

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.67>

JIIBC 2020-2-9

거리-도플러 클러스터링 방법을 사용한 인접한 표적들의 분리

Separation of Adjacent Targets using Range-Doppler Clustering Method

공영주*, 우선결*, 박성호*, 유성현*, 강연덕*

Young-Joo Kong*, Seon-Keol Woo*, Sung-Ho Park*,
Seong-Hyun Ryu*, Yeon-Duk Kang*

요 약 클러스터링 알고리즘은 유사한 특성을 가진 데이터들을 같은 집단으로 분류하는 방법이다. 레이더 시스템에서는 CFAR 알고리즘 수행한 결과에 대하여 인접한 hit들을 하나로 묶는 방법으로 주로 사용된다. 그러나 인접한 표적의 경우에는 일반적인 클러스터링 방안으로 수행하면 하나의 표적으로 탐지될 경우가 많다. 본 논문에서는 인접한 표적을 분리하기 위한 이중 클러스터링 방안에 대하여 서술한다. 연산시간 단축을 위하여 거리방향으로 클러스터링 수행 후 거리방향 클러스터링 결과를 이용하여 도플러 방향으로 클러스터링을 수행한다. 거리-도플러 방향으로 각각 클러스터링을 수행하기에 표적의 수가 증가하더라도 연산시간의 변화는 극히 적다.

Abstract The clustering algorithm is the grouping of similar objects. In radar system, it is mainly used to group adjacent hits using the CFAR algorithm results. However it is difficult to separate adjacent targets by a general clustering method. In this paper, we describe how to separate adjacent targets using double clustering method. First, we execute a range direction clustering. And we find the inflection point and separate it. Next, we execute a doppler direction clustering using range clustering results. This method makes the computation time less change even if the target increases by range-doppler clustering respectively.

Key Words : CFAR, Clustering, Radar, Target Detection

1. 서 론

레이더 시스템은 전파를 공간상에 방사시켜 반사된 수신신호를 이용하여 표적을 탐지하는 것이다^[1]. 수신한 신호의 대부분은 잡음 신호가 차지하고 있다. 따라서 표적 탐지는 일반적으로 오경보율(Probability False Alarm)

기반으로 수행된다.

클러스터링 알고리즘은 유사한 특성을 가진 데이터들을 같은 집단으로 분류하는 방법이다^{[2][3]}. 일반적으로 레이더 시스템에서는 표적을 탐지하기 위하여 주위 잡음 신호에 따라서 임계값을 설정하는 기법인 CFAR(Constant False Alarm Rate, 이하 CFAR) 알고리즘을 이용한다

*정회원, LIG넥스원(주)

접수일자 2020년 2월 4일, 수정완료 2020년 3월 4일

계재확정일자 2020년 4월 3일

Received: 4 February, 2020 / Revised: 4 March, 2020 /

Accepted: 3 April, 2020

*Corresponding Author: yjkong16@lignex1.com

Dept. of Radar R&D Lab, LIG Nex1 co., Ltd. Korea

[4]. CFAR 알고리즘은 일반적으로 테스트 셀이 임계값보다 크거나 같으면 그 테스트 셀을 '1'로 설정하고, 작으면 '0'으로 설정한다. 레이더 시스템에서는 주로 클러스터링 알고리즘을 이러한 CFAR 알고리즘을 수행한 후 '1'로 설정된 hit들에 대하여 인접한 hit들을 하나로 묶는데 주로 사용한다[5].

최근 무인기와 같이 소형 비행체를 이용한 공중 공격 기술이 개발되는 추세이며, 이러한 소형 비행체에 대한 감시정찰 연구도 활발해지고 있다. 소형 비행체는 한 번에 여러 대가 동시에 운용될 수 있으며, 좁은 간격으로 편대 비행을 할 수가 있다. 따라서 레이더에서 이러한 편대 비행하는 대공 표적에 대한 탐지/추적 기술이 중요하다[6]. 그러나 이러한 편대 비행 물체에 대하여 각 표적마다 구분하기 위해서는 레이더의 해상도도 중요하지만 클러스터링 알고리즘도 중요하다. 서로 다른 표적이 거리와 도플러 축에 인접하였을 경우 하나의 클러스터로 묶이게 되어 표적의 구분이 힘들다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최댓값을 이용하는 방안이 검토되고 있으나 이 방안은 클러스터의 수가 증가할수록 연산시간이 증가되는 단점이 있다. 그로 인하여 레이더 시스템에서 실시간으로 클러스터링을 수행할 시 많은 제약이 발생된다. 본

논문에서는 표적들이 인접하였을 경우에 클러스터가 증가하더라도 연산량은 거의 변하지 않고 표적을 분리할 수 있는 클러스터링 알고리즘을 소개한다.

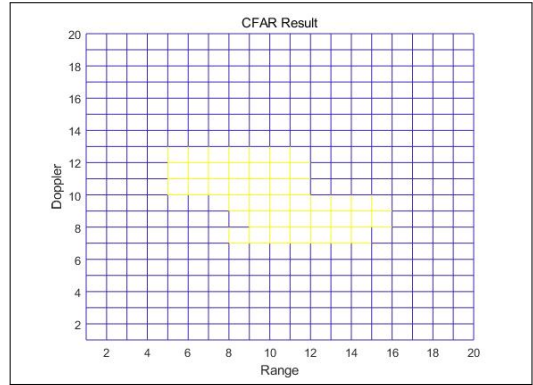


그림 2. CA CFAR 결과
Fig. 2. CA CFAR Result

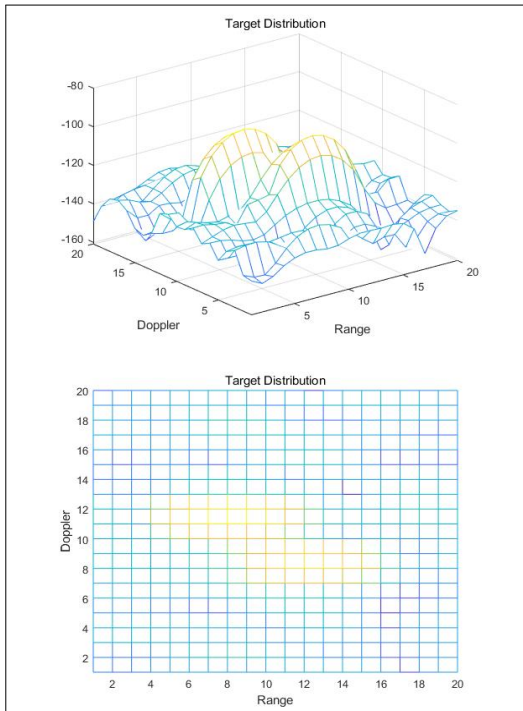


그림 1. 표적 분포
Fig. 1. Target distribution

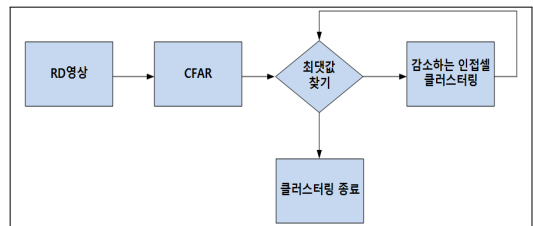


그림 3. 최댓값 클러스터링 방안 흐름도
Fig. 3. Max Value Clustering Flow Chart

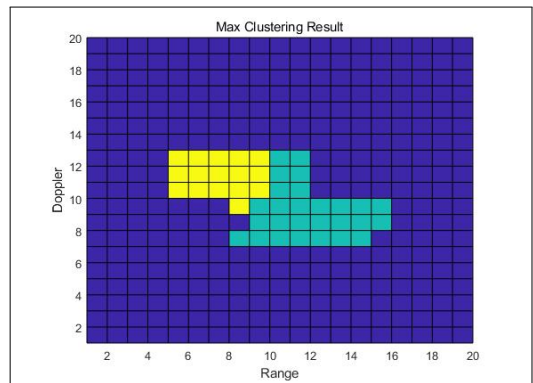


그림 4. 최댓값 클러스터링 결과
Fig. 4. Max Value Clustering result

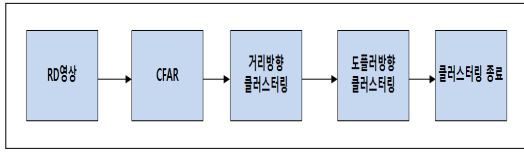


그림 5. 거리-도플러 클러스터링 방안 흐름도
Fig. 5. Range-Doppler Clustering Flow Chart

II. 본 론

일반적으로 인접한 표적을 분리할 수 있는 클러스터링 알고리즘은 표적의 파워를 이용하는 것이다. 그림 1은 인접한 소형 비행체 두 개의 표적 분포를 나타내었다. 여기서 2개의 표적의 RCS는 동일하게 나타내었다. 그림 2는 CFAR 중 가장 간단하고 연산시간이 가장 적은 CA CFAR 결과를 나타내었다^[7]. 그림 1과 같이 표적 2개가 인접하는 경우에 사람의 직관으로는 2개의 표적이라는 것을 알 수 있지만 그림 2와 같이 CFAR 수행결과인 1과 0의 값만으로 2개의 표적을 분리할 수가 없다^[8]. 일반적인 클러스터링 방안으로는 인접한 hit들을 하나로 묶어 하나의 클러스터로 탐지되기 때문이다^[9]. 인접한 표적을 분리시키는 가장 쉬운 클러스터링 방안의 hit들의 파워를 이용하는 것이다. 가장 큰 파워를 가지는 hit를 찾아 이 hit들을 중심으로 인접한 hit들을 클러스터링을 수행하는 것이다. 보통 최댓값 클러스터링이라고 부르는 방안이다.

그림 3은 최댓값 클러스터링에 대한 흐름도를 나타내었다. CFAR 결과인 단순히 1과 0의 조합이 아닌 hit가 가지는 파워를 이용한다. 가장 큰 파워를 가지는 hit를 찾아 그 인접 셀 중에서 점차 작아지는 셀들만 클러스터링을 수행한다. 인접한 셀 중에서 파워가 작아지는 셀들이 없을 경우에는 클러스터링을 중단하고 클러스터링 된 hit들을 제외한 hit들에 대해서 가장 파워가 큰 hit를 찾아 순차적으로 클러스터링을 수행한다. 그림 3에서는 그림 2의 CA CFAR 결과에 대하여 hit의 최댓값을 가지는 파워를 이용하여 인접한 표적을 분리한 결과를 나타내었다. 그림 3에서 보듯이 최댓값 클러스터링 후 인접한 표적에 대하여 2개의 표적으로 분리됨을 알 수 있다. 그러나 이 방안은 클러스터링을 수행하기 위해서는 항상 가장 큰 파워를 가지는 hit들을 매번 찾아야 하는 단점이 있다. 이것은 표적의 수가 증가할수록 연산시간을 증가시키게 된다.

1. 거리-도플러 클러스터링 방안

본 논문에서는 표적의 수가 증가하더라도 연산시간의 변동이 적은 이중 클러스터링 방안을 소개한다. 그림 5는 거리-도플러 클러스터링에 대한 흐름도를 나타내었다. 최대 파워를 가지는 hit를 찾는 대신 거리-도플러 방향으로 순차적으로 증가시키면서 클러스터링을 수행하는 것이다. 먼저 거리 방향으로 클러스터링 수행 후 거리방향 클러스터링 결과에 대하여 도플러 방향으로 클러스터링을 수행하는 이중 클러스터링 방안이다.

2. 거리방향 클러스터링 방안

우선 순차적으로 거리방향에 대하여 클러스터링을 수행한다. 첫 번째 거리셀부터 거리방향으로 한 셀씩 이동하면서 클러스터링을 수행한다. 그림 6과 같이 표적이 분포할 경우 hit의 파워들을 비교하여 작아지다가 다시 커지는 변곡점을 찾아 이 지점에서 클러스터를 분리한다^[10]. 그림과 같이 N번째 거리셀에서 변곡점이 일어났다면 N-5부터 N까지의 거리 셀을 묶어 하나의 클러스터로 표현하고 N+1부터 N+4까지의 거리 셀을 묶어 클러스터 하나로 표현한다.

여기서 클러스터링을 수행하면서 각 클러스터의 최댓값과 시작점과 종료점을 획득한다. 그림 6에 대하여 첫 번째 클러스터의 최댓값은 N-3번째 거리 셀의 파워이고, 시작점은 N-5, 종료점은 N이다. 두 번째 클러스터의 최댓값은 N+2번째 거리 셀의 파워이고, 시작점은 N+1이고 종료점은 N+4이다. 이 정보들은 추후 도플러 방향 클러스터링 시 사용된다. 그림 7은 그림 2의 CA CFAR 결과에서 hit들의 파워에 대하여 거리방향 클러스터링 수행한 결과를 나타내었다. 그림에서 보듯이 각 도플러 셀에 대하여 거리방향 클러스터링 수행한 결과 7 번째와 8 번째 도플러 셀에서는 변곡점이 없기에 하나의 거리방향 클러스터가 획득되었고, 나머지 9, 10, 11, 12 번째 도플러 셀에 대해서는 거리방향으로 변곡점이 발생하여 두 개의 거리방향 클러스터가 생성되었다.

거리방향 수행 시 항상 클러스터가 시작되는 거리셀과 종료되는 거리셀을 저장한다. 또한 하나의 거리방향 클러스터가 생성되면 각 거리방향 클러스터가 가지는 최댓값을 저장하도록 한다. 이 정보는 추후 순차적으로 진행되는 도플러 방향 클러스터링 수행 시 이용한다.

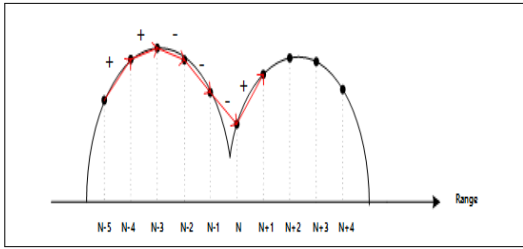


그림 6. 거리방향 클러스터링 방안
Fig. 6. Range Clustering Method

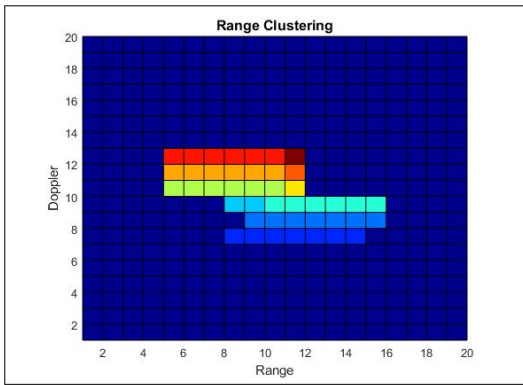


그림 7. 거리방향 클러스터링 결과
Fig. 7. Range Clustering Result

3. 도플러 방향 클러스터링 방안

거리방향 클러스터링 한 후 도플러 방향으로 클러스터링을 순차적으로 수행한다. 거리방향 클러스터링 결과인 클러스터의 최대값과 시작점, 종료점을 이용하여 도플러 방향 클러스터링을 수행한다. 우선 그림 8과 같이 각각 거리방향 클러스터의 시작점과 종료점을 비교하여 클러스터링을 수행한다. 전 도플러 셀의 거리방향 클러스터의 시작점이 현 도플러 셀의 거리방향 클러스터의 종료점보다 작거나, 전 도플러 셀의 거리방향 클러스터의 종료점이 현 도플러 셀의 거리방향 클러스터의 시작점보다 클 경우에 한하여 도플러 방향으로 클러스터링을 수행한다. 그렇지 않을 경우에는 인접하더라도 도플러 방향 클러스터링을 수행하지 않는다.

추가적으로 도플러 방향 클러스터링 수행 시 각 거리방향 클러스터의 최대값을 비교하여 최대값이 작아지다가 커지는 변곡점이 발생할 경우 도플러 방향으로 클러스터를 분리한다. 그림 9와 같이 전 도플러 셀의 거리방향 클러스터의 종료점이 현 도플러 셀의 시작점보다 크

지만 각 거리방향 클러스터의 최대값을 비교하였을 경우 4번째 도플러 셀과 5번째 도플러 셀에서 거리방향 클러스터의 최대값에 대한 변곡점이 발생하였기에 두 개의 클러스터로 분리한다.

그림 10은 그림 7의 거리방향 클러스터링 결과에 대한 도플러방향 클러스터링 결과를 나타내었다. 거리방향 클러스터의 최대값에 대한 변곡점이 없기에 최종적으로 두 개의 클러스터로 분리되었다. 그림 10의 결과와 그림 3의 최대값 클러스터링 결과와 비교해보면 클러스터링 되는 hit 분포는 달라질 뿐 똑같이 표적이 2개로 분리됨을 알 수 있다. 그러나 이중 클러스터링 방안은 최대값을 찾는 연산과정이 없기에 최대값 클러스터링의 연산시간보다 적었다.

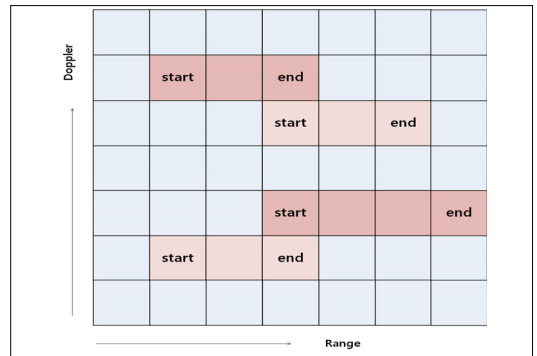


그림 8. 도플러 방향 클러스터링 방안
Fig. 8. Doppler Clustering Method

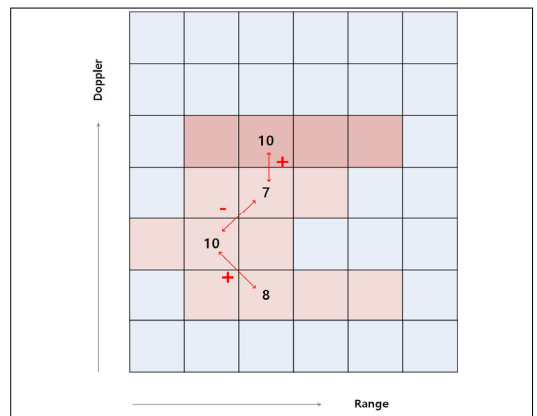


그림 9. 도플러 방향 클러스터링 방안 2
Fig. 9. Doppler Clustering Method 2

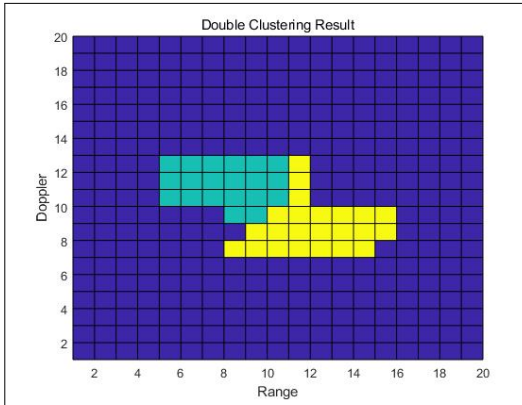


그림 10. 도플러 방향 클러스터링 결과
 Fig. 10. Doppler Clustering Result

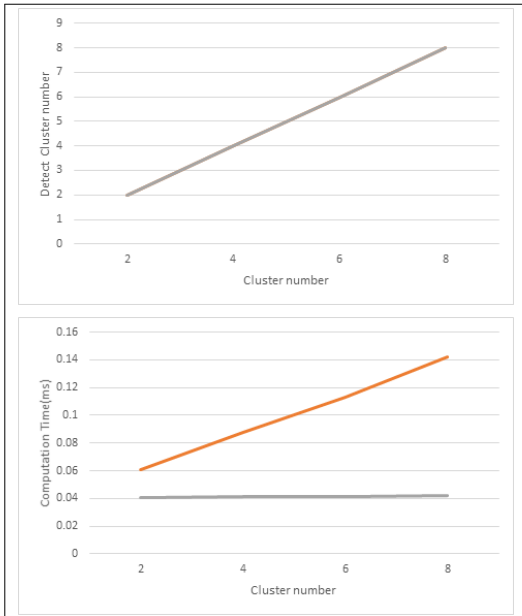


그림 11. 클러스터링 결과와 연산시간
 Fig. 11. Clustering Result and Computation time

4. 연산시간 측정

최댓값 클러스터링 방안과 본 논문에서 제안하는 이중 클러스터링 방안에 대하여 연산시간을 측정하였다. 100 by 100 사이즈의 거리-도플러 맵에서 클러스터의 수에 따른 연산시간 및 클러스터링 결과를 비교하였다. 인가한 클러스터 분포는 그림의 1과 같이 인접한 표적분포로 구성하였다.

그림 11은 클러스터의 수에 따른 탐지 클러스터의 수

와 연산시간을 나타내었다. 기존의 최댓값을 찾아 클러스터링하는 방안과 본 논문에서 제안하는 거리-도플러 방향 이중 클러스터링 방안을 비교하였다. 그림 11에서 보듯이 두 방안 모두 인가한 클러스터 모두 탐지함을 알 수 있다. 그러나 기존의 클러스터링 방안은 클러스터의 수가 증가할수록 연산시간이 증가하였다. 그에 반해 본 논문에서 제안한 이중 클러스터링 방안은 클러스터가 증가하더라도 연산시간의 변화는 극히 적었다. 이것은 기존의 최댓값 클러스터링의 방식에서는 클러스터의 수가 증가할수록 hit의 최댓값을 찾는 연산량이 증가하기 때문이다.

III. 결론

현재 무인기와 같은 소형 비행체로 공격하는 상황이 발생하고 있고, 이런 기기들은 편대로 운용되고 있고 인접하여 비행하고 있기 때문에 표적을 정확하게 탐지하기 위해서는 각 표적들을 각각 구분하여야 하는 경우가 많다. 인접한 표적을 구분하는 가장 간단한 기법인 최댓값을 찾아 클러스터링하는 방안은 탐지하여야 하는 표적의 수가 증가할수록 연산시간은 증가하는 단점이 있다. 이로 인하여 실시간으로 표적을 탐지 못할 가능성을 포함하고 있다. 따라서 표적의 수가 증가하더라도 연산시간의 변화는 극히 적은 클러스터링 방안이 필요하다. 본 논문에서는 표적의 수가 증가하더라도 연산시간의 변화는 극히 적고 인접한 표적을 분리하는 이중 클러스터링 방안에 대하여 제시하였다.

우선적으로 거리방향으로 클러스터링 수행한다. 수행 시 hit의 파워를 이용하여 파워의 변곡점을 찾아 클러스터를 분리한다. 거리방향으로 클러스터링 수행 후 거리방향 클러스터 결과를 이용하여 도플러 방향으로 클러스터링을 수행한다. 거리방향 클러스터의 시작점과 종료점을 이용하여 도플러 방향 클러스터링을 수행한다. 여기서 거리방향 클러스터의 최대 파워값을 이용하여 도플러 방향으로 변곡점이 발생할 경우 클러스터를 분리한다.

클러스터의 수에 따른 기존의 클러스터링 방안과 본 논문에서 제안한 거리-도플러 클러스터링 방안의 연산시간을 측정하였다. 클러스터의 수가 증가할수록 기존의 클러스터링의 연산시간이 증가하는 반면에 본 논문에서 제안한 거리-도플러 클러스터링의 연산시간에는 큰 변화가 없었다.

본 논문에서는 소형 비행체 표적 분포환경을 모사하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그러나 실제 환경에서는 모사

한 환경보다 더 다양한 클러스터 및 잡음이 존재하고 기기 편대 비행 환경도 다양하기에 본 논문에서 제안한 거리-도플러 클러스터링 방안을 바로 적용하기에는 어려움이 있어 보인다. 추후 다양한 표적 분포 환경, 클러스터 사이즈 및 SNR에 따른 시험 환경을 모사하여 임베디드 시스템을 통하여 본 논문에서 제안 한 거리-도플러 이중 클러스터링 방안이 레이더 시스템에 적용가능한지를 살펴보고록 하겠다.

References

- [1] Kwan-Hyeong 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.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.6.107>.
- [2] Seung-Yong Shin, Young-Joo Kong, Sang-Mi Chon, Yoon-Hee Jang, Eun-Jung Yang, "Implementation of Target Clustering Using the Local Maximum Detection(MND) Algorithm", KIMST, pp. 455-456, Jun 2018.
- [3] J. A. Hartigan, Clustering Algorithm, Wiley & Sons, 1975
- [4] Young-Joo Kong, Seon-Keol Woo, Sung-Ho Park, Seung-Yong Shin, Youn-Hui Jang, Eun-Jung Yang, "OS CFAR Computation Time Reduction Technique to Apply Radar System in Real Time", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 29, No. 10, pp. 791-798, Oct 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2018.29.10.791>.
- [5] Sang-Jin 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.
DOI: <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2014.25.8.849>.
- [6] Min-Nyun Kim, Joong-Soo Lim, Gyoo-Soo Chae, Sung-Hyuck Ye, Chung-Ho, Ryu, "Simulation Study on the Multipath Tracking Errors", Journal of the Korea Academy-Industrial Cooperation Society, Vol. 10, No. 9, pp. 2274-2279, Sep 2009.
- [7] W. L. Melvin, J. A. Scheer, Principles of modern radar-Advanced techniques, Scitech, pp. 685-686, 2013.
- [8] N. Morinaga, T. Namekawa, X. Y. Hou, "Direct Evaluation of Radar Detection Probabilities", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, Vol. AES-23, No. 4, pp. 418-424, 1987.
- [9] Seok-Hyun Hwang, Sang-Bin Cha, Se-Won Yoon, Joo-Ho Jung, Jin-Hwan Lim Sang-Hong Park, "Estimating the Number of the Targets in Formation

Flight Using Monostatic/Bistatic HRRP", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 17, No. 3, pp. 103-111, Mar 2019.
DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.3.103>.

- [10] M. L. Jacobson, "Auto-threshold peak detection in physiological signals", Proceedings of the 23rd annual EMBS International Conference, Vol. 3, pp. 2194-2195, Oct 2001.

저 자 소 개

공 영 주(정회원)



- 2009년 2월 : 성균관대학교 정보통신 공학부 (공학사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원
- 주 관심분야 : 레이더 신호처리

우 선 결(정회원)



- 2007년 7월 : 광운대학교 전파공학과 (공학박사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 레이더 신호처리, 마이크로파 탐색기 등

박 성 호(정회원)



- 2008년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
- 2008년 9월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원
- 주 관심분야 : 레이더 신호처리, 레이더 표적식별 기법 등

유 성 현(정회원)



- 2005년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 ~ 2008년 3월 : LG전자 MC사업부
- 2008년 4월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 레이더 체계설계 등

강 연 덕(정회원)



- 1996년 2월 : 한국항공대학교 전자공학
학과 (공학석사)
- 2000년 8월 : 한국항공대학교 전자공학
학과 (공학박사)
- 2008년 8월 ~ 현재 : LIG넥스원(주)
수석연구원
- 주 관심분야 : 레이더 체계설계 등