

# 인지 무선 네트워크에서 시스템 비용함수를 이용한 적응적 센싱주기

논문

61-2-20

## Sensing Period Adaptation using the Cost Function in the Cognitive Radio Networks

고 상\* · 박 형 근†

(Gao Xiang · Hyung-Kun Park)

**Abstract** - Cognitive radio has been recently proposed to dynamically access unused-spectrum. Since the spectrum availability for opportunistic access is determined by spectrum sensing, sensing is identified as one of the most crucial issues of cognitive radio networks.. The PHY-layer sensing, as a part of spectrum sensing in cognitive radio, concerns the sensing mechanism to determine channel to be sensed and to access. One of the important issues in the PHY-layer sensing control is to find an available sensing period and trade-off between spectrum sensing and data transmission. In this paper, we show the relationship between spectrum sensing and data transmission according to the sensing period. We analyze and propose the new scheme to evaluate optimal sensing period.

**Key Words** : Cognitive radio, PHY-layer sensing, Sensing control, In-band-sensing, Optimal sensing period

### 1. 서 론

무선 대역폭에 대한 요구가 급속히 증가함에 따라 스펙트럼 자원 부족 현상은 점점 더 심각해지고 있다. 이를 위해 유휴 스펙트럼을 기회적으로 활용하는 인지 무선 통신(Cognitive Radio) 방식은 잠재적인 미래 무선통신의 기술로 여겨지고 있고, 최근에는 이와 관련해 사용하지 않는 대역을 동적으로 접근하는 방법들이 많이 제안되었다[1][2]. 이때 유휴 스펙트럼에 기회적으로 접근하는 것은 스펙트럼 센싱의 성능에 의해 결정되므로, 스펙트럼 센싱은 인지무선 네트워크에서 가장 중요한 이슈라고 볼 수 있다.

스펙트럼 센싱은 PHY 계층 센싱과 MAC 계층 센싱의 2계층 메카니즘으로 이루어져 있다[3]. PHY 계층 센싱은 주 사용자 신호의 효율적인 탐지 및 식별에 초점을 맞추는 반면 MAC 계층 센싱은 센싱 시간과 어떤 채널을 센싱할 것인가 등의 문제를 비중있게 다루고 있다. 스펙트럼 센싱의 주 목적은 주 사용자에 대한 간섭 없이 더 많은 유휴 스펙트럼을 찾아내는 것이다. 이를 위해 PHY 계층 센싱에 있어서 한 가지 중요한 이슈는 센싱 제어가 될 수 있는데, 이 주제와 관련해서 본 논문에서는 in-band 센싱 환경에서 CR 사용자가 센싱 정확도를 달성하기 위해 얼마나 오래 그리고 자주 스펙트럼을 센싱해야 하는지에 대한 문제를 연구하고자 한다[4].

In-band 센싱 환경에서, CR 사용자는 데이터 전송을 하

는 와중에 주기적으로 채널을 모니터링하고 이때 주 사용자가 출현할 경우 이를 감지하여 충돌을 피하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 이러한 in-band 센싱 환경에서 적절한 주기적 센싱 구조를 밝혀내고자 한다.

### 2. 시스템 모델

본 논문의 CR 시스템에서는 채널 감지 기법으로 에너지 감지 기법을 사용하였다. 에너지 감지 기법은 노이즈 전력을 알고 있을 경우 최적의 신호 감지 기법이지만, 매치 필터 감지 방식에 비해 감지까지 시간이 오래 걸리며 노이즈 전력의 불확실성에 따라 성능이 많이 좌우된다는 문제점도 있다.

본 논문에서는 주사용자(primary user, PU) 트래픽 출현 확률이 독립적이고 동일하게 분포된(independent and identically distributed) ON/OFF 랜덤 프로세스를 따르는 것으로 가정하였다. 여기서 ON 및 OFF는 각각 채널이 PU에 의해 점유된 상태 및 유휴 상태를 의미하며, 식 (1)에서의 가설  $H_1$  및  $H_0$ 를 나타낸 것이다.

PU는 감지 기법은 현재 주사용자가 현재 채널을 사용하는지 아닌지를 결정하는데 사용되며, 아래 식 (1)과 같이 두 가지 가설로 수식화 할 수 있다[5].

$$x(t) = \begin{cases} n(t) & , H_0 \\ hs(t) + n(t) & , H_1 \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $s(t)$  및  $n(t)$ 는 각각 CR 사용자의 수신신호와 백색가우시안 노이즈(AWGN)를 의미하고,  $h$ 는 주사용자 및 CR 사용자 간의 채널 이득을 의미한다.  $H_0$ ,  $H_1$ 은 각각 채널의 idle 상태 및 busy 상태를 의미하는 가설을 나타낸다. 추가적으로 본 논문에서 센싱주기를 결정하는데 필요

\* 정 회 원 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수 · 공박

E-mail : hkpark@kut.ac.kr

접수일자 : 2011년 12월 19일

최종완료 : 2012년 1월 25일

한 중요한 요소들을 아래와 같이 정의하였다.

- $P_d$  : 채널 정확히 감지할 확률로써 채널이 busy일 경우 busy 또는 idle 상태일 경우 idle로 감지할 확률.
- $P_f$  : false alarm 확률로써 idle 채널을 busy로 감지할 확률
- $P_m$  : missing 확률로써 busy 채널을 idle로 감지할 확률

### 3. 최적 센싱 주기

ON-OFF 채널 모델에 따르면 4가지 케이스의 채널 센싱 시퀀스가 나올 수 있다. 본 논문에서 센싱 주기는  $T_p$ 는 항상 평균 ON 시간 구간 및 평균 OFF 시간 구간보다 길며, 한 센싱 구간동안 채널 상태가 두 번 이상 바뀌지 않는다고 가정하였다. 그림 1은 연속적인 채널 센싱에 대한 결과로 나타날 수 있는 채널 상태의 조합을 나타낸 것이다. S1 상태는 연속적인 채널 센싱 동안 항상 채널이 busy 상태일 경우를 나타내고, S2 상태는 채널 센싱 구간 동안 채널 상태에 busy에서 idle로 변한 경우를 나타낸다. S3는 센싱 구간 동안 채널상태가 idle에서 busy로 변한 경우를 나타내며 S4는 센싱 구간동안 채널 상태가 idle로 지속되는 경우를 나타낸다.

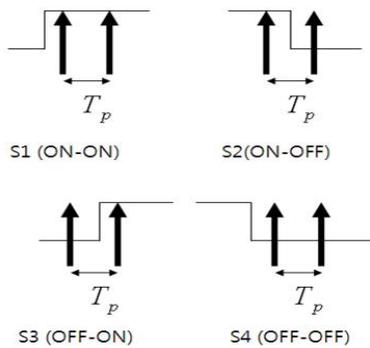


그림 1 ON-OFF 모델에서 4가지 형태의 센싱 결과  
Fig. 1 Spectrum sensing period four states in ON-OFF model

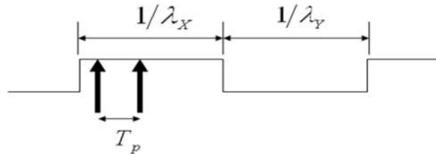


그림 2 센싱 주기와 평균 ON-OFF 시간  
Fig. 2 Sensing period and average ON-OFF time

각 4가지 경우가 나타날 확률을 구하기 위해서 평균적인 ON-OFF 시간 구간 동안 각 경우가 차지하는 시간구간의 길이를 계산해야 한다. ON 및 OFF 상태는 그림 2와 같이 각각 평균  $1/\lambda_x$  및  $1/\lambda_y$ 의 독립적인 지수분포를 따른다고 가정하였다.

그림 1에서 S1상태의 경우 전체 ON-OFF 시간 구간에서  $1/\lambda_x - T_p$  시간 구간 동안 나타날 수 있다. S2 및 S3의 경우엔  $T_p$  구간 동안 가능하고, S4의 경우  $1/\lambda_y - T_p$  구간동

안 지속될 수 있다. 여기서 각 상태의 시간 구간의 합은 평균 ON-OFF 시간 구간의 길이와 동일하다. 이를 통해 각 상태가 나타날 확률을 도출해보면 아래 식과 같다.

$$P_r(s1) = \frac{1/\lambda_x - T_p}{1/\lambda_x + 1/\lambda_y} \quad (2)$$

$$P_r(s2) = \frac{T_p}{1/\lambda_x + 1/\lambda_y} \quad (3)$$

$$P_r(s3) = \frac{T_p}{1/\lambda_x + 1/\lambda_y} \quad (4)$$

$$P_r(s4) = \frac{1/\lambda_y - T_p}{1/\lambda_x + 1/\lambda_y} \quad (5)$$

본 장에서 위에서 도출된 각 상태의 확률을 바탕으로, 센싱 주기에 따라 성능에 영향을 끼치는 요소인 평균 missing 시간과 평균 간섭 시간을 구하고자 한다.

먼저 평균 missing 시간은 활용하지 못한 유휴채널의 평균 시간 구간을 의미하는 것으로, 첫째로 busy 채널로 센싱하였지만 S2 경우와 같이 다음 센싱 이전에 채널 상태가 변하여 유휴채널을 놓치는 경우와 둘째로 S3 및 S4와 같이 채널이 idle 상태지만 busy 상태로 잘못 센싱하여 놓치는 경우로 나누어 볼 수 있다. 이 각각의 경우에 대한 시간 구간을 식으로 나타내면 식 (6) 및 (7)과 같다.

$$T_{m,s2} = P_r(s2) \frac{(T_p - T_s)}{2} \quad (6)$$

$$T_{m,err} = [P_r(s3) + P_r(s4)](T_p - T_s) \quad (7)$$

여기서  $T_s$ 는 센싱 시간으로 이 경우 순수하게 센싱 주기만을 고려하기 위해 센싱 주기에서 제외시켰다. 위 두 가지 경우를 합쳐서 전체 missing 시간 구간 및 이에 대한 정규화된 평균 missing 시간을 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$T_{m,avg} = P_d T_{m,s2} + P_f T_{m,err} \quad (8)$$

$$T_{ni,avg} = T_{m,avg} / T_p \quad (9)$$

평균 간섭 시간은 주사용자에게 간섭을 일으키는 평균 시간 구간으로, idle 채널을 센싱했지만 S3와 같이 다음 센싱 이전에 채널상태가 변하여 간섭을 일으키게 되는 경우와 S1 및 S2와 같은 busy 채널을 idle 채널로 잘못 센싱하여 발생하는 경우로 나누어 볼 수 있다. 이 각각의 경우에 대한 시간 구간을 식으로 나타내면 식 (10) 및 (11)과 같다.

$$T_{i,s3} = P_r(s3) \frac{(T_p - T_s)}{2} \quad (10)$$

$$T_{i,err} = [P_r(s1) + P_r(s2)](T_p - T_s) \quad (11)$$

위 두 가지 경우를 합친 전체 간섭 시간 구간 및 이에 대한 정규화된 평균 간섭시간은 아래와 같다.

$$T_{i,avg} = P_d T_{i,s3} + P_m T_{i,err} \quad (12)$$

$$T_{ni,avg} = T_{i,avg} / T_p \quad (13)$$

채널 센싱 시간으로 인해 손실되는 idle 구간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{ms} = P_d [P_r(s3) + P_r(s4)] T_s \tag{14}$$

$$T_{nms} = T_{nms} / T_P \tag{15}$$

위에서 구한 정규화된 missing 시간 및 정규화된 간섭시간을 이용하여 시스템 비용함수를 식 (16)과 같이 정의할 수 있다.

$$C = T_{nm,avg} + T_{nms} + T_{ni,avg} \tag{16}$$

위 식은 시스템의 요구에 따라 가중치를 달리 부여할 수 있다. 즉, 시스템이 주사용자에 대한 간섭보다 유휴 채널 활용을 더 중요시 한다면 missing 시간에 더 염두를 두고 반대의 경우 간섭시간에 가중치를 둘 것이다. 따라서 아래 식 (17)과 같이 시스템에 따라 다른 가중치를 부여할 수 있도록 식을 수정하였다.

$$C = \alpha(T_{nm,avg} + T_{nms}) + \beta T_{ni,avg} \tag{17}$$

위의 missing 시간 및 간섭시간은 센싱 주기 및 센싱 시간에 크게 좌우된다. 따라서 위의 비용 함수를 이용하여 최적의 센싱 주기를 찾고자 한다.

#### 4. 시뮬레이션과 결과분석

시뮬레이션을 위해 싱글 채널을 선택하고 noise rate  $\gamma$ 는 -18dB, 샘플링 주파수  $f_s$ 는 6MHz로 설정하였다. 시스템 요구치로  $P_d = 0.8$ ,  $P_f = 0.1$ ,  $T_s = 3ms$  로 고정하였고, 다양한  $\alpha$  및  $\beta$  값을 이용하여 센싱 주기에 따른 비용함수의 변화를 확인하고자 그림 3 그래프를 얻었다.

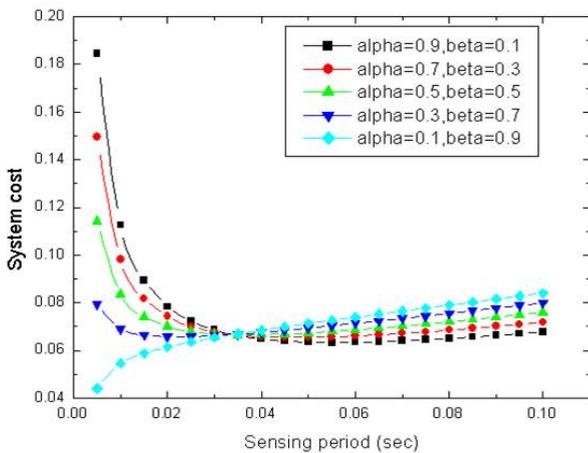


그림 3  $\alpha$ ,  $\beta$  값 및 센싱 주기에 대한 시스템 비용 변화  
 Fig. 3 System cost according to the sensing period base on different alpha and beta values

그림 3을 통해 다양한 가중치 값에 따른 시스템 비용의 최소값을 확인할 수 있다. 시스템이 적은 수치의 간섭을 요구할 때, 즉  $\beta$ 값이 높을 경우, 시스템 비용은 센싱 주기가 작을수록 낮은 값을 보였다. 이는 센싱 주기가 작을수록 PU를 발견할 확률이 높아지기 때문인 것으로 판단된다.

반면 시스템이 채널활용도를 높이기 위해 많은 수의 유휴채널을 요구할 때, 즉  $\alpha$ 값이 높을 경우, 이는 센싱주기가 비교적 클수록 낮은 비용 값을 나타내었다. 이는 센싱 주기가 클수록 상대적으로 센싱으로 소모되는 유휴채널이 줄고 더 많은 유휴채널을 데이터 전송을 위해 활용할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 주기가 어느 정도 커지면 시스템 비용이 다시 증가하기 시작하는데 이는 센싱 횟수가 적어질수록 idle 채널을 찾을 확률 또한 줄어들기 때문인 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 인지무선통신에서 주 사용자의 존재여부를 확인하기 위해 수행하는 주기적 채널 센싱에 있어 최적의 센싱주기를 도출하였다. 센싱주기에는 센싱의 정확도 및 간섭시간 등에 의해 결정된다. 본 논문에서는 missing 시간과 간섭시간에 대한 시스템 비용함수를 정의하고 이를 최소화하도록 센싱주기를 결정하는 방법으로 채널상황에 맞는 최적의 센싱 주기를 도출해내었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2011-0021164)

#### 참 고 문 헌

- [1] J. Mitola, G.Q. Maguire, "Cognitive radio: making software radios more personal", IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [2] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communication", IEEE J. Selected Areas in Communications, vol. 23, no.2, pp.201-220, Feb. 2005.
- [3] H. Kim, K.G. Shin, "Efficient discovery of spectrum opportunities with MAC-layer sensing in cognitive radio networks", IEEE transaction on Mobile Computing, vol. 7, no. 5, pp. 533-545, 2008.
- [4] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, and K. R. Chowdhury, "CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks," Ad Hoc Networks, vol. 7, no. 5, pp. 810 - 836, 2009.
- [5] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals", in Proceeding of IEEE 1967, vol.55, pp.523-531, Apr. 1967.