

# CR 시스템에서 Chaotic 예측기반 채널 센싱기법

## Chaotic Prediction Based Channel Sensing in CR System

고 상\* · 이 주 현\* · 박 형 근†  
(Gao Xiang · Juhyeon Lee · Hyung-Kun Park)

**Abstract** - Cognitive radio (CR) has been recently proposed to dynamically access unused-spectrum. Since the spectrum availability for opportunistic access is determined by spectrum sensing, sensing control is identified as one of the most crucial issues of cognitive radio networks. Out-of-band sensing to find an available channels to sense. Sensing is also required in case of spectrum hand-off. Sensing process needs to be done very fast in order to enhance the quality of service (QoS) of the CR nodes, and transmission not to be cut for longer time. During the sensing, the PU(primary user) detection probability condition should be satisfied. We adopt a channel prediction method to find target channels. Proposed prediction method combines chaotic global method and chaotic local method for channel idle probability prediction. Global method focus on channel history information length and order number of prediction model. Local method focus on local prediction trend. Through making simulation, Proposed method can find an available channel with very high probability, total sensing time is minimized, detection probability of PU's are satisfied

**Key Words** : Cognitive radio, Sensing control, Out-of-band sensing, Optimal channel selection

### 1. 서 론

무선 자원 사용이 증가함에 따라 주파수 자원의 효율은 중요한 문제로 대두되고 있다. 최근의 FCC의 관측에 의하면 평균적으로 15-85%의 주파수만이 사용되고 있다[1]. 인지무선통신(Cognitive Radio)은 사용하지 않는 대역을 동적으로 활용함으로써 이러한 주파수 자원 효율 문제를 해결할 수 있는 잠재적인 미래의 통신기술이라 할 수 있다[2]. 여기서 부사용자(Secondary user, SU)인 CR 사용자는 현재 주 사용자(Primary user, PU)가 사용하지 않는 유휴 채널(idle channel)를 탐색하여 사용하면서 주사용자에 대한 간섭은 최대한 피해야 한다. 이때 가능한 유휴채널을 최대한 빨리 탐색하여 주사용자가 현재 채널을 다시 점유하기 전에 다른 유휴채널을 활용하면 주사용자에 대한 간섭을 최대한 줄일 수 있으므로, 현재 사용하지 않는 대역인 out-of-band 센싱에서 유휴 확률이 높은 채널을 빠르게 찾는 기술이 중요하다.

CR 네트워크의 out-of-band 센싱 기술은 주로 Random search, Serial search 및 n-step serial search 등으로 나눌 수 있다. Random search는 802.22 표준에서 사용되는 일반적인 채널 탐색 기법으로 부사용자는 채널을 하나 선택하여 유휴 상태인지를 확인하고, 유휴하지 않을 경우 다른 채널을 랜덤하게 선택하여 확인한다. 이러한 과정은 유휴 채널을 찾을 때 까지 반복된다. Serial search 방식에서는 부

사용자가 유휴 채널을 발견할 때 까지 미리 정해진 순서대로 채널을 선택하여 유휴 여부를 확인한다. 만약 모든 채널을 다 확인해도 유휴채널이 발견되지 않을 경우 다시 처음 채널로 돌아가 순서대로 확인한다. n-step serial search의 경우 serial search에서 step 사이즈가 1보다 큰 경우를 일반화 한 것이다[3]. 하지만 위에 제시된 기법들의 경우 먼저 선택한 채널들이 계속 유휴하지 않을 경우 채널 탐색 시간이 지나치게 늘어날 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 채널 예측 기법을 활용하여 out-of-band 센싱에서 유휴 확률이 높은 채널을 우선적으로 선택함으로써 이러한 가능성을 줄여보고자 한다. 제안한 방식은 Chaotic 채널 예측 기법을 이용하여 채널을 유휴 확률이 높은 순서대로 정렬하고 그 순서에 따라 채널을 확인하는 것이다. 이 기법을 통해 전체 채널 탐색 시간이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

### 2. 채널 선택 모델

802.22 표준에는 후보 채널 리스트가 존재한다. 데이터를 전송하는 동안 주사용자가 다시 채널을 사용할 경우 CR 사용자는 다른 유휴 채널을 찾아서 데이터 전송을 유지해야 하고 이때 후보 채널 리스트를 활용한다. 802.22 표준의 채널 리스트는 랜덤하게 이루어져 있다. CR 사용자는 다른 유휴 채널을 찾을 때 까지 채널리스트의 채널들을 순서대로 탐색한다. 이때 전체 채널 탐색 시간은  $N \times T_{sense} \times T_{switch}$  이 되고, 여기서  $N$ 은 searching step,  $T_{sense}$ 는 각 채널의 센싱 시간 그리고  $T_{switch}$ 는 채널을 변경하는데 걸리는 시간이다. 여기서 searching step  $N$  즉, 얼마나 많은 채널을 탐색하는가가 탐색 시간에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 하지만 채널 탐색 순서가 랜덤하다면 채널 탐색시간은 불확실하다. 만약 탐색 순서에서 앞에 위치한 채널들이 busy할 확률이

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Electronic & communication Engineering, KoreaTech, Korea

E-mail : hkpark@koreatech.ac.kr

\* Dept. of Electrical Electronic & communication Engineering, KoreaTech, Korea

Received : October 23, 2012; Accepted : November 28, 2012

높다면 탐색시간은 비효율적으로 늘어날 수도 있다. 이때 채널을 미리 예측하여 유희할 확률이 높은 순서대로 채널을 탐색한다면 채널 탐색 시간을 확률적으로 줄일 수 있을 것이다. 전체 채널 탐색 시간은 (1)과 같이 나타낼 수 있다[4].

$$\sum_{i=1}^K (T_s(i) + F(\alpha, f_i, f_{i-1})) P_r(sw) \quad (1)$$

전체 채널 탐색시간은 expected 탐색 시간과 같다. 이는 각 채널의 센싱 시간  $T_s(i)$ , 채널  $f_{i-1}$ 가  $f_i$ 로 switching 할 때의 switching delay  $F(\alpha, f_i, f_{i-1})$  및 switching 확률  $P_r(sw)$ 로 이루어져 있다. 여기서 채널 switching delay  $F(\alpha, f_i, f_{i-1})$ 는 변경되기 이전 채널  $f_{i-1}$ , 변경된 현재 채널  $f_i$  및 technology factor  $\alpha$ 를 인자로 가지는 함수이다. 예를 들어, 선형 switching delay 함수는  $\alpha(f_i - f_{i-1}) + c$ 로 나타낼 수 있다. 여기서  $c$ 는 상수이다. 채널 switching 확률  $P_r(sw)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$P_r(sw) = P_{ri-1}(H_1) + P_{ri-1}(H_0) P_{fi-1} \quad (2)$$

여기서  $P_{ri-1}(H_1)$  과  $P_{ri-1}(H_0)$ 는 각각 채널  $i-1$ 이 busy 할 확률과 idle할 확률을 나타낸다. 또한  $P_{fi-1}$ 는 채널  $i-1$ 이 실제로는 idle하지만 busy로 판단할 확률 즉, false alarm 확률을 나타낸다. 즉, 이 식은 정확하든 잘못 판단되었든 이전 채널을 주사용자가 사용하는 것으로 판단하여 채널을 변경할 확률을 나타낸다. 위의 식에서 볼 수 있듯이 K의 값을 변경함으로써 전체 채널 탐색시간을 줄일 수 있다. 이를 위해서 후보 채널의 순서를 어떻게 결정하는 지가 중요한 문제가 될 수 있다.

### 3. CHAOTIC 예측 기반 센싱 채널 선택 기법

본 연구에서 유희 채널 예측을 위해 chaotic time series를 이용하였다. 전통적인 예측 기법은 일종의 수학적 확률 모델인 고정된 예측 모델을 설정하여 예측값을 계산한다. 하지만 chaotic 예측 기법은 이러한 정해진 형태의 예측 모델이 없이 주어진 데이터 자체에서 직접 예측값을 계산하는 것이 특징이다. 이는 예측 모델에 내재된 주관성을 배제하여 예측의 정확도와 신뢰성을 높일 수 있다[5]. chaotic 예측 기법은 크게 global 기법과 local 기법으로 나누어진다.

#### 3.1 Global 기법에 의한 예측

Global 예측은 채널 히스토리 정보의 길이와 예측 모델의 차수에 의해 결정된다. 채널 히스토리 정보의 길이가 길고 예측모델의 차수가 높을수록 정확도는 높아진다.

채널 히스토리 정보에는 가장 최근의 n개의 에너지 감지 결과가 저장되고, 이 히스토리에 저장된 정보 중 k 번째 값을  $x_k$ 로 정의하였다. 여기서 채널 예측 모델을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\widehat{x_{n+1}} = f(x_n) = a + bx_n + cx_n^2 + \dots + mx_n^n \quad (3)$$

여기서 n은 히스토리 정보의 길이,  $x_n$ 는 히스토리 정보에서 n번째 값이자 다음값 예측을 위해 필요한 현재값을 의미한다. 만약  $f(x_n)$ 의 각 계수  $a, b, c, \dots$ 의 값을 알면 다음 예측값  $\widehat{x_{n+1}}$ 를 예측할 수 있다. 따라서  $f(x_n)$ 의 각 계수를 구하기 위해 이전 히스토리 정보들을 이용하여 행렬식을 계산한다. 이때 각 행렬 A, B, C에는 (4)과 같은 정보가 들어가고,  $A = BC$ 라는 행렬식이 성립한다.

$$A = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_3 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n-1} & x_{n-1}^2 & \dots & x_{n-1}^n \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ \dots \\ m \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 행렬 A와 B에는 이전 히스토리 정보들이 들어간다. 각 항의 계수 C는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$C = (B^T B)^{-1} B A \quad (5)$$

에너지 레벨로 채널의 유희성을 판단하는 에너지 탐지 기법의 경우 위의 히스토리 정보는 각 채널의 수신 신호 크기가 될 것이고, 예측된 값이 임계값을 넘을 경우 주사용자가 있을 가능성이 높고, 아닐 경우 유희 채널일 가능성이 높을 것으로 예측될 것이다.

#### 3.2 Local 기법에 의한 예측

Local 기법은 전체 히스토리 정보를 이용하는 global 기법과 다르게 몇 가지 포인트(point)를 이용하여 히스토리의 지역적 경향을 예측한다. 현재 정보를 center 포인트, 히스토리 정보에서 center 포인트와 비슷한 값을 가지는 몇 가지 포인트를 지정해 이를 relevant 포인트(neighbor)로 두고 이들을 이용해 다음 값을 예측하는 것이다. 이러한 center 포인트와 relevant 포인트 간의 값의 차이가 적으면 적을수록 예측값이 neighbor들의 경향을 따라갈 확률이 커진다. 여기서 현재 정보는  $x_n$ 이라 할 때, 다음 값  $x_{n+1}$ 을 예측하기 위해, 히스토리 정보에서 현재값  $x_n$ 과 비슷한 값을 가진 총  $q$ 개의 포인트를 neighbor로 설정하고 이를  $R_i$ 로 정의하였다. 여기서  $R_i$ 는 neighbor 집합의 i번째 요소를 의미한다. 그리고 각 neighbor  $R_i$ 의 다음 값을  $S_i$ 로 설정하였다. 이때 여러 개의 neighbor 가운데 현재 포인트와 비슷한 값을 가진 neighbor에 더 많은 가중치를 주기 위해 다음과 같이 가중치  $p_i$ 를 정의하였다.

$$p_i = \frac{\exp(-\theta(d_i - d_{\min}))}{\sum_{i=1}^q \exp(-\theta(d_i - d_{\min}))}, \quad i=1,2,\dots,q \quad (6)$$

여기서  $d_i$ 는  $x_n$ 과 i번째 neighbor 간의 값의 차 즉,  $d_i = |x_n - R_i|$  이고,  $d_{\min}$ 은  $d_i$ 의 최소값을 의미하며, 일반적으로  $\theta=1$ 이다. 따라서 예측 모델은 다음과 같다. 여기서  $R_i$ 는 i번째 neighbor 값,  $S_i$ 는  $R_i$ 의 다음 값을 의미한다.

$$S_i = ae + bR_i, \quad i=1,2,\dots,q \quad (7)$$

여기서 행렬 연산을 위해  $e = (1, 1, \dots, 1)^T$ 로 설정하였다. 이때 예측값을 구하기 위해선 계수  $a$ 와  $b$ 값을 구해야 한다. 이를 위해 weighted least square 기법을 이용하여 다음과 같이  $a$ 와  $b$ 의 값을 구한다.

$$\sum_{i=1}^q p_i (S_i - a - bR_i)^2 = \min \quad (8)$$

식 (8)를 각각  $a$ 와  $b$ 에 대해 미분하면 식 (9)을 얻을 수 있다,

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^q p_i (S_i - a - bR_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^q p_i (S_i - a - bR_i) R_i = 0 \end{cases} \quad (9)$$

식 (9)을 통해  $a$ 와  $b$ 의 값을 계산한 후 이를 식 (10)에 대입하여 최종적으로 예측값을 구한다.

$$x_{n+1} = ae + bx_n \quad (10)$$

위의 Global 및 Local 두 가지 방법을 통해 수신 신호 크기를 예측하였다. Global 기법으로 각 채널의 모든 히스토리 정보를 이용하였고 이를 통해 global trend를 예측하였다. 한편 Local 기법에 따라 각 히스토리 정보의 neighbor 정보를 수집하여 local trend,를 예측하였다. 위 두 가지 예측값을 이용하여 각 채널의 idle 여부를 예측하고 idle 확률이 높은 채널 순서대로 채널 탐색을 하였다.

#### 4. 시뮬레이션과 결과분석

시뮬레이션에서 10개의 랜덤한 정보 sequence를 가정하였다. 이를 제안한 global 및 local 예측 기법에 따라 각 채널의 다음 값을 예측하였고 idle 확률에 따라 채널 선택 순서를 결정하였다. 시뮬레이션에서는 제안한 방식을 802.22 표준에서 사용하는 랜덤 채널 선택 후 serial 탐색 하는 기법과 비교하였다. 그림 1을 통해 두가지 방식 모두 각 채널

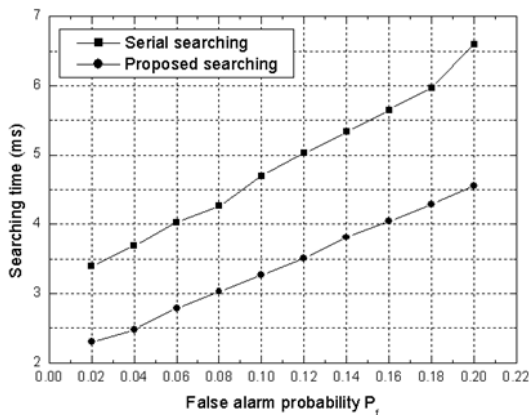


그림 1 false 알람 확률에 따른 탐색 시간 비교  
Fig. 1 Searching time according to the false alarm probability

의 false alarm 확률이 증가 할수록 총 탐색 시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 false alarm 확률이 커지면 busy 채널이 많아지기 때문에 채널 swich 확률 또한 증가하고 이는 전체 탐색 시간의 증가로 이어지게 된다. 또한 제안한 방식이 전반적으로 적은 채널 탐색시간을 가지는데 이는 채널 예측을 통해 idle 한 확률이 높은 채널을 먼저 선택하는 것이 채널 탐색 시간을 줄이는 데 효과적임을 나타내고 있다.

#### 5. 결 론

본 연구에서 out-of-band 센싱에서 효과적으로 채널 탐색 시간을 줄이는 방법에 대해 논의하였다. 기존의 802.22 표준에서 사용된 랜덤 채널 리스트를 serial search 하는 방식과 다르게 chaotic 채널 예측 기법을 이용하여 채널의 유희성을 미리 예측하고 유희 확률이 높은 채널을 먼저 탐색하는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 채널을 예측하여 탐색하는 기법이 전체 채널 탐색시간을 줄이는 데 효과가 있음을 증명하였다.

#### 감사의 글

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

#### 참 고 문 헌

- [1] FCC, Spectrum Policy Task Force Report, ET Docket no.02-155, Nov, 2002.
- [2] J. Mitola, G.Q. Maguire, "Cognitive radio: making software radios more personal", IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [3] Ling Luo, and Sumit Roy, "Analysis of search schemes in cognitive radio", in 2nd IEEE Workshop on Networking Technologies for Software Define Radio Networks, pp. 17-24, 2007
- [4] Ramzi Saifan, Ahmed E.Kamal, Yong Guan, "Efficient spectrum searching and monitoring in cognitive radio network", IEEE International Conference on MAHSS, pp.520-529, 2011
- [5] Jinhua Lv, Junan Lu, Shihua Chen, "Chaotic time series analysis and application", Wuhan University press, 2002