

함정용 탐색레이더의 표적 전시상태 개선에 관한 연구

심민섭*, 이지혁, 정현섭
국방기술품질원 함정2팀

A Study on the Improvement of Naval Surveillance Radar to Solve the Target Display Problem

Min-Seop Sim*, Ji-Hyeog Lee, Hyeon-Seob Jeong
Defence Agency for Technology and Quality(DTaQ) Naval Sea Systems Team 2

요약 함정용 탐색레이더는 표적 탐지 및 추적, 함포사격 지원 기능을 수행하는 함정 전투체계의 장비로서 표적에 대한 방위, 거리, 고도의 3차원 항적 정보를 산출하고 표적 탐지 및 추적에 대한 임무를 수행한다. 탐색레이더는 안테나부, 송수신부, 처리부, 공기진조기부로 구성되며 안테나부는 송신 신호를 방사하고 표적에서 반사된 신호를 수신하며 송수신부는 신호를 증폭 또는 합성하는 역할을 수행한다. 탐색레이더는 안테나로부터 수신된 신호를 이용하여 운용자에게 다양한 방법으로 표적 정보를 제공한다. 본 연구에서는 탐색레이더에서 식별한 표적에 대한 정보를 레이더전시기를 통해 전시할 때 나타난 문제점들을 식별하고 원인을 분석하여 개선하였다. 식별된 문제점은 함정의 변침에 따라 B-scope에 나타나는 TWS 추적 표적이 소실되는 현상이다. 탐색레이더의 TWS 추적 알고리즘에 의해 함정의 기동과 관계없이 지속적으로 추적해야 할 표적을 소실하는 것이다. TWS 추적 알고리즘에서 매 scan마다 획득된 표적의 거리, 방위, 속도 정보를 자함으로부터의 상대적 위치정보로 활용하지 못하는 문제점을 발견하여 추적 알고리즘에서 안정적으로 표적의 위치정보를 업데이트할 수 있도록 개선하였다. 개선된 TWS 추적 알고리즘을 이용하여 탐색레이더 운용에서 정상적 표적 추적 전시상태를 확인하였다.

Abstract The surveillance radar for naval ships is an essential equipment of a battle system that executes the detection and tracking of targets, and the shooting support function; it calculates the three-dimensional track of the target range, azimuth, and altitude to carry out its duty. The surveillance radar consists of an antenna, a transceiver, a processing unit, and an air dryer section. The radar radiates the transmission signal on the antenna section, receives the reflected signal from the target, and amplifies the signals on the transceiver section. The signal received from the antenna is used to provide the operator with target information in various ways. This study identified the display problems when the information about the target is displayed through the radar. The causes of the problems were analyzed and improved. The tracking disappearance phenomenon caused by the altered-course of the ship was improved on the TWS tracking algorithm. The validity of the improved TWS tracking algorithm was confirmed by the normal condition of the target status on the B-scope.

Keywords : Surveillance Radar, Track While Scan, B-Scope, Tracking, Association

*Corresponding Author : Min-Seop Sim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: simms@dtaq.re.kr

Received September 8, 2020

Accepted October 5, 2020

Revised September 25, 2020

Published October 31, 2020

1. 서론

탐색레이더는 대공, 대함 및 유도탄 탐지 및 추적과 함포사격 지원 기능을 수행하는 합정 전투체계의 핵심장비이다. 레이더(RADAR)는 표적의 표면에서 반사된 RF신호를 처리하여 표적의 거리와 방위를 추정한다[1]. 레이더에는 탐색레이더, 합성개구레이더, 위상배열레이더 등 과학기술의 발전에 따라 다양한 형태로 제작, 운용되고 있다. 탐색레이더는 높은 해상도와 정밀한 표적 추정을 위해 고주파 신호를 사용한다. 신호처리를 통해 얻어진 표적에 대한 정보는 A-scope, B-scope, C-scope, PPI(Plan Position Indicator)와 같은 형태로 표현된다[2]. A-scope는 시간에 따른 반사파의 강도를 표시하는 방법으로 가로축(시간)과 세로축(반사파 강도)으로 구성된다. 반사파가 위치하는 시간정보를 이용하여 표적의 거리를 분석하는 방법이다. B-scope는 수평축(방위)과 수직축(거리)로 구성되며 2차원으로 표적의 위치를 표현한다. PPI 방법은 원형으로 구성하여 scanning line(주사선)의 회전을 따라 표적의 위치를 주기적으로 나타내 주는 방법이다. 해상의 표적은 복잡한 clutter(잡음) 환경에 있으며 탐색레이더는 이러한 환경에서도 표적을 정확하게 추적하기 위해 nonlinear adaptive filtering algorithm을 활용하여 왔다. 대표적으로 Kalman filter를 이용한다. 레이더의 scan간에 획득되는 표적 정보를 예측하기 위해 Kalman filter를 사용하며 표적 정보에 포함된 측정 noise를 제거하는데 효과적으로 적용되고 있다[3,4,5].

본 논문에서는 합정용 탐색레이더의 B-scope 전시상태에 문제점을 식별하고 표적 식별을 위한 전시상태 개선에 대해 연구하였다. 레이더 운용자가 함의 기동(변침, 속도) 변화에 관계없이 지속적으로 표적을 추적하기 위해 TWS(Track While Scan) 추적을 할당된 표적이 함의 기동 변화에 따라 점진적으로 표적추적을 소실하는 현상이 발생하였다. B-scope는 레이더 운용자가 할당한 영역의 레이더 반사신호를 처리하여 표적과 주변영역을 구분함으로써 표적에 대한 식별을 용이하게 한다. 하지만, B-scope 영역에서 식별되어야할 표적이 점진적으로 B-scope 영역을 벗어나 최종적으로 소실되며 식별이 불가능하였다. 식별된 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 탐색레이더의 TWS 추적 algorithm을 고찰하고 추적 불안정의 원인을 분석하였다.

2. 탐색레이더 및 표적 전시 알고리즘

2.1 탐색레이더

합정용 탐색레이더는 대공, 대함 및 대함유도탄 표적 탐지 및 추적과 함포사격 지원 기능을 수행하는 합정 전투체계의 핵심장비이다. 탐색레이더는 표적에 대한 방위, 거리, 고도의 3차원 항적 정보를 산출하고 대공/대함 표적 탐지 및 추적 기능을 가지고 있다. 동시 다수 표적 관리 능력을 보유하며 대함사격을 위한 탐색 중 추적(Track While Scan, TWS) 표적 정보를 지휘무장통제체계(Command Fire Control System, CFCS)에 제공한다. 또, 탐지된 표적에 대한 정보를 합정용 피아식별기(Identification Friend or Foe, IFF)와 연동하여 표적 정보 관리를 수행한다. 표적에 대한 Track 생성 및 항적 관리 기능을 보유하고 있으며 기상 및 해상 반사파 클러터 제거기능을 보유한다.

탐색레이더를 구성품별로 나누면 안테나부, 송수신부, 처리부, 공기건조기부로 구분된다. 안테나부는 송신 신호를 방사하고 표적에서 반사된 신호를 수신한다. 송수신부 및 처리부와 RF신호, 전원, 데이터, 제어 명령 인터페이스를 연동한다. 송수신부는 송신 및 수신 신호를 증폭하거나 합성하는 역할을 수행한다. 안테나부에 송신신호를 전송하고 수신신호를 baseband 주파수대역으로 변환하여 처리부로 전송한다. 처리부는 수신신호에 대한 신호처리를 수행하여 대공 및 대함 표적 탐지, 식별, 정보 산출에 대한 역할을 맡는다. 전투체계와의 인터페이스를 구축하며 탐색레이더의 회전속도를 제어한다. 안테나부, 송수신부, 공기건조기부에 대한 데이터를 수집하고 제어하는 역할을 맡는다. 공기건조기부는 안테나부에 건조공기를 공급하고 레이더의 환경 상태에 대한 정보를 처리부로 전송한다[1].

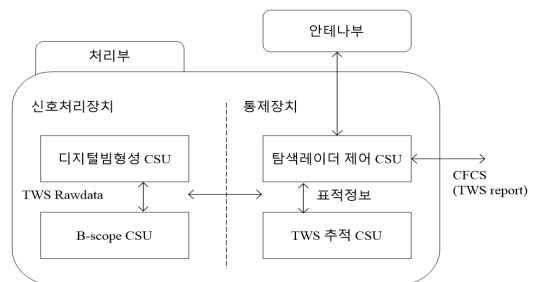


Fig. 1. Block Diagram of Surveillance Radar

처리부내의 신호처리장치와 통제장치는 각각 생성한 정보를 상호간에 교환한다. 대표적으로 통제장치는 안테나부의 제어 신호, 지휘무장통제체계(CFCS)의 제어 신호, 자함의 gyro data, TWS 추적의 결과인 표적의 정보(표적의 위치, 속도, 침로, 거리 및 방위 오차)등을 신호처리장치로 전송한다. 신호처리장치는 통제장치로부터 획득한 표적의 정보, 자함정보, 여러 제어 신호 등을 이용하여 디지털범형성, 표적 B-scope 정보, TWS rawdata 등을 통제장치로 전송한다.

2.2 Track While Scan(TWS)

TWS 추적은 탐색레이더 운용에 있어 운용자가 동시에 여러 개의 임무를 수행할 수 있도록 한다[6,7]. TWS 추적은 탐색레이더가 탐색모드 또는 자기방어모드와 같은 주 운용모드 상태에서 연속적으로 탐지영역을 스캔하는 동안 주 운용모드에 영향을 주지 않고 다수개의 표적을 관리하고 지속적으로 추적할 수 있도록 한다. 탐색레이더의 안테나가 회전하며 탐지영역을 스캔할 때 마다 TWS 추적을 통해 지정된 표적의 거리와 방위를 지속적으로 측정한다. 표적에 대하여 합정의 함포를 할당하기 위해, 운용자가 지정한 표적에 대해 매 스캔마다 측정된 거리와 방위에 대한 고해상도의 정보를 제공한다. TWS 추적을 통해 획득되는 정보는 Table 1에 정리하였다. 탐색레이더의 1 스캔을 주기로 Table 1의 정보들이 생성되며 Time은 스캔이 이루어지는 시간을 μs 정확도로 생성된다. TWS 추적으로 표적의 속도와 함정으로부터의 거리와 방위를 산출하며 매 스캔마다 획득된 표적 정보를 종합하여 Track을 형성한다. 레이더의 매 스캔마다 정상적 추적이 지속적으로 이루어지는 경우 Track은 정상추적 상태를 유지하게 되고 표적에 대한 불명확한 정보로 Track 상태를 유지할 수 없는 경우 기억추적 상태로 전환되어 표적 추적 소실현상이 나타난다.

Table 1. TWS Tracking Information.

No	Subject	Remark
1	Time	[μs]
2	Target Range	[m]
3	Target Bearing	[°]
4	Target Velocity	[kn]
5	Track Data Validity	Detect/Not
6	Track Number	[0, ..., N]
7	Memory Tracking Validity	정상추적/ 기억추적
8	Track Position	[m]

No	Subject	Remark
9	Track Position Accuracy	[%]
10	ETC	

표적 추적 소실의 원인을 파악하기 위해 TWS 추적 algorithm을 분석하였다[8,9]. TWS 추적은 탐색레이더에서 다수개의 표적을 관리하고 지속적으로 추적할 수 있도록 한다. 따라서, 단일 표적 추적 레이더와 다르게 TWS 추적모드의 레이더는 각 스캔에서 탐지된 표적이 새롭게 탐지된 표적인지 앞선 스캔을 통해 추적 중인 표적인지 판단하여야 한다. 이러한 판단을 위해 탐색레이더에서는 Correlation 및 Association 단계를 거친다. Correlation 단계에서는 탐지된 표적정보를 추적 중인 표적정보와 correlation하여 새로운 표적인지 판단하며 중복되고 불필요한 track 생성을 방지한다. 탐지된 표적 정보가 추적 중인 표적정보와 동일한 것으로 판단되면 표적의 거리, 방위, 속도 등의 data를 smoothing 및 prediction algorithm을 이용하여 생성 및 예측한다. 산출된 data는 track file에 저장되어 association 단계에서 동일한 track에 업데이트된다. Track에 업데이트 되는 표적에 대한 정보는 앞서 Table 1에서 나타난 정보들이다. TWS 추적에서 표적을 지속적으로 추적하기 위해서는 association 단계에서 표적의 거리, 방위, 속도 등의 정보가 정확하게 업데이트되어야 한다.

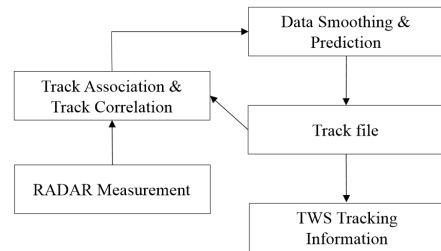


Fig. 2. TWS Tracking Flow Chart

아래 Eqs. (1)과 (2)은 data smoothing algorithm의 수식을 나타낸다.

$$\hat{p}_{sn} = p_{pm} + (p_n - p_{pm}) \quad (1)$$

Where, \hat{p}_{sn} denotes smoothed position of target, p_{pm} denotes predicted position of target, p_n denotes measured position of target.

$$\hat{v}_n = v_{n-1} + \Delta t a_{n-1} + (p_n - p_{pm}) / \Delta t \quad (2)$$

Where, \hat{v}_n denotes smoothed velocity of target, v_{n-1} denotes measured velocity of target, a_n denotes measured acceleration of target, Δt denotes time for scan.

Eqs. (1)과 (2)에서는 레이더로부터 측정된 표적의 정보와 아래 Eq. (3)에서 표현된 predicted algorithm으로부터 예측된 표적의 정보를 융합하여 표적의 위치와 속도를 산출한다.

$$p_{m+1} = \hat{p}_{sn} + \hat{v}_n \Delta t \quad (3)$$

Where, p_m denotes predicted position of target

Eq. (3)에서는 smoothing algorithm에서 얻은 표적의 위치와 속도, 탐색레이더의 스캔주기를 이용하여 다음 스캔에서 표적의 위치를 예측하게 된다.

2.3 B-Scope

탐색레이더의 B-Scope는 airborne radar와 fire control radar에서 활용되어 왔다. B-scope는 직교 좌표계(Cartesian coordinate)를 이용하여 레이더의 탐지 영역 중 운용자가 할당된 표적의 주변영역을 2D형태로 전시하는 방법이다. B-Scope의 수평축은 방위(azimuth)를 나타내고 수직축은 거리(range)를 나타낸다. 탐색레이더는 주기적인 스캔마다 획득된 표적의 정보로 B-scope 영역을 설정하여 TWS 추적을 통해 정상추적되는 표적을 지속적으로 B-scope 영역 내에 나타낸다.

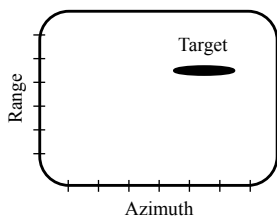


Fig. 3. B-scope Radar Display

3. 문제점 및 원인분석

3.1 TWS 추적 소실

운용자가 탐색레이더의 식별된 표적에 대하여 TWS 추적 할당 후 자함을 변침한 경우 지속적으로 추적이 되어야 할 TWS 추적이 소실되는 현상이 발생하였다.

B-scope에 나타는 표적이 자함 변침에 따라 Fig. 4와 같이 점차 B-scope 영역을 벗어났다. 추적이 정상상태 일 경우 Fig. 4 (a), (b)와 같이 B-scope 영역의 중심에 표적이 전시되어야 한다. 추적 소실 현상이 발생할 경우, Fig. 4 (c), (d)와 같이 B-scope 영역에서 표적이 중심에 위치하지 못하고 영역을 벗어나게 된다. 이 현상을 기억추적이라하며, 기억추적은 현재 탐색레이더 스캔의 TWS 추적 표적 중심과 전 단계 스캔의 TWS 추적 표적 중심 차이에 의해 B-scope 화면의 중심에 표적이 위치하지 않는 경우에 해당한다.

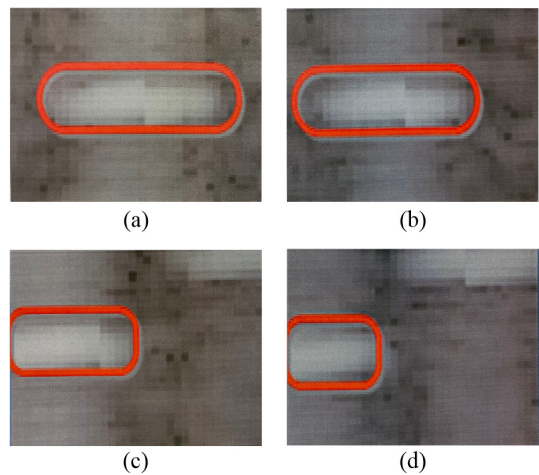


Fig. 4. TWS Target disappear on B-scope

3.2 원인분석 및 개선방안

본 연구에서 식별된 TWS 추적 소실현상은 association 단계에서 정확한 표적정보를 업데이트하지 못함으로써 레이더 스캔에 의한 표적정보 획득이 지속될수록 B-scope에서 표적이 점진적으로 소실되며 정상추적 상태에서 기억추적 상태로 이어지는 것이다. 이를 위해서 표적 data smoothing, prediction algorithm에서 표적에 대한 정보를 정확하게 산출하여야 한다.

탐색레이더에서 표적에 대한 TWS 추적 할당 시, TWS 영역의 시작 및 종료 방위는 표적의 위치를 중심으로 한다. 또, 회전하는 주사선이 TWS 종료방위를 지날 때의 자함 정보를 이용하여 다음 스캔에서의 TWS 시작 방위를 예측한다. Fig. 5와 같이 N번째 스캔의 종료 방위에서 자함의 침로 정보를 업데이트하여 N+1번째 스캔에서의 TWS 시작 방위를 결정한다. 하지만, N번째 스캔의 종료 방위 후 N+1번째 스캔 시작 방위에 도달하기 전 자함의 침로 변경이 발생하면 예측한 N+1 스캔의 시작 방

위에 오차가 발생한다. 이로 인해 TWS 추적에서 기억 추적이 발생한다.

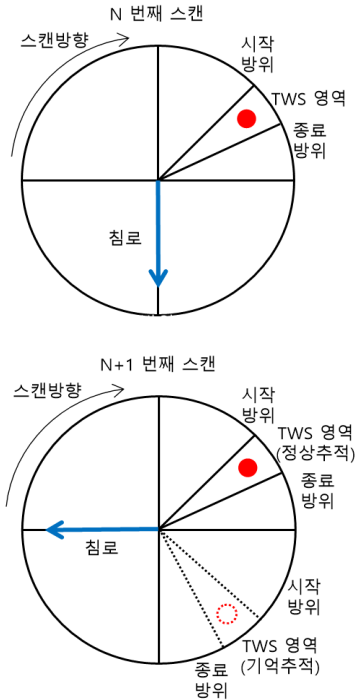


Fig. 5. Radar Scanning Concept of TWS Tracking

이러한 문제점의 개선을 위해, TWS 종료 방위 이후의 data smoothing 및 prediction algorithm을 통하여 TWS 표적의 위치를 추정할 때 자함의 침로에 대한 정보를 지속적으로 보정하도록 개선하였다. Data smoothing 및 prediction algorithm에서 입력값으로 사용되는 p_n 은 레이더에서 획득된 표적의 위치정보이다. 표적의 위치는 Eq. (4)와 같이 레이더가 탑재된 함정의 위치에 대한 상대값이므로 함정의 위치변화가 발생할 경우 표적의 위치는 불안정한 값을 가지게 된다. 이러한 불확실성을 제거하기 위해 본 연구에서는 Fig. 6과 같이 Data prediction algorithm에 사용되는 표적의 위치 정보를 자함의 침로변경에 따른 최신화된 위치 정보 ($p_n = p_m + p_{ship}$)로 입력할 수 있도록 개선하였다.

$$p_n = p_m + p_{ship} \quad (4)$$

Where, p_n denotes measured position of target, p_m denotes absolute position of target, p_{ship} denotes absolute position of own ship.

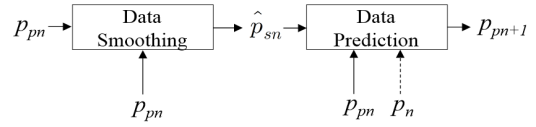


Fig. 6. Corrected Data Smoothing, Prediction algorithm

4. 개선 결과

Fig. 6과 Eq. (4)를 활용하며 탐색레이더의 TWS 추적의 data smoothing 및 prediction algorithm을 개선하였으며 실제 탐색레이더 운용과정에서 표적에 대해 TWS 추적 할당 후, 자함의 변침 정보를 지속적으로 업데이트하여 개선결과를 확인하였다. 개선전 B-scope 전시에서 나타난 기억 추적 발생이 algorithm 변경을 통해 개선됨을 확인하였다. 개선 결과, 자함 침로 변경 시에도 B-scope 중심에 TWS 추적 표적이 정상 추적되는 것을 확인할 수 있었다.

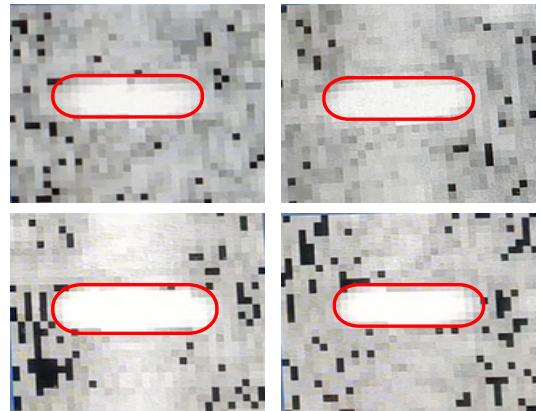


Fig. 7. Improvement Result of Radar TWS Tracking

5. 결론

본 연구에서는 함정용 탐색레이더에서 표적 전시상태를 개선하고자 하였다. 자함의 변침에 의하여 B-scope 전시에서 TWS 영역의 표적 추적이 소실현상이 발생하였다. 문제 원인파악을 위해 탐색레이더의 신호처리장치와 통제장치, TWS tracking algorithm 및 B-scope에 대해 확인하였고 data smoothing, prediction algorithm을 통한 TWS tracking 기법을 확인하였다.

자함의 침로변경에 따라 TWS 추적 소실현상이 나타나는 원인을 data smoothing, prediction algorithm

에서 입력값으로 사용되는 표적의 위치정보가 자함의 위치정보를 기반으로 하는 상대값임에 따라 침로 변경에 따른 표적 위치 불확실성에서 발생하는 것으로 확인하였다. 따라서, data smoothing, prediction algorithm의 표적의 위치정보를 자함의 위치정보로부터 최신화된 값으로 보정함으로써 표적의 추적 소실현상을 제거 할 수 있었다.

References

- [1] S. W. Kim, Y. S. Yang, "Study on Analysis of Driving Torque and Reduction for Naval Surveillance Radar Antenna", *Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.12, No.3, 2009.
- [2] Yoshihiko Nomura, Takumi Narita, Yoshikazu Sudo, "A secondary reflection pattern synthesis for GPR B-scope images", *International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar*, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IWAGPR.2015.7292618>
- [3] G. J. Lee, N. J. Kwak, J. H. Kwon, E. J. Yang, K. S. Kim, "Track Initiation Algorithm Based on Weighted Score for TWS Radar Tracking", *Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.22, No.1, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2019.22.1.001>
- [4] A. Farina, S. Pardini, "Track-While-Scan Algorithm in a Clutter Environment", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol.AES-14, Issue.5, 1978.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TAES.1978.308628>
- [5] K. David Solomon Raj, I. Mohan Krishna, "Kalman Filter based Target Tracking for Track While Scan Data Processing", *IEEE Sponsored 2nd International Conference on Electronics and Communication System*, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TAES.1978.308628>
- [6] R. J. Evans, C. R. Hewett, F. Barker, "Radar System Design for Track-While-Scan", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol.AES-15, Issue.1, 1979.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TAES.1979.308803>
- [7] G. L. Bair, E. D. Zink, "Radar Track-While-Scan methodologies", *IEEE Region 5 Conference, Spanning the Peaks of Electrotechnology*, 1988.
DOI: <https://doi.org/10.1109/REG5.1988.15895>
- [8] T. Benedict, G. Border, "Synthesis of an optimal set of radar track-while-scan smoothing equations", *IRE Transactions on Automatic Control*, Vol.7, Issue.4, 1962.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TAC.1962.1105477>
- [9] N. Chernoguz, "Adaptive range tracking for radar technique", *2011 IEE RadarCon*, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1109/RADAR.2011.5960526>

심 민 섭(Min-Seop Sim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 (공학사)
- 2014년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학부 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

신호처리, 표적 추적, 수중음향

이 지 혁(Ji-Hyeog Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 연세대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 2006년 6월 : USC(University of Southern California) M. S. in Electrical Engineering (공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임연구원

<관심분야>

정보처리, 영상 표적 추적, 무선통신

정 현 섭(Hyeon-Seob Jeong)

[정회원]



- 2017년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

수중음향, 도로