

---

# 독립형 무선 인지 시스템에서 채널 목록 기반의 효과적 채널 검색

이영두\* · 구인수\*\*

An efficient channel searching method based on channel list for independent  
type cognitive radio systems

Young-doo Lee\* · In-soo Koo\*\*

---

이 논문은 지식경제부/울산광역시 지원 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구센터의 지원에 의한 것임

---

## 요 약

독립형 무선 인지 시스템은 보통 채널에 대한 면허를 가지는 기사용자가 사용하지 않는 빈 채널을 사용하는 2차 사용자로서 동작한다. 기존연구에서는 이와 같은 2차 사용자가 가용한 채널을 찾을 때, 순차 혹은 무작위로 채널을 선택하여 기사용자의 사용 유무를 확인하였다. 하지만 이러한 방법은 무선 채널의 특성에 맞지 않다. 그러므로 본 논문에서는 이전에 채널을 기사용자가 사용한 경우를 고려하여 가중치 값을 결정하고, 각 채널별 상태 값 중에서 작은 순서대로 채널을 선택함으로써 빈 채널을 찾는 데 소요되는 시간을 줄이는 방법을 제안하고, 2차 사용자의 평균 채널 찾기 시간과 평균 전송 횟수의 관점에서 순차적, 무작위적 방법과 그 성능을 비교 분석 한다.

## ABSTRACT

In this paper, we consider an independent type cognitive radio system where secondary users can utilize empty channels that are not currently used by primary users having the license to these channels. In the previous works, secondary users search channels sequentially or randomly to detect activities of primary user on channels. These channel searching methods however are not suitable to the characteristics of the wireless environment. Therefore, we propose a channel searching method based on the channel list for the purpose of reducing the channel searching time and improving the throughput of secondary users. In the proposed method, we firstly determine weighting value of each channel based on the history of channel activities of primary users and add the weighing value to current channel state buffer. And then, 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 average channel searching time and average number of transmissions of secondary user.

## 키워드

cognitive radio, channel selection method, channel list, primary user, secondary user

---

\* 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 박사과정

접수일자 2009. 01. 29

\*\* 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수 (교신저자)

심사완료일자 2009. 03. 30

## I. 서론

무선 통신 기술의 빠른 발전과 이를 이용하는 사용자들의 다양한 서비스 요구로 인하여 한정적 자원인 주파수의 고갈 현상이 심화되고 있다. 이와 같은 상황에서 미국의 연방통신위원회(Federal Communication Commission)에서는 주파수의 실제 사용률에 대한 연구가 이루어진 바 있는데 일시적으로, 지역적으로 변화하는 주파수의 평균 사용률이 약 15% - 85% 이하로 확인되었다[1-2]. 이는 면허(license)를 가지고 주파수를 사용하는 기사용자(primary user)들이 항상 그 주파수를 사용하는 것이 아니라 시간과 지역에 따라 주파수를 사용하지 않는 경우가 있음을 의미한다. 이와 같은 유휴 주파수의 발생은 주파수 효율에 대한 새로운 인식을 불러 일으켰고, 주파수 재사용에 대한 대안 중 하나로 Joseph Mitola에 의해 무선 인지(Cognitive Radio) 기술이 제안되었다[3]. 무선 인지 기술은 전파 환경을 판단하여 특정 주파수 대역의 사용 유무를 판단하고 가장 적합한 주파수 대역을 결정하여 통신을 수행한다. 그러므로 무선 인지 기술은 사용하고자 하는 주파수 대역에서 면허를 가지고 있는 기사용자들이 사용하지 않는 유휴 주파수를 찾아내어 통신을 수행하며, 동적 주파수 할당 기술을 이용하여 기사용자들이 해당 주파수를 사용하고자 할 때 다른 비어 있는 주파수 대역으로 통신 채널을 옮김으로써 기사용자들의 통신 품질을 보장하는 범위에서 데이터 통신을 수행한다.

다양한 형태의 무선 통신 시스템에 적용 가능한 무선 인지 기술은 기지국과 같은 중앙 센터를 가지는 셀룰러 형태와 개별적이고 독립적으로 동작하는 ad-hoc 형태로 분류할 수 있다. 전자의 예로는 무선 인지 기술이 적용된 첫 표준인 IEEE 802.22 WRAN(wireless regional area network)이 있다[4]. 이와 같은 중앙 센터가 존재하는 셀룰러 형태의 무선 인지 시스템은 기본적으로 중앙 센터가 자신의 통신 영역 안에 있는 무선 인지 노드들에게 사용할 채널을 할당해 주고, 또한 각 노드들로부터 기사용자의 채널 사용 정보를 입수하여 기사용자가 사용하는 채널을 노드들이 사용하지 않도록 채널 할당에 반영한다[5,6]. 후자의 경우, 무선 인지 시스템은 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 사용중일 경우 유휴 채널을 찾을 때까지 다른 채널을 선택하여 동일한 방법으로 검색한다[7,8]. 또한 ad-hoc 형태는 보통 유한한 에너지를 가지는 이동 가능한 2차 사용자로 고려되며, 자신이 사용하고자 하는 내부 대역(in-band) 검색을 위해 채널 관측(channel monitoring)을, 비어 있는 채널을 찾기 위해 계속해서 다른 채널을 선택하여 채널 검색을 수행하는 채널 찾기(channel searching)를 수행한다[7].

이전 연구에서 고려된 2차 사용자들은 공통적으로 채널 찾기를 수행할 때, 순차 혹은 무작위로 채널을 선택하여 기사용자의 채널 사용 유무를 확인한다[7,8]. 하지만 이러한 방법은 다음에 비어 있는 채널을 찾기에 비효율적인 방법이다. 이에 반해 [9]에서는 이전에 기사용자가 채널을 사용한 횟수를 확률적으로 고려하여 다음 채널을 선택함으로써 더 나은 채널 찾기를 보여 주었다. 본 논문에서는 2차 사용자가 비록 이동이 가능하지만 기사용자의 전송 범위가 충분히 크다고 가정 할 때 기사용자로 인해 겪게 되는 채널 변경의 비율은 2차 사용자의 이동에 의해 크게 달라지지 않을 것이므로, 특정 지역에 위치한 2차 사용자가 기사용자를 검출할 채널은 다른 채널들에 비해 훨씬 자주 기사용자에 의해 사용될 것이라는 사실을 바탕으로 이전에 채널이 기사용자에 의해 사용된 경우를 고려하되 정검출(detection)과 오검출(false-alarm) 확률의 비에 의한 수신된 기사용자의 SNR(signal to noise ratio)값을 정량적으로 추출하여 그 값으로 채널 목록을 만들어 채널 찾기를 시도하는 방법을 제안하고, 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 채널 목록 기반 채널 선택 방법을 설명할 것이다. 그리고 4장에서 시뮬레이션 결과를 확인하고, 5장에서 결론을 보일 것이다.

## II. 시스템 환경

본 논문에서는 기지국과 같은 중앙 센터를 가지지 않으며, 이동 가능한 2차 사용자를 고려하였다. 그림 1은 2

차 사용자의 채널 사용시 동작 순서를 보여 주며, 또한 2 가지 형태의 채널 사용 경우를 도시하는데, 첫 번째 경우는 일반적인 경우로 일정한 시간 주기  $T_p$  단위로 동작 하면서 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 수행하는 것이다. 두 번째 경우는 채널 관측 시간  $T_{monitor}$  동안 채널 검색 후, 기사용자의 채널 사용을 검출하게 되었을 때 현재 채널 사용을 중지하고, 다른 빈 채널로 이동하기 위하여 다른 채널의 기사용자 사용 유무를 확인하고 비어 있을시 그 채널로 이동하는 동작을 수행하는 것이다.

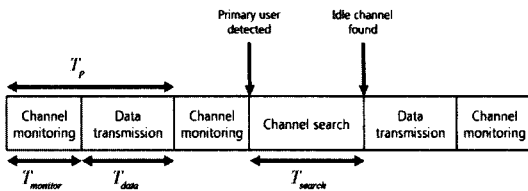


그림 1. 2차 사용자의 채널 사용시 동작 순서  
Fig. 1 Operation sequence of secondary users to order to use channel

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.

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

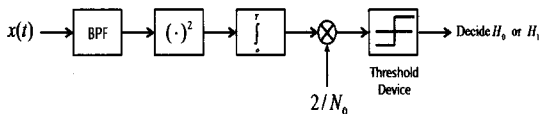


그림 2. 신호 검출기의 블록 다이어그램  
Fig. 2 Block diagram of energy detector

식(1)에서  $x(t)$ 는 2차 사용자가 수신한 신호를 의미

하며,  $s(t)$ 는 기사용자가 송신한 신호를 의미한다.  $n(t)$ 는 백색 가우시안 잡음(the additive white gaussian noise),  $h$ 는 채널 이득을 의미한다. 그림2에서 2차 사용자의 신호 검출기는 대역 통과 필터(Band-Pass Filter)를 통해 특정 대역  $W$ 만을 통과시키고, 수신 에너지를 측정하기 위하여  $(\cdot)^2$ 을 수행한다. 그리고 integrator를 이용하여 특정 시간  $T$  동안의 수신 에너지를 도출, threshold  $\lambda$  값과 비교하여 기사용자에 의한 채널 사용 유무를 확인한다.

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[10].

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

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

여기에서  $\operatorname{Erfc}(\cdot)$ 는 complementary error function이다. 본 논문에서는 채널 찾기 시 채널이 기사용자에 의해 사용된 경우를 고려하기 위하여 기사용자의 채널 사용 모델이 필요하며, 이 모델은 참고문헌 [7]에서와 같이 지수 분포 확률을 가지는 ON/OFF 모델을 사용하였다.

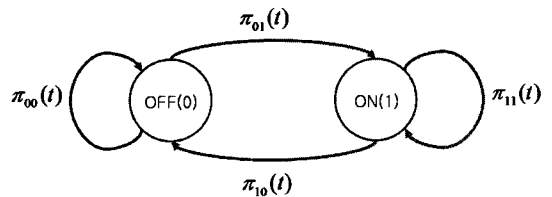


그림 3. 기사용자의 채널 사용에 대한 ON/OFF 모델  
Fig. 3 ON/OFF model for channel activity of primary user

그림 3에서와 같이 각  $\pi_{xy}(t)$ 는 시간  $t$  이후에 기사용자가 채널을 사용하는 ON 상태와 사용하지 않는 OFF 상태를 이동하는 확률을 나타내며,  $x$ 는 이전의 채널 사

용 상태가 ON 또는 OFF 인지,  $y$  는 현재 채널 사용 상태를 의미한다.

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

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

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

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

### III. 채널 목록 기반 채널 선택

2차 사용자는 현재 사용중인 채널을 주기적으로 검색하여 해당 채널을 기사용자가 사용하는지를 확인하며, 기사용자의 사용이 검출될 시 즉시 그 채널을 비워주어야 한다. 그리고 자신의 데이터 전송을 위하여 다른 비어 있는 채널을 찾아서 다시 데이터 전송을 시도한다. 이러한 동작을 참고문헌 [7,8]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 찾는 데 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 신호

가  $H_1$  임을 판단한 상태에서 옳게  $H_1$ 을 판단한 경우의 비를 나타내며, 여기에 수신된 신호의 SNR 값을 곱하여 전체 SNR 값 중에서 옳게 검출한 경우의 비율만큼 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 확률은 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.

### IV. 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 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. 기사용자는 자신만의 고유한 채널을 가지는 것으로 가정하였기에, 전체 존재하는 채널의 개수는 기사용자의 수와 동일하다. 평균 채널 찾기 시간 비율은 1초당 채널 찾기 시간이 차지는 하는 비율을 의미하며, 그림4에서 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.

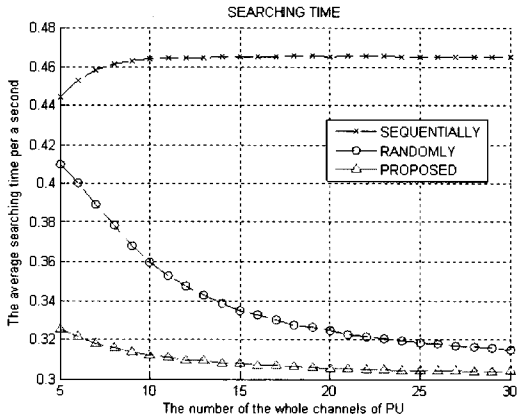


그림 4. 기사용자의 전체 채널 개수 변화에 따른 2차 사용자의 평균 채널 찾기 시간  
Fig. 4 Average channel searching time of a secondary user according to the number of primary user channels

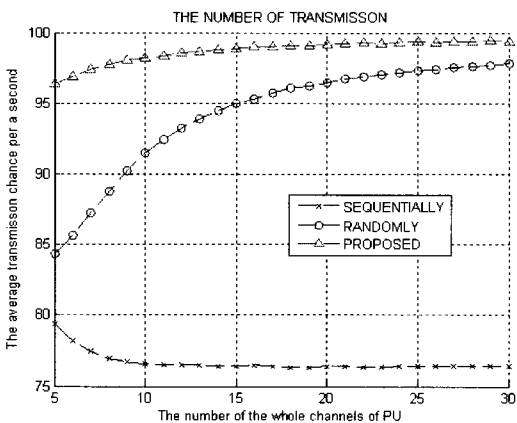


그림 5. 기사용자의 전체 채널 개수 변화에 따른 2차 사용자의 평균 전송 횟수  
Fig. 5 Average transmission number of a secondary user according to the number of primary user channels

그림 5는  $W = 100$  kHz,  $T_p = 10$  ms,  $T_{monitor} = 3$  ms,  $T_{data} = 7$  ms 일 때 기사용자의 수를 5에서 30까지 1씩 증가시키며 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. 그리고 더 많은 평균 전송 횟수는 동일한 채널 환경하에서 2차 사용자의 평균 전송율을 증가시킬 것이 또한 자명하다.

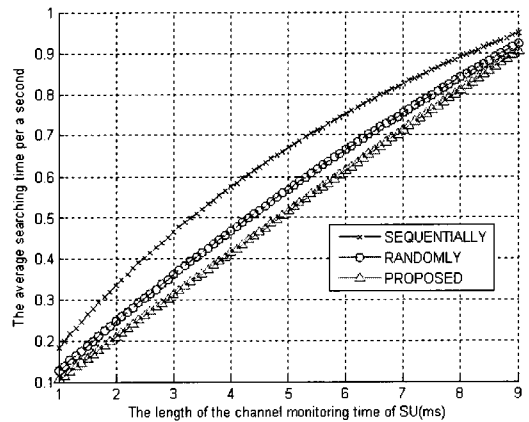


그림 6.  $T_{monitor}$ 의 길이 변화에 따른 2차 사용자의 평균 채널 찾기 시간  
Fig. 6 Average channel searching time of a secondary user according to the length of  $T_{monitor}$

그림 6은  $W = 100$  kHz,  $T_p = 10$  ms, 기사용자의 수는 10 일 때  $T_{monitor}$ 를 1ms에서 9ms까지 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 있다. 이것을 통해 제안된 방법이  $T_{monitor}$ 에 대해 일정한 비율로 채널 찾기 시간을 유도함을 추측할 수 있다.

그림 7은  $W = 100$  kHz,  $T_p = 10$  ms, 기사용자의 수는 10 일 때  $T_{monitor}$ 를 1ms에서 9ms까지 0.01ms 씩 변화시키며 관측한 초당 평균 전송 횟수를 나타낸다. 3가지의 경우 중, 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.

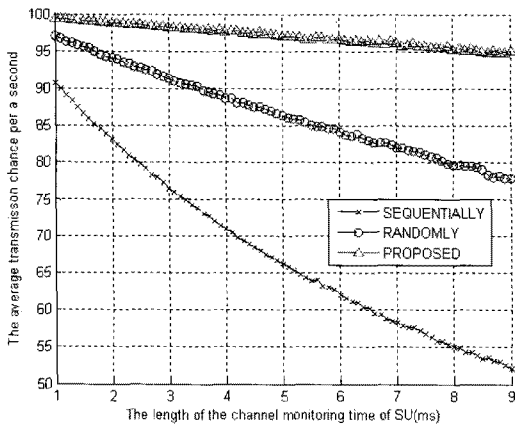


그림 7.  $T_{monitor}$ 의 길이 변화에 따른 2차 사용자의 평균 전송 횟수

Fig. 7 Average transmission number of a secondary user according to the number of primary user channels

채널 선택 과정에서 발생하는 복잡도로 인한 부하와 소요 자원의 관점에서, 제안된 방법의 계산 부하는 순차적인 방법과 무작위적 방법에 비해 크지 않은데, 그 이유는 식(2)과 식(3) 그리고 식(8)이 수신된 SNR 값에 따라 변화하는 함수들로 고려되고 그 값은 2차 사용자의 채널 검색 동작에서 취해지는 기본적인 값이기 때문이다. 또한 소요되는 시스템 자원인 버퍼는 식(8)의  $K$  값이  $P_j$ 와  $P_d$ 의 비율 값에 기반하여 저장되므로 작은 크기를 필요로 한다. 그러므로 소요되는 자원의 양 역시도 고려할 바가 되지 못한다. 각 채널 상태를 저장한 버퍼의 크기에 따른 서열화 작업 역시도 단지 현재 기 사용자가 검출된 채널의 버퍼만을 나머지 이미 서열화 된 버퍼 열과 단순 비교하므로 계산 부하를 크게 고려할 필요가 없다.

## V. 결론

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 경우들을 고려한 채널 선택 방법을 제안하였다. 참고문헌 [7,8]에서는 순차적인 채널 선택과 무작위적 채널 선택 방법을 이용하여 이동하고자 하는 빈 채널 검색시 다음 채널을 선택하였지만 이러한 방법은 채널 상태 변화에 의존적인 무선 통신에서 비효율적인 방법이다.

본 논문에서는 이전에 채널이 기사용자에 의해 사용된 경우를 고려하여 정검출 확률과 오검출 확률의 비율을 기반으로 수신된 SNR 값을 가중치 인자로 구성하고, 가중치가 적용된 각 채널 상태 값들 가운데 작은 순서대로 채널 목록을 만들어 다음 빈 채널 검색시 채널 선택 방법으로 적용하였고, 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 방법이 더 짧은 채널 찾기 시간과 더 많은 평균 전송 횟수를 유도함을 확인하였다.

## 감사의 글

이 논문은 지식경제부/울산광역시 지원 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터(NARC)의 지원에 의한 것입니다.

## 참고문헌

- [1] 김창주, 임차식, "Cognitive Radio 기술 및 표준화 동향", 한국 전자과학회, 전자파 기술 제19권, 제2호, 페이지 23-29, 2008
- [2] 이상헌, 강희조, "Cognitive Radio를 이용한 Spectrum 활용에 대한 연구", 한국정보기술학회, 2006 한국정보기술학회 하계학술대회 논문집, 페이지 65-71, 2006
- [3] J. Mitola et al., "Cognitive radio: Making software radios more personal", IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, page 13 - 18, August 1999

- [4] IEEE 802.22, "IEEE 802.22 / D0.3.7 Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control and Physical specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands", (2007)
- [5] 나도현, 유상조, "무선인지 기술 기반의 정책에 따른 동적 채널 선택 구조", 한국통신학회, 한국통신학회논문지, vol. 32, No. 06, 페이지 358-366, 2007
- [6] 한정애, 전화숙, "인지 라디오 시스템에서 주파수 상황 인지 능력 향상을 위한 감지 채널 스케줄링 기법", 정보과학회, 정보통신 제35권, 제2호, 페이지 130-138, 2008
- [7] 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
- [8] Kyoungwan Lee, Aylin Yener, "Throughput Enhancing Cooperative Spectrum Sensing Strategies for Cognitive Radios", ACSSC 2007, page 2045-2049, Nov. 2007
- [9] Yang Song, Yuguang Fang, Yanchao Zhang, "Stochastic Channel Selection in Cognitive Radio Networks", Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM '07. IEEE 26-30, page 4878-4882, Nov. 2007
- [10] Harry Urkowitz, "Energy Detection of Unknown Deterministic Signals", Proceedings of IEEE, vol. 55, page 523-531, April 1967

## 저자소개

이 영 두(Young-doo Lee)



2007. 2 울산대학교 전기전자정보  
시스템공학부 졸업 (학사)  
2009. 2 울산대학교 전기전자정보  
시스템공학부 졸업 (석사)

2009. 3 ~ 현재 울산대학 전기전자정보시스템공학부  
박사과정

※ 관심분야 : Cognitive radio, 무선센서네트워크

구 인 수(Insoo Koo)



2002.2 광주과학기술원 (박사)  
2002.3 광주과학기술원, 연구교수  
2002.10 스웨덴왕립공과대학,  
박사후 연수과정

2005.3 울산대학교, 조교수

2007.10 울산대학교, 부교수

※ 관심분야 : 차세대이동통신, 유비쿼터스센서네트워크