

인지무선 시스템에서 부사용자의 거리에 따른 가중치가 적용된 협력 스펙트럼 센싱

윤희석, 윤재순, 배인산, 장성진, 김재명 *종신회원*

Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems with Weight Value Applied to Different Secondary Users Distance

Heesuk Yun, Jaesoon Yun, Insan Bae, Sunjeen Jang, Jaemoung Kim *Lifelong Member*

요 약

본 논문은 에너지 검출 기반 협력 스펙트럼 센싱을 이용하여 주사용자와 부사용자 사이의 거리에 따른 검출 확률에 가중치를 부여하는 기법을 제안하고, 이에 따른 분석 및 모의실험 결과를 나타낸다. 주사용자와 부사용자 사이의 거리는 모두 다르다고 가정하였고, 이들 사이의 무선 채널은 레일리(Rayleigh) 채널로 모델링하였다. 제안하는 가중치 부여 기법을 적용한 협력 스펙트럼 센싱을 수행한 결과가 가중치를 적용하지 않은 스펙트럼 센싱을 수행한 결과에 비해 커버리지를 확대 할 수 있고, 이 검출 확률에 가중치를 적용한 것이 가중치를 적용하지 않은 이전의 방식에 비해 센싱 효율이 향상 되는 것을 알 수 있었다.

Key Words : Cognitive Radio(CR), Spectrum Sensing, Energy Detection, Cooperative Spectrum Sensing, Detection Probability, SNR, Weighted Function, Fusion Center

ABSTRACT

In this paper, we propose weighted detection probability with distance between primary user and secondary users by using cooperative spectrum sensing based on energy detection. And we analysis and simulate the result. We suggest different distance between primary user and secondary users and the wireless channel between primary user and secondary users is modeled as Gaussian channel. From the simulation results of the cooperative spectrum sensing with weighted method make coverage bigger compared with non-weight, and We show higher sensing efficiency when we put weight detection probability than before method.

I. 서 론

현재 무선통신 및 방송시스템에 있어서 새로운 차세대 무선 플랫폼 및 시스템 하드웨어 구현기술은 눈부시게 발전하고 있으나, 이를 지원하기 위한 신규 주파수 자원은 거의 고갈되어 있는 상태이며, 면허가 필요 없이 소출력 무선기기의 통신이 허가되는 비면허(Unlicense) 주파수 대역 조차도 다양한 홈 네트워크 및 소출력 무선기기간 간섭이 큰 문제가 되고 있는 실정이다[1].

그러나 현재의 주파수 정책은 고정적으로 주파수 할당 하여 사용하므로 상당부분이 사용치 않거나 이용 효율이 떨어

지고 있어, 이들 대역에 대한 새로운 사용 방안이 필요하다 [2]. 연방 통신 위원회(FCC : Federal Communications Commission)에 따른 2002년 주파수 정책 보고서에는 현재 할당된 주파수 대역의 이용률이 15~85% 정도로 비효율적으로 활용되고 있음을 발표하였다[3]. 이와 같은 고정된 주파수 할당 정책의 비효율성의 문제를 줄이기 위한 방안으로 FCC는 2003년 12월 Notice of Proposed Rule Making(NPRM)을 통하여 유휴 주파수에 대한 중복 사용을 허용하는 기술인 인지무선 기술(CR : Cognitive Radio)에 대한 내용을 발표하였다[4].

기존의 주파수 사용은 국가적 차원으로 주파수 정책에 따

※ : "본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2014-H0301-14-1042) 인하대학교 정보통신공학부 무선전송연구실(heesuk@inha.edu, cookie321@gmail.com, baecinsan@inha.edu, wireless.jang@gmail.com, jaekim@inha.ac.kr) 교신저자 : 김재명
접수일자 : 2014년 8월 31일, 수정완료일자 : 2014년 9월 4일, 최종 게재확정일자 : 2014년 9월 11일

라 관리되고 있으며 제한된 주사용자(PU : Primary User)에게 독점적 사용권을 제공하여 허가되지 않은 사용자는 기 할당된 주파수 대역을 사용할 수 없다. 반면에 인지무선 기술은 포화상태에 놓여있는 기존 주파수 자원을 최대한 효율적으로 이용하기 위한 기술로서, 수시로 가변 하는 유휴 스펙트럼을 찾아내어 활용함으로써 전체적인 주파수 효율성을 향상시킬 수 있는 획기적인 신기술 이라고 할 수 있다.

인지무선 기술을 차세대 이동통신 시스템에서 각 사용자에게 대한 다양한 서비스를 제공하기 위해서 구성 되어야 할 기술로는 물리계층과 MAC 계층에서 다양한 스펙트럼 검출, 동적 주파수 선택, 전력제어 QoS, 적응형 제어 등이 있다. 이와 같은 기술 이슈에도 불구하고[5] 미국의 FCC는 CR 기술의 활용 가능성을 인정하여 2008년 11월 UHF(Ultra High Frequency) TV 대역에서 CR 기기의 사용을 허용 하였고[6], 이에 따라 CR 시스템 관련 표준화 작업들이 속도를 내고 있다[7-8].

인지무선 통신의 가장 핵심 기술은 주파수 스펙트럼 환경을 검출하여 주파수 사용 현황을 감지하는 스펙트럼 센싱으로 CR센서가 장착된 부사용자(SU : Secondary User)는 지속적으로 주변 환경을 인식하여 변화된 상황에 따라 시스템을 적절하게 적용하도록 한다. 스펙트럼 센싱 기술은 크게 에너지 검출방식(Energy detection), 정합 필터 검출방식(Matched Filter detection), 특성 검출 방식(Cyclostationary detection)으로 나눌 수 있으며 그중 가장 복잡도가 낮고 간단한 시스템인 에너지 검출 방식이 주로 사용되고 있다[9].

그러나 스펙트럼 센싱은 음영지역 및 잠복터미널 등에 의하여 성능의 열화가 발생하게 되는데 이 같은 문제를 해결하고 스펙트럼 센싱의 신뢰성 및 정확도를 높이기 위해 다수의 부사용자들이 센싱 정보를 공유하는 협력 스펙트럼 센싱 기술이 제안되었다[10-12]. 협력 스펙트럼 센싱은 다수의 부사용자가 개별 센싱한 정보를 공유하여 페이딩 및 잡음 등에 의한 영향을 완화하여 센싱의 성능을 높일 수 있다. 그리고 실제 통신 환경에서는 부사용자의 이동성 때문에 이 거리가 달라질 수 있다. 이로 인해 융합센터(FC : Fusion Center)에서 주사용자의 신호를 제대로 검출하지 못할 가능성이 있어 성능저하의 원인이 된다.

본 논문에서는 주사용자의 점유 채널과 부사용자 사이의 거리에 따른 검출 확률(P_d : Detection Probability)을 구하고, 거리의 변화에 따른 가중치가 적용된 결합방식(Weighted for different distance combining)을 사용한 에너지 검출 기반 협력 스펙트럼 센싱기법을 제안하고[13], 이에 따른 분석 및 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 협력 스펙트럼 센싱의 시스템 모델에 대하여 정의하고, 제 III장에서는 본 논문에서 제안하는 부사용자의 거리에 따른 가중치가 적용된 협력 스펙트럼 센싱에 대한 분석을 서술한다. 제 IV장은 제안한 기법을 통한 협력스펙트럼 센싱 시뮬레이션 결과

를 나타내었고, 마지막으로 제 V장에서 결론 및 고찰을 끝으로 한다.

II. 시스템 모델링

인지무선 시스템에서 주사용자에 대한 충분한 정보가 없고 주사용자의 신호가 랜덤신호 일 때 스펙트럼 센싱은 에너지 검출 기법을 적용한다. 단순히 수신 신호의 에너지 검출을 통한 넌 코히런트(non-coherent) 검출 기반의 센싱 기법으로 그림 1과 같은 방식으로 동작한다. 에너지 검출 방식은 FFT(Fast Fourier Transform) 연산 및 평균을 취하여 계산된 에너지 값을 미리 설정된 임계값과 비교하여 주사용자의 유, 무를 판단하는 복잡도가 낮고 매우 간단한 시스템이다.

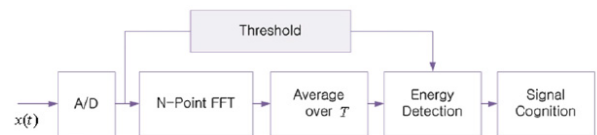


그림 1. 에너지 검출 기법의 시스템 구조

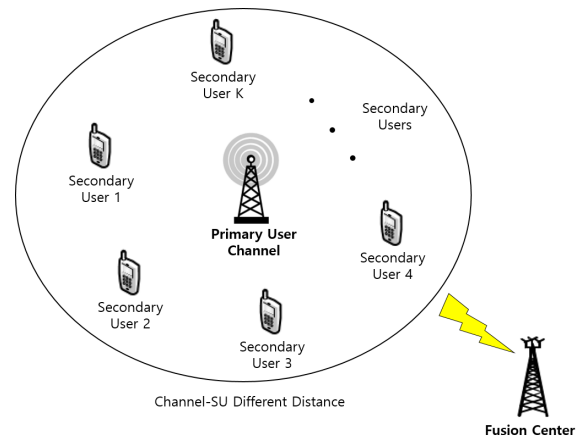


그림 2. 협력 스펙트럼 시스템 모델

협력 스펙트럼 센싱에서는 그림 2와 같이 하나의 주사용자를 다수의 부사용자가 에너지 검출 기반의 스펙트럼 센싱을 하고, 각 부사용자들이 자신의 센싱 결과를 융합센터로 전송하며, 융합센터에서는 이를 종합하여 주사용자의 사용 여부를 결정한다.

주사용자의 신호가 존재하지 않는 가설을 H_0 , 주사용자의 신호가 존재하는 가설을 H_1 라 한다. 이 때 $s(t)$ 는 주 사용자의 송신신호이며, $n(t)$ 는 백색 가우시안 잡음 (Additive White Gaussian Noise)이고 h 는 주사용자와 부사용자 사이의 채널 이득을 나타낸다. 그리고 수신된 신호의 에너지를 측정하여 정해져 있는 임계값(Threshold)인 λ_9 와 비교하여 주사용자의 신호 존재 유무를 결정하게 되며 이를 다음과 같이 표현한다.

$$y(t) = \begin{cases} n(t) & H_0 \\ h \cdot s(t) + n(t) & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

Y값은 다음과 같이 정의되고,

$$Y \approx \begin{cases} x_{2u}^2 & H_0 \\ x_{2u}^2(2\gamma) & H_1 \end{cases} \quad (2)$$

확률 밀도 함수(PDF)는 다음과 같이 정의 된다. $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수를 나타낸다.

$$Y \approx \begin{cases} \frac{1}{2^u \Gamma(u)} y^{u-1} e^{-\frac{y}{2}} & H_0 \\ \frac{1}{2} \left(\frac{y}{2\gamma}\right)^{\frac{u-1}{2}} e^{-\frac{2\gamma+y}{2}} I_{u-1}(\sqrt{2\gamma y}) & H_1 \end{cases} \quad (3)$$

레이레이(Rayleigh)채널에서 검출 확률과 P_d 와, 오경보 확률 P_f 는 다음과 같이 표현되고 미검출 확률을 P_m 으로 표현한다.

$$\begin{aligned} P_d &= P(Y > \lambda | H_1) \\ P_f &= P(Y > \lambda | H_0) \\ P_m &= P(Y < \lambda | H_1) = 1 - P_d \end{aligned} \quad (4)$$

이 때 오경보 확률 (False Alarm Probability)인 P_f 와 $2u$ 의 자유도를 갖는 카이제곱분포 (Chi-Square Distribution)의 역을 이용하여 임계값인 λ 를 (5)를 통해 구한다.

$$\begin{aligned} \lambda &= F^{-1}(1 - P_f | 2u) = \{\lambda : F(\lambda | 2u) = 1 - P_f\} \\ 1 - P_f &= F(\lambda | 2u) = \int_0^\lambda \frac{t^{(2u-2)/2} e^{-t/2}}{2^u \Gamma(u)} dt \end{aligned} \quad (5)$$

그리고 부사용자와 채널 사이의 거리에 따른 신호 대 잡음비(SNR : Signal to Noise Ratio)를 이용하여 결정한다.

$$\frac{S}{N} = \gamma = \frac{G_r G_t P_t (c/f)^2}{k B T_A L (4\pi R)^2} \quad (6)$$

마지막으로 미검출 확률과 오경보 확률을 더한 전체 오류 확률은 다음과 같이 정의한다.

$$P_{e,t} = P(H_1)P_{m,t} + P(H_0)P_{f,t} \quad (7)$$

III. 부사용자의 거리에 따른 가중치가 적용된 협력 스펙트럼 센싱

그림 2 와 같은 협력 스펙트럼 센싱 시스템 모델에서 각 부사용자는 채널과의 거리가 다르기 때문에 (6)에 의해 SNR이 다르게 된다. 그러므로 부사용자들은 주사용자로부터 각각 다른 세기의 신호가 수신되고 (6)에 따라 검출확률에 영향을 주어 거리가 멀수록 스펙트럼 센싱의 성능 저하가 발생하게 된다. 예를 들면 위 모델에서 SU2가 SU1보다 거리가 멀 경우 수신된 신호의 세기가 감소하게 되어 센싱의 정확도가 떨어지게 된다.

이와 같이 각 부사용자들은 채널과의 거리에 따라 센싱 결과의 정확도가 다르므로 융합센터에서 모두 같은 이득으로 부사용자의 센싱 결과를 융합한다면 전체적인 센싱 성능 저하를 가져오게 된다.

본 논문에서는 부사용자의 이동성을 반영한 거리에 따른 SNR기반 가중치가 적용된 협력스펙트럼 센싱을 제안하여 성능을 향상시키고자 한다. 거리가 가까운 부사용자일수록 센싱의 정확도가 높기 때문에 더 큰 가중치를 적용하고, 거리가 멀수록 정확도가 떨어지기 때문에 더 작은 가중치를 적용할 수 있는 가중치를 (8), (9)과 같이 나타내었다.

$$w_i = \begin{cases} w_1 = \frac{1}{K(K+1)/2} \\ w_2 = \frac{2}{K(K+1)/2} \\ w_3 = \frac{3}{K(K+1)/2} \\ \vdots \\ w_K = \frac{K}{K(K+1)/2} \end{cases} \quad (i = 1 \dots K) \quad (8)$$

$$w_i = \frac{i}{K(K+1)/2} \quad (i = 1 \dots K) \quad (9)$$

부사용자들의 SNR을 측정하여 거리가 가장 먼 부사용자는 (8)의 w_1 가중치를 적용하고, 거리가 가장 가까운 부사용자는 (8)의 w_K 가중치를 적용한다.

(8)을 일반화 하여 (9)과 같이 나타내었으며, K 는 부사용자들의 전체 수를 나타내고 i 는 부사용자의 거리 순번을 나타낸다.

위의 부사용자의 거리에 따른 가중치가 적용된 협력 스펙트럼 센싱의 수신에너지를 융합한 결과는 (10)와 같다.

$$Y_t = \sum_{i=1}^K w_i Y_i \quad (10)$$

융합센터에서는 위의 가중치를 적용하기 위하여 그림 3과 같은 블록 다이어그램의 순서를 따른다.

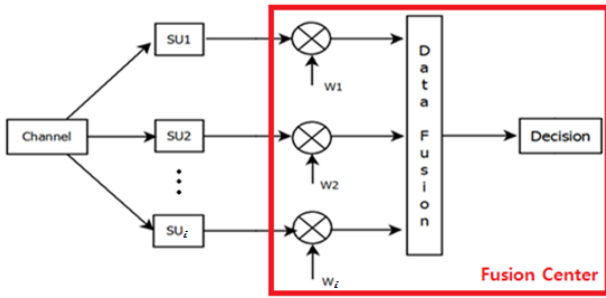


그림 3. 가중치 협력 센싱 기법의 블록 다이어그램

각 부사용자들은 스펙트럼 센싱을 통해 얻은 결과를 융합센터로 전송하고 융합센터에서는 이 결과를 종합하여 융합센터의 검출 확률($P_{d,t}$: Total Detection Probability on Fusion Center)과 오경보 확률($P_{f,t}$: Total False Alarm Probability on Fusion Center)을 구할 수 있다. λ 가 검출 임계값 일 때, 각 부사용자의 수신에너지를 융합한 결과는 임계값과 비교하여 검출 확률은 $P_{d,t} = P(Y_t > \lambda | H_1)$ 로 나타나고 오경보 확률은 $P_{f,t} = P(Y_t > \lambda | H_0)$ 로 각각 나타낼 수 있으며 $P_{d,t}$ 와 $P_{f,t}$ 는 각각 (12)과 (13)로 나타낼 수 있다. 융합센터에서는 이 결과를 이용하여 주사용자의 사용 여부를 최종적으로 판단한다.

$$Q(x) = \int_x^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (11)$$

$$P_{f,t} = Q \left(\frac{\lambda - 2u \sum_{i=1}^K w_i}{\sqrt{4u \sum_{i=1}^K w_i^2}} \right) \quad (12)$$

$$P_{d,t} = Q \left(\frac{\lambda - 2u \sum_{i=1}^K w_i (1 + \gamma_i)}{\sqrt{4u \sum_{i=1}^K w_i^2 (1 + 2\gamma_i)}} \right) \quad (13)$$

IV. 시뮬레이션 결과

IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 거리에 따른 신호 대 잡음비 가중치가 적용된 협력 스펙트럼 센싱 기법의 성능을 살펴본다.

시뮬레이션을 위한 시스템 모델은 II장에서 설명한 바와 같이 하나의 주사용자에 다수의 부사용자가 복잡도가 낮고

간단한 에너지 검출 기반의 스펙트럼 센싱을 하고, 각 부사용자들이 자신의 센싱 결과를 융합센터로 전송하며, 융합센터에서는 이를 종합하여 주사용자의 사용여부를 결정하는 것이다. 부사용자와 채널 사이의 환경은 표 1과 같이 설정하였으며 부사용자들의 위치는 주어진 환경이내에서 가우시안 랜덤 모델에 따라 임의로 분포시켜 각 부사용자와 채널사이의 거리가 모두 다르도록 하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Absolute Temperature	290K
Boltzman Constant	$1.38 \times 10^{-23} J/K$
Bandwidth	40MHz
Frequency	5GHz
Tx Power	16dBm
Antenna Gain	3dBi
Attenuation Constant	15dB

부사용자와 채널 사이의 거리의 변화에 따른 SNR은 (6)을 이용하여 구할 수 있고 그림 4와 같은 그래프로 나타나며 거리가 멀어질수록 SNR이 감소한다.

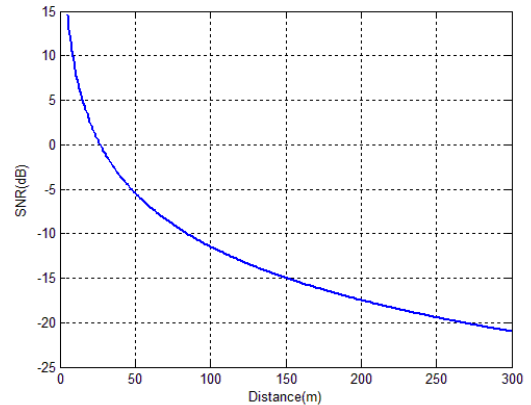


그림 4. 부사용자와 채널 사이의 거리에 따른 SNR(dB)

그림 5는 $K=10$ 의 부사용자가 채널로부터 300m 이내의 거리에서 가우시안 랜덤 분포에 따라 임의로 위치하였을 경우 오경보 확률 $P_{f,t}$ 에 따른 융합센터의 검출 확률 $P_{d,t}$ 를 나타낸다. 오경보 확률이 증가할수록 임계값 λ 가 낮아지므로 검출 확률은 증가한다. 부사용자의 거리에 따른 가중치를 적용할 경우 모든 경우에서 검출 확률이 증가한 것을 볼 수 있다.

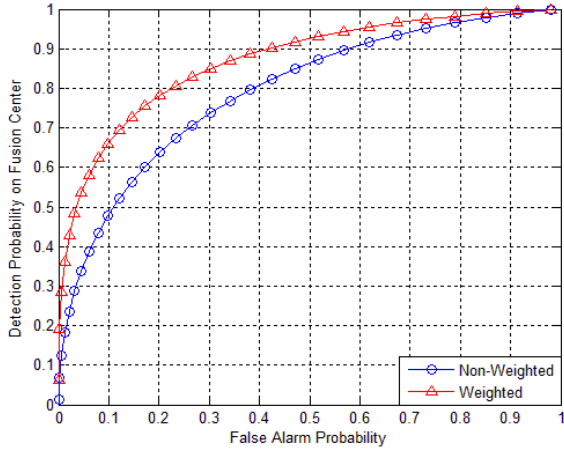


그림 5. 오경보 확률에 따른 검출 확률

그림 6은 주사용자의 신호가 $P(H_1) = P(H_0) = 0.5$ 의 확률로 존재할 경우 오경보 확률 $P_{f,t}$ 에 따른 융합센터의 전체 오류 확률 $P_{e,t}$ 을 나타낸다. 부사용자의 거리에 따른 가중치를 적용할 경우 모든 경우에서 오류 확률이 감소한 것을 볼 수 있다. 융합센터에서 가중치를 적용할 경우 오경보 확률이 0.17일 때, 오류 확률이 최소가 된다.

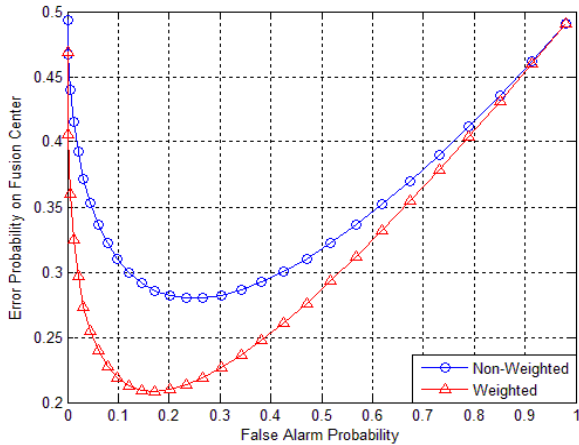


그림 6. 오경보 확률에 따른 전체 오류 확률

분포 반경이 증가할수록 SNR이 감소하기 때문에 검출 확률은 감소한다. 그림 7은 채널로부터 부사용자의 최대 분포 반경 R 에 따른 융합센터의 검출 확률 $P_{d,t}$ 을 나타낸다. 부사용자의 거리에 따른 가중치를 적용할 경우 모든 경우에서 검출 확률이 증가한 것을 볼 수 있다.

그림 8은 부사용자의 수 K 에 따른 융합센터의 검출 확률 $P_{d,t}$ 을 나타낸다. 협력스펙트럼 센싱의 부사용자의 수가 증가할수록 검출 확률은 증가하며 부사용자의 거리에 따른 가중치를 적용할 경우 모든 경우에서 검출 확률이 증가한 것을 볼 수 있다.

가중치를 적용하지 않을 경우 $K=25$ 에서 최대의 검출 확률을 갖지만 가중치를 적용할 경우 $K=20$ 에서 최대값을 갖는다.

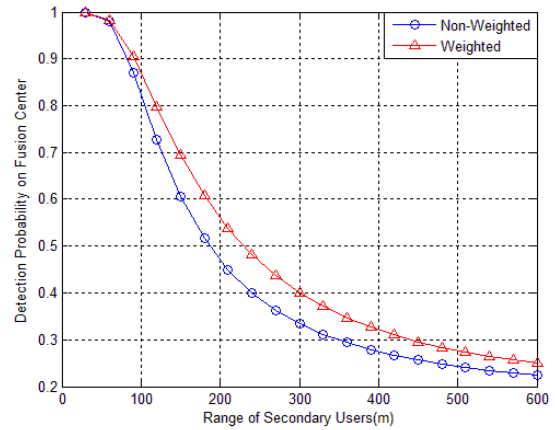


그림 7. 부사용자의 반경에 따른 검출 확률

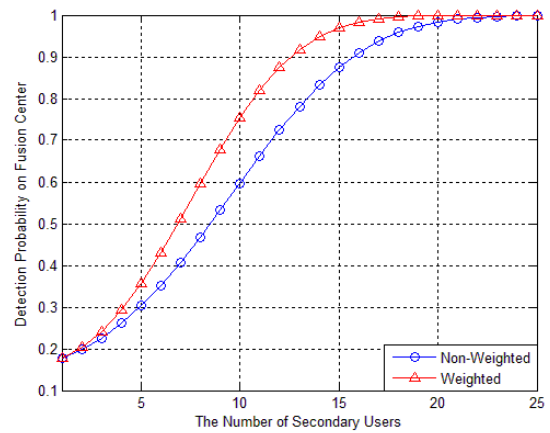


그림 8. 부사용자의 수에 따른 검출 확률

그림 9는 부사용자의 수 K 에 따른 $P_{d,t} = 0.5$ 를 만족시키는 협력스펙트럼 센싱의 유효 커버리지를 나타낸다. 부사용자의 수가 증가할수록 커버리지가 확대되며 거리에 따른 가중치를 적용할 경우 이 커버리지를 확대시킬 수 있다. $K=10$ 일 경우 커버리지는 약 21% 확대되며, $K=25$ 일 경우 약 26% 확대 된다.

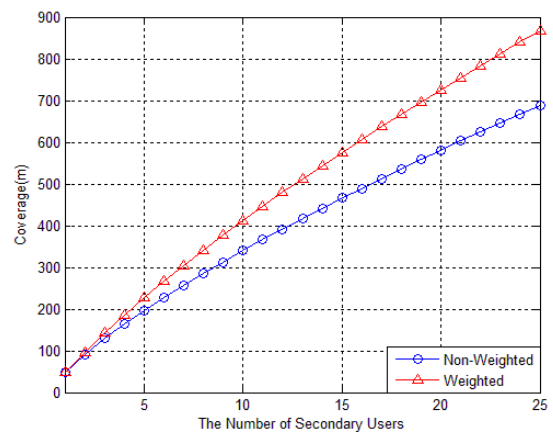


그림 9. 부사용자의 수에 따른 커버리지

V. 결론

본 논문은 주사용자와 부사용자들 사이의 거리에 따라 가중치를 적용시켜 인지무선 기술(Cognitive Radio)에서 스펙트럼 센싱의 효율을 증가시키기 위한 에너지 검출 기반 협력 스펙트럼 센싱을 제안한다. 시뮬레이션 환경에서는 제안하는 가중치의 성능을 분석하기 위하여 주사용자와 부사용자들의 거리를 다르게 하였다. 융합센터에서는 가중치를 이용하여 부사용자의 거리에 따라, 즉 가까운 거리에 있는 부사용자에게 높은 가중치를 주고 멀리 있는 부사용자에게 낮은 가중치를 적용시켜 시뮬레이션 분석 및 결과를 도출 하였다.

이상의 결과를 통해 본 논문에서는 거리에 따른 다른 가중치를 적용함으로써 센싱 효율을 향상시킬 수 있었다. 센싱 효율을 향상시킴으로서 융합센터는 보다 정확하게 주사용자의 사용 여부를 판단할 수 있다.

참고 문헌

[1] 백용대, "무선인지 기술개발 본격 추진", 디지털타임즈 통신시장의 동향, 2005년 1월

[2] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," Proc. IEEE signals, systems and computers conference 2004, Vol. 1, Nov. 2004.

[3] FCC, "Spectrum policy task force," Rep. ET Docket No. 02-135, Nov. 2002.

[4] FCC, "Facilitating opportunities for flexible, efficient and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies," Notice of Proposed Rule Making, ET Docket No. 03-332, Dec. 2003.

[5] D. Cabric, S.M. Mishra, R. Brodersen "Implementation issues in Spectrum Sensing for Cognitive Radios," Conference Record of the thirty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Vol. 1, pp. 772-776, Nov. 2004.

[6] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal," IEEE Personal Communications, Vol. 6, No. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.

[7] IEEE 802.22, "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," IEEE 802.22-D2.0, July 2009.

[8] ECMA TC48-TG1, "MAC and PHY for Operation in TV White Space," ECMA 1stDraft Standard, Oct. 2009.

[9] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," IEEE Commun Surveys and Tutorials, Vol. 11, No.1, pp. 116-130, 2009.

[10] Z. Quan, S. Cui, and A.H. Sayed, "An optimal strategy for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," in Proc. of IEEE GLOBECOM 2007, pp. 2947-2951, Nov.

2007.

[11] G. Ganesan, Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," in Proc. of IEEE DySPAN 2005, pp. 137-143, Nov. 2005.

[12] A. Ghasemi and E. S. Sousa, "Asymptotic performance of collaborative spectrum sensing under correlated log-normal shadowing," IEEE Commun. Lett., Vol. 11, No. 1, pp. 34-36, Jan. 2007.

[13] Jun Ma and Ye(Geoffrey) Li, "Soft Combination and Detection for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks" IEEE GLOBECOM 2007, pp 3139 - 3143, Nov. 2007.

저자

윤 희 석(Heesuk Yun)

정회원



- 2013년 2월 : 가천대학교 전자공학 학사졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학 석사과정

<관심분야> : 인지무선기술, 무선통신

윤 재 순(Jaesoon Yun)

정회원



- 2009년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학 재학

<관심분야> : 인지무선기술, 디지털통신

배 인 산(Insan Bae)

정회원



- 2012년 8월 : 인하대학교 정보통신공학 학사졸업
- 2012년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학 석사과정

<관심분야> : 간섭정력, MIMO

장 성 진(Sungieen Jang)

정회원



- 2007년 2월 : 인하대학교 정보통신공학 학사졸업
- 2009년 2월 : 인하대학교 정보통신대학원 석사졸업
- 2009년 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신대학원 박사과정

<관심분야> : 이동통신, 무선 인지 기술

김 재 명(Jaemoung Kim)

종신회원



- 1974년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1981년 8월 : 미국남가주대학교(USC) 전자공학과 (공학석사)
- 1987년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

- 1974년 3월 ~ 1979년 6월 : 한국 과학기술 연구소
- 1982년 10월 ~ 2003년 3월 : 한국전자통신연구원
- 2003년 4월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학부 교수, 통신우성우주산업연구회 회장역임 및 기술자문으로 다수 활동중
- 2014년 6월 ~ 현재 : 인하대학교 지능형 스펙트럼 엔지니어링 연구센터(ITRC) 센터장

<주 관심분야> : 차세대 무선통신, UWB, 인지무선기술