

예측 후보 영역에서의 지역적 대비 차 계산 방법을 활용한 실시간 소형 표적 검출

(Real-time Small Target Detection using Local Contrast Difference Measure at Predictive Candidate Region)

반 종 희¹⁾, 왕 지 현²⁾, 이 동 화³⁾, 유 준 혁⁴⁾, 유 성 은^{5)*}

(Ban Jong-Hee, Wang Ji-Hyeun, Lee Donghwa, Yoo Joon-Hyuk, and Yoo Seong-eun)

요 약 본 논문에서는 낮은 SNR을 가지는 적외선 영상에서 강인한 소형 표적 검출을 위해 모폴로지 차 연산을 수행하여 표적 후보 영역을 찾고 화소 라벨링을 통해 후보 영역의 위치를 찾는다. 기존의 모폴로지 연산 기반의 표적 검출 방법들은 적외선 영상에 존재하는 클러터에 취약하다는 단점으로 인해 검출 정확도가 낮다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 후보 영역에서 표적과 배경 잡음을 분류하기 위해 Moravec 알고리즘과 LCM(Local Contrast Measure) 알고리즘을 결합함으로써 표적 향상과 배경 잡음 억제를 동시에 달성한다. 또한, 제안하는 알고리즘은 기존에 실시간 표적 검출을 위해 개발되었던 모폴로지 연산과 가우시안 거리 함수를 이용한 표적 검출 방법의 단일 객체에 제한적인 검출 문제를 해결하여 복수 객체를 효율적으로 검출할 수 있다.

핵심주제어 : 소형 표적 검출, 실시간 검출, 지역적 대비 계산, 적외선 영상

Abstract In This Paper, we find the Target Candidate Region and the Location of the Candidate Region by Performing the Morphological Difference Calculation and Pixel Labeling for Robust Small Target Detection in Infrared Image with low SNR. Conventional Target Detection Methods based on Morphology Algorithms are low in Detection Accuracy due to their Vulnerability to Clutter in Infrared Images. To Address the Problem, Target Signal Enhancement and Background Clutter Suppression are Achieved Simultaneously by Combining Moravec Algorithm and LCM (Local Contrast Measure) Algorithm to Classify the Target and Noise in the Candidate Region. In Addition, the Proposed Algorithm can Efficiently Detect Multiple Targets by Solving the Problem of Limited Detection of a Single Target in the Target Detection method using the Morphology Operation and the Gaussian Distance Function Which were Developed for Real time Target Detection.

Key Words : Small Target Detection, Real-time Detection, Local Contrast Measure, Infrared Image

* Corresponding Author : seyoo@daegu.ac.kr

† 이 논문은 2016년 국방과학연구소의 재원으로 수행된 연구과제 (UE161061RD)의 연구결과임.

Manuscript received Dec, 5, 2016 / revised Dec, 23, 2016 / accepted Jan, 6, 2017

1) 대구대학교 정보통신공학과, 제1저자
2) 국방과학연구소 신개념무기팀
3) 대구대학교 정보통신공학부
4) 대구대학교 정보통신공학부
5) 대구대학교 정보통신공학부, 교신저자

1. 서론

최근 군에서는 비행기, 우주선, 로켓, 야전 이동단말(GPS, GIS)에 임베디드 시스템을 적용하여 군사 무기/방어 체계를 더욱 견고하게 발전시키고 있다. 그 중 적외선을 이용한 유도 미사일은 주/야간에도 사용 가능하며 은/엄폐 표적을 식별 가능하다는 장점이 있다. 이때 주로 사용되는 기술은 적외선 경고 시스템(IR Warning System, IRWS)과 적외선 탐색 및 추적 장치(IR Search and Tracking,IRST)로 미사일, 전투기, 헬기 등 원거리에서 접근하는 위협 표적을 조기에 발견하고 경고 또는 공격하기 위한 시스템이다[1]. 정밀유도 미사일의 타격력을 높이기 위해서는 조속히 표적을 탐지하고 추적 할 수 있는 실시간 표적 검출 알고리즘이 필요하다. 그러나 적외선 영상에 존재하는 표적들은 주로 수 킬로미터에서 수십 킬로미터 떨어진 원거리에서 촬영되기 때문에 표적의 크기가 매우 작고 형태 및 질감 정보가 존재하지 않는다. 또한 적외선 카메라에 내재된 특성상 적외선 영상은 대기 난류, 대기 방사, 지형지물, 구름 등의 노이즈에 의해 영상의 신호 대 잡음 비율(Signal-to-Noise Ratio, SNR)이 매우 낮다[2]. 이러한 소형 표적과 적외선 영상의 특징들은 소형 표적 검출을 어렵게 만드는 주된 원인이다. 이를 해결하기 위해 소형 표적을 효과적으로 검출하기 위한 다양한 알고리즘이 개발되고 있다.

먼저 종래의 대표적인 소형 표적 검출 방법은 크게 두 가지 측면으로 나뉠 수 있다. 첫 번째로는 표적 검출을 위해 배경을 억압시키거나 배경의 클러터를 제거하는 알고리즘이 있고 두 번째는 영상에서 표적을 두드러지게 나타내는 표적 향상 기법으로 나뉜다. 배경 클러터 제거 기법에는 수학적 형태학 연산(Mathematical morphology operator)인 모폴로지 연산에 기반한 탑햇 변환(Top-hat transform)과 최대 평균값 필터(Max-mean filter), 그리고 최대 중간값 필터(Max-median filter)등이 있다[2-3]. 모폴로지 연산의 경우 연산량이 가벼워 고속 검출에 적합하지만 배경에 표적과 유사한 클러터가 존재할 경우에는 정확도가 떨어진다. 최대 평균값, 중간값 필터의

경우 배경에 지형지물이나 큰 잡음이 분포할 경우에 검출 정확도가 매우 떨어진다. 정확한 표적 검출을 위해 다른 스케일에서의 웨이블릿에 의해 생성된 이미지 정보를 사용하여 표적과 배경을 구별하는 웨이블릿 기반 소형 표적 검출 방법이 제안되었다[4]. 그러나 이러한 방법들은 때때로 부정확하고 많은 시간을 소비하기 때문에 실시간 표적 검출 방법으로는 부적합하다.

신속하고 정확한 표적 검출을 위해 모폴로지 연산과 가우시안 거리함수를 이용한 표적 검출 방법이 연구되었다[5-7]. 해당 알고리즘은 연산량이 가벼운 모폴로지 연산을 사용하되 클러터에 취약한 단점을 해결하기 위해 미디언 필터를 이용해서 클러터를 제거하고 모폴로지 차 연산으로 표적 후보 화소를 추출한 다음 가우시안 거리 함수를 이용해서 표적을 검출하였다. 그러나 가우시안 거리 함수를 이용하여 최소의 분산값을 가지는 단일 객체만을 표적으로 검출하기 때문에 복수 개체를 검출하지 못하는 단점이 있다. 또한 5×5, 7×7, 9×9로 고정된 크기의 구조요소를 사용하기 때문에 해당 크기를 벗어난 스케일의 표적을 검출하지 못한다는 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 모폴로지 차 연산을 통해 표적 후보 화소 영역을 예측하고 예측된 후보 화소들을 라벨링하여 표적의 스케일을 동적으로 계산함으로써 구조요소 기반 표적 검출 방법의 스케일 의존적 문제를 극복한다. 다음으로 표적을 찾기 위해 표적과 배경 영역의 대비 차를 계산하는 LCM(Local Contrast Measure)방법과 표적 특징 가능성을 분석하는 Moravec 알고리즘을 결합하여 소형 표적의 향상과 배경의 억제를 동시에 달성한다. 또한 기존의 모폴로지 연산과 가우시안 거리 함수를 이용한 표적 검출 방법의 단점이었던 복수 개체 검출 문제를 해결하였다.

2. 지역적 대비차를 이용한 소형 표적 검출

2.1 제안하는 소형 표적 검출 시스템의 구조

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 Fig. 1에 보인 바와 같은 순서로 소형 표적 검출을 시행한

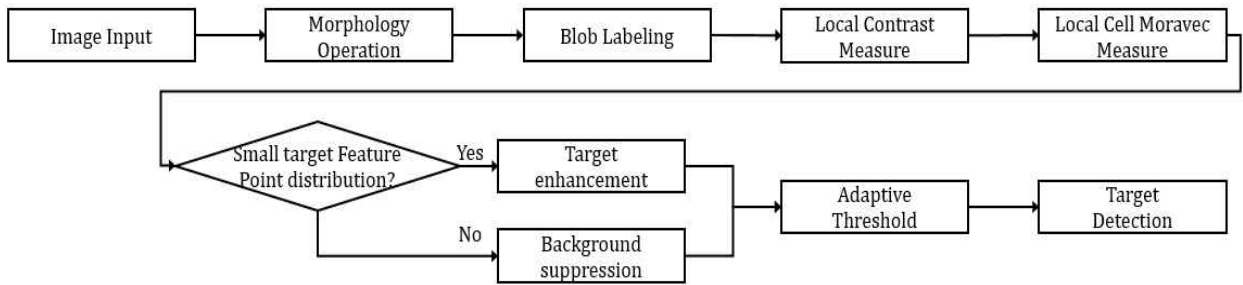


Fig. 1 Flowchart of the proposed method

다. 먼저 모폴로지 차 연산을 통하여 후보 화소를 검출하고 라벨링을 통해 후보 영역의 위치를 찾아 해당 후보 영역에만 연산을 시행하여 계산 시간을 줄인다. 검출된 후보 영역 중 실제 소형 표적을 검출하기 위한 Moravec 알고리즘을 적용하고 표적의 특징을 가지는 영역에는 표적 향상을 위한 연산, 표적의 특징을 가지지 않는 영역에는 배경을 억압시키는 연산을 시행한다. 마지막으로 표적이 향상되고 배경이 억압된 결과 영상을 획득하고 나면 해당 영상에서 향상된 표적의 화소 밝기값에 따라 적응적 이진화를 수행하여 소형 표적을 검출한다.

2.2 모폴로지 연산 기반의 후보화소 검출

모폴로지 연산은 팽창($f \oplus b$)과 침식($f \ominus b$)연산과 이를 응용한 열림($f \circ b$)과 닫힘($f \bullet b$)연산 총 4가지 연산이 있다. 모폴로지 연산은 이진 영상과 그레이 영상에서 이루어진다.

$$(f \oplus b)(x, y) = \max(f(x - x', y - y') + b(x', y')) \quad (1)$$

$$(f \ominus b)(x, y) = \min(f(x + x', y + y') - b(x', y')) \quad (2)$$

$$(f \circ b)(x, y) = (f \ominus b) \oplus b \quad (3)$$

$$(f \bullet b)(x, y) = (f \oplus b) \ominus b \quad (4)$$

모폴로지 팽창 연산은 구조요소 $b(x', y')$ 를 이용하여 원점을 중심으로 180° 회전시키고 영상의 모든 위치로 이동시키는 공간 컨볼루션 연산과 비슷한 개념으로 식 (1)로 나타낼 수 있다. 그러

나 팽창 연산과 컨볼루션 연산과의 차이는 구조요소의 좌표 쌍 (x', y') 에 대해 각 좌표값이 1일 때만 $f(x - x', y - y') + b(x', y')$ 항이 max연산에 포함된다. 침식 연산도 식 (2)와 같이 연산이 진행된다. 팽창연산을 하게 되면 영상에서 밝게 나타나는 영역이 확장되고 침식 연산은 반대로 밝은 영역이 축소된다. 식 (3)으로 표현되는 열림 연산은 침식 연산 후 팽창을 하는 과정에서 영상에서 작은 크기의 밝은 화소들이 고립된다. 반대로 닫힘 연산은 팽창연산 후 침식 연산을 함으로써 어두운 부분을 고립시킬 수 있다. 결과적으로 모폴로지 닫힘 연산을 수행한 결과 영상에서는 영상에서 어두운 부분으로 나타나는 배경 또는 잡음 영역이 제거되고, 열림 연산을 수행한 결과 영상에서는 표적 영역의 밝은 부분이 축소되고 미세하게 나타는 밝은 색의 잡음들이 제거된다. 닫힘 연산과 열림 연산의 결과 영상을 차 연산하게 될 경우 노이즈가 일부 제거되고 표적 영역을 포함한 일부 영상만이 화면에 남게 되어 이를 표적의 후보 화소들로 볼 수 있다.

본 논문에서는 입력이미지를 그레이 영상으로 변환하여 모폴로지 연산을 진행하고 후보 화소의 검출을 위해 모폴로지 닫기 연산과 열림 연산의 결과 영상을 차 연산함으로써 후보 화소를 검출한다. 다음으로 검출된 후보 화소들의 위치 좌표를 구하기 위해 차 연산 결과 영상을 이진 영상으로 변경한 뒤, 4연결성을 가지는 화소들에 대해 화소 라벨링을 수행한다. 이를 통해 각 라벨 영역의 좌측 상단의 (x, y) 좌표를 획득함으로써 획득된 라벨 영역의 너비와 폭으로 라벨 영역의 스케일값 k 와 중심 좌표를 획득한다. Fig. 2는 모폴로지 차 연산과 이진화의 결과 영상이다.

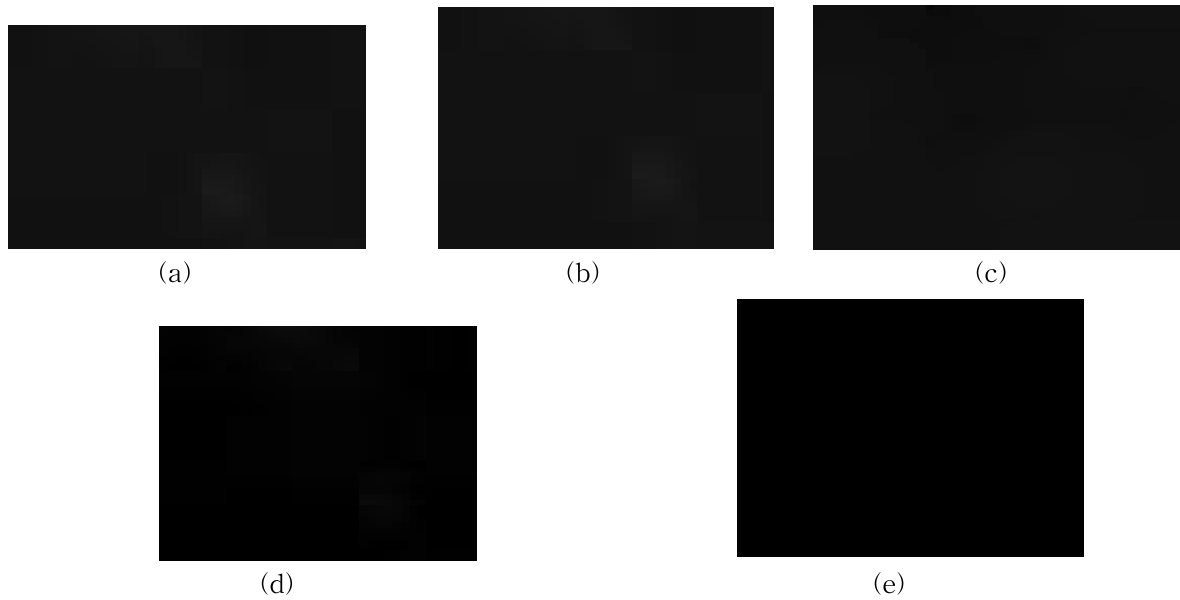


Fig. 2 (a)Input Image, (b)Result image of the closing, (c)Result image of the opening, (d) Result image of the differencing, (e) Binarized image

2.3 소형 표적의 특징

적외선 영상에 존재하는 소형 표적은 대체적으로 매우 작은 크기의 백색 점(White Spot)으로 나타난다. Mao 등은 적외선 영상에서 검출하고자 하는 소형 표적은 전체 영상의 0.15% 이하의 크기를 가진다고 정의하였다[8]. 또한 Kim은 소형 표적을 포함하는 다양한 적외선 영상의 분석을 통해 소형 표적의 평균 크기는 5×5이며 표준편차가 1.5인 가우시안 형태를 갖는다는 사실을 근거로 소형 표적을 모델링하였다[9]. 이러한 사실로 미루어 보았을 때 소형 표적의 효율적인 검출을 위해서는 영상의 전체 크기나 소형 표적의 움직임에 따라 변화하는 소형 표적의 크기에 맞춰 소형 표적을 검출해야 할 필요가 있다.

소형 표적의 다른 특징으로 Chen 등은 소형 표적 영역이 로컬 영역에서 주변 영역에 비해 밝다는 특징으로 소형 표적 검출 알고리즘을 제안하였다[10]. 해당 알고리즘은 Fig. 3과 같이 소형 표적 검출을 위해 9개의 셀로 이루어진 이미지 윈도우를 이동하며 각 셀 사이의 밝기값들을 계산하는 LCM(Local Contrast Measure)방법으로 소형 표적을 검출한다. 또한 실험을 통해 실제

소형 표적의 시각적인 밝기는 표적과 그 주변 영역간의 차이가 작음에도 불구하고 대체 그 주변 영역보다 크다는 사실을 확인하였다. 이러한 특징을 사용하여 LCM 알고리즘은 중심 영역과 주변 영역의 대비(Contrast)값을 계산하고 지역적



Fig. 3 Image patch divided into 9 cells

대비 지도(Local Contrast Map)를 생성하여 소형 표적을 검출한다. 이와 유사한 방법으로 1980년도에 Moravec에 의해 제안된 Moravec 코너 검출 알고리즘은 현재 화소를 중심으로 마스크를 생성하여 주변 영역으로 마스크를 이동시키며 중

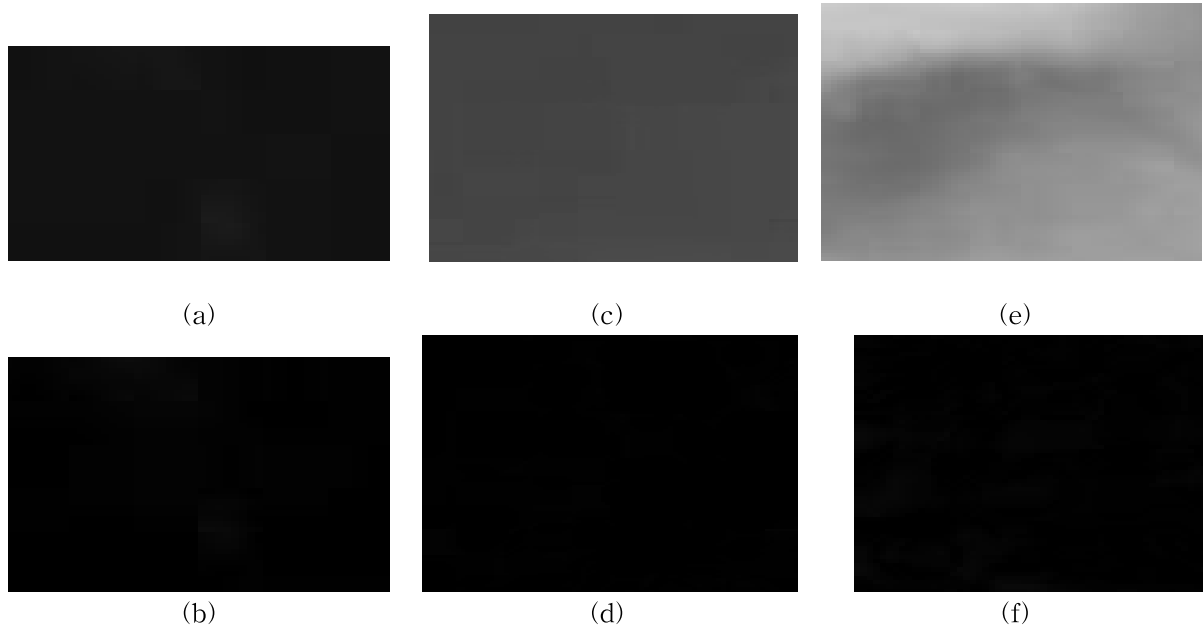


Fig. 4 (a),(c),(e) Gray scale image, (b),(d),(f) Result image of the differencing

심 화소값과의 차이를 계산하여 특징점을 찾는 방법이다[11].

앞서 설명된 두 가지 특징을 살펴보면 소형 표적의 검출을 위해서는 표적의 크기에 독립된 스케일 적응적 알고리즘 설계와 소형 표적의 검출을 위해 대비 차를 이용하는 것은 매우 효율적이라는 것을 알 수 있다. 그러나 Local Contrast Map을 전체 영역에 걸쳐 계산하는 것은 처리 시간을 길어지게 하는 단점이 있고, Moravec 알고리즘과 같이 단일 화소간의 화소값 차이를 통해 표적을 찾는 것은 표적의 스케일을 고려하지 못하여 소형 표적 검출에 적합하지 않고 미처 제거되지 못한 미세한 노이즈에 의한 오검출을 야기할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 후보 화소 라벨링을 통해 각 영역의 스케일을 동적으로 계산하고 검출된 후보 영역에서만 지역적 대비 계산을 수행하여 처리 시간을 줄인다.

2.4 지역적 대비 계산법

지역적 대비 계산법은 후보 영역의 중심 좌표를 기준으로 앞서 획득한 스케일값 $k \times k$ 의 크기를 가지는 셀을 생성하는 것으로 시작된다. 중심

셀을 기준으로 9개의 셀 $c_n (n = 0, 1, \dots, 8)$ 을 생성한다. c_0 은 이미지 패치의 중심 셀이며 이는 곧 소형 표적의 후보 영역이다.

$$C_n(x,y) = \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k I_i^j (n = 0, 1, \dots, 8) \right)^2 \quad (5)$$

$$\begin{cases} x = c_{0x} + kl & (l = -1, 0, 1) \\ y = c_{0y} + kl \end{cases}$$

$$S_n = C_0 - C_n \quad (n = 0, 1, \dots, 8) \quad (6)$$

식 (5)에서 I_i^j 는 n번째 셀의 (j, i)좌표 화소 밝기값(Intensity)이다. 각 셀은 행과 열이 k개의 화소로 이루어져 있으므로 C_n 은 k^2 개 화소의 밝기값의 합의 제곱으로 구해진다. 밝기값의 합을 제공하는 이유는 후보 영역의 스케일이 작거나 영상의 평균 밝기값이 작을 경우 밝기값의 합만으로는 표적을 구분하기 위한 명확한 대비값을 얻기 힘들기 때문이다. 모든 C_n 값이 구해지면 식 (6)과 같이 C_0 과 주변 영역의 차를 통해 Local Contrast Map을 획득한다. Local Contrast Map $S(x, y)$ 는 차 연산 결과 영상과 그레이 영

상에서 각각 $S_{diff}(x, y)$, $S_{gray}(x, y)$ 으로 획득한다. 그 이유는 Fig. 4와 같이 차 연산 결과 영상의 경우 화면에 존재하는 후보 화소와 배경 영역간의 대비차가 분명하다. 하지만 이러한 특성으로 인해 지역적 대비 계산 시 표적 후보 화소들이 중심 셀에서 약간이라도 벗어나는 경우 계산의 오차가 증가할 위험이 크다. 또한 그레이 영상에서의 대비 차는 표적이 구름이나 주변 노이즈에 위치하고 있을 경우 주변 영역과 대비차가 작게 나타난다. 때문에 두 영상에서 나타나는 문제를 상호보완하기 위해 그레이 영상과 차 연산 결과 영상에서 Local Contrast Map을 생성하여 소형 표적의 특징을 찾아낸다.

2.5 표적 향상 및 배경 억압을 통한 소형 표적 검출

검출된 후보 영역 중 배경이나 노이즈를 제외한 소형 표적을 검출하기 위해서는 표적과 노이즈를 구분하기 위한 특징점이 필요하다. 소형 표적은 적외선 영상에서 점(Spot)형태로 존재하기 때문에 주변 영역들과 불연속적이며 상대적으로 높은 수치의 밝기값이 작은 영역에 분포하고 있다. 또한 소형 표적이 전체 크기의 0.15% 미만의 면적을 차지한다는 Mao의 정의를 이용하면 해당 크기 이상의 후보 영역은 비 표적 영역으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 특성과 특징점 추출 알고리즘인 Moravec 알고리즘을 앞서 획득한 Local Contrast Map $S_{diff}(x, y)$, $S_{gray}(x, y)$ 에 적용하여 소형 표적을 검출한다.

Fig. 5는 Local Contrast Map $S(x, y)$ 의 화소값이다. C_{diffn} 는 중심 셀의 밝기값 C_0 과 이웃하는 C_n 간의 차이값이다. 가운데 위치한 결과값의 경우 C_0 과의 차이가 0이기 때문에 영상에 관계없이 값이 0으로 동일하며 나머지 좌표값의 경우 0이 아닌 값이 나올 것이다. 만일 표적과 일치하는 영역일 경우 모든 C_{diffn} 값은 비슷한 분포 내에서 항상 C_0 보다 작은 양수의 값을 띄고 있지만 표적이 아닌 영역의 경우 값의 분포가 일정하지 않거나 때때로 음수의 값을 가질 수 있다. 소형 표적 결정을 위한 적절한 C_{diffn} 값을 찾기 위

C_{diff1}	C_{diff2}	C_{diff3}
C_{diff4}	0	C_{diff5}
C_{diff6}	C_{diff7}	C_{diff8}

Fig. 5 Local Contrast Map $S(x, y)$

해 다양한 소형 표적 이미지에서 실험을 하였고 그 결과 차 연산 결과 이미지의 경우에는 소형 표적 영역이 C_{diffn} 값이 C_0 의 40%이상이었고 소형 표적이 아닐 경우 40% 미만의 값으로 측정되었다. 그레이 이미지에서는 차 연산 이미지보다 평균 화소값이 비교적 높고 노이즈에 의한 대비가 작기 때문에 소형 표적의 경우 C_{diffn} 값이 최소 C_0 의 10% 이상이었고 아닐 경우에는 10% 미만의 대비차를 보였다.

$$T_{diff} = 0.4C_0 \quad (C_0 \in S_{diff})$$

$$T_{gray} = 0.1C_0 \quad (C_0 \in S_{gray}) \quad (7)$$

식 (7)은 소형 표적 특징 가능성을 가진 셀을 분류하기 위한 임계값을 나타낸다. 각 Local Contrast Map S에 대하여 임계값 이하의 C_{diffn} 값을 가지는 셀을 계수하여 N_{nt} 로 나타내고 N_{nt} 의 개수에 따라 소형 표적 특징 가능성에 가까운 영역에 대해서는 소형 표적 향상을, 가능성이 없는 영역에 대해서는 배경 억압 및 잡음 제거 연산을 수행한다. 소형 표적 향상과 배경 억압 및 잡음 제거 연산은 다음과 같은 조건에서 진행된다.

- 표적 향상 : 9개의 C_n 에 대하여 C_0 가 가장 밝 으면서 N_{nt} 값이 2개 이하 일 경우. 이때 $S_{diff}(x, y)$ 와 $S_{gray}(x, y)$ 둘 중 하나라도 조건을 만족할 경우 C_0 영역에 대해서 소형 표적 향상을 적용한다. 이때 후보 영역의 스케일은 전체 영상 크기의 0.15%를 넘지 않아야 한다.

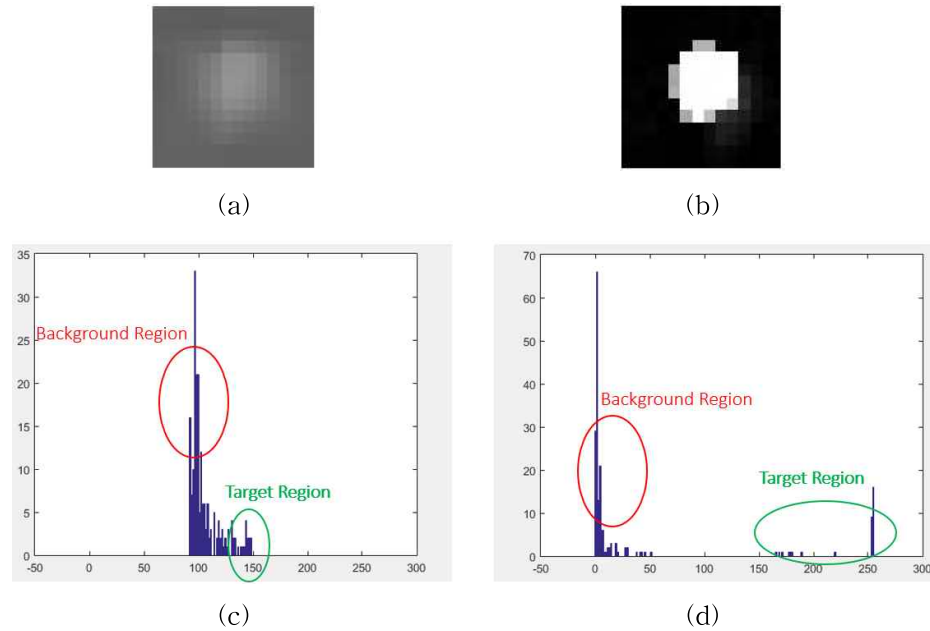


Fig. 6 (a)Input image, (b) Enhanced image
(c) Histogram of (a), (d) Histogram of (b)

- 배경 억압 : $S_{diff}(x, y)$ 와 $S_{gray}(x, y)$ 의 N_{nt} 값이 $2 \leq N_{nt} < 4$ 을 만족할 경우에는 해당 영역에 -2의 표준편차를 가지는 가우시안 필터를 적용하여 배경 영역의 값을 억압시킨다.
- 잡음 제거 : $S_{diff}(x, y)$ 와 $S_{gray}(x, y)$ 의 N_{nt} 값이 양쪽 모두 4개 이상일 경우, 혹은 후보 영역의 스케일이 전체 영상 크기의 0.15%가 초과할 경우에는 해당 후보 영역을 잡음으로 분류하고 해당 영역의 모든 화소값을 0으로 제거한다.

표적 영역의 밝기를 증가시키는 것은 소형 표적과 배경 영역의 대비를 증가시켜 소형 표적 검출을 위한 적응적 이진화의 임계값을 결정하는데 도움을 준다. 이러한 적응적 이진화 기법은 영상 처리를 통한 문자 인식 등에 주로 사용되는 기법이다[12]. 만약 소형 표적이 아닌 주변 영역의 밝기값을 향상시킬 경우에는 최종 검출되는 결과에 소형 표적이 아닌 배경 영역까지 포함되어 오 검출율을 증가시킬 수 있다. 때문에 실제 소형 표적이 위치하는 영역과 배경 영역을 정확히 분리

하기 위한 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 표적 영역과 배경 영역의 분리를 위한 후보 영역의 히스토그램 개선을 위해 Otsu가 제안한 최적 전역적 임계처리 알고리즘을 사용한다[13].

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[m_G P_1(k) - m(k)]^2}{P_1(k)[1 - P_1(k)]} \quad (8)$$

Otsu 알고리즘은 영상이 가지는 히스토그램의 성분 중 클래스 간 분산 $\sigma_B^2(k)$ 를 최대화하는 임계값 k 를 선정하는 알고리즘이다. 식 (8)에서 m_G 는 전체 영상의 평균 밝기이며 $P_1(k)$ 는 밝기 레벨 0에서 k 사이의 히스토그램 성분들로 이루어진 집합의 발생 확률이다. $m(k)$ 는 레벨 k 까지의 평균 밝기이다. k 값에 따라 파라미터 $m(k)$ 와 $P_1(k)$ 을 계산하여 클래스 간 분산을 최대화하는 임계값을 구하여 영상을 분할하면 소형 표적 영역과 배경 영역을 명확히 구분 할 수 있다. 분할된 소형 표적 영역과 그레이 영상의 동일 좌표에 해당하는 화소값을 비교하여 소형 표적 영역의 화소값들을 향상시켜준다. Fig. 6은 Otsu 알고리즘을 통해 소형 표적 영역을 분리하고 해당 영역

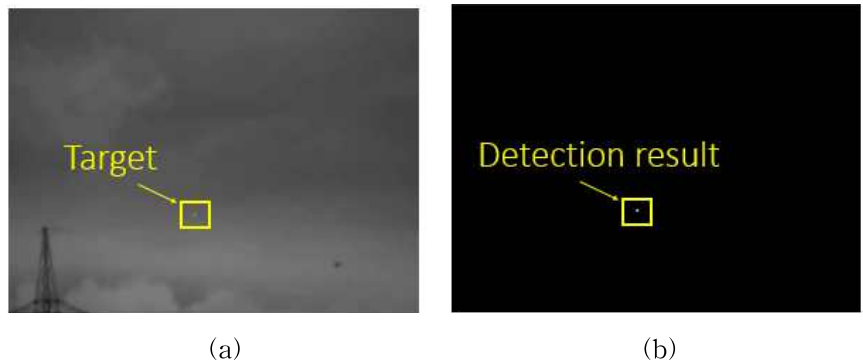


Fig. 7 (a)Input image, (b) Final detection result

의 화소값을 40%증가시킨 결과 밝기값 [150, 255]구간에서 히스토그램 bin의 개수가 증가하고 배경 영역과 표적 영역이 정확하게 분리되는 것을 보여준다. 마지막으로 소형 표적의 향상과 배경의 억압, 노이즈 제거가 완료된 결과 영상에서 적응적 이진화를 통해 최종적으로 소형 표적을 검출한다. Fig. 7은 제안하는 알고리즘의 최종 결과 영상을 보여준다.

3. 실험결과 및 분석

본 논문에서 제안하는 소형 표적 검출 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 실제 적외선상에서 공중의 비행체를 촬영한 영상과 공중에서 지상의 표적을 검출한 네 가지 적외선 영상에 대하여 실험을 수행하였다. Fig. 8의 각 영상은 배경의 복잡도, 표적의 크기 및 개수 등 다양한 환경의 적외선 영상 A, B, C, D로 구성되었다[16-18]. 알고리즘은 OpenCV 2.4 버전의 라이브러리를 사용하여 구현되었고 실험은 Inter Core i7 2.60GHz, 메모리 8.00GB, Window 8 64비트 운영체제에서 Microsoft Visual Studio 2013을 사용하여 시행되었다.

A영상은 영상에 단일 개체의 소형 표적과 표적을 이외의 노이즈가 거의 존재하지 않는 영상이며, B영상은 단일 개체의 소형 표적과 구름이나 지형지물 등의 잡음이 포함되어 있는 영상이다. C영상은 표적 주변으로 구름이 위치하고 있어 영상의 복잡도가 높다. D영상은 공중에서 지

상의 표적을 촬영한 영상으로 배경 잡음에 의한 복잡도가 매우 높고 복수 개체의 표적을 촬영한 영상이다. A, B, C 영상은 8비트 1024×768 크기의 영상이며 D 영상은 768×616 크기의 영상이다.

제안하는 알고리즘과 기존 방법들의 성능 비교를 위해 기존 방법 중 모폴로지 연산을 이용한 대표적인 방법인 탐헷 변환 알고리즘과 모폴로지 연산 및 가우시안 거리 함수를 이용한 소형 표적 검출 알고리즘을 구현하였다. 두 알고리즘은 모폴로지 연산 기반이기 때문에 구조 요소 크기에 따라 성능이 달라질 수 있다. 탐헷 변환 알고리즘은 5×5의 구조 요소를 사용하였고 모폴로지 연산과 가우시안 거리 함수를 이용한 소형 표적 검출 알고리즘 역시 5×5의 구조 요소를 사용하여 테스트하였다. 제안하는 알고리즘의 전 처리 과정에서 후보 화소 검출을 위해 모폴로지 차 연산을 진행하는데 해당 과정에서도 역시 통일성을 주기 위해 기존 방법들과 마찬가지로 5×5의 구조 요소를 사용하여 차 연산을 진행하였다.

Fig. 8은 기존 방법들과 제안하는 알고리즘의 검출 결과 영상이다. A와 C영상의 경우 모든 방법에서 정확하게 소형 표적을 검출하였다. 그러나 영상의 지형지물과 표적과 비슷한 잡음이 존재하여 복잡도가 높은 B영상과 D영상에 대해서는 탐헷 방식의 오검출이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 모폴로지 연산과 가우시안 거리함수의 경우 소형 표적을 정확하게 검출하였지만 복수의 표적이 존재하는 D영상에서 하나의 표적만을 검출하였다. 해당 알고리즘은 가우시안 거리 함수를 적용하여 최소의 분산값을 가지는 후보

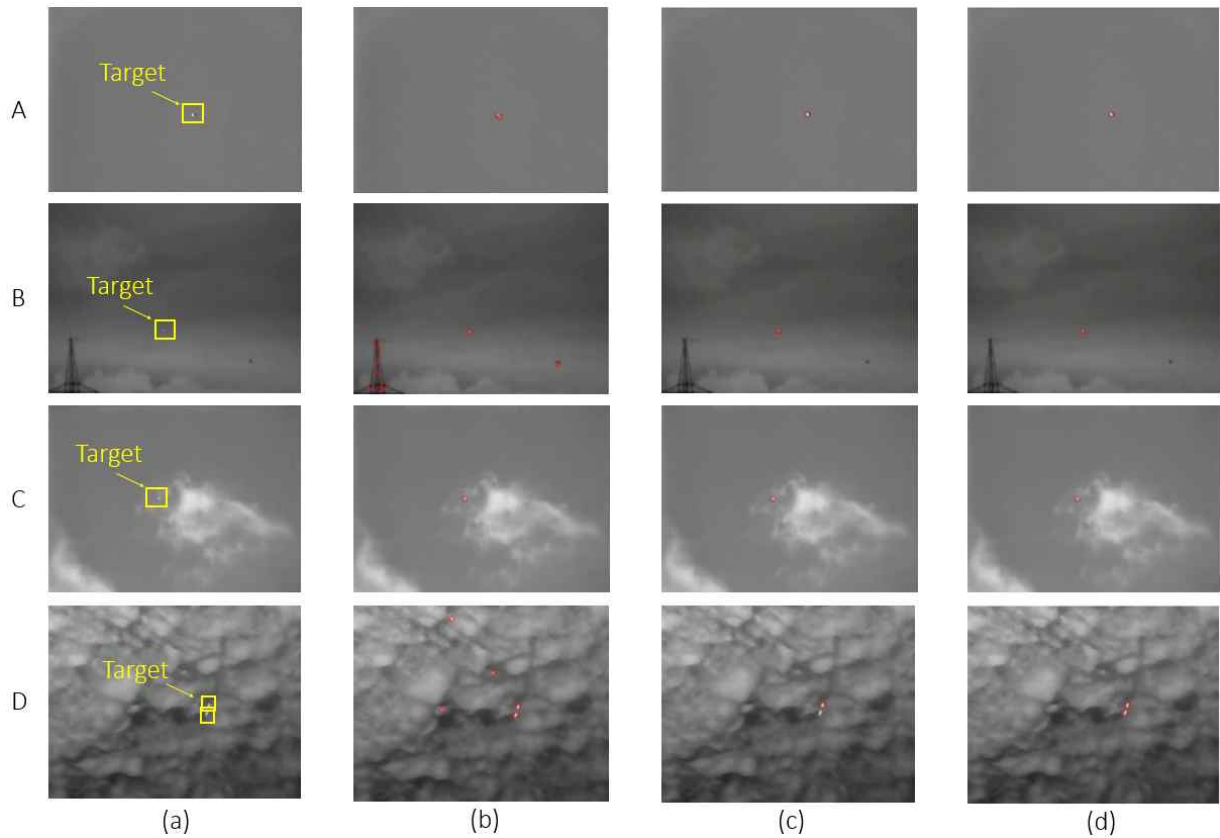


Fig. 8 Experimental results of conventional methods and the proposed method (a) Input image, (b) Top-hat transform, (c) Morphology & Gaussian method, (d) The proposed method

영역을 표적으로 검출하기 때문에 복수 개체를 검출하지 못하는 문제가 발생하였다. 반면 제안하는 알고리즘의 경우 단일 표적과 복수개의 표적을 안정적으로 검출하는 것을 확인 할 수 있었다.

제안하는 알고리즘과 기존 방법들의 성능을 정량적으로 평가하기 위해 SCRG(Signal-to-clutter ratio gain)와 BSF(Background suppression factor), 그리고 검출율과 검출 정확도, 검출 속도 5가지 측면에서 성능 분석을 진행하였다. SCRG는 원 영상과 결과 영상에 대한 SCR(또는 SNR)의 비율을 의미하고 BSF는 표적을 제외한 배경을 억압한 정도를 비교하기 위해 소형 표적 검출 알고리즘에서 주로 사용되는 성능 지표이다 [14-15]. S는 표적 영역의 화소 평균값이며 C는 배경(잡음) 영역의 표준 편차로 식 (9)와 같이 정의된다.

$$SCRG = \frac{(S/C)_{OUT}}{(S/C)_{IN}}, \quad BSF = \frac{C_{IN}}{C_{OUT}} \quad (9)$$

소형 표적의 향상과 배경 억압의 효율이 높을 수록 높은 SCRG 값과 BSF 값을 가진다. 모폴로지와 가우시안 거리 함수를 이용한 방법의 경우 모폴로지 차 연산 결과 영상에서 후보 영역의 좌표를 획득하여 원 영상에서 모든 연산이 진행되기 때문에 소형 표적의 향상이나 배경 억압에 대한 결과 영상을 획득 할 수 없다. 때문에 표적 향상과 배경 억압 측면에서의 성능 비교는 탐색 연산 방법과 제안하는 알고리즘에 한하여 비교하였다. Table 1은 두 가지 알고리즘의 성능 분석 결과이다. 배경 억압 능력의 척도인 BSF는 제안하는 알고리즘이 월등히 높았다. A영상을 제외한 나머지 영상의 경우 지형지물이나 구름과 같은 잡음의 분포가 매우 크기 때문에 BSF 값이

Table 1 Performance comparison of the proposed method and Top-hat transform method

Test image	Algorithms			
	Top-hat		Proposed method	
	SCRG	BSF	SCRG	BSF
A	1.55	8.66	2.20	93.70
B	2.66	35.26	3.72	265.36
C	2.85	47.74	4.36	980.76
D	4.48	64.63	6.26	603.17

매우 크게 측정되었고 이는 곧 제안하는 알고리즘이 배경이 복잡한 경우에도 배경 억압 성능이 우수함을 보여준다. BSF 값이 높더라도 배경을 억압하는 과정에서 표적 영역의 손실이 일어날 경우 표적 검출의 성능은 크게 저하될 수 있다. 그러나 제안하는 알고리즘은 약 1.5배 높은 SCRG 값으로 배경 잡음 제거와 소형 표적 향상 능력이 모두 우수하여 다양한 환경에서 소형 표적을 검출할 수 있음을 보여준다.

Table 2는 A, B, C, D 각 영상에 대한 표적 검출 성능 분석 결과이다. 탐헛 연산 방법은 영상의 복잡도가 낮은 A 영상과 표적과 배경의 대비가 가장 높은 D 영상에서 100 %의 검출율과 검출 정확도를 보였다. 그러나 표적과 배경의 대비가 비교적 낮고 지형지물과 노이즈로 인해 영상의 복잡도가 높은 B, C 영상에서는 100 %의 검출율을 보였지만 각각 48.31 %, 41.84 %의 검출 정확도로 표적 영역을 제외한 영역에서 매우 높은 오검출율을 보였다. 오 검출의 가장 큰 원인은 밝기 변화가 두드러진 부분을 찾아내는데 주로 쓰이는 탐헛 연산의 특성상 표적과 주변 영역의 대비가 모호한 B와 C 영상에서 표적이 아닌 지형지물과 노이즈를 억압하지 못했기 때문이다. 두 번째로 모폴로지와 가우시안 거리 함수를 이용한 방법은 모든 영상에서 높은 검출율을 보였고 B와 C 영상에서 약간의 오 검출이 있었다. 그러나 가장 큰 문제는 최저 분산을 통한 표적 검출로 인해 2개의 표적이 존재하는 D 영상에서 단 하나의 표적만 검출하는 문제가 있었다. 반면 제안하는 알고리즘의 경우 C영상을 제외한 모든

영상에서 100%에 가까운 검출율과 검출 정확도를 보였다. 이는 제안하는 알고리즘이 소형 표적의 향상과 동시에 복잡도가 있는 영상에서 배경 영역을 효율적으로 억압할 수 있음을 확인할 수 있는 결과이다. C 영상에서 제안하는 알고리즘이 오류를 보인 경우는 영상에서 잡음으로 존재하는 구름 영역에서 표적 영역과 비슷한 지역적 대비차를 보이는 고립된 구름 조각들이 존재하는 경우 표적으로 오인하는 문제가 있었다. D 영상에서 제안하는 알고리즘의 검출율에 오류가 발생한 원인은 복수 표적을 검출하는 과정에서 지역적 대비차 계산을 위해 생성된 9개의 셀 영역에 인접한 다른 표적의 일부가 위치할 경우 이를 잡음으로 인식함으로써 배경 영역으로 분류되는 것이 원인이었다.

검출 속도는 모폴로지 연산을 제외한 별다른 알고리즘이 사용되지 않는 탐헛 연산 방법이 가장 빠른 속도로 1024×768크기의 영상에서는 평균 약 40 ms의 속도를 보였고, 모폴로지 연산과 가우시안 거리 함수를 이용한 방법의 경우 동일 크기 영상에서 평균 약 140 ms의 가장 낮은 속도를 보였다. 느린 속도의 가장 큰 원인은 클러스터 제거를 위한 미디언 필터를 영상의 전체 영역에 대하여 적용해야하며 가우시안 거리 함수를 적용하는 과정에서 많은 연산량으로 인해 처리 시간이 길어지는 문제가 있었다. 반면 제안하는 방법은 후보 영역에 대해서만 지역적 대비 계산을 통해 소형 표적의 특징을 찾아내기 때문에 약 67 ms의 속도로 높은 정확도에 비해 빠른 속도로 처리할 수 있음을 알 수 있다. 제안하는 검

Table 2 Performance comparisons of the proposed method and conventional methods

	Test image	Algorithms		
		Top-hat	Morphology & Gaussian	Proposed method
A	Detection speed	39.67 ms	137.08 ms	63.58 ms
	Detection ratio	100 %	100 %	99 %
	Correct detection	100 %	100 %	100 %
B	Detection speed	38.51 ms	142.71 ms	67.23 ms
	Detection ratio	100 %	94 %	100 %
	Correct detection	48.31 %	94 %	100 %
C	Detection speed	40.49 ms	139.34 ms	71.99 ms
	Detection ratio	100 %	100 %	100 %
	Correct detection	41.84 %	95.35 %	95.34 %
D	Detection speed	19.43 ms	85.68 ms	42.75 ms
	Detection ratio	100 %	50 %	99 %
	Correct detection	100 %	100 %	100 %

출 방법을 포함한 전반적인 검출 방법은 모폴로지 연산을 기반으로 이루어져 있기 때문에 검출 속도는 영상의 크기에 매우 큰 영향을 받을 것으로 예상 할 수 있다. 실제로 테스트 영상을 360×240 크기로 줄여서 테스트를 해보았을 때 탐했 연산 방법은 약 11 ms, 모폴로지와 가우시안 거리 함수를 이용한 방법은 약 30 ms, 제안 방법은 약 18 ms로 속도가 매우 단축되는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 제안하는 알고리즘이 매우 높은 정확도로 소형 표적을 검출하면서 초당 약 55 프레임 이상의 처리 속도로 실시간성을 가질 수 있음을 입증해준다.

4. 결론

본 논문에서는 모폴로지 차 연산을 통해 소형 표적 후보 영역을 찾아내고 선택 영역에 한하여 지역적 대비 계산을 함으로써 소형 표적 영역을 분류하고 소형 표적 향상과 배경 억압을 통해 소형 표적을 검출하는 방법을 제안했다. 지역적 대비 계산을 통해 소형 표적의 특징을 추출함으로써 클러스터에 취약한 모폴로지 연산의 문제점을

해결하였고, 소형 표적 특징 가능성을 가진 영역에만 지역적 대비 계산을 함으로써 실시간 표적 검출 가능성을 입증하였다. 현재 소형 표적 특징 가능성을 추출하는 과정에서 소형 표적과 유사한 대비 특징을 가지는 잡음 영역을 소형 표적으로 오 인식하는 문제를 해결하기 위한 개선된 특징 추출 알고리즘을 연구 중에 있다. 추후에는 적외선 소형 표적 검출을 어렵게 만드는 원인 중 하나인 소형 표적이 구름이나 대기 난류로 인하여 흐려지는 상황, 즉 소형 표적과 배경 영역의 대비가 매우 낮아지는 상황에서 문제를 해결하기 위한 방법을 연구할 계획이다. 또한 소형 표적 검출 기술의 임베디드 보드상의 구현과 영상처리 속도의 개선을 위한 기존의 연구 방법들의 분석을 통해 검출 속도의 개선 작업을 진행할 예정이다[19-20].

References

- [1] Jong, A. D., "IRST and its Perspective", SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation.

- International Society for Optics and Photonics, Vol. 2552, pp. 206-213, 1995.
- [2] Zhang, Z., Li, C. and Shi, L., "Detecting and Tracking Dim Moving Point Target in IR Image Sequence", *Infrared Physics & Technology*, Vol. 46, No. 4, pp. 323-328, 2005.
- [3] Deshpande, S. D., Er, M. H., Ronda, V. and Chan, P., "Max-mean and Max-median Filters for Detection of Small Targets", *SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation. International Society for Optics and Photonics*, Vol. 3809, pp. 74-83, 1999.
- [4] Boccignone, G., Chianese, A. and Picariello, A., "Small Target Detection Using Wavelets", In: *Pattern Recognition. Proceedings. Fourteenth International Conference on. IEEE*, Vol. 2, pp. 1776-1778, 1998.
- [5] Park, J. J., Ahn, S. H., Kim, J. H., Kim, S. K., "Small Target Detection using Morphology and Gaussian Distance Function in Infrared Images", *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 17, No. 4, pp.61-70, 2012.
- [6] Kim, J. H., Park, J. J., Ahn, S. H., Lee, D. G., Moon, D. S., Kim, S. K., "Small target Detection using Morphology and Modified Gaussian Distance Function", *Published Online in Wiley Online Library. Security and Communication networks*, 2014.
- [7] Son, J. M., Ahn, S. H., Kim, J. H., Kim, S. K., "Improvement of Detecting Speed of Small Target Using SAD Algorithm", *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 53-60, 2013.
- [8] Mao, X. and Diao, W., "Criterion to Evaluate the Quality of Infrared Small Target Images", *Journal of Infrared. Millimeter. and Terahertz Waves*, Vol. 30, No. 1, pp. 56-64, 2009.
- [9] Kim, S., "Min-local-log Filter for Detecting Small Targets in Cluttered Background", *Electronics Letters*, Vol. 47, No. 2, pp. 105-106, 2011.
- [10] Chen, Philip, CL., et al. "A Local Contrast Method for Small Infrared Target Detection", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 1, pp. 574-581, 2014.
- [11] Harris, Chris, and Stephens, M., "A Combined Corner and Edge Detector", *Alvey Vision Conference*. Vol. 15. 1988.
- [12] Seo, B. H., Kim, B. M., Moon, C. B., Shin, Y. S., "Binarization of Number Plate Image with a Shadow", *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 13, No. 4, pp. 1-13, 2008.
- [13] Otsu, N., "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram", *IEEE Transactions on Systems. Man. And Cybernetics*, Vol. 9, pp. 62 - 66, 1979.
- [14] Hilliard, C. I., "Selection of a Clutter Rejection Algorithm for Real-Time Target Detection from an Airborne Platform", *AeroSense 2000. International Society for Optics and Photonics*, Vol. 4048, pp. 74-84, 2000.
- [15] Qin, Hanlin, et al. "Multiscale Random Projection Based Background Suppression of Infrared Small Target Image." *Infrared Physics & Technology*, Vol. 73, pp. 255-262, 2015.
- [16] "Incredible UFO filmed in Infrared!! March 23, 2013 ", <https://www.youtube.com/watch?v=VU0jL6L2Zc4>, 2013.
- [17] "Six Clips Of UFOs Over East Texas July 7 2009", <https://www.youtube.com/watch?v=cGd1-EEgTJE>, 2009.
- [18] "Innovative Research: Delta Waterfowl Uses Drones and Thermal Imaging to Locate Nesting Ducks", <https://www.youtube.com/>

watch?v=ZWpgIvikHrU, 2016.

- [19] Kim, S. Y. and Lee, S. M., "Implementation of an Image Board Remote Control System Using PDA Based on Embedded Linux in Wireless Internet," The Journal of Information Systems, Vol. 17, No. 1, pp. 155-171, 2008.
- [20] Kim, S. Y., Yoon, C. Y. and Yu, E. J., "A Study on the Development of Learning Contents of Augmented Reality by Perception Rate and Speeding," The Journal of Internet Electronic Commerce Research, Vol. 14, No. 4, pp. 313-333, 2014.



반 종 희 (Ban Jong-Hee)

- 학생회원
- 대구대학교 정보통신공학부 공학사
- 대구대학교 정보통신공학과 석사과정
- 관심분야 : 컴퓨터 비전, 임베디드시스템



왕 지 현 (Wang Ji-Hyeun)

- 비회원
- 인하대학교 기계공학과 공학사
- 인하대학교 기계공학과 공학석사
- 충남대학교 메카트로닉스공학과 공학박사
- 국방과학연구소 신개념무기연구팀 책임연구원
- 관심분야 : 로봇공학, 무인체계, 신개념무기



이 동 화 (Lee Donghwa)

- 정회원
- 경북대학교 전자전기공학부 공학사
- 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 공학석사
- KAIST 건설및환경공학과 공학박사
- 삼성전자 종합기술원 전문연구원
- 대구대학교 정보통신대학 정보통신공학부 조교수
- 관심분야 : 로봇비전/인지, 로봇네비게이션



유 준 혁 (Yoo Joon-Hyuk)

- 정회원
- 포항공과대학교 전자전기공학과 공학사
- 포항공과대학교 전자전기공학과 공학석사
- 미국 매릴랜드대학교 컴퓨터공학과 공학박사
- 대구대학교 정보통신대학 정보통신공학부 교수
- 관심분야 : 임베디드 소프트웨어, 컴퓨터구조, 사이버-물리 시스템



유 성 은 (Yoo Seong-eun)

- 정회원
- 한양대학교 전자전기공학부 공학사
- 한국정보통신대학교 공학부 공학석사
- 한국과학기술원 정보통신공학과 공학박사
- 대구대학교 정보통신대학 정보통신공학부 부교수
- 관심분야 : 실시간 임베디드시스템, 무선센서네트워크