

페이딩 채널에서 DTV 신호 검출을 위한 Collaborative 파일럿 스펙트럼 센싱 성능분석

Performance of Collaborative Pilot Sensing for DTV Signal in Fading Channel

김 승 종
(광운대학교)

이 병 무
(KT 중앙연구소)

이 성 춘
(KT 중앙연구소)

김 진 영
(광운대학교, 부교수)

Key Words : ATSC DTV, Cognitive Radio, Collaborative Sensing, Fading Channel, Pilot Detection

목 차

- I. 서론
- II. ATSC DTV 신호
- III. 스펙트럼 센싱 기법
- IV. 모의실험 결과
- V. 결론

I. 서론

전파 이용의 급속한 확산과 광대역 멀티미디어 서비스의 증가에 따라 주파수에 대한 수요가 급격히 증가하고 있고, 실제로 할당된 대역 이외에 비어있는 대역이 거의 없을 정도로 주파수 부족이 심각한 문제로 대두되었다. 그래서 최근 들어, FCC(Federal Communications Commission)는 스펙트럼 사용 효율을 높이고 새로운 서비스 도입을 용이하게 하기 위해 TV 대역을 대상으로 주파수를 공유하는 CR(Cognitive Radio)을 적용하기로 하고 관련 규정 제정 작업을 진행하고 있다 [1].

CR 시스템 기술 중 스펙트럼 센싱(Spectrum Sensing) 기술은 2차 사용자(Secondary User)가 주변의 전파 환경을 감지하여 비어있는 스펙트럼을 찾아내는 기술로 무선인지 통신의 근간을 이루는 기술이다. 스펙트럼 센싱이 부정확하면 이미 해당 주파수를 사용 중인 1차 사용자(Primary user)에 큰 간섭을 미칠 수도 있고, 특정 주파수가 실제로 비어 있음에도 불구하고 사용하지 못할 수 있다. 그러므로 CR 시스템에서는 정확한 스펙트럼 센싱이 이루어져야 한다.

스펙트럼 센싱 이론으로는 신호의 에너지를 이용하여 센싱하는 에너지 검출 방식과 신호의 주기성과 같은 신호의 특징으로 신호를 검출하는 Cyclostationary 방식을 들 수 있다. 본 논문에서는 DTV(Digital Television) 대역에서 DTV 신호의 파일럿 에너지를 이용하여 스펙트럼 센싱을 하였다. 또한 센싱 방법으로 Collaborative 센싱을 이용하여 여러 곳에서 주파수를 센싱 후 Fusion Center로 결과를 전송하여 주파수 유무를 판단하였다.

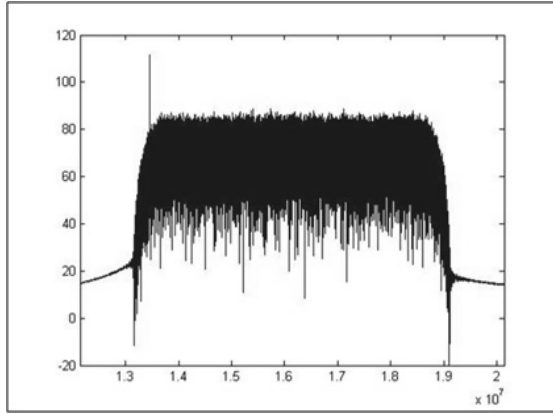
주파수 결정 방법으로는 다양한 방법이 있지만, 본 논문에서는 And, Or Rule을 선택하여 적용하였으며, 주파수 채널

환경으로는 Rayleigh, Rician 환경으로 설정하여 실험을 하였다. Fusion Center와 주파수 센서와의 채널은 이상적인 채널이라 가정하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 ATSC DTV 신호의 특성을 검토하고, 제 III장에서는 파일럿 검출 기반의 스펙트럼 센싱을 설명한다. 제 IV장에서는 모의실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 ATSC DTV 신호의 스펙트럼 센싱 결과를 검증하였고, 마지막으로 제 V장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

II. ATSC DTV 신호

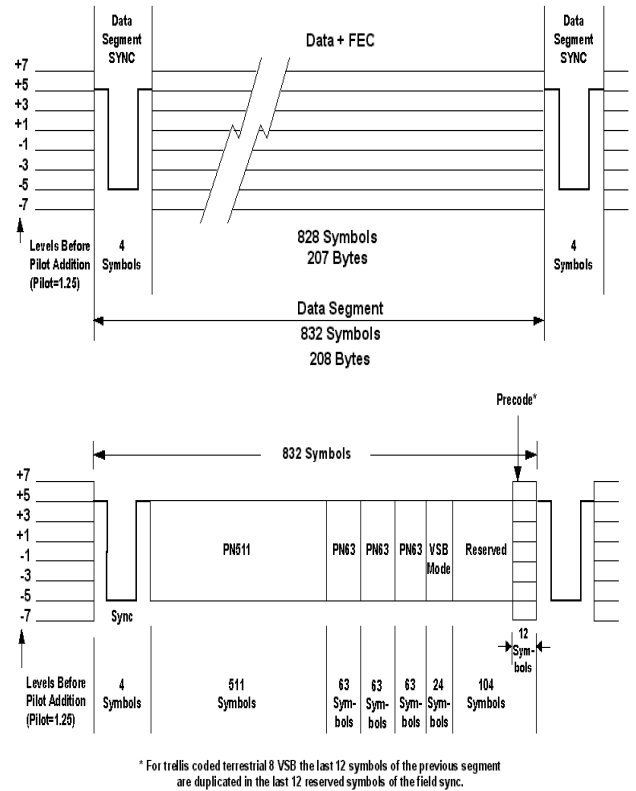
ATSC 디지털 TV는 하나의 6MHz 채널에 고품질의 영상, 음성 및 보조 데이터를 전송할 수 있는 시스템이다. 이 시스템은 6MHz의 지상파 방송 채널에서 약 19.28Mbps의 데이터를, 케이블 TV 채널에서는 약 38.56Mbps의 데이터를 높은 신뢰도에서 송출할 수 있다.



<그림 1> DTV Signal

입력 데이터는 랜덤화와 오류 정정 부호화 과정을 거친 후에, 데이터 패킷을 전송하기 위한 데이터 프레임 형태로 만들고, 데이터 세그먼트 동기화 신호와 데이터 필드 동기를 덧붙인다. 그림 3.2는 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 sequence를 포함한다. 나머지 312 개의 데이터 세그먼트는 각각 하나의 188 바이트 트랜스포트 패킷에 해당하는 데이터와 여기에 추가된 FEC(Forward Error Correction) 부가 바이트를 전송한다. 각 세그먼트의 실제데이터는 인터리빙으로 인하여 여러 트랜스포트 패킷의 데이터에 나뉘어져 있다.

각 데이터 세그먼트는 832 심벌로 구성되고 처음 네 개의 심벌은 이진 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 추가된 FEC 부가 바이트에 해당하는 데이터를 전송한다. 이 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 2> DTV frame structure

8VSB 변조과정에서 이진 데이터 세그먼트 동기화 신호와 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.

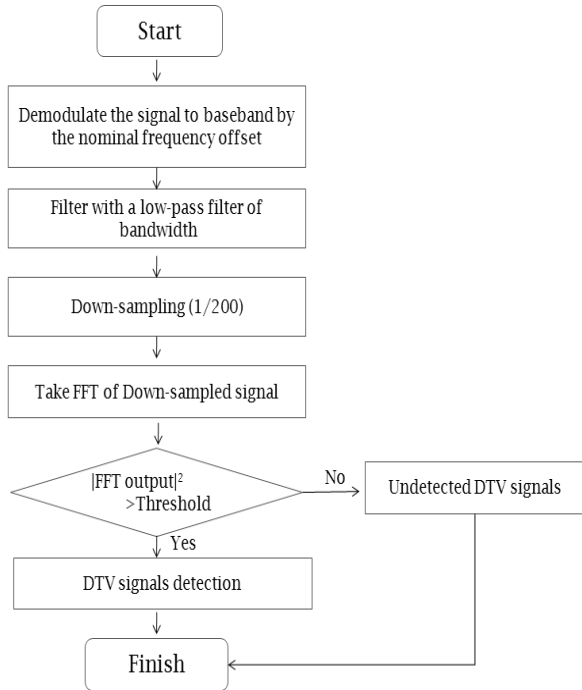
하나의 완전한 세그먼트는 832 심벌로 구성되며 그 중에서 4 심벌은 데이터 세그먼트 동기화 신호이고, 나머지 828 심벌은 데이터와 부가 심벌로 이루어져 있다. 데이터 세그먼트 동기화 신호는 2 레벨이며 (± 5), 같은 동기 패턴이 77.3 μs 간격으로 규칙적으로 반복된다. 데이터와는 달리 데이터 세그먼트 동기화 신호는 RS나 트렐리스 부호화를 하지 않고 인터리빙도 하지 않는다. 데이터 세그먼트 동기 패턴은 1001이다. 데이터는 데이터 세그먼트로 나누어질 뿐만 아니라, 데이터 필드로도 나뉜다. 각 필드는 313 세그먼트로 구성되며 각각의 데이터 필드 (24.2 ms)는 데이터 필드 동기화 신호로 이루어진 하나의 완전한 데이터 세그먼트로 시작된다. 처음 4 심벌은 데이터 세그먼트 동기화 신호와 동일한 1001으로 정의된다. 이후 PN 511 랜덤 시퀀스와 PN 63 랜덤 시퀀스가 3번 반복된다. 데이터 세그먼트 동기화 신호와 데이터 필드 동기화 신호의 명목상의 값은 -5와 5이다.

작은 파일럿 (Pilot) 반송파를 만들기 위해서 비트를 심벌로 매핑 한 후, 1.25를 이 명목상의 레벨에 더한다 [2].

III. 스펙트럼 센싱 기법

1. 파일럿 기반 스펙트럼 센싱 기법

특정 주파수에 파일럿 신호를 포함하고 있는 ATSC 방송 신호는 짧은 시간 동안만 채널 센싱을 수행해도 아주 미약한 사용자의 존재까지 검출해낼 수 있다 [3].



<그림 3> 센싱 진행 블록도

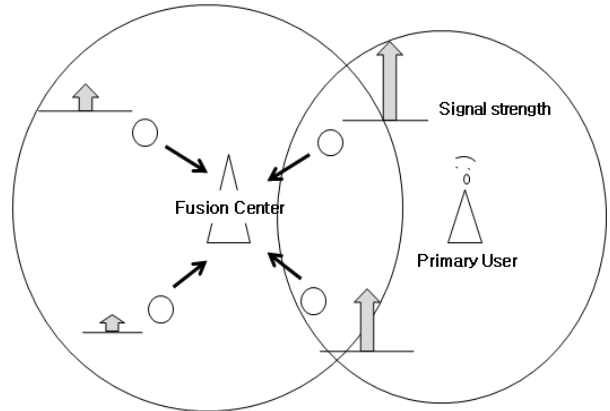
파일럿 기반 스펙트럼 센싱 기법은 파일럿의 위치, 파일럿의 에너지 분포로 주파수를 센싱하는 기술이다.

센싱 방법으로는 기존 DTV 신호의 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.

FFT 결과의 제곱 값의 최댓값을 임계값과 비교하는 방식이며, 본 논문에서는 모든 FFT 결과의 제곱 값을 주파수별 평균을 구하고 평균값들의 최댓값과 임계값과 비교하여 검파하는 방식을 사용하여 실험하였다. 또한 적용한 False alarm을 5%로 적용하여 다양한 페이딩 환경 채널에 적용하여 스펙트럼 검출 성능을 실험하였다

2. Collaborative 스펙트럼 센싱 기법

CR 네트워크에 있어 센싱의 정확도는 매우 중요하다. 센싱의 정확도가 높아지면 더 높은 수준의 1차 사용자 보호를 달성하거나, 채널 센싱에 드는 시간을 줄일 수 있다. 센싱의 정확도를 보다 높이기 위해 특정 주파수 대역에 대한 채널 센싱을 내리는 Collaborative 채널 센싱 방식이 주목받고 있다. [4-5]

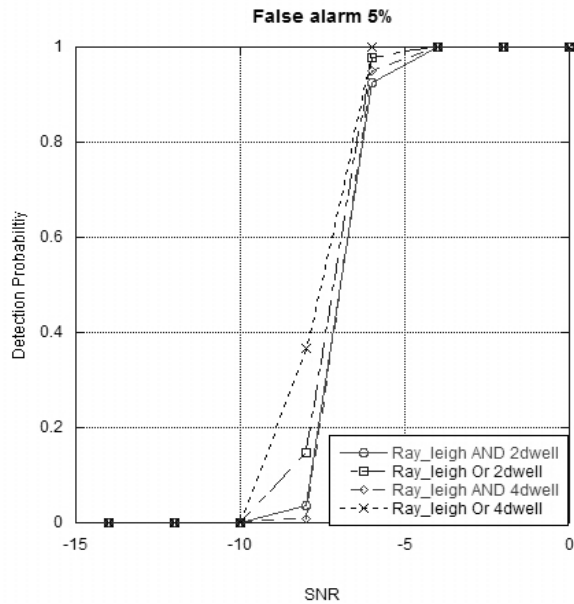


<그림 4> Collaborative 스펙트럼 센싱

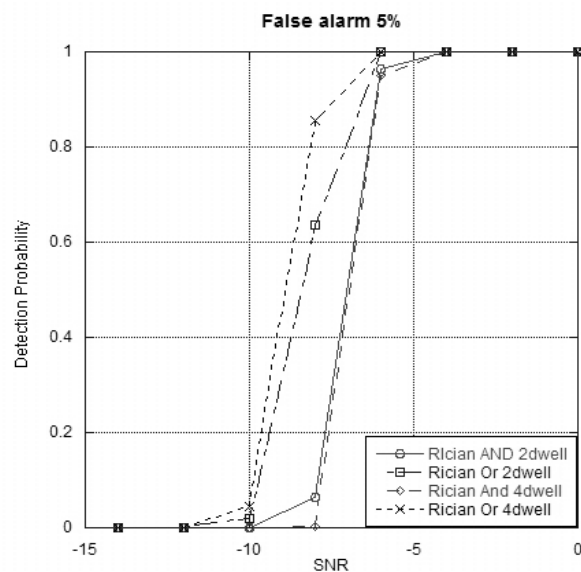
이는 1차 사용자들로부터 수신하는 신호는 독립적인 채널 감쇄를 겪으므로 각 노드는 서로 다른 세기의 신호를 1차 사용자로부터 수신하게 된다. 이들의 채널 센싱 결과를 모아 결합하면 채널 센싱의 정확도가 높아지게 된다. 센싱 결과는 주파수의 사용유무에 따라 비트로 표현되어 각 결과들을 OR법칙, AND법칙에 따라 1차 사용자의 존재에 대한 최종적인 판단을 내린다. OR법칙은 각 CR 센싱 노드가 센싱을 했을 경우 1개 이상의 노드가 1차 사용자가 사용하는 주파수를 센싱 하더라도 1차 사용자가 존재한다고 판단하는 방식이며, AND 방식은 각 CR 센싱 노드가 모두 1차 사용자의 주파수를 센싱했을 경우에만 1차 사용자가 존재한다고 판단하는 방식이다. 이와 같은 방법은 센싱 결과를 서로 교환하는데 필요한 정보량은 매우 적으며, 결합 또한 간단한 논리적 계산으로 이루어지므로 구현이 쉽다는 장점을 가지고 있지만, 센싱 결과를 한 비트로만 표현하므로 정밀도가 떨어진다는 단점을 지니고 있다. 또한 본 논문에서는 다양한 페이딩 채널에서 적용을 시켜 일반 가우시안 노이즈와 달리 다양한 결과 값을 얻을 수 있었다.

IV. 모의실험 결과

우리는 DTV 신호를 파일럿 위치가 2.69MHz, 21.52MHz로 sample 되어진 5.38MHz IF 주파수를 가진 대역통과 신호라 가정하였다. false alarm 값은 5%로 설정 후 실험하였다. 그리고 파일럿 기반 스펙트럼 센싱 기법에서 Rayleigh 채널, Rician 채널을 적용하여 실험을 하였다.



<그림 5> Collaborative 스펙트럼 센싱(Rayleigh Channel)



<그림 6> Collaborative 스펙트럼 센싱(Rician Channel)

Collaborative 센싱노드는 앞서 말했던 바와 같이 각 노드에서 센싱된 값을 임계값과 비교 후 OR법칙, AND 법칙을 통한 값을 SNR의 변화에 따라 검출확률을 비교하였다.

본 실험을 통해 우리는 Collaborative 스펙트럼 센싱 기법에서 주파수 판별 법칙인 AND 법칙, OR 법칙일 경우의 결과 값을 판단할 수 있었다. 통상적으로 AND법칙은 노드가 많아짐에 따라 성능은 감소되고 반대로 OR법칙은 성능이 증가되는 면을 볼 수 있었지만, 페이딩 환경에서는 그림 5와 그림 6과 같은 결과 값이 나타나기는 하지만 뚜렷한 차이는 보이지 않았다. 이는 채널환경이 좋지 않아 신호의 왜곡 및 간섭이 심하여 올바른 센싱이 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

또한 성능 측면에서 볼 때에는 일정 SNR에서 Saturation 되는 결과를 얻었으며, Rician 채널 4개의 노드와 Rayleigh

채널에서 4개의 노드를 OR법칙을 적용 하게 되면, 검출성능 90%를 기준으로 대략 -3dB 차이를 보였다. 이는 가장 성능이 좋은 결과 OR 법칙을 적용했을 때, 채널상태에 따라 검출 성능이 달라지는 것을 실험을 통해 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 CR 시스템 환경에서 가장 중요한 기술인 스펙트럼 검출 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 센싱결과는 중앙로드로 전송되는데 이 때 전송되는 채널은 이상적인 채널로 경로 손실이 없다고 가정을 하였다. 그리고 Collaborative 스펙트럼 센싱을 통한 결과 값들을 AND법칙, OR법칙으로 주파수 유무를 판정하게 된다. 각 노드에서의 채널 환경은 페이딩 환경 채널에서의 검출하는 방식을 적용하였다. 통상적으로 AND법칙을 사용했을 때는 노드가 늘어남에 따라 성능은 떨어지고 반대로 OR법칙을 사용했을 때는 노드가 늘어남에 따라 성능은 증가되는 것을 볼 수 있었지만, 페이딩 환경에서는 뚜렷한 성능 차이를 볼 수는 없었다. 하지만 여러 노드를 통하여 센싱하는 방법은 기존 단일 센싱보다 복잡도가 늘어나지만 신뢰성 높은 검출 방법이 요구되는 환경에서는 이 방법이 효과적일 수 있다. 앞으로는 다양한 채널 환경에 따라 스펙트럼 센싱 방법을 적용하여, 최적의 스펙트럼 센싱 파라미터를 연구할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술 개발사업의 일환으로 수행되었음.

[2007-S29-03, 가정용/기업용 WiBro 시스템 기술개발]

참고 문헌

1. J. Y. Kim. Cognitive Radio Communications, Seoul, Gyobo Publishers, 2008.
2. Advanced Television Systems Committee, "ATSC digital television standard," Document A/53, Sept. 1995.
3. M. Ghosh, "Text on FFT-based pilot sensing-for informative annex on sensing techniques," IEEE 802.22-07/0298r1, June 2007.
4. Mitola, J., III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications," in Proc. IEEE Int' Workshop on Mobile Multimedia Commun., 1999.
5. Federal Communications Commission, "Spectrum policy task force," Rep. ET Docket, no. 02-135, Nov. 2002.