

CFAR 적용시 섹션 크기 가변화를 이용한 오표적의 효율적 제거

Effective Elimination of False Alarms by Variable Section Size in CFAR Algorithm

노 지 은*

Ji-Eun Roh

최 병 관*

Beyung-Gwan Choi

이 희 영*

Hee-Young Lee

Abstract

Generally, because received signals from radar are very bulky, the data are divided into manageable size called *section*, and sections are distributed into several digital signal processors. And then, target detection algorithms are applied simultaneously in each processor. CFAR(Constant False Alarm Rate) algorithm, which is the most popular target detection algorithm, can estimate accurate threshold values to determine which signals are targets or noises within center-cut of section allocated to each processor. However, its estimation precision is diminished in section edge data because of insufficient surrounding data to be referred. Especially this edge problem of CFAR is too serious if we have many sections to be processed, because it causes many false alarms in most every section edges. This paper describes false alarm issues on MCA(Minimum Cell Average)-CFAR, and proposes a false alarm elimination method by changing section size alternatively. Real received data from multi-function radar were used to evaluate a proposed method, and we show that our method drastically decreases false alarms without missing real targets, and improves detection performance.

Keywords : Digital Signal Processor(디지털 신호처리기), Section(섹션), CFAR, MCA-CFAR, False Alarm(오표적)

1. 서론

최신의 다기능 레이더는 클러스터, 재밍 등 다양한 레이다 환경에서 표적 및 유도탄에 대한 높은 수준의 탐지 및 추적 성능을 요구받고 있다. 이를 위해 오표적

을 줄이고 실패율을 정확하게 탐지할 수 있는 신호처리 방법이 필요하다.

본 논문은 표적을 탐지하는 과정에서 오표적 신호 성분을 효과적으로 제거함으로써 다기능 레이더의 표적 탐지 알고리즘의 성능을 향상시키는 데 목적이 있다. 레이더에서 수신되는 신호는 그 양이 방대하여 일반적으로 수신 신호를 일정한 크기로 나누어 여러 개의 프로세서에 분배, 병렬처리 한다. 이때 각 프로세서에 분배된 데이터를 섹션이라고 정의하며, 표적을

† 2010년 9월 24일 접수~2011년 1월 13일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 노지은(jeroh@add.re.kr)

탐지하기 위해 섹션 별로 CFAR 알고리즘을 적용하게 된다. 그 과정에서 CFAR 알고리즘 특성상 섹션의 양쪽 끝의 일정 부분의 데이터에 대해 임계값을 정확하게 예측할 수 없어 오폭적이 많이 발생하게 된다.

본 논문에서는 이런 섹션 경계 영역에서 발생하는 오폭적의 효과적인 제거 방법을 제안한다. 2장에서는 CFAR 알고리즘 및 MCA-CFAR 알고리즘의 일반적인 소개를 기술하고, 3장에서는 섹션 크기 가변화를 통한 오폭적 제거 기법을 기술한다. 4장에서는 제안 방법의 시험 결과 분석을 통해 그 효율성을 입증하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. CFAR 및 MCA-CFAR 알고리즘 소개

CFAR는 잡음이나 클러터 또는 재밍 환경 하에서 일정한 오경보율(False Alarm)을 유지하면서 적절하게 표적을 탐지한다^[1-3]. CFAR 알고리즘은 임계치 결정에 따라 다음과 같이 분류된다.

- 고정 임계치 방식(Fixed Threshold) : 단순히 잡음과 클러터 수준만을 고려하여 일정한 오경보율을 유지하는 방식
- 적응 임계치 방식(Adaptive Threshold) : 시험셀(Test Cell) 주변의 잡음이나 클러터 등의 레이더 환경에 따라서 임계치를 가변하여 일정한 오경보율을 유지하는 방식

적용 CFAR에서는 시험셀 주변의 일정한 개수의 셀에 포함된 잡음이나 클러터의 평균치를 이용하여 주어진 오경보율에 해당하는 가중치를 곱하여 임계치로 활용하게 되며, 시험셀 값이 임계치보다 큰 경우에만 표적으로 탐지하게 된다. 다기능 레이더에서는 일반적인 레이더에서 널리 사용되는 CA(Cell Average)-CFAR 대신에 시험 셀 주변의 일정한 윈도우 내에서 펄스폭에 해당하는 시간만큼 이격된 두개의 셀에서 최소치를 취하는 MCA(Minimum Cell Average)-CFAR 알고리즘을 적용하고 있다^[2,4,5].

Fig. 1은 MCA-CFAR 알고리즘에 대한 구성도로, 섹션의 구별 없이 신호를 처리할 때 적용되는 알고리즘이다. 최적 필터 출력의 절대값으로 이루어진 배열 A가 MCA-CFAR의 입력이 된다. 시험셀 $A(i, j)$ 를 판단하기 위한 임계값 $H(i, j)$ 는 n 개의 데이터(좌측 $n/2$ 개, 우측 $n/2$ 개)를 대상으로 m 만큼 떨어진 두 셀의 최소치 n 개의 평균값에 h 를 곱해서 구해진다. 그 결과, $A(i, j)$ 가 $H(i, j)$ 보다 크면 표적이라고 인식된다. 수식 1의 (1.1)은 시험셀 주변에서 $Min(a,b)$ 의 합들을 획득할 수 있는 시험셀에 대한 임계치를 구하는 식이고, 수식 1의 (1.2)와 (1.3)은 시험셀 주변에 n 개의 데이터가 존재하지 않아 $Min(a, b)$ 의 합들을 획득할 수 없는 양쪽 끝 각각 $(n+m)/2$ 개의 데이터에 대한 임계치를 구하는 식이다.

MCA-CFAR는 평균 윈도우 크기 n 이 클수록 정확한 잡음 추정과 안정된 오경보율을 얻을 수 있다. 반면에 주어진 영역에 균일하지 않은 잡음이 존재하는 경우,

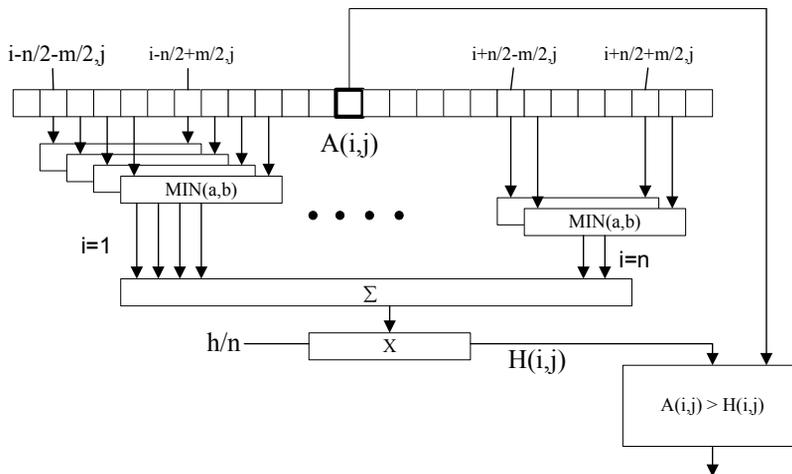


Fig. 1. MCA-CFAR 알고리즘 개념도

$$(1.1) \text{ If } \frac{n+m}{2} \leq i < N - \frac{n+m}{2}, H(i, j) = \frac{h}{n} \prod_{k=i-n/2}^{i+n/2} \min \left\{ A \left[\left(k + \frac{m}{2} \right), j \right], A \left[\left(k - \frac{m}{2} \right), j \right] \right\}$$

$$(1.2) \text{ elseif } i < \frac{n+m}{2}, H(i, j) = H \left(\frac{n+m}{2}, j \right)$$

$$(1.3) \text{ elseif } i \geq N - \frac{n+m}{2}, H(i, j) = H \left(N - \frac{n+m}{2}, j \right)$$

h : 오경보율을 결정하는 상대적인 임계값이나 비례요소

n : 잡음 추정을 위한 평균 윈도우 크기

m : 잡음 추정시 표적 신호 샘플을 제거하기 위한 윈도우 크기

수식 1. MCA-CFAR 임계값 결정

$$(2.1) \text{ If } \frac{n+m}{2} \leq i < N_s - \frac{n+m}{2}, H(i, j) = \frac{h}{n} \prod_{k=i-n/2}^{i+n/2} \min \left\{ A \left[\left(k + \frac{m}{2} \right), j \right], A \left[\left(k - \frac{m}{2} \right), j \right] \right\}$$

$$(2.2) \text{ else } H(i, j) = \frac{h}{N_s - n - m} \prod_{k=(n+m)/2}^{N_s - (n+m)/2} \min \left\{ A \left[\left(k + \frac{m}{2} \right), j \right], A \left[\left(k - \frac{m}{2} \right), j \right] \right\}$$

h : 오경보율을 결정하는 상대적인 임계값이나 비례요소

n : 잡음 추정을 위한 평균 윈도우 크기

m : 잡음 추정시 표적 신호 샘플을 제거하기 위한 윈도우 크기

N_s : 섹션 크기

수식 2. 섹션 처리용 MCA-CFAR 임계값 결정

n 이 크면 임계값의 설정 능력이 떨어진다. 변수 m 은 표적 신호 샘플을 제거하기 위한 것으로, 펄스 압축된 표적신호의 3dB 빔 폭을 초과하는 짝수 셀 수로 선택한다⁵⁾.

수식 2는 신호처리 데이터가 섹션별로 분배되어 나뉘어져 있을 때 적용되는 임계값 결정식이다. 여기서 N_s 는 섹션의 크기, 즉 섹션에 분배되는 샘플수를 나타낸다. 수식 2의 (2.1)은 수식 1의 (1.1)과 동일하나, 수식 1의 (2.2)는 시험셀 주변의 잡음 평균치를 구할 수 없는 섹션 경계 영역의 H 값을 결정하는 것으로, 경계 영역을 제외한 섹션 안쪽의 셀들에 대해 최소값들의 평균을 이용해 구한다.

Fig. 2는 레이더에서 실제 수신된 데이터에 MCA-CFAR 알고리즘을 적용하여 임계값을 도출, 표적을 탐지하는 결과의 일부분을 보여준다. (2.1)은 거리에 따라 실제 수신된 신호의 크기를 나타낸다. (2.2)는 섹션의 경계 영역의 한 예로, (2.2) 영역의 왼쪽 반은 섹션 1의 경계영역, (2.2)의 오른쪽 반은 섹션 2의 경계영역이다. (2.3)은 수식 2의 섹션 처리용 MCA-CFAR 알고리즘에서 구한 H 값, 즉 표적 인식을 위한 임계값으로, 신호의 크기가 임계값보다 크면 표적으로 인식

된다. 섹션 경계 영역 안쪽에서는 수식 2의 (2.1)식에 의해 주변 신호값을 고려해 임계치가 변하는 반면, Fig. 2의 (2.2)에서 보이는 것처럼 섹션 경계 영역내의 데이터에는 수식 2의 (2.2)식에 의해 임계치가 일정하게 적용된다.

영역 (2.4)를 확대한 Fig. 3을 살펴보자. 여기서 붉은 색 선은 시뮬레이션 할 때 임의로 식 2의 (2.1)식을 적용해 임계치를 구해본 것이다. 이 그림에서 보이는 것처럼 섹션 경계 영역에서 식 2의 (2.1)을 적용하여 표적을 탐지할 때는 신호값이 임계치보다 작아 문제 없지만, 실제로는 식 2의 (2.2)가 적용되므로(검정색 임계치) 실제 표적이 아닌 잡음 신호가 임계치보다 커져 오표적이 발생하였다.

실제 신호처리기에서 방대한 수신 신호를 실시간으로 처리하기 위해서는 데이터를 섹션별로 나누어서 처리할 수밖에 없다. 따라서 이런 섹션 경계 영역에서의 오표적 문제는 표적 탐지의 정확성을 심각하게 저해하는 요소로, 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 스캔당 섹션 크기의 가변화 기법을 통한 MCA-CFAR 알고리즘의 적용을 제안한다.

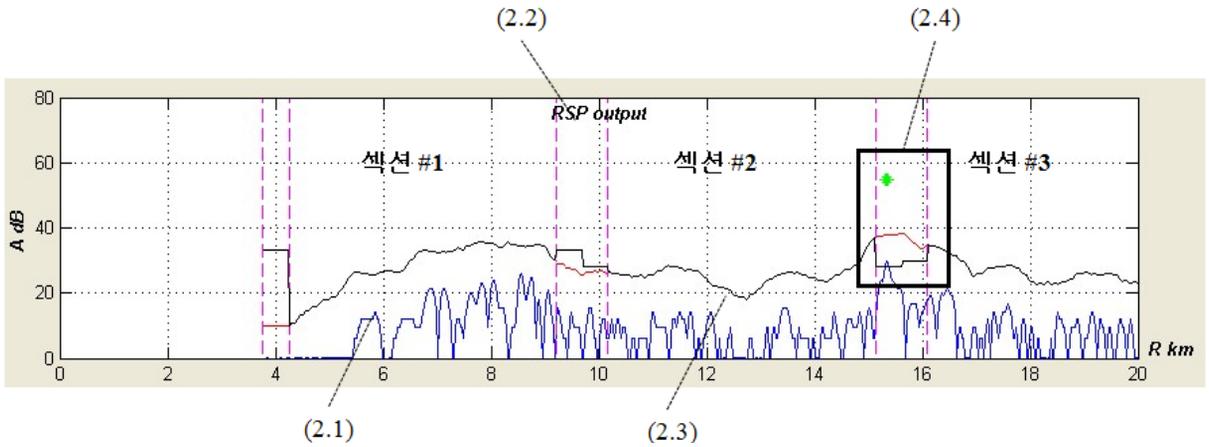


Fig. 2. 섹션 처리용 MCA-CFAR 알고리즘 적용예

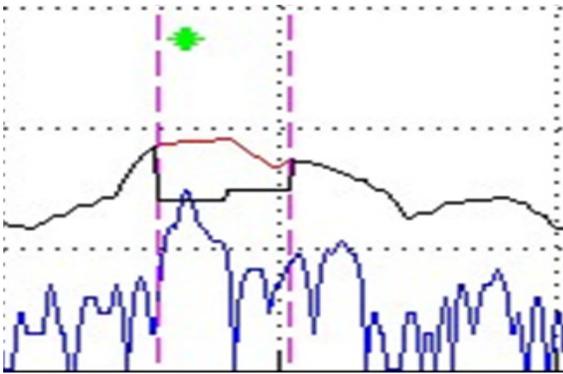


Fig. 3. 섹션 경계영역에서 오폭적 발생예

3. 섹션 크기 가변화를 이용한 MCA-CFAR 알고리즘 적용

섹션 경계 영역에서 발생하는 오폭적을 제거하는 방법으로 본 논문에서는 다음과 같은 개념으로 스캔별로 두 개의 섹션 크기 a 와 b 를 교대로 적용하여 알고리즘을 적용하는 방식을 제안한다(Fig. 4).

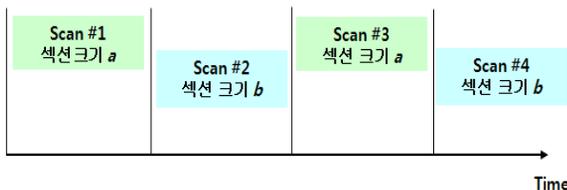


Fig. 4. 섹션 크기 a , b 의 교대 적용

섹션 크기는 신호 처리를 위한 디지털 신호 프로세서의 신호처리 능력에 의해 결정되며, 하나의 섹션 크기 a 가 결정되면, 다른 섹션 크기 b 는 $a+(n+m)/2$, 즉 a +경계영역크기로 설정가능하다. 이 때, b 를 결정하는 전제 조건은 특정 거리 구간에서 섹션 크기 a 와 b 각각의 경계 영역들끼리 겹치는 구간이 발생할 수 있는데, 이 공통 겹침 구간이 최대한 원거리에 잡히도록 섹션 크기 b 를 정해야 한다. 그 이유는 주변의 강한 지형 클러스터에 의해 발생하는 오폭적 신호들이 근거리에서 많이 발생하고 따라서 근거리의 섹션 경계 영역에서 오폭적 신호가 많이 발생하는 반면, 원거리로 갈수록 클러스터에 의한 신호가 작아지기 때문에, 섹션 경계 영역이라 할지라도 지형 클러스터에 의한 신호들이 미약하여 오폭적의 발생 빈도가 낮기 때문이다.

Fig. 5는 Fig. 4와 같이 스캔별 두 개의 섹션 크기 a , b 를 교대로 적용하여 신호처리 했을 때 오폭적을 제거하는 알고리즘 구성도이다. 섹션 크기를 a , b 로 설정 했을 때 각각의 경계 영역 정보를 $tz1$ 과 $tz2$ 에 저장해 두고, $tz1$ 과 $tz2$ 가 겹치는 영역을 $tz3$ 에 저장해 둔다. 다음 스캔별로 섹션 크기를 교대로 설정해주고 MCA-CFAR 알고리즘을 적용하여 표적을 인식한 후 섹션 경계 영역의 표적신호들 중 $tz3$ 에 속하지 않는 표적은 제거한다. 이 과정을 통해 섹션 경계 영역에서 발생하는 모든 표적 신호를 제거하더라도, 이때 함께 제거되었을지도 모를 실표적 신호들은 다음 스캔에서는 섹션 경계 영역에 들어가지 않아 통계기의 플롯 프로세싱을 통해 표적으로 최종 탐지될 수 있다. 이 때, $tz3$ 에 속하는 영역에서 탐지되는 표적 신호는 오

표적이라도 제거되지 않으므로 $tz3$ 을 최소한으로 만드는 섹션 크기 a , b 를 결정하여야 한다.

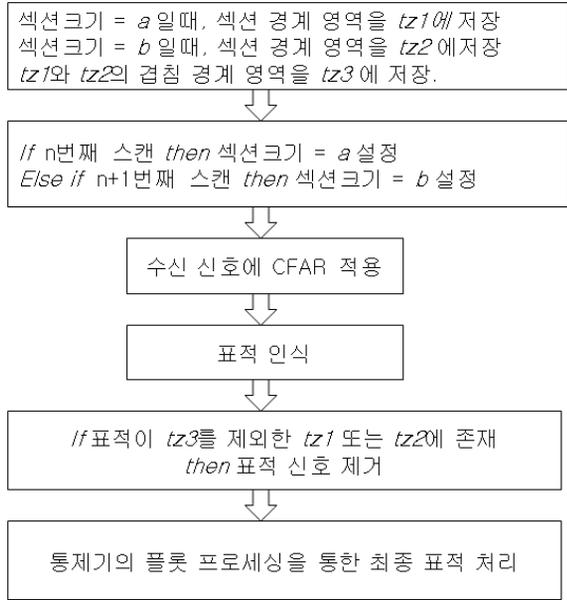


Fig. 5. 경계 영역의 표적처리

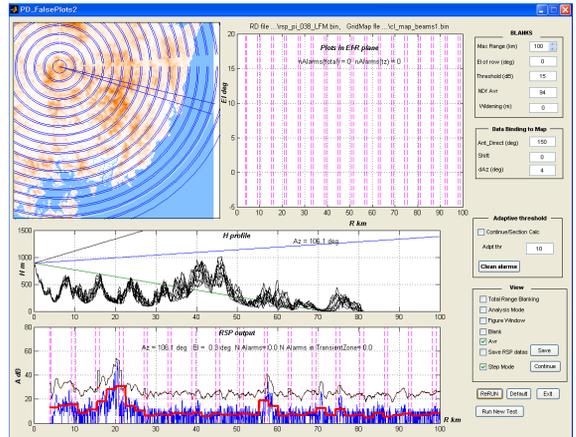


Fig. 6. 신호처리 시뮬레이터

Table 1. 고정 섹션 크기 적용에서의 오폭적 발생

입력 파일	탐색 방위각	오폭적 개수 (a)	경계 영역에서의 오폭적 개수 (b)	b/a (%)
1	77°~167°	510	501	98%
2	157°~247°	322	275	85%
3	100°~190°	109	80	73%

4. 제안 방식의 실험적 검증

섹션 크기 가변화를 이용한 MCA-CFAR 알고리즘의 검증은 자체적으로 개발한 신호처리 검증 시뮬레이터를 이용하였다(Fig. 6). 시뮬레이터의 입력은 실제 레이더에서 수신한 데이터를 로깅한 텍스트 파일로, MCA-CFAR 알고리즘의 각종 인자값을 변경할 수 있으며, 실제 신호처리 하드웨어에서 동작하는 섹션별 신호처리 및 표적 탐지 알고리즘을 모사한다. 시험에 총 3개의 로깅 데이터를 이용하였으며, 실험 데이터의 샘플 간격은 25m이다.

Table 1은 섹션 크기 가변화를 적용하지 않고 섹션 크기를 237, 즉 한 섹션에서 처리하는 신호 데이터의 개수를 237로 고정하여 MCA-CFAR를 적용했을 때 발생한 오폭적 정보를 분석한 것이다. 3개의 실험 데이터에서 최소 73% 이상의 높은 비율로 섹션 경계 영역에서 오폭적이 빈번히 발생하였다.

다음은, 제안한 알고리즘의 적용을 위해 섹션 크기를 두 개로($a = 237$, $b = 275$) 적용해 본 결과이다. Fig. 7은 각각의 섹션 크기를 적용했을 때 거리별 경

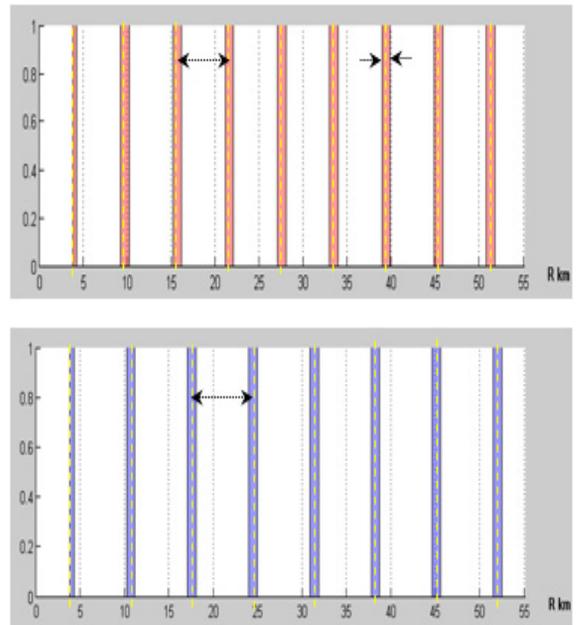


Fig. 7. 거리별 섹션 크기 a 의 경계 영역(상), 섹션 크기 b 의 경계 영역(하)

계 영역을 보여준다. Fig. 8은 각각의 경계 영역이 겹치는 거리를 보여주는 것으로 45km 안쪽에서는 경계 영역이 겹치지 않는다.

Table 2는 제안한 알고리즘의 적용 결과로, 경계 영역에서 발생했던 오폭적의 개수가 크게 줄었고, 그 결과 전체적인 오폭적의 수가 크게 감소함을 알 수 있다. 여전히 남아 있는 경계 영역에서의 오폭적의 개수는 Fig. 8과 같이 각 경계 영역이 겹치는 거리상에서 발생하는 것으로, 이는 향후, 추가적으로 보완이 필요한 부분이다.

Table 2. 제안한 방식의 적용 결과

입력 파일	탐색 방위각	오폭적 개수 (a)	경계 영역에서의 오폭적 개수 (b)
1	77°~167°	15	6
2	157°~247°	52	5
3	100°~190°	35	6

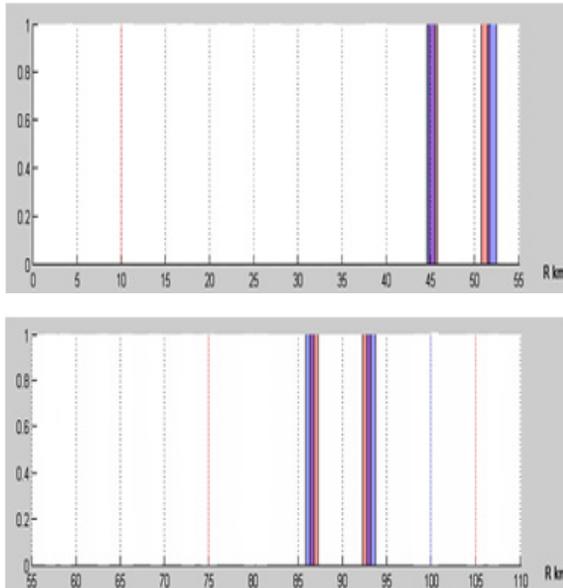


Fig. 8. 0~55km에서 겹치는 경계 영역(상), 55~110km에서 겹치는 경계 영역(하)

5. 결론

본 논문에서는 섹션별로 분배된 신호 데이터에 CFAR 알고리즘을 적용할 때 알고리즘 특성상 섹션 경계 영역에서 임계치 설정의 정확률이 떨어져 오폭적이 빈번히 발생하는 문제점을 지적하였다. 이를 해결하기 위해 스캔당 섹션 크기를 가변화하여 매 경계 영역에 존재하는 오폭적을 제거하고 실패적의 소실을 방지하는 방법을 제안하였다.

제안한 방법은 하드웨어 또는 소프트웨어의 복잡한 변화 없이 처리 과정이 간단하면서도 정확하게 오폭적 신호를 제거하고 손실 없이 실패적 신호를 처리함으로써 표적 탐지 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 뿐만 아니라, CFAR를 이용하여 표적을 탐지하는 데이터 신호처리분야에도 광범위하게 적용될 수 있을 것이다.

Reference

- [1] Rohling, H, "Radar CFAR Thresholding Clutter and Multiple Target Situations", IEEE Trans. On AES, pp. 608~621, 1983.
- [2] M. Barkat and F. Soltani, "Cell-averaging CFAR Detection in Compound Clutter with Spatially Correlated Texture and Speckle", IEE Proc. Radar, Sonar Navig., Vol. 146, pp. 279~284, 1999.
- [3] 이범석, 최병관, 장윤희, "다기능 레이더 신호처리 알고리즘(MCA-CFAR/경사측정) 성능분석", 국방과학연구소, TEDC-517-020897, 2002.
- [4] 장윤희, 최병관, 허준, 이범석, "다기능 레이더용 CFAR 알고리즘 성능분석", 한국군사과학기술학회 대회 Vol. 2, pp. 528~531, 2002.
- [5] 최병관, 이민준, 양진모, 노지은, 김정렬, "레이더 상관관계수 변화에 따른 MCA-CFAR 처리기 성능분석", 한국군사과학기술학회대회 센서·신호처리부문, pp. 422~425, 2006.