

적외선 회전 Lovell 레티클 탐색기의 성능 분석 및 효율적인 반대응 알고리즘에 대한 연구

(A Study on Analysis of Infrared Rotating Lovell Reticle Seeker and an Efficient Counter-countermeasure Algorithm)

金善國*, 韓成鉉*, 洪顯基*, 崔宗秀*

(Sun Kook Kim, Sung Hyun Han, Hyun Ki Hong, and Jong Soo Choi)

요 약

기존의 적외선 레티클 (reticle) 탐색기에 대한 모델링은 주로 정적인 상황 하에서 이루어졌다. 그러나 본 논문에서는 동적인 상황 하에서 다양한 형태로 실험할 수 있는 레티클 탐색기의 컴퓨터 시뮬레이션 툴을 개발하였다. 그리고 다중 표적, 특히 대응능력이 있는 섬광탄이 존재하는 상황에서 효과적으로 대처할 수 있는 반대응 기법을 제안한다. 개발된 시뮬레이션 툴을 이용하여 회전 레티클 탐색기의 다양한 성능을 분석하였으며, 섬광탄 및 다중 표적이 있는 경우에서의 표적 신호 검출 및 추적 결과를 제시하였다. 섬광탄이 존재하는 상황에서 제안된 반대응 알고리즘이 간단하면서도 효율적임을 컴퓨터 시뮬레이션 결과로부터 확인하였다.

Abstract

The previous simulation models of infra-red (IR) reticle seekers were performed in a static situation. However, in this paper, we develop a new simulation tool which is applicable in various cases, and propose an efficient counter-countermeasure (CCM) in the presence of countermeasures (CM) such as flares. The developed tool analyzes performance of rotating Lovell reticle seeker, and gives tracking performances in various scenarios. The simulation results show that our counter-countermeasure algorithm makes an efficient target tracking in the presence of flares.

I. 서 론

절대온도 영도 이상의 모든 물체는 적외선을 방사한다. 적외선을 검출기 (detector)로 받는 방식에는 적외선을 보내어 반사되어 돌아온 적외선을 받는 능동 방식과, 물체 자체에서 방사되는 적외선을 받는 수동 방식이 있다. [1]

인간의 눈으로는 볼 수 없는 야간이나 악천후에 물체의 형태를 인식하는 방법으로 물체로부터 방사되는 적외선을 이용한다. 적외선 신호를 검출하기 위해서는

여러 개 혹은 수십, 수백 개의 적외선 검출기를 이용하여 2차원 영상을 만드는 적외선 카메라, 주사방식에 의한 열상장치 등이 있으나 이러한 열상 장비는 상당히 고가이다. 따라서 하나의 검출기를 이용하여 일차원 신호로써 목표물을 인식하고 추적하는 적외선 레티클 탐색기는 비용이 현저히 감소한다는 장점으로 미사일에 많이 장착되어 사용되었다. [2,3] 그러나 섬광탄 (flare) 같은 대응 능력 (countermeasure) 및 표적이 다수일 경우 이에 대해 매우 심각한 영향을 받아서 대상 표적을 정확하게 추적할 수 없는 큰 단점을 가지고 있다. [4-6]

레티클을 이용한 광학 추적기에 대한 연구는 1960년대까지 많이 이루어졌으며 [7,8], 최근에는 영상처리 기술과 신호처리 기술의 발달로 레티클 시스템에 대한

* 正會員, 中央大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Chung-Ang University)
接受日字: 1997年3月6日, 수정완료일: 1998年8月3日

다양한 시물레이션 모델이 등장하고 있다. Craubner^[9]는 입력과 레티클을 표본화하여 벡터열의 행렬로 놓고 레티클을 해석하였으며, Olsson^[10]은 영상처리 시스템과 신호처리 기법을 이용하여 시물레이션 모델을 제시하였고, Chao^[11] 등은 간단한 형태의 표적과 주파수변조 레티클에 대한 수학적인 모델링을 제시하였다. 또한 Driggers^[3,12-15] 등은 다양한 패턴을 갖는 회전 진폭 변조 레티클, 주파수 변조 레티클에 대한 연구와 레티클을 2개 이용하는 방법 및 주파수 변조 레티클을 이용한 영상 처리를 제시하였다. 기존의 적외선 레티클 탐색기에 대한 연구는 이와 같이 대부분 레티클 자체에 대한 정적인 특성을 분석하고, 정적인 상황에서 실험과 연구를 하였다.^[2-16] 실제의 표적 추적 특성은 정적인 상황과 매우 다르기 때문에 본 연구는 추적루프 (tracking loop)를 포함한 동적인 상황에서 시물레이션 틀을 구성하였다. 이러한 동적인 시물레이션은 표적과 탐색기를 탑재한 유도 무기와의 추적 성능을 분석하고, 기존 탐색기의 신호처리 기법을 개선시키는 효과적인 반대응 능력 (counter-counter-measure : CCM)을 가지는 적외선 탐색기를 개발하기 위해서는 필수적인 연구이다.

본 논문에서는 회전 Lovell 레티클 탐색기의 시물레이션 틀을 개발, 구성하였고, 개발된 틀 상에서 다양한 상황에서의 추적 성능을 분석하였으며, 특히, 섬광탄이 존재하는 상황에서 추적 성능 및 효율적인 신호처리 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어, II장에서 적외선 레티클 탐색기에 대한 간단한 고찰과 함께 실험에서 사용된 적외선 주파수변조 회전 Lovell 레티클 탐색기에 대하여, III장에서 회전 레티클 탐색기의 동적 시물레이션 방법을 보인다. 그리고 IV장에서는 그 결과 및 분석을, V장에서는 제안한 반대응 신호처리 기법과 시물레이션 결과를 보인다. 끝으로 VI장에서 결론 및 앞으로의 연구 방향을 제시한다.

II. 적외선 주파수 변조(FM) 회전 Lovell 레티클 탐색기

본 장에서는 항공요격 기술의 핵심적인 분야 가운데 하나이며, 표적과 유도탄의 상대위치나 속도 등의 상태변수에 대한 정보를 획득하는 유도탄 내부의 탐색기에 대한 연구이다. 유도탄에서 눈의 역할을 하는 탐

색기는 일반적으로 미사일 앞부분에 장착되며 고려되는 시계 상에 존재하는 표적에서 방사되는 신호를 수신, 신호 처리하여 표적의 상대적인 위치 정보나 속도 등을 탐지하는 장치이다.

탐색기의 주요구성은 목표물에서 방사되는 표적신호를 수신하는 표적신호 수신(광)부, 수신된 표적신호를 전기신호로 변환시키는 표적신호 검출(광)부, 전기신호로부터 표적의 위치를 도출하는 표적신호 처리부, 도출된 표적위치 신호에 따라 표적신호 수신부가 장착되어 있는 플랫폼을 표적원으로 향하도록 구동시키는 표적정밀 추적부 및 표적 추적장치, 표적 신호송신부 등으로 구분할 수 있고, 탐색기의 출력 신호는 대상 표적의 위치나 방향 정보이며, 이 정보는 미사일의 유도 장치에 전달되어 표적 추적이 이루어진다.

적외선 탐색기는 미사일의 유도방식 중 하나인 호밍 (homing) 유도를 위해 적외선 특성을 이용하여 대상 표적을 찾고, 확인, 포착, 추적한다. 이 중 레티클을 장착한 적외선 레티클 탐색기는 운동방식에 따라 광학계는 고정시키고 레티클이 회전하는 회전 레티클 탐색기와 레티클은 고정, 광학계는 회전하는 고정 레티클 탐색기가 있다.^[1,5,10]

본 논문에서 대상으로 하는 방식은 회전 주파수변조 레티클이다. 입사되는 적외선은 광학계를 통해서 레티클 위에 결상되며 이 결상된 상은 레티클의 투명한 부분과 불투명한 부분이 연속된 패턴에 따라 투과 혹은 투과되지 않으며 상의 위치에 따라 변조가 된다. 레티클을 통과한 변조신호는 검출기로부터 들어오고 전기 신호로 변환된다. 여기서 검출기 신호는 대상 표적의 방향 즉 위치에 대한 정보를 갖는 변조신호이며, 이 정보를 적절히 복조하여 위치정보를 얻고, 이 신호는 미사일의 유도 장치에 전달되어 표적 추적이 이루어진다.^[4]

회전 주파수변조 레티클의 특성을 나타내는 세가지 파라미터는 $f(\theta)$, $m(r)$, (r) 이다.^[13] $f(\theta)$ 는 물체의 각도에 따른 위상의 변화를, $m(r)$ 은 물체의 중심에서의 거리에 의한 차단 펄스의 개수를 조정하므로써 생기는 주파수 변화를, $\rho(r)$ 은 회전 레티클의 전체 모양을 결정하는 위상에 대한 파라미터이다.

이러한 파라미터에 의한 회전 레티클의 투과 함수는 식 (1)과 같다.

$$T(r, \theta) = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \cos[m(r) \rho(r) f(\theta)] I(\alpha) d\alpha \quad (1)$$

식 (1)에서 세 개의 파라미터를 모두 사용하여 레티클을 구성하면 분리해 내야 할 정보가 너무 많아지므로, 두개의 값만 변수로 두고 나머지 하나는 상수로 두어 레티클을 구성하였다. $\rho(r)$ 은 0으로 두고 거리 정보인 $m(r)$ 과 위상 정보인 $f(\theta)$ 만을 가진 Lovell 회전 레티클을 사용한다. 이 Lovell 회전 레티클의 투과 함수는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$T(r, \theta) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos[m(r)\theta] \quad (2)$$

식 (2)는 연속적인 투과도를 가지므로 제작상에 어려움과 위상 반전 (phase reversal)이 발생하므로^[14] 이 연속적인 함수를 이진화하여 다음 식 (3)과 같이 구성한다.

$$T(r, \theta) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \text{sgn}[\cos\{\text{int}(10 \frac{r}{r_1})(\theta + 0.4 \sin(\theta))\}] \quad (3)$$

식(3)의 투과함수를 이용한 레티클을 그림1에 보인다.

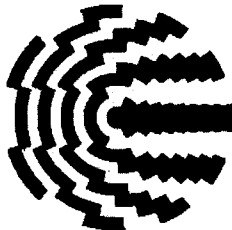


그림 1. Lovell 회전 레티클 패턴
Fig. 1. Pattern of Lovell rotating reticle.

이와 같은 회전 레티클 탐색기의 가장 큰 단점은 표적이 정확하게 레티클 중심에 위치하는 순간에서 변조 신호가 발생되지 않는다는 것이다. 즉, 표적에 대해 정확한 추적이 이루어졌을 경우 순간적으로 유도탄의 동체가 흔들리게 된다.^[16]

Ⅲ. 개발된 주파수변조(FM) 회전 레티클 탐색기의 동적 시뮬레이션 틀

적외선 레티클 탐색기를 시뮬레이션하기 위해서는 표적 신호의 형태와 수, 광학적 영향, 대기의 상태, 레티클의 패턴, 레티클의 수, 광학계의 운동 특성 등과 같은 매개변수가 고려되어야 한다. 본 논문에서는 적외선 원 (source)의 복사 강도 (intensity)가 아니고, 레티클을 통과한 변조신호가 검출기에서 나오는 전기

신호를 입력원으로 가정한 시뮬레이션을 하였다.

제안된 탐색기는 MATLAB-simulink 상에서 구현 되었으며 레티클에 의한 입력 신호의 변조, 오차 정보를 얻기 위한 사용된 신호처리(복조)부 및 추적루프는 그림 2와 같다.

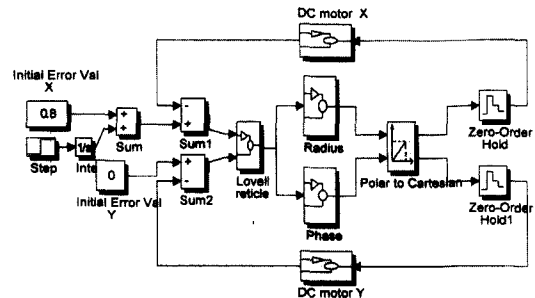


그림 2. 사용된 신호처리부 및 추적루프
Fig. 2. Signal processing part and a tracking loop.

Lovell 레티클을 통해 변조된 신호는 레티클 중심으로부터 방사상 (radial)의 위치 정보와 위상 (phase) 정보를 갖는다. 이 변조 신호는 Radius 블럭과 Phase 블럭으로 나뉘어진 신호처리부를 통해서 상용하는 오차값으로 복조된다. 탐색기의 출력 오차 신호는 DC 모터로 구성된 추적 루프에 전달되면서, 구성된 탐색기의 위치를 이동하도록 한다. 그림 3은 Phase 블럭의 구성을 나타낸 것이다.

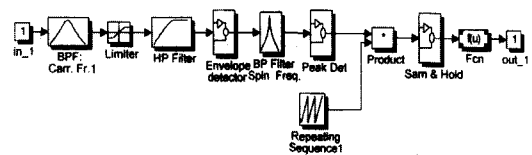


그림 3. Phase 블럭의 구조
Fig. 3. Structure of Phase block.

레티클을 통해 주파수 변조된 신호로부터 표적의 상대적인 위상 위치 정보를 알기 위해서는 일반적인 주파수 변조 복조기법을 사용한다. 구성된 탐색기는 존재하는 표적이 반경에 따라 각각 다른 반송 주파수 (carrier frequency)를 가지기 때문에 레티클의 링 (ring) 개수만큼 대역통과여파기가 필요하다.

임의 위치에 존재하는 표적의 초기 오차에 의해서 Lovell reticle 블럭을 통과하면 오차의 위치에 따라서 각각 다른 주파수 변조된 신호를 얻는다. 표적 신호는 입력 강도에 따른 영향을 배제하기 위하여 리미터

(limiter) 블럭을 통과하며, 주파수 변조 (FM)/진폭 변조 (AM) 복조 기법에 의해 오차 정보를 구한다. 먼저, 주파수 변조된 신호는 대역통과여파기 (BPF)를 통과하고, 주파수 판별기 (frequency discriminator) 로 쓰이는 고역통과여파기 (HPF)를 통과한 다음, 진폭변조 신호로 변환된다. 진폭변조된 신호는 포락선 검파기 (envelope detector)를 통과한 뒤 광학계의 회전 주파수를 중심 주파수로 갖는 대역통과 여파기를 통하여 최종 오차 신호가 발생되고, 이 신호로부터 표적의 위상 정보를 검출한다. 첫번째 대역통과여파기 (BPF)는 배경 및 기타 잡음의 영향을 최소화하기 위한 여파기로서, 2차 Butterworth 형태로 중심주파수는 레티클의 링 수와 광학계의 회전주파수의 곱이며, 10개의 대역통과여파기로 구성되어졌다. 여러 개의 대역통과여파기의 대역폭은 실험에 의해서 결정된 값이다. 주파수 변별기로 쓰이는 고역통과여파기는 차단주파수가 $2 \cdot \pi \cdot 3000$ (rad/sec), 마지막 대역통과여파기는 중심주파수 $2 \cdot \pi \cdot 100$ (rad/sec), 대역폭은 $2 \cdot \pi \cdot 10$ (rad/sec)로 하였다. 레티클의 한주기는 0.01초 (100Hz:1 revolution/0.01 sec)로 했다. 즉 0.01초에 한번씩 오차정보를 얻도록 구성되어 있다.

Lovell 레티클의 반송 주파수 f_c 는 식 (4)에 의해 결정된다.

$$f_c = \text{링의 번지 레티클의 회전 주파수.} \quad (4)$$

그림 4~6에서 단계별로 대표적인 파형을 보고 더 자세한 위상정보 파악의 방법을 소개한다.

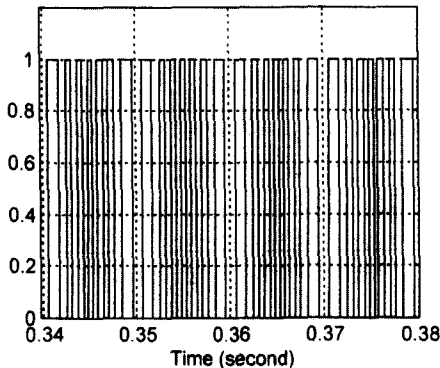


그림 4. 광학변조에 의한 출력
Fig. 4. Output of Reticle.

그림 4에서 주파수 변조된 파형이 0.01초 (rotating period)를 주기로 변화를 갖고 있음을 알 수 있다. 가

로축은 시간축 (sec)이며, 세로축은 정규화된 변조 입력(V)이다.

표적이 방사상의 위치에 따라 다른 반송 주파수를 가지기 때문에 레티클의 링의 개수만큼 대역통과여파기가 필요하다.

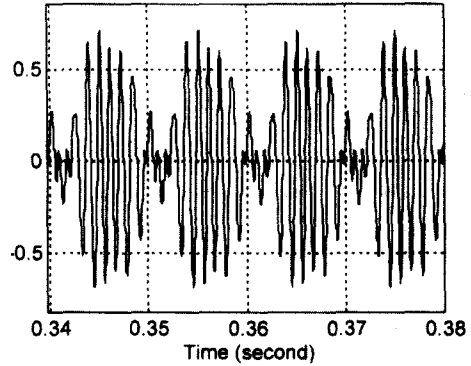


그림 5. 진폭변조된 신호의 출력.
Fig. 5. Output of Amplitude modulated signal.

그림 5는 광학변조에 의해 주파수 변조된 신호를 대역통과여파기에 통과시킨후 진폭변조 (AM)된 신호이다.

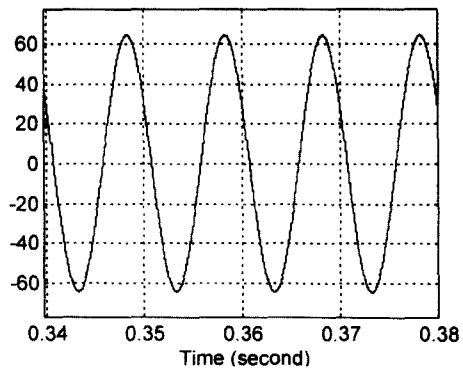


그림 6. 진폭변조된 신호로부터 포락선 검파
Fig. 6. The Envelope detection from Amplitude modulated signal.

그림 6은 진폭 변조된 신호로부터 포락선 검파기를 통과한 후 광학계의 회전 주파수를 중심주파수로 갖는 대역통과여파기를 통하여 나온 출력신호이다. 이 신호의 최대치 (peak point)를 이용하여 위상의 정보를 파악한다. 포락선 검파기에 쓰이는 저역통과여파기 (LPF)및 여러 여파기의 영향으로 출력파형이 충분히 안정화되기 위해서는 약 10회전(0.1초)정도가 소요된

다. 또 이들 여파기의 영향에 의해서 약간의 지연이 있다. 그림 7은 Radius 블록의 구성을 나타낸다.

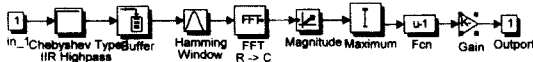


그림 7. Radius 블록의 구조
Fig. 7. Structure of Radius block.

구성된 Lovell 레티클은 표적의 입력 신호를 차단 혹은 통과시키는 링의 개수가 레티클의 반경에 따라 각각 다르다. 따라서 상대적인 위치에 따라 각각 다른 주파수로 변조된다. 우선 DC 성분을 없애기 위해 IIR Chebyshev Type_1의 고역통과여파기를 통과한 후 Hamming 창 (window)를 씌운다. 그리고 표적의 방사상의 위치정보를 구하기 위해 신호를 FFT하고 전력 (power) 스펙트럼 최고치의 인덱스 (index)를 구한 후 이 최종오차값에 의해 방사상의 위치를 파악한다.^[8] 레티클의 회전 주파수는 100Hz로 하였다. IIR Chebyshev Type_1의 차단 주파수는 $2\pi \cdot 0.002$ (rad/sec), 통과대역(passband)에서 3dB 리플 (ripple), 표본화 시간 (sample time)은 0.00003906이며, 창의 길이는 256이며, 256 포인트로 FFT 하였다.

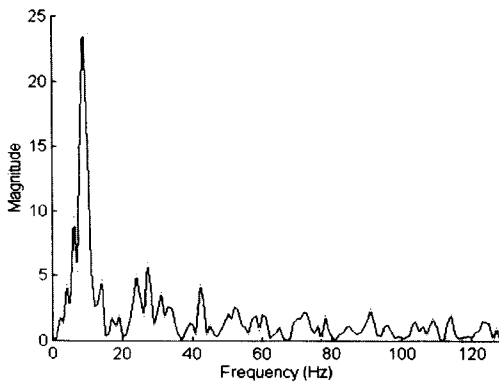


그림 8. 전력(power) 스펙트럼
Fig. 8. Power spectrum.

그림 8은 방사상의 정보를 얻기 위해 레티클에서 나온 출력을 FFT한 후, 전력 스펙트럼의 결과를 보이고 있다. 이 전력 스펙트럼으로부터 진폭 (magnitude)이 최고치를 나타내는 위치에서 방사상의 정보를 얻을 수 있다.

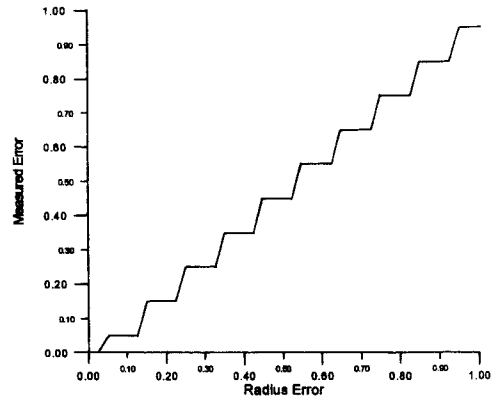


그림 9. 회전 레티클 탐색기의 정적이득 곡선
Fig. 9. Static gain curve of spinning reticle seeker.

그림 9는 추적루프 블록을 배제한 실험에서 표적의 입력오차 대 신호처리 뒤에 얻은 오차값과의 관계인 정적이득 (static gain) 특성을 나타낸 것이다. x축은 레티클의 전체시계 (Total Field of View : TFOV)를 의미하며, y축은 탐색기의 출력 오차를 나타낸다. 전체시계상에서 선형적인 특성을 가지며, 이는 레티클의 시계 (FOV)내 모든 위치에서 표적을 확인하고 인식할 수 있다는 것을 의미한다.

IV. 동적인 상황에서 시뮬레이션 결과 및 분석

본 장에서는 대응능력이 존재하는 경우에 표적이 레티클의 시계 내 모든 위치에서 추적 성능 및 결과를 분석한다. 실험에서 쓰인 레티클의 반경은 1이며, 10개의 링을 갖는다. 전체 시계의 범위는 -1에서 +1로 하였으며 회전 주파수는 100Hz이므로 매 0.01초 마다 오차신호를 얻는 것으로 하였다. 이 추적 루프에서 사용한 DC모터는 근사화된 type_1 형태이다.

1. 단일 표적인 경우 추적 성능 분석

정지하고 있는 표적에 대한 추적 성능을 그림 10에 보인다. 초기 오차가 (0.2, 0), (0.5, 0), (0.8,0)으로 레티클의 시계 내 존재하는 모든 경우에서 실험을 하였다. 가로축은 시간축이며, 세로축은 x 방향에 대한 추적 오차를 나타낸다

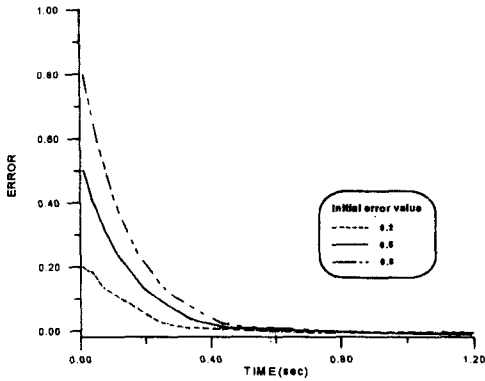


그림 10. 정지 표적의 위치에 따른 추적 성능
Fig. 10. Tracking performance of the stationary target.

그림 10에서 보는 바와 같이 레티클의 전체 시계 내에 있는 모든 표적에 대해서 일정 시간이 지난 후 0 에 가까운 값으로 일정한 오차를 갖고 수렴하는 것을 확인하였다. 이는 구성된 탐색기가 정지한 표적에 대해서 정확하게 추적을 하고 있음을 보인 것이다.

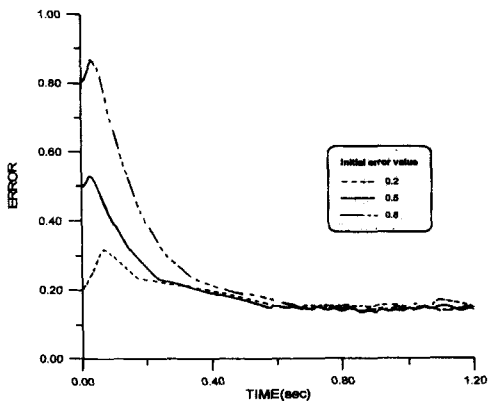


그림 11. 이동 표적의 위치에 따른 추적 성능
Fig. 11. Tracking performance of the moving target.

그림 11은 (0.2, 0), (0.5, 0), (0.8, 0)의 초기 오차를 갖고, 양의 x 방향으로 일정한 속도로 움직이고 있는 표적에 대한 추적 결과를 보여 주고 있다. 0.1초 안에서 일어나는 오차값의 증가는 신호 처리부 여파기의 과도 응답 (transient response) 때문이다. 추적 루프에서 사용한 DC모터는 근사화된 type_1 형태를 사용하기 때문에 일정 시간 후 모두 일정한 오차를 갖고 수렴함을 확인할 수 있다.

그러나 수렴을 할 때 약간의 요동이 있는 것은 여러가지 원인이 있는데 각링의 이득 (gain)이 서로 다르기 때문에 각 링에 따라 DC모터에서의 이득이 서로 다르기 때문이다.

2. 섬광탄 (flare)이 존재하는 경우 추적 성능 분석
본 절에서는 대표적인 대응능력인 섬광탄과 일정 속도로 움직이는 표적이 함께 존재하는 상황 하에서의 추적 성능을 알아 본다.

표적은 초기오차(0.5, 0)에서 양의 x방향으로 일정한 속도로 움직이는 것으로 가정하였다. 대상 표적의 10배의 강도를 가지는 섬광탄이 0.5초 후 터지며, 섬광탄은 표적의 이동 속도에 비해 x방향으로 0.1, y방향으로 1배의 속도로 움직인다. 이런 상황에서의 추적 성능을 그림 12에 보인다.

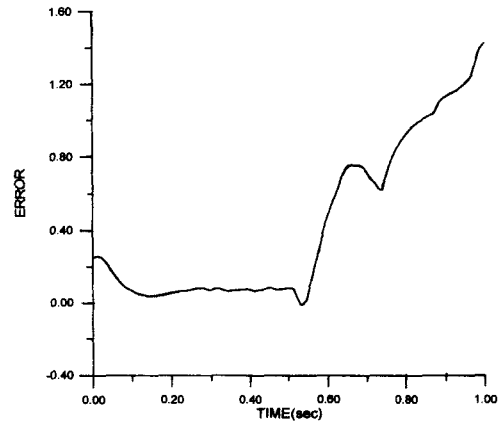


그림 12. 섬광탄이 존재 시 추적 성능
Fig. 12. Tracking performance of existing the flare.

섬광탄의 강도가 표적에 비해 상대적으로 강하기 때문에 탐색기는 표적 대신 섬광탄을 추적한다. 탐색기의 시계 상에서 두 표적이 존재하는 경우, 원래 표적이 가지고 있는 변조 특성을 잃어 버리게 되어 상대적으로 큰 표적의 위치에 단일 표적이 있는 것과 같은 오차 신호를 발생시킴을 확인할 수 있었다. 이러한 분석 결과로부터 기존의 신호처리 기법에 의해서는 섬광탄이 터진 직후부터 상대적으로 강도가 큰 섬광탄쪽으로 유도탄의 궤적이 이동함을 알 수 있다.

V. 효율적인 반대응 신호처리 기법

본 장에서는 기존의 적외선 레티클 탐색기의 가장 큰 단점, 즉, 첫째, 표적이 다수일 경우 원래의 표적을 효율적으로 추적할 수 없다는 점, 둘째 대응능력으로 섬광탄을 이용할 때 이에 대해 매우 민감한 반응을 보이는 점을 해결하기 위해 효과적으로 대처할 수 있는 반대응 기법을 제안한다. 섬광탄 존재 시 고려사항은 다음과 같이 크게 네가지로 나누어 볼 수 있다.

첫째, 시간적 신호 변화 경우 섬광탄이 아닌 표적의 (고의적인) 방사량 변화일 수도 있음을 역시 고려하여야 한다. 둘째, 대역 차이 (spectral differences)로 이는 섬광탄에 비해 표적의 온도가 낮음에 착안하여 탐색기에 하나 이상의 다른 검출기를 쓰거나 하나의 검출기와 다른 대역통과여파기를 사용하여 스펙트럼 대역을 사용하는 것을 말한다. 셋째, 궤적 차이 즉, 운동학적 측면으로 표적과 섬광탄의 서로 다른 운동방식을 구분하는 것이다. 표적의 경우 직선운동 (straight-line course)이나 선회 (turning maneuver), 정지 (stationart mode, hovering helicopter) 등의 운동방식이 있을 수 있고, 반면 섬광탄은 탄도궤적 (ballistic trajectory), 중력과 항력 (gravitational & drag force) 등이 고려된다. 넷째, 공간적 크기와 분포로 이는 영상(열상)을 얻을 수 있는 주사 (scanning)나 초점면배열 (focal plane array) 탐색기에서 고려할 수 있는 사항이다.

위에서 열거한 방법^[16-18] 중 본 논문에서는 정해진 시간 내에 섬광탄 대 표적 (Flare to Target : F/T)의 에너지 비율이 2:1 이상인 문턱치를 넘어서거나, 입력 신호의 진폭이 급격한 신호의 증가가 일어나는 경우, 탐색기의 시계 안에 섬광탄이 존재하는 것으로 간주하여 제안된 반대응 능력을 동작시킨다.

제안한 반대응 기법을 적용시킬 수 있는 경우는 표적이 레티클의 중심부 안에 위치하였을 경우, 즉 탐색기가 정확하게 표적을 추적하는 경우 섬광탄이 존재한다는 가정하에 알고리즘과 그 시뮬레이션을 하였다. 제안한 기법은 표적의 위치 정보를 얻기 위한 방법으로 첫째, 방사상의 위치 정보와 둘째로 위상의 위치정보를 얻는 방법으로 나누었다.

우선 방사상의 위치정보를 얻기 위해 섬광탄과 같은 반대응 능력이 레티클의 시계 중심부안에 존재하는 경우와 다중 표적 및 섬광탄과 같은 반대응 능력이 시

계 중심부에서 조금 떨어진 부분에서 존재하는 두 상향으로 구분하여 반대응 기법을 제안한다. 전자와 같이 섬광탄이 시계의 중심 부근에 존재하면 이전 정보의 평균치의 차분 (difference) 방법을 이용하여 섬광탄과 표적을 분리시켜 섬광탄을 중심부에서 떨어뜨린다. 후자와 같이 중심부에서 조금 떨어진 부분에 섬광탄이 존재하면 대역 폭과 중심 주파수를 시계의 중심 부근에 위치하도록 대역통과여파기를 설계한 후 이 대역통과여파기를 이용하여 중심부근의 정보만을 이용하고 중심 밖의 섬광탄과 다른 표적의 정보를 무시하는 방법을 사용한다.

그림 13은 위상은 일정하게 상수로 놓고 방사상의 정보만 이용하고, 표적에 비해 에너지는 7배가 큰 섬광탄이 0.45초, 표적과 비례적으로 x방향으로 0.35분리된 위치에 존재한다는 가정 하에 실험한 것을 보여 주고 있다.

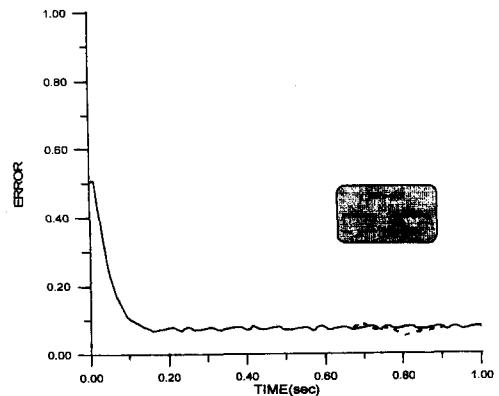


그림 13. 대역통과여파기를 사용한 반대응능력
Fig. 13. CCM using the BPF.

대역통과여파기를 사용했을 경우 원래 표적 신호의 특성을 어느 정도 유지하는지를 그림 13의 실험을 통해 확인한다. 실선은 섬광탄이 존재하지 않는 경우 x 방향으로 일정하게 움직이는 표적을 추적한 결과이고, 점선은 섬광탄이 존재하는 경우 표적을 추적한 결과이다. 섬광탄이 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우의 차이가 나타나는 시간은 0.65초에서 0.9초로 아주 작은 차이를 보이고 있으며, 이 외의 시간은 서로 같음을 확인할 수 있다. 즉, 대역통과여파기를 사용하여도 표적의 특성이 유지되는 것을 확인할 수 있다.

위상의 위치 정보를 얻기 위한 방법으로 이전 정보의 평균치의 차분을 이용한다. 제안된 기법은 일련의

전 신호들을 이용하여 평균치를 취한 후, 표적이 어느 정도로 유동을 가지고 움직이는지를 파악하여, 얻어진 유동치를 계속적으로 차분을 함으로써 섬광탄의 영향을 배제하는 방법이다.

임의의 시간에 검출기로 부터의 전기적인 출력 신호 $V(t)$ 는 식 (5)와 같다.

$$V(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\bar{x}, t) s(\bar{x}, t) d\bar{x} \quad (5)$$

여기서 좌표 축에 따라 $\bar{x} = (x, y)$, (ρ, θ) , $r(\bar{x}, t)$ 는 레티클 투과특성, 는 표적의 방사분포(radiation distribution)이다^[4].

인접 오차의 위상 변화량은

$$\Delta\theta = \frac{\theta_n - \theta_{n-1}}{\theta_n - \theta_{n-1}} \quad (6)$$

으로 나타낼 수 있다.

일련의 인접 신호들 간의 평균치는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{ave} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^N \Delta\theta \quad (7)$$

최종적인 오차값은

$$\theta_{err} = \theta_{n-1} - \theta_{ave} \quad (8)$$

이다.

인접 신호간의 위상의 변화량도 위와 동일한 방법을 취한다. 반대응능력이 동작할때 최종적인 오차값은

$$\begin{aligned} X &= r_{err} \cos \theta_{err} \\ Y &= r_{err} \sin \theta_{err} \end{aligned} \quad (9)$$

이다.

탐색기를 통해 표적을 추적할 경우 섬광탄이 존재하지 않으면 미사일은 표적의 위치 정보를 계속 유지하면서 추적을 계속하고, 섬광탄이 존재하면 메모리에 저장되어 있는 위치 정보를 이용하여 표적의 운동 방향의 변화를 추적한다.

그림 14는 표적은 초기오차 (0.5,0), (0.8,0)에서 양의 x방향으로 일정한 속도로 움직이는 것으로 가정하며, 섬광탄은 0.7초후 움직이는 표적에서 x방향으로 0.35(실선), 0.65(점선) 떨어진 위치에서 존재한다고 가정하였다. 제안한 방법을 통해 섬광탄이 존재하는 상황 하에서 섬광탄의 영향을 받지 않고 효과적으로 표적을 추적함을 그림 14에서 확인하였다.

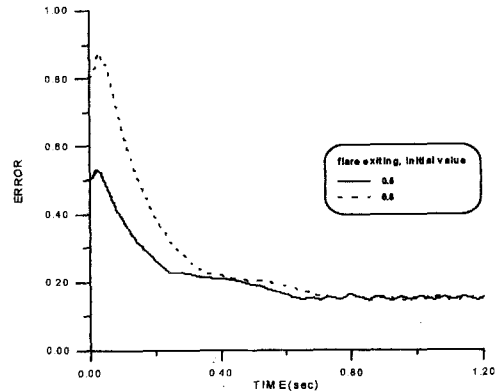


그림 14. 섬광탄이 존재하는 상황에서 제안한 반대응능력의 추적 성능(1)

Fig. 14. Tracking performance of a proposed CCM of existing the flare(1).

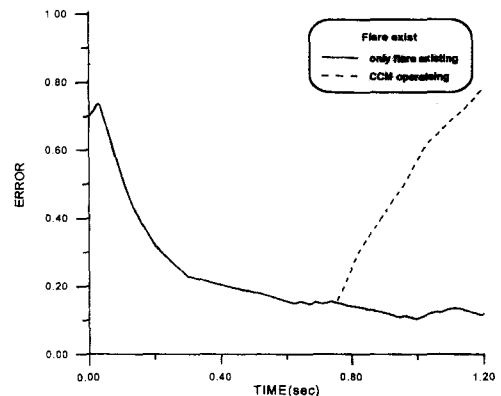


그림 15. 섬광탄이 존재하는 상황에서 제안한 반대응능력의 추적 성능(2)

Fig. 15. Tracking performance of a proposed CCM of existing the flare(2).

그림 15는 표적은 초기오차 (0.7, 0)에서 양의 x방향으로 일정한 속도로 움직이는 것으로 가정하며, 섬광탄은 0.75초 후 움직이는 표적에서 x방향으로 0.1, y방향으로 1의 속도로 움직인다고 가정하였다. 섬광탄이 레티클의 중심부근 즉, 표적을 정확하게 추적 하는 상황에서 섬광탄의 위치가 표적과 아주 가까운 경우이다. 이와 같은 상황에서는 이전 평균치차분 방법을 이용해서 우선 표적신호와 섬광탄 신호를 분리시킨후 대역통과여파기를 사용하여 표적 특성을 유지시킨다. 점선은 섬광탄이 존재하는 상황을 나타내는 것이고, 실선은 이 상황에서 반대응능력이 동작하는 것이다.

제안한 방법을 통해 섬광탄이 존재하는 상황 하에

서 섬광탄의 영향을 받지 않고 효과적으로 표적을 추적함을 그림 13-15의 시뮬레이션 결과로부터 확인하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 추적 루프를 포함한 동적인 시뮬레이션이 가능하며, 다양한 상황에서 적외선 레티클 탐색기의 성능을 분석하고 효율적인 신호처리 기법을 연구하는데 필수적인 틀을 개발하였다. 개발된 시뮬레이션 틀을 이용하여 회전 주파수변조 레티클 탐색기의 다양한 성능 평가가 이루어졌으며, 대응능력에 효과적으로 대처할 수 있는 신호처리 기법을 제안하였다. 표적과 약간 떨어진 부근에 섬광탄이 존재하면 대역통과 여파기를 사용하여 원래 표적의 특성을 유지시키고, 표적 근처에 존재하면 이전 평균치 차분 방법을 사용하여 표적과 섬광탄을 분리시킨 후, 대역통과여파기를 이용하여 계속 표적을 추적하도록 한다.

본 논문에서는 섬광탄이 존재하는 상황에서 제안된 방법이 효율적으로 대응능력의 영향을 배제하면서 표적을 정확하게 추적함을 개발된 시뮬레이션 틀 상에서 확인하였다.

개발된 동적 시뮬레이션 틀을 이용하여 회전 레티클 탐색기에 대한 실험을 하드웨어 구현없이 간단하게 구성할 수 있으며, 대상 레티클 탐색기의 추적 성능을 예측, 분석하는데 매우 효과적으로 적용될 수 있다. 또한 본 시뮬레이션 틀을 사용하여 좀더 다양한 능동적 대응능력, 즉 재밍(jamming)이 존재하는 상황에서 효율적인 신호처리부 구현하기 위한 연구가 계속될 것이다.

감사의 글

※ 본 연구는 국방과학연구소 및 서울대 자동제어 특화연구센터의 연구비 지원에 의한 연구 결과입니다. 또한 본 연구를 위해 지도와 도움을 아끼지 않으신 국방과학 연구소 유인억 선임연구원께 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 久野治義, 赤外線工學, 日本電子情報通信學會,

1994.

- [2] Jeffrey S. Sanders, Ronald G. Driggers, Carl E. Halford and Steven T. Griffin, "Imaging with Frequency-modulated Reticle," *Opt. Eng.*, vol.30, no.11, pp.1720-1724, Nov. 1991.
- [3] 배장근,전상우,김수중, "적외선영상구성을 위한 주파수-시간 합성 회전격자의 제안," *한국통신학회논문지*, vol.20, no.2, pp.409-419, 1995.
- [4] Accetta Eds., *The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook*, SPIE press, Michigan, 1993.
- [5] Richard D. Hudson, JR. *Infrared System Engineering*, Wiley-Interscience, 1969.
- [6] May and M. E. Van Zee, "Electro-Optic and Infrared Sensors," *Microwave Journal*, pp.121-131, Sept. 1983.
- [7] Buttweiler, "Optimum Modulation Characteristics for Amplitude-modulated and Frequency-modulated Infrared Systems," *J. Opt. Soc. Am.*, vol.51, no.9, pp.1011-1015, Sept. 1961.
- [8] Carpenter, "Comparison of AM and FM Reticle Systems," *Appl. Opt.*, vol.2, no.3, pp.229-236, Mar. 1963.
- [9] Craubner, "Digital Simulation of Reticle Systems," *Opt. Eng.*, vol.20, no.4, pp. 608-615, Apr. 1981.
- [10] Gustaf Olsson, "Simulation of Reticle Seekers by means of an Image Processing System," *Opt. Eng.*, vol.33, no.3, pp.730-736, Mar. 1994.
- [11] Chao and J. L. Chu, "Parameter Analysis for Frequency-modulation Reticle Design," *Opt. Eng.*, vol.27, no.6, pp.443-451, Jun. 1988.
- [12] R. G. Driggers, C. E. Halford and G. D. Boreman, "Parameters of Spinning AM Reticles," *Applied Opt.*, vol.30, no.19, pp.2675-2684, July 1991.
- [13] R. G. Driggers, C. E. Halford, G. D. Boreman and D. Lattman, "Parameters of spinning FM reticles," *Applied Opt.*, vol.30, no.7, pp.887-895, Mar. 1991.
- [14] R. G. Driggers, "Discrete Frequency-Versus-Radius Reicle Trackers," *Sensors and Systems for Guidance and Navigation*,

- Proc. SPIE, vol.1478, pp.24-32, 1991.
- [15] Jams S. Taylor and Ronald G. Driggers, "Tracking with two Frequency-modulated Reticle," *Opt. Eng.*, vol.32, no.5, pp.1101-1106, May 1993.
- [16] Maj Craig and M. Deyerle, "Advanced Infrared Missile Counter-Countermeasures," *Journal of Electronic Defense*, pp.47-50, Jan. 1994.
- [17] 한성현, 홍현기, 최중수, "적외선 레티클 탐색기의 동적 시뮬레이션 및 효율적인 반대응 알고리즘," *한국통신학회논문지*, vol.21, no.12, pp. 3165-3173, 1996.
- [18] K.C.Heaton, J.R.Evans and H.Cere, "The Development of Genenic Infrared Seeking Missile and Counter-Measures Models," *Proc. of the 1990 Summer Computer simulation conference*, pp.999-1006, July 1990.
- [17] 한성현, 홍현기, 최중수, "적외선 레티클 탐색기의 동적 시뮬레이션 및 효율적인 반대응 알고리즘," *한국통신학회논문지*, vol.21, no.12, pp. 3165-3173, 1996.

 저 자 소 개

金 善 國(正會員)

1968년 5월 3일생. 1995년 2월 청주대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 8월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 현재 LG 정보통신(주) 연구원으로 근무 중. 주관심 분야는 적외선 신호처리 및 광 변조 등임.

洪 顯 基(正會員)

1968년 8월 2일생. 1993년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 8월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 주관심 분야는 적외선 신호처리 및 광변조, 컴퓨터 시각, 영상 처리 등임.

韓 成 鉉(正會員)

1968년 7월 26일생. 1990년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 현재 인덕대학 소프트웨어개발과 전임강사로 재직중. 주관심 분야는 영상처리 및 부호화, 광 변조, 적외선 신호처리 등임.

崔 宗 秀(正會員)

1949년 5월 3일생. 1975년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1977년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1978년 서울대학교 대학원 박사과정 중퇴. 1981년 일본 Keio대학 전기공학과 박사학위 취득. Aloka(주) 연구소 연구원, 1981년 9월 ~ 현재 중앙대학교 전자공학과 교수로 재직 중. 주관심 분야는 적외선 신호처리, 컴퓨터 시각, 영상 압축 및 영상 처리 등임.