

레이다 시스템 실시간 적용을 위한 OS CFAR 연산 시간 단축 방안

OS CFAR Computation Time Reduction Technique to Apply Radar System in Real Time

공영주 · 우선결 · 박성호 · 신승용 · 장윤희* · 양은정*

Young-Joo Kong · Seon-Keol Woo · Sungho Park · Seung-Yong Shin · Youn Hui Jang* · Eunjung Yang*

요 약

CFAR(Constant False Alarm Rate)는 레이다 시스템에서 표적 탐지에 주요 사용된다. 그 중에서 OS(Ordered Statistic) CFAR는 비균일 잡음환경에서 사용된다. 그러나 OS CFAR는 참조 셀을 오름차순으로 정렬하여 임계값을 계산하므로 많은 연산량이 필요하다. 이로 인하여 실시간 적용에 어려움이 있다. 본 논문에서는 OS CFAR의 연산량을 줄이는 방안을 서술한다. 단순 표적 유무만 판단하기 위하여 참조 셀들을 오름차순 정렬하는 대신 참조 셀과 크기 비교하는 방식으로 수행하였다. 그리고 3개의 테스트 셀을 묶어 구역을 나누고, 구역 내에서 공통 참조 셀을 구하였다. 공통 참조 셀과 테스트 셀과의 크기 비교를 우선 수행함으로써 연산시간을 단축한다.

Abstract

The CFAR algorithm is mainly used for target detection in radar systems. In particular, OS CFAR is used in a non-uniform noise environment. However, it requires a large amount of computation, because it should sort reference cells in ascending order. This makes it difficult to apply the radar system in real time. In this paper, we describe how to reduce the computational burden of OS CFAR. We compared the power of the test cell and reference cell to determine only the presence or absence of target detection. The common reference cells overlapping in the reference cells of the three test cells are obtained. We first compare the test cell with the highest power value among the three test cells to the common reference cells. Next, we compare each test cell to general reference cells, excluding the common reference cells. The computation time is shortened by reducing the power comparison computation amounts.

Key words: Radar, CA-CFAR, OS-CFAR, Target Detection, Computation Time

I. 서 론

레이다 시스템은 전파를 공간상에 방사시켜 반사된 수신신호를 이용하여 표적을 탐지하는 것이다^[1]. 그러나 레이다 시스템이 수신한 신호의 대부분은 시공간영역에서

잡음신호가 표적 신호보다 많은 영역을 차지하고 있다. 따라서 표적 탐지는 일반적으로 오경보율(probability false alarm) 기반으로 수행된다^[2]. 표적을 탐지하는 가장 간단한 방법은 일정한 임계값을 설정하여 이것보다 큰 신호를 표적으로 판단하는 것이다. 그러나 실제 상황에서는

LIG 넥스원(주)(LIG Nex1 Co., Ltd.)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received August 20, 2018 ; Revised September 28, 2018 ; Accepted October 1, 2018. (ID No. 20180820-086)

· Corresponding Author: Young-Joo Kong (e-mail: yjkong16@lignex1.com)

잡음의 신호세기가 시간에 따라 변화하기 때문에 일정한 임계값으로 설정하면 표적이 아닌 신호를 표적으로 오인할 확률이 높아진다. 따라서 주위 잡음 신호에 따라서 임계값을 설정하는 기법인 CFAR(Constant False Alarm Rate, 이하 CFAR) 알고리즘이 표적 탐지에 사용된다. 그림 1은 CFAR 알고리즘의 기본적인 블록도를 나타내었다. 수신된 데이터의 각 셀들은 참조 셀과 테스트 셀로 구분된다. 테스트 셀의 표적 여부를 판단하기 위하여 테스트 주변 셀들인 참조 셀을 이용하여 임계값을 설정한다. 테스트 셀은 참조 셀의 연산으로 구해진 임계값과 비교하여 표적 여부를 판단한다^[3].

레이다 시스템에서 주요 사용되는 CFAR 알고리즘은 CA CFAR(Cell Average CFAR), OS CFAR(Ordered Statistic CFAR) 등이 있다. CA CFAR는 균일한 잡음 환경에서 널리 사용된다. CA CFAR는 테스트 셀의 표적 여부를 판단하기 위하여 임계값 설정 시 참조 셀의 평균값을 이용한다. 그러나 참조 셀에 다른 표적 신호가 위치하는 경우에는 참조 셀의 평균값이 높아져 표적의 탐지에 방해되는 경우가 발생한다^[4]. 이러한 CA CFAR의 단점을 개선한 알고리즘이 OS CFAR이다. OS CFAR는 비균일한 잡음환경이나 다수 표적 상황에서 사용되며, 참조 셀들을 오름차순으로 정렬하고, n 번째 셀 값을 테스트 셀의 표적여부에 이용한다. 그림 2는 OS CFAR 알고리즘의 블록도를 나타내었다^[5].

그러나 OS CFAR 알고리즘은 참조 셀을 오름차순으로 정렬해야 하므로 많은 연산량이 필요하다. 그리고 모든 테스트 셀에 대하여 이러한 과정을 수행하여야 하므로 실시간 적용에 어려움이 발생한다. 본 논문에서는 OS CFAR 알고리즘을 실시간 적용을 위하여 연산량 단축방안을 제안한다.

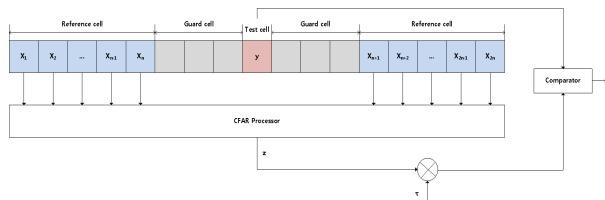


그림 1. 일반적인 CFAR 블록도
Fig. 1. Typical CFAR block structure.

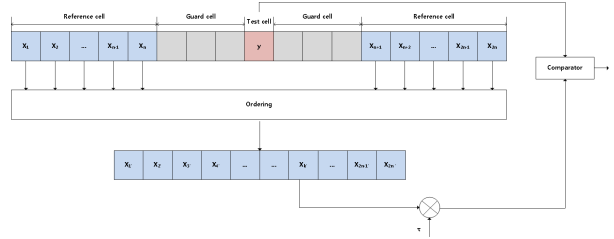


그림 2. OS CFAR 블록도
Fig. 2. OS CFAR block structure.

II. 본 문

2-1 셀 크기 비교 표적 유무 판단

일반적인 OS CFAR 알고리즘은 테스트 셀의 참조 셀들을 오름차순으로 정렬하고, 그 정렬된 참조 셀들의 n 번째 셀 값을 참조 셀들의 대푯값으로 선택한다. 가장 널리 사용되는 OS CFAR에서는 이 n 번째 셀을 오름차순으로 정렬된 전체 참조 셀들의 3/4번째 셀 값으로 선택한다^{[6],[7]}. 이 선택된 참조 셀 값에 scaling factor 값을 곱하여 임계값을 계산한다.

$$Th = X'_{(n)} \times \tau$$

여기서 $X'_{(n)}$ 는 오름차순을 정렬된 n 번째 참조 셀, τ 는 scaling factor, Th 는 임계값을 나타낸다.

계산된 임계값과 테스트 셀값과 비교하여 임계값보다 테스트 셀 값이 클 경우에만 표적으로 판단한다. 여기서 참조 셀들을 오름차순을 하는 이유는 표적 여부 판단을 위한 임계값을 계산하기 위해서이다. 임계값을 계산하는 대신 테스트 셀의 표적 탐지 유무만 판단할 경우 알고리즘이 단순해진다. 참조 셀들을 오름차순으로 정렬하지 않고, 테스트 셀과 참조 셀의 크기를 비교하는 것이다. 테스트 셀의 크기보다 큰 참조 셀의 개수를 계산하여서 셀 개수가 오름차순 n 보다 크면 표적으로 판단하는 것이다.

$$\text{if } (x_i \times \tau < y) \text{ cnt} ++$$

여기서 x_i 는 i 번째 참조 셀의 크기, y 는 테스트 셀의 크기, τ 는 scaling factor, cnt 는 테스트 셀의 크기보다 큰 참조 셀의 개수를 나타내었다.

모든 참조 셀에 대하여 위 과정을 수행한 후 최종 cnt

값과 해당하는 OS CFAR 차수인 n 과 비교하여 표적 여부를 판단한다.

셀 크기를 비교하여 표적 탐지 유무만 판단하는 알고리즘을 사용하면 참조 셀들을 오름차순으로 정렬하는 연산이 제거되므로 연산량의 단축효과가 증대된다.

2-2 구역 나누기

셀 크기를 비교하여 표적 유무만 판단하는 알고리즘 방식으로 수행하는 경우에 모든 테스트 셀에 대하여 참조 셀과 비교를 수행하는 대신 구간을 묶어 공통 참조 셀을 미리 계산하는 방식으로 수행하면 연산량은 줄어든다. 3개의 테스트 셀을 묶어 3개의 테스트 셀의 크기를 비교하여 크기가 가장 큰 테스트 셀을 기준으로 참조 셀들과 크기를 비교를 수행한다. 우선적으로 모든 참조 셀들과 크기를 비교하는 것이 아니라, 3개의 테스트 셀에 대한 겹치는 공통 참조 셀들만 크기 비교를 수행한다. 그림 3은 3개의 테스트 셀과 공통 참조 셀들을 나타내었다. 그림 3에는 $y, y+1, y+2$ 의 3개의 테스트 셀의 공통 참조 셀인 $X_3 \sim X_n$ 과 $X_{k+3} \sim X_{k+n}$ 을 보여준다. 공통 참조 셀을 제외한 나머지 참조 셀은 일반 참조 셀이라 한다. $y, y+1, y+2$ 의 3개 테스트 셀 중 가장 크기가 큰 테스트 셀에 대하여 공통 참조 셀과 크기 비교를 수행한 후 일반 참조 셀과 크기를 비교한다. 그리고 크기가 작은 테스트 셀에 대하여 참조 셀과 크기를 비교하는데, 공통 참조 셀에 대해서는 모든 공통 참조 셀과 크기를 비교하지 않는다. 공통 참조 셀에서 가장 큰 테스트 셀보다 큰 공통 참조 셀과는 크기를 비교하지 않는다. 앞서 가장 큰 테스트 셀과 공통 참조 셀의 크기 비교를 수행할 때에 가장 큰 테스트 셀보다 큰 공통 참조 셀은 제거한다. 그래서 작은 값을 가진 테스트 셀들은 공통 참조 셀 중 가장 큰 테스트 셀보다 작은 공통 참

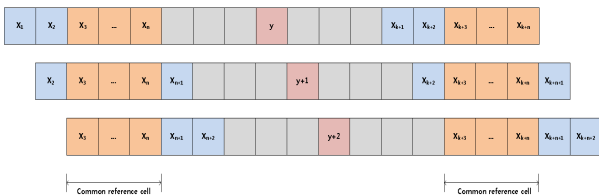


그림 3. 테스트 셀과 공통 참조 셀
Fig. 3. Tset cell and common reference cell.

조 셀과 일반 참조 셀과의 크기 비교만 수행한다. 크기가 큰 공통 참조 셀을 제거하는 이유는 가장 큰 테스트 셀 값보다 큰 공통 참조 셀은 크기가 작은 테스트 셀 값보다 항상 크기 때문이다. 공통 참조 셀과 일반 참조 셀과의 크기 비교 수행과정은 자세한 과정은 아래에 나타내었다.

- a) 이웃한 3개의 테스트 셀들을 묶어서 구역을 나눈다. (그림 4)
- b) 3개의 테스트 셀의 공통 참조 셀들을 찾는다.
- c) 3개의 테스트 셀 중 가장 크기가 큰 테스트 셀을 찾는다.
- d) c)에서 찾은 테스트 셀에 대하여 공통 참조 셀과 크기 비교하여 테스트 셀보다 큰 공통 참조 셀 개수를 계산한다. 이때 테스트 셀보다 큰 공통 참조 셀은 제거한다.
- e) c)에서 찾은 셀에 대하여 일반 참조 셀과 크기 비교하여 테스트 셀보다 큰 일반 참조 셀의 개수를 계산한다.
- f) d)와 e) 과정에서 계산한 셀 개수를 합하여 표적 유무를 판단한다.
- g) c)에서 찾은 셀 이외 테스트 셀에서 d) 과정에서 제거하고, 남은 공통 참조 셀과 크기를 비교하여 테스트 셀보다 큰 공통 참조 셀 개수를 계산한다.
- h) c)에서 찾은 셀 이외 테스트 셀과 일반 참조 셀과 크기를 비교하여 테스트 셀보다 큰 일반 참조 셀 개수를 계산한다.
- i) d)와 g), h) 과정에서 계산한 셀 개수를 더하여 표적 유무를 판단한다.
- j) 다음 테스트 셀 구역에 대하여 a) 과정부터 반복한다.

이런 방식으로 구역을 나누어 수행함으로써 중복되는 공통 참조 셀과의 크기 비교 연산량이 줄어든다. 물론 3개의 테스트 셀에서 가장 크기가 큰 셀을 찾는 연산이 추가

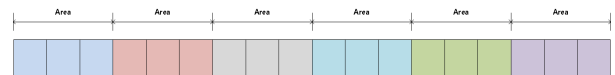


그림 4. 3 테스트 셀 구역 나누기
Fig. 4. 3 Tset cell area divide.

된다. 일반적으로 가장 크기가 큰 테스트 셀과 공통 참조 셀과 크기 비교하여 제거되어진 공통 참조 셀의 수가 커질수록 연산시간을 그만큼 줄어든다.

Ⅲ. 시뮬레이션

참조 셀들을 오름차순으로 정렬하여 임계값을 계산하여 테스트 셀의 표적 유무를 판단하는 일반적인 OS CFAR와 임계값을 계산하지 않고 셀 크기를 비교하여 표적 유무만 판단하는 보완된 OS CFAR, 그리고 본 논문에서 제안하는 구역을 나누어 계산하는 OS CFAR 알고리즘을 비교하여 보았다. 본 논문에서는 다양한 환경에서 전체 셀은 250셀, 가드 셀은 3셀로 고정하였고, 참조 셀을 변경하면서 연산시간을 측정하였다. 이하 ① CFAR 알고리즘은 기존 OS CFAR 알고리즘, ② CFAR 알고리즘은 셀 크기 비교 표적 유무 판단 OS CFAR 알고리즘, ③ CFAR 알고리즘은 본 논문에서 제안하는 구역 나눔 셀 크기 비교 표적 유무 판단 알고리즘으로 한다.

3-1 단일 표적 환경

거리방향에 대하여 균일한 잡음에서 표적이 하나만 존재할 경우, 참조 셀 수를 변경하면서 3가지 CFAR 알고리즘의 연산시간을 측정하였다. 그림 5에는 표적이 하나인

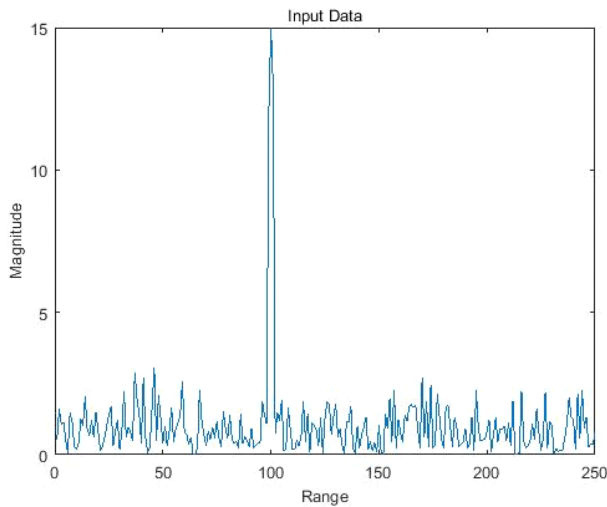


그림 5. 단일 표적 환경
Fig. 5. Single target environment.

환경을 나타내었다. 그림 6에는 참조 셀 변경에 따른 CFAR 결과를 표적 탐지 유무로 나타내었다. 참조 셀을 변경하더라도 3가지 CFAR 결과, 모두 동일하게 표적만 탐지함을 알 수 있다. 그림 7에는 참조 셀에 따른 3가지 CFAR 알고리즘의 연산시간을 나타내었다. 참조 셀 수가 늘어날수록 제한한 ③ CFAR 알고리즘의 연산 시간이 다른 CFAR

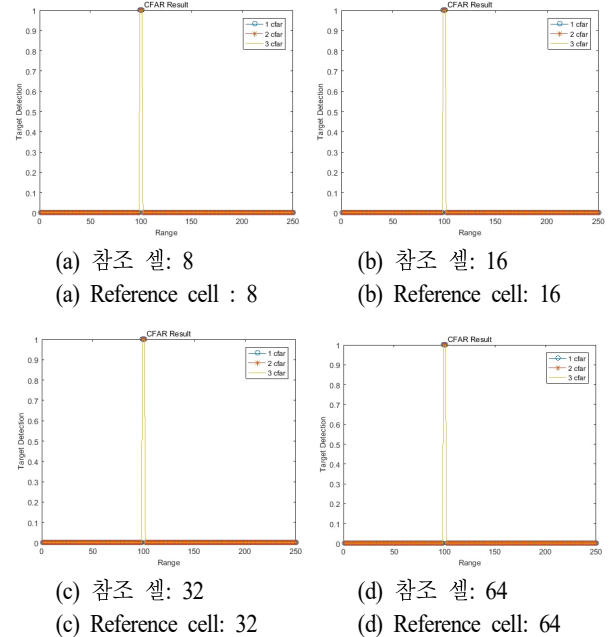


그림 6. 단일 표적 환경에서의 CFAR 결과
Fig. 6. CFAR result in single target environment.

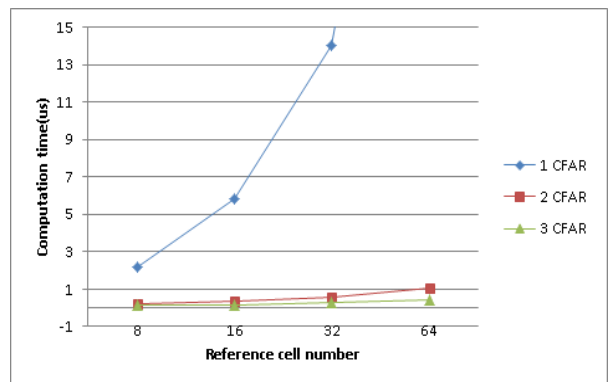


그림 7. 단일 표적 환경에서의 참조 셀에 따른 연산시간
Fig. 7. Computation time by reference cell in single target environment.

알고리즘보다 적음을 알 수 있다.

3-2 비균일 표적 환경

표적 근처에 큰 잡음 신호가 있는 비균일 잡음환경에서의 3가지 알고리즘의 연산시간을 측정하였다. 그림 8에서 보듯이 표적 근처에 큰 잡음 신호가 들어옴을 알 수 있다. 그림 9는 이 환경에서의 참조 셀 변화에 따른 CFAR 탐지 결과를 나타내었다. 3가지 CFAR 알고리즘 모두 동일하게 표적만 탐지함을 알 수 있다. 그림 10은 참조 셀 변화에 따른 CFAR 연산 시간을 나타내었다.

그림 11에는 그림의 8에서 표적의 신호가 낮아졌을 때의 환경을 나타내었다. 그리고 그림 12에는 이 환경에서의 CFAR 결과를 나타내었다. 동일하게 3가지 CFAR 알고리즘 모두 참조 셀이 8셀일 때에는 표적을 탐지 못하였고, 그 외에는 동일하게 탐지하였다. 그림 13에는 이 때 CFAR 연산 시간을 나타내었다.

3-3 시뮬레이션 결과

기존 알고리즘인 ① CFAR 알고리즘은 참조 셀이 늘어날수록 연산 시간이 급격히 증가하는데 이것은 참조 셀이 늘어남에 따라 오름차순 정렬 시간이 그에 따라 늘어났기 때문이다. 이에 반하여 제안한 알고리즘은 참조 셀

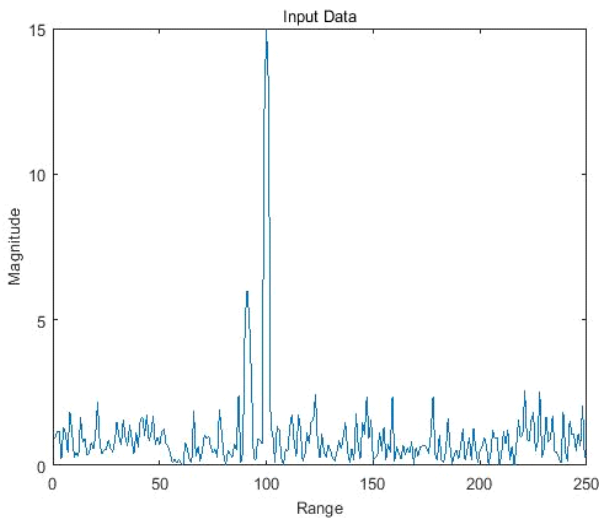


그림 8. 비균일 환경
Fig. 8. Nonhomogeneous environment.

이 늘어나라도 연산시간이 급격히 증가하지 않음을 알 수 있다. 그리고 시뮬레이션을 보듯이 각각의 환경에서 참조 셀 수에 상관없이 제안한 ③ CFAR 알고리즘의 연산 시간이 다른 CFAR 알고리즘보다 단축됨을 알 수 있다. 그리고 CFAR 결과도 변화가 없음을 알 수 있다. 표 1에는 ① CFAR 알고리즘과 ② CFAR 알고리즘 대비 ③

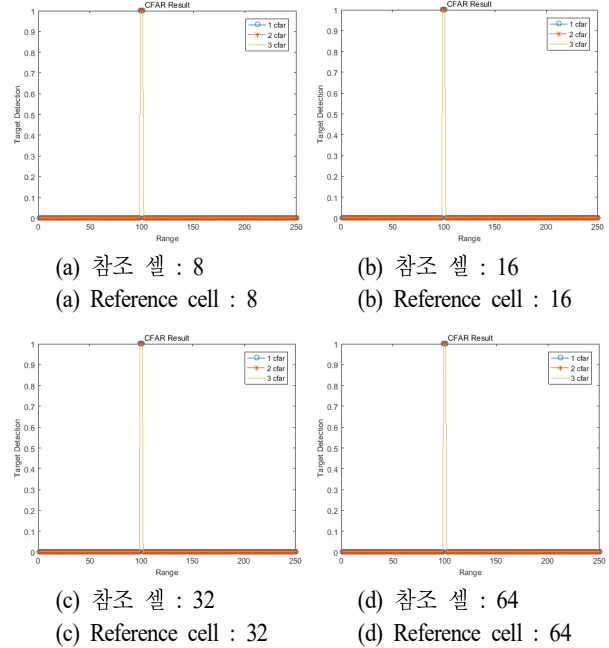


그림 9. 비균일 표적 환경에서의 CFAR 결과
Fig. 9. CFAR result in nonhomogeneous environment.

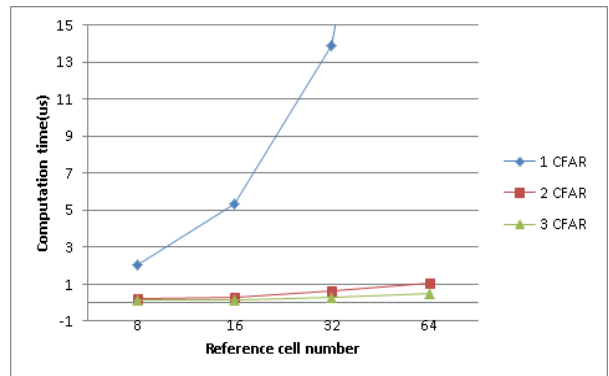


그림 10. 비균일 환경에서의 참조 셀에 따른 연산시간
Fig. 10. Computation time by reference cell in homogeneous environment.

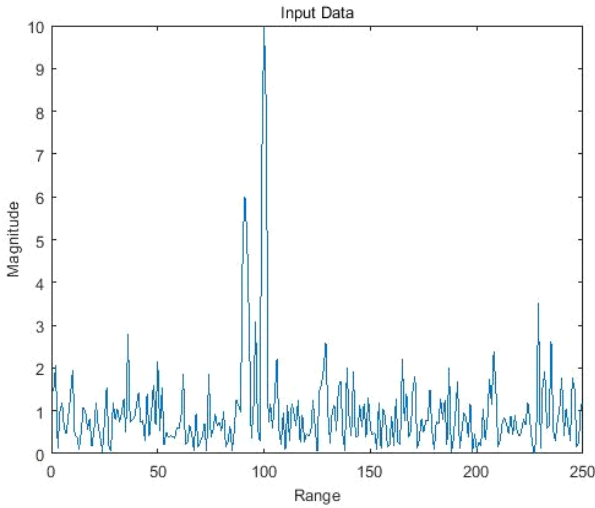
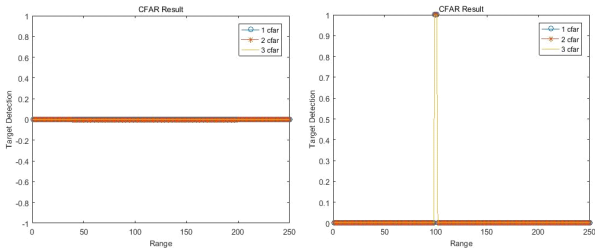
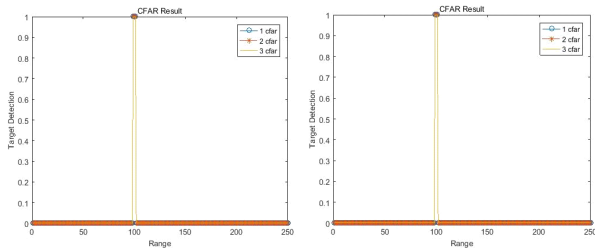


그림 11. 표적 신호가 낮은 균일 환경
Fig. 11. Low target power at nonhomogeneous environment.



(a) 참조 셀: 8 (b) 참조 셀: 16
(a) Reference cell : 8 (b) Reference cell: 16



(c) 참조 셀: 32 (d) 참조 셀: 64
(c) Reference cell: 32 (d) Reference cell: 64

그림 12. 표적 신호가 낮은 비균일 표적 환경에서의 CFAR 결과
Fig. 12. Low target power' CFAR result in nonhomogeneous environment.

CFAR 알고리즘의 연산시간 단축 효과를 보여준다. ① CFAR 알고리즘에 비하여 ③ CFAR 알고리즘은 거의

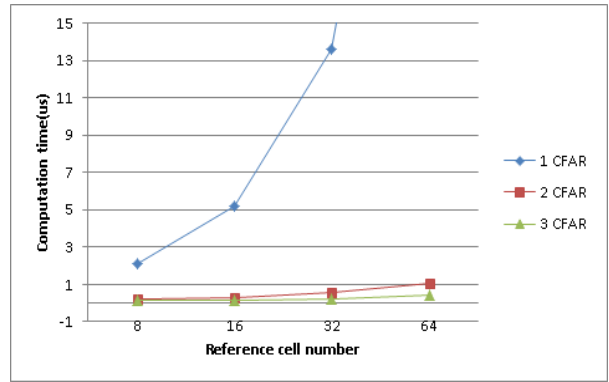


그림 13. 표적신호가 낮은 비균일 환경에서의 참조 셀에 따른 연산시간
Fig. 13. Low target power' computation time by reference cell in homogeneous environment.

표 1. 연산시간 단축 효과
Table 1. Computation time reduction effect.

Reference cell	① CFAR algorithm versus ③ CFAR algorithm computation time reduction effect(%)	② CFAR algorithm versus ③ CFAR algorithm computation reduction effect(%)
8	94.37	40.17
16	96.69	47.04
32	98.09	55.08
64	98.89	55.53

90 % 이상 연산시간 단축효과를 보여주고, ② CFAR 알고리즘 대비 ③ CFAR 알고리즘은 40 % 이상 단축 효과를 보여준다. 그리고 단축효과는 참조 셀이 늘어날수록 커짐을 알 수 있다. 이것은 참조 셀이 늘어날수록 제거되는 공통 참조 셀 수가 늘어남에 따라 연산시간이 단축된 것이다. 즉, 3개의 테스트 셀 중 가장 큰 테스트 셀 값을 찾는 연산을 추가하는 것보다 공통 참조 셀을 제거하여 크기 비교하는 연산을 단축하는 것이 훨씬 효과적임을 알 수 있다.

IV. 결 론

레이다 시스템에서 표적 탐지에 CFAR 알고리즘이 사용된다. CFAR 알고리즘 중 비균일 잡음 환경에서 사용되는 OS CFAR 알고리즘은 연산시간이 많다는 단점이 있다. 모든 참조 셀에 대하여 오름차순으로 정렬하여 임계

값을 계산하여야 하는 OS CFAR는 이러한 단점 때문에 실시간 적용이 어려웠다. 본 논문에서는 레이다 시스템에 실시간 적용이 가능하도록 OS CFAR 알고리즘의 연산시간 단축 방안에 대하여 기술하였다.

참조 셀들을 오름차순으로 정렬하는 대신 참조 셀과 테스트 셀과의 크기 비교를 통하여 표적 유무만 판단하도록 개선하였다. 이 방법으로 참조 셀들을 오름차순하는 연산량이 제거되므로 많은 연산 시간 단축효과가 있었다. 그리고 테스트 셀 3개를 묶어 구역을 나누는 방법으로 연산량을 더욱 단축시켰다. 3개의 테스트 셀에 대한 공통 참조 셀을 구하여 가장 크기가 큰 테스트 셀에 대하여 공통 참조 셀과 크기를 비교하여 나머지 테스트 셀에 대한 공통 참조 셀과의 크기 비교 연산량을 단축시켰다. 다양한 환경에서 제안한 CFAR 알고리즘이 기존의 알고리즘과 결과는 동일하지만, 연산시간은 크게 단축됨을 시뮬레이션으로 통하여 알아보았다. 참조 셀 수가 늘어날수록 제안된 CFAR 알고리즘의 연산 단축 효과는 증대됨을 알 수 있었다.

본 논문에서는 알고리즘 확인을 위하여 일반적인 환경을 모사하여 시뮬레이션을 하였다. 실제 환경은 다양한 클러터 및 잡음이 존재하고, 레이다 파라미터에 따라 연산량의 차이를 보일 수 있기에 실제 환경에서 본 알고리즘을 바로 적용하기에 어려움이 있어 보인다. 따라서 추후 본 논문에서 제시한 시뮬레이션 환경 이외의 실제 환경과 유사한 환경을 모사하여 임베디드 시스템을 통하여 본 논문에서 제안한 알고리즘이 실시간으로 레이다 시스템에 적용가능함을 살펴보도록 하겠다.

공 영 주 [LIG넥스원(주)/선임연구원]



2009년 2월: 성균관대학교 정보통신공학부 (공학사)
2009년 1월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원
[주 관심분야] 레이다 신호처리

우 선 결 [LIG넥스원(주)/수석연구원]



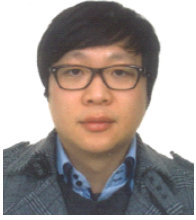
2001년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)
2003년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2007년 7월: 광운대학교 전파공학과 (공학박사)
2007년 8월~현재: LIG넥스원(주) 수석연구원

[주 관심분야] 레이다 신호처리, 마이크로파 탐색기 등

References

- [1] K. H. Lee, "A study on target direction and range estimation using radar single pulse," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 14, no. 6, pp. 107-112, Dec. 2014.
- [2] S. J. Shin, "A study of efficient CFAR algorithm," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 8, pp. 849-856, Aug. 2014.
- [3] E. G. Hyun, W. J. Oh, and J. H. Lee, "Fast CA-CFAR processor design with hardware complexity," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea SP*, vol. 48, no. 5, pp. 123-128, Nov. 2011.
- [4] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using Matlab*, 2nd ed. CRC Press, 2000.
- [5] M. Shbat, V. Tuzlukov, "Evaluation of detection performance under employment of the generalized detector in radar sensor systems," *Radioengineering*, vol. 23, no. 1, pp. 50-65, Apr. 2014.
- [6] D. Ivkovic, B. Zrnica, M. Andric, and D. Nikolic, "CFAR detector models in receiver of the software defined radar," in *5th International Scientific Conference on the Defensive Technologies*, Sep. 2012, pp. 388-393.
- [7] B. Magaz, A. Belouchrani, and M. Hamadouche, "Automatic threshold selection in OS-CFAR radar detection using information theoretic criteria," *Progress in Electromagnetics Research B*, vol. 30, pp. 157-175, 2011.

박 성 호 [LIG넥스원(주)/선임연구원]



2006년 3월: 경상대학교 제어계측공학과 (공학사)
2008년 8월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
2008년 9월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원
[주 관심분야] 레이다 신호처리, 레이다 표적식별 기법 연구

장 윤 희 [국방과학연구소/선임연구원]



2002년 2월: 중앙대학교 영상공학과 (공학석사)
2002년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
2013년 3월~현재: 충남대학교 전자전파정보통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 레이다 신호처리

신 승 용 [LIG넥스원(주)/수석연구원]



2002년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)
2004년 2월: 포항공과대학교 정보통신학과 (공학석사)
2009년 1월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2009년 3월~2010년 5월: 한국과학기술원

박사후 연구원
2010년 6월~현재: LIG넥스원(주) 수석연구원
[주 관심분야] 레이다 신호 및 영상 처리, 레이다 표적 식별 기법 등

양 은 정 [국방과학연구소/선임연구원]



2004년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
2006년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2011년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2011년 1월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원
[주 관심분야] 레이다 신호처리