

3차원 양방향 필터를 이용한 소형 표적 검출

배 태 옥[†]

요 약

본 논문은 적외선 영상 시퀀스에서 2차원 양방향 필터 (bilateral filter)를 이용하여 표적의 공간적 정보를 추출하고, 시퀀스의 시간적 프로파일에서는 1차원 양방향 필터를 이용하여 표적의 시간적 정보를 추출하여 표적의 궤적을 검출하는 3차원 양방향 필터를 제안하였다. 평탄 배경 및 표적 영역, 에지 영역을 구별하기 위하여 2차원 영상에서는 공간적 분산값을 이용하며, 배경 프로파일 및 표적 프로파일, 에지 프로파일을 구별하기 위하여 화소의 시간적 프로파일에서는 시간적 분산값을 이용하였다. 이를 통하여 공간적으로는 표적이 없는 배경을 예측하고, 시간적으로는 표적이 없는 배경 프로파일을 생성한다. 최종적으로 공간적으로 예측된 배경 및 시간적으로 예측된 배경 프로파일을 이용하여 표적의 궤적을 추출한다. 기존 방법과 제안한 방법의 성능 비교를 위하여, ROC (receiver operating characteristics) 곡선을 실험에서 사용하였다. 실험결과에서 제안된 방법이 기존방법들보다 오경보율 (false alarm rate)이 낮고, 표적 및 배경에 대한 향상된 식별력을 가졌음을 확인하였다.

Small Target Detection Using 3-dimensional Bilateral Filter

Tae-Wuk Bae[†]

ABSTRACT

This paper presents a three dimensional bilateral filter detecting target trajectory, extracting spatial target information using two dimensional bilateral filter and temporal target information using one dimensional bilateral filter. In order to discriminate edge pixel with flat background and target region spatially and temporally, spatial and temporal variance are used for an image and temporal profile. With this procedure, background and background profile are predicted without original target through two dimensional and one dimensional bilateral filter. Finally, using spatially predicted background and temporally predicted background profile, small target can be detected. For comparison of existing target detection methods and the proposed method, the receiver operating characteristics (ROC) is used in experimental results. Experimental results show that the proposed method has superior target detection rate and lower false alarm rate.

Key words: Infrared Sequence(적외선 시퀀스), Target Detection(표적 검출), Bilateral Filter(양방향 필터), Infrared Searching and Tracking(적외선 탐지 및 추적), Clutter(클러터)

1. 서 론

적외선 탐색 및 추적 시스템 (infrared searching and tracking system,IRST) 장치는 지상 표적, 해상

표적 및 저고도 공중표적을 360도 전방위 감시 및 추적하기 위한 수단으로 1970년대부터 유럽 및 미국 등 선진국을 중심으로 개발되어 함정의 방어체계에 연동시켜 및 운용해 왔다. 초기 IRST 장치는 무게,

※ 교신저자(Corresponding Author) : 배태옥, 주소 : 대구광역시 서구 북구 산격동 경북대학교 IT 1호관 523호(702-701), 전화 : 053) 940-8812, FAX : 053) 950-5505, E-mail : nanninggo@gmail.com
접수일 : 2013년 3월 11일, 수정일 : 2013년 4월 11일

완료일 : 2013년 4월 16일

[†] 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부

※ 이 논문은 2011년도 정부재원(교육과학기술부)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음.[NRF-2011-357-D00180]

비용 및 오경보율 등의 문제점들로 인하여 개발 및 운용에 어려움을 겪기도 했으나, 최근에는 점차 소형화, 경량화 및 고성능화로 이지스함과 같은 최신 함정뿐만 아니라 F-14, F-22 등의 첨단 전투기에도 탑재되고, 또한 아군의 주요 거점 대공 방어용으로도 개발되어 운용중이다. 이러한IRST 장치에서 접근하는 미사일 및 적 항공기를 식별하기 위하여 최근까지 다양한 소형 표적 검출 방법이 개발되고 있다 [1-3]. 그러나 이 장치에서 사용되는 적외선 영상에서는 표적의 원 신호, 배경의 복사 에너지, 대기의 투과 특성 및 센서들의 제한 요소 등으로 인해 표적으로 오인되는 많은 클러터(clutter)가 존재하기 때문에 표적의 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)가 매우 낮은 단점이 있다. 이러한 적외선 영상에서 원거리로부터 다가오는 표적은 클러터를 포함한 배경에서 흐릿하며, 정적이고, 또한 아주 작은 점과 같이 나타남으로 표적의 탐지 및 추적을 어렵게 하는 요인이 된다.

IRST 장치에서 표적을 탐지하는 방법으로는 크게 추적 전 탐지(detect-before-track, DBT) 방법과 탐지 전 추적(track-before-detect, TBD) 방법이 있다. 먼저 추적 전 탐지 방법에서는 연속적인 적외선 영상의 단일 프레임에서 표적의 휘도 특성을 이용하여 유사 표적을 탐지한 후, 유사 표적의 움직임에 대하여 칼만 필터(Kalman filter)와 같은 추적 필터를 사용하여 표적의 궤적을 추정한다. 이를 위해 연구된 대표적인 공간 필터(spatial filter)에는 선형 정합 필터(linear matched filter)[4], 2D LMS (least mean squares) 필터[5], 순차 필터(sequential filter)[6], 고유 표적(eigen target)을 이용한 표적 검출 방법[7] 등이 있다. 이러한 추적 전 탐지 방법들은 알고리즘이 간단하며, 계산량이 작은 장점을 가지지만, 표적의 신호 대 잡음비가 낮은 경우나 적외선 영상에서 클러터가 많은 경우 성능이 감소하며, 특히 지상 표적에 대하여 표적 검출 성능이 현저히 낮다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 표적의 시간적인 특징을 이용한 탐지 전 추적 방법이 제안되었다.

탐지 전 추적 방법에서는 표적의 존재를 결정하기 전에 특정 시간동안의 프레임에 대하여 유사 표적의 궤적을 추정한 후 각 표적의 궤적에 대한 통계치를 이용하여 표적을 검출함으로써 표적이 낮은 신호 대 잡음비를 갖는 적외선 영상에서 추적 전 탐지 방법보

다 우수한 성능을 가진다. Deshpande의 최대 중간값 및 최대 평균값 필터(max-median and max-mean filter)[8]는 크기가 작고, 흐릿한 표적에 대해서는 검출 성능이 떨어지며, 또한 최대 중앙값 및 평균필터를 수행하는 탐색창의 크기에 따라 계산량이 증가하거나 표적을 찾지 못하는 단점을 가진다. Tzannes의 표적 및 클러터 모델링 방법[9,10]은 화소의 시간적 특성을 모델링한 후, 이 모델을 가설 검정을 통해 점 표적(point target)을 검출하는 방법이다. 이 방법에서는 계산량을 줄이기 위해 일정한 값을 가지는 픽셀을 멕시코햇 웨이블릿 변환(Mexican-hat wavelet transform)을 이용하여 제거한 후 표적과 클러터 픽셀을 분류하기 위하여 가설 검정을 이용한다. 이 방법에서는 정확한 표적의 궤적은 검출되지만, 클러터에 의한 오경보율이 존재하며, 일정한 프레임을 저장한 후 화소 단위로 표적을 검출하기 때문에 계산량이 많은 단점이 있다. Zhang의 표적 모델링 방법[11]은 배경 클러터와 잡음의 분포특성에 대한 가정 없이 낮은 신호 대 잡음비를 갖는 표적에 대하여 검출 및 추적하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 표적의 속도가 불일치하거나 표적이 급격하게 움직이는 경우에도 표적의 궤적을 효과적으로 검출할 수 있지만, 오경보율이 높은 단점을 가진다. 이와 같이 탐지 전 추적 방법들은 영상의 배경이나 잡음에 대하여 민감하고 표적 속도의 불일치나 표적이 급격하게 움직이는 경우 등에 대하여 성능이 감소하는 단점을 가진다.

따라서 이러한 추적 전 탐지 방법과 탐지 전 추적 방법의 단점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 공중 표적 및 지상 표적 검출을 동시에 수행하고, 속도가 가변되는 표적을 검출하기 위하여 표적의 공간적 정보 및 시간적 정보를 이용한다. 이를 위해 적외선 영상 프레임에 대해서는 2차원 양방향 필터(bilateral filter)를 이용하여 표적의 공간적 정보를 추출하고, 적외선 영상 시퀀스의 시간적 프로파일에는 1차원 양방향 필터를 이용하여 표적의 시간적 정보를 추출하는 3차원 양방향 필터를 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 2차원 및 1차원 양방향 필터를 이용한 표적 검출의 응용이 소개된다. 3절에서는 2절의 내용을 기초로 3차원 양방향 필터를 이용한 표적 검출 알고리즘이 설명된다. 4절에서는 제안한 방법 및 기존의 방법들을 이용한 실험 결과가 제공되고, 5절에서는 결론이 주어진다.

2. 표적 검출을 위한 2차원 및 1차원 양방향 필터

2.1 2차원 양방향 필터

기본적인 양방향 필터는 원 영상에서 윤곽선 및 에지는 보존하고, 영상 잡음을 평활화시키는 비선형 (nonlinear) 필터이다[12,13]. 양방향 필터에 의해 예측된 화소 $Q(m,n)$ 는

$$Q(m,n) = \sum_{l=-N}^N \sum_{k=-N}^N H(m,n;l,k)P(l,k) \quad (1)$$

여기서 $Q(m,n)$ 는 결과 영상이고, $H(m,n;l,k)$ 는 국부 창 안의 화소 (l,k) 와 국부 창의 중심 화소 (m,n) 사이의 비선형 조합이고, $P(m,n)$ 은 열화된 영상 (원 영상)이다. 이 비선형 조합은

$$H(m,n;l,k) = \begin{cases} w_{m,n}^{-1} \exp\left(-\frac{(l-m)^2 + (k-n)^2}{2\sigma_d^2}\right) \\ 0 \end{cases} \times \exp\left(\frac{(P(l,k) - P(m,n))^2}{2\sigma_r^2}\right) \begin{matrix} \text{if } (l,k) \in A_{m,n} \\ \text{otherwise} \end{matrix} \quad (2)$$

와 같다. $A_{m,n} = (l,k) : (l,k) \in (m-N, m+N) \times (n-N, n+N)$ 은 국부 창안의 화소들을 나타내고, σ_d 및 σ_r 은 도메인 필터 및 레인지 필터의 표준 편차이다. 식 (2)에서 정규화 인수 (normalizing factor) $w_{m,n}$ 은

$$w_{m,n} = \sum_{l=m-N}^{m+N} \sum_{k=n-N}^{n+N} \exp\left(-\frac{(l-m)^2 + (k-n)^2}{2\sigma_d^2}\right) \times \exp\left(\frac{(P(l,k) - P(m,n))^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (3)$$

와 같다. 도메인 필터의 폭을 조절하는 σ_d 을 분석하기 위하여, 고정된 $\sigma_r = 255$ 을 사용하였다. 그림 1(b) 및 1(c)에서 보는 것처럼, 작은 σ_d 는 약한 평활화를 만들고, 큰 σ_d 는 강한 평활화를 만든다. σ_r 은 레인지 필터가 영상을 평활화 할때 화소값의 평활화 범위를 결정한다. σ_r 이 국부창 안의 화소 범위와 비교하여 크다면, 레인지 필터는 모든 화소에 비슷한 가중치를 부여하기 때문에 전체 양방향 필터에는 큰 영향을 미치지 않을 것이다. 하지만 작은 σ_r 은 레인지 필터가 우세한 양방향 필터를 만들 것이다. 그림 1(d) 및 1(e)에서 보는 것처럼 이러한 효과를 보여준다.

양방향 필터는 소형 표적 검출 분야에 있어서 배경 예측기로서 동작한다. 정확한 배경을 예측하기 위하여 σ_d 및 σ_r 은 평탄 배경 및 표적 영역에서는 그 영역을 평활화시키기 위하여 큰 값을 가져야 하는 반면에, 윤곽선과 같은 에지 영역에서는 그 영역을 보존하기 위하여 작은 값을 가져야 한다. 즉, 큰 값의 σ_d 및 σ_r 은 필터 폭을 확장하여 그 영역을 평활화시킬 수 있다. 이후 그림 2에서와 같이 원 영상과 예측된 배경의 차 영상을 통하여 표적의 공간 정보를 추

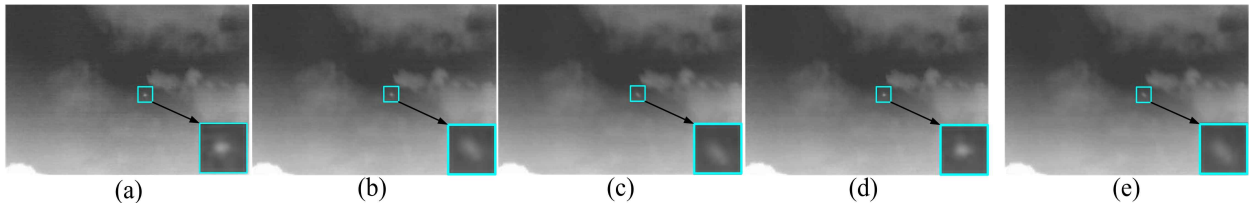


그림 1. σ_d 및 σ_r 의 영향. (a) 원영상; (b) $\sigma_d = 2, \sigma_r = 255$, (c) $\sigma_d = 50, \sigma_r = 255$, (d) $\sigma_d = 20, \sigma_r = 5$, 및 (e) $\sigma_d = 20, \sigma_r = 255$ 에 의한 처리 영상

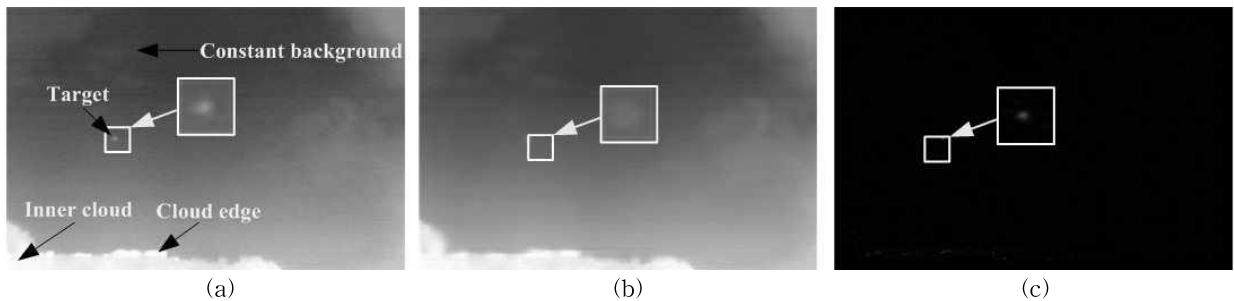


그림 2. (a) 원영상, (b) 예측된 배경, (c) 원 영상과 예측된 배경의 차 영상

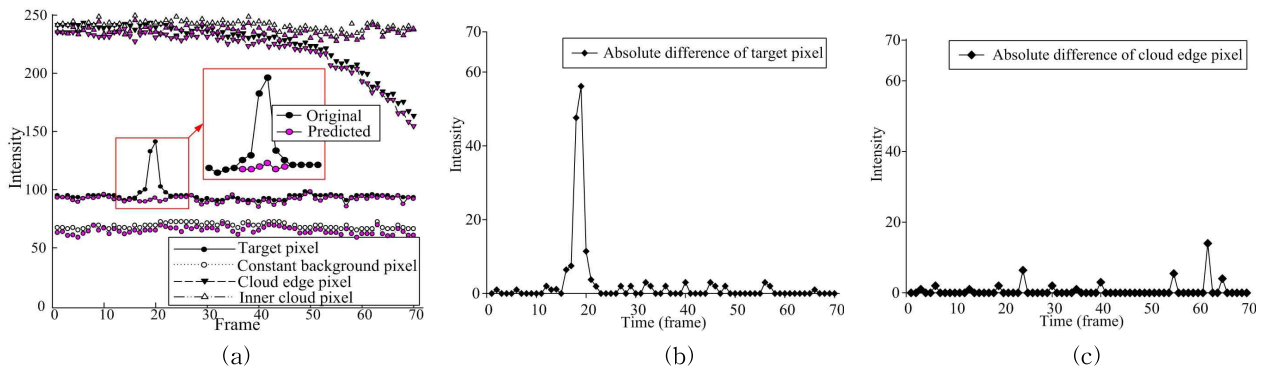


그림 3. (a) 여러 화소들의 시간적 프로파일 (검은색 화소) 및 예측된 배경 프로파일 (분홍색 화소), (b) 표적 화소의 시간적 프로파일과 예측된 배경 프로파일의 차 프로파일, 및 (c) 구름 에지 화소의 시간적 프로파일과 예측된 배경 프로파일의 차 프로파일

출할 수 있다.

2.2 1차원 양방향 필터

2차원 양방향 필터와 마찬가지로 1차원 양방향 필터 역시 그림 3(a)에서와 같이 화소의 시간적 프로파일에 적용하여 표적이 없는 배경 프로파일 (분홍색 화소)를 생성할 수 있다. 그림 3(b) 및 3(c)는 그림 3(a)안의 표적 화소 (표적이 지나가는 화소 위치) 및 구름 에지 화소의 시간적 프로파일과 각각의 예측된 배경 프로파일의 차 프로파일을 보여준다. 그림 3(b)의 표적에 대한 차 프로파일은 표적이 존재한 위치 15~25 프레임에서 높은 화소값을 보여준다. 또한 그림 3(c)에서 알 수 있는 것처럼 구름 에지 화소의 시간적 프로파일은 표적의 시간적 프로파일보다 화

소값이 높지만 차 프로파일에서는 낮은 값을 보여준다. 이와 같이 2차원 및 1차원 양방향 필터를 이용하여 표적의 공간적 및 시간적 정보를 추출하여 기존의 소형 표적 검출 방법의 단점을 해결할 수 있다. 1차원 양방향 필터에 대한 내용은 3절에서 다시 언급되어진다.

3. 제안한 3차원 양방향 필터를 이용한 표적 검출 방법

2차원 양방향 필터를 이용하여 표적의 공간적 정보를 추출하고, 1차원 양방향 필터를 이용하여 표적의 시간적 정보를 추출하는 3차원 양방향 필터를 제안한다. 그림 4(a)는 표적 및 구름 에지 영역에서의 필터 모습; (b) 2차원 양방향 필터의 필터 입력 및 (c) 1차원 양방향 필터의 필터 입력

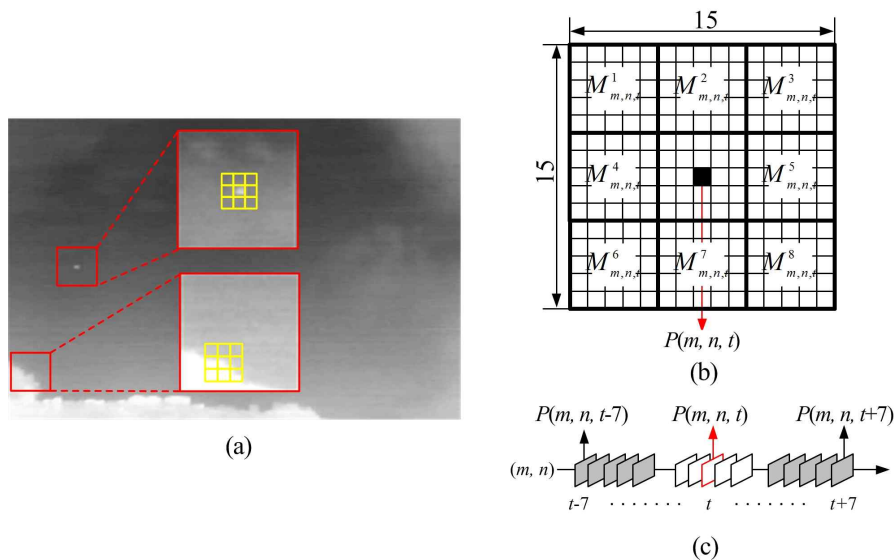


그림 4. (a) 표적 및 구름 에지 영역에서의 필터 모습; (b) 2차원 양방향 필터의 필터 입력 및 (c) 1차원 양방향 필터의 필터 입력

필터 모습을 보여주며, 그림(b) 및 그림(c)는 각각 2차원 및 1차원 양방향 필터의 필터 입력을 나타낸다. $M \times N$ 크기의 전체 T 프레임 수를 가지는 적외선 영상 시퀀스에서 $t(1 \leq t \leq T)$ 프레임때 (m, n) 위치에 있는 입력 화소는 $P(m, n, t)$ 이며, 이 입력 화소의 예측 화소는 $Q(m, n, t)$ 이다. 2차원 양방향 필터의 입력 블록들로는 그림 4(b)에서와 같이 동일한 5×5 크기를 가지는 주위 8개의 블록들의 평균값 $M_{m,n,t}^l \sim M_{m,n,t}^r$ 를 사용한다. 이는 소형 표적 주위의 더 많은 블록 정보를 수집할 수 있는 구조이다. t 프레임때 (m, n) 위치에 있는 입력 화소의 주위 블록들에 대한 각각의 평균값들의 공간적 분산값 (spatial variance)은

$$SV_{m,n,t} = var(M_{m,n,t}^l \dots M_{m,n,t}^r) \tag{4}$$

와 같다. 또한 1차원 양방향 필터의 입력 화소들로는 그림 4(c)에서와 같이 t 프레임 때 (m, n) 위치에서 10개의 시간적 화소, $(P(m, n, t-7) \dots P(m, n, t-3))$ 및 $(P(m, n, t+3) \dots P(m, n, t+7))$ 를 사용한다. 이때의 시간적 분산값 (temporal variance)은

$$TV_{m,n,t} = var(P(m, n, t-7) \dots P(m, n, t-3), P(m, n, t+3) \dots P(m, n, t+7)) \tag{5}$$

제안한 2차원 양방향 필터의 입력 구조에서는 그림 4(a)에서와 같이 평탄 배경 영역 및 표적 영역에서는 주위 블록들의 평균값들 ($M_{m,n,t}^l \sim M_{m,n,t}^r$)의 공간적 분산값은 작고, 구름 에지 영역에서는 그 공간적 분산값은 클 것임을 알 수 있다. 표적이 없는 배경 (predicted background)을 예측하기 위해서는 평탄 배경 및 표적 영역, 구름 에지 영역 각각에 대한 표준 편차 매핑을 고려하여야 한다. 즉, 주위 블록들의 공간적 분산값, $SV_{m,n,t}$ 값이 작은 표적 영역은 블러링 정도를 크게 하기 위하여 2차원 양방향 필터의 표준 편차값들 (σ_d, σ_r)은 크게 설정되어야 하는 반면에, 주위 블록들의 공간적 분산값이 큰 구름 에지 영역은 원 영상의 화소값을 보존하기 위하여 (블러링 정도를 작게 하기 위하여) 필터의 표준 편차값들은 작게 설정되어야 한다.

한편 제안한 1차원 양방향 필터의 입력 구조에서는 그림 3(a)에서와 보는 바와 같이 평탄 배경 (constant background) 및 표적의 시간적 프로파일에서는 시간적 분산값이 작고, 구름 에지 영역의 시간적 프로파일에서는 그 시간적 분산값이 클 것임을

알 수 있다. 2차원 양방향 필터에서처럼 표적이 없는 배경 프로파일을 예측하기 위해서는 평탄 배경 및 표적의 시간적 프로파일과 구름 에지의 시간적 프로파일 각각에 대한 표준 편차 매핑을 고려하여야 한다.

그림 5는 공간적 분산값 및 시간적 분산값에 의한 2차원 및 1차원 양방향 필터 표준 편차의 매핑 함수를 보여준다. 제안한 알고리즘은 $[nSV_{min}, nSV_{max}] = [0, 1]$ 및 $[nTV_{min}, nTV_{max}] = [0, 1]$ 에서 $[\sigma_{d,max}, \sigma_{d,min}]$ 및 $[\sigma_{r,max}, \sigma_{r,min}]$ 로의 두 표준 편차에 대한 반비례 선형 매핑을 이용한다. $\sigma_{d,min} (= 0)$ 및 $\sigma_{d,max} (= 125)$ 은 도메인 필터의 표준 편차의 최소 및 최대값이고, $\sigma_{r,min} (= 0)$ 및 $\sigma_{r,max} (= 255)$ 은 레인지 필터의 표준 편차의 최소 및 최대값이다. nSV 값은 표적을 포함한 1 프레임에 대하여 0~1까지 정규화 (normalization)된 공간적 분산값을 의미한다. 일반적으로 표적 검출을 위한 적외선 영상은 표적의 움직임이 강하고, 그 외 배경 클러스터의 움직임은 약하거나 없기 때문에 1 프레임에 대한 공간적 분산값의 범위만으로 매핑하여도 정확도는 거의 떨어지지 않는다. 또한 nTV 값은 적외선 시퀀스에 대하여 영상 크기를 1/2 서브 샘플링한 시퀀스에 대하여 0~1까지 정규화된 시간적 분산값을 의미한다. 시간적 프로파일은 영상의 크기가 변화하여도 각각의 시간적 프로파일을 변화하지 않는다. 이처럼 공간적 및 시간적 분산값에 대하여 양방향 필터의 σ_d 및 σ_r 는 적응적으로 변화하기 때문에 표적을 포함한 적외선 영상 시퀀스에서 표적이 없는 배경 및 배경 프로파일을 예측할 수 있다.

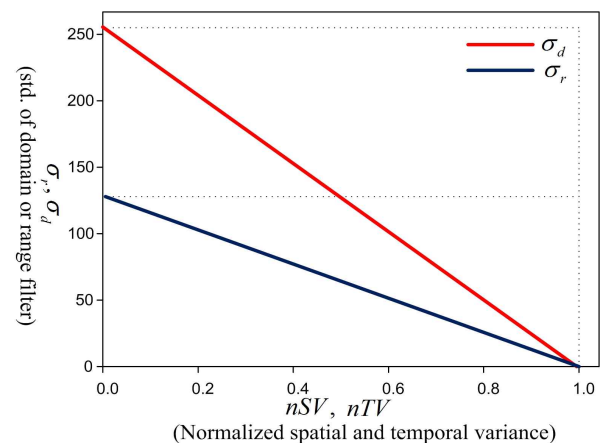


그림 5. 정규화된 공간적 및 시간적 분산값에 의한 양방향 필터의 표준 편차 매핑 함수

기본 2차원 양방향 필터를 시간 t 함수와 함께 확장할 경우 (m, n, t) 위치에서 2차원 양방향 필터에 의해 예측되는 배경 화소는

$$SQ(m, n, t) = \sum_{l=-N}^N \sum_{k=-N}^N H(m, n, t; l, k) P(l, k, t) \quad (7)$$

여기서 $H(m, n, t; l, k)$ 는 국부 창 안의 화소 (l, k, t) 와 국부 창의 중심 화소 (m, n, t) 사이의 비선형 조합이다. 이 비선형 조합은

$$H(m, n; l, k) = \begin{cases} w_{m, n, t}^{-1} \exp\left(-\frac{(l-m)^2 + (k-n)^2}{2\sigma_d^2}\right) \\ 0 \end{cases} \times \exp\left(\frac{(P(l, k, t) - P(m, n, t))^2}{2\sigma_r^2}\right) \begin{cases} \text{if } (l, k) \in A_{m, n, t} \\ \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

와 같다. 이 식에서 전자의 \exp 항은 도메인 필터이고, 후자의 \exp 항은 레인지 필터이다. 또한 $A_{m, n, t} = (l, k) : (l, k) \in (m-N, m+N, t) \times (n-N, n+N, t)$ 은 국부 창 안의 화소들을 나타낸다. 정규화 인수 $w_{m, n, t}$ 는

$$w_{m, n, t} = \sum_{l=m-N}^{m+N} \sum_{k=n-N}^{n+N} \exp\left(-\frac{(l-m)^2 + (k-n)^2}{2\sigma_d^2}\right) \times \exp\left(\frac{(P(l, k, t) - P(m, n, t))^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (9)$$

와 같다. 한편 화소의 시간적 프로파일에서 (m, n, t) 위치에서 1차원 양방향 필터에 의해 예측된 시간적 배경 화소는

$$TQ(m, n, t) = \sum_{r=-N}^N H(m, n, t; r) P(m, n, r) \quad (10)$$

와 같다. 여기서 $H(m, n, t; r)$ 는 1차원 국부 창 안의 시간적 화소 (m, n, r) 와 1차원 국부 창의 중심 화소 (m, n, t) 사이의 비선형 조합이다. 이 비선형 조합은

$$H(m, n, t; r) = \begin{cases} c_{m, n}^{-1} \exp\left(-\frac{(r-t)^2}{2\sigma_d^2}\right) \\ 0 \end{cases} \times \exp\left(\frac{(P(m, n, r) - P(m, n, t))^2}{2\sigma_r^2}\right), \begin{cases} \text{if } r \in \Gamma_{m, n, t} \\ \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

와 같다. $\Gamma_{m, n, t} = r : r \in (m, n, t-N, t+N)$ 은 1차원 국부 창 안의 시간적 화소들을 나타낸다. 또한 정규화 인수는

$$c_{m, n, t} = \sum_{r=t-N}^{t+N} \exp\left(-\frac{(r-t)^2}{2\sigma_d^2}\right) \times \exp\left(-\frac{(X(m, n, r) - X(m, n, t))^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (12)$$

와 같다. (m, n, t) 위치에서의 1차원 양방향 필터의 시간적 분산값은 그림 5에서 설명된 바와 같이 $[nTV_{\min}, nTV_{\max}] = [0, 1]$ 에서 $[\sigma_{d, \max}, \sigma_{d, \min}]$, $[\sigma_{r, \max}, \sigma_{r, \min}]$ 로 선형매핑된다.

최종적으로 표적을 포함한 적외선 영상 시퀀스의 표적의 궤적은

$$F(m, n) = \text{Max}(|X(m, n, t) - SQ(m, n, t)|) + \text{Max}(|X(m, n, t) - TQ(m, n, t)|) \quad (13)$$

와 같이 계산된다. 여기서 t 프레임은 전체 적외선 영상 시퀀스의 수 T 에 대하여 $T-7 \leq t \leq T+7$ 에 존재한다. 식 (13)은 (m, n) 화소 위치에서의 표적의 공간 및 시간 정보를 추출한다. 첫 번째 및 두 번째 항은 각 프레임의 (m, n) 위치에서 공간적 및 시간적으로 표적일 가능성이 가장 큰, 즉 원 화소 및 예측된 배경 화소의 차가 가장 큰 값을 추출한다. 따라서 표적이 (m, n) 위치를 지나간 경우, $F(m, n)$ 값은 커질 것이다. 기존의 방법 중 최대 평균값 필터, 최대 중앙값 필터, 및 Zhang의 방법의 경우 공간적 처리에 의해 표적을 추출하기 때문에, 표적과 유사한 클러터가 많이 존재하는 지상 배경의 경우 검출 확률이 떨어진다. 또한 Tzannes의 방법의 경우 시간적 처리에 의해 표적을 추출하기 때문에, 움직임이 없는 표적의 경우 검출 확률이 떨어진다. 따라서 제안한 방법의 경우, 클러터가 많은 지상 배경의 경우 시간적 처리에 의해 클러터가 표적으로 오인되는 오정보를 줄이며, 움직임이 거의 없는 표적에 대해서는 공간적 처리에 의해 표적을 검출할 수 있는 확률을 높인다.

4. 실험결과 및 고찰

소형 표적 검출의 성능을 평가하기 위하여 ROC (receiver operating characteristic) 곡선을 이용하였다. 잠재적인 표적 화소가 실제 표적인 경우 (이벤트 T) 또는 클러터인 경우 (이벤트 C)을 고려하였다. 어떤 소형 표적 알고리즘이 이벤트 T에 대하여 Yes를 도출한다면 검출률 (detection rate)이 $P(Y|T)$ 인 경우이지만, 이벤트 C에 대하여 Yes를 도출한다면 오

경보률 (false alarm rate)이 $P(Y|C)$ 임을 의미한다. ROC 곡선은 이 두 가지 경우에 대하여 그려질 수 있다[14,15]. 따라서 ROC 곡선은 다음과 같이 적외선 영상 시퀀스에서 오경보률, F_a 의 함수로써 올바른 검출률, P_d 를 그릴 수 있다.

$$P_d = N_d / (N_{target} + N_{clutter}) \quad (14)$$

그리고

$$F_a = N_c / (N_{target} + N_{clutter}) \quad (15)$$

여기서 N_d 및 N_{target} 은 단일 영상 시퀀스에서 올바르게 검출된 표적 화소 및 실제 표적 화소의 수를 의미한다. N_c 는 단일 영상 시퀀스에서 클러터, 즉 잘못된 검출된 표적의 수를 의미한다. 기존 소형 표적 검출 방법들 및 제안한 방법에 대하여 인간의 눈 (human vision)에 의한 주관적인 비교 및 ROC 곡선에 의한 객관적인 비교를 수행하였다.

그림 6은 적외선 영상 시퀀스 (Seq1, Seq2, 및 Seq3)에 대한 실험결과이다. Seq1 및 Seq2에서의 표적은 비행기이며 Seq3에서의 표적은 버스이다. 비행기 표적의 크기는 모두 0.5×0.5 m이며, 버스 표적의 크기는 11×2.5 m이다. Seq1, Seq2, 및 Seq3에 대하여 해상도는 각각 320×240 , 360×240 , 및 360×180 이며, 전체 프레임 수는 45 프레임으로 모두 동일하다. 또한 본 실험 영상들이 촬영된 검출기는 MCT (mercury cadmium telluride) 타입이며, Seq1, Seq2, 및 Seq3 각각에 대하여 파장 범위 (wavelength band)는 $8.0 \sim 12.0$, $8.0 \sim 12.0$, 및 $3.0 \sim 5.0 \mu m$ 이며, 촬영 거리는 $2 \sim 2.5$, $2 \sim 2.5$, 및 $7 \sim 8$ km이다. 또한

촬영된 시야각 (field of view)은 모두 $2^\circ \sim 3^\circ$ 이다.

본 실험에서 최대 중앙값 및 최대 평균값 필터의 크기는 7×7 을 사용하였다. 이 방법은 공간적으로 필터를 수행한 후 표적의 시간적 정보를 추출하기 때문에 공중 표적(Seq1 및 Seq2) 보다 구조물이 많은 지상 표적 (Seq3)에서 클러터가 많이 발생함을 알 수 있다. Seq2에서처럼 표적 크기가 작고, 흐릿한 표적에 대해서는 검출 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 이처럼 공간 필터에 기반한 표적 검출 방법은 주로 비교적 공중 표적 (하늘 배경)에 많이 사용되며, 이 경우 표적 보다 밝은 구름이 존재할 경우, 특히 구름의 에지 영역에서 클러터가 많이 발생한다. Zhang의 방법의 경우 흐릿한 표적에 대하여 잡음의 통계적인 분포에 영향을 받지 않지만 2차원 적외선 광 흐림 함수의 표적 모델링 방법을 사용하기 때문에 표적뿐만 아니라 이 모델링과 유사한 영역을 표적으로 오인할 수 있다. 그로 인해 구조물이 없는 공중 표적에 대하여 표적 검출 성능이 우수하나, 역시 지상 표적 (지상 배경)에 대해서는 검출 성능이 저하된다. 지상의 구조물들은 그 경계 영역 특성이 광 흐림 함수와 유사한 영역이 많기 때문이다. Tzannes의 방법은 표적 및 클러터의 시간적인 프로파일을 모델링하여 효율적으로 표적을 검출하지만, 표적 프로파일을 모델링하기 위하여 정확한 표적의 파라미터들을 알아야 하며, 클러터 모델링이 구름의 에지에 한정되기 때문에 공중 표적이 포함된 적외선 영상에만 적용가능하다. 따라서 지상 표적 및 해양 표적이 포함된 적외선 영상에 적용하기 어려운 단점을 가진다. 또한 표적의 움직임이 적거나 정지한 경우 표적 및 클러터의 시간

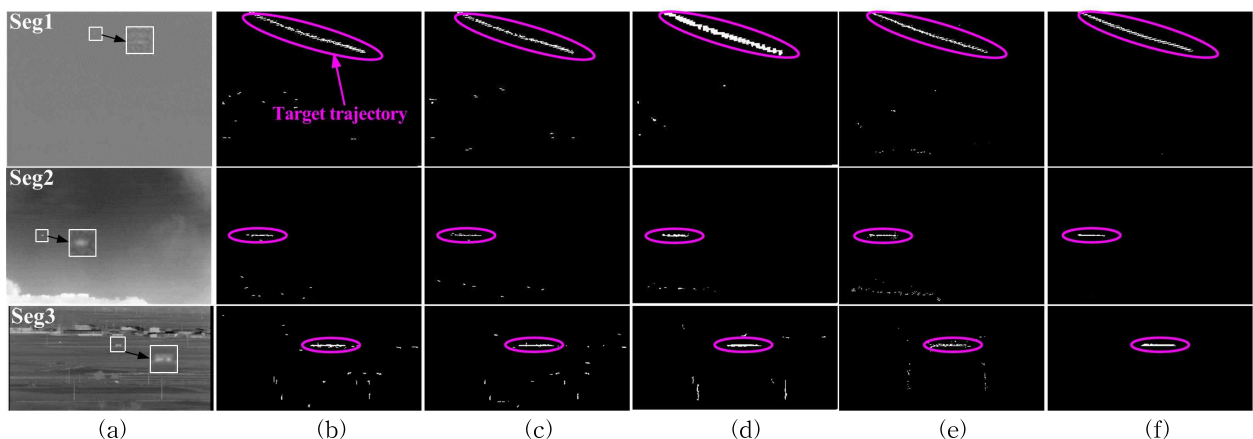


그림 6. 적외선 영상 시퀀스들에 대한 실험결과: (a) 원영상, (b) 최대 중앙값 필터, (c) 최대 평균값 필터, (d) Zhang의 방법, (e) Tzannes의 방법, 및 (f) 제안한 방법

적 모델링 범위를 벗어나기 때문에 일반적인 공간 필터 보다 성능이 저하되는 단점을 가지고 있다. 하지만 제안한 방법의 경우 공중 표적 및 지상 표적에 대해 모두 검출률이 우수함을 볼 수 있다.

기존의 방법 및 제안한 방법에서 모든 파라미터들은 고정시킨 상태에서 검출 문턱값을 가변하면서 식 (14) 및 식 (15)을 이용하여 오경보율 및 표적 탐지 확률을 구하였다. 그림 7은 각각의 실험 시퀀스들에 대한 ROC 곡선을 보여준다. 그림들에서 보듯이 각각의 시퀀스에 대해 같은 오경보율에서 제안한 방법이 기존의 방법들보다 표적 검출률이 높음을 알 수 있다. 기존 방법인 최대 평균값 필터의 표적 탐지 확률 범위는 21.7%~92.9%이고, 최대 중앙값 필터의 경우 22.0%~91.7%이고, Tzannes의 방법의 경우 62.0%~100.0%이고, Zhang의 방법의 경우 57.0%~96.2%이며, 제안한 방법의 경우 77.4%~100.0%이다. 그리고 오경보율을 0으로 고정할 때 제안한 방법의 평균 표적 탐지 확률이 기존의 방법들보다 13.5%

~56.7%까지 검출 성능이 향상되었음을 확인할 수 있었다.

실험에 사용된 컴퓨터는 듀얼 코어 1.8 GHz 및 4G 램이며, 계산량의 경우 최대 중앙값 필터, 최대 평균값 필터, Zhang의 방법, Tzannes의 방법, 및 제안한 방법은 Seq1에 대하여 5.12, 5.23, 4.97, 8.41 및 6.51 [sec]가 걸렸고, Seq2에 대하여 5.91, 5.84, 5.19, 9.01 및 6.98 [sec]가 걸렸고, Seq3에 대하여 3.15, 3.24, 2.90, 6.41 및 4.25 [sec]가 걸렸다. 제안한 방법이 기존 방법들보다는 계산 시간을 더 필요로 한다. 앞으로 계산량 감소 및 더 나아가서는 실시간 처리가 가능한 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 본다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 추적 전 탐지 방법 및 탐지 전 추적 방법의 단점을 해결하기 위하여 공간적으로는 2차원 양방향 필터를 이용하고, 시간적으로 1차원

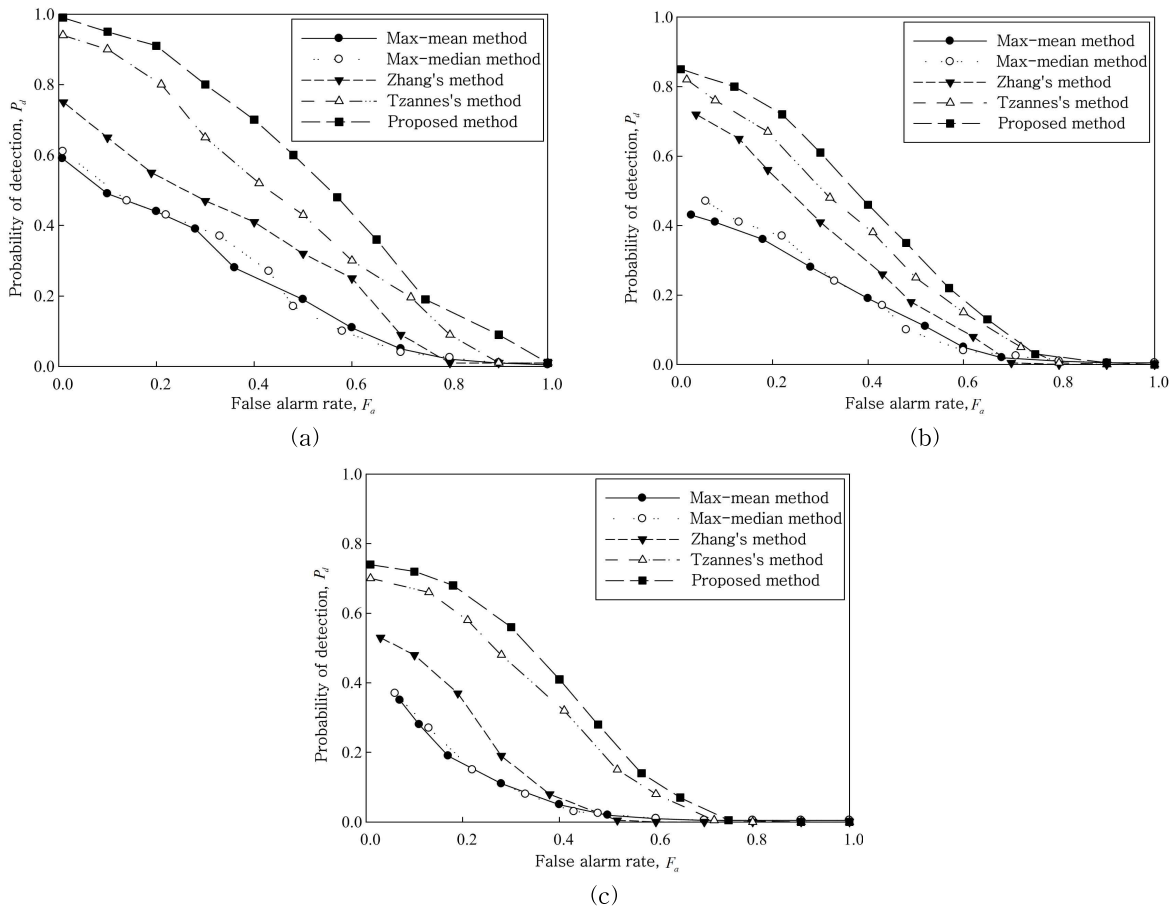


그림 7. 이전 방법들 및 제안한 방법의 ROC 곡선; (a) Seq1, (b) Seq2, 및 (c) Seq3

양방향 필터를 이용하는 3차원 양방향 필터를 이용한 소형 표적 검출 방법을 제안하였다. 2차원 양방향 필터를 이용하여 표적의 공간적 정보를 추출하고, 적외선 영상 시퀀스의 시간적 프로파일에는 1차원 양방향 필터를 이용하여 표적의 시간적 정보를 추출한다. 제안한 표적 검출 방법은 공중 표적 및 지상 표적 검출을 동시에 수행할 수 있고, 속도가 가변되는 표적 또한 검출할 수 있는 장점이 있다. 표적 검출 기법의 성능 비교를 위한 ROC 곡선을 통하여 제안된 방법이 기존방법들보다 오경보율이 낮고, 표적 및 배경에 대한 향상된 식별력을 가졌음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 이승익, 김주영, 김기홍, 구본호, “복잡한 FLIR 영상에서의 소형 표적 탐지 기법,” 멀티미디어 학회논문지, 제10권, 제4호, pp. 432-440, 2007.
- [2] H. Kaplan, *Practical Applications Of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment, Tutorial Texts Series in Optical Engineering*, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Washington, 1999.
- [3] A.D. Jong, “IRST and Its Perspective,” *Proc. of SPIE*, Vol. 2552, pp. 206-213, 1995.
- [4] 왕진천, 적외선 영상 탐지 및 추적 시스템을 위한 표적 탐지와 추적방법 연구, 한국과학기술원 공학석사학위논문, 1999.
- [5] M. Hadhoud and D. Thomas, “The Two-Dimensional Adaptive LMS (TDLMS) Algorithm,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, Vol. 35, No. 5, pp. 485-494, 1988.
- [6] Q. Pham, T. Brosnan, and M. Smith, “Sequential Digital Filters for Fast Detection of Targets in FLIR Image Data,” *Proc. of SPIE*, Vol. 3069, pp. 62-73, 1997.
- [7] R. Liu, E. Liu, J. Yang, T. Zhang, and Y. Cao, “Point Target Detection of Infrared Images with Eigentargets,” *Opt. Eng. Letters*, Vol. 46, No. 11, pp. 110502-1-110502-3, 2007.
- [8] S. Deshpande, M. Er, and R. Venkateswarlu, “Detection and Tracking of Moving Point-Targets in IR Images,” *The Fifth International Conference on Control, Automation, Robotics, and Vision*, Vol. FA3, No. 2, pp. 1252-1256, 1998.
- [9] A. Tzannes, *Detection of Small Target in Infrared Image Sequences Containing Evolving Cloud Clutter*, Ph. D. Thesis, Northeastern Univ., 1998.
- [10] A. Tzannes and D. Brooks, “Detecting Small Moving Objects using Temporal Hypothesis Testing,” *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 38, No. 2, pp. 570-586, 2002.
- [11] F. Zhang, C. Li, and L. Shi, “Detecting and Tracking Dim Moving Point Target in IR Image Sequence,” *Infrared Physics & Technology*, Vol. 46, No. 4, pp. 323-328, 2004.
- [12] C. Tomasi and R. Manduchi, “Bilateral Filtering for Gray and Color Images,” *Proc. Int. Conf. Comput. Vis.*, pp. 839-846, 1998.
- [13] C.I. Hilliard, “Selection of a Clutter Rejection Algorithm for Real-Time Target Detection from an Airborne Platform,” *Proc. of SPIE* 4048, pp. 74-84, 2000.
- [14] U. Braga-Neto, M. Choudray, and J. Goutsias, “Automatic Target Detection and Tracking in Forward-Looking Infrared Images Sequences using Morphological Connected Operators,” *J. Electron. Imaging*, Vol. 13, No. 4, pp. 802-812, 2004.
- [15] S.G. Sun, “Target Detection using Local Fuzzy Thresholding and Binary Template Matching in Forward-Looking Infrared Images,” *Opt. Eng.*, Vol. 46, No. 3, pp. 21-29, 2007.



배 태 옥

1995년 3월~2004년 2월 경북대
학교 전자전기컴퓨터공학
부 학사

2004년 3월~2006년 2월 경북대
학교 전자전기컴퓨터공학
부 석사

2006년 9월~2010년 8월 경북대학교 전자전기컴퓨터공
학부 박사

2011년 9월~2011년 12월 KAIST 전자공학과 박사후 연
구원

2012년 2월~2013년 3월 Stanford Univ., Dept. of
Psychology, Postdoc관심분야 : 영상 처리, 컬러
모델, 멀티미디어 시스템