인지 무선 시스템에서 위치 추정 기반의 강인한 스펙트럼 검출 방법

A Robust Spectrum Sensing Method Based on Localization in Cognitive Radios

강 형 서* 구 인 수**
Hyungseo Kang Insoo Koo

요 약

스펙트럼 검출은 인지 무선 시스템(Cognitive Radios) 구현을 위한 핵심 기술들 중의 하나이다. 스펙트럼 검출에서 문제시되는 점들 중에 하나는 페이딩(Fading) 및 쉐도윙(Shadowing) 등으로 인해서 스펙트럼 검출 성능이 저하된다는 것이다. 이 문제점을 해결하기 위해 제안된 방법 중 하나가 협력 스펙트럼 검출 방법이다. 이 방법을 통해 비협력 스펙트럼 검출 방식의 성능을 개선할 수 있지만, 여전히 큰 장애물과 같은 간섭 요인에 의해 스펙트럼 성능이 영향을 받는다는 단점이 있다. 특히, 기존의 대부분의 연구에서는 고정된 1차 사용자(Primary User, PU)를 고려하고 있지만 향후 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경에서는 이동성을 가지는 1차 사용자가 존재하는 시스템을 고려해야 한다. 이러한 환경에서 기존의 협력 스펙트럼 검출 방식은 정확성이 낮은 검출 성능을 보이고 고려하지 않아도 될 2차 사용자(Cognitive User, CR user)의 국부 센싱값을 전송함으로써 많은 에너지를 소비하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서, 무선 인지 시스템에서의 이동성을 가지는 1차 사용자의 위치를 추정하고 이를 기반으로 간섭 영향을 받는 2차 사용자를 검출한다. 또한 검출된 간섭영향을 받는 2차 사용자의 센싱 정보를 융합 결정할 때 배제함으로써 스펙트럼 검출의 정확성을 높이는 방법을 제안하다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘이 기존 알고리즘 보다 정확한 스펙트럼 검출을 보인다.

ABSTRACT

The spectrum sensing is one of the fundamental functions to realize the cognitive radios. One of problems in the spectrum sensing is that the performance of spectrum sensing can be degraded due to fading and shadowing. In order to overcome the problem, cooperative spectrum sensing method is proposed, which uses a distributed detection model and can increase sensing performance. However, the performance of cooperative spectrum sensing can be still affected by the interference factors such as obstacle and malicious user. Especially, most of cooperative spectrum sensing methods only considered the stationary primary user. In the ubiquitous environment, however the mobile primary users should be considered. In order to overcome the aforementioned problem, in this paper we propose a robust spectrum detection method based on localization where we estimate the location of the mobile primary user, and then based on the location and transmission range of primary user we detect interference users if there are, and then the local sensing reporting from detected interference users are excluded in the decision fusion process. Through simulation, it is shown that the sensing performance of the proposed scheme is more accurate than that of conventional other schemes

☞ keyword : localization, cognitive radio, spectrum sensing

1. 서 론

최근 무선 응용 기술들의 비약적인 증가에 따라 엄청난 주파수 자원 수요가 발생하였으나 이

* 준 회 원 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사과정
hskang13@naver.com
** 정 회 원 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수
iskoo@ulsan.ac.kr(교신저자)
[2010/09/10 투고 - 2010/09/16 심사 - 2010/11/26 심사완료]
☆ "이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2010-0009661)."

미 거의 모든 주파수 대역이 할당 되었고, 향후 유비쿼터스 사회로 진입할수록 채널 및 주파수가 더욱 필요하게 될 것이다[1,2]. 특히 수 GHz 이하 대역에서 할당 경쟁이 매우 심하다. 그런데, 이미 할당되어 있는 주파수 대역을 보면 특정 주파수 부분의 대역만 활용이 집중되어 있는 반면에 대부분 주파수 대역에서 효율적인 활용이 되지 못하고 있다. 특히 FCC Spectrum Policy Task Force 보고서에 의하면 허가를 받은 주파수 대역의 자원들은 위치나 시간에 따라 15% ~ 85%만 활용되고 있다. 따라서 주파수 효율을 더욱 높이는 새로운 패러다임의 무선 기술의 필요성이 대두 되고 있다. 기존 주파수 사용 효율을 높일 수 있는 방안으로 2000년 Mitola에 의해 처음으로 도입된 인지 무선 (cognitive radio : CR)은 사용자의 상태와 주변 환경을 능동적으로 인식하고 그에 따른 통계학적 변화를 학습, 그 성향을 도출하여 가장 최적의 방법을 적용하는 지능적 무선 통신 시스템이다[3].

인지 무선 기술은 차세대 이동통신 시스템에서 각 사용자에 대한 다양한 서비스를 제공하기 위하여 물리계층과 MAC 계층에서 다양한 스펙트럼 검출, 동적 주파수 선택, 전력제어, QoS, 적응형 제어 기술 등이 구현되어야 한다. 이 중 인지무선 시스템의 구현을 위해 확보되어야할 핵심적인 기술 중의 하나는 스펙트럼 센싱 기술이다[4].

인지 무선 시스템에서 스펙트럼 센싱 기술은 가용한 스펙트럼이1차 사용자에게 점유되어 사용되고 있는지 또는 사용되지 않고 있는 주파수 부분인지를 판별하여 2차 사용자가 1차 사용자에게 간섭을 주지 않으면서 유휴 주파수를 사용 할 수 있도록 하는 가장 핵심적인 주파수 자원 공유 기술이다. 즉 스펙트럼 센싱 기술을 통해, 2차 사용자는 주변 환경의 스펙트럼을 센싱하여 1차 사용자가 사용하지 않는 스펙트럼 홀(hole)을 검출하여 1차 사용자가 스펙트럼을 사용하지 않는 동안 임시적으로 채널을 사용할 수 있다. 또한 2차 사용자가 스펙트럼을 사용하는 동안 1차 사용자가 다시 스펙트럼을 사용하기 위해 등장하면 인지 무선 사용자는 다른 스펙트럼 홀로 주파수를 이동하여 통신 상태를 계속해서 유지하는 서비스를 제공받아야 한다.

특히 스펙트럼 검출에서 유의할 점은 채널 환경에서 존재하는 장애물 등과 같이 스펙트럼을 검출하는데 간섭이 되는 요인으로 인해서 스펙트럼 검출 성능을 저하시키는 것이다. 이를 해결하기 위해서 제안된 방법 중 하나는 협력 스펙트럼 검출 방법이다. 이 방법으로 스펙트럼 검출 결과가 비협력 스펙트럼 검출 방식보다 정확하지만 페이딩 또는 쉐도윙과 같은 환경에 따라서 낮은 검출 결과를 보인다. 특히 향후 이동성을 가지는 1차 사용자가 존재하는 무선 인지 시스템의 경우에서 단순히 협력 스펙트럼 검출 방식을 이용할 경우 낮은 검출 결과와 고려하지 않아도 될 2차 사용자의 신호 및 결정값을 전송함으로써 많은 에너지를 소비하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서, 무선 인지 시스템에서 이동성을 가지는 1차 사용자의 위치를 추정하고 이를 기반으로 간섭 영향을 받는 2차 사용자를 검출하여 최종 스펙트럼 검출의 정확성을 높이는 방법을 제안하다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 전체 시스템 구조에 대해서 기술하고, 3장에서는 제안된 1차 사용자의 위치 추정하고 이를 기반으로 간섭 사용자에 대한 강인한 스펙트럼 검출 알고리즘을제안하고, 4장에서는 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 결과를 보이고, 그리고 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

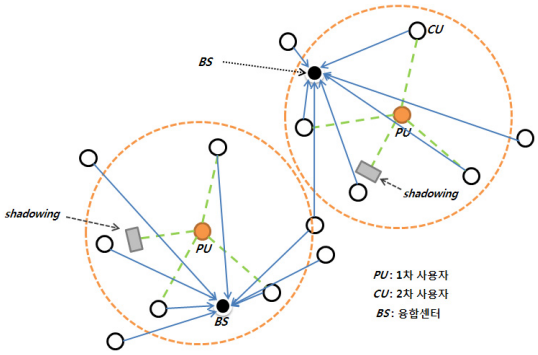
2. 전체 시스템 구조

2.1 시스템 모델

인지 무선 시스템은 그림(1)과 같이 1차 사용자, 2차 사용자 그리고 융합센터(base station)로 구성되어 있다. 1차 사용자는 해당 채널 및 주파수의 라이선스 (licensed)를 가지고 있는 사용자로써

다른 사용자의 간섭 없이 통신이 가능해야 한다. 2차 사용자는 라이선스를 가지고 있지 않는 사용자로써 1차 사용자에게 간섭을 주지 않으면서 채널 및 주파수를 사용하는 사용자이다. 융합 센터는 1차 사용자의 채널 사용 유무를 위해서 2차 사용자들의 국부 결정값을 수신 받고, 이를 기반으로 최종 결정을 내린다.

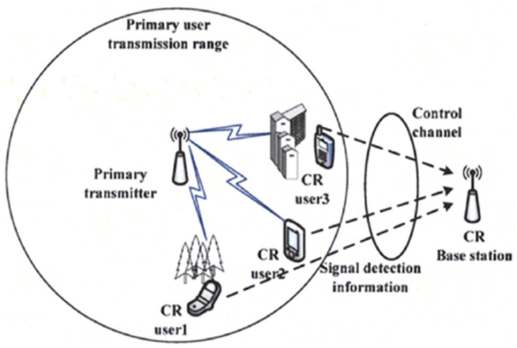
본 논문에서는 1차 사용자 주변에 다수의 2차 사용자가 분포되어 있고, 스펙트럼 검출 방식 중에서 융합센터를 이용하는 협력 검출 기법을 이용한다. 이 때 융합센터는 2차 사용자간의 통신 가능한 위치에 있으며 2차 사용자의 위치 정보를 가지고 있다고 가정한다.



(그림1) 시스템 모델

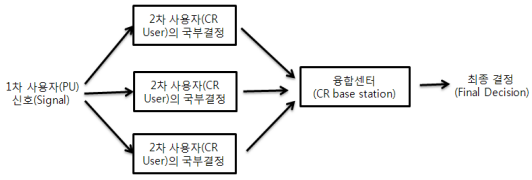
2.2 협력 검출 기법

스펙트럼 센싱 방법으로는 비협력 스펙트럼 검출 방식 및 협력 스펙트럼 검출 방식으로 나눌 수 있다. 비협력 검출 방식의 경우, 2차사용자는 1차 사용자의 신호를 지역적인 관측을 통해 독립적으로 검출한다. 하지만 그림(2)와 같이 2차 사용자 1과 2차 사용자 3은 건물 등의 주변 지형의 영향으로 다중 경로 감쇠 또는 쉐도윙 등의 간섭으로 인해 스펙트럼 검출에 대한 결과의 정확성이 낮고 신뢰성도 부족하다. 이로 인해서 비협력 스펙트럼 검출 방식에서는 2차 사용자가 1차 사용자 신호를 정확히 탐지를 못했을 경우에 2차 사용자가 1차 사용자가 사용하는 주파수에 간섭을 일으킬 수 있다. 또한 1차 사용자 2차 사용자의 쉐도윙으로 인해서 Hidden node 문제가 발생할 수 있다.



(그림2) 협력 검출 방식

이 문제를 해결하기 위한 방법으로 협력 검출 방식이 제안 되었다. 그림(3)과 각 2차 사용자들은 1차 사용자의 신호를 검출하고 검출한 신호의 정보를 융합센터로 전송한다. 정보를 받은 융합센터는 이를 기반으로 현재 환경에서의 1차 사용자 유무에 대한 최종 결정을 내린다. 이 방식을 통해서 다중 경로 감쇠와 쉐도윙에 의한 영향을 보완 및 최소화하여 1차 사용자의 사용 유무에 대한 정확한 검출을 할 수 있다.



(그림3) 협력 검출 순서도

2.3 스펙트럼 센싱

2차 사용자들은 1차 사용자의 신호의 검출을 위하여 스펙트럼 센싱을 수행하며, 이 과정을 국부 스펙트럼 센싱이라고 한다. 본 논문에서는 1차 사용자 검출을 위해 2차 사용자는 에너지 검출기를 사용한다. 각 2차 사용자에서 수신되는 1차 사

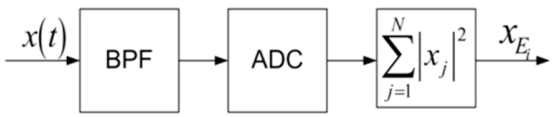
용자 신호는 수식(1)과 같이 일반적으로 이진 가설 검증(binary hypothesis testing)으로 표현 될 수 있다.

$$\begin{cases} H_0 : x(t) = n(t) \\ H_1 : x(t) = h(t)s(t) + n(t) \end{cases} \quad \text{수식(1)}$$

여기서 x(t)는 각 2차 사용자가 수신한 신호, s(t)는 1차 사용자가 송신한 신호, h(t)는 채널의 진폭 이득, n(t)은 채널에서의 노이즈(noise) 이다.

2.4 국부 스펙트럼 센싱을 위한 에너지 검출

2차 사용자는 수신된 1차 사용자 신호의 에너지를 검출하기 위해서 그림(4)과 같이 대역 통과 필터를 통해 특정 대역을 통과 시키고, 수신 에너지를 측정하기 위하여 제곱($(\bullet)^2$)연산을 수행 후, 수신 에너지를 수집한다.



(그림4) 에너지 검출

따라서 j번째 2차 사용자의 에너지 검출기 값은 아래 수식(2)과 같이 표현된다.

$$x_{E,j} = \sum_{j=1}^{N} |x_j|^2 = 1,2 \quad j = 1,2,...,n \quad \text{수식(2)}$$

여기서 수신 신호의 j번째 샘플(sample)값이고, N=2TW이며 T와 W는 각각 에너지 검출 시간과 신호의 대역폭이고 그리고 N은 2차 사용자의 총 수이다.

본 논문에서는 각 샘플에서 노이즈는 평균이 0 이고 단위 파워(unit power)를 가지는 가우시안 랜덤 변수(Gaussian random variable)로 가정한다. 만약 1차 사용자의 신호가 없다면 $x_{E,j}$는 N 자유도를 가지는 카이-제곱 분포(central chi-square distribution)를 따르고, 신호가 있다면 $x_{E,j}$는 N 자유도를 가지는 비 중심 카이-제곱 분포와 비 중심 파라미터($N\gamma$)를 따른다[5]. 이를 아래 수식과 같이 수식으로 표현된다.

$$x_{Ej} \sim \begin{cases} x_N^2, & H_0 \\ x_N^2(N\gamma), & H_1 \end{cases}, \quad j = 1,2,...,n \quad \text{수식(3)}$$

여기서 γ는 2차 사용자에서의 1차 사용자 신호의 신호 대 노이즈 비율(SNR)이다. $x_{E,j}$는 가우시안 랜덤 변수로써 수식(4)와 같이 근사화할 수 있다[5].

$$\begin{cases} \mu_0 = N; & \sigma_0^2 = 2N, & H_0 \\ \mu_1 = N(1+\gamma); & \sigma_1^2 = 2M(1+2\gamma), & H_1 \end{cases} \quad \text{수식(4)}$$

각 2차 사용자의 측정된 에너지 값은 국부 결정 임계 값(local decision threshold, λ)과 비교하여 국부 결정(local decision)을 내린다. 따라서 j번째 2차 사용자의 국부 결정 값(D_j)은 다음과 같은 수식(5)으로 주어진다.

$$D_j = \begin{cases} 1, \text{if } x_{E,j} \geq \lambda \\ 0, \text{if } x_{E,j} < \lambda \end{cases} \quad \text{수식(5)}$$

2.5 수신신호세기(received signal strength, RSS)

수신신호세기를 활용하는 방법은 특별한 장치 없이 노드간의 거리를 측정 가능한 기술 중에 하나이다. 기본적인 수신신호세기와 거리와의 관계식은 아래와 같이 표현 할 수 있다[6].

$$P_{c,r} = P_{p,t} \cdot \left(\frac{c}{4\pi f}\right)^2 \cdot \frac{1}{d^{\eta}} \qquad \text{수식(6)}$$

여기서 $P_{c,r}$는 2차 사용자에서의 수신된 1차 사용자의 신호 전력, $P_{p,t}$는 1차 사용자의 송신하는 신호의 전력, c는 전파의 속도, d는 노드간의 거리, f는 사용 전파의 주파수, η는 전력 손실 지수 이다. 이 기술에서 중요한 변수는 전력 손실 지수로써 그 값은 환경에 따라 많은 차이를 보여준다.

본 논문에서의 전력 손실 지수는 고정된 값으로 가정한다.

3. 1차 사용자 위치 추정 기반의 스펙트럼 검출 알고리즘

이동성을 가지는 1차 사용자가 할당된 채널 또는 주파수를 사용할 경우 1차 사용자의 전송 범위 안에 있는 2차 사용자 중에서 간섭의 영향이 낮거나 받지 않는 경우에는 1차 사용자의 채널 사용 유무에 대한 국부 결정값의 정확도가 높다. 반면 장애물 등으로 인한 간섭 영향을 받은 2차 사용자의 국부 결정값의 정확도는 낮다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 알고리즘을 제안한다.

3.1 1차 사용자의 임시 위치 추정

융합센터는 각 2차 사용자로부터 받은 정보를 이용한다. 1차 사용자가 존재한다고 인지한, 즉 국부 결정 값(D_j)이 1인 2차 사용자를 이용하여 1차 사용자의 임시적인 위치를 추정한다. 1차 사용자의 임시 위치 추정에는 수식(7)과 같이 인지한 2차 사용자 위치의 평균을 이용하거나 수식(8)과 같이 수신신호세기에 따른 가중치(w_j)를 주어 위치를 추정할 수 있다[7,8]. 이유인 즉, 1차 사용자와 근접한 2차 사용자 일수록 수신신호세기뿐만 아니라 신호 대 노이즈 비율이 높기 때문에 멀리 있는 2차 사용자 보다 위치 추정에 대한 신뢰를 가지고 있기 때문이다.

$$X_{PU} = \sum_{j=1}^{N} \frac{x_j}{N}$$

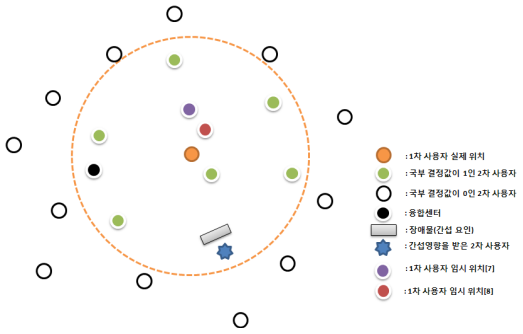
$$Y_{PU} = \sum_{j=1}^{N} \frac{y_j}{N} \qquad \text{수식(7)}$$

$$X_{PU} = \sum_{j=1}^{N} w_j x_j / \sum_{j=1}^{N} w_j$$

$$Y_{PU} = \sum_{j=1}^{N} w_j y_j / \sum_{j=1}^{N} w_j \qquad \text{수식(8)}$$

여기서 X_{PU}와 Y_{PU}는 1차 사용자의 x축과 y축 임시 좌표, x_j와 y_j는 국부 결정 값(D_j)이 1인 2차 사용자 좌표, j는 국부 결정값이 1인 2차 사용자 인덱스(index), N은 국부 결정값이 1인 2차 사용자의 총 수이다.

예를 들면 그림(5)에서와 같이 2차 사용자의 위치를 기반으로 1차 사용자의 임시 적인 위치를 추정할 수 있다.

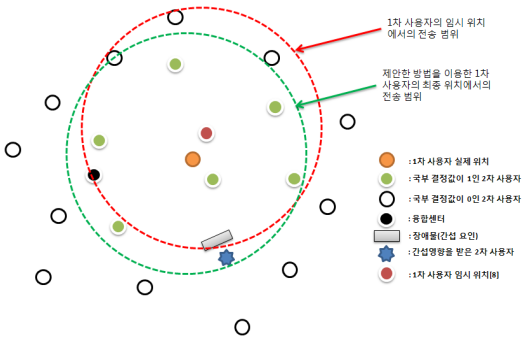


(그림5) 1차 사용자의 임시 위치

위의 그림에서 볼 수 있듯이 1차 사용자의 임시 위치는 장애물 등의 간섭으로 인해서 수식(7) 또는 수식(8)을 이용해서 추정한 1차 사용자의 위치는 정확하지 않다는 것을 알 수 있다. 특히 수식(7)을 이용한 위치 추정의 정확도가 더욱 나쁘다는 것을 알 수 있다.

3.2 1차 사용자의 개선된 위치 추정

3.1절에서 추정한 1차 사용자의 임시적인 위치, 1차 사용자의 전송 범위 그리고 국부 결정 값(D_j)이 1인 2차 사용자의 위치를 이용하면 1차 사용자의 정확한 위치를 추정할 수 있다. 먼저 3.1절에서 추정된 1차 사용자의 위치에서 1차 사용자의 전송 범위까지의 점선의 원을 그림(6)과 같이 그릴 수 있다.



(그림6) 1차 사용자의 임시 위치에서의 전송 범위

만약 임시적으로 추정한 1차 사용자의 임시 좌표가 정확하다면 국부 결정값이 1인 2차 사용자는 점선 안에 포함되어 있고 국부 결정값이 0인2차 사용자는 점선 밖에 존재할 것이다. 하지만 간섭 영향으로 인해서 위에 사항은 만족되어 지지 않다는 것을 알 수 있고, 이는 1차 사용자의 위치가 정확하지 않다는 것을 의미하는 것이다.

본 논문에서는 이를 이용해서 위치를 보정한다. 점선의 원 안에 포함되어 있는 2차 사용자의 국부 결정값이 0일 경우에는 1차 사용자의 전송 범위 안에 포함 되어 있지 않아야 함으로 아래 수식(9)와 같이 국부 결정값이 0인 2차 사용자의 반대 방향으로 이동한다.

$$x_{push} = \frac{x_i - x_0}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}}$$

$$y_{push} = \frac{y_i - y_0}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}}$$

수식(9)

여기서 x_{push}, y_{push}는 현재 1차 사용자 위치에서 각 x, y 축으로 이동하는 거리, x_0, y_0는 인덱스가 0인 1차 사용자의 임시 위치, x_i, y_i는 1차 사용자 전송 범위 안에 포함되어 있으나 국부 결정값이 0인 2차 사용자의 위치 그리고 i는 국부 결정값이 0인 2차 사용자의 인덱스이다.

그리고 점선의 원 안에 포함되어 있지 않지만 2차 사용자의 국부 결정값이 1일 경우에는 1차 사용자의 전송 범위 안에 포함되어 있어야 함으로 아래 수식과 같이 국부 결정값이 1인 2차 사용자의 방향으로 이동한다. 이를 수식(10)으로 표현 할 수 있다.

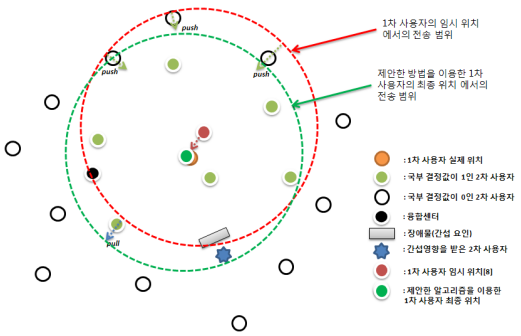
$$x_{pull} = \frac{x_0 - x_j}{\sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}}$$

$$y_{pull} = \frac{y_0 - y_i}{\sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}}$$

수식(10)

여기서 x_{pull}, y_{pull}는 현재 1차 사용자 위치에서 각 x, y축으로 이동하는 거리, x_j, y_j는 1차 사용자 전송 범위 안에 포함되어 있지 않으나 국부 결정값이 1인 2차 사용자의 위치, j는 국부 결정값이 1인 2차 사용자의 인덱스이다.

위에서 제안한 수식(9)과 수식(10)을 이용하면 수식(8)을 이용해서 추정한 1차 사용자의 위치를 그림(7)과 같이 1차 사용자의 실제 위치에 근접하게 추정 가능하다.



(그림7) 1차 사용자의 개선된 위치 추정 과정

3.3 융합센터에서의 간섭영향을 받는 2차 사용자 검출

본 논문에서 2차 사용자가 1차 사용자의 송신 신호가 간섭 영향을 받는 지에 대한 판단하기 위한 방법은 수신신호세기 기술을 이용한다. 단계 3.2절에서 기술한 방법을 통해서 추정된 1차 사용자의 위치 추정으로 인해서 1차 사용자와 2차 사용자와의 거리를 측정할 수 있다. 이를 기반으로 1차 사용자와 2차 사용자 간의 거리를 이용해서 계산된 수신신호세기($RSS_{calculate}$)와 2차 사용자가 수신한 수신신호세기($RSS_{measure}$)를 비교하여 2차 사용자의 수신된 신호가 간섭 영향을 받았는지에 대한 유무(ID_j)를 알 수 있다. 따라서 j 번째 2차 사용자의 간섭 유무는 다음과 같은 수식(11)로 표현할 수 있다.

$$ID_j = \begin{cases} 1, (RSS_{calculate} - RSS_{measure}) \geq \epsilon \\ 0, \ Otherwise \end{cases} \qquad \text{수식(11)}$$

여기서 ϵ는 임계값이며, 환경에 따라 유동적으로 결정할 수 있다.

이를 통해서 간섭 영향을 받은 2차 사용자의 검출이 끝나면, 융합센터에서는 간섭 영향을 받은 2차 사용자의 국부 결정값으로 판별된 정보를 제외한 나머지 2차 사용자의 국부 결정값을 이용해서 최종 결정(final decision, FD)을 내린다.

```
Process
1. initial position of PU
   x = ∑(w*x)/∑w, y = ∑(w*y)/∑w

2. estimate the improve position of PU
  if local decision=1
    SU=SU_detection
  end if
  while
   if SU_detection∈transmission range of PU
        while break
   else
     Push
        x = (x_i − x_0)/√((x_i − x_0)^2 + (y_i − y_0)^2)
        y = (y_i − y_0)/√((x_i − x_0)^2 + (y_i − y_0)^2)
     Pull
        x = (x_0 − x_j)/√((x_0 − x_j)^2 + (y_0 − y_j)^2)
        y = (y_0 − y_j)/√((x_0 − x_j)^2 + (y_0 − y_j)^2)
   end if

3. decision interference node
  if RSS_cal.-RSS_mea.≥ε
     ID=1
  else
     ID=0
  end if
```

4. 시뮬레이션 결과

제안된 알고리즘의 성능 분석을 위해 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 주 분석 내용은 두 가지로 구성되어있다. 첫 번째로는 이동성을 가지는 1차 사용자가 존재하는 인지 무선 시스템 환경에서 간섭이 존재할 경우 1차 사용자의 위치 추정의 정확도를 평가하는 것이다. 그리고 두 번째는 1차 사용자의 위치 추정을 기반으로 간섭 영향을 받은 2차 사용자를 검출하여 1차 사용자의 채널 사용 유무에 대한 최종 검출에 대한 평가이다.

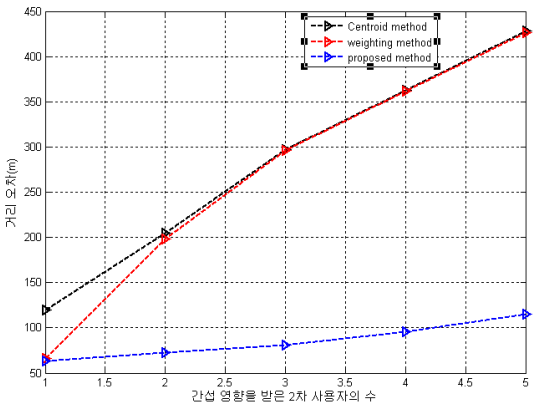
성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경은 아래 표와 같다. 전파 모델은 friis 수식을 이용하였다.

(표 1) 시뮬레이션을 위한 환경 및 값

환경(setting)	값(value)
모델 크기	10km × 10km
샘플 수	10,000번
N	300
1차 사용자의 전송 전력	200mW
송신 안테나 이득(Gain)	100
수신 안테나 이득(Gain)	100
2차 사용자의 수	100 개
1차 사용자의 전송 범위	2km

4.1 1차 사용자의 위치 추정

본 논문에서는 이동성을 가지는 1차 사용자의 위치 추정을 기반으로 1차 사용자의 채널 사용 유무를 판단함으로써 위치 추정의 정확도가 높아야 한다. 제안한 알고리즘의 평가를 위해서 centroid method[7]와 weighting method[8]을 비교하였다.



(그림8) 1차 사용자의 위치 추정의 거리 오차

그림(8)과 같이 centroid method와 weighting method는 간섭 영향을 받은 2차 사용자 수가 증가할수록 1차 사용자의 위치 추정의 거리 오차가 늘어나는 반면에 제안된 방법(proposed method)은 간섭 영향을 받은 2차 사용자 수가 증가하여도 거리 오차가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 추가로 1차 사용자의 전송범위가 넓어지거나 같은 공간에 2차 사용자 수가 증가 할수록 제안한 알고리즘 특성상 1차 사용자의 위치 추정의 정확도가 높아지고, 거리 오차도 더욱 줄어든다는 것을 유추할 수 있다.

4.2 위치 추정 기반의 스펙트럼 검출

본 논문에서의 최종 검출 결과를 위해서 Majority rule을 사용하였다[9]. 수식은 아래와 같다.

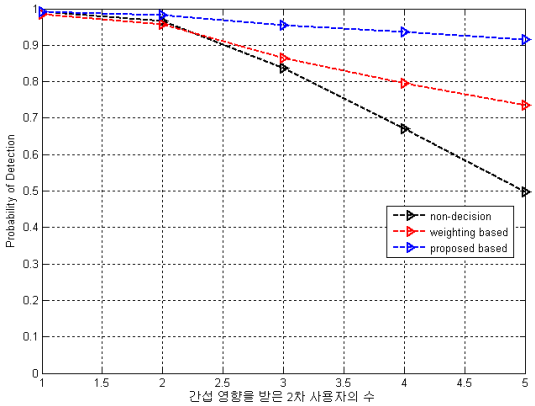
$$Final\,decision(FD)=\begin{cases}1, \sum_{k=1}^{N} D_k > \frac{N}{2} \\ 0, \sum_{k=1}^{N} D_k \le \frac{N}{2}\end{cases} \qquad \text{수식(12)}$$

여기서 k는 CR 사용자의 인덱스(Index) 이고 D_k는 K번째 2차 사용자의 국부 결정 값, 그리고 N은 사용자 수이다.

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해서 아래 수식과 같이 1차 사용자가 채널을 사용할 시, 최종 검출 결과가 1차 사용자의 채널 사용을 잘 검출하는 정 검출 확률(probability of detection, p_d)와 1차 사용자가 채널을 사용하지 않을 시, 최종 검출 결과가 1차 사용자가 채널을 사용한다고 잘못 판단하는 오경보 확률(Probability of False- alarm, p_f)을 이용하였다.

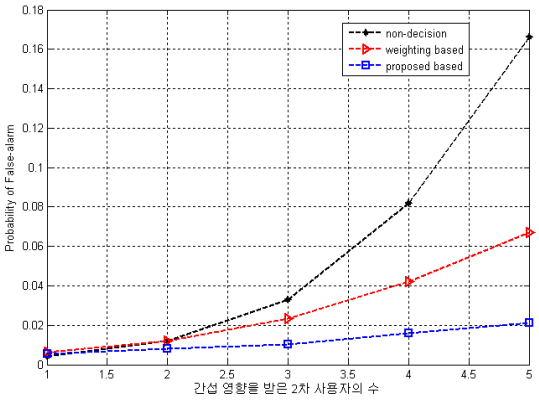
$$p_d = P[FD = H_1 | H_1]$$
$$p_f = P[FD = H_1 | H_0] \qquad \text{수식(13)}$$

제안한 알고리즘의 평가를 위해서 다른 두 가지 방법과 비교하였다. 하나는 1차 사용자의 위치는 정확히 추정한다고 가정한 후에 최종 검출하는 방법에서 간섭 유무에 대한 검출(ID_j)을 고려하지 않는 방법(non-decision)이고, 다른 하나는 weighting method를 이용하여 1차 사용자의 위치를 추정 후에 간섭 유무에 대한 검출 후 이를 기반으로 최종 검출하는 방법이다.



(그림9) 최종 Probability of Detection 결과

그림(9)에서는 제안한 알고리즘이 1차 사용자가 채널을 사용할 시, 채널 사용을 잘 검출하는 정 검출 확률이 가장 좋은 것을 볼 수 있다. 그리고 1차 사용자의 위치는 정확히 추정한다고 가정한 후에 최종 검출하는 방법에서 간섭 유무에 대한 검출(ID_j)을 고려하지 않는 방법(non-decision)과 weighting method를 이용하여 1차 사용자의 위치를 추정 후에 간섭 유무에 대한 검출 후 이를 기반으로 최종 검출하는 방법은 간섭 영향을 받는 2차 사용자 수가 작을 때의 최종 검출 결과는 좋으나 2차 사용자 수가 늘어날수록 정 검출 확률이 낮다는 것을 알 수 있다.



(그림10) 최종 Probability of False-alarm 결과

그림(10)에서는 그림(9)과같이 제안한 알고리즘이 1차 사용자가 채널을 사용하지 않을 시 채널 사용 유무에 대한 최종 검출 시 1차 사용자가 존재한다고 잘못 판단하는 오경보 확률이 가장 낮다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

현재 무선 통신에서 관심이 집중되고 있는 기술 중에 하나인 인지 무선 시스템은 신호 검출, 채널 추정, 채널 할당 그리고 1차 사용자의 위치 추정 등 많은 기술이 필요한 시스템이다. 이러한 기술들에 대한 연구는 지속적으로 발전되고 있다. 하지만 이동성을 가지는 1차 사용자에 대한 신호 검출과 환경적인 간섭으로 인한 신호 검출에 대한 연구는 현재 많이 부족한 실정이다. 특히 이동성을 가지는 2차 사용자가 존재하는 인지 무선 시스템에서는 2차 사용자의 위치 없이 주변에 모든 2차 사용자의 국부 결정값을 그대로 사용한다면 낮은 신호 검출 결과를 초래할 뿐만 아니라 많은 전력 낭비가 생길 것이다. 이에 본 논문에서는 1차 사용자 주변의 2차 사용자들을 이용하여 1차 사용자의 정확한 위치를 추정하고 이를 기반으로 간섭영향을 받은 2차 사용자를 검출하여 배제함으로써 최종 스펙트럼 검출의 정확성을 높일 수 있음을 시뮬레이션을 통해서 확인하였다.

참고문헌

[1] J. Mitola, "Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio", Ph.D thesis, Royal Institute for Technology (KTH) and Sweden. [2] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communication, "IEEE Select. Areas Commun., vol. 23, no. 2, Feb. 2005, pp. 201-220.

[2] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communication," IEEE Select. Areas Commun., vol. 23, no. 2, Feb. 2005, pp. 201-220.

[3] FCC, "Notice of proposed rule making and order : Facilitating opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies," ET Docket No. 03-108, Feb. 2005.

[4] 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.

[5] Z. Chair and P. K. Varshney, "Optimum data fusion in multiple sensor detection systems," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-22, Issue 1, pp. 98-101, Jan. 1986.

[6] N.Patwari, J. N. ash, S.Kyperountas, Hero, A.O., III Moses, R.L. Correal, N.S , "Locating the nodes", IEEE Signal Processing Mag., vol.22, no 4, pp. 54-69, july 2005.

[7] An Xun, Jiang Ting and Zhou Zheng, "Centroid localization algorithm for wireless sensor networks," Computer Engineering and Applications, 43(20), pp.136-138, 2007.

[8] J. A. Costal, N. Patwari, and A. O. Hero, "Distributed weighted multidimensional scaling for node localization in sensor networks," ACM Trans. Sensor Netw., vol. 2, no. 1, pp. 39 – 64, Feb. 2006.

[9] L. Lam and C. Y. Suen. Increasing expens for majority vote in ocr: Theoretical considerations and strategies. In Proceedings of the 4th International Workshop on Fronriers in Handwriting Recognition, pp. 245-254, 1994.

◐ 저 자 소 개 ◑

강 형 서 (Hyungseo Kang)
2009년 계명대학교 전기전자공학과 졸업(학사)
2009~현재 울산대학 전기전자정보시스템공학부 석사과정
관심분야 : 차세대 이동통신, 무선 센서네트워크
E-mail : leeyd1004@naver.com

구 인 수 (Insoo Koo)
1996년 건국대학교 전자공학과 졸업(학사)
1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사)
2002년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(박사)
2005~현재 울산대학 전기전자정보시스템공학부 교수
관심분야 : 차세대 이동통신, 무선 센서네트워크
E-mail : iskoo@ulsan.ac.kr