

인지 무선 시스템에서 적응형 임계치를 적용한 개선된 에너지 검출기

준회원 김 종 호*, 종신회원 황 승 훈**, 정회원 오 민 석***

Improved Energy Detector using Adaptive Thresholds in Cognitive Radio System

Jong-Ho Kim* *Associate Member*, Seung-Hoon Hwang** *Lifelong Member*,
Min-Seok Oh*** *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 기존의 에너지 검출기의 성능이 왜곡된 통신 환경에 취약하다는 점을 보완하기 위해 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기를 제안하고 필요한 매개 변수 값을 도출하여 성능을 비교 분석한다. 제안한 방식을 적용한 성능은 사용자의 이동 속도가 느린 채널 상황인 3 km/h와 오경보 확률이 $P_f = 10^{-1}$ 인 경우 주로 성능의 이득을 보였다.

Key Words : Cognitive radio, Primary user, Secondary user, Energy detector, Fixed threshold, Adaptive threshold

ABSTRACT

In this paper, we propose the improved energy detector using adaptive thresholds in cognitive radio system, in order to compensate the weak points of the existing energy detector in the distorted communication environment. In addition, by investigating the several parameters we analyze its performance. The numerical results show the proposed method may get the performance gain, when the mobile speed is slow (3 km/h) as well as the false alarm probability is low ($P_f = 10^{-1}$).

I. 서 론

3세대에 이어 4세대 무선 통신 시장에서는 사용자의 요구에 따라 다채널, 광대역, 양방향, 고품질 멀티미디어 서비스가 증가될 것으로 예상되며 이를 구현한 무선 통신 시스템이 개발될 것이다^[1]. 그러나 한정된 주파수 자원에 비해 서비스를 충족할 자원의 요구가 크기 때문에 자원 부족 문제가 대두될 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 필요한 기술 중에 하나가 바로 인지 무선(Cognitive Radio)기술이다^[2]. 인지 무

선은 기존 주파수 대역을 면허받아 사용하는 1차 사용자(Primary User)가 해당 주파수 대역을 사용하지 않는 시간에 2차 사용자(Secondary User)가 스펙트럼 감지를 통하여 1차 사용자의 미사용을 인지하고 다른 무선통신의 용도로 활용하는 기술이다. 이 때 유휴 주파수 대역을 찾아 일시적으로 사용 중인 2차 사용자는 1차 사용자가 주파수 면허를 가지고 있기 때문에 기존 사용자인 1차 사용자의 통신에 간섭으로 작용해서는 안 되며, 1차 사용자의 신호가 감지되면 자원 사용에 있어서 우선권을 양보하고 대역을 비워

* LG전자 MC연구소, ** 동국대학교 전자공학과(shwang@dongguk.edu), *** LG전자 이동통신기술연구소
논문번호 : KICS2008-02-063, 접수일자 : 2008년 2월 4일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 17일

주어야 한다. 즉, 인지 무선에서 스펙트럼 감지를 통한 1차 사용자의 신호를 감지하는 것은 새로운 유휴 주파수를 찾기 위한 것 뿐 만 아니라 빈 주파수 대역에서 새로 나타나는 1차 사용자의 신호를 지속적으로 감지해야 함으로 2차 사용자에게 가장 중요한 기술이라 할 수 있다.

1차 사용자의 신호를 검출하기 위해 기존의 고정형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 경우 채널이나 간섭 신호등에 의해 성능이 열화될 수 있는데^[3], 이러한 상황에 대한 극복 방안으로 협력 스펙트럼 감지 기법 등이 제안되었다^[4]. 또한 다른 극복 방안으로 임계치를 채널 환경에 따라 변화 시켜줌으로써 보다 우수한 성능의 에너지 검출기에 대한 기본 개념이 동일 저자들에게 의해 논문 [5]에서 처음 제안되었는데, 본 논문에서는 임계치를 적응적으로 변화시키는 알고리즘을 수신 신호를 통해 채널을 예측하여 그에 맞게 적응적으로 정해주고 그 적응형 임계치를 기준으로 수신 신호의 유무를 판단하도록 개선하여 제안하고 그에 따른 필요한 매개 변수 값을 도출하여 기존의 에너지 검출기의 성능과 면밀하게 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 스펙트럼 감지를 위한 검출 방법 중에서 에너지 검출 방법에 대해 소개한다. III장은 제안된 에너지 검출 기법의 동작 원리와 순서도를 통해 알고리즘을 기술한다. IV장은 모의실험 환경에서 파라미터 값을 정해주고 제안된 에너지 검출 기법의 성능을 기존 에너지 검출 기법과 비교 분석한다.

II. 스펙트럼 감지를 위한 검출 방법

인지 무선에서 기존 우선 사용자에게는 간섭을 주어서는 안 되기 때문에 채널 측정 및 스펙트럼 감지를 통한 1차 사용자의 주파수 사용 현황을 감지하는 기술이 필요하다. 스펙트럼 감지 방식에는 에너지 검출(Energy detection), 신호 형태 검출(Fine/Feature detection)^[6], 스펙트럼의 상관 감지(Spectral Correlation Sensing)가 있다. 간단한 구현과 빠른 센싱 동작의 이점이 있는 에너지 검출 방식은 센싱을 위해서 일차적으로 필요한 방식이다. 단순히 해당 주파수의 신호의 세기 정도에 따라서 신호의 존재 유무를 감지하는 방식이다. 그러나 신호 크기의 양을 어느 정도로 할 것인가 하는 문제가 있고 간섭 신호(interference)에 대한 대비책이 없어서 정확한 신호 검출이 어렵다. 그러나 신호의

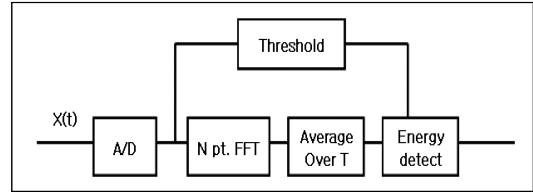


그림 1. 에너지 검출기의 구조

특정한 형태 (signature)가 없을 경우에는 에너지 검출 방법도 사용 가능하다^[7].

수신 신호의 에너지를 측정하기 위해서 대역폭 W 를 갖은 대역통과 필터의 출력 신호는 제공하여 관찰 간격 T 동안 적분한다. 적분 값 Y 를 임계치 λ 와 비교하여 면허 사용자가 존재하는지 여부를 결정하게 된다^[3].

검출 확률 :

$$P_d = P\{Y > \lambda | H_1\} = Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda})$$

오 경보 확률 :

$$P_f = P\{Y > \lambda | H_0\} = \frac{I(m, \lambda/2)}{I(m)}$$

여기서 $I(\cdot)$ 와 $I(\cdot, \cdot)$ 는 complete와 incomplete 감마 함수를 각각 의미하며 $Q_m(\cdot, \cdot)$ 는 일반화된 Marcum Q 함수를 의미한다 [4]. 그리고 시간-대역폭 곱인 TW 를 정수 m 이라고 둔다.

위의 함수로부터 낮은 P_d 는 1차 사용자 신호의 존재를 놓치게 되어 1차 사용자에게 간섭으로 작용하게 될 확률이 높아지게 되고, 높은 P_f 는 1차 사용자의 신호에 대한 오경보로 인해 사용 가능한 채널을 놓치게 되는 경우가 많아져 낮은 스펙트럼 이용의 결과를 낳게 된다. 섀도링과 다중 경로 페이딩 요소들에 대해 고려한 식은 다음과 같다.

$$P_d = \int_x Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) f_\gamma(x) dx$$

($f_\gamma(x)$: 페이딩 상황에서 SNR의 확률밀도함수)

III. 제안된 에너지 검출 기법

3.1 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기

그림 2는 적응형 임계치를 갖은 에너지 검출기에 대한 순서도를 보여주고 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 주 사용자의 신호의 세기를 이변(n) 임계치와 비교하여 작은 경우 주 사용자의 신호가 존재하지 않다고 판단하고, 임계치보다 큰 경우에는 1차 사용자의 신호가 존재한다고 판단한다. 이 때 1차 사용자의 신호가 존재하지 않는다고 판단한 경우에는

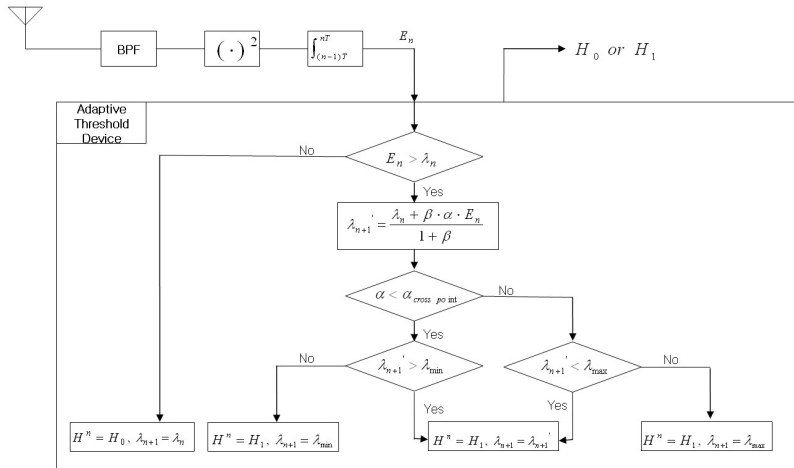


그림 2. 적응형 임계치를 갖는 에너지 검출기를 이용하는 스펙트럼 감지 방법의 순서도

다음(n+1) 임계치는 이번(n) 임계치와 동일하며, 1차 사용자의 신호가 존재한다고 판단한 경우에는 다음(n+1) 임계치를 이번(n) 임계치와 이번(n) 1차 사용자의 신호의 세기의 SNR비에 맞춘 임계치에 최적의 가중치 β 를 준 값의 평균으로 결정해 준다. 이 때 1차 사용자의 신호가 존재하지 않는다고 판단한 경우 임계치를 동일하게 하는 이유는 사용자의 신호가 없는 경우 채널에 대한 정보 역시 알 수 없고, 만약 잡음에 대한 정보를 적응형 임계치에 포함시키려 한다면 잡음 환경에서까지 연산량이 발생해 실제 단말기 구현 단계에서 전력손실이 증가하게 되어 비효율적인 알고리즘이 될 수도 있기 때문이다. 1차 사용자의 신호가 존재한다고 판단하여 수식에 의해 새롭게 얻은 임시로 정한 다음 적응형 임계치(λ'_{n+1})를 갖는 에너지 검출기가 고정형 임계치를 갖는 에너지 검출기보다 성능 저하를 일으킬 수 있는 α 값을 기준으로 임계치의 한계값을 지정해 줌으로써 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 성능이 보다 우수하도록 한다. $\alpha_{cross\ point}$ 값은 [5]의 결과 그래프를 바탕으로 고정형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 성능과 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 성능이 교차되는 지점에서의 α 값이다. 만약 α 가 $\alpha_{cross\ point}$ 값보다 작은 경우에는 적응형 임계치의 최소값 λ_{min} 을 지정하고 $\alpha_{cross\ point}$ 보다 큰 α 값에서는 임계치의 최대값 λ_{max} 을 지정해 줌으로써 채널정보로부터 결정되는 적정 임계치의 수준이 극단적인 값을 갖지 않게 되어 결국 에너지 감지기의 성능이 치우침이 일어나지 않도록 해줄 수 있다. 이 때 성능의 치우침이란, 큰 α 값을 갖게

되어 임계치가 큰 값으로만 결정되는 경우 잡음에 의해 오경보할 확률이 낮아지는 반면 신호의 검출 능력이 떨어지게 되고, 너무 작은 α 값을 갖게 되어 임계치가 작은 값으로만 결정되는 경우 검출 능력이 좋아지는 반면 오경보할 확률이 높아지게 되는 성능을 나타냄을 말한다. 임시로 정해 놓은 임계치 (λ'_{n+1})가 지정해 놓은 임계치의 최소값과 최대값 사이에 존재한다면 다음 n+1번째 임계치(λ_{n+1})를 λ'_{n+1} 로 갱신한다. 표 1은 그림 2에 대한 용어들의 정의를 정리해놓은 표이며 위에서 서술한 순서도의 설명을 돕기 위해 기술되었다.

표 1. 그림 2에 대한 용어 정의

BPF: band pass filter: 대역통과필터
Adaptive Threshold Device : 적응형 임계치 결정기
λ_n : n번째 관찰 구간에서의 임계치
λ_{n+1} : n+1번째 관찰 구간에서의 임계치 (단, λ'_{n+1} : 임시 임계치)
H^n : n번째 관찰 구간에서의 신호 존재 유무 판단
H_0 : 임계치보다 낮은 경우, 1차 사용자의 신호가 존재하지 않는 경우
H_1 : 임계치보다 높은 경우, 1차 사용자의 신호가 존재하는 경우
E_n : n번째 관찰 구간에서의 신호의 세기(에너지)
α : 시스템 설계시 예상되는 평균 수신 신호 대 잡음비에 대한, 원하는 검출 확률(detection probability) 및 오경보 확률(false alarm probability)을 얻기 위한 초기 임계치와 그 때 신호의 세기의 비.
즉, $\alpha = \frac{\text{초기임계치}}{\text{신호존재시평균수신신호의세기}} \quad (0 < \alpha < 1)$

αE_n : 수신 신호에 속한 채널정보로부터 결정 되는 적정 임계치 수준
 β : 가중치(갱신된 임계치를 구하는데 있어서 작은 β 값 일 수록 기존 임계치에 큰 가중치를 두는 것이고, 큰 β 값 일수록 채널 정보에 의해 얻은 새로운 임계치 수준 값에 큰 비중을 두게 됨.)
 λ_{\min} : 임계치의 최소한계
 λ_{\max} : 임계치의 최대한계
 $\alpha_{cross\ point}$: 고정형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 성능과 (그림 4.3에 의해서 구현된) 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 성능이 교차하는 지점에서의 α 값

IV. 시뮬레이션 성능 분석

IEEE 802.22 WRAN 시스템 규격에 따르면 인지 무선을 사용하게 될 주파수 대역은 54~862MHz 사이의 VHF/UHF TV 주파수 대역이다. 시뮬레이션에서는 그 중간대역인 400MHz를 반송파 주파수로 설정한다. 샘플링 간격은 IEEE 802.22 초안에 제시한 매개변수에 의해 0.33 msec로 결정하고 [1], 감지 시간 주기는 IEEE 802.22 표준화에 참여한 여러 기관에서 제시한 검출 방법에 따른 수 msec~수십 msec 감지 시간에 맞춰 3.3 msec로 결정한다. 이를 위해 샘플링 수는 10회로 결정한다^[8]. 관찰 대상인 성능 구간이 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 까지 이므로 10^5 번의 감지 횟수로 검출 확률을 알아본다. 자세한 시뮬레이션 환경은 표2를 참조하기 바란다.

표 2. 시뮬레이션 환경

스즈키 프로세스 $\eta(t)$ =레이레이 프로세스 $\xi(t) \times$ 로그노말 프로세스 $\zeta(t)$ [9]
 단말기 속도 : 3 km/h, 60 km/h
 반송파 주파수 : 400 MHz
 최대 도플러 주파수 : 1.111 Hz
 차단(cutoff) 주파수 : 0.01111 Hz
 샘플링 간격 : 0.33 msec/sampling
 감지 시간 주기 : 3.3 msec
 전체 감지 시간 : 330 sec

4.1 파라미터 고찰

우선 본 절에서는 기존의 고정형 임계치를 갖는 에너지 검출기의 성능 수식을 보이고^{[3][4]} 이를 확장

하여 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 성능 수식을 표현해본다. 이를 통하여 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 성능을 모의실험을 통해 알아 보기 위해 관련 파라미터들을 고찰하여본다.

신호가 존재할 경우 고정형 임계치의 검출 확률은 다음과 같다.

$$P_d^{fix} = P(\lambda) \cdot P\{Y > \lambda | H_1\} = Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda})$$

(단, 고정형 임계치는 고정된 상수이므로 $P(\lambda) = 1$). 그리고 위의 검출 확률을 채널에 따른 신호 대 잡음비의 분포함수 $f_\gamma(x)$ 에 대한 평균을 취하면 다음과 같다.

$$\overline{P}_d^{fix} = \int_x Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) f_\gamma(x) dx$$

(단, $f_\gamma(x)$: 페이딩 상황에서 SNR의 확률밀도함수). 위의 식을 바탕으로 적응형 임계치 검출 확률 및 채널에 따른 평균 검출 확률에 관한 식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$P_d^{adap} = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} P(\lambda_k) \cdot P\{Y > \lambda_k | H_1\} d\lambda_k$$

$$= \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} P(\lambda_k) \cdot Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda_k}) d\lambda_k$$

$$\overline{P}_d^{adap} = \int_x \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} P(\lambda_k) \cdot Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda_k}) f_\gamma(x) d\lambda_k dx$$

또한, 신호가 존재하지 않는 경우 고정형 임계치의 오경보 확률의 식은 다음과 같다.

$$P_f^{fix} = P(\lambda) \cdot P\{Y > \lambda | H_0\} = \frac{\Gamma(m, \lambda/2)}{\Gamma(m)}$$

적응형 임계치의 오경보 확률은 다음과 같다.

$$P_f^{adap} = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} P(\lambda_k) \cdot P\{Y > \lambda_k | H_0\} d\lambda_k$$

$$= \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} P(\lambda_k) \cdot \frac{\Gamma(m, \lambda_k/2)}{\Gamma(m)} d\lambda_k$$

이상의 확률식에서 알 수 있듯이 적응형 임계치를 적용한 에너지 감지기는 λ_k 의 확률 분포도에 따라 성능이 결정된다. 신호의 존재유무에 따른 수신 신호 세기의 확률 분포와 고정형/적응형 임계치의 확률 분포의 예를 그림 3에 나타내었다.

적응형 임계치에 대한 식은 다음과 같다.

$$\lambda_{n+1} = \frac{\lambda_n + \beta \cdot \alpha \cdot E_n}{1 + \beta}$$

이 때, α 와 β 가 중요한 매개 변수가 됨을 알 수

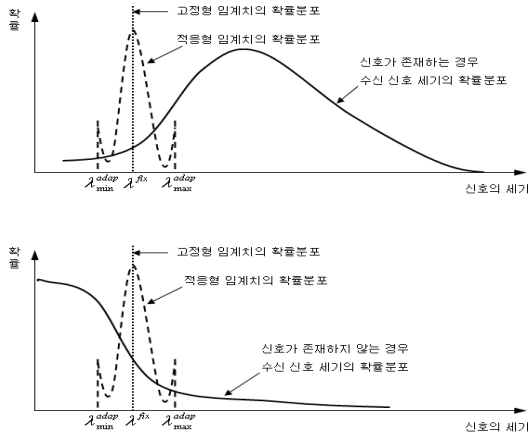


그림 3. 신호의 존재 유무에 따른 수신 신호 세기의 확률 분포와 고정형/적응형 임계치의 확률 분포의 예

있다. 이러한 α 와 β 를 모의실험을 통해 결정하도록 한다. 그림 4와 5는 적응형 임계치를 결정하는 파라미터 β 값을 조정해 줌에 따른 성능 비교 그래프이다. 그림에서 송신 전력 대 수신 잡음의 비는 10dB 이고 레일레이와 로그노말 채널을 모두 겪는 스크램블 채널을 통과한 1차 사용자의 신호를 감지하는 상황이다. 수식에서 적응형 임계치를 결정하는 β 파라미터는 현재 임계치의 비중을 1로 보았을 때 현재 수신된 신호의 세기로부터 얻은 적정 임계치 수준($\alpha \cdot E_i$)의 반영 비중을 나타낸다. 예를 들어 β 를 1로 결정한다면 현재 임계치와 현재 수신된 신호의 세기로부터 얻은 적정 임계치를 동일한 비중으로 평균하여 다음 임계치로 결정한다.

그림 4는 사용자의 이동 속도가 3 km/h인 경우 β 파라미터의 변화에 따른 성능을 비교한 결과이다. 그 결과

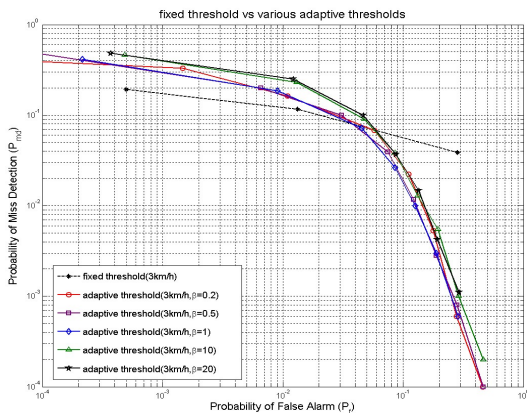


그림 4. 고정형 임계치와 적응형 임계치의 성능 비교 (이동속도=3km/h, $\beta=0.2, 0.5, 1, 10, 20$)

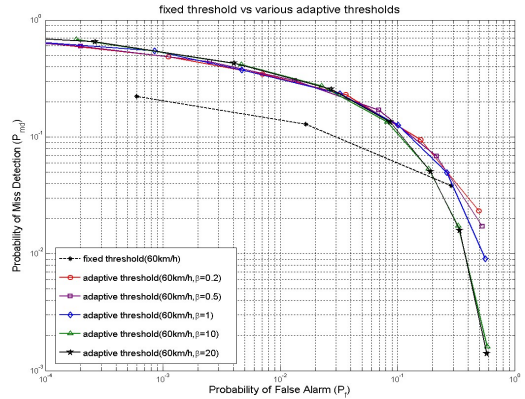


그림 5. 고정형 임계치와 적응형 임계치의 성능 비교 (이동속도=60km/h, $\beta=0.2, 0.5, 1, 10, 20$)

$P_{md} = P_f$ 인 경우에 대해서 $\beta=1$ 인 경우가 가장 성능이 우수함을 알 수 있다. 그림 5는 이동 속도가 60 km/h일 때 성능 그래프를 나타내는데 높은 오경보 확률 구역에서만 $\beta=10$ 또는 $\beta=20$ 인 적응형 임계치의 경우가 고정형 임계치보다 성능이 우수함을 알 수 있다. 그러나 $P_{md} = P_f$ 인 경우에 대해서는 적응형 임계치보다 고정형 임계치의 성능이 더 우수함을 알 수 있다. 위의 결과 그래프들로부터 적응형 임계치는 사용자의 이동 속도에 민감함을 알 수 있다. 저속에서는 적응형 임계치가 채널 상황에 따라 동작하여 이득을 취할 여지가 있지만, 고속인 경우에는 급격한 채널 변화에 적응형 임계치가 따라가지 못하게 된다. 채널 상황을 반영될 여지가 없게 된다. 따라서 적응형 임계치는 주로 저속에서 고정형 임계치보다 우수한 성능을 보이므로 다음 절에서의 성능 분석은 이동속도가 3 km/h 인 경우를 다루도록 한다.

4.2 성능 분석

IEEE 802.22의 여러 참여 기관들의 기준에 따르면 $P_f \leq 10^{-1}$ 또는 $P_f \leq 10^{-2}$ 인 경우에 대한 검출 확률(P_d)을 0.9 이상으로 정하고 있다. 그림 6과 7에서는 앞 절에서 제시한 파라미터인 $\beta=1$ 을 가지고 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기가 신호의 세기의 변화에 따라서 검출 확률 성능을 구하여 고정형 임계치를 적용한 에너지 검출기와 비교한다. 그림 6에서 $P_f = 10^{-1}$ 이고 이동 속도가 3 km/h이며 목표 검출 확률이 0.9인 경우 기존의 고정형 임계치로 검출할 경우 약 8.25dB의 SNR이 요구된 것이 제안한 적응형 임계치 방식으로는 약 7.25dB의 SNR만으로도 원하는 성능을 얻을 수 있었다. 따라서, 1 dB 정도의 이득을 적응형 임계치 적용으로

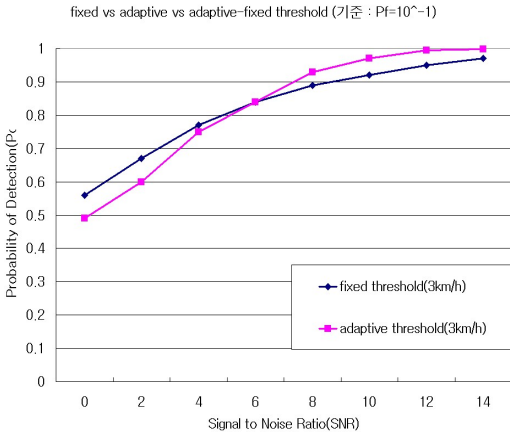


그림 6. 고정형 임계치와 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 성능 비교($P_f = 10^{-1}$, 이동속도=3km/h)

fixed threshold vs adaptive threshold vs adaptive-fixed threshold (기준 : $P_f=10^{-2}$)

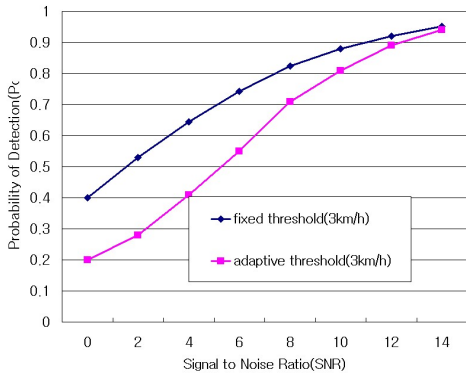


그림 7. 고정형 임계치와 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 성능 비교($P_f = 10^{-2}$, 이동속도=3km/h)

언을 수 있음을 보였다. 하지만 그림 7을 보면 오경 보 확률의 조건을 보다 강화한 $P_f = 10^{-2}$ 결과 상대적으로 검출의 가능성이 매우 제한되어 목표 검출 확률 0.9를 10 dB 이상의 높은 SNR에서 성취 가능하게 되며, 타이트한 오경보 확률 조건이 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기의 검출동작을 제한하여 고정형 임계치의 성능이 보다 우수함을 확인할 수 있었다.

V. 결론

기존의 에너지 검출기의 임계치가 시스템 설계시 고정되어 1차 사용자의 신호의 유무를 판단하는데 반해, 본 논문에서 제안된 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기는 신호 크기를 왜곡시키는 상황 (사

용자의 이동에 따른 채널 변화, 펄스 잡음, 간섭 신호등)에 대한 정보를 임계치에 적용시켜줌으로써 매 감지마다 갱신된 적정 임계치를 기준으로 판단한다. 실험 결과 적응형 임계치는 사용자의 이동 속도가 느린 채널 상황인 이동속도 3 km/h에서 또한 오경 보 확률이 $P_f = 10^{-1}$ 인 경우 주로 성능의 이득을 보인다. 향후 이와 같은 단점을 상호 보완하기 위한 고정형 임계치와 적응형 임계치를 조합한 하이브리드 고정 및 적응형 임계치를 적용한 에너지 검출기에 대한 연구를 수행할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구를 위한 LG전자의 재정적인 도움에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] IEEE 802.22 TM/D0.1 Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands, 22-06-0068-00-0000_P802-22_D0-1
- [2] I.F. Akyildiz, W.Y. Lee, M.C. Vuran and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey," Computer Networks Journal (Elsevier), Vol.50, pp.2127-2159, September 2006.
- [3] F.F. Digham., M.-S. Alouini., and M.K. Simon, "On the Energy detection of Unknown Signals over Fading Channels," in Proc. of ICC, pp.3575-3579, May 2003.
- [4] A. Ghasemi and E.S. Sousa, "Collaborative spectrum sensing for opportunistic access in fading environments," in Proc. IEEE 1st Symposium on DySPAN'05, pp.131-136, Baltimore, November 2005.
- [5] J.-H. Kim, S.-H. Hwang, K.-C. Whang and M.-S. Oh, "Energy Detection using Adaptive Thresholds in Cognitive Radio Systems," in the 22nd ITC-CSCC 2007, Vol.3, pp.1359-1360, July 2007.
- [6] Berkeley Wireless Research Center, "Cyclostationary

- Feature Detection,” in Proc. IEEE 1st Symposium on DySPAN’05, (www.eecs.berkeley.edu/~sahai/Presentations/DySPAN05_part2.ppt)
- [7] 정재학, 이원철, “Cognitive Radio 기술 동향”, 전파지, 한국전파진흥원, 2005. 5 · 6, <http://www.korpa.or.kr/radar/200505/sub1603.html>
- [8] 송명선, “Cognitive Radio 응용 기술 표준화 동향 - IEEE 802.22 WRAN 표준화 동향,” ETRI, 2007.4.19
- [9] M. Patzold, U. Killat, F. Laue, “A deterministic digital simulation model for Suzuki processes with application to a shadowed Rayleigh land mobile radio channel,” IEEE Transactions Vehicular Technology, Vol.45, Issue 2, pp.318 - 331, May 1996.
- [10] 이원철, “Efficient Spectrum Sensing and Resource Management for Cognitive Radio Systems,” in RERC seminar, 전파교육연구센터, Feb. 2006.
- [11] D. Cabric, S.M. Mishra, R.W. Brodersen, “Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios”, Signals, Systems and Computers, 2004. Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference, Vol.1, pp.772-776, Nov. 2004.
- [12] Fedral Communications Commission, “Report of the Spectrum Efficiency Working Group,” Spectrum Policy Task Force, released Nov. 15 2002.
- [13] F.K. Jondral, “Software-Defined Radio-Basic and Evolution to Cognitive Radio,” EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking, Vol.3, pp.275-283, 2005.
- [14] 김창주(ETRI), “Cognitive Radio Technology 및 IEEE 802.22 WRAN 표준화동향,” 전자 통신 동향 분석, 제 21권 제 4호, 2006. 8.

김 종 호 (Jong-Ho Kim)

준회원



2008년 연세대학교 석사
2008년~현재 LG전자 MC연구소 연구원
<관심분야> 데이터 통신, cognitive radio, MIMO 다중안테나 기술

황 승 훈 (Seung-Hoon Hwang)

종신회원



1999년 연세대학교 박사
1999년~2005년 LG전자 책임연구원
2003년~2005년 영국 사우스햄턴대학교 Visiting Research Fellow
2005년~현재 동국대학교 교수
<관심분야> 무선 및 이동통신 시스템 및 요소기술, cognitive radio, 밀리미터파통신

오 민 석 (Min-Seok Oh)

정회원



2000년 University of Surrey 박사
1999년~현재 LG전자 이동통신 연구소 책임연구원
<관심분야> 채널 코딩, MIMO 다중안테나 기술