

# 효과적 채널 검색을 위한 채널 목록 기반 무선 인지 시스템

## Cognitive radio system based on channel list for efficient channel searching

이영두, 구인수  
Young-du Lee, In-soo Koo

**Abstract** - In this paper, we consider a cognitive radio system operating as secondary user. It uses an empty channel that is not currently used by primary users having the license to the channel. In the previous works, secondary user looks for an empty channel by choosing any channel in order or randomly and by sensing the channel to distinguish whether primary users are using. But if primary user is fixed type, we will find an empty channel faster than the mentioned channel selecting methods by using a method considering prior information about cases that primary user used the channel, since it is possible to analogize the channel access possibility of primary user according to regular time and position. Therefore, we propose a channel searching method based on the channel list for the purpose of reducing the channel searching time and improving throughput of secondary users. Firstly, we determine a weighting value of each channel based on the history of channel activities of primary users. This value is added to current channel state buffer and we search an empty channel from channel with smallest value to one with the biggest value. Finally, we compare the performances of the proposed method with those of the sequential channel searching and the random channel searching methods in terms of the average channel searching time and the average number of transmissions of secondary user.

**Key Words** : 무선 인지 시스템, 채널선택기법, 채널 목록, 기사용자, 2차 사용자

### 1. 서론

한정적 자원인 주파수의 고갈 현상은 무선 통신 기술의 빠른 발전과 이를 이용하는 사용자들의 다양한 서비스 요구로 인하여 빠르게 심화되고 있다. 미국 연방 통신 위원회(Federal Communication Commission)에서는 일시적으로 또는 지역적으로 변화하는 주파수의 평균 사용률이 약 15% - 85%이하로 조사 보고한 바 있다.[1] 이와 같은 유휴 주파수의 발생은 주파수 효율에 대한 새로운 인식을 불러 일으켰고, 주파수 재사용에 대한 대안 중 하나로 Joseph Mitola III에 의해 인지 무선(Cognitive Radio) 기술이 제안되었다[2]. 인지 무선 기술은 간단히 말해 기사용자들이 현재 사용하지 않는 빈 주파수 대역을 기사용자의 통신 품질을 100% 보장하는 범위 내에서 사용하여 통신을 수행하는 무선 통신 기술이다.

다양한 형태의 인지 무선 기술이 적용된 시스템들 중, ad-hoc 형태의 경우 인지 무선 시스템이 중앙 센터를 가지지 않으므로 스스로 사용하고자 하는 채널에 대해 기사용자의 사용 유무를 확인하고, 채널이 유휴 상태일 경우 해당 채널을 통하여 통신을 수행하며, 해당 채널이 기사용자에 의해 사용 중일 경우 유휴 채널을 찾을 때까지 같은 절차에 따라 다른 채널을 선택하여 검색한다[3][4].

이전 연구에서 고려된 2차 사용자들은 많은 경우 채널 찾기를 수행할 때, 순차적으로 또는 무작위로 채널을 선택하여 기사용자의 채널 사용 유무를 확인한다[3][4]. 하지만 이러한

방법은 다음에 비어 있는 채널을 찾기에 비효율적인 방법이다. 본 논문에서는 이전에 채널이 기사용자에 의해 사용된 경우를 고려하여 정검출(detection)과 오검출(false-alarm) 확률의 비만큼 수신된 기사용자의 SNR(signal to noise ratio) 값을 정량적으로 추출하여 그 값을 기반으로 채널 목록을 만들어 채널 찾기를 시도하는 방법을 제안한다. 제안된 방법의 목적은 더 짧은 채널 찾기 시간을 유도하는 것이며, 더 짧은 채널 찾기 시간을 가질 때 2차 사용자의 단위 시간당 전송 횟수는 더욱 커지고, 이로 인해 2차 사용자의 평균 전송률(the average throughput)은 당연히 높아 질 것이다. 제안된 방법의 성능을 알아보기 위하여 단위 시간당 전송 횟수와 평균 채널 찾기 시간의 관점에서 순차적 채널 선택 방법과 무작위 채널 선택 방법과 비교하여 실험하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문이 고려한 시스템 환경을 설명하고, 3장에서 제안하는 이전에 채널이 기사용자에 의해 사용된 경우를 고려한 채널 목록 기반 채널 선택 방법을 설명할 것이다. 그리고 4장에서 시뮬레이션 결과를 확인하고, 5장에서 결론을 보일 것이다.

### 2. 시스템 환경

본 논문에서는 기지국과 같은 중앙 센터를 가지지 않는, 이동 가능한 2차 사용자를 고려하였다. 그림 1은 2차 사용자의 채널 사용시 동작 순서를 보여 준다. 2차 사용자는 일정한 시간 주기  $T_p$  단위로

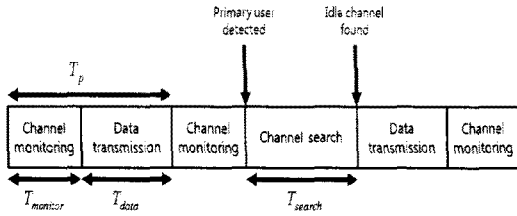


그림 1. 2차 사용자의 채널 사용시 동작 순서

동작하면서 채널 관측 시간인  $T_{monitor}$  시간동안 자신이 사용하는 채널에 기사용자가 출현 했는지를 검색하고, 채널이 비어 있음을 확인할 때,  $T_{data} = T_p - T_{monitor}$  시간동안 데이터 전송을 수행한다. 반면에 기사용자의 채널 사용을 검출하게 되었을 때 현재 채널 사용을 중지하고, 다른 빈 채널로 이동하기 위하여 채널 찾기를 수행한다.

본 논문에서 기사용자 검출을 위해 2차 사용자는 신호 검출기 (the energy detector)를 사용한다. 고려된 신호 검출기는 그림 2와 같은 동작 순서를 가지며, 수신되는 신호는 식(1)과 같이 정의 될 수 있다.

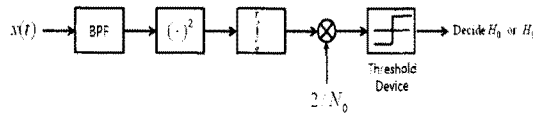


그림 2. 신호 검출기의 블록 다이어그램

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

식(1)에서  $x(t)$ 는 2차 사용자가 수신한 신호를 의미하며,  $s(t)$ 는 기사용자가 송신한 신호를 의미한다.  $n(t)$ 는 백색 가우시안 잡음 (the additive white gaussian noise),  $h$ 는 채널 이득을 의미한다.

2차 사용자에게 의해 수신된 신호의 SNR이  $\gamma$ 일 때, 신호 검출기에 의한 오검출 확률( $P_f$ )과 정검출 확률( $P_d$ )은 다음과 같이 계산 할 수 있다[5].

$$P_f = P\{Y > \lambda | H_0\} = \frac{1}{2} \text{Erfc} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\lambda - 2TW}{\sqrt{4TW}} \right) \quad (2)$$

$$P_d = P\{Y > \lambda | H_1\} = \frac{1}{2} \text{Erfc} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\lambda - 2TW(\gamma+1)}{\sqrt{4TW(2\gamma+1)}} \right) \quad (3)$$

여기에서  $\text{Erfc}(\cdot)$ 는 complementary error function이다.

본 논문에서는 채널 찾기를 수행하기 위해 다음 채널을 선택 할 때 대상 채널들이 기사용자에 의해 사용된 경우를 고려하기 위하여 기사용자의 채널 사용 모델이 필요하며, 이 모델은 지수 분포 확률을 가지는 ON/OFF 모델을 사용하였다.

각  $\pi_{xy}(t)$ 는 시간  $t$  이후에 기사용자가 채널을 사용하는 ON 상태와 사용하지 않는 OFF 상태를 이동하는 확률을 나타내며,  $x$ 는 이전의 채널 사용 상태가 ON 또는 OFF 인지,  $y$ 는 현재 채널 사용 상태를 의미한다.

$$\pi_{00}(t) = \frac{\mu_{ON}}{\mu_{ON} + \mu_{OFF}} + \frac{\mu_{OFF}}{\mu_{ON} + \mu_{OFF}} e^{-(\mu_{ON} + \mu_{OFF})t} \quad (4)$$

저자 소개

李榮斗 準 會 員 : 蔚山大學 電氣電磁學科 博士課程

具忍洙 正 會 員 : 蔚山大學 電氣電磁學科 副教授 · 工博

$$\pi_{11}(t) = \frac{\mu_{OFF}}{\mu_{ON} + \mu_{OFF}} + \frac{\mu_{ON}}{\mu_{ON} + \mu_{OFF}} e^{-(\mu_{ON} + \mu_{OFF})t} \quad (5)$$

$$\pi_{01}(t) = 1 - \pi_{00}(t) \quad (6)$$

$$\pi_{10}(t) = 1 - \pi_{11}(t) \quad (7)$$

### 3. 채널 목록 기반 채널 선택

참고문헌 [3][4]에서는 2차 사용자가 기사용자를 검출한 후, 다른 비어 있는 채널을 찾기 위하여 채널 찾기를 시도할 때, 순차적으로 또는 무작위로 채널을 선택하였다. 하지만 이와 같은 방법은 다음 비어 있는 채널을 빨리 찾을 때 비효율적이다. 그러므로 본 논문에서는 다음 비어 있는 채널을 좀 더 빨리 찾기 위하여 이전에 기사용자가 채널을 사용한 경우들을 고려하여 채널 목록을 만들어 다음 채널 선택시 이용하는 방법을 제안한다.

$$K = \frac{P_d}{P_d + P_f} \cdot SNR \quad (8)$$

제안하는 방법은  $T_{monitor}$  후, 기사용자가 검출되면 식(8)을 통해 가중치 값,  $K$ 를 계산하여 해당 채널에 대한 가중치 값을 저장하는 버퍼에 저장하고, 다음 채널 선택시 버퍼에 저장된 채널 상태 값이 가장 적은 순서로 채널을 선택하는 것이다. 예를 들면, 기사용자의 수가 4이고, 각 기사용자들을 위해 하나의 전용 채널이 존재할 때 전체 채널의 수는 4가 된다. 이때 2차 사용자는 전체 채널의 수를 알고 있는 것으로 가정되며, 그러므로 버퍼의 수는 4가 된다. 모든 버퍼들의 초기값은 0이다. 일정한 시간 후, 버퍼 1과 3이 식(8)에 의해 10.4와 6.7의 가중치 값을 추가로 가지게 될 때 버퍼 1 = 10.4, 버퍼 2 = 0, 버퍼 3 = 6.7, 버퍼 4 = 0의 값을 가지게 된다. 그리고 이 값들을 기반으로 작은 순서대로 채널 목록을 만들면 순서는 버퍼 2, 4, 3, 1이 되고, 2차 사용자는 채널 찾기 시 목록의 순서대로 채널을 선택하여 빈 채널을 찾는다.

식(8)에서  $\frac{P_d}{P_d + P_f}$ 항은 신호 검출기가 수신된 신호가  $H_1$ 임을 판단한 상태에서 옳게  $H_1$ 을 판단한 경우의 비를 나타내며, 여기에 수신된 신호의 SNR 값을 곱하여 전체 SNR 값 중에서 옳게 검출한 경우의 비율만큼만 실제 기사용자에 의한 채널 점유 가능성으로 인정하는 정규화가 수행된다. 또한 수신된 SNR 값은 경로 손실을 고려할 때 2차 사용자와 기사용자의 거리를 추정 할 수 있게 해줌으로 수신된 SNR이 더 큰 값을 가질수록 2차 사용자와 기사용자 사이의 거리가 더 짧음을 나타내며, 다음에 해당 채널에 기사용자가 나타날 확률이 더 높음을 나타낸다. 2차 사용자와 기사용자 사이의 거리가 짧을수록 2차 사용자가 기사용자에 간섭자로 동작할 확률이 높아지므로 SNR 값을 고려한 결과적인 가중치 값들 중에서 작은 값을 가지는 채널을 선택하는 것이다.

### 4. 시뮬레이션 환경 및 결과

시뮬레이션은 2차 사용자가 채널 찾기 시 순차적인, 무작위의, 그리고 제안된 방법의 채널 선택시 채널 찾기 시간과 단위 시간당 평균 전송 횟수가 어떻게 변하는지를 보기 위하여 수행되었다.

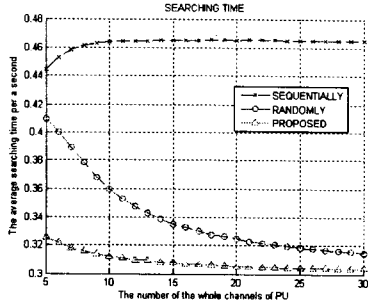


그림 4. 기사용자 채널 개수에 따른 2차 사용자의 평균 채널 찾기 시간

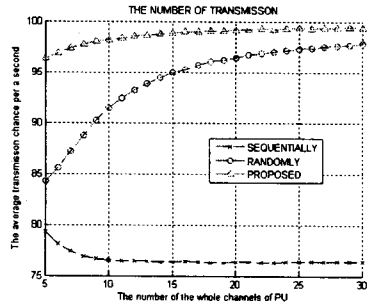


그림 5. 기사용자 채널 개수에 따른 2차 사용자의 평균 전송 횟수

그림 4는  $W = 100$  kHz,  $T_p = 10$  ms,  $T_{monitor} = 3$  ms,  $T_{data} = 7$  ms 일 때 기사용자의 수를 5에서 30까지 1씩 증가시키며 관측한 평균 채널 찾기 시간 비율을 나타낸다. 전체 존재하는 채널의 개수는 기사용자의 수와 동일하다 가정한다. 그림 4에서 보는 바와 같이 제안된 채널 선택 방법이 모든 경우에서 가장 작은 채널 찾기 시간 비율을 가짐을 알 수 있다. 순차적인 경우(sequentially) 전체 채널의 개수가 10이 넘어가면 일정한 값으로 유지되는데 이것은 기사용자가 각 채널을 점유할 확률이 지수 분포를 따르고, 10 이상부터 빈 채널이 거의 언제나 한 개 이상 존재하기 때문이다.

그림 5는 그림 4와 동일 환경에서 관측한 초당 평균 전송 횟수를 나타낸다. 이미 그림 4를 통해 예상되어지는 것과 같이, 더 짧은 채널 찾기 시간을 가질수록 더 많은 전송 기회를 가질 수 있음을 알 수 있다.

그림 6은  $W = 100$  kHz,  $T_p = 10$  ms, 기사용자의 수는 10 일 때  $T_{monitor}$  를 1ms에서 9 ms까지 0.01ms 씩 변화시키며 관측한 초당 평균 채널 찾기 시간 비율이다. 그림에서 제안된 방법은  $T_{monitor}$  의 변화에 대해 선형적 형태의 그래프를 그려냄을 알 수 있으며, 이것은 제안된 방법이  $T_{monitor}$  에 대해 일정한 비율로 채널 찾기 시간을 유도함을 추측할 수 있다.

그림 7은 그림 6과 동일 환경 하에서 관측한 초당 평균 전송 횟수를 나타낸다. 제안된 방법이 모든 경우에서 가장 많은 전송 기회를 획득함을 알 수 있다. 이는 다른 경우들과 비교해 훨씬 짧은 채널 찾기 시간을 가지는 제안된 방법이 빠른 채널 찾기로 인해 더 많은 전송 기회를 획득하기 때문이며, 비록  $T_{monitor}$  의 증가로 더 정확한 채널 센싱이 이뤄지지만 역으로  $T_{data}$  의 시간이 줄어들게 되어 더 열악한 전송 환경을 가짐으로써 채널 찾기 시간의 길이에 대한 전송 횟수의 의존도가 더 높아져 다른 경우보다 더 짧은 채널 찾기 시간을 가지는 제안된 방법이 훨씬 더 많은 전송 기회를 가지게 되는 것이다.

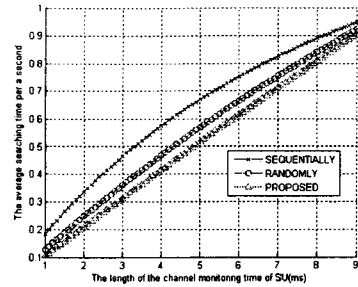


그림 6.  $T_{monitor}$  의 길이 변화에 따른 2차 사용자의 평균 채널 찾기 시간

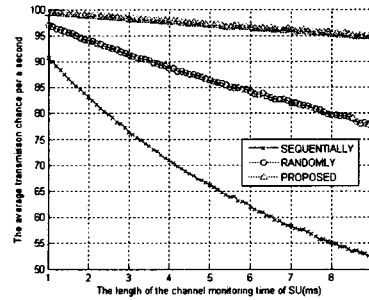


그림 7.  $T_{monitor}$  의 길이 변화에 따른 2차 사용자의 평균 전송 횟수

### 3. 결 론

본 논문은 독립형 무선 인지 시스템에서 사용중인 채널에 기사용자가 검출되어 다른 빈 채널로 이동해야 할 때 좀 더 빠른 채널 센싱을 위하여 이전에 채널이 기사용자에 의해 사용된 경우를 고려하여 채널 목록을 만들어 다음 빈 채널 검색시 채널 선택 방법으로 적용하는 방법을 제안하였고, 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 방법이 더 짧은 채널 찾기 시간과 더 많은 평균 전송 횟수를 유도함을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김창주, 임차식, "Cognitive Radio 기술 및 표준화 동향", 한국 전자과학기술회, 전자과 기술 제19권, 제2호, 페이지 23-29, 2008
- [2] J. Mitola et al., "Cognitive radio: Making software radios more personal," IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, page 13 - 18, August 1999
- [3] Amir Ghasemi, Elvino S. Sousa, "Optimization of Spectrum Sensing for Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks", Consumer Communications and Networking Conference, 2007. 4th IEEE, page 1022-1026, Jan. 2007
- [4] Kyoungwan Lee, Aylin Yener, "Throughput Enhancing Cooperative Spectrum Sensing Strategies for Cognitive Radios", ACSSC 2007, page 2045-2049, Nov. 2007
- [5] Harry Urkowitz, "Energy Detection of Unknown Deterministic Signals", Proceedings of IEEE, vol. 55, page 523-531, April 1967

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임