DBpia

논문 18-43-01-02 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '18-01 Vol.43 No.01
https://doi.org/10.7840/kics.2018.43.1.7

다수 간섭 표적 환경에 강인한 자동검열 셀 평균(ACCA) 정렬 데이터 이동 평균 (ODMA) 일정오경보확률 (CFAR) 검출기

최 정 민◆, 송 민 기*, 신 동 준°

Automatic Censoring Cell Average (ACCA) Ordered Data Moving Average (ODMA) CFAR Detector Robust to Multiple Interference Target Environments

Jung-Min Choi◆, Minki Song*, Dong-Joon Shin°

요 약

기존에 제안되었던 automatic censoring cell average(ACCA)-ordered data variability (ODV) constant false alarm rate (CFAR) 검출기는 참조셀에 미리 정해진 개수 이상의 셀이 균질하다고 가정하고 간섭 표적이 포함된 셀을 검열한다. 그러나 참조셀에 간섭 표적이 다수 포함되어 간섭 표적이 없는 균질한 셀이 정해진 개수 미만인 경우에는 탐지 성능 열화가 발생한다.

이 점을 극복할 수 있는 ACCA-ordered data moving average (ODMA) CFAR 검출기를 제안한다. 이 검출기는 우선 변동 지수를 통해 참조셀의 균질 또는 비균질을 판정한다. 균질 판정이면 검열을 멈추고, 비균질 판정이면 제안한 검출기로 간섭 표적이 포함된 셀을 검열한다. 간섭 표적이 있다고 판정된 참조셀들을 제거한 후 남은 참조셀을 이용하여 CA-CFAR 검출을 수행하여 테스트 셀에 표적의 존재 유무를 판정한다. 시뮬레이션을 통해 제안된 ACCA-ODMA CFAR 검출기가 다수 간섭 표적이 존재하는 환경에서 ACCA-ODV CFAR 검출기보다 좋은 탐지 성능을 보임을 확인하였다.

Key Words : Automatic censoring, CA-CFAR, Interfering targets, ACCA-ODMA CFAR, Moving average

ABSTRACT

The previously proposed automatic censoring cell average (ACCA) -ordered data variability (ODV) constant false alarm rate (CFAR) detector assumes that the pre-determined number of cells among the reference cells are homogeneous and censors cells containing interference target. However, detection performance deteriorates when there are many interference targets in the reference cells and the number of homogeneous cells that do not contain interference targets is less than the predetermined number.

In this paper, a novel ACCA-ordered data moving average (ODMA) CFAR detector is proposed, which first determines the homogeneity or non-homogeneity of the reference cell based on the variability index (VI). If it is

※ 이 논문은 국방과학연구소 생존성 기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음 (계약번호UD150013ID)
◆ First Author : Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University, choijm5321@hanayng.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : Department of Electronics Engineering, Hanyang University, djshin@hanyang.ac.kr, 종신회원
* Co-First Author : Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University, minkisong@hanayng.ac.kr, 학생회원
논문번호 : KICS2017-11-329, Received November 2, 2017; Revised December 4, 2017; Accepted December 15, 2017

www.dbpia.co.kr

determined as homogeneous, censoring is stopped. Otherwise, reference cells are censored by using moving average technique. The cell average (CA)-CFAR detector determines the presence or absence of a target in the test cell using the remaining reference cells after the above censoring. Simulation results show that the ACCA-ODMA CFAR detector has better detection performance than the ACCA-ODV CFAR detector in the presence of a large number of interference target signals.

Ⅰ. 서 론

Constant false alarm rate (CFAR) 검출기는 다양한 클러터 및 간섭이 있는 환경에서 오경보율을 제어하기 위해 레이더 탐지에 널리 사용된다. 그러나 이에 사용되는 기본 클러터 분포 함수의 파라미터는 일반적으로 정확히 구할 수 없으므로 다양한 방식으로 추정하게 된다. 따라서 CFAR 검출기는 알려지지 않은 클러터 파라미터의 추정치를 사용하여 목표물 유무를 결정하는 임계값을 정하며, 이를 사용하여 오경보율을 일정하게 유지시킨다.

널리 사용되는 레일리 또는 exponential 클러터 모델 기반의 대표적인 CFAR 검출기로는 cell averaging (CA)-CFAR 검출기가 있으며, 참조 셀에 클러터 또는 간섭 표적이 존재하지 않는 균질 환경에서 테스트 셀 주변의 잡음 평균 전력 레벨을 추정하여 임계값을 정해주는 검출기이다[1].

참조 셀에 클러터 또는 간섭 표적이 존재하는 환경에서는 각 셀들이 동일한 모수를 갖지 않게 된다. 이러한 환경을 비균질 환경이라고 하며 이 경우 CA-CFAR 검출기는 서로 다른 모수를 갖는 셀들의 전력 평균값을 이용하여 임계값을 정하기 때문에 오경보율을 적절히 제어하지 못하게 된다. 이와 같은 비균질 환경의 문제를 극복하기 위한 방법으로 ordered statistic (OS)-CFAR 검출기, censored mean level 검출기, trimmed mean CFAR 검출기와 같은 OS 기반 검출기들이 제안되었다 [2-5]. 또한 ordered data variability (ODV) 통계를 기반으로 자동 검열 알고리즘이 사용된 automatic censoring cell averaging (ACCA)-CFAR 검출기도 알려져 있으며 이는 주위 환경에 대한 사전 정보 없이도 간섭 대상을 적응적으로 검열할 수 있는 특징을 가진다 [6].

그러나 다수의 표적이 존재하는 복잡한 도심환경에서 주로 운용되는 차량용 레이더나 사용량이 많은 선로, 해상 석유/가스 생산 현장 및 혼잡한 항구와 같은 조밀한 표적 상황에서 운용되는 레이더의 경우에는 앞서 언급된 CFAR 검출기들로는 오경보율을 효과적으로 제어할 수 없게 된다 [7]. 특히 ODV 통계를 기반으로 자동 검열 알고리즘이 사용된 ACCA-CFAR 검출기는 참조 셀 중에 임의로 정한 개수의 셀이 균질하다고 가정하기 때문에 성능이 열화될 수 있다. 예를 들어, 참조 셀이 24개이고 이 중 간섭 대상으로 인해 오염된 셀이 15개라고 할 때, 9개 이하의 셀이 균질하다고 가정하여야 균질한 셀들을 잘못 선정하여 생기는 성능열화를 피할 수 있다. 그러나 변동성을 유지하기 위해 일반적으로 균질한 셀이 12개 이상이라고 가정하기 때문에 이러한 경우 성능이 열화될 수 밖에 없다 [6].

복잡하고 표적이 다수인 환경을 극복하기 위한 다른 접근법은 Barboy 등에 의해 제안된 반복 적응형 검열 기법이다 [8]. 적응 임계값을 초과하는 샘플은 반복적인 검열로 제외되며 임계값은 검열된 기준 샘플에 따라 반복적으로 업데이트하여 임계값과 기준 샘플에 변화가 없을 때까지 진행되는 방식으로 운용된다. 최근 연구에서는 반복적으로 업데이트하여 잠재적 표적을 검열하는 기법을 합성개구레이더 영상에 적용한 결과가 발표되었다 [9,10]. 이러한 기법은 밀도가 높은 비균질 환경에서 강력한 탐지 성능을 보여주지만, 많은 사이클을 필요로 하고 계산 시간이 크다는 단점이 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 특정 수의 참조 셀이 균질하다는 가정이 요구되지 않고, 계산 복잡도가 낮은 이동 평균 기법과 그 변화율을 활용한 자동 검열 알고리즘을 제안한다. 이동 평균 기법은 데이터 값의 분포가 특별히 크게 변화하는 것을 줄일 수 있기 때문에 신호 처리에서 저역 필터로 사용되기도 한다. 이러한 특징을 이용하여 참조 셀에 클러터 또는 간섭 표적 신호가 포함되어 있는지 검열한다. 검열 후 남은 참조 셀들은 노이즈만 존재하여 균질하다고 판단하기 때문에 CA- CFAR 검출을 수행하여 오경보율을 제어할 수 있다. 기존 ODV 통계를 기반으로 한 자동 검열 알고리즘 대신 이동 평균 기법을 활용하면 특정 수의 참조 셀이 균질하다는 가정 없이도 검열이 가능하므로 다수의 클러터 및 간섭 표적 신호가 존재하는 환경에도 적용이 가능하다. 또한 반복 적응형 검열 기법에 비해 계산 복잡도가 낮기 때문에 빠른 검열이 가능하다.

본 논문의 구성은 Ⅱ장에서 본 논문에서 사용한 기

www.dbpia.co.kr

본 가정과 ACCA-ODV CFAR 검출기의 동작 및 문제점을 제기하고, Ⅲ장에서 이러한 문제점을 극복하는 새로운 ACCA-ordered data moving average (ODMA) CFAR 검출기를 제안한다. Ⅳ장에서 시뮬레이션을 통해 제안한 기법을 다양한 관점에서 성능 분석하고, Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 기본 가정 및 ACCA-ODV CFAR 검출기

2.1 기본 가정

본 논문에서는 단일 펄스 검출기를 사용하고, 변동 목표물을 Swerling Ⅰ과 Ⅱ로 모델링한다. 일반적으로 잡음은 평균이 0인 복소수 가우시안 백색 잡음으로 모델링하는데, 본 논문도 이 가정을 따른다. 수신된 신호는 자승 포락 검출기(Square law detector)를 거쳐 전력을 나타내는 랜덤 변수가 한 개의 테스트 셀 X_0과 N개의 참조 셀 X_i $(i=1,...,N)$로 이루어진 $N+1$개의 범위 셀에 저장된다. 균질 환경의 경우, 각 셀의 전력을 나타내는 랜덤 변수 X_i의 확률밀도함수는 다음과 같다[6].

$$f_{X_i}(x)=\frac{1}{\lambda}exp(-\frac{x}{\lambda}). \quad (1)$$

복소수 가우시안 백색 잡음이 자승 포락 검출기를 거쳐 확률밀도함수가 (1)식처럼 되는 과정은 APPENDIX에 수록했다. (1) 식에서 λ는 x가 생성되는 분포의 스케일 파라미터이다. 비균질 환경일 경우, 각 참조 셀이 나타내는 해당 위치의 내용물에 따라 λ가 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda=\lambda_t(1+INR+CNR) \quad (2)$$

여기서 λ_t는 열잡음 평균 전력을 나타내고, interference-to-noise ratio(INR)와 clutter- to-noise ratio(CNR)은 각각 간섭 표적 신호의 전력 대비 열잡음 전력비와 클러터 신호의 전력 대비 열잡음 전력비를 나타낸다. 목표물이 있는 테스트 셀의 경우, INR은 signal-to-noise ratio (SNR)가 된다. 본 논문에서 열잡음 평균 전력은 $\lambda_t=1$로 가정한다.

2.2 ACCA-ODV CFAR 검출기

변동 지수(VI)는 확률밀도함수의 매개 변수 추정과 밀접하게 관련된 2차 통계값이다. 잡음만 존재하는 균질 환경에서 VI 값은 작지만, 클러터 및 간섭 표적이 존재하는 비균질 환경에서 VI 값은 크게 나타나는 특징을 갖는다. ACCA-ODV CFAR 검출기는 이와 같은 VI의 특징을 이용하여 간섭 표적 신호가 포함되어 있는 참조 셀들을 제거하고, 나머지 균질 환경 셀들의 전력 평균값을 이용하여 임계값을 설정하는 CFAR 검출기의 한 종류이다. ACCA-ODV CFAR 검출기의 기본 동작 순서는 다음과 같다 [6].

단계 1: N개의 참조 셀에 들어있는 전력값들을 오름차순으로 나열한다.

단계 2: 크기가 가장 작은 셀부터 P개를 임의로 선택하여 (일반으로 12 이상으로 설정) 해당 셀들은 잡음만 존재하는 균질 환경의 셀이라 가정하고 VI를 계산한 후, 이를 이용하여 나머지 참조 셀들에 간섭 표적 신호가 존재하는지 판별한다.

단계 3: 참조 셀들에서 간섭 표적 신호가 있다고 판정된 셀들은 버리고 나머지 셀들을 이용하여 임계값을 설정한다.

단계 4: 테스트 셀의 전력값과 임계값을 비교하여 테스트 셀에서의 목표물 존재 유무를 판정한다.

ACCA-ODV CFAR 검출기는 참조 셀에서 간섭 표적 등이 있는 비균질 환경 셀들의 개수를 사전에 알지 못해도 이들을 제거하여 좋은 성능을 보일 수 있다. 하지만 P개의 셀에 잡음만 존재한다는 가정이 있기 때문에 간섭 표적 신호의 개수가 늘어나 P개의 셀 안에 간섭 표적 신호가 포함되는 경우 CFAR 검출기의 성능이 떨어지는 단점이 있다. 이에 이러한 문제점을 해결하는 새로운 알고리즘을 제안한다.

Ⅲ. Ordered Data moving average를 기반으로 한 ACCA-CFAR 검출기

3.1 제안하는 ACCA-ODMA CFAR 검출기 알고리즘

본 논문에서 ordered data moving average을 이용한 새로운 ACCA-CFAR (ACCA-ODMA CFAR) 검출기를 제안한다. 본 검출기는 먼저 VI를 계산한 후 이를 이용해 참조 셀들이 균질 또는 비균질임을 판별하고(단계 1), 비균질로 판별된 경우 이동 평균을 이용하여 간섭 표적 신호가 있는 참조 셀들을 판별하여 제거한 후(단계 2), 최종적으로 남은 참조 셀들의 전력값으로 임계값을 계산한 후, 이를 이용해 테스트 셀의 목표물 존재 유무를 판정한다(단계 3). 각 단계에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

단계 1: 아래와 같이 정의된 VI를 이용하여 참조 셀이 균질 또는 비균질임을 판정한다. N개의 참조 셀들의

www.dbpia.co.kr

전력값 X_i의 평균을 μ, 분산을 σ^2이라 하면 VI는 다음과 같이 계산된다 [11].

$$VI = 1+\frac{\sigma^2}{\mu^2} = 1+\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i-\mu)^2/\mu^2. \quad (3)$$

계산 복잡도를 낮추기 위해 식 (4)과 같이 간략화 VI^*을 사용할 수 있다.

$$VI^* = \frac{\sum_{i=1}^{N}X_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{N}X_i\right)^2}. \quad (4)$$

VI^*와 비교하는 기준값 T_c를 정해, $VI^* \le T_c$일 경우 참조 셀이 균질 환경이라 판정하고, $VI^* > T_c$일 경우 참조 셀이 비균질 환경이라 판정한다.

단계 2: 여기서 k는 참조 셀의 검열 후 간섭 표적이 존재하는 등의 비균질이라 판단되는 셀의 수로 정의한다. 단계 1에서 참조 셀들이 균질로 판정된 경우에는 k를 0으로 설정하고 단계 3으로 넘어간다. 참조 셀들이 비균질로 판정된 경우, 아래와 같이 간섭 표적 신호가 포함된 참조 셀들을 판별한 후 제거한다.

1) N개의 참조 셀에 들어있는 전력값을 오름차순으로 정렬한다.

$$\{X_1, X_2, ..., X_N\} \rightarrow \{X(1) \le X(2) \le ... \le X(N)\}. \quad (5)$$

2) 크기가 w인 윈도우를 움직이면서 이동 평균 M_u를 구한다.

$$M_u = \frac{1}{w}\sum_{i=u}^{u+w-1}X(i), \quad u = 1, 2, ..., N-w+1. \quad (6)$$

3) 이동 평균 M_u의 변화율 D_v가 최대가 되는 지점 C를 구한 후 $N-C-w$개의 참조 셀 $X(C+w+1) \sim X(N)$를 클러터 또는 간섭 표적 신호가 포함된 비균질 셀이라 판정하고 이 셀들을 모두 제거한다.

$$D_v = \frac{M_{v+2}-M_{v+1}}{M_{v+1}-M_v}, \quad v = 1, 2, ..., N-w-1 \quad (7)$$

$$C = \arg\max_{v} D_v, \quad k = N-C-w. \quad (8)$$

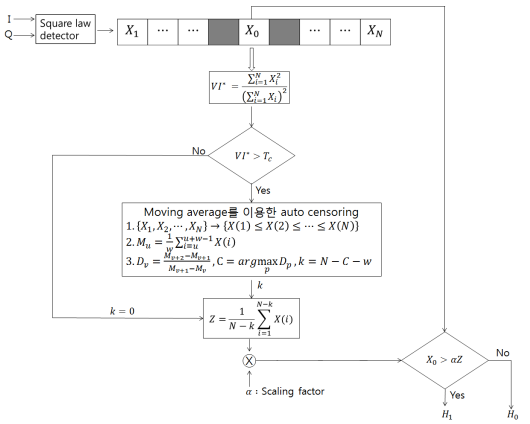


그림 1. ACCA-ODMA CFAR 검출기 블록도
Fig. 1. Block diagram of ACCA-ODMA CFAR detector

단계 3 : 남아있는 $N-k$개의 참조셀을 이용하여 임계값을 구한다. N개의 참조 셀의 전력값 $X(i)$에 대한 평균에 비례 상수 α를 곱해 임계값 T를 아래와 같이 구할 수 있다 [1].

$$T = \frac{\alpha}{N}\sum_{i=1}^{N}X(i), \ \alpha = N(P_{fa}^{-\frac{1}{N}}-1) \quad (9)$$

위 식에서 P_{fa}는 오경보 확률을 의미한다. 제안한 알고리즘에선 전체 N개의 참조셀을 이용하는 대신 비균질이라 판정된 셀을 버리고 남아있는 $N-k$개의 셀을 이용하므로, 아래의 식과 같이 임계값 T와 비례 상수 α를 구할 수 있다.

$$T = \frac{\alpha}{N-k}\sum_{i=1}^{N-k}X(i), \ \alpha = (N-k)(P_{fa}^{-\frac{1}{N-k}}-1). \quad (10)$$

T와 테스트 셀의 전력값 X_0를 비교하여 T가 더 큰 경우, 테스트 셀에 목표물이 없다고 판단(H_0)하고, X_0가 더 큰 경우는 테스트 셀에 목표물이 있다고 판단(H_1)한다. 그림 1은 제안된 ACCA-ODMA CFAR 검출기의 블록도를 나타낸다.

3.2 T_c를 구하는 방법

단계 1에서 참조셀들이 균질 또는 비균질 환경임을 판정하기 위해서는 VI^*와 비교할 수 있는 적절한 임계값 T_c가 필요하다. T_c는 참조셀의 환경을 잘못 판정할 확률 P_e를 최소화하는 기준값으로 정할 수 있다. P_e는

www.dbpia.co.kr

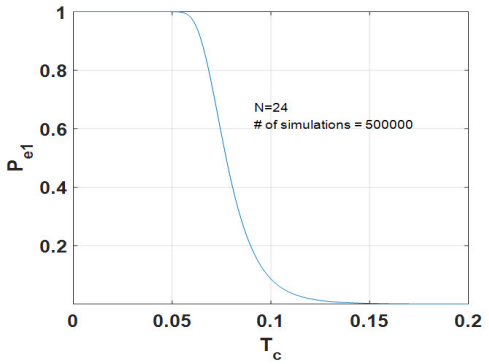
균질 환경에서 비균질로 판정할 확률 $P_{e,1}$과 비균질 환경에서 균질로 판정할 확률 $P_{e,2}$에 각각 사전확률을 곱해 더한 값으로 표현된다.

$$P_{e,1} = \Pr(VI^* > T_c | \text{참조셀이 균질}) \tag{11}$$

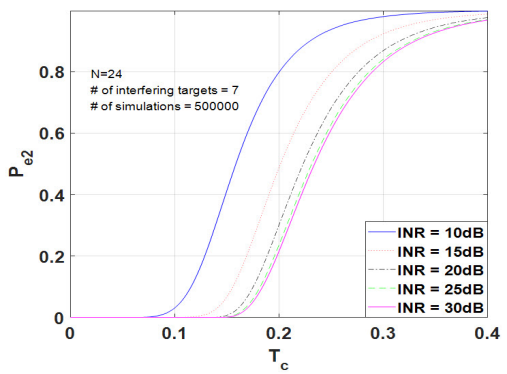
$$P_{e,2} = \Pr(VI^* \le T_c | \text{참조셀이 비균질}) \tag{12}$$

$$P_e = \Pr(\text{참조셀이 균질})P_{e,1} + \Pr(\text{참조셀이 비균질})P_{e,2} \tag{13}$$

여기서 $\Pr(\bullet)$는 사건의 발생할 확률을 나타낸다. VI^*의 확률분포함수를 해석적으로 구하기 어려우므로 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용하여 T_c에 따라 변하는 $P_{e,1}$과 $P_{e,2}$를 그림 2에 나타냈다. 그림 2(a)



(a)



(b)

그림 2. T_C에 따라 참조셀 환경을 잘못 판정할 확률 (a) 참조셀이 균질 환경일 때, 비균질로 판정하는 경우 (b) 참조셀이 비균질 환경일 때, 균질로 판정하는 경우
Fig. 2. The probability of misjudging the reference cell environment according to T_c (a) The probability of misjudgement when the reference cells are under the homogeneous environment (b) The probability of misjudgement when the reference cells are under the nonhomogeneous environment

표 1. $N=24$일 경우 다양한 $P_{e,1}$에 따른 T_c의 값
Table 1. When $N=24$, the value of T_c for various $P_{e,1}$

$P_{e,1}$	0.01	0.005	0.001
T_c	0.1278	0.1376	0.1620

와 그림 2(b) 모두 참조 셀의 개수는 24개로 설정했다. 그림 2(a)의 경우 간섭 표적 신호가 없는 균질 환경으로 설정했고, 그림 2(b)의 경우 swerling Ⅱ로 모델링한 간섭 표적 신호가 7개 있는 비균질 환경으로 설정했다. 다양한 INR 환경에서 $P_{e,2}$ 그래프를 그렸고 그 결과 INR이 커질수록 $P_{e,2}$는 줄어드는 것을 확인할 수 있다(그림 2(b)). 또한 T_c를 증가시킴에 따라, $P_{e,1}$은 줄어 균질환경을 정확히 판정할 확률이 높지만, 반대로 $P_{e,2}$가 늘어나 비균질 환경에서 잘못 판정할 확률이 높아짐을 확인할 수 있다. 즉, P_e를 줄이기 위해선, 적절한 T_c를 설정해야 한다. 표 1은 $P_{e,1}$에 따른 T_c를 몬테카를로 시뮬레이션 기법으로 구한 것이다.

Ⅳ. 모의실험 결과

그림 3에서는 참조셀 24개 중 swerling Ⅱ로 모델링한 간섭 표적이 4개 있는 비균질 환경에서 다양한 INR값에 따라 ACCA-ODMA CFAR와 ACCA-ODV CFAR를 적용하였을 경우 간섭 표적 신호라 판정되어 버려지는 참조셀들의 개수를 확률로 표현하였다. ACCA-ODMA CFAR에서 사용한 윈도우 크기 w는 3으로 설정했고, ACCA-ODV CFAR에서 잡음만 존재한다고 가정하는 셀의 개수 P는 16으로 설정했다. $INR=15dB$일 때, 4개의 간섭 표적을 정확히 버릴 확률은 ACCA-ODMA CFAR에서 34.2%, ACCA- ODV CFAR에서 40.8%로 제안한 알고리즘보다 ACCA-ODV CFAR가 더 정확히 간섭 표적 신호를 판별하지만(그림 3(a)), INR= 25 dB, 30 dB 35 dB인 높은 INR 환경에서는 제안한 알고리즘이 ACCA-ODV CFAR 보다 더 정확히 간섭 표적 신호를 판별함을 확인할 수 있다(그림3 (b), (c), (d)).

그림 4에서 참조 셀에 간섭 표적신호가 있는 비균질 셀의 개수가 각각 0개, 4개, 10개일 경우, ACCA-ODMA CFAR 검출기와 ACCA-ODV, OS-, CA-, VI-CFAR 검출기 [1,11]의 성능을 SNR 변화에 따른 탐지 확률로 비교하였다. 참조 셀의 개수 N은 24로 하고 오경보율(P_{fa})은 10^{-6}으로 설정하였다. 본 모의실험은 참조 셀에 클러터가 존재하지 않는 상황을

www.dbpia.co.kr

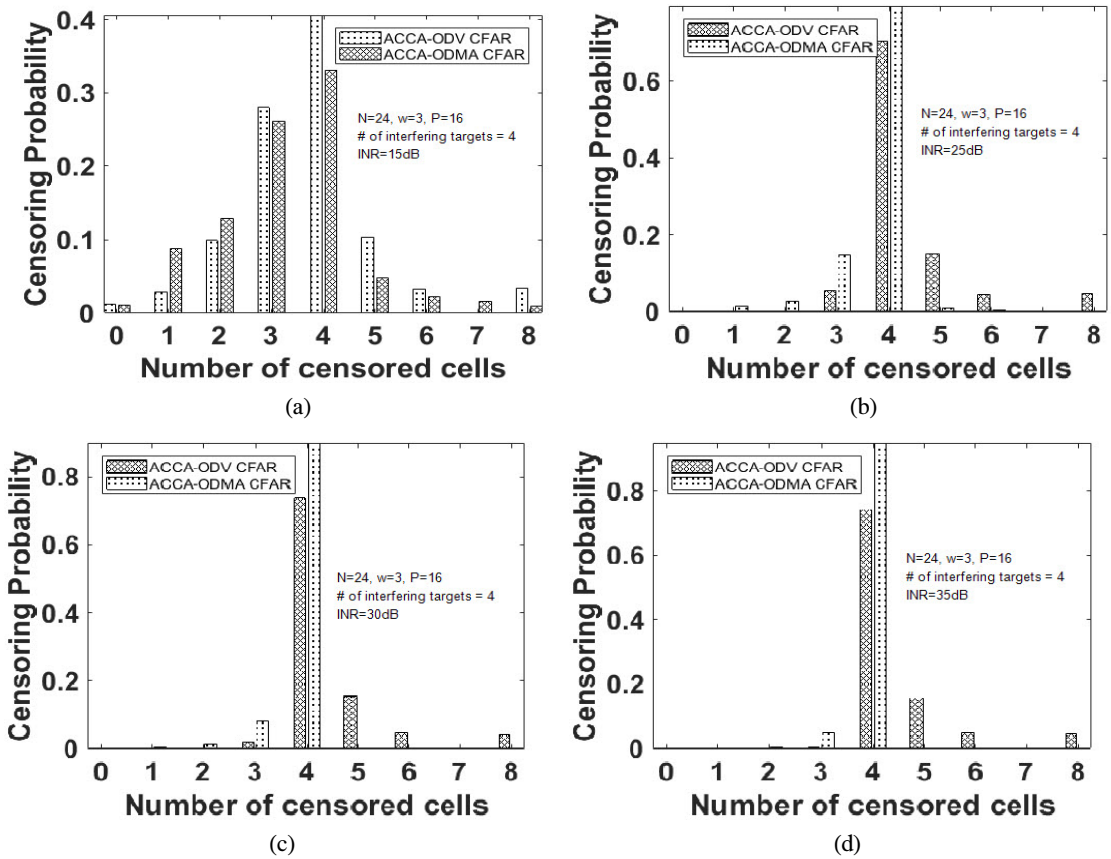


그림 3. 간섭 표적이 존재하는 비균질 환경에서 ACCA-ODMA CFAR와 ACCA-ODV CFAR의 censoring 확률 (a) INR=15dB (b) INR=25dB (c) INR=30dB (d) INR=35dB

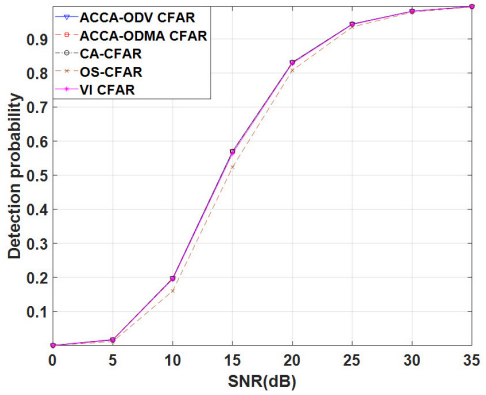
Fig. 3. Censoring probability of ACCA-ODMA CFAR and ACCA-ODV CFAR under multiple-target environments (a) INR=15dB (b) INR=25dB (c) INR=30dB (d) INR=35dB

고려하였기 때문에 $CNR=0$ 으로 설정하였고, 테스트셀에 있는 목표물과 참조셀에 있는 간섭 표적을 동일하게 모델링하기에, $SNR=INR$로 설정하였다. ACCA-ODV CFAR 검출기의 경우 P를 16으로 정했고 [6], ACCA -ODMA CFAR 검출기에서 윈도우 크기 w는 3으로 설정하였다. $P_{e,1}=10^{-2}$으로 설정하고, 기준값 T_c을 ACCA-ODV CFAR 검출기의 경우 T_c =[0.332 0.235 0.189 0.162 0.143 0.131 0.122 0.117]로 설정하고 [6], ACCA-ODMA CFAR 검출기의 경우 T_c=0.1278로 설정하였다.

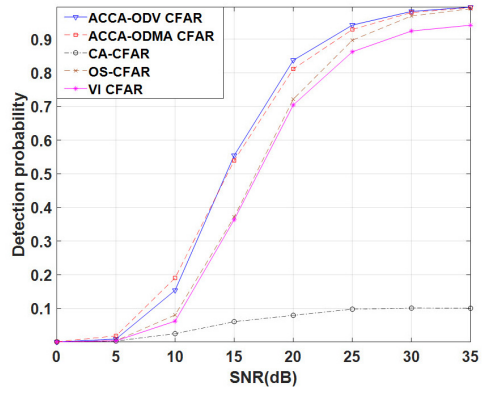
그림 4(a)에서 N개의 참조 셀에 간섭 표적 신호가 0개인 균질 환경에서 탐지확률 비교 결과, OS-CFAR를 제외한 모든 검출기가 모든 SNR에서 동일한 탐지확률을 보이고 OS-CFAR 는 좀 더 낮은 탐지확률을 보임을 확인했다. 이는 균질환경에서 ACCA-ODMA, ACCA-ODV, VI- CFAR 검출기가 VI를 이용해 균질환경임을 정확히 판정한 후, CA- CFAR와 마찬가지로 모든 셀을 이용하여 임계값 T를 정하기 때문에 동일한 성능을 나타내는 반면, OS-CFAR 는 참조 셀 중 한 셀만 이용하여 임계값 T를 정하기 때문에 손실이 발생하여 성능이 다른 검출기에 비해 나쁘게 나온다.

그림 4(b)에서 간섭 표적 신호가 4개일 때, ACCA-ODMA CFAR와 ACCA-ODV CFAR가 나머지 검출기 보다 높은 탐지확률을 보이는데, 이는 이 두 기법이 간섭 표적 신호가 포함된 4개의 참조셀들을 다른 검출기들에 비해 정확히 판단하여 제거하고, 나머지 참조 셀을 이용하여 임계값을 설정하기 때문이다. 이 두 기법간의 성능비교를 하면, SNR이 10dB 이하의 경우 ACCA-ODMA CFAR가 약간 우수한 탐지확률을 보이지만, 10-20dB사이 구간에서 ACCA-ODV CFAR의 탐지 성능이 ACCA- ODMA CFAR의 탐지 성능을 앞지르고, 15dB 이상에선 ACCA-ODV CFAR가 약간 더 좋은 탐지확률을 보인다. SNR이 10dB인 경우, 검열 이후 간섭 표적 신호가 하나 이상 남아있을 확률이

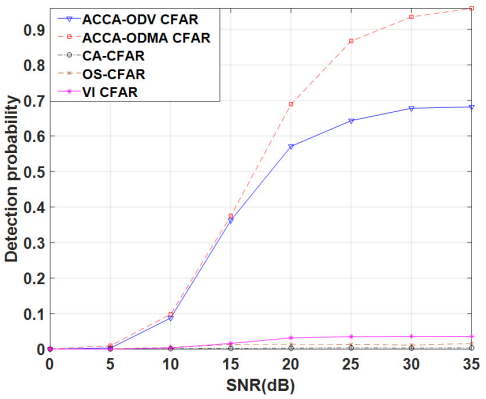
www.dbpia.co.kr



(a)



(b)



(c)

그림 4. 다양한 간섭 표적 신호 환경에 대한 CFAR 검출기들의 탐지확률 비교 (a) 간섭 표적 신호 0개 (b) 간섭 표적 신호 4개 (c) 간섭 표적 신호 10개

Fig. 4. Detection probability comparison between various CFAR detectors for various interfering target environments (a) 0 interfering target (b) 4 interfering targets (c) 10 interfering targets

ACCA-ODV CFAR 검출기가 약 80%이고, ACCA-ODMA CFAR 검출기가 약 67%로 ACCA-ODMA CFAR 검출기가 더 낮고, ACCA -ODMA CFAR 검출기의 임계값이 상대적으로 낮게 계산되어, ACCA -ODMA CFAR 검출기의 탐지확률이 더 높은 것으로 확인된다. SNR이 15dB일 경우, 검열 이후 간섭 표적 신호가 하나 이상 남아있을 확률이 ACCA-ODV CFAR 검출기가 약 43%이고, ACCA-ODMA CFAR 검출기가 약 50%로 ACCA-ODMA CFAR 검출기가 더 높고, ACCA-ODMA CFAR 검출기의 임계값이 상대적으로 높게 계산되어 ACCA-ODMA CFAR 검출기의 탐지확률이 더 낮은 것으로 확인된다. 하지만 두 검출기의 성능은 거의 유사하다고 볼 수 있다.

그림 4(c)에서 간섭 표적 신호가 10개인 경우 ACCA-ODV CFAR 검출기의 탐지확률은 0.7에서 포화되어 더 이상 향상되지 않음을 확인할 수 있다. 이는 균질 환경이라 가정한 16개의 셀 안에 간섭 표적 신호가 들어와 이를 제대로 제거하지 못하여 임계값 계산에 오류가 생기기 때문이다. 반면, ACCA -ODMA CFAR 검출기는 참조 셀 안에 있는 간섭 표적 신호를 포함한 셀들을 정확히 제거하여 우수한 탐지확률을 보여주고 있다.

그림 5에서 제안한 알고리즘의 윈도우 크기에 따른 탐지확률 변화를 그래프로 표현하였다. 윈도우 크기가 3, 5, 7인 경우 크기가 작을수록 탐지확률이 향상되지만, 윈도우 크기가 2와 3일 경우를 비교해 보면, SNR이 15dB 이하에서는 윈도우 크기가 2인 알고리즘의 탐지 확률이 좋지만, SNR이 20dB 이상에서는 윈도우 크기가 3인 알고리즘의 탐지 확률이 더 좋음을 확인하였다. 제안된 알고리즘이 운용되는 환경의 SNR에 따라 윈도우 크기를 2, 3을 적응적으로 활용하면 좋은 탐

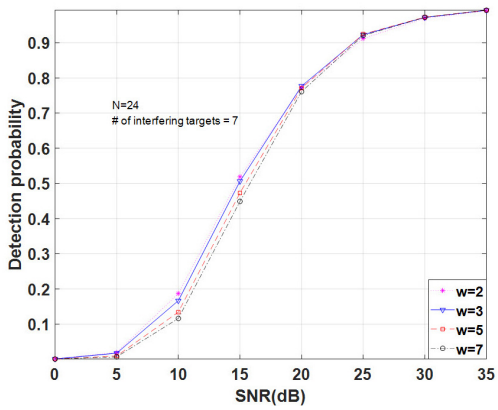


그림 5. 윈도우 크기에 따른 ACCA-ODMA CFAR의 탐지확률 비교

Fig. 5. Detection probability comparison of ACCA-ODMA CFAR detector for various window size

www.dbpia.co.kr

지 성능을 얻을 수 있다. 그리고 참조 셀의 개수 등의 CFAR 운용 조건이 달라지면 최적의 윈도우 크기를 다시 설정하여야 한다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 기존 ACCA-ODV CFAR 검출기가 참조 셀에 간섭 표적이 다수 포함된 경우 탐지 성능이 열화되는 문제점을 극복할 수 있는 새로운 ACCA-ODMA CFAR 검출기를 제안하였다. 제안된 검출기는 우선 VI를 통해 참조 셀의 균질 또는 비균질 여부를 판정한다. 균질하다고 판정되면 검열을 멈추고, 비균질하다고 판정되면 이동 평균 기법으로 간섭 표적이 포함된 참조 셀들을 검열한다. 전체 참조셀에서 간섭 표적이 있다고 판정된 참조 셀들을 제거한 후 남은 참조 셀을 이용하여 CA-CFAR 검출기로 테스트 셀에 목표물의 존재 유무를 판정한다. 시뮬레이션을 통해 새롭게 제안한 기법이 간섭 표적이 많은 경우 ACCA-ODV CFAR 검출기보다 훨씬 좋은 탐지 성능을 보임을 확인하였다. 이를 기반으로 향후 다양한 클러터 모델까지 고려한 다중 목표물 환경에서 ACCA-ODMA CFAR 검출기의 성능 분석 연구를 진행하고자 한다.

References

[1] M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, pp. 335-377, McGraw-Hill Education, 2014.

[2] M. Xiangwei and Z. Qiang, "Binary integration of OS-CFAR detection in a nonhomogeneous background," *IEEE Aeros. Conf.*, Big Sky, MT, USA, Mar. 2007.

[3] W. Zhou, J. Xie, G. Li, and Y. Du, "Robust CFAR detector with weighted amplitude iteration in nonhomogeneous sea clutter," *IEEE Trans. AES*, vol. 53, no. 3, pp. 1520-1535, Jun. 2017.

[4] S. Gong, M. Pan, W. Long, and H. Huang, "Distributed fuzzy maximum-ensored mean level detector-constant false alarm rate detector based on voting fuzzy fusion rule," *IET Radar, Sonar and Navig.*, vol. 9, no. 8, pp. 1055-1062, Sept. 2015.

[5] J. Shin, W. Kim, D. Do, D. Lee, and H. Kim, "Performance improvement of a variability-index CFAR detector for heterogeneous environment," *J. IEIE*, vol. 49, TC, no. 3, pp. 37-46, Mar. 2012.

[6] A. Farrouki and M. Barkat, "Automatic censoring CFAR detector based on ordered data variability for nonhomogeneous environments," *IEE Proc. Radar, Sonar and Navig.*, pp. 43-51, Feb. 2005.

[7] D. Tao, A. P. Doulgeris, and C. Brekke, "A segmentation-based CFAR detection algorithm using truncated statistics," *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens.*, vol. 54, no. 5, pp. 2887-2898, May 2016.

[8] B. Barboy, A. Lomes, and E. Perkalski, "Cell-averaging CFAR for multiple-target situations," *IEE Proc. F. Commun., Radar and Signal Proc.*, vol. 133, no. 2, pp. 176-186, Apr. 1986.

[9] G. Gao, L. Liu, L. Zhao, G. Shi, and G. Kuang, "An adaptive and fast CFAR algorithm based on automatic censoring for target detection in high-resolution SAR images," *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens.*, vol. 47, no. 6, pp. 1685-1697, Jun. 2009.

[10] Y. Cui, G. Zhou, J. Yang, and Y. Yamaguchi, "On the iterative censoring for target detection in SAR images," *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens. Lett.*, vol. 8, no. 4, pp. 641-645, Jul. 2011.

[11] M. E. Smith and P. K. Varshney, "Intelligent CFAR processor based on data variability," *IEEE Trans. AES*, vol. 36, no. 3, pp. 837-847, Jul. 2000.

APPENDIX

평균이 0인 복소수 가우시안 백색 잡음 신호를 $S = U + jV$ $(U, V \sim N(0,\sigma^2))$라 하고, 신호 S가 자승 포락 검출기를 통과하여 생성된 신호를 $Z = U^2 + V^2$라 하자. U와 V 의 확률밀도함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

www.dbpia.co.kr

$$f_U(u)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}exp\left(-\frac{u}{2\sigma^2}\right),$$
$$f_V(v)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}exp\left(-\frac{v}{2\sigma^2}\right). \quad \text{(A-1)}$$

아래 그림과 같이 R과 Θ를 정의하자.

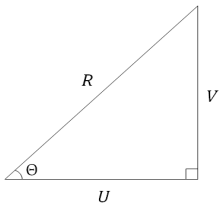


그림 A. 1. U, V와 R, Θ의 가하학적 관계
Fig. A. 1. The geometric relationship between U, V, R, and Θ

그러면 U와 V를 R과 Θ에 대한 함수로 표현할 수 있다.

$$U=g_1(R,\Theta)=R\cos\Theta,$$
$$V=g_2(R,\Theta)=R\sin\Theta. \quad \text{(A-2)}$$

R과 Θ의 합동 확률분포함수 $f_{R\Theta}(r,\theta)$와 R의 확률분포함수 $f_R(r)$은 다음과 같이 표현된다.

$$f_{R\Theta}(r,\theta)=f_{UV}(g_1(r,\theta),g_2(r,\theta))|J|$$
$$=\frac{r}{2\pi\sigma^2}exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), r\geq 0, 0\leq\theta\leq 2\pi \quad \text{(A-3)}$$

$$f_R(r)=\int_{-\infty}^{\infty}f_{R\Theta}(r,\theta)\,d\theta$$
$$=\int_0^{2\pi}\frac{r}{2\pi\sigma^2}exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)d\theta \quad \text{(A-4)}$$
$$=\frac{r}{\sigma^2}exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right),\ r\geq 0$$

여기서 J는 야코비안 행렬을 의미한다. 자승 포락검출기를 거친 후의 신호 $Z=R^2$이므로, Z의 확률분포함수 $f_Z(z)$는 다음과 같다.

$$f_Z(z)=f_R(\sqrt{z})\left|\frac{dr}{dz}\right|$$
$$=\frac{\sqrt{z}}{\sigma^2}exp\left(-\frac{z}{2\sigma^2}\right)\frac{1}{2\sqrt{z}} \quad \text{(A-5)}$$
$$=\frac{1}{2\sigma^2}exp\left(-\frac{z}{2\sigma^2}\right), z\geq 0.$$

즉, 평균이 0인 복소수 가우시안 백색 잡음 신호를 자승 포락검출기에 통과시킨 신호는 exponential 분포를 따른다.

최 정 민 (Jung-Min Choi)

2017년 2월 : 한양대학교 융합전자공학부 졸업
2017년 3월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신 공학과 석사과정
<관심분야> 레이더 시스템

송 민 기 (Minki Song)

2013년 2월 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 졸업
2015년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사
2015년 3월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
<관심분야> 레이더 시스템, 오류정정부호

신 동 준 (Dong-Joon Shin)

1990년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사
1991년 12월 : Northwestern University 전기공학과 석사
1998년 12월 : University of Southern California 전기공학과 박사
1999년 4월~2000년 8월 : Hughes Network Systems, MTS
2000년 9월~현재 : 한양대학교 융합전자공학부 교수
<관심분야> 디지털 통신, 오류정정부호, 시퀀스, 이산수학

www.dbpia.co.kr