적외선 영상 표적추적 성능 개선을 위한 적응적인 자동문턱치 산출 기법 연구

Adaptive Automatic Thresholding in Infrared Image Target Tracking

김 태 한*, 송 태 렬

(Tae-Han Kim and Taek-Lyul Song)

¹Hanyang University

Abstract: It is very critical for image processing of IIR (Imaging Infrared) seekers to achieve improved guidance performance for missile systems to determine appropriate thresholds in various environments. In this paper, we propose automatic threshold determination methods for proper thresholds to extract definite target signals in an EOCM (Electro-Optical Countermeasures) environment with low SNR (Signal-to-Noise Ratios). In particular, thresholds are found to be too low to extract target signals if one uses the Otsu method so that we suggest a Shifted Otsu method to solve this problem. Also we improve extracting target signal by changing Shifted Otsu thresholds according to the TBR (Target to Background Ratio). The suggested method is tested for real IIR images and the results are compared with the Otsu method. The HPDAF (Highest Probabilistic Data Association Filter) which selects the target originated measurements by taking into account of both signal intensity and statistical distance information is applied in this study.

Keywords: shifted otsu, TBR (Target to Background Ratio), HPDAF (Highest Probabilistic Data Association Filter)

I. 서론

EOCM (Electro-Optical Countermeasures) 등의 기만책과 햇빛반사, 구름, 안개 등이 존재하는 비우호적인 환경에서 표적을 자동으로 탐지하고 건설하게 추적하기 위한 레이더, 탐색기 등 관측시스템의 개발에 대한 연구가 요구되고 있으며, 현재 IIR (Imaging Infrared) 센서 기반의 탐색기 개발에 대한 지속적인 연구가 수행되고 있다. IIR 탐색기는 그림 1과 같이 표적 측정치를 추출하기 위한 영상 신호처리 과정과 추출된 측정치를 이용하여 상태변수를 쇄신하고 예측하는 동적필터링 과정을 통해 표적을 탐지/추적 한다.

특히, 적외선 영상 화면에서 구름, 안개 등의 장애물로 인하여 표적과 배경의 신호세기가 유사해질 경우 측정치 추출에 실패하여 추적필터의 추적성능을 저하시킬 수 있기 때문에 배경신호를 추정하고, 온전한 표적신호를 추출하기 위한 영상 신호처리 과정은 매우 중요하다. 영상 신호처리 과정은 평균필터, 중간필터, 모폴로지 필터[1] 등의 다양한 공간필터 알고리즘으로 배경신호를 추정하고, 문턱치를 산출하여 표적과 배경을 이진화 시킨 후 클러스터링을 통해 출력된 각 클러스터의 무게중심 좌표(x, y)를 측정치로써 생성하게 된다. 이때 적절한 문턱치의 산출이 이루어지지 않아 영상분할에 실패할 경우 표적과 배경의 occlusion이

일어나고, 표적의 일부 신호만이 추출되거나 표적신호가 분할되어 추출되기 때문에 표적추적에 실패할 가능성이 높아진다. 또한 최적의 성능을 나타내는 추적필터를 적용한다 하더라도, 표적 측정치의 추출이 실패한다면, 건설한 표적 추적 성능을 기대할 수 없다. 이렇듯 자동문턱치 산출기법은 적외선 영상 표적추적 환경에서 우수한 표적추적 성능을 나타내는데 매우 중요한 역할을 한다.

컴퓨터 비전 분야에 널리 쓰이고 있는 자동문턱치 산출 알고리즘은 Otsu [2], Graph-Cut, Watershed 등 다양한 방법이 있으며, 특히 알고리즘 수행속도가 빠르고, 영상 분할 성능이 우수한 Otsu 방법이 많이 쓰이고 있다. 그러나 이들 방법들은 표적과 배경의 신호세기 차이가 뚜렷하지 않은 환경에서 한계성을 가지며, 특히 표적 탐지시 초기탐색영역이 클 경우 문턱치가 비교적 낮게 산출되어, 표적의 후보가 되는 측정치들을 다수 생성하게 된다.

본 논문에서는 표적탐지시 적절한 문턱치를 산출함으로써

그림 1. 적외선 영상 표적 추적 흐름도.

Fig. 1. Block diagram of an infrared image tracking.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 11. 2., 수정: 2011. 4. 19., 채택확정: 2011. 4. 25.

김태한, 송태렬: 한양대학교 전자전기 제어계측공학과

(kimth1757@hanyang.ac.kr/tsong@hanyang.ac.kr)

※ 이 논문은 2010년 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임(UD100006CD).

써 표적 후보가 되는 클러스터 측정치들의 생성을 억제하고, 표적추적시 배경신호가 시시각각 변화하는 환경에서 적용적으로 문턱치를 추정함으로써 견실한 추적성능을 기대할 수 있는 Fast Otsu [3]기반의 Shifted Otsu 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 히스토그램에서 배경신호의 영역을 class 1, 표적신호의 영역을 class 2라 할 때 class 2의 평균 μ_2 와 분산 σ_2^2 를 이용하여 계산된 $\mu_2 + K\sqrt{\sigma_2^2}$ 를 문턱치로 사용한다. 비행중 표적탐지 환경에서 초기탐색영역이 크면 클수록 표적신호를 검출할 확률은 높아지지만, 표적의 후보가 되는 클러스터 측정치들 또한 증가하게 되는데, 제안하는 방법을 적용할 경우 적절한 K 값을 선택하여 문턱치를 상위신호 방향으로 shift 시킴으로써 클러스터 신호의 억제가 가능하다. 또한 표적추적시 배경신호 대비 표적의 신호세기의 비를 나타내는 척도인 TBR (Target to Background Ratio) [4]을 기준으로 K 를 설정함으로써 환경의 변화에 적응적인 문턱치를 산출하여 온전한 형태의 표적신호를 추출하고자 하였다. 정확한 TBR의 계산을 위해서 표적추적필터의 추적 성능이 매우 중요한 역할을 하는데, 본 논문에서는 측정치의 신호세기와 유효측정영역(validation gate) 중심으로부터의 거리정보를 동시에 활용하여, 표적이 맞을 확률을 산출하고, 상태변수를 쇄신·예측하는 HPDAF (Highest Probabilistic Data Association Filter) [5]를 사용하였다.

FLIR 카메라로 촬영된 실제 적외선 영상에서 Shifted Otsu 방법과 Otsu 방법을 적용하여 대공표적에 대한 표적추적 시뮬레이션을 수행하였으며, 문턱치 산출 성능 및 표적신호 추출 성능을 비교함으로써 제안하는 알고리즘을 적용하였을 경우 표적추적 성능이 향상됨을 보이고자 하였다. 시뮬레이션 수행시 두 가지 알고리즘의 공정한 비교를 위해 추적필터에서 사용하는 공정잡음, 측정잡음 등의 변수들은 동일하게 설정하였다. 또한 표적 자동탐지 알고리즘은 [6,7]에서 소개하는 HPDA 기반의 트랙초기화 방법을 적용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II 장에서는 제안하는 TBR 기반의 Shifted Otsu 알고리즘에 대한 이론을 설명하고, 제 III 장에서는 HPDA 기반의 추적필터를 설명한다. 제 IV 장에서는 적외선 영상에서 다양한 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘을 검증하며, 제 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 자동문턱치 산출 기법

적외선 영상탐색기로부터 입력된 영상에서 표적 측정치를 추출하기 위한 전처리과정은 표적추적의 성패를 좌우할 정도로 매우 중요한 역할을 한다. 특히 공간필터를 통하여 표적 주위의 배경을 추정 후 표적과 배경의 영상분할을 위한 자동문턱치 산출기법은 고밀도 클러스터환경에서 배경으로부터 표적을 분리하거나 온전한 표적신호를 추출이 가능하도록 하기 때문에 표적추적필터의 추적성능 향상에 도움을 줄 뿐만아니라 클러스터 신호를 제거함으로써 표적의 자동탐지를 위한 트랙초기화의 성능향상에도 영향을 미친다. 본 절에서는 온전한 표적측정치를 추출하면서 클러스터 신호를 제거하기 위한 TBR을 기준으로 사용한 Shifted Otsu 방법을 소개한다.

1. TBR을 기준으로 사용한 Shifted Otsu 방법

1.1 Shifted Otsu 알고리즘

유도탄의 비행중 표적 탐지시 사용자가 문턱치를 환경에 맞게 예측하여 설정하는 것은 불가능하기 때문에, 자동문턱치 산출 알고리즘이 반드시 적용되어야 한다. Otsu 방법은 표적탐지시 초기탐색영역이 클 경우 다수의 클러스터 신호를 발생시키고, 구름, 안개 등이 존재하여 표적신호가 검출되기 어려운 환경에서 문턱치를 비교적 낮게 산출하기 때문에 표적신호를 추출하기에는 한계가 있다. 본 논문에서는 문턱치를 상하위 신호 방향으로 shift 시킴으로써 환경의 변화에도 지속적인 표적신호 추출이 가능한 Shifted Otsu 방법을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 표적탐지시 문턱치를 높여줌으로써 방해가 되는 클러스터 신호들을 제거하여 트랙초기화 성능향상에 기여할 뿐만 아니라 표적추적시 환경의 변화에 따라 적절한 문턱치를 추정함으로써 표적신호를 추출하기 어려운 환경에서도 표적측정치의 추출이 가능하도록 한다.

영상이 L 개 그레이레벨 $[1, 2, \dots, L]$ 의 화소로 되어 있다고 할 때, 밝기 값이 i 인 화소의 수를 f_i , 영상의 총 화소 수를 N 이라고 하면 $N = \sum_{i=1}^L f_i$ 이고, 화소가 i 밝기값을 가질 확률은 $p_i = \frac{f_i}{N}$ 이 된다. 그리고

$$\sum_{i=1}^L p_i = 1, \quad p_i \geq 0 \quad (1)$$

이다. 입력 영상이 배경과 객체 두 클래스로 나누어 졌다면, 픽셀들은 그레이레벨 $[1, 2, \dots, t]$ 에 속하는 클래스 C_1 과 그레이레벨 $[t+1, \dots, L]$ 에 속하는 클래스 C_2 로 나눌 수 있다. 두 클래스에 대한 그레이레벨 확률분포는

$$\begin{aligned} C_1: & p_1/w_1(t), p_2/w_1(t), \dots, p_t/w_1(t) \\ C_2: & p_{t+1}/w_2(t), p_{t+2}/w_2(t), \dots, p_L/w_2(t) \end{aligned} \quad (2)$$

이 된다. 여기서, $w_1(t) = \sum_{i=1}^t p_i$, $w_2(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i$, $w_1 + w_2 = 1$ 으로써 $w_1(t)$ 와 $w_2(t)$ 는 확률적 가중치를 의미한다. 또한 전체 영상의 평균 μ_T 는 다음과 같이 각 클래스의 가중치와 평균을 이용하여 계산할 수 있다.

$$w_1\mu_1 + w_2\mu_2 = \mu_T \quad (3)$$

Otsu [2]방법은 입력된 영상의 히스토그램을 생성하여, 표적과 배경의 분리에 사용하는 히스토그램 기반의 영상분할 기법으로써 수식 (4)와 같이 클래스 사이의 분산 (between-class variance) v_B^2 를 최대화 하는 신호세기 t_o^* 를 최적의 문턱치로 결정한다.

$$\begin{aligned} v_B^2(t_o^*) &= \arg \max_{1 \leq t \leq L} v_B^2(t) \\ \text{where} \\ v_B^2 &= w_1(\mu_1 - \mu_T)^2 + w_2(\mu_2 - \mu_T)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 μ_1, μ_2 는 각각 클래스 C_1, C_2 의 평균을 나타낸다. 그러나 Otsu 방법은 입력영상의 window size가 커서 표적에 비하여 배경신호가 다수 포함되거나 표적과 배경의 신호가 유사한 환경에서 문턱치를 비교적 낮게 산출하기 때문에 영상분할에 실패할 가능성이 높으며, 이를 해결하기 위해 환경에 적응적으로 문턱치를 변화시키기 위한 변수 K 를 두는 Shifted Otsu 방법을 제안하였다. Shifted Otsu 방법은 수식 (4)를 만족하는 Otsu 문턱치 t_o^* 가 나누는 두 개의 클래스 C_1, C_2 가 존재할 때, 표적이 배경보다 밝다는 가정에 따라 상위신호 클래스 C_2 의 평균 μ_2 와 분산 σ_2^2 를 이용하여 문턱치를 결정한다.

$$t_s^* = \mu_2 + K\sqrt{\sigma_2^2}$$

where

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=t+1}^L ip_i}{w_2}, \quad \sigma_2^2 = \frac{\sum_{i=t+1}^L (i - \mu_2)^2 p_i}{w_2} \quad (5)$$

여기서 K 는 사용자가 설정해야 하는 변수로써, $K > 0$ 일 경우 문턱치는 μ_2 보다 큰 값을 가지고, $K < 0$ 일 경우 문턱치는 μ_2 보다 작은 값으로 산출된다. 또한 $K=0$ 일 경우 μ_2 를 문턱치로써 사용하게 된다. Otsu 방법의 문턱치는 항상 μ_2 보다 낮은 값을 가지기 때문에 표적이 뚜렷하지 않은 환경에서 적절한 문턱치를 산출할 수 없지만 제안하는 방법은 K 를 적절하게 선택하여 문턱치를 산출하기 때문에 표적신호 추출이 유리하다.

1.2 TBR (Target to Background Ratio)

표적의 탐지 이후 표적이 배경신호와 비교하여 뚜렷할

그림 2. K 에 따른 표적신호 추출 결과.

Fig. 2. The result of extracting target signal according to the K .

그림 3. Shifted Otsu 기반의 표적추적 흐름도.

Fig. 3. Block diagram of target tracking based on Shifted Otsu.

경우와 구름, 안개 등으로 인하여 표적신호가 뚜렷하지 않을 경우에 대하여 Shifted Otsu의 고정적인 K 값을 사용하면 표적신호 추출성능이 저하되어, 표적추적에 영향을 미치게 된다. 그림 2는 40×40 크기의 영상처리 영역에서 K 에 따른 영상분할 성능을 나타낸 그림들이다. 표적이 뚜렷할 때에는 K 가 -1.0에서 0.5의 낮은 값에서 우수한 표적신호 추출 성능을 보였으며, 우측과 같이 표적이 뚜렷하지 않은 영상에서는 K 가 0.5에서 2.0의 비교적 높은 값에서 우수한 성능을 보였다. 특히 우측의 영상에서 K 가 작게 설정될 경우 배경신호가 다수 추출되어 표적과 배경의 구분이 불가능한 occlusion 현상이 일어나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 표적주변 환경의 변화에 적응적인 문턱치를 산출하기 위하여 적절한 K 값을 선택해야 하며, K 를 결정하기 위한 기준으로써 TBR (Target to Background Ratio)을 사용하였다. TBR은 영상처리 분야에서 배경대비 표적의 신호세기를 나타내는 척도로써 영상의학에 주로 쓰인다. TBR은 표적을 구성하고 있는 픽셀의 평균신호세기와 배경을 이루고 있는 픽셀의 평균신호세기의 비율을 의미하며 산출 수식은 다음과 같다.

$$TBR = \frac{\mu_{Targ}}{\mu_{Back}}$$

$$TBR(dB) = 20 \log \left(\frac{\mu_{Targ}}{\mu_{Back}} \right) \quad (6)$$

TBR이 높을수록 표적신호가 배경신호와 비교하여 상대적으로 뚜렷하다는 것을 의미한다. 배경의 신호세기 변화는 연속적이라는 가정하에 k 시간에서 계산된 TBR을 $k+1$ 시간에서 K 값의 변화 기준으로 사용하였다. TBR의 계산에 사용되는 표적의 평균신호세기 μ_{Targ} 는 표적추적 필터에서 표적으로 선택된 측정치를 이용하여 계산하기 때문에 표적추적 필터의 성능이 TBR 계산에 중요한 역할을 한다. 그림 3은 Shifted Otsu 방법을 적용한 전체 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다.

III. 표적추적 필터

추적 필터는 표적의 동역학 정보를 이용하여 상태변수를 채신하고 미래위치를 예측함으로써 표적을 추적한다. Shifted Otsu의 K 를 변화시키는 기준인 TBR의 계산은 표

적신호 추출 성능에 밀접한 영향을 미치기 때문에 표적의 위치를 정밀하게 추적하기 위한 추적필터의 역할은 매우 중요하다. 칼만필터는 표적으로부터 기인한 하나의 측정치를 이용하여 정보를 쇄신하지만 영상신호처리 과정에서 획득한 측정치들은 표적 이외에 클러터 측정치들이 함께 포함되어 있기 때문에 표적 측정치를 선별해내기 위한 자료결합(data association) 과정을 수행해야 한다.

HPDA [5] 기반의 추적필터는 유효측정영역 내에 존재하는 m_k 개의 측정치들을 신호세기 순서로 정렬한 후 각 측정치가 표적으로부터 기인했을 확률인 β_k 를 계산하고, β_k 이 가장 큰 측정치를 선택하여 표적 추적을 수행한다. [5]의 8가지 가정을 이용하여 HPDA 알고리즘의 유도과정에 필요한 조건부 확률밀도함수를 계산할 수 있다. 유효측정영역 내에 측정치가 m_k 개 존재하고, 측정치들을 신호 세기의 순서대로 정렬했을 때, 측정치 집합은 $\{z_k^l\}_{l=1}^{m_k} = \{z_k^1, z_k^2, \dots, z_k^{m_k}\}$ 로 표현할 수 있다. 여기서 l 은 신호세기 순서를 나타내는 변수이고, z_k^1 은 m_k 개의 측정치 중에서 신호 세기가 가장 큰 측정치를 나타낸다. l 번째 신호세기를 가지는 측정치 z_k^l 의 신호 세기 정보를 a 라 하고 유효측정영역 내의 측정치를 신호의 세기가 큰 것부터 나열하였을 때, l 번째 측정치와 자료결합 시 발생 가능한 세 가지 사건은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- M_T^l : 선택된 l 번째 측정치가 표적일 경우
- M_F^l : 선택된 l 번째 측정치가 클러터일 경우
- M_0 : 유효측정영역 내에 측정치가 존재 하지 않는 경우

[5]에서 소개한 HPDAF는 표적과 클러터의 신호세기 분포를 χ^2 distribution으로 가정하였지만, 영상 표적 추적을 위한 HPDAF [7,8]에서는 신호세기 분포에 대한 가정이 실제 환경과 다를 경우 추적 성능을 떨어뜨릴 수 있기 때문에 신호세기를 직접적으로 사용하지 않고, 표적이 맞을 확률 β_k^l 의 계산에만 사용하였다. 위의 세 가지 사건과 관련된 표적의 상태변수에 대한 확률분포를 나타내는 조건부 확률밀도함수를 계산하여야 하며, 측정치의 신호세기 a 의 분포를 고려하지 않을 경우 β_k^l 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \beta_k^l &= \frac{f(D_v, M_T^l, m_k)}{f(D_v, M_T^l, m_k) + f(D_v, M_F^l, m_k)} \\ &= \frac{\frac{N(D^l)}{P_G} P(M_T^l, m_k)}{\frac{N(D^l)}{P_G} P(M_T^l, m_k) + V_G^{-1} P(M_F^l, m_k)} \end{aligned} \quad (7)$$

β_k^l 은 칼만필터의 상태변수 쇄신과정에서 가중치로써 사용되며, β_k^l 이 높을 경우 표적으로 선택된 측정치의 신뢰도가 높다는 것을 의미한다. 그러나 β_k^l 이 작을 경우 선택된 측정치의 신뢰도가 낮아 불확실성이 증가하기 때문에 공분산 $\hat{P}_k$ 가 증가하게 된다. 다음은 HPDAF의 예측 및 쇄신과정을 나타낸 것이다.

- 예측 과정(Prediction Step):

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= \Phi_k \bar{x}_k \\ \hat{P}_k &= \Phi_k \bar{P}_k \Phi_k^T + Q \end{aligned}$$

- 쇄신 과정(Measurement Update Step):

- ① 유효측정영역에 측정치가 존재하지 않는 경우(M_0)

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= \bar{x}_k \\ \hat{P}_k &= \bar{P}_k + \frac{P_D P_G (1 - C_{\gamma})}{1 - P_D P_G} K_k S_k K_k^T \end{aligned}$$

- ② 유효측정영역에 측정치가 하나 이상 존재하는 경우($\bar{M}_0$)

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= \bar{x}_k + \beta_k K_k \nu_k \\ \hat{P}_k &= \beta_0 \bar{P}_{k, M_F} + \beta_l (\bar{P}_k - K_k S_k K_k^T) + \beta_l (1 - \beta_l) K_k \nu_k \nu_k^T K_k^T \\ \text{where, } \bar{P}_{k, M_F} &= \bar{P}_k - K_k S_k K_k^T + \alpha K_k S_k K_k^T \end{aligned}$$

여기서 $\nu_k = z_k - H_k \bar{x}_k$ 이며 α 는 다음과 같다.

$$\alpha = \begin{cases} \frac{(1 - P_D P_G C_{\gamma}) \mu_F(m) + P_D P_G C_{\gamma} (1 - \bar{P}_A) \mu_F(m-1)}{(1 - P_D P_G) \mu_F(m) + P_D P_G (1 - \bar{P}_A) \mu_F(m-1)}, & l=1 \\ \frac{(1 - P_D P_G C_{\gamma}) \mu_F(m) + P_D P_G C_{\gamma} (1 - \gamma(l, m)) \mu_F(m-1)}{(1 - P_D P_G) \mu_F(m) + P_D P_G (1 - \gamma(l, m)) \mu_F(m-1)}, & 2 \leq l \leq m-1 \\ \frac{(1 - P_D P_G C_{\gamma}) \mu_F(m) + P_D P_G C_{\gamma} (1 - \frac{1}{m + (m-1)\rho}) \mu_F(m-1)}{(1 - P_D P_G) \mu_F(m) + P_D P_G (1 - \frac{1}{m + (m-1)\rho}) \mu_F(m-1)}, & l=m \end{cases}$$

IV. 시뮬레이션

제안하는 Shifted Otsu 방법의 성능 검증을 위해서 다양한 적외선 영상에서 표적신호 추출 및 클러터신호 제거 성능을 확인하고, Otsu 방법과 비교하였다. FLIR 카메라로 촬영한 적외선 영상을 사용하였으며, 다음 그림은 실험에 사용된 적외선 영상의 예를 보이고 있다.

좌측은 720×480 크기의 영상으로써 표적탐지시 문턱치 산출을 통한 클러터 제거 성능을 비교하는데 사용하였다. 우측의 영상은 320×240 크기의 영상으로써 대공표적이 햇빛반사가 있는 구름 영역을 통과하면서 TBR이 낮아

그림 4. 실험에 사용된 적외선 영상.

Fig. 4. Infrared images used in simulations.

지는 환경이 조성되기 때문에 본 논문에서 제안하는 TBR에 따른 Shifted Otsu 방법의 성능검증에 사용하였다. [9]에서는 원거리 표적 추출시 모폴로지 오픈링 필터를 사용하고, 표적이 근접하였을 경우 모폴로지 클로징 필터를 사용하여 표적신호를 추출하였지만, 공간필터의 성능이 표적신호 추출 성능에 영향을 미칠 수 있기 때문에 본 논문에서는 원 영상에서 영상분할을 수행하여 측정치를 추출하는 방법을 사용하였다.

1. 표적탐지시 클러스터 측정치의 제거

비행중 표적탐지 상황에서 유도탄이 표적에 일정거리로 접근하면 탐재된 적외선 영상 탐색기가 동작을 하게 된다. 이때 자동으로 문턱치를 산출하게 되는데, 자동문턱치 알고리즘인 Otsu 방법과 본 논문에서 제안한 알고리즘인 Shifted Otsu 방법의 측정치 추출 성능을 비교해 보았으며, 결과는 다음 그림과 같다.

그림 5는 배경화면 제거 후 산출된 문턱치를 설정하였을 때 추출된 측정치를 표시한 것이며, 빨간색으로 표시한 측정치는 표적을 의미한다. Otsu 방법(좌)은 초기탐색영역의 크기가 클 경우 문턱치가 비교적 낮게 산출되어 표적 이외의 클러스터 신호가 다수 검출되었으며, Shifted Otsu 방법(우)의 경우 문턱치가 표적신호가 존재하는 상위신호 방향으로

그림 5. 측정치 추출 성능.

Fig. 5. Performance of extracting measurements.

그림 6. Shifted Otsu 방법의 효과.

Fig. 6. Effect of the Shifted Otsu.

Shift되기 때문에 표적신호보다 낮은 대부분의 클러스터 신호가 제거되어 표적의 자동탐지가 유리하다. 이를 히스토그램으로 분석해 보면 다음 그림과 같다.

그림 6에서 알 수 있듯이 Otsu 문턱치와 Shifted Otsu 문턱치 사이에 수많은 배경신호들이 존재하며, Shifted Otsu 문턱치를 사용함으로써 표적자동탐지에 방해가 되는 배경신호의 제거가 가능하다. 표 1은 표적탐지시 400×200 크기의 초기탐색영역에서 Otsu 및 Shifted Otsu 방법을 사용하였을 때 1프레임에서 추출되는 측정치 개수, 측정치를 이루는 전체 픽셀 개수, 표적의 크기(픽셀) 및 산출된 문턱치를 나타낸 것이다. Shifted Otsu의 K 가 증가할수록 표적측정치의 크기는 감소했지만, Otsu 방법과 비교했을 때 표적의 후보가 되는 클러스터신호의 제거 효과가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 제안하는 방법은 표적신호가 배경신호에 비해 뚜렷하지 않을 경우 Otsu 방법에서 문턱치를 낮게 산출하여 표적과 배경의 occlusion이 일어나는 문제의 해결이 가능하다.

2. TBR에 따른 Shifted Otsu 문턱치 변화

그림 9는 그림 4의 우측 영상에 대한 Otsu 및 Shifted Otsu의 문턱치 변화를 비교한 그래프이다. Shifted Otsu 알

표 1. 표적 후보 측정치의 제거성능(400×200).

Table 1. Elimination performance of target candidate measurements.

K	측정치 개수	픽셀 개수	표적의 크기	문턱치
Otsu	115	28877	85	102
1.0	15	4739	30	167
1.5	19	3223	22	183
2.0	16	2154	15	199
2.5	17	1126	8	215
3.0	24	111	2	231

그림 7. TBR의 변화 그래프.

Fig. 7. Graphs showing changes in TBR.

고리듬에서 TBR이 6.020599dB보다 낮아질 경우 K를 2로 설정하여 문턱치를 더욱 높이도록 하였으며, TBR이 6.020599dB보다 높을 경우는 K를 0으로 설정하여 C_2 의 평균 μ_2 를 문턱치로 산출하도록 하였다. 그림 7의 빨간색 선은 K변화의 기준선을 의미한다. Otsu 방법을 사용할 경우 표적이 햇빛반사 영역을 통과하는 약 60프레임에서 occlusion이 발생하여 표적추적에 실패하였으나 Shifted Otsu 방법은 표적과 배경의 신호세기가 유사한 영역에서도 TBR의 변화에 따른 Shifted Otsu의 K값을 적절하게 선택하여 표적신호를 추출해냄으로써 끝까지 견실한 추적성능을 보였다. TBR이 기준보다 낮은 영역에서 K값을 높임으로써 문턱치가 높아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 8. TBR에 따른 K값의 변화 그래프.

Fig. 8. Graphs showing changes in K according to the TBR.

그림 9. 문턱치의 변화 그래프.

Fig. 9. Graphs showing changes in thresholds.

그림 10. Shifted Otsu 추적결과.

Fig. 10. Shifted Otsu tracking result.

그림 11. Otsu 추적결과.

Fig. 11. Otsu tracking result.

3. 추적 결과

앞 그림 4의 우측 영상에 대하여 Shifted Otsu 및 Otsu를 적용했을때 표적추적 결과를 나타낸 그림이다. 초기탐색영역은 200×160 으로 설정하였으며, Shifted Otsu의 K변화를 위한 TBR의 기준값은 앞에서 설명하였다. 추적필터의 공정잡음은 2픽셀, 측정잡음은 1픽셀로 설정하였다. 그림 5와 같이 Otsu 방법은 배경신호를 다수 추출하여 표적탐지가 어렵기 때문에 표적이 탐지되어 게이트가 수렴되기 전까지는 Shifted Otsu 방법을 사용하여 문턱치를 산출하였다.

그림 10, 11에서 볼 수 있듯이 Otsu 방법의 경우 표적이 햇빛반사가 존재하는 영역을 통과하면서 배경과 표적의 신

그림 12. Shifted Otsu 추적결과.

Fig. 12. Shifted Otsu tracking result.

그림 13. Otsu 추적결과.

Fig. 13. Otsu tracking result.

호가 유사해 60프레임의 그림과 같이 occlusion 현상이 발생하여 결국 추적에 실패하였다. 그러나 제안하는 알고리즘은 60프레임과 90프레임의 그림에서 알 수 있듯이 표적이 TBR이 낮은 햇빛반사 영역을 통과하더라도, 문턱치를 적응적으로 높여줌으로써 배경신호는 제거하고 상대적으로 높은 신호세기를 가지는 표적신호를 추출함으로써 끝까지 견실하게 추적하는 것을 확인할 수 있다. 그림 10, 11은 저속기동표적에 대한 추적결과이기 때문에 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서는 고속으로 기동하는 표적에 대한 실험도 필요하다. 그림 12, 13은 약 100여개의 픽셀로 이루어진 고속기동표적에 대한 추적결과이다. TBR의 기준은 5.105450dB로 설정하였으며, 이에 따른 K값은 앞의 실험과 동일하게 설정하였다. 초기탐색영역은 400×200 으로 설정하였으며, 고속으로 기동하는 표적이기 때문에 불확실성에 따른 추적필터의 공정잡음은 5픽셀, 측정잡음은 3픽셀로 비교적 크게 설정하였다.

그림 12에서 나타난 것과 같이 Shifted Otsu 방법은 표적이 햇빛반사가 일어나는 구름속을 통과하는 열악한 환경에서도 TBR에 따른 K값을 변화시킴으로써 적응적으로 문턱치를 산출하여 표적 측정치의 추출이 가능했다. 특히 125프레임은 TBR이 가장 낮게 산출되는 영역으로써 표적과 배경의 분리가 어렵지만 문턱치를 상위 신호방향으로 shift시킴으로써 성공적인 표적과 배경의 분리가 이루어짐을 확인할 수 있다. 반면 Otsu 방법은 문턱치를 비교적 낮게 산출하여 10프레임에서 표적과 배경의 occlusion이 일어나 결국 표적추적에 실패하였다.

V. 결론

유도탄의 비행중 IIR 탐색기를 이용한 표적의 자동 탐지 알고리즘 수행시 초기탐색영역이 크게 설정될수록 표적신호가 탐지될 확률은 높아지지만 표적의 후보가 되는 클러스터 측정치의 개수가 증가하는 단점을 지닌다. 표적신호 추

출을 위한 문턱치 산출 알고리즘인 Otsu 방법은 클래스간의 분산을 최대화시키는 최적의 문턱치를 산출하지만 초기 탐색영역을 클 경우 표적신호에 비해 배경신호가 다수 포함되어 배경신호의 평균 방향으로 문턱치가 산출되기 때문에 영상분할시 상위 신호를 가지는 배경신호가 다수 추출되는 단점을 지닌다. 또한 표적추적시 표적이 뚜렷하지 않은 환경에서도 배경신호를 다수 포함하는 문턱치를 산출하기 때문에 표적과 배경의 occlusion 현상이 발생하게 된다. 그러나 Shifted Otsu 방법은 문턱치를 표적신호가 존재하는 상위신호 방향으로 shift 시키기 때문에 초기탐색영역을 크게 설정하더라도 표적신호를 비교적 명확하게 검출하고, 불필요한 배경신호는 제거함으로써 표적의 자동탐지에 유리하게 작용한다. 또한 햇빛반사, 안개, 구름 등이 존재하여 표적신호가 뚜렷하지 않은 환경에서 배경 대비 표적의 신호세기 비율을 나타내는 TBR을 기준으로 Shifted Otsu의 K 값을 변화시키면서 문턱치를 추정하기 때문에 비교적 온전한 표적신호의 추출이 가능하다. FLIR 카메라로 획득한 실제 적외선 영상의 시뮬레이션을 통하여 Otsu 방법과 비교한 결과 제안하는 알고리즘은 적절한 문턱치를 추정함으로써 표적신호 추출성능이 향상되어 결국 표적추적 성능의 향상에 기여하였다.

참고문헌

- [1] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, 2nd Ed., Prentice Hall, 2009.
- [2] N. Otsu, "A threshold selection method from gray level histograms," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* vol. SMC-9, pp. 62-66, Jan. 1979.
- [3] P.-S. Liao, T.-S. Chen, and P.-C. Chung, "A fast algorithm for multilevel thresholding," *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 17, no. 5, pp. 713-727, Sep. 2001.
- [4] Jessica P. Houston, Shi Ke Wei Wang Chun Li, Eva M. Seveck-Muraca, "Quality analysis of in vivo near-infrared fluorescence and conventional gamma images acquired using a dual-labeled tumor-targeting probe," *Journal of Biomedical Optics*, vol. 10, no. 5, pp. 054010, Sep./Oct. 2005.
- [5] T. L. Song and D. S. Kim, "Highest probability data association for active sonar tracking," *Information Fusion, 2006 9th International Conf.* pp. 1-8, July 2006.
- [6] J. S. Bae and T. L. Song, "Image tracking algorithm using template matching and PSNF-m," *International Journal of Control, Automation, and Systems(IJCAS)*, vol. 6, no. 3, pp. 413-423, June 2008.
- [7] J. S. Bae, "A study for image target auto-detection and tracking by using dynamic filtering algorithms in a cluttered environment," *A Doctoral Dissertation*, Feb. 2008.
- [8] Y. K. T. L. Song, "A study of image target detection and tracking for robust tracking in an occluded environment," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 16, no. 10, pp. 982-990, July 2010.
- [9] Y. S. Jung and T. L. Song, "IIR target initiation and tracking using the HPDAF with feature information," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 11, pp. 124-132, Aug. 2008.

김 태 한

2006년 한양대 전자컴퓨터공학부 졸업.
2011년 동 대학원 전자전기제어계측공학
학과 졸업(석사). 2011년~현재 동 대학
원 전자전기제어계측공학과 박사과정
재학중. 관심분야는 자료결합 및 정보
융합, 영상표적추적.

송 택 렬

1974년 서울대 공학사. 1981년 Univ.
of Texas at Austin 대학원 항공우주공
학과 졸업(석사). 1983년 Univ. of
Texas at Austin 대학원 항공우주공학
과 졸업(박사). 1974년~1995년 국방과
학연구소. 1995년~현재 한양대 전자정
보시스템공학과 교수. 관심분야는 표적추적시스템, 자료결
합 및 정보융합, 유도 및 제어.