

TV White Space에서 CR 시스템을 위한 새로운 ATSC 신호 검출 및 데이터 통합 알고리즘

정희원 임선민*, 정희윤*, 김상원*, 정병장*

The Novel ATSC Signal Detection and Data Fusion Algorithms for CR System in TV White Space

Sun-min Lim*, Hoi-yoon Jung*, Sang-won Kim*, Byung-Jang Jeong* *Regular Members*

요약

미 연방통신위원회 FCC가 디지털 방송 전환으로 인해 발생하는 유휴 주파수 대해 비면허 시스템의 사용을 허가함에 따라 비면허 시스템은 사용에 앞서 데이터베이스 혹은 센싱 정보를 통해 면허 사용자로의 간섭을 방지하도록 하고 있다. 미국 디지털 TV 표준인 ATSC 신호는 특정 주파수에 강한 파일럿 신호를 포함하고 있어 센싱 알고리즘들은 이 파일럿 신호를 검출하는 메카니즘으로 연구되어 왔으나 페이딩 등의 영향으로 파일럿 주파수 감쇄가 심한 경우에는 검출이 어려운 특징을 나타냈다. 따라서 본 논문에서는 이를 보완할 수 있는 방식으로 수신 신호의 에너지를 가중치로 가지는 사이클로 스테이셔너리 특성을 이용한 새로운 검출 알고리즘 및 데이터 통합 방식을 제안하였다. 전산 모의 실험 결과 약한 파일럿을 가진 신호의 경우 기존 사이클로 스테이셔너리 특성 최대값만을 이용한 결과보다 제안된 검출 방식을 적용하였을 때 90% 검출 성능 기준으로 약 2dB정도의 SNR 개선 효과가 나타났으며, 제안 검출 방식을 이용한 데이터 통합 방식의 경우에도 기존 방식에 비해 약 2dB정도의 SNR 개선 효과가 나타남으로써 이 방식을 적용할 경우 전송 휴지 기간 감소 혹은 검출 성능 향상 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : TV white Space, Spectrum Sensing, Data Fusion, ATSC, Energy, Cyclostationary

ABSTRACT

FCC of U.S. permitted usage of unlicensed system on unused spectrum in TV white space after DTV transition. The unlicensed systems are required to avoid harmful interference to licensed users by employing geo-location database and spectrum sensing. The conventional spectrum sensing algorithms for ATSC signal were focused on detection of pilot signal. However, they can not guarantee detection of ATSC signal when pilot signal is attenuated by channel environment such as fading. To overcome drawbacks of conventional schemes, in this paper, we propose a signal detection and data fusion algorithm using cyclo-stationary feature weighted by signal energy. Simulation results verify that the proposed algorithm can provide 2dB SNR gain for 90% detection probability compare with the conventional scheme. We can reduce quiet period for spectrum sensing and improve signal detection probability by employing the proposed algorithm.

※ 본 연구는 방송통신위원회의 ETRI 연구개발지원사업 연구결과로 수행되었음 (KCA-2011-10921-01305)

* 한국전자통신연구원 방송통신융합부문 인지무선연구팀 (smlim@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2011-05-207, 접수일자 : 2011년 5월 2일, 최종논문접수일자 : 2011년 7월 1일

I. 서 론

최근 이동통신의 급격한 발전으로 인해 데이터 사용량이 급증하면서 주파수 자원 부족 문제를 겪고 있다. 이에 2008년 11월 미국 FCC (Federal Communication Commision)는 아날로그 TV에서 디지털 TV로의 전환 이후 발생하는 TV white space (TVWS)에 대한 비면허 사용자의 사용을 허가하였다^{1,2}. 비면허 사용자는 면허 사용자로의 간섭을 피하기 위해 데이터 베이스 혹은 센싱을 통해 면허 사용자의 사용 여부를 판단한 후 이용해야한다. TV 대역의 대표적인 면허 사용자는 TV와 part 74 신호인 무선 마이크 신호로써 현재 무선 마이크 신호는 정해진 채널로만 통신하는 것으로 진행되고 있다. 우리나라의 디지털 TV는 미국과 동일한 표준 방식인 ATSC (Advanced Television Systems Committee) 방식³을 사용하는데 이 신호는 특정 주파수에 강한 파일럿을 보내도록 하고 있어 이 신호를 검출하는 메커니즘을 이용하면 높은 검출 성능을 얻을 수 있다. 기존의 방식들 중 검출 성능이 우수하고 신호 분류까지 가능한 대표적인 방식으로는 싸이클로 스테이셔너리 검출 (Cyclostationary Feature Detection, CFD) 방식이 있다. 그러나 이 방식은 페이딩에 의해 파일럿 주파수의 감쇄가 심한 경우 신호를 검출하지 못하는 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 신호 검출 및 종류 구분까지 가능한 싸이클로 스테이셔너리 검출 방식의 장점은 유지하면서 약한 파일럿을 가지는 경우에도 검출 성능을 보완할 수 있는 검출 방식을 제안하였다.

논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 다양한 종류의 신호 검출 알고리즘과 새로 제안된 알고리즘에 대해 소개하고 3장에서는 일반적인 데이터 통합 알고리즘 및 2장에서 제안된 검출 알고리즘을 활용한 통합 알고리즘에 대해 소개한다. 5장에서는 전산 모의 실험을 통해 제안된 방식과 기존 방식과의 성능을 비교 분석하고 6장에서 결론으로 마무리하였다.

II. TVWS에서 신호 검출 알고리즘

2.1 에너지 검출 알고리즘

신호를 검출하는 알고리즘으로 가장 간단하면서 보편적으로 사용되는 방법이 에너지 검출 방식이다. 이 방식은 단위 시간 동안 수신 신호의 에너지를 측정하여 임계값보다 큰 경우 신호가 존재한다고 판단하는 기법이다. 신호 유무를 결정하는 임계값은 잡음 신호의 확률 분포 함수로부터 미리 결정된 오경보 확률에

따라 결정된다. 에너지 검출 방식의 검출 확률과 오경보 확률은 다음과 같다⁴⁻⁵.

$$P_D = \Pr\{Y > \lambda | H_1\} = Q_M(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) \quad (1)$$

$$P_{FA} = \Pr\{Y > \lambda | H_0\} = \frac{\Gamma(u, \frac{\lambda}{2})}{\Gamma(u)} \quad (2)$$

식(1)의 P_D 는 검출 확률로써 $Q_m(\cdot)$ 는 Marcum Q함수, λ 는 임계값, u 는 관측 시간 T와 관측 대역폭 W의 곱, γ 는 SNR을 나타낸다. 식(2)의 P_{FA} 는 오경보 확률로써 $\Gamma(\cdot)$ 는 gamma 함수를 나타낸다.

2.2 싸이클로 스테이셔너리 검출 알고리즘

싸이클로 스테이셔너리 특성이란 식 (3-4)과 같이 모든 t에 대해 프로세스 y(t)의 평균과 자기 상관 함수가 주기성을 가질 경우 싸이클로 스테이셔너리 특성을 가진다고 말한다⁶⁻⁹.

$$M_y(t + T_0) = M_y(t) \quad (3)$$

$$R_y(t + T_0) = R_y(t) \quad (4)$$

싸이클로 스테이셔너리 특성은 순환 자기 상관 함수 (Cyclic Auto-correlation Function, CAF)와 스펙트럴 상관 함수 (Spectral Correlation Function, SCF)로 표현될 수 있다. 우선 CAF는 랜덤 프로세스 y(t)에 대해 다음과 같이 정의된다.

$$R_y^\alpha(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t + \tau/2) y^*(t - \tau/2) e^{-j2\pi\alpha t} dt \quad (5)$$

SCF는 위의 CAF의 푸리에 변환을 통해 얻을 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$S_y^\alpha(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_y^\alpha(\tau) e^{-j2\pi\alpha\tau} d\tau \quad (6)$$

CAF 혹은 SCF는 잡음 불확신성에 강건한 특징을 나타내며, 신호의 종류에 따라 다른 싸이클릭 주파수에서 특성을 나타내므로 신호의 검출 뿐만 아니라 신호의 종류까지 구분할 수 있는 장점을 가진다. 일반적으로 많이 이용되는 SCF의 최대값을 이용한 신호 검

출 알고리즘의 경우는 아래 식과 같이 정의된다. 수신된 신호 y 의 SCF를 구한 뒤 최대값 $\max(|S_y^\alpha(f)|)$ 과 임계값 $\lambda_{\max(S)}$ 과의 비교를 통해 신호의 존재 유무를 판단한다.

$$D = \begin{cases} 1, & \max(|S_y^\alpha(f)|) \geq \lambda_{\max(S)} \\ 0, & \max(|S_y^\alpha(f)|) < \lambda_{\max(S)} \end{cases} \quad (7)$$

2.3 제안된 신호 검출 알고리즘

TVWS에서 스펙트럼 센싱을 통한 신호 검출시 존재하는 신호의 종류에 따라 가용 채널 및 송신 파워가 달라지므로 센싱 알고리즘은 신호 검출 뿐만 아니라 신호 종류까지 분류할 수 있어야 한다. 앞서 설명된 에너지 검출 방식의 경우에는 검출 성능은 우수하되 비해 신호의 종류를 알 수 없어 여러 신호 종류에 포괄적으로 적용할 수 있는 싸이클로 스테이셔너리 특성을 이용한 검출 방식이 많이 활용된다. ATSC 신호와 같이 파일럿 신호가 싸이클로 스테이셔너리 특성을 가지는 경우에는 이 특성을 이용하여 신호를 검출할 수 있으나 페이딩 등의 영향으로 파일럿 신호의 감쇄가 심한 경우에는 신호가 검출되지 못할 수도 있다. 이에 반해 에너지 검출 방식의 경우에는 ATSC 파일럿 신호가 단일 주파수 성분에만 존재하므로 전체 SNR에 미치는 영향은 매우 작기 때문에 파일럿의 감쇄로 인한 검출 성능의 차이는 거의 없다. 그러나 신호 검출 알고리즘으로 싸이클로 스테이셔너리 특성을 이용한 검출 알고리즘을 선택하는 경우에는 페이딩에 의한 검출 성능 차이가 크게 나타날 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 에너지 검출 알고리즘과 싸이클로 스테이셔너리 검출 알고리즘의 장점을 이용한 새로운 검출 방식을 제안하였다. 이는 다음 식과 같이 정의될 수 있다.

$$D = \begin{cases} 1, & [E_y \cdot \max(|S_y^\alpha(f)|)] \geq \lambda_{E \cdot \max(S)} \\ 0, & [E_y \cdot \max(|S_y^\alpha(f)|)] < \lambda_{E \cdot \max(S)} \end{cases} \quad (8)$$

위 식은 수신 신호의 에너지를 E_y 라 할 때, SCF의 최대값 $\max(|S_y^\alpha(f)|)$ 에 E_y 를 가중치로 곱한 후 이를 임계값 $\lambda_{E \cdot \max(S)}$ 와 비교하여 신호의 존재 유무를 판단하는 방식을 나타낸다. 이 방식은 SCF의 최대값을 이용하는 방식의 경우 수신 신호의 크기가 비슷하더라도 페이딩의 영향으로 파일럿의 감쇄 정도에 따라 검출 성능의 차이가 크게 나타나지만 에너지를 가중치로 가짐으로써 약한 파일럿을 가진 경우의 검출 성

능이 개선될 수 있으며 SCF 특성으로 인해 신호 종류까지 구분 가능하다.

III. 데이터 통합 알고리즘

CR 시스템에서는 구성 노드들로부터 센싱 결과를 전달받아 데이터 통합 알고리즘을 통해 최종적으로 채널 상황을 판단하게 된다. IEEE 802.22^[10]와 같이 고정 노드만을 가정하는 시스템과 달리 IEEE 802.11af^[11]나 ECMA 392^[12] 시스템과 같은 소출력 시스템의 경우에는 고정 및 이동 노드가 공존한다. 따라서 노드의 센싱 정확도를 기반으로 가중치를 할당하는 방법이라든지 노드의 위치 정보를 이용하여 통합하는 방법 등은 고정 노드에만 적용이 가능하기 때문에 노드의 이동성에 제한없이 적용될 수 있는 데이터 통합 방법이 요구된다^[13-18]. 싸이클로 스테이셔너리 특성을 이용한 신호 검출 방식에 적용할 수 있는 데이터 통합 방법으로는 여러 가지가 있을 수 있겠으나 본 논문에서는 대표적인 아래 4가지 방법만을 고려하여 살펴보았다.

3.1 신호 존재 유무 판단 후 Major 규칙 이용하여 판단하는 경우

$$DF = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^N D_i \geq \lceil N/2 \rceil \\ 0, & \sum_{i=1}^N D_i < \lceil N/2 \rceil \end{cases} \quad (9)$$

3.2 신호 존재 유무 판단 후 OR 규칙을 이용하여 판단하는 경우

$$DF = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^N D_i \geq 1 \\ 0, & \sum_{i=1}^N D_i < 1 \end{cases} \quad (10)$$

3.3 싸이클로-스테이셔너리 특성의 최대값의 합을 이용하여 판단하는 경우

$$DF = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^N \max(|S_{y_i}^\alpha(f)|) \geq \lambda_{\sum \max(S)} \\ 0, & \sum_{i=1}^N \max(|S_{y_i}^\alpha(f)|) < \lambda_{\sum \max(S)} \end{cases} \quad (11)$$

3.4 에너지 가중치를 가진 싸이클로-스테이셔널리 특성값의 합을 이용하여 판단하는 경우

$$DF = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^N E_{y_i} \cdot \max(|S_{y_i}^\alpha(f)|) \geq \lambda_{\sum E} \cdot \max(S) \\ 0, & \sum_{i=1}^N E_{y_i} \cdot \max(|S_{y_i}^\alpha(f)|) < \lambda_{\sum E} \cdot \max(S) \end{cases} \quad (12)$$

앞의 두 가지 방식은 각 노드로부터 데이터 통합 센터로 신호 존재 유무를 나타내는 이진 데이터값만을 전송하므로 데이터 전송량이 작은 장점을 가지는 반면 한정된 정보가 전송되고, 나머지 두 방식은 각 노드에서 신호의 특성값까지 전달하므로 더 많은 정보가 전달되지만 전송량에 대한 오버헤드는 큰 단점을 가진다.

IV. 전산 모의 실험

본 절에서는 2절에서 제안된 신호 검출 방식과 3절에서 제안된 데이터 통합 알고리즘의 성능 검증을 위하여 전산 모의 실험을 수행하였다. 우선 전산 모의 실험에 사용된 3종류의 신호는 디지털 TV 신호인 ATSC 신호로써 IEEE 802.22 표준화 그룹에서 제공된 워싱턴에서 캡처한 성능 검증용 신호이다¹⁹⁾. 본 논문에서는 페이딩 영향으로 파일럿 신호의 감쇄 정도가 다른 3 종류의 신호를 선택하여 모의 실험에 사용하였다. 그림 1은 SNR=-10dB에서 3가지 종류의 신호 스펙트럼을 나타낸 그림으로 (a)는 페이딩에 의한 파일럿 신호의 감쇄가 가장 작은 WAS_311_35_06052000_ref 신호이고, (c)는 파일럿 감쇄가 매우 심한 WAS_49_39_06142000_opt 신호이며, (b)는 (a)와 (c)의 중간 정도로 감쇄가 일어난 WAS_51_35_05242000_ref 신호이다. 우선 2절에서 제안된 새로운 검출 알고리즘과 기존 알고리즘과의 성능 비교를 위해 그림 2의 절차대로 검출 알고리즘을 수행하였다. SNR에 따른 검출 성능을 살펴보기 위해 IEEE 802.22에서 제안된 절차대로 크기 조절된 신호와 잡음을 더한 후 에너지와 SCF 특성을 계산하여 신호의 존재 유무를 판단한다²⁰⁾. 여기서 임계값 λ_E , λ_{MC} 그리고 λ_{MC-WE} 는 잡음 신호로부터 얻은 분포로부터 오경보 확률이 10%가 되는 값으로 결정했다. 그림 3의 성능 그래프에서 SP는 강한 파일럿(strong pilot), MP는 중간 파일럿(middle pilot) 그리고 WP는 약한 파일럿을

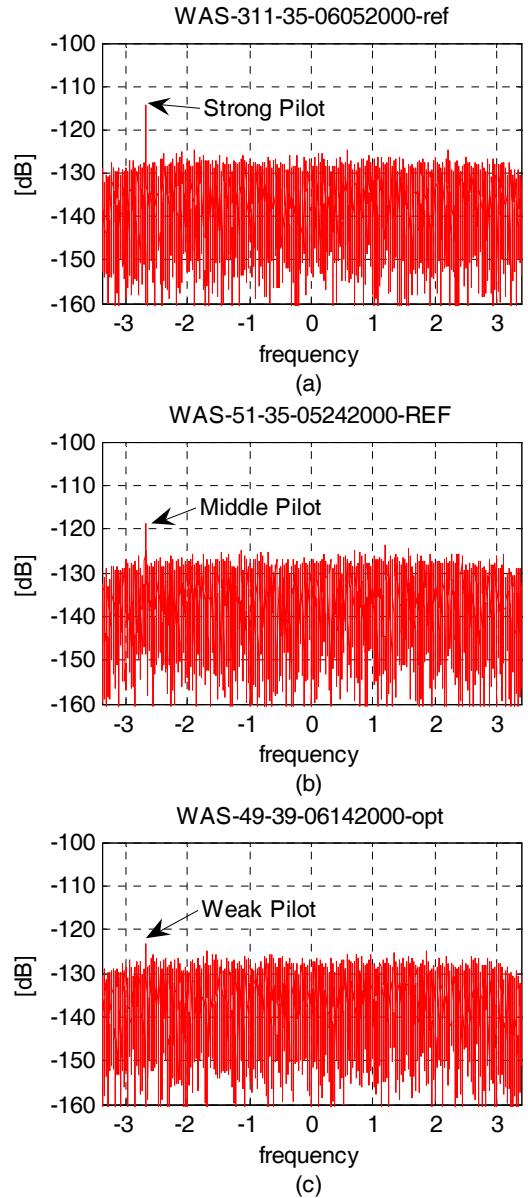


그림 1. IEEE 802.22에서 제공된 캡처된 3 종류 신호의 스펙트럼 (a) WAS_311_35_06052000_ref 신호, (b) WAS_51_35_05242000_ref 신호, (c) WAS_49_39_06142000_opt 신호

의미한다. 그리고 E는 에너지 검출 방식을 나타내고, MC는 싸이클로 스테이셔널리 특성의 최대값을 이용한 검출 방식의 성능을 나타내며, MC-WE는 에너지 측정치를 가중치로 가지는 싸이클로 스테이셔널리 특성의 최대값을 이용한 검출 방식의 성능을 나타낸다. 우선 에너지 검출 방식의 성능을 살펴보면 ATSC 신호의 특성상 단일 주파수에서 파일럿이 나타나므로 파일럿 주파수에 나타나는 신호의 크기 차이가 크다

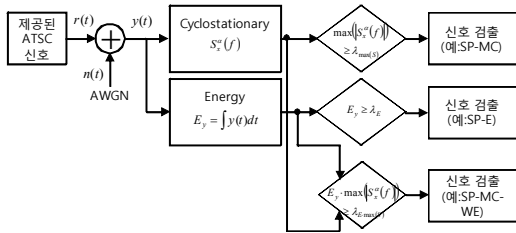


그림 2. 3가지 ATSC 신호의 검출 성능

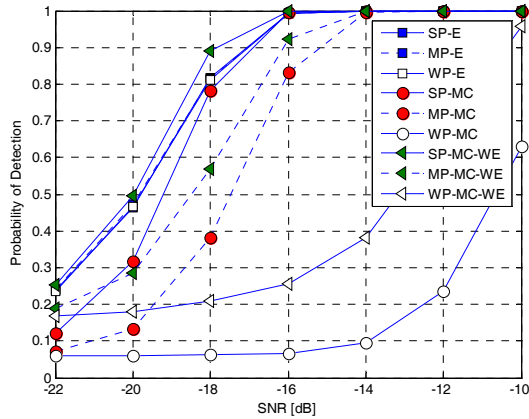


그림 3. 3가지 ATSC 신호의 검출 성능

라도 에너지의 차이는 크지 않다. 따라서 파일럿의 크기에 상관없이 SP_E, MP_E, WP_E의 성능이 거의 같은 것으로 나타났다. 다음은 사이클로 스테이셔너리 특성을 이용한 신호 검출 방식으로 파일럿 주파수에서 그 특성이 나타나므로 검출 성능은 파일럿 크기에 따라 SP-MC > MP-MC > WP-MC 순으로 나타났다. 다음으로 에너지 가중치를 가진 사이클로 스테이셔너리 특성을 이용한 경우 파일럿의 크기가 작아질수록 검출 성능은 저하되었지만 기존 사이클로 스테이셔너리 특성값의 최대값만을 이용하는 경우보다는 검출 성능이 향상된 것으로 나타났으며, 파일럿의 세기가 약할수록 에너지 가중치의 보완 특성으로 인해 검출 성능의 향상 정도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 가장 파일럿이 큰 신호에 대해 3가지 검출 방식인 SP-E, SP-MC, SP-MC-WE를 비교해보면 새로 제안된 에너지 가중치를 가진 사이클로 스테이셔너리 특성을 이용한 신호 검출 방식이 가장 검출 성능이 높은 것으로 나타났다.

그림 4는 3절에서 설명된 데이터 통합 방식의 모의실험 결과를 나타낸 것이다. 첫번째 Major-MC로 표기된 경우는 각 노드에서 식 (7)을 이용하여 신호 존재 유무를 판단하고, 데이터 통합 센터에서 식 (9)의

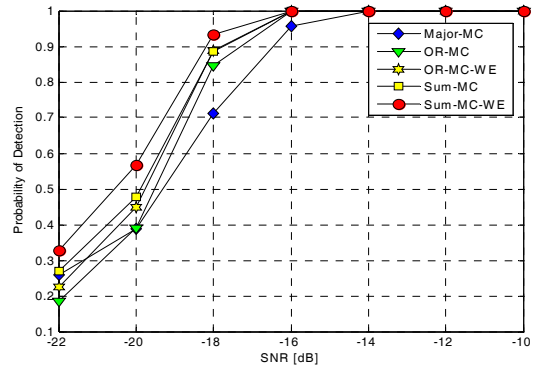


그림 4. 그림 1의 3 종류의 신호에 대한 데이터 통합 성능

Major 규칙을 이용해 최종 판단을 수행한 결과이다. 두 번째 OR-MC 방식은 각 노드의 센싱 알고리즘은 식 (7)을 이용하고, 통합 알고리즘은 식(10)을 적용한 경우 결과이며, 세 번째 OR-MC-WE는 식 (8)의 센싱 알고리즘과 식 (10)의 데이터 통합 알고리즘으로 수행한 결과를 나타낸 것이다. 위 3가지 성능은 각 노드의 센싱 결과가 이진 데이터로 전달된 경우이다. 다음으로 Sum-MC는 식 (11)과 같이 각 노드들의 SCF 최대값의 합을 이용한 결과이고 마지막으로 Sum-MC-WE는 각 노드에서 전달된 에너지 및 SCF의 최대값을 식 (12)에 적용하여 결정된 결과이다. 위의 성능 결과를 바탕으로 분석하면 전달하는 정보량이 많을수록 검출 성능이 향상되는데, 이진 데이터만을 이용하는 Major-MC, OR-MC, OR-MC-WE보다 더 많은 정보가 전달되는 Sum-MC, Sum-MC-WE의 성능이 더 좋은 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 약한 파일럿을 가진 3개 노드로 구성된 경우를 가정하여 전산 모의 실험한 결과를 나타낸 것이다. SNR=-12dB를 기준으로 살펴보면 SCF의 최대값을 이용하여 신호를 검출하는 WP-MC의 경우 약 20%의 검출 성능을 가지는데 반해 에너지 가중치를 가진 SCF 최대값을 이용하는 WP-MC-WE의 경우에는 약 60% 정도로 향상되었다. 데이터 통합 알고리즘의 경우에는 SCF 최대값의 합만을 이용하는 경우 약 60%의 검출 성능을 나타냈으나 에너지 가중치의 결과를 이용하여 OR 규칙을 수행한 경우에는 약 80%로 20% 성능 향상 효과를 나타냈으며 에너지 가중치를 가진 SCF 최대값을 합을 이용한 경우에는 약 95%로 약 35% 정도의 성능 향상 효과를 나타냈다. 검출 성능 90%를 기준으로 살펴보면 SCF의 최대값을 이용한 검출 방식의 경우 SNR=-8dB가 요구되는 반면 에너지 가중치를 가진 SCF의 최대값을 이용한 방식

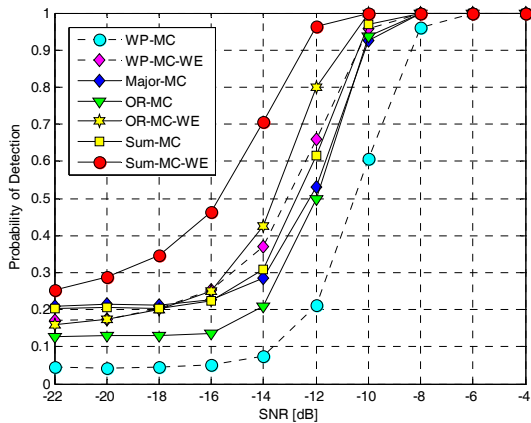


그림 5. 그림 1의 (c) 신호가 3개 노드인 경우에 대한 데이터 통합 성능

의 경우에는 2dB, 이를 이용하여 데이터 통합 방식을 수행한 경우에는 4dB의 이득이 발생하는 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 논문에서는 ATSC 신호의 검출 성능 향상을 위한 새로운 센싱 알고리즘 및 데이터 통합 알고리즘을 제안하였다. ATSC 신호의 특성상 싸이클로 스테이서너리 특성을 나타내는 파일럿 신호는 단일 주파수에서 나타나는데 페이딩 등의 영향으로 파일럿 신호의 감쇄가 일어나는 경우 감쇄 정도에 따라 검출 성능에 큰 차이를 나타냈다. 본 논문에서는 이를 보완하기 위해 에너지 값을 가중치로 가지는 싸이클로-스테이서너리 특성의 최대값을 이용한 신호 검출 및 데이터 통합 알고리즘을 제안하였다. 전산 모의 실험 결과 약한 파일럿을 가진 3개 노드를 가정할 경우 90% 검출 성능을 기준으로 할 때 기존 SCF의 최대값을 이용한 알고리즘에 비해 제안된 에너지 가중치를 가진 방식의 경우가 약 2dB 정도의 개선 효과가 있었으며 데이터 통합 알고리즘의 경우에도 약 2dB 정도의 개선 효과를 나타냈다. 결과적으로 제안된 센싱 알고리즘을 이용하는 경우 기존 방식을 이용하는 경우보다 전송 휴지 기간 감소 및 검출 성능 향상을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] FCC, ET Docket No. 08-260, "Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order," Nov. 2008.

[2] FCC, ET Docket No.10-174, "Second Memorandum Opinion and Order," Sep. 2010.

[3] Advanced Television Systems Committee, "ATSC Digital Television Standard," ATSC Doc. A/53, Parts 1-6, Jan. 2007.

[4] Visser, F.E. Janssen, G.J.M. Pawelczak, P., "Multinode Spectrum Sensing Based on Energy Detection for Dynamic Spectrum Access," *VTC2008-Spring*, May 2008.

[5] 임선민, 정희운, 송명선, "IEEE 802.22 WRAN 시스템에서 확산 벡터를 이용한 협력 센싱," *한국통신학회 논문지*, Vol.34, No.8, pp.633~639, 2009.

[6] W. A. Gardner and C. M. Spooner, "Signal interception: Performance advantages of cyclic feature detectors", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.40, pp.149 - 159, 1992.

[7] Anant Sahai, Danijela Cabric "Cyclostationary Feature Detection," *DySPAN*, 2005

[8] H. Chen and W. Gao, "Text on cyclostationary feature detector-Information annex on sensing techniques", in *IEEE 802.22 Meeting Doc.*, Jul. 2007.

[9] K. Kim, I. A. Akbar, K. K. Bae, J. S. Um, C. M. Spooner, and J. H. Reed, " Cyclostationary approaches to signal detection and classification in cognitive radio", in *Proc. IEEE DySPAN 2007*, Apr. 2007.

[10] IEEE 802.22, "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard," IEEE 802.22-05/007r46, Sep. 2005.

[11] IEEE P802.11af/D1.0, "Draft Standard for Information Technology, Telecommunications and information exchange between systems, Local and metropolitan area networks Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications", Jan. 2011.

[12] ECMA Std. 392, "MAC and PHY for Operation in TV White Space", Dec. 2009.

[13] 신오순, 신요안, "무선인지 시스템에서 협력 스펙트럼 센싱 성능 향상을 위한 경관정 결합 방식," *한국통신학회 논문지*, Vol.34, No.2, pp.132-138, 2009.

[14] F. F. Digham, M. S. Alouini, M. K. Simon, "On

the energy detection of unknown signals over fading channels”, *IEEE ICC 2005, Alaska*, 2005, pp.3575-3579.

- [15] E. Visotsky, S. Kuffner, R. Peterson, “On collaborative detection of TV transmissions in support of dynamic spectrum sharing”, *IEEE DySPAN, Baltimore Maryland*, 2005, pp.338-345.
- [16] Jun Ma, Ye Li, “Soft combination and detection for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks”, *IEEE Global Telecommunications Conference*, Nov. 2007, pp.3139-3143.
- [17] Qihang Peng, Kun Zeng, Jun Wang, et al, “A distributed spectrum sensing scheme based on credibility and evidence theory in cognitive radio context”, *IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Helsinki, Sept. 2006, pp.1-5.
- [18] Qin Qin, Zeng Zhimin, Guo Caili, “A Study of Data Fusion and Decision Algorithms Based on Cooperative Spectrum Sensing”, *6th International Conference on Fuzzy systems and knowledge discovery*, 2009
- [19] Advanced Television Standards Committee, ATSC Recommended Practice: Receiver Performance Guidelines, A/74, June 2004
- [20] S. Mathur, R. Tandra, S. Shellhammer, and M. Ghosh, “Initial Signal Processing of Captured DTV Signals for Evaluation of Detection Algorithms,” *IEEE 802.22-06/0158r4*, Sept. 2006.

임 선 민 (Sun-min Lim)

정회원



2000년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학사)
 2002년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학석사)
 2010년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학박사)
 2006년 9월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀

<관심분야> Cognitive Radio 및 스펙트럼 센싱, 비선형 시스템의 선형화

정 희 윤 (Hoi-yoon Jung)

정회원



2006년 2월 한국정보통신대학교 공학부(공학사)
 2008년 2월 한국정보통신대학교 공학부(공학석사)
 2008년 2월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀
 <관심분야> Cognitive Radio 및 스펙트럼 센싱, 다중 안테나 시스템

김 상 원 (Sang-won Kim)

정회원



1999년 2월 서강대학교 전자공학과(공학사)
 2003년 2월 서강대학교 전자공학과(공학석사)
 2003년~2005년 LG전자 단말연구소 선임연구원
 2005년~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀

<관심분야> Cognitive Radio H/W 시스템 및 다중 안테나 시스템

정 병 장 (Byung-jang Jeong)

정회원



1988년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1992년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
 1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
 1996년~2003년 삼성종합기술원 전문연구원

2003년~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구 팀장
 <관심분야> 통신신호처리, Cognitive Radio 및 이동통신 전송기술