

실제 DTV 대역에서 인지 무선 시스템 적용을 위한 임계값 결정 방법

김승중, 이선의*, 김진영*

Threshold Determination Methods for Cognitive Radio in Real DTV Bandwidth

Seung Jong Kim, Sun Yui Lee* and Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서 페이딩 환경에서 ATSC DTV 신호를 검출하기 위하여 센싱성능을 연구하였다. 연구에 앞서, ATSC DTV 신호를 연구하였으며, 이에 가우시안, Rayleigh, Rician 채널을 각각 적용하여 다중 환경에서 다양한 파라미터를 변화시켜 연구하였다. 신호 검출을 위해 적용된 센싱 이론은 FFT 기반 파일럿 센싱을 적용하여 신호를 검출하였다. 센싱이론을 통해 검출된 결과는 주파수 유무에 따라 비트화로 정의하여 판단하였으며, 신뢰적인 실험을 위해 ATSC DTV 신호를 생성하여 실험하였다. 실험에 있어 적용되는 임계값은 CFAR 이론을 참고하여 False alarm rate에 따라 유도하였으며, 임계값에 따른 결과를 얻을 수 있었다. 우리는 이번 신호검출 실험을 실제 ATSC DTV 환경에서 적용할 수 있도록 연구를 하였다.

Key Words : ATSC DTV, CFAR scheme, energy detection, spectrum sensing.

ABSTRACT

In this paper, we analyzed performance of FFT based on pilot sensing scheme for DTV signal in fading environments. In order to detect the present and absent for advanced television system committee digital television (ATSC DTV), a pilot detection scheme based on FFT is employed. Also, these signals are applied to each fading environment. For evaluating the spectrum sensing performance, detection probability is derived. When threshold is decided, we refer to constant false alarm rate (CFAR) scheme. From simulation results, it is confirmed that the spectrum sensing performance is improved as increase of the false alarm rate. The result of this paper can be applied to implement the spectrum sensing part of cognitive radio (CR) systems.

I. 서 론

유비쿼터스 시대에는 지금보다 훨씬 다양한 무선기기가 다양한 서비스 형태로 사용자에게 다가올 것이며, 이러한 다양한 형태의 무선기기 및 다양한 통신 서비스의 등장으로 주파수 자원의 부족 문제가 발생하게 될 것이다. 이에 따라 기존 주파수 사용효율을 높일 수 있는 방안으로 CR (Cognitive radio) 접속 기술이 제안 되었다. CR 접속 기술은 동적 주파수 자원 관리 개념을 바탕으로 기존 1차 사용자 (Primary User)의 우선 권한을 보장하며 사용하지 않는 빈

주파수 부분을 사용하여 주파수 사용 효율을 높이는 기술이다. 이로써 스펙트럼 센싱 및 검출 기술은 CR 접속 기술에서 중요시되는 기술이다. 2차 사용자 (Secondary User)는 기존 주파수 대역을 관찰하고 1차 사용자의 신호가 검출 되지 않았을 때에만 비로소 신호를 전송할 기회를 갖는다. 이로써 주파수 점유 상태를 센싱 후, 미사용 채널로 활용함으로써 주파수 이용효율을 높이는 개념이다 [1].

최근 미국 연방통신위원회 (FCC)는 2009년 이후 디지털 TV 전환 이후 남게 되는 잔여 주파수 (White Space) 개방안을 공식 승인했다. White Space는 TV 채널로 사용하는 주

* 본 연구는 2012년 광운대학교 교내연구비 지원에 의한 연구결과임.

광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 *(crowk82@naver.com), *(sunnyuil22@naver.com), *(jinyoung@kw.ac.kr),

접수일자 : 2014년 1월 18일, 수정완료일자 : 2014년 3월 11일, 최종 게재확정일자 : 2014년 3월 12일

과수 대역에 주파수 간섭을 막고자 할당된 빈 주파수 대역인데, 본 대역에서는 CR 기기 운용을 허용함에 따라 IEEE 802.11과 IEEE 802.15 및 IEEE 802.16 표준화 단체들이 이 주파수 대역을 사용하려 하고 있다. 따라서 DTV (Digital Television) 신호들을 유연하게 센싱 할 수 있는 알고리즘을 개발하여 추가적으로 도입되는 시스템과 기존 시스템과의 양립성을 확보하여야 한다. 이를 위해 우선 White Space 내에서 존재하게 될 다양한 CR 시스템을 검출할 수 있는 센싱 알고리즘이 개발되어야 한다. 현재 다양한 센싱 알고리즘들이 연구되고 있다. 대표적인 센싱 방법은 에너지 검출방식과 Cyclostationary 방식이다. 에너지 검출방식은 신호의 에너지 유무에 따라 신호를 검출하는 방식이며, Cyclostationary 방식은 신호의 주기성 및 특징을 이용하여 신호를 검출하는 특징을 지니고 있다. 우리는 DTV 대역에서 효과적으로 CR 시스템을 적용하기 위해 DTV 신호검출을 위한 센싱기법을 연구하였다. 현재 우리나라에서 사용하고 있는 DTV 신호는 ATSC (Advanced Television System Committee)의 표준을 따르고 있으며 이는 미국, 캐나다, 멕시코 등에서도 표준으로 삼고 있다 [2-3].

본 논문에서는 ATSC DTV 대역을 다양한 페이딩 환경에서 FFT (Fast Fourier transform) 기반의 파일럿 신호 센싱 이론을 이용하여 사용하지 않는 주파수 대역을 센싱 및 성능을 분석하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 ATSC DTV 신호의 특성을 검토하고, 제 III장에서는 FFT 기반의 파일럿 신호 센싱 이론을 설명한다. 제 IV장에서는 모의실험을 통하여 본 논문에서 다양한 페이딩 환경에서 제안하는 ATSC DTV 신호의 스펙트럼 센싱 결과를 검증하였고, 마지막으로 제 V장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논의하였다.

II. ATSC DTV 신호

ATSC 디지털 TV는 하나의 6MHz 채널에 고품질의 영상, 음성 및 보조 데이터를 전송할 수 있는 시스템이다. 이 시스템은 6MHz의 지상파 방송 채널에서 약 19.28Mbps의 데이터를, 케이블 TV 채널에서는 약 38.56Mbps의 데이터를 높은 신뢰도에서 송출할 수 있다. 입력 데이터는 랜덤 화와 오류 정정 부호화 과정을 거친 후에, 데이터 패킷을 전송하기 위한 데이터 프레임 형태로 만들고, 데이터 세그먼트 동기화 및 데이터 필드 동기를 덧붙인다. 그림 1은 전송 데이터의 구성을 보여준다. 하나의 프레임은 두 필드로 구성되고, 각각의 필드는 313개의 데이터 세그먼트로 이루어져 있다. 각 데이터 필드의 첫 번째 데이터 세그먼트는 특정한 필드 동기 신호 (Data Field Sync)이고 수신기의 등화기 (Equalizer)에서 사용되는 Training sequence을 포함한다. 나머지 312개의 데이터 세그먼트는 각각 하나의 188 바이트 트랜스포트

패킷에 해당하는 데이터와 여기에 부가된 FEC 부가 바이트를 전송한다. 각 세그먼트의 실제데이터는 인터리빙으로 인하여 여러 트랜스포트 패킷의 데이터에 나뉘어져 있다. 각 데이터 세그먼트는 832 심벌로 구성되고 처음 네 개의 심벌은 이전 형태로 전송되는데 세그먼트 동기 신호로 사용된다. 이 데이터 세그먼트 동기 신호는 188바이트 MPEG 호환 전송 패킷의 동기 바이트를 나타낸다. 각 데이터 세그먼트의 나머지 828 심벌은 187 바이트의 전송 패킷과 이에 부가된 FEC 부가 바이트에 해당하는 데이터를 전송한다.

828 심벌은 8 레벨의 신호로 보내지므로 심벌 당 3비트를 전송한다. 그러므로 $828 \times 3 = 2484$ 비트의 데이터가 각각의 데이터 세그먼트로 전송되며, 이것은 정확하게 오류 정정 부호화된 하나의 트랜스포트 패킷을 전송하는데 요구되는 데이터와 일치한다.

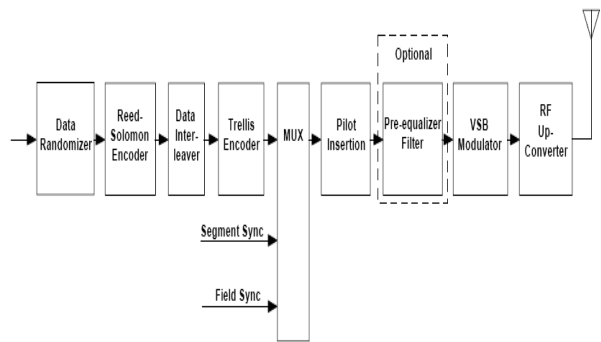


그림 1. ATSC 송신블록.

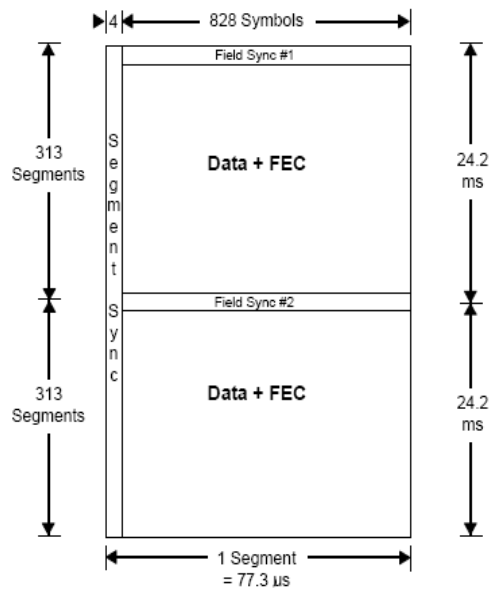


그림 2. ATSC DTV 데이터 프레임.

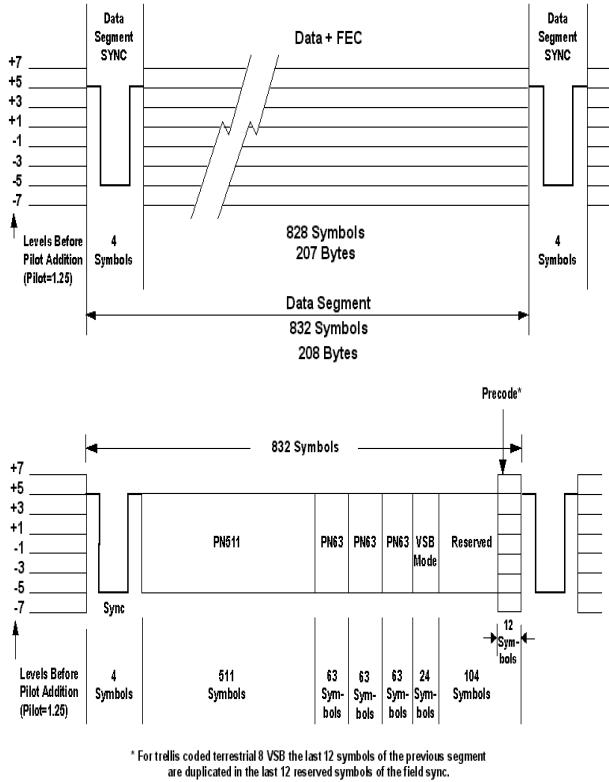


그림 3. ATSC DTV 프레임 구조.

- 187 data byte + 20 RS Parity byte = 207 byte
- 207 byte × 8bit/byte = 1656 bits
- 2/3 rate Trellis coding에서 요구되는 비트 :
 $3/2 \times 1656 \text{ bit} = 2484 \text{ bit}$

8 VSB 변조과정에서 이진 데이터 세그먼트 동기와 결합된 8 레벨 심벌과 데이터 필드 동기 신호는 단일 반송파를 반송파 억제 (Suppressed-Carrier) 변조한다. 그러나 전송 전에, 대부분의 하측파대 (Lower Sideband)가 제거되며 따라서 전송되는 전력 스펙트럼은 제곱 코사인 응답 (Square Root Raised Cosine Response)을 가지는 620 kHz의 천이 영역을 제외하고는 평탄하다. 이때 동기신호 중의 하나인 Pilot 신호가 저역 끝에서 310 kHz 떨어진 주파수에 삽입된다.

하나의 완전한 세그먼트는 832 심벌로 구성되며 그 중에서 4 심벌은 데이터 세그먼트 동기이고, 나머지 828 심벌은 데이터와 부가 심벌로 이루어져 있다. 데이터 세그먼트 동기는 2레벨이며 (± 5), 같은 동기 패턴이 77.3 μs 간격으로 규칙적으로 반복된다. 데이터와는 달리 데이터 세그먼트 동기 신호는 RS나 트렐리스 부호화를 하지 않고 인터리빙도 하지 않는다. 데이터 세그먼트 동기 패턴은 1001 이다. 데이터는 데이터 세그먼트로 나누어질 뿐만 아니라, 데이터 필드로도 나뉘진다. 각 필드는 313 세그먼트로 구성되며 각각의 데이터 필드 (24.2 ms)는 데이터 필드 동기 신호로 이루어진 하나의 완전한 데이터 세그먼트로 시작된다. 처음 4 심벌은 데이터 세그먼트 동기 신호와 동일한 1001 으로 정의된다. 이 후

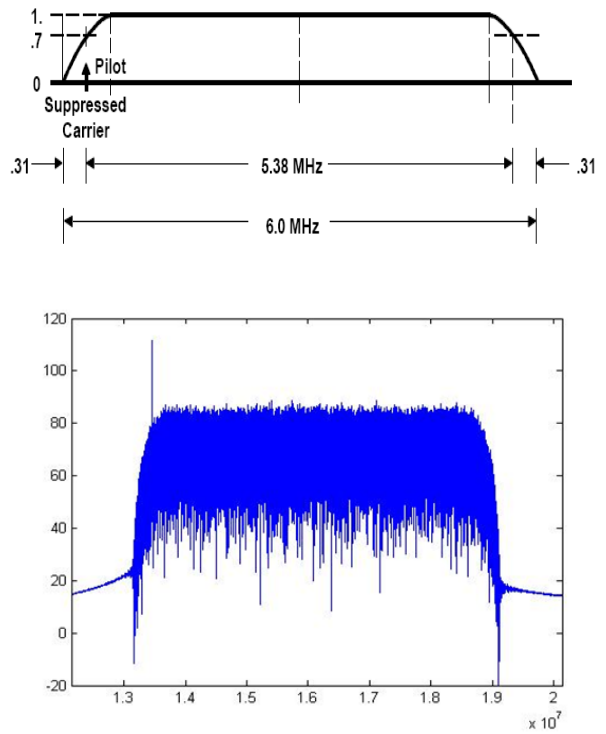


그림 4. ATSC DTV 신호.

PN511 랜덤 시퀀스와 PN63 랜덤 시퀀스가 3번 반복된다. 데이터 세그먼트 동기와 데이터 필드 동기의 명목상의 값은 -5와 5이다. 작은 파일럿 (Pilot) 반송파를 만들기 위해서 비트를 심벌로 매핑 한 후, 1.25를 이 명목상의 레벨에 더한다 [4].

III. 임계값 결정 방법

1. 이론적 배경

특정 주파수에 파일럿 신호를 포함하고 있는 ATSC 방송 신호는 짧은 시간 동안만 채널 센싱을 수행해도 아주 미약한 사용자의 존재까지 검출해낼 수 있다.

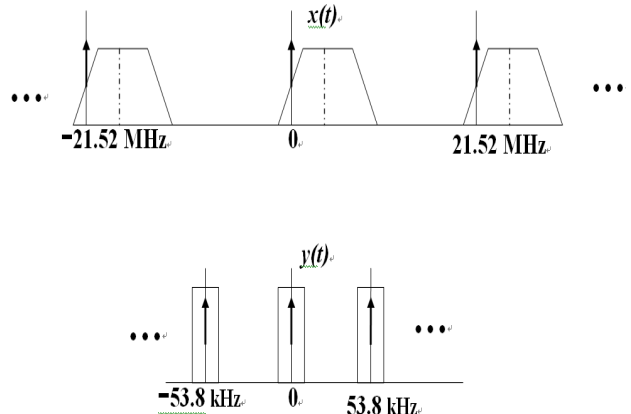


그림 5. FFT 기반 Pilot 스펙트럼 센싱 기법.

FFT 기반의 Pilot 스펙트럼 센싱 기법은 파일럿의 위치, 파일럿의 에너지 분포로 주파수를 센싱 하는 기술으로써, 특히 파일럿의 에너지 분포 값으로 주파수를 센싱 하는 방법은 크게 2가지로 나뉜다. single Dwell과 multiple Dwell 방법을 들 수 있다 [5]. 기존 DTV신호의 파일럿 주파수를 baseband로 복조하며, 40kHz ($\pm 20\text{kHz}$)의 low-pass를 이용하여 필터링을 거친다. 필터링을 거친 신호는 다시 1/400로 down sampling 된다. 이후 FFT과정을 거치게 되는데 FFT 길이는 센싱 주기에 따라 유동적이게 된다. 앞서 언급한 single Dwell의 경우는 FFT 결과의 제곱 값의 최대값을 임계값과 비교하는 방식이며, Multiple Dwell의 경우는 각각의 FFT 결과 제곱 값의 최대값을 임계값과 비교하여 신호 검출을 실시하고, 검파된 결과값들을 모두 더해 임계값보다 크면 신호가 있다고 판단하는 방식과 모든 dwell의 FFT 결과의 제곱 값들을 주파수별 평균을 구하고 평균값들의 최대값과 임계값과 비교하여 검파하는 방식이 있다. 본 논문에서는 모든 dwell의 FFT 결과의 제곱값들을 주파수별 평균을 구하고 평균값들의 최대값과 임계값과 비교하여 검파하는 방식을 사용하여 실험하였다 [6-7].

2. 임계값 결정 방법

임계값 (Threshold)을 정하기 위하여 constant false alarm rate (CFAR) 알고리즘을 이용한다. CR 사용자로부터 수신된 신호 $y_n(k)$ 는 각각 식 (1) 및 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_1 : y_n(k) = h(k) \otimes s(k) + n(k). \quad (1)$$

$$H_0 : y_n(k) = n(k), \quad (2)$$

여기서 $h(k)$ 는 무선 채널의 impulse 응답이고, \otimes 는 컨볼루션 (Convolution) 연산을 나타낸다. 그리고 $n(k)$ 는 평균이 0 이고 분산이 σ_N^2 인 부가 백색 가우시안 잡음 (AWGN, Additive White Gaussian Noise)를 나타낸다. 무선 채널을 가우시안 채널로 가정하면 H_1 과 H_0 의 확률 밀도 함수 (PDF : Probability Density Function)는 각각 식 (3) 및 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_{Y_n}(y|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_N^2}} \exp\left(-\frac{(y - \mu_s)^2}{2\sigma_N^2}\right), \quad (3)$$

$$f_{Y_n}(y|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_N^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_N^2}\right), \quad (4)$$

여기서 μ_s 1차 사용자 신호의 평균값이다. Ad-hoc 네트

워크내의 각 CR 사용자로부터 수신된 신호는 신호처리를 거쳐서 Local Decision된 후, 이 결과들은 1차 사용자의 존재 유·무를 판단하는데 사용된다. Local Decision에 사용되는 신호는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_U = \sum_{n=1}^N \hat{y}_n, \quad (5)$$

여기서 \hat{y}_n 은 Local Decision 결과이다. 따라서 H_1 과 H_0 에서의 y_U 의 PDF는 각각 식 (6) 및 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{Y_U}(y|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_U^2}} \exp\left(-\frac{(y - \mu_U)^2}{2\sigma_U^2}\right), \quad (6)$$

$$f_{Y_U}(y|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_U^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_U^2}\right), \quad (7)$$

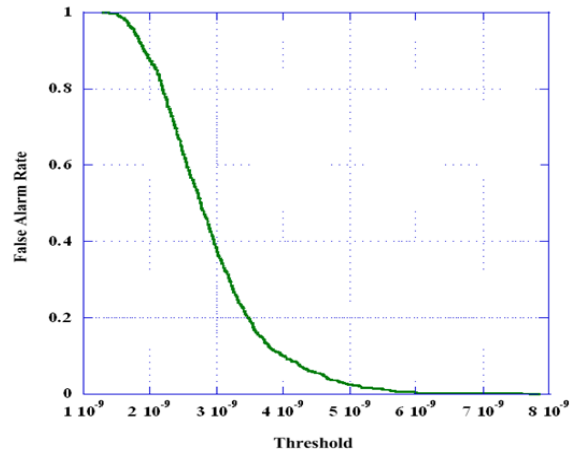


그림 6. 임계값에 따른 False Alarm Rate.

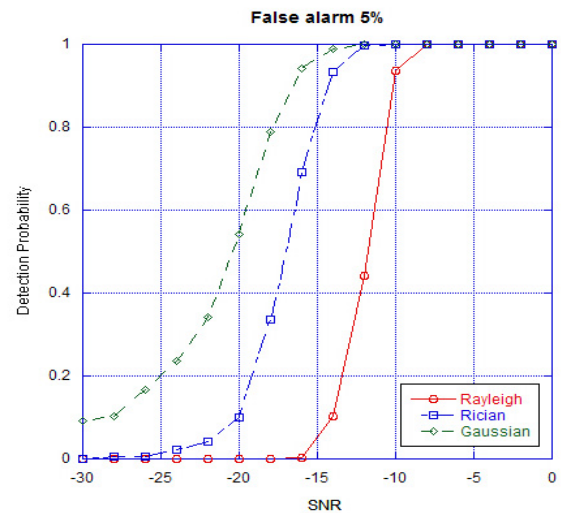


그림 7. Threshold에 따른 False Alarm Rate.

여기서 μ_U 와 σ_U^2 은 각각 \hat{y}_n 의 평균과 분산이다. 1차 사용자가 주파수 대역을 사용 중인 경우, 1차 사용자를 검출할 확률 (Detection Probability)은 식 (8)과 같이 계산할 수 있다.

이는 원하는 false alarm rate 을 설정한 후, 이를 만족하는 T 값을 임계값으로 설정하는 것이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_{FA} = \int_T^{\infty} f_X(x|H_0)dx \quad (8)$$

식 (8)에서, P_{FA} 는 false alarm rate이고, $f_X(x|H_0)$ 는 H_0 셀에서 변수 X 의 확률 밀도 함수 (pdf: probability density function)이다 [8].

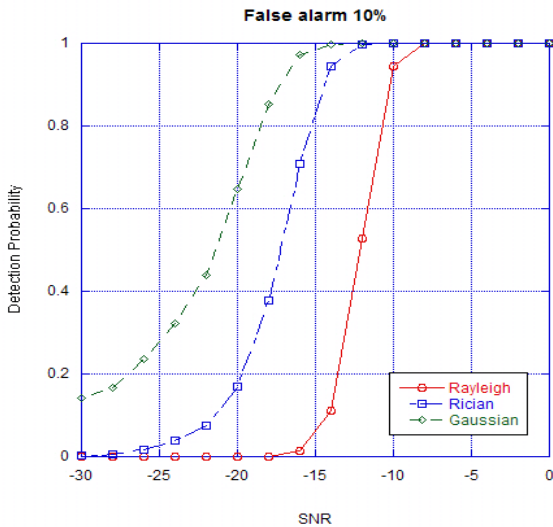


그림 8. 임계값에 따른 False Alarm Rate.

IV. Simulation

우리는 DTV 신호를 파일럿 위치가 2.69MHz, 21.52MHz로 샘플 되어진 5.38MHz IF 주파수를 가진 대역통과 신호라 가정하였다. 또한 FFT 기반 Pilot 센싱실험에 사용한 LPF (Low pass filter)는 ± 40 kHz이며, 다운샘플링 비율은 1/400으로 설정하였다. 또한 5 ms 센싱 주기를 고려하여 256 point FFT로 연산하였으며, false alarm 값은 각각 5%, 10%로 설정 후 실험하였다. 그리고 파일럿 기반 스펙트럼 센싱 기법에서는 Single dwell 방식으로 Gaussian, Rayleigh, Rician 채널환경에서 실험을 하였다. Rician 채널환경에서 Rician k factor를 -10dB로 적용하였다. 그림 7과 그림 8은 false alarm이 각각 5%, 10%일 경우에, 페이딩 채널환경에 따른 검출성능을 비교하였다. 검출 성능 90%를 기준으로 결과값

을 살펴보면, False alarm 5%일 경우 Gaussian, Rician, Rayleigh 채널에서 각각 -18dB, -14dB, -10dB까지 신호를 검출할 수 있었다.

예상했던 바와 같이 False alarm 10%의 경우는 5%일 때보다 작아진 임계값에 의해 검출성능은 다소 증가하였다. 페이딩 채널에 따른 결과를 살펴보면, Gaussian 채널환경일 때가 가장 높은 검출성능을 보였으며, 페이딩이 심한 Rayleigh 채널환경에서는 검출성능이 가장 낮은 검출성능 결과를 얻었다. 이로써 우리는 다양한 환경에서 DTV 신호검출 성능을 실험하였으며, 실제 환경에 구현하고자할 때, 밑바탕이 되는 실험결과를 얻을 수 있었다.

V. Conclusions

본 논문에서는 CR 시스템 환경에서 가장 중요한 기술인 스펙트럼 검출 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 이 스펙트럼 센싱 방법은 여러 센싱 노드가 각각의 주파수를 파일럿 기반 스펙트럼을 센싱 하여 임계값 값과 비교 후 중앙노드로 전송한다. 이 때 중앙센터에서는 협력 스펙트럼 센싱을 통한 결과값들을 AND법칙, OR법칙으로 주파수 유무를 판정하게 된다. AND법칙을 사용했을 때는 노드가 늘어남에 따라 성능은 떨어지고 반대로 OR법칙을 사용했을 때는 노드가 늘어남에 따라 성능은 증가되는 것을 볼 수 있었다. 여러 노드를 통하여 센싱 하는 방법은 기존 단일 센싱보다 복잡도가 늘어나지만 신뢰성 높은 검출 방법이 요구되는 환경에서는 이 방법이 효과적일 수 있다. 앞으로는 다양한 채널환경에 따라 스펙트럼 센싱 방법을 적용하여, 최적의 스펙트럼 센싱 파라미터를 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Y. Kim. Cognitive Radio Communications, Seoul, Gyobo Publisher, 2008.
- [2] Federal Communication Commission, "Spectrum policy task force," Rep. ET Docket no. 02-135, Nov. 2002.
- [3] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio : Making software radios more personal," IEEE Pers. Commun., vol 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [4] J. C. McKinney and R. Hopkins, ATSC digital television standard, Sep. 1995.
- [5] V. I. Kostylev, "Energy Detection of a Signal with Random Amplitude", IEEE Int. Conf. Commun., vol. 3, pp. 1606 -1610, April 2002.
- [6] D. Cabric, A. Tkachenko, and R. W. Brodersen, "Spectrum sensing measurements of pilot, energy, and collaborative detection," in Proc. IEEE MILCOM, Oct. 2006.
- [7] W. Gao, H. Chen, M. Ghosh, and S. Shellhammer, "Text on

ATSC signature sequence correlation-for informative annex on sensing techniques," IEEE 802.22-07/0268r2, June 2007.

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

저자

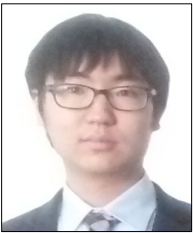
김 승 종 (Seung Jong Kim)



- 2009년: 청주대학교 정보통신공학과 졸업
- 2009년~2011: 광운대학교 전자공학과 석사
- 2011년~현재: LS산전(주)

<관심분야> : ATSC DTV, Cognitive Radio, LTE

이 선 의(Sun Yui Lee)



- 2013년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2013년 2월~현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신, 양자통신

김 진 영(Jin Young Kim)

중신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크연구소 책임연구원
- 2001년 3월~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지 무선통신, 4G 이동통신