

배경 적응적 문턱치 맵(Threshold Map)을 이용한 클러터 제거 기법

김지은^{*,1)} · 양유경¹⁾ · 이부환¹⁾ · 김연수¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제3기술연구본부

Clutter Rejection Method using Background Adaptive Threshold Map

Jieun Kim^{*,1)} · Yu Kyung Yang¹⁾ · Boo Hwan Lee¹⁾ · Yeon Soo Kim¹⁾

¹⁾ The 3rd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 12 December 2013 / Revised 10 March 2014 / Accepted 29 March 2014)

ABSTRACT

In this paper, we propose a robust clutter pre-thresholding method using background adaptive Threshold Map for the clutter rejection in the complex coastal environment. The proposed algorithm is composed of the use of Threshold Map's and method of its calculation. Additionally we also suggest an automatic decision method of Thresold Map's update. Experimental results on some sets of real infrared image sequence show that the proposed method could remove clutters effectively without any loss of detection rate for the aim target and reduce processing time dramatically.

Key Words : Clutter Rejection(클러터제거), Threshold Map(문턱치 맵), Small Target Detection(소형 표적 탐지), Background Estimation(배경 예측)

1. 서론

적외선 탐색 및 추적장비(IRST : Infrared Search and Track)는 함정을 향해 원거리에서 진입하는 저고도 대함 미사일을 포함한 소형 위협표적을 자동으로 탐지/추적하여 전투체계로 표적 정보를 제공하는 것을 목표로 한다. 그러나 실제 IRST의 전방위 360° 영상에서

는 다수의 클러터들이 존재한다. 이러한 클러터들은 수 화소이하 수준의 점(Point Target)으로 나타나기 시작하는 소형 표적에 대한 탐지율을 낮추고 오탐지율을 높이는 원인으로 작용한다. 또한 다수의 클러터들은 탐지처리 시간을 증가시켜, 영상입력에 대한 실시간 처리 성능을 제한시키기도 한다.

기존의 소형 표적 탐지 기법은 주로 탐지율 향상에 초점을 맞추어 진행 되어 왔다. 크기 불변 특징량에 기반을 둔 방법은 진입하는 표적의 크기가 다양하게 변하더라도 탐지율을 확보 할 수 있도록 제안 되었으

* Corresponding author, E-mail: bbjieun@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

며^[1], 원거리 표적이 수평선 근처에 있는 경우 탐지율이 저하되는 문제를 해결하기 위한 배경제거 필터^[2]를 제안하여 탐지율을 향상시키기도 하였다. 또한 크기불변 특징량과 가로 배경 제거 기법을 결합하여 원거리에서 진입하는 표적의 탐지 성능을 향상^[3]시키기도 하였다.

그러나 이러한 기법은 실제 운용환경에서의 적외선 영상에 적용해보면, 항공의 구름, 해상의 해수면 반사, 연안의 구조물 등에 의한 클러터가 다수 발생하기도 한다. 종전에 이러한 클러터 제거를 위해 적용한 Min-local-LoG 필터^[4]나 시공간 필터를 이용한 기법^[5]도 클러터 제거 효과가 미미하거나 구름과 같은 고밀도 클러터 등은 제거하지 못한다. 이러한 기법들은 표적 탐지 필터만으로 클러터를 제거하는 것은 한계가 있음을 보여준다.

따라서 본 논문에서는 이러한 한계점을 보완하고자 탐지 필터 적용 단계 이후 영상의 배경 특성을 고려한 적응적 문턱치 맵(Threshold Map)을 적용하고, 복잡한 배경에서 표적에 대한 탐지율을 유지하면서도 클러터를 효과적으로 제거하여 오탐지 확률을 낮추는 방법을 제안한다. 또한 제안한 기법을 통해 다수의 클러스터(Cluster)나 클러터(Clutter)에 의해 표적 탐지 신호처리시간이 제한되는 문제점을 해결하고자 하였다.

본 논문의 2장에서는 제안하는 배경 적응적 문턱치 맵의 적용방법과 연산방법을 소개하고, 3장에서는 실험결과를 분석하고 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 문턱치 맵(Threshold Map)의 적용과 연산

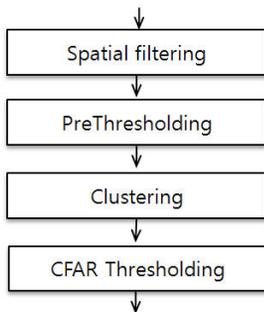


Fig. 1. General algorithm flow for small target detection

Fig. 1은 소형표적을 탐지하기 위한 일반적인 알고리즘의 동작과정을 보여준다. 입력 영상에 공간필터

(Spatial Filter)를 적용하여 배경성분과 대비하여 표적과 유사한 표적 형태의 후보들을 검출하고, 초기 문턱치(PreThesholding)값으로 이진화 하고 클러스터링(Clustering)하여 표적 후보 영역과 배경으로 구분한다. 그리고 표적 후보 영역 중 이 SCR(Signal to Clutter Ratio)이 높은 표적 후보 영역을 CFAR^[6]기법을 통해 표적으로 선정한다. 이때, 초기 문턱치화 이후 배경과 구분된 표적 후보 영역을 클러스터(Cluster)라 정의하며, 표적과 유사해 오경보를 일으키는 클러스터들은 클러터(Clutter)로 정의한다.

참고로 본 논문에서는 A-TDLF와 RD-LBRF^[7]를 공간 필터로 사용한다. 그리고 8-Neighbor 영역 확장 기법을 사용한 클러스터링(Clustering)에 의해 인접한 픽셀들을 연결한다.

Fig. 2는 Fig. 1의 소형표적 탐지 기법을 적용한 결과이다. (a)는IRST의 적외선 센서로 획득한 영상이며 (b)는 (a)의 영상에서 공간 필터링 이후 초기 문턱치화의 이진화 결과 영상이다. (b)의 영상은 항공영역에 구름에 의한 표적과 유사한 형태의 다수의 클러스터들이 존재하는 것을 보여준다. 이러한 표적이 아닌 클러스터들은 문턱치 값을 이용하여 가장 쉽게 제거할 수도 있다. 하지만 일반적으로 클러터를 제거하기 위해 문턱치 값을 높이면 탐지율이 낮아지는 문제점이 나타나게 된다.

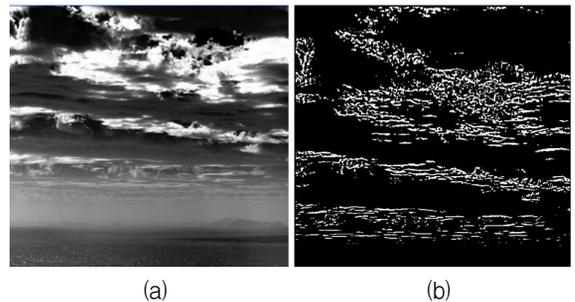


Fig. 2. An example of crowded background (a) input image, (b) Initial Threshold Map

Fig. 3은 Fig. 2의 (a)영상을 입력 영상으로 하여 실제IRST 신호처리부 소형표적 탐지 과정을 처리하는데 소요되는 시간을 각 단계별로 표시한 그래프이다. 그래프의 초기 문턱치화(PreThresholding), 클러스터링(Clustering) 그리고 CFAR 문턱치화(CFAR Thresholding)의 단계별 처리 시간이 각각 30ms, 46ms, 59ms로,IRST

실시간처리 목표시간인 250ms 중 54%에 해당한다. 이 중 초기 문턱치화의 처리시간은 주로 입력 영상의 크기에, 클러스터링과 적응적 문턱치화의 처리시간은 주로 클러스터의 개수에 의해 영향을 받는다. 따라서 초기 문턱치화 단계 이후 남아있는 클러스터의 개수의 조정 없이는 전체적인 탐지처리시간 감소시키는데 한계가 있음을 알 수 있다.

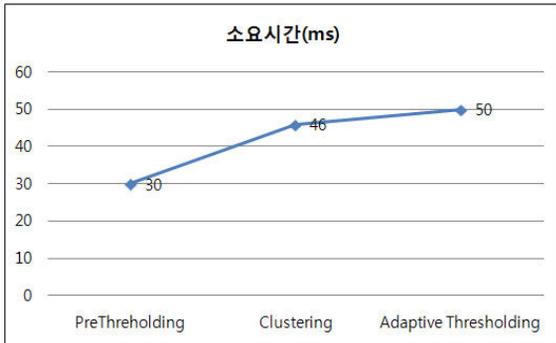


Fig. 3. Processing times of each step for detection

그러므로 본 논문에서는 배경 적응적인 문턱치 맵(Threshold Map)을 이용한 문턱치 값 설정과 그 적용 방법을 제안하여 실제 해상의 복잡한 영상에서 표적에 대한 탐지율을 유지하면서도 클러스터를 효과적으로 제거하는 기법을 제안한다. 동시에 전체적인 클러스터의 수를 감소시킴으로써 탐지 신호 처리시간을 효과적으로 단축시키고자 하였다.

2.1 문턱치 맵(Threshold Map)의 적용

Fig. 4는 Fig. 1의 기본적인 표적 탐지 방법에, 본 연구에서 제안하는 문턱치 맵(TM : Threshold Map)을 적용하고 생성하는 기법을 반영한 전체 순서도이다.

먼저 입력 영상에 대해 공간 필터링(Spatial Filtering)을 거쳐 소형 표적과 유사한 영역을 검출한다. 다음의 초기 문턱치화(PreThresholding) 단계에서는 어떤 문턱치 맵을 이용할 것인지 판단(Check TM)하고, 그 결과(TM_UpdateOK)에 따라 문턱치 맵을 이용해 문턱치(Thresholding)화 한다. 어떤 문턱치 맵을 이용할 것인지는 입력 영상의 순서나 입력된 영상간의 변화에 의해 판단하며, 첫 번째 입력영상이거나 입력된 영상간의 변화가 감지되면 “TM_UpdateOK”의 값을 “1”으로 한다. 반대의 경우에는 “TM_UpdateOK”의 값을 “0”으로 한다. 이후 문턱치화(Thresholding) 시 “TM_UpdateOK”

의 값이 “1”인 경우에는 문턱치 맵을 초기화하여 사용하고, “0”인 경우에는 이전 영상에서의 문턱치 맵을 그대로 사용한다.

마지막으로 CFAR 문턱치화 단계에서는 앞에서 설명한 소형표적의 탐지 과정과 동일하게 최종적인 표적을 선택한다. 이때 “TM_UpdateOK”의 값에 따라 앞에서 초기화된 문턱치 맵을 연산하고 갱신한다. 즉, “TM_UpdateOK”의 값이 “1”이면 CFAR 계산 시 연산되는 배경의 분산(Cal. Background STD)값을 이용하여 맵을 연산하고 갱신하며, 반대의 경우 갱신하지 않는다.

문턱치 맵의 초기화와 연산 방법, 문턱치 맵의 갱신을 위한 영상간의 변환 판단 방법은 다음절에서 설명한다.

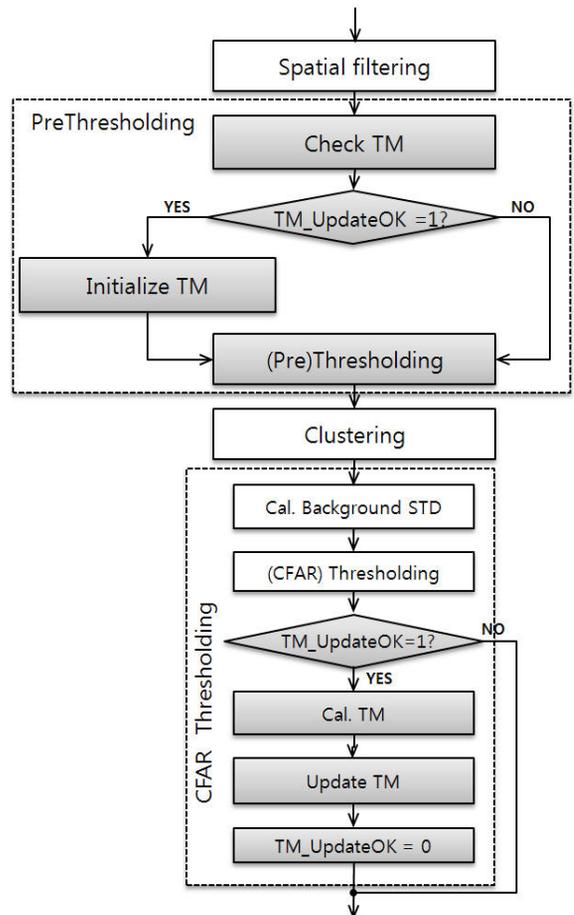


Fig. 4. Proposed algorithm flow for small target detection

2.2 문턱치 맵(Threshold Map)의 연산

일반적으로 SCR은 클러스터의 배경 영역 분산인 σ_B 에 대한 클러스터 영역의 공간 필터링 밝기 최대값인 $Max(f(x,y))$ 의 비율로 정의한다. 그리고 CFAR 기법은 수식 (1)과 같이, 각 클러스터의 SCR이 정해진 문턱치인 T_{SCR} 값보다 클 때 표적으로 선정한다. 다시 말해서 배경 영역의 분산에 대비해 높은 밝기 값을 가지는 클러스터만 표적 후보로 검출되는 것이다.

$$\frac{Max(f(x,y))}{\sigma_B} > T_{SCR} \quad (1)$$

그러므로 수식 (2)와 같이 초기 문턱치화 과정에서 문턱치 값 T 를 배경영역의 특성을 반영하여, 미리 배경이 복잡한 곳에서 높은 값으로 문턱치 값을 설정한다면 초기 문턱치화 이후 클러스터의 개수를 효과적으로 줄일 수 있을 것이다.

$$T \propto T_{SCR} \times \sigma_B \quad (2)$$

따라서 본 논문에서 제안하는 문턱치 맵(TM : Threshold Map)인 T_{TM} 의 연산은 수식 (3)과 같이 정의한다.

$$T_{TM}(x,y) = \begin{cases} \alpha \times T_{SCR}(x,y) \times \sigma_B(x,y) \\ \quad ,when (x,y) \in \{(x,y) | f(x,y) > T_{init}\} \\ T_{init} \quad ,otherwise \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $f(x,y)$ 는 입력영상의 공간 필터링 결과이며, α 는 문턱치 맵에 대한 배경 특성의 반영정도를 조절하며 여러 실험을 통해 0.75로 고정하였다. σ_B 는 CFAR 단계에서 연산되는 배경의 분산 값을 그대로 이용한다. 그리고 T_{init} 은 문턱치 맵의 초기값으로, 본 논문에서의 목표 표적이 최대 탐지거리에서 탐지 가능한 값으로 실험적으로 선정한다.

그리고 문턱치 맵 적용 방법에 따른 초기 문턱치화(PreThresholding) 시 사용되는 k 번째 입력영상에서의 문턱치 맵 T_{TM}^k 은 수식 (5)와 같다. 여기서 T_{TM}^0 는 수식 (6)과 같이 정의한다.

$$T_{TM}^k(x,y) = \begin{cases} T_{TM}^{(k-1)} & , if TM_Update OK = 0 \\ T_{TM}^0 & , else TM_Update OK = 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$T_{TM}^0(x,y) = T_{init} \quad (6)$$

Fig. 5의 (a), (b)는 Fig. 2의 (a)입력 영상에 대해 문턱치 맵의 값을 상대적인 밝기로 보여주는 예이다. (a)는 초기 문턱치 맵으로써 탐지 신호처리의 첫 입력 영상에서나, 갱신 시의 문턱치 맵이다. (b)는 CFAR 연산시 T_{init} 보다 큰 값을 가지는 클러스터의 해당위치에 수식 (3)의 문턱치 맵의 값이 연산된 결과이다. 참고로 (a), (b) 두 영상에서 영역의 검은 부분은 T_{init} 값을 가진다.

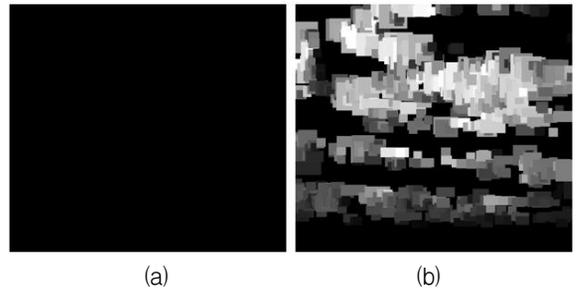


Fig. 5. An example of Threshold Map
(a) initial Threshold Map T_{TM}^0 ,
(b) initial Threshold Map T_{TM}^k

2.3 문턱치 맵(Threshold Map)의 갱신

실제 해상환경에서 IRST의 영상은 함정의 움직임이나 구름의 변화 등의 배경 자체의 변화로 입력영상이 변화한다. 그러므로 문턱치 맵을 고정하여 적용하면, 영상의 변화에 따른 오탐지가 증가하거나 표적을 미탐지 하는 상황이 발생할 것이다. 따라서 영상의 변화를 자동으로 감지하여 문턱치 맵의 갱신여부를 판단하는 방법을 함께 필요하다.

본 논문에서 가정하는 해상용 IRST 기계적 고각 안정화를 가정하며, 영상의 변화를 방위각 변화로 한정한다. 다시 말해서 주요 오탐지의 원인이 되는 구름, 연안 배경 요소들도 함정의 움직임에 따른 방위각 변화만 보일 것이다. 따라서 영상의 변화를 영상에서 전

체가 아닌 오른쪽 또는 왼쪽의 일부 영역에서 유입/변화하는 영상의 통계적 변화량을 살펴봄으로써 그 변화 정도를 측정하는 방법을 제안하고자 한다.

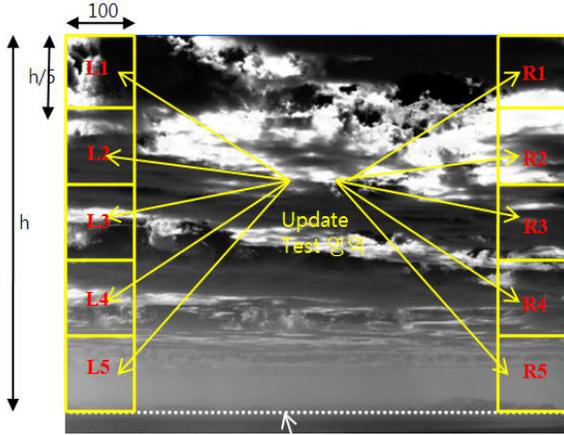


Fig. 6. Decision regions for updating Threshold Map

Fig. 6은 영상의 변화여부를 판단하기 위한 입력 영상에서의 영역을 구분한 예로써, 오른쪽 왼쪽 모서리 부분을 각각 5개의 영역으로 구분하였으며, 실 환경의 조건에 따라 그 영역의 위치는 변경이 가능하다.

$$DM_{R(i)}^k = \begin{cases} 1, & \text{if } |M_{R(i)}^k - M_{R(i)}^{k-1}| > \beta_m \times M_{R(i)}^k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$DM_{L(i)}^k = \begin{cases} 1, & \text{if } |M_{L(i)}^k - M_{L(i)}^{k-1}| > \beta_m \times M_{L(i)}^k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$DS_{L(i)}^k = \begin{cases} 1, & \text{if } |S_{L(i)}^k - S_{L(i)}^{k-1}| > \beta_s \times S_{L(i)}^k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$DS_{R(i)}^k = \begin{cases} 1, & \text{if } |S_{R(i)}^k - S_{R(i)}^{k-1}| > \beta_s \times S_{R(i)}^k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

수식 (7)와 수식 (8)은 영상의 변화를 판단하기 위한 방법을 설명한다. 수식 (7)은 Fig. 6의 좌우의 각 영역의 밝기의 평균(Mean)과 분산(STD)의 시간적 변화율을 연산하여 변화 정도를 판단한다.

이때 수식 (7)에서 $M_{R(i)}^k$ 는 k 번째 입력 영상에서 Fig. 6의 오른쪽(R) i 번째 영역의 평균을 나타내며, $S_{R(i)}^k$ 는 k 번째 입력영상에서 Fig. 7의 오른쪽(R) i 번째

영역의 분산을 나타낸다. β_m, β_s 각 영역에서 변화여부를 판단하는 상수이며, 실험적으로 각각 0.01과 0.02로 선정하였다.

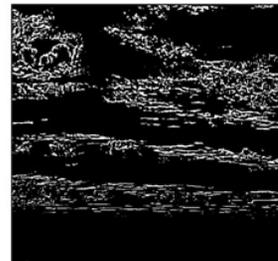
$$TM_Update\ OK = DM_{L(i)}^k \parallel DM_{R(i)}^k \parallel DS_{L(i)}^k \parallel DS_{R(i)}^k \quad (8)$$

최종 문턱치 맵 갱신 여부 판단은 수식 (8)와 같이 수식 (7)의 $DM_{R(i)}^k, DM_{L(i)}^k, DS_{R(i)}^k, DS_{L(i)}^k$ 중 한 영역이라도 변화가 감지되면 문턱치 맵을 갱신하는 것으로 한다.

3. 실험결과



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Clustering results before and after Threshold Map

(a) input image, (b) before, (c) after

Fig. 7은 IRST의 탐색 추적 신호처리부에서 문턱치 맵의 적용한 결과이다. (a)는 입력영상이며, 크기는 1024×1280pixel(14bit/pixel)이다. (b), (c)는 각각 기존의 방법을 적용한 경우와 제안한 기법을 적용한 경우에, 초기 문턱치화 이후의 결과를 이진화하여 표현한 그림이다. 제안한 기법을 적용한 경우 초기 문턱치화 이후 검출된 클러스터 영역이 현저하게 줄어들었음을 확인할 수 있다.

다음의 Fig. 8과 Fig. 9는 영상 내 배경의 변화가 있을 때 영상에서의 클러스터 제거 효과와 표적에 대한 탐지 성능 유지를 확인하기 위해 사용한 영상 시퀀스 중 한 프레임이다. Fig. 8과 Fig. 9에서 붉은 선으로 표시한 영역 내에서 탐지 신호처리하며, 영상의 움직임은 이 처리구간을 한 방향으로 이동시켜 모의하였다. 이때 처리구간 내에는 표적이 존재하며, 이동속도는 IRST 함정의 최대 이동속도의 5배인 5pixel/frame의 설정하였으며, 모두 175장으로 구성된다.



Fig. 8. Image I



Fig. 9. Image II

다음의 Table 1과 Table 2는 Fig. 8과 Fig. 9의 대한 제안한 문턱치 맵의 적용 전후의 항공 영역에서의 탐지성능을 비교한 결과이다. 표의 클러스터 수는 CFAR 전, 표적과 유사한 사이즈와 형태를 가지는 클러스터의 전체 영상에 대한 평균 프레임수이다. 그리고 미탐지 수는 표적을 탐지하지 못하는 횟수이며, 이는 문턱치 맵을 적용하여 초기 문턱치 값이 높아짐으로써 표적을 놓치는 경우가 없는지 확인하여 탐지 성능이 유지됨을 확인하기 위한 값이다.

Table 1의 결과를 살펴보면, Image I의 단순한 항공 배경에 제안한 알고리즘을 적용한 결과, 적용전보다 전체 프레임동안 평균 클러스터 수가 35.5% 감소함을

확인할 수 있었다. 그리고 제안한 기법의 적용 전에 대한 탐지 성능도 유지됨을 확인할 수 있다.

Table 2의 결과를 살펴보면, Image II는 Image I에 비해 매우 복잡한 배경의 항공 영상이며 제안한 기법을 적용하여 전체 프레임동안 평균 클러스터 수가 65.2% 감소함을 확인할 수 있다. Image II의 경우 표적이 구름의 곳에 포함되는 경우 표적을 탐지 못하게 되는데, 적용전에 11회, 적용 후에는 12회로 적용 후 1회 증가하였다. 이는 낮은 고도에 존재하는 구름과 항공의 배경의 경계에서 문턱치 맵의 높은 문턱치 값으로 표적이 미탐지 된 것이며, 이러한 단점은 추적 필터가 존재하는 IRST의 전체 알고리즘을 고려하면 충분히 보완이 가능할 것으로 판단한다.

Table 1. Test Result : Image I(175frame)

	적용전	적용후
클러스터 수	39.2	25.3 (35.5%)
미탐지 수	0	0

Table 2. Test Result : Image II(175frame)

	적용전	적용후
Cluster 수	1032.1	369.6 (65.2%)
미탐지 수	11	12

Fig. 10은 Fig. 7의 (a)영상에 제안한 기법의 적용 전후에 따른 클러스터 개수를 탐지신호처리 각 단계별로 비교한 결과이다. 기존의 방법 적용시 초기 문턱치화 이후에 검출되었던 4029개의 클러스터가, 제안한 기법 적용 하면 871개로 약 21% 수준으로 감소하였음을 확인할 수 있다. 또한 초기 문턱치화 이후 클러스터 개수가 감소함으로써, 탐지신호처리 각 단계에서 처리해야할 클러스터의 개수가 줄어들음을 확인할 수 있다.

Fig. 11은 Fig. 7의 (a)영상에 문턱치 맵의 적전후의 탐지처리 각 단계의 처리시간을 비교한 결과이다. 전체적으로 193.35ms에서 122.18ms로 약 36% 정도의 처리시간 감소되었으며, 이는 클러스터 수가 감소된 효과이다. Fig. 11의 그래프에서 초기 문턱치 맵(Init Threshold Map)의 값은 CFAR 연산시 포함되는 배경

의 STD 결과를 이용하여 수식(3)과 같이 문턱치 맵을 생성하는 시간으로써, 1.36ms 추가적으로 소요되었음을 알 수 있다. 그러나 제안한 기법의 적용으로 전체 처리시간 측면에서 약 71ms 이득을 보았으므로, 제안한 기법의 이점을 확인할 수 있다.

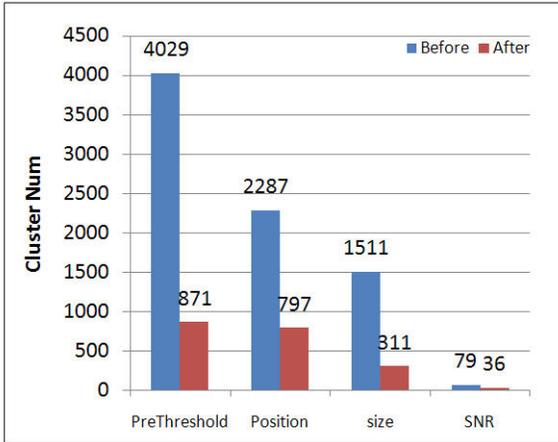


Fig. 10. Efficiencies of clusters after Threshold Map

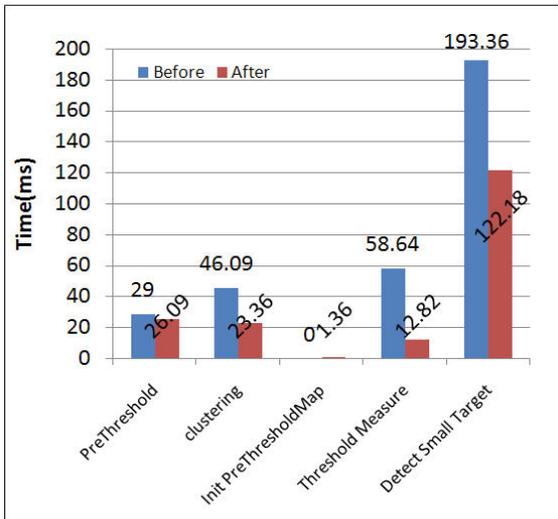


Fig. 11. Efficiencies of processing times Threshold Map

4. 결론

본 논문에서는 복잡한 해상환경에서 클러스터를 제거하기 위해 배경 적응적인 문턱치 맵을 이용한 문턱치

값 설정과 그 적용 방법을 제안하였다.

문턱치 맵은 배경의 분산을 이용해 각 위치에서의 값이 설정되며, 공간 필터링 단계 이후 각 위치에 해당하는 문턱치 값으로 사용된다. 또한 입력 영상의 변화 정도에 따라 문턱치 맵의 갱신 여부를 자동으로 결정한다.

마지막으로 제안한 기법을 여러 영상에 적용해 봄으로써, 실제 해상의 복잡한 영상에서 표적에 대한 탐지율을 유지하면서도 클러스터를 효과적으로 제거하는 것을 확인하였다. 이는 클러스터에 대한 표적 식별 순위를 높게 함으로써 탐지거리 향상에도 기여할 것으로 예상된다. 그리고 전체적인 클러스터의 수를 감소시킴으로써 탐지 처리시간을 효과적으로 단축하였다.

References

- [1] S. Kim, J. H. Lee, "Rebust Scale Invariant Target Detection using the Scale-Spate Theory and Optimization for IRST," Pattern Analysis and Application, 14(1):57-66, 2011.
- [2] S. Kim, "Double Layered-Background Removal Filter for Detection Small Infrared Targets in Heterogeneous Backgrounds," Journal of Infrared Millimeter Terahertz Waves, 32:79-101, 2011.
- [3] S. Kim, J. Lee, "Scale Invariant Small Target Detection by Optimizing Signal to Clutter Ratio in Heterogeneous Background for Infrared Search and Track," Pattern Recognition, 56(1):393-406, 2012
- [4] S. Kim, "Min-local-LoG Filter for Detection Small Targets in Cluttered Background," Electronics Letters, 47(3):1-2, 2011.
- [5] S. Kim et al., "Three Plot Correlation-Based Small Infrared Target Detection in Dense Sun-glint Environment for Infrared Search and Track," Proc. of SPIE, 8383, 83930T, 2012.
- [6] J. Li, Z. Shen, W. Yang, "Small Target Detection in Noise Image Sequences," IEEE Aerospace and Electronics Conference, pp. 868-872, 1997.
- [7] Sungho Kim, TaekLyul Song, et al., "Spatio-Temporal Filter Based Small Infrared Target Detection in Highly Cluttered Sea Background," 11th ICCAS 2011.