

인지 무선 네트워크에서의 에너지 효율적인 센싱 스케줄링 방법

최우정*, 유상조*, 서명환**, 조형원**

Energy Efficient Channel Sensing Scheduling in Cognitive Radio Networks

Woo-Jeong Choi*, Sang-Jo Yoo*, Myunghwan Seo**, Hyung-Weon Cho**

요 약

최근 제한된 주파수 자원의 효율적인 사용을 위한 인지 무선 기술(CR)이 많은 관심을 받고 있다. CR 기술에서 가장 중요한 부분은 인가 사용자의 통신을 보호 하는 것이다. 따라서 비인가 사용자는 자신이 현재 사용 중인 주파수 대역은 물론 인가 사용자가 나타났을 시에 스위칭 해야 할 후보 채널의 주기적인 센싱도 필요하다. 본 논문에서는 CR 환경에서 인가 사용자를 보호하기 위한 방법으로 비인가 사용자로 하여금 각 노드의 남은 에너지와 센싱 존 이웃이라는 개념을 이용하여 협력적인 채널 센싱을 하도록 제안한다. 채널 센싱은 현재 사용하고 있는 채널을 센싱하는 인밴드센싱과 인가 사용자가 나타났을 경우 스위칭 해야할 후보 채널을 센싱하는 아웃밴드 센싱으로 수행된다. 모의 실험을 통해 제안된 방법이 센싱을 수행하는 노드의 수를 줄임으로 인해 센싱에 필요한 많은 에너지가 절약되고, 남은 노드들의 에너지가 균일해 짐으로써 네트워크의 수명이 길어지는 것을 확인할 수 있다.

Key Words : cognitive radio, energy efficient, channel sensing, sensing scheduling, spectrum sensing

ABSTRACT

Recently, cognitive radio technology has been spotlighted for the efficient use of limited frequency technology. The most important part of CR is to protect the incumbent user's communications. Therefore, CR user should be sensing the currently using channel and another hopping channel for sudden appearance of the Incumbent User. In this paper, we propose the cooperative channel sensing to protect the IU considering each CR user's remained power and sensing-zone, sense the spectrum bands in a fairly distributed manner and share the results among the users within respective sensing zone. Sensing scheme including inband sensing and outband sensing is utilized. The inband sensing is in charge of current using channel scanning while the outband sensing mainly cares about other channels. The performance results by computer simulations show that our sensing scheduling scheme reduces the number of sensing nodes and saves energy need to channel sensing.

I. 서 론

무선 네트워크 환경에서 사용할 수 있는 주파수 자원은 한정 되어 있고 각각 다른 무선 네트워크 통신에 할당 되어 있다. 미국 FCC(Federal Communications Commission)의 조사에 따르면, 이렇게 특정 통신을 위하여 할당된 주파수의 대부분은 많은 시간동안 사용되지 않는 것으로 관찰 되었다. J.Mitola는 [1]을 통해 이처럼 사용되지 않는 주파수 대역을 효율적으로 활용하기 위한 인지 무선 기술(CR : Cognitive Radio)을 처음으로 제안하였다. CR 기술은 무선 인지 매쉬

네트워크, 재해발생시의 긴급 네트워크, 군 통신 네트워크와 같은 다양한 분야에 응용 될 수 있다.

CR 기술에서는 인가 사용자(incumbent user)를 보호하기 위하여 현재 네트워크의 동적인 주파수 사용현황을 실시간으로 인지하는 기술이 필수적이며, 또한 주파수 대역을 센싱하는 주기도 중요하다. 하지만 인가 사용자의 보호를 위한 센싱이 과도할 경우 비인가 사용자(secondary user)의 QoS(Quality of Service)가 저하될 수 있으며, CR 단말기들의 많은 센싱으로 인한 에너지소모로 인하여 네트워크의 수명(lifetime)이 짧아지는 등의 문제가 발생할 수 있다.

* 이 논문은 삼성탈레스의 지원으로 이루어진 연구임. 본 연구는 미래창조 과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 ICT 연구센터 육성지원사업의 연구 결과로 수행되었음 (IITP-2015-H8501-15-1019)

*인하대학교 정보통신공학과 (sjyoo@inha.ac.kr), 교신저자 : 유상조

**삼성탈레스

접수일자 : 2015년 4월 9일, 수정완료일자 : 2015년 5월 4일, 최종 게재확정일자 : 2015년 5월 14일

CR 사용자는 시스템을 실시간으로 센싱하여 인가 사용자의 사용권을 보장해 주어야 한다. 하지만 앞서도 언급하였듯이 기존의 시스템을 보호하기 위해서 지나치게 과도한 QP(Quiet Period)를 갖는 센싱은 CR 사용자들의 QoS 보장을 어렵게 한다. IEEE 802.22 WRAN[2]에서는 CR 사용자에게도 적절한 QoS를 보장해 주기 위해서 두 가지의 센싱 방법을 제안하였다. 첫 번째 센싱방법은 짧은 시간 안에 간단한 에너지 검출 등의 방법으로 사용 중인 채널을 포함하여 몇 개의 채널을 센싱하는 fast 센싱이다. 두 번째 fine 센싱은 fast 센싱으로 모은 채널의 정보를 바탕으로 자세한 센싱이 필요하다고 판단되는 채널들에 대해, 비교적 오랜 시간동안 QP를 계획하여 센싱을 수행하는 센싱방법이다. 하지만 IEEE 802.22 에서와 같이 특정한 환경을 위해 제안된 센싱방법(TV 주파수대역)은 모든 네트워크 환경을 고려 할 수 없으며 특정 네트워크 환경에서는 지나치게 많은 QP 가 낭비될 수 있다. 다른 네트워크 환경에서 fine 센싱을 수행한다고 하면 모든 노드가 특정 시간동안 QP를 가지고 센싱을 수행하는 것은 에너지 효율 면에서 매우 비효율적이라고 할 수 있다. 기존의 무선 네트워크에서 효율적인 에너지 사용 방법에서 가장 대표적인 방법은 IEEE 802.11 WLAN의 PSM(Power Saving Mode)[3]라고 할 수 있다. PSM은 동적으로 window의 크기를 조절하는 등([5]-[6])의 다양한 방법으로 발전되어 왔으며 [4]에서와 같이 CR 환경에서 응용된 논문도 존재한다. [4]는 Ad-hoc CR 환경에서 ATIM 메시지와 ATIM-ACK을 사용하여 채널을 예약하고 비콘(beacon) 구간에 노드별로 임의로 채널을 선택하여 fast 센싱을 수행한다. 그리고 데이터를 보내는 구간에 데이터를 보내지 않는 노드들은 fast 센싱을 수행했던 채널에서 센싱의 결과에 따라 fine 센싱을 수행하여 센싱의 정확도를 높이는 방법이다. 하지만 각 노드의 남아있는 에너지를 고려하지 않아 특정 노드의 과도한 센싱으로 인하여 효율적인 에너지 사용이 힘들다.

또한, CR 네트워크에서 중요한 부분 중 하나는 협력적인 채널 센싱이다. [7]은 infrastructure BSS(basic service set) CR 환경에서 협력적인 아웃밴드 센싱 알고리즘과 기존의 WLAN의 CSMA/CA를 CR에 접목시켜 C-CSMA/CA를 제안하였다. BS(Base Station)은 다수의 AP(Access Point) MAC 모듈로 구성되어 있다. 각 AP에 속한 노드 중 한 노드가 채널을 사용할 때 다른 노드는 아웃밴드(outband) 채널을 센싱하는 구조로 이루어져 있으며 AP는 노드들의 센싱 결과를 BS에 보고한다. 하나의 BS에 속한 노드들은 특정 시간동안 하나의 채널만 센싱을 수행하기 때문에 인가 사용자의 신호를 정확하게 검출할 수 있다는 장점을 갖는다. 하지만 AP 사이에 시간동기화가 되어 있지 않고 긴 시간동안 모든 노드가 하나의 채널만 센싱하는 것은 비효율적이다. 또한, [4]와 마찬가지로 보낼 데이터가 없는 노드들은 무조건 센싱을 수행하기 때문에 필요 없는 에너지 소모가 많다. 최근의 연구

에서는 에너지 효율적인 센싱에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[8-9]

본 논문에서는 남은 에너지와 센싱 zone 이웃을 고려한 협력적인 채널 센싱으로 최소한의 센싱 조건을 만족하면서 동시에 불필요한 에너지 소모도 막을 수 있는 에너지 효율적인 채널 센싱 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서의 센싱은 현재 사용 하고 있는 채널을 센싱하는 인밴드(inband) 센싱과 현재 사용 중인 채널에 인가 사용자가 나타났을 시에 옮길 후보 채널(candidate channel)을 센싱하는 아웃밴드 센싱으로 구분하여 수행된다. 많은 에너지를 가진 노드가 우선적으로 센싱을 수행함으로써 노드들의 에너지가 균일해 지기 때문에 네트워크의 수명(lifetime)에도 긍정적인 영향을 미침을 알 수 있었다. 또한, 네트워크에 있는 모든 채널 센싱의 결과 보고는 간단한 펄스를 이용하도록 하여, 센싱 결과를 보고하는데 소비되는 시간을 줄이고, 충돌을 배제할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 에너지 효율적인 CR MAC 프레임 구조에 대해서 설명하고, 제 3장에서는 본 논문에서 제안하는 에너지 효율적인 채널 센싱 스케줄링 방법에 대해서 자세히 설명한다. 제 4장에서는 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘을 평가한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 에너지 효율적 CR MAC 프레임 구조

1. CR 네트워크 토폴로지

본 논문에서 센싱 zone은 센싱에 대한 정보를 공유할 수 있는 범위를 말한다. 센싱 zone의 범위를 R_{ZN} 라고 정의하고, 두 노드 사이의 거리가 d 인 경우 $d < R_{ZN}$ 을 만족하는 범위에 있는 노드들은 센싱 zone 이웃이라고 정의한다. 그림 1과 같이 인가 사용자는 인가 사용자의 수신자가 신호를 받을 수 있는 전송 범위(transmission range: R_{IT})를 가지고 있다. 그리고 인가 사용자의 수신자는 신호를 받을 수 없지만 추가적인 센싱 기능을 가지고 있는 비인가 사용자는 신호를 검출할 수 있는 범위를 인가 사용자의 검출 범위(detection range: R_{ID})라고 한다. 또한, 비인가 사용자의 송신이 인가 사용자를 방해할 수 있는 범위(interference range)를 R_{SUI} 라고 정의하고 $R_{ZN} < R_{SUI}$ 라고 가정한다.

그림 1에서 Case 1의 경우 노드 A와 B는 센싱 zone 이웃이며 A는 R_{ID} 의 범위 안에 위치한다. A가 B를 대신하여 센싱을 수행할 경우 A는 인가 사용자의 신호를 검출할 수 있기 때문에 B는 센싱 정보를 공유하여 통신을 하지 않게 된다. Case 2의 경우 노드 C와 D가 센싱 zone 이웃이다. C는 R_{ID} 의 범위 밖에 위치하기 때문에 센싱을 수행할 경우 인

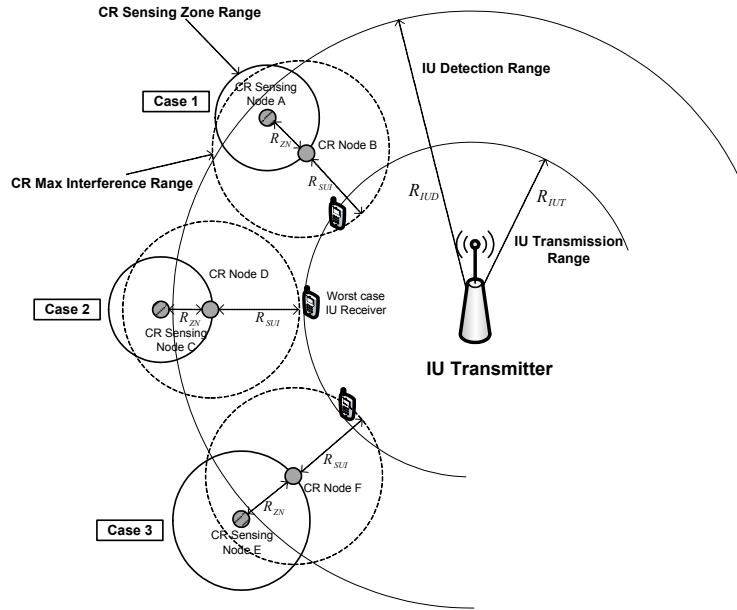


그림 1. CR 네트워크 토폴로지

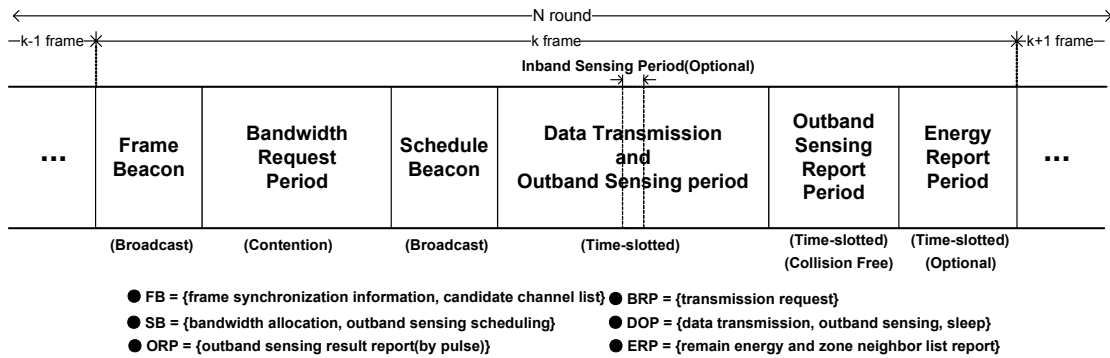


그림 2. 기본 프레임 구조

가 사용자의 신호를 검출하지 못한다. D는 센싱을 수행하지 않아 인가 사용자의 존재를 알지 못하지만 R_{SUI} 가 인가 사용자의 수신자에게 미치지 못하기 때문에 인가 사용자에게 방해할 주지 않는다. 본 논문에서는 R_{IUT} , R_{IUD} , R_{SUI} 를 알고 있다고 가정하고, (1)을 만족하는 R_{ZN} 을 센싱 zone으로 정의하며 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{IUD} - R_{IUT} > R_{SUI} + R_{ZN} \quad (1)$$

$$R_{ZN} < R_{IUD} - R_{IUT} - R_{SUI} \quad (2)$$

Case 3에서는 R_{ZN} 를 크게 설정하여 (2)를 만족 못하는 경우($R_{ZN} > R_{IUD} - R_{IUT} - R_{SUI}$)이다. 이 경우 E는 인가 사용자의 신호를 검출할 수 없는데 이 정보를 F가 공유할 경우 인가 사용자의 통신을 방해할 수 있다. 각 노드는 주변 노드에게서 엿듣은(overhear) 신호의 전력을 이용하여 거리를 계산하고 센싱 zone 이웃인지를 판단한다.

본 논문에서는 인가 사용자의 전송 범위는 비인가 사용자

의 전송 범위보다 상대적으로 크다고 가정한다. 네트워크는 크게 조정자(coordinator)와 멤버 노드 (MN : Member Node)로 구성 되어 있다. 각 멤버 노드는 조정자와 1-hop 이웃이다. 그림 2와 같이 하나의 라운드는 여러 개의 프레임으로 구성 되어 있으며 조정자를 포함한 네트워크 내의 모든 노드는 정해진 프레임 구조에 따라 동작하게 되고, 조정자는 멤버 노드들의 채널 센싱 스케줄링을 관리하는 등의 여러 가지의 다른 동작도 수행한다. 조정자는 각 MN의 남은 에너지 정보와 센싱 zone 이웃의 리스트를 가지고 있고, 특정 프레임에서 MN들이 보내는 메시지를 바탕으로 정보를 갱신한다.

2. 제안된 CR MAC 프레임 구조

제안된 MAC 프레임은 조정자에 의해 컨트롤되며 한 프레임에 두 번의 비콘 메시지가 포함된다. 프레임의 프레임과 네트워크에 대한 정보가 담긴 broadcast 메시지와 데이터를 보내기 위해 경쟁하는 구간은 경쟁(contention) 구간, 데이터를 보내고 센싱 정보와 남은 에너지 정보를 조정자에게 보고

하는 구간인 타임 슬롯(time-slot) 구간으로 구성되어 있다. 프레임의 전체적인 구조는 다음과 같다.

먼저 Frame Beacon(FB)은 매 프레임 시작 시 조정자에 의해 보내지는 broadcast 메시지이다. 그림 3과 같이 FB 메시지는 고정된 정보를 제공하는 구간과 flag 설정 여부에 따라 정보를 제공하는 구간 등 크게 두 부분으로 나누어진다. 먼저 매 프레임마다 보내어지고 고정된 크기를 갖는 고정 길이 필드는 세 개의 서브필드로 구성되어 있다. 첫 번째 필드(SYNCH)는 프레임의 시간 동기화 정보가 담겨져 있으며 그 다음에는 현재 채널에서 인가 사용자가 등장하였을 시 옮길 후보 채널의 리스트가 담겨져 있다. 다음 필드는 Flag Set 필드로 각 bit는 FB의 남은 필드의 존재 여부를 나타낸다. I bit는 현재 프레임의 인밴드 센싱의 유무를 알려준다. 만약 bit 값이 1이면 뒤에 있는 Inband Sensing Schedule 필드에 정보가 포함된다. E bit는 현재 프레임에 Energy Report Period가 포함 되는지의 여부를 알려주고, 포함이 될 경우 이 값은 1이 된다.

Bandwidth Request Period(BRP)는 기존의 잘 알려진 IEEE 802.11 WLAN의 backoff 메커니즘을 바탕으로 한 CSMA/CA 방식의 구간으로 각 노드가 데이터 전송을 위한 자원을 조정자에 요청하기 위해 사용된다. BRP에서는 그림 4와 같이 데이터를 보낼 노드들이 경쟁적으로 Bandwidth Request Message(BRM)을 조정자에게 보내게 된다. BRM 메시지에는 데이터를 보내려는 노드의 ID와 받는 노드의 ID가 포함된다. Schedule Beacon(SB)은 FB와 마찬가지로 조정자에 의해 보내지는 broadcast 메시지이다. Schedule Beacon에는 그림 3과 같이 실제로 데이터를 보낼 노드들의 스케줄과 아웃밴드 센싱을 수행할 노드들의 리스트와 아웃밴드 센싱 스케줄이 포함된다. 조정자는 MN들의 남은 에너지를 고려하여 아웃밴드 센싱 스케줄을 선정한다. 데이터를 보내지 않는 노드 중에서 남은 에너지가 충분한 노드들만이 아웃밴드 센싱을 수행하게 된다. 그리고 데이터 전송 노드 리스트와 아웃밴드 센싱 노드 리스트에 포함되지 않는 노드들은 효율적인 에너지 사용을 위하여 [3]에서와 같은 sleep모드에 들어가게 되고, 다음 Frame Beacon 메시지 구간에 active 된다.

Data Transmission and Outband Sensing Period(DOP)은 노드들이 실제로 데이터를 주고받는 구간이다. 데이터 통신을 하는 노드들은 조정자가 보낸 SB 메시지에 포함된 정보를 바탕으로 데이터를 주고받게 된다. BRP에서 BRM을 보내지 않았거나 그림 4의 노드 F와 같이 BRM을 보냈지만 충돌이나 한정된 타임 슬롯(time-slot)으로 인해서 데이터 통신을 못하게 된 노드들은 조정자로부터 SB 메시지에 의해서 아웃밴드 센싱을 수행할 수 있다. SB에 포함되지 않은 노드들은 DOP 구간동안 sleep 모드로 들어가게 된다. DOP 구간은 인밴드 센싱으로 나누어져 있으며 인밴드 센싱과 아웃밴드 센싱의 스케줄링에 관해서는 3장에서 설명한다.

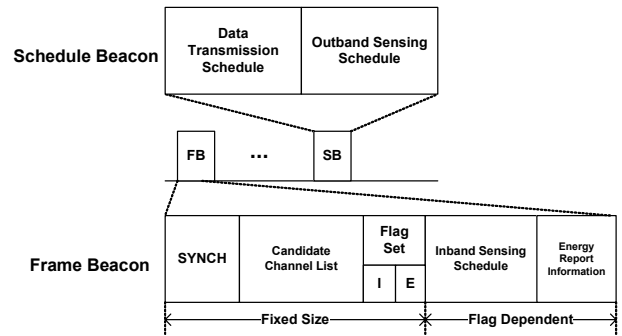


그림 3. Beacon 메시지 구조

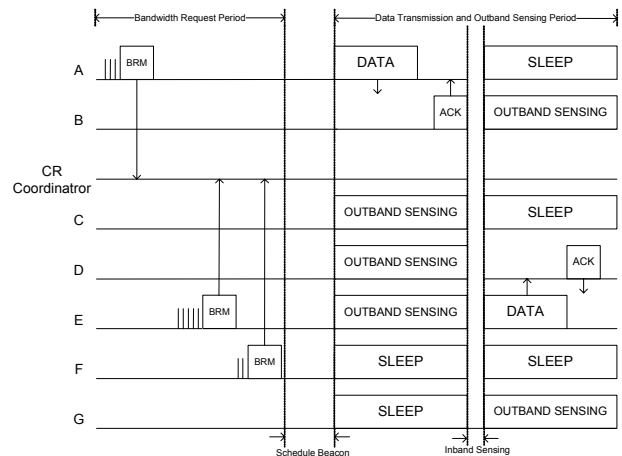


그림 4. BRP 와 DOP 의 구조

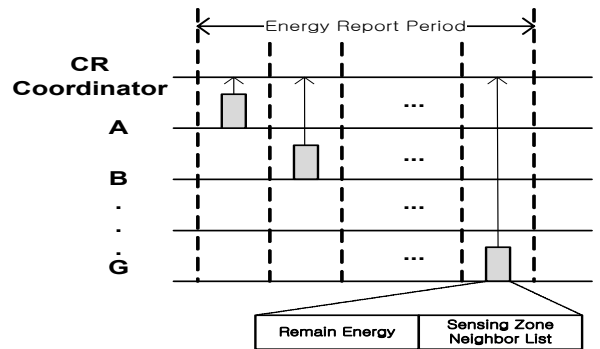


그림 5. 노드들의 남은 에너지 보고 과정

Outband Sensing Report Period(ORP)는 앞의 DOP에서 아웃밴드 센싱을 수행했던 노드들이 자신이 센싱 한 결과를 보고하는 구간이다. ORP는 조정자가 아웃밴드 센싱을 요구한 채널수로 나누어져 있다. 각 노드는 아웃밴드 센싱 중에 인가 사용자나 다른 비인가 사용자가 사용 중인 것을 인지한다면 자신이 센싱 했던 채널에 해당하는 ORP 구간의 타임 슬롯에 조정자에게 짧은 pulse를 보낸다. 센싱 결과 보고에 관한 내용은 3장에 자세히 설명한다.

마지막 Energy Report Period(ERP)는 노드들이 조정자에게 자신의 남은 에너지와 센싱 zone 이웃들의 리스트를 보고

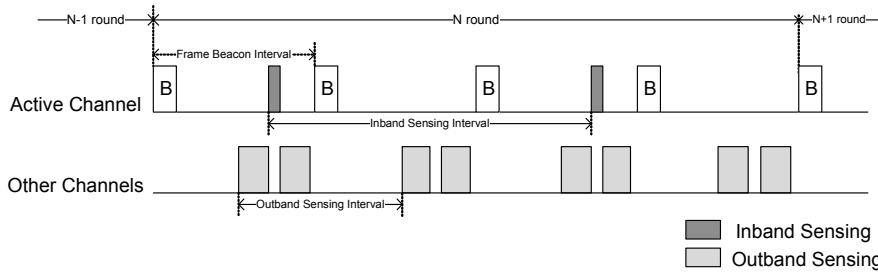


그림 6. 전체적인 채널 센싱 구조

하는 구간으로 앞서 설명하였듯이 FB에 포함된 정보에 따라 존재 여부가 결정된다. 그림 5와 같이 타임 슬롯으로 나누어져 있으며, 각 노드는 자신에게 할당된 slot에 남아있는 에너지 정보와 센싱 zone 이웃의 리스트를 보내게 된다.

III. 에너지 효율적인 채널 센싱 스케줄링 방법

1. 제안된 에너지 효율적인 센싱 방법

채널 센싱은 그림 6과 같이 현재 사용 중인 채널에서 인가 사용자의 사용을 보장하기 위한 인밴드 센싱과, 인밴드 센싱 중 인가 사용자를 검출하였을 시에 스위칭 할 채널을 확보하기 위한 아웃밴드 센싱으로 나누어져 있다. 인밴드 센싱은 주기적으로 현재 사용하는 채널을 센싱하며 Inband Sensing Interval은 현재 네트워크에 존재하는 인가 사용자의 종류에 따라 바뀔 수 있다. 아웃밴드 센싱은 매 프레임마다 정해진 시간에 수행하게 된다. 하지만 인가 사용자의 보호를 위하여 모든 멤버 노드가 센싱을 수행 할 경우 센싱의 정확도는 높아지지만 각 노드의 에너지면에서 매우 비효율적이다. 특히 CR 환경에서의 센싱은 선택이 아닌 필수이기 때문에 더욱 그러하다고 할 수 있다. 따라서 특정 노드만 센싱을 수행하여 그 결과를 바탕으로 인가 사용자의 유무를 판단하는 협력적인 센싱이 현재 연구 중에 있다. 가장 간단히 생각해 볼 수 있는 방법은 임의로 선택한 노드만이 센싱을 하는 것이다. 하지만 이 방법은 남은 에너지가 충분하지 않은 노드들이 선택될 수 있기 때문에 앞서 말한 에너지면에서 좋지 않다. 그 다음 방법은 남은 에너지가 많은 노드 순서대로 센싱을 수행하는 방법이다. 이 방법은 높은 에너지의 노드만이 센싱을 수행함으로써 낮은 에너지를 가진 노드들이 불필요한 센싱을 하는 것을 막아준다. 하지만 센싱을 하는 노드들의 클러스터의 특정 위치에 집중되어 있을 경우 전체 클러스터의 영역 중 특정 지역에서만 검출되는 인가 사용자의 존재를 모를 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 남은 에너지와 센싱을 수행하는 각 노드의 센싱 zone 이웃을 고려한 협력적인 센싱 방법을 제안한다.

그림 7을 예로 들면 네트워크에는 노드 A에서 H까지의

노드들이 있고 편의상 각 노드의 남은 에너지는 A부터 H까지 순차적($E_A > E_B > E_C \dots > E_H$)이라고 가정하고, 노드들의 센싱 zone 이웃들도 그림과 같다. 그림 8은 그림 7의 예에서 실제로 센싱 노드를 선택하는 과정을 순차적으로 보여준다. 각 멤버 노드는 자신의 센싱 zone 이웃들의 정보를 알고 있고, 조정자는 각 멤버 노드의 남은 에너지 정보와 센싱 zone 이웃의 리스트를 항상 가지고 있다. 먼저 조정자는 가장 에너지가 많이 남은 노드 A를 선택하여 센싱을 수행하게 한다. 그리고 노드 A의 센싱으로 충분히 인가 사용자를 검출할 수 있는 센싱 범위 안에 있는 A의 센싱 zone 이웃들(노드 B, 노드 H)을 센싱 리스트에서 제외한다(그림 8-(b)). 그 다음으로 많은 에너지를 가진 노드 C를 센싱 노드로 선택한다. 마찬가지로 센싱 리스트에서 노드 C의 센싱

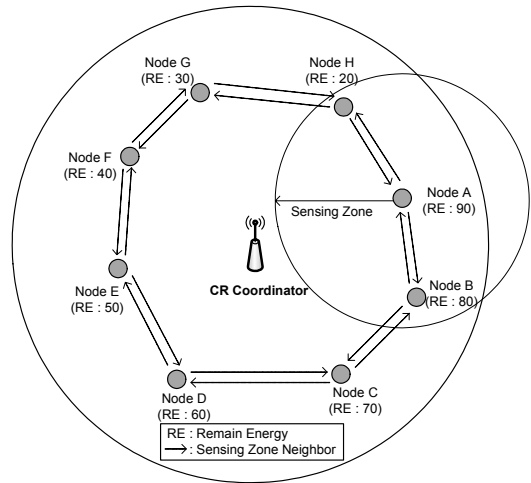


그림 7. 각 노드의 센싱 zone 이웃

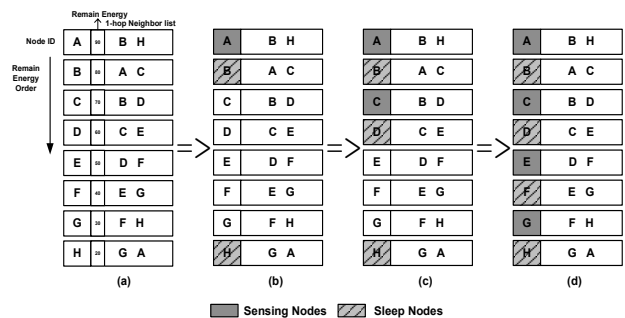


그림 8. 센싱 노드 선택 과정

zone 이웃들을 제외하고 그 다음 노드인 E 를 센싱 노드로 선택한다(그림 8-(c)). 결과적으로 그림 8-(d)와 같이 노드 A, C, E, G 만이 센싱을 수행하게 된다.

2. 아웃밴드 센싱

그림 9와 같이 데이터 전송을 하지 않은 노드 중에서 조정자에 의해 선택된 노드는 DOP 구간동안 아웃밴드 센싱을 수행하게 된다. 그림 9는 앞의 그림 7에서 선택된 노드들이 지정된 아웃밴드 채널 센싱 과정을 타임 슬롯에 따라 보여준다. 노드 A, C, E, G 는 첫 번째 타임 슬롯에 1번 채널을 센싱하게 된다. 두 번째 타임 슬롯에서는 노드 A가 데이터 통신을 하기 때문에 센싱에서 제외되며 노드 B부터 센싱을 수행할 노드를 선택하게 되며 결과적으로 B, D, F, H가 센싱을 하게 된다. 인가 사용자를 검출 한 노드는 Sensing Report Period 구간 중 자신이 센싱한 채널의 slot에 짧은 펄스를 보낸다. 센싱 결과를 보고하는데 펄스를 사용하는 이유는 크게 두 가지로 나뉜다. 첫 번째 이유는 만약 같은 채널을 센싱한 노드가 동시에 조정자에게 펄스를 보내어 충돌이 발생하여도 문제가 없기 때문이다. 예를 들어 그림 9와 같이 2번 채널을 노드 B, D, H가 동시에 센싱을 수행하여 인가 사용자의 존재를 인지할 경우 같은 타임 슬롯에 펄스를 보내어 충돌이 발생하게 된다. 하지만 충돌이 나더라도 조정자는 펄스의 존재를 인지 할 수 있다. 두 번째 이유는 기존의 패킷을 보내어 보고를 하는 경우보다 짧은 펄스를 이용하여 보고를 할 경우 시간을 절약할 수 있기 때문이다. 패킷을 보내어 보고를 할 경우 센싱한 노드의 수 만큼 타임 슬롯이 필요하게 되며 그만큼 시간을 낭비하게 된다. 조정자는 특정 채널의 타임 슬롯에 펄스를 받았거나 펄스의 충돌을 인지했을 경우 그 채널을 현재 후보 채널(candidate channel)에서 제외한다.

3. 인밴드 센싱

각 인밴드 센싱의 구조는 그림 10과 같다. 인밴드 센싱 시작 시간과 다음 인밴드 센싱 시작 시간의 차이를 Inband Sensing Interval(ISI)로 정의한다. 인밴드 센싱은 그림과 같

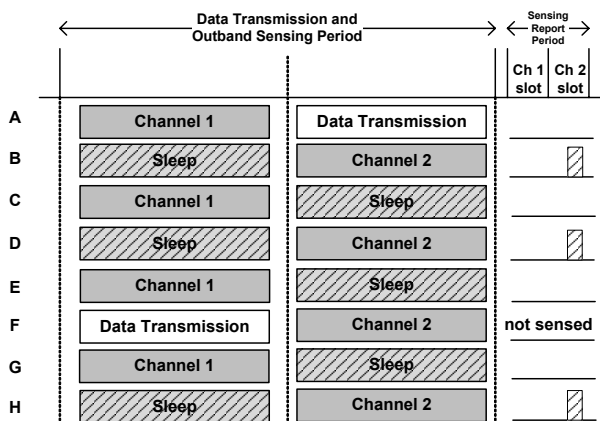


그림 9. 아웃밴드 센싱

이 세 구간으로 나뉜다. 인밴드 센싱은 SB를 통해 인밴드 센싱을 수행하게 된 노드들이 실제로 짧은 센싱을 수행하게 되는 구간이며 에너지 검출과 같은 기준에 잘 알려진 센싱 기술을 사용한다. 보고 구간(Reporting Slot)은 인밴드 센싱을 수행한 노드들이 센싱 결과를 조정자에 보고하는 구간이며 아웃밴드 센싱 결과 보고와 마찬가지로 짧은 펄스를 사용한다. 재전송 구간(Broadcast Slot)은 조정자가 보고 받은 결과를 펄스로 보내는 구간이다. 만약 그림 11과 같이 인가 사용자의 신호가 나타났을 경우 노드 A와 B가 인가 사용자의 출현을 감지할 수 있기 때문에 보고 구간에 펄스를 보내게 된다. 하지만 노드의 전송 범위 밖에 있는 노드 C는 펄스를 받을 수 없기 때문에 조정자는 재전송 구간에 다시 펄스를 재전송 하게 된다. 이 펄스를 받은 노드들은 기존에 FB에 의해 정해진 후보 채널로 옮긴 후 나머지 프레임의 계속 이어 나가게 된다.

프레임 구조에서 가장 긴 시간을 차지하는 구간이 DOP고 DOP는 ISI의 시간에 따라 정해진다. 예를 들어 그림 4에서는 DOP가 크게 2개의 타임 슬롯으로 나뉘어져 있고, 그 사이에는 ISP가 있는 것을 볼 수 있다. 이는 만약 데이터 통신을 하고 있는 도중에 인밴드 센싱을 하거나 sleep을 하게 되면 QoS가 저하되기 때문이다. 따라서 ISP는 프레임 내에서 데이터 통신 타임 슬롯 사이에 수행되어야 하는 것이 바람직하며 이는 조정자에 의해 결정된다. ISI 는 보통 현재 네트워크

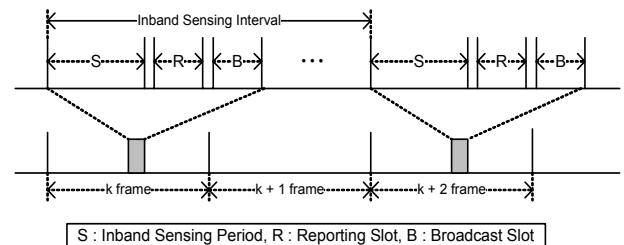


그림 10. 인밴드 센싱 구조

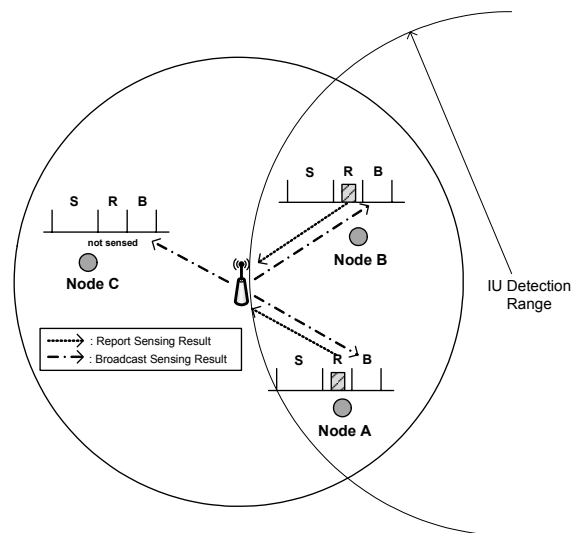


그림 11. 인가 사용자 검출 시 보고 과정

크의 인가 사용자의 종류에 따라 결정된다. 예를 들어 [2]에서는 인가 사용자가 허용하는 최대 interference 시간을 2초로 두고 있고 이는 비인가 사용자가 인가 사용자의 등장을 인지했을 시 늦어도 2초 안에는 채널을 스위칭 해야 한다는 의미이다. 조정자는 이러한 인가 사용자의 특성을 고려하여 인밴드 센싱을 스케줄링하며 이러한 interference 시간에 관한 자세한 사항은 본 논문에서는 다루지 않는다.

IV. 성능평가

1. 모의실험 환경

모의실험에서 변수와 각각의 범위는 표 1과 같다. 노드의 전송 범위는 R_{SUI} 와 같다고 가정하고 100m에서 500m로 설정하였다. 네트워크의 멤버 노드의 수는 10~40개로 정의하였다. 그리고 센싱은 앞서 설명하였듯이 인밴드 센싱과 아웃밴드 센싱으로 나누어지며 인밴드 센싱은 IEEE 802.22[2]에서의 fast 센싱과 같이 간단한 에너지 검출을 기반으로 하며 아웃밴드 센싱은 fine 센싱과 같이 보다 자세한 센싱으로 정의하였다. 각 센싱에 소모되는 에너지는 [4]에서와 같이 low-power SDR[10]을 고려하여 IMEC(Interuniversity Microelectronics Centre)-SDR의 에너지 테이블을 참조하였다.

표 1. 모의실험 환경변수

Parameter	Value
노드 전송 범위(R_{SUI})	100~500 (m)
센싱 zone 범위(R_{ZN})	50~250 (m)
노드 수	10~40 (개)
멤버 노드의 남은 에너지	40~80 (W)
프레임 시간	100 ms
Inband sensing energy (fast sensing)	131 mW
Outband sensing energy (fine sensing)	490 mW

2. 제안된 센싱 방법의 성능 평가

그림 12는 노드의 전송 범위를 300m로, 센싱 zone 범위는 150m로 고정하였을 때 멤버 노드 수에 따른 센싱을 수행하는 노드의 수를 전체 멤버 노드에 대한 비율로 보여준다. 멤버 노드 수가 늘어날수록 센싱을 수행하는 노드의 비율이 줄어드는 것을 볼 수 있는데 이는 노드 수가 늘어날수록 각 노드의 센싱 zone 이웃의 수가 증가한다는 것을 의미하며 불필요한 센싱을 줄일 수 있다는 것을 의미한다. Inband 센싱의 경우 모든 노드가 센싱을 수행할 노드를 선택하는 방법에 참여하므로 데이터 통신을 하는 노드를 제외한 Outband 센싱 노드 수보다 많음을 알 수 있다. 하지만 노드의 수가 충분해

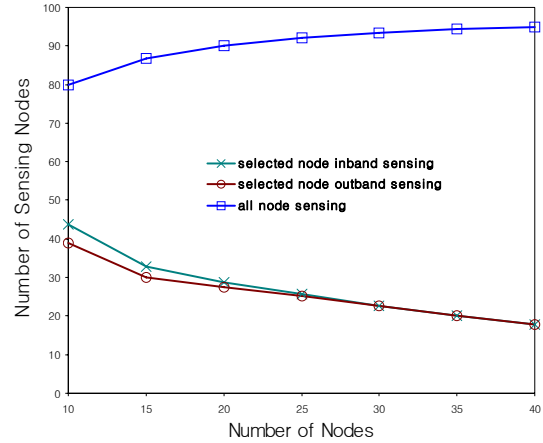


그림 12. 노드 수에 따른 센싱을 수행하는 노드의 비율

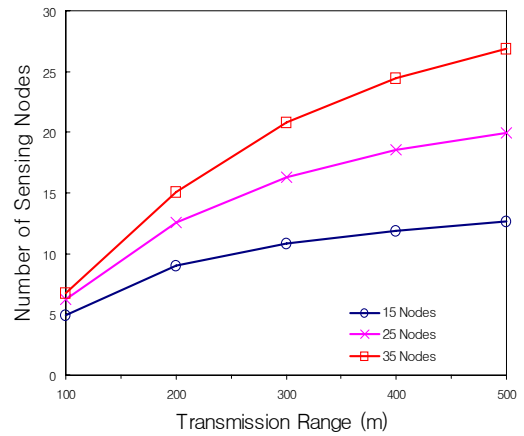


그림 13. 전송 범위에 따른 센싱을 수행하는 노드 수

지면 Outband 센싱과 비슷한 노드의 수가 센싱을 수행한다. 노드의 수가 40 일 때는 전체적으로 20% 노드만이 Inband나 Outband 센싱에 참여함을 알 수 있다.

그림 13은 센싱 zone 범위가 50m로 고정되어있을 경우 노드의 전송 범위에 따른 센싱을 수행하는 노드 수를 보여준다. 전송 범위가 넓어지는 것은 네트워크 전체 범위가 넓어지는 것을 의미한다. 따라서 한정된 노드가 센싱 zone 범위를 가지고 있을 경우 전송 범위가 늘어남에 따라 각 노드의 센싱 zone 이웃들이 줄어드는 것을 의미한다. 그림 13에서와 같이 노드 수가 15개일 경우와 25개일 경우에는 센싱을 수행하는 노드의 수가 다소 차이가 나는 것을 볼 수 있지만 25개와 35개의 경우에는 차이가 적음을 알 수 있다. 이는 네트워크 내에 충분한 수의 노드가 있다면 전송 범위에 대한 영향도 적게 받는 것을 의미한다.

그림 14는 전송 범위를 300m로 고정하였을 경우 센싱 zone 범위에 따른 센싱을 수행하는 노드의 수를 보여준다. 전송 범위에 따라 네트워크의 크기는 정해져 있기 때문에 센싱 zone 범위가 넓어짐에 따라 센싱을 수행하는 노드의 수는 줄어드는 것을 알 수 있다. 노드 수가 35개일 경우 충분한 노

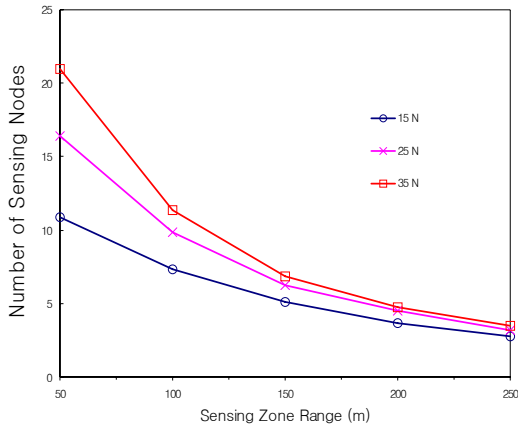


그림 14. 센싱 zone 범위에 따른 센싱을 수행하는 노드 수

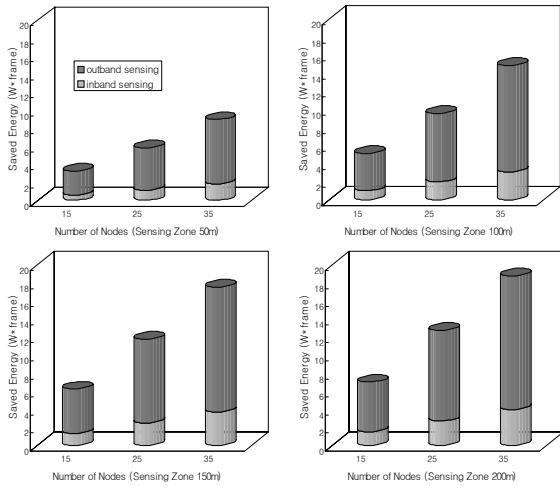


그림 15. 노드 수와 센싱 zone에 따른 클러스터 내에서 절약된 에너지

드의 수로 인해 한 노드가 센싱을 커버할 수 있는 범위가 늘어남에 따라 15개와 25개일 경우와 비교하여 센싱을 수행하는 노드의 수가 보다 급격히 감소함을 알 수 있다.

그림 15는 노드의 전송 범위를 300m로 고정하고 센싱 zone 범위에 따라 제안된 방법을 사용함으로써 한 프레임 동안 네트워크 내에서 센싱에 소모되는 에너지의 절약된 양을 노드 수에 따라 보여준다. 각각의 값은 한 프레임 동안 센싱 zone 이웃의 센싱으로 인해 센싱을 수행하지 않은 노드들의 센싱에 쓰이는 에너지의 합을 나타낸다. 노드 수가 많아질수록 절약되는 에너지가 커지는 것을 볼 수 있는데 앞서 말한 이유와 같이 범위 내에 노드 수가 많을수록 그만큼 불필요한 센싱을 수행하는 노드 수가 적어지기 때문이다. 또한 센싱 zone 범위가 늘어남에 따라 센싱을 수행하는 노드의 수가 적어지고 이는 더 많은 에너지를 절약할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 그래프에서 아웃밴드 센싱이 인밴드 센싱보다 절약되는 에너지양이 훨씬 큰 것을 볼 수 있는데 이는 아웃밴드 센싱이 상대적으로 긴 시간과 많은 에너지를 필요로 하

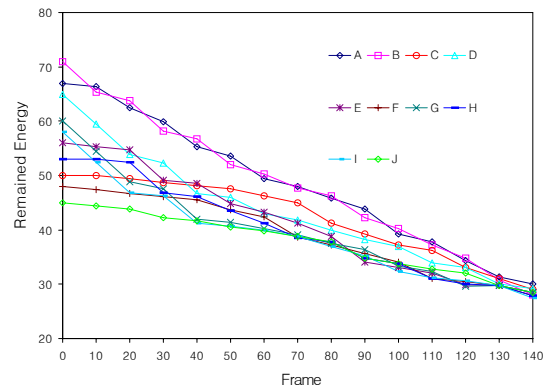


그림 16. 프레임 경과에 따른 각 노드의 남은 에너지

는 센싱이기 때문이다.

그림 16은 10개의 노드의 센싱을 수행함으로써 남은 에너지를 프레임이 경과함에 따라 보여준다. 각 노드는 40~80(W)의 남은 에너지를 가지고 프레임을 시작하고 앞의 그림 7과 마찬가지로 방법으로 각 노드는 두 개의 이웃 노드를 가지고 있다. 그리고 아웃밴드 센싱과 인밴드 센싱은 매 프레임마다 포함되는 것으로 가정하였다. 전체적으로 많은 에너지를 가지고 있는 노드들이 센싱을 자주 수행하게 됨으로써 에너지소모가 많다는 것을 볼 수 있다. 노드 A와 B는 첫 프레임 시작 시에 남은 에너지가 다소 차이가 났으나 프레임이 경과함에 따라 남은 에너지가 비슷해지는 것을 볼 수 있다. 노드 J는 이웃 노드인 노드 A와 I가 남은 에너지가 자신보다 많기 때문에 센싱으로 인한 에너지 소모가 적은 것을 알 수 있다. 하지만 노드 I와 같이 프레임 시작 시 남은 에너지가 클러스터 내에서 중간 정도 이지만 이웃 노드들의 남은 에너지가 다소 적기 때문에 상대적으로 많은 센싱을 하여 에너지 소모가 많은 노드도 존재하게 된다. 또한 프레임 시작 시에는 클러스터 내 남은 에너지의 최대값과 최소값이 약 25(W)정도이었지만 140 프레임이 경과한 시점에서는 그 값이 거의 같아지는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 인지 무선 네트워크에서 인가 사용자의 보호를 위하여 모든 노드가 채널 센싱을 수행하는 방법과 달리 각 노드의 남은 에너지를 고려하여 보다 협력적인 채널 센싱을 가능하게 하는 방법을 제안 하였다. 센싱 zone의 개념에 따라 에너지가 충분히 남은 노드들이 각각의 이웃을 대신하여 센싱을 수행함으로써 상대적으로 적은 에너지를 가진 노드들이 센싱에 소모하는 에너지를 줄일 수 있으며 네트워크에 있는 노드들의 에너지가 균일해져 네트워크의 수명에도 긍정적인 효과를 보여줄 수 있다. 또한 모든 채널 센싱 결과의 보고는 펄스를 사용함으로써 결과 보고에 발생할 수 있는

충돌을 효과적으로 방지하고 센싱 보고에 걸리는 시간도 줄일 수 있다. 모의실험을 통한 성능 평가에서는 실제 채널 센싱을 수행하는 노드의 수가 줄어드는 것을 확인할 수 있었으므로 인하여 채널 센싱에 필요한 에너지를 효율적으로 절약할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

[1] J. Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," in *Proc. IEEE MoMuC*, pp. 3-10, 1999.

[2] IEEE P802.22TD/D0.2 "Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22:", 2007.

[3] IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specs., TG 802.11, 2003.

[4] Michael Timmers, "A Distributed Multichannel MAC Protocol for Multihop Cognitive Radio Networks" in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. 446-459, 2010.

[5] E. Jung and N. Vaidya, "An energy efficient MAC protocol for wireless LANs," in *Proc. IEEE Infocom*, pp. 1756 - 1764, 2002.

[6] M. Miller and N. Vaidya, "Improving power save protocols using carrier sensing for dynamic advertisement window," in *Proc.MASS*, pp. 1 - 13, 2005.

[7] Qi Zhang, Frank H.P. Fitzek, Villy B. Iversen, "Cognitive Radio MAC Protocol for WLAN", in *IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 08)*, pp. 1-6, 2008.

[8] Dongyue Xue, Ekici, E., Vuran, M.C. "Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks Using Multidimensional Correlations", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 13, No.4, pp. 1832 - 1843, 2014.

[9] Ramachandran, V., Cheeran, A., "Evaluation of energy efficiency of spectrum sensing algorithm for Cognitive Radio networks", *International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, pp. 1-6, 2014.

[10] A. Dejonghe, B. Bougard, S. Pollin, L. Van der Perre, and F. Catthoor, "Green reconfigurable radio systems: Creating and managing flexibility to overcome battery and spectrum scarcity," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 24, no.3, pp. 90-101, 2007.

저자

최 우 정(Woojung Choi)



- 2009년 2월 인하대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2011년 2월 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 (공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 Ericsson-LG

<관심분야> : 무선MAC 프로토콜, Cognitive Radio Network

유 상 조(Sang-Jo Yoo)



- 1988년 2월 : 한양대학교 전자통신학과(공학사)
- 1990년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
- 2000년 8월 : 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)

· 1990년 3월 ~ 2001년 2월 : KT 연구 개발본부

· 2001년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> : 무선 네트워킹 프로토콜, Cross-layer 프로토콜 설계, Cognitive Radio Network, 무선센서네트워크, 미래인터넷

서 명 환(Myunghwan Seo)



- 2002년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 학사
- 2004년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 석사
- 2009년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 박사

· 2009년 1월 ~ 현재 : 삼성탈레스 전문연구원

<관심분야> : Mobile Ad-hoc Network, Wireless Mesh Network, Network Synchronization, Military Wireless Communications

조 형 원(Hyung-Weon Cho)



- 1992년 2월 : 광운대학교 전자공 재료학과 학사
- 1994년 2월 : 광운대학교 전자공 재료학과 석사
- 2012년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 박사

· 1997년 7월 ~ 현재 : 삼성탈레스 수석연구원

<관심분야> : Military Wireless Communications, 통신 시스템, 네트워크 설계 및 최적화