

적외선 영상에서 모폴로지와 가우시안 거리함수를 이용한 소형표적 검출[†]

(Small Target Detection using Morphology and
Gaussian Distance Function in Infrared Images)

박 준 재*, 안 상 호**, 김 종 호***, 김 상 균****

(Jun-Jae Park, Sang-Ho Ahn, Jong-Ho Kim, and Sang-Kyoon Kim)

요 약 본 논문에서는 모폴로지 연산을 기반으로 소형 표적 후보를 찾고, 변형된 가우시안 거리 함수를 이용해서 소형 표적을 검출하는 방법을 제안한다. 기존의 소형 표적 검출 방법은 예측 필터를 이용하는 방법과 모폴로지를 이용하는 방법이 있다. 예측 필터를 이용하는 방법의 경우 최소 오차 수렴 시간이 오래 걸리고, 모폴로지를 이용하는 방법의 경우 클러터에 취약하고, 소형 표적의 크기를 고려하여 구조요소의 크기를 선정해야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 기존 연구 방법의 단점을 보완한 강인한 소형 표적 검출 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 먼저 미디언 필터를 사용해서 클러터를 제거한다. 다음으로 다양한 크기의 구조 요소를 이용해 닫힘 연산과 열림 연산을 수행하고, 닫힘 연산 결과와 열림 연산 결과를 차 연산 하여 표적 후보 화소를 구한다. 정확한 소형 표적을 검출하기 위해 표적 후보 영역에서 가우시안 거리 함수를 이용하여 표적을 검출한다. 제안한 방법은 클러터에 민감하지 않고, 98%의 검출율을 보였다.

핵심주제어 : 적외선 영상, 소형 표적, 가우시안 거리 함수, 탑 햇, 뉴 화이트 탑 햇

Abstract We propose a method that finds candidate targets based on morphology and detects a small target from them using modified gaussian distance function. The existing small target detection methods use predictive filters or morphology. The methods using predictive filters take long to approach least errors. The methods using morphology are weak at clutters and need to consider size of a small target when selecting size of structure elements. We propose a robust method for small target detection to complete the existing methods. First, the proposed method deletes clutters using a median filter. Next, it does closing and opening operation using various size of structure elements, and figures target candidate pixels with subtraction operation between the results of closing and opening operation. It detects an exact small target using a gaussian distance function from the candidates target areas. The proposed method is less sensitive to clutters, and shows a detection rate of 98%.

Key Words : IR Image, Small Target, Gaussian Distance Function, Top-Hat, NWTH

[†] 본 논문은 국방과학연구소 개별기초연구의 지원에 의한 연구결과임

* 인제대학교 컴퓨터공학부, 제1저자

** 인제대학교 전자지능로봇공학과

*** 인제대학교 컴퓨터공학부

**** 인제대학교 컴퓨터공학부, 교신저자

1. 서론

표적의 탐지 및 추적이 가능한 적외선 경보 시스템은 최근 방산 분야에서 연구되는 핵심 기술이다.

표적의 탐지 및 추적 시스템은 적외선 센서로부터 얻어진 영상을 사용한다. 획득된 적외선 영상은 멀리 떨어져 있는 움직이는 표적을 촬영하기 때문에 표적의 크기가 작고 흐릿하다. 적외선 영상은 복사 에너지, 대기의 투과 특성 및 센서들의 제한 요소 때문에 배경이 복잡하고, 많은 클러터들을 포함하고 있다. 또한 영상 자체가 저해상도이기 때문에, 디지털 카메라와 같은 매체를 이용하여 촬영한 자연 영상보다 표적에 대한 특징과 정보가 부족하다.

이런 이유로 영상에서 소형 표적을 찾기란 쉽다. 대표적인 소형 표적 검출방법으로는 예측 필터를 사용하여 원 영상의 배경을 복원 하는 방법[1-2], 모폴로지 기반의 검출 방법[3-7]이 있다.

예측 필터를 사용하여 배경을 복원하는 방법에서는 이차원 최소 평균 자승(two - dimensional least mean square:TDLMS)[2] 알고리즘을 사용한다. TDLMS는 위너 필터 기반의 최소 평균 자승(least mean square:LMS)[8] 알고리즘을 이차원으로 확장한 것이다. 필터의 가중치에 의해 정확한 배경을 예측하므로 원 영상과 예측된 배경의 차이로 표적을 검출할 수 있다. 하지만 배경 영상을 복원하는 과정에서 참조 영상과 요구 영상 사이의 최소 오차 값을 사용하는 위너 필터를 기반으로 하기 때문에, 최소 오차의 수렴 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

모폴로지 기반의 검출 방법으로는 White Top-Hat(WTH) 변환[3]이 있다. WTH 변환에서는 원 영상과, 원 영상에 대하여 열림 연산을 수행한 영상을 차 연산 하여 표적을 검출한다. 모폴로지를 이용하는 방법은 계산이 간단하고 구현이 용이한 장점을 가지고 있기 때문에 실시간처리가 가능하다. 하지만 결과 영상이 뭉뚱화되기 때문에 클러터가 많이 분포된 영상에 취약하다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 WTH 변환에 사용하는 구조요소를 표적의 형태에 맞게 개선하고 연산 방법을 재구성한 New White Top-Hat(NWTH) 변환 기법[4]이 제시되었다. NWTH 변환은 배경에 분포되어 있는 많은 클러터를 제거하는데 효과적이지만, 구조 요소가 표적의 형태와 유사하기 때문에 배경에 있는 클러터 중에 표적과 유

사한 형태의 클러터를 제거하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 또한, 구조 요소의 크기에 민감하기 때문에, 구조 요소의 크기가 소형 표적의 크기보다 작거나 같은 경우 표적을 검출하지 못한다.

본 논문에서는 기존의 방법들에서 존재하는 단점을 보완한 강인한 소형 표적 검출 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 모폴로지 연산을 기반으로 소형 표적 후보를 찾고, 변형된 가우시안 거리 함수를 이용해서 확률적으로 표적을 검출한다.

표적 검출을 위해 먼저 미디언 필터를 사용해서 클러터를 제거한다. 다음으로 다양한 크기의 구조 요소를 이용해 닫힘 연산과 열림 연산을 수행하고, 닫힘 연산 결과와 열림 연산 결과를 차 연산 하여 표적 후보 화소를 구한다. 그리고 차 연산을 이용해 찾은 표적 후보 화소들을 라벨링하여 후보 영역들로 군집하고, 영역들의 중심 위치를 계산한다. 계산된 중심 위치를 이용해 원 영상에서 가우시안 거리 함수를 변형하여 소형 표적의 형태에 가까운 영역을 확률적으로 검출한다.

차 연산의 결과 영상에서는 열림 연산에 의해 표적이 제거되고, 닫힘 연산에 의해 표적이 뚜렷하게 나타나기 때문에, 정확히 표적을 검출할 수 있다. 그리고 미디언 필터를 통해 클러터가 제거된 영상을 닫힘 연산과 열림 연산 하여 결과 영상을 만들었기 때문에, 차 연산 과정에서 생기는 클러터들이 기존의 방법에 비해 작게 나타난다. 그러므로 기존의 방법보다 클러터에 강인하다. 또한 가우시안 거리 함수를 사용하여 확률적으로 후보 영역을 찾기 때문에 오검출율을 줄일 수 있다.

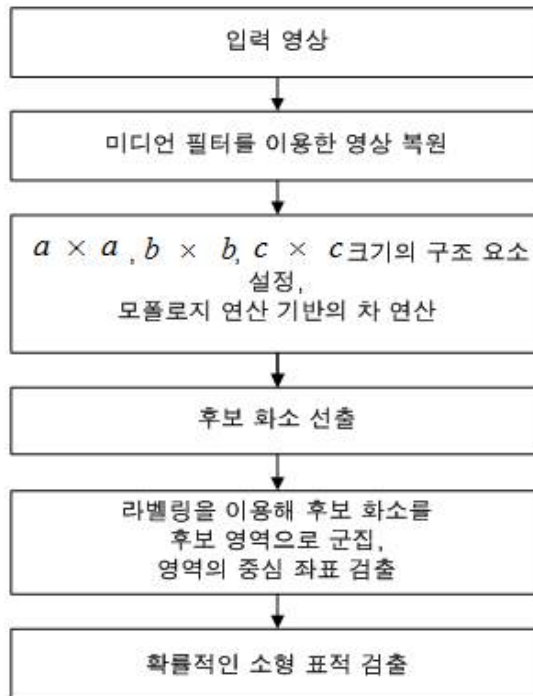
2. 소형 표적 검출 시스템

2.1 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 소형 표적 검출 시스템의 전체 구조는 <그림 1>과 같다.

1단계에서는 미디언 필터를 이용해서 적외선 영상에 포함된 많은 클러터(clutter)를 제거한다. 2단계에서는 표적의 크기를 고려하여 여러 크기의 구조 요소를 설정하고, 각 구조 요소에 이용해서 모폴로지 기반의 닫힘 연산과 열림 연산을 이용한 차 연산 결과 영상

들을 만든다. 3단계에서는 각 차 연산의 결과 영상들에서 후보 화소들을 선출한다. 4단계에서는 후보 화소들을 라벨링하여 후보 영역들로 군집시키고 후보 영역들의 중심 좌표를 검출한다. 마지막 5단계에서는 제안한 가우시안 거리를 사용하여 후보 영역 중에서 소형 표적에 적합한 영역을 검출한다.



<그림 1> 제안하는 방법의 전체 구조

2.2 제안한 방법론

2.2.1 미디어 필터

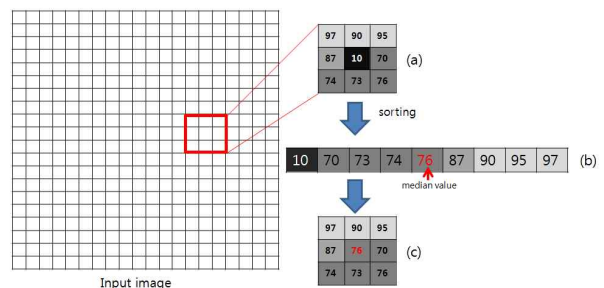
적외선 센서로부터 입력된 영상은 많은 클러스터를 포함하고 있다. 또한 WTH 연산은 원 영상 $f(x,y)$ 와 원 영상을 열림 연산한 결과의 차 연산을 이용하여 밝게 튀는 작은 덩어리들을 찾는 방법이다. 이 방법은 소형 표적을 검출 하는데 많이 이용되지만, 클러스터 분포 및 소형 표적 화소 강도에 민감한 문제점을 가지고 있다. 열림 연산은 모폴로지의 특성상 원 영상을 뭉개는 효과 때문에, 클러스터가 분포한 원 영상과 열림 연산 결과 영상을 차 연산 하게 되면 WTH 결과 영상에도 많은 클러스터들이 발생하게 된다. 그러므로 전 처리로 미디어 필터를 이용해 클러스터를 제거한다.

미디어 필터는 구조 요소내의 화소 밝기를 크기 순서대로 정렬하고 중간 값을 가지는 요소를 선택하여 클러스터를 제거하는 방법이다. 미디어 필터는 식(1)과 같다.

$$\hat{f}(x,y) = \text{median}_{(s,t) \in S_{xy}} \{f(s,t)\} \quad (1)$$

$\hat{f}(x,y)$ 는 미디어 필터를 사용한 클러스터 제거 영상이다. S_{xy} 는 중심이 (x,y) 에 있고 크기가 $m \times n$ 인 구조 요소에 대한 좌표들의 집합이다.

<그림 2>는 3×3 크기의 미디어 필터를 이용해서 영상의 클러스터를 제거하는 방법을 나타낸다. <그림 2(a)>는 원 영상에서 한 부분의 3×3 크기만 확대하여 나타낸 모습이며, 3×3 크기의 확대 영상 내부의 수치는 화소 밝기 값을 나타낸다. 그리고 화소 밝기 중 좌표(2,2) 위치의 화소의 밝기 값 '10'은 주변 화소보다 크게 낮으며, 이것은 클러스터가 영상 내에 분포한 모습을 묘사한 것이다. <그림 2(b)>는 구조 요소 내부의 수치를 크기순으로 정렬한 모습이다. 정렬된 수치들 중 가운데 값을 선택하여 <그림 2(c)>와 같이 클러스터를 제거한다.



<그림 2> 미디어 필터링을 이용한 클러스터 제거

2.2.2 모폴로지 기반의 차 연산

미디어 필터 실행 후에 모폴로지 기반 연산들을 이용해 차 연산을 하게 되는데, 모폴로지 연산[9]의 기본 연산들은 팽창($f \oplus k$), 침식($f \ominus k$), 열기($f \circ k$), 닫기($f \bullet k$)가 있다. 모폴로지 연산은 그레이-스케일 영상의 형태학 기초 알고리즘이다.

그레이-스케일로 구성된 입력 영상, $f(x,y)$ 는 구조 요소, $k(m,n)$ 을 이용하여 다음 식으로 나타낸다.

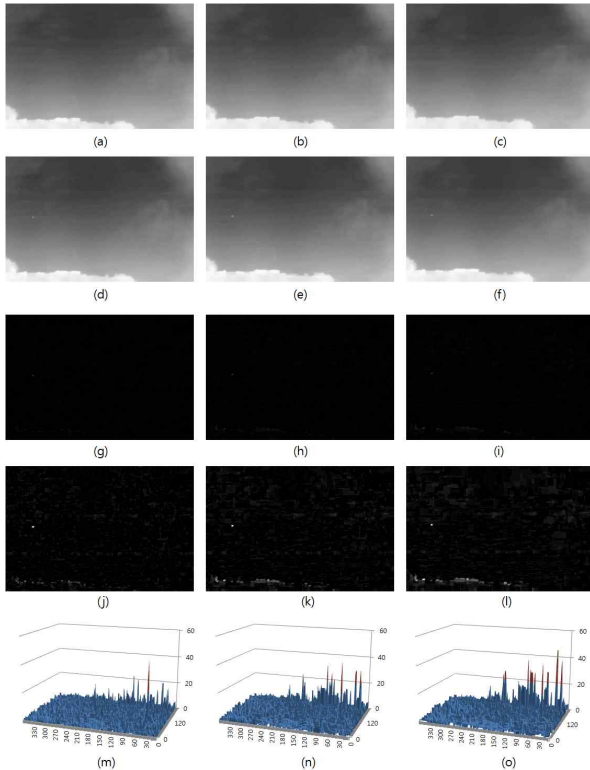
$$f \oplus k = \max(f(x-m, y-n) + k(m, n)) \quad (2)$$

$$f \ominus k = \min(f(x+m, y+n) - k(m, n)) \quad (3)$$

$$f \bullet k = (f \oplus k) \ominus k \quad (4)$$

$$f \circ k = (f \ominus k) \oplus k \quad (5)$$

$$WTH(x, y) = f(x, y) - [f \circ k](x, y) \quad (6)$$



<그림 3> 입력 영상에서 (a)-(c)는 $5 \times 5, 7 \times 7, 9 \times 9$ 의 구조요소로 열림 연산한 결과, (d)-(f)는 $5 \times 5, 7 \times 7, 9 \times 9$ 의 구조요소로 닫힘 연산한 결과, (g)-(i)는 닫힘 연산 결과에서 열림 연산 결과를 차 연산한 결과, (j)-(l) 차 연산 결과를 시각화한 정규화 영상, (m)-(o)는 차 연산 결과의 화소 크기 그래프

소형 표적의 화소 밝기들은 주변 배경 화소들의 밝기보다 눈에 띄게 밝지만 크기가 작다. 때문에, 열림 연산을 하게 되면 침식 후 팽창을 하는 과정에서 밝은 부분이 고립된다. <그림 3(a)-(c)>는 밝은 부분이

고립되어 표적이 사라진 열림 연산 결과 영상이다. 반대로 닫힘 연산을 하게 되면 팽창 후 침식을 하게 되므로 어두운 부분을 고립시키게 된다. <그림 3(d)-(f)>는 표적이 배경보다 돌출된 닫힘 연산 결과 영상이다.

제안하는 모폴로지 연산 기반의 차 연산은 원 영상이 아닌 미디언 필터 결과 영상을 이용해 열림 연산과 닫힘 연산을 수행한다. 모폴로지 기반의 차 연산 결과 영상은 식(7)을 이용하여 구할 수 있으며, 다음 내용부터는 간단하게 차 연산이라 표시한다.

$$S(x, y) = [f_{med} \bullet k](x, y) - [f_{med} \circ k](x, y) \quad (7)$$

$S(x, y)$ 는 차 연산 결과 영상이다. $f_{med}(x, y)$ 는 미디언 필터를 이용해 클러터를 제거한 영상이다. 하지만, 소형 표적의 크기는 입력영상마다 다양하며, 본 논문에서 실험 영상으로 사용한 211장의 360×240 크기 영상들에서 소형 표적의 크기는 작게는 3×3 부터 크게는 9×9 까지 존재한다. 구조 요소가 표적의 크기에 맞지 않을 경우 오검출률이 높아진다. 즉, 정해진 크기의 구조 요소를 이용해 표적을 검출 하는 것은 한계가 있다. 그러므로 본 논문에서는 소형 표적의 크기를 고려하여 3가지 크기의 구조 요소를 설정한다. 그리고 각 구조 요소에 대해 각각의 차 연산의 결과 영상 $S_{a \times a}, S_{b \times b}, S_{c \times c}$ 을 만든다. <그림 3(g)-(i)>는 닫힘 연산 결과에서 열림 연산 결과를 차 연산한 결과 영상이다.

2.2.3 후보 화소 검출

제안하는 차 연산은 닫힘 연산과 열림 연산의 특성을 이용하여 화소간의 차이를 구하는 방법이므로 <그림 3(j)-(l)>에서 보이는 것과 같이 소형 표적의 화소의 밝기는 밝고, 배경 화소의 밝기는 어둡게 나타난다. 하지만 많은 화소 값들 사이에서 소형 표적 후보 화소들을 찾기란 쉽지 않다. 그러므로 제안 방법은 각 구조요소 간의 차 연산 결과 영상에서 수식 (8)을 이용하여 소형 표적 후보 화소 $target_{k \times k}$ 를 검출한다.

$$target_{k \times k}(x, y) \geq \alpha \times \max_{k \times k} \quad (8)$$

k 는 차 연산을 수행 할 때 사용한 구조요소 크기 a ,

b, c 이며, $\max_{k \times k}$ 는 $S_{k \times k}$ 결과 영상에서 가장 밝은 화소 값의 크기이다. α 는 화소 밝기 중 $\max_{k \times k}$ 와 근접한 밝기를 갖는 화소를 추출하기 위한 매개변수로 본 논문에서는 [0.1 ~ 1.0]사이의 값을 사용한다. $\alpha \times \max_{k \times k}$ 이상의 값을 가지는 화소들은 후보 화소들이고, $\alpha \times \max_{k \times k}$ 미만의 값들은 배경 화소로 간주한다. α 의 크기를 정할 때, α 가 커질수록 후보 화소들의 개수는 줄어들기 때문에 소형 표적의 정확한 모양이 나오지 않을 수 있다. 그리고, α 가 너무 작으면 구름과 같은 배경의 경계선에서 가장 밝은 값이 나와서 표적을 놓치는 일이 발생 한다.

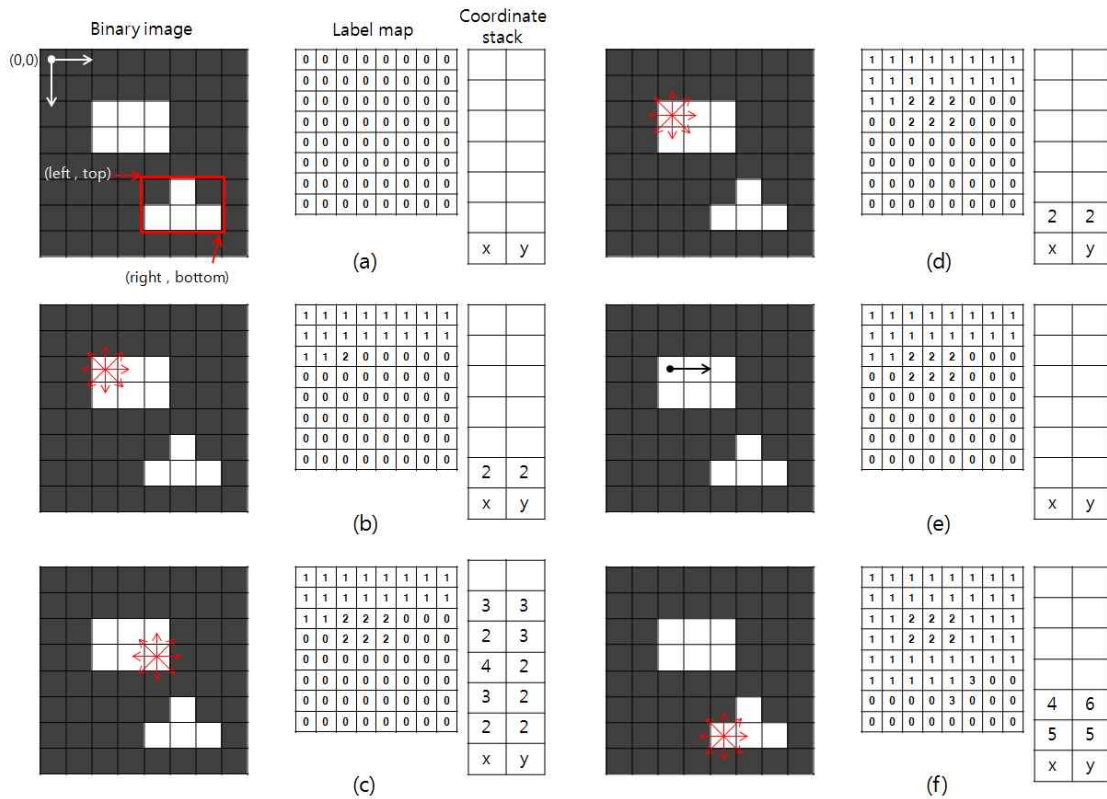
2.2.4 후보 영역의 중심 좌표 검출

소형 표적은 중심 화소가 가장 밝고 주변 화소들은 점점 어두워지는 가우시안 분포형태이다. 이러한 형태 정보를 가지는 후보 화소들 중 가우시안 거리 함수를 이용해 표적을 검출하기 위해서는 전처리 과정이 필요하다.

표적의 검출은 후보 화소들의 밝기 값을 이용하기

때문에 원 영상에서 후보 화소들의 위치를 알고 있어야 한다. 때문에, 차 연산의 결과를 이용해 후보 화소들의 위치에 대한 중심 좌표를 구한다. 그리고 화소 단위로 하나씩 검사를 하는 방법 보다는 근접한 이웃 화소들끼리 군집하여 한번에 여러 화소들을 검사 하는 방법이 더 빠르다. 그러므로 라벨링 기법을 이용해 근접 이웃 화소를 군집시켜 후보 영역으로 군집 시킨다.

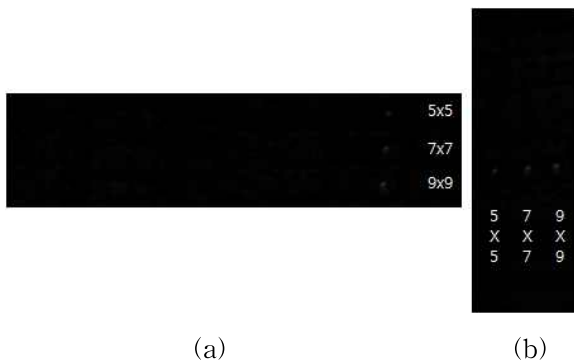
후보 표적들의 중심 좌표를 계산하는 방법은 차 연산 결과 영상에서 결정한 후보 화소와 배경 화소를 기준으로 이진화 과정을 거친다. 배경 화소들의 밝기 값은 0, 후보 화소들의 밝기 값은 255로 이진화가 가능하다. 이진화 결과 영상에서 glass-fire 알고리즘[10] 기반의 라벨링 기법[11]을 이용하여 화소 밝기 값이 255인 후보 화소들을 군집하여 후보 영역으로 군집시킨다. 라벨링은 <그림 4>와 같이 수행된다. 알고리즘의 탐색 방법은 좌에서 우로, 위에서 아래 방향으로 탐색한다. 이진화 영상에서 화소 밝기 값이 255인 화소가 나올 때 까지 탐색을 하며, 중복탐색을 피하기 위해 label map에 탐색한 위치의 번호를 매긴다. 이때



<그림 4> glass-fire 알고리즘 기반의 라벨링 수행방법

화소의 밝기 값이 0인 부분은 1로 번호를 부여한다. <그림 4(b)>와 같이 처음 밝은 화소를 만나면 좌표 스택에 좌표를 저장 후 label map에 번호를 부여하고 8-이웃을 검색한다. 8-이웃 중에 밝은 화소를 발견하게 된다면 label map의 번호를 확인한다. label map에 번호가 0이면 처음 탐색하는 화소이므로 화소 좌표를 좌표 스택에 저장하고 다시 8-이웃 화소를 검색한다. <그림 4(c)>와 같이 8-이웃 화소 중에 label map의 번호가 0이고 화소의 밝기 값이 255를 동시에 만족하는 화소가 없다면 좌표 스택에 있는 좌표를 하나씩 꺼내 해당 위치로 되돌아가 <그림 4(d)>와 같은 방법으로 탐색한다. 위와 같은 방법으로 label map에 모든 번호가 부여될 때까지 알고리즘을 수행한다. 라벨링 과정에서 <그림 4(a)>와 같이 각 후보 영역들의 top, bottom, left, right의 좌표들을 구할 수 있으며 4개의 좌표를 이용해 중심 좌표를 계산할 수 있다.

원 영상에서 사용할 각 후보 영역들의 중심 좌표를 구했지만 여전히 문제점이 생긴다. 모폴로지 연산의 열림 연산과 닫힘 연산은 영상의 좌측 상단부터 연산하기 때문에 결과 영상 자체가 좌측 상단으로 이동한다. <그림 5>는 모폴로지 기반의 차 연산 결과 영상이 구조 요소 크기에 따라 좌측 상단으로 이동한 모습을 단면적으로 잘라 연결한 영상이다. 중심 좌표는 모폴로지 연산을 이용한 차 연산 결과 영상에서 계산하였기 때문에 원 영상에 맞는 좌표로 변환하는 과정이 필요하다. 좌표를 보정하는 방법은 식 (9)을 이용하여 계산한다.



<그림 5> 구조 요소 크기에 비례하여 영상이 좌측 상단으로 이동한 결과

$$x = [(left + k - 2) + (right + k - 2)]/2 \quad (9)$$

$$y = [(top + k - 2) + (bottom + k - 2)]/2$$

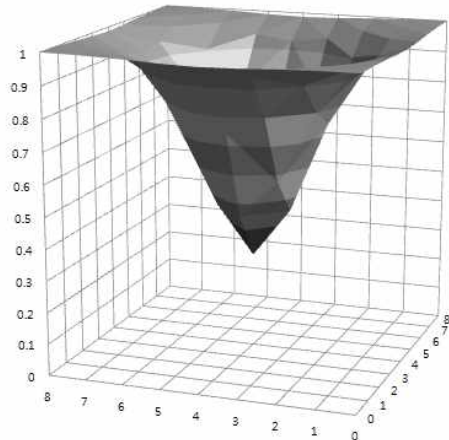
k 는 차 연산 수행을 수행 할 때 사용한 구조 요소 크기를 나타낸다.

2.2.5 확률적인 소형 표적 검출

확률적인 소형 표적 검출 방법은 가우시안 형태를 띠고 있는 표적 특성을 고려하여 가우시안 거리 함수를 변형해 사용한다.

기존의 가우시안 거리 함수는 식 (10)과 같다.

만약 기존의 가우시안 거리 함수를 이용해 소형 표적을 찾게 된다면 소형 표적의 화소 값의 비중이 표적의 주변 화소 값보다 커지게 된다. 그러므로 표적의 화소 값 비중은 줄이고 주변 화소 값의 비중을 늘리기 위해 <그림 6>과 같은 형태의 변형된 가우시안 거리 함수가 필요하다. 가우시안 함수 변형 식은 다음 식 (11)와 같이 변형한다.



<그림 6> 9×9 구조요소 크기의 크기를 가지는 제안한 가우시안 거리 함수

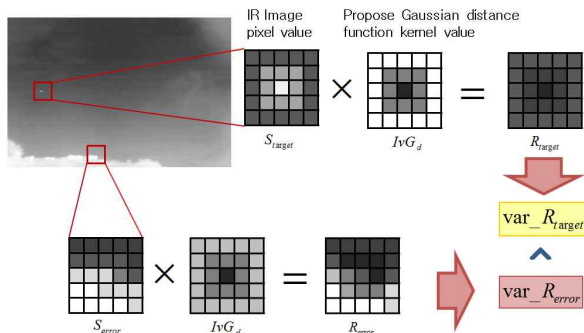
$$G_d(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} [(x-m)^2 + (y-n)^2]\right) \quad (10)$$

$$IvG_{k \times k}(x, y) = 1 - \lambda \times \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} [|x-m| + |y-n|]\right) \quad (11)$$

σ^2 는 1이며, m, n 은 구조 요소의 중심 좌표이다. k 는 차 연산을 수행 할 때 사용한 구조요소 크기를 나타낸다. λ 는 거리 가중치를 나타내는 매개변수이다. λ 는 $[0.1, 1]$ 사이의 값을 사용한다. λ 의 값이 커질수록 표적의 주변 화소 값의 비중을 크게 적용 시킬 수 있으며, λ 값이 작아질수록 표적의 화소 값의 비중을 크게 적용 시킬 수 있다.

제안한 식(11)의 가우시안 거리 함수 중심 값의 비중을 0으로 두면 표적 중앙값의 비중이 사라지게 되므로 표적 중심 화소 값의 의미가 없어진다. 그러므로 가우시안 거리 함수 중심 값의 크기를 조절하기 위해 $\frac{1}{2\pi\sigma^2}$ 을 λ 로 치환하고, λ 를 이용해 거리의 비중을 조절 하는 방법을 선택했으며, σ^2 을 1로 하는 표준 정규분포 형태를 사용한다. 가우시안 거리 함수 좌표 (x, y) 는 식 (12)와 같은 모습으로 이루어진다. 그러므로 중심 좌표 (m, n) 은 0 값을 가지게 된다.

$$\begin{pmatrix} -\frac{k}{2}, -\frac{k}{2} \\ \vdots \\ (0,0) \\ \vdots \\ \frac{k}{2}, \frac{k}{2} \end{pmatrix} \dots \begin{pmatrix} -\frac{k}{2}, \frac{k}{2} \\ \vdots \\ (0,0) \\ \vdots \\ \frac{k}{2}, \frac{k}{2} \end{pmatrix} \quad (12)$$



<그림 7> 제안하는 가우시안 거리 함수 구조 요소를 이용해 소형 표적을 찾는 방법

제안하는 가우시안 거리 함수를 이용해 소형 표적을 검출 하는 방법은 <그림 7>과 같다. 라벨링 과정에서 구한 후보 영역의 중심 좌표들을 이용해 원 영상에서 후보 영역들의 위치를 확인한다. 원 영상의 후보 영역 위치에 $IvG_{k \times k}(x, y)$ 를 곱한다. 이때 차 연

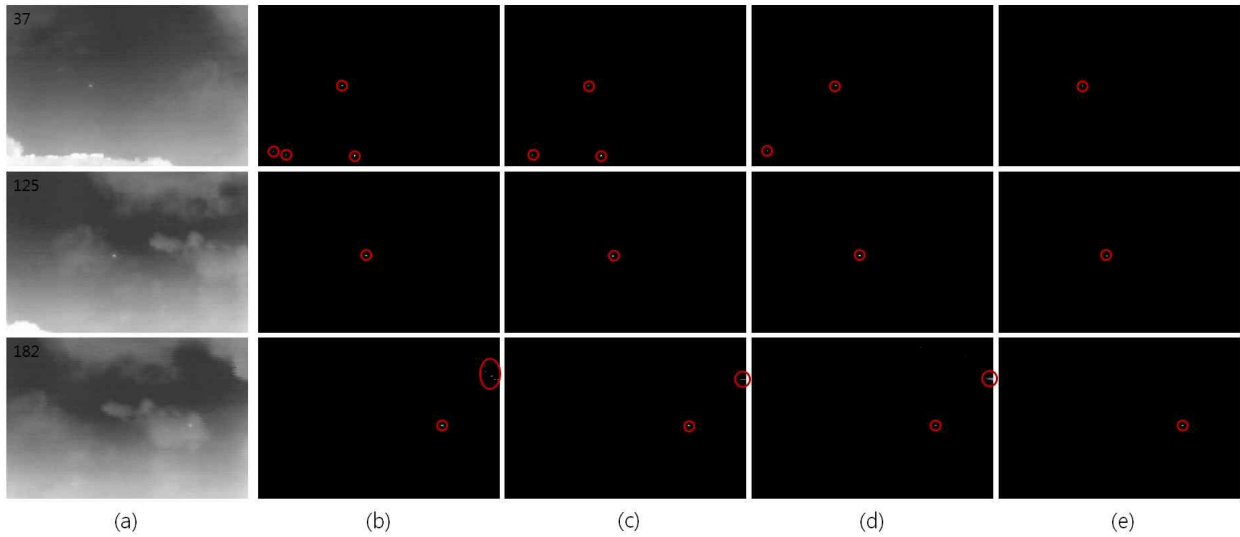
산을 수행 할 때 사용 했던 구조 요소 크기와 $IvG_{k \times k}(x, y)$ 의 k 의 크기는 같아야 한다. <그림 7>의 구조 요소 R_{target} 는 소형 표적 화소 값의 비중을 낮추고 배경 화소 값의 비중은 원 영상의 밝기 크기를 그대로 적용 시킨 모습이다. 배경이 표적 화소보다 어둡고, 표적의 밝기 값은 낮게 적용 시켰기 때문에 후보 영역이 표적인 경우에, 분산 차이가 작다. 반대로 R_{error} 는 구름 경계선 부분을 후보로 오인한 경우이다. 구조 요소의 중심 부분 화소 밝기 값의 비중이 낮아지고, 주변 화소 밝기는 원영상의 밝기 그대로를 사용하였기 때문에, 분산 차이를 구해보면 R_{target} 보다 크게 나온다. 즉, R_{target} 구조 요소 내의 분산을 구하게 되면 R_{error} 의 구조 요소 분산 보다 작아짐을 알 수 있다.

그러므로 후보 영역들 중 제안한 가우시안 거리 함수를 이용하여 분산 값이 가장 작은 영역이 표적이다. 또한 차 연산을 수행할 때 사용한 $a \times a, b \times b, c \times c$ 크기의 구조 요소 중에서 각각 찾은 R_{target} 의 분산 크기가 작은 구조요소를 최적의 구조 요소 크기로 선택한다.

3. 실험 및 결과 분석

본 실험의 영상 데이터는 움직이는 적외선 카메라를 이용해 지상에서 상공의 단일 소형 표적을 촬영한 360×240 크기의 211장의 영상을 사용 하였다. 실험은 Microsoft Visual Studio 2008 tool을 사용하였고 실험 환경은 AMD athlon 7750 Dual-core 2.70GHz, 메모리 3.00GB, Windows 7 32비트 운영체제에서 시행 하였다.

<그림 8>에서 첫 행의 영상은 211장중 37번째, 두 번째 행의 영상은 125번째, 세 번째 행의 영상은 182번째 영상이다. 211장중에서 37번 영상은 밝은 구름을 배경으로 가지며 소형 표적이 뚜렷하게 나타나는 영상이다. 125번 영상은 구름으로 인해 배경의 복잡도가 높은 영상을 대표하는 영상이고, 182번 영상은 소형 표적이 구름 뒤로 숨은 상황을 대표 하는 영상이다. <그림 8(b)>와 <그림 8(c)>는 5×5 구조 요소를 사용한 결과 이고 <그림 8(d)>는 초기 조건 $a=5, b=9, c=13$ 의 다층 구조 요소를 사용 하였다. 제안한 알고리



<그림 8> (a) 원 영상 (b) WTH 연산 결과 영상, (c) NWTH 연산 결과 영상 (d) 다층 구조 NWTH 연산 결과 영상, (e) 제안한 알고리즘 결과 영상

즘 <그림 8(e)>는 $a=5, b=7, c=9$ 구조 요소를 사용하였고 가우시안 거리 함수에서 $\lambda=0.7$ 를 사용하였다. 또한 <그림 8(b)-(e)>는 후보 화소들을 선출하기 위해 $0.7 \times \max_{k \times k}$ 를 사용한 결과이다. 37번과 182번 결과 영상 <그림 8(b)-(d)>는 소형 표적 외에도 구름 경계선을 표적으로 감지하는 오류를 발생 시킨다. 그러나 <그림 8(e)> 영상에서는 제안된 가우시안 거리 함수를 이용해 소형 표적 영역과 구름 경계 영역 중에서 확률 적으로 정확한 소형 표적을 검출하는 것을 볼 수 있다.

<표 1>은 기존의 방법들과 제안한 방법의 검출율과 검출 시간을 비교한 결과이다. 기존의 방법들과 비교하여 제안한 방법은 처리가 시간이 길지만 높은 검출율을 나타낸다.

<표 1> 검출 시간과 검출율

구 분	검출 시간 (clock/sec)	검출율(%)
WTH	0.006000	0.616114
NWTH	0.006000	0.635071
다층구조 NWTH	0.016000	0.834123
propose method	0.036000	0.985782

검출 시간은 영상 1장을 검출하는 시간을 측정한 것이며, 검출율은 211장에서 오류 없이 정확히 소형 표적을 찾은 결과를 측정한 것이다.

<그림 9>는 전처리 과정을 사용한 결과 영상과 하지 않은 결과 영상을 비교한 자료이다. <그림 9(a)-(c)>영상은 전처리 과정으로 미디언 필터를 사용하지 않고 모폴로지 연산을 하기 때문에 구름 경계선 부분이 클러터에 의해 손상된 모습이다. <그림 9(f)-(h)>영상은 미디언 필터를 사용하여 클러터를 제거한 후 모폴로지 연산을 하였기 때문에 배경과 구름 경계선 부분이 복원된 모습이다. <그림 9(j)>가 <그림 9(e)> 결과 보다 클러터 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 모폴로지 연산을 기반으로 소형 표적 후보를 찾고, 변형된 가우시안 거리 함수를 이용하여 표적을 검출하는 방법을 제안했다. 미디언 필터를 이용해 영상내의 클러터를 제거하고, 다양한 크기의 구조 요소를 이용해 닫힘 연산과 열림 연산을 수행하고, 닫힘 연산 결과와 열림 연산 결과를 차 연산 하여 표적 후보 화소를 구한다. 다음으로 후보 화소들을 라벨링하여 후보 영역을 만들고, 영역들의 중심 좌표를

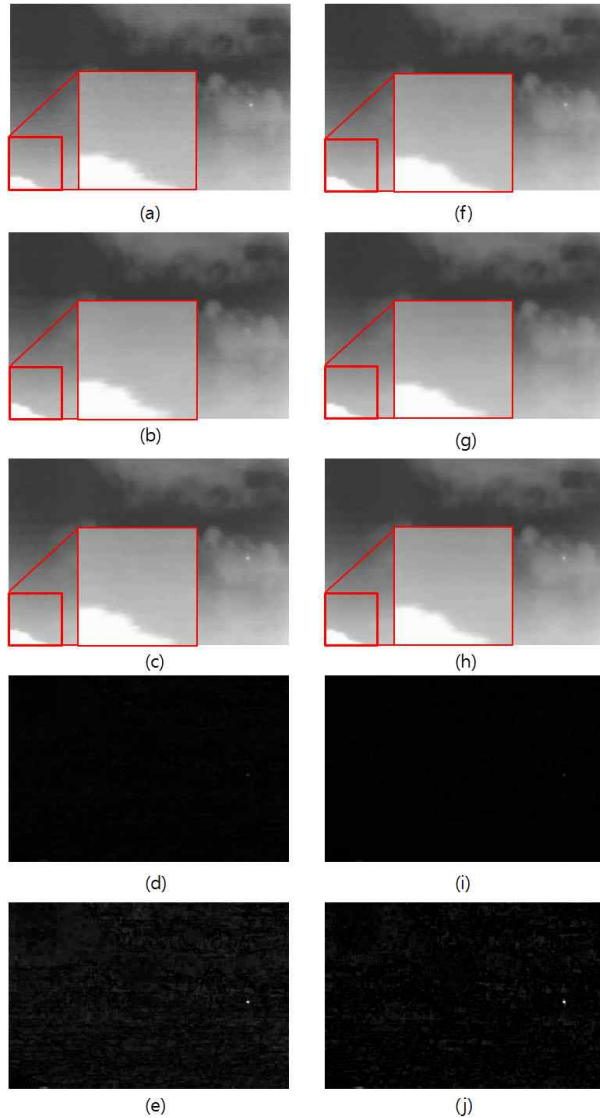
계산한다. 중심 좌표를 가지고 원 영상에서 가우시안 거리 함수를 이용해 후보 영역들 중에서 확률적으로 표적에 가까운 영역을 검출 한다.

미디언 필터에 의해 클러터가 제거된 영상을 이용해 모폴로지 연산을 수행하므로, 기존 모폴로지 연산

들에 비하여 클러터에 덜 민감하고, 다층 구조 요소를 사용하여 모폴로지 연산을 하였기 때문에 표적에 맞는 구조 요소를 찾는다. 그리고 가우시안 거리 함수를 이용해 표적의 형태를 고려하기 때문에, 보다 정확한 표적을 검출 한다. 하지만, 많은 연산량으로 인해 기존의 방법들보다 처리 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 표적 위치를 예측해서 검출 영역을 줄이는 방법을 연구 중에 있다.

참 고 문 헌

- [1] H. Sang, X. Shen, C. Chen, "Architecture of a Configurable 2-D Adaptive Filter Used for Small Object Detection and Digital Image Processing," *Opt. Eng.* 42(8), pp. 2182-2189, 2003.
- [2] M. Hadhoud, D. Thomas, "The two-dimensional adaptive LMS (TDLMS) algorithm," *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, vol. 35, pp.485-494, 1988.
- [3] C. Gonzalez, R. Woods, "Digital Image Processing Third Edition," Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2008.
- [4] X. Bai, F. Zhou and Y. Xie, "New class of top-hat transformation to enhance infrared small targets", *Journal of Electronic Imaging*, vol. 17, No. 3, pp. 0305011-3, 2008.
- [5] X. Bai, F. Zhou, "Analysis of new top-hat transformation and the application for infrared dim small target detection," *Pattern Recognition*, vol. 43, pp.2145 - 2156, 2010.
- [6] X. Bai, F. Zhou, "Infrared small target enhancement and detection based on modified top-hat transformations," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 36, pp.1193-1201, 2010.
- [7] 김병익, 배태욱, 김영춘, 안상호, 김덕규, "적외선 영상에서 다층 구조 요소 NWTHT 변환을 이용한 소형 표적 검출 방법," *한국정보기술학회 논문지*, 제9권, 제7호, pp.57-64, 2011.
- [8] 배태욱, "공간 적응 LMS 필터 및 시간적 프로파일을 이용한 적외선 영상 소형 표적 검출," *경북대학교 대학원*, 2010.
- [9] 유돈국, 이종구, 정재영, "모폴로지 연산을 이용한



<그림 9> (a) 원 영상, (b) (a)의 열림 연산 결과 영상, (c) (a)의 닫힘 연산 결과 영상, (d) (b)와 (c)의 차 연산 결과 영상, (e) (d)의 정규화 영상, (f) 미디언 필터 결과 영상, (g) (f)의 열림 연산 결과 영상, (h) (f)의 닫힘 연산 결과 영상, (i) (g)와 (h)의 차 연산 결과 영상, (j) (i)의 정규화 영상

- 자동차 영상에서의 고속의 번호판 추출,” 한국산업 정보학회 논문집, 제 7권, 제 1호, pp.343-347, 2002.
- [10] 나중원, “얼굴영역 검출의 개선을 위한 조명 보정,” 전남대학교 대학원, 2009.
- [11] 서병훈, 김병만, 문창배, 신윤식, “그림자가 있는 차량 번호판의 이진화,” 한국산업정보학회 논문지, 제 13권, 제 14호, pp.1-13, 2008.



김 상 균 (Sang-Kyoon Kim)

- 정회원
- 경북대학교 통계학과 이학사
- 경북대학교 컴퓨터공학과 공학석사
- 경북대학교 컴퓨터공학과 공학박사
- 인제대학교 공과대학 컴퓨터공학부 교수
- 관심분야 : 패턴인식, 컴퓨터 비전



박 준 재 (Jun-Jae Park)

- 학생회원
- 인제대학교 컴퓨터공학부 공학사
- 인제대학교 컴퓨터공학과 석사과정
- 관심분야 : 패턴인식, 컴퓨터 비전

논문 접수 일 : 2012년 08월 01일
 1차수정완료일 : 2012년 08월 15일
 게재 확정 일 : 2012년 08월 17일



안 상 호 (Sang-Ho Ahn)

- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 공학사
- 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 경북대학교 전자공학과 공학박사
- 인제대학교 공과대학 전자지능로봇공학과 교수
- 관심분야 : 영상공학, 로봇공학, IRCM, 적외선 영상처리



김 종 호 (Jong-Ho Kim)

- 정회원
- 인제대학교 전산학과 이학사
- 인제대학교 전산학과 전산학석사
- 인제대학교 전산학과 전산학박사
- 관심분야 : 패턴인식, 컴퓨터 비전