Korean Journal of Remote Sensing, Vol.27, No.2, 2011, pp.75~87

색상 불변 특징을 이용한 고해상도 위성영상의 영역기반 건물 추출

고아름* · 변영기** · 박우진* · 김용일*†

*서울대학교 공과대학 건설환경공학부, **한국항공우주연구원

Region-based Building Extraction of High Resolution Satellite Images Using Color Invariant Features

Areum Ko*, Younggi Byun, Woojin Park*, and Yongil Kim*†**

*Dept. of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University

**Korea Aerospace Research Institute

Abstract : This paper presents a method for region-based building extraction from high resolution satellite images(HRSI) using integrated information of spectral and color invariant features without user intervention such as selecting training data sets. The purpose of this study is also to evaluate the effectiveness of the proposed method by applying to IKONOS and QuickBird images. Firstly, the image is segmented by the MSRG method. The vegetation and shadow regions are automatically detected and masked to facilitate the building extraction. Secondly, the region merging is performed for the masked image, which the integrated information of the spectral and color invariant features is used. Finally, the building regions are extracted using the shape feature for the merged regions. The boundaries of the extracted buildings are simplified using the generalization techniques to improve the completeness of the building extraction. The experimental results showed more than 80% accuracy for two study areas and the visually satisfactory results obtained. In conclusion, the proposed method has shown great potential for the building extraction from HRSI.

Key Words : Building extraction, Color invariant, High resolution Satellite images, Region-based segmentation, Region merging

요약 : 본 연구에서는 고해상도 위성영상을 이용하여 기존의 훈련지역 선정과 같은 사용자 개입 없이, 영상의 다중분광 및 색상 불변 특징 정보를 통합한 영역기반 건물 추출 방법론을 개발하고, 이를 IKONOS와 QuickBird 영상에 적용하여 개발된 방법의 효용성을 평가하는데 목적이 있다. 이를 위해 우선 영상을 시드 기반 영역확장기법인 MSRG기법을 이용하여 분할한 후, 건물 추출의 편의성을 높이기 위한 전처리 과정의 일환으로 분할된 영상에서 식생과 그림자 객체를 자동으로 탐지하여 제거하였다. 객체단위의 건물 추출을 위해 다중분광 및 색상 불변 특징 정보가 통합된 영역 병합 과정을 통해 식생과 그림자 객체가 제거된 분할 영역에 대하여 영역 병합을 수행하였고, 최종적으로 병합된 분할 영역의 형상 특징 정보를 이용하여 건물 영역을 추출하였다. 또한 보다 완전성 높은 건물 추출을 위해 일반화 기법을 이용하여 추출된 건물의 외곽선을 단순화하였다. 실험 결과, 대상지역 모두에서 80% 이상의 건물 탐지 정확도를 보였으며 시각적으로도 우수

접수일(2011년 3월 19일), 수정일(2011년 4월 8일), 게재확정일(2011년 4월 10일).

† 교신저자: 김용일(yik@snu.ac.kr)

한 결과를 도출하였다. 결과적으로 제안된 방법은 고해상도 위성영상의 건물 추출에 유용하게 적용될 수 있으리라 판단된다.

1. 서 론

고해상도 위성영상의 상용화로 위성영상을 이용한 다양한 도심지 객체의 정보 추출이 가능하여 이에 대한 관심이 증가하고 있다. 건물 정보는 도시 계획, 디지털 도시 모델링, 지리 정보 시스템의 자료 갱신 등 다양한 분야에서 기본 정보로 사용되고 있다. 따라서 건물 추출에 관한 연구는 원격탐사, 컴퓨터 비전 등과 같은 분야에서 중요한 주제이며, 지속적으로 연구가 진행되고 있다(Jiang *et al.*, 2008).

Lhomme *et al.* (2007)은 고해상도 위성영상에서의 건물 추출 방법을 크게 3가지로 범주화 하였다. 첫째는 에지 정보에 따른 선형 추출을 통한 건물 재구성 방법, 둘째는 분류 과정에서 의미 정보를 이용한 화소 수준의 분류 개선 방법, 셋째는 분할 영상의 분류에 기초한 객체기반 접근 방법이다. 고해상도 위성영상에서 선형 추출에 기초한 재구성 방법은 공간 해상도가 증가함에 따라 복잡한 건물 형상이 영상에 그대로 투영되기 때문에 그 처리 과정이 복잡하다는 단점을 갖는다(Lhomme *et al.*, 2007). 또한 화소기반 분류를 통한 건물 추출의 경우, 화소단위 처리에 따른 과잉 정보와 영상 잡음 등의 문제점이 지적되어 왔다(Hay and Castilla, 2006). 이러한 화소기반 처리의 한계점을 극복하기 위하여 객체(object) 혹은 영역(region) 기반의 기법이 고해상도 위성영상에 적합한 건물 추출 방법으로 대두되고 있다.

영역기반 접근법에서, 건물은 개개의 화소가 아니라 각 영역의 분광, 형상, 질감, 공간 정보를 종합적으로 고려하여 추출된다. 고해상도 위성영상을 이용한 영역기반 건물 추출에 관한 연구는 분할 영상에서 선정한 건물 트레이닝 자료로부터 건물영역 정보를 취득하여 건물을 추출하는 감독분류 방식으로 많이 진행되고 있다(Song *et al.*, 2006; Lari and Ebadi, 2007; Yu and Shu, 2009). 그러나 트레이닝 자료를 사용하는 감독 분류 기법은 많은 시간이 소요되고, 주관적이며, 영상 의존적이다. 또한 고해상도 위성영상에서 건물은 다양한 색상과 복잡한 구조를 가지므로, 분류 기법을 통해 다양한 클래스와 건물을 구분하는데에 어려움이 있다(Song *et al.*, 2006). 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Jiang *et al.* (2008)은 분할 영상에서 사용자가 선택한 건물영역에 해당하는 시드 객체에 대해 유사한 특성을 갖는 이웃객체를 병합하는 방식의 반자동 건물 추출방법을 제안하였다. Aytekin *et al.* (2009)은 식생과 그림자를 제거한 영상을 평균 이동 분할 기법(mean shift)으로 분할한 후 모폴로지 처리와 주성분 분석을 통하여 얇고 작은 인공물을 제거한 다음 남은 객체를 건물로 정의하여 건물을 추출하였다. Aksay *et al.* (2010)은 분할 영상에서 그림자와 태양 방위각 정보로 건물 후보 영역을 선정한 후 건물 후보 영역의 무게 중심 사이 거리를 이용하는 군집화 방법을 통해 건물을 추출하였다.

이에 본 연구에서는 트레이닝 자료의 선정 없이 영상의 다중분광과 색상 특징 정보를 통합하여 영역 병합을 수행하고 병합된 영역의 형상 정보를 이용하는 새로운 영역기반 건물 추출 방법론을 제안하고, 이를 고해상도 위성영상에 적용하여 제안 기법의 활용 가능성을 검증하고자 하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서 건물 추출은 고해상도 위성영상에서 건물을 탐지하고 건물 경계를 기술하는 것으로 정의한다. 또한 건물은 사각 형상을 가지며, 건물 지붕이 단일 객체로 구성되어 있다고 가정한다. 제안된 고해상도 위성영상의 건물 추출 과정은 효과적인 건물 추출을 위해 필요한 사전데이터 생성 및 전처리 과정과 이들 데이터를 이용한 건물 영역 추출 단계로 크게 구성된다. Fig. 1은 본 연구에서 제안하는 건물 추출 과정의 연구 흐름도를 나타낸 것이다. 전처리 과정으로 고해상도 다중분광영상 제작을 위한 영상 융합 및 영역기반 건물 추출을 위하여 MSRG(Modified Seeded Region Growing) 기법으로 융합 영상을 분할하였고, 건물 추출의 편의성을 높이기 위하여 분할 영상에서 식생과 그림자 객체를 자동

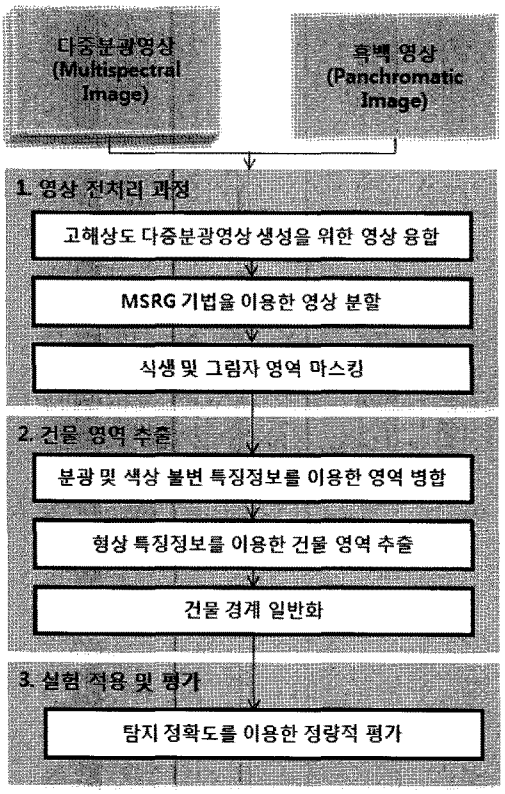


Fig. 1. Flow chart of the method

으로 제거하였다(변영기, 김용일, 2010). 건물 영역 추출 단계에서는 전처리 과정에서 식생과 그림자 객체가 제거된 분할 영역에 대하여 이웃영역(Neighboring Region)을 설정한 후, 각 대상영역과 이웃영역의 다중분광과 색상 불변 특징을 통합한 유사도 측정치를 이용하여 유사한 영역을 병합하였다. 병합된 영역에 대하여 건물 특성에 입각한 형상 특징을 계산하여 병합된 영역에서 건물영역을 추출하였고, 일반화 기법을 통해 추출된 건물영역을 단순화하여 건물 경계를 기술하였다. 또한 제안 방법의 우수성을 검증하기 위해서 기존 연구에서 많이 사용된 다중분광영상의 분광값 만을 이용한 영역 병합 결과와 시각적 비교평가를 수행하였다. 정량적 비교평가 방법으로는 수작업으로 구축된 건물 참조 데이터를 이용하여 완전성, 정확성, 우수성을 산정하는 방법을 사용하였으며, ISODATA 기법을 사용하여 건물 추출 정확도를 비교평가 하였다.

1) 전처리와 영상 분할

전처리 과정으로 먼저 고해상도 다중분광영상 제작을 위해 ENVI 4.5 프로그램의 Gram-Schmidt 융합 기법을 이용하여 영상 융합을 수행하였으며, 융합 영상의 대비 향상과 데이터 정규화를 목적으로 다중분광영상의 모든 밝기값을 0~1사이로 선형 스트레칭하여 연구를 수행하였다.

영역기반 건물 추출을 위해서는 우선 영상을 의미 있는 화소의 집합으로 그룹화하는 영상 분할 과정이 선행되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 영상의 지역적에지 변이 특성을 이용하여 영상 전역에서 초기 시드 점을 추출한 후, 추출된 시드 점들에 우선순위를 반영하여 영역확장을 수행하는 영상 분할 기법인 MSRG (Modified Seeded Region Growing) 기법을 이용하여 영상을 초기 분할하였다(변영기, 김용일, 2010). MSRG 기법은 한 개의 시드 파라미터를 이용하여 영상 분할 수준을 조절할 수 있지만, 분할 수준을 높여 영상 분할을 수행할 경우 일부 분광학적 특성이 복잡한 건물 객체에 대하여 건물 경계가 모호해지는 문제점을 보인다. 따라서 본 연구에서는 건물 경계 정보의 보존을 위해 MSRG 기법의 영상 분할 수준을 낮게 설정하여 영상을 과대분할(over-segmentation)하였다.

2) 식생 및 그림자 자동 추출과 제거

고해상도 위성영상에서 도심지는 식생, 그림자, 수계, 나대지, 불투수층과 같은 다양한 클래스로 구분될 수 있다. 이러한 클래스 중에서 식생과 그림자는 불투수층 클래스인 건물과 공간적으로 인접하여 불완전하고 불규칙한 건물 형상을 만들고, 영역 병합 과정에서 오병합을 야기하며 불필요한 처리 시간을 소요시키는 문제점을 보인다. 또한 고해상도 위성영상의 다중분광 정보를 이용하여 도심지 영상에서 식생, 그림자, 수계, 나대지, 불투수층의 클래스를 구분하는 것이 가능하다 (Herold *et al.*, 2002). 그러므로 본 연구에서는 건물 추출의 편의성을 높이기 위하여 분할된 영상에서 식생과 그림자 객체를 자동으로 탐지하여 제거하였다.

가. 식생 추출

정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index)는 가장 일반적으로 사용되는 식생 활력도를 나

타내는 지수로 식 (1)과 같이 정의된다. 건강한 식생일수록 높은 정규식생지수 값을 가지므로, 정규식생지수가 특정 임계값 이상의 영역을 식생으로 간주할 수 있다. 본 연구에서는 그레이 레벨에서 두 클래스의 분리성을 최대화하는 간단한 자동 임계값 선택 기법인 Otsu 기법을 이용하여 정규식생지수의 임계값을 설정하고 이를 통해 식생영역만을 자동으로 추출하고자 하였다(Otsu, 1979). 그러나 고해상도 위성영상에서 흔하게 볼 수 있는 청색과 자주색 건물들의 경우, 그 분광학적 특성이 식생과 유사하여 높은 NDVI 값을 가지므로 단순히 Otsu의 방법만을 이용하여 식생영역을 추출할 경우 이들 건물이 식생영역에 포함되는 수행오차(commission error)가 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 Otsu의 방법으로 선택한 임계치를 이용하여 식 (2)과 같이 정의되는 식생 후보영역(V_c)을 일차적으로 선정한 후, 선정된 식생 후보영역에 한해서 식생의 분광 반사 특성을 최종적으로 고려하여 식생영역을 추출하였다.

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \tag{1}$$

여기서 과 은 각각 근적외선과 적색 복사속이다.

$$\left[V_c(i) = 1 \,|\, NDVI(i) > T_{NDVI} \right] \quad i \in \{1,...,N\} \tag{2}$$

여기서 $NDVI(i)$는 영역 i의 $NDVI$ 값, T_{NDVI}는 NDVI에 대한 Otsu 임계값, N은 초기 분할된 영역의 개수이다.

식생 후보영역에서 비 식생영역을 제거하기 위하여 Fig. 2와 같은 특성을 보이는 식생의 분광 반사도 특성을 고려하였다(Osbourne *et al.*, 2002). 일반적으로 가

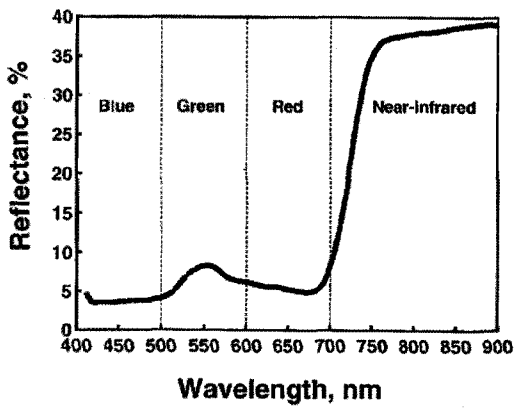


Fig. 2. Typical vegetation spectral reflectance curve

시광 파장대에서 식생의 반사도 차이는 녹색 파장대를 기준으로 5~10% 내외에 있다. 이러한 식생의 분광 반사 특성에 기초하여 본 연구에서는 식 (3)에서와 같이 식생 후보영역의 녹색 밝기값의 표준편차 증감 내에 포함되는 청색과 적색 밝기값을 갖는 영역을 최종 식생영역(V)으로 결정하였다.

$$\begin{aligned} &[V(j) = 1 \,|\, G(j) \pm \sigma_{G(V_c)} > B(j) \\ &\cap G(j) \pm \sigma_{G(V_c)} > R(j)] \; j \in \{1,...M\} \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 $B(j)$, $G(j)$, $R(j)$는 각각 V_c로 할당된 영역 j의 RGB 밝기값, $\sigma_{G(V_c)}$은 V_c의 녹색 밝기값에 대한 표준편차, M은 V_c으로 할당된 영역의 개수이다.

나. 그림자 추출

Su *et al.* (2006)은 IHS(Intensity-Hue-Saturation) 칼라 공간으로 영상을 변환하여 분광 비율 영상, 청색 밝기값, 채도의 3가지 속성에 각각 Otsu 임계치 기법을 적용하여 고해상도 위성영상에서 자동으로 그림자를 식별하는 방법을 제안하였다. 그러나 고해상도 위성영상은 다양한 클래스로 구성되어 있으므로, 대부분의 위성영상에서 분광 비율 영상, 청색 밝기값, 채도의 3가지 히스토그램의 속성이 영상 히스토그램의 분포가 두 개의 가우시안 형상을 가진다는 Otsu 방법의 가정을 만족하지 않는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 Su *et al.*의 방법으로 추출된 영역을 식 (4)와 같이 정의하여 그림자 후보영역(Sc)으로 선정한 후, 선정된 그림자 후보영역에 한해서 강도 특성을 고려하여 최종적으로 그림자영역을 추출하였다.

$$\left[S_c(\mathrm{i}) = 1 \,|\, R(i) \pm T_1 \cap B(i) > T_2 \cap S(i) > T_3 \right] \quad i \in \{1,...N\} \tag{4}$$

여기서 $R(i)$, $B(i)$, $S(i)$는 각각 영역 i의 분광 비율 값 $(H(i)+1)/(I(i)+1)$, 청색 밝기값, 채도 값이고, T_1, T_2, T_3는 각각에 대한 Otsu 임계값이다.

그림자 후보영역에서 비 그림자영역을 제거하기 위하여 일반적으로 영상에서 그림자가 낮은 반사 강도를 갖는 특성을 이용하였다(Tsai, 2006). 따라서 본 연구에서 그림자영역(S)은 선정된 그림자 후보영역 중에서 그림자 후보영역의 평균 강도 이하의 값을 갖는 영역으로 식 (5)로 정의하여 결정하였다. 제안된 그림자 추출 방법은 영상을 구성하는 지역에 따라서 그림자영역을 과

소 추정할 수 있지만, 비 그림자영역이 그림자영역으로 포함되는 수행 오차의 발생을 현저히 줄임으로써 건물 추출의 정확도 저하를 방지할 수 있다.

$$[S(j)=1 \mid I(j)<\mu_{I(S_c)}]\, j \in \{1,\ldots,M\} \qquad (5)$$

여기서 $I(j)$는 S_c로 할당된 영역 j의 강도, $\mu_{I(S_c)}$은 S_c의 평균 강도, M은 S_c로 할당된 영역의 개수이다.

3) 영역 병합

본 연구에서는 건물 지붕이 단일 객체로 구성되어 있다고 가정한다. 이러한 가정 하에서 건물 지붕은 유사한 다중분광 및 색상 속성을 갖는다고 할 수 있다. 따라서 과분할 영상에서 유사한 다중분광 및 색상 속성을 갖는 영역을 병합하여 건물 객체를 단일 영역으로 형성함으로써 건물 추출이 가능하다. 여기서는 먼저 영역 병합에 사용된 색상 불변 모델을 소개하고, 영역 병합 과정을 기술한다.

가. 색상 불변 모델

색상은 객체를 인식하고 구분하기 위한 강력한 요소 중 하나이다. 박공지붕(gable)과 같이 건물 지붕이 수평이 아닌 경우, 태양 입사각에 따른 조도의 차이로 인하여 동일한 반사도 속성을 갖는 단일 건물 지붕에 명암 차이가 나타난다. Gevers and Smeulders (1998)은 이론과 실험을 통하여 RGB 색상 모델이 객체 위치와 입사 방향의 변화에 민감하고, 조도 강도에 의존적인 특징을 갖는다는 것을 증명하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, Gevers and Smeulders은 한 가지 빛의 원천을 가정하는 이색성 반사 모델(dichromatic reflection)과 가시광 영역 내의 모든 파장에 대한 에너지 밀도를 나타내는 백색 조명(white illumination)을 가정하면서, 시야 방향, 객체 기하, 조도 방향, 조도 강도, 조도의 분광 에너지 분포에 강건한 색상 불변 모델(color invariant model)을 제안하였다. 본 연구에서는 Gevers and Smeulders이 제안한 식 (6)의 색상 불변 모델을 정규화하여 영역 병합을 위한 특징 정보로 사용하였다.

$$c_1 = \arctan\left(\frac{R}{\max\{G,B\}}\right)$$

$$c_2 = \arctan\left(\frac{G}{\max\{R,B\}}\right) \qquad (6)$$

$$c_3 = \arctan\left(\frac{B}{\max\{R,G\}}\right)$$

여기서 R, G, B는 RGB 컬러 공간에서 영상의 밝기 값을 나타낸다. c_1, c_2, c_3는 시야 방향, 표면 방향, 조도 방향, 조도 강도에 대하여 강건하다.

나. 영역 병합

Fig. 3은 본 연구에서 제안한 방법의 영역 병합 과정을 나타낸다.

본 연구에서는 영역 병합을 위하여 먼저 식생과 그림자 객체를 제거한 분할 영상에 대하여 이웃영역(Neighboring Regions: NRs)을 설정하였다. 이웃영역은 Fig. 4에서와 같이 대상영역의 경계와 접한 영역으로, 하나의 대상영역과 관계를 갖는다. 대상영역과 이웃영역에 대하여 다중분광과 색상 불변 특징(c_1, c_2, c_3)을 정규화하여 통합한 유클리드 거리로 식 (7)과 같이 비율로 정의하였다. 측정된 유사도가 병합 임계값 이하인 대상영역과 이웃영역을 단일 영역으로 병합하였으며, 병합된 영역의 다중분광 및 색상 불변 특징 정보는 면적 가중 평균을 이용하여 갱신하였다. 영역 병합은 설정한 병합 임계치 내에서 영역 병합이 이루어지지 않을 때까지 반복적으로 수행하였다. 마지막으로 병합된 영역의 경계를 부드럽게 하고 영역의 작은 구멍을 메우기 위하여 오프닝과 클로징 연산을 수행하였다.

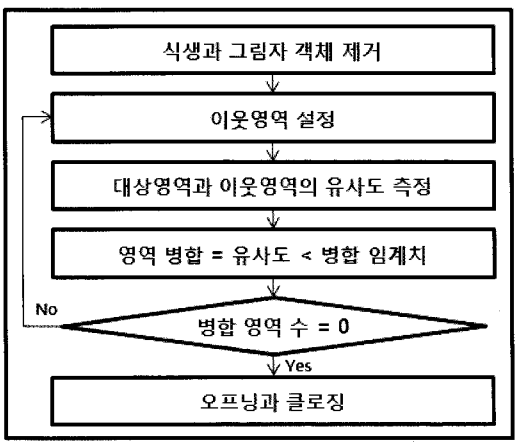


Fig. 3. Region merge process

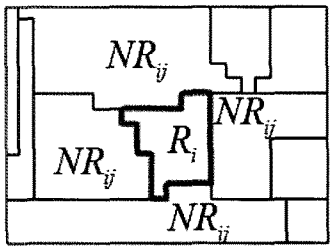


Fig. 4. Neighboring regions of a region

$$\text{Similarity}_{ij} = \sqrt{\left[\left(R_{i,\,DN(B,G,R,NIR)} - NR_{ij,\,DN(B,G,R,NIR)}\right)^2 + \left(R_{i,\,CI(c_1,c_2,c_3)} - NR_{ij,\,CI(c_1,c_2,c_3)}\right)^2\right] \times \frac{1}{n}} \times 100(\%)$$
$$i \in \{1,\ldots,N_{tot}\}, j \in \{1,\ldots,N_{tot}\} \quad (7)$$

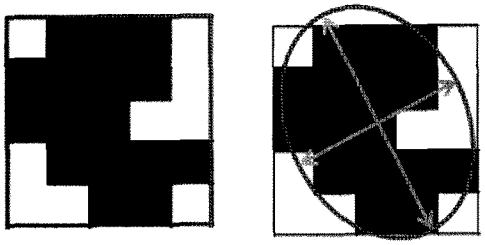
여기서 $R_{i,\,DN(B,G,R,NIR)}$와 $NR_{ij,\,DN(B,G,R,NIR)}$은 각각 대상영역과 이웃영역의 밴드 밝기값, $R_{i,\,CI(c_1,c_2,c_3)}$와 $NR_{ij,\,CI(c_1,c_2,c_3)}$는 각각 대상영역과 이웃영역의 c_1, c_2, c_3의 색상 불변 특징, N_{tot}은 전체 영역 수, N_i는 R_i의 이웃 영역 수, n은 특징 벡터 수(e.g. 7)이다.

4) 건물영역 추출 및 경계 일반화

일반적으로 대다수 건물은 일정 크기의 사각형 형상을 갖는다. 그러므로 본 연구에서는 병합된 영역의 형상 정보를 이용하여 건물영역을 추출하였다. 이러한 형상 정보는 사각형률(rectangularity)과 이심률(eccentricity)이다(Yang *et al.*, 2008). 사각형률은 식 (8a)과 같이 영역의 모든 점을 포함하는 가장 작은 사각형인 최소 경계 사각형(Minimum Bounding Rectangle)에 대한 영역의 면적 비로 얻어지며, Fig. 5(a)는 검정색 영역에 대한 최소 경계 사각형을 보여준다. 사각형률은 영역의 형상이 사각형에 가까울수록 1의 값을 갖는다. 이심률은 병합된 영역에서 도로와 같이 얇고 긴 형상을 갖는 영역을 제거하기 위한 형상 정보로 식 (8b)과 같다. 이심률은 영역과 동일한 2차 모멘트를 가지는 타원의 장축과 단축을 이용하여 계산되며, 선분의 이심률은 1이고 원의 이심률은 0이다. 본 연구에서 병합된 영역에 대하여 일정 면적을 갖는 영역 중에서 사각형률이 높고, 이심률이 극단적으로 높지 않은 영역을 건물영역로 지정하였다.

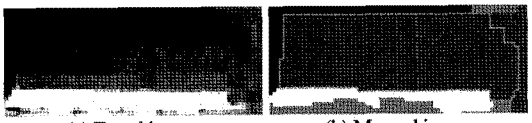
$$\text{Rectangularity} = A_R / MBR \quad (8a)$$

$$\text{Eccentricity} = \sqrt{1 - \left(\frac{b^2}{a^2}\right)} \quad (8b)$$



(a) Minimum bounding rectangle (b) Major and minor axis of ellipse

Fig. 5. Properties of shape information,



(a) Fused image (b) Merged image

Fig. 6. Rugged building boundaries of IKONOS image

여기서, A_R은 영역의 면적, MBR은 최소 경계 사각형, a는 타원의 단축, b는 타원의 장축으로 Fig. 5(b)와 같다.

고해상도 다중분광영상을 구축하기 위한 융합 과정에서 융합 영상의 공간해상도는 흑백 영상의 공간해상도에 비하여 저하되거나 다중분광영상의 분광 정보가 왜곡되는 문제가 발생한다(최재완, 김용일, 2010). Fig. 6(a)는 IKONOS 융합 영상에서 건물 부분을 보여주며, 건물의 오른쪽으로 분광 왜곡이 발생하여 건물 지붕의 다중분광 속성이 지면으로 번진 것을 확인할 수 있다. 이러한 분광 왜곡에 기인한 오병합으로 인해 Fig. 6(b)에서 확인 할 수 있듯이 직선형태의 건물 외곽선에 심한 굴곡이 발생하였다. 이를 해결하기위하여 본 연구에서는 선형자료의 일반화 기법을 적용하여 추출된 건물영역의 경계를 단순화함으로써 건물 경계 형상을 개선하였다. 건물 경계를 단순화하기 위해서는 폴리곤의 필수적인 형상과 크기를 유지하면서 폴리곤의 경계를 이루는 절점수를 감소시키거나 불필요한 굴곡을 제거해야 한다(박우진 등, 2009). 이를 위해 본 연구에서는 Lee and Hardy (2005)가 제안한 기법을 적용하여 건물 경계를 단순화하였다.

5) 정확도 평가 방법

본 연구에서는 제안 방법의 성능 평가를 위해 실험 결과와 수작업으로 구축한 참조 자료와 정량적 비교평

Table 1. TP, TN, FP, FN

		result image	
		building	non-building
reference image	building	TP	FP
	non-building	FN	TN

가를 수행하였다. 건물 영역 군에 대해서만 정확도 평가를 수행하기 위하여 건물 객체와 비 건물 객체에 대한 이진영상으로 실험 결과와 참조 자료를 구성하였다. 실험 결과와 참조 자료에 대한 두 이진영상 사이의 관계는 TP(True Positive), TN(True Negative), FP(False Positive), FN(False Negative) 성분으로 산정하였으며, Table 1은 각 성분의 의미를 보여준다(Heipke *et al.*, 1997). 본 연구에서는 이러한 성분을 이용하여 식 (9)~(11)과 같이 완전성(completeness), 정확성(correctness), 우수성(quality)을 화소단위와 객체단위로 산정하여 제안 방법의 정확도 평가를 수행하였다. 화소단위의 정확도 평가는 추출된 건물 형상과 실제 건물 형상의 일치 정도를 설명하여, 객체단위의 정확도 평가는 건물 탐지 성능을 나타낸다. 완전성은 제안 방법으로 정확히 추출된 건물 비율을 나타내고, 정확성은 참조영상에 존재하는 실제 건물 중에서 제안 방법으로 추출된 건물 비율을 설명한다. 우수성은 정확성과 추출된 건물의 완전성을 모두 고려하면서 최종 결과의 우수한 정도를 나타낸다.

$$\text{Completeness} = \frac{\text{TP}}{TP + FN} \times 100(\%) \quad (9)$$

$$\text{Correctness} = \frac{\text{TP}}{TP + FP} \times 100(\%) \quad (10)$$

$$\text{Quality} = \frac{\text{TP}}{TP + FP + FN} \times 100(\%) \quad (11)$$

3. 실험 및 평가

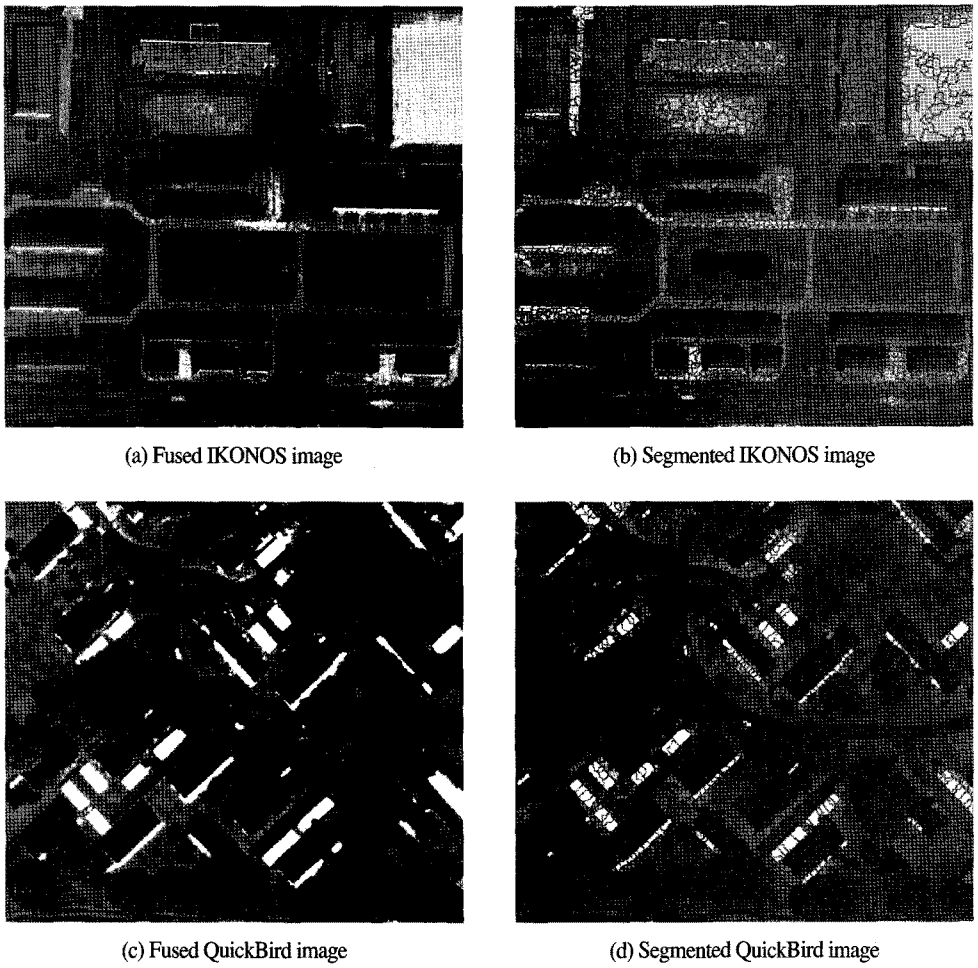
본 연구에서 제안한 건물 추출 방법론은 크게 색상 불변 특징을 이용한 영역 병합 과정과 이를 이용한 건물 추출 과정으로 나눌 수 있다. 제안 방법의 효용성을 검증하기 위해서 기존 연구에서 많이 사용된 다중분광영상의 분광값 만을 이용한 영역 병합 결과와 비교평가를 수행하였다. 또한 수작업으로 구축된 건물 참조 자료를 이용하여 제안 방법의 건물 추출 정확도와 대표적 무감독 분류 방법으로 ISODATA를 이용한 건물 추출 정확도를 정량적으로 비교평가 하였다.

1) 연구 대상 지역 및 영상 분할

본 연구에서는 2006년 3월 25일에 취득한 대전지역의 IKONOS 영상과 ITT Visual Information Solutions 사에서 제공하는 샘플 영상인 하와이 지역의 QuickBird 영상을 사용하였다. 실험 영상에서 Fig. 7과 같은 비교적 기복이 심하지 않은 건물 및 도로 지역이 혼재된 지역을 대상지역으로 선정하였다. 두 대상지역에 대해 Gram-Schmidt 영상 융합과 선형 스트레칭을 적용하여 Fig. 7(a)과 (c)와 같은 전처리 영상을 제작하여 연구를 수행하였다. 본 연구에서 제안하는 건물 추출 방법은 이전의 화소기반 방식과는 달리 영역기반으로 이루어지기 때문에 사전에 영상 분할 과정이 선행되어야 한다. 이를 위해 MSRG 영상 분할 기법을 이용하여 Fig. 7(b)과 (d)와 같이 두 대상지역의 영상을 영역단위로 분할하였다. MSRG 영상 분할 기법은 한 개의 시드 파라미터 설정을 통하여 영상 분할 정도를 조절할 수 있다. 본 연구에서는 분할된 모든 객체에 대해 특별한 객체 정보의 손실이 발생하지 않는 범주에서 시드 파라미터로 0.001의 값을 사용하여 영상을 초기 분할하였다. 각 대상지역의 분할 결과 영상에서 확인할 수 있듯이 시드 파라미터를 작게 설정함으로 인해 영상이 과분할되었지만 건물 경계 정보를 비교적 잘 보존하고 있음을 확인할 수 있다.

2) 색상 불변 특징 결합에 의한 영역 병합 개선 결과

본 연구에서는 고해상도 위성영상의 건물 추출을 위한 특징 정보로 색상 불변 모델이 효과적으로 사용될 수 있음을 확인하기 위하여, 영역 병합에 앞서 다중분광 정보만을 이용했을 경우와 색상 불변 특징을 추가하였을 때의 클래스 간 분리도(separability)를 계산하여 상대적인 효과를 비교평가 하였다. 클래스 간 분리도 실험은 건물과 비 건물 클래스를 선택한 후, 특징 공간에서 JM(Jeffries-Matusita) 분리도 측정을 통하여 선택된 클래스가 얼마나 통계적으로 잘 분리되는지를 조사하였다(Richards, 1999). JM 값은 0부터 2.0사이 범위를 가지며, 1.9 이상의 값은 선택된 클래스가 높은 분리도를



(a) Fused IKONOS image (b) Segmented IKONOS image

(c) Fused QuickBird image (d) Segmented QuickBird image

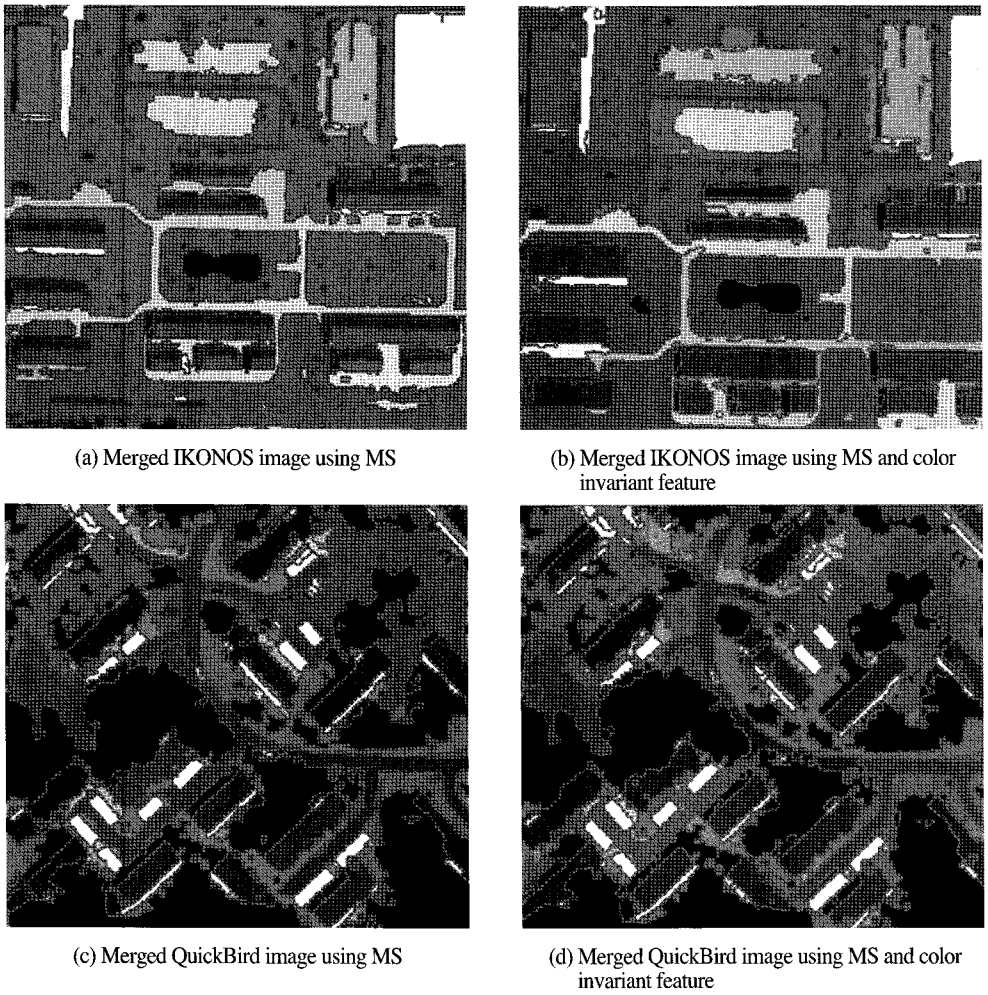
Fig. 7. Image segmentation results of IKONOS and QuickBird

갖는다는 것을 나타내고 1.0 이하의 값은 상당히 낮은 분리도를 갖는다는 것을 설명한다. 본 연구에서는 건물 클래스와의 분리도 평가를 위한 비 건물 클래스로 도로 클래스를 선정하였다. 이는 앞선 식생과 그림자영역 제거 과정을 통해, Fig. 8에서 볼 수 있듯이 대상지역 내에 존재하는 대다수 클래스들이 건물과 도로 군에 해당하고, 이 두 클래스가 공간적으로도 인접한 형태를 갖기 때문이다.

IKONOS와 QuickBird 영상에서 선정한 클래스에 대하여 다중분광(4B)과 색상 불변 특징인 c_1, c_2, c_3의 총 8가지 조합에 대하여 클래스 간 분리도를 계산한 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 건물과 도로 클래스에 대하여 4개 밴드의 분리도보다 색상 불변 특징이 추가되었을 때 분리도가 높아진 것을 확인할 수 있다. 실험 대상지역 모두에서 다중분광과 색상 불변 특징 정보 c_1, c_2, c_3을 통합하였을 때 분리도가 가장 많이 증가하였으

Table 2. Separability for 8 combinations of building and road class in IKONOS and QuickBird

	4B	4B c_1	4B c_2	4B c_3	4B c_1, c_2	4B c_1, c_3	4B c_2, c_3	4B c_1, c_2, c_3
IKONOS	1.8890	1.9407	1.9463	1.9533	1.9583	1.9701	1.9704	1.9777
QuickBird	1.4889	1.6455	1.7081	1.5936	1.7278	1.7536	1.7368	1.7987



(a) Merged IKONOS image using MS

(b) Merged IKONOS image using MS and color invariant feature

(c) Merged QuickBird image using MS

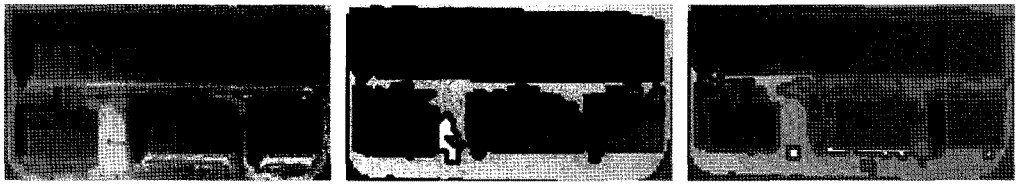
(d) Merged QuickBird image using MS and color invariant feature

Fig. 8. Region merging results of IKONOS and QuickBird

므로, 영역 병합 과정에서 다중분광 정보만을 사용하는 것 보다 색상 불변 특징을 추가함으로써 건물영역의 병합 결과를 개선할 수 있음을 확인하였다.

색상 불변 특징 정보를 통합한 영역 병합 과정이 초기 분할 결과 향상에 실질적으로 도움을 주는지를 파악하기 위하여 다중분광 정보만을 이용한 병합 결과와 시각적 비교평가를 수행하였다. 즉, 각 밴드의 밝기값으로 구성된 4개의 다중분광 정보만을 유사도 측정에 사용한 영역 병합 결과와 색상 불변 특징 정보를 추가하여 총 7개의 특징 벡터에 대한 유사도를 기반으로 하는 영역 병합 결과를 비교평가 하였다. 본 연구에서는 인접한 영역의 병합 조건에 필요한 임계값을 초기 분할 영상에서 공간상으로 인접하여 있지만 명확한 특성 차이를 보이는 객체들의 특성값 차이를 경험적으로 파악하여, IKONOS와 QuickBird 영상에 대하여 모두 12%의 값을 설정하여 영역 병합을 수행하였다.

Fig. 8(a)와 (c)는 IKONOS와 QuickBird 영상에 대하여 다중분광 정보만을 사용하여 영역 병합을 수행한 결과이고, (b)와 (d)는 색상 불변 특징을 추가하여 영역 병합을 수행한 결과이다. 병합 결과 영상에서 검정색으로 나타난 부분은 전처리 과정을 통해 제거된 그림자와 식생영역을 나타낸다. IKONOS 영상은 대상지역 내에 식생영역이 거의 존재하지 않아 전처리 과정으로 제거된 객체가 적지만, QuickBird 영상의 경우 대상지역 내에 넓게 분포하는 상당히 많은 식생 및 그림자 객체가 효과적으로 제거되었음을 확인 할 수 있다. 전처리 과정



(a) Original fused image (b) Merged image using MS (c) Merged image using MS and color invariant feature

Fig. 9. Example of difference in illumination effect

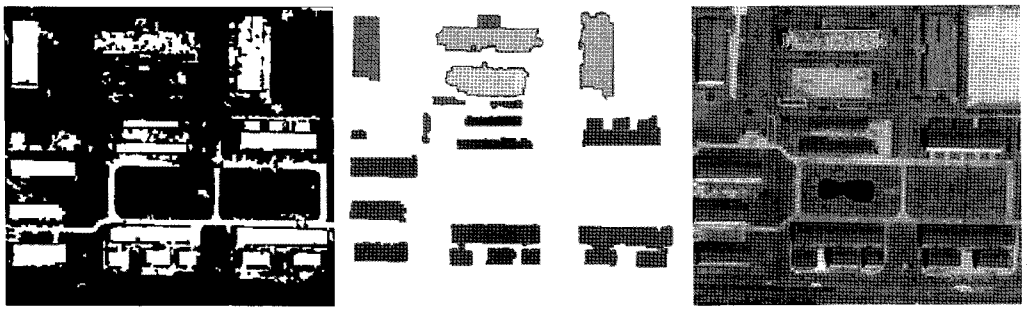
수행 후 남은 객체들에 한해서, 이웃영역과의 유사성에 기초하여 영역 병합을 수행하였다. Fig. 8(a)와 (c)와 같이 영상의 다중분광 정보만을 사용한 병합 결과는 동일한 색상을 갖는 건물이 조도 영향으로 인한 음영 차이로 병합되지 않았다. 이에 비해 영역 병합 과정에 색상 불변 특징 정보를 추가하여 병합을 수행한 경우에는 색상 불변 특징이 조도의 영향에 강인한 특성을 갖기 때문에 단일 건물 내의 음영 차이가 존재하는 영역들이 효과적으로 병합되었음을 확인 할 수 있다. 하지만 Fig. 8(b)의 우 상단에 존재하는 지면 색상과 비슷한 값을 갖는 일부 건물들에 대해서는 지면과 건물 지붕면이 유사한 다중분광 및 색상 특성을 가지므로 인해 건물 경계 부분에서 오병합이 나타났다. Fig. 9는 좀 더 구체적인 시각적인 평가를 위해 IKONOS 영상의 동일 건물지역에 대한 영역 병합 결과를 확대하여 비교 예시한 그림이다. 확대 결과 영상에서도 확인할 수 있듯이 색상 불변 특징 정보를 추가하여 영역 병합을 수행한 결과가 단순히 다중분광 정보만을 이용한 결과에 비해 건물 객체 병합에 있어 보다 효과적임을 알 수 있다.

2) 건물 추출 결과 및 정확도 평가

본 연구에서 제안하는 건물 추출 방법은 트레이닝 자료를 구축하지 않는다는 점에서 무감독 분류의 범주에 속한다고 볼 수 있다. 따라서 제안 방법의 건물 추출 정확도를 평가하고 우수성을 검증하기 위하여 무감독 분류 기법 중 우수한 성능을 보이는 ISODATA(Iterative Self-Organizing Data Analysis) 기법을 사용하여 건물 추출을 수행하고, 수작업으로 구축한 참조자료를 통해 ISODATA를 이용한 건물 추출 정확도와 제안 방법을 이용한 건물 추출 정확도를 화소단위와 객체단위로 비교평가를 수행하였다.

ISODATA의 무감독 분류를 수행하기 위해서는 먼저 파라미터를 선정하여야 한다. 본 연구에서는 실험 영상의 특징공간을 최대한 세밀하게 분류한 후 각 클래스를 건물과 비 건물의 이진 클래스로 할당하기 위하여 IKONOS와 QuickBird 영상 모두에 최소 분류 클래스 수를 50개로 선정하였으며 변화 임계를 0.01%로 설정하였다. 분류 결과로 생성된 50개의 클래스는 건물의 누락 오차를 최소화하면서 건물과 비 건물의 이진 클래스로 할당하였다. Fig. 10(a)와 (d)는 IKONOS와 QuickBird 영상에 대하여 ISODATA를 이용하여 건물을 분류한 결과를 나타낸다. 누락 오차를 최소화하여 클래스를 할당하였으므로 누락된 건물 객체는 없지만, 건물과 분광 유사성이 큰 도로와 같은 비 건물의 상당수가 포함되어있다는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서 제안한 방법은 병합된 각 영역의 형상 정보로 사각형률과 이심률을 계산한 후, 일정 면적 범위 ($150m^2$~$3500m^2$)내에서 사각형률이 높고 이심률이 극단적으로 높지 않은 범위로 IKONOS와 QuickBird 영상 모두에 각각 0.6 이상과 0.98 이하의 값을 갖는 객체를 최종 건물영역으로 선택한다. Fig. 10(b)과 (e)는 대상지역 내에서 최종 추출된 건물 영역을 나타낸다. 실험결과에서 확인 할 수 있듯이, 특별히 누락된 건물 객체 없이 대상지역 내의 모든 건물 객체들이 추출되었지만 추출된 일부 건물의 형상이 불완전한 특성을 나타낸다. 이에 본 연구에서는 여기에 Lee and Hardy (2005)가 제안한 건물 경계 단순화 기법을 적용하여 최종 추출된 건물 영역의 경계 정보를 개선하였다. 형상 정보가 개선된 건물 영역을 원본 영상에 중첩한 결과 영상인 Fig. 10(c)와 (f)에서 확인 할 수 있듯이, 요철한 건물 경계가 단순화되어 건물 형상의 완전성이 향상되었음을 시각적



(a) Building extraction result of IKONOS image using ISODATA

(b) Extracted building regions of IKONOS image using proposed method

(c) Building boundaries delineation result of IKONOS image

(d) Building extraction result of QuickBird image using ISODATA

(e) Extracted building regions of QuickBird image using proposed method

(f) Building boundaries delineation result of QuickBird image

Fig. 10. Experimental results of IKONOS and QuickBird

으로 확인 할 수 있다.

수작업으로 구축된 참조 자료를 이용한 IKONOS와 QuickBird의 무감독 분류와 제안 방법으로 추출된 건물의 정확도 평가 결과는 Table 3과 같다. IKONOS 영상에서 ISODATA의 우수성은 49.4%이며, 제안 방법의 화소단위와 객체단위의 우수성은 각각 74.3%와 83.3%로 나타났다. ISODATA의 건물 추출 정확도는 추출된 건물 클래스에 비 건물이 상당히 많이 포함되어 있다는 것을 설명한다. 이에 비해 제안 방법을 이용한 건물 추출 결과는 추출된 건물이 실제 건물 형상보다 크거나 작은 형상을 갖지만, 제안 방법의 건물 탐지 성능이 상당히 우수하다는 것을 나타낸다. 제안 방법의 완전성과 정확성 결과

Table 3. Accuracy assessment result of IKONOS and QuickBird

	IKONOS			QuickBird		
	ISODATA (pixel unit)	Proposed method (pixel unit)	Proposed method (object unit)	ISODATA (pixel unit)	Proposed method (pixel unit)	Proposed method (object unit)
TP	19,166	21,549	20	1,8333	17,398	29
FP	3,714	1,331	0	2,099	3,034	3
FN	15,881	6,124	4	13,081	3,155	1
TN	121,239	130,996	-	126,487	136,413	-
Completeness	54.7 %	77.9 %	83.3 %	58.4 %	84.6 %	96.7 %
Correctness	83.8 %	94.2 %	100 %	90.0 %	85.1 %	90.6 %
Quality	49.4 %	74.3 %	83.3 %	54.7 %	73.7 %	87.9 %

는 제안 방법으로 추출된 건물 대부분이 실제 건물이지만, 추출된 건물의 일부분에 비 건물이 포함되어있다는 것을 설명한다. 이러한 문제는 IKONOS 영상의 건물 추출 결과인 Fig. 10(b)영상에서 확인 할 수 있듯이, 건물과 유사한 형상 특징을 갖는 나대지의 영역의 병합 결과와 건물에 인접한 포장도로의 병합 결과가 건물영역으로 오추출 되었기 때문이다. 그러나 ISODATA의 결과와 비교하였을 때, 제안 방법은 병합된 영역의 형상 정보를 고려하여 도로와 같이 건물과 분광 특성이 유사하지만 형상의 차이가 큰 영역을 제거함으로써 건물 추출의 완전성을 높여 더 나은 결과를 보인 것을 확인할 수 있다. QuickBird 영상의 ISODATA와 제안 방법의 우수성 결과 또한 IKONOS 영상과 유사하게 나타났다. ISODATA의 경우, IKONOS 영상과 유사하게 건물과 유사한 분광 특성으로 오분류된 도로와 같은 객체들로 상당히 낮은 완전성과 우수성을 보인다. 제안 방법의 경우 정확성 측면에서 QuickBird 영상이 IKONOS 영상에 비해 다소 낮은 85.1% 값을 나타냈다. 이는 QuickBird 영상이 IKONOS 영상에 비해 건물 주변의 수목이 울창하여 이에 따른 식생의 그림자 영역이 상대적으로 많은 특성에 기인한 결과이다. 이러한 식생과 그림자영역이 건물 지붕 위의 폐색영역을 생성함에 따라 영역 병합 후 일부 건물의 형상이 상당히 높은 이심률을 나타내면서 건물 영역 추출과정에서 누락되었기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 고해상도 위성영상을 이용한 건물 추출을 위한 방안의 하나로, 영상의 다중분광과 색상 불변 특징 정보를 통합한 영역기반 건물 추출 방법론을 제안하였다. 제안 기법은 보다 효과적인 건물 추출을 위해 식생과 그림자영역을 자동으로 제거하였고, 영역 병합 과정에 색상 불변 모델을 통합하여 영역 병합의 품질을 개선하였다. 또한 일반화 기법을 이용하여 건물 형상 정보를 개선함으로써 보다 완전성 높은 건물 정보를 추출하였다. 영역 병합과정에 사용된 색상 불변 특징 정보가 건물 추출에 유효한지를 검증하기 위하여 클래스 간의 분리도, 색상 불변 특징 정보의 유무에 따른 영역 병합 결과를 비교평가 하였다. 실험 결과는 색상 불변 특징 정보를 사용함으로써 조도의 영향에 강건한 영역 병합을 수행할 수 있으며, 이를 통해 차후 건물 추출 과정을 용이하게 할 수 있음을 입증하였다.

제안 방법과 기존 방법의 차별점은 건물을 추출하는데 있어 트레이닝 자료와 같은 사용자의 개입이 필요치 않다는 점과 조도 차이로 인해 건물영역이 유사한 특성을 갖지 않더라도 영역 병합 과정을 통해 건물 추출이 가능하다는 것이다. 그러나 제안 방법은 영역 병합 품질에 의존적이며, 건물과 비 건물의 색상 차이가 적은 영역에서 오병합 문제를 갖는다. 향후 영상의 질감 정보와 그림자 정보 등을 활용하여 건물과 비 건물 영역의 오병합을 줄이는 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

사 사

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20100027762).

참고문헌

박우진, 박승용, 조성환, 유기윤, 2009. 수치지도 작성을 위한 건물외곽선 단순화기법 연구, 한국측량학회지, 27(1): 657-666.

변영기, 김용일, 2010. 고해상도 위성영상의 객체기반 분석을 위한 영상분할 기법 개발 및 평가, 한국측량학회지, 28(6): 627-636.

최재완, 김용일, 2010. 영상의 분광 및 공간 특성을 이용한 고해상도 위성영상 융합 알고리즘, 한국지형공간정보학회지, 18(2): 79-86.

Akcay, H. G. and S. Aksoy, 2010. Building detection using directional spatial constraints, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 1932-1935.

Aytekin, O., I. Ulusoy, A. Erener, and H. S. B. Duzgun, 2009. Automatic and unsupervised building extraction in complex urban environments from multi spectral satellite

imagery, *Recent Advances in Space Technologies*, pp. 287-291.

Gevers, T. and A. W. M. Smeulders, 1999. Color-based object recognition, *Pattern Recognition*, 32(3): 453-464.

Hay, G. J. and G. Castilla, 2006. Object-based image analysis: Strength, Weakness, Opportunities and Threats(SWOT), *1st International Conference on Object-based Image Analysis*, Salzburg University, Austria, July 4-5.

Heipke, C., H. Mayer, C. Wiedemann, and O. Jamet, 1997. Evaluation of automatic road extraction, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32(3): 47-56.

Herold, M., J. Scepan, A. Muller, and S. Gunther, 2002. Object-oriented mapping and analysis of urban land use/cover using IKONOS data, *Proceedings of the 22nd EARSEL Symposium*, pp. 4-6.

Jiang, N., J. Zhang, H. Li, and X. Lin, 2008. Semi-automatic building extraction from high resolution imagery based on segmentation, *International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications*, Beijing, China, pp. 1-5.

Lari, Z. and H. Ebadi, 2007. Automated building extraction from high-resolution satellite imagery using spectral and structural information based on artificial neural networks, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing workshop*, Hanover, Germany.

Lee, D. and P. Hardy, 2005. Automating generalization - tools and models Ⅱ, *Proceedings of the International Cartographic Conference*, A Coruna, Spain.

Lhomme, S., D. He, C. Weber, and D. Morin, 2009. A new approach to building identification from very-high-spatial-resolution images, *International Journal of Remote Sensing*, 30(5): 1341-1354.

Osborne, S. L., J. S. Schepers, D. D. Francis, and M. R. Schlemmer, 2002. Detection of phosphorus and nitrogen deficiencies in corn using spectral radiance measurements, *Agronomy Journal*, 94(6): 1215-1221.

Otsu, N., 1979. A threshold selection method from gray-level histogram, *IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics*, 9(1): 62-66.

Richards, J. A., 1999. *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 240.

Song, Z., C. Pan, and Q. Yang, 2006. A region-based approach to building detection in densely build-up high resolution satellite image, *International Conference on Image Processing*, Atlanta, USA, pp. 1522-4880.

Su, J., X. Lin, and D. Liu, 2006. An automatic shadow detection and compensation for remote sensed color images, *International Conference on Signal Processing*, November 16-20.

Tsai, V. J. D., 2006. A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(6): 1661-1671.

Yang, M., K. Kpalma, and J. Ronsin, 2008. A survey of shape feature extraction techniques, *Pattern Recognition*, Hal-00446037, Version 1, pp. 43-90.

Yu, M. and P. Shu, 2009. Object-oriented building extraction from high-resolution imagery based on fuzzy SVM, *International Conference on Digital Object Identifier*, pp. 1-6.