

적외선 영상에서 소형 표적탐지를 위한 Structuring Element 구조에 관한연구

김도중, 이부환, 임종광, 구연덕
국방과학 연구소
전화 : 042-821-3198 / 핸드폰 : 011-628-8442

A Study on the Structuring Element for the Small Target Detection in the IR Image

Do Jong Kim, Boo Hwan Lee, Jong Kwang Lim, Yeon Duk Koo
Agency for Defense Development
E-mail : djkim@add.re.kr

Abstract

A novel structuring element for the morphological filter is proposed in order to detect a small target at a long distance. The modeling of the structuring element is based on the real data and implemented by parametric model approach. Several synthetic images and real images are evaluated and the detection performances are compared with those of the traditional one.

I. 서론

최근의 회로설계 및 반도체 기술의 발전과 디지털 신호처리의 고속화로 인하여 군사 무기의 지능화에 필수적인 각종 센서의 실시간 처리가 가능하게 되었다. 적외선 영역의 파장을 이용한 수동형 영상 센서는 주야 관측이 가능하고, 적으로부터 관측위치 은폐가 가능하므로 군사적인 용도로 특히 활용도가 높다. 원거리에서 접근하는 미사일, 항공기 등의 위협체에 대한 조기탐지 능력은 전장 환경에서 생존성 증대 및 주도권 확보를 위한 필수 조건중 하나이다.

본 연구에서는 적외선 센서로부터 얻어지는 영상에 포함된 원거리 소형표적에 대한 탐지기법을 제안한다.

먼저, 영상에서 점의 형태로 나타나는 원거리의 표적에 대한 수학적 모델링 방법을 제시하고, 제안된 표적모델링 결과를 형태학 필터 이론에 적용함으로써 표적의 탐지성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다. 또한, 합성영상을 활용함으로써 제시된 방법의 탐지성능 및 배경제거 특성이 우수함을 보여주고, 실제 원거리 미사일 영상에 대해서도 제안된 방법을 적용하면 탐지 활용도가 높음을 보여준다.

II. 형태학 연산자

고전적인 다차원 신호처리 기법들은 시스템 해석의 많은 응용분야에서 좋은 결과를 보여 왔다. 하지만, 영상과 같은 신호분야에서는 종종 제한된 성능을 나타내게 되었는데, 이것은 신호에서 형상(shape)과 기하학적인 구조를 정량화 하는 기본적인 문제를 다루고 있지 않기 때문 이었다. 형태학 필터는 인간의 직감(intuition), 인지(perception) 방식과 유사하게 처리하는 기법으로 기하학적인 구조의 많은 부분을 정량화하는 것이 가능하게 한다. 수학적 형태학 기술은 집합론, 비선형 중첩 및 형태학 시스템이라 불리는 비선형 시스템에 기반을 두고 있다. 형태학은 생체의학 및 전자현미경 영상 해석등에 널리 사용되어 왔고, 많은 컴퓨터 비전응용분야에서 유용한 도구로 사용되고 있다. 산업분야의 응용은 형태학필터를 쉽게 구현할 수 있는

컴퓨터 구조의 발전과 더불어 연속적인 발전에 박차를 가해왔다[1,3].

2.1 이진영상의 형태학 연산자

집합 X 가 이진화 신호이고 집합 B 가 작은 크기의 단순형태를 갖는 신호를 표현할 때, 집합에 대한 기본적인 형태학 연산자는 팽창(dilation, \oplus)과 침식(erosion, \ominus)으로 구성되고 다음과 같이 표현된다.

$$X \oplus B = \bigcup_{b \in B} (X + b) = \{x + b : x \in X \text{ and } b \in B\}$$

$$X \ominus B = \bigcup_{b \in B} (X - b) = \{z : (B + z) \subseteq X\}$$

여기서 집합 B 를 SE(structuring element)라고 한다. 흔히 이진화 영상은 흑백영상의 역치화 과정을 통하여 얻을 수 있으나, 다양한 형태로 나타나는 영상에 대하여 이진화를 위한 최적의 역치값을 구하는 과정이 쉽지 않은 일이다.

2.2 흑백영상에서 형태학 연산자

실함수로 확장된 형태학필터에서 팽창과 침식은 각각 다음과 같이 표현 된다.

$$(f \oplus b)(s, t) = \max \{f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f, (x, y) \in D_b\}$$

$$(f \ominus b)(s, t) = \min \{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f, (x, y) \in D_b\}$$

여기서 $f(s, t)$ 는 2차원 영상, $b(s, t)$ 는 SE를 나타낸다. 그리고, D_f, D_b 는 각각 함수 f, b 의 정의역이다.

III. 표적 모델링

3.1 적외선 영상에서 표적 특성

적외선 영상은 물체에서 발산되는 적외선을 감지하여 2차원 신호형태로 제한한 것으로서 일반적으로 온도가 높은 물체들은 밝게, 낮은 물체들은 어둡게 표현된다. 원거리에서 접근하는 미사일, 항공기 등은 소형의 점표적 형태로 나타나며 표적의 중앙부분이 가장 밝고, 중앙으로부터 거리가 멀어지면 밝기가 점차 약

한 형태로 나타난다.

그림1은 실제 미사일이 근접할 때 2km 되는 지점에서 적외선 카메라 (8-12 μ m의 원적외선 영역)로 획득된 표적 밝기와 분포 특성을 나타낸 것이다.

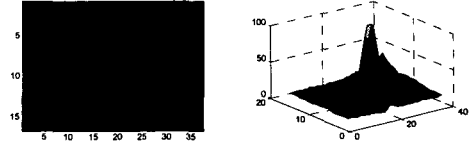


그림 3. 표적 형상 및 밝기분포

그림1에서 볼 수 있듯이 미사일 표적은 중심점에서 밝기가 최대이고, 점차적으로 어두워지는 가우시안 함수 형태의 밝기 분포를 나타낸다.

3.2 표적 모델링

탐지 신뢰성을 높이기 위해서는 표적의 사전정보를 활용할 수 있어야 된다. 일반적으로 많이 사용하는 정합필터(matched filter)에서는 표적의 정보뿐만 아니라, 잡음(배경)의 통계적인 특성을 알고 있어야 하며, 신호의 기하학 특성보존을 기반으로 신호처리를 하는 형태학필터에서는 신호에 대한 정보가 더욱 중요하게 된다.

적외선 영상에서는 원거리에서 접근하는 소형표적의 경우 밝기의 분포가 표적 중심에서부터 밝기가 최대이며 완만하게 변하는 일관성이 있는 경향을 나타내므로 모수적인 방법을 사용한 모델링이 가능하다. 본 연구에서는 실험 데이터를 기반으로 표적을 2차원 가우시안 함수로 모델링을 하며, 표적함수를 다음과 같이 표현한다.

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{(x-\mu_x)^2 + (y-\mu_y)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

여기서, (x, y) 는 화소좌표를 나타내고, μ_x, μ_y 는 평균을 나타낸다. 표적에 대한 완전한 표현을 위해서는 σ, μ_x, μ_y 의 정확한 값을 알 수 있어야 하는데, 여기서는 실측된 시험데이터를 활용하여 추정하며 이를 위한 목적함수를 다음과 같이 정의한다.

$$J = \min_{\sigma, \mu_x, \mu_y} \frac{1}{2} |f(x, y) - F(x, y)|^2 = \frac{1}{2} \sum_x \sum_y [f(x, y) - F(x, y)]^2$$

여기서, $f(x, y)$ 는 구하고자 하는 모델 함수이고, $F(x, y)$ 는 실제 측정된 표적영상 데이터를 정규화한

값들이다. 목적함수를 최소화하는 변수 σ, μ_x, μ_y 를 구하는 것은 비선형함수를 모사하는 최적화 문제이며, 다양한 접근방법이 있으나, 여기서는 Conjugate Gradient 방법을 사용하여 모델변수를 구하였으며, 최종모델이 실제 표적을 얼마나 잘 표현하는지를 보기위하여 모델링 에러를 다음과 같이 정의 하였다.

$$Error = |f(x, y; \sigma, \mu_x, \mu_y) - F(x, y)|$$

3.3 모델링 결과

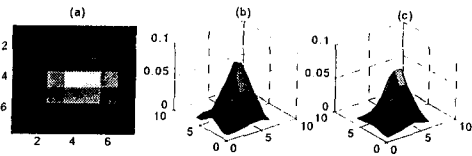


그림 4. 표적 모델링 예

그림2(a)는 실측된 미사일 영상만을 추출한 그림이며, (b)는 밝기분포를 나타내었고, (c)에는 표적의 모델함수를 찾은 결과를 나타내었다. 실제표적 모델링은, 다양하게 추정된 98개의 미사일 표적에 대하여 각각의 모델변수를 추정하고, 모델링 오차를 계산 하였으며, 표1은 표적에 대한 추정된 변수값의 통계적인 특성을 나타내었다.

표 1. 표적 변수

특성	표준편차	평균값	최대값	추정 에러
추정값	1.6610	49.4107	104.2347	0.0024

IV. 형태학 필터를 사용한 소형표적 탐지

소형 표적탐지 알고리즘의 구성은 형태학 연산자의 조합을 사용하여 배경을 추정 및 추출하는 부분과 표적후보 추출 및 클러스터제거 부분으로 구성이 되며 그림3과 같다.

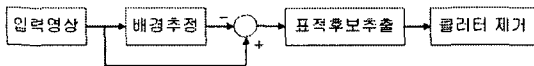


그림 5. 탐지 흐름도

4.1 배경추정 및 SE

배경추정은 형태학 연산자의 침식과 팽창의 조합으로 구성이 되며, 표적은 항상 배경보다 밝게 나타나므로 다음 식과 같이 사용한다.

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b$$

적외선 영상에서 배경은 대체로 온도가 낮아서 어둡게 나타나며, 부분적으로 열을 저장 또는 방사/방출하는 부위는 비교적 넓고 밝기가 큰 형태로 나타난다. 침식과 팽창의 과정을 거치면 SE 형상보다 적은 부분은 사라지고, 어둡거나 밝고 넓고 부분은 남게 되어 배경만 추출되는데, 이때 SE의 형상은 아주 중요한 역할을 한다. 기존의 연구에서는 탐지를 위해 Uniform SE를 주로 사용하고 있다[2][3]. 이는 구조가 간단하며, 표적의 분포가 Uniform할 경우 좋은 결과를 보여주나, 원거리에서 출현하는 미사일등과 같이 특정한 분포형태를 나타내는 경우는 좋은 성능을 기대하기가 어렵다. 가중형 SE가 제안되었으나, 의료영상에서 잡음제거를 목적으로 한 연구였다[4]. 적외선 영상에서 표적탐지 성능을 위하여 본 연구에서는 수학적으로 모델링 된 결과를 SE로 사용하였다.

4.2 표적후보 추출 및 클러스터 제거

표적후보를 포함하는 영상은 입력에서 배경 추정된 결과를 제거함으로써 구할 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$D[f(s, t)] = f(s, t) - (f \circ b)(s, t)$$

여기서 $D[f(s, t)]$ 는 특정 거리 이전에 출현하는 위협체를 포함하는 잔여영상이다. 잔여영상에서 적절한 역치화 과정을 거치면 표적후보를 추출을 할 수 있다. 클러스터 제거는 다양한 데이터베이스 기반으로 접근할 수 있으나, 여기서는 표적의 동적인 특성을 기반으로 사용한다.

4.3 시험결과

먼저, SE의 구조 및 형상에 따른 탐지 및 배경제거 성능을 보기위하여 두 종류의 합성영상을 만들었다. 첫 번째는 그림 4와 같이 하나의 클러스터(맨 좌측)와 7개의 표적영상을 포함하며, 표적밝기가 가우시안 형태를 나타내는 영상이다.

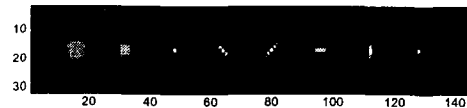


그림 6. 합성영상 예

SE형상을 가우시안 및 Uniform 형태로 적용하여 시험을 하였으며, 각각의 경우 배경 추정결과와 탐지 성능을 그림5, 6에서 비교하였다.

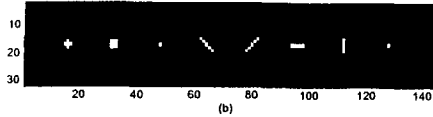
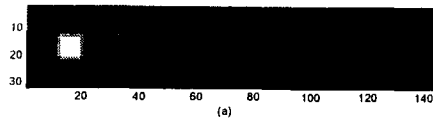


그림 7. Uniform SE 적용결과

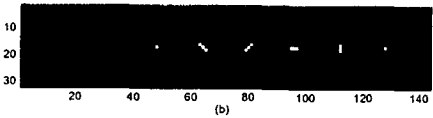
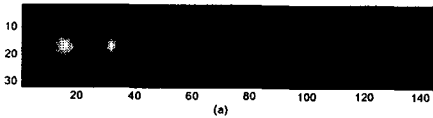


그림 8. 가우시안 SE 적용결과

그림5, 6의 (a),(b)는 각각 배경추정 및 탐지결과를 보여준다. Uniform SE를 사용할 경우 배경 추정에러가 크게 작용하여 배경의 부분이 표적으로 오 탐지된 결과를 볼 수 있다. 배경 제거특성을 살펴보기위하여 가우시안 형태의 배경에 대하여 Uniform SE와 가우시안 형태의 SE를 사용할 때 배경제거 특성을 비교한 결과를 그림7에 나타내었다. 그림7(a),(b)는 각각 가우시안 SE 및 Uniform SE사용 시 잔여 에러로서, 가우시안 SE의 배경제거 특성이 우수함을 볼 수 있다.

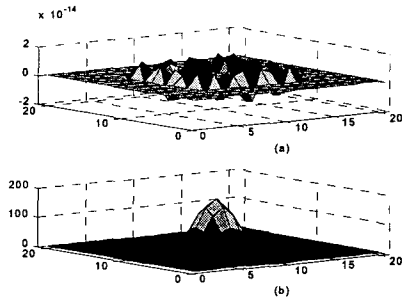


그림 9. 클러스터제거 잔여에러

마지막으로 그림8은 620*220 크기의 실제 영상을 보여주고 있으며, 원 내부의 신호가 미사일이다. 실 영상에 대한 탐지결과를 그림9에 나타내었고, 그림9(a)는 가우시안 SE, 9(b)는 Uniform SE사용 시 탐지결과이다. Uniform SE경우 배경의 많은 부분이 오 탐지됨을 볼 수 있다. 그림10은 157개의 연속 프레임에서 탐지결과를 보여준다. 동일 위치에서 연속적으로 나타나는 클러스터는 제거된 상태이며, 궤적 중 불연속이 길게 표시된 구간은 탐지가 되지 않은 구간을 표시한다.

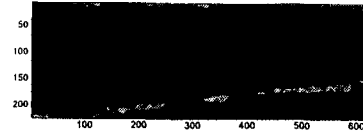


그림 10. 입력영상

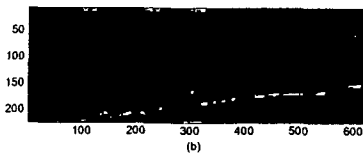
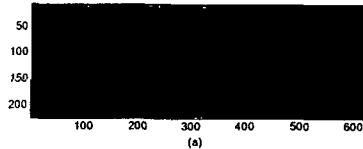


그림 11. 탐지결과



V. 결 론

본 연구에서는 표적의 통계적인 형상특성을 기반으로 SE를 모델링하고 형태학 필터에 적용함으로써 표적탐지 성능을 향상시킬 수 있는 기법을 제안 하였다. 표적모델 변수는 실영상 데이터를 기반으로 최적화 기법을 적용하여 구하였으며 합성영상과 실제영상에 대한 시험을 통하여 기존의 방법보다 탐지성능의 특성의 우수함을 보였다. 실용화를 위해서는 다양한 환경에서 많은 시험데이터에 대한 표적특성 분석이 이루어져야 하며, 적용적인 표적후보 추출 및 클러스터 제거기법등이 심도 있게 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] R. M. Haralick, S.R. Sternberg and X.Zhuang, Image analysis using mathematical morphology, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. PAMI-9, July 1987, 532-550.
- [2] J.Song and E.J. Delp, The analysis of morphological filters with multiple structuring elements, Comput. Vision Graphics Image Process. 50, 1990, 308-328.
- [3] Y.Yao, R. Acharya and S. Srihari, Image enhancement using mathematical morphology with adaptive structuring elements, SPIE vol. 2180, Nonlinear Image Processing V, 1994, 198-208.
- [4] M.H. Sedaaghi and Q.H. Wu, Weighted morphological filter, Electron. Lett.,1998, vol. 34, No. 16, 1566-1567.