

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R SM.2039-0
(08/2013)

**Evolución de la comprobación
técnica del espectro**

Serie SM
Gestión del espectro



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2015

© UIT 2015

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R SM.2039-0*

Evolución de la comprobación técnica del espectro

(Cuestión UIT-R 235/1)

(2013)

Cometido

Esta Recomendación presenta una breve introducción a la evolución de la comprobación técnica del espectro y recomienda los requisitos y tecnologías que han de considerarse para apoyar la evolución de la comprobación técnica del espectro.

Palabras clave

Evolución de la comprobación técnica del espectro, requisitos de sistema

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la comprobación técnica del espectro es un elemento fundamental de la gestión del espectro;
- b) que las tecnologías y sistemas de radiocomunicaciones se encuentran en constante y rápida evolución;
- c) que, entre otras tecnologías, debe estudiarse la repercusión de las radiocomunicaciones especificadas por software y los sistemas de radiocomunicaciones inteligentes;
- d) que continúa aumentando la utilización del espectro en las bandas de frecuencias más elevadas;
- e) que los Informes y Recomendaciones UIT-R de la serie SM, así como el Manual de la UIT sobre Comprobación técnica del espectro (edición 2011), proporcionan amplia información sobre la comprobación técnica del espectro de los actuales sistemas y tecnologías de las comunicaciones radioeléctricas;
- f) que puede ser necesario evaluar los actuales sistemas y/o métodos de comprobación técnica del espectro (incluidas las estaciones fijas, portátiles y transportables) con respecto a su capacidad de comprobación técnica de los nuevos sistemas y tecnologías de radiocomunicaciones;
- g) que la mejora en los equipos de comprobación técnica del espectro incrementa la eficacia y la eficiencia del proceso de gestión del espectro;
- h) que el volumen cada vez mayor de datos recopilados sobre mediciones del espectro puede exigir una adaptación de la organización y tratamiento de los datos y de las técnicas de comprobación técnica del espectro,

reconociendo

- a) que el uso de la multiplexión cofrecuencia, técnicas avanzadas de compartición de espectro y otros métodos podrían mejorar la eficiencia en la ocupación de frecuencias y la utilización del espectro;

* La Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones introdujo algunas modificaciones redaccionales en esta Recomendación en 2019, de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

b) que los sistemas de radiocomunicaciones de banda amplia podrían permitir comunicaciones más rápidas y que la tecnología se está desarrollando muy rápidamente en especial la relativa a las futuras redes de datos;

c) que algunos sistemas de comprobación técnica del espectro tienen dificultades para detectar y localizar dispositivos radioeléctricos de baja potencia que utilizan técnicas de modulación modernas,

recomienda

1 que la evolución de la comprobación técnica del espectro haga uso de sistemas que puedan ampliar la cobertura de dicha comprobación técnica, realizar varias funciones e incluir un funcionamiento sencillo, como se describe en el Anexo 1;

2 que en la evolución de la comprobación técnica del espectro se utilicen algunas de las tecnologías descritas en el Anexo 2 tales como la de detección de señales débiles, separación de señales cofrecuencia y localización multimodo basada en una combinación de técnicas.

Anexo 1

Requisitos de los sistemas que soportan la evolución de la comprobación técnica del espectro

1 Ampliación de la cobertura de la comprobación técnica

Dado el continuo y rápido desarrollo de las tecnologías radioeléctricas, cuanto más elevadas son las frecuencias y mayores las anchuras de banda, más disminuyen las distancias de propagación de las ondas radioeléctricas, lo que supone un nuevo reto para la gestión y la comprobación técnica del espectro. A fin de mejorar esta gestión y comprobación técnica del espectro radioeléctrico es necesario ampliar la cobertura de dicha comprobación técnica o mejorar la sensibilidad del sistema de comprobación técnica para detectar señales débiles en condiciones de relación señal/ruido baja. Para detectar señales débiles pueden utilizarse las siguientes tecnologías:

- Incrementar la ganancia de antena (por ejemplo, empleando antenas directivas o antenas reconfigurables).
- Disminuir las pérdidas de transmisión (por ejemplo, instalación en interiores de los equipos para minimizar las pérdidas del cable de RF).
- Reducir el factor de ruido del receptor.
- Reducir el ruido mediante el procesamiento de la señal (por ejemplo, sustracción del ruido, correlación).

Sin embargo, no es suficiente abordar el problema de la reducción de la distancia de propagación. Debe considerarse el aumento del número de estaciones de comprobación técnica pero no siempre es práctico instalar grandes redes con estaciones fijas de comprobación técnica. Al considerar situaciones reales es necesario lograr un funcionamiento flexible e instalar diversos tipos de sistemas de comprobación técnica:

- Sistemas de comprobación técnica de alto rendimiento (por ejemplo, sistemas fijos de comprobación técnica).

- Sistemas de comprobación técnica económicos para bandas/señales especiales (por ejemplo, sistemas de comprobación técnica para la banda 2,4 GHz de aplicaciones ICM).
- Sistemas de comprobación técnica para objetivos/regiones específicos (por ejemplo, sistema de comprobación técnica en aeropuerto, sistema de comprobación técnica transportable para acontecimientos importantes).
- Sistemas de comprobación técnica móviles y portátiles.

2 Realización de varias funciones

2.1 Multidominios

El sistema de comprobación técnica debe llevar a cabo varios análisis multidominio, como muestra el Cuadro 1. El análisis multidominio ayuda a los operadores a identificar señales y extraer parámetros de las mismas. Concretamente, el análisis del protocolo conocido de comunicaciones de datos normalizado puede proporcionar más información, incluida la identificación del transmisor. Los análisis actuales tales como los del dominio de tiempo/espectro y los del dominio de amplitud/fase son básicos y necesarios. A medida que van siendo más habituales unas anchuras de banda de la señal más amplias y unas duraciones de la señal más breves, este análisis puede ser necesario para llevar a cabo radiogoniometría multicanal además de una radiogoniometría general de un solo canal. El desarrollo de la tecnología de procesamiento de la señal hace posible realizar una radiogoniometría multicanal simultánea y que puede obtener información espacial de cada canal. Además, es posible una radiogoniometría de señales de corta duración como señales de salto de frecuencia cuyos resultados de sistemas multicanal pueden informar de si una señal de banda ancha desconocida se encuentra o no en el mismo canal. Además, si se lleva a cabo al mismo tiempo una radiogoniometría de un solo canal y multicanal, pueden esperarse resultados radiogoniométricos más fiables.

CUADRO 1

Ejemplo de varios análisis en múltiples dominios

Nivel y tiempo	Nivel y frecuencia	Frecuencia y tiempo	En fase y cuadratura de fase	Espacio y frecuencia
<ul style="list-style-type: none"> – Amplitud – Impulso – Diagrama de ojos 	<ul style="list-style-type: none"> – Espectro – Ocupación – No esencial – Máscara del espectro – Ruido 	<ul style="list-style-type: none"> – Desviación de frecuencia – Desplazamiento de frecuencia – Salto de frecuencia 	<ul style="list-style-type: none"> – Diagrama de constelación – EVM (magnitud del vector error) – Desplazamiento de fase 	<ul style="list-style-type: none"> – Radiogoniometría multicanal

2.2 Multimediciones

Con los sistemas de medición de alto rendimiento, llevan menos tiempo las medidas reduciendo la tara de procesamiento tal como el tiempo de ajuste del receptor y el tiempo de procesamiento de la señal. Como resultado, las multimediciones pueden realizarse mediante compartición de tiempo, como se indica en los siguientes ejemplos:

- Medición de la ocupación de canal y análisis de distintas bandas de frecuencia mediante compartición en el tiempo simultánea.

- Cuando dos usuarios solicitan la medición y análisis de distintas bandas de frecuencia al mismo tiempo, gracias a la compartición en el tiempo es posible realizar el cálculo y la transmisión de los resultados.

2.3 Multireceptores

Si se utilizan multireceptores, cabe esperar una mejora de la velocidad y el rendimiento de mediciones coincidentes y pueden llevarse a cabo las siguientes funciones:

- **Búsqueda y escucha por traspaso**
Los operadores pueden buscar y escuchar las señales detectadas por traspaso.
- **Radiogoniometría y localización**
Los detalles sobre la radiogoniometría y la localización de transmisores figuran en el Capítulo 4.7 del Manual de la UIT sobre Comprobación técnica del espectro (edición 2011). En el caso de utilizar múltiples estaciones para la localización, hay dos métodos que son el de triangulación, que hace uso del ángulo de llegada (AOA) de los sistemas con multireceptores, y el de diferencia de tiempo de llegada (TDOA), que utiliza la diferencia de tiempo de cada sistema distribuido. Puede lograrse una localización más precisa combinando ambos métodos debido a que se complementan las ventajas y las limitaciones de cada uno de ellos.
- **Diversidad espacial**
La señal se transmite a través de varios trayectos de propagación que pueden causar derivas de fase, retardos de tiempo, atenuaciones y distorsiones capaces de interferirse de forma destructivas entre sí en la apertura de la antena de recepción. La diversidad espacial normalmente se lleva a cabo seleccionando la mejor relación señal/ruido (SNR) entre las señales recibidas y/o combinando las señales mediante adición directa o coherente y puede mejorar la calidad y la fiabilidad de la señal de un enlace inalámbrico.
- **Detección por correlación**
El sistema con múltiples receptores puede utilizar métodos de correlación. Puede ser posible la detección de señales débiles reduciendo las fuentes de ruido aleatorio tales como el ruido blanco de los receptores.

2.4 Multiusuario

Los métodos de conexión utilizados entre estaciones y operadores deben cambiar. Cuando se controlan las estaciones de comprobación técnica en cualquier terminal, el tipo de conexión cambiará de uno a uno (1:1) a uno a muchos (1:N) o muchos a muchos (N:N) de la misma forma que la transformación de las redes de telecomunicaciones de conmutación de circuitos a conmutación de paquetes. Cuando múltiples usuarios solicitan mediciones desde estaciones arbitrarias de manera simultánea, la estación analiza y programa sus propios recursos. A continuación, realiza la medición y transmite los resultados a tiempo. En el caso de hacer uso de varias estaciones (por ejemplo, detección por diferencia de tiempo de llegada y detección por correlación cruzada), la estación principal (o controlador central) puede programar y controlar las mediciones.

3 Funcionamiento sencillo

A medida que avanza la tecnología y aparecen varios tipos de nuevas señales, la anchura de banda de la señal aumenta y la fijación de los parámetros es cada vez más compleja a efectos de análisis de la señal. De sonidos e imágenes moduladas analógicas se ha pasado a comunicaciones de datos digitales que normalmente utilizan métodos de modulación más complicados y varias técnicas de codificación. Por ejemplo, en el caso de la modulación analógica, es posible analizar la señal fijando la frecuencia,

la anchura de banda y el tipo de modulación. Sin embargo, cuando se analizan los métodos de modulación digital, el análisis debe incluir no sólo la frecuencia, la anchura de banda y los métodos de modulación sino también parámetros normalizados tales como el tipo de filtro adaptado, la velocidad de símbolos, la estructura de trama y varios códigos.

Cuando un dominio sencillo tal como el espectro y los niveles de señal cambia a multidominios como muestra el Cuadro 1, los operadores pueden necesitar una pantalla de control de fácil interpretación (denominada a menudo Interfaz de Usuario Gráfica) que permite ajustes automáticos de parámetros y gráficos para realizar un análisis efectivo adecuado. La pantalla útil y de fácil utilización para la comprobación técnica puede ir equipada con funciones tales como un ajuste automático de parámetros de acuerdo con los tipos de señal y las diversas normas de comunicaciones digitales. Además, debe contener un control de ganancia dependiendo del nivel de señal recibido y un diagnóstico conveniente de la red y el soporte físico. Cuando se llevan a cabo las tareas de comprobación técnica y de medición durante mucho tiempo, se acumulan grandes cantidades de datos en la base de datos. Por tanto, los cambios temporal y espacial de las señales pueden estimarse de manera efectiva mediante comparación con los datos existentes a través de un fácil acceso a la base de datos.

Anexo 2

Tecnologías que soportan la evolución de la comprobación técnica del espectro

1 Detección de señales débiles

El uso de dispositivos de banda ancha y dispositivos de corto alcance ha aumentado rápidamente en los últimos años, lo que causa dificultades a algunos sistemas de comprobación técnica sin procesamiento avanzado que deben tratar señales de baja densidad de potencia, especialmente para localizar transmisores ilegales o emisiones no esenciales. La instalación de más sistemas de comprobación técnica ayudará a resolver este problema, pero se trata de una solución muy costosa económicamente.

En muchos casos, la detección de señales débiles puede mejorarse utilizando una red de comprobación técnica dinámica, que puede consistir en sistemas móviles funcionando para complementar las estaciones fijas.

Los futuros sistemas de comprobación técnica del espectro que hagan uso de tecnología para la detección de señales débiles detectarán señales de baja densidad de potencia sin un alto coste. Normalmente, la correlación cruzada puede mejorar de 20 a 30 dB la sensibilidad de los sistemas de comprobación técnica del espectro. Para detectar señales débiles con baja densidad de potencia pueden utilizarse tecnologías avanzadas tales como amplificador enganchado, integración muestreada, autocorrelación, correlación cruzada y supresión de ruido adaptativa.

2 Separación de señales cofrecuencia

Para mejorar la eficiencia en la ocupación de frecuencias y en el uso del espectro, se utilizan radiofrecuencias en diferentes dominios, incluido el dominio de la frecuencia, el dominio del tiempo, el dominio de la amplitud, el dominio de la modulación, el dominio del espacio, etc. Los dispositivos tradicionales de comprobación técnica pueden separar fácilmente distintas señales con AMDF, pero

podría ser difícil realizar una comprobación técnica de las señales cofrecuencia, por ejemplo, interferencia cofrecuencia y señales con AMDT, AMDC y AMDE.

El futuro sistema de comprobación técnica del espectro que utilice la tecnología de separación de señales cofrecuencia puede supervisar fácilmente señales que funcionen en diferentes dominios. Al igual que un filtro puede separar señales que funcionen con frecuencias no solapadas, las antenas con conformación de haz pueden separar señales procedentes de diversas direcciones. Para separar señales que funcionan en diferentes dominios de acuerdo a sus diversas características pueden utilizarse tecnologías avanzadas tales como recuperación de señales intensas, análisis de componente independiente, conformación de haz basado en espectro espacial y filtrado adaptado al espacio.

3 Localización multimodo (basada en una combinación de tecnologías de localización)

Las señales de diferentes dominios cursan información sobre localización relacionada. De la forma correspondiente, esa información sobre localización puede extraerse mediante tecnología conexas o algoritmos de procesamiento informático utilizados en la localización de las señales. El procesamiento de la señal digital (DSP) y la capacidad de interfuncionamiento de redes son herramientas cada vez más poderosas. Los dispositivos basados en DSP e interfuncionamiento de redes son cada vez más asequibles. Los sistemas de comprobación técnica del espectro basados en algoritmos DSP y tecnología de redes pueden identificar más fácilmente transmisores con diversas características funcionando en diferentes dominios.

Los futuros sistemas de comprobación técnica del espectro que utilicen la tecnología de localización multimodo basada en DSP e interfuncionamiento de redes mejorarán la eficiencia y la precisión cuando se realice la comprobación técnica de señales con distintas características. El método TDOA es un buen ejemplo de un sistema basado en el procesamiento DSP y en el interfuncionamiento de redes para localizar emisores utilizando los tiempos de llegada relativos de una señal en múltiples receptores. Los sistemas TDOA ofrecen flexibilidad en la selección y emplazamiento de la antena puesto que la precisión del TDOA resulta mínimamente afectada por reflectores cercanos, y las antenas y los cables generalmente no forman parte integrante de los receptores TDOA. Para localizar emisores bajo diversas circunstancias pueden utilizarse tecnologías avanzadas disponibles tales como AOA (ángulo de llegada), TDOA, FDOA (diferencia de frecuencia de llegada), POA (potencia de llegada) y técnicas de identificación por datos.
