

논문 2008-45TC-1-10

인지무선환경에서 스펙트럼 센싱을 위한 에너지 검출기의 성능개선: 시간지연을 이용한 확인과정

(Performance Improvements of Energy Detector for Spectrum Sensing
in Cognitive Radio Environments: Verification using Time delay)

백준호*, 이종환*, 오형주*, 황승훈**

(Jun-Ho Baek, Jong-Hwan Lee, Hyeong-Joo Oh, and Seung-Hoon Hwang)

요약

본 논문에서는 에너지 검출기의 성능개선에 관한 것으로 시간 지연의 형태를 이용하여 복수번의 확인과정을 가지는 변형된 형태의 에너지 검출기를 채용하는 스펙트럼 검출 기법을 새로이 제안하고 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 구해 기존의 에너지 검출기와 비교한다. 성능은 1%와 10%로 고정된 오보확률에서 SNR과 미검출 확률을 구하거나 ROC(Receive Operation Characteristics)로 구하여 제안 방식이 우수함을 보인다.

Abstract

In this paper, we propose a novel structure where the energy detector has multiples of verification using time delay, in order to improve its performance. Additionally, the performance is investigated by simulation and compared to that of the original energy detector. The simulation result shows that the proposed scheme improves the performance when SNR is compared with the mis-detection probability for both 1% and 10% of false alarm probability. The performance is also described in terms of ROC.

Keywords: Cognitive Radio, Verification, Spectrum Sensing, Energy Detector, Time Delay

1. 서론

최근 무선 응용 기술들의 비약적인 증가에 따라 엄청난 주파수 자원 수요가 발생하였으나 이미 거의 모든 주파수 대역이 할당 되었고, 특히 수 GHz 이하 대역에서 할당 경쟁이 매우 심하다. 그런데, 이미 할당 되어진 주파수 대역을 보면 특정 주파수 부분의 대역만 활용이 집중되어 있는 반면에 대부분 주파수 대역에서 효율적인 활용이 되지 못하고 있다. FCC Spectrum Policy Task Force 보고서에 의하면 허가받은 주파수 대역의

자원들은 위치나 시간에 따라 15% ~ 85%만 활용되고 있다^[1]. 따라서 주파수 효율을 더욱 높이는 새로운 패러다임의 무선 기술의 필요성이 대두 되었다.

최근에 기존 주파수 사용 효율을 높일 수 있는 방안으로 인지무선 (Cognitive Radio: CR) 접속 기술이 제안 되었다^[2]. 주변 무선 환경을 인지하고, 무선 환경에 최적의 파라미터를 자체적으로 결정해 타 기기에 간섭을 주지 않고 무선 정보를 송수신하는 것을 기초로 한다. 이와 관련하여 기존 VHF/UHF TV 방송 대역 (54 ~ 862MHz) 활용을 목표로 IEEE 802.22 WRAN에서 표준화가 활발히 이뤄지고 있다. CR 기술은 동적 주파수 자원 관리 개념을 기반으로 기존 1차 사용자의 권한을 침해하지 않고 2차 사용자가 그림 2 와 같이 유휴 주파수 부분을 공유함으로써 주파수 사용 효율을 높이는 기술이다.

* 학생회원, ** 정회원, 동국대학교 전자공학과
(Dongguk University, Seoul, Korea)

※ 본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터
육성 사업의 지원으로 수행되었음
(R11-1999-058-01007-0)

접수일자: 2007년11월4일, 수정완료일: 2008년1월15일

특히 스펙트럼 검출 기술은 1차 사용자에게 점유되어 사용되고 있는지 또는 유휴 주파수 부분인지를 정확하게 판별할 수 있어야 1차 사용자에게 간섭을 주지 않으므로 신뢰성 있는 스펙트럼 검출 기술이 매우 중요하다. CR 기술을 활용하기 위해 특정 대역의 스펙트럼을 검출하는 방법으로는 정합필터, 신호형태 검출, 에너지 검출 기법 세 가지의 기본 기술이 있다. 본 논문에서는 에너지 검출기의 성능개선에 관한 것으로 시간 지연의 형태를 이용하여 복수번의 확인과정을 가지는 변형된 형태의 에너지 검출기를 채용하는 스펙트럼 검출 기법을 새로이 제안하고 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 구해 기존의 에너지 검출기와 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 검출 방법들의 특징을 비교, 검토하고, III장에서는 제안하는 스펙트럼 검출기의 구조를 알아본다. 이어서 IV장에서는 제안하는 모델의 성능과 기존의 스펙트럼 검출 성능을 비교 분석 하였다. 끝으로 V장은 결론으로 구성 되어있다.

II. 기존 스펙트럼 검출 방법

- 정합 필터 (Matched Filter Detection): 정합 필터의 특성상 SNR (signal-to-noise ratio)를 최대화 할 수 있는 장점이 있으나, 특정 대역을 사용하는 통신 시스템의 파일럿과 프레임 구조가 각각 다르기 때문에 정합 필터 검출 방식의 경우 송신 신호에 대한 정보를 미리 알고 있기가 힘들므로 CR 환경에서는 적합하지 않다.

- 신호 형태 검출 (Feature Detection): 일반적인 신호는 송신 신호가 주기적인 성질(cyclostationary)을 가지고 있기 때문에, 이를 이용하는 방식이다. 그림 5를 참조하여 보면 수신된 신호의 상관관계 값을 구하여 신호의 존재 유무를 검출 한다. 하지만 정합필터 검출 방식과 같이 송신 신호에 대한 주기 정보를 알아야하며 복잡성 측면에서의 단점이 있다.

- 에너지 검출 방식: 이 방식의 가장 큰 장점은 앞서 언급했던 검출 방식에 비하여 복잡하지 않다. 그림 1에서 보는 바와 같이 신호의 중심 주파수를 선택하고 대역폭을 결정하기 위해 대역 통과 필터에 통과 시킨 후, 제곱을 하여 적분하는 방법으로 특정대역의 주파수의 에너지를 측정하여 신호의 존재 유무를 판별하는 방식이다. 이 방법은 단순히 해당 주파수의 신호의 세기 정

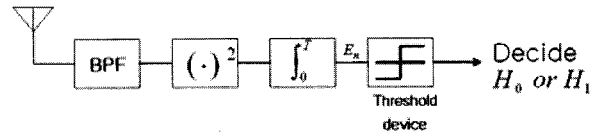


그림 1. 에너지 검출기의 블록도
Fig. 1. The block diagram of energy detector.

도에 따라서 신호의 존재 유무를 감지하는 방식이다. 하지만 신호 크기의 양을 어느 정도로 할 것인가 하는 문제가 있고, 간섭 신호에 대한 대비책이 없어서 정확한 신호 검출이 어렵다.

특히 에너지 검출 방식의 단점은 페이딩이나 섀도잉 같은 채널 영향이 존재하는 경우 스펙트럼 검출의 성능은 급격히 열화 된다^[3]. 1차 사용자가 존재하지만 제대로 검출이 되지 않는 경우에 1차 사용자에게 간섭을 주게 되고, 1차 사용자가 존재하지 않지만 검출되었다고 판정하는 경우 사용 가능한 스펙트럼을 유휴하게 되어 비효율적인 동작을 하게 된다. 따라서 간단한 구조의 에너지 검출 방식을 발전시켜 신뢰성을 높일 수 있는 스펙트럼 검출방법이 요구된다. 다양한 시도가 연구되고 있는 가운데 다중 경로 페이딩 환경이나 섀도잉을 극복하기 위한 효율적인 스펙트럼 검출을 위한 접근으로 Collaborative 검출이 제안되었다^[4-5]. 이는 N명의 2차 사용자는 스펙트럼 검출 정보를 공유한다. 따라서 2차 사용자 각각이 독립적으로 스펙트럼 검출하는 것 보다 더욱 신뢰성 있는 신호 검출이 가능하다. 하지만 2차 사용자들 각각의 무선 채널 환경이 다르므로 각각의 스펙트럼 검출 정보에 가중치를 적용하는 방법^[6]이 고려되었으나 타당성검토를 위한 실험적인 데이터들이 부족한 상황이다^[7]. 또한 collaboration이 가능한 2차 사용자가 항상 존재하는지도 확실하지 않기 때문에 에너지 검출기 자체의 성능개선 방안이 요구된다.

III. 제안하는 스펙트럼 검출기 구조

본 논문에서는 기존의 대표적인 스펙트럼 검출 방식 중에 가장 간단한 에너지 검출 방법의 성능을 개선하기 위해 시간지연을 이용한 확인과정을 추가하여 신뢰성이 개선된 스펙트럼 검출기를 제안하였다. 그림 2에서 보듯이 시간 지연 구조를 갖는 공동 스펙트럼 검출기는 다음과 같이 구성된다. 하나의 안테나로 부터 신호를 수신하여 제 1 검출결과를 생성하는 제 1 검출기, 상기 수신 신호를 시간 지연 시키는 제 1 시간 지연기, 제 1

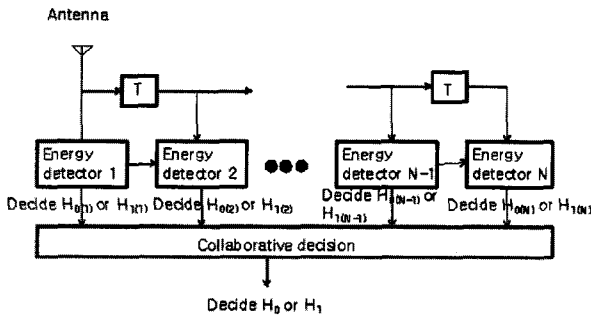


그림 2. 제안 하는 스펙트럼 센싱의 블록다이어그램
Fig. 2. The block diagram of proposed spectrum sensing.

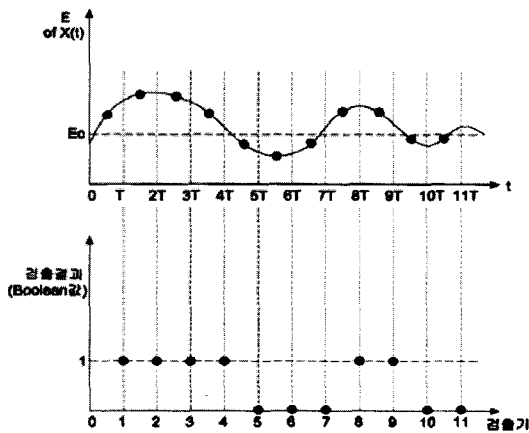


그림 3. 공동 판정기 판단 예
Fig. 3. The illustration of collaborative decision.

시간 지연기의 출력으로부터 제 2 검출 결과를 생성하는 제 2 검출기, 제 2 시간 지연기의 출력으로부터 제 3 검출 결과를 생성하는 제 3 검출기 및 제 1 내지 제 3 검출 결과를 받아 최종 판정 결과를 생성하는 공동 판정기를 포함 한다. 각 시간 지연기는 입력신호를 일정 시간 T 만큼 지연시킨다. 제 1 시간 지연기를 거친 경우 T 만큼 지연되고, 제 2 시간 지연기를 거친 경우, 2T 만큼 지연되며, 제 n-1 시간 지연기를 거친 경우, (n-1)T 만큼 지연된다. 즉 매 시간 지연기를 지날 때마다 누적적으로 시간이 지연된다.

수신된 하나의 샘플을 다수의 시간 지연을 거친 값을 공동 판정기에서 결정하게 된다. 각 에너지 디텍터에서 미리 정의된 임계치 (= E_c)보다 큰 값은 1 (= H_1)로 E_c 보다 작은 값을 0 (= H_0)으로 각각 판단한다. 그림 3에서는 총 11개의 결정값들 중 6개가 1 (= H_1) 이므로 에 의해 공동 판정기에서 H_1 으로 판단 한다. 즉, 1차 신호는 존재한다고 판단한다. 에너지 검출기의 성능 테스트를 위한 가정은 아래와 같다.

$H_0 : y(t) = n(t)$ Channel Vacant

$H_1 : y(t) = h(t) * x(t) + n(t)$ Channel Occupied
여기서 $y(t)$ 는 Secondary 사용자가 수신한 신호 이고, $x(t)$ 는 주사용자가 전송한 신호이다. $n(t)$ 는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)를 나타내고, $h(t)$ 는 채널의 크기 이득을 나타낸다.

공동 검출기는 시간 지연된 값을 다수의 법칙(Law of majority)에 따라 D_0 (Channel Vacant)와 D_1 (Channel Occupied) 중에 하나로 결정한다.

스펙트럼 검출기는 두 가지 타입의 오류를 가진다. 첫 번째, 실제로 채널이 비었다고 가정 할 때 검출기는 비어 있지 않다(D_1)라고 판단할 경우 오보라고 한다. 확률적으로 이러한 경우를 오보확률 (= P_{FA}) 이라 정의하고, 아래 수식 (1)과 같다.

$$P_{FA} = P(D_1 | H_0) \tag{1}$$

두 번째, 실제로 채널이 사용 중이라고 가정할 때(H_1) 검출기는 이 채널이 비어있다고(D_0) 판단 할 경우 미검출이라고 한다. 이러한 경우가 일어날 확률을 미검출확률 (= P_{MD}) 이라 정의하고 수식 (2)과 같다.

$$P_{MD} = P(D_0 | H_1) \tag{2}$$

검출기의 에러가 아닌 정상적인 검출이 될 확률은 $1 - P_{MD} = P_D$ 이고 수식 (3)과 같다.

$$P_D = P(D_1 | H_1) \tag{3}$$

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 채용한 채널은 인접한 두 도플러 주파수의 차이가 일정함을 이용하여 MED (Method of Equal Distances) 계산 방법을 적용한 스키 채널을 구현하였다. 스키 채널은 레일레이 분포와 웨도잉의 곱으로 나타낼 수 있다^[8]. 채널 시뮬레이션에 사용된 파라미터

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. The simulation parameters.

Parameter	Value
Carrier frequency	900MHz
Mobile Speed	3, 60, 110km/h
Law of majority	2 out of 3
Time Delay Devices	2
Sensing Duration	0.33ms

들은 표 1에 정리하였다. 두 번의 시간 지연을 통해 확인과정을 포함하여 세 개의 결정값들이 얻어지며 이때 두 개의 판정을 따라 최종 판정을 공동 판정기에서 하도록 한다.

일반적으로 임계값에 따라 P_{FA} , P_{MD} 는 서로 Trade-off 관계가 있으므로 검출기의 성능을 알아보기 위하여 두 확률들의 제한값을 미리 정한다. 만약 미검출이 발생한 경우 1차 사용자에게 간섭을 주게 되므로 미검출은 오보보다 심각하다고 할 수 있다^[9]. 따라서 기존의 검출기와 제안하는 스펙트럼 검출기 구조의 P_{MD} 의 성능 향상을 비교하기 위하여 P_{FA} 의 확률을 각각 10% 와 1%로 고정하고 2차 사용자의 이동 속도를 각각 110km/h, 60km/h, 3km/h 으로 가정한 결과는 보고자 한다. 10%인 P_{FA} 는 1%인 P_{FA} 보다 당연히 더 낮은 임계값을 가지므로 P_D 는 10%인 P_{FA} 일 때 높고 반대로 P_{MD} 는 낮다^[10].

그림 4, 5와 6에서 보면 제안하는 스펙트럼 구조는

이동 속도에 관계없이 전 SNR 대역에서 기존의 방법보다 우수한 성능을 보인다. 높은 SNR에서 성능 개선의 경향을 비교해보면 이동 속도가 감소함에 따라 제안 방식으로 인한 성능 이득이 감소함을 볼 수 있는데 이러한 결과는 이동 속도가 느려짐에 따라 채널의 변화가 심하지 않게 되고 이에 따라 만약 깊은 페이딩의 영향을 받을 때 시간 지연을 통해 확인과정을 가지는 효과가 줄어들기 때문이다. 또한, 모든 그래프에서 $P_{FA}=10\%$ 일 때 기존의 방법의 성능은 $P_{FA}=1\%$ 일 때 제안 방식의 성능과 거의 일치함을 볼 수 있다. 이로부터 P_{FA} 가 높은 상황에서 에너지 검출 방식을 사용하여 스펙트럼 센싱을 하는 경우 제안 방식이 성능 개선을 보여줄 수 있는 매우 유용한 검출 방식이 될 것이다.

다른 관점에서 성능 분석을 위하여 위와 동일한 스즈키 채널에서 ROC 그래프 (P_{FA} vs. P_D)를 그림 7, 8과 9에서 보이고 있다. ROC (Receive Operation Characteristics) 그래프는 오보 확률과 검출 확률을 구

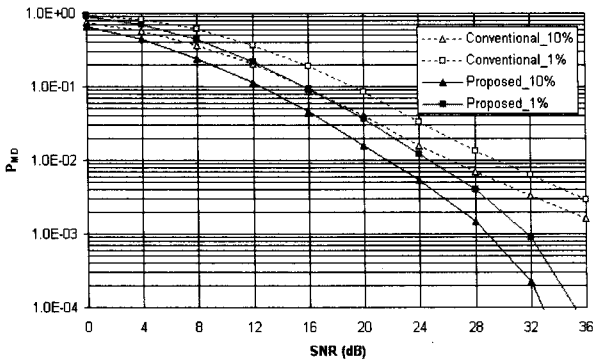


그림 4. SNR에 따른 미검출 확률 (속도 = 110km/h, $P_{FA}=10\%$, 1%)

Fig. 4. Probability of Misclassification vs. SNR. (Velocity = 110km/h, $P_{FA}=10\%$, 1%)

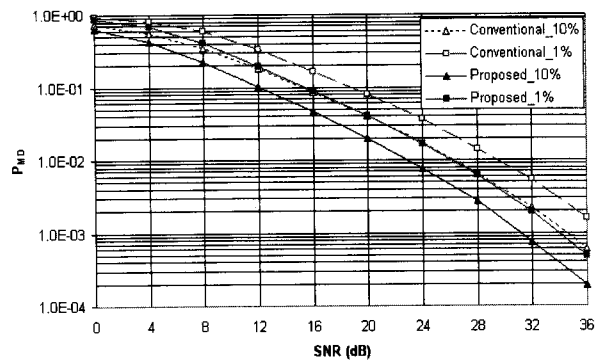


그림 6. SNR에 따른 미검출 확률 (속도 = 3km/h, $P_{FA}=10\%$, 1%)

Fig. 6. Probability of Misclassification vs. SNR. (Velocity = 3km/h, $P_{FA}=10\%$, 1%)

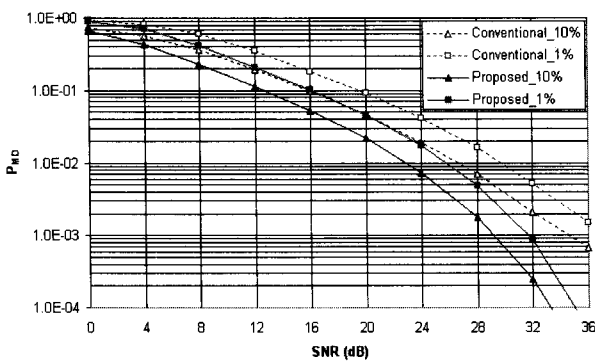


그림 5. SNR에 따른 미검출 확률 (속도 = 60km/h, $P_{FA}=10\%$, 1%)

Fig. 5. Probability of Misclassification vs. SNR. (Velocity = 60km/h, $P_{FA}=10\%$, 1%)

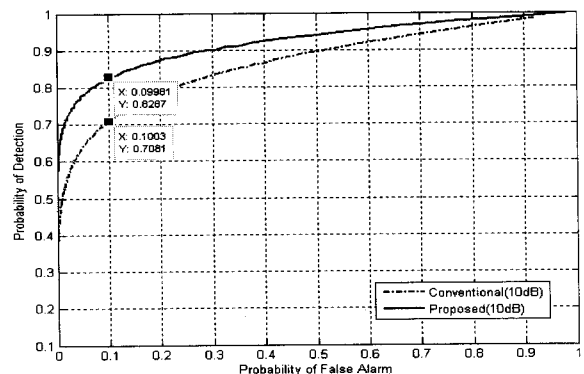


그림 7. 스즈키 채널 상황 하에서 ROC 곡선 (속도 = 110km/h)

Fig. 7. ROC curve under Suzuki channel. (Velocity = 110km/h)

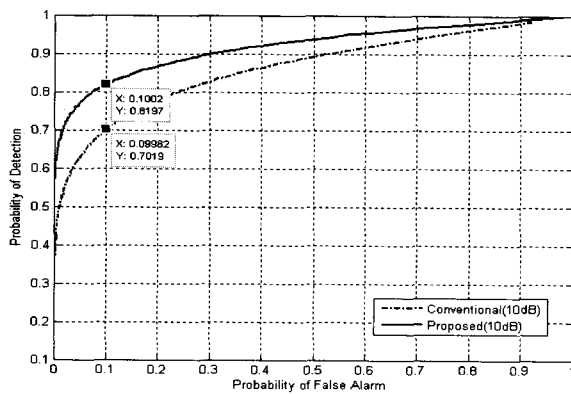


그림 8. 스즈키 채널 상황 하에서 ROC 곡선
(속도 = 60km/h)

Fig. 8. ROC curve under Suzuki channel.
(Velocity = 60km/h)

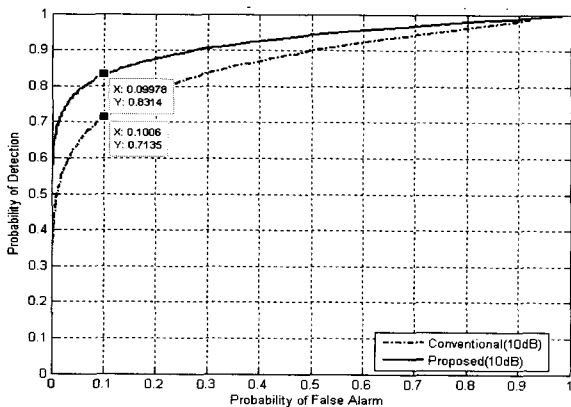


그림 9. 스즈키 채널 상황 하에서 ROC 곡선
(속도 = 3km/h)

Fig. 9. ROC curve under Suzuki channel.
(Velocity = 3km/h)

분하고 동시에 시각화 하여 성능 분석을 매우 용이하게 하는 도구이다. 예를 들면 P_{FA} 가 0.1인 경우 세 가지 이동 속도에 따라서 검출 확률을 비교해보면 큰 차이를 보이지 않고 모두 제안한 방식이 기존의 방식대비 0.1 이상 우수한 성능을 보인다. ROC 그래프를 구할 때 SNR=10dB로 두었기 때문에 이동국의 속도에 따라 크게 다른 경향이 보이지는 않는다. 하지만 그림 3, 4와 5에서 보여준 제안 방식과 기존 방식간의 성능 경향차를 다시 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서 CR 환경에서 가장 중요한 기술인 스펙트럼 검출 성능을 향상시키는 방법으로 에너지 검출기에 시간 지연기와 공동 판단기가 결합된 구조를 고안하였다. 스즈키 채널에서 시뮬레이션을 수행한 결과 에너

지 검출기와 시간 지연을 구조를 갖는 공동 검출 방법은 모든 SNR 영역에서 미검출확률 성능이 우수하였다. 또한 10%의 높은 오보 확률 환경에서 제안 방식은 1%의 오보확률을 보이는 기존 방식의 성과와 거의 유사한 성능을 보여 P_{FA} 가 높은 상황에서 에너지 검출 방식을 사용하여 스펙트럼 센싱을 하는 경우 제안 방식이 성능 개선을 보여줄 수 있는 매우 유용한 검출 방식이 될 것이다. 앞으로의 연구는 시간 지연 값과 지연 횟수를 환경에 최적화한 에너지 검출기로 시뮬레이션 하겠다. 또한 제안된 스펙트럼 검출기를 바탕으로 Weighted-Collaborative 스펙트럼 검출 방법에 적용 했을 때의 성능 향상을 볼 것이다.

참 고 문 헌

- [1] FCC, "Notice of proposed rule making and order", ET, December 2003, Docket No 03-222.
- [2] Mitola, J., III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications", in Proc. IEEE Int. Workshop on Mobile Multimedia Communication., 1999.
- [3] V. I. Kostylev, "Energy Detection of a Signal with Random Amplitude", IEEE International Conference on Communication, vol. 3, pp. 1606 - 1610, April 2002.
- [4] Amir Ghasemi and Elvino S. Sousa, "Collaborative Spectrum Sensing for Opportunistic Access in Fading Environments", 2005 First IEEE International Symposium on 8-11 Nov. 2005 Page(s):131 - 13.
- [5] Chunhua Sun, "Cooperative Spectrum Sensing for Cognitive Radios under Bandwidth Constraints", IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the WCNC 2007 proceedings.
- [6] Xiaoge Huang, Ning Han, Guanbo Zheng, Sung Hwan Sohn, Jae Mounng Kim, "Weighted-Collaborative Spectrum Sensing Scheme in Cognitive Radio", Proc. of IEEE International Conference on Communications and Networking in China, August, 2007.
- [7] Cabric, D.; Tkachenko, A.; Brodersen, R.W., "Spectrum Sensing Measurements of Pilot, Energy, and Collaborative Detection", Military Communications Conference, 2006. MILCOM 2006, 23-25 Oct. 2006 Page(s):1 - 7.
- [8] Matthias, Ulrich, "A Deterministic Digital Simulation Model for Suzuki Process with Application to a Shadowed Rayleigh Land

Mobile Radio Channel”, IEEE Transaction on vehicular technology. Vol. 45, No.2, MAY 1996.

[9] Steve Shellhammer, Victor Tawil, Gerald Chouinard, Max Muterspaugh and Monish Ghosh, “Spectrum Sensing Simulation Model”, IEEE 802.22-06/0028r5, March 2006.

[10] Functional Requirements for IEEE 802.22 WRAN Standard, “802.22/05-0007r46”, September 2005.

저 자 소 개



백 준 호(학생회원)
 2008년 동국대학교
 전자공학과 학사.
 2008년~현재 동국대학교
 전자공학과 석사 재학.
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신
 시스템>



이 종 환(학생회원)
 2007년 2월 동국대학교
 전자공학과 학사.
 2007년~현재 동국대학교
 전자공학과 석사 재학.
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신
 시스템>



오 형 주(학생회원)
 2007년 2월 동국대학교
 전자공학과 학사.
 2007년~현재 동국대학교
 전자공학과 석사 재학.
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신
 시스템>



황 승 훈(정회원)
 1999년 연세대학교 공학박사.
 1999년 LG전자 이동통신기술
 연구소 책임연구원.
 2003년 University of Southampton,
 United Kingdom,
 Research Fellow.
 2005년~현재 동국대학교 전자공학과 조교수.
 IEEE Senior Member, IET Member,
 IEICE Member.
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신 시스템>