

신호 적출을 이용한 VI-CFAR 검출기의 성능향상 방법

신종우*, 김완진*, 도대원**, 최상문**, 김형남*
 *부산대학교, **국방과학연구소

hnkim@pusan.ac.kr

Performance Enhancement of the VI-CFAR Detector using Signal Excision

Jong-Woo Shin*, Wan-Jin Kim*, Dae-Won Do**, Sang-Moon Choi**, Hyoung-Nam Kim*
 *Pusan National University, **Agency for Defense Development.

요 약

VI-CFAR (variability index constant false alarm rate)의 경우 다양한 환경에 효과적으로 대처할 수 있는 장점이 있으나, 환경에 따라 잡음의 파워 추정에 사용되는 셀의 사이즈가 감소하여 검출기의 성능이 저하되는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 본 논문에서는 신호 적출(signal excision) 방법을 이용하여 잡음의 파워 추정에 사용되는 셀의 개수를 최대화함으로써 VI-CFAR의 성능을 향상시키는 방법을 제안하고, 모의 전산 실험을 통해 성능이 향상되었음을 보인다.

I. 서론

레이더(RADAR)나 소나(SONAR)와 같은 탐지시스템(detection system)에서는 수신 신호에 포함된 잡음(noise), 클러터(clutter), 간섭 신호(interference signal) 등으로부터 표적 신호(target signal)만을 탐지하기 위해 CFAR 검출기(constant false alarm rate detector)가 사용되고 있다. CFAR 검출기는 테스트 셀(test cell)의 주변 셀들을 이용하여 추정된 잡음의 파워로부터 얻어지는 문턱 값(threshold)과 테스트 셀을 비교하여 표적신호의 유무를 판단하므로, 사용된 잡음 추정방법에 따라 검출기의 성능이 달라지게 된다. 잡음이 균질한(homogeneous) 환경 하에서는 CA(cell averaging)-CFAR 알고리즘이 최적의 성능을 보이는 것으로 알려져 있으나, 클러터 경계(clutter edge)와 같이 잡음의 균질성이 보장되지 않는 환경 하에서는 그 성능이 저하되는 단점이 있다. 비균질한(heterogeneous) 특성을 가지는 잡음환경에 대처하기 위해 OS(ordered statistics)-CFAR, GO(greatest of)-CFAR, TM(trimmed mean)-CFAR와 같은 다양한 알고리즘들이 제안되었으나 [1], 이러한 알고리즘들의 경우 특정한 비균질 환경만을 고려하여 설계되었기 때문에 다양한 비균질 환경에 대처하기 어려운 문제점이 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 여러 가지 CFAR 알고리즘들을 상황에 따라 선택적으로 사용하는 방법들이 제안되었으며, 이 중에서 VI(variability index)-CFAR 알고리즘은 수신 신호의 특성에 따라 CFAR 알고리즘을 선택적으로 사용하여 균질/비균질 환경에 관계없이 동작할 수 있도록 하였다 [2]. 그러나 VI-CFAR의 경우 수신 신호가 비균질한 특성을 가진다고 판단되면, 잡음의 파워 추정에 사용되는 전체 셀의 일부만을 사용하므로 최적화된 문턱 값을 구하는 데 어려움이 있다. 일반적으로 잡음의 파워 추정에 사용되는 셀의 개수가 많을수록 추정된 문턱 값이 최적화된 값에 가까워지므로, 본 논문에서는 EX(excision)-CFAR에서 사용된 신호 적출(signal excision) 방법을 VI-CFAR에 적용하여 비균질 잡음환경 하에서도 잡음의 파워 추정에

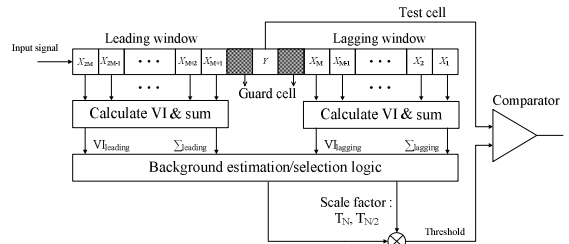


그림 1. 일반적인 CFAR 검출기의 구조.

사용되는 셀의 개수를 최대화시킬 수 있는 방법을 제안한다.

II. Variability index(VI)-CFAR 검출기

VI-CFAR 검출기는 그림 1에서 보는 바와 같이 크기가 각각 $N/2$ 인 선행/지연 윈도우에 포함된 수신 신호의 특성에 따라 CA-CFAR, GO-CFAR, SO(smallest of)-CFAR 알고리즘을 선택한 후 잡음의 파워를 추정해 문턱 값을 구하고, 이를 테스트 셀과 비교하여 표적 신호의 포함 여부를 판단한다. VI-CFAR에서는 잡음 파워 추정에 사용될 알고리즘을 선택하기 위해 평균 비(mean ratio, MR)와 가변성 지수(variability index, VI)를 사용하며, MR과 VI는 각각 다음과 같이 정의된다 [2].

$$\begin{cases} MR = \hat{\mu}_{leading} / \hat{\mu}_{lagging} \\ VI_{leading} = 1 + \hat{\sigma}_{leading}^2 / \hat{\mu}_{leading}^2 \\ VI_{lagging} = 1 + \hat{\sigma}_{lagging}^2 / \hat{\mu}_{lagging}^2 \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $\hat{\mu}_{leading}$, $\hat{\mu}_{lagging}$, $\hat{\sigma}_{leading}^2$, 그리고 $\hat{\sigma}_{lagging}^2$ 는 각각 선행/지연 윈도우의 평균과 분산을 의미한다. 만약 선행 윈도우와 지연 윈도우에 포함된 잡음의 특성이 균질하다면 MR은 1에 가까운 값, VI는 2에 가까운 값을

표 1. 수신 신호의 특성에 따른 VI-CFAR 검출기의 문턱 값 생성 방법

# of windows with variable input	MR is different?	Adaptive threshold of VI-CFAR	Equivalent method
0	Same	$(\sum_{\text{leading}} + \sum_{\text{lagging}}) \cdot T_N$	CA-CFAR
0	Different	$\max(\sum_{\text{leading}}, \sum_{\text{lagging}}) \cdot T_{N/2}$	GO-CFAR
1	-	$\sum_{\text{leading}} \cdot T_{N/2}$ or $\sum_{\text{lagging}} \cdot T_{N/2}$	CA-CFAR
2	-	$\min(\sum_{\text{leading}}, \sum_{\text{lagging}}) \cdot T_{N/2}$	SO-CFAR

가지게 된다. 이러한 특성을 이용하면 윈도우 내에 포함된 신호의 균질성 여부를 판단할 수 있으며, 이는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{cases}
 VI \geq K_{VI}, \text{ Variable} \\
 VI < K_{VI}, \text{ Invariable} \\
 K_{MR}^{-1} \leq MR \leq K_{MR}, \text{ Same mean} \\
 \text{Otherwise, Different mean}
 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 K_{VI} 와 K_{MR} 은 각각 MR과 VI의 문턱 값을 의미한다. 식 (2)에서 보는 바와 같이 VI-CFAR에서는 우선 VI를 문턱 값과 비교하여 선행 또는 지연 윈도우에 비정상 신호의 포함유무를 판단하고, K_{MR} 과 MR의 비교를 통해 클러터 경계의 포함여부를 판단한다. 이를 근거로 VI-CFAR에서 발생 가능한 경우와 이 때 사용되는 CFAR 알고리즘은 표 1과 같다.

III. 신호 적출기를 가지는 VI-CFAR 검출기

표 1에서 보는 바와 같이 VI-CFAR 알고리즘은 선행 또는 지연 윈도우 중 하나의 윈도우에 비정상 신호가 존재한다고 판단되면, 비정상 신호를 포함하는 윈도우를 제외하고 CA-CFAR 알고리즘을 수행한다. 이러한 경우 잡음 파워 추정에 사용되는 윈도우의 값들은 균질한 특성을 가진다고 볼 수 있으나, N/2개의 셀만을 사용하여 잡음을 추정하게 되므로 N개의 셀을 사용하는 경우에 비해 검출기의 성능이 저하된다 [1]. 이러한 경우에 비정상 신호가 포함된 셀만을 효과적으로 제거할 수 있으면 잡음 추정에 사용되는 셀의 크기를 늘릴 수 있으므로, 검출기의 성능 향상을 기대할 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 비정상 신호가 존재한다고 판단되는 윈도우에 Excision CFAR 알고리즘에서 사용된 신호 적출 방법을 적용하였으며, 제안된 방법을 적용한 VI-CFAR의 구조는 그림 2에 제시되어 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

검출확률 및 오경보 확률 측면에서 제안된 VI-CFAR의 성능을 검증하기 위해 잡음이 지수 분포를 가지고, 표적 신호가 인접하여 나타나는 환경을 가정하고 총 3백만 번의 전산 모의 실험을 수행하였다. 실험에서 선행/지연 윈도우 내의 셀의 개수는 각각 16개였으며, 신호 대 잡음비 (signal-to-noise ratio, SNR)의 범위는 0 ~ 25 dB, 오경보 확률은 10^{-4} 으로 설정하였다. 그림 3 (a)에서 보는 바와 같이 제안된 검출기가 모든 SNR에서 설정된 오경보 확률과 가장 작은 오차를 가짐을 볼 수 있으며, 검출 확률도 그림 3 (b)에 도시된 것과 같이, 제안된 방법이 Neyman-Pearson의 설계 기준을 통해 얻을 수 있는 이상적인 값에 가장 근접함을 확인할 수 있다. 검출 확률의 경우 CFAR 손실을 이용하여 정량적으로도 표현이 가능하며, 그 정의는 다음과 같다.

$$CFAR \text{ loss} = SNR(P_d^{Detector} = 0.5) - SNR(P_d^{NP \text{ Criterion}} = 0.5)$$

그림 3 (b)에서 CFAR 손실의 정의에 따라 그 값을 구해보면 제안된 신호 적출기를 사용한 VI-CFAR의 경우

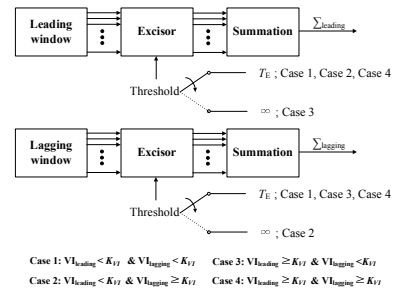


그림 2. 신호 적출기를 이용한 VI-CFAR의 동작 구조.

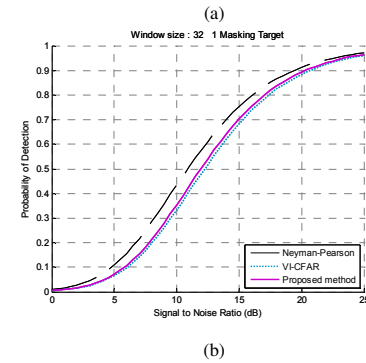
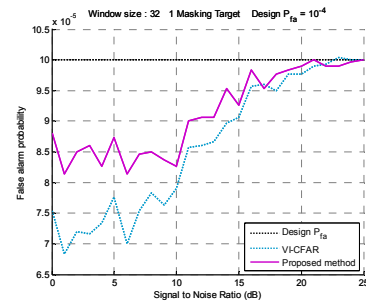


그림 3. CFAR 검출기의 성능비교: (a) 오경보 확률, (b) 검출 확률.

약 1 dB, 기존의 VI-CFAR의 경우 약 1.3 dB의 값을 가지므로, CFAR 손실 측면에서 약 0.3 dB의 이득이 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 비균질 잡음환경에서 잡음의 추정에 사용되는 윈도우 길이의 감소로 인해 VI-CFAR의 성능이 저하되는 문제를 극복하기 위해 신호 적출기를 사용하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 잡음의 파워 추정에 사용되는 셀의 개수를 늘임으로써 검출기의 성능을 향상시킬 수 있으며, 모의 전산 실험을 통해 오경보 확률 및 검출 확률 측면에서 기존 VI-CFAR 검출기보다 우수한 성능을 가짐을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2009년 국방과학 연구소의 "광대역 소나의 신호처리 최적화 기법 연구"에 대한 연구용역으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

[1] P.P.Gandhi, "Analysis of CFAR processors in nonhomogeneous background, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*," Vol. 24, No. 4, pp.427-445, July 1988.
 [2] M. E. Smith, P.K.Varshney, "Intelligent CFAR processor based on data variability," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 36, No. 3, pp.837-847, July 2000.