

IEEE 802.22 WG에서의 CR 응용: WRAN MAC 설계

고광진 · 황성현 · 송명선
· 김창주 · 강법주
한국전자통신연구원

요 약

주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 CR(Cognitive Radio)기술의 응용으로 IEEE 802.22 WRAN(Wireless Regional Area Network) WG에서는 이와 관련하여 활발히 표준화가 진행되고 있다. 기본적으로 WRAN 시스템은 100 km의 광역 셀(wide area cell)을 기반으로 하며 ADSL급(1.5 Mbps Downstream, 384 kbps Upstream) 데이터 전송 속도를 목표로 하고 있으며, 54 MHz에서 746 MHz 대역을 CR 기술로 임의적으로 전송 대역을 선택해서 전송하는 시스템이다. 또한 MAC(Medium Access Control) 계층 관점에서는 기존의 IEEE 802.16 MAC 계층의 OFDMA기반 데이터 전송 방식과 QoS 보존 방식, 대역폭 요청 방식을 기반으로 표준화가 진행되고 있으며, 이에 추가하여 CR 고유 기능인 채널 탐색 기능, 기 사용자(incumbent user) 보호 기능, 자기 공존(self coexistence) 기능 등이 중요하게 논의되고 있으며, WRAN 고유 기능인 채널 결합(channel bonding) 및 채널 부분 사용(fractional bandwidth usage)에 대한 표준화가 진행되고 있다. 본 논문에서는 이와 관련하여 CR 기술의 적용 관점에서 중요시 고려되는 프레임 구조, IU 보호 기능, 상호 공존 기술들에 대해 중점적으로 논의할 것이며, 결론에서는 추후 표준화 방향에 대해 언급할 것이다.

Abstract

In order to increase the spectrum efficiency, recently,

there is the number of studies for CR technology. For instance, IEEE 802.22 WRAN(Wireless Regional Area Network) WG considered the CR technology as a solution of WRAN system to serve the high speed internet service(1.5 Mbps down stream and 384 kbps up stream) in 100 km overall coverage and 54 MHz~746 MHz band. Basically, in MAC point of view, the WRAN system have been standardizing based on the IEEE 802.16 MAC layer features such as Data transmission method, QoS provision and Bandwidth request schemes. Additionally, the WRAN system further include CR nature functions such as incumbent user protection, self coexistence which would be importantly considered. Also, the inherent WRAN functions are added such as channel bonding and fractional bandwidth usage. This paper mainly explained frame structure, IU protection, self coexistence which are key functions of WRAN system. Finally, in this paper, we expressed a prospect of IEEE 802.22 WRAN standardization.

I. 개 요

최근 급격한 무선 통신 시스템 시장의 증가로 인한 주파수 자원의 부족 문제가 심각하게 대두되고 있으며 이의 해결 방안으로 CR(Cognitive Radio) 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. CR 기술은 근본적으로 개방형 주파수 할당이라는 새로운 개념의 주파수 관리 정책에 기반하며 이는 국가 전파 정책인 주파수 지정 할당하는 고정형 주파수 할당에

서 진일보한 자원 공유 개념이다. 현재 세계 대부분의 국가에서는 고정형 주파수 할당에서 개방형 주파수 할당으로의 개념 전환을 통하여 주파수 부족 문제 해결을 고려하고 있으며 이러한 개념을 구체화 시키는 CR(Cognitive Radio), UWB와 같은 주파수 공유 기술을 개발하기 위해서 노력 중에 있다^[1].

CR 기술의 기본 개념은 기 사용자(incumbent user)의 허가 대역에서의 활동을 100 % 보장해 주면서 추가되는 새로운 사용자(CR user)가 소정의 통신 목적을 수행하기 위해 주기 또는 비주기적으로 해당 채널의 IU 및 예측되지 않는 간섭을 측정하여 능동적으로 통신 채널을 설정-이동-전송-해제를 반복하는 다소 복잡한 전송 채널 설정 과정과 이를 수행하기 위해 필요한 기술들의 유기적인 관계이다. 이를 위해 미국, 캐나다에서는 수 년 전부터 다양한 국가 프로젝트를 통해 전파 환경에 대한 측정 및 주파수 자원 환경 지도(Radio Environment Map: REM) 작성을 통한 기반 연구와 무선 인지 기술과 같은 주파수 공유 기술 개발을 적극적으로 지원을 하고 있으며, 공유 기술 활용을 위한 주파수 정책 변화를 계획하고 있다^[2].

실제 미국 FCC는 2003년 12월에 Cognitive Smart Radio에 대한 입법 예고와 함께 IEEE 802에서는 54-746 MHz VHF/UHF TV 대역에서 CR 기술을 기반으로 하여, 광대역 무선 인터넷 서비스를 제공하는 IEEE 802.22 WRAN 시스템 표준화 작업을 시작하였으며, 2005년 7월에 FRD(Functional Requirement Document) 작성을 완료하였다. 2005년 11월 IEEE 802.22 회의에서는 WRAN 시스템 구현을 위한 FRD를 바탕으로 WRAN 시스템을 위한 PHY 및 MAC 계층 규격에 대한 표준 후보안을 접수 결과 총 8개안이 접수되었으며, 2005년 3월 회의까지 단일안 작성을 위해 회의가 진행되었다. 단일안 작성을 위한 각 사의 동향은 2005년 11월 제안서 접수 결과 당시 PHY/MAC Full 제안서를 접수한 ETRI, Samsung, Philips측이

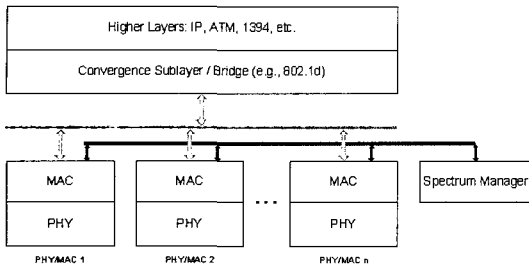
2006년 1월 단일화에 합의하여 2006년 1월 회의에 발표하였으며 이를 바탕으로 3월 회의에는 ST/Runcom을 중심으로 한 다른 통합안과 단일화에 합의하여 2006년 5월까지 단일안 작성을 종료하는 일정으로 표준화가 진행되고 있다. 본 논문에서는 단일안의 기본이 된 ETRI-Samsung-Philips측의 제안서를^[3] 중심으로 CR 기술의 WRAN 시스템의 적용 예를 논의할 것이다.

CR 기술의 WRAN 시스템의 적용을 위해서 MAC 계층에서 수행하여야 할 기본적인 기능은 다음과 같은 네 가지 상황을 고려하여야 하는데 첫째 WRAN 시스템이 앞서 언급한 TV 대역을 사용하기 때문에 이 대역을 사용하는 1차 사용자인 TV 신호와 2차 사용자인 Part 74(무선 마이크), Part 90(응급 신호 기기) 등의 IU에 대한 적절하고 효과적인 탐색(sensing) 기술의 수행 및 통제, 아울러 다중 주파수 환경에서의 채널 선택 및 운용 문제, 둘째 상기 대역에서의 효과적인 데이터 전송을 위한 채널 결합(channel bonding) 및 채널 부분 사용(fractional BW usage) 등을 지원하는 MAC 계층 기능 및 프레임 구조의 설계, 셋째 IU 보호를 위한 채널 관리 및 CR 유저의 회피 기능, 마지막으로 CR 유저들간의 효율적인 상호 회피 기능 및 공존을 위한 상호 공존(self coexistence) 기능 등이 단일 제안서의 핵심 내용이다.

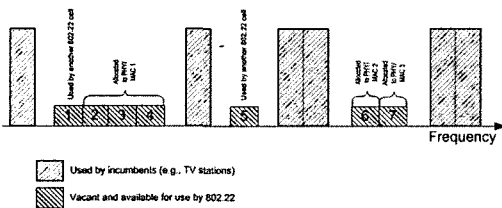
본 논문에서는 참고문헌 [3]에서 제안된 WRAN 데이터 전송, IU 보호, 자기 공존에 대해 MAC 기능을 이어지는 장에서 중점적으로 논의할 것이다.

II. 프로토콜 스택 구조 (Protocol Stack Architecture)

앞서 언급한 채널 결합 및 부분 사용 등 다중 주파수 환경에서의 효율적이며 효과적인 자원 관리를 위해서는 [그림 1]과 같은 다중 주파수 환경에서 동작하는 다중 MAC 계층 구조를 고려하여야 하며 다



[그림 1] WRAN 환경하에서의 protocol stack 구조



[그림 2] WRAN 시스템의 대역 사용 예

중 MAC을 제어하는 Spectrum Manager의 역할에 대해 중요하게 고려하여야 할 것이다. 이는 CR 시스템이 기본적으로 다수의 대역을 수시로 전환하면서 사용하기 때문에 다중 주파수 환경을 효율적으로 제어하는 기능이 필요하게 되기 때문에 고안되었다. [그림 2]는 WRAN 환경에서 주파수 대역을 IU(Incumbent User)와 다른 CR 사용자(다른 WRAN 시스템)와 해당 WRAN 사용자가 특정 대역을 혼용하여 사용하는 경우를 도시하였다. 주의할 점은 FRD^[5]에는 TV가 사용되는 대역의 ± 1 대역(6 MHz~8 MHz)에는 CR 사용자가 사용할 수 없게 명시되어 있다. [그림 2]에서 보는 바와 같이 연속되는 2개 이상의 대역에 대해서는 CR 사용자가 채널 결합(channel bonding)을 사용하는 것을 나타낸다. 여기서 주목할 점은 좌측 3개의 채널을 결합한 경우에 대해서는 세 개의 TV 대역에 대해서 한 개의 MAC이 제어하고 있으며, 우측 2개의 채널을 결합한 경우에는 2개의 TV 채널을 2개의 MAC이 각각 제어하는 형태를 나타내고 있다.

이러한 채널 결합의 경우에 한 개의 MAC이 제어할 것인지 각각의 채널에 대해 각각의 MAC이 제어할 것인지의 여부는 아직 미정이기 때문에 이렇게 표현되고 있다. 프로토콜 스택 구조와 관련하여 참고문헌 [3]에 제안된 내용 중 채널 Grouping과 채널 Matching이 제안되고 있는데 이는 FDD 시스템과 같이 DS(Down Stream)와 US(Upstream)가 다른 채널을 사용할 경우에 DS-MAP 또는 US-MAP에 DS와 US 채널 ID가 중복되게 반복되는 것을 방지하기 위해 채널 Matching을 통하여 이들 US와 DS의 짝을 미리 지어놓고 이를 대표하는 하나의 ID로 채널 구분을 하는 방식이다. 이를 통하여 프레임의 헤더 부분을 줄여서 상대적으로 데이터의 페이로드를 증가시키는 방식이다. 채널 Grouping은 채널 Matching을 통하여 형성된 US와 DS의 짝 중에서 같은 Matching 정보를 같은 CPE끼리 묶는 과정을 말한다. 이를 통해 셀 내의 대역 특성이 유사한 CPE(Customer Premise Equipment: WRAN 단말기)를 끼리 일괄적으로 관리함으로써 효과적으로 채널을 관리하는데 그 목적이 있다. 보다 자세한 내용은 참고문헌 [4]를 참조하기 바란다.

III. WRAN 데이터 전송(Data Transmission)

3-1 슈퍼프레임 구조(Superframe Structure)

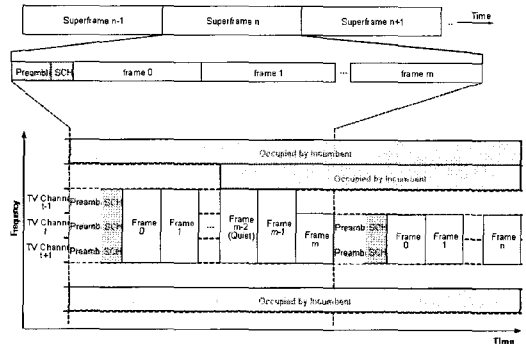
IEEE 802.22 WRAN 단일안 제안서는 IEEE 802.16 MAC을 기반으로 CR 기능 및 TV 대역에서의 최적화기능을 추가한 형태로 표준화가 진행되고 있다. 이는 OFDMA 기반 데이터 전송 기능과 대역폭 할당 방식, 프레임 구조 등이 802.16과 유사하지만 이에 더하여 채널 결합(Channel Bonding) 기능과 채널 부분 사용(Fractional BW Usage) 등을 위해 [그림 3]과 같이 프레임 구조가 변화되었다. [그림 3]에서 보는 바와 같이 WRAN 시스템의 프레임 구조는 슈퍼프레임 단위로 관리가 되는데 802.16에서 같은 개념인 프레임(5~10 ms)들이 n개(10개로 가정하고 있음) 모

여서 하나의 슈퍼프레임을 구성하며 슈퍼프레임 헤더(Superframe Control Header)에는 Bonding 정보, QP (Quiet Period) 정보, 프레임의 개수, 전력 정보, 위치 정보 등이 표시된다^[4]. 주목할 점은 슈퍼프레임 단위로 QP가 할당되며 관리된다는 것과 프리앰블과 SCH는 Bonding이 되었을 경우 Bonding된 채널의 개수만큼 반복된다는 것이다. 이는 기지국에서 3개의 채널을 Bonding하여 전송할 경우 CPE가 한 개 또는 그 이상의 어떠한 채널을 갖고 접속하더라도 SCH를 습득하였을 경우 동일한 정보를 갖게 하기 위해서 이러한 반복되는 구조를 갖는다. [그림 3]에서 사용되어지는 채널이 k 라 할 때 $k+1, k-1$ 의 채널은 FRD의 요구 사항에 따라 사용하지 않는 것을 표현하고 있다.

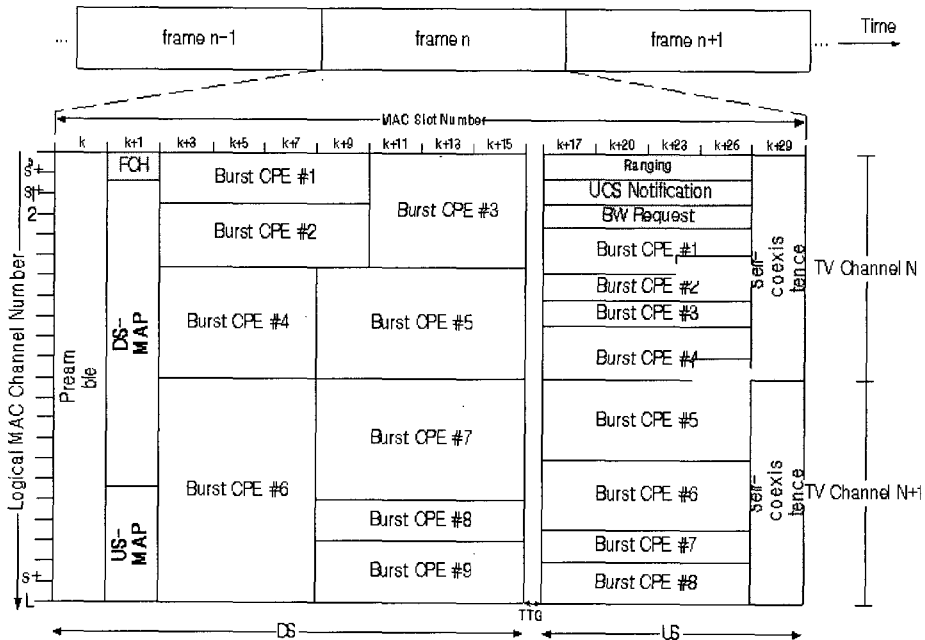
3-2 프레임 구조(Superframe Structure)

802.22 WRAN 시스템에서 제안된 프레임 구조는

[그림 4]와 같다. 기본적으로 802.16과 전반적으로 유사하나 가장 큰 차이는 US(Up Stream)상의 구조에 UCS(Urgent Coexistence Slot)과 Self Coexistence Slot의 존재이며, [그림 4]는 2개 채널이 결합(Bonding)된 경우를 도시하고 있다. UCS 슬롯은 채널 관리에 필요한 채널 탐색(sensing)과 관련된 것인데 참고문헌



[그림 3] 제안된 슈퍼프레임 구조



[그림 4] 제안된 프레임 구조

[3]에 제시된 채널 탐색 방식은 기본적으로 BS가 CPE에게 채널 탐색에 대한 주기와 보고(reporting)를 명시한 메시지를 내리고(4장 참조), 이 응답에 대한 US slot을 BS가 US-MAP 상에 미리 그 위치를 지정해주는 방식인데 이러한 주기적인 탐색을 제외한 시간에서 IU가 출현할 경우에는 BS가 미리 US-MAP 상에 보고 슬롯을 할당할 수 없는 상황이기 때문에 UCS 슬롯과 같은 경쟁 모드로 IU의 출현을 BS에게 보고할 수 있게 미리 지정해 놓은 슬롯이다. 경쟁 방식과 보고 절차는 802.16에서 CDMA 코드를 사용한 대역폭 요청 방식과 유사하다. 상호 공존(self coexistence) 슬롯은 802.22 WRAN 시스템에서 중요하게 고려되는 상호 공존 문제를 위해 설계되었으며 이 슬롯을 통하여 인접된 또는 중첩된 타 WRAN 기지국과 CBP (Coexistence Beacon Protocol)과 같은 제어 메시지를 교환하기 위해 설정되었다(5장 참조). 그 외의 부분은 802.16과 유사한 목적으로 설계되었다.

IV. 기 사용자 보호(IU Protection)

802.22 WRAN 시스템에서 가장 핵심적인 부분은 CR 기술을 802.16과 같은 기존의 전송 방식에 어떻게 적용할 것이냐는 관점이고, 이에 대해 제시된 기술들의 집합체가 바로 공존(coexistence) 문제이다. 기존의 802.16 또는 802.20 등의 시스템에서는 공존 문제를 표준화가 마무리되는 시점에서 토의하였으나 802.22에서는 표준화 초반부부터 하나의 논제로 설정하여 이 문제에 대한 명확한 접근 방식을 FRD에 요구하

였다^[5]. 이는 802.22 시스템이 CR 기술을 기반으로 하였기 때문에 발생하는 당연한 절차이다. 공존 문제는 기존의 같은 시스템끼리의 상호 공존(self coexistence) 문제뿐 아니라 CR 기술의 적용으로 발생하는 IU와의 공존 문제도 매우 중요하게 고려하여야 한다. 이러한 이유 때문에 다른 제안서에는 IU 보호(Protection), IU 회피(Avoidance)와 같이 IU를 우선 순위에 두는 취지의 단어를 사용하면서 IU 보호 측면을 강조하고 있다. 본 장에서는 IU 보호를 위한 802.22 제안서의 내용을 살펴보고 다음 장에서는 WRAN 시스템간의 상호 공존 문제를 살펴도록 한다.

4-1 채널 탐색 및 보고(Channel Sensing and Reporting)

공존 문제를 해결하기 위해서 가장 먼저 해야 할 일은 해당 대역에서의 IU 사용 여부 또는 다른 CR 사용자의 사용 여부를 탐색하는 과정이다. 802.22 MAC에서는 해당 대역을 탐색하기 위해 크게 두 가지 탐색 방식을 고려하는데 이는 In-band Sensing과 Out-band Sensing이다. In-band라 함은 해당 BS와 CPE가 데이터를 주고받는 현재 Connection이 연결된 채널을 말하며, Out-band라 함은 In-band를 제외한 나머지 대역을 말한다. 예를 들면, BS와 CPE1이 f1으로 상호 연결되어 있고 BS와 CPE2가 f2로 상호 연결되어 있으면 BS 입장에선 f1, f2 모두 In-band이고 CPE1 입장에서는 f1만 In-band이고 f2는 Out-band가 된다. 이러한 구분은 채널 탐색에 중요한 역할을 하게 되는데 특정 CPE 입장에서 자신이 사용하는 채널(즉 In-band)

<표 1> 채널 탐색 메시지들

| 메시지 | 이름 | 기능 |
|---------|----------------------------------|--------------------------------|
| BLM-REQ | Bulk Measurement Request | 탐색하여야 할 채널과 CPE를 표시하여 CPE에게 전달 |
| BLM-RSP | Bulk Measurement Response | BLM-REQ에 대한 ACK |
| BLM-REP | Bulk Measurement Report | 탐색결과 BS에게 보고 |
| BLM-ACK | Bulk Measurement Acknowledgement | BS가 BLM-REP에 대한 ACK |

을 탐색하기 위해서는 QP(Quiet Period)가 필요하게 된다. QP는 탐색을 위해 데이터 전송을 멈추는 구간으로 CR 시스템에서 매우 중요한 변수이다. In-band 탐색을 위해 QP가 필요한 이유는 자신이 전송 신호가 자신의 탐색 안테나로 수신되어 매우 강한 자기 간섭(self interference)가 발생으로 인한 탐색의 성능 저하를 피하기 위해 고려된 것이다. 따라서 In-band sensing과 Out-band sensing의 구분은 QP의 존재 여부로 구분지어질 수도 있다. 아울러 In-band와 Out-band는 좀더 세분화 할 수 있는데 이는 다음 절에서 고찰되는 채널 관리에서 논의하기로 한다.

채널 탐색을 위해 사용되는 메시지는 <표 1>과 같이 정의된다^{[3],[4]}. 아울러 이들 메시지 외에 BS와 CPE 사이에는 IU 출현과 같은 응급한 상황 시 앞서 언급한 UCS 슬롯을 사용하여 보고하거나, BS는 CPE에게 특정한 목적의 응답을 요구할 수 있는데, 이는 TV 또는 part-74 장비 인지의 여부 즉 해당 신호의 IU의 종류를 요구하거나, 다음 절에서 고찰될 CBP(Coexistence Beacon Protocol)보고 요청, 패킷의 오류율, 위치 정보 등을 구체적으로 요구할 수 있게 설계되어 있다. 이러한 탐색 결과는 BS의 효율적인 채널관리를 위해 사용될 것이다.

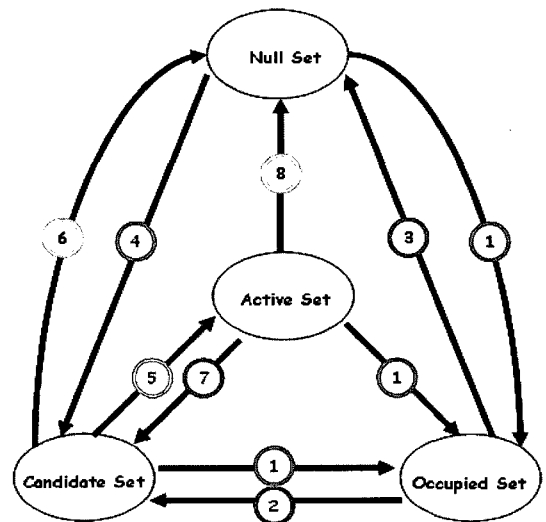
4-2 채널 관리(Channel Management)

채널 관리는 대역 전체의 효율적인 사용과 공존 및 대역 공유를 위한 중요한 개념이다. 본 절에서는 WRAN FRD^[5]에 언급된 채널 관리 방식을 구체화한 채널 관리 방식에 대해 설명한다. 채널 관리라 함은 각각의 채널을 법규나 타 사용자의 사용 여부, 채널의 간섭 특성 및 Spectrum Mask^[5] 등 채널 고유 특성에 따라 각각의 채널을 사용 가능한 대역을 정의하고 분류하여 효율적으로 관리하는 전반적인 과정을 말한다. WRAN을 위한 제안된 채널 관리 방식은 각각의 채널을 아래와 같이 6개의 부분 집합으로 분류한다^[3].

- Active set 1: 임의의 CPE가 사용하는 채널의 집합
- Active set 2: 임의의 BS가 사용하는 채널의 집합
- Candidate set: CPE 또는 BS가 즉시 사용 가능한 채널의 집합
- Occupied set: IU에 의해서 점유된 채널로 CPE 또는 BS가 사용 여부를 탐색한 채널의 집합
- Disallowed set: 법규 등에 의해 사용 불가능한 채널
- Null set: 위에서 언급한 5가지 채널에 속하지 않는 채널의 집합

3장에서 언급한 In-band는 active set을 의미하며 Out-band는 나머지 채널을 의미하기 때문에 이와 같은 분류는 보다 채널에 대한 보다 세밀한 분류이다. 이들 각 채널 집합 상호간의 관계는 [그림 5]와 같다.

①번은 active, null, candidate 채널 집합에서 IU가 채널을 점유하여 occupied 집합으로 천이되는 것을 나타낸다. ②번은 IU가 해당 채널의 사용을 마친 상태에서 해당 채널이 기존 candidate 집합의 채널의 SNR보다 높은 상태를 유지하여 기존에 있는 candi-



[그림 5] 채널 집합간의 관계

date 채널을 치환하면서 candidate 채널로 천이하는 것을 나타낸다. ③번 천이는 IU가 채널 사용을 마쳤으나, 해당 채널의 기존의 candidate 채널의 SNR보다 낮아서 null 집합으로 천이되는 것을 나타낸다. ④번 천이는 null 집합의 채널중 SNR 환경이 개선되어 기존의 candidate 채널의 SNR보다 좋아져서 candidate 채널의 집합이 변환된 경우를 나타낸다. ⑤번 천이는 candidate 채널이 CR 사용자에게 의해 선택되어 사용되어지는 상태를 나타낸다. ⑥번 천이는 candidate 집합 중 해당 채널의 SNR이 악화되어 null 집합의 한 개와 상호 교환되는 상태를 나타낸다. ⑦번 천이는 CR 사용자가 해당 채널을 사용 후 놓아준 경우 해당 채널이 기존의 candidate 채널보다 SNR 환경이 양호하여 Candidate 상태로 천이되는 경우이며, ⑧번 천이는 CR 사용자가 해당 채널을 다 사용한 후에 해당 채널의 SNR이 candidate 집합의 채널보다 열악한 경우에 null 집합으로 치환된 경우를 나타낸다.

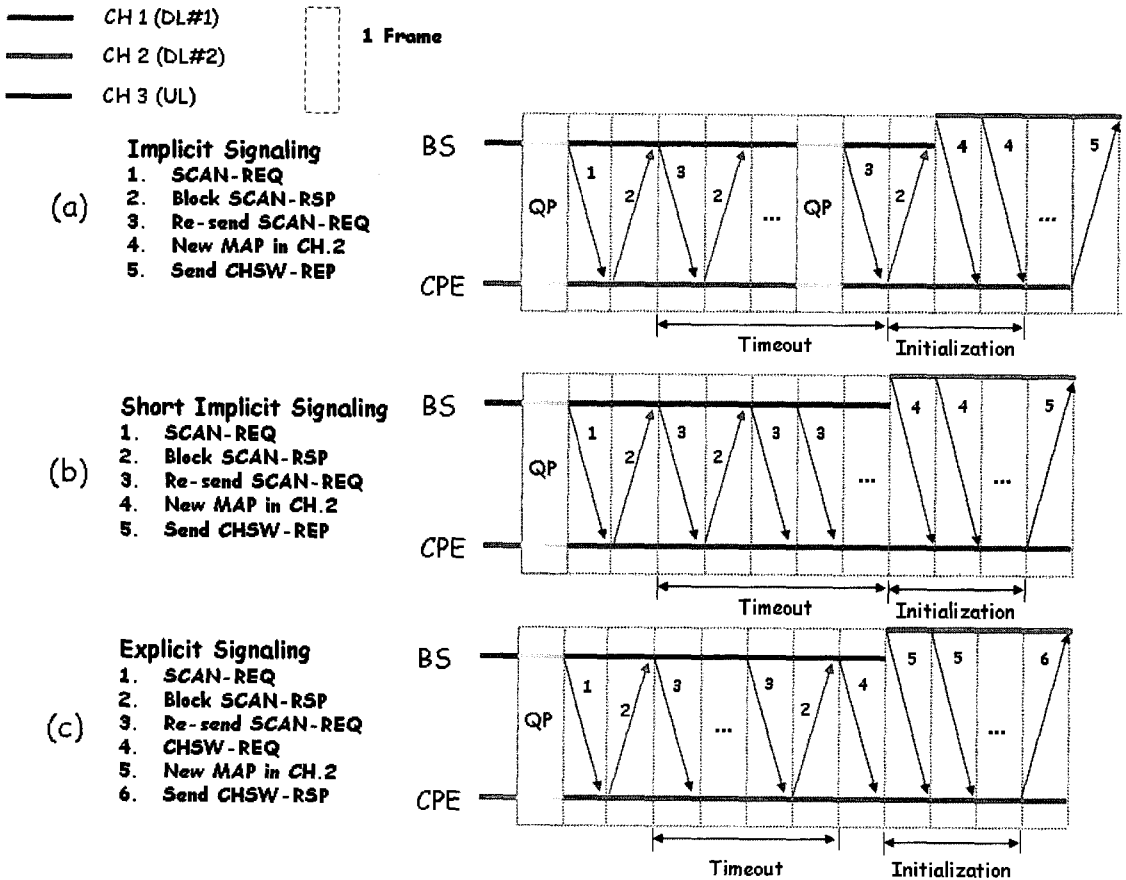
이러한 채널 집합의 관리는 MAC 계층에서 SCH를 통해 매 슈퍼프레임마다 갱신되는 중요 채널 그룹(candidate channel)과 DCD나 특별한 MAC 관리 메시지를 통하여 주기, 비주기 적으로 갱신되는 기타 그룹으로 나누어서 관리될 예정이다. 또한 이 채널에 대한 탐색 주기 또한 각 집합별로 별도의 다른 주기로 탐색될 예정이다.

4-3 IU 통보(Incumbent User Notification)

IU 통보는 CR 기술의 핵심 기술로써 IU 출현이 DS(Down Stream) 또는 US(Up Stream)에 나타났는지의 여부와 광역 간섭(TV 신호)인지 국지 간섭(Part 74 기기) 인지의 여부, BS가 인지 가능한지, CPE가 인지 가능한지의 여부 FDD 시스템인지, TDD 시스템인지 등의 상황에 따라 다양한 시나리오를 가지며 이에 따라서 최적의 IU 통보 방식이 설계되어야 한다. IU 통보 방식은 기본적으로 [그림 6]과 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있으며 추후 진행된 표준화에

서 두 가지 다른 방식(Out-band explicit: 삼성제안, Fractional BW explicit: ETRI 제안)이 제안되고 있으나 본 논문에서는 논의하지 않는다. 먼저 Implicit 통보 방식은 CPE나 BS 측에서 해당 프레임에 교환되어야 할 신호가 올바르게 수신되지 않으면 IU 출현을 “의심”하는 방식이다. 따라서 Implicit 방식은 타이머나 수신되어야 할 메시지의 개수 등을 사전에 정의해 놓고 이 기간(횟수)내에 올바르게 수신되지 않았을 경우에 IU가 출현했다고 판단을 내리는 방식이다. 이러한 Implicit 방식은 IU의 출현뿐만 아니라 해당 송·수신기가 Deep Fading과 같은 열악한 채널 환경에 기인한 올바르게 수신된 신호 전달 상황에서도 채널 전환(channel switching)을 발생시키기 때문에 CR 기술에서 중요하게 고려되는 DFS(Dynamic Frequency Selection) 방식 중 가장 생존력이 강한 방식이라 할 수 있다. 하지만 이러한 Implicit 방식은 다른 방식보다 상대적으로 긴 시간이 요구되어지고 때로는 다음 QP 이후에 까지 과정이 진행되기 때문에 상대적으로 짧은 시간을 갖는 Short Implicit 방식이 제안되었다. [그림 6]의 (a)를 보면 2번 US에서의 프레임이 IU에 의해 전송되지 못한 경우를 나타내며, 이로 인해 3번 DS에서 채널 이동을 의심하고 채널 탐색을 중용하는 메시지를 전송하는 상황을 나타내고 있다. 이러한 과정을 몇 번 반복해도 채널 상황이 개선되지 않으면 다른 채널로 전환하게 되는 것이 Implicit 방식이다. 반면에 Short Implicit는 IU가 US에 나타나는 경우와 같이 DS가 전송 가능한 경우에는(FDD 시스템일 경우) 전송 가능한 DS를 통하여 채널 탐색을 짧은 시간에 여러 차례 강요하여 이에 대한 응답이 없으면 바로 다른 채널로 천이하여 전체적으로 Implicit 방식보다 비교적 짧은 시간에 채널 전환을 종료하는 방식이다. 일반적으로 이러한 Short implicit는 한 슈퍼프레임 내에서(100 ms 이하) 채널 전환을 종료하는 것으로 고려하고 있다.

WRAN FRD^[5]에는 IU의 출현 시 2초 이내에 CR



[그림 6] IU 통보 방식들

사용자가 해당 채널을 비워주게 정의하고 있는데(response time), 이는 바꾸어 말하면 CR 사용자가 해당 채널에 IU가 출현해도 최대 2초까지 해당 채널을 사용해도 된다는 것을 의미한다. 이는 CR 기술에서 아주 중요한 개념이며 ST/Runcom 측에서는 이를 이용하여 매 2초마다 주파수를 변환하여 전송하는 DFH (Dynamic Frequency Hopping) 방식을 제안하고 있다^[8]. Explicit 방식은 근본적으로 IU가 출현해도 응답 시간(response time)동안 채널을 사용해도 된다는 개념에 기반을 두고 있다. [그림 6(c)]에서와 같이 해당 채널에 IU 출현 시 3번 프레임에서와 같이 채널 전

환 메시지(channel switching request)를 CPE 측에 보내서 전환될 채널의 ID를 전송하여 즉각적으로 채널 전환을 명령하는 방식이다. 이는 앞서 언급한 Implicit 방식보다 빠른 시간에 채널 전환을 할 수 있는 방식이나 BS 근처나 CPE 근처에 수신되는 CR 신호 레벨과 유사한 전력으로 IU 신호가 수신될 때에는 해당 메시지를 수신할 수 없는 상황이 발생하여 결과적으로 Explicit 방식이 성공하지 못할 수 있다. 따라서 IU 통보 방식은 Explicit 방식을 먼저 시도하고 실패할 경우에 Implicit 방식을 수행하는 방식으로 제안되고 있다.

4.4 IU 복구 프로토콜(Incumbent User Recovery Protocol: IDRP)

IDRP는 해당 채널에 IU 출현 시 다른 사용 가능한 채널로 전환하는 과정을 나타낸다. 이에 대한 자세한 과정은 참고문헌 [4]에 언급되어 있으며 요약하면 다음과 같다. 먼저 4.3절에서 고려된 IU 통보를 통하여 BS-CPE 상호간 IU 출현을 인식하면 4.2절에서 언급한 candidate 집합중 가장 채널 환경이 좋은 채널(candidate channel)로 BS, CPE가 채널을 전환한다. Candidate 채널에 대한 정보는 매 슈퍼프레임마다 주기적으로 갱신되며 응급 시에는 별도의 메시지로 슈퍼프레임 중간에도 갱신할 수 있기 때문에 CR 시스템은 언제든지 사용 가능한 candidate 채널을 확보할 수 있게 되기 때문에 이러한 IDRP가 가능하다. 시스템의 트래픽 부하가 많을 경우와 같이 사용 가능한 채널이 여유롭지 못할 경우에는 CAC(Call Admission Control)와 같은 보다 강력한 방법으로 채널을 관리하게 되며 구체적이고 효율적인 IDRP에 관해서는 현재까지 WG 내에서 논의 중에 있다.

V. 상호 공존(Self Coexistence)

서두에서 언급했듯이 상호 공존 문제는 CR 시스템에서 매우 중요한 역할을 담당한다. 이는 기존의 다른 시스템이 인접된 셀 간의 문제를 해결하기 위해서 상호 공존 문제를 접근하는 것에 추가적으로 CR 시스템은 인접된 셀 간에서도 상호간의 간섭 회피 및 IU에 대한 정보를 공유하여야 하고 대역의 정보를 서로 간에 교환하여야 효과적으로 시스템을 유지할 수 있기 때문이다. 상호 공존 문제에 대한 2005년 11월 회의에 제출된 제안서에는 크게 두 가지 접근방식을 보이는데 첫째는 기존의 유선망으로 기지국을 연결하는 방식이며, 둘째는 무선 링크로 기지국간을 연결하는 방식이다. 먼저 유선망을 사용하는 방법은 기지국과 기지국을 연결할 때 802.22 표준화

범위를 벗어나는 ATM, IP 등의 네트워크를 통하여 802.22 정보가 전달되기 때문에 WRAN의 제어 메시지가 다른 계층의 데이터로 간주되어 전송되어야 하는 문제점이 있다. 이는 상대적으로 긴 지연 시간을 유발할 수 있고 WRAN의 중요 메시지들을 다른 네트워크의 상태에 의존한다는 단점이 있다. 반면에 무선 링크로 상호 공존 문제를 해결하고자 하는 측면은 WRAN 시스템 자체에서 자기 치료 능력을 갖게 되며, 보다 짧은 시간에 중요 정보들을 서로 간에 교환할 수 있다는 장점이 있다. 무선 링크의 단점은 MAC 계층이 다소 복잡해질 것이며, 아울러 셀의 커버리지를 설계할 때 상호 공존을 위한 중첩된 영역을 적절히 설계하여야 한다.

현재 802.22 WRAN WG에서는 무선 링크를 기반으로 하는 상호 공존 문제를 심도있게 토의하고 있으며 이 토의의 가장 핵심적인 내용은 CBP(Coexistence Beacon Protocol)라 불리는 일종의 MAC 제어 메시지를 통하여 기지국과 CPE간의 정보 교환 및 이를 기반으로 하는 기지국의 지능적인 결정과 관할하는 모든 CPE 또는 인접 기지국으로의 전달(Broadcasting)이다. 예를 들면 셀 경계에서의 특정 CPE가 인접 셀의 다른 기지국으로부터 CBP를 수신하게 되면(이는 같은 대역을 사용하더라도 [그림 6]의 Self Coexistence 슬롯을 통하여 서로 다른 공존 IUC(Interval Usage Code)를 통하여 전송하기 때문에 CBP를 수신할 수 있다^[4]), 해당 CPE는 수신된 CBP 정보를 자신을 관할하는 기지국에 CBP의 내용을 보고하게 된다. CBP를 수신한 기지국은 CBP의 정보를 기반으로 대역 전환(channel switching), 송신 전력 제어(transmit power control)이나 자원 공유(resource renting^[4]) 또는 Clustering^[4] 등의 자원 최적화 과정에 참여하여 간섭을 줄이고 효율적으로 대역을 사용하게 된다. 아울러 해당 기지국은 자원 관리 결과를 관할하는 모든 CPE에게 전송하고 셀 경계의 CPE를 통하여 인접 셀로 전송되는 과정이 반복되게 된다.

CBP에는 관할 기지국의 번호, 자원 요구 사항, Active 채널 집합, Candidate 채널 집합 등 현재 셀에서의 채널 상태 및 자원 사용 정보를 포함하고 있다. 이러한 CBP를 통한 기지국간의 정보 교환으로 여러 가지 기지국간의 자원 할당 방식이 제안되었는데, 자원 공유(인접 셀 간의 채널을 빌려주고 돌려받는 방식), Clustering(물리적 또는 논리적으로 특성이 비슷한 CPE들 간의 그룹핑을 통하여 일괄적으로 관리하는 방식), 무선 예절(Spectrum Etiquette: 인접 셀 간의 active 채널을 할당할 때 간섭이 적은 방향으로 할당하는 방식) 등이 제안되었다^[4]. 아울러 이후 진행된 표준화에 이들에 대한 변형된 형태로 토큰을 사용한 자원 공유 방식 등이 제안되는 등 이 부분에 대한 활발한 논의가 진행되고 있다^{[6],[7]}.

VI. 결 론

본 논문에서는 CR 기술의 직접적으로 적용된 IEEE 802.22 WRAN 시스템에서의 MAC 계층에 대해 현재까지의 표준화 동향과 제안된 기술의 내용을 살펴보았다. WRAN 시스템의 MAC 계층은 IEEE 802.16 WMAN 시스템의 데이터 전송, 자원 요청, QoS 관리 등의 기본적인 데이터 전송 방식을 기반으로 이에 추가하여 CR기능의 핵심인 주파수 탐색 기능, IU 회피 기능, 상호 공존(self coexistence) 기능 등을 고찰하였고 이들 기능을 구현하기 위한 MAC 프로토콜 구조 및 프레임, 슈퍼 프레임 구조에 대해 살펴보았다. 본 논문에서 논의된 MAC 계층의 기능은 IEEE 802.22 WRAN 시스템의 기본 제안서로 2006년 3월 회의에서 몇 가지 기술들이 추가되었으며^{[6],[7]}, 이를 기반으로 2006년 5월 회의까지 단일화 표준안 버전 1.0을 목표로 다른 측^[8] 기술들과 현재 단일화 회의를 진행 중에 있다.

MAC 계층의 관점에서 CR 기술의 추후 관심 분야는 IU 회피 기술의 시나리오별 정리, 다중 셀 간의

자원 분배 및 관리, 다중 대역을 제어할 수 있는 MAC 계층 기능 등이 추후 중요하게 고려될 것이며, 아울러서 현재 WG내에서 활발하게 논의되고 있는 대역 탐색(sensing)과 관련된 MAC 계층의 설계가 핵심적인 사항으로 고려되고 있다. 아직까지는 주파수 탐색 기술이 명확하게 정의되고 있지 않는 상황이기 때문에 이를 제어하는 MAC 계층의 개념이 미숙한 단계이다. 하지만 현재까지 논의된 바로는 에너지 검출(energy detection)을 기반으로 하는 빠른 탐색과 특징 검출(feature detection) 탐색 방식을 기반으로 하는 IU 종류 추적과 같은 크게 두 가지 종류의 탐색 방식을 기반으로 IU를 검출을 접근하고 있다. 따라서 이들 신호의 유무와 신호의 종류 탐색이라는 두 가지 종류의 탐색 방식의 적절하고 효율적인 관리와 이들 정보를 기반으로 하는 탐색 방식 설계와 각 IU의 출현 패턴 또는 트래픽 특성을 고려한 QP의 할당 및 관리 등이 추후 진행될 표준화에서 중요하게 고려될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios", *Proc. IEEE Signals, Systems and Computers Conference*, vol. 1, Nov. 2004.
- [2] D. Cabric, "A cognitive PHY/MAC paradigm for spectrum sensing, allocation and control", Nov. 2004.
- [3] C. J. Kim et al., "A PHY/MAC proposal for IEEE 802.22 WRAN systems", *IEEE 802.22-06-0003-00-0000*, Jan. 2006.
- [4] C. J. Kim et al., "A PHY/MAC proposal for IEEE 802.22 WRAN systems", *IEEE 802.22-06-0005-01-0000*, Jan. 2006.
- [5] IEEE 802.22, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN standard", *IEEE802.22-05/007r46*,

Sep. 2005.

- [6] C. J. Kim et al., "A PHY/MAC proposal for IEEE 802.22 WRAN systems", *IEEE 802.22-06-0003-03-0000*, Mar. 2006.
- [7] C. J. Kim et al., "A PHY/MAC proposal for IEEE

802.22 WRAN systems", *IEEE 802.22-06-0005-05-0000*, Mar. 2006.

- [8] S. Y. Chang et al., "IEEE 802.22 WRAN merger framework", *IEEE 802.22-06-0030-03-0000*, Mar. 2006.

≡ 필자소개 ≡

고 광 진



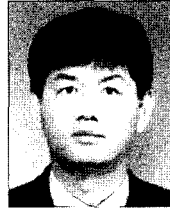
1995년: 동국대학교 전자공학과 (공학사)
1997년: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
2003년: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
2003년~2004년: 고려대학교 통신수학

연구센터 연구교수

2005년~현재: 한국전자통신연구원 광대역RF연구팀 선임연구원

[주 관심분야] 무선인지기술, 이동통신 MAC 기술설계 및 분석, 이동통신 시스템 성능분석

김 창 주



1980년: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
1988년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1993년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1979년 12월~1983년 3월: 국방과학연

구소 연구원

1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원 전파기술연구그룹장 [주 관심분야] 전자파통신, 신호처리, 무선인지기술, 이동통신시스템, 무선통신시스템

황 성 현



1996년: 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
1998년: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
2001년: 성균관대학교 전자공학과 (공학박사)
2001년~2005년: 삼성전자 SOC 연구소

책임연구원

2005년~현재: 한국전자통신연구원 광대역RF연구팀 선임연구원

[주 관심분야] 무선인지기술, 이동통신시스템, 디지털 모델설계, 동기 및 채널등화 알고리즘

강 법 주



1983년: 경희대학교 전자공학과 (공학사)
1985년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1988년 2월~2001년 2월: 한국전자통신

연구원 책임연구원

2001년 3월~현재: 동국대학교 정보통신공학과 조교수
2005년 2월~현재: 한국전자통신연구원 광대역RF연구팀 초빙연구원

[주 관심분야] 무선인지기술, 이동통신시스템, 무선통신시스템

송 명 선



1984년: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1986년: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
1986년 1월~현재: 한국전자통신연구원 광대역RF연구팀장 책임연구원

[주 관심분야] Cognitive Radio, 무선통신시스템, 밀리미터파 능동 및 수동 회로, LTCC 활용 기술