

# 상태전이확률을 이용한 신경망 기반 PRI 변조형태 인식방법

## A novel method of recognizing PRI modulation type based on neural network using state transition probability

한진우, 송규하, 박병구, 조제일, 김산해

국방과학연구소

Jin-Woo Han, Kyu-Ha Song, Byung-Koo Park, Je-Il Jo, San-He Kim

Agency for Defense Development

### Abstract

The intervals between the TOA of a received pulsetrain from a radar have a specific pattern, because the radar should receive its own signals returned from a target to measure the distance between the radar and the target. In this paper, we propose a novel method of recognizing PRI modulation type based on neural network using state transition probability. The method is shown via computer simulation to be greatly reliable and robust even in the presence of missing and spurious pulses.

### I. 서 론

전자전지원 시스템은 다수의 레이더들이 방사한 신호들을 수신한 후, 펄스열 분리를 통해 각 레이더가 사용하고 있는 운용변수들을 분석하여 내장된 식별데이터와의 비교를 통해 활동 에미터 위협을 식별한다. 레이더는 일정거리내의 표적을 탐지 또는 추적하기 위하여 일정한 시간 간격(PRI\*)으로 신호를 송신하여 반사되어 돌아오는 신호와 송신한 신호의 시간 차로 표적의 거리를 계산한다. 각 레이더는 자신이 송신한 신호를 찾아내기 위하여 고유의 PRI 변조형태를 사용하므로, PRI 변조형태 분석은 레이더 식별을 위해 필수적이다.

본 논문은 2장에서 PRI 변조형태에 대해 요약하고, 3장에서 상태전이확률을 이용한 신경망 기반의 PRI 변조형태 인식방법을 제안한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능분석결과를 4장에서 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

### II. PRI 변조형태

#### 1. 고정 PRI

고정 PRI 변조형태는 PRI가 일정한 값을 가지고 시간의 흐름에 따라 변하지 않는 특성을 가지는 변조형태이다.

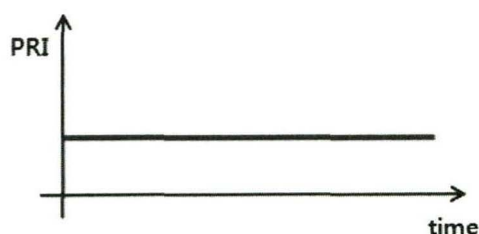


그림 1. 고정 PRI

#### 2. 스테거 PRI

스테거 PRI 변조형태는 다수의 PRI를 원소(Element)로 가지고 원소의 조합(Position)으로 PRI를 구성하는 변조형태이다. 이 때, 원소의 조합이 스테거의 단수(Level)가 된다.

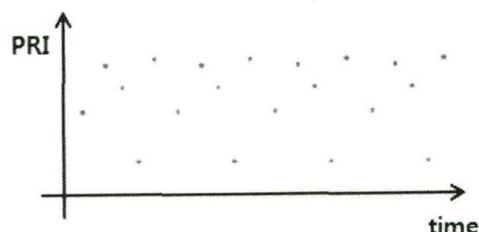


그림 2. 스테거 PRI

\* PRI : Pulse Repetition Interval, 펄스반복주기

### 3. Dwell & Switch(D&S) PRI

D&S PRI 변조형태는 PRI의 변화가 매 펄스마다 일어나지 않고, 일정 시간동안 특정  $PRI(t_i)$ 가 유지(Dwell)되다가 다른  $PRI(t_j)$ 로 전환(Switch)되는 특성을 가진다.

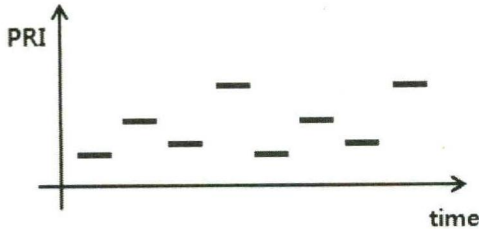


그림 3. D&S PRI

### 4. 슬라이딩 PRI

슬라이딩 PRI 변조형태는 일정기간 동안 PRI가 지속적으로 증가 혹은 감소하는 특성을 가지며, 증가/감소에 따라 (+), (-)로 구분되고, PRI 변화의 선형성에 따라 선형과 비선형으로 구분된다.

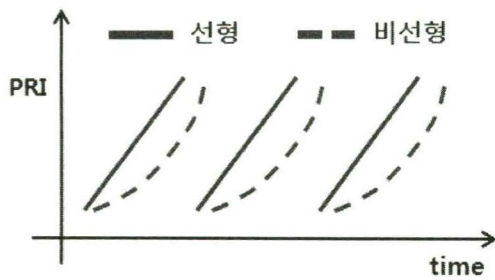


그림 4. 선형/비선형 슬라이딩(+) PRI

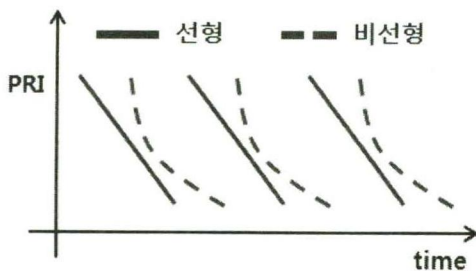


그림 5. 선형/비선형 슬라이딩(-) PRI

### 5. 워블 PRI

워블 PRI 변조형태는 PRI가 정현파에 의해 변조된 것으로 일정한 주기에 따라 PRI가 상승, 유지, 하강, 상승을 반복하는 정현파의 모양을 가진다.

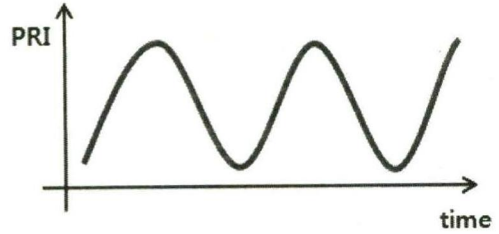


그림 6. 워블 PRI

### 6. 지터 PRI

지터 PRI 변조형태는 특정 변경범위 내에서 PRI가 랜덤하게 변경되는 것으로, 전자공격에 대응하기 위한 전자보호 기법의 일종으로 사용된다.

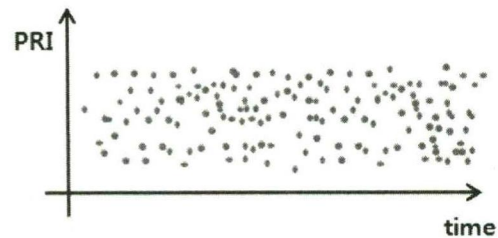


그림 7. 지터 PRI

## III. 제안 방법

본 논문에서는 입력데이터에 대해 체인코드 및 상태천이확률을 계산하고, 상태천이확률로부터 변조형태 구분인자들을 추출하여 신경망의 입력데이터로 사용하는 신경망 기반의 PRI 변조형태를 인식하는 방법을 제안한다.

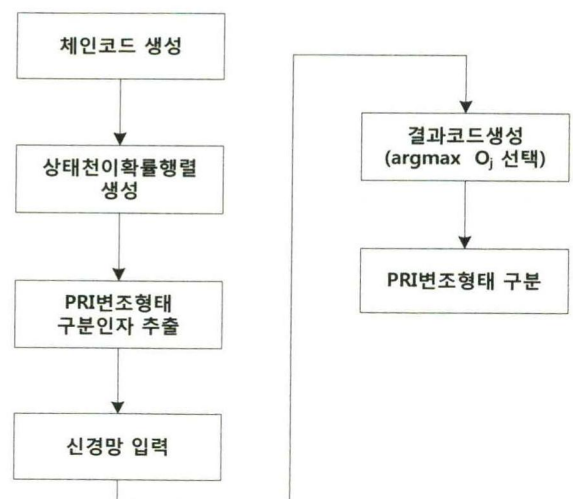


그림 8. 제안방법 흐름도

## 1. 체인코드 생성

입력신호에 대한 DTOA\*를 이용하여 DTOA의 증감 및 방향에 따라 다음의 식과 같이 5개의 코드로 구분하여 표현한다. 5개의 코드로 표현하기 위하여  $\theta_\alpha$ ,  $\theta_\beta$ ,  $\theta_\gamma$ 의 임계값을 정의하여 사용한다.

$$c_k = \begin{cases} +2 & \text{if } z(k) \geq \theta_\alpha \\ +1 & \text{if } \theta_\beta < z(k) < \theta_\gamma \\ 0 & \text{if } z(k) \leq |\theta_\beta| \\ -1 & \text{if } \theta_\gamma < z(k) < \theta_\beta \\ -2 & \text{if } z(k) \leq \theta_\gamma \end{cases}$$

## 2. 상태천이확률행렬 생성

체인코드가 생성되면, 이를 바탕으로 상태천이확률행렬\*\*을 생성한다. 행렬의 각 원소는 한 상태에서 다음 상태로 천이할 확률을 나타낸 것으로, 현 상태를 지속할 확률을 포함하여 다른 상태로 천이할 확률을 가진다.

$$STPM = \begin{bmatrix} a_{-2,-2} & a_{-2,-1} & a_{-2,0} & a_{-2,+1} & a_{-2,+2} \\ a_{-1,-2} & a_{-1,-1} & a_{-1,0} & a_{-1,+1} & a_{-1,+2} \\ a_{0,-2} & a_{0,-1} & a_{0,0} & a_{0,+1} & a_{0,+2} \\ a_{+1,-2} & a_{+1,-1} & a_{+1,0} & a_{+1,+1} & a_{+1,+2} \\ a_{+2,-2} & a_{+2,-1} & a_{+2,0} & a_{+2,+1} & a_{+2,+2} \end{bmatrix}$$

그림 9. 상태천이확률행렬

## 3. PRI 변조형태 구분인자 추출

제안한 방법은 상태천이확률행렬과 더불어 신경망의 입력으로 사용할 PRI 변조형태 구분인자인  $P_{cont}$ ,  $P_{homo}$ ,  $P_{momt}$ 를 정의하여 사용한다.

$$P_{cont} = \sum_i \sum_j |i-j| STPM[i][j]$$

$P_{cont}$ 는 상태변화의 크기를 의미하는 변수로써, 변화하는 상태간의 차가 크고 그 때의 상태천이확률이 크면, 이 변수는 큰 값을 가지게 된다.

$$P_{homo} = \sum_i \sum_j \frac{STPM[i][j]}{1+|i-j|^2}$$

$P_{homo}$ 는 상태변화의 동질성을 의미하는 변수로써, 수식에서와 같이 동일한 상태에서의 천이확률이 크면 이 변수는 큰 값을 가지게 된다.

$$P_{momt} = \sum_i \sum_j STPM[i][j]^2$$

$P_{momt}$ 는 상태변화의 다양함을 의미하는 변수로써, 천이확률이 전반적으로 유사한 값을 가지면 이 변수는 작은 값을 가지게 되고, 소수의 천이확률이 다수의 천이확률에 비하여 큰 값을 가지면 이 변수는 큰 값을 가지게 된다.

## 4. 신경망을 이용한 PRI 변조형태 인식

상태천이확률행렬의 원소 총 25개와  $P_{cont}$ ,  $P_{homo}$ ,  $P_{momt}$ 를 입력으로 가지는 신경망을 구성하였다. 은닉층의 노드수는 16개로 설정하였으며, 출력층의 노드수는 인식할 PRI 변조형태인 D&S, 지터, 선형 슬라이딩(+), 선형 슬라이딩(-), 비선형 슬라이딩(+), 비선형 슬라이딩(-), 위블의 총 개수에 따라 7개로 설정하여 다층 퍼셉트론 신경망을 구성하였다.

신경망의 훈련은 입력 신호에 해당하는 PRI 변조형태  $t$ 와 신경망의 출력층에서의 결과값  $o$ 와의 비교를 통해 종료조건(SC)을 만족하지 않는 경우 오류역전파를 이용하여 신경망의 연결가중치를 조절하는 방식으로 수행하였다. 수식에서  $\epsilon$ 는 오차 허용 범위를 의미하는 임계값이다.

$$SC = \left( \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2 \right)^2 < \epsilon$$

$$\text{단, } E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (t_k - o_k)^2, \bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

신경망의 입력데이터인 상태천이확률행렬의 모든 원소와 PRI 변조형태 구분인자인  $P_{cont}$ ,  $P_{homo}$ ,  $P_{momt}$ 를 신경망의 입력으로 훈련을 통해 설정된 가중치  $u$ ,  $v$ 를 거쳐 나온 출력층에서의 결과값  $o$  중 최대값을 가지는 값의 인덱스를 이용하여 미리 정의된 PRI 변조형태 별 변조코드표와의 비교를 통해 PRI 변조형태를 인식한다.

\* DTOA : Difference of TOA

\*\* 상태천이확률행렬 : State Transition Probability Matrix, STPM



표 1. PRI 변조형태별 변조코드

PRI변조형태	변조코드
Dwell & Switch	1000000
선형 슬라이딩(+)	0100000
선형 슬라이딩(-)	0010000
비선형 슬라이딩(+)	0001000
비선형 슬라이딩(-)	0000100
위블	0000010
지터	0000001

#### IV. 성능분석

본 연구에서 제안한 방법의 성능을 검증하기 위하여 7가지 PRI 변조형태에 대해 표 2의 신호 환경변수를 가진 총 25,000개의 펄스열을 생성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 2장에서 소개한 변조형태 중 고정 PRI와 스테거 PRI는 펄스열분리 단계에서 인식될 수 있는 변조형태이므로 시뮬레이션 대상 신호에서는 제외하였다.

표 2. 신호 환경변수

누락율	0~20%
불요신호	0~20%
평균PRI	100~3000 $\mu$ s 사이 랜덤
신호당 펄스수	64~4096개사이 랜덤
변조주기당 펄스수	8~1024개사이 랜덤
단수(D&S 경우)	3~32단사이 랜덤
단값(D&S 경우)	평균PRI와 동일
변화율	평균PRI기준 $\pm 25\%$ 이내

그림 10과 그림 11은 제안한 방법에 대하여 누락펄스 및 불요펄스의 비율을 변경시켜가며 성능을 분석한 결과를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 제안한 방법은 누락펄스 및 불요펄스와 같은 잡음에도 불구하고 높은 성능을 나타냄을 확인할 수 있다.

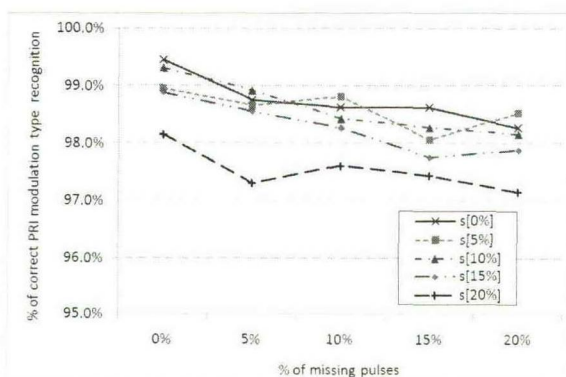


그림 10. 성능분석(누락펄스 영향분석)

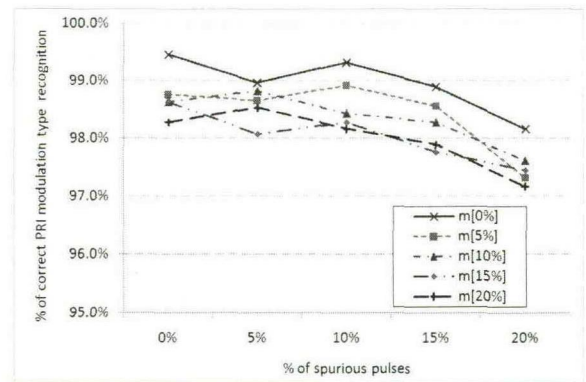


그림 11. 성능분석(불요펄스 영향분석)

#### V. 결론

본 논문에서는 상태천이확률을 이용한 신경망 기반의 PRI 변조형태 인식방법을 제안하였고, 제안한 방법을 구성하는 체인코드생성, 상태천이확률행렬 생성, PRI 변조형태 구분인자 추출, PRI 변조인식방법에 대해 상세히 설명하였다.

제안한 방법에 대한 성능검증을 위하여 잡음요소를 포함한 다양한 신호 환경변수를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였고, 제안한 방법이 다양한 신호환경에서 높은 PRI 변조형태 인식 성공률을 보임을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Kyu-Ha Song, Dong-Weon Lee, Jin-Woo Han, Byung-Koo Park, "Pulse Repetition Interval Modulation Recognition Using Symbolization," Digital Image Computing Techniques and Applications, pp.540-545, 2010.
- [2] Young-Jin Ryoo, Kyu-Ha Song, Whan-Woo Kim, "Recognition of PRI Modulation Types of Radar Signals Using the Autocorrelation," IEICE Transactions, pp.1290-1294, 2007.
- [3] G.P. Noone, "A neural approach to automatic pulse repetition interval modulation recognition," Proc. of Int. Conf. on Information, Decision and Control, pp.213-218, 1999.
- [4] Richard G. Wiley, ELINT : The interception and analysis of radar signals, analysis of Radar Signals, Norwood, U.S.A.: Artech House, 2006.
- [5] 김대수, 신경망 이론과 응용I, 진한엠앤비, 2005
- [6] 용환승 외, 데이터 마이닝, 인피니티북스, 2007