

CR 네트워크에서의 유휴자원 증대를 위한 효율적인 채널 관리 방법

준회원 정 필 중*, 종신회원 신 요 안*, 이 원 철*, 유 명 식*

Efficient Channel Management to Maximize Spectrum Holes in Cognitive Radio Networks

Piljung Jeong* Associate Member, Yoan Shin*, Woncheol Lee*, Myungsik Yoo*^o Lifelong Members

요 약

CR 네트워크에서의 무선 채널은 일반적으로 우선 사용자에게 의해 점유되어 사용하지 못하는 채널과 점유되지 않은 사용 가능한 채널로 분류된다. 하지만 이러한 채널 분류는 CR 노드와 우선 사용자의 시간적 특성만 고려하고, 공간적 특성을 고려하지 않아 유휴 주파수 자원 확보에 비효율적이다. 이에 본 논문에서는 중앙 집중형 CR 네트워크 환경에서 기존방식의 단점을 극복하여 유휴 주파수 자원을 보다 효율적으로 확보할 수 있는 새로운 채널 분류 방법을 제안하며, 제안하는 채널 분류 방법의 효율성을 수학적으로 분석한다. 이와 더불어 정의한 채널 분류를 이용하여 주파수 자원이 매우 동적으로 변화하는 환경에서도 상하향 제어 채널 확보를 용이하게 확보할 수 있는 랑데부 알고리즘을 제안한다.

Key Words : Cognitive radio, Channel Management, Spectrum Holes, Rendezvous, Control Channel

ABSTRACT

In cognitive radio (CR) network, the channels are generally classified into either the unavailable channels that are occupied by incumbent users or the available channels that are not occupied. The conventional channel classification scheme may result in poor utilization of spectrum holes since it does not take the spatial relationship between CR node and incumbent users into consideration. In this paper, we propose an efficient channel management scheme for the centralized CR network to maximize the spectrum holes by overcoming the shortcomings of conventional scheme. In addition, we mathematically analyze the effectiveness of proposed scheme. Based on the proposed channel management scheme, we also propose the rendezvous algorithm, which can establish the control channels between base station and CR node under the dynamically changing spectrum environment.

I. 서 론

CR (Cognitive Radio) 기술은 무선 네트워크에 할당된 주파수 대역을 허가된 사용자 (Incumbent

User : IU)와 CR 노드가 공존해서 사용하게 함으로써 주파수의 효율을 극대화시킬 수 있는 기술이다^[1]. 즉, IU가 시간 혹은 공간적으로 사용하지 않는 유휴 주파수 대역을 추출하여 CR 노드가 재사

* 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2006-000-10578-0)

* 2007년도 JCCI 우수논문으로 선정되었습니다.

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 ({aigo99, yashin, wlee, myoo}@ssu.ac.kr)(^o교신저자)

논문번호 : KICS2007-06-257, 접수일자 : 2007년 6월 10일, 최종논문접수일자 : 2007년 10월 8일

용할 수 있도록 무선 자원을 할당 및 관리하는 기술을 말한다. 단, CR 네트워크는 기존 IU에게 어떠한 간섭도 주지 않아야 한다.

CR 시스템은 무선 기지국 (Base Station : BS) 이 CR 노드를 일괄적으로 통제하는 중앙 집중형 구조로 구성될 수 있다. 이러한 CR 시스템에서는 BS와 CR 노드간 무선 스펙트럼 검출 정보 및 채널 할당 정보 그리고 네트워크 운영 정보 등과 같은 제어 정보 전송을 위한 채널이 필요하지만, CR 시스템은 IU가 언제 어떤 채널을 점유할지 알 수 없기 때문에 고정적인 제어 채널을 확보할 수 없다. 따라서 동적으로 BS와 CR 노드간 제어 채널 할당을 가능케 하는 랑데부 (Rendezvous) 알고리즘이 요구된다. 랑데부 알고리즘이란 두 노드간 통신을 위해 동기 시간, 주파수 등의 공통 파라미터를 설정하는 프로토콜이나 절차를 일컫는다^[2].

이러한 랑데부 알고리즘을 수행하기 위해서는 CR 노드와 BS가 사용이 가능한 채널과 불가능한 채널을 분류하여, 제어 채널을 선택할 수 있어야 한다. 따라서 랑데부 알고리즘의 수행은 채널 분류 방법에 크게 영향을 받게 된다^{[3][4]}.

기존의 CR 네트워크의 채널 분류 방법은 IU가 시간적 혹은 주파수 측면에서 점유하여 사용 불가능한 채널과 그렇지 않은 채널로 무선 채널을 분류하였다. 한 예로 IEEE 802.22 WRAN 시스템은 채널 분류를 다음과 같이 정의하였다^[5].

- Active Set1: 자체 CR 노드 또는 BS가 사용하는 채널의 집합
- Active Set2: 타 CR 노드 또는 BS가 사용하는 채널의 집합
- Occupied Set: IU가 점유한 채널로서 CR 노드 또는 BS가 사용 여부를 탐색한 채널의 집합
- Candidate Set: CR 노드 또는 BS가 즉시 사용 가능한 채널의 집합
- Disallowed Set: 주파수 자원 관리 법규 등에 의해 사용이 불가능한 채널의 집합
- Null Set: 위에서 언급한 5가지 채널에 속하지 않는 채널의 집합

이러한 채널 분류 방법은 TV 대역과 같이 IU가 고정적이고, 유휴 주파수 자원이 충분히 확보되어 있어, 안정적인 CR 네트워크를 구성할 수 있는 환경에 적합하다. 하지만 무선 주파수 자원의 원활한 확보가 어려운 CR 네트워크 환경에서는 시간과 주

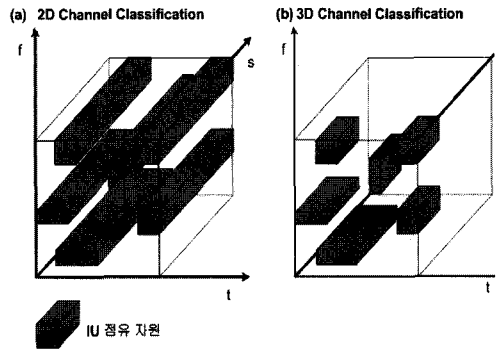


그림 1. 2차원 및 3차원 채널 분류 방법의 비교

파수 측면만을 고려한 2차원적 채널 분류 기법을 통해서도 효과적인 자원 관리가 어렵게 된다. 따라서 자원 효율성을 증대시킬 수 있는 새로운 채널 분류 기법이 절실히 요구되며, 이에 본 논문에서는 시간, 주파수 측면 이외에도 무선 자원의 공간적 측면을 고려하는 새로운 채널 분류방법을 제안한다. 그림 1은 이러한 2차원적 채널 분류 방법과 제안하는 3차원적 채널 분류 방법을 비교하여 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 2차원적 채널 분류 방법은 시간과 주파수 측면만을 고려하기 때문에 유휴 자원 확보가 매우 어렵다. 그러나 3차원적 채널분류 방법의 경우 무선 자원을 공간적으로 활용하여 채널 분류를 수행하기 때문에 IU가 실제적으로 가용하는 자원만을 도출할 수 있어, 유휴 자원의 확보가 매우 용이하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 CR 네트워크의 시스템 모델을 기술하고, III장에서는 CR 네트워크의 채널 분류 방법 및 제안된 채널 분류 방법에 따르는 무선 주파수 자원을 분석한다. 이어 IV장에서는 무선 주파수 상황을 분류하고, 각 상황에 적합한 랑데부 알고리즘을 설명한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1 Base Station

본 논문에서 고려하는 BS는 CR 네트워크의 고정 무선 기지국으로서 채널 관리, 자원 관리, 연결 관리, 위치 관리 및 네트워크 관리 등의 기능을 수행한다. 이들 BS의 기능을 보다 자세히 살펴보면 표 1과 같이 정리할 수 있다.

이러한 BS의 관리 기능 중 IU의 위치는 둘 이상의 CR 노드로부터 IU의 전송 방향, 전송 세기 등

표 1. BS의 기능

역할	기능
채널 관리	모든 주파수 대역을 MAC (Medium Access Control) 계층에서 사용하는 논리적인 서브 채널 (e.g. TV 채널)로 나누고, 각 서브 채널을 무선 상황 정보를 토대로 정해진 기준에 맞게 분류 및 관리
자원 관리	가용한 주파수 자원을 효율적으로 사용하고, 노드간 자원 사용의 공정성을 제공하기 위해 자원을 관리
연결 관리	CR 사용자의 네트워크 진입과 종료를 관리
위치 관리	CR 노드로부터 자신의 물리적 위치와 IU의 정보를 전송받고, 이를 토대로 CR 노드와 IU의 위치를 추출하여 관리
네트워크 관리	CR 시스템이 네트워크 단계에서의 안정적인 상태를 유지할 수 있도록 관리

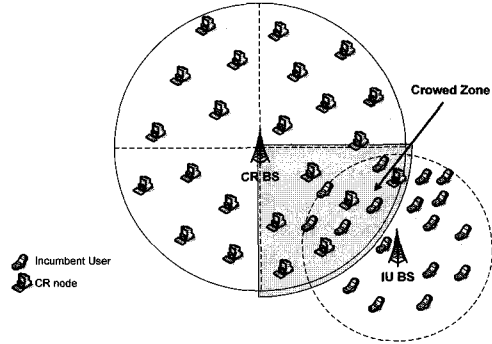


그림 2. CR 네트워크의 예

에 대한 정보를 통해 산출할 수 있다⁶⁾. 또한 표 1과 같은 일반적인 관리 기능 이외에 추가적으로 IU와의 공간적 간섭 범위를 최소화하기 위해 전송 전력 제어와 지향성 안테나를 사용한다⁷⁾. 이에 본 논문에서는 지향성 안테나 사용을 위해 BS의 전송 영역을 4개로 구분하여, 각 전송 영역마다 하나의 지향성 안테나를 운용한다고 가정하였다.

2.2 CR 노드

CR 네트워크에서 CR 노드는 스펙트럼 검출 정보 및 CR 노드 자신의 지리적인 위치를 BS에게 주기적으로 보고한다. 이때 스펙트럼 검출 정보에는 IU가 사용하는 주파수 대역, IU의 지리상의 위치를 파악할 수 있는 정보 (신호의 방향, 신호의 세기 등) 그리고 간섭 범위에 관한 정보가 포함된다⁸⁾. 또한 CR 노드는 BS로부터 최적의 전송전력을 할당 받고, 이를 이용하여 자신의 전송전력을 조절하여 유효 전송범위를 조절할 수 있으며, 하나의 송, 수신 통신 모듈을 사용하여 원하는 주파수 대역으로 동조가 가능하다. 이러한 주파수 동조를 통해 CR 노드는 다른 CR 노드로부터 BS 혹은 또 다른 CR 노드에게 신호를 릴레이 할 수 있다.

2.3 CR 네트워크의 채널 환경

CR 기술은 IU가 사용하지 않는 유휴 주파수 자원을 인지하고, 이를 사용하기 때문에 무선 스펙트럼 환경에 대한 정확한 모델링이 요구된다. 무선 스펙트럼 환경 모델링에 있어서 가장 중요한 요소로는 IU의 종류, 자원 점유 성향 그리고 BS의 전송

범위 등이 있다. 예를 들어 TV 대역의 경우 지역적으로 특정 주파수 대역만을 사용하기 때문에 CR 네트워크의 운용이 매우 용이하다. 그러나 셀룰러 (Cellular) 네트워크 또는 무선 인터넷과 같이 시간, 공간적으로 주파수 자원 점유 상황이 동적으로 변화하는 환경에서는 CR 네트워크의 원활한 운용이 어려워진다. 따라서 본 논문에서는 IU가 특정 지역 (Crowded Zone)에 집중되거나 IU가 특정 시간에 집중적으로 자원을 사용함으로써 특정 지역 혹은 특정 시간대에 유휴 주파수 자원이 부족하게 되어, 랑데부 수행에 필수적인 브로드캐스팅 채널 확보가 어려워지는 환경을 고려한다. 그림 2는 본 논문에서 고려하는 이러한 CR 네트워크의 예를 도시하고 있다.

III. 무선 주파수 자원의 분석

3.1 CR 노드와 IU의 위치와 전송범위를 고려한 채널 분류

CR 네트워크에서 BS는 IU와의 공존과 채널의 효율성을 높이기 위해 스펙트럼 검출 정보를 토대로 채널을 분류하여 관리한다. IEEE 802.22와 같이 기존의 일반적인 CR 네트워크의 채널 분류 방법은 IU가 점유하여 CR 네트워크에서 사용하지 못하는 채널과 그렇지 않은 채널로 분류한다⁹⁾. 그러나 위와 같은 채널 분류 방법은 모든 CR 노드에게 같은 채널 환경을 제공하기 때문에, CR 노드와 IU의 위치와 전송범위를 포함한 공간적 측면을 고려하지 않았다. 따라서 CR 네트워크의 자원 사용의 효율성을 저하시키는 요인으로 작용한다.

이에 본 논문에서는 CR 노드 혹은 영역별로 채널 환경이 다른 점을 고려하는 새로운 채널 분류 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 채널 분류

방법은 CR 노드와 IU의 위치와 전송범위를 고려하여 상향, 하향 가용성을 판단하며, 이를 4가지 채널 종류로 분류한다. 이때, 가용 채널이란 IU에게 간섭을 받지도 주지도 않아 사용이 가능한 채널을 의미하며, 점유 채널이란 IU에게 간섭을 주거나 받기 때문에 사용이 불가능한 채널을 의미한다.

- 채널 종류 1: 상향 또는 하향 제어 채널로 사용 가능한 채널
- 채널 종류 2: 하향 제어 채널로 사용이 가능하지만 IU에 의해 점유되어 상향 제어 채널로는 사용이 불가능한 채널
- 채널 종류 3: 상향 제어 채널로 사용이 가능하지만 IU에 의해 점유되어 하향 제어 채널로는 사용이 불가능한 채널
- 채널 종류 4: IU에 의해 점유되어 상향이나 하향 제어 채널로 사용이 불가능한 채널

위와 같은 채널 종류를 분류하기 위해 상향 제어 채널과 하향 제어 채널의 가용성 판단은 다음과 같다.

- 상향 제어 채널로 사용 불가능 : CR 노드의 전송 범위 내에 IU가 존재 혹은 IU의 전송 범위 내에 CR 노드가 존재
- 상향 제어 채널로 사용 가능한 경우 : CR 노드의 전송 범위 내에 IU가 존재하지 않고, 동시에 IU의 전송 범위 내에 CR 노드가 존재하지 않는 경우
- 하향 제어 채널로 사용 불가능 : IU의 전송 범위 내에 BS가 존재 혹은 BS의 여러 영역 중 CR 노드가 속한 영역에 IU가 존재
- 하향 제어 채널로 사용 가능 : IU의 전송 범위 내에 BS가 존재하지 않으며, 동시에 CR 노드가 속한 영역에 IU가 존재하지 않는 경우

3.2 유휴 자원의 정량화

본 절에서는 제안하는 채널 분류 방법을 이용하였을 경우와 일반적인 채널 분류 방법을 사용하였을 경우 각각의 유휴 자원을 비교한다. 본 논문에서의 유휴 자원은 임의의 CR 노드의 한 채널에서의 상향과 하향 가용 확률로서 이를 이용하여 앞 절에서 분류한 채널 종류별 확률을 추측할 수 있다.

3.2.1 관련 파라미터 정의

본 논문에서 고려하는 CR 네트워크 환경에서 CR

노드와 IU의 위치는 BS의 전송 영역 내에서 균일 분포 (Uniform Distribution)를 따르는 랜덤 변수 (Random Variable)이며, IU의 전송 범위는 BS의 전송 범위보다 작다고 가정하였다. 유휴 자원의 정량화를 위해 사용되는 파라미터는 다음과 같이 정의된다.

- UA (Uplink Available) : 임의의 CR 노드가 특정 채널에서의 상향 가용함
- DA (Downlink Available) : 임의의 CR 노드가 특정 채널에서의 하향 가용함
- R_{BS} : BS의 전송 반지름
- R_{CR} : CR 노드의 전송 반지름, CR 노드와 BS의 거리로 계산
- $E(R_{CR})$: CR 노드의 평균 전송 반지름

$$(\pi R_{BS}^2 \div 2 = \pi \left(\frac{\sqrt{2}}{2} R_{BS}\right)^2 \therefore E(R_{CR}) = \frac{\sqrt{2}}{2} R_{BS})$$
- R_{IU} : IU의 전송 반지름, 상수 (단, $R_{BS} > R_{IU}$)
- A_{BS} : BS의 전송 영역 (=CR의 존재 가능 영역)
- $S(A_{BS})$: A_{BS} 의 넓이 ($=\pi R_{BS}^2$)
- A_{CR} : CR 노드의 전송 영역
- $S(A_{CR})$: A_{CR} 의 넓이 ($=\pi R_{CR}^2$)
- A_{IU} : IU의 전송 영역
- $S(A_{IU})$: A_{IU} 의 넓이 ($=\pi R_{IU}^2$)
- EA_{IU} : IU가 존재 가능한 영역
- $S(EA_{IU})$: EA_{IU} 의 넓이 ($=\pi(2R)_{BS}^2 = 4\pi R_{BS}^2$)
- IU_{OCR} : IU가 CR의 전송 영역 밖에 존재
- CR_{OIU} : CR이 IU의 전송 영역 밖에 존재
- IU_{IBS} : IU가 BS의 특정 지향성 안테나 영역 내부에 존재
- BS_{IIU} : BS가 IU의 전송 영역 내부에 존재
- $S(A_{BS} \cap A_{IU})$: BS의 전송 영역과 IU의 전송 영역이 겹치는 부분의 넓이
- k : 지향성 안테나의 수
- N : IU의 수

3.2.2 상향 가용 확률

임의 CR 노드가 상향 제어채널을 확보할 수 있는 확률은 채널에 영향을 줄 수 있는 IU 수에 영향을 받는다. 따라서 본 논문에서는 하나의 IU의 수에 따른 상향 가능 확률을 구하고, 이를 기반으로 N개의 IU에 따른 상향 가능 확률을 구한다.

3.1절의 채널 분류 방법에 의하면 상향 제어 채

1) IU의 전송범위가 BS의 전송범위보다 클 경우, IU가 존재 가능한 영역의 넓이를 추가하여 분석이 가능하다.

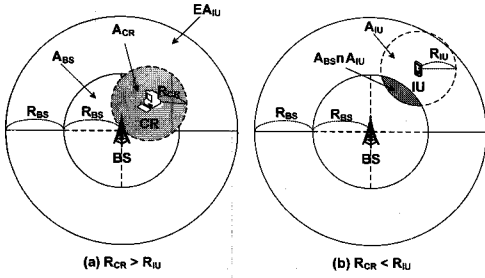


그림 3. BS, CR 노드, IU간의 위치와 전송 영역간의 관계

넓은 CR 노드의 전송범위 안에 IU가 존재하지 않고, 동시에 IU의 전송범위 안에 CR 노드가 존재하지 않을 때 사용 가능하다. 먼저 하나의 IU가 존재하는 채널에서의 상향 가능 확률을 구하기 위해 표본 공간을 $R_{CR} > R_{IU}$ 와 $R_{CR} < R_{IU}$ 로 분할한다. $R_{CR} > R_{IU}$ 의 경우 상향 가능 확률은 IU가 A_{CR} 밖에 존재할 확률과 같으며, $R_{CR} < R_{IU}$ 의 경우의 상향 가능 확률은 CR 노드가 A_{IU} 밖에 존재할 확률과 같다. 이러한 상향 가능 확률을 정리하면 식 1과 같다.

$$\begin{aligned} \Pr(UA, N=1) &= \Pr(UA \cap R_{CR} > R_{IU}) + \Pr(UA \cap R_{CR} < R_{IU}) \\ &= \Pr(IU_{OCR} | R_{CR} > R_{IU}) \cdot \Pr(R_{CR} > R_{IU}) \\ &\quad + \Pr(CR_{OIU} | R_{CR} < R_{IU}) \cdot \Pr(R_{CR} < R_{IU}) \end{aligned} \quad (1)$$

그림 3은 BS, CR 노드 그리고 IU간의 위치와 전송 영역을 나타내고 있다. 그림 3에서 (a) $R_{CR} > R_{IU}$ 의 경우, IU가 CR 노드의 전송 영역 밖에 있을 확률은 IU가 존재 가능한 영역 (EA_{IU})과 CR의 전송 영역의 넓이 (A_{CR})의 관계식으로 구할 수 있다. (b) $R_{CR} < R_{IU}$ 의 경우, CR 노드가 IU의 전송 영역 밖에 있을 확률은 CR 노드가 존재 가능한 영역 (A_{BS})와 IU의 전송 영역이 겹치는 영역 ($A_{BS} \cap A_{IU}$)의 관계식으로 구할 수 있다. 또한, (a) $R_{CR} > R_{IU}$ 의 확률은 BS를 중심으로 반지름이 R_{IU} 인 원을 그렸을 때, CR 노드가 그 원 밖에 있을 확률과 같으며, (b) $R_{CR} < R_{IU}$ 의 확률은 전체 확률 1에서 (a) $R_{CR} > R_{IU}$ 의 확률을 빼면 된다. 따라서 수식 1은 다음과 같이 풀이 된다.

$$\begin{aligned} \Pr(IU_{OCR} | R_{CR} > R_{IU}) &= 1 - \frac{S(A_{CR})}{S(EA_{IU})} = 1 - \frac{\pi R_{CR}^2}{4\pi R_{BS}^2} = 1 - \frac{R_{CR}^2}{4R_{BS}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\Pr(CR_{OIU} | R_{CR} < R_{IU}) \\ &= 1 - \frac{S(A_{BS} \cap A_{IU})}{S(A_{BS})} = 1 - \frac{S(A_{BS} \cap A_{IU})}{\pi R_{BS}^2} \\ &\Pr(R_{CR} > R_{IU}) = 1 - \frac{S(A_{IU})}{S(A_{BS})} = 1 - \frac{R_{IU}^2}{R_{BS}^2} \\ &\Pr(R_{CR} < R_{IU}) = \frac{R_{IU}^2}{R_{BS}^2} \end{aligned}$$

따라서, 1개의 CR 노드가 가지는 상향 가능 확률 $\Pr(UA)$ 는 다음과 같다.

$$\Pr(UA) = \left(1 - \frac{R_{CR}^2}{4R_{BS}^2}\right) \left(1 - \frac{R_{IU}^2}{R_{BS}^2}\right) + \left(1 - \frac{S(A_{BS} \cap A_{IU})}{\pi R_{BS}^2}\right) \left(\frac{R_{IU}^2}{R_{BS}^2}\right)$$

또한, 특정 채널에 존재하는 IU의 수가 N 일 경우 (a) $R_{CR} > R_{IU}$ 의 상향 가능 확률은 모든 IU가 CR의 전송 영역 안에 없을 확률로서 다시 말하면, N 개의 IU가 CR의 전송 영역 밖에 존재할 확률이다. 따라서 1개의 IU가 A_{CR} 밖에 존재할 확률을 N 제곱하여 구할 수 있다. 마찬가지로 (b) $R_{CR} < R_{IU}$ 의 상향 가능 확률은 N 개의 IU의 전송영역과 A_{BS} 가 겹치는 영역에 CR 노드가 존재하지 않을 확률이며, 이는 N 개의 IU의 전송영역과 A_{BS} 가 겹치는 영역 ($A_{BS} \cap A_{IU}$)을 합하여 구할 수 있다. 따라서 IU가 N 일 경우의 상향 가능 확률은 수식 2와 같다.

$$\begin{aligned} \Pr(UA, IU=N) &= \left(1 - \frac{R_{CR}^2}{4R_{BS}^2}\right)^N \left(1 - \frac{R_{IU}^2}{R_{BS}^2}\right) \\ &\quad + \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N S(A_{BS} \cap A_{IU_i})}{\pi R_{BS}^2}\right) \left(\frac{R_{IU}^2}{R_{BS}^2}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

3.2.3 하향 가용 확률

3.1절의 채널 분류 방법에 의하면 하향 전송은 IU의 전송 범위 내에 BS가 존재하지 않으며, 동시에 CR 노드가 속한 영역에 IU가 존재하지 않는 경우에 가능하다. 특히 하나의 IU가 채널에 존재할 경우의 하향 가능 확률은 전체 확률 1에서 하향 불가능 확률을 뺀 값이며, 수식 3으로 정의된다.

$$\Pr(DA, IU=1) = 1 - \Pr(BS_{IU}^c) - \Pr(IU_{IBS}^{CR} | BS_{IU}^c) \quad (3)$$

식 3에서 $\Pr(BS_{IU})$ 는 BS가 IU의 전송 영역 안에 있을 확률이다. 따라서 $\Pr(BS_{IU})$ 는 BS를 중심으로 반지름이 R_{IU} 인 원을 그렸을 때, IU가 그 원안에 있을 확률이며, 다음과 같이 표현된다.

$$\bullet \Pr(BS_{IU}) = \frac{S(A_{IU})}{S(EA_{IU})} = \frac{R_{IU}^2}{4R_{BS}^2}$$

$\Pr(IU_{IBS}^{CR} | BS_{IU}^C)$ 는 BS가 IU의 전송 영역 밖에 있을 때, IU가 CR이 존재하는 BS의 특정 지향성 안테나 영역에 존재할 확률로서, 지향성 안테나의 수 k 에 따라 다음과 같이 표현된다.

$$\bullet \Pr(IU_{IBS}^{CR} | BS_{IU}^C) = \Pr\left[\frac{\Pr(IU_{IBS}^{CR} \cap BS_{IU}^C)}{BS_{IU}^C}\right] = \frac{\frac{R_{BS}^2/k}{4R_{BS}^2}}{1 - \frac{R_{IU}^2}{4R_{BS}^2}} = \frac{R_{BS}^2}{k(4R_{BS}^2 - R_{IU}^2)}$$

따라서 하향 가능 확률 $\Pr(DA)$ 는 다음과 같다.

$$\bullet \Pr(DA, IU=1) = 1 - \frac{R_{IU}^2}{4R_{BS}^2} - \frac{R_{BS}^2}{k(4R_{BS}^2 - R_{IU}^2)}$$

IU의 수가 N 일 경우는 수식 4와 같다.

$$\Pr(DA, IU=N) = \left(1 - \frac{R_{IU}^2}{4R_{BS}^2} - \frac{R_{BS}^2}{k(4R_{BS}^2 - R_{IU}^2)}\right)^N \quad (4)$$

3.2.4 유희자원 비교 분석

본 논문에서 제안하는 채널 분류 방법과 일반적인 채널 분류 방법을 사용하였을 경우, 주파수의 자원 사용에 대한 효율성은 특정 채널에서 임의의 CR 노드에 대한 유희 자원의 양으로 비교 분석이 가능하다. 따라서 이들 각 채널 분류 방법에 대해 상향 및 하향 가능 확률을 비교함으로써 효율성을 비교한다.

상향 및 하향 가능 확률은 IU의 수와 전송 반지름에 따라 수식 2와 수식 4를 통해서 계산 가능하다. 수식 2를 계산하기 위해서는 CR 노드의 전송 반지름 R_{CR} 과 IU와 BS가 겹치는 영역의 넓이 $S(A_{BS} \cap A_{IU})$ 를 먼저 구해야 한다. 본 논문에서는 R_{CR} 은 평균값을 취하며, $S(A_{BS} \cap A_{IU})$ 는 A_{IU} 가 A_{BS} 에 겹치는 비율이라 가정하였다. 따라서 R_{CR} 은 $E(R_{CR}) = \sqrt{2}/2 * R_{BS}$ 이며, $S(A_{BS} \cap A_{IU})$ 는 $aS(A_{IU})$ 이다. a 는 A_{IU} 가 A_{BS} 에 겹치는 비율이며, 0.1로 설정하였다.

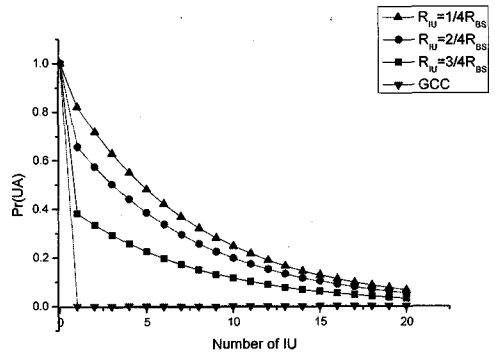


그림 4. IU의 수 변화에 따른 상향 가능 확률

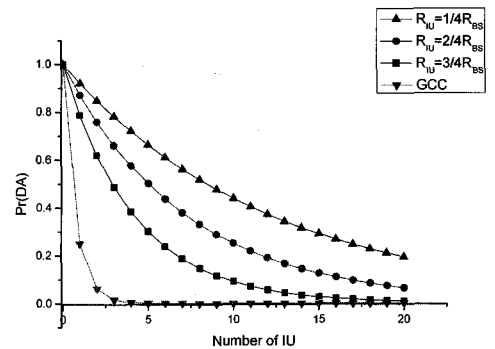


그림 5. IU의 수 변화에 따른 하향 가능 확률

그림 4와 5는 이러한 IU 수 변화에 따른 상향 및 하향 가능 확률을 계산한 결과이며, 이때 IU의 전송 반지름을 BS의 전송 반지름의 3/4배, 2/4배, 1/4배의 경우와 GCC (General Channel Classification)의 경우로 분류하여 계산하였다. 그림 4에 의하면 GCC의 경우 IU가 하나 이상 존재할 경우 상향 가능 확률이 0이 된다. 하지만 제안하는 채널 분류 방법은 IU의 전송 범위가 작을수록 더 높은 상향 가능 확률을 보여주고 있다. 마찬가지로, 그림 5에서 일반적인 채널 분류 방법은 IU의 수가 4 이상일 경우 하향 전송 확률이 0에 가까워짐을 알 수 있다. 하지만, 제안하는 채널 분류 방법을 사용하면 IU의 전송 범위가 작을수록 더 높은 하향 가능 확률을 보여주고 있다.

이러한 결과에 의하면, 제안하는 채널 분류 방법을 사용하였을 경우 일반적인 채널 분류 방법에 비해 매우 높은 유희자원 확보가 가능하다. 또한 4장에서 설명할 릴레이를 통한 랑데부 알고리즘을 적용할 경우 상향 및 하향 전송이 불가능한 상황에서도 랑데부가 가능함으로써 매우 안정적인 CR 네트워크 운영이 가능하게 된다.

IV. 랑데부 알고리즘

본 절에서는 앞서 설명한 채널 분류 방법을 토대로 멀티 채널 환경에서 상하향 채널 가용성에 따른 상황을 설정하고, 각 상황에 따른 랑데부 알고리즘을 제안한다. 이때, 랑데부 알고리즘이란 무선 네트워크에서 두 노드간 통신을 위한 동기 시간, 주파수 등을 설정하는 통신 수행 준비 과정을 의미한다.

이를 위해 본 논문에서는 일반적인 랑데부 알고리즘과 릴레이 기반의 랑데부 알고리즘으로 구분하고, 다음과 같은 4가지 상황에 적용하였다.

- 상황 1 : 상하향 전송이 모두 가능
- 상황 2 : IU에 의해 CR 노드에서 BS로의 상향 채널이 점유
- 상황 3 : BS에서 CR로의 하향 채널이 점유
- 상황 4 : 상하향 채널이 모두 점유

4.1 일반적인 랑데부 알고리즘

일반적으로 무선 네트워크에서의 랑데부 알고리즘은 다음과 같다. 먼저, 송신 노드는 정해진 제어 채널을 통해서 제어 정보를 주기적으로 전송하고 수신 노드는 주기적인 제어 채널 검색을 통해 제어 정보를 수신하여 통신을 위한 시간 동기 및 주파수 등을 설정한다. 하지만, CR네트워크는 고정적으로 채널 확보가 불가능하므로 랑데부 알고리즘 수행을 위한 제어 채널을 정할 수 없다. 따라서 CR 네트워크에서 랑데부 과정을 수행하기 위해서는 먼저, 송수신 노드가 현재 사용 가능한 채널을 모두 알고 있다는 전제가 필요하다.

이러한 전제 하에서 송신 노드는 가용 채널 중 하나를 선택하여 일정한 간격으로 제어 정보를 전송하게 된다. 제어 정보에는 자신에게 정보를 전송할 수 있는 상향 채널에 대한 정보를 포함하고 있다. 이어 수신 노드는 자신 주변의 가용 채널들을 모두 관찰하고 있다가 송신 노드가 전송한 제어 정보를 발견하면, 해당 채널을 검색하여 송신 노드가 전송한 제어 정보를 습득하여 랑데부 알고리즘을 수행한다. 이와 같은 CR 네트워크의 일반적인 랑데부 알고리즘 개념을 토대로 본 논문에서 고려하는 중앙 집중형 CR 네트워크 환경에서의 랑데부 알고리즘을 살펴보면 다음과 같다.

중앙 집중형 CR 네트워크에서의 BS는 자신의 전송 영역 내 가용 채널을 모두 알고 있다. 그러나 CR 노드의 경우에는 자신 주변의 가용 채널을 독

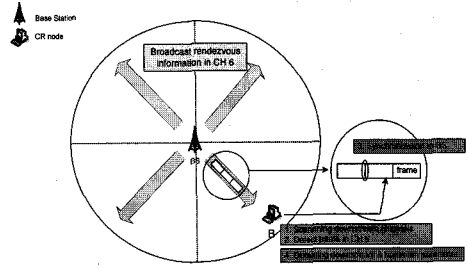


그림 6. 일반적인 랑데부 알고리즘 수행 과정의 예

립적으로 판단할 수가 없다. 따라서 BS는 주기적으로 랑데부를 위한 상하향 제어 채널 정보를 브로드캐스팅한다. 이때, CR 노드는 CR 네트워크에서 고려하는 모든 채널을 차례대로 검색하여 BS에서 전송하는 상하향 제어 채널 정보를 획득하여 랑데부 알고리즘을 수행한다. 그림 6은 이러한 중앙 집중형 CR 네트워크 환경에서의 랑데부 알고리즘 수행 과정을 도시하고 있다.

이러한 중앙 집중형 CR 네트워크에서의 일반적인 랑데부 알고리즘은 본 논문에서 고려한 상황 1에 사용되며, 제한한 채널 분류 방법에 따라 채널 종류 1이 둘 이상 존재하거나 채널 종류 2와 3이 동시에 존재하여 상하향 연결이 가능한 경우에 적용 가능하다.

4.2 릴레이 기반의 랑데부 알고리즘

상향 또는 하향 제어 채널이 IU에 의해 사용이 불가능한 경우 릴레이를 통해 랑데부 알고리즘을 수행할 수 있다. 릴레이 기반의 랑데부 알고리즘은 상향 연결이 불가능한 경우, 하향 연결이 불가능한 경우 그리고 상하향 연결이 모두 불가능한 경우로 나눌 수 있다.

상향 연결이 불가능한 경우, BS는 자신이 가지고 있는 무선 주파수 상황 정보 테이블을 통해 CR 노드를 위한 가용한 상향 제어 채널이 없음을 인지한다. 따라서 BS는 해당 CR 노드의 상향 제어 채널을 확보하기 위해서 릴레이를 통해 상향 제어 채널을 확보하게 된다.

이를 위해 BS는 상향 연결이 불가능한 CR 노드를 대신해서 상향 릴레이가 가능한 노드를 선택하게 되며, 상향 연결이 불가능한 CR 노드에게 하향 링크를 통해 상향 릴레이 노드와의 랑데부 정보를 전송하게 된다. 이때 CR 노드는 랑데부 정보를 이용하여 릴레이 노드와의 연결을 설정하게 되며, 이를 통해 상향 링크를 획득하게 된다.

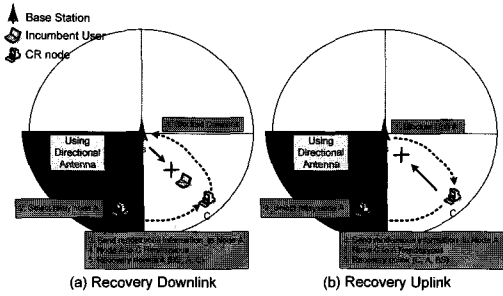


그림 7. 상, 하향 전송이 불가능한 경우의 랑데부 알고리즘

반면, 하향 연결이 불가능한 경우에 BS는 자신이 가지고 있는 무선 주파수 상황 정보 테이블을 통해 특정 지향성 안테나 영역에 가용한 하향 제어 채널이 없음을 인지하고, 해당 영역으로의 하향 제어 채널을 확보하기 위해서 다른 영역의 릴레이 노드를 선택하여 하향 링크를 획득하게 된다. 이때, 하나의 릴레이 노드만으로 해당 영역 (가용한 하향 제어 채널이 없는 영역)의 모든 CR 노드를 담당할 수 없을 경우, BS는 다수의 릴레이 노드를 두어 그 역할을 분담할 수 있다. 그림 7의 (a)는 하향 전송, (b)는 상향 전송이 불가능한 경우에 대한 릴레이 기반의 랑데부 알고리즘 수행 과정을 도시하고 있다.

한편, 상하향 연결이 모두 불가능한 경우 BS는 앞서 설명한 릴레이 기반의 랑데부 알고리즘을 사용하여 하향 연결을 설정하고 하향 링크를 확보한 후 상향 연결을 설정하여, 상하향 링크를 모두 확보한 후 랑데부 알고리즘을 수행한다.

V. 결론

본 논문에서는 CR 네트워크에서 기존의 IU 자원 점유만을 고려한 채널 분류 방법의 문제점을 해결하고 자원 효율성을 높이기 위해 BS, CR 노드 그리고 IU의 공간적 관계에 따른 새로운 채널 분류 방법을 제시하였으며, 이를 토대로 상하향 제어 채널의 확보 확률을 수학적으로 분석하였다. 본 논문에서 제안하는 채널 분류 방법을 사용하면, 일반적인 채널 분류 방법에 비해 높은 유휴 자원을 획득할 수 있어 무선 주파수 자원이 매우 동적으로 변하는 환경에서도 안정적인 자원 확보가 가능하게 된다.

이와 더불어 본 논문에서는 IU에 의해 상향, 하향 혹은 상하향 모두 제어 채널 확보가 불가능한 경우를 고려하여, 릴레이를 통한 랑데부 알고리즘을 제시하였다. 특히, 무선 주파수 자원 상황을 4가지로 상황으로 정의하고 각 상황에 따른 랑데부 알고리즘 적용 절차를

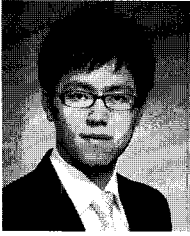
제시함으로써 랑데부 성공률을 높일 수 있게 되었다. 이를 통해 시간적 혹은 공간적으로 무선 주파수 자원이 부족한 환경 하에서도 BS와 CR 노드간 통신이 가능하게 함으로써 보다 안정적인 CR 네트워크 운용을 가능하게 하며, CR 네트워크를 통한 다양한 응용 서비스들의 안정적 지원이 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] J. Mitola III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications," In Proc. of IEEE Mobile Multimedia Conference 1999, pp. 3-10, 1999.
- [2] FCC. ET Docket No. 03-108, "Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable Spectrum Use Employing Cognitive Radio Technologies," Mar. 2005.
- [3] J. Yang, Q. Jiang, D. Manivannan, M. Singhal, "A fault-tolerant distributed channel allocation scheme for cellular networks," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 54, No. 5, pp. 616-629, May 2005.
- [4] R. Verdone, A. Zanella, L. Zuliani, "Performance of a cellular network based on frequency hopping with dynamic channel allocation and power control," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 4, No. 1, pp. 46-56, Jan. 2005.
- [5] IEEE 802.22 WRAN "A PHY/MAC Proposal for IEEE 802.22 WRAN Systems Part 2: The Cognitive MAC," Mar. 2006.
- [6] T. S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner, "Position Location Using Wireless Communication on Highways of the Future," *IEEE Communication Magazine*, Vol. 34, No. 10, pp. 33-41, Oct. 1996.
- [7] Choudhury, R.R., Xue Yang, Ramanathan R., Vaidya N.H., "On designing MAC protocols for wireless networks using directional antennas," *IEEE Transaction on Mobile Computing*, Vol. 5, No. 5, pp. 477-491, May. 2006.
- [8] G. P. Yost, S. Panchapakesan, "Automatic location identification using a hybrid technique," In Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 264 - 267, May 1998.

정 필 중 (Piljung Jeong)

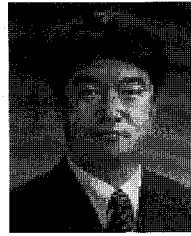
준회원



2006년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 학사
2006년 3월~현재 숭실대학교 정
보통신전자공학부 석사과정
<관심분야> Cognitive Radio,
IPTV, Profile Management

이 원 철 (Woncheol Lee)

종신회원



1986년 2월 서강대학교 전자공학
과 학사
1988년 2월 연세대학교 전자공학
과 석사
1995년 7월 Polytechnic Univ.
Electrical Engineering 박사
1995년 9월~현재 숭실대학교 정
보통신전자공학부 부교수

<관심분야> Transmit Diversity, Software Defined
Radio, Antenna, Cognitive Radio, Position Loca-
tion based on UWB, CDMA 2000/WCDMA

신 요 안 (Yoan Shin)

종신회원



1987년 2월 서울대학교 전자공학
과 학사
1989년 2월 서울대학교 전자공학
과 석사
1992년 12월 University of Texas
at Austin 전기및컴퓨터공학과
박사

1992년 12월~1994년 7월 오스틴소재 MCC (Mic-
roelectronics & Computer Technology Corp.) 연구콘
소시엄 Member of Technical Staff

1994년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부
교수

<관심분야> CDMA 및 OFDM 모델, UWB 전송 시스
템, MIMO 시공간신호처리, Cognitive Radio

유 명 식 (Myungsik Yoo)

종신회원



1989년 2월 고려대학교 전자공학
과 학사
1991년 2월 고려대학교 전자공학
과 석사
2000년 6월 SUNY at Buffalo
Dept. of EE 박사
2000년 9월~현재 숭실대학교 정
보통신전자공학부 부교수

<관심분야> Optical Network, OBS, EPON, 인터넷
QoS, Wireless MAC Protocol, Ad-hoc Network,
Cognitive Radio