

論文2003-40SP-6-11

유전자 알고리즘을 이용한 다중 레이더 펄스열 분리

(Deinterleaving of Multiple Radar Pulse Sequences Using Genetic Algorithm)

李尙烈*, 尹奇天*

(Sang-Yeol Lee and Ki-Cheon Yoon)

요약

본 논문은 유전자 알고리즘을 이용한 새로운 레이더 펄스열 탐지 기법을 제안하며, 전자전 시스템의 위협식별을 위한 펄스열 분리에 사용될 목적으로 개발되었다. 기존의 펄스열 탐지는 히스토그램 혹은 연속 웨이브렛 변환을 이용한 결정론적 접근이 일반적이었으나, 전자전 신호환경에서 빈번히 발생하는 신호누락, 잡음 및 대전자전 레이더 신호에 대해서는 탐지 신뢰성이 떨어진다. 제안한 기법은 펄스 도래시간만을 이용하는 펄스열 탐지 기법으로서 유전자 알고리즘의 확률론적 특성을 이용하여 설계되었다. 본 기법에서는 펄스의 도래 시간차를 초기 염색체로 구성하였으며, 펄스위상을 정의하여 이를 이용한 적합도 검증을 수행하였다. 그리고 다중 신호원의 분리를 목적으로 하는 레이더 펄스열 탐지를 위해서 비유함수를 이용한 조기 종료 및 그룹화를 적용하였다. 제안한 기법을 이용하여 모의 레이더 신호에 대해 실험한 결과 기존의 방법에 비해 탐지 위협개수 및 펄스 반복 주기의 탐지 정확도가 향상되었음을 확인하였다.

Abstract

We propose a new technique of deinterleaving multiple radar pulse sequences by means of genetic algorithm for threat identification in electronic warfare(EW) system. The conventional approaches based on histogram or continuous wavelet transform are so deterministic that they are subject to failing in detection of individual signal characteristics under real EW signal environment that suffers frequent signal missing, noise, and counter-EW signal. The proposed algorithm utilizes the probabilistic optimization procedure of genetic algorithm. This method, a time-of-arrival(TOA) only strategy, constructs an initial chromosome set using the difference of TOA. To evaluate the fitness of each gene, the defined pulse phase is considered. Since it is rare to meet with a single radar at a moment in EW field of combat, multiple solutions are to be derived in the final stage. Therefore it is designed to terminate genetic process at the prematured generation followed by a chromosome grouping. Experimental results for simulated and real radar signals show the improved performance in estimating both the number of radar and the pulse repetition interval.

Keyword : electronic warfare, ESM, pulse repetition interval, genetic algorithm

I. 서론

* 正會員, 國防科學研究所 電子戰體系部
(Div. of Electronic Warfare System, Agency for Defense Development)
接受日字:2003年6月27日, 수정완료일:2003年11月22日

전자전 시스템^[1]은 레이더, 미사일탐색기 등의 위협 신호원으로부터 방사되는 신호를 수신하여 위협의 제원과 운용특성을 분석 및 식별하고, 탐재 무기시스템의 거리, 방위, 속도 등을 기만하거나 은폐시킬 목적의 방

해 신호를 방사하는 군사 무기이다. 펄스열 탐지는 전자전 시스템에서 수신된 다중 위협신호의 식별을 위한 처리과정으로서 히스토그램 혹은 연속 웨이브렛 변환(CWT)을 이용한 방법이 있다. 그러나 실제 전자전 신호 환경에서는 신호의 누락 및 반사파 등의 원인으로 인해 펄스열의 연속성이 저하될 뿐만 아니라, 현대의 무기시스템은 대전전자전 목적으로 펄스반복 주기를 임의로 변경하도록 운용하여 펄스간 상관성을 약화시키고 있다. 따라서 펄스열의 연속성 및 상관성에 의존하는 기존의 펄스열 탐지 기법을 이용하여 현대의 전자전 신호환경에 적용하긴 어려운 현실이다.

본 논문에서는 다중 펄스열을 구성하는 펄스 도착시간(Time of Arrival: TOA)을 이용하여 개별 펄스열의 평균 반복주기(Pulse Repetition Interval: PRI)를 탐지하는 기법을 제안한다. 제안한 펄스열 탐지기법은 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)^[2]의 최적해 탐지 특성을 변형하여 전자전 신호분석을 위한 다중해 도출이 가능하도록 설계하였으며, 펄스위상을 이용한 적합도 검증을 수행하였다. 제안한 기법의 성능을 모의 신호 및 실제 레이더 신호를 이용하여 실험한 결과, 기존의 방법에 비해 위협 개수 및 개별 펄스열의 PRI 탐지 성능이 개선되었음을 확인하였다.

본 논문의 II장에서는 펄스열 탐지에 대한 문제정의 및 기존의 방법을 개략적으로 언급한 다음, 제안한 기법을 III장에서 고찰하도록 하겠다. 그리고 성능평가를 위한 실험 및 결과를 IV장에서 설명한 후, 결론을 도출 하겠다.

II. 레이더 펄스열 탐지

1. 전자전 신호분석

전자전 시스템^[3, 4]의 위협식별 도구는 위협 레이더로부터 수신한 펄스정보이다. 전자전 시스템에서 획득할 수 있는 신호변수는 각 펄스의 주파수, 도래방위, 신호세기, TOA 등으로서 각 신호변수의 특성을 이용하여 제한적으로 사용된다. 즉 주파수 및 도래방위는 활동 위협의 개략적 분류를 위해, 신호세기는 레이더 스캔 정보 추출을 위해 사용되며, TOA는 펄스열 분리에 사용된다.

<그림 1>은 펄스열 분리의 개념을 설명하는 것으로서 전자전 시스템이 수신하는 각 펄스열은 다중 신호

원으로부터 방사된 펄스열이 시간적으로 혼재되어 구성된다. 그리고 실제 전자전 신호환경에서는 다중 위협 신호뿐만 아니라 산악, 해수면 등에 의한 신호 반사 및

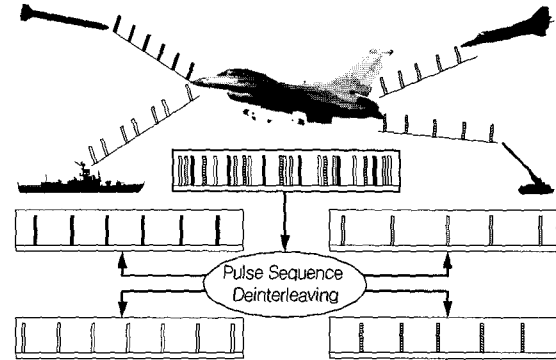


그림 1. 전자전 시스템의 펄스열 분리
Fig. 1. Pulse sequence deinterleaving in EW system.

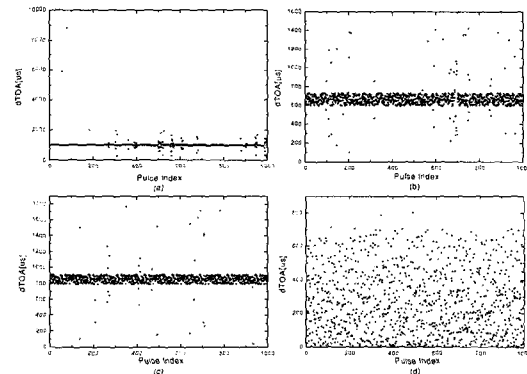


그림 2. 신호환경 예 (a) 고정 PRI (b) 변경 PRI1 (c) 변경 PRI2 (d) 다중위협 신호
Fig. 2. An example of signal environment (a)Stable PRI (b) Jitter PRI1 (c) Jitter PRI2 (d) Composite signal from multiple threats.

누락으로 인해 개별 신호특성이 더욱 약화된다. <그림 2>는 해상에서 수신한 실제 레이더 신호를 인접 펄스간의 차이인 dTOA에 따른 분포로 도시한 것이다. dTOA는 펄스의 분포특성을 직관적으로 파악할 수 있게 하는 레이더 변수로서, 단일 위협인 경우에는 PRI분포와 일치한다. <그림 2(a)~(c)>의 개별 위협 신호에 대한 특성은 쉽게 구분할 수 있으나, 개별 위협신호가 시간적으로 혼합된 다중 위협신호는 <그림 2(d)>와 같은 복잡한 신호 분포를 형성하게 된다. 따라서 수동적

신호수신을 하는 전자전 시스템에 도달하는 다중 위협 신호로부터 개별 위협신호의 특성을 탐지하는 문제는 가장 어려운 전자전 신호분석 연구과제 중의 하나이다.

일반적인 레이더 신호의 펄스는 식 (1)에서와 같이 기본 PRI(T)의 배수 위치에 일정 간격으로 존재한다.

$$t_n = t_\theta + nT, \quad n=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

대전자전 목적을 위해 주로 사용되는 변경 PRI 펄스열은 식 (2)와 같이 매 펄스간 간격이 달리 구성되어, 전자전 시스템에 탐지될 가능성을 줄이고 있다.

$$t_n = t_\theta + nT + a_n, \quad a_n = M[0, \sigma_a^2] \quad (2)$$

펄스열 분리는 미지 개수의 위협 신호원이 사용하는 고정 및 변경 PRI의 고유 주기인 T 를 탐지하고 이를 이용하여 다중 레이더 펄스열을 구성하는 펄스열을 추출하는 기술로서 히스토그램 및 CWT를 이용한 기존의 방법이 있다.

2. 기존의 펄스열 탐지 기법

연속차분(Sequential Difference: SDIF) 기법^[5-6]은 dTOA를 이용하여 SDIF 히스토그램을 구성한 후, Poisson 분포에 근거한 비선형 임계치 함수와의 비교를 통해 고유 PRI 탐지를 수행한다. 식 (3)은 SDIF를 정의하는 식으로서 L 과 n 은 각각 전체 펄스 개수와 펄스간 차수이다.

$$SDIF^{(n)} = \sum_{i=1}^{L-n} dTOA^{(n)} = \sum_{i=1}^{L-n} (t_{i+n} - t_i) \quad (3)$$

SDIF 기법은 차수에 따른 단계별 펄스열 탐지 기법으로서 고속 탐지가 가능한 장점이 있으나, 실제 신호 환경에서 빈번히 발생하는 신호누락 조건에 대한 하모닉 처리가 미약하며, 특히 변경 PRI 펄스열에 대한 효과적 임계치 설정이 어려운 단점이 있다.

다수의 펄스열은 시간적으로 결합되어 새로운 주파수 특성을 나타낸다. 따라서 최근에는 펄스열 탐지를 위한 특성 변수로 펄스위상^[7]을 이용한 방법이 연구되고 있다. 다중 펄스열이 존재하는 경우에도 개별 펄스열을 구성하는 펄스의 TOA는 식 (4)와 같이 유사한 펄스 위상(θ)을 가진다.

$$\begin{aligned} [t_1]_T \approx [t_2]_T \approx \dots \approx [t_N]_T \approx \theta_T \\ , \text{ where } [X]_Y \equiv \text{mod}(X, Y) \end{aligned} \quad (4)$$

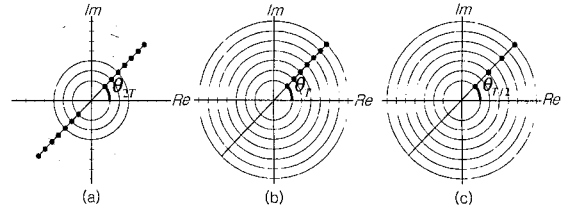


그림 3. CWT 기법의 하모닉 억제 (a)하위 하모닉 (b) 고유 PRI (c)상위 하모닉

Fig. 3. Harmonic suppression in CWT method. (a) Lower Harmonic (b) Inherent PRI (c)Upper Harmonic

CWT기반의 펄스열 탐지^[8]는 펄스 위상을 이용하는 기법으로서 입력 펄스열 $s(\tau)$ 에 대해 식 (5)의 탐지 함수를 작성한 다음 임계치를 이용하여 고유 PRI를 추출한다. 여기서 $\psi(t)$ 는 탐지시 요구되는 최소 펄스 개수인 W 의 함수로 정의되는 구형파 함수이다.

$$D(T, t) = \frac{T}{W} \left| \int d\tau \psi^* \left(\frac{\tau-t}{T} \right) s(\tau) \right|^2 \quad (5)$$

CWT기법은 원주가 T 인 복소 동심원상에 각 펄스의 위상을 누적시키는 접근 방법으로서, <그림 3>과 같이 하위 하모닉 성분은 이론적인 완전 상쇄가 이루어지며, 상위 하모닉의 경우에는 하모닉 차수의 제곱에 반비례하는 CWT 계수만 남는다.

CWT를 이용한 펄스열 탐지는 하모닉 성분의 억제가 가능한 반면, 요구 연산량이 탐지 PRI 범위에 따라 급격히 증가한다. 실제 전자전 시스템의 위협 신호원은 수 us에서 수백 ms 범위로서, 수십 ns수준의 TOA 측정 해상도를 고려할 경우 웨이브렛 변수인 T 의 가지수가 10^7 을 넘는다. 그리고 작성된 탐지함수를 이용하여 활동 위협의 PRI를 추출하기 위해서 임계치를 이용하게 되는데, 변경 PRI신호 및 유사 PRI를 가지는 다중 위협신호가 존재할 경우에는 탐지 오류를 발생할 수 있는 단점이 있다.

III. 유전자 알고리즘을 이용한 펄스열 탐지

레이더 펄스열 탐지는 신호원간의 상호 간섭, 신호누락, 잡음 및 반사 신호 유입 등 실제 신호환경을 고려하여 설계되어야 한다. 제한한 기법에서는 기존의 결정론적 기술과는 달리, GA의 확률론적 진화 방법을 도입하여 실제 전자전 신호환경에 적응적으로 반응할 수

있도록 설계하였다. 일반적으로 다수의 모집단 구성원
에서 최적해를 결정하기 위해 적용되는 GA의 절차를
제한한 기법에서는 전자전 신호분석 도구로 사용하여
수신된 다중 위협신호에 내재된 개별 신호특성을 탐지
하도록 하였다.

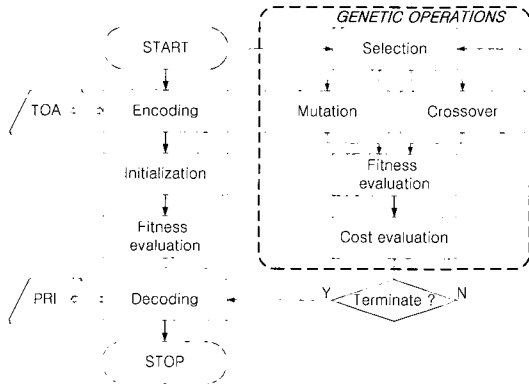


그림 4. 제안한 펄스열 탐지기법
Fig. 4. The proposed pulse sequence detection method.

<그림 4>는 제안한 펄스열 탐지기법의 동작절차를
나타낸 흐름도로서 수신된 N 개 펄스의 TOA를 이용
하여 활동 중인 위협 개수에 해당하는 개별 펄스열의
고유 PRI를 탐지하는 구조이다.

부호화 및 초기화 단계에서는 dTOA를 이용한 초기
염색체를 구성하며, 적합도 검증을 위해서는 각 염색체
의 펄스위상을 사용하였다. 유전 연산 단계에서는 선택,
교배, 돌연변이를 적용하였으며 세대 증식의 종료를 위
한 비용함수는 각 세대별 구성 염색체의 적합도 합을
이용하였다.

1. 부호화 및 초기화

부호화(encoding)는 해공간상에서 잠정해를 추출하는
과정으로서, 제안한 기법에서는 TOA로부터 식 (7)을
이용하여 잠정 PRI인 T_p 를 구성한다. 여기서 m, M
은 각각 최소 및 최대 탐지 PRI 값에 해당한다.

$$T_p = \{ \Delta t_{ij} \mid m \leq \Delta t_{ij} = t_i - t_j \leq M \}$$

, where $i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1, (i > j)$ (7)

dTOA를 기본으로 하는 부호화할 경우, 형성된 집합
 T_p 내에 고유 PRI가 존재할 수 있는 확률은 매우 높
다. 특히 고정 PRI 펄스열의 경우에 있어서는 고유
PRI와 하모닉 성분만 남게되므로 적은 세대이내에 수

렴할 가능성이 매우 높아진다. 그러나 변경 PRI 신호원
이 존재하는 경우에는 T_p 내에 고유 PRI 근처값을 가
지는 Δt_{ij} 가 과도하게 생성되며, 이러한 조건은 진화에
참여할 염색체 수를 증가시키게 된다.

초기화(initialization)는 T_p 로부터 초기 염색체를 생
성하는 단계로서 제안한 방법에서는 T_p 를 선형 양자
화하여 최대 길이가 L 인 초기 염색체 v 를 구성하였
다. 양자화 구간의 크기는 TOA 측정 해상도, 연산 속
도 등을 고려하여 결정되어야 하는데, 일반적인 레이더
신호의 특성을 고려할 경우 최소 탐지 PRI값의 1%정
도로 설정하면 적절하다.

2. 적합도 검증

적합도 검증(fitness evaluation)은 각 염색체의 생존
여부를 결정하는 척도를 계산하는 단계로서 제안한 기
법에서는 식 (8)에서 정의한 적합도 함수를 적용하였다.

$$f(v_k) = v_k^\xi \left| \sum_{i=0}^{N-1} e^{-j2\pi t_i v_i} \right|^2$$

, where $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$ (8)

제안한 적합도 함수는 탐색 PRI의 값을 원주로 하는
복소 동심원상에 각 펄스별 TOA의 펄스위상을 누적하
여 이를 복소 절대치 제곱하여 얻어지는 값으로서 탐
색 PRI에 해당하는 펄스열이 존재할 경우에 펄스개수
의 제곱에 비례하는 높은 값이 얻어진다. 반면 하모닉
PRI 펄스열이 존재하는 경우에는 복소 평면상에서 상
쇄되어 탐지오류의 가능성을 낮추는 역할을 한다.

동일 신호수집 시간에 대해서 낮은 PRI를 가지는 펄
스열은 발생빈도가 상대적으로 높으므로 PRI가 커질수
록 높은 가중치가 사용될 수 있도록 설계되어야 한다.
 ξ 는 $[m, M]$ 범위에서 적합도 함수의 평탄성을 유지
하기 위해 도입한 실험상수로서 $\ln 6$ 으로 설정하였다.
 ξ 는 식 (8)의 절대치제곱 부분이 v_k 에 따라 감소하므
로, 이를 보상하여 적합도 함수의 평탄성을 유지하도록
하며, 탐지 PRI의 범위에 의존하는 상수이다.

3. 선택

선택(selection)은 현 세대의 염색체 원소 중에서 적
자생존 원칙에 따라 다음 세대에 생존할 염색체를 결
정하는 단계로서, 선택의 기준은 각 염색체의 적합도
값이다.

제안한 기법에서는 적합도에 근거한 비례선택

(proportional selection)을 사용하였으며 각 염색체의 누적 분포 함수(F)를 이용한 선택을 수행하였다. 비례 선택은 룰렛휠(roulette wheel) 방식을 사용하였다. 즉 $[0, 1]$ 의 범위에서 균일 분포를 형성하는 임의 변수 집합인 r 을 작성하여, 식 (9)의 조건을 만족하는 v_k 의 염색체 값을 v_i 에 대입하는 방법이다.

$$F(i-1) < r(k) \leq F(i) \quad (9)$$

, where $k=1, 2, \dots, L$

비례선택은 누락, 반사파, 다중 신호간섭이 빈번한 전자전 신호환경에서 예측되는 초기 염색체 구성의 불균형에 대한 대처로서, 현 세대에서 낮은 적합도를 보이는 염색체에 대해서도 생존 가능성을 부여함으로써 다음 세대에서 새로운 염색체 구성의 일부가 되어 적합성의 재검증을 받게 되므로 실제 신호 환경 요인으로 인한 탐지 오류 가능성을 줄이는 효과가 있다.

4. 교배

교배(crossover)는 임의 염색체 쌍에 대한 유전형질 공유를 통해 새로운 형질의 자손을 만들어 내는 유전 연산으로서, 제안한 기법에서는 확률적 최적화(stochastic optimization) 교배를 사용하였다. 확률적 교배에서는 임의 선택된 교배 염색체 쌍인 (v_1, v_2) 에 대해 식 (10)의 방법을 이용하여 (v'_1, v'_2) 를 만든다.

$$v'_1 = \alpha v_1 + (1-\alpha)v_2, v'_2 = \alpha v_2 + (1-\alpha)v_1 \quad (10)$$

, where $\alpha = f(v_1) / \{f(v_1) + f(v_2)\}$

사용한 교배 방식은 적합도를 이용하여 염색체의 우성 형질이 다음 세대에 전달될 확률을 증가시킨 것으로서, 자손 염색체의 적합도가 부모보다 높은 경우에만 기존의 염색체와 교체하는 엘리트원칙(elitism)을 적용하였다. 이는 펄스열 가운데 변경 PRI 신호가 존재하는 경우에 고유 PRI값으로 수렴하지 못하고 발진하는 현상을 막을 수 있는 효과가 있다.

5. 돌연변이

돌연변이(mutation)는 염색체의 임의 변형을 유도하여 새로운 형질의 염색체가 생성되도록 하는 단계로서 초기 염색체에서 나타나지 못한 최적해가 생성될 수 있는 가능성을 제공하는 유전 연산이다. 제안한 기법에서는 식 (11)을 적용한 돌연변이가 수행되었다.

$$v'_k = v_k + D \cdot \Delta \quad (11)$$

식 (11)에서 D 는 염색체 돌연변이 방향으로서 $[-1, 1]$ 범위에서 임의 추출된 값이며, Δ 는 돌연변이 정도치으로서 초기화시에 사용된 양자화 간격과 동일하게 설정된다.

돌연변이는 교배와 더불어 양자화로 인한 PRI 탐지 해상도 감소를 개선하는 역할을 하며 엘리트원칙에 따른 번이 결과의 선택적 채택이 이루어진다.

6. 종료

일반 GA에 있어서 종료(termination)는 유일의 최적해에 도달했음을 인정하고 세대 증식을 마치는 단계이다. 그러나 다중 레이더의 펄스열 탐지를 위한 전자전 신호분석 측면에서는 다수해를 산출하여야 하므로, 단일 위협인 경우를 제외하고서는 유일해로 수렴하기 전에 종료되어야 한다. <그림 5>는 고정 PRI를 가지는 4개의 펄스열을 입력한 후, 제안한 알고리즘을 100세대 동안 수행했을 때 세대별 적합도 함을 정규화한 그래프이다. GA 특성상 4개의 기본 PRI를 나타내는 염색체가 단계별로 멸종하는 현상을 확인할 수 있으며, 결국에는 유일해만이 생존하게 된다.

미지 개수의 다수해를 탐지하기 위해, 제안한 기법에서는 식 (12)로 정의한 비용함수가 <그림 6>에서와 같이 급격히 저하되는 첫 번째 세대에서 종료하도록 설계하였다. 여기서 $f_k(v_i)$ 는 k 세대에서 i 번째 염색체가 가지는 적합도이다.

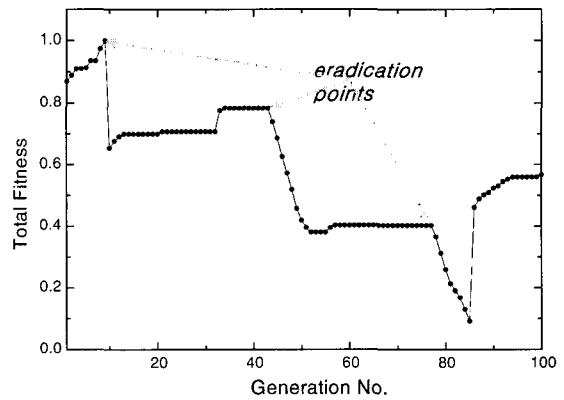


그림 5. 다중위협에 대한 세대별 적합도
Fig. 5. Normalized fitness in each generation for multiple threats.

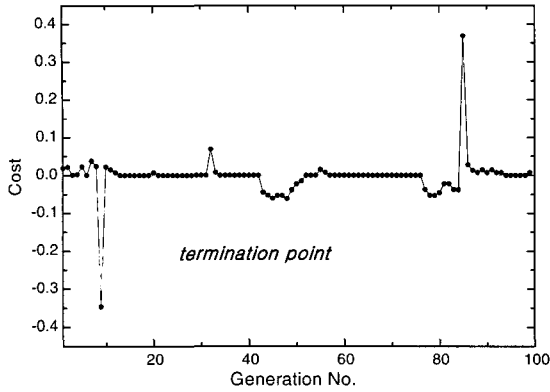


그림 6. 비용함수의 변화 특성
Fig. 6. The characteristics of cost function.

$$C(k) = \sum_{i=1}^L f_k(v_i) - \sum_{i=1}^L f_{k-1}(v_i) \quad (12)$$

따라서 제안한 알고리즘이 k 에서 종료하면 최적 진화 세대수는 $k-1$ 세대로 산출되어 이때의 탐색체를 이용한 복호화가 진행된다.

7. 복호화

복호화(decoding)는 종료시점의 탐색체를 이용한 최종해를 도출하는 과정이다. 제안한 기법은 다중해를 탐지하기 위해 최적해로 수렴하기 이전에 종료시켰으므로, 종료 탐색체의 그룹화를 통해 최종해를 구하였다. 동일 그룹으로 판단하는 기준은 이웃하는 탐색체값의 차이와 최소 구성원소 개수를 사용하였다. 즉 인접 탐색체간의 차이는 고정 PRI와 변경 PRI를 구분하는 변경율이, 최소 구성원소 개수는 단일 레이다가 원형 스캔을 할 경우에 수신될 수 있는 펄스 개수가 이용된다.

신호원을 형성하는 다수의 고유 PRI는 본 기법의 최종해로서 각 그룹으로 분류된 탐색체의 그룹내 산술평균에 해당한다.

IV. 실험 및 결과

제안한 레이다 펄스열 탐지기법의 성능 평가는 컴퓨터상에서 모의된 신호와 해상에서 수집한 실제 레이다 신호에 대해 수행하였다. <표 1>은 실험에 사용한 신호제원으로서 누락 및 잡음신호는 균일 확률분포를 따르도록 모델링하였으며, 교배율과 돌연변이율은 각각 5%로 설정하였다. SDIF기법의 실험시에 사용한 유효 펄스의 최소 개수는 12개로, 펄스열 추출시에 사용된

탐색범위는 고유 PRI의 10%로 설정하였다. 또한 CWT 기법이 경우에는 T는 0.2, W는 12로 설정하여 실험하였다. 고유 PRI가 273, 355인 고정 펄스열은 각각 265, 310의 변경 PRI 펄스열의 변경폭 이내에 존재하도록 모의하여 실제 전자전 신호환경에서 일어나는 탐지 모호성이 발생하도록 하였다.

고정 펄스열로만 구성된 신호 1은 누락 및 잡음이 없는 이상적인 신호로서 <그림 7>에서 비교한 바와 같이 SDIF, CWT, 제안한 기법 모두에서 정확한 고유 PRI를 탐지하였다.

신호 3, 4, 5는 고정 및 변경 PRI 펄스열에 잡음과 신호누락을 달리하여 조합한 모의 신호이다. <그림 8>은 신호 3을 이용한 각 기법별 실험결과이다. 기존의 방법에서는 저하된 신호 연속성으로 인해 히스토그램 및 CWT 탐지함수가 실제입력의 특성을 모두 반영하

표 1. 실험신호 제원
Table 1. Signals used in experiment.

번호	고유 PRI[us]		누락 (%)	잡음 (%)
	고정	변경(율%)		
1	100,273,355	-	0	0
2	-	83(10),265(15),310(20)	0	0
3	100,273,355	83(10),265(15),310(20)	5	5
4	100,273,355	83(10),265(15),310(20)	10	10
5	100,273,355	83(10),265(15),310(20)	20	20
6	440,980	660(10),850(7)	해상신호	

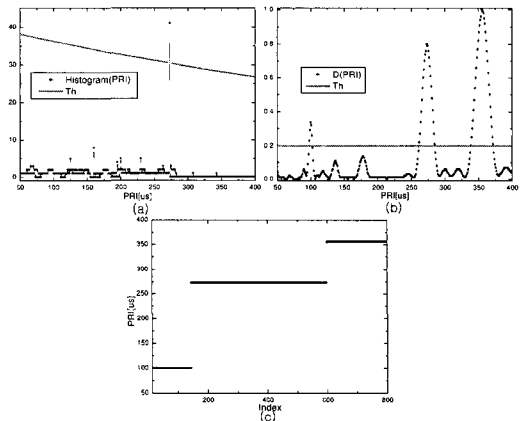


그림 7. 기법별 탐지결과(신호 1) (a) SDIF 기법 (b) CWT 기법 (c) 제안한 기법
Fig. 7. Detection result for each method(Signal 1). (a) SDIF (b) CWT (c) Proposed

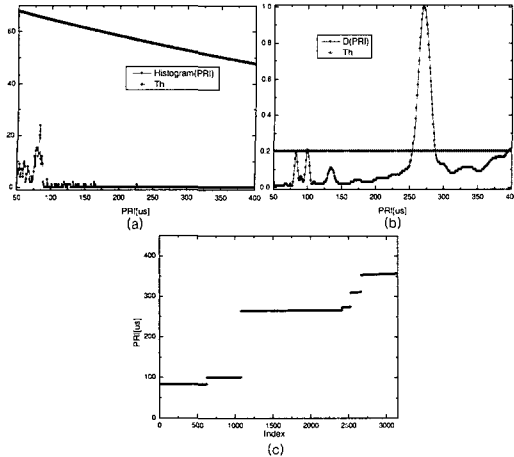


그림 8. 기법별 탐지결과(신호 3) (a) SDIF 기법 (b) CWT 기법 (c) 제안한 기법
 Fig. 8. Detection result for each method(Signal 3). (a) SDIF (b) CWT (c) Proposed

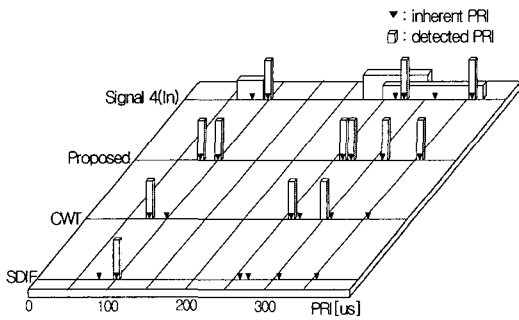


그림 9. 기법별 탐지결과(신호 4)
 Fig. 9. Detection results for each method(Signal 4).

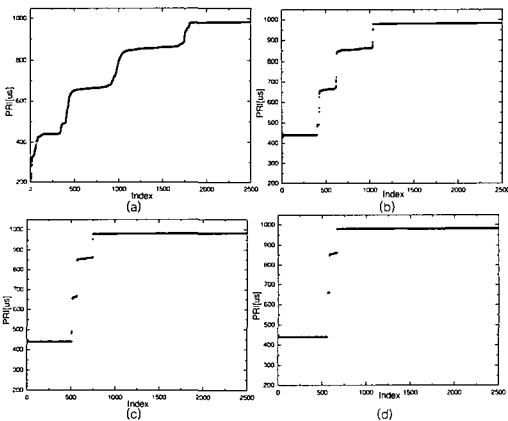


그림 10. 세대별 염색체 구성(신호 6) (a) 세대1 (b) 세대2 (c) 세대3 (d) 세대4(종료)
 Fig. 10. Chromosome for each generation(Signal 6). (a)G=1 (b)G=2 (c)G=3 (d)G=4(Terminated)

지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 적응적 임계치 함수의 설정이 곤란하여 다중위협 신호의 고유 PRI 탐지에 실패한 경우이다. 그러나 <그림 8(c)>의 제안한 기법 결과에서는 활동 위협신호에 대한 고유 PRI를 염색체 값으로 하는 4종의 그룹을 형성하면서 정확한 펄스열 탐지가 이루어졌다.

잡음과 신호누락을 10%씩 모의한 신호 4에 대한 탐지결과를 각 기법별로 나타낸 <그림 9>로부터 제안한 기법은 기존의 방법에 비해 각 펄스열에 대한 고유 PRI와 탐지 PRI가 일치하여 탐지되었음을 확인할 수 있다.

실제 레이더 신호인 신호 6에 제안한 기법을 적용하였을 때 각 세대로서 염색체 값이 변화하는 과정을 <그림 10>에서 나타내었다. 신호 6의 진화 세대수는 4로서 초기 염색체로부터 점차 4종의 고유 PRI값으로 수렴된 염색체 그룹이 형성되었다.

기존의 펄스열 탐지기법과 제안한 알고리즘을 이용한 실험결과를 정리한 <표 2>는 30회의 독립실험을 수행하여 90%(27회)이상 탐지된 PRI의 평균치를 나타내는데, 이로부터 GA의 최적화 절차를 사용한 제안한 기법은 기존의 방법에 비해 활동 레이더 개수 및 개별 고유 PRI의 탐지 성능 측면에서 정확한 펄스열 탐지를 수행하고, 잡음 및 신호 누락이 발생한 경우에 있어서도 안정적 탐지성능을 나타냄을 확인할 수 있다.

표 2. 기법별 펄스열 탐지 결과

Table 2. Pulse sequence detection result for each method.

번호	탐지 PRI [us]		
	SDIF	CWT	제안[종료세대]
1	100,273,355	100,273,356	100,273,355[4]
2	-	83,266,311	83,265,310[3]
3	100	83,100,270	83,100,265,273,310,355[8]
4	100	83,265,300	83,100,265,273,311,355[12]
5	-	83	83,100,273,355[14]
6	439,980	440,662,857	439,661,856,980[3]

V. 결론

본 논문에서는 새로운 레이더 펄스열 탐지 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 GA의 진화 특성을 이용하

여 다중위협, 신호누락, 잡음 유입 등의 실제 신호 환경 하에서 개별 펄스열의 고유 PRI를 탐지할 수 있도록 고안되었다.

제안한 알고리즘은 dTOA를 검색체로 사용하며, 적용된 유전자 연산은 선택, 돌연변이, 교배이다. 그리고 하모닉 PRI값이 탐지되는 오류를 줄이기 위해 펄스 위상을 이용한 적합도 검증을 수행하였으며, 적합도 합의 세대별 차에 기반한 비용함수를 사용하여 다중 신호원에 대한 탐지를 가능하도록 설계하였다.

실험은 모의 데이터와 해상 레이더 신호를 이용하여 수행되었으며, 각각은 고정 및 변경 PRI에 누락 및 잡음이 고려된 신호를 이용하였다. 펄스간 상관성 및 연속성을 확인하는 기존 방식과는 달리 제안한 기법은 수신 펄스 전체에 대한 집단 처리가 이루어지므로, 다양한 신호환경에 대한 적응적 분석이 가능하였다.

참 고 문 헌

[1] Filippo Neri, Introduction to Electronic Defense Systems, Artech House, 1991.
 [2] M. Gen and R. Cheng, Genetic Algorithms and Engineering Design, John Wiley & Sons, 1997.
 [3] Ramon Nitzberg, Radar Signal Processing and

Adaptive Systems, Artech House, 1999.
 [4] James P. Stephens, "Advances in Signal Processing Technology for Electronic Warfare," Journal of Electronic Defense, pp. 41-50, Sep. 1995.
 [5] D. J. Milojevic and B. M. Popovic, "Improved Algorithms for the Deinterleaving of Radar Pulses," IEE Proc. of Radar and Sig. Proc., vol. 139, pp. 98-104, Feb. 1992.
 [6] H.S.Shahhoseini, A.Naseri, and M.Naderi, "A New Matrix Method for Pulse Train Identification," IEEE Melecon, pp. 183-187, Dec. 2002.
 [7] Tanya L. Conroy and John B. Moore, "On the Estimation of Interleaved Pulse Train Phases," IEEE Trans Signal Processing, vol. 48, pp. 3420-3425, Dec. 2000.
 [8] D. E. Driscoll and S. D. Howard, "The Detection of Radar Pulse Sequences by Means of a Continuous Wavelet Transform," IEEE Int'l Conf. on ASSP, vol. 3, pp. 1389-1392, 1999.

저 자 소 개



李 尙 烈(正會員)
 1997년 : 경북대학교 전자공학과 학사. 1999년 : 경북대학교 전자공학과 석사. 1999년~현재 : 국방과학연구소 연구원. <주관심분야 : 통계 신호처리, 자동표적인식, 전자전 신호탐지 및 디지털 재밍기술>



尹 奇 天(正會員)
 1980년 : 한양대학교 전자공학과 학사. 1989년 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석사. 1996년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사. 1979년~현재 : 국방과학연구소 책임연구원. <주관심분야 : 최적경로선정 기술, 3차원 가시화, Modeling & Simulation>