

# Cognitive Radio 네트워크에서 QoS를 보장하는 채널 센싱 스케줄링 방법

준회원 권 기 혁\*, 최 재 각\*, 종신회원 유 상 조\*\*

## QoS-Aware Channel Sensing Scheduling for Cognitive Radio Network

Ki-Hyuk Kwon\*, Jae-Kark Choi\* Associate Members, Sang-Jo Yoo\*\* Lifelong Member

### 요 약

최근 한정된 주파수의 사용 효율성을 높이기 위해 Cognitive Radio 시스템의 허가 주파수 대역 사용을 제한적으로 용인하는 CR 기술이 각광받고 있다. CR 기술에서 최우선적으로 고려되어야 할 사항은 주 사용자의 통신을 보호하는 것이다. 즉 CR 사용자는 주 사용자의 출현을 인지하는 즉시 현재 채널의 사용을 중지해야 하며, 이러한 상황을 사전에 고려하여, 운용이 가능한 주파수 대역을 폭넓게 확보해야 한다. 이를 위해 CR 사용자는 지속적인 스펙트럼 센싱을 수행한다. CR 사용자가 스펙트럼을 센싱하는 동안에는 이용 중인 서비스가 일시적으로 중단되는 현상이 발생한다. 본 논문에서는 주 사용자를 보호하기 위한 CR 센싱 요구조건을 만족하는 전제 하에, CR 사용자의 QoS를 최대한 보장하면서 스펙트럼 센싱을 수행하도록 하는 채널 센싱 스케줄링 방법을 제안한다. 이를 위해, 센싱할 채널의 개수와 센싱 주기를 CR 센싱 요구조건 of 주요 지표로 이용하였고, CR 사용자의 QoS 보장 요구사항은 패킷 지연과 손실 측면에서 분석하였다. 위의 센싱 스케줄링 방법을 수치 분석을 통해 여러 파라미터들을 다양하게 변화시킴으로써, 다양한 환경에서 QoS를 만족시킬 수 있는 적합한 파라미터를 구할 수 있었다. 그리고 성능 평가를 통해 채널을 연속적으로 센싱하는 방법과 두 가지 측면, Delay와 성공적으로 전송한 패킷의 수를 비교하였을 때 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

**Key Words** : Cognitive Radio, Channel Sensing, Sensing Scheduling

### ABSTRACT

For the flexible frequency utilization, cognitive radio technique has been prominently considered. The most important requirement in cognitive radio networks is to protect the communications of primary users. Spectrum sensing task by secondary users should be seriously considered in cognitive radio networks, since the spectrum sensing process makes their current quality of service worse. In this paper, we propose the channel sensing scheduling method that keeps the requirements for protecting the primary and guarantee the secondary user's quality of service as possible. The quality of service of secondary user is analyzed in terms of packet delay and loss while the protection-requirements in terms of sensing interval and sensing time predefined. In numerical analysis, we can get appropriate parameters which guarantee QoS in various environment. And simulation results show that this method can improve the performance, delay and the number of transmitted packets against consecutive sensing method.

\* 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-521-D00384)

\* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망 연구실(nicekhh@lignex1.com, jkrosi@naver.com)

\*\* 인하대학교 정보통신대학원 교수(sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-12-566, 접수일자 : 2008년 12월 26일, 최종논문접수일자 : 2009년 6월 10일

## I. 서 론

기존의 무선 통신 환경에서는 각각의 무선 시스템에서 고정된 주파수 설정 정책을 사용하였다. 고정된 주파수는 주로 국가에 의해서 허가된 사용자나 서비스에 대해 할당되었다. 미국 FCC(Federal Communications Commission)에 의하면, 이렇게 고정적으로 할당된 주파수의 대부분은 거의 대부분의 시간동안 사용되지 않는 상태로 관찰되었다. 이러한 고정 주파수 할당 방법이 과거에는 동작하는데 문제가 없었지만, 무선 통신 서비스에 대한 수요가 과거에 비해 크게 증가함에 따라 제한된 주파수 자원을 보다 효율적으로 이용하는 측면에서 Cognitive Radio(CR) 기술<sup>[1]</sup>이 하나의 대안으로 떠오르고 있다.

CR 기술은 통신 단말기 혹은 네트워크가 능동화되어 동적으로 변화하는 사용자의 요구 및 상황을 인지하고 이러한 요구 및 상황에 적합하도록 주어진 무선 자원을 최적으로 활용하는 제반 기술을 의미한다. 즉, CR 기술은 주변 환경을 감지하여 주파수, 변조 방식, 출력 등의 무선 송신 파라미터를 결정하는 무선 기술로 지역과 시간에 따라 사용되지 않고 있는 주파수를 스스로 탐지하여, 해당 대역에 출현할 수 있는 주 사용자를 보호하는 전제 하에, 원하는 목적의 통신이 가능하도록 하는 기술이다. 이를 위해 CR 사용자의 스펙트럼 센싱이 우선적으로 고려되어야한다. 그러나 스펙트럼 센싱 동작은 사용 중인 서비스의 일시적인 중단현상을 필연적으로 수반하여 CR 사용자가 이용중인 서비스를 적절히 보장해 주기에는 무리가 있다.

본 논문에서 제안하는 QoS(Quality of Service) 보장형 채널 센싱 스케줄링 방법은, CR 네트워크에서 가장 중요시 되는 주 사용자의 보호를 우선적으로 고려한다. 본 논문에서는 이러한 주 사용자의 보호가, CR 사용자가 센싱을 수행해야 하는 채널들에 대해 사전 정의된 센싱 주기를 보장함으로써 만족되는 것으로 가정하였다. CR 사용자의 QoS는 CR 사용자가 이용 중인 서비스에 대해 지연(packet delay)과 손실(packet loss)의 측면에서 분석되며, 주 사용자의 보호를 위한 센싱 요구조건에 따라 QoS를 보장하는 CR 센싱 스케줄링을 수행할 수 있는 조건을 제시하였다. CR 사용자의 QoS와 주 사용자의 보호를 동시에 만족할 수 없는 상황에 대해서는 주 사용자의 보호를 우선시 하도록 하였다. 제안된 센싱 스케줄링의 성능은 연속적인 채널 센싱 방법과 비교를 통해 평가되었으며, 특히 본 논문에서 CR 사용자의 QoS 측정 파라미터로 이용한 지연과 손실 측면에 대한 실험결과를 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 CR 네트워크에서 채널을 센싱하는 다른 방법들을 소개한다. 제 3장에서는 본 논문에서 제안하는 QoS를 보장하는 CR 네트워크 기반의 채널 센싱 스케줄링 방법을 설명하며, 제 4장에서는 수치 분석과 시뮬레이션을 통해 제안한 방법을 연속적 채널 센싱 방법과 비교 및 평가한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

본 장에서는 먼저 본 논문에서 다루고자 하는 CR 네트워크 환경에서 채널 센싱 기술과 고려 사항, 그리고 CR 네트워크에서 채널을 센싱하는 기존의 방법들에 대해서 살펴본다.

### 2.1 Cognitive Radio 채널 센싱 기술과 고려 사항

스펙트럼(Spectrum) 인지 기술은 스펙트럼 환경을 인지하여 통신 가능한 주파수를 지능적으로 검출하고, 이를 이용하여 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 통신하는 지능형 무선 통신 기술을 의미한다. 다시 말해, 단말기나 기지국 등의 무선기기가 주변 전파 환경을 인식, 인지할 수 있는 기능을 제공하여 스펙트럼 환경에 따라 무선 통신에 이용하는 채널이나 방식 등을 무선기기 스스로 선택해 주파수 이용 효율을 높이는 기술이다. CR 기반의 스펙트럼 인지 기술에서 기본이 되는 스펙트럼 센싱 기술의 목적은 무선 네트워크 환경에서 사용 요청자가 사용할 수 있는 비어있는 주파수 대역을 찾고, 주 사용자의 출현을 탐지하여 주 사용자의 통신을 보호하는 것이다. 이는 채널의 대역을 파악한 후, 채널의 상태를 인식하는 과정을 통해 수행된다<sup>[6]</sup>.

CR 기술은 넓은 주파수 대역 내의 스펙트럼 환경을 검색하고, 이러한 정보를 이용하여 사용자에게 개인의 통신 요구 사항을 최선으로 만족시키기 위한 무선 링크를 제공한다. 이와 동시에 CR기술은 주파수 자원을 할당 받은 CR 사용자가 항상 주 사용자의 주파수 사용 여부를 고려해야 하며, 특히 자신의 통신으로 인해 이들 허가 시스템에 간섭을 주지 않아야 한다. 그러므로 CR 사용자는 지속적인 스펙트럼 센싱을 통해 주 사용자의 존재 유무를 독립적으로 검출할 수 있어야 한다. 따라서 CR 사용자는 주 사용자의 출현에 대비 하여 보다 넓은 주파수 대역에 걸친 스펙트럼 센싱을 수행할 필요가 있다. 센싱의 대상이 되는 스펙트럼 대역은 현재 사용 중인 채널과, 주 사용자 출현시 이동하여 서비스를 수행할

후보 채널들로 나눌 수 있는데, CR 기술에서는 CR 사용자의 서비스 보장 측면보다 주 사용자의 서비스 보호 측면의 요구가 더욱 중요시되기 때문에, 현재 사용 중인 채널에 대한 좀 더 빈번한 센싱을 수행할 필요가 있다.

### 2.2 협력적 채널 센싱 방법 (Cooperative Channel Sensing)

CR 사용자의 스펙트럼 센싱 결과는 신호 감쇠(fading)와 차단(shadowing) 등에 의해 정확도가 떨어지는 경우가 발생할 수 있다. 이처럼 센싱 결과가 오류를 포함하는 경우에는 주 사용자가 출현하였음에도 불구하고 이를 알아채지 못하는 현상(mis-detection), 혹은 주 사용자가 출현하지 않았음에도 불구하고 출현한 것으로 오인하는 현상(false-alarm)을 초래하여, 이후 CR 사용자의 불필요한 스펙트럼 핸드오버 등을 야기시키는 등, 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 이러한 오류의 극복 방안으로는 수신 신호와 채널 사용자의 전송 신호에 대한 정보를 주위 CR 사용자와 공유하는 협력적 채널 센싱 방법이 있다<sup>[7]</sup>. 협력적 채널 센싱 방법은 또한, 공유된 센싱 정보를 바탕으로 필요한 채널을 선별적으로 센싱할 수 있도록 한다. 따라서 이 방법은 여러 CR 사용자들 각각이 독립적으로 많은 채널들을 센싱하지 않아도 되는 장점이 있지만, 주위 CR 사용자의 정보를 저장해야 하고, 이를 계속 갱신해줘야 하기 때문에 그에 따른 오버헤드를 발생시킨다. 협력적 채널 센싱 방법의 보다 구체적인 예로, 그림 1과 같이 클러스터를 이용해서 CR 사용자들을 구간 별로 나누어서 지역적으로 채널 정보를 공유하는 방법이 있다<sup>[8]</sup>. 이 방법은

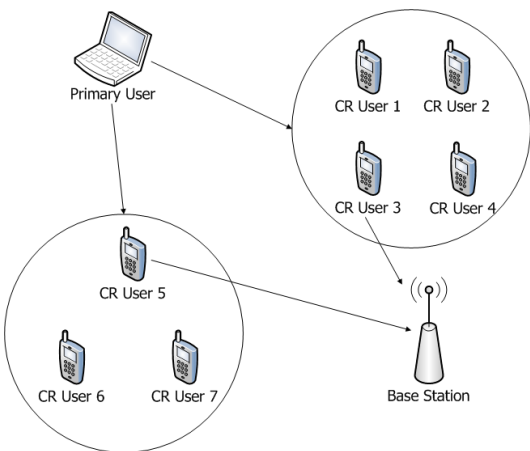


그림 1. 협력적인 채널 감지 방법

각각의 클러스터에서 기지국으로부터 SNR(Signal to Noise Ratio)이 가장 큰 사용자가 클러스터 헤드의 역할을 담당하도록 하며, 클러스터 헤드는 해당 클러스터 내에서 발생하는 각각의 센싱 정보를 수집하고, 이들 수집된 정보를 기지국으로 전송하는 방식으로 되어있다. 이처럼 클러스터를 이용하는 경우에는, 지역적으로 보다 정확한 자료의 수집이 가능하지만, CR 사용자들의 클러스터링 과정에 요구되는 추가적인 트래픽 오버헤드가 고려되어야 한다.

### 2.3 연속적인 채널 센싱 방법(Consecutive Channel Sensing)

무선 네트워크에서 채널을 연속적으로 센싱하는 경우에는, 센싱의 종료 시점을 적합한 채널이 발견되는 시점으로 보기 때문에, 센싱을 수행하는 동안 접속점(Point of Attachment; PoA)으로부터 단말로 향하는 패킷의 손실량과 CR 사용자(e.g., mobile node)로부터의 접속점으로 향하는 패킷의 지연은 그만큼 증가하게 된다. 특히, WLAN(Wireless Local Area Network)에서는 이동 단말이 접속점을 스캐닝 할 때, 단말과 현재의 접속점간에 스캐닝 스케줄에 대한 명확한 협의 절차가 정의되지 않았기 때문에, 접속점과 단말 간에 스캐닝 구간동안의 QoS 관리에 관한 협의가 없는 상태이다. 따라서 단말의 판단에 의해 자율적으로 스캐닝 절차가 수행되게 되며, 이로 인해 스캐닝 기간 동안 접속점으로부터 전달되는 모든 패킷은 손실되게 된다. 연속적으로 채널을 스캐닝하는 방법<sup>[4,5]</sup>은 그림 2와 같은 스캐닝 동작을 수행하며, CR 사용자가 사용이 가능한 채널을 발견하게 되면 스캐닝을 중지하게 된다.

## III. QoS를 보장하는 채널 센싱 스케줄링 방법

본 장에서는 제안하는 센싱 스케줄링 방법의 전체와 그 세부적인 내용을 설명한다. 본 논문의 CR 사

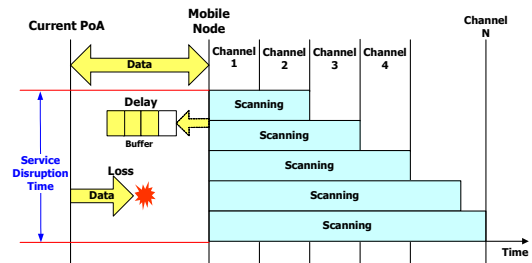


그림 2. 연속적인 채널 스캐닝에서의 패킷 Delay와 Loss

용자는 자신의 서비스를 수행하는 것과 채널의 센싱을 동시적으로 수행할 수 없다. 각각의 채널을 센싱하는데 소요되는 시간과 이들이 센싱되어야 하는 센싱 주기에 대한 요구조건은 CR 무선 기지국(base station)과 같은 시스템 운영자(system operator)에 의해 정해지며, CR 사용자들이 현재 사용 중인 채널은 주 사용자를 보호하기 위해 다른 채널들에 비해 짧은 센싱 주기를 갖는 것으로 간주한다. CR 사용자들은 시스템 운영자로부터 이러한 요구조건들을 수용하며, 그에 기반한 센싱 스케줄링을 독립적으로 수행한다. 특히, CR 사용자들은 현재 이용 중인 서비스에 대하여 최대한 QoS를 보장할 수 있도록 센싱 시간과 주기를 산출한다. 그러나 CR 사용자들의 QoS 보다는 주 사용자의 통신을 보호하는 것을 항상 우선으로 하는 CR 기술의 특성을 반영하여, CR 사용자들의 QoS는 경우에 따라 보장되지 않을 수 있다.

본 논문의 CR 사용자는 주 사용자를 검출하거나, 사용가능한 채널을 탐색하기 위한 목적으로 채널 센싱을 수행한다. 그러나 CR 사용자의 센싱 동작 중 탐지되는 수신 신호는 주 사용자의 송신에 의한 것뿐만 아니라, 인접한 CR 사용자의 서비스 송신에 의한 것일 수도 있다. 이러한 경우 CR 사용자는 주 사용자가 해당 채널을 사용 중인 것으로 잘못 판단(false-alarm)할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 CR 사용자들 간의 간섭을 인지하고 이를 효율적으로 극복하는 스펙트럼 공유(spectrum sharing) 기법에 대해 논의로 한다.

### 3.1 QoS 요구조건에 따른 센싱 스케줄

CR 사용자는 채널을 센싱하는 동안 데이터를 송신하거나 수신할 수 없다. 본 논문에서 제안하는 센싱 방법의 목적은 모든 채널을 일괄적으로 센싱하지 않고, CR 사용자의 QoS를 만족할 수 있는 센싱 시간과 주기에 따라 채널을 나누어서 센싱하는 것이다. 본 논문에서는 그림 3과 같이 CR 사용자가 이용하는 서비스의 QoS에 따른 센싱 구간과 서비스 구간에 대한 기본 모델을 정의하였다. 서비스 클래스  $c$ 에

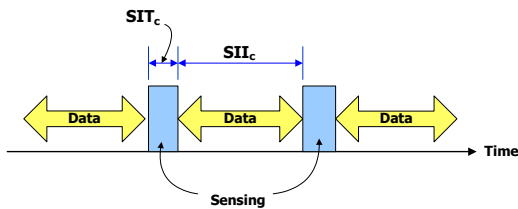


그림 3.  $SIT$ 와  $SII$

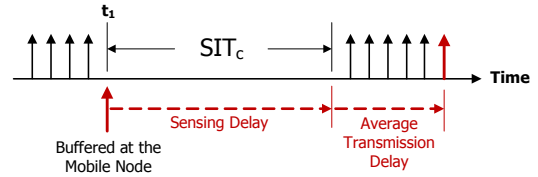


그림 4.  $SIT$ 와 추가적인 지연 시간

서 스캐닝하는 시간을  $SIT_c$ (Service Interruption Time)라 하고, 현재  $SIT$ 의 끝에서 다음  $SIT$ 의 시작 지점까지의 시간을  $SII_c$ (Service Interruption Interval)라 한다.

본 논문에서 제안하는 센싱 방법에서 데이터의 전송은 비트 속도가 일정한 고정 속도형 서비스(Constant Bit Rate; CBR)를 가정한다. CR 사용자는 센싱 동작의 수행 여부와 상관 없이 본래의 고유한 평균 데이터 송신 지연을 갖는다. 그림 4와 같이, CR 사용자는  $SIT_c$  기간 동안에 현재 PoA에게 데이터를 전송할 수 없다. 전송하지 못한 데이터 패킷은 모두 CR 사용자의 버퍼에 저장되고,  $SIT_c$  기간이 끝난 후에 전송된다. 그러므로  $SIT_c$  기간은 버퍼에 저장된 데이터 패킷을 전송하기까지 추가적인 지연을 발생시킨다.

CR 사용자의 데이터 송신 지연 시간은 평균 송신 지연 시간과  $SIT_c$ 의 합으로 이루어지며, 이는 해당 서비스 클래스에 대한 QoS를 만족할 수 있는 지연 시간보다 항상 작게 유지되어야 한다. 따라서  $SIT_c$ 는 식 (1)의 조건을 만족해야 한다.

$$SIT_c + M_{delay_c}(t_1) \leq R_{delay_c} \quad (1)$$

여기서  $M_{delay_c}(t_1)$ 는 시간  $t_1$ 에서 측정된 평균 지연 시간의 값이고,  $R_{delay_c}$ 는 QoS를 보장하기 위한 요구 지연 시간(Required delay)을 나타낸다. 위 식 (1)을  $SIT_c$ 에 관해서 정리하면 식 (2)가 되고, 이를 토대로 QoS를 만족하는  $SIT_c$ 의 최대 값을 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SIT_c \leq R_{delay_c} - M_{delay_c}(t_1) \quad (2)$$

$$Max.SIT_c = R_{delay_c} - M_{delay_c}(t_1) \quad (3)$$

한편, 그림 5와 같이  $SIT_c$  기간 동안 PoA로부터 CR 사용자에게 전달되는 데이터는 손실된다. 초당 전송되는 데이터 패킷의 수를  $C$ (packets/s)라고 하고,  $SIT_c$  기간 동안에 PoA로부터 손실되는 데이터 비율(PoA loss rate)을  $PoA\_loss$ 라고 정의한다.  $M_{delay_c}(t_1)$ 은 시간  $t_1$

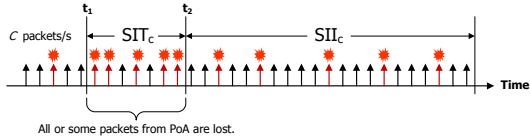


그림 5. SII와 QoS를 보장하는 패킷 손실 비율

에서 측정된 손실 패킷 비율(Measured loss rate)을 의미하고,  $R_{loss_c}$ 는 QoS를 만족시킬 수 있는 손실 패킷 비율(Required loss rate)을 의미한다.

$$\frac{C \times SIT_c \times PoA\_loss + C \times SII_c \times M\_loss_c(t_1)}{C \times (SIT_c + SII_c)} \leq R_{loss_c} \quad (4)$$

식 (4)는 QoS를 보장할 수 있는 손실 패킷 비율을 구하기 위한 식이다. 좌변에서 분모는  $SIT_c$ 와  $SII_c$  기간 동안 전송되는 총 패킷의 수이고, 분자는  $SIT_c$  기간 동안에 PoA에 의해 손실되는 패킷과  $SII_c$  기간 동안에 데이터를 전송하면서 손실되는 패킷의 수를 합한 것이다. 이를 토대로 전체 전송된 패킷의 수와 손실되는 패킷의 수를 이용해 전체 기간 동안 손실 되는 패킷의 비율을 계산하고, 이 계산 결과가 QoS를 보장할 수 있는 손실 패킷 비율(Required loss ratio)보다 작아야한다.

식 (4)를 정리하면, 식 (7)과 같이 서비스 클래스 c에 대한 QoS를 만족하는  $SII_c$ 의 최소값을 구할 수 있다.

$$\frac{SIT_c \times PoA\_loss + SII_c \times M\_loss_c(t_1)}{SIT_c + SII_c} \leq R_{loss_c} \quad (5)$$

$$SII_c \geq \frac{(PoA\_loss - R_{loss_c}) \times SIT_c}{R_{loss_c} - M\_loss_c(t_1)} \quad (6)$$

$$MinSII_c = \frac{(PoA\_loss - R_{loss_c}) \times SIT_c}{R_{loss_c} - M\_loss_c(t_1)} \quad (7)$$

이상에서 QoS를 만족할 수 있는 최대 센싱 구간과 최소 서비스 구간을 분석하였다. 그러나 이상 도출한 센싱 구간과 서비스 구간은, 주 사용자의 보호를 위한 센싱 요구조건을 충족하지 못하는 경우, 추가적인 수정이 요구될 수 있으며, 그로 인해 QoS의 보장이 어려운 상황이 발생할 수 있다. 이에 대한 내용은 3.3절에서 다룬다.

### 3.2 센싱 요구조건에 따른 채널 스케줄

본 절에서는 주 사용자를 보호하기 위한 센싱 요구조건을 정의하고, CR 사용자가 센싱을 수행할 전체 채널의 개수와 현재 동작 중인 채널의 개수를 토대로, 이

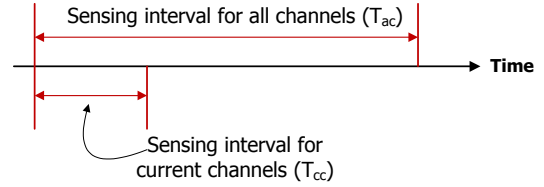


그림 6.  $T_{ac}$ 와  $T_{cc}$  기간

들 채널들을 분산적으로 센싱하기 위한 채널 스케줄에 대해 살펴보기로 한다. CR 사용자가 채널을 스캔할 때는 현재 채널의 사용자를 보호하기 위해서 다른 채널에 비해 현재 사용 중인 채널을 더 자주 스캔하게 된다. 본 논문에서 적용한, 주 사용자 보호를 위한 센싱 요구조건은 i) 현재 사용중인 채널에 대한 센싱 주기  $T_{ac}$ (Scan interval for all channels)와 ii) CR 사용자가 센싱하는 모든 채널들에 대한 센싱 주기  $T_{cc}$ (Scan interval for current channels)를 만족하는 것이다. 그림 6에 이러한 요구조건을 대략적으로 도시하였다.

앞 절에서 고려한 QoS 요구조건에 따른 센싱 스케줄과 부합되도록,  $T_{ac}$ 마다 스캔해야 하는 전체 채널들을 여러 번의  $T_{cc}$ 에 걸쳐서 분산적으로 센싱하도록 하는 것이 본 논문의 목적이다. 센싱하게 되는 모든 채널 수를  $N$ , 현재 사용 중인 채널(current channels)의 수를  $K$ 라고 정의한다. 사용하지 않고 있는 채널(unused channels)의 수는  $N-K$ 로 나타낸다.

본 논문의 제안에 따른 CR 사용자는  $T_{cc}$  기간마다 사용 중인 모든 채널을 센싱하고, 각  $T_{cc}$  기간 동안 (전체 채널 중) 사용하지 않고 있는 채널들을 나누어서 일부 센싱하는 방법을 사용한다. 이 때  $T_{cc}$  기간에 센싱하는 채널의 수를  $N_{cc}$ 라고 정의한다. 그리고  $n$ 번째  $T_{cc}$  기간에서 센싱하게 되는, 추가된 채널의 수를  $M_n$ 으로 정의한다.  $n$ 번째  $T_{cc}$  기간에서 센싱하는 채널의 수는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{cc}(n) = K + M_n \quad (8)$$

현재 사용 중인 채널을 센싱하기 위해 요구되는 주기  $T_{cc}$ 는 모든 채널을 센싱하기 위해 요구되는 주기  $T_{ac}$  기간 안에 여러 번 포함될 수 있다. CR 사용자는 각  $T_{cc}$  기간마다 현재 사용 중인 모든 채널을 먼저 센싱하고, 사용 중이지 않는 나머지 채널들을 나누어 센싱하도록 한다. 각  $T_{cc}$  기간마다 추가적으로 센싱할, 사용하지 않고 있는 채널의 수  $M_n$ 은  $T_{ac}$ 와  $T_{cc}$ 의 값에 따라 변화하게 된다.  $M_n$ 의 값은  $T_{ac}$ 와  $T_{cc}$ 의 환경에 따라 다음과 같이 세 가지로 나누어 생각할 수 있다.



i)  $(N-K) = \left\lfloor \frac{T_{ac}}{T_{cc}} \right\rfloor$  인 경우

하나의  $T_{ac}$  안에 포함된  $T_{cc}$ 의 수와 사용하지 않는 채널 수가 같기 때문에 각  $T_{cc}$ 에서는 사용하지 않고 있는 채널 중에서 하나씩만 스캔하면 된다. 따라서 이 경우에는  $M_n$ 의 값은 모두 1이 된다. 예를 들어  $N-K$ 가 10이고  $T_{ac}$ 가 200ms,  $T_{cc}$ 가 20ms이면  $T_{ac}/T_{cc}$ 가 10이 되어  $N-K$  값과 일치하게 되므로, 각  $T_{cc}$ 에서 1개의 채널씩만 추가로 센싱하면 된다.

ii)  $(N-K) > \left\lfloor \frac{T_{ac}}{T_{cc}} \right\rfloor$  인 경우

하나의  $T_{ac}$  안에 포함된  $T_{cc}$ 의 수보다 사용하지 않고 있는 채널의 수가 더 크기 때문에 각  $T_{cc}$ 에서는 둘 이상의 채널을 센싱해야하는 경우가 생긴다. 이런 경우에는, 앞에 있는  $T_{cc}$ 부터 많은 수의 채널을 센싱하도록 한다. 즉, 현재  $T_{ac}$ 에서  $T_{cc}$ 의 순서가 식 (9)의 값보다 작거나 같다면 그림 7의 A 경우와 같이  $M_n$ 을 정하고, 그렇지 않으면 B 경우와 같이  $M_n$ 을 정한다. 예를 들어  $N-K$ 가 25이고  $T_{ac}$ 가 200ms,  $T_{cc}$ 가 20ms이면  $T_{ac}/T_{cc}$ 가 10이기 때문에 10개의  $T_{cc}$  중 앞의 5개  $T_{cc}$ 에서는 3개씩 추가로 센싱하고, 뒤의 5개  $T_{cc}$ 에서는 2개씩 추가로 센싱한다.

$$(N-K) - \left\lfloor \frac{N-K}{\left\lfloor \frac{T_{ac}}{T_{cc}} \right\rfloor} \right\rfloor \times \left\lfloor \frac{T_{ac}}{T_{cc}} \right\rfloor \quad (9)$$

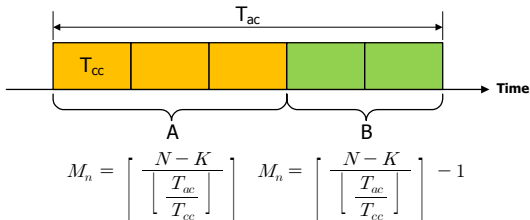


그림 7. 사용 중이지 않는 채널 수가 하나의 Tac 안에 포함된 Tcc의 수보다 더 큰 경우

iii)  $(N-K) < \left\lfloor \frac{T_{ac}}{T_{cc}} \right\rfloor$  인 경우

하나의  $T_{ac}$  안에 포함된  $T_{cc}$ 의 수가 사용 중이지 않는 채널 수보다 더 크기 때문에 일부의  $T_{cc}$ 에서만 하나의 채널을 추가로 센싱하게 된다. ii)의 경우와 마찬가지로, 앞 순서의  $T_{cc}$ 에서부터 하나씩 채널을 스캔하도록 한다. 즉, 현재  $T_{ac}$ 에서  $T_{cc}$ 의 순서가 센싱이 필요한 채널 수인  $N-K$ 의 값보다 작거나 같다면 그림 8의 A 경우가 되고, 그렇지 않으면 B 경우가 된다. 예를 들어

$N-K$ 가 7이고,  $T_{ac}$ 가 200ms,  $T_{cc}$ 가 20ms이면  $T_{ac}/T_{cc}$ 가 10이기 때문에 10개의  $T_{cc}$  중 앞의 7개  $T_{cc}$ 에서는 하나씩 추가로 센싱하고, 뒤의 3개  $T_{cc}$ 에서는 추가로 센싱할 필요가 없게 된다.

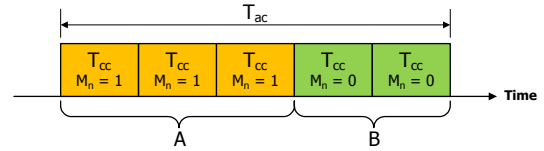


그림 8. 사용 중이지 않는 채널 수가 하나의 Tac 안에 포함된 Tcc의 수보다 더 작은 경우

이상에서 CR 사용자가 현재 사용중인 채널과 사용 중이지 않는 채널을, 주 사용자를 보호하기 위한 센싱 요구조건에 맞게, 분산하는 방법을 알아보았다. 본 절의 채널 분산 스케줄은 앞 절에서 언급한 QoS 기반의 센싱 구간 스케줄보다 더 우선시 되어야한다.

### 3.3 QoS 보장형 채널 센싱 스케줄링

이 절에서는 3.1절의 QoS 기반의 센싱 구간 스케줄과 3.2절의 채널 분산 스케줄을 고려하여, CR 사용자가 최대한 QoS를 만족시키면서, 주 사용자 보호를 위한 센싱 요구조건을 충실히 이행하는 채널 센싱 스케줄링에 대해 알아본다. 이후의 내용은 두 가지 경우로 분류된다. 우선, CR 사용자의 QoS를 보장하는  $MaxSIT_c$ 와  $MinSII_c$ 의 합이, 현재 사용 중인 채널들에 대해 요구되는 센싱 주기  $T_{cc}$ 보다 작은 경우에 대해, CR 사용자의 QoS와 주 사용자 보호를 위한 센싱 요구조건을 동시에 만족시킬 수 있는지 검토를 수행한다. 검토 내용은, 한 번의  $T_{cc}$  기간 안에 여러 번의  $MaxSIT_c+MinSII_c$ 가 포함되며,  $N_{cc}(n)$ 개의 채널들이 각각의  $T_{cc}$  기간 동안 명백하게 센싱될 수 있는지를 평가하는 것이다. 반면,  $MaxSIT_c+MinSII_c$ 가  $T_{cc}$  기간보다 큰 경우에는 CR 사용자의 QoS 보장과 센싱을 통한 주 사용자의 안정적인 보호를 동시에 만족시킬 수 없게 된다. 이 경우, 주 사용자의 보호를 우선으로 하되, 그로 인해 발생하는 QoS 저하를 최소화하기 위해서는 추가적인 방법이 연구될 수 있지만, 본 논문에서는 이러한 방법에 대한 논의를 다루지 않기로 한다. 이하에서 하나의 채널을 센싱하는데 소요되는 시간은 고정된 시간 값인  $T_s$ 를 사용한다.

i)  $MaxSIT_c+MinSII_c \leq T_{cc}$  의 경우

그림 9와 같은 상황에서 주 사용자 보호를 위한 센싱 요구조건을 충족시키기 위해서는  $T_{cc}$  기간동안  $N_{cc}$

개의 채널을 센싱할 수 있어야 한다. 따라서, CR 사용자의 QoS 요구조건과 주 사용자 보호를 위한 센싱 요구조건을 동시에 만족하기 위해서는  $T_{cc}$  기간에 포함될 수 있는 총  $SIT_c$ 의 합이  $N_{cc}(n)$ 개의 채널을 센싱하는 시간보다 커야한다. 본 논문에서는 편의를 위해 총  $SIT_c$ 의 합에 대해  $MaxSIT_c$ 의 단위로 계산하였다.  $MaxSIT_c$ 와  $MinSII_c$ 는 항상 짝을 이루어  $T_{cc}$  기간 내에 포함되어야 CR 사용자의 QoS 요구조건에 위배되지 않음에 유의해야 한다. 한번의  $T_{cc}$  기간에 포함된 총  $(MaxSIT_c+MinSII_c)$ 의 개수는  $N_{pair}$ 로 나타낸다.

$$N_{pair} = \left\lfloor \frac{T_{cc}}{\max SII_c + \min SII_c} \right\rfloor \quad (10)$$

QoS 보장형 센싱을 위해서는 다음 (11)의 조건을 만족해야 한다.

$$N_{cc}(n) \times T_s \leq N_{pair} \times \max SII_c \quad (11)$$

위의 조건을 만족하지 못하는 경우에는, CR 사용자가 매  $T_{cc}$ 에서  $N_{cc}(n)$  개수의 채널을 센싱할 수 없기 때문에, CR 사용자의 QoS 요구조건과 주 사용자 보호를 위한 센싱 요구조건을 동시에 만족시킬 수 없게 된다. 이러한 경우, 주 사용자를 우선적으로 보호하기 위해, CR 사용자는 자신의 ST를  $N_{cc} \times T_s$ 로 설정하고, 이로 인해  $MinSII_c$ 를 충족하지 못하더라도 그에 대한 QoS의 손실을 감수해야 한다.

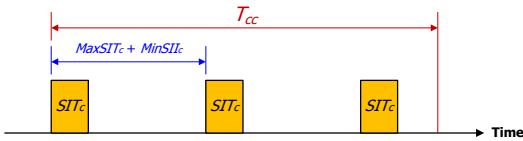


그림 9.  $MaxSIT_c+MinSII_c$ 가  $T_{cc}$ 보다 작은 경우

식 (11)의 조건을 만족하는 경우,  $N_{pair} \times MaxSIT_c - N_{cc}(n) \times T_s$ 에 해당하는 잔여 시간동안, CR 단말은 추가적으로 여분의 채널을 센싱하거나, 혹은 자신의 QoS 향상을 위해 서비스 시간  $SII_c$ 를 늘리는 조치를 취할 수 있게 된다. 이 때, 추가적인 여분의 채널이란 현재 지속적인 센싱이 필요한 전체 채널들이 아닌 새로운 채널을 의미하며, 이는 CR 사용자가 이후의 원활한 CR 동작을 위해 새로운 대역의 채널들을 개척 (exploitation)할 수 있음을 의미한다.

ii)  $MaxSIT_c+MinSII_c > T_{cc}$  의 경우

그림 10과 같이  $MaxSIT_c+MinSII_c$ 가  $T_{cc}$ 보다 큰 경

우, CR 사용자는 기본적으로 QoS 보장 요구조건을 충족시킬 수 없게 된다. 이 경우에도 역시 주 사용자를 보호하는 측면에서  $N_{cc}(n) \times T_s$ 만큼의  $SIT_c$ 를 우선 적용하고, 그에 대한 QoS 손실을 감수해야 한다.

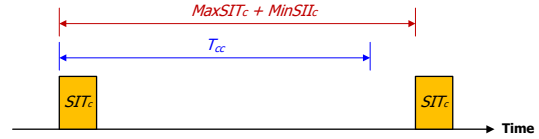


그림 10.  $MaxSIT_c+MinSII_c$ 가  $T_{cc}$ 보다 큰 경우

이상에서 알아본 바와 같이, 본 논문에서 제안하는 QoS 보장형 채널 센싱 스케줄링은 그 적용 범위가 다소 제한적일 수 있다. 그러나 제시한 조건을 만족하는 경우에는 여러 채널들을 분산적으로 나누어 센싱함으로써, 센싱 오버헤드가 QoS에 미치는 영향을 격감시킬 수 있으며, 경우에 따라서는 새로운 대역의 채널을 개척하거나 여분의 QoS 향상 효과를 유인할 수 있다.

#### IV. 성능 평가

본 장에서는 센싱할 수 있는 채널 수가 제안한 채널 센싱 스케줄링 방법을 기존의 연속적인 채널 방법과 비교하여 얼마나 증가하였는지, 그리고 제안한 방법이 QoS를 얼마나 보장할 수 있는지에 대해 성능 평가를 해보고자 한다. 성능 평가는 두 부분으로 나눈다. 4.1 절에서는 다양한 네트워크 환경과 QoS 요구 조건에 따라 채널을 센싱할 때의 여러 가지 파라미터들에 대한 수치 분석 (Numerical Analysis)을 해보았고, 4.2 절에서는 제안된 채널 센싱 스케줄링 방법에 대한 실제 네트워크 환경의 모의 실험 (Simulation) 결과를 제시한다. 모의 실험에서 고려된 환경은 QoS 요구조건과 CR 센싱 요구조건을 모두 만족하는 범위, 즉 식(11)을 만족하는 범위로 제한하였다.

##### 4.1 수치 분석 (Numerical Analysis)

본 절에서는 3장에서 소개한 CR 사용자의 QoS 요구조건의 변화에 따른 최대 센싱 구간( $MaxSIT$ )과 최소 서비스 구간( $MinSII$ )을 관찰하고, 이에  $T_{acc}$ ,  $T_{cc}$ 와 같은 센싱 요구조건이 반영된 실제 CR 사용자의 가능한 센싱 구간과 서비스 구간을 수치적으로 분석한 결과를 제시한다. 본 절의 수치 분석에 사용된 파라미터들은 표 1과 같다.

3.1절에서 설명한  $MaxSIT$ 와  $MinSII$ 의 값은 CR 사용자의 QoS 요구조건, 즉, 패킷 지연과 손실 요구조건

표 1. 수치 분석 파라미터

Numerical Analysis Parameters	Value
BS의 채널 손실 비율 (PoA_Loss)	0.5
스캔하는 채널 수 $N$	100
현재 사용 중인 채널 수 $K$	10
모든 채널을 스캔하기 위한 인터벌 $T_{ac}$	3 (sec)
사용 중인 채널을 스캔하기 위한 인터벌 $T_{cc}$	1 (sec)
하나의 채널에 대한 센싱 소요 시간 $T_s$	1 (msec)

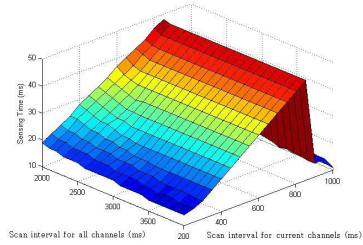


그림 12.  $T_{cc}$ 와  $T_{ac}$  변화에 따른  $SITc$  값의 변화

을 기준으로 분석되었다.  $MaxSIT$ 의 값은 식 (3)에서와 같이 패킷 지연 요구조건에 의해서만 영향을 받으며, 현재 CR 사용자가 이용 중인 서비스가 더 큰 지연을 허용할수록 선형적으로 증가할 것이다. 반면,  $MinSII$ 의 값은 식 (7)에서와 같이 패킷 지연 요구조건과 패킷 손실 요구조건 모두에 의해 영향을 받는다. 그림 11은  $T_{ac}$ 와  $T_{cc}$ 의 영향을 배제한 상태에서, 다양한 패킷 지연 요구조건과 패킷 손실 요구조건에 따른  $MinSII$  값의 변화를 보여준다. 그림 11a의 결과는  $MinSII$  값이 QoS를 보장할 수 있는 패킷 지연의 증가( $R_{delay_c}$ )에 대해 선형적으로 증가하고, 요구 패킷 손실( $R_{loss_c}$ )의 증가에 대해서는 감소하는 것을 보여준다.  $M_{delay_c}$ 와  $M_{loss_c}$ 의 값은  $M_{delay_c}/R_{delay_c}=M_{loss_c}/R_{loss_c}=0.3$ 의 비율로 유지하였다.  $R_{delay_c}$ 의 증가는 식 (3)에 의하여 식 (7)에서 사용되는  $SIT$  값을 증가시키기 때문에,  $MinSII$  값의 증가로 귀결된다. 이는 결과적으로 CR 사용자의 QoS가 지연과 손실에 민감한 경우에는  $MinSII$  값의 증가를 통해 QoS를 보장할 수 있음을 말한다.

그림 11b는  $R_{delay_c}=60ms$ ,  $R_{loss_c}=5 \times 10^{-3}$ 에 대한 분석의 결과로서,  $M_{delay_c}$  및  $M_{loss_c}$ 의 변화에 대한  $MinSII$  값을 나타낸 것이다. 동일한  $R_{delay_c}$ 에 대해서  $R_{loss_c}$  혹은  $M_{loss_c}$ 가 증가하는 경우에는  $MinSII$  값이 감소하고 있는데, 이는 상대적으로 완화된 패킷 손실 요구조건을 갖춘 QoS에 대해서는 그만큼 손실분을 보상하기 위한 정상 서비스 구간이 짧아도 무관하다는 것을 의미한다.

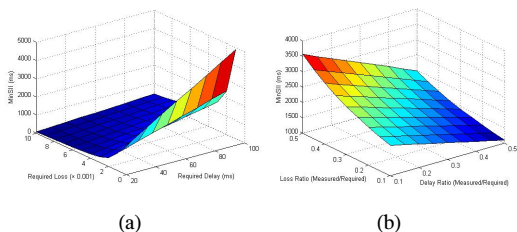


그림 11. Delay와 Loss에 따른  $MinSII$  값의 변화

그림 12는  $MaxSIT=50ms$  및  $MinSII=900ms$  인 경우에서  $T_{ac}$ 와  $T_{cc}$ 의 변화에 따른 CR 사용자의 실제 센싱 시간  $ST$  값을 나타낸 것이다.  $ST$  값은 동일한  $T_{ac}$ 에 대해  $T_{cc}$  값이 증가할수록, 꾸준히 증가하다가  $T_{cc}$  값이 900ms에 근접한 부분에서는 급격히 감소하고 있다. 이는  $MaxSIT+MinSII$  값이  $T_{cc}$  값보다 큰 경우, QoS 보장형 센싱을 수행할 수 없는 상태로 전환됨을 보여준다. QoS 보장형 센싱을 수행하는 중에도 표면이 고르지 못한 결과가 보이는데, 이는 QoS 요구조건과 센싱 요구조건 모두를 동시에 충족시키기 위해 조정된 결과이다.

그림 13은  $T_{ac}=1(s)$ 인 기존의 연속적인 채널 센싱 방법과  $T_{cc}=0.33(s)$ 가 적용된 제안된 센싱 스케줄링 방법에서 시간에 따라 분산적으로 센싱되는 채널의 현황을 나타낸 것이다. 이때, 전체 채널의 수는 40개이며 ( $N=40$ ), 현재 사용중인 채널의 수는 4개이다( $K=4$ ). 그림에서 보는 것과 같이, 제안된 방법은  $T_{cc}$ 마다  $N_{cc}(n)$  개의 채널만을 센싱함으로써, 전체 채널에 대한 센싱 오버헤드를 분산적으로 수행할 수 있음을 보여준다.

#### 4.2 모의 실험 (Simulation)

본 절에서는 제안된 방법에 대해 실제 네트워크 환경에서의 가상 실험 결과를 제시한다. 모의실험 환경은 표 1을 기본으로 하며, 표 2에 추가적으로 사용된 파라미터들을 나타내었다.

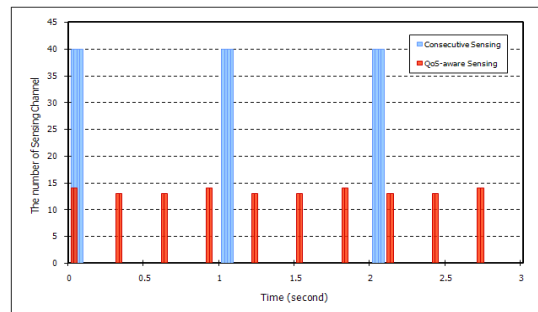


그림 13. 연속적 채널 센싱과 분산적 채널 센싱의 비교



표 2. 모의 실험 파라미터

Simulation Parameter	Value
QoS를 만족하는 Delay와 Loss 값	10ms, $10^{-2}$
무선 채널 용량	2Mbps
데이터 패킷의 크기	200bytes
데이터 전송 속도	28kbps

그림 14와 15는 연속적인 센싱 방법(a)과 제안하는 방법(b)을 이용하여 채널 센싱을 수행할 때의 패킷의 지연 및 손실에 대한 관찰 결과를 보여준다. 그림 14에서 연속적인 채널 센싱을 수행하는 경우에는 센싱을 수행하는 동안 (그림의 Scan period) CR 사용자가 전송할 패킷의 지연이, 해당 서비스의 QoS를 위해 요구되는 R\_delayc를 초과하는 현상이 발생하지만, 제안된 방법을 통한 센싱에서는 센싱을 수행하는 도중, R\_delayc를 초과하는 현상이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.

그림 15에는 각각의 방법을 이용한 채널 센싱 과정에서, 성공적으로 전송된 패킷의 수를 나타낸 것으로, 특히 제안된 방법(b)을 이용하는 경우, 연속적인 센싱 방법에 비해 패킷의 손실이 상대적으로 분산되는 것을 관찰할 수 있다. 제안된 방법은 연속적인 센싱 방법에 비해 좀 더 잦은 패킷 손실을 야기하지만, 손실되는 패킷은 QoS를 고려하여 스케줄링 된 센싱 기간 동안 분산되기 때문에, 본래 CR 사용자가 이용 중인 서비스의 요구조건과 최대한 위배되지 않도록 조정된 것이다.

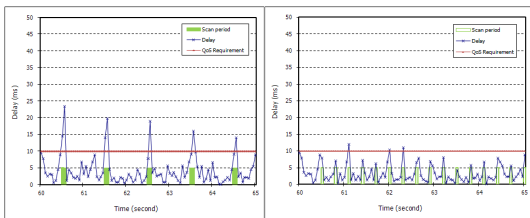


그림 14. 연속적 채널 센싱과 제안된 채널 센싱 방법에서의 패킷 지연 비교

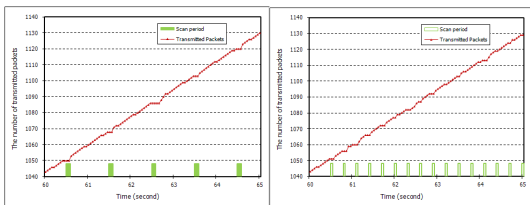


그림 15. 연속적 채널 센싱과 제안된 채널 센싱 방법에서의 패킷 전송 비교

## V. 결 론

본 논문에서는 CR 기술을 사용하는 CR 사용자가 주 사용자들에게 인가된 채널들을 센싱하는데 있어, 주 사용자를 보호하기 위한 요구조건을 만족하고, 동시에 자신의 QoS를 보장할 수 있도록 하는 QoS 보장형 채널 센싱 스케줄링 기법을 제안하였다. CR 사용자의 QoS 보장 요구조건은 CR 사용자가 PoA에게 송신할 패킷의 지연과 PoA가 CR 사용자에게 송신할 패킷의 손실을 기준으로 정의하였으며, 주 사용자 보호를 위한 CR 센싱 요구조건으로는 CR 사용자가 현재 사용 중인 채널들에 대한 센싱 주기와 전체 채널들에 대한 센싱 주기를 기준으로 정의하였다. 이러한 정의를 바탕으로, 이들 요구조건들을 동시에 만족시키고, 제안된 QoS 보장형 채널 센싱 스케줄링 기법이 적용될 수 있는 기준을 정의하였으며, 이에 대한 수치분석과 모의 실험을 통해 제안된 기법이 기존의 연속적 채널 센싱 방법과 비교하여 향상된 성능을 나타냄을 보였다. 본 논문에서는 제안된 기법의 적용 범위를 평가함에 있어서,  $MaxSIT$ ,  $N_{cc}(n)$  등의 고정된 단위를 사용함으로써, 제한된 결과를 도출하고 있지만, 이에 대한 추가적인 연구를 바탕으로, 제안된 기법의 맥락에서 적용 범위를 확장하고 보다 유연하게 QoS를 보장할 수 있는 CR 채널 센싱 기법으로의 발전을 기대할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. Cabric, S. M. Mishra and R. W. Bridersen, "Implementation Issues in Spectrum Sensing for Cognitive Radios," in Proc. Asilomar Conf. on Signals, Syst., and Comput., Pacific Grove, CA, pp. 772-776, 2004.
- [2] Federal Communications Commission (FCC), "Spectrum Policy Task Force," Report ET Docket, No. 02-155, Nov. 2002.
- [3] IEEE 802.22 Working Group of The LAN/MAN Standards Committee, "Draft Standard for Wireless Regional Area Network Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification: Policies and Procedures for Operation in The TV Bands," IEEE P802.22TM/D0.2 Draft Standard, Nov. 2006.
- [4] Omiyi P.E., Haas H., "Improving time-slot allocation in 4th generation OFDM/TDMA TDD

radio access networks with innovative channel-sensing” in Proc. IEEE ICC 2004, Vol. 6, Paris, France, pp. 3133-3137, June 2004.

[5] Jeng-Ji Huang, Yi-Hsuan Chen, Sen-Ching Chang, and Huei-Wen Ferng, “An Efficient Channel Scan Scheduling Algorithm for VoIP Handoffs in WLANs”, in Proc. IEEE VTC 2007 Spring, Dublin, Ireland, pp. 1340-1344, 2004.

[6] J. Minolta, “Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications,” in Proc. IEEE Mobile Multimedia Conference, pp. 3-10, 1999.

[7] Xueqiang Zheng, Jinlong Wang, Li Cui, Juan Chen, Qihui Wu, “A Novel Cooperative Spectrum Sensing Algorithm in Cognitive Radio Systems,” in Proc. IEEE WiCom 2008, pp. 1-4, October 2008.

[8] Li-hua He, Xian-zhong Xie, Xue-tao Dong, Tong Zhou, “Twice-Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems,” in Proc. IEEE WiCom 2008, pp. 1-3, October 2008.

**권 기 혁 (Ki-Hyuk Kwon)**

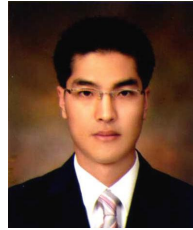
준회원



2007년 2월 인하대학교 컴퓨터 공학과(공학사)  
 2009년 2월 인하대학교 정보통신대학원 석사과정(공학석사)  
 2009년 1월~현재 LIG 넥스원 ISR 연구센터 연구원  
 <관심분야> Cognitive Radio, Ad-hoc network, Cross-Layer

**최 재 각 (Jae-Kark Choi)**

준회원



2006년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)  
 2008년 8월 인하대학교 정보통신대학원 석사과정(공학석사)  
 2008년 9월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정  
 <관심분야> Cognitive Radio, Seamless handover, MAC

**유 상 조 (Sang-Jo Yoo)**

중신회원



1988년 2월 한양대학교 전자통신학과(공학사)  
 1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)  
 2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)  
 1990년 3월~2001년 2월 KT 연구개발본부

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수  
 <관심분야> 초고속 통신망, 무선 MAC 프로토콜, 인터넷 QoS, Cross-layer 프로토콜 설계, Cognitive Radio Network