

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1155^{*,**}**Criterios de protección relativos a la explotación de los sistemas de satélites de retransmisión de datos**

(1995)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que ya hay sistemas de satélites de retransmisión de datos funcionando o planificados de acuerdo con el sistema ficticio de referencia descrito en la Recomendación UIT-R SA.1018;
- b) que estos sistemas de satélites de retransmisión de datos soportan enlaces con características muy distintas, como se describe en el Anexo 1;
- c) que en la Recomendación UIT-R SA.1019 se identifican las bandas de frecuencias preferidas para los sistemas de satélites de retransmisión de datos;
- d) que en todas las bandas de frecuencias preferidas, identificadas en la Recomendación UIT-R SA.1019, es necesaria la compartición entre los sistemas de satélites de retransmisión de datos y otros sistemas espaciales y terrenales de radiocomunicaciones;
- e) que en el futuro va a incrementarse el número de sistemas espaciales y terrenales de radiocomunicaciones que utilizan bandas compartidas con los sistemas de satélites de retransmisión de datos, lo cual se traducirá en un aumento de las posibles situaciones de interferencia;
- f) que los márgenes del enlace para los enlaces de ida y de retorno de los satélites de retransmisión de datos normalmente son de 2 a 4 dB;
- g) que los sistemas de satélites de retransmisión de datos transmitirán y recibirán señales de los servicios de operaciones espaciales, investigación espacial, exploración de la Tierra por satélite y fijo por satélite;
- h) que el Anexo 1 contiene información técnica detallada sobre los criterios de protección,

recomienda

1 que se utilicen los criterios de protección indicados en el Cuadro 1, especificados como niveles máximos de densidad espectral de potencia de interferencia combinada, procedente de todas las fuentes, que no deben rebasarse más del 0,1% del tiempo, para los diversos enlaces de los sistemas de satélites de retransmisión de datos;

2 que en los estudios para desarrollar criterios de compartición con otros sistemas terrenales y espaciales se utilicen como base los niveles máximos de interferencia combinada indicados en el § 1. Los criterios resultantes utilizados para facilitar la compartición pueden ser distintos de los que figuran en el § 1.

* La Comisión de Estudio 7 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2003 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

** Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4, 8 y 9 de Radiocomunicaciones.

CUADRO 1

Criterios de protección

Enlace del satélite de retransmisión de datos	Ubicación del receptor	Densidad de potencia (dB(W/kHz))
Enlace de ida entre órbitas 2 025-2 110 MHz 13,5-13,8 GHz 22,55-23,55 GHz	Vehículo espacial del usuario	-181 -178 -178
Enlace de retorno entre órbitas 2 200-2 290 MHz 14,89-15,18 GHz 25,25-27,5 GHz	Satélite de retransmisión de datos	-181 -178 -178
Enlace de conexión de ida 14,5-15,35 GHz 27,5-30,0 GHz	Satélite de retransmisión de datos	-167 -169
Enlace de conexión de retorno 13,4-14,05 GHz 10,81-10,86 GHz 17,7-21,2 GHz	Estación terrena	-176 -176 -172

Anexo 1

Análisis de la posibilidad de interferencia en los enlaces de satélites de retransmisión de datos

1 Introducción

Gran parte del espectro adecuado para la investigación espacial está también atribuido a otros servicios y, en consecuencia, es necesario compartir las frecuencias entre los servicios. En la presente Recomendación se examinan los factores que intervienen en la posibilidad de causar interferencia en los enlaces hacia estaciones espaciales geoestacionarias que funcionan como satélites de retransmisión de datos procedentes de vehículos espaciales en órbita baja de los servicios de investigación espacial, operaciones espaciales y exploración de la Tierra por satélite así como de estaciones terrenas de estos mismos servicios o del servicio fijo por satélite. Se especifican los criterios de protección adecuados para estos servicios en las bandas de frecuencias comprendidas entre 2 y 30 GHz. Estos criterios de protección deben utilizarse en los análisis de coordinación e interferencia cuando no se disponga de datos sobre el sistema real.

2 Consideraciones generales

Los sistemas de investigación espacial, de operaciones espaciales y de exploración de la Tierra en las regiones próximas a la Tierra se han basado siempre en comunicaciones bidireccionales regulares y sin interferencia entre vehículos espaciales y centros de control u otras instalaciones en la Tierra. Sin embargo la evolución y ampliación de estas actividades han pasado a depender de los satélites de retransmisión de datos, descritos en el Informe UIT-R SA.848.

Esas operaciones dependen de los enlaces espacio-espacio, que son más difíciles de diseñar e implementar que los enlaces espacio-Tierra, descritos en el Informe UIT-R SA.985, porque tanto el sistema transmisor como el sistema receptor se encuentran sometidos a limitaciones de masa y potencia y, en la mayoría de los casos, también a las limitaciones inherentes al control a distancia y a la imposibilidad de mantenimiento de los sistemas situados a bordo de vehículos espaciales.

Se tiende a que los sistemas de estos tipos utilicen métodos de modulación eficaces en anchura de banda tales como MDP-2 y MDP-4, complementados con técnicas de codificación de errores sin canal de retorno, tales como la codificación convolucional y la codificación por bloques, con el fin de aumentar la calidad de la señal y reducir la potencia de señal necesaria. En algunos sistemas se emplean técnicas de modulación de espectro ensanchado para disminuir la densidad de potencia de la señal y se utilizan técnicas de modulación de secuencias pseudoaleatorias (similares o idénticas a las técnicas de modulación de espectro ensanchado) para efectuar mediciones de distancia a fin de determinar la ubicación del vehículo espacial. También se utilizan dispositivos de bucle de enganche de fase durante las secuencias de búsqueda, adquisición y seguimiento.

3 Criterios de protección

En los enlaces espacio-Tierra y Tierra-espacio conviene reducir al mínimo los márgenes del enlace para ahorrar masa y potencia, para disminuir las posibilidades de interferencia y por razones económicas. En los enlaces espacio-espacio este interés es aún mayor puesto que ambos extremos del enlace se encuentran a bordo de vehículos espaciales. Valores típicos de los márgenes de diseño del enlace global, que, en el caso de satélites de retransmisión de datos, consideran el enlace espacio-espacio en tándem con el enlace espacio-Tierra o con el enlace Tierra-espacio (denominado, a veces, enlace de conexión), son normalmente 2 a 3 dB, una vez tenidos en cuenta todos los márgenes necesarios para compensar los efectos de los fenómenos meteorológicos sobre el enlace de conexión. El margen de diseño del enlace para los enlaces espacio-espacio puede tener valores tan pequeños como 1 dB, debido a las grandes limitaciones de lanzamiento al espacio de los sistemas de transmisión y recepción, en contraste con la posibilidad de aumentar el tamaño de la antena de una estación receptora en la superficie.

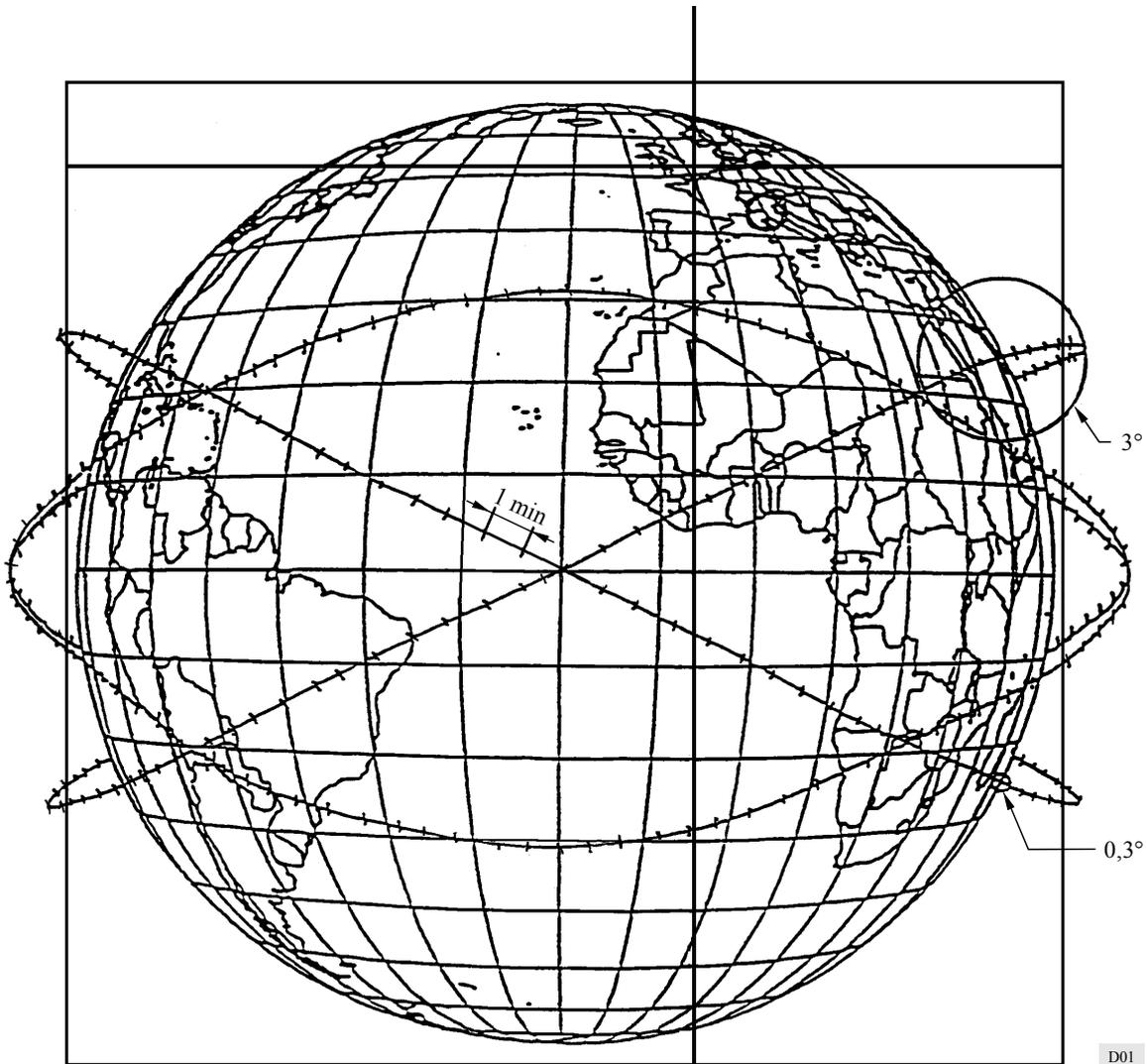
Habida cuenta de estos reducidos márgenes de diseño, una reducción del margen del enlace de 0,2 dB ocasionada por la interferencia podría ser perjudicial para los enlaces espacio-espacio.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, especialmente a las frecuencias más elevadas, estos enlaces no se verán permanentemente afectados por una sola fuente de interferencia procedente de la superficie, puesto que la geometría del enlace varía constantemente debido al movimiento del vehículo espacial en órbita baja. La duración de la interferencia dependerá de la anchura de haz de la antena receptora del satélite de retransmisión. Valores típicos de la anchura de haz son 3° a 2 GHz y $0,3^\circ$ a 26 GHz. Las duraciones correspondientes de interferencia para una fuente de señal en órbita baja típica son de 17 min para un haz de 3° y 1 min para un haz de $0,3^\circ$, como puede verse en la Fig. 1.

Por otro lado, los modelos de interferencia que se repiten siempre que aparece una geometría de enlaces específica causarán problemas sistemáticos a las observaciones en tiempo real de la superficie de la Tierra desde un vehículo espacial en órbita baja.

FIGURA 1

Trayectoria típica de un satélite en órbita baja vista desde la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG)



Los niveles de interferencia perjudicial a los enlaces Tierra-espacio dependerán de la distribución de márgenes entre los enlaces en tándem Tierra-espacio y espacio-espacio. La geometría de los enlaces Tierra-espacio dirigidos hacia los satélites de retransmisión de datos no varía con el tiempo.

En el análisis que sigue se supone un valor fijo de reducción del margen del enlace de 0,4 dB debido a la interferencia procedente de una sola fuente; este valor se ha utilizado en otros casos similares (Informe UIT-R S.560, Informe UIT-R S.872, Informe UIT-R S.561, Informe UIT-R S.712). Corresponde a un valor de la relación necesaria entre la potencia de ruido del sistema y la potencia de interferencia (N/I) dentro de la anchura de banda de referencia de por lo menos 10 dB.

3.1 Anchura de banda de referencia

Los sistemas utilizan tipos de modulación directa, de tal forma que la anchura de banda de referencia en la que debe especificarse la relación de protección depende de la velocidad de transmisión de datos más baja y de la anchura de banda del receptor que probablemente se utilizará. Para enlaces espacio-espacio que funcionan en frecuencias de la banda 10, es probable que la velocidad de transmisión de datos mínima sea de aproximadamente 1 kbit/s y en la banda 9 de unos 100 bit/s. Para mayor sencillez, los criterios de protección se expresan con referencia a una

anchura de banda de 1 kHz, aunque en algunos casos sería más adecuado utilizar una anchura de banda de referencia más pequeña.

3.2 Porcentaje de tiempo de referencia

En misiones tripuladas, una interrupción de las comunicaciones de más de 5 min durante fases críticas, tales como citas y acoplamientos con otros vehículos espaciales o actividades extravehiculares, podría afectar seriamente la misión.

En misiones tripuladas y no tripuladas, el valor de referencia es el 0,1% del tiempo. El porcentaje de tiempo se basará en el periodo orbital de los satélites.

En misiones de observación de la Tierra con objetivos meteorológicos, ecológicos, topográficos y de otro tipo, la interferencia regular provocada por ubicaciones específicas en la superficie durante periodos tan breves como 1 min podrían impedir la observación en tiempo real de áreas específicas de la superficie terrestre (generalmente, debido a la geometría de la interferencia, áreas situadas a cientos de kilómetros de la fuente de interferencia). Con una anchura de haz del satélite de retransmisión de datos de $0,3^\circ$, un valor de referencia satisfactorio es el 0,1% del tiempo. No obstante, con una anchura de haz de 3° , este tiempo debería reducirse al 0,003% del tiempo debido a que aumenta el tiempo en el que la interferencia sería perjudicial.

Asimismo, en misiones relativas a operaciones en tiempo real tales como la manipulación robótica de instrumentos, maquinaria o productos químicos (actividades denominadas a veces «teleciencia»), cualquier interrupción de las comunicaciones podría tener consecuencias muy costosas. Aunque estas operaciones podrían quizás programarse para evitar fuentes conocidas de interferencia, el valor de referencia para estas aplicaciones debe ser también el 0,003% del tiempo.

3.3 Niveles de protección necesarios

Las comunicaciones a través de un satélite de retransmisión de datos comprenden dos enlaces en serie, ya sea «de ida», es decir un enlace «de conexión» Tierra-espacio en tándem con un enlace «entre órbitas» espacio-espacio, o «de retorno», es decir un enlace «entre órbitas» espacio-espacio en tándem con un enlace «de conexión» espacio-Tierra.

Para determinar los niveles de protección debe considerarse tanto al enlace de conexión como al enlace entre órbitas.

3.3.1 Receptores de la estación espacial

La temperatura de ruido total de un receptor típico de estación espacial es generalmente de 600 K a unos 2 GHz y aumenta hasta 1 200 K a unos 20 GHz, cuando la antena del vehículo espacial apunta a la Tierra (290 K). Basándose en el requisito de 10 dB para N/I , puede producirse interferencia perjudicial si la densidad de potencia de la interferencia similar al ruido o la potencia total de la interferencia de tipo onda continua, en cualquier banda individual o en todos los conjuntos de bandas de 1 kHz de anchura, es superior a -181 dB(W/kHz) a unos 2 GHz, y -178 dB(W/kHz) a unos 20 GHz en los terminales de entrada del receptor.

La contribución de ruido del enlace de conexión de ida es pequeña debido a la ganancia de transmisión negativa de los satélites de retransmisión de datos y, en consecuencia, no se ha considerado.

3.3.2 Receptores de la estación terrena

En las bandas de frecuencias 10-20 GHz, la temperatura de ruido típica de una estación terrena de recepción es de unos 300 K, lo que produce una densidad de potencia de ruido en el extremo de usuario, N_{eu} , de $-203,8$ dB(W/Hz), como se indica en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Interferencia en un satélite de retransmisión de datos

Parámetros	Estación terrena a satélite de retransmisión de datos		Vehículo espacial de usuario a satélite de retransmisión de datos		
Banda de frecuencias del satélite de retransmisión de datos (GHz)	30	15	26	15	2
Anchura de banda de referencia (kHz)	1	1	1	1	1
Densidad de potencia de ruido del satélite de retransmisión de datos, N_r (dB(W/Hz))	-196,0	-196,8	-197,8	-198,6	-200,8
Ganancia de transmisión, y (dB)	-8,5	-11,0	6,4	2,5	20,7
Densidad de potencia de ruido del usuario final, N_{eu} (dB(W/Hz))	-197,8	-198,6	-203,8	-203,8	-203,8
Densidad de potencia de ruido equivalente, N_e (dB(W/Hz))	-197,0	-198,1	-191,8	-195,5	-180,1
Densidad de potencia de interferencia causada al usuario final (dB(W/Hz))	-207,0	-208,1	-201,8	-205,5	-190,1
Densidad de potencia de interferencia causada al satélite de retransmisión de datos (dB(W/Hz))	-198,5	-197,1	-207,6	-207,9	-210,8
Área efectiva de la antena de recepción (dBm ²)	-10,0	1,0	6,2	8,3	8,5
Densidad de flujo de potencia de interferencia en la OSG (dB(W/Hz.m ²))	-188,5	-198,1	-213,8	-216,2	-219,3

Sin embargo, la densidad de potencia de ruido equivalente total, N_e , recibida de un satélite de retransmisión de datos sin procesamiento de la señal a bordo o repetidores de remodulación incluye la densidad de potencia de ruido del satélite de retransmisión de datos, N_r , multiplicada por la ganancia de retransmisión, y :

$$N_e = y N_r + N_{eu}$$

Utilizando los parámetros de un sistema típico de satélite de retransmisión de datos y suponiendo que no hay interferencia simultánea en el receptor del satélite, se han determinado los niveles umbral de la interferencia en la estación terrena del usuario final para parámetros típicos de la red de satélites de retransmisión de datos, basándose en el requisito de 10 dB para N/I ; estos valores se presentan en el Cuadro 1.

3.3.3 Satélites de retransmisión de datos

De forma similar, la densidad de potencia de ruido equivalente total, N_{er} , referida a la entrada del satélite de retransmisión de datos incluye la densidad de potencia de ruido del usuario final dividida por la ganancia de transmisión:

$$N_{er} = N_r + N_{eu}/y$$

En consecuencia, suponiendo que no hay interferencia simultánea en el usuario final, tanto si se trata de una estación terrena (para un enlace de retorno) o de un vehículo espacial de usuario (para un enlace de ida), se han determinado los niveles umbral de interferencia en el satélite de retransmisión de datos para parámetros típicos de la red de satélites de retransmisión de datos, basándose en el requisito de 10 dB para N/I ; estos valores se presentan en el Cuadro 2.