

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.1.37>

JIWIT 2012-1-5

인지무선 시스템을 위한 거리기반 가중결합을 이용한 협력 광대역 스펙트럼 센싱

Collaborative Wideband Spectrum Sensing with Distance Based Weight Combining for Cognitive Radio System

이미선*, 김윤현*, 김진영**

Lee-Mi Sun, Yoon-Hyun Kim, Jin-Young Kim

요약 본 논문은 광대역 센싱을 수행하기 위한 방법으로 다중 협대역을 사용하여 한번에 센싱하는 방법을 제안한다. 센싱의 신뢰성을 높이기 위한 방안으로써 면허사용자와 CR사용자의 거리에 따른 가중치가 적용된 결합방식인 (DWC : Distance based weight combining) 기법을 사용한 에너지 검출 기반 협력 스펙트럼 센싱을 제안하고 이에 따른 시스템 모델의 모의 실험 결과를 분석한다. 면허 사용자와 CR사용자 사이의 무선 채널은 가우시안 채널로 모델링하였다. 에너지 검출법을 위한 임계값은 각 채널의 SNR(Signal to Noise Ratio)에 따라 다르게 적용 되고, 각 채널의 잡음 신호의 평균값으로 가정한다.

Abstract In this paper, we analysis wideband spectrum sensing with distance based weight combining for Cognitive Radio (CR) systems. CR systems is implemented the spectrum of the Primary User(PU) by using a energy detection method. Threshold is determined in accordance with the constant false alarm rate (CFAR) algorithm for energy detection. The signal of PU is BPSK signal and the wireless channel between a PU and CR systems is modeled as Gaussian channel. From the simulation results, the wideband sensing with distance based and Distance based weight Combining (DWC) methods shows higher spectrum sensing performance than single CR user spectrum sensing.

Key Words : Wideband spectrum sensing, Cognitive Radio (CR), Distance Weight based Combining (DWC)

1. 서 론

최근 전파이용이 무선인터넷 전자상거래, 교통, 재난 구조 등 생활 전 분야로 확대되고 광대역 멀티미디어 이용 수요가 증대됨에 따라 주파수의 부족 문제가 대두되고 있다. 특히 전파특성이 우수해서 무선통신 서비스에 가장 유리한 3 Ghz 이하 대역의 주파수 자원의 부족 문

제가 심각해지고 있는 실정이다. 그러나 현재의 주파수 정책은 고정적으로 주파수 할당 하여 사용하므로 상당 부분이 사용치 않거나 이용 효율이 떨어지고 있어, 이들 대역의 대한 새로운 사용 방안이 필요하다^[1]. 연방 통신 위원회 (FCC : Federal Communications Commission)에 따른 2002년 주파수 정책 보고서에는 현재 할당된 주파수 대역의 이용률이 15~85%정도로 비효율적으로 활용

*준회원, 광운대학교 전자공학과

**정회원, 광운대학교 전자융합공학과

접수일자 2011.12.7, 수정일자 2012.1.9

계재확정일자 2012.2.10

Received: 7 December 2011 / Revised: 9 January 2012 /

Accepted: 10 February 2012

**Corresponding Author: jinyoung@kw.ac.kr

Dept. of Wireless communication Engineering, Kwangwoon University, Korea

되고 있음을 발표하였다^[2]. 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 무선 인지 기술 (Cognitive Radio : CR)에 대한 내용을 발표하였다^[3]. 인지 무선 기술을 차세대 이동통신 시스템에서 각 사용자에 대한 다양한 서비스를 제공 하기 위해서는 구성 되어야할 기술로는 물리 계층과 MAC 계층에서 다양한 스펙트럼 검출, 동적 주파수 선택, 전력제어 QoS, 적응형 제어 등이 구현되어야 한다. 이와 같은 기술 이슈에도 불구하고^[4] 미국의 FCC는 CR 기술의 활용 가능성을 인정하여 2008년 11월 UHF(Ultra High Frequency) TV 대역에서 CR 기기의 사용을 허용 하였고^[5], 이에 따라 CR 시스템 관련 표준화 작업들이 속도를 내고 있다^[6-7].

인지무선 통신의 가장 핵심 기술은 주파수 스펙트럼 환경을 검출하여 주파수 사용 현황을 감지하는 스펙트럼 센싱으로 CR센서가 장착된 CR사용자는 지속적으로 주변환경을 인식하여 변화된 상황에 따라 시스템을 적절하게 적용하도록 한다. 스펙트럼 센싱 기술은 크게 에너지 검출방식, 정합필터 검출방식, 특성검출방식으로 나눌 수 있으며 그중 가장 복잡도가 낮고 간단한 시스템인 에너지 검출 방식이 주로 사용되고 있다^[8].

현재 무선 통신 서비스는 WiBro 서비스의 상용화를 앞두고 있으며, 광대역 이동 인터넷 액세스 서비스에 대한 지속적인 수요가 예상되고 있다. 또한, WPAN(Wireless Personal Area Network) 기반의 홈네트워크 시장이 활성화와 더불어 UWB(Ultra Wide Band) 등과 같은 새로운 스펙트럼 활용 기술이 출현할 것으로 기대된다. 따라서 급속히 발전하는 무선통신 시스템은 응용 환경에 따라 다양한 대역의 할당을 요구하고 있으며, 무선 서비스의 광대역화에 따라 소용 주파수 대역의 확장에 대한 요구사항이 지속적으로 늘어나고 있다. 따라서 인지무선 통신을 위해서는 넓은 주파수 대역내의 스펙트럼 환경을 검색하고, 이러한 정보를 이용하여 사용자에게 개인의 통신 요구 사항을 최선으로 만족 시키기 위한 무선 링크의 제공을 목적으로 한다. 따라서 인지무선 통신 시스템을 수행하기 위해서 필요한 유휴 주파수를 찾기 위해서는 광대역 스펙트럼 센싱이 필수적이다.

IEEE 802.22에서 대개 중요한 응용은 무선 광대역 접속

에 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]. IEEE802.22 표준화에서 제시되고 있는 센싱기술들은 coarse 검출과 find/feature 검출로 크게 구분하고있다. coarse 검출은 빠른 시간 내에 전대역 채널에 대한 점유 여부를 검사하기 위해 센싱시간이 짧은 기술들이 제안되어 있고, 이에 반해 fine/feature 검출은 Coarse 검출보다 센싱시간이 길어지므로 통신 중에 자주 사용하게 되면 패킷 처리량이 감소하는 결과를 초래하여 fine/feature 검출은 coarse 검출에 제시된 출력값이 사용자의 센싱 임계치에 근사한 값으로 보이는 경우 미세검출을 수행하기 위한 목적으로 하고 있다.^[11]

본 논문에서는 광대역 스펙트럼 센싱을 위한 알고리즘을 제안한다. 스펙트럼 센싱시 음영지역 및 잠복터미널 등에 의하여 성능의 열화가 발생하게 되는데 이와 같은 문제를 해결하고 스펙트럼 센싱의 신뢰성 및 정확도를 높이기 위해 다수의 CR사용자들의 센싱 정보를 공유하는 협력 스펙트럼 센싱기술이 제안되었다^[12-14]. 제안된 시스템 모델에서는 CR사용자의 수가 센싱하고자 하는 대역의 수보다 많다고 가정하였고, CR사용자를 임의로 나누어 다른 대역을 동시에 센싱을 진행하는 방법으로 전대역을 한번에 센싱하며, 면허사용자와 CR 사용자 사이의 거리에 따른 가중치가 적용된 결합방식(DWC)을 사용하는 협력 스펙트럼 센싱기법을 적용하여 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 가중결합방식(DWC)를 사용하는 협력 스펙트럼 센싱의 시스템 모델에 대하여 설명하고 제III장에서는 본 논문에서 제안하는 거리기반 가중치가 적용된 협력스펙트럼 센싱에 대해 설명하고 분석한다. 제IV장에서는 모의실험을 통하여 제안한 협력 스펙트럼 센싱의 성능을 분석하였고, 마지막으로 본 논문의 결론을 V장에서 언급하였다.

II. 시스템 모델

CR 사용자는 PU의 주파수 대역 사용유무를 센싱하여 면허사용자가 사용하지 않을시 간섭을 미치지 않으며 유

휴 대역을 사용한다. 따라서, 한번에 넓은 범위의 광대역에서 유휴대역을 찾을 수 있다는 것은 더 많은 CR 사용자가 유휴대역에 접속 할 수 있다는 것을 의미하는 것이며, 이는 CR시스템이 수행되기 위해선 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 광대역을 한번에 사용하기위해 K개의 다중 협대역으로 나누어 진행되며, CR사용자 M명으로 CR사용자가 더 많다고 가정하였다, 1/K개의 협대역은 M/K명의 CR사용자에 의해 센싱된다. 이는 동시에 진행되며, M/K명의 협력스펙트럼을 사용하며 신호는 DWC 처리된다. 또한, 본 논문에서는 면허 사용자의 신호의 정보를 전혀 알 수 없다는 가정하에 CR기기가 면허 사용자의 유, 무를 판단하는 방법으로 에너지 검출 방식을 채택하였다.[15] CR 사용자가 수신한 PU의 에너지를 FFT하여 시간에 따라 평균을 내고, 임계값 A와 비교하여 임계값 이상이면 면허 사용자가 존재한다고 판단하고, 수신 신호의 에너지가 임계값 미만일 경우 면허 사용자가 없다고 판단하고 수신 신호의 에너지가 임계값 미만일 경우 면허 사용자가 없다고 판단한다.

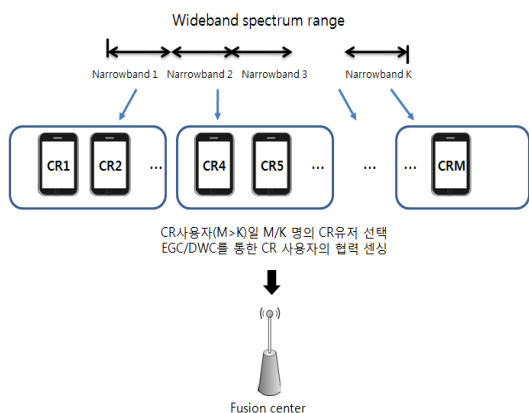


그림 1. 제안된 시스템 모델
Fig. 1. Proposed system model

스펙트럼 센싱의 목적인 면허사용자 검출은 해당 주파수 대역에 면허 사용자 사용 여부에 따라 다음의 식(1)과 같이 면허 사용자가 사용 중일 때와 사용 중이지 않을 때의 두 가지 상태로 가정 할 수 있다.

$$\begin{aligned} H_0 &: n(t) \\ H_1 &: vs(t) + n(t) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 v 는 무선 채널의 감쇄 상수를 나타내고

$s(t)$ 는 면허 사용자의 신호를 나타낸다. $n(t)$ 는 독립적인 부가 백색 가우시안 잡음 (AWGN: Additive White Gaussian Noise)으로 가정하였다. 그리고 H_0 는 면허 사용자가 주파수를 사용하지 않는 유휴 상태를 나타내고 H_1 은 면허 사용자가 주파수를 사용 중임을 나타낸다.

각 CR사용자의 신호대 잡음비는 (SNR : Signal to Noise ratio) 는 $SNR = 10\log(W/(N_0B))$ 로 정의되며 $\gamma = W/(N_0B)$ 할 수 있다. 이때 W 는 CR 사용자가 수신한 면허 사용자의 신호 전력을 나타낸다. 면허 사용자의 신호가 존재하는 경우 Y 는 자유도 (Degree of Freedom) $2r$ 의 central chi-square 분포를 따르고, 면허 사용자가 존재하지 않는 경우는 자유도 $2r$ 및 $2r\gamma$ 의 non-central chi-square 분포를 따른다.

$$\begin{aligned} H_0 &: \chi_{2r}^2 \\ H_1 &: \chi_{2r}^2(2r\gamma) \end{aligned} \quad (2)$$

이에 따른 확률 분포함수는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} H_0 &: \frac{y^{r-1} e^{-y/2}}{2^r \Gamma(r)} \\ H_1 &: \frac{1}{2} \left(\frac{y}{2r\gamma}\right)^{r-1} e^{-\frac{2r\gamma+y}{2}} I_{r-1}(\sqrt{2r\gamma y}) \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)의 $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수이고 $I_v(\cdot)$ 는 v 가 매개변수인 제 1종 베셀 함수 이다

III. 거리기반 가중치 협력스펙트럼 센싱

협력 스펙트럼 센싱에 대한 간략한 시스템 모델은 그림 2. 와 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 협력 스펙트럼 센싱 시나리오에서 각 CR 사용자는 다양한 페이딩 및 음영에 의한 성능의 열화가 발생하게 된다. 또한 각 CR사용자의 이동은 무선 기기의 거리 및 네트워크 구성의 변화가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 협력 스펙트럼 센싱에 대한 간략한 시스템 모델은 그림 2. 와 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 협력 스펙트럼 센싱 시나리오에서 각 CR 사용자는 다양한 페

이딩 및 음영에 의한 성능의 열화가 발생하게 된다. 또한 각 CR사용자의 이동은 무선 기기의 거리 및 네트워크 구성의 변화가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는

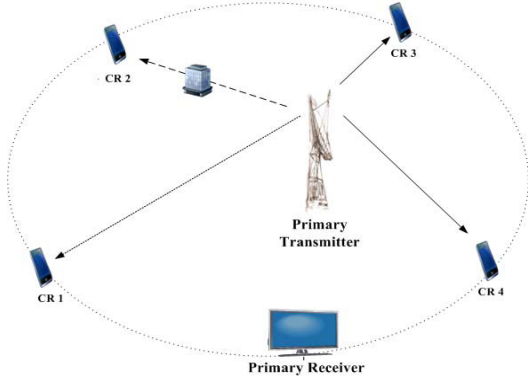


그림 2. 협력 스펙트럼 센싱 시스템 모델
Fig. 2. System model of collaborative spectrum sensing

CR 사용자의 거리를 기반으로 적용한 변화를 적용한 가중치는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} w_i &= \frac{\gamma_i dB}{L_i dB} = \frac{10 \log(Y_i/Y_m)}{10 \log(d_i/d_m)} \\ &= \frac{10 \log(\gamma_i/\gamma_m)}{10 \log(d_i/d_m)} \end{aligned} \quad (4)$$

d_i 는 각 CR기기와 면허 사용자간의 현재 거리를 나타내고 Y_i 는 각 CR사용자의 수신전력, v 는 경로 손실 상수이고, $Y_m = \sum Y_i/n$, d_m 은 모든 CR기기와 면허 사용자간 거리의 평균값을 나타낸다. 위의 거리에 따른 가중치가 반영된 CR사용자의 수신에너지를 융합한 결과는 다음과 같다.

$$Y_t = \sum_{i=0}^n w_i Y_i \quad (5)$$

식(2) 식(5)에 의해 다음과 같은 분포를 가진다.

$$\begin{aligned} H_0 &: \chi_{2r}^2 \\ H_1 &: \chi_{2r}^2 (2r\gamma_t) \text{ where } \gamma_t = \sum_{i=0}^n w_i \gamma_i \end{aligned} \quad (6)$$

각 CR사용자의 수신에너지를 융합한 결과는 임계값 A 와 비교하여 검출확률은 $P_D = P_\gamma(Y_t > TH_1)$ 나타내고 오검출 확률은 $P_F = P_\gamma(Y_t > TH_0)$ 로 각각 나타낼 수 있으며 P_D 와 P_F 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_D = Q \left(\frac{T - 2r \sum_{i=0}^n w_i (1 + \gamma_i)}{\sqrt{4r \sum_{i=0}^n w_i^2 (1 + 2\gamma_i)}} \right) \quad (7)$$

$$P_D = Q \left(\frac{T - 2r \sum_{i=0}^n w_i}{\sqrt{4r \sum_{i=0}^n w_i^2}} \right) \quad (8)$$

위 식에서 $Q(x) = \int_x^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ 이다.

IV. 실험 및 결과

이번 장에서는 본 논문의 시스템 모델을 장에서의 모의 실험을 통하여 성능 분석을 분석한다. 다음은 본 실험에서 사용된 파라미터를 나타낸 표이다.

표 1. 실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters

Parameter	전송모드 I
Noise model	AWGN Rayleigh
Modulation scheme	BPSK
Decision rule	Majority decision
Combining method	DWC/EGC
False alarm probability	5%

모의 실험은 AWGN과 Rayleigh Noise모형을 사용하여 실험하였으며, 면허사용자의 신호는 BPSK 신호를 사용하였다. 협력 스펙트럼을 위한 다수의 CR사용자의 거리는 모두 다르다고 가정하였으며, 사용자의 유무를 알기 위한 센싱 방법으로 가장 간단한 에너지 검출을 사용

하였다. 에너지 검출에서 면허사용자의 유무를 결정짓게 되는 임계값은 다음의 그림 3과같이 False alarm rate가 적용된 CFAR(Constant False Alarm Rate) 알고리즘에 의해 설정 된다[16]. 일반적으로 False alarm rate가 10%인 값을 사용하며 임계값에 따라 스펙트럼 센싱 성능이 달라질 수 있다.

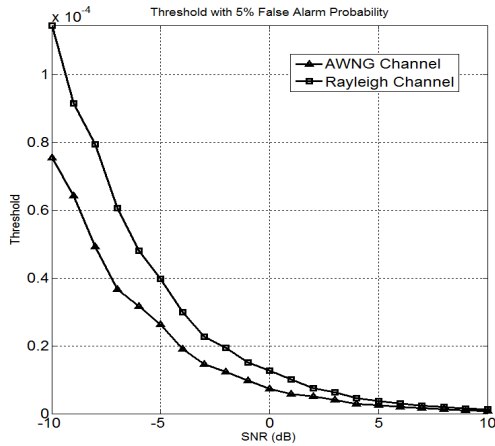


그림 3. AWGN채널과 Ray채널에서의 FA에 따른 임계치의 비교
Fig. 3. Threshold with 5% False Alarm Probability in AWGN vs Ray

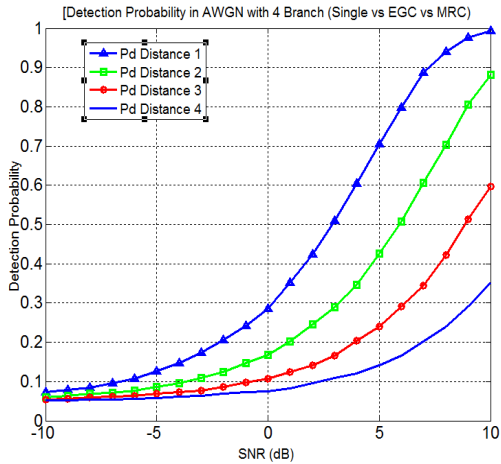


그림 4. 면허 사용자와 CR기기 사이의 거리 및 SNR 에 따른 스펙트럼 센싱 확률
Fig. 4. Distance Probability vs SNR for different distances between licensed and CR users.

그림 4는 면허 사용자와 CR거리가 모두 다를 경우 단일 센싱을 수행 하였을때 검출 확률을 나타낸 그래프이

다. Distance 뒤의 숫자가 작을수록 거리가 먼 CR사용자이다. 실험 결과 CR기기와 면허 사용자간의 거리가 멀수록 경로 손실 발생에 따라 수신 전력이 떨어지게 되어 검출 확률도 낮아지게 됨을 알수 있다. 따라서 거리가 먼 CR사용자의 신호를 검출하기 힘든 상황이 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 거리에 따른 가중치르 적용한 DWC를 사용하여 거리가 가까운 신호에 가중치를 두어 신호를 결합하여 처리하게 되며 이는 센싱 신뢰성을 향상 시킬 수 있다.

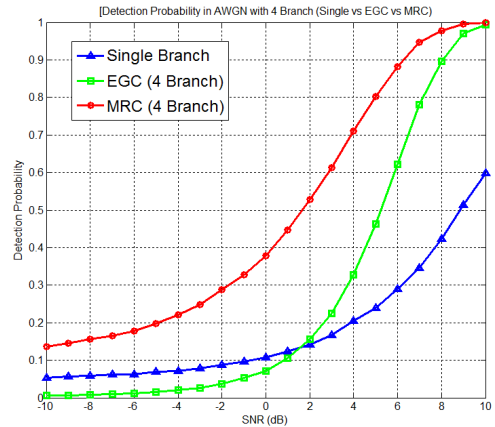


그림 5. AWGN에서의 4명의 CR사용자에 따른 EGC, DWC 협력 스펙트럼 센싱의 검출 확률과 Single Branch만을 사용했을때의 검출 확률 성능 비교
Fig. 5. Detection Probability in AWGN with 4 of CR User

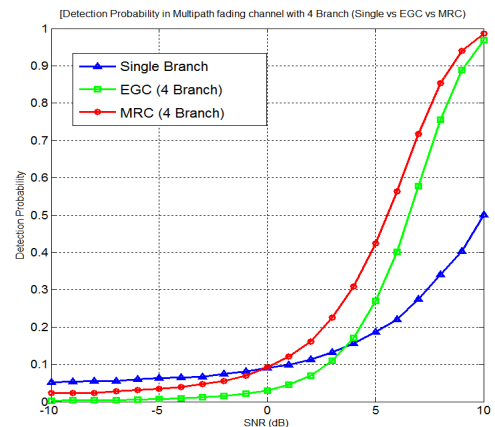


그림 6. Rayleigh에서 4명의 CR사용자에 따른 EGC, DWC의 검출 확률과 Single branch만을 사용했을때의 검출 확률비교
Fig. 6. Detection Probability in Ray with 4 of CR User

그림 5와 그림 6은 AWGN 채널에서와 Rayleigh 채널에서의 단일 센싱과, EGC와 DWC를 사용한 협력스펙트럼 센싱에 대하여 비교하였다. 그림에서 알수 있듯이 단일 센싱보다는, 동일이득 결합을 이용한 센싱 검출 확률이 높게 나타나며, 거리에 따라 가중치를 부여한 협력 스펙트럼의 센싱이 더욱 검출확률이 높음을 알수 있다.

V. 결론

본 논문은 면허사용자와 CR 사용자 사이의 거리에 따라 가중치를 적용하여 에너지 검출 협력 스펙트럼 센싱을 사용한 광대역 센싱의 시스템 모델을 제안하였고, 시뮬레이션 하여 그 성능을 EGC와 비교하였다. 단일 센싱보다는 협력 센싱을 했을때의 검출 확률이 높음을 알수 있었고, 동일이득 결합을 반영하여 협력 스펙트럼 센싱을 수행 하였을때 보다 DWC의 검출성능이 보다 우수함을 나타내었다. 본 논문에서 사용한 협력 스펙트럼 센싱 방식은 센싱의 신뢰도를 높이는 방법이 될수 있지만, 단 하나의 대역을 검출해내기 위해 여러 CR사용자를 사용하므로 센싱을 수행한후 유휴 대역을 누가 쓸 것인가의 2차적 문제가 남는다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] FCC, "Spectrum policy task force," Rep. ET Docket no. 02-135, Nov. 2002.
- [3] 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.
- [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] 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.
- [6] 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.
- [7] ECMA TC48-TG1, "MAC and PHY for Operation in TV White Space," ECMA 1stDraft Standard, Oct. 2009.
- [8] C-J kim et al., "A PHY/MAC proposal for IEEE 802.22 WRAN Systems," IEEE 802.22-6/0005r2, March 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] 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.
- [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 DySPAN 2005, pp. 137-143, Nov. 2005.
- [14] 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.
- [15] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals," in Proc. of IEEE, vol. 55, no. 4, pp. 523-531, Apr. 1967.
- [16] G. Minkler and J. Minkler, CFAR, Magellan Book Company, 1990.

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

저자 소개

이 미 선



- 광운대학교 전파공학과 공학사
- 광운대학교 전파공학과 석사과정
- <관심분야 : 디지털 통신, 협력통신, 인지 무선 통신>

김 윤 현



- 광운대학교 전파공학과 공학사
- 광운대학교 전파공학과 공학석사
- 광운대학교 전파공학과 박사과정
- <관심분야 : 전력선통신, 가시광통신, 협력통신, 인지 무선 통신>

김 진 영(정회원)



- 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 서울대학교 반도체공동연구소 특별연구원
- 미국 Princeton University, Research Associate
- SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원
- 미국 Massachusetts Institute of

Technology (MIT 공대), Visiting Scientist

• IEEE Senior Member

• 現)광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야 : 전력선 통신, 스마트 그리드, 가시광 통신, UWB, LED-ID, DMB, RFID/USN 기술, 이동무선통신, 통방융합기술, 인지 무선 통신>