도심지역의 그림자 영향을 고려한 다시기 고해상도 위성영상의 선택적 히스토그램 매칭

Selective Histogram Matching of Multi-temporal High Resolution Satellite Images Considering Shadow Effects in Urban Area

염준호* · 김용일**

Yeom, Jun Ho · Kim, Yong Il

要 旨

도시지 모델링과 분석을 효과적으로 수행하기 위해서는 다른 시기나 다른 지역의 추가적인 고해상도 위성영상이 반드시 필요하다. 그러나 같은 지상 개체라 하더라도 서로 다른 영상에서 방사적인 불일치가 존재하며 이는 영상 처리와 분석의 정확도를 저하시키는 원인이 된다. 더욱이 도심지의 경우 건물, 수목, 교량, 기타 구조물 등 높이를 갖는 개체들은 영상 전체에 걸쳐 그림자를 발생시키며 이는 상대 방사 정규화의 질을 저하시킨다. 본 연구에서는 태양과 위성의 기하학적 위치 정보, 부가적인 수치 표고 모델이 없어도 적용이 가능한 단영상 기반의 그림자 추출 기법을 적용하고 그림자의 영향을 배제한 선택적인 히스토그램 매칭 기법을 제안하였다. 건물의 에지 버퍼 영역에 대한 인접 정보와 분할을 통해 생성된 객체의 공간 및 분광인자를 이용하여 그림자를 추출한 후, 아스팔트 도로와 같이 그림자로 잘못 추출된 이상 객체를 제거하였다. 최종적으로 그림자 지역이 마스크 된 Quickbird-2 다시기 영상을 이용하여 비그림자 지역만을 이용하여 선택적 히스토그램 매칭을 수행하였다.

핵심어 : 선택적 히스토그램 매칭, 그림자 추출, 고해상도 위성영상

Abstract

Additional high resolution satellite images, other period or site, are essential for efficient city modeling and analysis. However, the same ground objects have a radiometric inconsistency in different satellite images and it debase the quality of image processing and analysis. Moreover, in an urban area, buildings, trees, bridges, and other artificial objects cause shadow effects, which lower the performance of relative radiometric normalization. Therefore, in this study, we exclude shadow areas and suggest the selective histogram matching methods for image based application without supplementary digital elevation model or geometric informations of sun and sensor. We extract the shadow objects first using adjacency informations with the building edge buffer and spatial and spectral attributes derived from the image segmentation. And, Outlier objects like a asphalt roads are removed. Finally, selective histogram matching is performed from the shadow masked multi-temporal Quickbird-2 images.

Keywords : Selective Histogram Matching, Shadow Extraction, High Resolution Satellite Image

1. 서 론

최근 고해상도 위성영상의 높은 공간해상도를 이용한 도심지역의 건물 및 도로망 분석, 경관 분석, 생태 환경 평가 등 다양한 연구와 활용이 활발하게 이루어지고 있다. 또한 도시 재개발 모니터링, 재난재해 피해분석 등과 같이 도심지의 변화를 탐지하기 위해, 넓은 영역의 지속적인 관측이 용이한 고해상도 위성영상의 활용이 점점 증가하고 있다.

도시지 모델링과 분석을 효과적으로 수행하기 위해서는 다른 시기나 다른 지역의 추가적인 고해상도 위성영상이 반드시 필요하다. 그러나 이 때 같은 지상 개체라 하더라도 서로 다른 영상에서 센서의 특징 차이, 대기조건, 태양과 센서의 기하학적 위치 관계로 인해 방사적인 불일치가 존재하게 된다(Du *et al.*, 2002; Lillesand & Kiefer, 1994)). 비교적 간단한 방법인 상

2012년 4월 19일 접수, 2012년 5월 23일 채택

* 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(salt2525@snu.ac.kr)

** 교신저자 · 서울대학교 건설환경공학부 교수(yik@snu.ac.kr)

대 방사 정규화를 통해 이러한 방사적 불일치를 제거할 수 있으며 대기의 물리적인 특성을 바탕으로 방사 보정을 수행하는 절대 방사 보정에 준하는 결과를 취득할 수 있다(Andrefouet *et al.*, 2001; Song *et al.*, 2001). 상대 방사 보정은 영상의 수집일자에 따른 태양 각, 대기조건, 토양수분 조건의 차이를 정규화하며 영상 모자이크, 변화탐지, 토지 피복 분류를 위한 전처리 기법으로 많이 활용되고 있다.

그러나 도심지의 경우 건물, 수목, 교량, 기타 구조물 등 높이를 갖는 여러 공간 개체들이 높은 밀도로 분포하여 그림자 문제가 두드러지게 된다. 영상에 존재하는 그림자는 상대 방사 정규화를 비롯하여 영상 매칭, 고도 정보 추출, 토지 피복 분류, 건물이나 도로와 같은 특징 개체 추출 알고리즘의 정확도를 저하시킨다. 더욱이 영상의 수집시기와 지역에 따라 다른 형태와 다른 강도로 존재하는 그림자는 영상 분석을 어렵게 하는 원인이다(Yuan *et al.*, 1998).

이러한 문제점을 해결하기 위해 기존의 많은 연구들이 그림자 효과를 고려한 방사 보정 연구를 수행하였다. McGovern 등(2002)은 그림자를 수작업을 통해 제거하여 방사 정규화에 미치는 그림자의 악영향을 제거하였으며 Helmer와 Ruefenacht(2005)은 영상 모자이크 과정에서 히스토그램 매칭을 위해 ISODATA 무감독 분류를 이용해 그림자 지역을 제거하였다. 또한 Roy 등(2008)은 규칙 기반 감독 분류를 통해 그림자를 제거하여 상대 방사 정규화를 수행하였다. Yuan 등(1996)의 방사 정규화 기법의 비교 연구에서는 그림자의 영향을 덜 받는 불변 세트(no-change set) 기법이 제일 우수하게 나타남을 확인하였다. 그러나 기존 연구들은 Landsat이나 MODIS와 같이 중저 해상도 영상에서 구름과 구름으로 인한 그림자를 제거하는데 초점이 맞추어져 있기 때문에 고해상도 영상에서 그림자 영향을 고려한 방사 보정의 연구는 거의 없다고 할 수 있다. 또한 기존 방법들은 그림자 추출 시 분석가의 수작업이 필요하며 이에 따라 시간·작·경제적인 비용이 크게 발생하고 복잡 다양한 토지 피복과 많은 수의 그림자가 분포하는 도심지에는 적용이 어렵다는 한계점을 지닌다.

이에 본 연구에서는 고해상도 위성영상을 이용하여 도심지에 높은 밀도로 분포하며 상대 방사 정규화의 질을 저하시키는 그림자를 추출하고 제거하여 히스토그램 매칭을 수행하고 그 효과를 분석하였다. 그림자 추출을 위해 도심지의 다양한 토지 이용 요소를 포함하는 지역에 적용이 가능하며 온전한 경계의 그림자 추출이 용이한 염준호 등(2012)의 기법을 이용하였다. 해당 기법은 영상 분할 기법과 건물 에지 버퍼를 바탕으로 규

칙 기반 그림자 추출을 수행함으로써 수계나 도로와 같이 그림자로 잘못 분류되는 객체를 효과적으로 제거할 수 있다. 영상의 수집시기에 따라 다른 크기, 방향, 강도로 존재하는 그림자를 추출하였으며 자료 취득과 처리를 위한 비용이 적게 발생하도록 수치표고모델, 태양과 센서의 고도 및 방위 정보와 같은 부가 데이터 없이 영상만을 이용하여 자동으로 그림자를 추출하였다.

2. 연구 방법

본 연구의 전체적인 흐름은 Figure 1과 같다. 전처리 과정으로써 Quickbird-2 다시기 영상의 기하보정과 GS(Gram-Schmidt) 영상 융합을 수행하였다. 이 후 융합영상에 Canny 에지 필터와 팽창 필터를 적용하여 그림자 후보 지역인 건물 에지 버퍼를 생성하였고, 한편으로 객체기반 그림자 추출을 위해 영상분할기법을 적용하였다. 이 후 건물 에지 버퍼와 분할 객체의 분광, 공간 인자를 이용하여 규칙 기반으로 그림자를 추출하고 잘못 추출된 이상 객체를 추가적으로 제거하였다. 최종적으로 그림자 지역을 마스킹 한 후, 다시기 영상의 비그림자 지역을 바탕으로 선택적인 히스토그램 매칭을 수행하였다. 다양한 상대 방사 정규화 기법 중 히스토그램 매칭을 이용한 이유는 고해상도 위성영상을 이용한 방사 정규화 기법의 비교 연구에서 가장 우수한 정확도를 보였기 때문이다(Hong *et al.*, 2008).

2.1 기하 보정 및 영상 융합

다시기 영상의 상대 방사 정규화를 위해서는 두 영상의 기하학적 위치 차이가 보정되어야 한다. 따라서 수

Figure 1. Flow chart

작업으로 추출된 16개의 공액점(conjugate point)을 이용하여 1차 다항 변환식을 생성한 후 기하학적 매칭을 수행하였다. 공액점은 영상 전체에 걸쳐 고루 위치하도록 교차로의 횡단보도를 중심으로 추출되었으며 평균 제곱근오차(root mean square error)는 약 0.3 화소이다. 또한 두 영상은 GS 융합 기법을 통해 전정색 영상의 공간해상도를 지니면서 다중분광 영상의 분광정보를 갖도록 처리되었다. GS 융합은 센서별 전정색 영상에 대한 분광 반응 함수를 이용하여 그림자 지역과 같이 균질한 지역에 대해 주성분 분석 융합 기법보다 정확한 융합이 가능하다(Laben *et al.*, 2000). 고해상도 다중분광영상인 GS 융합 영상을 통해 그림자 추출과 판독의 정확성을 향상시킬 수 있다.

2.2 건물 에지 버퍼 생성

분할 객체의 공간 및 분광 인자에 대한 임계값만을 이용하여 그림자를 추출할 경우 강이나 하천, 아스팔트로 이루어진 도로와 같이 그림자와 분광, 공간 특성이 유사한 객체가 잘못 추출되는 문제가 발생한다. 따라서 그림자 추출의 정확도를 높이기 위해 영상에서 그림자 후보지역을 먼저 선정할 필요가 있으며 이를 위해 Canny 에지 검출 연산자를 융합 영상의 평균값에 적용하여 도심지에 그림자가 생기는 주요 원인인 건물의 에지를 추출하였다(염준호 등, 2012). Canny 에지 검출 연산은 Sobel, Roberts, Prewitt 연산자들에 비해 우수하다고 알려져 있으며 영상의 노이즈를 줄이기 위한 가우시안 필터 스무딩(smoothing) 과정 그리고 x, y축의 기울기 크기(식 (1))와 방향(식 (2))을 검출하기 위한 과정으로 이루어진다(Gonzalez *et al*, 2004).

$$g(x,y) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (2)$$

추출된 에지를 바탕으로 버퍼 영역을 생성하기 위해 팽창(dilation) 필터를 적용하였다. 형태학적 영상 처리의 기본이 되는 팽창 필터는 이진 영상에서 객체를 성장시키거나 두껍게 하는 연산이다. 본 연구에서는 40×40 크기의 정사각형 구조를 추출된 에지에 적용하였다. Quickbird-2 융합 영상은 전정색 영상과 같은 0.61m의 공간해상도를 지니므로 40화소는 약 25m의 크기이다. 이는 건물 에지로부터 해당 버퍼 영역 안에 그림자가 존재한다는 가정을 바탕으로 설정한 값이며,

건물 에지 버퍼 영역을 생성함으로써 건물과 추출된 그림자 객체와의 인접성을 판단할 수 있고 나아가서는 그림자로 잘못 추출된 수계와 도로 등을 제거할 수 있다.

2.3 영상 분할과 규칙 기반 그림자 추출

그림자 추출 시 화소 기반의 분광정보에 대한 임계값만을 적용할 경우 하나로 폐합된 그림자 개체가 온전하게 추출되는 것이 아니라 분광값에 따라 개개의 화소들이 추출되는 문제가 발생한다. 따라서 ENVI 4.5 상용 소프트웨어를 이용하여 객체 기반 분할을 수행하였다. ENVI 4.5의 객체 기반 영상 분할은 0부터 100의 값을 갖는 스케일 및 병합 인자를 이용하는데, 본 연구에서는 20의 낮은 공간 스케일로 융합 영상을 여러 개의 세그먼트로 잘게 분할한 후 80의 높은 병합 수준을 두어 인접한 세그먼트를 대부분 병합하였다.

분할 된 객체 중 건물 에지 버퍼와 일부분이라도 교차하며 크기 및 강도(intensity)의 Z 점수(Z-score)가 각각 1 이상 -1 이하인 객체를 추출하였다(Table 1). 이는 다중분광 영상 대부분의 밴드에서 그림자의 화소값은 상대적으로 다른 개체에 비해 낮게 나타나며, 그림자 내에 존재하는 다양한 개체의 고유한 반사 특성이 경감되어 영상 분할 시 그림자는 상대적으로 큰 크기를 갖도록 병합되기 때문이다.

1차적으로 그림자로 추출된 객체에는 나지와 아스팔트 도로 등이 잘못 포함되어 있다. 따라서 건물 에지 버퍼 영역과의 크기 비교, 분할 객체의 장·단축 비율(elongation), 분할 객체의 평균 표준편차를 이용하여 잘못 추출된 이상 객체를 제거하였다(Table 1). 이상 객체 제거를 위해 사용된 건물 에지 버퍼 영역에 대한 크기 비율, 분할 객체의 장·단축 비율의 임계값은 논리적인 근거를 바탕으로 경험적으로 선정되었다. 분할 객체의 크기가 교차하는 건물 에지 버퍼 영역의 크기보다 3.5배 이상 큰 경우 이상 객체로 판단하여 제거하였는데, 이는 건물 영역을 대표하는 건물 에지 버퍼에 비해 지나치게 큰 그림자가 생기지 않기 때문이다. 또한 제방이나 도로 구조물 등의 작은 에지가 건물로 잘못 추출된 경우 인접한 도로나 수계와 같은 상대적으로 큰 객체가 그림자로 잘못 추출되기 때문이다. 그리고 장축과 단축의 비가 지나치게 큰 객체는 건물 그림자가 아니라 도로일 확률이 높으므로 장축과 단축의 비가 4.5배 이상인 객체는 선형성이 강한 도로로 파악하여 제거하였다. 또한 도로의 경우 도로 내 차량이나 구조물 등에 의해 그림자보다 객체의 표준편차가 크게 나타나므로 4밴드 평균 표준편차의 Z 점수가 1보다 큰 경우 도로로 파악하여 제거하였다.

Table 1. Rule-based shadow extraction and outlier removal

Type	Rule
Shadow extraction	$\text{Segment} \cap \text{Buffer}$
	$Z(\text{size}) > 1$
	$Z(\text{intensity}) < -1$
Outlier removal	$\text{Size} > 3.5 \times \text{Buffer}$
	$\text{Elongation} > 4.5$
	$Z(\text{std}) > 1$

Figure 2. Concept of histogram matching

2.4 비그림자 지역 기반의 선택적 히스토그램 매칭

고해상도 다시기 영상에서 추출된 그림자 지역을 마스크한 후 비그림자 지역만을 대상으로 선택적 히스토그램 매칭을 수행하였다. 각 영상의 비그림자 지역에 대한 히스토그램을 작성한 후 누적 히스토그램을 생성하였으며 이 후 각 영상에서 추출된 그림자 화소 수(N)를 바탕으로 정규화를 수행하였다. 식 3은 시기 t 영상의 정규화된 누적히스토그램이다. 이 때 h는 영상의 히스토그램, L은 방사해상도를 의미한다.

$$y_t = \frac{L-1}{N_t} \int h_t(x) dx \quad (3)$$

2002년 누적 히스토그램을 기준으로 2006년 영상을 히스토그램 매칭하였으며 히스토그램 매칭은 입력 영상 화소값의 누적 히스토그램과 참조 영상의 누적 히스토그램이 일치하는 화소값으로 매칭을 수행하게 된다 (Figure 2).

3. 연구 결과

3.1 사용 데이터

연구 대상지역은 대전광역시로서 약 610m×840m 크기이며 아파트 단지, 도로, 상업지역, 근린공원 등의 다양한 도시요소들을 포함하고 있다. 2002년 12월과 2006년 10월에 수집된 Quickbird-2 고해상도 위성영상을 이용하였으며 전정색 영상은 0.61m, 다중분광 영상은 2.44m의 공간해상도를 갖는다. Figure 3에서 확인

(a) 2002

(b) 2006

Figure 3. Quickbird-2 images of study site

할 수 있듯이, 같은 센서에서 수집된 같은 지역의 영상이라 하더라도 태양의 고도와 방위, 기상조건에 의하여 그림자의 화소값은 물론 그 크기와 방향이 다르게 나타난다.

3.2 건물 에지 버퍼 생성과 영상 분할 결과

그림자 추출의 정확도를 높이기 위해 다시기 영상에서 그림자 후보지역인 건물 에지 버퍼를 생성하였다. Canny 에지 검출 연산자를 융합 영상의 평균값에 적용하여 도심지에 그림자가 생기는 주요 원인인 건물의 에지를 추출한 후 팽창 필터를 적용하였으며, 그 결과가 Figure 4와 같다. 붉은색 다각형의 건물 에지 버퍼는 영상에 존재하는 건물을 대부분 포함하며 그림자와 교차하기 때문에 그림자의 인접 정보로써 효과적으로 활용이 가능하다.

융합 영상에 대한 객체 기반 영상 분할의 결과는 Figure 5와 같다. 낮은 공간 스케일로 융합 영상을 여

(a) 2002

(b) 2006

Figure 4. Original images and building edge buffers

러 개의 세그먼트로 잘게 분할한 후 높은 병합 수준을 두어 유사한 다중분광 정보를 갖는 세그먼트들을 대부분 병합하였다. 그림에서 보이는 것과 같이 도로, 나지와 같이 상대적으로 균질한 토지 피복의 경계가 잘 추출되며 특히 그림자의 경계가 매우 정확하게 추출된 것을 알 수 있다.

3.3 규칙 기반 그림자 추출 결과

분할된 객체와 건물 에지 버퍼가 교차하는지의 여부와 객체 크기 및 강도의 표준화점수를 이용하여 1차적으로 그림자로 추출하였다. 이 후 그림자로 잘못 추출된 나지와 아스팔트 도로 등을 제거하였으며 이상 객체 제거에는 건물 에지 버퍼 영역과의 상대적 크기 비교와 분할 객체의 장·단축 비율, 분할 객체의 평균 표준편차를 이용하였다. 아파트 단지와 상업지역 대부분의 그림자 객체가 효과적으로 잘 추출되었으며 일부 도로의 경우 객체의 낮은 강도, 선형성, 분산 등의 이유로 잘못 추출되었다. 각 영상의 그림자 추출 결과는 Figure 6과 같다.

Figure 5. Segmentation results

Figure 6. Results of rule-based shadow extraction

3.4 비그림자 지역 기반의 선택적 히스토그램 매칭 결과

2002년과 2006년 원영상의 경우, 전체적으로 넓게 분포하는 그림자로 인해 그림자와 비그림자 두 모드(mode)의 히스토그램 분포를 보이게 된다. 이러한 특징은 Figure 7에서 각 밴드들이 두 개의 봉우리를 갖는 것을 통해 확인할 수 있으며 2002년 영상에 비해 2006년 영상에서 더욱 두드러지는 것을 알 수 있다. 이는 2006년 영상 수집 당시의 기상조건, 태양과 센서의 위치 관계에 의해 더 높은 화소값으로 영상이 수집되었기 때문이며, 이로 인해 그림자와 비그림자의 대비가 더 극명하게 나타나게 된다. 그림자와 같이 균질한 지역이 영상에 넓게 분포할 경우 해당 디지털 값의 높은 빈도가 히스토그램에 나타나게 되며, 이는 히스토그램 평활화나 히스토그램 매칭을 수행할 때 영상의 대비와 세부 정보를 감소시키는 원인이 된다(Richards and Jia, 2005).

반면에 추출된 그림자를 마스킹한 후 비그림자 지역만을 대상으로 히스토그램을 작성한 결과가 Figure 8과 같다. Figure 7과 달리 그림자 지역이 마스킹되어 비그림자 하나의 모드를 지니며, 낮은 왜도(skewness)

(a) 2002

(b) 2006

Figure 7. Histograms of original images

(a) 2002

(b) 2006

Figure 8. Histograms of non-shadow area

의 정규적인 히스토그램 분포를 보인다. 따라서 비그림자 기반의 선택적 히스토그램 매칭을 통해 영상의 대비와 세부 정보를 향상시킬 수 있다.

2002년 영상을 기준으로 하여 비정규적 특징이 강한 2006년 영상의 선택적 히스토그램 매칭을 수행하였으며 그 결과가 Figure 9와 같다. 이 때 그림자 지역의 화소값은 0으로 마스킹 되었다. 11비트의 Quickbird 영상을 8비트로 디스플레이 하게 되므로 제안된 비그림자 기반의 선택적 히스토그램 매칭 기법의 우수성을 시각적으로 평가하기는 쉽지 않다. 따라서 선택적 히스토그램 매칭 기법의 적용 여부에 따라 히스토그램을 기준 영상과 비교하였다(Figure 10). 제안 기법을 적용하지 않은 2006년 영상은 기준 영상인 2002년 영상과 히스토그램의 형태, 최빈 화소값, 화소값의 사용범위에서 큰 차이를 보인다. 따라서 영상 처리와 분석에 두 영상을 함께 이용할 경우 문제가 발생하게 된다. 그러나 비그림자 기반의 선택적 히스토그램 매칭을 수행한 경우, 기준 영상인 2002년 영상과 모든 밴드에서 히스토그램의 형태, 최빈 화소값, 화소값의 사용범위가 유사해진 것을 알 수 있다.

Figure 9. Result of selective histogram matching in 2006

(a) Band 1

(b) Band 2

(c) Band 3

(d) Band 4

Figure 10. Histograms of non-shadow area in 2002, 2006, and 2006 selective histogram matching

4. 결론

본 연구에서는 자료 취득과 처리를 위한 비용이 적게 발생하도록 부가 데이터 없이 영상만을 이용하여 그림자를 추출하였다. 건물의 에지 버퍼와 규칙 기반 그림자 추출 및 이상 객체 제거를 통해 그림자 지역을 효과적으로 추출하였으며, 동일한 그림자 추출 기법을 다시기 영상에 적용하여 영상 수집시기와 지역에 따라 다른 형태와 강도로 존재하는 그림자를 추출하였다. 또한 기존에 거의 연구되지 않았던 고해상도 위성영상에서 상대 방사 정규화에 미치는 그림자의 악영향을 분석하였으며, 비그림자 기반의 선택적 히스토그램 매칭을 통해 히스토그램의 형태와 분포를 기준 영상과 유사해지도록 개선하여 다시기 영상에서 다른 형태와 화소값을 지니는 그림자에 의해 왜곡되지 않는 히스토그램 매칭 기법을 제안하였다.

향후에는 제안 기법을 다른 센서의 고해상도 위성영상에 적용할 것이며 마스킹 된 그림자의 분광 정보를 복원하는 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 염준호, 장안진, 김용일, 2012, 건물 에지 버퍼를 이용한 Quickbird 영상의 도심지 그림자 추출, 한국측량학회지, 제30권, 제2호, pp.163-171.
2. Andrefouet, S., Muller-Karger, F. E., Hochberg, E. J., Hu, C. and Carder, K. L., 2001, Change Detection in Shallow Coral Reef Environments using Landsat 7 ETM + Data, Remote Sensing of Environment, RSE, Vol. 78, No. 1, pp.150-162.
3. Du, Y., Teillet, P. M. and Cihlar, J., 2002, Radiometric Normalization of Multitemporal High-Resolution Satellite Images with Quality Control for Land Cover Change Detection, Remote Sensing of Environment, RSE, Vol. 82, No. 1, pp.123-134.
4. Gonzalez, R. C., Woods, R. E. and Eddins, S. L., 2004, Digital Image Processing using MATLAB, Prentice-Hall
5. Helmer, E. H. and Ruefenacht, B., 2005, Cloud-Free Satellite Image Mosaics with Regression Trees and Histogram Matching, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, ASPRS, Vol. 71, No. 9, pp. 1079-1089.
6. Hong, G. and Zhang, Y., 2008, A Comparative Study on Radiometric Normalization using High Resolution Satellite Images, International Journal of Remote Sensing, RSPSoc, Vol. 29, No. 2, pp.425-438.
7. Laben, C. A. and Brower, B. V., 2000, Process for Enhancing the Spatial Resolution of Multispectral Imagery using Pan-Sharpning, US Patent 6,011,875
8. Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 1994, Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley and Sons
9. McGovern, E. A., Holden, N. M., Ward, S. M. and Collins, J. F., 2002, The Radiometric Normalization of Multitemporal Thematic Mapper Imagery of the Midlands of Ireland - A Case Study, International Journal of Remote Sensing, RSPSoc, Vol. 23, No. 4, pp.751-766.
10. Richards, J. A. and Jia, X., 2005, Remote Sensing Digital Image Analysis 4thed, Springer
11. Roy, D. P., Ju, J., Lewis, P., Schaaf, C., Gao, F., Hansen, M. and Lindquist, E., 2008, Multi-Temporal MODIS-Landsat Data Fusion for Relative Radiometric Normalization, Gap Filling, and Prediction of Landsat Data, Remote Sensing of Environment, RSE, Vol. 112, No. 6, pp.3112-3130.
12. Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P. and Macomber, S. A., 2001, Classification and Change Detection using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?, Remote

- Sensing of Environment, RSE, Vol. 75, No. 2, pp.230-234.
13. Yuan, D. and Elvidge, C., 1996, Comparison of Relative Radiometric Normalization Techniques, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, ISPRS, Vol. 51, No. 1, pp.117-126.
14. Yuan, D. and Elvidge, C., 1998, NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D.C. Area Experiments, Remote Sensing of Environment, RSE, Vol. 66, No. 1, pp.166-178.