

로켓 주사 적외선 탐색기의 순시 시계 설계에 관한 연구

(A study on Design of Instantaneous Field of View of Rosette Scanning Infrared seeker)

張聖甲*, 洪顯基*, 韓成鉉*, 崔宗秀*

(Surng-Cabb Jahng, Hyun-Ki Hong, Seong-Hyun Han, and Jong-Soo Choi)

요 약

적외선 유도 미사일에 장착되는 로켓 주사 탐색기(Rosette scanning Seeker)는 적외선 단소자 검출기를 가지고 표적 공간을 로켓 패턴형으로 주사함으로써 표적의 영상 및 위치를 미사일의 서보(servo) 시스템에 제공하는 장치이다. 로켓 패턴을 따라 움직이는 검출기의 직경인 순시 시계(IFOV: Instantaneous field of view)는 크기가 작을수록 배경 신호와 검출기 잡음의 간섭에 영향을 덜 받는 특성을 가지고 있다. 그러나 순시 시계의 크기가 너무 작아 전체 시계(TFOV: Total field of view)의 전 주사 범위에 보이지 않는 영역(Invisible region)이 생성되고, 탐색기의 성능이 저하된다. 따라서 전 범위 탐색을 하는 동시에 전체 시계 내에서 보이지 않는 영역이 없으면서 가능한 순시 시계를 작게 해야 한다. 따라서 본 논문에서는 기존 방식 보다 작은 순시 시계의 설계 방법을 제안하고, 주사되는 영역에서 완전하게 탐색되는 것을 증명한다. 그리고 기존 방법과 제안된 방법의 잡음 등속 밀도 비를 제시하고 이를 통하여 제안된 방법의 우수성을 확인한다.

Abstract

The rosette-scan seeker is a device mounted on the infrared guided missile. It offers the positions and images of target to missiles servo system by scanning a space about target in rosette pattern with a single detector. An instantaneous field of view (IFOV), which is a diameter of a detector moving along the path of the rosette pattern, has the property that its smaller size provide the less interference of background signals and detector noise. If its size is too small to cover the total field of view (TFOV), however, it produces the invisible regions in the TFOV. In this case, the invisible regions cause the performance of the seeker to deteriorate. For full scan-coverage, it is necessary to design the small IFOV without the invisible regions in the TFOV, as possible. In this paper, we propose the new method of designing the smaller IFOV than the conventional method and verify full coverage of the scanned region. By comparing the noise equivalent flux density (NEFD) of the proposed method with that of the conventional one, we confirm that the former is better than the latter in terms of performance.

I. 서 론

열 추적 미사일에 탑재되는 탐색기(seeker)는 표적

으로부터 방사되는 적외선을 검출하고 신호처리를 통해 표적의 상대 위치 오차를 구한다. 이 오차 정보가 미사일 서보 시스템으로 입력되어 미사일의 호밍(homing) 유도가 가능해진다. 이러한 탐색기는 열원(heat source)의 입력 형태, 적외선 검출기의 종류와 개수 등에 따라 몇 가지로 분류된다.^[1~4]

* 正會員, 中央大學校 電子工學科
(Dept. of Electronics Engineering, Chungang University)

接受日字:1997年5月13日, 수정완료일:1998年5月22日

첫째, 실크 스크린의 원리와 같이 열원의 투과율을

조정할 수 있는 다양한 패턴의 원판(레티클; reticle)을 적외선 검출기 앞에 부착하고 이를 통해 변조된 신호를 적당한 신호처리를 통하여 표적의 위치를 추정하는 레티클 방식이 있다. 이 레티클 방식은 신호처리가 간단하며 단소자 검출기를 사용함으로 가격이 싸고 구성이 용이하여 초기 열 추적 미사일 탐색기에 많이 사용되었으나 표적 추적 중 섭광판과 같은 대응 능력에 매우 민감한 단점을 가지고 있다.^[5~7]

둘째, 적외선 카메라나 다중 적외선 검출기를 통하여 입력된 표적의 열 영상(thermal image)을 다양한 영상 신호 처리 방식을 이용하여 이를 분석하고 판단하여 표적을 추적하는 적외선 영상 탐색기가 있다. 이 탐색기는 표적의 영상으로 추적하기 때문에 표적의 대응 능력에 대한 처리가 우수한 반면에 핵심 부품인 배열 검출기가 고가이며 영상을 실시간 처리하기 위한 고속의 신호 처리부를 설계해야 하는 단점이 있다.^[8~10]

세째, 회전 광학계에 의한 주사(scanning) 방식의 탐색기가 있다. 이것은 광학계의 회전 속도 와 방향에 따른 영상을 얻을 수 있고, 레티클 탐색기와 비교하여 같은 전체 시계 (TFOV; Total Field Of View) 내에서 상대적으로 작은 순시 시계(IFOV; Instantaneous Field Of View)를 가지므로 다중 표적에 대한 위치 판별이 쉽고 신호처리가 간단하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 주사 방식의 탐색기에는 나선형 주사(Spiral Scan)^[11], 로젯 주사(Rosette Scan)^[12~16], 원형 주사(Circular Scan), 선형 주사(Linear Scan)^[17] 등이 있다. 본 논문에서는 여러 가지 주사 방식 중에서 로젯 주사 방식의 탐색기에 관하여 고찰한다.

로젯 모양으로 전체 시계를 주사하는 적외선 검출기는 2차원 영상 신호를 제공한다. 검출된 영상은 순시 시계의 크기가 전체 시계와 비교하여 상대적으로 작을 수록 높은 해상도와 강한 내 잡음성을 가진다. 그러나 순시 시계의 크기가 너무 작게 되면 표적을 탐지할 수 없는 영역(invisible region)이 전체 시계 내에 존재하게 되어 탐색기의 성능을 저하시키게 된다. 따라서 이러한 보이지 않는 영역이 존재하지 않는 범위에서 순시 시계의 크기를 최소화할 필요가 있다. 기존의 연구는 단순히 순시 시계의 크기를 결정하는 방법만을 제시하고 보이지 않는 영역의 존재 여부에 대해서는 상세한 논의가 없었다. 전체 시계 내에서의 보이지 않는 영역이 존재하지 않으면서 가능한 작은 크기의 순

시 시계를 선택하는 방법에 대한 연구가 필요하다.^[1,3,12]

본 논문에서는 기존 방법보다^[11] 작은 크기의 순시 시계를 설계하는 방법 및 앞서기와 관련된 파라미터의 설정 기준과 전체 시계 내에서 보이지 않는 영역의 존재 여부를 검사하는 방법을 제안한다. 또한 제안된 방법 및 기존 방법으로 설계된 순시 시계의 성능을 비교 검토함으로써 제안된 방법의 우수성을 확인한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서는 로젯 주사 탐색기의 일반적인 특성들에 대하여 논하였고, III장에서는 개선된 순시 시계 설계 방법 및 앞서기와 관련된 파라미터의 설정 기준을 제안하고, IV장에서는 보이지 않는 영역의 검사를 위한 방법을 제안한다. V장에서는 기존 및 제안된 방법으로 설계된 순시 시계의 성능을 비교 검토하고, VI장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 로젯 주사 탐색기의 특성 분석

로젯 주사 탐색기는 표적이 있는 공간인 전체 시계 영역에 비해 상대적으로 작은 순시 시계를 갖는 적외선 검출기를 이용하여 로젯 패턴 주사를 통하여 표적의 위치 정보를 얻는 탐색기이다. 로젯 패턴은 두 개의 광학계를 일정한 비율로 서로 반대 방향으로 회전 시킴으로써 이루어 진다. 로젯 주사 패턴을 형성하기 위하여 일정한 사이각을 가진 쐐기 모양의 프리즘, 회전 중심 축이 렌즈의 광학 중심에서 벗어난 편심 렌즈 및 기울어진 반사경 등을 이용한다.

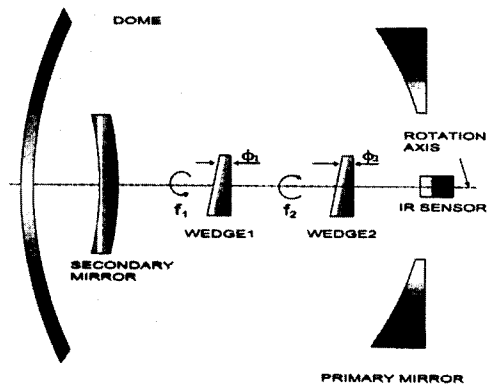


그림 1. 로젯 주사 방식의 탐색기 구조
Fig. 1. Scheme of optics for rosette scan seeker.

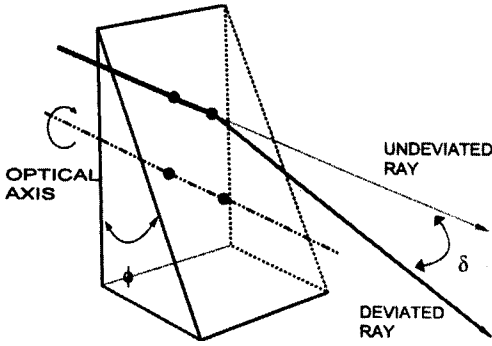


그림 2. 썩기형 프리즘의 구조
Fig. 2. Scheme of wedged prism.

그림 1은 사이각 ϕ_1 , ϕ_2 를 가지는 썩기형 프리즘 두개를 이용하여 구성된 로켓 주사 탐색기의 구조를 나타낸다. 썩기형 프리즘을 통과한 광선은 그림 2처럼 프리즘의 굴절률 η 와 프리즘 사이각 ϕ 에 의해 일정하게 편향되어 나타나게 되고 이들 관계는 다음의 수식으로 표현할 수 있다.^[1]

$$\eta \cong \frac{\phi + \delta}{\phi} \quad (1)$$

여기서 η 은 굴절률, ϕ 는 프리즘의 사이각, δ 는 편향률이다. 또한 편향률 δ 는 로켓 주사 탐색기의 전체 시계의 반경과 같다.

회전 주파수가 f_1 , f_2 인 두 개의 프리즘을 서로 반대 방향으로 회전시킬 때 형성되는 로켓 패턴의 자취는 식 (2)와 같이 극 좌표계로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \delta \cos \pi(f_1 + f_2)t \\ \theta(t) &= \pi(f_1 - f_2)t \end{aligned} \quad (2)$$

두 프리즘의 회전 주파수 비에 의해 탐색기의 주사 속도, 총 인사귀의 수, 인사귀의 넓이 및 인접한 인사귀와의 교차점들의 위치 등이 결정된다. 이들 주파수 비의 관계는 식 (3)으로 표현된다.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{f_2}{f_1} \quad (3)$$

단, N_1 및 N_2 는 양의 정수이고 $f_1 > f_2$ 이다. 식 (3)의 비가 항상 유리수이고, $N_1 = f_1/f$ 및 $N_2 = f_2/f$ 가 되는 최대 공약수 f 를 가질 때만 식 (2)에 의해 완전히 닫혀 있는 로켓 패턴을 형성할 수 있

다.

로켓 주사의 프레임 주기는

$$T = \frac{1}{f} = \frac{N_1}{f_1} = \frac{N_2}{f_2} \quad (4)$$

이고, 로켓 패턴 내의 전체 인사귀의 수는

$$N = N_1 + N_2 \quad (5)$$

이 된다. 또한 인사귀의 넓이는 다음과 같다.

$$\Delta N = N_1 - N_2 \quad (6)$$

그림 3에서는 N_1 , N_2 및 ΔN 에 따른 로켓 패턴의 모양을 보여주고 있다. ΔN 의 값이 커지면 인사귀의 폭이 넓어지고, 값이 적어지면 인사귀의 폭은 좁아진다.

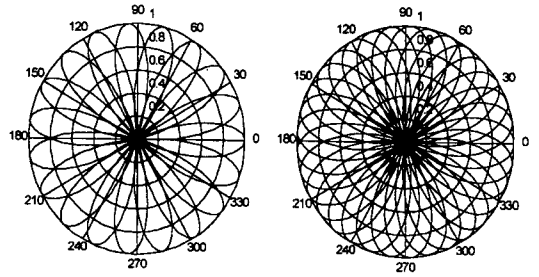


그림 3. ΔN 과 N_1 , N_2 에 따른 로켓 주사 패턴
Fig. 3. The rosette scanning patterns with different ΔN 's, N_1 's and N_2 's.

III. 제안된 순시 시계의 설계 알고리즘

1. 기존의 순시 시계 결정 방법

배경 잡음 신호나 적외선 검출기 자체의 잡음 등과 같이 필요하지 않은 각종 잡음으로부터 탐색기의 추적 성능을 향상시키기 위해서 순시 시계의 크기는 가능한 작아야 하지만 전체 시계 내의 표적들을 전부 인식할 수 있을 정도로 충분히 커야 한다. 완전한 주사를 위한 순시 시계의 결정은 인접하는 인사귀의 교차점의 반경과 각 인사귀들의 사이각에 의존한다. 기존 연구^[1]에서 제시한 방법은 식 (7)과 같이 인사귀 교차점의 반경과 인사귀들의 사이각에 의한 호의 길이를 순시 시계의 구경으로 선택하였다.

$$\omega_c = a \cdot r(t_i) = (2\pi/N) \cdot \delta \cos(\pi/\Delta N) \quad (7)$$

여기서 아래첨자 c 는 기존방법(conventional method)을 의미하고, $\Delta N > 2$ 인 정수이며 α 는 이웃하는 잎사귀들의 사이각이다. 또한 $r(t_i)$ 는 그림 4와 같이 교차되는 시간 t_i 에서의 잎사귀 교차점의 반경을 의미한다.

2. 제안된 순시 시계 결정 방법

1) 이웃하는 잎사귀들의 교차점과 반경

제안된 순시 시계의 설계 알고리즘은 이웃하는 잎사귀의 교차점의 반경 중 가장 큰 것을 선택하여 이들 사이의 거리를 구하고 이를 순시 시계 크기로 정한다. 그림 4에서 이웃하는 잎사귀와의 교차점을 극좌표로 표현한 일반식은 다음과 같다.

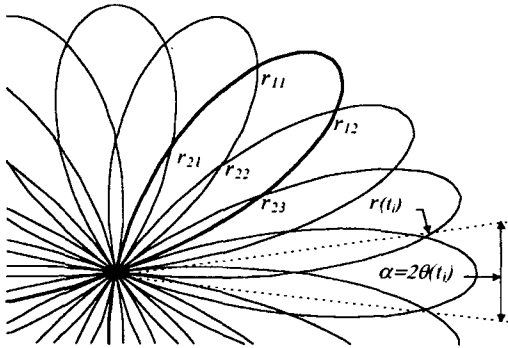


그림 4. 한 잎사귀상의 교차점 ($N_1=13, N_2=7$)
Fig. 4. Intersected points of one petal ($N_1=13, N_2=7$).

$$\theta(t_i) = \frac{\alpha}{2} = \pi(f_1 - f_2) \cdot t_i = \frac{\pi}{N} \quad \text{단, } \{k|0 < k < \Delta N/2, k = \text{integer}\}$$

$$r(t_i) = \delta \cos(f_1 + f_2) \cdot \pi \cdot t_i \cdot k \quad (8)$$

식 (3)부터 식 (6)까지의 수식을 식 (8)에 대입하여 정리하면 식 (9)와 같이 그림 4의 각 교차점들의 반경에 관한 일반식을 구할 수 있다.

$$r_{kn} = \delta \cos\left(k \frac{\pi}{\Delta N}\right) \quad \text{단, } n = 1, 2, \dots, k+1 \text{ 이고 } r_{kn} > 0 \quad (9)$$

여기서 k 의 범위는 식 (8)과 동일하다.

2) 제안된 순시 시계의 결정 방법

그림 4에서 가장 큰 값의 교차점 반경은 N 와 ΔN 에 관계없이 항상 $\overline{r_{11}}$ 과 $\overline{r_{12}}$ 이고, $\overline{r_{11} \cdot r_{12}}$ 가 순시 시계의 직경이다. 교차점의 거리 $\overline{r_{11} \cdot r_{12}}$ 는 두 변의 길이가 각각 $\overline{r_{11}}, \overline{r_{12}}$ 이고 사이각이 α 인 이등

변 삼각형의 밑변이다. 코사인 법칙으로 식 (10)과 같이 구한 밑변의 길이가 순시 시계의 직경이 된다.

$$\omega_p = \delta \cos(\pi/\Delta N) \cdot \sqrt{2 - 2\cos(2\pi/N)}, \quad \text{단 } \Delta N > 2 \quad (10)$$

여기서 아래첨자 p 는 제안된 방법(proposed method)을 의미한다.

3) 잎사귀 수와의 관계

(1) 제안된 순시 시계의 잡음 등속 밀도

순시 시계의 크기와 총 잎사귀 수는 잡음 등속 밀도(NEFD; Noise Equivalent Flux Density)^[10~13]를 결정하는 중요한 항목이다. 잡음 등속 밀도는 검출기 출력 신호와 검출기 잡음의 스펙트럼 SNR(λ)^[13]이 1dB가 되는데 필요한 검출기 입력면(광학계의 집속 구경과 동일한 면)에서의 표적 방사량을 나타내는 수치이다. NEFD의 수치가 줄어들면 동일한 검출 감도를 나타내기 위해서 검출기 입력면의 표적 방사량도 줄어든다. 이것은 입력되는 표적 방사량이 작아도 검출기가 충분히 검출할 수 있음을 의미한다. 따라서 NEFD가 작을 수록 검출기의 감도는 향상된다. NEFD에 대한 수식은 식 (11)와 같다.

$$NEFD = \frac{\sqrt{A_d \cdot \Delta f}}{A_o \cdot T_o \cdot D^*} \quad (11)$$

여기서 A_o 는 집속 구경의 면적(collecting aperture area), T_o 는 광학계의 광 전달도(optic Transmission), D^* 는 검출기의 검출 감도(specific Detectivity), A_d 는 검출기의 면적($= \pi \omega^2/4$)이다. Δf 는 입력 신호의 대역폭(electrical Bandwidth)이며 식 (12)와 같이 표현된다.

$$\Delta f = \frac{1}{2\tau}, \quad \text{단 } \tau \cong \frac{\omega}{V} \quad (12)$$

여기서 τ 는 표적의 펄스 폭이고, V 는 로켓 패턴의 주사 속도를 의미한다. 이 주사 속도는 로켓 패턴의 잎사귀 중심부에서 최대가 되고, 잎사귀의 끝 부분에서 최소가 된다. $x(t)$ 와 $y(t)$ 를 시간에 관하여 미분하면 주사 속도는 다음과 같다.

$$V_{\max} = \pi \delta (f_1 + f_2) \quad (13)$$

$$V_{\min} = \pi \delta (f_1 - f_2)$$

여기서 V_{\max} 는 잎사귀 중심부에서의 속도이고, V_{\min} 은 잎사귀 끝에서의 속도이다. 주사 패턴의 중심부에서

입력되는 표적 신호의 감쇄를 피하기 위해서 최대 속도를 기준으로 대역폭을 계산한다. 이 결과를 식 (11)에 대입하여 풀면 제안된 순시 시계의 NEFD는 식 (14)와 같이 된다.

$$NEFD = \frac{\sqrt{\pi^2 \cdot \delta \cdot f \cdot \omega \cdot N}}{2\sqrt{2} \cdot A_o \cdot T_o \cdot D'} \quad (14)$$

(2) 앞서와 관련된 파라미터 ΔN 과 N 의 결정 기준
 앞서 폭(ΔN)과 앞서의 총수(N), 그리고 순시 시계의 크기(ω) 사이의 관계를 설정한다. 앞서 폭을 홀수와 짝수의 두 가지 경우로 분리하여 식 (3) 조건에 위배되지 않는 것을 계산한다.

$$N_{2, \Delta N(\text{odd})} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} \end{bmatrix}, N_{2, \Delta N(\text{even})} = 2i - 1 \quad (15)$$

N_1 은 다음과 같다.

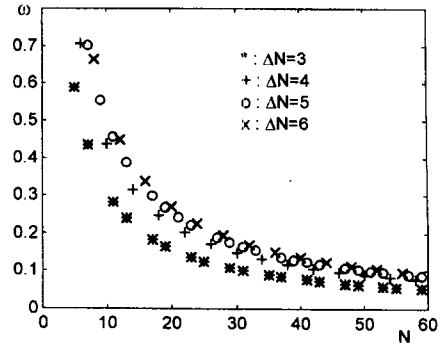
$$N_1 = N_2 + \Delta N \quad (16)$$

여기서 $a_{ij} = \Delta N(i - 1) + j$ 이고, $j = 1, 2, \dots, \Delta N - 1$ 이며, i 는 양의 정수이다.

그림 5-(a)는 식 (15)과 식 (16)에서 구한 결과를 보여 주고있다. N 이 증가할 때 순시 시계의 크기는 줄어든다. 또한 동일한 N 에 대하여 $\Delta N = 3$ 인 경우가 가장 작은 순시 시계를 가짐을 알 수 있다. 그러므로 로켓 주사 탐색기를 설계할 때 앞서 폭(ΔN)은 3으로 선택되어야 한다.

앞서 수 N 의 선택 기준을 정하기 위하여 탐색기의 회전 주파수, 광학계 및 센서의 재질은 동일하다고 가정하면 식 (14)에서 NEFD는 순시 시계의 크기(ω)와 앞서 수(N)의 곱에 의해 결정된다. 그림 5-(b)는 정규화한 ωN 과 N 의 관계를 보여주고 있다. N 이 줄어들면 ωN 도 줄어들어 검출기의 감도는 증가하지만 순시 시계가 커지게 되어 전체 시계 내의 해상도는 오히려 감소한다. 반대로 N 이 증가할 때 ωN 도 증가하지만 일정한 N 값 이상에서는 증가율이 급격히 감소한다. 이것은 N 이 증가해도 검출기 감도의 변화는 적고 ω 는 줄어들어 해상도는 증가함을 의미한다. 따라서 ωN 의 기울기 변화가 급격히 감소하는 위치의 N 을 최소 경계치로 정하고 그 이상의 값을 탐색기의 앞서 총수로 선택한다. 따라서 본 논문에서는 ωN 을 2차 미분하고 그 값이 -0.0001보다 크게 되는 시점의 N 값을 최소 경계값으로 정한다. 그림 5-(b)에서 최소

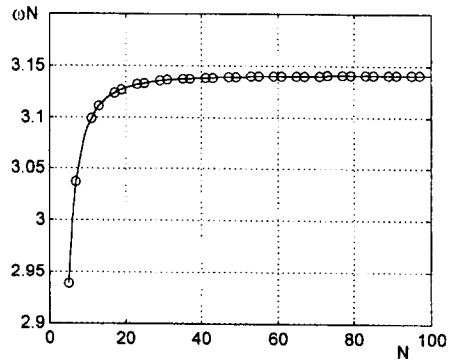
경계치는 25이 된다.



(a)

(a) N 과 ΔN 에 따른 순시 시계의 구경

(a) Diameter of IFOV with different N 's and ΔN 's.



(b)

(b) N 대 ωN 의 그래프 ($\Delta N = 3$).

(b) Graph of N 's verse ωN 's ($\Delta N = 3$)

그림 5. N 및 ΔN 과 ω 사이의 관계

Fig. 5. Relationship among N , ΔN and ω .

IV. 보이지 않는 영역의 검사 알고리즘

본 장에서는 순시 시계 설계 시 전체 시계 내에서의 보이지 않는 영역의 존재 여부를 검사하는 알고리즘을 제안한다.

1. 앞서 내부에 대한 검사

그림 4를 보면 순시 시계의 크기로 선택된 교차점 간의 거리 $\overline{r_{11} \cdot r_{12}}$ 가 앞서 내부에서 교차되는 점들 간의 거리 $\overline{r_{21} \cdot r_{22}}$ 또는 $\overline{r_{22} \cdot r_{23}}$ 보다 크고 앞서 선상의 교차점에서 중심부로의 자취가 위로 볼록하기 때문에 앞서 내부에서는 보이지 않는 영역이 존재하지 않는다.

2. 隼사귀 외부에 대한 검사

외부의 보이지 않는 영역을 조사하기 전에 로켓 패턴을 따라서 움직이는 적외선 검출기의 자취를 구한다. 이것은 로켓 패턴의 양측에서 순시 시계의 반경만큼의 거리에 있는 점들의 자취로 해석한다. 로켓 패턴의隼사귀 외부에 나타나는 순시 시계 자취의 교차점의 반경이 전체 시계의 구경보다 크거나 같으면 이 순시 시계는隼사귀의 외부에서 보이지 않는 영역이 없이 완전한 주사를 형성한다.

로켓 주사 탐색기에 사용되는 적외선 검출기의 순시 시계는 임의의 시간 t 일 때 xy 좌표상에서 점 $P(x_t, y_t)$ 를 중심으로 하고, 반지름이 $\omega/2$ 인 원으로 근사 모델링을 할 수 있다. 따라서 이러한 원이 로켓 패턴을 따라 움직이면 그림 6과 같이 순시 시계의 직경과 같은 폭이 형성된다.

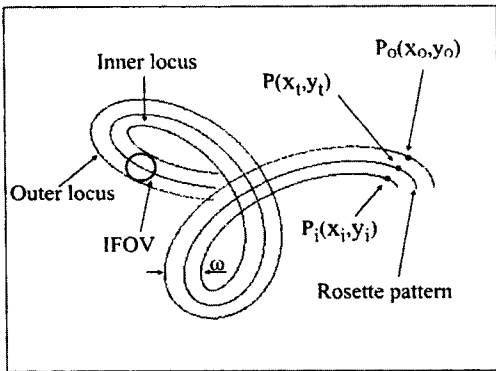


그림 6. 로켓 패턴에 따른 적외선 검출기의 자취
Fig. 6. The locus of infrared sensor along the Rosette pattern.

隼사귀 외부와 내부에서 형성되는 자취는 로켓 패턴상의 임의의 점 $P(x_t, y_t)$ 의 접선과 수직인 직선상에 있으면서 점 $P(x_t, y_t)$ 와 거리가 $\omega/2$ 인 두 점 $P_o(x_o, y_o), P_i(x_i, y_i)$ 의 움직임으로 표현된다. 임의의 점 $P(x_t, y_t)$ 의 접선에 수직인 직선의 방정식을 구하기 위해 이 점에서의 접선 기울기를 구하면 식 (17)과 같다.

$$m = \frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{dt}{dx} = \frac{f_2 \cdot \cos 2\pi f_{2t} - f_1 \cdot \cos 2\pi f_{1t}}{f_1 \cdot \sin 2\pi f_{1t} + f_2 \cdot \sin 2\pi f_{2t}} \quad (17)$$

따라서 이 접선과 수직인 직선이면서 외부 자취점 $P_o(x_o, y_o)$ 를 지나는 직선은 $P(x_t, y_t)$ 를 지나기 때문에 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$y_t - y_o = -\frac{1}{m} \cdot (x_t - x_o) \quad (18)$$

또한 이 직선과 외부 자취점 $P_o(x_o, y_o)$ 와의 거리는

$$\frac{\omega}{2} \cdot \sqrt{m^2 + 1} = |-m \cdot x_o + y_o + m \cdot x_t - y_t| \quad (19)$$

가 되며, 식 (19)에서 우변이 음수 또는 양수일 경우로 나누어 식 (18)과 연립하여 풀면 외부 자취점 $P_o(x_o, y_o)$ 는 다음과 같다.

$$x_o = x_t - \left(\frac{m \cdot \omega/2 \cdot \sqrt{m^2 + 1}}{m^2 + 1} \right), \quad y_o = y_t + \left(\frac{\omega/2 \cdot \sqrt{m^2 + 1}}{m^2 + 1} \right) \quad (20)$$

따라서隼사귀 외부의 자취가 시간 $t = t_{oi}$ 일 때 교차된다면 교차점의 반경을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$r(t_{oi}) = \sqrt{(x_o^2 + y_o^2)} \quad (21)$$

$$\theta(t_{oi}) = \frac{\pi}{N} = \tan^{-1} \left(\frac{y_o}{x_o} \right) \quad (22)$$

로켓 패턴의隼사귀들은 그 모양과 크기가 동일하기 때문에 제1상환에서 처음 주사 되는隼사귀와 이웃하는隼사귀의 외부 자취의 교차점을 구하고 그 반경의 크기만을 판단한다. 식 (22)에서 교차되는 시간 t_{oi} 를 근사적으로 구하고 이를 식 (21)에 대입하여 외부 교차점의 반경을 계산한다.隼사귀 외부에서 형성되는 자취들의 교차점의 반경이 전체 시계의 반경 δ 보다 크거나 같을 때 순시 시계는 전체 시계 영역을 완전하게 주사한다.

V. 성능 비교 및 검토

본 장에서는 기존 방법과 제안된 방법으로 설계된 순시 시계의 크기를 비교 검토하고 IV장에서 제안한 방법으로 보이지 않는 영역을 검사한다.

1. 순시 시계의 크기 비교 검토 및 보이지 않는 영역의 검사

여러 가지 N_1, N_2 및 ΔN 에 대한 각각의 순시 시계의 크기와隼사귀 외부 자취의 교차점 반경에 관한 비교 자료를 표 1에 나타냈다. 여기서隼사귀의 외부 교차점 반경에 대한 계산은 오차율 $|e| < 10^{-9}$ 이내에서 실시되었다. 표 1을 비교해 보면 제안된 방법의

순시 시계 크기는 기존 방식보다 작고, 정규화한 전체 시계의 반경이 1이므로 기존 방법 및 제안된 방법 모두 전 영역을 완전히 주사함을 확인할 수 있다.

표 1. 순시 시계 및 외부 자취의 교차점 반경
Table 1. Diameter of IFOV and the intersected radius of outer locus.

N _i	N _e	N	ΔN	Size of IFOV		Radius of r(t _a)	
				Conventional method	Proposed method	Conventional method	Proposed method
7	4	11	3	0.28560	0.2817	1.12377003	1.12196640
13	10	23	3	0.13659	0.13617	1.05788937	1.05769553
22	19	41	3	0.07662	0.07654	1.03185239	1.03181841
9	5	14	4	0.31735	0.31469	1.14575853	1.14447575
12	7	19	5	0.26754	0.26632	1.12598001	1.12538661
15	7	22	8	0.26386	0.26296	1.12782975	1.12738700
23	8	31	15	0.19825	0.19792	1.09735974	1.09719080
28	3	31	25	0.20109	0.20074	1.09733529	1.09716308
37	4	41	33	0.15255	0.15241	1.07443234	1.07435766
41	37	78	4	0.08953	0.08950	1.04434833	1.04433331

2. 잡음 등속 밀도에 대한 비교 및 검토

식 (11)에서 입력 신호의 대역폭은 순시 시계의 구경에 따라서 달라진다. 따라서 기존 방법의 NEFD를 제안된 방법의 NEFD로 나누면 식 (23)과 같이 대역폭과 순시 시계의 크기에 관련된 항만 남는다.

$$\frac{NEFD_c}{NEFD_p} = \sqrt{\frac{A_{ap} \cdot \Delta f_c}{A_{ap} \cdot \Delta f_p}} = \sqrt{\frac{\omega_c \cdot \Delta f_c}{\omega_p \cdot \Delta f_p}} = \sqrt{\frac{2\pi}{N/2 - 2\cos(2\pi/N)}} \quad (23)$$

여기서 아래첨자 c와 p는 각각 기존 방법^[1]과 제안된 방법을 의미한다.

식 (23)의 잡음 등속 밀도의 비는 로켓 패턴의 전체 앞서기 수에 따라 변한다. 그림 7은 총 앞서기 수의 변화에 대한 잡음 등속 밀도의 비의 변화를 나타낸다. 수직축은 기존 방법에 의한 NEFD를 제안된 방법의 NEFD로 나눈 수치이다. 앞서기의 총수인 N의 값이 증가함에 따라서 잡음 등속 밀도의 비가 1로 접근하지만 1이하의 값을 가지지 않는다. 이것은 기존 방법보다 제안된 방법의 NEFD가 더 작기 때문에 검출 감도가 더 높다는 것을 의미한다.

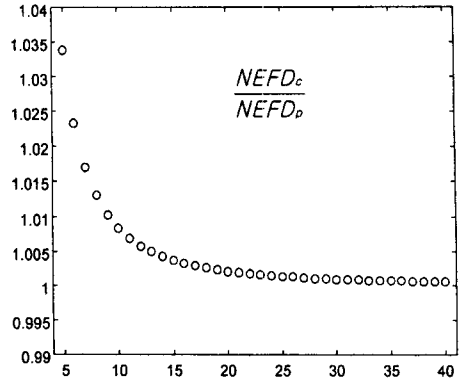


그림 7. 잡음 등속 밀도의 비
Fig. 7. The ratio of noise equivalent flux density.

VI. 결 론

본 논문에서는 로켓 주사 탐색기의 일반적인 특성인 총 앞서기의 수, 순시 시계의 크기 및 앞서기들의 교차 관계 등에 관한 이론적 전개를 하였다. 또한 로켓 주사 패턴에서 순시 시계의 크기를 기존보다 작게 설계할 수 있는 방법과 앞서기 폭과 앞서기 수에 따른 설계 기준을 제시하였다. 그리고 전체 시계 내에서 보이지 않는 영역이 존재하지 않는다는 것을 제안된 검사 알고리즘을 통하여 확인함으로써 제안된 순시 시계 결정 방법의 타당성을 검증하였다. 또한 제안된 순시 시계 결정 방법의 잡음에 대한 성능을 비교 평가하기 위하여, 기존 방법과의 잡음 등속 밀도 비를 구하였고 그 결과 제안된 방법의 검출 감도가 더 높다는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구 결과는 적외선 로켓 주사 탐색기를 실제 구현할 때 순시 시계의 크기 및 로켓 패턴의 형태를 결정하는데 유효하게 사용될 수 있다.

향후 연구 방향은 본 논문에서 제안한 순시 시계의 설정 방법으로 표적을 추적하는 로켓 주사 탐색기에 대한 시뮬레이션 툴을 개발하고 이에 대한 성능 평가를 할 것이다.

감사의 글

※ 본 연구는 국방과학연구소 및 서울대 자동제어 특화 연구센터의 연구비 지원에 의한 연구 결과입니다. 본 연구에 지도와 도움을 주신 국방과학연구소 유인역 선임연구원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] G.J. Zissis and W.L. Wolfe, *The Infrared Handbook*, Office of Naval Research Department of the Navy, Arlington, VA., Ch. 10, Ch. 22, 1985.
- [2] P. Garnell, *Guided Weapon Control Systems*, Pergamon Press Ltd., England, 1985.
- [3] 久野治義, 赤外線工学, 日本電子情報通信學會, 1994.
- [4] R.D. Hudson, JR., *Infrared Systems Engineering*, John Wiley & Sons, N.Y., 1969.
- [5] 한성현, 홍현기, 최중수, "적외선 레티클 탐색기의 동적 시뮬레이션 및 효율적인 반대응 알고리즘", *한국통신학회 논문지*, Vol.21, No.12, pp 3165~3173., 1996
- [6] R. Carpenter, "Comparison of AM and FM Reticule Systems," *Appl. Opt.*, Vol. 2, No. 3, pp. 229~236, 1963.
- [7] Z.W. Chao and J.L. Chu, "General Analysis of Frequency-modulated Reticles," *Opt. Eng.*, Vol. 27, no. 6, pp. 440~442, 1988.
- [8] H.K. Hong, S.H. Han and J.S. Choi, "Simulation of an Improved Reticule Seeker Using the Segmented Focal Plane Array," *Opt. Eng.*, Vol. 38, No. 3, pp. 883~888, 1997.
- [9] S.H. Han, H.K. Hong and J.S. Choi, "Dynamic Simulation of Infrared Reticule Seekers and an Efficient Counter-Countermeasure Algorithm," *Opt. Eng.*, Vol. 36, No. 8, pp. 2341~2345, 1997.
- [10] S.H. Han, H.K. Hong and J.S. Choi, "Simulation of the Spinning Concentric Angular Ring Reticule Seeker and an Efficient Counter-Countermeasure," *Opt. Eng.*, Vol. 36, No. 11, pp. 3206~3211, 1997.
- [11] F.A. Rosell, "Prism Scanner," *Journal of the Optical society of America*, Vol. 50, No. 6, pp. 521~526, 1960.
- [12] T. Tajima, S. Wakabayashi, M. Kondo and T. Takei, "Rosette Scan Infrared Sensor," *Proc. SPIE*, Vol. 219, pp. 51~57, 1980.
- [13] J.S. Accetta and D.L. Shumaker, *The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook*, SPIE Optical Engineering Press, Washington, Vol. 3-Ch.1~Ch.3, Vol. 4-Ch.1, Vol. 7-Ch.3, 1993.
- [14] Voigt, A.A., "Optical Scanning Apparatus with Two Mirrors Rotable about A Common Axis", U.S. Patent No. 4039246, 1977.
- [15] 양태석, "대공 유도탄 적용을 위한 위치센서 설계제작 및 다표적 식별 연구", 국방과학연구소, MSDC-417-950598, 1995
- [16] Wan Haifeng, Liang Zhi, Zhang Qing, and Su Xinzhi, "A Double Band Infrared Image Processing System Using Rosette Scanning", *Proc. SPIE*, Vol. 2894, pp.2~10, 1996
- [17] J.J. May, Jr. and M.E. Van Zee, "Electro-Optic and Infrared Sensor," *Microwave Journal*, pp.121~131, September 1983.

저 자 소 개



張 聖 甲(正會員)

1961년 10월 28일생. 1988년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1990년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 석사과정 졸업(공학석사). 1996년 9월 ~ 현재 중앙대학교 전자공학과 박사과정. 1988년 1월 ~ 1993년 12월 동인전자 개발실. 1994년 1월 ~ 1996년 12월 J & L SYS 대표. 1992년 9월 ~ 현재 부천대학 컴퓨터 제어과 겸직 교수. 1997년 1월 ~ 현재 용인전자 시스템 개발실. 주관심 분야는 적외선 신호처리, 광 변조 시스템, 마이크로프로세서 응용 개발 등임

洪 顯 基(正會員)

1968년 8월 2일생. 1993년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995년 3월 ~ 현재 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학 중. 주관심 분야는 광 변조 시스템, 신호처리, 마이크로프로세서 응용 개발 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). 1998년 3월 ~ 현재 인덕대학 소프트웨어 개발과 전임강사. 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