

인지 무선 시스템에서 이차 사용자의 다자 수용 및 연결 유지를 위한  
효율적인 알고리즘에 대한 연구  
An Efficient Admission Control Algorithm to Keep Connections of Secondary Users in  
Cognitive Radio Systems

하성철, 김세헌  
대전광역시 유성구 구성동 373-1 한국과학기술원 산업공학과  
E-mail : scha@tmlab.kaist.ac.kr;shkim@kaist.ac.kr

**ABSTRACT**

In cognitive radio systems, secondary users, unlicensed users, can use primary users' spectrum to increase spectrum efficiency. At that time, the systems must satisfy primary users' QoS. When secondary users use cognitive radio systems, secondary users communication can be terminated, because of satisfying primary users' QoS. However, secondary users' communication terminating is not good for both secondary users and whole systems. So, cognitive radio systems need an efficient algorithm for secondary users of admission control and keeping connections. In this paper, we present an algorithm which consist of two part, admission control and connections control.

**1. INTRODUCTION**

주파수 자원은 국가의 소중한 무형 자산으로써 무선통신의 발전과 함께 주파수 자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 그러나 이러한 소중한 자원인 주파수의 이용 효율을 FCC에서 실제로 측정해 본 결과 이용 효율이 평균적으로 30% 이하로 나타나고 있다[1]. 따라서 주파수 자원의 이용 효율을 획기적으로 높일 수 있는 Cognitive Radio(CR) 기술이 필요하다. CR 기술은 SDR(Software Defined Radio)기술을 기반으로 하여 장치 주변의 전파 환경을 측정하고, 이 측정된 자료를 토대로 태스크의 방향을 정하고, 이들 태스크 중에서 최적의 자원을 결정한 후에 통신하는 기술이다[2].

이차 사용자(secondary user)가 우선 사용

자(primary user)와 동일한 주파수 대역을 허가받지 않고 사용함에 있어 가장 우선시 되는 것은 우선 사용자의 QoS를 항상 일정 수준 이상으로 만족시켜주는 것이다[3][4].

**2. RELATED WORKS**

소중한 무형 자산인 주파수 대역을 보다 효율적으로 사용하기 위해 다각도로 국내외에서 연구되고 있다. 이 연구들은 주로 우선 사용자의 QoS를 보장하는 것을 최우선시 하면서 이차 사용자의 사용에 관해서 논하고 있다.

Lan Z., Ying-Chang L., Yan X.[3]는 Minimal SINR Removal Algorithm(MSRA)을 제안하였다. 이 알고리즘은 이차 사용자가 통신을 함에 있어 우선 사용자에게 방해가 된다고 생각되면 이차 사용자를 하나씩 제거해 나가면서 우선 사용자에게 방해가 덜 되는 이차 사용자만을 선별하여 통신하는 방식이다. 이 방식의 경우 우선 사용자의 QoS 요구는 잘 맞춰줄 수 있으나 이차 사용자의 통신에 대해서는 생각해주지 않는다는 문제점이 있다.

Lijun Q., Xiangfang L., John A., Zoran G.[4]는 FCC에서 권장한대로 우선 사용자를 TV 사용자로 보고 이차 사용자의 Cognitive Radio 시스템 사용에 대해서 연구하였다. 이차 사용자를 수용함에 있어 파워 사용 부분을 중심으로 다루었다. 이차 사용자의 Power 사용이 우선 사용자의 QoS에 어떠한 영향을 주는가를 분석하면서 이차 사용자를 수용하는 방식이다. 파워를 중심으로 생각하여 이차 사용자의 다수를 포용하기 위한 방법을 제시하였다. 하지만 다수를 포용하고 난 이후의 생각들은 전개되지 않았다.

현재까지 진행된 대부분의 연구들은 이차 사용자가 Cognitive Radio 기술을 사용하여 통신을 함에 있어 그들의 통신에 대한 연결 유지는 생각해주지 않고 있다. 통신을 할 때 필

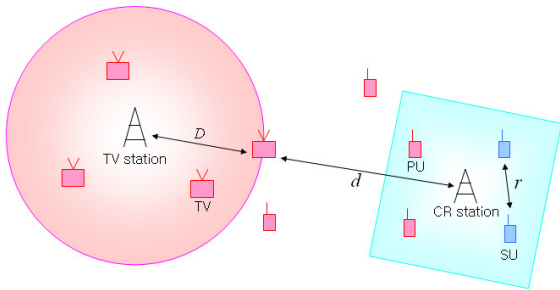
본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2007-(C1090-0701-0016)).

요한 것은 QoS가 만족되는 것이 최우선이다. 하지만 QoS가 만족되고 나서 그렇게 이루어진 통신을 지속시키는 것 또한 하나의 중요한 문제임을 이 연구에서는 중점적으로 생각하였다.

따라서 본 연구를 통해 우선 사용자의 QoS를 만족시켜주는 상황을 바탕으로 하여 이차 사용자가 통신을 함에 있어 최대한 많이 수용된 그들의 연결 유지 또한 만족시켜줄 수 있는 최적화 알고리즘을 제시하고자 한다.

### 3. PROBLEM DEFINITION

본 연구에서는 [그림 1]과 같은 상황에서 이루어지는 인지 무선 통신 시스템에 대한 연구를 진행하도록 한다.



[그림 1] cognitive radio systems

기본적으로 두 종류의 우선 사용자와 한 종류의 이차 사용자가 있다고 생각한다. 두 종류의 우선 사용자는 첫 번째로 FCC에서 권장하고 있는 TV 사용자를 생각한다[4]. 이 우선 사용자는 고정된 위치에 존재하고 있으며 TV 기지국에서 일정 반경 내( $D$ )에서 존재한다. 그리고 두 번째 우선 사용자는 일반적인 허가 사용자(licensed users)를 생각한다. 이들은 자유로운 이동성을 가지고 있다. 이들은 첫 번째로 정의한 우선 사용자와는 다른 주파수 대역을 사용하고 있으며 둘 사이에 주파수 대역으로 인한 간섭은 없는 것으로 생각한다. 허가 사용자는 자유로운 움직임으로 인해 TV 사용자나 이차 사용자의 영역에 들어갈 수도 있다. 이차 사용자의 경우 일정 반경에서 통신한다고 생각한다. CR 기지국으로부터 정보를 수집하고 비어있는 주파수 대역을 찾아가며 통신한다. 이들은 첫 번째 우선 사용자인 TV 사용자들과  $d$ 만큼의 거리를 가지고 있으며 CR 기지국과 TV 기지국 사이에는  $(D+d)$  만큼의 거리가 있다. 이차 사용자들은  $r$ 의 거리를 가지면서 통신을 한다.

본 연구에서 가정한 위와 같은 상황에서

다음과 같은 인지 무선 통신을 생각한다. (1) TV 사용자와 이차 사용자 사이에는 일정한 거리( $d$ )가 존재하기 때문에 서로의 QoS에 대한 불이익을 감내하면서 인지 무선 통신을 할 수 있다. (2) 허가 사용자의 경우 자유로운 이동성으로 인해 이차 사용자와 확립된 거리가 존재하지 않기 때문에 서로의 QoS에 대한 불이익을 감내하면서 동일 주파수 대역을 이용할 수 없다. 따라서 허가 사용자와 이차 사용자는 동일한 주파수 대역을 이용하여 통신하는 것은 불가능하다. 위의 두 가정을 기본으로 하여 인지 무선 시스템에서 다수의 이차 사용자를 수용 및 그들의 연결을 유지시키는 문제를 생각해보도록 한다.

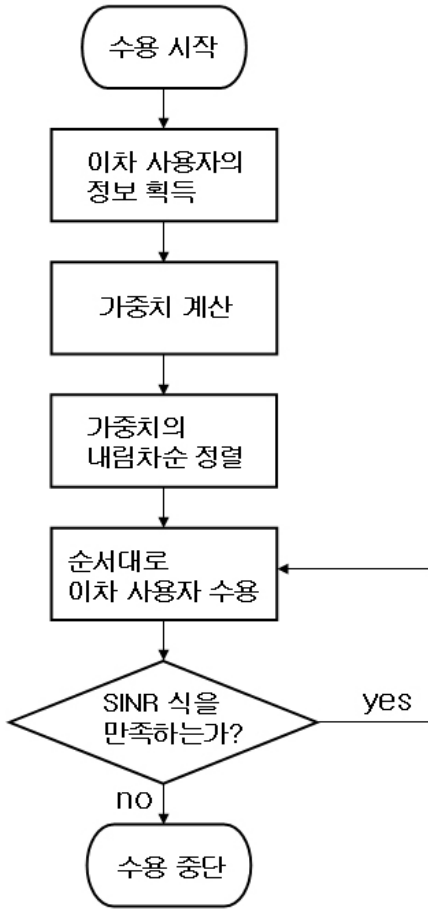
### 4. PROPOSED ALGORITHM

이차 사용자를 수용하고 그들의 연결을 유지시키며 인지 무선 시스템을 사용하는 과정은 두 부분으로 나뉜다. (1) 이차 사용자 수용 (2) 연결 유지의 부분으로 이루어지는데 (1)의 과정을 수행할 때에는 그 이전에 허가 사용자로 인하여 모든 주파수 대역이 가득 차 있지 않다는 조건이 붙는다. 만약 허가 사용자들이 모든 주파수 대역을 점유하고 있는 경우에는 이차 사용자가 사용할 수 있는 주파수 대역이 없기 때문에 인지 무선 시스템은 작동하지 않는다. (2)의 과정은 주파수 대역의 빈공간이 발생하여 (1)의 과정이 수행된 후에 수용된 사용자들에게 약속한 시간을 지켜주기 위한 알고리즘이다.

#### 4.1 이차 사용자 수용

본 연구는 보다 많은 이차 사용자들이 인지 무선 시스템을 이용하여 통신을 하는 것을 목표로 한다. 따라서 보다 많은 이차 사용자들에게 인지 무선 통신을 할 수 있는 기회를 주기 위해서 다른 사용자들에 비해 오랜 기간 통신을 하거나 다른 사용자들의 QoS에 방해가 되는 사용자들은 배제하는 방안을 택한다. 인지 무선 통신을 사용하여 해당 주파수 대역에 대해 비 허가로 사용하는 것이므로 오랜 시간 통신하여 독점하는 것은 옳지 못한 것으로 보도록 한다. 따라서 보다 많은 이차 사용자들을 수용하고 통신 기회를 배분하기 위해서 각 사용자들에게 가중치 개념을 적용하도록 한다.

가중치를 적용하기 위해서 존재하는 CR 기지국은 매 타임 슬롯마다 이차 사용자들로부터 정보를 받아 각 이차 사용자들의 가중치를 계산한다. 가중치는 크게 두 가지로 다음과



[그림 2] 이차 사용자 수용 알고리즘

같이 결정한다. (1) 이차 사용자는 인지 무선 통신을 하기에 앞서 자신이 사용할 최대 통신 시간을 CR 기지국에 보고한다. 보고받은 시간 정보를 통해서 CR 기지국은 (1/시간)의 가중치를 이차 사용자에게 부여한다. (2) 이차 사용자는 인지 무선 통신을 함에 있어 자신이 필요한 최소 파워의 크기를 CR 기지국에 보고한다. 보고받은 필요 파워 정보를 가지고 CR 기지국은 이차 사용자에게 (1/파워)의 가중치를 부여한다.

$$w_i(t) = \frac{1}{t_{i,\max}} \square \frac{1}{p_{i,\min}} \quad (1)$$

위와 같이 가중치 식이 결정된다.  $w_i$ 는  $t$  시점에  $i$ 번째 이차 사용자의 가중치를 나타낸다.  $t_{i,\max}$ 는  $i$ 번째 이차 사용자가 통신을 함에 있어 필요한 최대 시간을 나타낸다.  $p_{i,\min}$ 의 경우는  $i$ 번째 이차 사용자가 통신을 함에

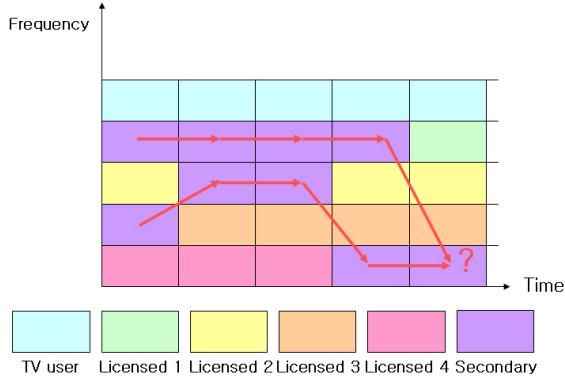
있어 필요한 최소한의 파워를 말한다. 각 요소의 역수의 곱이 각 이차 사용자의 가중치가 된다.

가중치를 계산하여 이차 사용자를 수용하는 과정은 [그림 2]와 같다. 이차 사용자를 수용하기 시작하면 이차 사용자들의 최대 사용 시간, 최소 요구 파워 정보를 CR 기지국에서 획득한다. 그리고 그 정보를 바탕으로 (1)의 방식을 통해 각 이차 사용자들의 가중치를 계산하여 부여한다. 사용 시간이 짧은 이차 사용자의 경우 짧은 시간 사용 후 다른 이차 사용자가 인지 무선 시스템을 사용할 수 있기 때문에 다수의 이차 사용자를 수용하는 데에 도움을 준다. 최소 요구 파워가 작은 이차 사용자의 경우 자신이 통신을 하는 동안 사용하는 파워가 적기 때문에 발생하는 간섭의 크기가 작아 타 사용자에게 피해를 적게 준다. 따라서 가중치가 큰 이차 사용자는 다수의 이차 사용자를 수용하면서 타 사용자에게 피해를 적게 주는 사용자라고 할 수 있다. 따라서 가중치를 내림차순으로 정렬하여 가중치가 높은 순서대로 비어있는 주파수 대역을 사용할 기회를 주도록 한다. 순서대로 이차 사용자를 수용하면서 이차 사용자의 SINR 식을 만족하는지 확인한다. 이차 사용자의 SINR 제약식은 다음과 같다.

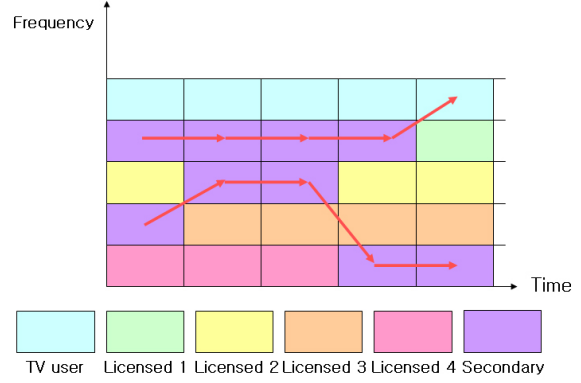
$$\gamma_i = \frac{p_i / r_i}{\sum_{j \neq i}^N p_j / r_j + \sigma^2}, \quad i \in N \quad (2)$$

$$\gamma_{\text{sec}}^{\min} \leq \gamma_i \quad (3)$$

$\gamma_i$ 는  $i$ 번째 이차 사용자의 SINR 값을 나타낸다.  $\gamma_{\text{sec}}^{\min}$ 는 이차 사용자들이 가져야 하는 최소한의 SINR 값을 나타낸다.  $r_i$ 은  $i$ 번째 이차 사용자가 자신과 통신하는 이차 사용자와의 거리를 나타내고  $p_i$ 는 그 때 사용되는 파워의 크기를 나타낸다.  $\sigma^2$ 는 환경 요소의 노이즈를 나타낸다.  $i$ 번째 이차 사용자의 SINR은 자신이 통신하는 것을 제외한 나머지 이차 사용자의 통신은 모두 간섭으로 생각한다. 따라서 다른 사용자들의 간섭과 주변 노이즈의 합과 자신이 행하는 통신 상황을 가지고 SINR을 계산하게 된다. 이 계산된 값이 이차 사용자가 가져가야 하는 최소한의 SINR 값을 넘어야만 통신이 가능하기 때문에 (2)에



[그림 3] 이차 사용자 주파수 대역 할당 문제



[그림 4] TV 사용자와 주파수 대역 공유

구한 SINR 값은 (3)의 조건을 만족해야 한다.

#### 4.2 이차 사용자의 연결 유지

이차 사용자를 수용한 이후 그들이 자신의 통신을 끝까지 할 수 있도록 그 연결을 유지시켜주는 알고리즘에 대해서 생각해보도록 하겠다.

이차 사용자를 수용하는 과정에서 이차 사용자가 자신의 최대 통신 시간을 정하여 CR 기지국에 보내왔었다. 따라서 CR 기지국은 주파수 대역의 분배에 있어서 이차 사용자가 요구한 시간을 고려한 분배를 하게 된다. 본 연구에서 가정한 통신 환경에 따르면 허가 사용자의 경우 그 움직임이 자유로워서 이차 사용자들이 인지 무선 통신을 사용하는 환경에 대해 출입이 자유롭다. 이러한 환경에서 이차 사용자는 자신이 사용하고 있는 주파수 대역의 허가 사용자가 다가온다면 그 대역에서 쫓겨날 수밖에 없다. 이러한 경우에도 최대한 이차 사용자의 연속성을 지켜주어야만 인지 무선 시스템을 이용하여 통신을 할 수 있을 것이다.

매 타임 슬롯마다 4.1의 이차 사용자 수용 알고리즘을 반복하여 빠져나가는 이차 사용자와 새로이 진입하는 이차 사용자를 확인한다. 주파수 대역의 부족으로 인해 새로운 이차 사용자를 수용하지 못하는데 가중치가 기존에 있던 사용자들보다 높아서 들어오는 경우가 생길 수가 있는데 이는 기존 사용자의 연속성을 유지하는데 큰 걸림돌이 된다. 따라서 기존 사용자의 가중치를 시간이 지남에 따라 수정해주어 기존 사용자의 사용을 유지시키는 알고리즘이 필요하다. 그 가중치 개선 방안은 다음과 같다.

$$w_i(t+1) = w_i(t) \square \frac{t_{i,\max}}{t_{i,\max} - 1} \quad (4)$$

$$w_i(t+n) = w_i(t) \square \frac{t_{i,\max}}{t_{i,\max} - n} \quad (5)$$

타임 슬롯이 지남에 따라 각 이차 사용자의 가중치 계산 부분에 있는 시간 부분을 업데이트 한다. 이전에 계산 했던 것에서 지난 시간만큼을 반영해주어 그 가중치를 선형적으로 꾸준히 올려준다. 식(4)는 1 타임 슬롯이 지난 다음의 식이고 (5)는 n 타임 슬롯이 지난 다음의 식이다. 이렇게 가중치를 업데이트 시켜줌으로써 신규 이차 사용자보다 기존의 이차 사용자는 가중치 판정에서 우위를 점할 수 있게 되어 자신이 처음 인지 무선 시스템에 진입할 때 보장받은 시간만큼 통신을 할 수 있게 된다.

가중치의 업데이트로 인해 신규 이차 사용자로부터 기존 사용자의 우선순위를 높일 수 있게 되었지만 허가 사용자의 증가로 인해 사용가능 주파수 대역이 줄어들어 [그림 3]과 같이 주파수 대역을 할당함에 있어 문제가 발생할 수 있다. 이 경우에는 부득이 하게 [그림 4]와 같이 TV 사용자와 동일한 주파수 대역을 사용하여 연속성을 유지하지 못하는 이차 사용자의 수를 최소화하는 것을 생각한다. 이 때 TV 사용자와 동일한 주파수 대역을 사용하는 이차 사용자는 다음의 식을 만족해야 한다.

$$\gamma_k = \frac{p_k / r_k}{\sum_{j \neq i} p_j / r_j + p_{TV} / d + \sigma^2}, \quad k \in M \quad (6)$$

$$\gamma_{TV} = \frac{p_{TV} / D}{\sum_k p_k / r_k + \sigma^2} \quad (7)$$

$$\gamma_{\text{sec}}^{\min} \leq \gamma_k \quad (8)$$

$$\gamma^{\min} \leq \gamma_{TV} \quad (9)$$

(6)의 식은 TV 사용자와 동일한 주파수 대역을 사용하는 이차 사용자의 SINR 계산을 나타낸 것이다. 이 이차 사용자들은 이차 사용자들을 모아놓은 N 집합에서 M 집합으로 옮겨간다. 자신을 제외한 모든 이차 사용자들과 TV 사용자가 간섭으로 작용한다. TV 사용자의 경우 자신과 동일한 주파수 대역을 사용하는 M 집합의 이차 사용자들이 간섭으로 작용한다. 그리고 각 사용자는 자신이 통신을 할 수 있는 최소한의 SINR 값 이상은 가져야만 통신을 할 수 있으므로 (6)과 (7)에서 계산된 SINR 값은 (8)과 (9)를 만족해야만 한다.

이처럼 본 연구에서는 다수의 이차사용자를 수용하기 위한 방안, 그리고 수용한 이차사용자를 신규 사용자보다 우위에 두어 연결을 유지하고, 또한 주파수 대역의 수가 줄어드는 상황에서도 이차 사용자의 연결을 유지시킬 수 있는 알고리즘을 제시하고 있다.

## 5. CONCLUSIONS and FUTURE WORK

본 연구에서는 두 종류의 우선 사용자가 있는 상황에서 이차 사용자의 인지 무선 시스템 사용에 대해서 알아보았다.

본 연구에서 제시한 알고리즘은 인지 무선 시스템을 사용하는 이차 사용자의 수용에 있어서 그들에게 각각 가중치를 부여하는 방안을 택하였다. 이를 통해 사전에 시스템에 장애가 되는 이차 사용자를 원천적으로 봉쇄함으로써 다수의 이차 사용자에게 시스템을 이용할 수 있는 기회를 제공하였다.

그리고 기회를 받아 사용하는 다수의 이차 사용자들의 연결을 유지함에 있어 두 가지 경우를 생각하였다. 신규 이차 사용자가 진입할 때 그들로부터 가중치를 우위에 두기 위한 방안을 제시하여 기존 사용자에게 우선권을 주었고, 허가 사용자의 증가로 인한 주파수 대역 부족현상 발생시 TV 사용자와 동일한 주파수 대역을 사용함으로써 기존 이차 사용자들의 연결을 유지시켰다.

이처럼 본 연구는 이차 사용자의 진입만을 초점에 두었던 기존의 연구에서 한 걸음 더 나아가 진입한 이차 사용자들이 통신을 무사히 끝마칠 수 있는 환경에 대한 연구를 하였다.

향후 본 연구에서 제시한 이차 사용자 수용 및 연결 유지 알고리즘을 이차 사용자 수용 측면에서 다수의 기존 연구들과 비교, 분석해보아야 할 것이며, 수용된 이차 사용자들의

연결을 얼마나 잘 지켜주는지 직접 분석해보아야 할 것이다. 또한 연결 유지에 있어 민감한 부분인 QoS 유지 부분에 대한 더욱 심도 있는 연구와 실험 및 분석을 통해 본 연구의 결과가 실제 인지 무선 시스템에서 사용할 수 있도록 개선해보아야 한다.

## < Reference >

- [1] 송복섭, 권수갑 “주파수 공유 기술 동향”, 주간기술동향 통권 1281호, 2007.1.31
- [2] 김창주, “Cognitive Radio 기술 및 응용”, 전자파기술, Vol.17, No.2, 2006
- [3] Lan Z., Ying-Chang L., Yan X., "Joint Admission Control and Power Allocation for Cognitive Radio Networks", IEEE International Conference Acoustics, Speech and Signal Processing 2007.
- [4] Lijun Q., Xiangfang L., John A., Zoran G., "Power Control for Cognitive Radio Ad Hoc Networks", IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks 2007.
- [5] Patrik B., Peter V., Di Y., "Optimized planning of frequency hopping in cellular networks", Computers and Operation Research 2005.
- [6] Mischa D., Seyed A. G., Mohamed G., Marilyn A., Fatin S., A. Hamid A., "Opportunistic scheduling using cognitive radio", C.R.Physique 7 2006.
- [7] Mohamed G., Mischa D., Francois M., Jacques P., "cognitive radio: method for the detection of free bands", C.R.Physique 7 2006.