

논문 2007-5-5

무선인지 시스템의 매체 접근 제어 계층 기술동향

A Survey on MAC layer Techniques in Cognitive Radio System

박래혁*, 조성래*, 임승옥**, 권대길**, 조진웅**, 요밍리***

Lai-Hyuk Park*, Sung-Rae Cho*, Seung-Ok Lim**, Tai-Gil Kwon**, Jin-Woong Cho**,
Youming Li***

요 약

현재 무선 자원에 대한 정책은 사용자들에게 일부 주파수 영역을 사용할 수 있는 권리인 라이선스를 발급하여, 다른 사용자들의 간섭으로부터 보호 받을 수 있다. 하지만 무선 전파 자원은 대부분 이미 라이선스 발급이 끝난 상태이므로, 새로운 사용자들은 라이선스를 필요로 하지 않는 일부 대역을 사용할 수 밖에 없다. 새로운 무선통신 기술의 발전과 보급으로 인하여 ISM 밴드 같은 라이선스를 필요로 하지 않는 대역에서는 주파수 부족현상이 일어나고 있으나, CATV 같은 새로운 기술의 발전으로 UHF 밴드 등 라이선스를 가진 주파수 대역은 사용이 없는 유휴 공간이 많이 생기게 되었다. 이러한 비효율적인 주파수 활용을 극복하기 위하여, 무선인지 시스템이라는 새로운 개념의 기술이 제안되었다. 최근 무선인지를 위하여 다양한 매체 접근 제어 (MAC Medium Access Control) 방식들이 제안되고 있다. 무선인지를 위한 MAC 계층은 기존의 MAC과는 달리 주파수 대역을 자유롭게 이동하거나 센싱할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 지금까지 제안된 무선인지 MAC 계층에서 수행되어야 하는 역할 및 기술에 대하여 조사하고 논하고자 한다.

Abstract

Heavy utilization of a certain portion of spectrum results from significant competence of the free spectrum such as ISM (industrial, scientific, and medical) bands. On the other hand, some bands of spectrum are highly under-utilized because of rare usage of the band. This necessitates a new communication paradigm referred to as Cognitive Radio to exploit the existing wireless spectrum opportunistically. In this paper, we survey medium access control (MAC) layer technologies and discuss necessary core functions and challenges for the cognitive radio MAC.

Key Words : Cognitive Radio, MAC layer, Dynamic Spectrum Access, Spectrum Sharing

1. 서 론

현재 미국을 비롯한 전 세계 국가의 전파관리 정책은 일정기간 사용자들에게 주파수에 대한 사용 권리인 라이선스를 지급함으로써, 외부의 다른 사용자들의 간섭으로부터 보호받을 수 있다. 대부분 주파수 대역에는 라이선스가 발급되어 있는

*준회원, 중앙대학교
**정회원, 전자부품연구원
***정회원, 미국 조지아서던대학교
접수일자 2007.9.5, 수정완료 2007.10.25

상태이기 때문에, 새로운 기술을 이용하는 사용자가 무선 환경을 이용하기 위해서는 라이선스가 필요 없는 대역에서의 경쟁이 필요하게 된다. 근래에 새로운 기술의 사용이 급증함에 따라, 주파수에 대한 수요가 급증하여, 라이선스가 필요 없는 대역에 대한 주파수 자원 경쟁이 심화되었다.

미국의 Federal Communications Commission (FCC) 에서 주파수의 실제 사용률에 대한 조사를 해본 결과, 일시적으로나 지역적으로 변화하는 평균 주파수의 사용률은 약 15%에서 85% 정도의 사용률을 보이고 있었다^[3,10]. 그래서 최근에는 간섭 없이 기존의 주파수 대역을 공유해서 사용자는 기술인 무선인지 시스템이라는 기술이 논의되고 있다^[9]. 무선인지 시스템이라는 용어는 J. Mitola 가 처음으로 사용하였으며^[12], 하드웨어를 제어 할 수 있는 소프트웨어를 장착하여 하드웨어가 자동으로 무선 상황을 인지하여, 라이선스 보유자가 사용하지 않는 주파수 대역을 탐지하고, 라이선스 보유자에게 간섭을 미치지 않고 주파수 대역을 사용하여 무선 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 하는 기술을 말한다. 여기서 주파수에 대한 권리인 라이선스를 보유하고 있는 사용자를 1차 사용자 (PU: Primary User 혹은 IU: Incumbent User), 라이선스가 없이 주파수를 사용하고자 하는 사용자를 2차 사용자 (SU: Secondary User) 라고 한다.

전 세계적으로 주파수 대역 사용과 무선 이동통신 시장에 커다란 혁명이 될 이러한 무선인지 시스템 기술에 많은 관심과 연구가 진행 중에 있다^[6,10]. 미국의 FCC 에서는 2003년 12월에 주파수 사용 효율을 올리고자 Notice of Proposed Rule Marketing (NPRM) 을 통하여 비어 있는 주파수에 대한 중복 사용 가능성에 대한 내용을 발표하였다^[10]. 미국의 Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) 에서는 주파수간의 경쟁을 유도하는 Spectral-Agility 라는 기술을 통하여 neXt Generation (XG) 프로젝트를

진행하고 있다. IEEE에서는 무선인지 시스템 기술을 이용한 802.22 Work Group (WG) 을 만들어서, 2007년 11월 표준화를 목표로 연구하고 있다^[5]. 미국 육군에서는 Adaptive Spectrum Exploitation 이라는 기술을 연구하고 있다^[6].

이러한 기술들은 연구하는 기관과 이름은 다르지만, 기본적인 개념은 다음과 같다.

- 무선기기가 외부와 통신이 필요할 경우, 주파수 대역에서 기회를 탐색한다.
- 사용하지 않고 비어 있는 주파수 대역이 있을 경우 주파수 대역을 사용하되, 본래의 라이선스를 가지고 있는 1차 사용자에게는 간섭을 주어서는 안 된다.

위와 같은 연구들은 최근 새로운 무선기술의 도래와 함께 주파수의 효율적인 활용에 많은 발전을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 전 세계적인 주파수 규제 완화정책에 맞추어 앞으로는 자동으로 사용할 수 있는 주파수 대역을 감지하고 사용하는 전파기술이 무선통신 환경에서는 필수적인 요소가 될 것이며, 여러 가지 새로운 무선인지 시스템 기술이 제안될 수 있을 것이다.

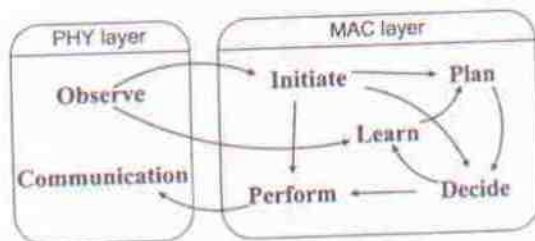


그림 1. 무선인지 시스템 동작 순서
Fig. 1. Cognitive Radio Cycle

기존의 MAC은 고정된 주파수 대역에서만 통신이 가능하다. 그러나 무선인지 시스템 MAC (CR-MAC) 은 주파수 대역을 수시로 이동하면서 통신이 가능하므로, 사용하던 주파수 대역의 통신 상황이 나빠졌을 경우, 통신 상황이 좋은 주파수

대역으로 이관하여 통신했으므로, 통신의 QoS를 보장할 수 있다. 본 논문에서는 무선인지 시스템에서 MAC 계층의 역할과, 802.22를 비롯한 저급까지 제안된 무선인지 시스템의 MAC계층에 관하여 논하고자 한다.

II. 무선인지 시스템

본 절에서는 무선인지 시스템의 개념, 동작 원리, 그리고 MAC 계층에서 하는 기능에 대하여 논하고자 한다.

1. 무선인지 시스템

무선인지 시스템이란 무선 환경에서 동작하는 하드웨어에, 무선인지를 가능하도록 하는 소프트웨어를 장착시켜 현재 무선 자원 상황을 파악하고, 사용이 가능하도록 하는 기술이다. 비어 있는 주파수 대역을 사용하다가 1차 사용자의 출현을 발견하거나 사용하고 있는 주파수의 통신환경이 나빠졌을 경우, 즉시 해당 주파수의 사용을 멈추고 사용 가능한 다른 주파수 대역을 탐색하여, 최적의 주파수 대역으로 이동하여 통신을 한다.

그림 1은 무선인지 시스템의 동작을 그림으로 나타낸 것이다^[11]. 무선인지 시스템은 Physical (PHY) 계층에서 하는 작업과 MAC 계층에서 하는 기능으로 나눌 수 있다. PHY 계층에서는 주기적으로 스펙트럼의 상황을 관찰 한다 (Observe 상태). 그리고 다른 무선기기들과 정보 및 데이터를 주고받는다 (Communication 상태). MAC 계층에서는 PHY의 Observe상태로부터 주파수 대역에 대한 정보를 받음으로써, MAC 계층의 동작을 실행한다 (Initiate 상태). Initiate 상태에서는 발생하는 이벤트의 우선순위에 따라 동작을 하게 되는데 다음과 같은 세 가지의 시나리오가 가능하다.

- 일반적인 경우, Observe 상태에서부터 받은 주파수 정보와 사용가능한 주파수 채널의 Candidate Set을 저장한 Learn 상태로 부터의 정보를 가지고 자원의 분배 계획을 수립한다 (Plan 상태). Plan 상태에서 수립된 분배 계획을 통하여 자신의 디바이스가 사용할 주파수 자원을 할당 한다 (Decide 상태). 그리고 그 할당된 자원을 사용하여 통신을 할 것을 PHY 계층의 Communication 상태에게 명령한다 (Perform 상태).
- 만약 Initiate 상태에서 1차 사용자의 출현이 발견되었을 경우, MAC 계층에서는 자신에게 할당된 자원을 해지하고 (Decide 상태), 통신의 중단을 명령한다 (Perform 상태).
- 만약 디바이스를 종료해야 하는 명령을 받았을 경우(예를 들어, 전원 공급이 끊어졌을 경우), MAC 계층에서는 정보를 저장하고 통신이 중단 되는 것을 외부에 알린다 (Perform 상태).

무선인지 시스템의 디바이스는 항상 현재의 무선자원에 대한 정보를 가지고 있어야 하는데, 이 정보는 Observe 상태에서부터 갱신되고, Decide 상태에서 자신이 사용하고자 하는 대역이 변경 될 경우 갱신 될 수 있다. 그리고 이 정보는 Plan 상태에서 사용 한다.

2. 무선인지 (CR) MAC 의 기능

CR-MAC 에서는 효율적인 사용을 위하여 사용자들에게 최적의 주파수 자원을 분배할 수 있는 동적 주파수 접근 기술 (DSA: Dynamic Spectrum Access)이 필요하다. DSA 기술을 위하여 MAC 계층에서 수행해야할 기능은 다음과 같다^[11].

- 주파수 관리: 사용자의 요구사항에 부합되는 최적의 가용 주파수 대역을 관리한다.
- 주파수 이관: 최적 주파수 대역으로 이동 시,

사용자의 서비스에 영향을 주지 않고 끊임 없이 (Seamless) 통신 상태를 유지하면서 이동한다.

- 주파수 공유: 다른 무선인지 시스템 사용자와의 상호 공존성을 위하여 균등한 주파수 분배를 해야 하며 다른 사용자들에게는 간섭을 미쳐서는 안 된다.

III. CR MAC 에서의 다양한 기술

본 절에서는 기존의 제안된 CR MAC을 앞에서 언급한 기능에 따라서 분류하고 다양한 기술에 대하여 논하고자 한다.

가. 주파수 관리 (Spectrum Management)

주파수 관리는 사용자가 요구하는 QoS를 제공하기 위하여 필수적인 요소이다. 시간에 따라서 주파수 자원의 상태가 변하기 때문에, CR MAC에서는 지속적으로 주파수 자원에 대한 관리를 통하여 사용자들이 요구하는 QoS를 보장할 수 있어야 한다. 각 주파수 대역의 상태를 비교하기 위하여 필요한 정보들은 다음과 같을 수 있다.

- 간섭: 주파수 영역마다 사용자가 집중되는 영역이 있다. 집중되는 영역 주변에 있는 주파수 대역은 주파수 간의 간섭이 클 수 있다. 간섭의 크기에 따라 무선 링크에 에러가 발생하여 데이터를 손실 할 수 있다. 이러한 간섭정보를 통하여 채널의 용량을 예측할 수 있다.
- 경로 손실: 전파의 특성상 높은 대역의 주파수 일수록 장애물을 통과하거나, 멀리 전송되는 것이 어렵다. 이에 따라, 높은 대역의 주파수는 경로 손실이 많아진다. 따라서 고주파로 전송할 경우에는 전송출력을 높여서 전송해야 하기 때문에 주파수 대역에 대한 정보가 필요하다.

- 점유 시간: 1차 사용자의 활동량에 따라, 주파수 대역의 상태를 평가 할 수 있다. 예를 들어, 1차 사용자가 빈번하게 사용하는 주파수 대역은 다른 주파수 상황이 좋더라도 피하는 것이 좋다. 따라서 점유시간에 대한 정보를 통하여, 1차 사용자가 빈번하게 사용하는 주파수 대역에서는 불가피하지 않을 경우에는 사용을 피하기 위함이다.

주파수 대역의 상태를 평가하기 위해서는 Signal to Noise Ratio (SNR)을 사용할 수 있다. 수신부의 SNR을 통하여 2차 사용자들에게 미치는 간섭을 측정할 수 있지만, 일반적으로 1차 사용자에게 미치는 간섭을 평가 하기는 어렵다. 그래서 2차 사용자의 MAC 계층에서는 1차 사용자에 대한 간섭을 평가하기 위한 기법으로 PHY 계층으로부터 센싱 (Sensing) 된 주파수 정보를 Map의 형태로 만들어서 주파수 대역의 특성을 관리하는 방법이 제안되었다^{[6],[8]}. 표 1은 주파수 대역을 관리하는 방법 중 센싱된 스펙트럼의 분석 테이블 (SOM: Spectral Opportunity Map)의 관리 방법을 나타낸 것이다^[6]. SOM을 통하여 사용자들은 채널 특성에 대한 정보를 수집할 수 있고, 1차 사용자와의 간섭을 피할 수 있다.

표 1. 센싱된 스펙트럼의 분석 테이블
Table 1. Spectral Opportunity Map (SOM)

Index	Idle	T_Duration	Avg_P_Upl	Avg_S_Upl	P_power
0	1	10	0.85	0.23	-20 db
1	0	24	0.17	0	-10 db
2	0	N/A	N/A	N/A	N/A
N	1	N/A	N/A	N/A	N/A

각 항목은 다음을 나타낸다.

- Index: 채널의 순서
- Idle: 현재 채널의 사용유무
- T_Duration: 스캔하는 빈도
- Avg_P_util: T_Duration 동안 1차 사용자가 발견된 빈도.
- Avg_S_util: T_Duration 동안 2차 사용자가 발견된 빈도.
- P_power: 1차 사용자가 전송할 때 평균출력

SOM내의 항목 중 avg_S_util의 값이 avg_P_util 값보다 작은 것을 선택하면, 최대한 1차 사용자와의 간섭을 줄일 수 있다.

나. 주파수 이관 (Spectrum Mobility)

통신 중에 통신상황이 악화 되거나, 1차 사용자의 사용으로 인하여 통신을 중단해야 하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 주파수 대역을 이동하여 통신을 재개 하는데, 이것을 주파수 이관이라고 한다. 주파수 이관을 시도할 때, 통신하는 두 디바이스간의 동기화를 맞추는 것이 중요하며, 주파수 이관 시에 발생하는 핸드오프를 주파수 핸드오프라고 한다. 핸드오프가 커질 경우, 데이터의 손실이나 1차 사용자에게 간섭을 미치는 영향이 커질 수 있기 때문에, 핸드오프를 줄이는 알고리즘과 프로토콜을 개발하는 것이 중요하다.

IEEE 802.22^[9]에서는 MAC Protocol Data Unit (MAC PDU) 안에 포함된 제어 메시지 속에 Downstream Channel Descriptor (DCD)라는 메시지를 포함 한다. 이 메시지 속에 Backup Channel에 대한 정보를 포함함으로써, 주파수 이관이 필요할 경우 Base station과 사용자들은 Backup 채널로의 전환을 시도하여, 주파수 핸드오프를 줄일 수 있다.

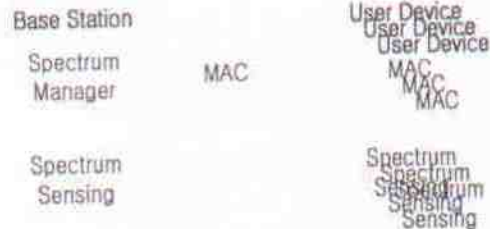


그림 2. IEEE 802.22 프로토콜 스택
Fig. 2. IEEE 802.22 protocol stack

다. 주파수 공유 (Spectrum Sharing)

(1) 망 제어 개체의 존재 유무에 의한 분류
무선인지 시스템 기술은 네트워크 내의 각 노드들에 대한 제어 권을 누가 갖느냐에 따라 중앙 집중 (Centralized) 방식 혹은 분산 (Decentralized) 으로 나뉘며 다음과 같은 기법들이 있다.

1) 중앙 집중 (Centralized) 방식

Centralized 방식이란 Base Station (BS) 이 2차 사용자들에게 주파수 자원을 분배 할당 하는 방식을 말한다.

IEEE 802.22^[9]에서는 여러 노드들이 다수의 대역을 수시로 전환하면서 사용하기 때문에 다중 주파수 환경을 효율적으로 제어가 가능하도록 그림 2와 같이 Base Station안에 Spectrum Manager를 두어 여러 사용자들의 MAC 을 제어, 관리하고 있다. Base Station (BS) 은 Spectrum Manager (SM) 를 통하여 주파수 대역을 관리하고 사용자들에게 주파수 자원을 분배한다. 사용자들은 센싱을 통하여 얻은 주파수 정보들을 BS로 보내고, Base Station 의 SM 은 사용자들로부터 수집한 주파수에 관한 정보를 관리하고 사용자들에게 할당한다.

2) 분산 (Decentralized) 방식

분산방식에서는 중앙 집중방식과는 달리 주파

수 할당을 해주는 역할을 하는 Base station 없이, 주파수 자원을 각 노드들이 분배 할당 하는 방식을 따른다.

분산방식에서는 2차 사용자들마다 IEEE 802.22^[6]의 Spectrum Manager (SM) 와 비슷한 기능을 하는 Resource Management Entity (RME) 와 PHY 계층의 센싱 정보를 관리 하는 Measurement Management Entity (MME) 를 가지고 있다^[6]. RME 는 네트워크 내의 주파수 사용 정보를 가지고 있으며, MME 로부터 전달 받은 주파수 정보를 합하여 정보를 주기적으로 갱신할 수 있다. 그리고 정보가 갱신되었을 경우 새로운 정보를 주변 노드에게 전달한다. RME 에서는 주기적으로 주변 사용자들과 네트워크 내의 주파수 정보를 주고받음으로서 각 노드들의 주파수 정보를 최신 상태로 유지할 수 있다. 이렇게 수집된 주파수 정보를 바탕으로 하여 RME는 자신이 쓸 수 있는 주파수 대역을 확보 한 후, 자신에게 최적의 주파수 대역을 할당하고, 할당된 정보를 다른 사용자들에게 전달함으로써 각 노드들 간의 주파수 분배를 가능하도록 한다.

표 2 중앙 집중방식 분산방식 방식 비교
Table 2 Comparison of Centralized and Decentralized Approaches

항목	중앙 집중방식	분산방식
기반시설	필요	불필요
오버헤드	낮음	높음
주파수 분배	최적	불균등

3) 중앙 집중방식 vs 분산방식

표 2에서 보듯이 중앙 집중방식은 초기에 Base Station을 설치하는 기반시설 (Infrastructure) 비용이 들지만, 사용자들끼리 수시로 주파수 정보를 교환하는 오버헤드가 적다. 분산방식은 전파 상태가 좋아 오랫동안 통신을 하는 경우에는 문제가 없지만, 전파 상황이 자주 바뀌게 되면, 주파수 대

역의 최적화가 어려워진다.

(2) 수락제어 (Admission Control) 지원

각 2차 사용자들은 서로 경쟁을 하는 관계에 있지만, 효율적인 스펙트럼 분배를 위하여 수락제어를 지원 할 수 있다. 중앙 집중방식에서는 Base Station 에서 수락제어 역할을 한다. Base Station 에서는 각 사용자들의 우선순위를 비교 할 수 있기 때문에 주파수 자원 분배를 좀 더 효율적으로 가능하도록 한다. 이러한 자원 관리 방식을 협력식 (Cooperative) 이라고 말한다. 하지만 분산방식에서는 모든 사용자들 간의 우선순위를 비교하여 자원을 분배하는 것이 힘들기 때문에, 모든 사용자들은 경쟁 상황에 놓여 있으며 사용자들은 먼저 자신에게 필요한 주파수 대역을 선점하기 위하여 노력한다. 이러한 자원 관리 방식을 비협력식 (Non-cooperative) 혹은 이기적 (Selfish) 인 방식이라고 한다.

(3) 공통제어채널 (Common Control Channel)

무선인지 시스템의 사용자들은 데이터를 전송 하고 수신하는 채널 (in band) 외에도 사용자들 간의 채널 할당이나 주파수 자원 정보 공유를 위한 채널 (out band) 을 필요로 한다^[13,14]. 이러한 채널을 Common Control Channel (CCC) 이라고 한다. 공통제어채널을 사용하는 방법에는 ISM 주파수 대역 같은 라이선스를 필요로 하지 않는 주파수 대역을 쓰거나, 따로 공통제어채널을 두지 않고 무선인지 시스템 통신을 하는 방법이 있다.

1) 공통제어 채널을 필요로 하지 않는 경우

제어 메시지 전송 시 공통제어채널을 두지 않고 하는 방법이 제안되었다^[5,15]. 그림 3은 IEEE 802.22 (WRAN)^[6] 의 슈퍼프레임 구조를 나타낸다. 슈퍼프레임 안에서 데이터프레임들을 전송하기 전에 Superframe Control Header (SCH) 를 전송하는 것을 볼 수 있다. WRAN 에서는 특별

한 공통제어채널 없이 현재 할당된 주파수 대역 내에서 제어 메시지를 전송할 수 있도록 함으로서 Base station과 노드간의 제어 전송을 가능하도록 한다. 또한 각 프레임의 MAC Protocol Data Unit (MAC PDU) 안에 제어 메시지를 포함하여 Base Station과 사용자들 간의 제어 메시지 전송이 가능하도록 하였다.

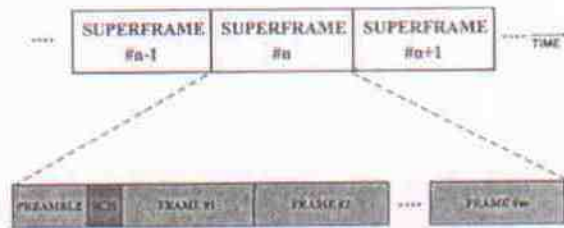


그림 3. IEEE 802.22 슈퍼프레임 구조
Fig. 3. IEEE 802.22 Superframe Structure.

2) 공통제어 채널을 필요로 하는 경우

대부분의 중앙 집중방식 또는 분산 방식의 무선인지 시스템에서는 전송 메시지 제어를 위하여 공통제어채널을 필요로 한다.

다른 무선시스템 간의 주파수 분배 할당을 위하여 주파수 공유 프로토콜을 정하고, Common Spectrum Coordination Channel (CSCC) 이라는 공통제어 채널을 통한, 주파수 공유 프로토콜이 제안되었다^[16].

(4) CR-MAC 의 비교 분석

표 3은 다양한 CR-MAC을 분석한 표이다. CR-MAC 의 역할은 주파수 정보 공유, 제어 개체, 수락 제어 및, 제어 채널로 나누어 질 수 있다. 지금까지 제안된 무선인지 시스템 기술을 보면 크게 두 가지 (중앙 집중방식, 분산방식) 으로 나누어 볼 수 있다. IEEE 802.22를 포함한 중앙 집중 방식은 MAC 계층상의 구현 및 기술 제안이 마무리 단계에 와있는 상태지만, 분산방식은 제어 채널을 사용하는 문제나, 주파수 할당 최적화 등 아직 논의가 끝나지 않은 부분이 많다. 하지만 많

은 기기들이 하나의 Base Station 안에 몰려 있을 경우 Base Station 에 대한 오버헤드 문제나 기지국이 불능이 될 경우 모든 노드가 사용이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문에 분산 방식에 대한 연구도 앞으로 더 활발히 이루어져야 한다. 또한 네트워크 안의 디바이스에 대한 자원에 대한 수락제어나 1차 사용자에게 대한 간섭을 피하는 방법에 대한 많은 과제를 남겨 두고 있다.

표 3. 다양한 CR-MAC 비교 분석
Table 3. Comparison of CR-MAC Schemes

	IEEE 802.22[5]	CSCC Etiquette [16]	DC-MAC [15]	Spectral-Agility [6]
주파수 정보 공유	이용	이용	비 이용	이용
제어 개체	비주기적	비주기적	주기적	비주기적
수락 제어	불가능	불가능	불가능	불가능
제어 채널	통합	Out Band	In Band	통합

IV. 결 론

주파수 대역의 비효율적인 이용을 해결하기 위한 방법으로 제안된 무선인지 시스템 기술은 현재 전파관리 단체의 규제 완화에 따라 무선 통신 기술의 최대 이슈로 떠오르고 있다. 중앙 집중 방식은 이미 표준화가 진행 중이고 마무리 단계지만, 분산 방식에서는 아직 많은 연구가 필요하다. 수락제어나 1차 사용자와의 간섭도 많은 과제를 남겨두고 있다.

참고문헌

[1] 곽광진, 황성현, 송명선, 김창주, 강범주 "IEEE 802.22 WG에서의 CR응용: WRAN MAC 설계", 한국전자과학회지 제 17권 2호, April 2006.

- [2] 김창주, "Cognitive Radio 기술동향," 전자통신동향분석 제 21권 4호, August 2006.
- [3] 유남철, "무선인지 (Cognitive Radio) 개념 및 기술동향," 전자부품연구원 전자정보센터 보고서, February 2006.
- [4] 이상현, 강희조, "Cognitive Radio를 위한 Spectrum 활용에 대한 연구", 한국정보기술학회 하계학술 대회 논문집, June 2006.
- [5] IEEE 802.22 Specification, "Wireless Regional Area Networks Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) specification," 2006.
- [6] C.-T. Chou, S. Shankar, H. Kim, and K. G. Shin, "What and How Much to Gain by Spectrum Agility?," *Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 25, no. 3, April 2007.
- [7] G. Marias, "Spectrum scheduling and brokering based on QoS demands of competing WISPs," in *Proc. IEEE DySPAN 2005*, pp. 684 - 687, November 2005.
- [8] H. Zheng, L. Cao, "Device-centric spectrum management," in *Proc. IEEE DySPAN 2005*, pp. 56 - 65, November 2005.
- [9] I. F. Akyildiz, Y. Altunbasak, F. Fekri, R. Sivakumar, "AdaptNet: Adaptive Protocol Suite for Next Generation Wireless Internet," *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 3, pp. 128-138, 2004.
- [10] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran, S. Mohanty, "NeXt Generation/Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey," *Computer Networks*, pp. 2197-2159, January 2006.
- [11] J. Mitola, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," in *Proc. of Mobile Multimedia Communications*, 1999.
- [12] J. Mitola, *Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio*, Ph.D Thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2000.
- [13] L. Ma, X. Han, C.C. Shen, "Dynamic open spectrum sharing MAC protocol for wireless ad hoc network," in *Proc. IEEE DySPAN 2005*, pp. 203 - 213, November 2005.
- [14] V. Brik, E. Rozner, S. Banarjee, P. Bahl, "DSAP: a protocol for coordinated spectrum access," in *Proc. IEEE DySPAN 2005*, pp. 611 - 614, November 2005.
- [15] Q. Zhao, L. Tong, A. Swami, "Decentralized cognitive MAC for dynamic spectrum access," in *Proc. IEEE DySPAN 2005*, pp. 224 - 232, November 2005.
- [16] X. Jing, D. Raychaudhuri, "Spectrum co-existence of IEEE 802.11b and 802.16a networks using CSCC etiquette protocol," in *Proc. IEEE DySPAN 2005*, pp. 243 - 250, November 2005.

※ 본 연구는 정보통신부 21세기 프론티어 연구 개발사업 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기술 개발사업의 지원 연구 결과입니다.

저 자 소 개



박래혁(준회원)
 • 2007년 현재 중앙대학교 컴퓨터 공학부 학사과정
 • 2007년 현재 전자부품연구원 위촉연구원

<주 관심분야> 유비쿼터스 컴퓨팅, Cognitive Radio, 센서 네트워크



조성래(정회원)
 • 1992년 고려대학교 전자전산 공학과 학사 졸업.
 • 1994년 고려대학교 전자공학과 석사 졸업.
 • 1994년 2월 ~ 1996년 8월 ETRI 연구원
 • 2002년 미국 조지아공대 전기 및 컴퓨터공학과 박사 졸업
 • 2003년 1월 ~ 7월 : 삼성종합기술원 전문연구원
 • 2003년 8월 ~ 2006년 7월 : 미국 조지아서던대학교 전산학과 조교수
 • 2006년 9월 ~ 현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 조교수.

<주 관심분야> 유비쿼터스 통신, 방송, 네트워크



임승목(정회원)
 • 1997년 건국대학교 전자공학과 (공학사)
 • 1999년 건국대학교 전자공학과(공학석사)
 • 2005년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학박사)
 • 1999.03 ~ 2000.12 : ㈜동원시스템 연구원
 • 2001.01 ~ 현재 : 전자부품연구원 책임연구원

<주 관심분야> 무선통신 MAC 및 Networking, Active RFID, USN



권대길(정회원)
 • 2001년 동의대학교 산업공학과(공학사)
 • 2003년 고려대학교 산업시스템정보공학과(공학석사)
 • 2003.09 ~ 현재 : 전자부품연구원 전임연구원

<주 관심분야> 무선 통신 프로토콜



조진웅(정회원)
 • 1986년 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)
 • 1988년 광운대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 • 2001년 광운대학교 전자통신공학과 (공학박사)
 • 1989.09 ~ 1993.06 : OPC중앙연구소 주임연구원

• 1999.01 ~ 1999.12 (日本)Electrotechnical Lab. STA fellow 초빙연구원
 • 1993.07 ~ 현재 : 전자부품연구원 통신네트워크 단장, 센터장
 • 2004 ~ 현재 : 산업표준심의회 JTC/SC6 표준전문가(산자부)
 • 2006 ~ 현재 : 신기술인증 및 IR52 장영실상 심의위원

<주 관심분야> Binary CDMA, 무선 PAN 통신 시스템, 통신 SoC



요밍 리(정회원)
 • 1991년 북경대학교 수학과 학사 졸업.
 • 1996년 북경대학교 수학과 석사 졸업.
 • 2002년 미국 켄터키대학교 박사 졸업.
 • 2002년 8월 ~ 현재 : 미국 조지아서던대학교 전산학과 조교수

<주 관심분야> 알고리즘, 유비쿼터스 컴퓨팅