

미상 레이더의 Wobble 및 Sinusoidal PRI 식별 알고리즘

An Algorithm for De-Interleaving of Wobble and Sinusoidal PRI for Unidentified Radar Signals

이 용 식 · 임 중 수* · 임 재 성

Yongsik Lee · Joongsoo Lim* · Jaesung Lim

요 약

미상의 레이더에서 방사하는 전자파를 수신하여 신호를 처리한 후, 레이더의 변조방식을 식별하는 일은 전자전에서 매우 핵심 과제이다. 본 논문에서는 최근 전자전 보호능력이 우수한 Wobble PRI 방식과 Sinusoidal PRI 변조방식을 자동 식별하는 알고리즘을 DTOA(Difference Time Of Arrival)을 적용하여 개발하였다. 안테나로 입력되는 레이더 펄스의 PRI를 산출하고, 산출된 PRI의 각 값으로부터 시간차의 특성을 산출하여 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘을 프로그래밍한 후 각각 40개의 표본 PRI데이터를 입력하여 처리한 결과, 모두 정확히 PRI 변조방식을 식별하였다. 개발된 알고리즘은 향후 ESM장비 또는 ELINT 장비에 적용 가능할 것으로 판단한다.

Abstract

In this paper, we propose an algorithm to identify Wobble PRI and Sinusoidal PRI among Radar pulses. We applied not only the DTOA(Difference Time Of Arrival) concept of radar pulse signals incoming to antennas but also a rising and falling cub characteristic of those PRI's. After making a program by such algorithm, we input each 40 data to Wobble PRI's and Sinusoidal PRI's identification programs and in result, those programs fully processed the data the according to expectations. In the future, those programs can be applied to the ESM, ELINT system.

Key words: PRI(Pulse Repetition Interval), Wobble PRI, Sinusoidal PRI, De-Interleaving, PDW(Pulse Description Word)

I. 서 론

현대의 NCW전에서 전자전은 매우 중요한 요소로서 적의 전자파를 수신하여 분석, 방사체를 식별하는 ES(Electronic Support)와 적 무기체계의 전자파 사용을 억제 하거나 감소시키는 EA(Electronic Attack), 아군의 전자장 비의 전자파 사용을 보장하는 EP(Electronic Protection)로 구성되어 있다. 특히 미사일을 발사하기 위해 목표물 탐

지를 위한 목표획득용 레이더 신호를 조기에 탐지하기 위한 전자전, 장비는 미사일 발사 징후를 조기에 탐지하 고 발사된 미사일이 함정이나 항공기를 추적해올 때 미 사일 탐색기나 유도레이더에 방해전파를 송신하여 미사 일의 목표물 추적을 방해하고 교란한다^[1]. 이러한 전자전 장비의 EA 기능에 대응해서 펄스 레이더들은 방사 전자 파를 다양한 기법으로 변경 사용하여 EP 기능을 수행한 다. 그러한 기법으로 레이더의 송신주파수를 변경하는 방

아주대학교 NCW학과(Department of Network Centric Warfare, Ajou University)

*백석대학교 정보통신공학부(Division of Information & Communication, Baekseok University)

· Manuscript received November 6, 2015 ; Revised December 15, 2015 ; Accepted December 21, 2015. (ID No. 20151106-090)

· Corresponding Author: Jaesung Lim (e-mail: jaslim@ajou.ac.kr)

법과 송신하는 펄스반복간격(PRI: Pulse Repetition Interval)을 수시로 변경하는 방법, 그리고 펄스 내 주파수를 변경하는 인트라 펄스(Intra-Pulse) 변조방식이 있다.

대부분의 레이더들은 펄스반복간격을 이용하여 EP 기능을 수행하는데 과거에는 펄스반복간격을 분석하기 위해 SDIF(Sequential Difference Histogram)와 CDIF(Cumulative Difference Histogram) 방법을 사용하였으나, 과정이 복잡하고 실시간 적용이 어려웠으며, 특정 레이더 펄스에 대한 반복간격을 실시간 분석하기 위한 알고리즘도 국내 연구기관에서 극히 제한적으로 연구되고 있거나, 대부분 외국의 알고리즘을 획득하여 그대로 적용하는 실정이다^[2]. 그러나 최근에 일부 종류에 적용된 펄스반복간격(PRI)을 식별하기 위해 레이더에서 방사하는 펄스의 도착시간차, 도래시간(TOA: Time of Arrival)의 1, 2차 차분을 이용한 알고리즘을 연구 중에 있으며^[3], 본 논문에서는 그러한 TOA의 1차 차분과 2차 차분 적용 알고리즘을 EP 기능이 강한 Wobble PRI와 그와 유사한 Sinusoidal PRI의 각 곡선 특성에 적용하여 두 PRI를 식별하는 것을 연구하였다.

II. ELINT(Electronic Intelligence) 시스템 구조 및 Inter-Pulse 종류

2-1 Inter-Pulse 신호의 파라미터

다양한 펄스레이더를 식별하기 위해 필요한 요소들은 그림 1처럼 각 방향에서 수신 안테나로 입력되는 펄스파의 도래시간, 방향(DF: Direction Finding), 레이더의 분해능을 결정하는 펄스 폭(PD: Pulse Duration), 레이더의 탐

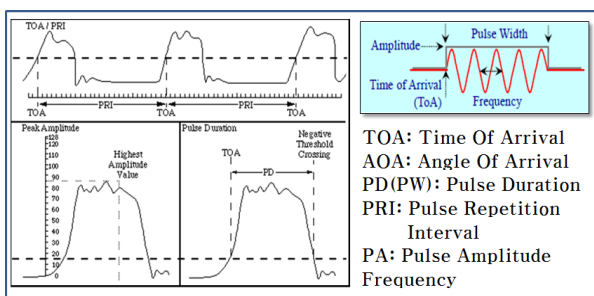


그림 1. 레이더 전자파의 주요 파라미터
Fig. 1. Radar electromagnetic waves parameters.

지거리를 정의하는 펄스반복간격, 그리고 신호 세기인 펄스 진폭(Pulse Amplitude)로 구분된다^[4].

2-2 펄스반복간격 식별시스템 구성 및 신호처리

일반적으로 ELINT 또는 ESM 장비는 그림 2처럼 최초 신호 수집부터 마지막 사용자에게 시현하는 6단계에 걸쳐 전자신호가 처리되고 식별된다. 안테나는 주파수 별로 구분되며, 일반적으로 낮은 주파수 대역은 LPA(Log Periodic Antenna), 중간 주파수 대역은 Parabola, 고대역에서는 혼(Home) 또는 Spiral 안테나가 주로 사용된다. 안테나에 인입되는 신호는 신호가 미약하므로 증폭이 이루어지고 동시에 Filtering과 IF로 변환된다.

Detection / Measurement 단계에서는 신호가 존재하는지를 인지하여 각종 파라미터를 측정한다. 파라미터 추출 단계에서는 각 펄스마다 시간 및 주파수를 기준으로 하여 각 파라미터를 추출하며, 이 데이터를 Raw PDW라고 한다. 이 데이터는 동일한 특성끼리 그룹핑한 데이터가 아니며, 펄스단위로 존재하는 PDW 데이터 들이다(그림 3에서 왼쪽). 다음 단계에서는 제일 중요한 Raw PDW 데이터들을 동일 특성, 즉 동일 방사체에서 방사되는 펄스끼리 묶는 절차이다. 이때 그룹핑한 기준은 동일 주파수와 신호가 인입되는 도래각도(AOA: Angle Of Arrival), 그리고 펄스폭을 기준으로 그룹핑한다. 이러한 과정을 De-Interleaving이라고 한다. De-interleaving 프로세스의 기본 기능은 레이더 신호를 탐지해서 반복되는 동일 요소들끼

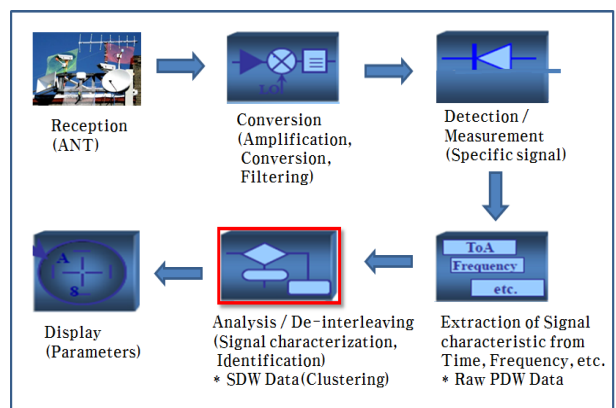


그림 2. 펄스반복간격 식별시스템의 신호처리 절차
Fig. 2. Signal processing for PRI identification.

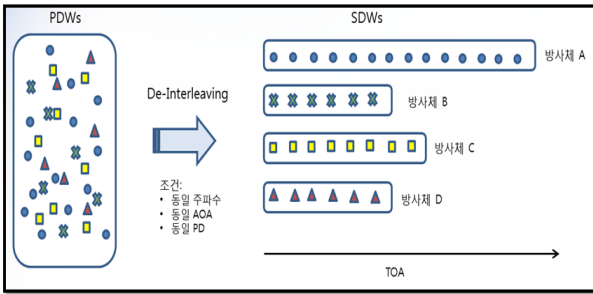


그림 3. Raw PDW 데이터와 Segment화된 SDW 데이터
Fig. 3. Raw PDW data and Segmented SDW data.

리 분류하는 것이다. 이렇게 그룹화된 데이터들을 SDW (Segmented Description Words) 또는 Clustering이라고도 한다. 마지막 단계로서 분석 및 식별된 레이더 펄스신호는 수치 또는 그래프로 시현된다.

2-3 Inter-Pulse 종류

레이더에서 방사되는 펄스열이 그림 4처럼 일정한 간격으로 방사되는 Inter-Pulse 방식을 고정 PRI(Steady, Constant PRI) 방식이라고 하며, 가장 기본적인 레이더 펄스 반복 형태이다.

Random Jitter PRI 방식은 그림 5(b)처럼 펄스반복간격이 어떠한 패턴 없이 불규칙적으로 조금씩 변화하는 방식이다. Pseudo Random Jitter PRI 방식은 그림 5(c)처럼 불규칙적인 Random한 PRI 값을 가진 프레임(또는 Set)이 반복된 방식이며, 그림 5(d)는 Stagger PRI 방식으로서 서로 다른 펄스반복간격이 프레임 단위로 반복되는 형태이다. Dwell & Switch PRI 그림 5(e)는 PRI가 임의의 시간 동안 일정하게 반복된 후 펄스반복간격을 변경하여 일정 기간 반복되고, 다시 다른 펄스반복간격으로 일정하게 반복되며, 일정한 프레임 후에 최초 PRI 값부터 다시 반복

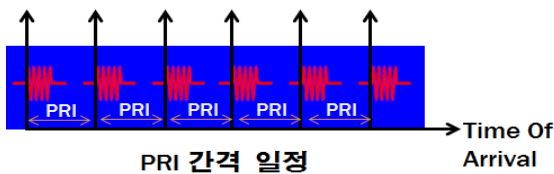


그림 4. 고정 PRI 레이더 펄스반복간격
Fig. 4. Steady PRI.

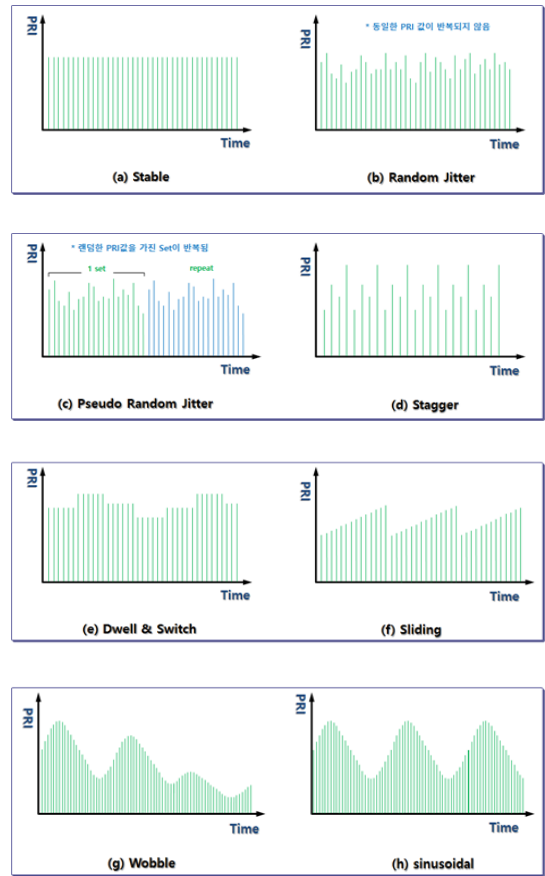


그림 5. 펄스반복간격 형태에 따른 PRI 종류
Fig. 5. A variety of PRI.

된 형태이다^[5]. Sliding PRI (f)는 Linear과 Non-Linear로 구분되며, PRI가 일정하게 커지는 경우에는 Linear Up Sliding, 반대로 일정하게 작아지는 경우에는 Linear Down Sliding 방식이다. 또한, PRI 간격이 일정하지 않고, 커지는 경우에는 Non-Linear Up Sliding이라고 하고 반대일 경우에는 Non-Linear Down Sliding 방식이다. 그림 5(g) Wobble PRI 방식은 펄스반복간격이 진동하는 형태처럼 커지다가 작아지는, 또는 작아지다 커지는 형태이고, 한 프레임이 끝난 후에는 다시 처음부터 반복되는 형태이다. Sinusoidal PRI (h)는 sine파처럼 펄스반복간격이 일정하게 커지고 작아지는 형태로 반복하는 변조형식이다.

2-4 PDW(Pulse Description Word) 구성

PDW는 한 펄스에 대한 특성을 표현하는 데이터로서

	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0										
0	TOA(32Bit, MSB)																																									
1	TOA (7bit, LSB)																Blank(5Bit)																PD(20Bit)									
2	Frequency(24Bit)																								Blank (8Bit)																	
3	Blank(8Bit)								PA(10Bit)										Blank (2bit)		AOA(12Bit)																					
파라미터	비트수	분해능 (resolution)	표현범위	비고																																						
TOA	39bit	0.015625 (us)	0.0 ~ 8,589,934,592us (85.0s)																																							
AOA	12bit	0.1 (degree)	0.0 ~ 360 (degree)																																							
주파수	24bit	16bit + 8bit*3.90624 (MHz)	0.0 ~ 65,435.99744 (MHz)																																							
PD	20bit	0.09536744	0 ~ 100,000.0087 (us)																																							
PA	10bit	0.09766 (dB)	0 ~ 100.00384 (dB)																																							

그림 6. 1개 펄스에 대한 PDW 구성 형태
Fig. 6. PDW formation relative to each pulse.

각 레이더에서 방사되는 펄스마다 파라미터가 측정되어 기술한 소규모의 DB이다. PDW는 그림 2에서 3번째 단계에서 각 펄스에 대한 신호가 탐지되고, 각 파라미터가 측정이 된다. 4번째 단계에서 각 펄스 하나하나에 대한 파라미터가 그림 6처럼 DB화 된다. 이 PDW는 각 펄스에 대한 설명 자료이므로 펄스 단위로 구분해서 TOA, PD, PA, AOA, 주파수 등으로 표시되며, PDW 크기는 64비트 또는 128비트로 구성된다. 이 PDW DB 구성은 표준화 되어 있지 않고, 시스템 구현에 따라 다르다^[6].

2-5 동일 방사체 펄스신호 그룹화

여러 개의 다양한 방사체에서 방사하는 펄스신호는 다른 주파수와 신호레벨, 다양한 방향, 잠음 등의 여러 신호가 수신 안테나에 동시에 입력된다. 각 펄스별로 신호 처리되면 각 펄스에 해당하는 Raw PDW 데이터가 생성되는데, PRI 형태를 분석하기 위해서 이 Raw PDW 데이터를 동일 방사체에서 나온 신호들끼리 방사 순서적으로 묶을 필요가 있다. 우선 주파수를 기준으로 하여 그룹핑하고, 다음에는 Sensor에 도착하는 TOA의 방향탐지 기술을 적용하여 동일 방향, 위치에서 ANT에 입전되는 펄스 순서로 PDW를 나열한다^[7]. 따라서 하나의 방사체에서 방사되는 펄스열의 PDW가 시간 순서로 나열되어 PRI를 분석할 수 있는 단계로 그룹화(Clustering)된다.

III. TOA를 이용한 Wobble, Sinusoidal PRI 분석

3-1 Wobble PRI 분석 알고리즘

일반적으로 안테나에 인입되는 레이더 펄스는 다양한 PRI 변조방식을 갖는다. 펄스가 도착하는 시간 축으로 하여 도착 펄스간의 차이를 1차 차분, $dtoa$ 라 하고, 그 1차 차분간의 차이를 2차 차분, $diff_dtoa$ 라고 한다. 즉, $dtoa$, $diff_dtoa$ 를 다음과 정의할 수 있다.

- (1) $dtoa = toa(i+1) - toa(i)$
- (2) $diff_dtoa = dtoa(i+1) - dtoa(i)$

Wobble PRI는 그림 4(g)처럼 펄스반복간격 PRI가 처음에 커지거나 작아지는, 또는 작아지다가 커지는 형태로서 Sinusoidal PRI와 유사하나, PRI의 피크 값이나 최저 값이 서로 같지 않은 진동형태로 한 프레임이 지속적으로 반복되는 형태이다. 그림 5(g)에 대해 1차 차분, $dtoa$ 를 그려보면 그림 7(a)와 같은 형태를 얻을 수 있다.

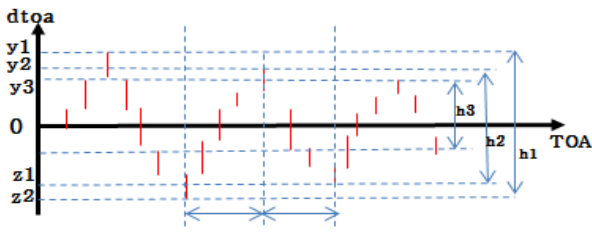
그림 7(a)로 부터 Wobble PRI 분석 알고리즘을 개발을 위한 $dtoa$ 에 대한 곡선의 특징을 정의하면

- (3) Peak 값: $y_1 \neq y_2 \neq y_3$
- (4) Bottom 값: $z_1 \neq z_2$
- (5) 한 곡선의 높낮이 차: $h_1 > h_2 > h_3$

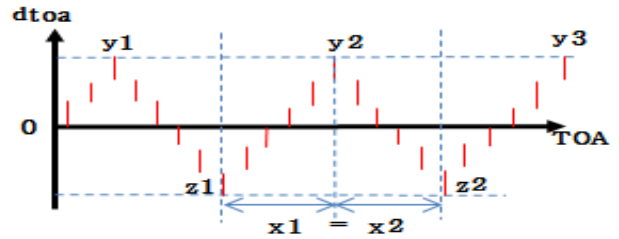
얻을 수 있다. 이것은 안테나로 인입된 펄스별 간격차이가 이러한 PRI 변조방식 특징을 갖게 되면 Wobble PRI 변조방식으로 정의할 수 있다. Wobble PRI 변조방식이 적용된 펄스열을 찾기 위한 알고리즘을 만들기 위해서는 유사한 제원의 잠음이 유입될 수 있으므로 펄스가 최소한 30개 이상이 존재해야 하며, y_1, y_2, y_3 값을 얻기 위한 상향 Slope과 하향 Slope가 최소 3개 이상의 $dtoa$ 가 존재해야 하고, 곡선의 Top과 Bottom의 차이가 $1 \mu s$ 이상의 차이가 있어야 한다. 또한, 동일 방사체로 그룹화된 PDW 개수 중에서 Peak 내에 포함된 $dtoa$ 개수가 전체 $dtoa$ 수의 70% 이상이어야 하며, Peak의 Top 및 Bottom 값의 크기를 상호 비교하고, 반복 여부를 확인할 수 있는 Wobble PRI 판별 알고리즘은 그림 7(b)와 같다.

3-2 Sinusoidal PRI 분석 알고리즘

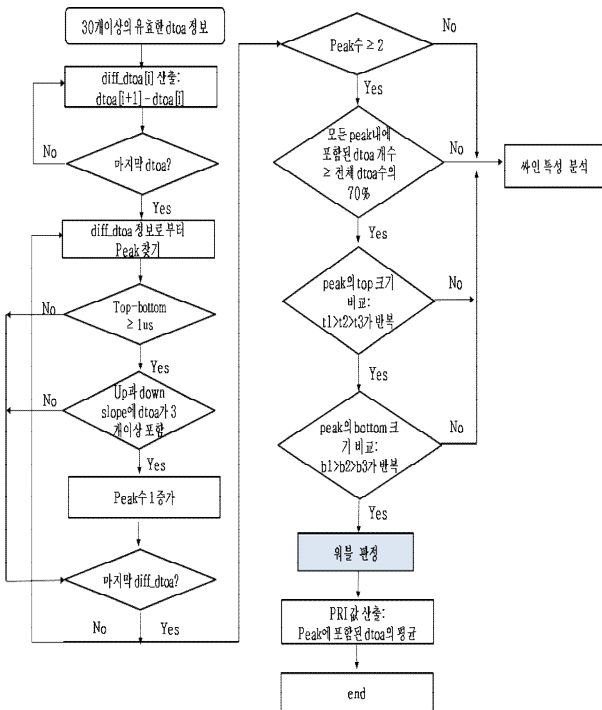
Sinusoidal PRI는 그림 5(h)에서처럼 펄스반복간격이 Sine파처럼 커졌다 작아졌다를 반복하는 형태이다. 그림 5(h)에 대해 1차 차분, $dtoa$ 를 그려보면 그림 8(a)처럼 toa



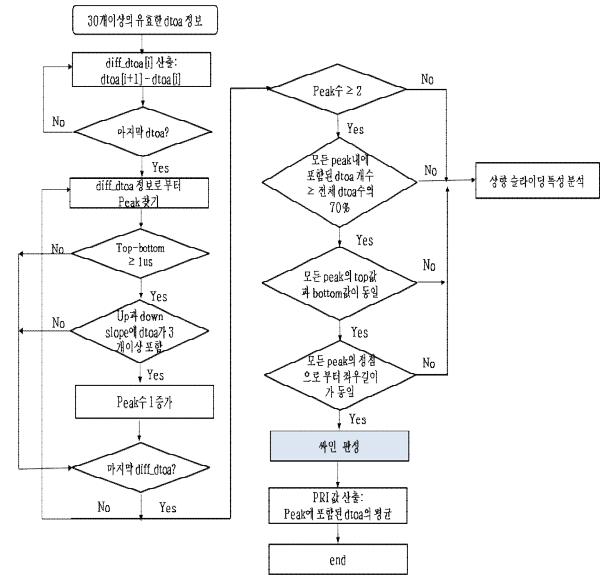
(a) Wobble PRI의 1차 차분(dtoa)
(a) Wobble PRI's first difference



(a) Sinusoidal PRI의 1차 차분(dtoa)
(a) Sinusoidal PRI's first difference



(b) Wobble PRI 판정 알고리즘
(b) Wobble PRI's decision algorithm



(b) Sinusoidal PRI 판정 알고리즘
(b) Sinusoidal PRI's decision algorithm

그림 7. Wobble PRI의 1차 차분 및 판정 알고리즘
Fig. 7. Wobble PRI's first difference and decision algorithm.

$(i+1) - \text{toa}(i)$ 의 Peak 및 Bottom 값과 그 크기가 일정하게 Sine파를 형성하는 것을 알 수 있다.

Sinusoidal PRI는 펄스반복간격이 Wobble PRI 형태와 유사한 것처럼 보이나 실제적으로는 다르다. 각 곡선별 y_1, y_2, y_3 값이 같고 또한, Peak간 좌우 값 x_1, x_2 값도 같다. 따라서 Sinusoidal PRI의 dtoa에 대한 특징은

- (1) Peak 값: $y_1=y_2=y_3$
- (2) Bottom 값: $z_1=z_2$

그림 8. Sinusoidal PRI의 1차 차분과 판정 알고리즘
그림 8. Sinusoidal PRI's first difference and decision algorithm.

(3) Peak(Bottom) 기준, 좌우 값: $x_1=x_2$

로 정의할 수 있는데, 알고리즘은 Wobble PRI의 앞부분처럼 최소 3개의 dtoa가 존재해야 하고, 모든 Top과 Bottom 값이 동일해야 하며, 곡선의 Top을 중심으로 하여 좌우의 Bottom까지의 길이가 동일하다. Sinusoidal PRI를 판정하기 위한 알고리즘은 그림 8(b)와 같으며, 이러한 조건을 만족하면 Sinusoidal PRI로 간주한다.

Wobble PRI와 Sinusoidal PRI는 상호 유사하나, dtoa의 Peak 및 Bottom 값, 한 곡선의 중심을 기준으로 좌우가 각각 다를 수 있음을 확인할 수가 있다.

IV. PRI 분석 알고리즘 적용 결과

그림 7(b)에서 제시한 Wobble PRI 분석 알고리즘을 프로그래밍한 후에 표 1의 TOA 데이터 40개를 입력하여 PRI 분석을 수행하였다. 표 1의 dtoa와 diff_dtoa 데이터는 본문에서 언급된 공식에 의해 얻어진 것이다.

표 1에서 dtoa값의 변화과정을 보면, 0 → 4000 → 8000 → 5000 → 3000 → 3500 → 7000 → 4500 → 2000 → 3300 → 6000 → 3700 → 1000 순으로 반복됨을 알 수 있다. 따라서 입력된 TOA의 PRI 값에 대해 각 곡선별 피크 값인 y_1, y_2, y_3 와 Bottom 값인 z_1, z_2, z_3 값을 구하면 표 2와 같다.

입력된 PRI 데이터로부터 획득된 dtoa가 $y_1 > y_2 > y_3$ 와 $z_1 > z_2 > z_3$ 를 만족하고 있고, 대부분의 dtoa가 이러한 패턴을 만족하므로 Wobble로 판정하는 알고리즘이 정확하다고 판단된다.

표 1. Wobble PRI 입력 및 dtoa, diff_dtoa 데이터
Table 1. Wobble PRI input and dtoa, diff_dtoa data.

구분	TOA	dtoa	diff_dtoa
1	0.000	0.000	
2	4000.000	4000.000	4000.0
3	12000.000	8000.000	-3000.0
4	17000.000	5000.000	-2000.0
5	20000.000	3000.000	500.0
6	23000.000	3500.000	3500.0
7	26500.000	7000.000	-2500.0
8	31000.000	4500.000	-2500.0
9	35500.000	2000.000	1300.0
10	37500.000	3300.000	2700.0
11	43500.000	6000.000	-2300.0
12	47200.000	3700.000	-2700.0
13	48200.000	1000.000	3000.0
14	53200.000	4000.000	4000.0
15	61200.000	8000.000	-3000.0
16	69200.000	5000.000	-2000.0
17	74200.000	3000.000	500.0
18	77200.000	3500.000	3500.0
19	80700.000	7000.000	-2500.0
20	87700.000	4500.000	-2500.0
21	92200.000	2000.000	1300.0
22	94200.000	3300.000	2700.0
23	97500.000	6000.000	-2300.0
24	103500.000	3700.000	-2700.0
25	107200.000	1000.000	3000.0
26	108200.000	4000.000	4000.0
27	112200.000	8000.000	-3000.0
28	120200.000	5000.000	-2000.0
29	125200.000	3000.000	500.0
30	128200.000	3500.000	3500.0
31	137200.000	7000.000	-2500.0
32	144200.000	4500.000	-2500.0
33	148700.000	2000.000	1300.0
34	150700.000	3300.000	2700.0
35	154000.000	6000.000	-2300.0
36	160000.000	3700.000	-2700.0
37	163700.000	1000.000	3000.0
38	164700.000	4000.000	4000.0
39	168700.000	8000.000	-3000.0
40	176700.000	5000.000	

표 2. Wobble PRI 입력 데이터에 대한 peak, bottom 값
Table 2. Peak's and bottom's value for Wobble PRI input data.

Peak	dtoa	Bottom	dtoa
y_1	8,000	z_1	3000
y_2	7,000	z_2	2,000
y_3	6,000	z_3	1,000

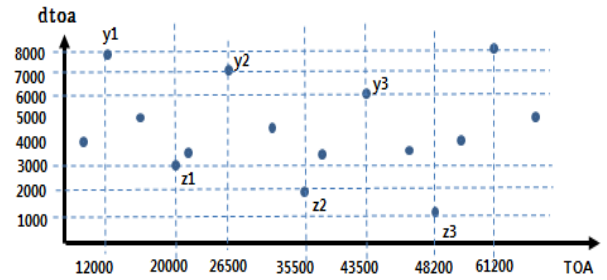


그림 9. Wobble PRI 판정 알고리즘 적용결과 dtoa 그래프
Fig. 9. dtoa graph of Wobble PRI decision algorithm application.

또한 한 프레임을 기준으로 하여 설정된 Elements(서로 다른 y축 값)와 Positions(발생 순서에 y축 값)은 그림 9처럼 각각 12로서(4000, 8000, 2500, 3000, 3500, 7000, 4500, 2000, 3300, 6000, 3700, 1000) 입력된 한 프레임 12개 Elements의 평균 PRI는 4041.667로 산출된다.

그림 8(b)에서 제시한 Sinusoidal PRI 분석 알고리즘을 이용하여 표 3의 TOA 데이터 40개를 입력하여 PRI 분석을 수행하였다. 표 3의 dtoa와 diff_dtoa 데이터는 Wobble PRI 분석과 동일한 방법으로 공식에 의해 산출되었다. 산출된 dtoa를 그림 10과 같이 도식하면 한 프레임(하나의 Sine파)의 dtoa 값의 변화과정을 보면 2025 → 2035 → 2025 → 2017 → 2015 → 2025 → 2035 → 2025 → 2017 → 2015 순으로 PRI가 변하고, 따라서 Peak 값은 2035, Bottom 값은 2017로서 일정하다. 각 Sine의 Peak값 간 또는 Bottom값 간 TOA를 기준으로 변경주기(한 프레임)는 8,102 us가 된다.

따라서 알고리즘 조건 즉, y_1, y_2, y_3 와 z_1, z_2, z_3 값을 구하면 표 4와 같다.

표 3. Sinusoidal PRI 입력 및 dtoa, diff_dtoa 데이터
Table 3. Sinusoidal PRI input and dtoa, diff_dtoa data.

구분	TOA	dtoa	diff_dtoa
1	0.000	0.000	
2	2025.000	2025.000	10.000
3	4060.000	2035.000	-10.000
4	6085.000	2025.000	-8.000
5	8102.000	2017.000	8.000
6	10127.000	2025.000	10.000
7	12162.000	2035.000	-10.000
8	14187.000	2025.000	-8.000
9	16204.000	2017.000	8.000
10	18229.000	2025.000	10.000
11	20264.000	2035.000	-10.000
12	22289.000	2025.000	-8.000
13	24306.000	2017.000	8.000
14	26331.000	2025.000	10.000
15	28366.000	2035.000	-10.000
16	30391.000	2025.000	-8.000
17	32408.000	2017.000	8.000
18	34433.000	2025.000	10.000
19	36468.000	2035.000	-10.000
20	38493.000	2025.000	8.000
21	40510.000	2017.000	10.000
22	42535.000	2025.000	-10.000
23	44570.000	2035.000	-8.000
24	46595.000	2025.000	8.000
25	48620.000	2017.000	10.000
26	50637.000	2025.000	-10.000
27	52662.000	2035.000	-8.000
28	54697.000	2025.000	8.000
29	56722.000	2017.000	10.000
30	60249.000	2025.000	-10.000
31	62274.000	2035.000	-8.000
32	64309.000	2025.000	8.000
33	66334.000	2017.000	10.000
34	68351.000	2025.000	-10.000
35	70376.000	2035.000	-8.000
36	72411.000	2025.000	8.000
37	74436.000	2017.000	10.000
38	76453.000	2025.000	-10.000
39	78478.000	2035.000	-8.000
40	80513.000	2017.000	8.000

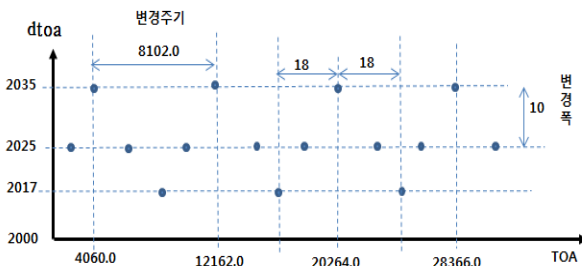


그림 10. Sinusoidal PRI 판정 알고리즘 적용결과 dtoa 그
래프

Fig. 10. dtoa graph of Sinusoidal PRI decision algorithm
application.

따라서 입력된 PRI 데이터는 dtoa 곡선이 Sinusoidal의 조건을 만족하므로 위 Sinusoidal PRI 분석 알고리즘은 정확하다고 볼 수 있다.

표 4. Sinusoidal PRI 입력 데이터에 대한 peak, bottom 값
표 4. Peak's and bottom's value for Sinusoidal PRI input
data

Peak	dtoa	Bottom	dtoa
y_1	2,035	z_1	2,017
y_2	2,035	z_2	2,017
y_3	2,035	z_3	2,017

V. 결 론

최근 첨단 레이더 무기체계는 전자공격에 대응하여 다양한 회피방식의 PRI 변조방법이 개발, 적용되고 있는 데 그 중에서 효과적인 방법으로 Sinusoidal PRI, Wobble PRI 방법이 있다.

Sinusoidal PRI, Wobble PRI 식별 알고리즘은 많이 알려져 있지 않으나, 본 논문에서는 TOA를 이용한 1차 차분과 2차 차분을 값을 적용하여 Sinusoidal PRI, Wobble PRI 곡선의 특징을 분석하여 알고리즘을 고안하였다. 그 결과, Sinusoidal PRI, Wobble PRI의 특성에 맞는 입력 데이터 40개를 각각 선정, 입력한 결과, Wobble 및 Sinusoidal PRI 식별 알고리즘이 정확히 분석, 식별하는 것을 확인하였다.

미지의 레이더 신호를 식별하는 업무는 매우 제한적으로 이루어지고 있거나, 적용된 알고리즘은 비밀로 유지되고 있다. 현재까지는 Sinusoidal PRI, Wobble PRI 분석 식별 알고리즘도 공개적으로 알려져 있지 않으나, 본 논문에서 연구 개발된 Sinusoidal PRI, Wobble PRI 분석 알고리즘이 향후 개발될 ELINT시스템 및 ESM장비에 효과적으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] 국방과학연구소 제2체계개발본부, "다중 신호 환경하에서 펄스 열 분리기법 연구", NSDC-417-021088, pp. 1-46, 2002년.
- [2] 임중수, 채규수, "TOA 2차 차분을 이용한 다중 펄스열의 Dual & Switch 펄스신호 패턴 분석", 한국산학기술학회 춘계학술발표논문집, pp. 804-807, 2012년.
- [3] 임중수, 홍경호, 이득영, 신동훈, 김용환, "펄스열의 2

차 차분을 이용한 2단 stagger 신호식별", 한국산학기술학회논문지, 10(7), pp. 1536-1541, 2009년.

[4] 임중수, 홍경호, 이득영, 신동훈, 김용환, "PRI 비교를 통한 주파수 급속변경 레이더 신호분리", 한국산학기술학회 논문지, 10(8), pp. 1832-1838, 2009년.

[5] 임중수, 채규수, "EP 레이더의 D&S PRI와 Stagger PRI 신호식별 알고리즘", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 13, no. 11, pp. 5372-5378, 2012년.

[6] 임중수, 홍경호, 전갑송, 문성철, 이창재, 서석훈, "레이저 펄스열의 2차 차분을 이용한 PRI 패턴분석", 한국콘텐츠학회논문지, 8(4), pp. 63-70, 2008년.

[7] 임중수, "펄스 레이더의 다단 Stagger PRI 신호분리 알고리즘", 통신위성우주산업연구회논문지, 8(4), pp. 159-

164, 2013년.

[8] 임중수, 최창민, 김상규, "방향자료를 이용한 레이더와 전자정보 장비의 정보융합", 한국산학기술학회 추계학술발표논문집, pp. 242-244, 2006년.

[9] 임중수, "레이더와 전자정보 장비의 정보융합 특성 분석", 한국산학기술학회논문집, 7(5), pp. 847-851, 2006년.

[10] Mehmet Kadir Aslan, "Emitter identification techniques in electronic warfare", The Graduate School of Natural and Applied Science of Middle East Technical University, Sep. 2006.

[11] Z. Matousek, P. Buck, "Detection area analysis in the ELINT system", *AiMT*, vol. 5, no. 2, pp. 17-27, Dec. 2010.

이 용 식



1987년 3월: 공군사관학교 (공학사)
 1993년 8월: 미국 Florida Institute of Technology E.E. (공학석사)
 1997년 12월: 정보통신기술사
 2001년 3월: 국립한밭대학교 강사
 2002년 5월: 공군중령 전역
 2003년 1월~현재: SEC연구소

2012년 8월: 한양대학교 전자공학과 박사과정 수료
 2014년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] ELINT, ESM(ES, EA, EP) 등

임 재 성



1983년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 한국과학기술원 영상통신 (공학석사)
 1994년 8월: 한국과학기술원 디지털통신 (공학박사)
 1998년 3월~현재: 아주대학교 소프트웨어융합학과 정교수

2006년 8월~현재: 아주대학교 국방전술 네트워크 연구센터장
 [주 관심분야] 이동통신, 무선네트워크, 국방전술통신

임 중 수



1983년 2월~1978년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 3월: 미국 Auburn 대학교 E.E 대학원 (공학박사)
 1994년 3월~2003년 2월: 국방과학연구소 책임연구원전파기술팀장
 2003년 3월~현재: 백석대학교 정보통신

학부 교수

2007년 1월~현재: 한국군사과학기술학회 평의원
 2011년 1월~현재: 통신위성우주산업연구회 이사
 [주 관심분야] 위성통신 전파전파 레이더 전자전설계