



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

R A D I O C O G N I T I V A

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**

P R E S E N T A

ITZEL AMELLALI MANJARREZ ALVA

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. JESÚS REYES GARCÍA**



CIUDAD UNIVERSITARIA MARZO 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias

A mis padres, Maricela Alba Luévano y Javier Antonio Manjarrez Hernández, por haberme dado una infancia muy feliz, llena de amor, porque me inculcaron buenos principios, y porque gracias a ellos soy una mujer de bien.

Al Sr Aurelio Arce por apoyarnos en momentos alegres y difíciles, y por querernos tanto.

A mis abuelos Esther Luévano, por ser un ejemplo de lucha y Raúl Alba por ser un gran ejemplo de vida, por enseñarme a ser responsable en todo lo que me proponga, por amar la vida, y enfrentar la adversidad con valor.

A mis hermanos Oscar y Citalli Manjarrez, a mi cuñada Fátima. A mis pequeños Javier y Julieta, los quiero mucho y espero que en un futuro se realicen en todos aspectos de su vida, en lo profesional y en lo personal, recuerden que siempre contarán conmigo.

A mis tíos Patricia, Guadalupe-Ernesto, Raúl-Sandra, Enrique-Verónica, Eduardo-Blanca y Francisco, por darme su cariño, amor y comprensión.

A mis todos mis primos. A Michelle Alba, tengo la seguridad de que en poco tiempo, tú serás la próxima, por las ganas que tienes de salir adelante.

A Raquel Ríos por ser una amiga, y brindarme tanto a mi como a mi familia su cariño.

A mis amigos, Javier Guzmán, Juan Manuel Ramos, Mónica Jiménez, Atma Torres, Laura Mendoza, Gaspar Cárdenas, Luis Ramos, con cada uno de ustedes he compartido momentos muy importantes en mi vida.

A Edgar Eduardo García Cano Castillo gracias por estar a mi lado, por amarme, por brindarme tu apoyo en todos los sentidos, te admiro porque eres un hombre que tiene muy definidas sus metas, lo cual me impulsa a continuar con las mías.

Aunque sé que algunos de ustedes no se encuentran conmigo físicamente, en donde quiera que estén, se que están orgullosos de mi, por lo tanto, este es un logro compartido, los quiero.

Agradecimientos

A Dios.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Ingeniería.

Al Ingeniero Cesar Vázquez Segovia, por impulsarme a estudiar Ingeniería en telecomunicaciones, gracias.

A mi director de Tesis, el Ing. Jesús Reyes García, por tenerme paciencia, por ayudarme, orientarme, y hacerme crecer profesionalmente.

A mis sinodales, Miguel Moctezuma, Víctor García Garduño, José Luis García García, Bohumil Psenicka Skuhersky.

Reflexiones

A lo largo de mi vida me ha tocado vivir diversas situaciones, alegres y tristes, las cuales han ido formando mi carácter. De igual modo he tenido la oportunidad de aprender afrontarlas del mejor modo, ya que he contado con el apoyo de gente que me ama y que me ha brindado consejos, cariño y comprensión.

Todo tiene un espacio, lugar y tiempo, y en mi caso, es el momento de cerrar este ciclo para emprender nuevas metas.

Cree en ti, ten fuerza, entrega, coraje y confianza y lograrás lo que te propongas.

Itzel Amellali Manjarrez Alva

Nuestra vida es un instante entre dos eternidades.
Mi vida son ustedes los amo eternamente.

Javier Antonio Manjarrez Hernández.

Temario

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE | 2 |
| 1.1. ¿QUÉ ES RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE? | 3 |
| 1.2. ¿CÓMO SE REALIZA LA RECONFIGURACIÓN DE SOFTWARE EN UNA RADIO? | 3 |
| 1.3. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA TRAN SCEPTOR DE RADIO | 5 |
| 1.4. LA APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE EN UNA TERMINAL | 8 |
| 1.5. EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LOS SEMICONDUCTORES | 10 |
| 1.6. OBJETIVOS TECNOLÓGICOS DE SDR | 11 |
| 1.7. APLICACIONES DE SDR DE 3G | 11 |
| 1.8. ARQUITECTURA DE TRANSMISORES DE RADIO TRADICIONAL | 12 |
| 1.9. ARQUITECTURA IDEAL DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE | 13 |
| 1.10. COMPLEJIDAD DEL PROYECTO SDR | 14 |
| 2. RADIO COGNITIVA | 16 |
| 2.1. ¿QUÉ ES LA RADIO COGNITIVA? | 16 |
| 2.2. RELACIÓN ENTRE LA RADIO COGNITIVA Y RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE | 18 |
| 2.3. APLICACIONES COMERCIALES TÍPICAS DE LA RADIO COGNITIVA | 19 |
| 2.4. PRINCIPALES FUNCIONES DE LA RADIO COGNITIVA | 24 |
| 2.4.1. DETECCIÓN DE ESP ECTRO | 25 |
| 2.4.1.1. MÉTODOS DE ACCESO MÚLTIPLE | 27 |
| 2.4.1.2. DETECCIÓN DEL ESP ECTRO INSPIRADA POR EL ACCESO MÚLTIPLE | 27 |
| 2.4.1.2.1. DETECCIÓN COOPERATIVA DEL ESP ECTRO POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TD-CSS) | 28 |
| 2.4.1.2.2. DETECCIÓN COOPERATIVA DEL ESP ECTRO POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FD- CSS) | 29 |
| 2.4.1.2.3. DETECCIÓN COOPERATIVA DEL ESP ECTRO POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ESCALONADA (SFD-CSS) | 31 |
| 2.4.1.2.4. DETECCIÓN COOPERATIVA DEL ESP ECTRO CON SALTOS DE FRECUENCIA (FH-CSS) | 32 |
| 2.4.1.2.5. DETECCIÓN COOPERATIVA DEL ESP ECTRO DE BANDAS NO UNIFORMES (IS- CSS) | 32 |
| 2.4.1.2.6. DETECCIÓN COOPERATIVA DEL ESP ECTRO CON SUB BANDAS NO UNIFORMES ESCALONADAS (SIS-CSS) | 33 |
| 2.4.1.2.7. COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS PROPUESTAS PARA LA DE DETECCIÓN DE COOPERACIÓN DE ESP ECTRO | 34 |
| 2.4.2. GESTIÓN DEL ESP ECTRO RADIOEL ÉCTRICO | 35 |
| 2.4.2.1. SUBASTAS | 36 |
| 2.4.2.2. CUESTION ES | 37 |
| 2.4.2.3. INTERFERENCIAS PERJUDICIALES | 38 |
| 2.4.2.4. DIFICULTADES CON LAS SUBASTAS | 39 |
| 2.4.2.5. INCENTIVOS DE PRECIOS ADMINISTRADOS (AIP) | 39 |
| 2.4.2.6. MINISTERIO DE DEFENSA (MOD) | 39 |
| 2.4.2.7. AUTORIDAD DE AVIACIÓN CIVIL (CAA) | 40 |
| 2.4.2.8. CUESTION ES DIVIDENDO POR LA DIGITALIZACIÓN | 40 |
| 2.4.2.8.1. TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN (HDTV) | 40 |
| 2.4.2.8.2. PROGRAMA PARA APOYAR EVEN TOS ESPECIAL ES (PMISE) | 41 |

| | | |
|------------|--|----|
| 2.4.3. | MOVILIDAD EN EL ESPECTRO..... | 42 |
| 2.4.4. | COMPARTICIÓN DEL ESPECTRO..... | 43 |
| 2.4.4.1. | REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA WINNER PARA LA COMPARTICIÓN DEL ESPECTRO..... | 43 |
| 2.4.4.1.1. | MECANISMOS PARA LA COMPARTICIÓN DEL ESPECTRO..... | 44 |
| 2.4.4.1.2. | OPORTUNIDADES PARA COMPARTIR EL ESPECTRO USANDO EL SISTEMA WINNER..... | 48 |
| 2.4.4.1.3. | CONTROL DEL ESPECTRO USANDO EL SISTEMA WINNER..... | 48 |
| 3. | IMPLEMENTACIÓN DE LA RADIO COGNITIVA..... | 50 |
| 3.1 | APROXIMACIONES A LA ESTRUCTURA GENERAL..... | 50 |
| 3.2 | OBSERVACIÓN DEL ENTORNO..... | 51 |
| 3.2.1 | MONITOREO AUTÓNOMO..... | 53 |
| 3.2.2 | MONITOREO COLECTIVO..... | 54 |
| 3.2.3 | MAPAS DE ENTORNO PARA LAS RADIOCOMUNICACIONES Y OBSERVACIONES EN LAS BASES DE DATOS..... | 54 |
| 3.3 | PATRONES DE RECONOCIMIENTO..... | 55 |
| 3.3.1 | REDES NEURONALES..... | 55 |
| 3.3.2 | CADENAS DE MARKOV ESCONDIDAS..... | 57 |
| 3.3.3 | RAZONAMIENTO ONTOLÓGICO..... | 61 |
| 3.4 | TOMA DE DECISIONES..... | 62 |
| 3.4.1 | APROXIMACIONES HEURÍSTICAS COMUNES..... | 62 |
| 3.4.2 | RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS..... | 66 |
| 3.5 | APRENDIZAJE AUTÓNOMO (MÁQUINA)..... | 68 |
| 3.6 | PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN..... | 72 |
| 3.7 | FORMAS DE IMPLEMENTACIÓN EN LA ACTUALIDAD..... | 74 |
| 4. | REDES COGNITIVAS..... | 76 |
| 4.1. | ARQUITECTURA DE LAS REDES DE RADIO COGNITIVA..... | 77 |
| 4.1.1. | COMPONENTES DE LA RED..... | 77 |
| 4.2. | REDES COGNITIVAS CENTRALIZADAS..... | 80 |
| 4.3. | REDES COGNITIVAS DESCENTRALIZADAS..... | 80 |
| 4.4. | TIPOS DE SEGURIDAD EN LAS REDES COGNITIVAS..... | 81 |
| 4.4.1. | DISPONIBILIDAD..... | 82 |
| 4.4.2. | INTEGRIDAD..... | 82 |
| 4.4.3. | IDENTIFICACIÓN..... | 82 |
| 4.4.4. | AUTENTICACIÓN..... | 83 |
| 4.4.5. | AUTORIZACIÓN..... | 83 |
| 4.4.6. | CONFIDENCIALIDAD..... | 83 |
| 4.4.7. | NO REPUDIACIÓN..... | 84 |
| 4.5. | CUESTIONES INHERENTES DE CONFIABILIDAD..... | 84 |
| 4.5.1. | ALTA SENSIBILIDAD A LAS SEÑALES DEL USUARIO PRIMARIO..... | 84 |
| 4.5.2. | LOCALIZACIÓN DESCONOCIDA DEL RECEPTOR PRIMARIO..... | 85 |
| 4.5.3. | REQUISITO DE SINCRONIZACIÓN..... | 85 |
| 4.5.4. | CARENCIA DEL CANAL DE CONTROL COMÚN..... | 85 |
| 4.5.5. | PROTOCOLOS Y UTILIDADES BASADOS EN UN MISMO MODELO..... | 86 |
| 4.6. | DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES CAPAS EN LAS REDES DE RADIO COGNITIVAS..... | 86 |
| 4.6.1. | CAPA FÍSICA..... | 86 |
| 4.6.2. | CAPA DE ENLACE..... | 86 |
| 4.6.3. | CAPA DE RED..... | 87 |
| 4.6.4. | CAPA DE TRANSPORTE..... | 87 |
| 4.6.5. | CAPA DE APLICACIÓN..... | 87 |

| | | |
|--------|--|------------|
| 4.7. | ATAQUES A LAS REDES DE RADIO COGNITIVA..... | 88 |
| 4.7.1. | ATAQUES DE LA CAPA FÍSICA..... | 88 |
| | A) ATAQUE INTENCIONAL (JAMMING)..... | 88 |
| | B) ATAQUE DEL RECEPTOR PRIMARIO..... | 88 |
| | C) ATAQUE DE AMPLIFICACIÓN A LA SENSIBILIDAD..... | 89 |
| | D) ATAQUE SECUNDARIO TRASLAPADO DEL USUARIO..... | 89 |
| 4.7.2. | ATAQUES EN LA CAPA DE ENLACE..... | 89 |
| | A) ATAQUE PARA USO GENERAL..... | 89 |
| | B) ATAQUE DE DETECCIÓN ASÍNCRONO..... | 89 |
| | C) ATAQUE FALSO..... | 90 |
| 4.7.3. | ATAQUES DE LA CAPA DE RED..... | 90 |
| | A) ATAQUE NEPA..... | 90 |
| | B) ATAQUE CEPA..... | 91 |
| | C) ATAQUE LO RA..... | 91 |
| 4.7.4. | ATAQUES EN LA CAPA DE TRANSPORTE..... | 91 |
| 4.7.5. | ATAQUES ENTRE CAPAS..... | 92 |
| 4.8. | ARQUITECTURAS DE REDES COGNITIVAS..... | 92 |
| 4.8.1. | ARQUITECTURA NAUTILUS..... | 93 |
| 4.8.2. | ARQUITECTURA DIMSUMNET..... | 93 |
| 4.8.3. | ARQUITECTURA IEEE 802.22..... | 93 |
| 4.8.4. | ARQUITECTURA DE RADIO COGNITIVA OCRA BASADA EN OFDM..... | 94 |
| 4.9. | DIRECCIONES FUTURAS..... | 94 |
| 4.9.1. | USO DE PROTOCOLOS DE SEGURIDAD EXISTENTES..... | 94 |
| 4.9.2. | USO DE CIFRADOS..... | 95 |
| 4.9.3. | MECANISMOS DE SEGURIDAD REACTIVOS..... | 95 |
| 4.9.4. | ENFOQUE DEL ESPECTRO..... | 95 |
| 4.9.5. | DESARROLLO ANALÓGICO DE PROTOCOLOS PRIMITIVOS..... | 96 |
| 4.9.6. | USO DE PROTOCOLOS DE SEGURIDAD PRIMITIVOS Y LIGEROS..... | 96 |
| | CONCLUSIONES..... | 98 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 100 |
| | REFERENCIAS..... | 102 |

Figuras

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. OPORTUNIDAD DE PARA RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE EN EL ÁMBITO DE LAS COMUNICACIONES. | 4 |
| FIGURA 2. DIAGRAMA DE UN TRANSCPTOR DE RADIO | 5 |
| FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE 2G | 7 |
| FIGURA 4. ESQUEMA IDEAL DE UN RECEPTOR CONFIGURABLE POR SOFTWARE | 8 |
| FIGURA 5. ARQUITECTURA DE UN ASIC | 9 |
| FIGURA 6. ESQUEMA DE UN RECEPTOR HÍBRIDO | 10 |
| FIGURA 7. TRANSMISOR SUPER HETERO DINO | 12 |
| FIGURA 8. TRANSMISOR SUPER HETERO DINO | 13 |
| FIGURA 9. COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE AMPLIO ESPECTRO Y DE LA RED | 19 |
| FIGURA 10. CLASIFICACIÓN DE LAS APLICACIONES DE LA RADIO COGNITIVA | 20 |
| FIGURA 11. CLASIFICACIÓN DE APLICACIÓN DE SERVICIOS ESPECÍFICOS | 24 |
| FIGURA 12. DETECCIÓN COOPERATIVA DEL ESPECTRO | 26 |
| FIGURA 13. EJEMPLO QUE MUESTRA LOS PROBLEMAS CAUSADOS POR EL RETARDO DE LA DETECCIÓN DEL ESPECTRO | 26 |
| FIGURA 14. TD-CSS | 28 |
| FIGURA 15. USO DE MEJORAS TD-CSS | 29 |
| FIGURA 16. FD-CSS | 30 |
| FIGURA 17. SFD-CSS | 31 |
| FIGURA 18. DETECCIÓN DE MÁS BANDAS EMPLEANDO SFD-CSS | 31 |
| FIGURA 19. FH-CSS | 32 |
| FIGURA 20. IS-CSS | 32 |
| FIGURA 21. IS-CSS | 33 |
| FIGURA 22. SIS-CSS | 33 |
| FIGURA 23. SIS-CSS | 34 |
| FIGURA 24. PORCENTAJE EMPLEADO DEL ESPECTRO PARA DISTINTOS SERVICIOS EN INGLATERRA | 42 |
| FIGURA 25. EJEMPLO DONDE EL SISTEMA PRIMARIO Y UN SISTEMA RECEPTOR SE BASAN EN LOS SATÉLITES DEL SISTEMA WINNER SECUNDARIO (NO SE PERMITE NINGUNA EMISIÓN DEL SISTEMA SECUNDARIO HACIA LA ZONA DE LA EXCLUSIÓN) | 47 |
| FIGURA 26. EJEMPLO DE UN SISTEMA PRIMARIO QUE UTILICE EL ESPECTRO DE MANERA ESPORÁDICA. EL USO DEL ESPECTRO SECUNDARIO PUEDE SER FACILITADO MEDIANTE EL ENVÍO DE UNA SEÑAL DEL LOUARIO PRIMARIO. | 47 |
| FIGURA 27. EJEMPLO DE LA LOCALIZACIÓN DE LAS FUNCIONES DE CONTROL DEL ESPECTRO, MEDIANTE UNA ARQUITECTURA LÓGICA DEL NODO DEL SISTEMA WINNER | 49 |
| FIGURA 28. CICLO COGNITIVO SIMPLIFICADO, CONSISTE EN OBSERVAR-ORIENTAR-DECIDIR Y POR ÚLTIMO ACTUAR | 50 |
| FIGURA 29. NODO DE UNA RED NEURONAL | 56 |
| FIGURA 30. RED NEURONAL (MUESTRA LA PROPAGACIÓN DE ENTRADA Y LA PROPAGACIÓN DE REGRESO APRENDIDA) | 56 |
| FIGURA 31. SISTEMA BINARIO UTILIZADO PARA EL MODELAJO DE LA OCUPACIÓN DEL ESPECTRO | 58 |
| FIGURA 32. ARQUITECTURA SIMPLE PARA EL APRENDIZAJE AUTÓNOMO | 70 |
| FIGURA 33. MARCO COGNITIVO DE LA RED | 75 |
| FIGURA 34. ARQUITECTURA DE LAS REDES DE RADIO COGNITIVA | 77 |
| FIGURA 35. MARCO DE GESTIÓN DEL ESPECTRO PARA REDES COGNITIVAS | 79 |
| FIGURA 36. RED COGNITIVA CENTRALIZADA | 80 |
| FIGURA 37. RED COGNITIVA DESCENTRALIZADA | 81 |

Tablas

| | |
|---|----|
| TABL A.1. CAPAS DEL MODELO OSI | 4 |
| TABL A.2. EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LOS SEMICONDUCTORES | 11 |
| TABL A.3. COMPARACIÓN DE LAS PROPUESAS DE LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN DEL ESPECTRO DE COOPERACIÓN | 33 |
| TABL A.4. Jerarquía Cognitiva de Inferencia Estándar | 71 |

Introducción

El objetivo de esta tesis consiste en realizar un breve informe donde se describan las principales características de dos tecnologías Radio Definido por Software y Radio Cognitiva, las cuales, se encuentran en desarrollo y tendrán un gran impacto en los sistemas de radiocomunicaciones en un mediano plazo.

El resultado que se espera de esta tesis es compartir una propuesta para optimizar el uso del espectro radio eléctrico con el uso de la Radio Cognitiva, indicando su implementación y principales funciones. Presentar los beneficios que ofrece el uso de la Radio Cognitiva al público en general. Este trabajo de tesis se encuentra dividido en cuatro capítulos, los cuales se explican brevemente:

Capítulo 1: En este capítulo se hace mención a la definición del concepto SDR (Radio Definido por Software), que consiste en la implementación de las operaciones que se llevan a cabo dentro de los transmisores y receptores de sistemas de radiocomunicaciones, ya no mediante Hardware sino utilizando Software (programas) y elementos para el procesamiento de señales tales como DSP's y FPGA's, lo cual permitiría reconfigurar las características de los transmisores y receptores (modulación, codificación, filtrado, señalización, protocolos, etc.) de acuerdo a las necesidades que se requieran en un momento dado.

Capítulo 2: Este capítulo es el tema central de la tesis. La Radio Cognitiva, que es una tecnología que puede hacer uso o no del Radio Definido en Software y, que consiste en lo general en diseñar equipos transmisores y receptores que contengan elementos que les permitan conocer el entorno (electromagnético) operacional en el cual se encuentran y que inteligentemente (de manera dinámica y autónoma) adapten sus características de operación de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Una de las principales funciones de los radios cognitivos, sobre la cual se centra el desarrollo de ellos actualmente, es que estos busquen dentro del espectro radioeléctrico las bandas de frecuencia donde pueden operar sin la necesidad de que se les venga asignando para ello bandas de frecuencias fijas por alguna autoridad (auto gestión del espectro).

Capítulo 3: En este capítulo se describe la Implementación de la Radio Cognitiva, es decir todo aquello que necesita para poder operar, por ejemplo; monitoreo autónomo, monitoreo colectivo, patrones de conocimiento, tomas de decisiones, aprendizaje autónomo. De igual modo se describe cuales son las formas de implementación en la actualidad.

Capítulo 4: En este capítulo se hace descripción de las Redes Cognitivas, se describe cada una de las capas del modelo TCP, así como la vulnerabilidad que presentan. Se describen algunos de los ataques más frecuentes en las Redes Cognitivas.

1. Radio Definido por Software

Hoy en día los sistemas de Comunicación por Radio se encuentran en constante desarrollo en el ámbito de las Telecomunicaciones, por ejemplo, Telefonía celular, comunicaciones inalámbricas, radiodifusión sonora, etc., los cuales presentan problemas de diferente índole.

Sabemos que los Organismos Internacionales reciben fuertes presiones de los mercados para establecer normalizaciones a tiempo, pero a su vez deben mantener la flexibilidad suficiente para permitir la innovación tecnológica y la creatividad de los departamentos de I+D de las empresas; mientras que de su parte, los operadores tienen intereses cada vez más “globalizados” y los fabricantes de terminales desearían que los nuevos sistemas tuvieran una aplicación universal, para evitar la fragmentación del mercado y poder ofrecer un servicio utilizable en cualquier región del mundo.

Hasta ahora, estas exigencias han tenido un carácter contradictorio y los esfuerzos de una normalización mundial han fracasado en su mayor parte.

Sin embargo, para poder considerar la integración de múltiples arquitecturas de comunicaciones no sólo se debe tomar en cuenta el nivel de hardware sino también la parte de software que establece los pasos a seguir para realizar una comunicación.

Los protocolos o pila de protocolos en las capas superiores del modelo OSI permiten la comunicación y el entendimiento de la misma en una comunicación de datos. La comunicación de la capa física a nivel hardware, hasta la capa de aplicación (software) está directamente ligada y es imposible pasar de un nivel al otro sin requerir de servicios y funciones los cuales se encuentran dentro de las capas intermedias.

Así como en su momento no fue posible establecer una norma única para la televisión a color, ni para la TV Digital Terrestre entre EU, Europa y Japón, así como para la telefonía celular de segunda generación en Europa y otros países (GSM) son incompatibles con el empleado en EU y demás países de su órbita de influencia tecnológica.

Desde la creación y evolución constante de normas para 2.5G, 3G, existe una gran incompatibilidad entre tecnologías de redes inalámbricas utilizadas por diferentes países. Desde una perspectiva comercial y global, este problema inhibe el uso de servicios de roaming y otras facilidades por lo que esta es una de las grandes oportunidades de SDR (Radio Definido por Software), ya que el aspecto económico es de suma importancia, para la integración transparente de diversas arquitecturas de comunicación.

SDR es una tecnología de rápida evolución, que está recibiendo un gran reconocimiento e interés en el ámbito de las telecomunicaciones. En los últimos años los sistemas de radio analógicos están siendo sustituidos por sistemas de radio digital para diferentes aplicaciones.

1.1 ¿Qué es Radio Definido por Software?

El término “Radio Definido por Software” fue acuñado por Joe Mitola en 1991 para referirse a “radios” reconfigurables. Es decir, una misma pieza de hardware capaz de realizar diferentes funciones en diferente tiempo. De esta manera plantea el hecho de contar con un dispositivo de hardware de “propósito general” en el ámbito de comunicaciones. Este concepto ha logrado abrir un amplio panorama de oportunidades para la industria de las comunicaciones y la investigación en ese mismo sentido.

Existen diferentes conceptos del término SDR es por ello que sólo se hará mención a 3 de sus definiciones más importantes.

- 1) SDR es una radio sustancialmente definida por software y cuyo comportamiento en la capa física del modelo OSI puede ser considerablemente alterado a través de cambios en su software.
- 2) SDR es un término utilizado para describir software de control para una aplicación de radio el cual provee técnicas de modulación, operaciones de banda angosta y banda ancha, funciones de seguridad en comunicaciones y requerimientos de forma de onda.
- 3) SDR es un sistema de comunicación por radio en donde los componentes que se han implementado por hardware (por ejemplo, mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores, demoduladores, detectores, etc.,) ahora se implementarán utilizando software en una computadora u otros dispositivos.

SDR es una tecnología creada para mejorar la interoperabilidad entre diferentes servicios. La tecnología SDR está compuesta de software y hardware, y puede ser reconfigurada dinámicamente para habilitar comunicaciones entre una amplia variedad de normas de comunicaciones, protocolos y radio enlaces. SDR permite crear dispositivos inalámbricos y equipo de redes multibanda y multifuncionales, que pueden ser dinámicamente reconfigurados, o a través de actualizaciones de software y reconfiguraciones de hardware.

1.2 ¿Cómo se realiza la reconfiguración de Software en una Radio?

La reconfiguración de software en una terminal de radio se puede hacer mediante la descarga a través de la propia comunicación vía radio o por cualquier otro medio, por ejemplo mediante tarjetas de memoria. Este criterio se puede aplicar a otros equipos, tales como las Estaciones Base de Telefonía Móvil o en los sistemas de Radio PMR (Radio Móvil Privado).

Sin embargo, es en la propia funcionalidad de la terminal telefónica donde se manifiesta la gran flexibilidad y el interés de este concepto.

Es cierto que un sistema de telefonía celular está compuesto no sólo de equipos, sino también que incluye una gran infraestructura fija compuesta de Estaciones Bases y concentradores junto con la red de interconexión y conmutación. Hoy en día el número de terminales de los usuarios cuenta con cientos de millones tomando en cuenta

únicamente a la red de GSM, por lo que cualquier cambio que requiera sustituir las terminales implicaría un gran impacto.

Simplemente tomando como ejemplo un usuario europeo que desea estar al día en cuanto a la tecnología celular, ya se habrá visto obligado a cambiar de terminal unas cuatro veces en los últimos 6 años: del analógico (TDMA) al digital GSM (2G), luego al terminal WAP (Wireless Application Protocol), posiblemente al GPRS (General Packet Radio Service) y después al UMTS (3G). Esto sin contar con la nueva banda de 1800 MHz (terminales banda 900/1800 MHz 2G) y todo esto, sólo para el caso de Europa.

Se considera que la reconfigurabilidad debería de alcanzar a todas las capas del modelo OSI (una estructura jerárquica de 7 capas que define los niveles de operación y su interrelación), desde la capa de aplicación pasando por la de enlace de datos y el control de acceso del medio hasta la capa física (interfaz de aire) ver (Tabla 1).

Tabla 1. Capas del Modelo OSI

| |
|------------------------|
| Aplicación |
| Presentación |
| Sesión |
| Transporte |
| Red |
| Enlace de Datos |
| Física |

Pero no sólo la telefonía celular impulsa el desarrollo del Radio Definido por Software. Las aplicaciones militares y de defensa son también áreas de máximo interés, ya que la tecnología avanza más rápido de lo que sería óptimo para el tiempo de adaptación y al hecho de que los ejércitos modernos son cada vez más multinacionales. En la siguiente figura (ver Figura 1), se puede apreciar la oportunidad SDR en el ámbito de las comunicaciones (Generación de sistemas inalámbricos comerciales y ventana de oportunidad para el Radio Definido por Software).

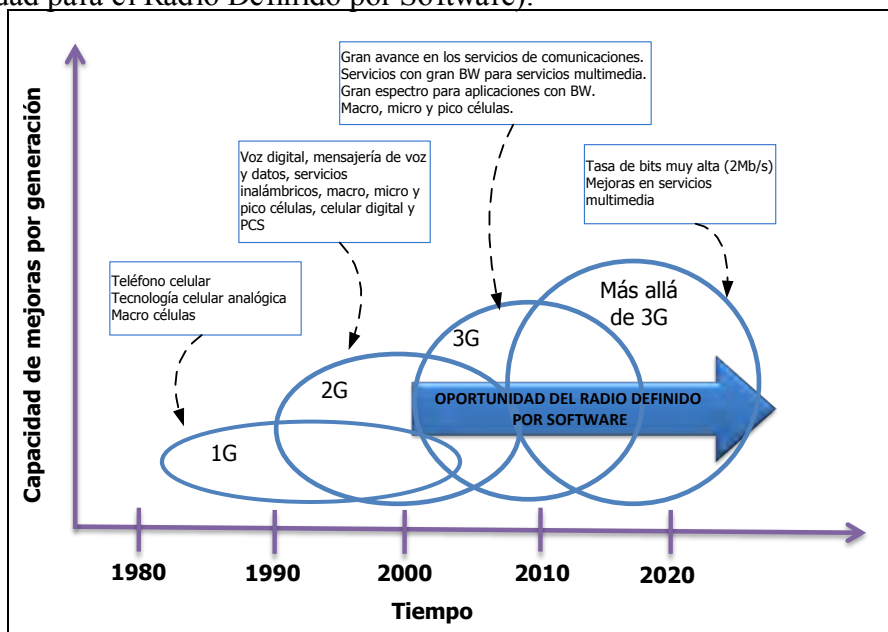


Figura 1. Oportunidad de para Radio Definido por Software en el ámbito de las comunicaciones

1.3 Arquitectura de un Sistema Transceptor de Radio

Con la finalidad de entender cuáles son las dificultades existentes en la aplicación práctica de esta tecnología, se explicará cómo está compuesta la arquitectura general de un sistema de radio y sus conceptos básicos, así como a los probables requerimientos de capacidad de proceso y el estado actual de la técnica de semiconductores junto con su proyección a 10 años.

1.3.1 Antena

La transmisión de la información se realiza mediante ondas electromagnéticas que son transmitidas al espacio, la atmósfera y otros medios no conductores. El elemento que genera estas ondas se denomina Antena. Y puede considerarse como un transductor y un adaptador de impedancia al medio de transmisión (ver Figura 2).

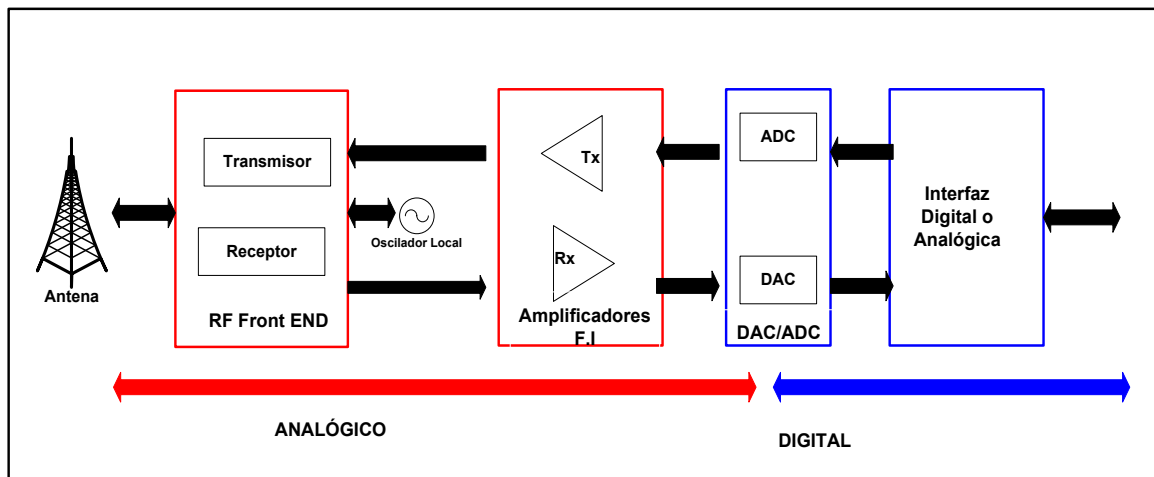


Figura 2. Diagrama de un Transceptor de radio

Front End de RF

El Transceptor cuenta con dispositivos electrónicos de estado sólido que procesan el nivel de las señales para que sea adecuado a la función que les precede o les sigue. Esta función de adaptación de nivel se realiza en el bloque "Front End de RF". Por ejemplo en el caso de la telefonía celular GSM las señales se procesan a la frecuencia de transmisión/recepción del orden de 1.000 MHz (10^9 Hz). En el lado transmisión, se produce una amplificación de la señal entregada por las etapas anteriores hasta el nivel de potencia suficiente para su transmisión por el medio físico. Este nivel de potencia es del orden de 1 V (de 0,1W a 10 W, aunque depende mucho del sistema de que se trate). En telefonía GSM es del orden de 2W como máximo (+ 33dBm).

1.3.2 Bloque de Frecuencia Intermedia

La mayor parte de la amplificación en recepción se produce a una frecuencia inferior, llamada frecuencia intermedia. En este caso el Front End RF realiza una conversión o adaptación de frecuencias. Por razones similares, también se procesa la señal del lado transmisión a una frecuencia inferior para luego convertirla al valor final y amplificarla hasta el nivel de aplicación a la antena. El bloque de Frecuencia Intermedia cumple estas funciones.

1.1.1. Oscilador Local

Genera las frecuencias apropiadas para convertir la frecuencia intermedia en la frecuencia de trabajo, mediante una mezcla no lineal que produce frecuencias de suma y resta. Se selecciona la frecuencia deseada mediante filtros analógicos para su amplificación en los amplificadores de frecuencia intermedia correspondientes.

1.1.2. Conversión AD/ DA

Puesto que la transmisión por el medio físico se realiza mediante señales analógicas pero el procesamiento en el Transceptor es de índole digital, se requiere una conversión analógica/digital en el receptor y digital/analógica en el transmisor.

1.1.3. Modulador/Demodulador

Para que pueda transmitirse una información útil mediante la onda electromagnética que se propaga, es necesario imprimir de algún modo esta información sobre una señal portadora”. Esto se logra modificando alguno de los parámetros que la definen de acuerdo con el valor de la información a transmitir.

Este proceso se denomina modulación y el correspondiente proceso inverso para la recuperación de la información es la “demodulación”). El bloque que realiza ambas funciones se abrevia como “MODEM”.

Estas funciones son actualmente muy complejas y totalmente digitales. Podemos afirmar que la gran evolución de los sistemas de Radio, se ha producido por el gran avance sobre los procesos de modulación/demodulación, ya que ha permitido la creciente capacidad de proceso digital de las señales.

En los sistemas modernos, la capacidad de separar las diferentes señales recibidas de modo de procesar sólo la que se desea está también incluida en el MODEM, mediante funciones de filtrado digital muy eficientes y complejas.

Los parámetros que se modifican para que la onda transmita información útil son típicamente la frecuencia o la fase/amplitud de la señal, utilizando modulaciones de múltiples niveles denominadas “en cuadratura”: mQAM, mPSK, etc.

1.1.4. TDMA Vs. CDMA

Los sistemas de telefonía celular deben dar servicio a un gran número de usuarios simultáneamente, disponiendo al mismo tiempo de relativamente poco espectro radioeléctrico. El proceso de permitir la coexistencia de varios usuarios que comparten los mismos recursos radioeléctricos se denomina acceso múltiple.

Según el método empleado, se denominan TDMA (Time Division Multiple Access) o CDMA (Code Division Multiple Access). El FDMA (Frequency Division Multiple Access) sólo se utiliza en GSM 2G para separar el sentido Transmisión del de Recepción.

Otro procedimiento de separación Tx/Rx es el TDD (Time Division Duplexing), ya empleado en los teléfonos inalámbricos con tecnología DECT (Digital European Cordless Telephony).

De una manera muy simplificada TDMA asigna a cada usuario un “espacio” temporal, durante la cual se transfiere la información que le corresponde. Los demás usuarios no pueden transmitir hasta que les toca su propio espacio (slot). Este proceso es similar en recepción.

En CDMA, todos los usuarios transmiten simultáneamente con un código de secuencia único, ocupando el mismo “espacio” de frecuencia en el espectro radioeléctrico por tiempo ilimitado.

El receptor conoce esta secuencia y está sincronizado con la transmisión, por lo que es capaz de recuperar la información transmitida por el usuario con el que está en comunicación.

1.1.5. Incompatibilidad de los sistemas

Históricamente TDMA fue el primero en desarrollarse y es una técnica conocida. Es el sistema empleado por GSM 2G y evidentemente ha tenido un éxito fenomenal. Existe también otro sistema TDMA (ANSI-136) pero que no es GSM y que tiene su propio camino hacia 3G.

El CDMA es más reciente y es uno de los sistemas adoptados en USA para la transición de la telefonía celular analógica a la digital. Presenta algunas ventajas técnicas claras, especialmente cuando la propagación de la onda electromagnética es perturbada, lo que sucede casi siempre.

La confrontación económica, política y técnica no se ha hecho esperar y ha durado varios años, si bien los sistemas GSM 2G parecen haber triunfado comercialmente, al menos en cuanto a cantidad de usuarios.

Pero para la 3G, los caminos a seguir en cada región (TDMA o CDMA) son diferentes y lamentablemente nuevamente incompatibles.

La siguiente figura nos muestra cómo es que han evolucionado los sistemas 2G (ver Figura 3).

Figura 3. Evolución de los sistemas de 2G

1.1.6. El Software Radio al rescate

Ante estas perspectivas un poco sombrías, se muestra como puede ayudar la Radio Definido por Software a facilitar la vida a los usuarios, operadores y fabricantes.

Las tres áreas conflictivas principales en las que la aplicación de las técnicas de Radio Definido por Software pueden aportar soluciones son:

- 1) La transición gradual de 2G a 3G en zonas con un estándar único (Europa).
- 2) La diferenciación de los servicios entre operadores que compiten por un mismo mercado.
- 3) La incompatibilidad de los estándares de tercera generación.

1.1.7. La transición de 2G a 3G en Europa

Es seguro que el desarrollo de la UMTS (Universal Mobile Telecommunications Services, alias 3G) en Europa será gradual y a diferentes velocidades según el mercado. Este proceso durará posiblemente varios años y el disponer equipos reconfigurables por Software permitirá el Roaming entre regiones con diferentes grados de implantación 3G sin presentar una escasez para el usuario. Para los operadores, el disponer de estaciones base reconfigurables y actualizables por Software también presenta una ventaja económica y competitiva.

Por otra parte, la posibilidad de reconfigurar los equipos de los usuarios a medida que se implementen nuevas funcionalidades dará a los operadores una ventaja sobre sus posibles competidores. Hay que reconocer que la 3G hoy en día se encuentra en la definición de sus contenidos y que estos se irán incorporando gradualmente según el desarrollo del mercado y de los medios de que dispongan los operadores.

1.1.8. El Soñado Roaming Global

La posibilidad de conservar y utilizar la misma terminal o equipo en Europa y en USA sólo será posible con el desarrollo de modelos multiestándar. Estos sistemas podrían desarrollarse multiplicando los circuitos en silicio, de modo de disponer de los necesarios para cada estándar. Ésta es la solución empleada hasta ahora en los terminales GSM Multibanda. Pero en 3G esta solución podría ser muy costosa y compleja. Nuevamente la reconfiguración del equipo mediante software sería muy conveniente.

1.4. La Aplicación de la Filosofía Radio Definido por Software en una Terminal

La Figura 4 siguiente muestra el esquema ideal de un receptor configurable por software, el transmisor seguiría un esquema simplificado parecido:

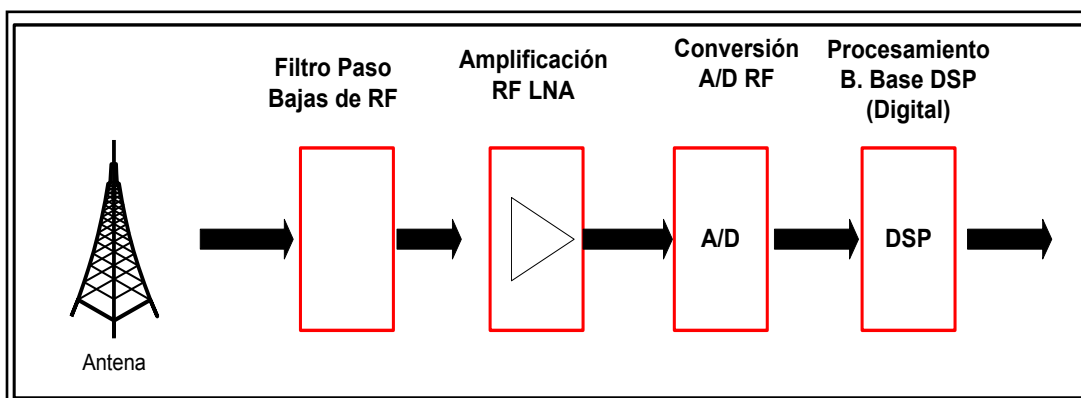


Figura 4. Esquema ideal de un receptor configurable por Software

La tecnología actual de integración de circuitos nos presenta dos soluciones, que podríamos considerar en competencia: la utilización de circuitos ASIC (Application Specific Integrated Circuits) de gran integración, de bajo consumo y relativamente económicos pero con una funcionalidad fija, por un lado y por otra parte, los circuitos DSP (Digital Signal Processing) que son totalmente programables pero todavía sufren limitaciones de velocidad, consumo excesivo y precio elevado.

El desarrollo de las técnicas de Radio definido por Software está fundamentalmente ligado a la posibilidad de sustituir los ASIC's por DSP's y desarrollar las herramientas necesarias (arquitecturas, lenguajes, librerías, protocolos, etc.) para su programación rápida y eficiente.

1.4.1. ¿Cuáles son las funciones del Transceptor en las que podrían aplicarse las técnicas de Radio Definido por Software?

Antena

Aunque se trata de un elemento generalmente pasivo, es posible utilizar sistemas activos para configurar dinámica y adaptativamente zonas especiales donde la emisión/recepción es máxima. Esta técnica se denomina también "Multiplexación Especial" y permite aumentar la capacidad del sistema mediante una reutilización más densa de las frecuencias disponibles. Se trata de una posible aplicación para las Estaciones Base y difícilmente aplicable a los teléfonos celulares.

Front End RF y Frecuencia Intermedia

Esta parte del Transceptor tiene un gran interés para la reconfiguración por software, debido a la multiplicidad de normas y bandas de frecuencia de la Interfaz en el Aire. Sin embargo, es también la parte más difícil de implementar por altas frecuencias empleadas. Por esta razón, se piensa que en una primera etapa, no es práctico digitalizar esta sección que continuará siendo analógica hasta que la tecnología de los DSP permita operar directamente a la frecuencia de antena.

Se esperan sin embargo mejoras en la tecnología de la circuitería de RF para operar en banda ancha y poder cubrir más de una banda de trabajo con un único bloque de RF.

MODEM/Banda Base

Este punto es sin duda el más prometedor y en la que se concentran casi todas las funcionalidades de interés para un sistema reconfigurable por software.

Es también el más complejo y aunque opera a frecuencias más bajas, las dificultades de implementación son importantes.

La arquitectura más probable en una primera etapa probablemente incluirá un "núcleo" basado en un DSP poderoso pero que deberá estar soportado por circuitos aceleradores especializados, que inicialmente podrían ser ASIC.

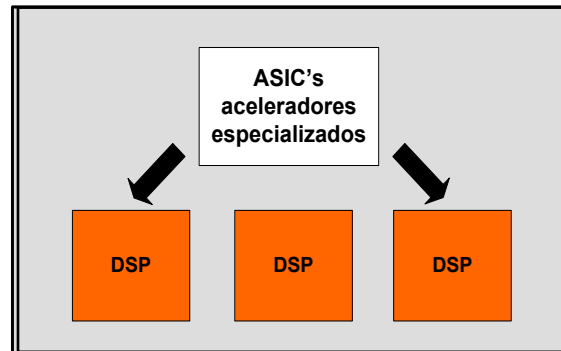


Figura 5. Arquitectura de un ASIC

Una de las funciones que requieren ser implementadas es la operación con distintas velocidades de reloj, según el estándar utilizado en cada momento. Se trata de evitar la multiplicidad de relojes (hardware) de alta precisión en el equipo, una solución sencilla pero costosa y cerrada. Un procedimiento elegante es el denominado DSRC (Digital Sample Rate Conversor).

El problema de DSRC es un problema trivial de interpolación, ya que toda la información presente en la señal original debe mantenerse en la señal convertida, en un ancho de banda determinado y reducido.

Otro problema a resolver es el desarrollo de lenguajes adecuados y una plataforma SOFTWARE que permita la gestión de descargas a equipos de distintos fabricantes desde las Estaciones Base de los distintos operadores y en las diferentes regiones geográficas. Varios trabajos actuales de desarrollo se orientan hacia una plataforma Middleware especializada y a extensiones de JAVA/JINI. Otros se orientan hacia la utilización de CORBA (Common Object Resource Broker Architecture) y varios otros a (IN, TINA, ICEBERG, MASE).

Las limitaciones anteriormente descritas obligarán a la aceptación de soluciones intermedias y una evolución gradual hacia la digitalización progresiva del Transceptor, a medida de la capacidad de proceso de los DSP lo permita.

El diagrama siguiente muestra el esquema de un receptor híbrido, realizable con la tecnología actual (ver Figura 6).

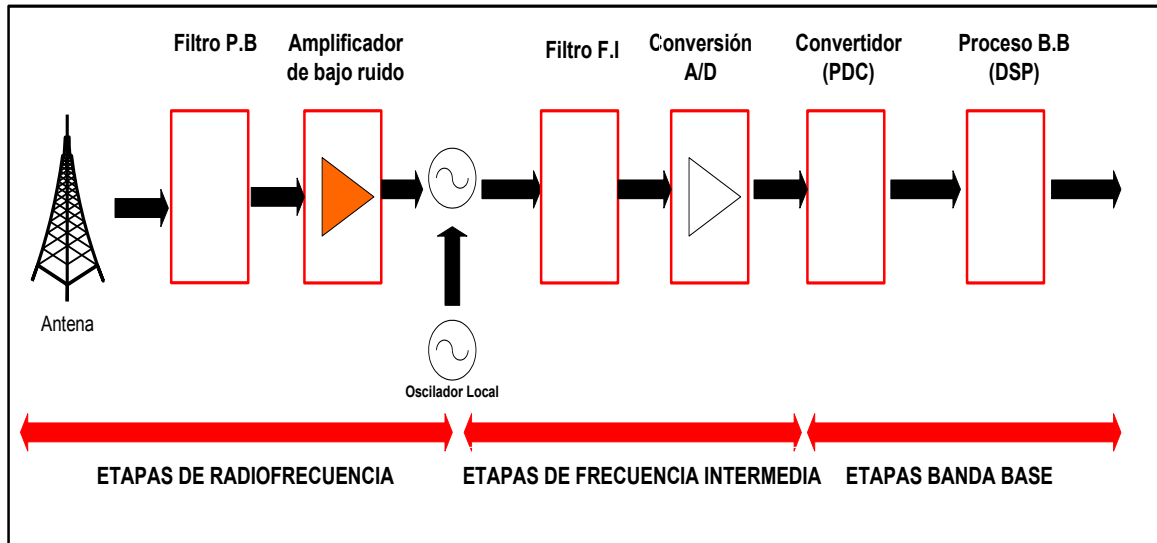


Figura 6. Esquema de un receptor híbrido

1.5. Evolución de la tecnología de los semiconductores

El desarrollo de esta tecnología depende mucho de la disponibilidad y el costo de los dispositivos DSP, los cuales se encuentran en plena evolución.

La siguiente tabla muestra la previsión de la evolución de las capacidades de los núcleos DSP y RISC en tecnología CMOS, desde 1997 hasta el 2012 (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 2. Evolución de la tecnología de los semiconductores¹

| Año | | 1997 | 1999 | 2000 | 2000 | 2006 | 2012 |
|----------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Potencia de la batería Portátil | [W] | 1.2 | 1.4 | 1.7 | 2.0 | 2.4 | 3.2 |
| Dimensión de una compuerta | [mm] | 0.25 | 0.18 | 0.15 | 0.13 | 0.10 | 0.10 |
| Diámetro de pastilla (wafer) | [cm] | 20 | 20 | 30 | 30 | 20 | 30 |
| Tensión mínima Alimentación | [V] | 1.8 | 1.5 | 1.2 | 1.2 | 0.9 | 0.5 |
| Frecuencia máxima Reloj | [MHz] | 200 | 400 | 600 | 700 | 900 | 1500 |
| Potencia de núcleo DSP | [mW] | <90 | <90 | <90 | <80 | 70 | ¿? |
| Mega-instrucc. /seg DSP (MIPS) | | 100 | 200 | 400 | 900 | 1000 | ¿? |
| Costo de Fabricación en millones | [\$] | 20 | 15 | 12 | 12 | ¿? | ¿? |

Sin embargo no muestra algunas de las dificultades a superar para poder aplicar los DSP's en circuitos de alta frecuencia, tal como los requeridos para las etapas RF Front-End o en la modulación/demodulación sin conversión de frecuencia conocidos como sistemas sin Frecuencia Intermedia.

La mayor complejidad será el aumento de la capacidad de proceso (MIPS) en por lo menos un orden de magnitud, sin penalizar excesivamente el consumo de energía del

¹ La tabla fue preparada en 1998 por la Asociación de Fabricantes de semiconductores de USA y en algunos aspectos ha sido superada por la evolución tecnológica.

DSP ni su costo de fabricación.

1.6. Objetivos tecnológicos de SDR

El SDR pretende sustituir todas las funciones analógicas por funciones digitales, teniendo como objetivo final conectar un equipo totalmente digital a la antena que hace de interfaz con el aire.

Este objetivo final es difícil de implementar debido a las limitaciones tecnológicas, principalmente porque los convertidores ADC (analógico digitales) no trabajan en las bandas de radiofrecuencia y carecen del ancho de banda adecuado.

Las realizaciones habituales tienen una sección de radiofrecuencia, y el muestreo de la señal se hace a una frecuencia más baja.

1.7. Aplicaciones de SDR de 3G

La primera generación de las comunicaciones móviles celulares, comenzó en la década de los 80's, y empleaba técnicas de modulación analógica para transmitir y recibir voz analógica y solamente información entre los móviles y las estaciones base. Los sistemas de 2G (segunda generación) de principios de los 90's, se conoce como "digital" porque estos sistemas codificaban la voz en un flujo continuo digital y usaban técnicas de modulación digital para transmisión.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), desarrolló el estándar IMT2000, para definir los requisitos para la compatibilidad de sistemas 3G.

Este estándar incluye por ejemplo provisiones para soportar velocidades de conexiones de datos de por los menos 2Mbps. Muchos ven la tercera generación (3G) como una intención para proveer nuevos servicios a clientes, mientras otros ven a la siguiente generación como una mejor utilización de espectro.

De los estándares de 3G, el 3GPP (Universal Mobile Telecommunications System) UMTS es muy improbable que llegue a ser universal y que sea el más fuerte en Europa. El estándar CDMA2000 y el TDMA basado en sistemas GSM-EDGE, no serán exitosos en norte y Sudamérica, mientras Japón tiene su propio sistema WCDMA similar a UMTS.

Todos los sistemas que emplean 3G son potenciales aplicaciones SDR. Las radiocomunicaciones por software, ofrecen el potencial para resolver muchos de los problemas causados por la proliferación de nuevas interferencias en el aire. Las Estaciones Base y Terminales, usando arquitecturas SDR, pueden soportar múltiples interferencias de aire durante periodos de transición y su software puede ser fácilmente actualizado.

1.8. Arquitectura de Transmisores de Radio Tradicional

Como se puede ver en la siguiente Figura 7 se muestra un transmisor superheterodino con conversión dual. El diseño surgió desde 1930, y es casi seguro que una gran mayoría de hogares poseen un receptor superheterodino de alguna clase, ya sea de difusión radial, televisión, etc.

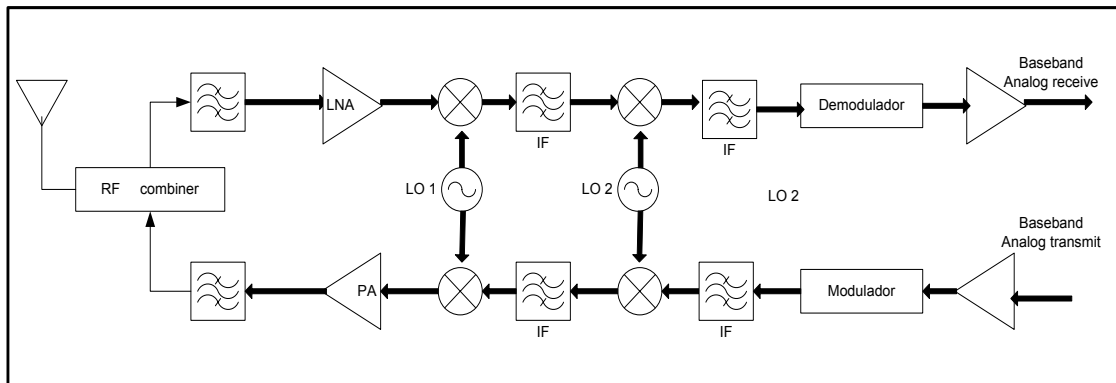


Figura 7. Transmisor Superheterodino

Desde el punto de vista del receptor la radiofrecuencia de la antena es convertida en una frecuencia intermedia debido a un proceso de mezcla o multiplexado de la señal entrante con el primer oscilador local LO1. La frecuencia intermedia es filtrada y luego mezclada a banda base por el segundo oscilador LO2, y el multiplexor. La señal modulada en banda base es demodulada para producir la información analógica del receptor, y la función recíproca es realizada por el transmisor. El número de etapas de conversión depende de la frecuencia de operación, teóricamente es posible agregar etapas y empujar la frecuencia de operación más alta. El transmisor superheterodino ha experimentado un maravilloso éxito a lo largo de la historia; fue utilizado en teléfonos móviles de 1G y es seguro que soportará los receptores de radio de bajo costo de muchos años por venir. Esta arquitectura cumplió con los sistemas de teléfonos móviles de 1G, como los sistemas de telefonía móvil avanzada (AMPS), la cuales emplean frecuencia modulada (FM) multiplexación por división de frecuencia (FD) para permitir el acceso a múltiples usuarios a rangos fijos del espectro.

Los sistemas AMPS asignan un rango del espectro de 30KHz para cada usuario sin tener en cuenta la cantidad de información a ser intercambiada.

1.9.Arquitectura Ideal de Radio Definido por Software

Consiste en un subsistema digital y un simple subsistema analógico. Las funciones analógicas son restringidas a aquellas que no pueden ser mejoradas digitalmente, que son:

- 1) Antena.
- 2) Filtrado de RF.
- 3) Combinación de RF.
- 4) Preamplificación en recepción.
- 5) Transmisión de potencia de amplificación.
- 6) Generación de frecuencia de referencia.

La separación de portadoras y la conversión de frecuencias altas y bajas a banda base es mejorada por los medios de procesamiento digital. De igual manera la codificación del canal y las funciones de modulación son mejoradas digitalmente en banda base por los mismos medios de procesamiento.

El software para una arquitectura ideal es en capas entonces el hardware es completamente abstracto de la aplicación de software. Una capa intermedia logra esa funcionalidad cubriendo los elementos del hardware como objetos y provee servicios

que permiten a los objetos comunicarse unos con otros mediante interfaces estándar, por ejemplo CORBA (Common Object Request Broker Architecture).

La capa intermedia incluye:

- 1) Sistema operativo
- 2) Controladores del hardware
- 3) Recursos de administración
- 4) Otras aplicaciones no específicas de software.

La combinación del hardware y la capa intermedia frecuentemente se llama framework (ver Figura 8).

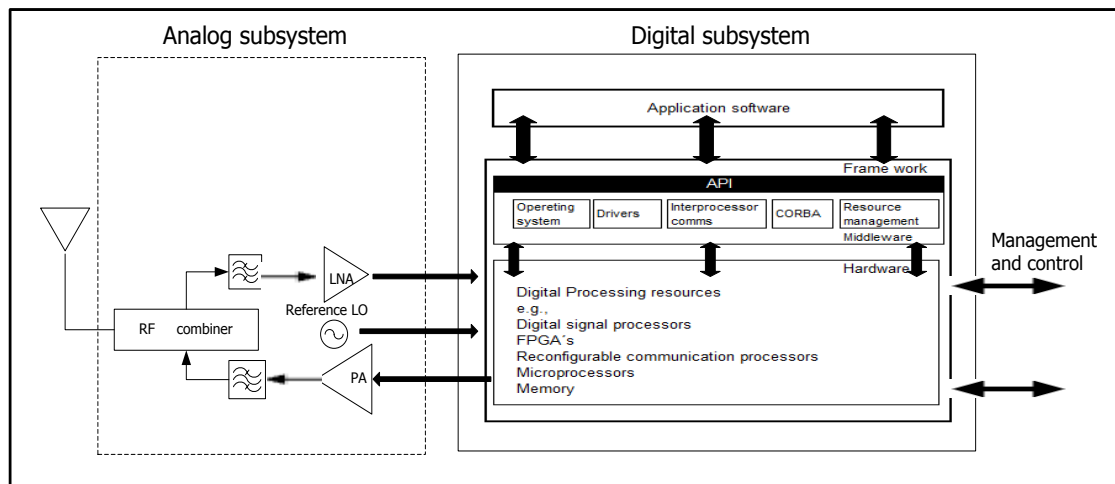


Figura 8. Transmisor Superheterodino

Diseños futuros de SDR y frameworks que usan una API (Application Programming Interface) abierta en capa intermedia hará el desarrollo de aplicaciones más portátiles, rápidas y económicas. Los desarrollos de aplicaciones serán liberadas en la manera en que se diseñan para programar el hardware de bajo nivel y permitirán concentrar en bloques más complicados y poderosas aplicaciones.

La arquitectura ideal es comercialmente factible para el envío limitado de baja velocidad de datos HF y VHF pero aun no es práctico para ninguna generación de tecnología de telefonía celular móvil. La arquitectura ideal es útil como un punto de comparación y actúa como una guía para el desarrollo del hardware y capas intermedias del futuro.

1.10. Complejidad del Proyecto SDR

El objetivo de este proyecto consiste en mejorar la tecnología en mercados cada vez más exigentes y cambiantes, de este modo se incrementa la complejidad del hardware, debido a las mismas exigencias y a la demanda de una mejora en cuanto a mayor ancho de banda, mayor eficiencia, etc. Por lo cual se presiona a los diseñadores a diseñar e implementar softwares en menor tiempo y costo al presupuestado.

Las prácticas en ingeniería de software han progresado desde el diseño de sistemas estructurados en papel y lápiz a diseños asistidos por herramientas y ayudas computacionales.

Muchos proyectos de software de radio y seguramente proyectos de radio 3G se describen como largos y complejos e intensivos sistemas de software por lo que un adecuado planeamiento y ser cuidadosos al momento de elegir un adecuado EDA (Asistente de diseño) son herramientas absolutamente esenciales para un proyecto sea exitoso.

2. Radio Cognitiva

Imagine que un teléfono celular, PALM, laptop, automóvil, o la televisión, por mencionar algunos equipos, que se emplean hoy en día, fueran tan inteligentes como uno deseará, es decir, que tuvieran la capacidad de conocer la rutina diaria de una persona (exactamente como si fueran una persona), que estos dispositivos tuvieran la capacidad de tener cosas listas, tan pronto como uno lo necesitará, casi en anticipación a nuestras necesidades.

Hoy en día, estos dispositivos pueden ayudarnos a localizar personas, programas, diferentes cosas, oportunidades, traducir textos, etc., los cuales permiten completar nuestras tareas a tiempo.

Del mismo modo, si un radio fuera inteligente, este podría aprender los servicios disponibles en redes inalámbricas computacionales localmente accesibles, por lo que no tendría ninguna confusión para encontrar la red inalámbrica correcta para descargar un vídeo, programa, etc. Además, podría utilizar las frecuencias correctas, dando un mejor uso al espectro de radiofrecuencias, minimizando o evitando las interferencias que existen en los sistemas de radiocomunicación.

Por ejemplo, puede ser como tener un amigo, que considere que todo es importante en nuestra vida diaria, o bien, es como si fuera un director de cine con centenares de especialistas que le ayuden con cada tarea, o un ejecutivo con muchos asistentes para encontrar documentos.

Pues bien la Radio Cognitiva es la convergencia de muchos equipos que tienen acceso a redes computacionales locales e inalámbricas. La Radio Cognitiva ofrece beneficios a los usuarios ya que es un radio inteligente¹ capaz de utilizar su capacidad de Radio Cognitiva de manera óptima para interactuar con el medio ambiente que la rodea, empleando el aprendizaje sobre el medio ambiente y utilizando el conocimiento aprendido para mejorar la comunicación, de esta forma ofrece diversas aplicaciones en diferentes sectores para ayudarnos a realizar diferentes tareas, facilitando nuestra vida diaria.

2.1. ¿Qué es la Radio Cognitiva?

La idea de la Radio Cognitiva fue presentada oficialmente por primera vez en el artículo de Joseph Mitola III y Gerald Q. Maguire, Jr. La Radio Cognitiva puede interpretarse de distintas formas, en un inicio se pensó como una ampliación del Radio Definido por Software, también llamada “Radio Cognitiva completa”. Más adelante, se pensó que podía basarse en aplicaciones del Radio Definido por Software. Estas interpretaciones no son incorrectas ya que se puede evolucionar de un Radio Definido por Software a una Radio Cognitiva, y por tanto basarse en sus aplicaciones, lo cierto es que ésta también puede manejarse como un tema completamente independiente, ya que, no necesariamente depende del SDR, sino de cómo se implementé, esto se describirá en el Capítulo 3.

¹ Cabe aclarar que la Radio Cognitiva no es un radio inteligente, la palabra que se encontró durante esta investigación fue smart radio. Sin embargo, es la interpretación más cercana a dicho término.

Dejando de lado esta explicación, la Radio Cognitiva tiene diferentes definiciones, entre estas tenemos que:

La Radio Cognitiva es una forma de la comunicación inalámbrica en la que un transceptor inteligente puede detectar los canales de comunicación que se están utilizando y los que no se están utilizando, y al instante pasar a los canales no empleados, evitando al mismo tiempo los ocupados. Esto optimiza el uso del espectro de radio frecuencia (RF) y la posibilidad de reducir al mínimo la interferencia a otros usuarios.

La Radio Cognitiva es un paradigma de la comunicación inalámbrica en la cual tanto las redes como los mismos nodos inalámbricos cambian los parámetros particulares de transmisión o de recepción para ejecutar su cometido de forma eficiente sin interferir con los usuarios autorizados. Esta alteración de parámetros está basado en la observación de varios factores del entorno interno y externo de la Radio Cognitiva, tales como el espectro de radiofrecuencia, el comportamiento del usuario y el estado de la red.

Existen varios tipos de Radio Cognitiva, las cuales dependen del conjunto de parámetros que se tienen en consideración a la hora de tomar decisiones sobre la alteración de la transmisión y recepción o bien de razones históricas.

Las dos principales son:

- 1) **Radio Cognitiva completa o “Radio de Mitola”**.- Cualquier parámetro observado en un nodo inalámbrico y/o una red se tiene en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre el cambio de parámetros de transmisión y/o recepción.
- 2) **Radio Cognitiva detectora del espectro**.- Es un caso especial de la radio completamente cognitiva en la cual sólo se observa el espectro de radiofrecuencia.

Dependiendo de las partes del espectro disponibles para la Radio Cognitiva es posible distinguir:

- ❖ **Radio Cognitiva de banda bajo licencia**.- Cuando la Radio Cognitiva es capaz de usar bandas asignadas a usuarios bajo licencia, además de la utilización de bandas de libre uso como la banda UNII o la banda ISM. Uno de los sistemas similares a la Radio Cognitiva de banda bajo licencia es la especificación IEEE 802.15.
- ❖ **Radio Cognitiva de banda de libre acceso**.- Cuando la Radio Cognitiva sólo puede utilizar las partes de libre acceso del espectro de radiofrecuencia. Un ejemplo de este tipo de radio es la IEEE 802.19.

La mayor parte del trabajo de investigación está enfocada en la Radio Cognitiva detectora del espectro particularmente la utilización de bandas de TV para la comunicación.

El problema esencial de la Radio Cognitiva detectora del espectro es el diseño de dispositivos detectores de alta calidad y algoritmos para intercambiar los datos de detección del espectro entre los nodos.

Algunas de las aplicaciones de la Radio Cognitiva detectora de espectro incluyen las redes de emergencia y el aumento de la capacidad de las redes WLAN así como la ampliación de la distancia de la transmisión.

2.2. Relación entre la Radio Cognitiva y Radio Definido por Software

La Radio Cognitiva surgió gracias al Radio Definido por Software, ya que ésta emplea un comportamiento similar al SDR, es decir una red inalámbrica totalmente reconfigurable que cambia sus funciones de comunicación dependiendo de las demandas de la red y los usuarios, así mismo la Radio Cognitiva tiene la capacidad de tomar decisiones.

Diferentes Organismos Internacionales de Telecomunicaciones, consideran que el espectro de radiofrecuencia está siendo ineficientemente utilizado. Una atribución de espectro fijo provoca que las frecuencias que rara vez se usan y que están atribuidas a servicios específicos, no puedan ser usadas por usuarios no autorizados, incluso si la transmisión de estos no introduce ninguna interferencia en este servicio previamente desocupado. Esta era la razón que motivaba a usuarios no autorizados o sin licencia a utilizar bandas sujetas a autorización, asumiendo que no provocarían ninguna interferencia.

Por ejemplo, las bandas de la telefonía celular están sobrecargadas en la mayor parte del mundo, pero la banda de los radioaficionados no había confirmado tal observación, esto ha sido determinado por estudios independientes realizados en algunos países y que concluyen que la utilización del espectro depende fuertemente del tiempo, lugar, densidad poblacional y el nivel socioeconómico.

La Radio Cognitiva al actualizar total o parcialmente el hardware en sus equipos, a través de la alteración de programas informáticos, puede:

- Reducir la necesidad de sustitución del hardware
- Menor fabricación de hardware, sustitución, costo y mano de obra
- Facilitar la disponibilidad de las aplicaciones
- Reducir la complejidad de hardware
- Eliminar la cadena de hardware redundante

Con el amplio despliegue de la Radio Cognitiva, cada nodo puede también ser capaz de descargar actualizaciones de software de nodos vecinos. Ellos pueden colaborar entre sí para compartir recursos, hardware, software (ver Figura 1).



Figura 1. Comunicación a través de amplio espectro y de la red

Algunas de las aplicaciones basadas en Radio Definido por Software son:

- 1) La configuración de hardware para funcionar sobre cualquier red. Por ejemplo, un teléfono celular que opera en una red GSM. La red puede establecer la conexión a través de una red de área local inalámbrica (WLAN) en situaciones de emergencia o de otras situaciones.
- 2) La configuración de hardware para funcionar en cualquier frecuencia del espectro. Una vez que la Radio Cognitiva localice una frecuencia más adecuada, intentará acceder ya que puede ajustar sus parámetros de señalización tales como su frecuencia, modulación y codificación, de acuerdo a las condiciones del espectro, dando como resultados la mejora de la calidad de la señal y la reducción de los efectos de interferencia.

La Radio Cognitiva autónoma permite la medición de uso del hardware, a través de un auto diagnóstico, que como resultado detecta la inactividad del equipo, reduciéndola al mínimo, logrando un mejor uso y una buena optimización.

2.3. Aplicaciones comerciales típicas de la Radio Cognitiva

La tecnología va ligada a la aplicación. Uno de los principales motivos para el desarrollo de una nueva tecnología es la invención del hombre, su interminable sed de conocimiento y la constante ambición ilimitada de tener una vida mejor. El otro factor importante es la demanda de los usuarios, la necesidad y el deseo de los usuarios de tener todo en un sólo dispositivo.

La comunicación inalámbrica implica el acceso y la utilización del espectro radioeléctrico con el propósito de tener una mejor comunicación. Más y más dispositivos pueden caer bajo el concepto de "tecnología de comunicación inalámbrica". Por ejemplo, la conexión de una computadora a su teclado y mouse, a través de la radio como medio. Esto puede eliminar la fabricación de hardware logrando así disminuir la contaminación, el costo de la mano de obra para la conexión. Por lo tanto, la tecnología inalámbrica abre un sin fin de mercado logrando obtener diversas aplicaciones para esta tecnología.

La "Radio Cognitiva" en el mundo inalámbrico es relativamente nueva y se compone de dos palabras mágicas que abarcan todo. Es una radio inteligente, capaz de utilizar su capacidad de Radio Cognitiva de la manera óptima para interactuar con el medio ambiente que la rodea, empleando el aprendizaje sobre el medio ambiente y utilizando el conocimiento aprendido para mejorar la comunicación.

La radio tradicional, carece de la inteligencia cognitiva; usos fijos del espectro, para fines especiales de hardware dedicados al espectro y su capacidad se limita al fabricante y una lista de condiciones.

En la comunicación inalámbrica de hoy en día, el poder utilizar las bandas de frecuencia del espectro que no son empleadas en forma continua incrementaría la posibilidad de tener un mayor número de aplicaciones. La Radio Cognitiva podría emplear bandas de frecuencia del espectro que no son utilizadas, identificándolas y empleándolas a través de una radio inteligente y posteriormente liberándolas cuando sea requerido por los usuarios primarios.

La Radio Cognitiva no se limita únicamente a la utilización del espectro no empleado, también es capaz de mejorar toda comunicación total o parcialmente ya que cuenta con las siguientes características:

- 1) Conciencia
- 2) Percepción
- 3) Aprendizaje
- 4) Adaptación

Las aplicaciones de la Radio Cognitiva pueden clasificarse en términos generales: en aquellas que contribuyen a la mejora del rendimiento de los sistemas existentes de comunicaciones inalámbricas, o bien en aquellas en las que puede ser favorable en el establecimiento de nuevas comunicaciones inalámbricas (ver Figura 2).

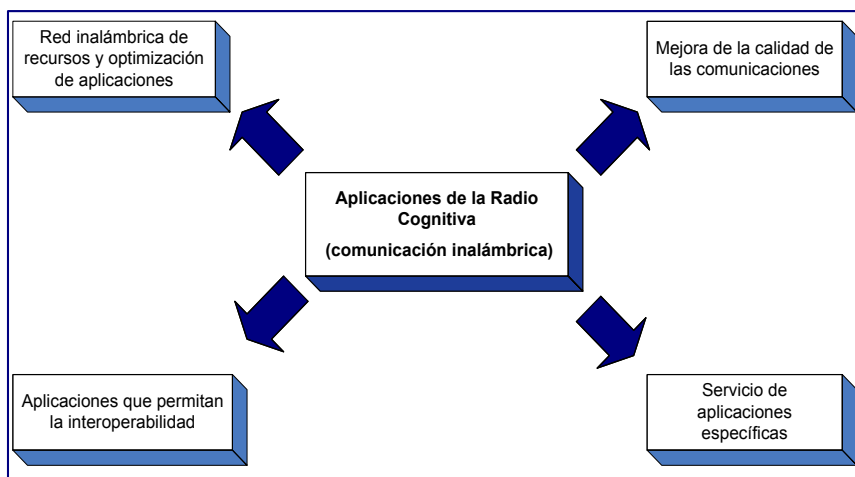


Figura 2. Clasificación de las aplicaciones de la Radio Cognitiva

Esta clasificación se lleva a cabo para una mejor comprensión y organización de cada solicitud y su relación con el "Concepto Cognitivo".

- 1) El primer grupo está compuesto por las aplicaciones de la Radio Cognitiva que contribuyan a la optimización de los diversos recursos inalámbricos.
- 2) El segundo grupo de Radio Cognitiva representa las aplicaciones que contribuyan a la mejora de la calidad de las comunicaciones
- 3) La tercera y cuarta categoría de la Radio Cognitiva reflejan las solicitudes relativas a la interoperabilidad, servicios y productos de consumo final, respectivamente

En general, muchas de estas aplicaciones a través de estos grupos se pueden beneficiar unos a otros, sus territorios pueden superponerse, y pueden ya sea por separado o juntos trabajar en equipo para mejorar la comunicación inalámbrica.

La optimización de recursos y mejora de la calidad de las aplicaciones se agrupan por separado, sin embargo, están estrechamente relacionadas.

Entre las aplicaciones principales de la Radio Cognitiva tenemos:

- 1) Sector privado.
 - Hogar y entorno familiar
 - Entorno Escolar
 - Entorno en la oficina
 - Telefonía celular
 - Comunicación con servicios no cognitivos
 - Interfaz hombre máquina

La tecnología es una parte fundamental en la vida moderna. La calidad del tiempo con la familia ha recuperado su importancia. Como resultado de ello, la diferenciación de la frontera entre el hogar y la oficina está desapareciendo.

Por ejemplo, un empleado de una empresa tal vez desee participar en una video conferencia antes de salir de casa. La conexión puede establecerse a través de una WLAN que transmite en tiempo real la información. Al mismo tiempo, otros vecinos pueden tener acceso a la WLAN para casos similares o por otros motivos. Para evitar esta congestión, la Radio Cognitiva puede identificar las frecuencias del espectro disponible y utilizarlas.

Este espectro disponible puede pertenecer a otros servicios, por ejemplo, seguridad pública o a departamentos de policía.

Si los puntos de acceso se encuentran en zonas menos pobladas, el espectro no utilizado puede emplearse como una banda de TV.

La capacidad cognitiva puede proporcionar el ancho de banda adecuado para la transmisión de la información deseada y elegir la modulación adecuada, las técnicas de codificación para ofrecer una mejor comunicación inalámbrica utilizando el o los espacios no ocupados del espectro.

En las mismas circunstancias una radio tradicional puede ser incapaz de funcionar durante la congestión de acceso a la radio y la persona tendría que sacrificar por completo su conferencia de la mañana.

2) Sector Público de Gobierno (Protección, Seguridad y Seguridad en Casos de Desastre)

La aplicación de la Radio Cognitiva en la seguridad pública y situaciones de desastre puede traer cambios revolucionarios. La Radio Cognitiva permite la creación y el mantenimiento de la comunicación a través de diversas redes y espectros. Esto, a su vez, permite un enlace de comunicación ininterrumpida durante la protección pública y el socorro en situaciones de desastre.

En una situación de desastre, en el sector privado, las redes inalámbricas pueden sufrir complicaciones, por ejemplo, una red celular puede ser inoperable y la seguridad pública del espectro puede ser insegura debido a las numerosas conexiones de emergencia. En virtud de tal situación, la Radio Cognitiva puede utilizar con licencia disponible o sin licencia el espectro completo y los espacios disponibles de la red, así como crear y mantener la conexión temporal de emergencia.

Como un ejemplo, la Radio Cognitiva puede establecer un vínculo más de comunicación para la banda GSM utilizando puntos de acceso WLAN.

- Aplicaciones médicas

La aplicación de la Radio Cognitiva puede aportar mejoras en áreas médicas y biomédicas. En un ambiente de hospital, por ejemplo, un bebé recién nacido debe ser identificado con su madre. Si el personal del hospital realiza una incorrecta identificación visual o manual de cualquier niño, ya que, siempre hay una posibilidad de asociar un bebé con la madre equivocada. A fin de evitar esta lamentable situación, se puede colocar una etiqueta inalámbrica en el cuerpo del bebé, para que tenga como función responder a otra etiqueta colocada en la muñeca de la madre. Esta etiqueta de Radio Cognitiva puede informar a la madre de forma inteligente si el bebé es llevado fuera de los lugares permitidos, por ejemplo, fuera de la sala de bebé del hospital.

Para el caso de pacientes adultos, cada uno puede contar con una etiqueta cognitiva de identificación personal. Mediante una central de control dentro del mismo hospital se puede utilizar, almacenar y actualizar la información de cada paciente y realizar un seguimiento de sus cambios. La etiqueta cognitiva puede registrar los signos vitales del paciente e informar oportunamente a la autoridad correspondiente si detecta una anomalía. Las etiquetas de largo alcance colocadas en el paciente pueden supervisar sus lecturas y transmitir la información al médico, mientras el paciente está fuera del hospital. Hay otras aplicaciones médicas especiales de la Radio Cognitiva y son:

- **Servicios de emergencia médica:** Los servicios de emergencia médica se proporcionan al público, principalmente en dos fases. La primera de ellas es mediante un móvil médico, por ejemplo, una ambulancia. La segunda es en un ambiente controlado con mayor asistencia médica que un hospital metropolitano. Los nuevos avances médicos tienen la capacidad de ofrecer mejores servicios de asistencia médica. Los sistemas médicos personales,

pueden ayudar a transferir la información del paciente mediante un ambiente de control.

La transmisión de información requiere un ancho de banda suficiente, porque puede incluir video y sonido. De este modo, se podrá transmitir la información de una manera más rápida y confiable, ya que así se puede ofrecer un mejor servicio al paciente, por ejemplo, si un paciente necesita un medicamento controlado, se puede tener el medicamento antes de que el paciente llegue allí. Si se requiere una intervención urgente de cualquier tipo, el personal móvil podrá realizarla con la ayuda de especialistas que se encuentran en el ambiente controlado. También es importante que el funcionamiento de los equipos médicos no se afecte o dañe durante la transferencia de información de los dispositivos inalámbricos. La Radio Cognitiva puede ayudar de manera eficiente a los servicios médicos de emergencia, facilitando las tareas del personal médico y salvando vidas humanas.

- **Ingeniería biomédica:** La Ingeniería biomédica puede implicar la inserción o fijación de dispositivos electrónicos en el cuerpo humano, para controlar distintas funciones del cuerpo y poder transmitir la información para dar seguimiento al paciente cuando sea necesario. La Radio Cognitiva puede permitir la detección inteligente de tejidos o de células anormales en la sangre dentro de un cuerpo humano y notificar al médico. Esto puede jugar un papel crucial para salvar vidas humanas.
- **Asistencia a las personas invidentes:** La radio Cognitiva pueden jugar un papel importante al convertirse en los ojos de una persona invidente. Comúnmente un invidente se auxilia de los perros o bastones. La Radio Cognitiva puede sustituir estas guías con información, indicando al usuario, que ruta es la adecuada, el momento en que deben cruzar la calle, indicarle que trayecto es el adecuado para que pueda aprovechar en hacer sus compras también, etc. Dependiendo de las actividades diarias de la persona invidente, la Radio Cognitiva puede adaptarse para personalizarse a las necesidades de cada usuario invidente.

3) Sector Gobierno militar

Entre todas las aplicaciones de la Radio Cognitiva, la aplicación militar es quizás una de las más importantes, en donde los diferentes aspectos de la Radio Cognitiva se han desarrollado desde hace ya un tiempo. El Radio Definido por Software “SPEAKEASY” es un conjunto de sistemas de radio táctica (JTRS) y son algunas de las más importantes tecnologías en el campo militar, que utilizan los conceptos de la Radio Cognitiva.

En la forma más simple, SDR puede definirse como un radio que es controlado y ejecutado por software. Las ventajas de SDR han sido reconocidas por los militares para resolver sus deficiencias de comunicación en tiempo de guerra.

Algunas de estas deficiencias se abordaron en el proyecto SPEAKEASY, el cual es una aplicación avanzada de SDR. Los esfuerzos en SPEAKEASY condujeron a la elaboración del proyecto JTRS.

La situación actual de los militares impone diferentes sistemas de radio que se mantienen y operan manualmente. El proyecto JTRS puede reducir el total de

equipos de comunicación trayendo consigo la eliminación de múltiples sistemas. Algunas de las características significativas de JTRS incluyen una reducción de los costos de mantenimiento y la complejidad, eliminando el exceso de equipos se puede lograr que las comunicaciones militares sean menos vulnerables a la interceptación de enemigos, ya que esto provoca una mejora en el uso del espectro, así como la facilidad de aplicación debido a su compatibilidad con los sistemas actuales (ver Figura 3).

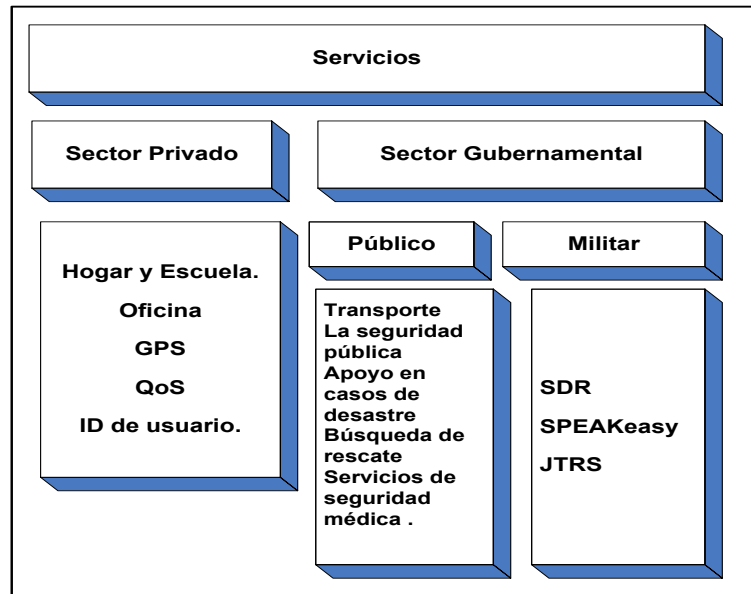


Figura 3. Clasificación de aplicación de servicios específicos

2.4. Principales Funciones de la Radio Cognitiva

Desde inicios del siglo XX el espectro de frecuencias inalámbricas ha sido cuidadosamente controlado por los reguladores gubernamentales de cada país.

En respuesta a los recientes avances en tecnología de radio, el espectro disponible se ha abierto en algunas partes para el uso sin licencia. Además, se han reformado las tradicionales políticas de mando y control para la regulación de las transmisiones a través del ancho de banda del espectro no utilizado con licencia, para usuarios secundarios en determinados momentos y lugares.

Este cambio de paradigma puede conducir a una mayor flexibilidad y eficacia de reparto del espectro en un futuro próximo debido a la naturaleza dinámica de reparto del espectro, es difícil de analizar y proporcionar sistemas de gestión del espectro. Varios investigadores se basan en la teoría de juegos, que es una herramienta adecuada para la elaboración de modelos estratégicos, los cuales realizan interacciones para tomar decisiones racionales (por ejemplo, el reparto del espectro en las redes inalámbricas).

Las principales funciones de la Radio Cognitiva pueden resumirse de la siguiente manera:

- 1) Detección de espectro.-** Un requisito muy importante para el correcto funcionamiento de la Radio Cognitiva, es la capacidad de detección del espectro

desaprovechado, empleándolo sin provocar interferencias negativas a otros usuarios. La mejor manera para encontrar agujeros o huecos en el espectro, es detectando a los usuarios principales (legítimos). Las técnicas para detectar el espectro se pueden dividir en tres categorías:

- **Detección de transmisiones.** La Radio Cognitiva debe tener la capacidad de determinar si hay una señal de algún usuario utilizando una parte específica del espectro.
- **Detección cooperativa.** Diferentes usuarios de la Radio Cognitiva puedan intercambian periódicamente información sobre la detección de usuarios principales.
- **Detección basada en interferencias**

2) Gestión del espectro.- Utilizar el ancho de banda que mejor se acople con el QoS que el usuario necesite de entre todas las frecuencias disponibles. La administración o gestión del espectro consta de dos pasos: El "Análisis del espectro" y la "Decisión del espectro".

- **Análisis del espectro.** Consiste en identificar las características de cada banda disponible para saber las ventajas o inconvenientes de utilizarlo (retardo, probabilidad de error, etc.)
- **Decisión del espectro.** Compara las características de cada una de las bandas con las requeridas por el usuario y valora cual es la mejor opción

3) Movilidad del espectro.- Es el proceso con el que la Radio Cognitiva cambia su frecuencia de transmisión o recepción. La Radio Cognitiva está ideada para cambiar de banda constantemente (a otras mejores) de una forma imperceptible para el usuario.

4) Compartición del espectro.- Consiste en encontrar un método esquemático de distribución del espectro que sea equitativo y justo para todos los usuarios de la Radio Cognitiva sin interferir en las transmisiones de los usuarios con licencia. Éste es uno de los mayores retos a la hora de diseñar Radios Cognitivas. Es parecido a los problemas genéricos de acceso al medio (MAC) en los sistemas de hoy en día.

1.4.1 Detección de Espectro

La Radio Cognitiva nos ofrece una alternativa para tener un uso eficiente del espectro radioeléctrico. El objetivo de la Radio Cognitiva, consiste en detectar qué parte del espectro no está siendo ocupado, para después hacer la transmisión en esa banda de frecuencia.

Para ello existe una clasificación de usuarios que son primarios y secundarios. Los usuarios secundarios pueden tener acceso y compartir el espectro sólo si la interferencia que causan es mínima para los usuarios primarios, o cuando los usuarios primarios están inactivos.

La primera tarea de la Radio Cognitiva consiste en detectar correctamente la actividad que se realiza en el espectro.

Existen diferentes métodos para que la detección cooperativa sea más exacta que los esquemas no cooperativos.

La siguiente figura muestra la detección cooperativa del espectro y agrupa a los usuarios secundarios para detectar la presencia de usuarios primarios (ver Figura 4).

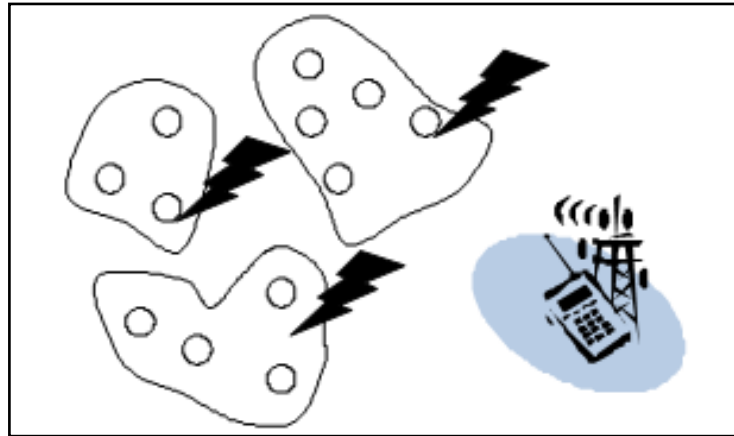


Figura 4. Detección cooperativa del espectro

Después de las detecciones de espectro, los usuarios secundarios conformando un grupo intercambian la información antes de tomar decisiones finales. La decisión se basa generalmente en la votación por mayoría, así que la probabilidad de una falsa alarma y de la falta de una banda disponible es menor comparada a que la toma de decisión la hiciera un solo usuario.

Sin embargo, el espectro cooperativo que detecta esquemas es desafiado generalmente en dos aspectos:

- El Consumo de energía
- El Retardo de la detección causado por la cooperación

El retardo de la detección es más crítico porque las situaciones de los usuarios primarios pudieron haber cambiado ya, durante el proceso de decisión, así como el espectro del ancho de banda que detecta.

La figura que se muestra a continuación muestra un ejemplo de los problemas que el retardo de la detección puede causar (ver Figura 5).

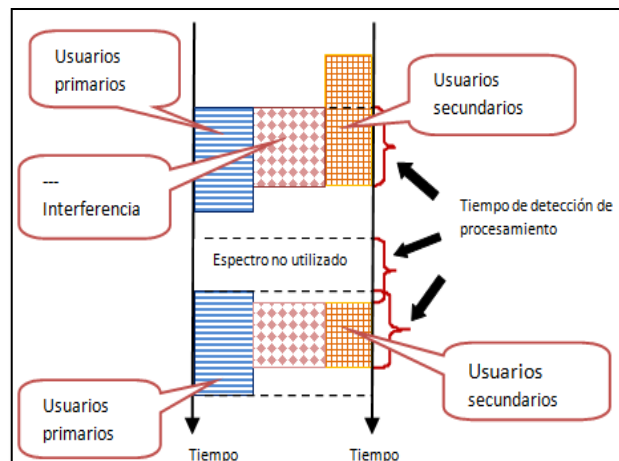


Figura 5. Ejemplo que muestra los problemas causados por el retardo de la detección del espectro

Al principio, los usuarios secundarios piensan que no hay un usuario primario y comienzan a tener acceso al espectro, hasta que ellos encuentran la presencia de los usuarios primarios. Sin embargo, debido al retardo del proceso, los usuarios secundarios causan interferencia a los usuarios primarios aun cuando el retardo de propagación no está considerado.

Después de que los usuarios primarios están en un estado inactivo, tarda cierto tiempo antes de que los usuarios secundarios encuentren el espectro disponible otra vez. Esto causa el desaprovechamiento del uso del espectro.

2.4.1.1 Métodos de acceso múltiple

Los métodos de acceso múltiple actualmente disponibles incluyen el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), el acceso múltiple por división por frecuencia (FDMA), y el espectro disperso por salto de frecuencia (FHSS).

TDMA asigna a cada usuario un “espacio” temporal, durante la cual se transfiere la información que le corresponde. Los demás usuarios no pueden transmitir hasta que les toca su propio espacio (slot). Este proceso es similar en recepción. FDMA, asigna a cada usuario bandas de frecuencia distintas, sin traslapo a transmitir. FHSS, cada usuario comparte todas las bandas de frecuencia saltando a diversas bandas en diferentes tiempos.

Los métodos de acceso múltiple (TDMA, FDMA y FHS), así como los métodos de acceso asimétricos, han demostrado ser métodos eficientes para la detección del espectro.

2.4.1.2 Detección del espectro inspirada por el acceso múltiple

Puesto que se relacionan con el uso del espectro, se hace referencia al espectro cooperativo, el cual detecta problemas mediante el acceso múltiple. Las soluciones de acceso múltiple sirven como una solución para poder compartir el espectro radioeléctrico.

Existen diferentes propuestas para la detección del espectro y estas son:

- Los usuarios no necesitan de la detección de frecuencias disponibles. Este proceso es similar a la filtración del ancho banda, pero localizan a cada usuario o a cada grupo como filtro en lugar del otro.
- La detección del espectro puede ser solucionado. Sin embargo, los métodos tienen algunas desventajas tales como, pérdida de tiempo, ya que la información necesita ser intercambiada al final de cada intervalo de la detección.

A continuación se describen seis diferentes técnicas de los métodos de acceso múltiple para la detección del espectro de cooperación, por lo que cada una de ellas tiene un uso

específico, destinado a resolver cuestiones de demora o problemas de detección de frecuencias en el espectro.

2.4.1.2.1. Detección Cooperativa del espectro por división de tiempo (TD-CSS)

El primer paso de este método consiste en dividir a los usuarios cooperativos en varios grupos. Este método se puede utilizar para solucionar el retardo en tiempo, así como la detección cooperativa del espectro.

TD-CSS se divide en grupos, los cuales alternadamente detectan la presencia de usuarios primarios. Mientras que un grupo está procesando la detección y está intercambiando la información, otros grupos aguardan para detectar el espectro.

Al final de la detección, se intercambia la información, aquí es cuando los usuarios cooperativos se sincronizan para mantener el correcto orden de la sincronización y de detección. El método de TD-CSS, está compuesto por bloques con diversos estilos que representan a diversos grupos. La longitud del bloque D representa el tiempo transcurrido en la detección (ver Figura 6).

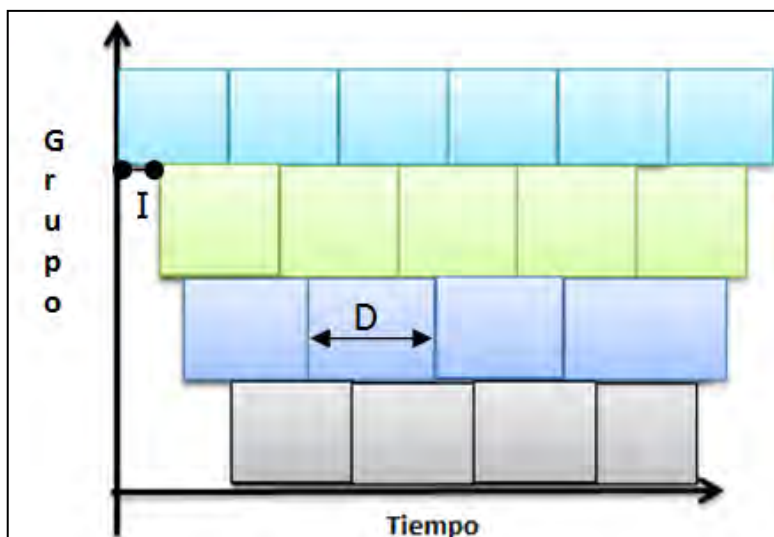


Figura 6. TD-CSS

Para llevar a cabo la agrupación surgen las siguientes preguntas:

¿En cuántos grupos deben ser divididos los usuarios? La respuesta depende de cuánto tiempo tarda en realizar la detección. Donde D representa el tiempo de detección cooperativo, I es el intervalo de la detección subsecuente y N es el número de grupos.

$$I \cdot N > D \left(N > \frac{D}{I} \right), I < D$$

¿Cómo agrupar a esos usuarios? Se debe analizar si los usuarios cooperativos están lejos entre sí, con la intención de evitar afectaciones al mismo tiempo, y así se puede ir mejorando el funcionamiento total. Sin embargo, una comunicación más cercana puede ahorrar el consumo de energía de la transmisión (ver Figura 7).

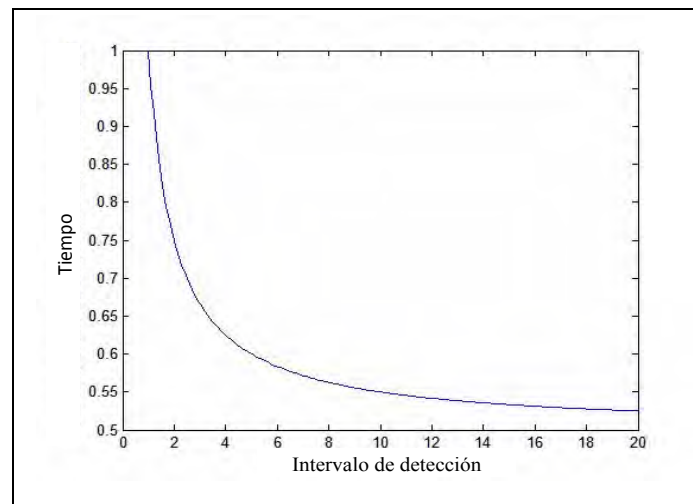


Figura 7. Uso de mejoras TD-CSS

Una vez que un grupo detecta el espectro, con la fórmula de detección cooperativa del espectro, comparte los resultados a otros grupos. El tiempo de espera más largo es $2 \cdot D$.

Cuando la detección del espectro se traslapa, el tiempo de espera es más largo. Usando el método TD-CSS y aplicando la detección tradicional del espectro se puede ahorrar cerca del 20% al 40% de tiempo, dependiendo de los valores relativos del tiempo de detección, del intervalo de la detección, y del número de grupos.

También es posible mejorar el funcionamiento de este método usando técnicas avanzadas. Esto se logra con usuarios primarios, estos detectan el espectro e informan a otros grupos (conformados por usuarios secundarios) sobre la detección del espectro, la información entonces se intercambia entre los grupos. Se requiere intercambiar la información puesto que ningún grupo ha decidido que frecuencia ocupar. Suponga que hay dos grupos, el grupo A y el grupo B, el grupo A está procesando la detección cuando el grupo B informa al grupo A que puede haber un usuario primario. Entonces el grupo A se prepara para hacer uso del espectro inmediatamente en cuanto reciba una confirmación adicional, o incluye la opinión del grupo B para la toma de decisión. El ejemplo anterior puede ser demasiado conservador, pero es un buen mecanismo para combinar la información y tomar mejores decisiones.

2.4.1.2.2. Detección Cooperativa del espectro por división de frecuencia (FD-CSS)

Este método se puede emplear también para la detección del espectro y consiste en que diferentes grupos detecten diferentes frecuencias. A continuación se muestra cómo funciona el método el FD-CSS (ver Figura 8).

A diferencia de la Figura 6, el eje “y” representa ahora las bandas de frecuencia, no los diferentes grupos. En este método se asigna un coordinador (que será aquel usuario que tenga mejor fácil acceso a todos los usuarios), este rol puede ser turnado con la finalidad de disminuir la carga de trabajo a un mismo usuario.

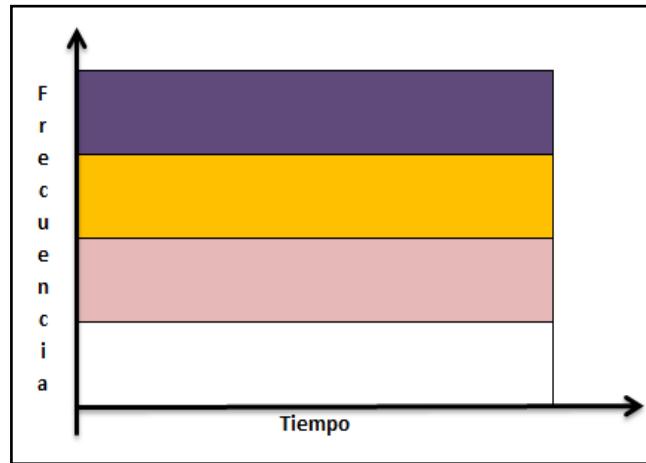


Figura 8. FD-CSS

Mientras un grupo detecta la presencia de los principales usuarios, los otros usuarios se encargan de informar a todos los usuarios que esta frecuencia ha sido ocupada.

En el método FD-CSS, la agrupación se basa en los lugares geométricos. Los usuarios pueden agruparse para detectar la misma banda de la frecuencia. Este método se basa en el ancho de banda total B y el número de grupos N , entonces cada grupo detecta el ancho de banda W .

$$W = B / N$$

Se debe elegir el valor más alto de N , cuando W es pequeña, la detección del espectro es más rápida. Está disponible un sistema avanzado para que varios grupos puedan detectar mejores frecuencias. Sin embargo, esto significa que se debe contar con un número significativo de grupos. Para la asignación de la banda de frecuencia algunos grupos son mejores candidatos que otros para detectar algunas bandas de frecuencia porque detectan menos ruido.

$$\begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{N1} & \dots & C_{NN} \end{bmatrix}$$

Donde C_{nm} representa al medio de la condición del canal, n^{th} es el grupo y m^{th} es la banda de frecuencia. Basándose en todas las condiciones para cada canal de grupo, es posible encontrar una mejor combinación.

Existen bandas de N frecuencias y N grupos, de modo que tenemos $N!$ posibles opciones. La función de costo puede escribirse como:

$$\sum_{i=1}^N a_i c_i$$

Donde C_i se obtiene de $(C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{iN})$ y α_i los coeficientes. La optimización del problema puede ser resuelta en tiempo real por el coordinador de asignación de bandas de manera simple.

2.4.1.2.3. Detección Cooperativa del espectro por división de frecuencia escalonada (SFD-CSS)

Este método es similar al de división por frecuencia, sólo que la detección de diferentes bandas de frecuencia comienza en diferentes tiempos. La siguiente figura muestra un método más avanzado para detectar una banda de frecuencias en zonas horarias consecutivas. Esto evita el ruido transitorio o desvanecimiento repentino del espectro (ver Figura 9).

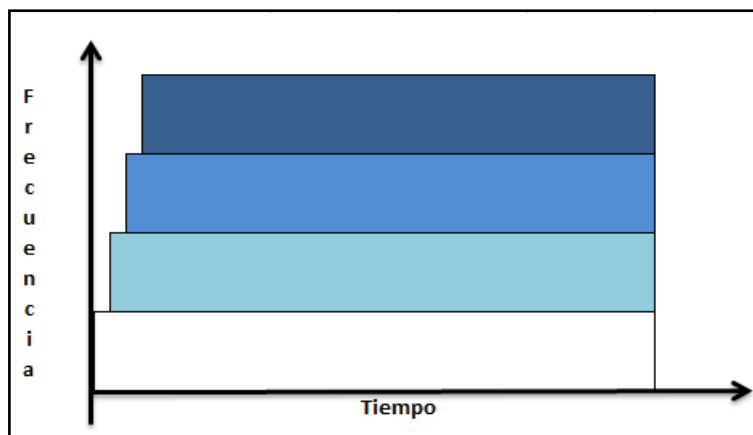


Figura 9. SFD-CSS

En la siguiente figura se muestra el método SFD-CSS, el cual se basa en el hecho de que un usuario principal utiliza bandas de frecuencia mayores, por lo tanto un usuario secundario logra encontrar más bandas, mediante la aplicación de este sistema, aumentando la tasa de detección (ver Figura 10).

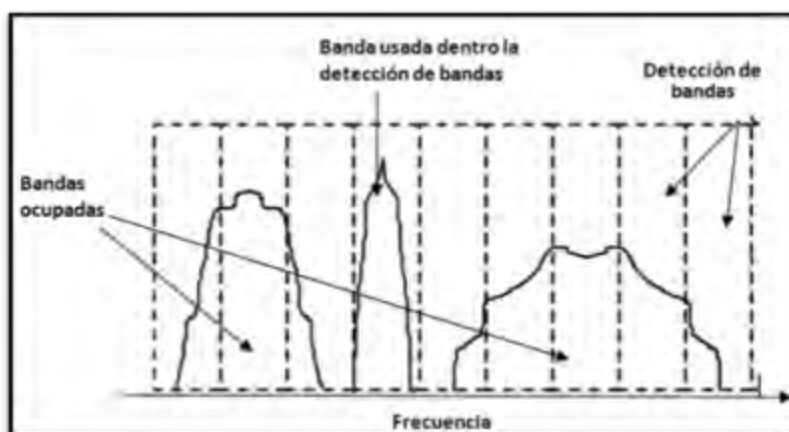


Figura 10. Detección de más bandas empleando SFD-CSS

2.4.1.2.4. *Detección Cooperativa del espectro con saltos de frecuencia (FH-CSS)*

En el método FH-CSS cada grupo detecta una banda de frecuencia. Es probable que algunos grupos sufran un desvanecimiento profundo de algunas bandas de frecuencias en el espectro de detección y los resultados no estén disponibles.

Si se dispone de información, es posible utilizar grupos con mejores condiciones para detectar los canales principales que utilizan los usuarios primarios. Lamentablemente, la localización de este canal puede ser difícil de encontrar. Para resolver este problema, se deja al azar la detección de las bandas de frecuencias a diferentes grupos.

Como resultado, al menos uno de los grupos es capaz de detectar los principales usuarios y compartir los resultados colectivos de detección a través de varios saltos entre los intervalos, los cuales pueden ser considerados antes de tomar la decisión. Cada grupo tiene un salto de frecuencia determinado, este régimen es pseudoaleatorio.

La Figura 11 muestra el funcionamiento del método FH-CSS. El inconveniente del salto de frecuencia es que cada grupo tiene que cambiar a una frecuencia distinta, en otro espacio de tiempo, el cual es difícil de lograr en muy poco tiempo. Para evitar un exceso de conmutación, cada grupo puede permanecer en su frecuencia original asignada, sólo si las actividades de los usuarios primarios no cambian muy a menudo.

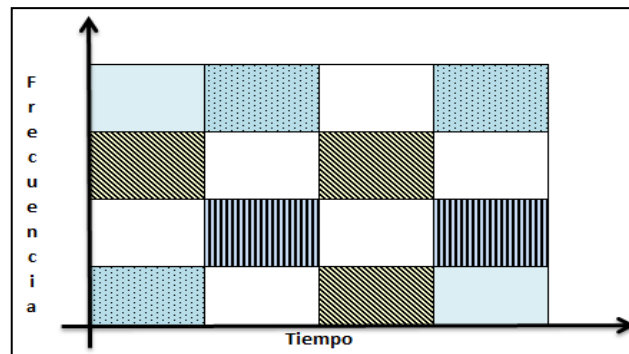


Figura 11. FH-CSS

2.4.1.2.5. *Detección Cooperativa del espectro de bandas no uniformes (IS-CSS)*

El método IS-CSS es similar al método FD-CSS, sólo que el ancho de banda que detecta cada grupo es diferente, el ancho de banda es ocupado por las bandas de frecuencia no uniformes (ver Figura 12).

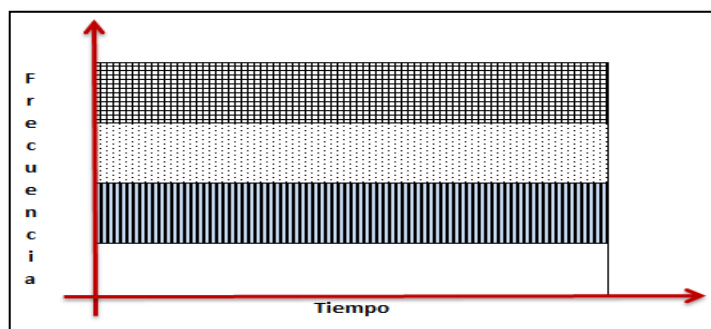


Figura 12. IS-CSS

Con la asignación de la banda de frecuencia no uniforme, la detección se puede realizar con mayor precisión y eficiencia (ver Figura 13).

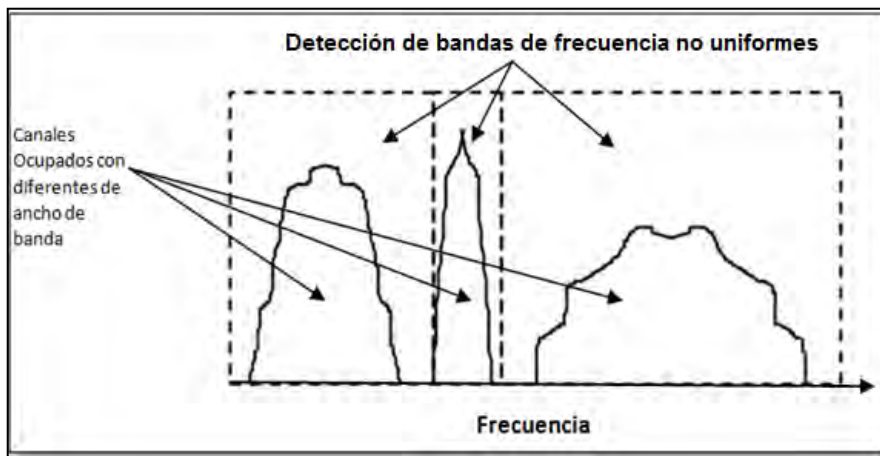


Figura 13. IS-CSS

La asignación de bandas de frecuencia no uniformes en el método IS-CSS, plantea la cuestión de cómo definir el límite de detección de bandas de frecuencias. Cuando los usuarios del espectro tienen distintas capacidades de detección, es decir, cuando la percepción para la detección del espectro de todos los usuarios es diferente, IS-CSS es esencialmente práctica. Si los usuarios son capaces de adaptarse para detectar diferentes bandas, se proponen tres métodos. El primer método propuesto es utilizar CSS- FD para encontrar los bordes y luego cambiar a IS-CSS más tarde.

En el primer método, los usuarios detectan el mismo ancho de banda, después de eso, tienen una idea de la forma en que el espectro se aparece, y en consecuencia reasignan la detección de sus bandas. El segundo método es el más sencillo de implementar. Por último, el tercer método es el más complejo por los cálculos que requiere.

2.4.1.2.6. Detección Cooperativa del espectro con sub bandas no uniformes escalonadas (SIS-CSS)

Con el mismo concepto que SFD-CSS, la superposición puede aplicarse a la detección de bandas irregulares en forma escalonada (ver Figura 14).

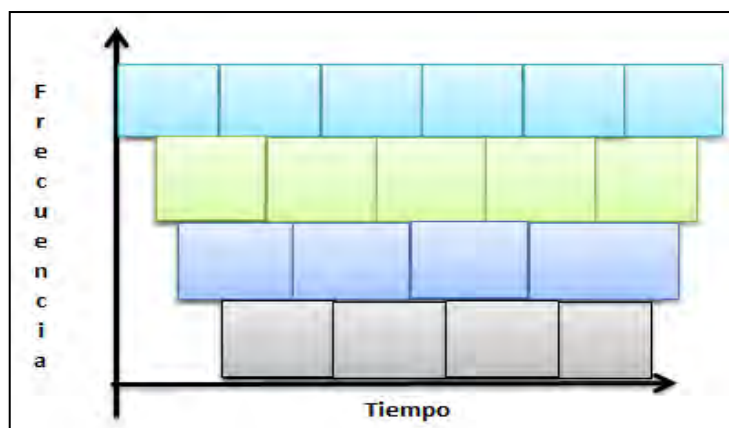


Figura 14. SIS-CSS

En este método, distintos grupos detectan diferentes bandas de frecuencia en diferentes zonas horarias. Similar al SFD-CSS, varios grupos se pueden usar para detectar una sola banda en diferentes tiempos para evitar interferencias. La siguiente figura muestra un escenario donde la detección del ancho de banda es menor a los canales ocupados con diferentes anchos de banda (ver Figura 15).

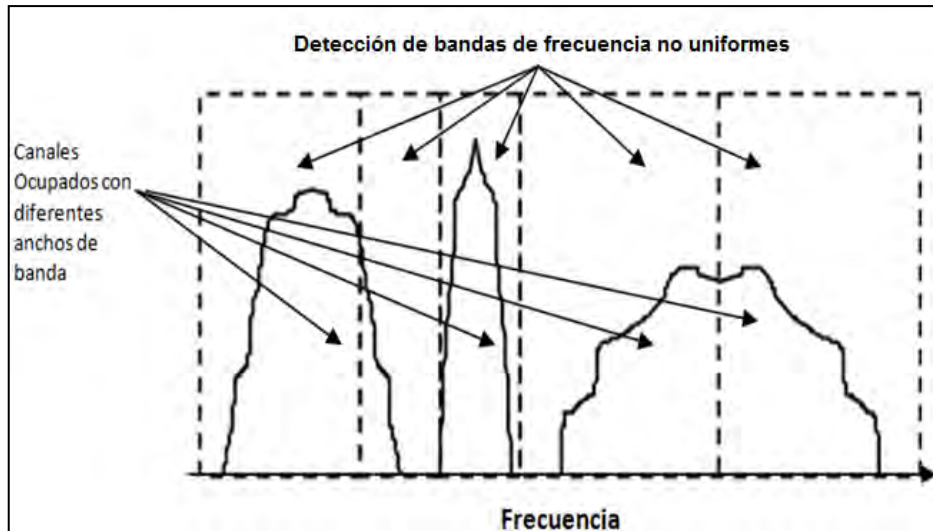


Figura 15. SIS-CSS

2.4.1.2.7. Comparación de las técnicas propuestas para la de detección de cooperación de espectro

Cada una de las seis técnicas propuestas para la detección por cooperación del espectro tiene sus pros y sus contras.

Por ejemplo, TD-CSS en los resultados de detección del espectro muestra muy poco retraso. En el método FH-CSS se aborda la detección de un problema secundario cuando cada usuario tiene limitaciones en la capacidad de la antena para la detección de ancho de banda. FH-CSS también se puede aplicar a la detección del ancho de banda, especialmente cuando las condiciones del canal se desconocen. Sin embargo, los usuarios deben tener una rápida capacidad para la conmutación de las frecuencias.

El método IS-CSS es más eficaz cuando se ocupan bandas de frecuencia no uniformes. SFD-CSS y SIS tratan de resolver el problema de detección del espectro, lo más pronto posible, mientras que FH-CSS y CSS ofrecen mejores ventajas.

La siguiente tabla muestra un resumen de ventajas y desventajas entre los diferentes métodos, donde B es el ancho de banda detectado, N es el número de grupos, D es el tiempo de detección y para el valor * depende del uso que los usuarios primarios le estén dando al espectro (ver Tabla 3).

Tabla 1. Comparación de las propuestas de los sistemas de detección del espectro de cooperación

| Plan de respuesta | Tamaño del Ancho de banda | Tiempo de Respuesta | Características del canal | Ancho de banda disponible para cada campo | Tiempo de Respuesta | Cambios |
|-------------------|----------------------------|---------------------|---|---|---------------------|---|
| TD | Estrecho | Rápido | Ninguno | B | D/N | Limitado por el tiempo de detección |
| FD | Ancho | Lenta | Excepto cuando detectan muchas bandas de frecuencia | B/N | D | Condición, el canal debe estar disponible |
| SFD | Medio | Medio | Desvanecimiento Repentino profundo | B/N | D/N <D* | Condición, el canal debe estar disponible |
| FH | Ancho | Lento | Desvanecimiento estático | B/N | D | Necesidad de conmutación rápida de las frecuencias |
| IS | Ancho (bandas irregulares) | Lento | Desvanecimiento lento | B/N <B* | D | Necesidad de encontrar algoritmos para la detección de bordes de bandas de frecuencia |
| SIS | Medio (bandas irregulares) | Medio | Desvanecimiento repentino | B/N <B* | D/N <D* | Necesidad de encontrar algoritmos para la detección de bordes de bandas de frecuencia |

2.4.2. Gestión del espectro radioeléctrico

En esta tesis se muestra un ejemplo de cómo Inglaterra lleva a cabo la gestión del espectro, con el fin de tener un uso más liberalizado del espectro.

También se describe acerca del "Dividendo por la Digitalización" que es la próxima liberación del espectro radioeléctrico como resultado de la migración de la TV analógica a digital, actualmente el espectro radioeléctrico presenta muchas aplicaciones, así como usuarios.

El Organismo que regula las Telecomunicaciones en Inglaterra es conocido como OFCOM y tiene como finalidad, darle el mejor uso al espectro radioeléctrico, de este modo se pretende reducir al mínimo la interferencia entre las señales, así como ofrecer un mejor servicio a la sociedad.

A continuación se muestra como se lleva a cabo la Gestión del espectro radioeléctrico en Inglaterra (ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Regulación del espectro

| |
|---|
| <p>Ofcom es el organismo regulador de las Telecomunicaciones y sus responsabilidades son las siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Asegurar que el espectro se utilice acorde a los intereses de los ciudadanos y los consumidores. 2) Emplear los mecanismos de mercado, en su caso, garantizar un uso óptimo de los recursos del espectro. 3) Para los organismos del sector público (tales como el Ministerio de Defensa y la Autoridad de Aviación Civil), la gestión del espectro para la defensa, la aviación, la navegación, la ciencia y la seguridad pública, la asignación del espectro se realizará empleando las normas internacionales. 4) Negociar y adherirse a acuerdos internacionales. <p>A nivel internacional.</p> <p>La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es un Organismo de las Naciones Unidas, la asignación del uso del espectro de radioeléctrico, para diferentes servicios, como por ejemplo; la telefonía celular, comunicaciones por satélite, radiodifusión, etc., se realizan mediante convenios entre diferentes países.</p> <p>El uso del espectro radioeléctrico, es regulado también por la Unión Europea (UE), por lo tanto Inglaterra debe respetar dichas decisiones acerca del uso o distribución del espectro.</p> <p>CEPT4 es un organismo conformado por 48 países europeos, los cuales se encargan de coordinar, regular, y desarrollar recomendaciones para la gestión del espectro para Europa.</p> <p>Inglaterra es uno de los primeros miembros de la Unión Europea para comenzar la liberalización del espectro. Muchos otros tienen la idea de continuar con estilos tradicionales para la regulación del espectro.</p> |
|---|

2.4.2.1. Subastas

En 1998, se autorizó en Inglaterra una ley “WT”, que permite la realización de subastas para la concesión de licencias, cuando proceda. Para algunos servicios, tales como los servicios de emergencia, las subastas no son adecuadas. Algunos dispositivos (tales como Wifi y Bluetooth), están exentos de licencia, ya que operan a bajas potencias, estos representan más del 6% espectro radioeléctrico de Inglaterra. La primera subasta de espectro de Inglaterra se efectuó en el año 2000 para licencias de telefonía móvil 3G y costaron 22 mil millones de euros.

Existen dos limitaciones principales, para la realización de subastas del espectro radioeléctrico:

- 1) Certificados.- Estos podían ser utilizados sólo para la tecnología de telefonía móvil de 3G, y los concesionarios tuvieron que proporcionar la recepción de al menos el 80% de la población del Inglaterra a finales del 2007.
- 2) Liberalización.- Después de la ley de Comunicaciones del 2003 y del 2004 el regulador OFCOM de Inglaterra tiene un enfoque más liberalizado, que consiste en la eliminar las subastas para la concesión de licencias siempre que sea posible, por lo que el regulador OFCOM estableció tres reglas:
 - Tecnología y neutralidad del servicio.- Las empresas pueden utilizar el espectro para cualquier propósito compatible a la tecnología y pueden cambiar como lo consideren oportuno.

- El comercio del espectro y de arrendamiento.- Los certificados pueden ser negociados, de modo que los usuarios que carecen de espectro puedan arrendar o comprar espectro de los demás.
- Incentivos de precios administrados (AIP).- La Ley de Telegrafía Inalámbrica se introdujo en 1998, AIP tiene como objetivo fomentar un uso más eficiente del espectro.

Uno de los objetivos de liberalización para el uso del espectro se rige en gran medida por las fuerzas del mercado.

OFCOM dice que las empresas están en mejores condiciones para decidir como el espectro debe ser utilizado y para qué, a pesar de algunas limitaciones técnicas para evitar interferencias ya que son inevitables. Se dice que la liberalización debería ayudar a las nuevas tecnologías y a las empresas para tener acceso al espectro, con la finalidad de crear innovación.

Existe un amplio apoyo a estas políticas, aunque la industria y los organismos de radiodifusión coinciden en que hay todavía un papel importante para llamar a la regulación "respaldo financiero".

No obstante, muchos comentaristas de la industria de radiodifusión aceptan que, si bien las subastas no siempre pueden garantizar el uso óptimo del espectro, es la forma más justa para ofrecer a los usuarios. La subasta del Dividendo por la Digitalización o DD fue objeto de una consulta, mostrando los siguientes resultados (ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Dividendo por la Digitalización

| Dividendo por la Digitalización (DD) |
|--|
| <p>El DD habla acerca del espectro que se liberará en el rango de 470-862MHz, ya que la TV analógica cambio a televisión digital. Este rango de frecuencia, resulta atractivo, ya que combina una alta velocidad de transmisión de datos (Figura 1) con una gran cobertura. Esto hace que la cobertura nacional sea factible. Los servicios de telefonía móvil, televisión local, conexión inalámbrica de banda ancha, estándar y TV de alta definición, compiten por dicho rango de frecuencia.</p> |
| <p>El rango de frecuencias se divide en "canales", del número 21 al 69. De ellos, 32 canales se reservan para la televisión digital terrestre (TDT), o "Freeview". Dieciséis canales pueden ser liberados a través de una subasta, tal como se propone OFCOM en el dividendo digital Review (DDR). Como la conversión tiene lugar a partir del 2008 al 2012, los canales estarán disponibles. El DD ocurre en muchos países, pero los planes para la reutilización del espectro pueden variar. Por ejemplo, Francia reserva la mayoría de los canales liberados en el espectro, para la Televisión de Alta definición.</p> |

2.4.2.2. Cuestiones

En el pasado, la armonización se ha generado por los defensores de la Unión Europea (ver Cuadro 1), estableciendo los siguientes beneficios:

- Permitir a los consumidores que cuentan con dispositivos móviles navegar a través de las fronteras (como es el caso del teléfono móvil después del "GSM" estándar ver Cuadro 3).

- Los costos de fabricación son más baratos, ya que los dispositivos pueden ser vendidos en toda la Unión Europea.

Aunque la tecnología y la neutralidad del servicio tienen muchos beneficios, puede conducir a las mismas frecuencias que se utilizan para diferentes servicios en diferentes países. Esto podría dificultar la armonización. Muchos fabricantes temen que los beneficios de la producción a gran escala para un mercado de dimensión europea no podrán ser realizados sin una armonización. Otros opinan que el costo del celular y otros dispositivos podrían aumentar significativamente. OFCOM menciona que el enfoque de mercado debe ser equilibrado con una cierta regulación.

Sin embargo, otros argumentan que la recolección de tecnologías específicas podría obstaculizar la competencia y que la armonización debe lograrse a través de las fuerzas del mercado.

Una manera de lograr los beneficios de la armonización, consiste en evitar al mismo tiempo la inflexibilidad, es a través de la “zonificación” en el que la Unión Europea exige que los canales específicos estén a disposición de determinadas tecnologías, pero no necesariamente estén reservadas exclusivamente para estas.

Por ejemplo, un grupo de tareas del CEPT4 podrá recomendar que los canales 60 al 69 del Dividendo por la Digitalización estén disponibles para los servicios móviles. Esto podría ayudar a los fabricantes a planificar el futuro. La armonización también es debatida a nivel internacional (ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Propuesta para lograr una armonización internacional del espectro de RF

| |
|---|
| <p>Neutralidad tecnológica y política internacional</p> <p>Los debates están surgiendo sobre la forma de armonizaciones internacionales, sobre la gestión del espectro entre la Unión Europea e Inglaterra.</p> <p>La expansión de las redes móviles en la India y China.</p> <p>Muchas de las nuevas normas se han establecido para las tecnologías móviles en la India y China, donde los mercados se están expandiendo rápidamente, aquí se debate sobre la importancia de la armonización comunitaria, para permitir que la Unión Europea pueda competir con otros mercados.</p> <p>Banda del Espectro de 2.6GHz</p> <p>La banda de espectro de 2.6GHz (que está fuera de la DD) ha sido identificada por la UIT para el uso móvil de 3G. Sin embargo, OFCOM tiene planes para esta subasta en Inglaterra, así como la tecnología y el servicio neutral. Esta banda es de interés para WiMax (una forma de acceso inalámbrico de banda ancha), así como para los operadores móviles. Ofcom propone dividir el grupo en sub-bandas.</p> <p>Liberalización de GSM</p> <p>Los operadores de redes móviles operan en tres diferentes bandas de frecuencia. Dos son para telefonía móvil GSM certificados, expedidos por períodos indefinidos. GSM es la tecnología de 2ª generación (2G) de telefonía móvil. La tercera es para licencias de 3G, la subasta se publicó en el 2000. Esta última subasta es la más cara de todas.</p> <p>OFCOM considera la posibilidad de reducir los costos para los operadores de 3G, utilizando las frecuencias GSM. Este movimiento pronto será permitido por la Unión Europea, pero Inglaterra, aun analiza como llevarlo a cabo.</p> |
|---|

2.4.2.3. Interferencias perjudiciales

En el pasado, los reguladores conocían el tipo de equipo y la frecuencia en la que transmite dependiendo de la zona geográfica. La interferencia fue gestionada para especificar restricciones técnicas en el equipo como parte de las condiciones de la licencia. Los actuales cambios se complican, porque resulta difícil conocer la ubicación

y frecuencia en la que operan los dispositivos, dado que estos equipos pueden no son exclusivos a una zona geográfica. Esto podría provocar interferencias en la gestión del espectro, OFCOM está introduciendo los derechos para el uso adecuado del espectro. Los derechos del uso del espectro imponen restricciones genéricas en la potencia de las transmisiones para usuarios con licencia, así como su ubicación, independientemente al tipo de transmisor, ya sea un transmisor de radiodifusión, radio taxi o teléfono móvil. Algunos dicen que la responsabilidad jurídica para evitar interferencias y que se cumpla con los costos asociados en caso de que se produzca dicho problema, debe establecerse antes de que se otorgue la licencia.

2.4.2.4. *Dificultades con las subastas*

Cada tecnología tiene diferentes necesidades del espectro. Algunos dispositivos (como los celulares), requieren de frecuencias separadas para transmitir y recibir, mientras que otros, (como equipos de radiodifusión), sólo transmiten, esta cuestión, resulta ser un problema, ya que la manera en que se llevan a cabo las subastas del espectro, no considera las necesidades que tienen las diferentes tecnologías. Se proponen algunas medidas para abordar esta cuestión en la subasta del rango de frecuencia de 2.6GHz (Cuadro 3), cabe mencionar que el momento de la subasta es un factor crítico.

2.4.2.5. *Incentivos de Precios Administrados (AIP)*

AIP consiste en proporcionar a determinados usuarios del espectro que actualmente no compiten por el uso del espectro, los incentivos para utilizarlo de manera más eficiente. OFCOM llevo a la práctica este término debido a un estudio de mercado, también conocido como “costo de oportunidad”, con la finalidad de aumentar el precio de la licencia, por ejemplo; todo el espectro liberado por los concesionarios (p.e, invertir en equipos más eficientes espectralmente), pueden ser arrendadas o comercializadas a diferentes organizaciones, a fin de aumentar los ingresos. Existe un amplio apoyo para AIP, aunque aun no determinar con exactitud los precios para la asignación de licencias. Los incentivos de precios administrados (AIP) se aplican tanto al sector público y privado.

Sin embargo, algunos economistas creen que esto no es exactamente una cantidad considerable. Otros dicen que es un equilibrio entre lo permitido, y que esto va a motivar un mejor uso del espectro.

2.4.2.6. *Ministerio de Defensa (MOD)*

El Ministerio de Defensa gestiona el 30% del espectro radioeléctrico de Inglaterra y paga 55 millones de libras esterlinas por año. Este precio incrementará significativamente después de una revisión independiente del gobierno. El Ministerio de Defensa recomendó una auditoría completa de la utilización del espectro, la cual ya ha comenzado.

Para identificar los posibles excedentes del uso del espectro. AIP ya se aplica en el Ministerio de Defensa, el Ministerio de Defensa dice que se hará extensivo a otras entidades, según corresponda. El Ministerio de Defensa está actuando acorde a diversas recomendaciones, tales como la facilitación de oportunidades para los mercados secundarios que requieren el uso del espectro.

2.4.2.7. *Autoridad de Aviación Civil (CAA)*

La Autoridad de Aviación Civil es un regulador independiente (similar a OFCOM), que regula los planes de asignación del espectro para todos los usos aeronáuticos de Inglaterra. AIP aún no se ha aplicado al sector de la aviación; OFCOM planea intervenir en este tema. La Autoridad de Aviación Civil considera que AIP es una herramienta que sirve para fomentar la eficiencia del uso del espectro de RF y los derechos de licencia para los usuarios.

Sin embargo, la Autoridad de Aviación Civil se opone a que se asignen licencias a usuarios que necesiten servicios de aviación, aun cuando haya frecuencias no utilizadas. La Autoridad de Aviación Civil destaca también, que las obligaciones internacionales no deben ser comprometidas y que se debe aprobar el arrendamiento del espectro liberado sólo si hay garantías para evitar interferencias.

OFCOM está consultando si los usuarios con licencia de la aviación, deben permitir el comercio o el arrendamiento del espectro para otras aplicaciones, reconociendo que las obligaciones internacionales y la interferencia son cuestiones que se deben analizar detalladamente.

OFCOM, los Organismos de radiodifusión y el gobierno de Inglaterra creen que AIP debería aplicarse a los servicios públicos de radiodifusión como por ejemplo; a RSP (BBC, ITV, Canal 4 y 5), por lo que estos servicios podrían enfrentarse a un aumento sustancial económico y argumentan que:

- AIP no es necesario como un incentivo para tener un uso eficiente del espectro.
- La calidad de los programas y la cobertura podrían disminuir debido a que ese dinero que se invierte en ellos, sería desviado para cubrir los costos del uso espectro. OFCOM ha decidido que AIP debería aplicarse a la radiodifusión de televisión digital a partir de 2014, las decisiones sobre la fijación de precios se revisarán cuando estén más próximos a su resolución ya que los motivos de preocupación también se han expresado sobre el impacto que representa AIP en la industria de la radio comercial.

2.4.2.8. *Cuestiones Dividendo por la Digitalización*

2.4.2.8.1. *Televisión de Alta Definición (HDTV)*

HDTV tiene una mejor calidad de imagen comparada con la TV de definición estándar (SDTV). Las ventas de HDTV van en aumento, Sky, BBC y la ITV han invertido en programas de HD, ya que muchos mercados extranjeros requieren este formato. HDTV requiere mucho más espectro que SDTV. Los organismos de radiodifusión terrestre no tienen suficiente espectro para ofrecer, de modo que actualmente sólo está disponible mediante el uso de satélites y canales por cable.

OFCOM estima que después de la conversión de la TV analógica a digital, habrá suficiente capacidad (ver Cuadro 2) por un período de cuatro canales nacionales terrestres de HD. Sin embargo, muchos radiodifusores comerciales y RSP no creen que haya suficiente capacidad para atender a la demanda de los canales terrestres de HD. RSP sostiene que existen importantes dificultades económicas y legales, ya que comentan que el usuario que desee el servicio de HD tendrá que invertir en un nuevo aparato televisivo que sea compatible con el formato de HD.

OFCOM dice que el RSP puede garantizar el espacio libre del espectro para la TV de HD en una subasta, pero dicen que RSP no podría financiar una oferta competitiva contra los operadores comerciales.

2.4.2.8.2. Programa para apoyar eventos especiales (PMSE)

Algunas frecuencias en el espectro de televisión analógica, se han utilizado para apoyar diferentes servicios, por ejemplo; cámaras inalámbricas, monitores y sistemas, a diferentes grupos. Este apoyo va desde las 24 horas de noticias a estaciones de los teatros del West End, etc. JFMG es un grupo de gestión del espectro que administra el programa que apoya a eventos especiales. OFCOM sugirió la idea de subastar este espacio dedicado a causas benéficas, a pesar de esto, los usuarios muy pronto podrían ver que dicho espacio se subaste.

OFCOM propuso a PMSE el acceso al espectro hasta el año 2018. Sin embargo, el acceso al espacio con el que cuentan, se reducirá de su forma actual. Muy pronto PMSE y usuarios perderán el acceso a frecuencias de 2.6GHz, ya que dicha frecuencia será subastada (ver Cuadro 3).

Algunos usuarios opinan que esta subasta puede afectar acontecimientos futuros, y afirman que en Inglaterra no tendrá suficiente espectro para los juegos olímpicos de Londres, el Tour de Francia, etc.

Canal 36 y Tv Local

El Canal 36 y TV local están considerados dentro del Dividendo por la Digitalización (DD), sin embargo, está en debate la posibilidad de revocar la licencia del Canal 36 y TV local en el año 2009, por lo que podría estar disponible a nivel nacional, la liberación del resto del DD, para otros usos, las empresas están interesadas en utilizarla para ofrecer TV móvil.

Las empresas comentan que si se realiza una pronta subasta darían tiempo para desarrollar la red de TV móvil, así como para preparar las campañas del lanzamiento del producto. Sin embargo, con la evolución de la Unión Europea a la zona del DD, algunas empresas están en contra de la libertad anticipada. La TV local es un posible usuario del Dividendo por la Digitalización. Muchos dicen que ofrece algunos beneficios sociales que la televisión nacional no ofrece. También existe la preocupación de que los canales de TV locales no serán competitivos en un proceso de subasta.

2.4.2.8.3. Juegos Olímpicos y Paralímpicos de Londres 2012

El gobierno de Inglaterra garantiza que habrá el suficiente espectro para la cobertura de

los medios de comunicación de todo el mundo. Sin embargo, PMSE requerirá de espectro adicional y JFMG dice que la cobertura de grandes eventos ha dependido de préstamos del espectro de otros sectores, pero aun no está claro si realizará esta práctica a futuro.

Descripción general sobre la planificación del espectro para los Juegos Olímpicos

- Inglaterra se ha inclinado a un enfoque más liberal para gestión del espectro radioeléctrico. OFCOM tiene por objeto optimizar la utilización del espectro para garantizar el mejor uso para la sociedad.
- Planteamiento de cuestiones para lograr un equilibrio entre la flexibilidad y la armonización internacional, a fin de evitar interferencias perjudiciales y la manera de garantizar una utilización eficaz del espectro por los organismos públicos.
- Previsión por parte de la industria sobre las fechas de subasta, este punto es crucial para la planificación del uso del espectro.

La siguiente figura muestra el porcentaje empleado del espectro para distintos servicios en Inglaterra (ver Figura 16).

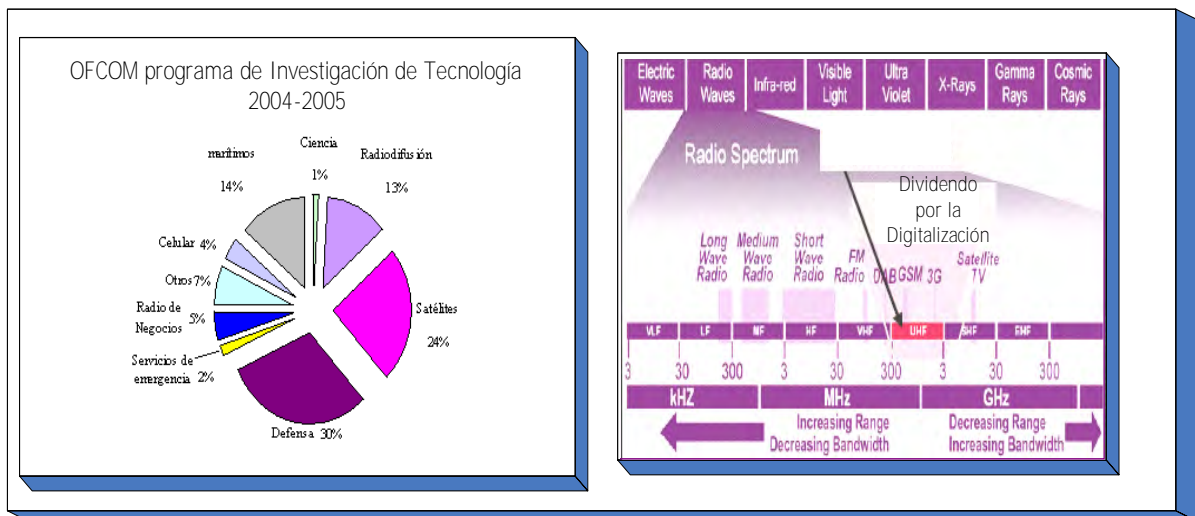


Figura 16. Porcentaje empleado del espectro para distintos servicios en Inglaterra

2.4.3. Movilidad en el Espectro

La movilidad en el espectro tiene como función asegurarse que la Radio Cognitiva se traslade a un mejor canal, es decir, las bandas disponibles del espectro dependerán de factores como lugar y tiempo, se tendrá que desocupar la banda actual si la banda no está disponible por razones como; si un usuario principal está activo, o si causa

interferencias, etc. La movilidad del espectro consiste en la pronta detección de frecuencias en el espectro de radiofrecuencias para que exista un desplazamiento rápido de la Radio Cognitiva entre las diferentes frecuencias que se detecten, con la finalidad de evitar que esta se quede sin frecuencia.

El proceso que efectúa la Radio Cognitiva para desocupar la banda actual del espectro y realizar el cambio a la nueva banda del espectro disponible se llama handoff de espectro.

Durante el handoff de espectro, las amenazas a la seguridad son más serias. Por ejemplo; si se presenta un error, tomaría mucho tiempo para que se reanudara la comunicación. Desafortunadamente un atacante puede inducir un espectro no handoff, fingiendo ser un usuario principal, obligando a desocupar la actual banda a la Radio Cognitiva, provocando atascos, de este modo el proceso de selección se vuelve más lento, y existe mayor dificultad para encontrar una nueva banda disponible, por lo que se algunas veces puede fracasar la comunicación.

Por ejemplo, algunos de los mensajes son de uso común para el control del canal, el atacante puede enviar mensajes erróneos o bien, puede modificar la información para interferir con los usuarios primarios. Es por esto que es importante contar con la movilidad del espectro.

2.4.4. Compartición del espectro

Para poder realizar la compartición del espectro existen diversas propuestas que tienen como objetivo desarrollar un sistema que sea capaz de satisfacer en un futuro todas las necesidades del usuario en áreas metropolitanas. Por esta razón surge el sistema europeo llamado WINNER.

Para que el sistema WINNER pueda satisfacer las necesidades de los usuarios requiere de una gran eficacia para poder compartir el espectro, logrando así coexistir de una manera eficiente, dicho concepto tiene considerados dos mecanismos principales para compartir el espectro.

- 1) La eficacia total del sistema en el uso del espectro.
- 2) La flexibilidad del uso del espectro.

A continuación se muestra con más detalle cómo funciona el sistema WINNER.

2.4.4.1. Requerimientos del sistema WINNER para la compartición del espectro

Los sistemas de B3G (sistemas más allá de la 3G), tendrán mayor demanda para las comunicaciones móviles personales en términos de funcionamiento, uso y tráfico.

ITU-R M.1645 recomienda lo siguiente para los nuevos sistemas de acceso a la radio de B3G:

- Acceso móvil inalámbrico con una transferencia de datos de hasta aproximadamente 100 Mbps.

- Acceso inalámbrico nómada, es decir la localización del equipo del usuario puede estar en diversos lugares pero inmóvil mientras esté funcionando, con una transferencia de datos de hasta 1Gbps.

Comúnmente la transferencia de datos se encuentra dentro del rango de 10 a 20 Mbps y se consideraba ser suficiente, pero los cálculos actuales, demuestran que la demanda de transferencia de datos suele ser muy alto, el sistema WINNER comenta que puede haber casos en el que el usuario requiere de hasta 50 Mbps por servicio. Tomando en cuenta esto, se plantea que la transferencia se incremente a 100 Mbps en un medio compartido.

Aunque hay otro tipo de servicios que requieren de una transferencia de hasta 1Gbps, el transferir datos de este tamaño ha implicado imponer requisitos específicos para el uso del sistema WINNER:

La gama de frecuencias conveniente para la operación del sistema WINNER está de 2.7 a 5.0 Gbps. Sin embargo, todas las bandas en este rango, han sido ya asignadas y además la mayor parte de ellas a más de un servicio. Por lo que es muy probable que en esta gama de frecuencias pueda trabajar u operar el sistema WINNER. Para que dicho sistema pueda coexistir, se requiere de mecanismos que ayuden al control entre los diferentes servicios, los cuales se muestran a continuación.

2.4.4.1.1. Mecanismos para la compartición del espectro

Algunos de los servicios que tienen en común la compartición del espectro y que por tanto pertenecen a un mismo mecanismo, pueden ser categorizados. Esto es determinado mediante una red, que regula el entorno empresarial, ya que algunas de estas tecnologías al compartir la misma banda de frecuencia del espectro, interactúan entre sí.

Dependiendo de las posibilidades de la coordinación entre las redes implicadas y sus prioridades relativas, la distribución del espectro puede ser clasificado de la siguiente manera:

- **Distribución horizontal:** Las redes implicadas en la banda de frecuencia compartida tienen un estado regulador igual, es decir, ningún sistema tiene prioridad sobre el otro para el acceso del espectro.
- **Distribución vertical:** En esta modalidad, la distribución del espectro se realiza con prioridades establecidas. La red primaria tiene una preferencia en el acceso del espectro y la red secundaria puede utilizar el espectro siempre y cuando no cause interferencia perjudicial al usuario primario.

Estas dos categorías se pueden dividir en dos subcategorías, las cuales son:

◦ **Distribución horizontal sin coordinación**

Aquí, los sistemas con acceso a la radio pueden usar dos o más redes y funcionar en la misma banda de frecuencia sin la necesidad de coordinar el acceso al espectro. Esto significa que ninguno de los sistemas está consciente de la localización y del estado actual de los otros sistemas. No hay señalización posible entre los sistemas implicados, por ejemplo, el uso de la licencia de la banda de 2.4 GHz por la red de área local inalámbrica y Bluetooth.

Sin la señalización, generalmente no es posible prevenir la interferencia. La interferencia puede ser el mayor impacto para el deterioro del sistema WINNER, que tiene como objetivo cumplir con los requisitos del sistema de B3G.

Sin embargo, la única posibilidad para restringir los efectos de interferencia mutua consiste en una alta atenuación entre el transmisor interferente y el receptor, mediante el uso de antenas direccionales.

Hoy en día analizan el impacto que puede causar un sistema de banda ultra ancha que funcione simultáneamente con un sistema de B3G.

Los sistemas B3G podrían ser susceptibles puesto que maximizan su rendimiento de procesamiento usando métodos de transmisión que se adaptan al canal de radio, e interferencia.

Los sistemas de operación no coordinados en varias redes en la misma banda de frecuencia, pueden hacer muy poco para prevenir la interferencia.

° **Distribución horizontal coordinada**

Los sistemas de acceso a la radio que requieren coordinación para el acceso al espectro, están basados en un sistema de las reglas predefinidas (es decir, etiqueta del espectro) en donde las todas las redes se adhieren. Esto requiere la señalización o por lo menos la detección de las otras redes, por lo que existe un amplio panorama de posibilidades para manejar el espectro existente.

Uno los acercamientos más genéricos se describe en el programa de la próxima generación (XG) el cual se basa en el acceso oportunista del espectro, es decir, en la capacidad de los dispositivos de radio para detectar y transmitir en las frecuencias del espectro que no están siendo utilizadas, con la ayuda del Radio Definido por Software.

Sin embargo, la visión de XG va un paso más adelante, porque además de la agilidad para detectar el espectro, requiere de la noción de las políticas del uso del espectro, es decir el sistema debe analizar y determinar al momento de detectar un espacio libre del espectro, si es posible utilizar la banda, esto acorde a las políticas, es por ello que los fabricantes deben esperar. Los reguladores para concluir sus dispositivos y los reguladores deben basar sus políticas en la tecnología establecida.

En lugar de los protocolos y la política del uso del espectro se definen los comportamientos abstractos, que determinan lo que hacen los dispositivos de radio ante una política dada. En este modelo, las políticas del espectro no definen los protocolos de radio.

Existen varias soluciones para la cooperación de las redes en la detección del espectro y proporcionan otra posibilidad para una coordinación necesaria para la compartición del espectro, estas soluciones sirven para la distribución horizontal del espectro. Las soluciones cooperativas de RRM (Gestión de los recursos de la radio) incluyen RRM común y RRM concurrente, para mencionar algunos.

° **Distribución vertical: Donde el sistema WINNER es la RED primaria**

El sistema WINNER puede ayudar a las redes secundarias señalando los recursos libres del espectro, mientras que guarda el control para la utilización del espectro. Sin embargo, para que el sistema WINNER realice estas tareas, requiere de incentivos, que pueden incluir lo siguiente:

Honorarios de las redes secundarias para el “alquiler con opción a compra” del espectro. La red del sistema WINNER puede incluir una cierta información en el canal de difusión que indica cuándo y cómo los sistemas secundarios pueden utilizar el espectro. Preferencia por la red WINNER sobre otras redes que se dediquen a la detección de bandas de frecuencias libres debido a la capacidad de coexistir mejor con las redes secundarias.

La red del sistema WINNER puede tener mecanismos para concentrar sus transmisiones en una porción de esta banda dedicada del espectro y crear así una gran banda contigua del espectro en desuso para el uso de usuarios secundarios. Así como contar con la capacidad de crear algoritmos que ayuden a disminuir la interferencia creando sistemas más simples y eficientes. El grado de colaboración dependerá de los incentivos, por lo que puede alcanzar probablemente un canal de difusión activo y la capacidad de crear “espacios vacíos” para los usuarios secundarios.

° Distribución vertical donde el sistema WINNER es la red secundaria

En este panorama, la red del sistema WINNER tiene que controlar sus emisiones (es decir, en la estación base y para todo el UT) para evitar interferencia a la red primaria. Esto requiere un gran conocimiento sobre la red primaria detectada. En este caso, algunas partes del sistema WINNER funcionan en una banda de frecuencia que se asigna a una red primaria, posiblemente una red principal. Este mecanismo debe funcionar de una manera en la que se evite causar interferencia a los usuarios primarios.

La diferencia a los panoramas de distribución horizontal, es que la red primaria, tiene preferencia en el acceso del espectro y la red secundaria del sistema WINNER no tiene permitido generar interferencia, mientras que la red primaria tiene permitido interferir con la red secundaria.

El desafío para la red secundaria del sistema WINNER, consiste en hacer el mejor uso de los “espacios disponibles” a tiempo, de la frecuencia y del espacio, y transmitirlo sólo en espacios disponibles, sin la generación de interferencia perjudicial a la red primaria. Para detectar los espacios disponibles, estos tienen que ser identificados primero. Este paso de identificación puede consistir en varios componentes:

- 1) Transferencia directa a una base de datos.
- 2) Recuperación de la información y envío de ésta a una central de radio regulador.
- 3) Información ofrecida por la red primaria
- 4) Medidas en tiempo real

La combinación de estos componentes crea una confiabilidad al proceso de la identificación. Esta confiabilidad depende en gran medida de las características de la red primaria. Es mucho más fácil identificar los espacios disponibles, si el sistema primario está estático, así como la frecuencia y el espacio (es decir, localización espacial).

La detección confiable de espacios disponibles, es un problema duro y complejo por la capacidad de determinar las características de la red primaria.

Cuando los sistemas primarios sean casi estáticos, existen varios casos viables que pueden ser identificados como:

- El sistema primario es un sistema fijo con densidad geográfica baja

- El sistema primario es un servicio de expiración
- Si el sistema primario no está en operación, el espectro puede ser utilizado por el secundario. Si el primario nunca llega a ser operativo, no hay restricciones para el secundario.

La siguiente figura describe un panorama con el sistema WINNER en la posición de sistema secundario (ver Figura 17).

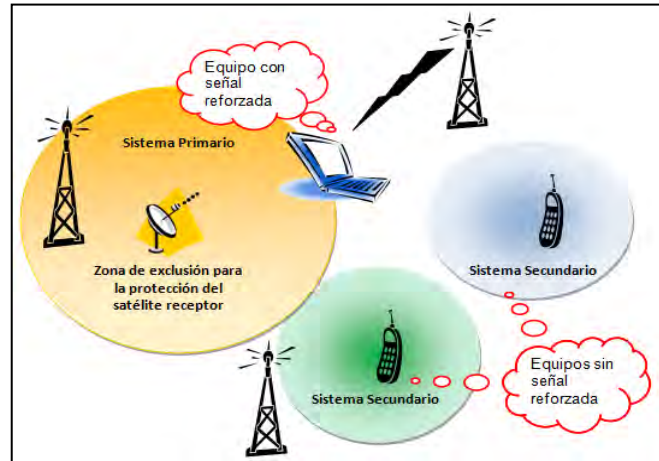


Figura 17. Ejemplo donde el sistema primario y un sistema receptor se basan en los satélites del sistema WINNER secundario (no se permite ninguna emisión del sistema secundario hacia la zona de la exclusión)

El sistema primario, corresponde a un espacio para servicios satelitales, donde el sistema primario requiere de protección alrededor de los receptores satélites, puesto que estos receptores no se están moviendo y su susceptibilidad a la interferencia es grande, la distribución del espectro es posible si la red secundaria tiene la capacidad para detectar y respetar las zonas exclusión.

Para las redes primarias, que utilicen el espectro de manera esporádica, puede haber incentivos, estos son:

- Seguridad pública y servicios de emergencia
- Comunicación militar

En este caso, la red secundaria debe garantizar una rápida liberación del espectro disponible, ya que los requisitos son rigurosos, en cuanto al tiempo en el proceso de identificación. Por una parte, puede existir la posibilidad en que los sistemas primarios indiquen su presencia usando un faro, por así decirlo, para que así se pueda facilitar la identificación del espacio por la red secundaria.

Si no hay un faro de señalización disponible, la distribución del espectro puede ser todavía posible, pero los requisitos en la capacidad de la detección de la red secundaria serán mucho más rigurosos (ver Figura 26).

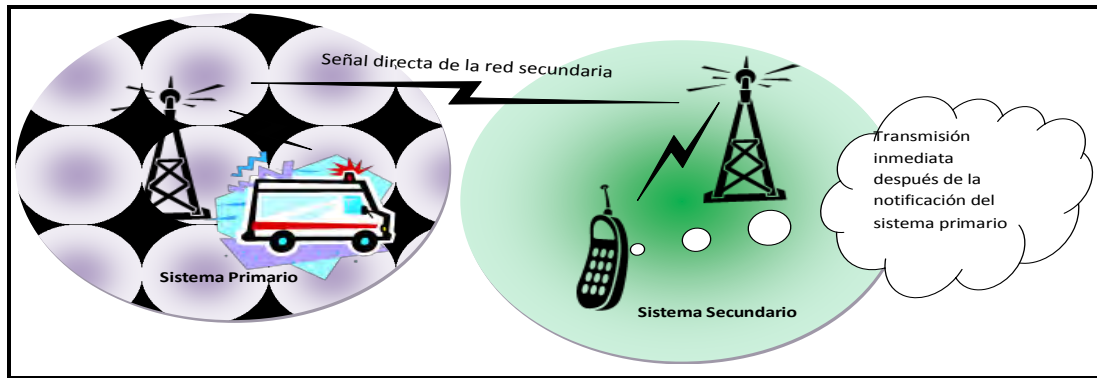


Figura 18. Ejemplo de un sistema primario que utilice el espectro de manera esporádica. El uso del espectro secundario puede ser facilitado mediante el envío de una señal del usuario primario.

Un requisito fundamental para permitir la distribución del espectro es que el sistema sea capaz de controlar no sólo sus propias emisiones, sino también las emisiones de todo el sistema. Por otra parte, no se permite transmitir si el sistema primario se encuentra todavía dentro de la red.

2.4.4.1.2. Oportunidades para compartir el espectro usando el sistema WINNER

El requisito para compartir el espectro usando el sistema WINNER, consiste en la capacidad que este tiene para comportarse como una red primaria o secundaria, si el sistema respeta el comportamiento que debe tener la red según sea el caso, el sistema puede funcionar.

El comportamiento del sistema WINNER puede proveer a diversos sistemas una información más exacta para la compartición del espectro, esto es posible sólo con el uso de dispositivos especializados.

Sin embargo, se tiene que monitorear que la operación de la compartición del espectro sea conforme a un número de incentivos mínimos, es decir, cuando el sistema WINNER actúa como una red secundaria, esta ofrece incentivos a las redes primarias, éstas liberan el espectro de manera más rápida.

El sistema WINNER ayuda a cumplir con los requisitos de sistema, especialmente con las garantías de la calidad de servicio y la operación de la compartición del espectro.

2.4.4.1.3. Control del espectro usando el sistema WINNER

Administración de recursos para el control del espectro

El concepto del sistema WINNER compromete varias funciones de control implicadas en la distribución del espectro. Para un plan de control mediante un enlace por radio, las funciones se almacenan en los servicios del sistema de control del espectro para evitar algún tipo de congestión.

La capa MAC, contiene los servicios para el control del espectro y control de carga. El control del espectro es la entidad principal de RRM para coordinar el FSU (Uso Flexible

del Espectro) y compartirlo entre las redes del sistema WINNER y con los sistemas de acceso a la radio y usar alguna otra red. Para facilitar el control del espectro, este se divide en dos componentes:

El control del espectro comparte con otros sistemas que desean usar la red, la funcionalidad que proporciona para la asignación del espectro es flexible para las múltiples redes del sistema WINNER. A continuación se muestra como lleva a cabo el control del espectro el sistema WINNER (ver Figura 19).

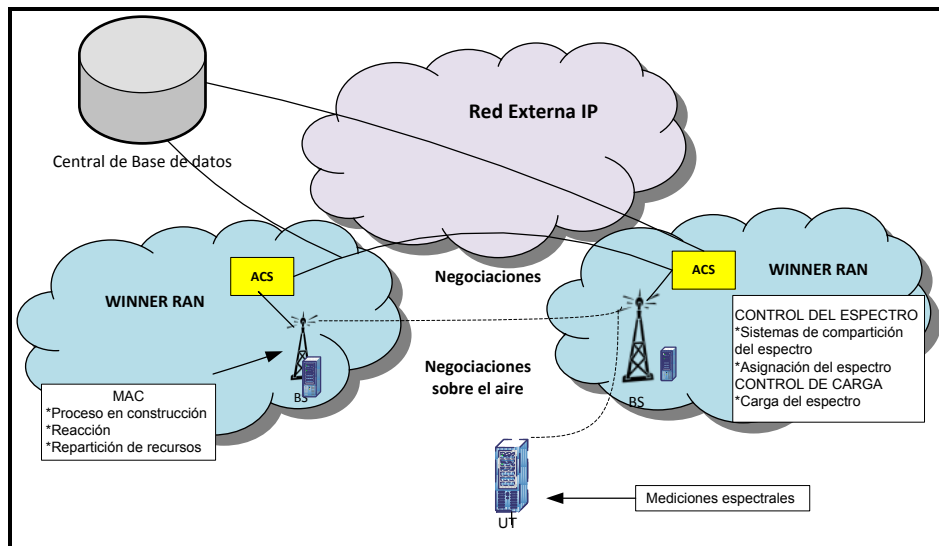


Figura 19. Ejemplo de la localización de las funciones de control del espectro, mediante una arquitectura lógica del nodo del sistema WINNER

Se puede observar en la Figura 19, una arquitectura (con algunos elementos omitidos) que muestra la distribución y la asignación del espectro, así como, la distribución de carga, los cuales se localizan mediante un servidor que lleva el control de acceso a la compartición del espectro y que se define como un nodo de red lógico que coordina y reparte los recursos para evitar interferencias. La única entidad central sobre las múltiples redes del sistema WINNER es una base de datos central regulada por una entidad confiable, la base de datos se maneja mediante una IP.

La señalización entre la red del sistema WINNER puede emplear una IP externa y/o sobre la señalización del aire entre la estación base.

El sistema WINNER para la compartición del espectro cuenta con los mecanismos de:

- Distribución horizontal con coordinación
- Distribución vertical con el sistema WINNER como red primaria
- Distribución vertical con el sistema WINNER como red secundaria

El mecanismo más complejo y más importante es la distribución vertical con el sistema WINNER como red secundaria, este mecanismo, consiste en identificar de manera confiable los “espacios disponibles” del espectro en desuso y después determinar las ventajas de transmitir usando el sistema WINNER. La identificación de los espacios disponibles puede estar basada en la información proporcionada por una central de radio o una base de datos del espectro.

La funcionalidad de coordinación para el control del espectro determina los resultados para calcular los espacios disponibles del espectro.

3. Implementación de la Radio Cognitiva

En el capítulo anterior se hablo de qué es la Radio Cognitiva, sin embargo, otro factor muy importante es su implementación.

Para poder implementar la Radio Cognitiva, ésta debe basarse en diferentes normas de diseño, que dependerán del nivel de servicio cognitivo que desee ofrecerse, para poder lograrlo se apoya de diversos recursos por ejemplo, de la observación del entorno, patrones de reconocimiento, toma de decisiones, aprendizaje de máquina, presentación de la información, etc., por esta razón, no existe un único método, ya que, en pocas palabras, la implementación va en función del presupuesto que se tenga, es por ello que en este trabajo se hace la descripción de una aproximación a la estructura general.

3.1 Aproximaciones a la estructura general

El ciclo cognitivo es una aproximación a la estructura general para la implementación de la Radio Cognitiva, este ciclo (ver Figura 1) consiste en observar, orientarse, decidir y por último actuar. Así mismo, se apoya del aprendizaje, la planificación y el medio ambiente, ya que son las fases fundamentales para el correcto funcionamiento del proceso cognitivo.

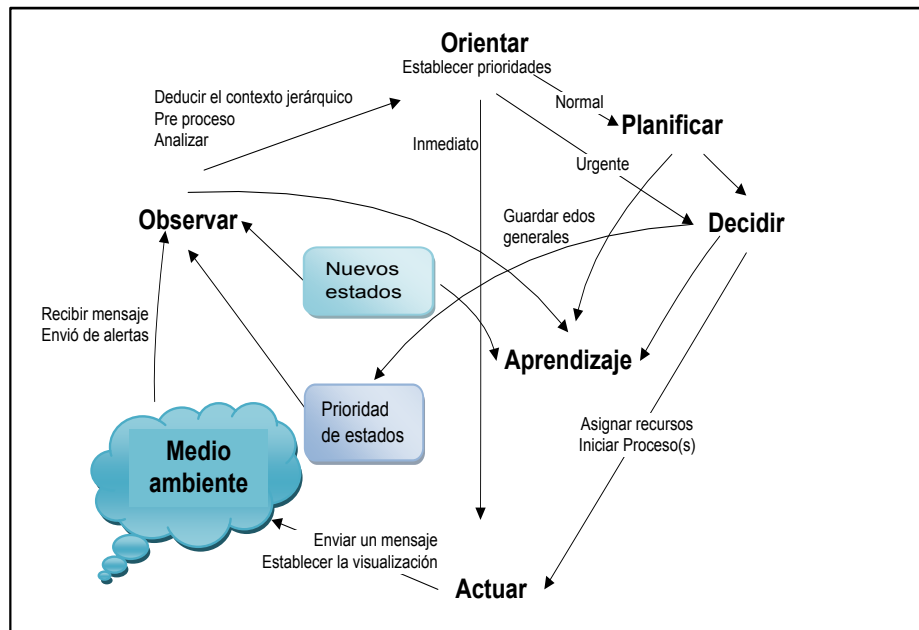


Figura 1. Ciclo cognitivo simplificado, consiste en Observar-Orientar-Decidir y por último Actuar.

El sistema de inferencia y el flujo de control de la Radio Cognitiva pueden pasar de la fase de observación al de la acción. En un sistema multiprocesador, las estructuras para la detección del espectro son temporales, el pre procesamiento, el razonamiento, y la capacidad de actuar pueden ser difíciles y complejas de ejecutar, éstas tareas a su vez pueden realizarse paralelamente, existen formas especiales para sincronizar cada fase. Este proceso es rígido y se le llama época de inicio, porque el razonamiento de las actividades principales durante este tiempo es la clave para el buen funcionamiento del sistema. La Radio Cognitiva observa su medio ambiente y analiza los flujos de información, estos pueden incluir la supervisión y la interpretación del texto de las

emisiones de radio, por ejemplo, el canal del clima, noticiarios, etc. Cualquier red de radiofrecuencia, u otro tipo inalámbrico de corto alcance que proporcionen información de conocimiento al medio ambiente pueden ser también analizados. En la fase de observación, la Radio Cognitiva también lee la ubicación, temperatura, nivel de luz, sensores, etc., para deducir el contexto de las comunicaciones del usuario.

3.2 Observación del entorno

Fase de Observación

En esta fase la Radio Cognitiva emplea sus sentidos y percibe del medio ambiente (a través de un código) múltiples frecuencias simultáneamente, que generan estímulos, al juntar estos estímulos, se crean subconjuntos de experiencia previa para generar planes de acción. La Radio Cognitiva tiene la capacidad de acumular la información y recordar, a través del almacenamiento de la información en bases de datos, con la finalidad de agregarlos a la situación actual. Esto puede parecer muy útil, pero se tiene que hacer el cálculo de todos los audios, imágenes únicas, correos electrónicos, etc., por lo que se podría ocupar en un solo año cientos de gigabytes de memoria, en función de detalle de las imágenes.

Una de las funciones básicas consiste en recordar rápidamente y correlacionar la experiencia actual en contra de todo lo conocido anteriormente.

Fase de Orientación

En la fase de Orientación, se determina la importancia de una observación, ya que contiene estructuras de datos que constituyen el equivalente de la memoria a corto plazo (STM) que usa la gente para participar en un diálogo. Normalmente la gente necesita de STM para mantener la información de memoria a largo plazo (LTM). El medio ambiente suministra la información necesaria para iniciar la redundancia y la transferencia de información de STM a LTM. Una forma de optimizar la información contenida en la memoria a corto plazo consiste en mantener la información lo más ordenada posible, esto llevará, seguramente, a tomar muchos datos que no se puedan ordenar en el momento pero que se almacenan para tratarlos y ordenarlos posteriormente, eliminando aquéllos duplicados y grabándolos definitivamente por referencia a datos o conceptos similares, ahorrando de esta forma, gran cantidad de memoria o de archivos de datos. La adecuación de la información a la experiencia actual, puede lograrse mediante el reconocimiento o estímulo "vinculante". El objetivo consiste en orientar la actividad junto con el componente cognitivo.

Reconocimiento al estímulo

El reconocimiento al estímulo se produce cuando hay una coincidencia exacta entre un dato y un estímulo antes de la experiencia. La Radio Cognitiva reconoce continuamente las coincidencias exactas de grabación y el número de veces con que se produjeron a lo largo del tiempo, entre la última coincidencia. Pero el sistema va en función al diseño que se le dé, es decir, si el sistema ha sido diseñado para responder a una ubicación, una palabra, una condición de radiofrecuencia, etc., reaccionará de inmediato y podrá ejecutar un plan en reacción a los estímulos detectados, si se detecta un error, entonces puede ser entrenado para ignorar el estímulo. A veces, la fase de Orientación da la impresión de que la acción se iniciará de inmediato como un "estímulo reactivo" como respuesta de comportamiento, por ejemplo, un fallo en la energía, puede causar

directamente la acción guardar la información, o bien, la pérdida de una señal en una red puede provocar la reasignación de recursos, o para analizar el aporte a la búsqueda de alternativas de canales de radiofrecuencia puede tomar el camino "urgente" ver Figura 1.

Vinculación

La vinculación se produce de manera muy general y sólo cuando existe una coincidencia entre los criterios de aplicación de la experiencia previa a la situación actual se cumplen, es decir debe de haber una coincidencia casi exacta entre ellos. Uno de estos criterios es el número de las características incomparables de la escena actual, si sólo es una característica sin igual y la escena se produce en un nivel alto como el nivel de diálogo, entonces es obligatorio dar el primer paso en la generación de un plan para que se comporte de manera similar a la última aparición de los estímulos. Además establece una prioridad asociada a los estímulos, detectando así la prioridad más alta, de este modo es posible llevar a cabo el monitoreo autónomo.

Fase de Planificación

La mayoría de los estímulos se tratan "deliberadamente" y no "reactivamente". Un mensaje de entrada de red normalmente se trata mediante la generación de un plan y toma la ruta "normal".

En la investigación y la calidad de la Radio Cognitiva, los modelos deben ser integrados en la fase de planificación. El plan deberá incluir una fase de razonamiento sobre el tiempo. Normalmente, las respuestas reactivas son pre programadas o definidas por una red, la Radio Cognitiva "indica" lo que hay que hacer, mientras que otras conductas pueden ser previstas. Un estímulo puede asociarse a un simple plan, en función de parámetros de planificación, que permiten la incorporación de subsistemas, mejorando la fase de planificación, ya que ayuda a la síntesis de radiofrecuencia y al acceso a la información en un comportamiento orientado a percepciones visuales, de audio, texto, y radiofrecuencia, así como a las normas de la Autoridad Reguladora (AR) y a las preferencias de los usuarios previamente definidas.

Fase de Decisión

La fase de "Decisión" selecciona los mejores planes. La radio puede tener la opción de avisar al usuario mediante un mensaje entrante, por ejemplo, actuando como una alarma o aplazando su interrupción hasta que el usuario analice cual es el mejor de estos planes.

Fase de Actuar

La fase de "Actuar" inicia los procesos seleccionados utilizando módulo de efectos (envío de mensajes, establecimiento de visualización). Los efectos pueden acceder al medio ambiente o al interior de los estados de la Radio Cognitiva.

Acciones orientadas externamente

El acceso al medio ambiente consiste principalmente en componer mensajes que se hablan en el entorno local o en el texto de forma local o utilizando una Radio Cognitiva o NC KQML, RKRL (Lenguaje de Representación del Conocimiento de la Radio), OWL (Lenguaje Ontológico de la Red), RXML (Lenguaje de Representación del

Conocimiento XML), o alguna otra norma de intercambio que cuente con los conocimientos adecuados.

Acciones orientadas internamente

Las acciones sobre el control interno de los estados incluyen una máquina controlable, así como, canales de radio. La Radio Cognitiva también puede afectar el contenido de los modelos internos, mediante la adición de un modelo de estímulo, experiencia y respuesta denominado serModel. Este modelo sirve para relacionar elementos en una escena, logrando el reforzamiento de esta y puede ser llamado con la instrucción <Self/>.

Aprendizaje

El aprendizaje es una función que se logra gracias a las observaciones, percepciones, decisiones y acciones. La formación inicial se efectúa por la percepción en la fase de Observación, la jerarquía en la que todas las percepciones sensoriales son comparadas continuamente con todos los estímulos antes de contar y de recordar los sucesos almacenados, desde la última aparición de los estímulos a los agregados en secuencias básicas.

Cada una de las fases del ciclo cognitivo ofrece múltiples oportunidades para desarrollar mejores procesos. Existe un mecanismo de aprendizaje que se produce cuando un nuevo tipo de serModel se crea en respuesta a una acción para crear una instancia, en un serModel generado internamente, los estados pueden ser comparados internamente con la expectativa de aprender acerca de la eficacia de las comunicaciones.

3.2.1 Monitoreo autónomo

Calendario de Monitoreo Autónomo

Cada una de las fases anteriores debe regirse por estructuras de cálculo, para que el tiempo de ejecución pueda ser calculado. Además, cada fase debe limitar sus cálculos y no consumir más recursos (tiempo asignado x la capacidad de transformación) que el pre calculado por el límite superior. Por lo tanto, la arquitectura requiere de algunas prohibiciones y algunos datos necesarios para obtener un grado aceptable de estabilidad y del comportamiento de la Radio Cognitiva, los cuales sirven de referencia para la modificación de los sistemas de autoevaluación.

No se puede calcular de antemano cuánto tiempo tardará en correr una expresión FOPC (cálculo de la primera predicción utilizada en algunos sistemas de razonamiento). Puede haber teorías que se opongan, e incluso con un circuito de detección, el tiempo para resolver una expresión sólo puede ser aproximado como una función exponencial de algunos parámetros, por ejemplo, el número de FOPC's. Sin embargo, no está permitido el FOPC sin restricciones, por lo que, se delimitan las iteraciones para que el tiempo sea suficiente para ejecutar el parámetro, y se calcula o suministra con independencia de los cálculos que determinan el control de la iteración del parámetro, esto podría mejorar en la próxima generación de compiladores y herramientas para la Radio Cognitiva, ya que hoy en día no existen estos instrumentos de medición. Desde la modificación del código libre auto referencial está prohibido el diseño y las prácticas estructuradas de programación. Sin embargo, la Radio Cognitiva es auto referencial y auto modificable, por lo que, es probable que surjan herramientas, que ayuden a la mejora de la Radio Cognitiva.

Por último, el ciclo cognitivo en sí no puede contener protocolos internos. Cada iteración del ciclo debe tener una determinada cantidad de tiempo. Las plataformas de la Radio Cognitiva computacionales saben cómo seguir el progreso, aunque la cantidad de trabajo computacional en el ciclo vaya en aumento, no se permite bajo ninguna condición explícita o implícita que las fases se usen más tiempo del que tienen permitido.

Retrospección

La asimilación de los conocimientos mediante el aprendizaje autónomo puede ser agotador computacionalmente hablando, ya que la Radio Cognitiva aprovecha los estados o periodos de "sueño" y "oración" para realizar esta tarea. Un sueño es un tiempo relativamente largo, por ejemplo, puede tardar minutos u horas, en este lapso, la radio no podrá estar en uso, pero dispondrá de suficiente energía eléctrica para realizar dicha tarea. Durante el periodo del sueño, la radio ejecutará algoritmos de aprendizaje autónomo sin dejar de lado su capacidad para apoyar las necesidades del usuario.

Los algoritmos de aprendizaje autónomos pueden integrar parámetros estadísticos que calculen la repetición de la información. El periodo de sueño podrá volver a ejecutar secuencias de estímulo respuesta con los nuevos parámetros de aprendizaje, similar a cuando a la gente le da sueño. En el periodo de sueño se utiliza un algoritmo genético para explorar o analizar escenas con información errónea, esto mejora potencialmente los parámetros de la decisión de la experiencia reciente. Sin embargo, las oportunidades de aprendizaje no se resuelven en la época del sueño, por lo que pueden ser llevados a la atención del usuario, la red de acogida, o de un diseñador, durante una época de oración. El sueño y la oración son posibilidades para la mejora de la Radio Cognitiva.

3.2.2 Monitoreo colectivo

La Radio Cognitiva cuenta con la capacidad de trabajar sola o en conjunto. Para que pueda trabajar colectivamente dependerá de una red, ya que a través de ésta es como podrán compartir la información necesaria para ofrecer un mejor servicio al usuario. Otro elemento que puede aprovechar el monitoreo colectivo en la radio cognitiva es el uso de bases de datos, ya que al consultar la información pueden intercambiar experiencias.

3.2.3 Mapas de entorno para las radiocomunicaciones y observaciones en las bases de datos

Actualmente muchas radios pueden capturar la actividad, el tiempo y la ubicación del espectro. Esta información puede ser compartida directamente, pero también se puede organizar y almacenar la información en una base de datos regional, que prevé la toma de conciencia de los emisores, las políticas locales, y el conocimiento de las zonas donde es probable que desocupa la señal, estas predicciones ayudan al rendimiento de la radio. Una de esas estructuras de datos, fue desarrollada por Zhao y Le para la mejora de la radio y es conocida como Mapa del Medio Ambiente (REM). Ésta base de datos puede de gran ayuda, en cuestión tiempo para las radios cognitivas, ya que suele ser un

factor primordial para localizar y asignar el espectro no utilizado para un propósito específico y para adquirir las políticas de acceso a la red de servicios locales.

Valor de los Servicios

Hoy en día las zonas urbanas populares que prestan los servicios de comunicación con computadoras están densamente pobladas, los turistas y viajeros de negocios representan una demanda significativa, ya que no están familiarizados con los servicios locales. Por esta razón, los principales hoteles cuentan con servicio de computadoras las veinticuatro horas del día para dar asistencia a sus huéspedes. Algunas veces, los visitantes no pueden utilizar el servicio local debido a que hablan otro idioma o bien a la falta de información sobre los servicios locales. Esta problemática ha sido identificada, hace poco una empresa realizó de manera exitosa la venta de servicios por Internet, y los informes anuales indican ganancias de hasta 77 millones de dólares. Otros informes indican que combinando los servicios de computación con la telemática, la ubicación y localización de vehículos, se producen mejores ganancias. Una tercera empresa mundial comentó que los informes de negocios de comercio electrónico representan un 30% en la tasa de crecimiento anual, y han establecido una cuota mensual para poner a prueba la estructura del mercado.

Frost & Sullivan presentaron un informe de mercado que se centró específicamente en los propietarios de automóviles de lujo. Su informe, en resumen, indica que de 250 millones de automóviles que circulan en los EE.UU., 30 millones son capaces de ofrecer el servicio de telemática, y 10 millones utilizan el servicio, representando una ganancia de \$ 1.3 billones por año. Con la convergencia de los servicios de voz y datos, la aceptación del mercado podría aumentar un 30%. Es por esto y otros factores que surge la necesidad de crear una radio inteligente, que ofrezca innovación en sus servicios. Sin duda alguna esta es una oportunidad que la Radio Cognitiva puede aprovechar significativamente.

3.3 Patrones de reconocimiento

3.3.1 Redes neuronales

Las redes neuronales se basan en el reforzamiento de una decisión o una selección basada en el resultado actual o el resultado de una decisión. La red neuronal normalmente tiene un vector de valores de entrada y un vector de valores de salida. Una capa intermedia para los valores de entrada y salida, propagando los valores de entrada a lo largo de una serie de conexiones desde entrada a la salida.

Esencialmente, cada nodo en la red neuronal toma un vector A , y se aplica un vector de peso W , para llevar a cabo la propagación del valor de entrada a lo largo del enlace de la siguiente capa de red. Esta propagación es típicamente comparada por una constante b . Para un nodo individual, la propagación de salida A_j , de un nodo j , se puede expresar de la siguiente manera (ver Ecuación 1).

Ecuación 1. Propagación de la red neuronal

$$A_j = \left[\sum_{i=0}^n a_i w_i + b_j \right]$$

Cuando el valor de salida A_j es mayor que cierto valor umbral T_j , el valor se propaga a lo largo de la salida ver Figura 2. El aprendizaje, en el contexto de una radio cognitiva, implica el ajuste del valor de umbral, el valor de b , o el peso asociado a un nodo.

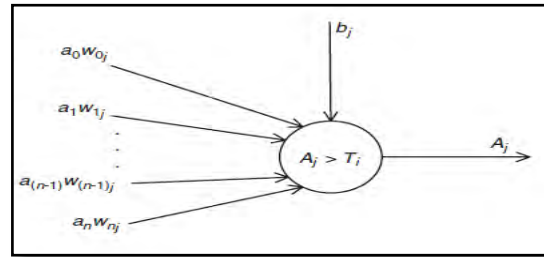


Figura 2. Nodo de una red neuronal

Una red neuronal se forma cuando una colección de nodos individuales se organiza de manera conjunta en múltiples capas ver Figura 3. La red neuronal tiene un conjunto puntos de entradas. Los valores de entrada, a través de estos puntos son propagados a la capa intermedia (capa oculta) a un conjunto de puntos de salida. Los puntos de salida activados por la propagación son comparados con el valor actual. Si hay una igualdad, la ruta seguida para llegar a esos puntos de salida, se usa para regresar al los puntos de entrada. Los nodos que intervinieron en la ruta encontrada son reforzados.

El aprendizaje dentro de una red neuronal requiere de retroalimentación que permite a la red comparar el valor de la salida esperada asociado con un conjunto de datos de entrada contra la respuesta alcanzada por la red neuronal. Esto forma la parte de una propagación de regreso ver Figura 3.

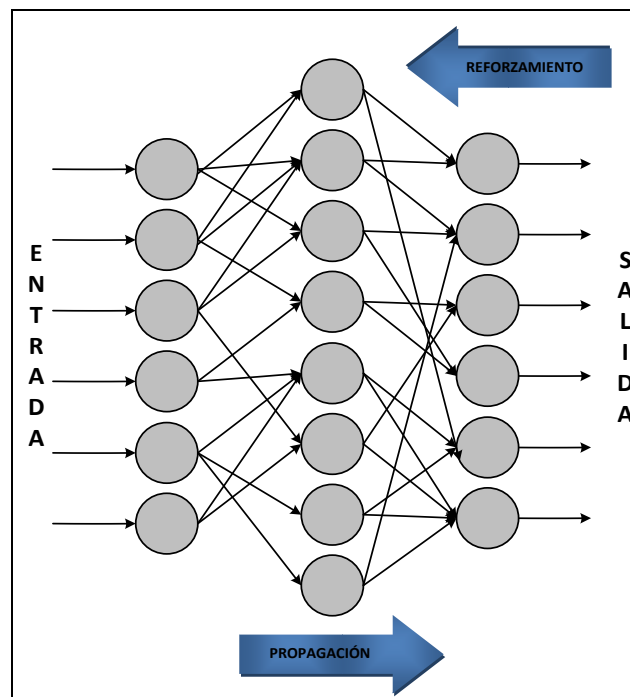


Figura 3. Red neuronal (muestra la propagación de entrada y la propagación de regreso aprendida).

Como los vectores de valores de entrada son aplicados al sistema, los datos se propagan a través de las capas intermedias de la salida. El resultado es asignado dentro de los vectores de salida. Estos elementos en un vector de salida, cuyos valores coinciden con el valor aplicado esperado se ven reforzados por la propagación de regreso.

Así, las capas intermedias que contribuyeron a la propagación de los datos resultantes en la salida los valores correctos son reforzadas. El reforzamiento puede ser ejecutado a través del incremento de pesos, de los nodos involucrados en la propagación de los datos de entrada hasta la correcta salida.

Este reforzamiento de los enlaces neuronales incrementa la probabilidad de que el mismo valor de entrada resulte en el correcto valor de la propagación de salida. Esos valores de salida que no coincidieron con los valores de salida esperados son débiles, por lo tanto disminuye la probabilidad de que sean aplicados de nuevo dando el mismo conjunto de condiciones.

3.3.2 Cadenas de Markov escondidas

Estadística y Métodos de predicción

Para minimizar la interferencia a los usuarios primarios, las radios cognitivas deben llevar un registro de las variaciones en el espectro y hacer predicciones. La Radio Cognitiva deberá tener la capacidad de aprendizaje para emplear sus sentidos al momento de utilizar el espectro. La historia de la utilización del espectro de información puede ser usada para predecir el futuro de este. El conocimiento actual de los dispositivos activos o de los algoritmos de predicción basados en análisis estadísticos puede ser utilizado. El canal principal de los patrones de acceso para los usuarios se identifica y se utiliza para predecir el uso del espectro. Con una transmisión TDMA y un proceso de detección estacionario del espectro es posible obtener un patrón de ocupación del canal.

Este parámetro se utiliza para predecir la probabilidad de inactividad de un canal en específico. Además, propone utilizar las cadenas ocultas de Markov (HMMs) para modelar los patrones del canal, cuando estos están siendo ocupados por usuarios primarios. Se utilizan unas series temporales multi variantes que son capaces de aprender las principales características del usuario, para así, predecir el futuro y ocupar los canales vecinos.

Un sistema binario se utiliza para reducir la complejidad y los requerimientos de almacenamiento, como se muestra en la Figura 4.

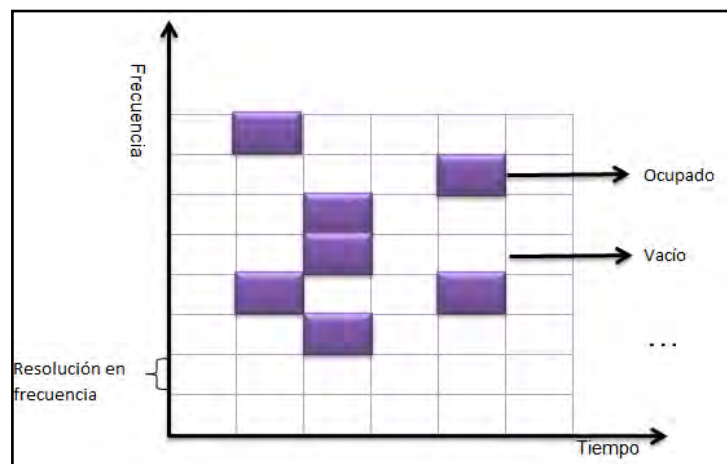


Figura 4. Sistema binario utilizado para el modelado de la ocupación del espectro

Se observa que el comportamiento del modelo estadístico de los principales usuarios debe mantenerse lo suficientemente simple para que sea capaz de diseñar protocolos

óptimos de orden superior. Por otra parte, sería inútil si el comportamiento del usuario no se pudiera predecir bien. Con el fin de lograr un equilibrio en tiempo continuo, entre la complejidad y la eficacia, el semi modelo de Markov se puede utilizar para describir las características. Las estadísticas de los canales de la red WLAN pueden ser utilizadas por la Radio Cognitiva para predecir oportunidades en el espectro y así poder transmitir. Para esto se lleva a cabo una mezcla de distribuciones, las cuales se emplean para obtener estadísticas para detectar la disponibilidad del espectro, de esta forma es seleccionada dinámicamente la frecuencia de funcionamiento, para la detección de frecuencias disponibles.

Las estadísticas de la ocupación del espectro se obtienen de una caja (salida de la FFT), esta es una pieza estacionaria muy importante para el registro de las estadísticas, ya que con estas se puede garantizar que los datos son fiables al momento de recibir la solicitud de acceso al espectro. Con el uso de las estadísticas, la probabilidad de que existan oportunidades para usar el espectro, permanecerá disponible, el tiempo de espera se reducirá, pero dependerá del cálculo de cada FFT. Después, estos valores de probabilidad se utilizan para identificar la gama de frecuencias que pueden ser utilizadas para la transmisión.

Se utilizan redes WLAN por tres de sus principales características que son:

- **Movilidad:** Permite transmitir información en tiempo real en cualquier lugar de la organización o empresa a cualquier usuario. Esto supone mayor productividad y posibilidades de servicio.
- **Facilidad de instalación:** Al no usar cables, se evitan obras para tirar cable por muros y techos, mejorando así el aspecto y la habitabilidad de los locales, y reduciendo el tiempo de instalación. También permite el acceso instantáneo a usuarios temporales de la red.
- **Flexibilidad:** Puede llegar donde el cable no puede, superando mayor número de obstáculos, llegando a atravesar paredes. Así, es útil en zonas donde el cableado no es posible o es muy costoso, por ejemplo, parques naturales, reservas o zonas escarpadas.

Las Aplicaciones Militares abundan

Los usos militares para la Radio Cognitiva abundan. Es fácil imaginar una escena donde los radios retransmiten la orden de un comandante dirigida a sus soldados. Pero si se pudiera recordarla y distribuirla digitalmente, podría haber pocas dudas sobre la autenticidad de la orden, es decir, autenticarla, así como emplear una protección adecuada a las normas militares.

Las comunicaciones militares por radio suelen ser muy ruidosas, si existiera una emisora de radio que transmitiera la información libre de errores, esta ayudaría a salvar vidas en cualquier combate. Las máquinas autónomas con capacidad de aprendizaje pueden aprender a utilizar los patrones de uso de radiofrecuencia, siendo autónomos podrían aprender a conectarse directamente con cada uno de los comandantes, evitando así, la necesidad de operadores militares de radio, o bien reducir el tamaño de una brigada de diez a nueve o mejorar las capacidades de la plantilla por el 10% ya no necesarios para operar la radio. Aunque uno nunca puede sustituir completamente la flexibilidad y la visión de personas calificadas, es posible aumentar la eficacia de la radio si se emplea la Radio Cognitiva.

Existe un experimento llamado Phraselator cuyo objetivo consiste en realizar en tiempo real la traducción de información, mediante un dispositivo portátil. La Radio Cognitiva está diseñada para ofrecer una plataforma flexible de hardware en el que los algoritmos puedan ser traducidos con ayuda del Phraselator aumentando la eficacia de las comunicaciones, ya que ayudaría a la comunicación entre personas que hablan diferentes idiomas.

La Radio Cognitiva autónoma (CRA) no está específicamente diseñada para aplicaciones militares, su carácter es abierto y evolutivo, esto permite una empearla en aplicaciones comerciales y militares.

Calidad de la Información (QoI)

QoI se refiere a la información que responde a una necesidad específica del usuario en un determinado momento, lugar, ubicación física y detalle. Si la información está disponible, entonces la calidad, cantidad, puntualidad y adecuación puede ser medida (ver Ecuación 2).

Ecuación 2. QoI

$$QoI = \text{Cantidad} * \text{Validez} * \text{Relevancia} * \text{Precisión} * \text{Detalle}$$

Si no hay información, entonces la Cantidad es igual a 0 al igual que QoI. Si toda la información requerida está presente, entonces la Cantidad es igual a 1.0.

Dado que los distintos usuarios requieren información diferente para estar satisfechos, este parámetro suele ser difícil de medir.

La calidad debe ser definida en términos de tiempo, para que cada usuario pueda usar la información. Si la información se necesita de inmediato, entonces la calidad puede ser caracterizada como inversamente proporcional a la excesiva demora de tiempo. Para evitar la división por cero, uno puede considerar el valor de la calidad igual a 1,0 así la información estará disponible antes de un tiempo mínimo de entrega: T_{\min} (tiempo, lugar, establecimiento social, tema). Para simplificar esto, se adopta la convención de que una situación es un sub espacio de tiempo y lugar. Supongamos que el tiempo más corto de retraso es ϵ de modo que la contribución máxima de la puntualidad a QoI sería $1/\epsilon$. Si la oportunidad se normaliza por ϵ , entonces la máxima puntualidad sería 1.0.

La validez de que si 1.0 es cierto y -1.0 es falso, el valor de la validez irá de [-1, 1], y QoI podrá ser positivo o negativo. Para que la información sea falsa cualitativamente, el valor de información tendrá que desconocerse, es decir la validez será igual a 0. Cuando la información de relevancia se desconoce, la validez puede ser ignorada, por lo que el valor de $QoI = 0$ será apropiado. Si la información resulta ser falsa, se puede inducir un error, dando resultados negativos (QoI negativo), indicando que el usuario se comportó de acuerdo con la falsedad.

La relevancia es el grado de importancia de la información, que corresponde a una necesidad, y es medida en términos de precisión y memoria. Para la recuperación de información, la memoria consiste en recordar una fracción de los documentos recuperados de una consulta y la precisión es la fracción de los documentos que

resultaron ser útiles. El recordatorio de 1,0 indica que todos los documentos se recuperaron, mientras que la precisión de 1,0 indica que los documentos que se necesitaban no se han recuperado. La adaptación de la ecuación de QoI, puede definir la relevancia como el producto de la precisión y la memoria. Este parámetro no puede ser ideal para fines de recuperación de la información, pero se pueden utilizar para dar una respuesta al usuario mediante la observación de la conducta este.

La precisión se refiere a los aspectos cuantitativos de la información, es decir, consiste en incluir la corrección de errores alfanuméricos. La precisión numérica refleja el error numérico de la información representada con precisión arbitraria. Si la precisión requerida por el usuario se cumple, el valor de la precisión es 1,0. La tasa de degradación de la precisión puede ser lineal, cuadrática, exponencial, fractal, etc., pero siempre estará en el rango [0, 1]. Por último, si se proporciona suficiente detalle para justificar la información entregada (ver Ecuación 3), el Detalle=1.0, pero puede disminuir gradualmente a cero si no se proporciona la los detalles.

La Ecuación 3, ilustra la información de consulta desde <Detalle/> donde este es nulo, el usuario no está pidiendo el apoyo de algún tipo de información. En respuesta a esta pregunta, el nombre de "Texas" fue válido hasta que "Alaska" se convirtió en estado. El usuario no especifica un plazo de tiempo <Presente/> como podría suponerse, pero si el <Usuario/> está interesado en la historia, podría establecer un periodo de tiempo, por lo que no necesariamente QoI se acopla a las necesidades del usuario. Además, Texas sigue siendo el estado más grande en los 48 estados, por lo que Texas. QoI asociando el término de validez podría mostrar el valor de Alaska y Texas. Si la respuesta se muestra rápidamente y está bien escrita, entonces QoI = 1.0. Si la consulta se entrega una hora más tarde, dado que la Radio Cognitiva no pudo acceder a la información de la red local durante todo tiempo entonces el QoI es inferior a 1.0.

La degradación del valor de QoI dependerá de la urgencia de cada usuario. Dada una definición de trabajo de QoI, la Radio Cognitiva ideal puede manipular automáticamente los parámetros de la interfaz del aire en función de las necesidades específicas del usuario.

Ecuación 3. Ejemplo de Precisión

```
<Consulta >Nombre del estado más grande en los EE.UU.</Consulta>
<Cantidad >Nombre</Cantidad><Tiempo de espera> en los próximos segundos
</ Puntualidad><Validez>Debe ser verdad</ Validez>
<Precisión>Nombre debe ser escrito correctamente </Precisión><Detalle/> </Consulta>
```

3.3.3 Razonamiento ontológico

El aprendizaje es una parte importante para el desarrollo de la Radio Cognitiva. Rondeau y Bostian han estudiado el uso de Algoritmos Genéticos (AG) para aprender como una emisora de radio puede responder mejor al medio ambiente espectral dado un conjunto de parámetros. Se han desarrollado prototipos que demuestran que una radio puede aprender con éxito sobre el comportamiento del espectro mediante las adecuaciones correctas.

Neel y Reed han estudiado la manera de aplicar la teoría de juegos a una emisora de radio como miembro de una red cognitiva, para analizar si el comportamiento en la Radio Cognitiva es estable en la red, y llegaron a la conclusión de que es posible.

Mitola, Kokar y Kovarik han estudiado la representación del conocimiento ontológico, para una Radio Cognitiva se tendrían que realizar funciones de razonamiento. Mitola propuso que con el uso de la Radio Cognitiva en las emisoras de radio deben ser capaces de razonar, por ejemplo, reconocer la voz del propietario y ejecutar comandos verbales, reconocer visualmente los lugares y condiciones. Kovarik comento sobre la dificultad de construir una gran base de datos inteligente capaz de razonar. Mitola llego a la conclusión de que los servicios que pueda ofrecer la Radio Cognitiva serán específicos y se desarrollaran en función a las necesidades del usuario.

Las radios son capaces de aprender o adaptarse a las necesidades del espectro (gestión, movilidad, detección, manejo, etc.), una vez que aprenden estas funciones, es posible compartir la información de diversas formas, ya sea directamente de radio a radio, a través de una base de datos que distribuya la información, o bien mediante el uso de redes cognitivas, cada propuesta tiene el objetivo de optimizar el uso del espectro. Los operadores de la red se preocupan por el comportamiento que pueda tener la red, es decir, si se mantiene estable y previsible y dentro de los estándares permitidos. Se cree que la mejor opción es compartir el aprendizaje mediante el uso de una base de datos, ya que de este modo se podría comprobar y validar la información, antes de ser utilizada, produciendo un beneficio real a los usuarios de la red. Los Mapas de entorno para las radiocomunicaciones y observaciones en las bases de datos son una buena opción para la prestación de estos servicios.

Un ejemplo que describe la aplicación del aprendizaje del espectro en la Radio Cognitiva, es usando una sintaxis RXML, compuesta por seis componentes funcionales que son: usuario SP, Medio Ambiente, efectores, SDR, Sys Apps, y Cognición (ver Ecuación 4).

Ecuación 4. Sintaxis RXML diseñada para la aplicación de aprendizaje del espectro, compuesto por seis componentes funcionales.

```
<Self/>
<iCR-Platform/>
<Functional-Components>
<userSP/><Environment/><Effectors/><SDR/
><SysApps/>
<Cognition/>
</ Componentes Funcionales->
</ Auto>
```

En parte, esta ecuación indica la plataforma del sistema (hardware) y software (componentes funcionales de la Radio Cognitiva) son independientes. Esta perspectiva ontológica prevé la independencia de la plataforma como un principio de diseño para la arquitectura de la Radio Cognitiva ideal. En otras palabras, la carga estará en el software, adaptándose a cualquier plataforma de que pueda estar disponible.

3.4 Toma de decisiones

La toma de decisiones para un proceso cognitivo, juega un papel muy importante, ya que la Radio Cognitiva debe tener la capacidad de analizar por si misma cual es la mejor opción a tomar, para ello se muestran diferentes alternativas.

3.4.1 Aproximaciones heurísticas comunes

Algunas veces los datos que contiene una red pueden limitar la capacidad de adaptación, el alcance o mecanismos de respuesta de ésta, aunque, a menudo también nos ayudan a obtener un nivel óptimo de rendimiento. Los elementos de la red constan de nodos, protocolos, políticas y conductas, estos son incapaces de realizar adaptaciones inteligentes. Para el buen desempeño de la red, también puede influir la arquitectura de la red, alguna capa del modelo, o un elemento individual que desconozca el estado de la red. Las adaptaciones que se realizan para la mejora en el servicio suelen ser funcionales, pero se realizan después de que el problema ha ocurrido.

Para optimizar el rendimiento de las redes se plantea la opción de usar redes cognitivas, que tienen como promesa, la capacidad de eliminar estas limitaciones, permitiendo a las redes observar, actuar y aprender.

Sin embargo, este tema aun resulta complejo. Para las redes inalámbricas, ha habido una tendencia cada vez más complejas y heterogéneas, enfocada a entornos dinámicos. Si bien las redes por cable también pueden tomar cualquiera de estas características, ya que no son excluidos del potencial cognitivo para aplicaciones a la red, las redes inalámbricas son un objetivo natural, por sus interacciones entre el nodo, el tamaño del espacio y estado de su sistema. Investigaciones anteriores en la radio y las capas cognitivas de diseño han abordado algunas de estas cuestiones, pero tienen deficiencias desde la perspectiva de la red. Las redes cognitivas representan un nuevo enfoque y alcance para hacer frente a esta complejidad.

Las redes cognitivas fueron descritas por primera vez como una red con un proceso cognitivo capaz de percibir las condiciones de la red actual y a su vez, planificar, decidir y actuar en esas condiciones. La red puede aprender de estas adaptaciones y emplearla para tomar decisiones futuras, teniendo en cuenta objetivos de extremo a extremo. El aspecto cognitivo para esta definición es similar a la utilizada para describir la Radio Cognitiva, en general abarca muchos modelos simples de la cognición y el aprendizaje. Sin la red de extremo a extremo, en el ámbito de aplicación, el sistema es tal vez una capa de radio cognitiva, pero no una red cognitiva. En este sentido, la red de extremo a extremo indica todos los elementos que intervienen en la transmisión del flujo de datos.

Para el envío de información desde un único emisor a un único receptor, se pueden incluir elementos tales como subredes, enrutadores, interruptores, conexiones, sistemas de encriptación, soportes, interfaces, etc. Los objetivos de extremo a extremo son los que dan a una red cognitiva todo el ámbito de aplicación, la separación de la adaptación de otros enfoques es el único elemento de alcance.

Necesidades y Motivación del surgimiento de la Radio Cognitiva

El objetivo general de cualquier tecnología es innovar y que el servicio tenga el menor costo posible. El objetivo principal de una red cognitiva es querer proporcionar un buen rendimiento, de extremo a extremo, durante un período de tiempo prolongado, así como la mejora de la gestión de los recursos, la calidad de servicio (QoS), la seguridad, el control de acceso. Una red cognitiva sólo estará enfocada en realizar sus tareas acorde a

su capacidad de adaptación a los elementos de la red y a la flexibilidad del proceso cognitivo.

Como segundo objetivo, el valor una red cognitiva se mide en términos de comunicaciones, procesamiento de gastos generales, arquitectura, despliegue de los gastos de mantenimiento, funcionamiento y complejidad, es decir, el rendimiento, por lo que dichos valores deben ser compensados por la mejora del rendimiento cognitivo que la red proporciona. Para algunos entornos, como las redes de cable estático con comportamiento predecible, es posible que no tenga sentido convertirla a una red cognitiva, pero para otros entornos, tales como las redes inalámbricas heterogéneas, pueden ser los candidatos ideales para la cognición.

Las redes cognitivas deben utilizar redes de observaciones como insumo para un proceso de toma de decisiones y después a la salida en forma de un conjunto de acciones que puedan ejecutarse a elementos modificables de las redes. Idealmente, una red cognitiva debe estar orientada hacia el futuro, para que sea capaz de predecir un problema antes de que ocurra. Además, la arquitectura de una red cognitiva debe ser flexible y amplia, para el apoyo a futuras mejoras, los elementos de la red, y objetivos.

Las redes cognitivas requieren de un software adaptable a la red (SAN) para aplicar la funcionalidad de red y permitir que el proceso cognitivo de adaptación de la red. Una SAN depende de una red que tenga uno o más elementos modificables. Esto significa que una red debe ser capaz de modificar en sus nodos una o varias capas de la de red.

Un ejemplo de una SAN puede ser una red inalámbrica, con una buena dirección de sus antenas (antenas con la capacidad de dirigir su máxima ganancia de recibir o transmitir a diversos puntos de la rotación).

Un ejemplo más complejo es incorporar aspectos modificables en las diferentes capas de los protocolos, tales como MAC o los algoritmos de enrutamiento de control.

Ayuda para la red

Las redes de computadoras, tienen generalmente un protocolo completo para funcionar en la capa física. El estándar OSI define siete capas para el protocolo. Otros modelos combinan algunas de estas capas dando por resultado un modelo de capa cuatro. De estas capas, solamente la comprobación y la capa MAC están diseñadas específicamente para radiar los protocolos inalámbricos. Las capas más altas siguen con la frecuencia de los protocolos que se han desarrollado para el mundo con cables, incluyendo protocolos de Internet, o los protocolos de la telefonía, por ejemplo, SS7.

Durante muchos años, se han tomado en cuenta los protocolos alámbricos, optimizándolos para las redes inalámbricas, ya que son un asunto de investigación actual. Las radios cognitivas funcionan con el principio de que midiendo la métrica del funcionamiento de cada capa estas pueden ser optimizadas. Sin embargo, la capa física y la capa del MAC son muy específicas para detectar sus usos y la optimización de estas capas es la parte dominante de la investigación y del diseño de la Radio Cognitiva hoy en día, ya que manejan una actividad en tiempo real basada en mediciones del espectro local.

Los sistemas de radio son apoyados a menudo por una red extensa pero no visible a los usuarios. Por ejemplo, “las torres de una red inalámbrica de telefonía celular, donde cada torre, está asociada a una estación base, y a su vez, se deben ligar a una infraestructura en red, que contiene el sistema de facturación, etc. Incluso las funciones

de radio del taxi y de la policía, incluyen generalmente los sitios del transmisor y del receptor, interconectan el envío de información entre los operadores, las conexiones terrestres de la telefonía.

La capa de red de la radio puede ser un contribuidor importante a la estabilidad y a la robustez de la red. La radio puede seleccionar un punto de acceso que tenga menos tráfico, o donde la carga del tráfico presentada consuma menos recursos, por lo menos en casos donde hay más de un punto de acceso disponible. Semejantemente, la radio puede formar su carga de tráfico, de modo que ningún usuario experimente variaciones inaceptables del funcionamiento de la red. La radio puede también seleccionar la red más apropiada para las peticiones del servicio del usuario. Por ejemplo, la radio puede seleccionar un acceso de red Bluetooth para una impresora local, mientras que usa el punto de acceso de WiFi para las búsquedas de base de datos del Internet. Semejantemente, al tráfico de voz o vídeo se puede proporcionar a través de la red lo más apropiadamente posible.

Ayuda para el operador de red

Algunos operadores de red, han reconocido la ventaja de la convergencia de los servicios inalámbricos entregados a través de redes del acceso múltiple. Por ejemplo; la telefonía celular, WiFi, WiMAX, Bluetooth, difunden el audio digital, y se agrega el vídeo de modo que el prestatario de servicios seleccione qué recurso puede acomodarse mejor a sus necesidades, para esto, la transición a través de diversos accesos a la red debe ser económico para el usuario y para el operador de la red. Este asunto puede convertirse en la característica que haga la diferencia entre los operadores de red acertados durante la próxima década.

Ayuda para las organizaciones reguladoras

El acceso a la radio celular GSM se ha armonizado. Sin embargo, muchas otras tecnologías de radio no tienen una armonía. Los países más desarrollados tecnológicamente se agrupan regionalmente planteando normas y procedimientos reguladores diferentes para el diseño de los radios y definiendo el uso del espectro como mejor les conviene. Los vendedores de radios quisieran poder fabricar un único diseño, que sea capaz de adaptar el diseño de la mejor manera posible para que todo el mundo emplee el mismo diseño.

Las radios cognitivas también presentan un aspecto político, en donde el papel de la política consiste en que se debe estar consciente de las reglas de la utilización para todos los países en donde se autoriza el equipo, y asegurar que la radio funciona solamente en los modos permitidos de las regiones geográficas, también incluye las reglas adicionales que definen la política del uso de la red, la política del operador de red, e incluso la política del fabricante.

Por ejemplo, si la transferencia directa de software se permite en uno de los procesadores en la radio, la política puede indicar las provisiones y los requisitos a permitir por el software transferido. Tal política puede ser específica del país, permitido por los reguladores, y el software puede necesitar ser validado de manera exhaustiva por el fabricante que tomará en cuenta las regulaciones, así como, todas las condiciones de la red, convirtiéndose de inofensiva a anormal. Asumimos que la política y el software

transferido seguirán las reglas de la seguridad, asegurando que el software no se puede modificar por fuentes desautorizadas, y que estará validada según los requisitos de todos los países. Esto implica generalmente pruebas y validaciones exhaustivas, uso de protocolos y de fuentes estandarizados del software, encriptación de información, y las autoridades de la certificación, según lo establecido por los Organismos de Telecomunicaciones de cada país.

Ayuda para el dueño y los usuarios del espectro

Las capas MAC y física, de la tecnología inalámbrica, ahora son objeto de importantes investigaciones sobre la optimización en tiempo real, dada la capacidad de medir el medio ambiente espectral. Con tales medidas, es posible reducir al mínimo la interferencia, reduciendo el tráfico entre los usuarios. Las medidas sugieren que los sistemas de radio cognitivos puedan aumentar su densidad de tráfico entre el 7:1 y sobre 20:1 (la eficiencia del espectro a menudo se mide en número de usuarios del espectro con el apoyo de la medición de bits por segundo por Km cuadrado por MHz de espectro que se utiliza).

Además de apoyar un aumento significativo en usuarios, el uso del conocimiento del espectro y las técnicas de la adaptación pueden también indicar las características de interferencia, trayectoria múltiple, intensidad de la señal, y alternadamente, estas medidas en tiempo real pueden dirigir la adaptación de las formas de onda de la transmisión para ser más robustas, proporcionando una mejora en la calidad de servicio en múltiples dimensiones.

Muchas organizaciones ahora están implicadas en la aplicación de la asignación dinámica del espectro, que es indiscutiblemente el campo donde la Radio Cognitiva está recibiendo la atención más grande. La asignación del espectro está atrayendo el mismo grado de atención que los protocolos y la optimización del Internet, que la que recibieron hace diez años. El análisis de las actividades se extienden a los bancos de pruebas, a los idiomas para especificar las políticas reguladoras, y muchas nuevas actividades ahora están siendo financiadas por organizaciones de investigación en todo el mundo.

Hoy en día, el mundo comercial gira en torno a la electrónica, pues la generación de asistentes digitales personales asimila la conectividad la conectividad celular WiFi, WiMax, Zigbee, acceso a redes inalámbricas Bluetooth y protocolos inalámbricos. Los usuarios esperarán que estos dispositivos seleccionen eficientemente entre estas redes para lograr el objetivo más importante de este, y que a su vez lo haga productivamente. La conectividad celular puede intercambiar con la conectividad de WiFi o de WiMax mientras que el usuario realiza diferentes actividades.

Desde la disponibilidad, rendimiento de procesamiento, y la economía existen modelos sumamente diversos, los usuarios esperan que el sistema sea rentable y capaz de tomar decisiones de forma automática.

3.4.2 Razonamiento basado en casos

La Radio Cognitiva pretende mejorar el uso del espectro de radio frecuencias, cumpliendo con las necesidades y preferencias de los usuarios. El razonamiento basado en casos consiste en predeterminar una acción o acciones. Por ejemplo, en el año 2002, en una conferencia Internacional sobre la inteligencia artificial, un robot móvil

autónomo con un monitor llamado GRACE entro al salón de la conferencia, donde completó el reto (del robot móvil) de encontrar el mostrador de inscripciones, efectuando el registro, hablando con la recepcionista, siguiendo indicaciones pero cuando se le invitó a contestar preguntas por sí misma, durante cinco minutos, fue la primera vez que se pudo completar este desafío en la década de 1980. No hubo joysticks y nadie detrás del telón, tan sólo un robot autónomo que puede ver, escuchar e interactuar con las personas y el medio ambiente para realizar una tarea específica. Haciendo una comparación del robot GRACE y el teléfono celular, este último no es muy brillante. A pesar de que el teléfono celular común tiene una cámara, carece de la visión de GRACE, esta visión está conformada de algoritmos, por lo que no sabe lo que está viendo. El celular puede enviar un videoclip, pero no tiene la percepción visual de la escena en el clip. Si tuviera algoritmos de visión como GRACE, podría percibir la escena visual. Podría decir si estaban en casa, en el coche, en el trabajo, en el supermercado, conduciendo rumbo a casa, etc. Si GRACE detecta con los algoritmos de visión que está entrando en su cochera, una red cognitiva podría aprender a abrir la puerta del garaje de manera inalámbrica. Por lo tanto, usted no necesitaría un control remoto para abrir la puerta del garaje.

Una vez que la Radio Cognitiva pueda entrar en el mercado, para abrir la puerta de la cochera, por mencionar algún ejemplo, no será necesario un control remoto. Al acercarse a su coche, la Radio Cognitiva percibe la escena común y, en su formación, sintetiza la información y abre la puerta para usted.

La Radio Cognitiva percibe mediante una continua búsqueda visual de escenas de RF correlaciones, es decir, señales relacionadas a necesidades de servicios inalámbricos. Una Radio Cognitiva aprende abrir la puerta de su cochera cuando llegue a casa. La primera vez que usted abre la puerta de la cochera con el celular, la Radio Cognitiva graba la escena RF: parte del propietario en el dispositivo y, a continuación, la señal de RF en la banda ISM, y luego abre la puerta de la cochera. La próxima vez, la Radio Cognitiva verifica mediante el refuerzo de aprendizaje de la mano sobre el botón, la señal de radiofrecuencia, y la apertura de la puerta de la cochera de forma secuencial, con una secuencia de comandos denominado caso de uso. La tercera vez, la Radio Cognitiva detecta el enfoque de la puerta de la cochera y se ofrece a terminar el caso de uso de RF para usted, diciendo: "Veo que se aproxima a la cochera de su casa". ¿Quiere que le abra la puerta?, posteriormente, se abrirá la puerta de la cochera a menos que decida decirle que no.

Uno de los patrones de uso de RF se ha transformado, el ejemplo de la apertura de la puerta de la cochera, desde el enfoque cognitivo, es la auto percepción del usuario del servicio, y podrá descargar tareas diarias según sea el caso.

Un ejemplo, en República Checa, con el uso de la Radio Cognitiva se ha experimentado para abrir la puerta de la cochera mediante la observación de su uso, por ejemplo, al entrar en la casa con los brazos llenos de bolsas, la Radio Cognitiva cierra la puerta de la cochera y las cerraduras, después de haber aprendido que eso desea usted. Para la República Checa el sistema de visión para ver lo que ves, pretende realizar la evolución de la Radio Cognitiva a auriculares con Bluetooth colocados en gafas, similar a la visión de GRACE.

La Radio Cognitiva aprende acerca de los patrones de uso de la radio porque sabe mucho acerca de la radio, los usuarios en general y sobre los usos legítimos de la radio. La Radio Cognitiva cuenta con memoria a priori y con conocimientos necesarios para

detectar las oportunidades para el uso del espectro radioeléctrico con precisión, aunque, a veces será necesario requerir de asistencia, causando un mínimo de intrusión.

TellMe no es una palabra genérica y el sistema de Radio Cognitiva no es un servicio genérico de inteligencia artificial en una emisora de radio. La realización de tareas por medio de la percepción visual es realizable en computadoras portátiles. El refuerzo de aprendizaje (RL) y el razonamiento basado en casos (CBR) son tecnologías maduras, con aplicaciones en la red del radio que hasta el momento han demostrado en la investigación académica e industrial, ajustes como guías para la tecnología de Radio Cognitiva. Se pretende que en un corto plazo, estos algoritmos de visión y de aprendizaje se puedan agregar como servicios en su teléfono celular.

Arquitectura industrial

Si bien la arquitectura de la Radio Cognitiva proporciona un marco general para la API (Interfaz de Programación de Aplicaciones), ya que no especifica detalles de las estructuras de datos ni de los mapas. El prototipo para poder realizar el aprendizaje y razonamiento basado en casos, hace hincapié en la arquitectura de la Radio Cognitiva, pero que no aplica las características fundamentales que serían necesarias para una Radio Cognitiva ideal.

Con la finalidad de que se pueda ofrecer una mejor interpretación de la escena y situación se describen algunos de los aspectos críticos que la arquitectura industrial puede presentar:

1. Ruido, en palabras, imágenes, objetos, ubicación de las estimaciones y similares. Las fuentes de ruido incluyen el ruido térmico, la conversión de error introducido por el proceso de conversión de señales analógicas (audio, vídeo, acelerómetros, temperatura, etc.) a formato digital, error en la conversión de imágenes, pre procesamiento de algoritmos, sesgos y errores aleatorios, como la acumulación de error en un filtro digital, o el truncamiento de una señal de bajo consumo de energía.

1. Mediante la gestión del manejo de hipótesis, es posible realizar un mayor seguimiento entre la vinculación de una acción basándose en el criterio de respuesta al estímulo, por ejemplo, el sentido del diálogo, escena, etc. Las hipótesis pueden ser gestionadas por el mantenimiento de las N-mejores hipótesis (con un grado de credibilidad asociado), mediante la estimación de la probabilidad a priori o del grado de credibilidad de una hipótesis, y manteniendo un suficiente número de hipótesis para que superen un umbral, por ejemplo, 90 o 99 % de todas las posibilidades, o bien manteniendo múltiples hipótesis hasta que la probabilidad de que el siguiente más probable (2^a) hipótesis es inferior a un umbral.

Partiendo de esta hipótesis pueden surgir mejores hipótesis asociadas a un grado de credibilidad, de estas puede surgir una estimación de la probabilidad previa, para el mantenimiento de un número suficiente de hipótesis para superar un umbral, por ejemplo, 90 o 99% de todas las posibilidades, o del mantenimiento de múltiples hipótesis hasta que la probabilidad para el siguiente sea más apropiado para la segunda hipótesis, reduciendo el umbral. La estimación de la probabilidad requiere un espacio considerable, un algoritmo que defina como acumular la probabilidad en ese espacio, prueba de que el espacio obedece a los axiomas de la probabilidad y la certeza de un

cálculo que define cómo combinar los grados de credibilidad en los eventos en función de las medidas asignadas a la probabilidad del evento.

3. Interfaces de entrenamiento, el flujo inverso de los conocimientos de la jerarquía de inferencia permite volver a los subsistemas de la percepción. El reconocimiento de los usuarios mediante la combinación de rostro y voz podría ser más fiable que sólo patrón de reconocimiento. Además, la ubicación, la temperatura, y otros aspectos de la escena puede influir en la identificación de objetos.

El reconocimiento visual en el exterior es más difícil de realizar si se compara con el interior o un entorno cerrado, por ejemplo, en una casa es más fácil identificar el usuario, en cambio, si el usuario está en una tormenta de nieve es más difícil de detectarlo. Sin embargo, la Radio Cognitiva puede aprender a reconocer al usuario basándose en las señales más débiles del exterior, para que estas señales puedan ser detectadas, deben tener un nivel de calidad de reconocimiento aceptable.

4. Flujos no lineales: A pesar de que el ciclo cognitivo hace hincapié en el avance del flujo de percepción que permite actuar, es fundamental notar que las acciones pueden ser internas, por ejemplo; como asesorar a la visión del subsistema que el reconocimiento del usuario es erróneo, ya que, la voz no coincide con la ubicación. Debido a la forma en que el ciclo cognitivo opera, estos flujos permiten cambiar la información a un sistema de percepción, que direcciona la información que haya encontrado a un subsistema específico, por ejemplo, visión o audio. También puede haber interfaces directas a la red de la Radio Cognitiva para cargar con anticipación estructuras de datos que contienen información útil para el aprendizaje.

3.5 Aprendizaje autónomo (máquina)

Proceso cognitivo

No existe una sola definición de lo que significa cognitivo cuando se aplica a las tecnologías de comunicación. El concepto cognitivo es asociado al término de aprendizaje autónomo (máquina) de una manera proactiva, y se define como cualquier algoritmo que "mejore su rendimiento a través de la experiencia adquirida a lo largo de un período de tiempo sin la información completa sobre el medio ambiente en el que opera".

Bajo esta definición, diferentes tipos de inteligencia artificial, pueden aplicarse para facilitar los mecanismos de aprendizaje de máquina, como la toma de decisiones, algoritmos de adaptación, etc. El aprendizaje sirve para complementar el objetivo de optimización del proceso cognitivo reteniendo con eficacia las decisiones tomadas en el pasado bajo un conjunto de condiciones determinadas,

Para determinar la eficacia de las decisiones adoptadas en el pasado se requiere de un circuito de retroalimentación que mida el éxito de la solución seleccionada, y que a su vez cumpla con los objetivos definidos anteriormente. La memoria del circuito se conserva, ya que se pueden presentar circunstancias similares en el futuro, de esta manera, el proceso cognitivo tendrá una idea de por dónde empezar o qué debe evitar.

El efecto de un proceso cognitivo basado en la toma de decisiones sobre el rendimiento de la red depende de la cantidad de información y del estado de red que tenga a disposición. Para que una red cognitiva pueda tomar una decisión debe verificar primero de extremo a extremo sus objetivos, los elementos cognitivos deben tener algún

conocimiento del estado actual de la red y otros estados cognitivos. Por ejemplo; si una red tiene conocimiento cognitivo de todo el estado de la red, las decisiones en el nivel cognitivo deben ser muy buenas (en términos de los objetivos de elementos cognitivos) que los realizados en la ignorancia.

Para un gran y complejo sistema, como una red de computadoras, es poco probable que las aptitudes cognitivas de la red permitan conocer el estado total del sistema. Existe un elevado costo para comunicar esta información más allá de los elementos requeridos por la red. Una red cognitiva puede apoyarse de la filtración y la abstracción.

El filtrado significa que las observaciones formuladas por el nodo pueden ser consideradas desde el proceso cognitivo, si se considera irrelevante, los nodos por sí mismos determinaran lo que es importante para el proceso cognitivo. Las reglas de filtrado pueden ser identificadas durante el proceso de diseño con reglas adicionales especificadas en tiempo real. El proceso cognitivo determina su sensibilidad a diversos tipos de observaciones y en consecuencia difunde reglas de filtrado.

La abstracción consiste en reducir el número de bits necesarios para representar una observación. Las observaciones o recolección de observaciones formuladas por un nodo, se encuentran en un nivel más alto de abstracción de lo que esta disponible dentro del nodo. Las abstracciones pueden ser especificadas a tiempo, es decir, se puede diseñar un modelo con adaptaciones en tiempo real.

La reducción resultante de la filtración y la abstracción lleva consigo un riesgo, ya que puede enmascarar la información necesaria para funcionar correctamente. Por lo tanto, se debe tener cuidado en la definición de las abstracciones o de filtrado.

Implementaciones a corto plazo

Una forma de aplicar este conjunto de funciones, consiste en integrar un SDR a un motor de razonamiento, como serie de reglas asociadas a una función cognitiva (inferencia). Para el control de las funciones de la radio, es posible emplear una arquitectura de 6 componentes ver Figura 5.

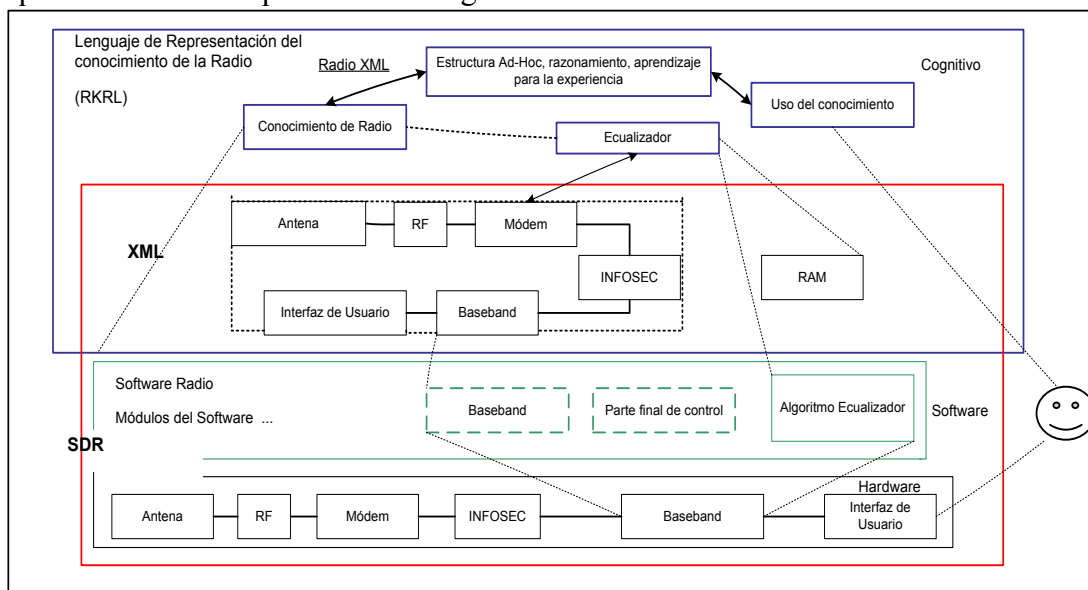


Figura 5. Arquitectura simple para el aprendizaje autónomo

Este enfoque puede ser suficiente para ampliar el paradigma de control de las máquinas, para que en un futuro las máquinas con poca flexibilidad de control, sean capaces de emplear un razonamiento más complejo de radiofrecuencia en los estados y situaciones de cada usuario. Esta propuesta no sugiere como mediar entre; interfaces multi sensoriales, percepción sensible para una situación previa, experiencia, o a los conocimientos. Para lograr una situación de control autónomo, se requiere de recursos sofisticados, por ejemplo, el razonamiento basado en casos de uso.

Además, este tipo de arquitectura simple no asigna funciones a los componentes de la máquina de aprendizaje. Por ejemplo, la máquina de aprendizaje autónomo, requiere del modelado de una herramienta de propagación de radio integrada, de ser así, cuál es la división de funciones entre una base de reglas (que conoce acerca de la propagación de frecuencias la de radio) y una herramienta que puede predecir la propagación de los valores mediante el uso de indicadores cuando la señal es recibida como la RSSI.

Del mismo modo, en el dominio del usuario, algunos aspectos del comportamiento del usuario pueden ser modelados en detalle sobre la base de la física, tales como caminar o emplear un vehículo. Este movimiento puede ser modelado y separado por subsistemas basados en física y sistemas de posicionamiento global (GPS).

¿Cómo el conocimiento y la habilidad en el seguimiento de los movimientos se dividen entre modelos basados en física computacional y la inferencia simbólica de una base de reglas o conjunto de cláusulas con un motor basado en redes neuronales llamado PROLOG?.

Por lo mencionado, ¿cómo puede la arquitectura de aprendizaje autónomo vincular diferentes métodos de aprendizaje, como redes neuronales PROLOG, máquinas de soporte vectorial (SVM), entre otros, si el aprendizaje se produce en su totalidad en un subsistema cognitivo?

Ocultar estos detalles, puede ser una buena idea para la Radio Cognitiva ideal a corto plazo, ya que a limitar seriamente la personalización en masa necesaria, las Radios Cognitivas ideales podrán aprender sobre los patrones de reconocimiento, ofreciendo mejores servicios de radio frecuencia.

Por lo tanto, se tiene que ir "dentro" de la cognición y la percepción, empleando subsistemas para establecer más de una arquitectura sofisticada. Este enfoque debe apoyarse de la obtención de datos y de la percepción sensorial, relacionado estas tecnologías de aprendizaje autónomo, es más sencillo adaptarse a las preferencias y necesidades de los usuarios. Esta técnica proactiva se integra al de Aprendizaje de Máquina (AM), para la arquitectura de la Radio Cognitiva.

Retrospección

La asimilación de conocimientos empleando el aprendizaje autónomo puede ser computacionalmente intensivo, usando los conceptos de "sueño" y "oración" a la Radio Cognitiva es posible hacerlo. Un sueño es un tiempo relativamente largo, es un período de tiempo, por ejemplo, de minutos a horas, durante el cual la radio no estará en uso, pero tiene suficiente energía eléctrica para la transformación. Durante el sueño, la radio puede ejecutar los algoritmos de aprendizaje automático y sin perder su capacidad para apoyar las necesidades del usuario. Los algoritmos de aprendizaje automático pueden integrar la experiencia de la agregación de los parámetros estadísticos. Y durante el

periodo de sueño puede volver a ejecutar secuencias de estímulo respuesta. El ciclo de sueño (similar a cuando un humano tiene sueño) puede mejorar potencialmente los parámetros para la decisión de la reciente experiencia. El concepto de oración es cuando los conocimientos son asimilados directamente por el usuario, o diseñador del sistema, aquí interviene la complejidad de las tareas que se le asignen a la Radio Cognitiva.

Jerarquía de Inferencia

A partir de la acción de observar se muestra un flujo de inferencia, de arriba abajo, la cognición es implementada por algoritmos. La jerarquía de inferencia es la parte de la arquitectura del algoritmo que organiza las estructuras de datos. La jerarquía de inferencia ha estado en uso desde 1970, pero la jerarquía de la Radio Cognitiva es única en su método de integración de aprendizaje autónomo en tiempo real.

La jerarquía cognitiva estándar se divide en 6 capas ver Tabla 1. El patrón de acumulación de elementos en secuencias comienza en la parte inferior de la jerarquía. Los estímulos atómicos externos se originan en el medio ambiente, incluido el de radiofrecuencia, acústica, imagen, ubicación y dominios, entre otros. Los elementos más primitivos son los fonemas. En el intercambio de datos textuales, por ejemplo, en el correo electrónico, los símbolos son los caracteres escritos. En las imágenes, los símbolos atómicos son los elementos de la imagen (píxeles) o pueden ser pequeños grupos de píxeles con tono similar, intensidad, textura, etc.

Tabla 1. Jerarquía Cognitiva de Inferencia estándar

| Secuencia | Nivel de abstracción |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Grupo de contexto | Reuniones, sesiones |
| Secuencia de computadoras | Diálogos, párrafos, protocolos |
| Secuencias básicas | Frases, videoclip, mensajes |
| Secuencias primitivas | Palabras, símbolos, imágenes |
| Símbolos atómicos | Datos en bruto, fonemas, píxeles |
| Estímulos atómicos | Fenómenos externos |

Un conjunto de símbolos atómicos son una secuencia de formas primitivas. Las palabras en el texto, fichas de un discurso, y objetos en las imágenes (o regiones de imagen individuales en un flujo de vídeo) son secuencias primitivas. Las secuencias primitivas o de temporal coincidencia, destacándose el ruido dentro. Sin embargo, puede que no haya ningún significado particular en este patrón de coincidencia. Las secuencias básicas, por otro lado, son el tiempo y el espacio del espectro e implican la comunicación mediante mensajes discretos.

Estos mensajes discretos (frases) son definidos generalmente con respecto a una ontología de las secuencias primitivas, por ejemplo, definiciones de palabras. O bien un conjunto de frases conforman una secuencia. Por ejemplo, frases que incluyen palabras como "éxito", "tono", "pelota", y "fuera" puede estar asociada con una discusión de un partido de béisbol. Tal es el caso de internet, que con tan sólo algunos datos de

semántica, nos ofrece ene criterios de definición, o bien deduce la presencia de estos grupos primitivos y básicos de las secuencias, entregándonos mejores resultados.

Una escena es un contexto de grupo, un espacio, tiempo, una frecuencia, una asociación multi dimensional, por ejemplo; una discusión de un partido de béisbol en la sala, en una tarde de domingo. Estas agrupaciones pueden inferirse a partir del aprendizaje de máquina sin supervisión, por ejemplo, utilizando métodos estadísticos o no lineales, tales como máquinas de soporte vectorial (SVM).

El análisis de la jerarquía de inferencia de la Radio Cognitiva estándar se ha descrito de abajo hacia arriba, cabe aclarar que no existe razón para limitar una inferencia multidimensional a las capas superiores de la jerarquía de inferencia.

Los niveles más bajos de la jerarquía de inferencia pueden incluir una correlación de datos de múltiples sensores. Por ejemplo, una palabra puede ser caracterizada como una secuencia acústica primitiva, junto a una secuencia de imágenes primitivas de una persona que esté haciendo uso de la palabra.

De hecho, desde recién nacidos, los humanos participamos en la estimulación multi sensorial, la clave para un aprendizaje autónomo confiable puede realizarse con el uso de múltiples sensores y con la correlación de los niveles de abstracción más bajos.

3.6 Presentación de la información

El concepto de red cognitiva es un campo nuevo de investigación. La idea de añadir la cognición a una red en el pasado ha sido reservada para los distintos aspectos de la red, tales como antenas "inteligentes" o los paquetes "inteligentes".

Todo esto cambió con la introducción de la Radio Cognitiva de Mitola. Su concepto de inteligencia y la puesta en operación de la radio, ha capturado la imaginación y la atención de la comunidad de investigación. Las investigaciones recientes se pueden dividir en dos categorías: redes de radios y redes cognitivas.

En la primera categoría, Mitola comenzó este trabajo con su tesis sobre la Radio Cognitiva. En este sentido, menciona cómo las radios cognitivas pueden interactuar con un sistema ya sea de forma independiente o conformando una red cognitiva. Neel¹ sigue esta línea de pensamiento, e investiga como modelar redes radios cognitivas como un gran juego, como un multijugador que determine las condiciones de convergencia. El enfoque cognitivo de las Radios Cognitivas, ocurre en la capa física, pero opera de extremo a extremo. En una red de Radio Cognitiva, el individuo aún realiza la mayoría de las decisiones de la Radio Cognitiva, aunque pueden actuar de manera conjunta.

Actualmente las aplicaciones sugeridas para los trastornos cognitivos, consisten en redes de radio para la detección cooperativa del espectro. Probablemente la primera mención de una red cognitiva en lugar de una red de radios proviene de David Dana Clark². Clark propone una red que puede reunir, instrucciones de alto nivel, por ejemplo, que tenga la capacidad de cambiar automáticamente sus requisitos, cuando detecte que algo va mal, y que a su vez, pueda reparar automáticamente un problema o en su defecto explicar por qué no puede hacerlo. Esto se logra con el uso de un patrón de reconocimiento, que involucra en la toma de decisiones todas las capas de la red. El

¹ J. O. Neel, J. H. Reed, and R. P. Gilles, "Convergencia de Redes de Radios Cognitivas," in *Proc. of IEEE WCNC 2004*, vol. 4, pp. 2250–2255, 2004.

² D.D Clark, en 1990 fue galardonado con el Premio SIGCOMM, en reconocimiento a sus importantes contribuciones al protocolo de Internet de para las comunicaciones de computadoras.

patrón de reconocimiento mejorará el funcionamiento de las redes, debido a la capacidad de detectar errores.

Las redes cognitivas son diferentes a las redes de radios cognitivos, el espacio de acción de la primera se extiende más allá de las capas física y MAC, la red puede consistir en algo más que dispositivos inalámbricos. Además, las redes cognitivas pueden ser menos autónomas que una red de radio cognitiva, los elementos de la red cooperan para alcanzar las metas, usando un proceso centralizado cognitivo o un proceso paralelizado, eso se ejecuta a través de varios elementos de la red. Sin embargo, a pesar de estas diferencias, la definición de las redes cognitivas abarca tanto redes de radio cognitivas como redes cognitivas.

Más recientemente, Petri Mahonen³ discute sobre las redes cognitivas en el contexto del futuro del Protocolo de Internet (IP), las redes y las tendencias cognitivas en una serie de documentos. En sus primeras investigaciones, analiza las redes cognitivas con respecto a las futuras redes móviles IP, argumentando que el contexto de sensibilidad de estas redes podría tener una aplicación tan interesante como la Radio Cognitiva. A continuación, se muestra un análisis de las tendencias de las redes cognitivas, se muestra cómo las radios cognitivas pueden ser sólo un subconjunto de la lógica de las redes cognitivas. También aparece la idea del lenguaje de representación del conocimiento de la red (NKRL) para expresar y comunicar objetivos de alto nivel y las políticas. Varios grupos de investigación han propuesto las arquitecturas de redes cognitivas ver Figura 5.

Estas arquitecturas se pueden clasificar en dos objetivos: el primero se centra en utilizar el conocimiento para ayudar en la operación y el mantenimiento de la red, mientras que el segundo se centra en la cognición para resolver los problemas serios, problemas que no tienen una solución viable que no sea el uso de la cognición.

Caer en la primera categoría, de extremo a extremo E2RII (reconfigurabilidad del Proyecto II), consistiría en el diseño de una arquitectura que permite la reconfiguración de una red con el fin de permitir la conectividad universal de extremo a extremo. Aunque E2R II, es un proyecto ambicioso con múltiples facetas, el objetivo consiste en mantener la conectividad para el usuario. Esto es similar a la meta de otra plataforma, que trata de proporcionar una red cognitiva heterogénea, parecida a la arquitectura para la gestión, movilidad del espectro. Estas arquitecturas se centran en el funcionamiento y mantenimiento de redes celulares y redes inalámbricas.

En contraste, la Investigación de la Cadena de Valor para el Centro de Telecomunicaciones (CTVR) en Dublín, presentó una propuesta de una plataforma de red cognitiva que consiste de nodos inalámbricos reconfigurables. Aunque se centró en la operación inalámbrica, estos nodos son capaces de resolver una serie de problemas al modificar o cambiar los protocolos en la red, basándose en los comportamientos observados por la red. Los posibles objetivos de estas redes pueden extenderse más allá de la gestión de la movilidad y la conectividad del espectro. Similar al trabajo de CTVR, pero menos dependiente de la atención inalámbrica, Mahonen propone la utilización de una arquitectura de colaboración para el manejo de recursos cognitivos (CRM) donde ofrece el comportamiento cognitivo con máquinas de aprendizaje tales

³ Petri Mahonen, ha participado en la investigación de Redes Cognitivas Inalámbricas (Aachen, DE: RWTH Aachen), en Septiembre del 2004.

como redes neuronales, monitoreo colectivo, algoritmos genéticos y simulación de eventos.

3.7 Formas de implementación en la actualidad

Con el fin de sintetizar los conceptos anteriores y los componentes en una red cognitiva real, se muestra cómo debe implementarse. Se debe contar con un sistema para el proceso cognitivo e identificar las características fundamentales de esta arquitectura. Un modelo común de conocimiento es la teoría de los tres niveles. El modelo a menudo es resumido como un conjunto consistente de comportamiento, funcional y con capas físicas. En el nivel de comportamiento se determinan las acciones que el sistema produce, la capa funcional determina la forma en que el sistema procesa la información proporcionada a la misma, y la capa física incluye la neurofisiología del sistema.

A partir de este concepto, se define un sistema de tres capas, cada capa corresponde aproximadamente a las capas del modelo descrito anteriormente. En la capa superior son los objetivos del sistema y los elementos de la red que definen el comportamiento del sistema. Estos objetivos alimentan al proceso cognitivo, que calcula las acciones que el sistema necesita. La SAN API es el control físico del sistema, que proporciona el espacio de acción para el proceso cognitivo ver Figura 6.

En la Figura 6 se muestra un proceso cognitivo que consiste en uno o más elementos cognitivos, que operan con cierto grado de autonomía y a su vez de manera conjunta. Si hay un solo elemento cognitivo, este puede ser distribuido físicamente en uno o más nodos de la red. Si hay varios elementos, estos pueden ser distribuidos en más de un subconjunto de los nodos de la red, en cada nodo de la red, o varios elementos cognitivos pueden residir en un solo nodo, los elementos cognitivos operan de manera similar a los agentes de software.

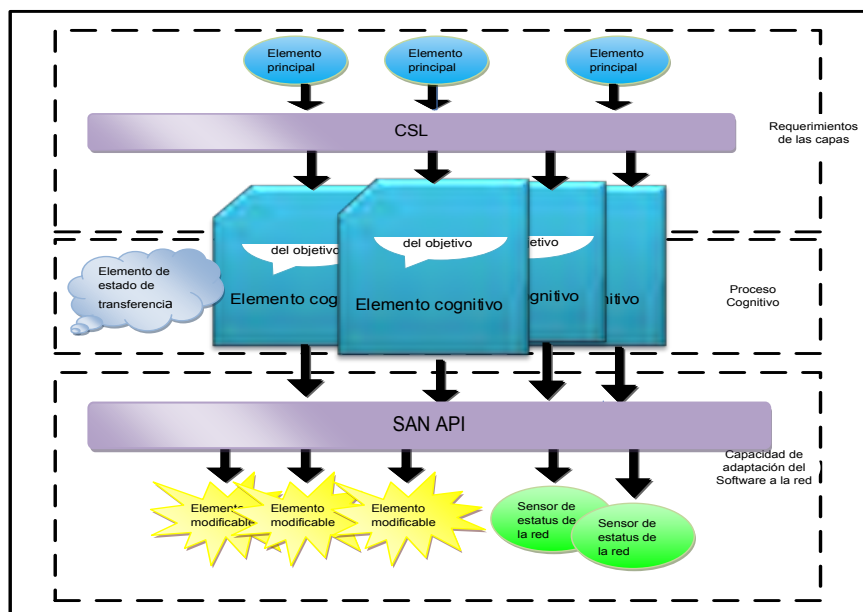


Figura 6. Marco Cognitivo de la red

Necesidades del usuario para la aplicación de los recursos

El alto nivel de la red cognitiva incluye el análisis de los objetivos de extremo a extremo, la especificación del lenguaje cognitivo (CSL) y objetivos de elementos cognitivos. Sin metas de extremo a extremo para guiar el comportamiento la red, pueden surgir consecuencias no deseadas. Por ejemplo, la optimización de una red sin un elemento de extremo a extremo puede causar un efecto negativo en el rendimiento de una o algunas partes de la red o nodo.

Como la mayoría de problemas de ingeniería, es probable que haya un equilibrio para cada objetivo a optimizar. Cuando una red cognitiva tiene múltiples objetivos, no será capaz de optimizar todos los parámetros, eventualmente, llegará a un punto en el que un indicador no pueda ser mejorado sin afectar negativamente a otro. Desafortunadamente, ningún objetivo se puede mejorar sin empeorar otro, cada elemento cognitivo debe tener una comprensión de las metas y limitaciones de los elementos cognitivos de extremo a extremo.

Para conectar los objetivos de los usuarios principales se emplean mapas del entorno de radiocomunicaciones y bases de datos, de esta manera el sistema es capaz de adaptarse a los nuevos elementos de red, aplicaciones y objetivos. Otros requisitos pueden incluir apoyo a la operación centralizada o distribuida, incluyendo el intercambio de datos entre múltiples elementos cognitivos. El alcance de la red cognitiva es más amplio que el de los elementos individuales de la red, que opera en el nivel de aplicación de un flujo de datos, que pueden incluir muchos elementos de la red.

Para un proceso cognitivo distribuido, los elementos cognitivos asociados con cada elemento de red o de flujo, pueden actuar independiente (en el contexto de toda la red) para conseguir objetivos locales, o actuar de una manera altruista para lograr los objetivos de toda la red. La tarea de cumplir con los objetivos locales de extremo a extremo es a menudo un problema difícil de resolver.

4. Redes Cognitivas

La convergencia tecnológica de las redes de comunicación hacia arquitecturas IP es un proceso que está cambiando profundamente en el panorama de las telecomunicaciones, afectando a sectores tales como; sociedad e industria, por mencionar algunos. Como consecuencia de estos cambios, surgen nuevos competidores pero también se crean nuevas oportunidades. Los operadores de telecomunicaciones no pueden permanecer impassibles y deben redefinir su papel en la nueva cadena de valor que les garantice no ser marginados, para que de este modo, la rentabilidad de sus negocios se mantenga a flote.

La rápida evolución de las redes inalámbricas que utilizan bandas del espectro no reguladas (sin licencia), es una oportunidad para bajar los costos de acceso de las redes inalámbricas. De este modo, se cree, que en los próximos años los operadores móviles deberán enfrentarse a un nuevo problema derivado de la operación de un entorno diverso y heterogéneo de tecnologías inalámbricas.

Para solucionar este problema se estudian dos posibles topologías que no son excluyentes entre sí:

- Las redes cooperativas, las cuales, trabajan mediante la operación conjunta de las redes de acceso entre varios operadores.
- Las redes cognitivas, que utilizan capacidades de auto configuración para adaptarse dinámicamente a la demanda, ya que estas, consiguen responder a las necesidades de un usuario en específico, dentro de las políticas definidas por el operador, al tiempo que optimizan los recursos generales de la red.

La principal desventaja de las redes cooperativas radica en la gestión compartida entre las redes y en la interdependencia entre operadores (que a la vez son competidores), por lo que las redes cognitivas se presentan como la gran esperanza para el sector para gestionar redes a un costo aceptable. Las redes cognitivas tienen un proceso cognitivo con el cual pueden determinar cuáles son las condiciones actuales de la red, para así, planificar, decidir y actuar. La red puede aprender de estas adaptaciones, para tomar decisiones futuras, teniendo en cuenta a los objetivos finales. Estas redes, son también conocidas como (CogNet), y se utilizan para desarrollar protocolos de comunicación inalámbrica. El surgimiento de estas redes es gracias a los avances de la microelectrónica, ya que ahora es posible incluir una gran capacidad de procesamiento en dispositivos muy pequeños, donde antes era impensable debido a la falta de espacio y al costo. Esto permite sustituir componentes de hardware por software, permitiendo manipular a los receptores sin incrementar el precio de los dispositivos.

Las redes cognitivas se basan en la información procedente de los nuevos receptores modificados en software para conocer el estado de la red en tiempo real, lo que aumentará su capacidad adaptativa y las dotará de una gran agilidad. Una red de este tipo, podría funcionar por ejemplo como una red de difusión para difundir una alerta a la población, en este caso el teléfono móvil se comportaría como una radio FM, para luego transformarse en una red de grupo cerrado para los servicios de emergencia.

Las redes cognitivas trabajan en el nivel físico de la pila de protocolos, manejando las frecuencias de emisión y los parámetros de modulación.

4.1. Arquitectura de las Redes de Radio Cognitiva

Para poder implementar una red cognitiva, se debe conocer su arquitectura, es decir, los componentes que necesita, ya que estos serán útiles para el desarrollo de protocolos de comunicación, los cuales se describen a continuación.

4.1.1. Componentes de la red

Los componentes de la arquitectura de red de la Radio Cognitiva, se pueden clasificar en dos grupos: la red primaria y la red de CR (Radio Cognitiva) ver Figura 1.

La red primaria (red con licencia) se conoce como una red existente, donde los principales usuarios tienen una licencia para operar en una determinada banda del espectro. Si las redes primarias tienen una infraestructura, las actividades de los usuarios principales son controladas a través de las estaciones base primaria. Debido a su prioridad de acceso al espectro, las operaciones de los usuarios primarios no deben verse afectadas por los usuarios sin licencia. La red de CR, también llamada red dinámica de acceso al espectro, red secundaria, o red sin licencia, como su nombre lo dice, no cuenta con una licencia para operar en una banda deseada. Por lo tanto, se requiere de una funcionalidad adicional de los usuarios de CR para compartir la banda del espectro con licencia. Las redes de CR también pueden ser equipadas con estaciones base de radios Cognitivas, la cual proporciona conexión a los usuarios de CR. Por último, las redes de CR pueden incluir agentes de espectro, los cuales desempeñan un papel en la distribución de los recursos del espectro entre las diferentes redes de CR.

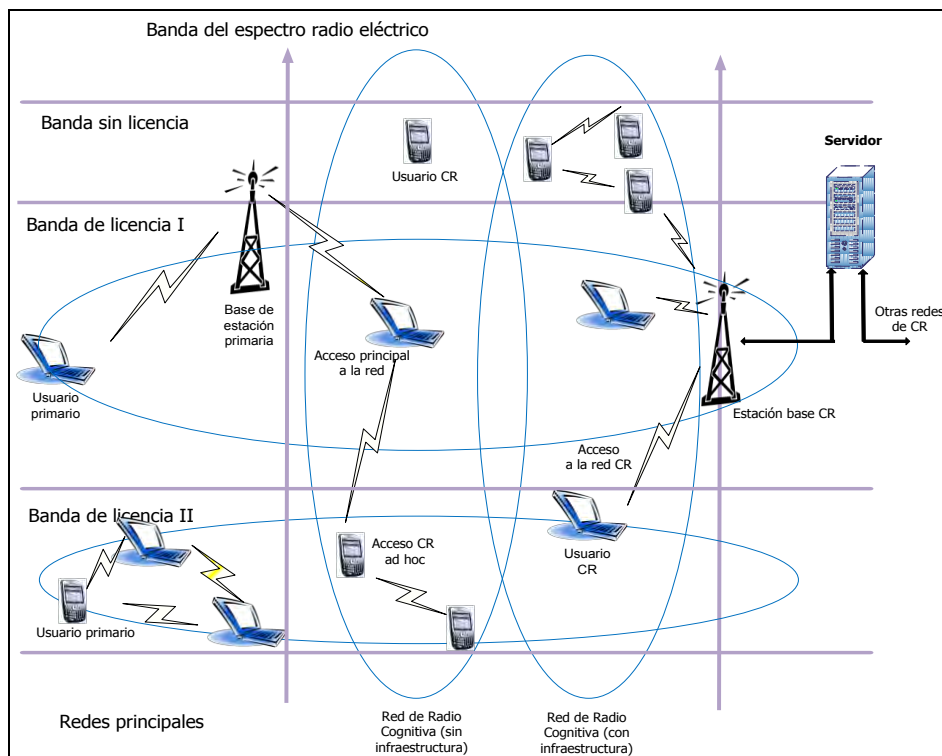


Figura 1. Arquitectura de las redes de radio cognitiva

Heterogeneidad del Espectro

Los usuarios de CR, son capaces de acceder, tanto a las partes del espectro utilizado por los usuarios primarios con licencia y las partes sin licencia del espectro, a través de la tecnología de acceso de banda ancha. En consecuencia, los tipos de operación de las redes de CR pueden ser clasificados como; operación de frecuencia con licencia y sin licencia.

- Operación de la frecuencia con licencia: La banda con licencia se utiliza principalmente por la red primaria. Por lo tanto, las redes de CR se enfocan principalmente en la detección de los principales usuarios.

La capacidad del canal depende de la interferencia en las inmediaciones de los usuarios primarios. Además, si los usuarios primarios aparecen en la banda del espectro ocupado por los usuarios CR, los usuarios de CR deben abandonar esa banda del espectro y moverse a otra banda disponible de inmediato.

- Operación de la frecuencia sin licencia: Cuando hay ausencia de los usuarios principales, los usuarios de CR tienen el mismo derecho de acceder al espectro. Por lo tanto, los métodos de compartición del espectro son sofisticados y necesarios para los usuarios de CR.

Heterogeneidad de la red

Como se muestra en la Figura 1 , los usuarios de CR tienen la oportunidad de realizar tres tipos de acceso diferentes:

- Acceso a la red CR: Los usuarios CR, pueden acceder a su propia estación base CR, en las bandas del espectro, tanto con licencia y sin licencia. Debido a que todas las interacciones que se producen dentro de la red CR, su política de compartición del espectro puede ser independiente de la red primaria.
- Acceso CR tipo ad hoc: Los usuarios CR pueden comunicarse con otros usuarios de CR a través de una conexión ad hoc sobre las bandas del espectro, tanto con licencia y sin licencia.
- Acceso a la red principal: Los usuarios CR también pueden acceder a la estación base primaria, a través de la banda con licencia. A diferencia de otros tipos de acceso, los usuarios CR, requieren una adaptación en el protocolo de acceso al medio, ya que este permite el roaming en las múltiples redes primarias.

De acuerdo con la arquitectura de CR se muestra en la figura. 2, varias funciones son necesarias para apoyar la gestión del espectro en las redes de CR. Una visión general del marco de gestión del espectro y de sus componentes se muestra a continuación.

Administración de la estructura del espectro

Las redes de CR imponen desafíos únicos debido a su coexistencia con las redes primarias, así como, diversos requisitos de QoS. Por lo tanto, se requiere de nuevas funciones para administrar el espectro de las redes de CR. Administrando correctamente el espectro, se pretende:

- Evitar interferencias: Las redes de CR deben evitar las interferencias con las redes primarias.
- Usar el factor de calidad QoS: Para decidir sobre una banda del espectro adecuada, las redes de CR debe apoyarse en el factor de calidad.
- Comunicación ininterrumpida: Las redes de CR deben tener una comunicación ininterrumpida, con la finalidad de avisar a los demás usuarios de CR de la aparición de usuarios primarios.

El proceso de gestión del espectro consta de cuatro pasos principales:

- Detección del espectro: Un usuario CR puede asignar sólo una parte no utilizada del espectro. Por lo tanto, un usuario CR debe supervisar las bandas disponibles del espectro, capturar información, y luego notificar a los demás usuarios de estos espacios disponibles del espectro.
- Decisión sobre el espectro: Basado en la disponibilidad de espectro, los usuarios de CR puede asignar un canal. Esta asignación no sólo depende de la disponibilidad del espectro, ya que también deben de basarse en políticas internas y externas de las redes.
- Compartición del espectro: Debido a que puede haber múltiples usuarios de CR que intentan acceder al espectro, el acceso a la red CR debe coordinarse.
- Movilidad del espectro: Los usuarios de CR son considerados como los visitantes del espectro. Por lo tanto, si la frecuencia es requerida por un usuario primario, la comunicación debe continuar en otra frecuencia disponible del espectro.

La gestión del espectro para las comunicaciones de red de CR se muestra en la Figura 2. Por el gran número de interacciones que se realizan entre los usuarios de CR se requiere de un diseño entre las capas del modelo TCP, para lograr esto, se emplean las principales funciones de la gestión del espectro.

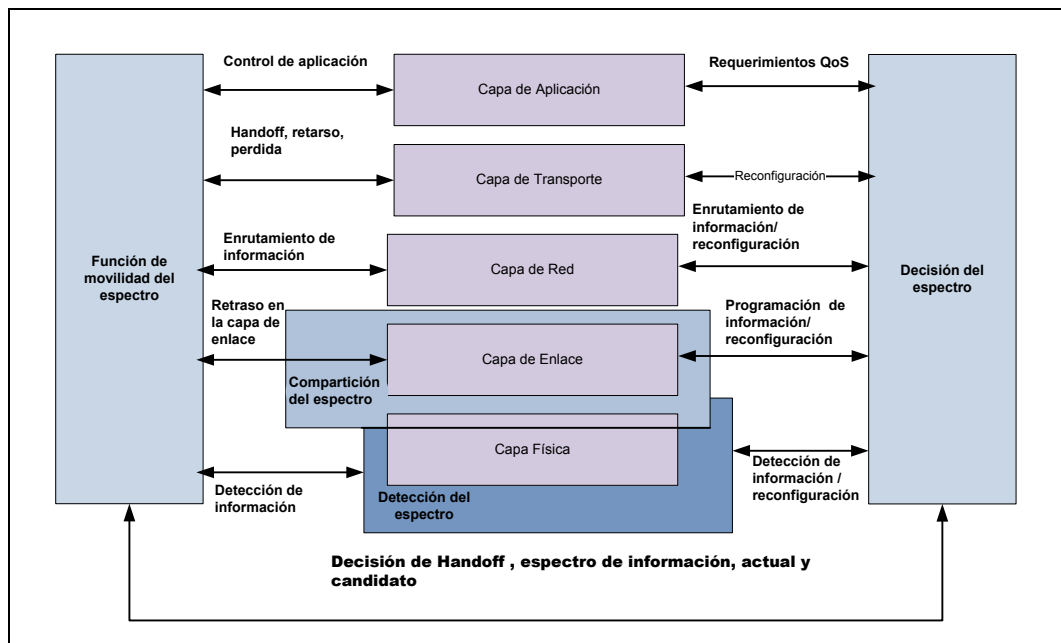


Figura 2. Marco de gestión del espectro para Redes Cognitivas

4.2. Redes Cognitivas Centralizadas

En una arquitectura centralizada, la red secundaria del usuario está orientada a la infraestructura de la red, ya que esta se divide en células, y cada célula se gestiona a través de una estación base secundaria.

Estas estaciones base secundarias de control de acceso al medio se muestran en la Figura 3.

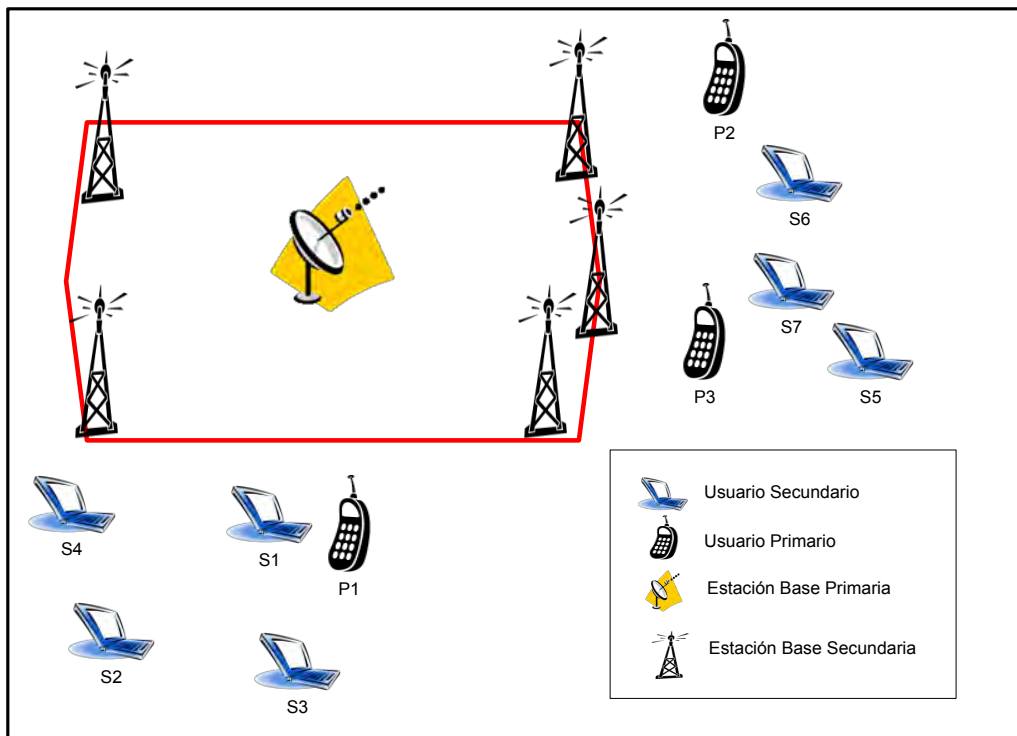


Figura 3. Red Cognitiva Centralizada

Los usuarios secundarios se sincronizan con sus estaciones base, donde pueden llevar a cabo operaciones periódicamente para la detección del espectro. Las estaciones base secundarias pueden ser interconectadas a través de una red troncal alámbrica.

4.3. Redes cognitivas descentralizadas

En una arquitectura descentralizada, los usuarios secundarios no están interconectados por una infraestructura orientada a la red. La Figura 4 representa una red descentralizada, donde los usuarios secundarios pueden comunicarse unos con otros (tipo ad hoc). Se puede observar que dos de los usuarios secundarios, que están dentro de la comunicación serie pueden intercambiar información de forma directa, mientras que los usuarios secundarios que no están dentro de la comunicación serie directa pueden intercambiar información a través de múltiples saltos.

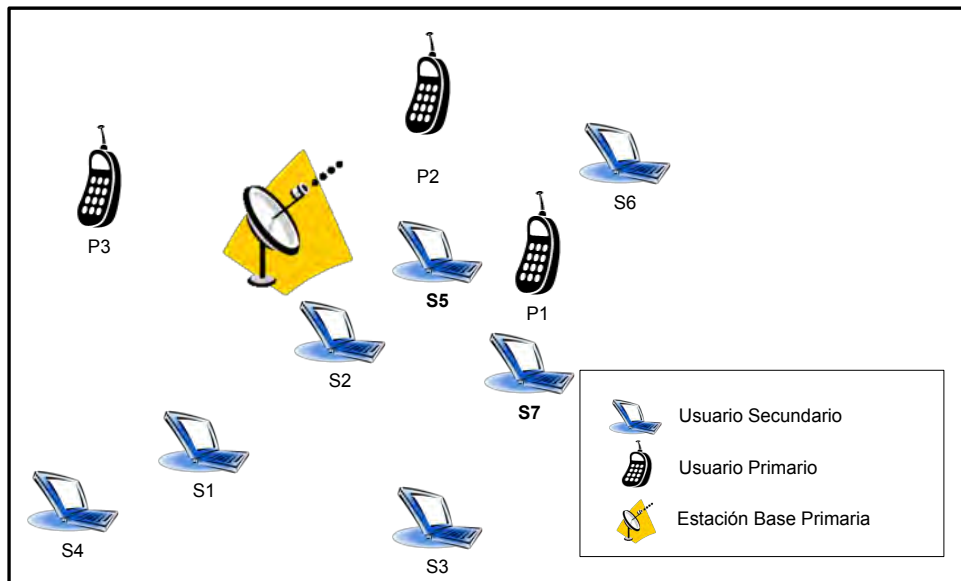


Figura 4. Red Cognitiva Descentralizada

Los usuarios secundarios distribuidos en redes cognitivas, son capaces de tomar decisiones sobre las bandas del espectro, la potencia de transmisión, etc., ya sea de manera local, basándose en observaciones, o en cooperación, para acercarse a un rendimiento óptimo para todos los usuarios secundarios.

Para ilustrar los elementos básicos desde un enfoque de colaboración, considere el siguiente ejemplo ver Figura 4, donde dos de los usuarios secundarios S1 y S2 están operando en una banda con licencia para una estación de base principal. S1 se encuentra en el límite del intervalo de transmisión de la estación base principal, S2 que está más cerca de la estación base principal. S2, por lo tanto, detectará la presencia de los usuarios principales más rápida y fácilmente que S1. Las técnicas de detección cooperativa destacan el hecho de que si los usuarios secundarios comparten la información detectada, se puede mejorar en la detección del usuario en la red cognitiva. Sin embargo, algunas veces, estas técnicas pueden ser empleadas por usuarios malintencionados, provocando problemas de inseguridad en las redes cognitivas.

Una subclase de las redes cognitivas descentralizadas es el espectro de las redes de intercambio, donde coexisten dos redes inalámbricas en una banda sin licencia. Un ejemplo de esta red es la coexistencia de IEEE 802.11 y 802.16. En estas redes, se establece un canal de coordinación del espectro para control del intercambio de información sobre los parámetros de transmisión y recepción. La identificación del usuario principal, el espectro de movilidad y las funciones de gestión no son necesarios en estas clases de redes.

4.4. Tipos de Seguridad en las Redes Cognitivas

A continuación se explica de manera breve los elementos básicos de la seguridad de las comunicaciones. Se describe la forma en que la construcción de bloques se aplican en las redes inalámbricas, como la red LAN inalámbrica IEEE 802.11, así como su importancia en las redes cognitivas.

4.4.1. Disponibilidad

Uno de los requisitos fundamentales para cualquier tipo de red es la disponibilidad. Si la red está abajo y no es utilizable, el propósito de su existencia es nulo. Una cuestión que está estrechamente relacionada con la disponibilidad de la red es la accesibilidad de información de los usuarios en la red. Aunque por lo general se refiere a la disponibilidad de los medios de transmisión inalámbrica. Varias técnicas son usadas para asegurar que el medio de comunicación inalámbrica se encuentra desocupado para su transmisión. Por ejemplo, a veces se emplea un nuevo mecanismo de compensación para evitar interferencias entre varios usuarios en la capa física (MAC) de la subcapa IEEE 802.11 a la capa de enlace.

En el contexto de las redes cognitivas, la disponibilidad se refiere a la capacidad de enseñanza de los usuarios primarios a los usuarios secundarios para acceder al espectro. Para los usuarios primarios la disponibilidad del espectro está garantizada. Para los usuarios secundarios sin licencia, la disponibilidad se refiere a la existencia de espacios desocupados en el espectro, donde el usuario puede transmitir sin causar interferencias perjudiciales a los usuarios primarios.

Algunas de las frecuencias asignadas en el espectro de radiofrecuencias, podrían emplearse, siempre y cuando, los usuarios primarios no estén usando las bandas de frecuencia. Sin embargo, la disponibilidad del espectro para los usuarios secundarios no está garantizada. Para las redes cognitivas centralizadas, la disponibilidad también se refiere a la disponibilidad de estaciones base secundarias.

4.4.2. Integridad

Un aspecto importante cuando se envía información en una red es la integridad, es decir, se debe proteger la información, contra cualquier tipo de modificación, inserción, supresión y repetición.

La integridad es la garantía de que al recibir los datos, estos estarán exactamente igual a los datos enviados. La integridad es muy importante en las redes inalámbricas, ya que, a diferencia de sus homólogos, es más fácil que un intruso acceda a una red inalámbrica. Por esta razón, se agrega una capa de seguridad en la capa de enlace en las redes LAN, con la finalidad de los enlaces inalámbricos sean tan seguros como una red por cable.

El protocolo de seguridad utilizado en esta capa es CCMP (modo contador de encriptación con protocolo CBC-MAC de autenticación).

El protocolo CCMP utiliza la técnica estándar de cifrado avanzado (AES) en el modo de encadenamiento del cifrado de bloque, para producir un mensaje de comprobación de integridad (MIC), que se utiliza para verificar la integridad del mensaje del destinatario. Estas técnicas también pueden ser empleados en redes de radio cognitiva.

4.4.3. Identificación

La identificación es uno de los requisitos básicos de seguridad para cualquier dispositivo de comunicación. Es un método para asociar un usuario o dispositivo con su nombre o identidad. Por ejemplo, en las redes celulares, los dispositivos móviles cuentan con un equipo de identificación de llamada internacional de equipo móvil

(IMEI). Este identificador se utiliza para identificar de forma exclusiva los dispositivos móviles en las redes celulares. Del mismo modo, una prueba de manipulaciones fraudulentas, es que el mecanismo de identificación debe ser incorporado en los dispositivos de los usuarios secundarios de redes cognitivas.

4.4.4. Autenticación

La autenticación es una garantía de que la comunicación de la entidad es la que dice ser. El principal objetivo de un esquema de autenticación es prevenir que usuarios no autorizados tengan acceso a los sistemas protegidos. Se trata de un procedimiento necesario para verificar tanto la identidad de una entidad y la autoridad.

Desde la perspectiva del proveedor de servicios, la autenticación protege el proveedor de servicios de intrusiones no autorizadas en el sistema, para lo cual, emplean certificados de autoridad que aseguran la protección de la información, esto a su vez, hace los usuarios de estos servicios tengan confianza al momento de emplearlos.

En las redes de radio cognitivas, hay un requisito inherente a la distinción entre los usuarios primarios y secundarios. Por lo tanto, la autenticación se puede considerar como uno de los requisitos básicos para las redes cognitivas. En las redes cognitivas centralizadas, donde las estaciones base primarias y secundarias están conectadas con una red troncal por cable, puede ser más fácil su autenticación. Sin embargo, en redes cognitivas distribuidas con un número de usuarios secundarios dispersos sobre un área geográfica grande, el abastecimiento de las funcionalidades de un certificado de autenticación puede ser absolutamente un desafío.

4.4.5. Autorización

Las entidades en la red tienen diversos tipos de autorización. Por ejemplo, el punto de acceso inalámbrico tiene la autorización de eliminar a un usuario que podría ser malicioso. Otros usuarios en la red no tienen este privilegio. La política del control de acceso a la red describe el nivel de autorización para cada una de las entidades. En el contexto de redes cognitivas, se tiene un requisito único de la autorización llamada autorización condicional. Es condicional, porque los usuarios secundarios están autorizados a transmitir en las bandas sólo con licencia, siempre y cuando no interfieran con los usuarios primarios de comunicación en esa banda. Como es difícil determinar exactamente cuál de los usuarios secundarios es responsable de las interferencias perjudiciales para transmisión de los usuarios primarios, este tipo de autorización es difícil de aplicar y más aún en una configuración distribuida. La autorización condicional, por lo tanto, plantea un desafío único en el acceso al espectro dinámico.

4.4.6. Confidencialidad

La confidencialidad está estrechamente vinculada con la integridad. Si bien la integridad asegura que los datos en tránsito no han sido modificados, la confidencialidad protege la información a usuarios no autorizados. Esto se logra con el uso de algoritmos de cifrado y encriptación de los datos que se transmiten con una clave secreta que se comparte sólo con los beneficiarios. Dicha clave puede descifrar y leer los datos.

Dado que el medio inalámbrico está abierto a los intrusos, IEEE 802.11 utiliza un estándar de cifrado avanzado (AES) con protocolo CCMP modo contador, para cifrar los datos, como una capa adicional de seguridad en la capa de enlace. Sabemos que, el ruido en el medio inalámbrico, es propenso a generar errores, sin embargo, empleando el ruido es posible, plantear un desafío único en los mecanismos de confidencialidad e integridad.

Esto se debe a que casi todas las técnicas de integridad y confidencialidad se basan en cifras que son sensibles a los errores del canal. Esta característica de la sensibilidad bajo condiciones ruidosas acciona las retransmisiones excesivas que consumen un gran ancho de banda de la red. Este problema es mayor en las redes cognitivas, donde el acceso de los usuarios secundarios a la red es oportunista y la disponibilidad del espectro no está garantizada.

4.4.7. No repudiación

Las técnicas de la no repudiación evitan que tanto el remitente como el receptor no nieguen un mensaje transmitido. Por lo tanto, cuando se envía un mensaje, el receptor puede probar que el mensaje fue enviado por el remitente. Del mismo modo, cuando se recibe un mensaje, el remitente puede probar que el mensaje fue recibido por el presunto receptor. En el ajuste de la red de radio cognitiva, si identifican a los usuarios secundarios que violan el protocolo, las técnicas de la no repudiación se pueden utilizar para probar la mala conducta y para prohibir el acceso a la red a los usuarios malintencionados.

4.5. *Cuestiones inherentes de confiabilidad*

A continuación se señalan algunas de las cuestiones inherentes de confiabilidad en las redes de radio cognitiva.

4.5.1. Alta sensibilidad a las señales del usuario primario

Para prevenir interferencia a los usuarios primarios con licencia, los usuarios secundarios deben detectar en primer lugar, las transmisiones primarias. Para asegurar una alta probabilidad de hasta el 99% de la ausencia de interferencias a los usuarios primarios, los requisitos a la sensibilidad son rigurosos y se colocan en los dispositivos detectores secundarios sin licencia.

Hay dos formas importantes para detectar en la transmisión un usuario principal: a base de energía y basado en la detección de la forma de onda. A base de energía no requiere ningún conocimiento de los principales usuarios de la señal de transmisión. Sin embargo, esta técnica de detección es propensa a falsas detecciones y el tiempo de detección suele ser más largo cuando la señal es de baja potencia.

La detección basada en la forma de onda es aplicada cuando la información sobre los patrones de la forma de onda y la señal de la transmisión de los usuarios primarios se sabe. Esto hace que las técnicas de detección de forma de onda realicen una mejor

detección que la técnica basada en energía. Sin embargo, en muchos casos, los patrones de la señal de transmisión del usuario primario la desconocen los usuarios secundarios.

Por otra parte, los mandatos de la FCC, como uno de los requisitos de las redes cognitivas es predecir el nivel de interferencia alrededor de los receptores del usuario principal y mantenerla por debajo de umbral. Sin embargo, suele ser difícil asegurar el cumplimiento del requisito de sensibilidad, hacia las señales del usuario primario en las redes cognitivas.

Esta alta sensibilidad basada en energía, incrementa las detecciones falsas, provocando el uso ineficaz del espectro.

4.5.2. Localización desconocida del receptor primario

Una cuestión que ha recibido muy poca atención hasta el momento es la falta de conocimiento de la ubicación de los receptores primarios. Con el fin de reducir al mínimo la interferencia a la red del usuario primario, los transmisores secundarios necesitan conocer las localizaciones de los receptores primarios.

La mayoría de los modelos de intervención que han sido estudiados, proponen que, para reducir al mínimo el nivel de interferencia, es necesario conocer la ubicación de los receptores primarios. Estas terminales ocultas pueden ocasionar problemas en las redes cognitivas.

Algunos estudios recientes han estudiado esta cuestión y propuesto técnicas que pueden utilizarse para detectar receptores primarios. Detectando la salida de energía del receptor. Sin embargo, aún queda por hacer, una importante labor para proteger los receptores primarios contra la interferencia accidental causada por los usuarios secundarios.

4.5.3. Requisito de Sincronización

Los usuarios secundarios en redes de radio cognitivas centralizadas realizan operaciones de detección a una gran velocidad entre los periodos de las transmisiones, por ejemplo, IEEE.802.22.

Estas mediciones se retransmiten a la estación base, esta agrega y determina la presencia de transmisiones de usuarios primarios. Por lo tanto, la sincronización a tiempo entre los usuarios secundarios, es un requisito importante para detectar la presencia de los usuarios primarios. Incluso si un usuario secundario no está sincronizado con el resto de los usuarios secundarios, todos los demás usuarios secundarios, transmitirían esa información a la estación base.

La estación base después, podrá determinar, que transmisión del usuario primario está disponible o cual no, también puede bloquear las transmisiones del usuario secundario en esa banda de frecuencia. La sincronización entre los usuarios secundarios es más difícil de lograr en algunas bandas del espectro como las bandas de la televisión.

4.5.4. Carencia del canal de control común

A diferencia de otra infraestructura orientada a las redes inalámbricas, las redes cognitivas carecen de un canal de control determinado. Por lo tanto, tan pronto como arranca un usuario secundario, es necesario iniciar una búsqueda de señales de control

en toda la banda espectral. Esta operación necesita ejecutarse durante el restablecimiento de la conexión móvil, es decir, cuando los usuarios secundarios se trasladen al área de cobertura de una estación base existente para el área de cobertura de otra estación base.

4.5.5. Protocolos y utilidades basados en un mismo modelo

Las funciones para uso general en muchos protocolos de acceso al espectro coordinado, se basan generalmente en un mismo modelo. Este modelo se basa en una sociedad donde los usuarios tienen una aversión de la desigualdad. Estos modelos no asumen ninguna estructura centralizada de gobierno, por lo que la aplicación de las normas depende de la participación voluntaria de sus compañeros. Sin embargo, en realidad, esta situación rara vez existe, ya que algunas entidades malintencionadas tienden a violar dichos códigos.

Este modelo está diseñado para fines egoístas como la adquisición de mayor ancho de banda, así como obtener más recursos o bien para bloquear intencionalmente a otros que quieren conseguir recursos específicos. Por lo tanto, se deben emplear modelos más robustos que detecten el comportamiento malintencionado. Estos, deben emplearse para diseñar protocolos de acceso coordinados en las redes cognitivas.

4.6. Descripción de las principales capas en las Redes de Radio Cognitivas

4.6.1. Capa Física

La capa física es la encargada de transmitir los bits de información por la línea o medio utilizado para la transmisión. Se ocupa de las propiedades físicas y características eléctricas de los diversos componentes, de la velocidad de transmisión, si esta es unidireccional o bidireccional. Así mismo, se encarga también, de aspectos de mecanismos de las conexiones y terminales, incluyendo la interpretación de las señales eléctricas.

En las redes cognitivas, la capa física tiene la capacidad de transmitir en diferentes frecuencias a través de la mayor parte de la banda del espectro radioeléctrico. Esto hace que la capa física en las redes cognitivas sea más compleja, en comparación con las redes inalámbricas convencionales. Por lo tanto, cuando la transmisión de una banda de frecuencia se cambia a otra banda de frecuencia, el proceso de cambio incurre en un retraso considerable en la capa física de las redes cognitivas.

4.6.2. Capa de Enlace

El objetivo principal de la capa de enlace consiste en transferir los datos hacia y desde la capa física a la capa de red. Especifica cómo se organizan los datos cuando se transmiten en un medio particular. Además del direccionamiento local, se ocupa de la detección y control de errores ocurridos en la capa física, del control de acceso a dicha capa y de la integridad de los datos y fiabilidad de transmisión. Para esto se agrupa la información a transmitir en bloques, e incluye a cada uno una suma de control, que permitirá al receptor comprobar su integridad. Los datagramas recibidos son comprados

por el receptor. Si algún datagrama se ha corrompido se envía un mensaje de control al remitente solicitando su reenvío.

La capa de enlace proporciona los medios funcionales que permiten la fragmentación de datos, corrección de errores y modulación.

4.6.3. Capa de Red

La capa de red es responsable de la entrega de paquetes de nodo a nodo. La capa de red proporciona los medios operativos para realizar el enrutamiento, el control de flujo y la calidad de servicio (QoS). El enrutamiento se refiere a la selección de trayectorias a lo largo de la red a través de la cual se transmiten datos desde el origen al destino. Cada nodo en la red es responsable de mantener la información de enrutamiento sobre sus nodos vecinos. Cuando una conexión necesita ser establecida, cada nodo determina cual de sus vecinos debe ser el siguiente en la trayectoria hacia el destino. Algunos de los protocolos de enrutamiento usados en entorno inalámbrico, por ejemplo, el enrutamiento dinámico (DSR) y ad-hoc sobre la demanda de la distancia del vector (AODV) de la fuente. Un nodo malintencionado en la trayectoria puede interrumpir el enrutamiento por la incorrecta información de enrutamiento a sus vecinos o por la reorientación de los paquetes en la dirección equivocada.

4.6.4. Capa de Transporte

La capa de transporte establece los requisitos funcionales para la transferencia de datos entre dos hosts de extremo a extremo. Es el principal responsable del control de flujo, de la recuperación de errores de punto a punto y del control de la congestión. Hay dos protocolos principales que operan en la capa de transporte, el Protocolo de datagramas de usuario (UDP) y el Protocolo de control de transporte (TCP). El UDP es sin conexión, mientras que TCP tiene una conexión orientada y garantiza la entrega de paquetes. El rendimiento de TCP suele medirse por un parámetro llamado tiempo de viaje de ida y vuelta (RTT). Los errores en el entorno inalámbrico pueden causar la pérdida de paquetes, que a su vez desencadena en las retransmisiones. Además, los frecuentes cambios de banda del espectro por los usuarios secundarios, debido al espectro handoff en el aumento de capa de enlace, aumentan el RTT. Además, diferentes nodos secundarios operan en diferentes bandas de frecuencia y las bandas cambian constantemente., es por esto que el RTT para una conexión TCP en redes cognitivas tenga una alta variación.

4.6.5. Capa de Aplicación

La capa de aplicación es la última capa del modelo. Esta proporciona las aplicaciones para los usuarios de los dispositivos de comunicación. Algunos de los servicios básicos de la capa de aplicación incluyen el protocolo de transferencia de archivos (FTP), Telnet, correo electrónico y recientemente streaming. Por lo tanto, cualquier ataque contra las capas: física, enlace, red de transporte, puede repercutir negativamente en la capa de aplicación. Uno de los parámetros más importantes en la capa de aplicación es la calidad de servicio (QoS). Esto es especialmente importante para aplicaciones de

streaming. En la capa física y de enlace, los retrasos al espectro handoff. Para la capa de red los ataques provocan desvíos innecesarios de rutas, debido a los ataques y retrasos se crea una degradación de QoS en los protocolos de la capa de aplicación.

4.7. Ataques a las redes de radio cognitiva

Un ataque contra las redes cognitivas se define de las siguientes maneras:

- 1) Una interferencia inaceptable a los usuarios primarios autorizados.
- 2) Oportunidades perdidas para los usuarios secundarios.

Un ataque puede ser cuando un número mínimo de adversarios que aunque realizan operaciones mínimas, estas causan daño y pérdidas para los usuarios primarios y secundarios en la red. A continuación se describirán algunos ataques de problemas de confiabilidad en varias de las capas de las redes cognitivas. Las capas que se describirán son: Capa física, Capa de enlace, Capa de transporte, Capa de aplicación, así como los ataques que se presentan entre las capas, ya que a pesar de que estos ataques son específicos a cada capa, estos a su vez pueden afectar a otras capas.

4.7.1. Ataques de la capa física

a) *Ataque intencional (Jamming)*

Este es uno de los tipos de ataque más comunes, que se pueden ser realizados por los usuarios secundarios en las redes de radio cognitiva.

El usuario secundario ataca interfiriendo de forma malintencionada y continua, en una banda con licencia a los usuarios primarios y secundarios. Dicho ataque se puede amplificar por el uso de alta potencia de transmisión, transmitida en varias bandas espectrales.

Aunque las técnicas basadas en la detección de la energía y las técnicas de triangulación, se pueden utilizar para detectar este ataque, el tiempo que tarda en identificar al y el usuario malintencionado, afecta seriamente el rendimiento de la red. El ataque se puede hacer más peligroso por un usuario secundario malintencionado móvil que realiza el ataque en un área geográfica y que se desplazan a otra área antes de ser capturado.

b) *Ataque del receptor primario*

La falta de conocimiento acerca de la ubicación de los receptores primarios puede ser utilizada por una entidad malintencionada, causando interferencias perjudiciales.

El ataque se produce cuando el usuario primario que está más cerca del receptor primario participa en un protocolo de colaboración y envió de transmisiones a usuarios secundarios, para que esta sea detectada por el usuario malintencionado.

A pesar de la interferencia se mantenga por debajo del umbral en algún otro punto en el espacio, ésta todavía causaría interferencia continua al receptor bloqueando de manera eventual las transmisiones primarias. Por otra parte a veces los usuarios

secundarios olvidan que son ellos quienes pueden generar las interferencias al receptor primario.

c) Ataque de amplificación a la sensibilidad

Con el fin de evitar interferencias en la red primaria, algunas técnicas de detección del usuario primario tienen una mayor sensibilidad hacia las transmisiones primarias. Esto da lugar a detecciones falsas trayendo consigo oportunidades perdidas para los usuarios secundarios. Una entidad malintencionada puede amplificar la sensibilidad y, por tanto, el número de oportunidades perdidas para reproducir la transmisión primaria. ¿Qué hace que este ataque más perjudicial?, es que incluso un adversario con una baja potencia de transmisión puede transmitir en los límites de la banda del espectro y todavía causar a los usuarios secundarios que operan en múltiples bandas del espectro un sin fin de pérdidas de oportunidades provocando un uso ineficiente del espectro.

d) Ataque secundario traslapado del usuario

En las redes cognitivas centralizadas y distribuidas, las redes múltiples secundarias pueden coexistir en la misma región geográfica. En tales casos, las transmisiones de entidades malintencionadas en una red pueden causar daño a los usuarios primarios y secundarios de la otra red. Este tipo de ataque es difícil de prevenir porque las entidades malintencionadas pueden no estar bajo control directo de la estación base de los usuarios de la red o de los usuarios de la red que corre peligro.

4.7.2. Ataques en la capa de enlace

a) Ataque para uso general

Un usuario secundario malintencionado es capaz de ajustar los parámetros para un uso general, aumentando el ancho de banda. Si los usuarios secundarios y/o las estaciones base no son capaces de detectar este tipo de comportamiento anormal, puede provocar la privación del medio de transmisión para otros usuarios secundarios. Por ejemplo, algunos autores proponen una función para uso general que sea utilidad a los usuarios secundarios para determinar el ancho de banda en términos de potencia de transmisión, con la restricción de que la interferencia debido a las transmisiones secundarias en los receptores primarios este por debajo del umbral. El problema se analiza como un juego de interés público y las soluciones para lograr un equilibrio óptimo global que determine las transmisiones adecuadas para los usuarios secundarios, por ejemplo, si un usuario malintencionado cambia su función de uso general para transmitir a una potencia mayor, dará lugar a que otros usuarios obtengan menos ancho de banda. Algunos usuarios secundarios tal vez ni siquiera puedan transmitir.

b) Ataque de detección asíncrono

En lugar de sincronizar la actividad de detección con otros usuarios secundarios de la red, un usuario malintencionado puede transmitir asíncrono, cuando otros usuarios secundarios están realizando operaciones de detección. Si la estación base u otros usuarios secundarios consideran esto como una transmisión de un usuario

primario, después esto podría dar lugar a oportunidades perdidas. Este ataque puede ser más eficiente transmitiendo sólo durante los periodos de detección.

c) *Ataque falso*

Para los protocolos que confían en los usuarios secundarios que intercambian información. La falsa información de un grupo de usuarios malintencionados puede hacer que los usuarios secundarios tomen acciones inapropiadas, para así modificar los objetivos del protocolo. Por ejemplo, considere la posibilidad de un escenario representado en la Figura 4. En esta red cognitiva descentralizada, conformada por cinco usuarios secundarios, S1,..., S5, se asocian con una estación base secundaria. El usuario secundario S2 está más cercano a una estación base secundaria. Supongamos que el usuario secundario S2 es malintencionado y cuando la estación base primaria comienza a usar su licencia autorizada para ingresar al espectro y S2 la detecta pero no revela esta la información a otros usuarios secundarios, además el usuario secundario S1 se encuentra fuera de la región de la base principal y por lo tanto no percibe la presencia del receptor primario. Del mismo modo, los usuarios secundarios S3, S4 y S5 tampoco han podido detectar la presencia del receptor primario. Ahora, cualquier transmisión de S1, S3, S4 y S5 puede causar interferencias perjudiciales en la transmisión a los receptores primarios de la estación base primaria. Un ataque similar es posible en una red de radio cognitiva centralizada.

4.7.3. Ataques de la capa de red

Varios ataques de enrutamiento se han descubierto en redes inalámbricas ad hoc, la mayoría de los ataques se pueden clasificar en dos categorías:

- 1) Ataques en la interrupción de rutas.
- 2) Ataques en el consumo de recursos.

Algunos de los ejemplos de los ataques de enrutamiento es el ataque llamado “agujero negro” donde un nodo malintencionado atrae a los paquetes de cada nodo, el atacante selecciona los paquetes así como dos pares de nodos con una conexión privada entre los dos pares. Este ataque suele ser peligroso ya que puede evitar ser descubierto, la mayoría de estos ataques se previenen usando protocolos seguros como Ariadne, los cuales utilizan mecanismos de encriptación para garantizar la integridad de la información de enrutamiento y la autenticidad de los nodos. Aunque la mayor parte de los problemas de la capa de enlace en las redes LAN inalámbricas se han estudiado, referente a la seguridad en la capa de enlace en las redes cognitivas aun no se ha realizado.

A continuación se muestran algunos ataques en la capa de enlace aplicados en las redes cognitivas.

a) *Ataque NEPA*

NEPA tiene la capacidad de hacer que al menos un nodo se comporte de manera malintencionada en la red. El propósito de este nodo consiste en aumentar la interferencia en los canales primarios con mayor tráfico de información.

La mayor parte del tiempo, los enlaces son afectados durante toda la trayectoria a través de la ruta de nodos malintencionados hacia la puerta de enlace por cable; por lo tanto, el ataque lleva el nombre de un ataque de parásito.

En condiciones normales de operación de asignación de canales, un nodo asigna la menor carga para los canales de sus interfaces y transmite la información más reciente a sus vecinos dentro del dominio. Un nodo comprometido lanza el NEPA asignando sus interfaces a los canales primarios. Sin embargo, no informa a sus vecinos sobre este cambio, esto da lugar al uso de canales con interferencia, disminución del ancho de banda y un menor rendimiento

b) Ataque CEPA

El ataque CEPA es un caso especial del ataque NEPA, con una ligera modificación en la estrategia de ataque. Un nodo comprometido lanza el ataque CEPA cambiando todas las interfaces del canal prioritario que está siendo utilizado. Sin embargo, la gravedad de este ataque hace que su detección sea fácil.

c) Ataque LORA

El ataque LORA maneja información engañosa sobre las asignaciones del espectro y la transmite a todos los vecinos para impulsar la red en un estado cuasi-estable. Puesto que la asignación del canal del nodo comprometido no se cambia realmente, este ataque es perceptiblemente diferente al NEPA y CEPA, de igual modo es un tipo de ataque mucho más fuerte y barato. El ataque LORA es relativamente más grave porque el efecto se propaga a una gran parte de la red, más allá de los vecinos del nodo comprometido, alterando la capacidad de transmisión de tráfico de los distintos nodos, en un tiempo de duración considerable. Se pone en marcha el ataque cuando el nodo comprometido transmite la información engañosa de la asignación del canal, forzando a los otros nodos a ajustar sus asignaciones del canal. Esto puede generar una serie de cambios, incluso en la asignación del canal de los nodos no vecinos. Este ataque crea la ilusión de que los canales tienen una intensa carga de información, creando una confusión en la selección de canales.

4.7.4. Ataques en la capa de transporte

Inusualmente algunas veces los viajes de ida y vuelta, con frecuencia provoca que se produzcan retransmisiones en la capa de transporte que implican períodos de sesiones en redes cognitivas cortas. Esto da lugar a un gran número de sesiones que son iniciadas para cualquier uso dado. La mayor parte de la capa de transporte como los protocolos de seguridad SSL y TLS emplean claves criptográficas al comienzo de cada período de sesiones. Las redes cognitivas tienen un mayor número de sesiones, por tanto, el número de los principales establecimientos aumentará la probabilidad de utilizar la misma clave dos veces. Las repeticiones pueden ser explotadas para romper el cifrado del sistema subyacente.

Por ejemplo, los protocolos WEP y TKIP se utilizan en la capa de enlace de IEEE 802.1, son vulnerables a los ataques de repetición. El protocolo CCMP es más reciente y fuerte, y está diseñado para demorar las repeticiones en las claves. Sin embargo, la mayoría de los protocolos de seguridad utilizada por debajo de la capa de red se ha

diseñado teniendo en cuenta el número total de sesiones que normalmente se producen en redes LAN inalámbricas.

4.7.5. Ataques entre capas

Los ataques entre capas se refieren a las operaciones malintencionadas realizadas en una capa para causar violaciones de seguridad en otra capa. Para las redes cognitivas, se requiere de una mayor interacción entre las distintas capas del protocolo de comunicación. Por esta razón se necesita poner mayor atención en los ataques entre capas.

Este ataque se realiza en la capa de red, pero afecta el rendimiento de la capa de transporte, en concreto el protocolo TCP. El objetivo de este ataque es reducir el rendimiento del protocolo TCP. Hay tres variantes de este ataque: desorden, variación de la caída y del retardo. El ataque de desorden provoca que los paquetes se reordenen de manera intencional y periódicamente, mientras estos pasan por un nodo malintencionado.

Este ataque se aprovecha de la vulnerabilidad de los paquetes desordenados del protocolo TCP, este acciona retransmisiones y degrada rendimiento de procesamiento. La segunda variante es el ataque de caída del paquete, donde el nodo malintencionado altera por fracción de segundos los paquetes. Sin embargo, los paquetes son escogidos de manera inteligente por el adversario para poder coincidir con la ventana de la transmisión del TCP, provocando a veces un rendimiento nulo en el protocolo.

La tercera variante del ataque es el retardo, aquí están los paquetes al azar, ya que demora en pasar a través de un nodo malintencionado. Esto hace que el tiempo de TCP no se considere válido lo que se traduce en congestión e inferencias. Aunque estos ataques son principalmente propuestas para redes inalámbricas ad hoc, puede ser aplicado a las redes cognitivas descentralizadas.

Por último, proponen una cuarta variante en este tipo de ataque, donde el atacante realiza operaciones en la capa de enlace para atacar la capa de transporte. Para realizar este ataque, el atacante hace que el nodo víctima cognitivo para cambiar de una a otra banda de frecuencias (utilizando cualquiera de los ataques de la capa de enlace), lo que provoca un retraso considerable en la red de transporte y demás capas. Si se realiza observando activamente el tráfico de TCP, puede hacer que existan retrasos en las sesiones de ida y vuelta, perjudicando el rendimiento del protocolo.

Todos los ataques mencionados anteriormente son difíciles de detectar en la capa de red, y por ende permite los ataques en la capa de transporte.

4.8. Arquitecturas de redes cognitivas

Algunas de las arquitecturas de las redes cognitivas son:

- Arquitectura Nautilus.
- Arquitectura DIMSUMnet.
- Arquitectura IEEE 802.22.
- Arquitectura de Radio Cognitiva OCRA basada en OFDM.

4.8.1. Arquitectura Nautilus

Nautilus es un marco de coordinación distribuido, escalable y eficiente para las redes ad hoc del espectro abierto. El marco de Nautilus se refiere a la falta de un canal de control común en las arquitecturas de redes cognitivas. Existen algunos planes de colaboración en el acceso al espectro que no confían en una entidad centralizada o un canal de control común. Para las redes cognitivas móviles se emplea una asignación distribuida del espectro, basada en una negociación local, donde los usuarios móviles negocian la asignación del espectro dentro de los grupos de un mismo organismo local. Los recursos son limitados para los dispositivos cognitivos, por lo que, se propone una regla basada en la gestión del espectro, en donde los usuarios tengan acceso al espectro sin licencia de acuerdo con observaciones locales del espectro.

4.8.2. Arquitectura DIMSUMnet

La arquitectura se basa en un corredor del espectro gestione permanentemente las bandas con licencia (denominado acceso coordinado de bandas (JCA)). Las estaciones de base secundarias se colocan con los encargados de acceso a la red denominados RANMANs. RANMANs se encarga de negociar con los agentes de arrendamiento del espectro la asignación del espectro apropiada para las estaciones de base secundarias. El corredor del espectro, que mantiene una base de datos de las bandas de frecuencias disponibles en la actualidad, responde a RANMANs con frecuencias e intervalos de tiempos asignados del espectro.

Después de que las bandas del espectro se asignen a las estaciones base secundarias, se informa a los usuarios secundarios conectados con esas estaciones base para cambiar a las bandas de frecuencia correspondientes. Puesto que DIMSUMnet es una arquitectura centralizada, con la detección del espectro realizada por una entidad centralizada, los mecanismos de seguridad son más fáciles de ejecutar y de adherirse.

La detección de ataques que son posibles en IEEE 802.22 son más difíciles de aplicar en DIMSUMnet. Sin embargo, como el espectro de función de control se realiza por una sola entidad, la información sobre la disponibilidad del espectro puede no ser tan precisa como en el caso de detección distribuida realizado por el IEEE 802.22. La información inexacta del espectro puede ser una edición de confiabilidad primaria en el caso de DIMSUMnet.

4.8.3. Arquitectura IEEE 802.22

IEEE 802.22 es un estándar para las redes de inalámbricas regionales (WRAN) que utilizan la frecuencia UHF y VHF, las bandas de televisión entre el 54 y 862 MHz. IEEE 802.22 ayuda a gestionar las estaciones base con una característica única de detección distribuida. Para realizar la detección distribuida, la estación base da la instrucción a los usuarios secundarios de los dispositivos cognitivos, para que puedan detectar de manera síncrona las bandas espectrales para el uso del usuario primario.

Estos resultados son sensores periódicamente recogidos por la estación base, que realiza la totalización de los resultados para determinar la presencia y ausencia de los principales usuarios en cada una de las bandas del espectro bajo licencia. Por lo tanto, el IEEE 802.22 se basa en la detección síncrona.

Este requisito puede ser una fuente de vulnerabilidad. En este caso, la entidad malintencionada transmite durante el período de detección y provoca que los usuarios secundarios detecten la actividad del usuario primario. Esto da lugar a un manejo ineficiente de los recursos del espectro. A veces se proporciona una solución que consiste en una firma digital, que ayuda a las estaciones base para identificar las señales primarias originales y de este modo evitar las que sean enviadas por entidades malintencionadas.

4.8.4. Arquitectura de Radio Cognitiva OCRA basada en OFDM

La red OCRA se basa en la tecnología OFDM. Se consideran las arquitecturas de red cognitivas centralizadas y distribuidas. Para tomar decisiones sobre la detección del espectro, OCRA emplea una técnica de OFDM, basada en la gestión del espectro, esta se basa en la capa física que permite el reparto del espectro de modo dual. Este tipo de reparto del espectro permite el acceso a las redes existentes, así como la coordinación entre los usuarios cognitivos. OCRA propone utilizar una nueva técnica de rutas entre capas. Para aumentar la confiabilidad y QoS, las conexiones múltiples de la capa de transporte se establecen sobre las bandas no contiguas del espectro.

4.9. *Direcciones futuras*

Algunas de las direcciones futuras que deben adoptarse para hacer que las redes de radio cognitiva sean seguras consiste en el desarrollo de protocolos de seguridad, ya que algunas veces estos requieren que se trabaje en la encriptación de la información.

4.9.1. Uso de protocolos de seguridad existentes

Los servicios de seguridad que se aplican en redes inalámbricas, telefonía celular, también pueden aplicarse en las redes cognitivas. En arquitecturas de redes inalámbricas centralizadas, la red troncal de cable normalmente es un medio. Por lo tanto, existen fuertes mecanismos de seguridad que protegen a esta red. Las redes inalámbricas deben estar protegidas por el aire. Como las redes celulares están centralizadas, las soluciones de seguridad existentes en las redes celulares (3G en particular) se podría utilizar como modelo para garantizar la seguridad en redes cognitivas.

En las redes celulares, la identidad del usuario es obtenida usando una entidad temporal llamada identidad móvil del usuario. La autenticación se realiza por medio de un mecanismo de respuesta que emplea llaves secretas. Este mecanismo se basa en integridad.

Para la telefonía celular una entidad E indica a otra que sabe algo sin revelar la información. Para esto se emplea un acuerdo de autenticación y de la llave UMTS. El secreto es proporcionado usando el algoritmo secreto f_8 y la llave de encriptación secreta, que se intercambia como parte del proceso.

La integridad es proporcionada usando el algoritmo de la integridad f_9 y la llave de integridad. Un bloque de cifrado conocido como Kasumi es la piedra angular de los algoritmos f_8 y f_9 . Kasumi opera en bloques de 64 bits y utiliza uno de 128 bits de clave

secreta. Una configuración similar podría ser utilizado en redes cognitivas centralizadas para establecer los requisitos básicos de seguridad entre los usuarios secundarios y la estación base secundaria.

En redes descentralizadas, los usuarios secundarios se comunican entre sí con más de uno o más saltos. Debido a la falta de infraestructura, estas redes también se denominan redes ad-hoc. Este tipo de redes suelen emplear un mecanismo de seguridad de dos niveles. Un nivel de seguridad se proporciona en la capa de enlace de cada salto para proteger de la comunicación y el otro nivel de seguridad se emplea en la red de transporte o de la capa de aplicación para proteger la comunicación de extremo a extremo. Dos operaciones más complicadas de las redes inalámbricas ad hoc son la gestión del espectro y la seguridad en la trayectoria. Las redes descentralizadas cognitivas podrían utilizar los mecanismos de seguridad empleados en las redes inalámbricas ad-hoc. Algunas de las cuestiones, tales como la falta de un canal de control y el uso de diversas bandas de frecuencias por los diferentes usuarios secundarios pueden imponer restricciones adicionales sobre los actuales protocolos de seguridad.

4.9.2. Uso de cifrados

La mayor parte de los ataques realizados en la capa de enlace implican una entidad enmascarada malintencionada como un usuario principal. Por lo tanto la identificación del usuario primario es primordial para las redes centralizadas y descentralizadas. Recientemente se ha propuesto una firma digital que se puede ser utilizada, por los usuarios secundarios para distinguir transmisiones primarias malintencionadas. La mayor parte de la investigación se basa en el uso de cifrados criptográficos para resolver los problemas de seguridad de las redes cognitivas.

4.9.3. Mecanismos de seguridad reactivos

Los mecanismos de seguridad que detectan actividad malintencionada de las redes cognitivas, necesitan ser desarrolladas. Por ejemplo, los mecanismos que pueden detectar inusualmente las bandas del espectro son útiles para evitar la interferencia del espectro y los ataques. Los mecanismos de detección combinados con los mecanismos de la no repudiación permiten a los usuarios secundarios identificar y bloquear a usuarios malintencionados.

4.9.4. Enfoque del espectro

Hay dos maneras para manejar la movilidad del espectro y los retardos asociados. Una de ellas es hacer que el espectro que detecta, sea rápido de analizar y transparente para los protocolos de la capa superior. Sin embargo, el espectro de detección y los procesos handoff en sus etapas de inicio, llevarán un largo tiempo en lograr avances.

Otra manera es la metodología entre capas para incorporar la movilidad del espectro como información de estado en los protocolos que funcionan en las capas superiores. Aunque este enfoque aumente las dependencias entre las capas, hará consciente al protocolo para que disponga de una mejor defensa contra los ataques a los protocolos de la capa superior de las redes cognitivas. Por ejemplo, la ruta debe considerar la banda operacional del espectro, sus características de frecuencia. En la capa de transporte debe

considerar el efecto handoff del espectro en el tiempo de viaje de ida y vuelta, y ajustar la ventana de retransmisión correspondiente.

4.9.5. Desarrollo analógico de protocolos primitivos

Uno de los retos es la incorporación de mecanismos de seguridad en redes cognitivas es que en algunas bandas de frecuencias como la televisión, las estaciones base primarias transmiten señales analógicas (con la excepción de HDTV). Puesto que la mayor parte de los protocolos primitivos criptográficos funcionan en el dominio digital, puede incluso no ser posible incorporarlos en señales análogas de la TV. Por lo tanto, los protocolos primitivos criptográficos que trabajan en dominios análogos necesitan ser desarrollados.

4.9.6. Uso de protocolos de seguridad primitivos y ligeros

Si los usuarios secundarios en redes cognitivas móviles tienen equipos con potencia de procesamiento limitada, al igual que los recursos, sería un desafío proporcionar la capacidad de radio cognitiva y de seguridad en tiempo real. Los protocolos de seguridad ligeros necesitan ser desarrollados para la energía y los entornos de recursos limitados.

Conclusiones

Los Organismos encargados de la gestión del espectro Radioeléctrico de diferentes países encuentran que una gran parte del espectro de radio frecuencia está siendo utilizado ineficientemente. Por ejemplo las bandas de las redes celulares están sobrecargadas en la mayor parte del mundo, pero las bandas de los radioaficionados no confirman tal observación, esto ha sido determinado por estudios independientes realizados en diversos lugares del mundo, y concluyen que la utilización del espectro depende fuertemente del tiempo y del lugar.

Cuando se atribuye espectro de manera fija a los servicios de radiocomunicaciones, muchas veces el espectro no se utiliza de manera continua, pero las atribuciones impiden que usuarios de otros servicios y sistemas empleen dicho espacio cuando no está en uso. Por esta razón se propone que mientras parte de una banda de frecuencias atribuida a un servicio no esté siendo utilizada, esta la puedan utilizar usuarios sin licencia de otros servicios, siempre y cuando estos no causen interferencia alguna al servicio que tiene atribuida la banda.

Dada la creciente demanda de espectro y el uso ineficiente de este recurso por algunos servicios que lo tienen atribuido, se espera que las nuevas tecnologías y emergentes en sistemas de radiocomunicaciones ofrezcan más flexibilidad y mejoren la eficacia de su utilización. Dos tecnologías que podrían ayudar grandemente a lograr este objetivo son los sistemas radioeléctricos definidos por software y los cognitivos.

En un sistema de radio definida por software (SDR), los parámetros de operación, que comprenden, entre otras cosas, la gama de frecuencias de trabajo, el tipo de modulación, procesos de filtrado, los esquemas de codificación, la potencia de salida, etc., pueden determinarse o modificarse software. Los sistemas de radiocomunicaciones cognitivos (CRS) tienen la capacidad de detectar y ser conscientes de su entorno operacional, pueden ajustar de manera dinámica y autónoma, consiguientemente, sus parámetros de funcionamiento, y son capaces de aprender de los resultados de sus acciones y de los modelos de utilización. De este modo se utiliza más eficazmente el espectro de frecuencias radioeléctricas y también se evitan las interferencias con otros usuarios.

En un inicio la radio cognitiva fue concebida como un punto de llegada hacia el cual debería evolucionar una plataforma de radio definida por software, sin embargo, la Radio Cognitiva es una tecnología que puede hacer uso o no del Radio Definido en Software y, consiste en diseñar equipos transmisores y receptores que contengan elementos que les permitan conocer el entorno operacional en el cual se encuentran y que inteligentemente adapten sus características de operación de acuerdo a las necesidades de los usuarios.

La Radio Cognitiva no se limita únicamente a la utilización del espectro no empleado, también es capaz de mejorar toda comunicación total o parcialmente ya que cuenta con conciencia, percepción, aprendizaje y adaptación, los cuales pone en práctica durante la implementación de esta.

La radio cognitiva ofrece diversas aplicaciones las cuales están clasificadas en 4 grupos para que haya una mejor comprensión y organización del concepto cognitivo.

- 1) El primer grupo está compuesto por las aplicaciones de la Radio Cognitiva que contribuyan a la optimización de los diversos recursos inalámbricos.
- 2) El segundo grupo de radio cognitiva representa las aplicaciones que contribuyan a la mejora de la calidad de las comunicaciones.
- 3) El tercero y cuarto grupo de radio cognitiva reflejan las solicitudes relativas a la interoperabilidad, servicios y productos de consumo final, respectivamente.
- 4) La radio cognitiva puede aplicarse en diversos lugares; como son: la telefonía celular, hogar, entorno familiar, entorno oficina, hospitales, milicia e incluso con elementos no cognitivos, por mencionar algunos.

Las principales funciones de la radio cognitiva son la detección del espectro, gestión del espectro, movilidad del espectro y compartición del espectro.

Para que se pueda llevar a cabo la radio cognitiva es necesario respetar los lineamientos de cada país, así como el factor de calidad. Un factor importante que no puede pasar desapercibido para poner en práctica la radio cognitiva, es la seguridad, aunque este es una de las debilidades de la radio cognitiva, ya que existen una gran diversidad de ataques que pueden presentarse en una red cognitiva. Sin duda alguna la radio cognitiva es una muy buena propuesta para el mundo de las telecomunicaciones ya que ofrece varias alternativas para darle un mejor uso al espectro de radiofrecuencias.

Bibliografía

Ekram Hossain and Vijay Bhargava, “Cognitive Wireless Communication Networks”, Springer. Canada, 465 pp.

Nobuo Ohta, Colin M. MacLeod, Bob Uttl (Eds.), “Dynamic Cognitive Processes”, Springer; 1 edition (April 7, 2005), 397 pages.

S. Haykin, “Cognitive radio: Brain-empowered wireless communication,” IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 23, no. 2, pp. 201–220, Feb. 2005.

J. Mitola III and G. Maguire Jr, “Cognitive radio: making software radios more personal,” in Proc. IEEE Personal Commun. [see also IEEE Wireless Commun.], vol. 6, no. 4, Aug. 1999, pp. 13–18.

T. Rondeau, C. Rieser, T. Gallagher, and C. Bostian, “Online modeling of wireless channels with hidden Markov models and channel impulse responses for cognitive radios,” in Proc. IEEE Int. Microwave Symp. Digest (MTT-S), vol. 2, Fort worth, TX, USA, Jun. 2004, pp. 739–742.

V. Chakravarthy, A. Shaw, M. Temple, and J. Stephens, “Cognitive radio-an adaptive waveform with spectral sharing capability,” in Proc. IEEE Wireless Commun. and Networking Conf. (WCNC), vol. 2, New Orleans, LA, USA, Mar. 2005, pp. 724–729.

N. Hoven and A. Sahai, “Power Scaling for Cognitive Radio,” in Proc. IEEE Int. Conf. Wireless Networks, Commun. and Mob. Computing (WIRELESSCOM), vol. 1, Maui, Hawaii, USA, Jun. 2005, pp. 250–255.

M. Marcus, “Unlicensed cognitive sharing of TV spectrum: the controversy at the Federal Commun. Commission,” IEEE Communications Magazine, vol. 43, no. 5, pp. 24–25, May 2005.

S. Ellingson, “Spectral occupancy at VHF: implications for frequency-agile cognitive radios,” in Proc. IEEE Vehicular Technol. Conf. (VTC), vol. 2, Dallas, TX, USA, Sep. 2005, pp. 1379–1382.

L. Berlemann and B. Walke, “Spectrum load smoothing for optimized spectrum utilization-rationale and algorithm,” in Proc. IEEE Wireless Commun. and Networking Conf. (WCNC), vol. 2, New Orleans, LA, USA, Mar. 2005, pp. 735–740.

D. Cabric, S. Mishra, and R. Brodersen, “Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios,” in Proc. IEEE Asilomar Con. on Signals, Syst. and Computers, Pacific Grove, CA, USA, Oct. 2004, pp. 772–776.

I. Akyildiz, W. Lee, M. Vuran, and S. Mohanty, “Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey,” Computer Networks, vol. 50, no. 13, pp. 2127–2159, Sep. 2006.

D. Cabric, I. O'Donnell, M. Chen, and R. Brodersen, "Spectrum sharing radios," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 30–45, 2006.

Bibliografía

G. Ganesan and Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," Baltimore, MD, USA, pp. 137–143, Nov. 2005.

L. DaSilva, S. Midkiff, J. Park, G. Hadjichristofi, N. Davis, and K. Phanse, "Network mobility and protocol interoperability in ad hoc networks," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 42, no. 11, pp. 88–96, Nov. 2004.

R. Molva, D. Samfat, and G. Tsudik, "Authentication of mobile users," *IEEE Network*, vol. 8, no. 2, pp. 26–34, Mar./Apr. 1994.

M. Borsc and H. Shinde, "Wireless security & privacy," in *Proc. IEEE Int. Conf. Personal Wireless Commun. (ICPWC)*, New Delhi, India, Jan. 2005, pp. 424–428.

S. Russell, "Wireless network security for users," in *Proc. IEEE Int. Conf. Information Technology: Coding and Computing*, Las Vegas, NV, USA, Apr. 2001, pp. 172–177.

J. Mitola III and G.Q. Maguire Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal", *IEEE Personal Communications*, Volume 6, Issue 4, Aug. 1999, pp. 13–18.

I.F. Akyildiz, W.Y. Lee, M.C. Vuran, and S. Mohanty, "NeXt generation / dynamic spectrum access / cognitive radio wireless networks: A survey," *Computer Networks Journal*, Vol. 50, No. 13, September 2006, pp. 2127-2159.

A. Jamalipour, T. Wada, and T. Yamazato, "A tutorial on multiple access technologies for beyond 3G mobile networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 43, Issue 2, Feb. 2005, pp.110–117.

Z. Tian and G.B. Giannakis, "A wavelet approach to wideband spectrum sensing for cognitive radios", *1st International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications*, June 2006, pp.1–5.

B. Cetiner, H. Jafarkhani, J. Qian, H. Yoo, A. Grau, and F. De Flaviis, "Multifunctional reconfigurable mems integrated antennas for adaptive mimo systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 12, pp. 62–70, Dec. 2004.

S.-H. Oh, J. T. Aberle, S. Anantharaman, K. Arai, H. L. Chong, and S. C. Koay, "Electronically tunable antenna pair and novel rf front-end architecture for software-defined radios," *EURASIP J. Appl. Signal Process.*, no. 16, pp. 2701–2707, 2005.

F.E. Retnasothie, M. K. Ozdemir, T. Yucek, J. Zhang, H. Celebi, R. Muththaiyah, "Wireless IPTV over WiMAX: Challenges and Applications," in *Proc. IEEE Wireless and Microwave Technology Conference*, Clearwater Beach, FL, USA, Dec. 2006, to appear.

W. Tuttlebee, *Software Defined Radio: Enabling Technologies*. Wiley, 2000.

Referencias

<http://www.ghs.com/products/SDR.html>

<http://www.wirelessinnovation.org/mc/page.do;jsessionid=A37153AC3137737C6333F3971B50CB4A.mc0?sitePageId=98428>

<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/guesthome.jsp>

http://www.engineeringvillage2.org/controller/servlet/Controller?EISESSION=1_caf6c1126aa468771M3002ses4&CID=invalidCID

http://66.196.80.202/babelfish/translate_url_content?.intl=mx&lp=en_es&trurl=http%3A%2F%2Fwww.sdrforum.org%2Fsd08%2Findex.html

http://mx.babelfish.yahoo.com/translate_url?trurl=http%3A%2F%2Fwww.ghs.com%2Fproducts%2FSDR.html&lp=en_es&.intl=mx&fr=yfp