

산악지형 조건을 고려한 복합형 CFAR 적용에 관한 연구

윤재복^{1*}, 김성균², 이기림¹
¹국방기술품질원, ²LIG넥스원(주)

A Study on the Application of Hybrid CFAR Considering Mountain Terrain Condition

Jae-Bok Yoon^{1*}, Sung-Gyun Kim², Gi-Rim Lee¹
¹Defense Agency for Technology and Quality
²LIG Nex1

요약 본 논문에서는 복잡한 산악지형에서 탐지확률을 개선할 수 있는 복합적인 CFAR 기법에 대하여 제안하였다. 국내 산악지형에서는 가시선을 확보하기 힘들고 전파간섭 때문에 탐색레이더의 탐지율 확보가 어렵다. 그렇기 때문에 임계값을 조정하여 일정한 오경보율을 유지하면서 표적을 탐지하는 CFAR 기법을 적용한다. 단일 CFAR 기법을 적용하였을 때 마스킹 현상과 클러터 환경으로 인하여 일부 표적이 미탐지되는 현상이 발생하였고, 이를 극복하기 위해 CA-CFAR와 MCA-CFAR를 이용하는 복합형 CFAR 기법을 적용하였다. 제안된 복합형 CFAR는 단일의 수신신호를 2개의 기법을 적용하기 위한 병렬 신호처리를 통하여 탐지율을 향상시키는 기법이다. 제안하는 기법은 실제 획득된 탐지 데이터를 이용하여 탐지율 개선 효과를 검증하였다.

Abstract This paper proposes a hybrid-constant false alarm rate (CFAR) technique that can improve the detection probability in complex mountain terrain. Under mountain terrain conditions, securing the detection rate of search radar is difficult because of the securing line of sight and electromagnetic interference. Therefore, the CFAR techniques are applied to detect the target while maintaining a CFAR by adjusting the thresholds. When a single CFAR technique was applied, some targets were not detected due to the masking phenomenon and the cluttered environment. A hybrid CFAR method using CA-CFAR and MCA-CFAR was applied to overcome this. The proposed hybrid CFAR technique improves the detection rate through parallel signal processing by applying two techniques to a single received signal. The proposed method uses the acquired detection data to verify the detection rate improvement effect.

Keywords : Radar Signal Processing, Constant False Alarm Rate, Hybrid CFAR, CA CFAR, MCA CFAR

1. 서론

최신의 탐색레이더는 잡음, 클러터(Clutter) 등 다양한 운용환경에서 높은 수준의 탐지성능을 보장하여야 한다. 다양한 대기환경으로 인한 영향과 클러터 신호들을 제거하고 실 표적을 탐지·추적하는 성능을 유지하기란 쉽지 않다.

표적 탐지의 시작은 임계값을 설정하여 오프적 신호와 표적신호를 효과적으로 분리하는 것이다. 이러한 잡음이나 클러터, 재밍(Jamming) 환경하에 임계값을 조정하여 일정한 오경보율(False Alarm)을 유지하면서 표적을 탐지하는 알고리즘을 CFAR(Constant False Alarm Rate)라고 한다[1,2].

CFAR 알고리즘은 임계값 조정으로 오경보율을 유지

*Corresponding Author : Jae-Bok Yoon(Defense Agency for Technology and Quality)

email: jaebok@dtaq.re.kr

Received May 4, 2023

Accepted July 7, 2023

Revised June 14, 2023

Published July 31, 2023

하면서 클러터 및 다중 표적분리 등 설계목적에 따라 여러 가지의 다양한 기법이 존재한다.

대표적으로 CA(Cell Average)-CFAR가 있으며, 비교적 간섭·표적 환경의 변화가 작은 균일한 환경에서 성능이 우수하다. 또한, 비균일한 환경에서 탐지성능을 높이기 위한 기법으로는 MCA(Minimum selected Cell Average)-CFAR 등의 다양한 CFAR 알고리즘이 있다 [3,4].

국내 상황은 협소한 영토에서 가시선 확보를 이유로 전파환경이 우수한 특정 고지대에 다수의 전파 장비가 밀집해 있으며, 기상레이더 및 조기경보레이더와 같이 원거리 탐지를 위하여 고출력 송신신호를 방사하는 시스템이 근거리에서 배치 및 운용되어 전파간섭을 일으키는 경우가 빈번하게 발생하고 있다.

특히, 우리나라는 국토 대부분이 산악지형이고 삼면이 바다로 둘러싸인 특성으로 인해 운용환경을 고려한 최적의 CFAR 알고리즘 적용이 필요하다.

본 논문에서는 실제 산악지형에 설치·운용중인 조기경보 탐색레이더의 일부 구간 탐지율 저하 현상에 대하여 실제 수집데이터를 바탕으로 비균질적 환경에서의 CA-CFAR 알고리즘과 MCA-CFAR 알고리즘의 탐지율을 비교 분석하여 복합형-CFAR (Hybrid CFAR)를 제안하고 적용하였다.

본 논문은 다음의 구성을 가진다. 2장에서는 레이더에서 사용한 CFAR 알고리즘에 대한 소개와 실제 데이터를 이용한 탐지율 분석 및 개선결과를 기술하였으며, 마지막으로 3장에서는 개선결과로부터 결론으로 마무리하였다.

2. 본론

2.1 CA-CFAR와 MCA-CFAR

레이더 시스템에서 예측가능하고 일관된 성능을 얻기 위해서는 일반적으로 실시간 데이터로부터 일정한 오경보율을 유지하기 위해 임계값을 조정할 수 있는 CFAR 알고리즘을 사용한다.

가장 기본적인 CA-CFAR는 대상 셀(Cell) 주변의 참조 셀들의 평균에 기반을 둔 임계값이 계산된다는 점에서 타 알고리즘 대비 상대적으로 간단하다.

Fig. 1은 CA-CFAR의 블록도를 나타내고 있다.

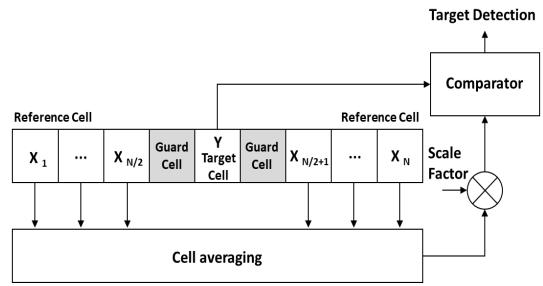


Fig. 1. CA-CFAR Block Diagram

CA-CFAR는 비교적 간섭 및 표적환경의 변화가 작은 환경에서 성능이 우수하지만 다중표적 또는 클러터 환경 등 변화가 많을 경우 성능이 감소하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 MCA-CFAR를 사용한다[5].

MCA-CFAR는 CA-CFAR의 단점을 보완하기 위해 제안된 기법으로 대상 셀 주변의 참조 셀에서 특정거리만큼 이격된 곳과 비교하여 최소값을 대체한 후 참조셀의 평균값을 이용하여 기준값을 구하는 방식으로 동작한다.

그러므로, 클러터 환경 등에서 표적을 안정적으로 탐지할 수 있다.

Fig. 2는 MCA-CFAR의 블록도를 나타내고 있다.

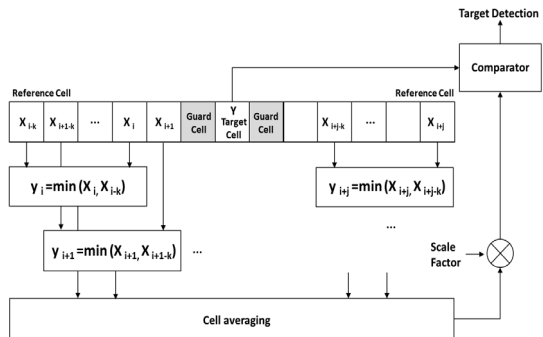


Fig. 2. MCA-CFAR Block Diagram

2.2 레이더의 빔 조향과 지형추적 기능

시험에 사용된 레이더 시스템은 조기경보레이더로, S-대역 주파수를 사용하는 3차원 능동위상배열레이더이다. 주요 특징으로는 산악지형에 의한 클러터 영향성을 최소화하기 위한 팬슬 빔과 지형추적(Terrain-Following) 기능을 보유하고 있다.

방위각 제어 방식은 기계식 회전방식이며, 고각 제어 방식은 전자식 조향방식을 사용한다. 지형 추적 기능은 레이더 시스템이 설치되어 있는 구역을 중심으로 360°

전 방위에 대한 지형정보를 반영하여 전자식 고각 빔의 조향 각도를 조정하여 지형고도에 의한 음영구역과 지형 클러터를 최소화함으로써 지표면을 따라 저고도로 침투하는 항공기에 대한 탐지능력을 향상시킨다.

Fig. 3은 탐색레이더의 스캐닝 방식과 지형추적 기능에 대해 간략하게 나타낸 것이다[6].

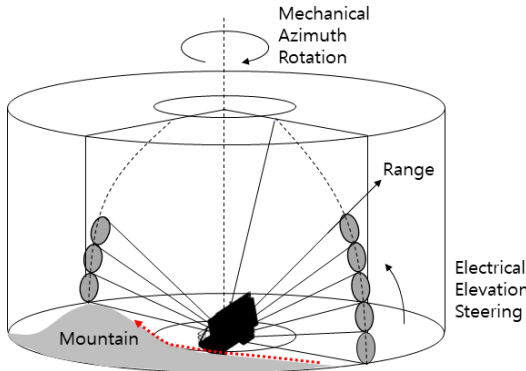


Fig. 3. Radar scanning and terrain following

2.3 CFAR 마스크링 현상

실제 레이더의 수집데이터를 살펴봤을 때 일부 구간에서 표적 탐지율이 낮아지는 현상을 발견하였으며, 그 원인을 분석하였다.

이 구간에 RCS(Radar Cross Section)가 작은 표적이 통과할 경우 지형 클러터 대비 표적의 반사신호가 작아서 CA-CFAR의 임계값이 상승하여 소형 표적신호가 검출되는 않는 CFAR 마스크링(CFAR Masking) 현상이 확인되었다[7].

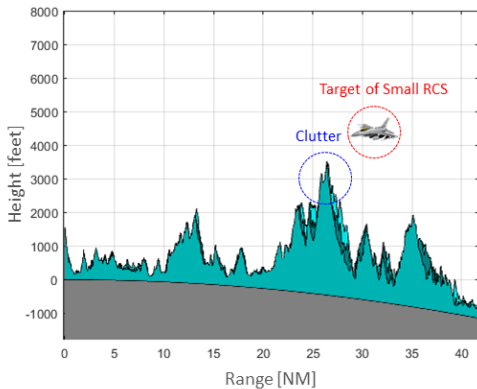


Fig. 4. Terrain analysis map of radar

Fig. 4는 강한 지형클러터 발생구간과 소형 표적을 나타낸 지형분석도이다.

Fig. 5는 앞서 지형분석도의 방위각과 거리구간에서 지형클러터에 의한 CA-CFAR 임계값 상승으로 인해 표적신호가 탐지되지 않았을 때의 표적과 클러터의 수신신호 세기와 탐지여부를 수집한 데이터를 나타낸 것이다.

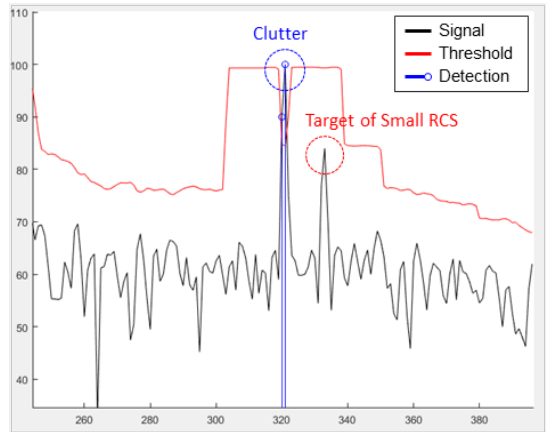


Fig. 5. Target undetected by CA-CFAR threshold

큰 클러터 신호 주변에 소형 표적이 비행했을 경우, CA-CFAR의 임계값보다 표적의 수신신호가 작기 때문에 CFAR 임계값에 마스크되어 표적이 불포착되었다.

2.4 실 데이터 기반 CFAR 임계값 비교

비균질적인 산악지형에서의 CA-CFAR의 탐지성능 제한성을 확인하였으며, 비균질 환경에서 탐지성능이 우수한 MCA-CFAR 적용방안을 모색하였다. 동일 운용환경에서 하나의 송수신 채널 신호를 CA-CFAR와 MCA-CFAR 동일하게 오경보율 10^{-6} 으로 임계값을 설정하고 병렬 신호처리가 가능하도록 구성하여 수집된 데이터를 분석하였다. Fig. 6은 수집된 데이터에 대한 CFAR 임계값을 비교한 것이다.

일반적으로 대부분 구간에서는 MCA-CFAR의 임계값이 CA-CFAR의 임계값보다 작기 때문에 RCS가 작은 소형 표적 탐지에 유리한 결과를 나타내었다.

하지만, 일부 구간에서는 지형 및 간섭 등으로 인해 MCA-CFAR의 임계값이 CA-CFAR의 임계값보다 높게 형성되는 클러터 경계환경(Clutter edge)이 발생하였다[8].

Fig. 7은 MCA-CFAR의 임계값이 CA-CFAR의 임계값보다 크게 형성되는 현상을 나타낸다.

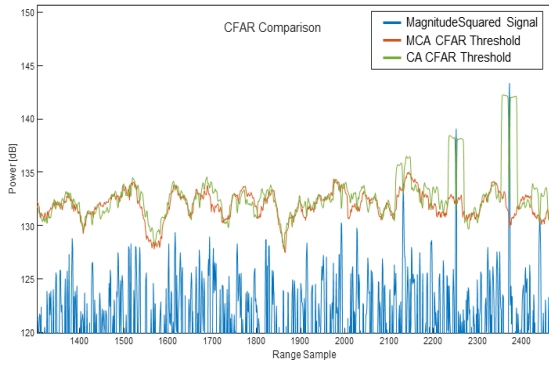


Fig. 6. Comparison of CA-CFAR and MCA-CFAR signal processing thresholds

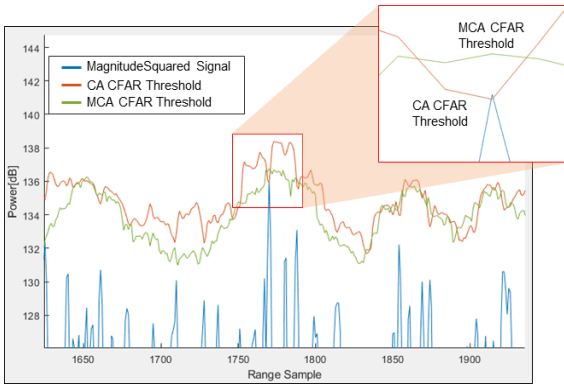


Fig. 7. A phenomenon in which the MCA-CFAR threshold is greater than the CA-CFAR threshold

2.5 복합형 CFAR 제안 및 적용 검증

Fig. 7의 상황과 같이 비균질환경에서 탐지성능이 우수한 MCA-CFAR는 표적이 탐지되지 않으나, CA-CFAR를 적용하면 표적이 탐지되는 클러터 경계가 발생하였다. 따라서, 하나의 CFAR 알고리즘보다는 균질환경과 비균질환경에서 우수한 특성을 가지는 두 가지 CFAR 알고리즘을 접목한 복합형-CFAR (Hybrid-CFAR) 알고리즘을 제안하고, 이를 실제 운용 장비에 적용하여 검증시험을 수행하였다.

Fig. 8은 복합형-CFAR의 개념도로, 단일의 수신 신호를 두 개의 병렬 신호처리를 통하여 탐지율을 개선시키는 것이다. 복합형-CFAR 설계 시 증가하는 신호처리 시간이 실시간으로 처리하는 장비 운용에 영향을 미치지 않는지 고려하는 것이 중요하다.

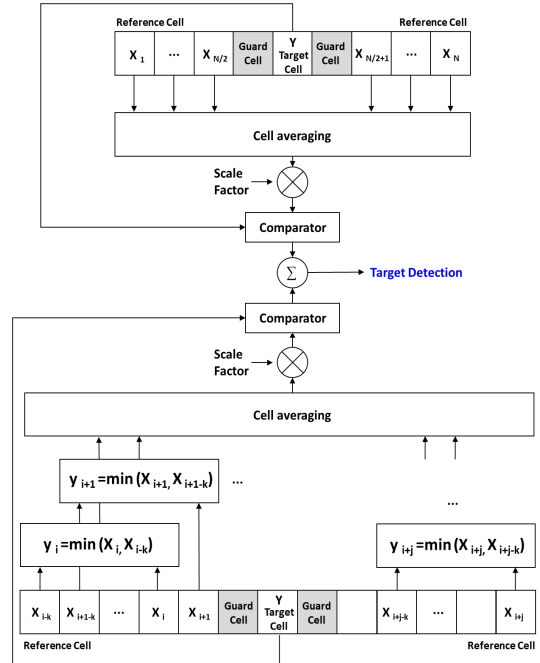


Fig. 8. Proposed hybrid-CFAR algorithm concept.

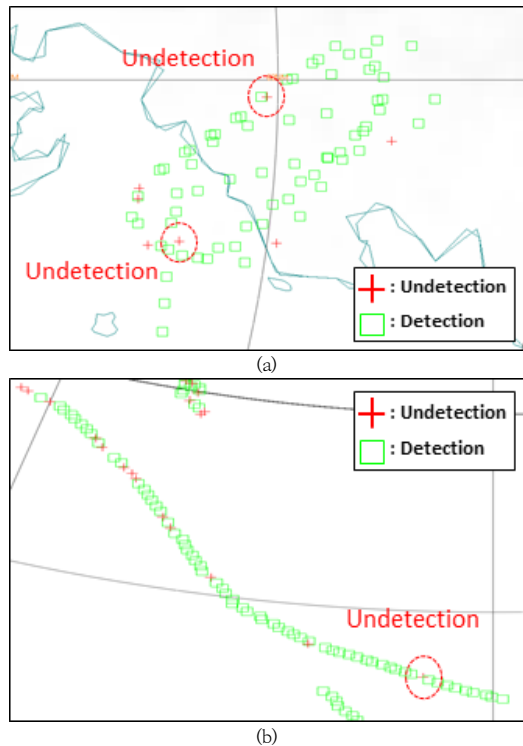


Fig. 9. Detection using the MCA-CFAR algorithm (a) Case 1 (b) Case 2

Fig. 9는 MCA-CFAR 알고리즘을 적용했을 때의 탐지결과를 나타낸 것이다

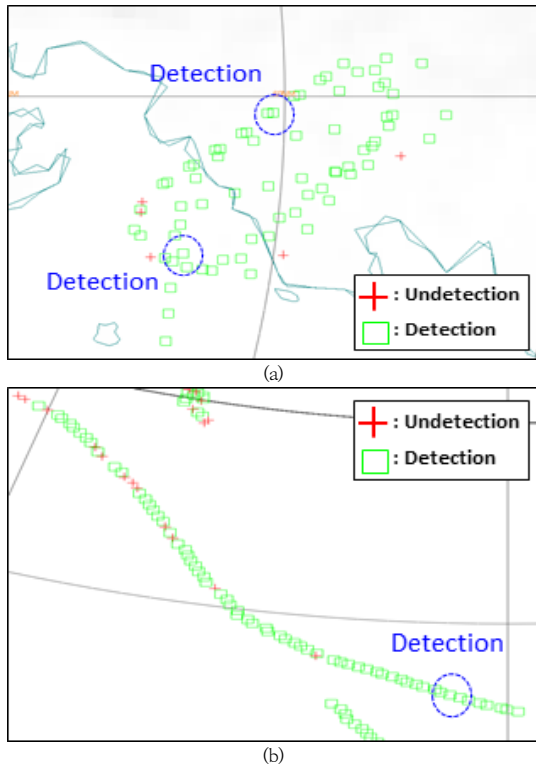


Fig. 10. Detection using the Hybrid-CFAR algorithm
(a) Case 1 (b) Case 2

Fig. 10은 CA-CFAR와 MCA-CFAR의 장점을 접목한 복합형-CFAR 알고리즘을 적용했을 때의 탐지결과를 나타낸 것이다.

시험체는 지형클러스터의 영향을 크게 받는 저고도로 비행하는 회전익 항공기(헬리콥터)를 대상으로 하였다.

Fig. 11의 시험결과와 같이 비균질 환경인 산악 지형 조건에서 저고도로 비행하는 표적을 탐지하는데 있어서 복합형-CFAR의 탐지결과가 우수하였다. 환경적 변화 및 예측 불가능한 외부 간섭 신호 등의 클러스터 경계환경을 감안하면, 복합형-CFAR 알고리즘 적용했을 때 레이더 시스템이 요구하는 오경보율은 유지하였고, 표적의 탐지 성능은 개선되었다.

Fig. 11은 CA-CFAR와 복합형-CFAR 알고리즘을 적용했을 때의 탐지결과를 나타낸 것이다.

Fig. 11은 CA-CFAR와 복합형-CFAR 알고리즘을 적용했을 때의 탐지결과를 나타낸 것이다.

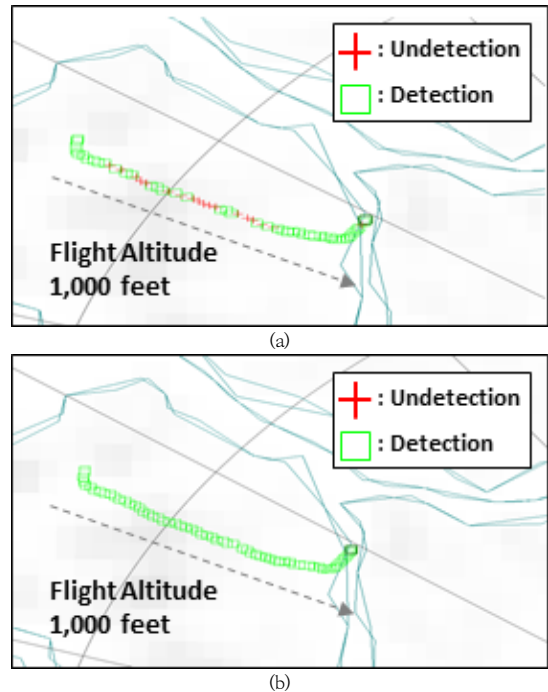


Fig. 11. Detection using the CA-CFAR and Hybrid-CFAR algorithm
(a) CA-CFAR (b) Hybrid-CFAR

Fig. 11의 시험결과와 같이 비균질 환경인 산악 지형 조건에서 저고도로 비행하는 표적을 탐지하는데 있어서 복합형-CFAR의 탐지결과가 우수하였다. 환경적 변화 및 예측 불가능한 외부 간섭 신호 등의 클러스터 경계환경을 감안하면, 복합형-CFAR 알고리즘 적용했을 때 레이더 시스템이 요구하는 오경보율은 유지하였고, 표적의 탐지 성능은 개선되었다.

3. 결론

본 논문에서는 탐색레이더의 실제 수집데이터를 바탕으로 표적의 탐지율을 개선시킬 수 있는 복합형-CFAR 알고리즘 기법에 대해 연구하였다. CA-CFAR와 MCA-CFAR을 장점을 접목한 복합형-CFAR를 적용함으로써 산악지형과 같은 클러스터가 크고 간섭이 발생하는 등의 클러스터 경계환경에서의 탐지성능을 개선할 수 있었다.

우리나라와 같이 산악지형과 삼면이 바다로 둘러싸인 반도의 특성상, 비균질적인 환경으로 인한 열악한 상황에서 레이더의 우수한 탐지성능을 확보하기 위해서는 다양한 CFAR 알고리즘의 개발과 발전이 절실하다.

제안한 방법의 실험적 검증 결과를 바탕으로 유사장비의 환경적 제약을 극복하고, 향후 보완 개선하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

References

- [1] M. A. Richards, J. A. Scheer, W. a. Holm, Principles of Modern Radar : Basic Principles, USA, SciTech Pub, pp 639-660, 2010.
- [2] P. P. Gandhi, A. 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.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/7.7185>
- [3] A. Jalil, H. Yousaf and M. I. Baig, "Analysis of CFAR techniques", 2016 13th international Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology(IBCASC), pp. 654-659, Jan. 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/IBCASC.2016.7429949>
- [4] J. M. Yang, W. W. Kim, "Performance analysis of minimum selected cell-average CFAR detection.", 2008 11th IEEE international conference on Communication Technology, pp. 442-445, Nov. 2008.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/ICCT.2008.4716288>
- [5] W. S. Yoo, S. G. Kim, Y. W. Kwon and J. H Lim, "A Study on Prediction and Optimization of Radio Interference through Radar Operation Scenario Analysis", Journal of IKEEE, vol. 25, no. 1, pp. 53-63, Mar. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.7471/ikeee.2021.25.1.53>
- [6] S. W. Hong, K. S. Kim, B. L. Cho and C. H Kim, "A Study on Environmental Adaptive DFAR to Improve Performance under Sea Clutter Environments", Journal of KIIT, vol. 19, no. 7, pp. 83-90, Jul. 2021.
DOI: <https://dx.doi.org/10.14801/ikiit.2021.19.7.83>
- [7] M. A. Richards, Fundamentals of Radar Signal Processing, USA, McGraw-Hill, pp 358-364, 2005.
- [8] H. Rohling, "Radar CFAR thresholding in clutter and Multiple target situations", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. AES-19, no. 4, pp. 608-621, Jul. 1983.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TAES.1983.309350>

윤 재 복(Jae-Bok Yoon)

[정회원]



- 2011년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (전자공학학사)
- 2013년 2월 : 광주과학기술원 의료시스템공학과 (전자공학석사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

레이더, 신호처리

김 성 균(Sung-Gyun Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (전자공학학사)
- 2012년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원 (주) 선임연구원

<관심분야>

레이더, 신호처리

이 기 림(Gi-Rim Lee)

[정회원]



- 2014년 8월 : 경상대학교 반도체공학 (반도체공학학사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 산업대학원 산업공학 (정보통신공학석사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

레이더, 국방신뢰성