

탐색 레이다 스캔 주기 추정 및 기만 신호 생성 기법

이정란*, 강희석**¹, 김정한**², 박성균**³

Scan Period Estimation and Deception Signal Generation Method of the Search Radar

Jungran Lee*, Heeseog Kang**¹, Jeonghan Kim**², and Sungkyun Park**³

요약

레이다를 대상으로 하는 전자공격 체계는 광대역 고출력의 잡음 신호를 방출함으로써 레이다의 기능을 무력화 시키거나 허위 표적 신호를 송출함으로써 아군 무기체계의 생존성 및 작전 운용성을 높이게 된다. 레이다 재밍 시스템에서 기만 성능을 높이기 위해서는 레이다의 기본적인 파라미터 분석 외에도 레이다의 스캔 주기 추정이 필요하다. 본 논문에서는 탐색 레이다의 주파수, 펄스폭, 반복 주기, 펄스의 크기 및 도달 시간 정보 등 기본적인 PDW 정보를 기반으로 칼만 필터를 활용하여 탐색 레이다의 스캔 주기를 추정하는 방법에 대해 제안하였다. 본 논문에서는 추정된 스캔 패턴을 기반으로 탐색 레이다를 대상으로 하는 기만 신호를 생성하는 방안에 대해 기술하였으며, HILS를 통해 검증한 결과를 제시하였다.

Abstract

Electronic attack systems against radar use wideband high power noise jamming to neutralize enemy radar or false target signals to improve survivability and operability of friendly combat system. To improve the deception performance in the radar jamming system, it is necessary to estimate the scan period of the radar as well as analyzing the basic parameters. This paper presents the method of estimating the scan period of search radar using Kalman Filter based on the basic parameters such as frequency, pulse width, pulse repetition interval, pulse amplitude and time of arrival of search radar. This paper presents the method of generating the deception signal based on estimated scan period, and test results using HILS are presented to show the performance of the proposed method.

Keywords

deception, radar, scan period, Kalman filter

* 한화시스템(주) 통신·전자전센터(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4944-6364>

** 한화시스템(주) 통신·전자전센터

- ORCID¹: <http://orcid.org/0000-0002-3924-9407>

- ORCID²: <http://orcid.org/0000-0002-2492-0579>

- ORCID³: <http://orcid.org/0000-0002-2133-5876>

· Received: Oct. 15, 2020, Revised: Nov. 12, 2020, Accepted: Nov. 15, 2020

· Corresponding Author: Jungran Lee

Communication·EW Center, Hanwha Systems Co., Ltd, Korea,

Tel.: +82-31-8091-7710, Email: jrlee@hanwha.com

I. 서 론

전자전이란 전자파 스펙트럼을 군사적으로 활용하는 것을 의미하며, 전자전체계는 주로 전파 신호를 탐지 및 식별하는 ES(Electronic warfare Support), 전자 공격을 하기 위한 EA(Electronic Attack)와 전자적 방어를 위한 EP(Electronic Protection) 등으로 구분된다[1].

일반적으로 레이더는 전파를 송신하고 표적에서 반사된 전파가 수신된 시간/방향/주파수 등을 통해 표적의 거리/방향/속도 등의 위치 정보를 획득하며, 원형/섹터/라스터/헬리컬/코니컬 스캔 등 다양한 패턴으로 스캔을 한다[2][3].

레이더 재밍 및 기만은 적의 레이더 시스템의 작전 운용 능력 및 효율성을 무력화시키는 형태의 전자 공격 기술이다. 일반적으로 Radar 재밍은 적의 레이더가 사용하는 주파수 대역의 고출력 무선 신호를 방출함으로써 레이더의 기능을 무력화시키거나 허위 표적 신호를 송출함으로써 아군 무기체계의 생존성 및 작전 운용성을 높이게 된다[4]. 그러나 기존의 고출력 잡음신호를 지속적으로 송출하는 경우 레이더가 해당 주파수를 사용하지 않거나 재밍이 위치한 특정 방향의 신호를 무시하는 방법으로 재밍 효과가 감소되는 단점이 있다.

허위 표적 신호를 만들어 내는 방법에는 DRFM(Digital Radio Frequency Memory)을 활용한 거리기만과 및 속도 기만이 대표적이다. 거리기만은 DRFM에 저장된 신호의 지연시간을 조정하는 방법인 RGPO/I(Range Gate Pull Off/In) 방식을 적용하며, 속도 기만은 주파수 천이를 이용한 VGPO/I(Velocity Gate Pull Off/In) 방식을 적용한다[5]. 이러한 거리 및 속도 기만 방식은 레이더의 안테나가 탐색하고자 하는 표적을 정면으로 바라보고 있는 상태에서 가능하며, 레이더의 다양한 탐지 범위에서 동시에 기만 신호를 발생하기 어렵다는 단점이 있다.

이를 보완하기 위해 본 논문에서는 탐색 레이더의 스킵 상 다양한 위치에서 허위 표적을 생성하기 위해 레이더의 PDW(Pulse Descriptor Word) 분석과 더불어 탐색 레이더의 스캔 주기를 추정하고, 이 스캔 주기에 동기된 복수의 허위 표적 신호 생성이 가능한 구현 방안을 제안한다.

II. 스캔패턴 추정

일반적으로 레이더를 대상으로 하는 전자전 체계는 레이더 신호를 탐지 및 식별하는 ES 체계와 전자 공격을 하기 위한 EA 체계로 분리되어 구성된다. ES 시스템은 레이더가 방사한 신호들을 탐지 및 식별하여 활동 중인 레이더 정보를 운용자에게 전시/경보하고, 전자전장비가 탑재된 플랫폼을 보호하기 위한 방해 및 기만 재밍에 필요한 레이더 정보를 EA 시스템에 전송한다[6].

그림 1은 본 논문에서 제안하는 기만체계의 블록도이다. 본 논문에서는 보다 단순한 구조로 전자전 체계를 구성하기 위해 DRFM을 적용한 ES 및 EA가 통합된 형태의 기만체계를 제시하며, DRFM 활용하여 레이더의 기본적인 파라미터를 추출하여, 이를 기반으로 스캔 주기를 검출하는 구조를 제시한다. 주요 구성품은 송/수신 안테나, 광대역 주파수 상/하향 변환기, DRFM, 분석 및 신호생성부 및 고출력 증폭기 등으로 구성된다.

다양한 범위의 레이더 신호분석 및 기만신호 생성을 위해 광대역 주파수 상/하향 변환기 외에도 DRFM에 적용되는 ADC(Analog to Digital Converter)나 DAC(Digital to Analog Converter) 등의 성능 제약으로 주파수 범위가 제약되는 것을 보완하기 위해 DRFM 내부에 주파수 상/하향 변환기를 추가로 구성하였다.

DRFM은 다양한 레이더 신호 및 변조된 신호를 정확히 복제할 수 있으며, 신호의 딜레이를 조정하고 프로세스 가공과정을 거쳐 다양한 형태의 재밍 효과와 다수의 허위 표적 타겟을 만들어 낼 수 있다[7][8].

본 논문에서 제안하는 레이더의 허위 표적 생성 기법은 적 레이더의 PDW 및 스캔주기를 분석하여 레이더의 보어사이트 내에 허위 표적이 있는 것으로 인식할 수 있도록 기만 신호의 송신 시점을 레이더의 스캔 주기에 동기화하여 실제 표적과 유사한 허위 표적 신호를 발생시킨다. 기만체계 구성품 중 DRFM은 레이더 신호를 수집/분석해서 TOA(Time Of Arrival), 주파수, 펄스폭, 펄스 세기를 체계 SW로 전달한다.

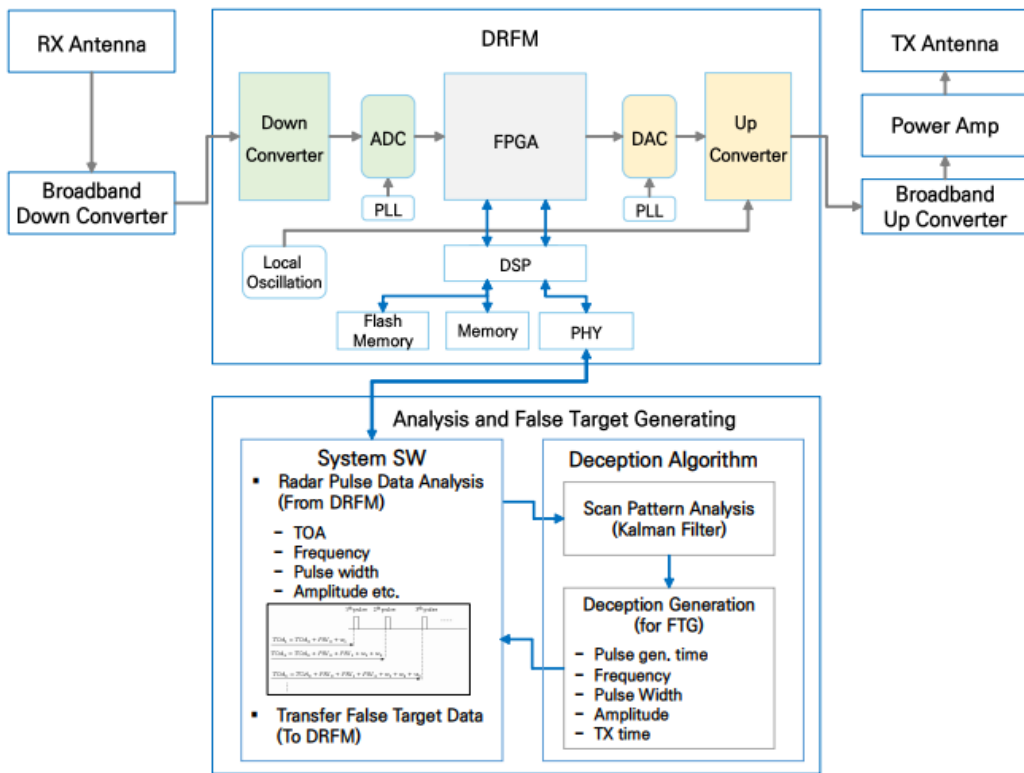


그림 1. 기만체계 블록도
Fig. 1. Block diagram of deception system

체계 SW는 DRFM에서 수집되는 펄스 데이터를 수신하여 타겟하는 탐색 레이더의 주파수, 펄스폭, 반복 주기, 펄스의 크기 및 도달 시간 정보 등 기본적인 PDW 정보를 추출하고 이를 기반으로 칼만필터를 통해 스캔 주기를 추정한다.

탐색 레이더의 스캔 주기 추정 알고리즘 검증을 위해 우선 레이더의 수신 신호를 모델링하였고, 적용된 M&S 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. M&S 파라미터
Table 1. M&S parameter

Parameter	Value
Radar scan pattern	Circular scan
Radar ant horizontal beam width	4.0°
Radar ant side lobe level	Below -21dB
Radar scan period	Approx. 24R/Min.
M&S sampling time	10ms

모의 신호 생성 결과는 그림 2와 그림 3과 같이 나타났다. 레이더와 재머의 위치는 180도의 각도 차이를 둔 일직선상에 있는 조건으로 M&S를 수행하

였다.

시스템 모델과 측정모델에 기반하여 측정치로부터 최적의 추정치를 얻는 문제에 대한 해법은 많은 연구가 시도되어왔다. 특히 시스템이 선형적이고 시스템 모델의 불확실성 및 측정 오차가 정규분포를 가지는 경우 가장 대표적인 솔루션이 칼만필터이다 [9][10].

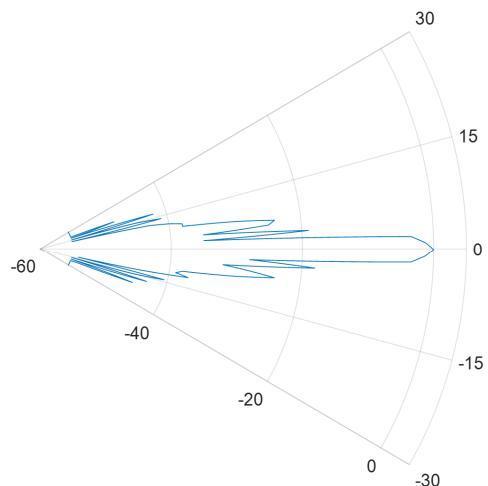


그림 2. 모의신호 생성 결과-레이더 빔 패턴
Fig. 2. Results of M&S - radar beam pattern

12 탐색 레이다 스캔 주기 추정 및 기만 신호 생성 기법

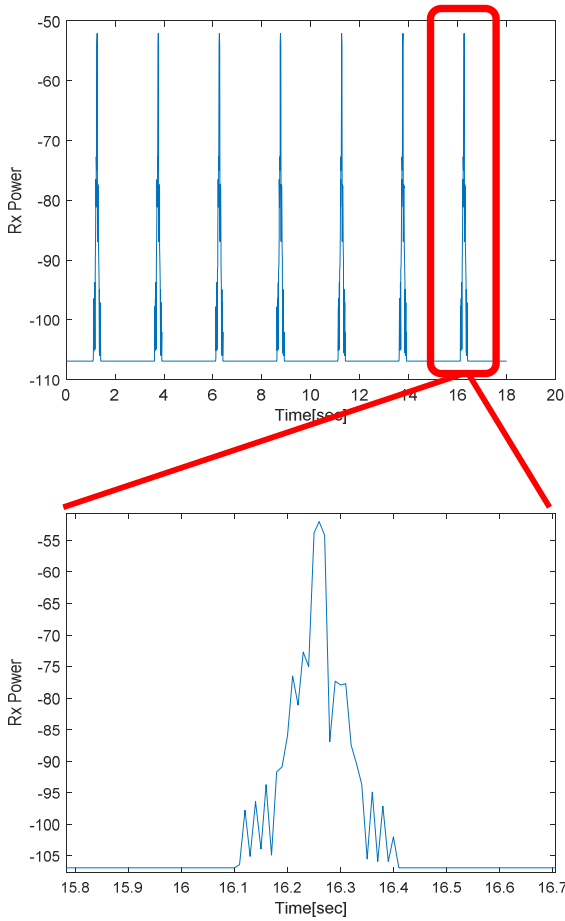


그림 3. 모의신호 생성 결과-재머 수신 전력
Fig. 3. Results of M&S - rx power of jammer

원형 스캔 레이다의 스캔 주기는 급격히 변하지 않는 가정 하에 최적의 추정 기법으로 칼만필터를 사용할 수 있다. 스캔 주기를 추정하기 위한 칼만필터의 주요 파라미터는 아래와 같이 적용하였다.

state(x) : 스캔 주기, [sec]
 raw measurement : 측정된 peak to peak의 TOA 차이(스캔 주기 측정값)
 State equation : F=1, Measurement equation : H=1;
 Q=1e-3, R=0.5;

표 2는 재머의 수신기로 들어오는 피크 신호들의 TOA 차이를 이용해서 스캔 주기를 측정하는 경우 (Raw measurement)와 칼만필터를 적용했을 경우 추정되는 스캔 주기의 에러를 M&S한 결과이다. 표 2를 살펴보면 칼만필터를 적용하였을 때 스캔 주기 추정 시 에러가 감소 됨을 알 수 있다.

스캔 주기 추정 과정에서 부가적으로 예상 가능한 추정 오차 요소로는 피크 신호 검출의 정확도에 의한 오차가 있다. DRFM의 샘플링 주파수는 피크 신호의 검출의 해상도(Resolution)에 직접 영향을 미치게 되며 허용 오차 내의 해상도가 필요하다. 따라서 피크 신호 검출 알고리즘의 고도화가 필요하다.

표 2. 스캔 주기 추정 결과
Table 2. Results of estimated scan period

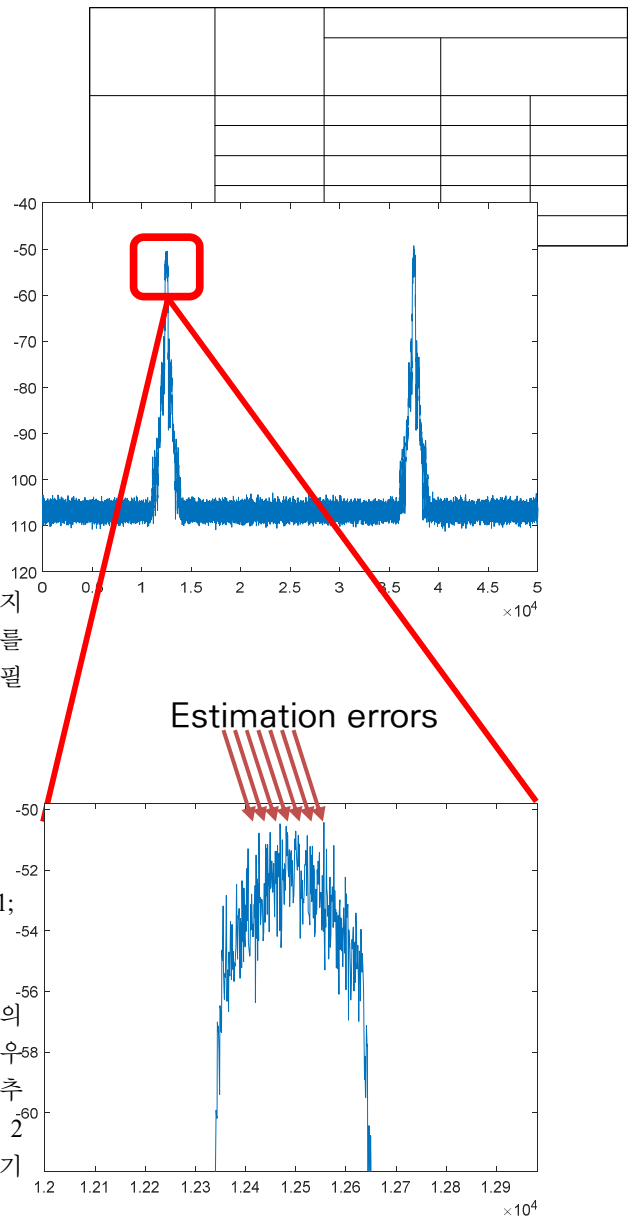


그림 4는 이러한 오차 발생 요소들을 보여준다. 따라서 이러한 오차 발생 요인을 개선하고 피크 신호 검출 고도화를 위해서 칼만필터 외에 추가로 이동평균필터(Moving average filter)를 적용하였다.

이동평균필터는 추세의 변동을 알 수 있도록, 모든 측정 데이터를 취하는 것이 아니라, 지정된 구간의 측정 값만 가지고 계산한 평균이다.

그림 5와 표 3은 DRFM의 샘플링 타임 필터 윈도우 사이즈에 따른 필터 적용 전 측정 결과(Raw measurement)와 이동평균필터를 적용한 경우 TOA 오차율을 비교한 결과값이다. M&S 결과를 살펴보면 이동평균필터를 적용하였을 때 추정되는 에러가 현저히 감소됨을 알 수 있다.

표 3. 이동평균필터를 이용한 TOA 정확도 개선 결과
Table 3. Improving TOA accuracy using moving average filter

Sampling time (usec)	Filter window size	TOA error(usec)			
		Raw meas.		Filtered meas	
		Mean	Max	Mean	Max
1	5	2.459	11.000	1.757	9.000
0.1	10	2.064	8.500	1.097	5.300
0.01	100	1.720	9.560	0.499	2.090

III. 기만신호 생성

그림 6은 본 논문에서 제시하는 스캔 주기를 추정하고 기만신호 송신 시간을 계산하는 블록의 구성도이다.

추정된 정보를 통해 표적 레이더의 주엽 방향을 예측하여 원하는 방위각에 허위 표적을 생성할 수 있도록 DRFM에 동기된 시각 정보를 계산한다(Parameter generator). 이 정보를 DRFM에 전송하여 PDW 분석을 통해 확보된 펄스 정보와 스캔 주기를 기반으로 탐색 레이더의 스캔 주기에 동기된 레이더 기만 재밍 신호를 생성할 수 있다.

기만신호 생성부는 레이더 펄스의 TOA 정보를 기반으로 스캔 패턴을 분석하고, 분석된 스캔 패턴, 타겟하는 레이더의 위치 및 재머의 위치 정보 등을 기본 파라미터로 하여 허위 표적의 송신 시점을 결정하게 된다.

그림 7은 기만신호의 송신 타이밍을 제어하는 방법에 대한 설명이다.

$$\text{스캔 주기 } P = \text{②} - \text{①}$$

$$\text{마지막 피크 수신 시점 } \text{②} = \text{③} - (\text{③} - \text{①}) \% P$$

$$\text{프로세서의 마지막 피크 수신 시점 } \text{⑥} = \text{④} - (\text{③} - \text{②})$$

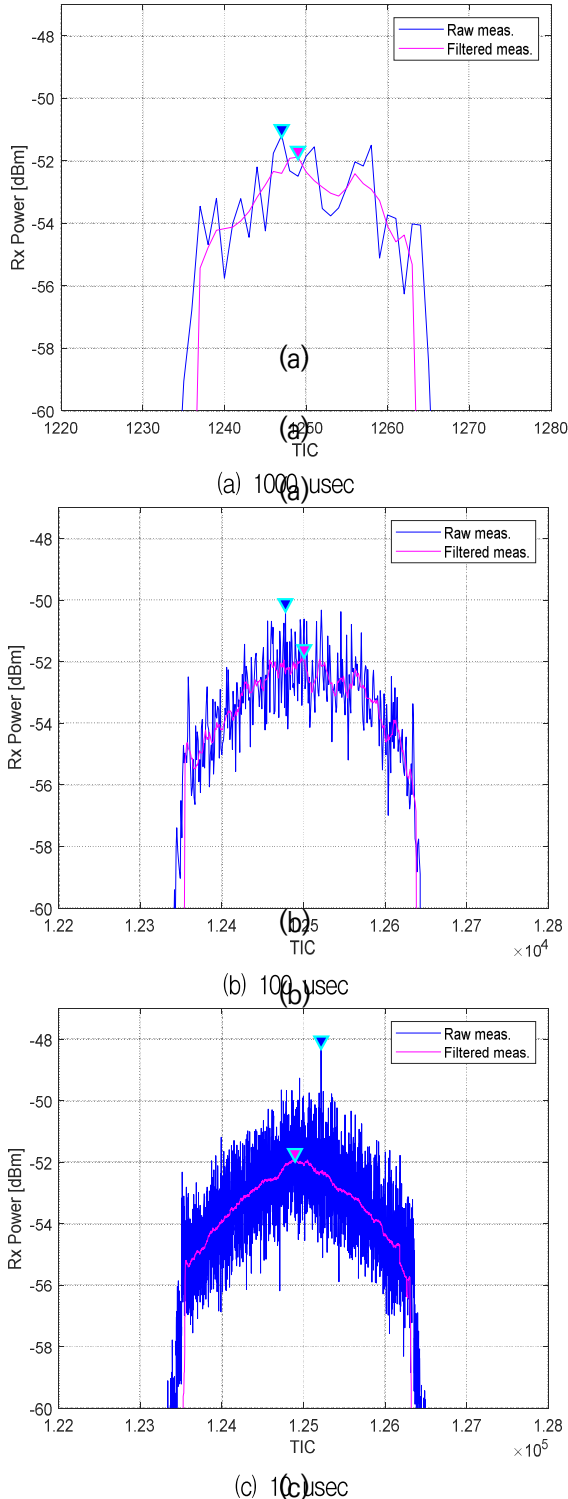


그림 5. 샘플링 시간에 따른 TOA 정확도 분석
Fig. 5. Analysis of TOA accuracy vs sampling time

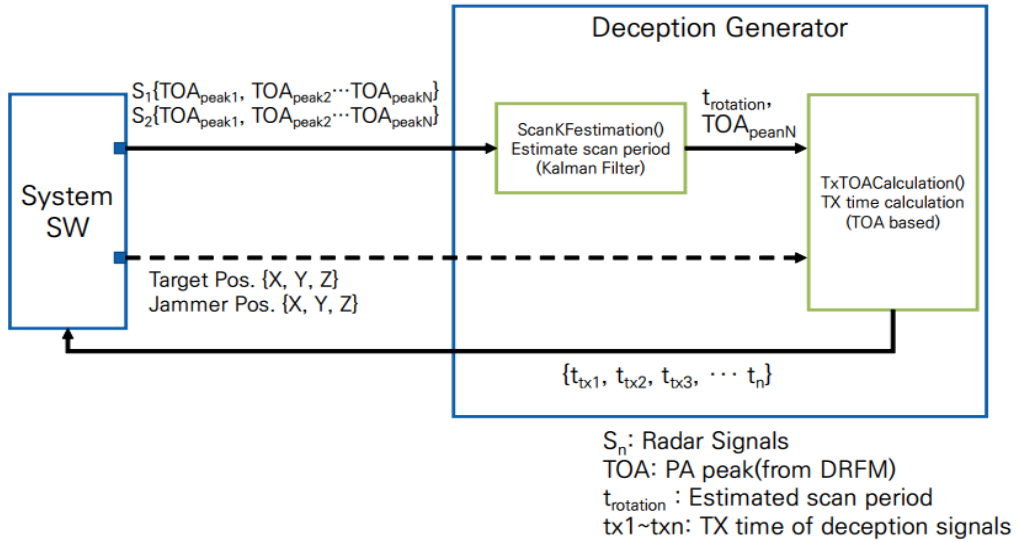


그림 6. 스캔 주기 추정 및 기만신호 송신 시간 계산 블록도
 Fig. 6. Block diagram of estimation of scan period and calculation of deception signal tx time

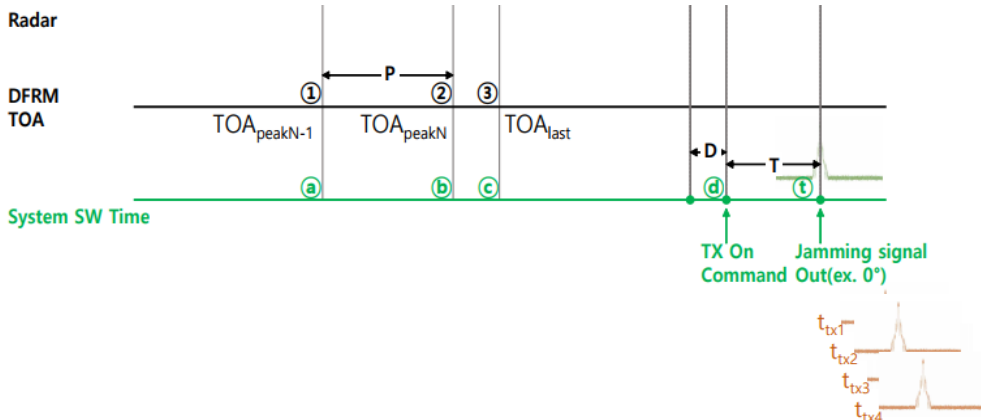


그림 7. 기만신호 송신 타이밍
 Fig. 7. TX timing diagram of deception signal

ⓐ는 ⓓ이후 마지막 피크 수신 시점인 ⓑ를 기준으로 주기 P의 배수가 되는 시점

$$D=(\text{ⓓ}-\text{ⓑ})\%P$$

$$T=P-D=P-(\text{ⓓ}-\text{ⓑ})\%P$$

$t_{tx1}, t_{tx2}, t_{tx3}, t_{tx4}$ 등은 레이더가 스캔하는 각도에 맞춰 송신 시점을 조정하게 된다.

여기서 ‘%P’는 P로 나눈 나머지 값을 의미한다.

제안한 스캔 주기 추정 알고리즘을 검증 및 이를 활용한 기만신호를 생성 기능을 검증하기 위해 HILS(Hardware In the Loop Simulator)를 구축하였다. HILS 구축에는 X-band 레이더가 적용되었고, 레이더 스크오프 화면을 통해 기만효과를 확인하였다. 그림 8은 HILS의 구성도이다.

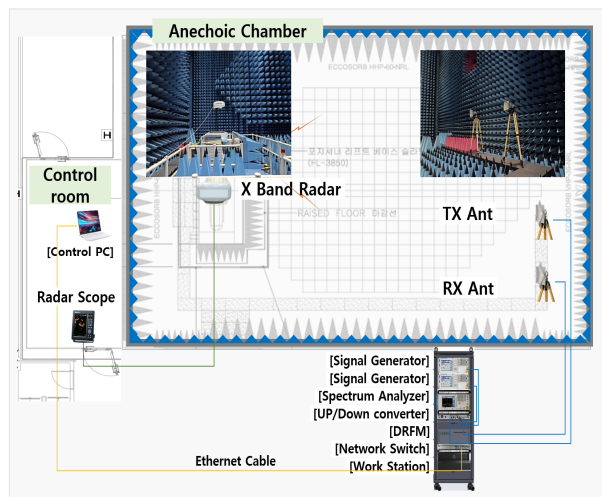


그림 8. HILS 구성도
 Fig. 8. Configuration of HILS

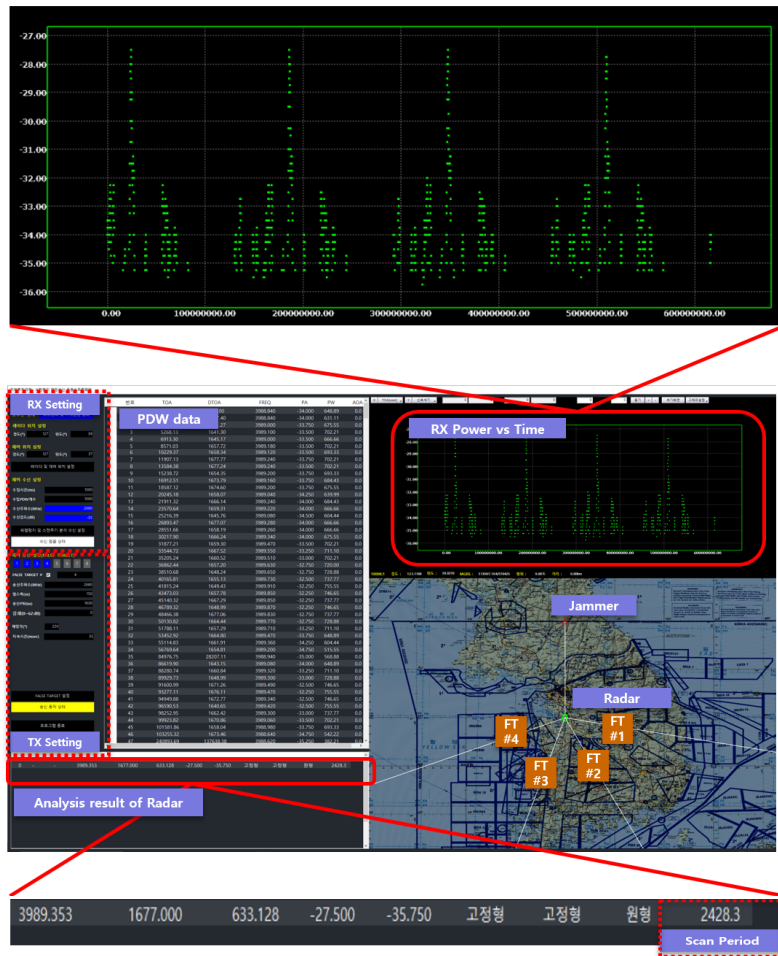


그림 9. 스캔 주기 분석 결과
Fig. 9. Analysis results of scan period

그림 9는 HILS를 통해 분석된 X-band 레이더의 PDW 수집 및 스캔 주기 분석 결과이다. 분석 결과 레이더의 PW는 633.128usec, PRI는 1677msec 및 스캔 주기는 2428.3msec로 측정되었다.

그림 10은 분석된 스캔 주기를 기반으로 레이더의 스캔 방위 각도 100/150/200/250°의 위치에 기만 신호를 생성한 결과이다.

IV. 결 론

최근 국제정세의 잦은 변화로 인해 주변국들의 레이더 위협으로부터 아군 전투체계의 보호 및 작전 운용성을 높이기 위한 전자공격체계의 능력 강화가 요구되고 있다. 본 논문에서는 이러한 변화 환경에 대응하기 위해 장거리 탐색 레이더의 위협에 대처하고 아군 장비의 생존성을 높이기 위해 탐색 레이더를 타겟으로 하는 기만신호 생성방안에 대해 제안하였다. 제안된 방안에서는 칼만필터를 활용하여 탐색 레이더의 스캔 주기를 추정하였고, 이동평균필터를 추가로 적용하여 스캔 주기의 정확도를 높였으며, 분석된 스캔 주기를 기반으로 탐색 레이

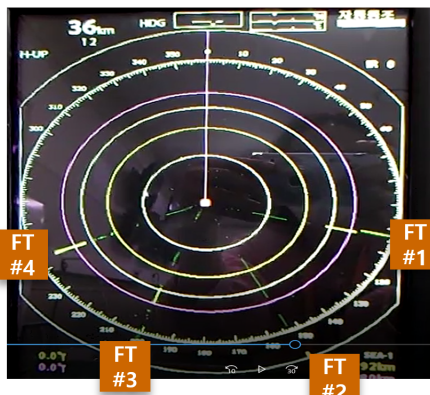


그림 10. 기만신호 생성 결과
Fig. 10. Result of deception signal generating

다의 스캔 주기에 동기화된 복수의 허위 표적을 생성하였다. 또한 본 논문에서 갈수록 소형화되는 전자전체계에 적용하기 위해 DRFM을 이용하여, 보다 단순화된 구조로 기만시스템을 구성하는 방안에 대해 제안하였으며, 제안된 기법은 HILS를 통해 검증하였다.

References

- [1] David L. Adamy, "EW102, A Second Course in Electronic Warfare", Artech House, pp. 3-5, 2004.
- [2] Merrill I. Skolnik, "Introduction to RADAR systems, Third Edition", McGraw-Hill, pp. 1-29, 2001.
- [3] Billur Barshan and Bahaeddin Eravci, "Automatic Radar Antenna Scan Type Recognition in Electronic Warfare", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 48, No. 4, pp. 2908-2931, Oct. 2012.
- [4] Adrian Graham, "Communications, Radar and Electronic Warfare", WILEY, pp. 127-133, 2011.
- [5] Robert N. Lothes, Michael B. Szymanski, M.; Wiley, and Richard G. Wiley, "Radar Vulnerability to Jamming", Artech House, pp. 53-84, pp. 135-166, 1990.
- [6] Young Jin Ryoo, Hyoun Joo Ha, and Whan Woo Kim, "Estimation of scan parameters for identification of the circular scanning radars", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 43, No. 9, pp. 105-111, Nov. 2006.
- [7] Huan Li, Feng Zhao, Fei Chen, and Jian Wang, "Drfm System Based on the Principle of Radar Deception", International Journal of Simulation — Systems, Science & Technology, Vol. 17, No. 37, pp. 17.1-17.5, Jan. 2016.
- [8] S. D. Berger, "Digital Radio Frequency Memory Linear Range Gate Stealer Spectrum", IEEE Transactions on Aerospace and Electron and Electronic Systems, Vol. 39, No. 2, pp. 725-735, Apr. 2003.
- [9] Greg Welch and Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", Institute of Control, Robotics and Systems, UNC-Chapel Hill, TR 95-041, pp

1-16, July 24, 2006.

- [10] Yan Pei, Swarnendu Biswas, Donald S. Fussell, and Keshav Pingali, "An Elementary Introduction to Kalman Filtering", Communications of the ACM, Vol. 62, No. 11, pp. 122-133, Nov. 2019.

저자소개

이 정 란 (Jungran Lee)



1998년 2월 : 제주대학교
통신공학과(공학사)
2000년 2월 : 제주대학교
통신공학과(공학석사)
2016년 4월 ~ 현재 :
한화시스템(주) 수석연구원
관심분야 : 전자전체계, 전자공격

강 희 석 (Heeseog Kang)



1990년 2월 : 제주대학교
통신공학과(공학사)
1992년 2월 : 충남대학교
컴퓨터공학과(공학석사)
2008년 1월 ~ 현재 :
한화시스템(주) 수석연구원
관심분야 : 전자전체계, 신호처리

및 제어

김 정 한 (Jeonghan Kim)



2000년 2월 : 경희대학교
전파공학과(공학사)
2008년 3월 ~ 현재 :
한화시스템(주) 수석연구원
관심분야 : 전자전체계, 전자지원

박 성 균 (Sungkyun Park)



1997년 2월 : 경희대학교
전자공학과(공학사)
2010년 2월 : 아주대학교
전자공학과(공학석사)
1997년 1월 ~ 현재 :
한화시스템(주) 통신·전자전센터장
관심분야 : 전자전체계, 통신시스템