

논문 2014-51-10-18

# 4차원 특징 벡터에 의한 레이더 신호 클러스터링 기법 ( A Clustering Technique of Radar Signals using 4-Dimensional Features )

이 종 태\*, 주 영 관\*, 김 관 태\*\*, 전 중 남\*\*\*

( Jong-Tae Lee, Young-Kwan Ju, Gwan-Tae Kim, and Joong-Nam Jeon<sup>©</sup> )

## 요 약

전자전지원시스템은 실시간 전자 공격에 대처하기 위해 레이더 신호를 수집하고 분석한다. 레이더 펄스 클러스터링 시스템은 단일 소스에 방사되는 것으로 예상되는 레이더 신호를 분류한다. 본 논문에서는 도착방향, 주파수, 펄스 폭, 연속된 펄스의 도착시간의 차이 4가지 특징을 기반으로 한 클러스터링 알고리즘을 제안하였고 실험을 통하여 제안한 알고리즘이 이동방사체의 추적과 시간적으로 분리된 신호를 다른 군집으로 분리함을 보였다.

## Abstract

The Electronic Support System collects and analyzes the received radar signals in order to cope with the electronic attack in real-time. The radar-pulse clustering system classifies the radar signals that are considered to be emitted by a single source. This paper proposed a radar-pulse clustering algorithm based on four kinds of features: the direction, frequency, pulse width, and the difference of arrival time between two successive pulses. The experiment results show that the proposing algorithm could trace the moving emitter and classify the timely separated signals into different classes.

**Keywords :** Electronic Support System, Pulse Description Word, Pulse Repetition Interval, Clustering

## I. 서 론

전자전지원시스템(Electronic Support System)은 자

신의 전자기 스펙트럼을 차단하고 상대의 전자기 스펙트럼을 수집, 도청, 분석하여 위협을 인식하고, 위협 회피 및 추적과 같은 전자전 활동을 지원하는 시스템이다<sup>[1~2]</sup>. 이와 같은 기능을 수행하기 위하여 전자전지원시스템은 레이더 신호 수집, 신호 클러스터링, 신호 특징 추출, 신호 판정, 판정 신호의 세부정보 확인 등의 과정을 수행한다. 다양한 형태의 펄스 신호가 존재하는 전자전 환경에서 전자전 위협에 실시간으로 대응하기 위해서 신속하고 정확한 신호분석 기술이 필요하다.

전자전지원시스템의 기능 중에서 신호 클러스터링은 혼합된 신호에서 한 개의 소스에서 방사된 신호를 구별하는 단계이며, 이어지는 신호 특징 추출 및 판정의 정확도를 향상시킬 수 있는 기술이다. 만약 초기에 수행되는 클러스터링 단계가 신호를 정확하게 분류하지 못

\* 학생회원, \*\*\* 평생회원, 충북대학교 전자정보대학 교 컴퓨터정보통신연구소 연구원,  
(College of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University)

\*\* 학생회원, (주)빅텍  
(College of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University, VICTEK co., Ltd.)

© Corresponding Author(E-mail: joongnam@cnu.ac.kr)

※ 이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of Chungbuk National University in 2013).

접수일자: 2014년08월20일, 수정일자: 2014년09월19일  
게재확정: 2014년10월01일

한다면, 복합 신호 군집이 만들어져 신호 분석이 어려워진다.

기존에는 신호의 도착방향, 주파수, 펄스 폭의 세 가지를 활용한 3차원 클러스터링 기법<sup>[3~9]</sup>이 많이 사용되고 있다. 이 기법은 각 특징 별로 임계값을 설정하고, 임계값 안에 포함되는 신호들을 하나의 군집으로 분류한다. 이 기법은 신호 특징의 임계값만을 단순 비교함으로써 과소 또는 과대 군집화의 문제가 있다. 본 논문에서는 기존의 3차원 클러스터링 기법에서 고려하지 않은 신호의 도착방향의 차이와 신호의 도착시간의 차이 특성을 이용하여 클러스터링의 군집화를 개선하는 4차원 클러스터링 기법을 제안한다.

## II. 관련 연구

### 1. 전자전 지원시스템의 신호분석과정

그림 1은 전자전지원시스템의 신호분석 과정<sup>[10~11]</sup>을 보여준다. 전자전 환경에서 신호 수집부는 수신한 신호를 PDW(Pulse Description Word) 형태로 변환한다. PDW는 신호의 도착방향, 주파수, 펄스 폭, 도착시간 등을 저장하는 자료구조이며, 그림 1에서 한 개의 펄스에 대한 정보를 포함하고 있다.

혼합신호(그림 1의 (a))는 여러 개의 레이더들이 방사한 신호를 시간 순서대로 수집한 PDW들의 집합이다. 클러스터링 기법은 이 혼합신호를 한 개의 레이더가 방사한 것으로 판단되는 신호들로 분류하여 군집신호(그림 1의 (b))를 만든다. 이후 신호 판정 단계에서 신호의 특성을 분석한 결과(그림 1의 (c))를 생성한다. 혼합신호를 군집신호로 분류하는 부분이 본 논문의 대

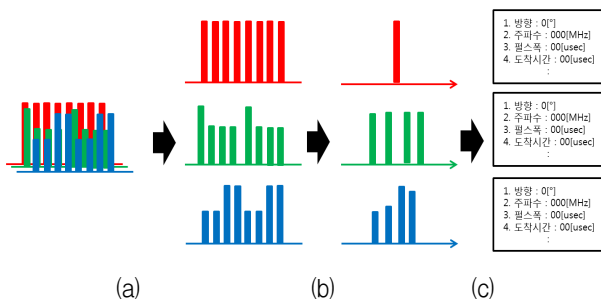


그림 1 신호분석 과정  
 (a) 혼합신호 (b) 군집신호 (c) 신호해석 결과  
 Fig. 1. Signal analysis process.  
 (a) Mixed signals (b) Clustered signals  
 (c) Results of signal interpretation

상이다.

### 2. 3차원 순차 클러스터링 기법

3차원 순차 클러스터링 기법<sup>[3~7]</sup>은 신호의 도착방향, 주파수, 펄스 폭에 대하여 한 번에 한 가지 특징만을 고려하여 군집을 만든다. 제일 먼저 방향에 대한 1차원 히스토그램을 구하여 방향 군집을 만든다. 방향으로 나누어진 군집들에 대하여 주파수 히스토그램을 구하여 주파수 군집을 만든다. 주파수 군집에 대하여 펄스 폭 히스토그램을 구하여 최종 군집을 만든다.

3차원 순차 클러스터링은 각 도착방향, 주파수, 펄스 폭에 대해 하나의 특징별로 정해진 임계값만 비교하여 처리하기 때문에 개념이 쉽고 구현이 간단하다는 장점이 있다. 하지만 각 특징들의 상관성이 고려되지 않아 과소, 과대 군집화 가능성이 크다는 단점을 가지고 있다.

### 3. 3차원 동시 클러스터링 기법

3차원 동시 클러스터링 기법<sup>[9]</sup>은 3차원 순차 클러스터링의 단점인 PDW 특징 간의 상관성을 활용하는 클러스터링 기법이다. 이 기법은 PDW의 도착방향, 주파수, 펄스 폭 세 가지 특징에 대하여 3차원 히스토그램을 구하고, 3차원 공간에서 군집을 형성한다.

3차원 동시 클러스터링 기법은 순차 클러스터링 기법에 비해 히스토그램을 표현하기 위한 기억공간을 많이 사용하지만 정확도는 향상되는 경향이 있다.

기존의 3차원 군집화 기법은 PDW의 도착방향의 차이를 고려하지 않아 신호를 추적하지 못하여 과소 군집화 현상이 나타나고, 도착방향을 고려하지 않아 과대 군집화의 문제점을 보이고 있다.

## III. 4차원 동시 클러스터링 기법

4차원 동시 클러스터링 기법은 신호의 도착방향, 주파수, 펄스 폭과 신호의 도착방향을 추가적으로 활용하는 군집화 기법이다. 제안하는 기법은 신호의 도착방향 대신에 신호의 도착방향 차이를 사용하고, 신호의 도착신호간의 차이를 사용한다는 것이 기존의 3차원 클러스터링 기법과의 차이점이다.

### 1. 방향의 차이

이동 레이더 신호는 신호의 수신 방향이 급격하게 변

경되지 않는 특징이 있으므로, 신호의 도착방향의 차이를 사용함으로써 보다 더 정확한 군집을 형성할 가능성이 높아진다. 식 (1)로 표현되는 신호의 도착방향의 차(DAOA, Difference Angle Of Arrival)는 연속적으로 수신된 PDW의 도착방향의 차이이다.  $A_n$ 은 현재 PDW의 도착방향이고,  $A_{n-1}$ 은 직전의 PDW의 도착방향이다.

$$DAOA(n) = |A_n - A_{n-1}| \quad (1)$$

그림 2는 신호가 일정한 방향으로 이동한다고 가정할 때, 도착방향(AOA, Angle of Arrival)에 대한 군집화의 예시이다. 가로 축은 신호의 도착시간(TOA, Time of Arrival)이다. 도착방향을 그대로 사용하는 3차원 클러스터링 기법은 신호의 도착방향의 임계값(AOA Thresholds)과 비교하여 그림 2의 (a)와 같이 두 개의 군집으로 분리된다. 그러나 4차원 동시 클러스터링 기법에서는 도착방향의 차이(DAOA)를 기준으로 군집을 분리한다. 그러므로 그림 2의 (b)와 같이 신호의 도착방향의 차이가 일정한 범위( $\Delta dATH$ ) 내를 벗어나지 않는 경우 군집이 분리되지 않고 하나의 군집을 형성한다. 4차원 동시 클러스터링은 신호의 도착방향의 차이를 군집화에 사용하여 움직이는 방사체에서 발생한 신호도 한 개의 군집으로 구분할 수 있다. 4차원 동시 클러스터링은 군집화에 도착방향의 차이를 추가적으로 활용함으로써 기존의 3차원 기법의 도착방향, 주파수, 펄스 폭만 사용한 군집화에 비해 여러 개로 분리되는 과군집화를 막을 수 있어 신호분석의 정확도를 향상시킬 수 있다.

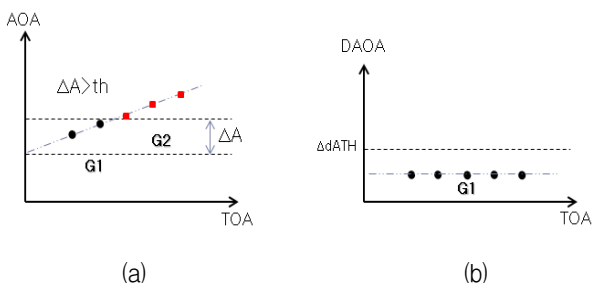


그림 2 방향 특성을 활용한 군집화  
(a) 방향의 임계치를 이용한 군집  
(b) 도착방향 차를 이용한 군집

Fig. 2. Clustering using signal direction.  
(a) Using AOA (b) Using DAOA

## 2. 도착방향의 차이

한 개의 레이더가 방출한 펄스의 도착시간의 차이를 PRI(Pulse Repetition Interval)라고 한다. 한 개의 레이더에서 방출된 신호의 PRI는 일정한 시간 구간에 포함되는 특징을 갖고 있으며, 레이더 종류에 따라 PRI가 다르다. PRI는 수  $\mu$ sec에서 수십 msec까지 다양하다. PRI의 분포에 따라 레이더를 고정, 주기 반복, 지터 방식 등으로 분류한다<sup>[1]</sup>. 그러므로 도착방향, 주파수, 펄스 폭의 분포가 같더라도 펄스의 도착시간이 다르면, 다른 레이더가 방출한 신호일 가능성이 크다. 신호를 클러스터링 기준으로 도착시간의 차이를 추가함으로써, 클러스터링의 정확성을 높일 수 있다.

식 (2)로 표현되는 도착시간의 차이(DTOA: Difference Time Of Arrival)는 연속적으로 수신된 PDW의 도착시간의 차이이다.  $T_n$ 은 현재 PDW의 도착시간이고,  $T_{n-1}$ 은 직전 PDW의 도착시간이다.

$$DTOA(n) = T_n - T_{n-1} \quad (2)$$

이것을 수식으로 표현하면, 식 (3)과 같이 한 개의 레이더가 방출하는 신호에 대한 PRI는 DTOA(n)의 집합이고, DTOA(n)는 평균치( $DTOA_{mean}$ )를 기준으로 일정한 범위( $\Delta t$ ) 안에 속한다.

$$PRI = \{DTOA(n)\}, DTOA(n) \leq DTOA_{mean} \pm \Delta t \quad (3)$$

4차원 클러스터링 기법은 신호의 도착시간 특징을 활용하여 신호의  $DTOA_{mean}$ 의 k배(k는 임계값 정수)보다 큰 경우 군집을 분리한다. 이와 같이 임계값을 설정함으로써, 신호를 수신할 때 수신기의 처리 지연으로 펄스 k개를 놓치더라도 같은 군집으로 분류할 수 있어 군집이 작

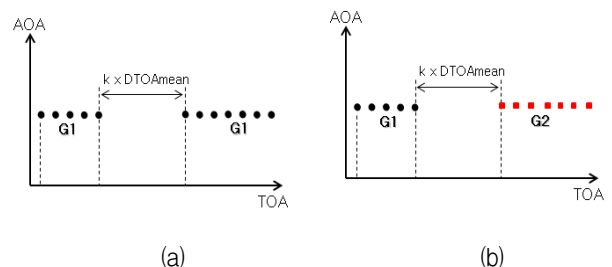


그림 3 도착시간을 고려한 클러스터링  
(a) DTOA를 적용하지 않는 경우  
(b) DTOA를 적용하는 경우

Fig. 3. Clustering using the arrival time.  
(a) Without DTOA (b) With DTOA

게 형성되는 것을 방지할 수 있다.

수신된 신호들 간에 도착시간의  $k$ 개 이상으로 간격이 떨어져 있는 경우, 3차원 클러스터링 기법에서는 그림 3의 (a)와 같이 하나의 군집으로 분류하지만, 4차원 클러스터링 기법에서는 그림 3의 (b)와 같이 두 개의 군집으로 분리한다.

### 3. 4차원 동시 클러스터링 알고리즘

4차원 동시 클러스터링 기법은 그림 4의 알고리즘과 같이 동작한다. 혼합된 신호가 PDW형태로 일정시간 수집되어 PDW리스트에 저장되어 있다고 가정한다. PDW리스트에 모든 PDW가 처리되면 종료하고 PDW리스트에 PDW가 남아있으면 군집화를 계속 수행한다. 가장 근거리의 군집(minGroup)을 저장하는 변수는 -1로, 최소 거리를 저장하는 변수인 minDist는 숫자 최대값으로, 생성될 군집을 저장하는 변수인 GROUP리스트도 초기화한다. 최초 PDW는 군집이 없으므로 minGroup이 -1이므로 새로운 군집(newGroup)을 생성하고 이 군집에 PDW를 추가와 동시에 군집의 속성인 DAOA, DFreq, DPW, DTOA값을 PDW속성으로 초기화한다. 이때 DTOA는 -1로 초기화한다.

PDW리스트의 두 번째 PDW부터는 GROUP리스트 내의 군집 간의 거리를 계산하여 가장 가까운 군집에 추가하거나 새로운 군집을 생성한다.

각 군집과 PDW간의 거리의 계산은 그림 4의 10행의 cal\_distance()함수에서 처리한다. 그림 4의 30행의 cal\_distance()함수는 PDW와 각 군집(group)간의 네 가지 특징인 도착방향의 차이(DAOA), 주파수의 차이(DFreq), 펄스 폭의 차이(DPW), 도착시간의 차이(DTOA)를 abs()함수로 절대값으로 변환하여 설정된 임계값 범위를 벗어나면 dist에 -1을 입력하고, 임계값 범위 내에 포함되면 각 차이를 합산하여 거리를 계산한다. 네 가지 특징의 단위가 다르므로 거리를 계산할 때 각 특징의 차이를 정규화하여 거리를 구한다.

각 군집과 PDW간의 거리계산 구간인 그림 4의 8행에서 16행을 모두 수행하는 과정에서 각 군집 가운데 거리가 가장 짧은 값을 저장하는 변수인 minDist와 비교하여 작은 값으로 확인되면 minDist에 거리(dist)를 저장하고 동시에 현재군집(group)을 minGroup변수에 저장한다. 그림 4의 8행에서 16행을 모두 수행 후에 가까운 군집을 찾지 못하면 minGroup변수는 초기에 설정

```

1. clustering()
2. {
3.     for all PDW in PDW list
4.     {
5.         minGroup = -1;
6.         minDist = MAXVALUE;
7.         empty GROUP list;
8.         for all group in GROUP list
9.         {
10.            dist = calc_distance(PDW, group)
11.            if ((dist!=-1)&&(dist<minDist))
12.            {
13.                minDist = dist;
14.                minGroup = group;
15.            }
16.        }
17.        if (minGroup == -1)
18.        {
19.            create a new group;
20.            add PDW into new group;
21.        }
22.        else
23.        {
24.            add PDW into minGroup;
25.        }
26.    }
27. }

```

```

30. int calc_distance(PDW, group)
31. {
32.     int DAOA = abs(PDW.AOA - group.AvgAOA);
33.     int DFreq = abs(PDW.Freq - group.AvgFreq);
34.     int DPW = abs(PW - group.AvgPW);
35.     int DTOA = abs(TOA - group.AvgTOA);
36.
37.     if (DAOA > AOA_TH) return -1;
38.     if (DFreq > Freq_TH) return -1;
39.     if (DPW > PW_TH) return -1;
40.     if (DTOA > DTOA_TH) return -1;
41.     distance = DAOA + DFreq + DPW + DTOA;
42.     return distance;
43. }

```

그림 4 4차원 동시 클러스터링 알고리즘  
Fig. 4. Four-dimensional simultaneous clustering Algorithm.

된 -1을 유지한다. 그림 4의 17행과 같이 가장 가까운 군집이 -1이면, PDW가 포함될 군집이 없어 새로운 군집(new group)을 생성하고 군집의 속성인 AOA, Freq, PW, TOA 값을 PDW의 값으로 초기화한다. 만일 가장 가까운 군집이 존재하면 해당 PDW를 가장 가까운 군집에 추가하고, minGroup의 속성은 PDW의 속성을 포함하여 AOA, Freq, PW, TOA에 대해서 최대, 최소, 평

군값을 갱신한다. 이러한 순서로 PDW리스트의 마지막까지 수행하면 같은 특징을 갖는 PDW들이 각 군집을 생성하게 된다.

제안하는 알고리즘은 신호의 도착방향 대신에 도착 신호의 도착방향의 차이를 사용함으로써 기존 3차원 클러스터링 기법에서 제공할 수 없었던 움직이는 방사체의 추적이 가능해지고, 신호의 도착 신호간의 차이를 활용해 군집화를 함으로써 기존 3차원 클러스터링 기법에 비해 과대 군집화를 최소화할 수 있다.

#### IV. 실험 결과 및 분석

제안하는 4차원 동시 클러스터링 기법은 연속된 PDW간의 도착시간을 추가하여 기존의 3차원 클러스터링 기법에 비해 더 세분화된 군집화가 가능하고, 3차원 클러스터링 기법에서 활용한 단순 도착방향의 비교가 아닌 연속된 PDW간의 도착방향의 차이를 이용하여 신호 방사원의 추적 효과로 군집의 단편화가 최소화되는 군집화가 가능하다. 제안하는 클러스터링 기법의 군집의 세분화 정도를 확인하기 위하여 기존의 기법인 3차원 순차 클러스터링 기법, 3차원 동시 클러스터링 기법 그리고 제안하는 4차원 동시 클러스터링 기법의 세 가지 알고리즘을 수행하는 시뮬레이터를 구현하였다.

시뮬레이터의 입력은 군집수를 정확히 알고 있는 총 120개의 신호데이터로 시험하였고, 3차원, 4차원 클러스터링의 차이를 확인할 수 있게 도착방향, 도착시간, 두 개의 요소가 복합된 세 가지 입력 시나리오를 사용하였다.

입력 시나리오1은 도착방향이 0.3~0.8 범위에서 변하는 신호이다. 3차원 순차 클러스터링 기법과 3차원 동시 클러스터링 기법은 그림 5의 (a)와 같이 도착방향이 임계값 범위를 기준으로 그림에서 각각 5, 4개의 군집으로 분리되었다. 4차원 동시 클러스터링은 군집을 분리하는 기준을 연속되어 입력되는 신호의 도착방향의 차이를 임계값과 비교하여 도착방향의 차이가 임계값 범위 내에 있어 모두가 한 개의 군집인 G1으로 분류하였다.

도착방향의 차이를 고려한 군집화는 과대군집화를 야기할 수 있다. 신호 분석 시스템의 성능을 고려하여 과대 군집을 제한하는 시간을 설정하여 신호의 처리 결과를 응답 제한시간 내에 출력하도록 구현하였다.

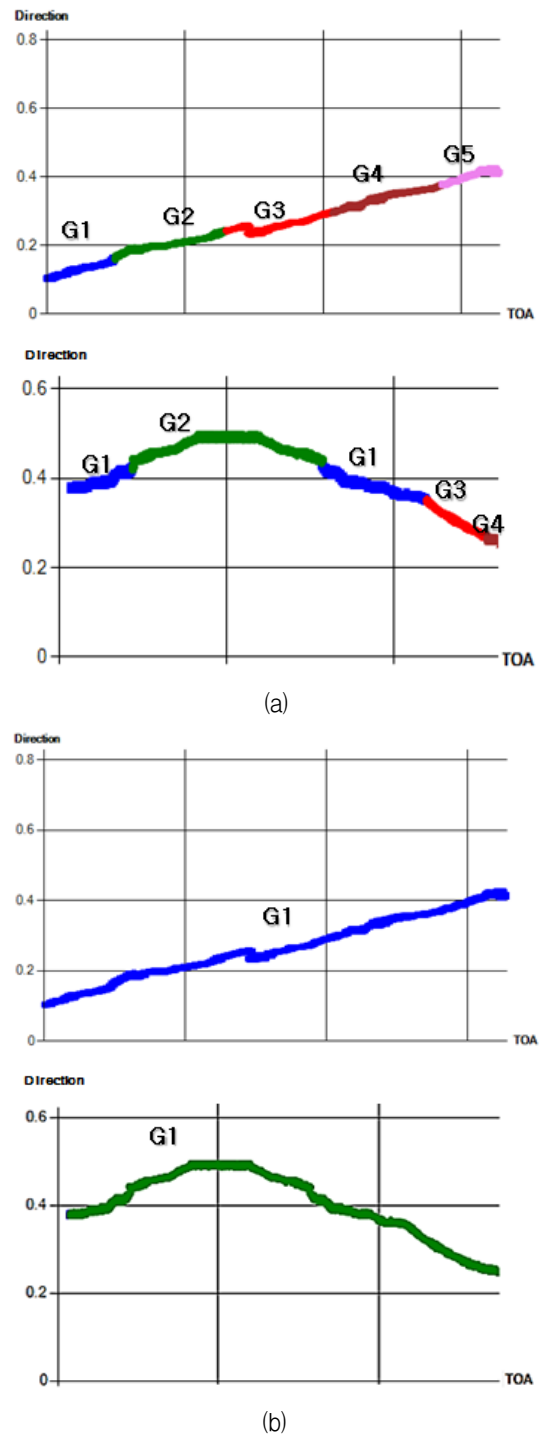


그림 5 방향에 따른 군집 결과(입력 시나리오1)  
(a) 3차원 순차, 동시 클러스터링 기법  
(b) 4차원 동시 클러스터링 기법

Fig. 5. Clustering results according to the direction.  
(a) Three-dimensional sequential and simultaneous clustering method  
(b) Four-dimensional simultaneous clustering method

입력 시나리오2는 도착방향이 0.1~0.5 범위에서 변하고 도착시간도 변화하는 신호이다. 3차원 순차 클러스터링 기법과 3차원 동시 클러스터링 기법은 그림 6의 (a)와 같이 도착방향의 임계값에 따라 3, 2개의 군집으

로 분리된 결과를 출력하였다. 4차원 동시 클러스터링은 그림 6의 (b)와 같이 도착방향의 차이가 임계값 범위 내에 있더라도 그림 6의 (a)에서 연속되는 두 신호간의 도착시간의 차이가 임계값 범위를 벗어나면 군집이 분리되어 다른 군집으로 나뉘는 것을 확인할 수 있었다. 도착시간의 차이를 활용함으로써 연속된 두 신호간의 차이가 임계값 보다 큰 경우에 군집을 분리하여

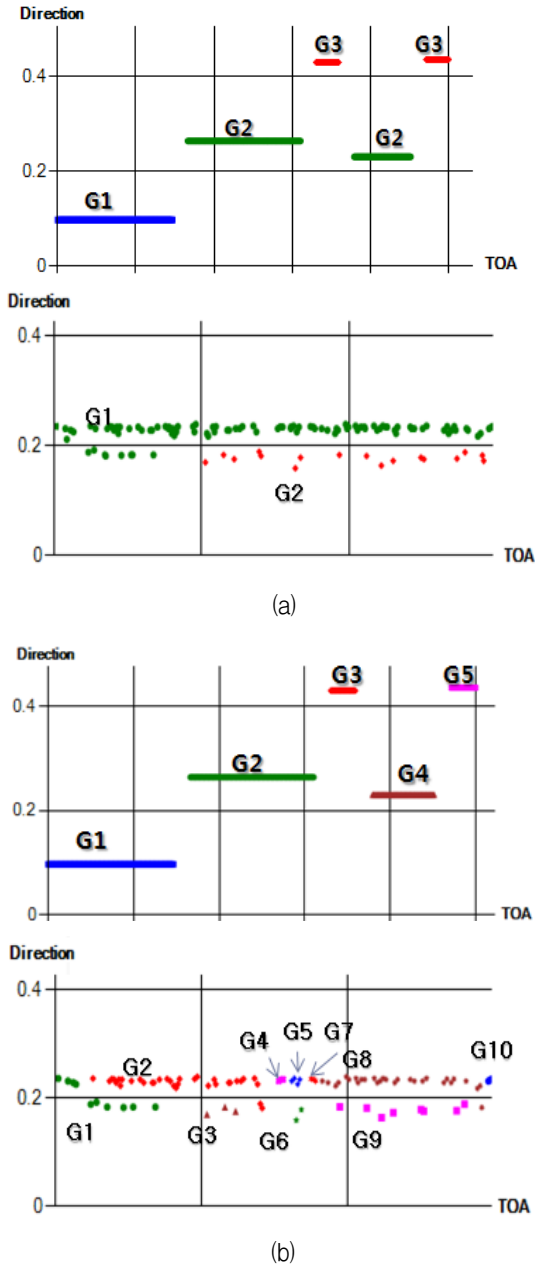


그림 6. 도착시간에 따른 군집 결과(입력시나리오2)  
 (a) 3차원 순차, 동시 클러스터링 기법  
 (b) 4차원 동시 클러스터링 기법  
 Fig. 6. Clustering results according to the arrival time.  
 (a) Three-dimensional sequential and simultaneous clustering method.  
 (b) Four-dimensional simultaneous clustering method

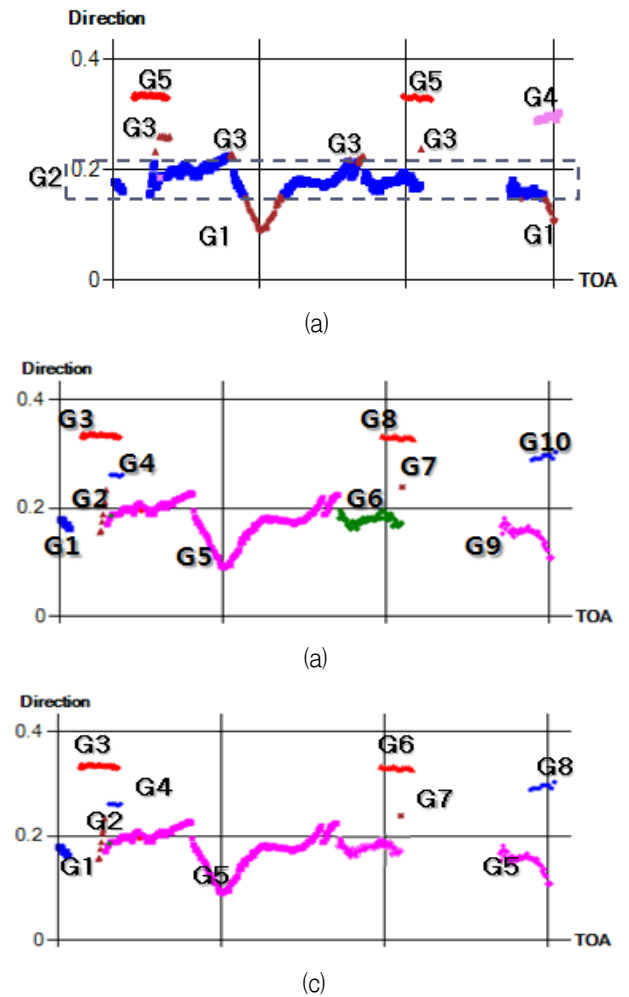


그림 7. 방향 및 도착시간에 따른 군집 결과(입력시나리오3)  
 (a) 3차원 순차, 동시 클러스터링 기법  
 (b) 4차원 동시 클러스터링 기법  
 (c) 군집의 병합 결과  
 Fig. 7. Clustering results according to direction and arrival time.  
 (a) Three-dimensional sequential and simultaneous clustering method.  
 (b) Four-dimensional simultaneous clustering method.  
 (c) Result of merged Clusters.

군집을 세분화하였다. 군집이 작아져 신호 분석 시간이 줄어드는 효과는 있지만 너무 적은 경우에는 신호 분석이 불가능할 수 있어 군집이 완료된 후 신호 유형이 같은 그룹을 병합하였다.

입력 시나리오3는 도착방향이 0.1~0.4 범위에서 변하고, 도착시간도 변화하는 신호이다. 3차원 순차 클러스터링 기법과 3차원 동시 클러스터링 기법은 그림 7의 (a)와 같이 도착방향이 임계값에 따라 4개의 군집으로 분리된 결과를 나타냈고 4차원 동시 클러스터링은 도착 방향의 차이와 도착시간의 차이가 k배 이상 떨어진 신호를 분리한 결과 10개의 군집으로 분리되었다. 그림 7의 (b)의 군집 G5가 3차원 클러스터링 기법과 4차원 클러스터링 기법에 따라 다르게 군집을 형성한다.

3차원 클러스터링 기법에서는 신호의 도착방향을 고정 임계값 범위에 존재하는 지 단순 비교하여 군집을 분류하였다. 4차원 동시 클러스터링 기법은 도착방향을 차이와 도착시간의 차이에 대한 임계값을 비교하여 분류함으로써 더욱 세분화된 군집을 생성할 수 있게 되었다.

4차원 동시 클러스터링 기법은 3차원 클러스터링 기법과 비교하여 신호의 도착방향을의 차이는 이동하는 방사체의 신호를 추적하는 효과가 있었고 도착시간의 차이를 이용하면 신호의 과대 군집을 최소화할 수 있었다. 하지만 군집이 작게 분리되는 현상도 확인되어 그림 7(c)와 같이 군집이 완료된 후에 특징이 유사한 군집을 병합하는 과정을 수행하였다. 그림 7(b)의 G5, G6, G9 군집의 특징을 기반으로 유사한 군집을 병합하여 그림 7(c)와 같이 한 개의 G5군집을 생성하였다. G5는 동일한 방사원에서 송신한 신호였고 처리한 결과도 한 개의 군집으로 분류된 것을 확인할 수 있었다.

실험 입력은 총 120개가 사용되었고 3차원 클러스터

표 1. 주요 영향 요소에 대한 클러스터링 결과  
Table 1. Clustering results for Major Effected Elements.

클러스터링 주요 영향 요소	입력 개수	3차원 클러스터수	4차원 클러스터수
도착방향	14	5.7	4.3
도착시간	52	1.4	4.3
도착방향, 도착시간	7	1	3.1
	총 73	평균2.7	평균3.9

와 4차원 클러스터에 결과에 차이를 보이는 73개의 입력신호를 분석한 결과 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 군집의 클러스터링은 4차원 클러스터링 기법이 3차원 클러스터링 기법에 비해 44% 더 세분화된 군집화가 가능함을 확인하였다.

## V. 결 론

무선 환경에서 레이더 신호는 다수의 혼합된 신호들로 수집된다. 레이더 신호의 분석을 위해서는 먼저 신호의 특징별로 정확한 분류가 필요하다.

본 연구에서는 신호 분석이 용이하도록 혼합된 레이더 펄스열을 특징별로 분류하는 4차원 동시 군집화 기법을 제안하였다. 기존의 3차원 클러스터링 기법들은 도착방향, 주파수, 펄스 폭 세 가지의 특징을 활용하여 클러스터링 하였으나, 본 연구에서는 추가적으로 도착 시간을 클러스터링에 사용하였고 도착방향 대신에 도착 방향의 차이를 사용하였다. 도착시간의 차이는 신호의 군집이 과도하게 커지는 현상을 최소화할 수 있었고, 도착방향 차이는 움직이는 레이더 방사체의 추적이 가능하게 되었다. 무선 신호 환경에서 수집한 73개의 입력에 대하여 제안하는 알고리즘을 적용한 결과 기존의 3차원 클러스터링 기법에 비해 44% 더 세분화된 군집화가 가능함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 신호의 클러스터링 결과로 도출된 군집에 대한 신호 해석 알고리즘의 연구와 단일 프로세서 환경에서 구현한 클러스터링에 대한 연구를 다중 프로세서 환경에서도 사용할 수 있도록 분산 처리 요소를 분석하여 신호 클러스터링에 대한 처리 성능 개선에 대한 연구도 진행할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] C. Benson,, M. R. Frater, and M. J. Ryan, "Tactical Electronic Warfare," Argos Press, 2007
- [2] F. Neri, "Introduction to Electronic Defense Systems," Artech House INC. 2001.
- [3] D. R. Wilkinson and A.W. Watson, "Use of metric techniques in ESM data processing," *IEEE proceedings on F Communications radar and signal processing.* vol. 132, pp.229-232, July 1985.
- [4] H. K. Mardia, "Adaptive Multi-Dimensional

Clustering for ESM,” *IEEE Colloquium on Signal Processing for ESM Systems*, 1998.

[5] J. W. Han, K. H. Song, D. W. Lee, S. C. Lye, “A novel clustering algorithm of radar pulses based on the adaptive cluster window,” *2007 International Symposium on Computer and Information Sciences*, November 2007.

[6] J. W. Han, K. H. Song, D. W. Lee, “An adaptive clustering scheme for ES,” *2006 Conference on Information and Control Systems*, pp. 366-368, 2006.

[7] D. W. Lee, J. W. Han, W. D. Lee, “A Kernel Density Signal Grouping Based on Radar Frequency Distribution,” *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 48 no.6, pp.124-132, 2011.

[8] S. Y. Lee, K. C. Yoon, “Deinterleaving of Multiple Radar Pulse Sequences Using Genetic Algorithm,” *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 40 No. 6, pp. 98-105, 2003.

[9] D. W. Lee, J. W. Han, W. D. Lee, “Adaptive radar pulses clustering based on density cluster window,” *International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications*, pp.1377-1380, 2008.

[10] R. Nitzberg, *Radar Signal Processing and Adaptive Systems*, Artech House, 1999.

[11] James P. Stephens, “Advances in Signal Processing Technology for Electronic Warfare,” *Journal of Electronic Defense*, pp. 41-50, Sep. 1995.

— 저 자 소 개 —



이 종 태(정회원)  
 2010년 청주대학교 정보통신학과 학사  
 2014년 충북대학교 컴퓨터과학과 석사

<주관심분야 : 임베디드시스템, 통신, 신호처리>



주 영 관(정회원)  
 1999년 청주대학교 컴퓨터정보공학과 학사  
 2004년 충북대학교 전자계산학과 석사  
 2009년 충북대학교 전자계산학과 박사

충북대학교 전자정보대학 강사  
 <주관심분야 : 임베디드시스템, 안드로이드 플랫폼, 클라우드컴퓨팅 등>



김 관 태(정회원)  
 2005년 충주대학교 전자통신과 학사.  
 2011년 충북대학교 컴퓨터과학과 석사.  
 2014년~현재 충북대학교 컴퓨터과학과 박사 과정.

<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 실시간 신호처리, 전자전 신호탐지>



전 중 남(정회원)  
 1990년 연세대학교 전자공학과 공학 박사  
 1996년~1998년 미국 Texas A&M 연구교수  
 현재 충북대학교 전자정보대학 교수

<주관심분야 : 컴퓨터구조, 임베디드시스템>