

구간평균 기법과 직선으로부터의 최대거리를 이용한 초분광영상의 무감독변화탐지

Unsupervised Change Detection of Hyperspectral images Using Range Average and Maximum Distance Methods

김대성¹⁾ · 김용일²⁾ · 편무욱³⁾
Kim, Dae Sung · Kim, Yong Il · Pyeon, Mu Wook

Abstract

Thresholding is important step for detecting binary change/non-change information in the unsupervised change detection. This study proposes new unsupervised change detection method using Hyperion hyperspectral images, which are expected with data increased demand. A graph is drawn with applying the range average method for the result value through pixel-based similarity measurement, and thresholding value is decided at the maximum distance point from a straight line. The proposed method is assessed in comparison with expectation-maximization algorithm, coner method, Otsu's method using synthetic images and Hyperion hyperspectral images. Throughout the results, we validated that the proposed method can be applied simply and had similar or better performance than the other methods.

Keywords : Automatic Thresholding, Range Average, Unsupervised Change Detection, Hyperspectral Images, Maximum Distance

초 록

임계값 결정은 변화유무만을 판단하는 무감독변화탐지에 있어 매우 중요한 과정으로 인식되고 있다. 본 논문은 향후 수요 증가가 기대되는 원격탐사 데이터 중 하나인 초분광영상을 이용한 새로운 무감독변화탐지 기법을 제안하고 있다. 다중시기의 화소간 유사도 측정을 통해 도출된 결과값을 일정 간격으로 평균하여 그래프를 생성하고, 최대거리 기법을 적용하여 변화유무 정보를 추출하기 위한 임계값을 결정하였다. 참조자료를 취득할 수 있는 두 가지 의사영상을 통해 기대최대화 기법, 교점방법, Otsu 기법과 결과를 비교하여 성능을 평가하였으며, 이를 토대로 다중시기의 Hyperion 영상에 각 기법을 적용하여 변화탐지 결과를 확인하였다. 제안기법은 기존의 임계값 결정 기법과 비슷하거나 높은 정확도를 보였으며, 간단하게 적용할 수 있는 장점이 있어 향후 초분광영상을 이용한 무감독변화탐지에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 자동 임계값결정, 구간평균, 무감독변화탐지, 초분광영상, 최대거리

1. 서 론

지상의 정보를 주기적으로 취득하는 위성영상은 산림 및 환경모니터링, 농업조사, U-City 활용, 재난·재해관리 등의 다양한 목적에 효과적으로 적용될 수 있다(Frank 등, 2003; Castllana 등, 2007). 따라서, 이러한 활용에 필요한 변

화탐지 기술은 원격탐사 분야에 있어 중요한 연구 주제 중 하나로 취급된다(Bruzzone 등, 2000; 박노욱 등, 2003; Castllana 등, 2007). 변화탐지는 그 결과물에 따라 크게 감독 및 무감독변화탐지(supervised and unsupervised change detection) 기법으로 나눌 수 있다(Singh, 1989; Bruzzone 등, 2000). 이 중 무감독변화탐지는 영상차, 영상비, CVA

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

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

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

(Change Vector Analysis) 등 영상 화소값 연산에 의해 변화 유무정보(change/non-change information)만을 판단하는 방법으로서 대상지역의 사전 정보를 얻을 수 없거나 변화지역에 대한 정보만 필요로 하는 경우에 적용할 수 있으며, 감독변화탐지 결과의 정확도를 높이기 위한 전처리 과정으로 사용되기도 한다(Singh, 1989; Bruzzone 등, 2000; Castilana 등 2007). 또한 비디오 영상의 동작탐지(motion detection), 머신비전 시스템(machine vision system)의 영상 분할(image segmentation) 및 에지검출(edge detection) 등 원격탐사 이외의 분야에서도 다양하게 응용되고 있다(Luthon 등, 2004).

무감독변화탐지는 일반적으로 ① 영상 전처리, ② 영상 화소값 연산, ③ 임계값 결정, ④ 변화유무 탐지(정확도 평가)의 주요 단계로 이루어진다. 이 중 임계값 결정은 변화 유무를 탐지하는 가장 중요한 단계로 인식되고 있다(Lu 등, 2004). 임계값 결정은 영상 화소값 연산을 통한 결과영상의 히스토그램을 분석하여 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, 기대최대화 기법(Bruzzone 등, 2000; Bazi 등, 2007)이나 퍼지함수(fuzzy set; Metternicht, 1999) 등이 제안되었으며, 두 히스토그램의 분산합이 최대가 되는 지점으로 임계값을 결정하는 Otsu 기법(Otsu, 1979)이 영상분할을 목적으로 연구되기도 하였다. Rosin 등(2001)은 히스토그램의 피크점(peak)과 끝점을 이은 직선의 직교선과 만나는 히스토그램 값을 임계값으로 정하는 간단한 방법인 교점방법(corner method)을 제시하였다.

하지만, 변화탐지를 위한 임계값 결정 연구에 비해 다중시기 영상의 화소값 연산이나 히스토그램에 기반한 임계값 결정 이외의 방법에 대한 연구는 상대적으로 미진한 실정이다. 다중시기 영상의 화소값 연산은 대부분 영상차 또는 영상비를 적용하고 있다. 이는 단밴드 또는 다중분광영상의 유사도를 측정하는 일반적인 방식이며, 이 경우 결과영상은 히스토그램이 가우시안(gaussian) 형태를 보인다. 하지만, 초분광영상의 화소값 연산을 위해서는 분광각(spectral angle), 분광유사측척(spectral similarity scale), 분광상관(spectral correlation) 등과 같은 유사도 측정기법

(similarity measurement)을 주로 이용하게 되는데(Meer, 2004), 계산된 값을 히스토그램으로 형상화하면 한쪽으로 치우쳐진 가우시안 형태를 보인다(그림 1). 이는 확률분포를 이용하는 기본 가정에 위배될 수 있으며, 히스토그램에 기반을 둔 기존의 기법을 적용하는데 한계가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 무엇보다 불규칙한 형태의 히스토그램의 모양은 정확한 임계값 결정을 방해하는 결정적 요소로 작용한다(Wu 등, 2005). 히스토그램 기반의 변화탐지 문제를 해결하기 위해 Wu 등(2005)은 동작탐지 분야에서 누적히스토그램과 직선의 최대거리를 이용하였으며, 김대성 등(2008)은 누적유사도 평균과 기울기를 이용하여 변화탐지를 수행하기도 하였다.

본 연구는 히스토그램 기반의 임계값 결정 방식이 아닌, 화소연산(유사도 측정)의 결과값을 일정구간으로 구분하여 평균하는 '그래프 생성' 기법을 제안하고 있다. 생성된 그래프에서 급격하게 변화하는 지점을 임계값이 존재하는 구간으로 가정하고, 급격하게 변화하는 지점은 그래프의 시작과 끝점을 이은 직선에서 가장 먼 거리에 존재하는 점으로 결정하였다. 제안된 기법의 성능평가는 참조데이터(reference data) 확보가 가능한 의사영상을 이용하였으며, 기존의 기대최대화 기법, 교점방법, Otsu 기법들과 정확도를 비교하였다. 이를 토대로, 서울과 안양지역의 Hyperion 초분광영상에 실제로 적용하여 변화탐지 결과를 확인하였다.

2. 기본 이론

2.1 기존의 임계값 결정기법

2.1.1 기대최대화 기법

기대최대화 기법은 입력 자료로부터 반복적인 연산을 통해 확률밀도 함수의 파라미터(평균, 분산, 사전확률)를 결정하는 방법이다(박노욱 등, 2003; Bruzzone 등, 2000). 가우시안 확률 분포를 가정하며, 파라미터들의 기대값을 계산하는 기대화과정(E-step)과 최대우도를 가지는 새로운 추정치를 계산하는 최대화과정(M-step)으로 나누어진다. 이전 단계의 추정치와 새로운 추정치의 값이 차이가 거의 없을 때 반복 계산은 멈추게 되고, 두 밀도 함수가 가지는 확률이 동일한 지점에서 임계값이 결정된다(식 (1)). 확률밀도를 적용하여 임계값을 추정하므로 신뢰도 높은 기법으로 인식되고 있지만, 반복적 계산으로 인해 적용이 복잡하고, 입력 데이터가 통계적으로 추정이 가능해야 높은 정확도를 기대할 수 있다. 여기서, \hat{T}_0 는 임계값, σ_n, σ_c 는

표준편차, μ_n, μ_c 는 평균, $P(w_n), P(w_c)$ 는 사전확률을 의미한다. 임계값은 2차 방정식에 대한 근의 공식에 의해 계산될 수 있다.

$$(\sigma_n^2 - \sigma_c^2) \widehat{T}_o^2 + 2(\mu_n \sigma_c^2 - \mu_c \sigma_n^2) \widehat{T}_o + \mu_c^2 \sigma_n^2 - \mu_n^2 \sigma_c^2 + 2\sigma_n^2 \sigma_c^2 \ln \left[\frac{\sigma_c P(w_n)}{\sigma_n P(w_c)} \right] = 0 \quad (1)$$

2.1.2 교점방법

교점방법은 Rosin 등(2001)에 의해 제안된 기법으로서, 히스토그램의 피크점과 끝점을 이은 구간 안에서 변곡점을 임계값으로 결정할 수 있다. 변곡점은 피크점과 끝점을 이은 직선에서 가장 먼 지점에 위치한 히스토그램과 만나는 점이 된다. 이 기법은 하나의 피크점을 가진 히스토그램(unimodal histogram)에 쉽게 적용 가능하며, 잡음이 많은 영상에도 강건한(robust) 결과를 보여 여러 임계값 결정 작업에 사용된다(Rosin 등, 2001). 하지만 두 개 이상의 피크점을 가질 경우 적용에 제한을 받는다.

2.1.3 Otsu 방법

Otsu 방법은 어떤 경계값으로 히스토그램을 두 개로 나누었을 때, 식 (2)와 같이 각 히스토그램 영역 사이의 분산이 최대가 되도록 경계를 결정하는 방식이다. 이 방법은 분할과 같은 적절한 개수의 화소가 둘로 나누어질 때 적용이 적합할 수 있으나, 본 연구에서처럼 한쪽으로 치우쳐진 히스토그램의 경우 결과가 나쁠 가능성이 존재한다. 실제로 실험 결과 사용된 임계값 결정 기법 중 가장 낮은 무감독변화탐지 결과를 보임을 확인할 수 있었다. 식 (2)에서 w_1, w_2 은 구간으로 나뉜 화소의 확률을 의미하며, σ_1^2, σ_2^2 각 구간의 분산을 나타낸다.

$$\sigma_N^2 = w_1 \sigma_1^2 + w_2 \sigma_2^2 \quad (2)$$

2.2 구간평균과 최대거리를 이용한 임계값 결정

본 연구에서 제안하고 있는 구간평균과 최대거리를 이용한 임계값 결정 방법은 다음과 같은 순서로 적용된다. ① 화소값 연산(유사도 측정) 결과값을 일정구간으로 구분하여 평균한 그래프를 생성하고, ② 그래프의 시작점과 끝점을 이은 직선의 식을 생성한 후, 각 점은 직선과의 거리를 계산한다. ③ 계산된 거리 중 가장 먼 거리에 존재하는 점에서 변화화소의 개수가 결정되며, ④ 좀 더 세분화된 계산

을 통해 정확한 변화개수를 결정하게 된다. 최대거리를 이용하는 점에서 히스토그램 기반의 교점방법(Rosin 등, 2001)이나 누적히스토그램 방식(Wu 등, 2005)과 유사하지만, 임계값을 먼저 결정하지 않고 변화화소의 개수를 먼저 결정한다는 점과 생성된 그래프의 모양을 이용한다는 점에서 기존의 기법과 근본적인 차이를 보인다. 임계값 결정을 위한 주요 기법들은 아래에서 좀 더 자세히 설명하고자 한다.

2.2.1 구간평균을 이용한 그래프 생성

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' 방식을 사용하였다(식 (3)). 예를 들어, 실험에 사용된 서울지역의 Hyperion 초분광영상의 경우 52,500개 화소(350화소×150화소)로 구성되어 있으므로 100개의 화소(식 (3)의 N)를 하나의 구간으로 하면, 525개의 구간평균 데이터(식 (3)의 K)가 생성된다(그림 (1)).

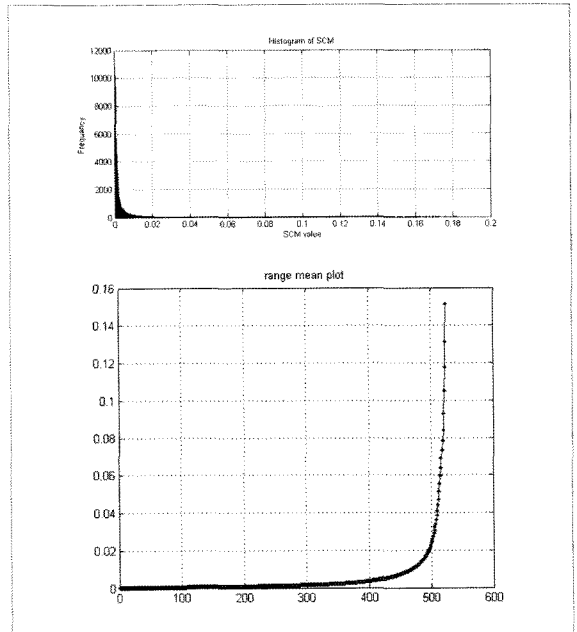


그림 1. 서울지역 유사도측정 결과값에 대한 히스토그램(상)과 구간평균 그래프(하)

$$X_1 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, X_2 = \frac{\sum_{i=N+1}^{2N} x_i}{N}, X_3 = \frac{\sum_{i=2N+1}^{3N} x_i}{N},$$

$$\dots, X_K = \frac{\sum_{i=(K-1)N+1}^{KN} x_i}{N}$$
(3)

여기서, N 은 구간 안에 포함된 데이터 개수, K 는 결정된 구간의 개수, x_i 는 정렬된 유사도 결과 값, X_K 는 구간평균값이다.

2.2.2 최단거리를 이용한 변화화소 결정

그림 1의 구간평균 그래프를 보면, 계산된 결과값이 어느 시점에서 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 본 연구는 뚜렷한 화소특성 차이를 보이는 지점을 결정하기 위해 측정된 누적 유사도 값이 급변하는 지점을 변화화소로 결정하는 기법을 제안하고 있다. 변화화소는 구간평균 그래프의 시작점과 끝점을 이은 직선에서 가장 먼 지점(최대거리)에서 결정된다. 최대거리는 생성된 525개의 구간평균값이 위치하는 지점과 직선과의 거리를 계산하게 되며, 계산된 값은 그림 2)에서와 같은 형태로 나타난다.

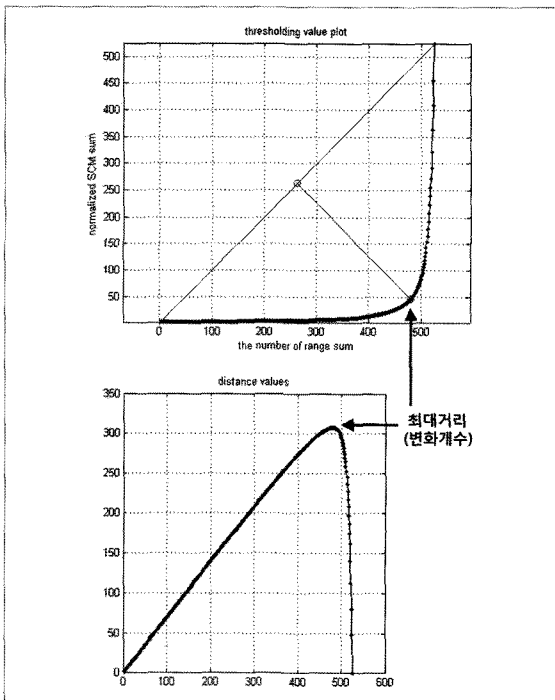


그림 2. 직선과의 거리계산(하)을 통한 변화화소 개수 결정(상)

2.2.3 정확한 변화화소 개수 결정

결정된 변화화소의 개수는 100개의 화소로 나누어 구간 평균을 한 것이므로 정확한 변화화소라 할 수 없다. 따라서 보다 정밀한 방식으로 변화화소를 결정할 필요가 있으며, 결정된 변화화소 개수를 토대로 임계값을 결정할 수 있다. 정확한 변화화소 개수는 임의로 생성한 흑백영상의 구간 평균 그래프를 분석함으로써 결정할 수 있다. 만약 20,000개의 화소로 이루어진 흑백영상에서 50의 화소값을 가지는 화소수는 14,960개이며, 250의 화소값을 가지는 화소수는 5,040개라고 하자. 여기서, 250의 화소값을 가지는 화소가 변화화소라고 가정하여 제안기법을 적용하면, 149의 데이터값을 변화화소로 결정하게 된다. 이는 14,900개가 변화했다는 것을 의미한다. 하지만 정확한 변화화소의 개수는 14,960개 이므로, 이를 결정하기 위해서는 149번 데이터와 150번 데이터 사이에서 계산을 통해 결정이 되어야 한다. 이를 위해, 본 연구에서는 식 (4)와 같이 149번 데이터 다음의 데이터 사이의 방정식을 생성하여 미지수를 결정함으로써 문제를 해결하였다. 변화유무를 결정하는 임계값은 정확하게 결정된 변화화소 개수를 중심으로 약 50개에 해당하는 100개의 화소를 추출하여 그 밝기값을 평균함으로써 계산할 수 있다. 여기서, DN_T 는 변화화소의 임계값이며, DN_{T+1} 과 DN_{T+2} 는 그 다음 데이터, x 는 100 화소 이내에 결정되는 정확한 변화화소를 의미한다.

$$DN_T \times x + DN_{T+2} \times (100 - x) = DN_{T+1} \times 100$$
(4)

3. 알고리즘 적용

3.1 의사영상을 이용한 제안기법 성능 평가

변화탐지의 정확도를 평가하는 것은 참조데이터의 취득에 한계가 발생하므로 매우 어려운 작업이다(Lu 등, 2004). 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 의사영상을 생성하여 각 기법의 정확도 평가를 우선 수행한 후 실제 초분광영상에 적용하는 방식을 택하였다. 의사영상은 변화지역을 알 수 있는 임의의 컬러영상과 서울지역을 촬영한 Hyperion 초분광영상에 대해 변화지역을 첨가한 초분광의사영상이 사용되었다.

초분광의사영상의 경우 첨가된 변화지역의 화소는 1,800개이고, 도심지, 산림지, 하천지역을 적절하게 교차하여 화소를 변화시켰다. 좀 더 실질적인 변화를 주기 위해

Matlab 프로그램을 이용하여 $0.01 \times$ 분산 크기로 양쪽 영상에 가우시안잡음(gaussian noise)을 증가시켜 최종 의사영상을 생성하였다. 컬러영상은 인터넷 검색을 통해 변화지역이 제공되는 jpg 파일을 사용하였다. 정확도 평가용 화소는 ENVI 프로그램을 이용하여 수동으로 ROI(Region Of Interest)를 추출하는 방식으로 추출하였다. 컬러영상의 변화지역의 화소는 1,520개였다. 그림 3은 의사영상으로 사용된 초분광의사영상과 컬러영상이다.

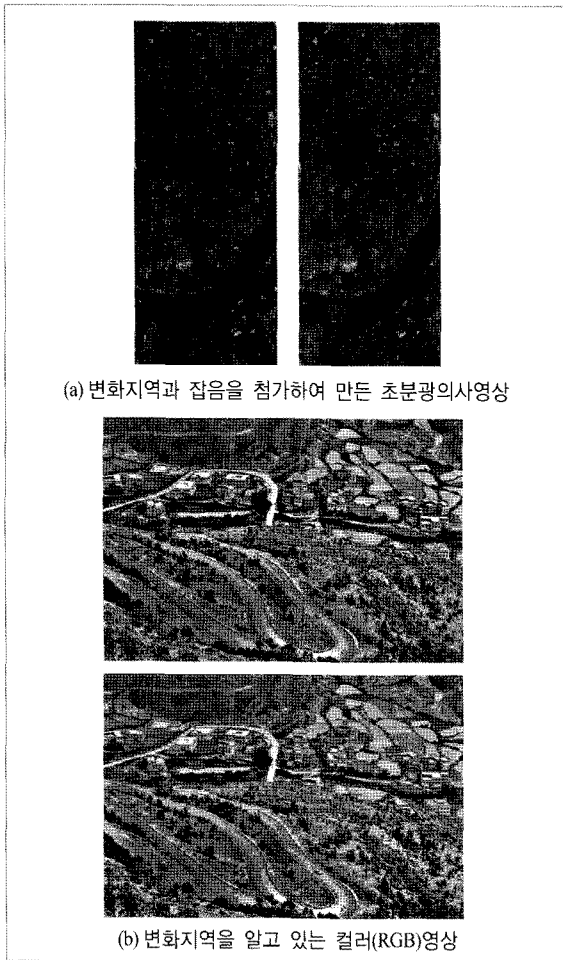


그림 3. 실험에 사용된 의사영상

컬러영상의 유사도 측정은 유클리드 거리를 통해 이루어졌으며, 초분광의사영상은 상관계수 기법을 통해 유사도를 측정하여 변화맵(change map)을 생성하였다. 그림 4는 계산된 유사도 결과영상과 정확도 평가를 위한 참조데이터 영상이다. 참조데이터에서 변화지역은 흰색으로 표시하였다.

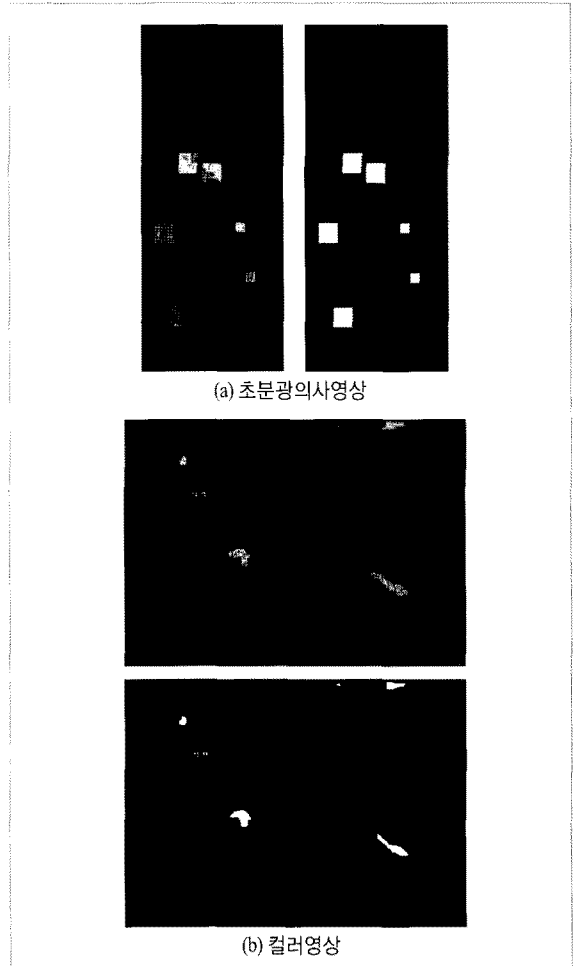


그림 4. 계산된 유사도 결과 영상과 정확도 평가용 참조영상

그림 5는 초분광의사영상에 대해 무감독변화탐지를 적용한 각 기법별 결과이고, 그림 6은 컬러영상의 결과를 보여주고 있다. 변화지역을 명확하게 표현하기 위해 흑백영상을 배경으로 노란색을 변화지역으로 표시하였다. 결과영상에서 변화지역으로 첨가된 지역에 대해 Otsu 방법은 변화지역을 매우 적게 추출하였으나, 나머지 기법들은 모두 양호하게 변화지역을 추출하고 있음을 알 수 있었다. 정량적인 평가에서는 제안기법이 초분광의사영상에 대해

표 1. TP, TN, FP, FN 의 값

결과영상 \ 참조영상	변화	무변화
변화	TP (True Positive)	FP (False Positive)
무변화	FN (False Negative)	TN (True Negative)

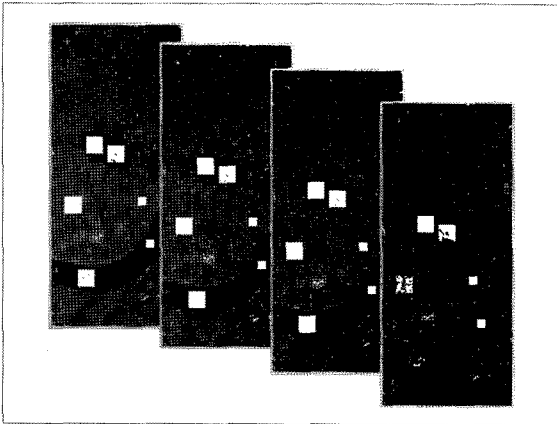


그림 5. 초분광의사영상의 무감독변화탐지 결과(좌로부터 제안 기법, 교점방법, 기대최대화기법, Otsu 기법)

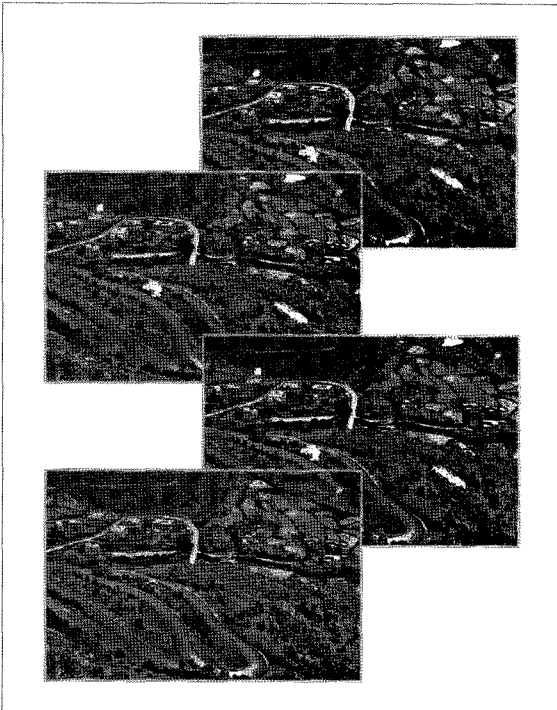


그림 6. 컬러영상의 무감독변화탐지 결과(위로부터 제안기법, 교점방법, 기대최대화기법, Otsu 기법)

1,840개, 컬러영상에 대해 3,847개의 변화화소를 추출하여 참조데이터와 가장 유사한 결과를 보였다.

변화탐지는 일반적으로 변화지역의 면적이 변화되지 않는 지역보다 적게 분포하므로 오차행렬(error matrix)을 이용할 경우 전체 정확도가 높게 평가되어 잘못된 정보를 보여줄 수 있다. 이런 맹점을 해결하기 위해 본 연구에서는

Richard 등(2005)이 제안한 PCC(Percentage Correct Classification), JC(Jaccard Coefficient), YC(Yule Coefficient) 값을 이용하여 정확도를 평가하였다. 각각의 계수는 아래 식 (5), (6), (7)과 같다. 계산식을 보면 PCC는 오차행렬의 전체정확도를 의미하며, JC는 무변화화소를 제외한 정확도 평가 계수임을 알 수 있다.

$$PCC = (TP + TN) / (TP + FP + TN + FN) \quad (5)$$

$$JC = TP / (TP + FP + FN) \quad (6)$$

$$YC = |TP / (TP + FP) - TN / (TN + FN)| \quad (7)$$

표 2와 3은 참조데이터를 이용하여 계산된 정확도 결과를 정리한 것이다. 결과에서 제안기법이 비교기법에 비해 JC 값이 35.63%와 97.71%로 가장 높게 나타남을 알 수 있다. Otsu 기법의 경우 PCC(99.44%, 98.98%)와 YC(84.64%, 98.95%) 값이 매우 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 매우 적은 변화화소를 추출하였기 때문에 정확하게 변화된 화소의 추출 정확도만 판단하고, 변화되지 않은 지역의 정확도를 대변할 수 없기 때문이다. 위의 결과는 결국 오차행렬의

표 2. 컬러영상 정확도 평가 결과

결과값	알고리즘				
	제안기법	교점방법	기대최대화	Otsu기법	
변화화소	1820	2306	2045	1262	
임계값	0.0341	0.0235	0.0262	0.0866	
정확도 결과 (%)	JC	97.71	77.83	87.65	70.11
	PCC	99.92	99.02	99.52	98.98
	YC	98.27	77.92	87.82	98.95

표 3. 초분광의사영상 정확도 평가 결과

결과값	알고리즘				
	제안기법	교점방법	기대최대화	Otsu기법	
변화화소	3847	7540	4360	243	
임계값	31.513	26.141	30.537	167.99	
정확도 결과 (%)	JC	35.63	18.98	31.81	13.30
	PCC	98.94	97.42	98.73	99.44
	YC	36.61	19.13	32.50	84.64

정확도 평가가 가지는 문제이며, Otsu 기법의 변화탐지 성능이 높다고 할 수는 없다.

이를 확인하기 위해 변화지역의 화소수를 변화시키면서 각각의 정확도 평가용 계수의 변화추이를 확인하였다. 그림 7은 변화지역 개수에 따른 평가지표의 변화 그래프이다. 변화개수를 20개씩 증가시켜서 참조데이터와 비교하여 각각의 정확도 평가 계수를 계산하였다. 그래프에서 확인할 수 있듯, 가장 정확도를 명확하게 표현할 수 있는 방법은 JC임을 알 수 있다. 따라서 JC가 가장 높은 제안기법이 변화탐지 정확도가 높다는 것을 확인할 수 있다. 결과를 통해, 변화탐지 성능이 이미 입증된 기법들과 비슷하거나 높은 성능을 보인다는 점에서 변화유무 정보를 취득하기 위한 임계값 결정에 효과적으로 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

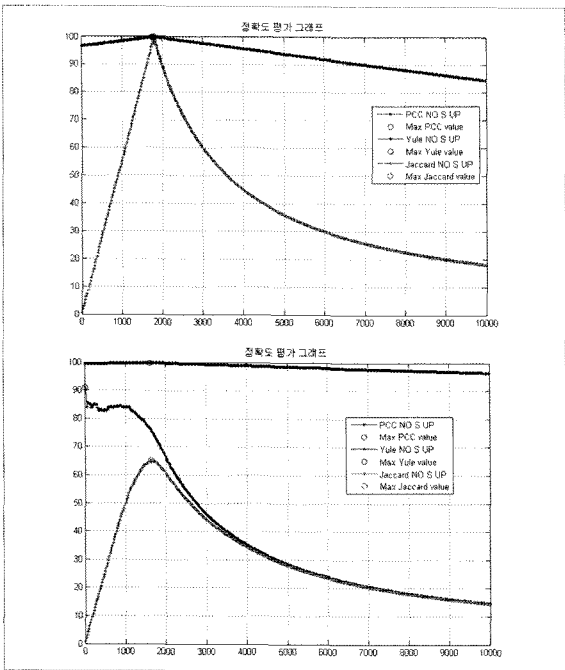


그림 7. 변화화소 개수에 따른 초분광의사영상(상)과 컬러영상(하)의 평가지표 변화 그래프

3.3 Hyperion 초분광영상에의 적용

제안기법의 실제 적용을 위해서 2001년 봄(4월 2일과 4월 18일)에 촬영한 서울과 안양지역의 다중시기 Hyperion 초분광영상을 사용하였다. 구름이 없는 지역을 기준으로 350화소×150화소×88밴드 크기로 생성하는 서브셋(subset) 작업과 SIFT 기법(Lowe, 2004)을 이용한 자동기하보정 작업을 수행하였다. 선형회귀식을 통해 두 영상간 방사정규화(radiometric normalization)도 전처리 과정의 하나로 적용되었다. 그림 8은 서울, 안양지역의 Hyperion 초분

광영상에 분광상관 기법을 적용하여 계산된 유사도 측정 결과 영상이다. 이 결과 영상을 토대로 100화소를 하나의 구간으로 나누어 그래프를 생성한 후 의사영상과 동일한 방식으로 변화화소 개수를 결정하였다. 각 지역에 대해 변화화소 개수를 결정하는 그래프는 그림 9에서 확인할 수 있다.

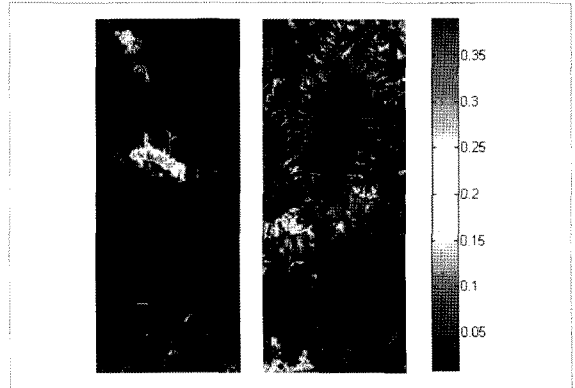


그림 8. 유사도 측정 결과 영상

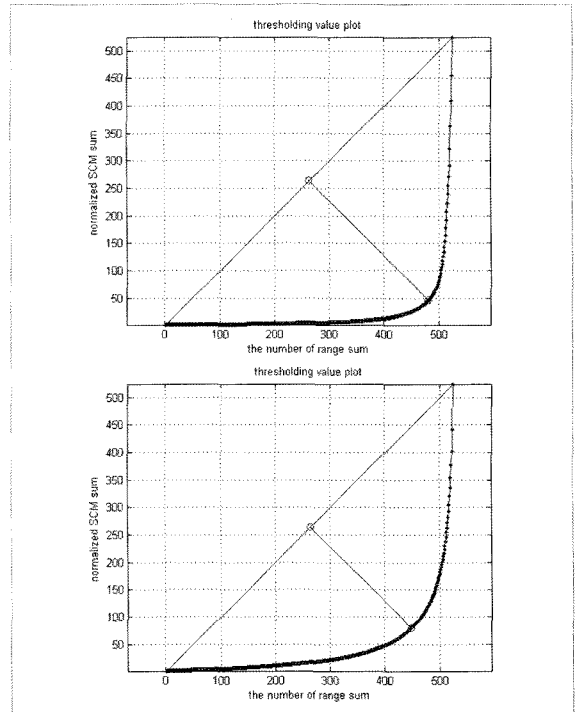


그림 9. 유사도 측정(분광상관)과 그래프 생성(구간 합)에 의해 결정된 서울(상)과 안양지역(하)의 임계값 그래프

다중시기 초분광영상을 통해 도출된 변화탐지 결과는 실제 참조데이터를 취득할 수 없어 정량적인 정확도 평가

가 어려웠다. 다만 사용된 데이터의 시기적인 특성을 이용하여 시각적인 평가를 수행하였으며, 서울, 안양지역의 경우 봄 시기의 16일차 영상임을 감안하여 산림지역의 변화 탐지가 가능할 것으로 판단하였다. 그림 10과 11은 서울과 안양지역의 Hyperion 초분광영상에 적용한 변화탐지 결과 영상이다. 각 지역에 대해 제안기법, 기대최대화 기법, 교점방법, Otsu 기법 순으로 결과영상을 정리하였으며, 변화 지역은 노란색으로 표시하였다. 표 4는 각 기법들을 적용하여 도출된 정량적 결과(변화화소 개수, 임계값, 유사도 측정값의 범위)를 정리한 것이다.



그림 10. 서울지역 무감독변화탐지 결과(좌로부터 제안기법, 교점방법, 기대최대화기법, Otsu 기법)

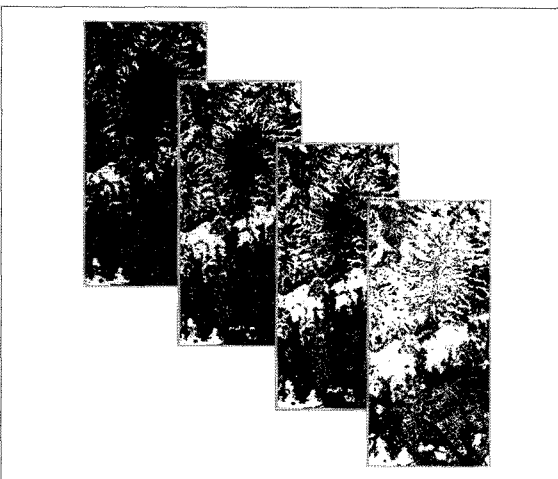


그림 11. 안양지역 무감독변화탐지 결과(좌로부터 제안기법, 교점방법, 기대최대화기법, Otsu 기법)

서울지역의 Hyperion 초분광영상 변화탐지 결과를 보

면, 모든 기법에 대해 좌측상단, 중앙부, 하단부의 산림지역 변화를 양호하게 탐지하였고, 한강 고수부지 주변 초지(grass)의 변화가 탐지된 것을 알 수 있다. 제안 기법은 다른 기법에 비해 좀 더 적은 변화화소(2,949개)를 추출하였으며, 도심지에 대해 변화화소를 거의 추출하지 않은 것을 확인할 수 있다. 기대최대화 기법이 전반적으로 많은 변화화소(12,545개)를 탐지하였다. 제안 기법을 제외한 나머지 기법들은 도심지의 변화를 일부 추출하였고, 한강 이남의 아파트지역에 대한 변화가 추출된 것으로 보아 변화화소가 실제보다 많이 추출된 것으로 추정할 수 있다.

안양지역의 경우 전체적으로 관악산 산림의 변화를 양호하게 탐지하였으나, Otsu 기법은 도심지를 포함하여 많은 변화지역을 추출한 것을 볼 수 있다. 제안기법은 도심지를 거의 추출하지 않고, 산림의 저지대에 해당하는 지역에 대해 변화를 탐지하였다. 이는 봄(4월)의 계절적 특성상 저지대의 산림이 변화하는 것으로 예측할 수 있으며, 다른 기법에 비해 양호한 결과로 판단된다. 교점방법 및 기대최대화 기법은 산림지역과 함께 도심지의 아파트지역에 해당하는 변화도 함께 추출한 것을 확인할 수 있다.

표 4. 각 기법별 변화탐지 결과

결과값	알고리즘				
	제안기법	교점방법	기대최대화	Otsu기법	
서울	변화화소	2949	7812	12545	7637
	임계값	0.0202	0.0069	0.0035	0.0071
	유사도값범위	0.0018 ~ 0.1834			
안양	변화화소	4146	11477	14943	29510
	임계값	0.0258	0.0104	0.0075	0.0026
	유사도값범위	0.0016 ~ 0.1344			

결과를 통해, 변화된 지역에 대한 분포패턴은 전체적으로 비슷하게 나타났음을 확인하였다. 기법별로 살펴보면, Otsu 기법은 각 지역에 대해 많거나 적은 변화화소를 추출하는 것으로 보아 안정적이지 않은 기법으로 생각된다. 그리고, 기대최대화 기법은 교점방법보다 조금 많은 변화지역을 탐지하고 있지만 교점방법과 비교적 비슷한 결과를 보였다. 제안기법에 의한 변화지역의 화소개수가 다른 기법에 비해 다소 적게 탐지되었으나, 서울, 안양지역의 봄 영상의 특성인 도심지 변화지역을 거의 추출하지 않았다는 점은 다른 기법에 비해 효과적인 변화탐지 결과로 보인다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문은 초분광영상을 이용한 새로운 무감독변화탐지 기법을 제안하고 있다. 다중시기의 화소간 유사도 측정을 통해 도출된 결과값을 일정 간격으로 평균하여 그래프를 생성하고, 최대거리 기법을 적용하여 변화유무 정보를 추출하기 위한 임계값을 결정하였다. 참조자료를 취득할 수 있는 두 가지 의사영상을 통해 기대최대화 기법, 교점방법, Otsu 기법과 결과를 비교하여 성능을 평가하였으며, 이를 토대로 다중시기의 Hyperion 영상에 각 기법을 적용하여 변화탐지 결과를 확인하였다.

의사영상을 이용한 실험에서 변화지역에 대해 Otsu 방법은 변화지역을 매우 적게 추출하였으나, 나머지 기법들은 모두 양호하게 변화지역을 추출하고 있음을 알 수 있었다. 정량적인 평가에서는 제안기법이 초분광의사영상에 대해 1,840개, 컬러영상에 대해 3,847개의 변화화소를 추출하여 참조데이터와 가장 유사한 결과를 보였으며, 변화탐지 정확도를 가장 명확하게 표현해주는 JC 값이 가장 높게 나타났다. 이미 알고리즘의 신뢰도가 입증된 기법들과 비교하여 비슷하거나 높은 성능을 보인다는 점에서 제안 기법이 변화유무 정보를 취득하기 위한 임계값 결정에 효과적으로 적용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

서울지역의 Hyperion 초분광영상에 적용된 제안기법은 다른 기법에 비해 다소 적은 변화화소를 추출하였으며, 도심지에 대해 변화화소를 거의 추출하지 않은 것을 확인할 수 있다. 제안 기법을 제외한 나머지 기법들은 도심지의 변화를 일부 추출하였고, 한강 이남의 아파트지역에 대한 변화가 추출된 것으로 보아 변화화소가 실제보다 많이 추출된 것으로 추정할 수 있다. 안양지역의 경우 전체적으로 관악산 산림의 변화를 양호하게 탐지하였으나, 제안기법은 도심지를 거의 추출하지 않고, 산림의 저지대에 해당하는 지역에 대해 변화를 탐지하였다. 실제 Hyperion 초분광영상을 이용한 결과는 봄의 계절적 특성상 저지대의 산림이 변화하는 것을 탐지하는 반면, 도심지의 변화는 거의 추출하지 않는 것으로 보아 다른 기법에 비해 제안기법이 양호한 결과를 보이는 것으로 판단된다.

보다 다양한 초분광영상에 제안기법을 적용하여 일반화된 결과를 도출할 필요가 있으며, 히스토그램 기반의 단조로운 방식에서 벗어난 새로운 알고리즘 개발 연구도 이루어져야 할 것이다. 향후 유사도 측정 결과의 영향을 최소화하기 위해 퍼지존(fuzzy zone) 개념과 클러스터링(clustering)을 이용한 임계값 결정 기법 연구를 추가적으로 수

행할 예정이다.

사 사

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.
- 박노옥, 지광훈, 이광재, 권병두 (2003), 다중시기 원격탐사 화상의 변화탐지를 위한 임계치 자동 추정, *대한원격탐사학회지*, 대한원격탐사학회, 제 19권, 제 6호, pp. 465-478.
- 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.
- 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.
- Frank, M., and Canty, M. (2003), Unsupervised Change Detection for Hyperspectral Images, *JPL Publication*, JPL, 8th publication.
- 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.
- Luthon, F., Lievin, M., and Faux, F. (2004), On the Use of Entropy Power for Threshold Selection, *Signal Processing*, Vol. 84, No. 10, pp. 1789-1804.
- 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.
- 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.
- Otsu, N. (1979), A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, IEEE, Vol. 9, pp. 62-66.
- Rechard, J. R., Srinivas, A., Omar, A., and Radrinath, R. (2005), Image Change Detection Algorithms: A Systematic Survey, *IEEE Transactions on Image Processing*, IEEE, Vol. 14, No. 3, pp. 294-307.
- Rosin, P. L. (2001), Unimodal Thresholding, *Pattern Recognition*, Vol. 34, pp. 2083-2096.
- Singh, A. (1989), Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, IJRS, Vol. 10, No. 6, pp. 989-1003.
- 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.

(접수일 2011. 01. 23, 심사일 2011. 02. 15, 심사완료일 2011. 02. 15)