

에너지검출 기반 협력 광대역 센싱에서 사용자 선택에 따른 센싱 성능 분석

이미선* 정희원, 김윤현*, 김진영* 종신회원

Performance Analysis of Collaborative Wideband Sensing Scheme based on Energy Detection with User Selection for Cognitive Radio

Mi Sun Lee* *Regular Members*, Yoon Hyun Kim* and Jin Young Kim* *Lifelong Member*

요 약

스펙트럼 센싱은 인지무선통신(CR, Cognitive Radio) 네트워크를 구성함에 있어 핵심적인 기술 중에 하나이다. 2차 사용자인 CR사용자는 1차 사용자에게 간섭을 주지 않기 위해 스펙트럼을 센싱 하여 해당 채널이 비어있거나 규정된 레벨 이하일 경우에만 해당 채널을 사용하게 된다. 최근 스마트폰의 사용으로 데이터의 트래픽이 증가함에 따라 광대역 서비스가 급증하고 있으며, 그에 따라 한 번에 넓은 대역을 센싱하는 광대역 센싱 기법의 필요성이 점차 높아지고 있다. 이러한 광대역 센싱은 인지무선통신이 수행되기 위한 매우 중요한 기술 중 하나이다. 높은 분해능을 갖는 광대역 센싱을 수행하기 위해서는 신뢰 할 수 있는 신호를 얻기 위한 알고리즘 처리가 선행되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 채널 상태가 좋지 않은 부 대역을 제외한 나머지 대역을 CR 사용자가 각각 센싱하여 정보를 취합하여 1차 사용자의 유무를 결정하는 협력 센싱 기법을 제안하였다. 이 때, 신호의 신뢰성을 높이기 위해 각각의 부 대역으로 나눈 CSI (Channel State Information)를 이용하여, 채널 상태를 파악한다. 또한, 검출 기법으로는 시스템 복잡도를 감소시키기 위하여 에너지검출 기법을 사용한다. 모의실험을 통해 성능을 검증하였고 그 성능은 SNR(Signal Noise ratio)에 따른 검출 확률로 나타내었다.

Key Words: Cognitive Radio(CR), Spectrum sensing, Wideband sensing, Collaboration, Energy detection

ABSTRACT

Spectrum sensing is a critical functionality of CR network; it allow secondary user to detect spectral holes and to opportunistically use under-utilized frequency bands without causing harmful interference to primary use. Recently, wideband service has been increase for processing abundance of data traffic. So CR network needs a realizable implementation design of spectrum sensing for wideband. To get high resolution performance of wideband sensing must precede algorithm processing for reliability signal detection. By the way, the performance of spectrum sensing can be degraded due to fading and shadowing. In order to overcome this problem, we propose system model of wideband sensing scheme on energy detected collaborative technique. we divide wideband into narrowbands and use narrowbands to detect signal excepting some narrowbands including bad channel through the CSI. And we simulate and analyze in terms of detection probability with various SNR.

I. 서 론

무선 통신 서비스의 발달과 데이터 트래픽 급증으로 주파수 자원의 부족현상이 나타나고 있다. 기존의 주파수 사용정책은 각 나라별 주파수 정책에 따라서 법적으로 분배되어 주파수를 할당 받은 면허 사용자가 해당주파수 사용

에 관한 독점권을 가지고 있다. 즉, 면허 사용자에게 할당된 주파수는 현재 사용 중이지 않더라도 다른 사용자(주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자)는 해당 주파수를 사용할 수 없다. 연방 통신 위원회 (FCC: Federal Communications Commission) 의 조사결과에 따르면 면허 사용자에게 할당된 주파수 자원은 시간 및 위치에 따라 많게는 85%에 이르는 주파수 자원이 효율적으로 사용되지 않

*광운대학교 전자공학과 mesunny777@gmail.com), (ultrayh1873@kw.ac.kr), (jinyoung@kw.ac.kr)

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2011-0025983)

접수일자 : 2011년 10월 13일, 수정완료일자 : 2011년 11월 28일, 최종게재확정일자 : 2011년 12월 2일

고 있다. 이와 같은 주파수의 비효율적 사용을 완화시키기 위해 주파수 자원의 효율적 사용에 대한 관심이 높아지고 있다. 인지 무선 통신은 J.Mitola에 의하여 제시된 주파수 공유기술로 면허 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수를 비면허 사용자가 임의적으로 사용하도록 하는 시스템으로서 주변의 상황을 탐색하고 변화된 상황에 시스템을 적절하게 적용하도록 하는 지능적인 차세대 무선 통신 시스템이다 [1-2].

인지 무선 기술을 차세대 이동통신 시스템에서 각 사용자에 대한 다양한 서비스를 제공 하기 위해서는 구성 되어야 할 기술로는 물리계층과 MAC 계층에서 다양한 스펙트럼 검출, 동적 주파수 선택, 전력제어 QoS, 적응형 제어 등이 구현되어야 한다. 이와 같은 기술 이슈에도 불구하고 [3] 미국의 FCC는 CR 기술의 활용 가능성을 인정하여 2008년 11월 UHF(Ultra High Frequency) TV 대역에서 CR 기기의 사용을 허용 하였고 [4], 이에 따라 CR 시스템 관련 표준화 작업들이 속도를 내고 있다 [5-6]. 인지무선 시스템의 구현을 위해 확보되어야 할 핵심적인 기술 중 하나는 스펙트럼 센싱이다. 대표적인 스펙트럼 센싱 기술로는 에너지 검출, 정합필터 검출, Cyclostationary 검출 방식이 있다 [7]. 이 중 특히 에너지 검출방법은 특정 대역에서 수신 신호의 에너지 레벨을 추정하고 이를 임계치와 비교하여 해당주파수 대역에서 신호의 존재 유무를 방출하는 방법으로 가장 구현이 간단하고 실용성이 큰 기술이다.

최근에 이미 IEEE 802.22의 WRAN (Wireless Regional Area Networks)의 무선 접속의 핵심 플랫폼으로 채택되어져 있다. IEEE 802.22 WRAN은 활용되지 않는 자원을 이용한 TVWS (TV White space)의 사용으로 음성과 영상 트래픽을 QoS (Quality of Service) 지원한다 [8]. IEEE 802.22에서 대개 중요한 응용은 무선 광대역 접속에 관한 것이다. 예를 들어 DSL (Digital Subscriber Line)이나 도시나 교외의 장소에 보내지는 케이블 모델과 같은 현재 존재하는 광대역 접속 기술들과 호환 가능한 전달 성능이 있어야 한다. [9-10]. 따라서 광대역 센싱은 인지무선통신을 구현 하는데 필요 요소이다. 또한, 인지 무선 통신시스템의 스펙트럼 센싱 기술은 신뢰성 검출이 필요하다. 고 분해능의 센싱 성능을 갖지 못할 경우 이미 해당 주파수를 사용 중인 주사용자에게 큰 간섭을 미칠 수 있으며, 특정주파수가 실제로 비어 있음에도 불구하고 사용하지 못할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 광대역 스펙트럼 센싱에서 신뢰성을 높일 수 있는 방안에 대한 연구하고 모의실험을 통해 본 논문에서 제안한 기법의 우수성을 입증하도록 하겠다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II장에서는 본 논문의 시스템 모델에 대하여 제시하고, 다음 III장에서는 에너지 검출 기반 광대역 센싱의 접근법을 제시한다. IV장에서는 모의실험을 통해 CSI에 따른 사용자 선택을 보여 줌으로써, 그에 따른 SNR과 협력검출 센싱 성능을 비교하여 분석한다. 마지막으로 결론을 제V장에서 언급하였다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 한 번에 광대역을 효율적으로 센싱하기 위한 기법으로 협력 에너지검출 기법을 적용하여 성능을 분석하였다. 협력 스펙트럼 센싱은 CR 사용자의 음영 지역 및 잠복 터미널 등에 의하여 성능의 열화가 발생하게 되는데, 이 같은 문제를 해결하고 스펙트럼 센싱의 신뢰성 및 정확도를 높일 수 있는 방법이다. [12-14]. 이에 착안하여 광대역 센싱을 하기 위한 방안으로 다수의 CR 기기들이 일정한 협대역을 센싱하는 시스템 모델을 만들어 보았다. 그림 2 는 본 논문의 시스템 모델이다. 먼저 임의의 광 대역을 K개의 다중 협대역으로 나눈다. K명의 CR 사용자는 각 해당 채널을 CSI 하게 된다. CSI를 통하여 채널 상태에 대한 정보를 얻고, 채널 페이딩, 쉐도잉의 영향으로 좋지 않은 대역을 고른 후 그 대역을 검출에서 제외시킨다. 그리고 나머지 N명의 사용자의 신호 에너지를 임계치와 비교하여 융합센터로 보낸다. 융합 센터에서는 마지막으로 전 대역을 사용 여부를 결정한다. 이때 판정방법은 경관정 중 Majority 방법을 사용 한다. 이러한 과정을 통해 광대역의 사용 유무를 판단하게 된다. 이는 광대역의 전 대역을 센싱 하지 않고, 부분을 사용하는 것으로 광대역 전체를 한번에 센싱 할 수 있으므로 효율적인 시스템이라 할 수 있다.

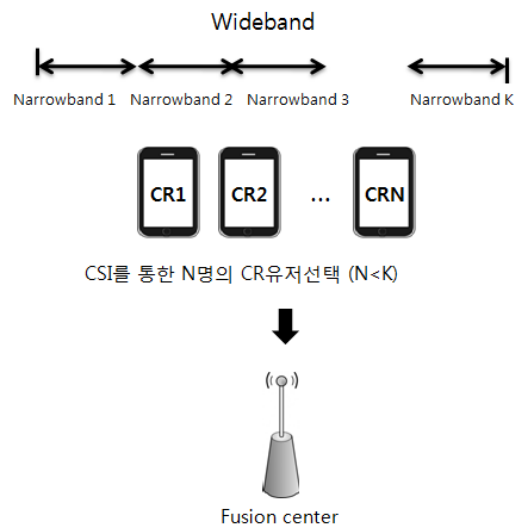


그림 2. CSI를 통한 협력 에너지 검출 사용 시스템 모델

에너지 검출 기반 협력 광대역 스펙트럼 센싱은 각 CR 사용자의 수신한 신호의 에너지 값을 통해 면허 사용자의 존재를 판단한다. 이때 i 번째 비 면허 사용자의 에너지 $E_i[k]$ 는 다음과 같다.

$$E_c[k] = |y_c[k]|^2 \tag{1}$$

만약 면허 사용자가 존재한다면 식 (1)과 같이 계산된 에너지 값이 임계값 γ_i 와 비교되고, 이렇게 비교되어 나오는 결과가 각 2차 사용자의 개별 센싱 결과는 다음과 같이 계

산된다.

$$D_{C_i} = H(E_{C_i}[k] - \gamma_{C_i}) \quad (2)$$

식 (3)에서 $H(\cdot)$ 함수는 Heaviside Step Function이다. 즉, $E_{C_i}[k]$ 가 임계값 γ_{C_i} 보다 크거나 같으면 $D_{C_i}[k] = 1$ 이고, $E_{C_i}[k]$ 가 임계값 γ_{C_i} 보다 작으면 $D_{C_i}[k] = 0$ 이다.

이렇게 계산된 개별 센싱 결과는 융합 센터로 전송되어 결합되고 결합된 결과는 다시 임계값 γ 과 비교되어 최종적으로 면허 사용자의 유, 무를 판정하게 된다. 융합센터에서 계산된 다.

$$D_C[k] = H\left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M D_{C_i} - \gamma_{C_i}\right) \quad (3)$$

융합센터에서는 최종 판정 결과값 $D_C[k] = 1$ 이면 1차 사용자가 존재한다고 판단, 2차 사용자는 해당 스펙트럼을 사용할 수 없고, $D_C[k] = 0$ 이면 1차 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수라고 판단하며 2차 사용자가 해당 스펙트럼을 사용할 수 있는 권한을 갖게 된다.

III. 에너지 검출 기반 협력 광대역 센싱 기법

인지 무선 통신 시스템을 수행하기 위해서 처리 되어야 할 광대역 시스템에는 여러 가지가 있다. 예를 들면 UWB(Ultra wide band)와 같은 수 GHz대역에서도 주파수 접속의 기회를 위해 white space를 감시하고 처리가 할 수 있는 신뢰성 있는 신호처리 알고리즘의 개발이 있어야 한다. 우선 광대역 스펙트럼 센싱은 광대역 RF front-end 에서 고 분해능과 고속의 A/D (Analog to digital) 컨버터가 필요하며, 이를 수행하기 위해선 비용의 문제가 있다.

또한, 광대역 스펙트럼 센싱은 정밀하게 각 주파수대역의 부분을 의 사용유무를 1차 사용자에게 간섭 없이 각각의 주파수 대역을 동시에 분리해 내야만 한다. 2차 사용자가 간섭으로 간주되는 2차 네트워크에서 시간 안에 spectrum hole 을 처리할 수 있는 기회를 얻을 수 있는 센싱 알고리즘이 필요하다. 하지만 현재까지 광대역 센싱에 관한 논문에서 인지 무선 네트워크의 적용 예는 아직 많이 연구되지 않았다. 한 가지 알려진 접근 방법은 RF front-end에서 한번에 광대역을 판단하기 위해서 조정 가능한 다중 협대역 필터를 사용하는 것이다. 이러한 연구들은 대개 한번에 다중 협대역을 센싱 하기 위해서 RF front-end에서의 광대역 아키텍처와 스펙트럼 센싱이 PSD (power spectral density)의 추정과 관련하여 연구를 하고 있다. [11]에서는 광대역 센싱의 실질적 해결방안으로 MJM (multiband joint

detection)를 소개하였다. 이 기술은 동시에 다중 협대역에서 1차 사용자를 검출해 내므로써 2차 사용자가 종합적으로 더 나은 CR시스템의 성능을 위한 결정을 할 수 있는 기회를 늘릴 수 있다. 더 나아가, 다중 공간으로 나뉘어진 2차 사용자의 협력 검출은 융합센터에 의해서 신호의 에너지를 정밀하게 검출 할 수 있으며, 더 넓은 주파수 범위의 센싱에서도 안정적인 검출이 가능해 진다.

에너지 검출기반 협력 광대역 센싱은 2차 사용자 K명의 인지무선 네트워크를 고려한다. 사용자 k ($k=1,2, \dots, K$)가 K개의 협대역을 측정치를 수집한다. 이는 아래의 식과 같이 가설검증을 만들어 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_k(n) &= V_k(n) && : H_{0,k} \\ X_k(n) &= H_K S_k(n) + V_k(n) && : H_{1,k} \end{aligned} \quad (4)$$

위의 식에서 $X_k(n)$ 은 기지국과 k번째 2차 사용자 사이의 채널이득이다. 그리고 $V_k(n)$ 은 수신단에서 잡음으로 독립적인 부가 백색 가우시안 잡음으로 평균은 0이고, 분산은 σ^2_n 이다. $S_k(n)$ 는 1차 사용자의 전송된 신호이다. 대문자의 표현은 주파수 도메인을 의미하며, $x_k = [x_k(1), x_k(2), \dots, x_k(K)]^T$ 는 에너지검출을 사용한다. 검출 결정은 다음 식 (5)를 따른다.

$$T_k(x_k) = \sum_{n=1}^N |x_k(n)|^2 \begin{cases} \geq \gamma_k & H_1 \\ < \gamma_k & H_0 \end{cases} \quad (k = 1, 2, \dots, K) \quad (5)$$

이때 2차사용자의 샘플을 검출하는 동안 H_k 는 손실 없이 일정한 값을 지니고 가정하여 검출하며, 검출 시간은 선택된 k명의 2차 사용자는 1차 송신단과 2차 수신단 사이에 채널의 coherent 시간보다 훨씬 빨리 검출할수 있어야 한다. γ_k 는 K개의 다중 협대역 각각의 결정 임계치를 나타낸다. $P(H_{0,k}|H_{1,k}, \gamma_k)$ 는 spectrum hole의 검출 확률을 나타내고, $P(H_{0,k}|H_{0,k}, \gamma_k)$ 는 간섭 확률을 나타낸다. $T_k(x_k)$ 는 에너지의 합계이다. 1차 사용자의 신호가 존재하지 않는 경우, $T_k(x_k)$ 은 자유도 N 의 central chi-square 분포를 따르고, 반대의 경우 자유도 N 및 γ_k 의 threshold에 따른 non-centrality 파라미터를 갖는 non-central chi-square 분포를 따른다.

$$\begin{aligned} T_k(x_k) &\sim N(\mu_{0,k}, \sigma_{0,k}^2) && : H_{0,k} \\ T_k(x_k) &\sim N(\mu_{1,k}, \sigma_{1,k}^2) && : H_{1,k} \end{aligned} \quad (6)$$

그리고 아래의 결정 규칙에 따라 각 협대역의 센싱 성능이 평가된다.

$$P(H_{0,k}|H_{0,k}, \gamma_k) = 1 - Q\left(\frac{\gamma_k - \mu_{0,k}}{\sigma_{0,k}}\right) \quad (7)$$

$$P(H_{0,k}|H_{1,k}, \gamma_k) = 1 - Q\left(\frac{\gamma_k - \mu_{1,k}}{\sigma_{1,k}}\right)$$

이 설계의 목적은 CR 네트워크에서 1차사용자에게 간섭을 미치지 않는 조건하에서 효율적으로 쓰지않고 있는 주파수 대역을 기회적으로 사용할수 있는지 없는지를 결정하기 위한 최적의 임계치 벡터 $\gamma = [\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_K]^T$ 의 값을 찾기 위해서다. 채널 주파수 다이버시티 때문에 2차 사용자는 각기 다른 채널 상태에 놓일 수 있기 때문이다. 따라서 이에 따른 space 의 검출 확률을 다음과 같이 정의 한다.

$$P(H_{0,k}|H_{0,k}, \gamma_k) = 1 - P_f \quad (8)$$

그리고 간섭 확률은 다음과 같이 정의한다

$$P(H_{0,k}|H_{1,k}, \gamma_k) = 1 - P_d \quad (9)$$

위의 식에서 P_f 와 P_d 는 잘못된 정보와 검출을 의미한다. 구체적으로 $P(H_{0,k}|H_{0,k})$ 는 2차 사용자가 성공적으로 white space를 센싱 했을 때의 확률로 이것은 기회적 주파수 활용의 측정으로 이는 중요한 지표이다. $P(H_{0,k}|H_{1,k})$ 은 2차 사용자가 1차사용자에게 간섭을 미칠 확률을 측정한다. 즉 효율적인 협력 디자인의 설계는 K개의 공간에 존재하는 노드로 부터 센싱의 신뢰성을 최대화 하는 것이다 즉, $P(H_{0,k}|H_{0,k})$ 를 최대화하고 가능한 $P(H_{0,k}|H_{1,k})$ 을 최소화하는 것을 의미한다.

이렇게 검출된 결과는 마지막으로 검출된 각 신호들의 유무를 최종적으로 판단하기 위해 융합센터로 취합 되어진다. 그림 1 은 실제 협력 스펙트럼 센싱에서 취할 수 있는 2가지의 융합 센터 모델의 그림이다. 그림 1의 (a)는 중앙에서 각각의 CR시스템이 보내온 센싱결과를 바탕으로 판단을 내린다. (b)는 연관정으로 각각의 CR시스템 개개가 융합센터로 주변의 센서를 통해 독립적으로 판단 한다. 사용자의 유무를 판단한다. 간단한 합계를 사용하여 주어진 임계치와 비교하여 선택 되어 진다. 이는 각 존재하는 신호의 노드의 총투표수와 주어진 임계치의 비교로써 사용자의 유무를 선택하는 융합센터에서의 규칙이다.

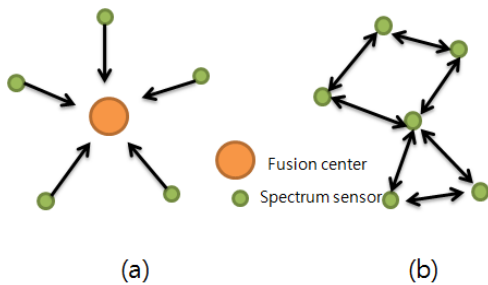


그림 1. 협력검출을 위한 데이터 융합센터 2가지 모델(a)경관정 (b)연관정

AND, OR 및 Majority 방식이 있다. 경관정 방식은 연관정 방식에 비해 단순하고 시스템 부담이 적다. 경관정중 AND 방식과 OR방식은 너무 엄격하거나 조악한 판단을 내린다. 이에 따라 검출 확률은 지나치게 낮거나 높게 나타나게 된다. Majority 판정 방식은 개별 검출결과 값의 과반수의 결과를 최종 판정에 반영하여 면히 사용자의 존재를 판단하고 임계값 γ 은 $\gamma = M/2$ 로 설정한다. 즉, 개별 검출결과 과의 과반수가 $D_i[k] = 1$ 로 나타나면 $D[k] = 1$ 로 판단하고, 개별 검출 결과의 과반수가 $D_i[k] = 0$ 으로 판단하면 최종 판정 결과는 $D[k] = 0$ 로 결정 된다. 이와 같은 판정 방식은 AND방식 및 OR방식에 비하여 합리적이며 신뢰성 있는 판정 방식이다.

III. 시뮬레이션

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 광대역 센싱의 성능을 모의 실험 결과를 통하여 알아본다. 본 논문에서의 실험은 표 1 의 파라미터를 따른다.

표 1. 모의 실험 파라미터

Parameters	Value
Noise model	AWGN
Modulation scheme	BPSK
Decision rule	Majority
Combining method	MRC/EGC
False alarm probability	5%

그림 2 는 AWGN과 Rayleigh 채널에 따른 FA 확률 그래프이다. 각 협 대역들의 에너지 센싱을 위한 threshold 값으로 주 사용자의 신호를 검출하는 기준으로 삼는다. 그림 2 에서 알 수 있듯이, AWGN에 비해 채널 상태가 좋지 않는 Rayleigh 채널에서의 FA확률이 높은 것을 알 수 있다. 즉 같은 SNR 조건일 경우 Rayleigh 채널에서의 신호 검출 성능이 낮음을 알 수 있다. 그림 3, 4, 5, 6에서는 빨간색 그래프는 EGC, 파란색 그래프인 MRC의 방법을 사용하여 최종 판정을 했을 때의 신호 검출 성능을 비교하여 보여준다.

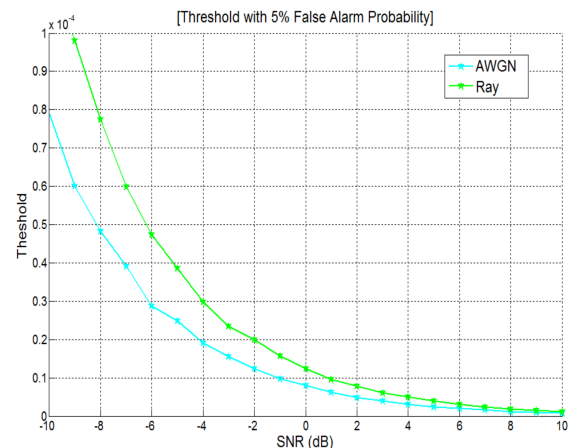


그림 2. 채널에 따른 FA확률 그래프

그림 3과 4는 AWGN 채널에서 광대역의 신호 검출 성능을 보인 그래프이다. 그림 3은 광대역을 8개의 협대역 필터로 나눠 그중 채널 상태가 좋지 않은 두개의 필터를 제외한 6개의 필터로 신호 검출 성능을 보인 그래프이다. 그리고 그림 4는 8개의 필터를 모두 사용하여 신호 검출 성능을 보인 그래프이다.

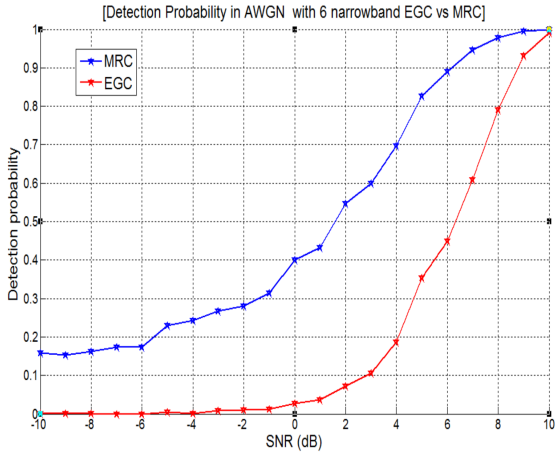


그림 3. 8개의 협대역중 CSI 한 뒤 6개의 대역에서 EGC MRC에 따른 에너지검출성능 (AWGN)

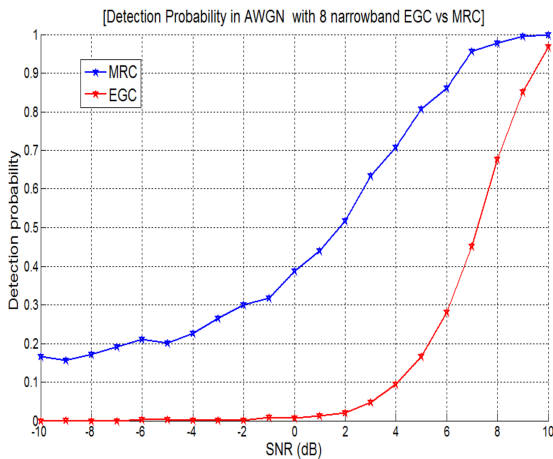


그림 4. 8개의 협대역에서 EGC MRC에 따른 에너지 검출 성능 비교 (AWGN)

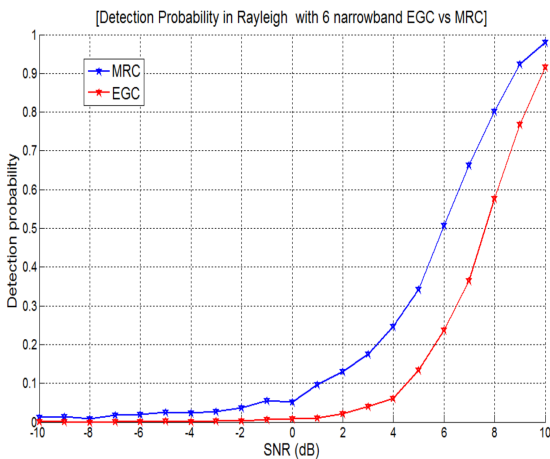


그림 5. 8개 협대역중 CSI한뒤 6개의 대역에서 EGC MRC에 따른 에너지검출성능 비교 (Rayleigh)

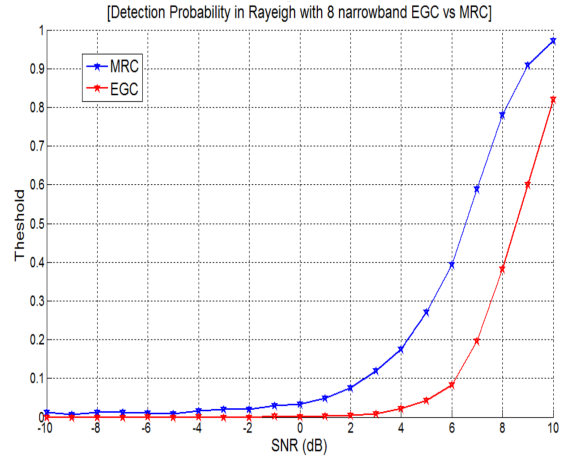


그림 6. 8개의 협대역에서 EGC MRC에 따른 에너지 검출 성능 비교 (Rayleigh)

그림 5, 6은 Rayleigh 채널에서의 광대역의 신호 검출 성능을 보인 그래프이다. 그림 5는 8개중 6개의 협대역으로 신호 검출성능을 보인 그래프이고, 그림 6은 8개로서 신호 검출 성능을 보인 그래프이다.

그림을 보면 EGC와 MRC의 그래프를 비교 했을때 MRC의 성능이 우수함을 확연히 알 수 있다, 또한 AWGN 과 Rayleigh의 채널에서의 성능을 비교하여 보면 페이딩이 심한 Rayleigh 채널에서의 검출 성능이 낮음을 알 수 있다.

IV. 결 과

본 논문에서는 에너지 검출 기법을 기반으로 한 협력 광대역 센싱의 성능 분석을 해 보았다. 넓은 대역을 효율적으로 센싱 하기 위해 몇 개의 협 대역으로 나눠 CSI 정보를 얻어 좋지 않은 채널을 제외한 나머지의 대역 에너지로 신호의 유무를 판단하는 방법을 제안하였고, 모의 실험 결과를 제시하였다.

광대역은 많은 데이터를 한번에 전송 할 수 있는 유용한 대역이다. 이러한 대역은 여러 형태로 서비스 되고 있고, 발전 가능성이 있다. 현재 BcN (Broadband Convergence Network) 통합망 구축 시범 사업도 진행 중에 있다. 따라서 인지 무선 통신을 위해서는 이런 다양한 형태의 광대역 시스템 특성에 따라 효율적으로 센싱 할 수 있는 기법이 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Y. Kim, Cognitive Radio Systems, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008.
- [2] FCC, "Spectrum Policy Task Force," Rep. ET Docket no. 02-135, Nov. 2002.
- [3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

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

[7] W. Y. Lee and I. F. Akyildiz, "Optimal spectrum sensing framework for cognitive radio networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, no. 7, pp. 3845–3857, July 2008.

[8] S.J. Shellhammer, S. Shankar N, R. Tandra, and J. Tomcik, "Performance of power detector sensors of DTV signals in IEEE 802.22 WRANs," in Proc ACM TAPAS, Boston, MA, Aug. 2006.

[9] C. Cordeiro, K. Challapali, and D. Birru, "IEEE 802.22: An introduction to the first wireless standard based on cognitive radios," J. Commun., vol. 1, no. 1, pp. 38–47, Apr. 2006.

[10] C.M. Cordeiro, M. Ghosh, D. Cavalcanti, and K. Challapali, "Spectrum sensing for dynamic spectrum access of TV bands," in Proc. Int. Conf. Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom), Orlando, FL, Aug.2007.

[11] Zhi Quan, Shuguang Cui, H. Vincent Poor, and Ali H. Sayed, "Collaborative wideband sensing for cognitive," in Proc. of IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, NOV. 2008.

[12] 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.

[13] G. Ganesan, Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks", in Proc. of IEEE Dy–SPAN 2005, pp. 137–143, Nov. 2005.

[14] A. Ghasemi, E. S. Sousa, "Asymptotic performance of collaborative spectrum sensing under correlated log–normal shadowing", IEEE Commun. Lett., vol11, no. 1, pp. 34–36, Jan. 2007.

저 자

이 미 선 (Mi-sun Lee) 정회원



2001년8월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
 2011년 9월~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 석사과정
 <관심분야> Cognitive Radio, 가시광 통신

김 윤 현 (Yoon-hyun Kim)



2006년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
 2008년 2월 : 광운대학교 전파공학과 석사 졸업
 2008년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

<관심분야> 디지털 통신, 협력통신, 가시광 통신, Cognitive Radio

김 진 영 (Jin Young Kim)

중신회원



1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
 2000년 : 미국 Princeton University Associate
 2001년 : SK 텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원

2009년~2010년 2월 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist
 2001년~현재 : 광운대학교 전파공학과 교수

<관심분야> 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화