

# 에드혹 인지무선시스템을 위한 효과적 에너지 검출 방식

## Energy Efficient Spectrum Sensing for Ad-hoc Cognitive Radio

이 소 영\*                  김 은 철\*\*                  김 진 영\*\*\*  
(So-Young Lee)              (Eun-Cheol Kim)              (Jin-Young Kim)

### 요 약

에드 혹 네트워크를 구성하는 무선기기들은 일반적으로 소출력 기기로서 ISM대역을 사용하였다. 그러나 무선 서비스의 사용률이 급격하게 증가함에 따라 ISM대역의 주파수 부족현상이 나타나게 되었고 주파수 부족현상을 해소하기 위하여 에드 혹 인지무선시스템이 제안되었다. 본 논문은 소출력 무선기기로 구성된 에드 혹 무선인지 시스템에서 전력소모를 줄이면서 효과적으로 유휴주파수를 검출하기 위한 스펙트럼 센싱을 제안하였다. 본 논문에서 면허 사용자와 CR 기기 사이의 무선 채널은 가우시안 (Gaussian) 채널로 모델링 하였으며 모든 CR 기기와 면허 사용자와의 거리는 모두 다르다고 가정하였고, 에드 혹 네트워크를 구성하는 CR 기기간의 채널은 완벽한 (Perfect) 채널이며 거리는 근거리로 가정하였다. CR 기기는 에너지 검출 방식을 사용하여 면허 사용자의 스펙트럼을 센싱하였다. 실험결과 상위 레벨의 에너지 값을 가진 CR 기기의 센싱정보를 결합한 센싱방법이 모든 CR 기기의 센싱정보를 결합한 센싱방법에 비하여 높은 스펙트럼 센싱 성능을 나타내었으며, 향후 제안된 스펙트럼 센싱 방법을 통해 저소비전력으로 효과적인 스펙트럼 센싱을 수행하는데 참조 할 수 있다.

### Abstract

Wireless ad hoc network composed of low power devices has been operated in ISM bands. However, with the growing proliferation of wireless services, these bands are increasingly getting congested. In order to relieve the spectrum scarcity and inefficient spectrum utilization, ad hoc cognitive radio was proposed. In this paper we propose the efficient spectrum sensing method to reduce power consumption and detect white space in ad hoc cognitive radio system. The wireless channel between a licensed user and CR systems is modeled as Gaussian channel, the distance between a licensed user and CR systems is assumed differently. Also, the wireless channel among CR systems is assumed as the perfect channel and the distance among CR systems is assumed close distance. CR systems sense the spectrum of the licensed user by using a energy detection method. From the simulation results, spectrum sensing performance of combining sensing result of CR systems with high received energy shows higher than combining sensing result of all CR systems and we can refer to the proposed sensing method in order to perform effective spectrum sensing with low power consumption.

**Key words** : Ad-hoc network, cognitive radio, cooperative sensing, spectrum sensing

† “이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임”  
(No. 2010-0022629)

\* 주저자: 광운대학교 전파공학과 석사

\*\* 공저자 : 삼성탈레스 통신연구소 전문연구원

\*\*\* 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 전파공학과 교수

† 논문접수일 : 2010년 8월 22일

† 논문심사일 : 2010년 8월 20일

† 게재확정일 : 2010년 8월 23일

## I. 서 론

최근 무선통신 기술의 발전은 별도의 통신 인프라 없이 통신 기기간의 자체적 네트워크 구성이 가능한 무선 애드 혹 시스템 기술이 발전할 수 있도록 하였다. 애드 혹 네트워크를 구성하는 무선 기기들은 일반적으로 소출력 기기로서 주로 900MHz에서 2.4GHz의 ISM대역을 사용하였다. 그러나 무선 서비스의 사용률이 급격하게 증가함에 따라 ISM대역의 주파수 부족현상이 나타나게 되었다. 반면, 연방 통신 위원회 (FCC: Federal Communications Commission)의 조사에 따르면 일부 주파수 대역은 시간적, 지역적으로 주파수사용률이 15%~85%로서 비효율적으로 운용되고 있음을 보여주었다[1-3]. 기존의 주파수 사용정책은 각 나라별 주파수 정책에 따라서 법적으로 분배되어 주파수를 할당받은 면허 사용자가 해당주파수 사용에 관한 독점권을 가지고 있고, 할당된 주파수는 사용 중이지 않더라도 다른 사용자 (주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자)는 해당 주파수를 사용 할 수 없도록 되어있다. 하지만 주파수 부족 및 비효율적 사용을 완화하기 위하여 주파수 공유 기술에 대한 연구가 진행되었고 J. Mitola [4]는 이미 할당된 주파수 중에서 실제 사용되지 않는 유휴주파수를 감지하여 이를 효율적으로 공유하여 사용할 수 있도록 하는 인지무선 (CR: Cognitive Radio) 기술을 제안하였다.

인지무선시스템은 주변 환경을 인지하여 유휴 주파수 자원을 능동적으로 탐색하여 비면허 사용자가 임의로 유휴 주파수를 사용할 수 있도록 하며, 면허 사용자가 검출되면 즉시 해당 주파수에 대한 사용을 중지하여 간섭을 일으키지 않도록 하고 다른 비어있는 주파수를 탐색하여 지속적으로 무선서비스를 제공한다.

인지무선 시스템은 네트워크의 구조에 따라 통신 인프라가 갖춰진 인지무선 시스템과 통신 인프라 없이 자체적 네트워크 구성으로 주변 환경에 대한 센싱 결과를 공유하는 애드 혹 인지무선 시스템으로 분류 할 수 있다. 애드 혹 인지무선 시스템은 애드 혹 네트워크를 구성하는 소출력

비면허 무선통신 기기에 인지무선시스템을 결합한 방식으로 각 비면허 무선기기가 유휴 주파수를 센싱하여 스펙트럼 센싱 정보를 상호간에 교환 및 공유하여 주파수 부족을 완화하도록 하는 시스템이다.

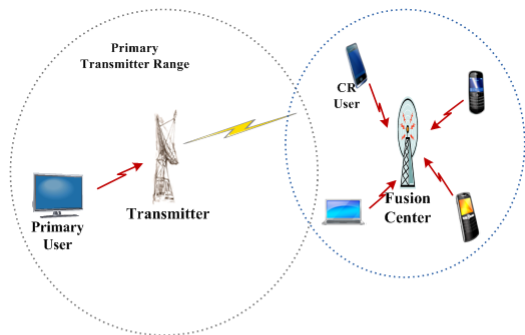
애드 혹 네트워크는 기존의 구축되는 통신 인프라와 무관하게 이동 노드들 간에 자율적으로 네트워크를 구성하여 네트워크에 자율성과 융통성을 부여한 네트워크 [5, 6]로서 음영지역, 재난지역 및 전쟁과 같은 통신 인프라 구축이 어려울 때 매우 유용하게 사용 될 수 있다. 또한 무선 인지 시스템에서의 기존의 통신 인프라가 존재하지 않는 비면허 무선기기들 간의 임시적이며 즉흥적인 통신 환경 구축에도 유용하다.

본 논문은 소출력 무선기기로 구성된 애드 혹 무선인지 시스템에서 전력소모를 줄이면서 효과적으로 유휴주파수를 검출하기 위한 스펙트럼 센싱을 제안하였다. 본 논문에서 면허 사용자와 CR 기기 사이의 무선 채널은 가우시안 (Gaussian) 채널로 모델링 하였으며 모든 CR 기기와 면허 사용자와의 거리는 모두 다르다고 가정하였고, 애드 혹 네트워크를 구성하는 CR 기기간의 채널은 AWGN (Additive White Gaussian Noise)만 고려한 채널환경이며 거리는 근거리로 가정하였다.

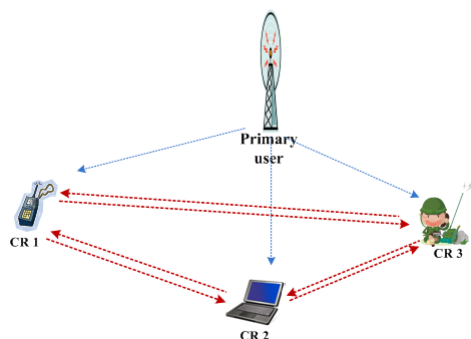
본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본 논문에서 제안한 Ad-hoc 무선인지 시스템의 시스템 모델에 대해 설명한다. 제 III장에서는 Ad-hoc 무선인지 시스템에서의 스펙트럼 센싱 기법에 대하여 설명하고, 제 IV장은 본 논문에서 Ad-hoc 무선인지 시스템에서의 스펙트럼 센싱 성능에 대한 모의실험 결과를 제시하였다. 마지막으로 본 논문의 결론을 제 VI장에서 언급하였다.

## II. 시스템 모델

본 논문은 면허 사용자의 신호를 알 수 없다는 가정 하에 CR 기기가 면허 사용자의 유, 무를 판단하는 방법으로 에너지 검출방식을 채택하였다[7].



A. 일반적 협력 센싱 시스템모델



B. 에드 혹 인지 무선 시스템

〈그림 1〉 분산형 인지무선 시스템의 시스템 모델  
(Fig. 1) System models of distributed cognitive radio

$$H_0: y[k] = v[k] \tag{1}$$

$$H_1: y[k] = hs[k] + v[k] \tag{2}$$

인지 무선시스템은 주파수의 상태를 면허사용자가 존재할 때와 부재중일 때의 두 가지로 가정하는데 이를 식으로 표현하면 위의 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (2)에서  $h$ 는 무선 채널의 감쇄 상수를 나타내고,  $s[k]$ 는 면허 사용자의 신호를 나타내며 평균은 0이고 분산은  $\sigma_s^2$ 의 값을 가진다.  $v[k]$ 는 독립적인 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN)으로 평균은 0이고 분산은  $\sigma_n^2$ 이다. 그리고  $H_0$ 는 면허 사용자가 존재하지 않는 경우이고,  $H_1$ 은 면허 사용자가 주파수를 사용 중이거나 CR 기기의 범위 내에 근접해있는 경우를 나타낸다.

위의 <그림 1>은 네트워크의 구조에 따른 인지 무선시스템의 시스템모델을 나타낸 것이다. 첫 번째 그림은 통신 인프라가 갖춰진 인지무선 시스템의 협력 스펙트럼 센싱방식으로 각 비면허 사용자의 개별 스펙트럼 센싱 결과를 융합센터 (Fusion Center)에 전송하고 융합센터는 수신한 개별 센싱 결과를 취합하여 주파수의 상태를 판단하는 방식이다. 반면, 두 번째 시스템은 에드 혹 기반의 인지무선 시스템을 나타낸 것으로 첫 번째의 통신방식과 달리 별도의 융합센터 없이 각 CR기에서 측정된 센싱 정보는 에드 혹 네트워크를 통하여 상호간의 센싱 정보를 교환하여 주파수 상태를 판단한다. 에드 혹 네트워크를 구성하는 개개의 CR기기는 자체적으로 유휴 주파수에 대한 검출을 시행하는 스펙트럼 센싱과 상호 교환된 센싱정보를 기반으로 주파수 사용을 결정하는 권한을 가지고 있다.

분산형 스펙트럼 센싱은 각 CR기기의 수신 신호의 에너지 값을 통해 면허 사용자의 존재를 판단한다. 이때 정확하게 면허 사용자를 검출해 내는 검출 확률은  $Prob\{Decision = H_1|H_1\}$ 와  $Prob\{Decision = H_0|H_0\}$ 로 나타내고, 에러검출 확률은 센싱 주파수 대역에 면허 사용자가 있음에도 불구하고 없다고 판단하는  $Prob\{Decision = H_0|H_1\}$  또는 면허 사용자가 주파수를 사용하지 않는데 사용 중이라고 판단하는  $Prob\{Decision = H_1|H_0\}$ 로 나타낸다.

### III. 에드 혹 인지무선 시스템의 스펙트럼 센싱 알고리즘 및 성능분석

CR 기기에 수신된 신호는 각각 독립된 채널로 수신되며, 면허 사용자가 존재하는 경우( $H_1$ )  $m$  ( $m = 1, 2, \dots, M$ ) 번째 CR 기기에 수신된 신호의 에너지  $Y_m$ 는 다음과 같다.

$$Y_m = \sum_{k=1}^L |y_m(k)|^2 \tag{3}$$

식 (3)에서  $L$ 은 수신된 신호의 샘플 개수를 나

타내고,  $y_m(k)$ 은 면허 사용자로부터  $m$  번째 CR 기기에 수신된 신호를 나타낸다. 여기서  $y_m(k)$ 는 가우시안 분포를 따른다.  $y_m(k)$ 에서 잡음의 평균 전력을 1이라고 가정하면,  $m$  번째 CR기기의 순시 (instantaneous) 신호 대 잡음비 (SNR: Signal to Noise ratio)  $\gamma_m$ 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_m = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L (h_m s_m(k))^2 \quad (4)$$

여기서  $s_m(k)$ 는  $m$  번째 CR 기기가 수신한 면허 사용자의 송신 신호를 나타낸다.

면허 사용자의 신호가 존재하는 경우  $Y_m$ 은 자유도 (Degree of Freedom)  $L$  의 central chi-square 분포를 따르고, 면허 사용자가 존재하지 않는 경우는 자유도  $L$  및  $\lambda_m = L\gamma_m$ 의 non-centrality 파라미터 [8]을 갖는 non-central chi-square 분포를 따른다.

$$Y_m \sim \begin{cases} \chi_L^2 & , H_0 \\ \chi_L^2(\lambda_m) & , H_1 \end{cases} \quad (5)$$

이 때  $L$ 값이 무한히 크다고 가정하면,  $Y_m$ 의 확률 분포는 중심 극한 정리 (central limit theorem)에 따라서 정규 분포의 특징을 가지게 되며, 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_m \sim \begin{cases} N(L, 2L) & : H_0 \\ N(L(1+\gamma_m), 2L(1+2\gamma_m)) & : H_1 \end{cases} \quad (6)$$

CR 기기에서는 수신신호의 에너지를 임계값  $T$ 와 비교하여 임계값 이상이면 면허사용자가 존재한다고 판단하고, 수신신호의 에너지가 임계값 미만일 경우 면허 사용자가 없다고 판단한다.

본 논문에서는 모든 사용자의 에너지 값 중에서 상위  $N\%$ 의 값만을 추출하여 개별 센싱을 수행하여 에너지 소모를 줄이면서 스펙트럼 센싱을 보다 정확하고 효과적으로 수행하도록 제안한다. 또한 에너지 검출법을 이용한 스펙트럼 센싱이므로 수

신 에너지 값이 상위레벨인 경우 신뢰성이 높다고 할 수 있다. CR 기기에서 수신된 수신신호의 에너지는 면허 사용자와 CR 기기간의 거리, 음영효과 및 페이딩 등에 의해 영향을 받게 된다.

상위레벨로 측정된 수신된 에너지 값을 통해 개별 판정을 내린 뒤 상호 교환된 센싱 정보를 취합하여 주파수 상태를 판단하게 된다. 개별 판정은 다음의 식 (7)과 같이 나타 낼 수 있으며 개별 판정결과를 융합한 값은 식 (8)과 같다.

$$D_i[k] = H(Y_m - T_i) \quad (7)$$

$$Y_H = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M D_i[k] \quad (8)$$

위 식에서  $D_i[k]$ 와  $T_i$ 는 각각 CR기기의 개별 판정 결과 및 False alarm rate에 따른 임계값을 나타낸다.

$H(\cdot)$  함수는 Heaviside step function 으로,  $Y_m$ 이 임계값보다 크거나 같으면  $D_i[k]=1$ 이고,  $Y_m$ 가 임계값보다 작으면  $D_i[k]=0$ 이다.

각 CR기기의 개별 판정결과를 융합한 결과는 임계값  $T_H$ 와 비교하여 검출 확률은  $P_D = P_r(Y_H > T_H | H_1)$ 로 나타내고 오검출 확률은  $P_F = P_r(Y_H > T_H | H_0)$ 로 각각 나타낼 수 있으며 식 (9, 10)으로 각각 나타낼 수 있다[9].

〈표 1〉 각 최종 판정방식에 따른 임계값  
(Table 1) Threshold values for different decision rules

Decision Rule	Threshold ( $T_H$ )
AND	$T_H = 1$
OR	$T_H = 1/M$
Majority	$T_H = M/2$

$$P_D = Q \left( \frac{T_H - L \sum_{m=1}^M \frac{1}{M} (1 + \gamma_m)}{\sqrt{2L \sum_{m=1}^M \frac{1}{M^2} (1 + 2\gamma_m)}} \right) \quad (9)$$

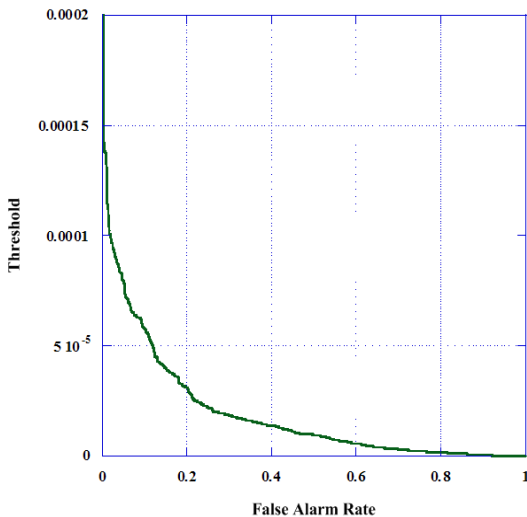
$$P_F = Q\left(\frac{T_H - L}{\sqrt{\frac{2L}{M}}}\right) \quad (10)$$

식 (9) 및 (10)에서  $T_H$ 는 경관정 방식에서의 최종 정방식에 따른 임계값으로서 다음 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

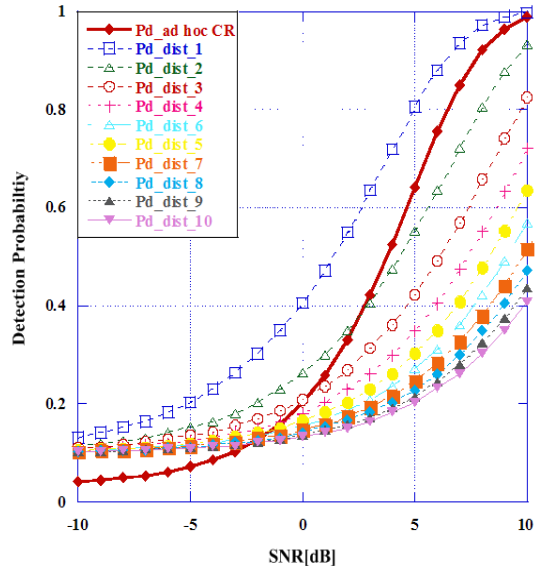
#### IV. 모의실험

이번 장에서는 모의실험을 통하여 본 논문에서 제안한 애드 혹 인지 무선 시스템을 위한 상위  $N\%$ 의 높은 수신 전력을 가진 CR 기기의 센싱정보만 취합한 스펙트럼 센싱 방법과 모든 CR 기기의 센싱정보를 취합한 스펙트럼 센싱의 성능비교를 나타내었고 모의실험을 위한 시스템 모델은 II장에서 설명한바와 같이 단일 면허 사용자와  $M$ 개의 CR기기가 애드 혹 네트워크를 구성하고 있다.

<그림 2>는 각 CR기기의 가중치를 적용하여 에너지 값을 융합한 값과 비교되는 임계값을 나타낸 값으로 본 논문에서는 CFAR (Constant False Alarm Rate) 알고리즘 [10]에 의해 설정되었다.



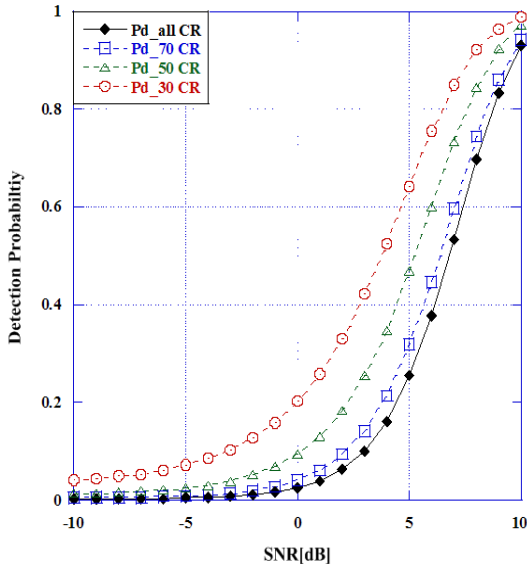
<그림 2> 오검출 확률에 따른 임계값  
(Fig. 2) Measured threshold value versus false alarm rate



<그림 3> 면허 사용자와 CR 기기 사이 거리 및 SNR에 따른 스펙트럼 센싱 확률  
(Fig. 3) Detection probability versus SNR for different distances between licensed and unlicensed users

다음 <그림 3>은 면허 사용자와 각 CR 기기사이의 거리에 따른 검출확률을 비교하여 나타낸 결과이다.

각 CR 기기와 와 면허사용자의 거리는 거리가 모두 다르며 Pd\_dist 1이 나타내는 거리가 면허 사용자와 CR 기기사이의 거리가 가장 가까운 것이며 숫자가 커질수록 거리가 멀다. 모의 실험결과 면허 사용자와 거리가 가까울수록 검출확률이 높게 나타난다. 에너지 검출법을 적용하여 스펙트럼 센싱을 수행한 결과이므로 거리가 가까운 CR 기기가 가진 수신 에너지 값이 거리가 먼 CR 기기에 비하여 높다는 것을 알 수 있다. Pd\_ad hoc CR이 나타낸 값은 애드 혹 네트워크를 구성하는 CR 기기중 일부 수신 에너지가 큰 CR 기기의 센싱 결과만을 취합한 것으로 거리가 가장 가까운 CR 기기의 센싱 성능보다는 다소 낮은 성능을 보이지만 기타 다른 검출확률에 비하여 센싱 성능이 우수함을 알 수 있다. 면허 사용자로부터 거리가 먼 CR 기기일수록 애드 혹 네트워크를 적용한 인지 무선시스템



〈그림 4〉 결합방식에 따른 스펙트럼 센싱 확률  
 (Fig. 4) Detection probability versus SNR performance according to combining method

의 효과를 더욱 많이 받게 되며 효과적이며 신뢰성있는 스펙트럼 센싱을 위해 반드시 협력 센싱을 수행할 필요가 있음을 알 수 있다.

〈그림 4〉는 모든 CR 기기의 센싱 결과를 취합하였을 때 검출 확률과 수신 에너지 값이 상위  $N\%$  ( $N=30, 50, 70$ 으로 가정)에 속하는 CR 기기의 센싱 결과만을 취합한 검출확률을 비교하여 나타낸 실험결과이다. 실험결과를 통하여 모든 CR 기기의 센싱결과를 취합한 센싱 성능에 비하여 (Pd\_all CR) 수신에너지 성능이 우수한 일부 CR 기기의 센싱 결과만을 취합한 Pd\_ $N$  CR의 검출확률이 높게 나오는 것을 확인 할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 에드 혹 인지 무선 시스템을 위한 효과적인 스펙트럼 센싱 방법을 제안하였다. 에드 혹 인지 무선시스템은 소출력 무선기기로 이루어진 시스템으로 저소비전력으로 신뢰성 있고 정확한 스펙트럼 센싱이 필요하다. 본 논문은 기존의

에드 혹 네트워크를 구성하는 모든 CR 기기의 센싱 결과를 취합하던 방식과 달리 수신된 에너지 성능이 우수한 상위  $N\%$ 의 CR 기기의 센싱 결과만을 취합하는 효과적인 센싱 알고리즘을 제안하였다. 모의 실험결과를 통하여 기존의 센싱 방식에 비하여 본 논문에서 제안한 센싱방식의 검출확률이 높아 졌음을 확인하였다. 또한 모든 센싱결과를 처리하면 발생하게 되는 오버헤드가 감소될 수 있으며 센싱의 복잡성이 낮아지는 효과를 기대할 수 있다. 향후 제안된 스펙트럼 센싱 방법을 통해 저 소비전력으로 효과적인 스펙트럼 센싱을 수행하는데 참조 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] FCC, "Spectrum policy task force," *Rep. ET Docket no. 02-135*, Nov. 2002.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. Vuran and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 50, no. 13, pp.2127~2159, May 2006.
- [3] J. Y. Kim, *Cognitive Radio Communications*, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008.
- [4] J. Mitola III and G. Q. Maguire Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE Personal Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 13~18, Aug. 1999.
- [5] Charles E. Perkins, *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley, 2001.
- [6] C. K. Toh, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems*, Prentice Hall PTR, 2002.
- [7] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals," *Proc. of IEEE*, vol. 55, no. 4, pp.523~531, Apr. 1967.
- [8] F. F. Digham, M. -S. Alouini and M. K. Simon, "On the energy detection of unknown signals over fading channels," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, vol. 5, pp. 3575~579, May 2003.

[9] J. Ma and Y. Li, "Soft combination and detection for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol.

7, no. 11, pp.4502~4507, Nov. 2008.

[10] G. Minkler and J. Minkler, CFAR, Magellam Book Company, 1990.

저자소개



이 소 영 (Lee, So-Young)

2004년 : 광운대학교 전자공학부 공학사(전자공학전공)

2008년 8월 ~ 2010년 8월 : 광운대학교 전파공학과 공학석사(전자공학전공)

2010년 7월 ~ 현재 : 한국전파진흥협회 기술지원팀 대리



김 은 철 (Kim, Eun-Cheol)

2003년 : 광운대학교 전파공학과 공학사(전자공학전공)

2005년 : 광운대학교 전파공학과 공학석사(전자공학전공)

2010년 : 광운대학교 전파공학과 공학박사(전자공학전공)

2010년 ~ 현재 : 삼성탈레스 통신연구소 전문연구원



김 진 영 (Kim, Jin-Young)

1998년 : 서울대학교 전자공학과 공학박사(전자공학전공)

2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate

2001년 : SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원

2009년 ~ 2010년 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist

2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 교수