

전투기 레이더의 공대공 원거리 표적 탐지를 위한 파형 설계

Waveform Design for Air-to-Air Long-Range Target Detection of Fighter Radar

김태형 · 이성원 · 박준현 · 강명일 · 이행수

Tae-Hyung Kim · Sung-Won Lee · June-Hyune Park · Myoung-Il Kang · Hang-Soo Lee

요 약

전투기의 플랫폼 고도가 낮거나 전투기 레이더가 하방의 표적을 탐지할 때 지상 클러터에 의해 레이더의 공대공 표적 탐지거리가 제한된다. 이런 지상 클러터에 의한 공대공 표적 탐지거리 제한을 극복하기 위해 클러터 영향이 없는 조건에서 표적 탐지가 가능한 HPRF(high pulse repetition frequency) 파형을 사용할 수 있다. 전투기 레이더의 원거리 공대공 표적 탐지를 위한 M-of-N PRF(pulse repetition frequency) 정책을 사용하는 HPRF 파형 설계를 제시한다. 설계한 파형의 성능과 효용성을 분석 및 전투기 레이더 SILS(software-in-loop simulation) 시험을 통해 확인한다.

Abstract

When the fighter's platform altitude is low or when the fighter radar detects downward-direction targets, the air-to-air target detection range of the radar is limited by ground clutter. To overcome the air-to-air target detection range limit caused by ground clutter, a high-pulse repetition frequency (HPRF) waveform that can detect air-to-air targets in clutter-free areas can be used. We present an HPRF waveform design that uses an M-of-N Pulse Repetition Frequency (PRF) schedule for long-range air-to-air target detection of a fighter radar. The performance and effectiveness of the designed waveform were confirmed through analysis and fighter radar SILS (software-in-loop simulation) testing.

Key words: Fighter Radars, Long-Range Air-to-Air Targets, Waveform Design, PRF Design, SILS, FA-50

I. 공대공 원거리 표적 탐지와 M-of-N HPRF 정책

전투기 레이더의 공대공 표적 탐지에서 LPRF, 즉 Low PRF(pulse repetition frequency) 파형은 지상 클러터 간섭에 취약하다. MPRF(medium PRF) 파형은 거리/속도 영역에서 여러 거리와 속도의 신호가 겹치는(folded) 현상으로 플랫폼 고도 근처의 부엽 클러터가 모든 거리 영역에 영향을 미치기 때문에, 플랫폼의 저고도에서 높게 들어오는 부엽 클러터 전력이 원거리 공대공 표적 탐지성능을 제

한한다^{[1],[2]}. HPRF(high PRF) 파형은 표적 거리와 플랫폼 고도 및 빔 조향 방향과는 상관없이 지상 클러터를 완전히 배제할 수 있는 도플러 영역에서 표적을 탐지할 수 있다^[3]. 그러나 HPRF 파형은 표적 거리를 모호성 없이 측정하기 어렵다. FM(frequency modulation) ranging 기법^[3] 등을 사용하여 HPRF 파형에서 모호성 없는 거리값을 측정하기는 하지만, FM ranging 기법은 클러터 확산 및 표적 거리에 따른 표적 도플러 주파수 이동 현상으로 근거리의 표적 탐지가 제한을 받는 약점이 있다^[3]. 또한 3-of-3

LIG넥스원(주) (LIG Nex1 Co., Ltd.)

· Manuscript received June 8, 2024 ; Revised August 2, 2024 ; Accepted August 29, 2024. (ID No. 20240608-006S)

· Corresponding Author: Tae-Hyung Kim (e-mail: thkim07@gmail.com)

탐지 정책 때문에 단일 버스트(burst)로 탐지했을 때보다 긴 버스트 길이를 요구하여 원거리 표적 탐지를 위해서 요구되는 버스트 길이는 더 길어지게 된다. 버스트 내 동기 적분(coherent integration)^[4]을 위한 동기 유지 시간의 제한으로 버스트 길이가 제한되므로 파형의 버스트 길이 증가를 통한 표적 탐지거리 증대 설계가 상대적으로 제약을 많이 받는 약점이 있다. 본 논문에서는 HPRF 범위의 PRF들로 M-of-N PRF 정책^[1]을 운용하는 M-of-N HPRF 정책을 사용한 표적 탐지방법을 제시한다. 그리고 M-of-N HPRF 정책을 위한 적절한 M과 N 및 PRF 집합들을 설계하는 방법을 제시한다. 본 논문의 M-of-N HPRF 정책은 거리 모호성을 해결할 수 있으며 적절한 M과 N의 선택으로 버스트 길이 제한에 상대적으로 자유롭게 원거리 탐지가 가능한 파형을 설계할 수 있다. FM ranging 방법에 비해 상대적으로 짧은 시간의 빔 운용으로도 보다 원거리 표적 탐지가 가능하다. 그리고 클러스터 확산에 의한 근거리 표적 탐지가 제약받는 현상도 없으며 접근과 퇴각 표적을 모두 탐지하고 거리/속도를 추출할 수 있다.

II. M-of-N HPRF 정책의 M과 N 및 PRF 집합의 선택

M-of-N HPRF 정책에서 탐지 빔의 송신 시간을 되도록 짧게 하면서 최대한 긴 탐지거리를 확보할 수 있고, 가해 독성(decodability)^[1]과 가시성^[1]을 보장하는 PRF 집합을 확보할 수 있는 M과 N을 선택해 보도록 한다. 먼저는 단일 버스트의 탐지 빔으로 획득되는 최대 탐지거리와 동일한 최대 탐지거리를 가지는 M-of-N HPRF 정책의 탐지 빔의 송신 시간을 M과 N의 값에 따라 비교하는 작업을 통해 한다. 본 논문에서는 $T_b = 0.00ms$ 길이의 단일 버스트 빔으로 그림 1(a)와 같은 표적 거리별 탐지확률을 나타내는 전투기 레이더를 가정한다. 그림 1(a)는 $tgt_{RCS} = 0.0$ 로 표적 RCS를 가정하고 표적 오탐지확률^[4] $P_{fa} = 10^{-6}$ 에서 표적 탐지확률^[4] P_d 가 0.8 이상을 만족하는 탐지거리를 나타내었고, $P_d = 0.8$ 일 때 표적 SNR은 17.85 dB이상이었다. $P_d = 0.8$ 과 $P_{fa} = 10^{-6}$ 의 조건에서 표적 Swerling 모델^[4] 1의 표적 탐지거리는 65.36 km이다. 본 논문에서는 표적 Swerling 모델 1을 기준으로 해서 분석하였으며 그림 1(a)에서 처럼 참고 및 비교를 위해 표적 Swerling 모

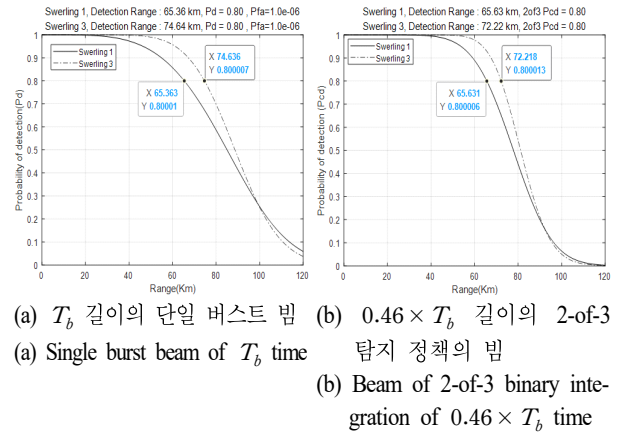


그림 1. 오탐지확률 10^{-6} 에서 표적 거리 별 탐지확률
Fig. 1. Detection probabilities for target ranges in the condition of false alarm rate 10^{-6} .

델 3의 분석 결과도 같이 표현하였다. 이제 그림 1(a)와 동일 P_d 및 탐지거리를 만족하기 위한 몇 가지 M-of-N 탐지 정책(M-of-N binary integration)의 송신 빔 시간을 구하여 본다. 먼저 2-of-3 탐지 정책부터 한다. 2-of-3 탐지 정책의 송신 빔은 연속된 동일한 길이와 동일한 듀티를 가지는 3개의 버스트로 구성된다. 탐지거리를 만족시키기 위해 요구되는 각 버스트의 시간 길이를 분석한다. 이를 위해 먼저 3개의 각 단일 버스트에서 오탐지확률을 식 (1)을 이용하여 정한다. M-of-N 탐지 정책에서 사용하는 N개의 버스트들에서의 탐지 결과를 누적하는 방법에서는^[1] 식 (1)과 같이 버스트 단위 오탐지확률 P_{fa} 을 정하면 M-of-N 탐지 정책 빔의 오탐지확률 P_{Cfa} 이 정해진다^[5].

$$P_{Cfa} = ({}_NC_M)(P_{fa})^M \quad (1)$$

식 (1)에서 ${}_NC_M$ 은 N개에서 M개를 선택하는 조합의 수를 나타낸다. 식 (1)에 의하면 2-of-3 탐지 정책의 경우에는 $P_{Cfa} = 10^{-6}$ 이 되는 P_{fa} 의 값은 5.8×10^{-4} 이다. N개의 버스트에서 탐지 결과를 누적할 때 탐지 결과들을 버스트들 간에 클러스터링(clustering)하는데 클러스터링 과정에서 오탐지가 증가할 수 있다. 이런 현상 및 버스트들간에 클러스터링하는 윈도우 크기를 고려(9개의 셀을 고려)하여 $P_{C9fa} = 5.8 \times 10^{-4} = 1 - (1 - P_{fa})^9$ 이 되는 P_{fa} 의 값을 각 단일 버스트에서 요구되는 오탐지확률로 정한다. 즉 $P_{Cfa} = 10^{-6} = ({}_3C_2)(P_{C9fa})^2$ 이 되는 P_{fa} 의 값을 각 단

일 버스트에서의 오탐지확률 P_{fa} 로 정하고자 한다. 그러면 $P_{fa} = 6.4 \times 10^{-5}$ 로 정하게 된다. 이제 2-of-3 탐지 정책을 사용하는 빔의 각 버스트에서 오탐지확률을 6.4×10^{-5} 로 하여 T_b 길이의 단일 버스트 빔과 동일한 탐지확률 및 탐지거리를 가지게 하는 각 버스트의 시간 길이를 구한다. 듀티를 동일하게 가져갈 경우에 T_b 길이의 버스트에서 표적 SNR을 SNR_{Tb} 라고 하면 T_x 길이의 버스트에서는 $SNR_{Tb} \times T_x / T_b$ 의 표적 SNR을 가진다. T_x 길이의 버스트에서 표적 SNR과 오탐지확률 P_{fa} 를 이용하여 각 버스트에서 표적 탐지확률을 구할 수 있으며, T_x 길이의 버스트에서 표적 탐지 확률 P_d 와 식 (2)를 이용하여 M-of-N 탐지 정책에서의 표적 탐지확률 P_{Cd} 를 구할 수 있다^[5].

$$P_{Cd} = \sum_{r=M}^N \binom{N}{r} (P_d)^r (1 - P_d)^{N-r} \quad (2)$$

$P_{fa} = 6.4 \times 10^{-5}$ 및 표적 Swerling 모델 1을 기준으로 표적 SNR이 14.47dB일 때 $P_d = 0.72$ 이며, 식 (2) 등을 통

해 구한 2-of-3 탐지 정책의 $P_{Cd} = 0.8$ 이 된다. 2-of-3 탐지 정책에서 $T_x = T_b \times 10^{(14.47 - 17.85)/10} = 0.46 \times T_b$ 로 한 버스트 길이를 정하면 표적 Swerling 모델 1을 기준으로 2-of-3 정책의 탐지 빔은 T_b 길이의 단일 버스트 탐지 빔과 동일한 탐지확률 0.8 및 탐지거리를 오탐지확률 10^{-6} 조건에서 가지게 된다. 2-of-3 탐지 정책의 버스트 길이를 $0.46 \times T_b$ 로 하고 $P_{Cfa} = 10^{-6}$ 조건에서 P_{Cd} 가 0.8 이상을 만족하는 탐지거리를 그림 1(b)에 나타내었다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 표적 Swerling 모델 1과 빔 단위 오탐지확률 10^{-6} 조건에서 2-of-3 정책의 탐지 빔이 $0.46 \times T_b$ 길이의 버스트들로 구성되면 단일 버스트 탐지 빔과 거의 동일한 표적 탐지거리 성능을 나타낼 수 있다. 2-of-3 탐지 정책의 빔에 대한 분석 과정을 여러 가지 M-of-N 탐지 정책에 대하여 동일하게 적용하여 분석한 결과를 표 1에 정리했다. 표 1은 동일 표적 RCS 및 Swerling 모델 1을 기준으로 분석한 결과를 정리한 것이다. 표 1에서 N이 커질수록 송신 빔 시간이 적게 필요하

표 1. M-of-N 탐지 정책의 다양한 M과 N에서 요구되는 버스트의 길이와 탐지거리 및 가해독성을 보장하는 PRF 집합의 분석

Table 1. Analysis of required burst's length and detection range and decodable PRF sets for various M and N of binary integrations.

| Beam type | Burst number in the beam | Length of one burst | SNR of one burst | P_{fa} of one burst | P_d of one burst | Length of the beam | P_{Cfa} of the beam | P_{Cd} of the beam | Detection range of the beam | Number of decodable PRF sets |
|-----------|--------------------------|---------------------|------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1-of-1 | 1 | T_b | 17.85 dB | 10^{-6} | 0.8 | T_b | 10^{-6} | 0.8 | 65.36 km | - |
| 2-of-3 | 3 | $0.46 \times T_b$ | 14.47 dB | 6.4×10^{-5} | 0.72 | $1.38 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.63 km | 0 |
| 2-of-4 | 4 | $0.29 \times T_b$ | 12.44 dB | 4.5×10^{-5} | 0.58 | $1.15 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.40 km | 0 |
| 3-of-4 | 4 | $0.48 \times T_b$ | 14.70 dB | 7.0×10^{-4} | 0.79 | $1.93 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.39 km | 172 |
| 2-of-5 | 5 | $0.22 \times T_b$ | 11.27 dB | 3.5×10^{-5} | 0.49 | $1.10 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.38 km | 0 |
| 3-of-5 | 5 | $0.30 \times T_b$ | 12.62 dB | 5.2×10^{-4} | 0.68 | $1.50 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.47 km | 7 |
| 4-of-5 | 5 | $0.52 \times T_b$ | 15.02 dB | 2.4×10^{-3} | 0.83 | $2.61 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.39 km | 0 |
| 2-of-6 | 6 | $0.18 \times T_b$ | 10.50 dB | 2.8×10^{-5} | 0.42 | $1.10 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.46 km | 0 |
| 3-of-6 | 6 | $0.22 \times T_b$ | 11.35 dB | 4.1×10^{-4} | 0.59 | $1.34 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.45 km | 0 |
| 4-of-6 | 6 | $0.32 \times T_b$ | 12.90 dB | 1.8×10^{-3} | 0.73 | $1.92 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.58 km | 0 |
| 2-of-7 | 7 | $0.16 \times T_b$ | 9.89 dB | 2.4×10^{-5} | 0.37 | $1.12 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.41 km | 0 |
| 3-of-7 | 7 | $0.18 \times T_b$ | 10.50 dB | 3.4×10^{-4} | 0.52 | $1.29 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.51 km | 0 |
| 4-of-7 | 7 | $0.24 \times T_b$ | 11.58 dB | 1.5×10^{-3} | 0.65 | $1.65 \times T_b$ | 10^{-6} | 0.8 | 65.58 km | 0 |

긴 하지만 M-of-N PRF 정책에서 가해독성을 보장하는 운용 PRF 집합^[1]을 N이 커질수록 확보하기 힘들기에 $N=7$ 까지만 정리하였다.

이제 M과 N을 선택하기 위한 다른 지표인 가해독성을 만족하는 운용 PRF 집합과 가시성에 대해 확인해 본다. 먼저 가용한 PRF 범위를 설정해 본다. PRF 범위는 관심 표적의 최대 속도와 구현 가능한 최저 펄스폭 등을 고려하여 설정한다. 관심 표적의 최대 속도를 이용하여 모호성 없이 지상 클러터가 존재하지 않는 영역에서 최대 속도의 표적을 탐지할 수 있는 PRF 값으로 가용한 PRF 범위의 최솟값을 설정할 수 있다. 본 논문에서는 x-band의 송신주파수를 사용하고 최대 표적 관심 속도를 마하 4 또는 마하 ± 2 로 가정하여 최대 PRI(pulse repetition interval)를 $11.2 \mu s$ 로 설정해 보았다. 가용한 PRF 범위의 최댓값은 최소 송신 펄스폭과 송신 듀티(duty)를 고려하여 설정할 수 있다. 본 논문에서는 최소 송신 펄스폭을 $0.6 \mu s$ 로 그리고 송신 듀티를 10 %로 가정하여 최소 PRI를 $6 \mu s$ 로 설정해 보았다. 이렇게 설정한 PRI 범위에서 $0.2 \mu s$ 단위로 가용 PRI들을 정하고 가용 PRF들에서 가해독성을 만족하는 M-of-N HPRF 정책을 위한 운용 PRF 집합들을 구한다. 운용 PRF 집합은 표적의 최소와 최대 관심거리/관심속도 범위에서 고스트 없이 표적을 탐지하고 거리와 속도의 모호성을 해결할 수 있는(가해독성을 보장하는, decodable) PRF 들을 원소로 하는 집합이다. 가해독성을 알아보는 방법은 참고문헌 [1]에서 설명한 방법을 사용하였다. 가해독성 확인을 위한 관심거리 범위는 최소 탐지거리(송신 펄스폭)에서 300 km로 하고 관심속도 범위는 마하 -4에서 마하 +4로 하였다. 가해독성 여부 판단의 기준값으로 사용하는 모호성 문턱값^[1]은 거리 영역에서는 거리 해상도의 2배 값으로 속도 영역에서는 속도 해상도의 4배 값으로 하였다(현 PRF 범위에서 속도 쪽은 모호성이 존재하지 않으므로 속도 영역에서 모호성 문턱값은 의미가 없음). 기술한 과정을 동일한 관심거리/관심속도 범위와 모호성 문턱값을 사용하여 여러 M과 N에 대하여 PRF 집합을 조사한 결과를 표 1의 마지막 열에 나타내었다. 표 1의 마지막 열에 각 M-of-N PRF 정책에 대해서 획득한 가해독성을 보장하는 PRF 집합들의 개수를 표현하였으며, 가해독성을 보장하는 PRF 집합들이 존재하는 정

책은 3-of-4 HPRF 정책과 3-of-5 HPRF 정책이다. 3-of-4와 3-of-5 HPRF 정책들에서 구하여진 PRF 집합의 가시성을 참고문헌 [1]에서 제시한 방법으로 구하여 보았을 때, 3-of-5 HPRF 정책의 7개 HPRF 집합들의 가시성은 높은 것부터 차례로 98.42 %, 98.41 %, 98.3 %, 98.26 %, 98.08 %, 97.99 %, 97.90 %이며 $\{7.6 \mu s, 9 \mu s, 9.2 \mu s, 9.6 \mu s, 10.2 \mu s\}$ 이 최고의 가시성 98.42 %를 가지는 PRF 집합이었다. 그리고 3-of-4 HPRF 정책의 172개 PRF 집합들 중에서는 91.78 %의 가시성을 가지는 집합 $\{9.2 \mu s, 10.6 \mu s, 10.8 \mu s, 11.2 \mu s\}$ 이 최고의 가시성을 가졌다. 가시성 계산에서 고려한 음영(blindness) 요소^[1]는 주엽클러터와 송신 펄스이며 HPRF 파형이므로 부엽클러터에 의한 음영 요소는 고려하지 않았다. 주엽클러터 요소에 의한 음영폭^[1]은 도플러 속도 영역에서 ± 50 m/s 속도 영역의 폭으로 정하였고 송신 펄스에 의한 음영폭은 거리 영역에서 듀티 10 % 등을 고려한 송신 펄스폭으로 정하였다. 표 1의 송신 빔 길이와 가시성 분석결과 등을 고려해 3-of-5 HPRF 정책을 선택할 것을 제안한다. 분석결과를 바탕으로 3-of-5 HPRF 정책을 선택하고 III장에서 SILS 시험으로 효용성을 확인한다.

III. SILS를 통한 시험과 결과 분석 및 결론

전투기 레이더 SILS 시스템은 참고문서 [6]에서 제시한 전투기 AESA(active electronically scanned array) 레이더 시험 시스템을 사용하였다. 시험에 사용한 플랫폼과 표적의 기동 시나리오는 그림 2와 같다. 그림 2(b)에서 12개 표적 속도들은 300 m/s에서 600 m/s까지 다양하게 구성하였다. 표적 RCS 및 전투기 레이더 시스템 파라미터

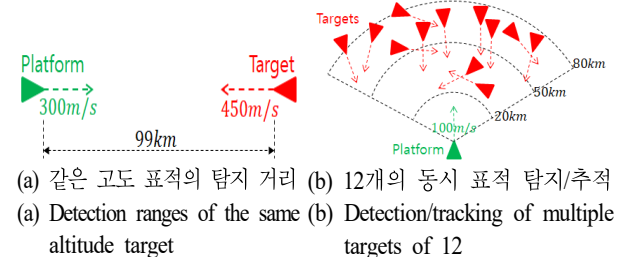


그림 2. 시험 시나리오

Fig. 2. Test scenarios.

등은 II장에서 가정한 값들을 사용하고 Swerling 모델 1의 표적을 가정하였다. 그림 2의 모든 시나리오에서 플랫폼은 등속 수평 비행을 하였다. 그림 2(a)의 시험 시나리오에서 레이더의 탐색 빔은 고각 0° 방향으로 방위 방향 -10° 에서 $+10^\circ$ 까지 1bar 스캔을 하였다. 그림 2(b)의 시험 시나리오에서 탐색 빔은 고각 0° 방향으로 방위 방향 -60° 에서 $+60^\circ$ 까지 1bar 스캔을 하였다. 본 장의 시험에서 탐색 및 추적에 사용한 PRF 집합은 II장에서 언급한 PRF 집합을 사용했다. 그림 2(a)의 시나리오로 탐색 빔의 표적 최대 탐지 거리 시험을 10번 반복하여 93.4 km, 84.5 km, 3번의 91.5 km, 90.1 km, 92.6 km, 92.5 km, 87.1 km 및 94.8 km의 최대 탐지 거리 결과를 얻었다. 이 시험 결과를 확인하기 위하여 표적의 누적탐지확률 및 탐지거리 분석을 하였으며^[7], 분석결과 누적탐지확률 0.8로 90.06 km 거리의 표적을 탐지할 수 있음을 확인했다. 누적탐지확률 분석결과와 비슷하게 앞의 10번의 시나리오 반복 시험 결과에서 90.06 km 이상의 거리에서 표적을 탐지한 횟수가 8번인 것을 확인할 수 있다. 시험 결과의 평균 표적 최대 탐지 거리도 90.9 km로서 누적탐지확률 0.8의 표적 탐지거리가 90.06 km라는 분석값과 유사하다. 그림 2(b)는 12개의 표적에 대해 능동추적^[6]으로 다중표적 추적을 유지하는 지를 확인하는 시험 시나리오이며, 본 논문에서는 참고문헌 [6]의 SILS 시험 시스템에서 제공하는 시험결과분석 소프트웨어를 이용하여 그림 2(b)에 대한 다중표적의 능동추적 시험결과를 확인하였다. 그림 3은 능동추적 시험결과를 분석 소프트웨어로 나타낸 것이다. 그림 3에서 a의 사각 심볼은 표적 추적 필터의 표적의 위치 출력값을, b의 사각 심볼은 표적 추적 필터의 메모리 추적에^[6] 의한 표적의 위치 출력값을, d의 둥근 심볼은 탐색 빔에서 탐지된 표적의 위치 측정값을, 그리고 c의 사각 심볼은 추적 빔에서 탐지된 표적의 위치 측정값을 지도 위에 나타낸 것이다. 참고로 e의 둥근 심볼은 플랫폼의 위치를 지도위에 나타낸 것이다. 그림 3의 결과를 보면 4개 표적들이 중간에 표적 추적을 놓치고 다시 표적을 탐지하고 추적을 유지하는 것을 볼 수 있으며, 나머지 8개 표적들은 추적 유지를 잘하는 것을 볼 수 있다. 이것은 4개의 표적들이 레이더가 탐지하기 힘든 영속도 영역에 들어가거나 먼 거리(70 km 이상)에 위치해 있어서 중간에

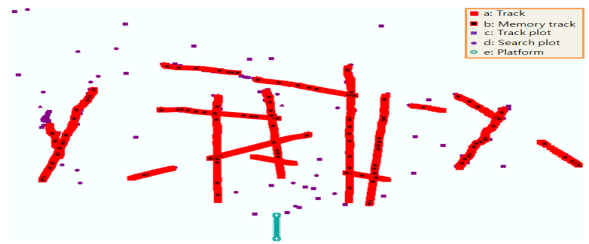


그림 3. 제안한 3-of-5 탐지 정책의 PRF 집합 선정 방법을 이용한 12개 표적의 능동추적 시험결과

Fig. 3. The active tracking test result for the scenario of 12 targets using the proposed method of selection of PRF set for 3-of-5 binary integration.

추적 유지를 실패한 것으로 보인다. 위의 표적 최대 탐지 거리 시험과 다중표적의 능동추적 시험의 결과로 제안한 3-of-5 HPRF 정책 및 PRF 집합 선정 방법의 효용성을 확인할 수 있다.

본 논문에서 원거리 공대공 표적 탐지와 탐지거리 확장에 용의한 M-of-N HPRF 정책을 사용하는 HPRF 파형 설계를 제시했다. 구체적으로 3-of-5 HPRF 정책과 탐지에 사용할 PRF 집합 및 선정 방법을 제시했다. 제안한 HPRF 탐지 파형 설계는 FA-50용 AESA 레이더와 같은 전투기 AESA 레이더에 적용하여 사용할 수 있다.

References

- [1] T. H. Kim, E. H. Kim, and S. W. Lee, "Real-time PRF selection for search/track in MPRF waveform airborne radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 10, pp. 1050-1061, Oct. 2014.
- [2] T. H. Kim, H. W. Jeon, J. H. Shin, and Y. D. Kang, "Improvement of detection ranges for targets in sidelobe clutter surroundings by sigma-delta STAP for airborne radars," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 19, no. 4, pp. 234-238, Oct. 2019.
- [3] T. H. Kim, S. H. Ryu, J. H. Shin, H. W. Jeon, S. H. Jang, and S. J. Kim, "Design of signal processing for target detection and tracking based on high pulse repetition frequency waveforms in airborne active electronically scanned array radars," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30,

no. 12, pp. 951-963, Dec. 2019.

- [4] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, 2nd ed. Boca Raton, FL, Chapman and Hall, 2005.
- [5] M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, New York, NY, McGraw Hill, 2005.
- [6] T. H. Kim, H. W. Jeon, S. W. Lee, J. T. Park, M. I. Kang, and J. H. Park, "Software-in-loop simulation

system implementation for fighter radar developments," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 9, pp. 730-738, Sep. 2022.

- [7] E. H. Kim, J. E. Roh, "Calculation of the detection range for a given cumulative probability in airborne surveillance radars," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 1, pp. 24-27, Jan. 2018.

김 태 형 [LIG넥스원/수석연구원]

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



2007년 3월: 부산대학교 전자공학과 (공학박사)
 2010년 11월: 국방과학연구소 연구원
 2010년 12월~현재: LIG넥스원(주) 레이더 연구소 수석연구원
 [주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템, 패턴인식 등

강 명 일 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-6057-9104>



2004년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2006년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학석사)
 2006년 2월 ~ 2007년 10월: LG전자 (주) 임연구원
 2007년 10월~현재: LIG넥스원 (주) 레이더 연구소 수석연구원

[주 관심분야] 레이더시스템, 전원 및 레이더송수신

이 성 원 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-9425-6581>



2007년 2월: 아주대학교 정보및컴퓨터공학과 (공학사)
 2009년 2월: 아주대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2014년 1월: 아주대학교 정보컴퓨터공학 (공학박사)
 2014년 1월~현재: LIG넥스원(주) 레이더 연구소 수석연구원

[주 관심분야] 레이더 통제/제어, 레이더 자원관리, 소프트웨어 아키텍처, 소프트웨어 신뢰성시험 등

이 행 수 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-6323-6294>



2006년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
 2006년 3월~현재: LIG넥스원 (주) 레이더 연구소 수석연구원
 [주 관심분야] 능동위상배열 레이더, 근접방어무기체계, 레이더시스템 등

박 준 현 [LIG넥스원/수석연구원]

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



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