

# 통화량이 많은 상황에서의 알맞은 센싱 구간 분할 기반 스펙트럼 센싱 기법

채근홍\*, 윤석호<sup>o</sup>

## A Spectrum Sensing Scheme Based on Sensing Time Partitioning for High Traffic Environments

Keunhong Chae\*, Seokho Yoon<sup>o</sup>

### 요약

본 논문에서는 통화량이 많은 상황에서 인지 무선 시스템을 위한 센싱 구간 분할 기반 스펙트럼 센싱 기법을 제안한다. 구체적으로는 센싱 구간을  $K$ 개의 구간으로 분할하고, 각 분할된 구간에 스펙트럼 센싱을 수행한 결과들로부터 최종적으로 일차 사용자 신호의 유무를 판단하는 스펙트럼 센싱 기법을 제안한다. 모의실험을 통해 제안한 기법이 통화량이 많은 상황에서 기존 기법들에 비해 더욱 우수한 스펙트럼 센싱 성능을 가짐을 확인한다.

**Key Words** : Spectrum sensing, cognitive radio, high traffic environments, sensing time partitioning, detection probability

### ABSTRACT

In this paper, we propose a novel spectrum sensing scheme based on sensing time partitioning for cognitive radio systems in high traffic environments. Specifically, we partition a sensing time into  $K$  sub-sections, and then, propose a spectrum sensing scheme that determines if a primary user signal is present based on the sensing results on the partitioned sub-sections. From numerical results, it is confirmed that the proposed scheme outperforms the conventional schemes in high traffic environments.

### I. 서론

무선통신 기술의 발전에 따라 점차 주파수 자원이 중요한 자원으로 인식되고 있으며, 이를 효율적으로 사용하기 위한 방안으로 1차 사용자의 (primary user: PU) 통신 환경을 인지하여 유휴 주파수 대역을 센싱하고 이를 2차 사용자가 (secondary user: SU) 사용하게 하는 인지무선 (cognitive radio: CR) 시스템이 크게 주목받고 있다<sup>[1]</sup>. CR 시스템은 SU가 PU에게 간섭을 주지 않는 범위에서 비어있는 주파수 대역을 사용하며<sup>[2]</sup>, 이

를 위해서는 SU가 PU의 주파수 대역 사용여부를 판단하는 스펙트럼 센싱 (spectrum sensing) 기술의 신뢰성이 높아야 한다.

스펙트럼 센싱을 위한 검파 기술들은 동기 (coherent), 비동기 (non-coherent), 특징 (feature) 방식으로 분류된다<sup>[3,4]</sup>. 대부분의 경우 CR은 PU 신호에 대한 정보를 충분히 가지고 있지 못하므로, PU 신호에 대한 정보가 필요하지 않은 비동기 검파 방식 중에서 낮은 복잡도로 구현이 가능한 에너지 검파 (energy detection) 스펙트럼 센싱 기술로 널리 이용되고 있다

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-(H0301-13-1005))

• First Author : 성균관대학교 정보통신대학, chae0820@skku.edu, 학생회원

◦ Corresponding Author : 성균관대학교 정보통신대학, syoon@skku.edu, 종신회원

논문번호 : KICS2013-08-341, 접수일자 : 2013년 8월 19일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 4일

<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 에너지 검파 방식에 초점을 맞추어 기술하며, 제안한 기술은 에너지 검파 뿐 아닌 다양한 검파 방식을 적용할 수 있다.

현재까지 제안된 대부분의 스펙트럼 센싱 기법들은 통화량이 적은 상황을 가정하여 연구가 진행되었으나<sup>[6,7]</sup>, 이러한 가정은 센싱 구간 동안 PU 신호가 존재하거나 존재하지 않는 경우만 고려하며, 센싱 구간 중 PU 신호의 출입이 없다고 가정한다<sup>[8]</sup>. 하지만, 실제 통신 환경에서는 센싱 구간 중 PU 신호의 출입이 있는 통화량이 많은 상황이 발생할 수 있다. 보기를 들어, PU 신호가 주파수 대역을 짧은 시간 동안 여러 차례 점유하는 트래픽이 많은 상황 및 센싱 성능을 높이기 위해 시간적으로 긴 센싱 구간을 이용하는 상황에는 센싱 구간 중에 PU 신호의 출입이 발생할 가능성이 높아진다<sup>[7]</sup>. 이러한 통화량이 많은 상황에서는 기존의 통화량이 적은 상황을 가정하여 개발된 기법들의 성능이 크게 저하된다<sup>[7]</sup>. 이에 따라 최근 통화량이 많은 상황을 고려하여 Cyclostationary 기반 스펙트럼 센싱 기법<sup>[9]</sup>, 에너지 검파 기법<sup>[10]</sup> 등이 개발되어 왔다. 특히 에너지 검파에 기반한 [10]의 기법은 전통적인 에너지 검파<sup>[5]</sup> 기법에 비해 향상된 스펙트럼 센싱 성능을 보였다. 그러나 [10]의 기법은 PU 신호가 관심 대역에 나타나는 도착률 (arrival rate), PU 신호가 관심 대역을 떠나는 이탈률에 (departure rate) 대한 정보가 필요한 문제가 있다. 본 논문에서는 PU 신호에 대한 추가적인 정보를 필요로 하지 않으면서 기존의 기법들에 비해 센싱 성능이 우수한 새로운 스펙트럼 센싱 기법을 제안한다. 구체적으로는 스펙트럼 센싱은 센싱 구간 직후에 PU 신호가 존재하는지 여부를 판정해야 한다는 것에 초점을 맞추어 센싱 구간을 두 개 이상의 구간으로 분할하고, 각 분할된 구간들에 개별적으로 에너지 검파를 수행하여 PU 신호의 유무를 판정한 후, 분할된 구간들 중 가장 마지막 구간에 대한 검파 결과를 중심으로 최종 판정을 내린다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 통화량이 많은 상황에서 CR 시스템의 수신 신호 모형을 소개하고, III장에서는 제안한 스펙트럼 센싱 기법을 설명한다. IV장에서는 다양한 환경에서의 모의실험 결과를 보이며, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 내린다.

## II. 신호 모형

통화량이 많은 상황에서는 센싱 구간 동안 임의로 PU 신호의 주파수 대역 사용 여부가 변하기 때문에 수신 신

호의 모형은 다음의 귀무가설  $H_0$ 와 대립가설  $H_1$ 와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_0: y[n] = \begin{cases} x[n] + w[n] & \text{for } n = 1, 2, \dots, J_0, \\ w[n] & \text{for } n = J_0 + 1, J_0 + 2, \dots, N, \end{cases} \quad (1)$$

$$H_1: y[n] = \begin{cases} w[n] & \text{for } n = 1, 2, \dots, J_1, \\ x[n] + w[n] & \text{for } n = J_1 + 1, J_1 + 2, \dots, N, \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $N$ 은 관측 샘플 개수이며,  $x[n]$ 은 송신된 PU 신호의  $n$ 번째 샘플이고,  $y[n]$ 은 수신 신호의  $n$ 번째 샘플,  $w[n]$ 는 평균이 0이고, 분산이  $\sigma^2$ 인 덧샘플 백색 가우시안 잡음 샘플이다 (additive white Gaussian noise: AWGN).  $H_0$ 는 PU 신호가 존재하다가 샘플  $n = J_0$ 와 샘플  $n = J_0 + 1$  사이에서 임의로 사라지는 상황을,  $H_1$ 은 PU 신호가 존재하지 않다가 샘플  $n = J_1$ 와 샘플  $n = J_1 + 1$  사이에서 임의로 나타나는 상황을 각각 나타내며, 가설 검정 결과, 가설  $H_0$ 로 판단될 경우, 센싱 이후에는 PU 신호가 대역을 점유하고 있지 않다고 판단하고,  $H_1$ 로 판단되면 센싱 이후에는 PU 신호가 대역을 점유하고 있다고 판단한다. 또한, 본 논문에서는 [10]에서와 같이 센싱 주기 동안 PU 신호의 주파수 대역 사용 여부 변화는 한 번만 발생함을 가정하며, PU 신호가 주파수 대역에 들어오거나 주파수 대역에서 사라지는 과정이 푸이송 과정을 따른다고 가정한다. 여기서 PU의 도착률과 출발률을 각각  $\lambda_a, \lambda_d$ 로 나타내면, 샘플 간격  $T$  사이에 신호가 도착할 확률과 출발할 확률은 각각  $(1 - e^{-\lambda_a T})$ 와  $(1 - e^{-\lambda_d T})$ 로 나타낼 수 있다. 즉,  $\lambda_a T$ 와  $\lambda_d T$ 의 값이 증가함에 따라 샘플 간격  $T$  사이에 신호가 각각 도착 및 출발할 확률이 증가하고,  $\lambda_a T$ 와  $\lambda_d T$ 의 값이 감소함에 따라 샘플 간격  $T$  사이에 신호가 각각 도착과 출발할 확률이 감소한다.

## III. 통화량이 많은 상황에 알맞은 스펙트럼 센싱 기법

통화량이 많은 상황에서 PU 신호의 존재 유무를 판정하기 위하여 먼저  $N$ 개의 샘플들로 이루어져 있는 하나의 센싱 구간을  $K$ 개의 샘플 개수를 가지는 서브 구간들로 분할한다 (각 분할된 구간은  $N/K$ 개의 샘플을 가지며,  $N$ 은  $K$ 의 정수배여야 한다). 이 때,  $G_k$ 를

아래와 같이  $k$ 번째 ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) 서브 구간의 수신 샘플들의 집합으로 정의한다.

$$G_k = \{y[n]\}_{n=1+(k-1)N/K}^{kN/K} \quad (3)$$

다음으로는 분할된 구간들에 대해 개별적으로 에너지 검파를 수행하며, 각 분할된 구간의 센싱 시간이 기존의 센싱 시간에 비해  $(1/K)$ 배가 되었으므로, 기존의 센싱 시간에 대한 에너지 검파 문턱값  $\lambda$ 에  $(1/K)$ 배를 취한  $\lambda_G$ 를 각각의 분할된 구간의 에너지 검파 문턱값으로 사용한다. 서브 구간 샘플  $G_k$ 에 에너지 검파 기법을 적용하여 구한 분할된  $k$ 번째 구간의 검정통계량  $T_{G_k}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{G_k} = \sum_{n=1+(k-1)N/K}^{kN/K} |y[n]|^2, \quad k = (1, 2, 3, \dots, K) \quad (4)$$

다음으로,  $T_{G_k}$ 를  $\lambda_G$ 와 비교하여 각 분할된 센싱 구간에 대해 PU 신호의 존재 여부를 판정한다. 분할된  $k$ 번째 구간에 PU 신호가 있다고 판정한 결과를  $D_{1, G_k}$ , PU 신호가 없다고 판정한 결과를  $D_{0, G_k}$ 라 하면 각 분할된 구간들에 에너지 검파 기법을 적용하는 과정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{matrix} D_{1, G_k} \\ > \\ T_{G_k} < \lambda_G, \text{ for } k = 1, 2, \dots, K. \\ < \\ D_{0, G_k} \end{matrix} \quad (5)$$

통화량이 많은 상황에서는 하나의 센싱 구간 안에서 신호가 랜덤하게 들어오거나 나갈 수 있으며, 분할된 센싱 구간들 중 마지막 구간에 PU 신호가 들어오는 경우에는, 일반적인 에너지 검파를 이용하면 전체 센싱 구간의 신호 에너지가 문턱값  $\lambda$ 를 넘지 못할 수 있지만, 실제로 이는  $H_1$ 으로 판정되어야 한다. 또한, 여러 분할된 센싱 구간 동안 PU 신호가 존재하다가 PU 신호가 사라지는 경우에는, 전체 센싱 구간의 신호 에너지가 문턱값  $\lambda$ 를 넘을 수 있으나, 이는  $H_0$ 로 판정되어야 한다. 이로부터 분할된 센싱 구간들 중 마지막 구간에 PU 신호가 존재하는지 여부를 판정한 결과가 올바른 센싱 결과를 위해 중요한 요소이다. 이를 위해  $k = 1$  부터  $k = K-1$ 까지의 분할된 센싱 구간들에 대한 PU 신호 존재 여부 판정 결과들을 하나의 중간

판정 결과로 통합하고, 통합된 중간 판정과 분할된  $K$ 번째 구간에 대한 PU 신호 유무 판정 결과와 함께 고려하여 PU 신호의 존재 여부를 최종 판정한다. 이를 위해 우선  $k = 1$  부터  $k = K-1$ 까지의 개별 판정 결과들을 아래와 같이 이진 정보로 나타낸다.

$$x_{G_k} = \begin{cases} 1 & \text{when } T_{G_k} > \lambda_G \\ 0 & \text{when } T_{G_k} \leq \lambda_G. \end{cases} \quad (6)$$

이후  $k = 1$ 부터  $k = K-1$ 까지의 분할된 구간들에 대하여 PU 신호가 존재한다고 판정된 구간들의 개수  $x = \sum_{k=1}^{K-1} x_{G_k}$ 를 구한다. 다음으로, 구한  $x$ 에 대해 아래와 같은 결정 법칙을 적용하여  $k = 1$ 부터  $k = K-1$ 번째 분할된 구간에 대한 중간 판정을 내린다.

$$\begin{matrix} D_{1, M} \\ \geq \\ x < \frac{K-1}{2} \\ < \\ D_{0, M} \end{matrix} \quad (7)$$

이 때  $D_{1, M}$ 는 분할된 첫 번째 구간부터  $K-1$ 번째 구간까지 PU 신호가 존재한다고 중간 판정한 결과이고,  $D_{0, M}$ 는 PU 신호가 존재하지 않는다는 중간 판정 결과이다.

이러한 중간 판정 결과들  $K$ 번째 구간에 대한 판정 결과와 함께 고려하여 최종 판정을 내리며, 중간 판정

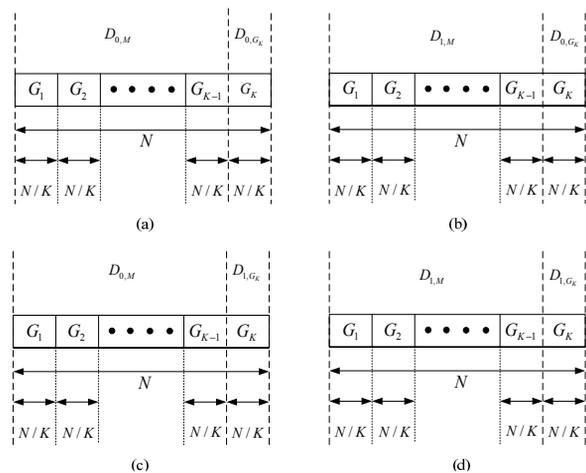


그림 1. 센싱 과정에서 중간 판정 및 분할된  $K$ 번째 구간의 판정 결과 유형.  
 Fig. 1. Types of medium judgement and judgement result of  $K$ th partitioned sensing time in spectrum sensing process.

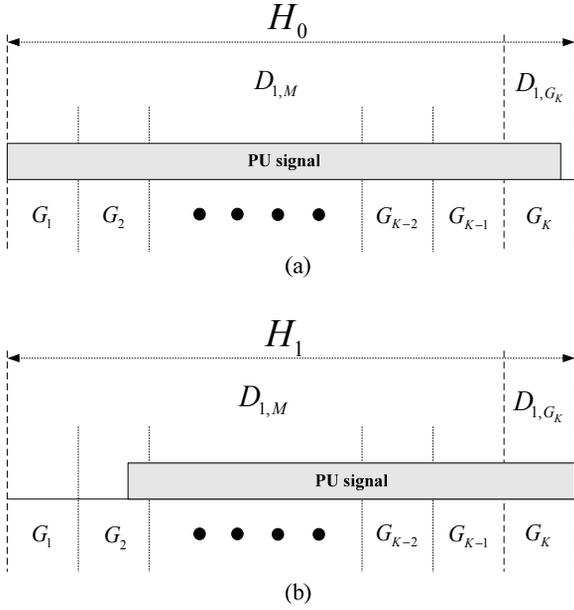


그림 2.  $(D_{1,M}, D_{1,G_K})$ 일 때 발생할 수 있는 상황.  
 Fig. 2. Transpirable situations in  $(D_{1,M}, D_{1,G_K})$  situation.

결과가  $D_{1,M}$ 이고, 분할된  $K$ 번째 구간의 신호 유무 판정 결과가  $D_{0,G_K}$ 일 때,  $(D_{1,M}, D_{0,G_K})$ 라 표기하도록 정의한다. 중간 판정과 분할된 마지막 ( $k = K$ ) 구간의 판정 결과에 대한 조합은  $(D_{0,M}, D_{0,G_K})$ ,  $(D_{1,M}, D_{0,G_K})$ ,  $(D_{0,M}, D_{1,G_K})$ ,  $(D_{1,M}, D_{1,G_K})$  총 4가지가 존재하며, 이를 그림 1에서 나타내었다. 제안한 기법은 각각의 경우에 대해 최종 판정을 다르게 내린다. 우선  $(D_{0,M}, D_{0,G_K})$ ,  $(D_{1,M}, D_{0,G_K})$ 인 경우에는 중간 판정 결과와 상관없이 분할된 마지막 구간에 PU 신호가 존재하지 않는다고 판정된 것이므로  $H_0$ 로 최종 판정을 내린다 (그림 1의 (a), (b)). 반면,  $(D_{0,M}, D_{1,G_K})$ 의 경우에는 PU 신호가 존재하지 않다가 분할된 마지막 구간에서 신호가 들어왔다는 의미이므로  $H_1$ 으로 최종 판정을 내린다 (그림 1의 (c)). 마지막으로  $(D_{1,M}, D_{1,G_K})$ 일 때는 그림 2에서 보이는 바와 같이 총 두 가지의 경우가 존재할 수 있다. 먼저, 그림 2(a)와 같이 센싱 주기의 마지막 순간에 PU 신호가 사라지는 경우, 최종 센싱 결과를  $H_0$ 로 판정해야 하며, 그림 2(b)와 같이 분할된 첫 번째 구간부터  $K$ 번째 구간 사이에서 PU 신호가 들어오는 경우, 최종 결과를  $H_1$ 로 판정해야 한다. 즉, 최종 판정 결과는 분할된  $K$ 번째 구간에 대한 판정 결과에만 의존할 수 없으며, 분할된 첫 번째 구간부터  $K-1$ 번째 구간까지의 검정 통계량의 평균

과  $K$ 번째 구간의 검정 통계량을 비교하여 최종 판단을 내린다. 이를 종합하여 정리하면 아래와 같은 결정 법칙으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} H_0 & \text{when } (D_{0,M}, D_{0,G_K}) \text{ or } (D_{1,M}, D_{0,G_K}) \\ H_1 & \text{when } (D_{0,M}, D_{1,G_K}) \\ \frac{\sum_{k=1}^{K-1} T_{G_k} H_1}{K-1} < T_{G_K} & \text{when } (D_{1,M}, D_{1,G_K}) \\ H_0 & \end{cases} \quad (8)$$

즉, (8)과 같이  $(D_{1,M}, D_{1,G_K})$ 를 제외한 나머지 경우에는 분할된  $K$ 번째 구간의 판정 결과에 따라 최종 판정을 내리고,  $(D_{1,M}, D_{1,G_K})$ 일 때는

$\sum_{k=1}^{K-1} T_{G_k} / (K-1)$ 과  $T_{G_K}$ 의 크기를 비교하여 그 결과에 따라 최종 판정을 내린다.

[10]의 검파 기법은 센싱 구간의 뒷부분 샘플의 신호 전력에 앞부분 샘플의 신호 전력에 비해 더 큰 가중치를 부여하여 센싱 구간의 마지막에 신호가 존재할 경우, 전통적인 에너지 검파 기법에 비해 더 높은 검파 확률을 가진다. 하지만 [10]의 검파 기법에서는 센싱 구간의 앞부분 샘플들 역시 검정 통계량에 포함되기에 센싱 구간의 마지막에서 PU 신호가 떠나는 경우에는 오경보가 (false alarm) 발생할 수 있다. 제안한 기법의 결정 법칙 (8)은 [10]의 검파 기법과는 달리 마지막 서브구간의 검파 결과에 따라 신호 유무를 결정하기에 센싱 구간의 마지막에서 발생하는 신호 유무 변화를 더욱 효과적으로 관측할 수 있다.

제안한 기법에서  $K$ 가 증가하게 되면 마지막 센싱 구간의 길이가 감소하므로 해당 구간에서의 센싱 결과가 센싱 구간 직후의 PU 신호 존재 여부를 더 잘 반영한다. 그러나,  $K$ 가 증가함에 따라 마지막 센싱 구간의 샘플 개수는 감소하므로, 해당 구간에서의 센싱에 대한 신뢰도가 낮아진다. 그에 따라 검파 확률에 대해 최적의 성능을 가지는  $K$ 가 존재함을 알 수 있으며, IV장에서는 모의실험을 통해 최적의  $K$ 를 얻는 과정을 보인다.

#### IV. 모의실험 결과

본 장에서는 제안한 (Proposed) 스펙트럼 센싱 기법의 센싱 성능을 기존 (Conventional) 기법 [10]와 전통적인 (Traditional) 에너지 검파 기법의 성능과

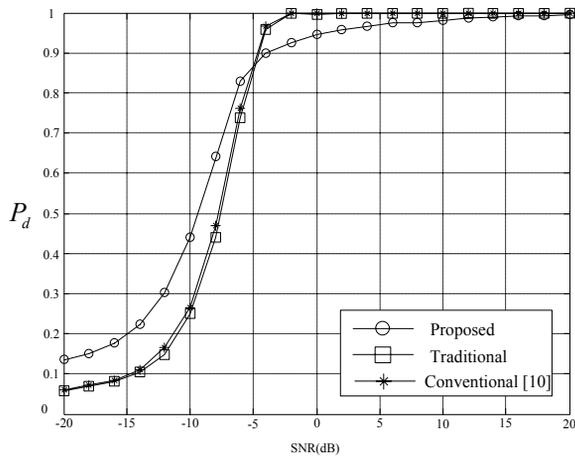


그림 3. 오경보 확률이 0.05일 때 신호 대 잡음비에 따른 검파 확률.  
Fig. 3. Detection probability as a function of signal-to-noise ratio when  $P_{fa} = 0.05$ .

비교한다. 모의실험을 위해 다음과 같이 파라미터를 설정하였다. 관측 샘플 수  $N=200$ , 분할한 구간의 개수  $K=2 \sim 13$ 를 고려한다. 모의실험에서 신호 대 잡음비는 (signal-to-noise ratio: SNR)  $\sigma_s^2/\sigma_n^2$ 로 정의되며, 여기에서  $\sigma_s^2$ 과  $\sigma_n^2$ 는 각각 PU 신호와 잡음의 분산을 나타낸다. 검파 확률은 (detection probability)  $H_1$ 일 때,  $H_1$ 로 판정할 확률 ( $\Pr(H_1|H_1)$ )로 정의된다. PU 신호가 센싱 구간 내에 임의로 도착하는 시간은  $J_1$ 로 모델링되고, PU 신호가 주파수 대역에 들어오는 과정은 푸이송 과정을 따름을 가정한다. 또한, 기존 기법의 모의실험에 있어서 도착률  $\lambda_a$ 와 샘플 간 간격  $T_s$ 가  $\lambda_a T_s = 0.1$ 의 관계를 가지고, 이탈률  $\lambda_d$ 와  $T_s$ 가  $\lambda_d T_s = 0.1$ 의 관계를 가지도록 설정하였다.

그림 3은 제안한 스펙트럼 센싱 기법, 기존 기법, 전통적인 에너지 검파 기법에 대한 SNR에 따른 검파 확률 성능을 보여 준다. 여기서 오경보 확률 (false alarm probability)  $P_{fa} = 0.05$ ,  $K=2$ 인 경우를 고려하였으며,  $P_d$ 는 검파 확률을 나타낸다. 그림 3에서 제안한 스펙트럼 센싱 기법이 낮은 SNR에서 ( $-20 \text{ dB} < \text{SNR} < -5 \text{ dB}$ ) 기존 기법 및 전통적인 에너지 검파보다 성능이 우수하며, 높은 SNR에서는 모든 기법들이 우수한 검파 확률 성능을 보임을 확인할 수 있다. 더불어, CR이 수신하는 1차 사용자 신호는 일반적으로 낮은 SNR을 가지는 경우가 많으므로<sup>[10]</sup>, 낮은 SNR에서 좋은 성능을 가진다는 것은 중요한 의미를 가진다.

그림 4는 제안한 스펙트럼 센싱 기법을 기존 기법 및

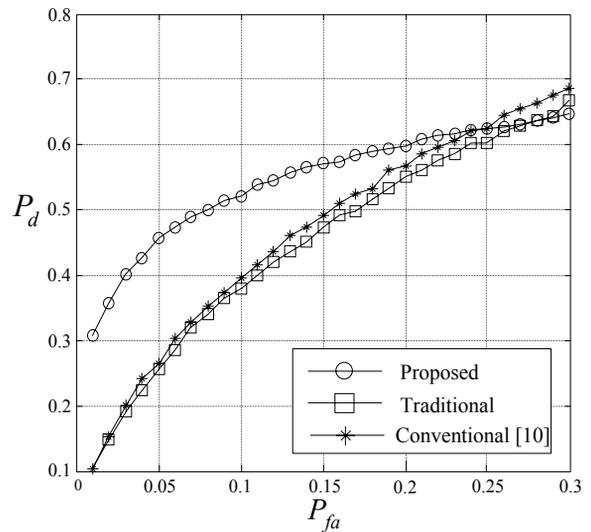


그림 4. 신호 대 잡음비가 -10 dB일 때 ROC 성능.  
Fig. 4. The ROC performances when SNR = -10dB.

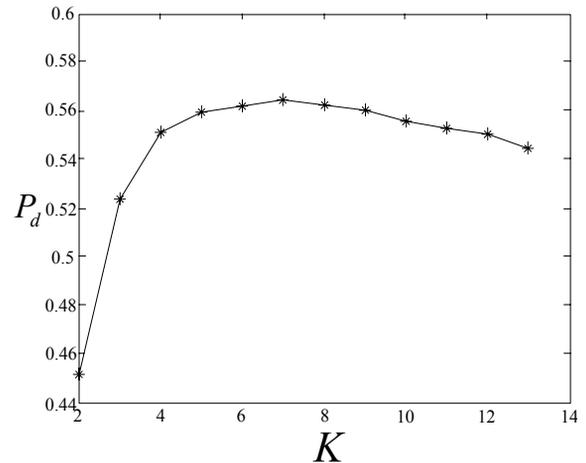


그림 5. 신호 대 잡음비가 -10 dB, 오경보 확률이 0.05일 때 K에 따른 검파 확률.  
Fig. 5. Detection probability as a function of  $K$  when signal-to-noise ratio is -10dB, and  $P_{fa} = 0.05$ .

전통적인 에너지 검파 기법과 비교한 receiver operating characteristic (ROC) 성능을 나타낸다. 여기서 SNR은  $-10 \text{ dB}$ ,  $K=2$ 인 경우를 고려한다. 그림 4에서 제안한 스펙트럼 센싱 기법이 ( $0 < P_{fa} < 0.25$ )의 오경보 확률 범위에서 기존기법 및 전통적인 에너지 검파 기법보다 우수한 ROC 성능을 가짐을 확인할 수 있다. ( $0.25 < P_{fa} < 0.3$ )의 오경보 확률에서는 기존 기법 및 전통적인 에너지 검파 기법과 비교하여 유사한 수준의 검파 확률 성능을 보인다.

그림 5는 제안한 스펙트럼 센싱 기법의  $K$ 에 따른 검파 확률을 나타낸다. 여기서 SNR은  $-10 \text{ dB}$ , 오경보 확률은 0.05를 고려하였다. 그림 5에서 제안한

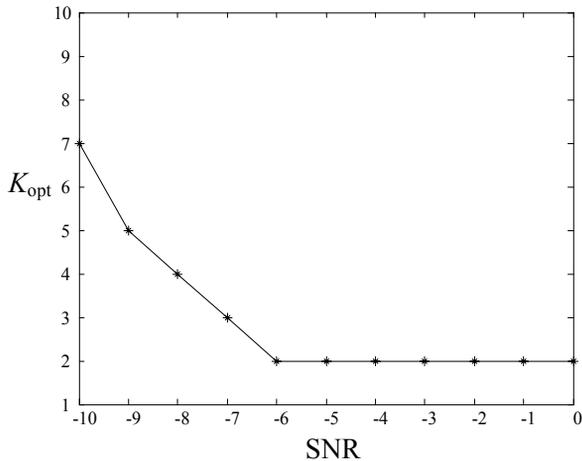


그림 6. 오경보 확률이 0.05일 때 신호 대 잡음비에 따른 최적의 서브 구간 개수.

Fig. 6. Optimum number of sub-sections as a function of signal-to-noise ratio when  $P_{fa} = 0.05$ .

스펙트럼 센싱 기법에서  $K$ 값이 증가함에 따라,  $2 < K \leq 7$ 의 범위에서는 검파 확률이 높아지고,  $7 < K < 13$ 의 범위에서는 검파 확률이 지속적으로 하락함을 볼 수 있다.  $K$ 값이 증가함에 따라 마지막 서브 구간의 길이가 작아지므로 분할된 구간 내에서의 검파 성능이 보장된다면 센싱 구간의 마지막 순간에 PU 신호의 존재 여부를 명확히 파악할 수 있다. 그러나  $K$ 값이 증가함에 따라 마지막 서브 구간 내의 샘플 개수가 적어져 검파의 신뢰도가 떨어지게 되므로 검파 확률이 낮아지게 된다. 모의실험 결과에 따르면, 주어진 검파 환경에서는  $K=7$ 일 때 최적의 성능을 가짐을 결론지을 수 있다.

그림 6은 제안한 스펙트럼 센싱 기법의 SNR에 따른 최적의 서브 구간 개수  $K_{opt}$ 를 나타낸다. 여기서 오경보 확률은 0.05를 고려하였다. 그림 6에서 SNR이 증가함에 따라  $K_{opt}$  값이 감소함을 관찰할 수 있다. 에너지 검파에서는 SNR이 클수록  $H_1$  구간과  $H_0$  구간의 검정 통계량 값의 차이가 크기 때문에 서브 구간의 개수가 적더라도 최적의 성능을 제공할 수 있다. 그러나 SNR이 작을 때는  $H_1$  구간과  $H_0$  구간의 검정통계량들 값의 차이가 작을 것이기에 센싱 구간 직후의 PU 신호 존재 여부를 더 잘 반영할 수 있도록  $K_{opt}$  값이 커짐을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 통화량이 많은 상황에서 인지 무선

시스템을 위한 센싱 구간 분할 기반 스펙트럼 센싱 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 스펙트럼 센싱 기법은 하나의 센싱 구간을  $K$ 개의 구간으로 분할하고,  $K-1$ 개의 분할된 구간에 대해 PU 신호 존재 여부를 판정한 결과들을 조합하여 중간 판정으로 통합하고, 중간 판정과 분할된 마지막 구간의 판정 결과를 이용하여 PU 신호 유무를 최종적으로 판단한다. 모의실험 결과로부터 제안한 기법이 기존의 기법들에 비해 더욱 우수한 센싱 성능을 보임을 확인하였다. 또한 제안한 스펙트럼 센싱 기법에서 분할하는 구간의 개수에 따른 검파 확률 성능의 경향에 대해 분석하였다.

## References

- [1] J. Lunden, S. A. Kassam, and V. Koivunen, "Robust nonparametric cyclic correlation-based spectrum sensing for cognitive radio," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 58, no. 1, pp. 38-52, Jan. 2010.
- [2] J. Mitola, "Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio," Ph.D. dissertation, Teleinformatics, Royal Inst. Technol. (KTH), Stockholm, Sweden, May 2000.
- [3] T. Yücek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Commun. Surveys, Tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 116-130, First Quarter 2009.
- [4] J. Lunden, V. Koivunen, A. Huttunen, and H. V. Poor, "Collaborative cyclostationary spectrum sensing for cognitive radio systems," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 57, no. 11, pp. 4182-4195, Nov. 2009.
- [5] F. F. Digham, M. S. Alouini, and M. K. Simon, "On the energy detection of unknown signals over fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 55, no. 1, pp. 21-24, Jan. 2007.
- [6] T. S. Shehata and M. El-Tanany, "A novel adaptive structure of the energy detector applied to cognitive radio networks," in *Proc. Canadian Workshop Inform. Theory*, pp. 95-98, Ottawa, Canada, May 2009.
- [7] T. Wang, Y. Chen, E. L. Hines, and B. Zhao, "Analysis of effect of primary user traffic on

- spectrum sensing performance,” in *Proc. Chinacom*, pp. 1-5, Xian, China, Aug. 2009.
- [8] M. Luís, A. Furtado, R. Oliveira, R. Dinis, and L. Bernardo, “Towards a realistic primary users’ behavior in single transceiver cognitive networks,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 2, pp. 309-312, Feb. 2013.
- [9] Y. Kim, J. Shim, S. Yoon, Y. Jang, and K. Jeong, “A cyclostationarity-based spectrum sensing scheme for cognitive radio systems in high traffic circumstances,” *J. Korean Inst. Commun. Sci. (KICS)*, vol. 37A, no. 11, pp. 937-942, Nov. 2012.
- [10] N. C. Beaulieu and Y. Chen, “Improved energy detectors for cognitive radios with randomly arriving or departing primary users,” *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 17, no. 10, pp. 867-870, Oct. 2010.

채 근 홍 (Keunhong Chae)



2010년 3월~현재 성균관대학교 정보통신대학 전자전기공학부 학사과정  
<관심분야> 통신이론, 무선통신, 추정 및 검파

윤 석 호 (Seokho Yoon)



1997년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학사 (최우등)  
1999년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학석사  
2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사  
2002년 3월~2002년 6월 MIT 박사후 연구원  
2002년 7월~2003년 2월 Harvard University 박사후 연구원  
2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신대학 전자전기공학부 전임강사, 조교수, 부교수  
2007년 IEEE 준석학회원  
2009년 한국통신학회 LG 학술상 수상  
2011년 교육과학기술부 우수연구 인증패 수상  
2012년 한국통신학회 우수논문상 수상  
<관심분야> 통신이론, 이동통신, 통계학적 신호처리