

FPGA-Based Real-Time Multi-Scale Infrared Target Detection on Sky Background

Hun-Ki Kim*, Kyung-Hyun Jang**

Abstract

In this paper, we propose multi-scale infrared target detection algorithm with varied filter size using integral image. Filter based target detection is widely used for small target detection, but it doesn't suit for large target detection depending on the filter size. When there are multi-scale targets on the sky background, detection filter with small filter size can not detect the whole shape of the large target. In contrast, detection filter with large filter size doesn't suit for small target detection, but also it requires a large amount of processing time. The proposed algorithm integrates the filtering results of varied filter size for the detection of small and large targets. The proposed algorithm has good performance for both small and large target detection. Furthermore, the proposed algorithm requires a less processing time, since it use the integral image to make the mean images with different filter sizes for subtraction between the original image and the respective mean image. In addition, we propose the implementation of real-time embedded system using FPGA.

▶ Keyword : FPGA-Based, Real-time, Multi-scale target detection

I. Introduction

영상을 이용한 물체 탐지 및 추적은 컴퓨터 비전 분야에서 활발하게 연구되는 주제 중 하나이다. UAV(Unmanned Aerial Vehicle), EOTS(Electro-Optical Targeting System), 또는IRST(Infra-Red Search and Tracking) 시스템 등 군사 기술 분야에서 물체의 탐지 추적 기법은 매우 중요한 분야이다. 특히 전투기나 미사일과 같은 항공 표적은 그 속도가 매우 빠르기 때문에 조기 대응을 위하여 표적의 빠른 탐지 및 추적이 요구된다.

필터 기반의 물체 검출은 고전적인 방법이지만 소형 표적(Small Target) 검출에는 비교적 우수한 성능으로 널리 사용되고 있다[1-2]. 특히 MSF(Mean Subtraction Filter) 기반의 물체 검출은 구현이 간단하지만 노이즈에 취약한 단점이 있다. Kim 등[3]이 제안한 M-MSF(Modified MSF)를 이용한 물체 검출 기법은 Spot Noise에 강한 검출방법으로 소형 표적 검

출에 적합하지만, 필터 크기가 작을 경우 크기가 큰 표적(Large Target)의 검출에는 적합하지 않다. TopHat 필터 기반의 검출 기법[4-5]은 배경의 클러터를 제거하기 위하여 배경 이미지를 예측하는 기법으로 성능은 비교적 우수하지만 노이즈에 취약하고, 표적의 크기가 변하게 되면 표적을 안정적으로 검출할 수 없다.

Gaol[6] 등이 제안한 IPI(Infrared Patch-Image) 모델을 이용한 검출 기법은 입력 영상의 패치 이미지에서 표적 패치 이미지와 배경 패치 이미지를 생성하여 필터링한 후 표적을 탐지하는 방법으로 성능은 우수하나 연산량이 많아 실시간 처리가 요구되는 장비에 사용할 수 없는 단점이 있다. 동영상에 대한 3D 처리 기법[7-10]들은 움직이지 않는 장비에 대해서는 성능이 우수하나, 항공기 또는 함과 같이 움직이는 장비에서는 모션 블러(Motion Blur) 또는 배경 변화에 따른 밝기 변화 등으로 성능이 매우 저하될 수 있다. 인간 시각 특징(Human Visual Characteristic)을 이용하여 시각적으로 집중되는 영역(Salient

• First Author: Hun-Ki Kim, Corresponding Author: Hun-Ki Kim

*Hun-Ki Kim (hunki.kim@hanwha.com), Image Sensor Team, Hanwha Systems.

**Kyung-Hyun Jang (kyunghyun.jang@hanwha.com), Image Sensor Team, Hanwha Systems.

• Received: 2016. 10. 25, Revised: 2016. 11. 03, Accepted: 2016. 11. 11.

Region)을 이용한 검출방법도 활발히 연구되고 있다[11-15].

본 논문에서는 MSF 기반의 다중 크기 표적(Multi-Scale Object) 탐지 기법을 소개하고, FPGA(Filed Programmable Gate Array)를 이용한 실시간 처리 기법을 제시한다. 본 논문 2장에서는 본 논문의 연구 배경인 M-MSF 기본 개념과 다중 크기 표적에 대한 한계 및 적분 영상을 이용한 평균 영상 생성에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안하고자 하는 다중 크기 표적에 대한 탐지 알고리즘과 실시간 처리를 위한 FPGA 구현 기법에 대하여 설명한다. 4장에서는 제안한 방법으로 실험한 결과를 설명하고, 5장에서는 실험 결과에 따른 결론 및 보완점에 대해 설명한다.

II. Preliminaries

1. Related works

1.1 Target Detection based on M-MSF

Kim 등[3]이 제안한 M-MSF 기반 물체 검출 기법은 Spot Noise에 취약한 MSF 방법을 개선한 것이다. MSF를 입력 영상에 바로 적용할 경우 Spot Noise에 의해 다수의 오경보가 발생할 수 있다. 그림 1은 MSF를 사용하여 표적을 검출하고 문턱치(Threshold)를 적용하여 이진화한 영상을 나타낸다.

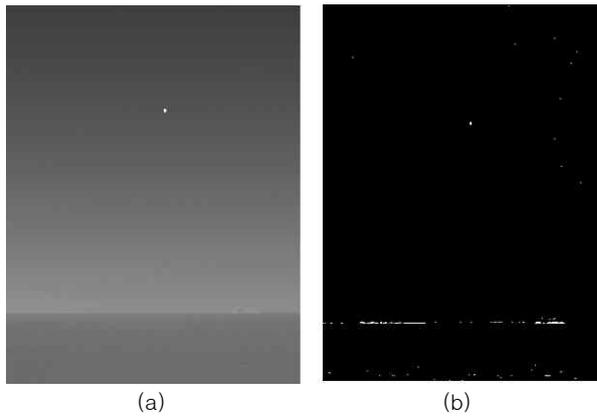


Fig. 1. Target detection using MSF, (a) Original Image (b) Detection Image(Binary Image)

그림 1에서와 같이 MSF를 사용하여 표적을 검출하면 표적 이외의 다수의 클러터(Clutter)가 검출된다. M-MSF 기반 물체 검출은 이러한 Spot Noise를 줄여주는 방법으로, 식 (1)과 같이 3×3 크기의 가우시안 필터를 이용하여 Spot Noise를 감소시킨 후 식 (2)와 같이 미리 정의된 필터 사이즈(예로 7×7)의 평균 영상을 계산하여 식 (3)과 같이 M-MSF 적용값을 계산한다.

$$I_G(x,y) = I(x,y) * G_{3 \times 3}(x,y) \tag{1}$$

$$I_{BG}(x,y) = I(x,y) * M_{7 \times 7}(x,y) \tag{2}$$

$$I_{M-MSF}(x,y) = I_G(x,y) - I_{BG}(x,y) \tag{3}$$

그림 2는 M-MSF 기반 물체 검출 방법과 MSF 기반 물체 검출 방법을 비교하여 도식화한 것이고 그림 3은 M-MSF를 이용하여 물체를 검출한 결과를 나타낸다. 그림 3(b)와 그림 1(b)를 비교하면 그림 1(b)의 하늘 배경, 수평선 및 바다에 있는 노이즈가 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다. 특히 하늘에 있는 Spot Noise는 표적으로 오인될 소지가 많기 때문에 M-MSF 기반 물체 검출이 기존 방법에 비해 효과적인 것을 확인할 수 있다.

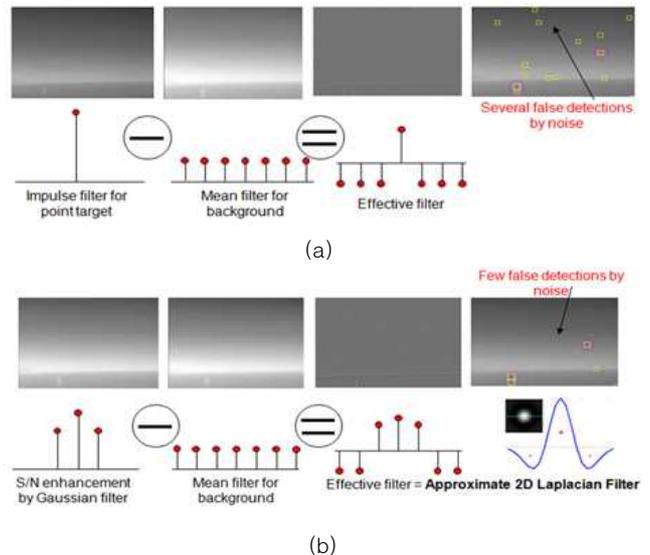


Fig. 2. The comparison of Target Detection Method, (a) MSF, (b) M-MSF

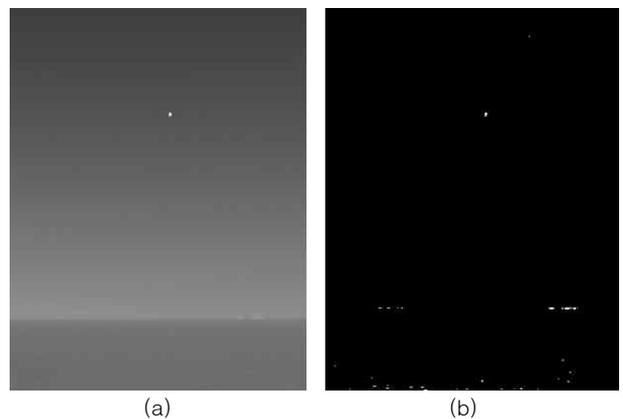


Fig. 3. Target detection using M-MSF, (a) Original Image (b) Detection Image(Binary Image)

1.2 Drawbacks of Conventional Method

M-MSF 기반 물체 검출은 소형 표적 검출에 주로 사용되는 방법으로 일반적으로 배경을 예측하는 평균 필터의 크기를 작게 하기 때문에 큰 표적의 검출에 대해서는 안정적이지 않다. 표적의 크기가 필터의 크기보다 커지게 되면 완전한 형태의 표적을 검출할 수 없다. 그림 4는 필터 크기에 따른 큰 표적(예로 20×20)의 검출 결과를 나타낸다. 그림 4(b)와 같이 배경 예측에 사용되는 평균 필터의 크기가 작을 경우 큰 표적의 경계만 검출이 되는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 필터의 크기를 변경(31×31)하면 큰 표적을 안정적으로 검출되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 필터의 크기를 크게 하면 밝은 배경 근처에 작은 표적이 있을 경우 이를 검출하지 못하는 문제가 발생하게 된다. 그림 5는 구름 배경 근처에 소형 표적(3×3)이 있을 경우 필터 크기에 따른 검출 결과를 나타낸다.

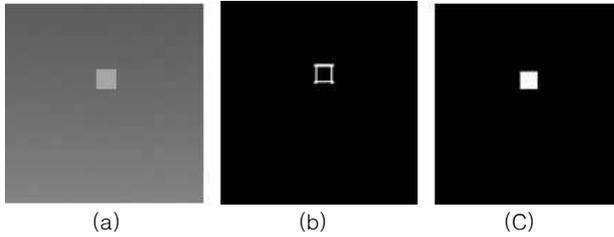


Fig. 4. Target Detection by Varied Filter Size, (a) Original Image, (b) 7×7 Filter Size, (c) 31×31 Filter Size

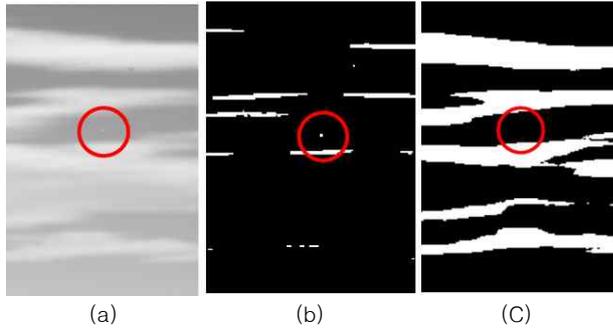


Fig. 5. Target Detection by Varied Filter Size, (a) Original Image, (b) 7×7 Filter Size, (c) 31×31 Filter Size

그림 5(b)에서와 같이 필터 크기가 작을 경우 소형 표적을 검출할 수 있지만 그림 5(c)와 같이 필터 크기가 클 경우 소형 표적을 검출할 수 없는 문제가 발생하게 된다. 이는 배경 예측에 사용되는 평균 영상 영역에 밝기값이 큰 배경(구름)이 포함되어 평균 영상의 밝기값이 표적과 큰 차이를 보이지 않거나 오히려 표적 밝기보다 커지는 문제가 생기기 때문이다.

이와 같이 표적의 크기가 변하거나 여러 크기의 다중 표적이 존재할 때 한 개의 필터 크기로 물체를 검출하게 되면 검출이 되지 않거나 안정적으로 물체를 검출할 수 없는 문제가 발생하게 된다.

1.3 Mean Image Generation using Integral Image

평균 영상은 필터 영역에 해당하는 화소값의 평균을 구하는 것으로 필터 크기가 커지면 연산량이 증가하는 문제가 발생하게 된다. 일반적인 Window Sliding 방식의 연산처리는 필터 크기의 제곱에 비례하여 연산량이 증가하기 때문에 평균 이미지를 빠르게 계산하기 위하여 적분 영상(Integral Image)을 이용한다[16-17]. 그림 6은 적분 영상을 이용하여 평균 영상을 생성하는 과정을 나타낸다. 적분 영상의 좌표값(x, y)에 해당하는 값($I_{intg}(x, y)$)은 $(0, 0)$ 좌표부터 해당 좌표까지의 화소의 총합을 나타내므로, 식 (4), (5)와 같이 적분 영상의 네 점을 이용하면 해당 영역의 평균값을 쉽게 계산할 수 있다.

$$SUM(x_1 : x_2, y_1 : y_2) = I_{intg}(x_2, y_2) - I_{intg}(x_1, y_2) - I_{intg}(x_2, y_1) + I_{intg}(x_1, y_1) \quad (4)$$

$$Mean(x_1 : x_2, y_1 : y_2) = \frac{SUM(x_1 : x_2, y_1 : y_2)}{(x_2 - x_1) \times (y_2 - y_1)} \quad (5)$$

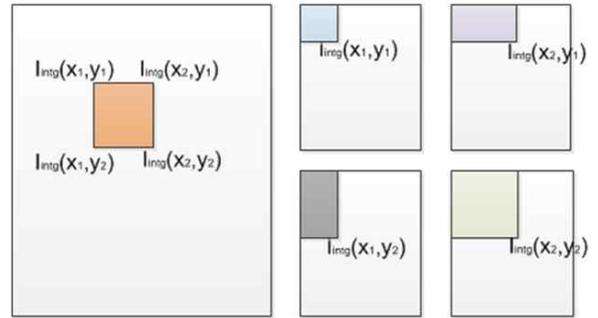


Fig. 6. Local Mean Image using Integral Image

적분 영상을 이용하여 평균 영상을 구하면 필터의 크기와 상관없이 항상 동일한 연산량으로 평균 영상을 구할 수 있다. 본 논문에서는 적분 영상을 이용하여 다양한 크기의 표적을 검출할 수 있는 방법을 제시한다.

III. The Proposed Algorithm

전투기나 미사일과 같은 항공 표적은 그 속도가 매우 빠르기 때문에 표적의 크기 변화가 심하고, 전시 상황일 경우 다양한 크기의 표적이 서로 다른 거리에 존재할 수 있기 때문에 다중 표적을 탐지/추적 할 수 있는 성능이 요구된다. 본 논문에서는 다양한 크기의 표적을 검출할 수 있는 방법을 제안한다.

1. Target Detection based on Multi M-MSF

2장에서 설명한 것과 같이 서로 다른 크기의 표적을 검출하

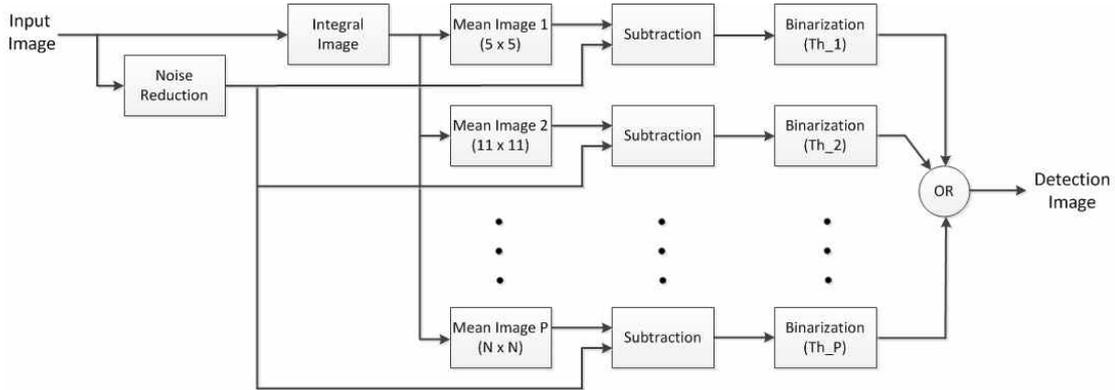


Fig. 7. Scheme of the Proposed Algorithm

기 위해서는 다양한 크기의 평균 필터를 적용해야 한다. 다양한 크기의 평균 필터를 Window Sliding 방식으로 구현하게 되면 연산량이 매우 증가하기 때문에 적분 영상을 이용하여 평균 필터를 구현한다. 적분 영상을 이용하면 다양한 크기의 평균 필터를 매번 계산할 필요 없이 적분 영상 하나를 이용하여 서로 다른 크기의 평균 영상을 계산할 수 있고, 필터의 크기에 관계없이 항상 같은 연산량을 갖는다. 표 1은 적분 영상을 이용하여 다양한 크기의 표적을 검출하는 알고리즘을 보여준다.

Table 1. The Proposed Algorithm

Proposed Algorithm	
<i>In</i>	: Input Image (<i>I</i>)
<i>Out</i>	: Detection Image (<i>O_p</i>)
Function MltiM-MSF	
01:	$O_0 = 0$ Initialization
02:	$I_G = G_{3 \times 3} * I$
03:	$I_{intg} = F_{intg}(I)$
04:	for $n = 1 : P$
05:	$I_{BG_n} = Mean_n(I_{intg})$
06:	$I_{M-MSF_n} = I_G - I_{BG_n}$
07:	if $I_{M-MSF_n} > Threshold_n$
08:	$B_{M-MSF_n} = 1$
09:	else $B_{M-MSF_n} = 0$
10:	end if
11:	$O_n = B_{M-MSF_n} O_{n-1}$ (OR operation)
12:	end for
13:	return O_p

제안한 알고리즘은 우선 Spot Noise 제거를 위하여 3×3 크기의 가우시안 필터를 적용시키고, 원본 영상으로 적분 영상을 생성한다. 그 다음 적분 영상을 이용하여 미리 정의된 개수 (P) 만큼 서로 다른 크기의 평균 영상을 생성하여 노이즈 제거 영상에서 뺀 후 임계치를 이용하여 배경과 표적을 분리한다. 각각 분리된 표적의 결과값을 모두 합치면 최종적으로 여러 크기의 다중 표적이 검출된 영상을 획득할 수 있다.

이 때 각 필터 크기에 대한 이진화 임계치(Threshold_n)는 서로 다르게 적용해야 하는데, 그 이유는 일반적으로 영상에 검출된 큰 표적은 작은 표적에 비해 가까이 있을 확률이 높기 때

문에 밝기값이 상대적으로 크고, 반대로 작은 표적은 큰 표적에 비해 멀리 있기 때문에 대기투과도의 영향 등으로 인해 표적의 밝기값이 작다. 그러므로 표적의 크기, 세기 등을 고려하여 이에 적합한 임계치를 적용해야 한다.

2. Real-time Processing based on FPGA

3-1장에서 제시한 알고리즘은 Window Sliding 방식의 평균 필터 여러 개를 수행한 것 보다 훨씬 적은 연산량이 요구되지만 필터 크기에 따른 평균 영상 개수에 따라 연산량이 결정된다. 이는 영상의 크기 및 Frame Rate, 필터 크기 개수에 따라 실시간 처리가 불가능할 수도 있다. 생존 장비와 같이 실시간 탐지/추적이 요구되는 장비는 실시간 처리 기술이 매우 중요하기 때문에 FPGA를 이용하는 경우가 많다.

FPGA를 이용한 영상 처리의 가장 큰 장점은 스트림(Stream)으로 들어오는 데이터를 화소 단위로 바로 처리할 수 있고, 직렬로 연결된(Cascade) 모듈의 동시 처리(Pipelining)가 가능하며, 연산 처리의 병렬화(Parallelization)가 가능하기 때문에 서로 다른 연산 처리를 동시에 수행할 수 있다. 3-1장에서 제시한 알고리즘에서 4~12에 해당하는 연산을 병렬화하면 실시간 처리가 가능하다. 그림 7은 제안한 알고리즘에 대한 FPGA 기반 물체 검출 기법을 도식화한 것이다.

가우시안 필터를 적용한 Noise Reduction 블록은 스트림 데이터로 들어오는 입력 영상을 3×3 크기의 필터로 처리하는 것으로 라인 메모리를 이용하여 쉽게 구현이 가능하다. 적분 영상은 식 (6)과 같이 인접한 3개의 화소값을 이용하여 구할 수 있고 바로 이전의 라인 메모리에 저장된 값을 이용하여 계산한다.

$$I_{intg}(x,y) = I_{intg}(x-1,y) + I_{intg}(x,y-1) - I_{intg}(x-1,y-1) + I(x,y) \quad (6)$$

평균 영상 개수에 따른 각각의 평균 영상은 적분 영상을 식 (5)을 이용하여 계산할 수 있다. 이 때 평균 영상에 필요한 라인 메모리의 개수는 최대 필터 크기(N)에 의해 결정된다.

FPGA를 이용하면 병렬 처리가 가능하기 때문에 적분 영상의 출력값과 N개의 라인 메모리에서 출력되는 값을 이용하여 P개의 평균 영상을 동시에 계산할 수 있다.

이렇게 각각 계산된 평균 영상과 노이즈가 제거된 영상간의 차를 계산하기 위해서는 필터 크기만큼 지연된 노이즈 제거 영상이 필요한데 이를 라인 메모리에 저장하면 적분 영상과 함께 너무 많은 리소스(메모리)를 사용하게 된다. 이를 방지하기 위하여 식 (6)을 변형하면 식 (7)과 같이 현재 입력값 $I(x,y)$ 값을 적분 영상을 이용하여 계산할 수 있다.

$$I(x,y) = I_{intg}(x,y) - I_{intg}(x-1,y) - I_{intg}(x,y-1) + I_{intg}(x-1,y-1) \quad (7)$$

식 (7)을 이용하면 적분 영상에서 현재 입력값 뿐만 아니라 N개 라인 안에 있는 모든 화소값을 계산할 수 있기 때문에 가우시안 필터를 위한 화소값을 계산하여 처리할 수 있고 이는 최종적으로 N개의 라인 메모리만 사용하여 알고리즘을 구현할 수 있음을 나타낸다.

IV. Experimental Results

1. Experimental Environments

본 논문에서는 제안한 알고리즘과 기존 M-MSF 기반 물체 검출 기법을 알고리즘 성능 및 처리 시간, 그리고 하드웨어 리소스를 기준으로 비교하였다. 결과를 확인하기 위해 사용된 컴퓨터 환경은 Intel(R) i7-3770 프로세서, windows7 64bit 운영 체제, Matlab R2011b 프로그램, Vivado 2015.4 프로그램으로 수행하였다. 알고리즘 구현은 기존 방법과의 처리시간을 비교하기 위하여 Matlab 함수를 이용하지 않고 기본 연산 방식으로만 구현하였다.

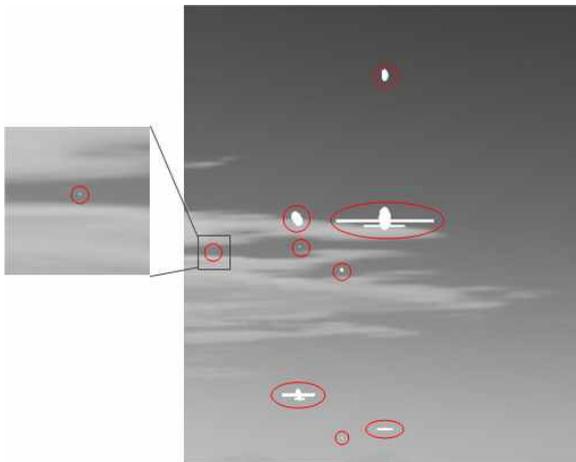


Fig. 8. Simulation Image for Verifying the Performance

2. Performance Verification

3장에서 제안한 알고리즘과 기존 M-MSF 기반 물체 검출 방법과의 성능 차이를 검증하기 위하여 다중 표적이 있는 모의 영상을 생성하였다. 그림 8은 9개의 표적이 있는 모의 영상이다.

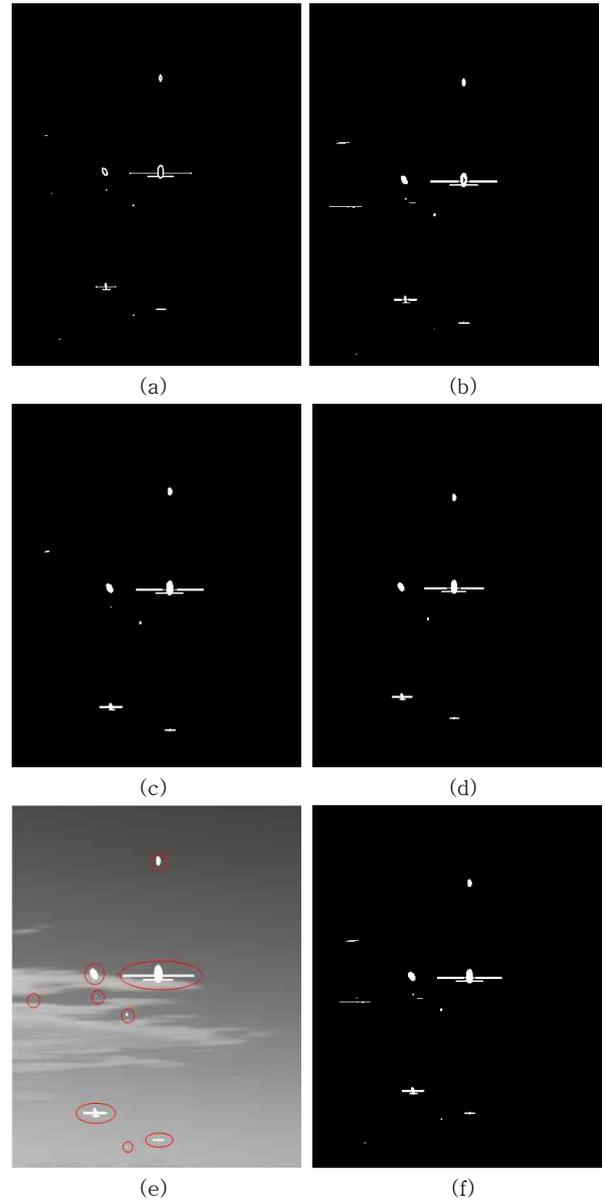


Fig. 9. Target Detection by Varied Filter Size, (a) 5×5 , (b) 11×11 , (c) 21×21 , (d) 31×31 , (e) Input Image, (f) The Proposed Method

그림 8에 사용된 배경 영상은 14bit 적외선 영상 장비로 촬영한 영상을 사용하였고, 생성된 모의 표적들은 미사일과 전투기를 모의한 것으로 표적의 크기, 거리 및 복사 세기(Intensity), 대기투과도 등을 고려하여 생성하였다. 해당 그림은 서로 다른 거리에서 진입하는 표적을 생성한 영상 시퀀스(Sequence) 200 프레임 중 다양한 크기의 표적이 검출될 수

있도록 100번째 프레임을 선택하였다. 다중 평균 영상에 사용된 필터 크기는 5×5 , 11×11 , 21×21 , 31×31 총 4개를 사용하였다. 이진화에 사용된 임계치($Threshold_n$)는 필터 크기별로 각각 70, 150, 300, 500 값을 사용하였다.

그림 9는 필터 크기에 따른 표적 검출 결과를 나타낸다. 그림 9의 (a)~(d) 영상은 단일 필터 크기를 적용한 기존 M-MSF 기반 물체 검출을 나타내고 (f) 영상은 제안한 알고리즘을 적용한 결과를 나타낸다.

그림 9(a), (b)와 같이 작은 필터 크기로 처리한 결과 큰 표적을 정확한 형태로 검출하지 못하고 경계만 검출한 것을 확인할 수 있다. 반대로 그림 9(c), (d)에서는 큰 표적에 대하여 정확한 형태로 검출했지만 소형 표적을 검출하지 못한 것을 확인할 수 있다.

표 2는 각각 필터 크기에 따른 검출률 및 오검출률을 나타낸다. 표 2에서와 같이 필터 크기가 11×11 이상일 경우 검출률이 100%가 되지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 2-2장에서 설명한 것과 같이 비교적 밝은 배경에 작은 표적이 있을 경우 필터 크기가 크면 작은 표적을 검출하지 못하기 때문이다. 군사 장비와 같은 장비는 검출률이 중요한 성능 요소이기 때문에 검출률이 낮아지면 큰 성능 저하를 야기한다. 그러므로 11×11 이상 단일 필터 크기의 M-MSF 방법은 검출률이 중요한 장비에 적합하지 않다.

5×5 필터 크기를 적용한 M-MSF 방법의 경우 표적의 검출률은 100%이지만 크기가 큰 표적을 정확하게 검출할 수 없는 문제가 있다. 그림 9의 (a)에서 가까이 진입한 큰 표적의 경우 표적의 경계(Edge)만 검출된 것을 확인할 수 있다. 이는 표적을 안정적으로 검출할 수 없을 뿐만 아니라 표적이 2개 이상으로 분리되는 문제가 발생할 수 있기 때문에 표적 추적에 어려움을 야기할 수 있다.

Table 2. Detection Rate and False Alarm Rate by Varied Filter Size

Filter Size	Detection Rate (%)	False Alarm Rate (%)
5x5	100.0	30.8
11x11	88.9	38.4
21x21	88.9	0.0
31x31	66.7	0.0
Proposed Method	100.0	40.0

표 2에서 제안한 알고리즘은 해당 모의 영상에 대하여 100%의 검출률을 보였지만, 오검출률이 기존 방법에 비해 높게 나온 것을 확인할 수 있다. 제안한 알고리즘의 오검출률이 높게 나온 이유는 각각 필터 연산에서 생성된 서로 다른 클러터가 모두 더해졌기 때문이다. 그림 9의 (a), (b)에서와 같이 서로 다른 위치에 클러터가 존재할 경우 각 필터 영상을 합치는 과정에서 클러터 개수가 증가하게 된다. 이는 오검출률을 높이는 결과를 초래하지만, 군사 장비와 같이 운용 목적에 따라 검

출률이 오검출률보다 훨씬 중요한 성능 요소가 될 수 있다. 또한 다양한 방법으로 오검출된 클러터를 제거하는 기법들을 사용하여 오검출률을 낮출 수 있다.

3. Processing Time Verification

알고리즘 처리 시간에 사용한 영상은 앞 절에서 사용한 모의 영상으로 해상도는 1024×1280 이다. 알고리즘 처리 시간 분석은 제안한 알고리즘과 동일한 성능을 위해 기존 M-MSF 방법을 각 필터 크기별로 연산한 후 합치는 방법(기존 방법)과 적분 영상을 이용하는 제안한 알고리즘과의 처리 시간을 비교하였다. 표 3은 두 알고리즘에 대한 처리 시간을 비교한 것이다.

표 3에서와 같이 기존 방법의 경우 필터 크기가 커질수록 처리 시간이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 필터 처리 연산이 필터 크기의 제곱에 비례하여 증가하기 때문이다. 그러나 제안한 알고리즘은 필터 크기와 관계없이 처리 시간이 동일한 것을 확인할 수 있다. 이는 적분 영상을 이용한 평균 영상은 필터 크기와 관계없이 동일한 연산량을 갖기 때문이다. 기존 방법에서 노이즈 제거 부분이 없는 이유는 평균 필터 연산 시 노이즈 제거 부분을 반영하여 필터 계수를 생성했기 때문이다. 제안한 알고리즘으로 처리한 결과는 기존 방법과 비교하여 약 60배 정도의 처리 속도가 개선되었다.

Table 3. Processing Time

Processing Time	Conventional Method (sec)	Proposed Method (sec)
Noise Reduction	-	0.476
Integral Image	-	0.033
5x5 Filter	1.016	0.063
11x11 Filter	3.966	0.063
21x21 Filter	13.115	0.063
31x31 Filter	27.582	0.063
Integration	0.014	0.014
Total	45.693	0.775

4. Resource Utilization

FPGA 구현에 대한 분석은 4-3장과 같이 동일한 성능을 갖는 기존 방법과 제안한 알고리즘의 FPGA 구현에 따른 리소스 사용량을 비교하였다. 표 4는 두 알고리즘에 대한 FPGA 리소스 사용량을 비교한 것이다.

표 4에서 라인 메모리에 해당하는 BRAMs(RAMB18)은 동일하지만 LUT(Look-Up Table), FF(Flip-Flop) 사용량은 기존 방법에 비해 제안한 알고리즘이 각각 91.8%, 76.1% 감소한 것을 확인할 수 있다. 또한 필터 크기가 커질수록 HW 코딩(HDL)량이 방대해지는 것에 비해 제안한 알고리즘은 필터 크기에 관계 없이 동일한 방법으로 코딩이 가능하기 때문에 기존 방법에 비해 훨씬 쉽게 구현이 가능하다.

Table 4. Resources used for Each of the Implementations

Resources	Conventional Method	Proposed Method
BRAMs (RAMB18)	124	124
LUT	42,023	3,443
FF	57,457	13,725

V. Conclusions

본 논문에서는 M-MSF 기반 다중 크기 표적(Multi-Scale Object) 탐지 기법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 적분 영상을 이용하여 다양한 필터 크기의 평균 영상을 생성하고 이를 이용하여 다양한 크기의 표적을 정확하게 검출하는 방법이다. 다양한 크기의 표적이 있는 영상을 이용하여 실험한 결과 높은 검출률과 정확한 형태의 표적 검출, 그리고 처리 시간을 단축시킨 결과를 확인하였다. 또한 FPGA를 이용한 처리 방법을 제시함으로써 실시간 처리가 가능한 알고리즘임을 확인하였다.

그러나 제안한 알고리즘은 기존 방법에 비해 높은 오검출률을 갖는다. 이는 각 필터별 클러터가 모두 더해졌기 때문으로, 향후 이러한 클러터를 제거하는 기법에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] C. Kim, J. Kim, and K. Jang, "Real-time small target detection method Using multiple filters and IPP Libraries in Infrared Images," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 21, No. 8, pp. 21-28, Aug. 2016.
- [2] J. Kim, B. Choi, S. Chun, J. Lee, and Y. Moon, "The Target Detection and Classification Method Using SURF Feature Points and Image Displacement in Infrared Images." *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 19, No. 11, pp. 43-52, Nov. 2014.
- [3] S. Kim and J. Lee, "Scale invariant small target detection by optimizing signal-to-clutter ratio in heterogeneous background for infrared search and track," *Pattern Recognit.*, Vol. 45, pp. 393-406, Jan. 2012.
- [4] V. Tom, T. Peli, M. Leung, and J. Bondaryk, "Morphology-based algorithm for point target detection in infrared backgrounds," *Proc. SPIE*, Vol. 1954, pp. 25-32, Oct. 1993.
- [5] A. Toet and T. Wu, "Small maritime target detection through false color fusion," *Proc. SPIE*, Vol. 6945, pp. 69450V-69453V, Apr. 2008.
- [6] C. Gao, D. Meng, Y. Yang, and X. Zhou, "Infrared Patch-Image Model for Small Target Detection in a Single Image.", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 22, No. 12, Dec. 2013.
- [7] I. S. Reed, R. M. Gagliardi, and L. B. Stotts, "Optical moving target detection with 3D matched filtering," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, Vol. 24, no. 4, pp. 327-336, Jan. 1988.
- [8] M. Li, T. Zhang, W. Yang, and X. Sun, "Moving weak point target detection and estimation with three-dimensional double directional filter in IR cluttered background," *Opt. Eng.*, Vol. 44, pp. 107007-1-107007-4, Oct. 2005.
- [9] K. Melendez and J. Modestino, "Spatiotemporal multiscan adaptive matched filtering," *Proc. SPIE*, vol. 2561, pp. 51-65, Sept. 1995.
- [10] Y. Han, P. Zhang, C. Fei, and X. Wang, "Infrared small target detection based on spatio-temporal saliency in video sequence," *IEEE 12th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, pp. 279-282, 2015.
- [11] L. Itti, C. Koch, and E. Niebur, "A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 20, No. 11, pp. 1254-1259, Nov. 1998.
- [12] X. Hou and L. Zhang, "Saliency Detection: A Spectral Residual Approach", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR)*, pp. 1-8, June 2007.
- [13] S. Goferman, L. Zelnik-Manor, and A. Tal, "Context-aware saliency detection," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 34, No. 10, pp. 1915-1926, Oct. 2012.
- [14] S. Qi, J. Ma, C. Tao, C. Yang and J. Tian, "A Robust Directional Saliency-Based Method for Infrared Small-Target Detection Under Various Complex Backgrounds," *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 10, No. 3, pp. 495-499, May 2013.
- [15] X. Zhang, K. Ren, J. Gao, C. Li, G. Gu and M. Wan, "Infrared moving small target detection based on saliency extraction and image sparse representation," *Proc. SPIE Infrared Technology and Applications, and Robot Sensing and Advanced Control*, Vol. 10157, pp.

34-34, Oct. 2016

- [16] Crow and C. Franklin, "Summed-area tables for texture mapping," ACM SIGGRAPH Computer Graphics Vol. 18, No. 3, pp. 207-212, 1984.
- [17] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), Vol. 1, pp. 511-518, 2001.

Authors



Hun Ki Kim received the B.S. and M.S. degrees in Electrical, Information & Control Engineering from Hongik University, Korea, in 2004 and 2007, respectively

In 2008, he joined Hanwha Systems. Co., Republic of Korea, and he is currently a researcher. He is interested in Surveillance, Tracking and computer vision.



Kyung Hyun Jang received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Hanyang University, Korea, in 2005, 2007 and 2014, respectively

In 2014, he joined the Hanwha Systems. Co., Republic of Korea, and is currently a senior researcher. He is interested in computer vision and pattern recognition.