

논문 2010-3-22

ATSC DTV 신호 검출 성능

Performance of Spectrum Sensing for ATSC DTV Signals

이소영*, 김은철**, 김진영*

So Young Lee, Eun Cheol Kim, Jin Young Kim

요 약 본 논문은 ATSC DTV (advanced television system committee digital television) 신호를 검출하기 위해 고속 푸리에 변환 (FFT : fast Fourier transform) 기반의 파일럿 신호를 검출하는 알고리즘의 성능을 파라미터를 변화시켜 가면서 분석하였다. DTV 신호를 검출하기 위한 요구사항을 분석하였으며, 센싱 회수 및 시간에 따라서 성능을 비교 하였다. 실험 결과 센싱 횟수가 증가할수록 신호 검출 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문의 결과는 DTV 주파수 대역의 인지 라디오 (CR : cognitive radio) 시스템을 구현하는데 참고자료로 활용될 수 있다.

Abstract In this paper, we analyze and simulate the performance of a pilot signal detection algorithm based on fast Fourier transform (FFT) for several system parameters in order to detect advanced television system committee digital television (ATSC DTV) signals. Requirements for detecting DTV signals are analyzed. And the detection performance is compared according to sensing frequency and time. Form the simulation results, it is confirmed that the signal detection performance increases as the sensing frequency rises. The results of this paper can be applied for implementing cognitive radio (CR) systems in the frequency band of DTV signals

Key Words : Cognitive radio, DTV, FFT-based pilot sensing, Spectrum sensing

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 하면

서 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 규정 제정 작업을 진행중이고^[5-7] TV대역의 유휴주파수에 대하여 고정기기 및 개인 휴대기기에 대한 사용을 허가하도록 방침을 정하였으며 2009년 DTV로 전환 완료이후 해당 기기들의 사용은 본격화 될 것이다^[8]. ATSC DTV (advanced television system committee digital television) 신호를 검출하기 위한 스펙트럼 센싱 기술은 크게 두 가지로 분류될 수 있는데 1차 사용자의 신호 특성과 무관하게 이루어지는 blind

*준회원, 광운대학교 전파공학과

**정회원, 삼성탈레스 통신연구소

접수일자 2010.3.29 수정일자 2010.5.31

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 있다.

본 논문에서는 DTV신호검출을 위해 고속 푸리에 변환 (FFT : fast Fourier transform) 기반의 파일럿 신호를 검출하여 DTV 신호의 유무를 판단하는 알고리즘을 여러 파라미터를 변형하여 스펙트럼 센싱 성능을 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 ATSC DTV 신호에 대해 간략히 소개하고, FFT 기반의 파일럿 신호의 유·무 판단을 통한 DTV 신호 검출 알고리즘을 제 III장에서 설명한다. 제 IV장에서는 모의실험 결과를 언급하고, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 V장에서 제시한다.

II. DTV 신호

ATSC DTV 신호는 IEEE 802.22의 WRAN (wireless regional area networks) 시스템에서 보는 1차 사용자 중 하나이다.

DTV 신호는 고속 데이터율 모드와 지상 방송 모드의 2 가지로 구분되는데 본 논문에서는 지상 방송 모드의 DTV 신호를 다루기로 한다. 표 1은 본 논문에서 고려하는 DTV 신호의 특성을 [9] 나타낸다.

DTV 신호의 데이터 프레임은 2개의 데이터 필드로 구성되어 있고, 각 데이터 필드는 313 데이터 세그먼트로 이루어져 있다. 각 데이터 필드의 첫 번째 데이터 세그먼트는 데이터 필드 동기를 위한 시퀀스를 가지고 있고, 나머지 312 데이터 세그먼트는 데이터와 관련된 것을 가지고 있다.

각 데이터 세그먼트 시작부분은 데이터 세그먼트 동기를 위해 1001의 4 심볼로 이루어져 있고, 각 데이터 필드의 첫 번째 데이터 세그먼트는 4 심볼 이후에 데이터 필드 동기를 위해 1개의 511 심볼 PN 부호와 3개의 63 심볼 PN 부호가 연속적으로 연결된 형태로 이루어져 있다.

그림 1은 DTV 신호의 스펙트럼을 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 파일럿 신호의 위치는 6 MHz 의 채널 중에서 양 끝의 주파수 중 낮은 쪽 주파수로부터 310 kHz 떨어진 지점에 위치한다.

표 1. DTV 신호 특성

Table 1. Specification of the DTV

	값
채널 대역폭	6 MHz
처리량	19 Mbps
데이터 율	19.28 Mbps
오류 정정 부호	(207, 187) RS (Reed-Solomon) 부호 Trellis 부호 (부호율 2/3)
변조방식	8 VSB (vestigial sideband)
신호 전력	-116 dBm/6 MHz

DTV 신호를 검출하기 위한 조건은 다음과 같다. 우선 바닥 잡음 (noise floor, N_0)이 -174 dBm/Hz 이고, 저잡음 증폭기 (LNA : low noise amplifier) 잡음 특성 (NF : noise figure)이나 결합 손실 (coupling loss), RF 스위치 손실 등으로 인한 수신기의 전체 잡음 특성이 8 dB라고 가정하면 수신기에서 잡음의 평균 전력 스펙트럼 밀도 (PSD : power spectral density)는 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

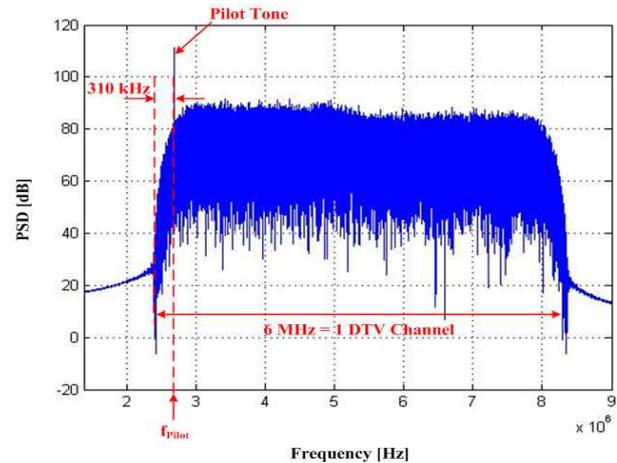


그림 1. ATSC DTV 신호 스펙트럼
Fig. 1. ATSC DTV Signal spectrum.

$$\begin{aligned} \bar{N} &= N_0 + NF \\ &= -166 \text{ dBm/Hz} \end{aligned} \tag{1}$$

그리고 6 MHz의 DTV 신호에 포함된 잡음의 평균 전력은 식 (2)와 같다.

$$\overline{P_{Noise}} = -166 + 10\log(6 \times 10^6) \quad (2)$$

$$\approx -98.22 \text{ dBm}$$

그런데 표 1에 DTV 신호의 전력이 -116 dBm 이므로 DTV 신호가 스펙트럼 상에 존재하는 경우 신호 대 잡음비 (SNR : signal to noise ratio)는 식 (3)과 같다.

$$SNR = -116 - (-98.22) \quad (3)$$

$$= -17.78 \text{ dB}$$

식 (3)의 결과로부터 DTV 신호의 전력은 잡음 전력보다 약 18 dB 정도 작으므로, DTV 신호 검출 알고리즘은 SNR이 약 -18 dB 인 경우에도 DTV 신호 검출 성능이 요구조건을 만족해야 한다.

III. DTV 신호 검출 알고리즘

이번 장에서는 본 논문에서 고려한 FFT 기반의 파일럿 센싱 알고리즘^[5]에 대해서 소개한다. 이 방법은 ATSC DTV 신호용 검출 방법으로 802.22의 센싱 요구조건을 만족시킨다. 그림 2는 신호 검출 과정을 나타낸다.

먼저 중간 주파수 (IF : intermediate frequency) 대역에 있는 신호를 식 (4)과 같이 파일럿 위치의 주파수, f_{Pilot} ,를 이용하여 기저대역으로 복조한다.

$$y(t) = x(t)\exp(-j2\pi f_{Pilot}t) \quad (4)$$

여기서 $x(t)$ 는 중간 주파수에 있는 DTV 신호이고, $y(t)$ 는 기저대역으로 복조된 DTV 신호이다. 다음으로 $y(t)$ 를 저역통과필터 (LPF : low-pass filter)를 이용하여 필터링한다. 이 때 필터의 대역폭은 주파수 오프셋을 고려하여 충분히 크게 정한다.

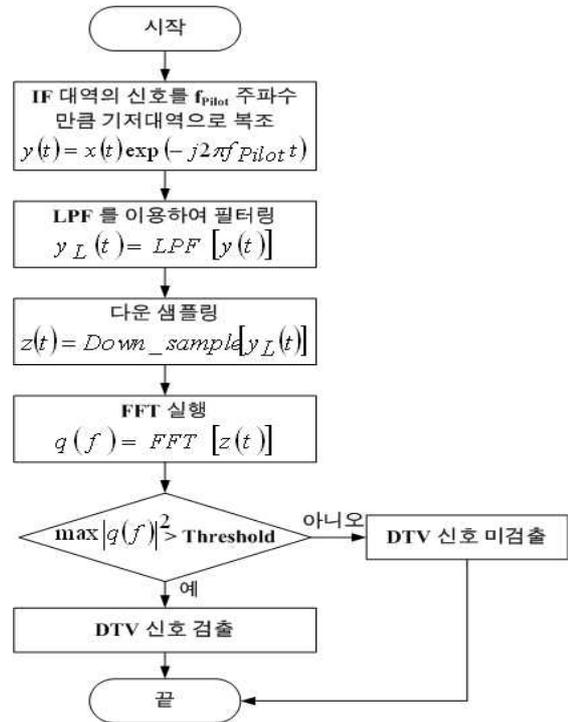


그림 2. DTV 신호 검출 과정

Fig. 2. Spectrum sensing process of the DTV.

그 다음으로 필터의 출력을 다운 샘플링 한 후 FFT를 수행한다. FFT 크기는 센싱 주기에 따라서 변하는데, 1 ms 센싱 주기를 가진 경우는 32-point FFT를, 5 ms 센싱 주기를 가진 경우는 256-point FFT를 행한다.

마지막으로 FFT 출력을 제공하여 가장 큰 값을 결정하고, 이를 임계값과 비교하여 DTV 신호의 존재 여부를 판정한다. 또한 FFT 기반의 파일럿 센싱은 센싱횟수에 따라서 Single Dwell방식과 Multiple Dwell방식으로 나뉘는데 각각의 센싱방식은 아래와 같다.

- ♦ Single Dwell방식 : FFT결과의 제공값의 최대값을 임계값과 비교하는 방식.
- ♦ Multiple Dwell방식 :
 - i) 각각의 Dwell에서 FFT 결과를 제공한 값의 최대값을 임계값과 비교하여 각Dwell별로 DTV신호의 유무를 판단하고, 개별적으로 판단된 결과를 모두 합산하여 미리 정해진 기준 값보다 크거나 같으면 DTV신호가 해당 스펙트럼에 존재한다고 한다.

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

본 논문은 센싱 성능 비교를 위해 Single Dwell방식과 Multiple Dwell방식을 모두 적용하여 검출 확률을 비교하였으며 모의실험을 통하여 센싱횟수에 따른 검출확률을 비교하여 나타내었다.

IV. 실험 및 결과

이번 장에서는 본 논문에서 고려한 FFT 기반의 파일럿 센싱 알고리즘의 DTV 신호 검출 성능을 모의 실험을 통해 검증한다. LPF의 대역폭은 40 kHz로 설정하였고, 다운 샘플링 비율은 1/400로 설정하였다. 또한 5 ms 센싱 주기를 고려하여 256 point FFT를 하였으며, 임계값은 False Alarm Rate이 5 %인 경우로 설정하였다. 무선 채널 환경은 Gaussian 채널로 가정하였다.

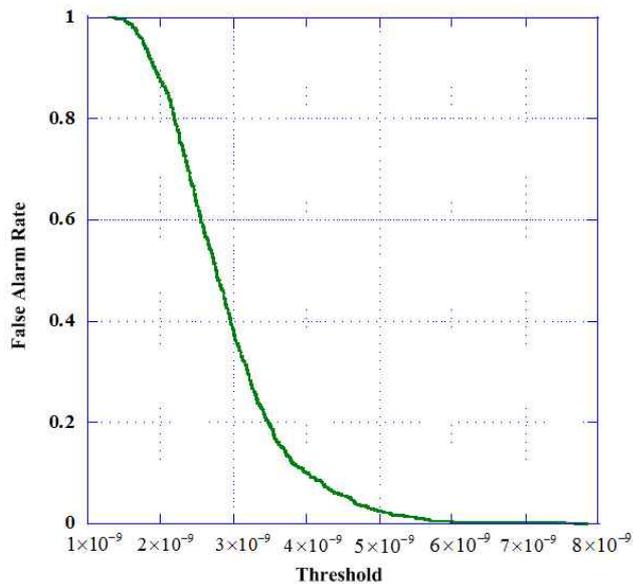


그림 3. 임계값에 따른 False Alarm Rate
Fig. 3. False Alarm Rate versus threshold value

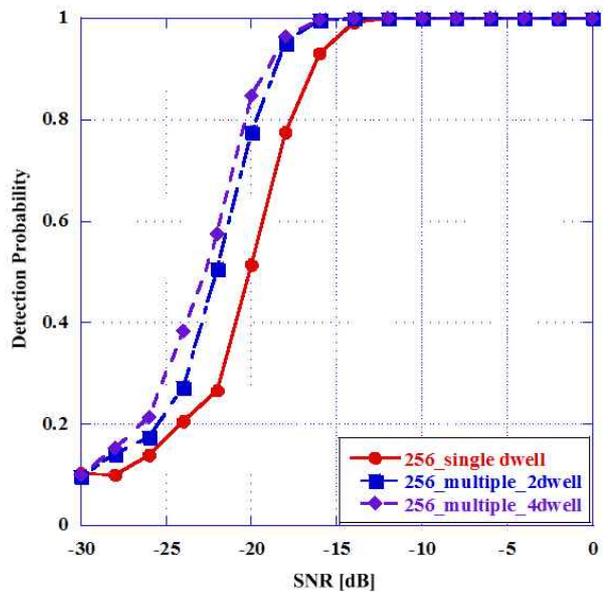


그림 4. 센싱 회수에 따른 검출 확률 성능
Fig. 4. Detection probability according to the number of sensing

그림 3은 임계값에 따른 False Alarm Rate을 나타낸다. 본 논문에서 임계값은 CFAR (Constant False Alarm Rate) 알고리즘^[10]에 의해 설정되었다.

그림 4는 센싱 회수에 따른 검출 확률 성능을 나타낸다. 그림에서 single dwell은 5 ms 센싱을 한번 한 경우이고, n dwell은 5 ms 센싱을 n번 수행한 경우이다. n dwell에서는 5 ms 센싱을 n번 수행한 결과의 평균값을 취하여 이를 임계값과 비교한다. 실험결과 센싱을 여러 번 반복할수록 검출 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 검출 성능의 증가폭은 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 5는 False Alarm Rate에 따른 DTV 신호 검출 확률 성능을 나타낸다. 실험은 4 dwell인 경우이고, False Alarm Rate은 5 %와 10 %로 설정하였다.

예상한 바와 같이 False Alarm Rate이 증가할수록 DTV 신호 검출 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. IEEE 802.22 권고 표준에 의하면 DTV의 스펙트럼 검출 시 오검출 확률이 10% 이내로 제한되어있는 것을 알 수 있는데^[11] 위의 실험 결과와 권고표준에 따라 향후 DTV 신호검출에서 임계값을 정하는데 있어서 위의 실험 결과를 참고할 수 있다.

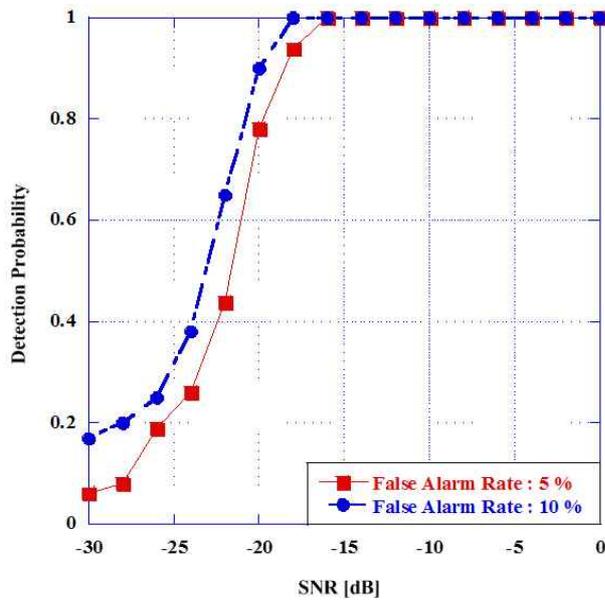


그림 5. False Alarm Rate에 따른 검출 확률 성능 (256 FFT points, Multiple 4 dwell)

Fig. 5. Detection probability in accordance with false alarm rate (256 FFT points, Multiple 4 dwell)

V. 결론

본 논문에서는 ATSC DTV 신호를 검출하기 위한 요구조건과 DTV 신호에 대한 간섭을 최소화 하고 스펙트럼 센싱의 성능을 높이기 위해 FFT 기반의 파일럿 신호 검출 알고리즘의 성능을 분석하였다. 모의실험 결과 다중 센싱을 하면 신호 검출 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문의 결과는 DTV 주파수 대역의 인지 라디오 (CR : cognitive radio) 시스템을 구현하는데 참고 자료로 활용될 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] M. Ghosh, "Text on FFT-based pilot sensing-for informative annex on sensing techniques," *IEEE 802.22-07/0298r1*, Jul. 2007.

[6] H. Chen and W. Gao, "Text on cyclostationary feature detector-for informative annex on sensing techniques," *IEEE 802.22-07/0283r0*, Jun. 2007.

[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*.

[8] FCC, ET Docket No. 08-260, "Second report and order and memorandum opinion and order," Nov. 2008.

[9] J. C. McKinney and R. Hopkins, "ATSC digital television standard," *Advanced Television Systems Committee*, Sep. 1995.

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

[11] 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.

※ "본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음"
(NIPA-2010-(C1090-1011-0005))

저자 소개

이 소 영(정회원)



- 2004년 광운대학교 전자공학부 학사 졸업.
 - 2010년 현재 광운대학교 전파공학과 석사 과정.
- <주관심분야 : 무선통신, 인지라디오>

김 은 철(정회원)



- 2003년 광운대학교 전자공학부 학사 졸업.
 - 2005년 광운대학교 전파공학과 석사 졸업.
 - 2010년 현재 광운대학교 전파공학과 박사 졸업.
 - 2010 현재 삼성 탈레스 통신연구소 전문연구원
- <주관심분야 : 무선통신, 동기화, 채널 부호화, 양립성>

김 진 영(정회원)



- 1998년 서울대학교 전자공학과 공학 박사
- 2000년 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원
- 2009년 미국 MLT 공대 Visiting Scientist

- 2010년 현재 광운대학교 전파공학과 부교수
- <주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>