

## 누적 유사도 측정을 이용한 자동 임계값 결정 기법 - 다중분광 및 초분광영상의 무감독 변화탐지를 목적으로

김대성\* · 김형태\*\*†

\*서울대학교 건설환경공학부 공간정보연구실, \*\*한국토지공사 국토도시연구원

### Automatic Thresholding Method using Cumulative Similarity Measurement for Unsupervised Change Detection of Multispectral and Hyperspectral Images

Dae-Sung Kim\* and Hyung-Tae Kim\*\*†

\*Department of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University

\*\*Korea Land Corporation, Land urban Research Institute

**Abstract :** This study proposes new automatic thresholding method, which is important step for detecting binary change/non-change information using satellite images. Result value through pixel-based similarity measurement is calculated cumulatively with regular interval, and thresholding is pointed at the steep slope position. The proposed method is assessed in comparison with expectation-maximization algorithm and coner method using synthetic images, ALI images, and Hyperion images. Throughout the results, we validated that our method can guarantee the similar accuracy with previous algorithms. It is simpler than EM algorithm, and can be applied to the binormal histogram unlike the coner method.

**Key Words :** Automatic Thresholding, Cumulative Similarity Measurement, Unsupervised Change Detection, Hyperspectral Images, EM Algorithm, Corner Method.

**요약 :** 본 논문은 위성영상을 이용한 변화정보를 취득하는데 있어 중요한 과정인 임계값 결정에 관한 새로운 기법을 제안하고 있다. 화소간 유사도 측정을 통해 도출된 결과값을 일정 간격으로 누적 계산하고, 급격하게 변하는 지점을 임계값으로 결정하였다. 의사영상을 통해 기대최대화 기법, 교점방법과 성능을 비교하였으며, 두 시기의 ALI 영상과 Hyperion 영상에 실제 적용하여 변화탐지 결과를 확인하였다. 제안된 기법은 기존의 기법과 비슷한 수준의 변화탐지 결과 정확도를 확보할 수 있었으며, 기대최대화 기법에 비해 간단하게 적용할 수 있고, 교점방법과 달리 최빈값을 둘 이상 가지는 히스토그램에도 적용할 수 있는 장점이 있어 향후 변화유무 정보 취득에 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

## 1. 서론

지상의 정보를 주기적으로 취득하는 위성영상은 산림모니터링, 농업조사, 도시연구, 재난·재해관리, 환경모니터링과 같은 목적에 필요한 변화탐지를 효과적으로 수행할 수 있으며, 변화탐지 기술은 원격탐사에 있어 중요한 연구 분야 중 하나로 취급된다(박노옥 외, 2003; Bruzzone and Prieto, 2000a; Castllana and Meneses, 2007; Frank and Canty, 2003).

변화탐지는 크게 무감독변화탐지와 감독변화탐지 기법으로 나눌 수 있다(Bruzzone and Prieto, 2000a; Singh, 1989)<sup>1)</sup>. 감독변화탐지는 영상분류(image classification)나 GIS 데이터 분석을 통해 이루어지며, 토지피복에 대한 속성의 변화정보를 얻을 수 있는 반면, 대상지역의 사전 정보가 필요하고 시간이 많이 소요되는 단점이 발생한다(Bruzzone and Prieto, 2000a; Lu et al., 2004).

무감독변화탐지는 영상차(image differencing), 영상비(image rationing), CVA(change vector analysis) 등 영상 화소값 연산에 의해 변화유무만을 판단하는 방법으로서 대상지역의 사전 정보를 얻을 수 없거나 변화지역에 대한 정보만 필요로 하는 경우에 적용할 수 있으며, 감독변화탐지 결과의 정확도를 높이기 위한 전처리 과정으로 사용될 수 있다(Bruzzone and Prieto, 2000a; Castllana and Meneses, 2007). 또한 비디오 영상의 동작감지(motion detection), 머신비전 시스템(machine vision system)의 영상분할(image segmentation) 및 에지검출(edge detection) 등 원격탐사 이외의 분야에서도 응용되고 있다(Luthon et al., 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 변화유무를 탐지하는 가장 중요한 단계로 인식되고 있지만(Lu et al., 2004), 원격탐사 분야에서는 연구가 활발히 이루어지지 않고 있다.

임계값 결정은 사용자에 의한 시각적 방법과 통계적 측정을 통해 수행되어 왔다(Lu et al., 2004; Singh, 1989). 시각적 방법은 영상 화소값 연산을 통한 결과영상의 히스토그램을 분석하여 사용자가 임의적으로 임계값을 결정하거나 이 과정을 반복하여 최종적으로 임계

값을 결정하는 방법(trial-and-error procedure)이다. 통계적 추정 방법은 결과영상의 평균과 분산을 이용하여 적절한 임계값을 결정하는 것을 말한다. 이러한 방법들은 사용자의 판단이 결과를 결정하므로 객관성이 결여되는 문제가 발생한다(Lu et al., 2004).

결과의 정확도와 객관성을 높이기 위해 기대최대화(expectation-maximization) 기법(Bruzzone and Prieto, 2000a; Bazi et al., 2007)이나 퍼지함수(fuzzy set; Metternicht, 1999) 등을 적용한 연구들이 최근에 이루어지고 있으며, Rosin과 Meneses(2005)는 히스토그램의 피크점(peak)과 끝점을 이은 직선의 직교선과 만나는 히스토그램 값을 임계값으로 정하는 간단한 방법인 교점방법(corner method)을 제시하기도 하였다.

본 연구는 히스토그램 기반의 임계값 결정 방식과 달리 영상 화소간 유사도(pixel-based spectral similarity) 결과값을 일정 간격으로 누적 계산하여, 급격하게 변화하는 지점을 임계값으로 결정하는 방법을 제안하고 있다. 제안된 알고리즘은 의사영상(synthetic image)을 이용하여 기존의 기대최대화 기법 및 교점방법과 성능을 비교·평가하였으며, 실제 다중시기 데이터에 적용하여 결과를 확인하였다.

## 2. 기본 이론

### 1) 임계값 결정 기법

변화탐지를 위해서는 두 시기 이상의 동일 지역 영상을 필요로 한다. 입력된 영상은 일반적으로 단영상(panchromatic images)이며, 영상간 화소값 연산을 통해 변화를 탐지를 수행한다. 하지만 낮은 SNR(signal-to-noise ratio)을 갖는 영상의 경우 단영상을 사용한 변화탐지 기술을 적용하는데 한계를 가져온다. 최근 다중분광 및 초분광영상의 취득이 가능해짐에 따라 유클리드 거리(euclidean distance), 분광각(spectral angle), 분광상관(spectral correlation), 분광유사도스케일(spectral similarity scale), 분광정보발산(spectral information divergence) 등과 같은 화소간

1) 대수적인 방법, 변환방법, 분류방법, 개선방법, GIS 방법, 시각적 분석, 기타 방법의 7가지로 나누기도 함(Lu et al, 2004).

유사도 측정 기법을 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다(김대성, 김용일, 2006; 김대성 외, 2007; 김선화 외, 2005; Meer, 2005).

유사도 측정 기법에 의해 계산된 결과값은 임계값 결정 기법에 의해 변화유무 정보(change/non-change information)를 탐지하게 된다. 앞서 언급하였듯이, 임계값 결정은 크게 사용자에게 의한 시각적 방법과 통계적 측정을 통한 방법을 주로 사용하고 있으나, 사용자의 판단이 결과를 결정하므로 객관성이 결여되는 단점이 발생한다. 아래는 임계값 결정과 관련한 최신기법인 기대 최대화 기법, 교점방법을 좀 더 자세히 설명하고 있다. 퍼지함수를 이용한 임계값 결정 기법은 임계값 주변의 값을 여러 단계로 나누는 개념적인 방법이므로 따로 설명하지 않기로 한다.

(1) 기대최대화 기법

기대최대화 기법은 입력 자료로부터 반복적인 연산을 통해 확률 밀도 함수의 파라미터(평균, 분산, 사전확률)를 결정하는 방법이다(박노옥 외, 2003; Bruzzone and Prieto, 2000a). 가우시안 확률 분포를 가정하며, 파라미터들의 기대값을 계산하는 기대화 과정(E-step)과 최대우도율을 가지는 새로운 추정치를 계산하는 최대화 과정(M-step)으로 나누어진다. 이전 단계의 추정치와 새로운 추정치의 값이 차이가 거의 없을 때 반복 계산은 멈추게 되고, 두 밀도 함수가 가지는 확률이 동일한 지점이 임계값이 된다. 확률밀도를 적용하여 임계값을 추정함으로써 신뢰도 높은 기법으로 인식되고 있지만, 반복적 계산으로 인해 적용이 복잡하고, 입력 데이터가 통계적 추정이 가능해야 높은 정확도를 기대할 수 있다.

임계값은 식 1에서 나열된 2차 방정식을 통해 계산할 수 있다. 여기서,  $\hat{T}_0$ 는 임계값,  $\sigma_n, \sigma_c$ 는 분산,  $\mu_n, \mu_c$ 는 평균,  $P(w_n), P(w_c)$ 는 사전확률을 나타낸다.

$$(\sigma_n^2 - \sigma_c^2)\hat{T}_0^2 + 2(\mu_n\sigma_c^2 - \mu_c\sigma_n^2)\hat{T}_0 + \mu_c^2\sigma_n^2 - \mu_n^2\sigma_c^2 + 2\sigma_n^2\sigma_c^2 \ln\left[\frac{\sigma_c P(w_n)}{\sigma_n P(w_c)}\right] = 0 \quad (1)$$

(2) 교점방법

교점방법은 Rosin과 Hervas(2005)에 의해 제안된 기법으로서, 히스토그램의 피크점과 끝점을 이은 구간

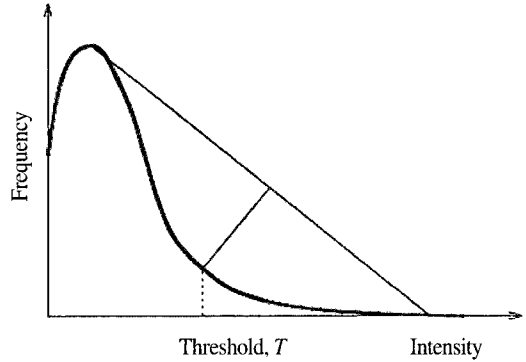


Fig. 1. Corner method (Rosin and Hervas, 2005).

안에서 변곡점을 임계값으로 결정할 수 있다. 변곡점은 피크점과 끝점을 이은 직선을 이등분한 지점을 지나는 수직선이 히스토그램과 만나는 점이 된다(그림 1). 이 기법은 하나의 피크점을 가진 다양한 형태의 히스토그램에 쉽게 적용 가능하며, 잡음이 많은 영상에도 강건한(robust) 결과를 보여 여러 임계값 결정 작업에 사용된다(Rosin and Hervas, 2005). 하지만 두 개 이상의 피크점을 가질 경우 적용에 제한을 받는다.

2) 누적 유사도 측정을 이용한 임계값 결정

두 시기 영상에서의 “변화”는 화소간 특성차이가 뚜렷해지는 것을 의미하며, 화소간 유사도 측정을 통해 계산된 결과값은 어느 시점에서 급격하게 증가한다. 본 연구는 뚜렷한 화소특성 차이를 보이는 지점을 결정하기 위해 측정된 누적 유사도 값이 급변하는 지점을 임계값으로 결정하는 기법을 제안하고 있다. 이러한 접근은 히스토그램을 이용하는 기존의 기법들보다 “변화”를 판단하는 적절한 가정으로 인식될 수 있으며, 히스토그램의 분포특성을 이용하는 기존 방식과 차별성을 지닌다. 또한 기대최대화 기법이나 교점방법에 비해 간단하고, 최빈값을 둘 이상 가지거나(bimodal) 통계적 추정이 어려운 히스토그램에도 적용할 수 있다는 점에서 우수한 기법이라 할 수 있다. 제안알고리즘의 적용순서는 그림 2와 같다.

우선 입력된 두 시기 영상은 화소간 유사도를 측정한 후 높은 유사도 순으로 나열하여 일정간격(본 연구에서는 100개의 화소 간격으로 누적함)으로 평균값을 누적 계산한다. 예를 들어, 59,500개 화소로 구성된 영상은 595개의 누적 유사도값이 생성된다. 누적 유사도값은

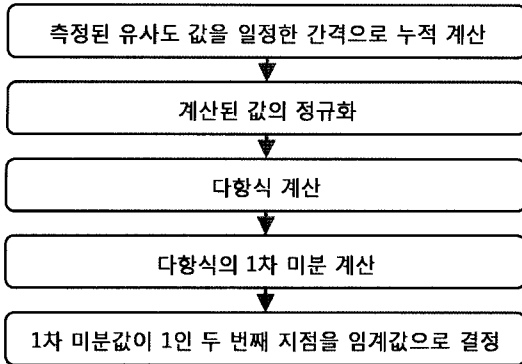


Fig. 2. Flow chart of proposed algorithm.

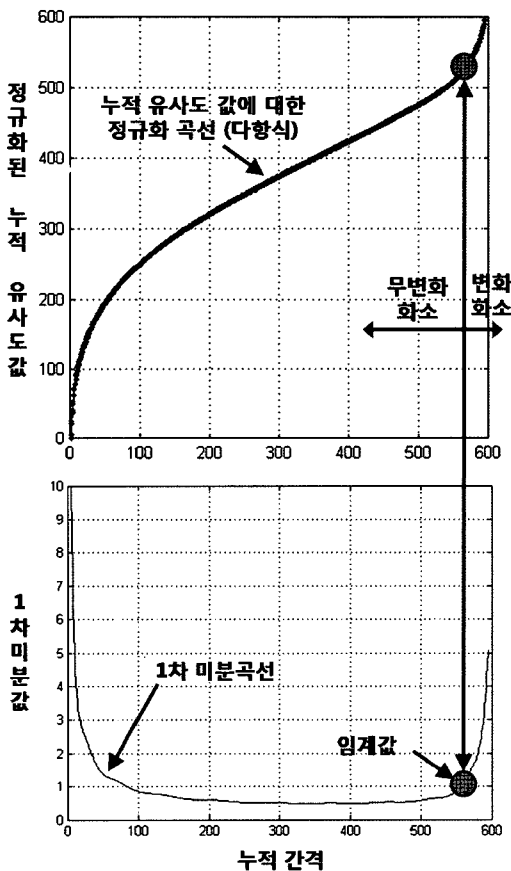


Fig. 3. Automatic thresholding method using cumulative similarity measurement.

누적 간격(595개)을 기준으로 정규화가 이루어지는데, 첫 누적 유사도값은 1의 값을 가지며 마지막 누적 유사도값은 595가 된다. 이 과정을 통해 도출되는 정규화 곡선은 “역 S(inverse S)”자 형태를 보인다(그림 3-상). 생성된 정규화 곡선은 적절한 다항식으로 계산하여

곡선이 급변하는 지점을 추정함으로써 임계값으로 결정한다. 다항식 차수는 기울기가 1인 지점 이후의 기울기가 지속적으로 증가하는 최대 다항식 차수로 설정하였으며, 곡선이 급변하는 지점은 누적 유사도 값에 대한 정규화된 곡선 다항식에서 접선의 기울기가 1인 두 번째 지점을 결정(다항식 1차 미분 이용)하는 것으로 문제를 해결하였다(그림 3-하).

### 3. 알고리즘 적용

#### 1) 실험 방법 및 사용 데이터

변화탐지 연구의 가장 큰 문제는 참조자료를 취득하기 힘들다는 점이다. 따라서 변화탐지 알고리즘 논문의 경우 의사영상을 이용하여 제안된 알고리즘의 성능을 평가한 후, 실제 영상에 적용하는 방식을 주로 택하고 있다. 본 연구 또한 의사영상을 통해 기존의 알고리즘과 성능을 비교하였으며, 두 시기의 ALI(advanced land imager) 영상과 Hyperion 영상에 실제 적용하여 변화탐지 결과를 확인하였다.

그림 4의 a)는 의사영상을 이용한 임계값 결정 방법에 관한 흐름도이다. 사용된 원본영상은 2002년 4월 19일에 촬영한 관악산 주변 지역의 Hyperion 영상과 ALI 영상이다. 첨가된 변화지역의 화소는 5,000개이고, 도심지와 산림지를 교차하여 화소를 변화시켰다. 좀 더 실질적인 변화를 주기 위해 Matlab 프로그램을 이용하여  $0.00001 \times$  분산,  $0.00003 \times$  분산,  $0.00005 \times$  분산 크기로 가우시안잡음(gaussian noise)을 증가시켜 최종 의사영상을 생성하였다. 시기 I, II의 의사영상은 유클리드 거리를 통해 유사도 측정을 수행하여 변화맵(change map)을 생성하였으며, 제안된 알고리즘을 통해 변화유무 정보를 탐지하게 된다. 유클리드 거리를 유사도 측정 기법으로 사용한 이유는 가우시안 잡음의 양상이 화소값의 크기(magnitude)와 관련되어 추가되었기 때문이다. 성능비교를 위해 기대최대화 기법, 교점방법을 함께 적용하였으며, 첨가된 변화지역의 개수를 알 수 있으므로 5,000개의 화소를 변화지역으로 계산하여 변화유무 정보를 탐지하는 방법을 추가적으로 수행하였다.

정확도 평가는 일반적으로 변화된 지역의 면적이 변화되지 않는 지역보다 적게 분포하므로 오차행렬(error

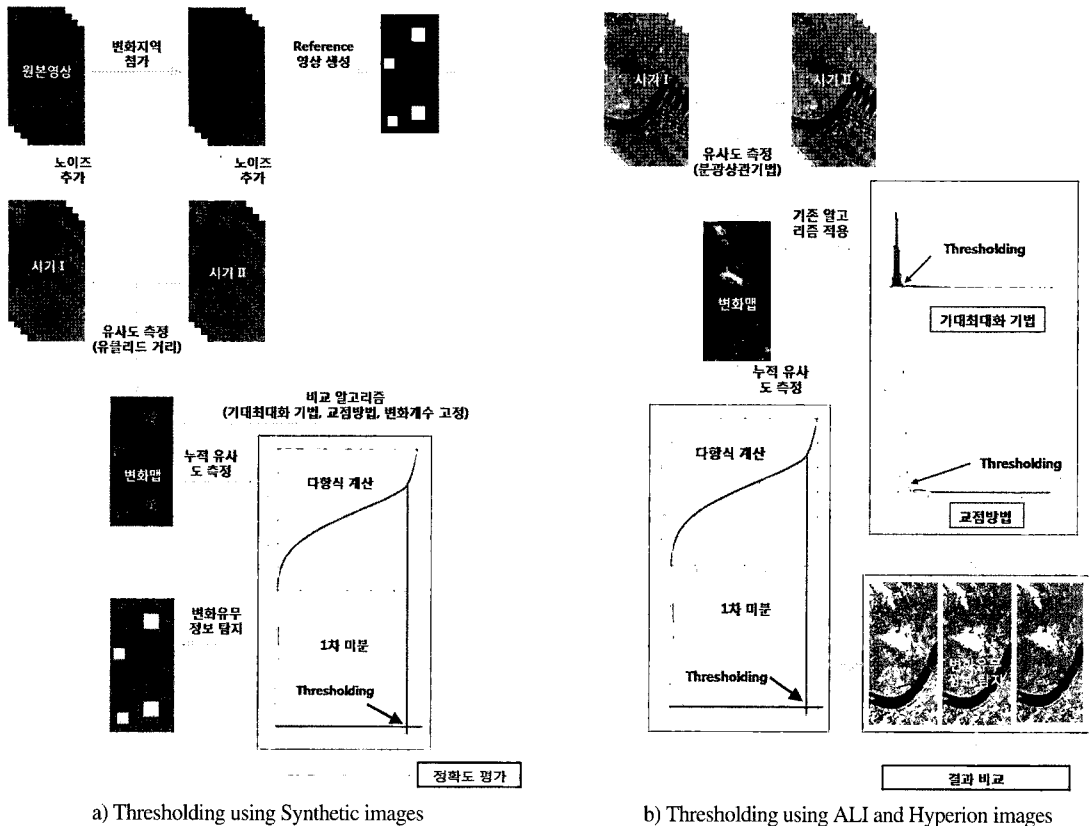


Fig. 4. Flow chart.

matrix)을 이용할 경우 전체 정확도가 높게 평가되어 잘못된 정보를 보여줄 수 있다. 만약 50,000화소 크기의 영상에서 1,000개의 변화화소가 탐지되었다면, 변화지역의 비율은 2.00% ( $=1,000/50,000 \times 100$ )로서 만약 변화지역이 모두 변화되지 않는 지역으로 잘못 탐지하더라도 전체정확도는 98.00%로 나타나며, 변화되지 않은 지역까지 잘못 탐지된다 하더라도 96.00% ( $=100 - 2.00 \times 2$ ) 이상이 된다. 이런 맹점을 해결하기 위해 본 연구에서는 Richard *et al.* (2005)이 제안한 PCC (percentage correct classification), JC(jaccard coefficient), YC(yule coefficient)를 이용하여 정확도를 평가하였다.

그림 4의 b)는 실제 ALI 영상과 Hyperion 영상에 알고리즘을 적용하여 임계값을 결정하는 연구 흐름도이다. Hyperion과 ALI는 EO-1 위성에 탑재된 Pushbroom 방식의 센서로서, Hyperion은 0.36~ 2.58 $\mu$ m 범위의 파장대를 연속적으로 약 10nm 간격의 242개 밴드로 이루어진 초분광센서이다. 12bit의 방사 해상도와 30m의

공간 해상도를 가지며, 관측폭은 약 7.6km이다. ALI는 9개 밴드를 가진 30m 해상도의 다중분광센서와 10m 해상도의 전정색센서(panchromatic sensor)로 이루어져 있다. 각각은 4개의 독립적인 센서로 이루어져 있으며, 약 10화소씩 중복되어 취득된다. 동시에 취득된 4개의 영상을 합치면 약 38km의 관측폭을 가진 하나의 영상이 완성된다(Barry, 2001). 알고리즘의 적용을 위해 취득 가능 지역을 기준으로 2002년 4월 3일, 4월 19일 촬영된 서울, 안산(관악산)지역 영상과 남원, 구례지역의 2002년 9월 3일, 2003년 9월 22일 촬영한 4개의 Hyperion과 ALI 스트립(strip) 데이터(Level 1R, 총 16개 영상)를 사용하였다.

Hyperion 영상은 ALI 영상과 동일한 파장대의 밴드(88개 밴드)만을 추출하여 사용하였으며, 인접한 6개 화소의 평균값을 이용하여 수직잡음(striping noise)을 제거하였다. 동일 지역의 두 시기 영상은 SIFT(scale-invariant feature transform) 기법을 통해 자동 기보정을 수행하여(0.2화소 이내의 정확도) 서울, 안산지

역은 350화소×170화소 크기로 남원, 구례지역은 350화소×140화소 크기로 ALI와 Hyperion 영상을 생성하였다.

변화맵을 생성하기 위한 유사도 측정은 분광상관기법을 적용하였다. 분광상관기법은 두 화소간 상관계수를 계산하여 유사도를 측정하는 방식으로서 분광각과 비슷한 결과를 보이지만, 음의 상관관계가 발생하지 않고 그림자의 영향을 최소화할 수 있다는 점에서 분광각기법보다 개선된 방법으로 알려져 있다(Carvalho and Meneses, 2000). 생성된 변화맵은 제안알고리즘, 기대최대화 기법, 교점방법을 적용하여 변화유무 정보를 탐지하였다. 실제 영상의 경우 참조자료를 취득할 수 없어 결과를 확인하는 수준에서 알고리즘 적용을 마무리하였다.

2) 실험 결과 1

비교 기법의 이해를 돕기 위해 의사영상(ALI 영상,  $0.00003 \times$  분산 크기의 잡음 추가)에 대한 교점방법, 기대최대화 기법을 실제 적용한 예를 그림 5에서 정리하였으며, 그림 6은 변화지역을 실제 영상에 겹쳐 표현한 것이다.

그림 7은 의사영상에 대한 데이터별 PCC, JC, YC

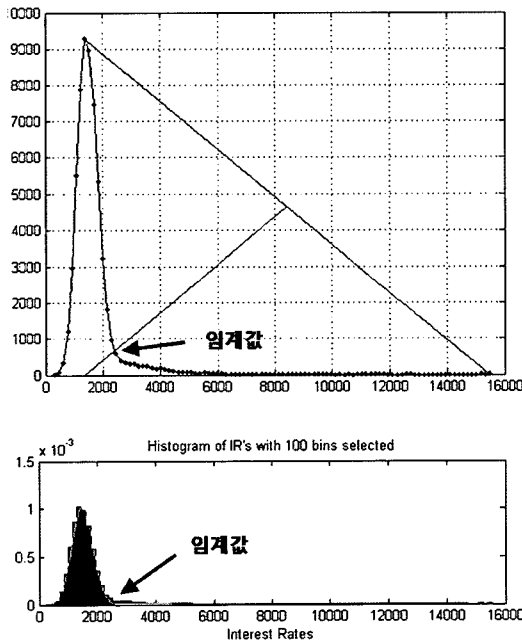


Fig. 5. Examples of application using corner method (above) and EM algorithm (below) for thresholding.

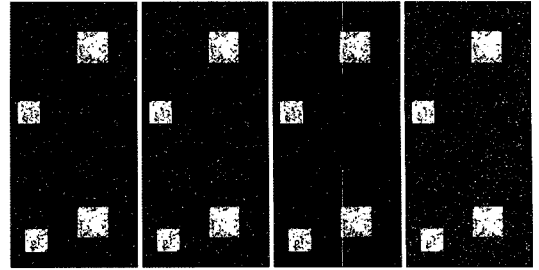


Fig. 6. Binary change/non-change images (proposed algorithm, corner method, EM algorithm, fixed number from left; ALI image,  $0.00003 \times$  variance noise).

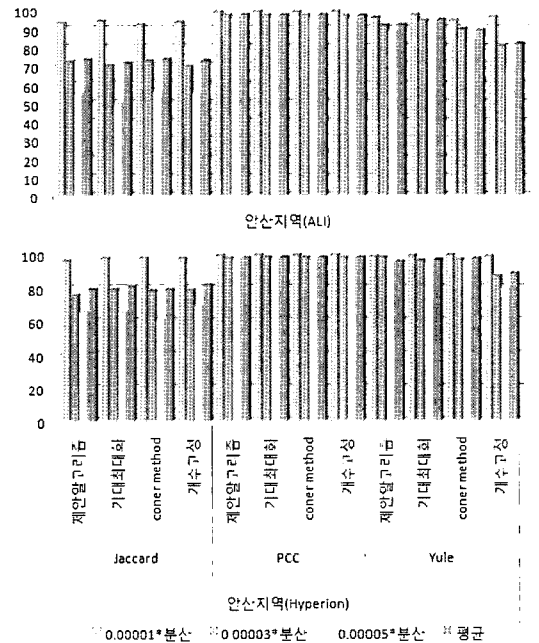


Fig. 7. Accuracy assessment using synthetic images.

값을 정리한 것이다. 변화지역 고정 방법이 YC와 PCC에서 낮은 정확도를 보이는 것을 제외하고, 대부분의 경우에서 비슷한 정확도를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 동일 지역에 대한 추가 실험을 수행한 결과 추가한 잡음의 경우, 임의(random)로 발생하여 정확도가 조금씩 차이(1% 내외)를 보였다. 이는 동일한 지역에 대해 추가 실험을 수행할 경우 정확도 순서가 바뀔 수 있다는 것을 의미한다.

의사영상을 이용한 실험의 결과를 통해, 제안알고리즘이 기존의 기법에 비해 뚜렷한 정확도 향상을 보이지는 않았으나 알고리즘의 신뢰도가 이미 입증된 기법들과 비슷한 성능을 보인다는 점에서 변화유무 정보를 취

득하기 위한 임계값 결정에 효과적으로 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

3) 실험 결과 II

실제 두 시기 데이터를 통해 도출된 변화탐지 결과는 참조자료를 취득할 수 없어 정량적인 정확도 평가가 어려웠다. 다만 사용된 데이터의 시기적인 특성을 이용하여 시각적인 평가를 수행할 수 있었다. 서울, 안산지역의 경우 봄 시기의 16일차 영상임을 감안하여 산림지역의 변화탐지가 가능할 것으로 판단하였으며, 남원, 구례 지역은 태풍 “매미”(2003년 9월 12일 한반도 상륙)가 지나간 후의 영상과 비교가 되므로 지상의 수분 및 하천 지역의 변화탐지 여부를 시각적으로 평가하였다.

표 1은 두 시기의 ALI 및 Hyperion 영상에 적용한 변화탐지 결과 영상이다. 4개 지역(2개 데이터)에 대해 제안알고리즘, 기대최대화 기법, 교점방법 순으로 결과 영상을 정리하였으며, 유사도 측정(분광상관)기법에 의해 도출된 영상도 함께 나열하였다.

서울지역의 Hyperion 영상은 모든 기법에 대해 좌측 상단, 중앙부, 하단부의 산림지역 변화를 잘 탐지하였고, 한강 고수부지 주변 초지(grass)의 변화가 탐지된 것을 알 수 있었다. 하지만 ALI 영상은 도심지(도로)와 수계(한강)의 변화를 과다하게 탐지하였으며, 구례지역에서도 수계지역에서 동일하게 탐지한 것을 확인할 수 있었다. 이는 데이터 특성 및 사용된 유사도 측정기법에 문제가 발생한 것으로 보이며, 초분광영상을 이용한 변

Table 1. Binary change/non-change information using ALI and Hyperion images

지역	사용영상	Hyperion				ALI			
		유사도측정 결과영상	제안 알고리즘	기대최대화 기법	교점방법	유사도측정 결과영상	제안 알고리즘	기대최대화 기법	교점방법
서울									
안산									
남원									
구례									

화탐지 기술의 가능성을 일부 확인한 결과로 판단된다. 또한 적절한 유사도 측정기법에 관한 연구가 추가적으로 이루어져야 한다는 것을 의미한다. 안산지역의 경우 관악산 산림의 변화를 양호하게 탐지하였으며, 남원지역은 우측상단의 구름을 모든 경우에 대해 정확히 탐지하였다. 구례지역의 Hyperion 영상은 태풍의 영향으로 변화된 하천의 변두리 부분을 효과적으로 탐지하고 있음을 확인하였다.

표 2는 화소간 분광상관 기법을 적용한 결과값(최대, 최소값)과 알고리즘별 임계값, 변화화소 개수를 정리한 것이다. 전체적으로 제안된 알고리즘에 의한 변화지역의 화소개수가 다른 기법에 비해 다소 많이 탐지되었으나, 변화된 지역에 대한 분포패턴은 전체적으로 비슷하게 나타났다. 변화탐지가 변화된 지역에 초점을 맞추고 있으므로, 변화된 지역을 누락시키는 오류를 범하지 않는다는 점에서 제안알고리즘이 다른 기법에 비해 나쁜

결과를 도출했다고 볼 수 없다(Bruzzone and Prieto, 2000b).

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 연구는 위성영상을 이용한 변화정보를 취득하는데 있어 중요한 과정인 임계값 결정에 관한 새로운 기법을 제안하고 있다. 화소간 유사도 측정을 통해 도출된 결과값을 일정 간격으로 누적 계산하고, 급격하게 변화하는 지점을 임계값으로 결정하였다. 제안된 알고리즘은 기대최대화 기법에 비해 간단하게 적용할 수 있고, 교점방법과 달리 최빈값을 둘 이상 가지는 히스토그램에도 적용할 수 있는 장점을 가진다.

의사영상을 이용한 실험에서는 기존의 기법과 비슷한 수준의 결과 정확도를 보였으며, 실제 영상을 이용한 변화탐지의 경우 변화된 지역에 대한 분포패턴이 전체적으로 비슷하게 나타났다. 제안된 알고리즘에 의한 변화지역의 화소개수가 다른 기법에 비해 다소 많이 탐지되었으나, 변화된 지역을 누락시키는 오류를 범하지 않는다는 점에서 제안알고리즘이 양호한 결과를 도출하였다고 결론 내릴 수 있다.

서울지역과 구례지역의 실험에서 초분광영상을 이용한 변화탐지 기술의 가능성을 일부 확인하였으며, 적절한 유사도 측정기법에 관한 연구가 수행되어야 할 필요성을 인식하였다. 또한 의사영상과는 달리 실제 영상에서 측정된 유사도 결과값의 히스토그램 분포가 두 개의 확률밀도가 합쳐진 형태를 보이지 않아 임계값 결정을 수행하는데 기대최대화 기법이 적절하지 않음을 실험을 통해 추가적으로 확인하였다.

누적 유사도 측정값에 적합한 다항식 차수를 설정하는 것과 변곡점을 결정하는 부분은 보완되어야 할 알고리즘의 문제점으로 지적되며, 실험에서는 발견되지 않았지만, 누적 유사도 측정값의 형태가 "역 S"자 모양을 보이지 않을 경우 알고리즘 적용에 제한을 받을 수 있다. 향후 유사도 측정 결과의 영향을 최소화하기 위해 fuzzy zone 개념과 클러스터링을 이용한 임계값 결정 연구를 추가적으로 수행할 예정이다.

Table 2. The result of change detection using ALI and Hyperion image

지역	데이터	유사도 측정 결과값		알고리즘	임계값	변화지역 개수
		최소	최대			
서울	Hyper	0.0003	0.2673	기대	0.0148	16,441
				제안	0.0188	13,268
				교점	0.0236	10,614
	ALI	0.0003	0.5846	기대	0.0300	14,972
				제안	0.0295	15,194
				교점	0.0518	8,820
안산	Hyper	0.0003	0.2226	기대	0.0586	8,305
				제안	0.0361	18,295
				교점	0.0482	11,825
	ALI	0.0005	0.3305	기대	0.0242	16,689
				제안	0.0248	16,251
				교점	0.0408	8,584
남원	Hyper	0.0009	0.3903	기대	0.0259	6,099
				제안	0.0216	7,823
				교점	0.0312	4,685
	ALI	0.0001	0.9952	기대	0.0110	8,579
				제안	0.0141	7,085
				교점	0.0313	4,043
구례	Hyper	0.0010	0.4305	기대	0.0734	2,311
				제안	0.0537	5,329
				교점	0.0646	3,084
	ALI	0.0002	0.8531	기대	0.0196	6,147
				제안	0.0310	4,384
				교점	0.0292	4,565



## 사 사

본 논문은 2007년도 이공계 대학원 연구 장학생 사업의 일환으로 연구되었으며, 서울대학교 공학연구소의 연구비지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김대성, 김용일, 어양담, 2007. 변화탐지를 위한 Hyperion 초분광 영상의 자동 기하보정과 밴드 선택에 관한 연구, 한국측량학회지, 25(5): 383-392.
- 김대성, 김용일, 2006. 화소간 유사도 측정 기법을 이용한 하이퍼스펙트럴 데이터의 무감독 변화탐지에 관한 연구, 춘계학술대회 발표회 논문집, 한국측량학회, 243-248.
- 김선화, 이규성, 마정림, 국민정, 2005. 초분광 원격탐사의 특성, 처리기법 및 활용 현황, 대한원격탐사학회지, 21(4): 341-369.
- 박노옥, 지광훈, 이광재, 권병두, 2003. 다중시기 원격탐사 화상의 변화탐지를 위한 임계치 자동 추정, 대한원격탐사학회지, 19(6): 465-478.
- Barry, P., 2001. *EO-1/Hyperion Science Data User's Guide*. TRW Space, Defense and Information Systems.
- Bazi, Y., L. Bruzzone, and F. Melgani, 2007. Image thresholding based on the EM algorithm and the generalized Gaussian distribution, *Pattern Recognition archive*, 40(2): 619-634.
- Bruzzone, L. and D. F. Prieto, 2000a. Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(3): 1171-1182.
- Bruzzone, L. and D. F. Prieto, 2000b. A Minimum-cost Thresholding Technique for Unsupervised Change Detection, *International Journal of Remote Sensing*, 21(18): 3539-3544.
- Carvalho, O. A. D. and P. R. Meneses, 2000. Spectral Correlation Mapper (SCM): An Improving Spectral Angle Mapper, *Summaries of the Ninth JPL Airborne Earth Science Workshop*, Pasadena, CA, 2000, vol. 1, pp. 65-74.
- Castellana, L., A. D'Addabbo, and G. Pasquariello, 2007. A Composed Supervised/unsupervised Approach to Improve Change Detection from Remote Sensing, *Pattern Recognition Letters*, 28(4): 405-413.
- Frank, M. and M. Canty, 2003. Unsupervised Change Detection for Hyperspectral Images, *JPL Publication*, 8th publication.
- Lu, D., P. Mausel, E. brondizio, and E. Moran, 2004. Change Detection Techniques, *International Journal of Remote Sensing*, 25(12): 2365-2407.
- Luthon, F., M. Lievin, and F. Faux, 2004. On the Use of Entropy Power for Threshold Selection, *Signal Processing*, 84(10): 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*, 8(1): 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*, 54(4): 221-233.
- Rechard, J. R., A. Srinivas, A. Omar, and R. Radrinath, 2005. Image Change Detection Algorithms: A Systematic Survey, *IEEE Transactions on Image Processing*, 14(3): 294-307.
- Rosin, P. L. and J. Hervas, 2005. Remote Sensing Image Thresholding Methods for Detemining Landslide Activity, *International Journal of Remote Sensing*, 26(6): 1075-1092.
- Singh, A., 1989. Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, 10(6): 989-1003.