

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1260-1*

Posibilidad de compartición entre sensores activos a bordo de vehículos espaciales y otros servicios en la gama 420-470 MHz

(Cuestión UIT-R 218/7)

(1997-2003)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los radares de abertura sintética (SAR) pueden medir la humedad del suelo y la biomasa forestal, pueden detectar estructuras geológicas enterradas, tales como fallas, fracturas, sinclinales y anticlinales, pueden realizar mapas y medir la profundidad del hielo antártico y pueden determinar las propiedades hidrogeológicas de las regiones áridas y semiáridas;
- b) que los SAR experimentales a bordo de aeronaves han demostrado su capacidad para realizar estas mediciones;
- c) que estos SAR a bordo de vehículos espaciales pueden funcionar en frecuencias por debajo de 500 MHz a fin de penetrar en la densa vegetación de la superficie de la Tierra de forma repetitiva en todo el mundo;
- d) que la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) celebrada en Río de Janeiro en 1992 recalcó la necesidad de efectuar observaciones en los bosques;
- e) que la Resolución 727 (Rev.CMR-2000) establece la provisión de hasta 6 MHz de espectro de frecuencias al servicio de exploración de la Tierra por satélite (sensores activos) en la gama de frecuencias 420-470 MHz para satisfacer los requisitos del servicio de exploración de la Tierra por satélite (activo);
- f) que, actualmente, las bandas de frecuencias entre 420 y 470 MHz están atribuidas a los servicios de radiolocalización, fijo, de aficionados, de operaciones espaciales y móvil;
- g) que en el servicio de aficionados, el funcionamiento con señales de baja intensidad (incluidos los trayectos Tierra-Luna-Tierra) se llevan a cabo centrados en torno a 432 MHz y el funcionamiento del servicio de aficionados por satélite (tanto los enlaces ascendentes como los enlaces descendentes) se realiza en la banda 435-438 MHz;

* NOTA – Las Administraciones siguientes: Arabia Saudita, Djibouti, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, Jordania, Kuwait, Marruecos, Mauritania, República Árabe Siria, Túnez y Yemen, se oponen a la aprobación de la presente Recomendación. Para más información véase el Resumen de los debates correspondiente de la AR-03.

- h) que se hacen otros usos de partes de estas bandas incluyendo:
- radares de perfil del viento en la gama 440-450 MHz y, en caso de incompatibilidad entre radares de perfil del viento y otras aplicaciones, en las bandas 420-435 MHz y 438-440 MHz (Resolución 217 (CMR-97));
 - receptores de la orden de autodestrucción de vehículos de lanzamiento por razones de seguridad en la banda 449,75-450,25 MHz (número 5.286 del Reglamento de Radio-comunicaciones (RR)) así como en torno a 421,0, 425,0, 427,0, 440,0 y 445,0 MHz en Estados Unidos de América y Brasil y, en los Departamentos franceses de Ultramar en la Región 2 y la India, en la banda 433,75-434,25 MHz (número 5.281 del RR);
- j) que algunos SAR a bordo de vehículos espaciales podrían producir dfp en la superficie terrestre superiores a los niveles de dfp que pueden ser necesarios para proteger el servicio fijo y el servicio móvil terrestre con atribuciones en esta gama de frecuencias;
- k) que es probable que la compartición de la misma frecuencia con perfiladores del viento no sea viable debido a la interferencia con el sensor activo a bordo de un vehículo espacial;
- l) que los SAR y el servicio de aficionados (con atribuciones a título primario en la Región 1 y a título secundario en las Regiones 2 y 3 salvo lo dispuesto en el número 5.278 del RR) pueden coexistir en la banda 430-440 MHz adoptando las medidas técnicas y de explotación apropiadas definidas en el Anexo 1 a esta Recomendación;
- m) que, además, las disposiciones de los números 5.274, 5.275, 5.276, 5.277, 5.278, 5.281 y 5.283 del RR indican países que han atribuido partes de la banda entre 430 y 440 MHz a los servicios fijo, móvil, de operaciones espaciales y/o de aficionados con categoría primaria;
- n) que diversos estudios de compartición han indicado que la compartición de la misma frecuencia entre los servicios de radioaficionados y algunos SAR propuestos del servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) es posible para ciertos modos de transmisión del servicio de aficionados tales como MF y acceso múltiple por división en el tiempo, pero sería difícil en los modos de funcionamiento en onda continua y banda lateral única;
- o) que la Recomendación UIT-R M.1462 contiene las características técnicas y de funcionamiento así como los criterios de protección para los radares (a bordo de aeronaves, a bordo de barcos y de seguimiento de objetos espaciales) que funcionan en el servicio de radiolocalización en la banda 420-450 MHz;
- p) que es posible que aparezca interferencia inaceptable causada por algunos SAR a bordo de vehículos espaciales a los radares terrenales de seguimiento de objetos espaciales que funcionan en la banda a 420-450 MHz si el SAR a bordo del vehículo espacial se encuentra dentro del campo de visibilidad de los radares terrenales (es decir, por encima del horizonte visible del radar);
- q) que algunos SAR a bordo de vehículos espaciales tendrán un seguimiento por parte de los radares terrenales de seguimiento de objetos espaciales y que el nivel de potencia recibida no deseada resultante en el SAR a bordo del vehículo espacial puede aproximarse a su máxima capacidad de potencia;

r) que es posible que aparezca interferencia inaceptable causada por algunos SAR a bordo de vehículos espaciales a los radares a bordo de aeronaves y a bordo de barcos que funcionan en la banda 420-450 MHz, cuya probabilidad e intensidad dependen en gran medida de las características de los SAR;

s) que toda interferencia perjudicial, incluso durante periodos muy breves, provocada por los SAR a los receptores de la orden de autodestrucción de vehículos de lanzamiento por razones de seguridad puede obstaculizar las funciones de seguridad de la vida humana y protección de las pertenencias;

t) que dada la complejidad de los instrumentos del SETS (activo) en estas frecuencias bajas, se espera que estén en órbita al mismo tiempo muy pocas plataformas de ese tipo,

recomienda

1 que los sensores activos a bordo de vehículos espaciales que funcionan en las bandas utilizadas por los servicios de aficionados, de aficionados por satélite, fijo, de radiolocalización, de operaciones espaciales, móvil y SMS en la gama 420-470 MHz, respeten las limitaciones técnicas y de explotación indicadas en el Anexo 1 a la presente Recomendación;

2 que los sensores activos a bordo de vehículos espaciales que funcionan en la gama 420-450 MHz no entren en funcionamiento cuando están a la vista de los radares terrenales de seguimiento de objetos espaciales indicados en el Cuadro 2, a menos que se realice un análisis detallado, caso por caso, para incluir la consideración de los efectos del procesamiento realizado por el receptor de los radares sobre las señales no deseadas del SAR y se realicen pruebas prácticas para confirmar la compatibilidad con el acuerdo mutuo de las administraciones afectadas;

3 que se diseñe un SAR a bordo de un vehículo espacial para funcionar en la banda 420-450 MHz que tolere los niveles de potencia de señal no deseada que se producirán por el seguimiento realizado por los radares terrenales de seguimiento de objetos espaciales;

4 que se establezca la suficiente separación de frecuencias y geográfica entre los SAR a bordo de vehículos espaciales y los radares de perfil del viento que funcionan en la gama 420-432 MHz y 438-450 MHz;

5 que las bandas de frecuencias para los sensores activos a bordo de vehículos espaciales se elijan de manera que no se superpongan a las bandas de frecuencias para los receptores de la orden de autodestrucción de vehículos de lanzamiento por razones de seguridad enumeradas en el *considerando h*);

6 que, si lo estipulado en el *recomienda 5* resulta de difícil implementación, no se haga funcionar sensores activos a bordo de vehículos que operen en las gamas de frecuencias atribuidas a los receptores de la orden de destrucción de vehículos de lanzamiento por razones de seguridad dentro de la distancia específica con respecto al lugar en que se usan los mandos del vehículo de lanzamiento, para que los sensores no causen interferencia a los receptores.

Anexo 1

Limitaciones técnicas y de explotación para el SETS (activo) que funciona en la gama 420-470 MHz

Para proteger a las estaciones que funcionan en los servicios existentes, las transmisiones de los SAR procedentes de estaciones del SETS (activo) que funcionan en la gama de frecuencias 420-470 MHz están sujetas a las limitaciones técnicas y de explotación especificadas en este Anexo.

Las siguientes limitaciones se basan en estudios realizados por el UIT-R. El Anexo 2 proporciona información sobre la posibilidad de compartición de la gama 420-470 MHz entre sensores activos a bordo de vehículos espaciales y otros servicios.

1 Limitaciones técnicas

CUADRO 1

Limitaciones técnicas para instrumentos del SETS (activo) en la gama 420-470 MHz

Parámetro	Valor
dfp de cresta en la superficie de la Tierra producida por el lóbulo principal de la antena	-140 dB(W/(m ² · Hz))
Máximo valor medio de la dfp en la superficie de la Tierra producida por el lóbulo principal de la antena	-150 dB(W/(m ² · Hz))
Máximo valor medio de la dfp en la superficie de la Tierra producida por el primer lóbulo lateral de la antena	-170 dB(W/(m ² · Hz))

2 Limitaciones de explotación

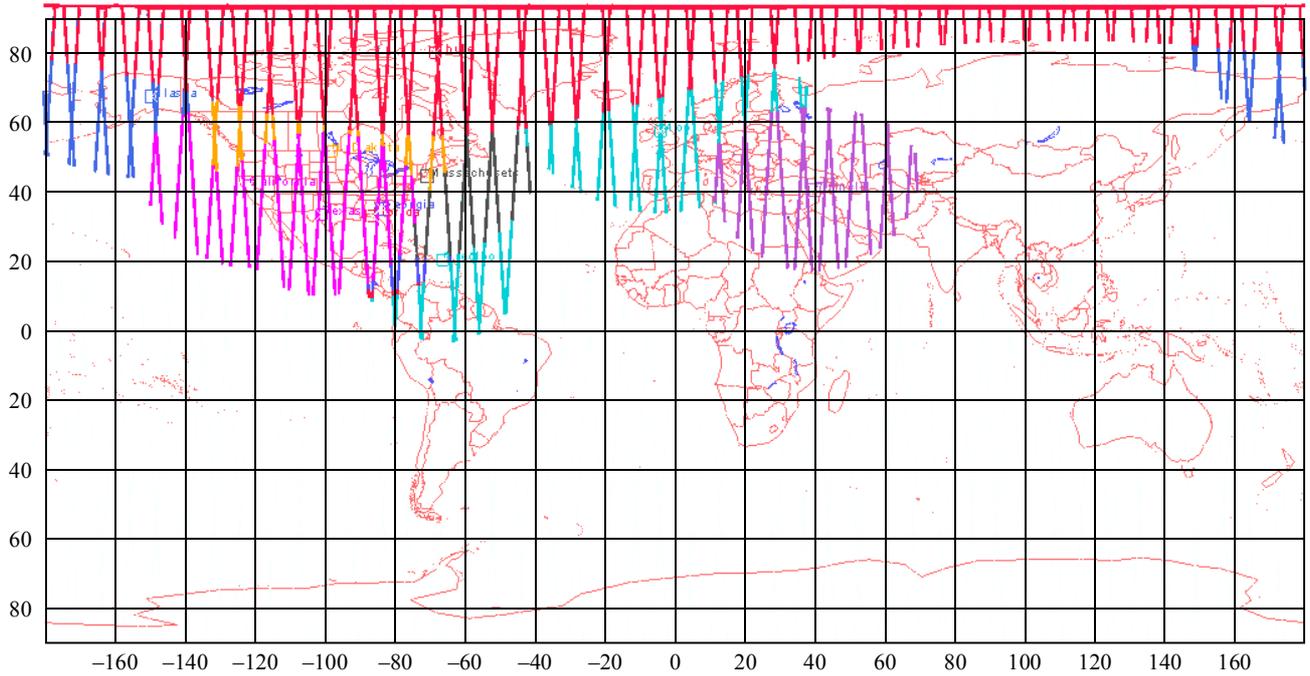
El SETS (activo) que funciona en la banda 420-450 MHz no deberá transmitir dentro del campo de visión de los radares terrenales de seguimiento de objetos espaciales indicados en el Cuadro 2 a menos que para confirmar la compatibilidad se haya llevado a cabo un análisis detallado a fin de considerar los efectos del procesamiento realizado por el receptor del radar sobre las señales no deseadas del SAR y posiblemente se efectúen pruebas de funcionamiento práctico para confirmar la compatibilidad.

Como consecuencia de las anteriores limitaciones, los instrumentos del SETS (activo) deberán diseñarse de tal forma que permitan una desconexión programable de todas las emisiones de RF sobre las zonas geográficas o países donde la reglamentación de la UIT o las reglamentaciones nacionales no permitan su funcionamiento.

Los instrumentos del SETS (activo) deberán funcionar únicamente para la realización de campañas de medidas, dirigidos a zonas geográficas específicas y limitando el tiempo de actividad del instrumento al mínimo necesario para lograr los objetivos de las citadas campañas. Por consiguiente, las mediciones realizadas por el instrumento no exigen el funcionamiento continuo del mismo y pueden transcurrir periodos de varios meses entre mediciones sucesivas en la misma zona.

El ciclo de funcionamiento en modo de campaña será del 15% como máximo (normalmente el 10%). Cuando no se estén realizando campañas de medidas el instrumento deberá permanecer desconectado.

FIGURA 1
Ejemplo de zona de exclusión en torno a los radares de seguimiento de objetos espaciales para un SAR situado en una órbita de 550 km de altitud



1260-01

CUADRO 2

Radares de seguimiento de objetos espaciales que funcionan en la banda 430-440 MHz

Ubicación del radar	Latitud	Longitud
Massachusetts (Estados Unidos de América)	41,8° N	70,5° W
Texas (Estados Unidos de América)	31,0° N	100,6° W
California (Estados Unidos de América)	39,1° N	121,5° W
Georgia (Estados Unidos de América)	32,6° N	83,6° W
Florida (Estados Unidos de América)	30,6° N	86,2° W
Dakota del Norte (Estados Unidos de América)	48,7° N	97,9° W
Alaska (Estados Unidos de América)	64,3° N	149,2° W
Thule (Groenlandia)	76,6° N	68,3° W
Fylingdales Moor (Reino Unido)	54,5° N	0,4° W
Pirinclik (Turquía)	37,9° N	40,0° E

3 Criterios de protección para los servicios existentes en la gama de frecuencias 420-470 MHz

No todos los criterios de protección mencionados en este punto aparecen en las Recomendaciones UIT-R. Por lo tanto, algunos de estos criterios de protección se han obtenido a partir de la información extraída de los estudios realizados por el UIT-R. El Cuadro 3 refleja la información disponible en el instante de elaborar la presente Recomendación.

Cabe señalar que cualquier futura Recomendación que describa los criterios de protección para cualquier servicio tiene preferencia sobre los valores indicados en el cuadro obtenido de los estudios del UIT-R.

CUADRO 3

Criterios de protección para los servicios en la gama 420-470 MHz

Gama de frecuencias (MHz)	Servicios del UIT-R	Los porcentajes de tiempo y los criterios de las columnas 4 y 5 sólo se aplican en las siguientes zonas geográficas	Máximo porcentaje de tiempo durante el que puede rebasarse el criterio ⁽¹⁾	Criterios de interferencia en las estaciones receptoras	Fuentes
430-440	Aficionados	Dentro de la visibilidad directa de las estaciones de aficionados terrenales situadas en las regiones definidas en el <i>considerando l)</i>	1%	$dfp = -204 \text{ dB}(W/(m^2 \cdot \text{Hz}))^{(2)}$	Estudios del UIT-R
435-438	Aficionados por satélite	Dentro de la visibilidad directa de las estaciones terrenas del servicio de aficionados por satélites situadas en las regiones definidas en el <i>considerando l)</i>	1%	$dfp = -197 \text{ dB}(W/(m^2 \cdot \text{Hz}))$	Estudios del UIT-R
435-438	Aficionados por satélite	Dentro de la visibilidad directa de los receptores de las estaciones espaciales del servicio de aficionados	1%	$dfp = -187 \text{ dB}(W/(m^2 \cdot \text{Hz}))$	Estudios del UIT-R
420-470 ⁽³⁾	Fijo	Dentro de la visibilidad directa de las estaciones del servicio fijo incluidas las estaciones situadas en las regiones definidas en el <i>considerando m)</i>	No aplicable	$(I/N)_{MEDIA} = -20 \text{ dB}$ (equivalente a una degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento de 1%)	Recs. UIT-R F.758 y UIT-R F.1108
420-432 y 438-450	Radiocalización	Dentro de la visibilidad directa de los radares de perfil del viento	⁽⁴⁾	$(I/N)_{CRESTA} = -6 \text{ dB}$	Rec. UIT-R M.1462
420-450	Operaciones espaciales	Dentro de la visibilidad directa de los receptores de la orden de autodestrucción de vehículos de lanzamiento por razones de seguridad en las regiones definidas en el <i>considerando m)</i>	Separación en frecuencias o geográfica necesaria		Estudios del UIT-R

CUADRO 3 (Fin)

Gama de frecuencias (MHz)	Servicios del UIT-R	Los porcentajes de tiempo y los criterios de las columnas 4 y 5 sólo se aplican en las siguientes zonas geográficas	Máximo porcentaje de tiempo durante el que puede rebasarse el criterio ⁽¹⁾	Criterios de interferencia en las estaciones receptoras	Fuentes
420-450	Radiolocalización	Dentro de la visibilidad directa de los radares terrenales de seguimiento de objetos espaciales ⁽⁵⁾	⁽⁴⁾	$(I/N)_{CRESTA} = -6 \text{ dB}$	Rec. UIT-R M.1462
420-450	Radiolocalización	Dentro de la visibilidad directa de los radares a bordo de barcos	⁽⁴⁾	$(I/N)_{CRESTA} = -6 \text{ dB}$	Rec. UIT-R M.1462
420-450	Radiolocalización	Dentro de la visibilidad directa de los radares a bordo de aeronaves	⁽⁴⁾	$(I/N)_{CRESTA} = -6 \text{ dB}$	Rec. UIT-R M.1462
420-470 ⁽³⁾	Móvil	Dentro de la visibilidad directa de las estaciones del servicio móvil incluidas las estaciones situadas en las Regiones definidas en el <i>considerando m)</i>	0,1%	$\text{dfp} = -204 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))^{(2)}$	Estudios del UIT-R

⁽¹⁾ Considerando todos los SAR activos en esta gama de frecuencias.

⁽²⁾ La máxima dfp combinada especificada para la banda 430-440 MHz se ha basado en el máximo nivel de interferencia aceptable recibida por el lóbulo lateral medio de una antena receptora del servicio de aficionados.

⁽³⁾ En la gama de frecuencias 430-440 MHz, los servicios fijo y móvil sólo tienen atribuciones en algunos países mediante nota.

⁽⁴⁾ El criterio indicado en la Recomendación UIT-R M.1462 se basa en la protección de los sistemas de radiolocalización contra la interferencia similar al ruido. Puede ser posible la compartición entre sistemas de radiolocalización y sensores activos a bordo de vehículos espaciales con niveles de interferencia superior a los que aparecen en la citada Recomendación UIT-R M.1462 si se utilizan técnicas de procesamiento de la señal para filtrar las emisiones impulsivas no deseadas. En la Recomendación UIT-R M.1372 aparece una descripción de algunas de estas técnicas de supresión de la interferencia.

⁽⁵⁾ El SETS (activo) que funciona en la banda 420-450 MHz no deberá transmitir a la vista de los radares terrenales de seguimiento de objetos espaciales indicados en el Cuadro 2, a menos que para confirmar la compatibilidad con el acuerdo mutuo de las administraciones afectadas se haya realizado un análisis detallado, caso por caso, a fin de considerar los efectos del procesamiento del receptor del radar sobre las señales de los SAR no deseadas y posiblemente pruebas de funcionamiento práctico.

Anexo 2

Metodología para evaluar la interferencia y las técnicas de reducción de la interferencia

1 Introducción

Se presenta una metodología que permite realizar una estimación sobre si la señal recibida por otros servicios en la banda 420-470 MHz procedente de un sensor activo a bordo de un vehículo espacial puede causar o no dificultades si el sensor funciona en bandas de frecuencias comunes. La mayoría del contenido de este Anexo es extraído del Anexo 1 de la Recomendación UIT-R SA.1280 – Selección de las características de emisión de los sensores activos a bordo de vehículos espaciales para reducir la posible interferencia causada a radares terrenales que funcionan en las bandas de frecuencias 1-10 GHz. Los cálculos destacan un cierto número de parámetros del sensor que pueden elegirse de forma que se mejore la situación de compartición.

2 Cálculo de la interferencia causada a otros servicios

El valor medio de la dfp de la señal interferente, I_{dfp} (dB(W/(m² · Hz))) y el valor medio del nivel de potencia de la señal interferente, I (dBW), recibida por los otros servicios procedente de los sensores activos a bordo de vehículos espaciales se calculan mediante las siguientes fórmulas:

$$I_{dfp} = 10 \log P_t + 10 \log (\tau PRF) + G_t - (130,99 + 20 \log R + 10 \log B) + OTR - PG \quad (1a)$$

e

$$I = 10 \log P_t + 10 \log (\tau PRF) + G_t + G_r - (32,44 + 20 \log (fR)) + OTR - PG \quad (1b)$$

donde:

- P_t : potencia de cresta del transmisor del sensor a bordo del vehículo espacial (W)
- τ : anchura del impulso del sensor a bordo del vehículo espacial (s)
- PRF : frecuencia de repetición de impulsos del sensor a bordo del vehículo espacial (Hz)
- G_t : ganancia de antena del sensor a bordo del vehículo espacial hacia el otro servicio (dBi)
- R : distancia oblicua entre el sensor y el radar (km)
- B : anchura de banda del sensor (MHz)
- OTR : rechazo en sintonía del receptor (dB)
- PG : ganancia de procesamiento (dB), rechazo de señales no deseadas debido al procesamiento de la señal del receptor (si no se conoce, se supone que su valor es cero)
- f : frecuencia (MHz).

La ecuación (1a) proporciona el valor medio del nivel de dfp de la señal interferente y la ecuación (1b) proporciona el valor medio del nivel de potencia de la señal interferente. Éste se utiliza cuando puede determinarse que su empleo es adecuado. Por ejemplo, un radar que produce una transformada rápida de Fourier (TRF) en la señal recibida provocará la «borrosidad» de la señal pulsante disímil a través de un cierto número de impulsos, dando como resultado un nivel medio de la señal interferente. El término rechazo en sintonía se calcula del modo siguiente:

$$OTR = 10 \log (B_r/B_t) \quad \text{para } B_r \leq B_t \quad (2a)$$

$$= 0 \quad \text{para } B_r > B_t \quad (2b)$$

donde:

- B_r : anchura de banda del receptor
- B_t : anchura de banda de la señal interferente transmitida.

Si el valor de cresta de la señal interferente es importante, se debe omitir el segundo término de la ecuación (1), y el rechazo en sintonía se calcula como sigue:

Impulso de la señal de entrada sin modulación de frecuencia:

$$OTR = 20 \log (B_r \tau) \quad \text{para } B_r \tau < 1 \quad (3a)$$

$$= 0 \quad \text{para } B_r \tau > 1 \quad (3b)$$

Impulso de la señal de entrada con modulación de frecuencia:

$$OTR = 10 \log \left(\frac{B_r^2 \tau}{B_c} \right) \quad \text{para } \frac{B_r^2 \tau}{B_c} < 1 \quad (4a)$$

$$= 0 \quad \text{para } \frac{B_r^2 \tau}{B_c} > 1 \quad (4b)$$

donde:

B_r : anchura de banda de la FI del receptor de otro servicio

B_c : anchura de banda de la señal de chirrido del sensor a bordo del vehículo espacial

τ : anchura del impulso del sensor.

3 Criterios de interferencia aplicables a otros servicios

Los criterios específicos para sistemas concretos en otros servicios aparecen en el Cuadro 1 en términos de máximos valores de los límites de dfp combinada en las estaciones receptoras (dB(W/(m² · Hz))) y también el máximo porcentaje de tiempo en que pueden rebasarse los límites de dfp. Hay varios casos en los que se utiliza un criterio distinto, que se indican a continuación.

3.1 Radares de vigilancia

Se supone que la relación S/N recibida de los radares de vigilancia no puede estar degradada en más de 0,5 dB en un tiempo mayor al tiempo de exploración, tomado en 10 s. Esto equivale a una relación de potencia I/N de -9 dB en la etapa de FI del receptor. En el caso de los radares de vigilancia, el nivel de potencia medio de la señal interferente se considera importante.

3.2 Radares de seguimiento en el servicio de radiolocalización

Los radares de seguimiento suelen utilizar «ventanas de distancia» para excluir todos los retornos distintos a los de determinadas distancias de interés. Una consideración importante al determinar la susceptibilidad de un radar de seguimiento a un tren de impulsos interferentes es la fracción de impulsos interferentes que coinciden con las ventanas de distancia. La coincidencia de los impulsos interferentes con las ventanas de distancia dependerá de que las frecuencias de repetición de impulsos deseadas y no deseadas estén relacionadas (Caso I) o no (Caso II) con múltiplos enteros. La fracción de impulsos coincidentes, f_c , se calcula como sigue:

$$f_c = \frac{GCF(PR F_i, PR F_g)}{PR F_g} \quad \text{para el Caso I} \quad (5a)$$

$$f_c = PR F_i(\tau_g + \tau_i) \quad \text{para el Caso II} \quad (5b)$$

donde:

$PR F_i$: frecuencia de repetición del impulso interferente

$PR F_g$: frecuencia de repetición de la ventana

$GCF(PR F_i, PR F_g)$: máximo factor común de $PR F_i$ y $PR F_g$

τ_i : anchura del impulso interferente

τ_g : anchura de la ventana.

Obsérvese que cuando $\tau_i > \tau_g$ y las PRF deseadas y no deseadas no están relacionadas con múltiplos enteros (Caso II), f_c es aproximadamente el ciclo de trabajo de los impulsos interferentes. Se considera que esta situación corresponde al caso típico, y se utiliza en la siguiente determinación del umbral de degradación para un radar de seguimiento.

Para obtener datos de posición sumamente precisos sobre objetos de interés, los radares de seguimiento utilizan antenas de ganancia alta con haces principales estrechos y bien definidos. Un servomecanismo intenta mantener el eje de puntería del haz principal de antena en el blanco; el servomecanismo es activado por una señal de error generada por el error de ángulo entre el blanco y el eje de puntería de la antena. Las señales no deseadas que entran en el radar pueden aumentar este error sistemático.

Un umbral de degradación para un radar de seguimiento, expresado como una fracción permitida de impulsos interferentes coincidentes, f_c , en función de la relación S/I en la señal de salida FI, se expresa como:

$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90B_r\tau}{(S/I - 1)} - 1} \quad \text{para } S/I > 1 \quad (6a)$$

$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90B_r\tau}{(S/I - 1)} - 1} \quad \text{para } S/I < 1 \quad (6b)$$

donde:

a : factor asociado con el error de seguimiento total, incluida la degradación debida a la interferencia (por ejemplo, $a = 1,1$ permite un incremento del 0,1% o del 10% debido a la interferencia)

B_r : anchura de banda a 3 dB del filtro de FI del radar

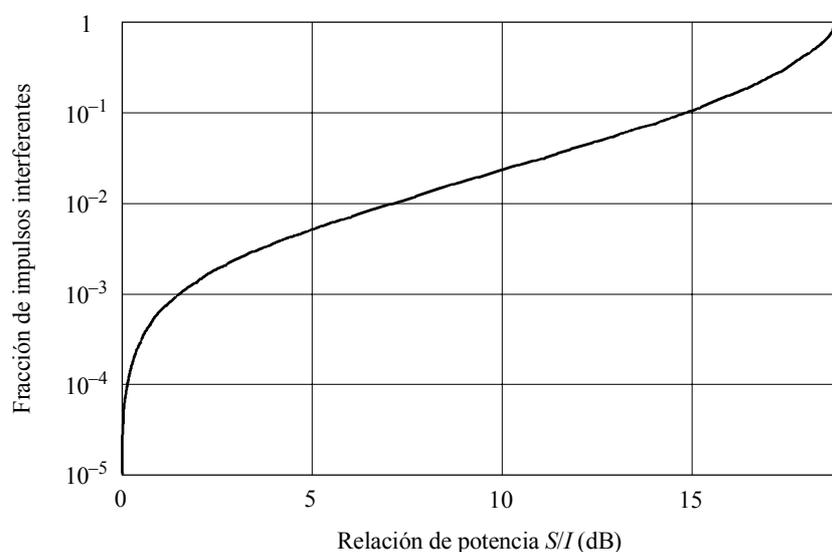
τ : longitud de los impulsos del blanco (obsérvese que $B_r\tau \cong 1$ para un radar de seguimiento)

S/I : relación de potencia señal/interferencia en la señal de salida de FI del radar (no en dB).

La Fig. 2 es una representación de la fracción de impulsos coincidentes en función de la relación S/I de la señal de salida de FI del radar, que permite un aumento del 10% en el error de seguimiento del radar debido a la interferencia. La fracción de impulsos coincidentes es aproximadamente el ciclo de trabajo del sensor (6%), de modo que una relación S/I de 13 dB corresponde a un error de seguimiento del 10%. Se supone que la relación S/I debe ser ≥ 13 dB para periodos de tiempo mayores de 3 s. (Dado que se han elaborado criterios de interferencia basados en un impulso interferente que coincide con la ventana de distancia del radar, debe utilizarse la potencia de cresta de la señal interferente.)

FIGURA 2

Relación S/I del radar en función de la fracción de impulsos interferentes coincidentes (aumento del 10% en el error de seguimiento)



1260-02

4 Análisis de un ejemplo de señal no deseada desde un sensor a bordo de un vehículo espacial a otros servicios

4.1 Características técnicas

4.1.1 Sensor a bordo del vehículo espacial

En el Cuadro 4 aparecen las características técnicas del sensor a bordo de un vehículo espacial representativo utilizado en el siguiente análisis.

CUADRO 4

Características del SAR de tipo 1 (SAR1) a bordo del vehículo espacial

Parámetro	Valor
Altura de la órbita (km)	750
Inclinación de la órbita (grados)	98,4
Potencia de cresta de RF radiada (W)	400
Potencia media de RF radiada (W)	4,4
Anchura del impulso (μ s)	50
PRF (Hz)	2 200
Modulación del impulso	MF lineal
Anchura de banda del impulso (MHz)	4,8
Ganancia de cresta de la antena (dB)	27,9
Orientación de la antena (grados)	37 desde el nadir
Primer lóbulo lateral de la antena (dB)	-17,6 con respecto al valor de cresta
Quinto lóbulo lateral de la antena (dB)	-34 con respecto al valor de cresta

4.1.2 Radares a bordo de aeronaves

En la Recomendación UIT-R M.1462 aparecen las características y los criterios de protección para los radares que funcionan en la banda de frecuencias 420-450 MHz. En análisis anteriores se ha llegado a la conclusión de que los sensores activos a bordo de vehículos espaciales no son técnicamente compatibles con los radares de seguimiento de objetos espaciales situados en tierra con un alto grado de sensibilidad.

En el análisis realizado mediante simulación informática se consideró la compatibilidad de los SAR a bordo de vehículos espaciales con los radares a bordo de aeronaves en esta banda de frecuencias. Los resultados a los que se llegó para los radares a bordo de barcos son similares a los obtenidos con los radares a bordo de aeronaves. En la Recomendación se señala una anchura de banda del receptor a bordo de la aeronave de 1 MHz y la antena del radar es una red de elementos radiantes coplanares de 22 dBi de ganancia. En el análisis se supuso que la antena realizaba una exploración en acimut con un ángulo de elevación de 0°. El criterio de protección para los radares es una relación I/N de -6 dB.

4.2 Método de análisis y resultados

4.2.1 Simulaciones informáticas

4.2.1.1 Ganancia de procesamiento

En el análisis de la posible interferencia causada por los SAR a bordo de vehículos espaciales a los receptores del servicio de radiolocalización no se supuso ninguna ganancia de procesamiento (es decir, la capacidad de rechazar la interferencia debida al procesamiento de la señal en el receptor). Para los sistemas de radiolocalización puede ser conveniente examinar la posible respuesta del receptor a las señales interferentes impulsivas tales como las procedentes de los SAR.

Generalmente no se publican los detalles de la resistencia de un radar a la interferencia de señales impulsivas. Sin embargo, muchos receptores de radar modernos, especialmente los que deben realizar una función de vigilancia en presencia de un eco significativo, efectuarán un procesamiento Doppler digital para detectar los blancos diferenciándolos de los ecos parásitos de fondo. El efecto de la TRF sobre la interferencia impulsiva entrante consistirá en esparcir la potencia de cresta de los impulsos a través de los intervalos de distancia Doppler próximos, lo que dará como resultado una promediación en potencia del efecto interferente.

4.2.1.2 Criterio de interferencia del radar

En la Recomendación UIT-R M.1462 se considera que el criterio de protección para los radares a bordo de aeronaves es una relación $I/N = -6$ dB. No se indica ningún porcentaje de tiempo o duración del periodo durante el cual sea admisible que la interferencia rebese este valor. No es conveniente aplicar a los radares el concepto de un porcentaje de tiempo durante el cual se permite que la interferencia pueda superar este valor, y especialmente a los radares de vigilancia tales como los radares a bordo de aeronaves considerados en este análisis. El concepto de pérdida de datos o «interrupción» permitida puede aplicarse a enlaces de comunicaciones o sistemas de sensores pero la detección de blancos, que es una función básica y crítica de los sistemas de radar, ocurre en un instante de tiempo y, por consiguiente, no son pertinentes las interrupciones de larga duración.

Un método utilizado en un cierto número de análisis similares efectuados por el UIT-R consiste en examinar los resultados de la simulación bajo la hipótesis de que un radar de vigilancia no puede degradarse durante un periodo de tiempo que rebese un solo periodo de exploración de la antena. Ello significa que un blanco puede quedar sin detectar durante el primer periodo de exploración en el que la detección podría haberse realizado con éxito. Los radares a bordo de aeronaves en este análisis tienen unos periodos de rotación de la antena del orden de 10 s. Por consiguiente, la interferencia no debe rebasar el valor de $I/N = -6$ dB durante más de 10 s. (Bajo esta hipótesis, un

blanco desplazándose a una velocidad de 800 km/h se aproxima a otro aproximadamente 2 km después de que la detección haya tenido lugar en ausencia de interferencia. Esto puede ser o no aceptable dependiendo de la situación.) Tras examinar los resultados de las simulaciones (utilizando la potencia interferente de cresta y media en los radares), resulta evidente la dificultad que puede presentar la compartición de frecuencias entre los SAR a bordo de vehículos espaciales y los radares.

4.2.1.3 Resultados de la simulación informática

Las simulaciones se realizaron utilizando SAR1 (véase el Cuadro 5). En el Cuadro 6 aparecen los resultados de simulaciones informáticas del entorno de interferencia esperado causado por un SAR1 a bordo de un vehículo espacial a los sistemas del servicio de radiolocalización. Todas las simulaciones se realizaron con incrementos de tiempos de 2 s y durante un periodo de 60 días. Obsérvese que dos resultados con respecto al porcentaje de tiempo en que aparece la interferencia también figuran en el Cuadro 6.

El primero es el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el criterio de interferencia cuando uno o más de los SAR son visibles (es decir, se encuentran por encima del horizonte) a las estaciones terrenas; el segundo es el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el criterio de interferencia en todo el periodo de simulación (es decir, incluidos los instantes cuando no hay visible ningún SAR en algunas partes de la Tierra).

CUADRO 5

Valor de cresta/media de la dfp interferente producida por los lóbulos principales y los lóbulos laterales del SAR1 en la banda P sobre la superficie de la Tierra

Parámetros	Valor	dB
Potencia transmitida (W)	400,00	26,02
Ganancia de cresta del lóbulo principal de la antena (dBi)	27,90	27,90
Nivel de los lóbulos laterales de la antena (dBi)	-6,10	-6,10
$1/(4\pi)$	$7,96 \times 10^{-2}$	-10,99
$1/(\text{distancia})^2$ (km)	972,80	-119,76
$1/\text{anchura de banda}$ (MHz)	1/4,80	-66,81
Anchura del impulso (μs)	50,00	
PRF (Hz)	2 200,00	
Densidad de potencia de cresta en el lóbulo principal (dBW)		-75,86
Densidad de potencia de cresta en el lóbulo lateral (dBW)		-109,86
dfp de cresta en el lóbulo principal (dB(W/(m ² · Hz)))		-143,6
dfp media en el lóbulo principal (dB(W/(m ² · Hz)))		-153,2
dfp de cresta en los lóbulos laterales (dB(W/(m ² · Hz)))		-177,6
dfp media en los lóbulos laterales (dB(W/(m ² · Hz)))		-187,2

CUADRO 6

Resultados de la simulación por ordenador

Receptor	Criterio	SAR1
Radar a bordo de aeronave	I/N , de caso más desfavorable (dB)	36,2
	I/N , media (dB)	-4,4
	Porcentaje de tiempo en que $I/N > -6$ dB (SAR visible) (%)	12,0
	Porcentaje de tiempo en que $I/N > -6$ dB (En todo instante) (%)	0,6
	Máximo periodo durante el cual $I/N > -6$ dB (min)	4,8
	Tiempo medio en que $I/N > -6$ dB (s)	7,3
	Número de veces en que $I/N > -6$ dB (sucesos)	3 823

5 Procedimiento para usar la metodología

La dfp media de un sensor activo a bordo de un vehículo espacial debe examinarse durante las etapas de diseño. Pueden examinarse las ecuaciones (1) a (4) para determinar los parámetros que pueden ajustarse potencialmente durante el diseño del sensor a bordo del vehículo espacial a fin de mejorar la compartición con los otros servicios. La potencia del transmisor, la ganancia de antena (en particular, los niveles del lóbulo lateral), la anchura del impulso y la frecuencia de repetición, así como la anchura de banda de la señal de chirrido, son parámetros cuyo ajuste es posible.

Cuando se analiza la compatibilidad entre un sensor a bordo de un vehículo espacial y un sistema de un servicio determinado, debe considerarse, si existe, la ganancia de procesamiento del sistema receptor ya que el análisis supone que no había ninguna. Esta hipótesis es válida para el caso general ya que no todas las estaciones receptoras tienen ganancia de procesamiento.

Considérense, por ejemplo, dos radares que funcionan en la banda 420-450 MHz:

- un radar de seguimiento con una anchura de banda de FI de 0,1 MHz (radar 1);
- un radar de avión para interceptación con una anchura de banda de FI de 1 MHz (radar 2).

Si el sensor a bordo del vehículo espacial del Cuadro 4 puede funcionar con una anchura de impulso y una anchura de banda de la señal de chirrido distintas, como en el Cuadro 7, puede lograrse una reducción significativa del nivel de la potencia de la señal no deseada.

CUADRO 7

**Ejemplo de reducción de la potencia del sensor de la señal no deseada recibida
a través de cambios en la anchura del impulso del sensor y la
anchura de banda de la señal de chirrido**

	Nuevos valores de los parámetros para el SAR1		ΔOTR (dB)	ΔP_{media} (dB)	ΔI (dB)
	τ (μs)	B_c (MHz)			
Radar 1	25	6	-4,0	No disponible ⁽¹⁾	-4,0
Radar 2	25	6	-0,0	-3,0	-3,0

⁽¹⁾ Se ha estimado conveniente utilizar la potencia media de la señal interferente para el radar a bordo de aeronave y la potencia de cresta de la señal interferente para el radar de seguimiento.

6 Conclusión

Se ha demostrado que debe ser posible reducir la d_{fp} para mejorar las características de emisión de un sensor activo a bordo de un vehículo espacial a fin de mejorar la compatibilidad con otros servicios. La potencia del transmisor del sensor, el diagrama de ganancia de antena, la anchura de los impulsos, la PRF y la anchura de banda de la señal de chirrido (si se utiliza modulación de frecuencia) constituyen posibles características que pueden ajustarse para mejorar la compatibilidad.
