

Fuzzy 제어 기반 협력 스펙트럼 센싱

이미선*, 김진영*

Cooperative Spectrum Sensing Based on Fuzzy control

Mi Sun Lee*, Jin Young Kim* *Regular Members*

요 약

Cognitive Radio는 유휴 스펙트럼을 찾아 환경에 맞는 통신방식과 주파수 대역폭을 능동적으로 판단해 재활용하는 지능적인 간섭회피로 방식으로 스펙트럼을 공유하여 전파자원효율을 극대화 하는 기술이다. 이때 PU에 간섭을 일으키지 않기 위한 스펙트럼 센싱 기술이 중요하다. 하지만 상황에 따라 스펙트럼 센싱 알고리즘을 선택할수 있다면 좀더 효율적 센싱을 할수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 퍼지컨트롤러를 통해 에너지검출, 자기상관검출, Matched filter 검출 등을 개별 센싱에 반영하는 시스템 모델을 제안하고 분석한다.

Key Words : Cognitive Radio(CR), Fuzzy control, Spectrum Sensing, Energy detection

ABSTRACT

Cognitive Radio is an intelligent interference avoidance idle spectrum communication system for your environment and actively determine the frequency bandwidth recycling by sharing the spectrum in a way that maximizes the efficiency of radio resource technology. At this time, this does not cause interference to the PU spectrum sensing technology is important. If you can choose, depending on the state of the channel spectrum sensing algorithm will be more efficient sensing. Matched filter detection system model that reflects the individual sensing through a fuzzy controller in this paper, energy detection and self-correlation detection are proposed and analyzed.

I. 서론

폭발적으로 증가하는 모바일 데이터 트래픽의 증가 추세에 비해 Macro-BS 기반의 point-to-point 링크의 용량 증대만으로는 트래픽 수요를 수용할 수 없는한계점에 다르고있다. 또한, 통신사업자의입장에서는 수용해야 하는 모바일 데이터는 폭발적으로 증가하는데 비해서 통신서비스의 수익은 선형적으로 느리게 증가하여 수익구조의 악화를 경험하고있다. 이러한 문제의 해결을 위해서는 저비용으로 이동통신망의 용량을 증대하는 기술이 필수적으로 요구되고있다 [5],[6]. 이러한 주파수 사용의 활용을 높이기 위해 J. Mitola에 의하여 인지 무선 시스템 (CR, Cognitive Radio System)이 제시되었다. 즉, 면허 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수를 비 면허 사용자가 임시적으로 사용하도록 하는 시스템으로서 주변의 상황을 탐색하고 변화된 상황에 시스템을 적절하게 적용하도록 하는 지능적인 차세대 무선 통신 시스템

이다 [4-5]. 주로 주파수 정책에 따라 주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자는 소 출력 무선통신 기기 및 임시적으로 주파수를 할당 받아 사용하는 기기들로서 이들이 주로 인지 무선 시스템의 서비스를 가장 많이 받을 것으로 예상된다. 따라서, 비 면허 사용 기기들이 개별적으로 주변 상황을 인지하고 신뢰도 높게 유휴주파수를 탐색하는 스펙트럼 센싱의 중요성이 높아진다. 릴레이 협력 통신은 셀 가장자리 및 음영 지역에서기지국과 단말간의 수신 신호-대-간섭 및잡음비 저하를 극복하여 셀 경계에서의 성능을 확보하고 경제적인 셀 커버리지확장을 위한 요소기술로서, IEEE 802.16m 및 3GPP LTE-Advanced 등의 차세대 통신 시스템 규격에 채택되어 활발한 연구가 진행되고 있다. 릴레이 시스템을 인지 무선 통신에 적용한다면 신호의 신뢰성 향상으로 센싱 성능의 향상시킬수 있다. 예를 들어 선택적 주파수 페이딩, 셀룰라 시스템에서는 셀간 간섭 등의 문제로 CR기기의 낮은 SNR 상태에 있을때 센싱의 신뢰성을 보장할수 없어 센싱성

*이 연구는 2012학년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업 연구임(NO.2012-0007025) e광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 *(mesunny77@gmail.com), *(jinyoung@kw.ac.kr) 접수일자 : 2013년 7월 2일, 수정완료일자 : 2013년 7월 26일, 최종게재확정일자 : 2013년 7월 29일

능의 열화가 발생하게 되는데, 이는 셀을 작은 공간으로 나누어 채널 용량을 극대화시키는 릴레이 시스템을 이용할 경우 CR기기들의 SNR을 높임으로써 BER이 낮아지는 효과를 얻을수 있기 때문에 센싱 신뢰도가 높아지게 된다. 또한 음영지역에 CR 사용자가 위치하여 발생하는 Hidden node 문제를 릴레이 CR 사용자를 통한 다이버시티 이득을 얻음으로써 해결 할 수 있다. 또한 별도의 기지국과 같은 시스템 없이 CR사용자가 무선신호를 전달함으로 비용이 절약된다. 본 논문에선 다음 세가지의 알고리즘을 선택하기 위해 퍼지컨트롤러를 결정하게 된다. 그림2.에서 볼수 있듯이 무선채널을 거친 PU의 신호는 각각의 CR사용자의 RF and IF를 통해 A/D 컨버터를 지나게 되고 이때 SNR추정을 통해 SNR레벨에 따라서 스펙트럼 검출 알고리즘을 달리하여 시스템 모델을 구성하고 실험 결과를 얻는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본 논문에서 제안한 시스템 모델에 대해 설명한다. 제 III장에서는 본 논문에서 제안한 기법을 설명하고, IV장에서는 모의실험 결과를 보여주고, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 IV장에서 언급한다.

II. 시스템 모델

그림1.은 본 논문에서 제안하는 시스템 모델이다. 분산적 협력 스펙트럼 센싱을 기본으로 하는 그룹에서, 개별적 센싱 알고리즘 선택은 퍼지 컨트롤러에 따른다.

1. IF 채널상태가 좋다 THEN 에너지검출로 검출로도 검출확률이 높을것이다.
2. IF 채널상태가 중간 THEN Cyclostationary로 검출로 높은 검출을 얻는다.
3. IF 채널 상태가 나쁨 THEN 타 정보를 얻어 matched filter 검출을 한다.

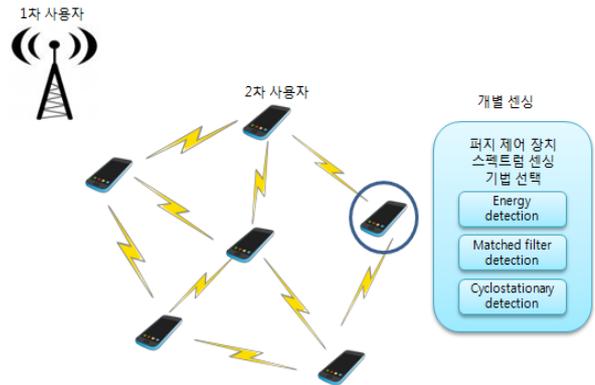


그림 1. 제안된 시스템 모델

채널 상태를 3단계로 나누고 이에 따라 센싱 방식을 달리 하는 시스템 모델을 제안하고 분석하게 된다.

III. 본문

본 논문에선 다음 세 가지의 알고리즘을 선택하기 위해 퍼지컨트롤러를 결정하게 된다. 그림2.에서 볼 수 있듯이 무선채널을 거친 PU의 신호는 각각의 CR사용자의 RF and IF를 통해 A/D 컨버터를 지나게 되고 이때 채널상태 정보를 통해 채널상태에 따라서 스펙트럼 검출 알고리즘을 달리하게 된다. 언어 등의 애매함을 정량적으로 표현하기 위하여 1965년 미국 버클리대학교의 L. A.자데(Zadeh) 교수에 의해 도입된 퍼지집합의 사고방식을 기초로 하고 있다. 퍼지집합의 개념은 각 대상이 어떤 모임에 속한다 또는 속하지 않는다는 이진법 논리로부터, 각 대상이 그 모임에 속하는 정도를 소속함수(membership function)로 나타냄으로써 수학적으로 표현할 수 있다. 또한 퍼지측도(fuzzy measure)는 일반 집합 A에서 위치가 애매한 원소 a가 A의 부분집합 P에 속한다는 말의 애매한 정도를 나타냄으로써 a와 A의 관계를 수

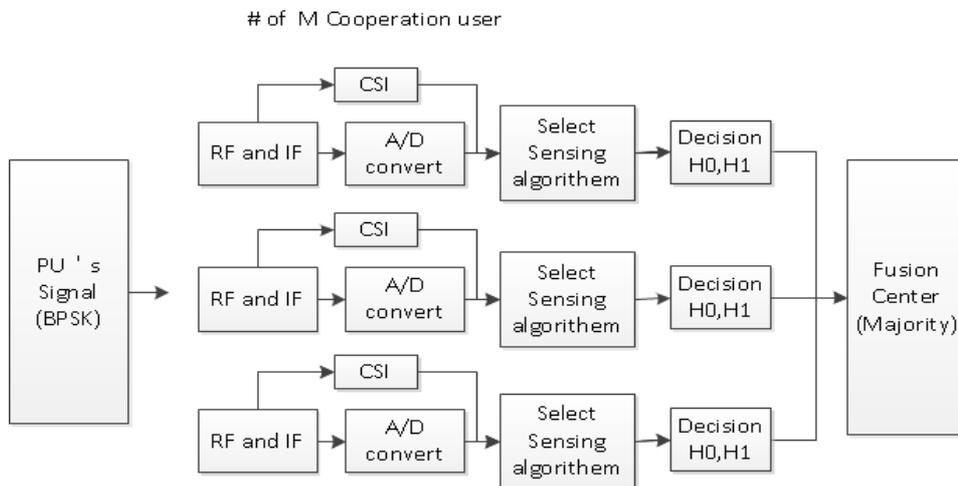


그림 2. 제안된 시스템 블록다이어그램

학적으로 표현한다. 최근 퍼지이론을 응용하여 인간의 사고 능력에 가까운 기능을 구현하는 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 가전제품, 자동차 제어 분야에 응용한 제품이 출현하였다. 주요 응용분야인 퍼지제어기는 퍼지화기(fuzzifier), 규칙 베이스(rule base), 퍼지 추론기(fuzzy inference engine), 비 퍼지화기(defuzzifier)로 구성되어 있다. 퍼지제어기는 복잡한 비선형 시스템의 제어시 퍼지집합을 분할하여 각 영역에 따른 규칙 베이스를 구성하면 기존의 비선형 제어기에 비해 훌륭한 성능을 얻을 수 있다. 기존의 협력하는 사용자 그룹의 개별 센싱이 모두 같은 알고리즘을 사용하여, 그 검출결과를 반영하여 협력센싱의 최종 판단을 내려왔다.

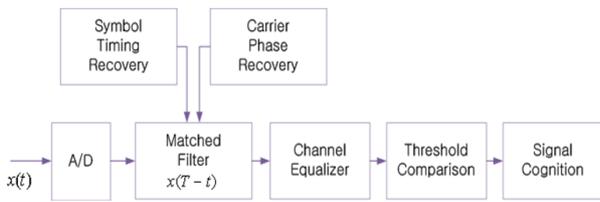


그림 3. 정합필터검출

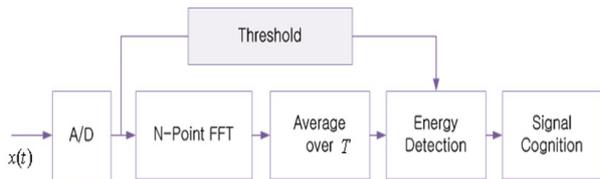


그림 4. 에너지검출

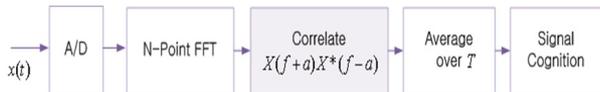


그림 5. Cyclostationary 검출

하지만 SNR이 낮으면 검출 확률이 낮을 수 있기 때문에 검출확률을 높이하고자 SNR추정 결과에 따라 센싱 알고리즘을 달리하게 된다. 낮은 SNR에서는 정합필터와 같은 정보를 얻어 센싱을 진행하며, 중간단계의 SNR상태에서는 Cyclostationary 알고리즘을 선택한다. 이는 퍼지 제어에 의해 선택된다. 각각 다른 알고리즘을 가지는 CR사용자가 있고, 그들의 채널상태에 맞는 알고리즘을 선택할 수 있는 CR사용자를 협력할수 있다 가정한다면, 이 퍼지 제어는 협력 센싱 그룹을 조합하는 하나의 방법이 될 수 있을 것이다. 즉, 본 논문에서 제안하는 시스템 모델은 인지무선 통신에서 분산적 협력 스펙트럼 센싱 모델에서 각 개별 센싱을 진행하는 2차 사용자의 스펙트럼 센싱 알고리즘 선택을 하기 위한 퍼지 제어 방법이다. 퍼지제어를 통해 에너지검출, 정합필터검출, cyclostationary검출 기법중 가장 적합한 스펙트럼 센싱을 선택하고 협력하는 그룹의 2차사용자들은 그 정보를 공유하게 된다. 하지만 이는 2차 사용자들의 개별상태를 반영하지 않고 일괄적으로 적용되는 방법이었다. 기존의 로컬센

싱시 여러 알고리즘 중 알맞은 선택을 하기 위한 방안으로 SNR을 추정하고 SNR구간에 따라 낮 SNR구간에선 별도의 정보를 얻어서 센싱하는 정합필터 모델을 사용하여 센싱하며, SNR 중간구간에선 cyclostationary 검출 방식으로, SNR 상태가 좋다면 에너지검출을 사용하여 검출 확률을 높이는 방법을 사용하였다. 본 제안된 시스템 모델은 Fuzzy제어를 기반으로하여 스펙트럼 센싱 시법을 스스로 결정하게 된다. 따라서 본 논문에서는 협력 센싱하고자하는 그룹의 2차사용자들의 개별센싱 진행시 퍼지 컨트롤러에 따라 센싱 기법을 선택함으로써 개별 로컬 센싱 신뢰도를 높인다.

IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 위의 표 1과 같은 실험 파라미터를 이용하여 실험하였다. 우선 CR사용자들은 3가지의 채널 모델 상태를 랜덤하게 겪고 있다 가정하였고, 채널 모델은 백색 잡음 채널(AWGN, Additive White Gaussian Noise)와 Rayleigh 채널 모델을 Rician 고려하였다. 오 경보 확률(FA probability, false alarm probability)을 10%,로 설정하였다. 먼허 대역 사용자의 변조방식은 BPSK (Binary Phase Shift Keying)을 사용한다고 가정하였다. 그리고 CR기기가 센싱한 정보를 취합하는 Fusion center에서는 다수의 결과에 따라 최종판단을 내리는 Majority 방식을 사용한다고 가정하였다

표 1. 모의 실험 파라미터

Parameters	Value
Noise model	AWGN/Rayleigh
Modulation scheme	BPSK
Decision rule	Majority
Fuzzy control	IF-THEN
False alarm probability	10%

아래의 그림 5는 협력하고자 하는 사용자들 4명, 채널 상태를 랜덤하게 설정하였고, 기존의 협력 에너지 센싱에 따라 융합센터에서 Majority 처리하여 협력 센싱한 결과와 퍼지 제어를 통해 센싱 알고리즘을 선택하고 또 그 결과에 따라 Majority 방식을 취했을 때 센싱 결과를 비교하였다. 낮은 SNR의 환경에서 퍼지 제어기반으로 센싱 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

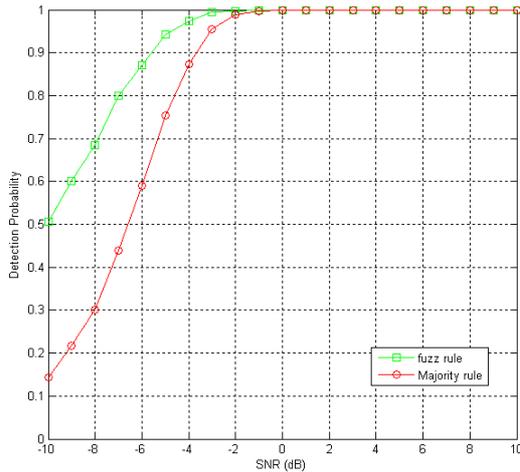


그림 6. 융합센서에서 퍼지제어 기반의 검출과 Majority 방식의 검출확률 비교

V. 결과

본 논문에서는 퍼지 제어 기반 협력 스펙트럼 센싱에 대해 성능 분석을 보였다. 퍼지 제어 기반은 좀 더 민감한 검출을 가능하게 하는 기술이다. 다만 이를 위해서는 조건에 대한 룰을 정하는 정확한 기술이 요구된다. 본 논문에서는 CSI 채널 상태 정보에 따라 검출 알고리즘을 선택하는 시스템 모델을 제안하고 분석하였으며, 검출성능 향상을 보였다.

참고 문헌

- [1] J. Y. Kim, Cognitive radio systems, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008.
- [2] Dilip S. Aldar, "Distributed Fuzzy Optimal Spectrum Sensing In Cognitive Radio," IRECON. vol. 7, no. 6, Nov. 2012, pp. 2788-2793.
- [3] 3GPP Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2(Release 10).
- [4] Charles E. Perkins, Ad hoc networking, Addison-Wesley, 2001.
- [5] C.K. Toh, Ad hoc mobile wireless networks: protocols and systems, Prentice Hall PTR, 2002.
- [6] T. S. Rappaport, Wireless Communications - principles and practice, Prentice Hall, 1996

저자

이 미 선 (Mi-sun Lee)



- 2001년 8월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
- 2011년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : Cognitive Radio, 가시광 통신

김 진 영 (Jin Young Kim)

정회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 : 미국 Princeton University Associate
- 2001년 : SK 텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원

- 2009년~2010년 2월: 미국 MIT 공대 Visiting Scientist
- 2001년~현재 : 광운대학교 전파공학과 교수

<관심분야> : 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화