

論文2000-37SP-2-1

# 로켓 탐색기의 적외선 주사 영상을 위한 새로운 클러스터링 알고리즘

## (A new Clustering Algorithm for the Scanned Infrared Image of the Rosette Seeker)

張聖甲\*, 洪顯基\*, 杜炘秀\*, 吳正秀\*, 崔宗秀\*, 徐東宣\*\*

(Surng Gabb Jahng, Hyun Ki Hong, Kyung Su Doo, Jeong Su Oh, Jong Soo Choi, and Dong Sun Seo)

### 요 약

로켓 주사 탐색기는 적외선 유도 미사일에 장착되어 표적을 추적하는 장치이다. 단소자 검출기가 로켓 패턴의 형태로 공간을 주사함으로써 표적의 2차원 영상을 획득할 수 있다. 검출된 영상은 시계내의 위치에 따라서 형태가 변하고 대상 물체의 수가 고정되어 있지 않기 때문에 unsupervised clustering 방법을 이용하여 이들을 구분한다. 기존의 ISODATA 방식은 씨앗점(seed point)과 대상 화소간의 거리를 이용하여 clustering하기 때문에 물체의 모양이 복잡하거나 병합 및 분리 파라미터 값이 변하면 clustering 결과가 실제와 다르게 나타난다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선한 새로운 clustering 방법인 ALCA (Array Linkage Clustering Algorithm)을 제안한다. 이 방식은 화소가 저장된 메모리 번호의 연속성을 이용하여 clustering하기 때문에 초기 씨앗점과 병합 및 분리 파라미터를 필요로 하지 않는다. 따라서 대상 물체의 모양과 관계없이 clustering을 할 수 있다. 대상 물체의 clustering를 기존 방식과 비교 평가함으로써 제안된 방식의 우수성을 확인한다. 또한 제안된 ALCA를 로켓 주사 탐색기의 반대응 능력으로 이용하여 3차원 시뮬레이터상에서 추적 실험을 행한다. 기존 방식과 비교 평가를 통하여 제안된 ALCA 방식이 로켓 주사 탐색기의 반대응 능력으로서 우수한 성능을 가지고 있음을 확인한다.

### Abstract

The rosette-scan seeker, mounted on the infrared guided missile, is a device that tracks the target. It can acquire the 2D image of the target by scanning a space about target in rosette pattern with a single detector. Since the detected image is changed according to the position of the object in the field of view and the number of the object is not fixed, the unsupervised methods are employed in clustering it. The conventional ISODATA method clusters the objects by using the distance between the seed points and pixels. So, the clustering result varies in accordance with the shape of the object or the values of the merging and splitting parameters. In this paper, we propose an Array Linkage Clustering Algorithm (ALCA) as a new clustering algorithm improving the conventional method. The ALCA has no need for the initial seed points and the merging and splitting parameters since it clusters the object using the connectivity of the array number of the memory stored the pixel. Therefore, the ALCA can cluster the object regardless of its shape. With the clustering results using the conventional method and the proposed one, we confirm that our method is better than the conventional one in terms of the clustering performance. We simulate the rosette scanning infrared seeker (RSIS) using the proposed ALCA as an infrared counter countermeasure. The simulation results show that the RSIS using our method is better than the conventional one in terms of the tracking performance.

\* 正會員, 中央大學校 尖端映像大學院 影像工學科  
(Dept. of Image Engineering, Graduate school of  
Advanced Image Science, Film, and Animation,  
Chung-Ang University)

\*\* 正會員, 明知大學校 電子情報通信工學部

(Dept. of Electronic Engineering, Myong-Ji University)

※ 본 연구는 국방과학연구소 및 서울대학교 자동제어  
특화연구센터의 연구비 지원에 의한 결과입니다.

接受日字: 1999年12月13日, 수정완료일: 2000年2月10日

## I. 서론

로켓 주사 영상은 단소자 검출기가 전체 시계 (TFOV; Total Field Of View)를 로켓 패턴의 형태로 주사하여 만들어내는 영상으로서 적외선 유도 미사일의 탐색기에서 비행중인 표적과 섬광탄 같은 유사표적을 분리하는데 사용되고 있다. 로켓 주사 방식의 탐색기 (rosette seeker)는 광학계의 회전으로 마치 적외선 검출기가 로켓 패턴을 따라 전체 시계를 주사하는 것처럼 표적의 정보를 2차원 주사 영상으로 제공한다<sup>[1-7]</sup>.

로켓 주사 탐색기는 검출된 주사 영상으로부터 표적의 크기와 공간상의 위치에 관련된 정보를 얻을 수 있기 때문에 표적, 배경 clutter 및 섬광탄과 같은 대응 능력을 서로 구분할 수 있다. 로켓 패턴의 주사 속도는 앞서기 중심부가 빠르고 앞서기 끝부분이 느다. 또한 패턴 자체의 비선형성 때문에 표적을 지나가는 주사선 수는 패턴의 중앙이 외부보다 많다. 이러한 로켓 패턴의 주사 속도의 차이와 비선형성으로 인하여 검출되는 영상은 전체 시계내의 위치에 따라 형상이 다르게 나타난다. 또한 로켓 주사 탐색기는 단소자 검출기의 주사에 의해 적외선 영상을 취득하기 때문에 일반 카메라 영상과는 달리 밝기 분포의 차이가 크지 않다. 따라서 표적의 위치에 따른 검출 영상의 변형에 적응할 수 있으며, 동시에 섬광탄과 같은 표적의 대응 능력을 처리할 수 있는 신호처리 기법이 필요하다.

기존 로켓 탐색기에서는 전체 시계 내에 존재하는 영상을 구분하기 위해서 K-means기법의 clustering을 적용하였다<sup>[8, 9]</sup>. 그러나 이 방법은 초기 cluster의 씨앗점 (seed point)의 선택에 따라서 clustering 결과가 다르게 나타나고, 알고리즘 시작 전에 대상 cluster의 수를 결정해야 한다. 따라서 표적에서 대응 능력으로 발사하는 섬광탄의 수가 일정하지 않으면 미사일의 표적 추적은 실패하게 된다. 이러한 점을 개선한 unsupervised clustering 방법으로 ISODATA (Iterative self organizing data analysis technique) 기법이 있다. ISODATA 방식의 clustering은 알고리즘 시작 전에 cluster의 수를 고정하지 않고, 알고리즘 진행에 의해 cluster의 수를 결정하기 때문에 섬광탄의 수에 관계없이 모든 cluster를 구분할 수 있다. 그러나 미사일 요격에 의해 탐색기와 표적의 거리가 가까워지면 검출된 cluster의 크기가 증가하기 때문에, cluster의 분리 및

병합 파라미터의 값을 수시로 변경해야 한다. 따라서 ISODATA 알고리즘을 적용한 반대응 능력은 알고리즘 자체의 반복과 추적 진행에 따른 파라미터의 변경으로 처리 시간이 길어지는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 기존 clustering의 단점을 해결하기 위한 새로운 clustering 알고리즘인 Array Linkage Clustering Algorithm (ALCA) 방법을 제안한다.

ALCA는 로켓 주사 탐색기에서 검출되는 적외선 영상을 화소 단위로 기억 장치에 저장하고, 각각의 배열 번호를 이용하여 영상을 분류하는 방법이다. 기존의 clustering 방법과는 달리 ALCA를 이용한 clustering은 씨앗점을 필요로 하지 않는다. 기존의 K-means나 ISODATA와 같은 clustering 알고리즘은 씨앗점의 선택에 따라 clustering의 결과가 차이가 나지만, ALCA에 의한 clustering은 항상 동일한 결과를 생성한다. 따라서 ALCA는 알고리즘 시작 전에 K-means 알고리즘처럼 cluster의 수를 고정시킬 필요가 없다. 또한 화소 간 거리를 이용하여 clustering하지 않고 저장된 영상 화소의 배열 번호 차이를 이용하기 때문에, ISODATA 알고리즘처럼 cluster의 병합 및 분리 파라미터가 필요 없다. 따라서 대상 영상에 존재하는 cluster를 모두 분리할 수 있고, 계산이 간편한 장점이 있다. 본 논문에서는 기존 ISODATA clustering 방법과의 비교 분석을 통하여 ALCA 방법의 정확한 clustering 결과를 확인한다. 또한 제안된 ALCA 방식과 기존 방식을 적용한 로켓 주사 탐색기의 성능을 3차원 시뮬레이터상에서 비교 평가하고, 반대응 능력으로서의 ALCA 방식의 우수성을 확인한다.

본 논문은 서론에 이어 II장에서는 ALCA방식의 clustering을 제안하고 ISODATA 방식과 clustering 결과를 비교 분석한다. III장에서는 기존 및 제안된 clustering 방식을 이용한 반대응 능력의 성능을 3차원 시뮬레이터로 비교 평가하고, IV장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. Array Linkage Clustering Algorithm 제안

### 1. 로켓 주사 패턴의 2차원 배열화

로켓 패턴은 두 개의 광학계를 일정한 비율로 서로 반대 방향으로 회전시킴으로써 이루어진다. 두 프리즘

의 회전 주파수가  $f_1, f_2$  일 때, 형성되는 로젯 패턴의 자취는 다음과 같다<sup>[1, 2, 10]</sup>.

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{\delta}{2} (\cos 2\pi f_1 t + \cos 2\pi f_2 t) \\ y(t) &= \frac{\delta}{2} (\sin 2\pi f_1 t - \sin 2\pi f_2 t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\delta$ 는 프리즘의 굴절률이다. 회전 주파수 비의 관계는 다음과 같다.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{f_2}{f_1} \quad (2)$$

여기서  $N_1$  및  $N_2$ 는 서로 소인 양의 정수이고  $f_1 > f_2$ 이다. 또한 전체 잎사귀 수는  $N = N_1 + N_2$ 으로 표현된다.

로젯 패턴을 따라 움직이는 검출기가 표적을 지날 때, 검출기의 출력은 펄스 형태로 나타난다. 한 주기 동안 출력되는 펄스를 일정 간격으로 샘플링 하여, 해당 순시 위치와 검출 레벨 (0 또는 1의 값)을 기억 장치에 저장하면 전체 시계 내에 존재하는 표적의 주사 영상을 얻을 수 있다. 펄스가 생성되는 부분, 즉 표적이 검출되는 부분의 화소 값들은 연속해서 1의 값을 가지며, 그렇지 않은 부분은 0의 값이 연속된다. 주사 영상의 화소에서 1의 값이 연속되지 않는 부분이 있다면 그 부분의 앞과 뒤에서 연속되는 화소들은 별개의 cluster로 간주할 수 있다. 주사 영상은 카메라 영상과 달리 일정한 크기를 가지는 검출기의 로젯 주사에 의해 형성된다. 검출된 영상들의 화소가 서로 연속성을 가지지 않으면 최소한 검출기 크기만큼의 거리로 분리되어 있기 때문에 검출 영상들은 별개의 cluster로 해석될 수 있다.

샘플링 시간에 따라 검출되는 영상 화소의 배열은 비선형적인 패턴을 따라 정렬되기 때문에 2차원 배열이 아닌 1차원 배열의 형태를 가진다. 또한 로젯 패턴의 잎사귀가 그림 1의 굵은 실선과 같은 순서로 형성되기 때문에 1차원 배열로 화소간의 연속성을 검사할 수가 없다. 따라서 한 주기의 패턴이 완전히 형성된 다음에 1차원 배열을 각각의 잎사귀별로 나누어 2차원 공간상에 분포될 수 있도록 재배열을 해야 한다. 로젯 패턴의 비선형성을 최대한 줄이기 위해서 잎사귀가 겹치지 않는 패턴을 대상으로 재배열을 하고 ALCA 방법을 적용하기로 한다. 패턴의 재배열 과정은 다음과 같

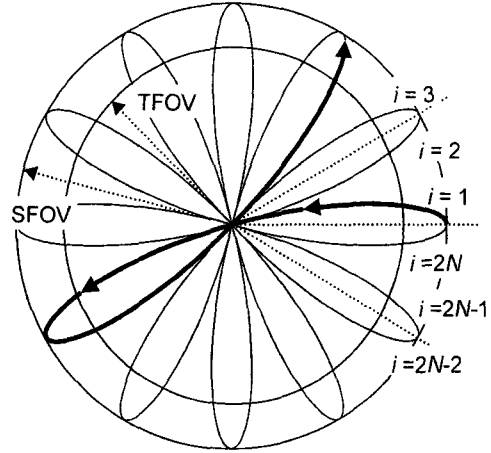


그림 1. 로젯 패턴의 재배열  
Fig. 1. Rearrangement of the rosette pattern.

먼저 로젯 패턴을 형성하는데 필요한 샘플점의 수를 2의  $k$ 승 값을 갖도록 다음과 같이 정의한다.

$$N_T = 2N \cdot 2^k \quad (3)$$

여기서  $k = 1, 2, \dots$ 이고,  $N$ 은 로젯 패턴의 전체 잎사귀 수이다. 로젯 패턴이 2차원 배열로 재정렬되기 위해서 샘플 시간  $\Delta t$ 는 다음 식을 만족하여야 한다.

$$\Delta t = \frac{1}{f \cdot N_T} \quad (4)$$

여기서  $f$ 는 하나의 로젯 패턴을 형성하는데 필요한 프레임 주파수이다.

로젯 패턴을  $i \times j$  배열로 변환하기 위해서 그림 1과 같이 각 잎사귀를 패턴의 중심과 끝을 기준으로 반분한다. 로젯 패턴이 시작되는 잎사귀 위쪽 반을  $i = 1$ 로 정하고, 반시계 방향으로 번호를 부여한다. 각각의  $i$ 행은  $j$ 개의 순시 샘플 점 ( $N_j$ )으로 구성되기 때문에 센서의 순시 위치로부터 배열의  $i$ 와  $j$ 값을 계산할 수 있다. 먼저 2차원 배열의  $i$ 값은 다음 식과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} i &= \left\lfloor \frac{\theta(t)N}{\pi} \right\rfloor + 1, & \text{if } \theta(t) \geq 0, \\ i &= \left\lfloor \frac{\theta(t)N}{\pi} + 2\pi \right\rfloor + 1, & \text{if } \theta(t) < 0 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $i = 1, 2, \dots, 2N$ 사이의 값을 가진다.  $\theta(t)$ 는

검출기의 순시 위치를 극좌표로 표현했을 때의 각 (angle)에 해당한다. 또한 전체 패턴의 샘플 수로부터  $2^k$  개씩 분할하여 배열의  $j$ 열을 구성하기 때문에  $j$ 의 범위는  $j = 1, 2, \dots, 2^k$ 가 된다. 따라서 패턴 중심부의 샘플 점부터 시작하여 외사귀 끝점의 샘플 점에서 끝나도록  $j$ 열의 배치 순서를 정하면 다음과 같이 값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} j &= (1+D)2^k - N_j + 1, & \text{if } D \text{ is odd,} \\ j &= N_j - 2^k D, & \text{if } D \text{ is even} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $D = \lfloor N_j / 2^2 \rfloor$  이고  $N_j = 1, 2, \dots, N_T$ 이다.

2N	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
⋮																			
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	⋯	$2^k$
		j column																	

그림 2. 로켓 패턴을  $i \times j$  배열로 변환한 예  
Fig. 2. Example of transforming the rosette pattern into  $i \times j$  array.

한 주기 동안의 로켓 주사중에, 적외선 센서에서 검출되는 물체에 관한 정보는 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 해당 배열에 저장된다. 로켓 주사중에 물체가 검출되면 해당 배열의 메모리에 1을 저장한다. 반대의 경우는 0을 저장한다. 한 주기 동안의 주사가 완료되면 그림 2와 같이  $i \times j$  배열이 생성된다.

## 2. ALCA에 의한 clustering 방법

ALCA 방법은 행 (row) 단위로 partial cluster를 형성하고, 이들의 연속성을 검사하여 최종 cluster를 만드는 순서로 구성된다. 먼저 알고리즘에서 사용되는 용어는 다음과 같이 정의된다.

$S_l$  :  $l$ 번째 partial cluster.

$i$  : 행 번호

$j$  : 열 번호

$x_{ij}$  :  $(i, j)$ 번째 배열의 화소 값.

$n(S_l)$  :  $l$ 번째 partial cluster의 원소 수.

$N_p$  : 하나의 partial cluster가 가질 수 있는 최소 원소 수.

ALCA는 다음과 같은 과정을 통하여 처리된다.

**Step 1** :  $l, i, j$  값을 1로 초기화 한다.

**Step 2** :  $j$ 값을 1부터  $2^k$ 까지 증가 시키면서  $x_{ij}$ 를 검사하고, 연속하여 1이면 해당 배열 번호  $i$ 와  $j$ 값을  $s_l$ 에 포함 시킨다. 하나 이상의 화소가 0의 값을 가질 때 까지 partial cluster를 생성한다.

**Step 3** : 생성된 partial cluster의 원소수가  $n(S_l) < N_p$ 이면 다시 step 2를 실행한다. 그렇지 않으면  $l$ 을 증가 시키고 계속해서  $j$ 열의 마지막 까지 조사한다.

**Step 4** : 마지막  $i$ 행까지 step 2와 step 3를 실행하면 다음과 같이  $l$ 개의 partial cluster가 생성된다.

$$S_l = [(i_1, j_1)_l (i_2, j_2)_l \dots (i_n, j_n)_l] \quad (7)$$

여기서  $n$ 은  $l$ 번째 cluster의 원소수를 의미한다.

**Step 5** : 모든 partial cluster를 포함하는 집합을  $U = [S_1 S_2 \dots S_l]$ ,  $p$ 번째 cluster를  $C_p$ 로 각각 정한다. partial cluster간의 연속성 조사는  $p = 1$ 부터 시작한다.

**Step 6** :  $U$ 의 첫번째 부분 집합 (partial cluster set)을  $C_p$ 에 포함 시키고  $U$ 에서 제거하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C_p = [S_1], U = [S_2 S_3 \dots S_l] \quad (8)$$

**Step 7** : 식 (9)처럼  $C_p$ 의 임의의 원소  $(i_m, j_m)_p$ 와  $U$ 의  $l$ 번째 partial cluster의 원소  $(i_n, j_n)_l$ 과의 연속성을 조사한다.  $C_p$ 에 포함되는  $l$ 번째 partial cluster는  $U$ 에서 제거된다.

$$S_l \in C_p \text{ and } U - S_l \text{ if } |(i_m, j_m)_p - (i_n, j_n)_l| = (1, 0) \quad (9)$$

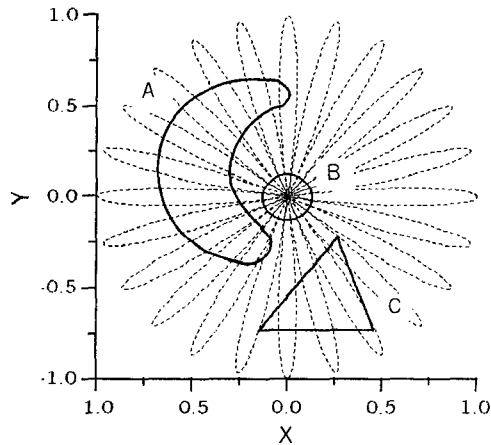
**Step 8** : 식 (9)에 해당되는 원소가  $U$ 에 더 이상 존재하지 않으면  $p$ 값을 하나 증가 시킨다.  $U$ 가 공집

합이 아니면 step 6로 간다. 그렇지 않으면 다음 step으로 간다.

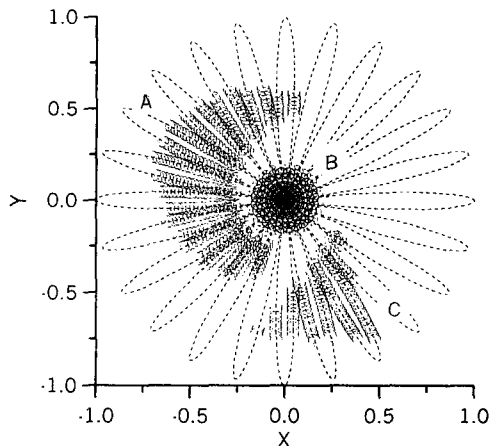
**Step 9 :** 마지막으로 로켓 패턴의 특성상  $i=1$  행과  $i=2N$ 행은 서로 이웃하는 행이므로 이들 행의 원소를 포함하는 cluster들의 연속성을 조사한다.

$$C_r \cup C_s \text{ if } |(i_r, j_r) - (i_s, j_s)| = (2N, 0) \quad (10)$$

여기서  $r=1, 2, \dots, p-1$ 이고,  $s=1, 2, \dots, p-1$ 이며  $r \neq s$ 이다. 형성된 cluster의 중심을 계산하고 알고리즘을 종료한다.



(a)

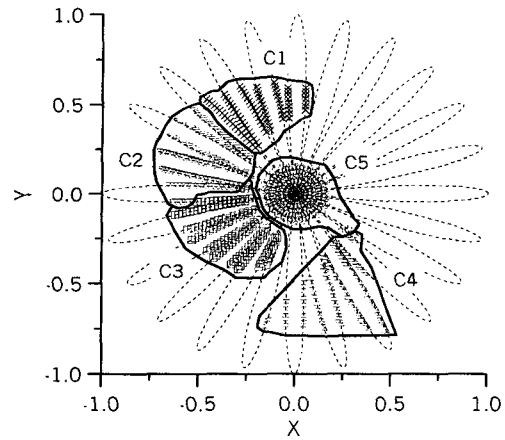


(b)

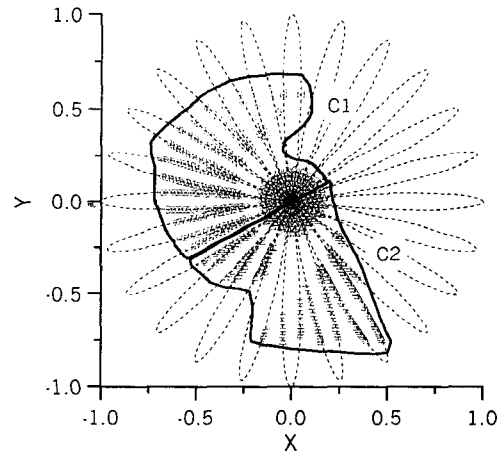
그림 3. 로켓 주사 탐색기의 입력 영상 및 검출 영상  
(a) 입력 영상 (b) 검출 영상

Fig. 3. Input and detected images of the rosette scanning seeker.

(a) Input images. (b) Detected images.



(a)  $\theta_s=0.05, \theta_c=0.2$



(b)  $\theta_s=0.1, \theta_c=0.2$

그림 4. ISODATA 알고리즘을 이용한 clustering결과  
Fig. 4. Clustering results using the ISODATA.

ALCA를 처리하기 위한  $i \times j$ 배열 메모리는 입력되는 신호의 레벨 저장용, X와 Y의 좌표 값 저장용 및 계산된 cluster 원소 저장용 등이 필요하다. ALCA 처리 과정을 통하여 생성된 cluster의 배열 메모리에는 화소의 2진 값인 0 또는 1이 저장되어 있다. 따라서 각각의 cluster배열을 X 및 Y의 배열과 곱하면 해당 cluster 원소들의 좌표 값을 얻을 수 있다. 따라서 이들 원소로부터 각 cluster의 중심을 구할 수 있으며, cluster의 중심 계산은 소속된 화소들만을 대상으로 평균 값을 구하기 때문에 신속하고 간편하게 얻어질 수 있다.

ALCA의 clustering 능력을 비교하기 위하여 그림 3(a)와 같이 3개의 서로 다른 영상을 사용한다. 그림 3(b)는 로켓 주사 탐색기에서 검출된 영상이다. 탐색기

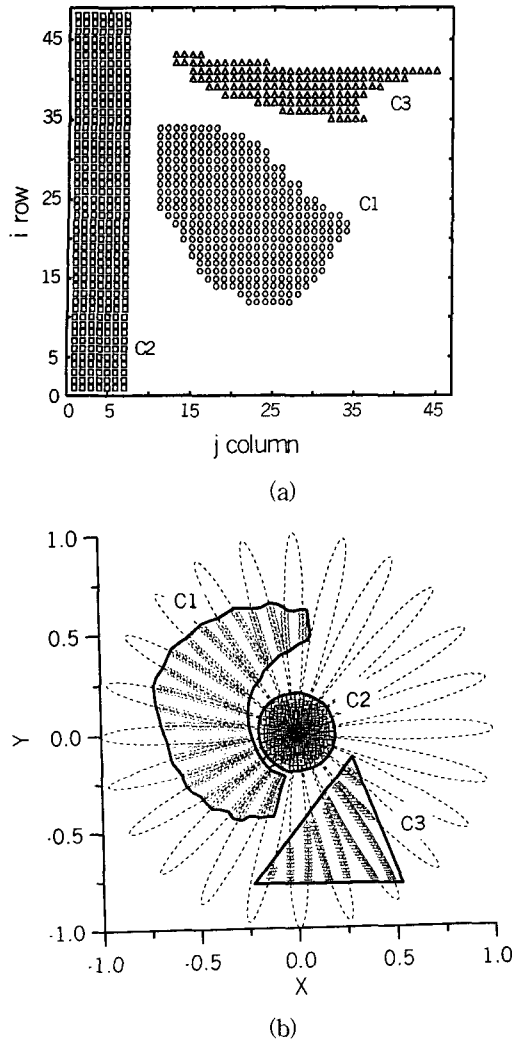


그림 5. ALCA를 이용한 배열 영상 및 clustering 결과

- (a) 2차원 배열 영상  
(b) ALCA를 이용한 clustering 결과

Fig. 5. Clustering results and array images using the ALCA.

- (a) Two dimensional array images.  
(b) Clustering results using the ALCA.

는 각기 ISODATA 방식과 ALCA 방식을 적용하고 한 주기 후 이들 영상에 대한 clustering 결과를 비교한다. 그림 3(a)에서 한 쪽 부분이 들어간 A 영상이 다른 영상과 같이 존재하면, ISODATA와 같이 원소 및 cluster 간의 거리에 의해 clustering 되는 알고리즘에서는 구별되지 않는다. 따라서 이러한 영상에 대한 ISODATA 방식의 clustering은 그림 4와 같이 틀린 결과를 보여 준다. 그림 4(a)는 분리 파라미터를  $\theta_s=0.05$

로 했을 때의 결과이다. 입력된 영상은 3개인데 clustering 결과는 5개의 영상으로 출력되었다. 그림 4(b)는  $\theta_s=0.1$ 로 하고 clustering한 결과이다. 3개의 입력 영상을 2개의 영상으로 clustering 하였다. 이러한 결과는 ISODATA에 의한 clustering 결과가 병합 및 분리 파라미터의 값과 입력 영상의 형태에 따라 변한다는 것을 보여 준다.

ALCA 방식에 의한 clustering 결과는 그림 5에 있다. 그림 5(a)는 탐색기가 검출한 영상을 2차원 배열로 정리한 후 이들을 ALCA방법으로 clustering한 결과를 보여 준다. ALCA방법은 그림 5(a)와 같이 배열 영상에서 원소간의 연속성을 검사하고, 관련된 원소끼리 하나의 집합을 형성한다. 따라서 입력 영상의 형태와는 무관하게 clustering을 행한다. 또한 ISODATA와 같이 초기 cluster의 중심 값인 씨앗점을 설정이 필요 없고, 병합 및 분리 파라미터의 설정도 필요 없다. 그림 5(b)의 clustering 결과는 ALCA 방법을 적용한 로켓 주사 탐색기는 대상 영상을 정확히 분류하는 능력이 우수함을 보여 준다. 대상 영상의 정확한 분류는 표적과 섬광탄의 정확한 분리로 연결되기 때문에, 이 방식을 적용한 탐색기의 반대응 능력은 섬광탄의 형태와 수에 관계없이 그 영향을 배제할 수 있다.

### III. 3차원 추적 시뮬레이션

로켓 주사 탐색기의 3차원상의 추적 시뮬레이션을 실행하기 위하여 다음과 같은 가정을 전제로 한다.

- 1) 표적 및 섬광탄은 반경이 각각 0.15 및 0.02인 원형으로 미사일과의 거리에 따른 크기변화는 없다.
- 2) 표적과 섬광탄에서 방사되는 적외선 에너지는 대기에 의해 산란되지 않고, 대기 흡수와 미사일과의 거리에 의해서만 감쇄된다.
- 3) 탐색기에 입력되는 적외선 복사 에너지는 검출기 내에서 균일하다.
- 4) 미사일과 표적은 동체축을 고려하지 않는 점원(point source)으로 한다.

그림 6은 로켓 주사 탐색기의 3차원 시뮬레이션 구성도를 보여 준다. 1번 블록에서는 표적과 섬광탄의 3차원 상에서의 기동과 방사되는 적외선 복사량을 계산

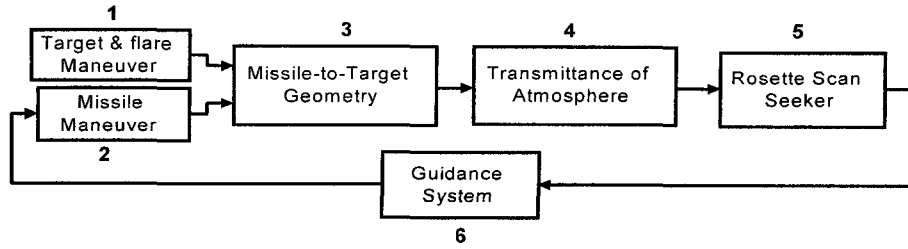
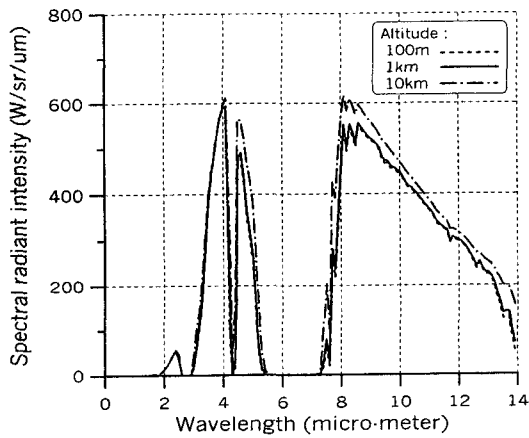
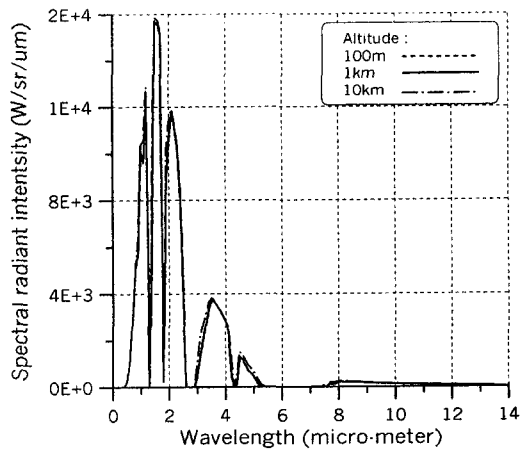


그림 6. 로켓 주사 탐색기의 3차원 추적 시뮬레이션을 위한 구성도  
 Fig. 6. Block diagram for 3D tracking simulation of the rosette scanning seeker.



(a)



(b)

그림 7. 고도에 따른 표적과 섬광탄의 파장별 방사 세기

- (a) 표적
- (b) 섬광탄

Fig. 7. The spectral radiant intensities of the target and the flare.

- (a) The target.
- (b) The flare.

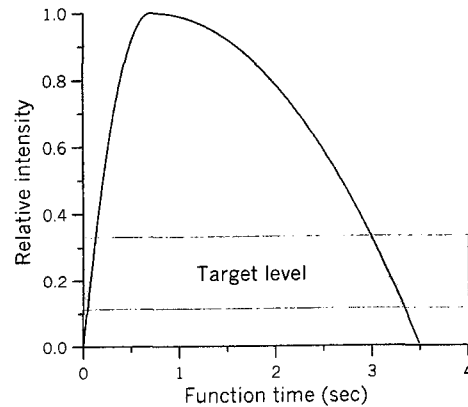


그림 8. 시간에 따른 연소 세기의 변화

Fig. 8. Relative intensity radiated from a flare as a function of time.

한다. 2번 블록은 참고 문헌 [11, 12]에서 실시한 미사일 운동 모델링을 응용하여 3차원 좌표계상에서의 미사일 기동을 계산한다. 3번 블록은 1번 및 2번 블록에서 계산된 3차원상의 표적, 섬광탄 및 미사일의 좌표를 수평, 수직면으로 분리한다. 또한 분리된 평면상에서 각각의 시선각(고각 및 방위각)을 계산한다. 4번 블록은 표적 및 섬광탄에서 방사되는 적외선 복사 에너지에 대한 대기 투과율을 적용하고 거리에 따른 감쇄를 고려하여 탐색기의 검출기에 입력되는 복사 에너지(irradiant intensity)를 계산한다<sup>[13]</sup>. 섬광탄과 표적의 온도는 각각 2000°K와 500°K로, 대기의 온도와 상대 습도는 각각 18°C 및 60%로 가정한다. 그림 7은 이러한 가정을 전제로 했을 때 고도에 따른 적외선의 대기 투과에 의해 나타나는 섬광탄과 표적의 파장별 방사 특성을 보여 준다. 또한 발사된 섬광탄은 그림 8과 같이 시간에 따라 연소 세기가 변한다. 따라서 섬광탄의 세기는 섬광탄 발사 후 일정 시간동안 표적의 세기와 같은 부분이 존재한다.

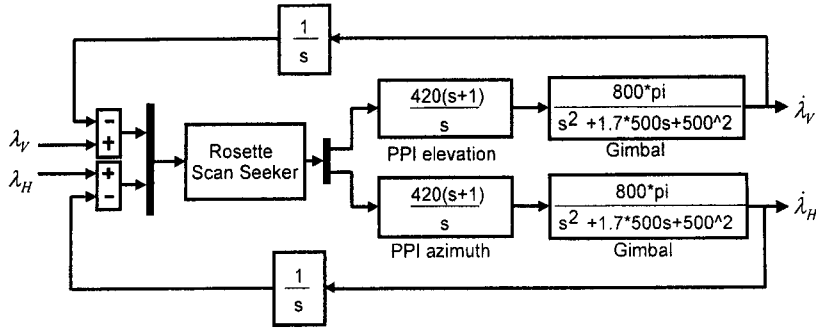


그림 10. Rate gyroscope의 구성도  
Fig. 10. Configuration of rate gyroscope.

3번과 4번 블록에서 계산된 각 평면의 시선각과 복사 에너지는 5번의 로켓 탐색기 블록으로 입력된다. 5번의 탐색기 블록은 로켓 주사 탐색기와 rate gyroscope로 구성되어 있다. 그림 9에서 입력되는 시선각 (LOS; Line Of Sight)은 수직 및 수평면상에서 구한 고각 ( $\lambda_v$ )과 방위각 ( $\lambda_H$ )이고 이 각이 로켓 주사 탐색기에 입력된다.

회전 광학계는 BK-7형으로 굴절률이 1.51872인 프리즘으로, 대물 렌즈의 구경과 entrance pupil의 구경은 같은 것으로 가정한다. 초점 렌즈의 구경 ( $D_o$ )은 10mm, 초점 번호 ( $F/\#$ )는 4.5일 때, 초점 렌즈와 검출기 사이의 초점 거리는 45mm가 된다. 전체 시계의 반경을 35mrad으로 설정하면, 쉘기형 프리즘의 사이 각은 34.48mrad이 된다. 입사각 파라미터를  $N_1 = 13$ 이고  $N_2 = 11$ 로 정했을 때 순시 시계의 크기는 9.16mrad가 되고 검출기를 원형으로 가정하면 직경이 0.412mm가 된다.

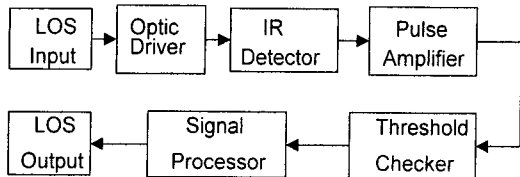


그림 9. 로켓 주사 탐색기의 구성도  
Fig. 9. Configuration of the rosette scanning seeker.

회전하는 두개의 프리즘을 통과한 표적의 시선각은 적외선 검출기로 입력된다. 이들 신호는 펄스 증폭기를 거치며 신호처리에 필요한 크기로 증폭된다. 문턱치 검출기는 배경 신호의 간섭을 배제하기 위한 것으로 섀

플 구간마다 이전 값을 기준으로 가변이 된다. 신호처리 블록에서는 적용된 반대응 알고리즘을 이용하여 표적을 바라보는 탐색기의 시선각이 계산된다.

로켓 탐색기 블록에서 출력된 고각과 방위각은 그림 10의 rate gyroscope로 입력되고 이 rate gyroscope에 의해 시간당 고각 및 방위각의 변화율을 얻을 수 있다. 6번 블록은 비례 제어 유도 블록으로서, 5번 블록에서 출력되는 시선각 변화율을 이용하여 다음 샘플링 주기에 필요한 미사일의 기동 가속도를 결정한다. 비례 제어 유도 블록에서 결정된 미사일의 기동 가속도는 1번의 미사일 기동 블록으로 입력되어 다음 샘플링 주기 동안 움직인 거리, 위치 및 속도 등이 계산되고 이러한 과정은 미사일과 표적사이의 거리가 최단거리로 접근할 때 까지 계속된다.

시뮬레이션의 시나리오는 표적의 기동 방향에 따라 표 1과 같이 분류된다. 초기 표적은 기준축의  $-X$  방향에서 약간 오른쪽 (방위각= $190^\circ$ )으로 수평 (고각= $0^\circ$ ) 비행 중이었다고 가정한다. 미사일의 요격이 시작된 후, 표적은 시나리오 1에서 진행방향의 우측, 시나리오 2에서 진행방향의 좌측, 시나리오 3에서 진행방향의 우측상단, 시나리오 4에서 진행방향의 좌측상단으로 각각 회피 기동한다고 가정하였다. 표 1에서 항은 중력 가속도를 의미한다.

기존 및 제안된 clustering 방법을 이용한 반대응 능력은 다음과 같은 방법을 복합적으로 이용하여 섬광탄과 표적을 분리한다.

- 1) 비행체의 운동 궤적은 물리적으로 급격하게 변할 수 없기 때문에 이전 주기의 표적의 추적 궤적을 이용한다. 즉 예상 궤적에서 가장 가까운



표 1. 추적 시뮬레이션 초기 조건

Table 1. Initial conditions of the tracking simulatoin.

	Scenario 1	Scenario 1	Scenario 1	Scenario 1
표적 기동 가속도	$X = -5g$	$X = 5g$	$X = -5g$	$X = 5g$
	$Y = 5g$	$Y = -5g$	$Y = 5g$	$Y = -5g$
	$Z = 0g$	$Z = 0g$	$Z = 4g$	$Z = 4g$
표적 초기 위치	$X = 2558.67m, Y = 451.13m, Z = 1449.90m$			
표적 초기 속도	$V_T = 280m/sec$			
표적 기동 방향	고각=0°, 방위각=190°			
표적 및 섬광탄의 크기	표적 반경=0.15, 섬광탄 반경 =0.02			
미사일 초기 위치	$X = 0m, Y = 0m, Z = 0m$			
미사일 초기 속도	$V_M = 510m/sec$			
표적 · 미사일의 초기 거리	3000m			
섬광탄의 발사 시간	Flare 1=0.5sec후, Flare 2=1sec후, Flare 3=1.5sec후			
섬광탄의 발사 방향	고각=-90°, 방위각= 표적과 동일			
섬광탄의 발사 속도	$V_M = 50m/sec$			
Frame frequency	100Hz			

표 2. 빗 맞힘 거리

Table 2. Miss distances.

ALCA 방식				
Pattern type	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4
1	7.77m	8.18m	8.50m	7.82m
2	4.85m	6.76m	8.00m	5.63m
3	3.92m	4.11m	2.79m	3.40m
ISODATA 방식				
Pattern type	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4
1	9.55m	3.75m	23.31m	16.16m
2	11.26m	6.70m	12.54m	15.96m
3	12.22m	11.24m	5.33m	11.00m
K-means 방식				
Pattern type	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4
1	106.04m	124.9m	143.23m	167.46m
2	120.7m	141.08m	138.28m	220.63m
3	89.84m	80.91m	116.68m	108.25m

cluster를 표적으로 인식한다.

- 2) 표적의 크기는 섬광탄보다 크기 때문에 출력된 cluster중에서 원소수가 많은 것을 표적으로 인식한다.
- 3) 검출기에 입력되는 섬광탄의 적외선 복사량은 표적보다 약 3~5배 크다. 따라서 출력된 cluster중

에서 표적 인식 문턱치 보다 3배 이상 큰 것은 섬광탄으로 인식하여 배제한다.

그림 11과 그림 12는 제안된 ALCA 방식과 기존의 ISODATA 및 K-means 방식을 적용한 로켓 주사 탐색기의 추적 시뮬레이션 결과를 보여준다. K-means

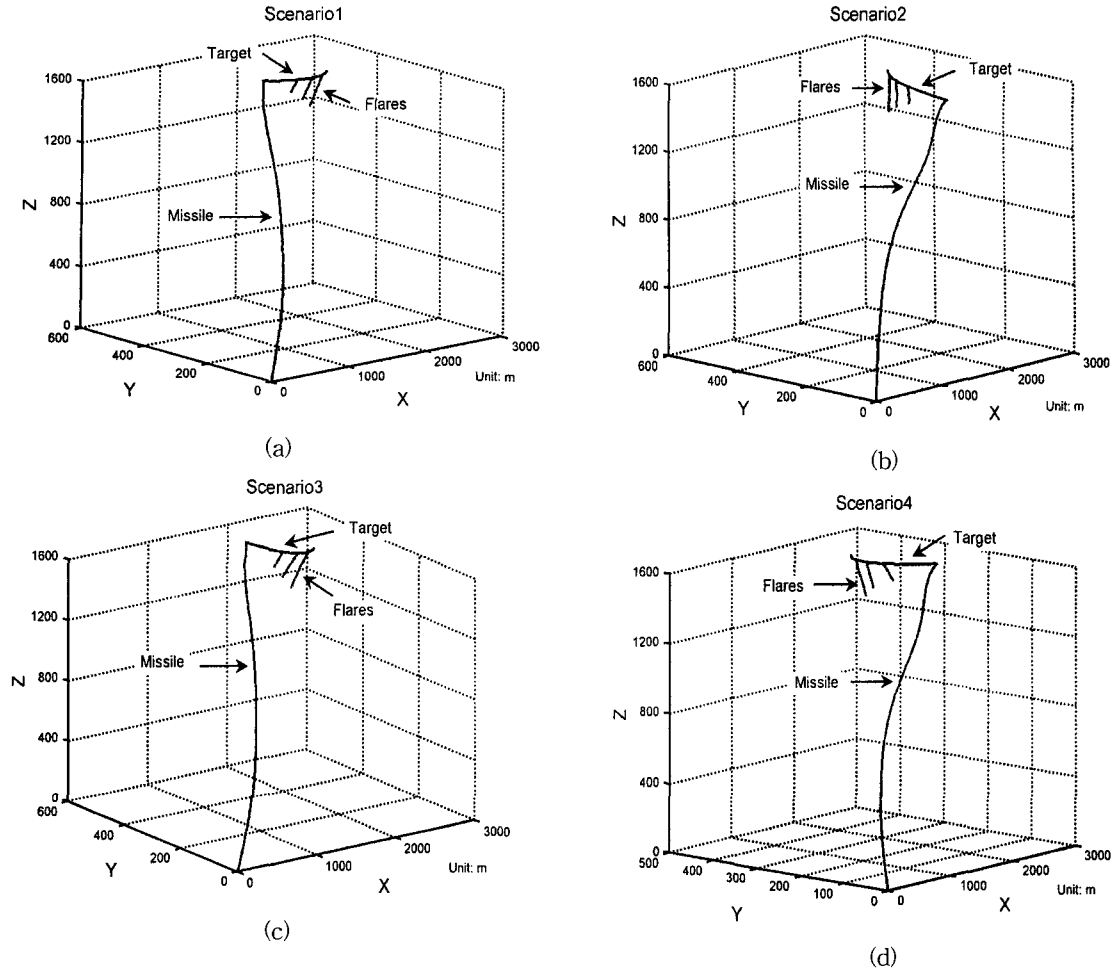


그림 11. ALCA를 이용한 로켓 주사 탐색기의 추적 결과

Fig. 11. Tracking results of the rosette scanning seeker using the ALCA.

알고리즘은 섬광탄의 연소 시간에 따라서 섬광탄을 표적으로 인식하거나, 전체 시계내에 존재하는 다수의 섬광탄을 일률적으로 한 개로 정해야 하는 특성 때문에 표적 추적을 실패한다. 그러나 이들과 달리 ISODATA 방식과 ALCA 방식을 적용한 로켓 주사 탐색기는 섬광탄의 수와 연소 시간의 변화에 따른 영향을 모두 배제하고 표적을 추적함을 알 수 있었다.

표 2는 제안된 반대응 능력 및 기존의 반대응 능력을 적용한 탐색기의 빔 맞힘 거리를 보여 주고 있다. 여기서 pattern type은 로켓 패턴의 파라미터이며 pattern 1은  $N_1=13$ ,  $N_2=11$ , pattern 2는  $N_1=15$ ,  $N_2=13$ 이며 pattern 3은  $N_1=21$ ,  $N_2=19$ 이다. 또한 빔 맞힘 거리 (miss distance)는 추적 시뮬레이션이 진행되면서 미사일과 표적간의 거리가 가장 가까울 때를 의미한다. 대부분의 추적 시뮬레이션에서 탐색기의 성

능은 빔 맞힘 거리가 0에 가까울수록 우수한 것으로 판단한다. 문헌 [14]을 참조하면 미사일에 탑재된 탄두의 종류와 탄두를 구성하는 파편의 형태에 따라서 차이는 있지만 빔 맞힘 거리가 10m 이내이면 100%에 가까운 살상 확률 (kill probability)를 보여 준다. K-means 방식의 빔 맞힘 거리는 실질적으로 추적을 실패한 상태이므로 의미가 없다. 그러나 제안된 ALCA 방식을 적용한 로켓 주사 탐색기는 다양한 교전 시나리오에서 살상률 100%에 가까운 추적 성능을 보여 주고 있다. ISODATA 방식은 섬광탄의 영향을 배제하지만 전반적으로 ALCA 방식보다 빔 맞힘 거리가 크기 때문에 추적 성능이 떨어진다.

표 3은 각 교전 시나리오상에서 프로그램의 실행 시간을 보여 준다. 교전 시간은 절대적 시간이 아니고 시뮬레이터상에서의 샘플링 시간을 기본으로 하여 전체

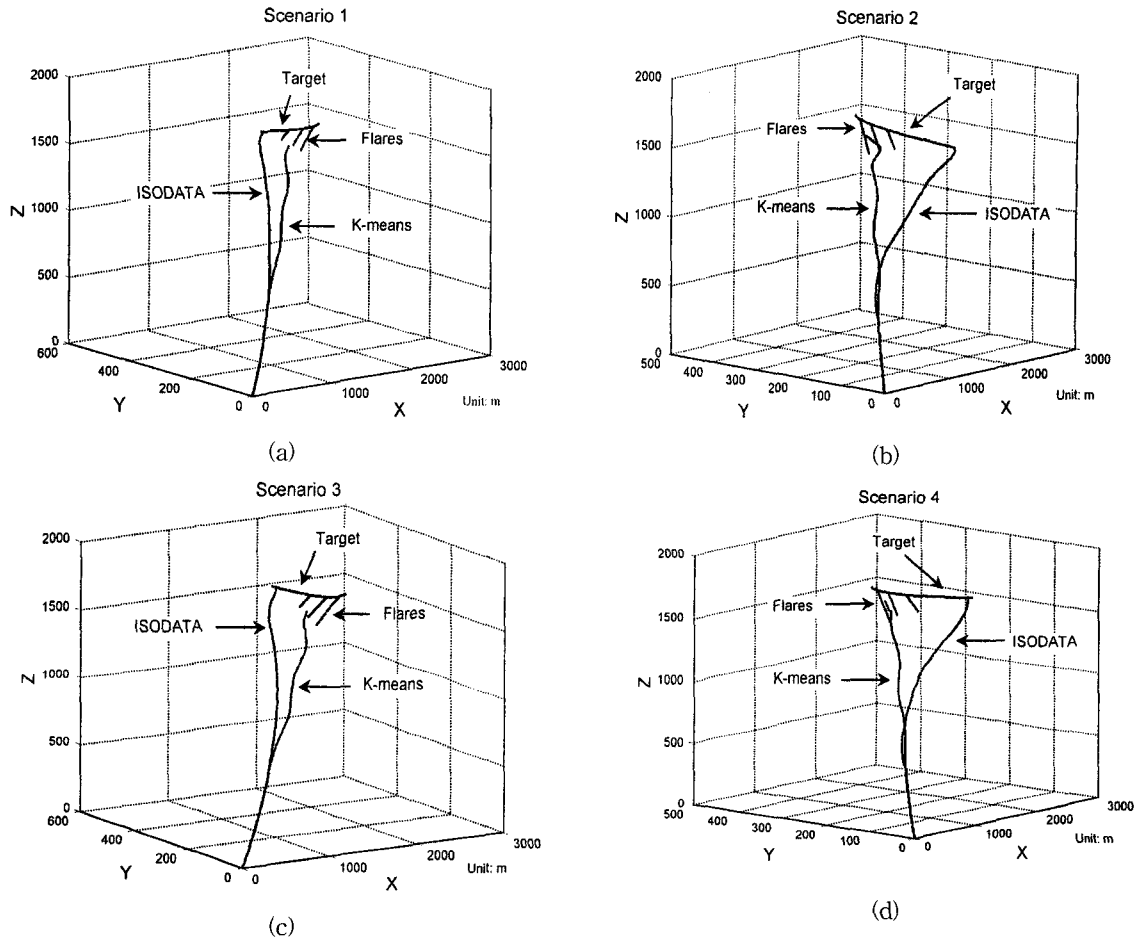


그림 12. 기존 clustering을 이용한 로켓 주사 탐색기의 추적 결과

Fig. 12. Tracking results of the rosette scanning seeker using conventional clustering methods.

프로그램을 처리하는데 걸리는 시간을 의미한다. 또한 CPU time은 컴퓨터가 해당 시나리오의 프로그램을 실행하는데 걸린 시간을 의미한다. 따라서 CPU time은 컴퓨터의 성능에 따라 달라질 수 있는 상대적 시간이다. 본 시뮬레이션에서는 인텔 셀러론 333 MHz를 사용하였다. ISODATA방식의 반대응 능력을 적용한 탐색기는 ALCA 방식을 적용한 탐색기보다 2배에서 4배 정도의 CPU time을 필요로 함을 알 수 있다. 이것은 ISODATA 알고리즘을 이용하여 하나의 클러스터링 결과를 얻기 위해서는 클러스터의 분리 및 병합을 반복적으로 수행해야 하기 때문이다. 또한 표적 및 섬광탄 cluster의 크기는 표적과 탐색기간의 거리와 전체 시계내의 위치에 따라서 변하기 때문에 cluster의 분리 및 병합을 결정하는 파라미터를 반드시 조정해야 한다. 따라서 알고리즘 전체의 처리 시간은 증가하게 된다. 이

러한 단점은 ISODATA 알고리즘의 실시간 처리를 불가능하게 하는 요인이 될 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 로켓 주사 탐색기에서 검출된 주사 영상을 대상으로 하는 clustering방법으로서 새로운 ALCA 방법을 제안하였다. 기존의 unsupervised clustering 방식의 ISODATA 알고리즘과 달리 ALCA 방식은 초기의 씨앗점과 분리 및 병합 파라미터를 필요로 하지 않으며, 전체 시계내의 위치나 모양에 관계없이 정확하게 대상 영상을 clustering함을 알 수 있었다.

제안된 ALCA와 기존의 clustering 방식의 반대응 능력으로서의 성능을 평가하기 위하여 3차원 시뮬레이터 상에서 이들의 추적 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레

Rosette	시나리오 1		시나리오 2		시나리오 3		시나리오 4	
Pattern Type	교전 시간	CPU Time	교전 시간	CPU Time	교전 시간	CPU Time	교전 시간	CPU Time
ALCA 방식								
1	2.329s	364.7s	2.48s	445.44s	2.38s	369.19s	2.49s	405.68s
2	2.32s	413.43s	2.53s	512.95s	2.44s	413.69s	2.58s	454.12s
3	2.1995s	648.06s	2.439s	611.38s	2.239s	571.23s	2.43s	616.1s
ISODATA 방식								
1	2.169s	1154.4s	2.75s	1146.4s	2.37s	1139.7s	2.69s	1343.6s
2	2.03s	1293.2s	2.539s	1399.6s	2.17s	1260.9s	2.56s	1500.7s
3	2.219s	2040.9s	2.38s	2356.6s	2.19s	2527.1s	2.28s	2726.8s
K-means 방식								
1	2.09s	156.76s	2.13s	165.93s	2.09s	134.46s	2.21s	139.78s
2	2.1196s	161.54s	2.1396s	140.12s	2.0796s	137.31s	2.23s	143.52s
3	2.0199s	171.64s	2.05s	149.5s	2.03s	148.3s	2.11s	152.37s

표 3. Clustering 알고리즘의 처리 시간  
Table 3. Processing time of clustering algorithms.

이선 결과를 통하여 제안된 ALCA가 기존의 ISODATA보다 빗 맞춤 거리가 전반적으로 작고, 알고리즘의 처리 시간이 빠름을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 ALCA 방식은 로켓 주사 탐색기의 반대응 능력으로서 기존 ISODATA 보다 우수한 추적 성능을 가짐을 확인하였다. 결과적으로 이러한 ALCA 방식의 로켓 주사 탐색기를 탑재한 미사일은 섬광탄과 같은 표적의 대응 능력의 영향을 배제하고 정확히 표적만을 추적할 수 있기 때문에 제안된 ALCA 방식은 아주 유용한 반대응 능력이 될 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. S. Accetta and D. L. Shumaker, *The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook*, Vol. 7-Ch. 3, Vol. 3-Ch.1~Ch.3, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Washington, 1993.
- [2] G. J. Zissis and W.L. Wolfe, *The Infrared Handbook*, Ch. 10 and Ch. 22, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, 1985.
- [3] R. D. Hudson, J R., *Infrared Systems Engineering*, John Wiley & Sons, N.Y., 1969.
- [4] J.J. May, Jr. and M.E. Van Zee, "Electro-Optic and Infrared Sensor," *Microwave Journal*, pp.121~131, September 1983.
- [5] 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.
- [6] T. Tajima, S. Wakabayashi, M. Kondo, and T. Takei, "Rosette Scan Infrared Sensor," *Proc. SPIE*, Vol. 219, pp. 51-57, 1980.
- [7] F. A. Rosell, "Prism Scanner," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 50, No. 6, pp. 521-526, June 1960.
- [8] S.G. Jahng, H.K. Hong, S.H. Han, and J.S. Choi, "Dynamic simulation of the rosette scanning infrared seeker and an infrared counter-countermeasure using the moment technique," *Optical Engineering*, Vol. 38, No. 5, pp. 912-928, 1999.
- [9] S.G. Jahng, H.K. Hong, and J.S. Choi, "Simulation of Rosette Infrared Seeker and Counter-countermeasure Using K-Means Algorithm," *IEICE Tran. on Fundamentals*

of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E82-A, No. 6, pp. 987-993, 1999.

[10] S. G. Jahng, H. K. Hong, S. H. Han, and J. S. Choi, "Design and Analysis of Improved Instantaneous Field of View of Rosette Scanning Infrared Seeker," *Electronics Letters*, Vol. 33, No. 23, pp. 1964-1965, 1997.

[11] Robert H.M. Macfadzean, *Surface-Based Air Defense System Analysis*, Ch. 5 and Ch. 6, Artech House, London, 1992.

[12] S.G. Jahng, H.K. Hong, S.H. Han, D.S. Seo,

and J.S. Choi, "3D simulation for the rosette scanning seeker using thresholding techniques," *Proc. SPIE*, Vol. 3692, pp. 343-353, 1999.

[13] 오정수, 두경수, 장성갑, 서동선, 최중수, "적외선 표적 추적 시뮬레이션을 위한 공중 표적 포착 모델링," *한국통신학회*, Vol. 24, No. 8B, pp. 1593-1600, 1999

[14] 이장규, 이상욱, 최중수, 박래홍, "비행중 표적인식 및 신호처리 연구," *국방과학연구소 TEM-417-970132*, pp. 172-222, 1997

저 자 소 개



張 聖 甲(正會員)

1988년2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1990년2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2000년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1988년 1월~1993년 12월 동인전자 개발실.

1994년1월~1996년12월 J & L SYS 대표 1997년1월~1999년 12월 용인전자 시스템 개발실. 1992년9월~1999년 12월 부천대학 컴퓨터 제어과 겸직교수. 2000년 1월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 연구교수 재직 중. 주 관심 분야는 적외선 신호처리, 영상처리, 마이크로 프로세서 응용 개발 등임



杜 炆 秀(正會員)

1989년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1991년 2월 중앙대학교 전자공학과 (공학석사). 1997년 3월~1998년 2월 한국 컴퓨터 프로그램 보호회 연구위원. 1998년 3월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정. 주관심 분야는 적외선 신호처리, 영상 신호처리 등

원 영상공학과 박사과정. 주관심 분야는 적외선 신호처리, 영상 신호처리 등



吳 正 秀(正會員)

1990년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 8월 중앙대학교 전자공학과 (공학석사). 1993년 7월~1997년 1월 신도리코 기술연구소. 1998년 3월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정.

주관심 분야는 적외선 신호 처리, 영상 신호 처리, 영상 신호 압축, 등



洪 顯 基(正會員)

1993년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 8월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사). 1998년 9월~1999년 8월 중앙대학교 전자공학과 박사후 연구원.

1999년 9월~현재 중앙대학교 정보통신대학원 연구교수 재직 중. 주관심 분야는 광변조 시스템, 신호처리, 마이크로프로세서 응용 개발 등임



徐東善(正會員)

1980년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1985년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학석사). 1989년 미국 New Mexico University 전자공학과 졸업(공학박사). 1990년~현재 명지대학교 전자공

학과 교수. 주관심 분야는 electro-optical system, optical sensing, optical communications

崔宗秀(正會員)

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~ 1999년 8월 중앙대학교 전자공학과 교수. 1999년 9월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원장 재직 중. 주관심 분야는 적외선 신호처리, 컴퓨터 시각, 영상 압축 및 영상 처리 등임