

# IEEE 802.22 시스템을 위한 Pilot 기반 ATSC 신호 스펙트럼 센싱 기법들의 성능 분석

안성현, 최선영, 이영포, 윤석호<sup>†</sup>, \*조용옥, \*\*김광순, \*\*\*정지원, \*이성로  
 성균관대, \*목포대, \*\*연세대, \*\*\*한국해양대  
<sup>†</sup> 교신저자 (syoon@skku.edu)

## Performance Analysis of Pilot-based Spectrum Sensing Methods for Detection of ATSC Signals for IEEE 802.22 WRAN System

Sunghyun An, Sunyeong Choi, Youngpo Lee, Seokho Yoon<sup>†</sup>, \*Yong Ok Cho, \*\*Kim Kwang Soon, \*\*\*Ji Won Jung, \*Seong Ro Lee

Sungkyunkwan University, \*Mokpo National Univ., \*\*Yonsei Univ., \*\*\*Korea Maritime Univ.

<sup>†</sup> Corresponding author (syoon@skku.edu)

### 요약

Cognitive radio (CR) 기술은 주파수 대역의 사용 현황을 인지하고 빈 주파수 대역을 활용함으로써 주파수 자원의 사용 효율을 높이기 위한 기술이다. CR 기술의 구현을 위해서는 스펙트럼을 신뢰성 있게 센싱하여 특정 주파수 대역에서 1차 사용자의 유무를 판단할 수 있어야 하며, 특히 다가오는 디지털 방송 시대에서는 digital TV (DTV) 신호대역에 대한 스펙트럼 센싱의 중요성이 높아 질 것으로 전망된다. 본 논문에서는 우리나라의 DTV 신호인 advanced television systems committee (ATSC) 신호의 pilot 성분을 이용하여 신호를 검출하는 스펙트럼 센싱 기법들의 성능을 비교·분석한다.

### I. 서론

최근 정보통신 서비스의 늘어나는 정보의 양과 사용자의 고속화 요구로 인하여 한정된 주파수 자원의 효율적인 사용이 필요해지고 있다. Cognitive radio (CR) 기술은 주파수 대역의 사용 현황을 인지하고 빈 주파수 대역을 활용함으로써 주파수 자원의 사용 효율을 높이기 위한 기술이다. CR 기술이 실현되기 위해서는 사용하고자 하는 주파수 대역에 1차 사용자의 (primary user: PU) 존재 여부를 판단하는 신뢰성 있는 스펙트럼 센싱이 요구된다 [1].

IEEE 802.22 wireless regional area network는 (WRAN) 지역적으로 사용되고 있지 않은 TV 방송 대역에서 CR 기술을 이용하여 무선 데이터 서비스를 하기 위해 제안된 표준이다 [2]. 우리나라는 2012년 12월 31일 아날로그 방송이 종료되고, 디지털 방송이 시작됨에 따라 digital TV (DTV) 신호 대역에 대한 활용도 및 스펙트럼 센싱의 중요성이 높아 질 것으로 전망된다.

우리나라의 디지털방송은 8-level vestigial sideband (8-VSB) 변조를 이용한 advanced television systems committee (ATSC) 신호를 이용한다. PU 신호인 ATSC 신호는 특정 주파수에 pilot 성분을 포함하고 있으며, 이에 대한 정보를 이용하여 PU 신호를 센싱할 수 있다.

최근 [3]에서는 수신된 ATSC 신호를 fast fourier transform한 (FFT) 후의 pilot 성분의 에너지를 이용하여 PU 신호를 센싱하는 기법과, pilot의 고정된 위치를 이용하여 신호를 센싱하는 기법을 제안하였고, [4]에서는 ATSC 신호의 pilot과 그 주변 신호 성분의 high order statistics의 (HOS) 특성을 이용하여 신호를 센싱하는 기법을 제안하였다. 본 논문에서는 IEEE 802.22 WRAN 시스템을 위해 제안된 [3]과 [4]의 pilot 기반 ATSC 신호 스펙트럼 센싱 기법들의 성능을 분석한다. 구체적으로는 동일한 신호 및 채널 모형을 적용하여 각 기법의 검파 확률 성능을

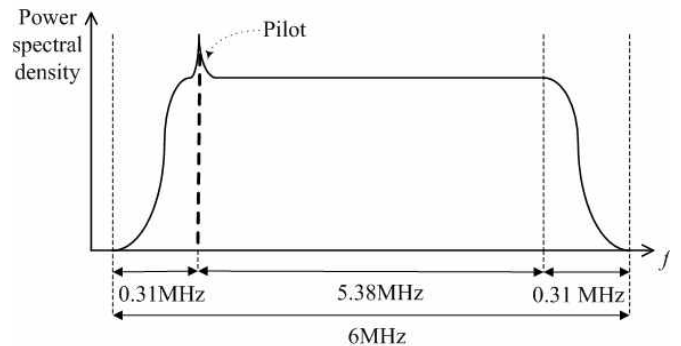


그림 1. ATSC 신호의 스펙트럼 형태

(detection probability) 성능을 구하고, 이를 비교·분석한다.

### II. 시스템 모델

ATSC 시스템에서는 데이터에 pilot 신호를 더하고 8-VSB 변조과정을 거쳐 신호를 전송한다. 구체적으로는 데이터를 8개의 신호 레벨인 {-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7} 중 하나에 맵핑하여 총 823 개의 8-VSB 심볼을 형성하고, 4개의 심볼로 구성된 (+5, -5, -5, +5) 데이터 세그먼트 동기 신호를 덧붙인다. 여기에 데이터 펄드 동기 신호를 더한 후, direct current (DC) 레벨의 pilot 값인 1.25를 모든 심볼에 더하여 데이터 세그먼트를 생성한다 [5].

그림 1에서는 ATSC 신호의 스펙트럼을 나타낸다. 그림으로부터 ATSC 신호의 스펙트럼에는 pilot이 일정한 위치에 존재하고, 그 power spectral density (PSD) 값이 신호의 다른 주파수 성분의 PSD에 비해 크다는 것을 알 수 있다. Pilot 기반 ATSC 신호 스펙트럼 센싱 기법들은 이러한 pilot의 특성을 이용하기 위하여 그림 2와 같은 수신기 구조를 가진

다. 우선 수신 신호를 down-conversion하고, 저역 통과 필터 및 analog-to-digital converter를 통과시킨다. 이후 FFT하여 신호를 주파수

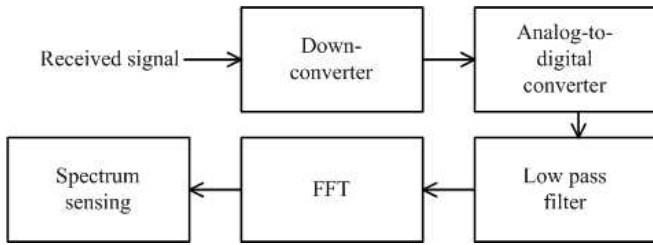


그림 2. Pilot 기반 ATSC 신호 스펙트럼 기법들의 수신기 구조

영역에서 나타난 후 pilot의 특성을 이용하여 신호를 센싱한다.

### III. Pilot 기반 ATSC 신호 스펙트럼 센싱 기법

본 절에서는 pilot 기반 ATSC 신호 스펙트럼 센싱을 위한 세 가지 기법에 대해 설명한다.

#### 3.1 기법 1 (Pilot Energy Sensing)

Pilot energy sensing 기법에서는 신호 전체의 에너지가 아닌 pilot 성분의 에너지를 이용하여 ATSC 신호를 센싱한다 [3]. ATSC 신호가 존재할 경우 FFT 출력의 최대값은 pilot에 의해 나타나므로, FFT 출력 제곱의 최대값을 구하고 (검정 통계량) 이를 문턱값과 비교한다. 검정 통계량이 문턱값보다 큰 경우 ATSC 신호가 존재하는 것으로 판단하고, 문턱값보다 작은 경우는 신호가 존재하지 않는 것으로 판단한다. 다수의 연속적인 데이터 세그먼트를 수신하여 다수의 FFT 출력이 존재하는 경우에는 FFT 출력 제곱의 평균을 구하고, 그 최대값을 문턱값과 비교한다.

#### 3.2 기법 2 (Pilot Location Sensing)

Pilot location sensing 기법에서는 ATSC 신호에서 pilot의 위치가 고정되어 있다는 것을 이용하여 신호를 센싱한다 [3]. 구체적으로는 두 개 이상의 연속적인 데이터 세그먼트에 대한 FFT 출력을 구하고, FFT 출력의 최대값이 나타나는 위치를 비교하는 것이다. ATSC 신호의 파일럿 위치는 고정되어 있으므로 FFT 출력의 최대값이 동일한 위치에서 나타나겠지만, 신호가 존재하지 않는 경우에는 최대값의 위치가 랜덤하게 나타나는 것을 이용한 방법이다.  $N$ 개의 연속적인 데이터 세그먼트에 대한 검정 통계량  $D$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_{\max}^{(1)}: \text{첫 번째 } N/2 \text{개 신호의 FFT 출력 평균의 최대값의 샘플 인덱스}$$

$$f_{\max}^{(2)}: \text{나머지 } N/2 \text{개 신호의 FFT 출력 평균의 최대값의 샘플 인덱스}$$

$$D = |f_{\max}^{(1)} - f_{\max}^{(2)}|$$

이 경우  $D$ 가 문턱값보다 작으면 ATSC 신호가 존재한다고 판단하고,  $D$ 가 문턱값보다 크면 신호가 존재하지 않는다고 판단한다.

#### 3.3 기법 3 (Pilot Sensing Using High Order Statistics)

HOS를 이용하여 ATSC 신호를 센싱하는 기법은 평균이 0인 가우시안 확률 변수의 경우 2차 이상의 cumulant는 거의 0에 가까운 숫자가 된다는 것에 주목하여 FFT 출력으로부터 3차 이상의 cumulant를 구하고 이를 이용하여 ATSC 신호를 센싱한다 [4]. 구체적으로는 신호가 존재하지 않는 경우 (additive white Gaussian noise만 (AWGN) 존재함) 2차 이상의 cumulant가 0에 가까워지며, 그 차수가 높아질수록 그 경향이 더 뚜렷하게 나타난다. 그러나 신호가 존재하는 경우에는 cumulant가 0이 아닌 값

으로 나타나므로, pilot 주변의 신호 성분들을 이용하여 cumulant를 구하고, 이를 이용하여 ATSC 신호를 센싱한다.

$M$ 개의 샘플  $X = [x_0, x_1, \dots, x_{M-1}]$ 에 대한,  $n$ 차 moment  $m_n$  및  $n$ 차 cumulant  $c_n$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$m_n = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} (x_i - \bar{X})^n, \quad (1)$$

$$c_n = m_n - \sum_{k=1}^{n-1} \binom{n-1}{k-1} c_k m_{n-k}, \quad (2)$$

여기서  $\bar{X}$ 는  $X$ 의 평균으로서  $\bar{X} = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} x_i$ 를 나타내며, FFT 출력의 실수 및 허수 성분을 (1)과 (2)에 적용하여, FFT 출력의 실수 성분에 대한  $n$ 차 moment  $m_n^{\text{real}}$ ,  $n$ 차 cumulant  $c_n^{\text{real}}$ 를 얻고, FFT 출력의 허수 성분에 대한  $n$ 차 moment  $m_n^{\text{imag}}$ ,  $n$ 차 cumulant  $c_n^{\text{imag}}$ 를 얻는다. 본 논문에서는 [4]에서와 같이  $n = 3, 4, 5, 6$ 의 HOS를 이용하여 다음 알고리즘에서와 같이 검정 통계량  $P^{\text{sig}}$ 를 얻는다.

```

(1) Let  $P^{\text{real}} = P^{\text{imag}} = 0.5$ 
(2) for  $n = 3$  to 6
    if  $|c_n^{\text{real}}| < \gamma |m_2^{\text{real}}|^{n/2}$ , then  $P^{\text{real}} = P^{\text{real}} - \delta$ 
    elseif  $|c_n^{\text{real}}| \geq \gamma |m_2^{\text{real}}|^{n/2}$ , then  $P^{\text{real}} = P^{\text{real}} + \delta$ 
    end
    if  $|c_n^{\text{imag}}| < \gamma |m_2^{\text{imag}}|^{n/2}$ , then  $P^{\text{imag}} = P^{\text{imag}} - \delta$ 
    elseif  $|c_n^{\text{imag}}| \geq \gamma |m_2^{\text{imag}}|^{n/2}$ , then  $P^{\text{imag}} = P^{\text{imag}} + \delta$ 
    end
end
(3)  $P^{\text{sig}} = \alpha P^{\text{real}} + \beta P^{\text{imag}}$ 
    
```

여기서  $\delta$ 는 step 파라미터로서 본 논문에서는 [4]에서와 같이 0.125로 설정하였고,  $\gamma$ 는 오경보 확률을 결정짓는 파라미터로서 오경보 확률 0.01에 대해서  $\gamma$ 는 1.05의 값을 가진다. 또한  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 weight 파라미터로서 각각 0.9와 0.1로 설정하였다. 최종적으로 검정 통계량  $P^{\text{sig}}$ 를 0.5와 비교하여  $P^{\text{sig}} \geq 0.5$ 인 경우 ATSC 신호가 존재한다고 판단하고,  $P^{\text{sig}} < 0.5$ 인 경우 신호가 존재하지 않는다고 판단한다.

### IV. 성능 분석

3장에서 소개한 세 가지 스펙트럼 센싱 기법들의 검파 확률 성능을 비교하기 위하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험은 baseband에서 수행하였고, 데이터는 8-VSB 방식으로 변조하였으며, 연속하는 두 데이터 세그먼트를 이용하였고, 오경보 확률은 0.01로 설정하였으며, FFT 크기는 1024로 설정하였고, AWGN 채널 환경을 고려하였다.

그림 3은 신호 대 잡음비에 (signal to noise ratio: SNR) 따른 pilot 기반 ATSC 신호 스펙트럼 센싱 기법들의 검파 확률 성능을 나타낸다. 여기서 SNR은 ATSC 신호 샘플의 분산  $\sigma_s^2$ 를 잡음의 분산인  $\sigma_w^2$ 로 나눈  $\sigma_s^2/\sigma_w^2$ 로 정의된다. 그림으로부터 파일럿 에너지를 이용하는 기법 1이 가장 좋은 검파 확률 성능을 보이며, 기법 3의 검파 확률이 가장 낮음을 알 수 있다. ATSC 신호의 스펙트럼이 pilot 성분에서 최대값을 가지기 때문에, FFT 이후 샘플 당 SNR이 (SNR per sample) 가장 높은 pilot 성분의

에너지를 이용하는 기법 1의 성능이 가장 우수하다. 기법 2는 pilot 성분의 위치 정보를 (FFT 출력의 샘플 인덱스) 이용하였으나, FFT 출력 크기의 최대값 지점을 pilot의 위치로 고려하였기 때문에 잡음에 의한 pilot 위치의 오차가 크게 발생할 수 있다. 또한 기법 1과 기법 2는 pilot의 정보를 직접적으로 이용하였으나, 기법 3에서는 pilot 및 그 주위의 신호들로부터 통계량을 얻어 사용하기 때문에 상대적으로 낮은 검파 확률 성능을 보인다.

**V. 결론**

본 논문에서는 pilot 기반 ATSC 신호 스펙트럼 센싱 기법들을 소개하고 그 검파 확률 성능을 비교하였다. Pilot energy sensing 기법의 검파 확률 성능이 가장 우수하였으며, HOS 기반 센싱 기법이 가장 낮은 검파 확률 성능을 나타내었다. 이로부터 pilot의 정보를 직접 이용하는 것이 pilot 및 그 주위의 신호 성분들의 특성을 이용하는 것보다 스펙트럼 센싱에 유리하다는 것을 알 수 있다.

**ACKNOWLEDGMENT**

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2011-0018046)와 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업(NIPA-2011-C1090-1121-0007)의 연구 결과로 수행되었음.

**참 고 문 헌**

- [1] M. Oner and F. Jondral, "On the extraction of the channel allocation information in spectrum pooling systems," *IEEE Journ. Sel. Areas Commun.*, vol. 25, no. 3, pp. 558-565, Apr. 2007.
- [2] IEEE 802.22 Draft Std. 802.22/D1.0, *Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22*, IEEE, 2008.
- [3] M. Ghosh, "Text on FFT-based pilot sensing - for informative annex on sensing techniques," IEEE 802.22 WG Meeting Documents, July 2007.
- [4] A. Mody, "Spectrum sensing of the DTV in the vicinity of the pilot using higher order statistics," IEEE 802.22 WG Meeting Documents, July 2007.
- [5] ATSC Std, Document A/53, *ATSC Digital Television Standard*, ATSC, 1995.

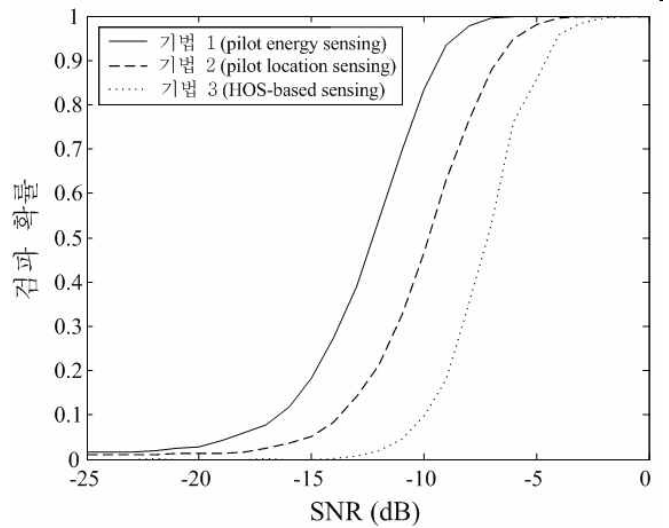


그림 3. ATSC 신호 스펙트럼 센싱 기법들의 검파 확률 성능