

# 최대 최소 전력비를 이용한 펄스 레이더 신호 검출

임창현<sup>◦</sup>, 진은숙<sup>\*</sup>, 김창주<sup>\*</sup>

## Detection of Pulse Radar Signals Using the Maximum to Minimum Power Ratio

Chang Heon Lim<sup>◦</sup>, Eun Sook Jin<sup>\*</sup>,  
 Chang Joo Kim<sup>\*</sup>

### 요 약

펄스 레이더 신호는 펄스가 주기적으로 나타나며 그 이외 시간 구간에서는 잡음만 나타나는 형태를 갖는다. 본 논문에서는 이러한 특징을 효과적으로 반영하는 검출 방식을 모색하기 위하여, 관측 기간 내에 존재하는 수신 신호 샘플로부터 최대 전력과 최소 전력 간의 비율을 검정 통계량으로 사용하는 방식을 제안하고, 모의 실험을 통해 다양한 환경에서 해당 방식의 성능을 에너지 검파 방식과 비교하고자 한다.

**Key Words** : cognitive radio, spectrum sensing, radar, power ratio, energy detection

### ABSTRACT

A pulse radar signal is characterized by periodic pulses and noise components between them. In this Letter, we present a test statistic for detecting the presence of a pulse radar which exploits the inherent characteristics of a pulse radar signal by the ratio of maximum power to minimum power from the received signal and compares its sensing performance with that of the energy detector by computer simulation in a variety of situations.

## I. 서 론

인지 무선 방식으로 레이더 대역에 대한 동적 스펙트럼 접근을 실현하려면 무엇보다도 레이더 신호 존재 여부를 판단하는 능력이 중요하다<sup>[1]</sup>. 최근까지 발표된 레이더 신호 검출 방식은 대부분 에너지 검파 방식에 기초한 것이다<sup>[2,3]</sup>. 이 방식은 간단하기는 하지만 잡음 전력을 정확히 알지 못하는 경우에 검출 성능이 떨어지는 단점을 갖고 있다. 또한 펄스 레이더 신호는 펄스가 반복된다는 점을 이용하여 자기 상관을 이용한 방법이 발표된 바가 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 이 방식은 관측 기간 내에 여러 개의 펄스가 있어야 하기 때문에 탐지 시간이 길어질 수 있다는 단점을 갖는다. 그러므로 여러 펄스보다는 단일 펄스의 존재 여부를 판단하는 방식이 탐지 시간을 줄이는데 유리하다. 레이더 수신 신호는 펄스가 존재하는 시간 구간에서는 상대적으로 큰 값을 보이지만, 그렇지 않은 구간에서는 작은 값을 갖는 특징이 있다. 이러한 성질을 효과적으로 활용하는 방안으로 본 논문에서는 관측 기간 내의 수신 신호에 대하여 최대 수신 전력과 최소 수신 전력 간의 비율을 검정 통계량으로 하는 방식을 제안하고자 한다. 이 방식은 관측 기간 내에 펄스가 1개가 있더라도 적용할 수 있다.

## II. 제안하는 레이더 신호 검출 방식

펄스 레이더 신호가 시간  $n$ 에서 갖는 샘플을  $s(n)$ 이라 표기하고, 잡음 샘플을  $w(n)$ 으로 나타낸다. 그러면 수신된 레이더 신호  $r(n)$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r(n) = \begin{cases} w(n) & H_0 \\ h(n)s(n) + w(n) & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

위 식에서 가설  $H_0$ 와 가설  $H_1$ 은 각각 레이더 신호가 존재하지 않는 경우와 존재하는 경우를 가리킨다, 그리고  $w(n)$ 은 AWGN으로 가정하고,  $h(n)$ 은 시간  $n$ 에서 페이딩 채널의 이득을 나타낸다.

펄스 레이더 신호는 송신 구간과 수신 구간이 시간

※ 본 연구는 2016년도 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 [B0718-16-1001, 군 주파수(Military Spectrum) 이용 고도화 기술 개발]

◦ First and Corresponding Author : Pukyong National University Department of Electronic Engineering, chlim@pknu.ac.kr, 종신회원

\* Electronics and Telecommunications Research Institute, Radio Technology Research Department, esjin@etri.re.kr, 정희원, cjkim@etri.re.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2016-11-343, Received November 18, 2016; Revised November 30, 2016; Accepted December 20, 2016

적으로 분리되며, 펄스 압축 방식에 상관없이 레이더 펄스는 일정한 크기를 갖고, 그 이외 구간에는 신호 성분이 존재하지 않는다는 특징을 갖는다. 다만 2차 사용자가 레이더 신호를 수신하는 과정에서 잡음이 추가되고, 무선 채널에 의한 왜곡이 있을 수 있다. 그렇지만 송신 구간의 송신 신호 샘플 크기와 수신 구간의 수신 신호 샘플 크기는 상당한 차이를 보인다. 이러한 점을 최대 효율화한다면 레이더 신호를 효과적으로 검출하는 방안을 개발할 수 있다.

본 논문에서는 펄스 레이더 신호의 듀티 사이클을 알고 있다는 전제하에 다음과 같은 레이더 신호 검출 알고리즘을 제안한다. 먼저 관측 기간 내에 수신 신호 샘플이  $N$ 개 있다고 하고, 수신 신호 샘플을  $r(n), n=0, \dots, N-1$ 이라고 한다. 수신 신호 샘플의 순시 전력  $|r(n)|^2$ 을 내림차 순으로 배열하고, 이를  $p_i(n), i=0, \dots, N-1$ 으로 표시한다. 이 중에서 레이더 펄스의 듀티 사이클 기간에 해당하는 샘플 개수를  $M$ 이라 한다. 이때  $M$ 개의 전력이 큰 전력 샘플을 선택하고, 이를 집합  $S_{\max} = p_i(n), i=0, \dots, M-1$ 으로 표현할 수 있다. 여기에 속한 전력 샘플은 SNR이 높을수록 레이더 펄스와 관련된 샘플일 가능성이 크다. 그리고 이  $M$ 개의 전력 샘플을 제외한 나머지 샘플 들은 잡음과 관련된 가능성이 크데, 만약 레이더 펄스 이외에 간섭 신호로 인한 수신 신호 샘플 개수  $I$ 가 알려져 있다면, 잡음 전력의 평균값을 결정하는데 사용되는 전력 샘플들의 집합  $S_{\min}$ 은  $S_{\min} = p_i(n), i=M+I, \dots, N-1$ 로 표현할 수 있다. 본 논문에서는 다음과 같이  $S_{\max}$ 에 속한 전력 샘플의 평균값과  $S_{\min}$ 에 속한 전력 샘플의 평균값의 비율을 다음과 같이 검정 통계량  $L$ 로 정의한 방식을 제안하고자 한다.

$$L \equiv \frac{\sum_{i=0}^{M-1} p_i(n)}{\sum_{i=M+I}^{N-1} p_i(n)} \quad (2)$$

이는 앞에서 기술한 펄스 레이더 신호의 특징을 많이 반영한 방식이다.

주파수 영역의 전력 스펙트럼 샘플에 대하여 최대 값과 최소값의 비율을 검정 통계량으로 하는 방식이 제안된 바 있다<sup>[5]</sup>. 이 경우는 센싱 대상 신호가 협대역 신호인 경우에 효과적인 방법이다. 본 논문에서 관심을 갖는 문제는 시간 영역에서 좁은 펄스 형태를 갖는 레이더 펄스를 검출하는 것이므로 시간 영역의 수신

신호 전력 샘플의 최대값과 최소값의 비율을 검정 통계량으로 하는 방식이 더 적합한 선택이 될 수 있다. 하지만 이것만으로는 레이더 펄스가 일정한 크기를 갖는다는 특성이 충분히 반영되어 있지 않으므로, 식(2)에서와 같이 레이더 펄스 기간에 해당하는 전력 샘플의 평균값과 그 이외의 잡음 전력 샘플의 평균값을 사용하는 방식을 제안하였다. 다만 이 경우에는 검정 통계량의 확률 밀도 함수를 수식으로 나타내기 어렵기 때문에 검파 임계값을 실험적으로 결정하는 것으로 한다.

### III. 모의 실험 및 결과

제안한 방식의 성능을 분석하기 위하여 모의 실험을 진행하였다. 실험에 사용할 레이더 신호의 펄스 폭은  $1 \mu s$ , 레이더 펄스 반복 주기(PRI)는  $10 \mu s$ , 레이더 신호의 전체 길이는  $100 \mu s$ 로 설정하였다. 그림 1은 이러한 레이더 신호를 나타낸 것이다. 레이더 신호 검출을 위해 레이더 신호를 관측하는 시간은  $50 \mu s$ 로 하였으며, 관측 기간의 시작점은  $0 \sim 50 \mu s$  이내의 균일 분포를 갖는 것으로 설정하였다. 그리고 검출 임계값  $\lambda$ 는 목표 오경보 확률이  $0.1$ 이 되도록 설정하는데, 실험적으로 그 값을 결정하였다. 또한 레이더 신호가 전달되는 채널은 도플러 주파수 영향을 반영하는 레일리 페이딩 채널로 가정하였다. 도플러 주파수는  $10 \text{ Hz}$ 를 설정하였고, 간섭 신호로 인한 수신 신호 샘플 개수  $I$ 가 알려지지 않았다고 전제하고  $I=0$ 인 검정 통계량  $L$ 을 사용하였다.

그림 2와 그림 3은 본 논문에서 제안한 레이더 신호 검출 방식(MaxMin)과 에너지 검파 방식(ED)이 잡음 전력의 불확실성(NPU)이 존재하는 환경에서 갖는 오경보 확률 성능과 검출 성능을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 에너지 검파 방식의 경우에는 잡

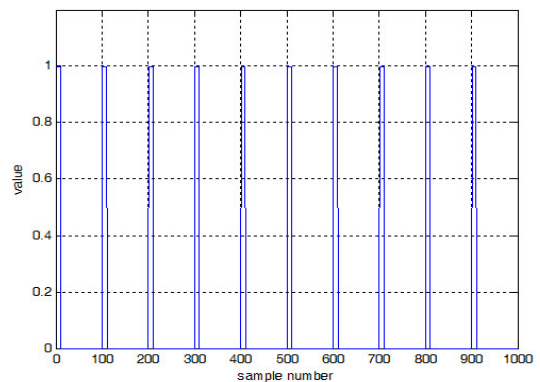


그림 1 모의 실험에 사용한 레이더 신호 형태  
Fig. 1. Pulse radar signal for simulation

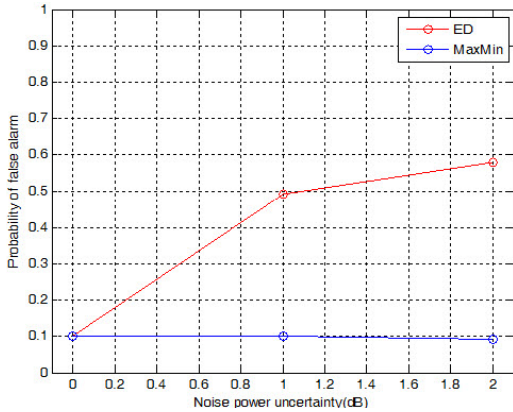


그림 2. 잡음 불확실성이 오경보 확률에 미치는 영향  
Fig. 2. Effects of noise power uncertainty on false alarm probability

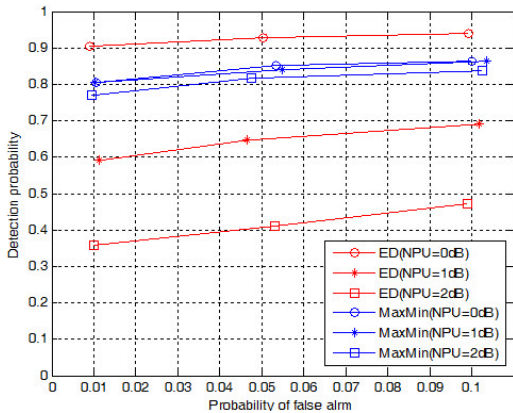


그림 3. SNR=0일 때 잡음 전력 불확실성에 따른 스펙트럼 센싱 성능 비교  
Fig. 3. Comparison of spectrum sensing performance when SNR=0dB

잡음 전력의 불확실성에 따라 오경보 확률에 많은 변화가 있다. 하지만 제안한 방식은 거의 일정한 오경보 확률을 보여주고 있다. 이는 검정 통계량  $L$ 이 잡음 전력 수준에 따라 달라지지 않기 때문이다. 즉 잡음 전력 수준에 상관없이 일정한 오경보율을 달성할 수 있다. 또한 검출 성능 측면에서도 제안한 방식은 잡음 전력 불확실성에 강인한 특성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 잡음과 간섭 신호의 비율에 따라 에너지 검파 방식과 제안한 방식(MaxMin)의 스펙트럼 센싱 성능이 어떻게 달라지는지를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 간섭 신호가 강한 경우에는 제안한 방식의 성능이 에너지 검파 방식(ED)에 비해 상대적으로 우수함을 확인할 수 있다. 이는 제안한 방식이 펄스 레이다 신호의 고유 특성을 보다 많이 반영함으로

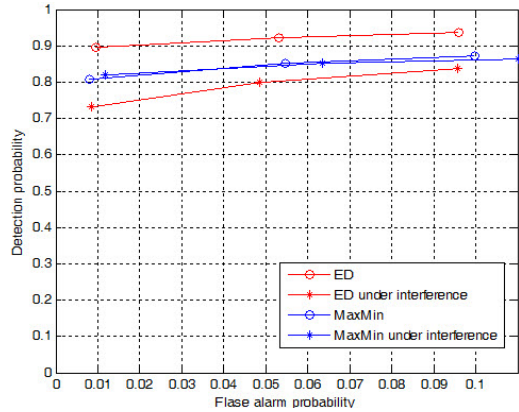


그림 4. INR=5dB, SNR=0dB일때 스펙트럼 센싱 성능 비교  
Fig. 4. Comparison of spectrum sensing performance when INR=5dB and SNR=0dB

써 상대적으로 간섭 신호의 영향을 덜 받기 때문이다. 모의 실험 결과를 종합하면, 제안한 방식은 에너지 검파 방식에 비해 잡음 전력의 불확실성에 강인하며, 강한 간섭 신호가 존재하는 환경에서 상대적으로 우수한 검출 성능을 보임을 알 수 있다.

### References

- [1] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 11, no. 1, pp. 116-130, 2009.
- [2] M. Wen and L. Hanwen, "Radar detection for 802.11a systems in 5GHz," *Int. Conf. Wireless Commun., Netw. Mob. Comput.*, vol. 1, pp. 512-514, Sept. 2005.
- [3] ETSI EN 301 893 v.1.7.2, *Broadband radio access networks(BRAN); 5 GHz high performance RLAN; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE directive*, Jul. 2014.
- [4] C. H. Lim, H. J. Kim, and C. J. Kim, "Detection of a radar signal using the periodicity of its autocorrelation function," *J. KICS*, vol. 41, no. 7, pp. 732-737, 2016.
- [5] C. H. Lim, "Spectrum sensing scheme using the ratio of the maximum and the minimum of power spectrum," *J. IEK-TC*, vol. 51, no. 6, pp. 1131-1138, 2014.