Histogram Of Gradients (HOG) 피쳐와 Support Vector Machine (SVM) 분류기를 이용한 위성영상에서 관심물체 탐색 방법

임인근[†] · 김수환 · 최종국

국방과학연구소

Detection method of objects with a special pattern in satellite images using Histogram Of Gradients (HOG) feature and Support Vector Machine (SVM) classifier

Ingeun Lim[†], Suhwan Kim and Jonggook Choi

Agency for Defense Development

Abstract : In this paper, we propose a method to detect interesting objects in inaccessible areas using high resolution satellite images. We define the interesting objects as a set of objects which have conceptually similar image patterns, not having exact sizes or shapes. In this paper, we developed a learning and classifier of Support Vector Machine (SVM) that extracts characteristic data for inputted images using Histogram of Gradients (HOG) feature and detects similar objects in other images using the characteristic data. As automatic search of interesting objects in our proposed method, we identify that our method provides reduced time and efforts for manual searching similar objects.

Key Words : HOG feature, SVM, Object Detection, Pattern

요약 : 본 논문은 비 접근 지역에 존재하는 관심물체의 위치를 고해상도 광학 위성영상을 이용하여 찾아내기 위한 방법을 제안한다. 관심물체는 정확하게 규정된 크기와 모양을 갖는 것이 아니라, 개념적으로 유사한 패턴을 가진 물체들의 집합이다. 본 논문에서는 유사 객체 검색에서 Histogram of Gradients (HOG) feature를 이용하여 입력 영상의 관심물체의 특징을 추출하고, 추출된 특징 데이터를 이용하여 다른 영상들의 관심물체를 탐색하는 Support Vector Machine (SVM) 학습 및 분류기를 개발하였다. 제안한 방법은 관심물체를 자동으로 찾아줌으로써, 넓은 영역에서 수동으로 관심물체를 탐색하는데 소요되는 시간과 노력을 줄일 수 있는 효과가 있음을 확인하였다.

접수일(2014년 8월 4일), 수정일(1차 : 2014년 8월 21일, 2차 : 8월 25일), 게재확정일(2014년 8월 25일).

[†] 교신저자: 임인근(nearby@add.re.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 고해상도의 상업용 위성영상이 제공됨에 따라 원거리에서도 지구의 특정 위치 또는 지역에 대한 정보를 획득하기가 용이해졌다. 위성영상은 원격탐사 분야에서 각광받는 연구 자원 중 하나이다. 현재 상용화된 광학 위성의 경우, 최대 공간해상도 60 cm 내외로 공급이 되므로 크기가 아주 작은 물체를 인식하기에는 부족하지만, 수 미터 이상의 크기를 갖는 물체까지는 인식을 할 수 있으므로 위성영상에서 특정 시설을 찾아내고 모니터링하고 모델링하는 것이 가능해졌다(Byun *et al.*, 2011) (Lee and Kim, 2008).

본 연구는 비접근 지역에 존재하는 관심물체의 위치를 고해상도 광학 위성영상을 이용하여 찾아내기 위한 목적으로 시작되었다. 찾고자 하는 관심물체는 Fig. 1에서 보여지는 것과 같은 시설물로 그 크기와 모양이 조금씩 모두 다르다. 정확하게 규정된 크기와 모양을 갖는 것이 아니라, 명료하지는 않지만 인간이 보았을 때 일정한 크기 범위에서 둥근 지역에 밝기 차이가 있는 길쭉한 형태의 사물이 있음을 알 수 있다. 만약 찾고자 하는 지역이 광역이라면 사람이 일일이 판단하는 것은 시간이 많이 걸리는 작업이다. 따라서, 사람이 판단하는 것처럼 유사한 외형적 형상을 갖고 있는 물체를 자동으로 찾아내 준다면 그 지역에 한해서만 사람이 최종적으로 확인을 해준다고만 해도 그 시간과 노력이 훨씬 줄어들 것이다.

이를 위해서는 내용에 기반하여 관심물체에 대한 특징을 잘 추출해내는 적합한 특징기술자를 찾는 방법과 관심물체의 특징기술자를 이용하여 실제 위성영상에서 이와 유사한 특징을 갖는 객체를 추출해내는 방법에 대한 연구가 필요하다. 이 때, 찾아진 유사한 객체가 관심물체가 확실하며, 관심물체를 빠짐없이 찾을수록 좋은 성능의 탐색 방법이라고 말할 수 있다.

본 연구는 기반이 되는 위성영상의 한계점과 관심물체가 정확히 규정된 형태를 갖고 있는 물체가 아니라 유사한 형상을 갖는 물체라는 두 가지 사항에 중점을 두어 진행되었다. 따라서, 템플릿 매칭과 히스토그램 매칭의 중간 단계의 방법인 유사 객체 검색에서 일반적으로 사용되는 Histogram Of Gradients (HOG) feature를 이용하여 관심물체의 특징을 추출하고, 추출된 관심물체에 대한 특징 데이터를 이용하여 Support Vector Machine (SVM) 학습 및 분류기를 생성한다. 이 분류기를 통해 테스트 영상에서 관심물체의 특징과 유사한 객체를 추출함으로써 관심물체를 탐색하는 방법이다. 탐색시 관심물체 추출에 방해가 될 수 있는 주변 요소들의 특징을 배제하기 위해 가우시안 함수를 가중치로 설정하고, 촬영 각이나 관심물체의 위치에 따른 회전을 고려하기 위해 각도에 따른 다중 분류기로 분류하는 방법을 제안한다.

Fig. 1. Interesting object images.

2. 관련연구

영상을 기반으로 하는 객체 탐지에 대한 연구는 영상 처리나 컴퓨터 비전 분야에서 이미지 세그멘테이션, 패턴인식을 위한 특징점 추출, 학습 및 분류기 등의 세부 연구 분야로 활발히 연구되고 있다. 이로 인해 다양한 에지 검출 방법, 코너 검출 방법과 Scale Invariant Feature Transform (SIFT)(Lowe, 2004), Haar(Viola and Jones, 2001), Ferns(Calonder *et al.*, 2010), HOG(Dalal and Triggs, 2005) 등의 다양한 특징 추출자들이 개발되었다(Mikolajczyk and Schmid, 2005).

패턴인식에서 많이 사용되고 있는 SIFT는 크기와 회전 변화에 강인한 특징 추출 방법이다. 주어진 기준영상(reference image)에 포함된 객체 이미지를 분석하여 크기 및 회전 변화에 강인한 특징점(keypoint)을 추출하고, 이를 서술자(descriptor)로 구성한다(Lowe, 2004).

Haar 추출자는 영역간의 밝기차를 이용하기 때문에 사람 얼굴의 경우에는 눈썹, 눈동자, 입술, 머리카락 등이 특징적인 밝기 차를 가지기 때문에 Haar feature를 적용하기에 비교적 적합한 대상으로 볼 수 있다. 하지만, 영상의 contrast 변화, 광원의 방향 변화에 따른 영상 밝기 변화에 영향을 받으며 물체가 회전된 경우에는 검출이 힘든 단점이 있다(Viola and Jones, 2001).

Ferns는 영상에서 먼저 특징점들을 뽑고 각 특징점을 중심으로 한 로컬 패치에 대해 계산한다는 점에서 SIFT와 유사한 점이 있다. 이 후 패치 내에서 임의의 두 점을 잡고 두 점의 픽셀 밝기차이가 +인지 -인지를 feature로 사용한다. Haar feature와 비교해보면 Haar feature가 영역 단위의 밝기 차이를 이용하는 반면 Ferns는 픽셀 단위의 밝기차를 이용하고 또한 값이 아닌 부호만을 사용한다는 점에서 차이가 있다(Calonder *et al.*, 2010).

SIFT는 히스토그램이라는 측면이 강하고 Ferns는 템플릿이라는 측면이 강하다. 따라서, Ferns가 SIFT보다 구분력은 높지만 패치의 형태가 변하거나 회전될 경우에는 매칭이 힘든 측면이 있다.

본 연구의 관심물체를 SIFT feature를 추출하여 탐색해 보았다. SIFT 방법은 동일한 물체는 회전과 스케일의 변화가 있어도 잘 찾아짐을 확인할 수 있었다. 그러나, 동일하지 않은 유사한 객체에 대해서는 탐색이 힘들어 알 수 있었다. 이는 우리가 찾고자 하는 관심물체는

keypoints가 적게 생성되거나 생성되지 않는 문제가 있었다.

따라서, 위성영상에서 특징점이 풍부하지 않고 정확치 않은 유사 윤곽선 정보만을 이용해서 관심물체를 검출해야 하는 시스템에서는 SIFT 매칭 방법이 적합하지 않았다.

최근 보행자 검출에 많이 사용되는 템플릿 매칭과 히스토그램 매칭의 중간 단계의 방법으로 볼 수 있는 어떤 물체 영상이 갖는 지역적인 에지방향(gradient), 분포(histogram) 특성을 추출하여 물체를 식별하는 HOG 방법이 있다(Pang *et al.*, 2011). 이는 보행자 뿐만 아니라 승용차, 트럭 등 다양한 물체 검출에 적용할 수 있는 일반적인 방법론이다.

유사 형태, 즉 패턴의 정보만을 이용하여 탐색을 해야 하는 본 연구 목적을 위해서는 관심물체에 대한 HOG feature를 추출하고 이를 학습시켜 분류기를 통해 관심물체인지를 분류해내는 방법으로 접근하는 것이 타당하다고 판단하였다.

3. HOG feature와 SVM 분류기를 이용한 물체 검출 방법

우리가 탐색하고자 하는 물체의 샘플로부터 HOG feature를 추출하고, 이를 이용하여 SVM(Burges, 1998, Scholkopf and Smola, 2002) 학습 및 분류기를 생성하여 관심 물체를 검출하는 방법의 순서도는 Fig. 2와 같다. 가장 먼저 찾고자 하는 물체의 패턴인식을 위해 필요한 패턴을 샘플링 한다. 이 때, 찾고자 하는 대상이 되는 positive 샘플과 검출 대상이 아닌 negative 샘플을 추출하여 이를 데이터베이스화한다. 샘플링 된 데이터로부터 HOG feature를 추출한다. 이들을 SVM 방법으로 학습시키고 SVM 분류기를 생성한다. 이렇게 탐색하고자 하는 물체의 학습이 완료되고 분류기가 생성되면 실제 관심물체를 탐색하고자 하는 위성영상을 입력하여 분류기로부터 관심물체를 검출해 내도록 한다. 분류결과 중 사용자 인터페이스 과정을 두어 사용자가 오검출과 미검출을 분류하여 훈련 세트를 업그레이드하도록 함으로써 분류기의 성능을 향상시킨다.

Fig. 2. Flow chart of proposed method.

Fig. 3. Positive sampling process.

1) 패턴인식을 위한 샘플링

(1) Positive 샘플 추출

Positive 샘플 추출은 검출하고자 하는 대상 즉, 우리가 찾고자 하는 관심물체의 기준이 되는 정보를 데이터베이스화하기 위한 과정으로 다음과 같은 방법으로 수행한다. 먼저 찾고자 하는 대상이 포함된 영상을 선택하고, positive 샘플이 될 관심물체가 포함되도록 일정 영역을 선택한다. 이 때, 우리의 관심물체에 포함된 공통된 패턴 중 하나는 타원형의 영역과 이 영역 내부에 있는 밝기차

가 있는 내부의 길쭉한 소형 객체임을 고려하여야 한다. 그래서 Fig. 3에서와 같이 샘플 추출시 탐색하고자하는 객체의 장축 방향성을 고려하기 위해 타원형 내부의 소형객체의 주축이 되는 위치를 두 점으로 표시하고 두 점을 잇는 선의 방위각을 기준각으로 하고, 30도 간격으로 회전 변환시켜 12개의 방향성을 갖는 positive 샘플이 추출되도록 한다.

Fig. 4의 그래프는 하나의 분류기를 기준으로 입력영상을 0도에서 359도까지 회전시키면서 분류할 때, 검출

Fig. 4. Classification result of single classifier.

결과이다. 실험결과에서 알 수 있듯이 ± 15 도 범위 이내의 회전변환에 있어서만 정검출로 검출된다. 따라서, 본 논문에서는 장축 방향을 기준으로 30도 간격으로 12개 각도로 변환하는 샘플을 만든다.

또한, 실제 목표로 하는 관심물체가 예지가 선명한 객

체가 아니므로 샘플을 추출할 때, 각 기준각도에 대해 $0-10$ 도, $0-5$ 도, 0 도, $0+5$ 도, $0+10$ 도 간격으로 만들어진 샘플들을 함께 추가해줌으로써 positive sample이 개략적인 형상을 표현할 수 있도록 한다.

(2) Negative 샘플 추출

Negative 샘플은 positive 샘플이 없는 다양한 지역을 선정하여 positive 샘플과 동일한 크기로 추출한다. 스케일을 다양하게 하고 positive 샘플의 배경과 유사한 지역을 포함시켜 랜덤 샘플링 방법을 적용한다. Fig. 5는 negative 샘플로 추출된 몇 개의 예제 영상이다. 관심 물체를 제외한 모든 물체 및 배경 등이 포함될 수 있음을 나타낸다.

2) HOG feature 추출

앞에서 추출한 positive 샘플과 negative 샘플 이미지에서 관심물체의 특징을 추출하기 위해 Fig. 6과 같이 HOG feature를 생성한다. 우선, 9bins 히스토그램을 생

Fig. 5. Examples of negative sample.

Fig. 6. HOG feature extraction process.

성하고 이 때, cell은 8×8 픽셀 사이즈를 갖고 있으며, 2×2 cell을 한 블록으로 정의한다. HOG feature를 생성하기 위해 셀의 50%가 오버랩이 되도록 진행하여 HOG feature 벡터를 생성한다. 따라서, feature vector의 크기는 $49\text{블록} \times 4\text{셀} \times 9\text{bins} = 1764 \times 1$ 벡터 형태로 표시된다.

3) Gaussian weighting

본 연구에서 대상으로 하는 물체는 positive 샘플의 주변 요소들로 인해 분류시 방해가 되는 경향이 있다. 특히, 관심물체와 연결되어 있는 도로 부분이 패턴에 포함되어 하나의 패턴으로 인식되는 경향이 나타난다. 따라서 positive 샘플의 가장자리 부분의 효과를 감소시키고, 실제 관심부분인 중심의 효과를 강조하기 위하여 가우시안 가중치를 준다. 가중치에 사용한 함수는 다음 식과 같으며, 가우시안 함수는 Fig. 7과 같다. Fig. 8은 가우시안 가중치 전의 샘플의 평균 이미지에 가우시안 가중치를 적용한 후의 샘플들의 평균이미지를 표시한 것이다. 평균이미지에서 알 수 있듯이 샘플의 가장자리 부분의

Fig. 7. Gaussian weighting function.

Fig. 8. Average image of samples before applying Gaussian weighting and after applying Gaussian weighting.

패턴이 약해진 것을 알 수 있다.

$$w = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}(x) \quad (1)$$

4) 회전에 강인한 SVM 분류기

앞에서 추출한 positive 샘플과 negative 샘플로부터 HOG feature를 구하고 각 feature를 feature space의 한 점으로 맵핑한다. 각 점들을 분류할 수 있는 후보 가운데 마진이 최대가 되는 초평면을 찾는다. 이 초평면이 분류의 기준이 된다.

Fig. 9는 SVM 분류기를 생성하는 개념으로 샘플들의 feature들은 각 한 점으로 맵핑되며 마진이 최대가 되는 초평면이 분류의 기준인 SVM 분류기가 된다.

HOG feature는 회전 변화시 매칭이 불가능한 문제점이 있기 때문에 회전변화에 따른 다중 분류기를 만드는 것을 제안한다. 앞에서 설명한 것과 같이 positive 샘플을 추출할 때 샘플들을 관심물체에 중심부에 있는 객체의 장축을 기준으로 30도 간격으로 회전 변환시켜 12개 방향에 대한 각도에 따른 샘플을 만들었다. 따라서, 분류기도 12개 방향에 대한 다중 분류기를 생성한다. 각도에 따른 다중 분류기를 만들어줌으로써 관심물체 탐색시 회전변화에 강인할 수 있다.

5) 관심물체 탐색을 위한 이미지 스캐닝

관심물체 탐색을 위해 입력되는 위성영상을 Fig. 10과 같은 과정으로 스캔하게 된다. Window size는 8의 배수가 되도록 하고, 스케일 효과는 크게 고려하지 않고 회전 효과를 고려해야 하므로 square형태로 한다. 스캔을 위한 픽셀 이동 간격은 4 또는 8pixel로 한다. 픽셀 이동 간

Fig. 9. SVM classifier generation.

Fig. 10. Flow chart of image scanning.

Fig. 11. Window shift for image scan.

격이 좁으면 정확도는 높아지나 처리속도가 느려지는 반면 픽셀 이동 간격을 넓히면 처리속도는 빨라지나 정확도는 낮아지게 된다. 탐색은 Fig. 11과 같이 윈도우 사이즈의 일부를 겹쳐가며 스캔한다.

4. 실험결과

우선 분류기를 생성하기 위한 학습 데이터인 positive 샘플과 negative 샘플은 성능 테스트에 사용할 관심지역

Fig. 12. Average images of positive samples according to angle.

Fig. 13. Object detection results using a proposed method.

을 포함하는 영상에서 추출하였다. 이 때 샘플 사이즈는 64×64 픽셀이었으며, positive 샘플은 399개, negative 샘플은 12500개를 사용하였다. Fig. 12는 관심물체의 각도에 따른 positive 샘플들을 평균한 영상이다.

샘플 데이터로부터 HOG feature를 추출하고 SVM 학습 및 분류기를 생성하였다. 학습을 위해 샘플을 추출할 때 사용한 영상은 성능 테스트에 사용할 영상과는 다른 영상으로 사용하였다.

Fig. 13은 제안한 방법을 위성영상의 서브이미지에 적용하여 검출된 결과들이다. 오검출된 부분도 있지만, 관심물체를 잘 찾고 있음을 알 수 있다.

두 번째 실험으로 19500×19500 픽셀 크기를 갖는 영상에서 관심물체를 탐색하는 실험을 하였다. 우선 입력 영상을 타일 형태로 만들고 각 타일에 대해 알고리즘에 적용해보았다. 하나의 타일 크기는 4875×4875 픽셀로, 총 16개의 타일로 생성하였다. 테스트 환경은 OS Window7 64bit, CPU Intel i7 3.4GHz, RAM 8G, 알고리즘은 Matlab R2012b(Marques, 2011) 로 구현하였다. 가우시안 블러링 파라미터는 12sigma, 스캐닝 간격은 6픽셀로 수행하였다.

다음 Fig. 14는 대용량 입력 위성영상을 16개의 타일

링 후 탐색되어진 결과를 빨간 박스로 표시한 결과이다. 하얀 점선으로 표시된 부분이 타일의 경계이다.

다음 Fig. 15는 Fig. 14의 (1-4)타일과 (2-4)타일의 검출 결과와 관심물체가 검출된 영역만을 확대해서 본 결과이다. 결과에서 알 수 있듯이 비교적 찾고자 하는 유사 형태를 갖고 있는 객체를 잘 찾아냈음을 알 수 있다. 그러나, 이 중에는 실제 관심물체인 것도 있고, 아닌 것도 포함되어 있다. 오검출된 객체들을 살펴 볼 때, 관심물체는 아니지만 확대된 이미지에서 보면 알 수 있듯이 형상의 크기나 모양이 관심물체와 유사함을 알 수 있다. 탐지율은 67% 이었으며, 미검출 관심물체는 3개 있었다. 미검출된 관심물체는 여러 개의 관심물체 집합에서 일부는 찾고 일부는 찾지 못한 경우이다. 본 연구가 시작된 배경이 광역의 영상에서 관심물체를 사람이 육안으로 찾아내기에는 시간 소모가 많으므로 그것을 알고리즘으로 해결하기 위한 것이었다. 따라서, 관심물체의 일부가 미검출되더라도 그 집합 내 몇 개의 관심물체만 탐색하면 전체 영상을 탐색하지 않고 관심지역을 찾을 수 있으므로 제안한 방법은 상당히 우수한 결과이다. 추후에는 제안한 방법에 관심물체의 연결성을 이용하는 방법을 추가하여 관심지역을 추천하는 방법으로 개선시키

Fig. 14. Tiling of input image.

Fig. 15. Detection results in a large scale image and zoomed images of detected object.

고자 한다.

5. 결론

제안한 방법은 위성영상에서 형태가 완전히 동일하지는 않지만, 사람이 보기에 유사한 패턴을 갖고 있는 관

심 물체를 자동으로 탐지해내기 위하여 관심 물체의 패턴 특징을 HOG feature로 추출하고, 이를 SVM 분류기를 통해 탐색해내는 방법이다. 입력영상이 위성영상이므로 촬영시각 촬영환경에 따라 영상의 질이 다를 수 있고, 해상도가 일반 영상에 비해 낮음을 고려하여 정교한 특징을 추출해내는 방법이 아닌 개략적인 형태적 특성을 표현할 수 있도록 HOG feature를 생성하고, 이를 학

습시킴으로써 영상에서 관심 물체를 탐색할 수 있었다.

위 실험결과에서 알 수 있듯이 동일한 물체가 아니더라도 비슷한 외형의 물체를 식별하는데 있어서는 제안한 방법이 상당히 효율적임을 알 수 있었다. 또한, HOG feature의 단점을 각도에 따라 다중분류기를 생성함으로써 회전 효과도 고려할 수 있는 방법을 제안하였으며, 가우시안 가중치를 적용하여 동일한 주변환경을 갖고 있지 않는 관심물체도 관심물체가 갖고 있는 자체의 특징에 더 중점을 두어 탐색이 되도록 하였다.

그러나, 본 방법의 단점은 학습과정이 포함되었으므로 학습 세트를 만드는 비용이 크고, 슬라이딩 윈도우 방식으로 전체 영상을 스캔할 뿐만 아니라 다중 분류기를 통해 분류함으로써 연산 비용이 많이 든다는 것이다. 이러한 연산 비용은 추후 캐스캐이딩 방법을 이용하여 다른 분류기를 결합하면 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 형태적 유사성을 즉, 내부 소형 객체의 장축 단축 길이 등과 같은 수학적 모폴로지를 좀 더 자세히 이용함으로써 오검출에서 나온 건물과 같은 형상은 배제할 수 있을 것이다. 따라서, 추후에는 분류기를 결합하는 방법에 대한 연구를 진행하고자 한다.

References

- Byun, Y.G., Y.K. Han, and T.B. Chae, 2011. Road Extraction from High Resolution Satellite Image Using Object-based Road Model, *Korean Journal of Remote Sensing*, 27(4): 421-433 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., and B.S. Kim, 2008. Automated Vinyl Green House Identification Method Using Spatial Pattern in High Spatial Resolution Imagery, *Korean Journal of Remote Sensing*, 24(2): 117-124 (in Korean with English abstract).
- Burges, C.J.C., 1998. A tutorial on support vector machines for pattern recognition, *Data mining and knowledge discovery*, 2: 121-167.
- Dalal, N. and B. Triggs, 2005. Histograms of oriented gradients for human detection, *CVPR*, 1: 886-893.
- Lowe, D.G., 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *IJCV*, 60(2): 91-110.
- Marques, O., 2011. Practical image and video processing using MATLAB, Wiley.
- Mikolajczyk, K. and C. Schmid, 2005. A performance evaluation of local descriptors, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(10): 1615-1630.
- Ozuysal M., M. Calonder, V. Lepetit, and P. Fua, 2010. Fast keypoint recognition using random ferns, *PAMI*, 448-461.
- Pang, Y., Y. Yuan, X. Li, and J. Pan, 2011. Efficient HOG human detection, *Signal Processing*, 91(4): 773-781.
- Scholkopf, B. and A.J. Smola, 2002. *Learning with kernels*. MIT Press.
- Viola, P. and M.J. Jones, 2001. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, *Proc. of CVPR*, Vol.1, pp.511-518.