

Principales Avances en la Estandarización de Radio Cognitivo

Garzon, Johan L. Tellez;
Programa en Telecomunicaciones
Unidades Tecnológicas de Santander
Bucaramanga, Colombia
Jtellez@correo.uts.edu.co

Abstract—El concepto de radio cognitivo es una tecnología que clave para permitir la optimización del uso del espectro de radiofrecuencia y la mejora del desempeño de los sistemas de comunicación inalámbricos. Radio cognitivo ha venido evolucionando gracias a las diversas investigaciones realizadas a nivel mundial, que han permitido crear nuevos modelos de transeceptores mucho más cognitivos que permitan reconfiguración de los dispositivos y la toma de decisiones de forma más eficiente. En este contexto la estandarización de radio cognitivo viene siendo realizada de forma lenta por las instituciones creadas para tal fin. En este trabajo se pretende realizar un análisis del estado del arte relacionado a la estandarización de radio cognitivo.

Keywords—*Wireless Sensor Networks; Cognitive Radio; Reinforcement Learning, Energy Detection.*

I. INTRODUCCION

Las comunicaciones inalámbricas han presentado avances tecnológicos significativos que buscan aumentar tanto la capacidad de transmitir información como la cantidad de usuarios con acceso a servicios inalámbricos. No obstante, el principal factor que restringe dichos avances siempre ha sido que el espectro radioeléctrico (ERE) es un recurso limitado que debe ser usado de forma racional. El ERE es dividido en una serie de banda y canales que son administrados por agencias de regulación, por ejemplo, la agencia nacional del espectro (ANE) en Colombia o la comisión federal de comunicaciones (FCC) en los Estados Unidos. Tradicionalmente, estas agencias tienen una política de atribución estática (SSA – Static Spectrum Allocation) de los canales que tolera un uso ineficiente del ERE, a saber, algunas bandas de canales son usadas de forma esporádica y otras bandas de canales presentan competición excesiva como resultados de la alta aglomeración de dispositivos inalámbricos [X1_mediciones del espectro].

El concepto de radio cognitivo (CR – Cognitive Radio) ha sido definido inicialmente por [X2_Mitola] y [X3_Haykin] para contrarrestar el problema anterior. CR convierte al dispositivo inalámbrico en un ente autónomo con habilidades cognitivas, capaz de tomar decisiones acertadas que lo lleven a mejorar su desempeño y optimizar el uso del ERE. En CR, se considera un nuevo paradigma de atribución de recursos para las agencias reguladoras que consiste en permitir un acceso más dinámico a los canales (DSA – Dynamic Spectrum Access).

Muchas investigaciones han sido realizadas para solucionar algunos de los principales desafíos relacionados con la implementación de CR en los más variados sistemas inalámbricos, comenzando por redes de baja escala (Ej. redes de área local) y pasando a sistemas de con áreas de cubrimiento mucho mayores (varios Km). A partir del análisis bibliográfico se ha podido evidenciar que los artículos científicos de revisión (*review* y *survey*) estudian aspectos específicos de CR (fundamentos, definiciones, perspectivas, componentes y desafíos), sin reunir ni asociar los estándares basados en CR que han sido propuestos para diversas aplicaciones. En [X4_AKYILDIZ-2006] es presentado un resumen de redes CR considerando temas como la arquitectura de red, las nuevas funcionalidades, los problemas tecnológicos a vencer y estudiando únicamente el estándar IEEE 802.22. él cual aparece también mencionado en una publicación regional del año 2011 [X5_AGUILLAR-2011]. Una revisión detallada de los principales avances en cada plano funcional de CR es presentada por [X6_WANG-2011], en cuya quinta sección se describen de forma superficial dos estándares CR: IEEE 802.22 y IEEE P1900. En [HOSSAIN-2013] es presentado un enfoque general de CR y algunos temas relacionados a las instituciones de estandarización más importantes de CR. Trabajos investigativos más enfocados en la estandarización de radio cognitivos son propuestos por [SHERMAN-2008] y [GRANELLI-2010]. No obstante, estos trabajos abordan de forma superficial cada estándar y dejan fuera algunos de los más importantes como por ejemplo, IEEE 802.11af.

En este contexto se identifica la necesidad de elaborar un resumen de los principales protocolos o estándares que han sido desarrollados usando el concepto CR. Este artículo pretende ser una guía de estudio para lectores interesados en la estandarización de CR. Este artículo se divide en cinco secciones. La sección II formula una clasificación de todos los estándares CR propuestos hasta el momento. Una descripción de cada estándar CR es detallado en la sección III. Finalmente, en la sección IV son presentadas las conclusiones del trabajo.

II. CLASIFICACIÓN DE LOS ESTANDARES CR

En esta sección se formula una clasificación de los principales estándares propuestos desde el punto de vista de la potencia de transmisión utilizada y del alcance o el área de cobertura de cada tipo de estándar CR. Los diferentes

esfuerzos de estandarización en CR se pueden dividir según las redes inalámbricas tradicionales en:

- Red inalámbrica de área personal (WPAN – Wireless Personal Area Network)
- Red inalámbrica de área local (WLAN – Wireless Local Area Network)
- Red inalámbrica de área metropolitana (WMAN – Wireless Metropolitan Area Network)
- Red inalámbrica de área regional (WRAN – Wireless Regional Area Network)

III. ESTANDARES PROPUESTOS PARA RADIO COGNITIVO

En esta sección es presentada una revisión de los estándares que han sido propuestos para las redes de radio cognitivo. Estos han sido desarrollados por las diversas agencias de estandarización a nivel mundial con el objetivo de establecer una serie de principios técnicos que garanticen:

- Interoperabilidad entre fabricantes;
- El buen funcionamiento y rendimiento de los sistemas inalámbricos objeto del protocolo;
- La protección de los usuarios primarios beneficiarios del canal.

En lo que respecta a la protección de usuarios primarios, es importante saber que DSA estipula dos tipos de prioridades al uso del canal, es decir, el canal puede ser usado sin ninguna restricción de tiempo por un usuario primario (PU – Primary User) o puede ser usado de forma oportunista por un usuario secundario (SU – Secondary User) bajo la restricción de no afectar las comunicaciones primarias. El PU adquiere potestad prioritaria del uso del canal en una región específica, mientras que, el SU puede usar el canal del PU de forma oportunista sin afectar el rendimiento del PU. Los SU tienen la posibilidad de transmitir información: (a) en los periodos de silencio de los PU (WS – White Spaces) si se encuentran en la misma área de influencia o (b) a potencias bajas e alejados ciertas distancias del área de influencia del PU para no afectar la temperatura interferente (IT – Interference Temperature) del PU.

Los primeros estándares CR han sido desarrollados por los grupos de trabajo del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers). Son básicamente tres: IEEE 802.22, IEEE P1900, IEEE 802.11af y IEEE 802.16h. Otras instituciones a nivel mundial que trabajan para la estandarización y promoción de radio cognitivo son: el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), la FCC y el Foro de Innovación Inalámbrica (WInnF).

A. IEEE 802.22

El estándar IEEE 802.22 [X_IEEE-802.22] especifica las capas, física (PHY) y de control de acceso al medio (MAC) de una red inalámbrica cognitiva de área regional (cognitive WRAN – Wireless Regional Area Network) que utiliza

políticas y procedimientos para operar en la banda de televisión (WSTV – White Spaces TV). En [X_CORDEIRO-2005] es presentado un resumen de las principales características de este protocolo. El objetivo del estándar es permitir el acceso de banda ancha en áreas rurales y remotas sin dejar de lado el potencial de operar en zonas urbanas o suburbanas.

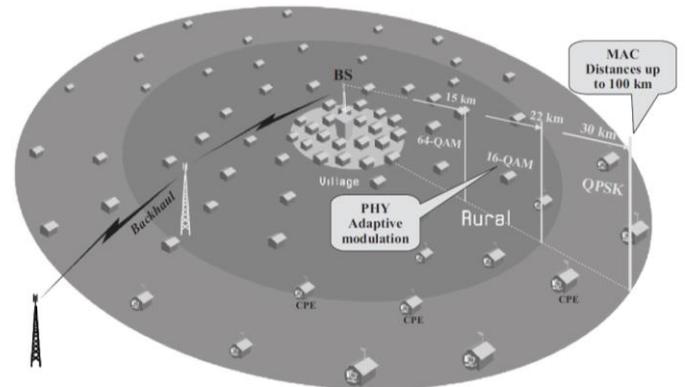


Fig. 1 Una célula IEEE 802.22.

Los servicios ofrecidos pueden ser voz, datos, audio y video con el adecuado nivel de calidad de servicio (QoS – Quality of Service). Las estaciones de TV usan los canales 2 a 69 de la banda VHF (Very High Frequency): 54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz y 470-806 MHz. Por consiguiente, los sistemas IEEE 802.22 operan en la banda 54-882 MHz en Norte América y en la banda 41-910 MHz en los demás países. El ancho de banda del canal puede asumir tres valores distintos (6, 7 u 8 MHz) que dependen del país donde es usado este sistema.

En la figura 1 es mostrada una célula WRAN de IEEE 802.22. La norma determina una topología punto-multipunto compuesta de una estación base (BS – Base Station) que administran células formadas de múltiples equipos de cliente (CPEs – Consumer Premise Equipments). La BS controla el acceso al medio en su célula transmitiendo en la dirección de los CPEs, los cuales responden de vuelta a la BS. En la WRAN cognitiva se sigue un estricto esquema maestro esclavo: la BS proporciona el permiso para transmitir y controlar todos los parámetros de transmisión del CPE. La estación base también realiza mediciones distribuidas (*sensing*) usando diversas CPEs. Con estas mediciones del ERE, la BS decide qué pasos se deben seguir para, por ejemplo, asignar un canal o cambiar el tipo de modulación. El área de cobertura de una red IEEE 802.22 puede llegar a los 100 km, las pruebas indican que CPEs operando con una EIRP de 4 W puede alcanzar una distancia de 33 km. Los usuarios titulares (PU) deben ser protegidos, entonces la coexistencia de las células 802.22 con otros sistemas licenciados se vuelve fundamental. Las capas PHY y MAC soportan coexistencia mediante flexibilidad y adaptabilidad.

La capa PHY proporciona aspectos físicos para obtener rendimiento adaptativo flexible que permite cambiar la modulación o la codificación de acuerdo con las diferentes experiencias de relación señal a ruido (SNR). Esto ayuda a

conseguir dinámicamente un óptimo rendimiento. Adicionalmente, para minimizar la interferencia tanto en la red primaria como en las redes secundarias, la capa PHY ofrece un control de potencia de transmisión (TPC) que tiene un rango de 30 dB con paso de 1 dB. Otra tarea importante que ofrece PHY para lograr la coexistencia es la habilidad de cambiar la frecuencia de operación rápidamente para ajustarse a los canales disponibles de TV. Las antenas Tx/Rx utilizadas son: omnidireccionales para la BS y direccionales para los CPEs. La información de ubicación de los nodos utilizados por IEEE-802.22 se basa en el sistema de posicionamiento global (GPS). Las modulaciones soportadas son QPSK, 16-QAM y 64-QAM.

La capa MAC debe ser altamente dinámica para responder rápidamente a los cambios del ERE. Comparada con la capa MAC de un sistema tradicional, la capa MAC de IEEE 802.22 puede operar efectivamente en las bandas compartidas de TV por la introducción de un nuevo conjunto de funciones. Cuando un CPE comienza a trabajar, debe realizar un largo proceso de detección en los canales de TV para crear un mapa de ocupación del espectro. El CPE entrante utiliza la información para determinar qué canal utilizar para comunicarse inicialmente con BS, enviando el mapa de ocupación obtenido. A diferencia de los sistemas existentes donde hay un canal predeterminado para comunicarse inicialmente, en IEEE 802.22, el proceso de búsqueda de BS por parte del CPE no es fácil, porque existe multiplicidad de canales (en términos de frecuencia, tiempo, código y modulación). Para no causar interferencia a los PU, la BS estimula sus CPE a medir periódicamente dentro o fuera de la banda (*in-band* o *out-of-band*). Dentro de la banda se refiere a los canales que se utilizan para las comunicaciones entre CPE y BS, en cambio, *out-of-band* son canales que no están siendo afectados por la WRAN cognitiva. En las mediciones *in-band*, la BS debe silenciar los canales en el análisis por un tiempo específico, afectando así el rendimiento del sistema. Cuanto mayor sea este tiempo, mayor será el consumo de energía y menor el acceso a las oportunidades de comunicación. La información obtenida en la medición por los CPEs se envía a BS, quien toma las acciones necesarias. Aspectos como la frecuencia/duración de la medición, qué canales medir y qué CPEs usar son parte de la capa MAC IEEE 802.22.

B. IEEE P1900

El comité coordinador estándar 41 del IEEE (SCC41), anteriormente conocido como el grupo de trabajo IEEE 1900 [X_REF] se encarga de trabajar en el área de redes DSA para la estandarización CR. El estándar IEEE P1900 está dividido en varios grupos de trabajo. IEEE P1900.1 presenta una serie términos y conceptos de RC relacionados con la gestión del espectro, radio definida por la política, radio adaptativa, radio definido por software (SDR) y también compara las diferentes tecnologías con sus capacidades. IEEE P1900.2 proporciona una forma sistemática de analizar la interferencia y coexistencia. La finalidad de IEEE P1900.3 es verificar el cumplimiento de requerimientos mínimos por parte de los módulos de software para dispositivos CR. IEEE P1900.4 define los bloques funcionales que permiten la toma de

decisiones distribuidas por los dispositivos de red para optimizar el uso de recursos de radio. El estándar P1900.6 define la estructura e interfaces para intercambiar información relacionada con las mediciones ERE (*sensing*) entre dispositivos secundarios. Finalmente, IEEE P1900.7 establece una interfaz de radio para sistemas de radio DSA sobre WS que admiten operaciones fijas y móviles.

C. IEEE 802.11af

El estándar IEEE 802.11af [X_IEEE 802.11af] especifica las capas PHY y MAC de una red inalámbrica de área local (WLAN – Wireless Local Area Network) para conseguir operación DSA en la banda WSTV. Los canales utilizados pueden variar entre 54 y 790 MHz, correspondientes a las bandas VHF y UHF (Ultra High Frequency). Estas bandas de operación presentan menores atenuaciones a causa de materiales aumentando así el alcance de los dispositivos en comparación con los estándares anteriores que usan las bandas 2.4 GHz y 5 GHz. IEEE 802.11af fue publicado en 2014 y está basado en la tecnología OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Los canales pueden asumir un ancho de banda de 6, 7 y 8 MHz. La cantidad de sub-portadoras OFDM se establece como 168 para canales de 7 MHz y 144 para los otros dos anchos de banda. Soporta también el uso de antenas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO).

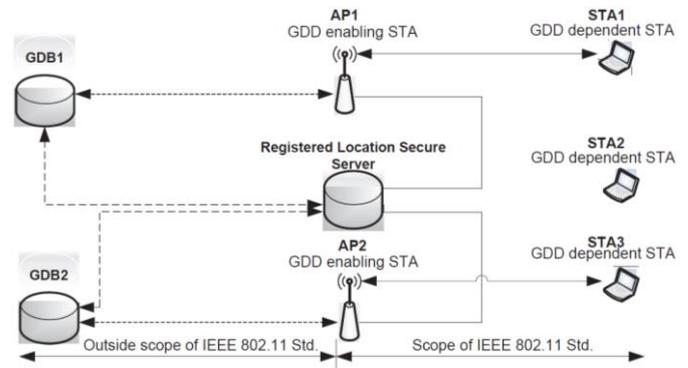


Fig. 2 Arquitectura de una red IEEE 802.11af.

En la figura 2 son mostrados los diversos elementos que forman una red IEEE 802.11af. Los puntos de acceso (AP) y las estaciones (STA) determinan su posición usando un sistema de posicionamiento satelital (GPS), además, consultan una base de datos de geolocalización (GDB) en internet para descubrir que canales están disponibles. La GDB es administrada por una agencia reguladora (como la ANE) y contiene la disponibilidad de canales libres para uso en un momento y posición determinados. El servidor seguro de ubicación registrada (RLSS – Registered Location Secure Server) opera como una base de datos local que contiene la ubicación geográfica y parámetros de operación de un pequeño número de conjuntos de servicios básicos (BSS). El RLSS distribuye los parámetros de operación permitidos a los puntos de acceso (AP) y estaciones (STA) dentro del BSS. La comunicación entre los RLSS y las bases de datos GDB está fuera del contexto del estándar. Los elementos restantes en la red se mencionan con el término geolocalización dependiente

de la base de datos (GDD), que significa que la operación de los dispositivos de la WLAN está controlada por un GDB, es decir, cuando se es poseedor de un GDD autorizado se puede operar en un determinado canal y localización, garantizando que se cumplan los requisitos de regulación.

El estándar IEEE 802.11af define los elementos de la red como dispositivos WSD (White Space Device), los cuales emplean capacidades cognitivas para usar el espectro WSTV sin causar interferencia a los PU. Un requisito regulatorio es que la red IEEE 802.11af debe ser proteger a los PU de posibles interferencias. Los PU pueden ser equipos del sistema digital de TV (radiodifusión) o micrófonos usados en programación de eventos especiales. Para evitar interferir estos equipos primarios, se requiere que los dispositivos WSD sean conscientes de la frecuencia de operación y la región de influencia de los usuarios primarios. Un WSD tiene capacidades limitadas, por lo tanto, obtiene esta información de una GDB, garantizando así una información confiable y precisa desde una entidad centralizada, segura y verificada. Según [FLORES-2013], dos enfoques son permitidos en el mecanismo GDD: bucle abierto (open-loop GDD) y bucle cerrado (close-loop GDD).

En el primero, la GDB concede diariamente operaciones a los dispositivos en los canales indicados como disponibles para ese intervalo de tiempo. El principal inconveniente de este enfoque es que la interferencia se considera como un evento binario. El enfoque *open-loop* ha sido implementado en Estados Unidos por la FCC gracias a su flexibilidad al ser necesaria una sola al día autenticación con la GDB. Sin embargo, se requiere una potencia de transmisión fija (ver [FLORES-2013]) y conservativa debido a la gran escala de tiempo envuelta en la realimentación.

En el enfoque *close-loop*, la interacción entre los WSDs y GDBs es mucho más frecuente permitiendo parámetros operativos flexibles que aplican a un dispositivo específico según sus características y ubicación. El enfoque *close-loop* ha sido adoptado por la Unión Europea a través del ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Los parámetros operacionales enviados al WSD tienen validez temporal y solo se aplican a la ubicación informada, precisamente, el WSD debe solicitar nuevos parámetros de operación cuando el tiempo expira o se presenta un movimiento de 50 m con respecto a la última posición informada.

D. IEEE 802.16h

Este estándar publicado en 2008 hace parte de la familia de protocolos IEEE 802.16, los cuales estipulan las reglas operativa de una red inalámbrica de área metropolitana (WMAN – Wireless Metropolitan Area Network). El estándar IEEE 802.16h [X_ IEEE 802.16h] define un conjunto de capacidades de radio cognitivo para operación en redes WMAN. El marco de IEEE 802.16h se divide en dos perfiles separados. El primero proporciona mecanismos de coexistencia no coordinados que resultan más adecuados para sistemas heterogéneos donde no se requiere interacción entre dichos sistemas. El segundo proporciona mecanismos de

coexistencia coordinados, a fin de que, los sistemas vecinos puedan crear vínculos de comunicación para de forma coordinada reducir la interferencia entre sí. La figura 3 muestra los principales elementos que forma una red WMAN. De forma similar a las redes IEEE 802.22, las redes IEEE 802.16h están formadas por estaciones base y terminales CPEs.

Una red IEEE 802.16h puede coexistir con usuarios primarios o secundarios en la misma banda de frecuencias. De ahí que la red WMAN (802.16h) puede causar interferencia a estos otros usuarios. El mecanismo de coexistencia no coordinado de IEEE 802.16h define tres posibles niveles de interferencia.

Interferencia aceptable, es un nivel de interferencia que no causa degradación en el rendimiento del receptor para una elección dada de modulación y/o codificación. La interferencia aceptables es aplicable tanto para usuarios primarios (con licencia) como para usuarios SU (sin licencia).

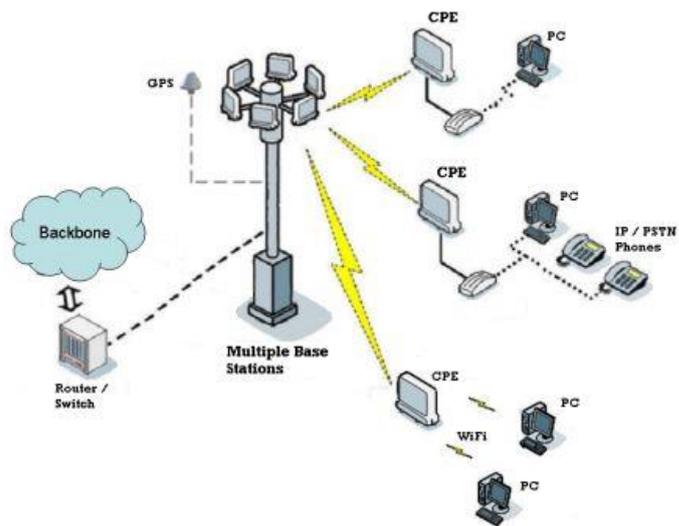


Fig. 3 Arquitectura de una red IEEE 802.16h.

Interferencia perjudicial, es una interferencia fuerte que disminuye el rendimiento del enlace en términos de modulación y/o codificación. Si bien la interferencia perjudicial debe evitarse en enlaces con licencia, es posible que la comunicación sea posible aun con cierta cantidad de errores. Por esa razón, la interferencia perjudicial es admitida para usuarios sin licencia.

Interferencia destructiva, es una interferencia tan alta que no permite que el receptor sea capaz de decodificar la señal recibida para ninguna modulación disponible para comunicación. Esta debe ser evitada para cualquier tipo de usuario.

El estándar IEEE 802.16h proporciona un conjunto de mecanismos cuyo objetivo es mantener a los usuarios (PU o SU) en sus niveles aceptables de interferencia:

- Teste de canales de otros usuarios.
- Interrumpir las operaciones después de detectar actividad en el canal.

- Identificar otros usuarios.
- Programación de pruebas de canal.
- Solicitar e informar a los diferentes nodos mediciones de ERE.
- Seleccionar e informar un nuevo canal de operación.

El estándar IEEE 802.16h proporciona capacidades de cognición en la red WMAN para la implementación de un acceso DSA permitiendo aumentar la coexistencia tanto con usuarios del mismo nivel regulatorio (SU) como de un nivel regulatorio prioritario (PU). El estándar IEEE 802.16m de 2009 proporciona una interfaz de radio avanzada para operar en bandas licenciadas (primarias) cumpliendo requisitos de la capa celular de las redes móviles de próxima generación y proporcionando soporte continuo para equipos OFDMA.

E. IEEE 802.19.1

El estándar IEEE 802.19.1 [X_IEEE-802.19.1] fue completado en 2009 y es una recomendación que describe métodos para evaluar la coexistencia de redes inalámbricas. Este estándar define las métricas de coexistencia recomendadas y los métodos para calcular estas métricas de coexistencia. El enfoque de IEEE 802.19 son las redes inalámbricas IEEE 802, pero, los métodos propuestos pueden aplicarse a otras instituciones de estandarización o comunidades de desarrollo.

Este estándar define servicios y mecanismos para permitir la coexistencia de diferentes sistemas de radio cognitivos que operan en las bandas de frecuencia de TV (WSRS – White Space Radio System). Los principales servicios son el descubrimiento de sistemas vecinos, la selección de canales de operación para los sistemas WSRS y la habilidad de conservar cierto nivel de justicia para uso de los canales disponibles por parte de los sistemas WSRS. La arquitectura de un sistema IEEE 802.19.1 es mostrada en la figura 4. Tres entidades lógicas son definidas con sus roles funcionales: administrador de coexistencia, habilitador de coexistencia, servidor de información de coexistencia.

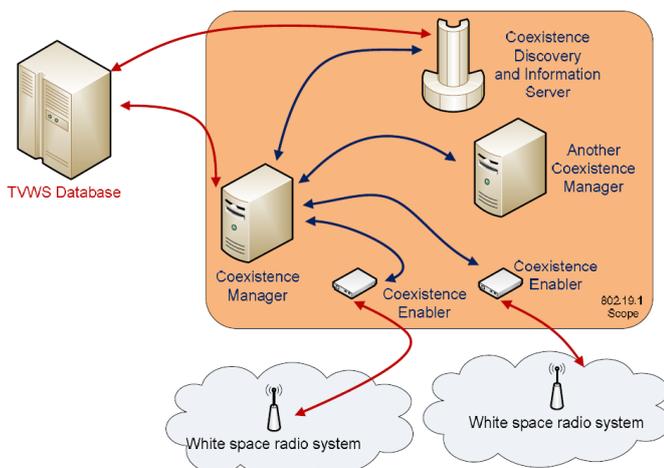


Fig. 4 Arquitectura de una red IEEE 802.19.

El administrador de coexistencia (*coexistence manager*) es quien toma las decisiones de coexistencia y proporcionar los comandos correspondientes, además, realiza descubrimiento y la comunicación con otros administradores de coexistencia. El habilitador de coexistencia (*coexistence enabler*) proporciona una interfaz entre el sistema WSRS y el sistema de coexistencia IEEE 802.19.1. Obtiene información del sistema WSRS y reenvía los comandos recibidos desde el administrador de coexistencia al sistema WSRS.

El servidor de información de coexistencia permite descubrir los administradores de coexistencia entre sí y almacena información relacionada con la coexistencia. Los administradores de coexistencia se registran a sí mismos y a sus sistemas WSRS en este servidor. En función de esta información, el servidor de información de coexistencia puede informar a cada sistema WSRS sobre los sistemas WSRS vecinos. Una base de datos WSTV es una entidad externa que permite la protección de las comunicaciones primarias. Cada sistema WSRS debe consultar esta base de datos para obtener la lista de canales disponibles antes de iniciar la operación.

El sistema de coexistencia IEEE 802.19.1 puede proporcionar muchos servicios a los sistemas WSRS, por ejemplo, servicio de descubrimiento o servicio de gestión de WS. El servicio de descubrimiento permite que el sistema WSRS descubra los sistemas WSRS vecinos con los que necesita coexistir. El servicio de gestión de WS ayuda al sistema WSRS a seleccionar el canal operativo entre los canales disponibles indicados por la base de datos WSTV. Este servicio también permite programar las transmisiones en el canal de operación seleccionado si existe la necesidad de compartir este canal específico por varios sistemas WSRS.

F. ECMA-392

El estándar ECMA-392 [X_ECMA-392] de 2012 define las capas MAC y PHY para operación sobre la banda WSTV. Una red básica ECMA-392 funciona en uno de los dos modos básicos de formación de red: el modo maestro-esclavo o el modo peer-to-peer. El servicio MAC especificado en este estándar proporciona:

- La comunicación entre dispositivos dentro del rango de radio en un solo canal usando el PHY.
- Un mecanismo de acceso a canales basado en reservas.
- Un mecanismo de acceso al canal basado en contienda y priorizado.
- Un recurso de sincronización para aplicaciones coordinadas.
- Mecanismos para la protección del usuario primario.
- Operación maestro-esclavo.
- Operación punto a punto.
- Mecanismos para manejar situaciones de movilidad e interferencia.

- Administración de energía del dispositivo mediante la programación de la transmisión y recepción de paquetes;
- Comunicación segura con autenticación de datos y encriptación usando algoritmos criptográficos.

Una red ECMA-392 se fundamenta en la transmisión regular de balizas (*beacons*) de difusión que coordinan grupos de dispositivos. Todos los dispositivos deben permanecer despiertos durante el período de *beacon* para capturar toda la información de control o gestión que pueda ser relevante para su funcionamiento. Una supertrama en ECMA-392 consta de un período de *beacon* (BP), un período de transferencia de datos (DTP) y una ventana de señalización de contención (CSW). Un dispositivo puede intercambiar datos, monitorear el estado del canal o pasar al modo de suspensión durante el período DTP. Un paquete de *beacon* contiene información importante para el funcionamiento de la red: identificación del dispositivo, información de ocupación del slot de *beacon*, información de reserva media, mapa de indicaciones de tráfico (TIM), horario de período de silencio, informe de medición del canal, clasificación de canal e información de cambio.

IV. CONCLUSIONES

En esta sección son presentadas las principales conclusiones obtenidas de este trabajo de revisión de los principales estándares definidos para radio cognitivo. Pendiente redacción...

REFERENCIAS

En esta sección se presentan las referencias utilizadas. Deben ser ajustadas al formato...