

연접한 관측 창 신호 사이의 연관성을 활용한 레이더 대역 스펙트럼 센싱

임창헌*

Spectrum Sensing for Radar Bands Using Correlation between Signals in Consecutive Observation Windows

Chang Heon Lim*

요약

펄스 레이더 신호는 시간 영역에서 동일한 펄스가 반복되는 특성이 있으므로 시간적으로 이웃한 관측 창 신호는 매우 유사한 형태를 갖는다. 이러한 특성을 활용하여 본 논문에서는 시간 영역에서 이웃한 관측 창 신호 사이에 원형 컨벌루션을 구하고, 그 결과의 최대 절대값을 검정 통계량으로 사용하는 레이더 신호를 검출하는 방안을 제시하고 성능을 평가하고자 한다.

Key Words : cognitive radio, spectrum sensing, pulse radar, linear convolution, circular convolution

ABSTRACT

For a pulse radar signal, two signal sets in two consecutive observation have very similar waveforms since radar pulses occur periodically in time domain. In this Letter, exploiting this inherent characteristic, we present an alternative spectrum sensing scheme which performs circular convolution for two signal sets in two consecutive observation windows and employs its maximum absolute value as a test statistics, and evaluate its performance.

1. 서론

오늘날 주파수 자원에 대한 수요는 날로 늘어나는 데 비해 가용 주파수 자원은 한정되어 있다. 이에 주파수 자원을 보다 효율적으로 활용하기 위한 다양한 노력이 시도되고 있다. 주파수 공유도 이러한 노력의 일환이며, 과거 5GHz 대역이나 최근 3.5GHz 대역처럼 레이더 대역을 공유하는 방식에 대한 관심이 많고 있다. 원래 레이더 대역은 레이더 시스템이 독점적으로 사용하도록 규정되어 있는데, 측정 결과에 따르면 이용 효율은 낮은 것으로 알려져 있어 주파수 공유를 도입할 경우 그 효과가 상당할 것으로 예상되고 있다.

주파수 공유 방식의 하나인 인지 무선(cognitive radio)은 우선 사용자(primary user)가 일시적으로 사용하지 않는 대역을 이차 사용자(secondary user)가 사용하도록 허용하는 방식이다. 이를 레이더 대역에 적용하고자 할 때, 가장 핵심적인 기능은 우선 사용자(primary user)인 레이더 신호를 검출하는 스펙트럼 센싱 기술^[1]이다. 지금까지 발표된 레이더 신호 검출 방식^[2-5]은 대부분 전력 수준이나 전력 변화를 기반으로 펄스 검출 방식이며, 여기에 펄스의 주기성 여부를 확인하는 과정을 추가하는 형태로 발전해왔다. 이 방법들은 기본적으로 전력 수준을 임계값과 비교하는 과정을 포함하고 있기 때문에 기존의 스펙트럼 센싱 관점에서 보면 에너지 검파^[1]를 기반으로 하고 있다고 말할 수 있다. 또한 펄스 압축을 사용한 방식에 대해서는 정합 필터를 사용하는 방식 발표된 바 있다^[3].

펄스 레이더 신호의 존재 유무를 효과적으로 파악하기 위해서는 레이더 신호를 특성을 최대한 활용할 필요가 있다. 기본적으로 펄스 레이더 신호는 펄스가 시간 영역에서 일정한 규칙에 따라 반복적으로 나타나는 특징이 있다. 그리고 개별 펄스 신호의 형태는 펄스 압축 기술 적용 여부에 따라 달라질 수 있다. 원칙적으로 최선의 검출 방법은 정합 필터이지만, 인지 무선의 관점에서는 수신되는 레이더 펄스 형태를 미리 알 수 없고 동기의 어려움도 있기 때문에 적절한 선택이 될 수 없다. 이에 대한 대안으로 이전 연구^[6]에서는 현재 관측창과 직전의 관측창 내에 있는 신호 간의 선형 컨벌루션(linear convolution) 결과값 중에서 최대값을 검정 통계량으로 정의하는 방식을 제안한

* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음

• First Author : (ORCID:0000-0001-7022-8914)Pukyong National University Department of Electronic Engineering, chlim@pknu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 201807-211-A-LU, Received July 16, 2018; Revised July 31, 2018; Accepted July 31, 2018

바 있다. 실험 결과 배경 잡음 전력의 불확실성이 존재할 때 에너지 검파 방식보다 우수한 검출 성능을 보였다. 본 연구에서는 레이더 펄스의 반복성을 활용하는 동시에 선형 컨벌루션보다 원형 컨벌루션(circular convolution)을 사용하면 FFT(fast Fourier transform)를 통한 구현을 통해 계산량을 낮출 수 있다는 사실을 활용하여 원형 컨벌루션을 사용한 레이더 신호 검출 방식을 제안하고자 하고, 그 성능을 비교 분석하고자 한다.

II. 제안하는 스펙트럼 센싱 방식

펄스 레이더 신호가 시간 n 에서 갖는 샘플을 $s(n)$ 이라 하고 잡음 샘플을 $w(n)$ 이라 할 때, 레이더 신호 유무에 따라 이차 사용자(secondary user)가 수신하는 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 가리키며, $w(n)$ 과 $h(n)$ 은 각각 분산이 σ^2 인 AWGN(additive white Gaussian noise)과 시간 n 에서 페이딩 채널이 갖는 이득을 나타낸다.

본 논문에서 제안하는 검출 방식에서는 길이가 N 인 관측 창마다 우선 사용자의 존재 유무를 판단한다고 가정한다. 현재 관측창 내에 포함된 신호를 $X = \{r(n), n = 0, \dots, N-1\}$ 이라 하고, 이전 관측창 내에 포함된 신호를 $Y = \{r(n), n = -N; \dots, -1\}$ 이라고 설정한다. 만약 레이더 신호가 존재한다면, X 와 Y 가 각각 주기적인 펄스를 포함하고 있으므로 그에 대한 원형 컨벌루션 결과에 침투 특성이 나타날 것이다. 반면에 레이더 신호가 없다면 X 와 Y 는 서로 통계 독립적인 잡음 성분만을 갖고 있으므로 그런 현상이 나타나지 않을 것이다. 이렇게 레이더 신호 존재 여부에 따라 원형 컨벌루션 결과가 다른 특성을 갖는다는 점을 활용하여 본 논문에서는 원형 컨벌루션의 최대 절대값을 검정 통계량(test statistic)으로 하는 방식을 제안한다.

원형 컨벌루션 연산은 FFT를 사용하여 구현하면 선형 컨벌루션보다 연산량을 낮출 수 있다. 따라서 만약 제안한 스펙트럼 센싱 방식이 선형 컨벌루션을 사용한 방식의 스펙트럼 센싱 성능 정도를 유지할 수 있

다면 실용적인 대안이 될 수 있다. FFT를 이용한 원형 컨벌루션을 사용한다면 본 논문에서 제안하고자 하는 스펙트럼 센싱 방식의 검정 통계량 Λ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\Lambda = \text{Max } FFT^{-1}[FFT\{X\}] \cdot FFT\{Y\} \quad (2)$$

식(2)에서 $FFT\{X\}$ 은 $X = \{r(n), n = 0, \dots, N-1\}$ 의 FFT 연산을 의미한다. 선형 컨벌루션을 사용하는 방식과 원형 컨벌루션을 사용하는 방식에 대하여 검정 통계량 계산에 필요한 계산량을 비교하면 표 1에 나타난 바와 같다. 표에서 보는 바와 같이 관측창 길이 N 이 클수록 제안한 방식의 계산량이 상대적으로 작아짐을 알 수 있다.

제안한 스펙트럼 센싱 방식에서 레이더 신호가 존재하지 않을 때 검정 통계량 Λ 의 확률 분포를 수학적 형태로 도출하는 것은 어렵다. 따라서 본 논문에서는 목표로 하는 오경보 확률을 달성할 수 있는 검파 임계값을 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 결정하는 것으로 한다.

표 1. 계산량 비교
Table 1. Comparison of computational complexities

Spectrum sensing scheme	Computational complexity
Linear convolution based scheme ^[6]	$N(N+1)/2$
Proposed scheme	$3 \times N \log_2 N$

III. 성능 평가 결과

성능 평가를 위해 사용하는 레이더 신호는 펄스 폭은 10 μ s, 레이더 펄스 반복 주기는 1 ms, 연속한 2개 관측창의 길이는 각각 10 ms로 설정하고 샘플링 속도는 10 MHz로 하였다. 그리고 펄스 압축 방식으로는 100kHz의 주파수 변화율을 사용하는 LFM(linear frequency modulation) 방식을 사용하였다. 검출 임계값은 목표 오경보 확률이 0.01, 0.05, 0.1 인 세 가지 경우에 대하여 실험적으로 결정하였으며, 배경 잡음 전력의 불확실성은 0 dB, 1 dB, 2 dB 라는 세 가지 경우를 고려하였고, 송신 레이더 신호는 도플러 주파수 영향을 반영하는 레일리 페이딩 채널을 거쳐 수신되는 것으로 가정하였다.

그림 1은 에너지 검파 방식과 선형 컨벌루션 기반 방식 그리고 본 논문에서 제안한 원형 컨벌루션 기반

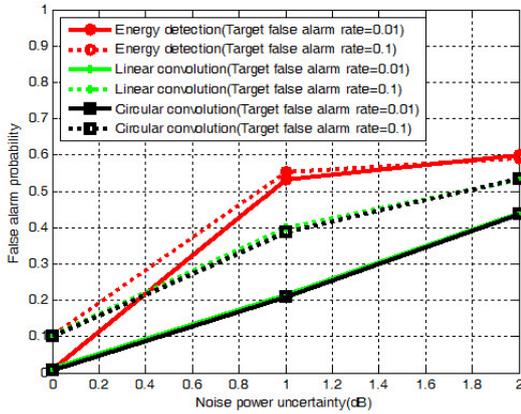


그림 1. 잡음 전력 불확실성 대비 오경보 확률
Fig. 1. False alarm probability versus noise power uncertainty

방식의 오경보 확률이 잡음 전력의 불확실성에 따라 어떻게 달라지는지 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 원형 컨벌루션 기반 방식과 선형 컨벌루션 기반 방식이 에너지 검파 방식에 비해 잡음 전력의 불확실성의 영향을 적게 받는다는 것을 확인할 수 있다. 이는 잡음 불확실성이 검정 통계량에 미치는 영향이 컨벌루션 기반 방식보다 에너지 검파 방식에 대하여 크기 때문이다.

그림 2와 그림 3은 세 가지 스펙트럼 센싱 방식의 오경보 확률 대비 검파 확률 성능이 SNR(signal to noise ratio)과 잡음 전력 불확실성에 따라 어떻게 달라지는지 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 컨벌루션 기반 방식은 잡음 전력 불확실성에 대하여 에너지 검파 방식에 비해 상대적으로 강인하며 그 성능도 유사함을 확인할 수 있다. 이는 잡음 전력 불확실성이

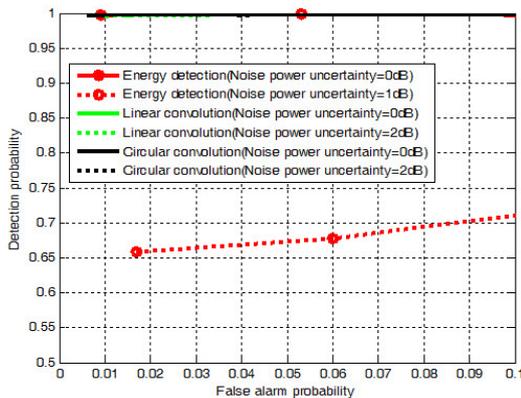


그림 2. SNR=-10dB일 때 오경보 확률 대비 검파 확률
Fig. 2. Detection probability versus false alarm probability for SNR=-10dB

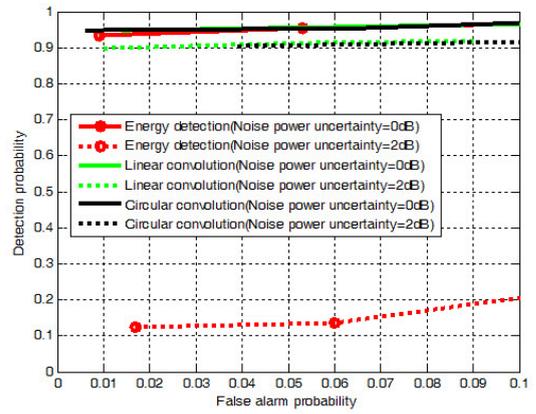


그림 3. SNR=0dB일 때 오경보 확률 대비 검파 확률
Fig. 3. Detection probability versus false alarm probability for SNR=0dB

에너지 연산 결과에 미치는 영향보다 컨벌루션 연산 결과에 미치는 영향이 작고, 두 가지 컨벌루션 연산은 매우 유사하기 때문이다.

References

- [1] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 11, no. 1, pp. 116-130, 2009.
- [2] V. Hayes, *Report of IEEE 802 radio regulatory group relating to DFS and JPT5G proposal*, IEEE 802.RR-02/018A-d2, Jan. 2002.
- [3] J. Sydor and S. Chow, *Draft canadian analysis for BWAS and RADAR*, IEEE 802.RR-02/039r0, Mar. 2002.
- [4] W. McFarland, C. Zeng, and D. Dhamdhere, *Radar detection and dynamic frequency selection for wireless local area networks*, USA 6697013B2, Feb. 24, 2004.
- [5] 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.
- [6] C. H. Lim, et al., "Radar signal detection using the repetition of radar pulses," in *Proc. KICS Conf.*, pp. 661-662, Nov. 2017.