X-밴드 위성 SAR 영상을 이용한 수위선 탐지

이경엽*, 김윤수**

Extraction of Waterline from X-band Satellite SAR Images

Kyung-Yup Lee*, Younsoo Kim**

Abstract

This paper introduces a method about water line detection using SAR image. The method includes pre-processing of the SAR image with the threshold of the histogram to recognize the boundary between the water and the landmass area. Finally we applied the image differentiation to detect the water line in the SAR image. The TerraSAR-X and the Cosmo-SkyMed images, which are the high spatial resolution X-band SAR data, are used for the evaluation of our algorithm. The accuracy is verified over the stream line in urban area with the result from the Cosmo-SkyMed.

초 록

이 논문은 SAR영상을 이용한 수위선 탐지 방법을 소개한다. SAR 영상의 수위선 탐지를 위해 선행적으로 수행해야 할 처리 과정을 소개한다. SAR 영상의 히스토그램의 임계값을 이용하여 수경 지역을 식별하고, 차연산자 에지 추출 기법을 이용하여 수위선을 추출하였다. 사용된 알고리즘을 적용하기 위해서 넓은 해안선 추출을 위해 TerraSAR-X 영상을 이용하였고, 보다 복잡하고 좁은 지역인 도심지 하천의 수위선 추출을 위해 Cosmo-SkyMed 영상을 이용하여 수위선 탐지의 정확성을 검증하였다.

키워드 : 수위선(waterline), 합성개구레이더(SAR), 에지추출(edge detection)

1. 서 론

Synthetic Aperture Radar(SAR) 영상을 이용하여 수위 선을 추출하는 것은 매우 효과적이다. 기존의 수량 및 수위 선을 탐지하기 위해서 현장 답사를 하였지만, 최근에 많은 위성 영상의 등장으로 인해 저비용으로 넓은 지역을 한 번에 관측하는 것이 가능해졌다. 해안선, 강 및 농경지의 저수지의 수위선에 대한 정확한 정보는 용수량과 수질에 대한 직접 적인 정보를 제공하기 때문에 중요성을 가진다. 또한 지속적인 수위선 관찰을 통해 이뤄지는 정보들은 기하학적 변화의 지형적 탐사로 이어져 해안 침식, 수위선 변화 등을 탐지할 수 있고, 연안의 자원을 효과적으로 관리할 수 있도록 한다. 특별히 고해상도 SAR 영상은 수위 선을 더욱 정밀히 측정할 수 있도록 한

접수일(2011년 1월 8일), 수정일(1차 : 2011년 4월 9일, 2차 : 2011년 6월 14일, 게재 확정일 : 2011년 11월 1일)
* 영상활용기술팀/ky_lee@kari.re.kr ** 영상활용기술팀 /younsoo@kari.re.kr

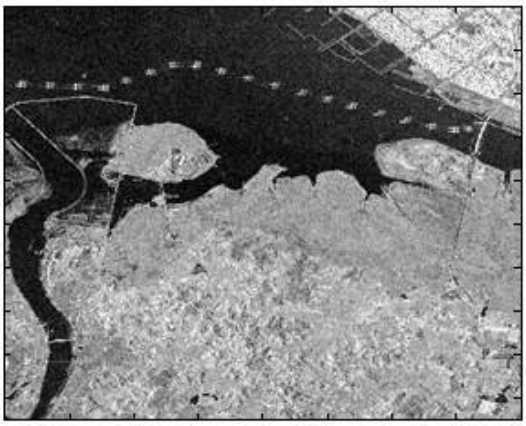
다. 완만한 해안 지역의 경우 기존의 낮은 주파수를 사용한 SAR 영상은 긴 파장으로 인해 실제의 수위선 보다 해안지역으로 치우쳐 나타나게 된다(김덕진, 2007). 하지만 X-band를 사용하게 되는 다목적실용위성5호(이하 KOMPSAT-5: KOrea Multi-Purpose SATellite-5) 와 이미 상용중인 TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed는 보다 정확한 수위 선 추출을 가능하게 할 것이다.

기존의 해안선을 추출하기 위한 많은 연구들이 있었다. 좁은 지역을 대상으로 하는 수위선 추출 알고리즘이 제안되었고 (LEE, Jurkevich, 1990), ERS-1 영상을 이용하여 넓은 지역의 수위선을 관측하는 알고리즘도 소개되었다(Mason, Davenport, 1996). 최근에 Canny 경계선 추출 알고리즘을 이용한 수위선 탐지 방법이 발표되었다(Liu, 2004). 이 논문에서는 SAR 영상에서의 수면 영역의 크기와 무관하게 원하는 지역의 수면을 식별하고, 식별 된 영상의 에지를 추출하여 수위 선을 추출하는 방법을 연구하였다. 먼저 SAR 영상에 대한 기초 처리 방법을 소개하고, 영상 히스토그램의 임계값을 이용하여 수면을 식별하고, 에지 추출 기법을 통해 수위 선을 탐지하는 방법을 설명한다.

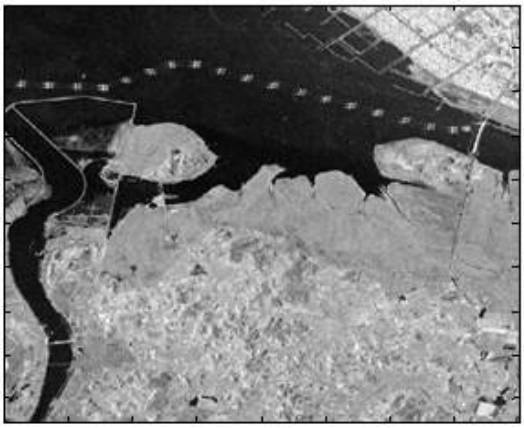
2. 수위선 탐지 기법

2.1 Speckle Filtering

SAR 영상은 speckle 제거를 위해 muitilooking과 speckle filtering을 수행한다. Speckle filter로는 LEE, Gaussian, Froast, Kuan, Median등의 알고리즘이 있다(이상훈, 2009). 이 논문은 에지 추출을 통해 수면의 경계선을 추출하려 하기 때문에 초기 단계로 Speckle filtering은 중요한 단계가 된다. Speckle로 인해 불필요한 에지가 생길 수도 있기 때문이다. 그래서 Speckle을 제거하기 하기 위한 방법으로 먼저 muitilooking을 수행하고, 다음으로 Lee 필터를 이용하여 Speckle을 제거하였다. Lee filter는 에지 손상이나 흐려짐 현상이 없이 radar noise와 Speckle을 효과적으로 없앨 수 있다(Lee, 2009). 그림 1은 speckle 필터 적용 전후의 결과를 보여준다.



(a)



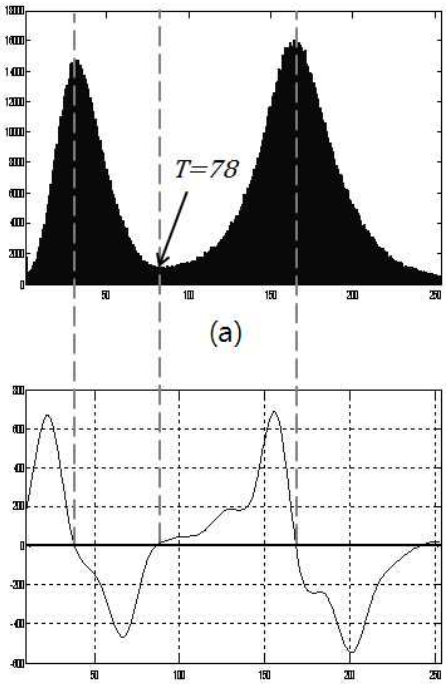
(b)

그림 1. TerraSAR-X Image: (a)Before applying speckle filtering, (b)After applying speckle filtering

2.2 수면 식별

수위 선을 추출하기 위해서 선행되어야 할 것은 수면과 지표면의 식별이다. SAR 영상을 식별하는 많은 연구가 발표되었고, 최근에는 다중 모드를 이용한 식별 방법(Cloude, Pottier, 1998;, Freeman, 1998;, Yamaguchi, 2005)들이 주로 연구되었다. 또한 동일 지역의 다중 시기 영상을 이용하여 영상을 식별하는 방법들도 연구되었다

(박노욱 ,2005). 이는 특정 시기에 촬영된 단일 편파 SAR 영상만으로 실용적인 식별을 하는 것은 매우 제한적이기 때문이다. 하지만 수위선 추출만을 고려한 이 알고리즘에 있어서 획득하기 어려운 다중 모드나 다중 시기의 영상을 통한 방법은 비효율적이라 할 수 있다. 그래서 단일 편파 영상만을 이용하여 수위선을 추출하는 쉽고 간편한 방법을 적용해야 한다. 주로 단일 편파 영상을 이용한 영상 식별 방법은 정확하게 구해진 후방 산란계수의 평균값과 표준 편차, 상관길이를 이용한 방법이 사용되었다(박노욱, 2007). SAR 영상은 기본적으로 후방 산란계수를 토대로 영상이 생성되기 때문에 각 영역의 후방 산란계수의 특성을 비교하여 영상을 식별한다. 예를 들면 수면은 비교적 거칠기가 약하여 후방 산란 계수가 작고, 균일하게 분포하여 표준편차 또한 작다. 도심지의 경우 다중 산란의 영향이 커서 후방산란계수가 크게 나오고 표준 편차 또한 수면에 비해 높은 값을 가지게 되어 식별이 가능해지는 것이다. 그래서 후방 산란계수를 이용하여 만든 회색 영상은 수면 영역이 어둡게 나타난다. 그 영상을 8-bit 기준의 회색 영상으로 저장을 하여 0~255의 pixel intensity로 표현 할 수 있다. 이렇게 저장 된 영상을 이용하여 분포도를 작성하게 되면 그림 2(a)와 같이 정규분포혼합모델(Gaussian Mixture Model)로 나타난다. 이를 식별하기 위해 두 정규분포 확률밀도함수(이하 pdf: Probability density Function)가 만나는 지점(*T: 임계값*)을 설정한다. 임계값을 결정하기 위한 방법 중, 첫 째로 두 정규분포 pdf가 만나는 점을 구하는 EM(Expectation Maximization) 방법, 두 번째는 히스토그램의 pdf을 따라 미분을 하여 그림 2(b)와 같이 나타내어 미분 값이 '0'이 되는 세 점이 중 가운데 점을 이용하는 방법, 세 번째로 두 pdf의 peak value와 사이의 가장 낮은 점을 구하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 두 번째 방법인 미분을 통해 경계 점(T)을 알아내고 이것을 기준으로 영상을 구분하도록 한다.



(b)

그림 2. SAR image Histogram

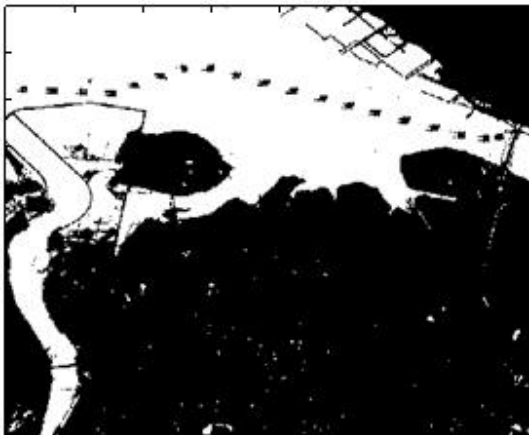


그림 3. Classification of Water Surface

임계값을 설정하고 나면, 아래 식을 통해 임계값(T) 보다 작은 영역을 '255'로 고정하고, 나머지 영역을 '0'으로 고정하여 SAR 영상을 그림 3과 같이 두 영역으로 구분할 수 있다.

$$f(i,j)=\begin{cases}255, & f(i,j)<T\\ 0, & f(i,j)\geq T\end{cases} \qquad (1)$$

2.3 객체 제거와 선택

SAR 영상의 radar noise와 speckle을 제거하기 위해 필터링을 수행하였지만 speckle의 완벽한 제거가 어렵고, 어떠한 영역은 수면이 아니지만 표면 산란이 일어나서, 여전히 작은 객체들이 존재하게 된다. 그래서 이러한 부분을 개선하기 위해 앞서 만들어진 영상을 객체화 시켜서 객체의 크기를 구하여 일정 개수 이하의 객체들을 제거함으로써 speckle의 의해 생성 된 작은 객체들을 완벽히 제거할 수 있다. 아래 그림 4는 일정 개수 이하의 객체를 제거한 결과를 보여준다. 수면이지만 작은 객체일 경우에 동시에 제거 될 수 있기 때문에 그에 따른 주의가 필요하다.

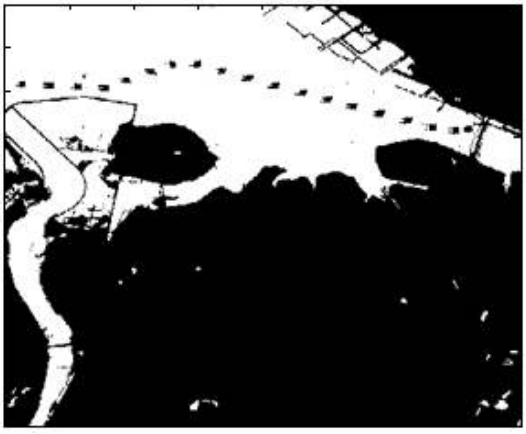


그림 4. Removal of small cluster

작은 객체를 제거하고 여전히 남아있는 객체들은 작은 호수나, 저수지로 각 객체를 그림 5와 같이 라벨링을 통해 번호를 부여하고 원하는 수면만을 선택하여 불필요한 객체를 제거할 수 있게 한다.

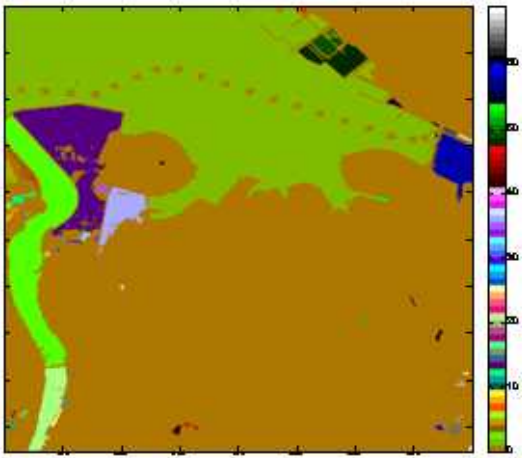


그림 5. Cluster Labeling

그림 5에서 획득한 라벨링 영상으로부터 해안선 추출이 목표라면 해안선 아래의 작은 객체들을 무시한 채 해안 영역만을 선택해야 한다. 하지만 모든 수면의 탐지가 목적이라면 그림 5의 하단부에 남아 있는 객체는 농업용수로 사용되는 저수지로 제거하면 안 된다. 다음 그림 6은 해안선 추출만을 위하여 저수지의 객체를 포함하지 않고 선택하였다. 그래서 Speckle과 다른 객체를 제거함으로써 해안 지역만을 고려한 영상을 제작하였다.

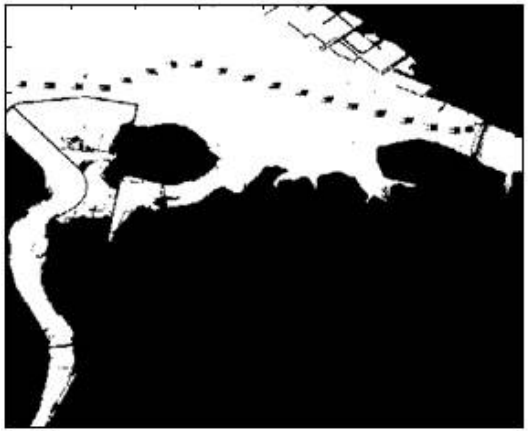
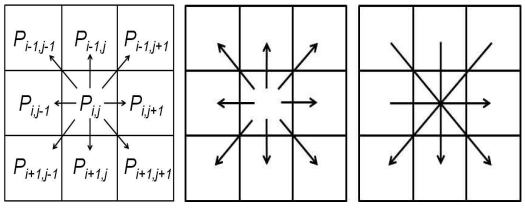


그림 6. Extraction of Coastal area

2.4 에지 추출

에지는 영상의 밝기가 변하는 지점에 존재하는 부분을 가리키게 되어 영상 안에 있는 객체의 경계(Boundary)를 가리키는 것으로서, 모양(Shape), 방향성(Direction)을 탐지할 수 있는 등 여러 가지 중요한 정보가 들어 있다. 에지 추출 기법 또한 여러 기법들이 있고(Canny, 1986), 이러한 기법들을 이용하여 수위선의 정확한 정보를 획득할 수 있다. 이 논문에서는 복잡한 에지 추출 알고리즘보다 가장 단순하고 빠른 에지 추출 기법을 사용하여 시간적인 효율을 높이도록 한다. 가장 기본이 되는 에지 추출 기법으로 유사연산자(homogenity operator) 와 차연산자(difference operator) 기법이 있다. 유사연산자 기법을 이용한 에지 검출은 일련의 화소들을 감산한 값에서 최댓값을 결정하는 방법이다. 그 원리는 그림 7(a)와 같이 3×3 블록의 중심 화소와 주변의 여덟 개의 화소를 각각 감산한 후, 각 차이의 절댓값 중 가장 큰 값을 그 화소로 고정시키는 것이다. 차연산자 기법은 그림 7(b)와 같이 중심 화소를 중심으로 일정 방향의 이웃하는 두 개의 화소를 감산하여, 각 차이의 절댓값 중 가장 큰 값을 그 화소로 고정하는 것이다. 유사연산자는 8개의 감산이 필요한데 반해 그림 7(c)의 차연산자 기법은 화소당 4개의 감산만을 수행한다.



(a) (b) (c)

그림 7. Method of edge detection: (a)Image Pixel, (b) homogeneity operator, (c) difference operator

유사 연산자 기법은 그림 7(a)을 통해 다음 식(2)로 표현 할 수 있다.

$$P_{i,j} = \max\{|P_{i,j} - P_{i-1,j-1}|, |P_{i,j} - P_{i-1,j}|, |P_{i,j} - P_{i-1,j+1}|, |P_{i,j} - P_{i,j-1}|, |P_{i,j} - P_{i,j+1}|, |P_{i,j} - P_{i+1,j-1}|, |P_{i,j} - P_{i+1,j}|, |P_{i,j} - P_{i+1,j+1}|\} \quad (2)$$

i,j 는 각각 영상의 행과 열을 나타낸다. 차연산자 기법은 다음 식(3) 로 표현 할 수 있다.

$$P_{i,j} = \max\{|P_{i-1,j-1} - P_{i+1,j+1}|, |P_{i-1,j} - P_{i+1,j}|, |P_{i-1,j+1} - P_{i+1,j-1}|, |P_{i,j-1} - P_{i,j+1}|\} \quad (3)$$

다음 그림 8은 차연산자 기법을 통하여 에지를 추출하여 생성된 것이다

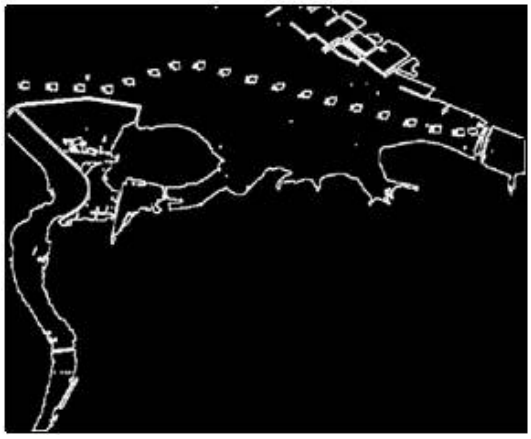


그림 8. Edge detection of coastline

생성된 에지를 원래의 SAR 영상에 매핑 하여 그림 9를 생성할 수 있다. 이를 보면 실제 영상의 수위선에 정확하게 일치하는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 일련의 과정을 통해 SAR 영상을 통해 신속하고 정확하게 넓은 지역의 수위선 추출이 손쉽게 탐지할 수 있게 된다.

그림 9. Mapping of Coastline

3. 정확성 검증과 비교

수위선 탐지에 적용한 TerraSAR-X 영상은 해안 연안으로 해안선이 넓고 복잡하지 않았다. 그래서 동일한 알고리즘이 복잡하고 좁은 지역에도 적용가능한지 검증하기 위해 도심지의 하천이 촬영 된 Cosmo - SkyMed 영상에 알고리즘을 적용하였고, 그 결과를 그림 10에 나타냈다. 영상에서 보이듯이 지역 자체가 강과 도로 그리고 빌딩들이 혼합되어 있는 형태로 구성이 되어 있어 영상 식별에 어려움이 있다. 특별히 영상에서 수면과 같이 도로가 어둡게 표현이 되기 때문에 수면 식별을 통해 생성 된 그림 10(C)에 도로가 많이 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 일정 크기 이하의 객체를 제거한 후에 선택적으로 수면을 선택 하면 앞선 TerraSAR-X을 이용하여 해안선을 추출한 것처럼 비교적 정확하게 도심지역 하천의 수위선도 관측 할 수 있다. 도심지에 흐르는 강이나 하천은 홍수나 가뭄에 크게 영향을 받게 된다. 이러한 지역의 지속적인 모니터링을 통해 수위선 변화를 탐지하면 가뭄이나 홍수가 발생 시의 피해 정도를 보다 쉽게 파악할 수 있고, 대비할 수 있는 좋은 정보가 된다.

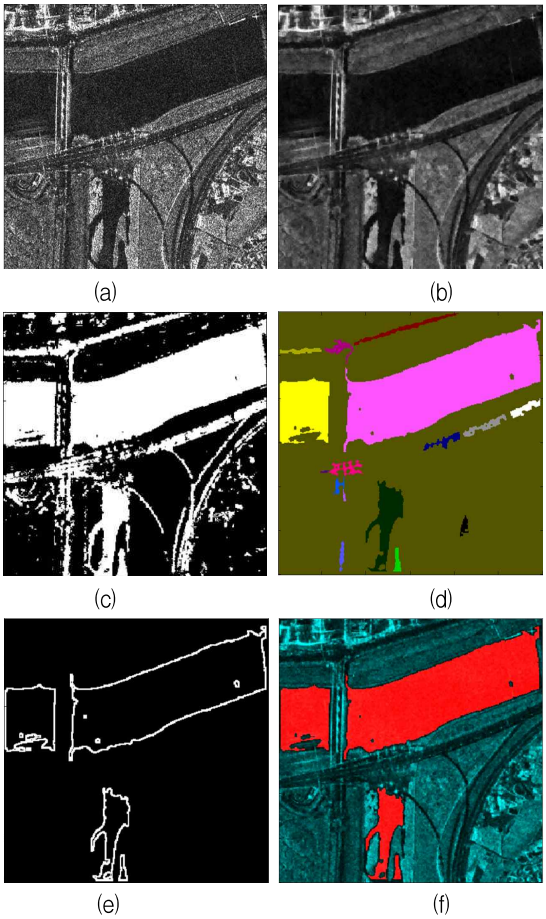


그림 10. Mapping of Coastline

4. 결 론

본 논문은 고해상도 SAR 영상을 통해 수위선을 탐지하는 방법과 결과를 선보였다. 임계값을 기준으로 한 영상 식별을 통해 수면 영역을 식별하고, 객체 별 크기와 라벨링을 통해 작은 산란체들의 영향을 제거하였다. 그리고 차연산자 기법을 통하여 에지를 추출하고 실제 영상에 정합하여 정확도를 검증하였다.

고해상도 SAR 영상인 TerraSAR-X 와 Cosmo-SkyMed에 수위선 탐지 기법을 적용한 결과를 선보임으로써 향후 대한민국의 첫 번째 SAR 위성인 KOMPSAT-5의 영상을 이용하면 국

내 수경지에 대한 수위선 탐지가 정확하고 정밀하게 가능해질 것을 예측할 수 있었고, 가뭄이나 홍수로 인한 저수지의 변화들을 실시간으로 탐지할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Kim, D. j., Wooil M. Moon., Sang-Eun Park, Ji-Eun Kim, “Dependence of Waterline Mapping on Radar Frequency Used for SAR Images in Intertidal Areas”, IEEE GRSL, 2007, 제4권, 제2호, pp.269-273
2. Lee, J.s., Jurkevich, I., “Coastline detection and tracing in SAR images"” IEEE TGRS, 제28권, 제4호, 1990, pp.662-668
3. MASON, D. C., DAVENPORT, I. J., "Accurate and efficient determination of the shoreline in ERS-1 SAR Images", IEEE TGRS, 제34권, 1996, pp.1243-1253
4. LIU H., K. C. JEJEK, "Automated extraction of coastline from satellite by integrating Canny edge detection and locally adaptive thresholding method", IJRS, 제 25권, 제5호, 2004 ,pp.937-958
5. Cloude S. R., E. Pottier, "A Review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry", IEEE TGRS, 제34권, 제2호, 1996, pp.498-518
6. Freeman A., S. L. Durden, "A Three-Component Scattering Model for Polarimetric SAR Data", IEEE TGRS, 제36권, 제3호, 1998, pp.963-973
7. CANNY, J., "A computational approach to edge detection", IEEE TPAMI, 제8권, 1986, pp.679-698.
8. Lee, J.S., and E. Pottier, PolarimericRadarImaging;FromBasicstoApplications, CRCPress, 2009
9. Yamaguchi, Y., Moriyama, T., Ishido, M., Yamada, H., "Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition", IEEE TGRS, 제43권, 제8호, 2005, pp.1699-1706
10. 이상훈, “고해상도 SAR 영상 Speckle 제거 및 분류”, 한국원격탐사학회지, 제25권, 제5호, 2009, pp.455~464
11. 박노욱, 이훈열, 지광훈, “SAR 자료에서 추출한 특징들과 토지 피복 항목 사이의 연관성 분석”, 한국원격탐사학회지, 제23권, 제4호, 2007, pp.257-272
12. 박노욱, 이훈열, 지광훈, “다중시기SAR 자료를 이용한 토지 피복 구분을 위한 특징 추출과 융합”, 한국원격탐사학회지, 제21권, 제2호, 2005, pp.145-162