

인지무선 네트워크에서 능동적인 스펙트럼 동기화

변상선

부산가톨릭대학교

Efficient Multicasting Mechanism for Mobile Computing Environment

Sang-Seon Byun

Catholic University of Pusan

E-mail : ssbyun@cup.ac.kr

요 약

인지무선 네트워크에서 2차사용자는 1차사용자의 전송이 감지되면 즉각 전송을 중단하고 새로운 유휴 스펙트럼을 찾아 빠르게 동기화를 해야 전송을 재개 할 수 있다. 대부분의 관련 연구에서는 별도의 공용 제어채널을 통해 2차사용자들이 같은 스펙트럼으로 동기화를 수행하는 것을 가정한다. 하지만, 상시 사용 가능한 채널이 별도로 존재한다는 가정은 인지무선 기술의 실제 구현과는 어울리지 않는다. 이 논문에서는 별도의 공용제어채널을 고려하지 않는 능동적 스펙트럼 동기화 기법을 제안한다. 2차송신자와 수신자는 주통신간에 주기적으로 서로의 스펙트럼 감지 결과를 교환한다. 그리고, 송수신자 모두 유휴로 탐지된 스펙트럼에 순차적으로 동기화를 실시하도록 한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 USRP를 사용하여 구축된 실제 인지무선 환경에 적용하여 성능을 평가한다.

ABSTRACT

In cognitive radio networks, secondary transmitters should cease its transmission immediately under the detection of primary transmission in the spectrum they are using. Then they need to exploit another idle spectrums and resynchronize to the newly found idle spectrums. Most of related work presume the existence of separate control channel used by secondary users commonly for exchanging the information of idle spectrums. However, this presumption is not feasible in real world cognitive radio scenario. Therefore we address a proactive spectrum synchronization scheme with no need of separate control channel. Our scheme lets secondary users exchange the spectrum information periodically during normal communication process and determine the next spectrum band in advance of detecting primary transmission. We evaluate our scheme in a real world cognitive radio environments set up with USRPs.

키워드

Cognitive Radio Networks, Spectrum Synchronization, Common Control Channel, USRP

1. 서 론

인지무선 네트워크(cognitive radio networks: CRNs) 환경에서 2차사용자 (secondary user: SU)는 1차사용자 (primary user: PU)의 전송이 감지되면, 즉각 송신을 중단하고, 유휴 스펙트럼을 찾아서 전송을 재개해야 한다. 이 경우, 2차송신자와 2차수신자는 모두에게 유휴한 것으로 감지되는 채널로 동기화를 해야한다. 이 때, 당연히 같은 채널로 같은 시점에 동기화를 해야 한다.

이를 위해, 많은 관련 연구들이 별도의 공용 제어 채널 (common control channel)을 가정한다. 즉, 상시 사용가능한 공용 채널을 통해 1차전송의 감지를 알리고, 또, 앞으로 사용될 채널과 동기화 시점 등의 정보를 교환한다. 하지만, 공용 제어 채널이 존재한다는 가정은 인지 무선의 사용환경과 충돌된다. 즉, 인지 무선 기능의 대상은 별도의 전용 통신 채널(주파수)을 할당 받지 않은 비면허 사용자 (unlicensed user)인데, 공용 채널이 별도로 이미 존재한다는 가정은 인지 무선의 본연의 취지

와 어울리지 않는다. 특히, 기지국이 존재하지 않는 애드혹(Ad hoc) CRNs 환경에서 별도의 공용 채널을 가정하는 것은 매우 비현실적이고, 공용 채널을 통통한 정보 송수신간 어려가 발생할 수 있어 주파수 동기화의 구현에 어려움을 주게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 몇몇 연구들이 공용 제어 채널 없이 채널 동기화나 사용중인 채널에서 1차사용자의 송신 감지 상황에서도 통신을 지속할 수 있는 채널 도약 기법들을 다루고 있다.

이 논문에서는 2차사용자들이 능동적 스펙트럼 탐지를 이용하여, 가용 채널을 지속적으로 유지하고, 가용 채널 정보를 주기적으로 교환하는 방법을 제안한다. 그리고, 1차전송이 감지되는 즉시, 모든 2차사용자들에게 유휴하다고 탐지되는 백업채널(back-up channel)들 가운데 하나로 즉시, 핸드오프 및 동기화를 시도한다. 여기서, 2차사용자들은 같은 채널로 동기화를 해야 하는데, 백업 채널의 접근 순서를 맞춤으로써 이루어질 수 있다. 그리고, 하나의 2차사용자만이 1차전송을 감지하는 경우를 위해, 가용 채널 정보의 수신 여부를 통해 인지하는 방법을 이용한다.

제안하는 방법은 유한상태기계로 모델링 되며, USRP(Universal Software Radio Peripheral)에 직접 구현되어 그 성능을 검증한다.

II. 능동적 스펙트럼 동기화 기법

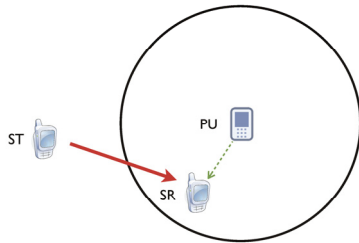


그림 1. 인지무선 환경: 2차수신자만이 1차전송을 감지한 상태

이 논문에서 고려하고 있는 인지무선 환경은 아래와 같은 특징들을 갖는다 (그림 1 참조).

- 두 2차사용자가 통신을 하고 있는데, 그 중 하나는 2차송신자 (secondary transmitter: ST), 나머지 하나는 2차수신자 (secondary receiver: SR) 이다.

- 두 2차사용자가 가운데, 한 사용자만 1차사용자 (PU)의 전송을 감지할 수 있다.

- 두 2차사용자는 통신에 사용할 후보 주파수의 목록을 리스트 (즉, 채널 리스트)의 형태로 가지고 있는데, 두 사용자는 동일한 후보 주파수들을 유지한다.

- Underlay 인지 무선 환경을 고려한다. 즉, 1차전송이 감지되는 즉시, 그 채널을 이용한 송신을 중단한다.

별도의 제어채널 없이 주파수 동기화를 지속해야 하기 때문에, 2차사용자는 아래의 두 가지 사항을 주기적으로 지속해야 한다.

- 1) 유휴 가용 채널의 탐지
- 2) 각자 자신의 가용 채널 리스트를 상대방에게 전송
- 3) 유휴 채널 가운데 백업채널의 선정

유휴 가용 채널의 탐지 (인지무선에서는 일반적으로 스펙트럼 탐지 (spectrum sensing) 라고 불림)는 일반적인 통신 상황에서 능동적으로 동시에 수행하는 방법과 유휴 채널을 찾아야만 하는 상황에서 수행하는 수동적인 방법이 있다. 이 논문에서는 [관련연구 - 1]에 제안된 방법과 같은 능동적인 채널 탐지가 가능한 환경을 가정한다. 즉, 능동적으로 정상적인 통신 중간에 미리 정해진 후보 채널들을 짧은 시간 순환하며 유휴 상태를 감지하는 것이다.

각 2차사용자는 자신이 탐지한 후보 채널들의 유휴 상태를 비트맵(bitmap)의 형태로 상대 2차사용자에게 주기적으로 전송한다. 그리고, 각 2차사용자는 자신의 후보 채널 리스트와 상대방으로부터 전송된 비트맵을 비교하여, 두 사용자에게 모두 가용한 것으로 감지된 채널들을 백업 채널(back-up channel)로 지정한다.

이 유휴 채널의 탐지와 탐지 결과의 전송은 정상적인 통신환경에서 주기적으로 지속되며, 1차전송이 감지되는 즉시, 미리 정해진 백업채널로 이동한다.

하나 이상의 유휴 백업 채널이 있는 경우, 두 사용자가 모두 같은 백업 채널로 동기화가 이루어질 수 있도록, 동기화 채널의 선정 방법과 접근 순서가 일치되어야 한다.

특히, 두 2차사용자 가운데 한 사용자만 1차전송을 감지하여 채널 핸드오프를 실시해야 하는 경우가 고려되어야 한다. 이 경우, 일정 시간 이상 채널 정보가 상대방으로부터 전송되지 않는다면, 1차전송이 감지된 것으로 알고 미리 정해진 백업채널로 핸드오프를 한다.

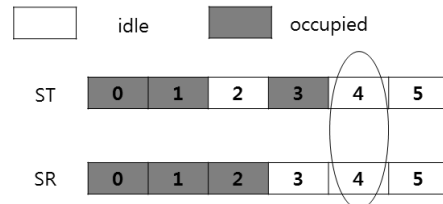


그림 2. 백업채널의 선정: ST와 SR에게 모두 유휴한 것으로 탐지된 채널들 가운데 색인 값이 가장 작은 채널 (4번 채널)을 백업 채널로 선정함

백업 채널은 두 사용자에게 모두 유휴로 판단된 채널들 가운데 채널 색인 값이 가장 작은 채널로 정한다 (그림 2 참조).

여기서, 채널의 상태가 좋지 않거나, 에러에 의해 채널 정보가 전송되지 않는 경우가 있을 수 있으므로, 백업채널로의 핸드오프는 충분한 시간을 기다린 후에 수행한다. 본 논문에서는 채널 상태 전송 주기의 3배가 되는 시간을 기다린 후에 핸드오프를 수행하도록 한다.

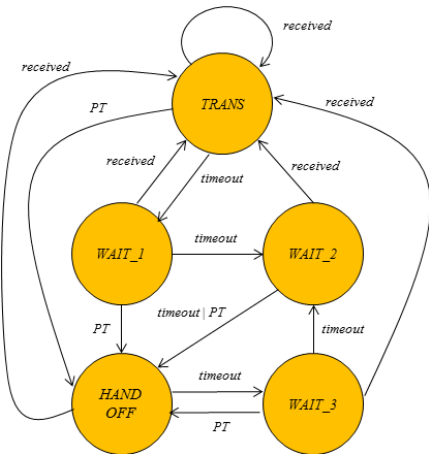


그림 3. 능동적 채널 동기화를 위한 유한상태기계 모델

능동적 채널 동기화는 그림 3에서 보이는 유한 상태기계로 모델링 될 수 있다. 각 상태는 아래와 같이 정의된다.

- 1) *TRANS*: 정상적인 통신을 하고 있는 상태로 이 상태에서는 유휴 스펙트럼을 탐지하고 상대방에게 가용 채널 비트맵을 전송한다. 그리고, 상대방으로부터 받은 비트맵을 통해 앞서 기술한 방법으로 백업채널을 선정한다.
- 2) *WAIT1*: 가용 채널 리스트를 전송하는 주기를 T_{list} 라고 할 때, T_{list} 동안 상대방으로부터 가용 채널을 받지 못한 상태
- 3) *WAIT2*: $2T_{list}$ 동안 상대방으로부터 가용 채널 리스트를 받지 못한 상태
- 4) *WAIT3*: 백업 채널로 변경한 상태에서 T_{list} 동안 상대방으로부터 가용 채널 리스트를 받지 못한 상태
- 5) *HANDOFF*: 백업 채널로 변경한 상태

이에 따른 상태 전이는 아래와 같다.

- 1) *received*: 채널 비트맵을 상대방으로부터 전송 받음
- 2) *PT*: 1차전송이 감지됨
- 3) *timeout*: T_{list} 동안 상대방으로부터 가용 채널 비트맵을 수신 받지 못함

여기서, 채널 비트맵의 전송 주기의 k 배가 되는 시간을 기다린 후에 핸드오프를 수행하게 설정하려면, $WAIT_1, \dots, WAIT_k$ 의 상태가 필요하다. 그리고, 두 사용자가 같은 타이밍 (T_{list})로 채널 리스트를 순환하며 핸드오프를 시도하고, 한 사용자는 i 번째 채널에, 다른 사용자는 $i+1$ 번째 채널에서 핸드오프를 시도하고 있다면, 동기화가 매우 지연되거나 최악의 경우, 영원히 완료되지 않을 수 있다. 이러한 잠재적 문제를 해결하기 위해 T_{list} 는 일정 범위에서 임의의 값을 갖도록 설정한다.

III. 실험에 의한 성능평가

우리는 이 논문에서 제안하는 능동적 채널 동기화 기법을 USRP E-100 소프트웨어 라디오 플랫폼에 구현하여 성능을 검증한다. 구현의 대상 프로토콜은 IEEE 802.15.4이고, 우리는 USRP에서 동작하도록 구현된 UCLA-IEEE-802.15.4 모듈 [관련 연구 - 2]을 사용한다.

실험에는 총 2대의 USRP를 사용하여 하나는 2차송신자, 다른 하나는 2차수신자의 역할을 수행하도록 한다. 1차전송의 감지는 USRP내에서 임의로 발생한 것으로 시뮬레이션 된다. 즉, 각 채널에서 T_{on} 초 동안 1차전송이 감지되고, T_{off} 초 동안 감지되지 않은 것으로 설정한다. 이 T_{on} 과 T_{off} 는 각각 T_{on} 과 T_{off} 를 평균으로 하는 지수분포를 따르는 확률변수로 생성되도록 한다. 실험은 $T_{on} = 2$ 초, $T_{on} = 8$ 초로 설정하고 수행된다. 1차전송의 감지 시뮬레이션은 송신자 역할을 하는 USRP와 수신자 역할을 하는 USRP 각각에서 독립적으로 수행되도록 한다.

T_{list} 는 200ms ~ 500ms 구간의 임의의 값으로 선택하도록 하였는데, 이 값의 결정은 채널 동기화의 성능에 지대한 영향을 미치기 때문에, 주어진 통신상황에서 최대 성능이 나오는 T_{list} 값을 찾는 방법은 차후 연구 주제로 남겨져 있다.

채널의 개수는 5개로 지정하였고, 2.085GHz, 2.105GHz, 2.125GHz, 2.145GHz, 2.155GHz 의 주파수를 각 채널에 할당한다.

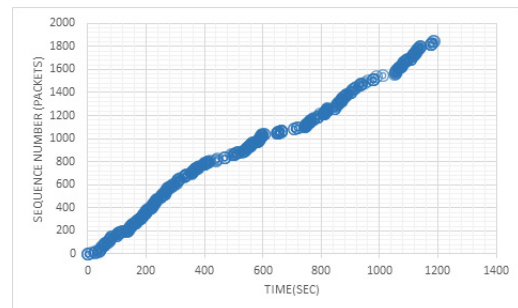


그림 4. 시간에 따른 성공적으로 수신된 패킷의 추이

그림 4는 2차수신자에서 성공적으로 수신된 패킷의 일련번호를 시간에 따라 그래프로 표현한 것이다. 그래프에 표현되어 있듯이, 중간에 1차 전송에 의해 송신 간섭이 발생하여도 새로운 채널로 동기화에 성공하여 통신이 지속되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

별도의 공용 제어 채널의 존재를 가정하는 것은 별도의 전용 주파수를 가정하지 않는 비면허사용자를 위한 인지 무선의 본래 취지에 모순된다. 특히, 기지국이나 중앙 관리자가 존재하지 않는 애드혹 인지 무선 네트워크에서 공용 제어 채널을 이용하는 것은 불가능하다.

이 논문에서는 인지 무선 환경에서 1차전송이 감지되어 통신 채널을 변경해야 할 때, 별도의 공용 제어 채널이 없이 새로운 채널로 동기화 하여 통신을 재개할 수 있는 기법에 대해 다룬다.

채널 동기화는 유한상태기계로 모델링 되고, 이 모델을 그대로 USRP 소프트웨어 라디오 플랫폼에 구현하였다.

구현을 통해 그 성능을 입증하고, 통신 중인 채널에서 1차전송이 감지되어도 다른 채널로 신속하게 동기화 하여 통신이 지속될 수 있음을 확인하였다.

앞서 기술했듯이 본 논문에서는 적절한 Tlist 값의 범위를 실험에 의해서 정했으나, 통신 상태에 적응하는 Tlist 값의 선정 방법에 대한 연구가 추가적으로 필요하다. 그리고, 가용 채널의 수를 통신 상태에 따라서 변경하는 방법, TCP와 같은 상위 계층과의 호환성 부분도 추가적으로 연구가 이루어져야 한다.

References

- [1] Y. Z. Jembre, Y. J. Choi, R. Paul, W. Park, and Z. Li, "Informed spectrum discovery in cognitive radio networks using proactive out-of-bands sensing," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, Vol. 8, No. 7, pp. 2212-2229, July 2014.
- [2] T. Schmid, "GNU Radio 802.15.4 En- and Decoding," NESL Technical Report, 2006.