

# 해상 클러터 환경에서 성능 개선을 위한 환경적응형 CFAR에 관한 연구

홍성원\*<sup>1</sup>, 김관성\*<sup>2</sup>, 조병래\*\*<sup>1</sup>, 김찬홍\*\*<sup>2</sup>

## A Study on Environmental Adaptive CFAR to Improve Performance under Sea Clutter Environments

Sungwon Hong\*<sup>1</sup>, Kwan-Sung Kim\*<sup>2</sup>, Byung-Lae Cho\*\*<sup>1</sup>, and Chan-Hong Kim\*\*<sup>2</sup>

### 요 약

본 논문에서는 해상 클러터 환경에서 탐지 확률을 개선하고 오경보율을 낮출 수 있는 CFAR 기법에 대하여 제안하였다. 해상 환경은 클러터 신호 때문에 표적 신호가 미탐지되거나 오경보가 발생할 수 있다. 기존의 CFAR는 단일 기법 적용으로 표적 신호 주변 환경에 따라 탐지 확률이 낮아지거나 오경보율이 높아진다. 이를 개선하기 위하여 CFAR 적용 전 환경을 판단하여 선택적으로 CFAR를 적용하는 환경적응형 CFAR를 적용하여 탐지 성능을 높였다. 제안하는 환경적응형 CFAR는 테스트 셀 주변 환경의 평균 값을 측정하여 잡음 환경인지 클러터 환경인지를 판별하여 환경에 맞는 CFAR를 선택하는 기법이다. 제안하는 기법은 해상 환경에서 실험을 통하여 획득된 데이터를 사용하여 검증하였다.

### Abstract

This study proposes the constant false alarm rate (CFAR) method which improves the detection probability and decreases the false alarm rate under sea clutter environments. Under sea clutter environments, target signals may not be detected or a false alarm may occur due to clutter signals. Using the conventional CFAR method, the detection probability is lowered or the false alarm rate is increased depending on the surrounding environment of the target signal. To improve it, we propose a method to select the optimal CFAR method according to the environment of the target signal. The environment is estimated by calculating mean power around the test cell. Then the proposed method is confirmed by the data from the real experiment.

### Keywords

constant false alarm rate, environment adaptive CFAR, clutter environment, radar signal processing

---

\* 국방과학연구소 선임연구원(\*<sup>1</sup> 교신저자)  
- ORCID<sup>1</sup>: <http://orcid.org/0000-0001-9509-0691>  
- ORCID<sup>2</sup>: <http://orcid.org/0000-0002-7385-4141>  
\*\* 국방과학연구소 책임연구원  
- ORCID<sup>1</sup>: <http://orcid.org/0000-0002-9160-3362>  
- ORCID<sup>2</sup>: <http://orcid.org/0000-0002-7877-1521>

· Received: May 13, 2021, Revised: Jul. 21, 2021, Accepted: Jul. 24, 2021  
· Corresponding Author: Sungwon Hong  
Agency for Defense Development, Yuseong P.O.Box 35, DaeJeon, 34186, Korea  
Tel.: +82-42-821-4451, Email: [swhong@add.re.kr](mailto:swhong@add.re.kr)

## 1. 서 론

해상 환경에서 레이다 수신 신호에는 표적과 잡음뿐만 아니라 클러터 신호들이 많이 유입된다. 클러터 신호는 표적 신호와 유사하지만 속도가 0에 가깝기 때문에 주로 MPRF(Medium Pulse Repetition Frequency) 파형을 사용하여 도플러 필터를 사용하여 제거한다[1][2]. 그러나 클러터 신호의 스펙트럼이 넓은 경우 제거되는 필터로 충분하지 않아 탐지되는 경우가 발생한다. 이 때 데이터 탐지 과정은 CFAR(Constant False Alarm Rate)를 사용하며 시스템 환경에 맞게 CA-CFAR(Cell Averaging CFAR)[3], GO-CFAR(Greatest Of CFAR)[4] 등을 사용한다.

CA-CFAR는 균질 환경, 즉 잡음만 존재하는 환경에서 우수한 성능을 보이며[5], GO-CFAR는 클러터가 존재하는 비균질 환경에서 우수한 성능을 보인다[6]. 한편, 비균질 환경에서도 탐지율을 높이기 위하여 MCA-CFAR(Minimum selected Cell Averaging CFAR)가 제안되었다[7]. MCA-CFAR는 비균질 환경에서 표적의 탐지율은 높아지지만 클러터 오경보가 많이 발생하여 MPRF 시스템에서는 허위 표적이 발생할 가능성이 높아진다.

본 논문에서는 상호보완 관계인 CFAR를 선택적으로 사용할 수 있는 기법 제안하였다. 탐지 대상 셀 주변의 참조 셀들의 평균값을 이용하여 환경을 판별한 후 선택적으로 GO-CFAR와 MCA-CFAR를 적용하는 기법으로 GO-CFAR와 MCA-CFAR의 장점을 결합하여 클러터 영역에서 오경보율을 낮추며, 표적 신호의 탐지율을 높일 수 있다.

2장에서는 환경에 따른 선택적 CFAR 방법을 소

개하고, 3장에서는 실제 해상시험 데이터를 사용한 결과들을 보여준다. 4장에서는 시험 결과로부터 결론을 도출한다.

## II. 환경에 따른 선택적 CFAR 방법

### 2.1 CFAR

CFAR는 일정한 오경보율을 유지하며 원하는 표적을 탐지하는 기법이다. CFAR는 주변 환경에 따라 문턱값을 조절하여 일정한 오경보율을 유지한다. CFAR는 문턱값을 조절하는 방법에 따라 CA-CFAR, GO-CFAR, MCA-CFAR 등 다양한 기법이 존재한다.

그림 1은 CA-CFAR의 블록도를 나타낸다. CA-CFAR는 현재 탐지 대상 셀 주변 참조 셀들의 평균을 문턱값을 설정한다. 잡음 환경에서는 탐지 성능이 우수하나 클러터 환경에서는 평균값이 높아져 성능이 열화되는 단점이 있다.

그림 2는 GO-CFAR의 블록도를 나타낸다. GO-CFAR는 탐지 대상 셀 좌측 평균과 우측 평균을 비교하여 높은 값을 문턱값으로 선택하는 기법이다. CA-CFAR와 달리 클러터 환경에서 탐지 성능이 우수하나 잡음 환경에서는 손실이 발생한다.

그림 3은 MCA-CFAR의 블록도를 나타낸다. MCA-CFAR는 클러터 환경에서 CA-CFAR 성능을 개선하기 위하여 제안된 기법이다. 일정 간격으로 값이 낮은 샘플을 선택하여 평균하는 기법으로 클러터 환경에서도 표적을 안정적으로 탐지할 수 있는 기법이다. 그러나 탐지에 초점이 맞춰져 오경보가 발생할 수 있는 단점이 있다.

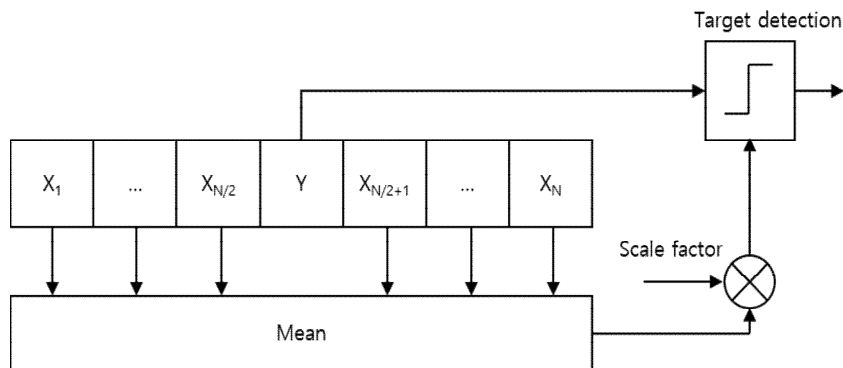


그림 1. CA-CFAR 블록도  
Fig. 1. CA-CFAR block diagram

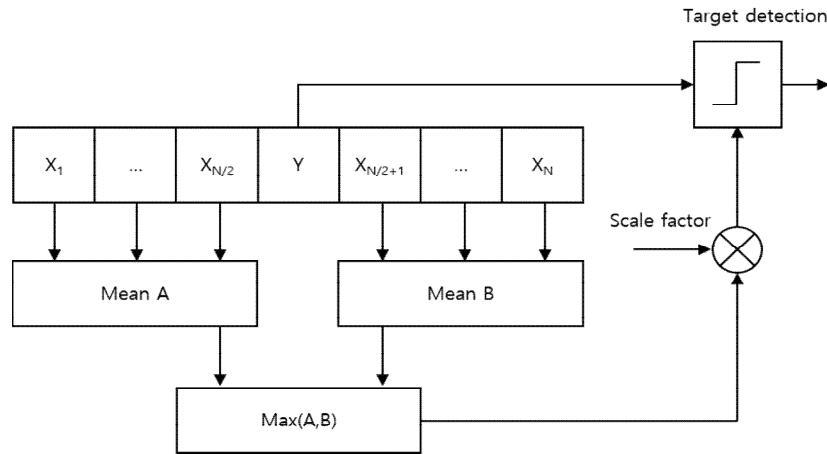


그림 2. GO-CFAR 블록도  
Fig. 2. GO-CFAR block diagram

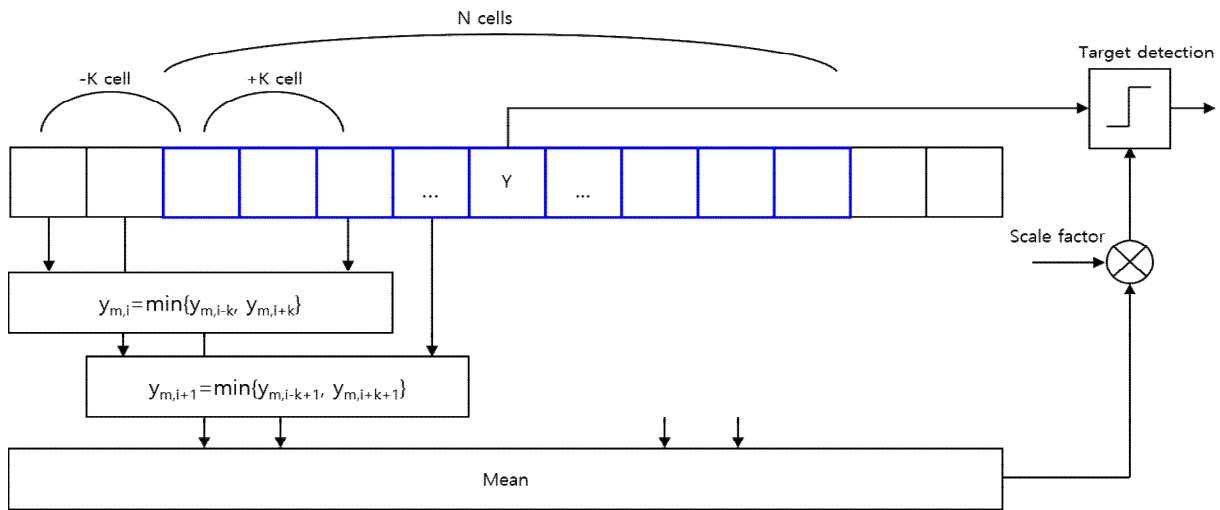


그림 3. MCA-CFAR 블록도  
Fig. 3. MCA-CFAR block diagram

실제 시스템에서는 표적의 탐지율을 높이기 위하여 MCA-CFAR를 적용하였으나 클러터 영역에서 오경보가 많이 탐지되어 이로 인한 허위 신호들이 많이 생성되었다. 이러한 허위 신호들은 표적 신호를 소실하게 할 수 있는 요인이 되거나 시스템의 연산 부담을 높일 수 있는 요인이 된다. 따라서 해상 클러터 환경에서는 클러터로 인한 오경보를 줄이는 노력이 필요하다.

## 2.2 환경적응형 CFAR 기법

기존의 CFAR는 단일 기법을 적용하여 환경에 맞게 사용하였다. 참고문헌 [8]에서는 환경과 무관

하게 탐지 성능을 보장할 수 있는 환경적응형 CFAR를 제안하였다. 본 논문에서는 환경 판별을 좀 더 안정적으로 할 수 있는 개선된 방법을 제안하였다. 그림 4에서 개선된 환경적응형 CFAR의 블록도를 나타내었다. 개선된 환경적응형 CFAR는 먼저 식 (1)과 같이 주변 참조 셀들의 평균값을 이용하여 현재 클러터 환경인지 잡음 환경인지 판별한다.

$$Nonhomogeneous \quad \text{if } \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i > C \quad (1)$$

$$Homogeneous \quad \text{if } \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i < C$$

참조 셀들의 평균값이 크면 클러터 환경일 확률

이 높으므로 클러터 환경에 적합한 CFAR 기법을 사용하게 되고 그렇지 않다면 잡음 환경에 적합한 CFAR 기법을 사용한다. 또한 표적 신호의 부엽에 의하여 환경 판별이 잘못되는 것을 방지하기 위하여 참조 셀의 평균값이 일정 값 이상 되는 경우 클러터 환경이라 판별한다. 각 환경에서 장점을 갖는 CFAR를 결합함으로써 클러터에 의한 오경보는 줄이고 표적 신호의 탐지율은 높이는 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 실제 클러터 환경에서 시험한 데이터를 사용하여 각 CFAR의 성능을 검증하고 환경적응형 CFAR의 적절한 파라미터 값을 도출하였다. 실제 시험 환경에서는 클러터가 많아 GO-CFAR, MCA-CFAR를 사용하였고 두 개의 CFAR를 결합하여 환경적응형 CFAR를 사용하였다.

### III. 시험 결과

제안하는 기법을 검증하기 위하여 실제 해상 클러터 환경 시험 데이터에 적용하였다. 동해상에서 S대역 레이더와 모의표적장치를 사용하여 시험 데이터를 수집하였으며 수집된 데이터에는 모의표적 신호, 클러터 신호와 잡음 신호가 함께 존재하는 2차원 거리-도플러 데이터이다. CFAR는 각 도플러 빈마다 시간 영역에서 수행하였으며 참조 셀 개수는 32개로 선정하였다. 그리고 잡음 데이터를 수집 후 모든 CFAR 기법의 오경보율을 동일하게 만드는

계수 T를 선정하였다.

그림 5는 실제 시험 데이터의 거리-도플러 맵을 나타낸 것이다. 모의표적의 크기가 최대 지점은 545 번째 거리빈과 29번째 도플러 빈이다. 클러터 신호는 그림 중앙 검은색 실선 내에 있는 영역이다. 주로 근거리 영역에서 클러터 신호가 많이 분포되어 있으며 원거리로 갈수록 클러터 신호가 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 6~8은 각 CFAR 기법에 대한 시험 데이터 적용 결과이다. 각 그림에서 빨간색 점들은 거리-도플러 맵에서 탐지가 된 거리 빈, 도플러 빈을 의미한다. 그림 6은 GO-CFAR를 시험 데이터에 적용한 결과이며 그림 7은 MCA-CFAR를 시험 데이터에 적용한 결과이다.

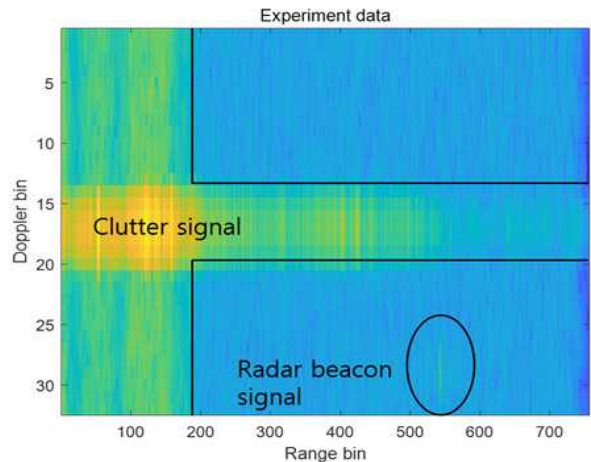


그림 5. 해상 시험 데이터 거리-도플러 맵  
Fig. 5. Real experiment data range-doppler map

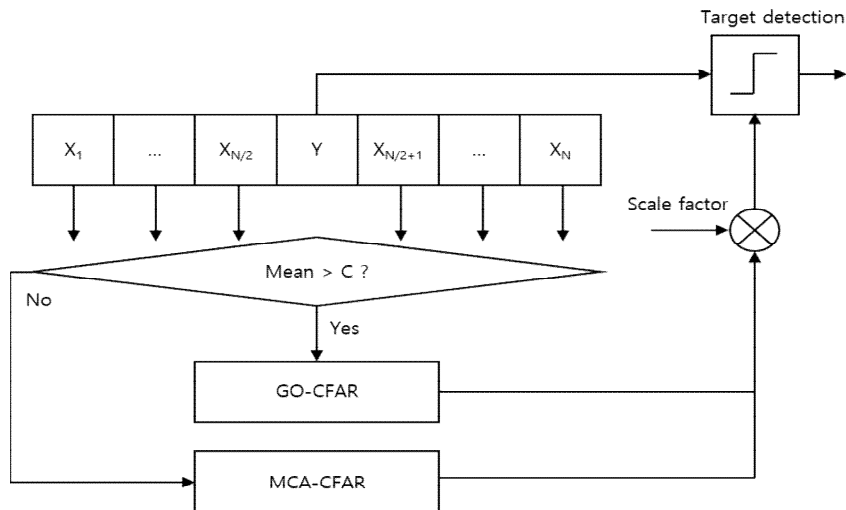


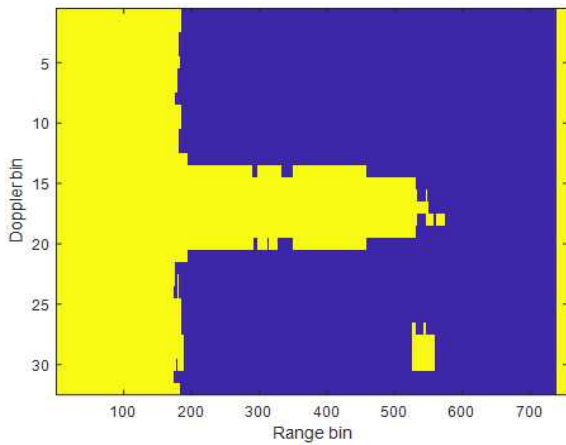
그림 4. 환경적응형 CFAR 블록도  
Fig. 4. Environmental adaptive-CFAR block diagram



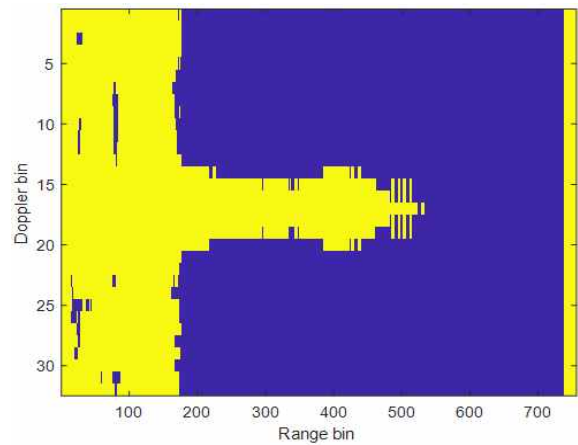
GO-CFAR의 경우 클러터 신호에 의한 오경보가 다소 나타나지만 MCA-CFAR보다 많이 줄어듦을 확인할 수 있다. 그러나 표적 신호에 대한 탐지는 MCA-CFAR가 GO-CFAR보다 약 2배정도 많이 탐지된 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 파라미터 C값이  $6 \times 10^9$ 인 환경적응형 CFAR 기법을 적용한 결과이다.  $6 \times 10^9$ 값은 실제 시스템에서 측정된 데이터 값을 기반으로 설정하였다. 환경적응형 CFAR에서는 MCA-CFAR에서 보이는 근거리 오경보가 확연히 줄어들음을 알 수 있고 표적 신호에 대한 탐지 결과도 GO-CFAR 대비 1.5배정도 많았다.

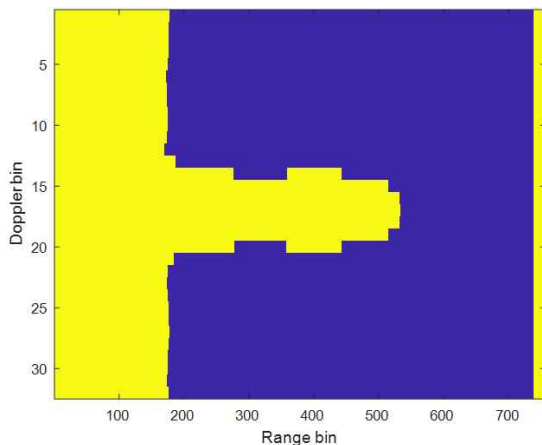
그림 9는 전체 거리-도플러 맵에서 환경적응형 CFAR가 어떤 CFAR를 선택했는지를 보여주는 그림이다. 기존의 환경적응형 CFAR와 제안한 환경적응형 CFAR의 환경 선택 파라미터 C에 대한 민감도를 확인하기 위하여 비교하였다. 환경적응형 CFAR에서 C값이 일정 값 이상인 경우, 즉 GO-CFAR가 선택되면 1로 표시하였다. 클러터가 강한 영역에서는 GO-CFAR가 선택되었으며 잡음 환경인 영역에서는 MCA-CFAR가 선택됨을 확인할 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존의 환경적응형 CFAR는 환경 선택 파라미터 C 값이 높아짐에 따라 표적 신호 주변에서 잡음 환경으로 판별될 가능성이 높아진다.



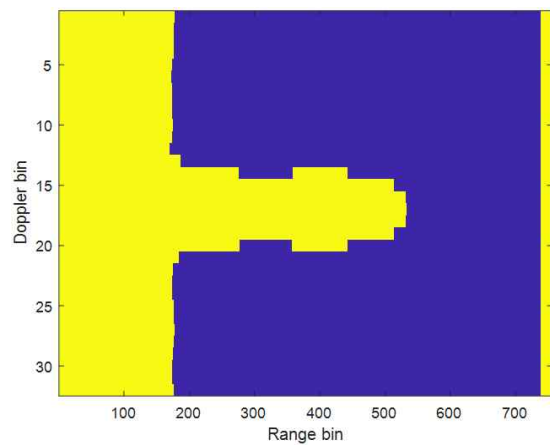
(a) 기존 환경적응형 CFAR( $C=6 \times 10^9$ )  
(a) Conventional environmental adaptive CFAR( $C=6 \times 10^9$ )



(b) 기존 환경적응형 CFAR( $C=6 \times 10^{10}$ )  
(b) Conventional environmental adaptive CFAR( $C=6 \times 10^{10}$ )



(c) 제안한 환경적응형 CFAR( $C=6 \times 10^9$ )  
(c) Proposed environmental adaptive CFAR( $C=6 \times 10^9$ )



(d) 제안한 환경적응형 CFAR( $C=6 \times 10^{10}$ )  
(d) Proposed environmental adaptive CFAR( $C=6 \times 10^{10}$ )

그림 9. CFAR 선택 결과  
Fig. 9. CFAR selection result

그러나 클러터 환경 주변에서 오판별될 가능성도 동일하게 높아져 파라미터에 민감함을 알 수 있다.

제안한 환경적응형 CFAR는 환경 선택 파라미터 C가 변화함에 따라 환경 판별이 민감하지 않아 환경 오판별이 줄어들을 수 있다. 표 1에서 클러터 영역과 표적 영역에서의 오판별율을 정리하였다. 오판별율은 환경적응형 CFAR에서 1차적으로 환경을 판별하는 과정에서 잘못 판별될 확률을 나타낸 것으로 표적이 아닌 신호를 탐지하는 오경보율과는 다른 개념이다. 오판별율은 미리 알고 있는 클러터와 표적영역에서 오판별된 개수를 모두 더한 후 각 영역의 샘플 개수로 나누어 계산하였다. 계산된 수치상으로도 제안한 기법이 파라미터 C가 변화함에 따라 환경 판별이 민감하지 않음을 알 수 있다. 또한 시스템 구현 및 연산량에서도 샘플 값의 차이보다 평균값을 계산하는 것이 이점이 있다.

표 1. 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 파라미터 C와 각 영역에 대한 환경 오판별율

Table 1. False environment selection rate of the conventional and proposed algorithm according to the parameter C and areas

	Parameter $6 \times 10^9$		Parameter $6 \times 10^{10}$	
	Clutter area	Target area	Clutter area	Target area
Conventional	17.49%	52.38%	26.42%	0%
Proposed	21.49%	0%	21.49%	0%

#### IV. 결 론

본 논문에서는 해상 클러터 환경에서 클러터 오경보율을 낮추고 표적의 탐지율을 높일 수 있는 CFAR 기법을 제안하였다. 환경적응형 CFAR는 환경을 판별하여 선택적으로 CFAR 기법을 선택함으로써 환경에 최적화된 오경보율 및 탐지 성능을 보였다. 기존의 환경적응형 CFAR는 환경판별 파라미터에 따라 클러터 환경에서 환경 오판을 할 수 있었지만 제안하는 개선된 환경적응형 CFAR에서는 오판별을 크게 줄일 수 있었다. 실제 시험 데이터에서 확인하였듯이 클러터 환경에서는 주로 GO-CFAR가 선택되었으며 잡음 환경에서는 CA-CFAR가 선택됨을 알 수 있었다. 단일 CFAR 기법에 비

해 환경적응형 CFAR 기법이 클러터 오경보율을 낮추고 표적의 탐지율을 높일 수 있음을 확인하였다.

#### References

- [1] C. Alabaster, "Pulse Doppler Radar - Principles, Technology, Applications", NJ : Scitech Publishing, 2012.
- [2] N. Levanon, "Radar Principles", Wiley, 1988.
- [3] P. P. Gandhi, S. A. Kassam, "Analysis of CFAR Processors in Nonhomogeneous Background", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems. Vol. 24, No. 4, pp. 427-445, Jul. 1988, <https://doi.org/10.1109/7.7185>.
- [4] V. G. Hansen, J. H. Sawters, "Detectability loss due to greatest of selection in a cell-averaging CFAR", IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, Vol. AES-16, No. 1, pp. 115-118, Jan. 1980, <https://doi.org/10.1109/TAES.1980.308885>.
- [5] R. S. Raghavan, "Analysis of CA-CFAR Processors for linear-law detection", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 28, No. 3, pp. 661-665, Jul. 1992, <https://doi.org/10.1109/7.256288>.
- [6] P. E. Pace, L. L. Taylor, "False Alarm Analysis of the Envelope Detection GO-CFAR Processor", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 30, No. 3, pp. 848-864, Jul. 1994, <https://doi.org/10.1109/7.303754>.
- [7] J. M. Yang, W. W. Kim, "Performance Analysis of a Minimum Selected Cell-Averaging CFAR Detection", 11th International Conference on Communication Technology Proceedings, Hangzhou, China, pp. 442-445, Nov. 2008, <https://doi.org/10.1109/ICCT.2008.4716288>.
- [8] S. Hong, D. S. Han, "Performance Analysis of an Environmental Adaptive CFAR Detector", Hindawi Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2014, Article ID 615704, pp. 1-7, May 2014, <https://doi.org/10.1155/2014/615704>.

저자소개

홍 성 원 (Sungwon Hong)



2010년 2월 : 경북대학교  
전자전기컴퓨터학부 (공학사)  
2012년 2월 : 경북대학교  
모바일통신공학과 (공학석사)  
2017년 2월 : 경북대학교  
전자공학부 (공학박사)  
2017년 2월 ~ 현재 : 국방과학

연구소 선임연구원  
관심분야 : 레이더 시스템, 레이더 신호/데이터 처리 등

김 찬 흥 (Chan-Hong Kim)



1991년 2월 : 경북대학교  
전자공학과(공학사)  
1993년 2월 : 포항공과대학교  
전자전기공학과(공학석사)  
2008년 8월 : 한국과학기술원 전기  
및 전자전공(공학박사)  
1993년 ~ 현재 : 국방과학연구소

책임연구원  
관심분야 : 레이더 및 SAR 시스템 설계/분석, 위상배열  
안테나 설계/분석, 안테나 측정, 전자장 수치해석,  
안테나 신호처리 등

김 관 성 (Kwan-Sung Kim)



2002년 2월 : 부산대학교  
전기전자공학부 (공학사)  
2004년 2월 : 한국과학기술원  
전기전자공학과 (공학석사)  
2020년 2월 : 한국과학기술원  
전기전자공학과 (공학박사)  
2007년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소

선임연구원  
관심분야 : 레이더 시스템설계 및 성능분석, 신호처리 등

조 병 래 (Byung-Lae Cho)



1999년 2월 : 경북대학교  
전자전기공학부 (공학사)  
2001년 2월 : 포항공과대학교  
전자전기공학과 (공학석사)  
2005년 2월 : 포항공과대학교  
전자전기공학과 (공학박사)  
2005년 3월 ~ 2006년 1월 :

포항공과대학교 전자전기공학과 (연구원)  
2006년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원  
관심분야 : 레이더 신호처리, 영상레이더 등