

전자전 지원을 위한 적응적 그룹화 기법

An adaptive clustering scheme for ES

한진우*, 송규하**, 이동원***

Han Jin Woo, Song Kyu Ha, Lee Dong Woen

Abstract - Electronic warfare Support(ES) system measures pulse characteristics for received RF signals that received from all directions. ES system discriminates the pulse trains that have a rule, relationship, continuance from collected data and analyze the characteristics of the data, and identify the emitters by comparison with emitter identification data(EID). Because pulse density is very high and various signal source exists at modern signal environments, high-speed and accurate signal analysis is needed for realtime countermeasure to emitters. Grouping alleviates the load of signal analysis process and supports reliable analysis. In this paper, we suggest an adaptive clustering scheme regarding signal patterns.

Key Words : Electronic Warfare(EW), ES, clustering, grouping, signal processing

화 기법을 제안한다.

1. 서론

전자전 지원은 수신되는 펄스 신호를 각 신호원 별로 분리하여 각 신호원에 해당하는 펄스열의 규칙성 및 통계적 특성을 분석하고 내장하고 있는 위협식별정보와 매칭을 통해 각 신호원을 식별한 후, 전자전체계의 전자공격으로 하여금 적절한 대응을 할 수 있는 정보를 제공한다. 따라서 현대와 같은 고밀도 및 다양한 형태의 신호원이 혼재되어 있는 전자전 신호 환경에서 전자전 체계가 위협에 대한 실시간 대응을 수행하기 위해서는 고속의 정밀 신호분석이 필요하며, 신속하고 정확한 분석을 위하여 최적의 그룹화 기법에 대한 연구가 선행되어야 한다.

전자전 지원에서의 그룹화는 신호 수집부와 신호 분석 및 식별부의 중간 위치에서 신호처리 프로세서의 부담을 줄이고 신호 분석 속도 향상에 기여한다. 또한, 그룹화는 펄스열 분리 시의 분석 오류를 최소화하기 위하여 펄스열 분리 이전 단계에서 신뢰성 있는 그룹화 데이터를 제공하여 정확한 펄스열 분리가 이루어지도록 해야 한다. 따라서 그룹화를 통해 생성된 각 그룹에는 가능한 적은 개수의 에미터 신호가 존재함과 동시에 하나의 에미터 신호가 여러 그룹으로 분산되지 않도록 해야하고, 신속한 그룹화를 통해 다중 위협에 대한 실시간 처리가 가능하도록 하여야 한다.

본 논문에서는 2장에서 전자전 지원에서의 그룹화에 대해 요약하고, 3장에서는 기존 그룹화 기법들의 특징과 장단점에 대해 분석하고, 4장에서 적응적 클러스터 기반의 새로운 그룹

2. 그룹화

신호 수신 장치에서 수집되는 신호 변수에는 방위각, 주파수, 펄스폭, 펄스세기, 펄스도착시간 등이 있다. 이러한 신호 변수들은 상대 에미터가 거리, 속도 등의 식별 해상도를 향상시키거나 아군 ES 장비에 의해 탐지될 확률을 낮출 목적으로 변경될 수 있는데, 특히 주파수는 500MHz에 이르는 대역에 분포하기도 하며, 각종 패턴 형태를 가지기도 한다. 또한 펄스반복주기의 변경으로 인해 펄스도착시간이 지터형식을 가지거나, 여러 패턴 형태를 나타내기도 한다. 이밖에 반사파나 스캔형태 등에 따라서 펄스도착시간, 펄스폭, 펄스세기 변수 역시 변경될 수 있다. 이와 같이 수동적 수집에 의존하는 전자전 장비에 수신되는 에미터 신호는 많은 왜곡과 변화를 거쳐 입력되므로 특정 신호 변수에 절대적으로 의존할 수 없다.

펄스열 분리를 위한 전처리 개념의 그룹화에서는 가장 신뢰할 수 있는 변수 특성을 이용해야만 실제 펄스열 분리 및 에미터 식별단계에서 나타날 수 있는 처리시간 및 식별 모호성의 증가를 줄이는데 기여할 수 있다. 현대의 레이더나 미사일 기술에서도 자신의 물리적 위치를 기만할 수 있는 신호 처리 능력은 미약하기 때문에, 도래방위 정보는 가장 신뢰할 수 있는 신호 변수이다. 그리고 각 에미터는 자신이 발생한 신호를 다시 수집해서 분석해야 하기 때문에 사용 주파수의 대역은 제한적이고, 군사용 탐지 목적으로 사용되는 경우에는 높은 주파수 대역에서 집중적으로 이용되므로 주파수 정보도 그룹화에서 사용될 수 있는 변수이다. 이 2가지 변수 이외에 펄스폭이나 펄스세기 등의 다른 변수들은 전송환경의 의한 왜곡 등에 의해 신호 특성별 그룹화가 어렵다.

* 한진우 : 국방과학연구소 전자전체계부

** 송규하 : 국방과학연구소 전자전체계부

*** 이동원 : 국방과학연구소 전자전체계부

따라서 실제 운영 환경에서 그룹화에 사용될 수 있는 신호 변수는 방위각과 주파수만이 가능한 현실이며, 펄스열 분리 과정에서 나타날 수 있는 오류의 가능성을 최소화 하기 위해서는 각 변수마다 가중치를 둔 그룹화가 필요하다.

3. 기존 그룹화 기법

3.1 히스토그램을 이용한 1차원 연속 그룹화 기법

현재의 전자전 장비에서 가장 많이 사용되고 있는 기법으로서 처리 속도가 빠르며 연산이 간단한 장점을 가지고 있다. 이 기법은 방위각을 이용하여 그룹화를 먼저 수행하고, 생성된 각 그룹에 대하여 다시 주파수 그룹화를 수행한다.

히스토그램을 이용한 그룹화 기법에서는 각 분리 셀 단위로 도달하는 펄스의 개수를 누적하여 히스토그램을 만든 후, 임계치를 넘어서는 구역별로 분할하여 그룹화한다. 임계치를 넘어서지 못하는 펄스들은 시스템 구성에 따라 무시되거나 재사용되기도 하는데, 후자의 경우에는 임계치를 낮게 재설정하여 주파수 변경이나 패턴 형태의 에미터 신호를 분리하게 된다.

이 기법은 구현이 간단하고 속도면에서 우수한 장점을 보이지만, 사용되는 각 변수의 상관성이 고려되지 못한다. 예를 들어 방위 그룹화의 경우 반사파로 인해 유사 혹은 동일 제원의 에미터 신호가 넓은 폭의 방위에 걸쳐 입력되면 그룹화 변별력이 급격히 감소할 수 있고, 마찬가지로 주파수 변경 신호는 약 500MHz 정도의 대역폭을 가지면서 주파수가 분포하므로 그룹화 변별력이 감소할 수 있다. 따라서 방위와 주파수를 동시에 고려하는 2차원 그룹화를 통해 반사파, 주파수 변경 등으로 인해 다수의 에미터 신호가 하나의 그룹으로 판단될 확률을 줄여주는 것이 바람직하다.

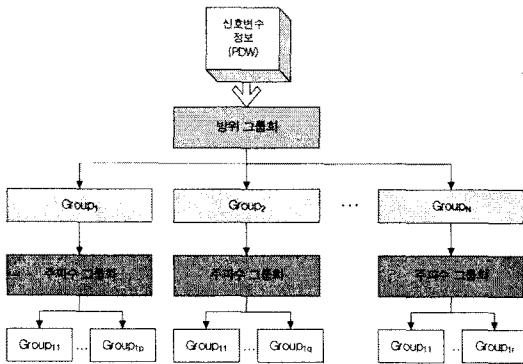


그림 3. 히스토그램을 이용한 1차원 연속 그룹화 절차

3.2 연속 스캔에 의한 그룹화 기법

이 기법은 주파수와 방위 변수의 상관성이 고려되지 못하는 1차원 연속 그룹화 기법의 단점을 보완하여 영상신호 처리 및 패턴 인식 등의 분야에서 사용되는 레이블링 기법을 응용한 2차원 동시 그룹화 기법이다. 연속 스캔에 의한 그룹화에서는 방위와 주파수를 사전에 정의된 분리셀의 개수만큼 나누어 2차원 영역을 구성한 다음 순방향 스캔 및 역방향 스캔을 통해 그룹을 결정한다.

순방향 스캔에서는 분리셀에 고유의 레이블을 부여한다. 만약 이웃한 분리셀이 이미 레이블을 할당받았다면, 현재 셀은 이웃 셀의 레이블을 할당받고, 그렇지 않다면 현재 셀은 고유의 레이블을 할당받는다. 스캔 과정에서 고려되는 이웃 셀이 모두 레이블을 가지고 있는 경우에는 두 값 중 작은 레이블을 할당받는다.

역방향 스캔에서는 한 그룹으로 판단되는 분리셀이 한 종류의 레이블을 할당하는 작업이 이루어진다. 이 작업 역시 이웃 분리셀의 레이블을 확인하여 가장 작은 값을 할당하는 방식으로 이루어지며, 이를 통해 현재 셀의 레이블을 자신이 속한 그룹 내의 레이블 대표 값으로 바꾸어 줌으로써 동일 그룹의 분리 셀이 하나의 레이블을 할당받도록 한다.

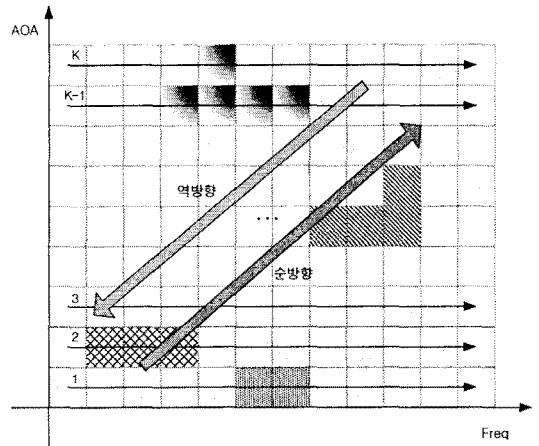


그림 4. 연속 스캔 그룹화 기법

스캔에 의한 그룹화 기법은 모든 분리셀을 순방향과 역방향으로 스캔해야 하므로 입력 펄스의 수에 무관하고 분리 셀의 수에 의해 연산 시간이 결정된다. 따라서 분리셀에 플래그가 설정되지 않은 부분까지 탐색하므로 실시간 대응을 위한 전자전에서 운영되기에는 부적합하다. 또한, 우연찮게 연결된 이웃에 의해 서로 다른 그룹이 한 그룹으로 나타날 수 있는 문제점도 가지고 있다.

4. 적응적 클러스터 기반의 그룹화 기법

이 장에서는 히스토그램을 이용한 1차원 그룹화 기법과 연속 스캔 그룹화 기법의 단점을 보완하여 적응적 클러스터 기반의 그룹화 기법을 제안하였다. 이 기법은 입력 신호 변수 정보를 이용하여 도래방위와 주파수의 2차원 분리셀을 구성한 다음, 각 분리셀의 밀도정보를 이용하여 클러스터 헤더를 선정하여 이를 중심으로 그룹화를 수행한다.

이 기법은 도래방위와 주파수의 변수를 이용하는데, 도래방위는 반사파가 아닌 이상 크게 변경되지 않는다는 것과, 주파수는 주파수 변경 신호의 경우 최대 500MHz까지 변경이 가능하다는 것에 주안점을 둔 그룹화 방식이다. 먼저 입력 신호변수 정보를 분석하여 각 셀에 할당하는데, 이 때 셀의 밀도가 주파수변경 헤더 임계치(TH_{AGL})를 초과한다면 헤더후

보리스트(CandHead[])에 추가한다. 입력 신호변수 정보 검사 절차가 끝나면, 헤더후보리스트를 밀도값이 큰 순서대로 정렬한 다음 그 순서대로 클러스터의 헤더로 임명하여 그룹화를 수행한다. 헤더후보리스트 중에서 이미 그 헤더가 한 그룹의 멤버이면, 그 후보의 밀도값보다 더 큰 값을 가지는 후보가 이미 그 클러스터의 헤더로 임명되었음을 의미하므로 다음 후보로 넘어가서 그룹화를 진행한다.

클러스터 헤더를 이용한 그룹화는 다음과 같은 방식으로 진행된다. 클러스터 헤더의 밀도값이 주파수 고정 헤더 임계치(TH_{FIX})를 초과한다면 헤더를 중심으로 주파수 고정 클러스터 범위의 셀을 모두 한 그룹으로 선정한다. 주파수 고정 클러스터 범위는 헤더의 위치($AOA[i]$, $FREQ[i]$)를 중심으로 $[AOA[i]-RangeAOA, AOA[i]+RangeAOA]$ 와 $[FREQ[i]-RangeFREQ_{FIX}, FREQ[i]+RangeFREQ_{FIX}]$ 의 교차지역으로 정의할 수 있다. 클러스터 헤더의 밀도값이 주파수 고정 헤더 임계치를 초과하지 못한다면 주파수 변경 클러스터 범위를 적용하여 클러스터를 생성하는데, 그 범위는 $[AOA[i]-RangeAOA, AOA[i]+RangeAOA]$ 와 $[FREQ[i]-RangeFREQ_{AGL}, FREQ[i]+RangeFREQ_{AGL}]$ 의 교차지역이다. 그림 5는 이 기법의 알고리즘 흐름도를 상세히 나타내고 있다.

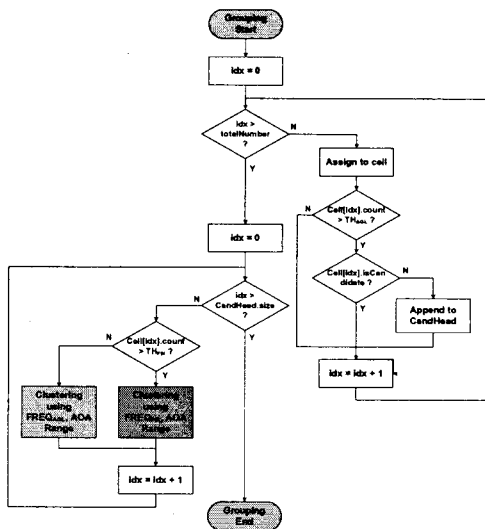


그림 5. 적응적 클러스터 그룹화의 알고리즘 흐름도

그림 6은 이 기법의 개념을 나타내는데, 주파수 변경 클러스터와 주파수 고정 클러스터의 주파수 범위는 다르게 도래방위 범위는 같음을 알 수 있는데, 이는 도래방위 정보가 더욱 신뢰성이 있다는데 기반을 둔 것이다.

적응적 클러스터를 이용한 그룹화 기법은 분리셀을 할당할 때부터 헤더후보를 선정하고 그 후보를 기준으로 그룹화를 진행하므로 신속한 그룹화가 가능하다. 이 그룹화 기법은 기존의 히스토그램을 이용한 1차원 그룹화 기법이 가지는 신호변수간 상관성 고려 문제를 해결하고, 연속 스캔에 의한 그룹화 기법이 가지는 신속성 문제를 해결하므로 현대 전자전 그룹화에 적합한 알고리즘이다.

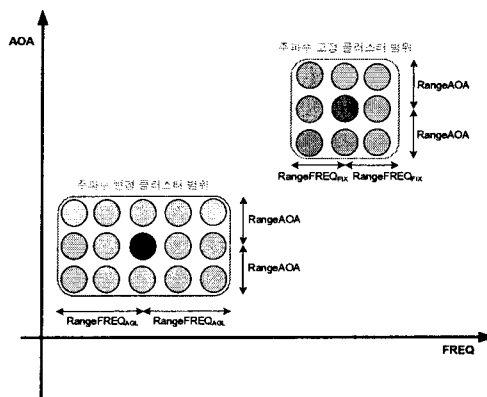


그림 6. 적응적 클러스터의 개념

5. 결론

본 논문에서는 전자전에서 적 위협에 대한 실시간 대응을 위해 반드시 필요한 신호 그룹화 기법에 대하여 기존 기법에 대해 분석하였고, 적응적 클러스터 기반의 새로운 그룹화 기법을 제안하였다.

히스토그램을 이용한 1차원 연속 그룹화는 신속하고 구현이 간단한 장점이 있으나, 도래방위와 주파수 신호 변수 정보의 상관성을 고려하지 못하는 단점이 있었고, 연속 스캔에 의한 그룹화 기법은 도래방위와 주파수 정보를 동시에 이용하는 2차원 그룹화 기법으로 히스토그램의 단점을 극복한 기법이었으나 모든 분리셀을 순방향과 역방향으로 스캔하여 그룹화를 수행하는 속도의 문제점을 보였다.

본 논문에서 제안한 적응적 클러스터 기반의 그룹화 기법은 도래방위와 주파수 정보의 상관성을 고려한 2차원 그룹화 방법으로 셀의 밀도를 고려하여 클러스터 헤더를 선정하고 그 헤더의 종류에 따라 클러스터 범위를 결정하여 그룹화를 하는 방법이다. 이 기법은 클러스터 기반의 그룹화를 수행하므로 모든 분리셀을 고려하지 않고 그룹화의 대상이 될만한 셀만을 고려하여 그룹화 함으로써 처리 속도가 많이 향상되었다. 그러나 그룹화를 수행하고 남은 분리셀 영역의 신호 변수 정보의 재사용 문제는 여전히 존재하므로 이에 대한 향후 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] D. C. Schleher, Introduction to Electronic Warfare, Altech House, 1986.
- [2] Mardia, H. K., "Adaptive multidimensional clustering for ESM," IEE Colloquium on Signal Processing for ESM Systems, 1998, Digest 81988/62, pp. 5/1-5/4
- [3] Jun Liu, Jim P.Y Lee, Lingjie Li, Zhi-Quan Luo, K. Max Wong, "Online Clustering Algorithms for Radar Emitter Classification," IEEE Transactions on Pattern analysis and machine intelligence, Vol 27, No. 8, 2005, pp. 1185-1196