

WRAN을 위한 스펙트럼 센싱에 관한 연구

A Study on Spectrum Sensing for WRAN

오상민*, 임종태**

Sang-Min Oh*, Jong-Tae Lim**

요 약

최근 주파수 자원 부족 문제로 인하여 무선 인지(Cognitive Radio)기술과 같은 주파수 공유 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. CR기술의 구현을 위해서는 주파수 대역의 사용 유무를 판단하는 스펙트럼 센싱 기술의 구현이 우선시 된다. IEEE 802.22 WRAN은 CR기술을 사용한 첫 번째 표준화로 TV대역에서의 인터넷 서비스를 목표로 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.22에 제시된 여러 센싱 기법들 중에서 협대역에서 ATSC신호를 검출하는 센싱 기법들인 에너지 검출기법, 스펙트럴 상관성 센싱 기법, 공분산을 이용한 센싱 기법에 대하여 설명하고 오경보 확률이 10%일때의 미검출 확률을 통해서 성능을 분석 하였다. 분석한 결과를 바탕으로 각각의 센싱 기법의 장단점을 보완할 수 있는 방법으로 에너지 검출 기법을 기반으로 하는 이중 센싱 구조를 제안하였고, 제안된 센싱구조를 실험을 통해 각각의 센싱 기법과 비교 분석하였다.

Abstract

Recently, many frequency sharing technology including CR (Cognitive Radio) technology have been studied actively because of frequency scarcity. For implementing CR systems, spectrum sensing technology plays key role. In IEEE 802.22 WRAN, the first standard aimed at Internet service in a TV channel with CR technology. This paper explained the various spectrum sensing schemes detecting narrowband ATSC signal in the IEEE 802.22 such as Energy detector, Spectral Correlation Sensing scheme, Covariance based Sensing algorithm and analyzed in terms of the probability of misdetection when the probability of false alarm is 10%.

Based on simulation results, this paper proposed a duplex sensing scheme based on Energy detector and analyzed the capability of the proposed sensing scheme comparing with each sensing scheme.

Key words : WRAN, Spectrum Sensing, Cognitive Radio, Signal Detection, Spectral Correlation

I. 서 론

최근 무선 통신 시스템 시장의 증가로 인하여 주파수 자원 부족 문제가 심각하게 대두되고 있다. 그러나 그림 1에 나타난 0~10GHz까지의 주파수 사용 현황을 보면 분배된 주파수의 상당 부분이 사용되지 않거나 사용 효율이 떨어지고 있다. 이러한 주파수

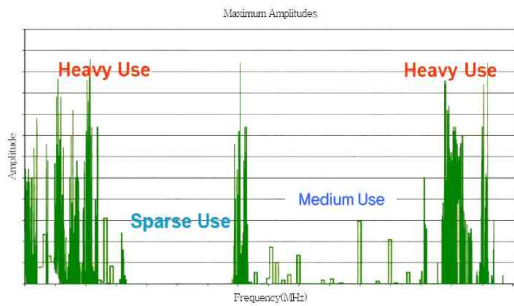
자원 부족문제를 해결하기 위하여 주파수 사용 효율의 증대가 필요하다. 따라서 무선 인지, UWB와 같은 주파수 공유 기술을 개발하기 위하여 노력 중이고, 실제 IEEE에서는 2005년부터 TV대역에서 무선 인지 기술을 이용하여 무선 인터넷 서비스를 제공하는 IEEE 802.22 WRAN에 대한 표준화 작업이 진행 중에 있다.

* (주) 티비스툼 (TVStorm Inc.)

** 홍익대학교 전자전기공학부 (School of Electronic & Electrical Engineering of Hongik University)

· 교신저자 (Corresponding Author) : 임종태

· 접수일자 : 2008년 3월 19일



<자료 출처>:FCC, Spectrum Policy Task Force, Technology Advisory Council Briefing(Dec. 2002)

그림 1. 미국에서의 스펙트럼 측정 현황

Fig. 1. Status of spectrum measurement in the USA

무선 인지 기술은 SDR기술에 스펙트럼 센싱 기술을 활용하여 사용 가능한 채널을 설정하여 통신하는 기술이다. 무선 인지 기술을 활용하기 위해서는 이미 할당된 주파수를 사용하는 우선 사용자의 보호가 우선시 되어야 하기 때문에 스펙트럼 센싱 기법에 관한 연구가 선행 되어야 한다[1],[2],[4].

IEEE 802.22 WRAN WG에서는 센싱 성능을 오경보 확률이 정해진 상태에서의 미검출 확률로 성능을 평가하게 되고 최소 사양으로 오경보 확률이 10%일 때 10%이하의 미검출 확률을 요구하고 있다[3].

본 논문 2장에서는 WRAN에서 제시된 주요 파라미터에 대하여 설명을 하고, 3장에서는 WRAN에 제시된 센싱 기법에 대하여 설명을 한 후에 4장에서 제시된 센싱 기법을 조합한 2중 센싱 구조를 설명하고, 5장에서 같은 조건하에서의 실험 결과를 보여주고, 6장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. WRAN에서의 스펙트럼 센싱

IEEE 802.22 WRAN WG에서는 우선 사용자를 TV 신호와 무선 마이크 신호로 정의하고 있다. 또한, 스펙트럼 센싱 기법을 평가하기 위해 각각의 TV신호와 무선 마이크 신호에 대한 여러 가지 파라미터를 설정해 놓았다. Functional Requirement 문서에 제시된 TV 신호에 대한 주요 파라미터들은 표1과 같다. 표에서 보면 채널 검출 시간을 2초 이하로 설정되어 있고, 오경보 확률이 10%이하일 때 10%미만의 미검출 확률을 요구하고 있다.

표 1. 주요 센싱 파라미터

Table 1. Main parameter for spectrum sensing

DFS Parameter (Dynamic Freq. Selection)	Value for TV Broadcasting
Channel Availability Check Time	30 sec (recommended)
Non-Occupancy Period (minimum)	10 minutes (recommended)
Channel Detection Time	<=2 sec to >=90% Probability of Detection with a False Alarm rate of <= 10%
Channel Setup Time	2 sec (Maximum, NTE)
Channel Opening Transmission Time	100 msec (Maximum, NTE)
Channel Move Time (In-service monitoring)	2 sec (Maximum, NTE)
Channel Closing Transmission Time	100 msec (Maximum, NTE)
Incumbent Detection Threshold	-116 dBm (6 MHz BW) for DTV

또한, 우선 사용자 보호를 위한 검출 임계값으로 TV신호의 경우 -116dBm으로 설정해 놓고 있다. 무선 마이크 신호의 경우 다른 파라미터들은 거의 비슷하지만 검출 임계값이 -104dBm인 점이 다르다.

III. 제시된 스펙트럼 센싱 기법

3-1 에너지 검출기법

에너지 검출 기법은 신호의 특성과 관계가 없이 에너지나 파워의 양에 따라 신호의 유무를 판단하는 검출 기법이다[5]. 에너지 검출 기법은 센싱 수신기의 구조가 가장 간단하다는 장점을 가지고 있지만, 신호의 성격을 파악할 수 없다. 따라서 노이즈에 대하여 매우 약한 단점을 가지고 있다. N채널의 신호의 유무를 판단하기 위해서는 수신된 신호를 6MHz대역의 필터로 필터링을 한 신호는 다음 식(1)과 같이 표현된다.

$$y(n) = x(n) + w(n) \tag{1}$$

여기서, $x(n)$ 은 신호성분이고, $w(n)$ 은 노이즈 성분을 나타낸다. 신호의 파워를 P_s , 노이즈 파워를 P_N 이라 하면 수신된 신호의 파워는 다음 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$T = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M y(n)y^*(n) \quad (2)$$

3-2 스펙트럴 상관성 센싱 기법

IEEE 802.22 에 제시된 스펙트럴 상관성 센싱 기법은 수신된 신호의 에너지의 양을 측정하는 에너지 검출 방식과 달리 미리 저장된 신호의 샘플과 수신된 신호의 샘플사이 Correlation 값을 가지고 신호의 유무를 판단하는 방법이다[6].

각각의 샘플 값은 수신기의 FFT 출력으로 쉽게 구할 수 있고, FFT 출력의 전부 또는 일부만을 사용하는 방법이므로 구현이 간단하다. 또한, 수신된 신호의 스펙트럼 성분만을 이용하는 방법이므로 Time domain에서의 성분이나 분석은 불필요한 장점이 있고, 센싱 수신기의 구조는 그림 2와 같다.

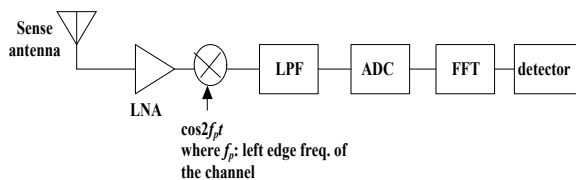


그림 2. 센싱 수신기 구조
Fig. 2. Structure of a sensing receiver

그림 3은 8개의 샘플 값을 이용한 예이다. 8개의 수신된 신호의 샘플인 둥근 점의 값과 미리 저장된 NTSC 신호의 값과의 correlation 값을 임계값과 비교 후에 신호의 유무를 판단하게 된다.

그림3의 경우 N개의 샘플 중에서, 8개의 correlation point를 일정한 간격으로 선택한 경우이다. 이 센싱 기법의 성능 향상을 위해서는 일정한 간격으로 샘플을 선택하기 보다는 우선사용자의 신호형태에 따라 선택 방법을 달리 할 필요가 있다. 그림 4에서 보는 DTV 신호인 ATSC 신호의 경우는 대부분의 구간에서는 일정한 진폭을 가지지만 파일럿신호

가 존재하는 부분에서는 진폭의 변화가 큰 것을 알 수 있다.

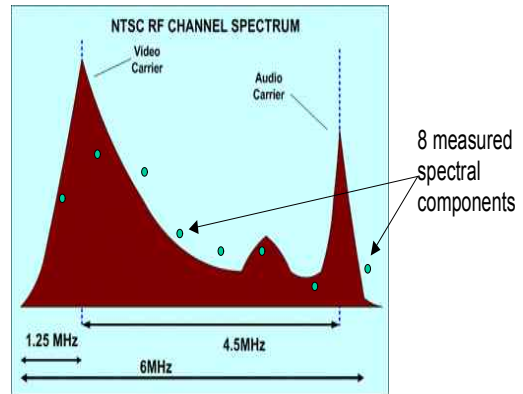


그림 3. 스펙트럴 상관성 센싱 기법
Fig. 3. Spectral correlation sensing scheme

이 경우에는 파일럿 신호 근처에서는 샘플 간격을 좁게 하고 진폭의 변화가 거의 없는 부분에서는 샘플 간격을 넓게 하여 correlation point를 설정하면 유사한 신호의 경우는 상관계수가 더욱 커지고 다른 신호의 경우는 더욱 작아지게 되어, 좀 더 좋은 성능을 얻을 수 있다.

스펙트럴 상관성 센싱 기법의 경우 correlation point의 개수가 몇 개인지, 샘플 간격을 어떻게 설정을 하느냐에 따라 많은 성능의 변화를 가지고 올 수 있다.

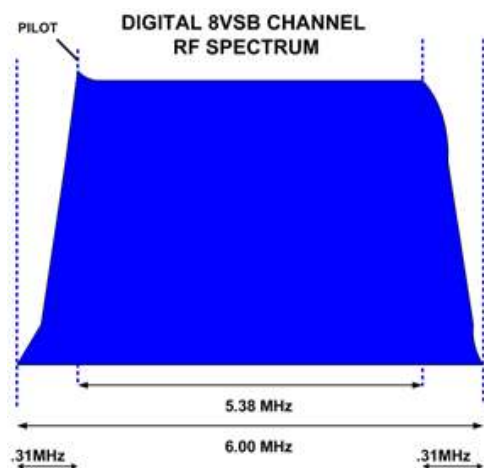


그림 4. ATSC 신호
Fig. 4. ATSC signal

3-2 공분산 행렬을 이용한 센싱 기법

공분산 행렬을 이용한 센싱기법에는 크게 두가지 방법으로 제시되어 있다[7]~[9]. 먼저 첫번째 방법은 공분산 행렬의 고유값을 이용한 고유값 센싱 기법과 공분산 행렬의 절대값 또는 프로베니어스 놈 (Fribenius norm)을 이용한 검출 방법이 존재한다.

1) 최대-최소 고유값을 이용한 검출방법
(Max-Min Eigenvalue Detection, MME)

이 센싱 방법은 수신된 신호의 공분산 행렬로부터 구한 고유값의 최대값과 최소값의 비율을 이용하는 것으로 최대값과 최소값의 비율과 임계값과의 비교를 통해 신호의 존재의 유무를 판단하는 방법이다.

2) 공분산의 절대값을 이용한 검출방법
(Covariance Absolute Value Detection, CAV)

이 방법은 수신된 신호의 공분산 행렬의 대각성분만 의미가 있는 값을 가진다는 특성을 이용한 방법이다. 식 (3)과 (4)로 표현되는 두 개의 값의 비율과 임계값을 비교하여 신호의 유무를 판단한다.

$$T_1(N_s) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^L |\gamma_{nm}(N_s)| \quad (3)$$

$$T_2(N_s) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L |\gamma_{nn}(N_s)| \quad (4)$$

여기서, L은 smoothing factor이고, 1보다 큰 값을 가진다. N_s 는 샘플의 개수 이고, $\gamma_{nm}(N_s)$ 는 샘플 공분산 행렬이다.

3) 공분산의 프로베니어스 놈을 이용한 검출방법
(Covariance Frobenius Norm Detection, CFN)

이 센싱 방법은 공분산 행렬의 절대값의 제곱을 이용한 방법으로 식 (5)와 (6)의 두 값의 비율과 임계값과 비교하여 신호의 유무를 판단한다.

$$T_3(N_s) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^L |\gamma_{nm}(N_s)|^2 \quad (5)$$

$$T_4(N_s) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L |\gamma_{nn}(N_s)|^2 \quad (6)$$

IV. 2중 센싱 기법

각각의 센싱 구조들은 장단점을 가지고 있다. 예를 들어 에너지 검출 기법의 경우에는 가장 간단한 센싱 구조를 가지고 있지만 노이즈에 민감하기 때문에 임계값의 변화에 따라 성능의 변화가 심하다는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 또한, 스펙트럴 상관성 센싱 기법의 경우에는 환경과 우선 사용자에게 맞는 신호의 특성 파악을 해야 한다는 단점이 존재한다. 따라서 본 절에서는 에너지 검출 기법을 기초로 한 이중 센싱 구조를 사용하여 성능의 변화를 확인해보았다.

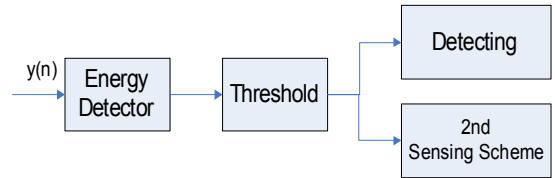


그림 5. 이중 센싱 기법 구조
Fig. 5. Structure of a duplex sensing scheme

그림 5에서 보면 IF 대역으로 다운 컨버전된 신호를 먼저 에너지 검출 기법을 통해 에너지를 측정하게 된다. 측정된 에너지를 임계값과 비교를 통해 임계값보다 큰 경우에는 우선사용자가 존재한다고 생각을 하고 센싱을 종료 하게 되고, 임계값보다 낮을 경우에는 두 번째 센싱 기법을 이용하여 센싱을 진행하게 된다. 여기서의 임계값은 앞에 에너지 검출 기법에서 설정한 임계값과는 다른 임계값으로 실험을 통하여 결정을 하였다.

V. 실험 결과

표 2는 실험에 사용된 신호의 주요 파라미터를 나타낸다. 표를 보면 실험에 사용된 데이터는 5.38MHz로 다운 컨버전된 신호이다. 따라서 다음에 보여주는 실험 결과는 한 개의 채널을 설정하고 5.38MHz로 다운 컨버전되었다고 가정을 하고 실험을 하였다 [10]-[12]. 본 실험에서는 2048개의 샘플을 이용하여 실험을 진행하였다.

표 2 데이터 파라미터

Table 2. Parameter of captured data

Max length	Up to 25sec
Sampling rate	21.524476Msample/sec
Cetral IF	5.38MHz
Filter	Brickwall Filter

그림 6은 임계값이 -141.67dB부터 -143.21dB의 변화에 따른 에너지 검출 기법에 대한 실험 결과이다. 그림에서 보는 것과 같이 임계값에 따라 성능의 변화가 큰 것을 확인할 수 있었고, 전체적으로 -10dB 부터는 성능의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

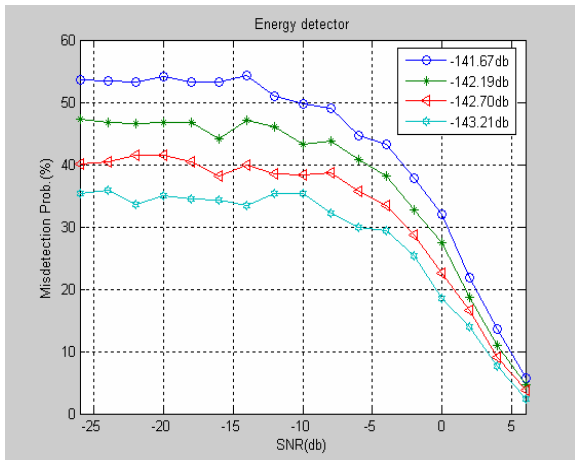


그림 6. 에너지 검출방법 실험결과
Fig. 6. Simulation result of energy detector

스펙트럴 상관성 센싱 기법을 이용한 센싱 기법의 성능을 그림 7에 나타내었다. 본 실험에서는 107개의 point를 설정하여 실험을 하였다. Equal spacing의 경우는 일정한 간격으로 point를 설정을 하여 실험을 하였고, Nonequal spacing의 경우는 신호의 특성을 이용하여 point를 설정하여, 두 경우를 비교하였다. 그림에서 보는 것과 같이 10%의 미검출 확률에서 신호의 특성을 이용하여 point를 설정한 경우가 1dB 성능향상을 확인할 수 있다.

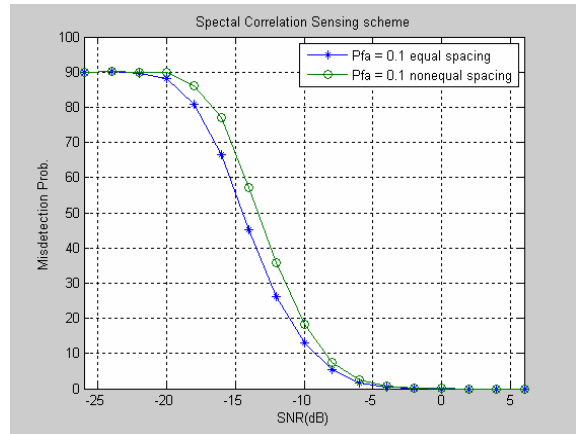


그림 7. 스펙트럴 상관성 센싱 기법 실험결과
Fig. 7. Simulation result of spectral correlation sensing scheme

그림 8은 공분산 기반의 센싱 기법들의 실험 결과이다. Smoothing factor L을 10으로 설정하여 실험을 진행하였다. 그림 8에서 보는 것과 같이 -5dB에서 10%의 미검출 확률을 만족하고 있고, 공분산의 절대값을 이용한 센싱 기법에서는 -2dB에서 만족을 하고 있다. 따라서 본 실험에서는 기존의 제시된 방법들 중에서는 스펙트럴 상관성 센싱 기법의 성능이 가장 우수한 결과를 보였다.

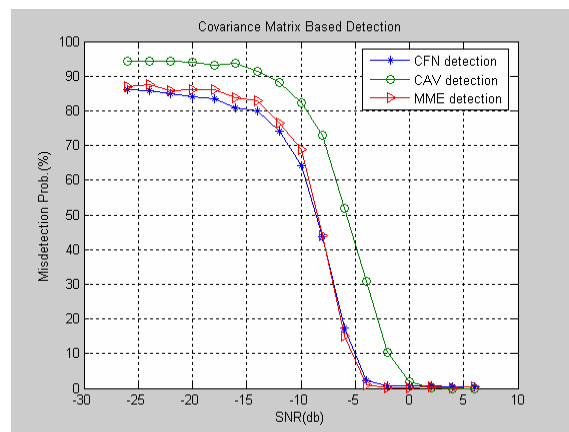


그림 8. 공분산 기반의 센싱 기법 실험결과
Fig. 8. Simulation result of covariance based sensing scheme

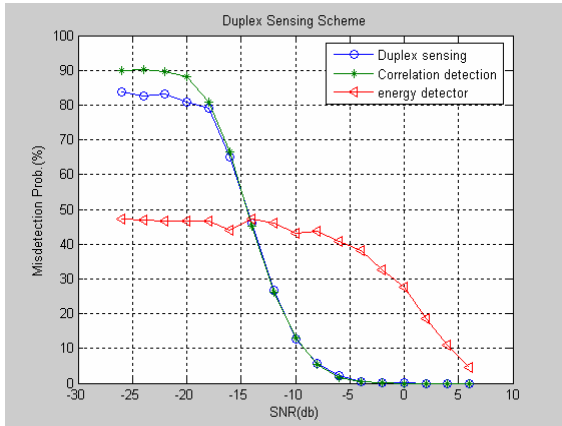


그림 9. 이중 센싱 방법의 실험결과
Fig. 9. Simulation result of duplex sensing

그림 9는 5장에서 제시한 이중 센싱 기법의 실험 결과로 2차 센싱 방법으로 스펙트럴 상관성 센싱 기법을 이용한 성능 그래프이다. 미검출 확률 10%에서 거의 같은 성능을 보여 주었지만 실험 결과를 통해 확인 해본 결과 -8dB에서 15~20%정도가 1차 센싱 임계치인 -138dB를 초과하는 것으로 나타났다. 즉 성능의 저하 없이 센싱 시간을 줄일 수 있다는 결과를 보여 주고 있다.

2차 센싱 기법으로 최대 최소 고유값을 이용한 센싱 기법을 사용한 방법의 성능을 그림 10에 나타내었다. 이 센싱 기법에서는 10%의 미검출 확률에서 1dB의 성능이 향상되었음을 확인할 수 있었다.

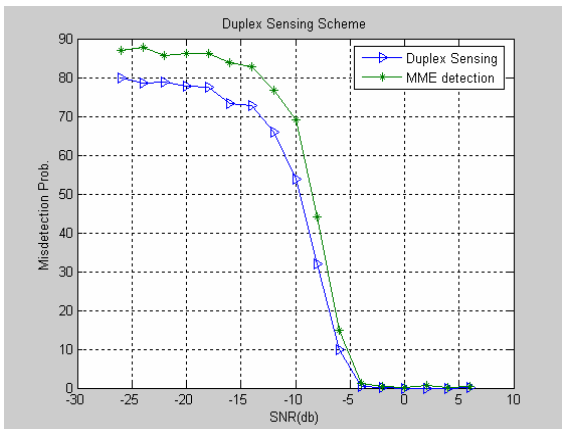


그림 10. 이중 센싱 방법의 실험결과
Fig. 10. Simulation result of duplex sensing

VI. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.22 WRAN에 제시된 센싱 기법들 중에서 협대역에서 ATSC신호 검출을 위한 센싱 기법에 대하여 알아보았고, 실험을 통해 성능을 분석해 보았다.

제시된 센싱 기법들을 동일한 조건에서 실험을 한 결과 스펙트럴 상관성 센싱 기법이 다른 센싱 기법에 비하여 10%의 미검출 확률에서 약 3dB 정도 성능이 좋음을 확인할 수 있었다.

또한 제시된 센싱 기법들을 바탕으로 에너지 검출 기법이 기반이 된 이중 센싱 구조를 제안하였고, 2차 센싱 기법으로 스펙트럴 상관성 센싱 기법을 사용하였을 경우에는 성능 향상은 없었지만 센싱 시간을 절약할 수 있는 효과를 타나냄을 보여 주었고, MME 검출 기법을 2차 센싱 기법으로 사용하였을 경우에는 센싱 시간의 절약뿐 아니라 미검출 확률이 10%일 경우 1dB가량의 성능 향상도 확인할 수 있었다.

따라서 현재 제시되어 있는 각각에 센싱 기법에 관한 개별적인 연구도 필요하지만, 서로의 장단점을 보완할 수 있는 조화된 센싱 기법에 관한 연구도 필요할 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] D. Cabric, S. Mubaraq and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing," *Proc. IEEE Signals, Systems and Computer Science*, vol. 1, Nov.2004
- [2] 김 창주, "Cognitive Radio 기술 동향," *전자통신동향분석*, 제 21권 제4호.
- [3] IEEE 802.22, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard," IEEE 802.22-05/007r46, Sep. 2005.
- [4] D. Cabric, S. Mubaraq et al., "Implementation Issues in Spectrum Sensing for Cognitive Radios," *Proc. IEEE Signals, Systems and Computers Conference*, vol. 1, Nov. 2004.
- [5] S. Shellhammer, "Test on Energy Dector," IEEE 802.22-07/0264r2, June, 2007.

- [6] S.Y. Chang et al., "Text on Spectral Correlation Sensing," IEEE 802.22-07-028r1, June, 2007.
- [7] S. Shellhammer, "Test on Eigenvalue Based Correlation Sensing," IEEE 802.22-07-028r1, June, 2007.
- [8] Yonghong Zeng et al., "Test on eigenvalue based sensing," IEEE 802.22-07-0297r3, July 2007.
- [9] Yonghong Zeng et al., "Updates on the covariance based and eigenvalue based sensing algorithms," IEEE 802.22-06-0187r2, Mar. 2007.
- [10] V. Tawil, "DTV Signal Captures," IEEE 802.22-06-0038r0, Mar. 2006.
- [11] S. Mathur et al., "Initial Signal Processing of Captured DTV Signals for Evaluation of Detection Algorithms," IEEE 802.22-06-0158r5, Sep. 2006.
- [12] *ATSC Recommended Practice: Receiver Performance Guildlines*, ATSC A/74.

오 상 민(吳尙玟)



2006년 2월 : 한국항공대학교 정보통신 공학과(공학사)
 2008년 2월 : 한국항공대학교 정보통신 공학과 (공학석사)
 2008년 3월 ~ 현재 : (주) 티비스툼
 관심분야 : Cognitive Radio, 통신 이론, 방송 통신 시스템

임 증 태(林鍾泰)



1989년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 2001년 8월 : The University of Michigan at Ann arbor (공학박사)
 2004년 9월 ~ 2008년 2월 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신 공학부 조교수
 2008년 3월 ~ 현재 : 홍익대학교 전자전기공학부 조교수
 관심분야 : 디지털 통신 및 방송 시스템