

이진 변화탐지 컴포넌트의 개발 및 변화영상의 비교 연구

유 병 혁*, 지 광 훈**

*과학기술연합대학원 지리정보시스템공학부 (ybh0616@hotmail.com)

**과학기술연합대학원 지리정보시스템공학부 책임교수, 한국지질자원연구원 지질자원정보센터

요 약

본 연구에서는 이진 변화탐지 방법상 요구되는 수동적인 자료처리 단계들을 모듈화하고 통합한 '이진 변화탐지 컴포넌트'를 개발하였으며, 대전 지역의 IKONOS 다중시계열 위성영상의 2개 연구지역에 적용함으로써 그 성능을 검증하였다. 개발된 컴포넌트는 ESRI의 ArcGIS 9.x 상에서 설치 및 실행되며, Visual Basic과 GIS 객체 라이브러리의 결합을 통해 구현되었다. 적용된 모델은 Im, J.(2007)의 연구에서 제시된 '캘리브레이션 기법을 이용한 자동 이진 변화탐지 모델'을 확장 적용한 것으로, 변화영상 히스토그램의 비정규분포를 고려한 누적 생산자 및 사용자 정확도 평가 기법이 최적 임계치 결정에 사용되었다. 다양한 변화탐지 기술들, ID, IR, NCIs, CVA, PCA와 ID, IR의 결합이 실험을 통해 비교 분석되었다. 실험 결과, 개선된 캘리브레이션 기법 적용을 통해 기존 기법보다 향상된 분류정확도를 얻었으며, PC1의 ID가 연구지역의 변화탐지 상에서 가장 우수한 분류 성능을 보여주었다.

1. 서론

원격탐사 자료를 이용한 토지피복 변화 탐지에는 다양한 기술들이 개발 및 적용되어 왔다. Lu et al. (2004)은 이러한 기술들을 크게 두 개의 범주로 분류하였다. 하나는 상세한 전-후 변화정보를 탐지하는 것이고, 다른 하나는 간단한 이진 변화 정보를 탐지하는 것이다. 이진 변화탐지는 두 시기 사이에 변화 유무만을 조사하고자 하는 목적으로 유용하므로, 다양한 변화탐지 기술들이 적용되어 왔다. 따라서 변화탐지 기술들로부터 추출된 새로운 변화영상들은 변화된 지역과 변화되지 않은 지역을 구분하기 위한 최적 임계치의 결정이 매우 중요하다.

Morisette and Khorram(2000)은 정확도 평가 곡선(accuracy assessment

curves)의 개념을 이러한 최적 임계치 결정에 도입하였다. 정확도 평가 곡선은 몇 개의 이산적인 임계치들에 대하여 오차행렬에 기초한 정확도 측정치를 그래프로 나타냄으로써, 최고조에 도달할 때의 임계치를 최적 임계치로 결정하는 기법이다. Lunetta et al. (2002)은 정확도 평가 곡선과 같은 개념으로 캘리브레이션 곡선(calibration curves)을 정의하고, Kappa 정확도가 최고조에 도달할 때의 임계치를 최적 임계치로 결정하는 기법을 도입하였다. 이러한 기존 기법들의 문제점은 분석가가 임의로 몇 개의 임계치들만을 정확도 평가에 사용하고, 그 절차들이 수동적으로 이루어진다는데 있었다. 이에 대한 개선 방법으로, Im, J. (2007)은 캘리브레이션 기법을 이용한 자동 이진 변화탐지 모델(automated binary change detection

model)을 제시하였다.

본 연구에서는 Im. J. (2007)의 연구에서 제시된 모델을 확장 적용하여, 이진 변화탐지 방법상의 수동적인 절차들을 모듈화하고 하나의 도구로 통합한 ‘이진 변화탐지 컴포넌트’를 개발하였다. 개발된 컴포넌트 상에서 최적 임계치 결정은 캘리브레이션 기법을 수정함으로써 기존 기법보다 더 나은 정확도 평가를 수행할 수 있다.

2. 방법론

2.1. 이진 변화탐지 컴포넌트

2.1.1. 개발 환경

이진 변화탐지 컴포넌트는 Visual Basic과 ESRI(Environmental Systems Research Institute)의 GIS 객체 라이브러리(ArcObjects Library)의 결합을 통해 구현되었다. 컴포넌트는 ArcGIS 9.x 상에서 도구 방식으로 설치 및 실행되며, 따라서 분석 전-후 자료처리에 대한 GIS기법의 적용이 용이하다.

2.1.2. 이진 변화탐지 컴포넌트의 처리단계

이진 변화탐지 컴포넌트의 인터페이스는 그림 2. 과 같고, 그 처리 단계는 4개의 모듈(그림 1.)로 분류된다. 먼저 두 시기 영상으로부터 변화탐지 기술을 적용한 새로운 변화영상을 취득한다(단계 1). 변화영상 내에서 자동 표집을 통해 정확도 평가에 사용될 참조 자료를 수집하고, 각 참조자료 위치에 해당하는 변화영상의 화소 값을 새로운 필드로 저장한다(단계 2). 캘리브레이션 기법을 적용한 정확도 평가를 통해, 분석가가 지정한 임계치 범위 내에서 각 임계치에 대한 정확도 측정치들을 새로운 테이블에 저장한다(단계 3). 저장

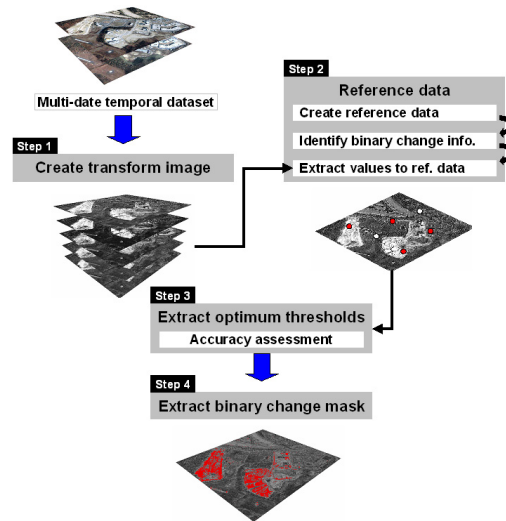


그림 1. 이진 변화탐지 컴포넌트 처리단계

된 테이블로부터 가장 높은 정확도를 나타낼 때 해당되는 임계치를 최적 임계치로 하여 이진 변화 마스크를 최종적으로 추출한다(단계 4).

2.2. 연구지역 및 자료

연구지역에 대한 실험 목적은 다음과 같다: (1)본 연구를 통해 개발된 이진 변화탐지 컴포넌트의 성능 검증, (2)개선된 캘리브레이션 기법과 기존 기법의 분류정확도 평가, (3)실험에 사용된 변화영상들의 정확도 평가 측정치에 기초한 정량적인 비교 분석.

대전 지역 내에 2개 연구지역이 본 실험을 위해 선정되었다. 첫 번째 연구지역(SiteA)은 한국항공기술연구원을 포함해 새로운 연구단지 조성을 위해 개발된 지역으로, 일부 녹지 부분의 변화된 지역을 포함하고 있다. 두 번째 연구지역(SiteB)은 SK대덕기술연구원 부지로써, 새 건물의 건축으로 인해 변화된 지역을 포함하고 있다.

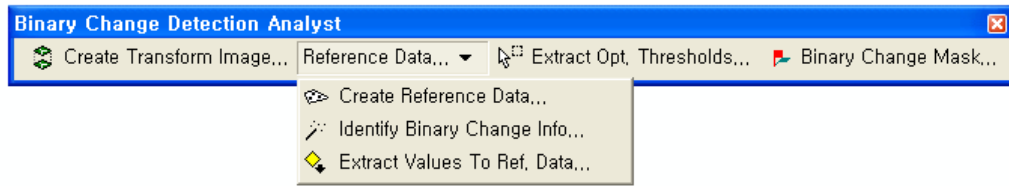


그림 2. 이진 변화탐지 컴포넌트의 인터페이스

2000년 11월 11일과, 2002년 3월 9일에 촬영된 연구지역의 IKONOS 다중시계열 위성영상이 본 실험에 사용되었다. 촬영날짜가 연중동일날짜에 근접하지 않게 되면 생물 계절학적인 변화가 두드러질 수 있지만, 실험에 사용된 자료들은 대부분 인위적인 토지피복 변화지역들을 다루고 있다. 사용된 다중시계열 위성영상의 센서 촬영각은 각각 19.4°, 2.6°로써, 촬영각의 차이로 인한 일부 건물의벽이나 그림자의 변화탐지는 불가피하다. pan sharpening을 통해 전정색 밴드를 기준으로 공간해상도에 대한 정규화를 수행하고, 각 지역별로 10개 지점의 PIF(pseudo invariant features) 기법을 통해 방사정규화를 수행하였다. 수행된 결과를 darksubtract를 통해 단일방사보정을 수행함으로써 최종적인 전처리 결과를 취득하였다.

2.3. 변화영상의 생성

이진 변화탐지 컴포넌트의 첫번째 절차는, 분석가가 선택한 변화탐지 기술 적용을 통해 다중시계열 원격탐사 자료로부터 새로운 변화영상을 생성하는 단계이다. 실험에 사용된 변화탐지 기술들과 그 요약은 다음과 같다 (Lu et al., 2004):

1) Image differencing 기법은 첫 번째 시기 영상을 두 번째 시기 영상으로부터 화소 대 화소로 뺀 결과로써, 단순하고 간

단하기 때문에 결과를 해석하기 쉽다는 이점이 있다.

2) Image ratioing 기법은 두 시기의 기록영상의 비율을 밴드 대 밴드로 계산한 결과로써, 태양각, 그림자 및 지형의 영향을 감소시키는 이점이 있다.

3) Change vector analysis(CVA)는 n 차원 변화공간을 통해 종점들 사이의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 정의함으로써 화소별 전체 변화크기를 계산한다. 처리되는 분광밴드 개수의 제한이 없으며, 상세한 변화탐지 정보를 제공하는 이점이 있다.

4) Principal component analysis(PCA)는 밴드들 사이의 불필요한 자료를 줄이고 성분들 내에서 변화정보를 강조한다. 두 시기 영상의 PCA를 개별적으로 수행하고, 서로 일치하는 성분들에 대해 image differencing이나 image ratioing을 적용함으로써 나타낼 수 있다.

5) Neighborhood correlation images (NCIs)은 세 개의 독립적인 변수들로 구성된다(Im & Jensen, 2005). correlation은 주어진 local neighborhood 상에서 두 시기 영상의 밝기 값의 상호관계를 피어슨의 적률상관계수(Pearson's product-moment correlation coefficient)로 나타낸다. slope과 intercept는 최소자승추정(least squares estimates)로부터 계산된다.

2.4. 참조자료의 수집

stratified random sampling을 통해 각 연구지역 내에서 500개의 참조자료가 생성되었다. 다중시계열 IKONOS 위성영상의 육안판독(visual interpretation)과 컴포넌트 기능을 통해 각 표집 위치에 대한 이진 속성정보를 필드값으로 부여하였다.

2.5. 개선된 캘리브레이션 기법 적용을 통한 최적 임계치 결정

변화영상의 히스토그램 상에서, 변화된 지역의 화소값들은 일반적으로 히스토그램의 주변부에 분포되고, 변화되지 않은 지역의 화소값들은 평균값 주변에 분포된다. 따라서 이진 변화탐지 연구에서는 변화된 지역과 변화되지 않은 지역의 화소값들을 분류하는 최적 임계치의 결정 단계가 수반된다. 기존 연구에서 분석가는 몇 개의 이산적인 임계치들(최적 임계치라고 예측되는)에 대한 정확도 평가를 수행하고, 가장 높은 정확도를 나타낼 때의 임계치를 최적값으로 선택하는 시행착오 과정을 거쳐야했다. 이에 대한 개선 기법으로, 자동 이진 변화탐지 모델(Im, J. 2007)은 분석가가 임계치의 범위를 설정하고, 설정된 범위의 연속적인 임계치에 대하여 자동적으로 정확도 평가를 수행하는 캘리브레이션 기법(calibration approach)을 도입하였다. 캘리브레이션 기법에서 최적 임계치는 변화영상 히스토그램의 평균으로부터 양쪽으로 같은 거리(또는 비율)로 지정된다. 이것은 변화영상의 히스토그램을 정규(가우시안)분포로 가정하는 것으로, 만약 변화영상의 히스토그램이 비정규 분포를 나타내거나 한 방향으로 치우쳐져 있다면 이러한 임계치 결정 기법이 부적합할 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 변

화영상의 히스토그램 상에서 최고 최저 구간의 임계치를 각각 따로 설정하는 방법을 적용하였다.

자동 이진 변화탐지 모델을 포함하여, 최적 임계치를 결정하는 지표로 Kappa 정확도가 선호되어 왔다. Kappa 정확도는 정확도 평가에 사용되는 오차행렬 내의 모든 셀들을 사용하므로 우수한 평가를 내릴 수 있다. 하지만 두 개의 임계치를 사용하는 경우에 임계치들의 결합으로 인해 Kappa 정확도 계산이 복잡해질 수 있으므로, 보다 간단한 누적 생산자 및 사용자 정확도 평가(Halil Ibrahim Cakir et al, 2006)가 적용되었다. 이것은 모든 지역들이 정확히 분류되었다고 가정할 때, 생산자 정확도와 사용자 정확도의 누적 합계가 최적 임계치에서 200%(100%+100%)가 된다는 사실에 기초한 것이다. 개선된 캘리브레이션 기법을 적용한 최적 임계치 결정은 다음의 절차를 따른다:

1. 분석가는 시작, 끝, 간격을 입력함으로써 연속적인 임계치 범위를 지정한다.
2. 각 참조자료 위치에 대한 변화영상의 화소값을 새로운 필드로 저장한다.
3. 지정된 범위 내에서 임계치를 증가시키며, 각 임계치에 따른 참조자료와 분류 클래스 사이의 오차행렬을 구성한다.
4. 변화분류 클래스에 대한 사용자 정확도와 생산자 정확도의 누적 합계를 해당 임계치와 함께 새로운 테이블에 저장한다.
5. 임계치의 반복연산이 종료되면, 생산자 및 사용자 정확도의 누적 합계가 가장 클 때의 해당 임계치를 최적 임계치로 추출한다.
6. 최적 임계치를 적용했을 때의 Kappa 정확도를 계산하고 변화영상의 탐지 능력을 비교 분석한다.

3. 실험 결과

이진 변화탐지 컴포넌트의 각 단계를 통해, 개선된 캘리브레이션 기법을 적용한 정확도 평가를 실험하였다. Kappa 정확도는 0.80보다 큰 값(80% 이상)은 분류클래스와 참조자료 사이의 정확도나 일치도가 강함을 나타내고, 0.40과 0.80사이의 값(40~80%)은 보통 정도의 일치도를, 0.40보다 작은 값(40% 이하)은 일치도가 낮음을 나타낸다. SiteA 지역과 SiteB 지역에서 2, 3, 5번 밴드의 ID, CV, 그리고 PC1의 ID의 평균값은 각각 0.880, 0.869, 0.848, 0.855, 그리고 0.908로 80% 이상의 높은 정확도를 나타내었다. 특히, PC1의 ID는 연구지역에서 각각 0.919, 0.896으로 실험에 사용된 변화영상 중 가장 높은 분류 정확도를 보이는 것으로 평가되었다. 반면, 4번 밴드의 IR, NCIs(NC, NS, NI)의 정확도 평균값은 각각 0.394, 0.103, 0.365, 0.012로 연구지역의 적용에 대한 적합성이 떨어지는 것으로 나타났다.

Kappa 정확도를 기준으로 개선된 캘리브레이션 기법의 적용 결과를 기존 결과와 정량적으로 비교분석하였다. 대부분의 변화영상에서는 개선된 캘리브레이션 기법을 적용했을 때 향상된 정확도의 최적 임계치를 결정할 수 있음이 확인되었다. 일부 변화영상(SiteA 지역의 3번 밴드의 ID, 4번 밴드의 ID, IR, NS, 그리고 SiteB 지역의 1번 밴드의 ID)의 정확도는 다소 떨어지는 결과값을 보여주는데, 이것은 변화영상의 히스토그램 상에서 최고 최저 임계치에 대한 분류정확도가 차이가 나기 때문이다. 예를 들면, SiteA 지역 3번 밴드의 ID에 대한 최고 최저 누적 생산자 및 정확도는 각각 1.899, 1.500으로써, 밝기값의 증가로 인해 변화된 지역의 분

표 1. 정확도 평가 결과

Study Area	TI	PUA		KA	
		LE	HE	DC	AC
SiteA	B1 ID	1.555	1.863	0.861	0.880
	B1 IR	1.415	1.743	0.785	0.821
	B2 ID	1.619	1.890	0.874	0.894
	B2 IR	1.423	1.712	0.772	0.775
	B3 ID	1.500	1.899	0.886	0.867
	B3 IR	1.415	1.653	0.729	0.756
	B4 ID	1.323	1.450	0.626	0.613
	B4 IR	1.329	1.198	0.459	0.278
	B5 ID	1.579	1.762	0.819	0.839
	B5 IR	1.495	1.574	0.659	0.707
	NC			0.206	0.206
	NI	1.250	1.301	0.565	0.577
	NS	1.163	1.294	0.168	0.020
	CVA			0.904	0.904
	PC1+ID	1.684	1.916	0.888	0.919
PC1+IR	1.555	1.668	0.758	0.781	
SiteB	B1 ID	1.474	1.632	0.669	0.626
	B1 IR	1.511	1.459	0.618	0.650
	B2 ID	1.738	1.814	0.656	0.866
	B2 IR	1.684	1.423	0.655	0.670
	B3 ID	1.778	1.810	0.536	0.872
	B3 IR	1.751	1.289	0.459	0.538
	B4 ID	1.474	1.465	0.622	0.692
	B4 IR	1.324	1.449	0.456	0.511
	B5 ID	1.800	1.728	0.805	0.857
	B5 IR	1.745	1.423	0.653	0.673
	NC			0.000	0.000
	NI	0.000	0.622	0.153	0.153
	NS	1.183	1.500	0.000	0.004
	CVA			0.807	0.807
	PC1+ID	1.792	1.873	0.819	0.896
PC1+IR	1.745	1.502	0.718	0.726	

TI = transformed image, PUA = cumulative producer's and user's accuracies, LE = low-end, HE = high-end, DC = default calibration, AC = advanced calibration

류정확도가 감소로 인해 변화된 지역의 분류정확도보다 상대적으로 우수함을 나타낸다.

4. 결론

이진 변화탐지 컴포넌트는 이진 변화탐지 방법상 요구되는 수동적인 자료처리 단계들을 모듈화하고 통합함으로써, 효율

적이고 효과적인 이진 변화 마스크의 추출을 수행한다. 또한 캘리브레이션 기법을 개선 및 적용함으로써 지정된 임계치 범위 내에서 최적 임계치를 자동적으로 추출하는 기능을 수행한다. 컴포넌트의 성능 검증 및 사용된 변화영상들의 비교분석을 위해 실험한 결과, PC1의 ID가 연구지역들에서 가장 높은 분류정확도(0.919, 0.896)를 나타내었으며, 개선된 캘리브레이션 기법 적용을 통해 기존 기법에 비해 보다 정확한 임계치를 설정할 수 있음이 확인되었다. 본 연구를 통해 개발된 컴포넌트는 변화된 객체를 추출하는 목적 등의 관련 연구들에서 그 활용성이 높을 것으로 기대된다.



1) SiteA의 최적 임계치를 사용한 이진 변화 마스크 추출 결과



2) SiteB의 최적 임계치를 사용한 이진 변화 마스크 추출 결과

그림 3. 이진 변화 마스크 추출 결과

참고문헌

- John R. Jensen. (1996). *Introductory Digital Image Processing*, Prentice-Hall, Inc.
- Jungho Im, John R. Jensen. (2005). A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. *Remote sensing of Environment*, 99, 326-340.
- Jungho Im, Jinyoung Rhee, John R. Jensen, Michael E. Hodgson. (2007). An binary change detection model using a calibration approach. *Remote sensing of Environment*, 106, 89-105.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moram, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2407.
- Lunetta, R. S., Ediriwickrema, J., Johnson, D. M., Lyon, J. G., & McKerrow, A. (2002). Impacts of vegetation dynamics on the identification of land-cover change in a biologically complex community in North Carolina, USA. *Remote Sensing of Environment*, 82, 258-270.
- Morisette, J. T., & Khorram, S. (2000). Accuracy assessment curves for satellite-based change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, 875-880.