논문 2006-43SP-3-8

자기상관관계를 이용한 레이더 신호의 PRI 변조형태 인식 기법

(Recognition of PRI modulation types of radar signals using the autocorrelation)

류 영 진*, 김 환 우**

(Young Jin Ryoo and Whan Woo Kim)

요 약

ES 시스템에서 레이더 신호의 PRI 변조특성 분석은 고밀도 전자전 신호 환경에서의 레이더 식별 모호성 문제로 인해 그 중요성이 증가되고 있다. 본 논문에서는 ES를 위한 레이더 펄스 신호의 PRI 변조형태를 인식하는 새로운 기법을 제안한다. 제안한 기법은 PRI 시퀀스의 선형 자기상관관계에 나타나는 각 변조형태별 특징을 기반으로 정의한 형태 구분자들을 이용하여 PRI 변조형태를 인식한다. 또한 제안된 기법은 주기적인 변조특성을 갖는 PRI 변조형태에 대해서 변조주기를 추정한다. 제안한 기법의 성능을 입증하기 위해 다양한 모의신호에 대한 실험결과를 제시하였다

Abstract

In electronic support systems, the analysis of PRI modulation characteristics for radar signals has attracted much interest because of the problem of the identification ambiguity in dense electronic warfare signal environments. A new method of recognizing the PRI modulation types of radar pulse signals is proposed for electronic support. The proposed method recognizes the PRI modulation types using the classifiers which are based on the property of the linear autocorrelation of the PRI sequences for each PRI modulation type. In addition, the proposed method estimates the PRI modulation period for the PRI modulation types with the periodicity. Simulation results are presented to show the performance of the proposed method.

Keywords: electronic warfare, electronic support, PRI modulation type, classifier

Ⅰ. 서 론

전자전(electronic warfare)에서 레이더(radar) 주파수 대역의 ES(Electronic Support) 시스템은 레이더들에서 방사된 신호들을 수신하여 수신신호에 대해 주파수, 펄스도착시간, 펄스폭 등을 측정한 다음, 펄스열 분리 과정을 통하여 레이더들이 사용하는 변수들을 분석한다. 그리고 분석된 데이터를 내장하고 있는 식별 변수목록과 비교하여 레이더 명을 식별한다. 전자전 신호 환경에 레이더 수의 증가와 레이더 신호형태가 복잡해짐에 따라 ES 시스템의 식별과정에서 주파수, PRI(Pulse Repetition Interval), 펄스폭 데이터만으로 식별할 경우, 하나의 레이더 명으로 식별하지 못하고 여러 개의 레이더 명과 일치하는 식별 모호성(ambiguity)이 발생되고 있다[1,2]. 이러한 식별 모호성을 해결하기 위해서는 레이더가 사용하는 변수들의 변조특성 즉, 변조형태 및 변조주기에 대한 정보가 추가적으로 필요하다. ES 시스템에서의 식별 능력 향상에 이용할 수 있는 중요한 변수 중 하나가 PRI 변조특성이며, PRI 형태는 fixed, staggered, jittered, wobulated, sliding, D&S(dwell & switch)로 분류된다[3,4,5,6].

* 정회원, 국방과학연구소
(Agency for Defense Development)
** 정회원, 충남대학교 전기정보통신공학부
(Division of Electrical and Computer Engineering, Chungnam National University)
접수일자: 2006년3월14일, 수정완료일: 2006년4월21일

일반적으로 ES 시스템의 펄스열 분리과정을 거치면 fixed와 staggered PRI 형태는 PRI의 규칙적인 반복 특성으로 구분이 가능하지만[7,8], 일정 변경범위 내에서 변화하는 나머지 PRI 변조형태는 complex PRI 변조형태로만 구분한다[5,6,9]. 따라서 펄스열 분리과정을 거친 신호의 PRI 변조형태가 complex인 경우에는 식별 모호성이 발생할 가능성이 높다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 complex PRI 변조형태를 정확하게 구분할 수 있는 PRI 변조형태 인식기법이 필요하다.

기존 PRI 변조형태 인식기법에는 히스토그램 방법[3]과 신경망 접근법[5,6]이 있다. 히스토그램을 이용한 방법은 수신한 펄스신호의 펄스도착시간에 대한 1차 차분(first difference), 즉 PRI에 대한 히스토그램 분포 형상을 기반으로 각각의 PRI 변조형태를 구분한다. 히스토그램 기법은 PRI 변조형태의 자동 인식에 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 누적 합을 생성한 후, back-propagation에 의한 다층 퍼셉트론(Multi-layer Perceptron)을 이용하여 complex PRI 변조 형태를 인식한다. 이 기법은 complex PRI 변조 형태를 구별할 수 있는 새로운 특징 벡터를 정의하였지만, 신경망을 이용함으로써 다양한 변조주기와 변화 특성을 가지는 각각의 PRI 변조특성에 대한 충분한 정보와 이를 사용한 신경망의 학습이 반드시 필요하다. 또한 새로운 신호의 존재가 발견되면 신경망의 가중치를 갱신해야 하는 번거로움이 있다.

한편, 레이더들이 동일한 PRI 변조형태를 가지는 경우가 많아, 식별능력 향상을 위해서는 PRI 변조형태뿐만 아니라 변조주기 정보 역시 필요하다.

본 논문에서는 PRI 시퀀스의 정규화한 선형 자기상관관계 특징을 이용하여 complex PRI 변조형태를 인식할 수 있는 형태 구분자들을 정의하고, 구분자들에 의한 변조형태 인식기법과 변조주기를 추정하는 방법을 제안한다. 제안한 기법의 성능을 입증하기 위해 실제 신호 환경을 고려한 다양한 PRI 변조특성을 가지는 신호들에 대해 제안한 기법을 적용한 실험결과를 제시한다.

Ⅱ. Complex PRI 변조형태[3,4,5,6]

표적탐지 또는 표적추적을 목적으로 하는 레이더가

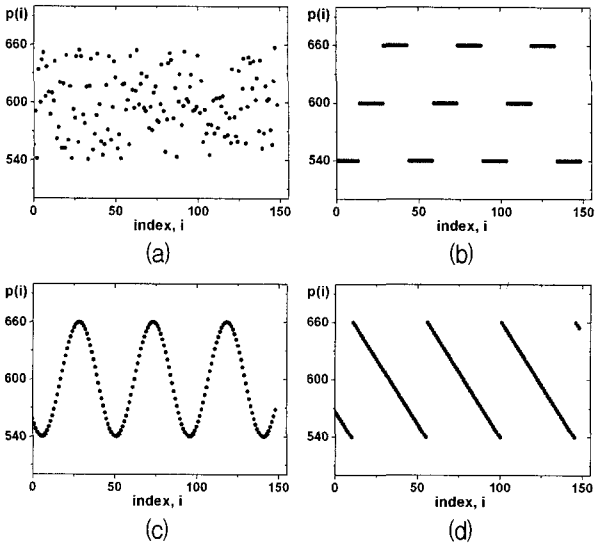

그림 1. Complex PRI 변조 형태의 PRI sequences (a)jittered (b)D&S(3Levels) (c)wobulated (d)sliding

Fig. 1. PRI sequences of complex PRI modulation types (a)jittered (b)D&S(3Levels) (c)wobulated (d)sliding.

펄스 단위로 변경하여 사용하고 있는 complex PRI 변조형태에는 jittered, wobulated, sliding, D&S가 있으며 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

Jittered PRI는 미리 정해진 기준 PRI를 중심으로 변화율, 즉 지터율까지 인접 펄스간 시간 간격인 PRI가 불규칙하게 변화하는 형태이다. Wobulated PRI는 평균 PRI 값을 중심으로 사인 형태를 가지면서 변화하는 형태이며, sliding PRI는 PRI 값이 선형적으로 또는 지수적으로 단조증가 또는 단조감소를 반복하는 변조형태이다. D&S PRI는 PRI의 변화가 매 펄스마다 일어나는 것이 아니고, 일정 시간동안에는 하나의 fixed PRI가 유지되다가 다른 fixed PRI로 전환되어 유지되는 변조형태이며, 주기적인(periodic) D&S와 랜덤(random) D&S가 있다.

Ⅲ. 제안한 complex PRI 변조형태 인식기법

1. PRI 시퀀스 정의

ES 시스템은 전자파를 사용하는 레이더와 같은 에미터들의 활동을 탐지 및 식별하기 위하여 크게 신호수신, 신호변수 측정, 펄스열 분리, 변수추정 및 식별과정을 수행한다. 전방위의 레이더 주파수 대역의 신호들을 수신 안테나를 이용하여 수신하고, 수신된 매 신호마다 레이더가 사용하는 주파수, 펄스폭, 펄스도착시간, 펄스세기 등의 펄스변수를 실시간으로 측정한다. 다수의 레이더 신호가 혼재된 수신신호에서 측정변수을 이용하여

신호의 연속성, 규칙성, 그리고 상관성을 가지는 펄스열들을 분리하고 분리한 각 펄스열의 특성변수를 분석 및 추정하여 내장하고 있는 식별 데이터와 비교하여 레이더 명을 식별한다[1,2]. 본 논문에서 제안하는 기법은 특성변수 분석 및 추정과정에서 수행하는 것으로, 펄스열의 펄스도착시간 변수를 입력으로 한다.

펄스열 분리과정을 거친 레이더 펄스 신호의 펄스도착시간을 t_i 이라 하면, complex PRI 변조형태를 가지는 신호의 PRI 시퀀스는 다음과 같이 정의된다.

$$p(i) = t_{i+1} - t_i, \quad i = 0,1,\cdots,N-1 \tag{1}$$

2. 변조형태 인식을 위한 형태 구분자

본 논문에서는 complex PRI 변조형태별 특징을 이끌어 내기 위해 식 (2)와 같이 정의되는 선형 자기상관관계를 이용한다.

$$R(k) = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1-k}(p(i)-\mu_p)(p(i+k)-\mu_p) \tag{2}$$

여기서 $k = 0,1,\cdots,N-1$이고, μ_p는 PRI 시퀀스의 PRI 평균값이다. 식 (2)를 이용하여 그림 1에 제시된 complex PRI 변조형태를 가지는 각각의 $N=150$인 PRI 시퀀스에 대해 계산된 선형 자기상관관계를 $R(0)$로 정규화한 $R_n(k) = R(k)/R(0)$의 결과는 그림 2와 같다. 그림 2에서 보는 바와 같이 $R_n(k)$의 변화 특징이 각 변조형태마다 서로 상이함을 확인할 수 있다.

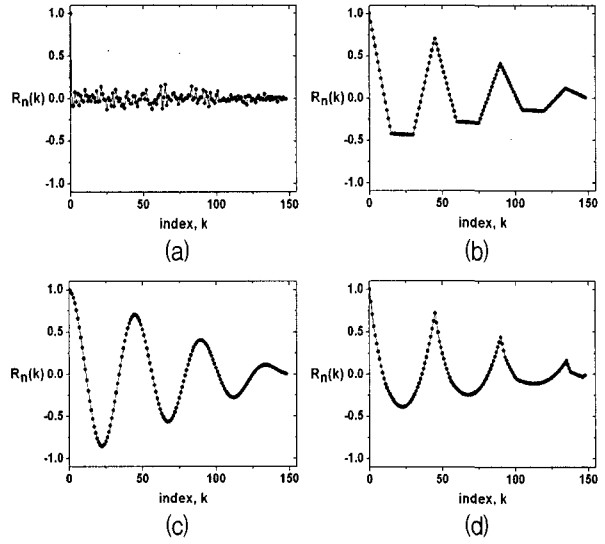

그림 2. Complex PRI 변조 형태별 정규화한 선형 자기상관관계 결과 (a)jittered (b)D&S(3Levels) (c)wobulated (d)sliding

Fig. 2. Results of the normalized linear autocorrelation for each complex PRI modulation type. (a)jittered (b)D&S (3Levels) (c)wobulated (d)sliding

본 논문에서는 정규화한 선형 자기상관관계의 결과에서 나타나는 각각의 complex PRI 변조형태별 특징을 기반으로 이들을 구분할 수 있는 세 가지 형태 구분자를 다음과 같이 정의한다.

가. 구분자 C_1

C_1 은 jittered PRI 변조형태를 위한 형태 구분자이다. 일반적인 랜덤신호의 경우 $k=0$ 이 아닌 k 에서의 $R_n(k)$ 는 0 근방의 값을 가지기 때문에, PRI가 일정범위 내에서 임의로 변화하는 특성을 갖는 jittered PRI 신호도 그림 2에서 보는 바와 같이 유사한 특성을 보인다. 그러나 다른 PRI 변조형태는 일정한 변조패턴으로 인한 상관성 때문에 jittered PRI와는 다른 변화 특성이 $R_n(k)$ 에 나타난다. 이러한 $R_n(k)$ 에서 변화 특성으로부터 jittered PRI 변조형태를 구분하기 위해 형태 구분자 C_1 을 식 (3)과 같이 정의하며, jittered PRI 신호에 대한 C_1 은 다른 complex PRI 변조형태의 결과에 비해 상대적으로 큰 값을 갖는다.

$$C_1 = R_n(0) - R_n(1) \tag{3}$$

나. 구분자 C_2

C_2 는 D&S PRI와 wobulated 및 sliding PRI 변조형태를 구분하기 위한 구분자이다. D&S PRI는 일정시간동안 특정 fixed PRI가 유지되다가 순간적으로 다른 fixed PRI로 전환되는 변조 특징을 가진다. 이러한 변조 특징으로 인해, D&S PRI 변조형태를 가지는 PRI 시퀀스에 대한 $R_n(k)$ 는 그림 2에서 확인되는 바와 같이, 특정 fixed PRI가 유지되는 구간에서는 선형적으로 변화한다. 따라서 D&S PRI 신호에 대한 $R_n(k)$의 기울기 변화는 이상적인 경우 PRI가 다른 값으로 전환되는 경우에만 일어난다. 반면에, wobulated와 sliding PRI 신호의 경우에는 $R_n(k)$ 가 비선형적으로 변화하므로 $R_n(k)$ 의 기울기 변화가 지속적으로 이루어진다. 이러한 $R_n(k)$ 에서의 기울기 변화 특성을 이용하여 non-jittered PRI 변조형태에서 D&S PRI 변조형태를 인식하기 위해, 다음과 같은 형태 구분자 C_2 를 정의한다.

$$C_2 = \frac{1}{k_p - 1}\sum_{k=1}^{k_p-1} u\left(d_{DS} - \left|R_n(k)''\right|\right) \quad (4)$$

$$where\ u(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases},$$

$$R_n(k)'' = R_n(k+1) - 2R_n(k) + R_n(k-1)$$

여기서, k_p는 $k=0$인 경우를 제외한 $R_n(k)$에서의 가장 큰 피크에 해당하는 k이다. 피크가 없는 경우에는 $k_p = N-1$로 설정하는데, 이렇게 하는 이유는 랜덤 D&S 경우에는 k_p가 존재하지 않을 수 있기 때문이다. $R_n''(k)$는 $R_n(k)$의 2차 도함수이고, $u(t)$는 step 함수이다. d_{DS}는 D&S PRI 신호의 $R_n(k)$에서의 기울기 변화의 한계를 설정하는 임계치로서 잡음의 영향을 고려하기 위한 것이며, 본 논문에서는 실험을 통해 0.002로 하였다. 이와 같이 정의된 수식을 적용하면, D&S PRI 신호에 대한 C_2는 wobulated 및 sliding PRI 변조형태에 대한 C_2보다 상대적으로 큰 값을 갖는다.

다. 구분자 C_3

C_3는 wobulated PRI와 sliding PRI 변조형태를 구분하기 위한 형태 구분자이다. $N = mk_p$(m은 2보다 큰 정수)라 가정하고 선형 sliding PRI와 wobulated PRI에 대한 $R_n(k_p)$와 $R_n(k_p/2)$를 이론적으로 계산하면, $R_n(k_p)$는 그림 2에서 보는 바와 같이 $(m-1)/m$으로 동일하다. 그러나 $R_n(k_p/2)$는 선형 sliding PRI 경우에는 $(1-2m)/4m$이고, wobulated PRI 경우에는 $(1-2m)/2m$으로 선형 sliding PRI에 비해 두 배 크다. 이와 같은 두 변조형태에 대한 $R_n(k)$에서의 특징을 고려한 것이 식 (5)와 같이 정의한 C_3이며, wobulated PRI에 비해 sliding PRI에 대한 C_3가 상대적으로 큰 값을 갖는다.

$$C_3 = \left|R_n(k_p)/R_n(k_p/2)\right| \quad (5)$$

3. 변조형태 인식

PRI 시퀀스의 정규화한 선형 자기상관관계에서 도출하여 정의한 형태 구분자 C_1, C_2, C_3와 다양한 시험을 통해 얻은 임계치 d_1, d_2, d_3와의 비교를 통한 PRI 변조형태 인식은 그림 3과 같은 절차에 의해 이루어진다. 먼저 $R_n(k)$로부터 C_1을 계산하여 $C_1 > d_1$이면 jittered PRI로 판단한다. Jittered PRI가 아닌 경우에는

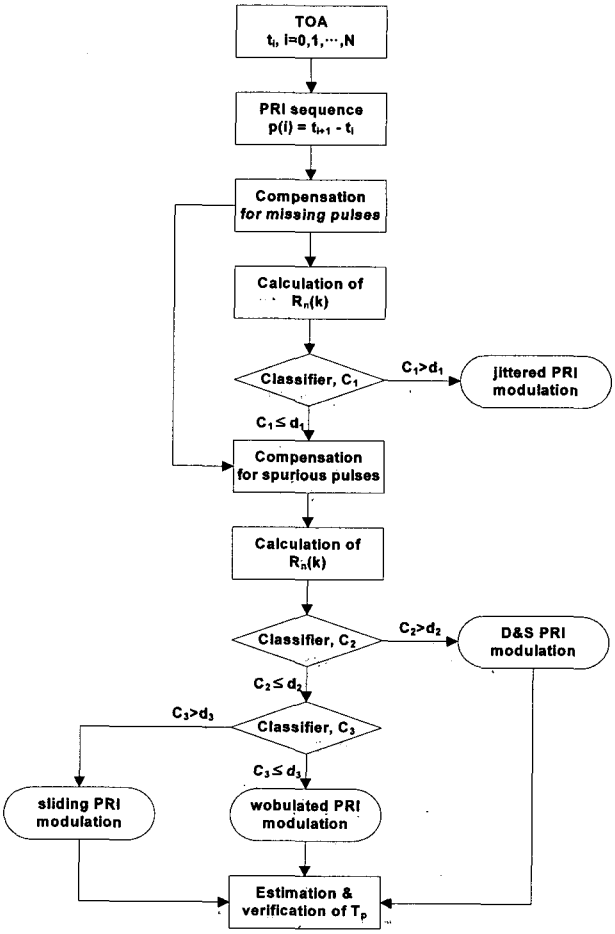

그림 3. 제안한 기법의 complex PRI 변조형태 인식 절차

Fig. 3. Procedure of the proposed method for the recognition of the complex PRI modulation type.

C_2를 계산하여 D&S PRI인지($C_2 > d_2$)를 판단한다. 만약 D&S PRI가 아닌 경우에는 마지막으로 C_3를 계산하여 $C_3 > d_3$이면 sliding PRI로, $C_3 \leq d_3$이면 wobulated PRI로 판단한다.

그림 3의 절차에서 보면, 단계별 선형 자기상관관계 함수를 연산하기에 앞서 누락펄스와 spurious 펄스[5,6]에 대한 보상과정을 수행하는데, 이는 실제 신호수신 및 펄스열 분리과정에서 발생할 수 있는 누락펄스와 spurious 펄스의 영향에 의한 변조형태 왜곡을 줄이고 정확한 PRI 변조주기를 추정하기 위한 것이다. 누락펄스 보상과정에서는 생성된 PRI 시퀀스에서 μ_p의 2배 이상 PRI의 변경이 존재하는 경우 누락펄스에 의한 것으로 판단하고, 누락펄스의 개수를 추정하여 선형 보간한다. Spurious 펄스 보상과정에서는 메디안(median) 필터링[10]을 적용한다.

4. 변조 주기 추정

본 논문에서는 complex PRI 변조형태 인식과 더불어, 주기의 배수마다 피크가 형성되는 주기함수의 자기상관관계 특성을 이용하여 PRI 변조주기를 추정한다. 제안한 기법에 의해 인식된 변조형태가 jittered PRI가 아닌 경우에는 $R_n(k)$ 에서 가장 큰 피크에 해당하는 인덱스 k_p 이전까지의 PRI 시퀀스 합을 변조주기 $\widehat{T}_p$ 로 추정하며 수식으로 표현하면 식 (6)과 같다. 만약 구분한 변조형태가 D&S PRI인 경우에는 $R_n(k)$ 에서 추출한 k_p 의 배수에서 피크가 반복되는지 조사하여 변조형태의 주기성을 확인한다. 이는 D&S PRI 변조형태의 경우에는 랜덤 D&S 형태도 존재하기 때문이다.

$$\widehat{T}_p = \sum_{i=0}^{k_p-1} p(i) \tag{6}$$

Ⅳ. 실험 및 검토

제안한 기법의 성능을 확인하기 위해 4가지 PRI 변조형태별로 평균 PRI값을 기준으로 최대 30[%]의 변경율을 갖는 각 1000개씩, 총 4000개 종류의 모의신호를 대상으로 잡음 펄스 신호의 비율($P_n = N_n/N$) 을 0 ~ 20[%]까지 포함시켜 실험을 수행하였다. 모의신호에 인가한 잡음 펄스신호는 누락 펄스와 spurious 펄스가 동일한 비율로 포함되도록 하였으며, 이들은 균일 확률분포를 따르도록 모델링하여 임의의 펄스도착시간에 위치하도록 하였다.

먼저, 본 논문에서 정의한 형태 구분자들의 타당성을 확인하기 위하여 모의신호에 대해 잡음비율을 변경하면서 실험하였다. 그림 4는 형태별로 1000개의 모의신호에 대해 계산된 형태 구분자들의 평균값을 나타낸 것이다. 그림 4의 결과에서 보는 바와 같이 잡음비율이 증가할수록 각 형태 구분자들에 의해 구분하고자 하였던 PRI 변조형태간의 차이가 작아지지만 전체적으로 볼 때, 제안한 기법에서 정의한 형태 구분자들이 PRI 변조형태 인식에 적합함을 알 수 있다.

다음으로 모의신호들에 대해 제안된 인식기법을 적용하여 인식률을 계산하였다. 실험에 사용한 임계치는 실제 레이더 신호의 변조특성을 기반으로 PRI 변경율은 5~30[%], 변조주기는 5~50ms, 잡음비율 0~20[%] 범위의 다양한 신호들에 대한 실험을 통해 $d_1 = 0.65$, $d_2 = 0.3$, $d_3 = 1.0$로 설정하였다. 그림 5의 (a)는 잡음

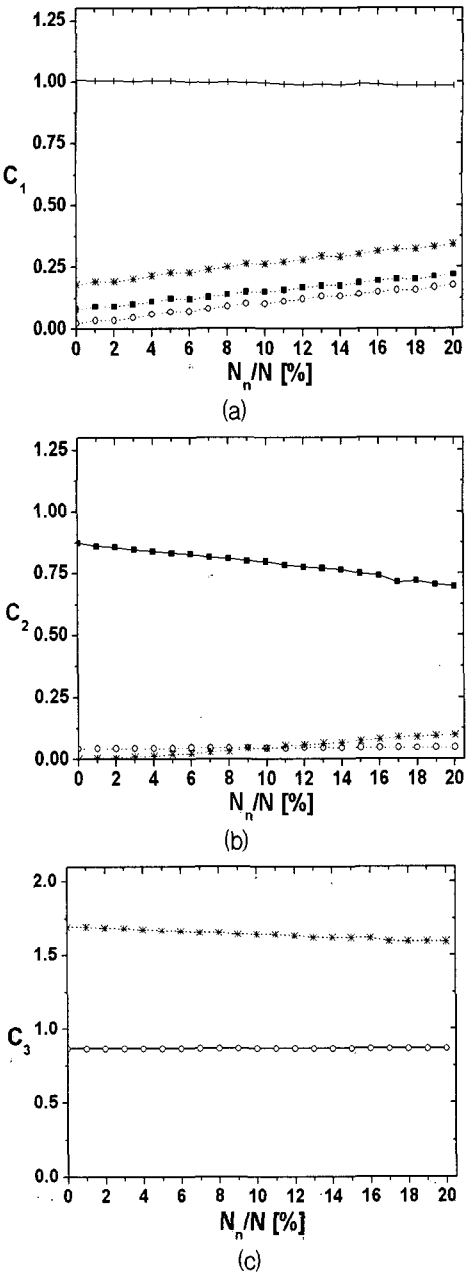

그림 4. 잡음비율에 따른 형태구분자(—+—:jittered, ···■···: D&S, ···◇···:wobulated, ···✱···: sliding) (a) C_1 (b) C_2 (c) C_3

Fig. 4. Type classifiers as a function of percentage of noise pulses(—+—:jittered, ···■···:D&S, ···◇···: wobulated, ···✱···:sliding) (a) C_1 (b) C_2 (c) C_3.

비율에 따른 변조형태별 인식률이고, 그림 5의 (b)는 잡음비율에 따른 전체 평균 인식률이다. 그림 5의 (a)에서 보는 바와 같이 잡음비율 10[%]까지는 각 형태의 인식률이 100[%]에 가깝고, 잡음비율 10[%]이상에서는 D&S 및 sliding 변조형태에 대한 인식률이 다른 형태에 비해 상대적으로 감소하였으며, 잡음비율 20[%]까지 각 형태별 인식률은 99[%]이상이었다. 그리고, 제안된

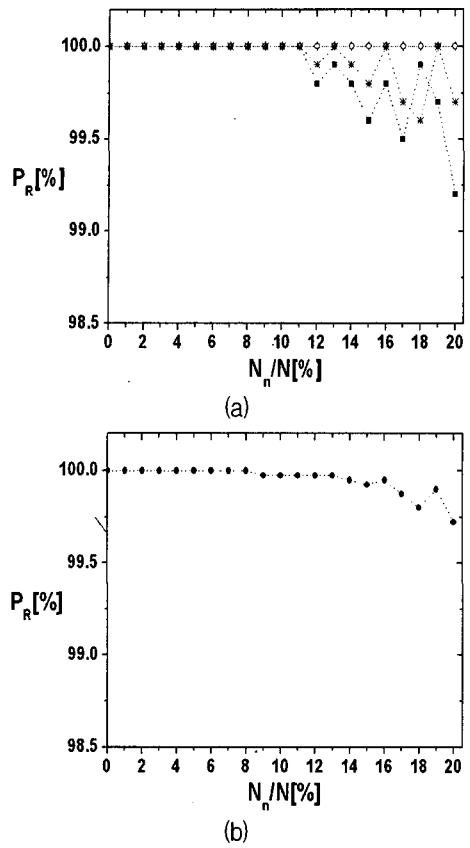

그림 5. 잡음비율에 따른 PRI 변조형태 인식률 (a) 변조형태별(—+—:jittered, ···■···:D&S, ···◇···: wobulated, ···*···:sliding) (b) 평균

Fig. 5. Success probability of the PRI modulation types recognition as a function of percentage of noise pulses (a) for each modulation type (—+—:jittered, ···■···:D&S, ···◇···: wobulated, ···*···:sliding) (b) average.

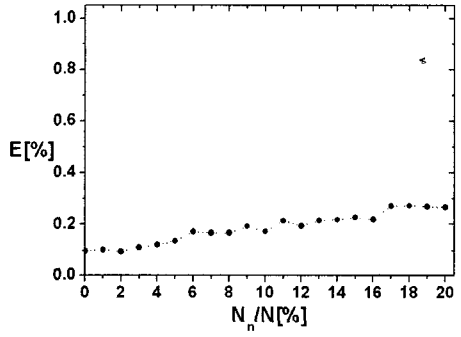

그림 6. 잡음비율에 따른 PRI 변조주기 추정 오차율

Fig. 6. Error rates of the estimated PRI modulation period as a function of percentage of noise pulses.

기법의 전체 인식률은 그림 5의 (b)에서 보는 바와 같이 잡음비율 0 ~ 20[%] 범위에서 99.5[%] 이상이었다.

제안된 기법에서는 변조형태 인식후 주기성을 갖는 변조형태 즉, jittered가 아닌 형태에 대해서는 변조주기를 추정하는데, 모의신호에 대해 제안한 PRI 변조주기 추정기법을 실험한 결과, 그림 6에서 보는 바와 같이 변조주기 추정 오차율의 평균값이 잡음비율 0 ~ 20[%] 범위에서 0.3[%] 이하이었다.

V. 결 론

ES 시스템에서 레이더 식별 능력 향상을 위해서는 PRI 변조형태 및 변조주기 정보가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 complex PRI 변조형태를 인식하고 변조주기를 추정하는 기법을 제안하였다. 제안한 기법에서는 각 변조형태별 PRI 시퀀스의 자기상관관계 특징을 기반으로 간단하면서도 정확하게 구분할 수 있는 세가지 구분자들로 변조형태를 자동 인식한다. 그리고 주기함수의 자기상관관계 특징을 이용하여 변조주기를 추정한다. 제안한 기법을 다양한 모의신호에 대해 실험한 결과, 높은 인식률로 PRI 변조형태를 자동 인식하고, 낮은 오차율로 변조주기를 추정함을 확인하였다.

제안한 기법은 PRI 변조특성뿐만 아니라 레이더의 주파수 변조특성 분석에 직접 적용될 수 있어, ES 시스템의 신호분석 및 식별 분야에 유용할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] C. L. Davies and P. Holland, "Automatic processing for ESM," *IEE Proc. F, Commun. Radar & Signal Process*, pp. 164-171, vol. 129, 1982.

[2] J. Roe, S. Cussons, and A. Feltham, "Knowledge-based signal processing for radar ESM systems," *IEE Proceeding*, pp. 293-301, vol. 137, 1990.

[3] R. Wiley, *Electronic Intelligence: The analysis of radar signals*, Artech House, pp. 147-198, 1993.

[4] Doug Lanterman, "Fundamental Parameters used in radar emitter simulation," *ICH*, pp. 306-312, vol. 3, 1982.

[5] G.P. Noone, "A neural approach to automatic pulse repetition interval modulation recognition," *Proceeding of Information, Decision and Control, IEEE*, pp. 213-218, 1999.

[6] G.P. Noone, "A neural approach to tracking radar pulse trains with complex pulse repetition interval modulations," *Proceeding of Neural Information Processing, IEEE*, pp. 1075-1080, vol. 3, 1999.

[7] H. Mardia, "New techniques for the

deinterleaving of repetitive sequences," *IEE Proc. F, Commun. Radar & Signal Process*, vol. 136, pp. 149-154, 1989.
[8] D.J. Milojevic and B.M. Propovic, "Improved algorithm for the deinterleaving of radar pulses," *IEE Proc. F, Commun. Radar & Signal Process*, pp. 98-104, vol. 139, 1992.
[9] D.E. Driscoll and S.D. Howard, "The Detection of radar pulse sequences by means of a continuous wavelet transform," *ICASSP '99. Proceedings, IEEE*, pp. 1389-1392, vol. 3, 1999.
[10] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, pp. 191-195, 1993.

저 자 소 개

류 영 진(정회원)
1987년 경북대학교 전자공학과 학사
1989년 경북대학교 대학원 전자공학과 석사
2002년~현재 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정
1989년~현재 국방과학연구소
<주관심분야 : 전자전 신호처리>

김 환 우(정회원)-교신저자
1977년 서울대학교 전자공학과 학사
1979년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1988년 6월 University of Utah 전자공학과 공학박사
1980년 6월~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수
2005년~현재 대한전자공학회 충남지부 부지부장
2004년~2005년 IEEE 대전섹션 의장
<주관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 통신>