

# 무선 상황인지 기반 적응형 다중접속 기법

최주평 | 박순규 | 이수복 | 이원철

숭실대학교

## 요약

향후 유비쿼터스 시대는 센서 네트워크와 같은 저전송률을 요구하는 분산형 소규모 무선 네트워크에서부터 고정 및 이동 통신 서비스를 위한 중규모 네트워크, 고품질 고전송률이 요구되는 방송용 대규모 네트워크들이 혼재된 이종통신 환경이 도래하게 될 것으로 예상된다. 이와 더불어 고속 데이터 전송 및 넓은 지역에 걸친 끊김 없는 서비스, 이동성 제공이라는 통신 서비스 사용자들의 급격한 요구 증대로 스펙트럼 자원에 대한 수요가 확산되는 추세에 있으며, 이로 인해 전세계적으로 스펙트럼 자원 확보 경쟁이 더욱 심화되고 있는 상태이다.

본고에서는 빠르게 변화하고 있는 무선통신 환경 및 미래 주파수 자원의 고갈에 대처하기 위한 방편으로 선진국을 중심으로 활발히 연구가 진행되고 있는 상황인지 기술에 대한 국내외 기술 동향 및 연구 진행상황, 본 기술을 수행함에 있어 극복되어야 할 해결 과제에 대해 소개하고자 한다.

## 1. 서론

현재의 무선통신 서비스 운용 기조는 주파수 정책 기관들이 각 서비스 사업자들에게 사용이 가능한 주파수 대역 및 대역폭등을 사전에 엄격히 규정 함으로 인해 지역에 따라 통신 서비스 사용량이 크게 혼잡해 지는 상황을 초래하고 있다.

현재 이와 같은 현실을 반영하는 측면에서 미국 연방통신위원회 (FCC: Federal Communications Commission)에서는 미래형 무선 통신 기술인 상황인지 기술의 실현을 위해 주파수 사용 범위를 완화 개정하려는 노력을 지속적으로 기울이고 있는 실정이다[1]. 실제 면허 및 비면허 사용자의 스펙트럼 점유 패턴은 항상 지속적인 특성을 유지하지 않으며, 시간에 따라 불규칙적인 패턴이 존재하는 경우도 있으며, 일정 간격으로 스펙트럼 점유 유무가 반복되는 상황도 존재한다.

상황인지 기술은 면허 사용자가 점유하고 있지 않는 스펙트럼 영역(spectrum hole)을 동적으로 감지하여 면허 사용자에게 간섭을 주지 않으면서, 비면허 사용자에게는 원하는 서비스를 제공할 수 있는 차세대 무선통신 기술이다. 이러한 상황인지 기술은 다양한 이종통신 환경이 존재하는 주변 스펙트럼 변화 상황을 신속하고 정확하게 인지하는 것이 무엇보다도 중요하며, 주변 환경 인지를 통해 취득된 무선 자원 정보를 이용하여 동일 주파수 밴드 내에서 면허 및 비면허 사용자간 공존을 위한 간섭온도 기반의 적응적인 무선자원 할당 과정을 수행하게 된다. 이와 더불어 서비스 사용자의 QoS(Quality of Service) 만족 및 최적화 된 통신 시스템 선택을 위한 학습알고리즘 기반의 자가 재구성 기술이 적용된다.

본고에서는 먼저 선진국을 중심으로 활발히 연구가 진행되고 있는 상황인지 기술에 대한 지금까지의 국내외 기술개발 동향 및 수준을 살펴볼 것이며, 최적의 상황인지 시스템 구축을 위해 앞으로 해결해야 할 과제가 무엇인지를 살펴볼 것이다.

## II. 국내외 기술동향

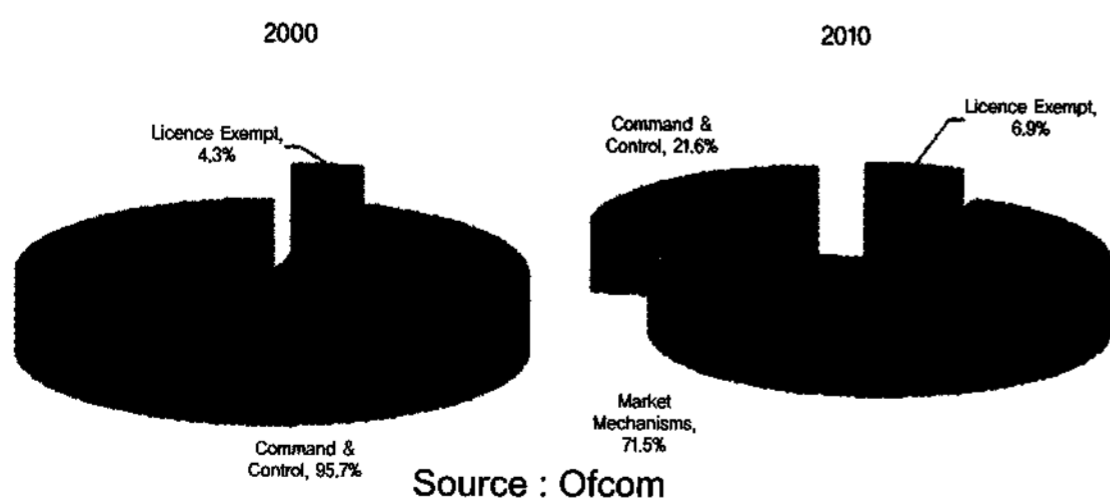
실제 우리 주변의 무선통신 서비스 환경은 서비스 사용자들의 다양한 요구 및 이에 따른 통신 사업자들의 신규 시장 진입으로 인해 여러 주파수 대역에 걸쳐 각기 성질이 다른 다양한 이종 통신 서비스가 하루가 다르게 급증하고 있는 실정이며, 이로 인해 이종 통신 서비스 간 간섭 증가 및 주파수 자원 고갈에 대비하기 위해 상황인지 기술에 대한 관심이 급격히 증가하고 있는 추세이다.

최적의 상황인지 기술 구현을 위해서는 본 기술을 구성하는 주파수 자원인지 기술 및 간섭온도 다중접속 기술, 통신 요소 자가 재구성 기술이 상호 유기적으로 융합되어 구동되는 것이 필수적이다. 그러나 지금까지의 국내외 관련 연구 동향을 고려할 때 아직 이러한 일련의 관련 연구가 개념적 정립 단계에서 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

### 1. 국외 기술개발 동향

세계 최초로 상황인지 기술을 기반으로 하여 무선통신 기술의 표준화를 추구하는 대표적 단체인 IEEE 802.22 (WRAN : Wireless Regional Area Network)의 경우 TV 방송 대역에서 면허 및 비면허 사용자가 상호 간섭 없이 공존이 가능한 기술의 확립을 활발히 진행하고 있으며, FCC에 의해 표준화 채택 가능성이 가장 근접해 있는 후보 군이라 할 수 있다[4].

이외에 IEEE 802.11h의 경우 TPC(Transmit Power Control) 및 DFS(Dynamic Frequency Selection)기술을 중심으로 사용자간 간섭 회피 및 주파수 재활용을 위한 표준화를 진행하고 있으며, 영국의 주파수 정책 기관인 Ofcom(Office of communications)의 경우 (그림 1)에 나타난 바와 같이 영국



(그림 1) 미래 스펙트럼 운용 현황 예상

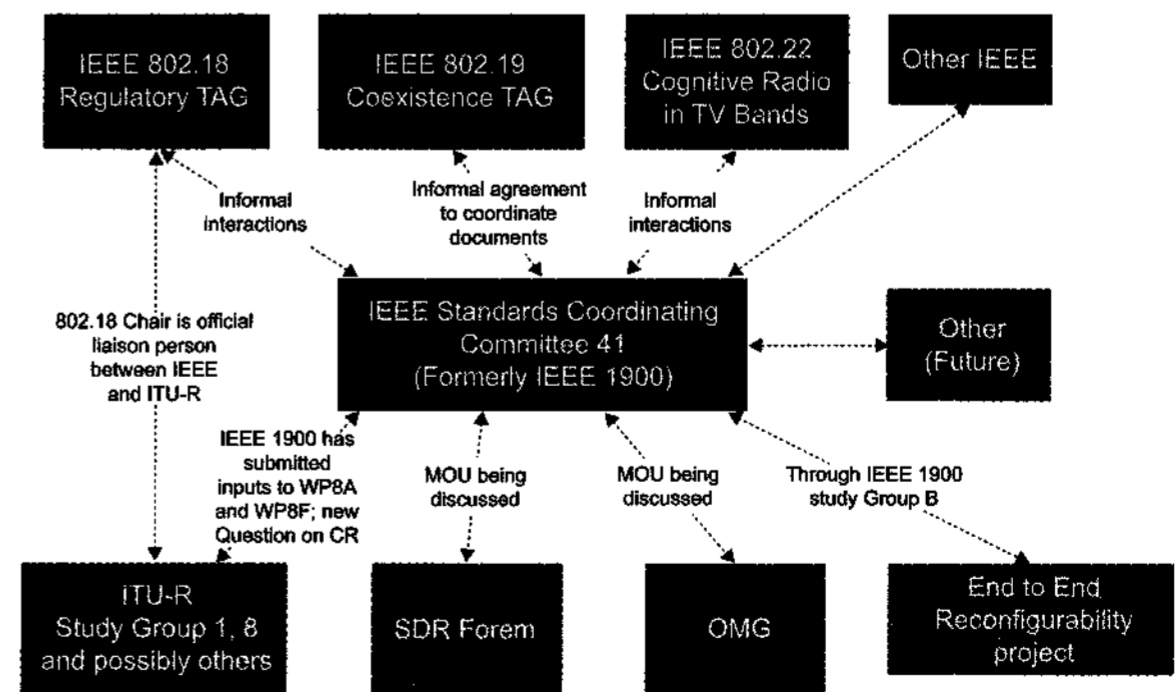
에서의 스펙트럼 운용에 대한 시장 변화를 예상하고 개방형 스펙트럼 이용을 위한 정책을 입안한 상태이다[2].

(그림 1)에서 Command & Control은 대부분의 나라에서 현재까지 주파수 자원 운용 정책으로 유지하고 있는 정부 주도의 주파수 분배 및 제어 방향을 의미한다. Market Mechanisms의 경우는 Ofcom에 의해 사전에 정해진 면허 범위를 침해하지 않는 한도 내에서 서비스 사업자가 통신 서비스 시장 변화에 따라 스펙트럼을 운용함을 말한다. 마지막으로 License Exempt는 사용자간 간섭을 제어하기 위한 최소한의 제한 요소 외에 특별한 규제 없이 통신 서비스를 사용할 수 있는 비면허 주파수 대역을 의미한다.

또한 유럽연합 전반에 걸쳐 ORACLE(Opportunistic Radio Communications in Unlicensed Environments)이라는 상황인지 기술에 대한 프로젝트를 수행 중에 있으며, 전세계적으로 앞으로의 스펙트럼 운용 방향이 정부 규제 중심에서 벗어나 점진적으로 개방형 스펙트럼 체제를 기반으로 한 시장 중심적 운용 방향으로 향하고 있음을 예상할 수 있다.

최근에는 IEEE SCC41(Standards Coordinating Committee 41)을 중심으로 각 표준화 단체들이 양해각서 체결 및 상호 정보교환을 통하여 앞으로의 미래 무선통신 환경에 대처하기 위한 연구 활동을 활발히 진행하고 있는 상태이다[3]. IEEE SCC41은 기존의 IEEE 1900.x 표준화 위원회 활동을 이어받아 향후 동적 스펙트럼 환경에서 발생할 수 있는 이종 무선 시스템 간의 공존 및 간섭요인 분석, 표준화 정립 및 개선 등의 활동을 수행하고 있다.

(그림 2)는 IEEE SCA41과 관련 표준화 단체와의 연구 협력 관계를 나타내고 있다.



(그림 2) IEEE SCA41 중심의 연구 협력 관계

이러한 표준화 단체의 연구 활동과 더불어 상황인지 기술이 중심이 되는 IEEE DySPAN 및 IEEE Crowncom과 같은 국제 학술대회가 매년 개최되어 관련 기술자들의 학술교류 또한 증가하고 있는 추세이다.

산업계의 경우 상황인지 관련 표준화 단체에 적극적으로 참가하여 각기 자사의 기술을 제안하고 미래 선행기술을 먼저 확보하기 위한 연구개발을 치열하게 전개하고 있다. 대표적인 참가 기업체로는 퀄컴을 비롯하여 톰슨, 필립스, 모토로라 등이며, 표준화 제정의 유리한 위치를 점유하기 위해 서로 경쟁하고 있는 상태이다. 학계의 경우 U. C Berkeley 및 Virginia Tech, University of Dublin 등에서 학습 알고리즘 및 데이터 베이스를 이용한 적응형 채널 선택 기법을 개발 중에 있다.

## 2. 국내 기술개발 동향

국내의 경우 IT원천 기술 개발을 위한 선도기반 기술 확보를 목표로 한국전자통신연구원을 중심으로 삼성전자 등이 IEEE 802.22등에서 표준화 제안 등의 활동을 활발히 전개하고 있으며, 삼성전기의 경우 Georgia Tech와 공동으로 최적 스펙트럼 센싱을 위한 기반 연구를 진행하고 있는 상태이다.

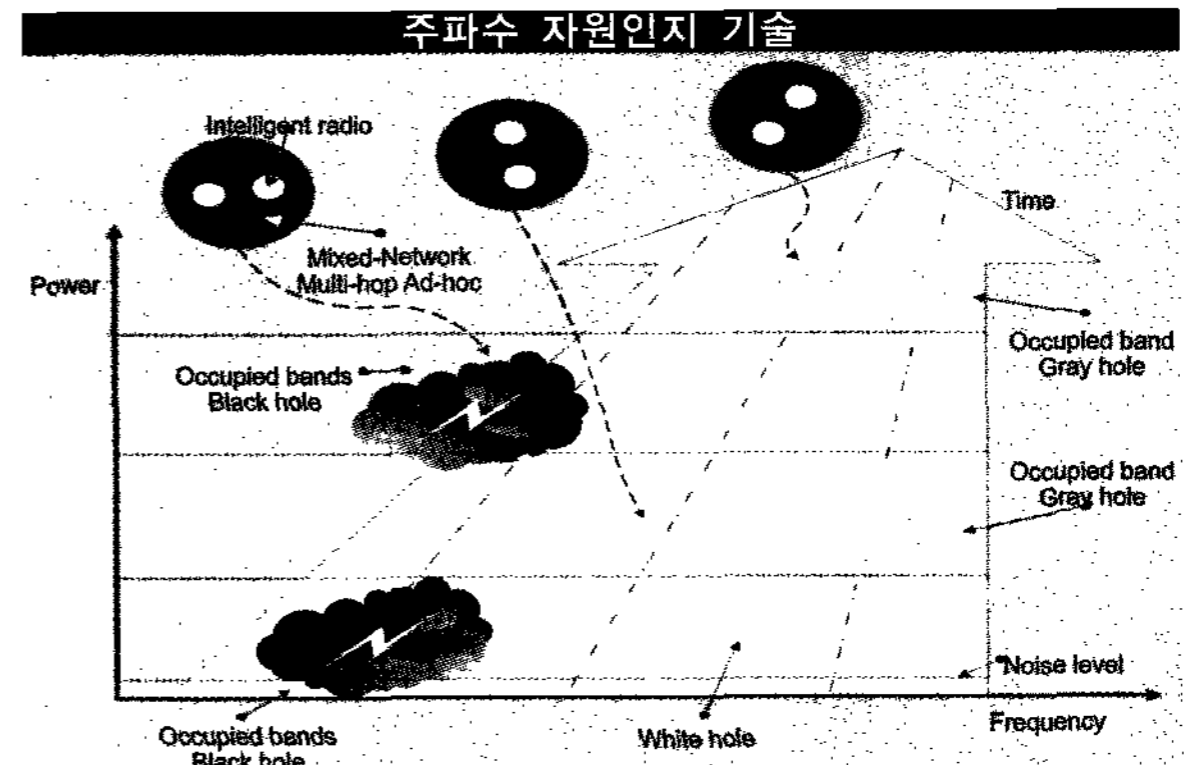
# III. 상황인지 적응형 다중접속 기법 구성 요소기술

상황인지 기술을 구성하고 있는 핵심 요소기술로는 주파수 자원인지 기술, 간섭온도 다중접속 기술, 통신요소 자가 재구성 기술이 있으며, 이러한 3가지 기술이 상호 유기적으로 연동되어 구현 될 때 서비스 사용자간 간섭이 미치지 않는 최적의 통신 시스템 구축이 가능하다.

## 1. 주파수 자원인지 기술

상황인지 적응형 다중접속 기법의 구성 요소기술 중 가장 중요한 것은 주파수 자원인지 기술이다. 면허 및 비면허 사용자가 동일한 주파수 밴드에서의 공존을 위하여 가장 우선되어야 할 조건은 면허 사용자에게 간섭의 영향이 미치지

말아야 한다는 점이다. 즉, 비면허 사용자는 면허 사용자와의 스펙트럼 공유를 함에 있어 마치 존재하지 않는 사용자 처럼 보여야 한다. (그림 3)은 주파수 자원인지 기술에 대한 전체적인 개략도를 나타내고 있다.



(그림 3) 주파수 자원인지 기술의 기본운용 방안

(그림 3)에서 주파수 자원인지 기술을 탑재한 비면허 단말 (intelligent radio)은 일정 주파수 밴드 상에서 시간에 따라 불규칙적으로 변화하는 면허 사용자의 스펙트럼 점유 유무를 판단하여 원하는 통신 서비스를 이용하기 위한 스펙트럼 획득 기회를 찾게 된다. 즉, 면허 사용자가 특정 스펙트럼을 완전히 점유하고 있는 Black hole을 제외한 White hole 및 Gray hole에서 비면허 사용자는 서비스 이용의 기회를 획득할 수 있게 된다.

주파수 자원인지 기술은 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫째는 단일 송신 단말 중심의 송신기 검파 방식이며, 두 번째로는 이러한 단일 단말들이 각기 지니고 있는 정보를 서로 공유하여 더욱 향상된 스펙트럼 검파 능력을 가질 수 있는 협업 검파 방식이다. 세 번째는 간섭온도 수치를 기반으로 스펙트럼 점유 상황을 판단할 수 있는 간섭온도 기반 검파 방식이다.

## 1.1 송신기 검파 방식 요소 기술

### 1.1.1 정합필터 검출 방식

- 주변 스펙트럼 환경에 대한 사전정보가 반드시 필요.
- 이득 대비 짧은 센싱 시간 소모.
- 사전정보 미흡 시 성능이 급격히 저하.

### 1.1.2 에너지 검출 방식

- 신호의 존재 유무만 판단 가능.
- 파일럿 톤 신호 이용 시 성능 향상.
- 의도되지 않은 신호에 의해 오류확률이 급격히 증가.

### 1.1.3 Cyclostationary 특징 검출 방식

- 변조신호의 주기적 특성 이용.
- 신호의 유무 및 종류 판단 가능.
- 긴 센싱 시간 및 계산량 필요.

## 1.2 협업 검파 방식

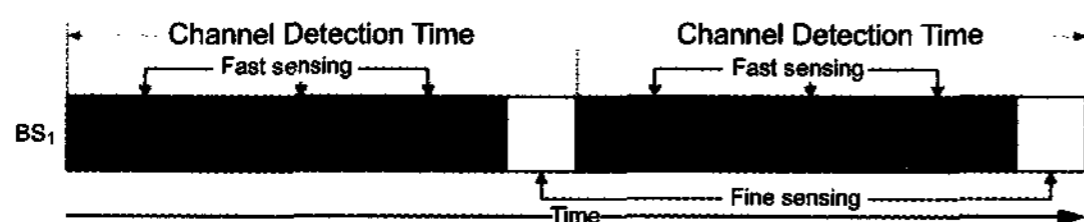
- 은닉 노드 문제 및 다중경로 페이딩, 섀도잉 환경을 극복하기 위한 자원인지 기술.
- 단말 간 정보공유로 인한 정확한 스펙트럼 환경 취득.
- 트래픽의 과도한 증가 및 사용자 위치 정보 부족으로 인한 불확실성 존재.

## 1.3 간섭온도 기반 검파 방식

- 간섭을 정량화 한 간섭온도 개념 이용.
- 간섭온도 제한치에 대한 명확한 기준이 없음.
- 간섭온도를 측정하는 구체적인 방안 부재.

각각의 주파수 자원인지 기술은 실제 IEEE 802.22에서 상황인지 기술 개발에 참여하고 있는 여러 기관들에 의해 적용되고 있으며, 이를 토대로 면허 사용자에게 대한 간섭 영향 및 비면허 사용자의 스펙트럼 사용 가능 여부를 판단한다. 또한 스펙트럼의 검파 오류 확률을 낮추기 위해 기지국에 할당된 총 채널 탐색 시간 중 주변 채널 환경을 탐색함에 있어 주파수 자원인지를 위한 별도의 시간 구간을 주기적으로 부여한다[4].

(그림 4)에서 고속 센싱은 구간은 송신기 검파 요소기술 중 에너지 검출 방식이 주로 적용되는 구간이며, 9~20us 정도



(그림 4) 주파수 자원인지를 위한 시간 슬롯 구성

의 시간 동안 스펙트럼의 존재 유무를 판단하게 된다. 정밀 센싱 구간은 보통 24ms 시간 동안 진행되며, Cyclostationary 특징 검출 기술 등을 사용하여 신호의 존재 유무와 더불어 종류까지도 판단하는 과정을 수행한다.

본 기술에 대한 최근 연구 방향은 면허 사용자 송수신 신호의 전송 및 간섭범위 내에 존재하는 각각의 비면허 사용자가 단말 주변에 발생하는 스펙트럼 변화 상황을 인지하고 이러한 정보를 근접 단말간의 공유를 통하여 원하는 서비스를 유지할 수 있는 협업 주파수 자원인지 기술이 활발히 진행되고 있는 상태이다.

## 2. 간섭온도 모델

FCC에서는 2003년 11월경 스펙트럼 이용의 효율적 사용 및 미래 주파수 자원의 고갈에 대비하기 위해 무선 송수신 단말의 상호동작을 기반으로 사용자간 공존을 추구하는 간섭온도라는 새로운 간섭 측정 기준을 제시하였다[5].

간섭 온도는 켈빈(kelvin)온도 단위로 표현되며, 수신 단말 안테나에서 취득된 중심 주파수  $f_c$ 를 가지는 간섭신호 전력을 볼츠만 상수와 대역폭으로 나누어 줌으로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

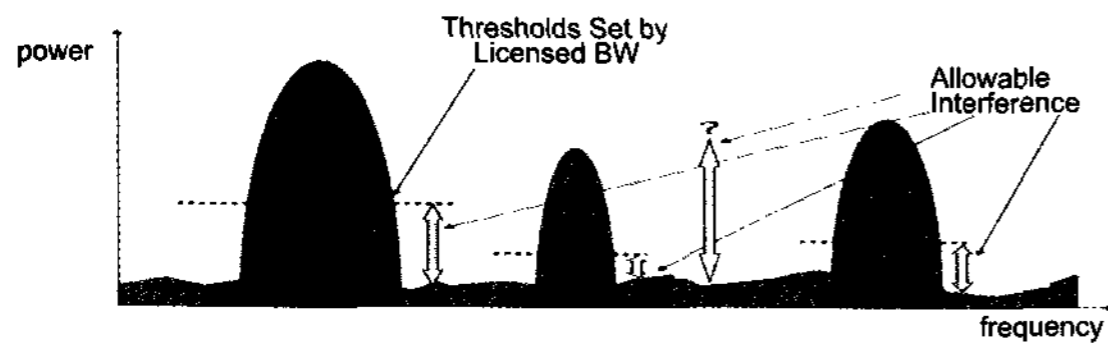
$$T_I(f_c, B) = \frac{P_I(f_c, B)}{kB}$$

최적의 주파수 자원인지 기술이 선행될 경우 수신 단말에서는 면허 사용자 송수신 단말의 전송 신호와 더불어 최대 수신 전력 값을 가지는 여러 잡음 신호 및 인접 대역 주파수에서 발생한 간섭 신호 정보를 취득하게 된다. 이러한 정보를 기반으로 해당 주파수 밴드에서 정량화된 간섭온도 값을 산출하게 되며, 주파수 정책기관에 의해 사전에 책정된 간섭온도 제한치를 기준으로 수신 단말에서 산출된 간섭온도 값이 제한치를 넘지 않는 범위 내에서 면허 및 비면허 사용자 간 공존이 가능하다. 이러한 간섭온도 공존 모델은 이상적인 간섭온도 모델과 일반적인 간섭온도 모델로 구분할 수 있다[6].

### 2.1 이상적인 간섭온도 모델

상당히 지능적인 주파수 자원인지 기술이 탑재된 수신 단말이 주변의 간섭 및 잡음 정보를 정확히 파악한다면, 면허

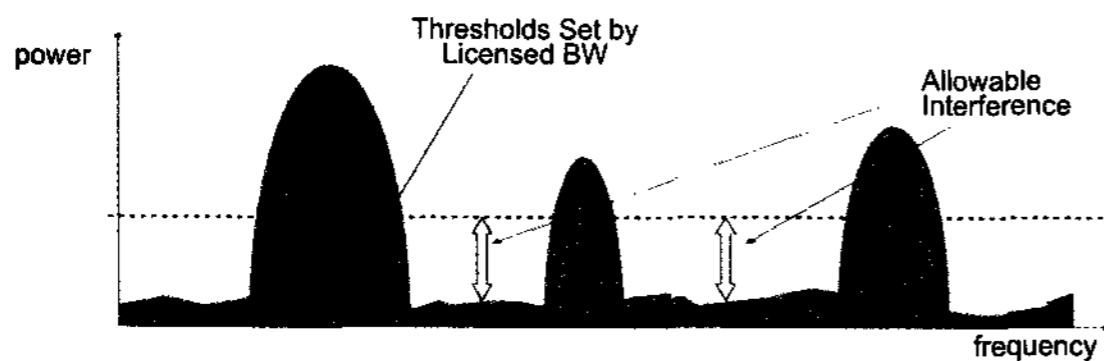
사용자 신호 성분과 주변에 존재하는 간섭 및 잡음들이 확연히 구분될 수 있다. 이를 통해 비면허 사용자는 면허 사용자에게 간섭의 영향을 주지 않는 최대 전송가능 송신 전력 및 허용 가능한 대역폭을 정확히 산출할 수 있게 된다.



(그림 5) 이상적인 간섭온도 모델

## 2.2 일반적인 간섭온도 모델

수신 단말에 장착된 주파수 자원인지 기술 성능이 미흡함으로 인해 면허 사용자 신호 성분과 주변에 존재하는 간섭 및 잡음들에 대한 구분이 어렵다면, 취득된 모든 신호 성분들을 간섭으로 간주하고 비면허 사용자의 전체 대역폭을 이용하여 간섭온도를 계산하며, 면허 사용자와의 주파수 자원 공존을 위한 비면허 사용자의 최대 전송가능 송신 전력 및 허용 대역폭을 산출하는 과정을 수행한다.



(그림 6) 일반적인 간섭온도 모델

## 2.3 간섭온도 측정 방법

주파수 자원인지 기술을 통해 간섭온도를 측정하는 방법은 크게 3가지로 구분할 수 있다.

### 2.3.1 면허 사용자 수신 단말에서의 측정

- 가장 이상적이고 정확한 방식.
- 간섭범위 내 비면허 사용자에게 간섭온도 정보 전송.
- 기존 시스템의 대대적인 변경 필요.
- 비면허 단말에 간섭온도 정보 전송을 위한 추가 채널 필요.

### 2.3.2 좌표 기반 모니터링 노드에서의 측정

- 위치 좌표상에 간섭온도 측정을 위한 모니터링 노드 배치.
- 모니터링 노드에서 취득된 정보를 비면허 사용자가 이용.
- 모니터링 노드는 저전력이며, 정밀도 향상을 위한 튜닝 가능.
- 노드 위치의 비균일 특성으로 인한 간섭온도 측정 오차 발생.

### 2.3.3 비면허 사용자 송신 단말에서의 측정

- 가장 간단한 구현 방식, 정확도가 다소 떨어짐.
- 기존 시스템 변경 요인이 없음으로 인해 인프라 구축 비용 절감.

## 3. 통신요소 자가 재구성 기술

미국 Virginia Tech의 CWT(Center for Wireless Telecommunications)는 유전자 알고리즘을 사용하여 최적의 통신 시스템 전송 변수를 지능적으로 결정할 수 있는 인지 엔진(Cognitive Engine) 기술을 제안하였다.

### 3.1 인공지능 기반 인지 엔진

상황인지 기술은 기본적으로 다음의 3가지 조건을 충족시켜야 한다. 첫째, 전송하는 무선 신호는 다중경로 채널과 같이 전송되는 채널 환경에 맞게 꾸며져야 하며, 음성 또는 데이터 서비스와 같이 사용자가 요구하는 서비스를 지원할 수 있어야 한다. 또한 어떠한 대역이나 지역 안에서도 통신 규격에 맞는 신호를 전송해야 한다.

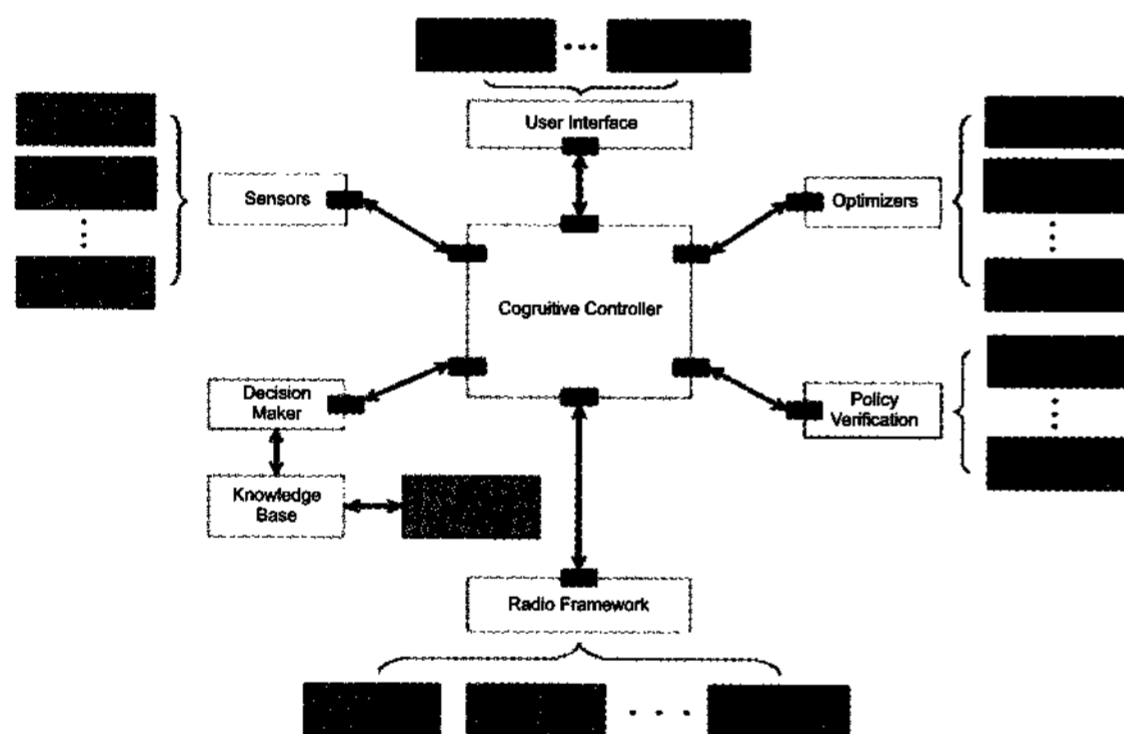
이러한 조건들을 만족하고 트레이드오프 관계에서 최고의 성능을 발휘할 수 있는 상황인지 시스템을 구성하기 위해서는 그 환경을 파악하는 것이 무엇보다 중요하며, 통신 채널, 사용자의 요구사항과 법적 규제를 분석하고 트레이드오프 관계에 있는 목적간의 균형을 유지하기 위해 어떠한 상황도 인지하고 학습하여 스스로 정확한 결정을 내리고 이를 실행할 수 있는 능력을 지녀야 한다. 따라서 상황인지 기술은 강력한 추론 기능과 적응 기능을 가지는 인공지능 엔진이 필요하다.

인지 엔진은 통신 시스템 전송 변수들을 변화시켜 그에 따

른 무선 시스템 성능을 관찰한다. 이러한 가변 변수들을 Knob이라 하며, 관찰되는 무선 시스템 성능 지수를 Meter라 한다. Meter들은 사용자가 요구하는 서비스에 따라 그 값의 범위와 중요도가 결정된다. 즉, 전송 파일 용량이 클 경우 BER, 비트 오류율, 데이터율이 다른 meter들 보다 더 큰 중요도를 가지며, 실시간 화상 회의 서비스를 이용할 경우 지터와 latency가 더욱 중요하다. 이와 같이, 사용자의 서비스에 따라 요구하는 meter들이 변화하고, 그 meter에 해당하는 적절한 knob들의 선택이 요구된다.

### 3.2 인지 엔진 구조

Virginia Tech에서 제안한 인지 엔진은 (그림 7)과 같은 구조로 되어있으며, 각종 기능부에 대한 제어 및 연결을 담당하는 상황인지 컨트롤러를 비롯하여, 5가지의 주요 기능부로 구성되어 있다[8].



(그림 7) Virginia Tech에서 제안한 인지엔진 구조

센서부는 주변 무선 통신 환경에 대한 모든 정보를 수집하며, 최적화부는 다목적 최적화 유전자 알고리즘을 이용하여 사용자의 QoS를 만족하기 위한 최적화 된 시스템을 도출한다.

결정부는 센서부로부터 전달받은 정보를 기반으로 시스템 재할당에 대한 결정 과정 수행하며, 최근에는 Case-Based Decision Theory(CBDT)를 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

정책엔진의 경우 새롭게 구성된 시스템이 해당 지역에 적용되고 있는 시스템 규정에 위배되는지 여부를 파악하며,

무선 구조부는 인지 엔진과 무선 플랫폼간의 포맷 변환을 수행한다.

## IV. 간섭 회피를 위한 상황인지 통신 기술

### 1. 저준위 통신(Underlay communication)

근거리 통신 시스템 환경에 적용되는 초광대역 저준위 통신(UWB : Ultra Wide Band) 기술은 다이버시티 효과 상승을 위한 주사용자(Primary user)와 부사용자(Secondary user)송신 단말에서의 동시 신호 전송이 가능하다.

또한 스펙트럴 마스크를 이용하여 동일 주파수 대역 내에 존재하는 주사용자에 대한 부사용자의 간섭 영향을 억제할 수 있다.

즉, 주사용자에게 허용할 수 있는 최대 잡음 경계 준위 아래로 스펙트럴 마스크를 설정하여 부사용자는 스펙트럼 확산 및 축소를 통하여 원하는 QoS를 달성할 수 있게 된다. 그러나 부사용자 간섭 전력의 제한 및 초광대역 통신 본연의 특성으로 인해 오로지 근거리에서만 통신이 가능한 단점이 존재한다.

### 2. 중첩 통신(Overlay communication)

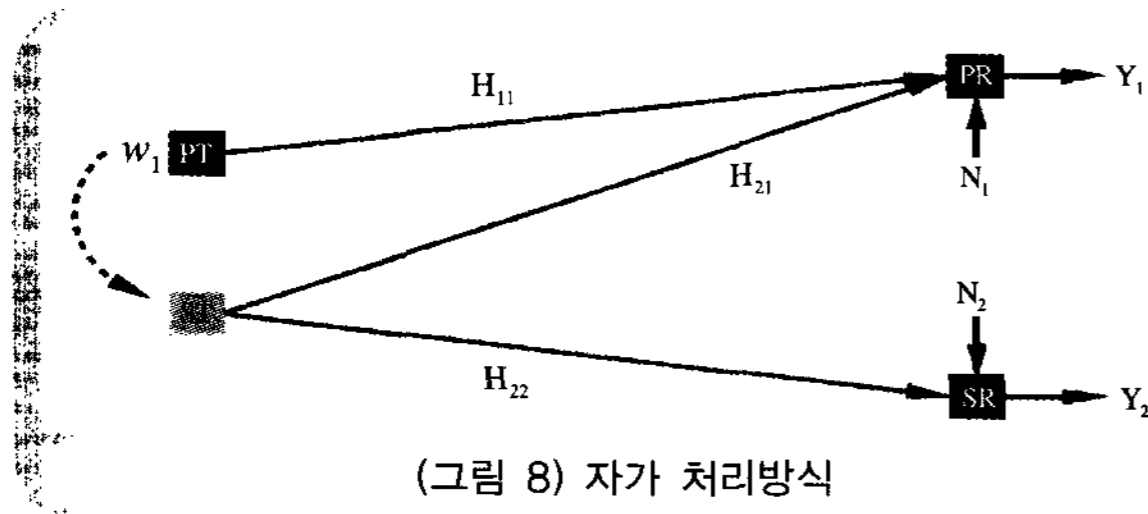
중첩 통신 기술은 저준위 통신 기술과 유사하게 주사용자 및 부사용자 송신 단말에서 동시에 신호를 전송하는 방식이다.

즉, 부사용자 송신 단말이 주변에 존재하는 주사용자 송신 단말과의 중계(Relay)를 통하여 주사용자 송신 신호 정보를 획득하게 되면, 부사용자 송신 단말에서는 부사용자 송신 신호와 함께 중계과정을 통해 획득한 주사용자 신호에 일정한 비율로 전력을 할당하여 주사용자 수신기 및 부사용자 수신기에 동시에 신호를 전송하는 과정을 수행한다. 이러한 중첩통신 기술은 크게 다음의 두 가지 방식으로 구분할 수 있다[9].

#### 2.1 자가 처리방식(Selfish approach)

(그림 8)은 중첩통신 기술 중 자가 처리방식에 대한 기본

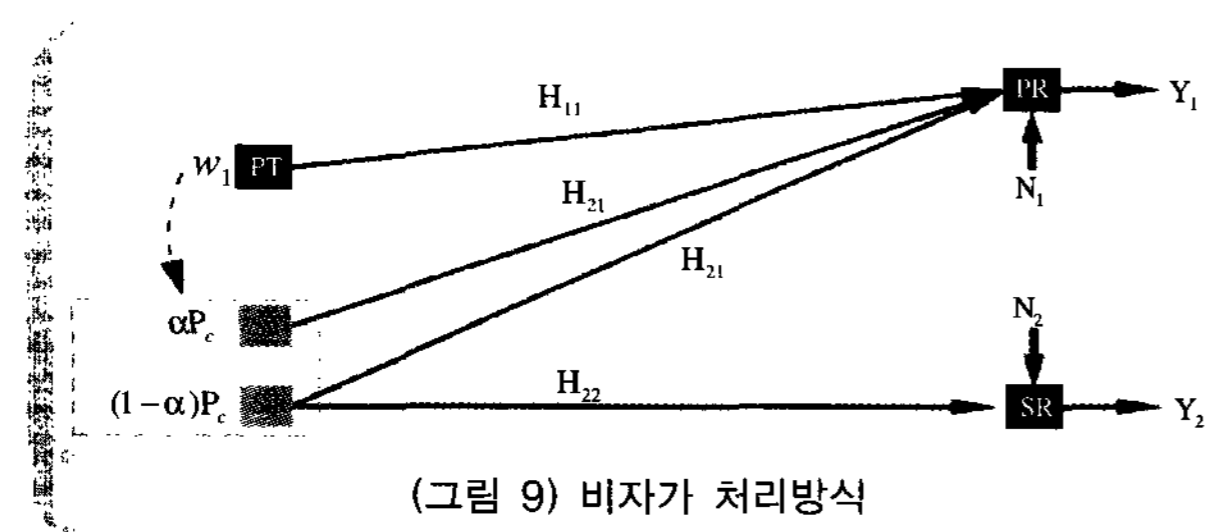
시나리오를 나타내고 있다.



여기서 **PT**와 **PR** 및 **ST**와 **SR**는 각각 주사용자 송수신 단말과 부사용자 송수신 단말을 의미하며, 부사용자 송신 단말은  $w_1$ 으로 표시된 주사용자 송신 신호에 대한 정보를 정확히 알고 있어야 한다. 또한 부사용자 송신 단말에 할당된 전송 전력은 부사용자 수신 단말과의 통신링크 구축을 위해 모두 사용되며, 부사용자 송신 단말은 획득한 주사용자 전송 신호 정보를 이용하여 부사용자 수신 단말에서 발생 가능한 간섭을 사전에 제거한다. 부사용자 수신 단말에서의 간섭을 제거하기 위해서는 DPC(Dirty Paper Coding)와 같은 채널 코딩 기법이 적용된다[10]. 이로 인해 부사용자 수신 단말은 주사용자의 존재 여부를 고려하지 않게 되며, 이는 주사용자의 간섭영향 배제를 우선시하는 상황인지 기술의 기본 원칙을 위배하는 것이 된다. 이러한 중첩 통신에서의 자가 처리방식은 주변 통신 저해요소가 없는 경우 이론적인 측면에서 최대 획득 가능한 데이터 처리용량을 부사용자 수신단말에 제공하게 된다.

### 2.2 비자가 처리방식(Selfless approach)

(그림 9)는 중첩 통신 기술 중 비자가 처리방식에 대한 기본 시나리오를 나타내고 있다.



비자가 처리방식의 경우 부사용자 송신 단말에 할당된 전

송전력의 일부를 주사용자 송신 단말로부터 획득한 주사용자 전송 신호 정보를 주사용자 수신 단말에 전달하기에 위해 이용하며, 잔여 전송 전력은 부사용자 송신 신호를 각각 주사용자 수신 단말 및 부사용자 수신 단말에 전달하기 위해 사용된다.

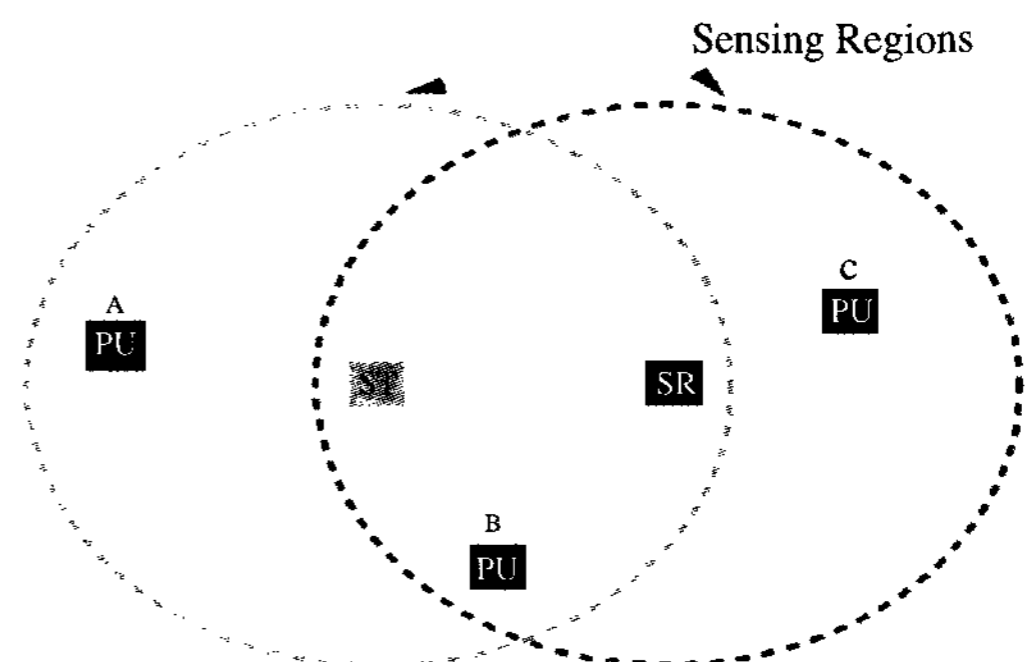
전송 전 각 신호에 대한 적합한 전력분배 과정을 통하여 부사용자 수신 단말의 존재유무에 관계없이 주사용자 수신 단말은 동일한 SNR를 유지할 수 있다. 또한 사전에 주사용자의 정확한 송신신호 정보를 획득했다는 가정아래 부사용자 송신 신호에는 DPC채널 코딩이 적용되어 주/부사용자 수신 단말에서는 간섭의 영향을 받지 않게 된다.

비자가 처리방식의 경우 상황인지 기술의 기본조건인 주사용자에게 간섭의 영향을 주지 말아야 한다는 요구조건을 어느 정도 만족시킬 수 있으며, 주사용자가 존재하는 동일 주파수 밴드 내에서 부사용자 신호를 동시에 전송하므로 은닉 노드 문제 해결이 가능하다.

### 3. 비월 통신(Interlaced communication)

중첩 통신 기술은 주사용자와 부사용자간의 위치가 근접해 있지 않거나 코드북을 서로 공유하지 않을 경우 현실적으로 주사용자에 대한 사전 전송정보 획득이 어렵다. 이와 같은 상황 아래 부사용자 송신 단말에서의 주/부 사용자 신호의 동시 전송은 주사용자 수신 단말에서의 간섭의 영향을 증가시킨다.

비월 통신 기술은 이러한 문제점을 사전에 차단하기 위해 주사용자에 의해 점유되지 않은 스펙트럼 영역만을 부사용자가 사용할 수 있는 기회를 부여하는 상황인지 기술 방식이다.

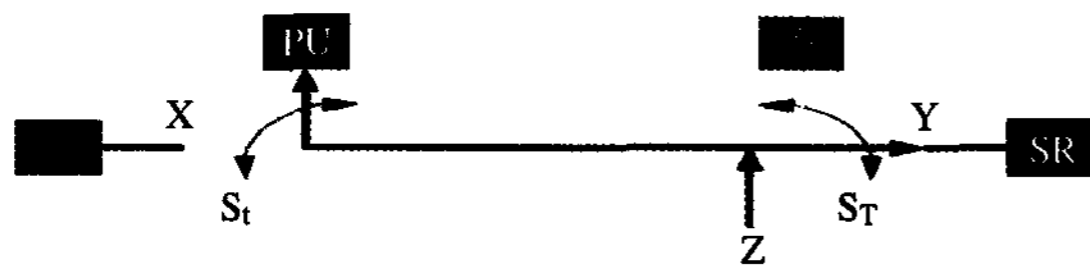


### 3.1 Two-Switch 모델

일정한 송수신 범위를 가지는 부사용자 송신 단말 **ST**와 수신 단말 **SR**이 존재하며, 각각의 부사용자 단말의 상황인지 범위 내에 주사용자 **PU**가 존재한다고 가정한다.

(그림 10)에서 부사용자 송신 단말 **ST**는 주사용자 **A**와 **B**를 감지할 수 있으며, 부사용자 수신 단말 **SR**은 주사용자 **B**와 **C**만을 파악할 수 있다. 즉, 부사용자 송수신 단말은 각각 주변의 부분적인 채널 상황만을 인지할 수 있다.

(그림 11)은 (그림 10)의 상황인지 통신환경을 축약한 Two switch 수학적 모델을 보여주고 있다.



(그림 11) Two switch 모델 개념도

(그림 11)에서  $s_t$ 와  $s_r$ 은 각각 부사용자 송수신 단말 감지 범위 내에 존재하는 주사용자의 동작 유무에 따라 개폐작업을 수행한다. 부사용자 송수신 단말의 감지범위 내에 존재하는 주사용자 단말이 동작을 하고 있을 경우  $s_t=0$  및  $s_r=0$ 으로 설정되며, 각 스위치는 개방 상태가 된다. 또한  $s_t=1$  및  $s_r=1$ 로 설정될 경우 각 스위치는 단락 상태가 되며, 이는 부사용자 송수신 단말의 감지 범위 내에 존재하는 주사용자가 동작을 하고 있지 않음을 나타낸다.

주사용자의 동작 여부가 빈번히 발생할 경우 부사용자 송수신 단말에 위치해 있는  $s_t$ 와  $s_r$  스위치 개폐동작 또한 빈번히 발생하게 되며, 두 개의 스위치 동작 개폐 여부에 대한 상관도를 추정할 경우 부사용자 송수신 단말의 물리적인 위치를 파악할 수 있다. 즉, 상관도가 높을 경우는 부사용자 송수신 단말의 위치가 근거리에 위치함을 의미하며, 낮은 경우는 원거리에 위치하고 있음을 파악할 수 있다.

비월 통신의 경우 부사용자 송수신 단말 각각에서 개별적으로 취득한 주변정보를 기반으로 감지범위 내에 있는 주사용자의 존재 여부를 판단하기 때문에 중첩 통신의 경우와 같이 완전한 주사용자 신호 정보를 요구하지 않는다.

이러한 비월 통신 기술은 부사용자의 원활한 통신을 위하여 협대역 또는 광대역 특성을 가지는 송수신 단말에 따라

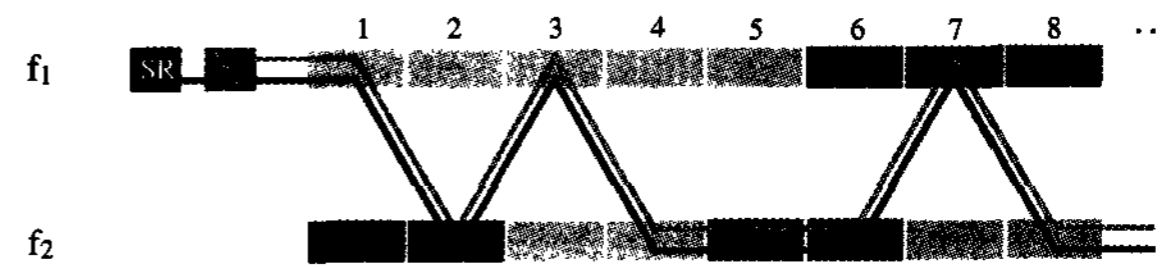
적합한 주파수 밴드 선택 기법을 가진다[11,12].

### 3.2 비월 통신 채널 선택 기법

#### 3.2.1 협대역 송수신 단말 환경

##### 3.2.1.1 주파수 도약 기술

- 사전에 정해진 주파수 도약 순서에 따라 부사용자 송수신 단말이 동시에 도약 과정을 수행.
- 부사용자 송수신 단말은 항상 동일한 주파수 밴드상에서 정합.
- 과거 및 현재의 채널 상태를 필요로 하지 않음.



(그림 12) 주파수 도약 과정 예

(그림 12)에서 회색 영역은 부사용자가 이용가능한 빈 스펙트럼 영역을 의미하며, 검은색 영역은 부사용자에 의해 취득된 스펙트럼 영역을 나타낸다. 부사용자 송수신 단말은 동시에 정해진 도약 순서에 따라 주파수 밴드를 이동하고 있음을 알 수 있다.

##### 3.2.1.2 주파수 추적 기술

- 부사용자 송수신 단말은 주파수 자원인지 과정을 통하여 신호 전송을 위한 빈 스펙트럼 영역을 선택.
- 부사용자 수신 단말은 과거 수신 신호내역을 기반으로 신호 수신을 위한 최적 채널 선택.
- 수신 단말은 송수신 단말과의 정합 상태 유지를 위해 실시간으로 채널 선택과정을 수행.



(그림 13) 주파수 추적 과정 예



(그림 13)은 주파수 추적 기술의 처리과정을 나타내고 있다. 부사용자 송신 단말은 주사용자에 의해 스펙트럼이 점유되지 않는 한 주파수 밴드  $f_1$  상에 계속 존재하나, 부사용자 수신 단말은 부사용자 송신 단말이 상주하는 주파수 밴드를 추적하는 과정을 수행한다. (그림 13)에서 주파수 밴드  $f_1$  상의 시간 슬롯 6과 7에 나타나 있는 굵은 테두리 블록은 부사용자 송수신 단말의 정합 불일치를 보여주며, 이는 주파수 도약 방식에서의 송수신 단말의 정확한 정합 특성과 상이한 면을 나타낸다.

### 3.2.2 광대역 송수신 단말 환경

#### 3.2.2.1 주파수 코딩 기술

- 전송 전 모든 주파수 밴드 내에 채널 상태 정보가 필요.
- 고품질의 주변 통신환경 감지 기술이 반드시 필요.

최근 연구결과에서는[11,12], 일반적으로 협대역 환경에서는 주사용자의 동적인 변화 빈도가 높을수록 주파수 도약 기술이 주파수 추적 기술에 비해 더욱 우수한 성능을 발휘하고 있음을 보여주고 있으며, 처리용량 측면에서는 주파수 도약 기술과 주파수 코딩 기술과의 성능 차이가 거의 없음을 나타내고 있다. 반면 주사용자의 동적인 변화가 매우 작다면, 주파수 도약 기술에 비해 주파수 추적 기술이 처리용량 측면에서 더욱 우수한 성능을 나타내고 있음을 모의 실험을 통해 나타내고 있다.

## V. 결 론

본고에서는 다가올 미래 무선 통신 환경의 급격한 변화에 대처하기 위한 IT 선진국들의 스펙트럼 정책 방향 및 관련 기관들의 연구 동향을 살펴 보았으며, 상황인지 적응형 다중접속 기법의 핵심 구성 요소 기술 및 종류에 대해 소개하였다.

주파수 자원인지 기술의 경우 주사용자의 간섭영향 타파와 부사용자 통신 링크의 최적 용량 확보를 위해 가장 중요한 핵심 기술로 부각되고 있으며, 간섭은도 다중접속 기술의 경우 점차적으로 증가하고 있는 이종 무선 통신 환경에

서 서비스 사용자간 원활한 공존을 위해 기술 확보의 중요성이 더욱 증가하고 있는 실정이다. 또한 통신요소 자가 재구성 기술은 최적의 통신 서비스 구축을 목표로 국가 및 지역에 따라 다양하게 존재하는 무선 통신 환경 변화에 적극적으로 대처하기 위해 반드시 필요한 핵심 기술이다.

중첩 통신 기술은 주사용자 송신 단말의 전송 신호 정보를 전이중 통신 방식을 통하여 부사용자 송신 단말이 수신하고, 이를 주사용자와 부사용자 수신 단말에 동시에 전송하여 적합한 전력분배 및 채널 코딩 적용을 통하여 다이버시티 효과를 극대화 시키는 기술이다. 또한 비월 통신 기술에서는 간섭회피 기술의 수학적 모델인 Two switch 모델에 대해 설명하였으며, 부사용자 송수신 단말의 통신 특성에 따라 적용되는 주파수 도약 및 추적 기술, 주파수 코딩 기술의 장단점에 대해 소개하였다.

본고에서 소개한 상황인지 적응형 다중접속 기법의 다양한 요소 기술들은 현재 전세계적으로 이론적 검증 및 개념 확립 수준에 머무르고 있는 실정이다. 특히 다중경로 페이딩 및 선택도잉 현상이 빈번한 실제 환경에서는 급격한 신호 감쇄로 인해 무한 주파수 자원 인지 시간이 주어진다 할 지라도 주사용자의 존재 유무 파악이 불가능한 경우도 존재한다. 이러한 상황인지 기술이 처해있는 기술적인 어려움을 극복하기 위해 지속적인 연구개발 노력을 경주한다면, 얼마 전 온 국민이 경험했던 와이브로 시스템의 국제 표준화 채택과 같은 국가 경쟁력 제고 및 원천 기술 확보에 크게 이바지할 수 있을 것으로 예상된다.



- [1] Federal Communications Commission, "Facilitation opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies," *Notice of Proposed Rule Making and Order*, ET Docket no. 03-289, Dec. 2003.
- [2] <http://www.ofcom.org.uk>
- [3] <http://standards.ieee.org/sa/bpg/resource.html>
- [4] <http://www.ieee802.org/22/>

- [5] Federal Communications Commission, "Establishment of interference temperature metric to quantify and manage interference and to expand available unlicensed operation in certain fixed mobile and satellite frequency bands," *Notice of Inquiry and Proposed Rule making*, ET Docket 03-289, 2003.
- [6] T. Clancy, "Formalizing the interference temperature model," *Wiley Journal on Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 7, pp. 1077-1086, November 2007.
- [7] C. J. Rieser, "Biologically inspired cognitive radio engine model utilizing distributed genetic algorithms for secure and robust wireless Communications and Networking", Ph. D. Dissertation, Virginia Tech., Blacksburg, Aug. 2004.
- [8] T. W. Rondeau, "Application of artificial intelligence to wireless communications", Ph. D. Dissertation, Virginia Tech., Blacksburg, Sep. 2007.
- [9] N. Devroye, P. Mitran and V. Tarokh, "Achievable Rates in Cognitive Radio Channels," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, pp. 1813-1827, May 2006.
- [10] U. Erez and S. ten Brink, "A close-to-capacity dirty paper coding scheme," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 51, no. 10, pp. 3417-3432, Oct. 2005.
- [11] S. A. Jafar and Sudhir Srinivasa, "Capacity limits of cognitive radio with distributed and dynamic spectral activity," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, First Quarter 2007.
- [12] S. Srinivasa, S. A. Jafar and N. Jindal, "On the Capacity of the Cognitive Tracking Channel", *IEEE International Symposium on Information Theory*, January 2006.

**약 력**



1999년 안양대학교 공학사  
 2001년 송실대학교 공학석사  
 2003년 송실대학교 공학박사 수료  
 2003년 ~ 2006년 새턴정보통신(주) 정보통신연구소 선임연구원  
 2006년 ~ 현재 송실대학교 정보통신공학과 박사과정  
 관심 분야: 상황인지 기술, 이동통신시스템, 적응 빔형성 기법

**최 주 평**



2007년 송실대학교 공학사  
 2007년 ~ 현재 송실대학교 정보통신공학과 석사과정  
 관심 분야: 상황인지 기술, 유전자 알고리즘, OFDM, 통신신호처리

**박 순 규**



2007년 송실대학교 공학사  
 2007년 ~ 현재 송실대학교 정보통신공학과 석사과정  
 관심 분야: 상황인지 기술, 통신신호처리

**이 수 복**



1986년 서강대학교 공학사  
 1988년 연세대학교 공학석사  
 1994년 New York Polytechnic Univ. Electronic Eng. 박사  
 1995년 ~ 현재 송실대학교 정보통신전자공학부 부교수  
 관심 분야: 상황인지 기술, 무선 측위, 이동통신시스템, 적응빔형성기법, 시공간 부호화 코딩 기법, 디지털 필터설계

**이 원 철**