

항공기와 선박의 PSO 표적탐지 결과에 공간해상도가 미치는 영향 Effects of Spatial Resolution on PSO Target Detection Results of Airplane and Ship

염준호* · 김병희** · 김용일***

Yeom, Jun Ho · Kim, Byeong Hee · Kim, Yong Il

要 旨

고해상도 위성영상의 등장과 공간분해능의 발전은 위성영상을 활용한 다양한 연구들을 가능하게 하였다. 그 중에서도 고해상도 위성영상을 이용한 표적 탐지 기술은 광범위한 지역의 차량, 항공기, 선박 등의 탐지를 가능하게 하여 교통류 모델링, 군사적 목적의 감시·정찰을 효과적으로 수행하게 한다. 최근 다양한 국가에서 여러 위성을 발사함에 따라 위성영상 선택의 폭이 증가하였으나 고해상도 위성영상을 이용한 공간해상도 비교 연구는 많지 않으며 더욱이 표적 탐지에 미치는 공간 해상도의 영향에 관한 연구는 국내외로 매우 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 PSO 기반의 표적 탐지 연구를 바탕으로 공간해상도가 항공기 및 선박 표적 탐지에 미치는 영향을 분석하였다. 원영상에 대한 재배열 보간 기법을 통해 0.5m, 1m, 2m, 4m의 다양한 공간해상도의 시뮬레이션 영상을 생성하고 이때 최근린보간, 양선형보간, 3차회선보간과 같이 다양한 재배열 보간 기법을 적용하였다. 표적 탐지 정확도는 공간해상도 뿐만 아니라 보간 기법에 따라 비교 분석되었다. 연구 결과 0.5m의 고해상도 영상에서 그리고 최근린 보간 기법을 이용한 재배열 영상에서 더 높은 표적 탐지 정확도를 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 50% 이상의 표적 탐지 정확도를 얻기 위해서는 항공기의 경우 2m, 선박의 경우 4m 이상의 영상이 필요하며 항공기의 형태적 특이성은 더 높은 공간 해상력을 필요로 함을 확인하였다. 본 연구는 항공기 및 선박 표적 탐지에 적합한 적정 공간분해능을 제안하고 위성 센서 설계의 기준을 제시하는데 큰 기여를 할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 표적 탐지, 공간 해상도, 재배열, PSO, 고해상도 위성영상

Abstract

The emergence of high resolution satellite images and the evolution of spatial resolution facilitate various studies using high resolution satellite images. Above all, target detection algorithms are effective for monitoring of traffic flow and military surveillance and reconnaissance because vehicles, airplanes, and ships on broad area could be detected easily using high resolution satellite images. Recently, many satellites are launched from global countries and the diversity of satellite images are also increased. On the contrary, studies on comparison about the spatial resolution or target detection, especially, are insufficient in domestic and foreign countries. Therefore, in this study, effects of spatial resolution on target detection are analyzed using the PSO target detection algorithm. The resampling techniques such as nearest neighbor, bilinear, and cubic convolution are adopted to resize the original image into 0.5m, 1m, 2m, 4m spatial resolutions. Then, accuracy of target detection is assessed according to not only spatial resolution but also resampling method. As a result of the study, the resolution of 0.5m and nearest neighbor among the resampling methods have the best accuracy. Additionally, it is necessary to satisfy the criteria of 2m and 4m resolution for the detection of airplane and ship, respectively. The detection of airplane need more high spatial resolution than ship because of their complexity of shape. This research suggests the appropriate spatial resolution for the plane and ship target detection and contributes to the criteria of satellite sensor design.

Keywords : Target Detection, Spatial Resolution, Resampling, PSO, High Resolution Satellite Image

data received: 2013.12.04, data revised: 2014.02.10, data accepted: 2014.03.07

* 정희원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, salt2525@snu.ac.kr)

** 서울대학교 건설환경공학부 석사과정(Master's Course, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, kbh1no@snu.ac.kr)

*** 교신저자 · 정희원 · 서울대학교 건설환경공학부 교수(Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, yik@snu.ac.kr)

1. 서론

고해상도 위성영상의 등장과 공간분해능의 발전에 따라 위성영상을 활용한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 그 중에서도 고해상도 위성영상을 이용한 표적 탐지 기술은 광범위한 지역의 차량, 항공기, 선박 등의 탐지를 가능하게 하였으며 이는 교통류 모델링, 군사적 목적의 감시-정찰을 효과적으로 수행할 수 있게 하였다. 다양한 국가에서 여러 위성을 발사함에 따라 위성 선택의 폭이 증가하였으며 영상 처리 기술의 발달로 다양한 연구 주제에 대해 어느 위성 또는 어느 공간해상도에서 우수한 결과를 얻을 수 있는지에 대한 비교 분석 연구가 이루어지고 있다. 초기에는 위성 센서의 제안 및 설계를 위해 공간해상도에 대한 논의가 시작되었으나 자료 선택의 폭이 증가함에 따라 연구의 다양성이 점차 증가하고 있으며 특정 연구 주제를 수행하기 위해 적합한 위성과 해상도가 무엇인지 비교 분석하는 연구가 수행되었다. 주로 글로벌 모니터링, 식생 모니터링, 토지 피복 분류, 수치 표고 모형 제작, 서로 다른 위성 결과물의 일치도 분석 등을 위해 다양한 센서의 위성영상을 비교하거나 고해상도 영상을 저해상도 영상으로 시뮬레이션 하는 연구가 진행되었다.

Townshend and Justice(1988)는 글로벌 식생 모니터링을 위한 차세대 센서의 공간 해상도에 대하여 연구하였다. 필요 해상도에 대한 실험적 조사를 위해 Landsat 다중분광 영상의 정규식생지수를 후보 해상도인 250m에서 4,000m로 재배열(resampling)한 후 푸리에(Fourier) 공간 분석과 스케일 분산 분석을 수행하였다. 유사한 연구로 Gu and Hwang(2001)은 위성영상의 공간적 축척 변화에 따라 나타나는 해안습지의 변화를 탐색하기 위해 Landsat TM영상의 피라미드 영상 압축 기법을 적용하여 30m 해상도부터 480m의 해상도까지 30m 간격으로 총 16가지 영상을 제작 하였다. 이후 영상을 감독 분류하여 정확도를 분석하고 해안습지 토지 피복도의 특성변화를 비교함으로써, 해안습지의 분석에 필요한 위성영상의 적정해상도를 선정하였다. Gao and Mas(2008)는 10m 해상도를 지니는 SPOT-5 영상의 평균 필터링과 큐빅 필터링을 통해 30m, 100m, 250m의 영상을 생성하고 객체기반 분류와 화소 기반 분류의 정확도를 비교분석하였다. Chen et al.(2004)은 자연환경이 아닌 도심지역에 대해 공간해상도가 영상 분류에 미치는 영향을 평가하였다. 항공사진의 다중분광 밴드와 분산 텍스처 영상에 최대 우도 분류자(maximum likelihood classifier)를 적용하여 도시 토지 이용 및 토지 피복 클래스에 대한 정확도를 평가하였다.

분류 외의 연구로 Toutin(2004)은 SPOT-5, EROS-A, IKONOS-2, QuickBird 고해상도 스테레오 위성영상의 변들조정과 영역 기반 다중 스케일 영상 매칭 방법을 통해 수치표고모델(digital elevation model)을 생성하고 각각의 결과를 LiDAR 데이터와 비교 평가하였다. McCallum et al.(2006)은 AVHRR, SPOT Vegetation, Terra MODIS 위성으로부터 생성된 1km 해상도 토지 피복 데이터들의 일치도를 비교하였다. Kim et al.(2000)은 서로 다른 해상도를 갖는 위성 Landsat MSS, Landsat TM, SPOT XS, SPOT PAN, IRS-IC, KVR-1000을 이용하여 다양한 범주와 지형지물에 대하여 영상의 공간해상력에 따른 질감 정보와 구분가능성을 비교하였다. 유사한 연구로 Kwon et al.(2000)은 해상도가 서로 다른 5개의 영상 Landsat TM, SPOT XS, SPOT PAN, IRS, KVR-100에서 질감측정을 위해서 네 방향의 공기행렬(cooccurrence matrix)을 생성하여, 공간해상도에 따른 변화추이를 조사하여 공기행렬이 적용될 수 있는 최적의 해상도를 제시하였다.

Cho(1995)는 상용 고해상도 위성이 발사되기 전 위성고 동일해 해상도에서 차량탐지의 가능성을 확인하기 위해서 항공사진의 재배열을 통해 1m, 2m, 4m의 영상을 생성하고 해상도별 차량 탐지 정확도를 분석하였다. 그러나 해당 연구의 경우 비교적 차량 탐지가 용이한 고속도로를 대상으로 소수의 차량만을 실험에 적용하였다는 한계점이 존재하며 제안기법의 고해상도 위성영상에 대한 적용이 어렵다는 문제가 있다.

이처럼 향상된 연구를 위해서는 단순히 특정 분야의 연구나 활용을 제안하는 것에 그치는 것이 아니라 우수한 기술과 적합한 데이터를 활용하기 위해 많은 비교 연구가 필요하다. 그러나 고해상도 위성영상을 이용한 공간해상도 비교 연구는 많지 않으며 더욱이 표적 탐지에 미치는 공간 해상도의 영향에 관한 연구는 국내외로 매우 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 Kim et al.(2013)이 제안한 PSO(Particle Swarm Optimization) 기반의 표적 탐지 연구를 바탕으로 공간해상도가 항공기 및 선박 탐지에 미치는 영향을 분석하였다. 원영상의 재배열 보간 기법을 통해 0.5m, 1m, 2m, 4m의 다양한 공간해상도 시뮬레이션 영상을 생성하고 이때 최근린보간(nearest neighbor), 양선형보간(bilinear), 3차 회선보간(cubic convolution)과 같이 다양한 재배열 보간 기법을 적용하여 보간 기법에 따른 표적 탐지 정확도 또한 분석하였다.

2. 연구 방법

전체 연구는 영상 재배열, 표적 탐지, 정확도 평가 세 부분으로 구성된다(Fig. 1). 영상 재배열 과정에서는 전정색(panchromatic) 원영상을 1m, 2m, 4m로 변환하며 이때 대표적인 재배열 기법인 최근린보간, 양선형보간, 3차회선보간 기법을 적용하였다. 양선형보간과 3차회선보간의 경우 재배열된 화소값이 인접 원영상 화소값의 가중치 평균으로 표현되기 때문에 정수로 표현되지 않는 문제가 있으며 3차회선보간은 거리 가중치 함수값에 따라 8비트 표현 범위를 넘게 되므로 영상을 선형 평활화(linear stretch)하였다. 이후 3가지 보간 기법과 3종류의 해상도에 따라 표적 탐지를 수행하였다. 표적 탐지는 PSO 알고리즘을 이용하여 영상을 임계화하는 과정, 표적이 존재할 수 있는 균질한 배경을 추출하는 과정, 공간 인자의 특성에 따라 이상 개체(outlier)를 제거하여 최종적으로 표적을 탐지하는 과정으로 구성된다. 끝으로 표적 탐지 결과를 공간해상도와 보간 기법에 따라 비교 평가하였다.

2.1 영상 재배열

영상의 공간해상도 변환은 새로운 해상도의 영상에 위치할 화소값을 계산하는 과정이 필요하다. 이 과정은 보통 영상 재배열(resampling)을 통해 수행되며 영상 재배열이란 영상에서 해상도를 변화시킨 후 원 영상 자료의 X, Y의 위치로부터 화소값을 추출하여 새로운 영상의 좌표 X', Y'에 다시 부여하는 것을 말한다. 영상의 화소값을 추출하여 재부여하는 방법에는 최근린보간, 양선형보간, 3차회선보간이 대표적이다.

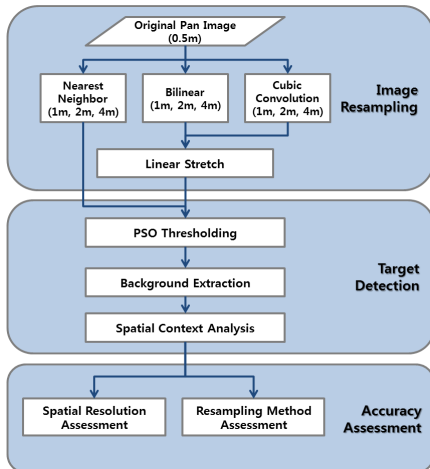


Figure 1. Flow chart

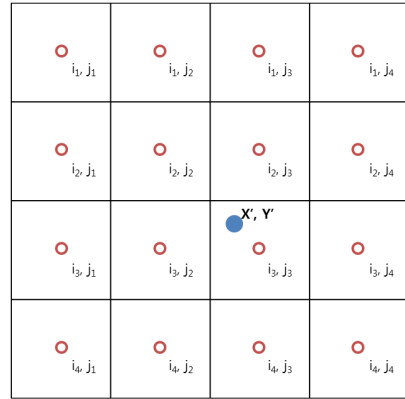


Figure 2. Interpolation methods for resampling

Fig. 2와 같이 레스터 형태의 격자망 중앙에 원영상의 밝기값(DN)들이 존재하고 새로운 영상의 좌표가 X', Y'에 위치할 때 최근린보간 기법에서 할당되는 화소값은 가장 가까운 DN_{i3j3} 이다. 양선형보간은 인접한 4개의 화소값을, 3차회선보간은 16개의 화소값을 이용하여 보간을 수행하며 해상도 변환 영상의 화소값은 각각 식 (1)과 (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 I_1 &= DN_{i_2, j_2} + (y' - i_2)(DN_{i_3, j_2} - DN_{i_2, j_2}) \\
 I_2 &= DN_{i_2, j_3} + (y' - i_2)(DN_{i_3, j_3} - DN_{i_2, j_3}) \\
 DN_{x', y'} &= I_1 + (x' - j_2)(I_2 - I_1)
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 I_1 &= f(i_1)DN_{i_1, j_1} + f(i_2)DN_{i_1, j_2} + f(i_3)DN_{i_1, j_3} + f(i_4)DN_{i_1, j_4} \\
 I_2 &= f(i_1)DN_{i_2, j_1} + f(i_2)DN_{i_2, j_2} + f(i_3)DN_{i_2, j_3} + f(i_4)DN_{i_2, j_4} \\
 I_3 &= f(i_1)DN_{i_3, j_1} + f(i_2)DN_{i_3, j_2} + f(i_3)DN_{i_3, j_3} + f(i_4)DN_{i_3, j_4} \\
 I_4 &= f(i_1)DN_{i_4, j_1} + f(i_2)DN_{i_4, j_2} + f(i_3)DN_{i_4, j_3} + f(i_4)DN_{i_4, j_4} \\
 DN_{x', y'} &= f(j_1)I_1 + f(j_2)I_2 + f(j_3)I_3 + f(j_4)I_4
 \end{aligned} \tag{2}$$

이 때, f(x)는 식 (3)의 가중치 함수로서 보간될 화소와 행 또는 열에 대한 거리(x)를 변수로 한다.

$$\begin{aligned}
 f(x) &= 1.5|x|^3 - 2.5|x|^2 + 1 && \text{for } 0 \leq |x| \leq 1 \\
 f(x) &= -0.5|x|^3 + 2.5|x|^2 - 4|x| + 2 && \text{for } 1 < |x| \leq 2 \\
 f(x) &= 0 && \text{for } |x| > 2
 \end{aligned} \tag{3}$$

2.2 표적 탐지

Kim et al.(2013)에 의해 개발된 PSO 기반 표적 탐지 기법은 기존에 많이 연구되지 않던 항공기와 선박 등의 탐지를 위해 개발되었다. 항공기의 경우 자체 구조가 선박의 경우 내부 구조물 때문에 차량에 비해 형

태적 특이성이 커 탐지가 더 어렵다는 문제점이 있다. 표적 탐지 기법은 Eberhart and Kennedy(1995)가 제안한 PSO 알고리즘을 통한 임계값 선정 및 영상 임계화 과정과 배경 객체 추출, 공간인자 분석을 통한 표적 탐지의 3단계로 구성된다. PSO 알고리즘은 군집생물을 하는 동물들의 행동 습성을 모방하여 최적의 해를 찾는 알고리즘으로 여러개의 입자(particle)들이 임의의 그룹에서의 이전 속도(위치변화)와 이전 경험한 위치 중 가장 좋은 경험에 의거하여 새로운 속도를 계산하고 새로운 속도를 통해 그룹에서의 최적의 임계값을 결정하는 방식으로 식 (4)와 같다(Ghamisi et al., 2012).

$$\begin{aligned} v_{t+1}^n &= wv_t^n + \rho_1 r_1 (\tilde{x}_t^n - x_t^n) \\ &\quad + \rho_2 r_2 (\tilde{g}_t^n - x_t^n) + \rho_3 r_3 (\tilde{n}_t^n - x_t^n) \\ x_{t+1}^n &= x_t^n + v_{t+1}^n \end{aligned} \quad (4)$$

x_t^n , v_t^n 은 그룹의 현재 위치와 속도, \tilde{x}_t^n 은 그룹 내 현재 최적의 임계값, \tilde{g}_t^n 은 영상 내에서 최적의 밝기값, \tilde{n}_t^n 은 이웃한 그룹들 사이에서 최적의 밝기값을 의미한다. PSO 알고리즘은 현재 단계에서 각 그룹의 최적의 임계값 \tilde{x}_t^n 로부터 \tilde{g}_t^n 과 \tilde{n}_t^n 가 결정되고, 다음 계산에서 그룹의 최적의 임계값을 구하기 위한 속도 v_{t+1}^n 는 \tilde{g}_t^n 과 \tilde{n}_t^n 가 있는 방향으로 향하도록 계산된다. 새로운 속도 v_{t+1}^n 에 의해 구해진 x_{t+1}^n 은 이전 단계에서 계산된 \tilde{x}_t^n 과 비교해 이웃 그룹 간 분산이 큰 값을 그룹 내 최적의 임계값인 \tilde{x}_{t+1}^n 으로 업데이트를 하고, 이후 \tilde{x}_{t+1}^n 를 통해 영상 내 최적의 밝기값인 \tilde{g}_{t+1}^n 과 이웃한 그룹들 사이에서 최적의 밝기값인 \tilde{n}_{t+1}^n 을 찾는 방식으로 반복계산이 진행되며, 계산 결과가 조건에 맞을 때 최종적으로 최적의 임계값 위치가 결정된다.

본 연구에서는 PSO 알고리즘을 이용하여 영상을 10개의 그룹으로 임계화하고 항공기와 선박이 해당하는 공통 그룹을 표적후보군으로 정하였다. 이 후 영상 분할을 통해 나지, 활주로, 수계와 같은 배경 이미지를 추출하였다. 배경 영상의 홀(hole)을 채운 후 다섯 화소 버퍼링(buffering)을 적용하였다. 이 후 표적후보군과의 포함관계를 계산하고 배경 영상에 포함되지 않는 표적 후보군 객체를 제거하였다. 최종 표적 탐지를 위해 항공기와 선박 객체의 표본 조사를 수행하고 Table 1과 같이 객체 크기, 사각형률, 장·단축 비의 공간인자들과 탐지 기준을 정하였다.

Table 1. Spatial factors for target detection

Target	Spatial factor
Airplane	$50 \leq \text{Size} \leq 980$ (0.5m case)
	Rectangular fit ≤ 0.4
	Elongation ≤ 5
Ship	$30 \leq \text{Size} \leq 420$ (0.5m case)
	Elongation ≤ 15

Table 2. Error matrix

Unit(m ²)	Reference data	
	Target	Non-target
Target	True positive (a)	False positive (b)
Non-target	False negative (c)	True negative (d)

2.3 정확도 평가

항공기와 선박의 탐지 정확도는 영상의 공간해상도에 따라 그리고 재배열 기법에 따라 평가되었다. 최종 추출된 표적의 정확도를 평가하기 위하여 디지털화(digitizing)를 통한 참조지도를 구성하였으며 개체 단위로 정확도를 평가하되 그 기준은 형태적으로 구분이 가능함과 동시에 픽셀 기준으로 참조자료와 비교해 50%이상의 픽셀이 추출된 경우를 기준으로 하였다. 정확도(precision)와 재현율(recall)은 표적 탐지 기법과 대상 개체에 따라 한 수치가 높거나 낮게 나타날 수 있기 때문에 이들의 조화 평균인 F-측정치(F-measure)를 이용하여 탐지 정확도의 비교 분석을 수행하였다 (Table 2, 식 (5)~(7)).

$$Precision(p) = \frac{a}{a+b} \quad (5)$$

$$Recall(r) = \frac{a}{a+c} \quad (6)$$

$$F\text{-measure}(F) = \frac{2rp}{r+p} \quad (7)$$

3. 연구 결과

3.1 사용 데이터

실험은 현존하는 고해상도 위성영상 중 가장 공간해상도가 높은 센서 중 하나인 Worldview-2의 영상을 이용하였다. 실험 지역은 브라질의 리우데자네이루로 2010년 1월 19일에 수집되었으며 전정색 영상의 경우 0.5m의 공간해상도를 갖는다. 해당 지역은 공항과 항



Figure 3. Study site

구가 함께 존재하여 항공기와 선박의 탐지가 가능하다 (Fig. 3).

3.2 영상 재배열

0.5m의 전정색 영상을 1m, 2m, 4m로 재배열하여 저해상도 영상을 생성하였으며 최근린보간, 양선형보간, 3차회선보간 기법을 이용하였다. 히스토그램 기반 영상 임계화 기법인 PSO 알고리즘을 적용하기 위하여

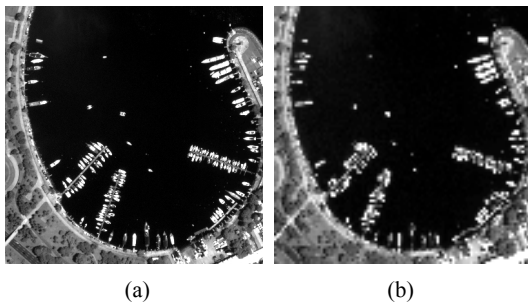


Figure 4. Nearest neighbor resampling results: (a) 1m, (b) 4m

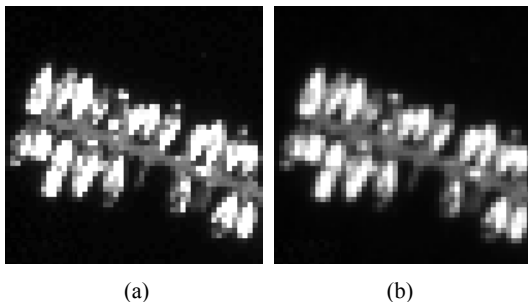


Figure 5. 1m resampling results: (a) Nearest neighbor, (b) Cubic convolution

양선형보간 기법은 정수화, 3차회선 보간 기법은 정수화 및 8비트화 작업이 수행되었다. 재배열 영상의 항구 부분을 확대하여 보면 선박 개체들이 1m 영상에서는 쉽게 구분이 가는 반면 4m 영상에서는 선박의 경계가 모호해지는 것을 알 수 있다(Fig. 4). 또한 최근린보간의 경우 선박 경계의 대비가 뚜렷하지만 계단 현상이 발생하고, 3차회선보간의 경우 선박의 대비가 약한 대신 스무딩(smoothing)된 표적을 확인할 수 있다(Fig. 5).

3.3 표적 탐지

PSO 알고리즘 기반의 표적 탐지 결과가 Fig. 6과 같다. 항공기의 경우 포함오차(commission error)가 선박의 경우 누락오차(omission error)가 주로 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 탑승교(boarding bridge) 등이 항공기와 분광적, 형태적으로 유사하여 항공기로 잘못 추출되기 때문이며, 선박의 경우에는 선박 자체 또는 내부 구조물 등의 분광적 다양성이 존재하여 임계화 과정에서 제대로 추출되지 않기 때문이다.

2m 영상의 표적 탐지 결과 또한 마찬가지로 항공기의 경우 포함오차가 선박의 경우 누락오차가 주로 발생하며 고해상도 영상에 비해 더 큰 오차가 발생한다. 그리고 탐지된 표적의 형태적 완결성이 고해상도 영상에

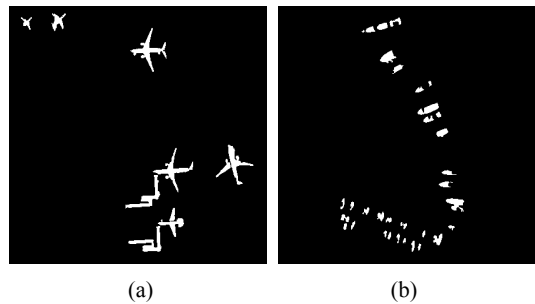


Figure 6. 0.5m target detection results: (a) Airplane, (b) Ship

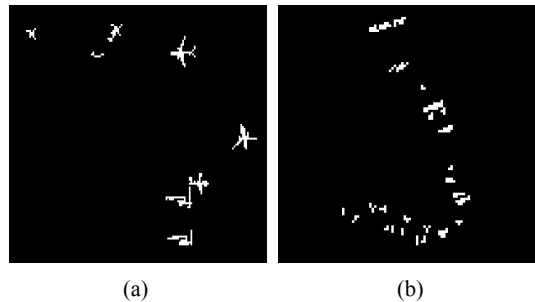


Figure 7. 2m target detection results: (a) Airplane, (b) Ship

비해 낮으며 크기가 작은 선박은 군소 화소로 표현되기도 한다(Fig. 7).

3.4 정확도 평가

0.5~4m의 공간해상도와 최근린(N), 양선형(B), 3차회선(C) 보간 기법에 따른 항공기와 선박 탐지 결과의 F-측정치는 Table 3과 같다. 공간해상도가 가장 높은 0.5m 원영상에서 항공기와 선박의 탐지 정확도가 가장 높게 나타났으며 해상도가 낮아짐에 따라 탐지 정확도 또한 함께 낮아지는 것을 알 수 있다(Fig. 8, 9). 이러한 경향은 선박보다 항공기에서 두드러지는데 이는 해상도가 낮아지는 재배열 과정에서 항공기의 날개나 꼬리 부분이 손실되어 사각형틀이 증가하여 탐지되지 않거나 탐지 되었다 하더라도 그 면적이 감소하기 때문이다(Fig. 7).

그리고 보간 기법 중 최근린보간 기법의 탐지 정확도가 가장 우수하며 3차회선 보간 기법은 양선형보간 기법보다 대체적으로 정확도가 낮게 나타났다. 특히 항공기 탐지 결과에서 3차회선보간기법의 정확도가 더 낮게 나타나는데 이는 항공기의 복잡한 형태적 구조가 많은 인접화소의 거리 가중치 평균값을 이용하게 됨에 따라 왜곡되기 때문이다.

NIIRS(National Imagery Interpretability Rating Scales)에서는 전문가의 판독 가능성을 바탕으로 표적 탐지 기준을 제시하고 있다(Irvine, 1997). 항공기와 선박의 경우 2.5~4.5m에서 확인이 가능하다고 제시하고

Table 3. F-measure accuracy of target detection results

Res.	Airplane			Ship		
	N	B	C	N	B	C
0.5	0.8108			0.7839		
1	0.7568	0.7353	0.5946	0.6816	0.6512	0.6792
2	0.5346	0.5283	0.4210	0.6240	0.5714	0.5968
4	0.2631	0.2162	0.3000	0.5316	0.5086	0.4935

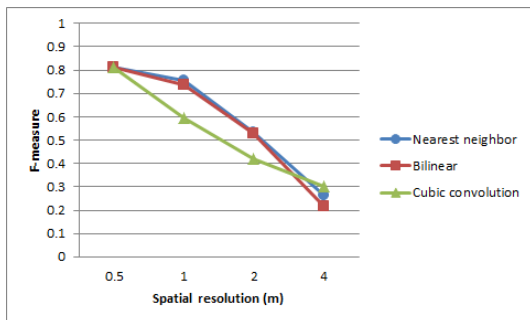


Figure 8. F-measure graph of airplane detection results

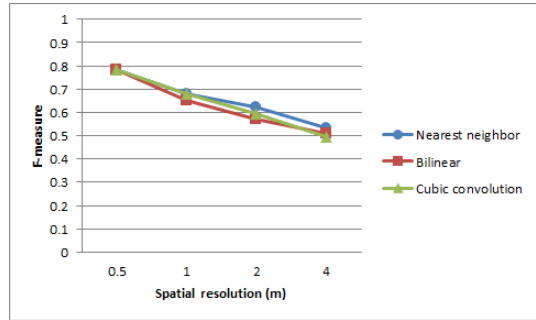


Figure 9. F-measure graph of ship detection results

있다. 그러나 연구 결과에서 영상이 2m 이상의 해상도를 가질 때 50% 이상의 항공기 탐지 정확도를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 전문가의 판독이 전문성과 수작업으로 이루어지기 때문이며 실제 자동화된 표적 탐지 알고리즘을 적용할 때에는 더 높은 해상도의 영상이 필요함을 의미한다.

4. 결론

그 동안 고해상도 위성영상을 이용한 공간해상도 비교 연구는 물론 표적 탐지에 미치는 공간 해상도의 영향에 관한 연구는 국내외로 매우 부족한 실정이었다. 이에 본 연구에서는 고해상도 위성영상을 이용하여 공간해상도와 보간 기법에 따른 표적 탐지 정확도를 비교 분석하였다. PSO 알고리즘과 공간 인자를 이용한 표적 탐지 연구 결과 0.5m의 고해상도 영상에서 그리고 최근린보간 기법을 이용한 재배열 영상에서 더 높은 표적 탐지 정확도를 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 50% 이상의 표적 탐지 정확도를 얻기 위해서는 항공기의 경우 2m, 선박의 경우 4m 이상의 영상이 필요하며 항공기의 형태적 특성은 더 높은 공간 해상력을 필요로 함을 확인하였다. 본 연구는 표적 탐지에 적합한 적정 공간분해능을 제안하고 위성 센서 설계의 기준을 제시하는데 큰 기여를 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Chen, D., Stow, D. A. and Gong, P., 2004, Examining the effect of spatial resolution and texture window size on classification accuracy: an urban environment case, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 11, pp. 2177-2192.
2. Cho, W., 1995, Automatic traffic data collection using simulate satellite imagery, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, Vol. 3, No. 11, pp. 101-116.
3. Gao, Y. and Mas, J. F., 2008, A comparison of the performance of pixel based and object based classifications over image with various spatial resolutions, *Journal of Earth Sciences*, Vol. 2, No. 1, pp. 27-35.
4. Ghamisi, P., Couceiro, M. S., Benediktsson, J. A. and Ferreira, N. M. F., 2012, An efficient method for segmentation of images based on fractional calculus and natural selection, *Expert System with Applications*, Vol. 39, No. 16, pp. 12407-12417.
5. Irvine, J. M., 1997, National Imagery Interpretability Rating Scales (NIIRS): overview and methodology, *Optical Science, Engineering and Instrumentation'97*, *International Society for Optics and Photonics*, Vol. 3128, pp. 93-103.
6. Kennedy, J., Eberhart, R., 1995, A new optimizer using particle swarm theory, *Proceedings of the sixth international symposium on Micro Machine and Human Science*, pp. 39-43.
7. Kim, B., Yeom, J. and Kim, Y., 2013, Target detection in high resolution satellite imagery using PSO algorithm and spatial context information, *Proceedings of the Korean Society of Remote Sensing Fall Conference 2013*, pp. 304-307.
8. Kim, Y., Seo, B. and Ku, B., 2000, The resolution effects of the satellite images on the interpretability of geographic informations – laying emphasis on the interpretability and the fractal dimension, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, *KOGSIS*, Vol. 8, No. 2, pp. 61-69.
9. Ku, C. and Hwang, C., 2001, The change of land cover classification accuracies according to spatial resolution in case of Suncheon bay coastal wetland, *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*, *KRG*, Vol. 7, No. 1, pp. 35-50.
10. Kwon, O., Kim, Y. and Eo, Y., 2000, A study of evaluation of the feature from cooccurrence matrix and appropriate applicable resolution, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, *KOGSIS*, Vol. 8, No. 1, pp. 105-110.
11. McCallum, I., Obersteiner, M., Nilsson, S. and Shvidenko, A., 2006, A spatial comparison of four satellite derived 1 km global land cover datasets, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 8, No. 4, pp. 246-255.
12. Toutin, T., 2004, Comparison of stereo-extracted DTM from different high-resolution sensors: SPOT-5, EROS-A, IKONOS-II, and QuickBird, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 42, No. 10, pp. 2121-2129.
13. Townshend, J. R. G. and Justice, C. O., 1988, Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 9, No. 2, pp. 187-236.