

다중 표적에 대한 적외선 레티클 탐색기의 오차 신호 분석

正會員 韓 成 鉉*, 洪 顯 基*, 崔 宗 秀*

Analysis of the Error Signals for Infrared Reticle Seekers in Multiple Targets

Sung Hyun Han*, Hyun Ki Hong*, Jong Soo Choi* *Regular Members*

※본 연구는 서울대학교 자동제어특화연구센터의 지원으로 수행된 것입니다.

요 약

레티클을 이용하는 적외선 탐색기는 검출기를 하나만 쓰므로 저가이며 소형인 장점으로 많이 사용되어 왔다. 그러나 이러한 레티클 탐색기의 오차 신호 해석 및 다중 표적의 영향에 대한 분석은 간단한 패턴의 레티클에 대해서 수학적 모델링에 의해 제한적으로 이루어졌다. 이 논문에서는 영상처리 기법과 신호처리 기법을 도입하여 레티클 탐색기의 표적 신호 검출 및 신호처리 결과를 보이며, 특히 다중 표적에 대한 영향을 분석하였다. 이 연구 결과는 레티클 탐색기를 실제 구현하는 경우 다양한 상황에 적응적으로 대처할 수 있는 신호처리부 설계에 필수적이다.

ABSTRACT

Infrared seekers using reticles with a single detector have been widely used due to small size and low cost. However, the analysis of the error signals and the performance in multiple targets are performed either simplistically or not at all. In this paper, we present detector signals and signal processing results using image and signal processing techniques, especially performance analysis in multiple targets. The simulation results are essential to make the advanced signal processing part of reticle seekers which can deal with various engagement scenarios.

I. 서 론

레티클(reticle)을 장착한 적외선 탐색기는 검출기를 하나만 쓰므로 저가이며 소형인 장점으로 1960년대부터 많이 사용되어 왔다. 여기서 레티클은 검출기 앞에 장착되어 집속 수광된 표적의 적외선 신호를 변조하는 일종의 광학 여파기이며, 배경 신호에 비해 상

*중앙대학교 전자공학과
論文番號: 96059-0210
接受日字: 1996년 2월 10일

대적으로 작은 표적 신호를 적절한 신호처리 기법을 통해 분리하고 표적의 위치 정보를 유도탄의 유도 장치에 제공한다.

레티클을 이용한 광학 추적기에 대한 연구는 1960년대까지 많이 이루어졌으며[1-3] 최근에는 영상처리 기술과 신호처리 기술의 발달로 레티클 시스템에 대한 다양한 시뮬레이션 모델이 등장하고 있다.

Craubner[4]는 입력과 레티클을 표본화하여 벡터열의 행렬로 놓고 레티클을 해석하였으며, Porras 등[5]은 탐색기의 입력 신호가 정규형인 경우의 출력 신호를 분석하였고, Anderson 등[6]은 입력이 점원이나 복잡하면서 큰 신호일 때 푸리에(Fourier) 변환과 영상처리 기법을 이용하여 광학 추적기의 모델링을 제시하였다. 그리고 Olsson[7]은 영상처리 시스템과 신호처리 기법을 이용하여 시뮬레이션 모델을 제시하였다. 또한 Chao 등[8, 9]은 간단한 형태의 표적과 주파수변조 레티클에 대한 수학적 모델링을 제시하였고, 최근에는 다양한 패턴을 갖는 회전 진폭변조, 주파수변조 레티클에 대한 연구가 이루어지고 있다[10-12].

레티클 탐색기의 가장 큰 단점 중의 하나는 표적이 다수일 경우 원하는 표적을 효율적으로 추적할 수 없다는 것이다. 또한 섬광탄 같은 대응(countermeasure)에 매우 민감한 단점을 가지고 있다[13, 14]. 다중 표적에 대한 레티클 탐색기의 연구는 간단한 패턴의 레티클에 대해 수학적 모델링에 의해 제한적으로 이루어졌다. 이 논문에서는 다양한 영상처리 기법과 신호처리 기법을 도입하여 레티클 탐색기의 다중 표적에 대한 신호 검출 및 그 영향을 분석하였다.

II. 적외선 레티클 탐색기

적외선 탐색기는 미사일의 유도 방식 중 하나인 호밍(homing) 유도를 위해 적외선 특성을 이용하여 대상 표적을 찾고, 확인, 포착, 추적한다. 여기서 탐색기의 출력 신호는 대상 표적의 방향(위치) 정보이며, 이 정보는 미사일의 유도 장치에 전달되어 표적 추적이 이루어진다. 탐색기의 구성은 수광부, 검출부, 표적 신호처리부, 표적 추적부, 표적 추적장치, 표적 신호송신부 등이고, 수광부는 단소자에서 다소자 열상(thermal imaging)으로 대체되고 있다.

고려하는 표적의 형태와 크기, 표적 신호처리부의

대역폭 등에 따라 레티클의 종류와 형태가 결정된다. 레티클 탐색기는 레티클이 회전하는 방식과 레티클이 고정된 상태에서 광학계가 회전하는 방식이 있다. 레티클에 의해 변조된 입력 신호는 레티클 패턴, 표적의 위치, 운동 방식에 따라 진폭 변조, 주파수 변조, 진폭/주파수 변조, 펄스폭 변조된 형태가 된다.

그림 1은 이 논문에서 대상으로 하는 광학계가 회전하는 고정 레티클 탐색기이다. 오목/볼록 반사경으로 구성된 카세그레인(Cassegrain)형의 광학계를 통과한 표적 신호는 레티클을 거쳐 변조된 뒤 검출기에 의해 전기적인 신호로 변환된다. 이 신호는 적절한 신호처리 기법에 의해 복조되며, 복조된 신호를 해석함으로써 미사일과 표적의 상대적 위치 정보인 오차 신호가 얻어진다. 이러한 오차 신호는 표적 추적시 미사일의 궤도를 수정하는 중요한 정보로 이용된다.

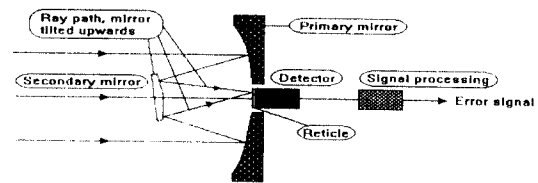


그림 1. 고정 레티클 탐색기
Fig. 1 Fixed reticle seeker.

2차 반사경이 기울어져 회전하므로 표적은 레티클 패턴 위에서 원형의 경로를 갖는다. 표적이 레티클의 중심과 같은 축상에 있을 때 반송파 주파수를 갖는 비변조 신호를 얻게 되며, 그렇지 않을 경우 오차의 크기에 따라 오차 정보를 갖고 있는 주파수변조나 진폭변조된 신호를 얻게 된다. 보통 기하학적 오차가 적은 경우에는 주파수변조 신호를, 클 때는 진폭변조 신호를 발생시킨다.

III. 웨곤힐 레티클 탐색기의 시뮬레이션

레티클 탐색기를 시뮬레이션하기 위해서는 표적 신호의 형태와 수, 광학적 영향, 대기 특성, 표적과 탐색기의 상대적인 거리, 레티클과 광학 시스템의 운동 방식, 레티클 패턴, 레티클의 수 등과 같은 매개변수가 고려되어야 한다.

1. 시뮬레이션 절차

표적 신호는 2차원 영상으로 구성하여 광학 시스템에 따른 영향과 대기 특성 등을 표적 영상에 적용하기 용이하도록 하였다. 움직이는 표적과 섬광탄 같은 대응능력도 쉽게 구성이 가능하다. 그리고 표적의 운동 방식에 대한 모델링을 통하여 일정 시간 동안 레티클을 거쳐 검출기로 입력되는 표적 신호가 결정된다.

레티클의 매 회전마다 신호처리를 통해 오차 신호는 표적의 상대적인 위치로 변환되며, 이러한 과정이 반복된다. 레티클 혹은 광학계가 회전하면서 탐색기의 고려 영역은 전체 시계에서 순시 시계로 바뀐다. 그림 2는 전체적인 시뮬레이션 절차를 나타낸다.

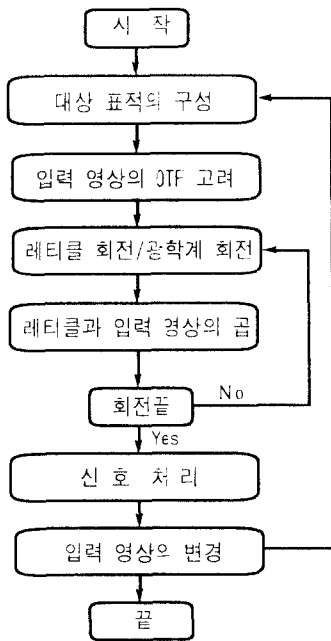


그림 2. 전체적인 시뮬레이션 절차
Fig. 2 The steps in the simulation.

2. 표적 영상

다양한 크기와 형태, 개수를 가지는 표적을 대상으로 하였으며, 광학 시스템의 영향을 반영하는 광학 전달함수를 정규 함수로 근사화된 점확산함수로 표현하였다[15].

3. 레티클

시뮬레이션에서 사용된 레티클은 종래에 가장 많이 쓰이고 있는 웨곤휠(wagon wheel) 패턴이다. 그림 3은 시뮬레이션에 사용된 웨곤휠 레티클의 패턴과 대상 표적이다. 레티클은 240×240 화소, 반경은 120화소이며, 16개의 스포크 중 투명한 8개는 입력되는 방사광을 모두 통과시키는 부분이며, 검은 8개는 입력 신호를 차단시키는 불투명한 부분이다. 가운데의 4개의 원은 오차가 많을 경우 레티클 중심 부근에서 신호를 얻기 위해 추가된 패턴이다. 회전 경로 반경은 레티클 반경의 67%인 80으로 하였다. 표적은 반경이 5이고 점확산함수를 적용하였다.

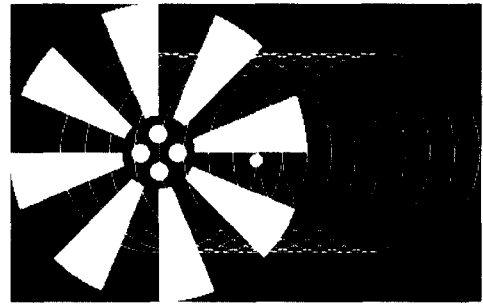


그림 3. 웨곤휠 레티클 패턴과 대상 표적
Fig. 3 Wagon wheel reticle and the target.

그림 4는 위상은 모두 0°이며 방사상의 기하학적 오차가 다른 경우 웨곤휠레티클을 통과한 검출기 신호와 DC를 제거한 DFT결과를 나타낸다. 매 1° 간격으로 검출기 신호를 얻었으며, 오차가 작을 경우에는 주파수변조 신호가 발생되지만 오차가 클 경우 진폭변조 신호가 발생됨을 알 수 있다.

4. 검출기 신호의 복조

이렇게 얻어진 신호로부터 오차를 검출하기 위한 복조 신호처리기는 통상의 FM 복조 기법과 위상 검출기를 사용한다. 여기서는 우선 주파수변조된 신호를 진폭변조 신호로 변환해준 뒤 AM 복조 기법을 사용하여 변조된 신호를 위상 검출하였다. 그림 5는 사용된 복조 블럭도이다.

첫번째 대역통과여파기는 중심주파수가 반송파 주

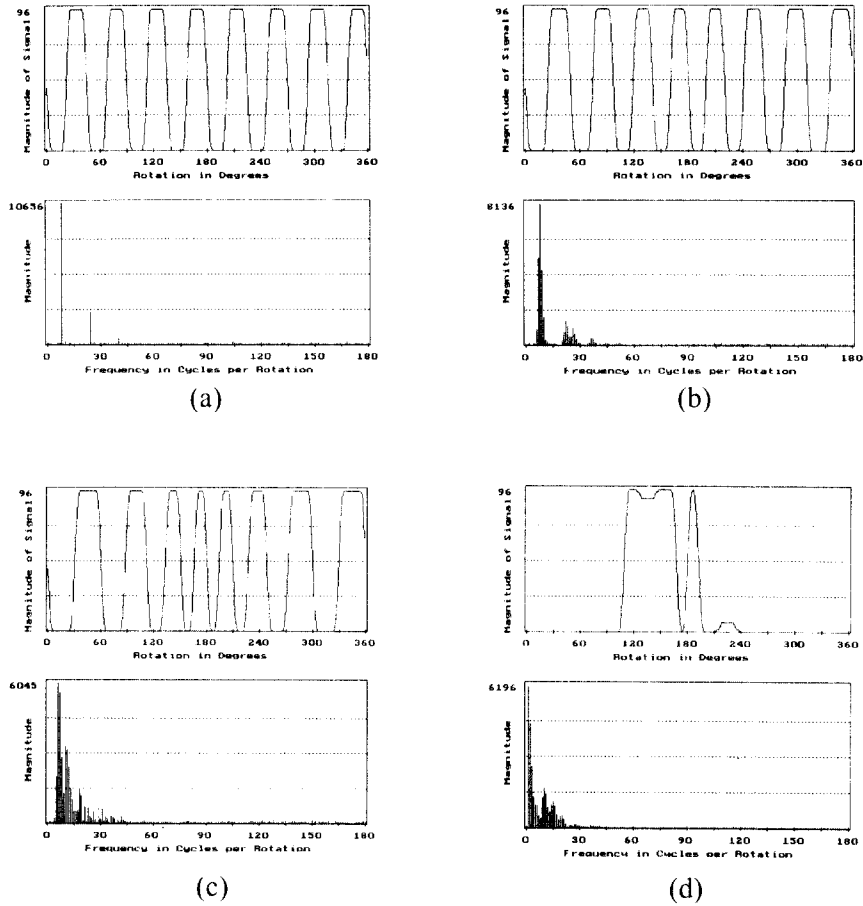


그림 4. 방사상 위치가 다른 표적에 의해 얻어진 검출기신호

(a)0 (b)10 (c)30 (d)120

Fig. 4 The obtained detector signals with the targets of various radial positions.

(a)0 (b)10 (c)30 (d)120

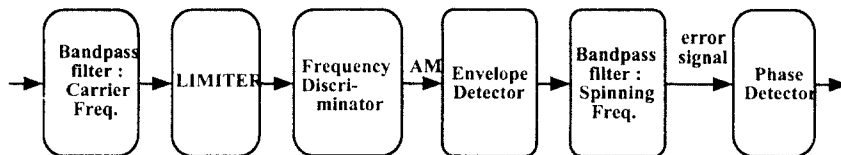


그림 5. 사용된 복조 기법

Fig. 5 The block diagram of the demodulation.

파수를 갖도록 하였으며 이 때, 반송파 주파수 f_c 는

$$f_c = \text{스포크 수} \times \text{레티클 회전주파수} \quad (1)$$

로 주어진다. 제한기와 주파수 판별기를 통과한 신호는 진폭변조된 신호가 되며, 포락선 검파기를 거쳐서 복조된 뒤 레티클 회전주파수의 중심주파수를 갖는 대역통과여파기를 통과한다. 이 신호는 최종 오차 신호를 얻기 위해 위상 검출기에 입력된다.

방사상으로 기하학적 오차가 각기 다른 경우에 대해서, 그림 5와 같은 신호처리 기법을 통해 얻은 검출기 신호들을 그림 6에 나타내었다. 구형과는 제한기를 통과한 신호이며, 주기적인 파형은 주파수 판별기를 통과한 신호, 굵은 선은 필터링된 신호를 포락선 검파한 신호이며, 그 아래의 부드러운 곡선이 오차 신호이다. 이 신호의 위상을 검출하여 최종 오차 신호를 얻는다. 그림 6의 결과로부터 웨곤휠 레티클의 기하

학적 오차 대 복조 뒤에 얻은 오차 값의 특성(정적이든특성)은 회전 경로가 전체 시계 안에 들어가는 구간에서는 비교적 선형적인 특성을 나타냄을 확인할 수 있었다[13]. 그러나 그 밖의 영역에서는 표적의 크기와 형태에 따라 불규칙적인 오차 특성을 나타낸다.

표적의 위치가 정적이든특성의 선형 영역인 방사상으로 20, 위상이 90° 씩 차이나는 경우 계산된 오차 값을 표 1의 왼쪽 상단에 나타냈다. 각각의 경우 표적의 좌표에 따른 비례적인 오차 신호가 발생됨을 알 수 있다.

IV. 다중 표적에 대한 검출기 신호와 오차 신호의 분석 및 검토

이 장에서는 III장에서 기술한 레티클 탐색기에 대해 다중 표적이 존재하는 경우 검출기 출력 신호 및 오차 신호를 분석한다. 표적의 반경은 5와 8로 하였

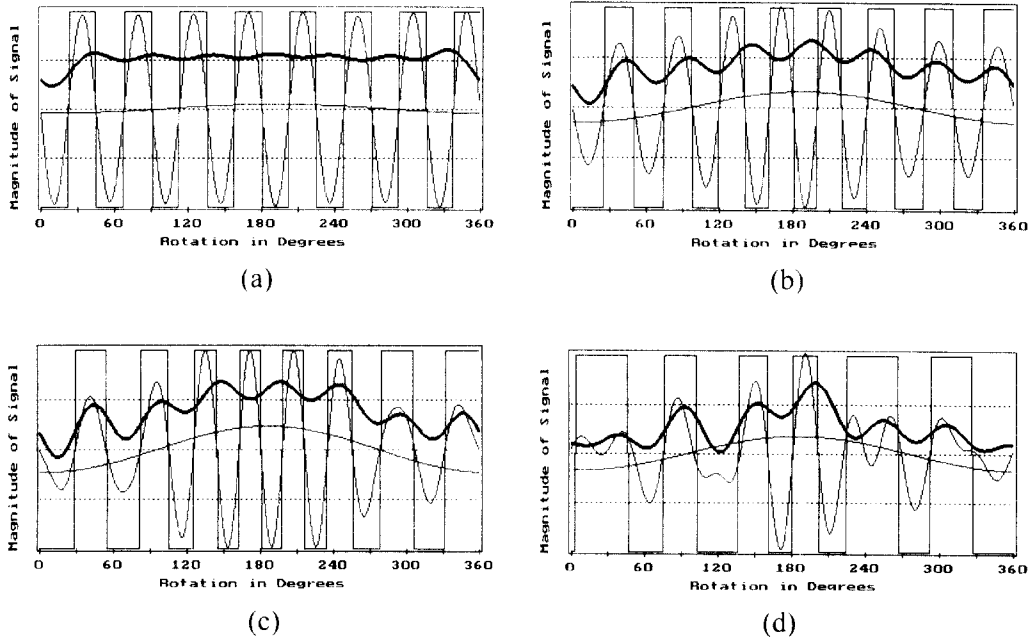


그림 6. 방사상위치가 다른 표적에 대한 복조결과

(a)0 (b)10 (c)20 (d)80

Fig. 6 Results of signal processing with the targets of various radial positions.

(a)0 (b)10 (c)20 (d)80

표 1. 웨곤휠 레티클의 오차 값

Table 1. The errors of the wagon wheel reticle.

같은 크기의 표적								다른 크기의 표적							
표적 1			표적 2			오차 신호		표적 1			표적 2			오차 신호	
크기	좌표		크기	좌표				크기	좌표		크기	좌표			
	X	Y		X	Y	X	Y		X	Y		X	Y	X	Y
5	20	0	-	-	-	5.3	0.6								
5	0	20	-	-	-	-0.2	5.0								
5	-20	0	-	-	-	-4.0	-0.3								
5	0	-20	-	-	-	0.5	-5.0								
5	20	0	5	0	20	1.8	2.0	5	20	0	8	0	20	0.3	4.0
5	20	0	5	-20	0	1.1	0.2	5	20	0	8	-20	0	-3.9	-0.3
5	10	0	5	20	0	4.4	0.7	5	10	0	8	20	0	4.9	0.7
5	5	0	5	20	0	3.8	0.6	5	5	0	8	20	0	4.4	0.7
5	20	0	5	17	10	4.6	1.8	5	20	0	8	17	10	4.4	2.5
5	20	0	5	10	17	3.7	2.7	5	20	0	8	10	17	2.9	3.5

으며 위치는 모두 레티클 정적이특색성의 선형 영역 내에 위치하도록 하였다.

1. 같은 크기의 두개의 표적에 대한 결과

같은 크기(크기 5)의 표적 두개가 (20, 0), (0, 20) 좌 표상에 존재할 경우에 대한 검출기 신호와 DFT 결과를 그림 7에 나타냈다. 다양한 위치에 두개의 표적이 존재할 경우의 오차값의 결과는 표 1의 왼쪽 하단에

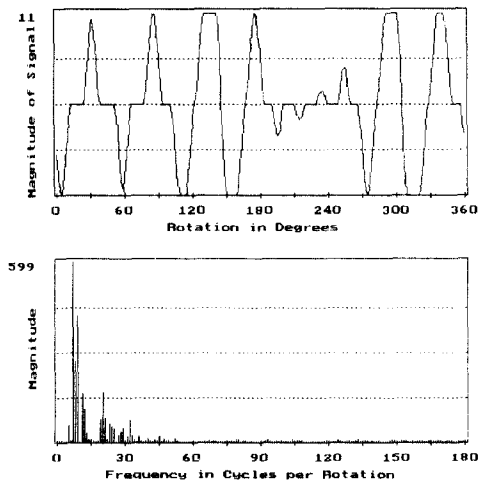


그림 7. 같은 크기의 두개의 표적에 대한 검출기 신호
Fig. 7 The obtained detector signal with two targets of the same intensity.

나타내었다. 모든 경우 얻어진 오차는 두 표적의 중간에 한개의 표적이 있는 것 같은 값을 알 수 있다.

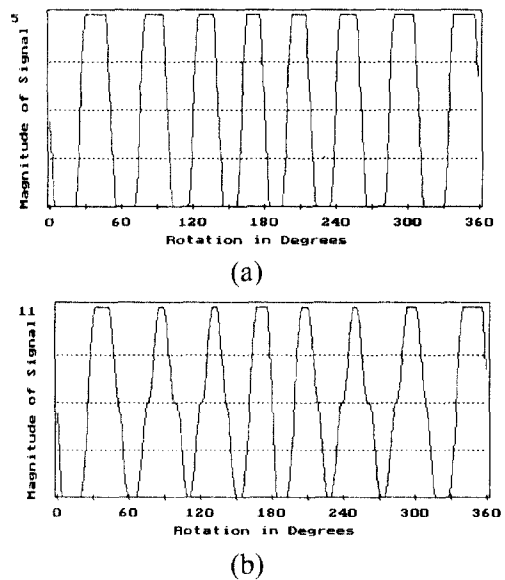


그림 8. 한개의 표적과 두개의 표적의 검출기 신호 비교
(a) 위치:(12, 0), 오차:(3.6, 0.6)
(b) 위치:(5, 0) & (20, 0), 오차:(3.8, 0.6)
Fig. 8 Comparison of the errors for one and two targets.
(a) position:(12, 0), error:(3.6, 0.6)
(b) position:(5, 0) & (20, 0), error:(3.8, 0.6)

그림 8은 두개의 표적에 대한 오차 값과 두 표적의 중간에 한개의 표적이 있을 경우를 비교하기 위한 것이다. 그림 8(a)와 (b)의 결과를 비교해 보면 (a)의 표적은 (b)의 두개의 표적 중간에 위치하고 있다. 이때 오차 값은 거의 유사한데 이는 같은 크기의 표적이 두개 있을 경우 웨곤힐 레티클 탐색기의 오차는 두 표적의 중간에 하나의 표적에 대한 오차를 일으킨다는 것이다.

2. 다른 크기의 두개의 표적에 대한 결과

다른 크기(크기는 5와 8)의 표적 두개가 다른 위치에 존재할 경우의 결과를 그림 9에 나타내었다.

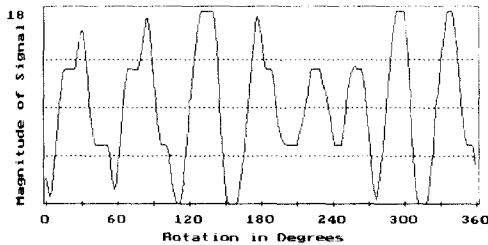


그림 9. 다른 크기의 두개의 표적에 대한 검출기 신호
Fig. 9 The obtained detector signal with two targets of different intensity.

그림 9는 크기가 5인 표적이 좌표(20, 0)에 있고 동시에 크기가 8인 표적이 (0, 20)에 있는 경우이다. 이때 오차는 (0.3, 4.0)의 값을 갖는다. 이 값을 그림 7의 결과와 비교해 보면, 그림 7의 경우 오차 값은 (1.8, 2.0)이며 표적의 크기가 다를 경우 오차가 (0.3, 4.0)로 변화됨을 알 수 있다. 즉, 다른 크기의 두개의 표적이 있을 경우, 두개의 표적 중 방사량이 큰 표적 쪽으로 오차 값이 치우침을 알 수 있다. 다른 크기의 두개의 표적에 대한 다양한 실험결과를 표 1의 오른쪽 하단에 나타냈다.

3. 다중 표적의 대한 결과

그림 10은 크기가 5인 표적이 좌표(10, 17), (5, 0), (10, -17)에 각각 있고 동시에 크기가 8인 표적이 (20, 0)에 있는 경우이다. 이때 오차는 (3.9, 0.6)의 값을 갖는다. 이 값은 네 개의 표적 중간에서 크기가 8

인 표적으로 치우친 위치의 오차 값으로, 다중 표적의 경우 크기나 방사량이 가장 큰 표적의 영향을 많이 받음을 알 수 있다. 실험 조건을 보다 다양하게 설정해도 이 결과는 항상 동일함을 알 수 있었다.

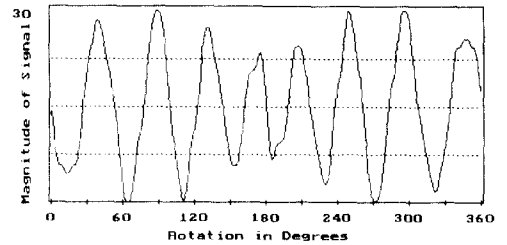


그림 10. 다른 크기의 다수의 표적에 대한 검출기 신호
Fig. 10 The obtained detector signal with four targets of different intensity.

4. 오차 신호의 분석

앞 절에서 제시한 다양한 위치와 개수의 표적을 대상으로 한 실험 결과를 표 1에 정리하였다. 표의 왼쪽은 같은 크기의 표적에 대한 결과이고, 오른쪽은 다른 크기의 표적에 대한 결과이다. 위의 단일 표적에 대한 네가지 결과는 비교를 위한 것이다. 같은 크기의 표적에 대해서는 두 표적, 혹은 다수의 표적의 중간에 하나의 표적에 대한 오차 신호를 발생시킨다. 다른 크기의 표적에 대한 실험 결과는 크기가 크거나 방사량이 큰 표적 쪽으로 오차 신호가 치우침을 알 수 있었다. 이러한 분석 결과로부터 기존의 단순한 신호처리 기법으로는 다수 표적 혹은, 섬광탄 같은 대응능력 존재시에 기존의 레티클 탐색기는 대상으로 하는 표적을 추적하기 어렵다는 것을 확인할 수 있었다.

이 논문의 시뮬레이션 결과로부터 다음과 같은 레티클 탐색기의 개선 방향을 제시할 수 있다. 섬광탄이 터졌을 경우 보통 검출기 신호가 급격히 증가하게 되므로 이를 감지하여 적절한 신호처리 기법을 모색하는 것이다. 그러나 이 경우 섬광탄이 아닌 표적의 고의적인 방사량 변화일 수도 있음을 역시 고려하여야 한다. 또한 표적과 섬광탄의 온도 특성이 상이함을 이용하여 하나 이상의 스펙트럼 대역을 사용할 수도 있으며, 섬광탄과 표적의 다른 운동 방식으로부터

적절한 신호처리 기법을 도입할 수도 있다. 여러 고려사항 중 비교적 간단한 방법으로 검출기 신호가 급격히 증가하는 경우, 효율적인 신호처리 기법으로는 최종 오차 값으로 그 전 오차 값이나 전 오차 값들의 평균값으로 대체시키게 되면 섬광탄의 영향을 감소시킬 수 있다. 또한 여기에 일련의 오차 값의 해석에 의해 표적의 궤적에 대한 정보를 알아내고 이를 추적시 가중치로 사용하게 되면 보다 효율적인 방법이 될 수 있다.

V. 결 론

이 논문에서는 적외선 레티클 탐색기에서 표적이 다수일 경우 검출기 출력 신호 및 오차 신호를 분석하였다. 대상으로 한 웨곤휠 레티클 탐색기는 같은 크기의 다수 표적에 대해서는 다수 표적의 중심에 한 개의 표적이 있는 것과 같은 오차 값을 발생시키며, 상대적으로 큰 표적이 있을 경우 제일 큰 표적의 위치와 가까운 곳에 단일 표적이 있는 것 같은 오차 신호를 발생 시킨다는 것을 확인하였다.

이러한 분석 결과로부터 기존의 신호처리 기법에 의해서는 섬광탄 같은 대응능력 환경에서는 상대적으로 방사량이 큰 섬광탄쪽으로 유도탄의 궤적이 이동될 것임을 알 수 있다. 즉 기존의 간단한 신호처리 기법으로는 이러한 상황에서 효율적인 표적 추적이 어려우며 최종 오차 값으로 그 전 오차 값이나 전 오차 값들의 평균값으로 대체시키거나 일련의 오차 값의 해석에 의해 표적의 궤적에 대한 정보를 알아내고 이를 추적시 가중치로 사용하는 방법 등을 모색해야 할 것이다. 이러한 연구 결과는 탐색기 신호처리부의 실제 구현에 있어서 중요한 고려 사항으로 유용하게 사용될 수 있으리라 기대된다.

앞으로 이 논문의 분석 결과와 제시된 연구 방향을 기반으로 다양한 대응능력이 존재하는 환경에서 레티클 탐색기의 효율적인 신호처리 기법에 대한 연구가 계속될 예정이다.

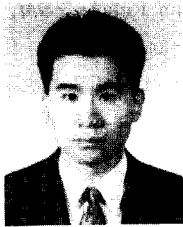
<감사의 글>

본 연구를 위해 지도와 도움을 아끼지 않으신 국방과학 연구소 유인익 선임연구원께 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. T. B. 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.
2. R. Carpenter, "Comparison of AM and FM Reticle Systems," *Appl. Opt.*, vol. 2, no. 3, pp. 229-236, Mar. 1963.
3. K. Suzuki, "Analysis of Rising-sun Reticle," *Opt. Eng.*, vol. 18, no. 3, pp. 350-351, Mar. 1979.
4. S. Craubner, "Digital Simulation of Reticle Systems," *Opt. Eng.*, vol. 20, no. 4, pp. 608-615, Apr. 1981.
5. M. A. Porras, J. Alda, and E. Bernabeu, "Amplitude Modulated and Frequency-Modulated Reticle Responses of Gaussian Beams," *Opt. Eng.*, vol. 30, no. 12, pp. 1986-1992, Dec. 1991.
6. R. C. Anderson and P. R. Callary, "Computer Modeling of Optical Trackers," *Opt. Eng.*, vol. 20, no. 6, pp. 861-865, June 1981.
7. G. Olsson, "Simulation of Reticle Seekers by Means of an Image Processing System," *Opt. Eng.*, vol. 33, no. 3, pp. 730-736, Mar. 1994.
8. Z. W. Chao and J. L. Chu, "General Analysis of Frequency-modulated Reticles," *Opt. Eng.*, vol. 27, no. 6, pp. 440-442, June 1988.
9. Z. W. Chao and J. L. Chu, "Parameter Analysis for Frequency-modulation Reticle Design," *Opt. Eng.*, vol. 27, no. 6, pp. 443-451, June 1988.
10. R. G. Driggers, C. E. Halford, and G. D. Boreman, "Parameters of Spinning AM Reticles," *Appl. Opt.*, vol. 30, no. 19, pp. 2675-2684, July 1991.
11. R. G. Driggers, C. E. Halford, G. D. Boreman, D. Lattman, and K. F. Williams, "Parameters of Spinning FM Reticles," *Appl. Opt.*, vol. 30, no. 7, pp. 887-895, Mar. 1991.
12. J. S. Tayler and R. G. Driggers, "Tracking with Two Frequency-modulated Reticles," *Opt. Eng.*, vol. 32, no. 5, pp. 1101-1104, May 1993.

- 13. J. J. May and M. E. Zee, "Electro-Optic and Infrared Sensors," *Microwave Journal*, pp. 121-131, Sept. 1983.
- 14. J. S. Accetta Eds., *The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook*, SPIE press, Michigan, 1993.
- 15. K. Seyrafi and S. A. Hovanesian, *Introduction to Electro-Optical Imaging and Tracking Systems*, Artech House, MA., 1993.



韓 成 鉉(Sung Hyun Han) 정회원
1968년 7월 26일생
1990년 2월: 중앙대학교 공과대학
전자공학과 졸업(공학사)
1992년 2월: 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1992년 3월~현재: 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

※주관심분야: 영상처리 및 부호화, 광 변조, 적외선 신호처리 등



洪 顯 基(Hyun Ki Hong) 정회원
1968년 8월 2일생
1993년 2월: 중앙대학교 공과대학
전자공학과 졸업(공학사)
1995년 2월: 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1995년 3월~현재: 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

※주관심분야: 적외선 신호처리, 컴퓨터 비전, 영상처리 등

崔 宗 秀(Jong Soo Choi) 정회원
1981년 9월~현재: 중앙대학교 전자공학과 교수
제 21권 제 5호 참조