

지상 모바일 서비스를 위한 인지 무선 시스템 기술

김도윤, 최영준, 최계원*
아주대학교, 서울과학기술대학교*

요약

본고에서는 ITU-R M.2330 보고서를 바탕으로 유휴 무선 자원을 다른 시스템과 공유하는 인지 무선 시스템, 즉 CRS(Cognitive Radio System)를 지상 이동업무에 적용할 어플리케이션들에 대해 소개한다. 또한 CRS를 실현하기 위한 무선제어채널, 스펙트럼 센싱, 데이터베이스와 같은 정보획득 기술과 판정, 학습 기술들에 대한 세부사항에 대해 설명한다. 이후 운용 및 기술적 요구사항과 무선 자원의 공유와 공존을 위한 기술적 특징에 대해 설명하고 CRS 시스템을 적용함으로써 얻을 수 있는 스펙트럼 공유 및 시스템 네트워크 측면에서의 이득에 대해 기술한다.

I. 서론

대용량 미디어 서비스와 IoT와 같은 새로운 서비스들의 등장으로 인해 트래픽 요구량이 급격하게 증가하였고 한정된 주파수 자원의 부족현상이 더욱 심화되었다. 인지 무선 시스템(CRS, Cognitive Radio System)은 유휴자원을 다른 시스템과 동적으로 공유하여 주파수 자원 부족을 해결하는 기술로 이를 통해 스펙트럼 효율을 향상시켜 통신 용량을 증가시킴으로써 혼잡 문제를 완화할 수 있다. 또한 CRS는 전파 규칙을 변경하지 않고 도입할 수 있다. 이러한 이점들은 CRS가 적용되는 조건과 환경, 시나리오에 따라 적합성이 달라질 수 있다[1].

CRS는 특정 단일 기술을 지칭하는 것이 아니라 다양한 통신 영역에서 무선 자원을 사용권한이 없는 제 3자와 공유하는 방식의 기술들을 모두 포함한다. CRS의 기술을 적용한 예로 스펙트럼 센싱과 위치기반 데이터베이스가 있으며 이러한 개체를 통한 정보습득을 기반으로 무선 자원 관리와 시스템 운영을 수행한다.

ITU-R에서는 2011년에 M.2225 보고서를 내어 CRS의 특징, 이득 및 시나리오에 대해 소개한 바 있으며 2014년 M.2330 보

고서를 통해 CRS의 운용 및 기술적 요구사항과 무선 자원의 공유와 공존을 위한 기술적 특징을 소개한 바 있다. 본고에서는 ITU-R M.2330 CRS2 보고서를 바탕으로 CRS의 기능 및 기술들에 대해 소개하고자 한다.

II. 본론

1. 어플리케이션

CRS는 다른 시스템과 스펙트럼 공유를 통해 사용 효율성을 높이고 유연성과 새로운 이동 통신의 응용력을 얻을 수 있다. 스펙트럼의 공유는 CRS 기능이 없는 이중 무선 시스템 간 간섭 영향을 배제할 때만 사용하는 수직적인 방식과 CRS 기능을 보유한 시스템 간 동일한 스펙트럼을 공유하는 수평적인 방식이 있다. 수직, 수평적 스펙트럼 공유는 독립적으로 사용되거나 동시에 적용될 수도 있다. 스펙트럼 공유에서 우선적으로 고려해야 할 사항은 동일한 스펙트럼을 사용하는 다른 시스템에 미치는 간섭을 최소화하는 것이다.

현재 CRS가 적용된 어플리케이션은 동적 주파수 선택(DFS, Dynamic Frequency Selection) 5GHz 대역의 RLAN과 TV 화이트 스페이스가 있다.

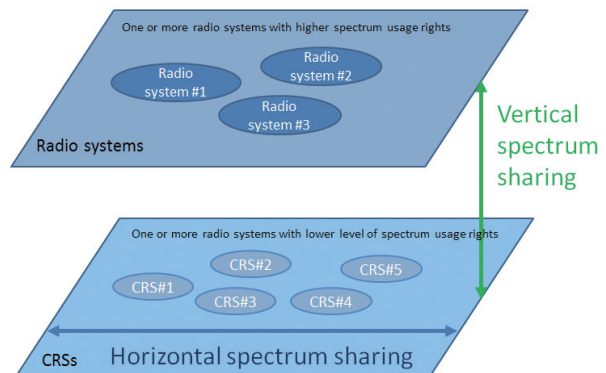


그림 1. CRS에서의 수직,수평적 스펙트럼 공유[1]

RLAN은 레이더 시스템과 5250-5350 MHz와 5470-5725 MHz 대역을 우선순위 기반으로 공유한다. RLAN은 이동 통신 업무, 레이더는 무선 표정 업무를 목적으로 해당 스펙트럼을 사용하며 공유 우선 순위에 따라 자원의 사용권을 가진다. RLAN은 레이더 시스템으로의 간섭을 막기 위한 감지 및 운용 기술을 가지고 있다. RLAN은 레이더 시스템보다 낮은 공유 우선 순위를 가져 중첩된 채널 사용을 피해야 하며 만약 레이더 시스템이 RLAN이 사용중인 자원을 사용하려고 하는 경우 이를 바로 반환해야 한다.

TV 화이트 스페이스는 유휴 상태인 방송 채널을 다른 시스템과 공유하기 위한 기술이다. 최근 주파수 관리 기관에서 기존 시스템을 간섭으로부터의 보호를 보장하는 경우에 한해서 비면허 기기의 사용을 허용하는 방안에 대한 연구를 수행하고 있다. 스펙트럼에 대한 공유 및 간섭 회피 시스템 운용을 위해서 위치 기반 데이터베이스 접속, 센싱과 같은 기술을 포함한다.

주변 상황과 가용 자원 상태에 대한 정보의 획득을 위한 지리적 위치 기반의 데이터베이스의 구축 및 운용 방안은 TV화이트 스페이스의 핵심적 기능이며 이 데이터베이스는 가용 채널을 식별하고 보호해야 하는 기존 시스템의 기기들과 서비스들에 대한 관리와 보호를 수행한다. TV화이트 스페이스의 표준화를 위해 다양한 기관에서 이를 위한 요구사항과 표준화를 추진 중이며 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)은 TV 화이트 스페이스 사용을 위한 유럽조화 표준(European Harmonised Standard(HS))을 채택하고 이에 대한 연구를 진행하고 있다[2].

2. 잠재적 어플리케이션

가. 재설정 가능 노드를 이용한 인지 네트워크

CRS기능을 가진 인지 네트워크는 환경에 자원 환경에 따라 동적으로 네트워크 운용과 관리 방안을 변경할 수 있으며 이를 위한 재설정 가능한 기지국, 단말, 네트워크 관리로 구성된다. 인지 네트워크는 유휴 자원 활용과 최적 자원, 무선 접속 기술 선택을 통해 스펙트럼 사용 효율을 높일 수 있다.

인지 네트워크 관리는 다양한 종류의 무선 접속 기술(RAT, Radio Access Technology)들을 활용하여 동작할 수 있으며 가용 자원, 트래픽 요구량, 단말 능력, 서비스 종류와 같은 매개변수를 기반으로 환경과 상황에 최적의 무선 접속 기술과 무선 자원 선택을 통한 자가적응을 목표로 전체 네트워크를 제어한다.

인지 네트워크를 구성하는 재설정 가능 기지국(RBS, Reconfigurable Base Station)은 하드웨어 자원은 동적으로 변경할 수 있으며 동적 부하 관리와 같은 다중 무선 접속기술을 지원한다.

재설정 가능 단말은 소프트웨어와 하드웨어의 동적인 변경을

통해 무선접속기술, 사용자, 사용방식을 결정할 수 있어 인지 네트워크에 환경에 대한 유연성과 효율적인 환경 적응을 가능하게 한다.

나. 인지 메쉬 네트워크

인지 메쉬 네트워크는 다수의 인지 메쉬 네트워크들이 주파수 사용 대한 조율을 위한 협력을 통한 기회적 주파수 사용 방식을 지원한다. 이를 위해 인지 메쉬 네트워크들과는 논리적으로 별도로 분리된 인지 제어 네트워크(CCN, Cognitive Control Network)와 연계하여 네트워크 간 정보 교환을 수행하는 협력 방식도 가능하다. 이러한 인지 제어 네트워크는 인지 제어 채널(CCC, Cognitive Control Channel)을 활용하여 구현된다.

다. CRS 기술을 이용한 이종 시스템 지원

CRS 기술은 최적화된 무선 접속 방안을 제공하며 이를 응용하여 시스템 내 무선 접속 기술 간 핸드오버뿐만 아니라 시스템 간 핸드오버를 지원할 수 있다.

시스템 내 무선접속 기술 간 핸드오버는 단일, 다수의 무선 접속 대역과 다중 접속 기술이 운영되는 환경에서 셀 간 이동뿐만 아니라 이종 무선 접속 기술 중에 적합한 기술을 선택한다. 단말은 가용 무선 접속 기술의 발견 후 환경과 상태에 대한 정보 습득 후 이에 따라 적합한 무선 접속 기술을 선택한다. 이후 네트워크 정책에 따라 프로토콜과 매개 변수를 변경하는 재설정 절차를 수행한다.

시스템 간의 핸드오버는 다수의 운영자가 서로 다른 주파수에 다중 무선접속기술을 운영하는 이종 무선 환경에서 시스템 간 전환하는 경우이다. 예를 들어 한 사업자가 단일 무선접속기술의 무선자원 인터페이스 기술을 사용하는 셀룰러 시스템을 운영하고 다른 운영자들은 공공용 무선 근거리 통신망 시스템을 운영하는 방식이다. 이를 위해 인지 무선 단말을 사용하는 기술과 인지적 능력이 없는 단말을 지원하기 위해 CRS 지원 네트워크 개체를 활용하는 기술이 있다.

라. 이종 무선 환경에서의 협력적 스펙트럼 접속

특정 주파수 대역폭이 여러 개의 무선 시스템과 공유되는 이종 무선 환경에서 스펙트럼 사용을 최적화 하기 위한 협력적 스펙트럼 접속 방식을 고려할 수 있다. 특정 시간대에 동일한 지역적 위치에 있는 다른 무선 시스템이 각기 다른 수준으로 스펙트럼을 이용할 수 있으며 이를 통해 스펙트럼 활용도를 향상시킬 수 있다. 모든 시스템이 CRS를 지원하지 않고 일부 시스템만 지원할 경우에도 기회적 스펙트럼 접속을 가능하다.

마. CRS 기술기반 스펙트럼 공유

수직적 및 수평적 공유 어플리케이션은 현재 사용되고 있는

스펙트럼에 추가적인 사용자가 접속할 수 있도록 하며 CRS 기술에 의해 현실화될 것으로 기대된다.

특히 3.5GHz 대역을 사용하는 어플리케이션의 경우에는 주파수가 기존 시스템(incumbent system)에 의해 사용되지 않을 경우, 수직적 공유를 이용하여 기존 무선 시스템에 간섭을 주지 않으면서 다른 무선 시스템이 사용할 수 있도록 한다. 이러한 QoS 요구를 가진 무선 시스템(예: 이동 광대역 시스템)은 다른 비면허 무선자원 시스템에 대한 배타적 접근 권한을 인정할 수도 있다. 이와 더불어 연구 중인 어플리케이션은 CRS 기술을 사용하는 무선 시스템이 3.5GHz 대역의 비어있는 일부 스펙트럼을 기회적이고 보호받지 못하는 방식으로 사용하도록 한다. 이러한 경우 스펙트럼 공유는 수평적이고 수직적인 공유 방법을 통해서 이루어 진다.

유럽에서는 최근 이동 광대역 시스템과 다른 기존 시스템간의 2.3 - 2.4GHz 대역에서 수직적 공유에 대한 해결방안 정의를 위해 관련 표준화 활동이 진행 중이다 [3]. 기존 시스템에 의해 점유되지 않는 특정 시간 또는 지역적 위치에서 이동 광대역 시스템이 해당 대역을 사용할 수 있다. 이러한 대역은 기존 시스템과 이동 광대역 시스템이 스펙트럼 자원에 대한 부여된 시간과 장소에서의 배타적 접근을 전제로 일정 QoS를 달성할 수 있게 한다. 그러나 더 높은 수준의 스펙트럼 사용권한을 보유하는 기존 시스템이 사용을 요청하는 경우 이동 광대역 시스템은 사용 중인 스펙트럼 대역을 비워줘야 할 필요가 있으므로 오직 두 가지 수준의 스펙트럼 사용 권한만이 고려되고 있으며, 기존 시스템과 이동 광대역 시스템이 모두 유해한 간섭으로부터 보호되어야 한다.

잠재적 어플리케이션은 서로 다른 무선 시스템 간의 적절한 지리 정보 및 제어 기능을 갖춘 스펙트럼 공유를 가능하게 하는 기술을 기반으로 할 것으로 예상된다. 예를 들어 해당 기술에서는 기존 시스템으로부터 스펙트럼 사용과 보호 기준 요구사항 등의 정보를 동적으로 받을 수 있다. 이러한 정보와 다른 요소들을 기반으로 하여 도출된 스펙트럼 이용 가능성과 다른 기능적 매개 변수를 스펙트럼을 공유하는 무선 시스템으로 전달한다. 이 기술은 기존 시스템에 대한 적절한 보호를 제공하고 다른 무선 시스템이 배타적 접속을 갖도록 허용하는 것을 통해 전반적인 대역의 사용 효율을 극대화시킬 수 있을 것이다.

3. CRS 기능 및 실행기술

가. 정보획득

CRS 노드의 첫 번째 핵심 기능은 그 자신의 운용과 지역적 환경에 대한 정보를 획득하고 정책과 내부 상태를 설정하는 것이다. CRS에서 주변 정보를 획득하기 위한 기술로는 무선 제어

채널, 스펙트럼 센싱, 데이터베이스의 활용이 있다.

가.1. 무선 제어 채널

제어 채널은 동일한 스펙트럼 자원을 사용하는 시스템에 속해 있는 개체 간 제어 정보 전송을 위해 사용된다. 이러한 채널은 보다 효율적인 CRS 운용, 스펙트럼 사용과 다른 무선 시스템의 공존을 가능하게 한다. CRS시스템에서 제어 채널은 인지제어 채널(CCC, Cognitive Control Channel)과 인지 파일럿 채널(CPC, Cognitive Pilot Channel)이 있다.

인지 제어 채널은 특정 지리적 영역에서 다른 분산 CRS 노드들 간에 실시간 통신 채널을 제공하기 위해 제안된 방식이다. CCC의 목적은 동일한 지역에서 동작하는 CRS 개체들의 지역적 스펙트럼 사용에 관한 정보 교환을 직접적으로 가능하게 하는 것이다. 반면에 CPC는 이동업무 단말의 효율적인 무선접속기술 발견과 선택을 위해 운영자, 정책, 접속기술, 해당 지역에서의 관련 할당 주파수 등과 같은 무선 운용 환경에 대한 정보를 전달하는데 사용된다. CCC가 추구하는 주안점은 동일한 가용 스펙트럼 자원을 사용하는 이차 시스템들 간의 공존을 향상 시키는 것이다. CPC는 셀룰러 방식과 유사하게 해당하는 지리적 영역을 관장한다. <그림 2>는 CPC의 배치 방식에 대한 그림이다.

제어 채널은 오직 제어 정보 전송을 위해서만 사용되므로 자원 효율 측면에서 낭비되는 면이 있으며 제어 채널의 사용은 기기의 전력 소모를 증가시킬 수 있다. 증가된 오버헤드와 정보 교환을 통해 얻을 수 있는 이득 간의 균형을 찾기 위해 어떠한 제어 정보가 얼마나 교환되어야 하는지에 대한 결정이 제어 채널의 주요 핵심 기술적 과제 중 하나이다. 또한 이러한 제어 채널을 사용하기 위해서는 신뢰성과 채널 상에서 보내진 채널 정보의 정확성을 보장할 수 있는 방법이 필요하다.

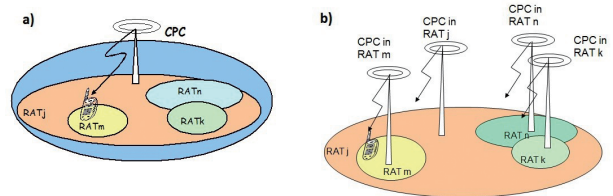


그림 2. 대역 내 및 대역 외 CPC 배치

가.2. 스펙트럼 센싱

스펙트럼 센싱은 CRS 노드 주변의 다른 신호들을 감지하고 사용되지 않는 스펙트럼 대역들을 결정하며 특히 감지된 신호가 충분히 강하거나 사전에 신호 종류 및 형식이 알려진 경우에 사용 가능하다.

현재 CRS를 위해 에너지 감지(energy detection), 정

합 필터링(matched filtering), 주기 정상성 특성 감지(cyclostationary feature detection)과 파형 기반 감지(waveform based detection)등과 같은 다양한 스펙트럼 센싱 기법들이 고려되고 있다. 이러한 기존의 센싱 기법들은 감지 능력, 사전 정보의 필요성, 개념적 복잡성 측면에서 서로 다른 특징을 가지고 있으며 센싱 요구사항, 전력 등의 사용가능 자원, 계산능력 자원, 센싱해야 하는 어플리케이션이나 신호 등에 따라 특정 센싱 기법을 선택할 수 있다. 이러한 센싱 기법들은 다수의 CRS 노드들이 센싱하고 보고하는 협력적인 방식을 이용하여 구현될 수도 있다.

스펙트럼 센싱은 은닉노드 문제(hidden node problem)를 가지고 있으며 높은 민감성, 샘플링 비율, 넓은 동적 범위의 아날로그-디지털 변환 해상도와 고속의 신호 처리기를 요구한다. 관측 대역폭에 따라 센싱 기법의 복잡도가 올라가며 이에 따른 센싱 시그널링에 소요비용이 있다. 또한 센싱의 신뢰도를 평가하고 보장할 수 있는 방안에 대한 연구도 필요하다.

가.3. 데이터베이스

데이터베이스의 목적은 지역적으로 가용 주파수들에 대한 정보와 함께 최대 허용 전송 전력 정보 등과 같은 특정 지역에서의 주파수 사용 규칙을 제공하고 이를 통해 기존 업무를 유해한 간섭으로부터 보호하는 것이다. 데이터베이스는 센싱만으로는 처리할 수 없는 수동적 업무들을 포함해서 넓은 범위의 무선 업무들을 보호할 수 있다.

CRS 노드들은 현재 위치 정보를 기반으로 데이터베이스에 직, 간접적으로 접속함으로써 가용 주파수 대역을 확인할 수 있다. 기기가 스스로의 위치를 파악하면 해당 지역에서 사용 가능한 주파수들을 파악하기 위해 데이터베이스와 통신할 수 있다.

따라서 CRS 노드는 그 자신의 위치를 파악하고 데이터베이스에 접속할 수 있는 능력이 있어야 하며, 빠르게 변화하는 스펙트럼 사용에 대한 정보를 제공하기 위함을 목적으로 데이터베이스를 사용하는 경우에는 이미 시간이 지나 의미없는 정보들이 저장될 수 있으므로 정보에 대한 유효성을 보장할 수 있는 해결 방법이 필요하다

데이터베이스 방식은 특히 노드의 위치가 알려져 있고 스펙트럼의 사용 여부가 빈번하게 변경되지 않을 경우 우선순위 사용자를 보호하는데 효과적이다. CRS에서 데이터베이스는 하나 또는 그 이상의 데이터베이스를 가지는 것이 가능하며 다양한 방식으로 구성될 수 있다. 만약 복수의 데이터베이스가 존재한다면 모든 데이터베이스는 최소한 가용 주파수들에 대한 동일한 정보를 CRS 기기에 제공할 수 있어야 한다.

CRS노드가 특정 지역의 가용 자원 정보 획득을 위해서는 데

이터베이스에 자신의 정확한 위치를 전송해야 하므로 CRS의 데이터베이스에서는 위치 측위 기술이 중요한 요소가 된다. 위치 측위를 위해서 액세스 포인트와 같은 고정형 CRS 기기들의 경우 그 위치를 기기 내부에 기록하고 개인용 컴퓨터나 다른 이동 기기에서는 GPS 칩과 같은 측위 기술을 사용할 수 있다. 또는 무선 기지국을 이용한 삼각 측량 기법이나 이를 활용한 다른 측위 기술을 통해 필요한 정확도를 만족시키는 위치 정보를 얻을 수 있다.

데이터베이스 방식은 보호되어야 하는 무선 시스템의 위치를 알지 못하거나 데이터베이스에 등록이 불허되는 경우에는 사용할 수 없으며 보안과 사생활 측면을 포함한 데이터베이스의 관리 또한 고려되어야 한다. 데이터베이스에 저장되는 정보는 매우 높은 보안 수준이 요구될 수 있으므로 인증되지 않거나 예상치 못한 데이터 접근을 막기 위한 보안 기법이 필요하다.

CRS는 다양한 국가와 주파수 대역들에서 운용될 수 있으므로 국제적 상호 운용을 보장하기 위해 IETF PAWS 에서 정의한 인터페이스와 같은 통합적이고 유연한 인터페이스가 정의되어야 한다.

나. 판정

사용자가 요구하는 어플리케이션이 시간에 따른 변동으로 인해 무선 자원 관리의 요구 사항이 변화하는 동적인 운용 환경이 발생한다. 그 결과 동적이고 복잡한 환경에서의 여러 요구사항이 충돌하게 되어 자원관리의 최적화된 해결책을 찾기 힘든 다중 변수 최적화 문제가 발생한다.

CRS 노드 간 자원 할당에 대한 판정은 휴리스틱 혹은 수학적 인 방식에 의해 수행될 수 있다. 수학적 알고리즘은 좋은 성능과 신뢰성을 보이지만 매우 복잡하며 목표 시스템의 특성에 따라 응용 가능 여부가 결정된다. 동적인 환경에서의 수학적 모델은 성능 저하를 유발하여 목표 문제에 적합하지 않을 수 있다. 휴리스틱한 방식들은 수학적 이해와 통계적 지식을 기반으로 하며 인간적인 사고나 인공지능이 문제의 해결을 위해 적용될 수 있다. 규칙 기반의 전문가 시스템, 퍼지 논리, 신경망, 유전자 알고리즘 또는 이러한 기법들의 조합으로 인해 수학적 알고리즘으로 해결할 수 없었던 문제들에 대한 답을 얻을 수 있다. 휴리스틱한 방법을 기반으로 판정 시스템을 설계하면 수학적 기법들로 구현하기 어려운 예외적이거나 예측할 수 없는 경우에도 적용 가능하다.

노드는 판정을 위해 크게 수신 신호 세기와 신호 대 간섭 잡음비(SINR, Signal to Interference-plus-Noise Ratio)와 같은 무선 링크 품질과 트래픽 부하, 지연시간, 지터, 패킷 손실과 연결 단절 및 차단 통계와 같은 네트워크 매개 변수를 사용할 수

있다. 또한 물리 계층과 네트워크 계층에서 발생 가능한 정보들을 복합적으로 활용하여 판정을 수행할 수 있다. 예를 들어 패킷 손실의 증가는 물리적 계층에서 즉각적으로 관측할 수 있는 낮은 신호 세기로 인해 발생하는 문제일 수 있다. 전반적으로 신호 대 간섭 잡음 비가 높은 상황임에도 패킷 손실이 발생하는 경우에는 산발적으로 발생하는 잡음 간섭, 링크 계층 전달에서의 문제나 무선 링크 어딘가에서 발생하는 문제점이 원인일 수 있다. 이와 같이 모든 정보는 CRS의 판정 절차에 사용될 수 있다.

다. 학습

학습은 CRS의 동작 및 이에 대한 결과, 판정 과정에 도움을 주기 위한 여타 사용자의 동작에 의해 저장된 정보의 이용을 통해 CRS의 성능 향상을 가능하게 할 수 있다. 학습 과정을 위해 데이터 저장소에 기반 지식을 생성하고 유지하며 이를 다음 결과에 대한 예측을 위하여 사용한다.

학습 기법은 지도 학습(supervised learning), 자율 학습(unsupervised learning), 강화 학습(reinforcement learning)과 같은 세 가지 주요 학습 기법으로 분류할 수 있다. 지도 학습을 이용하여 입력 신호와 이에 해당하는 결과물 쌍을 훈련 데이터로 사용하여 입력 신호를 결과물에 대응시킬 수 있는 함수를 생성할 수 있다. 지식 베이스가 과거 경험들과 그 결과물을 표현할 수 있는 사례들로 구성된 사례 기반 추론은 지도 학습 기법의 예이다. 강화 학습은 학습 과정에서 환경으로부터 관측된 값들을 사용한다. 모든 동작은 환경에 영향을 끼치며 이에 상응하는 피드백 정보는 학습 알고리즘을 위해 사용된다. 자율 학습 기법은 어떠한 과정을 통해 데이터가 구성되어야 하는지 결정하는데 주 목적을 두고 있다.

학습은 설계 단계에서 기 소유 정보만을 활용할 수 있는 경우에 비해 더욱 효율적인 CRS 동작을 가능하게 한다. 그 예로 학습은 CRS는 상이한 채널 상에서의 트래픽 패턴을 학습할 수 있으며 해당 정보는 향후 유희 시간을 예측하기 위해 사용될 수 있다. 이는 2차 사용자의 사용을 목적으로 긴 유희 시간 제공이 가능한 채널 검색 과정 및 2차 사용자의 통신용량 증대, 기존 사용자와의 충돌 감소에 도움을 줄 수 있다. 또한 학습은 장애 패턴을 논리적 집합 형태로서 확인 가능하게 하므로 장애 허용성을 늘리는데 도움이 된다. 이 때 논리적 집합은 제약 네트워크나 반응형 정합 알고리즘과 같은 역할로서 상호 연결이 가능하다. 이러한 접근 방식은 다수의 잠재적 원인들을 식별함과 동시에 우선순위 및 가중치 요소를 기반으로 가장 근접한 값을 선택하므로 더욱 효율적인 장애 분리 기술 구현을 가능하게 한다.

학습의 주요 기술적 과제는 효율적인 학습과 추론을 위해 반드시 필요한 지식 베이스의 관리이다. 지식 베이스는 판정과 관

련한 의미 있는 정보를 제공하기 위하여 환경의 잠재적 변화에 대응할 수 있어야 한다. 또한 지식 베이스의 크기가 제어 불가능할 정도로 커지는 것을 방지하고 적절한 수준으로 유지될 수 있어야 하며 이러한 작업들을 별도로 담당하는 관리 요소가 필요하다. 지식 베이스의 크기를 제한하기 위하여 모든 불필요한 정보는 정기적으로 데이터베이스로부터 제거되어야 하며 관리 요소는 혼란스런 상황 유발을 방지하기 위해 지식 베이스의 변화량을 제한할 필요가 있다. 이러한 지식 베이스는 효율적인 동작을 위해 시스템에서 사용되는 특정 학습 기법들에 맞추어 설계되어야 한다.

라. CRS 기술의 이용 및 구현

지상 이동업무의 다양한 어플리케이션에서 CRS 기술에 대한 구현 및 이용은 무선 통신 업무가 사용되는 특정 어플리케이션 및 대역, 지식 획득을 위해 요구되는 센싱 및 데이터베이스 접속과 같은 특정 CRS 기술들에 의해 결정된다.

센싱을 사용하는 경우 CRS 노드는 주변에 있는 기존 무선 시스템의 변화를 감지하고 적절한 정책에 따라 반응할 수 있다. 이러한 무선 시스템의 변화는 주로 CRS 노드 주변에 존재하는 무선 시스템이 사용하는 주파수의 변화와 관련이 있다. 또한 센싱 기법이 현존하는 무선 시스템이 활용하는 신호 기술의 변화에 대응하거나 다양한 유형의 신호를 처리할 수 있을 만큼 유연성을 갖는다면, 신호 기술의 변화 또한 적절히 감지할 수 있을 것이다. 기술 진화와 갱신으로 인해 발생 가능한 좀더 근원적인 무선 시스템들의 기술적 변화들은 CRS 노드들의 재설정 능력을 통해 해결할 수 있다. 또한 CRS 노드의 정책 갱신도 가능하다.

CRS 노드를 통한 데이터베이스 접속 방식의 경우 기존 무선 시스템에 영향을 끼칠 수 있는 유해한 간섭으로부터의 보호를 보장할 수 있다. CRS 노드는 변경된 보호 요구사항을 고려해 갱신된 명령을 데이터베이스로부터 읽어와 이를 준수하면 된다. 따라서 데이터베이스 기법을 사용하면 기존 무선 시스템의 발전을 고려하는 것이 좀 더 용이해진다. 어떠한 변화가 발생하더라도 데이터베이스가 유효한 정책을 구현할 수 있다면 CRS 노드는 지속적으로 해당 명령을 준수하기만 하면 된다. 따라서 보다 동적인 스펙트럼 공유와 무선 자원 관리를 실현하기 위해서는 특정 대역과 어플리케이션에 따라 적절한 CRS 능력과 관련 기술이 요구된다. 이와 함께 CRS가 준수해야 하는 정책과 조건을 활용할 필요가 있다. 예를 들어 CRS가 다른 무선 시스템들과 스펙트럼 대역을 공유하는 경우(특히 수직적 공유 방식)에는 이러한 정책과 조건 내용이 스펙트럼 사용 권리가 정의된 프레임워크 내에서 설정될 수 있다. 해당 프레임워크에는 스펙트럼 사용을 위한 조건이 정의되어야 하며, 적용 가능한 공유

기법을 명시해야 한다.

다수의 CRS가 동일한 스펙트럼 대역을 공유하는 수평적 스펙트럼 공유에서는 CRS들이 스펙트럼에 대해 동일한 접속 기법을 가질 수 있도록 공유 스펙트럼 대역에 대한 접속 규칙이 정의되어야 하며, 공정한 접속을 위해 CRS 능력이 사용된다. 지상 이동업무에서 CRS의 장점을 극대화하기 위해서는 통일된 기술적 해법을 사용하는 것이 좋을 수 있으며 이 해법은 CRS 어플리케이션이 다양한 주파수 대역에서 사용되는 경우 유용할 것이다.

CRS 기술은 시간, 공간, 주파수 및 여타 운용 매개 변수와 같은 범위에서 융통성을 제공할 수 있다. 그 세부 사항은 다음과 같다.

가. 시간

CRS는 데이터베이스나 다른 정보원으로부터 가용 주파수의 시간적 유효성에 대한 지침을 받을 수 있다. 만약 센싱이 사용된다면 CRS 노드들 주변 환경에서의 즉각적인 변화에 대한 정보도 제공될 수 있다. 또 다른 예로써 전송 및 수신 신호 타이밍을 정의한 정책에 따라 CRS가 동작하는 방식이 있다.

나. 공간

CRS는 지역적 특성에 따라 특화된 동작을 수행할 수 있다. 예를 들어 만약 위치정보 기반 데이터베이스가 사용된다면 데이터베이스를 통해 CRS가 공간적으로 유연하게 동작하도록 지시를 내릴 수 있다. 따라서 CRS가 지역마다 다른 방식으로 동작할 수 있다.

스펙트럼 점유와 이에 따른 스펙트럼 사용 가능 여부는 지역에 따라 확연하게 달라질 수 있으며, 이로 인해 지역에 따라 가용 주파수 채널이 달라질 수 있다. CRS는 지역 상황에 따라 적응적으로 동작함으로써 지역에 따른 가용 스펙트럼의 변화를 이용한다.

다. 주파수

CRS는 센싱 등의 자체적인 관측이나 위치정보 기반 데이터베이스와 같은 여타 정보원으로부터의 정보 수신을 통하여 가용 주파수에 대한 정보를 습득할 수 있다. CRS는 가용 주파수에 따라 동작을 변경할 수 있다.

라. 운용 매개 변수

CRS 노드는 전송 전력 제어(TPC, Transmit Power Control), 변조, 코딩, 사용되는 무선접속기술, 프로토콜 등의 다양한 운용 매개 변수들을 조절할 수 있다. 특히 CRS 노드가 SDR로 구현되었을 경우 CRS 노드의 특성들이 융통성 있게 변경될 수 있다.

운용 매개 변수를 변경하는 기능을 통해 CRS는 유해한 간섭을 보다 잘 회피할 수 있으며 자신의 운용 능력도 향상시킬 수 있다.

4. CRS의 기술적 요구사항

본 절에서는 CRS를 위한 상위 레벨 운용 및 기술적 요구사항에 대해 소개한다. 일반적으로 요구사항은 i) 일정수준 이상의 동작 성능을 보장하기 위해 CRS 동작에 초점을 맞춘 요구사항들과 ii) 동일하거나 인접한 대역에서 동작하는 다른 시스템들과의 상호작용과 관계된 요구사항들의 두 가지로 크게 분류할 수 있다. 요구사항은 다양한 시나리오 및 CRS 어플리케이션에 밀접하게 연관되어 있으며 CRS 동작은 CRS 요구사항에 영향을 끼칠 수 있는 기술적 요소 및 기능과 연관될 수 있다.

CRS 동작과 관련된 상위 레벨의 운용 및 기술에 관한 요구사항들은 다음과 같다.

- **망 토폴로지 변화에 대한 확장성과 둔감성 [4]:** CRS는 망 토폴로지 변화에 적절한 방식으로 반응해야 한다(예: 특정 노드들이 사용 불능이 되는 경우). CRS 노드들 간에 연결성은 신뢰성 있는 방식으로 유지되어야 하며 다른 채널 상에서 노드들과 재연결하기 위한 발전된 형태의 프로토콜이 요구된다.
- **전력 효율 [4]:** 특정 CRS 동작은 높은 전력 소모를 필요로 할 수 있다. 이러한 전력 소모의 경우 센싱, 동작 결정을 위한 조정 및 비조정 기법 등의 새로운 기능을 고려하여 각 CRS 노드에서 최적화 되어야 한다.
- **망 발견 [4]:** CRS의 프로토콜과 처리절차는 특정 지연 시간 내에서 망 발견이 가능할 수 있도록 설계되어야 한다.
- **강인한 제어 평면 [4]:** CRS 간의 제어 평면이 확고하게 설계 되어야 하며 시간에 따라 동적으로 변화되는 무선 환경에서도 연결성을 지속적으로 유지해야 한다.
- **무선 노드의 재설정 기능 [4]:** CRS 노드의 무선 기능은 다양한 무선 주파수 환경에 맞추어 적응할 수 있어야 한다. 이러한 동적 적응성은 전송 매개 변수들과 자원 할당이 시스템 운영자나 사용자의 요구 또는 특정 대역의 혼신 발생 시에 쉽게 조정될 수 있다는 것을 의미한다.
- **상황, 정책 및 정보 제공 지원 [4]:** CRS 노드의 무선 기술, 주파수 대역, 무선 연결 설정에 관한 선택을 지원하기 위한 목적으로 가용 주파수들과 무선 기술 채택 제약사항(정책) 등과 같은 무선 상황 정보를 적절한 방식으로 제공할 필요가 있다.
- **효율적인 스펙트럼 사용:** CRS는 전체 스펙트럼 사용의 효율을 향상시키는 기능을 지원해야 한다. 스펙트럼 점유 지표에 대한 예를 이용함으로써 인해 평가될 수 있다.
- **정보 획득을 위한 설계 기법의 지원:** CRS는 스펙트럼 가용

정보와 같은 정보 획득을 위한 기법들을 지원해야 한다.

- **위치 정보:** CRS는 자신의 위치 파악을 위하여 적절한 수준의 정확도를 갖는 지리적 위치 파악을 위한 정보 획득 기법을 지원해야 한다.
- **보안 및 프라이버시:** CRS는 데이터 프라이버시와 함께 인터페이스와 데이터 전송에 대한 보안도 보장해야 한다.

상기 기술된 요구사항들은 일부 CRS 어플리케이션들과 관련이 있다. 예를 들어 무선 노드들의 재설정과 상황 및 정책들에 관한 정보 제공 지원에 대한 두 가지 요구사항들의 경우, 모두 인지 네트워크 어플리케이션을 위한 적합 사항들이다 [5].

다음은 타 무선 시스템과의 공존 문제와 수평적, 수직적 공유를 포함하는 어플리케이션을 고려할 때 매우 중요한 타 시스템과의 상호작용과 연관된 상위 레벨 요구사항에 대한 세가지 예이다.

- **유해 간섭과 QoS 저하 회피:** CRS는 동일 또는 인접한 대역에서 동작하는 동일하거나 더욱 상위의 스펙트럼 사용 권리를 갖는 여타 무선 시스템들에 미치는 유해 간섭과 QoS 저하를 피하기 위하여 특정 기술적 요소들과 기능들을 지원해야 한다.
- **공유 및 공존:** CRS는 운영 환경에 따라 다른 CRS 및 무선 통신 시스템과 공유 및 공존할 수 있는 기능을 지원해야 한다.
- **스펙트럼 조정:** CRS는 더 높은 수준의 스펙트럼 사용 권리를 갖는 여타 무선 시스템이 출현하는 상황에서 스펙트럼 대역을 반환할 수 있어야 한다. 해당 사용자에게 지속적인 업무를 제공하기 위해서 CRS는 자신의 동작 채널을 변경할 수 있어야 한다.

5. CRS의 이득

인지 무선 시스템은 새롭고 강화된 무선 자원 관리 기법을 통하여 스펙트럼을 포함한 전체 무선 자원 사용의 효율 증대와 함께 대내외적 요인을 감안하여 동작을 적응시키는 능력으로써 추후 어플리케이션에 유연성을 제공할 것으로 기대되고 있다. CRS는 기술적 진화와 연계하여 기대되는 무선 기술이며 지상 이동업무 무선 시스템에 대한 향후 미래의 혁신적 측면에 있어 핵심적인 적용 방법이 될 것으로 예상된다.

가. 스펙트럼 공유와 관련된 이득

CRS는 유연한 스펙트럼 접속을 허용하기 위해 수평적, 수직적 스펙트럼 공유를 실현시킬 수 있다. 수평적, 수직적 스펙트럼 공유와 관련된 이점은 다음과 같다.

- **간섭 최소화:** 예를 들어 데이터베이스와 같은 CRS의 정보 습

득 기능을 활용할 경우, CRS 시스템은 현재 보호 요구 사항에 대한 정보를 얻을 수 있고 주어진 규칙들과 정책에 따라 적합한 무선 시스템을 운영할 수 있다.

- **효율적인 스펙트럼 사용:** 다른 시스템과의 스펙트럼 공유를 가능하게 하여 스펙트럼 사용 효율을 증가시킨다. 지역 또는 시간 기반으로 여타 시스템들과 공유를 허용함으로써 추가적인 스펙트럼 사용을 가능하게 만들 수 있다. 이는 CRS 기술을 적용한 시스템의 처리량 증가로 이어질 수 있다.
- **유연한 동작:** 공유와 공존 상황에서 CRS 시스템은 기존의 무선 통신 시스템들에 비해 유리한 측면을 가진다. CRS는 정보를 습득하고 정책에 동적으로 적응할 수 있는 진보된 기능을 가지고 있으며, 다양한 시스템 설정에서 동작할 수 있는 유연한 기술이다. 이로 인해 연관된 CRS 노드들 간에 정보를 공유하여 관련 노드들이 사용 가능한 스펙트럼에 대한 가장 정확한 정보를 적시에 획득할 수 있다.

나. 시스템 사업자 네트워크의 최적화

일반적으로 시스템 사업자 측면에서의 주요 기술적 과제는 사용자의 요구에 대해 적시에 적응하고 응답하여 용량과 QoS에 대한 요구를 만족시키는 것이다. 따라서 CRS는 무선 운용 환경에 대한 정보를 습득하고 분석할 수 있는 기능을 갖추므로 인해 시스템 운영자의 네트워크가 무선 접속 기술들과 무선 자원들의 선택을 최적화하여 무선 운용 환경에 적응하도록 할 수 있다. CRS가 제시할 수 있는 몇 가지 잠재적 이득들은 다음과 같다 [4]:

- **동적 스펙트럼 재설정:** 주기적인 기술 진화와 신규 표준들의 출현으로 인해 스펙트럼의 재설정이 요구되는 상황이 발생하게 된다. 이러한 경우 다수의 기존 장비가 존재하는 상황과 더불어 과도한 인프라 투자로 인해 새로운 기술로의 변화가 용이하지 않다는 점에서 신규 기술을 점진적으로 도입하여 기존 주파수 대역에서 현존하는 기술과 공존하게 된다. 이 경우 CRS를 이용하면 트래픽 제약사항들과 사용자 요구사항을 고려하여 스펙트럼 사용의 전환을 용이하게 만들어 줄 수 있다.
- **무선 자원 최적화:** 특정 지역에서 셀의 집합을 고려할 때, 특정 무선접속기술을 사용하는 다양한 종류의 서비스에 대한 트래픽 제공량은 하루 주기를 기준으로 하나의 소 지역에서 다른 소 지역으로 변화될 수 있다. 또한 동일 지역 내에 다른 종류의 무선접속기술이 수용될 경우, 각각의 서비스에 대해 제공되는 트래픽은 시간 및 공간 영역 상에 존재하는 무선접속기술에 따라 다를 수 있다. 이러한 상황에서 CRS는 네트워크 사업자에게 무선 자원의 동적이고 효율적인 관리 방법을 제공할 수 있다 (예: 무선 접속 블로킹 비율 저감, 이중 무선

접속기술들 간의 동적 무선 자원 재분배, 시스템 간섭 최소화 문제, 전력 절약 목적 등).

- 동적 기기 동작상황 제공: 단일 운영자가 관리하는 이종 및 다중 무선접속기술에서 무선 자원 관리 기법이 시간에 따라 동적으로 수행될 때 (예: 스펙트럼 회수 및 재배치, 무선 자원 최적화 등) 이동 기기의 운용을 위해 적합한 정보 제공을 위한 해결책이 필요하다. 이러한 상황에서 CRS는 상기 목적을 효율적으로 달성하기 위하여 대역내 제어 채널과 같은 도구를 제공할 수 있다.

III. 결론

본고에서는 CRS는 새롭고 풍부한 무선 자원 관리 기법을 제공하여 전체 무선 자원 사용의 효율을 향상 시킬 것으로 기대되며, 내부 및 외부 요소들에 대한 동적인 적응 능력으로 인해 어플리케이션 상의 유연성을 제공할 것이다. 그러므로 CRS는 미래 무선 기술들의 진화를 가져다 주는 매개체가 될 것으로 기대되며, 지상 이동업무 무선 시스템들의 미래 혁신을 위한 핵심요인이 될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] ITU-R M,2330, "Cognitive Radio System (CRSs) in the land mobile service", 2014
- [2] ETSI EN 301 598 v.1.1.1 "White Space Devices (WSD); Wireless Access Systems operating in the 470 MHz to 790 MHz TV broadcast band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive", 2014
- [3] ETSI TR 103,113, "Mobile Broadband services in the 2300-2400 MHz frequency band under Licensed Shared Access regime", v 1.1.1, 2013
- [4] ETSI TR 102 802, "Reconfigurable Radio Systems (RRS); Cognitive Radio System Concept", V1.1.1, 2010
- [5] ETSI TR 103 063, "Use Cases definition for Reconfigurable Radio Systems (RRS) operating in IMT bands and GSM bands", V1.1.1, 2011

약 력



김도윤

2011년 아주대학교 컴퓨터공학사
 2014년 아주대학교 컴퓨터공학 석사
 2014년~현재: 아주대학교 컴퓨터공학 박사과정
 관심분야: LTE, 무선 자원 관리, 기기 간 직접 통신



최영준

2000년 서울대학교 전기공학사
 2002년 서울대학교 전기컴퓨터공학석사
 2006년 서울대학교 전기컴퓨터공학박사
 2006년~2006년 서울대학교 공학 연구소 연구원
 2006년~2007년 University of Michigan research fellow
 2007년~2009년 NEC Laboratories America, research staff member
 2009년~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 부교수
 관심분야: 5G 네트워크, IoT, 모바일 시스템, 모바일 멀티미디어 서비스



최계원

2001년 서울대학교 지구환경시스템공학부 학사
 2003년 서울대학교 전기컴퓨터공학석사
 2007년 서울대학교 전기컴퓨터공학박사
 2008년~2009년 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원
 2009년~2010년 Postdoc, University of Manitoba
 2010년~현재 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 조교수
 관심분야: RF 무선전력전송, IoT, 주파수 공유 기술