

레이더 대역에서 인지 무선을 위한 일반화된 최대 우도 검출 기반 스펙트럼 센싱

임창현*

A Generalized Likelihood Ratio Test Based Spectrum Sensing Technique for Cognitive Radio in Radar Bands

Chang Heon Lim*

요약

본 논문에서는 관측 창에 레이더 펄스의 일부 혹은 전부가 포함되는 환경에서 인지 무선을 위한 레이더 신호 검출 문제를 DC 수준 변화 문제로 공식화하고, 이에 대한 GLRT 기반의 검출 방식을 제안하고자 한다. 제안 방식은 시간 영역에서 레이더 신호의 변화를 모델링하는 것이기 때문에 잡음 전력 수준에 강인할 것으로 예상된다.

Key Words : cognitive radio, spectrum sensing, pulse radar, GLRT

ABSTRACT

In this Letter, we suppose that a single radar pulse is contained fully or partially in an observation window and formulate the corresponding radar pulse detection problem for cognitive radio in radar bands as a DC level change detection. Based on this, we present a GLRT based spectrum sensing strategy for cognitive radio in radar bands. It is expected to be robust to the noise power uncertainty since it models the variation of a pulse radar signal in time.

I. 서론

최근 레이더 대역이 인지 무선 기술^[1]을 적용할 대상으로 떠오르고 있다. 이는 레이더 대역이 대역폭이 넓은 반면 이용 효율이 낮아 주파수 공유로 이득이 상당할 것으로 예상되기 때문이다^[2]. 레이더 대역을 공유하려는 시도는 이미 2003년 DFS(dynamic frequency selection) 기술을 통해 실현된 바 있다. DFS는 무선랜 장치가 레이더 신호 존재 여부를 판단하여 레이더 신호가 존재하지 않는 경우에 해당 대역을 사용할 수 있도록 하는 방법이다. 레이더 대역에 인지 무선 기술을 도입함에 있어 핵심적인 요소 기술은 해당 대역의 우선 사용자 신호인 레이더 신호를 검출하는 스펙트럼 센싱 기술이다.

지금까지 발표된 레이더 신호 검출 방식^[3,4]은 DFS에 이미 포함된 것을 포함하여 대부분 전력 수준이나 전력 변화를 기반으로 펄스 존재 여부를 판단하고, 여기에 검출된 펄스들이 주기성을 갖는지 여부를 확인하는 형태로 발전해왔다. 이 방법들은 기본적으로 전력 수준을 임계값과 비교하는 과정을 포함하고 있기 때문에 에너지 검파^[1] 방식의 범주에 속한다고 볼 수 있다. 따라서 잡음 전력 불확실성에 취약하고, 수신 전력 수준이나 전력 변화를 비교하는 기준이 특정값으로 정해져 있어 일반적이지 않다.

본 논문에서는 관측창 내에 레이더 펄스가 포함된 경우에 해당 신호의 변화를 DC(direct current) 수준 변화로 모델링하고, 이에 대하여 GLRT(generalized likelihood ratio test)^[5] 검출 기법을 적용한 방법을 제안하고자 한다. 이 방식은 수신 전력이나 수신 전력을 특정한 값과 비교하지 않기 때문에 기존의 방식보다 일반적인 방식이라고 할 수 있다.

II. 제안하는 스펙트럼 센싱 방식

본 논문에서는 관측창 내에 레이더 펄스 한 개 혹은 그 일부가 포함되었다고 가정한다. 관측창 내에 레이더 펄스가 존재하는 경우와 그렇지 않은 경우를 각각 가설 H_1 와 H_0 이라고 할 때, 가설 H_0 인 경우에 이차 사용자(secondary user)가 시간 n 에서 수신하는 레이다 신호 $r(n)$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

* 본 연구는 2017년도 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 : (ORCID:0000-0001-7022-8914)Pukyong National University Department of Electronic Engineering, chlim@pknu.ac.kr, 중신회원

논문번호 : 201808-256-A-LU, Received August 22, 2018; Revised September 27, 2018; Accepted October 22, 2018

$$r(n) = w(n) \quad n = 1, \dots, N \quad (1)$$

위 식에서 $w(n)$ 는 분산이 σ^2 인 AWGN 샘플을 의미하고, N 은 관측창의 길이를 나타낸다. 한편, 가설 H_1 이 유효한 경우에는 $r(n)$ 을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r(n) = \begin{cases} A_0 + w(n) & n = 1, \dots, n_0 \\ A_1 + w(n) & n = n_0 + 1, \dots, n_1 \\ A_0 + w(n) & n = n_1 + 1, \dots, N \end{cases} \quad (2)$$

위 식에서 A_0, A_1, n_0, n_1 은 알려져 있지 않은 상수로서 A_0, A_1 는 펄스 레이더 신호가 가질 수 있는 두 가지 값을 나타내며, n_0, n_1 은 각각 펄스 레이더 신호값이 A_0 와 A_1 를 유지하는 구간의 종료 시점을 의미한다. 이와 같은 신호 모델링은 펄스 압축을 고려하지 않는다면 적절한 모델링이다.

만약 n_0, n_1 이 알려져 있다면 식(1)과 식(2)로 표현된 가설 검정 문제에 대한 GLRT 기반 검정 통계량 (test statistic)인 $L(r(1), r(2), \dots, r(N)|n_0, n_1)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L(r(1), r(2), \dots, r(N)|n_0, n_1) = \frac{N(r(1), r(2), \dots, r(N)|n_0, n_1, H_1)}{D(r(1), r(2), \dots, r(N)|n_0, n_1, H_0)} \quad (3)$$

위 식에서 $N(r(1), r(2), \dots, r(N)|n_0, n_1, H_1)$ 는 가설 H_1 에 대한 $\{r(1), r(2), \dots, r(N)\}$ 의 확률 밀도 함수를 가리키며 수학적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & N(r(1), r(2), \dots, r(N)|n_0, n_1, H_1) \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}_1^2}} \right)^N \prod_{n=1}^{n_0} \exp\left(-\frac{|r(n) - \hat{A}_0|^2}{2\hat{\sigma}_1^2} \right) \\ & \times \prod_{n=n_0+1}^{n_1} \exp\left(-\frac{|r(n) - \hat{A}_1|^2}{2\hat{\sigma}_1^2} \right) \\ & \times \prod_{n=n_1+1}^N \exp\left(-\frac{|r(n) - \hat{A}_0|^2}{2\hat{\sigma}_1^2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

이때 $\hat{A}_0, \hat{A}_1, \hat{\sigma}_1^2$ 는 각각 A_0, A_1, σ^2 에 대한 최대 유사도 추정값(maximum likelihood estimate)이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{A}_1 = \frac{1}{n_1 - n_0} \sum_{n=n_0+1}^{n_1} r(n) \quad (5)$$

$$\hat{A}_0 = \frac{1}{n_0 + N - n_1} \left\{ \sum_{n=1}^{n_0} r(n) + \sum_{n=n_1+1}^N r(n) \right\} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_1^2 &= \frac{1}{N} \left\{ \sum_{n=1}^{n_0} |r(n) - \hat{A}_0|^2 + \sum_{n=n_0+1}^{n_1} |r(n) - \hat{A}_1|^2 \right. \\ & \left. + \sum_{n=n_1+1}^N |r(n) - \hat{A}_0|^2 \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

마찬가지로 식 (3)의 분모 $D(r(1), r(2), \dots, r(N)|n_0, n_1, H_0)$ 는 가설 H_0 하에서 $\{r(1), r(2), \dots, r(N)\}$ 의 확률 밀도 함수를 가리키며 다음과 같이 수학적으로 나타낼 수 있다.

$$D(r(1), r(2), \dots, r(N)|n_0, n_1) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}_0^2}} \right)^N \prod_{n=1}^N \exp\left(-\frac{|r(n)|^2}{2\hat{\sigma}_0^2} \right) \quad (8)$$

이때 $\hat{\sigma}_0^2$ 는 가설 H_0 에서 σ^2 에 대한 최대 유사도 추정값이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |r(n)|^2 \quad (9)$$

식 (5), (6), (7)을 식(4)에 대입하고, 식 (9)를 식 (8)에 대입한 결과를 식 (3)을 적용하면 다음의 결과를 얻을 수 있다.

$$L(r(1), r(2), \dots, r(N)|n_0, n_1) = \left(\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\hat{\sigma}_1^2} \right)^{N/2} \quad (10)$$

지금까지는 n_0, n_1 이 알려져 있다는 전제 아래에서 GLRT 기반 검출 방식을 유도하였다. 최종적으로 이런 전제를 제거한다면 GLRT 기반 검출 방식에서 사용하는 검정 통계량 L 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L(r(1), r(2), \dots, r(N)) = \max_{n_0, n_1} \left(\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\hat{\sigma}_1^2} \right)^{N/2} \quad (11)$$

III. 성능 평가 결과

성능 평가를 위해 사용하는 레이더 신호는 펄스 폭은 1 μ s, 레이더 펄스 반복 주기는 10 μ s로 설정하고 샘플링 속도는 10 MHz로 하였다. 그리고 송신 레이더 신호는 10 Hz의 도플러 주파수 영향을 받는 레일리 페이딩 채널을 거쳐 수신되는 것으로 가정하였다. 또한 관측창의 길이 N 은 관측창에 한 개의 레이더 펄스를 포함시키기 위해 91로 설정하였다.

그림 1은 에너지 검파 방식과 GLRT 기반 방식에 대하여 잡음 전력 불확실성에 따른 오경보 확률의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 GLRT 기반 방식은 잡음 전력 불확실성 정도에 관계없이 일정한 오경보 확률을 유지함을 알 수 있다. 이는 GLRT

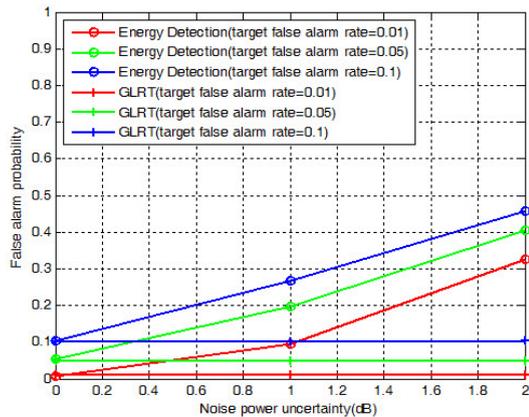


그림 1. 잡음 전력 불확실성 대비 오경보 확률
Fig. 1. False alarm probability versus noise power uncertainty

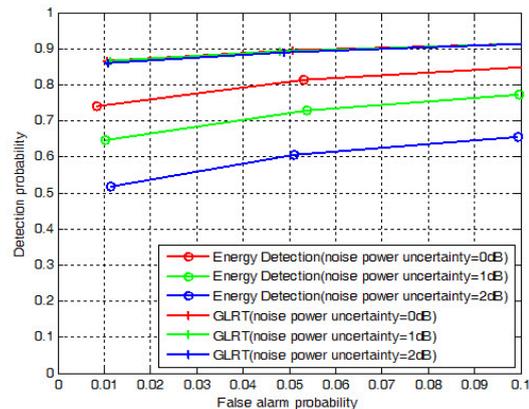


그림 2. SNR=0 dB일 때 오경보 확률 대비 검파 확률
Fig. 2. Detection probability versus false alarm probability for SNR=-10dB

기반 방식은 잡음 전력을 알고 있다는 전제에 기초하고 있지 않기 때문이다.

그림 2는 SNR=0 dB일 때 오경보 확률과 검파 확률의 관계를 두 가지 방식에 대하여 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 GLRT 기반 방식은 잡음 전력 불확실성에 관계없이 일정한 검파 성능을 갖지만 에너지 검파 방식은 그렇지 못하다는 것을 알 수 있다. 이런 결과는 GLRT 기반 방식이 잡음 전력을 모른다는 전제에 토대하고 있고, 수신 전력 수준이 아니라 수신 신호의 변화를 근거로 레이더 신호 존재 여부를 판단하기 때문이다.

IV. 결론

본 논문에서는 관측창 내에 레이더 신호를 DC 변화 형태로 모델링하고, 이를 근거로 GLRT 기반 레이더 신호 검출 방식을 제안하였다. 그리고 실험을 통해 단순히 관측창 내의 에너지를 기반으로 판단하는 방식보다 잡음 전력 불확실성에 강인하다는 사실을 확인하였다.

References

- [1] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio: making software radios more personal," in *IEEE Pers. Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [2] 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.
- [3] F. Paisana, N. Marchettis, and L. A. DaSilva, "Radar, TV, and cellular bands: Which spectrum access techniques for which bands?," *IEEE Commun. Survey & Tuts.*, vol. 16, no. 3, pp. 1193-1219, 2014.
- [4] M. Wen and L. Hanwen, "Radar detection for 802.11a systems in 5 GHz," *Int. Conf. Wireless Commun., Netw. and Mob. Comput.*, pp. 512-514, 2005.
- [5] S. M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing*, vol. II: Detection Theory, Prentice Hall, 1998.