

고해상도 위성영상의 객체기반 분석을 위한 영상 분할 기법 개발 및 평가

Development and Evaluation of Image Segmentation Technique for Object-based Analysis of High Resolution Satellite Image

변영기¹⁾ · 김용일²⁾
Byun, Young Gi · Kim, Yong Il

Abstract

Image segmentation technique is becoming increasingly important in the field of remote sensing image analysis in areas such as object oriented image classification to extract object regions of interest within images. This paper presents a new method for image segmentation to consider spectral and spatial information of high resolution satellite image. Firstly, the initial seeds were automatically selected using local variation of multi-spectral edge information. After automatic selection of significant seeds, a segmentation was achieved by applying MSRG which determines the priority of region growing using information drawn from similarity between the extracted each seed and its neighboring points. In order to evaluate the performance of the proposed method, the results obtained using the proposed method were compared with the results obtained using conventional region growing and watershed method. The quantitative comparison was done using the unsupervised objective evaluation method and the object-based classification result. Experimental results demonstrated that the proposed method has good potential for application in the object-based analysis of high resolution satellite images.

Keywords : High resolution satellite images, Image segmentation, Object-based Classification, Automatic seed selection, Unsupervised objective evaluation method

초 록

영상분할은 관심대상이 되는 물체의 영역을 추출하기 위한 객체기반 영상분류의 전처리과정으로서 원격 탐사 영상분석에서 그 중요성 날로 커지고 있다. 본 연구에서는 고해상도 위성영상의 분광 및 공간정보를 반영할 수 있는 새로운 분할방법을 제안한다. 이를 위해 우선 다중분광 에지정보의 지역적 변이특성을 이용하여 영상에서 자동으로 초기시드 점을 추출하였다. 추출된 시드 점과 이웃하는 점들과의 유사성을 기반으로 영역 확장의 우선순위를 결정하는 MSRG기법을 이용하여 영상분할을 수행하였다. 제안된 기법의 효율성을 평가하기 위해 기존에 위성영상분할에 많이 사용된 유역분할법과 영역성장기법과의 시각적/정량적 비교평가를 수행하였다. 정량적 비교평가 방법으로는 무감독 영상분할 평가 측정치와 동일한 조건하에서 수행된 객체기반 분류 정확도를 이용하였다. 실험 결과 제안한 기법은 고해상도 위성영상의 객체기반 분석에 유용하게 적용될 수 있으리라 판단된다.

핵심어 : 고해상도 위성영상, 영상분할, 객체기반 분류, 시드 선택, 무감독 분할 평가 측정치

1. 서 론

전통적으로 위성영상으로부터 공간객체 정보를 추출하기 위해 주로 활용된 방법들은 대부분 화소기반(pixel-

based)으로 특징공간에서 분광학적 특성만을 이용하여 자료를 처리하여왔다. 일반적으로 공간적으로 근접한 화소끼리는 같은 특성을 보이는 경우가 많은데, 기존의 화소기반 분석법을 이용할 경우 고립된 화소가 나타나는 등 비현

1) 학생회원 · 서울대학교 건설환경시스템 공학부 · 박사수료(E-mail: kko071@snu.ac.kr)

2) 교신저자 · 정회원 · 서울대학교 건설환경시스템 공학부 교수(E-mail: yik@snu.ac.kr)

실적인 결과를 보이는 경우가 자주 나타난다. 특히 기존 8bit로 저장된 중·저해상도 위성영상과 달리 11bit로 저장되는 고해상도 위성영상의 경우, 밝기값의 분포범위가 넓어지고 공간해상력이 증가함에 따라, 같은 객체라 할지라도 다양한 분광학적 특성을 나타내고 공간적으로도 상이한 형태를 갖기 때문에 분광정보만을 이용하는 화소기반 분석으로는 만족할 만한 결과를 도출할 수 없다(Ketting 등, 1976 ; Tomas 등, 2003). 이러한 분광정보만을 이용한 화소기반 고해상 영상분석의 한계성을 극복하기 위해, 화소기반 분석과정에서 분광정보와 인접한 화소들의 공간적 상관성을 함께 고려하는 다양한 분석 방법들이 제안되고 있다(Puissant 등, 2005 ; 한유경, 2009). 하지만 이러한 방법들의 경우 대다수 공간적 상관성의 기여도를 조절하는 파라미터를 경험적으로 설정하거나 최적화 기법을 이용해야만 한다. 또한 대부분 입력 화소 혹은 객체의 특징과 분류 결과 사이의 상호관련성 분석이 용이하지 못한 단점이 있다. 이에 고해상도 위성영상 처리 및 분석에 있어 기존의 중·저해상도에서와 같은 화소단위 분광정보만을 이용하기보다는 텍스처, 주변 관계 등을 종합적으로 고려한 객체기반(object-based)의 기법이 고해상도 영상에 적합한 분석 방법으로 대두되고 있다(Stow 등, 2007 ; Li 등, 2010).

영상분할은 화소단위로 구성되어 있는 영상을 객체 혹은 세그먼트(segment) 단위로 변환시키는 과정으로 최근 객체기반 분석이 대두됨에 따라 영상분할의 중요성이 더욱 커지고 있다. 이는 객체기반 분석 방식이 이전의 화소기반 방식과 달리 객체를 기반으로 이루어지기 때문에 영상 분할 과정을 통해 생성된 객체정보의 정확도가 이후 분석 과정에 직접적으로 영향을 주기 때문이다. 객체기반 분석의 기반이 되는 영상분할 기법은 크게 영상 히스토그램에 기반한 임계치를 이용하는 방법, 영역기반기법(region-based approach)과 에지기반기법(edge-based approach)^{○1} 나눌 수 있고, 위성영상에 적용된 영상분할 방법들의 사례를 살펴보면 영역의 경계처리가 수월한 영역기반기법에 기초를 둔 방법들이 대다수이다. 영역기반에 기초한 영상 분할 알고리즘은 초기시드(seed)점들로부터 시작하여 유사한 성질을 가지는 이웃하는 점들을 병합해나가는 방법으로, 그 대표적인 기법에는 영역성장법(region growing) 및 유역분할(watershed)등이 있다(Gonzalez 등, 1992 ; Vincent 등, 1991). 이를 방법을 고해상도 위성영상에 적용하여 생성된 객체 정보를 입력 데이터로 활용하는 객체기반 분류 및 인식을 위한 다양한 연구들이 계속 진행되고 있다(Wang 등 2004 ; Chen 등 2006 ; Xiao 등 2010 ; Zhang 등

2010). 하지만 이들 방법들은 각 기법별로 시드 선택을 위한 스캔 방향의 종속성과 영역 과분할(over-segmentation) 문제로 실제 위성영상 분할에 있어 많은 문제점을 갖는다(Chen 등 2006).

이에 본 연구에서는 객체기반 분석을 위한 전처리과정으로, 보다 정확한 영상 공간객체 정보 생성을 위해, 영역기반 분할 방법의 일반적인 접근법에 의거한 새로운 영상 분할 방법론을 개발하고, 이를 고해상도 위성영상에 적용하여 제안 기법의 활용가능성 및 효용성을 검증하였다. 또한 제안기법의 성능을 평가하기 위해 기존 위성영상에 적용된 대표적인 영역기반 분할방법인 영역 성장법과 유역분할 기법에 의한 분할결과와 상대적인 비교평가를 수행하였다.

2. 연구방법

본 연구에서 제안하는 고해상도 위성영상의 분할 과정은 원 영상에서 영상분할을 위해 필요한 사전데이터 생성을 위한 전처리 과정과 이들 데이터를 이용한 영상 분할 단계로 크게 구성된다. 그림 1은 본 연구에서 제안한 고해상도 영상분할과정의 연구 흐름도를 나타낸 것이다. 전처리

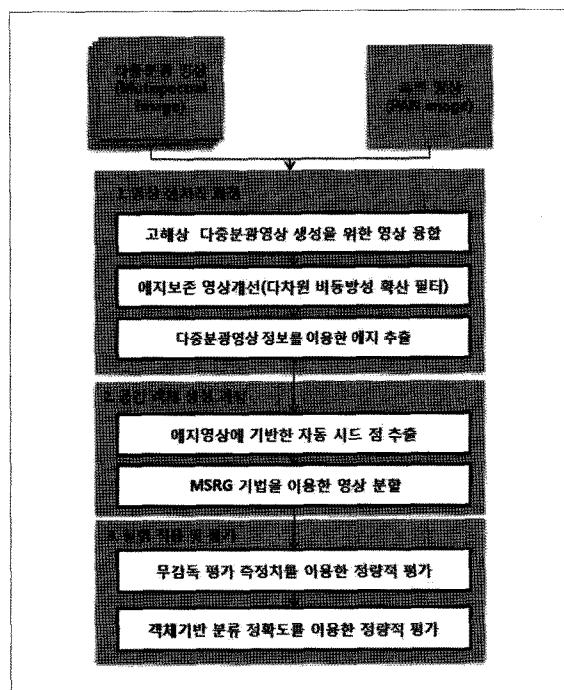


그림 1. 연구흐름도

과정으로 다중분광데이터의 공간해상도 향상을 위한 영상융합 및 다차원 비등방성 확산필터를 사용하여 융합 영상의 품질을 개선하였고, 고해상 위성영상의 공간특징정보 생성을 위한 다중분광 에지정보를 추출하였다. 영상분할 단계에서는 전처리과정에서 추출된 다중분광 에지정보의 지역적 변이특성을 이용하여 초기 시드 점을 자동으로 추출하였고, 이 초기 시드 점을 이용하여 이전 연구(변영기 등, 2010)에서 제안된 MSRG기법을 이용하여 영상분할을 수행하였다. 또한 제안기법의 효용성을 검증하기 위해 대표적인 영역기반 분할방법인 영역 성장법(Region Growing), 유역분할기법(Watershed)에 의한 분할결과와 시각적/정량적 비교평가를 수행하였다. 정량적 비교평가 방법으로는 무감독 영상분할 평가측정치와 동일한 조건 하에서 수행된 객체기반 분류정확도를 비교 평가하는 방법을 사용하였다.

2.1 다중분광 정보기반 영상 전처리

일반적으로 융합영상의 경우 융합 과정에서 분광정보가 왜곡되어 융합영상의 색상이 변질되는 문제점을 갖는다. 이러한 문제는 향후 영상분할 단계에서 많은 문제점을 야기하므로 영상을 평활화 시켜야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 영상의 에지정보를 보존시키면서 다중분광 융합 영상을 개선 할 수 있는 다차원 비등방성확산 (Multi-valued Anisotropic Diffusion)기법(Sapiro 등, 1996)을 이용하여 영상개선을 수행하였다. 이 기법은 영상에서 평탄한 영역에서 강한 확산작용으로 잡음영상을 평탄화(Smoothing)시키는 반면 에지영역에 도달하여서는 확산 작용을 멈춤으로써 에지를 보존하게 된다. 영상을 3차 곡면으로 간주하면 미분기하학의 제 1기본형식(the first fundamental form)으로부터 곡면상의 각각의 위치에 대한 변화율에 대한 정보를 계산할 수 있다. 식(1)은 곡면상의 임의의 두 점 u_i 와 u_j 의 벡터의 길이와 각도정보를 반영하는 2차형식(quadratic form)으로, 곡면의 제 1기본형식을 가리킨다.

$$d\Phi^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 g_{ij} du_i du_j \quad \text{where} \quad g_{ij} = \frac{\partial \Phi}{\partial u_i} \frac{\partial \Phi}{\partial u_j} \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} du_1 \\ du_2 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} du_1 \\ du_2 \end{bmatrix}$$

제 1기본형식을 통해 변화의 정도를 측정할 수 있다. 예를 들어 단위벡터 $\hat{v} = (v_1, v_2) = (\cos\theta, \sin\theta)$ 에 대해 $d\Phi^2$ 는 \hat{v} 방향으로 변화율을 나타내는 척도이다. 이 식의 극값은

2×2 대칭행렬인 $[g_{ij}]$ 의 고유벡터(eigenvector)방향에서 나타나고 그에 해당하는 고유값(eigenvalue)으로부터 변화율에 대한 정보를 알 수 있다.

$$\lambda_{\pm} = \frac{g_{11} + g_{22} \pm \sqrt{(g_{11} - g_{22})^2 + 4g_{12}^2}}{2} \quad (2)$$

$$\theta_{+} = \frac{1}{2} \arctan \frac{2g_{12}}{g_{11} - g_{22}}, \quad \theta_{-} = \theta_{+} = \frac{\pi}{2}$$

여기서 고유값 λ_{\pm} 은 각각 주어진 점에서 최대, 최소변화율을 나타내고 고유벡터 θ_{\pm} 는 각각 최대, 최소 변화율의 방향을 나타낸다. 이러한 변화율 정보를 이용하여 변화율이 크게 나타나는 영상 내의 에지성분이 강한 지역에서는 확산을 멈추고 변화율이 작게 나타나는 평탄한 지역에서는 강한 확산(Diffusion)을 수행하여 영상의 에지정보를 보존하는 평활화 영상을 제작하였다. 또한 본 연구에서는 영상의 에지정보를 초기시드 점 추출 및 영상분할 단계에서 공간특징정보로 활용하기 위해서, 이전 연구(변영기 등, 2010)에서 제안한 다차원 엔트로피 연산자를 이용하여 모든 영상밴드의 분광정보를 통합한 다중분광 에지정보를 추출하였다.

2.2 MSRG 기법을 이용한 영상분할

기존의 영역기반 영상분할의 초기시드 점 추출기법은 영상에서 수동 또는 랜덤하게 추출하거나 분석자가 지정한 이미지 스캔 방향에 따라 순차적으로 추출하는 방법을 많이 사용하고 있으나 초기시드가 에지부분에 선택되거나 스캔 방향을 달리 했을 때 다른 분할결과를 가져오는 문제점을 갖는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 우선 지역적 에지 변이 특성을 이용하여 영상전역에 걸쳐 초기시드 점을 추출한 후, 추출된 시드 점들에 우선순위를 반영하여 영역확장을 수행하였다. 이를 통해 시드 선택 방식에 상관없이 동일한 분할결과를 도출할 수 있다.

2.2.1 지역적 에지 변이특성을 이용한 시드 점 추출

초기시드 점을 추출하기 위해 사용한 기본 구상은 영상의 에지성분들의 국지적 최소치(local minima)를 이용하는 것이다. 이 방식은 앞서 추출한 다중분광 에지영상을 기준으로 각 화소에 이웃하는 화소 중 가장 낮은 기울기를 갖는 화소를 찾아 그 방향으로 이동하며, 이동 위치에서 이와 같은 작업을 반복적으로 수행하면 종국에 더 이상 이동할 수 없는 국지적 최소치에 수렴하게 된다. 이렇게 동일한 국지적 최소치로 수렴하는 영역들은 영상에서 유사한 특성을

갖는 균질한 지역을 의미하므로 국지적 최소치를 갖는 화소를 영상분할을 위한 시드 점으로 활용할 수 있다. 하지만 영상 촬영 시 발생하는 여러 가지 효과로 인해 동일 대상지역 내에서도 에지변이는 미세하게 차이가 나기 때문에 이러한 변이특성을 고려하지 않고 에지영상 내에 존재하는 모든 국지적 최소치를 시드 점으로 추출할 경우, 지나치게 많은 시드 점이 추출되고 이는 영상 과분할의 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 탐지된 국지적 최소치와 이웃하는 8방향의 주변 점과의 값의 차이를 조사하여 이동허용범위 안에 존재하는 화소가 존재할 경우 재확산을 수행하는 일련의 과정을 통해 최종 시드 점을 추출하였다. 이동허용기준은 식(3)과 같이 영상 내 에지크기의 동적범위에 대한 에지 차의 비율로 설정하였다.

$$Tor = \frac{|\nabla G|}{G_{\max} - G_{\min}} \quad (3)$$

여기서, G_{\max}, G_{\min} 는 각각 영상의 최대, 최소 에지크기를 나타내고, ∇G 는 국지적 최소치와 인접 점과의 에지차를 나타낸다.

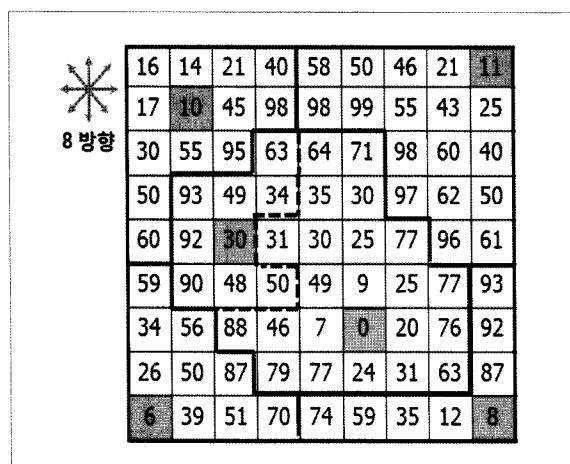


그림 2. 지역적 에지 변이특성을 고려한 시드 추출 예시

그림 2는 제안한 시드 추출기법의 이해를 돋기 위한 예시그림이다. 예시된 그림은 이해의 편의를 위해 8bit 에지 영상에서의 시드 추출 예시를 나타낸 것으로, 녹색영역에 해당하는 화소는 영상 전역에서 탐지한 국지적 최소치를 나타낸다. 여기에서 30 값을 갖는 국지적 최소치는 주변 8방향의 값을 검사했을 때 값의 차이가 미세한 31 방향으로

확산을 허용하면 0 값을 갖는 국지적 최소치로 귀속되게 된다. 본 연구에서는 이동 허용기준에 대한 Tor 을 편의상 시드 파라미터로 명명하겠다. 제안한 MSRG 영상 분할 기법은 이 시드파라미터 설정을 변경하여 영상 분할의 정도를 조절할 수 있다.

2.2.2 영상의 분광 및 공간 특성을 통합한 영상분할

SRG(Seeded Region Growing) 영상분할 기법은 Adams(1994)가 제안한 방법으로 사용자가 시드 점을 지정하는 영역기반의 반자동 영상 분할 기법이다. 그는 전통적인 영역성장법의 시드 선택 방식에 따른 스캔방향 종속성 문제를 해결하기 위한 방안으로 시드 점에 우선순위를 부과하여, 우선순위가 높은 화소를 먼저 확장시키는 방식으로 영상을 분할하였다. Adams(1994)는 SRG 알고리즘 구현에 있어 화소들의 정렬을 위해 단순 연결리스트 구조인 SSL(Sequentially Sorted List)를 자료구조로 사용하였고 우선순위를 판단하는 비용함수로는 그레이 레벨에서의 밝기값의 차이를 이용하였다. 본 연구에서는 SRG 영상분할 방법을 고해상 위성영상에 적용하기 위해, 우선 영상 분할 과정에 필요한 초기시드 점을 앞서 설명한 지역적 에지 변이특성을 이용하여 자동으로 추출하였고, 대용량 영상인 위성영상의 효과적인 처리를 위해 계산 효율이 뛰어난 우선순위 큐(Priority Queue)자료구조를 이용하여 영역 확장의 우선순위를 결정하였다(변영기 등, 2010). 또한 고해상 위성영상의 다중분광 정보와 다중분광정보에 기반하여 추출한 공간 특징정보를 통합한 함수를 식(4)과 같이 고안하여 우선순위를 판단하는 비용함수로 사용하였다. 영상의 공간 특징정보로는 앞선 과정에서 추출한 다중분광에 대한 정보를 사용하였다.

$$\varphi(x,y) = \frac{\vec{c} \cdot \vec{p}}{\parallel p \parallel^2} \times |G_c - G_p| \quad (4)$$

여기서, \vec{c} 와 \vec{p} 는 각각 영역의 평균 분광벡터와 인접한 이웃화소의 벡터를 나타내고, G_c 와 G_p 는 해당영역의 평균 에지강도와 이웃화소의 에지강도를 나타낸다. 그림 3은 MSRG기법의 실행 흐름도를 나타낸다.

Step 1> 추출된 초기 시드 점과 시드 점에 인접한 8방향의 화소들과의 비용함수 $\varphi(x,y)$ 를 계산하여 우선순위 큐에 삽입

Step 2> 우선순위 큐에서 우선순위가 제일 높은 화소를 추출

- Step 3> 추출한 화소의 영역 할당 여부 확인 후 병합
 Step 4> 병합되는 화소가 존재할 경우 다음정보를 갱신
 : 영역 평균분광벡터와 평균 에지 강도 갱신
 Step 5> 새롭게 병합된 화소와 인접한 8방향 화소들에
 대해 비용함수 $\varphi(x,y)$ 를 계산하여 우선순위
 큐에 삽입
 Step 6> 우선순위 큐가 공집합이 될 때까지 Step 2에서
 Step 5 과정을 반복

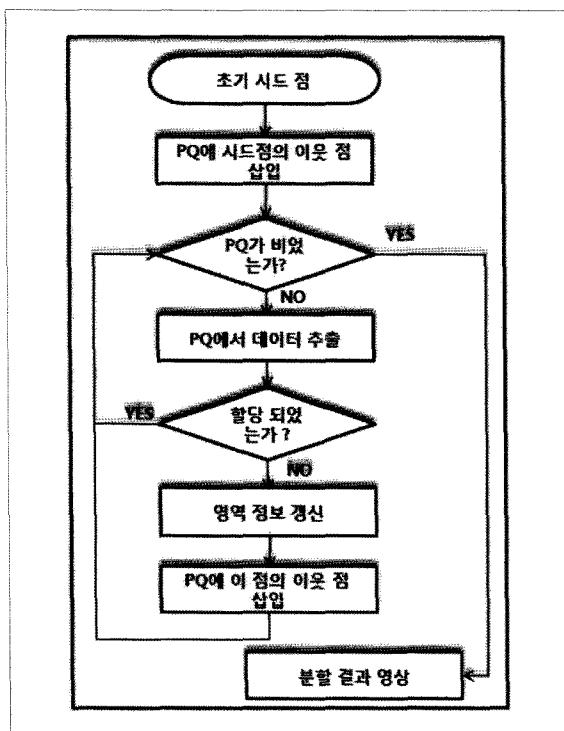


그림 3. MSRG기법의 실행 흐름도

2.3 무감독 영상분할 평가 측정치

영상 분할 알고리즘의 객관적인 성능평가를 위해 최근 무감독 평가방법들에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다 (Chabrier 등, 2004 ; Zhang 등, 2008). 본 연구에서는 Zhang (2008)이 평가한 무감독 기법 중 성능이 우수한 방법으로 판명된 엔트로피 기반 평가 측정치 E 와 Q 측정치를 이용하여 제안한 알고리즘의 정량적 평가를 수행하였다. 이 두 측정치는 다른 무감독 측정치에 비해 상대적으로 영역 내 균질성 척도와 영역 간 이질성 척도의 이격도(disparity) 가 작고 과대/과소분할결과에 대한 편향(bias)이 작은 특성을 갖는다.

2.3.1 E 측정치

E 측정치는 최소 기술 길이(minimum description length) 원리와 정보 이론에 기초한 무감독 분할평가 함수로 영역 내 균질성과 과대 분할 조정을 위해 영역 엔트로피와 레이아웃 엔트로피를 사용하는 방법이다. 이미지 I 내의 전체 분할 영역에 대한 균질성을 측정하는 영역 엔트로피는 식 (5)과 같이 각 영역의 크기에 비례하는 가중치를 할당하여 정의한다.

$$H_r(I) = \sum_{j=1}^N \left(\frac{S_j}{S_I} \right) H_v(R_j) \quad (5)$$

$$H_v(R_j) = - \sum_{m \in V_j^{(v)}} \frac{L_j(m)}{S_j} \log \frac{L_j(m)}{S_j}$$

여기서, $L_j(m)$ 은 특정 v 가 m 의 값을 갖는 화소의 수, S_j 는 영역 j 의 크기, S_I 는 전체이미지의 크기, S_j/S_I 는 각 영역에 대한 가중치를 각각 나타낸다. 이미지 I 내의 전체 분할영역에 대한 영역 간 이질성을 측정하는 레이아웃 엔트로피는 다음과 같다.

$$H_l(I) = - \sum_{j=1}^N \frac{S_j}{S_I} \log \frac{S_j}{S_I} \quad (6)$$

영역 간 이질성을 측정하는 H_l 측정치는 전체 분할영역 중 비슷한 크기를 갖는 과대/과소 분할영역에 대한 편향을 S_j/S_I 를 통해 감소시킬 수 있지만, 고립 화소 단위의 분할 영역에 대해서는 S_j/S_I 값이 지나치게 작은 값을 갖기 때문에 주어진 분할영역에서 고립화소 단위의 분할영역이 많을수록 전반적으로 H_l 값은 낮게 평가된다. 이러한 문제를 보완하기 위해 본 연구에서는 영역 간 이질성을 측정하는 H_l 값의 측정에 있어, 고립화소 단위의 분할영역에 대한 벌칙(penalty)를 부과하기 위하여 식 (7)과 같은 이차함수 형태의 벌칙함수를 고안하였다.

$$\Phi_j = 1 + (q_j + 1)^2 \quad (7)$$

여기서 q_j 는 다음과 같이 정의하였다. 분할 영역 크기 $S_j > 1$ 이면 $q_j = 1$ 이고, $S_j \leq 1$ 이면 $q_j = 1/\log(w_j)$ 값을 갖는다. w_j 는 전체 분할영역에서 고립된 화소단위 분할 영역의 비율로 $w_j = |IS|/N$ 과 같이 산정하였다. 고립 화소 단위의 분할영역에 대한 벌칙함수를 적용한 새로운 이질성 측정지수 nH_l 은 다음과 같다.

$$nH_l(I) = - \sum_{j=1}^N \Phi_j \frac{S_j}{S_l} \log \frac{S_j}{S_l} \quad (8)$$

앞서 언급된 두 가지 척도를 통합한 엔트로피기반 영상 분할 평가함수 E 는 다음과 같이 정의되고 값이 작을수록 좋은 결과를 나타낸다.

$$E = nH_l(I) + H_r(I) \quad (9)$$

2.3.2 Q 측정치

분할영역의 분광 오차의 제곱을 이용하여 분할영상의 성능을 평가하는 방법으로 다중분광영상에 직접적으로 적용할 수 있는 장점을 갖는 방법이다. Q 측정치는 식 (10)과 같이 정의된다. 이 식에서 분할영역에 대한 균질성을 측정하는 부분은 다중분광 오차정보를 반영하는 $e_x^2(R_j)$ 으로 표현되고, 개별 영역의 면적정보와 같은 크기를 갖는 영역 정보를 종합적으로 고려하여 전체 분할영역에 대한 영역 간 이질성을 반영한다.

$$Q(I) = \frac{\sqrt{N}}{1000 \cdot S_l} \sum_{j=1}^N \left[\frac{e_x^2}{1 + \log S_j} + \left(\frac{N(S_j)}{S_j} \right)^2 \right] \quad (10)$$

$$e_x^2(R_j) = \sum_{p \in R_j} (C_x(p) - \hat{C}_x(R_j))^2, \quad \hat{C}_x(R_j) = \left(\sum_{p \in R_j} C_x(p) \right) / S_j$$

여기서, S_l 는 전체 영상의 면적($S_l = I_h \times I_w$), $S_j = |R_j|$ 는 영역 j 의 면적, $e_x^2(R_j)$ 는 다중분광 오차 제곱, $C_x(p)$ 는 화소 p 에 대해 성분 x 의 값, $\hat{C}_x(R_j)$ 는 영역 R_j 에서 성분 x 의 평균 값, $N(S_j)$ 는 분할 영상에서 $S_j = |R_j|$ 와 같은 크기를 갖는 세그먼트의 수를 나타낸다.

3. 실험 적용 및 평가

3.1 실험 대상지역

실험에 사용된 고해상도 위성영상은 대전 지역의 QuickBird 영상을 이용하였고, 건물 및 도로지역이 혼재된 지역을 대상지역으로 선정하였다. 일반적으로 고해상도 위성영상은 높은 공간해상도의 흑백영상과 다중분광영상 을 동시에 제공하고 있다. 이러한 고해상도 위성영상은 이를 통하여 의미 있는 객체정보의 분할 및 추출을 위해서는 높은 공간해상도의 흑백영상과 다중분광영상과의 융합을 통해 생성된 고해상도의 다중분광영상을 이용하는게 바람직하다(Colditz 등, 2006 ; Zhang 등, 2004). 이에 연구를

수행하기에 앞서 우선 전처리과정으로 고해상도 다중분광영상 제작을 위한 영상옵팅(pan-sharpening)과정을 실행하였다. 영상융합방법으로는 ENVI 4.5 모듈에서 제공하고 있는 Gram-Schmidt 방법을 이용하였다.

3.2 시각적 비교평가 결과

본 연구에서는 제안 기법의 성능 평가를 위해 기존 위성영상 분할에 적용된 영역기반 영상분할기법인 영역 성장법과 유역분할 기법에 의한 분할 결과와의 시각적 비교평가를 수행하였다. 영역성장방법의 경우 영상의 라인 스캔 방향으로 시드 포인트를 잡아 영상 분할을 수행하는 방법이며 한 개의 병합임계값이 필요하다(Gonzalez 등, 2002). 유역분할 기법의 경우 특별한 파라미터 설정과정 없이 영상의 에지정보를 이용한 수리형태론적 접근 방법을 통해 영상분할을 수행한다(Vincent 등, 1991). 본 연구에서는 가우시안 평활화(Gaussian Smoothing)를 수행한 고해상도 흑백영상에 소벨(Sobel)에지 추출자를 적용하여 추출된 에지 정보를 이용하여 유역분할을 수행하는 방법을 사용하였다. 또한 이들 방법의 매개 변수 설정에 있어, 분할된 모든 객체에 대해 특별한 객체정보의 손실이 발생하지 않는 범주에서 최적의 파라미터를 설정하여 영상분할을 수행하였다.

본 연구에서는 다양한 임계값 변화에 따른 실험을 통하여 QuickBird 영상 분할에 있어 전통적인 영역성장방법의 병합임계값으로 155값을 사용하였고 제안기법의 시드파라미터로는 0.5값을 설정하여 영상 분할을 수행하였다. 시각적인 비교평가를 위해 각 분할영역에 평균분광정보를 할당하고 분할경계를 중첩하였다. 그림 4의 (b)영상에서 볼 수 있듯이 유역분할기법의 경우 전반적으로 지나치게 많은 군소 영역(small region)들을 생성하여 세 방법 중 가장 많은 39661개의 세그먼트를 생성하였다. 또한 영역성장방법의 경우 그림 4의 (d) 영상에서 볼 수 있듯이 영상의 대각방향에 존재하는 도로영역의 분할의 결과가 좋지 못함을 볼 수 있다. 이는 이 기법의 시드 선택 방식이 라인 방향을 따라 이루어지기 때문에 스캔방향의 종속성으로 기인하는 문제이다. 이에 비해 제안기법의 경우 그림 4의 (c)영상에서 확인할 수 있듯이 전체적으로 건물 및 도로영역의 경계를 잘 표현하고 있음을 확인할 수 있다.

제안기법이 기존 기법에 비해 전체적으로 보다 나은 결과를 보이나, 좀 더 구체적인 시각적인 평가를 위해 모든 기법의 최종분할경계를 융합영상에 중첩하여 실제 객체경계와 분할 경계의 일치도를 시각적으로 판독하였다. 그

그림 5는 각각의 기법에 대한 분할 경계가 중첩된 동일지역의 건물 및 도로영역에 대한 확대영상이다. 영역성장 방법의 경우 스캔 방향의 종속성으로 인해 분할 결과가 좋지 못했던 대각방향으로 존재하는 도로 영역의 분할경계가 실제 도로 경계와 전혀 맞지 않았고, 유역분할 기법은 사실상 도로와 건물객체의 경계를 시각적으로 판독하기 힘들 정도로 영상과분할이 심함을 확인할 수 있다. 이에 비해 제안한 기법의 경우 실제 건물 및 도로 경계와 분할 경계가 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

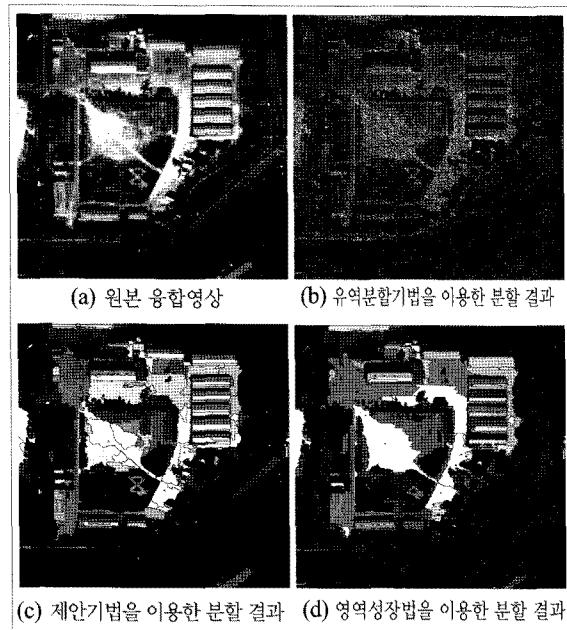


그림 4. 서로 다른 기법을 이용한 분할 결과

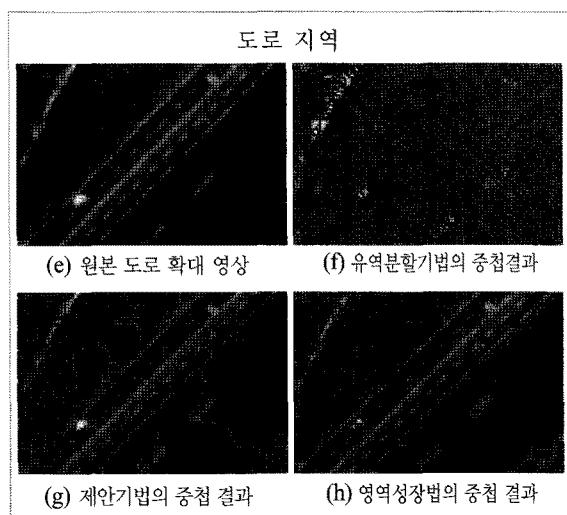
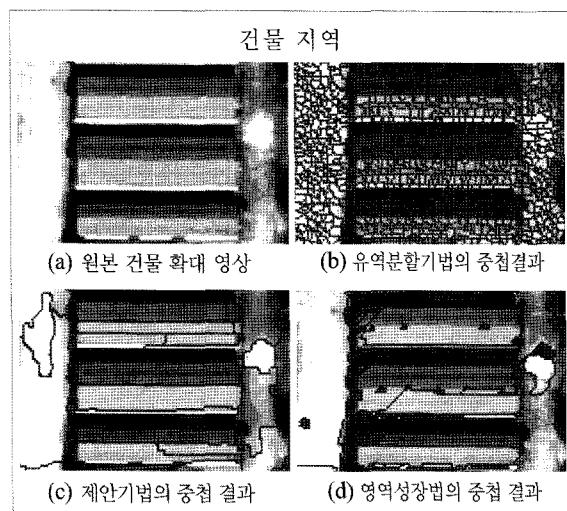


그림 5. 서로 다른 기법의 분할경계와 원본영상을 중첩한 확대 영상

3.3 무감독 영상분할 평가 측정치를 이용한 정량적 비교평가

무감독 평가측정치 E 와 Q 는 참조 데이터(reference data)를 기준으로 분할 결과의 성능을 평가한다. 본 연구에서는 전체 분할결과의 지역적 분광오차를 고려하는 Q 측정치에 대해서는 참조 데이터로 대상지역의 융합영상을 사용하였다. 융합영상의 경우, 원본 고해상 흑백영상과 다중분광영상의 융합과정에서 영상 데이터 값의 변형이 발생하기 때문에 원본 데이터의 특성을 온전히 반영하지 못한다. 이에 분할영역의 특징값을 이용하여 분할 성능을 평가하는 E 측정치에 대해서는 대상지역의 원본 고해상 흑백영상의 밝기값을 분할성능 평가를 위한 특징값으로 활용하였다. 이 두 측정치의 경우 값이 작을수록 좋은 결과를 나타낸다. 정량적인 비교평가 결과 표 1에서 볼 수 있듯이, 고해상 흑백영상과 고해상 다중분광영상을 참조데이터로 이용한 E 와 Q 측정치 모두에서 제안한 기법이 기존 기법에 비해 각각 9.46과 0.0019로 가장 좋은 결과를 도출하였다. 이는 제안기법을 이용한 분할영역들이 기존기법에 비해 상대적으로 분광오차가 작고 보다 균질한 특성을 보임을 나타낸다.

표 1. 무감독 영상분할 평가측정치를 이용한 정량적 비교평가 결과

	방법	nHI	Hr	E	Q	영역수
QuickBird	유역분할	10.5	1.7	12.2	0.747	39661
	영역성장	11.21	3.60	14.81	0.652	2436
	제안기법	6.54	2.92	9.46	0.0019	2482

3.4 객체기반 분류정확도를 이용한 정량적 비교평가

앞서 영상분할의 정량적 분석 결과에서 사용한 무감독 평가 측정치의 경우, 대다수 실내사진이나 합성이미지를 통해 평가된 경험적 측정지수이기 때문에 이들 영상에 비해 복잡성이 아주 높은 위성영상의 분할 성능을 측정하는데 있어 신뢰성이 부족한 면이 있다. 따라서 본 연구에서는 제안기법의 효용성을 검증하기 위한 또 다른 방법으로 동일한 조건 하에서 객체기반 분류를 수행하고 이에 대한 분류정확도를 비교 평가하였다. 본 연구에서는 감독 분류 기법 중 우수한 일반화 성능을 보이는 SVM(Support Vector Machine)분류자를 사용하여 제안기법을 포함한 모든 비교방법 군에 대한 객체기반 분류를 수행하였다.

감독 분류를 수행하기 위해서는 분류하고자 하는 항목이 정해져야 한다. 분류 항목은 도심지 내에 존재하는 육안으로 충분히 식별 가능한 객체 군으로 설정하였다. 이는 본 연구에서 사용하는 대상지역이 고해상 위성영상의 도심지를 대상으로 하기 때문이며, 도심지 내에서 애매하고 복잡한 성분을 가진 토지 피복은 나대지로 구분되는 것을 원칙으로 하였다. 또한 모든 대상지역에 대해서 SVM 분류를 위한 커널 함수로는 Radial Basis Function을 사용하였으며, 커널 설정에 필요한 Gamma값과 폐널티 파라미터(penalty parameter)는 각각 0.333과 100의 값을 사용하였다. QuickBird 영상의 분류 항목 설정은 대상영역 내에서 트레이닝 가능하고, 충분히 식별 가능한 클래스를 조사한 결과 건물, 도로, 나대지, 도심지 주차공간을 위한 콘크리트 지역인 불투수층, 그림자, 산림 등 6개의 클래스를 선정하였다.

그림 6은 대상지역에 대한 서로 다른 분할 기법을 이용하여 생성된 공간객체 정보를 이용한 총 6개 클래스에 대한 객체기반 분류결과이다. 결과영상에서 볼 수 있듯이 제안기법의 경우 시각적으로 건물, 산림, 도로영역의 분류 결과가 다른 기법에 비해 상당히 양호한 결과를 보인다. 유역 분할 기법의 분류 결과는 모든 클래스에 대해 비교적 양호한 분류 결과를 보이나 그림 6의 (b) 영상에서 확인 할 수 있듯이 불투수층으로 오분류된 도로 중심선과 같은 군소 단위의 오분류된 객체들이 많이 존재한다. 이는 앞서 지적한 유역분할의 과분할 문제에 기인하는 것이다.

그림 7과 같이 일부 동일 지역에 대한 확대영상에서도 볼 수 있듯이, 제안기법을 이용한 분류 결과가 도로, 그림자, 건물 클래스에 대한 분류 결과가 다른 기법에 비해 더 우수함을 알 수 있고, 분류된 클래스의 형상학적인 측면에



그림 6. 서로 다른 기법을 이용한 객체기반 분류결과

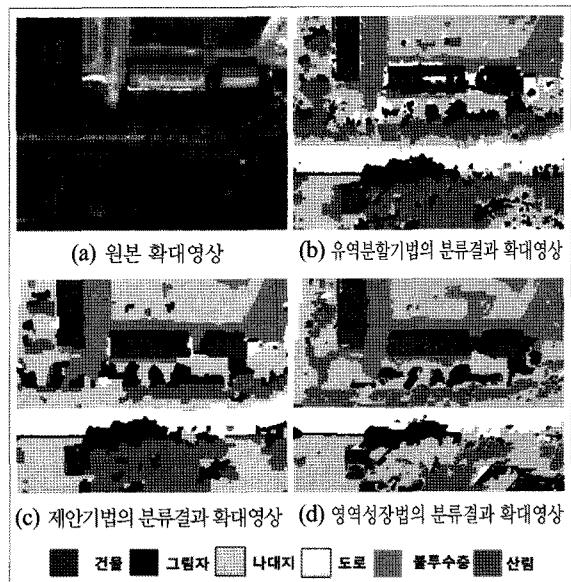


그림 7. 서로 다른 기법을 이용한 객체기반 분류결과의 확대 영상

서도 더 나은 결과를 보인다. 영역성장법의 경우 영상 분할 과정에서 발생한 스캔 방향 종속성으로 잘못된 분할 결과를 도출한 일부 대각방향의 도로 지역이 분류 결과에서 도로 클래스로 잘 분류가 되었지만, 이는 실제로 영역과 부

합되지 않기 때문에 잘못된 분류 결과라 할 수 있다. 이와 같이 영상 분할 결과는 이후의 분류과정에 직접적인 영향을 주기 때문에, 그림 6(d)의 영역성장법을 이용한 분류결과는 객체기반 영상분석 시 영상분할 과정의 중요성을 다시 한 번 입증하는 사례이다.

오차행렬을 이용한 그림 8의 각 기법별 전체정확도 및 Kappa 계수 값을 비교한 그래프에서 알 수 있듯이, 제안기법을 이용한 분류결과가 전체정확도 91.15%로 가장 높은 분류 정확도를 보였고 유역분할기법이 88% 수준으로 그 다음을 이었다. 사용자 정확도 측면에서는 제안기법을 이용한 분류 결과가 다른 기법에 비해 건물, 그림자 및 나대지 클래스에 대해서 더 높게 나타났다.

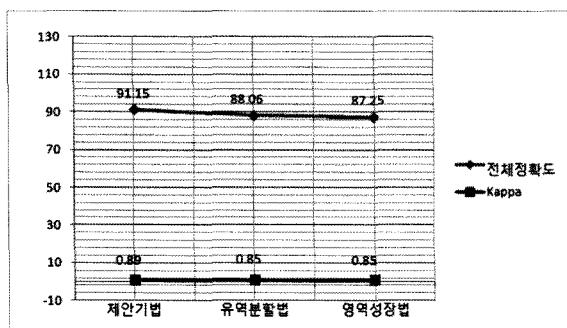


그림 8. 각 기법별 분류정확도 비교

4. 결 론

본 연구에서는 고해상 위성영상을 이용한 공간객체 정보 생성 및 추출을 위한 방안의 하나로, 정확한 영상 공간객체 정보 생성을 위해, 시드 점들로부터 시작하여 근접해 있는 유사한 화소들을 결합하는 영역기반 분할 방법의 일반적인 접근법에 의거한 새로운 영상 분할 방법론을 제안하였다. 또한 제안기법의 효용성을 검증하기 위해 대표적인 영역기반 분할방법인 영역 성장법과 유역분할기법에 의한 분할결과와 시각적/정량적 비교평가를 수행하였다. 시각적인 비교평가 결과 제안한 기법을 이용한 공간객체 생성방법이 기존 기법에 비해 전체적으로 객체의 형상정보를 잘 표현하였다. 고해상 흑백영상과 실험에 사용한 고해상 다중분광영상을 기준으로 하는 무감독 영상 분할 평가측정치를 이용한 정량적 비교 평가에서는, 제안기법이 기존 기법에 비해 분할 영역의 분광오차 및 균질성 측면에서 보다 나은 결과를 보였다. 경험적 방법에 의해 산정되는 무감독 분할 평가 측정 결과의 신뢰성 부족으로 수행된 객

체기반 분류결과를 이용한 정량적 비교평가 결과에서는 제안기법을 이용한 객체 기반 분류 결과가 기존 기법들을 이용한 분류 결과에 비해 전체정확도 측면에서 3% 이상 정확도가 높았고, 시각적으로도 보다 나은 분류 결과를 보였다. 이는 제안한 방법론이 고해상도 위성영상을 활용한 객체기반 분석에 효과적으로 사용될 수 있음을 증명해주는 결과라 할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20100027762)

참고문헌

- 변영기, 김용일 (2010), 시드기반 영역확장기법을 이용한 고해상도 위성영상 분할기법 개발, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제 28권, 제 4호, pp. 421-430.
- 한유경 (2009), 세그먼트 기반의 Spatial Feature 추출을 통한 고해상도 영상 분류정확도 개선, 석사학위논문, 서울대학교, pp. 10-17.
- Adams, R. and Bischof, L. (1994), Seeded Region Growing, *IEEE Trans. pattern Anal. Mach. Intelligence*, 16, pp. 641-647.
- Chen, Z., Zhao, Z., Gong, P. and Zeng, B. (2006), A new process for the segmentation of high resolution remote sensing imagery, *International Journal of Remote sensing*, Vol. 27, No. 22, pp. 4991-5001.
- Colditz, R., Wehrmann, T., Bachmann, M., Steinnocher, K., Schmidt, G., and Dech, S. (2006), Influence of image fusion approaches on classification accuracy: A case study, *International Journal of Remote sensing*, Vol. 27, No. 15, pp. 3311-3335.
- Chabrier, S., Emile, B., Laurent, H., Rosenberger, C., and Marche, P. (2004), Unsupervised evaluation of image segmentation application to multispectral images, in: *Proceedings of the 17th international conference on pattern recognition*.
- Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. (2002), *Digital image processing*, Prentice-Hall, New Jersey, pp. 612-615.
- Ketting, R.L. and Landgrebe, D.A. (1976), Classification of multispectral image data by extraction and classification of

- homogeneous objects, *IEEE Transaction on Geoscience Electronics*, Vol.14, No.1, pp. 19-26.
- Li, H., Gu, H., Han, Y., and Yang, J. (2010), Object-oriented classification of high-resolution remote sensing imagery based on an improved colour code and support vector machine, *International Journal of Remote sensing*, Vol. 31, No. 6, pp. 1453-1470.
- Puissant, A., Hirsch, J., and Weber, C. (2005), The utility of texture analysis to improve per-pixel classification for high to very high spatial resolution imagery, *International Journal of Remote sensing*, Vol. 26, No. 4, pp. 733-745.
- Stow, D., Lopez, A., Lippitt, C., Hinton, S., and Weeks, J. (2007), Object-based classification of residential Land use within Accra, Ghana based on QuickBird satellite data, *International Journal of Remote sensing*, Vol. 28, No. 22, pp. 5167-5173.
- Sapiro, G. and Ringach, D. (1996), Anisotropic Diffusion of Multivalued Images with Applications to color Filtering, *IEEE Transaction on Image processing*, Vol. 5, No. 11, pp. 1582-1585.
- Tomoas, N., Hendrix, C., and Congalton, R.G. (2003), A comparison of urban mapping methods using high resolution digital imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No. 9, pp. 963-972.
- Vincent, L., and Soille, P. (1991), Watershed in digital space: An efficient algorithm based on immersion simulation, *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 13, No. 6, pp. 583-598.
- Wang, Z., Wei, W., Zhao, S. and Chen, X. (2004), Object-oriented Classification and Application in Land Use Classification Using SPOT-5 PAN imagery, *International Geoscience and Remote sensing Symposium*, V: 3158-3160.
- Xiao, P., Feng, X., An, R., and Zhao, S. (2010), Segmentation of multispectral high-resolution satellite imagery using log Gabor filters. *International Journal of Remote sensing*, Vol. 31, No. 6, pp. 1427-1439.
- Zhang, H., Fritts, J. and Goldman, S. (2008), Image Segmentation Evaluation: A survey of Un supervised Methods, *Computer Vision and Image Understanding archive*, Vol. 110, pp. 260-280.
- Zhang, X., Feng, X., and Jiang, H. (2010), Object-oriented method for urban mapping using IKONOS imagery, *International Journal of Remote sensing*, Vol. 31, No. 1, pp. 177-196.
- Zhang, Y. and Wang R. (2004), Multi-resolution and multi-spectral image fusion for urban object extraction, *in proc. 20th ISPRS Congr*, pp. 960-966.

(접수일 2010. 12. 10, 심사일 2010. 12. 15, 심사완료일 2010. 12. 17)