

밝기 차, 유사성, 근접성을 이용한 적응적 표적 검출 알고리즘

이 은 영*, 구 은 혜*, 유 현 정**, 박 길 흠^o

Adaptive Target Detection Algorithm Using Gray Difference, Similarity and Adjacency

Eun-young Lee*, Eun-hye Gu*, Hyun-jung Yoo**, Kil-houm Park^o

요 약

적외선 탐색 및 추적 시스템에서 원거리에 표적이 존재할 경우 표적의 크기가 매우 작고, 해무와 같은 클러터와 다양한 센서 잡음으로 인해 표적의 검출이 매우 어렵다. 특히 표적의 화소 값과 유사한 잡음이나 클러터가 존재하는 경우 일반적인 임계화 기법을 적용하는 경우 표적의 오검출 위험이 매우 높다. 이러한 이유로 본 논문에서는 영상의 밝기 정보와 표적에 대한 사전 정보를 이용하여 최적의 표적 검출 결과를 도출하기 위한 적응적 임계화 기법을 제안한다. 소형 표적을 강조하기 위하여 인간 시각 시스템을 반영한 CSF(Contrast Sensitivity Function)를 적용하고, 표적이 강조된 영상에서 영상의 밝기 정보와 거리 정보를 이용하여 표적을 검출한다. 다양한 환경 조건에서 획득된 적외선 영상에 대한 실험 결과들은 제안 알고리즘의 건실한 성능을 보여준다.

Key Words : IR(infrared) image, Target detection, Gray difference, Similarity, Adjacency

ABSTRACT

In IRST(infrared search and track) system, the small target detection is very difficult because the IR(infrared) image have various clutter and sensor noise. The noise and clutter similar to the target intensity value produce many false alarms. In this paper. We propose the adaptive detection method which obtains optimal target detection using the image intensity information and the prior information of target. In order to enhance the target, we apply the human visual system. we determine the adaptive threshold value using image intensity and distance measure in target enhancement image. The experimental results indicate that the proposed method can efficiently extract target region in various IR images.

I. 서 론

적외선 탐색 및 추적(infrared search and track; IRST) 시스템은 적외선 센서를 이용해 원거리에 존

재하는 적의 표적을 탐지하고 위험을 감지하여 대응하는 시스템이다^{1,2}. IRST 시스템은 크게 적외선 센서(sensor)를 이용한 영상 획득, 표적 탐지, 표적 검출, 그리고 표적 추적의 단계로 나누어진다. 여기

※ 본 연구는 국방과학연구소 “대함유도탄 방어 유도탄 체계개발 연구” 과제의 지원(계약번호:UD110024FD)을 통해 수행되었습니다.

※ 이 논문은 2013(2014)학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었습니다.

• 주저자 : 경북대학교 전자공학부 영상신호처리 연구실, leyoung2@ee.knu.ac.kr, 학생회원

◦ 교신저자 : 경북대학교 전자공학부 영상신호처리 연구실, khpar@ee.knu.ac.kr, 종신회원

* 경북대학교, ehgu@ee.knu.ac.kr

** 국방과학연구소, hjyoo@add.re.kr

논문번호 : KICS2013-07-281, 접수일자 : 2013년 7월 3일, 최종논문접수일자 : 2013년 7월 24일

서 표적 검출은 표적내의 중심을 찾는 것을 의미하며, 표적 검출의 정확도는IRST 시스템의 성능을 좌우한다^{3,4)}.IRST 시스템에서 획득된 적외선 영상은 표적이 10km이상의 원거리에서 접근하는 경우 그 크기가 매우 작고, 적외선 센서 잡음 및 다양한 클러스터의 영향을 많이 받는다. 또한 적외선 영상은 표적이 위치한 환경적인 요인에 따라 화소 값의 분포가 다양하게 변하고, 표적 내부에서도 온도 분포가 일정하지 않으므로 화소 값의 분포가 다양하게 나타난다.

적외선 영상으로부터 표적 영역을 분할하는 대표적인 알고리즘으로 Otsu 알고리즘^{5,6)}과 슈퍼슬라이스(Superslice)⁷⁾ 알고리즘이 있다. Otsu 알고리즘은 일반적으로 표적과 배경은 각각 유사한 밝기 분포를 가지므로 영상의 화소 값 분포는 각 영역에 대하여 두 개의 정규분포가 나타난다고 가정하고, 두 개의 정규분포 사이의 계곡(valley)이 가장 낮은 곳을 임계값으로 설정한다. 따라서 Otsu 알고리즘은 두 영역에 대한 분포와 그 사이의 계곡이 뚜렷할수록 최적의 임계값을 획득할 수 있다. 이는 각 영역 내의 분산은 최소이고, 두 영역 사이의 분산은 최대인 경우를 의미한다. 그러나 본 논문에서 고려하는 적외선 영상은 배경에 비해 표적이 매우 작고, 배경 영역에 많은 센서 잡음 및 클러스터가 존재함으로 각 영역에 대한 분포가 명확하게 구분되지 않으므로 적절하지 않다.

슈퍼슬라이스 알고리즘은 임계화 기법과 윤곽선 추출 기법을 결합한 것으로서 입력 영상에 대하여 윤곽선을 추출한 후 윤곽선과 분할된 영역의 경계선이 가장 일치되는 임계값을 찾는 방법이다. 슈퍼슬라이스 알고리즘은 표적 내 다양한 밝기 값들과 복잡한 배경을 포함한 경우 단순 임계화 방법보다 우수한 성능을 보인다. 반면 본 논문의 표적은 앞서 언급한 바와 같이 표적의 크기가 매우 미소하므로 표적 영역에 대한 윤곽선을 추출하는 것은 사실상 불가능하다. 또한 최적의 임계값을 결정하기 위하여 무수히 많은 반복 연산을 수행해야함으로 실시간 처리 속도를 요구하는 표적 추적 시스템에 적용하기에 어려움이 따른다.

본 논문에서는 표적의 크기가 작고, 클러스터 및 센서 잡음이 존재하는 적외선 영상에서도 신뢰도 높은 표적 검출 알고리즘을 제안한다. 제안 방법은 표적을 강조하기 위하여 인간 시각 시스템의 CSF⁸⁾를 적용하여 영상을 개선하고, 표적이 강조된 영상에서 밝기 차와 유사성 및 근접성을 이용하여 표적

을 검출한다. 표적 영역은 표적 주변의 배경 영역에 비해 밝기 값이 크므로, 평균과의 차가 큰 화소들을 표적 영역에 속하는 화소들로 검출한다. 그리고 이들 화소들에 대해 유사성과 근접성 척도를 이용해서 표적을 검출한다. 한편 제안 방법은 평균, 표준편차 등의 간단한 연산을 이용하므로 실시간 처리가 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장을 통하여 본 논문에서 제안하고자하는 표적 검출 알고리즘을 설명한다. 3장에서는 기존 연구와의 비교를 통하여 제안 방법의 우수한 성능을 검증하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

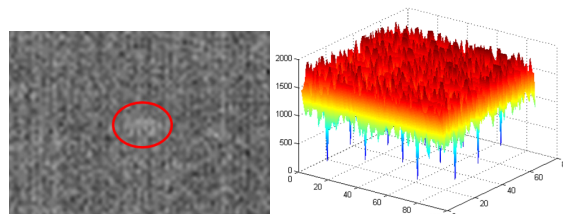
II. 본론

2.1. CSF를 이용한 표적 강조

적외선 영상은 다양한 센서 잡음 및 클러스터를 포함하고 있어 실제 표적과 유사한 화소값을 가지는 영역이 존재한다. 이러한 경우, 견실한 표적 분할 결과 도출을 위해 표적을 강조하면서 배경의 클러스터와 잡음을 억제할 수 있는 전처리 단계가 필요하다. 본 논문에서는 표적을 강조하고, 영상을 개선시키기 위하여 인간 시각 시스템의 CSF를 적용하였으며, CSF의 전달 함수는 식 (1)과 같이 표현한다.

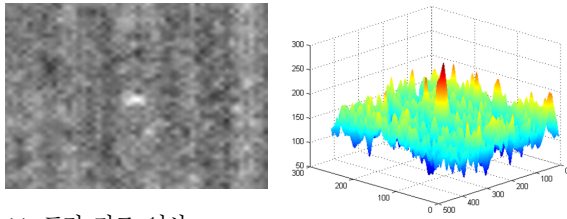
$$H(f) = 2.6(0.192 + 0.114f)\exp(-(0.114f)^{1.1}) \quad (1)$$

그림 1은 적외선 영상과 CSF를 적용하여 표적을 강조한 영상을 나타낸다. 그림 1(a)와 (b)에서는 배경 영역에 많은 양의 해무, 구름, 그리고 세로 패턴 형태의 적외선 센서 잡음을 확인할 수 있고, 표적의 밝기 값이 배경의 밝기 값과 유사함을 알 수 있다. 그림 1(c)와 (d)에서는 CSF를 이용하여 표적 영역을 강조하고, 배경 영역의 클러스터와 센서 잡음을 억제시킴으로서 영상 개선이 이루어졌음을 알 수 있다.



(a) 원 영상
(a) Original image

(b) (a)의 3차원 그래프
(b) 3D graph of (a)



(c) 표적 강조 영상
(c) Target enhancement image (d) (c)의 3차원 그래프
(d) 3D graph of (c)

그림 1. 원영상과 표적 강조 영상
Fig. 1. Original image and target enhancement image.

2.2. 밝기 차, 유사성, 근접성을 이용한 표적 검출

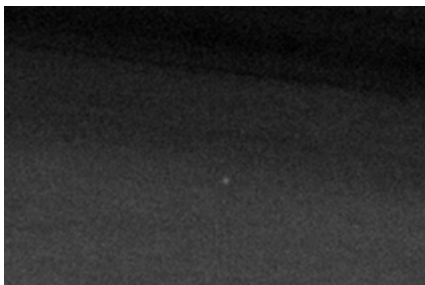
적외선 영상의 밝기 분포는 아래의 그림 2와 같이 나타난다.

표적 영역은 배경 영역에 비하여 밝기 값이 크게 나타나므로, 그림 2(b)의 히스토그램에서 오른쪽 가장자리에 속하는 화소들로 이루어진다. 즉 평균과의 차가 클수록 표적 영역에 포함된 화소일 가능성이 높으므로, 평균과 표준편차를 이용하여 표적 화소들을 검출할 수 있다. 본 논문에서는 식 (2)의 문턱값 TH_k 를 제안하고, TH_k 보다 큰 값을 가지는 화소를 표적 화소로 검출한다.

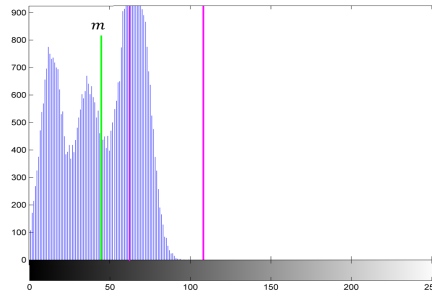
$$TH_k = m + k\sigma \quad (2)$$

여기서 m 과 σ 는 각각 영상의 평균 밝기 값과 표준 편차를 나타내며, k 는 영상에서 표적을 차지하는 비율을 결정하는 상수이다.

표적의 밝기 값이 배경에 비해 상당히 큰 영상 $I(x,y)$ 에 대하여 표적 크기에 따라 결정된 k 를 이용하여 식 (3)과 같이 표적 영상 $I_T(x,y)$ 를 검출할 수 있다.



(a) 원 영상
(a) Original image.



(b) 원 영상의 히스토그램
(b) Histogram of original image.

그림 2. 적외선 영상의 밝기 분포
Fig. 2. Intensity distribution of IR image.

$$I_T(x,y) = \begin{cases} 255, & I(x,y) \geq TH_k \\ 0, & I(x,y) < TH_k \end{cases} \quad (3)$$

식 (2)를 이용하여 분할된 표적은 k 값에 따라 그 영역이 다르게 나타난다. 그림 3은 그림 2(a)의 원 영상에 대하여 k 값이 변화함에 따라서 선택되는 영역을 히스토그램으로 나타내었으며, 그림 4는 검출된 영역을 보여준다.

그러나 표적의 밝기 값이 배경의 밝기 값과 유사한 경우 표적의 크기에 따라 k 값을 결정하면 배경 영역의 잡음 영향으로 인해 표적 영역의 화소들뿐만 아니라 배경 영역의 화소들도 검출되는 문제가 발생한다. 높은 값의 k 에 의해 검출된 화소들은 낮은 값의 k 에 의해 검출된 화소들에 비해 표적 영역에 포함될 확률이 높다. 따라서 본 논문에서는 다수의 $k(k, l = 0, 1, 2, \dots)$ 를 크기순으로 사용하여 반복적으로 표적을 검출한다.

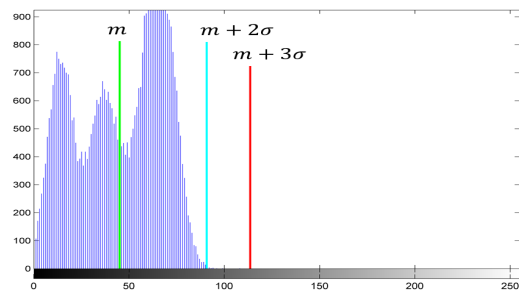


그림 3. k 값에 의한 검출 영역의 변화
Fig. 3. Change of the detection area by k value.

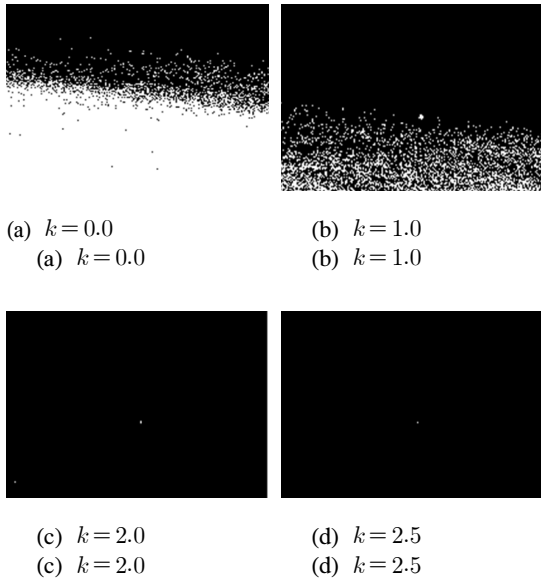


그림 4. 그림 2(a) 영상의 k 값에 따른 검출된 영역
 Fig. 4. The detection regions by k for Fig. 2(a) image.

- 초기화 과정 : 영상 $I(x,y)$ 에서 가장 큰 값의 k 인 k_0 을 이용하여 검출된 화소들을 참조 영역으로 설정한다. 이때 참조 영역을 설정하기 위한 문턱 값 TH_{k_0} 와 참조 영역 영상은 아래의 식 (4)와 (5)과 같이 결정한다.

$$TH_{k_0} = m + k_0\sigma \quad (4)$$

$$I_T(x,y) = \begin{cases} 255, & I(x,y) \geq TH_{k_0} \\ 0, & I(x,y) < TH_{k_0} \end{cases} \quad (5)$$

여기서, m 과 σ 은 영상의 평균 밝기 값과 표준편차를 의미하며, k_0 는 영상의 최대 화소 값에 가장 근접한 문턱 값 TH_{k_0} 를 설정하는 값이다. 이때 영상의 최대 화소 값에 가장 근접한 문턱 값에 의해 검출되는 화소가 존재하지 않으면 검출되는 화소가 존재할 때까지 감소된 k_0 값을 설정한다.

- 최적화 과정 : 획득된 참조 영역을 기준으로 다음 단계의 $k_l (l=1,2,\dots)$ 에 의해 검출된 화소들을 표적 영역으로 포함시킬 것인지 판단한다. 먼저 k_l 의 값에 의해 검출된 화소들에 대하여 참조 영역의 화소들과의 유사성과 근접성을 판단한다. 유사성은 검출된 화소 g 의 화소 값 $I(g)$ 와 참조 영역 내 화소들의 평균 밝기 값 h 와 얼마나 유사한지를 나타내는 척도이며, 식 (6)와 같이 정의한다.

$$L(g,h) = 1 - \frac{I(g)-h}{b} \quad (6)$$

여기서, b 는 유사성 척도 $L(g,h)$ 가 0과 1사이의 값을 가지도록하기 위한 상수이다. 검출된 화소와 참조 영역의 평균값이 유사할수록 해당 화소 g 는 표적 영역에 포함될 가능성이 높다. 하지만 배경 영역에 유사한 값을 가지는 화소가 존재하므로 이러한 문제점을 해결하기 위하여 근접성 정보를 이용한다. 검출된 화소 g 의 좌표와 참조 영역의 무게 중심을 각각 (x,y) , (x',y') 이라고 할 때, 두 지점 간의 거리가 가까울수록 높은 값을 가지도록 아래의 식 (7)과 같이 근접성 척도를 설정한다.

$$D(g) = \max(|x-x'|, |y-y'|) \quad (7)$$

참조 영역을 기준으로 화소 값의 유사성과 근접성 척도를 이용하여 검출된 화소가 표적 영역에 속하는지를 판단하고, 표적 영역으로 결정된 화소의 개수 T_{k_l} 을 결정한다. 검출된 화소를 표적 영역으로 판단하는 기준은 아래와 같다.

$$L(g,h) \geq TH_L \text{ and } D(g) \leq TH_D \quad (8)$$

여기서, TH_L 과 TH_D 는 표적 영역을 검출하기 위한 각 척도의 문턱 값이다. 표적 영역으로 결정되는 화소의 개수 T_{k_l} 이 표적의 크기 S 와 동일해지는 최적의 k_l 을 결정할 때까지 최적화 과정을 반복한다.

알고리즘의 실행 시간 단축과 정확도를 향상시키기 위하여 k_l 값을 결정하는 방법은 다음과 같다. 초기 k_0 부터 검출된 표적 개수가 $S-\lambda$ 개가 되는 m 번째 단계의 k_m 까지는 각 단계별 k 값의 변화량을 크게 설정한다. k_m 에 의해 표적의 대략적인 형태가 검출된 이후에 정확하게 표적을 검출하기 위하여 $m+1$ 번째 단계부터 k 값의 변화량을 초기 변화량보다 세밀하게 설정하여 표적을 검출한다. 초기 k 값의 변화량은 표적을 검출하기 위한 대략적인 k_m 값을 결정함으로써 알고리즘의 실행 시간을 감소시킨다. 이후 세밀한 간격을 가지도록 조정된 k 값의 변화량을 이용하여 정확한 표적을 검출하기 위한 최적의 k 을 결정한다.

- 검출 과정 : 앞 장에서 표적 검출은 표적 영역 내의 중심을 검출하는 것으로 정의하였다. 따라서 본 검출 과정에서는 최적화 과정을 통해 최

중적으로 검출된 표적 영역의 무게 중심 (\bar{x}, \bar{y}) 를 아래의 식 (9)과 같이 정의하고, 최종 표적 검출 결과로 판단한다.

$$\bar{x} = \frac{1}{S} \sum_{(x,y) \in T} x, \quad \bar{y} = \frac{1}{S} \sum_{(x,y) \in T} y \quad (9)$$

이때 T 는 최적화 과정을 통해 검출된 표적 영역을 의미한다. 또한 x 와 y 는 각각 표적 영역 T 에 속한 화소들의 좌표 위치를 나타낸다.

아래의 그림 5는 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

III. 실험 및 고찰

실험에 사용된 영상은 실제 획득한 배경에 모의 표적을 삽입함으로써 생성되었으며, 실험 환경은 CPU Intel (R) Core i5 @2.67GHz, RAM 4GB이다. 식 (8)의 문턱 값 TH_L 과 TH_D 는 각각 실험에 의하여 0.8과 0.5로 설정하였으며, λ 는 표적 개수 S 의 20%로 설정하였다.

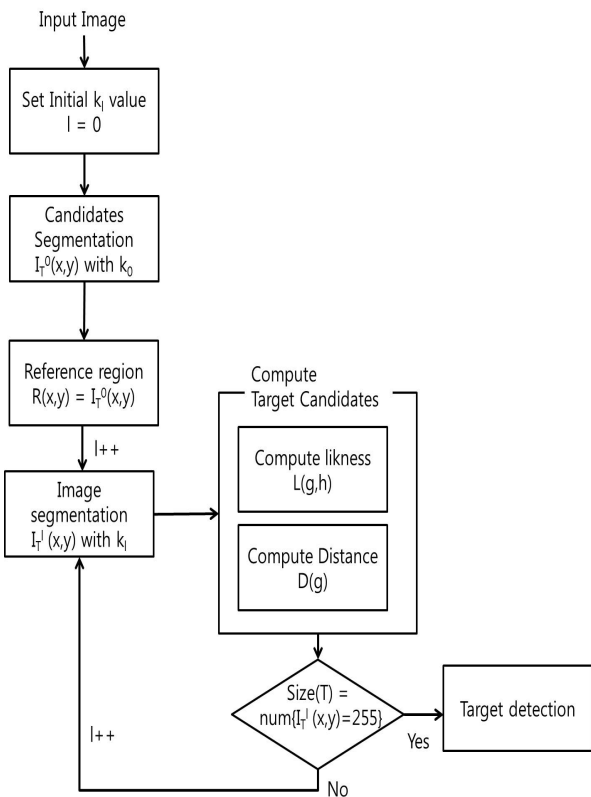


그림 5. 제안 알고리즘의 흐름도
Fig. 5. Flow chart of proposed method.

그림 6과 그림 7, 그림 8은 배경 영역이 균일하고 비교적 적은 잡음을 포함한 세 종류의 영상에 알고리즘을 적용한 결과이다. 그림 6(a)는 표적이 포함된 원 영상을 나타내며, 그림 6(b)는 원 영상에 CSF를 적용하여 표적을 강조한 영상이다. 그림 6(c)와 그림 6(d)는 Otsu 알고리즘과 제안 알고리즘을 적용한 결과 영상을 나타낸다. 그림 6(e)는 그림 6(d)의 검출된 표적 영역을 확대하여 검출된 표적 영역의 무게 중심과 Ground Truth를 표현하였다. 녹색의 십자 표시는 사람이 표적 영역의 중심을 표시한 Ground Truth를 나타내며, 붉은색의 십자 표시는 알고리즘의 결과를 나타낸다. 두 알고리즘 모두 표적 영역을 검출하였으나 Otsu 알고리즘은 배경 영역의 높은 화소 값을 가지는 영역에서의 과검출이 발생하였다.

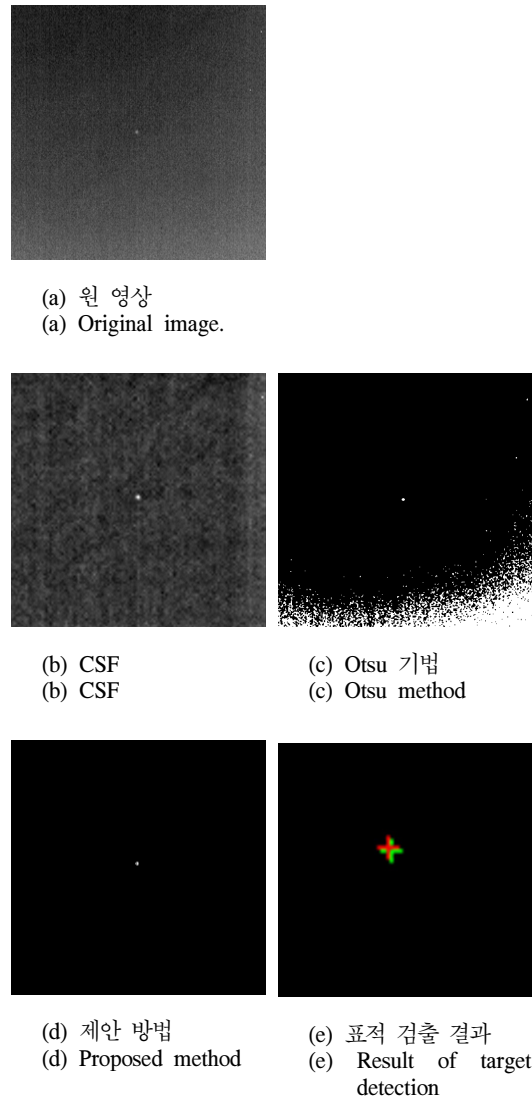


그림 6. 표적 검출 결과
Fig. 6. Target detection result.

이에 비하여 제안 알고리즘은 표적이 강조된 영상으로부터 표적 영역을 정확히 검출하였음을 확인할 수 있다. 그림 7과 그림 8의 두 영상에서도 그림 6과 동일한 결과를 보여준다.

그림 9와 그림 10은 잡음이 극심한 영상에 제안 방법과 Otsu 알고리즘을 적용한 결과이다. 극심한 잡음 배경에 포함된 표적 검출에 있어서 기존의 Otsu 알고리즘은 배경 영역의 클러스터와 센서 잡음의 영향으로 표적만을 정확히 검출하는 것이 매우 어렵다. 그에 비해 제안 방법이 기존의 Otsu 알고리즘에 비해 정확한 표적 영역만을 검출함으로써 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

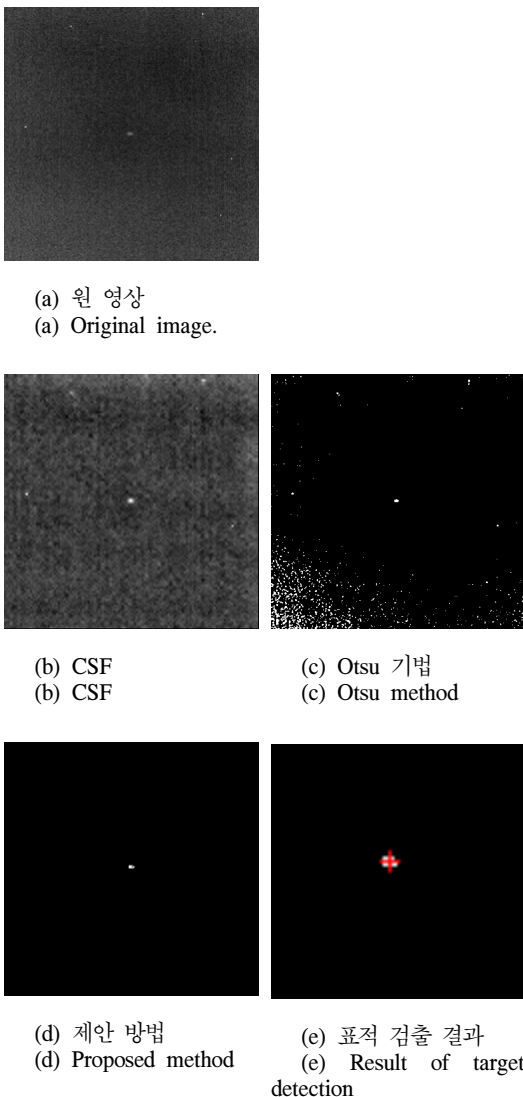


그림 7. 표적 검출 결과
Fig. 7. Target detection result.

표 1은 실험 결과 영상에 대한 알고리즘 반복 횟

수, 결정된 최적의 k 값과 표적 검출 오차를 비교하여 나타내었다. 각 영상마다 최적의 k 값을 적응적으로 결정하였고, 이에 따라 Ground Truth와의 표적 검출 오차가 적음을 알 수 있다.

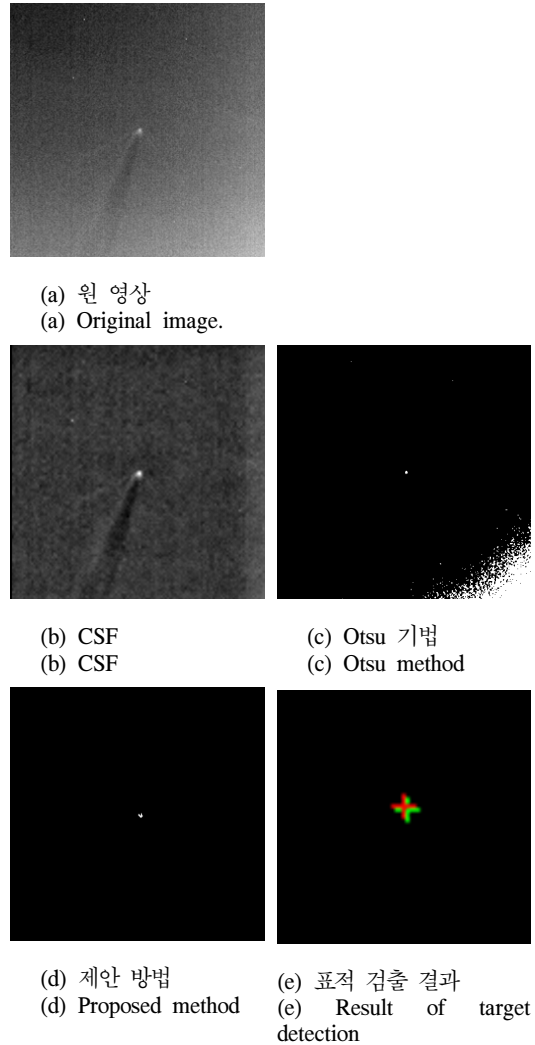
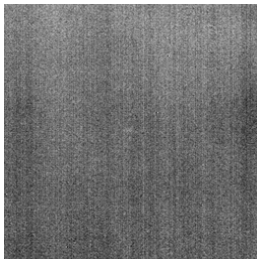


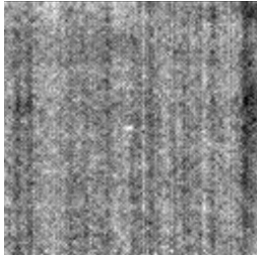
그림 8. 표적 검출 결과
Fig. 8 Target detection result.

표 1. 실험 영상에 대한 결과 비교
Table 1. Result comparison for experiment images

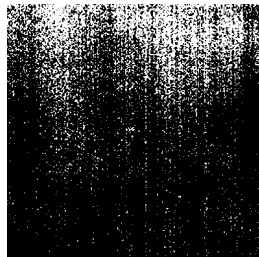
	The number of iterations	Optimal value of k	Detection error (px)
Fig. 6	21	4.47	0.00
Fig. 7	18	4.20	1.41
Fig. 8	18	11.38	1.41
Fig. 9	7	2.15	2.83
Fig. 10	9	2.30	4.00



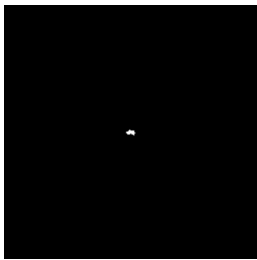
(a) 원 영상
(a) Original image.



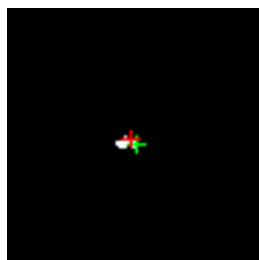
(b) CSF
(b) CSF



(c) Otsu 기법
(c) Otsu method



(d) 제안 방법
(d) Proposed method

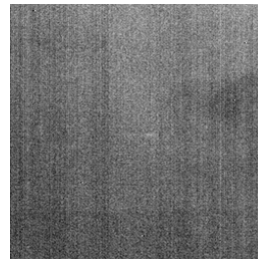


(e) 표적 검출 결과
(e) Result of target detection

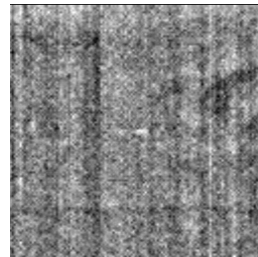
그림 9. 극심한 잡음을 포함한 영상의 표적 검출 결과
Fig. 9. Target detection result with heavy noise..

IV. 결 론

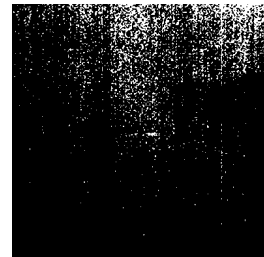
본 논문에서는 적외선 영상에 포함된 소형 표적을 검출하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 잡음이 포함된 원 영상을 개선하기 위하여 전처리로 CSF를 적용함으로써 표적 검출이 용이한 영상으로 개선하였다. 또한 원 영상의 히스토그램의 통계적 정보와 표적의 크기 정보를 이용하여 최적의 임계값을 설정하기 위하여 초기 임계화 결과로부터 표적의 중심을 계산한다. 이후 표적 후보군과의 거리 계산을 통하여 잡음을 제거하고 적응적인 표적 검출이 가능하도록 하였다. 기존 알고리즘과의 비교를 통하여 제안 알고리즘이 기존의 표적 분할 알고리



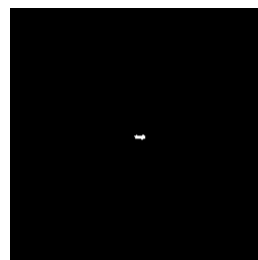
(a) 원 영상
(a) Original image.



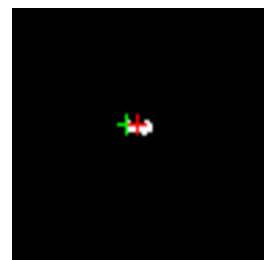
(b) CSF
(b) CSF



(c) Otsu 기법
(c) Otsu method



(d) 제안 방법
(d) Proposed method



(e) 표적 검출 결과
(e) Result of target detection

그림 10. 극심한 잡음을 포함한 영상의 표적 검출 결과
Fig. 10. Target detection result with heavy noise..

즘에 비하여 효과적으로 표적을 분할 및 검출함을 보였다. 또한 제안 알고리즘으로부터 획득된 표적의 중심과 Ground Truth와의 비교를 통하여 제안 알고리즘의 우수한 성능을 증명하였다.

References

- [1] S. H. Kim and J. H. Lee, "Scale Invariant Small target Detection by Optimizing signal to Clutter Ratio in Heterogeneous Background for Infrared Search and Track," Pattern Recognition, pp. 393-406, 2012.
- [2] R. C. Warren, "A Bayesian Track-before-Detect Algorithm for IR Point

Target Detection,” Weapons Systems Division, 2002.

- [3] Oober M. Harallick and Linda G. shapiro, “Survey of Image Segmentation Techniques,” Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol. 29, no. 2, pp. 100-132, 1985.
- [4] B.Bhanu, “Automatic Target Recognition: State of the Art Survey” IEEE Trans. Perps. Electron. syst., vol. 22, No. 4, pp. 364-379, 1981.
- [5] M. Sezgin and B. Sankur, “Survey over image thresholding techniques and quantitive performance evalution,” Journal of Electronic Imaging 13, pp. 146-165, 2004.
- [6] Z. X. Li and S. W. Kim, “A Multi-thesholoding Approach Improved with Otus’s Method,” Journal of The institute of electronics engineers of korea, vol. 43, No. 5, pp. 29-37, 2006.
- [7] R. L. Hartket, L. J. Kitchen, C. Y. Wang and A. Rosenfeld, “Segmentation of FLIR images : A comparatives study” IEEE Trans. PAMI, vol. 12, No. 4, pp. 553-566, 1982.
- [8] F.W. Campbell and J.G. Robson, “Application of Fourier analysis to the Visibility of Gratings,” The Journal of Physiology, vol. 197, pp. 551-566, 1968.

이 은 영 (Eun-young Lee)



2008년 2월 동아대학교 전기
전자컴퓨터학부 졸업
2011년 2월 경북대학교 전자
전기컴퓨터학부 석사
2011년 3월~현재 경북대학교
전자공학부 박사과정
<관심분야> 영상신호처리, 패

턴인식, 컴퓨터 비전

구 은 혜 (Eun-hye Gu)



분할

2009년 2월 안동대학교 컴퓨
터 공학과 졸업
2011년 2월 경북대학교 전자
전기컴퓨터학부 석사
2011년 3월~현재 경북대학교
전자공학부 박사과정
<관심분야> 패턴인식, 표적

유 현 정 (Hyun-jung Yoo)



학

2009년 2월 한국해양대학교
제어자동화공학과 졸업
2011년 2월 한국해양대학교
제어계측공학 석사
2011년 6월~현재 국방과학연
구소 연구원
<관심분야> 전자공학, 제어공

박 길 흠 (Kil-houm Park)



전자공학부 교수
<관심분야> 영상신호처리, 패턴인식, 영상압축

1982년 2월 경북대학교 전자
공학과 졸업
1984년 2월 한국과학기술원
전자공학과 석사
1990년 2월 한국과학기술원
전자공학과 박사
1990년 3월~현재 경북대학교