

UV/IR 2-color 탐색기의 반대응 알고리즘

정회원 두경수*, 오정수*, 윤용인*, 홍현기*, 서동선**, 최종수*

A CCM Algorithm of 2-color seeker using UV and IR Bands

Kyoung-Soo Doo, Jeong-Su Oh, Yong-In Yoon, Hyun-Ki Hong, Dong-Sun Seo*, Jong-Soo Choi

Regular Members

요약

표적(target)은 유도탄의 추적으로부터 자신을 보호하기 위해 섬광탄(flare) 등의 대응능력(CM; counter-measure)을 갖추고 있다. 이러한 표적의 대응능력은 날로 발전하고 있어 기존의 단소자를 이용한 표적 추적 방식은 한계를 가지고 있다. 본 논문에서는 섬광탄과 같은 표적의 대응 능력에 효과적으로 대처할 수 있는 2-color 탐색기의 반대응(CCM; counter-countermeasure) 알고리즘을 제안하고자 한다. 자외선(UV; Ultraviolet) 대역 및 적외선(IR; Infrared) 대역을 동시에 이용하는 2-color 탐색기는 표적과 섬광탄의 방사에너지 특성을 적외선 및 자외선 대역에서 비교 및 분석하여 대역별 특성을 결정한다. 표적은 적외선 대역에서, 섬광탄은 자외선 대역에서 자체 온도에 의해 주로 에너지를 방사하고 있으므로, 이러한 특성을 이용하여 두 대역의 입력 신호로부터 효과적으로 표적 신호만을 검출, 추적함을 보인다. 또한 제안된 2-color 방식을 로켓 주사 탐색기의 반대응 능력으로 이용하여 동적 시뮬레이션을 수행한다.

ABSTRACT

Air-to-Air Homing Missile has widely adopted infrared (IR) seeker, which makes use of thermal energy emitted from the target to detect it exactly. The target is equipped with countermeasure (CM) such as flare to protect itself from homing missile. This paper presents a new two-color counter-countermeasure (CCM) using UV and IR band to cope with the CM operated by the target. Not only the radiant features of the target but also those of the flare at ultraviolet (UV) band and infrared (IR) band have been compared and analyzed to select the band that can effectively remove the effects of the flare. And, basing on the fact that the target mainly radiates energy due to its own temperature at IR band, while the flare doing so at UV band, we prove that the said seeker can effectively extract only target signals from the input signals of the two bands, and track them. Additionally, we make a dynamic simulation by employing the proposed 2-color system as a counter-countermeasure(CCM) of rosette scan seekers.

1. 서론

표적에 의해 운용되는 섬광탄과 같은 대응능력에 효과적으로 대처하기 위해서는 표적과 섬광탄에서 나오는 신호를 정확히 분리하여 표적 신호만을 얻어야 한다. 일반적으로 단소자 방식의 적외선 탐색

기는 적외선 하나의 대역을 이용하여 표적 신호를 검출한다^[1]. 즉, 적외선 대역에서는 표적(target)과 섬광탄(flare)으로부터 에너지가 모두 방사되고, 또한 표적과 섬광탄은 그 크기면에서 차이가 있다. 단소자 방식을 이용한 무게중심 기법은 표적과 섬광탄의 방사세기 차이를 이용하여 표적과 섬광탄을

* 중앙대학교 첨단영상전문대학원 영상공학과(dooks@candy.ee.cau.ac.kr), ** 명지대학교 전자공학과,

논문번호: 00420-1030, 접수일자: 2000년 10월 30일

* 본 연구는 교육부의 BK21 사업에 의한 지원과 서울대 자동제어특화연구센터(ACRC) 및 국방과학연구소(ADD)의 지원으로 수행된 결과입니다.

분리하고 표적만을 추적하는 기법이다²⁾. 그러나 발사 후 점화된 섬광탄의 세기가 표적의 방사세기와 동일한 경우, 적외선 세기의 차를 이용한 무게 중심 기법으로는 표적과 섬광탄을 구별할 수 없다. 이를 개선하기 위한 단소자 방식의 연구로서 K-means 알고리즘을 이용한 반대응 기법, ISODATA 알고리즘을 이용한 반대응 기법 등도 연구되었다³⁾. 이들 방법은 표적 신호의 검출 능력과 추적 능력은 우수하나, 반복적인 연산으로 인한 실시간 처리 문제, 추가적으로 H/W적인 요소가 필요하여 실제 적용을 위해서는 많은 문제점을 가지고 있다. 또한 복수 소자를 이용한 적외선 탐색기로서, 두 개의 적외선 대역을 이용한 추적방식은 표적의 적외선 방사특성이 주로 분포된 하나의 대역과 섬광탄의 방사특성이 주로 분포된 또 하나의 적외선 대역을 사용하여 표적을 분리해 내는 방식이다. 그러나 이러한 표적 신호 추출 방법 역시 표적과 섬광탄이 모두 적외선 대역의 에너지를 주로 방사하고 있으므로 각 사용 대역의 선정에 어려움이 있다. 적외선의 모든 대역에서 섬광탄의 방사 에너지가 표적에 비해 상대적으로 높기 때문에 두 신호의 정확한 분리를 위한 연구도 진행되고 있다. 이들 기법들이 가지는 공통적인 문제는 적외선 대역만을 사용함으로써 생기는 표적과 섬광탄 신호의 구별이 명확하지 않다는 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 단일 대역 사용의 한계를 극복하기 위해 서로 다른 두 개의 대역을 이용한 2-color 탐색기의 알고리즘을 제시하고, 표적 신호 검출 및 추적 능력을 검토한다. 이를 통해 자외선과 적외선을 이용한 2-color 탐색기는 기존 방식의 문제점을 해결 할 수 있다.

표적과 섬광탄의 방사에너지 분포는 방사 파장 대역 상에서 약간의 차이가 있다. 즉, 표적은 표면온도에 의해 적외선 대역의 에너지를 주로 방사하는 반면, 섬광탄은 적외선 및 자외선(UV; Ultraviolet) 대역에서 에너지를 방사한다. 그러므로 검출기에 입력된 자외선 신호는 순수한 섬광탄에 의한 방사에너지로 볼 수 있으며, 이러한 자외선 대역에서 섬광탄 방사에너지를 이용하여 위치 등의 정보를 얻는다면 표적과 섬광탄의 분리가 효과적으로 이루어질 수 있다. 이를 위해 대기 투과특성 및 섬광탄에 의하여 방사되는 자외선 특성 및 표적에 의한 영향 등을 분석하여, 섬광탄이 운용되는 상황에서 표적을 정확하게 추적할 수 있는 자외선 대역의 결정이 필요하다⁴⁾. 이는 적외선 대역을 이용하여 대상 표적을 검출하고, 동시에 자외선 대역을 이용하여 섬광탄 등

의 대응능력을 검출함으로써 효과적인 반대응 알고리즘을 구성할 수 있다. 결정된 자외선 대역 및 적외선 대역으로부터 입력되는 신호는 로켓 주사 방식에 적용되어 입력 신호원이 된다.

본 논문에서는 이들 각 대역으로부터의 입력되는 신호들을 분석하여 신호 특성을 분석한다. 신호 특성은 적외선과 자외선 대역에서 표적과 섬광탄이 각각 맑은 하늘에 의한 방사에너지를 기준으로 특징지어지며, 입력 신호 특성의 논리적 관계에 의해 보다 빠르게 표적 신호를 추출한다. 또한 추출된 표적 신호의 유효성을 검증하고 이를 이용하여 표적 추적 모의 실험을 행하였다. 이를 통하여 본 논문에서는 자외선 및 적외선을 이용한 2-color 탐색기의 타당성을 증명한다.

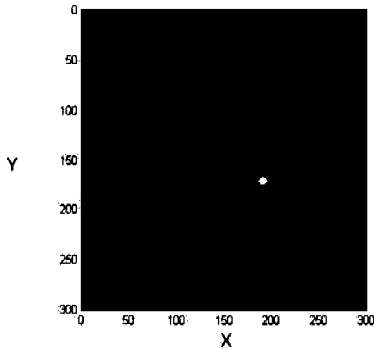
본 논문의 구성은 서론에 이어, 2장에서 UV와 IR 대역 신호를 이용한 2-color 탐색기 알고리즘을 소개하며, 각 대역에서 표적과 섬광탄의 입력신호 특성 및 검출된 신호를 보여준다. 3장에서는 이를 토대로 동적 추적 시뮬레이션을 수행한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. UV와 IR 대역 신호를 이용한 2-color 탐색기 알고리즘

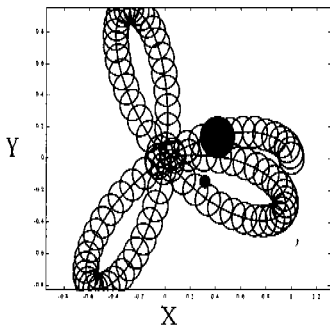
1. 표적과 섬광탄의 UV 및 IR 대역 입력 신호

표적과 섬광탄으로부터 입력되는 신호는 각각의 대상물체가 가지고 있는 온도에 따른 방사에너지가 입력된다. 표적과 섬광탄의 방사에너지 분포는 방사 파장 대역에 따라서 약간의 차이가 있다. 표적은 표면온도에 의해 적외선 대역의 에너지를 주로 방사하는 반면, 섬광탄은 적외선 및 자외선 대역에서 에너지를 방사한다. 일반적으로 표적과 섬광탄의 온도를 어떻게 설정하는가에 따라 방사되는 에너지의 양이 달라질 수 있으나, 본 논문에서는 표적의 온도를 1200K, 섬광탄의 온도를 2000K로 가정하였다. 또한 방사되는 에너지는 면적에 비례하므로, 먼저 발사 후 발화되어 최고 온도에 도달한 섬광탄의 면적을 1035cm²로 하고 표적의 면적은 상대적인 크기로 섬광탄 면적의 50배로 설정한다. 한편 자외선과 적외선은 고도에 따른 감쇄물질의 밀도에 따라 지상에 입사되는 에너지량이 다르므로, 해면고도 1~1.5km에서의 대기 투과율을 적용하여 에너지량을 계산한다⁵⁻⁶⁾. 그림 1(a)는 표적과 섬광탄의 입력 신호를 얻기 위한 가상영상으로서, 표적과 섬광탄이 존재하는 300×300 영상이다. 그림 1(b)는 로켓 주

사 탐색기의 로켓 패턴을 보여주고 있다. 로켓 주사 탐색기는 검출기가 로켓 패턴(장미 잎사귀 모양)을 따라 전체 시계를 주사하는 것처럼 표적의 정보를 2차원 주사 영상으로 제공한다.



(a)



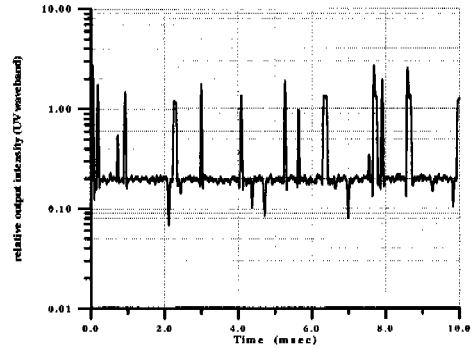
(b)

그림 1. (a) 표적과 섬광탄이 존재하는 입력영상, (b) 로켓 패턴

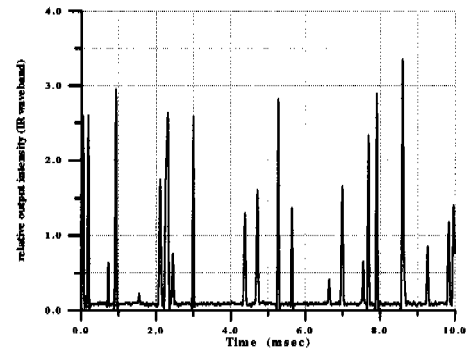
로켓 주사 탐색기는 표적이 있는 공간인 전체 시계(TFOV; Total Field Of View)영역에 비해 상대적으로 작은 순시 시계(IFOV; Instantaneous Field Of View)를 갖는 검출기를 이용하여 표적의 위치 정보를 얻는 탐색기이다^[7-9]. 전체 시계는 로켓 패턴 주사를 통하여 형성된다. 로켓 패턴은 두 개의 광학계를 일정한 비율로 서로 반대 방향으로 회전시킴으로써 이루어진다.

로켓 주사 탐색기의 순시시계는 로켓 패턴의 자취를 따라 장미 잎사귀 모양으로 표적과 섬광탄을 탐색하게 되며, 표적이나 섬광탄을 지나게 되면 그들로부터 입사된 에너지를 펄스 형태의 전기적 신호로 변환하여 신호처리부로 전달한다. 그림 2는 자외선 및 적외선 대역에서 표적 및 섬광탄으로부터 입력된 에너지를 펄스형태로 변환한 것이다. 한편 입의의 시간에 순시시계에 입력되는 신호는 자외선

및 적외선 검출기에 동시에 입력된다. 그러므로 자외선과 적외선 대역으로부터 입력되는 신호는 동일한 위치 및 위상을 갖는다^[10].



(a) UV 대역의 입력 신호



(b) IR 대역의 입력 신호

그림 2. 자외선 및 적외선 대역에서의 입력 신호

2. UV와 IR 대역 입력 신호의 특성

표적 신호 검출은 검출기로부터 입력되는 펄스의 특성을 이용하여 표적의 위치를 추정하게 된다. 동일한 위치에서 두 개 대역의 펄스가 각각의 기준레벨을 중심으로 서로 반대특성이라면 표적 신호로 인식하며, 두 개 대역의 펄스가 서로 동일특성이라면 표적 이외의 물체로 인식한다. 표 1은 검출기로 입력되는 펄스신호의 특성을 보여주고 있다. 적외선 대역에서는 표적 및 섬광탄은 모두 맑은 하늘(clear sky)에 의해 방사되는 에너지보다도 큰 값을 가지고 있으므로 양(+)의 특성을 나타낸다. 반면 자외선 대역에서는 표적 신호가 맑은 하늘에 비해 적은 에너지를 방사하므로 음(-)의 특성을, 섬광탄은 이보다 큰 에너지를 방사하고 있으므로 양(+)의 특성을 나타낸다. 기준 레벨을 중심으로 아래와 같은 펄스 특성을 검출한다.

: 두 개 band의 pulse가 서로 반대특성이라면 :

enable (target pulse)
 : 두 개 band의 pulse가 서로 동일특성이라면 :
 disable

표 1. 입력 펄스의 특성.

대역	Pulse Amplitude		
	Target	Flare	Cloud
IR Pulse	+	+	+
UV Pulse	-	+	+
	ENABLE	DISABLE	DISABLE

3. 기준레벨의 설정

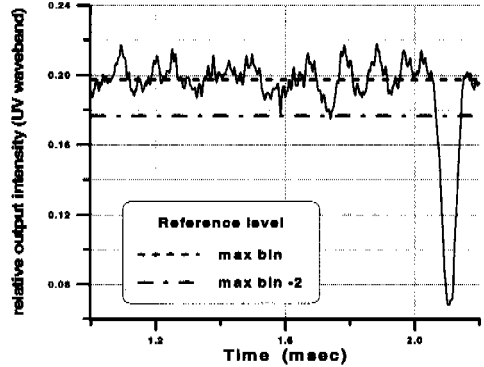
입력된 신호로부터 특성을 추출하기 위해서는 UV 및 IR 대역 펄스의 기준레벨(reference level)을 설정하여야 한다. 각각의 검출기에서 입력된 신호는 표적과 섬광탄 그리고 배경 및 잡음이 혼합되어 입력된다. 그림 3은 10dB의 가우시안 잡음이 첨가된 자외선 및 적외선 대역 신호의 일부를 나타내고 있다. 그림 3에 나타나는 바와 같이, 입력된 신호는 잡음의 영향으로 기준레벨 설정이 어렵다. 즉, 기준레벨이 잘못 설정된다면, 앞서 언급한 표 1의 특성이 올바르게 나타나지 않게 되어 논리적 관계에 의해 표적 이외의 신호가 표적 신호로 인식되게 된다. 이를 위하여 잡음의 영향을 최소화할 수 있는 기준레벨의 설정이 필요하게 된다.

입력된 펄스 신호로부터 펄스의 특징 추출을 위한 기준 레벨선택은 다음과 같이 수행된다.

step 1: 로켓 주사의 한 주기 동안에 입력되는 자외선 및 적외선 신호의 최대값과 최소값을 각각 선형적으로 양자화.

step 2: 양자화된 신호는 그림 4의 히스토그램을 이용하여 가장 빈도수가 높은 bin을 선택.

step 3: 가장 빈도수가 많은 신호레벨을 맑은



(b) UV 대역

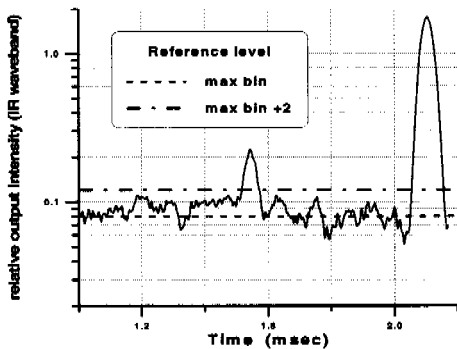
그림 3. UV와 IR 대역에서 입력 신호와 잡음(noise)

하늘에 의해 입력된 평균 신호레벨로 설정하고, UV 대역은 -2 레벨, IR 대역은 +2 레벨을 이동하여 기준레벨을 재조정.

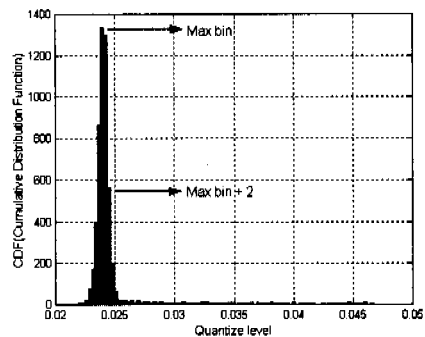
그림 4에서 최대 빈도수를 가진 max bin으로부터 UV 신호의 기준 레벨은 히스토그램의 양자화 레벨을 -2 step 낮게, IR 신호는 양자화 레벨을 +2 step 높여서 설정한다. 이것은 최대 빈도수를 가진 bin을 기준레벨로 설정할 경우, 잡음에 의한 영향으로 정확한 표적펄스의 검출이 어렵기 때문이다.

그러나 기준 레벨을 재조정함으로써 잡음에는 강건하지만 표적신호 역시 일부 감소하게 된다. 표적 신호의 감소는 결국 표적 추적에 있어 표적 중심점 계산에 영향을 미치게 된다. 그림 5는 각각 기준레벨 설정에 따라 검출된 표적의 중심점을 계산한 것이다.

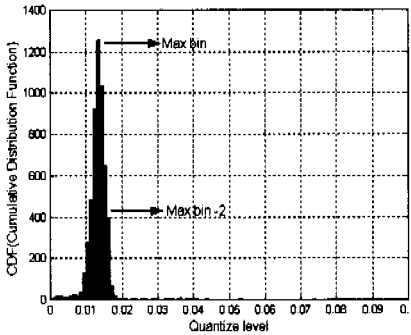
그림 5(a),(b)는 히스토그램의 최대 빈도수를 가진 max bin을 기준레벨로 설정한 경우에 계산된 표적 중심점의 X, Y좌표이다. (c),(d)는 max bin으로부터 ± 2 step을 이동시킨 경우의 계산된 표적 중심점이



(a) IR 대역



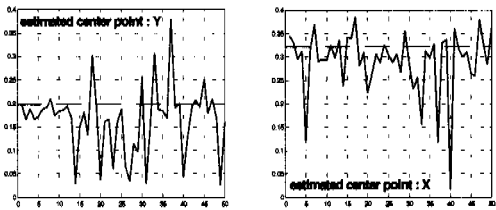
(a) IR 대역의 히스토그램



(b) UV 대역의 히스토그램

그림 4. UV와 IR 대역에서 입력 신호의 히스토그램

다. 이는 총 50번의 반복실험을 행하여 검출된 표적의 중심점 추정 곡선이다. 입력된 영상의 표적 중심점은 $(X, Y) = (0.32, 0.2)$ 이며, X축은 실험 반복 횟수를 나타내며, Y축은 검출된 표적의 중심점이다. 기준레벨의 재조정으로 인하여 검출된 표적의 중심점이 입력된 표적의 중심점에 근접함을 알 수 있다.

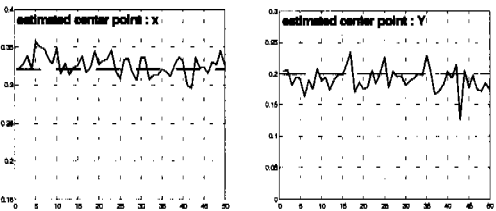


mean=-0.1651, variance=0.0491

(a) 기준레벨=max bin: X축

mean=0.2912, variance=0.045

(b) 기준레벨=max bin: Y축



mean=0.3268, variance=0.0107

(c) 기준레벨=재조정: X축

mean=0.1907, variance=0.014

(d) 기준레벨=재조정: Y축

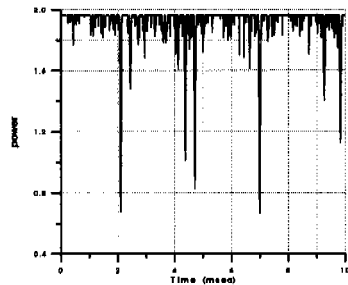
그림 5. 기준레벨의 설정에 따라 추출된 표적의 중심점 추정 곡선

4. 표적 신호 검출

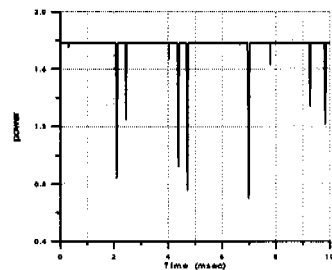
기준레벨의 재조정에 의해 잡음의 영향을 최소화한 후, 표적 신호의 검출을 실험하였다. 입력된 자

외선 및 적외선 신호에는 10dB의 가우시안 잡음을 첨가하였다. 그림 6은 각각 설정된 기준레벨에 의하여 검출된 표적 신호로서, 검출된 표적 신호는 max bin을 기준레벨로 설정한 경우와 기준레벨을 이동시켜 재조정된 후에 표 1의 논리적 관계에 의해 검출된 표적 신호이다.

그림 6(a)은 기준레벨의 조정이 없이 히스토그램에 의한 최대 빈도수를 가진 max bin을 기준레벨로 설정한 경우로서, 잡음에 의한 영향으로 표적 신호 이외의 신호가 표적 신호로 검출되었다. 이는 표적 추적을 위한 중심점 계산에도 영향을 미쳐 올바른 표적의 중심점을 얻을 수 없도록 한다. 그림 6(b)은 기준레벨의 재조정에 의해 기준레벨을 자외선과 적외선 대역에서 각각 ± 2 만큼 조정된 결과이다. (a)와 비교하여 검출된 표적 신호는 잡음의 영향을 적게 받고 있음을 알 수 있다. 그림 7은 그림 6을 기초로 2차원으로 재구성된 검출된 표적 영상을 보여주고 있다. 앞서 설명한 기준레벨의 조정이 없는 그림 7(a)의 경우는 표적 신호뿐만 아니라 잡음의 영향에 의해 잘못된 표적 신호도 함께 검출되었음을 2차원적으로도 확인할 수 있다.



(a) 최대 빈도수 bin에 의한 기준레벨

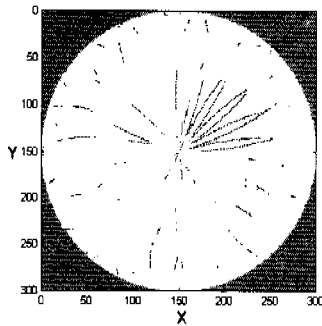


(b) 재조정된 기준레벨

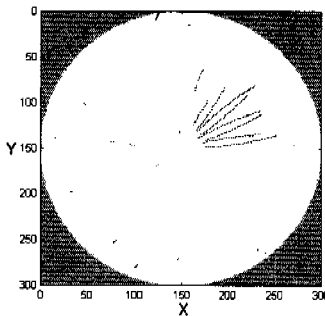
그림 6. 기준레벨 설정에 따라 검출된 표적 신호

그림 7(b)은 기준레벨 재조정에 의해 얻어진 표적신호의 2차원 영상으로서, 잡음에 의한 잘못된 표

적 신호를 제거하고 있음을 보여주고 있다. 그러나 기준레벨의 재조정에 의해서도 임펄스성의 고립된 잡음이 나타날 수 있으므로, 본 논문에서는 펄스 폭 제한을 두어 고립점 잡음을 제거하였다.



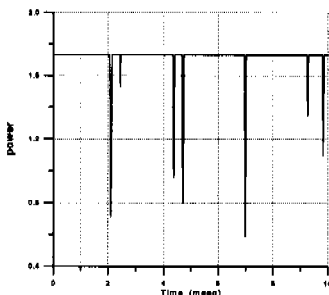
(a) 최대 빈도수 bin에 의한 기준레벨



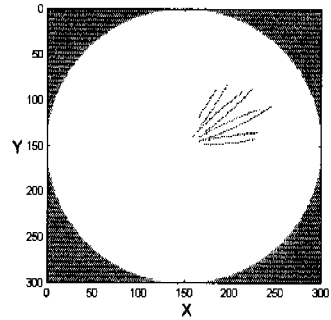
(b) 재조정된 기준레벨

그림 7. 기준레벨의 설정에 따라 재구성된 2D 표적 영상

이는 표적 펄스에 비하여 잡음은 상대적으로 작은 펄스 폭을 가지기 때문이다. 본 논문에서는 펄스 폭 제한을 10 pixel 이상으로 제한하여, 입력 신호의 펄스 폭이 10 pixel 이하이면 잡음으로 간주하여 제거하였다. 그림 8은 고립점 잡음이 제거된 표적 신호와 재구성된 2차원 표적 영상을 보여주고 있다.



(a) 검출된 표적 신호



(b) 2D로 구성된 표적 영상

그림 8. 고립점 잡음이 제거된 표적 신호와 검출된 표적 영상

III. 동적 시뮬레이션

1. 표적 추적 알고리즘의 개요

본 절에서는 자외선 및 적외선 대역의 에너지의 특성 및 맑은 하늘을 기준레벨로 한 표적과 섬광탄의 신호특성을 기초로 추적 알고리즘을 구성하였다. 그림 9는 표적 추적을 위한 블록도를 보여주고 있다. 표적 및 섬광탄으로부터 입력되는 신호는 로켓 패턴을 만들어 내는 구동회로를 거쳐 각각 UV 및 IR 검출기로 입력된다. UV 및 IR 검출기에서는 매 샘플링 시간마다 표적과 섬광탄을 인식하고, 신호처리부로 신호를 전달한다. 신호처리부의 신호원이 되는 이 신호는 잡음을 제거하기 위한 필터를 통과하게 되며, 앞서 설명한 맑은 하늘에 의해 방사되는 에너지로부터 기준레벨을 설정한다. 설정된 기준레벨에 의해 입력된 신호는 UV 및 IR 대역의 특성 비교에 의해 표적신호를 추정한다. 표적으로 인식된 신호들은 추적을 위한 중심점 계산을 수행한다. 표

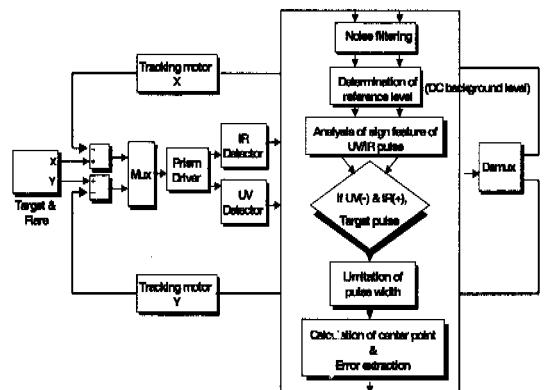


그림 9. UV/IR 2-color 탐색기의 추적실험을 위한 블록도

적의 중심부로 인식된 좌표값은 탐색기의 전체세계의 중심값과의 상대적인 오차로 해석한다. 이 상대적인 오차값이 Type 1의 추적모터로 입력되어 계속하여 표적을 추적하도록 한다.

2. 정적인 표적의 추적 실험 및 결과

먼저 제안된 탐색기의 성능을 알아보기 위해 정적인(static) 상태에서 표적 추적을 실험하였다. 표적의 초기위치를 $(x,y)=(-0.87,-0.02)$ 로 설정하고, 제안된 탐색기의 추적오차를 살펴본다. 그림 10(a)은 설정된 표적 영상을 보여주며, (b)는 이에 따른 추적 오차를 나타낸다. 일정한 시간이 경과한 후, 표적의 중심점에 수렴하고 있음을 알 수 있다.

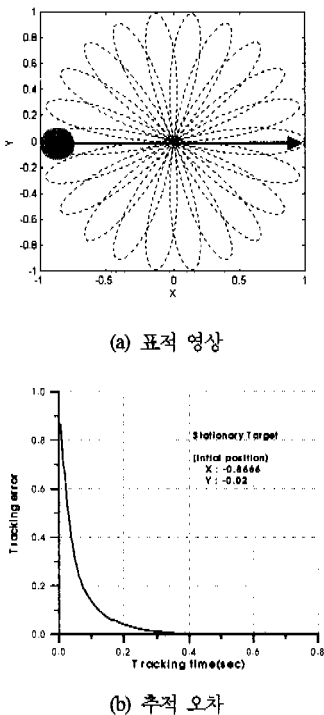


그림 10. 정적인 표적 영상 및 추적 오차 곡선

그림 11은 제안된 탐색기의 정적이득 곡선을 보여준다. 그림 10(a)에서 표적의 중심위치를 x축 방향으로 -1에서 1까지 0.1의 간격으로 이동시키면서 각각의 위치에서 계산된 표적의 중심위치를 표시한 것이다. 정적 이득곡선에서도 알 수 있듯이 탐색기의 전체세계(TFOV)내에서 거의 선형적인 특성을 보여주고 있다. 이것은 어느 위치에서나 입력되는 표적의 중심위치를 거의 정확히 계산할 수 있음을 의미한다.

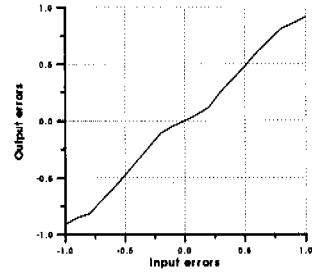


그림 11. 제안된 탐색기의 정적 이득 곡선

3. 동적인 표적의 추적 실험 및 결과

동적인 표적에 대한 추적 실험은 표적의 이동방향 및 속도에 따른 추적 능력과 섬광탄이 존재하는 상황에서의 추적 능력을 분리하여 수행하였다. 그림 12와 같이 표적의 초기위치 및 이동속도를 다르게 주면서 제안된 탐색기의 추적 능력을 수행하였다. 그림 12의 A와 B는 표적의 초기위치를 $(x,y)=(-0.867,-0.02)$ 로 설정하며, 이동속도는 각각 $(x,y)=(+1,+1)$ scale/sec, $(x,y)=(+1,+0.5)$ scale/sec로 설정하였다. C는 표적의 초기위치를 $(x,y)=(0.6,0.6)$ 로 하며, 이동 속도는 $(x,y)=(+1,+0.5)$ scale/sec로 설정하였다. 그림 13은 설정된 표적의 궤적에 따라 얻어진 추적오차곡선이다. (a)와 (b)는 표적 추적 초기에 표적과 탐색기가 서로 마주보는 방향으로 진행되므로 순간적으로 추적 오차가 줄어들다가 추적모터의 특성으로 일정한 값에 수렴함을 볼 수 있다. (c)는 표적의 궤적이 전체세계내에서 외곽으로 멀어지는 표적의 궤적으로, (a),(b)와 마찬가지로 일정시간 후, 수렴함을 볼 수 있다.

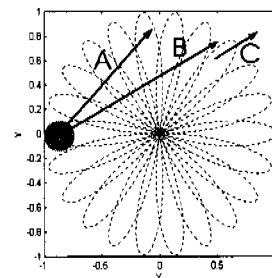
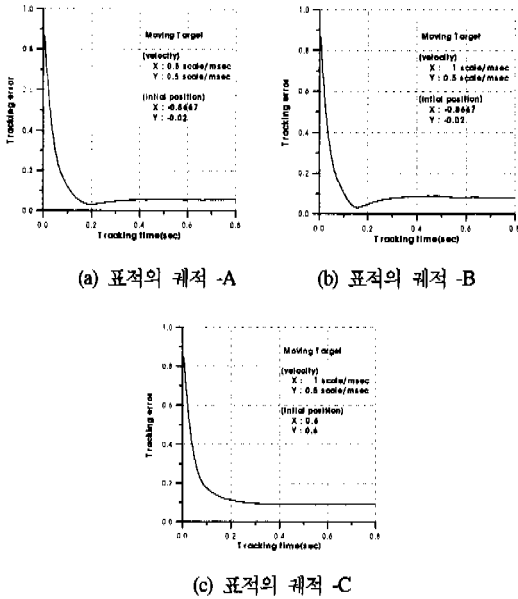


그림 12. 표적의 궤적

표적이 대응능력으로서 운용하는 섬광탄이 존재하는 경우, 일반적으로 표적으로부터 발사되는 섬광탄의 위치 및 속도, 갯수 등의 경우의 수는 많이 있다. 본 논문의 모의실험에서는 표적의 초기위치를 $(x,y)=(0.6,0.6)$ 로 설정하며, 이동속도는 각각 $(x,y)=$



(a) 표적의 궤적 -A (b) 표적의 궤적 -B (c) 표적의 궤적 -C

그림 13. 제한된 탐색기의 표적 추적에 따른 추적 오차 곡선 (+1,+0.5) scale/sec로 설정하였다. 섬광탄은 표적 추적이 이루어진 후 0.3초 후에 발사되며, 표적에서 발사되는 섬광탄은 발사 속도와 표적의 비행 속도에 의해 표적으로부터 떨어진 거리에서 발화된다. 이동속도는 $A(x,y) = (-0.1,-0.1)$ scale/sec, $B(x,y) = (+0.1,-0.1)$ scale/sec로 2개를 설정한다. 섬광탄의 초기위치는 표적 추적 후 0.3초 후의 표적의 위치로부터 x,y축 방향으로 0.2 떨어진 지점에서 발화된다. 그림 14는 표적 및 섬광탄의 궤적으로, 직선 궤적을 따라서 움직인다.

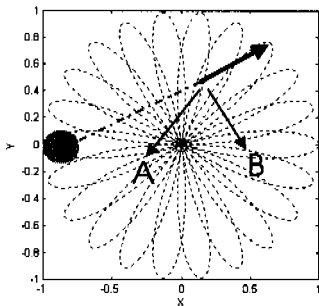
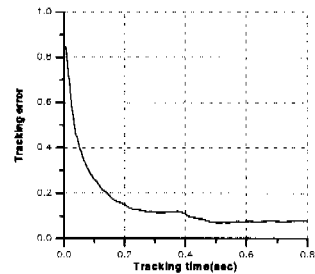


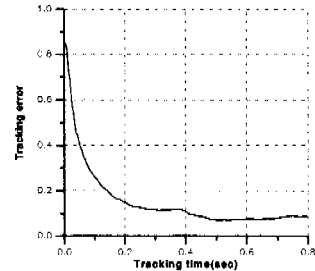
그림 14. 표적과 섬광탄의 궤적

그림 15는 표적 및 섬광탄의 궤적에 따른 추적 오차 곡선이다. 그림 15(a)는 섬광탄 A와 B가 동시에 발사된 경우의 추적 오차 곡선이며, (b)는 섬광탄 A와 B가 0.1초 간격으로 순차적으로 투하된 경우의

다. 어떠한 경우에도 일정시간이 경과한 후, 일정 오차에 수렴함을 알 수 있다. 추적 오차 곡선에서도 알 수 있듯이 섬광탄의 영향을 받지 않고 표적의 중심값을 계산하여, 표적을 계속 추적해 감을 알 수 있다. 그림 (a),(b)의 0.3초 지점에서 추적 오차 곡선의 약간의 변화는 표적과 섬광탄이 동일 온도가 되어 표적의 면적이 증가한 것으로 판단하고 그 중심점을 계산하므로 실제의 표적의 중심점에 의한 오차보다 약간 크게 나타난다. 그러나 섬광탄의 온도가 변하므로 다시 원래의 표적 신호를 추적하게 된다.



(a) 섬광탄의 동시발사

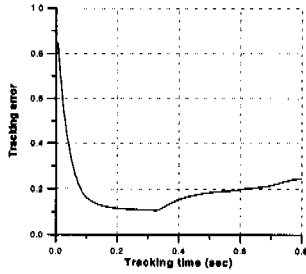


(b) 섬광탄의 순차적발사

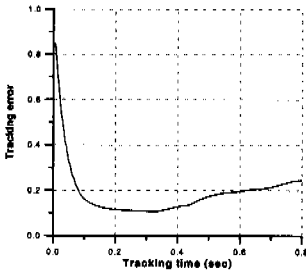
그림 15. 제한된 탐색기의 섬광탄 궤적에 따른 추적 오차

그림 16은 단소자 방식의 무게중심기법을 이용한 추적결과이다. 단소자 방식을 이용한 무게중심 기법은 표적과 섬광탄의 방사세기 차이를 이용하여 표적과 섬광탄을 분리하고 표적 신호만을 추적하는 기법이다^[11]. 표적과 섬광탄의 궤적을 동일한 조건으로 주고 추적 성능을 실험하였다. 그림 16(a)는 섬광탄 A와 B가 동시에 투하되었을 때의 추적 결과이다. 또한 그림 16(b)는 섬광탄 A가 투하된 후, 연속해서 0.1초 후 다시 섬광탄 B를 투하했을 때의 추적 결과이다. 표적은 일반적으로 섬광탄 발사 후 고속 회피기동을 한다.

그러므로 짐차 오차가 누적되어 상당한 추적 오



(a)섬광탄의 동시발사



(b)섬광탄의 순차적발사

그림 16. 무게 중심 기법의 섬광탄 제적에 따른 추적 오차

차가 발생하면 탐색기의 시계에서 표적이 사라질 가능성도 있다. 또한 발사 후 집화된 섬광탄의 세기가 표적의 방사세기와 동일한 경우, 적외선 세기의 차를 이용한 무게 중심기법으로는 표적과 섬광탄을 구별할 수 없다. 그 결과 무게 중심 기법은 섬광탄의 방사세기의 변화에 대처하지 못함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 섬광탄과 같은 표적의 대응 능력에 효과적으로 대처할 수 있는 2-color 탐색기를 제안하였다. 자외선(UV; Ultraviolet) 대역 및 적외선(IR; Infrared) 대역을 동시에 이용하는 2-color 탐색기 구축을 위하여 표적과 섬광탄의 방사에너지 특성을 적외선 및 자외선 대역에서 비교 및 분석하였다. 그 결과로부터 표적은 적외선 대역에서, 섬광탄은 자외선 대역에서 자체 온도에 의해 주로 에너지를 방사하고 있고, 이러한 특성을 이용하여 두 대역의 입력 신호로부터 효과적으로 표적 신호 검출을 위한 입력 신호 특징을 추출하였다. 이들 특징의 논리적 관계를 이용하여 표적을 검출, 추적함을 보였다. 모의실험 결과 제안된 UV/IR 2-color 반대응 알고리즘은 기존의 단소자 방식의 추적 방법에 비하여 섬광탄을 보다 효과적으로 제거하고 표적을

추적함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] 공군본부 편저, 현대항공무기총람, 군사문제연구소, 1993.11.
- [2] S. G. Jahng, H. K. Hong, S. H. Han and J. S. Choi. "Dynamic simulation of the rosette scanning infrared seeker and an IRCCM using the moment technique," *Optical Engineering*, Vol. 38, No.5, pp.921-928, 1999.
- [3] S. G. Jahng, H. K. Hong, and J. S. Choi. "Simulation of rosette scanning seeker and counter-countermeasure using K-means algorithm," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E82-A, No.6, pp.987-993, 1999.
- [4] 두경수, 오정수, 장성갑, 홍현기, 서동선, 최중수, "표적 및 섬광탄의 자외선 특성분석을 통한 효과적인 추적 대역 결정", *한국통신학회 논문집*, 제 25권, 2B호, pp.391-398, 2000.
- [5] Piers M. De F. Forster, "Modeling Ultraviolet Radiation at the Earth's Surface. Part I: The Sensitivity of Ultraviolet Irradiances to Atmosphere Changes", *Journal of Applied Meteorology*, Vol.34, pp.2412-2425, 1995.
- [6] Bucholtz, M. and W. Ambach, "Rayleigh scattering calculations for the terrestrial atmosphere", *Applied Optics*, Vol.34(15), pp.2765-2773, 1996.
- [7] F.A. Rosell, Prism Scanner, *Journal of the Optical society of America*, Vol. 50, No.6, pp. 521-526, 1960
- [8] J. J. May, Jr. and M. E. Van Zee, *Electro-Optic and Infrared Sensor*, *Microwave Journal*, pp.121-131, Sept. 1983.
- [9] G.C.Holst, *Electro-Optical Imaging System Performance*, SPIE Press, Washington, 1995.
- [10] M. C. Dudzik, *The Infrared & Electro optical systems Handbook vol.4* SPIE press, 1993

