

---

# PRI 상태행렬과 통계값을 이용한 레이더 PRI 신호패턴 인식

이창호\* · 성태경\*

\*충남대학교

## Radar Signal Pattern Recognition Using PRI Status Matrix and Statistics

Chang-ho Lee\* · Tae-kyung Sung\*

\*Chungnam National University

E-mail : ewchlee@korea.com, tksaint@cnu.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 전자전 신호 환경에서 ES(Electronic Support) 시스템의 레이더 신호의 PRI 변조 형태를 자동으로 인식하는 새로운 방법을 제안한다. 제안방법은 레이더 펄스 신호의 펄스반복간격인 PRI(Pulse Repetition Interval)값의 패턴을 저장하고 통계적 데이터를 사용하여 먼저 2개의 클래스로 분류한다. 분류된 2개의 클래스를 PRI의 통계적 특성을 이용하여 각각의 PRI 신호를 인식한다. 제안 방법을 고정(constant)PRI, 지터(jitter)PRI, 스테거(stagger)PRI, D&S(dwel&switch)PRI, 슬라이딩(sliding) PRI 등 5종류의 다양한 PRI 신호들에 적용한 결과 정확히 PRI 변조방식을 식별하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new method to automatically recognize PRI modulation type of radar signal at ES(Electronic Support) in electronic signal environment. The proposed method stores pattern of PRI(Pulse Repetition Interval) of radar signal and uses statistic data, which firstly classifies into 2 classes. Then the proposed method recognizes each PRI signal using statistic characteristic of PRI. We apply various 5 kinds of PRI signal such as constant PRI, jitter PRI, D&S(dwel & switch) PRI, stagger PRI, sliding PRI, etc. The result shows the proposed method correctly identifies various PRI signals.

### 키워드

ES, PRI, Jitter, Stagger, dwell&switch, sliding

### I. 서 론

전자전(Electronic warfare)에서 레이더 주파수 대역의 ES(electronic Support) 시스템은 레이더들에서 방사된 신호를 수신하여 수신 신호에 대해 주파수, 펄스도착시간, 펄스폭 등을 측정하고, 펄스열 분리 과정을 통하여 레이더들이 사용하는 변수들을 분석한다. ES 시스템에서의 식별 능력 향상에 이용할 수 있는 중요한 변수 중 하나가 PRI 변조 특성이며, PRI 형태는 constant, jitter stagger, sliding, D&S(dwel&switch) PRI로 분류된다[1,2]

기존 PRI 변조형태 인식기법에는 히스토그램

방법[1]과 신경망 접근법[2]이 있다. 히스토그램을 이용한 방법은 수신한 펄스신호의 펄스도착시간에 대한 1차 차분 (first difference), 즉 PRI에 히스토그램 분포 형상을 기반으로 각각의 PRI 변조 형태를 구분한다. 히스토그램 기법은 PRI 변조형태의 자동인식에 어려움이 있으며, 원하는 PRI 히스토그램 분포를 얻기 위해서는 수백에서 수천 개의 펄스가 필요하고, 히스토그램의 빈 (bin)에 대한 신중한 선택이 요구된다. 신경망 접근법에 의한 PRI 변조형태 인식기법은 수집한 신호의 펄스도착시간의 2차 차분과 signum 함수로부터 합을 생성한 후, back-propagation에 의한 다층 퍼셉트론(Multi-layer Perceptron)을 이용하여 다수의

PRI 변조형태를 인식한다. 이 기법은 다수의 PRI 변조 형태를 구별할 수 있는 새로운 특징 벡터를 정의하지만, 신경망을 이용함으로써 다양한 변조 주기와 변화 특성을 가지는 각각의 PRI 변조특성에 대한 충분한 정보와 이를 사용한 신경망의 학습이 반드시 필요하다. 또한 새로운 신호의 존재가 발견되면 신경망의 가치를 갱신해야 하는 번거로움이 있다. 본 논문에서는 PRI 신호의 상태함수와 통계적 특성을 이용한 PRI 변조기법을 인식하는 방법을 제안한다.

## II. 상태행렬과 통계값을 이용한 PRI 인식

PRI 변조 형태는 constant, jitter, stagger, sliding, dwell & switch가 있으며 그림 1과 같다.

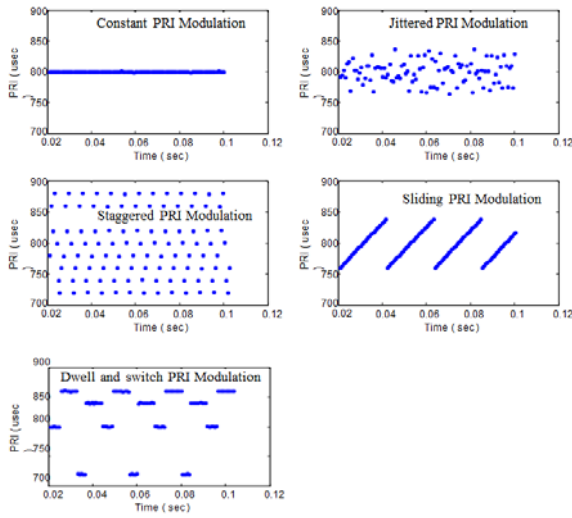


그림 1. PRI 변조 종류

표 1. PRI 신호의 특성

PRI신호	공통특성	신호별 특성
constant	신호 일정	신호가 일정하다.[3]
D&S		일정시간 후 신호가 변한다.
jitter	신호 불규칙	신호의 편차가 작다.[4]
stagger		신호의 편차가 크다.
sliding		신호가 점차적으로 증가 또는 감소한다.

그림1의 PRI 신호는 그 형태를 분석할 때 표1의 공통 특성과 신호별 특성이 있다.

표1의 특성을 이용해서 본 논문에서는 1차적으로 신호가 일정한 값을 갖는 PRI 신호와 불규칙한 값을 갖는 2개의 클래스로 분류한 후 각 클래스에서 신호의 특성에 맞는 통계적 성격을 적용하여 PRI 신호를 인식한다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 PRI 인식 흐름도이다.

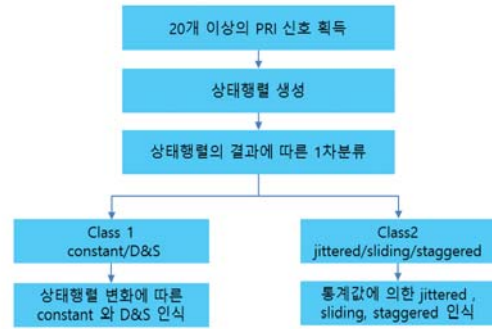


그림 2. 제안한 PRI 인식 알고리즘

PRI	flag1	Status1	D-PRI	flag2	Status2
-----	-------	---------	-------	-------	---------

그림 3. 상태구조 변수

PRI 신호를 2클래스로 분류하기 위해 일정 신호열의 상태를 관측하며 이를 위해 상태행렬을 제안한다. 상태행렬은 입력되는 n개의 PRI 신호의 상태를 저장하는 행렬로 그림 3의 상태변수를 신호열의 개수에 따라 그룹화하여 생성한다. 상태변수는 C1과 C2로 구성되며 C1은 class1과 class 2로 분류하기 위한 값을 저장하며 C2에는 class 2에서 sliding PRI를 분류하기 위한 값을 저장한다. C1의 PRI 값에는 현재 입력되는 PRI 값을, flag1는 이전 신호와 다른 값이 입력될 경우 1을, 동일 값이 입력 될 경우 0을 할당한다. status1에는 이전 PRI와 동일할 경우 1씩 증가시키며, 만약 flag1이 1로 변경될 경우 0으로 할당된다. C2의 D-PRI는 이전 PRI와 현재 PRI 차이값을, status2에는 D-PRI가 일정할 경우 1씩 증가하며 flag2는 D-PRI가 임계값 이상 변할 경우 1로 할당된다. 생성행렬의 값을 이용하여 다음의 규칙에 의해 클래스 1과 클래스 2로 분류한다.

```

if flag1 = 0 and status1 >= Ths
    class 1(constant and D&S)
else
    class 2(jittered, staggered, sliding)
    
```

class1의 constant와 D&S는 동일한 값의 PRI 신호가 입력되지만 D&S는 일정시간이 지나면 다른 PRI 값이 입력된다. 따라서 두 신호는 class로 분류 후 상태행렬을 계속 관측하여 flag1의 값이 1로 변경되면 D&S와 constant로 인식하기 위한 알고리즘을 실행한다. n번째 PRI입력으로 인한 flag1의 변화가 잡음이나 TOA 데이터의 손실로 인한 것이라면 다음 PRI는 n-1번째 데이터의 값과 유사할 것이고 그렇지 않다면 Dwell time 동안 동일한 데이터가 지속될 것이다. 따라서 n+1번째

PRI는 n번째 PRI와 동일 할 것이다. 그러므로  $DT = PRI_n - PRI_{n-1}$ 와 같이 DT를 구한 후 n+1~n+3까지의 PRI의 변화량은 구한다.

$$DP_1 = PRI_n - PRI_{n+1}$$

$$DP_2 = PRI_n - PRI_{n+2}$$

$$DP_3 = PRI_n - PRI_{n+3}$$

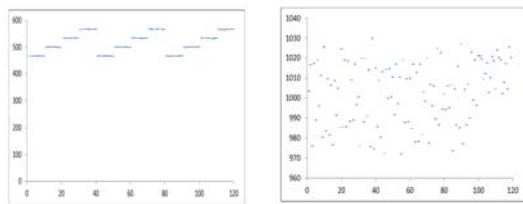
flag1의 변화가 잡음에 의한 것이라면  $DP_1, DP_2, DP_3$  는 DT와 유사할 것이고 Dwell Time 내의 신호라면  $DP_n \approx 0$ (n=1,2,3)일 것이다. 따라서  $DT \approx 0$  이라면 이 신호는 D&S로 분류된다.

class2의 sliding은 일정한 비율로 PRI 값이 증가하며 C2의 D-PRI가 일정한 값을 갖고 일정시간동안 지속되며 한 주기 이후 PRI 값의 변화가 크다. 따라서 status2가 임계값 이상일 경우 flag가 1로 할당되면 sliding PRI로 분류한다.

jittered PRI 와 staggered PRI는 신호가 불규칙하게 입력되는 특성이 있으며 jittered PRI는 PRI 표준편차가 평균값의 5%보다 낮고[4] staggered PRI는 편차가 크다. 따라서 PRI의 편차를 구하여 표준편차가 신호열 평균의 5% 이하일 경우 jittered PRI로 인식하고 아닐 경우 staggered PRI로 인식한다.

### III. 실험 및 결과 분석

제안방법의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이터를 구현하고 EP 레이더 신호를 입력하여 PRI 분리 시험을 수행하였다. 시뮬레이터는 Intel cpu 2.6GHz, 16G RAM에서 매트랩 2012를 이용하여 구현하였으며 오차 5%의 PRI 신호를 생성하여 입력으로 사용하였다. 또한 PRI신호의 잡음을 고려하여 4개 입력신호의 평균의 1%의 해당하는 값은 동일값으로 처리하였다. 그림 4는 임의의 D&S PRI와 Jittered PRI 신호에 제안방법을 적용하여 class를 분류한 결과이다.



(a) D&S PRI (b) jittered PRI

PRI	flag1	status1	D-PRI	flag2	status2	class1	class2
467.0294	0	0	0	0	0	0	0
467.0282	0	1	0.001151	0	0	0	0
465.902	0	2	1.126263	0	0	0	0
466.8141	0	3	-0.91216	0	0	1	0
467.6771	0	4	-0.86303	0	0	1	0
466.2543	0	5	1.422839	0	0	1	0
467.9634	0	6	-1.70914	0	0	1	0
466.2967	0	7	1.666699	0	0	1	0
467.3289	0	8	-1.03218	0	0	1	0
465.9029	0	9	1.425998	0	0	1	0
500.1131	1	0	-34.2102	0	0	1	0
499.0879	0	1	1.025217	0	0	1	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
565.72	0	6	2.03111	0	6	1	0
566.898	0	7	-1.17795	0	7	1	0
565.6888	0	8	1.209143	0	8	1	0
566.43	0	9	-0.7412	0	9	1	0

(c) (a)의 결과 화면

PRI	flag1	status1	D-PRI	flag2	status2	class1	class2
1003.296	0	0	0	0	0	0	0
1016.574	1	0	-13.2783	0	0	0	0
975.8698	1	0	40.70411	0	0	0	0
1017.312	1	0	-41.442	0	0	0	1
988.9722	1	0	28.33967	0	0	0	1
1018.883	1	0	-29.9103	0	0	0	1
995.9228	1	0	22.95974	0	0	0	1
1011.324	1	0	-15.4016	0	0	0	1
980.3081	1	0	31.01626	0	0	0	1
1025.517	1	0	-45.2088	0	0	0	1
983.5235	1	0	41.99345	0	0	0	1
1009.446	1	0	-25.9228	0	0	0	1
981.4312	1	0	28.015	0	0	0	1
1006.366	1	0	-24.9344	0	0	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1007.789	1	0	-5.62496	1	0	0	1
1017.193	1	0	-9.40458	1	0	0	1
1004.49	1	0	12.70305	1	0	0	1
1025.524	1	0	-21.0335	1	0	0	1
1020.199	1	0	5.324272	1	0	0	1

(d) (b)의 결과 화면

그림 4. D&S PRI와 Jittered PRI 신호의 클래스 분석결과

그림 4(c)는 class1과 class2 로 분류하기 위한  $Th_s$ 는 3으로 한다. Jittered PRI는 8개의 data 관찰 후 class2 로 분류되며 평균과 표준편차의 계산을 이용하여 Jittered PRI로 구분된다. (b)의 jittered PRI는 평균은 1002.624, 표준편차는 15.52907으로 표준편차가 평균의 5%보다 작은 값을 갖기 때문에 jittered PRI로 분류되었다.

제안방법은 5가지의 PRI의 8개의 신호 데이터에 대해 실험하였고 각 신호를 정확히 분리하였다. 또한 PRI 인식 알고리즘이 단순하므로 다른 알고리즘에 비해 더 빠르게 분류할 수 있다.

### IV. 결론

ES 시스템에서 레이더 식별 능력 향상은 PRI 변조 형태의 식별 정보가 필요하다. 본 논문에서는 5가지 PRI 변조 형태를 인식하는 방법을 제안한다. 제안방법은 상태행렬을 정의하고 상태행렬의 값을 이용하여 2개의 클래스로 분류하고 각

클래스 내에서 PRI를 분류한다. 제안방법을 고정 (contant)PRI, 지터(jitter)PRI, D&S(dwel & switch)PRI, 스테거(stagger)PRI, 슬라이딩(Sliding)PRI 등 5종류의 다양한 PRI 신호들에 적용하여 모의 실험한 결과 PRI 변조방식을 자동 인식하였다. 또한 PRI 인식 알고리즘이 단순하므로 다른 알고리즘에 비해 더 빠르게 분류할 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] R. Wiley, Electronic Intelligence: The analysis of radar signals, Artech House, pp. 147-198, 1993.
- [2] G.P. Noone, "A neural approach to automatic pulse repetition interval modulation recognition," Proceeding of Information, Decision and Control, IEEE, pp. 213-218, 1999.
- [3] Richard G. Wiley, ELINT The interception and analysis of radar signals, Artech House, Boston, pp. 281-289, 2006
- [4] Joong-Soo Lim, "An Identify of Two Step Stagger signals Using the Second Deviation of Pulse Train" , Transactions on the Korean Academic Industrial Society, Vol. 10, NO 7, pp.1536-1541, July 2009.