

Cognitive Radio 관련 최근 기술 동향

IEEE 802.22 WRAN 표준화 동향

엄중선 · 고광진 · 임선민 ·
김상원 · 송명선
한국전자통신연구원

I. 서 론

FCC는 스펙트럼 사용 효율을 높이고 새로운 서비스 도입을 용이하게 하기 위해 TV 대역을 대상으로 주파수를 공유하는 Cognitive Radio(이하 CR)를 적용하기로 하고 관련 규정 제정 작업을 진행하고 있다. 2006년 10월 FCC는 고정 서비스와 개인/휴대용 CR 기기의 사용을 허용하기로 방침을 정하고 관련 기기 사용 허용 일정을 제시하였다. 이러한 방침을 뒷받침하기 위해 2004년 11월 IEEE에서는 802.22 WG를 신설하고 CR 기술을 이용한 TV 대역 고정 무선 통신망인 Wireless Regional Area Network(이하 WRAN)에 대한 PHY/MAC 표준 제정을 시작하였다.

2005년 Functional Requirements Document(이하 FRD)를 완성하고^[1], 그 해 11월 제안서를 접수한 이래 2006년 초안 v0.1을 완성하고 현재 v0.2를 작성하고 있는 단계이다. 2006년 10월 회의에서 초안에 들어갈 기술들에 대한 선별 작업을 하였으며, 이를 기반으로 제안 기술에 대한 보완 및 표준안 초안 보완을 진행하고 있다.

본 논문에서는 WRAN 표준에 있어 핵심적인 기술 사항인 PHY, MAC, 센싱, Geolocation 관련 표준 개발 동향을 요약 기술하였다.

II. PHY

무선 통신 시스템의 물리계층에 대한 시스템 파

라미터는 제공될 서비스의 형태와 함께 신호가 전달되는 전송 채널의 환경을 충분히 고려하여 설계되어야 한다. IEEE802.22 WRAN 시스템은 33 km의 셀 범위 내에 고정되어 위치한 Customer Premise Equipment(이하 CPE)에게 다양한 형태의 음성 및 데이터 서비스를 안정적으로 제공하기 위하여 VoIP와 같이 시간에 민감한 서비스는 최대 전송 지연을 단방향에 대해 20 ms로 규정하고 있으며, 최대 데이터 전송률은 CPE당 최소 384 kbps(상향), 1.5 Mbps(하향)로 정의하고 있다^[1]. 이와 같은 시스템 요구 사항과 함께 주요 고려 사항인 WRAN 시스템의 채널 환경은 이동성이 없는 CPE에 의하여 시간적으로는 채널의 변화가 거의 없는 반면 넓은 셀 영역에 따른 큰 지연 경로에 의하여 주파수 영역에서는 주파수 선택적 페이딩이 큰 특징을 갖는다. 현재 IEEE 802.22 WG에서는 TV 대역의 기존 사용자를 보호하면서 WRAN의 시스템 요구 사항 및 채널 특성에 맞는 최적의 WRAN 파라미터를 고려하기 위하여 다양한 논의를 진행해 왔다. 지난 2007년 3월 표준화 회의까지 초기 수신기 동기 수행 및 채널 추정을 위한 프리앰블 및 상·하향 스트림의 파일럿 구조를 설계하였으며, 5월 회의 이전까지 채널 부호화 기법과 세부적인 사항 들을 최종 결정할 예정이다.

2-1 OFDMA

WRAN 시스템은 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz 대역폭의

기존 TV 채널에 고속의 데이터 전송이 가능한 OFDM 방식을 기본 변조 방식으로 하며, OFDMA를 통하여 다중 사용자의 다중 액세스를 지원한다. OFDM 방식은 One tap의 채널 추정이 가능하고 보호 구간을 통하여 다중 경로의 영향을 최소화할 수 있으므로 WRAN 채널 환경에 보다 적합한 방식으로 채택되었다. WRAN은 2K(2048)의 FFT 크기를 기본으로 하며, 인접 대역의 간섭을 최소화하기 위한 보호 대역(Guard band)과 DC 반송파를 제외한 1,680개의 부반송파를 데이터 및 파일럿 신호를 전송하는데 사용한다. 시간 영역의 보호 구간은 FFT 크기에 대하여 1/4, 1/8, 1/16, 1/32를 채널 환경에 맞게 적용 가능하고, 대역 이용 효율은 주파수 자원의 사용을 극대화하기 위하여 기본 대역폭에 8/7의 sampling factor를 고려함으로써 약 93.8 %의 이용률을 나타내고 있다.

단일 채널에서의 OFDMA 파라미터는 <표 1>과 같다.

2-2 Structure and Data Rate

WRAN의 PHY 구조는 [그림 1]과 같이 m개의 frame이 모여 superframe을 구성하게 되는데, 10 ms를 갖는 Frame 16개를 기본 구조로 고려하고 있다. 상·하향 전송 모드는 TDD 방식을 기본으로 적용하며 FDD도 선택적으로 지원 가능하도록 논의되고 있다.

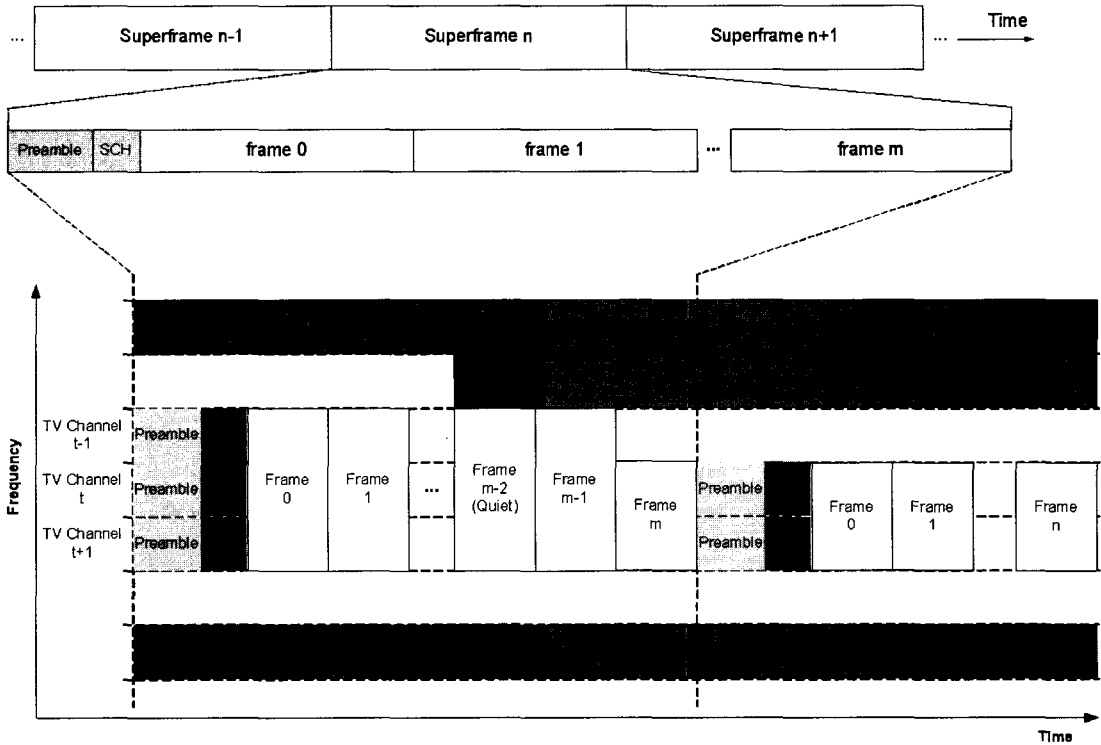
데이터 심볼의 변조 방식은 Gray code의 QPSK, 16 QAM, 64 QAM를 이용하며, 프리앰블 및 파일럿과 같은 기준 신호와 Ranging과 같은 제어를 위한 신호는 BPSK로 변조되어 전송된다. 다만, SCH의 경우 셀의 경계 부분에 위치하고 있는 CPE에게 보다 안정적으로 신호를 전송하기 위하여 spreading factor 4로 확산되어 전송되는 특징을 갖는다. 데이터 전송률은 시스템의 동시 접속 CPE 수를 11명으로 가정하고 64 QAM에 코드율 5/6과 QPSK에 코드율 1/2을 고려할 경우, 하나의 CPE 당 각각 2 Mbps와 0.4 Mbps를 보이므로 기술 요구 문서에서 규정된 최대 전송율의 요구 조건을 충족하고 있다^[1].

2-3 Preamble

WRAN의 프리앰블은 superframe을 위한 프리앰블과 Frame의 프리앰블로 구분할 수 있다. Frame 프리앰블은 Runcom에서 셀 간 경계 지점에서의 간섭을 최소화하기 위하여 3-sector로 구분된 섹터화된 셀을 지원하기 위하여 세 번 반복되는 구조도 제시되었으나^[2], 초기 수신기 동기 성능과 시스템의 복잡성을 고려하여 하나의 OFDM 심볼에 두 번 반복되어 전송되는 구조가 2007년 3월 회의에서 최종 결정되었다^[3]. 프리앰블을 생성하기 위한 코드는 Philip에서 제

<표 1> OFDMA parameters

	6 MHz	7 MHz	8 MHz
Total number of subcarriers, N_{FFT}	2048		
Sampling frequency(MHz)	48/7	56/7	64/7
Inter-carrier spacing, ΔF (Hz)	3348.214	3906.25	4464.28
Occupied bandwidth(MHz)	5.628	6.566	7.504
FFT period, T_{FFT} (μs)	298.666	256.000	224.000
OFDM symbol time(μs)(CP=1/4)	373.333	320.000	280.000
Number of guard subcarriers, $N_G(J, DC, R)$	368(184., 1, 183)		
Number of used subcarriers	1,680		
Bandwidth efficiency(%)	93.8		



[그림 1] Superframe & Frame 구조

안한 binary preamble set이 Runcom의 802.16 프리앰블 코드와 Huawei의 CAZAC sequence와 비교 검토되어 최종 결정되었다^{[4],[5]}. IEEE 802.16의 Preamble code는 두 번 반복되는 프리앰블이 결정되면서 논의에서 제외되었으며, CAZAC sequence는 매우 우수한 PAPR 특성을 가지나 생성 과정의 복잡성으로 인하여 WG의 동의를 얻어내지 못하였다. 현재는 셀 설계와 관련하여 WRAN 시스템에서 사용될 전체 프리앰블 코드의 수가 논의되고 있다.

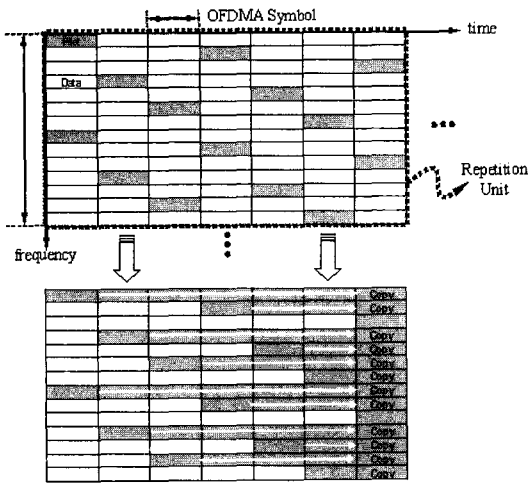
2-4 Pilot 패턴 및 부 채널 구성

파일럿 패턴은 ETRI에서 제안한 구조와, Runcom이 제시하고 있는 IEEE 802.16의 PUSC(하향 링크)와 OPUSC(상향 링크) 두 가지 안이 고려되어 지속적으로 논의가 진행되었으나, 3월 IEEE 802.22 WG 표준

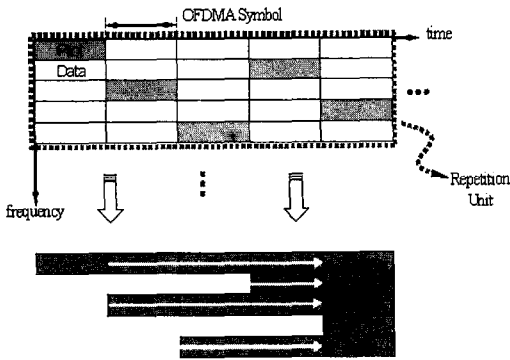
화 이전에 진행된 Tele-conference에서 WRAN 채널 환경에서의 성능 분석 결과를 통하여 최종 ETRI 안으로 결정되었다.

최초 동일한 상·하향 stream 구조가 제안되었으나, 2007년 3월 회의에서 상향 stream의 경우, 기본 단위를 최소화 할 수 있는 구조가 추가로 고려되고 있다.

ETRI의 확정된 하향 stream pilot 구조 제안안은 [그림 2(a)]와 같이 14개의 부반송파가 하나의 BIN을 구성하고, BIN 4개가 모여 하나의 부 채널을 이루게 된다. 제안된 파일럿 패턴은 시간적으로 변화가 적고 주파수 선택적 특성이 큰 WRAN의 채널 환경을 고려하여 7 심볼 동안 서로 다른 7개의 부 반송파에 전송하는 형태로 구성되며, 7 심볼 동안 모든 파일럿을 복사하여 채널 추정에 이용하므로 모든 부반송파 위치에서의 채널 정보를 얻는 장점을 갖는다^[2]



(a) Downstream



(b) Upstream

[그림 2] 파일럿 구조

고려되고 있는 상향 stream의 경우, 5 심볼 동안 5개의 부 반송파가 하나의 기본 Bin 단위를 구성하며, 4개의 Bin이 모여 하나의 부 채널을 구성한다.

부 채널의 부 반송파의 할당 방식은 전체 6 MHz 대역에 퍼져 있는 부 반송파를 조합하여 구성하는 Diversity subchannel과 인접한 부반송파를 묶어서 할당하는 AMC subchannel로 구분된다. WG에서는 인접한 부반송파에 의해 Part 74 장치에 유발할 수 있는 간섭을 고려하여 최대 전송 전력보다 10 dB 낮은 전력을 이용하는 경우에만 AMC subchannel을 적용할

수 있도록 조건을 명시하였다.

2-5 채널 부호

채널 부호화 방식은 IEEE 802.16의 Convolutional code 구조를 Mandatory로 하고 있다. 향상된 부호화 방식으로는 I2R의 Shortened block turbo code와 France Telecom의 Duo-binary convolutional turbo code가 제안되었으며, LDPC는 IEEE 802.16의 LDPC 방식이 동일하게 고려되고 있다^[6]. 현재 Convolutional Code를 기반으로 WRAN 환경에서 각 제안사들 간의 성능을 검토한 후 각 제안 기술을 비교 분석하여 최종 표준안에 포함시킬 예정이다.

2-6 TV 채널 할당 방식

하나의 셀 내에서 TV 채널을 할당하는 방식으로는 채널 결합(channel bonding), 채널 수집(channel aggregation)과 같이 인접하거나 떨어져 있는 여러 TV 채널을 묶어서 사용함으로써 전송률을 극대화하려고 하는 방식과, 무선 마이크와 같이 200 kHz의 작은 대역폭을 가진 1차 사용자를 보호하면서 최소한의 제어 신호 전송 및 인접 대역에서 동작하는 무선 마이크에 미치는 간섭을 최소화 할 수 있는 부분 대역폭 사용(fractional bandwidth usage) 방식이 제안되었으나 현재는 모두 선택적 기술 사항으로 분류하여 Mandatory 기술을 모두 정의한 이후에 논의될 예정이다^[6].

III. MAC 기술 현황

3-1 MAC 표준화 현황 및 MAC 기술 개요

IEEE 802.22 WRAN MAC 계층에 대한 표준화는 2005년 11월 총 8개의 MAC 제안서가 제출되었고 ETRI-Samsung-Philips가 2006년 1월에 기본 통합안을 발표하였고^[6], 이후 기본 통합 안에 2006년 3월 회의에서

Motorola, I2R 등의 부분 기술을 추가하여 2006년 5월 회의에서 Draft v.0.1문서로 WG에서 채택되었다^[7]. 2006년 10월 회의에서 이 Draft v.0.1문서에 포함된 기술 중에서 한 개의 TV 대역, 즉 6 MHz의 단일 채널을 사용하는 기술을 중심으로 Mandatory 기술을 정의하여 Draft v.0.2를 작성 중에 있으며^[8], 2007년 3월 현재 Draft v.0.2에 대한 Comments & resolution 작업이 진행 중이며 현재 주요 이슈는 효율적인 스펙트럼 센싱을 지원하기 위한 MAC계층 메시지(SCH, BLM-REQ, BLM-RSP 등 4.1절 참조)와 이들의 교환 방식 그리고 스펙트럼 센싱팀(WG내 센싱 담당 임시 작업반)에서 제출한 Spectrum Sensing Function^[9]에 대해 Draft v.0.2^[8]의 반영 여부에 대해 2007년 3월 회의 결정에 따라 센싱팀과 MAC ad-Hoc 그룹 간에 공동 회의를 통한 Harmonization이 진행 중에 있다.

IEEE 802.22 WRAN 시스템의 MAC 계층은 기본적으로 IEEE 802.16과 유사한 OFDMA 방식의 데이터 전송 체계를 기반으로 TV 대역에서 기 사용자(Incumbent User, 이하 IU)인 TV 신호 및 FCC Part 74 (Wireless Microphone, 이하 WMP) 등을 의무적으로 보호하면서 WRAN 신호를 전송하는 방식에 대한 표준화를 진행하고 있다. IU를 보호하면서 데이터 전송을 하기 위해서는 다음과 같은 세 가지 기술을 고려하여야 한다.

첫째, WRAN 시스템이 앞서 언급한 TV 대역을 사용하기 때문에 이 대역을 사용하는 1차 사용자인 TV 신호와 2차 사용자인 Part 74(예를 들면, 무선 마이크), Part 90(응급 신호 기기) 등의 IU에 대한 적절하고 효과적인 센싱 기술의 수행 및 IU 센싱 보고 체계, 다중 주파수 환경에서의 채널 선택 및 운용.

둘째, TV 대역에서의 효과적인 데이터 전송을 위한 채널 결합(Channel Bonding) 및 부분 대역폭(Fractional Bandwidth Usage) 사용 등을 지원하는 MAC 계층 기능 및 프레임 구조의 설계.

셋째, IU 보호를 위한 채널 관리 및 CPE들 간의

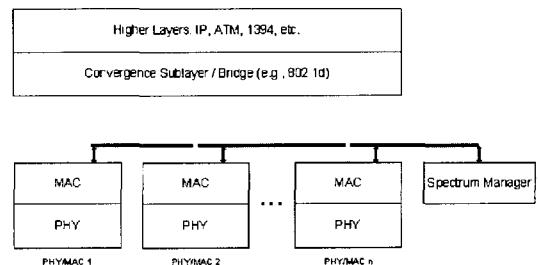
효율적인 상호 간섭 회피 기능 및 자기 공존(Self Coexistence)기능.

이러한 세 가지 기술이 IEEE 802.22 WRAN MAC 계층의 핵심 내용이다.

본 절에서는 참고문헌 [8]에 채택된 WRAN 데이터 전송, IU보호, 자기 공존에 대한 MAC 기능을 중점적으로 논의한다.

3-2 프로토콜 스택 구조

앞서 언급한 채널 결합 및 부분 대역폭 사용 등 다중 주파수 환경에서의 효율적이며 효과적인 자원 관리를 위해서는 [그림 3]과 같은 다중 주파수 환경에서 동작하는 다중 MAC 계층 구조를 고려하여야 하며, 다중 MAC을 제어하는 Spectrum Manager의 역할에 대해 중요하게 고려하여야 할 것이다. 이는 CR 시스템이 기본적으로 다수의 채널을 수시로 전환하면서 사용하기 때문에 다중 주파수 환경을 효율적으로 제어하는 기능이 필요하게 되기 때문에 고안되었다. 현재 다수의 채널을 점유하여 사용하는 방식에는 크게 두 가지 기술이 채택되어 있는데, 연속되는 2개 이상의 빈 대역을 결합하여 사용하는 채널 결합 기술과, 연속하지 않는 빈 채널을 묶어서 사용하는 채널수집(Channel Aggregation) 방식이 있다. 이러한 다수의 채널을 사용하여 특정 CPE에 할당하는 것은 대역폭을 비교적 수월하게 증가시켜 높은 전송율을 지원하는데 그 이점이 있으나, 현재 WG 내에서는



[그림 3] WRAN protocol stack 구조

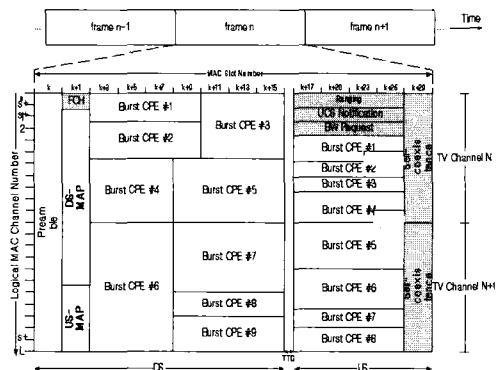
단일 채널 동작을 기반으로 표준화를 진행하고 있기 때문에 이들 두 기술은 모두 Optional 기술로 분류되어 있다. 주목할 점은 FRD^[1]에는 TV가 사용되는 채널의 양쪽 인접 채널은 CR 사용자가 사용할 수 없게 명시되어 있으며 아울러 WMP(200 kHz의 대역폭)가 동작하는 채널의 전체 6 MHz 대역에 대해서도 CR 사용자가 사용할 수 없게 규정되어 있다.

3-3 WRAN 프레임 구조

Draft v.0.2는^[8], IEEE 802.16 MAC을 기반으로 CR 기능 및 TV 대역에서의 최적화 기능을 추가한 형태로 작성되었으며, 2007년 4월 현재 부분 기술들에 대해 수정 중에 있다. 이는 OFDMA 기반 데이터 전송 기능과 대역폭 할당 방식, 프레임 구조 등이 IEEE 802.16과 유사하지만 이에 더하여 채널 결합 기능과 부분 대역폭 사용 등을 위해 [그림 1]과 같이 프레임 구조가 변화되었다. 그림에서 보는 바와 같이 WRAN 시스템의 프레임 구조는 Superframe 단위로 관리가 되는데 802.16에서와 같은 개념인 프레임(5~10 ms)들이 n개(2007년 3월 회의에서 16개로 정함) 모여서 하나의 Superframe을 구성하며, Superframe Control Header(이하 SCH)에는 채널 결합 정보, QP(Quiet Period: In-band sensing 즉 자신이 사용하는 채널을 탐색하기 위해 데이터 전송을 중단하는 시간) 정보, 프레임의 개수, 전력 정보, 위치 정보 등이 표시된다^[8]. 주목할 점은 Superframe 단위로 QP가 할당되며 관리된다는 것과(2007년 4월 현재 QP관리를 Superframe단위로 하는 것에 더하여 Frame 단위의 보조적인 관리를 추가하는 것에 대해 WG내에서 논의가 진행 중에 있다) 프리앰블과 SCH는, 채널결합이 되었을 경우, 결합된 채널의 개수만큼 반복된다는 것이다. 이는 기지국에서 3개의 채널을 결합하여 전송할 경우 CPE가 한 개 또는 그 이상의 어떠한 채널을 갖고 접속하더라도 SCH를 수신하였을 경우 동일한 정보를 갖게 하기 위해서 이러한 반복되는 구조를 갖는다.

IEEE 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)와 자기 공존 슬롯의 존재이며, 그림은 2개 채널이 결합된 경우를 도시하고 있다. UCS 슬롯은 채널 관리에 필요한 채널 탐색과 관련된 것인데, 참고문헌 [8]에 제시된 채널 탐색 방식은 기본적으로 BS가 CPE에게 채널 탐색에 대한 주기와 보고를 명시한 메시지를 내리고(4절 참조), 이 응답에 대한 US 슬롯을 BS가 US-MAP상에 미리 그 위치를 지정해 주는 방식인데, 이러한 주기적인 탐색을 제외한 시간에서 IU가 출현할 경우에는 BS가 미리 US-MAP상에 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.

자기 공존 슬롯은 IEEE 802.22 WRAN 시스템에서 중요하게 고려되는 WRAN간의 공존 문제를 해결하기 위해 설계되었으며, 이 슬롯을 통하여 인접된 또는 중첩된 타 WRAN 기지국과 CBP(Coexistence Beacon Protocol)와 같은 제어 메시지를 교환하기 위해 설정되었다(5절 참조). 그 외의 부분은 IEEE 802.16



[그림 4] 제안된 프레임 구조

과 유사한 목적으로 설계되었다.

3-4 기 사용자 보호

IEEE 802.22 WRAN 시스템에서 가장 핵심적인 부분은 CR 기술을 IEEE 802.16과 같은 기존의 전송 방식에 어떻게 적용할 것이냐는 관점이고, 이에 대해 제시된 기술들의 집합체가 바로 공존 문제이다. 기존의 IEEE 802.16 또는 IEEE 802.20 등의 시스템에서는 공존 문제를 표준화가 마무리되는 시점에서 토의 하였으나, IEEE 802.22에서는 표준화 초반부터 하나의 논제로 설정하여 이 문제에 대한 명확한 접근 방식을 FRD에 요구하였다^[1]. 이는 IEEE 802.22 시스템이 CR 기술을 기반으로 하였기 때문에 발생하는 당연한 절차이다. 공존 문제는 기존의 같은 시스템끼리의 자기 공존 문제뿐 아니라, CR 기술의 적용으로 발생하는 IU와의 공존 문제가 우선적으로 보장되어야 한다(IU Protection). 이는 CR 사용자가 IU 대역을 일시적으로 차용해서 사용한다는 CR 기술 고유의 특성 때문이다.

3-4-1 채널 탐색 및 보고

802.22 MAC에서는 IU의 동작 여부를 파악하기 위해 탐색 대역에 따라 크게 두 가지 탐색 방식을 고려한다. 이는 In-band Sensing과 Out-band Sensing이다. In-band라 함은 해당 BS와 CPE가 데이터를 주고 받는 현재 연결된 채널을 말하며, Out-band라 함은 현재 데이터 전송에 사용하지 않는 나머지 채널을 말한다. 이러한 구분은 채널 탐색의 요구 사항이 다르기 때문에 구분하는데, 특정 CPE 입장에서 자신이 사용하는 채널(즉 in-band)를 탐색하기 위해서는 QP가 필요하게 된다. QP는 탐색을 위해 데이터 전송을 멈추는 구간으로 CR 시스템에서 매우 중요한 변수이다. 따라서 in-band sensing과 out-band sensing의 구분은 QP의 존재 여부로 구분지어질 수도 있다. 아울러 in-band와 out-band는 좀더 세분화 할 수 있는데, 현

재 참고문헌 [8]에 제시된 채널 집합 관리 방식을 보면 CR 사용자가 사용하는 동작 집합(Active Set), CR 사용자가 사용 가능한 후보 채널의 집합인 후보 집합(Candidate Set), IU가 사용하고 있는 점유 집합(Occupied Set), 사용이 허가되지 않은 금지 집합(Disallowed Set), 그 외의 나머지 채널의 집합인 잔여 집합(Null set)으로 구분하여 채널을 효율적으로 관리하게 되어 있다.

채널 탐색을 위해 사용되는 MAC 메시지는 네 가지로 정의되는데, BLM-REQ(Bulk Measurement Request), BLM-RSP(Bulk Measurement Response), BLM-REP(Bulk Measurement Report), BLM-ACK(Bulk Measurement Acknowledgement)이다. 기지국이 BLM-REQ를 통하여 주기 또는 비주기적으로 단말기에 센싱결과를 요청하면, 단말기는 BLM-RSP를 REQ에 대한 ACK로 전송하고 REQ 메시지에 지시된 대로 센싱을 수행하여 지시된 시간에 REP 메시지를 통하여 결과를 보고하며, 이에 대해 기지국이 ACK를 전송하는 방식으로 센싱을 수행하게 설계되어 있다. 아울러 이들 메시지 외에 BS와 CPE사이에는 IU 출현과 같은 응급 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 철저한 기 사용자 보호를 위해 사용되는 것이다.

3-4-2 IU 출현의 보고

IU 통보는 CR 기술의 핵심 기술로서, IU 출현이 DS 또는 US에 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 크게 세 가지로 나눌 수 있으며, 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 비 정상적인 신호 전달 상황에서도 채널 전환을 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 요구되며, 때로는 다음 QP이후에 까지 과정이 진행되기 때문에 상대적으로 짧은 시간을 갖는 Short Implicit 방식이 제안되었다. Short Implicit는 BS가 채널 탐색을 짧은 시간에 여러 차례 CPE에게 요구하고, 이에 대한 응답이 없으면 바로 다른 채널로 전환하여 전체적으로 Implicit 방식보다 비교적 짧은 시간에 채널 전환을 종료하는 방식이다. WRAN FRD에는 IU의 출현 시 2초 이내에 CR 사용자가 해당 채널을 비워주도록 규정하고 있는데, 이는 CR 사용자가 해당 채널에 IU가 출현해도 최대 2초까지 해당 채널을 사용해도 된다는 것을 의미하기도 한다. 이를 이용하여 매 2초마다 주파수를 전환하여 전송하는 DFH(Dynamic Frequency Hopping) 방식이 제안되었으나 현재 WG내에서 채택되지 못했다^[3]. Explicit 방식은 근본적으로 IU가 출현해도 허용된 응답 시간 동안에는 해당 채널을 사용해도 된다는 개념에 기반을 두고 있다. 이는 IU가 출현해도 그 채널을 통하여 채널 전환 메시지(CHS-REQ)를 CPE 측에 보내서

CPE로 하여금 즉각적으로 채널을 전환하도록 하는 방식이다. 이는 앞서 언급한 Implicit 방식보다 빠른 시간에 채널 전환을 할 수는 있으나 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. IDR는 해당 채널에 IU 출현 시 다른 사용 가능한 채널로 전환하는 과정을 나타낸다. 이에 대한 자세한 과정은 참고문헌 [8]에 언급되어 있으며 2007년 3월 현재 ETRI-Philips측 간에 단일화 프로토콜 작업을 진행하고 있다.

3-5 자기공존(Self Coexistence)

WRAN 시스템에서는 셀 간에 사용 가능한 채널 집합을 공유하여야 하므로 인접된 셀 간에서도 상호 간의 간섭 회피 및 IU에 대한 정보를 공유하여야 하며, 채널 이용 정보를 서로 간에 교환하여야 효과적으로 시스템을 유지할 수 있다. 자기 공존 문제를 해결하는 방식은 크게 두 가지 방식을 고려할 수 있는데, 첫째는 기존의 유선망으로 기지국을 연결하는 방식이며, 둘째는 무선 링크로 WRAN 기지국간을 연결하는 방식이다. 먼저 유선망을 사용하는 방법은 기지국과 기지국을 연결할 때 802.22 표준화 범위를 벗어나는 ATM, IP 망을 통하여 관련 정보가 전달되기 때문에 WRAN의 제어 메시지들이 다른 계층의 데이터로 간주되어 전송되어야 하는 문제점이 있다. 이는 상대적으로 긴 지연을 유발할 수 있고 WRAN의 중요 메시지들을 다른 네트워크의 상태에 의존한다는 단점이 있다. 반면에 무선 링크로 자기 공존 문제를 해결하는 방식은 WRAN 시스템 프로토콜 내에서 자기 조정 능력을 갖게 되며, 보다 짧은 시간에 중요 정보들을 서로 간에 교환할 수 있다는 장점이 있다. 무선 링크의 단점은 MAC 계층이 다소 복잡해질 것

이며, 아울러 셀 커버리지를 설계할 때 무선 링크 확보를 위해 중첩되도록 설계하여야 한다.

현재 802.22 WG에서 심도있게 논의되고 있는 방식은 무선 링크를 기반으로 하는 방식이며, 이 때 사용되는 프로토콜이 CBP이다. CBP는 MAC 제어 메시지를 통하여 기지국과 CPE간에 정보를 교환하는 방식으로 기지국은 이 정보를 이용하고, 해당 BS에 속한 모든 CPE 또는 인접 기지국으로 필요한 정보를 전달한다. 예를 들면 셀 경계에서의 특정 CPE가 인접 셀의 다른 기지국으로부터 CBP를 수신하게 되면 (이는 같은 대역을 사용하더라도 [그림 2]의 자기 공존 슬롯을 통하여 서로 다른 공존 IUC(Interval Usage Code)를 통하여 전송하기 때문에 CBP를 수신할 수 있다^[8]), 해당 CPE는 수신된 CBP 정보를 자신을 관찰하는 기지국에 CBP의 내용을 보고하게 된다. CBP를 수신한 기지국은 CBP의 정보를 기반으로 채널 전환, 송신 전력 제어, 자원 공유(Resource renting^[8]) 또는 Clustering^[8] 등의 자원 최적화 과정에 참여하여 간섭을 줄이고 효율적으로 대역을 사용하게 된다. 아울러 해당 기지국은 자원 관리 결과를 관찰하는 모든 CPE에게 전송하고 셀 경계의 CPE를 통하여 인접 셀로 전송되는 과정이 반복되게 된다. CBP에는 관찰 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), 스펙트럼 에티켓(Spectrum Etiquette: 인접 셀 간의 active 채널을 할당할 때 간섭이 적은 방향으로 할당하는 방식) 등이 제안되었다^[8]. 아울러 현재 CBP외에 자기 공존 문제를 해결하기 위해 Inter Base Station Communication Protocol^[8]이 제안되어 있다. 이는 CBP가

메시지를 전송하여 채널 정보를 교환하는 것과 달리 BS간에 상호 통신 채널을 설정하여 보다 많은 양의 정보를 교류하는 것으로 제안되어 있으나, 채널 설정 과정의 복잡성 등을 이유로 WG내에서 심도 있게 고려되고 있지는 않다.

IV. 스펙트럼 센싱

IEEE 802.22 WRAN 대역의 1차 사용자는 디지털 TV, 아날로그 TV, Part 74 신호이다. 비면허 사용자인 WRAN 사용자는 1차 사용자에게 간섭을 주지 않기 위해 스펙트럼을 센싱하여 해당 채널이 비어 있거나 규정된 레벨 이하일 경우에만 해당 채널을 사용하게 된다. 이러한 채널의 사용 여부를 결정하는 센싱 임계값^[9]에 대해서는 WRAN 기능 요구 사항에 <표 2>와 같이 명시되어 있다. 센싱 알고리즘의 성능 평가에서 수신 신호의 크기를 이용하는 경우, 센싱 수신기의 종류와 측정 위치에 따라 크기가 달라질 수 있으므로 SNR에 따라 성능을 검증하도록 권장하고 있다. 따라서 정해진 1% 혹은 10%의 오경보 확률에서의 SNR에 따른 검출 확률을 제시하여야 한다.

WRAN 표준화에 참여하는 각 기관들은 여러가지 센싱 알고리즘을 제안하였으며, 제안된 알고리즘 중 2007년 3월 표준화 회의까지 검출 성능을 제시한 알고리즘만이 표준안에 들어갈 수 있는 자격이 주어진다. 현재까지 발표된 센싱 알고리즘들은 DTV 신호에 대한 것이 대부분인데, 그 이유는 우선 DTV 신호의 센싱 임계치가 가장 낮고 WRAN이 상용화될 시

<표 2> 1차 사용자의 센싱 요구 조건

	DTV	NTSC	Part 74 device	무선 마이크 Beacon
최소 수신 레벨(dBm)	-116	-94	-107	-120
채널 대역폭(MHz)	6	6	0.2	0.01
SNR(dB)	-22.2	-0.2	1.5	1.5

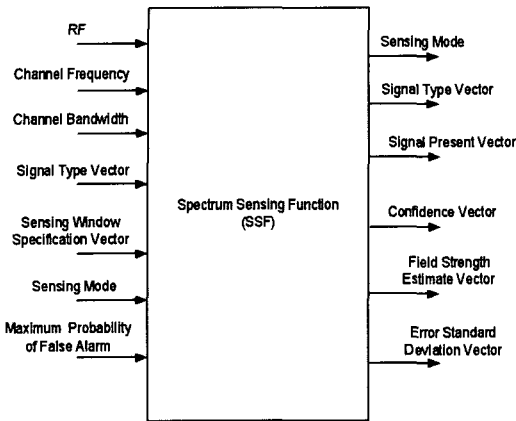
점에는 TV 표준이 DTV로 바뀌기 때문이다. 그리고 Part 74 기기 보호를 강화하기 위하여 무선 마이크로폰을 위한 비콘을 사용하는 방식에 대한 표준화가 IEEE 802.22.1 TG에서 진행되고 있다.

센싱 알고리즘은 크게 WRAN 사용자가 통신 중인 Active 채널에 QP를 설정하고 해당 채널을 센싱하는 방법과 QP를 설정하지 않고 해당 채널을 센싱하는 방법인 두 가지로 나뉜다. 우선 QP를 두고 채널을 센싱하는 방법을 살펴보도록 하겠다. 2007년 3월 회의까지 발표된 DTV의 센싱 주요 알고리즘은 다음과 같다. 우선 첫 번째 알고리즘으로는 I2R^[10]에서 제시한 것으로써 수신된 신호의 공분산 행렬에서 최대, 최소 고유값을 계산한 후 그 비율을 이용하는 것으로써 이상적인 경우 수신 신호가 잡음이면 그 비율이 1에 근사한 특성을 나타내므로 수신 신호로부터 계산된 비율이 임계값보다 클 경우 신호가 존재한다고 판단하는 기법이다. 다음은 Thomson사에서 발표한 DTV 신호의 프레임 특성을 이용하는 방식으로 832 심볼 길이를 가지는 PN 시퀀스로 구성된 필드 동기(field sync) 패턴을 이용하는 방법과 832 심볼마다 나타나는 정해진 4 심볼 세그먼트 동기(segment sync) 패턴을 이용하는 방법이 있다. 이 두 알고리즘^[11]은 미리 정해진 시퀀스와 수신된 신호의 상관 특성을 이용하여 신호를 검출하는 방법이다. Thomson사에서 제시한 또 다른 알고리즘^[12]으로는 DTV 신호의 cyclostationary 특성을 이용하여 검출하는 방법으로 잡음 신호는 cyclostationary 특성을 갖지 않는다는 특성을 이용하는 방법이다. DTV의 Pilot tone을 이용하는 방법은 두 가지가 제시되었는데, 첫 번째는 pilot tone의 에너지를 측정하는 방법으로 2006년 9월에 Qualcomm^[13]에서 발표하였으며, 동일한 알고리즘에서 계산량을 개선한 방법이 2007년 3월 Philips^[14]에 의해 제안되었다. 두 번째는 pilot tone이 나타나는 주파수 위치 정보를 이용하는 방법으로 여러 개의 캡처 윈도우 주파수 특성에서 pilot tone이 동일한

위치에 나타난다는 특성을 이용한 것으로 Philips^[14]에 의해 제안된 방법이다. 그리고 Huawei에서 제시한 스펙트럼 상관 특성을 이용한 방법^[15]은 수신된 신호의 스펙트럼 패턴의 부분적인 정보와 이상적인 DTV 신호의 스펙트럼 패턴과의 상관 특성 결과로부터 신호를 검출하는 방법이다. Georgia Institute에서 발표한 MRSS 방법^[16]은 아날로그 도메인에서 신호를 검출하는 방법으로 wavelet 함수를 이용하여 신호의 에너지를 측정 후 이 에너지가 잡음의 분포로부터 구한 임계값 이상이면 신호가 존재한다고 판단하는 방법이다. 무선 마이크로폰 신호에 대한 센싱 알고리즘은 I2R이 제시한 최대, 최소 고유값을 이용하는 방법과 beacon을 이용하는 두 가지 방법이 제시되었다.

다음은 QP를 설정하지 않고 채널을 센싱하는 방법들에 대한 설명이다. 첫 번째는 1차 사용자 신호를 WRAN 신호에 대한 간섭 신호로 가정하고, 이 간섭 신호를 검출하는 방법으로 수신 신호로부터 채널 추정을 통해 간섭과 잡음의 합의 값을 알아내 이 값이 잡음의 임계값보다 클 경우 간섭 신호 즉, 1차 사용자 신호가 출현했다고 판단하는 방법^[17]이다. 또 다른 방법은 WRAN 송신 신호와 직교 성질을 가지는 패턴을 만들고 이 패턴을 수신 신호와 곱해 주면 간섭 신호와 잡음의 합만이 남게 되므로 이 값을 잡음의 임계값과 비교하여 신호 출현을 판단하는 방법^[18]이다.

IEEE 802.22에서는 스펙트럼 센싱 알고리즘에 대해 구현 시 결정되어야 할 문제로 간주하고, 제시된 알고리즘들은 성능 평가를 통해 표준 문서에 informative annex로 처리할 예정이다. 현재는 센싱 알고리즘에 대해 Spectrum Sensing Function(SSF)^[19]을 통해 입·출력 정보를 정의하는 작업을 진행하고 있다. 현재까지 정의된 SSF는 [그림 5]와 같은 입출력 정보를 가지며 세 가지 모드로 동작된다. mode 0은 수신 신호의 채널 주파수, 대역폭, 캡처 길이, 오경보 확률 등의 정보를 입력하면 신호 존재 벡터(signal present vector)와 신호 종류 벡터(signal type vector)가 출



[그림 5] Spectrum sensing function

력으로 나온다. mode 1의 경우는 mode 0의 경우와 동일한 입·출력 조건에다 부가적으로 출력에 신호 출현의 확신을 나타내는 신뢰도 벡터(confidence vector)가 추가된다. mode 2는 mode 0과 동일한 입력 조건에 신호 강도(field strength)와 오차 표준 편차(error standard deviation) 벡터가 출력으로 나타난다. 결과적으로 CPE와 BS가 센싱 알고리즘을 통해 얻은 SSF 정보를 BS에게 보내면 BS에서는 이 정보들을 취합하여 이용 가능한 채널들을 분류한다.

V. Geolocation

5-1 Geolocation 현황

WRAN 시스템에서 시스템 내의 모든 BS 및 CPE 들의 위치 정보가 알려져 있다면, 시스템은 복잡한 채널 환경에 능동적으로 대처할 수 있게 된다. 다양한 방법으로 획득된 위치 정보는 데이터 베이스화 되어 Geolocation 환경에 따라 시스템의 주파수 및 출력 전력을 조절하여 채널 사용 효율이 극대화 할 수 있으며, 시스템 운영상 많은 장점을 가지게 된다. 현재 802.22 WRAN 표준화 회의에서는 정확한 위치 정보의 획득, 위치 정보의 처리, 위치 정보의 제공을

위하여 WRAN 시스템에 적용할 수 있는 다양한 Geolocation 방법 및 요구 규격이 제안되고 있다. 기본적으로 표준화에서 논의되고 있는 Geolocation 방법들은 최대한 기존에 제시된 WRAN 시스템을 그대로 사용하기 위하여 OFDM 신호를 이용한 Geolocation 방법들로, 추가적인 H/W나 기타 변경 사항이 최소화 되는 새로운 방법들을 중심으로 논의되고 있다.

5-2 Geolocation의 목적

Geolocation의 목적은 서비스 활용 측면의 일반적인 응용 서비스 목적과 시스템 운용을 위한 근본적인 응용 목적으로 나뉜다. 먼저 일반적인 응용 서비스 목적 측면에서 Geolocation 정보를 기반으로 다양한 서비스가 가능하게 된다. 기본적으로 일반적인 위치 추적 서비스, 응급 상황 발생 시 필요한 조치를 취하게 하는 안전 및 보안 서비스, 가입자 주변의 주변 지역 정보 제공 서비스, 광고 및 상거래 응용 서비스 등을 제공할 수 있다.

시스템 운용 목적으로서의 Geolocation 정보는 먼저 기존 사용자 신호인 TV와 무선 마이크론을 보호하는데 활용될 수 있다. BS과 CPE들의 Geolocation 정보를 통해 TV 보호를 위하여 WRAN BS, CPE가 TV 보호 구역 안에 있는지 혹은 밖에 있는지, 밖에 있다면 얼마나 밖에 있는지 확인하여 주파수 및 출력 전력을 조절하여 간섭을 최소화 시킬 수 있다. 또한 무선 마이크론 보호를 위하여 무선 마이크론과의 상대적인 위치를 확인하여 주파수 및 출력 파워를 능동적으로 변화시킬 수 있으므로 Geolocation 정보는 전력 제어 성능 향상에 도움을 줄 수 있으며, WRAN 시스템이 분산 센싱에 의지할 수 있는지 확인하기 위하여 CPE간의 상대적인 위치를 파악하는데 유용한 정보로도 쓰일 수 있다.

5-3 Geolocation 필요 조건

802.22 WRAN 시스템은 33 km 이상의 넓은 서비

스 커버리지와 인구 밀도가 낮은 지역에서 사용하는 고정형 시스템으로서, 셀 반경이 상대적으로 작은 기존의 이동 통신용 Geolocation 시스템과 다르다. 또한 CPE는 지향성 송수신 안테나를 사용함으로 CPE 간의 통신이 어려워 새로운 Geolocation 방법 및 알고리즘이 필요하게 된다. 설계 시 우선적으로 고려되어야 할 Geolocation의 성능은 아래와 같다^[20].

- BS location resolution: 반경 15 m 이내의 정확도로 BS 안테나 위도, 경도 파악
- CPE location resolution: 67 %에 대해서는 반경 100 m, 95 %에 대해서는 300 m, E911 Phase II의 Network based geolocation accuracy 규격을 따름
- Prevention of CPE movement: ranging 동안 비정상적인 CPE 신호 변화가 있을 경우 CPE의 이동 가능성이 있으므로 BS은 CPE에게 위치 정보 요구
- Prevention of incorrect or corrupt CPE location data: WRAN 시스템은 적어도 매 24시간 이내에 위치 데이터 update
- Disassociate CPE: CPE 위치정보가 부정확하거나, 1 km 이상 위치 변동이 파악되면 초기화 할 때까지 망 접근 금지
- Ranging requirements associated with geolocation: CPE가 이동했을 수 있으므로 BS은 ranging 동안 신호 변화를 감시해야 함

5-4 Geolocation Techniques

표준화 회의에서는 하드웨어의 추가 없이 WRAN 시스템 자체의 OFDM 신호 성질을 이용하여 위치 정보를 획득하는 방법이 논의되고 있다. 현재 제안된 방법은 OFDM 신호에 사용되는 pilot 신호의 특성을 이용하는 것이다^[21]. Pilot 신호를 이용한 방법은 QPSK 변조 시에 $\pm 45^\circ$, 16-QAM 변조 시 $\pm 19^\circ$, 64-QAM 변조 시 수신기의 성상도가 $\pm 7.5^\circ$ 위상 해상도로 복조되는 성질과 서로 다른 총 12개 pilot 파형의 거리에

따른 위상 변화를 이용하여 최대 1.04 m의 해상도를 갖는 Ranging 방법이다. 이 방법은 기존에 OFDM에서 사용하는 pilot 신호를 사용하여 하드웨어의 추가 없이 서로 다른 송수신기의 거리 정보를 알 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 사전에 위치 정보가 알려진 서로 다른 세 지점의 정보가 필요로 하며, 정확한 위치 정보를 위한 구체적인 알고리즘은 아직 제시되지 않았다. 이러한 다양한 거리 측정 방법을 통한 Geolocation의 수행은 두 단계를 거쳐 진행된다. 첫 번째로, CPEs와 BS간의 거리가 결정되어야 하며, 두 번째로, Geolocation 해상도를 높이기 위하여 CPEs 간의 다양한 거리 정보가 획득되어야 한다. 일련의 과정들은 Geolocator에게 ranging 정보를 제공하여 BS의 컨트롤 가능 셀 범위 내에 있는 CPEs의 위치 정보를 산출해 내기 위한 것이다. Geolocator는 BS에게 ranging을 요청하여 BS으로부터 응답을 받고 수집된 ranging data를 이용하여 셀내의 모든 CPEs의 위치를 산출하는 역할을 한다^[22].

<표 3> Pilot 주파수에 따른 변조 방식별 최대 해상도

Pilot Freq. (Hz)	Wave-length range (m)	$\pm 7.5^\circ$ range resolution (m)	$\pm 19^\circ$ range resolution (m)	$\pm 45^\circ$ range resolution (m)
3000	100000	2083.33	5277.78	12500
6000	50000	1041.67	2638.89	6250
12000	25000	520.83	1319.44	3125
24000	12500	260.42	659.72	1562.5
48000	6250	130.21	329.86	781.25
96000	3125	65.1	164.93	390.63
192000	1562.5	32.55	82.47	195.31
384000	781.25	16.28	41.23	97.66
768000	390.63	8.14	20.62	48.83
1536000	195.31	4.07	10.31	24.41
3072000	97.66	2.03	5.15	12.21
5997000	50.03	1.04	2.64	6.25

VI. 향후 전망

IEEE 802.22 WRAN 표준화는 2008년 1월 완료될 목표로 하고 있다. 그러나 현재 표준안 초안에 반영할 기술들의 반영 여부에 대한 논란이 지속되고 있고, 추가적인 기술 제안 및 기존 제안 기술의 변경이 당분간 지속될 것으로 예상되므로 당초 일정보다 지연되고 있는 상태이다. 이에 따라 표준안 ver 1.0 완성 지연 요인을 줄이기 위하여, 초안 ver 1.0은 최소한의 기술을 반영하여 작성하고 있으며, 추후 버전을 높이거나 Annex를 추가하는 방식으로 보완이 지속될 것으로 예상된다.

3월 회의 결과, 5월 회의 이후 Working Group Ballot을 개시할 것으로 예상되며, 7월 Sponsor Ballot, 11월에는 Rev/Std Board에 표준안을 회부할 예정이다.

또한 현재까지는 TDD 방식 위주로 표준안이 작성되고 있으나, 2007년 1월 회의시 결정된 바와 같이 TDD 방식에 대한 표준이 완료된 후에는 FDD 방식에 대한 표준화가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE802.22, "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard", IEEE802.22-05/007r46, Sep. 2005.
- [2] Eli sofer., "Runcom PHY single channel specificati- IEEE802.22-07-0019-02-0000, Jan. 2007.
- [3] C. J. Kim et al., "Simulation results on 2 or 3 repetitions of preamble structure", IEEE 22-07-0114-00-0000, Mar. 2007.
- [4] Monisha, "OFDM Parameters and preambles", IEEE802.22-07-0003-00-0000, Jan. 2007.
- [5] W. H. Mow, "Huawei_preambles_low_PAPR", IEEE802.22-07-0002-02-0000, Mar. 2007.
- [6] C. J. Kim et al., "A PHY/MAC proposal for IEEE 802.22 WRAN systems", IEEE802.22-06-0003-00-0000, Jan. 2006.
- [7] IEEE802.22, "P802-22_D0-1", IEEE802.22-06-0067-00-0000, May 2006.
- [8] IEEE802.22, "P802-22_D0-1", IEEE802.22-06-0259-00-0000, Jan. 2007.
- [9] Gerald Chouinard, "Sensing Threshold", IEEE 802.22-06-0051-08-0000, Jul. 2006.
- [10] Y. Zeng et al., "I2R Sensing", IEEE802.22-06-0187-01-0000, Nov. 2006.
- [11] H. S. Chen et al., "Signature based sensing", IEEE 802.22-07-0028-00-0000, Jan. 2007.
- [12] H. S. Chen, "Thomson cyclostationarity based sensing", IEEE802.22-07-0133-00-0000, Mar. 2007.
- [13] Steve Shellhammer, "An evaluation of DTV pilot power detection", IEEE802.22-06-0188-00-0000, Sep. 2006.
- [14] Monisha Ghosh, "Philips pilot detection based sensing", IEEE802.22-07-0125-00-0000, Mar. 2007.
- [15] Linjun Lv et al., "Simulation results spectral correlation sensing", IEEE802.22-07-0034-00-0000, Jan. 2007.
- [16] K. Lim, "MRSS simulation", IEEE802.22-07-0143-00-0000, Mar. 2007.
- [17] Linjun Lv et al., "Interference detection with preamble", IEEE802.22-07-0032-00-0000, Jan. 2007.
- [18] Linjun Lv et al., "Orthogonal interference detection", IEEE802.22-07-0033-00-0000, Jan. 2007.
- [19] Steve Shellhammer, "The spectrum sensing function", IEEE802.22-07-0052-00-0000, Jan. 2007.
- [20] Winston Caldwell, "Geolocation with database requirement development", IEEE802.22-06-0159-00-000, Nov. 2006.
- [21] I. Reede, "Ranging and location for 802.22 WRANs", IEEE802.22-07-0015-00-000, Jan. 2007.
- [22] IEEE802.22, "Draft standard for wireless regional

area networks Part 22", IEEE 802.22-07/0113r0, Mar. 2007.

802.22 WRAN 표준화 동향", 전자공학회지, 34 (3), pp. 316-330, 2007년 3월.

[23] 엄중선, 고광진, 임선민, 김상원, 송명선, "IEEE

≡ 필자소개 ≡

엄 중 선



2004년 2월: 성균관대학교 정보통신공학부 (공학사)
2006년 2월: 성균관대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2006년 2월~현재: 한국전자통신연구원 [주 관심분야] Cognitive Radio, WRAN, Modem 기술, 이동통신시스템

김 상 원



1999년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월~2005년 3월: LG 전자 단말 연구소
2005년 6월~현재: 한국전자통신연구원 [주 관심분야] RF 시스템 및 광대역 선형화기 회로 설계

고 광 진



1995년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
2003년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
2003년 2월~2005년 6월: 고려대학교

통신수학연구센터 연구교수

2005년 7월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
[주 관심분야] Cognitive Radio, 무선통신 MAC 계층 설계, 성능분석, 구현, 무선통신 이론

송 명 선



1984년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
1986년 1월~현재: 한국전자통신연구원 인지무선연구팀장
[주 관심분야] Cognitive Radio, 밀리미터

파 시스템

임 선 민



2000년 2월: 충남대학교 정보통신공학과 (공학사)
2002년 2월: 충남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2006년 9월~현재: 한국전자통신연구원 인지무선연구팀
[주 관심분야] 통신 신호 처리, 스펙트럼

센싱