

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1518*

Metodología para la definición de los requisitos de espectro de redes de acceso inalámbrico fijo y de acceso inalámbrico móvil que utilizan los mismos tipos de equipos y coexisten en la misma banda de frecuencias

(Cuestiones UIT-R 215/8 y UIT-R 140/9)

(2001)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la utilización de sistemas de acceso inalámbrico está creciendo tanto para aplicaciones fijas como móviles;
- b) que en aras de una implementación más sencilla, algunos sistemas de acceso inalámbricos utilizan la asignación dinámica de canales de radiofrecuencia;
- c) que los sistemas de acceso inalámbrico fijos (FWA) y móviles (MWA) que se explotan en la misma banda de frecuencias pueden utilizar los mismos tipos de equipos;
- d) que la utilización compartida de un espectro limitado por parte de distintos sistemas de acceso puede reducir la capacidad de cursar tráfico de cada uno de los sistemas;
- e) que la capacidad para cursar tráfico de un sistema inalámbrico constituye un parámetro básico de ingeniería de la red radioeléctrica;
- f) que es necesario disponer de una metodología para evaluar la capacidad de cursar tráfico de un sistema de FWA en una banda de frecuencias compartida con otros sistemas de acceso inalámbrico, ya sean fijos o móviles,

recomienda

1 que la metodología que debe utilizarse para evaluar la capacidad de tráfico debe tener en cuenta:

- los esquemas de despliegue celular de los distintos sistemas;
- los métodos de acceso de los sistemas;
- la transmisión de la señal interferente hacia el sistema interferido;
- los niveles relativos de la señal deseada y de la señal interferente;
- la distribución estadística de la actividad de los sistemas implicados;
- las técnicas para mitigar la interferencia de que dispone el sistema interferido;

2 que podría utilizarse la metodología de cálculo del Anexo 1 para evaluar las necesidades de espectro radioeléctrico y la capacidad de cursar tráfico de los sistemas FWA y MWA que utilizan el mismo tipo de equipo.

* Esta Recomendación fue elaborada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 8 (Grupo de Trabajo 8A) y 9 (Grupo de Trabajo 9B) de Radiocomunicaciones y cualquier revisión ulterior de la misma deberá ser realizada, también conjuntamente, por ambas Comisiones.

ANEXO 1

Una metodología para la evaluación de los requisitos de espectro y la capacidad de cursar tráfico de sistemas MWA y FWA que utilizan la misma banda de frecuencias y el mismo tipo de equipo, basado en tecnología de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT) y/o de acceso múltiple por división de frecuencia (AMDF)

1 Introducción

En la Recomendación UIT-R F.1402 se analiza la utilización compartida de bandas de frecuencias entre sistemas MWA y sistemas FWA con la condición de que la interferencia mutua sea inferior a un determinado nivel. En dicha compartición subyace la idea de que los sistemas FWA y MWA tienen distintas zonas de servicio, siendo el objetivo de la misma determinar la separación geográfica entre ambos sistemas.

Sin embargo, en la práctica existe a menudo un cierto solapamiento entre las zonas de servicio de los sistemas FWA y MWA, siendo entonces necesaria la coexistencia de los mismos en ciertas partes de dichas zonas. Esta coexistencia es posible si los sistemas realizan la asignación del recurso radioeléctrico de forma autónoma, es decir, de tal modo que cada equipo pueda evitar la posible interferencia.

En algunos casos específicos, los sistemas MWA y FWA ocupan zonas de servicio diferentes y sólo comparten la banda de frecuencias en un área de reducidas dimensiones situada próxima al límite entre las zonas, donde el tráfico de cada sistema es relativamente pequeño. En esta situación, para lograr una utilización eficiente de las frecuencias es recomendable que los sistemas MWA y FWA utilicen la misma banda de frecuencias y que coexistan solamente en la parte reducida en la que se solapan las zonas de servicio, en lugar de que cada sistema utilice bandas de frecuencia distintas.

Considerando lo anterior, en este Anexo se describen las condiciones técnicas de la compartición entre un sistema MWA y un sistema FWA que utiliza los mismos equipos que el sistema MWA, y que accede a la misma banda de frecuencias en la misma zona.

2 Ámbito

En esta metodología se supone que el sistema MWA y el sistema FWA utilizan el mismo tipo de equipo, basado en tecnología AMDT y/o AMDF, y que el equipo selecciona de forma autónoma un canal de radio no utilizado en la banda de frecuencias disponible. Se analizan las condiciones de la coexistencia de tales sistemas MWA y FWA que utilizan la misma banda de frecuencias en la misma zona.

El método descrito en este Anexo puede aplicarse a una amplia gama de bandas de frecuencias utilizando, en cada caso, la fórmula de propagación más adecuada a la frecuencia utilizada.

3 Referencias

Recomendación UIT-R F.1399 – Terminología del acceso inalámbrico.

Recomendación UIT-R F.1402 – Criterios de compartición de frecuencias entre un sistema de acceso inalámbrico móvil terrestre y un sistema de acceso inalámbrico fijo que utiliza el mismo tipo de equipo que el sistema de acceso inalámbrico móvil terrestre.

Recomendación UIT-R M.1390 – Metodología para el cálculo de las necesidades de espectro terrenal de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000).

4 Análisis de los requisitos relativos al espectro radioeléctrico

4.1 Hipótesis sobre los sistemas

En esta metodología se supone que los sistemas MWA y FWA utilizan la misma tecnología AMDT/AMDF y que en tales sistemas no es el sistema quien controla globalmente la asignación de los canales radioeléctricos, sino que cada estación base (sistema MWA) o estación celular (sistema FWA) selecciona el recurso de forma autónoma de entre los canales disponibles en la banda de frecuencias. Si el canal utilizado es interferido, el sistema activa el proceso destinado a evitar interferencias. Se supone que ambos sistemas tienen las mismas funciones.

Cuando las zonas de servicio de los sistemas MWA y FWA se solapan, ambos sistemas pueden coexistir utilizando la misma banda de frecuencias pues la selección de frecuencias se realiza de forma autónoma durante el establecimiento de la llamada.

Por otra parte, cuando un sistema utiliza un radiocanal, el otro sistema no puede utilizarlo, siendo necesario asignar una anchura de banda de frecuencias adicional para mantener constante la probabilidad de pérdida de llamadas.

Si los sistemas utilizan un mecanismo autónomo para el control de frecuencias, es posible la coexistencia de distintos tipos de sistemas. Sin embargo, en ese caso las condiciones de interferencia son mucho más complejas.

4.2 Cálculo de la anchura de banda de frecuencias necesaria cuando se utiliza la misma frecuencia en la misma zona de servicio

En general, cuando se considera la introducción de un sistema MWA o FWA, la anchura de banda de frecuencias necesaria del sistema se calcula asumiendo un modelo de tráfico y una determinada configuración de estaciones base o de estaciones celulares en la zona de servicio.

Cuando se considera la coexistencia de un sistema MWA con un sistema FWA, la anchura de banda de frecuencias necesaria para mantener constante la probabilidad de pérdida de llamadas se calcula de la misma forma, valorándose las posibilidades que existen de coexistencia. En el Apéndice 1 a este Anexo se presenta el método utilizado para realizar dicho examen.

En el Apéndice 2 a este Anexo se presenta un ejemplo de cálculo destinado a evaluar la coexistencia de sistemas de telefonía portátil personal (PHS) móviles y sistemas PHS-FWA en zonas rurales.

4.3 Técnicas para la utilización eficiente del espectro

Las técnicas que se presentan a continuación permiten minimizar el incremento de anchura de banda de frecuencias necesaria y aumentar así las posibilidades de coexistencia.

4.3.1 Utilización de antenas direccionales

La interferencia puede reducirse utilizando antenas direccionales no solamente en las estaciones base o en las estaciones celulares, sino también en las estaciones terminales de los sistemas FWA. Pueden utilizarse diversos tipos de antenas direccionales como, por ejemplo, las antenas inclinadas, las antenas de sector y las antenas de conjuntos de elementos (*arrays*). Utilizando antenas direccionales puede mejorarse la forma y el tamaño del conglomerado de células que se describe en el Apéndice 1 a este Anexo.

4.3.2 Sincronización de trama de las señales radioeléctricas

Se pueden utilizar dos pasos de sincronización para sincronizar las tramas de las señales radioeléctricas en condiciones de coexistencia. Esto se explica en los subapartados siguientes.

4.3.2.1 Sincronización de tramas en un sistema

La utilización de la sincronización de tramas en un sistema MWA, o en un sistema FWA, permite que la comunicación realizada en un intervalo de tiempo sólo genere interferencia en el sistema durante dicho intervalo de tiempo. Por lo tanto, la anchura de banda de frecuencias necesaria para un canal de comunicación mejorará en zonas de no coexistencia en comparación con el caso en que no exista sincronización.

Además, en un sistema dúplex por división en el tiempo (DDT) la sincronización del sistema permite limitar la interferencia a las mismas condiciones que para los sistemas dúplex por división de frecuencia (DDF) (véase la Recomendación UIT-R F.1402). Ello significa que se elimina la interferencia entre estaciones base, que es la más problemática, y que se mejoran notablemente las condiciones de la coexistencia. En el método de cálculo descrito en el Apéndice 1 a este Anexo, el tamaño del conglomerado y las necesidades de espectro son más reducidos que en un sistema no sincronizado.

4.3.2.2 Sincronización mutua de tramas entre sistemas

Si no se utiliza la sincronización mutua de tramas, pueden producirse interferencias significativas entre sistemas no sincronizados, especialmente si existe visibilidad directa entre estaciones base o estaciones celulares. En general, la sincronización mutua de tramas es muy difícil de realizar cuando se utilizan distintas tecnologías en los sistemas MWA y FWA.

Cuando se utiliza la sincronización mutua de tramas entre un sistema MWA y un sistema FWA, la comunicación que se realiza en un determinado intervalo de tiempo sólo produce interferencia durante dicho intervalo de tiempo, aunque ello depende de la precisión de la sincronización. Por lo tanto, la anchura de banda de frecuencias necesaria para un canal de comunicación mejorará, en todo caso, en comparación con la situación en la que no se utiliza la sincronización.

Además, en un sistema DDT, la sincronización entre sistemas permite limitar las posibilidades de interferencia a condiciones similares que para sistemas DDF (véase la Recomendación UIT-R F.1402). En el método de cálculo descrito en el Apéndice 1 a este Anexo, el tamaño del conglomerado y las necesidades de espectro se reducen en todos los casos.

5 Capacidad para cursar tráfico

El proceso de simulación del Apéndice 3 permite evaluar la capacidad para cursar tráfico cuando coexisten sistemas MWA y FWA y éstos utilizan el mismo tipo de equipo DECT en una banda de frecuencias atribuida.

6 Acrónimos

AMDF	Acceso múltiple por división de frecuencia
AMDT	Acceso múltiple por división en el tiempo
DCA	Atribución dinámica de canales (<i>dynamic channel allocation</i>)
DECT	Telecomunicaciones digitales mejoradas sin cordón (<i>digital enhanced cordless telecommunications</i>)
FDD	Dúplex por división de frecuencia (<i>frequency division duplex</i>)
FWA	Acceso inalámbrico fijo (<i>fixed wireless access</i>)

MWA	Acceso inalámbrico móvil (<i>mobile wireless access</i>)
PHS	Sistema de telefonía portátil personal (<i>personal handy-phone system</i>)
RTPC	Red telefónica pública con conmutación
TDD	Dúplex por división en el tiempo (<i>time division duplex</i>)

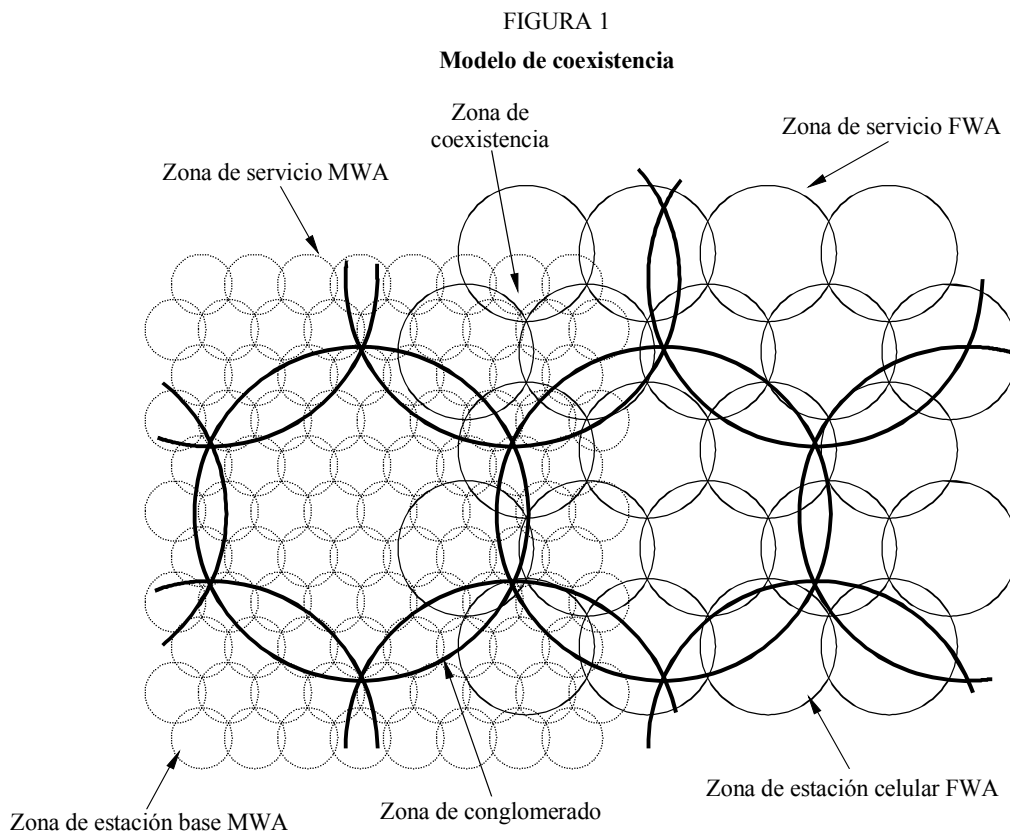
APÉNDICE 1

AL ANEXO 1

Método de cálculo

1 Modelo de coexistencia

Para calcular la anchura de banda de frecuencias necesaria se utiliza el modelo de coexistencia que se muestra en la Fig. 1.



Nota 1 – Las zonas de servicio de los dos sistemas pueden ser idénticas.

Nota 2 – El radio de los conglomerados de los dos sistemas pueden ser distintos.

1.1 Modelo de la estación base radioeléctrica y de la zona del conglomerado

1.1.1 Modelo de la estación base radioeléctrica

En este modelo, las estaciones base MWA y las estaciones celulares FWA se despliegan en la misma zona de servicio y utilizan la misma banda de frecuencias. Los dos sistemas están basados en el mismo sistema y utilizan la misma asignación de portadoras y el mismo método de acceso. Cuando un sistema radioeléctrico utiliza un radiocanal, el otro sistema no puede utilizar el mismo radiocanal y puede experimentar interferencia en los canales inmediatamente adyacentes.

Una estación celular FWA cubre una zona circular de radio r_f y una estación base MWA cubre una zona circular de un radio r_m . Las estaciones base se distribuyen uniformemente en la zona de servicio.

Cada estación base puede utilizar, sin restricción adicional alguna, un canal radioeléctrico que no esté siendo utilizado.

1.1.2 Concepto de zona de conglomerado

Para calcular las condiciones de reutilización de frecuencias, se considera que existe una «zona de conglomerado». Se supone que esta zona de conglomerado se extiende uniformemente en toda la zona de servicio y que en la misma zona de conglomerado no puede reutilizarse la misma combinación frecuencia/intervalo de tiempo, pero que ésta sí puede reutilizarse en una zona de conglomerado distinta.

1.1.3 Cálculo del radio de la zona de conglomerado

Supóngase que existen dos zonas circulares A y B con el mismo radio, r , y que son tangentes en un punto P, tal como se representa en la Fig. 2. Considérese que la zona A es la zona interferida y la zona B es la zona interferente. De entre las zonas de estación base/celular de la zona A, se toma la peor zona de estación base/celular C que incluya al punto P en su perímetro.

Las estaciones base/celulares y las estaciones de abonado se encuentran dispersas en la zona B. De esta forma, la potencia recibida de una estación radioeléctrica interferente en el punto P de la zona B no es uniforme. Pero si se utiliza un valor promedio, la potencia recibida es aproximadamente del nivel que se produciría si la estación radioeléctrica interferente se encuentra en el centro de la zona B. Además, para simplificar el problema y para hacer el supuesto del caso peor, se supone que el abonado o la estación base/celular tiene su máxima ganancia de antena dirigida hacia el punto P.

Igualmente, las estaciones de abonado se encuentran dispersas en la zona de la estación base/celular C. Si se utiliza un valor promedio, la potencia recibida en el punto P es aproximadamente del nivel que se produciría si la estación radioeléctrica transmisora se encuentra en el centro de la zona C.

De esta forma, es razonable suponer que en el punto P la relación entre la señal deseada y la señal interferente (D/U) venga dada por la ecuación siguiente:

$$D/U = P_{rC}/P_{rB}(r) \quad (1)$$

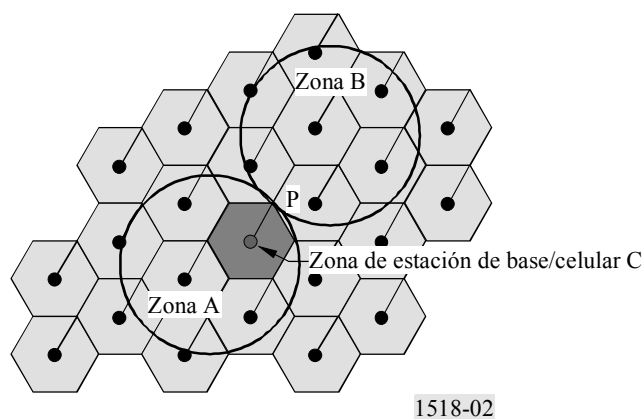
donde:

- D : nivel de señal deseada
- U : nivel de señal interferente o no deseada (U , *undesired*)
- P_{rC} : potencia recibida en el punto P desde la estación radioeléctrica transmisora situada en el centro de la zona C
- $P_{rB}(r)$: potencia recibida en el punto P desde la estación radioeléctrica interferente situada en el centro de la zona B
- r : radio de las zonas A y B.

Por lo tanto, el radio r_c de la zona de conglomerado está limitada por la fórmula siguiente:

$$D/U \text{ necesaria} \leq P_{rC}/P_{rB}(r_c) \tag{2}$$

FIGURA 2
Cálculo del radio de la zona de conglomerado



1518-02

1.2 Modelo de tráfico

Se supone que los abonados se encuentran distribuidos uniformemente en la zona de servicio, siendo u_m la densidad de abonados del sistema MWA y u_f la correspondiente al sistema FWA, el tráfico por abonado de cada sistema es a_m y a_f respectivamente, y la probabilidad de pérdida requerida es b_m y b_f respectivamente. En los cálculos siguientes de anchura de banda de frecuencias necesaria, sólo se consideran llamadas telefónicas de conversación.

2 Zona objetivo de cálculo

Para el cálculo de la anchura de banda de frecuencias necesaria, se establece en primer lugar la zona que constituye el objetivo del cálculo, que se denomina zona objetivo de cálculo.

Los sistemas FWA se implementan a menudo como sistemas complementarios de sistemas de acceso cableados. En este caso, la zona de servicio FWA es una zona bien delimitada o cerrada, por ejemplo, una zona de varios kilómetros de radio, en la que se encuentran las casas. Las distintas zonas de servicio son independientes en términos de propagación radioeléctrica pues se encuentran bastante separadas unas de otras, o bien existen condiciones geográficas que impiden la propagación radioeléctrica. Dicha zona cerrada se denomina zona de servicio cerrada. Teniendo esto en cuenta, la zona objetivo de cálculo se expresa de la forma siguiente:

$$\text{Tamaño de la zona objetivo de cálculo, } s_c = \min (\text{tamaño de la zona de servicio cerrada, tamaño de la zona de conglomerado}) \tag{3}$$

Donde la función $\min(a, b)$ representa el valor mínimo de a y b .

En casos normales, la zona de servicio MWA puede ser la misma que la zona de servicio FWA cuando se trata de una zona de servicio cerrada.

En los cálculos siguientes se supone que las zonas objetivo de cálculo de los sistemas MWA y sistemas FWA son las mismas (véase la Nota 1).

NOTA 1 – El cálculo que es necesario realizar cuando las zonas de servicio MWA y FWA no son las mismas requiere ulteriores estudios.

3 Cálculo simplificado de la anchura de banda de frecuencias necesaria

En este cálculo se supone que sólo coexisten un sistema MWA y un sistema FWA, pero se podría ampliar para considerar varios sistemas.

Cuando se ha decidido cuál es la zona objetivo de cálculo, la anchura de banda de frecuencias necesaria se estima calculando el número de radiocanales correspondientes al tráfico de la zona.

En primer lugar, la densidad de tráfico por unidad de área en la zona de servicio para sistemas MWA y FWA, respectivamente, viene dada por:

$$u_m \cdot a_m \text{ y } u_f \cdot a_f$$

Así pues, considerando una sincronización perfecta de todas las células de los sistemas MWA y FWA, el tráfico total en la zona objetivo de cálculo sería el siguiente:

$$s_c \cdot (u_m \cdot a_m + u_f \cdot a_f)$$

Por lo tanto, la anchura de banda de frecuencias necesaria, f_c , viene dada por:

$$f_c = w \cdot n_c \quad (4)$$

donde n_c es el valor entero mínimo que satisface:

$$b_c > B(s_c \cdot (u_m \cdot a_m + u_f \cdot a_f), n_c) \quad (5)$$

$$b_c = \min(b_m, b_f) \quad (6)$$

$B(a, n)$: fórmula Erlang B

$B(a, n)$: probabilidad de pérdidas para n canales de salida con un volumen de tráfico a .

w : anchura de banda de frecuencias equivalente necesaria para un intervalo de comunicación.

Por otro lado, las anchuras de banda de frecuencias necesarias, f_m y f_f , cuando los sistemas MWA y FWA no coexisten en la misma zona de servicio, sino que utilizan distintas bandas de frecuencia o la misma frecuencia con una separación suficiente, vienen dadas por:

$$f_m = w \cdot n_m \quad \text{para un sistema MWA} \quad (7)$$

donde n_m es el valor entero mínimo que satisface:

$$b_m > B(s_m \cdot u_m \cdot a_m, n_m) \quad (8)$$

$$f_f = w \cdot n_f \quad \text{para un sistema FWA} \quad (9)$$

donde n_f es el valor entero mínimo que satisface:

$$b_f > B(s_f \cdot u_f \cdot a_f, n_f) \quad (10)$$

Cuando el sistema utiliza un canal de control distinto del canal de tráfico, su anchura de banda de frecuencias debe añadirse a la anchura de banda de frecuencias antes calculada.

Las necesidades de anchura de banda de frecuencias deben redondearse en función de la modularidad de canales de la tecnología utilizada.

Si fuera necesario realizar cálculos de anchura de banda de frecuencias más precisos, puede utilizarse la Recomendación UIT-R M.1390.

APÉNDICE 2

AL ANEXO 1

Ejemplo del cálculo de la anchura de banda de frecuencias necesaria para sistemas PHS en un entorno rural**1 Introducción**

En el ejemplo de cálculo siguiente, se supone que los sistemas se utilizan en una zona rural y que ambos sistemas MWA y FWA coexisten en una zona de servicio cerrada en la misma banda de frecuencias.

2 Ejemplo de cálculo

El cálculo se realiza utilizando las características de los sistemas móviles PHS (MWA) y de los sistemas PHS-FWA (FWA).

A modo de ejemplo, se analiza el caso en el que ambos sistemas se despliegan en una zona rural. Un cálculo similar puede realizarse para una zona urbana.

2.1 Modelo de tráfico

El cálculo se realiza sobre la base de los parámetros de tráfico siguientes. El modelo de cálculo se realiza teniendo en cuenta una zona rural típica de Japón. Solamente se considera en este cálculo el tráfico de la RTPC.

MWA: 0,04 E/abonado, probabilidad de pérdida de llamada = 1,0%

FWA: 0,05 E/abonado, probabilidad de pérdida de llamada = 0,1%.

Se supone que las densidades de abonados son las siguientes:

MWA: 1 abonado/km²

FWA: 5 abonados/km².

Se supone que la densidad de población de la zona es de 33 habitantes/km². Suponiendo que un 10% de la población residencial es móvil y que la penetración del servicio móvil es del 30% de la población móvil, la densidad del MWA es de 1 abonado/km².

Una densidad típica de abonados de RTPC en áreas en las que resulta adecuado el servicio FWA es de aproximadamente 5 abonados/km².

Se supone que los sistemas MWA y FWA coexisten en una zona de 140 km², que se considera el tamaño máximo de zona en la que es adecuado prestar un servicio FWA.

2.2 Zona objetivo de cálculo

Suponiendo que la intensidad de campo deseada del sistema (PHS-FWA) en el borde del área de la célula es 40 dB(μ V/m) (con una potencia de transmisión de 13 dBm y ganancia de antena de 10 dBi, véase la Recomendación UIT-R F.1402), y que la relación D/U necesaria es de 15 dB, la intensidad de señal interferente permitida en el mismo punto es de 25 dB(μ V/m).

Se supone que la distancia que corresponde a la intensidad de campo de la señal interferente de 25 dB(μ V/m) es de 5,3 km utilizando condiciones de propagación con visibilidad directa. En este caso, la zona de conglomerado, es decir, la zona objetivo de cálculo, es de 88,2 km² con un radio de 5,3 km.

2.3 Número de canales de tráfico necesarios

Aplicando el modelo de tráfico a la zona objetivo de cálculo, el tráfico en la zona se calcula de la forma siguiente:

$$\text{Tráfico de MWA: } 0,04 \times 1 \times 88,2 = 3,53 \text{ E}$$

$$\text{Tráfico de FWA: } 0,05 \times 5 \times 88,2 = 22,1 \text{ E}$$

$$\text{Tráfico total} = 25,63 \text{ E.}$$

2.4 Anchura de banda de tráfico necesaria

El paso siguiente es determinar el número de canales necesarios para poder cursar el tráfico anterior con la correspondiente probabilidad de pérdida empleando la fórmula Erlang B.

De acuerdo con ello, son necesarios 9 canales para cursar 3,53 E con una probabilidad de pérdida del 1,0%, 38 canales para cursar 22,1 E con una probabilidad de pérdida del 0,1% y 42 canales para cursar 25,63 E con una probabilidad de pérdida del 0,1%. Cuando se determinan cuáles deben ser las frecuencias en condiciones de coexistencia, es necesario realizar el cálculo con una probabilidad de pérdida más reducida a fin de conseguir la calidad de servicio adecuada para los sistemas MWA y FWA.

Se considera que la anchura de banda necesaria para cada canal de tráfico es de 100 kHz. El sistema PHS utiliza una separación entre portadoras de 300 kHz y utiliza tecnología AMDT/DDT con cuatro intervalos de tiempo. Por lo tanto, idealmente, en promedio son necesarios 75 kHz para un canal de tráfico. Teniendo en cuenta la interferencia sobre los canales adyacentes, se utilizan 100 kHz para cada canal de tráfico.

Además, el sistema PHS necesita una portadora de control para cada sistema.

Teniendo todo ello en cuenta, se concluye la necesidad de las anchuras de banda de frecuencias siguientes:

$$\text{MWA: } 9 \text{ canales} \times 100 \text{ kHz} + 300 \text{ kHz} = 1,2 \text{ MHz}$$

$$\text{FWA: } 38 \text{ canales} \times 100 \text{ kHz} + 300 \text{ kHz} = 4,1 \text{ MHz} \rightarrow 4,2 \text{ MHz}$$

$$\text{MWA y FWA sin coexistencia: } 1,2 + 4,2 = 5,4 \text{ MHz}$$

$$\text{MWA y FWA con coexistencia: } (42 \text{ canales} \times 100 \text{ kHz}) + (300 \text{ kHz} \times 2) = 4,8 \text{ MHz.}$$

2.5 Resumen de los cálculos

En el Cuadro 1 se resumen los cálculos anteriores.

CUADRO 1
Resumen de los cálculos

	Sistema MWA	Sistema FWA	Sistemas combinados MWA/ FWA
Tráfico por abonado (a_f, a_m) (E/abonado)	0,04	0,05	
Densidad de abonados (u_f, u_m) (abonado/km ²)	1,0	5,0	
Tamaño de la zona cerrada de servicio (km ²)	140,00	140,00	
Tamaño de la zona de conglomerado (km ²)	88,2	88,2	
Tamaño de la zona objetivo de cálculo (s_c, s_c) (km ²)	88,2	88,2	
Tráfico en la zona objetivo de cálculo (E)	3,53	22,1	25,63
Probabilidad de pérdida de llamada (b_f, b_m) (%)	1,00	0,10	0,10
Número de canales de tráfico necesarios	9	38	42
Anchura de banda necesaria para cada canal de tráfico (w) ⁽¹⁾ (kHz)	100	100	100
Anchura de banda de frecuencias necesaria (calculada) (MHz)	0,9	3,8	4,2
Anchura de banda de frecuencias necesaria (en condiciones de funcionamiento) ⁽²⁾ (MHz)	1,2	4,2	4,8
Anchura de banda de frecuencias total necesaria con bandas separadas (MHz)	5,4		–

⁽¹⁾ Considerando la interferencia sobre el canal adyacente.

⁽²⁾ Considerando una separación entre portadoras de 300 kHz y añadiendo un canal de control (una portadora por sistema).

NOTA 1 – Los parámetros sombreados constituyen los supuestos del cálculo.

NOTA 2 – El subíndice m es la notación para el sistema MWA y el subíndice f es la correspondiente al sistema FWA.

3 Consideraciones sobre la coexistencia

El resultado muestra que si se asignan canales separados a sistemas MWA y FWA, son necesarios 5,4 MHz en total. Si ambos sistemas coexisten de forma espectralmente eficiente en la misma frecuencia, son suficientes 4,8 MHz.

Cuando en este ejemplo se calcula la anchura de banda de frecuencias necesaria para la zona de coexistencia, el tráfico de diseño de cada sistema o, dicho de otra forma, el tráfico máximo de cada sistema, también se aplica a dicha zona de coexistencia. Sin embargo, cuando los sistemas MWA y FWA tienen zonas de servicio distintas y sólo comparten frecuencias en una zona reducida en el límite entre las respectivas zonas de servicio, se considera que el tráfico de cada sistema es

pequeño. En esta situación, la anchura de banda de frecuencias necesaria para el caso de coexistencia, será menor que lo indicado en el resultado anterior, siendo incluso inferior a 4,2 MHz, que es la anchura de banda de frecuencias necesaria cuando sólo existe un sistema FWA. Ello significa que los sistemas MWA y FWA pueden coexistir en las mismas frecuencias sin que sea necesario disponer de anchura de banda de frecuencias adicional.

En este ejemplo de cálculo se ha analizado el despliegue en una zona rural. Por otro lado, y como a menudo viene siendo el caso, los sistemas MWA y FWA se despliegan cada vez más en zonas urbanas. En tal caso, el volumen de tráfico es mucho mayor, siendo previsible que se consiga una mayor reducción de la anchura de banda de frecuencias debido a la mayor eficiencia derivada de la concentración de tráfico (*trunking*) cuando los sistemas MWA y FWA coexisten de forma espectralmente eficiente en la misma banda de frecuencias.

APÉNDICE 3

AL ANEXO 1

Evaluación de la capacidad para cursar tráfico cuando coexisten sistemas MWA y FWA DECT en una banda de frecuencias asignada

1 Introducción

Algunos sistemas FWA utilizan una tecnología que ha sido desarrollada para aplicaciones MWA y funcionan en una banda de frecuencias que debe ser compartida por ambos tipos de aplicaciones. En las zonas en las que ambos sistemas se despliegan simultáneamente, se evalúa el efecto que tiene dicha coexistencia con un sistema MWA sobre la capacidad de tráfico del sistema FWA a fin de verificar que se alcanza el grado de servicio del sistema FWA.

2 Sistema FWA

Debe notarse que la gama de radios de cobertura de los sistemas FWA con terminales de abonados es considerablemente mayor que cuando dicho sistema se utiliza en su modalidad móvil (MWA). El trayecto de la señal es, en general, más consistente, se dispone habitualmente de visibilidad directa (las antenas de los terminales están normalmente situadas sobre los tejados) y las estaciones base y de abonado pueden utilizar antenas de alta ganancia cuya direccionalidad reduce igualmente la posibilidad de trayectos múltiples.

El caso peor que puede analizarse es el de coexistencia entre sistemas móviles públicos en zonas peatonales y sistemas FWA en entornos urbanos. En estas circunstancias, el sistema FWA estará limitado en interferencia (es decir, limitado por la relación C/I) debido a la densidad de abonados.

La ampliación de la red fija en una nueva zona de desarrollo urbanístico cercana a una zona urbana consolidada o en una nueva zona urbana y la introducción de un nuevo operador en una zona urbana constituyen escenarios urbanos típicos de aplicación de sistemas FWA. La densidad de conexiones oscila entre 500 (una pequeña población) y 2 000 (zona de bloques de apartamentos de 2-4 plantas) conexiones por km^2 . Si el tráfico de cada conexión es en E de 70 mE, el tráfico total de dichas zonas oscila entre 35 y 140 E/ km^2 .

En el caso de una zona urbana consolidada, el tráfico residencial máximo puede estar comprendido entre 140 y 280 E/ km^2 en zonas con bloques de apartamentos de 4-8 pisos, lo cual no suele ser habitual en las nuevas zonas de desarrollo urbanístico.

Puede concluirse, por tanto, que es necesario tener en cuenta una capacidad de tráfico comprendida entre 100 y 300 E/km² para soportar la utilización de sistemas FWA para cursar tráfico de voz.

Se estima que estas densidades de tráfico aumentarán en pocos años hasta valores comprendidos entre 200 y 400 E/km² debido al desarrollo de los servicios de datos.

Las dimensiones de los radios de las células de los sistemas FWA que corresponden a estos tráficos oscilan entre 400 y 500 m.

La estimación del tráfico se basa en los modelos acordados por varios países al planificar la instalación de sistemas FWA.

3 Sistema público peatonal MWA

Los sistemas para zonas públicas peatonales proporcionan movilidad a los abonados en una zona urbana o suburbana. Existen dos tipos principales de zonas, las zonas públicas en interiores, tales como centros comerciales, estaciones de ferrocarril o aeropuertos, y las zonas exteriores en la propia calle. Se supone que cada abonado móvil genera un tráfico de 30 mE. A estos efectos, no se consideran las zonas de interiores de elevado tráfico pues su contribución a la interferencia es muy reducida debido al efecto de apantallamiento de las paredes y el suelo. Por lo tanto, el nivel máximo de interferencia entre las dos aplicaciones se produce cuando se implementan conexiones FWA a la altura de los tejados y las estaciones base de los sistemas inalámbricos de zonas peatonales MWA se encuentran situadas unos pocos metros por encima del nivel del suelo.

La cobertura de las calles se consigue situando las estaciones base en farolas elevadas a lo largo de las calles. Si se supone que la máxima penetración de este tipo de aplicaciones es el 5% de la población, en una ciudad de 2 millones de habitantes con una superficie de 100 km², se produce un tráfico de 30 E/km²; no obstante, debe tenerse en cuenta que la gente no está siempre en la calle.

Otra forma de estimar el tráfico es considerar una densidad de peatones de 10 000 peatones/km² en el centro metropolitano, lo que para una penetración del 5% resulta en 15 E/km².

Se considera un calle principal con aceras amplias de 5 m de ancho a cada lado de la calle y estaciones base con un alcance de 200 m a cada lado, de forma que la cobertura total sea de 4 000 m² de acera. Se supone que en la calle hay una persona cada 10 m², es decir, 400 personas en total, de las que sólo el 5% disponen de un terminal. Si el tráfico de cada usuario es de 30 mE, el tráfico total promedio de una estación base será de 0,6 E, correspondiente a 30 E/km², estando las calles separadas 100 m. Dado que se considera que sólo unas pocas calles del centro de una ciudad tienen una carga de tráfico de esa magnitud, la densidad media de tráfico será de 10 a 15 E/km² que coincide con el resultado anteriormente estimado. El tráfico medio por estación base será inferior a 1 E, pero las restricciones del balance del trayecto radioeléctrico (antenas pequeñas de los terminales de los usuarios) impone que las células sean de tamaño reducido.

4 Simulación de la interferencia entre sistemas públicos peatonales MWA y FWA basados en tecnología DECT

Tal como se ha indicado anteriormente, el máximo potencial de interferencia ocurre entre sistemas FWA situados sobre los tejados y sistemas MWA desplegados en zonas pública peatonales situados a una altura inferior.

Este escenario de interferencia ha sido simulado sobre la base de la tecnología DECT, suponiendo que cada estación base FWA soporta 6 células sectoriales. Todas las estaciones base están sincronizadas y las estaciones de abonado utilizan DCA. La separación entre estaciones base FWA es de 1,7 km, y de 300 m entre las estaciones base del sistema público peatonal, habiéndose

instalado ambos sistemas utilizando un patrón de distribución hexagonal. Existen 33 estaciones base del sistema público peatonal en la zona correspondiente a cada estación base FWA. Cada estación base y estación de usuario están controladas por un simulador de llamadas con una distribución de Poisson. Si un intento de llamada no tiene éxito transcurridos 3 s (norma DECT) se considera que la llamada se ha perdido (bloqueo).

4.1 Impacto del FWA sobre el sistema público peatonal MWA

Se considera que las estaciones base de sistemas públicos peatonales tienen un tráfico medio de 1 a 3 E. Ello significa que el tráfico es muy inferior a su límite troncal, pero también que el tráfico no está limitado por la interferencia pues la interferencia recibida de los emplazamientos adyacentes es, en primer lugar, bastante débil debido a que el tráfico por estación base es muy reducido y, en segundo lugar, tiene un nivel bajo debido a las características de propagación, reflexiones y la difracción que sufre la señal.

El dimensionado del sistema público peatonal se basa más en cuestiones relacionadas con la cobertura que con los aspectos de tráfico.

Las aplicaciones FWA que coexistan en la misma zona interferirán sobre los terminales de los usuarios y sobre las estaciones base del sistema público peatonal. Para la configuración antes identificada y con radios de células FWA superiores, el impacto de la interferencia sobre el sistema público peatonal es despreciable, no viéndose afectado el tráfico. Una célula pequeña del sistema público peatonal sólo recibe una parte de las transmisiones del sistema FWA, que se extiende sobre una célula de mayores dimensiones.

4.2 Impacto del sistema público peatonal MWA sobre las aplicaciones FWA

Las aplicaciones FWA en entornos urbanos están limitados por la interferencia; por su parte, el radio de la célula está condicionado por el tráfico. La interferencia FWA procede de otros emplazamientos de sistemas sincronizados. Si existe interferencia adicional a su propia interferencia FWA, el tráfico de cada estación base puede verse reducido según sea la importancia de la interferencia que introduce el sistema público peatonal.

Un tráfico promedio de 1 E por cada célula del sistema público peatonal MWA no afecta a un sistema FWA que curse su tráfico promedio máximo por cada estación base. Sin embargo, un tráfico medio de 3 E por célula pública peatonal reduce el tráfico FWA (para el mismo grado de servicio) del 10% al 30% aproximadamente por estación base. Los sistemas públicos peatonales típicos situados en calles y que cursan un tráfico de 1 E por célula no afectan al tráfico FWA.

El efecto de la interferencia sobre la transmisión en los enlaces ascendente y descendente puede resumirse tal como se indica a continuación:

- *en el enlace ascendente*: la interferencia adicional procede de los teléfonos portátiles que se comunican con su estación base; estas señales interfieren sobre las estaciones base FWA especialmente cuando el peatón se encuentra cerca del emplazamiento de ésta. Dicha interferencia puede no ser importante dado el elevado número de células peatonales que están incluidas en una célula FWA y que, en consecuencia, sólo unos pocos teléfonos portátiles se encontrarán cerca de las estaciones base FWA;
- *en el enlace descendente*: las estaciones de abonado FWA son interferidas por la estación base del sistema público peatonal MWA. El bajo nivel de tráfico que maneja dicha estación base evita que las estaciones de abonado sufran pérdidas (queden bloqueadas).

Estos resultados demuestran el impacto positivo que tiene la DCA en la protección que los distintos tipos de equipos radioeléctricos, estando tanto las estaciones base como las estaciones de abonado protegidas contra señales interferentes.
