

IEEE 802.22 WRAN 표준화 동향

엄중선 · 고광진 · 임선민 · 김상원 · 송명선(전자통신연구원)

I. 서론

FCC는 스펙트럼 사용 효율을 높이고 새로운 서비스 도입을 용이하게 하기 위해 TV대역을 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 802.22WG을 신설하고 CR 기술을 이용한 TV 대역 고정 무선통신망인 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 파라미터는 제공될 서비스의 형태와 함께 신호가 전달되는 전송채널의 환경을 충분히 고려하여 설계되어야 한다. IEEE 802.22WRAN 시스템은 다양한 형태의 음성 및 데이터 서비스를 33km의 셀 범위에 분포되어 있는 고정된 CPE(Customer Premise Equipment)에게 안정적으로 제공하기 위하여 FRD에 QoS와 관련하여 VoIP와 같이 시간에 민감한 서비스는 최대 전송 지연을 단방향에 대해 20ms로 규정하고 있으며, 최대 전송률은 CPE당 최소 384kbps(상향), 1.5Mbps(하향)로 정의하고 있다^[1]. 이와 같은 시스템 요구사항과 함께 파라미터 결정의 중요한 요소 중 하나로써 고려되어야 하는 WRAN 시스템의 채널 환경은 이동성이 없는 CPE에 의하여 시간적으로는 채널의 변화가 거의 없는 반면 넓은 셀 영역으로 인하여 주파수 영역에서는 주파수 선택적 페이딩이 큰 특징을 갖는다. 현재 IEEE 802.22WG에서는 TV 채널의 기존 사용자에 미치는 간섭을 최소화할 수 있는 CR 기술 기반의 상위 프로토콜을 효과적으로 지원 가능한 최적의 WRAN 파라미터를 시스템 요구 사항

과 채널 특성을 고려하여 논의하고 있으며 2007년 3월 표준화 회의에서 핵심 PHY 요소에 대하여 최종 결정을 할 예정이다. 특히, 채널 추정과 동기 수행을 위한 프리앰블 및 파일럿 구조에 대한 이슈가 주요 논쟁 사항이다.

1. OFDMA

WRAN 시스템은 6MHz, 7MHz, 8MHz 대역폭의 기존 TV 채널에 고속의 데이터 전송이 가능한 OFDM 방식을 기본 변조방식으로 하며, OFDMA를 통하여 다중 사용자의 다중 액세스를 지원한다. OFDM 방식은 One tap의 채널 추정이 가능하고 보호구간을 통하여 다중경로의 영향을 최소화할 수 있으므로 WRAN 채널 환경에 보다 적합한 방식으로 채택되었다. WRAN은 2K(2048)의 FFT 크기를 기본으로 하며 인접 대역의 간섭을 최소화하기 위한 보호대역(Guard band)과 DC 반송파를 제외한 1680개의 부반송파를 데이터 및 파일럿 신호를 전송하는데 사용한다. 시간영역의 보호구간은 FFT 크기에 대하여 1/4, 1/8, 1/16, 1/32를 채널 환경에 맞게 적

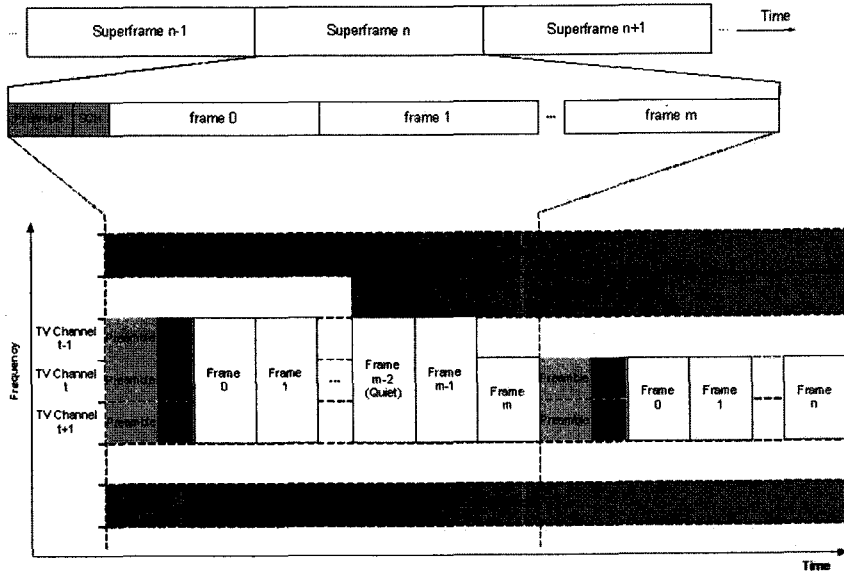
용 가능하고, 대역 이용 효율은 주파수 자원의 사용을 극대화하기 위하여 기본 대역폭에 8/7의 sampling factor를 고려함으로써 약 93.8%의 이용률을 나타내고 있다. 단일 채널에서의 OFDMA 파라미터는 표 1과 같다.

2. Structure and Data Rate

WRAN의 PHY 구조는 그림 1과 같이 m개의 frame이 모여 superframe을 구성하게 되는데 대략 10ms를 갖는 Frame 16개가 모여 Superframe을 구성하는 구조를 가정하고 있다. 상·하향 전송 모드는 TDD 방식을 기본으로 적용하며 FDD도 선택적으로 지원 가능하도록 논의되고 있다. 데이터 심볼의 변조 방식은 Gray code의 QPSK, 16QAM, 64QAM를 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

〈표 1〉 OFDMA Parameters

	6MHz	7MHz	8MHz
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 (L, DC, R)	368 (184, 1, 183)		
Number of used subcarriers	1680		
Bandwidth Efficiency (%)	93.8		



〈그림 1〉 Superframe & Frame 구조

64QAM에 코드율 5/6과 QPSK에 코드율 1/2을 고려하고 시스템의 동시 접속 CPE 수를 11명으로 가정할 경우, 하나의 CPE에 각각 2Mbps와 0.4Mbps를 보이므로 기술 요구 문서에서 규정된 최대 전송율의 요구 조건을 충족하고 있다¹⁾.

3. Preamble

프리앰블은 Superframe을 위한 프리앰블과 Frame의 프리앰블로 구분된다. 현재 WG 내에는 시간 영역에서 반복 형태가 없거나 두 번, 세 번 그리고 네 번 반복되는 네 가지 형태의 프리앰블 구조를 고려하고 있으며, Superframe과 Frame 각각에 적합한 프리앰블 구조를 채널 추정 성능과 시간 및 주파수 동기 성능을 검증하여 최종 결정할 예정이다²⁻⁴⁾. ETRI는 성능 분석을

통해 두 번 반복되는 구조에 대한 타당성을 제시한 상태이며²⁾, Runcom은 셀간 경계 지점에서의 간섭을 최소화하기 위하여 3-sector로 구분된 섹터화된 셀을 지원하기 위하여 세 번 반복되는 구조를 제시하였다³⁾. Philips는 superframe을 위한 프리앰블로 AGC 및 초기 동기를 안정적으로 수행하고 채널 추정을 수행할 수 있도록 네 번 반복되는 구조와 반복 없는 프리앰블 두 개를 연속하여 보내는 구조를 주장하고 있다.

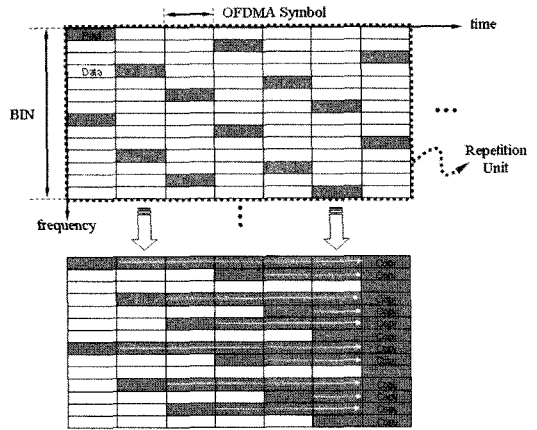
프리앰블을 생성하기 위한 PN sequence의 생성 방식은 이진 생성다항식을 프리앰블 구조에 따라 적응적으로 이용하는 방법을 Philips에서 제안하였으며, Runcom은 제시한 세 번 반복되는 프리앰블 구조를 위하여 IEEE 802.16의 프리앰블용 순열 테이블과 동일하게 적용하는 방안을 강조하고 있다. 이와 함께 PAPR을 약 2dB 이하로 최소화 할 수 있는 CAZAC sequence 방

식을 Huawei가 제안하여⁶⁾ 최종 결정을 위한 논의가 진행되고 있다.

4. 부채널 구성 및 Pilot 패턴

부채널의 구성 방식 및 파일럿 패턴은 ETRI에서 제안한 구조와, Runcom이 제시하고 있는 IEEE 802.16의 PUSC(하향 링크)와 OPUSC(상향링크) 두 가지 안이 고려되어 지속적으로 논의가 진행되었으며 3월 IEEE 802.22 WG 표준회의에서 최종 결정이 될 예정이다. Runcom의 경우 IEEE 802.16에서 제안된 방식과 동일한 부채널 구성 방식과 파일럿 패턴을 갖는다. ETRI의 제안안은 그림 2와 같이 14개의 부반송파가 하나의 BIN을 구성하고, BIN 4개가 모여 하나의 부채널을 이루게 된다. 제안된 파일럿 패턴은 시간적으로 변화가 적고 주파수 선택적 특성이 큰 WRAN의 채널 환경을 고려하여 7 심볼 동안 서로 다른 7개의 부반송파에 전송하는 형태로 구성되며, 7심볼 동안 모든 파일럿을 복사하여 채널 추정에 이용하므로 모든 부반송파 위치에서의 채널 정보를 얻는 장점을 갖는다⁷⁾.

부채널 구성 방식은 하나의 부채널을 구성하는 부반송파의 할당 방식에 따라 전체 6MHz 대역에 퍼져서 할당되는 Diversity subchannel과 인접한 부반송파를 묶어서 할당하는 AMC subchannel로 구분된다. WG에서는 AMC subchannel은 이를 적용하는 경우 발생하는 제어 신호의 오버헤드 및 사용자 할당에 따른 복잡성을 전송률 향상 정도와 비교하여 Mandatory 기술로 표준 규격에 포함할지 여부를 결정하기로 하였다.



〈그림 2〉 ETRI 제안 파일럿 구조

5. 채널 부호

채널 부호화 방식은 IEEE 802.16의 Convolutional code 구조를 Mandatory로 하고 있으며, 인코딩 블록은 하나의 부채널에 할당할 수 있는 변조차수에 따른 비트 수로 정의되어 있다. 향상된 부호화 방식으로는 I2R의 Shortened block turbo code와 France Telecom의 Duo-binary convolutional turbo code가 제안되었으며, LDPC는 IEEE 802.16의 LDPC방식이 동일하게 고려되고 있다⁸⁾. 현재 Convolutional Code를 기반으로 WRAN 환경에서 각 제안사들 간의 성능을 검토한 후 각 제안 기술을 비교 분석할 예정이다.

6. TV 채널 할당 방식

하나의 셀 내에서 TV 채널을 할당하는 방식으로는 채널결합(Channel bonding), 채널수집(channel aggregation)과 같이 인접하거나 떨어져 있는 여러 TV 채널을 묶어서 사용함으로써 전송률을 극대화하려고 하는 방식과, 무선 마이

크와 같이 200kHz의 작은 대역폭을 가진 1차 사용자를 보호하면서 최소한의 제어 신호 전송 및 인접 대역에서 동작하는 무선 마이크에 미치는 간섭을 최소화 할 수 있는 부분대역폭 사용(Fractional bandwidth usage) 방식이 제안되었으나 현재는 모두 선택적 기술 사항으로 분류하여 Mandatory 기술을 모두 정의한 이후에 논의 될 예정이다.

III. MAC기술현황

1. MAC 표준화 현황 및 MAC 기술 개요

IEEE 802.22 WRAN MAC 계층에 대한 표준화는 2005년 11월 총 8개의 MAC제안서가 제출되었고 ETRI-Samsung-Philips가 2006년 1월에 기본 통합안을 발표하였고^[6], 이후 기본 통합안에 2006년 3월 회의에서 Motorola, I2R등의 부분기술을 추가하여 2006년 5월 회의에서 Draft v.0.1문서로 WG에서 채택 되었다^[7]. 2006년 10월 회의에서 이 Draft v.0.1문서에 포함된 기술 중에서 한 개의 TV대역 즉 6MHz의 단일 채널을 사용하는 기술을 중심으로 Mandatory기술을 정의하여 Draft v.0.2를 작성중에 있으며^[8], 2007년 3월 현재 Draft v.0.2에 대한 Comments & resolution 작업이 진행 중이다.

IEEE 802.22 WRAN시스템의 MAC 계층은 기본적으로 IEEE 802.16과 유사한 OFDMA방식의 데이터 전송체계를 기반으로 TV대역에서 기 사용자(Incumbent User, 이하 IU)인 TV신호 및 FCC Part 74 (Wireless Microphone, 이하 WMP)등을 의무적으로 보호하면서 WRAN 신호를 전송하는 방식에 대한 표준화를 진행하고 있다. IU를 보호하면서 데이터 전송을 하기 위

해서는 다음과 같은 세 가지 기술을 고려하여야 한다.

첫째, WRAN시스템이 앞서 언급한 TV대역을 사용하기 때문에 이 대역을 사용하는 1차 사용자인 TV신호와 2차 사용자인 Part 74(예를들면, 무선마이크), Part 90(응급신호기기)등의 IU에 대한 적절하고 효과적인 센싱 기술의 수행 및 IU 센싱 보고체계, 다중 주파수 환경에서의 채널선택 및 운용.

둘째, TV 대역에서의 효과적인 데이터 전송을 위한 채널결합 및 부분대역폭 사용 등을 지원하는 MAC 계층 기능 및 프레임 구조의 설계.

셋째, IU보호를 위한 채널관리 및 CPE들 간의 효율적인 상호 간섭 회피 기능 및 자기공존(Self Coexistence)기능.

이러한 세 가지 기술이 IEEE 802.22 WRAN MAC계층의 핵심내용이다.

본 절에서는 [8]에 채택된 WRAN 데이터 전송, IU보호, 자기 공존에 대한 MAC기능을 중점적으로 논의 한다.

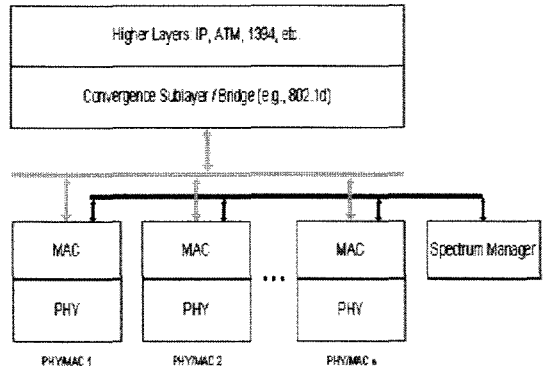
2. 프로토콜 스택 구조

앞서 언급한 채널결합 및 부분대역폭 사용 등 다중 주파수 환경에서의 효율적이며 효과적인 자원관리를 위해서는 그림3과 같은 다중 주파수 환경에서 동작하는 다중 MAC계층 구조를 고려하여야 하며, 다중 MAC을 제어하는 Spectrum Manager의 역할에 대해 중요하게 고려하여야 할 것이다. 이는 CR시스템이 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

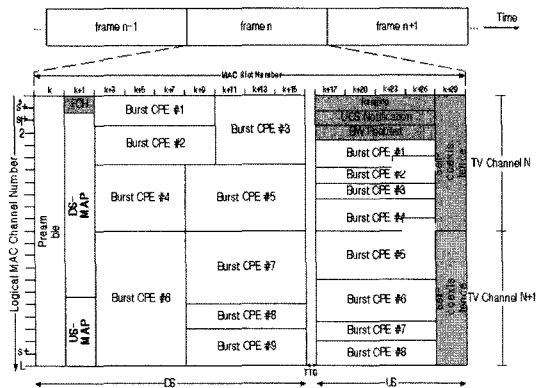
가지 기술이 채택되어 있는데, 연속되는 2개 이상의 빈 대역을 결합하여 사용하는 채널결합 기술과, 연속하지 않는 빈 채널을 묶어서 사용하는 채널수집 방식이 있다. 이러한 다수의 채널을 사용하여 특정 CPE에 할당하는 것은 대역폭을 비교적 수월하게 증가시켜 높은 전송율을 지원하는데 그 이점이 있으나 현재 WG 내에서는 단일 채널 동작을 기반으로 표준화를 진행하고 있기 때문에 이들 두 기술은 모두 Optional 기술로 분류되어 있다. 주의할 점은 FRD^[11]에는 TV가 사용되는 채널의 양쪽 인접 채널은 CR사용자가 사용할 수 없게 명시되어 있으며 아울러 WMP(200KHz의 대역폭)가 동작하는 채널의 전체 6MHz 대역에 대해서도 CR 사용자가 사용할 수 없게 규정되어 있다.

3. WRAN 프레임 구조

Draft v.0.2는[8], IEEE 802.16 MAC을 기반으로 CR기능 및 TV대역에서의 최적화기능을 추가한 형태로 작성되었으며 현재 부분기술들에 대해 수정 중에 있다. 이는 OFDMA 기반 데이터 전송기능과 대역폭 할당방식, 프레임구조 등이 802.16과 유사하지만 이에 더하여 채널결합기능과 부분대역폭 사용 등을 위해 그림 1과 같이 프레임구조가 변화되었다. 그림에서 보는 바와 같이 WRAN시스템의 프레임구조는 Superframe 단위로 관리가 되는데 802.16에서와 같은 개념인 프레임(5~10ms)들이 n개(현재 16개로 가정하고 있음) 모여서 하나의 Superframe을 구성하며 Superframe Control Header(이하 SCH)에는 채널결합정보, QP(Quiet Period: In-band sensing 즉 자신이 사용하는 채널을 탐색하기 위해 데이터 전송을 중단하는 시간) 정보, 프



〈그림 3〉 WRAN Protocol Stack 구조



〈그림 4〉 제안된 프레임 구조

레이의 개수, 전력정보, 위치정보 등이 표시된다^[8]. 주목할 점은 Superframe 단위로 QP가 할당되며 관리된다는 것과 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 WRAN시스템에서 제안된 프레임구조는 그림 4와 같다. 기본적으로 802.16과 전반적으로 유사하나 가장 큰 차이는 US(Up Stream)상의 구조에 UCS(Urgent Coexistence Slot)와 자기공존 슬롯의 존재이며, 그림은 2개 채널이 결합된 경우를 도시하고 있다. UCS 슬롯은 채널관리에 필요한 채널탐색과 관련된 것인데 [8]에 제시된 채널탐색방식은 기본적으로 BS가 CPE에게 채널탐색에 대한 주기와 보고를 명시한 메시지를 내리고(4절 참조), 이 응답에 대한 US 슬롯을 BS가 US-MAP상에 미리 그 위치를 지정해주는 방식인데 이러한 주기적인 탐색을 제외한 시간에서 IU가 출현할 경우에는 BS가 미리 US-MAP상에 보고슬롯을 할당할 수 없는 상황이기 때문에 UCS 슬롯과 같은 경쟁모드로 IU의 출현을 BS에게 보고할 수 있게 미리 지정해 놓은 슬롯이다. 경쟁방식과 보고 절차는 802.16에서 CDMA코드를 사용한 대역폭 요청 방식과 유사하다.

자기공존 슬롯은 802.22 WRAN시스템에서 중요하게 고려되는 WRAN간의 공존 문제를 해결하기 위해 설계되었으며, 이 슬롯을 통하여 인접된 또는 중첩된 타 WRAN기지국과 CBP(Coexistence Beacon Protocol)와 같은 제어 메시지를 교환하기 위해 설정되었다(5절 참조). 그 외의 부분은 802.16과 유사한 목적으로 설계되었다.

4. 기 사용자 보호

802.22 WRAN시스템에서 가장 핵심적인 부분은 CR기술을 802.16과 같은 기존의 전송방식에 어떻게 적용할 것이냐는 관점이고, 이에 대해 제시된 기술들의 집합체가 바로 공존문제이다.

기존의 802.16 또는 802.20등의 시스템에서는 공존문제를 표준화가 마무리되는 시점에서 토의 하였으나 802.22에서는 표준화 초반부터 하나의 논제로 설정하여 이 문제에 대한 명확한 접근방식을 FRD에 요구하였다¹¹⁾. 이는 802.22시스템이 CR기술을 기반으로 하였기 때문에 발생하는 당연한 절차이다. 공존 문제는 기존의 같은 시스템끼리의 자기공존 문제 뿐 아니라, CR기술의 적용으로 발생하는 IU와의 공존문제가 우선적으로 보장되어야 한다(IU Protection). 이는 CR 사용자가 IU 대역을 일시적으로 차용해서 사용한다는 CR기술 고유의 특성 때문이다.

가. 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 주고받는 현재 연결된 채널을 말하며, Out-band라 함은 현재 데이터 전송에 사용하지 않는 나머지 채널을 말한다. 이러한 구분은 채널 탐색의 요구사항이 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 CR시스템에서 매우 중요한 변수이다. 따라서 in-band sensing과 out-band sensing의 구분은 QP의 존재 여부로 구분지어질 수도 있다. 아울러 in-band 와 out-band는 좀더 세분화 할 수 있는데 현재 [8]에 제시된 채널 집합 관리 방식을 보면 CR사용자가 사용하는 동작집합(Active Set), CR사용자가 사용가능한 후보 채널의 집합인 후보집합(Candidate Set), IU가 사용하고 있는 점유집합(Occupied Set), 사용

이 허가되지 않은 금지집합(Disallowed Set), 그 외의 나머지 채널의 집합인 잔여집합(Null set)으로 구분하여 채널을 효율적으로 관리하게 되어 있다.

채널 탐색을 위해 사용되는 MAC 메시지는 네 가지로 정의 되는데 BLM-REQ(Bulk Measurement Request: BS->CPE), BLM-RSP(Bulk Measurement Response: CPE->BS), BLM-REP(Bulk Measurement Report: CPE->BS), BLM-ACK(Bulk Measurement Acknowledgement: BS->CPE) 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 IU출현과 같은 응급 상황 시 앞서 언급한 UCS슬롯을 사용하여 보고 하거나, BS는 CPE에게 특정한 목적의 응답을 요구할 수 있는데, 이는 TV 또는 Part-74 장비인지의 여부 즉 해당신호의 IU의 종류를 요구하거나, 다음 절에서 고찰될 CBP(Coexistence Beacon Protocol)보고 요청, 패킷의 오류율, 위치정보 등을 구체적으로 요구할 수 있게 설계되어 있다. 이러한 탐색결과는 BS의 철저한 기사용자 보호를 위해 사용되는 것이다.

나. IU 출현의 보고

IU 통보는 CR기술의 핵심기술로서, IU출현이 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 시스템인

지 등의 상황에 따라 다양한 시나리오를 가지며, 이에 따라서 최적의 IU 통보 방식이 설계 되어야 한다. IU 통보방식은 기본적으로 크게 세 가지로 나눌 수 있으며 먼저 Implicit 통보 방식은 CPE나 BS 측에서 해당 프레임에 교환 되어야 할 신호가 올바르게 수신되지 않으면 IU출현을 “의심”하는 방식이다. 따라서 Implicit 방식은 타이머나 수신되어야 할 메시지의 개수 등을 사전에 정의해 놓고 이 기간(횃수)내에 올바르게 수신 되지 않았을 경우에 IU가 출현 했다고 판단을 내리는 방식이다. 이러한 Implicit 방식은 IU의 출현뿐만 아니라 해당 송,수신기가 Deep Fading과 같은 열악한 채널환경에 기인한 비정상적인 신호전달 상황에서도 채널 전환을 발생 시키기 때문에 CR기술에서 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 Implicit방식이 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 CR사용자가 해당채널을 비워주도록 규정하고 있는데, 이는 CR사용자가 해당채널에 IU가 출현해도 최대 2초까지 해당 채널을 사용해도 된다는 것을 의미하기도 한다. 이를 이용하여 매 2초마다 주파수를 전환하여 전송하는 DFH(Dynamic Frequency Hopping)방식이 제안되었으며 현재 WG내에서 채택되지 못했다^[3]. Explicit방식은 근본적으

로 IU가 출현해도 허용된 응답시간 동안에는 해당 채널을 사용해도 된다는 개념에 기반을 두고 있다. 이는 IU가 출현 했어도 그 채널을 통하여 채널 전환 메시지(CHS-REQ)를 CPE측에 보내서 CPE로 하여금 즉각적으로 채널을 전환하도록 하는 방식이다. 이는 앞서 언급한 Implicit 방식보다 빠른 시간에 채널전환을 할 수는 있으나 BS근처나 CPE 근처에 수신되는 CR신호레벨과 유사한 전력으로 IU신호가 수신될 때에는 해당 메시지를 수신할 수 없는 상황이 발생하여 결과적으로 Explicit 방식이 성공하지 못할 수 있다. 따라서 IU 통보방식은 Explicit 방식을 먼저 시도 하고 실패할 경우에 Implicit 방식을 수행하는 방식으로 제안되고 있다. IDRP는 해당채널에 IU 출현 시 다른 사용가능한 채널로 전환하는 과정을 나타낸다. 이에 대한 자세한 과정은 [8]에 언급되어 있으며 2007년 3월 현재 ETRI-Philips측 간에 단일화 프로토콜 작업을 진행하고 있다.

5. 자기공존(Self Coexistence)

WRAN 시스템에서는 셀 간에 사용 가능한 채널 집합을 공유하여야 하므로 인접된 셀 간에서도 상호간의 간섭회피 및 IU에 대한 정보를 공유하여야 하며, 채널 이용 정보를 서로 간에 교환하여야 효과적으로 시스템을 유지할 수 있다. 자기공존 문제를 해결하는 방식은 크게 두 가지 방식을 고려할 수 있는 데, 첫째는 기존의 유선망으로 기지국을 연결하는 방식이며, 둘째는 무선링크로 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 중요메시지들을 다른 네트워크의 상태에 의존한다는 단점이 있다. 반면에 무선링크로 자기공존문제를 해결하는 방식은 WRAN 시스템 프로토콜 내에서 자기 조정능력을 갖게 되며, 보다 짧은 시간에 중요 정보들을 서로 간에 교환할 수 있다는 장점이 있다. 무선링크의 단점은 MAC계층이 다소 복잡해질 것이며, 아울러 셀 커버리지를 설계할 때 무선링크 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 2의 자기공존 슬롯을 통하여 서로 다른 공존 IUC(Interval Usage Code)를 통하여 전송하기 때문에 CBP를 수신할 수 있다^[8]), 해당 CPE는 수신된 CBP정보를 자신을 관할하는 기지국에 CBP의 내용을 보고하게 된다. CBP를 수신한 기지국은 CBP의 정보를 기반으로 채널전환, 송신 전력제어, 자원공유(Resource renting^[8]) 또는 Clustering^[8] 등의 자원최적화 과정에 참여하여 간섭을 줄이고 효율적으로 대역을 사용하게 된다. 아울러 해당 기지국은 자원관리 결과를, 관할하는 모든 CPE에게 전송하고 셀 경계의 CPE를 통하여 인접 셀로 전송되는 과정이 반복되게 된다. CBP에는 관할

기지국의 번호, 자원요구사항, Active 채널집합, Candidate 채널집합 등 현재 셀에서의 채널상태 및 자원사용 정보를 포함하고 있다. 이러한 CBP를 통한 기지국간의 정보교환으로 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 자기공존 문제를 해결하기 위해 Inter Base Station Communication Protocol[®]이 제안되어 있다. 이는 CBP가 메시지를 전송하여 채널정보를 교환하는 것과 달리 BS 간에 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. 비면허사용자인 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 임계값⁹⁾에 대해서는 WRAN 기능 요구 사항에 표 2와 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.

〈표 2〉 1차 사용자의 센싱 요구 조건

	DTV	NTSC	Part 74 device	무선마이크 Beacon
최소수신레벨(dBm)	-116	-94	-107	-120
채널대역폭 (MHz)	6	6	0.2	0.01
SNR (dB)	-22.2	-0.2	1.5	1.5

따라서 정해진 1% 혹은 10%의 오경보 확률에서의 SNR에 따른 검출 확률을 제시하여야 한다

WRAN 표준화에 참여하는 각 기관들은 여러 가지 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 시점에는 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.

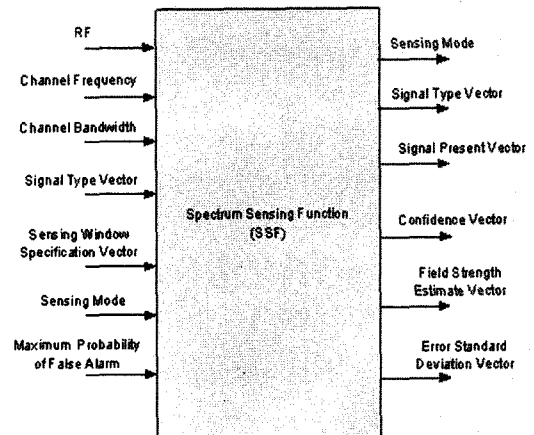
센싱 알고리즘은 크게 WRAN 사용자가 통신 중인 Active 채널에 QP을 설정하고 해당 채널을 센싱하는 방법과 QP를 설정하지 않고 해당 채널을 센싱하는 방법 두 가지로 나뉜다. 우선 QP를 두고 채널을 센싱하는 방법을 살펴보도록 하겠다. 2007년 1월 회의까지 발표된 DTV의 센싱 주요 알고리즘은 다음과 같다. 가장 좋은 성능을 제시한 I2R의 알고리즘¹⁰⁾은 수신된 신호의 공분산 행렬에서 최대, 최소 고유값을 계산한 후 그 비율을 이용하는 것으로써 이상적인 경우 수신 신호가 잡음이면 그 비율이 1에 근사한 특성을 나타내므로 수신 신호로부터 계산된 비율이 임계값보다 클 경우 신호가 존재한다고 판단

하는 기법이다. 다음은 Thomson사에서 발표한 DTV 신호의 프레임 특성을 이용하는 방식으로 832 심볼 길이를 가지는 PN 시퀀스로 구성된 펄드 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. DTV 신호의 pilot tone을 이용하는 방법^[12]은 pilot tone을 기준으로 10kHz 대역의 에너지를 측정하는 방법으로 pilot에 의해 다른 부분보다 에너지가 큰 특성을 이용하는 것이다. 그리고 Huawei에서 제시한 스펙트럼 상관 특성을 이용한 방법^[13]은 수신된 신호의 스펙트럼 패턴의 부분적인 정보와 이상적인 DTV 신호의 스펙트럼 패턴과의 상관 특성 결과로부터 신호를 검출하는 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^[14]이다. 또 다른 방법은 WRAN 송신 신호와 직교 성질을 가지는 패턴을 만들고 이 패턴을 수신 신호와 곱해주면 간섭 신호와 잡음의 합만이 남게 되므로 이 값을 잡음의 임계값과 비교하여 신호 출현을 판단하는 방법^[15]이다.

IEEE 802.22에서는 스펙트럼 센싱 알고리즘에 대해 구현 시 결정되어야 할 문제로 간주하

고, 제시된 알고리즘들은 성능 평가를 통해 표준 문서에 informative annex로 처리할 예정이다. 현재는 센싱 알고리즘에 대해 Spectrum Sensing Function(SSF)^[16]을 통해 입·출력 정보를 정의하는 작업을 진행하고 있다. 현재까지 정의된 SSF는 그림 5와 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 출력으로 나온다. mode 1의 경우는 mode 0의 경우와 동일한 입·출력 조건에 다 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.



〈그림 5〉 Spectrum Sensing Function

V. Geolocation

1. Geolocation 현황

WRAN 시스템에서 시스템 내의 모든 BS 및 CPE들의 위치 정보가 알려져 있다면, 시스템은 복잡한 채널 환경에 능동적으로 대처 할 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 제안 되고 있다. 현재 표준화에서 논의 되고 있는 Geolocation 방법들은 최대한 기존에 제시된 WRAN 시스템을 그대로 활용하기 위하여 추가적인 H/W나 기타 변경 사항이 최소화 되는 새로운 방법들을 중심으로 논의 되고 있다.

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 위치추적 서비스, 응급 상황 발생 시 필요한 조치를 취하게 하는 안전 및 보안 서비스, 가입자 주변의 주변지역 정보 제공 서비스, 광고 및 상거래 응용 서비스 등을 제공할 수 있다.

시스템 운용 목적으로서의 Geolocation 정보는 먼저 기존 사용자 신호인 TV와 무선 마이크

사용자를 보호하는데 활용 될 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 마이크 사용자 보호를 위하여 무선 마이크와의 상대적인 위치를 확인하여 주파수 및 출력 파워를 능동적으로 변화 시킬 수 있으므로 Geolocation 정보는 전력제어 성능 향상에 도움을 줄 수 있으며, WRAN 시스템이 분산 센싱에 의지 할 수 있는지 확인하기 위하여 CPE간의 상대적인 위치를 파악하는데 유용한 정보로도 쓰일 수 있다.

3. Geolocation 필요조건

802.22 WRAN 시스템은 33km 이상의 넓은 서비스 커버리지와 인구 밀도가 낮은 지역에서 사용하는 고정형 시스템으로서, 셀 환경이 상대적으로 작은 기존의 이동통신용 Geolocation 시스템과 다르다. 또한 CPE는 지향성 송수신 안테나를 사용하므로 CPE간의 통신이 어려워 새로운 Geolocation 방법 및 알고리즘이 필요하게 된다. 설계 시 우선적으로 고려되어야 할 Geolocation의 성능은 아래와 같다^[17].

- BS location resolution: 반경 15m 이내의 정확도로 BS 안테나 위도, 경도 파악
- CPE location resolution: 67%에 대해서는 반경 100m, 95%에 대해서는 300m, E911 Phase II의 Network based geolocation accuracy 규격을 따름
- Prevention of CPE movement: ranging 동

안 비정상적인 CPE 신호 변화가 있을 경우 CPE의 이동 가능성이 있으므로 BS은 CPE에게 위치 정보 요구

- Prevention of incorrect of corrupt CPE location data: WRAN 시스템은 적어도 매 24시간 이내에 위치 데이터 update
- Disassociate CPE: CPE 위치정보가 부정확하거나, 1km 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

4. Geolocation Techniques

표준화 회의에서는 기존의 GPS 및 기타 Geolocation 방법이 아닌 하드웨어의 추가 없이 WRAN 시스템 자체의 OFDM 신호 성질을 이용하여 위치 정보를 획득하는 방법에 대하여 논의 하고 있다. 현재 제안 된 방법은 OFDM 신호에 사용되는 pilot 신호의 특성을 이용하는 것이다[18]. Pilot 신호를 이용한 방법은 QPSK 변조 시에 $\pm 45^\circ$, 16-QAM 변조 시 $\pm 19^\circ$, 64-QAM 변조 시 수신기의 정상도가 $\pm 7.5^\circ$ 위상 해상도로 복조되는 성질과, 서로 다른 총 12개 pilot 파형의 거리에 따른 위상 변화를 이용하여 최대 1.04m의 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.

〈표 3〉 Pilot 주파수에 따른 변조 방식 별 최대 해상도

Pilot Freq. (Hz)	Wavelength 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 완료로 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.

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.

참고문헌

- [1] IEEE802.22, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard," IEEE802.22-05/007r46, September 2005.
- [2] C.J. Kim et al., "ETRI's OFDMA parameters based on simulation results," IEEE802.22-06-0248 -00-0000, Nov. 2006.
- [3] Eli sofer., "Runcom PHY Single Channel specifications," IEEE802.22-07-0019-02-0000, Jan. 2007.
- [4] Monisha, "OFDM Parameters and Preambles," IEEE802.22-07-0003-00-0000, Jan. 2007.
- [5] Wai Ho 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, July 2006.
- [10] Yonghong Zeng et al., "I2R Sensing," IEEE802.22 -06-0187-01-0000, Nov. 2006.
- [11] Hou-Shin Chen et al., "Signature Based Sensing" IEEE802.22-07-0028-00-0000, Jan. 2007.
- [12] Steve Shellhammer, "An Evaluation of DTV Pilot Power Detection" IEEE802.22-06-0188-00-0000, Sep. 2006.
- [13] Linjun Lv et al., "Simulation Results Spectral Correlation Sensing, " IEEE802.22-07-0034-00-0000, Jan. 2007.
- [14] Linjun Lv et al., "Interference Detection with Preamble," IEEE802.22-07-0032-00-0000, Jan. 2007.
- [15] Linjun Lv et al., "Orthogonal Interference Detection," IEEE802.22-07-0033-00-0000, Jan. 2007.
- [16] Steve Shellhammer, "The Spectrum Sensing Function," IEEE802.22-07-0052-00-0000, Jan. 2007.
- [17] Winston Caldwell, "Geolocation with Database Requirement Development", IEEE802.22-06-0159-00-000, Nov. 2006.
- [18] Ivan Reede, "Ranging and Location for 802.22 WRANs", IEEE802.22-07-0015-00-000, Jan. 2007.

저자소개



엄 중 선

2004년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 학사
 2006년 2월 성균관대학교 전자전기공학과 석사
 2006년 2월 - 현재 한국전자통신연구원

주관심분야 : Cognitive Radio, WRAN, Modem
 기술, 이동통신시스템



고 광 진

1995년 2월 동국대학교 전자공학과 학사
 1997년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
 2003년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
 2003년 2월 - 2005년 6월 고려대학교 통신수학연구
 센터 연구교수

2005년 7월 - 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 주관심분야 : Cognitive Radio, 무선통신 MAC 계층
 설계, 성능분석, 구현, 무선통신 이론

저자소개



임 선 민

2000년 2월 충남대학교 정보통신공학과 학사
 2002년 2월 충남대학교 정보통신공학과 석사
 2006년 9월 - 2007년 2월 현재 한국전자통신연구원
 인지무선연구팀

주관심분야 : 통신 신호 처리, 스펙트럼 센싱



김 상 원

1999년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
 2003년 2월 서강대학교 전자공학과 석사
 2003년 2월 - 2005년 3월 LG 전자 단말연구소
 2005년 6월 - 현재 한국전자통신연구원

주관심분야 : RF 시스템 및 광대역 선형화기 회로 설계



송 명 선

1984년 2월 충남대학교 전자공학과 학사
 1986년 2월 충남대학교 전자공학과 석사
 1986년 1월 - 2007년 2월 현재 한국전자통신연구원
 인지무선연구팀장

주관심분야 : Cognitive Radio, 밀리미터파 시스템