한국군사과학기술학회지 제14권 제4호, pp. 676~683, 2011년 8월

학술논문 센서 · 신호처리 부문

클러터 환경에 강인한 고속/소형의 접근 표적 탐지/추적

Robust Detection and Tracking for a High-speed and Small Approaching Target in Clutter

김 지 은* 노 창 균* 이 부 환*
Jieun Kim Chang Kyun Noh Boo Hwan Lee

Abstract

In this paper, we propose a robust method which can detect and track a high-speed small approaching target in a cluttered environment for Korean Active Protection System. The proposed method uses a temporal and spatial filter, tracking filter to detect and track a single target in consecutive order. And it is comprised of a candidate target detection step, a prior target selection step and a target tracking. Field tests on real infrared image sequences show that the proposed method could stably track a high speed and small target in complex background and target occlusion.

Keywords : Active Protection System, Facet Model, Spatial Filter, Temporal Filter, Target Mapping, Target Updating, Probabilistic Data Association Filter, Detection and Tracking

1. 서 론

능동방호장치(APS : Active Protection System)는 위협체를 탐지, 추적하여 연막차장 후 회피 기동하는 유도교란형(Soft-kill)과 적극적 대응수단인 능동파괴형(Hard-kill)으로 구분할 수 있다. 특히 능동파괴형은 대전차 미사일, 대전차 로켓 등 고속으로 접근하는 위협체를 조기에 탐지, 추적하여 위협체의 위치, 속도 및 도달시간을 정밀하게 예측하고, 대응탄으로 이를 무력화 시켜 아군 전투차량의 생존성을 향상시키는 무기체계이다[1]. 주요 소요기술은 레이더 및 적외선 센서 등을 이용하여 위협체를 탐지, 추적하는 탐지/추적 기술, 교전위치 판단 및 대응명령 생성 등 위협처리 기술, 대응탄 발사를 위한 발사장치의 고속/정밀 구동제어 기술 그리고 대응탄 설계기술 등으로 구성된다.

여기서 위협체의 미래 위치를 추정하고 정확한 교전위치를 계산하기 위해서는 탐지/추적 센서의 정밀한 탐지/추적 기술은 능동방호장치의 전체적인 성능을 좌우하는 핵심적인 요소이다.

능동파괴형 능동방호장치의 탐지/추적 센서는 레이더 및 적외선 센서를 상호보완적으로 운용하여 전투효과를 극대화할 수 있다. 능동형 레이더 센서는 지상운용환경에서 다중경로(Multi-path)에 의해 탐지, 추적 성능에 영향을 받을 수 있다[2]. 그리고 수동형 적외선 센서에 비해 상대적으로 공간해상도가 떨어지므로 위협체를 정밀하게 탐지하기에는 성능 제약이 있을 수

† 2011년 5월 24일 접수~2011년 7월 15일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
책임저자 : 김지은(bbjieun@paran.com)

있다. 그러므로 레이더로부터 획득한 위협체의 탐지/추적 데이터를 큐(Cue) 정보로 활용하여 적외선 센서에서 정밀하게 위협체의 위치를 탐지하는 방법으로 김[3]과 Park 등[4]은 페이싯 모델(Facet Model)[5]을 이용하여 소형 위협체의 탐지기법을 제안하였다. 그러나 이러한 방법들은 지상 운용환경에서 위협체와 크기나 밝기가 유사한 특성의 클러터(Clutter) 또는 배경잡음이 있을 경우 성능이 저하되는 현상이 발생하기도 한다. 즉, 적외선 영상에서 고성능의 탐지 과정을 거치더라도 탐지된 표적은 잡음에 의한 오차를 포함하거나 클러터에 의한 오탐지 또는 표적 가림 등을 배제할 수 없게 된다.

이 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 시공간 탐지필터 및 추적필터를 순차적으로 이용하는 방법을 제안한다. 먼저 김과 Park 등이 제안한 시공간 탐지필터로써 후보 표적들을 탐지한다. 그리고 추적필터를 초기화하기 위해 탐지된 각 후보 표적들에 대해 초기 트랙(Track)을 할당하고, 수 프레임 동안 트랙 맵핑과 갱신을 통해 트랙을 생성한다. 또한 각 트랙들의 위협 순위를 정하고, 최우선 순위의 위협 트랙을 표적으로 선정한다. 그 결과 최종 선정된 위협 트랙의 표적 동특성 정보를 이용하여 추적필터를 초기화하고 지속적으로 표적을 추적한다. 추적필터는 표준 칼만필터[6]를 이용하고, 데이터 연관기법으로 확률 데이터 연관(PDA : Probabilistic Data Association)[6,7] 방법을 이용한다. 야외 시험을 통해 제안한 방법이 복잡한 지상배경에서도 하나의 위협 표적을 안정적으로 탐지/추적 할 수 있음을 확인하였다.

2. 제안한 탐지/추적 알고리즘

이 논문에서 제안하는 위협체 탐지/추적 기법의 순서도를 Fig. 1에 나타내었다. 제안하는 방법은 크게 '후보표적탐지', '표적선정' 그리고 '표적추적'의 3단계로 구성된다. 각 단계에 해당하는 상세 알고리즘은 다음과 같다.

가. 후보표적탐지[3,4]

일반적으로 지상 운용환경은 표적의 밝기 값과 크기가 유사한 형태의 클러터가 함께 존재한다. 즉, 공간적인 밝기 값이 유사하다는 것은 정지 영상에서 표적과 클러터의 구분이 어렵다는 뜻으로 아주 정교한 공간

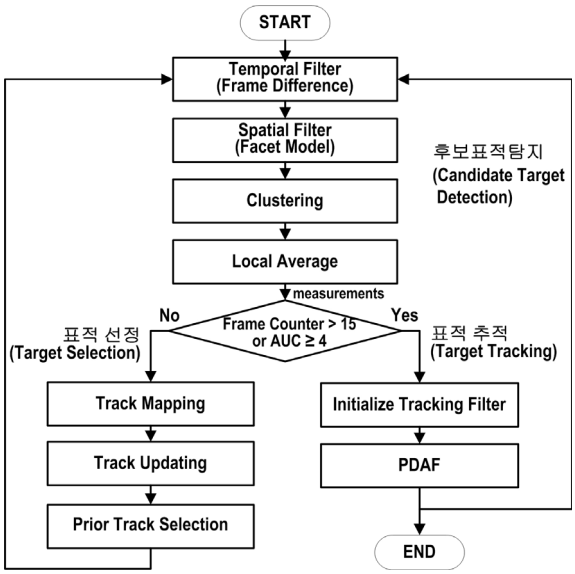

Fig 1. 제안한 탐지/추적방법의 순서도

필터(Spatial Filter)[8,9]를 사용하더라도 잘못된 판단을 내릴 확률이 커진다. 또한 시간필터(Temporal Filter)[10~14]를 사용하는 기법들은 많은 연산 시간과 메모리를 필요로 한다.

따라서 복잡한 지상 환경에서 고속으로 이동하는 표적에 대해 후보 표적을 탐지하기 위해 레이더에서 획득한 위협 데이터를 큐 정보로 활용하여 관심영역(ROI : Region Of Interest)을 설정한다. 관심영역의 크기는 레이더의 추적오차를 고려하여 결정된다. 그리고 그 영역에 대해서 계산량이 적은 차 영상 기반의 시간필터를 사용하여 정적인 배경 클러터 성분을 제거하고 동적인 성분을 먼저 검출한다. 그리고 검출된 각 화소들에 대해 페이싯 모델 기반의 공간필터를 사용한다. 페이싯 모델은 표적이 2차원 가우시안 형태의 분포로 가정할 경우, 이를 3차 다항식으로 근사화해서 표적을 검출한다. 마지막으로 고속 클러스터링과 지역 평균치(Local Average)[15] 연산 과정을 거쳐 후보 표적들을 탐지한다. 또한 각 후보 표적들의 지역 평균 밝기 값이 큰 순으로 정렬 후 5순위 내에서 크기가 큰 순으로 재정렬한다.

나. 표적 선정

표적선정 단계는 추적필터를 초기화하기 위해 최우선 위협 트랙을 표적으로 최종 선정하는 과정이다. 먼저, 이전 프레임에서 생성된 트랙과 현재 프레임에서

탐지된 후보 표적(측정치)들에 대해 수 프레임 동안 트랙 맵핑과 트랙 갱신과정을 통해 트랙을 생성한다. 그리고 수집된 트랙들의 정보를 비교하여 위협의 순위를 정하고, 최우선 순위의 위협 트랙을 표적으로 선정한다. 최종 선정된 표적의 동특성(위치, 속도, 가속도) 정보는 표적 추적단계의 추적필터 초기화에 이용된다.

1) 트랙 맵핑(Track Mapping)

동특성이 유사한 표적을 구분하기 위해서는 연속된 입력 영상에서 탐지된 후보 표적들 간의 상관관계를 파악하는 맵핑 과정이 필요하다. 이전 입력 영상에서 생성된 트랙의 유효영역 내에서 현재 입력 영상에서 탐지된 후보 표적 중 유클리디언 거리(Euclidian Distance)가 가장 가까운 후보와 맵핑이 된다. 이 경우 레이더 큐 정보의 이동 방향과 반대 방향으로 임의의 (L) 화소 이상 벗어나는 후보 표적은 맵핑에서 제외되며, 트랙이 어느 후보 표적과도 맵핑이 되지 않는 경우에는 다음 입력 영상에서 유효영역의 크기를 적응적으로 증가시켰다.

이 논문에서는 연산량을 줄이기 위해 Greedy 알고리즘을 이용하여 맵핑 과정을 최적화[16]하였고, 상기의 L 값은 레이더 정보와 영상내에서 위협체의 이동 변위 분석을 통해 실험적으로 15화소로 설정하였다.

2) 트랙 갱신(Track Updating)

트랙 맵핑 과정을 통해 생성된 트랙은 크게 표적의 동특성 정보, 표적의 특징 정보 그리고 트랙의 상태 정보 등 3가지 트랙 정보를 포함한다. 동특성 정보는 후보 표적의 위치, 평균 속도 및 가속도를 나타내며, 특징 정보는 후보 표적의 지역 평균 밝기 값 및 크기를 나타낸다. 또한 트랙의 상태 정보는 트랙의 연속 갱신 여부, 하나의 트랙만 존재할 경우의 트랙 단독 갱신 횟수(AUC : Alone Update Counter), 그리고 입력 영상의 프레임 수를 나타낸다.

트랙의 갱신, 제거 및 새로운 트랙의 생성 조건은 다음과 같다.

▪ 트랙 갱신 :

트랙이 현재 입력 영상의 후보 표적들에 의해 맵핑되면 해당 트랙 정보를 갱신한다.

▪ 트랙 제거 :

특정 트랙이 연속적으로 4회 이상 맵핑되지 않는 경우, 즉 트랙 갱신이 되지 않는 경우 해당 트랙을 제거한다.

▪ 트랙 생성 :

현재 입력 영상에서 트랙과 맵핑이 되지 않는 후보 표적이 나타난 경우는 새로운 트랙을 생성한다. 트랙의 총 개수는 연산량 등을 고려하여 10개로 제한한다.

3) 우선 위협 트랙 선정(Prior Track Selection)

트랙 정보가 갱신되면 각 트랙 정보를 비교하여 후보 표적들에 대해 위협 순위를 판단한다. 따라서 탐지 빈도수와 표적의 특징정보 두 가지 조건으로 위협순위를 결정하고, 최우선 위협 표적을 선정하게 된다.

▪ 탐지의 빈도수 :

탐지의 빈도수는 후보 표적을 관찰하기 시작한 후 얼마나 지속적으로 후보 표적으로 탐지가 되었는가에 대한 척도이다.

$$P = \frac{\sum Detected\ frame}{\sum Total\ frame} \tag{1}$$

▪ 표적의 특징 :

표적의 특징 정보는 탐지의 빈도수가 일치하는 트랙이 두 개 이상 존재할 경우에 후보 표적들의 순위를 판단하는 기준이다. 식 (2)에 나타낸 바와 같이 빈도수가 같은 후보의 지역 평균 밝기 값이 5순위 이내에서 표적의 크기가 가장 큰 표적을 우선 순위로 결정한다.

$$T = \arg \underset{k}{Max}\{size(S(k))\} \tag{2}$$

여기서,

$$S(k) = \underset{k\in[1,5]}{\arg} O(k)$$
$$O(k) = DescendOrder(Local\ average(Track)) \tag{3}$$

이다.

추적 필터 초기화를 위해 최우선 위협 트랙 하나를 선정할 때 해당 트랙이 신뢰성을 갖도록 수 프레임 동안 다수의 후보 트랙을 유지하면서 각 트랙의 정보

를 수집하고 비교해야 한다. 이 논문에서는 실제 고속으로 접근하는 위협체(대전차로켓 RPG-7)의 궤적 데이터를 분석하여 위협체의 속도가 일정하게 유지되는 구간을 찾아 트랙 정보 수집을 위한 프레임 수(Frame Counter)를 15 프레임으로 결정하였다. Fig. 2는 수평/수직방향에서 프레임 간 위협체의 이동변위를 각각 나타낸다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 일반적으로 등속으로 영상 센서에 접근하면서 측면으로 지나가는 위협체는 센서에 근접할수록 2차원 영상에서 수평방향에 대해 가속도 운동을 하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 후보 표적이 연속적으로 1개만 탐지되어 하나의 트랙만이 단독으로 갱신되는 횟수(AUC)가 4회 이상일 경우는 이 트랙을 최종 표적으로 간주하고 트랙 맵핑 및 갱신 등의 트랙 정보 수집을 종료한다.

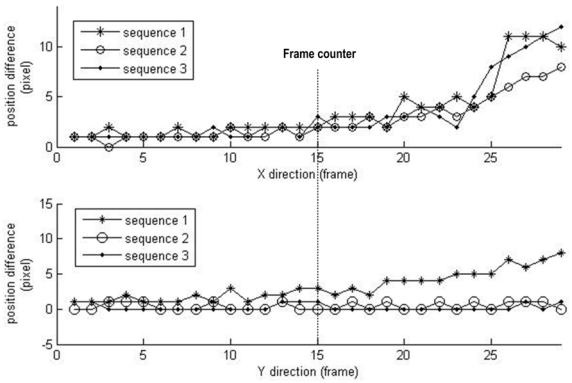

Fig. 2. 대전차 로켓의 2차원 궤적 데이터

다. 표적 추적

표적 선정단계에서 추적해야 할 표적이 결정되면, 이 표적의 위치, 평균 속도 및 평균 가속도 등의 동특성 정보를 추적필터의 상태변수로 초기화한다. 추적필터는 칼만필터를 기반으로 확률 데이터 연관 필터(PDAF)를 이용한다.

일반적으로 사용되는 데이터 연관 기법으로는 측정치 중 밝기 값이 가장 큰 것을 선택하는 SNF(Strongest Neighbor Filter)[17], 측정치 중 예측값과 거리가 가장 가까운 것을 선택하는 NNF(Nearest Neighbor Filter)[18] 등이 있다. 이와 같은 데이터 연관 기법은 측정된 다수의 데이터 중에서 하나의 데이터를 선택하고 다른 나머지 데이터는 이용하지 않는다. 그러나 PDAF는 측정된 다수의 데이터에 대해 예측치와 연관될 확률을 계산하고 이를 베이지안(Bayesian) 합으로 데이터 연관을 수행하므로 클러터 환경에 강인할 수 있다. 그리고 이 논문에서는 데이터 연관시 측정치 선택을 위해 유효영역(Validation Gate)은 표적의 속도 정보를 이용하여 적응적으로 속도에 비례하여 크기를 조정하도록 함으로써 유효영역 내 측정치의 신뢰성을 높이고자 하였다. Fig. 3은 PDAF의 개략적인 동작 흐름[19]을 나타낸다.

표적 추적단계에서 위협체의 기동특성이 Fig. 2에 나타낸바와 같이 2차원 영상에서 수평방향으로 등가속도, 수직방향으로는 등속 운동을 한다는 가정하에, 표적의 동특성을 모델링하였다. 표적의 상태 및 측정 모델은 식 (4)와 같다. 이때 측정치가 주어지면 상태변수의 추정은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 계산된다.

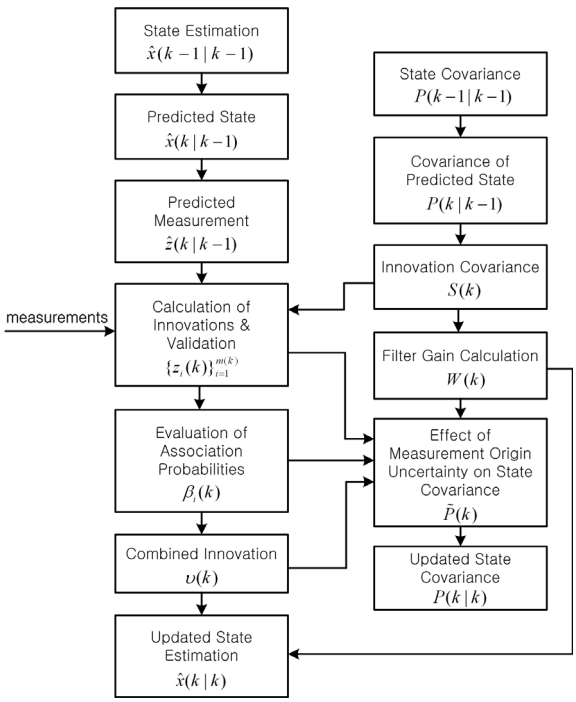

Fig. 3. PDAF의 개략적인 동작 흐름

$$\begin{aligned} \boldsymbol{x}(k+1) &= \boldsymbol{F}(k)\boldsymbol{x}(k)+\boldsymbol{w}(k) \\ \boldsymbol{z}(k) &= \boldsymbol{H}(k)\boldsymbol{x}(k)+\boldsymbol{\nu}(k), \\ E\boldsymbol{w}(k)\boldsymbol{w}(k)^T &= \boldsymbol{Q}(k),\ E\boldsymbol{\nu}(k)\boldsymbol{\nu}(k)^T = \boldsymbol{R}(k) \end{aligned} \tag{4}$$

여기서, 프로세스 잡음 $\boldsymbol{w}(k)$와 측정 잡음 $\boldsymbol{\nu}(k)$는 가우시안 잡음이라고 가정한다. 표적의 상태 변수 및 측정치는 식 (5)와 같이 정의하였다. x와 y는 영상에

서 표적의 위치 좌표, v_x와 v_y는 속도, a_x와 a_y는 가속도를 나타낸다.

$$\begin{aligned}\boldsymbol{x}(k) &= [x(k)\ v_x(k)\ a_x(k)\ y(k)\ v_y(k)\ a_y(k)]^T \\ \boldsymbol{z}(k) &= [x(k)\ y(k)]^T\end{aligned} \tag{5}$$

그리고 상태천이 모델 $\boldsymbol{F}$는 식 (6)과 같이 정의하였다.

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 1 & \triangle t & \frac{\triangle t^2}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \triangle t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \triangle t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

여기서, $\triangle t$는 샘플링 시간이다.

상태변수 추정을 위한 $\hat{\boldsymbol{x}}(k-1/k-1)$의 초기화는 이 논문에서 제안한 표적 선정단계에서 최종 선정된 트랙의 정보를 이용하여 식 (7)과 같이 초기화한다.

$$\hat{\boldsymbol{x}}(0/0) = [x(0)\ v_x(0)\ a_x(0)\ y(0)\ v_y(0)\ a_y(0)]^T \tag{7}$$

여기서, $x(0)$와 $y(0)$는 최종 선정된 트랙의 표적 위치 좌표, $v_x(0)$와 $v_y(0)$는 평균 속도, $a_x(0)$와 $a_y(0)$는 평균 가속도를 각각 나타낸다. 단 수직방향에 대한 표적의 평균 가속도 $a_y(0)$는 0으로 설정하였다. 그리고 프로세스 및 측정 잡음의 공분산 행렬에 대한 초기값 $\boldsymbol{Q}(0)$와 $\boldsymbol{R}(0)$은 야외에서 획득한 다양한 영상의 위협체 특성 분석을 통해 식 (8)과 같이 실험적으로 최적화하였다.

$$\begin{aligned}\boldsymbol{Q}(0) &= \boldsymbol{G}^T \begin{bmatrix} 3.2^2 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix} \boldsymbol{G},\ \boldsymbol{G} = \begin{bmatrix} \frac{\triangle t^2}{2} & \triangle t & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \triangle t & 1 \end{bmatrix} \\ \boldsymbol{R}(0) &= \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\end{aligned} \tag{8}$$

마지막으로 상태 공분산 $\boldsymbol{P}(0/0)$은 식 (9)와 같다.

$$\boldsymbol{P}(0/0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0.2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \tag{9}$$

3. 시험결과

제안한 알고리즘의 타당성을 확인하기 위해 한국형 능동방호장치용 비냉각 원적외선(LWIR : Long-Wave Infrared) 탐지/추적 센서[20]에서 120Hz 주기로 획득되는 영상에 대하여 야외 시험을 수행하였다. 센서의 시계는 25°×19°이며, 픽셀 수는 320×240 이다. 대상 위협체는 평균 비행속도가 약 200～250m/s인 대전차 유도 미사일(Metis-M)과 대전차 로켓(RPG-7)이다. 시험 시 Metis-M은 1,200m, RPG-7은 100m의 거리에서 발사하므로 RPG-7의 경우 대응시간이 약 0.4초 이하 수준이므로 효과적으로 위협체를 탐지/추적하기 위해서 120Hz로 고속 탐지/추적처리를 하였다. 영상에서 RPG-7의 크기는 초기 탐지 시 점표적에서 위협체가 센서에 근접함에 따라 수 픽셀의 크기로 커진다.

Fig. 4는 클러터가 존재하는 입력영상에서 레이더의 큐 정보에 의해 설정된 관심영역에서 위협체를 탐지하고 추적하는 개념도이다. 관심영역은 레이더의 추적오차를 고려하여 45×45화소 크기로 설정하였다.

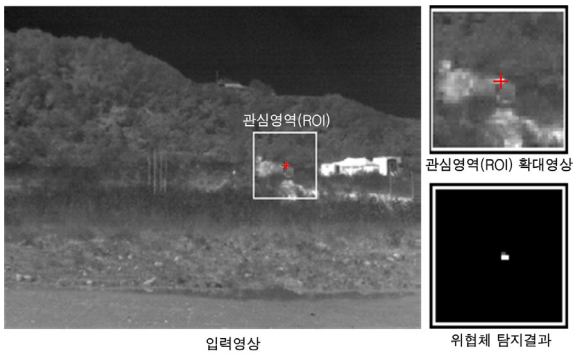

Fig. 4. 위협체 탐지/추적 개념도

Fig. 5는 1,200m 거리에서 발사된 대전차 유도 미사일(Metis-M)에 대해 센서가 장착된 플랫폼이 고정된 상태에서 제안한 기법을 적용한 결과이다. (a)행은 입력영상에서 관심영역을 나타내며 붉은색 원으로 표시된 부분이 표적을 나타낸다. (b)행은 탐지/추적 결과를 나타낸다. 비교적 위협체와 크기나 밝기가 유사한 배경 클러터가 존재하지 않는 단순한 배경에서 위협체는 발사 위치로부터 나선형으로 회전하면서 센서에 접근하는 이동 경로를 가지며 그 형태도 매 입력영상에서 변화하게 된다.

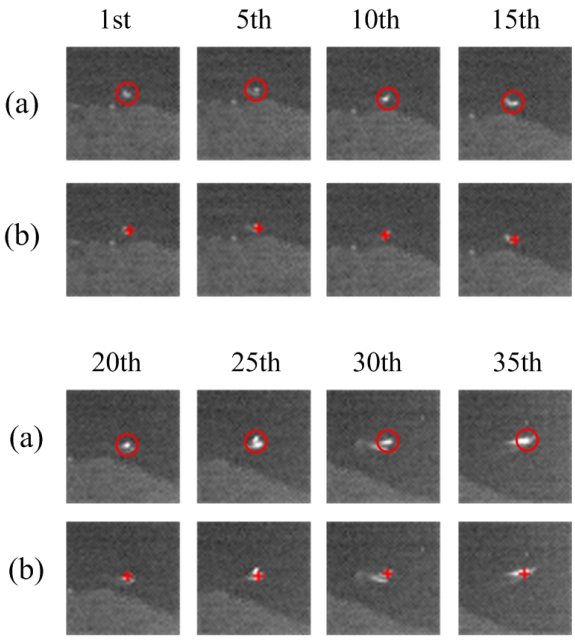

Fig. 5. 단순한 배경에서 탐지/추적결과

제안한 알고리즘을 적용한 결과 정확히 표적을 탐지하고 지속적으로 추적이 가능함을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 100m 거리에서 발사된 대전차 로켓(RPG-7)에 대해 플랫폼이 고정된 상태에서 제안한 기법을 적용한 결과이다. (a)열은 입력영상에서 관심영역을 나타내며 붉은색 원으로 표시된 부분이 표적을 나타낸다. (b)열은 관심영역에서 붉은색 영역으로 표시한 바와 같이 후보 표적을 탐지한 결과이고 (c)열은 표적 선정단계와 추적단계를 수행한 최종 추적 결과를 나타낸다.

표적과 유사 밝기의 배경 클러터에 의해 초기 표적 탐지 시 표적뿐만 아니라 클러터가 함께 탐지되었으나 8~24번째 프레임에서는 4번째 프레임이후부터 연속적으로 후보 표적이 1개만 탐지되어 하나의 트랙이 단독으로 갱신되는 횟수(AUC)가 4회가 되어 해당 트랙이 최우선 위협 표적으로 선정되었다. 그리고 표적 추적단계에서 추적필터에 의해 접근하는 위협체를 정확히 추적하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 100m 거리에서 발사된 대전차 로켓(RPG-7)에 대해 플랫폼이 16km/h의 속도로 기동하는 상태에서 시험을 실시하였다. (a)열은 관심영역을, (b)열은 붉은색 영역으로 표시한 바와 같이 후보 표적을 탐지한 결과이고, (c)열은 추적결과이다. 여기서 푸른색 십자선은

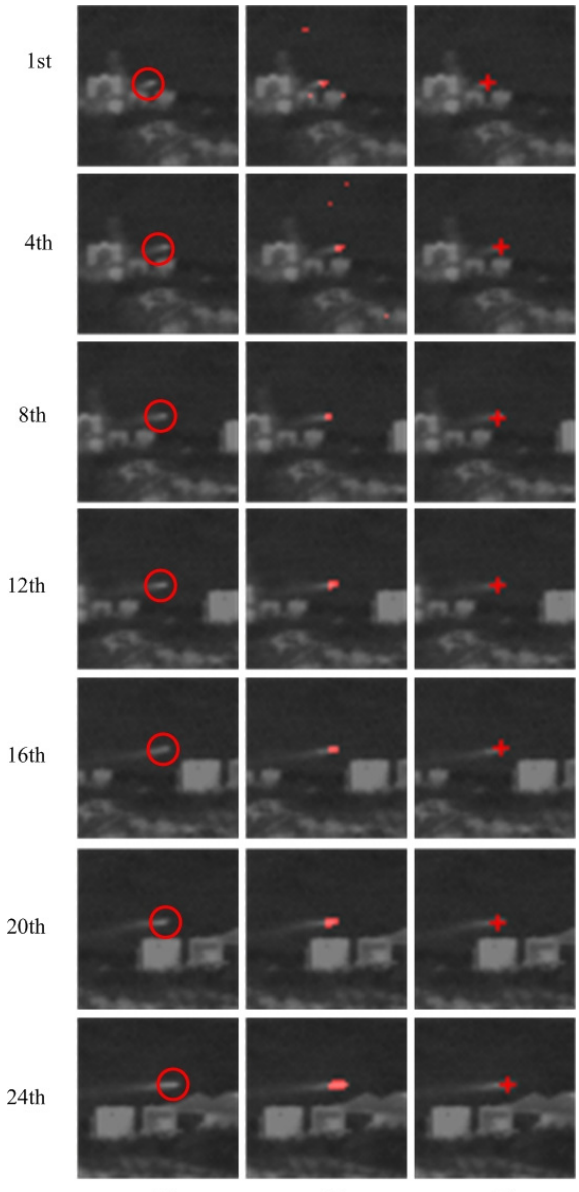

Fig. 6. 클러터 배경에서 탐지/추적 결과

레이더로부터 받은 표적의 위치(큐 데이터)를 나타낸다. 배경에 의해 위협체의 이동경로에 밝고, 큰 배경 클러터에 의해 표적 가림(Occlusion)이 발생하고, 플랫폼의 이동에 의해 동적인 배경 성분이 발생하기도 하였다. 그 결과 (b)열에 나타낸바와 같이 표적뿐만 아니라 유사한 형태의 클러터가 다수 탐지되거나, 크기가 큰 배경 클러터에 표적이 포함되어 탐지 기법만으로는

표적을 탐지하는데 한계가 있음을 알 수 있다. 그러나 (c)열에 나타낸바와 같이 제안한 기법을 적용하여 표적의 가림이 발생하거나 오탐지가 되더라도 표적 위치를 추정하여 표적을 안정적으로 추적한다. 또한 레이더의 추적 결과에 비해 정확히 추적함을 확인할 수 있다.

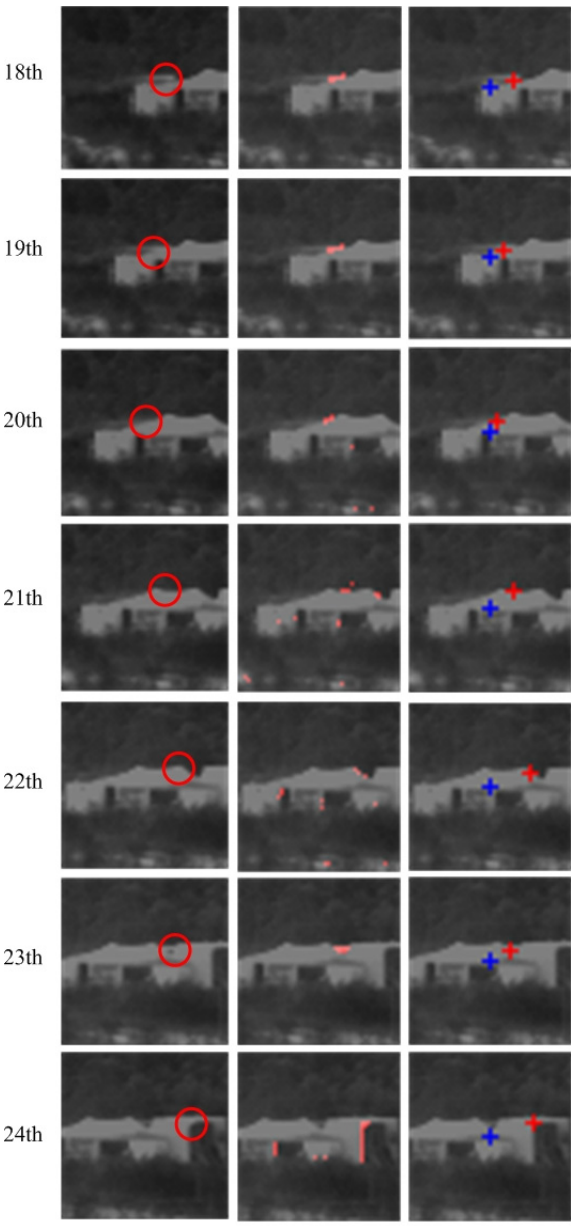

Fig. 7. 표적가림 발생시 탐지/추적 결과

4. 결 론

이 논문에서는 클러터 환경에서 고속으로 접근하는 소형 위협체를 탐지/추적하기 위해 시공간필터와 추적필터를 순차적으로 이용하는 방법을 제안하였다.

제안한 기법은 표적 후보 탐지, 표적 선정 그리고 표적 추적 단계로 구성된다. 시공간 필터로써 후보 표적을 탐지하고, 후보표적들에 대해 트랙 맵핑 및 갱신을 통해 트랙을 생성하고, 위협순위 분석 및 최우선 위협표적을 선정한다. 그리고 최종 선정된 표적의 동특성 정보로 추적필터를 초기화하고 표적을 지속적으로 추적한다.

단순 배경, 클러터가 존재하는 지상 환경 및 표적 가림이 발생하는 조건에서 고속으로 접근하는 대전차 유도 미사일 및 대전차 로켓을 안정적으로 탐지/추적할 수 있음을 야외 시험을 통해 제안한 방법의 타당성을 확인하였다.

References

[1] 정연우, “주변국 전차 능동방호 체계 개발 동향”, 국방과 기술 제349호, pp. 78～87, 2008. 3

[2] Merrill I. Skolnik, Introduction to Radar Systems, 3rd ed. New York : McGraw-Hill, pp. 238～246, 2001.

[3] 김지은, “소형 미사일 탐지를 위한 Facet 기반의 고속 영상처리 기법”, 한국군사과학기술학회지 제12권 제4호, pp. 500～507, 2009. 8.

[4] Changhan Park, Hwal-Suk Lee, Jieun Kim, and Kyung-Hoon Bae, “Robust Scheme for Detection of an Expanding Moving Object using a Facet-based Model in Infrared Imaging”, Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 54, No. 2, March/April 2010.

[5] G. Wang, C. Chen, and X. Shen, “Facet-based Infrared Small Target Detection Method”, Electronic Letter, Vol. 41, No. 22, pp. 1244～1246, 2005.

[6] Bar-Shalom, Y. and Fortmann, T. E., Tracking and Data Association, Academic Press, 1998.

[7] Kirubarajan, T. and Bar-Shalom, Y., “Probabilistic Data Association Techniques for Target Tracking in Clutter”, IEEE, Vol. 92, No. 3, 2004.

[8] Schmidt, W. A. C., “Modified Matched Filter for Cloud Clutter Suppression”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 12, No. 6, pp. 594～600, 1990.

[9] Tom, V. T., et al., “Morphology-based Algorithm for Point Target Detection in Infrared Backgrounds”, SPIE, Vol. 1954, pp. 2～11, 1993.

[10] Lo, B. P. L., and Velastin, S. A., “Automatic Congestion Detection System for Underground Platforms”, Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, pp. 158～161, May 2001.

[11] Cucchiara, R., Grana, C., Piccardi, M., and Prati, A., “Detecting Moving Objects, Ghosts and Shadows in Video Streams”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 25, Issue 10, pp. 1337～1342, Oct. 2003.

[12] Stauffer, C., and Grimson, W. E. L., “Learning Patterns of Activity using Real-time Tracking”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, Issue 8, pp. 747～757, Aug. 2000.

[13] Junxian Wang, Bebis, G., and Miller, R., “Robust Video-based Surveillance by Integrating Target Detection with Tracking”, 2006 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, pp. 137～147, June 2006.

[14] Ahmed M. Elgammal, “Non-parametric Model for Background Subtraction”, Lecture Notes in Computer Science; Vol. 1843 archive Proceedings of the 6th European Conference on Computer Vision-Part II.

[15] Ji-Hui Ye, YoungJin Kim, Boo Hwan Lee, and Jieun Kim, “Improved Small Target Detection for IR Point Target”, The International Conference of on IRMMW-THz Electronics, 2008.

[16] Cormen, Leiserson, and Rivest, Introduction to Greedy Algorithm, p. 329, 1990.

[17] Li, X. R., “Tracking in Clutter with Strongest Neighbor Measurements-Part I : Theoretical Analysis”, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 43, No. 11, 1998

[18] Li, X. R. and Bar-Shalom, Y., “Tracking in Clutter with Nearest Neighbor Filters : Analysis and Performance”, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 32, No. 3, 1996.

[19] Bar-Shalom, Y., Daum F., and Huang J., “The Probabilistic Data Association Filter-Estimation in the Presence of Measurement Origin Uncertainty”, IEEE Control Systems Magazine, pp. 82～100, Dec. 2009.

[20] 노창균, 김지은, 이부환, 예지희, “고속/소형 위협체의 적외선 탐지기법 연구”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 1141～1144, 2009.