

에지 성분에 기초한 양방향 필터 (Bilateral Filter)를 이용한 소형 표적 검출

준희원 배태욱*, 정희원 김병익*, 이성학*^o, 김영춘** , 안상호***, 송규익*

Small Target Detection Using Bilateral Filter Based on Edge Component

Tae-Wuk Bae* *Associate Member*,
Byoung-Ik Kim*, Sung-Hak Lee*^o, Young-Choon Kim**, Sang-Ho Ahn***,
Kyu-Ik Sohng* *Regular Members*

요약

양방향 필터 (bilateral filter)는 선명도를 증가시키고 노이즈를 감소시키는 비선형 필터이다. 양방향 필터는 두 개의 가우시안 필터 (Gaussian filter) 즉, 도메인 필터 (domain filter) 및 레인지 필터 (range filter)에 의해 동작한다. 양방향 필터를 소형 표적 탐지에 적용하기 위하여, 이들 도메인 필터 및 레인지 필터의 표준 편차 (standard deviation)는 배경 영역 및 표적 영역 사이에서 적응적으로 가변되어야 한다. 본 논문은 국부 창 의 에지 성분 분석에 기초하여 도메인 필터 및 레인지 필터의 표준 편차가 적응적으로 가변되며, 또한 가변 필터 크기를 가지는 새로운 양방향 필터를 제안한다. 이러한 필터 구조의 양방향 필터는 소형 표적 탐지 분야에서 표적 검출을 용이하게 하며, 실험 결과에서 제안한 표적 검출 알고리즘이 기존 알고리즘보다 강인하고 효율적임을 확인하였다.

Key Words : Target Detection, Infrared, Gaussian Filter, Bilateral Filter, Edge Component

ABSTRACT

Bilateral filter (BF) is a nonlinear filter for sharpness enhancement and noise removal. The BF performs the function by the two Gaussian filters, the domain filter and the range filter. To apply the BF to infrared (IR) small target detection, the standard deviation of the two Gaussian filters need to be changed adaptively between the background region and the target region. This paper presents a new BF with the adaptive standard deviation based on the analysis of the edge component of the local window, also having the variable filter size. This enables the BF to perform better and become more suitable in the field of small target detection. Experimental results demonstrate that the proposed method is robust and efficient than the conventional methods.

* 본 연구는 국방과학연구소의 개별 기초 연구 지원으로 수행되었습니다.

* 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 오디오비디오 신호처리 및 자동차전자공학 연구실(1Fiendcorps; shak2}@knu.ac.kr)
(^o:교신저자)

** 영동대학교 정보통신사이버경찰학과(yckim@youngdong.ac.kr), *** 인제대학교 전자지능로봇공학과(elecash@inje.ac.kr)
논문번호 : KICS2009-06-262, 접수일자 : 2009년 6월 26일, 최종논문접수일자 : 2009년 9월 8일

I. 서 론

적외선 경고 시스템 (infra-red warning system, IRWS) 및 적외선 탐색 및 추적 시스템 (infra-red searching and tracking system, IRST)에서, 소형 표적 탐지 기법은 먼 거리로부터의 항공기 및 헬리콥터 같은 움직이는 소형 표적을 경고하기 위한 군사적 응용에 필수적이다^{[1]-[3]}. 적외선 영상은 명암 대비가 낮기 때문에, 적외선 영상 안의 소형 표적을 자동으로 탐지하는 것은 어려운 과제이다. 지난 수십년간 배경 잡음 (clutter)을 억압하고 소형 표적의 검출 능력을 개선하기 위하여 많은 배경 잡음 제거 기법이 제안되어졌다. Soni 등^[4]은 표적 탐지를 위한 2 차원 최소 평균 제곱 (two dimensional least mean square, TDLMS) 적응적 필터 (adaptive filter)의 성능을 평가하였다. Sang 등^[5]은 2 차원 정규화 최소 평균 제곱 (two dimensional normalized least mean square, TDNLMS) 기법의 표적 탐지 방법을 제안하였다. Barnett^[6]는 점 (point) 표적 탐지를 위한 메디안 차 필터 (median subtraction filter)를 제안하였다. 그러나 이러한 탐지 기법들은 흐릿한 (dim) 소형 표적이 있는 낮은 명암 대비 영상에 대해서는 좋은 성능을 보여주지 못한다.

배경 잡음은 불특정 모양과 분포를 가지는 반면에, 표적은 공간적으로 가우시안 모양을 가지기 때문에, 표적에 의해 덮여진 배경 예측은 소형 표적 탐지에서 중요한 기술이 된다^[7]. 적외선 영상의 배경 예측 (background prediction)은 공간적 필터링 (spatial filtering)에 의해 예측되어지고 이것은 원영상과 차 (subtraction) 연산을 수행하여 표적 물체가 검출되어진다.

본 논문에서는 에지 방향성 분석에 기초한 양방향 필터를 이용한 효율적인 적외선 소형 표적 검출 방법을 제안한다. 양방향 필터는 에지를 보존하고 영상을 평활화 (smoothing)시키는 비선형 필터이다^[8]. 이를 위해 양방향 필터는 두개의 가우시안 필터, 즉 도메인 필터 및 레인지 필터를 가지고 있다. 이들 두개의 가우시안 필터들은 임의의 영상 출력을 위하여 사용자에게 의해 고정된 표준 편차를 가진다. 적외선 영상의 배경 예측기 (background predictor)

로써 양방향 필터를 동작시키기 위하여, 배경 영역 및 표적 영역에서 도메인 필터 및 레인지 필터의 표준 편차의 적응적 조절이 필요하다. 표적은 높은 분산 값 및 가우시안 모양을 가지기 때문에, 특정 방향의 1차 미분의 절대값의 합 (absolute sum)은 높은 값을 가진다. 제안한 방법은 이 값을 이용하여 양방향 필터의 표준 편차를 조절한다. 그래서 제안한 양방향 필터는 배경 영역에서 정확한 배경 화소를 예측하고, 표적 영역의 표적 화소는 블러링 (blurring) 처리되어진다. 또한 표적을 더욱 블러링시키기 위하여, 표적 영역에서 양방향 필터의 필터 크기를 증가시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 양방향 필터 및 소형 표적 검출에의 응용이 소개되어진다. 3절에서는 국부 에지 성분에 기초한 양방향 필터의 가변 표준 편차 및 에지 성분에 기초한 가변 필터 크기에 의해 표적 검출 알고리즘이 설명된다. 4절에서는 제안한 방법 및 기존의 방법을 이용한 실험 결과를 제공하고, 5절에서는 결론이 주어진다.

II. 양방향 필터 및 소형 표적 검출에의 응용

2.1 양방향 필터 알고리즘

1998년에 Tomasi 및 Manduchi에 의해 제안된 양방향 필터는 에지 구조를 보존하는 반면 잡음 (noise)를 평활화시키는 비선형 필터이다. 양방향 필터에 의해 예측된 픽셀은

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

여기서 $Y(m,n)$ 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, $X(m,n)$ 은 열화된 영상 (원 영상)이다. 이 비선형 조합은 식 (2)와 같고, $A_{m,n} = (l,k) : (l,k) \in (m-N, m+N) \times (n-N, n+N)$ 은 국부 창의 화소들을 나타내고, σ_d 및 σ_r 은 도메인 필터 및 레인지 필터의 표준 편차이다. 식 (3)은 정규화 인수 (normalizing factor)이다.

양방향 필터는 도메인 필터 및 레인지 필터에 대

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

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

해 저역 (low-pass) 가우시안 필터를 채택하였다. 이는 도메인 저역 가우시안 필터 (domain low-pass Gaussian filter, D-LPGF) 및 레인지 저역 가우시안 필터 (range low-pass Gaussian filter, R-LPGF)로 불려진다. 도메인 필터는 중앙 화소에 공간적으로 가까운 화소들에게 높은 가중치를 주고, 레인지 필터는 중앙 화소의 그레이 레벨과 비슷한 화소들에게 높은 가중치를 준다.

2.2 소형 표적 검출에의 응용

양방향 필터를 소형 표적 검출에 응용하기 위하여, 양방향 필터의 σ_d 및 σ_r 의 영향을 고려해야 한다. σ_d 은 도메인 필터의 폭을 조절한다. 단지 도메인 필터의 영향을 분석하기 위하여, 고정된 $\sigma_r = 255$ 이 분석에서 사용되어졌다. 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 필터의 폭을 조절한다. 이것은 레인지 필터가 영상을 평활화 할때 그레이 레벨의 평활화 범위를 결정한다. σ_r 이 국부창 안의 화소의 레인지와 비교하여 크다면, 레인지 필터는 모든 픽셀에 비슷한 가중치를 부여한다. 그렇다면, 그것은 전체 양방향 필터에 큰 영향을 미치지 않을 것이다. 반면에, 작은 σ_r 은 레인지 필터가 우세한 양방향 필터를 만들 것이다. 그림 1(d) 및 1(e)는 이러한

효과를 증명한다.

양방향 필터는 소형 표적 검출에 적용하기 위하여, 배경 예측기로서 동작한다. 배경 영역의 정확한 예측을 위하여, 양방향 필터는 도메인 필터에서 중앙 화소에 높은 가중치를 부여하고, 레인지 필터에서 중앙 화소와 비슷한 픽셀에 높은 가중치를 부여한다. 이를 위하여 σ_d 및 σ_r 은 배경 영역에서 작은 값을 가져야 하는 반면에, 표적 영역에서는 표적을 블러링 시키기 위하여 큰 값을 가져야 한다. 즉, 큰 σ_d 및 큰 σ_r 은 도메인 필터 및 레인지 필터의 폭을 확장하여 표적 영역을 블러링 시킬 수 있다.

III. 에지 성분에 기초한 양방향 필터

2.2절의 양방향 필터의 특징을 이용하여, 우리는 에지 성분 분석에 기초한 적응적 표준 편차를 가진 새로운 양방향 필터를 제안한다. 제안한 방법의 블록 다이어그램은 그림 2에서와 같다. 먼저 우리는 원 영상에 대하여 국부 창 of 에지 성분을 계산한다. 양방향 필터의 조건식은 원 영상 화소들의 필터링 여부를 결정한다. 따라서 어떤 화소가 배경 화소일 확률이 크다면, 그 화소는 양방향 필터에 의해 처리되지 않으며, 양방향 필터에 의해 처리되는 화소들은 표적 화소 및 클러터일 것이다. 또한 이 화소들의 에지 성분은 양방향 필터의 표준 편차 및 필터

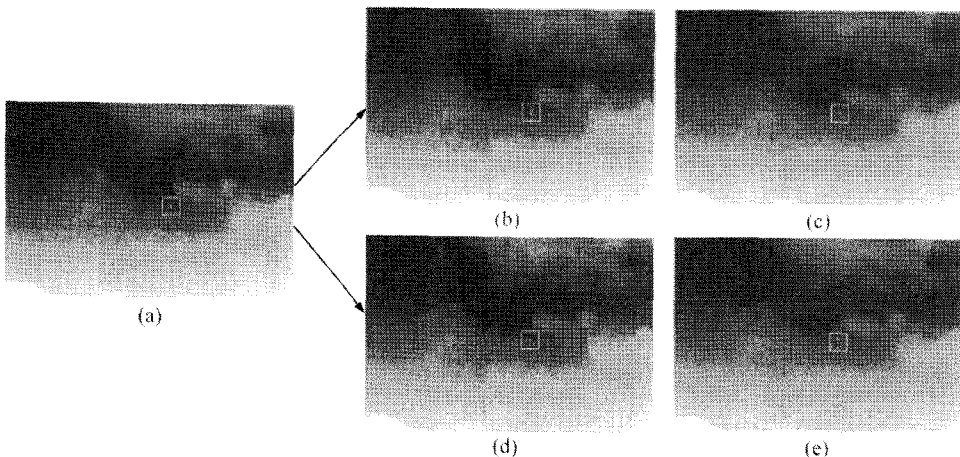


그림 1. σ_d 및 σ_r 의 영향. (a) 원영상, (b) $\sigma_d = 2$, $\sigma_r = 255$, (c) $\sigma_d = 50$, $\sigma_r = 255$, (d) $\sigma_d = 20$, $\sigma_r = 5$, 및 (e) $\sigma_d = 20$, $\sigma_r = 255$

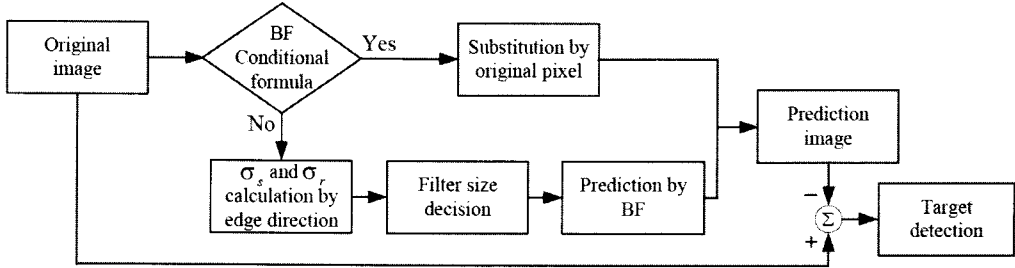


그림 2. 제안한 방법의 블록다이어그램

크기를 결정한다. 표적은 예측된 배경 영상과 원 영상의 차 연산에 의해 검출된다.

3.1 국부 에지 성분에 기초한 표준 편차

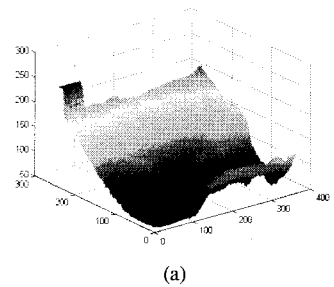
양방향 필터의 특징을 적외선 영상에 적용하기 위하여, 우리는 국부창에 의해 덮혀지는 영역이 소형 표적인지 배경인지 말해줄 수 있는 메카니즘이 필요하며, 이 메카니즘에 의해 도메인 필터 및 레인지 필터의 두 표준 편차를 조절할 수 있어야한다.

제안한 방법은 표적 화소가 가우시안 분포를 가진다고 가정한다. 이 가정은 많은 이전 논문에서 사용되어진 가정이다. 적외선 영상은 다른 일반적인 영상과 비교하여 간단한 배경을 가지기 때문에, 적외선 영상에서 에지 영역과 평탄 영역을 구별하기는 어렵지 않다. 특히 가우시안 분포를 가지는 표적 영역은 화소 차이값이 커서 큰 에지 성분을 가지고 있다. 적외선 영상의 화소 차이값 특징을 조사하기 위하여, 4 방향의 에지 성분을 계산하는 에지 필터가 다음과 같이 고려되어진다.

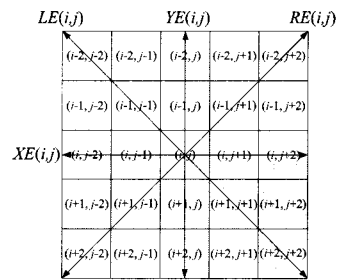
$$\begin{aligned}
 HE(i, j) &= \sum_{k=-N}^{N-1} |X(i, j+k) - X(i, j+k+1)| \\
 VE(i, j) &= \sum_{l=-N}^{N-1} |X(i+l, j) - X(i+l+1, j)| \\
 LE(i, j) &= \sum_{k=-N}^{N-1} |X(i+l, j+l) - X(i+l+1, j+l+1)| \\
 RE(i, j) &= \sum_{l=-N}^{N-1} |X(i+l, j-1) - X(i+l+1, j-1)| \\
 E(i, j) &= HE(i, j) + VE(i, j) + LE(i, j) + RE(i, j)
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기에서 X 는 원 영상이고, $HE(i, j)$, $VE(i, j)$, $LE(i, j)$, 및 $RE(i, j)$ 는 그림 3(b)에서 보이는 것처럼 수평, 수직, 좌대각선, 및 우대각선 방향에 대한 일차 미분의 합이다. 그림 3은 원영상, 에지 필터, 및 에지 성분 이미지를 보여준다. 에지 성분 이미지는 표적 및 구름 영역에서 높은 값을 가짐을 보여준다. 에지 분포가 큰 영역은 다른 영역보다 블

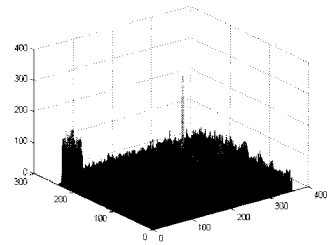
러링 정도가 커야 하고, 양방향 필터에서 σ_d 및 σ_r 의 값은 커야한다. 따라서 제안한 검출 알고리즘은 $[nE_{min}, nE_{max}]$ 에서 $[\sigma_{d_{min}}, \sigma_{d_{max}}]$, $[\sigma_{r_{min}}, \sigma_{r_{max}}]$ 로 두 표준 편차의 선형 매핑을 이용한다. $nE(i, j)$ 은



(a)



(b)



(c)

그림 3. (a) 원 영상, (b) 4 방향에 대한 에지 필터, 및 (c) 에지 분포 이미지

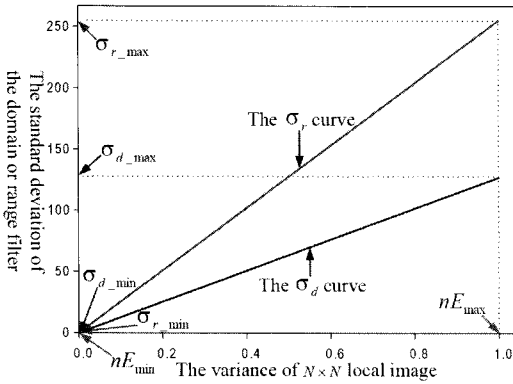


그림 4. 에지 성분에 의한 두 표준 편차의 매핑 함수

에지 성분 이미지 $E(i,j)$ 의 정규화 (normalization) 된 영상이다. σ_{d_min} 및 σ_{d_max} 은 도메인 필터의 표준 편차의 최소 및 최대값이고, σ_{r_min} 및 σ_{r_max} 은 레인지 필터의 표준 편차의 최소 및 최대값이다. 이제 양방향 필터는 에지 성분에 의해 적응적 σ_d 및 σ_r 을 가지고, 배경 영역으로부터 소형 표적을 구별한다. 그림 4는 에지 성분에 의한 두 표준 편차의 매핑 함수를 보여준다.

3.2 에지 성분에 기초한 가변 필터 크기

배경을 제외한 표적만을 블러링 시키는 것은 양방향 필터를 이용한 배경 예측에서 중요한 기술이다. 그래서 일정한 배경 (constant background) 및 안쪽 구름 (inner cloud) 같은 평탄 영역은 블러링 처리에서 제외된다. 이런 영역은 매우 낮은 에지 성분을 가지기 때문에 양방향 필터에 의한 배경 예측 처리에서 제외된다. 이와 같은 처리는 양방향 필터의 계산량을 감소시킨다. 어떤 화소에서 양방향 필터를 위한 조건식은 다음과 같다.

$$I(i,j) = \begin{cases} X(i,j), & \text{if } (nE(i,j) < \lambda \times nE_{\max}) \\ \tilde{X}(i,j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

배경 예측 영상 $I(i,j)$ 에서, 어떤 화소가 식 (5)를 만족한다면 예측 화소는 원 화소값, $X(i,j)$ 에 의해 대체되어진다. 그렇지 않으면, 양방향 필터에 의해 예측된 화소값, $\tilde{X}(i,j)$ 이 사용되어진다. λ 은 양방향 필터 적용 여부를 결정하기 위한 nE_{\max} 의 비율이고, 실험값으로서 0.25을 사용한다. 양방향 필터가 표적 영역에서 선형 매핑된 σ_d 및 σ_r 을 사

용하여 표적을 블러링 시키고 동시에 표적을 더욱 블러링 시키기 위하여, 양방향 필터의 필터 크기를 증가시킨다. 양방향 필터의 필터 크기 $(2M+1)$ $(2M+1)$ 를 조절하기 위하여, 2개의 경계값이 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{cases} M = N + 2, & \text{if } nE(i,j) > \alpha \times nE_{\max}, \\ M = N + 1, & \text{elseif } nE(i,j) > \beta \times nE_{\max}, \\ M = N, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기에서 $\alpha = 0.75$ 및 $\beta = 0.5$ 는 양방향 필터의 필터 크기를 조절하기 위한 nE_{\max} 의 비율이며, 실험값이다. 표적 영역 및 구름 영역은 평탄 배경 영역과 비교하여 높은 에지 성분을 가지기 때문에, 그런 영역에서의 필터 크기는 커야한다.

IV. 실험 및 고찰

그림 5는 4개의 적외선 영상에 대하여 제안한 알고리즘을 이용한 결과 영상을 보여준다. 이들 영상은 8 bit 및 360×240 화소 크기를 가진다. 우리는 양방향 필터의 기본 필터 크기를 $N=2$ (필터크기, 5×5)로 정하였고, 양방향 필터의 도메인 필터 및 레인지 필터의 최소 및 최대 표준 편차는 $\sigma_{d_min} = 0$, $\sigma_{d_max} = 127$, $\sigma_{r_min} = 0$, 및 $\sigma_{r_max} = 255$ 로 사용한다. (a)열은 서로 다른 배경에 대해 소형 표적을 포함하는 원 영상이고, (b)열은 예측 배경 영상이다. 원 영상과 예측 배경 영상의 차 연산에 의해 차 영상을 얻은 후, 이 차 영상을 다음의 지수 함수에 의해 매핑한다.

$$M(i,j) = \exp(S(i,j)/\sigma^2) \quad (7)$$

여기에서 $S(i,j)$ 는 차 영상이고, 실험에서 $\sigma = 4$ 를 선택했다. (d)열은 매핑된 영상의 명암도 그림이고, (c)열은 경계값 $0.5M_{\max}$ 에 의해 매핑 영상을 이진화한 영상이다. M_{\max} 는 매핑영상의 최대 그레이 스케일이다. (e)열은 에지 성분 영상이고, (f)열은 전체 영상에 대한 레인지 필터의 표준 편차이다. 도메인 필터의 표준 편차는 레인지 필터의 표준 편차와 비슷하기 때문에 그림 5에서 생략하였다. 레인지 필터의 표준 편차는 배경영역에서는 값이 작고, 표적이 위치한 영역에서는 값이 큼을 알 수 있다.

그림 6은 D1 영상에 대한 기존의 방법 및 제안

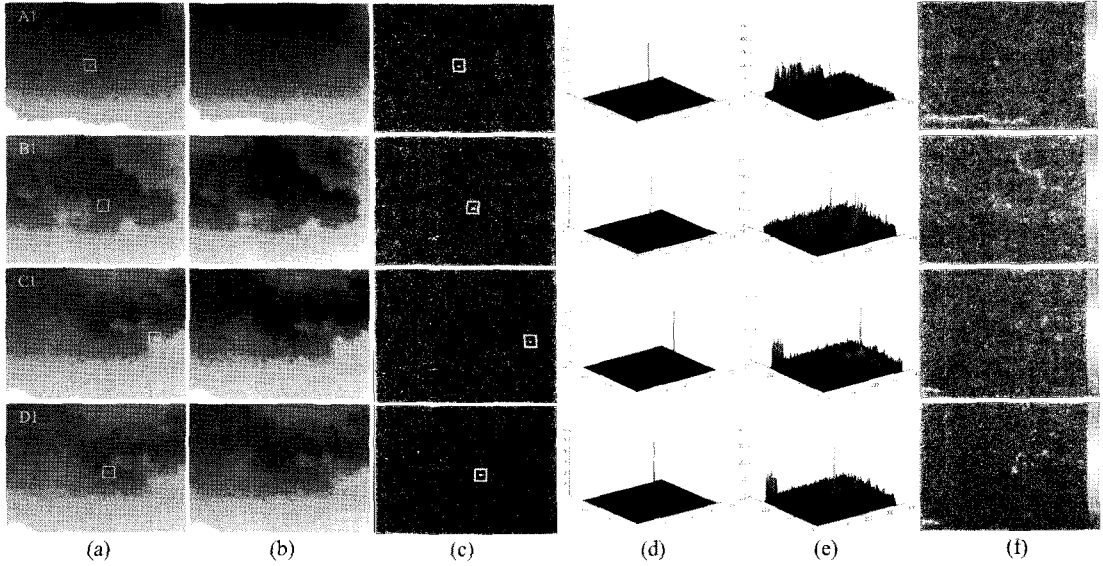


그림 5. 4 영상에 대한 결과 영상. (a) 원 영상, (b) 배경 예측 영상, (c) 탐지 결과, (d) 매핑 후 그레이 레벨, (e) 에지 성분 영상, (f) 영상 전체에 대한 레인지 필터의 표준 편차

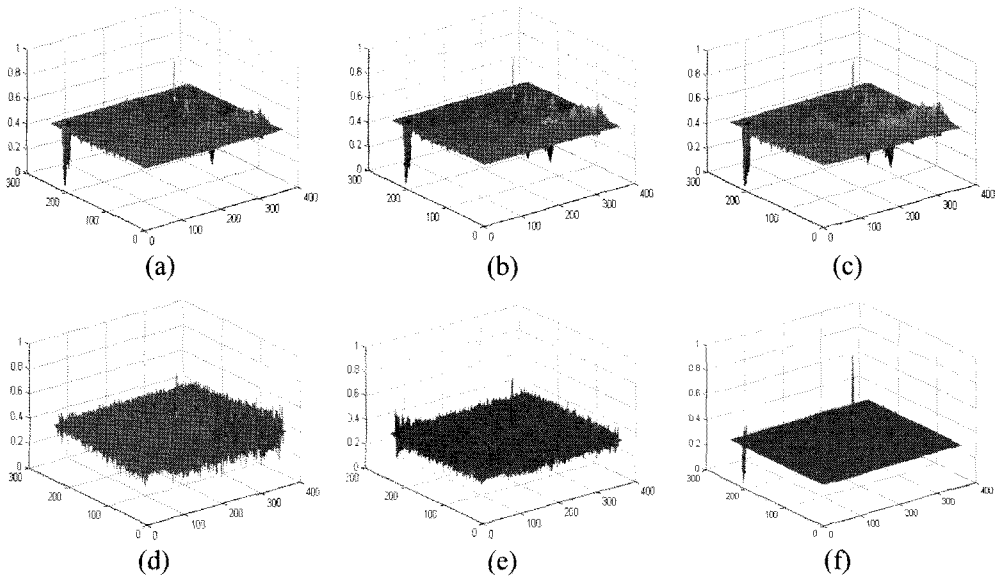


그림 6. 영상 D1에 대한 (a) Median 11×11, (b) Median 9×9, (c) Median 7×7, (d) TDLMS, (e) TDNLMS, 및 (f) 제안한 방법에 의한 결과 영상

한 방법 사이의 주관적 비교 결과를 위한 결과 영상이며, 객관적 비교를 위한 신호 대 잡음비 이득 (signal-to-clutter ratio gain, SCRG) 및 배경 억압 인수 (background suppression factor, BSF)는

$$SCRG = \frac{(S/C)_{out}}{(S/C)_{in}}, BSF = \frac{C_{in}}{C_{out}} \quad (8)$$

와 같다. 여기서 S 는 신호의 높이이고, C 는 한 프레임에서의 클러터의 표준편차이다. SCRG값은 원영상과 결과 영상에 대한 표적 신호 대 잡음비 이득의 비율을 의미하며, 이것은 표적 신호의 최소 값이 클러터에 비해 증가된 것을 의미한다. $(S/C)_{in}$ 및 $(S/C)_{out}$ 은 원 영상 및 결과 영상에 대한 클러터 표준편차와 표적 신호 높이의 비율이다. 따라서 다

표 1. 기존 방법 및 제안한 방법의 성능 비교

Methods/images	A1		B1		C1		D1	
	SCRG	BSF	SCRG	BSF	SCRG	BSF	SCRG	BSF
Median 11×11	6.02	4.10	4.74	3.44	4.14	3.60	6.09	3.70
Median 9×9	6.63	4.51	5.29	3.83	4.63	4.05	6.91	4.20
Median 7×7	7.49	5.09	6.00	4.40	5.19	4.60	7.87	4.80
TDLMS $\mu = 10^{-6}$	6.58	5.03	6.28	5.05	2.30	2.46	5.95	4.41
TDNLMS $\mu = 11^{-7}$	9.00	6.99	7.58	5.97	4.46	4.25	7.99	5.84
Proposed	18.20	13.44	28.73	23.28	28.54	29.58	36.49	25.68

양한 클러스터 속에 존재하는 소형 표적을 효율적으로 검출하기 위하여 소형 표적 검출 알고리즘은 클러스터의 화소값을 억압하고, 소형 표적의 화소값은 증가시켜야 하기 때문에 높은 SCRG값을 가져야 한다. BSF값은 표적을 제외한 클러스터(배경) 억압 정도를 나타내는 척도이다. C_{out} 은 결과 영상의 클러스터 표준 편차이고, C_{in} 은 원 영상의 클러스터 표준 편차이다. 소형 표적 검출 알고리즘에 의해 처리된 결과 영상은 클러스터를 효율적으로 억압해야 하기 때문에 결과 영상의 C_{out} 이 원영상의 C_{in} 보다 작은 값을 가져야 하며 BSF값은 커야 한다. A1, B1, C1, 및 D1 영상에 대한 SCRG 및 BSF 표 1과 같다. 기존 소형 표적 검출 알고리즘의 경우, 그림 6(a)~6(e)에서 소형 표적의 화소값 개선에 비해 클러스터의 억압 정도가 낮음을 볼 수 있고, 표 1에서 SCRG 및 BSF 역시 낮음을 확인할 수 있었다. 그러나 제안한 알고리즘의 경우 그림 6(f)에서와 같이 클러스터의 억압 정도가 높고, 소형 표적의 화소값 개선 수준이 높음을 확인하였다. 주관적 및 객관적인 비교 결과로부터 제안한 알고리즘이 적외선 소형 표적 검출에 있어서 더 나은 성능을 보여줄 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 가변 필터 크기를 가지는, 에지 방향성의 분석에 기초한 적응적인 표준 편차를 가지는 새로운 양방향 필터를 제안한다. 우리는 원 영상에 대하여 국부 창 이미지의 에지 성분을 계산한다. 이 에지 성분은 양방향 필터의 표준 편차 및 필터 크기를 결정한다. 양방향 필터는 표적 영역에서 표적을 블러링 시키기 위하여 표준 편차는 높은 값을 가져야 한다. 또한 표적을 더욱 블러링 시키기 위하여, 필터 크기를 증가시킨다. 이러한 처리는 양방향 필터가 소형 표적 검출 분야에서 더 잘 수행하게 함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A. D. Jong, "IRST and Its perspective," *Proc. of SPIE* 2552, pp. 206-213, 1995.
- [2] W. L. Wolfe, "Introduction to Infrared System Design," *SPIE Optical Engineering Press*, Washington, 1996.
- [3] L. Chengjun, W. Ying, and S. Zeling, "A Small Target Detection Algorithm Based on Multi-Scale Energy Cross," *Proc. 2003 IEEE International Conf. on Robotics, Intelligent System and Signal Processing*, Changsha, China, Vol. 2, pp. 1191-1196, Oct., 2003.
- [4] T. Soni, R. Zeidler, and W. H. Ku, "Performance Evaluation of 2D Adaptive Prediction Filters for Detection of Small Object in Image Data," *IEEE Trans. Image Process.* 2(3), pp. 327-340, 1993.
- [5] H. Sang, X. Shen, C. Chen, "Architecture of a Configurable 2-D Adaptive Filter Used for Small Object Detection and Digital Image Processing," *Opt. Eng.* 42(8), pp. 2182-2189, 2003.
- [6] J. Barnett, "Statistical Analysis of Median Subtraction Filtering with Application to Point Target Detection in Infrared Backgrounds," *Proc. of SPIE* 1050, pp. 10-18, 1989.
- [7] Y. Xiong et al., "An Extended Track-Before-Detect Algorithm for Infrared Target Detection," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.* 33(3), pp. 1087-1092, 1997.
- [8] C. Tomasi, R. Manduchi, "Bilateral Filtering for Gray and Color Images," *Proc. Int. Conf. Comput. Vis.*, pp. 839-846, 1998.
- [9] Hilliard, C.I., "Selection of a Clutter Rejection

Algorithm for Real-time Target Detection from an Airborne Platform," *Proc. of SPIE* 4048, pp. 74-84, 2000.

배 태 옥 (Tae-Wuk Bae)

준회원



2004년 2월 경북대학교 전자공학과
2006년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
2006년 9월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> 적외선 영상처리, 신

호처리, 영상처리

김 영 춘 (Young-Choon Kim)

정회원



1991년 2월 경북대학교 전자공학과
1993년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
1997년 2월 경북대학교 전자공학과 박사
1998년 2월~현재 영동대학교

정보통신사이버경찰학과 교수
<관심분야> 컴퓨터 구조, 데이터 통신, 적외선 영상처리, IRCM

김 병 익 (Byoung-Ik Kim)

정회원



2004년 2월 동양대학교 전자공학과
2008년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
2008년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> 신호처리, 영상처리,

영상통신

안 상 호 (Sang-Ho Ahn)

정회원



1986년 2월 경북대학교 전자공학과
1988년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
1992년 2월 경북대학교 전자공학과 박사
1993년 3월~현재 경북대학교 전

지능로봇공학과 교수
<관심분야> 영상공학, 로봇공학, 적외선 영상처리, IRCM

이 성 학 (Sung-Hak Lee)

정회원



1997년 2월 경북대학교 전자공학과
1999년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
1999년 2월~2004년 6월 LG전자 영상제품연구소 선임연구원
2008년 2월 경북대학교 전자공

학과 박사

2008년 2월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 초빙교수

<관심분야> Audio 및 Video 공학, DTV 신호처리, 색재현 공학

송 규 익 (Kyu-Ik Sohng)

정회원



1975년 2월 경북대학교 전자공학과
1977년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
1990년 2월 TOHOKU UNIV. 전자공학과 박사
1995년 3월~현재 경북대학교

전자전기컴퓨터학부 교수
<관심분야> Audio 및 Video 공학, DTV 신호처리, 색재현 공학