

지능형 무선 인지 기술 기반 네트워크 환경에서 정책기반 채널 센싱 구조 및 알고리즘

준회원 나 도 현*, 하 오 난*, 정회원 유 상 조*

Policy-based Channel Sensing Architecture and Algorithms for Cognitive Radio Networks

Do-Hyun Na*, Nan Hao* Associate Members, Sang-Jo Yoo* Regular Member

요 약

최근 IEEE 802.22 WRAN 워킹 그룹에서는 부족해지는 주파수 부족의 해결을 위해 CR (Cognitive Radio)의 기술개발을 진행 중에 있다. 채널을 센싱하는 방법에 따라 기존의 시스템 (IS: Incumbent System)의 보호에 상당한 영향을 미치기 때문에 네트워크 상황에 따른 최적의 센싱 방법을 선택하는 것이 중요하다. 이에 IEEE 802.22에서 fine sensing을 제안하고 있지만 아직까지는 다양한 네트워크에 효율적으로 적용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 네트워크 환경에 따라 효율적인 센싱 방법을 선택하기 위한 무선인지 네트워크에서 정책기반 채널 센싱 구조 및 알고리즘 (Policy-based Channel Sensing Architecture and Algorithms for Cognitive Radio Networks)을 제안한다. 본 논문에서는 제안하는 채널 센싱 방법 및 알고리즘의 효율성을 확인하기 위하여 제시한 모의실험 결과는 각 센싱 방법에 따라 차이점을 보였지만 제안하는 채널 센싱 방법이 전체적으로 기존의 시스템 검출 시간 및 QP(Quiet Period)를 줄일 수 있었다. 제안하는 방법 중에 클러스터를 이용한 센싱 방법(Channel division round robin sensing)의 경우 IEEE 802.22에서 제안하는 fine sensing에 비교하여 70%정도 평균 검출시간을 줄일 수 있었다.

Key Words : Channel Sensing Architecture, Channel Sensing Algorithms, Policy Decision, Cognitive Radio Networks

ABSTRACT

Recently IEEE 802.22 WG has considered Cognitive Radio (CR) technology to overcome shortage of communication channels. For using CR technology, accurate and rapid sensing method selection is extremely important. According to the channel sensing method, it is of the utmost importance because it can affect the incumbent system protection. So, optimum selection of channel sensing method is very important. IEEE 802.22 gives the solution, name of fine sensing, but the solution can not adapt to various networks. So in this paper we propose Policy-based Channel Sensing Architecture and Algorithms for Cognitive Radio Networks. The proposed channel sensing architecture and algorithms can reduce both primary system detection time and quiet time in our simulation. Among the proposed sensing algorithm, channel division round robin sensing reduce average detection time up to 70% compare to fine sensing method in IEEE 802.22.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥연구원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2008-C1090-0801-0019)

※ 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2006-001-10266-0)

* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망 연구실 (dony1117@paran.com, haonan1102@gmail.com, sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-01-024, 접수일자 : 2008년 1월 11일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 15일

I. 서 론

주파수는 국가의 무형자산으로써 한정된 자원인 반면에, 무선 통신 기술의 급격한 발전과 다양한 무선 통신 서비스의 개발로 인해 무선 통신 시스템에서 사용할 수 있는 주파수가 부족하여지고 주파수 자원의 가치가 점점 높아지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 최근 FCC (Federal Communications Commission)는 기존의 시스템에게 할당된 주파수가 대부분의 시간 동안 사용되지 않고 있다는 것을 보고 하였고[1,2], 이에 따라 이미 기존의 다른 무선 통신 시스템에 할당 되어있는 주파수 대역이지만 실제로 사용되지 않고 있는 주파수 대역을 감지하여 이를 사용할 수 있는 CR (Cognitive Radio)의 개념이 제시 되었다.

CR은 기존의 방법과 같이 국가의 주파수 정책에 따라 정부로부터 할당 받는 것이 아니라 이미 기존의 시스템에 할당 되어 있지만 시간적, 공간적으로 사용되지 않고 있는 주파수 자원을 기존의 시스템에 간섭을 주지 않고 사용하는 기술이다. 이 기술은 Joseph Mitola III[3-5]에 의하여 제안되었으며, 미국 FCC에 의해 무선 인지 기술의 사용이 승인되어, IEEE 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Networks) 워킹 그룹을 통하여 기술 개발이 진행되고 있다[6]. 이와 같은 CR 기술의 개발 노력은 임대 네트워크 (leased network), 무선 인지 메쉬 네트워크 (cognitive mesh network), 재난, 재해시의 긴급 네트워크 (emergency network), 군 통신 (military network)에의 이용 등과 같은 다양한 응용 분야에 적용될 것이다⁷⁻¹².

이와 같이 CR을 이용하여 주파수를 사용할 경우 주파수 사용자는 반드시 기존의 시스템에게 간섭을 주지 않고 운영해야 하기 때문에 실시간으로 주파수를 감지해야 하고 기존의 시스템이 나타났을 경우 비어있는 주파수 중에서 새로 사용할 주파수를 선택해야 한다. 실시간으로 주파수를 감지하기 위하여 IEEE 802.22에서는 일정 주기마다 QP (Quiet Period)를 계획하여 센싱을 하지만 다양한 응용분야의 모든 네트워크 환경에 적용할 수 있는 방법은 아니다. 따라서 네트워크 환경에 따라 효율적인 센싱 방법을 계획하고 선택하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 무선인지 기술을 사용하는 네트워크에서 효율적인 센싱 방법을 선택하기 위해 정책기반 채널 센싱 구조 및 알고리즘 (Policy-based Channel Sensing Architecture and Algorithms for Cognitive

Radio Networks)를 제안한다.

본 논문에서는 이러한 전반적인 발전 추세에 맞추어 지능형 무선 인지 기술의 개략적인 설명과 효율적인 센싱 방법의 문제를 해결하는 정책기반 채널 센싱 구조 및 알고리즘에 대하여 논의한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 현재 IEEE 802.22의 센싱 방법과 문제점을 살펴보고 제안하는 채널 센싱 구조를 제시한다. 제 III장에서는 본 논문에서 새롭게 제안하는 센싱 방법에 대해 설명하면서 각각의 알고리즘을 제시하고 적용 가능한 환경에 대해 설명하며, 제 IV장에서는 제안하는 방법의 모의실험을 통해 제안된 방법의 성능평가를 수행하였다. 마지막으로 제 V장에서는 본 연구의 결론을 맺는다.

II. 채널 센싱 구조

CR 사용자는 기존의 시스템을 실시간으로 센싱하여 사용권을 보장해 주어야 한다. 하지만 기존의 시스템을 보호하기 위해서 지나치게 오랜 시간의 QP가 지속되게 되면 CR 사용자가 음성, 영상 등 대용량의 데이터 전송을 위해 필요로 하는 QoS (Quality of Service)를 보장 받을 수 없게 된다. IEEE 802.22 WRAN 워킹 그룹에서는 CR 사용자에게도 적절한 QoS를 보장해 주기 위해서 그림 1과 같이 두 가지의 센싱 방법을 제안하였다. IEEE 802.22에서 제안하는 센싱 방법은 짧은 시간 안에 간단한 에너지 검출 등의 방법으로 사용 중인 채널을 포함하여 몇 개의 채널을 센싱 하는 fast sensing과 fast sensing으로 모은 채널의 정보를 판단하여 자세한 센싱이 필요하다고 판단되면 비교적 오랜 시간 동안 QP를 계획하여 센싱 하는 fine sensing이 있다.

하지만 IEEE 802.22에서와 같이 특정한 환경을 위해 제안된 센싱 방법은 모든 네트워크 환경을 고려 할 수 없으며 지나치게 많은 QP가 낭비 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 일반적으로 CR을 사용하는 네트워크에 적용할 수 있는 채널 센싱 방법

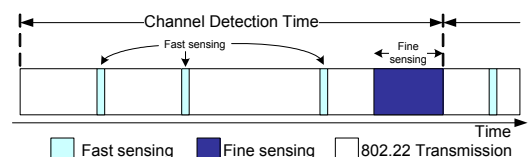


그림 1. IEEE 802.22의 fast sensing과 fine sensing

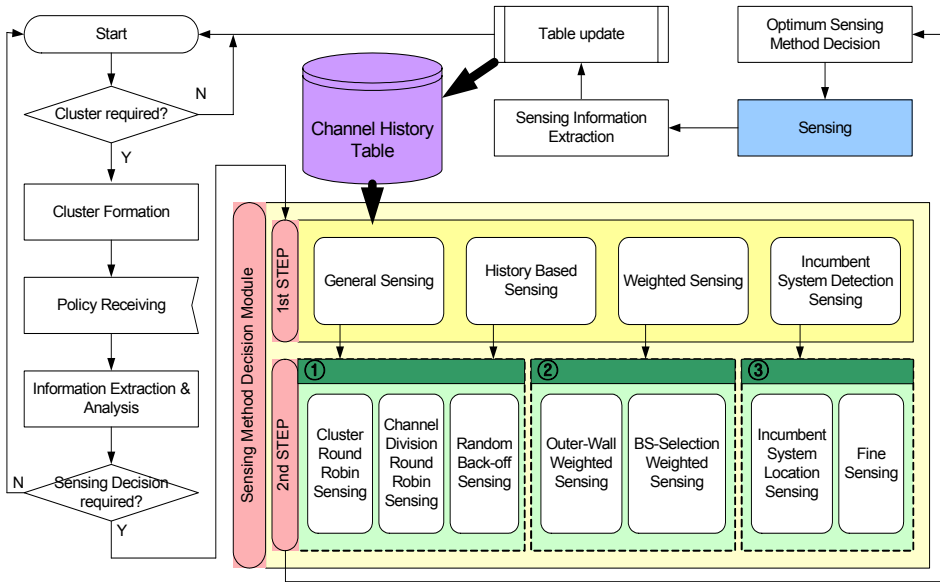


그림 2. 채널 센싱 구조

및 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 채널 센싱 구조 (channel sensing architecture)는 IEEE 802.22 WRAN 뿐만 아니라 무선 인지 기술을 기반으로 사용하는 모든 네트워크에서도 사용 할 수 있는 채널 센싱 방법을 제안한다. 상기 기술하였듯이 그림 1과 같은 제한된 센싱 방법으로는 모든 CR 사용자가 데이터 전송을 위해 필요로 하는 QoS를 만족 시켜 주기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 일반적으로 CR을 사용하는 네트워크에 적용할 수 있는 채널 센싱 방법 및 알고리즘을 제안하고 이의 효용성에 대해 살펴보고자 한다. 그림 2는 제안하는 채널 센싱 구조이다.

제안하는 채널 센싱 구조는 다음과 같은 순서로 동작한다.

Step 1. 클러스터 구성 (Cluster Formation): 제안하는 방법은 기본적으로 인접한 BS들이 클러스터를 구성하여 동작하도록 되어있다. 네트워크 초기화 단계이거나 클러스터에 포함 되어 있지 않은 BS가 있을 경우 클러스터 구성이 필요하다면 지역적으로 근접한 BS들을 하나의 클러스터로 구성하는 단계이다. 백본 (backbone)으로 연결된 BS는 백본을 이용한 정보의 교환으로 인접한 BS를 클러스터로 구성하며, 백본으로 연결 되어 있지 않고 분산적으로 위치한 BS는 Ad-hoc, 센서 네트워크에서 기존의 제안된 클러스터 구성 알고리즘을 이용하여 구성 할

수 있다.

Step 2. 정책 입력 (Policy Receiving): 채널 센싱 방법의 결정에서 사용될 정책을 사용자로부터 입력 받는다. 여기서 입력 받는 정책은 센싱 방법을 결정할 때 필요한 정보로써 센싱 방법 선택, 센싱 가중치, 백오프 숫자, 기존의 사용자 출현 위치등과 같은 정보이다. 정책은 네트워크의 환경이나 BS, 단말 노드의 상태에 따라 다르기 때문에 정책 입력 단계가 될 때마다 입력받는다.

Step 3. 정보 추출 및 분석 (Information Extraction & Analysis): 정책 입력 (Policy Receiving) 단계에서 입력 받은 정보를 추출하고 분석한다. 네트워크의 상황에 따라 다른 정책이 입력 되기 때문에 입력 받은 정보를 분석하는 단계이다. 정보의 분석에 따라 새로운 센싱 결정이 필요한지를 판단하여 필요할 경우는 다음단계로 진행하고 이전의 센싱 방법을 계속 사용한다면 처음단계로 돌아간다.

Step 4. 센싱 방법 결정 모듈 (Sensing Method Decision Module): 센싱 방법 결정 모듈은 크게 2 단계로 나누어져 있다. 어떠한 센싱 방법을 선택하는가에 따라 대 분류로 구분하기 위한 1st STEP, 대 분류한 방법에서 센싱 방법을 결정하기 위한 2nd STEP으로 나눈다.

Step 4.1. 1st STEP: 정보 추출 및 분석에서 판

단한 정책에 따라 일반 센싱 (general sensing), 사용 이력 기반 센싱 (history based sensing), 가중치 센싱 (weighted sensing), 기존의 사용자 검출 센싱 (incumbent system detection sensing) 중에 하나를 선택한다. 일반 센싱은 IEEE 802.22에서 사용하는 센싱 방법을 클러스터 구성을 적용하여 사용한다. 사용 이력 기반 센싱은 이전의 채널 사용 이력에 따라 센싱 빈도를 조절하여 센싱을 한다. 따라서 기존의 시스템이 자주 나타나는 채널에 대한 빈번한 센싱을 통해 기존의 시스템 보호를 보장할 수 있다. 가중치 센싱은 특정 지역의 센싱 빈도를 높이기 위한 방법으로써 기존의 시스템이 빈번하게 출현하는 지역에 대한 센싱을 자주하게 하여 기존의 시스템 보호를 보장할 수 있다. 기존의 사용자 검출 센싱 방법은 기존의 시스템이 출현 하였을 때 출현 위치를 감지하여 영향이 미치는 지역을 구분하고 기존의 시스템의 영향이 미치지 않는 지역은 사용하고 있던 대역을 계속 사용 가능 하게 해준다.

Step 4.2. 2nd STEP: 1st STEP에서 결정한 센싱 방법에 따라 더 자세한 센싱 방법을 선택하는 단계이다. 일반 센싱, 이력 기반 센싱 의 경우는 그림 2에서 ①의 센싱 방법 중에 하나를, 가중치 센싱의 경우는 ②의 센싱 방법 중에 하나를, 기존의 사용자 검출 센싱의 경우는 ③의 센싱 방법 중에 하나를 정책입력에 따라 선택한다. 본 논문에서 새롭게 제안한 센싱 방법에 대해서 다음 장에 자세히 설명하고 여기서는 간략한 동작 방법에 대해 설명한다.

- 1) 클러스터 라운드 로빈 센싱 (Cluster Round Robin Sensing): 클러스터내의 BS들이 순차적으로 번갈아 가면서 CR 채널에 대해 센싱한다. fine sensing과 동일한 방법이지만 주변의 BS와 협력하여 센싱한다는 점이 다르다.
- 2) 채널 분배 라운드 로빈 센싱 (Channel Division Round Robin Sensing): 클러스터내의 BS의 개수로 CR 채널을 나누어 분담하여 센싱 한다. BS의 내부에서도 센싱하는 지역을 나누어서 센싱 시간을 절약한다.
- 3) 랜덤 백오프 센싱 (Random Back-off Sensing): 클러스터내의 각 BS가 백오프 숫자를 생성하고 백오프 숫자가 0이 된 BS만 센싱을 한다. 분산 환경의 네트워크에서 센싱 시간을 줄이기에 유용하다.
- 4) 외곽 가중치 센싱 (Outer-wall Weighted Sensing): 클러스터를 형성한 BS의 외곽에 가중치를 많이 주어 빈번하게 센싱하게 한다.

- 5) BS 선택 가중치 센싱 (BS-Selection Weighted Sensing): 클러스터에 속한 BS중에서 기존의 사용자가 많이 출현하는 위치에 있는 BS에게 가중치를 많이 주어 빈번하게 센싱하게 한다.
- 6) 기존의 사용자 위치 센싱 (Incumbent System Location Sensing): 기존의 사용자의 출현위치를 파악하여 해당위치의 주변에 있는 BS들에게 알려주고 간섭을 일으키지 않게 대비한다.
- 7) 세밀한 센싱 (Fine Sensing): IEEE 802.22 표준에서 제안하는 센싱 방법과 동일하다.

Step 5. 최적 센싱 방법 결정 (Optimum Sensing Method Decision): 센싱 방법 결정 모듈에서 결정한 센싱 방법을 정책입력에 기반 하여 최적화하고 센싱 방법을 결정한다.

Step 6. 센싱 (Sensing): 최적 센싱 방법 결정에서 최적화한 센싱 방법에 따라 센싱을 수행 한다.

Step 7. 센싱 결과 추출 (Sensing Result Extraction): 센싱한 채널 정보를 테이블 갱신에 사용하고 기존의 시스템 출현에 대비하기 위한 정보로 분석한다.

Step 8. 테이블 갱신 (Table Update): 분석한 채널 정보로 채널 사용 이력 테이블 (channel history table)을 갱신한다.

위의 과정은 BS초기화 및 클러스터 구성 초기화 과정부터 시작하여 반복적으로 수행 되며 테이블 갱신의 과정까지 모두 마치면 클러스터 구성 단계로 돌아가서 전체 과정을 다시 반복한다.

III. 제안하는 센싱 방법과 알고리즘

다음은 채널 센싱 구조에서 Step 4.2의 2nd STEP에서 정책에 따라 선택하는 센싱 방법에 대한 설명이다. 제안하는 센싱 방법 중에 기존의 잘 알려진 센싱 방법을 제외하고 본 논문에서 새롭게 제안하는 센싱 방법에 대해서 설명한다. 본 논문에서 제안하는 센싱 방법은 기본적으로 BS는 센싱에 참여하지 않고 BS 주변의 노드들만 센싱하게 BS이 계획하는 것이다. 이와 같이 센싱하기 위해서는 노드의 위치를 알아야 한다. 노드의 정확한 위치를 알기 위해서는 GPS (global positioning system) 등의 장치가 필요하지만 본 논문에서는 구성의 단순화를 위해 방향성 안테나 (directional antenna)의 사용을 전제로 한다. 그림 3과 같이 방향성 안테나를 사용하여 노드의 위치를 세분화 하고 추정할 수 있다.

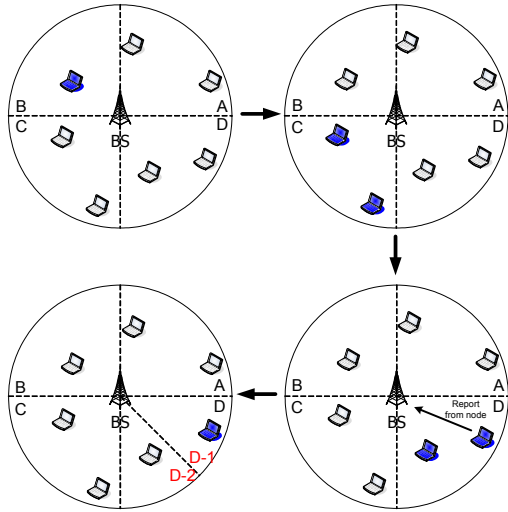


그림 3. 방향성 안테나를 사용한 노드의 위치 추정

3.1 채널 분배 라운드 로빈 센싱

채널 분배 라운드 로빈 센싱 (Channel Division Round Robin Sensing)은 전체 CR 채널을 클러스터 내의 BS가 각각 분배하여 센싱하고 클러스터 내의 이웃과 센싱 정보를 교환하는 방법이다. 예를 들어 그림 4에서 보면 센싱해야 할 전체 CR 채널을 BS의 개수만큼 나누어 각각 a, b, c, d 그룹이라 하고, T1 시간에는 BS1, BS2, BS4, BS5가 각각 채널 그룹 a, b, c, d를 센싱하며 일정 시간 후인 T2 시간 부터는 각각 d, a, b, c를 센싱하는 방법이다. 이때 BS5가 c 그룹을 센싱할 때 근접한 BS11이 센싱하는 것은 비효율적 이므로 이웃 클러스터와 겹치지 않게 BS15 또는 BS14가 c 그룹을 센싱하게 계획한다. 이웃 클러스터와 겹치지 않게 센싱을 계획하기 위해서는 우선 이웃의 정보를 받을 때, 이웃 BS의 번호 (ID)와 채널 센싱 계획의 순서를 받아야 한다. 그림 5에서 클러스터2가 클러스터 1보다 먼저 생성되어 센싱을 하고 있다고 할 때 BS5는 이웃 클러스터의 BS11이 T1에 b 그룹을 센싱하고 T2에 a 그룹을 센싱하는 정보를 받아 자신의 센싱은 이와 겹치지 않게 클러스터 내의 BS들과 조절한다.

채널 분배 라운드 로빈 센싱은 여러 개의 BS가 하나의 클러스터에 있을 때 센싱 시간 및 기존의 시스템 검출 시간을 절약하기 위해 채널을 나누어 센싱하는 방법으로 백분, 또는 중앙 관리 시스템에 모든 BS가 연결 되어 각 BS를 계획적으로 관리 할 수 있는 환경에 적합하다. 이 방법은 전체 센싱 시간 및 기존의 시스템 출현의 감지에 소요되는 시간

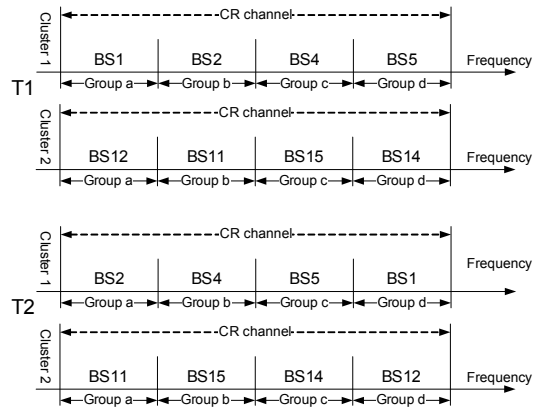


그림 4. 클러스터 내의 BS간 채널 분배 및 센싱 계획

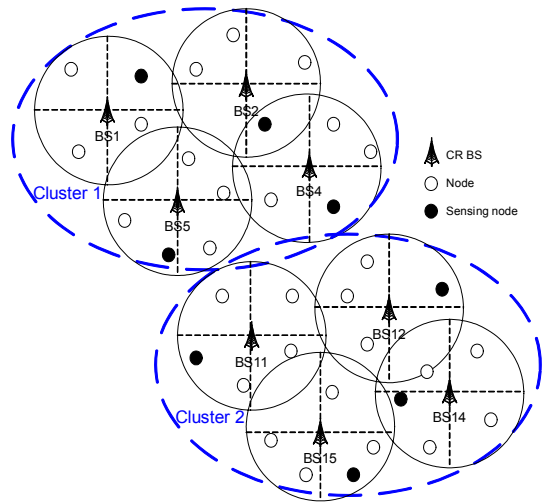


그림 5. 채널 분배 라운드 로빈 센싱

을 줄일 수 있고 이웃 BS의 정보까지도 알 수 있으므로 기존의 시스템 출현 시에 계획적인 hopping으로 CR 시스템간의 충돌을 회피 할 수 있다.

일반 센싱의 경우는 위와 같이 센싱하며 사용 이력 기반 센싱의 경우는 CR 채널을 기존의 시스템이 자주 나타나기 때문에 빈번하게 센싱 하는 대역과 기존의 시스템이 드물게 나타나기 때문에 간헐적으로 센싱 하는 대역의 2개의 그룹으로 나눈다. 이때 기존의 시스템이 자주 나타나는 채널의 의미는 식 (1)과 같이 일정 시간 (T)이 지나서 채널에 대한 정보가 채널 사용 이력 테이블 (channel history table)에 쌓였을 때, 전체 사용 가능한 CR 채널 (BANDINT) 중

$$BAND_{frequent} = \left\{ i \mid \frac{T_{i,appcar}^i}{T} \geq \alpha, \forall i \in BAND_{INT}, 0 \leq \alpha \leq 1 \right\} \quad (1)$$

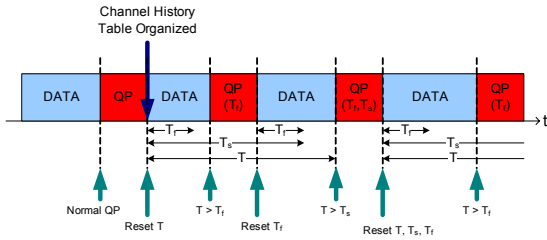


그림 6. 사용이력 기반 센싱의 예

에서 기존의 시스템이 나타나는 시간 (T_{appear})의 비율이 정책 입력 기준 (α)보다 큰 값을 의미한다. 빈번하게 센싱하는 대역은 T_f 의 시간을, 간헐적으로 센싱하는 대역은 T_s 의 시간을 할당하여 각각 T_f , T_s 가 지난 채널 그룹만을 센싱한다. (단, $T_f < T_s$) 그림 6의 예와 같은 사용 이력 기반 센싱의 경우는 기존의 시스템이 자주 나타나는 채널에 대한 빈번한 센싱을 통해 기존의 시스템을 보호할 수 있는 장점이 있지만, 기존의 시스템이 특정 채널에 빈번하게 나타나는 특성을 보이지 않을 경우는 오히려 센싱 시간이 지연되는 단점이 있다.

3.2 랜덤 백오프 센싱

경쟁을 회피하기 위한 백오프를 센싱 횟수를 줄이는 방법으로 착안한 랜덤 백오프 센싱은 일반 센싱의 경우에 다음과 같이 동작한다. 각 BS가 각기 다른 백오프 숫자 (back-off number)를 생성하고 그 값이 0이 될 때까지 일정한 주기 마다 감소시킨다. 이 주기는 시스템의 정책 입력에 따라 다르며 한 프레임 기간, 일정 기간의 정해진 시간 등이 될 수 있다. 백오프 숫자가 0이 된 BS는 전체 CR 채널에 대해 센싱을 한다. BS가 센싱을 하는 동안에도 기존의 백오프 방식과는 달리 이웃하는 BS는 백오프 숫자를 감소시킨다. 센싱한 BS는 이웃의 BS에게 센싱 결과를 전달하며 센싱 결과를 수신한 BS는 백오프 숫자를 정책으로 입력 받은 일정 시간 동안 정지하는 프리징 타임 (freezing time)을 가진다. 이는 근접한 BS끼리 클러스터를 형성하였기 때문에 이웃 BS로부터 받은 채널 센싱 결과는 자신이 센싱한 결과와 비슷할 것이고 따라서 일정시간 동안 센싱할 필요가 없기 때문이다. 채널 이력 기반 센싱의 경우에는 채널 분배 라운드 로빈 센싱에서 설명한 것과 같이 채널을 2개의 그룹으로 나누고 백오프 숫자가 끝났을 때 T_f , T_s 가 지난 채널 그룹만을 센싱한다.

랜덤 백오프 센싱은 여러 개의 BS가 지역적으로

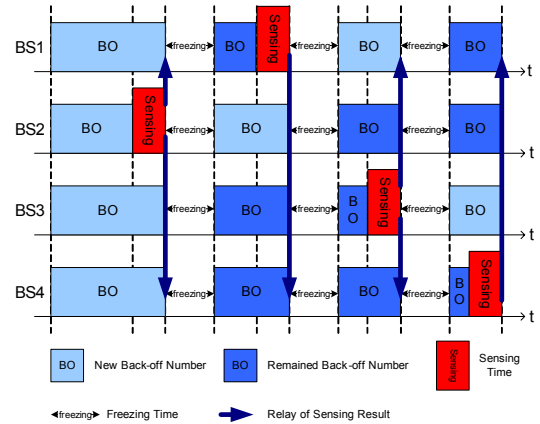


그림 7. 랜덤 백오프 센싱

근접해 있고 서로의 위치를 알고 있지만 백분, 또는 중앙 시스템과 연결되어 있지 않은 분산 환경에 적합하다. 분산 환경에서는 BS간에 계획적인 센싱을 할 수 없기 때문에 이와 같은 방법으로 낭비되는 센싱 시간을 줄일 수 있다. 백분으로 연결되어 있지 않은 분산 환경이기 때문에 센싱 결과의 전달은 노드를 통한 릴레이로 수행한다.

3.3 가중치 센싱

3.3.1 외곽 가중치 센싱

외곽 가중치 센싱은 기존의 시스템의 데이터 전송 범위가 CR 시스템의 데이터 전송 범위보다 넓은 경우 채널을 센싱할 때 클러스터 중심부에 있는 노드들 보다는 외곽에 위치한 노드들이 기존의 시스템을 발견할 확률이 높다는 사실에 착안한 방법이다. 그림 8과 같이 클러스터의 바깥쪽에 더 큰 가중치를 부여하고 높은 가중치 지역에 위치한 노드는 센싱을 빈번하게 하고 적은 가중치 지역에 위치한 노드는 센싱을 간헐적으로 하게한다. 이때 BS

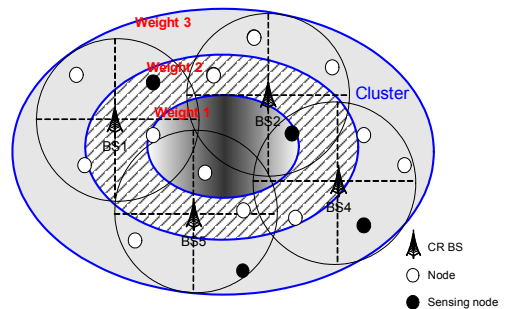


그림 8. 외곽 가중치 센싱

는 센싱에는 직접적으로 참여하지 않으며 센싱하게 될 노드 중에서 가중치를 고려하여 노드를 선택하고 센싱하게 계획한다. 이와 같은 센싱 방법으로 CR 시스템은 기존의 사용자를 더욱 빨리 발견 할 수 있다는 장점이 있다.

3.3.2 BS 선택 가중치 센싱

그림 9의 BS 선택 가중치 센싱의 기본적인 개념은 외곽 가중치 센싱과 동일하나 가중치를 부여하는 위치가 특정한 BS 주변이 되는 점이 다르다. 이는 CR 시스템의 특정 BS 주변에 기존의 사용자가 나타나는 경우가 다른 경우에 비해 CR 시스템과 기존의 시스템 모두의 통신에 치명적인 충돌을 야기할 수 있기 때문에 우선적으로 CR 시스템의 특정한 BS 주변에 센싱을 자주하게 하는 방법이다. 그림 9에서는 BS4가 클러스터 내의 다른 BS보다 중요한 데이터의 전송을 담당하고 있거나 대용량의 데이터 전송을 하고 있기 때문에 큰 가중치 값을 가지게 되는 것이다. 이와 같이 가중치를 부여하여 센싱 하는 방법은 기존의 시스템의 출현의 방향 및 위치를 예측 할 수 있는 환경에서 적합하며 기존의 시스템이 빈번하게 출현하는 위치를 자주 센싱 함으로써 기존의 시스템을 보호하는 확률을 높일 수 있다.

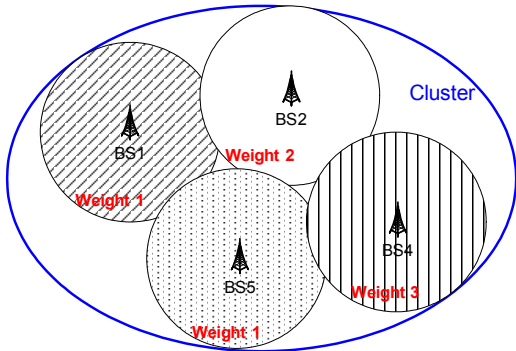


그림 9. BS 선택 가중치 센싱

3.4 기존의 사용자 위치 센싱

기존의 사용자 위치 센싱 (Incumbent System Location Sensing)은 기존의 시스템의 위치를 추정하기 위한 방법이다. 그림 10의 BS5처럼 기존의 시스템을 발견한 BS는 발견한 노드가 있는 방향에 위치한 BS들 (BS2, BS4)에게 기존의 시스템의 출현을 보고하고 협력적인 센싱을 요청한다. 센싱 요청

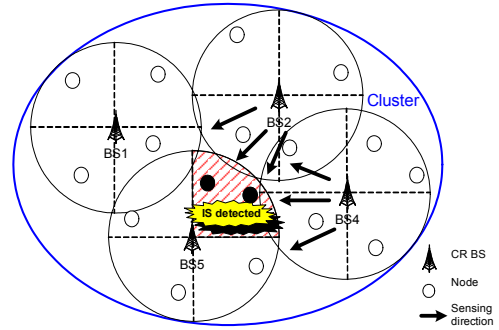


그림 10. 기존의 사용자 위치 센싱

을 받은 BS2, BS4는 BS5의 위치를 알고 있기 때문에 자신의 네트워크 내에서 BS5의 방향에 있는 위치에 기존의 시스템의 출현이 의심 된다고 예상한다. 따라서 해당되는 위치의 센싱을 하여 기존의 시스템이 영향을 미치는 영역을 추정한다.

기존의 사용자 위치 센싱은 기존의 시스템의 전파 반경이 CR 시스템의 전송 반경에 비해 협소한 환경에 적합하다. 협소한 지역에서 기존의 시스템이 출현 하였을 때 영향을 미치는 영역을 파악하여 인접 BS, 또는 인접 클러스터에 알려 줄 수 있으며 기존의 시스템이 영향을 미치지 않는 지역에 있는 BS는 계속적으로 사용하고 있던 채널 대역을 사용할 수 있다.

3.5 채널 사용 이력 테이블

위와 같이 센싱한 결과는 각각의 BS가 유지하고 있는 채널 사용 이력 테이블 (Channel History Table)에 의해 관리 된다. 채널 사용 이력 테이블에 갱신되어 저장된 채널 정보로 BS는 클러스터내의 이웃 BS와 클러스터 외부의 이웃 BS가 사용하는 채널을 알 수 있다. 각 BS는 이웃 BS의 위치와 사용하고 있는 채널, 점유하고 있지만 사용하고 있지 않은 채널, 현재 사용 중인 채널의 효율을 관리하여 채널 렌팅을 위해 사용 될 수 있다.

표 1. 채널 사용 이력 테이블

BS	Location {x , y}	Using Channel	Average of using Channel	Remained Channel
1	{A23, B5}	23	0.58	20, 21
2	{C2, R45}	3, 4	0.62	•
5	{D2, E2}	7	0.23	5, 6, 8
7	{E34, M2}	15	0.91	•

각 BS는 고유 번호를 가지고 있고 위치 정보(location)를 가진다. 각 BS에 따라 사용하는 CR 채널(using channel)을 입력하고 그 채널의 사용 효율은 얼마인지 확률로 나타낸다. (average of using channel) 이때 사용 효율은 미리 정해진 일정 시간 동안(T) 그 채널을 사용한 시간을 백분율로 나타낸 것이다. 다음으로 남은 채널(remained channel)은 BS가 사용하는 채널이지만 현재 일시적으로 사용하지 않는 채널이다. 위의 정보를 이용하여 랜딩에서, 남은 채널을 우선으로 하고 다음으로 는 채널 사용 효율을 고려하여 채널을 빌려 쓸 수 있다.

IV. 성능평가

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 정책기반 채널 센싱 구조 및 알고리즘에 대한 모의실험 결과를 설명한다. 모의실험은 100개의 CR 채널에 대해 랜덤하게 나타나는 기존의 시스템에 대해 각 센싱 방법에 따른 성능에 대해 실험하였다. 모의실험의 기본 환경은 그림 11과 같다. 4개의 BS를 하나의 클러스터로 구성하는 것을 기본으로 하고 각 BS의 네트워크 영역을 네 부분으로 나누어서 하나를 GRID

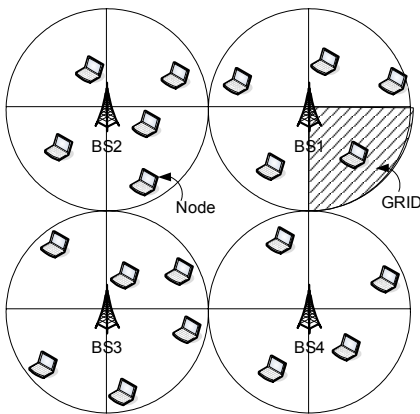


그림 11. 성능평가 모델

표 2. 모의 실험 환경

Number of BS	1~4
Available CR channel	100
Number of Incumbent System	1~3
Sensing duration of 1 CR channel	1ms
QP (fine sensing)	100ms

라고 하였다. GRID는 노드의 위치를 알기 위하여 사용되며, 가중치 센싱, 기존의 시스템 위치 추정에서 방향성 안테나를 이용한 노드의 위치를 추정하는 것을 실험하기 위해 GRID 개념을 추가 하였다. 실험 환경은 표 2와 같다. 기존의 시스템 평균 검출 시간 실험에서는 클러스터로 구성하는 BS의 개수를 1~4로 증가하면서 실험하였고 이외의 실험에서는 4개의 BS를 하나의 클러스터로 실험하였다. 전체 100개의 가용한 CR 채널이 있다고 가정하여 기존의 시스템 위치 추정의 실험에서는 기존의 시스템이 최대 3개까지 동시에 나타나게 가정하였고 그 이외의 실험에서는 1개의 채널에 랜덤하게 번갈아 가면서 나타난다. 각 실험에 대한 결과는 다음과 같다.

그림 12는 세밀한 센싱방법과 (fine sensing) 제안하는 클러스터를 이용한 센싱방법을 (channel division round robin sensing) 기존의 시스템 출현 시에 평균 검출 시간을 비교한 것이다. x축은 센싱한 횟수를 나타내고 실험의 평균화를 위하여 10회부터 100회까지 증가하면서 실험하였다. y축은 검출하는 시간을 나타내며 총 100개의 CR 채널에서 한 채널을 센싱하는데 걸리는 시간을 1ms로 가정하고 기존의 시스템을 검출하는데 까지 걸리는 시간을 각 회수로 나누어 평균을 계산 하였다.

기존의 시스템 평균 검출 시간을 클러스터 구성하는 방법과 세밀한 센싱하는 방법과의 비교를 위해서 클러스터내의 BS의 개수를 2, 3, 4개로 늘여 가며 실험하였다. 실험에서는 가변 데이터일 때 QP

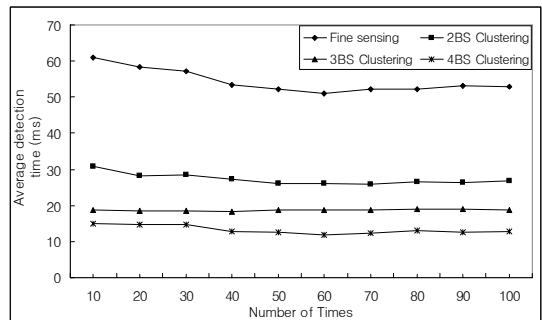


그림 12. 기존의 시스템 출현 시 평균 검출 시간 비교

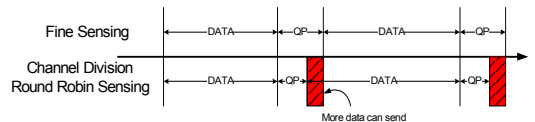


그림 13. 클러스터 센싱 방법의 이득

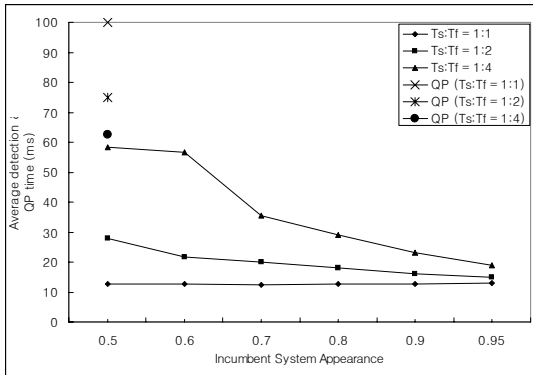


그림 14. 채널 사용 이력 기반 센싱의 평균 검출시간 및 QP 비교

의 길이를 비교하기 위해 세밀한 센싱 방법과 클러스터를 이용한 센싱 방법의 비교 시에 데이터 부분은 제외하고 순수한 QP만을 비교 하였다. 즉, 그림 13에서와 같이 제안하는 방법을 이용할 때 데이터를 더 보낼 수 있는 부분이 얼마나 되는지 비교하기 위해 센싱에 소요되는 QP를 비교한 것이다. 실험결과 세밀한 센싱에 비해 클러스터를 사용하여 센싱하는 것이 검출시간을 줄일 수 있었고 많은 수의 BS가 클러스터에 참여 할수록 검출시간이 줄어들었다.

다음으로는 그림 14는 채널 사용 이력 기반 센싱의 평균 검출 시간 및 전체 센싱 시간 (QP: Quiet Period)의 비교이다. 4개의 BS가 하나의 클러스터를 구성하고 있는 네트워크의 경우로 실험 하였으며, 채널 사용 이력 테이블을 구성하기 위해서 100개의 채널 중 임의로 기존의 시스템이 빈번하게 나타나는 채널을 설정하고 기존의 시스템이 자주 나타나는 채널과 가끔 나타나는 채널의 두 그룹으로 구분하여 각각 T_f , T_s 라 하였다. 그림 14에서 T_s 와 T_f 의 비율은 각 그룹에 대한 센싱하는 빈도를 나타내는 것이며 실험에서는 1:1, 1:2, 1:4의 경우를 비교 하였다. 즉, 1:4의 의미는 T_s 를 1회 센싱 하는 동안 T_f 를 4회 센싱 한다는 의미이다. x축은 T_f 의 채널에 기존의 시스템이 출현하는 확률을 나타내는 것이고 50%, 60%, ~, 95%까지 늘려가면서 실험하였고, y축은 기존의 시스템 출현 시 평균 검출 시간 및 실제 소요되는 QP의 평균을 나타낸다.

실험결과, T_f 의 비율을 높일수록 즉, 기존의 시스템이 자주 나타나는 채널에 대한 센싱 빈도를 높일수록 실제 소요되는 QP는 줄어들지만, 기존의 시스템 검출시간은 지연됨을 알 수 있다. 이는 T_s 에 해당하

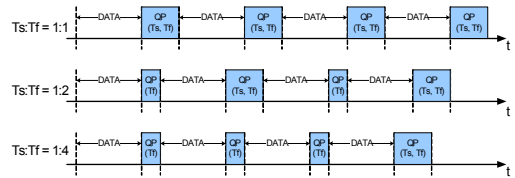


그림 15. 채널 사용 이력 기반 센싱을 이용한 실험의 예

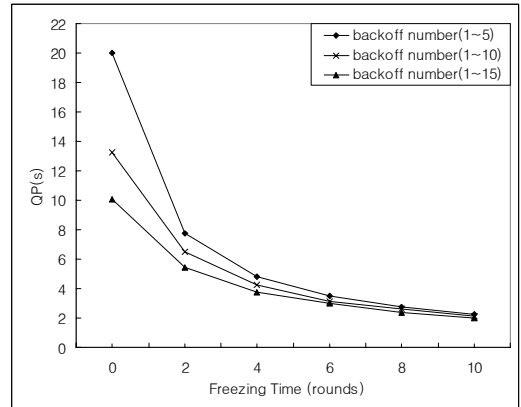


그림 16. 랜덤 백오프 숫자에 따른 QP비교

는 채널에 기존의 시스템이 나타난 경우에 T_f 를 많이 센싱 할수록 기존의 시스템 검출이 지연됨을 의미한다. 또한 자주 나타나는 채널에 기존의 시스템이 더 높은 확률로 나타날수록 기존의 시스템을 검출하는데 걸리는 시간이 줄어들음을 알 수 있었다.

그림 16은 랜덤 백오프 센싱 (Random back-off Sensing)의 백오프 숫자 (back-off number)와 프리징 시간 (freezing time)에 따른 QP (Quiet Period)의 비교이다. 4개의 BS (base station)가 주변에 위치해 있고 백본으로 연결되지 않은 상태에서 100개의 CR 채널 중에 임의의 한 채널에 기존의 시스템이 나타나는 것으로 실험하였다. 각 BS (base station)는 백오프 숫자가 0이 되었을 때 QP를 갖고, 백오프 숫자의 범위는 1~5, 1~10, 1~15에서 랜덤하게 선택한다. x축은 프리징 시간이며, 0부터 10까지 증가하면서 실험 하였다. 실험에서 프리징 시간은 백오프 숫자를 하나 감소하는 주기와 같다고 가정 하였다. y축은 QP를 나타내며 총 실험 시간 동안 각 방법에 따른 QP의 횟수를 비교하기 위한 실험이다. 실험 결과 선택할 수 있는 백오프 숫자의 크기가 커질수록 QP를 적게 가지며, 프리징 시간이 길어질수록 적은 QP를 가짐을 알 수 있다. 또한 프리징 시간이 길어질수록 백오프 숫자에 의한 차이는 줄어들음을 알 수 있었다.

그림 17은 외곽 가중치 센싱 (Outer-Wall Weighted Sensing)과 클러스터 센싱의 평균 검출시간을 비교한 것이다. 4개의 BS가 하나의 클러스터를 구성하고 있는 것으로 100개의 채널 중에 임의의 채널에 기존의 시스템이 나타나는 것을 실험하였다. 실험은 기존의 시스템이 클러스터의 외곽으로부터 1~6개의 GRID에 랜덤하게 나타나는 것으로 가정하였으며, 가중치는 그림 18과 같이 부여하였다.

실험 결과의 그래프에서 x축은 실험 회수를 나타내고 10회부터 100회까지 증가하며 실험 하였으며 y축은 기존의 시스템의 평균 검출 시간을 나타낸다. 실험결과 외곽 가중치 센싱 이 클러스터 센싱에 비해 70%이상 성능이 향상되었음을 알 수 있었다.

그림 19는 기존의 시스템 출현 시에 제안하는 기존의 사용자 위치 센싱 (Incumbent System Location Sensing) 방법을 사용하였을 때 위치 추정 정확도를 측정한 것이다. 이 실험은 기존의 시스

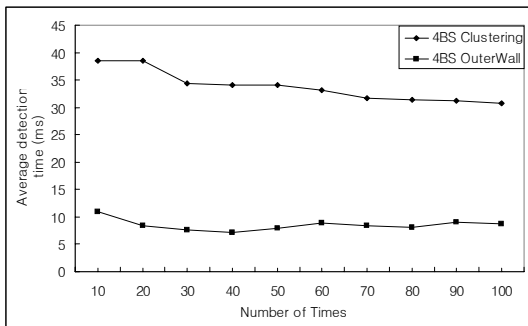


그림 17. 외곽 가중치 센싱과 클러스터 센싱의 평균 검출 시간 비교

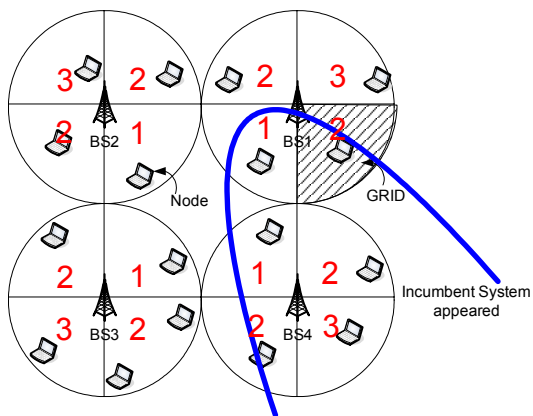


그림 18. 실험 모델의 가중치 부여

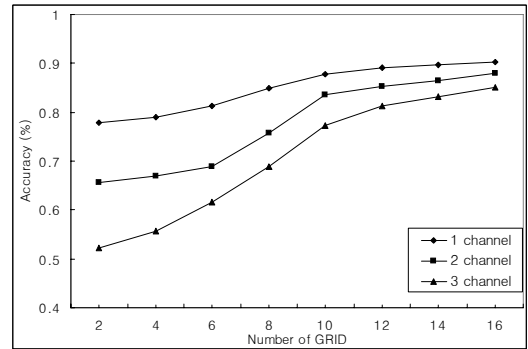


그림 19. 기존의 시스템 출현 시 위치 추정 정확도

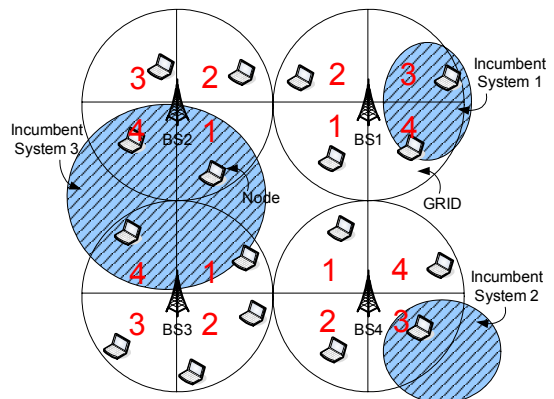


그림 20. 실험 모델의 기존의 사용자 위치 출현의 예

템이 출현이 하나의 노드에 의해서 감지되면 주변의 BS와 협조적으로 센싱하여 얼마나 정확히 기존의 시스템의 위치를 검출해 낼 수 있는가를 실험한 것이다. 이와 같이 실험하는 이유는 기존의 시스템이 협소하게 나타난다면 모든 영역을 센싱하는 것보다 지역적인 센싱을 통해 그 위치를 추정하는 것이 기존의 사용자 위치 센싱의 목적이기 때문이다. 이 같은 방법으로 얼마나 신뢰할 수 있는 센싱 결과를 얻을 수 있는가를 실험해 보았다. 그림 20과 같이 각 BS의 영역을 4개의 GRID로 구분하여 센싱하는 지역의 위치를 추정할 수 있게 하였다. 실험의 편의를 위해 각 GRID에 그림 20과 같이 번호를 주어 실험하였다. 실험에서는 그림 20에서 보는 것처럼 최대 3개의 사용자가 동시에 나타난 것을 실험하였다.

실험 결과에서 x축은 기존의 시스템이 출현하는 GRID의 개수를 나타내고 최소 2개부터 최대 16개까지 증가하면서 실험하였다. 채널수는 기존의 시스템이 나타나는 채널의 개수를 의미한다. 실험에서는

기존의 시스템이 나타나는 채널수를 1개부터 최대 3개까지 동시에 나타나는 것을 가정하였다. 이는 동시 다발적으로 생성된 기존의 사용자에 대한 위치 추정의 정확도를 알아보기 위함이다. y축은 추정 정확도를 나타내며 기존의 시스템이 나타난 채널과 GRID를 정확히 추정하는가를 확률로 나타내었다. 실험결과 적은 수의 GRID에서 보다 많은 수의 GRID에서 더 나은 성능을 보였으며 기존의 시스템이 나타나는 채널이 많을수록 추정 정확도는 줄어들었으나 GRID의 개수가 증가할수록 그 차이는 줄어들었다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 인지 기술을 사용하는 시스템을 위한 채널 센싱 방법 및 알고리즘을 제안하였다. IEEE 802.22 표준에서 제안하는 센싱 방법은 특정한 환경에서의 CR 사용자에게 대한 QoS를 충족시킬 수는 있지만 모든 네트워크 환경을 고려할 수 없으며, 신속한 기존의 시스템 검출에 있어서도 시스템적 한계가 있다. 본 논문에서 제안하는 센싱 방법은 각 시스템의 특성에 따른 정책을 받아 Cluster Round Robin Sensing, Channel Division Round Robin Sensing, Random Back-off Sensing, Outer-wall Weighted Sensing, BS-Selection Weighted Sensing, Incumbent System Location Sensing, Fine Sensing 중에 선택하여 센싱 할 수 있게 하여 각 시스템 특성에 맞는 센싱 방법을 선택할 수 있게 하므로 센싱에 걸리는 시간 및 QP를 절약할 수 있다. 또한 History based Sensing을 제안하여 지나치게 낭비되는 QP를 줄일 수 있게 하였다.

본 논문에서는 제안하는 채널 센싱 방법 및 알고리즘의 효율성을 확인하기 위하여 모의실험 결과를 제시하였다. 제안하는 방법 중에 클러스터를 이용한 센싱 방법(Channel division round robin sensing)의 경우 IEEE 802.22에서 제안하는 fine sensing에 비교하여 70%정도 평균 검출시간을 줄일 수 있었다. 모의실험의 결과를 통하여 제안하는 채널 센싱 방법이 전체적으로 기존의 시스템 검출 시간 및 QP를 줄일 수 있었으나 실험 환경에 따라 차이점을 보였다. 따라서 각 시스템의 특성에 따라 적절한 정책의 입력을 통해 최선의 센싱 방법을 선택하는 것이 필요하다.

Algorithm 1. Channel Division Round Robin Sensing

```

WHILE no change of sensing method
  IF no cluster
    Make a cluster;
  Count(BANDINIT);
  Give the channel group to each BS;
  IF BS's channel == neighbor cluster's BS's channel
    Exchange the channel group;
  WHILE no POLICY INPUT
    IF BANDfrequent exist
      Perform
        Tf ← BANDfrequent group;
        Ts ← (BANDINIT - BANDfrequent) group;
      When QP assigned
      IF Tf < T < Ts
        Sensing Tf group;
      ELSE IF Ts < T
        Sensing both Tf and Ts group;
        T ← 0, Tf ← 0, Ts ← 0;
    ELSE
      When QP assigned
        Sensing ALL CR channels;
  
```

Algorithm 2. Random Back-off Sensing

```

WHILE no change of sensing method
  IF no cluster
    Make a cluster;
  Receive POLICY :: BOnumber, Tfreezing;
  IF BOcount == 0
    BOcount ← random(0, BOnumber);
  IF FreezeT == 0
    BOcount --;
  IF BOcount == 0
    When QP assigned
      Perform Sensing BANDINIT;
      FreezeT ← Tfreezing;
  ELSE IF FreezeT != 0
    FreezeT --;
  
```

Algorithm 3. Weighted Sensing

```

WHILE no change of sensing method
  IF no cluster
    Make a cluster;
  IF no weight zone
    Make zones to give weight;
  Receive POLICY :: weight information[1, n]
  SWITCH (W)
    CASE 1
      Sensing the weight 1 zone;
    CASE 2
      Sensing the weight 2 zone;
      .....
    CASE n
      Sensing the weight n zone;
  
```

Algorithm 4. Incumbent System Location Sensing

```

WHILE no change of sensing method
  IF no cluster
    Make a cluster;
  IF IS isn't detected
    Perform channel division round robin sensing;
  ELSE IF IS detected
    SEND Message [cooperative sensing];
    Sensing GRID of expected direction;
    
```

참 고 문 헌

[1] FCC, Spectrum policy task force report, No. 02-155, November 2002.

[2] FCC, Notice of rule making and order, No. 03-322, December 2003.

[3] Joseph Mitola III, "Software radios : Survey, critical evaluation and future directions", IEEE Aerospace and Electronic System Magazine, Vol. 8, Issue. 4, pp. 25-36, April 1993.

[4] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications", IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications, pp. 3-10, November 1999.

[5] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio : An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", 2004.

[6] IEEE P802.22TMD0.2 "Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands", 2007

[7] J.A. Stine, Spectrum management: the killer application of ad hoc and mesh networking, in: Proc. IEEE DySPAN 2005, November 2005, pp. 184 - 193.

[8] I.F. Akyildiz, X. Wang, W. Wang, Wireless mesh networks: a survey, Computer Networks Journal 47 (4) (2005) 445 - 487.

[9] P. Kyasanur, X. Yang, N.H. Vaidya, Mesh networking protocols to exploit physical layer capabilities, in: Proc. First IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks (WiMesh), September 2005.

[10] L. Berlemann, S. Mangold, B.H.Walke, Policy-based reasoning for spectrum sharing in cognitive radio networks, in: Proc. IEEE DySPAN 2005, November 2005, pp. 1 - 10.

[11] D. Maldonado, B. Lie, A. Hugine, T.W. Rondeau, C.W. Bostian, Cognitive radio applications to dynamic spectrum allocation, in: Proc. IEEE DySPAN 2005, November 2005, pp. 597 - 600.

[12] R. Murty, Software-defined reconfigurability radios: smart, agile, cognitive, and interoperable, Technology@Intel Magazine, July 2003.

나 도 현 (Do-Hyun Na)

준회원



2006년 2월 인하대학교 컴퓨터 공학과(공학사)
 2008년 2월 인하대학교 정보통신 대학원 석사
 <관심분야> Cognitive Radio, 휴대인터넷(Wibro), 무선 MAC 프로토콜

하 오 난 (Nan Hao)

준회원



2004년 7월 Beijing University of Technology 컴퓨터공학과(공학사)
 2008년 2월 인하대학교 정보통신 대학원 석사
 <관심분야> Cognitive Radio, 휴대인터넷(Wibro), 무선 MAC 프로토콜

2008년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사
 <관심분야> Cognitive Radio, WLAN, 무선 MAC 프로토콜

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

정회원



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