

회전 동심원 레티클 탐색기의 시뮬레이션 및 상관계수를 이용한 반대응기법

정희원 홍현기*, 장성갑*, 두경수*, 최종수*

Simulation of Spinning Concentric Annular Ring Reticle Seeker and IRCCM using Correlation Coefficient

Hyun-Ki Hong*, Surng-Gabb Jahng*, Kyung-Soo Doo*, Jong-Soo Choi* *Regular Members*

요 약

적외선 탐색기에 널리 사용되는 레티클 시스템은 시계(field of view ; FOV) 상에 존재하는 표적의 위치를 구하는 대표적인 방법이다. 본 논문에서는 동심원(concentric annular ring) 레티클 탐색기의 표적 추적 성능을 시뮬레이션할 수 있는 효과적인 틀이 제안된다. 동적인 시뮬레이션을 위해 대상 탐색기는 Matlab-Simulink 상에서 구성되었으며, 이는 탐색기 및 유도 무기의 개발 등에 필수적이다. 시계상에 섬광탄 등의 대응능력이 존재하는 경우, 표적에 대한 정확한 추적은 매우 어렵게 된다. 본 연구에서는 이러한 대응능력의 영향을 줄이기 위해 입력 신호와 기준 신호와의 상관 관계를 이용하는 반대응 기법이 제안된다. 구성된 틀 상에서 제안된 방법이 기존 방법에 비해 보다 효과적인 표적 추적 결과를 보임을 확인하였다.

ABSTRACT

Reticle systems, which are widely used in infrared (IR) missile seekers, are considered to be the classical approach for estimating the position of a target in the field of view (FOV). This paper presents an effective simulation tool that gives tracking results of the concentric annular ring reticle seeker. We construct the concentric annular ring reticle seeker on Matlab-Simulink for a dynamic simulation. Our simulation model provides tracking results in various cases, and is applicable to the study of the development of the advanced seekers. While false targets such as flares are presented in the FOV, simulation results show that the existing seeker cannot determine a precise target location. In order to decrease the susceptibility to countermeasures such as flares, we propose an efficient counter-countermeasure using the correlated relationship of modulated signals and the references. We have ascertained that the reticle seeker using our technique make more effective target tracking than previous seekers.

I. 서론

과학 기술의 발전으로 현대전은 보다 복잡한 양상으로 진행되고 있으며, 특히 항공 요격 기술은 첨

단 전자 및 통신 기술의 응용으로 인해 매우 다양한 기법이 개발되어 실용화되고 있다. 그러나 유도 무기에 대한 기초 기술과 응용 능력은 일부 선진국에서 제한적으로 독점하고 있으며, 현재 국내의 기술 수준은 매우 미비한 실정이다. 따라서 독자적인

* 중앙대학교 첨단영상전문대학원 영상공학과(hhk@candy.ee.cau.ac.kr),

논문번호 : 99402-1007, 접수일자 : 1999년 10월 7일

※본 연구는 서울대학교 자동제어특화연구센터 및 국방과학연구소, 그리고 교육부 BK21 사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

유도 무기 체계의 연구 개발과 관련된 기초 및 응용 기술의 확보가 시급한 상황이다. 본 연구는 항공 요격 기술의 핵심적인 분야 가운데 하나인 미사일 탐색기(seeker)에 대한 연구로, 탐색기의 구성과 시뮬레이션을 통해 추적 결과를 분석하고 다양한 상황에 효과적으로 대처할 수 있는 추적 기법이 제안된다.

유도탄에서 눈의 역할을 하는 탐색기는 고려되는 시계(FOV ; Field of View) 상에 존재하는 표적 신호를 수신하고 신호처리 하여 표적의 상대적인 위치 정보나 속도 등을 탐지한다. 탐색기가 이용하는 표적의 신호는 다양하지만, 야간에도 추적이 가능하도록 표적의 열원(heat source)을 이용하는 방법이 여러 유도무기에 탑재되어 이미 실용화되어 있다. 이를 살펴보면, 단소자의 검출기(detector)를 이용하는 레티클(reticle) 시스템과 rosette 주사 방식의 준영상 탐색기, 네 개의 검출기를 십자로 배열한 crossed array tracker, 적외선(IR) 카메라를 이용하는 탐색기 등이 있다^[1]. 이와 같은 적외선 탐색기를 탑재한 유도 무기 등의 위협으로부터 자신을 보호하기 위해 표적은 섬광탄(flare)이나 기계, 전자, 광학적인 재밍(jamming) 장치 등과 같은 대응능력(countermeasure)을 운용한다^[2]. 따라서 표적을 추적하는 유도 무기는 표적이 운용하는 대응능력에 의한 영향을 배제할 수 있는 효과적인 반대응능력(counter-countermeasure)이 필수적으로 요구된다. 이를 위해 다양한 상황하에서 대상 탐색기의 실제 실험을 통한 추적 결과 자료 분석 등을 필요로 한다. 그러나 유도 무기의 특성상 실제 실험에는 많은 제약 조건이 존재하며, 얻어진 실험 결과는 기상 조건 및 주변 환경 등의 외부적인 요인들에 의해 많은 영향을 받는다. 따라서 실제 상황을 소프트웨어 상에서 구현하고^{[3][4]}, 구성된 탐색기의 추적 성능을 분석하는 시뮬레이션 연구가 매우 중요하다.

레티클을 이용한 광학 추적기에 대한 수학적인 모델링을 포함한 다양한 연구가 현재까지 진행되었으며, 최근에는 영상처리 기술과 신호처리 기술의 발달로 레티클 시스템에 대한 다양한 시뮬레이션 모델이 등장하고 있다^{[3][5][6]}. 또한 다양한 패턴을 갖는 회전 AM, FM 레티클에 대한 연구와 2개의 레티클을 이용하는 방법 등이 제안되었다^{[7][8]}. 기존의 적외선 레티클 탐색기에 대한 연구는 레티클 자체에 대한 정적인 특성 분석 및 모델링 등에 관한 것이 대부분이었다. 그러나 실제의 표적 추적 결과 예측 등을 포함한 동적인 특성은 정적 상황과는 많은

차이가 있다. 본 논문에서는 동적인 상황하에서 표적의 추적 결과 등을 분석하기 위해 시뮬레이션 틀을 Matlab-Simulink^[9] 상에서 구성하였다. 회전 동심원 레티클 탐색기를 대상으로, 구성된 시뮬레이션 틀 상에서 기존의 적외선 탐색기를 분석, 비교하고 섬광탄이 존재할 경우의 추적 결과를 바탕으로 효과적인 반대응 알고리즘을 제안한다. 탐색기의 시계상에 다중 표적이나 능동(active) 재밍 등을 포함한 다양한 대응능력이 존재하는 보다 복잡한 상황에서도 정확하게 표적을 추적할 수 있는 신호처리 기법 연구 및 분석이 구성된 틀 상에서 수행될 수 있다.

본 논문의 구성은 서론에 이어, II장에서 대응능력과 반대응능력의 종류 및 장단점을 기술하고, III장에서는 구성된 적외선 탐색기를 소개하고 시뮬레이션 결과를 분석한다. 그리고 IV장에서 대응능력에 취약한 기존 탐색기의 문제점을 해결하기 위해 새로운 추적 기법을 제안하고 향상된 추적 결과를 제시한 다음, V장에서 결론을 맺는다.

II. 대응능력과 반대응능력

모든 항공기의 열 특성은 엔진의 작동에 의해 발생하는 화염, 즉 플럼(plume)과 주위의 배출 가스, 동체의 가열된 부분, 태양 광선의 반사 등을 포함한 적외선 에너지의 방사에 의해 결정된다. 일반적으로 수동형 호밍 유도 적외선 미사일은 표적으로부터 방출 및 방사되는 에너지를 이용한다. 이러한 적외선 미사일의 추적으로부터 자신을 보호하기 위해 표적은 적외선 디코이(decoy)를 이용하며, 이는 섬광탄과 능동형 디코이로 구분된다^{[10][11]}.

섬광탄은 표적의 적외선 에너지보다 더 큰 방사 에너지를 방출함으로써 탐색기가 표적 대신 섬광탄을 추적하도록 한다. 그리고 능동형 적외선 재밍은 다양한 파형의 불규칙한 신호를 방출함으로써 탐색기의 신호처리를 방해하고, 표적에 대한 추적을 불가능하도록 한다. 시계상에 두개의 열원이 존재하는 경우, 보다 강한 방사량을 지닌 표적을 추적하게 된다^[12]. 일반적으로 섬광탄의 에너지 방사량이 표적보다 크기 때문에, 레티클 탐색기의 시계상에 섬광탄과 표적이 동시에 존재하면, 대상 탐색기는 표적 대신 섬광탄을 추적한다. 또한 시계상에 다수의 표적이 존재할 때, 그 중심 부분을 추적하게 된다.

적외선 반대응능력(IRCCM)은 스위치(switch)와 대응(response) 회로로 구성된다. 먼저, 스위치 부분은 탐색기의 시계상에 섬광탄이 존재하는가를 판단

하여 다음의 대응 회로를 작동시킨다. 탐색기의 대응 동작은 섬광탄에 의한 영향을 줄이기 위한 것이며, 대상 표적에 대한 정확한 추적을 계속 보장해야 한다^{[12][13]}.

섬광탄의 존재 유무를 판단하는 스위칭 방법에는 상승 시간(rise time), 스펙트럼 분포의 차이를 이용하는 방법, 대상 표적의 운동 역학적인(kinematic) 변화를 해석하는 방법, 그리고 공간적인 거리 차이를 이용하는 방법 등이 있다. 상승 시간을 이용하는 방법은 입력되는 탐색기 신호의 진폭이 급격하게 증가하는가를 감지하는 것이다. 이 경우 섬광탄이 아닌 표적의 고의적인 방사량 변화일 수도 있음을 고려하여야 한다. 그리고 스펙트럼 분포의 차이를 이용하는 방법은 실제 표적과 가상 표적의 적외선 방사 특성이 다르며, 이를 통해 섬광탄의 운용 여부를 판단한다. 또한 제적 차이 즉, 상대 운동학적인 측면으로 표적과 섬광탄의 서로 다른 운동방식을 구분하는 방법이 있다. 표적의 경우 직선운동(straight-line course)이나 선회(turning maneuver), 정지(stationary mode, hovering helicopter) 등의 운동 방식이 있을 수 있는 반면, 섬광탄은 초기 발사 속도, 중력 및 항력(gravitational & drag force) 등에 의해 운동 방식이 결정된다. 마지막으로 공간적 크기, 분포 및 거리 차이를 이용하는 방법은 영상(열상)을 얻을 수 있는 주사(scanning)나 초점면 배열(FPA) 탐색기에 적용될 수 있다. 소개된 스위칭 방법에 의해 동작되는 응답부 중에서 회전 레티클 탐색기에 적용 가능한 반대응 기법에는 단순 기억(simple memory) 방법, push-ahead 방법, 그리고 섹터 감쇄(sector attenuation) 방법 등이 있다.

단순 기억 방법은 섬광탄의 존재가 판단되면, 스위치 바로 이전의 탐색기의 출력 오차 신호를 유지하는 방법이다. 그러나 이 방법은 스위치 이후의 표적 기동을 전혀 고려할 수 없으며, 이전 신호의 효과적인 유지 기간을 정하기 어려운 단점을 지닌다. push-ahead 방법은 탐색기의 짐발(gimbal)을 표적의 이동 방향으로 움직임으로써, 섬광탄의 영향을 줄이는 방법이다. 만약 앞 방향으로의 이동 정도가 너무 크면, 탐색기는 표적의 앞 방향을 향하게 되고, 결국 표적과 섬광탄 모두 시계를 벗어나게 될 가능성이 있다. 그리고 섹터 감쇄 방법은 섬광탄이 표적의 후방으로 발사된다는 가정 하에, 탐색기의 시계상에 감쇄 필터를 직접 위치시킴으로써 섬광탄에 의한 영향을 줄인다. 그러나 일반적으로 섬광탄은 다양한 방향으로 발사되어 시계상의 정확한 위치를 파악할

수 없게 되며, 결국 감쇄 필터의 효과는 감소된다.

다음 장에서는 스위칭 이후 표적의 기동을 고려하기 위해 기준(reference) 및 입력 신호와의 상관계수(correlation coefficient)를 이용하는 새로운 반대응 알고리즘을 제안한다. 시계상의 섬광탄 존재 여부를 판단하기 위해 탐색기에 입력되는 방사량의 급격한 증가 유무를 파악하는 상승 시간 스위칭 방법이 적용된다.

III. 회전 동심원 레티클 탐색기

적외선 레티클 탐색기는 검출기 앞에 위치한 레티클을 이용하여 광학계에 의해 집중 수광된 표적 신호를 변조한다. 그리고 변조된 신호로부터 표적의 상대적인 위치 정보를 결정하며, 얻어진 오차 신호는 탐색기의 추적 루프로 전달된다. 레티클의 형태와 광학계의 구성에 의해 입력되는 표적 신호의 변조 방식은 AM, FM, AM/FM, PWM 등으로 구분된다^{[1][2][10][11]}. 본 연구에서는 회전 동심원 레티클 탐색기를 MATLAB-SIMULINK에 구성하였으며, 시뮬레이션 툴 상에서 임의의 표적에 대한 추적 결과를 분석한다.



그림 1. 회전 동심원 레티클

회전 FM 동심원 레티클 탐색기는 레티클이 회전하며, 광학계가 고정되어 있는 방식이다. 그림 1의 회전 동심원 레티클은 표적의 입력 신호를 차단 혹은 통과시키는 격자의 개수가 레티클 반경에 따라 각각 다르며, 따라서 표적의 상대적인 위치에 따라 다른 반송 주파수로 변조된다^{[2][10]}. 그리고 표적에 대한 위상 정보를 얻기 위한 위상 격자는 투과율이 50%이며, 이는 그림 1 레티클 아래의 약간 어두운 부분에 해당한다. 그림 2는 구성된 탐색기의 전체 블럭도이다.

레티클이 회전하는 회전 레티클 탐색기는 표적의 위치 오차가 전혀 없을 때, 즉 표적이 레티클 중심

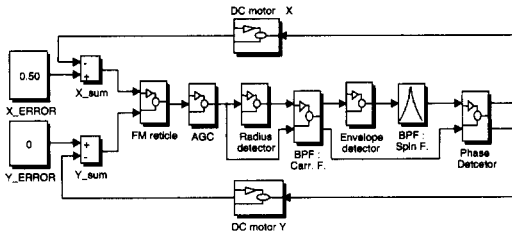
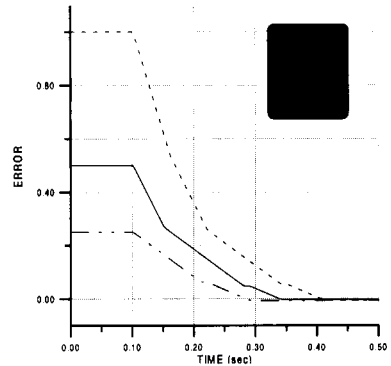


그림 2. 구성된 탐색기의 블럭도.

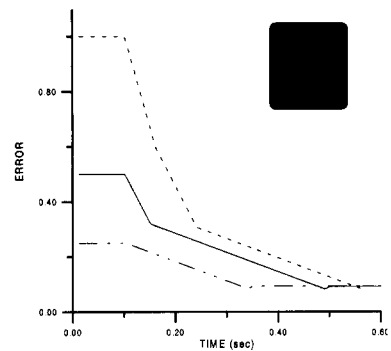
에 위치하는 순간, 변조 신호가 발생되지 않는 단점이 있다. 즉, 표적에 대해 정확한 추적이 이루어졌을 경우 순간적으로 유도탄의 동체가 흔들리는 zero-error carrier loss 현상이 발생한다^[10]. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 전체 시계의 2%에 해당하는 비 추적 영역(dead zone)을 설정하였으며, 대상 표적이 시계상에서 비 추적 영역에 존재하는 경우 구성된 탐색기는 현 추적 상태를 유지한다.

동심원 레티클을 통해 주파수 변조된 신호로부터 표적의 상대적인 위치를 구하기 위해서는 통상의 FM 복조 방식이 이용된다. 구성된 시스템은 표적의 반경 위치에 따라 반송 주파수가 다르기 때문에 레티클의 동심원 개수만큼 대역 통과 필터가 필요하다. 또한 구분된 레티클 반경에 따라 이득(gain) 특성을 조정할 수 있으며, 이와 같은 특성을 이용하여 탐색기의 추적 성능을 결정할 수 있다. 따라서 표적의 기하학적 오차와 신호처리 후에 얻은 오차 값과의 관계를 나타내는 정적 이득 특성은 다양하게 설정될 수 있으며, 대상 동심원 레티클의 선형 영역은 전체 시계라고 할 수 있다.

임의의 위치에 존재하는 표적에 대한 레티클의 변조 신호를 그림 2의 레티클 블록으로부터 얻는다. 그리고 표적의 강도(intensity)에 따른 신호의 영향을 배제하기 위한 자동 이득 조정기(AGC)는 레티클의 회전 주기인 0.01초 동안의 입력 신호를 이전 입력의 적분 값으로 나누어 정규화(normalize) 하도록 설계되었다. 반경 검출기(radius detector) 블록은 반경에 따라 각각 다르게 변조되는 입력 신호의 양을 비교함으로써 표적의 현재 시계상의 반경 정보를 구하는 역할을 한다. 이 블록은 대역통과여과기와 적분기들로 구성되어 있으며, 대역통과여과기는 2차 Butterworth 형태로 중심 주파수는 레티클 격자의 개수와 회전 주파수의 곱으로 결정된다. 그리고 각 반송파 주파수는 400, 800, 1600, 3200, 6400 Hz이며, 대역폭은 해당 반송파 주파수의 1/4



(a) 이동 표적



(b) 이동 표적

그림 3. 추적결과 비교

로 각각 구성하였다.

대상 레티클을 구성하는 각 동심원에 해당하는 반송 주파수를 중심 주파수로 하는 대역 통과기(BPF: Carr. F.)를 거친 다음, AM된 신호는 포락선 검파기(envelope detector) 블록을 통과한다. 그리고 다음 대역 통과 여과기(BPF: Spin F.)의 중심 주파수는 레티클의 회전 주파수에 해당하는 100Hz, 대역폭은 30Hz로 하였다. 위상 검출기(phase detector) 블록은 얻어진 최종 오차 신호의 최고치(peak) 위치를 구하여 표적의 위상 정보를 추정한다. 구성된 탐색기의 신호처리 블록도에서 탐색기의 출력 오차 신호는 DC모터로 구성된 추적 루프에 전달된다.

임의의 점 표적을 대상으로 구성된 탐색기의 추적 결과를 보이고, 이를 분석한다. 탐색기의 전체 시계는 1로 정규화 되어 있고, 표적의 초기 오차가 X 방향으로 각각 0.25, 0.50, 1.00 일 때, 표적이 정지한 상황에서 추적 오차값을 그림 3 (a)에 보였다. 각 경우에 대하여 구성된 탐색기가 표적을 정확

하게 추적함을 확인하였다. 본 시뮬레이션에서는 신호처리부에서 필터링을 할 때 초기의 과도(transient) 응답을 배제하기 위해 0.1 초간의 추적 준비 시간을 가진다. 초기 오차가 그림 3 (a)와 같고 일정한 속도로 움직이는 표적에 대한 추적 결과를 그림 3 (b)에 보였다. 추적 루프로 DC 모터(type- I)를 사용하기 때문에 구성된 탐색기는 임의의 시간 후 일정한 오차를 두고 표적을 추적함을 확인하였다. 유도탄은 지속적인 표적 추적을 위해 임의의 출력 오차가 필요하며, 따라서 탑재된 탐색기의 추적 루프는 일반적으로 type- I 형태를 이용한다.

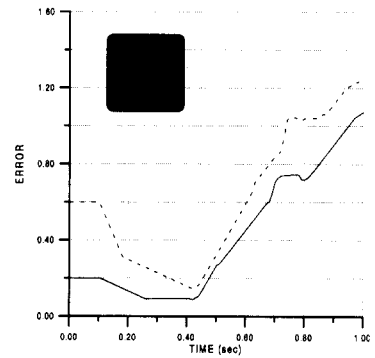
IV. 제안된 반대응 기법 및 시뮬레이션

시계상에 섬광탄 등의 대응능력이 존재할 경우, 일반적으로 레티클 탐색기는 많은 영향을 받게 된다. 본 장에서는 시뮬레이션을 통해 이와 같은 섬광탄의 영향을 확인하고, 이를 해결하기 위해 레티클에 의한 입력 변조 신호를 예측한 다음, 이후 입력 신호와 기준 신호와의 상관(correlation) 관계를 이용하는 새로운 반대응 기법이 제안된다.

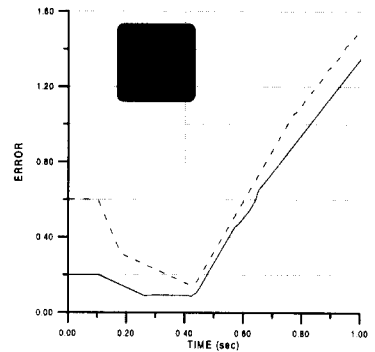
대상 표적과 유도탄의 추적 과정을 정확하게 시뮬레이션하기 위해 표적의 비행 상태, 연소 시간(burn time), 고도 등을 포함한 다양한 조건을 고려해야 한다. 본 논문에서는 섬광탄의 영향을 효과적으로 확인하기 위해 비교적 단순한 상황에서 실험하였다. +X방향으로 일정 속도로 이동하는 표적과 -X방향으로 표적의 0.5배 속도로 이동하는 섬광탄이 동시에 시계상에 존재하는 경우, 그리고 섬광탄이 -X방향으로 표적과 같은 속도로 이동하는 상황에서의 추적 결과를 그림 4 (a)와 (b)에 보였다.

섬광탄은 각각 표적 입력 신호의 10 배의 강도를 가지는 점으로 모델링 하였다. 시계 내에서 섬광탄이 0.4초 이후 터지게 되면, 발사 직후에는 표적과 섬광탄의 상대적인 위치가 매우 가깝기 때문에 별다른 반응을 보이지 않는다. 그러나 섬광탄의 영향으로 대상 탐색기는 시간이 경과할 수록 표적 대신 섬광탄을 계속 추적함을 확인하였다. 이 경우 표적에 대한 올바른 추적이 불가능하다는 것을 그림 4로부터 알 수 있으며, 따라서 이를 해결하기 위한 효과적인 반대응 기법이 필요하다.

제안된 탐색기의 블럭도를 그림 5에 보였다. 구성된 탐색기에서 AGC 블럭은 표적의 복사량(irradiance)과 관계없이 일정한 출력 신호를 유지하며, 동시에 입력 신호의 급격한 증가로부터 섬광탄



(a)



(b)

그림 4. 섬광탄이 존재하는 상황에서의 추적 결과.

의 존재 유무를 판단하는 스위치 역할을 한다. 반대응능력은 입력 신호가 초기 값으로 다시 낮아질 때까지 혹은 임의의 기간 동안 적용된다.

일반적으로 표적과 섬광탄은 서서히 분리되므로, 동시에 입력되는 표적과 섬광탄의 신호로부터 표적 신호만을 구별하기는 매우 어렵다. 섬광탄이 시계 내에 존재한다고 판단되면, 그림 5의 대응(response) 블럭은 이전 신호의 추적 오차를 이용하여 표적의 현재 위치에 해당하는 신호를 발생한다. 즉 섬광탄이 존재하기 이전까지 표적의 현재 위치를 저장하고, 이를 이용하여 레티클에 의해 변조될 입력 신호를 예측하여 다음 단으로 전달한다. 그리고 스위치(switch) 블럭은 섬광탄과 표적이 결합된 입력 신호 대신, 발생된 예측 신호를 신호 처리부에 전달한다. 따라서 섬광탄과 표적의 실제 변조 신호가 아닌 표적만의 신호를 이용하므로 일정 기간 동안 표적을 추적할 수 있으며, 섬광탄과 표적이 시계상에서 어느 정도 분리하게 된다. 즉, 대응 블럭으로부터 얻

어진 신호를 이용하여 표적의 위치와 방향을 추정 하면서, 스위치 이전(섬광탄이 시계 내에 존재하기 전)에 저장된 표적의 위치 오차를 계속 감소시킨다. 그리고 저장된 오차 정보를 모두 추적한 후, 기준 신호와 입력 신호와의 상관 관계를 이용하여 대상 표적의 위치 정보를 구하는 방법이다.

일반적으로 조종사를 보호하기 위해 비행체는 급격한 선회를 할 수 없다. 그러나 섬광탄이 시계상에 오랜 동안 존재하는 경우, 비행체는 공간상으로 섬광탄과 많은 거리를 두게 된다. 따라서 표적을 정확하게 추적하기 위해서는 표적과 섬광탄의 신호가 결합된 입력으로부터 표적 성분만을 구분하여 처리해야 한다.

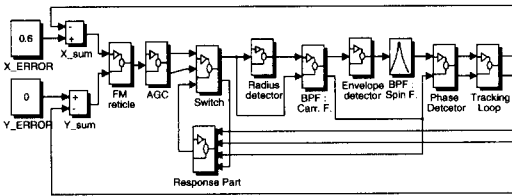


그림 5. 제안된 반대응 기법의 블럭도

레티클 탐색기는 단소자를 이용하므로, 결합된 입력 신호는 표적과 섬광탄의 선형 조합이다. 또한 입력 신호열은 시변(time-varying), 그리고 임의의 구간 동안 정재성(stationary)의 성질을 가진다. 변조 신호는 매우 짧은 기간(0.01초) 동안 얻어지며, 따라서 연속으로 입력되는 신호열은 높은 상관 관계를 가진다. 제안된 방법에서는 예측 신호를 이용함으로써 표적과 섬광탄을 공간상에서 서로 분리되도록 한다. 그리고 표적의 회피 기동을 고려하기 위해, 다음 식 (1)을 이용하여 기준 신호와 입력 신호간의 상관 계수를 구한다^[14]. 사용되는 기준 신호는 반경에 따른 각 동심원의 변조 신호이며, 그 수는 대상 레티클을 구성하는 동심원 개수와 같다.

$$\rho = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} [(x_1(n) - \bar{x}_1)(x_2(n) - \bar{x}_2)]}{\left[\sum_{n=0}^{N-1} (x_1(n) - \bar{x}_1)^2 \sum_{n=0}^{N-1} (x_2(n) - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2}} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 두 신호 $x_1(n)$ 과 $x_2(n)$ 의 상관 계수, N 은 표본 수(sample points), 그리고 \bar{x}_1 과 \bar{x}_2 는 $x_1(n)$ 과 $x_2(n)$ 의 평균이다.

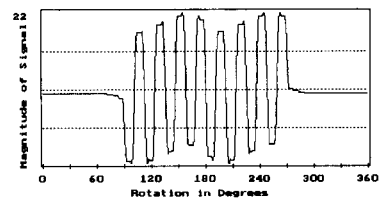
레티클에 의한 변조 신호는 레티클의 회전 임펄스

스 응답과 같으며, 각도 혹은 반경에 따른 델타(delta) 함수와 레티클의 투과 함수가 서로 1차원 상관 관계가 있다. 따라서 구성된 탐색기에서는 상대적으로 높은 상관 계수를 가지는 기준 신호를 구함으로써 표적의 반경 위치를 결정할 수 있다. 그리고 결정된 기준 신호와 입력 신호간의 상관을 구해서 위상 정보를 구한다.

본 연구에서는 레티클의 각 회전마다 레티클에 의한 변조 신호와 복조 결과를 정확하게 분석하기 위해, 영상 처리 방법을 이용한다^{[15][16]}. 레티클 영상은 240×240 , 반경은 120 화소이며, 표적과 섬광탄의 형태는 원형으로 반경은 각각 3과 2 화소이다. 검출기 출력(그림 6 (a) 와 (b))은 회전 각도에 대한 함수로 나타내었으며, 섬광탄 대 표적의 신호 비는 10:1로 설정하였다. 일반적으로 섬광탄은 표적에 비해 부피는 작고, 높은 온도를 지닌다^[2].

표적이 레티클과 섬광탄이 두 번째, 네 번째 링에 존재하는 경우(경우 I)의 선형 결합된 출력 신호를 그림 6 (a)에 보였다. 경우 I에서, 표적과 섬광탄의 반경 위치는 각각 X 축의 +6과 +65 이다. 표적이 두 번째 링에, 섬광탄이 다섯 번째 링에(+9와 +100) 위치하는 경우 II의 검출기 출력 신호를 그림 6 (b)에 나타내었다. 두 경우 모두, 섬광탄이 표적에 비해 90° 앞선다. 대상 동심원 레티클이 5개의 동심원으로 구성되어 있기 때문에, 표적의 반경 위치에 따라 발생 가능한 변조 신호인 5개의 기준 신호(A, B, C, D, E)를 이용한다. 그림 6 (c)와 (d)는 두 번째와 다섯 번째 기준 신호(B, E)이며, 특히 점 표적에 대한 대상 레티클의 임펄스 응답이다. 위의 두 경우에서 다섯 개의 기준 신호와, 표적과 섬광탄 신호가 선형 결합된 입력간의 상관 계수를 표 1에 보였다. 표시된 부분은 주변의 결과보다 더 높은 상관 계수를 보이며, 이로부터 표적과 섬광탄의 위치를 확인할 수 있다.

레티클 시스템에 실제 입력되는 표적 신호는 일정 크기와 형태를 가지며, 이에 대한 고려를 통해



(a)

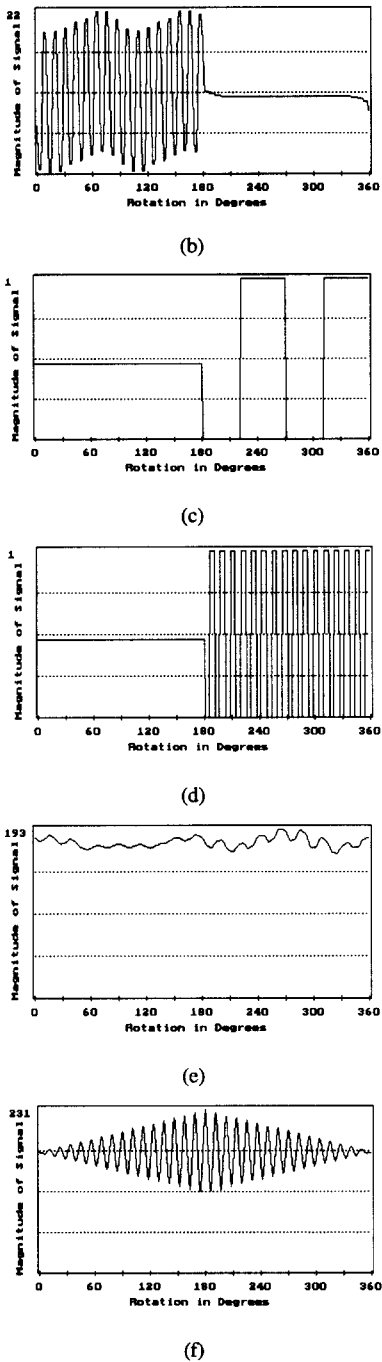


그림 6. (a) (b) 경우 I 과 II 에서 혼합된 검출기 출력. (c) (d) 반경 위치에 따른 기준 신호(B 와 E). (e) (f) B 및 E와 입력 신호(a), (b)와의 상관 결과.

대상 표적과 섬광탄 위치를 보다 분명하게 해석할 수 있다. 그림 7의 (a)와 (b)에서 대상 표적과 섬광탄은 원형이며, 이를 효과적으로 처리하기 위해 지

름이 2 화소인 원 형태의 임의 표적에 대한 기준 신호열을 발생시켜 처리한다(그림 7 (a)와 (b)). 위의 그림 6 (a)와 (b) 경우와 다섯 개의 기준 신호(그림 7 (a)와 (b))와의 상관 계수를 표 2에 보였다. 표적과 섬광탄의 위치에 해당하는 부분의 상관 계수 결과가 표 1에 비해 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있다. 따라서 대상 표적의 크기 및 형태에 대한 기준 신호열의 고려를 통해 시계상에 존재하는 다양한 표적에 대한 보다 분명한 해석이 가능함을 확인하였다.

표 1. 기준 신호열과 검출기 출력과의 상관 계수.

	A	B	C	D	E
case I	0.690238		0.711355		0.713043
case II	0.709823		0.712208	0.713467	

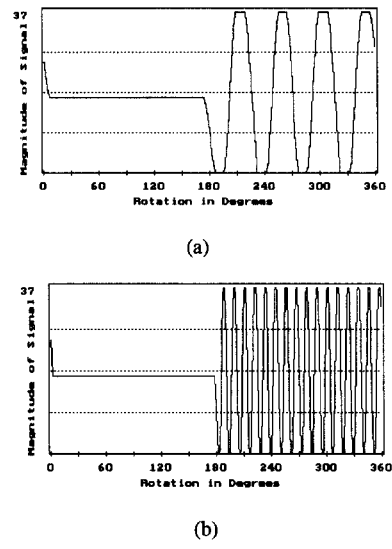


그림 7. (a) (b) 반경 위치에 따른 기준 신호 (C 와 E).

섬광탄이 운용되면, 제안된 방법은 섬광탄과 표적이 결합된 변조 신호 대신, 시계상의 위치에 따른 대상 표적에 의한 변조 신호를 예측함으로써 짧은 시간 동안 정확하게 표적을 추적하도록 한다. 그리고 임의의 시간 후 입력 변조 신호와 가장 높은 상관 계수를 보이는 기준 신호를 구함으로써 표적의 반경 정보를 구할 수 있다. 대상 표적의 반경 위치가 결정된 다음, 혼합된 검출기 출력과 기준 신호와의 상관을 구한다. 얻어진 상관 결과로부터 표적의 상대적인 위상 변이(shift) 정보를 구할 수 있다. 그림 6 (e)는 경우 I 에서 표적의 위상이 -95° , 섬광

탄이 -5° 이며, 그림 6 (f)는 경우 II에서 섬광탄이 180°, 표적이 90° 임을 확인할 수 있다. 또한 표적과 섬광탄의 궤적을 고려함으로써, 다중 표적 혹은 거짓(false) 표적 등과 같은 원하지 않는 신호를 제거할 수 있는 편차(variance) 한계를 정할 수 있다.

표 2. 임의의 표적에 대한 기준 신호열과 검출기 출력과의 상관 계수.

	A	B	C	D	E
case I	0.690238		0.748129		0.758676
case II	0.709823		0.747595	0.751647	

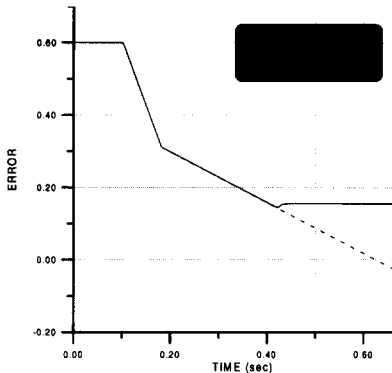


그림 8. 섬광탄이 존재하는 상황에서의 추적 결과.

그림 4 (a)의 경우에 대해 오차 정보 등을 단순히 유지하는 단순 기억 방법과 예측 신호 및 신호의 상관성을 이용하는 제안된 방법의 추적 결과를 그림 8에 보였다. 본 시뮬레이션에서 단순 기억 방법은 표적의 선형 및 회전(선회) 기동(maneuver)을 고려하기 위해 추적 오차 정보의 2차 차분을 이용하였다. 단순 기억 방법은 섬광탄의 존재가 판단되기 바로 이전의 오차 신호를 유지하기 때문에 시간이 경과할 수록 일정 방향으로 오차가 증가한다. 그러나 제안된 방법은 일정한 오차를 가지며, 표적을 상대적으로 정확하게 추적함을 실험 결과로부터 알 수 있다. 즉 단순 기억 방법은 스위치 이전의 정보만을 이용하기 때문에 스위치 이후 표적의 방향과 속도 등의 기동 변화를 고려할 수 없다는 단점을 지닌다. 이에 반해 신호간의 상관 관계를 이용하는 방법은 섬광탄의 운용 이후, 가능한 다양한 표적의 회피 기동을 고려하여 정확하게 표적을 추적할 수 있다. 추가적으로 표적의 속도와 궤적 정보를 이용하면, 제안된 반대응 기법은 보다 효과적일 것으로

예상된다.

V. 결론

본 장에서는 회전 동심원 레티클 탐색기의 표적 추적 성능의 예측 및 대응능력의 영향 분석을 위해 추적 루프를 포함한 동적인 시뮬레이션 툴을 MATLAB-SIMULINK 상에서 구성하였다. 대상 레티클은 각 동심원에 따라 정적 이득 특성 등을 조정할 수 있기 때문에, 전체 시계가 선형 영역이 된다. 표적에 대한 추적 결과를 분석하여 운용되는 섬광탄에 효과적으로 대처할 수 있는 새로운 반대응 기법을 제안하였다. 제안된 반대응 기법은 스위치 이전 정보를 이용하여 입력 신호를 예측한 다음, 이후 입력 신호와 기준 신호와의 상관 관계를 이용한다. 따라서 구성된 탐색기는 스위치 이후 회피 기동 등을 포함한 표적의 비행 상태 변화에 대처할 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. May and M. Zee, "Electro-Optic and Infrared Sensors," *Microwave Journal*, pp. 121-131, Sept. 1983.
- [2] A. Schumaker Ed., *The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook*, SPIE press, Michigan, 1993.
- [3] G. Olsson, "Simulation of Reticle Seekers by Means of an Image Processing System," *Opt. Eng.*, 33(3), pp. 730-736, 1994.
- [4] K. Heaton, J. Evans, and H. Cere, "The Development of Generic Infra-red Seeking Missile and Countermeasures Models," *Proc. of the 1990 Summer Computer Simulation Conference*, July 1990.
- [5] S. Craubner, "Digital Simulation of Reticle Systems," *Opt. Eng.*, 20(4), pp. 608-615, April 1981.
- [6] M. Porras, J. Alda, and E. Bernabeu, "Amplitude Modulated and Frequency-modulated Reticle Responses of Gaussian Beams," *Opt. Eng.*, 30(12), pp. 1986-1992, Dec. 1991.
- [7] J. Tayler and R. Driggers, "Tracking with

	Two Frequency-modulated Reticles,” <i>Opt. Eng.</i> , 32(5), pp. 1101-1104, May 1993.	장 성 갑(Surng-Gabb Jahng)	정회원
[8]	R. Driggers, C. Halford, and G. Boreman, “Marriage of Frequency Modulation Reticles to Focal Plane Arrays,” <i>Opt. Eng.</i> , 30(10), pp. 1516-1521, Oct. 1991.	두 경 수(Kyung-Soo Doo)	정회원
[9]	<i>Matlab Reference Guide</i> , The MathWorks, Inc., Oct. 1992.	최 종 수(Jong-Soo Choi)	정회원
[10]	L. Wolfe and J. Zissis, Eds., <i>The Infrared Handbook</i> , Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI. 1985.	한국통신학회논문지 제24권 8B호 참조	
[11]	R. Hudson, <i>Infrared Systems Engineering</i> , John Wiley & Sons, N.Y., 1969.		
[12]	M. Deyerle, “Advanced Infrared Missile Counter-countermeasures,” <i>Journal of Electronic Defense</i> , pp.47-70, Jan. 1994.		
[13]	R. Waddell, “Infrared Seeker Threats from Attack Missiles can be reduced significantly,” <i>Military Electronics</i> , pp. 31-33, Feb. 1983.		
[14]	A. Oppenheim and R. Schaffer, <i>Discrete-Time Signal Processing</i> , Prentice Hall, N.J., 1989.		
[15]	H. K. Hong, S. H. Han, and J. S. Choi, “Simulation of an Improved Reticle Seeker using the Segmented Focal Plane Array,” <i>Opt. Eng.</i> , 36(3), pp. 883-888, Mar. 1997.		
[16]	H. K. Hong, S. H. Han, and J. S. Choi, “Simulation of the Spinning Concentric Annular Ring Reticle Seeker and an efficient Counter-countermeasure,” <i>Opt. Eng.</i> , 36(11), pp. 3206-3211, Nov. 1997.		

홍 현 기(Hyun-Ki Hong) 정회원

1993년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 졸업

1995년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 석사(공학석사)

1998년 8월 : 중앙대학교 전자공학과 박사(공학박사)

1994년 12월~1999년 12월 : 서울대학교

자동차제어특화연구소 연구원

1999년 9월~2000년 2월 : 중앙대학교

정보통신연구소 연구전담교수

2000년 3월~현재 : 중앙대학교

첨단영상전문대학원 영상공학과 전임강사

<주관심 분야> 적외선 신호처리, 컴퓨터 비전,

멀티미디어 시스템 개발.