

Cognitive Radio 시스템에서 이웃 셀 Incumbent User 인지를 통한 효율적인 주파수 활용 방안

준회원 이명걸*, 송정익*, 손성환*, 종신회원 김재명*

Efficient Spectrum Utilization Scheme Using Adjacent Cell's Incumbent User Cognition In Cognitive Radio System

Myeong-geol Lee*, Jeong-ig Song*, Sung-hwan Sohn *Associate Members*,
Jae-moung Kim* *Lifelong Member*

요약

Cognitive Radio System은 주변 환경을 인지하여 시간적, 공간적으로 가용할 수 있는 채널을 확보하여 사용하는 시스템이다. CR시스템은 Incumbent User에 대한 간섭이 없는 조건하에서 이용 가능한 채널을 효율적으로 써야한다는 엄격한 규정이 있다. 본 논문에서는 CR시스템에서 상향링크에서 일어날 수 있는 간섭을 회피하기 위한 방법으로 Reporter를 이용하여 이웃 셀로 Incumbent user의 상황을 보고하여 채널이용을 제한함으로써 간섭이 없는 상태에서 각 셀에서 보다 많은 채널을 이용하기 위한 방안을 알아본다. 이를 통해 같은 resource에 대해 보다 공간적으로 넓은 지역에서 채널을 이용할 수 있어 보다 높은 throughput을 확보할 수 있었다.

Key Words : Cognitive Radio, Incumbent User, Interference avoidance, Reporter

ABSTRACT

Cognitive Radio system can guarantee available channel whenever, wherever by sensing surrounding channel condition. Therefore, there is a strict rule that have to use allocated channel efficiently without any interference from incumbent User. In this paper, to avoid interference which can occur during uplink transmission in CR system, we propose reporter using scheme which informs incumbent user's situation to adjacent cell to limit channel usage. Therefore, we can use more channel in each cell without interference. With this scheme we can expect better throughput using more channel in a large space with same resource.

1. 서론

최근의 정보통신 서비스는 언제, 어디에서, 어느 누구와든 사용자도 느끼지 못하는 사이에 다양한 정보를 주고받는 것이 가능한 Ubiquitous Network의 시대로 접어들고 있다. 이에 전파이용이 이동통신과 방송 뿐 만 아니라 교통 의료, 과학, 치안에 이르기 까지 국민 생활 전 영역으로 확대됨에 따라 주파수

의 수요가 늘어나고, 그 가치가 날이 갈수록 높아지고 있다. 하지만 이러한 수요에 비해 점유된 주파수의 사용률이 저조한 곳이 많다.

이러한 상황에서 Cognitive Radio 기술은 시간적과 공간적으로 사용이 적은 주파수를 감지한 후, 이를 바탕으로 채널상태를 추정하고 채널 용량을 예측하여 스펙트럼의 효율적 이용을 위한 전력, 주파수, 변조방식, 기타 여러 매개변수(parameter)를 변화시키며 통신

※ This work was supported by the Korea Science and Engineering Foundation(KOSEF) through the National Research Lab. Program funded by the Ministry of Science and Technology (No. M10600000194-06J0000-19410) and supported by grant No (R01-2006-000-10266-0) from the Basic Research Program of the Korea Science & Engineering Foundation.

* 인하대학교 정보통신대학원 (ddongri80@hotmail.com)

논문번호 : KICS2006-11-500, 접수일자 : 2006년 11월 17일, 최종논문접수일자 : 2007년 1월 15일

을 한다. CR 기술은 공간, 주파수 및 시간별로 스펙트럼을 주파수를 할당 받은 사용자(IU(Incumbent User))에게 간섭을 주지 않는 조건하에서 다차원적으로 재사용할 수 있기 때문에 이 기술을 통해 무선기술의 장애물이 되는 주파수 부족문제를 해결하고 이를 효과적으로 이용할 수 있는 기술로 대두되고 있다.^{[1][2]}

이러한 기술의 효율적인 사용을 위해 FCC에서는 발행한 "Unlicensed operation in the TV broadcast bands (FCC 04-186)"를 기본으로 하여 NPRM(Notice of Rule Making)을 작성하였고 그에 따라 IEEE 802.22 WG(working Group)을 설립하였다. 802.22는 미국, 캐나다, 브라질 등과 같이 광활한 지역에서 무선인터넷 접속이 가능하게 하기 위하여 VHF/UHF 대역의 TV대역 중 사용되지 않는 채널을 활용하여 ADSL이나 케이블 모뎀과 동급의 서비스를 제공할 수 있는 표준을 제정할 목적으로 2004년 11월에 설립되었다. 802.22WG에서는 2005년 1월부터 2005년 9월까지 기술요구서를 작성하였고, 2005년 11월에 제안서를 접수한 결과 총 9개의 제안서가 접수되었다. 또한 2006년 1월 회의에서 ETRI-삼성-필립스 등이 통합하여 메이저 그룹으로 자리 잡으면서 표준화를 주도하게 되었고, 이의 영향으로 2006년 3월 회의에서는 RUNCOM-ST Micro 등의 제안 그룹이 메이저 그룹에 통합되는 데 합의하였다.^[3] 대부분의 제안서는 OFDMA기술을 기반으로 한 무선접속기술에 스펙트럼 센싱 기술과 간섭회피를 위한 기술을 추가하였으며, 이를 위한 MAC프로토콜을 제안하였다.

본 논문에서는 802.22에서 사용하는 CR 기술의 IU 회피 기술중 상향링크에서 발생하는 이웃 셀의 Incumbent User로의 간섭의 경우를 알아보고 이를 회피시에 채널을 효율적으로 이용하기 위한 방안을 제시한다. 2장은 IU가 이웃 셀로부터 간섭이 발생하는 경우를 알아보고, 3장,4장에서 회피와 확보된 채널의 효율적인 이용방안에 대해 논의한다. 5장, 6장에서는 시뮬레이션 환경과 결과를 분석한다. 7장에서 결론을 맺고 본 논문을 마무리 한다.

II. CR 시스템의 IU에 대한 영향

CR 시스템은 IU에게 간섭을 미치지 않아야 한다는 조건하에서 동작한다. 이는 IU가 동작하고 있는 시간동안은 일정한 범위 내에서 해당 채널이 사용되는 일이 없어야 한다는 것이다.

802.22에서 고려하고 있는 Incumbent System은

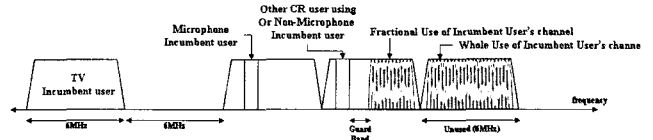


그림 1. Incumbent User가 있는 채널의 부분적 이용의 예

6,7,8MHz대역폭을 이용하는 ATSC, NTSC TV system과 200KHz 대역폭을 이용하는 Part 74 device이다. ATSC, NTSC의 서비스 지역은 각각 약 43Km, 24.9Km의 서비스 지역을 가지고 있고 Part 74 기기(wireless microphone, wireless intercom 등)들이 그 예로서 전자에 비해 짧은 서비스 영역(통신구간-무선 Microphone의 경우 약 100m)을 가지고 동작한다.

IEEE 802.22에서는 IU가 점유하고 있지 않은 채널에 대해서는 사용할 수 있도록 규정하고 있으나 ACI (Adjacent Channel Interference)를 피하기 위해서 TV 일정부분의 보호대역을 주도록 되어있다. 뿐만 아니라 TV가 사용하는 6MHz대역폭이 비어있을 지라도 200KHz의 Part 74 기기가 6MHz의 대역폭을 점유하고 있을 경우 그 채널을 점유 할 수 없도록 규정 되어있다. 이러한 채널의 이용은 그림 1에 나타내었다.

802.22 WRAN 시스템에서는 위와 같은 스펙트럼 사용을 위해서 스펙트럼 센싱 기능과 동적 주파수 할당 기능을 사용하고 있다. 동적 주파수 할당 기능은 개략적으로 스펙트럼 센싱을 통해서 사용가능한 대역을 찾고 그에 따라 셀 내의 IU가 등장 하였는 지의 유무를 판별한다. IU가 등장한 채널에 대해서는 위에서 언급한 바와 같은 스펙트럼 사용에 따라서 상황에 맞도록 스펙트럼을 사용한다. 이때 스펙트럼 센싱은 넓은 지역의 스펙트럼 상황을 BS만 단독으로 모두 모니터링 할 수 없으므로 CPE와 같이 이루어지게 된다.^[4]

하지만 위에서 타겟 셀에서 IU가 등장할 경우 이웃 셀에서 그 IU의 등장을 발견할 수 없는 가능성이 있으며, 발견하지 못한 IU는 그림 2와 같이 상향링크 신호에 의해서 간섭을 받을 수 있는 문제가 있다. 이런 문제는 상대적으로 작은 전력을 사용하는 Part 74 기기에서 더욱 심각해진다.

그림 4. 그래프는 타겟 셀에서는 IU를 고려하지만 이웃 셀의 IU의 상황을 고려하지 않았을 때 상향링크에서 IU에 대한 간섭이 일어나는 확률과 그 때의 간섭량을 나타낸다.

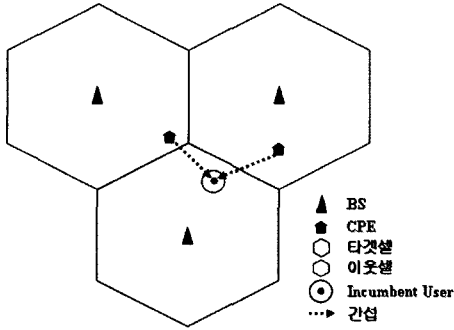


그림 2. 상향링크에서 Incumbent User가 인접 셀의 CR user로부터 받는 간섭

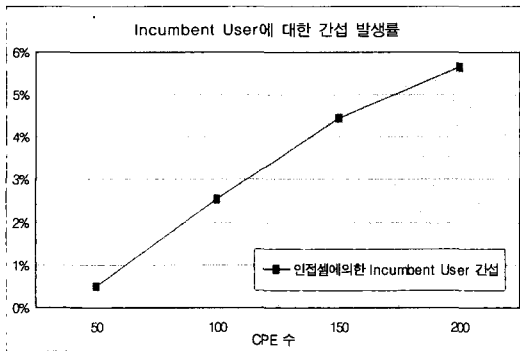


그림 3. Incumbent User가 인접 셀에서 받는 간섭발생률

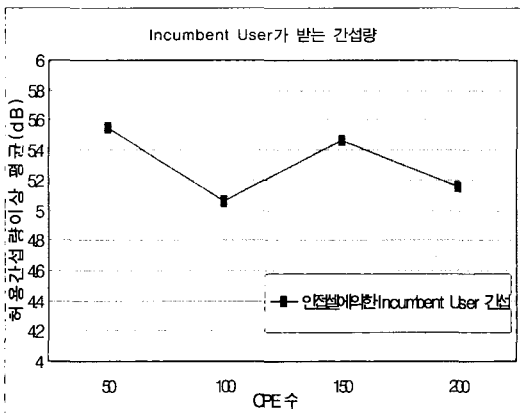


그림 4. Incumbent User가 인접 셀에서 받는 간섭량

이러한 문제점을 해결하기 위해서 802.22에서는 beacon의 사용에 관해 연구 되고 있다.

그러나 이렇게 간섭이 회피 되어 이웃 셀에서 타겟 셀의 IU의 동작채널을 제한하면 CR 시스템의 입장에서 효율성이 떨어지므로 보다 해당 채널을 이용하기 위한 방법이 필요하다. 따라서 타겟 셀의 상태에 따라 이웃 셀에서 IU가 동작하고 있는 해당 채널을 간섭 없이 활용해서 효율성을 높일 필요가 있다.

Ⅲ. 효율적인 주파수 사용을 위한 보고방법 및 주파수 사용 방법

본 논문에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해서 셀 외곽에 간단하게 구성할 수 있는 reporter를 둔다. reporter는 CPE와 BS로부터 IU의 등장유무를 보고 받고 그 정보를 이웃 셀에 전파한다. 그 정보를 받은 이웃한 셀들은 그 정보를 바탕으로 하여 IU를 회피한다.

이때 주파수의 효율적인 사용을 위해서 각 셀은 BS로부터의 거리에 따라 논리적으로 안쪽 셀과 외곽 셀로 나누어 IU의 등장위치를 판별하여 보고하게 되고 타겟 셀의 보고를 들은 각 이웃 셀들의 BS는 가용한 채널의 상태를 보고에 따라 바꾸어 채널이용을 제한함으로써 간섭을 주지 않고 효율적인 사용을 모색하게 된다.

3.1 제안하는 이웃 셀로의 보고 방법 (I)

우선 타겟 셀의 BS와 CPE는 셀에 나타난 IU를 회피하기 위하여 스펙트럼을 센싱 한다. 스펙트럼 센싱 시에는 인접한 셀들에서 사용되고 있는 스펙트럼에 역시 센싱이 되어야 한다. IU의등장이 센싱을 통해서 확인되면 CPE는 그 센싱 정보를 BS에 보고하고 BS는 CPE의 위치정보를 기반으로 하여 IU가 안쪽 셀에 위치했는지 외곽 셀에 위치했는지를 판별하게 된다. BS는 이러한 정보를 reporter에게 알리고 reporter는 이정보를 인접한 셀들에게 알리게 된다.

안쪽 셀에 등장한 IU에 대한 보고를 받은 이웃 셀은 외곽 셀에서 해당 채널을 사용하는 것을 제한하고 안쪽 셀에서의 사용은 허용하도록 한다.

외곽에 등장한 IU에 대한 보고를 받은 이웃 셀은 전체 셀 영역에서 사용을 제한한다. 단 안쪽 셀 영역을 짧게 설정할 경우 안쪽 셀에서 사용하는 것까지는 허용한다.

이 방법(A method)은 주변 셀의 IU의 등장에 대해 경우에 따라 안쪽 셀에서 채널을 활용함으로써 IU의 간섭을 회피하면서 효율을 높일 수 있다. 스펙트럼의 사용을 2가지의 경우로만 한정을 해서 사용하기 때문에 자원의 관리가 간단한 장점이 있다.

하지만 이웃한 셀 모두에게 전파함으로써 모든 외곽 셀에서의 사용을 제한함으로써 상대적으로 멀리 떨어져 있는 셀들에 가용할 수 있는 채널이 있음에도 불구하고 이를 지원할 수 없는 단점이 있다.

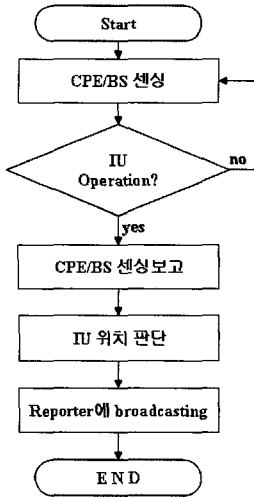


그림 5. A Method의 IU등장 보고절차

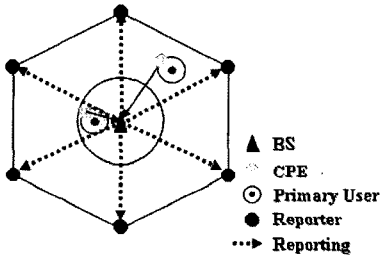


그림 6. Incumbent User등장보고의 예

3.2 제안하는 이웃 셀로의 보고 방법 (II)

A method와는 달리 B method에서는 타겟 셀에서는 IU가 안쪽 셀인지 외곽 셀인지 판단하지 않는다.

우선 그림에서처럼 외곽 셀에 IU가 등장 하였을 때 주변 CPE는 이를 센싱한다. CPE는 외곽에 존재하므로 BS로 보고할 때 이는 주변의 가장자리에 있는 reporter들도 듣게 된다. BS는 CPE의 센싱 보고를 타겟 셀의 reporter들에게 알리고 해당 셀 또한 IU등장에 따른 채널회수와 재할당을 한다.

타겟 셀의 BS로부터 IU등장을 보고 받은 reporter들은 이웃 셀의 BS에게 전달한다. 각각의 reporter들은 두 가지 방법에 의해 IU의 위치정보를 판단한다.

- 1) CPE로부터 보고를 받지 않고 BS으로부터만 IU의 센싱결과 보고를 받음
- 2) CPE로부터 보고를 받고 BS으로 IU의 센싱 결과 보고 다시 받게 됨

1)과 같은 보고를 받은 reporter는 거리상으로 멀기 때문에 이웃 셀은 비교적 먼 거리로 판단하면 되기 때문에 안쪽 셀에 나타난 IU라고 판단하고 이를 인접 셀에 알리게 된다.

2)의 보고를 받은 경우 해당 reporter는 외곽 셀에서 나타난 IU라고 판단하고 이를 이웃 셀에 알리게 된다. 이는 타겟 셀에서 발생한 IU가 리포터와 거리상 멀지않은 외곽이므로 이웃 셀 또한 이에 채널사용을 제한하기 위해서이다.

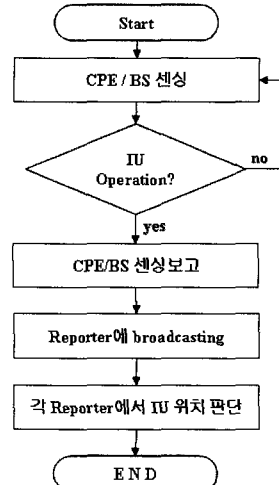


그림 7. B Method의 IU 등장 보고절차

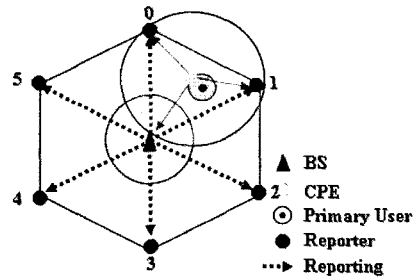


그림 8. 외곽 IU등장 보고의 예 - 0번과 1번 리포터의 경우 이웃 셀에 외곽 IU로 보고하고 2-5번리포터는 이웃 셀 BS에 안쪽 셀 IU로 보고한다.

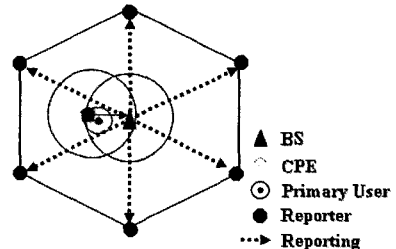


그림 9. 안쪽 셀 IU등장 보고의 예 - 안쪽 셀에 등장 IU는 모든 reporter에 안쪽 셀 IU로 보고된다.

이때 CPE로부터의 보고와 리포터에 의한 보고는 엄격히 구분해야한다. 즉 리포터에 의한 보고는 다시 reporter들로 broadcasting 하지 않고 오직 CPE에 의한 IU의 등장 및 퇴장 보고만을 해당 셀의 reporter

들에게 전달하게 된다. 이는 해당 셀과 주변 셀만이 IU의 등장에 관심을 가지고 있기 때문에 그 이상 IU의 등장이 쓸데없이 보고됨을 방지하고자함이다. BS는 CPE에 의한 보고인지, reporter에 의한 보고인지에 따라 해당 셀의 발생인지 이웃셀의 발생인지 판단하고 이에 따라 채널을 관리하게 된다.

안쪽 셀에 등장한 IU는 CPE의 보고가 모든 reporter에 보고되지 않고 오직 BS에 의한 보고만 들고 전달하게 되므로 안쪽 셀로 판단되게 된다.

이러한 방법을 따르면 리포터는 다른 절차 없이 reporter가 안쪽 셀인지 외곽 셀인지 판단 할 수 있게 되어 이웃 셀들은 IU를 상대적인 위치에 따라 보고하게 되어 효율적으로 채널자원을 사용 할 수 있다.

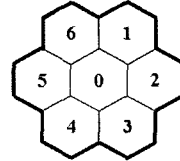
하지만 이 경우 reporter가 단순한 보고의 역할이 아닌 BS로부터의 보고인지 CPE의 보고인지를 판별해야 하며 이로 인해 추가적인 기능과 방법이 필요하다는 단점이 있다.

3.3 확보된 채널의 활용

타겟 셀과 이웃 셀에 대한 센싱 보고를 통한 결과를 가지고 IU의 상대적 위치에 따라 확보된 채널들은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 1) 안쪽 셀에서만 사용 중인 채널
- 2) 안쪽 셀과 외곽 셀에서 사용 중인 채널
- 3) 안쪽 셀에서만 사용가능한 후보채널
- 4) 안쪽 셀과 외곽에서 사용가능한 후보채널
- 5) 사용금지채널
- 6) IU 사용 채널

- 1) 채널은 IU가 이웃 셀에서 사용하고 있으나 내부, 즉 해당 셀에서 어느 정도 이상의 거리로 판단되어 안쪽 셀에서 제한적으로 이용 중인 채널이다.
- 2) 채널은 IU가 이웃 셀에 등장하지 않았기 때문에 전체 셀에서 모두 사용할 수 있는 채널이다.
- 3) 채널은 이웃 셀의 IU상태가 1)번 채널과 같은 상태이나 사용하고 있지 않은 후보채널이다.
- 4) 채널은 해당 셀 뿐 아니라 이웃 셀에서 사용하고 있는 IU가 전혀 없음을 의미한다.
- 5) 채널은 해당 셀에서는 사용 중인 IU가 없지만 이웃 셀의 외각에 IU가 있어 해당 셀에서 사용했을 경우 심각한 간섭을 미칠 수 있어 사용할 수 없는 채널을 의미한다.
- 6) 채널은 해당 셀에서 사용 중인 IU가 있으므로 사용할 수 없는 채널을 의미한다.



| Channel Number Cell Number | A | B | C | D | E |
|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 0 | P _{in} | P _{out} | P _{all} | X | X |
| 1 | X | X | X | P _{in} | P _{out} |
| 2 | X | X | X | X | X |
| 3 | X | X | X | □ | □ |
| 4 | X | X | X | □ | □ |
| 5 | X | X | X | □ | □ |
| 6 | X | X | X | X | X |

(a)

| Channel Number Cell Number | A | B | C | D | E |
|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 0 | P _{in} | P _{out} | P _{all} | △ | X |
| 1 | △ | X | X | P _{in} | P _{out} |
| 2 | △ | X | X | △ | X |
| 3 | △ | X | X | □ | □ |
| 4 | △ | X | X | □ | □ |
| 5 | △ | X | X | □ | □ |
| 6 | △ | X | X | △ | X |

(b)

| Channel Number Cell Number | A | B | C | D | E |
|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 0 | P _{in} | P _{out} | P _{all} | △ | X |
| 1 | △ | X | X | P _{in} | P _{out} |
| 2 | △ | X | △ | △ | △ |
| 3 | △ | △ | △ | □ | □ |
| 4 | △ | △ | △ | □ | □ |
| 5 | △ | △ | △ | □ | □ |
| 6 | △ | △ | X | △ | △ |

(c)

- △ : Inner cell available channel
- □ : whole cell Usable channel
- X : Unusable channel
- P_{in} : Primary User using channel in Inner cell
- P_{out} : Primary User using channel in Outer cell
- P_{all} : Primary User using channel in Inner and Outer cell

그림 10. 셀 번호와 각 방법에 따른 채널 state의 예

그림 10은 각 방법에서 reporter로부터 보고된 정보를 바탕으로 나타난 채널 state 테이블이다. 그림 10의 테이블에서 열은 이웃 셀의 번호를 나타내며 행은 가용한 채널을 나타낸다. 10(a)의 경우 타겟 셀에서 IU가 나타났을 때 이웃 셀에서 사용하지 않은 경우엔 주변 셀들은 모두 해당 채널을 비워주게 된다.

이는 간섭을 발생시키지 않을 수 있지만 주파수 효율성이 떨어진다. 그림 10(b)는 위에서 제시한 첫 번째 방법으로 IU를 이웃 셀에 보고하였을 경우의 예인데, 이 방법은 타겟 셀에서 안쪽 셀과 외곽 셀에서의 등장으로 판단하기 때문에 이웃 셀들은 같은

상태로 갱신된다. 이는 안쪽 셀에서 발생한 IU에 대해 이웃 셀들의 안쪽 셀에서 해당 채널을 활용할 수 있기 때문에 주파수 활용할 수 있는 기회가 더 늘어나게 된다. 그림10(c)는 두 번째 방법으로 타겟 셀의 IU를 이웃 셀에 보고하였을 경우의 예인데, IU의 상대적인 위치에 따라 이웃 셀들이 안쪽 셀 또는 외곽 셀로 판단하기 때문에 채널을 활용할 수 있는 기회가 첫 번째 방법보다 더욱 많아지게 된다.

이러한 State table을 토대로 각 채널에 대한 가용 여부와 IU 등장여부를 판단하여 채널을 선택하게 된다. 같은 상태의 채널에 대해서는 보다 높은 CINR을 갖는 채널을 선택하도록 하였다.

IV. 시뮬레이션

4.1 Pathloss model

본 시뮬레이션에서는 거리에 따른 신호의 세기를 측정에 관한 모델로 ITU-R P.1546-1 모델을 사용하였다. 표 1을 기준으로 거리에 대한 Field strength는 다음과 같은 보간 공식으로 구한다.^[4]

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\log(d/d_{inf})}{\log(d_{sup}/d_{inf})} \text{ dB}(\mu\text{V/m}) \quad (1)$$

where

- d : distance of which the prediction is required
- d_{inf} : nearest tabulation distance less than d
- d_{sup} : nearest tabulation distance greater than d
- E_{inf} : field strength value for d_{inf}
- E_{sup} : field strength value for d_{sup}

거리에 따른 1KW의 ERP는 다음 표 1과 같다. 802.22에서 요구하는 IU 보호 level은 표2와 같고 본 논문에서 고려하고 있는 IU는 wireless microphone으로 허용간섭전력은 -125.5 dBW/m^2 이어야한다.

CPE와 BS에서 33Km 지점에서 shadowing을 고려하지 않았을 때 wireless microphone antenna 면적이 0.02m^2 이라면 허용 간섭전력은 약 -122dBm 으로 33Km 밖의 IU가있는 CPE로부터의 간섭을 고려하면 약 30dB정도로 D/U ratio를 만족한다. IU로부터 약 20Km 이내에서 동작하는 CPE는 허용간섭치 -125.5dBW/m^2 이상이 되어 D/U ratio가 20dB 이하로 간섭을 받게 된다. 이는 간섭원이 하나일 때의 양으로 다수의 간섭원이 존재할 때는 이 같은 간섭량이 더해진 형태로 나타나게 된다.^[5]

표 1. Field strength (Frequency 617MHz)

| Distance (Km) | field strength in dB($\mu\text{V/m}$) for 1KW ERP according to Rec.ITU-R P.1546-1 F(10,10) | | Path loss beyond 1 m according to Rec. ITU-R P.1546-1, F(10,10) | |
|---------------|--|--------|---|--------|
| | Antenna Height, HAAT(m) | | | |
| | 10(CPE) | 75(BS) | 10(CPE) | 75(BS) |
| 0.001 | 164.9 | 164.9 | 2.1 | 2.1 |
| 0.010 | 144.9 | 144.9 | 22.1 | 22.1 |
| 0.1 | 124.9 | 124.9 | 42.1 | 42.1 |
| 0.3 | 115.3 | 115.3 | 51.6 | 51.6 |
| 0.5 | 110.7 | 110.9 | 56.2 | 56.1 |
| 1 | 99.9 | 104.9 | 67.1 | 62.1 |
| 2 | 89.0 | 97.8 | 77.9 | 69.2 |
| 3 | 81.9 | 92.3 | 85.1 | 74.6 |
| 5 | 71.9 | 85.2 | 95.1 | 81.8 |
| 10 | 57.4 | 74.2 | 109.5 | 92.7 |
| 15 | 49.0 | 66.7 | 117.9 | 100.3 |
| 20 | 43.3 | 60.9 | 123.7 | 106.1 |
| 25 | 39.1 | 56.2 | 127.8 | 110.8 |
| 30 | 36.0 | 52.2 | 131.0 | 52.2 |
| 35 | 33.5 | 48.8 | 133.4 | 48.8 |
| 40 | 31.6 | 45.7 | 135.4 | 45.7 |
| 50 | 28.6 | 40.6 | 138.3 | 40.6 |
| 60 | 26.5 | 36.5 | 140.4 | 36.5 |
| 70 | 24.9 | 33.2 | 142.1 | 133.8 |
| 100 | 20.9 | 26.1 | 146.0 | 140.9 |

표 2. Incumbent별 허용 간섭량

| Incumbent System | Field Strength at edge of service area | Co-channel D/U Ratio |
|---------------------|--|----------------------|
| ATSC | 41 dB($\mu\text{V/m}^2$) | 23dB |
| NTSC | 64 dB($\mu\text{V/m}^2$) | 34dB |
| Wireless Microphone | -105.5 (dBW/m ²) | 20dB |

표 3. 하나의 CPE에 대해 거리에 따른 IU 간섭량 (wireless microphone 안테나 면적 0.02m²).

| 거리(Km) | Interference (dBm) | IU D/U (dB) |
|--------|--------------------|-------------|
| 5 | -85 | -7 |
| 10 | -99 | 7 |
| 15 | -108 | 15 |
| 20 | -113 | 21 |
| 25 | -118 | 25 |
| 30 | -121 | 28 |
| 33 | -122 | 30 |
| 40 | -125 | 33 |

4.2 CINR measure

채널 선택의 기준은 CPE의 CINR을 기준으로 하며 자신의 위치와 특정 위치에 대한 지형적 영향과 다른 간섭원들로 인하여 다른 간섭량을 받게 되는데 CR 시스템의 간섭모델을 설정하기 위한 CINR은 다음과 같다.

$$CINR = \frac{C}{N+I} = \frac{AP_0 d_0^{-\alpha} 10^{\frac{\xi_0}{10}}}{N + \sum_i^{user} AP_i d_i^{-\alpha} 10^{\frac{\xi_i}{10}}} \quad (2)$$

여기서 A는 proportional coefficient, α 는 pathloss factor, P_i 는 user에 대한 전송전력, d는 user와 간섭원간의 거리를 나타낸다. 또한 ξ 는 shadowing에 의한 감쇄성분을 나타낸다.

그 밖의 시뮬레이션 파라미터는 다음과 같다.

Physical channel은 sensing을 통해 확보된 가용할 수 있는 6, 7, 8 MHz band의 채널을 의미하고 Logical channel은 physical channel안에서 OFDM 다중 access에 의해 subband로 나누어 각각 CPE에게 할당할 수 있는 channel을 의미한다.

V. 제안한 알고리즘의 성능분석

시뮬레이션은 IU의 등장에 대해 이웃 셀에서 사용하지 않는 경우와 두 가지 보고방법에 대해 시행하였다. A method는 주변 셀에게 해당 셀에서의 안쪽 셀과 과 외곽 셀을 구분하고 해당 셀의 입장에서 안쪽 셀에 나타난 IU인지 외곽 셀의 IU인지를 판별하여 주변 6개의 인접 셀에 동일한 상태를 보고하는 방법이다.

B method는 reporter가 주변의 CPE와 BS의 보고를 듣고 각 해당 reporter들은 상대적의 IU의 위치에 따라 외곽 셀 IU와 안쪽 셀 IU로 이웃 셀에 보고하게 되는 방법이다.

표 4. 시뮬레이션 파라미터.

| Item | Value |
|-----------------------------|----------------------|
| 셀 개수 | 19개(2tier) |
| 안쪽 셀 반경 | 셀 반경의 30, 50, 70% |
| CPE 수 | 셀 당 70, 100, 120 |
| Physical / Logical channel수 | 셀 당 5, 10, 15 / 48 |
| Pathloss model | ITU-R P.1546-1 model |
| Link adaptation | AMC |
| CPE & Incumbent User 분포 | Uniform distribution |

5.1 지원하는 CPE 수에 따른 성능

여기서의 Throughput은 동작하고 있는 CPE CINR값에 따라 AMC를 적용하여 정량화한 값이고 Outage는 다음과 같이 정의한다.

$$Outage = \frac{\text{채널할당받지 못한 CPE수}}{\text{Traffic을 요구한 CPE수}} \quad (3)$$

따라서 더욱 많은 CPE들이 한 셀에서 동작하거나 같은 CPE 수라도 간섭량 적을 때 높은 값을 나타내게 된다.

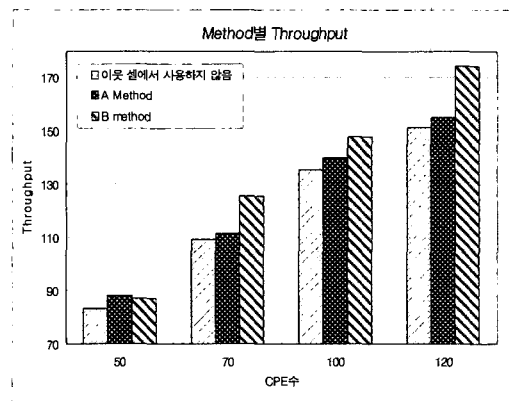


그림 11. CPE의 수에 따른 Method 별 Throughput 비교

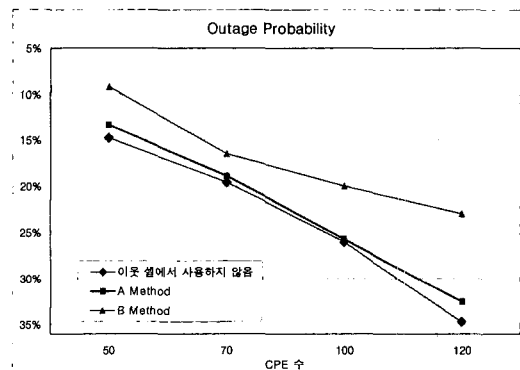


그림 12. CPE수에 따른 Method별 Outage Probability 비교

그림 11, 12 그래프는 지원해야하는 CPE 수에 따른 throughput과 outage 발생확률을 나타낸 그래프이다. 전체적으로 이웃 셀에서 전혀 사용하지 않을 때 보다 제안된 알고리즘을 사용하여 안쪽 셀에서 활용할 때 throughput은 약간 높았다. 이는 상대적으로 간섭이 덜한 안쪽 셀은 AMC의 적용으로 throughput이 Method B와 유사하였으나 outage 의 경우 외

곽 셀에서의 스펙트럼자원 불충분으로 인하여 IU가 등장하였을 때 전체의 채널을 버리는 경우와 유사한 성능을 보였다. 또한 셀의 CPE가 증가하였을 경우 B method의 성능이 월등히 우수하였다. 이는 제한된 자원을 더욱 효율적으로 사용하고 있음을 알 수 있다.

5.2 셀의 비율에 따른 성능 비교

본 문에서 제시하고 있는 방법은 안쪽 셀과 외곽 셀이 논리적인 환경이 가장 중요한 파라미터이기 때문에 그에 따른 throughput을 비교하였다. 그림 14, 15는 5개의 physical 채널과 100개의 CPE를 가지고 안쪽 셀 range를 각각 전체 셀 coverage거리의 30%, 50%, 70%를 갖도록 하여 그에 따른 throughput과 outage probability를 나타낸 그래프이다. method A의 경우 안쪽 셀에 IU가 등장했을 때 이웃 셀의 안쪽 셀에서 그 채널을 이용하기 때문에 안쪽 셀 range가 커지게 되면 IU가 이웃의 안쪽 셀에 있는 CPE에 의해 경우 간섭이 발생할 수 있으므로 그 coverage를 늘리는데 한계가 있다. 하지만 method B

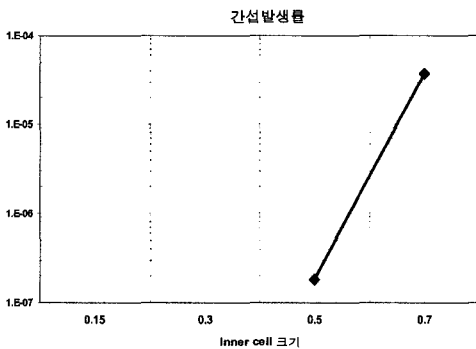


그림 13. Inner Coverage 크기에 따른 간섭발생률

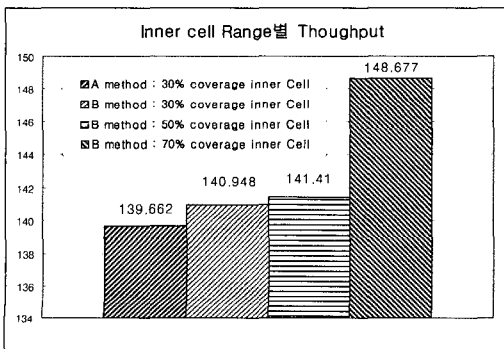


그림 14. Inner Coverage 크기에 따른 throughput

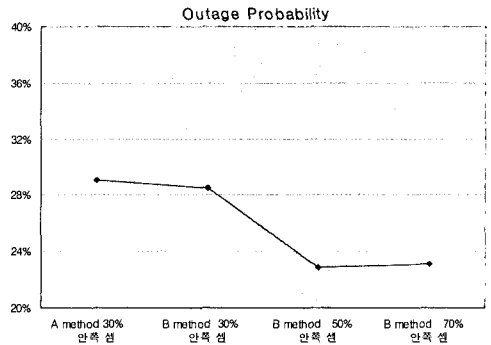


그림 15. 안쪽 셀 range에 따른 Outage

의 경우 고려해야 할 이웃 셀에 대한 상대적 위치에 따라 안쪽 셀과 외곽 셀의 IU를 구분하게 된다. 상대적 위치기준의 거리가 충분하다면 간섭에 독립적으로 안쪽 셀 크기를 정해줄 있다. 그에 따라 시뮬레이션 한 결과 method A는 coverage의 30% 정도의 안쪽 셀 설정은 간섭이 없었으나 50%이상의 안쪽 셀을 설정하였을 경우 간섭이 발생하게 된다.

그림 13 그래프에서 볼 수 있듯이 A method의 경우의 안쪽 셀 확장에 한계가 있고 B method의 경우엔 안쪽 셀을 늘리게 되면 활용할 수 있는 범위가 늘어남에 따라 지원 가능한 CPE의 수가 많아져 전체적인 성능이 좋아짐을 알 수 있다.

위의 안쪽 셀의 거리에 따른 outage probability를 살펴보면 20%를 나타내고 있으나 이는 분석을 위해 resource를 적은수로 제한을 하였기 때문이다. 이에 반해 throughput이 꾸준히 늘어나는 것은 지원하는 서비스영역이 넓어져 밀집해 있을 때 보다 간섭이 줄어들어 AMC등의 지원으로 전체적인 성능향상을 가져왔기 때문이다. 따라서 같은 resource라도 보다 넓은 지역에 걸쳐 서비스하게 될 때 그 throughput을 높일 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 Cognitive Radio를 사용하는 IEEE 802.22 시스템에서 인접한 셀의 IU의 위치에 따른 효율적인 자원 할당 방법에 대하여 기술하였다.

확보된 자원을 보다 효과적으로 사용하기 위해 셀을 거리에 따라 안쪽 셀과 외곽으로 나누어 채널의 재사용성을 높였다. 또한 IU의 상대적 위치에 따라 이웃 셀로의 보고에 따라 이용할 수 있는 채널을 보다 확보함으로써 throughput의 향상을 가져왔다.

Cognitive Radio 시스템은 다른 시스템과는 달리

특별히 할당된 채널을 이용하는 것이 아니라 시간적, 공간적으로 유휴채널을 파악하여 이를 IU에 대한 간섭 없이 사용해야하는 특징이 있으며 그에 따르는 자원의 효율적 사용이 중요한 요소로 작용한다. 따라서 그 지리적 위치, 상대적 거리, 확보 가능한 채널의 수 등을 사용하여 다각적인 분석이 필요하며, 그러한 분석을 통해 더욱 효율적인 자원사용방안에 대한 연구가 지속적으로 수행 되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Simon Haykin, "Cognitive radio : Brain-empowered wireless communications", in *IEEE journals on selected areas in communications*, vol.23, No.2, February 2005, pp.201-220
- [2] J. Mitola, "Cognitive Radio for flexible mobile multimedia communications", *Proc. of IEEE workshop on Mobile multimedia Comm.* pp.3-10, Nov. 1999
- [3] Carl R. Stevenson, Carlos Cordeiro, Eli Sofer Gerald Chouinard, "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard", Mar, 2006.
- [4] Carl R. Stevenson, Eli Sofer Gerald Chouinard, "IEEE P802.22/D0.1 Draft Standard for Wireless Regional Area Network Part 22", May, 2006.
- [5] Rec. ITU-R P.1546, "Method for Point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30MHz to 3000MHz", *International Telecommunication Union*. 2001
- [6] Nie Nie, Cristina Comaniciu, "Adaptive channel allocation spectrum etiquette for cognitive radio networks", *DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on*, Page(s):269 - 278, 8-11 Nov. 2005
- [7] Milind M. Buddhikot, Kevin Ryan, "Spectrum management in coordinated dynamic spectrum access based cellular networks ", *DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on*, Page(s):299 - 307, 8-11 Nov. 2005
- [8] FCC, Spectrum policy task force report, *ET Docket* No. 20-155, N2002.
- [9] Katzela, I., Naghshineh, M., "Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: a comprehensive survey", *Personal Communications IEEE*, Volume 3. Issue 3. Page(s): 10-31, June 1996

이 명 겐 (Myeong-geol Lee)

준회원



2005년 2월 인하대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2005년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
 <관심분야> 무선인지기술, 통신공학

송 정 익 (Jeong-ig Song)

준회원



2005년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업
 2005년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
 <관심분야> 무선인지기술, 통신공학

손 성 환 (Sung-hwan Sohn)

준회원



2004년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업
 2006년 2월 인하대학교 정보통신대학원 석사
 2006년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정
 <관심분야> 이동통신, 무선인지기술

김 재 명 (Jae-moung Kim)

중신회원



1974년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업
 1981년 8월 미국 남기주대학교(USC) 전기공학과 석사
 1987년 8월 연세대학교 전자공학과 박사
 1974년 3월~1979년 6월 한국과학기술연구원, 한국통신기술연구소 근무
 1982년 9월~2003년 3월 한국전자통신연구원 위성통신 연구단장 / 무선방송연구소 소장역임
 2003년 4월~현재 인하대학교 정보통신대학원 교수, 한국방송공학회 부회장, 통신위성 우주산업연구회 회장 외 정부 및 다수기업에 기술자문으로 활동 중
 <관심분야> 광대역 무선전송, 이동통신 및 위성통신, 디지털 방송분야