

십자 배열 탐색기에서의 두 대역간 신호 분포 특성을 이용한 반대응 능력

정희원 이 석 한*, 오 정 수**, 서 동 선***, 최 종 수*

A Counter-Countermeasure using Signal Distribution Characteristics between Two Bands in a Crossed Array Tracker

Suk-han Lee*, Jeong-su Oh**, Dong-sun Seo***, and Jong-soo Choi* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 표적이 대응 능력을 운용하는 상황에서 효율적인 표적 추적을 위한 십자 배열 탐색기에서의 반대응 능력을 제안하고 있다. 제안된 반대응 능력은 대응 능력과 표적을 분리하기 위해 두개의 검출 대역을 사용하고 신호 분포 특성을 사용한다. 손실된 펄스 신호로 인한 잘못된 표적 위치 검출을 피하기 위해, 제안된 반대응 능력은 이전의 표적 위치를 근거로 현재의 표적 위치를 예측한다. 십자 배열 탐색기에서 제안된 반대응 능력의 성능 평가를 위해, 다양한 조건에서 표적 신호 추출 및 표적 추적에 대한 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험 결과 들은 제안된 반대응 능력이 대응 능력을 잘 제거하면서 효율적인 표적 추적을 수행하고 있는 것을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a counter-countermeasure (CCM) in a crossed array tracker for efficient target tracking under countermeasures (CM) operated by a target. The proposed CCM adopts two detection bands and uses the signal distribution characteristics to discriminate between the target and the CMs. To avoid wrong detection of a target position due to missing signal pulses, it predicts current target position based on previous target position. To evaluate the performance of the proposed CCM in a crossed array tracker, we perform numerical simulations for target signal extraction and target tracking under various conditions. The simulation results show that the proposed CCM removes the CM effect well and tracks the target efficiently.

I. 서 론

유도 미사일의 탐색기 (seeker)는 시계 (field of view : FOV) 내의 표적 위치를 찾아내어 표적 추적을 가능하게 한다. 적외선 탐색기 중의 하나인 십자 배열 탐색기(crossed array tracker : CAT)는 십자로 배열된 4개의 적외선 검출기를 이용하여 표적에서 방사되는 적외선 에너지를 검출하고, 검출된 펄스 신호들(pulse signal)의 상대적인 위치로부터 시계 내의 표적 위치를 찾아내는 탐색기이다^[1-4]. 한

편 표적은 유도 미사일의 위협으로부터 자신을 보호하기 위해 미사일의 추적을 교란하는 대응 능력(countermeasure : CM)을 운용한다. 표적의 대응 능력이 운용되는 상황에서, CAT와 같은 대부분의 적외선 탐색기는 간단한 신호처리 알고리즘을 채택하고 있어 효율적인 표적 추적이 거의 불가능하다^[1-5]. 따라서 적외선 탐색기는 표적의 대응 능력을 제거시키고 효율적인 표적 추적을 가능하게 하는 반대응 능력(counter-countermeasure : CCM)이 요구된다.

적외선 탐색기에 사용되는 일반적인 반대응 능력

* 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과(jschoi@imagelab.cau.ac.kr), ** 부경대학교 화상정보공학부, ***명지대학교 전자공학과
논문번호 : 010198-0725, 접수일자 : 년 월 일

※본 연구는 국방과학연구소 및 서울대학교 자동제어특화연구센터와 교육부 BK21사업의 지원에 의한 결과입니다.

에는 검출기로부터 출력되는 신호의 크기를 이용하여 표적과 섬광탄을 구분하는 방법, 시간에 따른 표적 위치의 변화량을 이용해서 다음 표적 위치를 예측하는 방법, 그리고 과거 출력 신호와 현재 출력 신호의 차를 이용하여 표적의 위치를 찾는 방법 등이 있다⁶⁾. 그러나 이런 반대응 능력은 모두 하나의 적외선 검출 대역을 이용하는 방법으로, 다수의 섬광탄이 존재하는 상황에서 이들의 위치 변화나 방사 에너지 변화에 취약한 특성을 보인다.

본 논문에서는 표적이 운송하는 대응 능력에 보다 효율적으로 대응하기 위해 2개의 검출 대역을 사용하며 대상 표적과 섬광탄의 대역간 적외선 에너지 분포 특성을 이용하여 대응 능력을 제거하는 반대응 능력을 제안하고, 이를 CAT에 적용한다. 특히, 제안된 반대응 능력의 표적 신호 추출은 추적 환경에 동적으로 대응한다. 제안된 반대응 능력은 성능 평가를 위해 다양한 표적 추적 조건에서 CAT의 모의 표적 추적 실험이 수행된다. 모의 실험 결과들은 제안된 반대응 능력이 대응 능력의 영향을 제거하면서 효율적으로 표적을 추적하고 기존 반대응 능력보다 우수함을 보여준다.

본 논문은 서론에 이어 2장에서 CAT의 동작에 대해서 기술하고, 3장에서 CAT를 위한 반대응 능력을 제안한다. 그리고 4장에서 모의 실험을 통해 제안된 반대응 능력의 성능을 평가하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. CAT의 동작

CAT는 그림 1과 같이 회전 광학계, 광학계 뒤에 위치한 십자로 배열된 4개의 적외선 검출기, 그리고 신호 처리부로 구성된 탐색기이다¹¹⁻⁴⁾. 회전 광학계는 그림 2의 좌측에 보인 것처럼 표적의 적외선 영상을 표적 위치를 중심으로 회전시키고, 적외선 검출기는 적외선 영상이 검출기를 지나칠 때마다 우측 그림과 같은 펄스를 발생시킨다.

그림 2의 펄스 신호는 +로 표시된 표적 위치에 따른 검출기의 펄스 신호이다. ①처럼 표적이 탐색기 중심 축 위에 있을 때는 펄스들은 일정한 시간 간격을 유지하며 출력된다. ②와 ④처럼 적외선 표적이 탐색기의 중심 축에서 조금 벗어나 회전 경로가 모든 검출기를 지나가는 경우는 4개의 펄스가 모두 나타나지만, 4개의 펄스는 표적의 벗어난 정도 및 방향에 따라 펄스들 사이의 시간 간격과 위상이 달라진다. ③처럼 표적이 탐색기의 중심 축에서 크

게 벗어나 회전 경로가 검출기를 벗어나는 경우는 펄스 수가 적어지고 펄스 위치는 위상 정보를 제공한다. CAT는 이런 펄스들의 위치 관계를 이용해 탐색기 시계 내에서 표적 위치를 검출한다.

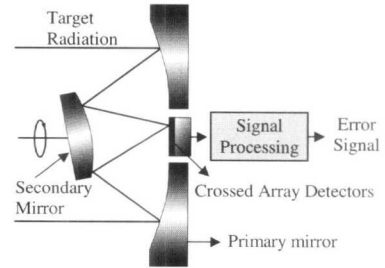
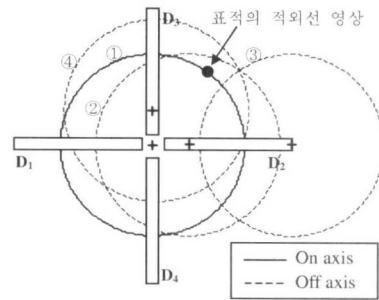
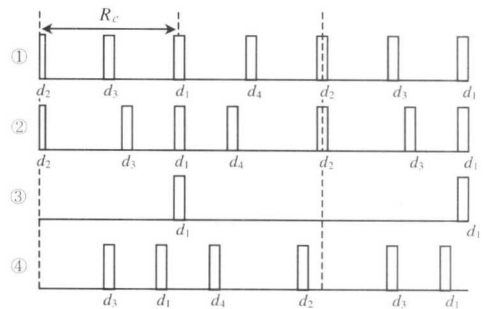


그림 1. CAT의 구조



(a)



(b)

그림 2. (a)십자로 배열된 적외선 검출기와 표적 위치에 따른 적외선 영상의 회전 경로 및 (b)펄스 신호

그림 3은 검출기가 생성한 펄스들에서 표적 위치 (x, y)를 검출하기 위해 표적 위치와 검출기 사이의 기하학적인 관계를 보여 주고 있다. 4개의 펄스가 모두 나타나는 경우, ϕ_1 , ϕ_2 는 펄스간 시간 간격을 이용한 다음식에 의해 계산된다.

$$\phi_1 = \frac{2\pi(d_4 - d_3)}{2R_C}, \quad \phi_2 = \frac{2\pi(d_2 - d_1)}{2R_C}, \quad (1)$$

여기서 d_n 는 검출기 n 에 의해 발생한 펄스의 위치이고 R_C 는 적외선 표적의 1/2 회전에 걸리는 시간이다. ϕ_1 과 ϕ_2 가 주어지면 탐색기의 시계에서 표적 위치 (x, y) 는 삼각 함수를 이용한 다음식에 의해 계산된다.

$$x = R_N \times \cos(\phi_1), \quad y = R_N \times \cos(\phi_2). \quad (2)$$

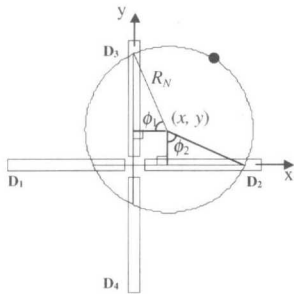


그림 3. 표적 위치와 검출기 신호 위치 사이의 기하학적 관계.

본 논문에서 검출기 크기는 152x18 (pixels, 이하 단위는 pixels)이고, 적외선 표적의 회전 반경은 114이다. 적외선 표적의 회전 주기는 100Hz이고, 한 주기 신호는 512 개의 데이터로 표분화된다.

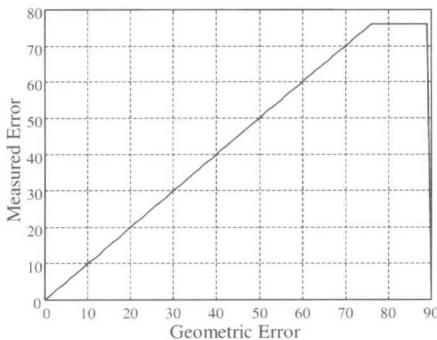


그림 4. CAT의 정적 이득 곡선.

그림 4는 이상적인 조건에서 탐색기 시계에 주어진 표적 위치에 대해 CAT에 의해 측정된 표적 위치를 비교하는 정적 이득 곡선이다. 이 곡선에서 선형 구간은 표적 위치를 정확하게 찾을 수 있는 구간으로 CAT의 성능을 나타낸다. 본 논문에서 CAT의 선형 구간은 검출기 길이의 1/2인 76, 즉 4개의

펄스가 모두 나타나는 구간임을 알 수 있다. 그림에서 선형 구간 밖에서 일정한 값을 출력하는 것은 표적이 중심에서 많이 벗어나 적외선 영상이 4개의 검출기 중 일부만을 지나게 되어 표적 위치를 정확히 검출하지 못해 일정한 값으로 주어진 것이다. 그러나 표적 추적 모의 실험에서 이 영역은 펄스 손실이 발생한 것으로 판단하여 3.3절에 기술하는 방법으로 표적 위치를 예측한다.

III. 제안된 반대응 능력

제안되는 반대응 능력은 두개의 검출 대역을 사용하고, 두 검출 대역 신호의 분포 특성을 이용해 표적 검출 대역에서 섬광탄 신호를 제거한다. 이를 위해 탐색기에 사용될 검출 대역의 설정, 표적 신호 추출, 잘못 검출된 표적 위치의 정정에 대해 기술한다.

1. 검출 대역의 설정

대기를 지나는 적외선 에너지는 대기 물질에 의한 흡수와 산란에 의해 감쇠한다. 이런 흡수와 산란은 파장에 따라 다르게 나타나고 특정 파장 대역에서 에너지 감쇠가 적어 투과율이 매우 좋다. 이런 대역을 대기창 (atmospheric window)이라 하고 검출 대역으로 자주 사용된다. 본 논문에서 추적하려는 대상 표적은 공중을 비행하는 전투기이고, 유도 미사일에 대한 전투기의 대응 능력은 섬광탄이다. 전투기는 300~1200K의 온도를 갖는 요소들로 구성되었고, 섬광탄은 표적보다 강한 적외선 에너지를 방사하기 위해 2000K의 높은 온도를 갖는다. 이 표적과 섬광탄을 검출하고 효율적으로 서로를 분리하기 위한 두 검출 대역은 표적, 섬광탄, 주변 배경 잡음 등의 파장별 적외선 에너지의 분포, 대역간 적외선 에너지의 비, 검출 가능 거리 등이 고려되어 선정된다. 본 논문에서는 표적 검출 대역과 섬광탄 검출 대역을 위해 각각 3~5mm 대역과 1.5~1.7mm 대역이 사용된다¹⁷⁻¹⁹.

2. 표적 신호 추출

두 검출 대역을 이용하여 표적과 섬광탄을 분리하는 일반적인 반대응 능력은 섬광탄 검출 대역에 대한 표적 검출 대역의 신호비를 이용하는 것이다. 표적은 대부분의 신호가 표적 검출 대역에 집중된 반면에 섬광탄은 표적 검출 대역은 물론 섬광탄 검출 대역에도 분포되어 있다. 그러므로 대역간 신호비는 크게 다르게 나타난다. 표적의 대역간 신호비

는 매우 크지만 섬광탄의 대역간 신호비는 작다. 이 관계를 이용해 다음식과 같이 표적 신호를 추출할 수 있다.

$$y(t) = \begin{cases} v_m(t), & v_m(t)/v_n(t) > A \\ 0, & v_m(t)/v_n(t) \leq A \end{cases}, \quad (3)$$

여기서 $v_n(t)$ 와 $v_m(t)$ 는 각각 섬광탄 검출 대역과 표적 검출 대역으로 입사하는 대역 신호이고, $y(t)$ 와 A 는 추출되는 표적 신호와 두 신호를 구분할 수 있는 신호비를 나타내는 상수이다. 표적 신호와 섬광탄 신호가 혼합되는 것을 고려할 때 A 는 섬광탄의 대역간 신호비로 결정되는 것이 가장 이상적이다.

이 방식은 섬광탄의 온도 변화나 주변 환경의 변화에 의해 신호비 A 가 적절하지 못할 경우 추출된 신호에 표적 신호가 제거되거나 섬광탄 신호가 남는 문제가 발생한다. 특히 표적 신호와 섬광탄 신호가 혼합하는 경우에 더욱 민감하다. 그래서 본 논문은 표적 신호와 섬광탄 신호를 구분할 수 있는 신호비를 추적 환경에 따라 동적으로 결정하는 반대응 능력을 제안한다.

본 논문에서 두 대역 신호는 각 대역에서 표적 신호와 섬광탄 신호가 독립적으로 혼합된 신호로 다음식과 같이 가정한다.

$$V_M = \sum_{i=1}^L V_{FMi} + V_{TM}, \quad V_N = \sum_{i=1}^L V_{FNi} + V_{TN}, \quad (4)$$

여기서 첨자 M 과 N 은 각각 표적 검출 대역과 섬광탄 검출 대역을 나타내고, F 와 T 는 섬광탄과 표적에 의한 신호를 나타낸다. 그리고 L 는 시계상의 섬광탄의 개수이다. 식 (4)의 신호에 의한 대역간 신호비는 다음의 세가지로 구분된다.

$$r_{MN, T} = \frac{V_{TM}}{V_{TN}}, \quad (5)$$

$$r_{MN, F} = \frac{\sum_{i=1}^L V_{FMi}}{\sum_{i=1}^L V_{FNi}}, \quad (6)$$

$$r_{MN, T+F} = \frac{\sum_{i=1}^L V_{FMi} + V_{TM}}{\sum_{i=1}^L V_{FNi} + V_{TN}}. \quad (7)$$

식 (5)와 (6)은 각각 순수한 표적 신호와 섬광탄 신호에 의해 생성되는 경우이고, 한 주기인 10ms동

안 표적과 섬광탄의 온도가 유지된다면 상수의 값을 갖는다. 식 (7)은 표적 신호와 섬광탄 신호가 혼합되는 경우로 시간에 따른 표적과 섬광탄의 상대적인 신호 크기가 다르기 때문에 다양한 값을 가질 것이다. 그러나 V_{TN} 이 매우 작으므로 이들의 크기 관계는 식 (8)처럼 쓸 수 있다.

$$r_{MN, F} < r_{MN, T+F} < r_{MN, T}. \quad (8)$$

식 (8)은 입력 신호에서 계산된 대역간 신호비를 히스토그램으로 나타낼 때 표적과 섬광탄을 구분할 신호비인 $r_{MN, F}$ 가 히스토그램의 첫번째 피크에 위치하는 것을 의미한다. 그래서 $r_{MN, F}$ 은 다음식처럼 표현할 수 있다.

$$r_{MN, F} = (j_{TH, j}/B) \times \text{Max}(r_{MN}), \quad (9)$$

여기서 r_{MN} 은 입력 신호에 대한 대역간 신호비이고, $H(j)$ 과 $j_{TH, j}$ 는 각각 한 주기 r_{MN} 의 히스토그램과 $H(j)$ 의 첫번째 피크의 빈(bin) 값이다. 그리고 B 는 히스토그램 빈의 갯수이다.

따라서 제안된 반대응 능력에 의해 추출되는 표적의 펄스 신호는 다음식처럼 표현된다.

$$y(t) = \begin{cases} 1, & r_{MN} > r_{MN, F} \\ 0, & r_{MN} \leq r_{MN, F} \end{cases}. \quad (10)$$

그림 5는 CAT에 생성된 두 대역 신호와 제안된 반대응 능력을 적용하여 추출된 표적의 펄스 신호를 보여주고, 그림 6은 표적 신호와 섬광탄 신호를 분리하기 위한 신호비를 검출하기 위해 계산된 대역간 신호비의 히스토그램을 보여주고 있다. 그림에서 F , $T+F$, T 영역은 각각 섬광탄 신호의 대역간 신호비, 표적 신호와 섬광탄 신호가 혼합된 신호의 대역간 신호비, 표적 신호의 대역간 신호비로 고려

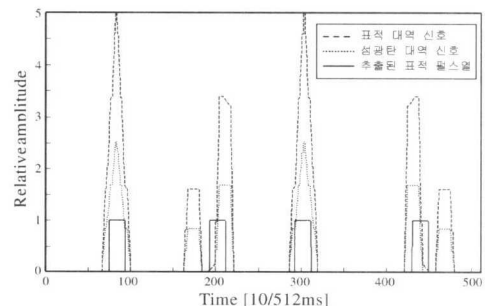


그림 5. 두 대역 신호와 추출된 표적의 펄스 신호

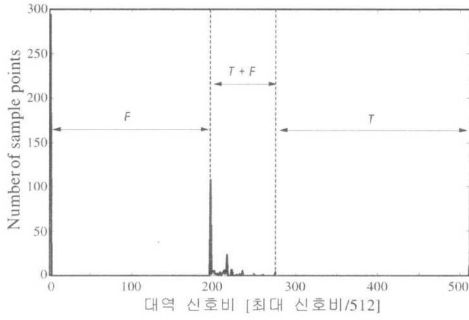


그림 6. 대역간 신호비의 히스토그램.

되는 영역이다. F 영역의 가장 왼쪽에 발생하는 피크는 입력 신호가 존재하지 않는 경우에 의한 값이고 T 영역의 가장 오른쪽의 피크는 순수한 표적 신호에 의해서 발생하는 값이다. 여기서 표적과 섬광탄을 분리하기 위한 신호비는 F 영역과 $T+F$ 영역 사이에 존재하는 피크를 발생하는 지점의 신호비이다.

3. 잘못 검출된 표적 위치의 정정

CAT에서 섬광탄 방사 에너지의 급격한 변화나 큰 잡음의 영향으로 4개의 펄스가 검출되지 않아 큰 오차를 갖는 표적 위치를 검출할 수 있다. 또한 잘못된 표적 위치는 표적 추적 실패에 대한 원인을 제공한다. 그러므로 펄스 손실에 의해 잘못된 표적 위치를 검출하는 것을 보완하는 신호 처리 과정이 필요하다. 본 논문에서 잘못 검출된 표적 위치는 다음과 같은 N 차의 다항식을 이용해 정정된다^[10].

$$g(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_Nx^N = \sum_{k=0}^N a_kx^k, \quad (11)$$

다항식의 계수들은 실제 추적 좌표 y_i 와 근사화된 좌표 $g(x)$ 와의 오차 l_i 가 최소가 되도록 선택되어진다.

$$l_i = y_i - g(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, L, \quad (12)$$

여기서 L 은 추적 좌표의 근사화에 사용될 이전 좌표의 수이다. 최소 오차는 오차의 합인 식 (13)와 그 식의 편미분인 식 (14)에 의해 얻어진다.

$$R = \sum_{i=0}^N (l_i)^2 = \sum_{i=0}^N [y_i - g(x_i)]^2, \quad (13)$$

$$\frac{\partial R}{\partial a_k} = 0, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (14)$$

식 (14)은 식 (15)처럼 표현되고

$$\sum_{n=0}^N \left[\sum_{i=0}^N x_i^{n+k} \right] a_n = \sum_{i=0}^L x_i^k y_i. \quad (15)$$

식 (15)을 행렬식으로 정리하면 다음식처럼 표현된다. 결국 다항식의 계수들은 이 행렬식에서 얻는다.

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=0}^L x_i & \sum_{i=0}^L x_i^2 & \dots & \sum_{i=0}^L x_i^{N+1} \\ \sum_{i=0}^L x_i^2 & \sum_{i=0}^L x_i^4 & \dots & \sum_{i=0}^L x_i^{2N+2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^L x_i^N & \sum_{i=0}^L x_i^{2N} & \dots & \sum_{i=0}^L x_i^{2N+2N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^L y_i \\ \sum_{i=0}^L x_i y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^L x_i^N y_i \end{bmatrix}. \quad (16)$$

따라서 표적 추적 수행 중에 CAT로부터 4개의 펄스를 얻지 못할 경우 탐색기에서 검출된 표적 위치를 이용하지 않고 식 (16)에서 계산된 계수들과 식 (11)으로부터 근사화된 표적 위치를 이용한다. 근사화 다항식의 차수를 증가시켜도 근사화 결과는 큰 영향을 받지 않으므로 본 논문에서는 이전 10주기의 좌표를 이용하고 1차식으로 표적 위치를 근사시킨다^[11]. 그림 7은 표적 위치 근사화의 영향을 보여주고 있다. 그림에서 잘못 검출된 표적 위치로 발생하는 추적 오차가 표적 위치 근사화를 이용함으로써 제거되고 있다.

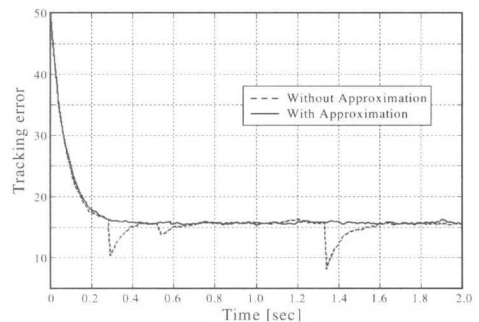


그림 7. 표적 위치 근사화의 영향.

IV. 모의 실험 결과 및 분석

제한된 반대응 능력을 평가하기 위해 다양한 표적 추적 조건에서 모의 실험이 수행되고 기존 반대응 능력의 표적 추적 성능과 비교 분석한다.

1. 표적 추적 모의 실험의 구성

그림 8은 MATLAB5.3로 구성한 모의 실험을 위한 블록도이다. 초기 오차 (Initial Error) 블록에서 표적 위치가 주어지면 움직임 (Target & Flare

Movement) 블록에서 표적과 섬광탄의 다음 위치를 위해 그들의 움직임을 계산하고, 방사 에너지 (Radiation Intensity of Flares) 블록에서 섬광탄의 방사 에너지 변화를 계산한다. 표적과 섬광탄의 위치 및 방사 에너지에 따라 탐색기 (CAT) 블록에서 대역 신호를 만들고, 이 대역 신호는 자동 이득 (AGC) 블록에서 신호 처리에 적절한 크기로 조정된다. 반대응 능력 (CCM) 블록, 펄스 검출기 (Pulse Detector) 블록, 오차 계산기 (Error Calculator) 블록은 각각 대역 신호에 포함된 대응 능력 신호를 제거하고, 표적의 펄스 신호를 검출하고, 잘못 검출된 표적 좌표를 보완해 주는 역할을 수행한다. 잡음 (Noise) 블록은 대역 신호에 잡음을 추가한다.

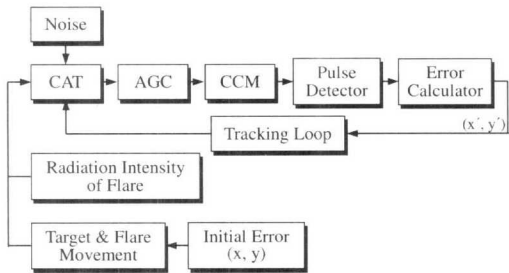


그림 8. 표적 추적 모의 실험을 위한 블록도

2. 모의 실험 조건

표적과 섬광탄은 각각 18과 9의 지름을 갖는 구형 방사체로 가정한다. 섬광탄은 표적 추적 후 0.5초 간격으로 하나씩 3개가 발사되고, 이들은 발사되고 1초 후에 최대의 에너지를 방사하며 3.5초 후에 완전히 연소하는 것으로 가정한다⁹⁾. 그림 9는 탐색기 시계 내에서 섬광탄의 이동 궤적을 보여주고 있다.

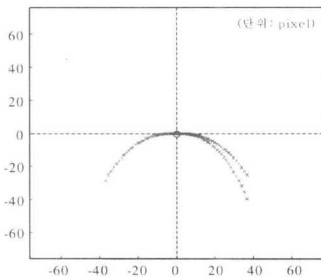
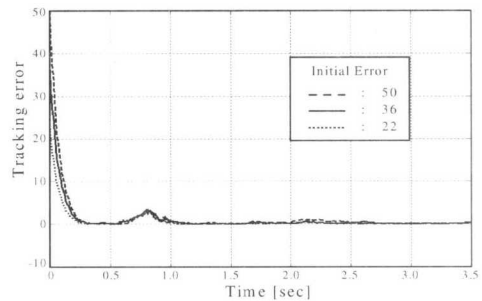


그림 9. 섬광탄의 이동 궤적.

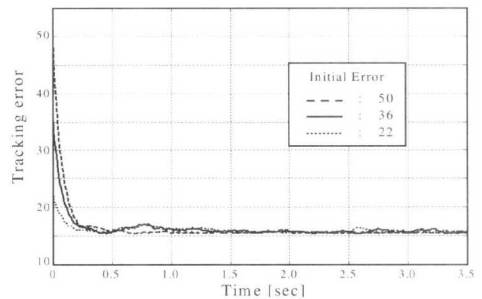
3. 제안된 반대응 능력의 추적 성능

그림 10은 고정 표적과 이동 표적에 대한 추적

성능을 보여주고 있다. 이동 표적은 시계 내에서 단위 시간당 $x = +1.5, y = +1.5$ 의 일정한 속도로 움직인다. 각각의 대역 신호에 신호대 잡음비 (signal to noise : SNR)가 10dB인 백색 가우시안 잡음이 더해졌고, 추적 시간은 3.5초이다. 두 경우 모두 섬광탄의 영향을 크게 받지 않고 효과적으로 표적을 추적하는 것을 볼 수 있다. 그림 10(b)에서 추적 오차가 일정한 값으로 유지하고 있는 것은 추적 모터를 type-1의 DC 모터를 사용했기 때문이다¹²⁻¹³⁾.



(a) 고정 표적



(b) 이동 표적

그림 10. 초기 오차에 따른 추적 성능.

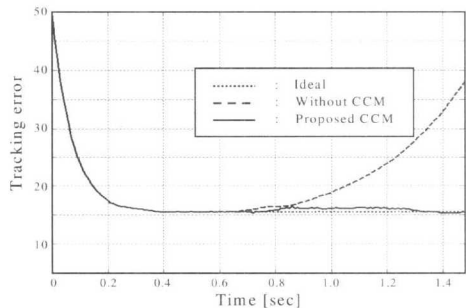


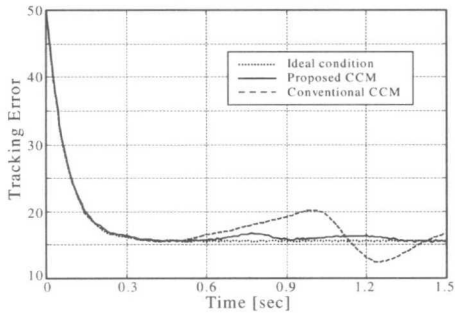
그림 11. 제안된 반대응 능력의 추적 성능.

그림 11은 잡음의 영향이 고려되지 않은 상태에서 제안된 반대응 능력을 적용했을 때와 반대응 능

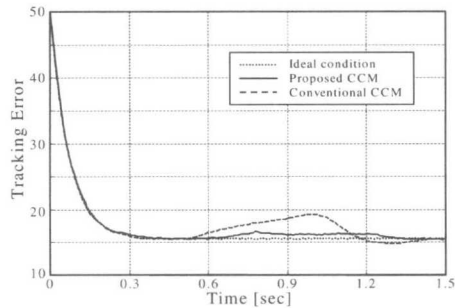
력을 적용하지 않았을 때의 추적 성능을 보인다. 반대응 능력을 적용하지 않은 경우 표적을 추적하다가 섬광탄의 발사 후 그 영향으로 표적 추적에 실패하는 것을 보여준다. 한편, 제안된 반대응 능력이 적용된 경우에는 섬광탄이 발사되는 순간 일시적으로 작은 오차가 발생하지만 곧 정상적으로 표적 추적을 수행하는 것을 보여준다.

4. 기존 반대응 능력과 추적 성능 비교

그림 12는 잡음의 영향을 고려하여 제안된 반대응 능력과 기존 반대응 능력이 적용된 탐색기의 표적 추적 능력을 비교하고 있다. 여기서 기존 반대응 능력은 과거 출력 신호와 현재 출력 신호의 차를 이용하여 표적 위치를 검출하고 있다. 기존의 반대응 능력은 섬광탄 발사 후에 섬광탄의 방사 에너지 변화와 움직임의 영향으로 심각한 오차가 발생하는 반면, 제안된 반대응 능력은 기존의 반대응 능력과 달리 섬광탄의 움직임에 비교적 영향을 적게 받는 것을 보인다. 표 1은 표적을 추적하는 동안 평균 오차를 보여주고 있다. 잡음 영향이 커질수록 (SNR이 작을수록) 제안된 반대응 능력이 보다 우수함을 보인다.



(a) 신호대 잡음비: 10dB



(b) 신호대 잡음비: 20dB

그림 12. 잡음이 존재하는 경우 기존 및 제안된 반대응 능력에 의한 추적 성능 비교.

표 1. 기존 및 제안된 반대응 능력에 의한 평균 오차의 비교

SNR	Conventional CCM	Proposed CCM
10dB	3.2731	0.9046
20dB	1.9098	0.4394
30dB	0.9836	0.1734

V. 결론

본 논문에서는 CAT를 위한 반대응 능력을 제안하였다. 제안된 반대응 능력은 3~5mm 대역과 1.5~1.7mm 대역의 두 검출 대역을 이용하고, 수신되는 표적 대역 신호에서 표적 신호만을 추출하기 위하여 대역간 신호비를 구하고, 히스토그램 기법을 이용해서 표적 신호와 섬광탄 신호를 분리하기 위한 신호비를 계산하였다. 그리고 섬광탄 방사 에너지의 큰 변화 혹은 큰 잡음의 영향으로 펄스가 손실되고, 잘못된 표적 위치를 검출하는 문제를 보완하기 위해 이전 표적 위치를 이용해 잘못된 표적 위치를 실제 표적 위치로 근사시키는 기법이 적용되었다.

제안된 반대응 능력은 섬광탄과 표적의 위치 변화 및 섬광탄의 방사 에너지 변화를 고려한 상황에서 모의 실험에 의해 표적 추적 성능이 평가되었으며, 기존의 반대응 능력과도 성능이 비교되었다. 모의 실험 결과들은 제안된 반대응 능력이 다양한 표적 추적 조건에서 섬광탄의 영향을 제거하면서 효율적으로 표적을 추적하는 것을 보여주었고, 기존 반대응 능력에 비하여 우수한 추적 성능을 갖는 것을 확인시켜 주었다.

향후 연구에서 제안된 반대응 능력은 유도 미사일에 적용되어 3차원 공간에서 표적 추적 실험이 이루어질 것이다.

참고 문헌

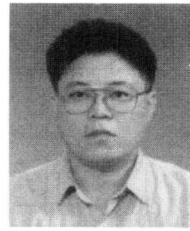
- [1] G. Gerson and A. K. Rue, "Tracking systems," Chap. 22 in *The Infrared Handbook*, G. J. Zissis and W. L. Wolfe, Eds., ERIM, Ann Arbor, MI, 1985.
- [2] 최규정, *Crossed Array Tracker의 성능 분석 및 효율적인 반대응 알고리즘에 관한 연구*, 중앙대학교 석사학위 논문, 1999.
- [3] R. G. Drigger and P. Cox, T. Edwards, *Introduction to Infrared and Electro Optical*

Systems, Artech House, London, 1999.

- [4] R. D. Hudson, Jr, *Infrared System Engineering*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1969.
- [5] D. H. Pollock, *The Infrared & Electro-optical Systems Handbook Vol. 7 Countermeasure Systems*, SPIE press, 1993.
- [6] M. Craig, and M. Deyerle, "Advanced infrared missile counter-countermeasures," *Journal of Electronic Defense*, pp.47-70, January, 1994.
- [7] G. J, Zissis, *The Infrared & Electro-optical Systems Handbook Vol. 1 Sources of Radiation*, SPIE press, 1993.
- [8] F. G. Smith, *The Infrared & Electro-optical Systems Handbook Vol. 2 Atmospheric Propagation of Radiation*, SPIE press, 1993.
- [9] 오정수, 서동선, 최중수, "Two-color 탐색기를 위한 적외선 신호 분석 및 대역 선정", *한국통신학회 논문지*, Vol.25, No.1B, pp112-120, 2000년 1월.
- [10] S. Nakamura, *Applied Numerical Methods in C*, Prentice Hall, London, 1995.
- [11] S. H. Lee, J. S. Oh, K. S. Doo, D. S. Seo, and J. S. Choi, "Two-color counter- countermeasure for the crossed array tracker," *ITC-CSCC*, Vol. 2, pp. 1059- 1062, Korea, 2000.
- [12] S. H. Han, H. K. Hong, and J. S. Choi, "Dynamic simulation of infrared reticle seekers and an efficient counter- countermeasure algorithm," *Opt. Eng.* Vol. 36, No.3, 2341-2345, 1997.
- [13] Kuo, *Automatic Control Systems*, Prentice Hall, New Jersey, 1995. 1997.

오 정 수(Jeong-su Oh)

정회원



1990년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 졸업
 1992년 8월 : 중앙대학교 전자공학과 석사
 1993년 7월 ~ 1997년 1월 : 신도리코 기술연구소
 2001년 6월 : 중앙대학교 영상공학과 박사
 2002년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 화상정보공학부 <주관심 분야> 적외선 신호 처리, 영상 신호 처리, 영상 신호 압축, 등

서 동 선(Dong-Sun Seo)

정회원

한국통신학회논문지 제24권 8B호 참조

최 중 수(Jong-Soo Choi)

정회원

한국통신학회논문지 제24권 8B호 참조

이 석 한(Suk-han Lee)

정회원



1999년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 졸업
 2001년 2월 : 중앙대학교 영상공학과 석사
 2001년 3월 ~ 현재 : 엘지 전자

<주관심 분야> 적외선 신호 처리, 영상 신호 처리 등