

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.6.93

JIIBC 2013-6-12

페이딩 채널에서 새로운 협력 스펙트럼 센싱 검출

A New Cooperative Spectrum Sensing in Fading Channels

공형윤*, 김태욱*

Hyung-Yun Kong, Tae-Wook Kim

요약 제안하는 프로토콜은 기존의 검출 기법에 비해 더 높은 성능을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 검출 결과의 수를 줄임으로서 네트워크 자원을 절약할 수 있다. 레일리 페이딩 채널 상에서 협력 스펙트럼 검출은 많은 수의 2차 사용자를 필요로 한다. 이러한 2차 사용자들은 1차 사용자의 신호를 검출한다. 본 논문에서 제안하는 협력 스펙트럼 검출은 가장 높은 전력의 1차 사용자 신호를 수신한 단 하나의 2차 사용자만이 검출 결과를 전송하고 나머지 2차 사용자들은 중계기로서 공동 수신단으로 전송을 돕는 역할을 한다.

Abstract The proposed protocol is to get better performance compared to the existing method, also it can save the node number. There is needed a lot of secondary user for cooperative spectrum detection in Rayleigh fading channel. In this proposal, we suggest the new cooperative spectrum detector which can choose one secondary user with high power, while other SUs can be used as relays.

Key Words : Cognitive Radio, Cooperative spectrum sensing, Rayleigh fading channel

1. 서론

무선 통신 시장이 급격히 증가함에 따라 스펙트럼 사용에 관한 요구 역시 급격하게 증가하고 있다. 최근 FCC가 발표한 보고서에 따르면 이미 85%이상의 주파수대역이 할당되어 있음을 보여주고 있다. 이것은 할당된 주파수의 사용율이 매우 낮음을 뜻하고 있다. 인지통신 기술은 이러한 비어있는 스펙트럼 대역을 사용하기 위해 제안되었다.

스펙트럼 검출 기술은 인지 통신에서 가장 중요한 기술로 인식되고 있으며 IEEE 802.22 표준안에 포함되어 있다. 그러나 이러한 스펙트럼 검출 성능은 단 하나의 2차 사용자가 검출에 참여할 경우 페이딩과 새도잉과 같

은 가려진 터미널 문제로 인한 열화가 발생할 가능성이 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해 스펙트럼 검출 시 다수의 2차 사용자가 스펙트럼을 협력적으로 검출하는 협력 스펙트럼 검출 기법이 제안되었다. 협력 스펙트럼 검출 기법은 두 단계에 걸쳐 진행된다. : 검출과 리포팅^[1-5] 검출 단계에서는 각각의 2차 사용자는 스펙트럼을 검출하고 지역 검출 값을 생성한다. 그러나 실제 리포팅 환경은 완벽하지 않으므로 협력 스펙트럼 검출 성능은 리포팅 에러에 의해 제한된다. 특히 경계가 리포팅 에러에 따라 선형적으로 증가하게 되면 오경보 확률은 하한 값이 된다^[6]. 높은 리포팅 채널 성능을 얻기 위한 몇몇 기술은 이러한 문제를 해결하기 위해 연구되어졌다. 참고 문헌 [2]에서는 시공간, 주파수 공간 코딩을 이용하여

*정희원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부
접수일자 : 2013년 9월 13일, 수정완료 : 2013년 10월 25일
게재확정일자 : 2013년 12월 13일

Received: 13 September, 2013 / Revised: 25 October, 2013 / Accepted: 13 December, 2013

*Corresponding Author: hkong@mail.ulsan.ac.kr

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

각각의 2차 사용자들이 가상의 안테나 배열을 형성하여 마치 다수의 안테나를 이용한 것과 같은 효과를 얻는 방법을 제안하였다. 이러한 기술은 리포팅 에러의 수를 줄일 수 있으나 실제로 공동 수신단이나 클러스터 헤더가 모든 사용자로부터 검출 결과 값을 수신하는 데는 매우 많은 시간을 필요로 한다. 더욱이 공동 수신단은 잘못된 지역 검출 값을 수신할 확률이 높으므로 최종 검출 결과 값 역시 잘못된 것일 확률이 높아지게 된다. 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 각각의 2차 사용자가 수신한 신호의 에너지에 따라 타이머를 작동시키게 된다. 따라서 가장 높은 전력의 신호를 수신한 2차 사용자가 리포팅 사용자로 선정이 되게 된다. 리포팅 사용자는 1바이트의 지역 검출 값을 생성하고 이를 공동 수신단으로 전송할 수 있는 권리를 가진다. 더 우수한 리포팅 채널 성능을 얻기 위해 다른 2차 사용자들은 중계기로서 리포팅 사용자와 공동 수신단간 신호의 송수신을 돕게 된다. 따라서 리포팅 단계에서는 단 하나의 송신단(리포팅 사용자), 단 하나의 수신단(공동 수신단)만이 존재하게 되고 나머지 2차 사용자들은 중계기 역할을 하게 된다. 이러한 전송 과정은 두 개의 과정을 거친다. 첫 번째 단계에서는 송신단은 수신단과 중계기로 신호를 전송하게 되고 두 번째 단계에서는 최적의 중계기로 선택된 중계기만이 수신단으로 신호를 전송하게 된다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 진행된다. 2장에서는 협력 스펙트럼 검출 기법에 관해 간단히 설명하고 3장에서는 제안하는 기법을 설명하고 분석한다. 4장에서의 모의실험 결과를 분석하고 5장에서 본 논문의 결론을 내린다.

II. 협력 스펙트럼 검출

1. 지역 스펙트럼 검출

H_1 과 H_0 를 현재 1차 사용자가 신호를 전송 중일 가설과 그렇지 않을 가설이라고 가정한다. 따라서 2차 사용자가 수신하는 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

$h(t)$ 는 1차 사용자와 2차 사용자 간 채널 이득을 나

타내며 $n(t)$ 는 AWGN을 나타낸다. 고정된 대역폭 W 상에서 일정 시간 T 동안 수집된 에너지를 라고 나타낸다. 지역 검출 값은 1또는 0의 값을 가지며 이러한 값은 에너지 값이 임계 값보다 높은지, 낮은지에 따라 달라진다.

$$G = \begin{cases} 1, O > \lambda \\ 0, \text{others} \end{cases} \quad (2)$$

참고문헌 [5, 6]에 따르면 레일리 페이딩 채널 상에서 스펙트럼 검출의 중요 확률 값(오경보 확률, 미검출 확률, 검출 확률)등은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_f &= E_\rho \{ \Pr \{ H_1 | H_0 \} \} \\ &= E_\rho \{ \Pr \{ O > \lambda | H_0 \} \} = \Gamma(u, \lambda/2) / \Gamma(i) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} P_d &= E_\rho [\Pr \{ H_1 | H_1 \}] = E_\rho [\Pr \{ O > \lambda | H_1 \}] \\ &= e^{-\lambda/2} \sum_{n=0}^{u-2} \left[\frac{\bar{\lambda}}{2(1+\rho)} \right] / n! \end{aligned} \quad (4)$$

$$P_m = 1 - P_d \quad (5)$$

2. 협력 스펙트럼 검출

N 은 2차 사용자의 수를 나타내며, 모든 채널은 i.i.d 하며 동일한 평균 SNR을 가지는 레일리 페이딩을 겪는다고 가정한다. 1차 사용자와 2차 사용자간 채널, 2차 사용자들 간 채널, 2차 사용자와 공동 수신단간 채널은 $\bar{\rho}$ $\gamma_1 \gamma_2$ 가정한다. 일반적으로 협력 스펙트럼 검출은 아래와 같이 이루어진다.

1 : 모든 2차 사용자는 시간 T 에 걸쳐 수신된 신호의 에너지 값 Q_i 을 수집하고 이를 임계값과 비교하여 지역 검출 결과 값을 생성한다.(식(2))

단계 2 : 모든 지역 검출 값은 공동 수신단으로 보내어지며 공동 수신단은 이러한 값을 바탕으로 최종 검출 값을 생성한다. [1]에서 보이는 바와 같이 OR 법칙을 이용하는 경우 오경보 확률과 미검출 확률은 각각 Q_f^{conv} , Q_m^{conv} 라고 나타내며 아래와 같다.

$$Q_f^{conv} = 1 - \prod_{i=1}^N [(1 - P_{f,i})(1 - P_{e,i}) + P_{f,i}P_{e,i}] \quad (6)$$

$$Q_m^{conv} = \prod_{i=1}^N [P_{m,i}(1 - P_{e,i})(1 - P_{m,i}) + P_{e,i}] \quad (7)$$

위 식에서 $P_{f,i}$ 와 $P_{m,i}$ i 번째 2차 사용자가 생성한 지역 검출 값의 오 경보 확률과 미 검출 확률을 나타내며 $P_{e,i}$ 는 i 번째 2차 사용자와 공동 수신단 간 리포팅 에러 확률을 나타낸다. [5]의 식 (13)에서 증명된 바와 같이 협력 스펙트럼 검출에서 오 경보 확률은 하한값 \bar{Q}_j 에 의해 제한된다.

$$Q_f^{conv} \geq \bar{Q}_j = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{e,i}) \quad (8)$$

i.i.d 채널 상에서는 $P_{e,i} = P_{e,d}$ 이라고 가정할 수 있다. 그러므로 $P_{e,d}$ 의 최소 값은 식 (8)에 의해 $P_f^{conv} \geq NP_e^d$ 와 같이 나타낼 수 있다. N 이 매우 크다면 오 경보 확률을 하한 값 역시 증가하게 된다. 2차 사용자가 많은 경우 높은 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 반면 지역검출 값을 모두 수신하기 위한 시간 소비가 크다. 반면 2차 사용자가 작은 경우 지역 검출 값을 모두 수신하기 위한 시간이 작으나 높은 다이버시티 이득을 얻을 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 협력 스펙트럼 검출 기법을 연구한다.

III. 기회주의적 스펙트럼 검출 기법

본 장에서는 최상의 신호를 수신한 최적의 검출 사용자를 찾고 이로 하여금 지역 검출 값을 생성하고 공동 수신단으로 지역 검출 값을 전송하게 하는 새로운 스펙트럼 검출 기법을 연구한다.

1. 타이머를 이용한 수신된 에너지 전력 비교

최적의 2차 사용자를 선택하기 위해 2차 사용자가 수신한 신호의 전력을 간접적으로 비교할 수 있는 타이머를 이용한다. 이때 각각의 사용자는 모두 타이머를 가지고 있다고 가정한다. 2차 사용자 네트워크 내에서 수신된 신호의 전력 O_i 를 수집한 2차 사용자는 스스로 타이머를 작동시킨다.

$$T_i = \frac{A}{O_i} \quad (9)$$

위 식에서 A 는 상수이다. 공정한 비교를 위해서 모든 2차 사용자 간 완벽한 동기화가 이루어진다고 가정한다. 실제 시스템에서 이러한 가정은 공동 수신단으로부터 비콘 신호를 수신할 때만 가능하다. 검출 과정은 공동 수신단이 모든 2차 사용자로 신호를 브로드캐스팅(broadcasting)하는 순간 시작된다. 모든 노드들은 동시에 비콘 신호를 수신하게 되고 이를 시간 T 에 걸쳐 에너지 정보를 수집하게 된다. 또한, 이러한 에너지 값을 바탕으로 모든 2차 사용자들이 동시에 타이머를 작동시킨다. 이중 수신한 신호의 전력이 가장 높은 노드의 타이머가 가장 빨리 종료되게 된다. 이 노드는 리포팅 2차 사용자로 선택되게 되고 지역 검출 결과 값을 공동 수신단으로 전송하는 역할을 맡게 된다. 이러한 정보를 전송하는 동안 이 신호는 다른 모든 2차 사용자에게도 전송이 되고 이 신호를 수신한 2차 사용자들은 타이머를 종료하고 리포팅 2차 사용자와 공동 수신단간 신호의 송수신을 돕는 중계기 역할을 하게 된다.

2. 수신된 신호의 전력을 이용한 최적의 중계기 설정 기법

a. 지역 검출 결합

선택된 2차 사용자가 수신한 신호의 에너지를 O_{\max} 라고 나타내면 $O_{\max} = \max\{O_1, O_2, \dots, O_N\}$ 와 같다. 리포팅 사용자가 전송한 지역 검출 값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_{\max} = \begin{cases} 1, & O_{\max} > \lambda \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

또한 오 경보 확률 $P_{f,\max}$, 미 검출 확률 $P_{m,\max}$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{f,\max} &= \Pr(O_{\max} > \lambda | H_0) \\ &= 1 - \Pr(O_{\max} < \lambda | H_0) \\ &= 1 - \prod_{i=1}^N \Pr(O_i < \lambda | H_0) \\ &= 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{f,i}) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
P_{m,\max} &= \Pr(O_{\max} < \lambda | H_1) \\
&= \prod_{i=1}^N \Pr\{O_i < \lambda | H_1\} \\
&= \prod_{i=1}^N P_{m,i}
\end{aligned} \tag{12}$$

가장 높은 검출 전력을 가지는 사용자를 선택하기 위해 네트워크 내 모든 2차 사용자들의 지역 검출 값을 취득한다. 이후에는 어떤 방법을 통해 낮은 에러 확률로 공동 수신단으로 결과를 전송하는 문제에 직면하게 된다. 이러한 문제와 시간, 대역폭 그리고 에러율을 절약하기 위해 기회주의적 협력 중계 기법이 소개되었다.

b. 공동 수신단에서 최종 결과 값 생성

이전 과정을 따라서 리포팅 유저는 지역 검출 값을 공동 수신단으로 전송을 한다. 리포팅 전송을 위한 통신 과정에서 전송은 두 단계의 과정을 거친다. 첫 번째 단계에서는 리포팅 사용자가 1비트를 다른 2차 사용자와 공동 수신단으로 전송한다. 두 번째 단계에서는 각각의 2차 사용자가 수신한 신호를 복호하고 이를 공동 수신단으로 전송한다.

MRC 결합 기술을 이용하여 수신단은 수신한 신호를 결합하고 이를 바탕으로 최종 검출 결과 값을 생성해낸다. P_e^{ω} 를 리포팅 사용자와 공동 수신단간 신호의 전송을 돕는 다른 2차 사용자의 전송 에러 확률이라고 나타낸다. P_e^{ω} 에 따라 최종 오경보 확률 및 최종 Q_f , 미 검출 확률 Q_m 은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_f^{pro} = 1 - [(1 - P_{f,\max})(1 - P_r^{\omega})] + P_{f,\max} P_r^{\omega} \tag{13}$$

$$Q_m^{pro} = P_{m,\max}(1 - P_e^{\omega}) + (1 - P_{m,\max})P_e^{\omega} \tag{14}$$

공동 수신단에서의 스펙트럼 검출 성능을 분석하기 위해서는 리포팅 채널의 성능을 고려하여야 하며 이러한 연구는 다음 섹션에서 고려한다.

3. 리포팅 에러 확률 분석

a. 직접 리포팅 에러 확률

기존의 기술에서 리포팅 신호는 2차 사용자와 공동 수신단 간 직접전송에 의해 이루어졌다. 그리고 이러한 직접 리포팅 에러 확률은 Q함수를 이용하면 다음과 같

이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
P_{e,i} &= P_e(\bar{\gamma}_2) = \int_0^{\infty} Q\sqrt{2\gamma_{iD}} f_{\gamma_{iD}} d\gamma_{iD} \\
&= \left[1 - \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_2}{1 + \bar{\gamma}_2}}\right] / 2
\end{aligned} \tag{15}$$

위 식에서 $\gamma_{iD}(i = 1, \dots, N)$ 는 송신단에서 i 번째 2차 사용자에게 전송된 신호의 순시 SNR을 나타낸다. 따라서 i 번째 2차 사용자가 신호의 복호에 실패할 확률은 BER이 되며 아래와 같다.

b. 협력 리포팅 에러 확률

$\gamma_{SD}(i = 1, \dots, N-1)$ 를 리포팅 사용자가 i 번째 2차 사용자에게 전송하는 mean값이 $\bar{\gamma}_1$ 인 신호의 순시 SNR이라고 나타낸다. 따라서 i 번째 2차 사용자가 mean SNR이 $\bar{\gamma}_1$ 인 신호의 복호에 실패할 확률은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_e(\bar{\gamma}_1) = \left[1 - \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_1}{1 + \bar{\gamma}_1}}\right] / 2 \tag{16}$$

기회주의적 협력 중계 전송에서 본 논문에서 제안하는 최적의 중계기는 리포팅 사용자와 공동 수신단간 신호의 전송을 위해 선택된다. $\gamma_{\max}^{(k)}$ 을 복호에 성공한 리포팅 사용자가 공동 수신단으로 전송하는 신호의 순시 SNR이라고 하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{(k)}^{\max}(\gamma) = \left(\frac{k}{\gamma}\right) e^{-\frac{k}{\gamma}} \left(1 - e^{-\frac{k}{\gamma}}\right)^{k-1} \tag{17}$$

MRC 기법을 사용하는 경우 공동 수신단에서의 수신 SNR은 다음과 같다.

$$\gamma_{\omega} = \gamma_{SD} + \gamma_{\max}^{(k)} \tag{18}$$

γ_{SD} 는 리포팅 사용자와 공동 수신단간 직접 전송 채널의 순시 SNR을 나타낸다. γ_{SD} 와 $\gamma_{\max}^{(k)}$ 의 정확한 값을 도출해내기 위한 협력 리포팅 에러 확률은 다음과 같이

나타낼 수 있다.

$$P_e^{oo}(\gamma_{SD}\gamma_{\max}^{(k)}) = \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} [1 - P_e(\bar{\gamma}_1)]^k \times P_e(\bar{\gamma}_1)^{N-k-1} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\frac{\gamma_{SD} + \gamma_{\max}^{(k)}}{\sin^2(\theta)}} d\theta \quad (19)$$

식(19)를 통해 구한 γ_{SD} 와 $\gamma_{\max}^{(k)}$ 를 이용하여 협력 리포팅 채널의 BER을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$P_e^{oo}(\gamma_{SD}\gamma_{\max}^{(k)}) = \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} [1 - P_e(\bar{\gamma}_1)]^k \times P_e(\bar{\gamma}_1)^{N-k-1} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\frac{\gamma_{SD} + \gamma_{\max}^{(k)}}{\sin^2(\theta)}} d\theta \times \left(\frac{k}{\gamma_2}\right) e^{-\frac{\gamma_{SD}}{\gamma_2} - \frac{\gamma_{\max}^{(k)}}{\gamma_2}} \left(1 - e^{-\frac{\gamma_{\max}^{(k)}}{\gamma_2}}\right) d\gamma_{SD} d\gamma_{\max}^{(k)} \quad (20)$$

$$P_e^{oo}(\gamma_{SD}\gamma_{\max}^{(k)}) = \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} [1 - P_e(\bar{\gamma}_1)]^k P_e(\bar{\gamma}_1)^{N-k-1} \times k \left\{ \frac{1}{4} \left[2 - 3\sqrt{\frac{\bar{\gamma}_2}{(1+\bar{\gamma}_2)^3}} - 2\sqrt{\frac{\bar{\gamma}_2^3}{(1+\bar{\gamma}_2)^3}} \right] + \sum_{m=1}^{k-1} \binom{k-1}{m} \frac{(-1)^m}{m} \left[P_e(\bar{\gamma}_2) - \frac{P_e(\bar{\gamma}_2)}{m+1} \right] \right\}$$

식 (6), (7), (13), (14)에 식 (15), (20)을 대입함으로써 기존의 검출 성능과 본 논문에서 제안하는 검출 성능을 계산해낼 수 있다.

IV. 모의실험 결과 및 토의

본 논문에서 제안하는 프로토콜의 장점은 기존의 협력 스펙트럼 검출 기법과의 비료를 통해 알 수 있다. 두 가지 기술 모두 수신단에서는 ROC 형태의 성능을 보여준다.

그림 1은 수신단에서 논문에서 제안하는 협력 스펙트럼 검출 기법의 성능과 [4]의 클러스터 기반의 검출 성능 그리고 N= 4, 6이고 $\bar{\rho}=10,15dB$ 일 때 기존의 협력 스펙트럼 검출 기법의 Q_m 과 Q_f 성능을 보여준다.

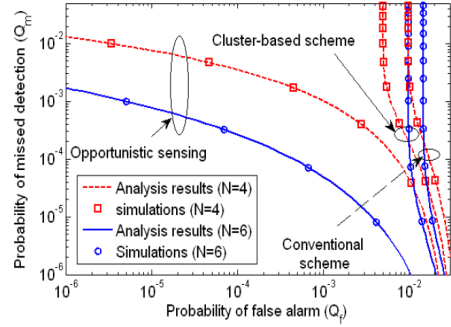


그림 1. N = 4, 6이고 $\bar{\rho}=10,15dB$ 일 때, 본 논문에서 제안하는 협력 스펙트럼 검출 기법
Fig 1. Proposed cooperative spectrum sensing scheme when N = 4, 6 $\bar{\rho}=10,15dB$

본 모의실험의 설정 값은 다음과 같다.

시간 대역폭(u)=6

2차 사용자 채널들 간 SNR의 mean 값 : $\bar{\rho}_1 = 30dB$

2차 사용자와 공동 수신단간 채널 SNR의 mean값 : $\bar{\rho}_2 = 20dB$

그림 1에서 보이는 바와 같이 임계 값을 달리 함에 따라 오 경보 확률 및 미 검출 확률의 성능 변화가 매우 크게 나타남을 알 수 있다. $\bar{\rho}=15dB$ 이고 Q_m 이 0.01일 때 본 논문에서 제안하는 기법의 오 경보 확률이 10^{-6} 에 근접하는 것을 알 수 있으며 클러스터 기반의 오 경보 확률 및 기존의 기술은 각각 10^{-3} 과 10^{-2} 에 근접하는 것을 알 수 있다. 그래프를 통해 알 수 있는 바와 같이 본 논문에서 제안하는 기술의 경우 클러스터 기반 및 기존의 기술에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다. 그림 1에서는 클러스터 기반의 기술이 기존의 기술에 비해 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 그러나 실제 [7]에서 보인 성능보다는 떨어지는 성능을 보이는데 이는 [7]에서는 클러스터 내 각 2차 사용자 간 채널에서 에러가 없다고 가정하였기 때문이다.

그림 2에서는 리포팅 과정을 거침으로써 얻을 수 있는 본 논문에서 제안하는 기술의 장점을 보여주고 있다. 타이머를 통해 선택된 최적의 리포팅 사용자가 공동 수신단으로 신호를 전송하고 나머지 노드들이 리포팅 사용자와 공동 수신단간 신호의 전송을 돕는 중계기 역할

을 함으로서 기존의 기술에 비해 리포팅 과정을 1~2개 정도 줄일 수 있음을 할 수 있다. 또한 이는 시간슬롯 및 전송 전력을 절약할 수 있게 해준다. 그림 2에서 보이는 바와 같이 공동 수신단으로 신호를 전송하는 사용자의 평균 개수를 나타내고 있다. 기존의 기술에서 2차 사용자의 수가 N 이면 이에 해당하는 리포팅의 수 역시 N 이 된다. 그러나 본 논문에서 제안하는 기술을 이용하면 최적의 2차 사용자만이 공동 수신단으로 신호를 전송함으로써 2개 이상의 리포팅 과정을 절약할 수 있음을 알 수 있으며 때때로 최적의 2차 사용자가 공동 수신단으로의 신호 전송에 실패하더라도 중계기 역할을 하는 다른 2차 사용자로 인해 공동 수신단에서 신호를 성공적으로 수신할 경우도 발생하게 된다.

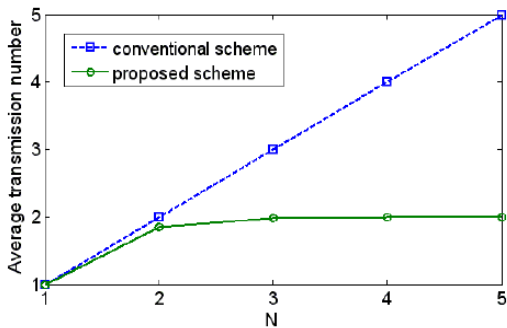


그림 2. 기존의 기술과 본 논문에서 제안하는 기술에서 신호의 전송에 참가하는 평균 사용자의 수
Fig. 2. The number of average user enter at signal transmission in conventional scheme and the proposed scheme

V. 결론

본 논문에서는 인지 통신에서 이루어지는 리포팅 과정을 줄임으로서 최종 검출의 정확도 향상과 네트워크 자원을 절약할 수 있는 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 프로토콜의 모의 실험 결과 기존의 검출 기법에 비해 더 낮은 미 검출 확률 및 오 경보 확률을 보임을 확인할 수 있었다. 또한 공동 수신단에서 전송한 신호 및 타이머를 이용하여 최적의 중계기를 선택하고 이들로 하여금 지역 검출 값을 전송하게 함으로서 리포팅 전송 횟수를 줄일 수 있는 방법은 제안하였다.

References

- [1] A. Ghasemi and E. S. Sousa, "Collaborative spectrum sensing for opportunistic access in fading environments," in *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, 2005. DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on, 2005, pp. 131-136.
- [2] S. M. Mishra, A. Sahai, and R. W. Brodersen, "Cooperative Sensing among Cognitive Radios," in *Communications*, 2006. ICC '06. IEEE International Conference on, 2006, pp. 1658-1663.
- [3] Z. Wei and L. Khaled, "Cooperative spectrum sensing with transmit and relay diversity in cognitive radio networks - [transaction letters]," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 7, pp. 4761-4766, 2008. [8] S. Chunhua, Z. Wei, and K. Ben, "Cluster-Based Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems," in *Communications*, 2007. ICC '07. IEEE International Conference on, 2007, pp. 2511-2515.
- [4] Z. Wei, R. K. Mallik, and K. Ben Letaief, "Cooperative Spectrum Sensing Optimization in Cognitive Radio Networks," in *Communications*, 2008. ICC '08. IEEE International Conference on, 2008, pp. 3411-3415.
- [5] Z. Wei and K. Ben Letaief, "Cooperative Communications for Cognitive Radio Networks," *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, pp. 878-893, 2009.
- [6] F. F. Digham, M. S. Alouini, and M. K. Simon, "On the energy detection of unknown signals over fading channels," in *Communications*, 2003. ICC '03. IEEE International Conference on, 2003, pp. 3575-3579 vol.5.
- [7] I. S. Gradshteyn, I. M. Ryzhik, A. Jeffrey, and D. Zwillinger, *Table of integrals, series and products*, 7th ed. Amsterdam ; Boston: Elsevier, 2007.

저자 소개

공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 : New York Institute of Technology(미국) 전자공학과 학사
 - 1991년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 석사
 - 1996년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 박사
 - 1996년 ~ 1996년 : LG전자 PCS팀장
 - 1996년 ~ 1998년 : LG 전자 회장실 전략 사업단
 - 1998년 ~ 현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- <주관심분야 : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서네트워크>

김 태 욱(학생 회원)



- 2007 2월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 학사
- <주관심분야 : 인지 기술, 협력 통신, 모듈레이션>