

# 협력 인지통신 네트워크에서 비균등 양자화 기반의 에너지 검파 성능

서 동 호\*, 남 해 운°

## Performance of Energy Detection Based on Non-Uniform Quantization in Cooperative Cognitive Networks

Dongho Seo\*, Haewoon Nam°

### 요 약

일반적으로 에너지 검파를 기반으로 한 스펙트럼 감지 방식은 에너지 검파 값의 양자화 과정을 통해 나온 에너지 값을 융합센터에게 리포팅하며, 양자화 레벨의 수와 레벨간의 간격에 따라서 융합센터의 성능에 영향을 끼치게 된다. 본 논문에서는 인지 무선 협력 스펙트럼 시스템에서 2차 사용자의 에너지 검파 값에 대하여 양자화 구간 범위 및 센싱 샘플 수의 변화에 따른 성능을 분석하였다.

**Key Words** : cognitive radio, cooperative spectrum sensing, energy detection, quantization

### ABSTRACT

This paper investigates the performance of an energy detection method with non-uniform quantization and varying number of sensing samples performed by secondary users in cooperative spectrum sensing. Generally, in cognitive radio systems, a secondary user reports the energy value obtained by a spectrum sensing method based on energy detection through a quantization process to the fusion center. In order to minimize performance loss due to the quantization errors, it is important to

understand the impact of the number of quantization levels and the quantization intervals on the performance of the overall system.

### I. 서 론

최근 주파수 자원을 보다 효율적으로 사용하기 위해 인지무선통신(cognitive radio) 기술이 다양한 무선 통신 네트워크에 적용될 수 있도록 많은 연구가 진행되고 있다. 인지무선 기술은 특정 주파수에 대한 사용 우선권을 가지고 있는 우선사용자(primary user, PU)의 주파수 사용 유무를 감지하여 PU가 해당 주파수를 사용하고 있지 않을 경우 2차 사용자(secondary user, SU)가 PU에게 간섭을 주지 않고 해당 주파수를 사용함으로써 주파수 자원 효율성을 향상시킬 수 있다. 인지무선 기술에서 PU의 주파수 사용 유무를 판단하기 위해 정합 필터, 특징 추출 그리고 에너지 검파와 같은 방식을 사용하며, 특히 에너지 검파 방식은 PU의 신호 정보 및 파일럿 신호와 같은 사전 정보를 필요로 하지 않기 때문에 구현 복잡도가 낮아 이를 이용한 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>. 하지만 PU가 주파수를 사용하더라도 무선채널의 특징으로 인해 실제 SU가 탐지할 수 있는 신호의 세기가 미약할 수 있기 때문에 올바른 데이터를 얻지 못할 수 있다. 더욱이 이는 전체 시스템의 성능을 떨어뜨릴 수 있으며 또한 PU에게 직접적인 간섭을 끼치게 되는 문제를 야기한다. 이를 위해 단일 SU가 아닌 여러 명의 SU가 PU의 주파수를 동시에 감지하는 협력 스펙트럼 감지(cooperative spectrum sensing) 방식을 이용할 경우 SU의 존재 여부를 보다 정확하게 판단 할 수 있고 이는 FC의 결정 오류를 줄임으로써 PU에게 주는 간섭을 크게 줄이며 동시에 전체 시스템의 처리량 및 자원의 효율을 증대시킬 수 있다. 일반적으로 FC는 네트워크 내의 모든 SU로부터 리포팅 받기 때문에 SU가 증가할수록 FC가 받는 데이터의 양도 증가하기 때문에 결정오류는 줄어들게 되지만 동시에 소모되는 시간 및 주파수 사용이 증가하여 이는 자원의 효율성을 떨어뜨리는 문제를 야기한다<sup>[2]</sup>. 본 논문의 2장에서는 에너지 검파 방식을 이용한 FC의 수신 신호와 에너지 시스템 모델을 제시하며, 3장에서는 제안하는 비균등 양자화 방식을 소개하고 4장에서는 제안한 방식의 양자화 변수

\* 이 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소의 재원에 의해 설립된 신호정보 특화연구센터 사업의 지원을 받아 수행되었음

• First Author : Department of Electronic and Communication Engineering, Hanyang University, johnseo@hanyang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Department of Electrical Engineering, Hanyang University, hnam@hanyang.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2017-06-179, Received June 21, 2017; Revised July 23, 2017; Accepted July 25, 2017

설정에 따른 시스템 성능에 대한 모의실험 및 결과와 분석을 제시한다.

### II. 시스템 모델

$k$ 번째 SU ( $k=1,2,\dots,K$ )가 수신하는  $m$ 번째 샘플을  $r_k(m)$  ( $m=1,2,\dots,M$ ) 이라 한다.  $n_k(m)$ 은  $k$ 번째 SU가 수신하는  $m$ 번째 잡음이며 분산이  $\sigma_n^2$ 인 AWGN이라 가정한다. PU 신호  $s_k(m)$ 은 평균 0, 분산  $\sigma_s^2 = E[h_k s_k(m)]^2$  이며, 이때 채널 이득( $h_k$ )는 한 프레임 안에서 변하지 않는다고 가정한다.  $H_0$ 과  $H_1$ 가설은 각각 PU가 주파수를 사용하지 않을 때와 사용할 때를 의미한다.  $k$ 번째 SU가 검파한  $M$ 개의 에너지 샘플을 통해 얻은 프레임의 에너지 값( $E_k$ )는 다음과 같이 정의할 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$E_k = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |r_k(m)|^2 \quad \dots H_0 \quad (1)$$

$$= \begin{cases} N(\sigma_n^2, 2\sigma_n^4/M) & \dots H_0 \\ N(\sigma_n^2 + \sigma_s^2, 2(\sigma_n^2 + \sigma_s^2)^2/M) & \dots H_1 \end{cases}$$

### III. 비균등 양자화 기법

본 장에서는 오류확률(error probability,  $P_e$ )를 최소화시키고 동시에 검출확률(detection probability,  $P_d$ )를 증가시키기 위한 양자화 구간 설정에 대한 두 가지 기법을 제시하며 각 기법의 성능을 비교 분석한다.  $F(E_k) = 0.5$ 를 만족하는  $E_k$ 를  $\alpha$ 로 설정하며 이때  $F(\cdot)$ 는 CDF를 의미한다. 각 기법은  $\alpha$ 를 기준으로 아래의 설명과 같이 구간을 설정한다. 첫 번째 기법은 그림 1과 같이 양자화 레벨 수가  $D$ 일 때  $A$ 구간을  $D-2$ 개의 양자화구간으로 나누며  $B_1$ 과  $B_2$ 는 각각 하나씩의 구간으로 설정한다. 그림 2와 같이 두 번째 기법은  $B_1$ 과  $B_2$  구간은 각각  $\frac{D}{2}$ 개의 양자화 구간으로 나뉘며  $A$ 구간에 대한 데이터는 무시하며 오직  $B_1$ 과  $B_2$  구간의 데이터에 대해서만 양자화를 진행하여 FC에 리포팅 한다. 식 (2)와 (3)의  $t_{p,i}$ 와 식 (5)와 (6)의  $l_{p,i}$ 은 각각  $p$ 번째 기법을 적용한  $i$ 번째 양자화 레벨의 문턱 값과 양자화 구간의 대푯값을 의미한다.

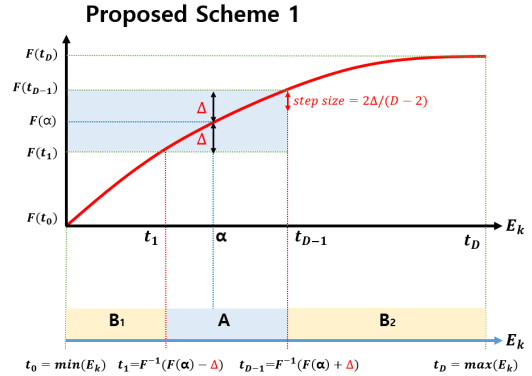


그림 1. 비균등 양자화 기법: 첫 번째 제안기법  
Fig. 1. Non-uniform quantization algorithm: The first proposed scheme

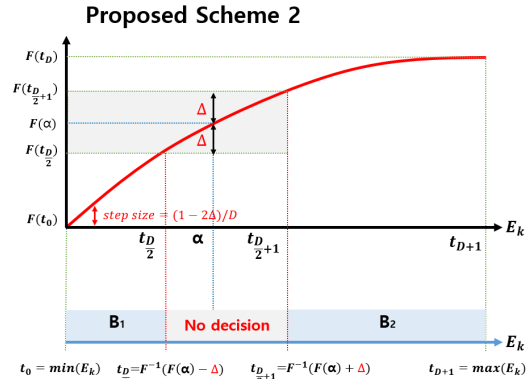


그림 2. 비균등 양자화 기법: 두 번째 제안기법  
Fig. 2. Non-uniform quantization algorithm: The second proposed scheme

$$t_{1,i} = \begin{cases} \min(E_k) & \dots i = 0 \\ F^{-1}[F(\alpha) + A(i-4)] & \dots 0 < i < D \\ \max(E_k) & \dots i = D \end{cases} \quad (2)$$

$$t_{2,i} = \begin{cases} \min(E_k) & \dots i = 0 \\ F^{-1}\{F(t_0) + Ai\} & \dots 0 < i \leq \frac{D}{2} \\ F^{-1}\{F(\alpha) + \Delta + A(i-5)\} & \dots \frac{D}{2} < i \leq D \\ \max(E_k) & \dots i = D+1 \end{cases} \quad (3)$$

$$A = \begin{cases} \frac{2\Delta}{D-2} & \dots t_{1,i} \\ \frac{1-2\Delta}{D} & \dots t_{2,i} \end{cases} \quad (4)$$

$$l_{1,i} = \frac{t_{1,i-1} + t_{1,i}}{2} \quad \dots 1 \leq i \leq D \quad (5)$$

$$t_{2,i} = \frac{t_{2,i-1} + t_{2,i}}{2} \dots \begin{cases} 1 \leq i \leq \frac{D}{2} \\ \frac{D}{2} + 1 \leq i \leq D+1 \end{cases} \quad (6)$$

#### IV. 모의실험 및 결과

3장에서 제안한 양자화 기법의 성능 평가를 위한 모의실험 환경은 SU와 FC 사이의 리포팅 채널은 오류가 발생하지 않는 완벽한 채널이라고 가정하였으며 FC는  $E_k$ 의 원시 에너지 값의 CDF를 알고 있으며, 양자화 레벨 수( $D$ )는 8로 고정하였다. 모의실험은 제안하는 방식에 각각 동일하게 범위 값( $\Delta$ )을 변화시키며 시스템의 성능( $P_e$  및  $P_d$ )를 측정하였다. 그림 3과 4는 SNR이 3dB일 때 오경보확률 대비 검출확률 및 오류확률간의 관계를 SU의 샘플 수( $M \in \{4, 5\}$ )에 따른 성능을 나타낸 그래프이다. 그림 3을 통하여 첫 번째 기법의 검출확률 성능이 두 번째 기법에 비해 뛰어나며 기존의 기법(균등 양자화)에 대하여도 오경보확률이 낮을 때 성능이 보다 뛰어난 것을 알 수 있다. 이는  $H_0$ 와  $H_1$  사이의  $A$ 구간에 속하는 값들이 갖고 있는 정보량이  $B_1$ ,  $B_2$  구간의 값들보다 상대적으로 시스템 성능에 미치는 영향이 크다는 것을 의미하며, 따라서 이 구간에 대한 양자화 레벨 수를 늘려 양자화 오류를 최소화 시키는 것이 시스템의 검출확률을 보다 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 SU의 센싱 샘플 수가 증가할수록 프레임의 대표 에너지 값의 정확도가 올라가기 때문에 이를 통해 시스템의 성능

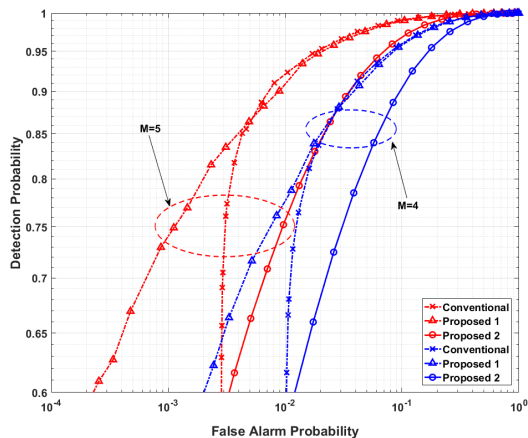


그림 3. SNR=3dB 일 때 샘플 수에 따른 오경보확률과 검출확률  
Fig. 3.  $P_f$  and  $P_d$  according to the number of samples at SNR=3dB

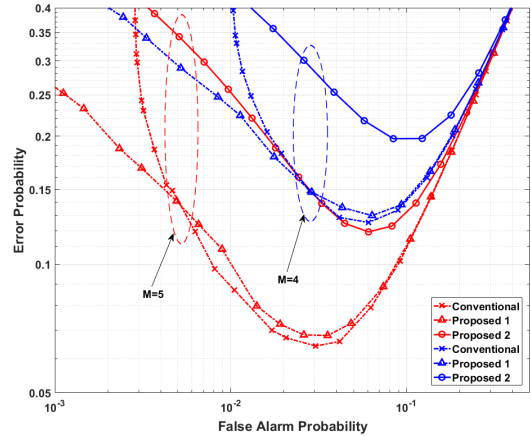


그림 4. SNR=3dB 일 때 샘플 수에 따른 오경보확률과 오류확률  
Fig. 4.  $P_f$  and  $P_e$  according to the number of samples at SNR=3dB

또한 향상 된다는 점을 확인 할 수 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 첫 번째 방식이 검출확률 성능뿐만 아니라 오류확률 성능에도 더 뛰어난 것을 확인 할 수 있다. 앞으로는 SU가 서로 다른 채널환경을 겪고 있는 이기종 네트워크 시스템에서 자신의 채널에 따른 서로 다른 양자화 레벨 및 양자화 구간 변화를 적용한 시스템 설계 및 성능 분석에 관한 연구가 필요하다.

#### References

- [1] C. H. Lim, "Energy detection based spectrum sensing for radar signals in the presence of noise power uncertainty," *J. KICS*, vol. 42, no. 5, pp. 982-984, May. 2017.
- [2] I. T. Shin, W. J. Lee, J. K. Kang, and S. Al-Araji, "Quantization bit allocation for reporting-throughput tradeoff in cooperative cognitive radio networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Mil. Commun. 2015(IEEE MILCOM 2015)*, pp. 233-237, Tampa, USA, Oct. 2015.
- [3] Y. Yan, A. Li, and H. Kayama, "Study on soft decision based cooperative sensing in cognitive radio network," *IEEE VTC*, pp. 1-5, AK, USA, Sept. 2009.