

# 인지무선 시스템에서 DTV 신호 검출을 위한 FFT 기반의 협력 파일럿 센싱

## Effective Cooperative FFT based Pilot Sensing Scheme for Detecting DTV Signals in Cognitive Radio

이 소 영\*  
(So-Young Lee)

김 은 철\*\*  
(Eun-Cheol Kim)

김 진 영\*\*\*  
(Jin-Young Kim)

### 요 약

주파수 부족 및 비효율적 활용을 완화시키기 위해 제안된 무선인지시스템은 기존의 1차 사용자에게 대한 간섭을 주지 않도록 하면서 유휴주파수를 사용하게 하는 기술로서 최근 주목받고 있는 차세대 이동통신 시스템이다. 최근 FCC는 실질적으로 TV대역에 무선인지 시스템을 적용하도록 하면서 관련된 규정을 개정하였고 TV대역의 유휴주파수에 대하여 고정 기기 및 개인 휴대기기에 대한 사용을 허가하도록 방침을 정하였으며 2009년 DTV로 전환 완료이후 해당 기기들의 사용은 본격화 될 것이다. 무선인지 시스템의 기본 방침인 면허 사용자에게 대한 보호를 위하여 TV대역사용에서의 우선순위가 가장 높은 신호인 TV 및 무선마이크에 대한 보호가 이루어져야하는데 이를 위해 정확한 1차 사용자에게 대한 검출, 즉 TV대역의 1차 사용자인 DTV에 대한 정확한 스펙트럼 센싱이 이루어져야 한다.

본 논문에서는 스펙트럼 센싱 성능이 우수한 파일럿 센싱을 이용하여 DTV신호를 검출하도록 하였고 DTV신호검출의 신뢰성 향상을 위하여 협력 센싱기반의 파일럿 센싱을 수행하여 DTV신호의 검출 확률의 정확성 및 신뢰성을 높이도록 하였다. 또한 각 단일 센싱 결과를 취합하여 판단하는 과정에서 효율적인 판단을 위해 다수의결법을 제안한다.

### Abstract

Cognitive radio (CR), which is proposed as a technology that utilizes the frequency resources effectively, has been studied to relieve scarcity of the frequency resources. Also, FCC revises the regulation to reuse the TV white spaces for applying CR system and allows to use the TV white spaces by CR devices and use of CR device may be regularized after conversion by DTV in 2009. In order to reuse the TV bands without harmful interference to primary user, correct spectrum sensing should be needed to detect DTV signals that is the primary user in TV bands. In this paper, we detect the DTV signal using FFT-based pilot sensing and cooperative sensing scheme is applied for the reliability of the sensing performance and the accuracy of the detection probability. Also, in order to make the reliable decision, the majority rule is proposed.

**Key words:** Cognitive radio, DTV, spectrum sensing, FFT-based pilot sensing, cooperative sensing, majority rule

† “본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음”  
(NIPA-2009-(C1090-0902-0005))

\* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

\*\* 공저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

\*\*\* 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 전파공학과 부교수

† 논문접수일 : 2009년 11월 23일

† 논문심사일 : 2009년 1월 30일

† 게재확정일 : 2009년 2월 22일

## I. 서 론

최근 무선 통신의 급격한 발달에 따라서 주파수 자원의 부족 현상이 두드러지게 나타나고 있으며 주파수의 효율적 활용에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 기존의 주파수 정책에 따르면 대다수의 주파수 자원은 정책에 의해 독점적으로 할당이 되어있으며 주파수 사용의 실태를 조사한 결과 주파수 자원은 특정 시간이나 영역에 집중적으로 사용되며 많은 부분의 주파수 자원은 사용되고 있지 않다고 조사되었다 [1,2].

이와 같은 주파수 부족 및 비효율적 활용을 완화시키기 위해 제안된 무선인지(CR : Cognitive Radio) 시스템은 기존의 1차 사용자에게 대한 간섭을 주지 않도록 하면서 유휴주파수 (White space)를 사용하게 하는 기술로서 주목을 받고 있다 [3,4]. 연방통신위원회 (FCC : Federal Communication Committee)는 Spectrum Policy Task Force (SPTF)를 구성하여 주파수 활용 및 정책에 따라 할당된 주파수 중 활용되지 않는 다수의 주파수에 대해 연구하고 있으며 IEEE 802.22 WG에 의하여 무선인지 시스템 기술에 대한 표준화 작업이 이루어지고 있다. 또한 최근 FCC는 실질적으로 TV대역에 무선인지 시스템을 적용하도록 하면서 관련된 규정을 개정하였고 TV대역의 유휴주파수에 대하여 고정기기 및 개인 휴대기기에 대한 사용을 허가하도록 방침을 정하였으며 2009년 DTV로 전환 완료 이후 해당 기기들의 사용은 본격화 될 것이다 [5].

무선인지 시스템의 기본 방침인 면허 사용자에게 대한 보호를 위하여 TV대역사용에서의 우선순위가 가장 높은 신호인 TV 및 무선마이크에 대한 보호가 이루어져야하는데 이를 위해 정확한 1차 사용자에게 대한 검출, 즉 TV대역의 1차 사용자인 DTV에 대한 정확한 스펙트럼 센싱이 이루어져야 한다.

스펙트럼 센싱 기술은 크게 두 가지로 분류될 수 있는데 1차 사용자의 신호 특성과 무관하게 이루어지는 blind sensing과 면허사용자의 특징을 활용하여 센싱하는 non-blind sensing인 feature detection으로 나눌 수 있다. Feature detection을 위해 활용될 수 있는 특징으로는 파일럿의 에너지, 위치 그리고 신호의

주기성 등이 있는데 본 논문에서는 스펙트럼 센싱 성능이 우수한 파일럿 센싱을 이용하여 DTV신호를 검출하도록 한다 [6,7].

본 논문에서는 DTV신호범위내의 다수의 2차 사용자에게 의한 협력 센싱을 통하여 1차사용자인 DTV 신호의 검출 확률의 정확성 및 신뢰성을 높이도록 적용하였고 각 단일 센싱 결과를 취합하여 판단하는 과정에서 효율적인 판단을 위해 다수의결법 (Majority rule)을 제안한다.

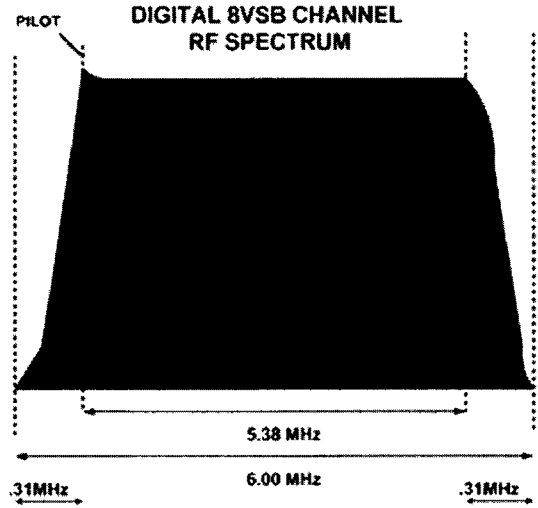
본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 스펙트럼 센싱의 요구사항을 설명하였고, 제 III장에서는 본 논문에서 적용한 파일럿 센싱 알고리즘에 대한 방법 및 효과적 협력 센싱을 위한 다수의 결법에 대해 상세히 기술하였다. 제 IV장에서는 모의실험 결과를 제시하였다. 마지막으로 본 논문의 결론을 제 V장에서 나타내었다.

## II. 스펙트럼 센싱 요구 사항

이번 장에서는 DTV신호를 센싱하기 위한 요구조건에 대해 설명한다. 스펙트럼 센싱은 VHF 및 UHF TV대역을 주기적이고 동적으로 탐지하여 해당 주파수를 간섭을 일으키지 않고 사용할 수 있는지 결정하는데 이는 IEEE 802.22 표준을 기반으로 이루어진다. 다음의 <표 1>은 DTV 스펙트럼 센싱을 위한 주요 파라미터들의 요구조건에 대해 나타내었다. DTV 스펙트럼 센싱을 위한 파라미터들은 2차 사용자들이 1차사용자의 보호를 위해 최소한으로 만족시켜야하는 요구사항으로서 IEEE 802.22 표준에 의해 정의되어있다. 다음 <표 1>에서 채널 검출 시간은 1차 사용자가 2차 사용자에게 의해 검출될 때 허용할 수 있는 간섭시간을 의미하는데 최대한 빠르게 허용된 시간 안에 아래 표에 정의된 임계값 이상의 신호를 표에서 제시한 검출 확률 이상, 오검출 확률 이하로 검출해야 함을 나타낸다. 임계값 이상의 1차 사용자가 검출 되면 채널 이동 시간 및 채널 근접 전송 시간 파라미터들을 충족시켜야하는데 채널 근접 전송 시간은 채널 이동 시간동안 2차 사용자의 전송 구간을 의미한다.

<표 1> DTV 스펙트럼 센싱 요구사항  
<Table 1> Spectrum sensing requirements

요구사항	DTV 검출을 위한 값
채널 검출 시간 (Channel Detection Time)	$\leq 2\text{sec}$
채널 이동시간 (Channel Move Time)	2sec
채널 근접 전송 시간 (Channel Closing Transmission Time)	100msec
1차 사용자 검출 임계값	-116dBm (over 6MHz)
검출 확률 (Probability of Detection)	90%
오검출 확률 (Probability of False Alarm)	10%



<그림 1> DTV 신호 스펙트럼 [8]  
<Fig. 1> DTV Signal spectrum

### III. 파일럿 센싱 알고리즘 및 다수의결법

제 III장에서는 DTV 신호를 센싱하기 위해 적용된 파일럿 센싱의 알고리즘 및 협력센싱의 신뢰성 및 효율성을 높이기 위해 제안된 다수의결법에 대해 설명한다.

#### 1. 파일럿 센싱 알고리즘

스펙트럼 센싱을 크게 에너지 검출법과 신호특성 검출법으로 나눌 수 있는데 전자인 에너지 검출법은 신호의 특성과 무관하게 해당 주파수의 수신신호의 에너지 값을 임계값과 비교하여 1차 사용자의 유, 무를 판단하고 신호특성 검출법은 신호가 존재하면 신호의 특성이 해당 주파수에서 검출되면 1차 사용자가 존재한다고 판단한다.

본 논문에서 검출하고자 하는 신호인 DTV 신호는 다음의 <그림 1>과 같으며 DTV신호 대역 내에 원신호의 복구를 위해 삽입된 DC offset성분인 파일

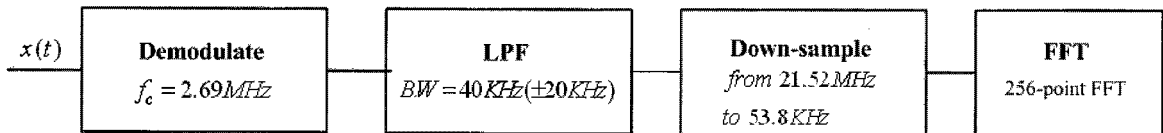
럿이 존재한다.

<그림 1>에서와 같이 특정 위치에 삽입된 파일럿 특성을 이용하여 정확도 높은 스펙트럼 센싱을 수행할 수 있다.

DTV 검출을 위한 임계값이 매우 낮은 신호레벨인 -116dBm으로서 스펙트럼 센싱을 하는데 있어서 정확한 센싱이 어렵지만 <그림 1>에와 같이 특정 위치에 삽입된 파일럿 특성을 이용하여 정확도 높은 스펙트럼 센싱을 수행할 수 있다. 파일럿 센싱을 간략히 도식화 하면 다음의 <그림 2>와 같다.

FFT 기반의 파일럿 센싱은 Single Dwell방식과 Multiple Dwell방식으로 나뉘는데 각각의 센싱방식은 아래와 같다.

- ◆ Single Dwell방식 : FFT결과와 제공값의 최대값을 임계값과 비교하는 방식.
- ◆ Multiple Dwell방식 : 각각의 Dwell에서 FFT 결과를 제공한 값의 최대값을 임계값과 비교하여



<그림 2> FFT 기반의 파일럿 센싱 블록도  
<Fig. 2> Block diagram of the FFT based pilot sensing

각Dwell별로 DTV신호의 유무를 판단하고, 개별적으로 판단된 결과를 모두 합산하여 미리 정해진 기준 값보다 크거나 같으면 DTV신호가 해당 스펙트럼에 존재한다고 한다.

모든 Dwell의 FFT결과와의 제곱 값을 주파수별로 평균값을 구하고 평균 값들 중 최대값과 임계값을 비교하여 최종적으로 DTV신호의 유, 무를 판단 및 결정한다.

본 논문은 좀 더 간편한 방식은 Single Dwell방식을 적용하여 센싱하였으며 FFT를 통하여 나온 결과값에 파일럿 에너지 검출법을 적용하여 해당신호의 유무를 판정한다. 파일럿 에너지 센싱에서 임계값은 오검출 확률(False Alarm Probability)을 반영하여 정해진다. 표1의 DTV 센싱 요구사항에 따라서 오검출 확률은 10%이내의 값으로 정해져야한다.

## 2. 다수 의결법

본 논문에서는 DTV 신호범위내의 다수의 2차 사용자에 의한 DTV 신호 검출 결과를 취합하여 보다 정확하고 신뢰성있는 검출을 위해 협력 센싱을 적용하도록 한다. 위의 파일럿 센싱 단계에서 계산된 각 단일 센싱 결과는 기지국에 전송되어 취합되며 최종판정방식에 따른 임계값과 비교하여 DTV신호의 유, 무를 결정한다.

$$D[k] = H\left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M D_i - \gamma\right) \quad (1)$$

위의 식 (1)에서  $D_i[k]$ 는 각 2차 사용자에 의해 결정된 단일 센싱 결과이며 DTV 신호 범위 내의  $M$ 명의 2차 사용자가 DTV 신호를 수신하여 협력 센싱을 수행한다.  $D[k]$ 는 기지국에서  $M$ 명의 2차 사용자가 보내온 신호를 산술 평균하여 취합된 결과로서 주어진 임계값과 비교하여 최종적인 결정을 한다. 2차 사용자는  $D[k]=0$  이면, DTV 신호가 해당 주파수 대역에 존재하지 않는다고 판단되어 2차 사용자는 해당 스펙트럼을 사용할 수 있고, 만약  $D[k]=1$  이라면 DTV 신호가 해당 주파수대역에 존재하여 2차 사용

자는 다른 빈 주파수 대역을 검출 하여야 한다.

기존에 제안된 판정방식인 AND방식의 경우 모든 개별센싱의 결과가 “1”로 판정되어야만 해당 주파수 대역에 DTV신호가 있다고 판단하게 되어 DTV신호 검출에 대한 신뢰성은 높아지는 반면 검출확률은 떨어지게 된다. 반면 OR방식의 경우 개별센싱의 결과 중 단 하나의 결과라도 “1”로 판정하면 해당 주파수 대역에 DTV신호가 있다고 판단하여 검출확률은 높아지는 반면 스펙트럼 센싱의 신뢰성은 떨어지는 문제가 발생한다.

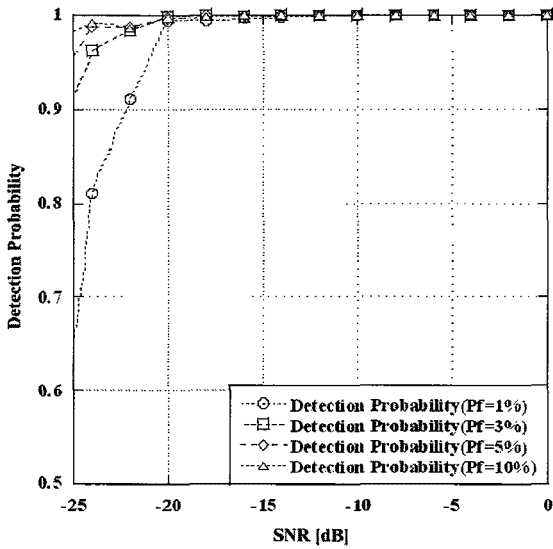
위의 같은 AND방식 및 OR방식의 문제점을 보완하기위하여 본 논문은 다수의결법을 최종 판정방식으로 사용하였다. 다수의결법은 각 2차사용자가 개별적으로 센싱한 결과중 과반수의 결과를 최종 판정에 반영하는 방법으로 임계값은  $\gamma=M/2$  로 설정한다. 그러나 다수의결법은 2차 사용자  $M \leq 2$  때는 OR방식과 같은 임계값을 가지게 되므로 2차 사용자  $M \geq 3$  일 때 그 의미가 유효하게 된다. 본 논문에 적용된 다수의결법은 기존의 판정방식에 비하여 신뢰성 및 효율성부분에서 성능이 우수한 판정방식이다.

## IV. 실험 결과

이번 장에서는 파일럿 센싱을 통한 DTV 신호 검출을 모의 실험결과를 통하여 나타내었다. 모의 실험을 위해 적용된 DTV 스펙트럼은 ATSC DTV 표준에 의해 제시된 신호특성을 반영하였고 [9], FFT 기반의 파일럿 센싱은 Single Dwell방식을 적용하였다.

아래의 <그림 3>은 오검출 확률에 따른 DTV신호의 검출확률 성능을 나타낸 결과이다.

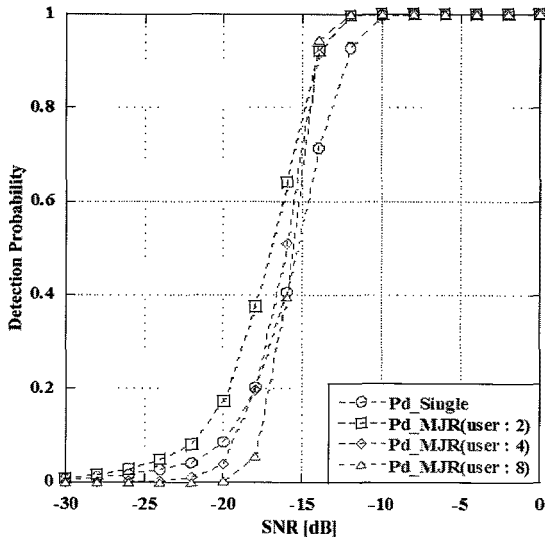
<그림 3>은 협력센싱을 위한 센서의 개수가 4개 일때를 가정하여 실험하였으며 최종 판정방식은 다수의결법을 적용하였을 때의 검출확률이다. 위의 실험결과에 따르면 오검출 확률이 높아짐에 따라서 검출확률이 높아지게 되는 것을 알 수 있다. <표 1>의 스펙트럼 센싱 요구사항과 같이 IEEE 802.22 권고 표준에서 오검출 확률이 10% 이내로 제한되어있는 것을 알 수 있는데 위의 실험 결과와 권고표준 [10]에 따라 본 논문에서는 스펙트럼 검출 성능이 가장



<그림 3> 오검출 확률에따른 FFT기반의 파일럿센싱의 스펙트럼 검출성능

<Fig. 3> FFT based pilot sensing performance with various False alarm rate

좋은 오검출 확률을 10%로 가정하여 모의실험을 진행하였고 향후 DTV 신호검출에서 임계값을 정하는

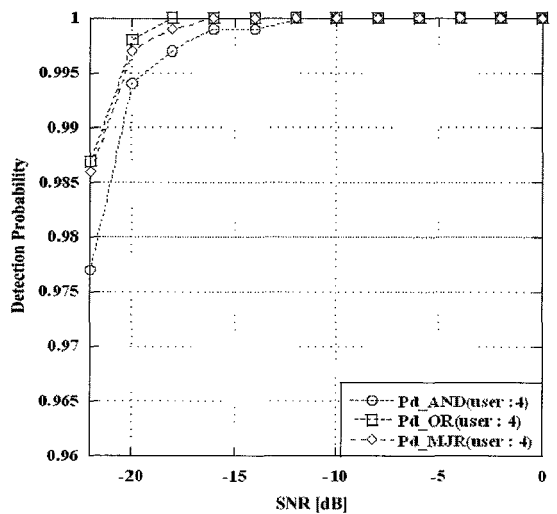


<그림 4> FFT 기반의 Pilot 센싱에서 단일센싱과 협력센싱의 성능 비교

<Fig. 4> Sensing performance comparison between single detection and cooperative detection

데 있어서 위의 실험 결과를 참고하여 정할 수 있다. 다음의 <그림 4>는 단일 센싱성능과 협력센싱을 수행했을 때의 스펙트럼 센싱성능을 비교하여 나타낸 실험 결과이다. <그림 4>의 실험결과에 따르면 센서 하나가 수행하는 단일 센싱에 비하여 센서 다수가 협력하여 스펙트럼 센싱을 수행하는 협력 센싱을 수행하였을 때 검출확률이 더 높게 나타났다. 협력센싱은 센서의 수가  $M = \{2, 3, 4, 8\}$ 일 때를 각각 비교하여 나타내었다.

센서의 수가  $M=2$  일 때는 위의 판정방식에서 설명한 것처럼 검출확률이 OR방식을 적용하였을때와 같게 도출되어 다수의결법을 적용하여 기대할 수 있는 효과가 거의 없으며 센서의 수가  $M \geq 3$ 일 때의 검출 확률을 보면 센서의 수가 증가될수록 검출확률이 증가되기는 하지만 증가율이 크지 않다. 그러므로 본 실험을 통하여 시스템의 복잡도 및 다수 센서에 의해 발생할 수 있는 오버헤드 등을 고려하여 협력센싱에서 센서의 개수를 4개로 가정하는 것이 적절하다고 판단한다. IEEE 802.22 권고 표준안에 따른 센싱 요구사항에 따르면 약 -21dB에서 90%의 검출 확률 값을 가져야하는데 단일 센싱 수행시에는 약



<그림 5> 최종판정방식에따른 스펙트럼 센싱의 검출 성능

<Fig. 5> The detection probability performance in accordance with the decision rules

-13dB일 때 90% 검출확률이 나타나는것에 비하여 협력센싱을 수행하게되면 낮은 SNR에서도 무난하게 90%의 검출확률 값을 갖는 것으로 실험결과 나타나고 있다.

다음의 <그림 5>는 최종판정방식에 따른 DTV 스펙트럼 센싱의 성능을 나타내고 있다. <그림 5>의 실험결과에 따르면 다수의결판정방식을 적용한 센싱의 검출확률은 AND방식과 OR방식의 중간값을 가지게 되는데 이는 AND방식의 센싱의 정확성은 높지만 다소 낮은 검출확률과 OR방식의 센싱은 검출확률은 높지만 정확성이 다소 낮은 센싱성능을 보완한 방식으로 기존의 AND방식과 OR방식에 비하여 효율적인 방식이라고 할 수 있다.

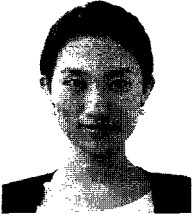
## V. 결 론

본 논문에서는 TV대역의 1차 사용자인 DTV 신호에 대한 간섭을 최소화 하고 스펙트럼 센싱의 성능을 높이기 위해 파일럿 센싱을 통해 해당 신호를 검출 하였다. 파일럿 센싱은 기타 다른 신호 특성에 비하여 신뢰성 및 센싱 성능이 우수하다. TV대역의 1차 사용자인 DTV 신호의 보호를 위해 보다 정확하고 신뢰성있는 스펙트럼 검출이 필요한데 이를 위해 본 논문은 협력 스펙트럼 센싱을 적용하여 신뢰성 문제를 보완하였다. 협력 스펙트럼 센싱에서는 각 2차 사용자의 개별 센싱 결과를 취합하여 최종적으로 기지국에서 1차 사용자의 스펙트럼 점유여부를 결정하는데 이때 최종 판정을 위해 본 논문에서는 기존의 판정방식보다 신뢰성 및 효율성 부분에서 성능이 개선된 다수의결법을 적용하였다. 본 논문의 실험 결과를 통하여 1차 사용자의 정확한 검출을 위해 협력 스펙트럼 센싱, 오검출 확률, SNR등을 예측하여 향후 연구개발에 참고 될 수 있다.

## 참 고 문 헌

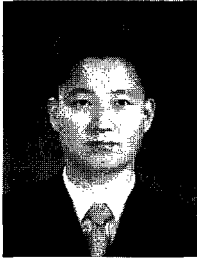
- [1] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. Vuran, and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 50, no. 13, pp. 2127-2159, May 2006.
- [2] J. Y. Kim. *Cognitive Radio Communications*, Seoul, Gyobo Publishers, 2008.
- [3] J. Mitola 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.
- [4] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.
- [5] FCC, "Second report and order and memorandum opinion and order," *ET Docket No. 08-260*, Nov. 2008.
- [6] M. Ghosh, "Text on FFT-based pilot sensing", *IEEE 802.22, doc. no. 22-07-0298-01-000*, Jul. 2007
- [7] C. Cordeiro et al., "Spectrum sensing for dynamic spectrum access of TV bands," *IEEE CrownCom*, Aug. 2007
- [8] S. Y. Chang, "Analysis of proposed sensing scheme", *IEEE 802.22, doc. no. 22-06-0032-00-0000*, Mar. 2006.
- [9] J. C. McKinney and R. Hopkins, "ATSC digital television standard," *Advanced Television Systems Committee*, Sep. 1995.
- [10] IEEE 802.22 draft standard, "IEEE P802.22TM/D0.3 Draft Standard for Wireless Regional Area Networks," *doc. no. 22-07-0086-01-0000*, May 2007.

저자소개



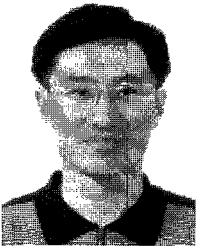
이 소 영 (Lee, So Young)

2004년 광운대학교 전자공학부 공학사  
2008년 8월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정



김 은 철 (Kim, Eun Cheol)

2003년 광운대학교 전파공학과 공학사 (전자공학전공)  
2005년 광운대학교 전파공학과 공학석사 (전자공학전공)  
2005년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정 (전자공학전공)



김 진 영 (Kim, Jin Young)

1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사 (전자공학전공)  
2000년 미국 Princeton University, Research Associate  
2001년 SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원  
2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수  
2009년 ~ 현재 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist