두고 촬영된 것이며, 남원(구례) 지역은 2002년과 2003년 초가을(9월 3일, 9월 22일)에 취득된 영상이다. SIFT 기법(Lowe, 2004)을 이용한 자동기하보정을 수행한 후, 구름이 없는 지역을 기준으로 350화소150화소88밴드 크기(남원(구례)지역은 중복지역이 적어 폭을 140화소로 생성함)로 생성하는 서브셋(subset) 작업을 수행하였다. 선형회귀식을 통해 두 영상간 방사정규화(radiometric normalization)도 전처리 과정의 하나로 적용되었다.

전처리 과정을 거쳐 생성된 데이터는 분광상관 기법을 적용하여 동일 지점의 화소간 유사도를 측정하였으며, 일정구간 데이터의 평균(구간평균)과 직선과의 최대 거리를 통해 임계값을 결정함으로써, 변화유무 정보를

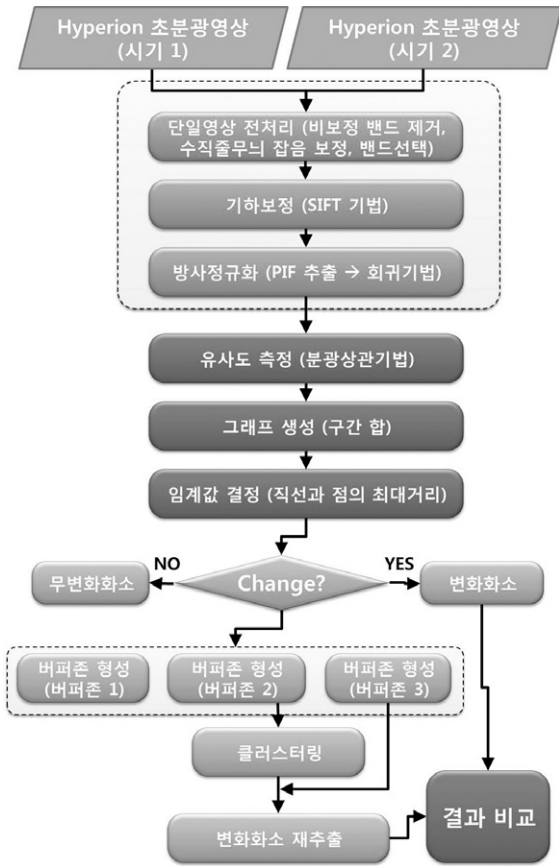


그림 4. 연구 흐름도

추출하는데 사용되었다. 단일 임계값을 기준으로 버퍼존 개념을 적용하여 세 개의 버퍼존을 생성하고, 버퍼존 II에 대해 클러스터링을 수행함으로써, 변화화소를 재추출하였다. 그림 4는 앞서 설명한 연구내용을 흐름도 형식으로 정리한 것이다.

변화탐지 연구의 가장 큰 어려움은 참조데이터(reference data)의 취득에 한계가 발생하므로 정확도 평가를 수행하기 힘들다는데 있다. 따라서, 본 연구는 참조데이터 취득을 통한 성능평가를 수행하지 못하였음을 밝힌다. 다만, 기존 연구에서 의사영상(synthetic images)를 통해 성능평가가 이루어진 단일 임계값 결정기법과의 시각적인 평가를 통해 결과를 평가하고자 한다. 시각적인 평가는 데이터가 취득된 당시의 계절적인 상황을 고려하여 진행되었다. 또한, 클러스터링 과정에서 이동되는 변화 또는 무변화화소의 양상들을 파악하여 제안된 기법의 적용 적정성을 평가하고자 하였다.

3.2 버퍼존 생성에 따른 화소분포 결과

그림 5는 전처리 과정을 거친 각 지역의 다중시기 Hyperion 초분광영상에 대해 분광상관기법을 적용하여 계산된 유사도 측정결과를 영상으로 표현한 것이다. 그림에서 빨간색은 낮은 유사도 값을 보이며, 파란색은 높은 유사도 값을 나타낸다. 즉, 빨간색으로 표시된 지역이 변화가 이루어질 가능성이 높다는 것을 의미한다. 이 결과값을 토대로 구간평균 그래프를 생성하고, 제안 기법을 적용하여 세 개의 버퍼존으로 화소들을 나누게 된다.

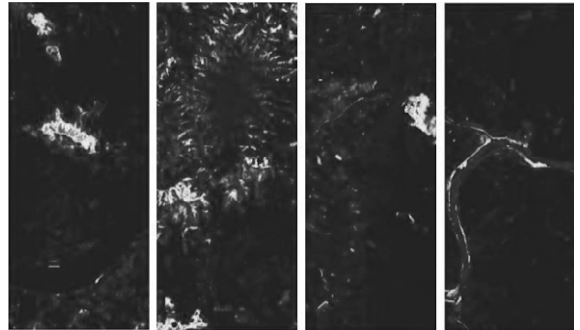
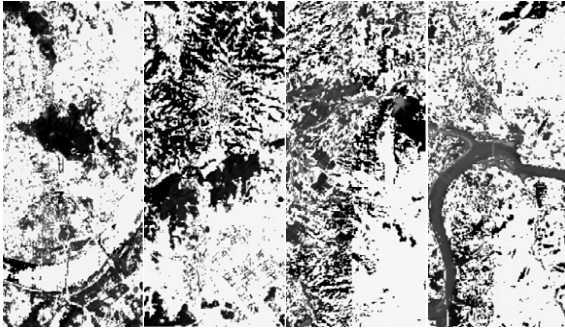


그림 5. 유사도 측정 결과 영상(좌로부터 서울, 안양, 구례, 남원)

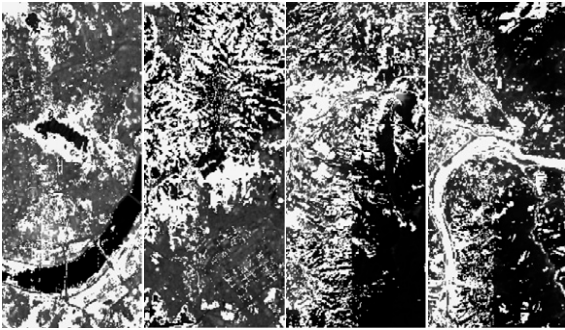
그림 6은 새로운 임계값을 기준으로 생성된 각각의 버퍼존에 해당하는 화소의 위치를 버퍼존별로 표시한 것이며, 표 1은 각각의 임계값과 버퍼존에 포함된 화소의 개수를 정리한 것이다. 버퍼존 I에 해당하는 서울, 안양지역의 화소는 도심지, 하천변, 높은 고도의 산림지 등의 무변화에 대해 잘 표현해 주고 있으며, 안양, 구례지역의 경우 비슷한 시기의 산림지, 농경지 무변화가 잘 표현되고 있음을 확인할 수 있다. 버퍼존 III 영상에서는 모든 지역에 대해 낮은 지대의 산림지, 강가, 구름 등 명확하게 변화되는 지역만을 잘 표시하고 있다.

표 1. 결정된 임계값과 각 버퍼존에 포함된 화소의 개수

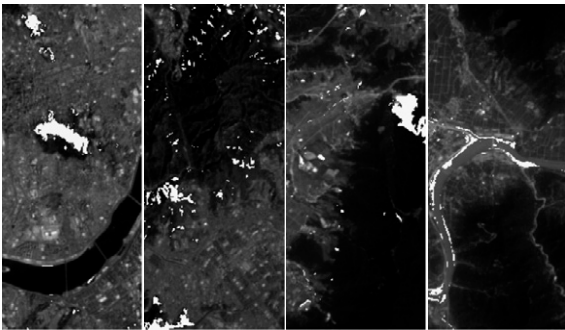
목적	지역	서울	안양	남원	구례
		지역	지역	지역	지역
임계값	임계값I	0.0037	0.0061	0.0078	0.0056
	임계값II	0.0528	0.0466	0.0962	0.0771
버퍼존 화소 개수	버퍼존I	34,550	31,350	30,650	32,650
	버퍼존II	16,700	19,600	17,300	15,500
	버퍼존III	1,250	1,550	1,050	850
전체 화소개수		52,500	52,500	49,000	49,000



(a) 버퍼존 I의 화소분포



(b) 버퍼존 II의 화소분포



(c) 버퍼존 III의 화소분포

그림 6. 버퍼존별 해당 화소분포
(좌로부터 서울, 안양, 구례, 남원지역 순)

3.3 버퍼존 II 화소의 클러스터링을 통한 변화화소 재추출 결과

무감독변화탐지와 버퍼존 방식의 결과를 정량적으로 비교할 수는 없었다. 다만, 시기적인 특성과 지표면의 정보 등과 같은 간접적인 비교 방법을 통해, 전반적으로 버퍼존 방식의 결과가 보다 정확하게 변화를 탐지해주는 것을 확인할 수 있었다. 그림 7의 상단 그림은 기존의 무감독변화탐지 과정에서 추출된 변화화소와 버퍼존 II, 버

퍼존 III에서 재추출된 변화화소의 위치를 각 지역별로 비교하여 보여주고 있으며, 동근 원으로 표시하여 확인이 편하도록 하였다. 이 결과를 비교한 이유는 기존의 단일 임계값을 통해 결정된 변화탐지와 버퍼존 개념을 적용하여 변화지역을 탐지한 결과가 어떤 차이를 보이는지를 확인하기 위해서이다. 추출된 개수와 화소 위치를 통해 서로를 비교해보면, 전반적으로 본 과정을 통해 추출된 변화화소가 무감독변화탐지를 통해 추출된 것보다 산발적으로 분포하는 것을 볼 수 있으며, 이러한 화소들은 도심지와 산림지의 경계부근의 변화를 탐지하는 것으로 나타났다.

지역별로 특성을 살펴보면, 서울지역은 버퍼존 방식의 결과가 남산의 남쪽 사면에 대해 무감독변화탐지 결과보다 변화가 덜 일어난 것으로 탐지되었다. 이 지역은 침엽수림과 혼효림이 군락을 이루고 있기 때문에 변화가 활엽수림보다 상대적으로 적어야 하므로, 버퍼존 방식의 결과가 올바른 변화탐지 결과로 판단할 수 있다. 안양지역은 관악산의 변화를 덜 탐지한 대신 평촌의 중앙공원과 호계근린공원 부근의 산림변화를 탐지한 것을 확인하였다. 남원지역은 두 방법 모두 아래봉에 걸쳐있는 구름으로 인한 변화를 명확하게 탐지하였으며, 덕산저수지와 신기리 주변의 산림에 대해 버퍼존 방식은 변화되지 않은 것으로 나타났다. 이는 9월의 시기적 특성상 산림의 변화가 봄에 비해 상대적으로 적은 것과 맥락을 같이 할 수 있다. 구례지역은 서로 비슷한 변화지역을 탐지한 것을 볼 수 있으며, 월전리를 굽이쳐 흐르는 섬진강의 하상 변화가 버퍼존 방식에서 다소 일어난 것으로 보아 태풍으로 인한 강의 범람이 일어난 것으로 추정할 수 있다.

클러스터링 과정에서 이동되는 변화 또는 무변화화소의 양상들을 파악하기 위해 클러스터링 전과 후의 화소 개수를 표를 이용하여 정리해보았다(표 2, 3, 4, 5). 이 표에서 좌측상단의 4×4 매트릭스는 분류영상 ①과 ④의 각 클러스터에 대한 추출관계를 보여주고 있으며, 우측하단의 4×4 매트릭스는 분류영상 ②와 ③의 추출관계를 보여주고 있다. 클러스터링 과정을 통해, 둘 다 무변화화소, 하나만 무변화화소, 둘 다 변화화소의 세 가지 결과물을 추출할 수 있었다. 이 중 그림 3에서 설명하고 있는 클러스터링의 가정에 근거하여 세 가지 결과물 중 둘 다 변화화소로 추출된 경우에 대해서 명백하게 변화화소로 결정지을 수 있다고 판단하였다. 그 결과, 서울지역 15.90%, 안양지역 17.71%, 남원지역 12.49%, 구례지역 15.18%로서 약 15%의 변화화소를 추출한 것으로 나타났

다. 참고로, 한 번도 변하지 않은 화소의 수는 서울지역 34.28%, 안양지역 28.97%, 남원지역 44.88%, 구례지역 64.46% 정도로 버퍼존 II 구간에 존재하는 화소의 약 40% 내외였다.

버퍼존 II에서 변화화소로 추출된 화소는 앞서 버퍼존 III에서 명백하게 변화된 화소와 함께 최종 변화화소로 재추출할 수 있었다(표 2, 3, 4, 5의 좌측 하단 참고). 따라서, 기존의 단일 임계값을 통한 무감독변화탐지 과정에

서 추출된 변화화소의 개수는 서울지역 2,949개(전체 영상화소의 5.62%에 해당함), 안양지역 4,146개(7.90%), 남원지역 2,749개(5.61%), 구례지역 2,146개(4.38%) 였으며, 본 과정을 통해 추출된 변화화소의 개수는 서울지역 4,906개(전체 영상화소의 9.34%에 해당함), 안양지역 5,022개(9.57%), 남원지역 3,210개(6.55%), 구례지역 3,204개(6.54%)로 무감독변화탐지 결과보다 다소 많이 추출된 것을 확인할 수 있다. 그림 7의 하단 그림은 표 2,

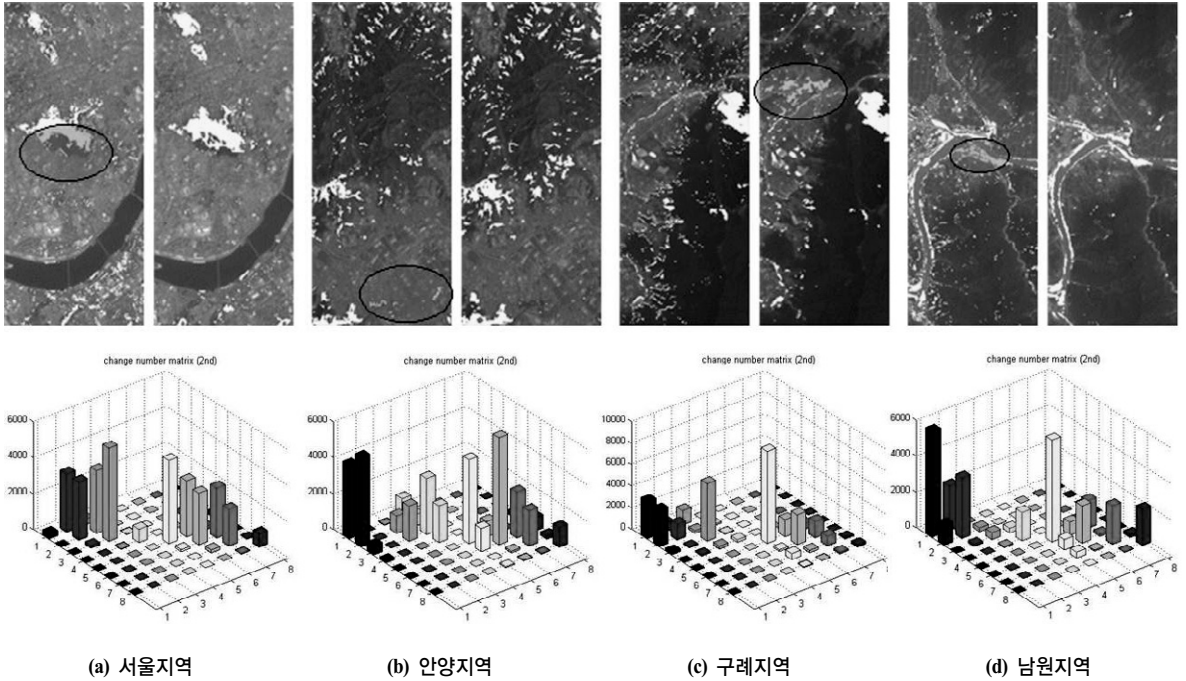


그림 7. 버퍼존 II에서 새롭게 추출된 변화지역(좌)과 기존 변화지역(우)

표 2. 서울지역에 대한 버퍼존 II의 클러스터링 결과 매트릭스

서울지역		변화영상(2002.4.18)					- 둘 다 무변화화소 $5,725/16,700 \times 100 = 34.28\%$ - 하나만 무변화화소 $8,319/16,700 \times 100 = 49.81\%$ - 둘 다 변화화소 $3,656/16,700 \times 100 = 15.90\%$																																												
		CL-1	CL-2	CL-3	CL-4	합																																													
기존 영상 (2002.4.2)	CL-1	311	3,240	317	0	3,868	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">기존영상(2002.4.2)</th> </tr> <tr> <th>CL-1</th> <th>CL-2</th> <th>CL-3</th> <th>CL-4</th> <th>합</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CL-1</td> <td>4,631</td> <td>116</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>4,748</td> </tr> <tr> <td>CL-2</td> <td>3,123</td> <td>2,873</td> <td>166</td> <td>0</td> <td>6,162</td> </tr> <tr> <td>CL-3</td> <td>166</td> <td>2,784</td> <td>2,040</td> <td>23</td> <td>5,013</td> </tr> <tr> <td>CL-4</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>25</td> <td>752</td> <td>777</td> </tr> <tr> <td>합</td> <td>7,920</td> <td>5,773</td> <td>2,232</td> <td>775</td> <td>10,296</td> </tr> </tbody> </table>					기존영상(2002.4.2)					CL-1	CL-2	CL-3	CL-4	합	CL-1	4,631	116	1	0	4,748	CL-2	3,123	2,873	166	0	6,162	CL-3	166	2,784	2,040	23	5,013	CL-4	0	0	25	752	777	합	7,920	5,773	2,232	775	10,296
	기존영상(2002.4.2)																																																		
	CL-1	CL-2	CL-3	CL-4	합																																														
	CL-1	4,631	116	1	0	4,748																																													
	CL-2	3,123	2,873	166	0	6,162																																													
CL-3	166	2,784	2,040	23	5,013																																														
CL-4	0	0	25	752	777																																														
합	7,920	5,773	2,232	775	10,296																																														
CL-2	2	3,243	3,478	0	6,723																																														
CL-3	0	143	5,178	22	5,343																																														
CL-4	0	0	25	741	766																																														
합	313	6,626	8,998	763	9,473																																														
전체 변화화소 비율 (버퍼존 III 화소와 버퍼존 II 변화화소의 합) $1,250+3,656 = 4,906$ 화소 (약 9.34%)		변화 영상 (2002.4.18)					CL-1	4,631	116	1	0	4,748																																							
							CL-2	3,123	2,873	166	0	6,162																																							
							CL-3	166	2,784	2,040	23	5,013																																							
							CL-4	0	0	25	752	777																																							
							합	7,920	5,773	2,232	775	10,296																																							

표 3. 안양지역에 대한 버퍼존 II의 클러스터링 결과 매트릭스

안양지역		변화영상(2002.4.18)									
		CL-1	CL-2	CL-3	CL-4	합					
기준 영상 (2002. 4.2)	CL-1	4,105	0	29	1,101	5,235	- 둘 다 무변화화소 $5,678/19,600 \times 100 = 28.97\%$ - 하나만 무변화화소 $10,450/19,600 \times 100 = 53.32\%$ - 둘 다 변화화소 $3,472/19,600 \times 100 = 17.71\%$				
	CL-2	4,983	4	965	631	6,583					
	CL-3	525	0	1,964	3,122	5,611					
	CL-4	128	0	4	2,039	2,171					
	합	9,741	4	2,962	6,893	8,112					
전체 변화화소 비율 (버퍼존 III 화소와 버퍼존 II 변화화소의 합) $1,550+3,472 = 5,022$ 화소 (약 9.57%)						기준영상(2002.4.2)					
						CL-1	4,671	849	1	67	5,588
						CL-2	1,289	5,954	2,549	729	10,521
						CL-3	0	93	1,970	203	2,266
						CL-4	56	45	25	1,099	1,225
합	6,016	6,941	4,545	2,098	13,694						

표 4. 남원지역에 대한 버퍼존 II의 클러스터링 결과 매트릭스

남원지역		변화영상(2002.9.22)									
		CL-1	CL-2	CL-3	CL-4	합					
기준 영상 (2002. 9.3)	CL-1	3,462	815	1,352	1	5,630	- 둘 다 무변화화소 $7,765/17,300 \times 100 = 44.88\%$ - 하나만 무변화화소 $7,375/17,300 \times 100 = 42.63\%$ - 둘 다 변화화소 $2,160/17,300 \times 100 = 12.49\%$				
	CL-2	3,410	1,464	231	134	5,239					
	CL-3	272	96	5,331	85	5,784					
	CL-4	8	121	274	244	647					
	합	7,152	2,496	7,188	464	10,501					
전체 변화화소 비율 (버퍼존 III 화소와 버퍼존 II 변화화소의 합) $1,050+2,160 = 3,210$ 화소 (약 6.55%)						기준영상(2002.9.3)					
						CL-1	8,532	1573	548	25	10,678
						CL-2	159	2,771	1,509	0	4,439
						CL-3	546	216	889	103	1,754
						CL-4	64	22	131	212	429
합	9,301	4,582	3,077	340	12,404						

표 5. 구례지역에 대한 버퍼존 II의 클러스터링 결과 매트릭스

구례지역		변화영상(2002.9.22)									
		CL-1	CL-2	CL-3	CL-4	합					
기준 영상 (2002. 9.3)	CL-1	5,894	2,486	0	0	8,380	- 둘 다 무변화화소 $9,991/15,500 \times 100 = 64.46\%$ - 하나만 무변화화소 $3,155/15,500 \times 100 = 20.35\%$ - 둘 다 변화화소 $2,354/15,500 \times 100 = 15.18\%$				
	CL-2	1,135	3,363	215	0	4,713					
	CL-3	0	118	393	258	769					
	CL-4	0	0	57	1,581	1,638					
	합	7,029	5,967	665	1,839	11,231					
전체 변화화소 비율 (버퍼존 III 화소와 버퍼존 II 변화화소의 합) $850+2,354 = 3,204$ 화소 (약 6.54%)						기준영상(2002.9.3)					
						CL-1	5,665	724	1,533	0	7,922
						CL-2	583	2,076	149	8	2,816
						CL-3	326	64	2,144	177	2,711
						CL-4	0	6	24	2,021	2,051
합	6,574	2,870	3,850	2,206	11,906						

3, 4, 5의 결과를 보다 쉽게 확인하기 위해 값을 그래프 형태로 표현한 것이다. 그래프를 통해, 다른 클러스터로의 이동이 다소 많이 이루어진 것을 확인할 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구

본 연구는 그래프 생성기법과 직선과의 최대거리를 이용하여 결정된 임계값을 기반으로 세 개의 버퍼존을 생성하였으며, 각각의 버퍼존에 대한 기본 가정을 적용하여 변화화소를 재추출하였다. 감독분류 기법을 사용하여 변화화소를 재추출하였고, 기존의 단일 임계값을 적용한 결과와 시기적 특성을 고려한 시각적 비교를 수행하였다.

제안기법을 서울지역의 Hyperion 초분광영상에 적용한 결과 서울지역 15.90%, 안양지역 17.71%, 남원지역 12.49%, 구례지역 15.18%의 변화화소를 재추출할 수 있었다. 기존의 단일 임계값을 통해 결정된 변화탐지와 버퍼존 개념을 적용하여 변화지역을 탐지한 결과가 어떤 차이를 보이는지를 확인하기 위해 추출된 변화화소 개수를 비교한 결과 기존의 무감독변화탐지 결과(서울지역 2,949개(5.62%), 안양지역 4,146개(7.90%), 남원지역 2,749개(5.61%), 구례지역 2,146개(4.38%))보다 다소 많이 추출(서울지역 4,906개(9.34%), 안양지역 5,022개(9.57%), 남원지역 3,210개(6.55%), 구례지역 3,204개(6.54%))되는 특성을 보였다.

변화화소의 위치를 통해, 서울지역은 버퍼존 방식의 결과가 남산의 남쪽 사면에 대해 무감독변화탐지 결과보다 변화가 덜 일어난 것으로 탐지되었다. 또한, 안양지역은 관악산의 변화를 덜 탐지한 대신 평촌의 중앙공원과 호계근린공원 부근의 산림변화를 탐지한 것으로 나타났다. 봄 시기의 산림변화가 활발한 점을 고려한 두 지역의 변화탐지 결과를 통해 버퍼존 기법이 다소 많은 변화화소를 추출하는 특성을 보이지만, 산림지역에 대해 보다 정확한 변화탐지를 수행함으로 확인할 수 있었다. 구례지역은 서로 비슷한 변화지역을 탐지한 것을 볼 수 있으며, 월전리를 굽이쳐 흐르는 섬진강의 하상변화가 버퍼존 방식에서 다소 일어난 것으로 보아 태풍으로 인한 강의 범람이 일어난 것으로 추정할 수 있었다.

보다 다양한 초분광영상에 제안기법을 적용하여 일반화된 변화탐지 결과를 도출할 필요가 있으며, 히스토그램 기반의 방식에서 벗어난 새로운 기법 개발도 이루어져야 할 것이다. 향후 변화의 양상을 탐지하는 감독변화

탐지에 대한 연구도 지속적으로 수행할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부의 U-City 석·박사과정 지원사업으로 지원되었습니다.

참고문헌

- 김대성, 김형태 (2008), 누적 유사도 측정을 이용한 자동 임계값 결정 기법 - 다중분광 및 초분광영상의 무감독 변화탐지를 목적으로, 대학원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제 24권, 제 4호, pp. 341-349.
- 김대성, 김용일, 편무옥 (2011), 구간평균 기법과 직선으로부터의 최대거리를 이용한 초분광영상의 무감독 변화탐지, 한국측량학회지, 제 29권, 제 1호, pp. 71-80.
- Bazi, Y., Bruzzone, L., and Melgani, F. (2007), Image thresholding based on the EM algorithm and the generalized Gaussian distribution, *Pattern Recognition archive*, Vol. 40, No. 2, pp. 619-634.
- Bruzzone, L., and Prieto, D. F. (2000), Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 38, No. 3, pp. 1171-1182.
- Carvalho Junior, O. A., Guimares, R. F., Gomes, R. A. T. (2007), Spectral Change Detection, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2007*. IEEE International Conference on, pp. 1935 - 1938.
- Castellana, L., D'Addabbo, A., and Pasquariello, G. (2007), A Composed Supervised/unsupervised Approach to Improve Change Detection from Remote Sensing, *Pattern Recognition Letters*, IEEE, Vol. 28, No. 4, pp. 405-413.
- Chang, C. I. (2003), *Hyperspectral Imaging - Techniques for Spectral Detection and Classification*, Kuwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Eismann, M. T., Meola, J., and Hardie, R. C. (2008), Hyperspectral Change Detection in the Presence of Diurnal and Seasonal Variations, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 46, No. 1, pp. 237-249.
- Farah, I. R. (2010), Hmissi, S., Ettaba, K. S., Souleiman, B., Multi-temporal Hyperspectral Images Unmixing and

- Classification Based on 3D Signature Model and Matching, *PIERS ONLINE*, Vol. 6, No. 5, pp. 480-484.
- Ghosh, S., Mishra, N. S., and Ghosh, A. (2009), Unsupervised Change Detection of Remotely Sensed Images Using Fuzzy Clustering, *Advances in Pattern Recognition*, ICAPR '09, pp. 385-388.
- Goetz, A. F. H. (1992), *Principles of Narrow Band Spectrometry in the Visible and IR: Instruments and Data Analysis*. In: F. Ooselli & J. Bodechtel (Eds.), *Imaging Spectroscopy: Fundamentals and Prospective Applications*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 21-32.
- 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.
- Manolakis, D., Lockwood, R., Cooley, T., and Jacobson, J. (2010), Is There a Best Hyperspectral Detection Algorithm?, *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XV*, Orlando, FL, USA, Vol. 7334.
- Meer, F. V. D. (2006), The Effectiveness of Spectral Similarity Measures for the Analysis of Hyperspectral Imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 8, No. 1, pp. 3-17.
- Meola, J., Eismann, M. T., Moses, R. L., and Ash, J. N. (2010), A Model-based Approach to Hyperspectral Change Detection, *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XVI*, Proceedings Vol. 7695.
- Metternicht, G. (1999). Change Detection Assessment using Fuzzy Set and Remotely Sensed Data: an Application of Topographic Map Revision, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 54, No. 4, pp. 221-233.
- Nielsen, A. A. (2007), The Regularized Iteratively Reweighted MAD Method for Change Detection in Multi- and Hyperspectral Data, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 16, No. 2, pp. 463-478.
- Otsu, N. (1979), A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, IEEE, Vol. 9, pp. 62-66.
- Richard, J. R., Srinivas A., Omar A. and Radrinath R. (2005), Image Change Detection Algorithms: A Systematic Survey, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 14, No. 3, pp. 294-307.
- Rosin, P. L. (2001), Unimodal Thresholding, *Pattern Recognition*, Vol. 34, pp. 2083-2096.
- Schaum, A., and Stocker, A. (2004), Advanced Algorithms for Autonomous Hyperspectral Change Detection, *the 33rd Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR'04)*, IEEE Computer Society, pp. 33-38.
- Singh, A. (1989), Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, IJRS, Vol. 10, No. 6, pp. 989-1003.
- Sohn, Y., Rebello, N. S. (2002), Supervised and Unsupervised Spectral Angle Classifiers, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 68, No. 12, pp. 1271-1280.
- Vongsy, K., Mendenhall, M. J., Hanna, P. M., and Kaufman, J. (2009), Change Detection Using Synthetic Hyperspectral Imagery, *Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing*, pp. 1-4.
- Wen, X., and Yang, X. (2009), A New Change Detection Method for Two Remote Sensing Images based on Spectral Matching, *2009 International Conference on Industrial Mechatronics and Automation (ICIMA 2009)*, Chengdu, pp. 89-92.
- Wu, Q. Z., Chen, H. Y., and Jeng, B. S. (2005), Motion Detection via Change-point Detection for Cumulative histograms of ratio images, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 26, pp. 555-563.