

# Cognitive Radio 네트워크에서 Hidden Node 문제 해결을 위한 Safety Zone 기반의 통신 프로토콜

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

## A Communication Protocol Based on Safety Zone for Solving Hidden Node Problem in Cognitive Radio Networks

Piljung Jeong\* Associate Member, Yoan Shin\*, Woncheol Lee\*, Myungsik Yoo\*<sup>o</sup> Lifelong Members

### 요 약

CR (Cognitive Radio)은 우선 사용자 네트워크와 공존함으로써 주파수 효율을 극대화할 수 있는 기술이다. 이러한 CR 기술의 가장 우선해야 될 과제는 우선 사용자 시스템에 대한 보호이다. 이를 위해 CR 네트워크는 주기적으로 우선 사용자의 주파수 사용을 탐지하고 우선 사용자 시스템에 간섭을 주지 않기 위해 통신 파라미터를 조절하게 된다. 하지만 CR 네트워크의 특성상 스펙트럼 검출을 통해서도 발견되지 않는 우선 사용자인 HN (Hidden Node)가 존재하게 된다. 이러한 HN가 사용하는 무선 자원을 CR 네트워크에서는 유희자원이라 판단함으로써 우선 사용자에게 간섭을 주는 문제가 발생하며, 이는 CR 네트워크의 올바른 운용을 방해하는 요인으로 작용한다. 따라서 CR 네트워크의 안전하고 올바른 운용을 위해서는 HN 문제를 해결할 수 있는 방법이 절실히 요구된다. 본 논문에서는 이러한 HN 문제를 해결할 수 있는 방법을 제시하며, 이에 대한 성능 평가를 수행하였다.

**Key Words** : Cognitive Radio, Hidden Node Problem, Safety Zone, Control Channel, Primary User

### ABSTRACT

Cognitive radio technology enables to share the spectrum dedicated to primary users. In CR network, it is of primary concern to protect the primary users. Thus, it is required to periodically sense the spectrums occupied by primary users and adapt the communication parameters used by CR users to protect the primary users. However, it is inevitable to experience the hidden node problem due to the primary users, that are not detected by spectrum sensing. To perfectly protect the primary users, it is essential to address the hidden node problem in CR network. In this paper, we propose a new approach to handle the hidden node problem and evaluate the performance of proposed scheme.

### I. 서 론

J. Mitola에 의해 처음 제안된 Cognitive Radio (CR)는 무선 자원 사용에 관한 기존의 개념을 완전히 뒤바꾸어 놓았다. 전통적인 무선 네트워크가 특정 대역을 허가된 사용자만이 독점 사용함으로써

인해 시간적 혹은 공간적으로 비어있는 주파수 대역을 활용하지 못하는 문제가 존재하였다면, CR 네트워크는 허가된 사용자에게 간섭을 주지 않는 범위 내에서 CR 기술을 보유한 노드 (이하 CR 노드)가 유희 스펙트럼을 재사용함으로써 그 효율성을 극대화시킬 수 있게 된 것이다<sup>[1]</sup>. 따라서 CR 네트

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

\* 송실대학교 정보통신전자공학부 (jaigo99, yashin, wlce, myoo@ssu.ac.kr), (°: 교신저자)

논문번호: KICS2007-12-578, 접수일자: 2007년 12월 20일, 최종논문접수일자: 2008년 1월 2일

워크는 향후 급격히 증대될 무선 데이터 수요에 따른 주파수 자원 부족 문제를 해결할 수 있는 새로운 해결책을 제시한다.

CR 네트워크는 기존의 무선 네트워크와 공존하기 때문에 기존 무선 인프라 구조를 거의 변경하지 않고, 소프트웨어적인 변화만을 통해 무선 자원 효율성을 극대화할 수 있다<sup>2)</sup>. 하지만 기존 네트워크와의 공존을 위해서는 기존 네트워크 서비스에 영향을 미치지 않아야 한다. 즉, 기존 네트워크에서 허가된 PU (Primary User)에게 서비스 제공시 CR 네트워크의 간섭으로 인한 네트워크 오류 및 전송 지연의 영향을 최소화해야 한다. 따라서 CR 네트워크는 항상 무선 스펙트럼을 관찰한 후 유휴 자원을 사용해야 하며 PU를 보호하기 위한 동작을 반드시 수행해야 한다. 이러한 CR 네트워크는 크게 두 가지 관점에서 연구가 진행 중이다.

먼저 우선 사용자에게 대한 보호와 공존을 위한 제반 기술로서 주파수 검출 (Spectrum Sensing)<sup>3)</sup>을 통한 무선 인지 기술, 우선 사용자 등장에 따른 동적 주파수 변경 기술 (Dynamic Frequency Hopping)<sup>4)</sup> 등이 있다. 또한 주어진 무선 유휴 자원을 CR 네트워크 내에서 효율적으로 사용하기 위한 기술로서 CR 네트워크에 가장 적합한 주파수를 선택 적용하는 동적 주파수 선택 기술 (Dynamic Frequency Selection)<sup>5)</sup>, 최적화된 전송 파라미터를 찾는 란데부 기술 (Rendezvous)<sup>6)</sup> 등이 있다.

본 논문에서는 앞서 설명한 우선 사용자에게 대한 보호와 공존을 위한 제반 기술 개발을 목표로 하였으며, 그중 특히 CR 네트워크의 HN (Hidden Node) 문제를 해결하고자 한다.

기존 무선 네트워크와 CR 네트워크가 공존하는 상황에서 CR 네트워크는 항상 시스템 내 무선 자원 상황을 관찰하고 있지만 예측할 수 없는 PU의 등장, 미처 신호를 감지하지 못한 PU, 신호를 전송하지 않는 PU (ex. TV 수신기), 그리고 전송 전력이 낮아 감지하지 못한 PU 등과 같은 상황으로 인해 무선 상황을 정확하게 인지할 수 없다. 즉, 부정확한 무선 상황에 대한 인지로 인해 CR 네트워크에서는 PU에게 간섭을 주게 되는 문제가 발생하는데 이를 HN 문제로 일컫는다. 따라서 CR 네트워크는 무선 상황을 정확하게 인지하지 못하더라도 PU에게 최소한으로 간섭을 미치거나 간섭을 일으키지 않고 보호할 수 있는 기술이 반드시 요구된다.

일반적으로 HN 문제는 주파수 검출 기술을 사용하는 기존 무선 네트워크에서도 발생하는데, 이를

RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send) 프로토콜을 통해 해결하였다. 그러나 CR 네트워크의 특성상 PU와 CR 노드 자원 사용의 우선순위가 존재하기 때문에 RTS/CTS를 통한 HN 문제를 해결하기는 불가능하다. 따라서 CR 네트워크의 HN 문제를 해결할 수 있는 새로운 통신 프로토콜이 요구된다.

이에 본 논문에서는 CR 네트워크의 특성에 맞는 HN 문제 해결 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 기존에 정의된 HN 문제와 그에 대한 해결책을 알아보고, 제시한 알고리즘과의 차이점을 설명한다. 또한 제시된 알고리즘의 효율성을 수학적 분석과 시뮬레이션을 병행하여 알아본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 HN 문제와 그 해결책을 설명한다. III장에서는 제안하는 알고리즘을 설명하며, IV장에서 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 2.1 IEEE 802.11의 Hidden Node 문제

IEEE 802.11 WLAN (Wireless Local Area Network) 시스템의 경우 무선 노드가 통신을 하기 위해서는 주파수 검출을 통해 채널의 상황을 감지하고 채널이 비어있을 경우에만 채널에 접속하여 사용할 수 있게 된다. 만약 채널이 사용 중이라면 임의의 백오프 (Random Backoff) 시간을 기다린 후 다시 주파수 검출을 수행하게 된다<sup>7)</sup>. 이 때 채널 센싱을 통해서 채널을 검색하더라도 발견되지 않는 노드를 HN라 하며, 그림 1은 이러한 HN 문제의 개념도를 도시하고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 C 노드가 B 노드에 신호를 전송하고 있는 상황에서 A 노드는 채널 센싱을 수행하더라도 C노드의 전송 여부를 파악할 수 없다. 따라서 A 노드는 채널이 유휴하다고 판단하고 B 노드에게 신호를 전송하게 되어 신호의 충돌이 발생한다.

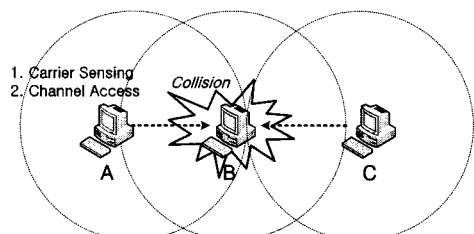


그림 1. IEEE 802.11의 HN 문제

이와 같은 HN문제는 잦은 충돌로 인한 네트워크 손실과 채널 효율성을 저하시키는 주요 원인이 된다. 이러한 HN 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.11 WLAN 시스템에서는 송신 노드가 RTS 메시지를 수신 노드에게 전송하며, 수신 노드는 주변의 모든 노드에게 CTS 메시지를 보내 주위의 다른 노드들의 전송을 막도록 하는 RTS/CTS 프로토콜을 사용한다.

그러나 RTS/CTS 프로토콜은 노드들 간에 동일한 우선순위를 가지는 기존 무선 네트워크에서는 유용한 방식이지만, CR 네트워크와 같이 차등화된 우선순위를 가지는 네트워크에는 적용이 어렵다. 다시 말해 CR 노드가 RTS 신호를 보내더라도 PU는 절대로 CTS로 응답하지 않을 뿐만 아니라, 채널 접근 방식에 있어서도 PU는 채널 검색을 수행하지 않고 가용 자원을 사용할 수 있기 때문이다.

### 2.2 IEEE 802.22 WRAN 시스템에서의 Hidden Node 문제

IEEE 802.22 WRAN 시스템에서는 CR 노드가 갑작스러운 PU의 등장으로 인하여 CR 기지국의 신호를 복호(Decoding)할 수 없고, 또한 CR 기지국에게 PU의 등장을 알릴 수 없는 상황을 HN 문제라 정의하였다<sup>8)</sup>. 그림 2는 이러한 IEEE 802.22 WRAN 시스템에서의 HN 문제를 도시한 것이다.

이를 보다 자세히 살펴보면, CR 기지국은 인밴드(In-Band) 채널을 이용하여 CR 노드들에게 서비스를 제공하고 있고, 이때 갑자기 인접 부근에서 PU가 해당 채널을 사용하게 되면, CR 기지국은 PU의 신호를 수신할 수 없기 때문에 PU가 채널을 점유한지 알 수 없고 CR 노드들은 PU의 신호 간섭으로 인하여 CR 기지국으로 PU의 등장을 알릴 수 없는 상황이 발생한다.

IEEE 802.22 WRAN에서는 이와 같은 HN 문제를 해결하기 위하여 EOBS (Explicit Out-Band Signaling) 방식을 제안하였다<sup>9)</sup>. EOBS 방식은

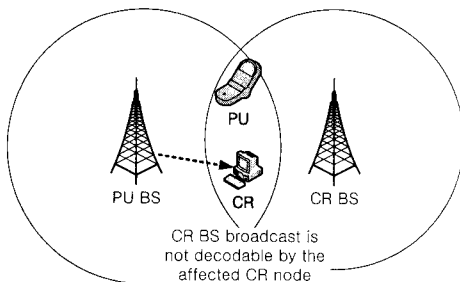


그림 2. IEEE 802.22 WRAN의 HN 상황

HN를 발견한 CR 노드가 미리 정의된 아웃 밴드(Out-Band) 채널을 이용하여 CR 기지국에 알려주는 방법이다. 하지만 IEEE 802.22 WRAN 시스템에서는 갑작스럽게 등장하는 PU로 인한 간섭 문제만 제시하였을 뿐, CR 네트워크가 PU 시스템에 주는 간섭은 고려하지 않았다. 또한 CR 노드와 CR 기지국 모두가 발견 불가능한 PU에 관한 고려를 하지 않았다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 CR 네트워크의 특성이 반영된 HN 문제 해결 방안이 절실히 요구된다.

### III. Safety Zone

앞서 살펴본 바와 같이 기존 무선 네트워크에서의 HN 문제에 대한 정의는 CR네트워크 특성이 고려되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 CR 네트워크의 HN 문제를 새롭게 정의하고, 이에 대한 해결책으로 SZ (Safety Zone)를 이용한 통신 프로토콜을 제안한다.

#### 3.1 CR 네트워크에서의 Hidden Node 문제

본 논문에서는 CR 네트워크에서의 HN를 그림 3과 같이 CR 네트워크의 신호 전송에 의해 영향을 받을 수 있지만, PU의 신호가 CR 노드에 미치지 못하여 CR 노드에서 스펙트럼 검출을 통해 발견하지 못한 노드로 정의한다. 또한 HN의 정의를 바탕으로 CR 네트워크 또는 PU 네트워크에 충돌이나 간섭을 일으키는 모든 상황을 HN 문제라 정의한다.

이와 같은 정의에 따라 CR 네트워크에서 HN가 발생할 수 있는 상황은 PU의 위치가 CR 노드의 전송 영역 내부에 존재해야하며, PU의 전송 신호가 CR 노드에게 닿지 않아야 한다. 식 1은 이러한 상황을 수식으로 표현한 것이다. 이때  $R_{CR\_MAX}$ 는 CR

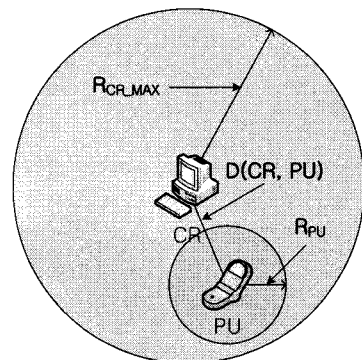


그림 3. CR 네트워크의 HN 발생 상황

노드의 최대 전송 반경을 의미하며,  $R_{PU}$ 는 PU의 전송 반경,  $D(CR, PU)$ 는 CR 노드와 PU간의 거리를 나타낸다.

$$R_{CR\_MAX} \geq D(CR, PU) > R_{PU} \quad (1)$$

### 3.2 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 시스템 구조는 중앙 집중형 PU 네트워크 (ex. Cellular Network, Wireless LAN)에 CR 네트워크가 공존하는 환경이다. CR 네트워크는 기지국과 같은 인프라 구조가 없는 분산 구조로 CR 노드 스스로 통신 채널을 설정 및 관리한다. 따라서 CR 노드들 간의 주기적인 스펙트럼 센싱 정보 교환과 통신에 필요한 정보가 교환된다. 이를 위해 먼저 다음과 같은 사항을 가정한다.

- 가정 1: PU의 전송 반경은 PU와 PU 기지국 간의 거리  $D(PU, BS)$ 이다.
- 가정 2: CR 노드는 자신의 전송 반경을 자유롭게 조절하여 간섭 범위를 조절할 수 있다.
- 가정 3: CR 노드의 최대 전송 반경 안에 최소 한 개 이상의 이웃 CR 노드가 존재한다.
- 가정 4: CR 노드는 자신의 전송 반경 안에 한 개 이상의 이웃 CR 노드가 존재할 경우 목적 노드와 통신이 가능하다.
- 가정 5: PU 노드는 주기적으로 BS에게 자신의 존재를 알리기 위한 제어 신호를 전달한다.

### 3.3 Safety Zone

CR 노드는 주기적으로 주파수 검출을 시도하며 이때 감지한 신호를 통해서 PU의 존재와 사용 주파수를 파악하게 된다. 만약 PU의 전송 범위 내부에 CR 노드가 존재하게 된다면 가정 5에 따라 해당 CR 노드는 주파수 검출 과정에서 PU의 존재를 알 수 있게 된다<sup>9)</sup>. 반대로 PU의 전송범위 외부에 CR 노드가 존재한다면 CR 노드는 해당 PU의 존재를 알 수 없게 된다. 따라서 CR 노드의 위치와 PU의 전송 반경을 알 수 있다면 HN가 발생하지 않는 전송 영역을 계산할 수 있게 된다. 본 논문에서는 이처럼 CR 노드가 모든 PU의 존재를 감지할 수 있는 영역을 SZ이라 정의한다. 그림 4는 이러한 SZ의 개념을 도시하고 있다.

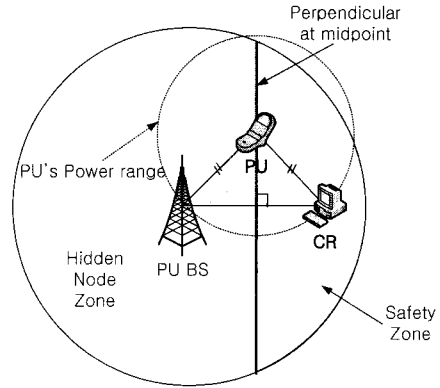


그림 4. Safety Zone의 발생

그림에서 보면 임의의 CR 노드와 BS 사이의 거리에 대한 수직이등분선 위에 존재하는 모든 PU의 전송 반경은 해당 PU 노드와 CR 노드 사이의 거리와 같다. 즉, 수직 이등분선 위에 존재하는 PU의 송신 신호는 정확히 CR 노드까지 미치게 된다( $R_{PU} = D(CR, PU)$ ). 따라서 수직 이등분선을 중심으로 왼쪽 영역은 내부에 존재하는 모든 PU의 송신 신호가 CR 노드에 미치지 않기 때문에 HN (Hidden Node Zone)이 되며, 오른쪽 영역은 내부에 존재하는 모든 PU의 송신 신호가 항상 CR 노드에게 닿기 때문에 SZ (Safety Zone)이 된다. 특히 HN에 존재하면서 동시에 CR 노드의 최대 전송 범위 내부에 존재하는 PU는 HN라 정의할 수 있다.

이처럼 본 논문에서 고려하는 모든 CR 노드는 SZ가 존재하게 되며, SZ 안에서는 HN가 존재하지 않는다. 따라서 CR 노드의 전송 영역이 SZ를 벗어 나지 않을 경우 HN가 발생하지 않게 된다. 즉, HN 문제는 CR 노드의 전송 반경의 조절을 통해 해결할 수 있으며 이러한 CR 노드의 전송 반경  $R_{SZ}$ 는 수식 2를 이용하여 계산할 수 있다.

$$R_{SZ} = \frac{D(BS, CR)}{2} \quad (2)$$

### 3.4 Safety Zone을 이용한 통신

본 절에서는 CR 노드의 전송 반경을 해당 CR 노드의 SZ에 맞게 조절함으로써 생기는 문제점과 이에 대한 해결책을 제시한다. 그리고 이를 통해 SZ를 이용한 통신 방법을 제안한다.

#### 3.4.1 SZ 통신의 문제점

HN 문제를 해결하기 위해선 CR 노드의 전송 영역을 SZ 내부로 조절함으로써 가능하다. 하지만

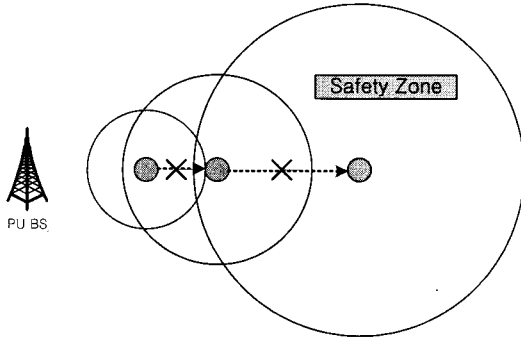


그림 5. CR 노드의 위치에 따른 SZ의 크기 변화

CR 노드의 전송 반경을  $R_{CR\_MAX}$ 에서  $R_{SZ}$ 로 조절하여 전송할 경우 SZ 내부에 이웃 CR 노드가 존재하지 않으므로 통신이 불가능한 상황이 발생한다.<sup>1)</sup> 특히 PU BS에 가까운 CR 노드일수록 SZ의 크기가 작아 통신이 불가능할 확률이 높아지게 된다. 그림 5는 이러한 SZ를 이용한 통신의 문제점을 도시하고 있다.

### 3.4.2 공통 제어 채널의 설정

SZ를 이용한 통신을 수행할 경우 SZ 내부에 이웃 CR 노드가 존재하지 않아 해당 CR 노드의 통신이 불가능하게 되는 상황이 발생하게 되며, 이를 해결할 수 있는 방법이 절실히 요구된다. 본 논문에서는 모든 CR 노드가 접근할 수 있는 공통 제어 채널을 설정하여 이러한 문제를 해결하고자 한다.

일반적으로 CR 노드는 PU보다 더 높은 센싱 능력을 가지고 있다<sup>9)</sup>. 따라서 PU BS와 매우 근접해 있는 CR 노드는 PU 네트워크에서 사용하는 모든 채널을 알 수 있다고 가정한다. 따라서 해당 CR 노드는 PU 네트워크에서 사용되지 않는 채널을 공통 제어 채널로 설정하고 모든 CR 노드에게 플러딩(flooding)과 같은 방법으로 공통 제어 채널 정보를 전파하게 된다. 그림 6은 이러한 제어 채널 정보의 전파 과정을 도시하고 있다. 제어 채널 정보를 전해 받은 모든 CR 노드는 자신의 SZ 안에 이웃 CR 노드가 없을 경우 공통 제어 채널을 통해 통신을 수행하게 된다.

### 3.4.3 SZ 통신

SZ를 이용한 통신을 수행할 경우, CR 노드는 먼저 자신의 SZ 내부에 이웃 노드의 존재 유무를 파

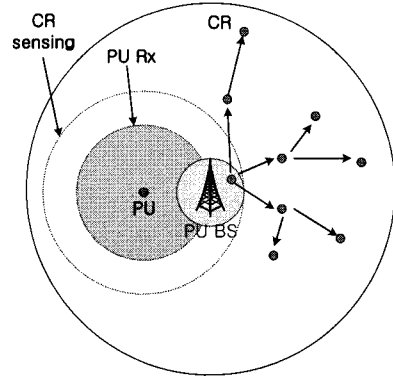


그림 6. 공통 제어 채널 정보의 전파

악해야 한다. 만약 이웃 노드가 존재한다면, 해당 이웃 노드를 통해 목적 노드로의 통신을 수행한다. 이웃 노드가 존재하지 않는다면, 앞서 설정한 공통 제어 채널에 접속하여 이웃 노드와 랑데부 절차를 수행한다. 랑데부 절차가 완료되면, 송신 노드는 목적 노드로의 통신이 가능하게 된다. 이 때 랑데부 절차란 두 노드 간에 통신을 수행하기 위해 상향 및 하향 연결을 수행하는 과정을 의미한다.

## IV. 성능분석

본 논문에서 제안하는 SZ를 이용한 통신 방법은 CR 네트워크에서 CR 노드의 전송 범위는 SZ 내부로 제한함으로써, HN 문제의 발생 확률이 0에 가깝다고 볼 수 있다. 따라서 SZ를 사용하지 않았을 경우 HN 문제의 발생 확률을 분석하였다. 이와 더불어 SZ를 통해 통신을 수행할 경우 SZ 내부에 이웃 노드가 존재하지 않을 수 있는 문제가 발생한다. 따라서 SZ를 사용하였을 경우에 통신 가능 확률을 산출하였다. 이를 통해 본 논문에서 제안하는 SZ 기반의 통신 프로토콜의 안정성을 입증하였다.

### 4.1 가정 사항 및 파라미터

앞선 정의에 의하면, HN는 CR 노드의 전송 범위 안에 존재해야 한다. 따라서 분석을 위해 고려되는 총 영역은 BS를 중심으로  $R_{BS} + R_{CR\_MAX}$ 를 반지름으로 하는 원의 내부가 된다. 이 영역 밖에 존재하는 CR 노드는 PU 네트워크에 영향을 주지 않기 때문에 고려하지 않는다. 또한 CR 노드는 존재 가능한 모든 영역에 균일 분포를 갖고 분포하며 CR 노드간의 위치는 서로 독립적이다.

마찬가지로 PU 역시 BS를 중심으로  $R_{BS}$ 를 반지름으로 하는 원의 내부에 존재하며, 각각의 위치는

1) CR 노드의 전송 반경을  $R_{SZ}$ 로 조절할 경우 SZ 내부에 이웃 노드가 존재하지 않을 확률은 4장에서 분석한다.

독립적이고 균일 분포를 따른다. 이와 같은 제안 통신 프로토콜의 분석을 위해 사용되는 세부 파라미터는 다음과 같이 정리된다.

- $\Pr(HN, CR_i)$ :  $CR_i$ 의 HN 발생 확률
- $\Pr(HN)$ : 시스템 전체의 HN 발생 확률
- $\Pr(SZ)$ : SZ를 통한 통신 가능 확률
- $D(node1, node2)$ : node1과 node2의 거리
- $N_{CR}$ : 모든 CR 노드의 수
- $N_{PU}$ : 모든 PU의 수
- $N_{PU}(CR_i)$ :  $CR_i$  노드의 전송 영역에 존재하는 PU의 수
- $N_{CR}(CR_i)$ :  $CR_i$  노드의 이웃 노드의 수
- $R_{CR}$ : CR 노드의 최대 전송 반경
- $R_{SZ}(CR_i)$ :  $CR_i$  노드의 SZ통신 반경, CR 노드의 위치에 따라 변하는 랜덤 변수
- $N_{CR>SZ}$ :  $R_{CR}$ 이  $R_{SZ}$ 보다 큰 CR 노드의 수
- $HNZ(CR_i)$ :  $CR_i$ 의 HN가 발생할 수 있는 영역의 넓이
- $O_{HNZ}(CR_i)$ : 모든 PU가  $HNZ(CR_i)$  외부에 존재하는 상황
- $O_{SZ}(CR_i)$ : 모든 CR 노드가  $SZ(CR_i)$  외부에 존재하는 상황

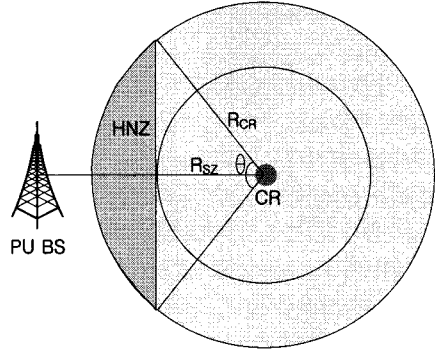


그림 7. HNZ의 넓이

또한  $CR_i$  노드가 HN가 존재하기 위해서는 적어도 하나 이상의 PU가 HNZ에 존재하면 된다. 따라서  $CR_i$  노드의 HN 발생 확률  $\Pr(HN, CR_i)$ 는 식 4를 통해 계산된다.

$$\begin{aligned} \Pr(HN, CR_i) &= 1 - O_{HNZ}(CR_i) \\ &= 1 - \left[ \frac{\pi R_{CR}^2 - HNZ(CR_i)}{\pi R_{CR}^2} \right]^{N_{PU}(CR_i)} \\ &= 1 - \left[ 1 - \frac{HNZ(CR_i)}{\pi R_{CR}^2} \right]^{N_{PU}(CR_i)} \\ &= 1 - \left[ 1 - \frac{\theta - \sin\theta}{2\pi} \right]^{N_{PU}(CR_i)} \end{aligned} \quad (4)$$

#### 4.2 Hidden Node 발생 확률 분석

본 논문에서는 SZ의 효율성을 평가하기 위해 SZ를 사용하지 않을 경우의 HN 발생확률을 분석하였다. 특히 특정 CR 노드를 기준으로 해당 CR 노드의 HN 발생 확률을 계산하고, 이를 확장하여 전체 CR 네트워크에서 발생할 수 있는 HN 발생 확률을 계산하였다.

본 논문에서 정의하는 HN는 임의의 CR 노드의 전송범위 내부에 존재하면서 해당 CR 노드의 HNZ에 존재하는 노드이다. 따라서 HN가 발생할 확률은 단위 영역 당 PU의 수와 HNZ의 크기에 영향을 받게 되며, PU의 수와 HNZ의 크기에 관한 식으로 표현될 수 있다. 즉,  $\Pr(HN, CR_i)$ 는  $HNZ(CR_i)$ 와  $N_{PU}(CR_i)$ 로 표현 가능하다.

이들의 관계식을 도출하기 위해 먼저 그림 7에서의 임의의  $CR_i$  노드의 HNZ의 넓이인  $HNZ(CR_i)$ 을 CR의 위치에 관련된 함수인 식 3으로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} HNZ(CR_i) &= \frac{1}{2} R_{CR}^2 (\theta - \sin\theta) \\ \text{단, } \theta &= 2\arccos\left(\frac{R_{SZ}(CR_i)}{R_{CR}}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

전체 CR 네트워크에서의 HN 발생 확률은 모든 PU 중 하나 이상의 CR 노드에게 발견이 되지 않는 PU 노드의 비율로 정의할 수 있다. 즉, 임의의 CR 노드에게 HN로 정의된 PU는 전체 시스템에서도 HN로 분류된다. 따라서 전체 시스템에서의 HN 발생 확률은 식 5로 표현된다.

$$\Pr(HN) = \frac{1}{N_{CR}} \sum_{i=1}^{N_{CR}} \Pr(HN, CR_i) \quad (5)$$

#### 4.3 SZ를 통한 통신 가능 확률 분석

본 논문에서 고려하는 CR 네트워크의 경우 가정 3에 의해 CR 노드가 자신의 전송 파워를 최대로 조절할 경우 항상 하나 이상의 이웃 노드가 존재한다. 하지만, CR 노드의 전송 파워를 SZ의 크기로 할 경우 SZ 내부에 이웃 노드가 존재하지 않을 가능성이 있다. 따라서 CR노드의 SZ 내부에 하나 이상의 이웃 노드가 존재함으로써 통신이 가능할 확률을 계산하여야 한다.

이를 보다 자세히 살펴보면, SZ를 통한 통신 가

능 확률  $\Pr(SZ)$ 는 CR 노드의 이웃 노드수가 많을 수록 높아지게 되며, SZ의 크기가 클수록 높아지게 된다. 따라서  $\Pr(SZ)$ 는  $N_{CR}(CR_i)$ 과  $R_{SZ}$ 의 함수로 표현 가능하다. 또한 임의의  $CR_i$  노드의 SZ 통신 가능 확률  $\Pr(SZ, CR_i)$ 은  $R_{SZ}$ 가  $R_{CR}$ 보다 클 경우 가정 3에 의해 1이 된다. 반대로  $R_{SZ}$ 가  $R_{CR}$ 보다 작을 경우 하나 이상의 이웃 노드가 SZ 내부에 존재할 확률로서, 전체 확률에서 모든 이웃 노드가 SZ 외부에 존재할 확률을 뺀 값이다. 따라서  $R_{SZ}$ 가  $R_{CR}$ 보다 작을 경우,  $\Pr(SZ, CR_i)$ 는 식 6을 통해 계산된다.

$$\begin{aligned} \Pr(SZ, CR_i) &= 1 - O_{SZ}(CR_i) & (6) \\ &= 1 - \left(1 - \frac{R_{SZ}^2}{R_{CR}^2}\right)^{N_{CR}(CR_i)} \end{aligned}$$

이를 토대로 모든 CR 노드의 SZ 통신 가능 확률  $\Pr(SZ)$ 는 식 7을 통해 계산된다.

$$\begin{aligned} \Pr(SZ) &= \Pr(R_{SZ} \geq R_{CR}) & (7) \\ &+ \frac{1}{N_{CR > SZ}} \sum_{i=1}^{N_{CR > SZ}} [\Pr(SZ, CR_i)] \end{aligned}$$

식 7에서 보면,  $\Pr(R_{SZ} \geq R_{CR})$ 는  $D(CR, BS)$ 가  $2R_{CR}$ 보다 클 확률을 나타내며 식 8로 정리된다. 또한,  $N_{CR > SZ}$ 는  $R_{CR}$ 이  $R_{SZ}$ 보다 큰 CR 노드의 수를 나타내며, 식 9로 정리된다.

$$\Pr(R_{SZ} \geq R_{CR}) = 1 - \frac{(2R_{BS})^2}{(R_{BS} + R_{CR})^2} \quad (8)$$

$$N_{CR > SZ} = \lceil \Pr(R_{CR} > R_{SZ})N_{CR} \rceil \quad (9)$$

#### 4.4 시뮬레이션을 통한 성능 평가

본 논문에서는 앞서 정의한 HN 발생 확률과 SZ를 이용한 통신 가능 확률에 대한 수식을 사용하여 CR 네트워크 환경에 따른 결과 값을 도출하였다. 이를 위해 다음과 같은 모의실험 환경과 표 1의 모의실험 파라미터를 사용하였다.

- CR 노드의 생성:  $N_{CR}$ 개의 CR 노드를 생성한다. 이때 CR 노드는 BS를 중심으로  $R_{BS} + R_{CR}$ 을 반지름으로 하는 원의 내부에 균일 분포 (Uniform Random Distribution)로 존재한다.
- PU의 생성:  $N_{PU}$ 개의 PU를 생성한다. 이때 PU

는 BS를 중심으로  $R_{BS}$ 를 반지름으로 하는 원의 내부에 균일 분포로 존재한다.

- HN 발생 확률 계산: CR 노드와 PU의 위치와 전송 반경과의 관계를 통해서 HN 발생 확률을 계산한다.
- SZ 통신 가능 확률: CR 노드들 간의 위치 관계를 통해서 SZ 통신 확률을 계산한다.
- 반복 실험: 결과의 정확성을 위해 실험을 반복하여 평균한다.

먼저, 그림 8은  $R_{PU}$ 와  $R_{CR}$ 의 변화에 따른 SZ를 사용 안할 경우 HN 발생 확률을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 SZ를 사용 안할 경우 HN 발생 확률은  $R_{CR}/R_{BS}$ 이 커질수록 높게 나타나며, PU의 수가 증가할수록 낮아지는 것을 볼 수 있다.

제안 방법인 SZ를 사용할 경우 HN 발생 확률이 0이 되는 것을 고려하면, 제안하는 알고리즘은 CR의 전송 반경이 큰 환경에서 우수한 성능을 나타내게 된다.

그림 9는  $R_{CR}$ 과  $N_{CR}$ 의 변화에 따른 이웃 노드 존재 확률을 보여주고 있다. 결과에서 볼 수 있듯이, CR 노드의 수가 증가할수록 CR의 전송 반경이 클수록 SZ 통신 확률이 높게 나타난다.

표 1. 모의실험 파라미터

Parameter	Value
$N_{PU}$	100~500
$N_{CR}$	100~500
$R_{CR}/R_{BS}$	1/2, 1/4, 1/8
CR node distribution	Uniform Random

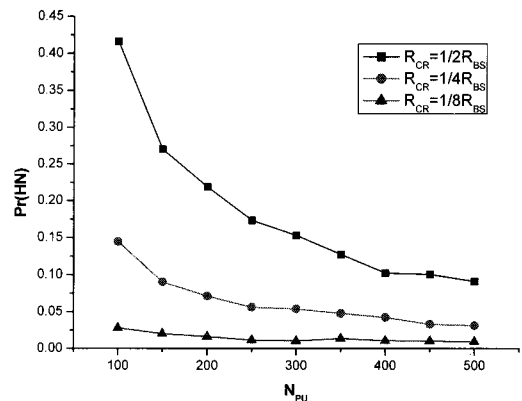


그림 8. PU수 증가에 따른 HN 발생 확률

참고 문헌

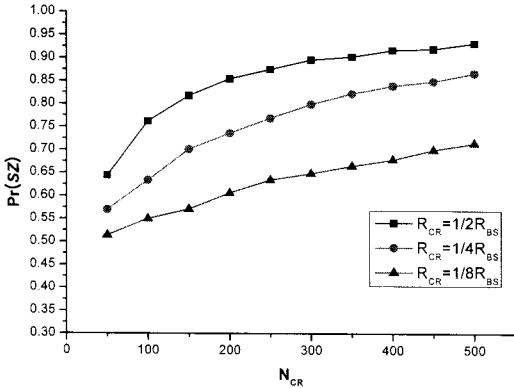


그림 9. CR 노드 증가에 따른 SZ 영역 내 통신 가능 확률

이와 같은 결과에 의하면 제안하는 SZ 통신 방법은 CR 노드의 최대 전송 반경이 크고 CR 노드의 수가 많은 환경에서 보다 안정적인 성능을 보여준다. 또한 SZ 내부에 이웃 노드가 존재하지 않는 경우, 앞서 제안한 공통 제어 채널 설정을 통해 통신이 가능해짐으로써 CR 네트워크의 안정적인 운용이 가능하다.

V. 결론

본 논문에서는 CR 네트워크에서의 HN 문제에 대한 연구를 수행하였다. 먼저 기존 네트워크에서 존재하는 HN 문제에 대한 분석과 이에 대한 문제점을 제시하였다. 이를 토대로 CR 네트워크 특성에 적합한 HN 문제를 새롭게 정의하였다. 또한, 본 논문에서 정의하는 HN 문제를 원천적으로 해결할 수 있는 방법을 제안하였다.

제안하는 방법은 스펙트럼 검출을 통해 모든 PU를 발견할 수 있는 SZ를 정의하고 SZ 내부의 이웃 노드를 통해 통신을 수행하게 된다. 특히 PU BS에 가까운 CR 노드일수록 SZ의 크기가 작아져 이웃 노드가 존재하지 않는 노드가 발생하게 되는데, 이러한 문제를 해결하기 위한 공통 제어 채널 설정 방법을 제시한다.

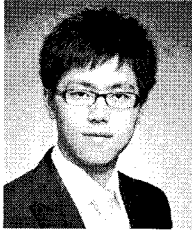
마지막으로 제안하는 알고리즘의 성능 평가를 위해 수학적 방법과 시뮬레이션을 병행하였으며, CR 노드의 전송 반경이 높은 환경에서 제안하는 알고리즘 성능의 우수함을 도출하였다.

- [1] J. Mitola III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications", In Proc. of IEEE Mobile Multimedia Conference 1999, pp. 3-10, 1999.
- [2] Joseph Mitola III, "Software radios : Survey, critical evaluation and future directions, *IEEE Aerospace and Electronic System Magazine*", Vol. 8, Issue. 4, pp. 25-36, Apr. 1993.
- [3] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios", In Proc. of IEEE Signals, Systems and Computers Conference, Vol. 1, pp. 772-776, Nov. 2004.
- [4] Z. Kostic, N. Sollenberger, "Performance and implementation of dynamic frequency hopping in limited-bandwidth cellular systems", *IEEE Transactions on Wireless Commun.* Vol. 1, pp. 28-36, Jan. 2002.
- [5] Z. Zhao, S. Zheng, S. Xu, and J. Shang, "Dynamic Frequency Selection for Cognitive Radios based on Game Theory", In proc. of Communication Systems, Networks, and Applications 2007, Oct. 2007.
- [6] FCC. ET Docket No. 03-108, "Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable Spectrum Use Employing Cognitive Radio Technologies", Mar. 2005.
- [7] IEEE Computer Society, "IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", International Standard ISO/ IEC 8802-11: 1999(E), ANSI/IEEE Standard 802.11, 1999.
- [8] IEEE 802.22 WRAN, "A PHY/MAC Proposal for IEEE 802.22 WRAN Systems Part 2: The Cognitive MAC", Mar. 2006.
- [9] IEEE 802.22 WRAN, "On-demand EOBS for hidden incumbent reporting", Jun. 2006.



정 필 중 (Piljung Jeong)

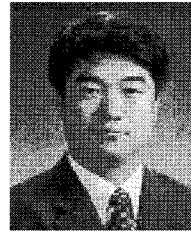
준회원



2006년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
2006년 3월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정  
<관심분야> Cognitive Radio, IPTV, Profile Management

이 원 철 (Woncheol Lee)

종신회원

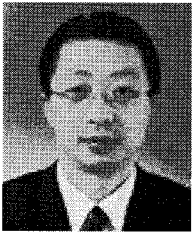


1986년 2월 서강대학교 전자공학과 학사  
1988년 2월 연세대학교 전자공학과 석사  
1995년 7월 Polytechnic Univ. Electrical Engineering 박사  
1995년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

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

신 요 안 (Yoan Shin)

종신회원



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

1992년 12월~1994년 7월 오스틴소재 MCC (Microelectronics & Computer Technology Corp.) 연구원  
1994년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

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

유 명 식 (Myungsik Yoo)

종신회원



1989년 2월 고려대학교 전자공학과 학사  
1991년 2월 고려대학교 전자공학과 석사  
2000년 6월 SUNY at Buffalo Dept. of EE 박사  
2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

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