

논문 2011-48SP-6-14

# 레이더 주파수 분포 기반 커널 밀도 신호 그룹화 기법

## ( A Kernel Density Signal Grouping Based on Radar Frequency Distribution )

이 동 원\*, 한 진 우\*, 이 원 돈\*\*

( Dong-Weon Lee, Jin-Woo Han, and Won Don Lee )

### 요 약

현대 전자전에서 레이더 신호 환경은 매우 복잡하고 고밀도화 되어 가고 있다. 이러한 신호로부터 원래의 방사체로 각각 분리하여 분석하고 식별하기 위한 전자전지원을 위해서는 신뢰성있는 신호분석 기법이 요구된다. 본 논문에서는 전자전지원의 신호분석 단계에서 신뢰성을 보장하며 신호처리 비용을 줄일 수 있는 새로운 레이더 신호 그룹화 알고리즘을 제안하였다. 제안된 기법은 주파수 변조 특성에 대한 통계적 분포 특성을 활용하여 수신 신호로부터 커널 밀도 추정 방식을 이용하여 신호 그룹화한다. 제안된 기법에 대해 실험 결과를 통해 우수한 성능을 보유함을 확인하였다.

### Abstract

In a modern electronic warfare, radar signal environments become more denser and complex. Therefore the capability of reliable signal analysis techniques is required for ES(Electronic warfare Support) system to identify and analysis individual emitter signals from received signals. In this paper, we propose the new signal grouping algorithm to ensure the reliable signal analysis and to reduce the cost of the signal processing steps in the ES. The proposed grouping algorithm uses KDE(Kernel Density Estimator) and its CDF(Cumulative Distribution Function) to compose windows considering the statistical distribution characteristics based on the radar frequency modulation type. Simulation results show the good performance of the proposed technique in the signal grouping.

**Keywords :** Kernel Density Estimator, Electronic warfare Support, Radar Signals, Grouping

## I. 서 론

전자전(Electronic Warfare)이란 전자파를 수신하여 신호원인 방사체(Emitter)를 탐지하는 정보수집 활동과 위협 전자파에 대해 기만 신호를 송신하여 전파사용을 방해하는 활동을 의미하는데, 간단히 정의하면 공간상에서 전파되는 전자파의 각종 군사적 응용 또는 제반

활동을 총칭한다<sup>[1~2]</sup>. 전자전은 전자파 신호를 탐지하고 분석하여 레이더를 식별하고 방사 위치를 추정하는 전자전지원(ES : Electronic warfare Support)과 레이더 추적기나 미사일 탐색기 등으로부터 자신을 보호하기 위해 재밍신호를 방사하는 전자공격(EA : Electronic Attack), 그리고 적의 전자 공격으로부터 보호하기 위한 전자보호(EP : Electronic Protection)로 구분된다<sup>[1, 3]</sup>. 전자전 시스템 또는 전자전 장비는 전자전 기능을 수행하는 장비를 의미하며, 운용 목적에 따라 전자전지원과 전자공격 기능을 통합 구성하거나 또는 단일 기능만을 갖도록 구성한다. 전자전 시스템에서 전자전지원은 전자파 방사체인 레이더 운용 주파수 범위에 존재하

\* 정회원, 국방과학연구소  
(Agency for Defense Development)

\*\* 정회원, 충남대학교 컴퓨터공학과  
(Department of Computer Science & Engineering,  
Chungnam National University)

접수일자: 2011년8월4일, 수정완료일: 2011년10월10일

는 신호를 수신하고, 수신된 신호 각각에 대해 도래방위(AOA : Angle Of Arrival), 도착시간(TOA : Time Of Arrival), 주파수(Carrier Frequency), 펄스폭(PW : Pulse Width), 신호세기(Pulse Amplitude) 등의 변수 제원을 실시간으로 측정한다<sup>[3-4]</sup>. 그리고 측정된 변수 제원으로부터 펄스열 분리(Deinterleaving) 과정을 통해 원래의 방사체 개개의 신호로 분리하고, 독립적인 레이더 운용 변수들을 추정하여 위협을 식별한다. 일반적으로 전자전지원 신호처리는 신호수신, 신호추정, 신호분석, 위협식별, 정보전시/전파 과정으로 구성된다<sup>[5]</sup>.

현대의 전자파 신호 환경은 다양한 무선 통신 시스템의 급격한 증가와 민간 분야의 기상 관측이나 비행관제 그리고 선박, 항공기 등의 운용 장비뿐만 아니라 군사 분야의 함정, 전투기, 미사일 등의 여러 무기에서 레이더를 사용함에 따라 매우 복잡하고 점점 고밀도화되어 가고 있다. 이와 같이 전자파 신호 밀도가 포화상태로 변화하고 있기 때문에 전자전지원 분야의 신호처리 비용은 신호분석 시간과 복잡도가 크게 증가하여 매우 높아지게 되었다. 또한 위협 레이더를 탐지하지 못하거나 탐지하더라도 고유한 레이더 운용 변수 정보를 부정확하게 추정하거나 전혀 다른 신호로 인지하는 오식별 확률이 증가하게 되었다. 따라서 현대의 전자전지원 신호 처리에서는 이와 같은 신호 환경에 대처하기 위해 신호 분석 단계에서 신호그룹화를 수행한다.

신호그룹화는 수신 측정된 변수들을 활용하여 상호 관련이 없는 펄스들을 사전에 분리함으로써 펄스열 분리를 위한 신호밀도를 최소화하여 전체적인 신호처리 시간과 복잡도를 줄이고 오분석 확률을 감소시켜 전자전 시스템 성능을 제고한다. 기존 전자전 신호처리에서 레이더 신호에 대한 신호그룹화 기법은 순차 히스토그램 기법(SH)과 연속 스캔 기법(CS) 그리고 적응적 클러스터 윈도우 기법(AWC)이 있다. 이 기법들은 원래의 신호들보다 더 많은 그룹으로 분리하는 과대 분류 또는 여러 신호가 하나로 분리되는 과소 분류가 많이 발생하며 그룹화 과정에서 주파수 형태를 고려하지 못하기 때문에 오분석 확률이 존재한다.

본 논문에서는 레이더 신호의 특성 변수 중 도래방위 분포 및 주파수 변조 특성에 기반한 커널 밀도 추정 방식에 의한 레이더 신호그룹화 기법(KDW)을 제안하였다. 제안된 기법은 수신된 신호의 도래방위와 주파수 변수 분포를 이용한 2차원 셀을 생성하고, 주파수 변수의 변조 형태에 따른 커널 밀도 추정을 이용하여 그룹

화를 수행한다. 제안된 기법과 기존 기법에 대해 실험 결과를 통해 성능을 분석하였다.

## II. 관련 연구

### 1. 순차 히스토그램 기법

순차 히스토그램 기법은 측정된 레이더 신호 변수 중 도래방위와 주파수에 대해 변수별 최대 크기 범위를 일정한 크기를 갖는 빈으로 분리한다. 그리고 첫 번째 변수의 측정된 모든 값에 대해 각각 해당 빈에 포함되는 개수를 누적하여 히스토그램을 생성한 후, 변수 특성별 임계치와 비교하여 임계치를 초과하며 연속으로 인접된 빈들을 선택하여 동일한 그룹으로 분리한다. 분리된 각 그룹에 대해 두 번째 변수에 대해 첫 번째와 동일한 방법으로 히스토그램을 생성하고 임계치와 비교하여 그룹을 생성한다<sup>[6]</sup>. 이 방식은 다른 기법에 비해 수행 속도가 우위에 있는 반면 변수의 순서에 따라 최종 생성 결과인 그룹이 달라질 수 있으며 도래방위와 주파수간의 상관성과 주파수 형태를 고려할 수 없기 때문에 과소 및 과대 그룹화될 확률이 매우 높다.

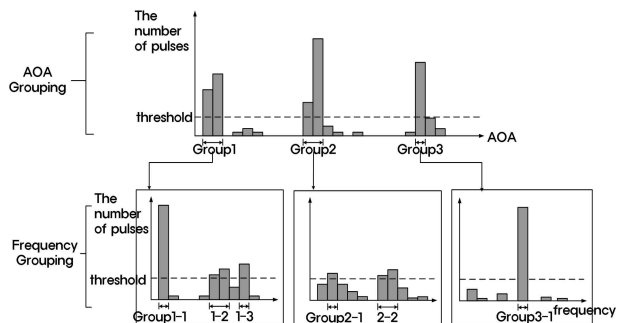


그림 1. 순차 히스토그램 기법

Fig. 1. Grouping in the sequential histogram algorithm.

### 2. 연속 스캔 기법

도래방위와 주파수 변수를 동시에 이용한 2차원 신호그룹화 기법으로 이 방법은 영상 신호처리, 패턴 인식 등의 분야에 이용되고 있는 레이블링 기법을 전자전 신호처리 분야에 응용한 것이다. 연속 스캔에 의한 그룹화는 먼저 방위와 주파수를 사전에 정의된 분리 셀의 개수만큼 분리하여 2차원 영역을 구성하고 순방향 및 역방향 스캔을 통해 그룹화를 수행하는 방법이다<sup>[7]</sup>.

이 방식은 먼저 스캔을 수행하기 전에 수신된 신호들을 2차원 영역에 사상시킨다. 그리고 분리된 셀 단위로

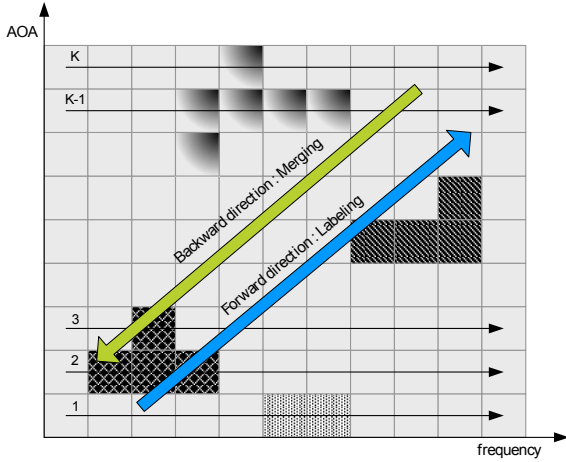


그림 2. 연속 스캔 기법  
Fig. 2. Grouping in the sequential scan algorithm.

해당된 입력 신호 위치에 플래그를 설정한 후 2차원 영역에서 좌측 상단에서 시작하여 우측 하단까지 순방향 스캔과 반대 방향으로 수행하는 역방향 스캔을 순서적으로 수행한다.

순방향 스캔에서는 플래그가 설정된 분리 셀에 고유의 레이블을 부여하는 작업을 수행한다. 분리 셀 위치 좌표  $(a, f)$ 에 대해 식(1)과 같이 비교 대상 중에 가장 작은 레이블을 부여한 후, 두 레이블이 서로 연결되어야 한다는 정보를 저장한다. 역방향 스캔은 식(2)를 이용하여 연결 관계를 확인 후, 인접한 분리 셀에 대해서는 동일한 레이블로 변경하여 그룹화를 수행한다.

$$L_F(a, f) = \min\{L(a-1, f), L(a, f-1)\} \quad (1)$$

$$L_B(a, f) = \min\{L(a+1, f), L(a, f+1)\} \quad (2)$$

연속 스캔 기법은 도래방위와 주파수 변수를 이용한 2차원 신호그룹화 기법으로 변수간 연관성을 고려한 방법이지만 수신 신호 특성과 무관하게 전체 영역에 해당하는 분리 셀을 결정하고, 그룹화를 위해 모든 분리 셀을 순방향 및 역방향 스캔을 수행하므로 순차 히스토그램 기법에 비해 많은 메모리와 처리 시간이 필요하다. 또한 주파수 변경 신호와 고정 신호가 동일한 분리 셀 또는 연결 관계를 갖는 인접 분리 셀에 할당되면 여러 클러스터들이 모두 연결된 하나의 큰 그룹을 생성하므로 과소 그룹화 확률이 많이 발생하게 된다.

### 3. 적응적 클러스터 윈도우 기법

적응적 클러스터 윈도우 기법은 신호그룹화에 사용

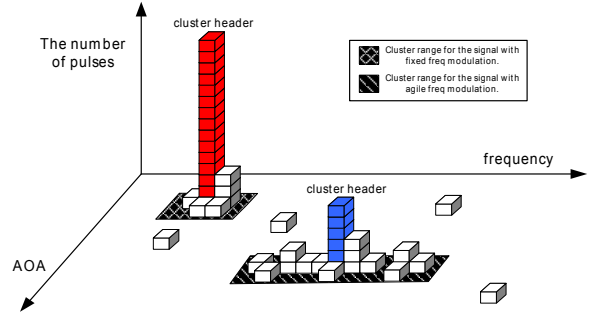


그림 3. 적응적 클러스터 윈도우 기법  
Fig. 3. Adaptive window clustering algorithm.

하는 변수들의 상관관계를 고려할 수 있는 2차원 기법이다. 이 기법은 먼저 도래방위와 주파수 변수를 이용한 2차원 분리 셀을 구성하고, 각 분리 셀에 해당되는 수신 신호들을 각각 해당된 분리 셀에 할당된 후, 동일한 분리 셀에 할당된 수신 신호들에 대해 클러스터 헤더 후보 목록을 생성한다. 후보 목록의 구성 요소들이 클러스터 헤더로 판정되면, 후보 목록의 클러스터 헤더로부터 클러스터 윈도우를 정의하는 과정을 통해 그룹화를 수행한다<sup>[8]</sup>.

클러스터 윈도우는 2차원 영역의 분리 셀들에서 잠재적 클러스터 영역을 의미한다. 클러스터 헤더의 신호 밀도가 주파수 고정 판정 임계치를 초과하면 이 헤더는 신호원의 주파수 형태가 고정인 레이더로부터 수신된 클러스터라 가정하고 클러스터 윈도우 크기를 작게 정의하고, 클러스터 헤더의 신호 밀도가 주파수 고정 판정 임계치 이하이면 신호원의 주파수 형태가 변경인 레이더로부터 수신된 클러스터라 가정하여 클러스터 윈도우 크기를 크게 정의한다.

클러스터 윈도우 크기는 도래방위 변수 크기는 항상 동일하게 적용하며, 주파수 변수에 대해서는 수신 신호의 밀도에 따라 식(3)과 식(4)와 같이 정의한다. 그림 5에서 보는 바와 같이 식에서  $H$ 는 2차원 분리 셀에서 클러스터 헤더 위치를 의미하고,  $R_{AOA}$ 는 클러스터 윈도우 높이, 그리고  $R_{FF}$ ,  $R_{FA}$ 는 주파수 고정 클러스터 및 주파수 변경 클러스터 너비를 의미한다.

$$W_{FF} = (H \pm R_{AOA}) \times (H \pm R_{FF}) \quad (3)$$

$$W_{FA} = (H \pm R_{AOA}) \times (H \pm R_{FA}) \quad (4)$$

이 기법은 연속 스캔 기법과 동일하게 도래방위와 주파수 변수를 이용한 2차원 신호그룹화 기법으로 연속 스

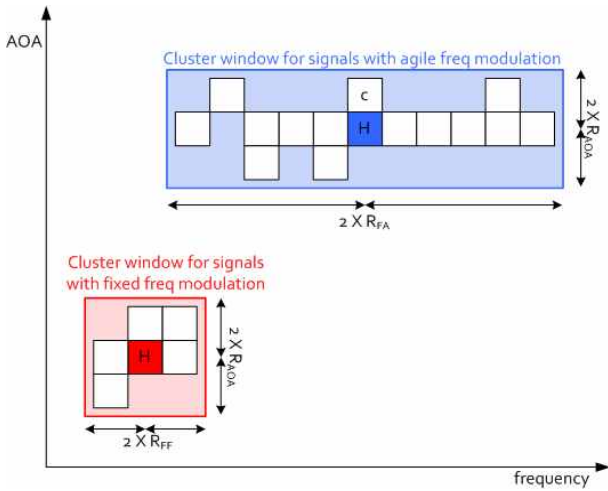


그림 4. 클러스터 윈도우 개념  
Fig. 4. Concept of the cluster window.

캔 기법은 수신 신호의 특성을 전혀 고려하지 않지만 이 기법은 각 분리 셀에 해당되는 수신 신호들의 정보를 이용한다는 점에서 강점을 가지며 처리 시간 측면에서 연속 스캔 기법에 비해 효과적인 방법이다. 그러나 이 기법은 만약 주파수 변경 신호와 고정 신호가 동일한 분리 셀이 할당되면 주파수 변경 클러스터 윈도우가 적용되기 때문에 매우 큰 범위를 갖는 하나의 그룹을 생성하는 파소 그룹화가 발생할 수 있는 제한점이 있다.

### III. 제안된 레이더 신호그룹화 기법

#### 1. 커널 밀도 윈도우 개념

전자전 시스템에서 신호원인 레이더의 특성에 따라 측정 신호의 특성 집합에 따라 도래방위와 주파수는 서로 다른 분포를 갖게 된다. 도래방위는 기본적으로 측정 정확도에 의존되므로 가우스 분포를 갖게 되며, 주파수의 경우는 고정형인 경우에만 가우스 분포를 따르게 된다. 본 논문에서는 이러한 특징에 기반을 두어 커널 셀에 대한 분포를 확인하고, 커널 셀을 분류하기 위해 커널 밀도 추정(Kernel Density Estimator) 개념을 도입하였다<sup>[9~11]</sup>. 커널 밀도 추정은 랜덤 변수에 대해 확률적 밀도를 측정하기 위한 비모수 통계 방법으로서, 커널 밀도 추정은 각 원소가 전체 밀도 함수에 미치는 영향은 커널 함수로 표현하며, 전체 밀도 함수는 각 원소와 커널 함수의 합으로 나타낸다. 본 논문에서 제안한 기법을 위해 다음의 몇 가지 정의가 필요하다.

[정의1] 커널 셀은 본 논문에서 제안한 그룹화를 위

해 도래방위와 주파수 변수로 생성되는 단위로, 일정한 크기의 정방형 모양을 갖는 2차원 영역 내에 포함된 신호들을 의미한다. 여기에서 커널 셀 영역은 아래 식과 같이 정의하며,  $\sigma$ 는 사용 변수에 대한 측정 정확도를 의미한다.

$$cell\ size = 6\sigma_{AOA} \times 6\sigma_{RF} \tag{5}$$

[정의2] 커널 함수는 커널 밀도 추정에 사용하는 기본 함수로서 다음 식과 같으며, 본 논문에서 밀도 추정을 위한 커널 함수로 Epanechnikov 함수를 적용한다.

$$K(u) = \begin{cases} \frac{3}{4\sqrt{5}} \left(1 - \frac{1}{5}u^2\right), & \text{for } |u| < \sqrt{5} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{6}$$

[정의3] 커널 함수를 이용한 커널 밀도 추정 함수는 아래 식과 같이 정의한다. 여기에서  $n$ 은 각 커널 셀에 속하는 원소의 개수를 의미하며,  $h$ 는 smoothing 변수로서 밴드폭을 의미한다.

$$f_k(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \tag{7}$$

그림 5는 실제 레이더중 주파수 변조 형태가 고정인 경우와 변형인 경우에 대한 커널 밀도 추정 결과로 고

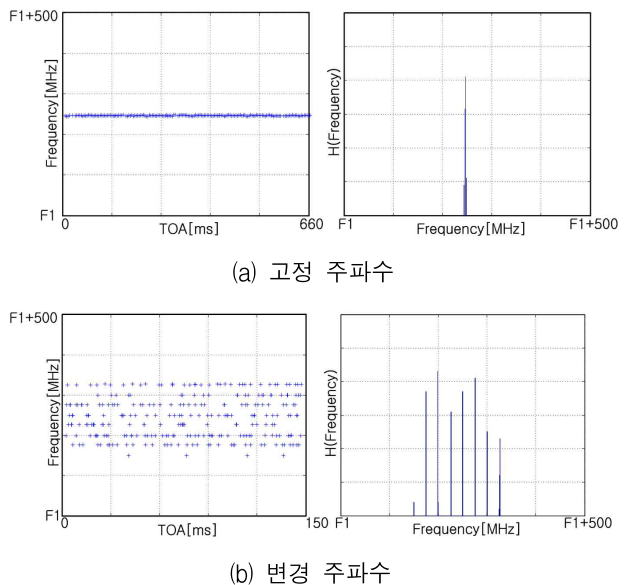


그림 5. 레이더 신호의 커널 밀도 추정 분포  
Fig. 5. Distribution of kernel density estimation of the real radar signals.

정의 경우는 가우스 분포, 변경인 경우는 균등 분포에 유사한 분포임을 알 수 있다.

[정의4] 커널 밀도 누적 차분은 생성된 커널 셀에 대해 커널 밀도 추정을 수행한 후, 그 커널 셀에 할당된 신호에 대해 도래방위와 주파수 변수에 대한 특성을 추출하고 분류하기 위해 제안된 함수로 아래와 같이 정의한다.

$$f_d(x) = \int_{t=x-\sigma}^{x+\sigma} f_k(x)dt \quad (8)$$

개념적으로 보면 커널 밀도 추정 결과에 대한 누적분포함수(CDF : Cumulative Distribution Function) 차분을 의미한다. 여기에서 x는 커널 밀도 추정을 위해 사용하는 기준값으로 대상 영역내 특정 위치에 해당하는 값을 의미하며,  $\sigma$ 는 그룹화에 사용하는 변수에 대한 측정정확도를 의미한다. 본 논문에서는 커널 셀에 대한 커널 밀도 누적 차분을 계산하여 주파수 변수에 대해 고정 또는 변경인지를 분류한 후, 각 커널 셀에 대한 그룹화를 수행하는 개념을 제안하였다. 그림 6은 주파수 변조 형태에 따른 커널 밀도 누적 차분 결과이다.

[정의5] 커널 밀도 윈도우(Kernel Density Window)는 커널 밀도 누적 차분 결과로 결정되는 한 개 이상의 커널 셀의 집합을 의미한다.

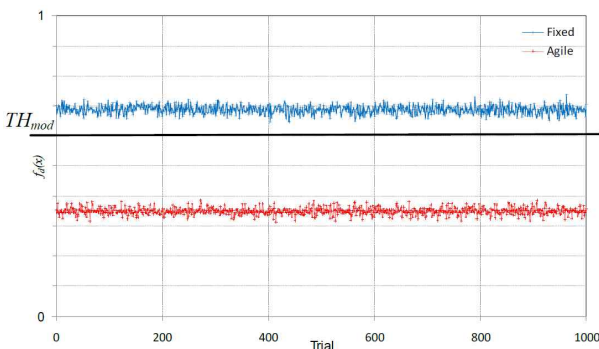


그림 6. 주파수 변조 형태별 커널 밀도 추정에 대한 누적분포함수 차분  
Fig. 6. CDF Difference of the frequency modulation type.

2. 제안된 그룹화 기법

본 논문에서 제안한 주파수 변조 특성에 기반한 커널 밀도 윈도우를 이용한 신호 그룹화 기법은 먼저 커널 셀

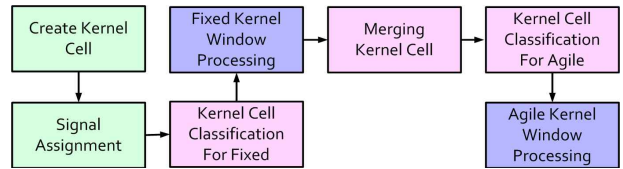


그림 7. 제안된 그룹화 기법  
Fig. 7. Proposed grouping algorithm.

을 생성한 후, 커널 셀에 해당된 수신된 레이더 신호를 할당하는 초기 과정과 커널 셀에 대한 커널 밀도 추정과 커널 밀도 누적 차분을 이용한 커널 셀 분류 과정, 그리고 각 커널 셀에 대한 고정과 변경 형태의 그룹화 과정으로 이루어진다.

가. 커널 셀 생성 및 할당

수신되어 측정된 신호들로부터 도래방위와 주파수 변수에 대해 커널 셀을 생성하고, 해당된 커널 셀에 수신된 신호들을 할당한다.

나. 고정 커널 셀 분류

입력 신호에 대해 생성된 커널 셀들에 대해 각 셀에 포함된 신호의 주파수 값들이 고정 형태 분포를 갖는 신호로 구성되어 있는지 여부를 판단하는 과정을 수행한다. 커널 셀들이 생성되면 각 셀에 소속된 도래방위와 주파수 값들에 대해 커널 밀도 누적 차분을 계산하여 각 변수별로 커널 셀 분류 과정을 수행한다. 도래방위와 고정 주파수 특성을 갖는 신호는 모두 가우스 분포를 따르므로 이 특성을 이용하여 특정 커널 셀에 대해 커널 밀도 차분  $f_d(x)$ 을 구하면 도래방위와 주파수 고정인 경우 그림 6에서와 같이  $TH_{mod}$ 를 넘게 되므로 이 커널 셀은 주파수 변수에 대해서는 고정 주파수 셀로 분류하고 이를 고정 커널 밀도 윈도우로 할당한다.

다. 고정 윈도우 처리

고정 커널 밀도 윈도우로 분류된 각 윈도우에 대해 펄스열 분리를 수행한다. 이 과정은 펄스열 추정 및 추출 단계로 구분하여 수행하는데 펄스열 추정은 기존에 가장 많이 사용하는 누적차분 히스토그램 방식인 CDIF (Cumulative Difference Histogram) 알고리즘을 적용하였다<sup>[12]</sup>. 이 방법은 입력된 펄스열의 도착시간인 TOA의 차를 각 차수별로 누적 히스토그램으로 생성하고, 임계치 함수를 적용하여 펄스열에 포함된 펄스반복주기를 추정한다. 커널 밀도 윈도우에 포함된 모든 신호에

대해 각 신호의 펄스도착시간 간 차이인 DTOA와 추정된 펄스반복주기와 비교하여 펄스열을 추출한다.

라. 커널 셀 병합

고정 커널 밀도 윈도우에서 고정 주파수 신호에 대한 펄스열을 추출한 후에 남아 있는 커널 셀에 대해 상호 인접한 커널 셀을 변경 커널 밀도 윈도우로 할당하는 절차를 수행한다. 일반적으로 매 송신 신호마다 의도적으로 주파수를 변경하여 운용하는 레이더는 적게는 수십 MHz부터 크게는 수백 MHz를 넘는 범위까지 주파수 운용 밴드폭을 갖는다. 따라서 본 논문에서 주파수 변경 신호는 다수의 커널 셀에 할당되므로 하나의 커널 윈도우로 병합하는 과정이 필요하다.

커널 셀 병합을 통해 변경 커널 밀도 윈도우를 할당하는 과정은 동일 방위에 존재하는 신호가 주파수 영역에서도 연속적으로 존재할 경우 커널 셀에 대한 병합을 수행하여 동일한 커널 밀도 윈도우로 할당하고, 만약 주파수가 연속적이지 않고 특정 범위 이상 차이가 존재하면 새로운 커널 밀도 윈도우로 할당한다.

본 논문에서 제안한 커널 셀은 신호가 존재하지 않을 경우 커널 셀로 할당하지 않기 때문에 해당 커널 셀과 그 커널 셀의 인접 셀간 주파수 변수에 대한 차이로 분리 여부를 판정한다. 여기에서 분리를 위해 적용하는 최소 변경폭  $\delta$ 은 식(9)와 같이 주파수 측정정확도로 표현 가능하며, 이것은 다시 커널 셀의 개수로 식(10)과 같이 변환 가능하다. 여기에서 최소 변경폭  $FBW_{min}$ 은 전자전 시스템별로 운용 대상과 설계 목적에 따라 고유하게 정해지는 변수이며,  $f_r=6\sigma_{RF}$ 를 의미한다. 따라서 인접된 커널 셀간 거리차이가  $N_{as}$ 보다 작으면 동일한 변경 커널 밀도 윈도우로 할당하며, 그렇지 않은 경우는 다른 변경 커널 밀도 윈도우로 할당한다.

$$\delta = \frac{FBW_{min}}{\sigma_{FRQ}} \tag{9}$$

$$N_{as} = \left\lceil \frac{\delta}{f_r} \right\rceil \tag{10}$$

마. 변경 커널 셀 분류

변경 커널 윈도우로 할당된 커널 셀들에 신호가 어떻게 분포되어 있는지 판단하여 변경 커널 밀도 윈도우를 분류하는 절차를 수행한다. 즉 변경 커널 밀도 윈도우 내 존재하는 신호의 커널 밀도 누적 차분을 계산하여

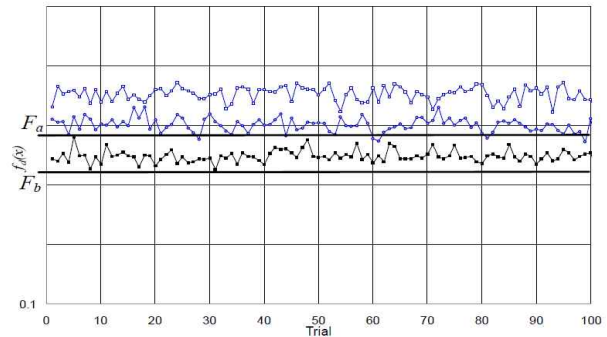


그림 8. 주파수 변경 신호 분류  
Fig. 8. Classification of the agility frequency signals.

분포된 신호의 특성을 구분하여 여러 신호가 중첩되어 존재하는지 아니면 단일 신호인지를 분류하여 그 정보를 펄스열 분리 과정에 적용토록 커널 밀도 윈도우를 분류한다.

중첩된 변경 신호에 대한 커널 밀도 차분은 그림과 같이  $F_a$ 와  $F_b$ 사이에 존재할 경우는 커널 밀도 윈도우내 단일 신호가 존재하다고 분류하며, 그 외의 경우는 모두 중첩된 신호가 존재하다고 분류한다.

바. 변경 윈도우 처리

변경 윈도우 처리는 고정 윈도우 처리와 동일한 방법으로 변경 커널 밀도 윈도우에 대해 펄스열 추정 및 펄스열 추출 과정을 통해 분리한다.

IV. 실험

본 논문에서 제안한 기법에 대한 성능을 확인하기 위해 아래 그림 9와 같은 구조로 기존 그룹화 기법과 비교 실험을 수행하였다. 모의 신호는 표1에서 보는 바와 같이 시나리오별로 정의하여 실험을 수행하였다.

시나리오별로 각 신호에 대한 전자전 시스템에서의 수신/측정 모델은 주파수 변수에 대해 수신 대역폭은 4GHz이고 측정정확도는 1MHz RMS 측정 해상도는 1MHz로 정의하고, 방위 변수에 대해서는 전방위 수신 구조로 측정정확도는 1° RMS 측정해상도는 1°로 정의하였다. 그리고 펄스도착시간에 대해서는 측정정확도는  $\pm 200$ ns 측정해상도는 50ns 최소측정간격은 2ns로 모델

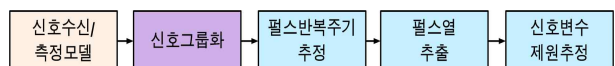


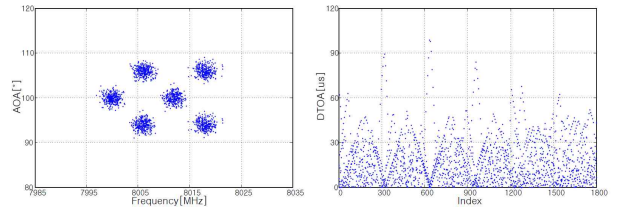
그림 9. 실험 구조  
Fig. 9. Simulation architecture.

표 1. 모의 신호  
Table 1. Simulated signals.

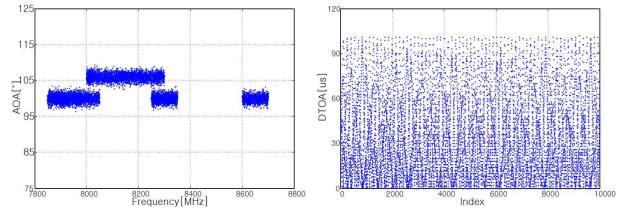
시나리오	방위 [°]	주파수 [MHz]			PRI		모의 개수
		형태	값	변경폭	형태	값 [us]	
S1	100	고정	8000	-	고정	101	1800
	106	고정	8006	-	고정	103	
	94	고정	8006	-	고정	105	
	100	고정	8012	-	고정	107	
	106	고정	8018	-	고정	111	
S2	100	변경	7950	200	고정	103	10000
	106	변경	8150	300	고정	101	
	100	변경	8300	100	고정	205	
	100	변경	8650	100	고정	307	
S3	106	고정	7842	-	고정	111	10000
	106	고정	8148	-	고정	113	
	100	고정	8156	-	고정	107	
	100	고정	8304	-	고정	101	
	106	고정	8306	-	고정	117	
	94	고정	8650	-	고정	103	
	106	변경	7948	200	고정	103	
	106	변경	8150	300	고정	101	
	100	변경	8300	100	고정	205	
S4	102	고정	8043	-	고정	111	10000
	96	고정	8046	-	고정	113	
	90	고정	8049	-	고정	117	
	87	고정	8175	-	고정	101	
	100	고정	8200	-	고정	103	
	96	고정	8200	-	고정	107	
	87	변경	8028	100	고정	205	
	81	변경	8125	200	고정	103	
	100	변경	8150	300	고정	101	
93	변경	8180	100	고정	307		

링하였다. 최종적으로 전자전 시스템으로 수신된 신호에 대한 분포는 그림 10과 같으며 이 신호로부터 그룹화 기법별 성능을 분석하였다.

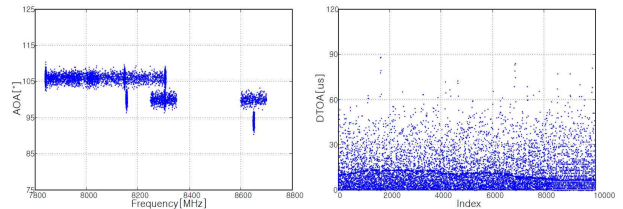
시나리오별로 실험 결과를 정리하면 표 2와 같다. 성능 비교를 위한 요소로 처리성능은 전체 시나리오 중 가장 최소 처리 시간을 기준으로 몇 배 처리 시간이 필요한지 의미하는 것으로 적응적 클러스터 윈도우 기법과 제안된 기법이 제일 좋으며, 수신 신호가 복잡해짐에 따라 순차 히스토그램과 순차 스캔 기법은 지수적으로 처리 비용이 매우 높아짐을 알 수 있다. 모의 입력 신호에 대해 그룹화 개수 및 최종 분리된 신호 개수는 순차 히스토그램과 연속 스캔 기법은 신호가 복잡해짐에 따라 성능이 낮아지며 입력 신호 대비 분리된 신호 제한이 동일함을 나타내는 정확도 역시 좋지 않음을 알 수 있다. 제안된 기법은 처리성능, 그룹화 개수 및 분리된 신호 개수, 정확도 모두 입력 신호의 복잡도에 영향이 둔감하며 기존 그룹화 기법에 비해 제일 우수한 성능을 보유했음을 알 수 있다.



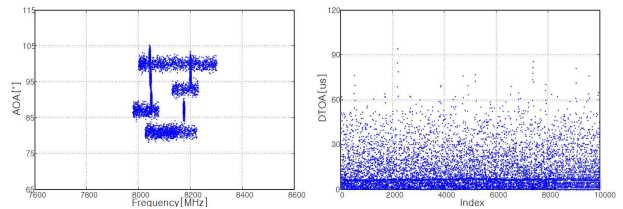
(a) 시나리오 S1 수신신호 주파수/방위 분포 및 DTOA



(b) 시나리오 S2 수신신호 주파수/방위 분포 및 DTOA



(c) 시나리오 S3 수신신호 주파수/방위 분포 및 DTOA



(d) 시나리오 S4 수신신호 주파수/방위 분포 및 DTOA

그림 10. 수신된 모의 레이더 신호  
Fig. 10. Received Signals of the simulated radars.

표 2. 실험결과  
Table 2. Experimental results.

시나리오	입력 신호 개수	기법	처리 성능 [배]	분리 그룹 개수	분리 신호 개수	정확도 [%]
S1	6	SH	4	1	9	16
		CS	3	1	9	16
		AWC	1	3	7	29
		KDW	2	6	6	96
S2	4	SH	12	2	7	75
		CS	5	2	7	75
		AWC	9	1	8	58
		KDW	7	4	4	99
S3	10	SH	134	2	46	59
		CS	127	2	49	58
		AWC	6	6	13	67
		KDW	6	9	10	87
S4	10	SH	629	1	63	49
		CS	669	1	63	48
		AWC	6	6	18	64
		KDW	8	10	10	97

## V. 결 론

본 논문에서는 전자전 시스템에서 전자전지원 신호 처리 과정 중 신호분석 단계에서 적용 가능한 새로운 신호그룹화 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 수신된 신호의 개수와 분포에 따른 영향을 최소화할 수 있도록 측정된 레이더 신호 변수들 중 도래방위 및 주파수 변수 정보에 기반한 신호그룹화 기법으로 레이더 시스템과 전자전 시스템이 고유하게 갖는 변수별 측정 신호의 특성을 고려한 커널 밀도 추정을 활용한 신호그룹화 기법이다. 제안된 기법의 처리 과정은 먼저 수신 측정된 신호로부터 전자전 시스템이 갖는 고유 변수별 측정 정확도를 고려하여 도래방위와 주파수 변수를 이용한 이차원 영역을 갖는 커널 셀을 정의하고, 각 커널 셀에 대해 도래방위와 주파수 변수에 대한 커널 밀도 추정을 수행하여 추정된 커널 밀도의 누적 분포차를 구분자로 활용하여 커널 셀에 대한 고정 또는 변경 커널 윈도우로 분류하는 과정으로 그룹화를 수행한다.

제안된 기법에 대해 성능을 확인하기 위해 여러 가지 신호 환경을 모의하여 실험을 수행한 결과 기존 기법에 비해 정교하게 그룹화가 가능하여 신호분석 단계의 신호밀도를 최소화함으로써 전체 신호처리 시간과 복잡도를 줄이고 분석정확도는 높이며 오분석 확률은 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 제안된 주파수 변조 특성에 기반한 커널 밀도 윈도우 방식의 그룹화 기법을 전자전 시스템의 전자전지원 신호처리의 신호분석 단계에 적용하면, 현대의 고밀도 신호 환경하에서 전자전 신호처리 성능 향상이 가능할 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Michael R. Frater, Michael Ryan, *Electronic Warfare for the Digitized Battlefield*, Artech House, INC. 2001.
- [2] 임중수, “전자전 장비의 기술현황과 발전추세”, 한국전자과학회, 제11권, 제4호, 53-63쪽, 2000년 10월.
- [3] Filippo Neri, *Introduction to Electronic Defense Systems*, Artech House INC. 2001.
- [4] D. Curtis Schleher, *Introduction to Electronic Warfare*, Artech House INC., 1986.
- [5] 이동원, 레이더 식별을 위한 스캔주기분석에 관한 연구, CESD-517-960952, 국방과학연구소, 1996년
- [6] D.R. Wilkinson and A.W. Watson, “Use of metric techniques in ESM data processing”, IEE

- proceedings on F, Communications, radar, and signal processing, vol. 132, pp. 229-232, Jul 1985.
- [7] 이상렬, 송규하, 주파수와 도래방위 정보를 이용한 2차원 신호그룹화 기법, IEDC-509-000890, 국방과학연구소, 2000년.
- [8] Jin-Woo Han, Kyu-Ha Song, Dong-Weon Lee, Si-Chan Lyu, “A novel clustering algorithm of radar pulses based on the adaptive cluster window”, 2007 22nd International Symposium on Computer and Information Sciences, Nov 2007.
- [9] B.W. Silvermann, *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, CHAPMAN&HALL CRC, 1986.
- [10] Dong-Weon Lee, Jin-Woo Han, Kyu-Ha Song, Won Don Lee, “A Kernel Density Window Clustering Algorithm for Radar Pulses”, Third 2008 International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, pp. 1048-1053, 2008.
- [11] 이동원, 한진우, 송규하, 류영진, “주파수 변조 특성 및 신호의 결합 특성을 이용한 레이더 신호의 클러스터링 방법 및 이를 이용한 레이더 신호 수신 및 처리장치”, 특허10-1007662, 2011년 1월
- [12] D.J. Milojevic and B.M. Propovic, “Improved algorithm for the deinterleaving of radar pulses”, IEE Proc. F, Commun. Radar & Signal Process, Vol. 139, pp. 98-104, 1992.



## — 저 자 소 개 —



이 동 원(정회원)

1989년 전북대학교 전산학과 학사  
졸업

1991년 전북대학교 전산학과 석사  
졸업

2007년 충남대학교 컴퓨터공학과  
박사과정

1991년~현재 국방과학연구소 책임연구원

<주관심분야 : 디지털신호처리, 데이터마이닝,  
연역 데이터베이스, 인공지능, 퍼지>



이 원 돈(정회원)

1979년 서울대학교 화학과 학사  
졸업

1982년 일리노이대(Urbana)  
화학과 석사 졸업

1986년 일리노이대(Urbana) 전산  
학과 박사 졸업

1987년 텍사스대(Arlington) 전산공학과 조교수

1987년~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 교수

<주관심분야 : 신경회로망, 디지털신호처리, 저작  
권 보호, 데이터마이닝>



한 진 우(정회원)

2001년 경북대학교 컴퓨터공학과  
학사 졸업

2004년 경북대학교 컴퓨터공학과  
석사 졸업

2004년~현재 국방과학연구소  
선임연구원

<주관심분야 : 디지털신호처리, 데이터마이닝, 네  
트워크, 알고리즘>