

함정용 X-밴드 다기능레이다의 잠망경 탐지를 위한 허프 변환(Hough Transform)과 파라미터 선정에 관한 연구

Periscope Detection Using Hough Transform by Selecting Parameters Based on Ship-Borne X-Band Multi-Function Radar

박준태 · 김태형 · 박성호 · 박준현 · 강연덕

Joontae Park · Tae-Hyung Kim · Sungho Park · June-Hyune Park · Yeon Duk Kang

요 약

잠망경은 정지 또는 저속 기동하는 낮은 RCS 표적으로 해상환경에서 탐지에 어려움이 있다. 본 논문은 AESA(active electronically scanned array) 레이더 기반의 함정용 X-band 다기능(multi-function) 레이더에서 잠망경을 탐지하기 위한 허프 변환의 적용과 그 파라미터 선정에 관해 연구하고, 모델링 및 시뮬레이션을 통해 그 유효성 및 탐지성능을 확인하였다.

Abstract

It is difficult to detect a stationary or slow-moving periscope having a small radar cross-section in a maritime environment. This paper presents a periscope detection method using the Hough transform by selecting parameters based on an active electronically scanned array ship-borne X-band multi-function radar. The method was evaluated through modeling and simulation.

Key words: Periscope Detection, Hough Transform, AESA Radar, Ship-Borne Multi-Function Radar, Sea Clutter Suppression

I. 서 론

구축함과 같은 해상 운용 자원에 있어서 잠수함은 중대한 위협이며, 따라서 주변에 있는 잠수함의 탐지는 함정 센서의 중요한 임무가 된다.

정지 또는 저속 이동 중이거나 특히 방음 설계가 잘 되어 있는 최신에 잠수함의 경우, 근거리 접근 전까지는 소나 센서로 탐지하는 데에 어려움이 있으므로 함정용 레이더에는 잠수함 탐지 기능이 요구되고 있다.

잠수함은 근해 작전 시 안전항행, 감시정찰, 미사일 공격 시 관측, 지휘통제를 위한 통신 마스트, 디젤 잠수함인

경우 배터리 충전을 위한 스노켈 등과 같은 여러 가지 목적으로 다양한 종류의 잠망경 또는 마스트를 해면 위로 올리게 되며, 이렇게 잠수함의 마스트가 노출될 때 레이더는 탐지 기회를 얻게 된다.

잠망경의 탐지를 위한 레이더는 1950년대부터 항공기용 레이더를 위주로 AN/APS-20, 80, 115 등이 개발되었고, 1970년대부터 전투 적합한 잠망경 탐지 능력을 갖기 시작한 AN/APS-116, 137 등이 개발되어 운용되기 시작했다. 함정용 잠망경 탐지 레이더는 1990년도부터 개발이 진행되었고, AN/SPQ-9B가 대표적이다.

함정용 레이더의 잠망경 탐지는 잠망경이 노출되는 5

LIG넥스원(주)(LIG Nex1 Co., Ltd.)

· Manuscript received April 20, 2020 ; Revised May 14, 2020 ; Accepted May 27, 2020. (ID No. 20200420-034)

· Corresponding Author: Joontae Park (e-mail: joontae.park@lignex1.com)

초에서 10초 정도로 짧은 시간 안에 탐지가 이루어져야 한다. 또한, 정지 또는 저속으로 이동하는 잠망경의 특성상, 도플러 처리를 통한 클러터 제거 및 표적 탐지가 어렵고, RCS(radar cross section)는 매우 작아서(0.1~0.01 m²) 해상 클러터 환경하에서 탐지에 어려움이 있다. 이에 따라 잠망경 탐지를 위해서는 특화된 파형과 신호처리가 필요하므로, AN/APS-116, 137, AN/SPQ-9B 레이더 등의 레이더는 잠망경을 탐지하기 위해 전용 레이더 또는 전용 모드를 사용하기도 한다. 대표적인 차이는 광대역 파형의 사용과 적응형 비동기화 누적(adaptive non-coherent integration) 탐지 방식이다.

광대역 파형은 잠망경 탐지 시 충분한 SCNR(signal to clutter and noise ratio)을 확보하기 위해, 즉 해상 클러터의 제거를 억제하기 위해서 사용된다. 일반적으로 광대역 파형 사용 시, 거리 해상도는 1미터 이하로 설계하게 되는데, 이 경우 탐지 시간(최대 5초)동안 잠망경의 이동으로 인해 거리 게이트(range gate)를 벗어나게 되어 일반적인 비동기화 누적(non-coherent integration) 처리가 어려워진다.

이를 해결하기 위해 여러 속도 값을 갖는 velocity template을 적용하여 보상하거나, 허프 변환을 사용한다^{[1]~[3]}. 본 논문에서는 허프 변환을 적용하였다. 해당 변환은 거리-시간 영역에서 직선 궤적을 찾는 문제를 파라미터(거리-속도) 영역으로 변환하여 해당 영역에서 교차점을 찾는 문제로 변화시키는 방법이다. 이는 스캔 간(scan-to-scan) 적응형 비동기화 누적 방법 중 하나로 스파이크 성으로 발생하는 해상 클러터의 억제에 효과적이다.

본 논문에서는 잠망경 탐지를 위해 함정용 MFR에서 허프 변환을 적용하는 방법과 주요 파라미터 선정에 대해 연구한다. 그리고 모델링과 시뮬레이션을 통해 그 유효성 및 탐지성능을 확인한다.

II. 잠망경 탐지를 위한 신호처리

허프 변환은 이미지에서 패턴을 검출하는 방법으로 특정 파라미터 값들을 사용하여 패턴을 특징화한다. 즉, 영상 영역에서 패턴을 찾는 복잡한 문제를 파라미터 공간에서의 극대점을 찾는 문제로 변환시키는 방법이다.

예를 들어, 이미지 영역에서 직선 위의 점들(x, y)은 아

래 식 (1)에 의해 두 개의 파라미터, 즉, 기울기(\hat{m})와 y 절편(\hat{c})으로 표현할 수 있다.

$$f((\hat{m}, \hat{c}), (x, y)) = y - \hat{m}x - \hat{c} = 0 \quad (1)$$

반대로 식 (1)은 이미지 영역에서의 한 점이 파라미터 영역에서의 직선으로 표현될 수 있음을 의미하며, 따라서 이미지 영역의 모든 점에 이를 적용하여 이미지 영역에서 패턴을 파라미터 영역으로 변환할 수 있다(그림 1).

또 다른 방법으로 아래 식 (2)와 이 이미지 영역에서의 직선을 길이 ρ 와 각도 θ 로 특징화하는 변환이 제안되었다^[4](그림 2).

$$\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (2)$$

이와 같은 허프 변환은 레이더에서 표적 궤적 추출을 통해 탐지를 수행하는 방법으로 TBD(track before detection) 필터라고 할 수 있으며, 선형 속도 템플릿으로 선형 속도를 갖는 표적의 거리 이동에 따라 적응형 비동기화 누적의 역할을 한다^{[1],[2]}.

본 논문에서는 식 (1)을 사용하였으며, 잠망 경탐지를 위한 누적시간은 최대 5초 정도로 파라미터 영역에서 신호의 기울기가 크지 않으며^{[1],[2]}, 표적 개수와 상관없이 동

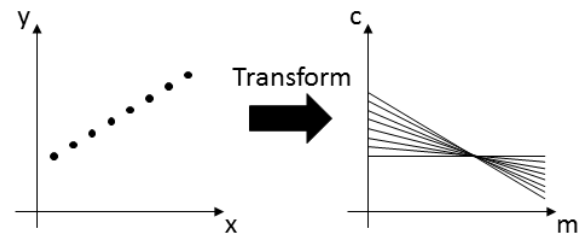


그림 1. 허프 변환, 식 (1)

Fig. 1. Hough transform, mathematical expression (1).

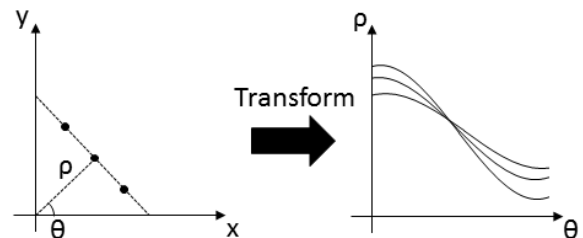


그림 2. 허프 변환, 식 (2)

Fig. 2. Hough transform, mathematical expression (2).

일한 연산량이 소요되어 안정적인 구현이 가능하다.

잠망경 탐지 모드의 전체 신호처리 과정은 위의 그림 3과 같다^{[1][2][5]}. 펄스 압축된 기저대역의 I/Q 신호를 각 스캔마다 배열에 저장하고, 누적 스캔 개수(N=25) 단위로 허프 변환 처리 후, M/N 조건에 의해 표적 탐지를 수행한다.

위 신호처리 과정에서 허프 변환은 그림 4와 같은 과정으로 수행하였다^[1].

허프 변환에서 부엽 수준은 그림 5와 같이 빔의 누적 개수와 정확히 반비례한다. 즉, 누적 빔의 수가 100개일지라도 부엽 수준은 -20 dB 정도이다. 잠망경 표적의 RCS가 0.01 m²일 때, 일반적인 중대형 해상표적의 RCS가 20~200 m²라고 하면 표적들의 RCS 차이는 최대 43 dB 이상이 되므로, 이 대형 표적 신호의 부엽에 의해 소형 표적 신호가 가려져 탐지 안 되는 문제를 일으킬 수 있다.

따라서 이를 완화하기 위해 수신 신호를 1차로 정해진

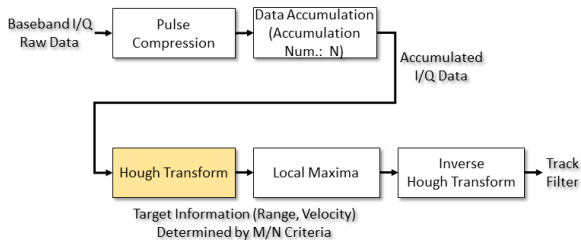


그림 3. 잠망경 탐지 신호처리 과정

Fig. 3. Signal processing for telescope detection mode.

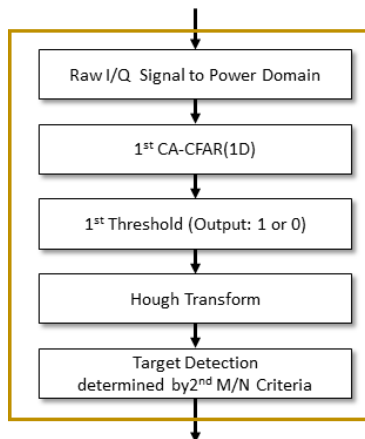


그림 4. Hough transform 처리 과정

Fig. 4. Block diagram of hough transform processing.

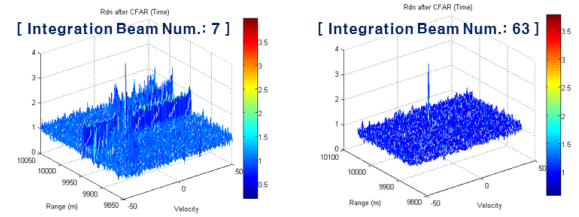


그림 5. 누적 빔수 7개, 63개에 따른 파라미터 영역에서의 부엽수준-300 MHz LFM 펄스 기준(예시)

Fig. 5. Side-lobe level in parameter domain according to integration beam number 7 and 63 using 300 MHz LFM pulse(example).

한계치(threshold)에 의해 CA-CFAR(1D)를 수행하여 signal을 1 또는 0으로 변환하고, 허프 변환을 적용하였다. 이 경우, 큰 RCS의 표적이나 작은 RCS의 표적이나 동등한 부엽 전력 크기를 갖게 되어 위의 문제를 완화시킬 수 있다.

따라서 허프 변환을 수행하기 위해서는 1차 CA-CFAR(1D)를 위한 한계치 값과 허프 변환 이후 2차 M/N Criteria(N=25)의 M 값을 정해야 한다^{[1][3]}.

최적의 한계치와 M 값을 선정하기 위해 다음과 같은 분석을 수행하였다. 그림 6은 관심영역 내 표적의 최소 SCNR 기준으로 한계치 값 변화에 따른 1차 CFAR 단계의 탐지확률과 허위 표적 확률을 보여준다^[6]. 이는 4절에서 제시할 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 통해 계산된 결과이다.

한계치 값 변화에 따른 최종 탐지 확률이 0.9 이상이 되도록 하기 위한 M 값과 그에 따른 최종 허위 표적 확률은 그림 7과 같다^[6].

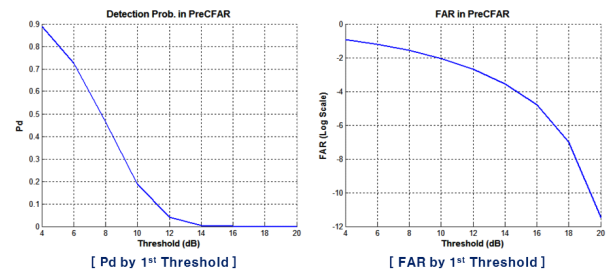


그림 6. 한계치 값에 의한 1차 CFAR의 탐지확률 및 허위탐지확률

Fig. 6. 1st CFAR detection probability and false detection probability according to threshold level.

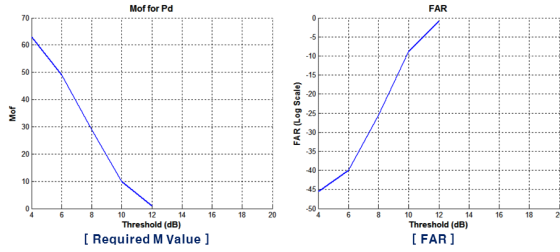


그림 7. 최종 탐지확률 0.9 달성을 위한 한계치 값에 따른 M값과 그때의 최종 허위탐지확률

Fig. 7. M value and final false detection probability according to threshold level to achieve final detection probability 0.9.

1차 한계치 값이 낮을수록 최종 탐지 확률 만족을 위한 M 값은 증가하지만, 이에 따른 최종 허위 표적 확률은 감소함을 볼 수 있다. 여기서는 위 분석을 바탕으로 한계치 값을 낮추어도 최종 허위 표적 확률이 더 좋아지지 않는 포화 지점인 한계치 2 dB, M 값 17로 파라미터를 선정하였다.

파라미터 영역인 거리-속도 영역(r_p, v_p)의 거리 범위는 수신 신호의 거리 범위와 같고, 거리 해상도도 수신신호의 거리해상도와 같게 선정하였다. 속도 범위는 해상 표적의 속도 범위($-50 \sim +50$ m/s)로 선정하고, 속도 해상도($v_{resolution}$)는 식 (3)과 같은 조건을 만족하도록 선정하였다.

$$V_{resolution} > \frac{R_{resolution}}{T_{Accumulation}} \quad (3)$$

여기서 $v_{resolution}$, $t_{Accumulation}$, $r_{resolution}$ 는 각각 속도 해상도, 신호 누적시간(5초), 거리 해상도이다. 일반적으로 속도 해상도를 작게 하면 하드웨어의 연산 부하가 증가하고, 속도 분해능은 좋아질 수 있지만 위 조건 이상으로 속도 해상도 값을 작게 하면 파라미터 영역에서 표적 신호의 존재 범위가 커져 더이상 분해능이 좋아지지 않는다. 위의 식에 따라 계산된 속도 해상도($v_{resolution}$)는 0.5 m/s이다.

III. 해상클러터 모의

정확한 시뮬레이션을 수행하기 위해서 해상클러터/잡음/표적 신호의 모델링 및 모의신호생성을 수행하였다.

해상 클러터 모의신호는 분포가 K-분포(K-distribution)

가 되도록 하기 위해 그림 8과 같이 감마(gamma) 분포의 무작위변수(random variable)와 exponential 분포의 또 다른 무작위 변수(random variable)의 곱을 통하여 생성하였다.^[7]

잠망경 표적 신호는 swerling I 모델을 적용하였으며, 이는 잡음과 같은 exponential 분포를 따른다.

그림 9는 생성된 해상클러터의 전력과 그 분포를 보여준다.

클러터 전력 분포인 K-distribution은 주요 파라미터로 shape 파라미터와 scale 파라미터를 갖는다. Scale 파라미터는 해상 클러터의 평균 전력을 결정하고, shape 파라미터는 grazing 각도, 클러터의 면적, 방사 신호의 polarization, 파도 진행방향과의 각도에 의해 결정된다^[8].

참고문헌 [8]에 따라 계산된 shape 파라미터는 grazing

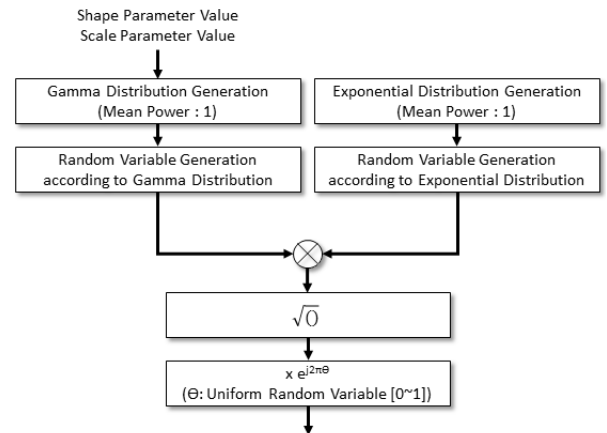


그림 8. 해상 클러터 신호 생성 방법

Fig. 8. Method to generate sea clutter signal.

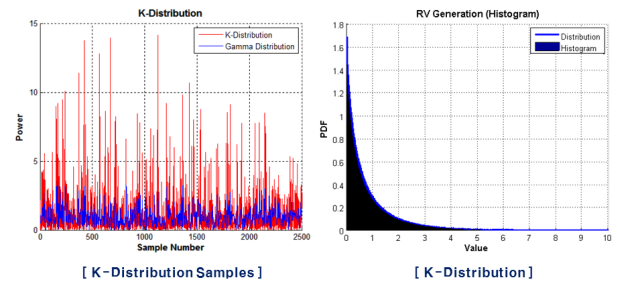


그림 9. 생성된 해상클러터 신호(좌)와 그 신호의 히스토그램과 K-분포의 PDF(우)

Fig. 9. Generated sea clutter signal(left) and histogram of the signal with PDF of K-distribution(right).

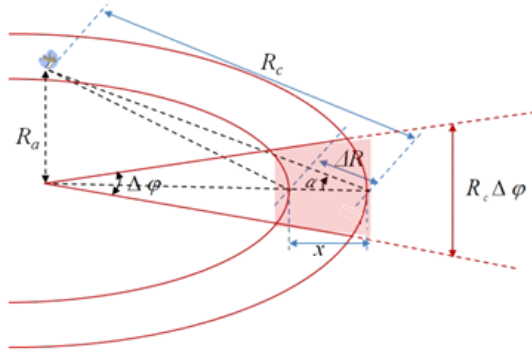


그림 10. 해상클러터 면적(ΔS) 계산
Fig. 10. Calculation of sea clutter area.

각도 0.167도 기준에서 0.1757이며, 이는 분포의 꼬리가 매우 큰 스파이크성 클러터가 자주 발생하는 상황을 나타낸다. Scale 파라미터는 해상클러터 전력에 맞게 설정하였다.

해상클러터의 전력(P_c)는 레이더 방정식을 활용하여 식 (4)와 같이 구할 수 있다^[9].

$$P_c = \frac{P_t G_t G_r \Delta S \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R_c^4 \text{Loss}_{\text{Atmosphere}}} \quad (4)$$

여기서 P_t 는 레이더의 송신출력, G_t 는 안테나 송신 이득, G_r 는 안테나 수신 이득, ΔS 는 클러터 면적, σ 는 NRL 모델에서의 클러터 반사계수, λ 는 파장 길이, R_c 는 클러터까지 거리, $\text{loss}_{\text{Atmosphere}}$ 는 대기 손실을 의미한다.

이때 클러터의 면적(ΔS)은 식 (5)와 같다(그림 10).

$$\Delta S = x R_c \Delta \psi = \frac{\Delta R}{\cos(\alpha)} R_c \Delta \psi \quad (5)$$

IV. 시뮬레이션

잠망경 탐지 시뮬레이션 수행을 위해 사용된 레이더 및 환경 파라미터는 다음 표 1과 같다.

알고리즘 검증을 위한 표적의 위치 및 속도, RCS 값은 다음 표 2와 같다.

해상클러터의 세기가 강한 근거리(7 km)에 있는 표적과 최대 탐지성능을 확인하기 위한 15 km 거리의 소형표적 및 대형 표적을 포함한 시나리오를 선정하였다.

표 1. 레이더 및 환경 파라미터

Table. 1. Radar/environment parameter.

Parameter	Value
PRF (=1/PRI) (PRF: pulse repetition frequency) (PRI: pulse repetition interval)	5 kHz
Pulse width	8 us
SCW pulse num. (SCW: stepped chirp waveform)	4
Frequency bandwidth of one pulse	75 MHz
Frequency bandwidth after SCW processing	300 MHz
Radar altitude	35 m
Center frequency	X-band
Polarization	V-pol.
Azimuth beam width	2.7°
Elevation beam width	2.7°
Accumulation beam num. (N)	25
1 st threshold	2 dB
M(Fig. 4. M/N criteria)	17
Integration time	5 sec
Sea state	2
Required Pd	0.9

표 2. 시뮬레이션을 위한 표적 거리/속도/RCS

Table. 2. Target range/velocity/RCS for simulation.

Target No.	Range	Velocity	RCS
Target 1	7 km	10 m/s	0.01 m ²
Target 2	15 km	-5 m/s	0.01 m ²
Target 3	15 km	-20 m/s	200 m ²

표적, 해상 클러터, 잡음의 전력 세기와 SCNR은 그림 11과 같다. 관심거리 \인 20 km 범위 내에서 최대 SCNR은 11.3 dB, 최소 SCNR은 7.6 dB가 된다^{[5],[6],[10]}.

해상클러터/표적/잡음 신호에 대한 몬테카를로 시뮬레이션을 수행한 결과, 거리에 따른 최종 탐지 확률은 그림 12와 같이 나타났다^[6].

경사거리 20 km 이내에서 표적의 탐지확률은 목표 탐지확률 0.9 이상으로 관심거리 전 영역에서 잠망경의 탐

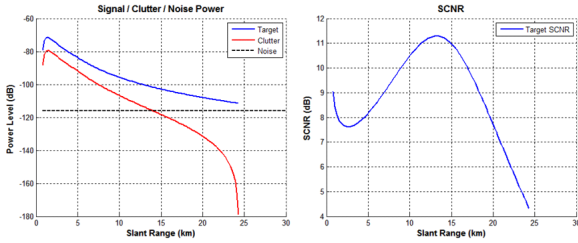


그림 11. 거리에 따른 표적/클러터/잡음 전력과 SCNR(표적 RCS0.01 m² 기준)

Fig. 11. Target/clutter/noise power and SCNR according to target range(target RCS 0.01 m²).

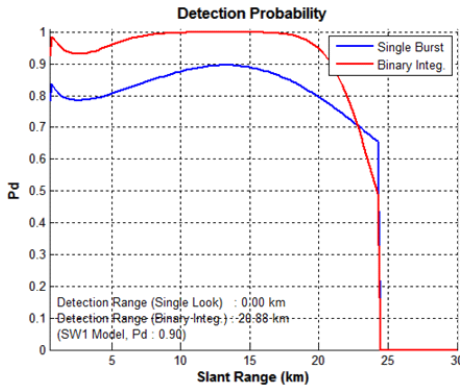


그림 12. 거리에 따른 탐지 확률 (표적 RCS 0.01m² 기준): 1차 CFAR 탐지 확률(파란 실선)과 M/N 조건에 따른 탐지 확률(빨간 실선)

Fig. 12. Detection probability according to target range (Target RCS 0.01 m²): 1st CFAR detection probability(blue line) and M/N criteria detection probability(red line).

지가 가능하다.

표적 RCS 값에 따른 탐지 확률은 그림 13와 같으며, 이로 부터 표적 RCS 값은 관심거리 전 영역에 대해 영향을 줄을 확인할 수 있다.

그림 14은 Sea State에 따른 탐지 확률을 보여준다. 표적의 SCNR은, 근거리에서는 SCR(signal to clutter ratio)에 의해 결정되며, 원거리에서는 SNR(signal to noise ratio)에 의해 결정된다. 따라서 sea state가 높아짐에 따라 클러터의 세기가 커졌을 때에는 근거리에서 표적 탐지가 제한됨을 확인할 수 있다.

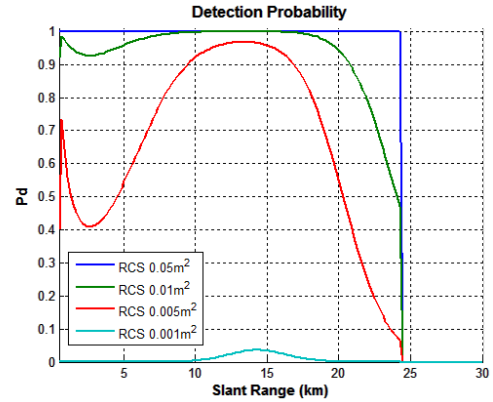


그림 13. 거리에 따른 탐지 확률: Sea State 2 기준: 표적 RCS(0.001~0.05 m²) 값에 의한 변화

Fig. 13. Detection probability according to target range (Sea state 2): Target RCS 0.001~0.05 m².

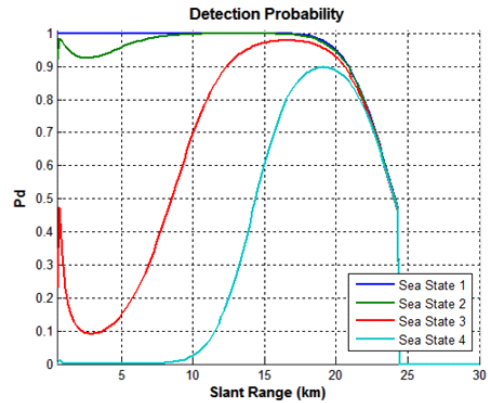


그림 14. 거리에 따른 탐지 확률: 표적 RCS0.01 m² 기준: Sea State(1~4) 값에 의한 변화

Fig. 14. Detection probability according to target range (target RCS 0.01 m²): Sea state 1~4.

V. 파형 운용 고려사항

잠망경 탐지 모드에서 충분한 SCNR을 얻기 위해 고해상도의 광대역 파형을 사용한다. 기계식 레이더인 기존 잠망경 탐지 레이더와 달리 AESA 레이더에서는 광대역 파형을 사용하는 경우, 빔의 Squint 현상이 나타난다.

즉, X밴드에서 대역폭 300 MHz의 펄스를 사용하는 경우, 60도로 빔을 조향 시, 펄스 시작점(fc) 대비 펄스 끝점(fc+300 MHz)에서 빔 지향 방향은 빔폭 대비 0.6배 정도

틀리지게 된다. 따라서 펄스 운용 시, 펄스 시작 시점에서의 지향방향과 펄스 종료 시점에서의 지향 방향 차이로 인해 성능 열화가 발생하므로 본 논문에서는 대역폭을 나누어 사용하는 SCW(steped chirp waveform)파형을 적용하였다. 4펄스 기준의 SCW를 적용 시, 각 펄스는 75 MHz의 대역폭을 갖게 되고, 각 펄스의 빔 Squint는 빔폭 대비 15 % 이내가 된다.

VI. 시뮬레이션 결과

표 2의 표적 시나리오에 대하여 누적 스캔 개수(N) 25 스캔 동안, 각각 저장된 펄스 압축된 I/Q 데이터는 그림 15와 같다.

위의 데이터에서는 레이다반사면적(RCS)이 큰 표적 3의 신호만이 구분 가능하며, 표적 1은 클러스터 신호에 묻혀서 구분이 안 되며, 표적 2는 표적 3 신호에 묻혀서 신호가 보이지 않는다.

위의 펄스 압축된 데이터의 전력 값으로 1차 CFAR 및 한계치 값에 의한 판별을 하면 그림 16과 같다.

실 표적의 궤적을 붉은 박스로 표현하였다. 이 단계에서 수많은 Hit들로부터 표적의 궤적을 구분하는 것은 어려운 문제임을 알 수 있다. 따라서 표적 검출을 위해서는 다음 단계로 허프 변환의 수행하여야 한다.

그림 17은 허프 변환을 수행한 결과이다. 파라미터 영역에서 세 표적이 모두 탐지됨을 확인할 수 있다. 추가로 아래 결과에서는 한 개의 허위 표적도 발생했음을 확인할 수 있다. 허위 표적은 잡음에 의해 생성되며, 1차 문턱치를 통과한 허위 탐지들이 궤적을 형성하였을 시 발생

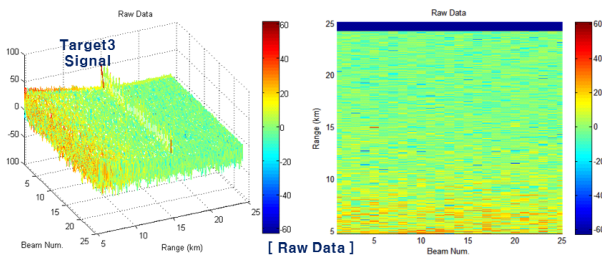


그림 15. 펄스압축된 I/Q 데이터(스캔수/거리 영역에서의 전력 레벨)

Fig. 15. Pulse-compressed I/Q data(power in scan number-range domain).

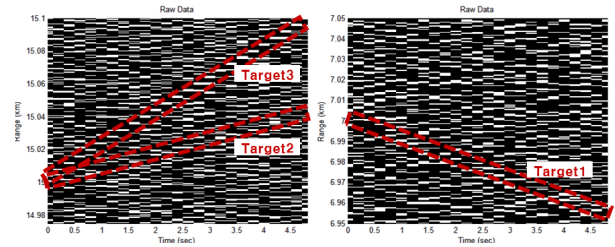


그림 16. 1차 CFAR 및 한계치 값에 의한 판별 결과
Fig. 16. Hit result after threshold criteria and 1st CFAR.

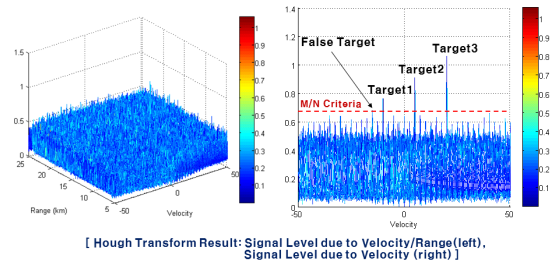


그림 17. Hough transform 처리 결과
Fig. 17. Result of hough transform processing.

한다. 이러한 허위 표적은 2장에서 분석한 것과 같이 주어진 조건하에서 각각의 셀에서 $10^{-8.5}$ 로 발생하게 된다.

탐지된 표적에 대한 역 호프 변환(inverse hough transform)인 back-projection을 통해 표적의 궤적을 확인할 수 있다(그림 18). 이 경우 그림 16에서 잘 드러나지 않았던 표적의 궤적 검출이 가능하였다. 표적 3의 경우, 펄스 압축된 I/Q 데이터에서 보였던 궤적과 일치함을 확인할 수 있으며, 표적 1, 2에 대한 궤적도 확인할 수 있다. 다양한 속도와 RCS를 갖는 표적 1, 2, 3 모두 탐지된 것을 확인할

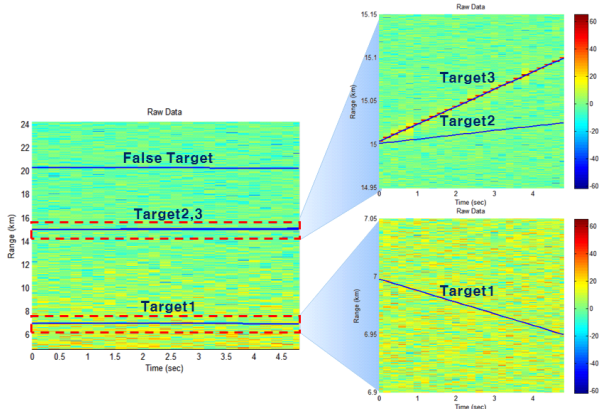


그림 18. Back-projection을 통한 표적 1, 2, 3의 궤적 (inverse hough transform)

Fig. 18. Trajectories of target 1, 2, 3 by back-projection (inverse hough transform).

수 있다.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 합정용 X밴드 다기능 AESA 레이다에서 잠망경 탐지를 위해 허프 변환을 적용하는 방법을 제시하고, 그에 따른 성능을 분석해 보았으며, 실제 시나리오에서의 표적 탐지 시뮬레이션을 통한 그 유효성을 확인하였다.

고해상도 파형 적용 및 SCW 적용을 통해 잠망경 탐지를 위한 충분한 SCNR 확보 및 빔 Squint 문제 해결하였으며, Scan-to-Scan 누적 처리를 위한 허프 변환을 통해 스파이크 성의 해상클러터 및 잡음은 억제하고, 관심 영역 전체에서 잠망경을 탐지할 수 있음을 확인하였다.

References

[1] E. Moshe, "Search radar track-before-detect using the

hough transform," M.S. thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, Mar. 1995.

- [2] M. Chittapur, K. Sharavana, "Track-before-detect technique for mitigating sea clutter based on hough transform," *IJCSN International Journal of Computer Science and Network*, vol. 3, no. 3, pp. 66-70, Jun. 2014.
- [3] B. D. Carlson, E. D. Evans, and S. L. Wilson, "Search radar detection and track with the hough transform. II. Detection statistics," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 30, no. 1, pp. 109-115, Jan. 1994.
- [4] J. Illingworth, J. Kittler, "A survey of the hough transform," *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, vol. 44, no. 1, pp. 87-116, Oct. 1988.
- [5] M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, New York, NY, McGraw-Hill, 2005.
- [6] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, 2nd ed. Boca Raton, FL, CRC Press, 2005.
- [7] D. C. Schleher, "Periscope detection radar," in *Proceedings International Radar Conference*, Alexandria, VA, 1995, pp. 704-707.
- [8] K. D. Ward, R. J. A. Tough, and S. Watts, *Sea Clutter: Scattering the K-Distribution and Radar Performance*, Stevenage, IET, 2006.
- [9] T. H. Kim, E. H. Kim, and S. J. Kim, "Time-domain model of surface clutter for airborne phase-array radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 7, pp. 730-736, Jul. 2013.
- [10] G. Morris, L. Harkness, *Airborne Pulsed Doppler Radar*, 2nd ed. Boston, MA, Artech House, 1988.

박 준 태 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7895-1792>



2011년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학 석사)
2011년 3월~현재: LIG넥스원(주) 레이더 연구소 선임연구원
[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템, 능동 위상 배열 레이더 등

박 준 현 [LIG넥스원/수석연구원]

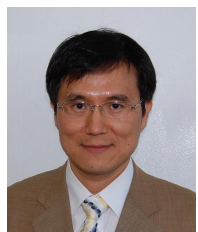
<https://orcid.org/0000-0003-2750-6688>



1996년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학 석사)
1996년 3월~현재: LIG넥스원(주) 레이더 연구소 수석연구원
[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더, 항공기 레이더, 레이더 신호처리 등

김 태 형 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5296-2389>



1999년 3월: 부산대학교 전자공학과 (공학 석사)
2007년 3월: 부산대학교 전자공학과 (공학 박사)
2010년 11월: 국방과학연구소 연구원
2010년 12월~현재: LIG넥스원(주) 레이더 연구소 수석연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템, 패턴인식 등

강 연 덕 [LIG넥스원/연구위원]

<https://orcid.org/0000-0003-0527-3641>



1993년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
1996년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 8월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)
2000년 9월~현재: LIG넥스원(주) 감시정찰연구소 연구위원

[주 관심분야] 레이더 시스템, 초고주파 소자, 전자파 해석 등

박 성 호 [LIG넥스원(주)/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5368-3242>



2006년 3월: 경상대학교 제어계측공학과 (공학사)
2008년 8월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
2008년 9월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 표적식별 기법 연구