

RECOMENDACIÓN UIT-R SM.1132-1*

**PRINCIPIOS Y MÉTODOS GENERALES DE COMPARTICIÓN
ENTRE SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN O
ENTRE ESTACIONES RADIOELÉCTRICAS**

(Cuestiones UIT-R 45/1 y UIT-R 203/1)

(1995-2000)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la utilización eficaz del espectro de frecuencias radioeléctricas a menudo exige la compartición de frecuencias o de bandas de frecuencias entre diferentes servicios de radiocomunicación o entre estaciones radioeléctricas;
- b) que es preciso establecer directrices para considerar la compartición del espectro;
- c) que se precisan métodos para facilitar la compartición;
- d) que en varias Recomendaciones UIT-R relativas a situaciones de compartición específicas se indican los métodos que deben aplicarse en casos de compartición concretos,

recomienda

1 que las administraciones consideren los principios y métodos generales expuestos en el Anexo 1 para facilitar la compartición eficiente y eficaz del espectro por múltiples servicios de radiocomunicaciones o estaciones radioeléctricas.

ANEXO 1

**Principios y métodos generales relacionados
con la compartición del espectro****1 Dimensiones de la compartición de atribuciones**

Con la compartición del espectro es posible aumentar la eficacia y la eficiencia en la utilización del espectro. La compartición entre servicios tiene lugar cuando dos o más servicios de radiocomunicación utilizan realmente la misma banda de frecuencias. En los números S1.166 a S1.176 del RR se estipulan los parámetros que se han de tener en cuenta en la compartición de frecuencias. La compartición del espectro entre servicios y dentro del servicio viene facilitada por la aplicación de los principios y métodos de compartición considerados de forma general, pero que también se utilizan en la asignación de frecuencias estación por estación. La utilización del espectro radioeléctrico depende de la separación en frecuencia, en el tiempo, en la ubicación espacial y entre las señales. En todo tipo de compartición del espectro se deben tener en cuenta una o más de esas cuatro dimensiones. La compartición se puede efectuar de manera directa si dos de esas dimensiones son comunes y la tercera y/o cuarta dimensiones difieren en un grado suficiente como para que todos los servicios o estaciones de que se trata (dos o más) puedan funcionar satisfactoriamente. La compartición también es posible cuando los servicios o estaciones tienen las cuatro dimensiones en común. En tales casos, las reglas de compartición del servicio no pueden asegurar asignaciones sin interferencia e individuales realizadas basándose en la totalidad de las asignaciones ya efectuadas en todos los servicios con superposición, de manera que puedan encontrarse combinaciones de factores para asignaciones individuales que no interfieran entre sí.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 1 y 2 del Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones.

2 Métodos de compartición

En el Cuadro 1 se indican algunos de los métodos que se puede utilizar para facilitar la compartición, agrupados en columnas sobre la base de las cuatro dimensiones: frecuencia, tiempo, ubicación espacial y entre señales.

CUADRO 1

Métodos para facilitar la compartición

Separación en frecuencia	Separación espacial	Separación en el tiempo	Separación entre señales
Planes de canalización Segmentación de la banda Sistemas versátiles en frecuencia Compartición dinámica – Asignación dinámica de frecuencias en tiempo real ⁽¹⁾ AMDF Control de las características de emisión del espectro Partición variable dinámica Limitación de la tolerancia de frecuencia	Atribuciones compartidas geográficamente Separación de los emplazamientos Características del sistema de antena: – Antena adaptativa y discriminación por polarización – Discriminación del diagrama de radiación de antena Acceso múltiple por división espacial (AMDE) Barreras físicas y apantallamiento por el terreno	Control del ciclo de trabajo Asignación dinámica de frecuencias en tiempo real ⁽¹⁾ AMDT	Codificación ⁽²⁾ y procesamiento de la señal FEC Rechazo de la interferencia AMDC Espectro ensanchado – Secuencia directa – Salto de frecuencias – MF impulsiva Ajustes de potencia de interferencia/anchura de banda: – cocanal – control dinámico del nivel del transmisor – limitación de la dfp y limitación de la densidad espectral de potencia (dep) (dispersión de energía) Complejidad de la modulación Polarización de la antena

⁽¹⁾ La asignación dinámica de frecuencias en tiempo real facilita la compartición al utilizar simultáneamente los dominios de frecuencia y tiempo. Por consiguiente, este método aparece en sendas columnas.

⁽²⁾ Las técnicas de codificación pueden aplicarse también a las tecnologías de separación de frecuencias, espacial y en el tiempo.

Algunos de los métodos indicados en el Cuadro 1 son nuevos o innovadores y permitirían una utilización más eficaz del espectro u ofrecerían más flexibilidad. Muchos de esos métodos son el resultado de la introducción de nuevas tecnologías y equipos, de la informatización del análisis y de nuevas ideas. Algunos son complejos y entrañan una gestión de frecuencias controlada por ordenador en tiempo real.

A menudo es necesario especificar los parámetros técnicos concretos de los equipos para llevar a la práctica algunos métodos de compartición indicados en el Cuadro 1.

2.1 Separación en frecuencia

2.1.1 Planes de canalización

Es posible disponer los canales para su funcionamiento de manera homogénea o no homogénea a fin de configurar de forma intersticial uno o más sistemas de comunicaciones. Ello significa que debe coordinarse con antelación el tema de la supresión de la interferencia de forma que los canales se encuentren adecuadamente separados para aprovechar el tipo de modulación utilizada, las formas de la envolvente en el dominio de la frecuencia, la anchura de banda necesaria transmitida y las características de la banda de paso del receptor. Esta técnica es adecuada para los satélites adyacentes que no utilicen transpondedores homogéneos en la OSG.

Los costes económicos que supone la coordinación de un plan de canalización son a menudo el gasto necesario que exige la coordinación entre usuarios del mismo espectro a título igualmente primario. Esta carga es compartida entre los operadores del sistema y casi siempre desemboca en un resultado satisfactorio.

2.1.2 Segmentación de la banda (véase la Nota 1)

La agrupación de un cierto número de canales o la creación de una subbanda para sistemas sin canalización, para distintos usuarios o diferentes usos de espectro es similar al empleo de los planes de canalización. En algunas situaciones es conveniente la segmentación puesto que presenta la ventaja de minimizar o evitar la necesidad de coordinación permitiendo a la vez una utilización múltiple de la banda. Alienta la utilización eficaz del espectro si no se dispone de espectro adicional y permite el pleno desarrollo de los servicios respectivos, evitando que un crecimiento prematuro o inesperado de un servicio o tipo de sistema obstaculice el desarrollo de otro servicio o sistema deseado.

NOTA 1 – La segmentación de la banda entre servicios de radiocomunicaciones puede considerarse como la eliminación virtual de la compartición creando subatribuciones. Teniendo en cuenta el hecho de que las administraciones hacen uso de atribuciones compartidas internacionalmente y segmentan las bandas para utilización nacional, el material es adecuado para su discusión como método de compartición.

2.1.3 Sistemas versátiles en frecuencia

Los sistemas versátiles en frecuencia seleccionan en tiempo real las frecuencias en funcionamiento en cualquier parte dentro de una banda especificada, utilizando las técnicas de escuchar antes de transmitir. Se trata de sistemas que no se basan en un proceso de coordinación mutua o en la decisión del operador de otro sistema. Los sistemas versátiles en frecuencia buscan espectro sin utilizar para establecer la comunicación. Estos tipos de sistemas pueden no ser adecuados para las telecomunicaciones públicas o para la transferencia de datos críticos debido a la mayor posibilidad de que se produzca interferencia.

La tecnología ha hecho que algunos tipos de sistemas radioeléctricos versátiles en frecuencias sean perfectamente realizables y relativamente económicos hoy en día. Si un sistema puede tolerar el tiempo necesario para cambiar de frecuencias y sincronizar los terminales a menudo, esta técnica puede ser muy interesante desde el punto de vista económico.

2.1.4 Compartición dinámica

Utilizando técnicas informáticas avanzadas, los gestores del espectro tienen mayores posibilidades de compartir las frecuencias y, por consiguiente, mayores oportunidades para disminuir la ineficacia impuesta por las limitaciones inherentes a un servicio rígido. La compartición dinámica de frecuencias entre distintos sistemas en servicios similares permite que más de un sistema utilice en la misma región geográfica las mismas frecuencias, pero en instantes diferentes. Normalmente, la compartición de las mismas frecuencias con potencias elevadas similares y en la misma zona geográfica exige el establecimiento de periodos de tiempo discretos para su utilización por cada servicio. Las técnicas de compartición dinámica permiten dicha compartición cuando ésta sea necesaria y se basan en el empleo de tecnologías y metodologías sofisticadas.

Las tecnologías de compartición de canales no preasignados es un ejemplo de compartición dinámica. En un sistema de comunicaciones de este tipo, los canales que, de otra manera, hubiesen sido asignados a usuarios individuales se agrupan en un solo sistema y las frecuencias se asignan automáticamente a los distintos usuarios según las necesidades. Estos sistemas permiten la compartición del espectro por distintos usuarios y normalmente proporcionan un aumento significativo de la eficacia con respecto a los métodos de asignación convencionales.

Otro tipo de compartición dinámica es la que se establece entre suministradores de servicios celulares y otros usuarios en la banda de 900 MHz. El acceso a estas frecuencias ha aumentado significativamente el conjunto de canales disponibles para su utilización en comunicaciones celulares. En esta disposición, los usuarios con prioridad tienen acceso preferente a estas frecuencias y a medida que las vayan necesitando los programas informáticos las reclaman automáticamente para uso prioritario, excluyéndolas del acceso por las comunicaciones celulares. En esos casos, los usuarios de esas comunicaciones experimentarían una degradación progresiva del servicio en vez de una pérdida completa del mismo.

La compartición dinámica es un posible método para mejorar la eficacia en la utilización del espectro radioeléctrico en los casos en que es viable la fusión de servicios y, por consiguiente, se amplían las definiciones de servicios de radiocomunicaciones. El efecto de tal compartición sería similar al de disminuir las distinciones entre las subclases de usuarios. Por ejemplo, en la banda de 2 GHz, los SMS de radiocomunicaciones se dividieron en tres servicios de radiocomunicaciones: aeronáutico, marítimo y móvil terrestre por satélite. En la CMR-97 se combinaron en un SMS genérico. Si bien los servicios son distintos, tienen aspectos comunes que permitirían una compartición de los servicios bajo una clasificación más amplia, la de SMS.

2.1.4.1 Asignación dinámica de frecuencias en tiempo real

El sistema actualmente propuesto para la compartición entre los SMS es bastante complejo. Supone un proceso de atribución dinámica, en el que a cada uno de los servicios móviles por satélite se le atribuye el espectro a medida que vaya necesítandole y ello exige el establecimiento de un mecanismo que regule el acceso prioritario y con precedencia cuando sea necesario. Tal sistema da servicio a una variedad de usuarios con diferentes necesidades, incluidos requisitos distintos y permanentemente variables en cuanto a anchura de banda de canal, potencia de señal, prioridades e interfaces de red. La sustitución de la tecnología de transmisión analógica por la de transmisión digital puede aumentar las posibilidades de la compartición dinámica.

2.1.5 AMDF

La técnica de AMDF consiste en asignar a cada usuario una fracción de la anchura de banda y limitar su acceso a la subbanda atribuida. La ortogonalidad se logra en el dominio de la frecuencia.

2.1.6 Control de las características de emisión del espectro

El control de las características de emisión del espectro aumenta el volumen de espectro disponible a las radio-comunicaciones limitando la cantidad de espectro desperdiciada en emisiones no deseadas (tanto no esenciales como fuera de banda). La compartición del espectro se facilita aumentando la utilización eficaz del mismo. El control de las emisiones no deseadas generalmente supone un cierto coste puesto que en el diseño del sistema deben emplearse métodos tales como el filtrado para controlar estas características. La incorporación de filtros de conmutación en RF a la línea de transmisión del transmisor o el receptor es una forma de mejorar la eficacia en la utilización del espectro minimizando la energía transmitida o la tensión recibida que no son necesarias para recuperar la información deseada. Un ejemplo lo constituyen los filtros de banda lateral residual en las líneas de transmisión de televisión.

2.1.7 Partición variable dinámica

Otro método de compartición que tiene como resultado una utilización flexible del espectro es el de partición variable dinámica, que consiste en la compartición en tiempo real de un bloque de espectro entre dos servicios, uno de los cuales tiene prioridad sobre el otro. Con este método, una partición divide los canales del bloque de espectro en dos porciones, una para el servicio A y otra para el servicio B. La partición se desplaza en tiempo real, en respuesta a la demanda real o prevista del servicio A. Para poder reaccionar inmediatamente a las necesidades de canales del servicio A tiene que haber un centro de explotación de la red. El método se basa en la existencia de un grupo de canales de reserva para responder inmediatamente a las peticiones. Este tipo de compartición ha sido simulado por el método de Monte Carlo, pero hasta el momento no se ha verificado operacionalmente.

2.1.8 Limitación de la tolerancia de frecuencia

La tolerancia de frecuencia se define como la máxima desviación admisible de la frecuencia central de la banda de frecuencias ocupada por una emisión con respecto a la frecuencia asignada o la máxima desviación admisible de la frecuencia característica de una emisión con respecto a la frecuencia de referencia. La limitación de la tolerancia de frecuencia disminuye el despilfarro de espectro controlando las variaciones en frecuencia de la señal transmitida, lo que aumenta de esa forma el número de sistemas que pueden funcionar dentro de una parte del espectro.

2.2 Separación espacial

2.2.1 Atribuciones compartidas geográficamente

Los usuarios situados en zonas geográficas distintas pueden reutilizar la misma frecuencia si se encuentran separados por distancias suficientemente grandes. La compartición de frecuencias geográfica o de zona es una técnica que habla por sí misma y se ha considerado durante mucho tiempo como una aplicación práctica. Este tipo de compartición se ha utilizado muchos años a escala mundial en la banda de radiodifusión por ondas decamétricas, por ejemplo y es útil en cualquier banda dependiendo de los requisitos de los enlaces de servicio y de la cobertura geográfica. Para facilitar su empleo pueden tenerse en cuenta las características de propagación. También es una técnica que pueden utilizar ventajosamente las características del sistema de antena específico. En las bandas de los servicios espaciales, donde las antenas están orientadas hacia la OSG y dependiendo de la latitud del funcionamiento, que a su vez determina el ángulo de elevación y la dirección del eje de puntería en las tres dimensiones, puede ser posible compartir espectro alrededor de un terminal terrenal. La diversidad de antenas puede ayudar a la compartición geográfica mediante la conmutación automática o manual entre emplazamientos.

Otro posible método de compartición consiste en atribuir un bloque de espectro a dos o más servicios y a continuación efectuar la compartición en el marco de cada administración, separando geográficamente a los usuarios de los diferentes servicios atribuidos. La compartición del espectro se logra mediante la separación espacial. Un ejemplo es la compartición entre la radiodifusión de televisión y los servicios móviles terrenales, caso en el que la separación geográfica ha facilitado la compartición. El Cuadro de atribución de bandas de frecuencias de bandas de frecuencias

contiene un cierto número de notas que definen la diferente utilización de un servicio dentro de una administración en concreto. Estas notas proporcionan la flexibilidad necesaria para utilizar un servicio de forma distinta a la de la atribución mundial o regional y constituyen un acuerdo de compartición de facto entre los usuarios que aplican el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias y las administraciones que utilizan el servicio definido en la nota. Este tipo de compartición es la más útil para los servicios terrenales en la superficie de la Tierra. Es más difícil llevar a cabo la compartición cuando uno de los servicios o ambos son de comunicaciones a bordo de aeronaves, espacial o por satélite.

2.2.2 Separación de los emplazamientos

La selección del emplazamiento supone fundamentalmente determinar un lugar de funcionamiento que proporcione la distancia de separación adecuada con otras estaciones que funcionan a la misma frecuencia.

2.2.3 Características del sistema de antena

Existen distintas posibilidades para que la utilización de las características del sistema de antena facilite la compartición de frecuencias o minimice la interferencia. El método más evidente consiste en utilizar antenas directivas, en la medida en que lo permite la tecnología.

2.2.3.1 Antena adaptativa y discriminación por polarización

Las redes de antenas activas (antenas adaptativas) pueden crear nulos, de forma rápida y en tiempo real, en el diagrama de radiación en la dirección de una señal interferente detectada. La mejora en el control del lóbulo lateral lograda en los actuales diseños de antenas puede ser una técnica muy apropiada para facilitar la compartición.

Las redes de antenas activas y los supresores de lóbulos laterales son técnicas viables hoy en día, dependiendo de la frecuencia de funcionamiento, pero pueden ser muy complejas y exigen un soporte físico muy significativo. La supresión del lóbulo lateral activo no disminuye la cantidad de interferencia recibida a través del acoplamiento del haz principal. También puede conseguirse un control del lóbulo lateral mejorado en antenas fijas pero su viabilidad es inversamente proporcional al grado de supresión adicional del lóbulo lateral. Factores tales como la dispersión producida por los dispositivos de soporte de la antena y otros objetos o estructuras circundantes pueden limitar dicho grado de supresión del lóbulo lateral que de otra forma podría lograrse fácilmente. Las tolerancias mecánicas y de construcción en los elementos de la antena tienen una repercusión directa en la supresión del lóbulo lateral que puede obtenerse en los sistemas fijos de antenas controlados en fase.

La repercusión económica de los supresores del lóbulo lateral y de las redes de antenas activas es proporcional a la complejidad y a la cantidad adicional de elementos físicos requeridos. La supresión de los lóbulos utilizando material absorbente o apantallamiento dará lugar a un aumento en el coste de los equipos y de la instalación, pero la supresión del lóbulo posterior es más económica desde el punto de vista de diseño que la supresión de los lóbulos en otras direcciones.

2.2.3.2 Discriminación del diagrama de radiación de antena

La antena asociada a cada transmisor radioeléctrico recibe la potencia de salida del sistema y la convierte en potencia radiada. Dicha potencia radiada resultante tiene un diagrama basado en el diseño de la antena. Las señales radiadas por antenas omnidireccionales o casi omnidireccionales se dispersan de manera similar a lo largo de todos los acimutes sin ninguna ganancia o con una ganancia muy pequeña. Por lo tanto, las señales emitidas por estas antenas pueden impedir el acceso al espectro a otros servicios en todas las direcciones, pero a una distancia limitada únicamente por la potencia del transmisor. Las antenas muy directivas enfocan y amplifican la potencia radiada en una dirección concreta. Estas señales monopolizan el espectro sólo a lo largo de una línea específica, pero posiblemente a mayores distancias debido a la ganancia de la antena. Sin embargo, algunas antenas directivas son giratorias y combinan las características de los diagramas de alta ganancia y omnidireccionales. Estos diagramas determinan la forma en que los sistemas pueden acoplarse geográficamente. Los diagramas de la antena receptora también repercuten en la compartición puesto que aumentan o disminuyen la capacidad del receptor para seleccionar la señal deseada entre otras señales en las mismas zonas geográficas. Las antenas muy directivas no pueden recibir señales que lleguen en direcciones distintas a la dirección de recepción pretendida.

Los diagramas de antena pueden medirse y puede determinarse la ganancia a lo largo de cada acimut. A efectos de planificación del espectro, normalmente se consideran los diagramas en términos de los valores de las distintas ganancias para el haz principal, para el lóbulo posterior y para los lóbulos laterales.

2.2.4 AMDE

Se han desarrollado técnicas para permitir la discriminación de transmisión basándose en la orientación espacial de acuerdo con una variación controlada de los diagramas de antena. Esta técnica reviste una importancia particular en las nuevas aplicaciones de satélites, en los bucles locales inalámbricos y en las radiocomunicaciones celulares móviles.

2.2.5 Barreras físicas y apantallamiento por el terreno

El apantallamiento puede limitar la dirección en que un transmisor puede radiar y, por consiguiente, interferir con otros sistemas y la dirección en que un receptor puede recibir interferencia. Tales limitaciones aumentan las posibilidades de compartición acoplando geográficamente a los sistemas, que de otra manera se interferirían entre sí. El apantallamiento del emplazamiento puede lograrse de forma natural mediante la vegetación, el terreno o los edificios o de forma artificial construyendo elementos de protección o pantallas mecánicas.

2.3 Separación en el tiempo

Los usuarios pueden compartir el espectro en el tiempo de la misma forma en que las radios de los taxis utilizan alternativamente las mismas frecuencias o los operadores de la banda ciudadana (CB) comparten frecuencias.

2.3.1 Control del ciclo de trabajo

El ciclo de trabajo es el producto de la duración del impulso por la tasa de repetición de impulsos. También es la relación entre el valor medio de la potencia de salida y el valor de cresta de la potencia de salida.

2.3.2 Asignación dinámica de frecuencias en tiempo real

Otro método de compartición que da lugar a una utilización flexible del espectro es el de partición variable dinámica, que se trata de una compartición en tiempo real de un bloque de espectro entre dos servicios, uno de los cuales tiene prioridad sobre el otro. Con este método, una partición divide los canales del bloque de espectro en dos partes, una para el servicio A y otra para el servicio B. La partición se desliza en tiempo real, en respuesta a la demanda real o prevista del servicio A. Para responder inmediatamente a las necesidades de canales del servicio A es necesario que haya un centro de explotación de la red. El método se basa en la existencia de un grupo de canales de reserva para responder inmediatamente a las peticiones. Este método de compartición ha sido simulado por el método de Monte Carlo, pero hasta ahora no se ha verificado operativamente.

2.3.3 AMDT

La técnica AMDT consiste en asignar unos intervalos de tiempo de canal predeterminados fijos a cada usuario; el usuario tiene acceso a toda la anchura de banda pero únicamente durante sus intervalos de tiempo asignados. En este caso, las señales de señalización son ortogonales en el tiempo. El método AMDT es más complejo de realizar que el AMDF pero tiene una importante ventaja que es la conectividad resultante del hecho de que todos los receptores están a la escucha del mismo canal mientras los emisores transmiten en el mismo canal común a instantes distintos. Utilizando AMDT pueden realizarse con mayor facilidad muchas redes en entornos tanto terrestres como de satélites. Con la modulación digital, la compartición coordinada en el tiempo mediante señales multiplexadas por división en el tiempo sincronizadas adecuadamente podría permitir la utilización simultánea de la misma banda de frecuencias por dos o más sistemas. Con la modulación de frecuencia analógica, algunos tipos de interferencia en forma de ráfagas pueden ser más tolerables que otros debido al fenómeno bien conocido de captura de MF, que proporciona una mejora, y a la discriminación contra las señales no deseadas con ciclos de trabajo bajos. La asignación dinámica de frecuencias en tiempo real puede ser gestionada por una estación de control en los casos en que se utilice una banda de frecuencias para más de un propósito y pueda modificarse la anchura de las subbandas para satisfacer la demanda. Normalmente estas variaciones de la anchura de banda se producirán en bloques de espectro durante periodos de tiempo importantes.

La MF analógica puede proporcionar una mejora del orden de hasta 10 dB en el rechazo de la interferencia cuando hay una separación entre las frecuencias de las portadoras deseada e interferente, lográndose una mayor mejora cuando la separación de portadoras es elevada dentro de la anchura de banda total de la señal. La compartición en el tiempo digital entre transmisores en el mismo sistema (AMDT) puede resolver el problema de la sincronización de transmisiones desde diferentes emplazamientos.

No hay repercusiones económicas adicionales en las mejoras de la MF analógica para sistemas que utilizan este tipo de modulación. La repercusión económica de la compartición en el tiempo digital es proporcional a la dificultad para resolver el tema de la sincronización.

2.4 Separación entre señales

La transmisión de las señales de comunicación mediante radiocomunicaciones digitales también puede mejorar la eficacia de utilización del espectro. Como muchas señales (tales como las de audio y vídeo) se originan como señales analógicas, deben convertirse al formato digital antes de su transmisión para explotar esta tecnología. Paradójicamente, la anchura de banda de la señal digital es superior a la de su versión analógica. Las ventajas en cuanto a la eficacia de utilización del espectro de la tecnología digital se derivan de distintos factores, incluidas las técnicas de compresión. Los sistemas de comunicaciones digitales utilizan a menudo algoritmos de detección de errores y de FEC para mejorar el comportamiento del sistema en presencia de fuentes de interferencia, aumentando de esa forma las posibilidades de compartición.

2.4.1 Codificación y procesamiento de la señal

Existen varias técnicas clasificadas generalmente como de codificación (o modulación codificada) y procesamiento. La codificación puede realizarse como parte del proceso de modulación (codificación de canal, como el caso de AMDC) y también puede efectuarse en la señal original antes de la transmisión (codificación de la fuente, como sucede cuando se comprimen las cadenas de datos).

2.4.2 FEC

Un método es la utilización en los enlaces digitales de FEC para reducir la relación $C/(N + I)$ requerida. El diseño de FEC permite disminuir los márgenes de potencia a expensas del caudal o de la anchura de banda. En este caso, se utilizan técnicas de codificación de fuente para detectar errores y controlar el transmisor a fin de poder retransmitir los bloques de datos erróneos.

2.4.3 Rechazo de la interferencia

Una técnica avanzada de reducción de la interferencia consiste en el rechazo de la interferencia no lineal utilizando algoritmos poderosos de procesamiento de la señal que explotan las propiedades de correlación espectral de la señal deseada y la señal interferente.

2.4.4 AMDC

La modulación de espectro ensanchado o el AMDC ofrece ventajas significativas para la compartición uniforme en el mismo sistema o en varios sistemas.

La técnica AMDC permite la superposición de transmisiones tanto en frecuencia como en el tiempo. Se obtiene la separación de la señal utilizando distintos códigos de señalización junto con filtros adaptados (o equivalentemente, detección de correlación) en los receptores de destino. A cada usuario se le asigna una secuencia de código particular que modula la portadora que, a su vez, incorpora los datos digitales modulados. Existen dos formatos comunes: el de salto de frecuencia y el de codificación de fase. En el primero de ellos, la frecuencia varía periódicamente de acuerdo con un modelo conocido; en el segundo la portadora se modula en fase mediante la secuencia de datos digitales y la secuencia de código. Los códigos ortogonales múltiples se obtienen a expensas de un aumento en los requisitos de anchura de banda (a fin de dispersar las ondas a lo largo de la misma). Con AMDC también se produce una falta de flexibilidad en la interconexión de todos los usuarios (a menos, evidentemente, que se incorporen a todos los receptores filtros adaptados correspondientes a todos los códigos). Sin embargo, la técnica AMDC tiene la ventaja de permitir la coexistencia de varios sistemas en la misma banda, siempre que se utilicen códigos distintos para los diversos sistemas.

2.4.5 Espectro ensanchado

Los transmisores que utilizan técnicas de espectro ensanchado, ensanchan la señal a lo largo de una anchura de banda varias veces superior a la anchura de banda de la señal original, utilizando un código de repetición predeterminado. El receptor utiliza el mismo código para desensanchar la señal y restituirla a su forma original.

La ventaja del espectro ensanchado es la supresión de la interferencia. Entre las aplicaciones comerciales cabe citar las comunicaciones personales, la telefonía celular, los sistemas de alarma inalámbricos, las redes de área local y los sistemas de radiobúsqueda.

Si bien la superposición de sistemas de espectro ensanchado en las bandas de frecuencias puede mejorar la eficacia en la utilización del espectro (como sucede con los dispositivos de baja potencia que no requieren licencia), la posibilidad de interferencia aumenta al hacerlo el número de sistemas de espectro ensanchado. La proliferación de sistemas de secuencia directa puede elevar notablemente el ruido de fondo, degradando el funcionamiento de todos los sistemas de banda estrecha. Si el número de sistemas con salto de frecuencia aumenta excesivamente, la aparición de interferencia, aun de breve duración, puede ser un fenómeno tan común que se degrade notablemente el funcionamiento.

Los sistemas de espectro ensanchado pueden definirse como aquellos en los que la energía media de la señal transmitida se distribuye a lo largo de una anchura de banda mucho mayor que la anchura de banda de la información transmitida. Estos sistemas normalmente compensan esta anchura de banda más amplia con una densidad espectral de potencia más baja y un mayor rechazo de las señales interferentes comprendidas en la misma banda de frecuencias. Por consiguiente, pueden compartir espectro con sistemas convencionales de banda estrecha porque la potencia transmitida en la banda de paso del receptor de banda estrecha puede ser baja. Además, los sistemas de espectro ensanchado son capaces de rechazar la interferencia de banda estrecha.

Otro factor que afecta la compartición con sistemas de espectro ensanchado es el problema de la proximidad-lejanía que se produce cuando el sistema de espectro ensanchado interferente se encuentra geográficamente próximo y la señal deseada procede de una fuente situada a cierta distancia. Cuando debido a este problema aparece interferencia entre equipos de distintos servicios, es difícil lograr la compartición.

Algunas nuevas tecnologías, tales como los sistemas móviles de datos y los satélites en órbita terrestre baja (LEO) pueden transmitir la información en forma de comunicaciones por paquetes con un ciclo de trabajo reducido. Estos tipos de comunicaciones se prestan a la compartición con superposición. Sin embargo, deben realizarse estudios para determinar la probabilidad de interferencia y definir los criterios aplicables para proteger la calidad de funcionamiento.

Tanto los sistemas de espectro ensanchado como los sistemas de radiocomunicaciones por paquetes son sistemas de comunicaciones de acceso múltiple y la compartición es más factible cuando el número de equipos activos que funcionan con superposición es reducido. Las limitaciones de estos sistemas en lo que respecta a la compartición dependen del número de usuarios activos en la banda de frecuencias de que se trate. Cada superposición aumenta ligeramente el nivel de ruido y, por lo tanto, la probabilidad de interferencia. Lo más importante es cómo controlar la utilización de un bloque de espectro por usuarios de sistemas de espectro ensanchado o de sistemas de paquetes intermitentes. Cuando se realiza una compartición con superposición entre los servicios, puede ser necesario regular el número de usuarios presentes en la superposición para que el nivel de interferencia se encuentre por debajo de un nivel previamente definido. Este aspecto es similar al de los actuales procedimientos en los que, mediante métodos de asignación, se limita el número de usuarios y su anchura de banda. Algunos sistemas nuevos, tales como las radiocomunicaciones inteligentes de frecuencia versátil, también pueden funcionar con superposición y ello facilitaría la compartición de frecuencias. Estos dispositivos son suficientemente inteligentes como para determinar en tiempo real si el espectro está ocupado. Los equipos de radiocomunicaciones inteligentes pueden detectar y utilizar la parte no empleada de espectro en el bloque de espectro compartido atribuido.

2.4.5.1 Secuencia directa

Una técnica conocida como espectro ensanchado de secuencia directa, amplía el espectro de frecuencia de la señal a lo largo de una anchura de banda más amplia. En un sistema modulado en secuencia directa la portadora se modula mediante una secuencia de código digital cuya velocidad binaria es muy superior a la anchura de banda de la señal de la información. La interferencia causada por un sistema de secuencia directa a un receptor de banda estrecha tendrá características similares al ruido eléctrico aleatorio.

2.4.5.2 Salto de frecuencias

El salto de frecuencias, que es la otra técnica de espectro ensanchado fundamental, alterna las frecuencias sobre la anchura de banda ensanchada de forma aparentemente aleatoria. Los dispositivos de salto de frecuencia utilizan desplazamiento de la frecuencia portadora en incrementos discretos mediante un patrón que viene determinado por la secuencia de código. El transmisor salta de frecuencia a frecuencia dentro de un conjunto predeterminado; el orden de utilización de las frecuencias viene determinado por una secuencia de código. La interferencia procedente de un sistema con salto de frecuencias, aunque tenga la misma potencia que la de un sistema convencional, tiene una duración tan breve que no repercute negativamente en la mayoría de los tipos de los sistemas.

El salto de frecuencias es la connotación repetida de frecuencias durante la transmisión radioeléctrica de acuerdo con un algoritmo especificado, para minimizar la intercepción no autorizada o la interferencia perjudicial deliberada de las telecomunicaciones. La anchura de banda global necesaria para el salto de frecuencias es mucho mayor que la exigida para transmitir la misma información utilizando sólo una frecuencia portadora.

El instante de transmisión para los saltadores de tiempo y saltadores de tiempo-frecuencia (normalmente de ciclo de trabajo reducido y corta duración) lo controla una secuencia de código que determina tanto la frecuencia transmitida y como el citado instante de transmisión.

2.4.5.3 MF impulsiva

En la MF impulsiva, una portadora barre una banda amplia durante un intervalo impulsivo determinado.

2.4.6 Ajustes de potencia de interferencia/anchura de banda

Si se supone que el ruido y la interferencia afectan por igual el comportamiento del receptor, como sucede en algunos sistemas, puede utilizarse la técnica del ajuste de la potencia o la anchura de banda para explotar la naturaleza no lineal de la relación portadora/interferencia (C/I) aceptable, como función de la relación portadora/ruido (C/N) para un valor constante de $C/(N + I)$. La técnica se emplea aumentando la potencia del transmisor en el sistema interferido. Incrementando una pequeña cantidad la potencia transmitida de un sistema limitado en ruido (por ejemplo, menos de 3 dB), el volumen de interferencia que puede tolerarse en el receptor aumenta en una cantidad mucho mayor (por ejemplo 10 dB).

Los enlaces ascendentes de los satélites a menudo están limitados en ruido debido a la cantidad de potencia del transmisor necesaria para superar las pérdidas en el trayecto a lo largo de la gran distancia que tienen que recorrer las ondas. Bajo esta condición limitadora, queda muy poco margen para la interferencia. Aumentar la potencia del transmisor de los enlaces ascendentes es difícil cuando la potencia del enlace ascendente requerida se encuentra próxima a la que puede lograrse con las tecnologías actuales o cercana al máximo límite autorizado. Una alternativa al incremento de la máxima potencia en el transmisor consiste en reducir el grado de control de potencia utilizado para superar los desvanecimientos debidos a la lluvia. Ello provoca una disminución en la disponibilidad del sistema que puede no ser aceptable, dependiendo de los objetivos del servicio. Un aumento en la potencia del enlace ascendente del satélite puede provocar interferencia a los receptores terrenales, pero los sistemas terrenales que comparten frecuencias con los enlaces ascendentes de los satélites pueden estar limitados en cuanto a la autointerferencia y no limitados en cuanto al ruido. Por consiguiente, incrementando la potencia del transmisor del enlace ascendente no se logra un aumento comparable en el volumen de potencia interferente que pueden tolerar algunos sistemas terrenales. Antes de utilizar esta técnica debe llegarse a un acuerdo sobre la viabilidad del aumento de potencia y las repercusiones en los enlaces ascendentes de los satélites.

La repercusión económica que tiene el aumento de potencia del transmisor depende de la proximidad entre la potencia del transmisor diseñado y el máximo de potencia que puede lograrse con la tecnología actual. Si la potencia utilizada se encuentra muy por debajo del máximo que es posible alcanzar actualmente, puede que no sea demasiado costoso incrementar la potencia del transmisor. Si la potencia del transmisor diseñado ya es relativamente elevada, este aumento puede suponer un coste muy elevado si se aplica a un gran número de terminales. Una reducción en la disponibilidad del sistema y el deterioro correspondiente del servicio disminuyen las posibilidades de cobro a los usuarios por dicho servicio. La magnitud de la reducción en la disponibilidad del sistema está relacionada con el margen en exceso disponible y con las estadísticas de intensidad de lluvia en la región donde se encuentra situada la estación terrena.

2.4.6.1 Cocanal

La compartición de frecuencia cocanal es posible, como ocurre con los dispositivos de baja potencia que no necesitan licencia y cuya potencia es tan reducida que pueden funcionar al mismo tiempo y en las mismas frecuencias que los servicios que exigen licencia.

2.4.6.2 Control dinámico del nivel del transmisor

También conocida como control automático de potencia, esta capacidad permite variar la potencia de un transmisor basándose en la situación ambiental. Por ejemplo, si la intensidad de lluvia aumenta, la potencia puede incrementarse para compensar la mayor atenuación que sufre la señal. Ello permite un mayor grado de compartición, eliminando o disminuyendo el volumen de espectro monopolizado por sistemas que radian más potencia de la que necesitan a fin de hacer frente a situaciones en las que puede ser necesario un mayor volumen de potencia. Este control es especialmente adecuado cuando cabe esperar que todos los sistemas de una zona geográfica experimenten las mismas variaciones en la atenuación de la señal.

2.4.6.3 Limitación de la d_{fp} y de la dep (dispersión de energía)

La limitación de la d_{fp} o de la dep es un método para fijar límites a las emisiones dirigidas a un posible receptor en vez de fijar los límites en el transmisor. Ello permite al operador tomar una determinación con respecto a la potencia transmitida, a la ganancia de antena y al emplazamiento del sistema a fin de satisfacer la limitación. Este método se utiliza a menudo para facilitar la compartición entre los sistemas de satélites y los sistemas terrenales.

2.4.7 Complejidad de la modulación

La utilización de modulación de amplitud en cuadratura con un número más elevado de estados (MAQ-*n*) ofrece la posibilidad de incrementar la velocidad binaria dentro de una anchura de banda de canal fija o de disminuir la anchura de banda de canal para una velocidad binaria fija. Aumentar la complejidad de la modulación exige incrementar la fiabilidad en la utilización de los códigos de corrección de errores y puede exigir una equalización dinámica de canal más compleja a fin de satisfacer los objetivos de calidad de funcionamiento de la transmisión.
