

스캔주기 유효성 판별에 의한 레이더 식별

김관태
(주)빅텍 기술연구소 수석부장

Radar identification by scan period validation

Gwan-Tae Kim
Researcher, Division of Technology-Research, VICTEK.

요약 전자전에서 레이더 신호 해석은 수신한 레이더 신호에서 추출한 신호제원(방향, 주파수, 펄스반복주기, 펄스 폭, 스캔주기)으로 레이더 종류를 식별하는 기술이다. 그러나 신형 레이더, 위협환경이 고도화되면서 레이더 종류를 식별하는 과정에서 레이더 식별 모호성(Ambiguity)가 발생한다. 본 논문에서는 기존 방법의 문제점을 분석하고 새로운 방법을 제안한다. 이 기술은 레이더 스캔 주기의 펄스 도착시간 차이와 스캔주기 판별 최소 수집 개수로 스캔주기 유효성을 판별한다. 실험에 의하여 입력된 신호세기의 RMS((Root Mean Square)와 무관하게 스캔 주기 결과를 도출하는 것을 입증했다.

주제어 : 레이더 신호, 스캔 주기, 전자전, 도착시간 차, 모호성

Abstract Radar signal analysis of electronic warfare is a technique for identifying a radar type by signal parameters(direction, radion frequency, pulse repetition interval, pulse width, scan period..) extracted from a received radar pulse. However as the modern radar and new threat environments is advanced, radar identification ambiguity arises in the process of identifying the types of radars. In this paper, we analyze the problems of the existing method and propose a new method. This technique determines the validity of the scan period by the difference in the arrival time of the radar pulse and the minimum number of scan period discrimination. Experiments proved that the scan cycle results are derived regardless of the RMS((Root Mean Square) of the input amplitude.

Key Words : Radar signal, Scan period, Electronic Warfare, Difference Time of arrival, Ambiguity

1. 서론

전자전(EW: Electronic Warfare)은 전자파 신호를 탐지 및 식별하는 ES(Electronic warfare Support)와 필요 시 식별된 신호로 방해 및 전자파를 방사하는 EA(Electronic Attack)와 상대 전자공격 활동에서 아군을 보호하는 EP(Electronic Protection)로 구분된다[1]. ES 시스템은 방사한 레이더 신호가 어느 방향에서 누가 발생시켰으며주파수, 펄스간격(PRI: Pulse Repetition Interval), 스캔주기(Scan Period), 방사

시간(TOA: Time of Arrival), 펄스폭(PW: Pulse Width)을 찾아내는 행위를 의미한다. 그리고 측정된 신호제원으로 기존데이터와 비교한다[2-7]. Fig.1에서는 레이더 신호식별 과정을 단계별로 도식화했다. 레이더 신호 식별과정은 신호입력(Input signal), 특성 추출(Process signal), 신호 식별(identification signal)로 크게 세 단계로 구분할 수 있다. 신호입력은 측정된 세부 신호제원을 PDW(Pulse Description Word)형태로 입력받는다. 신호 특성추출은 입력된 PDW 데이터로 균집화, PRI 검출, 스캔 특성등 레이더 제원을 추

출한다. 마지막으로 신호 식별은 식별된 레이더 제원으로 기존 데이터베이스와 비교하여 측정된 레이더 신호의 종류를 최종 판단한다[8].

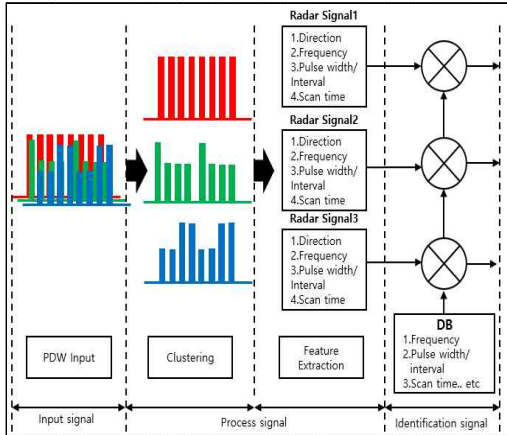


Fig 1. Radar signal processing

그러나 최근 대형 레이더, 위협환경이 점점 고도화되어 식별하는 과정에서 주파수, 펄스반복주기, 펄스폭 데이터만으로 식별할 경우 하나의 레이더로 식별하지 못하고 여러 개의 레이더로 식별되는 식별 모호성(Ambiguity)이 발생한다[9,10]. 본 논문에서는 레이더 식별 인자로 사용하기 위한 스캔 주기 유효성 판별(펄스도착시간차이/스캔주기 판별 최소수집시간(개수)) 방법을 제안한다.

2. 본론

레이더는 지향성 안테나를 이용하여 고효율 펄스 에너지를 방사하고, 목표물에서 반사되는 신호를 분석하여 목표물의 위치를 식별하는 장치이다[11]. 레이더는 전방향 혹은 일정한 방향의 목표를 탐지하기 위해서 안테나가 회전을 하는 구조로 설계되어 있다. Fig. 2는 원형스캔 레이더를 운용한 경우 ES 장비에서 수신되는 신호세기 변화를 간략히 나타내었다. Fig. 2의 ①과 같이 레이더 조준선(Boresight)이 ES 장비와 일직선인 경우 ES 수신기에서 입력되는 신호세기는 가장 크고, ④와 같이 반대쪽으로 이동한 경우는 신호세기는 가장 작다. 따라서 ES 시스템에서는 입력되는 펄스간격마다 수신되는 신호의 세기를 측정하여 스캔 주기를 판별할 수 있다.

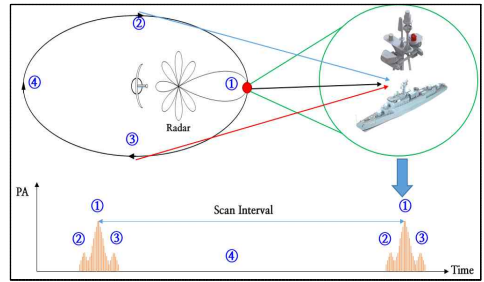
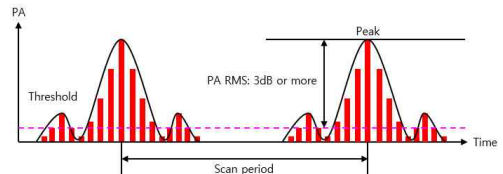


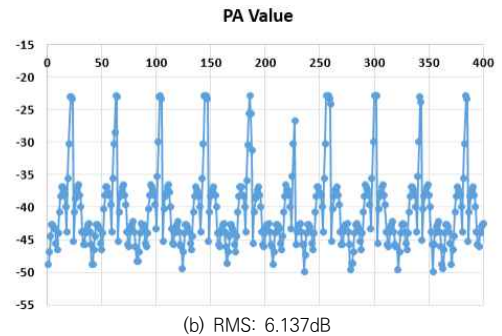
Fig 2. ES received amplitude of Circular scan radar

2.1 기존알고리즘

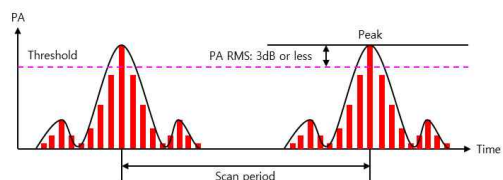
스캔주기 판별 알고리즘은 신호세기를 주요한 인자로 스캔 주기를 판별했다. 스캔 주기를 측정하는 방법으로는 원 신호와 지연된 신호간의 평균크기 차이를 측정하는 방법 혹은 자기상관계를 이용하는 방법[12], 스캔 주기가 급격히 변화하지 않는 가정 하에 최적의 추정 기법으로 칼만 필터를 사용하여 스캔주기를 측정한다[13]. 평균크기 차이로 측정하기 위해서 입력된 신호 세기에 대한 RMS를 구해서 3dB 이상이면, 신호세기에 변화가 있다고 가정하여 스캔주기 알고리즘을 수행하고, 3dB 이하이면 Steady 신호로 진행한다.



(a) Scan period analysis condition: scan period measurement



(b) RMS: 6.137dB



(c) Scan period analysis condition: steady measurement

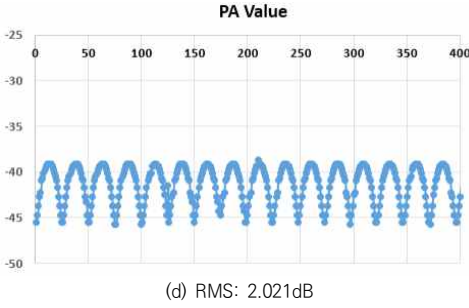


Fig 3. Received amplitude

Fig. 3(a),(c)는 임계치 설정에 따른 스캔주기분석 결과를 나타내었고, Fig. 3(b),(d)는 Fig. 3(a),(c)의 입력된 신호세기에 대한 Raw_Data 분석결과를 나타내었다. Fig. 3(b)는 수신임계치 기준으로 입력된 신호세기 RMS가 약 6.137dB 경우이고, Fig. 3(d)는 수신임계치 기준으로 입력된 신호세기 RMS가 약 2.021dB 인 경우를 나타내었다.(X축:시간, Y축:신호세기) 기준알고리즘은 Fig. 3(a),(b)만 스캔주기를 측정했다.

2.2 스캔주기 유효성판별 알고리즘

제안 알고리즘을 설명하기 전에 레이더 방위각 분해능에 대하여 정의한다. 레이더 방위각 분해능(Azimuth Resolution)이란 동일 거리에 있는 두 목표물(A,B)의 분별 가능한 각도이다. 스캔 안테나의 빔폭이 좁으면 목표물의 분별능이 우수하고, 빔폭이 넓으면 목표물의 분별능이 상대적으로 낮아진다. 따라서 레이더는 전방위를 송신안테나의 빔폭에 따라 방위각을 탐색하고 있다. N_{pulse} 는 한 방위각에서 목표물을 탐색하기 위한 단위펄스 개수이며, $Rotangle$ 은 레이더 방위각 분해능에 따른 회전 각도이다. 따라서 레이더에서 전방향(360°)을 탐색하기 위해서는 (수식1)과 같이 송신된 전체 PRI개수($TotPRI_{count}$)를 구할 수 있다.

$$TotPRI_{count} = N_{pulse} \times \frac{360^\circ}{Rotangle} \quad (1)$$

만약 $Rotangle = 3^\circ$ 도 이고, 한 구간에서 목표물을 정확히 탐지하기 단위펄스 개수(N_{pulse}) = 10로 가정하면, $TotPRI_{count}$ (수식2)와 같다.

$$TotPRI_{count} = 10 \times \frac{360^\circ}{3} = 1,200 \quad (2)$$

즉, 360° 전 구간을 탐색하기 위해서는 $TotPRI_{count} = 1,200$ 개 펄스가 필요하고, PRI가 1ms 인 경우 스캔 주기 판별을 위한 최소 신호 수집개수(시간)($ScanP_{mincount}$) (수식3,4)와 같다.

$$SenaP_{mincount} = TotPRI_{count} \times PRI \quad (3)$$

$$ScanP_{mincount} = 1,200 \times 1ms = 1,200ms \quad (4)$$

즉, PRI가 1ms인 경우 스캔주기 최소 수집개수(시간)은 1.2초 후에 스캔 주기를 판단 할 수 있다. 스캔 주기 최소 수집개수(시간)가 스캔 주기 유효성 판단에 중요한 인자값으로 사용된다. 제안하는 알고리즘에서 가장 중요한 스캔주기 유효성 판별 방법을 서술하기 전에 $DTOA$, $ScanP_{th}$ 용어부터 정의하겠다. Now_{time} 은 시간축에서 펄스가 도착한 현재시간이고, Old_{time} 은 이전 도착한 시간이다. $DTOA$ (Difference Time of arrival)는 현재 도착시간(Now_{time})과 이전 도착시간(Old_{time})의 차이 이다(수식5).

$$DTOA = Now_{time} - Old_{time} \quad (5)$$

$Anal_{pri}$ 는 수집된 신호제원에서 분석된 PRI이고, $ScanP_{mincount}$ 는 스캔 주기 판별을 위한 최소수집 개수(시간)이다. $ScanP_{th}$ (스캔주기 임계치)는 수집된 신호제원에서 분석된 PRI에 스캔 주기 판별을 위한 최소수집 개수의 곱으로 정의한다(수식6).

$$ScanP_{th} = Anal_{pri} \times ScanP_{mincount} \quad (6)$$

(수식5), (수식6) 언급한 중요한 인자($DTOA$, $ScanP_{th}$)로 Table 1에서 스캔주기 유효성 판단기준을 설정했다.

Table 1. Scan period validation

Item	Result
$DTOA > ScanP_{th}$	Scan analysis progress
$DTOA < ScanP_{th}$	Steady analysis progress

Fig. 4, 5에서는 스캔 주기 유효성 분석과정을 세분화하여 Scan 주기분석과 Steady 경우를 시간축과 신호 세기축으로 나타내었다. Scan 주기분석인 경우는 시간축으로 신호세기를 정렬하면 신호가 수신되지 않아서 공백이 존재하고, Steady 경우는 공백이 존재하

지 않고 연속적으로 입력되는 특징을 가지고 있다. 이 특징을 가지고 스캔주기 분석 및 Steady를 판별하는 기준을 설정한다. (수식5, 6), Table 1을 기준으로 스캔주기 유효성을 계산하면 다음과 같다.

($ScanP_{mincount} = 512$, $Anal_{pri} = 1ms$ 정의, 가변가능)

Fig. 4 $DTOA = 521 - 5$, $DTOA = 516$

Fig. 4 $ScanP_{th} = 1 \times 512$, $ScanP_{th} = 512$

☞ 스캔주기 분석: $DTOA(516) > ScanP_{th}(512)$

Fig. 5 $DTOA = 2 - 1$, $DTOA = 1$

Fig. 5 $ScanP_{th} = 1 \times 512$, $ScanP_{th} = 512$

☞ Steady 분석: $DTOA(1) < ScanP_{th}(512)$

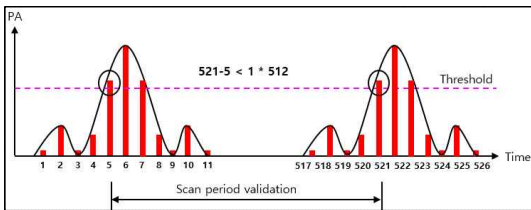


Fig 4. Scan signal identification

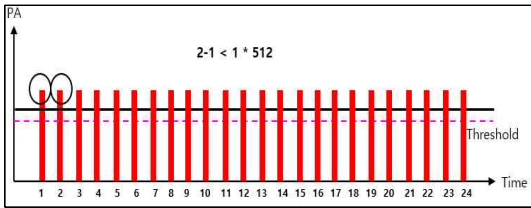


Fig 5. Steady signal identification

Fig. 6에서는 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘을 비교했다. 기존 알고리즘은 설정된 임계치에 따라서 입력된 신호세기의 RMS를 확인하여 스캔주기분석 혹은 Steady분석을 진행하여 최대 Peak 간 주기성을 측정했다.(본 논문에서는 구간별 최대 Peak 계산 방법은 생략 하겠다). 제안하는 알고리즘은 레이더의 스캔 특성을 이용한 스캔 주기 유효성 판단기준을 설정하였고, 구간별 최대 Peak 계산하여 스캔 주기 정확도를 향상시켰다.

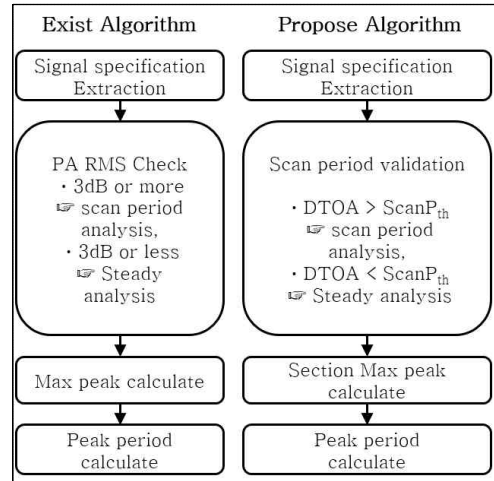


Fig 6. Exist/Propose scan period validation Algorithms

3. 성능비교 및 실험

제안한 스캔주기 판별 성능은 1차적으로 실험실 조건에서 실험을 진행하여 알고리즘을 검증하였고, 최종 방사 시험을 진행하여 검증했다. Fig. 7은 시험 구성도이다. 스캔주기 실험신호는 2초 ~ 8초 까지 2초 간격으로 발생했다.

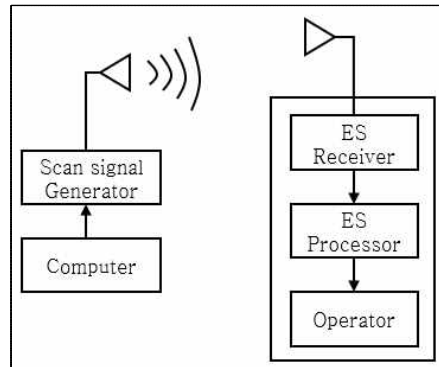


Fig 7. Test configuration

실험실 조건에서 실험을 하였다면, 노이즈 신호도 발생하여 실험결과를 도출하지만, 본 실험은 방사 실험 환경이기 때문에 노이즈 조건을 고려하지 않았다. 시험 결과를 도출하기 전에 방사된 Raw_data를 스캔주기별로 RMS 계산 및 신호세기변화를 Fig. 8에서 나타냈다. (X축: 시간정보, Y축: 신호세기) Fig. 8(a)~(d)는 레이더 스캔 주기가 2초, 4초, 6초, 8초 인 경우 ES 시스템에서 수신된 신호를 시간정보에 대한 신호세기를 나타냈다.

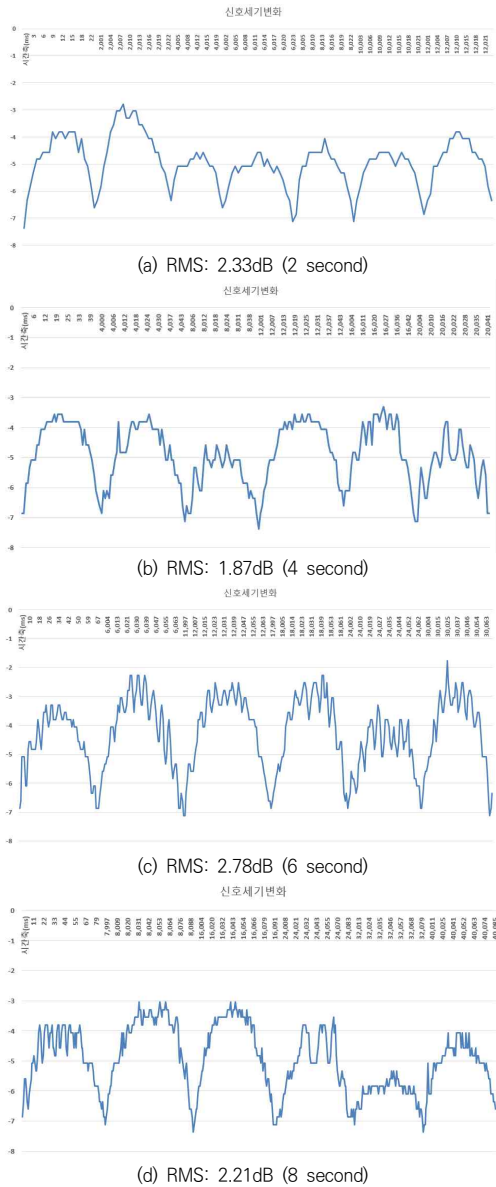


Fig 8. Received scan amplitude.

Table 2. Test result

Test Case			Measurement
Input Signal	RMS	Scan period	
5 GHz, PRI 1ms, PW 1 μ s	2.33	2(sec)	2.0 (sec)
	1.87	4(sec)	4.1 (sec)
	2.78	6(sec)	6.0 (sec)
	2.21	8(sec)	7.9 (sec)
13 GHz, PRI 1ms, PW 1 μ s	30이하	2(sec)	2.0 (sec)
		4(sec)	4.1 (sec)
		6(sec)	6.0 (sec)
		8(sec)	8.1 (sec)

Fig. 8과 같이 신호세기변화에 따른 RMS 값이 3dB 이하로 계산되었지만, 제안알고리즘을 적용하여 실험한 결과를 Table 2에서 나타내었다.

4. 결론

새로운 방식의 최신 레이더 증가로 전자전 환경이 점점 복잡해지고 고밀도화 되어 ES 시스템에서는 레이더 장비를 식별하는 과정에서 모호성이 발생하고 있다. 따라서 모호성을 해결하기 위해서 ES 장비에서는 기존의 식별인자에서 스캔주기를 정확히 판별하여 레이더 식별 모호성을 최소화하여야 한다. 따라서 제안하는 스캔주기 판별 알고리즘은 스캔주기 유효성을 설정 ($DTOA, ScanP_{th}$)하여 스캔주기 정확성을 향상시켰다. 본 연구에서는 스캔 주기는 원형레이더를 기본으로 연구하였고, 추가적으로 최신 및 여러 형태의 레이더를 적용하여 스캔주기를 검증하고, 향후에는 레이더의 스캔 종류를 식별에 관한 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] David L. Adamy. (2004). *EW102 A second Course in Electronic Warfare*. London: Artech House.
- [2] J. A. V. Rogers. (1985, Dec). ESM Processor System For High Pulse Density Radar Environments, *IEE Proceedings F-Communications, Radar and Signal Processing* (Vol. 132, No. 7, pp. 621-625). England : IET Digital Library.
- [3] D. R. Wilkinson & A.W. Watson. (1985, July). Use of metric techniques in ESM data processing, In *IEE Proceedings F-Communications, Radar and Signal Processing* (Vol. 132, No. 4, pp. 229-232).England: IET Digital Library.
- [4] H. K. Mardia. (1998, April). Adaptive Multi-Dimensional Clustering for ESM, *IEE Colloquium on Signal Processing for ESM Systems*.
- [5] J. W. Han, K. H. Song, D. W. Lee & S. C. Lye. (2007). A novel clustering algorithm of radar pulses based on the adaptive cluster window, *2007 International Symposium on Computer and Information Sciences*.
- [6] D. W. Lee, J. W. Han & W. D. Lee. (2008, July). Adaptive radar pulses clustering based on density cluster window, *International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications*. (pp, 1,377-1,380). Seoul: ITC-CSCC.

- [7] H. K. Mardia. (1989, Aug). New technique for the deinterleaving of repetitive sequence, *In IEE Proceedings F (Radar and Signal Processing)* (Vol. 136, No. 4, pp. 149-154), England: IET Digital Library.
- [8] G. T. Kim, Y. K. Ju & J. N. Jeon, (2020). Feature Extraction of Radar Signals Using streaming Process, *Journal of Convergence for Information Technology*, 10(12), 31-38.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2020.10.12.031
- [9] C. L. Davies & P. Holland. (1982, June). Automatic processing for ESM, *Radar and Signal Processing* (Vol. 129, No. 3, pp. 164-171). England: IET Digital Library.
- [10] J. Roe, S. Cussons & A. Feltham. (1990, Oct). Knowledge-based Signal Processing For Radar ESM System, *In IEE Proceedings F-Radar and Signal Processing*(Vol. 137, No. 5, pp. 293-301). England: IET Digital Library.
- [11] Y. K. Kwag. (2017). *Radar System Engineering*. Seoul : cheongmoon Publishing
- [12] B. Barshan & B. Eravcl. (2021). Automatic Radar Antenna Scan Type Recognition in Electronic Warfare, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 48(4), 2908-2931.
DOI : http://10.1109/TAES.2012.6324669
- [13] J. R. Lee, H. S. Kang, J. H. Kim & S. K. Park, (2020). Scan Period Estimation and Deception Signal Generation Method of the Search Radar, *Journal of KIIT*, 18(11), 9-16.
DOI : 10.14801/jkiit.2020.18.11.9

김 관 태(Gwan-Tae Kim)

[정회원]



- 2011년 8월 : 충북대학교 컴퓨터 과학과 석사
- 2020년 2월 : 충북대학교 컴퓨터 과학과 박사
- 관심분야: 실시간 신호처리, 전자전 신호탐지
- E-Mail: gtkima@naver.com