

인지 무선 네트워크 환경에서 효율적인 주파수 활용을 위한 상향링크 릴레이 기법

준회원 김 세 웅*, 정회원 최 재 각*, 종신회원 유 상 조*

Uplink Relaying Scheme for Efficient Frequency Usage in Cognitive Radio Networks

Se-Woong Kim* Associate Member, Jae-Kark Choi* Regular Member, Sang-Jo Yoo* Lifelong Member

요 약

인지무선 기술을 사용하는 부 사용자는, 현재 동작중인 채널에서 주 사용자가 출현하는 경우, 해당 채널을 즉각적으로 비워주어야 한다. 인지무선 기지국과 같은 조정자가 존재하는 중앙적 인지무선 네트워크 환경에서는, 네트워크 내 부 사용자들의 센싱 결과를 수신하는 조정자가 동작 채널을 변경할 수 있다. 그러나, 각각의 채널에서 주 사용자의 출현 빈도가 잦은 경우에는 잦은 동작 채널의 변경이 요구됨에 따라 서비스 지연과 같은 성능 저하 현상이 발생할 수 있으며, 경우에 따라서는 변경할 유휴 채널이 고갈되는 현상으로 인해, 인지무선 네트워크 자체가 유지되기 어려운 상황이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해, 본 논문에서는 중앙적 네트워크 환경에서 네트워크 내 일부 영역에서만 주 사용자가 출현하는 경우, 주 사용자에게 간섭을 줄 가능성이 있는 일부 부 사용자들만이 채널을 변경하도록 하고, 이들과 중앙의 조정자와의 연결은 적절한 스폰서 노드에 의한 릴레이 통신으로 유지되도록 하는 릴레이 기법을 제안한다. 제안된 방법은 상향 링크의 채널이 서로 다른 주파수 분할 방식의 중앙적 네트워크 환경에서 상향 링크 채널을 대상으로 한다. 모의실험을 통한 성능평가 결과는, 제안된 기법이 기존의 네트워크 전체적인 채널 변경 기법보다 주파수 사용 효율을 증가시키며, 동시에 유휴 채널의 고갈을 최대한 방지할 수 있음을 보인다.

Key Words : Cognitive Radio, Relaying Scheme, Scheduling, Relay Zone

ABSTRACT

While most of the public radio spectrum bands are allocated to licensed users, cognitive radio has been considered as a promising technology for the efficient spectrum utilization. In this new technology, secondary users opportunistically use the temporally underutilized licensed bands as long as they do not give the harmful interference to primary users. In this paper, we focus on the infra-structured network condition in which the cognitive radio network consists of a cognitive radio base station and multiple secondary users. Upon detecting a primary user, the entire cognitive radio network generally switches to another available channel, even if most of the on-going communications still does not interfere with the primary user. Moreover, the network re-entry process on a new channel causes the service disruption of the on-going communications. For this reason, in this paper, we propose a relaying scheme for efficient frequency usage, in which the secondary user out of the interference range of a primary user performs as a relaying node for the secondary user possibly interfering with a primary user. The entire spectrum switching is not required, and thus, we can avoid the service disruption of the on-going communications as much as possible.

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

* 인하대학교 정보통신대학원(kimsewoong@inha.edu, jkc@inha.edu, sjyoo@inha.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2010-11-514, 접수일자 : 2010년 11월 1일, 최종논문접수일자 : 2011년 4월 6일

I. 서론

대부분의 주파수 자원은 정부 기관의 주파수 관리 정책에 의해 기존의 사업자들에게 고정적으로 할당되어 있다. 그러나 유한한 주파수 자원을 고정적으로 할당하는 기존의 방식으로는 나날이 증가하는 무선 통신에 대한 수요를 충족시킬 수 없다. 미국 연방 통신 위원회(Federal Communications Commission)의 조사에 따르면, 현재 고정적으로 할당된 주파수들은 시간적 혹은 공간적으로 매우 비효율적인 사용물을 보이고 있다^[1,2]. 이에 한정된 주파수 자원을 보다 효율적으로 이용하기 위한 인지 무선(cognitive radio, CR) 기술이 최근 주목 받고 있는 실정이다. CR 기술은 SDR (Software Defined Radio) 기술을 발전시킨 개념으로서 Joseph Mitola III에 의해 제안되었으며^[3-5], 스펙트럼 센싱(sensing), 스펙트럼 이동성(mobility), 스펙트럼 관리(management), 스펙트럼 공유(sharing) 등의 기능을 요구한다^[6]. CR 기술을 사용하는 CR 사용자는 스펙트럼 센싱 동작을 통해 기존에 할당된 주파수 대역 중 사용되지 않고 있는 유휴 대역을 검출하고 해당 대역을 이용하여 통신을 수행함으로써, 주파수 이용 효율을 높일 수 있다. 그러나 해당 주파수에 대한 권한을 가진 주 사용자의 통신은 언제나 우선적으로 보장되어야 한다. 따라서 CR 사용자는 유휴 채널을 통해 통신을 수행하는 동안에도 주기적으로 센싱을 수행하여 주 사용자의 출현 여부를 감시하며, 주 사용자가 검출되는 경우에는 현재의 동작 채널을 비워주고 다른 유휴 채널로 이동함으로써, 주 사용자의 통신에 최대한 간섭을 주지 않도록 동작해야 한다.

본 논문에서는 IEEE 802.22 WRAN^[7]과 같이, 인지 무선 기지국 (cognitive radio base station, CR BS)과 CR 사용자에게 의해 동작하는 중앙적 인지무선 네트워크 (centralized cognitive radio network) 환경을 고려한다. 중앙적 인지무선 네트워크 환경에서는 CR BS가 자신의 네트워크 영역 (셀 영역) 내에 있는 CR 사용자들의 주기적인 센싱 동작을 제어하며, 이들로부터 주 사용자의 출현 여부에 대한 센싱 결과 보고를 수신하여, 주 사용자가 존재하는 채널과 이후에 채널 변경이 요구될 시 사용할 수 있는 유휴 채널들을 관리하게 된다. 만일 임의의 CR 사용자가 현재 동작중인 채널에서 주 사용자의 출현을 보고하게 되면, CR BS는 CR 사용자들과의 통신 채널을 변경해야 한다. 그러나 각기 다른 채널

을 사용하는 여러 주 사용자들이 현재 동작중인 CR 네트워크의 일부 영역에서 빈번하게 검출되는 경우에는, CR BS에 의한 CR 네트워크의 전체적인 채널 변경 역시 빈번하게 발생하게 된다. 이는 실제로는 주 사용자에게 간섭의 영향을 주지 않는 대부분의 CR 사용자들이 해당 채널을 사용할 수 없도록 하여, 주파수의 사용 효율을 현저히 떨어뜨릴 수 있음을 의미한다. 또한, 이러한 빈번한 채널 변경은 CR 네트워크가 이동할 예비 채널의 고갈 문제를 일으킬 수 있으며, 그로 인해 CR 사용자들이 새로운 유휴 채널을 발견하기까지 통신을 수행할 수 없게 되는 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 임시적인 릴레이 통신을 이용하여 비효율적인 채널 변경을 회피함으로써 보다 효율적으로 주파수를 활용할 수 있도록 하는 인지 무선 릴레이 기법을 제안한다. 기존의 릴레이 통신은 일반적으로 셀 영역의 확장, 셀 경계지역에서의 사용자 성능 향상, 셀 내 커버리지 홀 또는 음영 지역에서의 성능 향상 등을 목적으로 하고 있으며^[8-11], IEEE 802.22 WRAN에서 이러한 목적을 위한 중계기의 사용을 선택적으로 지원하고 있다^[12]. 반면, 본 논문에서는 인지 무선 기술의 전제 조건인 주 사용자 보호를 목적으로 릴레이 통신을 이용한다. 제안된 방법에서는 CR 네트워크 영역 내의 일부 CR 사용자들만이 주 사용자에게 간섭을 일으키는 경우, 전체 네트워크 영역의 채널 변경 대신 이러한 CR 사용자들이 별도의 채널에서 릴레이 링크를 통해 통신을 지속할 수 있도록 한다. 별도의 채널에서 형성되는 릴레이 링크는 기존의 채널에서 더 이상 주 사용자가 검출되지 않는 경우 해제될 수 있다. 만일 이와 같은 임시 릴레이 링크를 이용하여 통신을 수행하는 인지 무선 사용자의 비율이 사전 정의된 한계 값(threshold)을 초과하게 되면 릴레이 통신을 중단하고 전체 네트워크 영역에서의 채널 변경이 수행되도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 비효율적인 채널 변경으로 인해 발생하는 문제점을 살펴보고, III장에서는 제안된 인지 무선 릴레이 통신 기법을 설명한다. IV장에서는 제안된 기법의 성능 평가를 통해 향상된 성능을 확인하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 비효율적인 채널 변경의 문제

본 논문에서는 상향 링크 채널과 하향 링크 채널

이 서로 다른 중앙적 인지무선 네트워크 환경을 고려하고 있다. CR BS와 CR 사용자들은 상향 및 하향 링크 채널을 이용하여 데이터를 송신 및 수신할 수 있으며, 이외는 별도로 이들간의 제어 메시지 전송을 위한 전용 제어 채널(dedicated control channel)이 존재한다고 간주한다. CR 사용자는 자신의 주기적인 센싱 결과를 토대로 사용 가능 채널들의 리스트 (available channel list, ACL)를 관리하며 CR BS는 자신의 센싱 결과뿐만 아니라 CR 사용자들로부터 수신된 센싱 결과를 동시에 고려하여 ACL을 관리한다. CR BS는 사용 가능한 채널들 중 상향 링크 채널과 하향 링크 채널을 각각 하나씩 선택하여 이를 공지하며 CR 사용자들은 CR BS에 의해 공지된 채널들을 이용하여 데이터를 전송 및 수신한다. 따라서 본 논문에서 고려하는 중앙적 인지 무선 네트워크 환경에서는 최소 두 개의 유휴 채널을 필요로 하며, 상향 혹은 하향 링크 채널의 변경이 요구되는 경우, CR BS가 자신의 ACL 내에서 적절한 채널을 선택하여 사용한다. 본 논문에서는 ACL의 유지 관리 방법 및 ACL 내에서 적절한 유휴 채널을 선택하는 방법은 다루지 않는다. 또한, 본 논문에서 고려하는 주 사용자 시스템은 송신자 및 수신자가 상호간에 제어 메시지를 교환하는 시스템 (e.g., WLAN, WiMAX 등)으로서, CR 사용자는 센싱을 통해 송신자 혹은 수신자를 검출할 수 있으며, CR 사용자는 전용 제어 채널을 이용하여 CR BS에게 메시지를 송신할 때 사전에 인지된 경로 손실 모델 및 채널 환경 정보를 이용하여 CR BS가 수신할 수 있는 최소 전력을 이용한다고 간주한다. 임의의 CR 사용자는 주 사용자의 전송 전력을 사전에 인지하고 있으며 임의의 주 사용자는 고정된 전송 전력을 이용하는 것으로 간주한다. 수신 전력으로 거리 측정을 한다고 하였지만 거리 측정 방법 중하나의 예시이며, 다른 어떠한 거리 측정기술이 사용될 수 있다.

그림 1은 주 사용자가 부분적으로 출현하는 상황을 나타낸 것이다. CH_i 는 채널 ID (identifier)가 i 인 채널을, PU_j 는 ID가 j 인 주 사용자를 의미한다. 그림에서 CR 네트워크를 위한 전용 제어 채널은 CH_0 로 고정되어 있으며, CR BS에 의해 관리되는 ACL에는 초기에 5개의 채널이 포함되어 있다. 아무런 주 사용자도 출현하지 않은 초기 상황에서, 하향 링크 채널 및 상향 링크 채널은 각각 CH_1 , CH_2 로 설정되었다. PU_1 이 CH_2 에 출현하는 경우, 기존의 채널 변경 방식은 CR BS가 ACL에서 CH_2

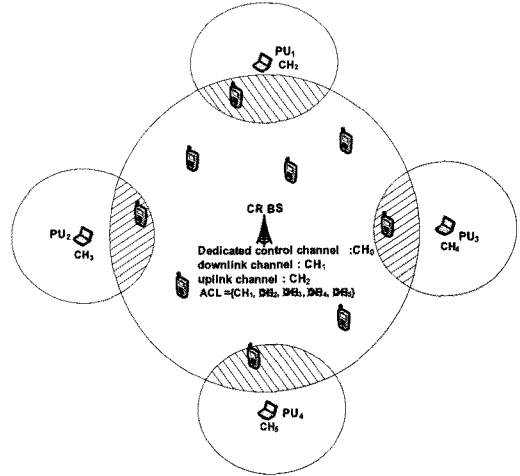


그림 1. 주 사용자의 부분적 출현

를 제외하고 남은 채널들 중 하나를 상향 링크 채널로 새로 할당하는 방식이었다. 이 경우, 실제로는 CH_2 를 계속 사용하여도 주 사용자의 통신에 영향을 주지 않는 CR 사용자가 대다수 임에도 불구하고, CR BS는 상향 링크 채널을 변경하게 되어 채널 사용의 효율성이 떨어지게 된다. 임의의 PU가 하향 링크 채널에서 출현하는 경우에도 이와 동일한 방식이 적용된다. 더구나, 그림 1의 PU_2 , PU_3 , PU_4 와 같이 각기 다른 채널에서 임의의 주 사용자들이 부분적으로 출현하는 경우에는, CR BS는 작은 채널 변경을 공지하게 되어 현재 진행중인 서비스의 지연을 증가시키는 등의 성능 저하를 야기할 수 있으며, CR BS가 사용 가능한 유휴 채널이 더 이상 존재하지 않게 되어 CR 네트워크 전체의 동작이 중단되는 경우가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 이와 같이 주 사용자가 네트워크의 일부 영역에 출현하는 경우, 자신의 상향 전송이 주 사용자에게 간섭을 줄 가능성이 있다고 판단되는 CR 사용자들만이 채널을 변경하도록 한다. 채널을 변경한 CR 사용자들은 주 사용자에게 간섭을 주지 않는 인접한 CR 사용자와 변경된 채널에서 임시적으로 형성된 릴레이 링크를 이용하여 통신을 지속할 수 있다. 이후에서는 릴레이가 필요한 CR 사용자와 임시 링크를 형성하는 CR 사용자를 스폰서 노드라고 한다. 스폰서 노드는 릴레이를 필요로 하는 CR 사용자의 동작 채널에서 임시 링크를 통해 데이터를 수신하고, CR BS의 상향 링크 채널로 돌아와 자신의 데이터를 상향 전송할 때, 릴레이 되어야 할 데이터를 함께 전송한다. 반면, CR BS에

의한 하향 링크 채널에서 주 사용자가 출현했을 때에는, 기존의 방법과 동일하게 하향 링크 채널을 변경하는 것으로 간주하고, 이하에서는 상향 링크 채널만을 고려하여 주 사용자의 부분적 출현에 의한 임시 링크 설정 기법을 설명하기로 한다.

III. 임시 링크를 이용한 릴레이 통신 기법

본 장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 임시 링크 설정 기법 및 임시 링크를 이용한 데이터 릴레이를 위한 스케줄링 기법을 설명한다. 3.1절에서는 릴레이가 요구되는 노드들과 스폰서 노드가 될 수 있는 노드들을 구분하고, 특히 릴레이가 요구되는 노드들을 포함할 수 있는 릴레이 존의 설정 방법을 설명한다. 3.2절에서는 릴레이가 요구되는 임의의 노드와 스폰서 노드가 제어 메시지의 교환을 통해 임시 링크를 설정하는 과정을 설명하고, 3.3절에서는 설정된 임시 링크를 고려한 상향 링크 스케줄링 방법을 설명한다.

3.1 릴레이 존(relay zone)의 설정

본 논문에서는 CR 네트워크에서 노드 ID가 i 인 사용자는 U_i 로 표시하고, 임의의 노드 U_i 의 CR BS로부터의 거리를 $r(U_i)$ 로 표시한다. 또한, 임의의 두 노드 i, j 사이의 거리는 $D(i, j)$ 로 표시한다. 그림 2는 전송 반경이 R 인 CR BS를 중심으로 설정된 중앙적 인지 무선 네트워크의 예이다. CR BS의 전용 제어 채널, 하향 링크 채널 및 상향 링크 채널은 각각 CH0, CH1, CH2로 설정되어 있다. 임의의 주 사용자가 CH2에 출현하는 경우, 임의의 노드 U_i 가 $r(U_i) > D(U_i, PU)$ 인 관계에 있다면, U_i 의 상향 전송은 주 사용자에게 간섭을 주게 된다. 그림 2의 빗금 친 영역은 이처럼 $r(U_i) > D(U_i, PU)$ 인 U_i 가 존재할 수 있는 영역을 나타낸 것으로서, 이러한 U_i 는 적절한 스폰서 노드와 임시 릴레이 링크를 형성하여 상향 전송을 수행하는 것이 바람직하다. U_1 과 같은 노드는 주 사용자를 직접 감지할 수 있기 때문에 자신의 상향 전송이 주 사용자에게 간섭을 주는지 여부를 직접 판단할 수 있다. 그러나 U_2 및 U_3 와 같이 주 사용자의 전송 반경 밖에 위치하여 주 사용자를 직접 발견하지 못하는 노드는 자신의 전송이 주 사용자에게 간섭을 주는지의 여부를 판단하기 어렵다. 만일 임의의 CR 사용자 (혹은 CR BS)가 주 사용자의 정확한 위치를 파악할 수 있다면, 빗금 친 영역은 제시된 CR 네트워크의 상향 전

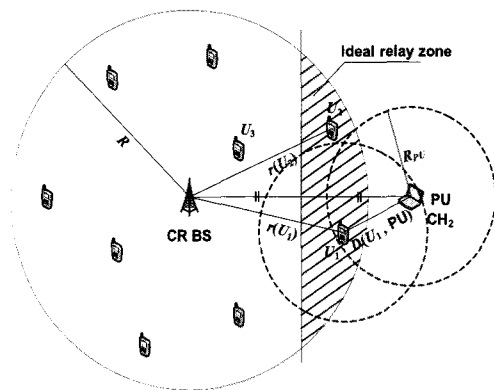
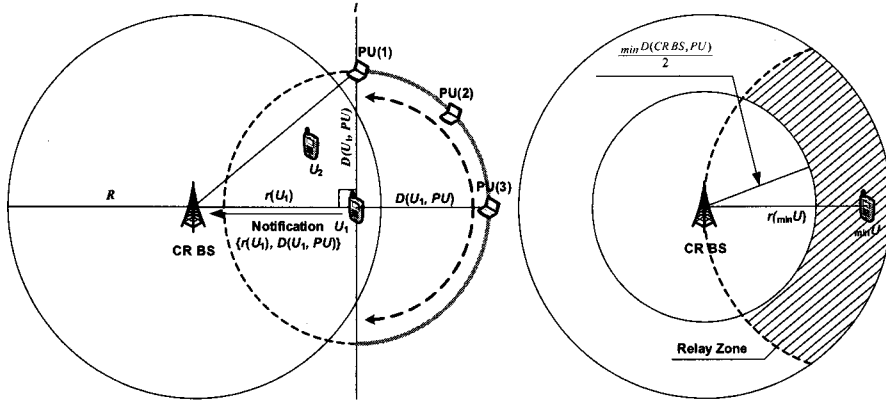


그림 2. 이상적인 릴레이 존

송을 위한 이상적인 릴레이 존이라고 할 수 있으며, CR BS는 U_2 및 U_3 와 같은 노드들이 릴레이 존에 포함되는지 여부를 공지할 수 있으며, 추가적으로 U_3 와 같이 릴레이 존에 인접한 노드에게 스폰서 노드가 될 것을 요청할 수 있을 것이다. 그러나 임의의 CR 사용자의 센싱 정보를 이용하여 주 사용자의 위치를 파악하는 것은 매우 어려운 문제이다. 이에 본 논문에서는 이상적인 릴레이 존을 적절히 포용하면서도 비교적 간단하게 구현될 수 있는 릴레이 존의 설정 방법을 제안하였다.

릴레이 존은, 임의의 CR 사용자가 직접 주 사용자를 감지했는지의 여부에 관계 없이 주 사용자에게 간섭을 줄 가능성이 있는 CR 사용자를 포함할 수 있도록 정의되어야 한다. 그림 3(a)는 주 사용자를 발견한 노드 U_1 로부터 공지 메시지를 수신한 CR BS가 릴레이 존을 설정하는 방법을 나타낸다. U_1 의 공지 메시지는 $r(U_1)$ 와 $D(U_1, PU)$ 정보를 포함한다. CR 사용자들은 주 사용자의 고정된 전송 전력에 대해 사전에 인지하고 있으므로, U_1 은 주 사용자 발견시의 수신 전력을 이용하여 주 사용자로부터 자신까지의 거리 $D(U_1, PU)$ 를 계산할 수 있다. CR BS는 자신의 전송 반경 R 에 해당하는 고정된 전송 전력을 이용하므로 U_1 은 또한 CR BS의 하향 링크 시 수신 전력을 이용하여 CR BS로부터 자신까지의 거리 $r(U_1)$ 를 계산할 수 있다. U_1 으로부터 공지 메시지를 수신한 CR BS는 $r(U_1)$ 와 $D(U_1, PU)$ 정보를 이용하여, 릴레이 존을 설정한다. 그림3(a)에 나타낸 것과 같이, 주 사용자는 U_1 을 중심으로 반경 $D(U_1, PU)$ 인 원 위에 존재할 수 있다. CR BS는, 주 사용자를 발견한 U_1 이 자신의 수평선 상의 거리 $r(U_1)$ 만큼 떨어져 있는 곳에 위치하는 것으로 보고, U_1 을 중심으로 한 반경 $D(U_1,$



(a) 공지 메시지 수신에 따른 주 사용자 출현 범위, 그림 3. 릴레이 존의 설정 방법

(b) 설정된 릴레이 존

PU의 원의 바깥 쪽 반원 위 (그림 3(a)에서 수직선 1의 우측 반원 위, PU(1), PU(2), 및 PU(3) 등)에 주 사용자가 존재할 수 있는 것으로 간주한다. 최악의 상황을 가정하면 주 사용자는 그림 3(a)의 PU(1) 위치에 존재한다고 할 수 있다. 이때, CR BS는 주 사용자와 자신과의 거리에 대해 절반을 취해, $r(U_j)$ 값이 이보다 큰 노드들은 릴레이가 필요한 노드들로, 이보다 작은 노드들은 릴레이가 필요하지 않은 노드들로 분류한다. 또한, 주 사용자는 공지메시지를 전송한 U1의 주변에 위치하므로, U1의 공지 메시지를 엿듣지 못한 노드들은 릴레이를 할 필요가 없을 가능성이 매우 크다. 즉, CR BS는 $r(U_j) > 0.5 * \{r(U1) + D(U1, PU)\}$ 의 관계를 만족하고, 동시에 U1의 공지메시지를 엿들은 노드 Uj는 릴레이가 요구되는 노드로 간주한다. 이러한 Uj가 존재할 수 있는 영역은 곧 릴레이 존을 의미한다.

노드의 분포가 고른 상황을 가정한다면, 수직선 1의 좌측 반원 위에 주 사용자가 존재할 경우, 해당 주 사용자는 $r(U1) > r(U_j)$ 의 관계를 갖는 노드 Uj에 의해서 발견될 가능성이 충분히 크다고 할 수 있으며, 이처럼 보다 작은 $r(U_j)$ 를 갖는 노드를 중심으로 릴레이 존을 설정할수록, 릴레이 존의 면적은 증가한다. 릴레이 존의 면적이 증가하는 것은 보다 많은 노드가 릴레이를 요구하게 되므로 제어 메시지의 증가 및 실제 전송할 수 있는 데이터의 감소 등 네트워크의 성능 저하 현상을 야기할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 본 논문에서는 보다 안정적으로 이상적인 릴레이 존을 포함할 수 있는 릴레이 존을 설정하기 위해, CR BS가 공지메시지를 전송한 노드들 중, 자신과 가장 가까운 노드를 중심으로

릴레이 존을 설정하도록 한다. 그림 3(b)는 이상의 과정을 통해 구해지는 릴레이 존을 나타낸다. $\min D(CR BS, PU)$ 는 CR BS와 주 사용자 사이의 가능한 최소거리를 의미하며, 공지메시지를 전송한 노드들 중 CR BS로부터 가장 거리가 가까운 노드 $\min U$ 를 기준으로 다음과 같이 구해진다.

$$\min D(CR BS, PU) = \sqrt{\{r(\min U)\}^2 + \{D(\min U, PU)\}^2} \quad (1)$$

만일 이렇게 설정된 릴레이 존의 면적이 전체 네트워크 영역의 일정 비율 이상을 차지하는 경우, CR BS는 릴레이 통신을 하는 것 보다 동작 채널을 변경하는 것이 효율적이라 보고, 동작 채널 자체를 변경하도록 하는 메시지를 전송하게 된다. CR BS의 채널 변경 메시지 전송 방법은 다음 절에서 설명하기로 한다.

CR BS로부터 채널 변경 메시지가 전송되지 않으면, 각각의 노드들은 자신이 릴레이 존의 내부에 있는지 여부를 판단하고, 자신이 릴레이 존의 내부에 있는 경우 임시 링크를 요청하는 메시지를 전송한다. 자신이 릴레이 존의 내부에 있지 않은 노드는 이후 임시 링크를 요청하는 노드의 스폰서 노드로서 동작할 수 있다. 릴레이가 요구되는 노드는, 앞서 설명한 것과 같이, 기본적으로 주 사용자를 발견한 노드의 공지 메시지를 엿들은 노드여야 한다. 노드 U_i의 공지 메시지를 엿들은 노드를 UN이라 하면, 앞서 CR BS와 동일한 방법으로 $\min D(CR BS, PU)$ 의 길이를 구할 수 있다. UN은 $r(UN) > 0.5 * \min D(CR BS, PU)$ 의 관계에 있다면, 자신이 릴레이 존의 내부에 있음을 알 수 있다.

3.2 임시 링크 설정 및 해제

본 절에서는 3.1절에서 제시한 릴레이 존을 이용하여, 각 사용자와 CR BS 사이에 메시지 교환을 통한 임시 링크 설정 과정에 대해 기술한다. 3.1 절에서 설명한 것과 같이 CR BS는 U_i 에게 공지 메시지 수신 후 $r(U_i)$, $D(U_i, PU)$ 의 값을 이용하여 릴레이 존의 크기를 구할 수 있다. 릴레이 존 크기를 구한 CR BS는 사전에 정의해 놓은 한계 값과 비교하여 릴레이 존의 크기가 한계 값 보다 크면 자신의 상향 링크 채널을 변경하고, 작으면 스폰서 메시지를 기다리게 된다. 이는 CR 네트워크 내의 너무 많은 사용자가 릴레이를 수행해야 하는 경우, 임시 링크를 만들기 위한 제어 메시지와 릴레이 되어야 하는 데이터의 증가로 인해, 상향 링크 채널의 변경하는 것보다 효율이 떨어질 수 있기 때문이다. 상향 링크 채널의 스위칭이 필요한 경우, CR BS는 SIFS(short interframe space) 시간 후 CDC(change data channel) 메시지를 전송하고 상향 링크 채널을 변경한다. CDC 메시지 안에는 변경할 상향 링크의 채널 정보가 포함되어 있다. 주 사용자를 직접 발견하지 못한 노드가 공지 메시지 수신 후 SIFS보다 긴 DIFS(distributed interframe space) 시간 동안 CR BS로부터 CDC 메시지를 수신하지 못한 경우, 릴레이 존 외부에 있는 스폰서 노드는 CR BS와 U_i 노드에게 스폰서 메시지를 전송하게 된다. 이 메시지 안에는 [Node ID, Detect Node ID, ACL]의 정보가 포함되어 있다. Detect Node ID는 공지 메시지를 보낸 노드의 ID 정보이다.

CR BS와 U_i 노드가 스폰서 메시지를 수신한 후에는 CR BS는 승인(Permission) 메시지를 전송하게 된다. 이 메시지 안에는 [Detect Node ID, Sponsor Node ID, Temp CH, Sponsor Node Schedule]의 정보가 포함되어 있다. Temp CH은 임

시 링크를 형성하여 사용할 채널 정보이고, Sponsor Node Schedule은 다음 프레임부터 적용될 스폰서 노드의 스케줄 정보이다. 승인 메시지를 수신한 후 다음 프레임부터 U_i 노드와 스폰서 노드는 임시 링크를 통하여 데이터 통신을 하게 된다.

그림 4는 주 사용자 신호의 발견부터 CR BS가 승인 메시지를 전송하기까지 모습이다. { }는 사용 가능한 채널 리스트이다. 공지 메시지부터 승인 메시지는 모두 전용 제어 채널을 통하여 전달되며 메시지 교환 후 다음 프레임부터 스폰서 노드인 U_k 가 CR BS와 U_i 사이에서 릴레이를 한다.

릴레이 존 내에 포함되어 있지만 아직 릴레이 통신을 하기 위한 스폰서 노드를 찾지 못한 노드는 CR BS의 승인 메시지 후에 재공지(Re_Notification) 메시지를 전송하게 된다. 이 메시지는 실제 주 사용자를 발견하지 못하였지만 주 사용자에게 간섭의 가능성이 있어서, 릴레이 통신이 필요하다는 것을 알리게 되고 임시 링크의 형성을 요구하게 된다. 이 메시지 안에는[Node ID, ACH] 정보가 포함되어 있다. 재공지 메시지 이후의 과정은 공지 메시지를 받았을 때의 과정과 같다.

하지만, 주 사용자를 발견한 U_i 가 임시 링크 요청을 하기 위해 공지 메시지를 보냈지만 CR BS 사이에 스폰서 노드가 없거나 사용 가능한 채널이 없는 경우 임시 링크를 형성하지 못하는 문제점이 발생한다. 이러한 경우 공지 메시지 전송 후 일정 시간 동안 스폰서 메시지를 받지 못하면 Timeout이 발생하고, CR BS가 기존에 가지고 있던 채널 리스트를 바탕으로 상향 링크 데이터 채널의 변경을 알리는 CDC 메시지를 전송하게 되고, 메시지를 받은 노드는 CDC 메시지에 포함된 변경 채널 정보를 이용하여 상향 링크 데이터 통신 부분의 송·모듈을 변경하게 된다.

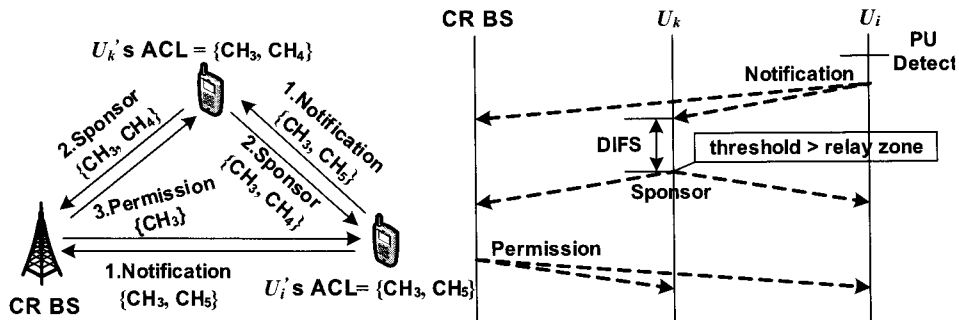


그림 4. 임시 링크 형성 과정

임시 링크를 사용하여 릴레이를 통해상향 링크 데이터 통신을 수행하는 경우에 여러 가지 상황에 의해 임시 링크를 해제하고 본래의 통신 모드로 복귀하거나 상향 링크 데이터 채널을 변경하는 상황이 발생하게 된다. 아래 세가지 경우에 대해 자세한 상황을 설명한다.

3.2.1 주기적인 감지 결과 주 사용자의 신호가 사라진 경우

: 주기적인 감지로 주 사용자의 신호가 사라진 것을 확인하게 되면 더 이상 릴레이 통신이 필요하지 않게 된다. 임시 링크를 해제하기 위하여 주 사용자를 발견했던 노드는 전용 제어 채널을 통해 자신의 노드 ID와 스폰서 노드 ID의 정보를 포함한 Link_disc 메시지를 CR BS에게 보낸다. Link_disc 메시지를 받은 CR BS는 해당 노드 사이의 임시 링크가 해제되었음을 ACK 메시지를 보냄으로써 주위의 노드에 알리고, 채널 정보를 갱신 한다. 릴레이 통신을 수행하였던 노드는 ACK 메시지 수신 후 임시 링크를 해제하고 본래의 통신 모드로 복귀한다.

3.2.2 Detect 노드와 스폰서 노드 간의 임시 링크 채널에 주 사용자가 등장하는 경우

: 임시 링크를 통한 릴레이 통신 도중에 임시 채널에 주 사용자가 등장할 수 있다. 이러한 경우, 임시 링크를 이용하여 상향 링크 데이터 릴레이 통신을 수행할 수 없고, 릴레이를 수행하기 위한 새로운 채널로 변경하거나 가능한 후보 채널이 존재하지 않으면 스폰서 노드는 더 이상 릴레이 통신이 불가능하다는 사실을 CR BS에게 보고하고 CR 네트워크의 상향 링크의 데이터 채널의 변경을 수행한다.

3.2.3 CR 네트워크의 채널 스위치 노드의 비율이 높을 경우

: 임시 링크의 수가 너무 많아지게 되면 릴레이로 인한 복잡성(complexity)이 급격히 증가한다. 이 같은 경우 CR BS는 네트워크 안의 임시 링크의 수를 적절하게 조절하여 임시 링크 수가 너무 많아질 경우 CDC 메시지를 보내 네트워크 데이터 채널을 변경한다.

그림 5와 같이 기존의 방법은 주 사용자의 신호를 발견과 동시에 모든 노드가 채널 변경을 하게 된다. 이 같은 경우 주 사용자가 짧은 채널 사용 후 사라지는 경우나 false alarm과 같은 경우 CR 네트워크의 QoS 및 주파수 사용의 비효율적인 효과를

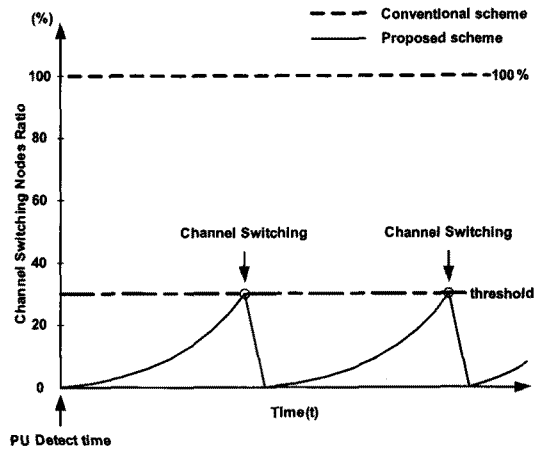


그림 5. 채널 변경 노드 비율에 따른 채널 변경 모습

준다. 제안된 방법으로 주 사용자의 신호를 발견한 경우 임시 링크를 사용하여 CR 네트워크를 운영하다가 시스템 내에 채널 스위칭 노드의 수가 한계 값 이상으로 넘어갈 경우 네트워크의 상향 링크 데이터 채널을 변경하도록 한다. 제안된 방법과 기존의 한계 값은 CR BS에 의해 조절 가능한 값으로 무선 환경의 사용 가능한 채널 수, 주 사용자의 위치 및 전송 반경, CR 시스템의 사용자 수를 고려하여 결정할 수 있는 시스템 값이다.

3.3 임시 링크를 고려한 스케줄링 방법

본 절에서는 임시 링크를 형성한 후에 적절한 스케줄링을 통하여 네트워크가 효율적으로 통신할 수 있게 하는 방법을 기술한다. CR BS가 스케줄링 하는 데 있어서 하나의 링크 이상이 존재하게 되면 각 임시 링크 사이에 같은 채널을 사용할 수 있고 이 때문에 간섭이 발생할 수 있으므로 CR BS는 각 노드의 스케줄을 적절히 분배하여 각 링크 사이의 간섭이 일어나지 않게 하여야 한다. CR BS는 임시 링크를 형성한 노드에 다음 프레임부터 자원을 재분배하고 주 사용자를 발견한 노드에 할당되었던 자원을 스폰서 노드에 추가로 할당하여 릴레이 하계 하므로 임시 링크를 형성한 노드의 데이터 전송 속도가 떨어지지 않게 한다. 효율적으로 임시 링크를 사용하게 하기 위해 스폰서 노드의 상향 링크 스케줄을 적절한 부분에 배치하여, 스폰서노드가 CR BS에게 데이터를 보내기 전, 릴레이 존에 있는 노드가 임시 링크를 이용하여 스폰서 노드에 데이터를 전달할 수 있는 시간을 충분히 확보할 수 있도록 한다.

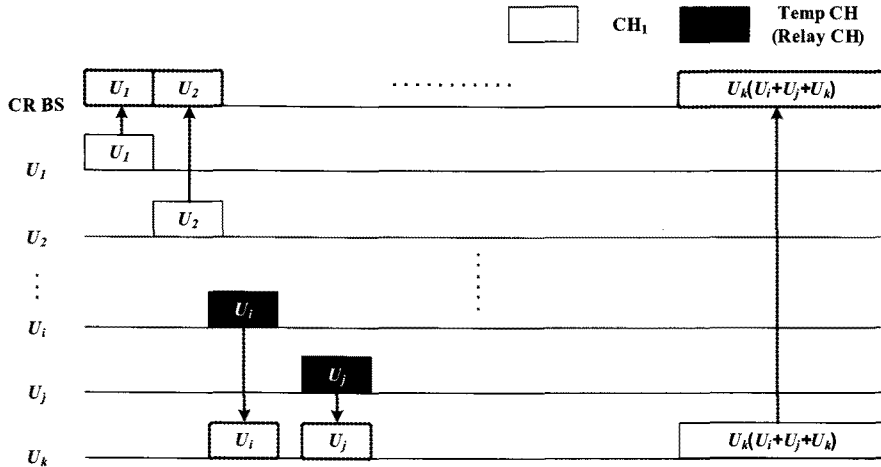


그림 6. 스케줄링 된 상향 링크 데이터 전송

그림 6에서 U_i , U_j 와 같이 릴레이를 받는 노드는 자신의 스폰서 노드인 U_k 스케줄을 알고 있으므로 U_k 가 CR BS로 데이터를 전송하기 전에 주 사용자에게 간섭을 주지 않는 임시 링크를 사용하여 U_k 에게 데이터를 전송한다. 이후 U_k 노드는 자신의 데이터를 포함한 U_i 노드와 U_j 노드의 데이터를 CR BS에게 전송한다. 스폰서 노드의 상향 링크 스케줄은 각 프레임의 뒷부분에 배치된다. U_k 노드가 CR BS와 통신하기 전에 U_i 와 U_j 노드가 U_k 노드에 데이터 전송할 수 있는 시간이 충분히 여유있도록 하여 임시 링크를 설정하지 않았을 때와 같이 한 프레임 안에서 데이터 전송이 이루어지도록 한다.

제안된 방법과 같은 스케줄링 기법을 사용하게 되면 스폰서 노드가 임시 링크를 사용하여 데이터를 릴레이 하여도 릴레이 하지 않을 때와 같이 한 프레임 안에 데이터 전송을 할 수 있고, 하나 이상의 임시 링크를 사용하여 데이터를 전송하면서 CR BS의 적절한 스케줄링을 통해 시스템 처리량이 증가하게 된다.

IV. 성능 평가

본 장에서는 제안된 효율적인 주파수 활용을 위한 릴레이 기법의 성능을 평가하기 위해 모의실험 결과를 설명한다. 표 1의 파라미터를 이용하여 모의 실험을 하였으며, CR BS의 전송 반경을 50km로 설정하고 실험 영역 내에 40개에서 100개까지 CR 노드를 랜덤하게 분포시켰다. 또한 사용자 수를 변

Parameters	Value
CR BS 전송 반경	50 km
CR 노드 수	40 ~ 100
주 사용자 수(채널 수)	2~4개
주 사용자 전송 반경	5~50 km
CR BS와 주 사용자의 거리	50~80 km
채널 변경 기준	30%
주 사용자 상태 변화 주기	1 sec

표 1. 모의실험 환경 파라미터

경하고 주 사용자의 위치와 전송 반경을 변경하면서 실험하였다.

그림 7은 지금까지 제안된 알고리즘의 흐름도를 나타낸다. 릴레이 존 형성 이후 주 사용자의 출현에 따른 릴레이 통신 과정으로 제안된 방법으로 성능 평가의 동작이 다음과 같이 진행된다.

그림 8은 실험 성능 평가 환경이다. 4개의 주 사용자의 위치가 $D(\text{CR BS}, \text{PU})$ 의 값을 변경시키고 각각 1번부터 4번 채널까지의 채널을 사용한다. 또한, 모든 주 사용자의 전송 반경을 5km 에서 50km 로 변경하면서 각각의 주 사용자들은 이산 시간 마코브 연쇄 과정(markov chain process)에 따라 각 채널을 사용하거나 사용하지 않고 상태 변화의 전이 확률(transition probability)을 0.1부터 0.9까지 불규칙적으로 변화시켰다. 주 사용자의 상태 변화가 1초 단위로 진행된다고 가정하여 실험 결과를 가지적으로 확인 가능하도록 실험하였다.

그림 9는 그림 8과 같은 환경에서 시간이 변함에 따라 각 채널에 출현하는 주 사용자의 모습과 CR

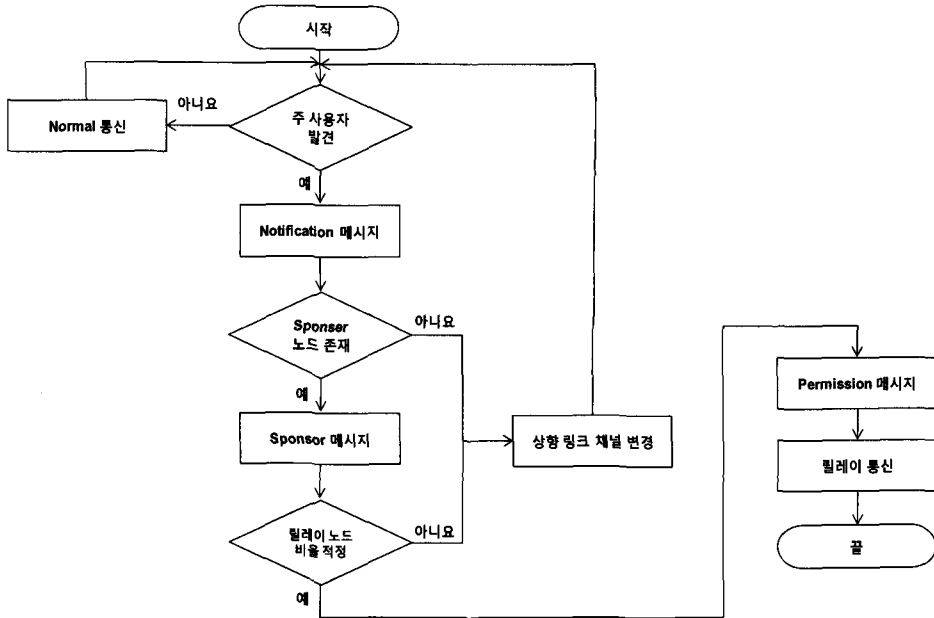


그림 7. 알고리즘 흐름도

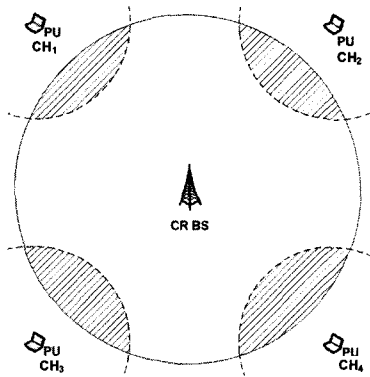
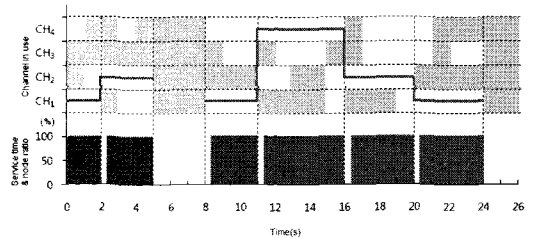
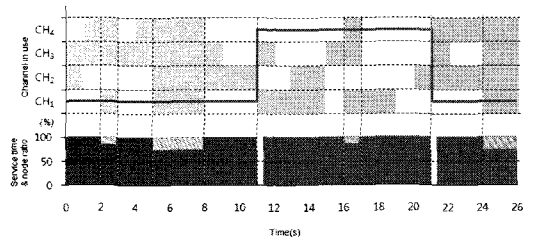


그림 8. 성능 평가 환경

네트워크가 사용하는 채널의 모습 및 서비스가 지속되는 부분의 모습이다. 사용 채널(Channel in use) 부분에서 색칠된 부분은 주 사용자가 해당 채널에 출현하였음을 나타내고 굵은선은 CR 네트워크가 현재 사용중인 채널을 나타낸다. 또한 서비스 시간과 노드 비율(Service time & node ratio)은 네트워크가 동작하는 부분을 나타내는 구간을 나타낸다. 그림 9(a)는 제안된 방법을 사용하지 않고 동작하는 네트워크에서 주 사용자의 출현에 따른 채널 선택 모습이다. 5~8초, 24~26초 부분과 같이 모든 채널에 주 사용자가 출현한 경우 네트워크의 동작이 중단되는 현상이 나타나고 2, 8, 11, 16, 20초 부분과 같이 동작 채널에 주 사용자가 출현하여 채널 변경



(a) 기존의 방법을 이용한 채널 선택과 서비스 시간



(b) 제안된 방법을 이용한 채널 선택과 서비스 시간

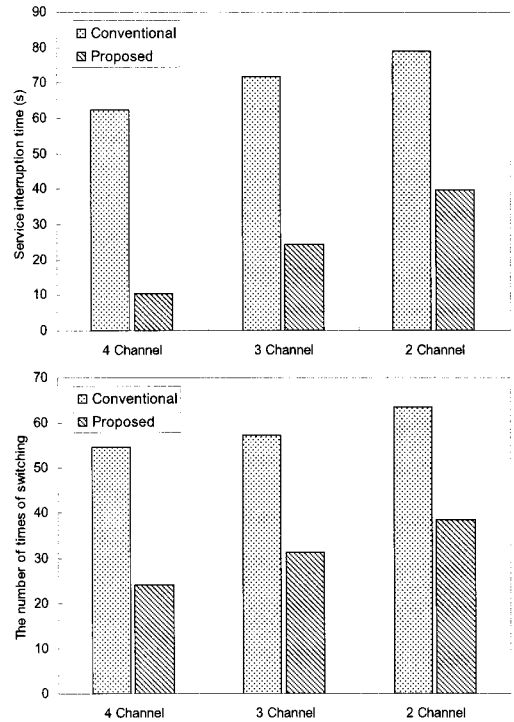
그림 9. 시간에 따른 사용 채널과 서비스 시간

을 수행할 때마다 짧은 서비스 중단이 나타난다. 이처럼 네트워크는 현재 채널을 선택하여 동작하다가 해당 채널에 주 사용자가 출현하게 되면 채널 변경을 수행하고 이로 인한 서비스 단절이 나타나게 된다. 이러한 네트워크 운영을 수행하게 되면 잦은 주 사용자의 출현에 의한 채널 변경을 수행해야 하고 시스템의 성능 저하 현상이 발생한다.

그림 9(b)는 제안된 방법을 사용하여 동작하는

CR 네트워크의 채널 운영 결과이다. 그림 9(a)와 다르게 현재 사용중인 채널에 주 사용자가 출현하여도 주 사용자가 CR 네트워크의 작은 부분에만 영향을 주는 경우, 해당 부분을 릴레이를 통한 데이터 전송을 함으로써 채널 변경을 수행하지 않고 동작한다. 2~3초, 5~8초, 16~17초, 24~26초 구간에서 빗금 친 부분은 CR 네트워크 전체 노드중에 릴레이 통신을 수행하는 노드의 비율을 나타내고, 이 부분에서 릴레이를 통한 데이터 전송이 수행되며 네트워크 전체 채널 변경을 수행하지 않는다. 이로 인해, 채널 변경으로 발생하는 서비스 중단 부분이 줄어들게 되고, 적은 채널 변경으로 CR 시스템을 운영한다. 또한 모든 채널에 주 사용자가 출현하여도 릴레이를 하기 위한 임시 링크를 형성하는 노드 사이에 가능한 채널이 존재하면 릴레이를 수행하여 통신하므로 네트워크의 동작의 중단 없이 서비스 시간이 지속되는 것을 확인할 수 있다. 제안된 스케줄링 방법을 통해 릴레이 데이터 전송을 수행하고 릴레이로 인한 시간 지연이 발생하지 않는다. 제안된 방법의 실질적인 효과를 가지적으로 보여주기 위하여 1초마다 주 사용자의 상태가 이산적으로 변화한다고 가정했기 때문에 실제 시스템의 동작에서 실험 결과의 차이가 존재한다. 하지만, 제안된 방법의 적용을 통한 실제 네트워크 중단 횟수의 감소는 직관적으로 확인할 수 있으며, 사용 가능 채널이 없거나 주 사용자의 출현 빈도가 높을 경우 제안된 기법의 시스템 중단 현상이 감소하게 되고 이에 따라 처리량도 증가하게 된다.

그림 10에서는 실험 환경을 변경하여 600초의 모의실험 시간 동안 기존의 방법과 제안된 방법으로 작동하는 시스템에서 시스템 중단 시간 및 채널 스위칭 횟수를 측정했다. 그림9(a)에서 기존의 방법과 제안된 방법 두 경우 사용 가능한 채널 수가 많을수록 시스템이 중단되는 시간이 줄어들고, 제안된 방법의 경우 기존의 방법과 비교하여 서비스 중단 시간이 크게 감소한다. 이는 모든 채널에 주 사용자가 출현하는 경우에도 임시 링크를 형성하는 노드 사이에 사용 가능한 채널이 존재하면 서비스가 중단되지 않고 현재 사용중인 채널에 주 사용자가 출현하여도 릴레이를 통한 데이터 전송을 통해 서비스 단절이 발생하지 않기 때문이다. 그림 10(b)에서 기존의 방법과 비교하여 제안된 방법의 경우 채널 스위칭 횟수가 줄어드는 것을 확인할 수 있고, 잦은 채널 변경으로 인한 채널 변경 메시지 및 false alarm 으로 인한 비효율적인 주파수 사용을 줄일



(a) 서비스 중단 시간, (b) 채널 스위칭 횟수

그림 10. 채널 수에 따른 서비스 중단 시간과 스위칭 횟수

수 있음을 확인할 수 있다.

그림 11은 제안된 방법을 사용하여 성능 평가 환경인 600초 동안 시스템이 동작하는 경우 주 사용자의 전송 반경에 따라 릴레이 통신이 수행되는 특정 부분에서 릴레이에 참여하는 평균 노드의 비율과 릴레이 시간에 대한 변화 모습이다. 주 사용자의 전송 반경이 커질수록 릴레이 존이 커지게 되고, 이에 따라 릴레이에 참여하는 평균 노드의 비율도 증가한다. 릴레이에 참여하는 노드의 비율이 증가하게 되면 임시 링크를 형성하는 과정에서 교환되는 메시지로 인한 성능 저하와 적절한 스케줄링을 하지 못하는 상황이 발생하게 되므로 릴레이에 참여하는 노드의 비율이 높을 경우 기존의 방법과 병합하여 채널 변경을 수행하도록 한다. 또한 600초의 모의 실험 동안 릴레이 통신을 수행한 시간을 측정하여 나타낸 그래프를 보면 140초에서 170초 동안 릴레이 통신을 수행하는 것을 확인할 수 있다. 평균 릴레이 통신을 수행한 시간은 제안된 방법이 실제 시스템 운영 시간의 약 25% 정도 사용되고 있음을 확인할 수 있다.

앞의 성능 평가 결과들을 바탕으로 제안된 방법의 최적 동작 환경과, 릴레이에 참여하는 노드의 비

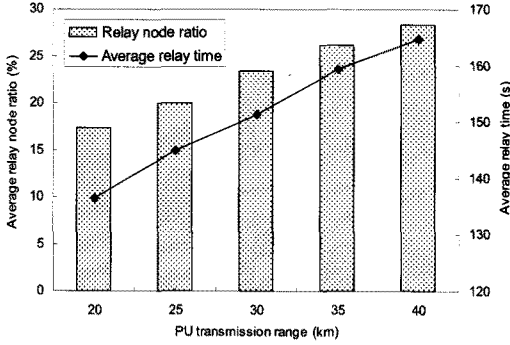


그림 11. 평균 릴레이 노드 비율과 릴레이 시간

율이 상승하여 증가하는 제어 메시지의 영향으로 성능 저하를 막기 위한 조건을 확인할 수 있다. 그림 12는 시스템에 4개의 주 사용자의 위치를 50km에서 100km까지 D(CR BS, PU) 값을 변화시키고 전송 반경을 1km에서 50km까지 변화시키면서 60개의 CR 노드를 배치하여 릴레이에 참여하는 노드 비율을 보여준다. 그림 12에서 D(CR BS, PU)와 주 사용자의 전송 반경의 차가 CR 네트워크의 전송 반경 50km보다 클 때 CR 네트워크에서 주 사용자를 감지할 수 없는 부분이므로 릴레이 해야 하는 노드의 비율은 0이 되는 부분이 존재한다. D(CR BS, PU) 값이 작아질수록 주 사용자는 CR 네트워크 셀 영역에 가까워지고 이 때문에 릴레이 존의 영역이 증가하게 된다. 또한, 한 위치에 있는 주 사용자의 전송 반경이 커질수록 릴레이 존 영역이 증가하여 릴레이에 참여하는 노드의 비율이 증가한다. 그러므로 주 사용자의 D(CR BS, PU) 값이 크고 전송 반경이 작을수록 제안된 방법의 성능이 향상된다.

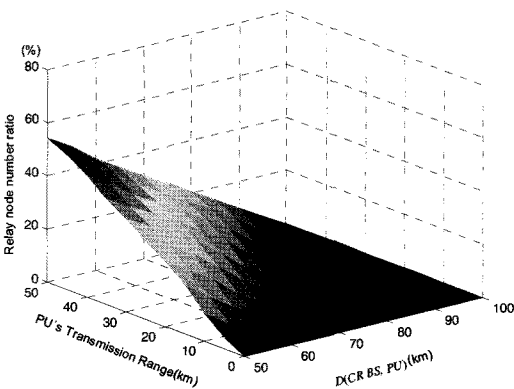
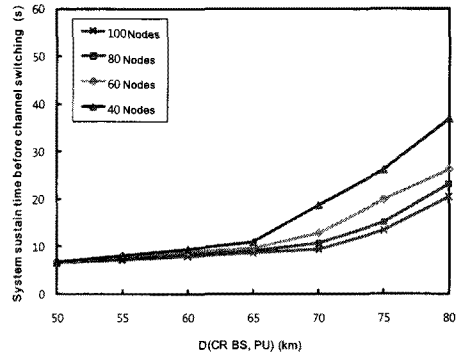
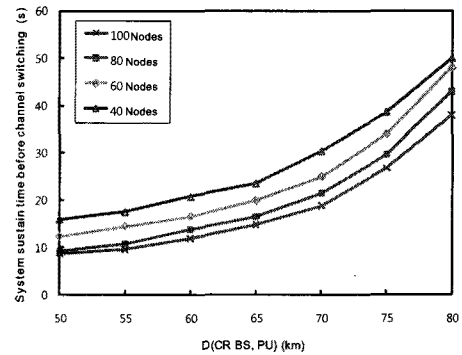


그림 12. D(CR BS, PU)와 전송 반경에 따른 릴레이 참여 노드 비율

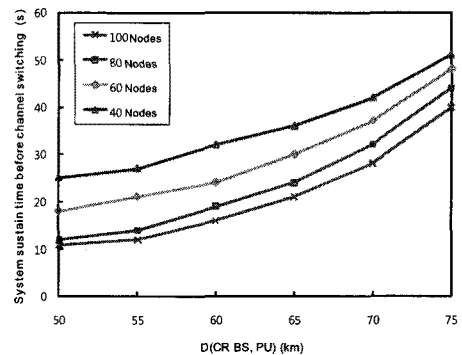
그림 13에서는 제안된 기법을 사용할 때 채널 변경 전까지 CR 네트워크의 시스템 유지 시간을 나타낸다. CR 네트워크는 주 사용자의 출현 시에 임시 링크를 만들어 전체 채널을 변경하지 않고 통신하며, CR 네트워크 내에 릴레이 해야 하는 노드의 비율이 한계 값을 초과하거나 임시 링크를 형성해야 하는 채널이 없을 때 네트워크 전체 데이터 채널을 변경하며, 그 시점까지 동작 가능한 시간을 측정하였다. 그림 13(a), (b), (c)는 각각 45km, 35km,



(a) 45km 주 사용자 전송 반경



(b) 35km 주 사용자 전송 반경



(c) 25km 주 사용자 전송 반경

그림 13. D(CR BS, PU)에 따른 채널 변경 전까지의 시스템 유지 시간

25km로 주 사용자의 D(CR BS, PU) 값을 변화시키면서 CR 네트워크 내의 노드 수에 따른 시스템 유지 시간을 측정하였다. 각 결과를 보면 D(CR BS, PU) 값이 크고 노드 수가 많고 주 사용자의 전송 반경이 작을수록 동작 시간이 길어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 12의 결과에서 확인한 것과 같이 D(CR BS, PU) 값이 커질수록 한계 값을 넘지 않는 노드의 비율이 주 사용자의 전송 반경이 작을수록 많으므로 그림 13(c)의 결과가 그림 13(a)의 결과에 비교하여 동작 시간이 길게 늘어나는 것을 볼 수 있다. 그림 13(a)의 에서 D(CR BS, PU) 값이 50~65km 일 때 노드 수에 상관없이 동작 시간의 값이 비슷한 모습을 확인할 수 있다. 이 부분은 D(CR BS, PU) 값이 작고 주 사용자의 전송 반경이 컸을 때 제안된 기법이 적용될 worst case로, 한계 값을 초과하는 노드의 비율이 높아 제안된 방법을 사용하지 않고 기존의 방법으로 채널 변경이 일어나는 부분이다.

각 부분의 실험 결과, 네트워크의 성능 향상에 제안된 방법이 효과가 있음을 확인할 수 있다. 제안된 기법이 사용될 환경에 맞게 임시 링크 사용 가능 채널 수와 비교하여 한계 값을 조절 시키고 네트워크에 무리가 가지 않는 값을 설정할수 있다. 또한, 실험 환경에서 임시 링크를 만들어 릴레이 하계될 채널의 수를 네 개로 고정하여 실험한 결과이므로 임시 링크를 만들어 사용할 수 있는 채널의 수를 증가시키거나 주 사용자의 출현 빈도 및 위치와 전송 반경을 변경시킴으로 성능 향상을 기대할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 CR 네트워크의 QoS를 향상하고 효율적인 주파수 활용을 위하여, 임시 링크를 사용하여 릴레이를 수행하고 스케줄링을 통해 데이터를 전송하는 기법을 제안하였다. 특히 본 논문에서는 주 사용자의 신호를 발견한 경우 임시 링크를 사용하기 위해 메시지의 전달로 스폰서 노드와 릴레이가 요구되는 노드를 결정할 수 있도록 하였고, 직접적으로 주 사용자의 신호를 발견하지 못하였다라도 주 사용자에게 간섭이 가지 않도록 적절하게 링크를 형성하였다. 또한, 임시 링크를 이용하여 릴레이 통신을 하여도 적절한 스케줄링을 통해 추가적인 시간 지연이 발생하지 않도록 하였다. 제안된 기법을 수행하다가 본래의 통신 형식으로 복귀하는 경

우를 추가하여 기존의 기법과 혼합하여 작동할 수 있게 설계했다. 성능 평가를 통해 주 사용자의 출현 빈도가 높을수록 제안된 기법이 많이 사용되는 것을 가시적으로 확인할 수 있었고, 이것으로 말미암아 시스템 중단을 막고 처리량의 증가하는 것을 확인하였다. 주 사용자의 D(CR BS, PU) 값이 크고, 주 사용자의 전송 반경이 작을수록 제안된 기법이 사용되어 시스템 성능 향상을 확인할 수 있었고, 통신의 중단 없이 네트워크의 동작 시간이 증가함을 확인했다. 임시 링크를 이용한 릴레이와 적합한 스케줄링을 통해 CR 네트워크 통신 중단 감소와 전체 사용 채널을 변경하지 않고 통신할 수 있게 하여 기존의 방법과 병합하여 운영하므로 CR 네트워크의 QoS 향상, 효율적인 주파수 자원 사용의 장점으로 점점 증가하는 주파수 자원 수요의 증가에 제안된 기법의 활용분야가 증가할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp.201-220, No.2, Vol.23, Feb., 2005.
- [2] FCC, *Notice of rule making and other*, No. 03-322, December 2003.
- [3] Joseph Mitola III, "Software radio : 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 Communication", *IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications*, pp.3-10, November 1999.
- [5] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio : An Integrated Agent Architecture for Sofeware Defined Radio", 2004.
- [6] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey", *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, Vol.50 , Issue 13, pp.2127-2159, September 2006.
- [7] <http://www.ieee802.org/22/>
- [8] Q. Zhang, J. Jia, and J. Zhang. Cooperative

relay to improve diversity in cognitiveradio networks. *IEEE Communications Magazine*, Vol.47, Issue 2, pp.111-117, February 2009.

- [9] D. Niyato, E. Hossain, D. I. Kim, and Z. Han, "Relay-centric radio resource management and network planning in IEEE 802.16j mobile multihop relay networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.8, No.12, pp. 6115-6125, December 2009.
- [10] J. Cho, et al., IEEE C802.16mmr-06/003, "On the Throughput Enhancement of Fixed Relay Concept in Manhattan-like Urban Environments", Samsung ElectroNics Co.,Ltd., Sogang University.
- [11] C. R. Stevenson, C. Corderio, and G. Chouinard, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard," IEEE 802.22-05/0007r48, November 2006.
- [12] IEEE p802.16m/D2, "DRAFT Amendment to IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Advanced Air Interface", October 2009.

김 세 웅 (Se-Woong Kim)

준회원



2009년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)
 2011년 2월 인하대학교 정보통신대학원(공학석사)
 2011년 3월~현재 롯데정보통신
 <관심분야> 무선MAC 프로토콜, Cognitive Radio Network

최 재 각 (Jae-Kark Choi)

정회원



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

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

종신회원



1988년 2월 한양대학교전자통신학과(공학사)
 1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
 2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
 1990년 3월~2001년 2월 KT연구개발본부

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 정교수
 <관심분야> 초고속통신망, 무선MAC 프로토콜, 인터넷QoS, Cross-layer 프로토콜설계, Cognitive Radio Network