

논문 2008-2-7

Cognitive Radio에 적합한 효율적인 전력 처리기법

An Efficient Power Processing Method for Cognitive Radio

조주필

Ju-Phil Cho

요약

본 논문에서는 Cognitive Radio 환경에서의 사용자의 송신 전력에 대해 다루고자 한다. 사용자의 송신전력은 PU(Primary User)에 피해를 주지 않는 선에서 동작되어야 하며 이는 PU에서 측정된 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)로 고려 될 수 있다. SU는 비어 있는 주파수가 어떤 것인지 알아야 하는 정확한 스펙트럼 센싱이 요구되며, 이는 실시간 변화 하므로 정확한 센싱을 한다 하더라도 일정시간 동안 동작을 반복 해야 한다. 이를 직교성 인자를 이용하여 기존의 단점들을 감소시키고, PU의 SINR을 보장하는 선에서 동작도 가능하다는 것을 보이려 한다.

Abstract

In this paper, we discuss the transmit power of user in Cognitive Radio environment. Transmit power of user should be operated in order not to give a bad effect to PU(Primary user) and this power can be considered as SINR(Signal to Interference and Noise Ratio) measured in PU. Exact spectrum sensing is required to see which is the vacant frequency. And this spectrum sensing should be operated repeatedly within certain time because the vacant frequency is time-varying. In this paper, we reduce the existing defect by using orthogonal parameter and show the sensing operation is possible if SINR of PU can be guaranteed.

Key Words : CR, QoS, SU, PU

1. 서론

최근 무선 통신 기술들이 급속히 변하고 있으며 Wibro나 차세대 무선 통신 시스템은 보다 빠른 데이터를 보다 싸게 제공하는 것을 목표로 되어 있다. 이렇듯 급속히 발전하는 무선 통신 시스템은 기존 기술과 기술 공존 문제로 인해 다른 주파수를 필요로 하였고, 현재 거의 모든 주파수가

할당되어 있다. 이로 인하여 수 [GHz]대역, 특히 낮은 주파수 대역은 사용할 수 있는 여지가 거의 없다. 이러한 문제에 대해서 J.Mitola는 주파수가 할당되어 있지만 실제로 사용되지 않고 비어있는 주파수를 감지해서 이를 효율적으로 공유하여 사용할 수 있는 Cognitive Radio(CR) 개념을 제시 하였다.[1] CR통신을 하기 위해서 몇 가지 필요한 것들이 있는데 가장 첫 번째로 해야 할 일이 바로 스펙트럼 검출(Spectrum Sensing)이라는 기술이다. 이는 현재 어떤 주파수가 비어있으며 어떤 주파수를 가지고 통신을 해야 하는지를 결정하는

정회원: 군산대학교 전자정보공학부

접수일자: 2008.3.15, 수정완료일자: 2008.4.17

중요한 문제이다. 스펙트럼 검출이 끝나 비어있는 주파수를 찾았다 하더라도 PU다시 그 주파수를 쓸 가능성이 있기에 어느 정도 시간을 두어 스펙트럼 검출을 시행해야 하며 그 때를 대비해 잉여 주파수 대역확보도 필요하다.[2]

즉, PU와 다른 주파수를 통신할 때 PU에 피해가 없지만, 같은 주파수를 사용시엔 간섭과 문제가 생기기때문에 이를 피하고자 SU가 다른 주파수를 사용할 수 밖에 없는 것이다. 이는 실시간으로 스펙트럼 검출을 할 수 밖에 없는 것이다. 이런 식으로 비어있는 주파수, 즉 사용자가 전혀 사용하지 않는 주파수를 측정하여 그 주파수 대역을 사용하는 방식의 시스템을 Underlay 시스템이라고 한다. 본 논문에서는 Underlay 시스템 관점이 아닌 다른 관점에서 살펴보려 하는데 이는 바로 Overlay 시스템이다. Overlay System은 유저가 사용하고 있는 주파수 대역을 사용하지만 간섭을 최소화 하여 PU에 서비스를 보장하여 문제가 생기지 않게 하는 방식이다. 그 예를 들면 WPAN에서의 UWB개념과 비슷하다고 보면 된다.

참고로 UWB는 사용 전력을 $-41.3[\text{dBm}]$ 으로 규정하는데 이는 바로 통신을 할 목적이 아닌 전기기기, 면도기나 컴퓨터 같은 것들에서 나오는 전력이 바로 위의 값이기 때문이다.

이 논문에서는 CR환경에서 사용하는 일반적인 모델을 제시하고 SU하나일 경우와 여럿일 경우에서, PU의 SINR을 보장하는 선에서 SU가 사용할 수 있는 전력을 수식적으로 고찰하며, 이를 바탕으로 시뮬레이션 결과를 보이고, 이를 통해 결론을 맺겠다.

II. 본 문

2.1 일반적인 모델

같은 주파수를 사용하지만 피해를 주지 않는 전력을 사용하여 PU에 피해를 최소화 하는 것이다. 이는 바로 SU의 사용전력과 연관이 되어 있다. SU가 PU가 사용하는 같은 주파수를 대역을

사용한다고 할 때 SU가 사용하는 주파수 대역의 중심주파수는 변조 방법 등으로 인해 중심주파수가 미세한 차이를 보이게 되며 이의 척도를 직교성 인자로 표현한다. 즉 같은 주파수를 사용하면 측정된 전력이 두 배가 되지만 어느 정도 주파수가 떨어지면 그 사이의 주파수에 에너지가 분산이 되는 것이다. 이 분산된 만큼의 양이 PR쪽에 전달되어 PR쪽의 간섭량은 그림 1과 같이 그 만큼 줄어들게 된다. 직교성 인자는 0에서 1사이 값을 가지며 1에 가까울수록 같은 중심주파수를 사용한다는 뜻이며 0에 가까울수록 중심주파수와 멀리 떨어져 있다는 것을 뜻한다.

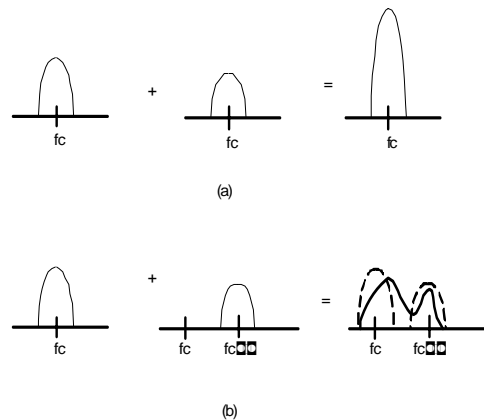


그림 1 (a) PU와 SU가 같은 중심 주파수를 사용
 (b) PU와 SU가 조금 다른 중심 주파수를 사용
 Fig. 1 (a) PU & SU use same center frequency
 (b) PU & SU use a little different center frequency

보통 PU의 QoS를 보장하는 척도 중 하나는 SNR과 SINR 개념을 사용하는데 SU에 의해 발생하는 간섭을 고려해야 하기에 SINR개념을 사용한다. 일반적으로 CR모델은 밑의 그림 2와 같이 제시되며, 사용되는 주파수 영역은 현재 TV 주파수로써 UHF와 VHF대역인 $52\sim 862[\text{MHz}]$ 이다.

PU는 PU의 기지국에서 서비스를 제공하는 영역 안에 있다고 가정하며 이 영역의 반경을 r_1 이라 하고, CR의 SU는 CR 기지국에서 서비스 하는 영역 안에 있어야 하며 이 영역을 r_2 라 하자.

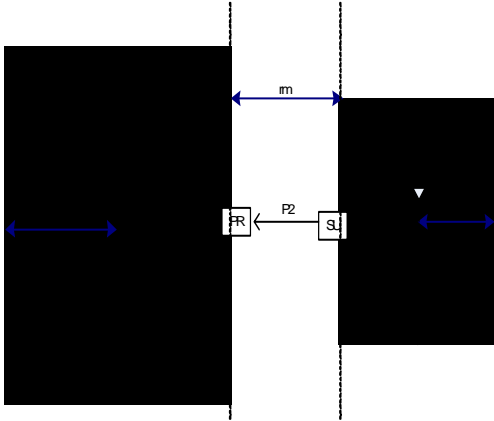


그림 2 CR의 일반적인 모델
Fig. 2 General model of CR

또한 이 영역은 PU의 영역과 어느 정도 거리를 두어야 하는 데 이 거리를 m 이라 하자. SU가 사용하는 전력을 P_2 라 하고, PU기지국에서 송출한 전력을 P_1 이라 하자.

PU의 영역 최외각에 있으며 SU의 최외각 사용자와 가장 가까이에 있는 PU를 PR이라 하면, SU가 사용할 수 있는 전력은 PR이 통신이 가능하게 되는 최소 SINR을 만족하는 선에서 P_2 를 활용해야 한다. 일반적으로 TV수신자는 일방적으로 전파만 수신하기에 PR에서 나오는 Power는 없다고 가정한다.

2.2 SU가 하나일 때의 허용 전력

여기에선 CR영역 안에 SU가 하나일 경우, 그리고 PU와 SU가 가장 가까운 거리에 있을 때, 최악의 상황을 고려하여 허용 가능한 전력에 대해 다루고자 한다.

수식을 전개하기 앞서, 일반적으로 수신전력은 거리의 α 승에 반비례하며 송신전력을 P 라 했을 때, 수신되는 전력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_r = Ar^{-\alpha}P_t \quad (1)$$

여기서 $Ar^{-\alpha}$ 은 바로 거리에 관한 감쇄 함수라 할 수 있으며, r 은 거리를 나타내며, A 는 송신안테나와 수신안테나 이득에 의해 결정된 상수이다.

또한 TV수신자가 요구하는 SINR은 보통 10[dB]이며 이 이상을 만족해야 PR은 간섭에 피해를 받지 않는다.

PU의 기지국에서의 파워를 P_1 , PU기지국과 PR사이의 안테나 이득상수와 감쇄계수를 각각 A_1, α_1 라 하고, ST의 파워를 P_2 , ST와 PR사이의 안테나 이득과 감쇄계수를 각각 A_2, α_2 라 하며, AWGN 잡음을 σ^2 , 직교성인자를 f 라 하자. 이때 PR의 SINR은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$SINR_{PR} = 10 \log \left(\frac{P_1 A_1 r_1^{-\alpha_1}}{\sigma^2 + f A_2 P_2 r_m^{-\alpha_2}} \right) \quad (2)$$

SINR을 만족 시키는 선에서 ST의 허용 전력을 결정해야 한다. 이 식을 P_2 에 관해 정리 하면 식은 다음과 같다.

$$P_2 = \frac{10^{-\frac{SINR_{PR}}{10}} P_1 A_1 r_1^{-\alpha_1} - \sigma^2}{f A_2 r_m^{-\alpha_2}} \quad (3)$$

여기서 구한 값이 바로 SU가 PR의 SINR을 보장할 수 있는 선에서 사용할 수 있는 최대 전력이다.

2.2 SU가 여럿일 때의 허용 전력

이번 장에선 SU가 하나가 아닌 여럿일 때 허용 전력에 대해 다루도록 하겠다. 이를 다루기 위해선 몇 가지 가정을 해야 하는 데 SU의 반경이 아주 크다고 하면, PR에서 SU영역의 최외각 경계면이 그림 3처럼 보이게 된다.

(4)와 같은 전력밀도를 생각해 볼 수 있는데, 이는 SU의 전력을 일정 값 이상 미치는 영역(S)으로 나누어준 값이다.

$$D = \frac{P_2}{S} \quad (4)$$

그렇다면 PR에서의 SINR은 다음과 같이 정리될 수 있다.

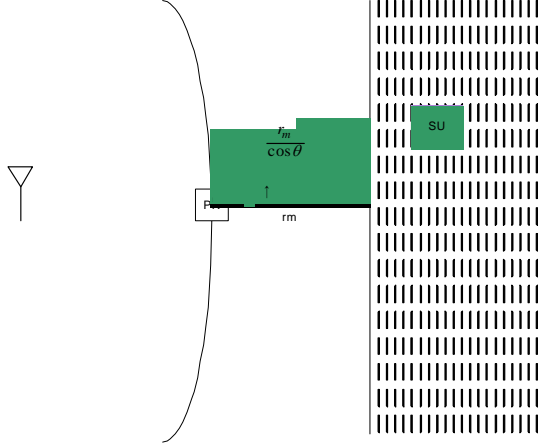


그림 3 : SU가 여럿일 때 환경
Fig. 3 A Condition in which some users exist

$$SINR_{PR} = 10 \log \left(\frac{P_1 A_1 r_1^{-\alpha_1}}{\sigma^2 + fP'} \right) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} P' &= \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_{\frac{r_m}{\cos \theta}}^{\infty} D(r_m)^{-\alpha_2} r dr d\theta \\ &= \frac{P_2}{S} \frac{r_m^{2-\alpha_2}}{\alpha_2 - 2} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} (\cos \theta)^{\alpha_2 - 2} d\theta \quad (6) \end{aligned}$$

수식 (5)와 수식 (6)을 이용해 정리해 주면

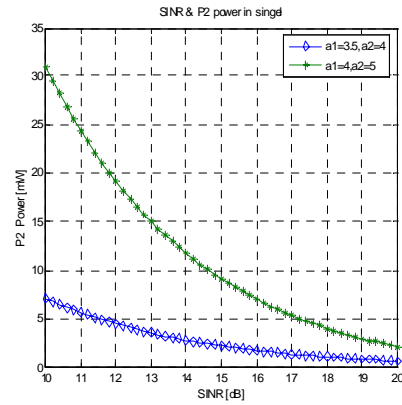
$$Q = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} (\cos \theta)^{\alpha_2 - 2} d\theta \quad (7)$$

$$P_2 = \frac{S \left(P_1 A_1 r_1^{-\alpha_1} 10^{\frac{SINR_{PR}}{10}} - \sigma^2 \right) r_m^{\alpha_2 - 2} (\alpha_2 - 2)}{fQ} \quad (8)$$

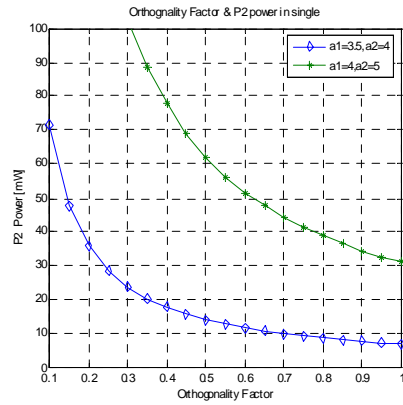
수식 (8)의 식이 바로SU가 여럿일 경우의 SU의 허용 최대 전력이 된다.

III. 모의 실험 및 검토

그림 4에서 PR의 요구하는 SINR이 변할 때와 PR이 요구하는 SINR을 10[dB]로 고정시키고 직교성인자(OF)를 0에서 1까지 변화시키면서 SU의 허용 전력에 대해 살펴보았다. 그림 4.(a)에 보는 것과 같이 PR의 요구하는 SINR값이 10~15[dB]로 증가함에 따라, 이때 허용 가능한 ST의 전력이 감소되는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 4.(b)는 PR의 SINR을 10[dB]로 고정을 시키고 직교성인자를 0에서 1로 변화시키기에 따라 허용 가능한 ST의 전력을 살펴보았다.



(a)



(b)

그림 4 SU가 하나일 때, (a) PR의 SINR에 대한 ST의 전력, (b) PR의 SINR=10dB인 경우 직교성인자에 따른 ST의 전력

Fig. 4 Single SU, (a) Power of ST vs. SINR of PR (b) Power of ST according to orthogonal factor when SINR of PR = 10dB

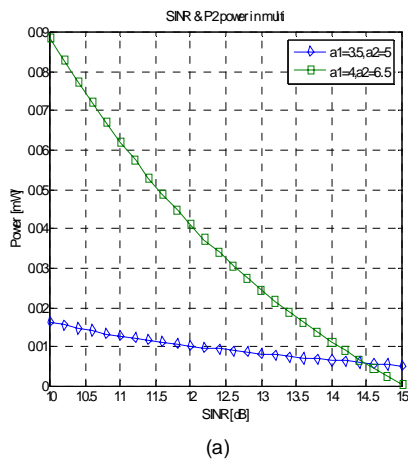
직교성 인자가 0은 PR과 주파수가 서로 달라 PR에 주는 피해가 거의 없을 때를 의미하며, 직교성 인자가 1인 상황은 사용 주파수가 완벽하게 일치했을 때를 의미한다.

그림 5.도 ST의 사용자를 여럿으로 확장했을 때를 가리킨다. 이와 같은 그림에서 보는 것과 같이 직교성 인자를 적절하게 취함에 따라 ST의 사용 전력이 유동적으로 쓰일 수 있음을 보였으며, 일정시간 스펙트럼 센싱을 하지 않는 경우나, PR의 주파수와 동일한 주파수를 사용하게 되는

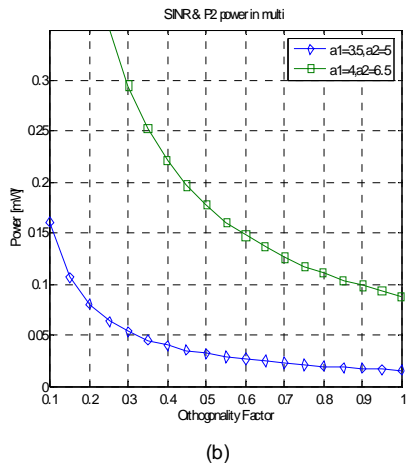
최악의 상황이 온다 할지라도 직교성인자와 적절한 전력을 취하여 서로 피해가 일어나지 않는 상황이 될 수가 있다.

IV. 결론

기존의 CR을 위한 전력처리기법에서는 SU, ST의 사용자 변화에 따라서 사용전력을 적응적으로 변화시켜야 하는 상황이었으며, 실제로 이러한 기술적 사항들은 해결하기 어려운 현실이었다. 하지만, 본 논문에서처럼 직교성 인자를 적절하게 취하면 SU의 사용 전력을 유동적으로 구할 수 있으며, 이는 PU와 같은 주파수를 사용할 때와 같이 최악의 경우에도 PR의 SINR을 보장할 수 있음을 확인 하였다. 그러나 여기에선 직교성인자와 관련된 중심주파수와 그에 따른 대역폭과 관련된 직교성인자계수 결정에 관해서는 자세하게 기술하지 않았으며 이 사항들은 추후 연구를 통해 규명될 것이다.



(a)



(b)

그림 5 SU가 여럿일 때, (a) PR의 SINR에 대한 ST의 전력, (b) PR의 SINR=10dB인 경우 직교성인자에 따른 ST의 전력

Fig. 5 Multiple SUs, (a) Power of ST vs. SINR of PR (b) Power of ST according to orthogonal factor when SINR of PR = 10dB

참고문헌

- [1] S. Haykin, "CR: Brain-empowered wireless communications," IEEE Journal. Selected Areas in Commun. vol.23m no.2, pp.202-220, Feb,2005
- [2] 정재학, 이원철 "Cognitive Radio 기술동향"
- [3] FCC, "Facilitating opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies, notice of proposed rule making and order", FCC 03-322. [Online]. Available: <http://hraunfoss.fcc.gov/edocs-public/attachmatch/FCC-03-322AI.pdf>
- [4] M. Marus, "Unlicensed cognitive sharing of TV spectrum", IEEE Comm. Mag, pp. 24-25, May 200
- [5] R. W. Broderson, A. Wolisz, D. Cabric, S. M. Mishra, and D. Willkomm.(2004) White paper: CORVUS: A cognitive radio approach for usage

of virtual unlicensed spectrum.
[6] FCC, "Spectrum Policy Task Force," ET Docket
no. 02-135, Nov. 200

[7] IEEE 802.22 Working Group on Wireless
Regional Area Networks, <http://www.ieee802.org/22/>

* 본 연구는 지식경제부 부품소재산업진흥원 부품소재기술개발사업 (주관기관 : 삼성전기, 위탁 기관 : 군산대학교)의 지원으로 수행된 것입니다.

— 저 자 소 개 —



조주필(정희원)

- 1992년 2월 : 전북대학교 정보통신공학과 학사
- 1994년 2월 : 전북대학교 전자공학과 석사
- 2001년 2월 : 전북대학교 전자공학과 박사
- 2000년 ~ 2005년 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 선임연구원
- 2006년 ~ 2007년 : 한국전자통신연구원 초빙연구원
- 2005년 ~ 현재 : 군산대학교 전자정보공학부 조교수

<주관심분야: 통신신호처리, WiBro, MMR, CR, MIMO-OFDM, UWB>