

WRAN 스펙트럼 센싱 기술

(Spectrum Sensing Techniques in WRAN)

□ 강법주* / *동국대학교 정보통신공학과

1. 서론

최근 전파이용이 무선 인터넷 전자상거래, 교통, 재난구조 등 생활 전 분야로 확대되고 광대역 멀티 미디어 이용 수요가 증대됨에 따라 주파수의 부족 문제가 대두되고 있다. 특히 전파특성이 우수해서 무선통신 서비스에 가장 유리한 3 GHz 이하 대역의 주파수 자원의 부족 문제가 심각해지고 있는 실정이다. 그러나 기 분배된 주파수는 상당 부분이 사용치 않거나 이용 효율이 떨어지고 있어, 이들 대역의 사용 방안을 강구할 필요가 있다 [1].

기존 주파수 활용의 측면을 살펴보면, 800MHz 및 1.8GHz 대역의 2세대 이동통신 시장의 성장과 더불어, 2GHz 대역의 3세대 이동통신 서비스가 출현하였으며, 그 외에도 2.4GHz ISM 대역 및 5GHz 에서 무선 LAN의 활성화와 2.3GHz 대역에서의 WiBro 서비스의 상용화를 앞두고 향후 광대역 이동

인터넷 액세스 서비스에 대한 지속적인 수요가 예상되고 있다. 또한, WPAN(wireless personal area network) 기반의 홈네트워크 시장이 활성화와 더불어 UWB(ultra wideband) 등과 같은 새로운 스펙트럼 활용 기술이 출현할 것으로 예상된다. 이와 같이 급속히 발전하는 무선통신 시스템은 응용 환경에 따라 다양한 대역의 할당을 요구하고 있으며, 무선 서비스의 광대역화에 따라 소요 주파수 대역의 확장에 대한 요구사항이 지속적으로 늘어나고 있다. 그러므로 4세대 이동통신의 표준화를 앞두고 새로운 주파수 대역의 할당을 위한 정책적 쟁점이 예상되며, 기존 대역의 활용성을 극대화하기 위한 새로운 기술 개발에 대한 노력이 요구된다.

주파수 부족 문제를 해결하기 위해서는 주파수 이용효율의 극대화가 필요하며, 이를 위해서 국가 전파정책인 주파수 지정 할당 및 이용으로부터 허

가 없이 유연하게 사용할 수 있는 개방형 주파수 할당으로의 패러다임의 변화가 필요하다. 현재 세계적으로 주파수 부족 문제 해결과 이미 할당된 주파수의 효율적 사용을 위해 CR(cognitive radio), UWB와 같은 주파수 공유 기술을 개발하기 위해서 노력 중에 있다[1].

주파수 공유 기술을 적용하면, 사용효율이 떨어지는 주파수에서 기존 1차 서비스에 간섭을 주지 않으면서도 주파수를 공유하면서 사용할 수 있기 때문에 주파수 이용 효율이 향상되고, 무선인지기술과 같이 언제, 어디서나, 어떤 조건에서도 통신수단으로 접근할 수 있는 가능성이 큰 진보적인 통신 시스템의 개발이 지식정보화 시대의 국가 경쟁력 향상에 중요한 척도가 되며 앞으로 다가올 유비쿼터스 시대에는 그 비중이 더 확대될 것이다.

이러한 추세에 맞추어 미국, 캐나다 등 선진국에서는 수 년 전부터 다양한 국가 프로젝트를 통해 무선인지기술과 같은 주파수 공유 기술 개발에 적극적인 지원을 하고 있으며, 공유기술 활용을 위한 주파수 정책 변화를 계획하고 있다.

실제 미국 FCC는 2003년 12월에 “Cognitive Smart Radio”에 대한 입법 예고를 단행하여 이에 대한 법률적 토대를 마련하였다. 이에 IEEE 802에서는 54-746 MHz VHF/UHF TV 대역에서 무선인지(cognitive radio) 기술을 기반으로 하여, 국지적으로 사용하지 않는 주파수 대역을 활용하여 광대역 무선 인터넷 서비스를 제공하는 IEEE 802.22 WRAN (wireless regional area network) 표준화 작업을 단행하였다. 2005년 11월 IEEE802.22회의에서는 WRAN 시스템 구현을 위한 많은 기능적 요구사항을 바탕으로 WRAN 시스템을 위한 PHY 및 MAC 계층 규격에 대한 표준 후보안을 접수하였고, 이를 바탕으로 2006년 3월 회의에서는 크게

ETRI/Philips를 중심으로 한 통합안과 STmicro/Runcom을 중심으로 한 통합안 등 두개의 표준 후보안으로 통합되어 향후 하나의 통합 표준안 형태로 통합작업이 진행 중에 있다.

본 논문에서는 무선인지기술 개요를 설명하고 현재 표준화가 진행중인 WRAN 시스템에 대하여 간략하게 언급하고 있다. 또한 본 논문에서는 현재 무선인지기술에서 중요하게 언급되고 있는 세 가지의 센싱기술인 정합필터 기반의 센싱방법, 에너지검출 기반의 센싱방법, 그리고 스펙트럴 상관 기반의 센싱방법 등을 설명하고, WRAN 표준화에 제안되고 있는 센싱기술들에 대하여 설명하고 있다.

IEEE802.22 표준화에 제안된 각사의 센싱기술들은 최종적인 표준안으로 결정하는 방법으로 스펙트럼센싱 성능 평가에서 가장 우수한 평가결과를 보이는 센싱기술이 선정될 예정인데 본 논문에서는 IEEE802.22 표준화그룹에 각 사에서 제안한 센싱기술들을 평가할 다섯 가지의 평가 시나리오들에 언급하고 평가방법에 대하여 설명하고 있다.

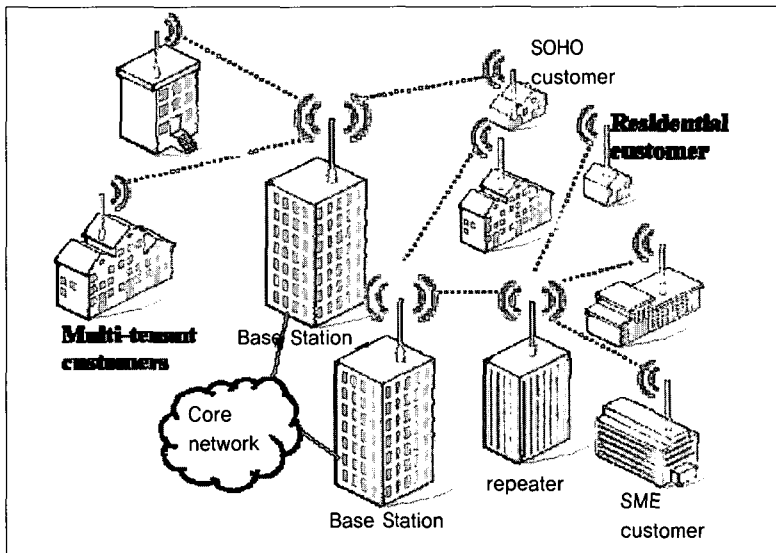
II. 스펙트럼 센싱 기술

1. 무선인지기술 및 WRAN 개요

무선인지기술은 주변 무선 환경에 관한 다양한 정보를 인지하여 이미 다른 용도로 할당된 스펙트럼이 유휴 상태에 있음을 감지할 경우, 해당 스펙트럼의 incumbent 사용자의 우선권을 보장하면서 유휴 상태 대역을 일시적으로 사용하기 위한 기술로서, 특정 무선 자원이 사용 가능해지는 현재 또는 미래의 시점을 고려하여 전송 시점을 제어한다.

무선 통신망에서 사용 가능한 스펙트럼은 매우 제한적이지만 이들 대역이 모두 동시에 사용되는 것이 아니라 부분적이며 간헐적으로만 사용된다. 그러므로 주파수 및 시간이라는 2차원적인 관점에서 이러한 유휴 스펙트럼들을 모아서 필요할 때 사용하는 스펙트럼 풀링(spectrum pooling) 개념이 등장하였으며, 이를 실현하기 위해서는 특정 스펙트럼의 가용성 여부를 인지하고 자원을 제어할 수 있는 무선인지기술 개념에 토대를 두고 있다. 다시 말해, 스펙트럼 풀링(spectrum pooling)은 주파수 면허를 가지고 있는 incumbent 사용자가 사용하지 않는 대역을 CR(cognitive radio) 사용자에게 제공하는 자원 공유의 개념이다. 만일 CR 사용자가 일시적으로 사용하고 있는 대역에 원래 면허 소유자인 incumbent 사용자가 출현하게 되면, CR 사용자는 incumbent 사용자에게 우선권을 양보하고 대역을 비워주어야 한다. 이를 위해 CR 사용자는 자원을 확보하기 위해 유휴 주파수를 탐색할 수

있도록 스펙트럼을 센싱해야 할 뿐만 아니라, incumbent 사용자가 재출현하는 것을 인지하기 위해 일시적으로 사용하고 있는 주파수를 지속적으로 감시해야 한다. 그러므로 무선인지 시스템에서는 유휴 스펙트럼을 관리하고 대역폭, 위치, 간섭 레벨 등에 따른 비용을 관리하기 위한 기능이 도입되어야 하며, 이 경우 CR 사용자는 무선인지의 개념을 사용하여 경제적인 스펙트럼 접근이 가능해야 한다. 즉, 무선인지기술을 통해 CR 사용자는 전송 지연과 자원의 가용성, 그리고 가격 등을 고려하여 언제 어떻게 전송할 것인지를 결정해야 한다. 지금까지 무선인지기술 관련 연구는 센싱 및 동적 채널 선택 기능의 구현에 집중해왔으나, 아직까지 다양한 측면에서의 연구는 초기 단계에 머물고 있기 때문에 관련 표준화에 필요한 선행 연구가 미흡한 수준이다. 따라서 센서 네트워크나 무선 LAN, 그리고 SDR(software defined radio) 등의 기존 연구에서 이미 도출된 연구 결과들과 CR 시



〈그림 1〉 WRAN 시스템 서비스 모형

시스템들과의 상호 관련성과 활용 방안에 대한 충분한 분석이 이루어져야 한다.

현재 IEEE802.22에서 표준화가 진행 중인 WRAN은 무선인지기술을 응용한 시스템으로 WRAN은 고정 환경에서 사용하지 않는 TV 방송 채널을 사용하여 시골의 넓은 영역에 분포되어 있는 가정, 다주택 건물, 학교 등에 무선 데이터 서비스를 제공할 목적으로 표준화되고 있는 시스템이다.

〈그림 1〉은 WRAN 시스템의 서비스 모형을 나타낸 그림이다. WRAN 시스템은 기지국과 다주택 건물, 학교, SOHO 등의 건물 지붕에 있는 CPE 안테나와의 무선 인터페이스의 규격을 담당한다.

먼저, IEEE 802.22는 IP 기반의 패킷 전송 모드 고정 전송률 서비스, 실시간 가변 전송률 서비스, 비실시간 가변 전송률 서비스, Best-effort 서비스 등과 같은 서비스를 제공한다.

이러한 IEEE 802.22 WRAN 시스템의 기본 요

〈표 1〉 IEEE 802.22 시스템 기본 요구 사항 [6]

| 항 목 | 요 구 사 항 |
|----------|--|
| 주파수 대역 | UHF, VHF (< 1 GHz) 47-806 MHz (PAL), 54-746 MHz (ATSC) |
| 대역폭 | 6, 7, 8 MHz, 해당 대역의 일부 또는 다중 밴드 사용 가능 |
| 듀플렉싱 | FDD or TDD |
| 채널 환경 | 고정 환경 전파 지연 : 최대 186 us RTD (Round trip delay) 기준 모형(기지국 안테나 높이:75m, CPE 안테나 높이:10m) |
| 셀 형태 | 반경이 넓은 단일 셀 또는 다중 셀 |
| 셀 크기 | 33 km |
| 사용자 밀도 | 1.5 users/ km ² |
| 안테나 | 등방형 또는 방향성 안테나 (센싱을 위해서는 등방형이음) TV 방송 센싱을 위해서는 수평 편광, CPE 센싱을 위해서는 수직 편광 사용 |
| Repeater | 선택적 자원 |

〈표 2〉 IEEE 802.22 시스템 성능 요구 사항

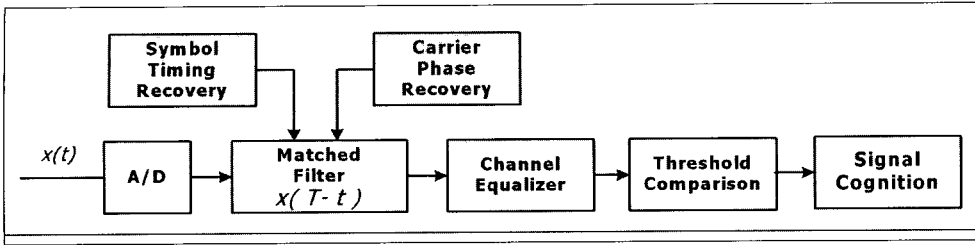
| 항 목 | 요 구 사 항 |
|------------|--|
| 용량 | 평균적으로 18 Mbps / 6 MHz |
| 최대 전송률 | 하향 링크: 셀 경계에서 가입자 당 1.5 Mbps 상향 링크: 셀 경계에서 가입자 당 384 kbps |
| 주파수 효율 | 최대 5 bits/(sec+Hz) 평균 3 bits/(sec+Hz) (오류 정정 포함) |
| Target PER | 무선 링크 PER: 0.1 MAC 비검출 패킷오류율 : 10 ⁻⁸ |

구 사항 및 성능에 대한 요구 사항은 〈표 1〉과 〈표 2〉에 나타내었다. 이러한 요구 사항을 만족하도록 시스템을 설계하여야 한다.

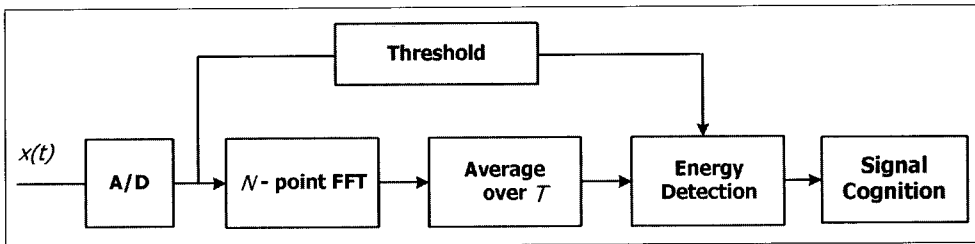
2. 스펙트럼 센싱 기술 [1]

1) 정합 필터 기반의 센싱방법

〈그림 2〉는 코히런트 검출 (coherent detection) 방식을 기반으로 하는 일반적인 무선 통신 시스템 수신단에서 사용되는 정합 필터의 구조를 도시하고 있다. 정합 필터는 수신 신호대잡음비 (Signal-to-Noise Ratio)를 최대화하여 원래 신호를 복조하는 최적의 신호 검출 방식으로 잘 알려져 왔다. 하지만 신호 인지를 고려했을 경우, cognitive radio 시스템은 incumbent 사용자 신호를 정확히 인지하기 위해 incumbent 사용자 시스템에 적용되는 세부적인 기술 규격을 사전에 미리 알고 있어야 한다. 이와 더불어, 〈그림 2〉에서처럼 정확한 동기화 및 채널 등화 등이 반드시 요구되는 사항들이기 때문에, 정합 필터를 사용하여 cognitive radio를 위한 신호 검출 과정을 수행하게 될 경우, 우수한 신호 센싱 성능이 예상되는 반면에 에너지 검출 방법에 비해 센싱 수신기가 다소 복잡한 단점을 가진다.



(그림 2) 정합 필터 기반의 신호 검출 구조



(그림 3) 에너지 검출기 기반의 신호 인지를 위한 시스템 구조

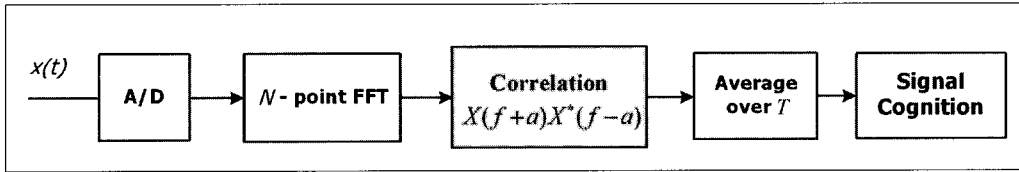
2) 에너지 검출 기반의 센싱 방법

(그림 3)은 앞 절의 코히런트 검출 방식과는 대조적으로 단순한 신호 에너지 검출을 통한 넌코히런트 검출(noncoherent detection) 방식 기반의 검출 과정을 고려할 수 있는데, 이 경우 수신 신호에 대해 FFT (Fast Fourier Transform) 연산 및 평균을 취한 후, 그 에너지를 구하여 특정 임계치와 비교하는 방법을 통해 해당 주파수채널 내에 존재하는 신호의 검출을 수행하게 된다. 그렇지만 이러한 에너지 검출 기반의 센싱 방법은 매우 간단한 시스템 구조를 요구하는 반면에, 크게 두 가지의 심각한 단점을 수반하게 된다. 첫째 incumbent 사용자 신호의 정확한 검출을 위해 요구되는 센싱 임계치는 통신 초기 미지의 혹은 매시간 변화하는 잡음 레벨에 매우 민감하고, 해당 채널 내에 존재하는 간섭 신호의 영향 또한 피할 수 없게 되며, 심각한 주파수 선택적 페이딩 (frequency selective fading)을 겪는 상황일

경우에도 역시 적정 센싱 임계치의 설정이 어려워진다. 둘째 에너지 검출만을 통해서 incumbent 사용자 신호, 간섭 신호, 잡음 성분 간의 구분이 난해하다는 단점을 갖게 된다.

3) 스펙트럴 상관 기반의 센싱방법

일반적으로 incumbent 사용자의 변조 신호에 대한 특성을 살펴보면, 단일 반송파 시스템의 경우에서 정현파, UWB(Ultra WideBand) 시스템의 경우에서 펄스 열(pulse train), 대역 확산 시스템의 경우에서 확산부호 또는 도약 시퀀스, OFDM 시스템의 경우에서 CP(cyclic prefix) 등과 같이 고유의 주기성을 갖는 성분들을 포함하고 있다. 이러한 주기적인 성분들은 전형적으로 수신기에서 반송파 위상(phase), 펄스 타이밍(pulse timing), 다중 경로 도착(arrival)등의 파라미터 추정을 위해 의도적으로 사용된다. 따라서 비록 전송 데이터는



〈그림 4〉 스펙트럴 상관 기반의 스펙트럼센싱을 위한 시스템 구조

stationary 랜덤 프로세스 (random process) 성격을 가지고 있으나, 변조된 신호는 그 평균과 자기상관함수(autocorrelation) 등이 통계적으로 주기성을 갖게 되므로 cyclostationary한 특성을 나타내게 된다. 일반적으로 stationary 랜덤 프로세스의 신호 분석을 위해서는 자기 상관 함수와 전력 스펙트럼 밀도 함수(power spectral density)를 이용하게 되지만, 이러한 cyclostationary 신호는 그 주기적 특성으로 인해 주파수 성분간의 상관성이 존재하게 되어 다음과 같은 스펙트럴 상관 함수 (spectral correlation function)를 이용할 수 있게 된다.

〈그림 4〉에서는 이러한 스펙트럴 상관함수를 이용한 스펙트럼 상관 기반의 신호 인지 과정을 도시하고 있는데, 앞서 〈그림 3〉에서의 에너지 검출 기반 방식에서 스펙트럼 상관을 위한 부분이 추가적으로 삽입된 다소 간단한 형태를 지니고 있다.

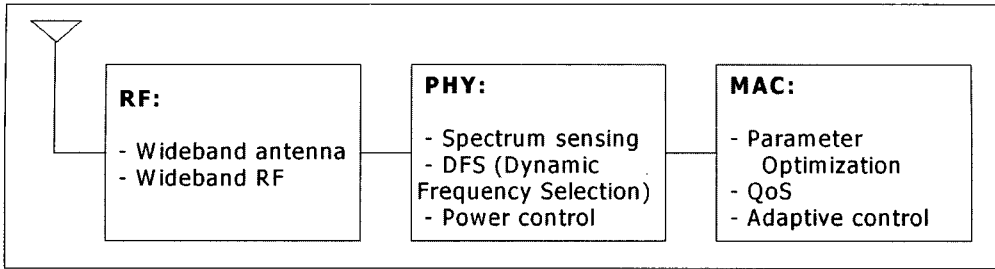
〈그림 4〉에서 N이 증가할수록 스펙트럼 분해능 (resolution)이 세밀해져 주파수 해상도가 우수해지므로 상대적으로 협대역(narrowband) 신호의 인지가 용이해지며, 또한 평균 시간 T가 길어질수록 잡음 성분의 상쇄를 통해 잡음 전력의 레벨을 낮출 수 있기 때문에 해당 채널에서의 SNR이 향상되는 장점을 기대할 수 있다.

한편, 주기적 스펙트럼, 즉 스펙트럴 상관함수 측면에서 살펴보면 변조된 incumbent 사용자 신호의 시간 관련 파라미터에 해당하는 위상 및 주파수 정

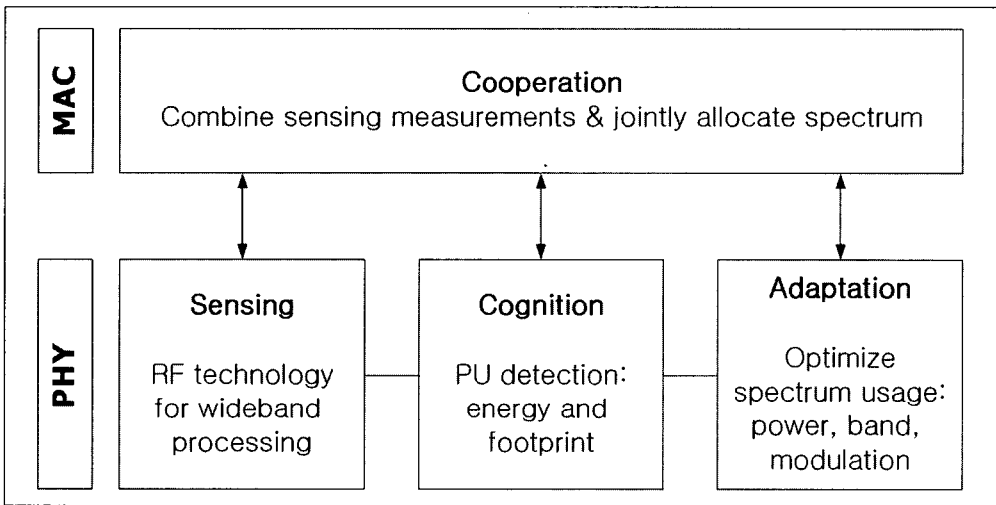
보는 그대로 보존되고, 변조 방식에 따라서도, 예를 들면 BPSK와 QPSK의 경우 동일한 PSD(power spectral density)를 갖는 반면에 각각의 스펙트럴 상관함수는 확실히 구분됨으로, 스펙트럼 상의 높은 자기 상관성을 제공하는 독특한 고유의 스펙트럴 상관함수 형태를 지니게 된다. 반면에 잡음 성분 및 간섭 신호의 경우에는 스펙트럴 상관이 거의 존재하지 않게 됨으로 인해 매우 낮은 상관값으로 존재하게 된다. 결과적으로, 〈그림 4〉에서의 스펙트럴 상관을 이용한 신호 인지를 통해 마지막으로 출력되는 정보는 incumbent 사용자 채널 내에 존재하는 신호의 수, incumbent 사용자 시스템의 신호 변조 방식, incumbent 사용자 시스템의 심벌 전송률, incumbent 사용자 채널 내 간섭 신호의 유무 등의 특징들을 도출하게 된다.

4) 스펙트럼 센싱에서 고려될 사항

무선인지(cognitive radio) 기술은 넓은 주파수 대역내의 스펙트럼 환경을 검색하고, 이러한 정보를 이용하여 사용자에게 개인의 통신 요구 사항을 최선으로 만족시키기 위한 무선 링크를 제공한다. 무선인지 시스템은 일반적인 무선 통신 시스템에 센싱, 인지, 적응 (sensing, cognition, adaptation) 등과 같은 기술을 추가함으로써 설계될 수 있다. 〈그림 5〉는 cognitive radio 시스템의 대략적인 구조도를 나타내며, 〈그림 6〉은 cognitive radio 시스



〈그림 5〉 Cognitive Radio 시스템의 구조도



〈그림 6〉 스펙트럼 센싱을 위한 계층 간의 상호 연관 기능

템에서 효율적인 스펙트럼 센싱을 위한 물리 계층 (physical layer) 과 MAC (medium access control) 계층 간의 상호 연관 기능을 나타낸다 [2].

실제로 〈그림 6〉에서와 같이 incumbent 사용자 신호의 센싱 그리고 스펙트럼 플링을 위한 스펙트럼 센싱을 위해서는 센싱 수신기와 MAC과의 상호 결합 기능을 통해 효율적인 채널관리 및 다수의 CR 사용자에게 의한 분산 스펙트럼 센싱 등이 가능하게 된다.

무선인지기술은 주파수 자원을 할당받은 우선순

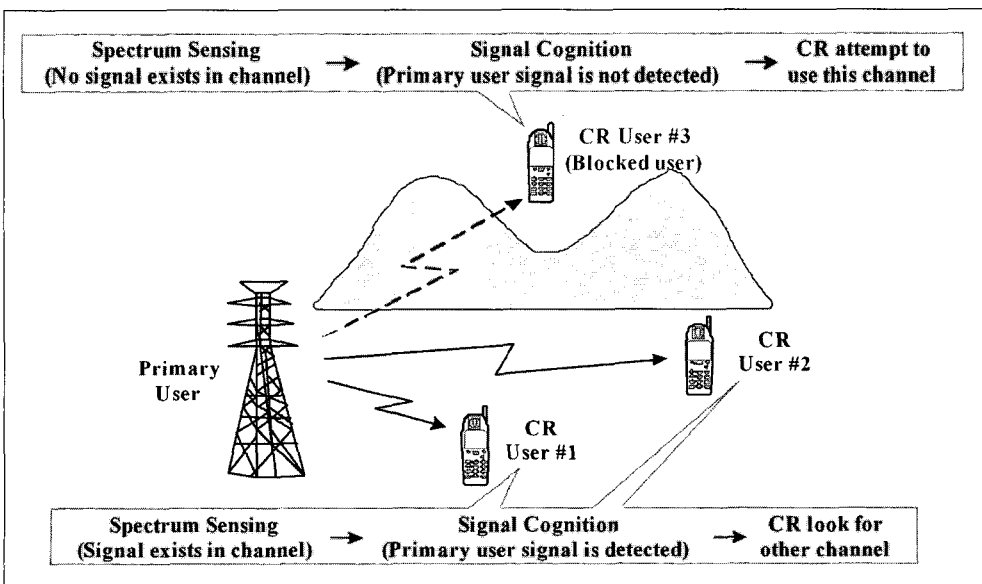
위가 낮은 CR 사용자의 경우에 항상 incumbent 사용자의 사용여부를 고려해야하기 때문에 기본적인 요구사항으로 CR 사용자는 incumbent 사용자에게 대해 간섭을 일으켜서는 안된다. 이와는 반대로, incumbent 사용자의 네트워크는 스펙트럼 공유를 위하여 무선인지 네트워크 기반을 변화시킬 필요가 없다. 그러므로 cognitive radio는 지속적인 스펙트럼 센싱을 통해서 incumbent 사용자의 존재 유무를 독립적으로 검출할 수 있어야 한다. 이때 incumbent 사용자는 신호의 종류에 따라 서로 다

른 센싱 임계치(sensing threshold) 및 센싱 주기(sensing period)를 요구한다.

원칙적으로 무선인지 시스템을 위한 센싱 수신기는 잠복 터미널 문제(hidden terminal problem)를 예방하기 위해서 뛰어난 성능으로 incumbent 사용자를 인지해내야만 한다. 그렇지만 다수의 CR 사용자가 공존해야 하는 상황에서는 <그림 7>에서와 같이 산, 빌딩 등의 장애물로 인한 새도우 현상 및 열악한 다중경로 페이딩 특성 등에 의해 심각한 잠복 터미널 문제가 일어날 수 있다. <그림 7>에서와 같이 incumbent 사용자에서 신호가 전송되면 먼저 정상적인 CR 사용자 #1과 #2의 경우 스펙트럼 센싱에 의해 현재 해당 채널 내에 신호가 존재한다는 것을 알게 되고, 스펙트럴 상호상관을 이용하여 그 신호의 정체가 incumbent 사용자의 신호임을 인지하게 되어 현재 해당 채널 내에서 incumbent 사용자들이 통신 상태에 있음을 인식하게 된다. 그렇지

만 잠복 터미널 문제에 처한 CR 사용자 #3의 경우 새도우 현상에 의해 incumbent 사용자의 수신 신호 감도가 약화되어 스펙트럼 센싱에 의한 해당 채널 내 신호검출에 실패하게 되고, 스펙트럴 상호상관 기반의 신호 인지 역시 실패하게 되어 실제 incumbent 사용자들에 의해 통신 중인 채널을 사용 가능한 채널로 오판하게 된다. 결과적으로 잠복 터미널 문제로 인해 CR 사용자 #3의 신호는 incumbent 사용자 시스템에 치명적인 간섭 영향으로 작용하게 된다. 다소나마 잠복 터미널문제를 해결하기 위해 CR 사용자들간의 유기적으로 센싱정보를 교환하는 프로토콜 구축과 페이딩, 차폐효과 등의 열악한 채널환경에서도 incumbent 사용자에 대한 신호검출 확률을 높이기 위한 분산 스펙트럼 센싱 방법 등이 강구되어야 할 것이다.

무선인지 시스템에서 incumbent 사용자의 sensitivity level에 관한 정보를 이용하여 특정 임계



<그림 7> 무선인지시스템에서 발생하는 잠복 터미널 현상

치와의 비교를 통해 원래 사용자를 찾아내는 일차원적인 방법으로는 실제 측정된 신호가 incumbent 사용자 신호 인지 아니면 간섭 신호 인지 또는 잡음 성분인지의 구분이 불가능하다. 이를 위해 채널 검출 과정에서 얻어진 결과를 기반으로 해당 채널을 점유하고 있는 신호의 특성을 정확하게 인지 및 분류하여 효과적인 정밀/특징 신호검출(fine/feature detection) 과정을 수행하기 위한 신호처리 방법이 요구되는데, 특징 검출(feature detection) 방법으로는 스펙트럴 상호상관(spectral cross-correlation) 방법 그리고 incumbent 신호가 파일럿신호, 비콘신호, 그리고 프리앰블 등을 포함하고 있으면 정합필터를 이용한 방법을 사용하고, 일반적으로 센싱 성능은 다소 낮더라도 센싱 수신기의 복잡성과 처리 속도 측면에서 우수한 성능을 보이는 에너지 검출 방법 등이 주파수 채널의 상태에 따라 결합된 방식으로 센싱방법이 제시되어야 할 것이다.

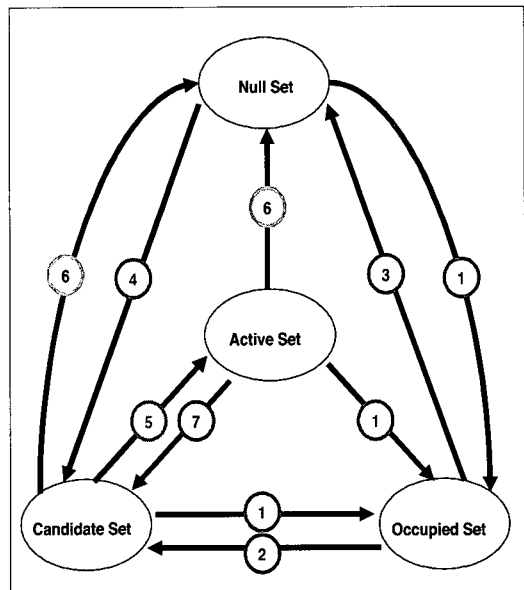
III. WRAN 스펙트럼 센싱 기술

1. 제안기술 소개 [3]

IEEE802.22 표준화에서 제안되고 있는 센싱 기술들은 크게 구형구조 측면에서 아날로그 검출기 및 디지털 검출기 등으로 구분할 수 있고, 다중채널 WRAN 시스템에서의 6,7,8 MHz를 하나의 채널로 설정한 경우 <그림 8>과 같이 각 채널의 상태 천이에 따라 요구되는 검출방법으로 에너지 검출과 미세 및 특징 검출 등으로 구분할 수 있다. 또한 incumbent 사용자 신호를 사전에 알고 센싱하는 방법과 센싱하고자 하는 신호를 모르는 상태에서 센싱하는 방법, 즉 센싱 환경에 따라서 적합한 센싱

기술들이 제안되고 있다.

다중 채널 WRAN 시스템에서는 <그림 8>과 같이 다중 채널들의 채널상태에 따라 해당 채널집합(channel set)으로 분류하여 채널들을 관리할 수 있는데, <그림 8>에서 active set은 현재 WRAN 기지국내에서 WRAN 사용자들이 사용 중인 채널들, candidate set은 WRAN 사용자들이 사용 가능하고 간섭 및 잡음레벨이 일정 임계치보다 낮은 채널들, occupied set은 이미 incumbent user가 사용 중인 채널이거나 WRAN 사용자에게 불허된 채널들, 그리고 null set은 WRAN 사용자들이 채널사용이 가능하지만 간섭 및 잡음레벨이 일정 임계치보다 높은 채널들로 정의하고, 이의 채널들의 상태 천이를 결정할 수 있는 센싱기술로는 에너지 검출 방법과 특징 검출방법 등이 제시되고 있다[3]. <그림 8>에서 각 채널집합(channel set)들의 상태천이를 위해 사용되는 센싱기술은 다음과 같다.



<그림 8> 다중채널 WRAN 시스템에서의 채널 상태천이 다이어그램

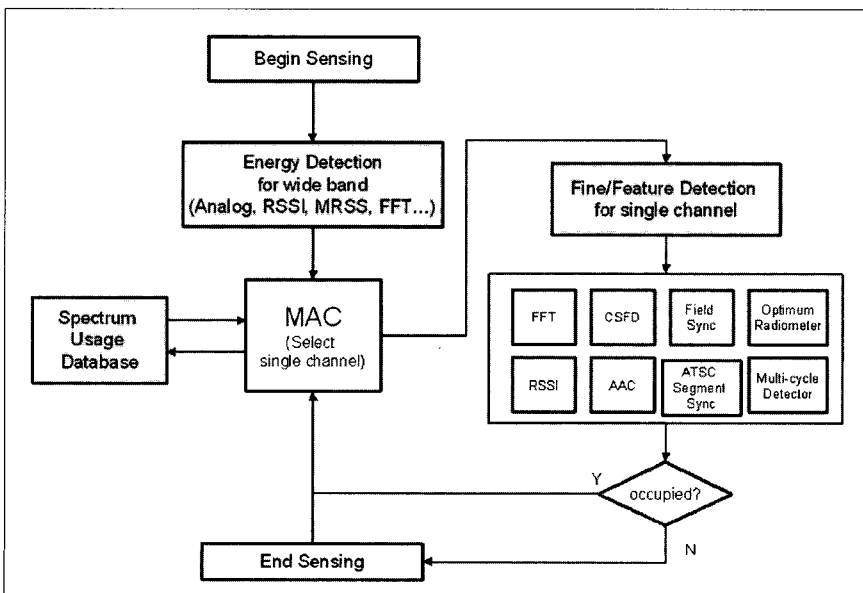


- ① 특징 및 에너지 검출(feature detection & energy detection)
- ② 특징 및 에너지 검출(feature detection & energy detection)
- ③ 특징 및 에너지 검출(feature detection & energy detection)
- ④ 에너지 검출(energy detection)
- ⑤ 에너지 검출(energy detection)
- ⑥ 에너지 검출(energy detection)
- ⑦ 에너지 검출(energy detection)

〈그림 8〉의 채널집합 정보들에 대한 분류는 기지국에서 수행되고 이에 대한 채널집합 정보를 CPE에게 전달하여 active 채널에 대한 분산 스펙트럼 센싱 및 채널관리를 기지국과 CPE들이 협업 상태로 관리하게 된다.

IEEE802.22 표준화에서 제시되고 있는 각사들의 센싱기술들은 〈그림 9〉와 같이 coarse 검출과

fine/feature 검출로 크게 구분할 수 있다. coarse 검출은 일반적으로 에너지 검출방법에 의해 수행되는데, 스펙트럼 센싱의 초기시에 스펙트럼 전대역을 센싱하고자 할 때, 즉 빠른 시간 내에 전대역 채널에 대한 점유 여부를 검사하기 위해 센싱시간(sensing duration)이 짧은 기술들이 제안되고 있는데, 이에 적합한 기술로는 MRSS(multi resolution spectrum sensing), RSSI(received signal strength indicator) 등이 있다. 이에 반해 fine/feature 검출은 미약한 incumbent 신호에 대한 검출 성능을 향상시키고 점유된 채널의 변조방식 및 신호구분을 위해 사용된다. fine/feature 검출은 coarse 검출보다 센싱시간이 길어지므로 통신중에 자주 사용하게 되면 패킷 throughput이 감소하는 결과를 초래한다. 따라서 fine/feature 검출은 coarse 검출에 제시된 출력값이 incumbent 사용자의 센싱 임계치에 근사한 값으로 보이는 경우 미



〈그림 9〉 2단계 스펙트럼 센싱 기술

세검출(fine detection)을 수행하기 위한 목적과 <그림 8>에서의 후보집합에 해당하는 채널들을 선정하기 위해 사용되며, WRAN 사용자가 사용 중인 채널에 대하여 incumbent 신호가 출현한 경우 에너지 검출에 의해 1차적으로 검출하고, 2차적으로 incumbent 신호를 구분하기 위해 사용된다.

이러한 2단계 스펙트럼 센싱 기술은 전대역에 해당하는 채널들을 간단한 에너지 검출 방법을 이용하여 빠른 속도로 검사할 수 있고, incumbent 사용자 신호의 출현여부에 대한 스펙트럼 센싱의 경우에는 WRAN 사용자가 통신 중인 active 채널에 전송휴지기간(quiet period)을 설정함으로써 해당 채널에 대한 센싱이 가능한데 이의 상황에서 전송휴지기간을 줄일 수 있는 방안으로 모색될 수 있다[3].

<그림 9>에서 보면, fine/feature 검출 방법으로는 WRAN 통신 중인 채널에 대해 incumbent 신호의 출현여부를 검출하는 방법으로 CSFD(cyclostationary feature detection), ATSC DTV field 및 segment sync 검출, optimum radiometer, multicycle detector, 그리고 AAC(analog auto-correlator) 등은 TV신호를 검출하는데 제안된 기술이고, FFT 및 RSSI 등은 TV신호 뿐만 아니라 무선 마이크론과 같은 part 74 device 등을 검출하는데 제안된 기술들로 분류되고 있다. WRAN 시스템에서 중요한 incumbent 신호는 TV신호와 무선마이크론이다. 각 사에서 TV신호에 대한 센싱기술은 다수 제안하고 있지만, part 74 디바이스 신호는 아날로그 FM 신호이므로 현재로서는 제안된 기술들이 미미한 상태이며 향후 part 74 디바이스 신호에 대해 신호 검출용 비콘 신호가 마련되면 이에 관련된 센싱기술이 추가될 예정이다.

2. WRAN 스펙트럼 센싱 기술의 성능평가

앞 절에서 제안한 스펙트럼 센싱 기술들에 대하여 IEEE802.22에서는 다음 5가지의 시뮬레이션 시나리오에 의해 스펙트럼센싱의 성능을 검증할 예정이다 [4]. WRAN 시스템의 중요한 incumbent 신호는 DTV 신호와 part 74 wireless microphone 신호인데 현재로서는 DTV 신호에 대한 센싱기술의 검증 시나리오는 제시되어있지만, part 74 wireless microphone 신호에 대한 검증 시나리오는 아직 제시되지 않았고, 향후 IEEE802.22.1 Task Group에서 논의될 예정이다. 각사에서 제안한 WRAN 센싱기술을 검증하는 탐을 tiger team이라 명명하였는데, tiger team에서는 5가지의 성능 시뮬레이션 검증모델에서 요구하는 결과값과 더불어 결과값을 도출하기 위해 소요된 센싱시간(sensing duration)을 제출하도록 요구하고 있다.

현재 논의되고 있는 센싱기술 성능평가를 위한 시뮬레이션 모델을 간략히 설명하면 다음과 같다. 첫 번째 시뮬레이션 시나리오는 스펙트럼 센싱 기술의 ROC(receiver operating characteristic)을 작성하는데, 채널모델은 다경로 채널이고 센싱시간(sensing duration)과 SNR 등의 파라미터에 따른 misdetection 확률을 결과로 보여주는 것이다.

두 번째 시뮬레이션 시나리오는 Grade B 영역을 벗어난 지점에서 기지국의 단일 센싱 수신기에 의한 스펙트럼 센싱 성능을 평가하는 방법이다. 이의 시뮬레이션을 위한 채널모델은 경로손실과 다경로 페이딩 뿐만 아니라 새도우 페이딩 효과까지 고려하여야 한다. 이와 같이 언급된 채널환경과 DTV 송신 안테나로부터 155km 이상 떨어진 기지국 센싱 수신기의 misdetection 확률을 센싱성능 결과로 제시하는 것이다.

세 번째 시뮬레이션 시나리오는 기지국내에 있는

기지국 센싱 수신기와 10개의 CPE들의 센싱 수신기들을 이용하여 분산 스펙트럼 센싱에 의한 성능 시뮬레이션을 수행하는 모델인데 이 경우에도 두 번째 시뮬레이션 시나리오와 같이 DTV 송신안테나와 기지국 센싱 수신기와의 거리는 155km이상, DTV 송신안테나와 CPE 센싱 수신기와의 거리는 132km 이상으로 떨어진 채널환경에서 misdetection 확률을 결과로 보여주는 것이다.

그리고 네 번째 시뮬레이션 시나리오는 실제로 인접 채널에 DTV 신호 혹은 WRAN 신호에 의해 점유되었는데, 센싱 수신기에 의해 검출되고 있는 해당 채널이 점유된 것으로 오인하는 확률을 보여주는 것이다.

마지막으로 다섯 번째 시뮬레이션 시나리오는 서로 다른 두개의 WRAN이 동일 기지국에 운영되는 상황에서 실제로 다른 WRAN 시스템에 의해 점유된 채널인데 DTV 신호에 의해 점유된 것으로 오인하는 확률을 구하는 시뮬레이션이다.

최종적으로 IEEE802.22 표준안으로 채택될 센싱 기술들은 다섯 가지의 시뮬레이션 시나리오에서 ROC(receiver operating characteristic),

misdetection 확률, 센싱시간 등의 성능 측정자에 의해 선정되고, 추가적으로 센싱수신기 복잡도 그리고 대역내/대역외 분산 스펙트럼 센싱(inband/outband distributive spectrum sensing) 지원 등의 사항을 고려하여 선정될 것으로 예상된다.

IEEE802.22 표준안을 결정하기 위한 기능요구문서(functional requirement)에서는 기지국 및 CPE의 센싱 안테나가 등방향의 0dBi 안테나 이득을 갖는 경우 DTV, 아날로그 TV, 그리고 무선 마이크로폰 등의 incumbent 신호들에 대한 센싱 임계치를 제시하고 있다. 한 TV채널 6MHz인 ATSC DTV 신호의 센싱 임계치는 -116dBm이고, NTSC방식의 아날로그 TV 신호는 NTSC 영상 캐리어 동기의 피크에서 측정된 값으로 -94dBm으로 센싱 임계치를 설정하고, 무선 마이크로폰은 200kHz 대역폭에서 측정된 값으로 -107dBm으로 센싱 임계치를 설정하고 있다.

또한, WRAN시스템이 운용 중에 WRAN 신호가 incumbent 신호인 DTV 신호와 무선마이크로폰 신호에 간섭을 주는 것을 피하기 위해 <표 3>과 같이 채널설정(channel setup), 채널전환(channel

<표 3> 채널센싱 및 채널관리를 위한 DFS 타이밍 파라미터

| DFS parameter | Value for part 74 devices | Value for TV broadcasting |
|---|--|--|
| Channel availability check time | 30sec(recommended) | 30sec(recommended) |
| Non-occupancy period(minimum) | 10minutes (recommended) | 10minutes (recommended) |
| Channel Detection Time | <= 2sec to >= 90% Probability of Detection with a False Alarm rate of <= 10% | <= 2sec to >= 90% Probability of Detection with a False Alarm rate of <= 10% |
| Channel Setup Time | 2 sec | 2 sec |
| Channel Opening Transmission Time (Aggregate transmission time) | 100 msec | 100 msec |
| Channel Move Time (In-service monitoring) | 2 sec | 2 sec |
| Channel Closing Transmission Time (Aggregate transmission time) | 100 msec | 100 msec |
| Incumbent Detection Threshold | -107 dBm (200kHz BW) | -116 dBm (6 MHz BW) for DTV |

move), 그리고 채널센싱(channel sensing) 등의 채널 관리(channel management)에 관련된 DFS(dynamic frequency selection) 타이밍 요구사항들을 제시하고 있다[5].

〈표 3〉의 파라미터들을 간략하게 설명하면, channel availability check time은 해당 TV 채널을 WRAN 사용자가 사용하기 이전에 채널사용이 가능 여부를 검사하는 시간이고, non-occupancy period는 incumbent 신호가 검출된 채널에 대하여 WRAN 사용자로 하여금 사용을 금지하는 기간, 그리고 channel detection time은 10% 이하의 오경보 확률(probability of false alarm) 조건에서 90%이상 incumbent 신호의 검출 확률을 갖는 센싱 시스템에서 2초 이하 간격의 센싱 주기(sensing period)를 설정하여 2초 이하의 시간에 incumbent 신호의 검출을 의미한다. 그리고 channel setup time은 channel opening transmission time을 포함하고 있는데 채널설정과정에서 제어정보를 전송하기 위한 전송기간을 100msec 이내로 설정한 것이 channel opening transmission time이며, channel move time에서는 channel closing transmission time을 포함하고 있는데 채널전환과정에서 제어정보를 전송하기 위한 전송기간을 100msec 이내로 설정한 것이 channel closing transmission time이다. 따라서 센싱 수신기는 〈표 3〉의 파라미터들을 만족하도록 구현되어야 하며, MAC 프로토콜 또한 〈표 3〉의 파라미터들을 만족하도록 스펙트럼 센싱에 관련된 프로토콜을 작성해야 한다.

IV. 결론

현재 우리는 유비쿼터스시대의 초기에 살고 있

다. 완전한 유비쿼터스 네트워크를 형성하기 위해서, 그리고 새로운 서비스를 제공하는 무선통신 시스템을 제시하기 위해서 사용 가능한 주파수는 매우 제한적이며, 거의 모든 주파수가 할당되어 있는 실정이다. 그로 인해 데이터를 보다 빠르고 값싼 통신 서비스의 제공과 다양한 응용 환경에서 새로운 기술의 도입에 있어 많은 제약을 받고 있다. 그러나 무선인지(cognitive radio) 개념의 출현에 따라 향후 주파수 활용 형태에 있어 새로운 패러다임을 마련하고, 이를 응용한 새로운 기술과 서비스들이 개발될 수 있을 것으로 보인다. 이는 주파수가 할당되어 있지만 실제로 사용되지 않는 유휴 주파수를 감지해서 사용하는 주파수 재활용을 통해 주파수 대역의 효율을 극대화하기 위한 개념이며, 무선 자원의 희소성을 극복하고 대역 효율성을 극대화할 수 있는 새로운 기술로 인식되고 있다.

본 논문에서는 무선인지 시스템의 핵심 기술인 스펙트럼 센싱 기술에 대한 소개로써 incumbent 사용자 신호에 대한 신호유무 검출 알고리즘으로 정합 필터 기반의 센싱 방법, 에너지 검출기 기반의 센싱 방법, 그리고 스펙트럼 상관 기반의 센싱 방법 등을 소개하였다. 또한 WRAN 표준화에 제안된 센싱기술들을 분석하고, 이러한 센싱기술들이 채널관리를 위한 채널의 상태천이에 따라 사용되는 검출 방법의 제시, 그리고 고속의 센싱처리 및 active 채널에 삽입되는 전송휴지기간(quiet period)를 최소화하기 위한 2단계 스펙트럼 센싱 방법 등을 제시하였다. 현재 스펙트럼 센싱에 대하여 WRAN 표준화에 제안된 기술들은 10여개 정도로, tiger team에서 제시한 성능 평가방법에 의하여 도출된 결과가 센싱 성능기준에 만족하는 제안기술이 최종적으로 표준안으로 채택될 것이다.

참고 문헌

- [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 2004, vol. 1, Nov. 2004.
- [2] D. Cabric, "A cognitive PHY/MAC paradigm for spectrum sensing, allocation and control," Nov. 11, 2004.
- [3] C-J Kim et al., "A PHY/MAC Proposal for IEEE 802.22 WRAN Systems," IEEE802.22-6/0005r2, March 2006.
- [4] S. Shellhammer et al., "Spectrum Sensing Simulation Model," IEEE802.22-06/0028r4, March 2006.
- [5] IEEE802.22, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard," IEEE802.22-05/007r46, September 2005.

필자 소개



강 범 주

- 1983년 : 경희대학교 전자공학과(공학사)
- 1985년 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
- 1996년 : 연세대학교 전자공학과(공학박사)
- 1988년 2월~2001년2월 : ETRI 책임연구원
- 2001년 3월~현재 : 동국대학교 정보통신공학과 조교수
- 2005년 2월~현재 : ETRI 광대역RF연구팀 초빙연구원
- 주관심분야 : 무선인지기술, 이동통신시스템, 무선통신시스템