

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1583-1
(10/2007)

**Cálculo de la interferencia entre
los sistemas no geoestacionarios del
servicio móvil por satélite o del servicio
de radionavegación por satélite y los
emplazamientos de los telescopios
de radioastronomía**

Serie M

**Servicios móviles, de radiodeterminación,
de aficionados y otros servicios
por satélite conexos**



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

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

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1583-1*

Cálculo de la interferencia entre los sistemas no geostacionarios del servicio móvil por satélite o del servicio de radionavegación por satélite y los emplazamientos de los telescopios de radioastronomía

(Cuestión UIT-R 236/8)

(2002-2007)

Alcance

En la presente Recomendación se describe el método que ha de utilizarse para calcular la cantidad de datos perdidos a causa de la interferencia producida en un emplazamiento de radioastronomía por un sistema de satélites no geostacionarios del servicio móvil por satélite o un sistema del servicio de radionavegación por satélite.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que, en algunos casos, el servicio de radioastronomía y los servicios espaciales (espacio-Tierra) tienen atribuidas bandas de frecuencias adyacentes o cercanas;
- b) que el servicio de radioastronomía está basado en la recepción de emisiones con niveles de potencia muy inferiores a los que se utilizan generalmente en otros servicios de radiocomunicaciones;
- c) que, debido a que los niveles de potencia de recepción son bajos, el servicio de radioastronomía generalmente es más sensible que otros servicios a la interferencia procedente de emisiones no deseadas;
- d) que, debido a las características de los sistemas de satélites no geostacionarios (no OSG), y en particular al hecho de que la interferencia es variable en el tiempo, el nivel de interferencia provocada por estos satélites en los radiotelescopios no se puede calcular de la misma forma que en el caso de satélites OSG,

recomienda

- 1** que el cálculo de los niveles de emisiones no deseadas producidos por los sistemas de satélite no OSG del servicio de radionavegación por satélite (SRNS) o del servicio móvil por satélite (SMS) en los emplazamientos de radioastronomía se base en el método descrito en el Anexo 1;
- 2** que, en estos cálculos, se utilice el diagrama de antena descrito en la Recomendación UIT-R RA.1631 para representar el modelo de las antenas de radioastronomía;
- 3** que se utilice el método descrito en el Anexo 2 para calcular el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa el umbral de la densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe).

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 7 de Radiocomunicaciones.

Anexo 1

Cálculo de los niveles de emisiones no deseadas producidas por sistemas de satélites no OSG del SRNS o del SMS en los emplazamientos de radioastronomía

El método aquí descrito, que está basado en el concepto de «densidad de flujo de potencia equivalente» (dfpe), se utiliza para calcular los niveles de densidad de flujo de potencia (dfp) producidos por emisiones no deseadas de un sistema de satélites no OSG en los radiotelescopios, teniendo en cuenta las características tanto del sistema de satélites como de la antena del radiotelescopio. El valor de la dfpe es la combinación de las contribuciones de todas las emisiones de satélites expresada como la dfp de una sola fuente equivalente en el eje de puntería (valor de cresta del haz principal) del radiotelescopio.

1 Parámetros necesarios

Debido a las características particulares de los sistemas de los satélites no OSG, es evidente que el nivel de interferencia causada por estos satélites en un radiotelescopio no se puede calcular como se hace en el caso de los satélites OSG. Es necesario un proceso estadístico que tenga en cuenta el aspecto dinámico de los satélites no OSG.

La evaluación de la interferencia producida por los satélites en el radiotelescopio durante el tiempo de integración (2 000 s) debe basarse en cálculos estadísticos y debe tener en cuenta los parámetros tanto de los satélites como del radiotelescopio.

Parámetros del sistema de satélites no OSG:

- número de satélites visibles en el cielo desde la estación de radioastronomía;
- características orbitales detalladas de los satélites;
- dfp producida por cada satélite en el radiotelescopio dentro de la banda de radioastronomía considerada, que puede calcularse utilizando un modelo de máscara de emisiones no deseadas.

Parámetros del radiotelescopio:

- emplazamiento de la antena;
- diagrama y ganancia de antena;
- gama de las direcciones de puntería utilizadas en la práctica;
- dirección del eje de puntería;
- ángulo fuera del eje entre el eje de puntería de la antena de la estación de radioastronomía y las direcciones de los satélites transmisores;
- tiempo de integración (2 000 s).

2 Cálculo de los niveles de dfpe en los emplazamientos de radioastronomía

La ganancia de recepción de un radiotelescopio en dirección de un satélite no OSG (a diferencia de los satélites OSG) varía con el tiempo, debido principalmente al movimiento del satélite y la estructura angular fina del diagrama de lóbulos laterales del radiotelescopio. En algunos casos, la ganancia del radiotelescopio en dirección de un satélite será muy superior a 0 dBi, y en otros casos será inferior.

Además, en el caso de un sistema de múltiples satélites no OSG, es necesario incluir y tener debidamente en cuenta las contribuciones de todos los satélites.

Esto se puede hacer utilizando el concepto de la *dfpe* definido inicialmente para determinar las posibles condiciones de compartición entre los sistemas OSG y no OSG. En el siguiente punto se amplía este concepto para el caso de una estación de radioastronomía sometida a la interferencia de satélites no OSG.

2.1 Definición de *dfpe*

Si una antena, dentro de una anchura de banda de referencia, recibe potencia simultáneamente de varios transmisores situados a distancias diferentes, en direcciones distintas y con diversos niveles de *dfp* incidente, la *dfpe* es igual a la *dfp* que, recibida de un solo transmisor en el campo lejano de la antena en la dirección de máxima ganancia produciría una potencia a la entrada del receptor igual a la que recibe realmente combinando los distintos transmisores.

Para calcular la *dfpe* se utiliza la siguiente fórmula:

$$dfpe = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\phi_i)}{G_{r,máx}} \right] \quad (1)$$

donde:

- N_a : número de estaciones espaciales no OSG que son visibles desde el radiotelescopio
- i : índice de la estación espacial no OSG considerada
- P_i : potencia de RF de la emisión no deseada a la entrada de la antena (o la potencia radiada de RF si se trata de una antena activa) de la estación espacial transmisora considerada en el sistema no OSG, (dBW) en la anchura de banda de referencia
- θ_i : ángulo (grados), entre el eje de puntería de la estación espacial transmisora considerada en el sistema no OSG y la dirección del radiotelescopio
- $G_t(\theta_i)$: ganancia de la antena transmisora (expresada como una relación) de la estación espacial considerada en el sistema no OSG, en la dirección del radiotelescopio
- d_i : distancia (m) entre la estación transmisora considerada del sistema no OSG y el radiotelescopio
- ϕ_i : ángulo fuera del eje (grados), entre la dirección de puntería del radiotelescopio y la dirección de la estación espacial transmisora considerada en el sistema no OSG
- $G_r(\phi_i)$: ganancia de la antena receptora (expresada como una relación) del radiotelescopio, en la dirección de la estación espacial transmisora considerada del sistema no OSG (véase la Recomendación UIT-R RA.1631)
- $G_{r,máx}$: *dfpe* máxima ganancia (expresada como una relación) del radiotelescopio
- $dfpe$: *dfpe* instantánea (dB(W/m²)), en la anchura de banda de referencia en el radiotelescopio.

Para calcular la *dfpe* en la ecuación (1) se supone que la *dfp* resultante de todas las fuentes interferentes está dirigida al eje de puntería de la antena receptora, donde la ganancia de antena es máxima. Sin embargo, los criterios de protección de sistemas de radioastronomía utilizan como referencia un contorno de 0 dBi para la antena de radioastronomía. Utilizando el método de la

ecuación (1), la dfp provocada por todas las fuentes interferentes dirigidas a la ganancia 0 dBi de la antena receptora se puede calcular de esta forma:

$$dfpe_{G_r=0 \text{ dBi}} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{10} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot G_r(\phi_i) \right] \quad (2)$$

Los valores de $epfd_{G_r=0 \text{ dBi}}$ resultantes de la ecuación (2), promediados en un tiempo de integración de 2 000 s, pueden compararse con los niveles de dfp (definidos suponiendo una ganancia de antena de recepción de 0 dBi en dirección de la interferencia y para el tiempo de integración considerado).

NOTA 1 – Se supone que todos los transmisores están situados en el campo lejano del radiotelescopio (es decir a una distancia de más de $2D^2/\lambda$, donde D es el diámetro efectivo del radiotelescopio y λ es la longitud de onda de observación). Aunque estas condiciones no siempre se pueden cumplir, se considera que es una aproximación satisfactoria.

NOTA 2 – Para algunos radiotelescopios, la dirección de máxima ganancia (dirección del eje de puntería) no coincide siempre necesariamente con el eje geométrico del radiotelescopio.

NOTA 3 – En el caso de antenas activas, P_i debe considerarse como la potencia de RF radiada y no como la potencia a la entrada de la antena.

NOTA 4 – La ganancia de antena de la estación transmisora, $G_t(\theta_i)$ se determina a la frecuencia de la banda de radioastronomía considerada. Podría ser diferente de la ganancia a las frecuencias de las transmisiones previstas.

Anexo 2

Distribución de los niveles de dfpe

En este Anexo se describe un método para calcular las estadísticas de la dfpe en todo el cielo.

1 División del cielo en células que tengan aproximadamente el mismo ángulo sólido

En este método, la primera operación consiste en dividir el cielo en M anillos paralelos al horizonte, igualmente repartidos por lo que respecta al ángulo de elevación entre 0° y 90° . La anchura de cada anillo es $90/M^\circ$. La siguiente operación consiste en dividir estos anillos en células, cuya anchura acimutal se elige de forma que haya un número entero de células en cada anillo, y es aproximadamente igual a:

$$\frac{90/M}{\cos(\text{elevación})} \quad \text{grados}$$

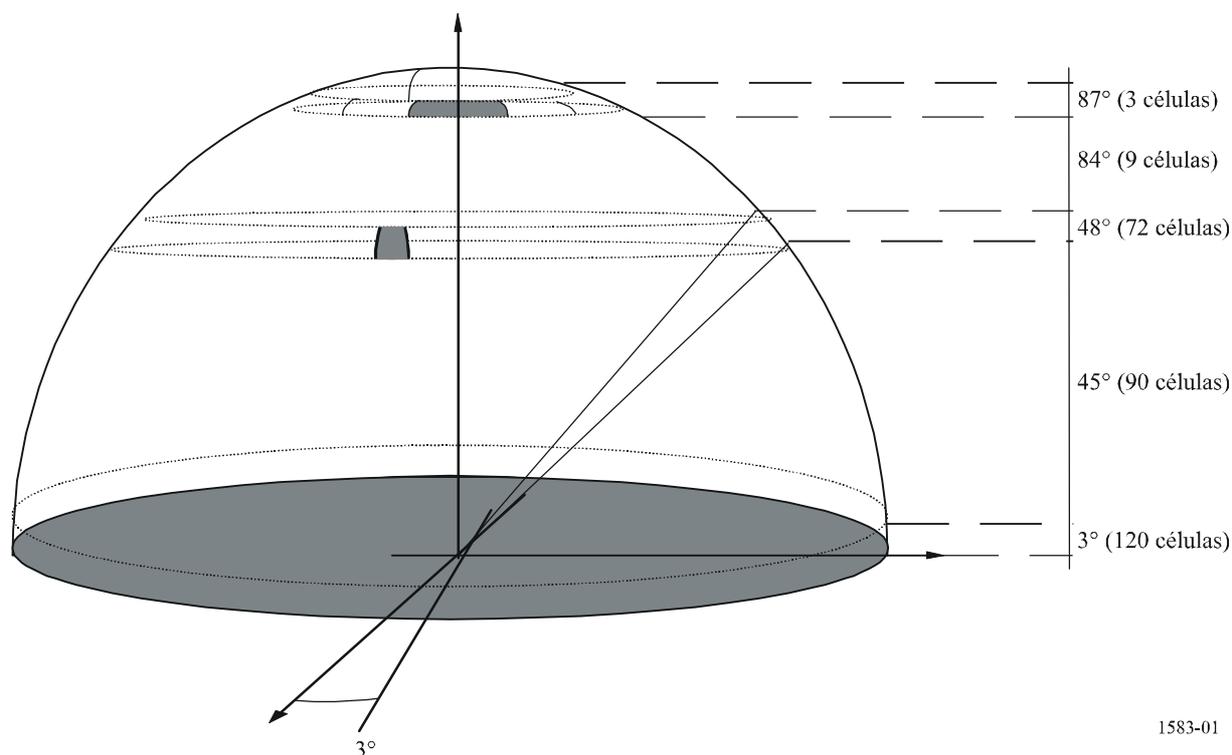
La Fig. 1 es un ejemplo de división con escalones de 3° de anchura en elevación, dividiendo el cielo en 30 anillos que tienen un ángulo de elevación de 3° . En estas condiciones, la anchura en el eje acimutal es aproximadamente:

$$\frac{90/30}{\cos(\text{elevación})} \quad \text{grados}$$

La elevación es el valor medio en un anillo determinado.

FIGURA 1

Ejemplo de división del cielo en células con un ángulo sólido de unos 9 grados cuadrados



1583-01

De esta forma el cielo queda dividido en 2334 células con un ángulo sólido de 9 grados cuadrados aproximadamente cada una. En el Cuadro 1 se indica el número de células para cada anillo correspondiente a este ejemplo.

CUADRO 1

Ejemplo de división del cielo en células cuadradas con ángulo sólido de unos 9° cuadrados

Elevación del límite inferior del anillo (grados)	Ángulo sólido del anillo (grados cuadrados)	Ángulo sólido acumulativo (grados cuadrados)	Escalón de acimut (grados)	Número de células del anillo	Ángulo sólido de una célula (grados cuadrados)	Número de células acumulativo	Porcentaje de ángulo sólido (%)	Ángulo sólido acumulativo (%)
0	1 079,51	1 079,51	3	120	9,00	120	5,23	5,23
3	1 076,55	2 156,05	3	120	8,97	240	5,22	10,45
6	1 070,64	3 226,69	3	120	8,92	360	5,19	15,64
9	1 061,79	4 288,49	3	120	8,85	480	5,15	20,79
12	1 050,04	5 338,53	3	120	8,75	600	5,09	25,88
15	1 035,41	6 373,93	3	120	8,63	720	5,02	30,90
18	1 017,94	7 391,87	3	120	8,48	840	4,94	35,84
21	997,68	8 389,55	3	120	8,31	960	4,84	40,67
24	974,68	9 364,23	3	120	8,12	1 080	4,73	45,40
27	949,01	10 313,24	3	120	7,91	1 200	4,60	50,00

CUADRO 1 (*fin*)

Elevación del límite inferior del anillo (grados)	Ángulo sólido del anillo (grados cuadrados)	Ángulo sólido acumulativo (grados cuadrados)	Escalón de acimut (grados)	Número de células del anillo	Ángulo sólido de una célula (grados cuadrados)	Número de células acumulativo	Porcentaje de ángulo sólido (%)	Ángulo sólido acumulativo (%)
30	920,75	11 233,99	4	90	10,23	1 290	4,46	54,46
33	889,95	12 123,94	4	90	9,89	1 380	4,31	58,78
36	856,72	12 980,66	4	90	9,52	1 470	4,15	62,93
39	821,14	13 801,81	4	90	9,12	1 560	3,98	66,91
42	783,31	14 585,12	4	90	8,70	1 650	3,80	70,71
45	743,34	15 328,46	4	90	8,26	1 740	3,60	74,31
48	701,32	16 029,79	5	72	9,74	1 812	3,40	77,71
51	657,39	16 687,17	5	72	9,13	1 884	3,19	80,90
54	611,65	17 298,82	5	72	8,50	1 956	2,97	83,87
57	564,23	17 863,06	6	60	9,40	2 016	2,74	86,60
60	515,27	18 378,33	6	60	8,59	2 076	2,50	89,10
63	464,90	18 843,23	6	60	7,75	2 136	2,25	91,35
66	413,25	19 256,48	8	45	9,18	2 181	2,00	93,36
69	360,47	19 616,95	9	40	9,01	2 221	1,75	95,11
72	306,70	19 923,65	10	36	8,52	2 257	1,49	96,59
75	252,09	20 175,74	12	30	8,40	2 287	1,22	97,81
78	196,79	20 372,53	18	20	9,84	2 307	0,95	98,77
81	140,95	20 513,49	24	15	9,40	2 322	0,68	99,45
84	84,73	20 598,21	40	9	9,41	2 331	0,41	99,86
87	28,27	20 626,48	120	3	9,42	2 334	0,14	100,00

2 Distribución de la dfpe en una célula

Para empezar se elige aleatoriamente la dirección de puntería de la antena del servicio de radioastronomía correspondiente a una determinada célula del cielo según la división descrita en el punto anterior. Después se elige también aleatoriamente la hora de comienzo de la constelación. Entonces se puede calcular la dfpe para cada instante de un tiempo de integración de 2 000 s. A continuación, se calcula el valor medio de dfpe en esta prueba para la dirección de puntería y la hora de comienzo de la constelación elegidas.

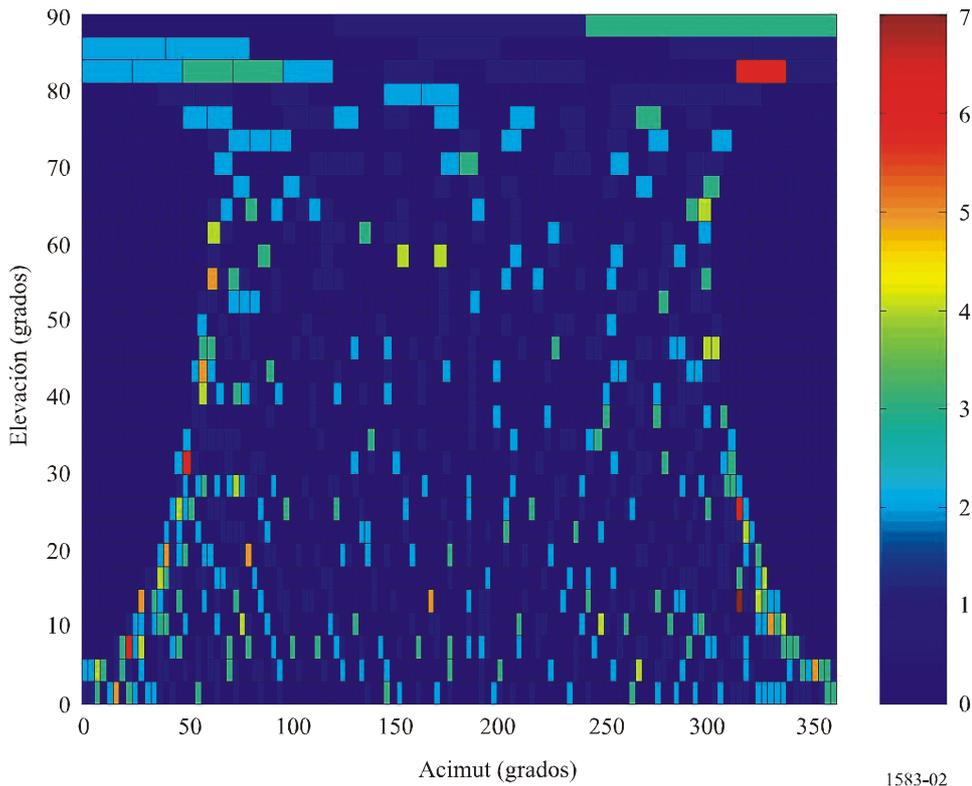
Esta operación se repite para obtener una distribución estadística de dfpe en la célula considerada. El método está basado en varias pruebas, calculando en cada una el valor medio de dfpe en un intervalo de integración de 2 000 s. Cuanto mayor sea el número de pruebas, más precisa será la distribución. Es necesario hacer un número adecuado de pruebas para lograr resultados suficientemente fiables. En particular, el resultado de multiplicar el número de pruebas por el tiempo de integración de 2 000 s debe ser considerablemente superior al periodo de la constelación. También es necesario hacer un muestreo estadístico apropiado para todo el periodo de la constelación. Cuando ya no se obtengan variaciones significativas en la distribución, se podrá afirmar que el número de pruebas realizadas es suficiente. Esta verificación podría hacerse de forma automática, como una parte de la simulación, o manualmente, deteniendo la simulación a intervalos regulares.

3 Resultado en términos de porcentaje de pérdida de datos

Los cálculos de dfpe descritos en el § 2 permiten obtener una distribución de niveles de dfpe para cada célula del cielo que puede compararse con los niveles umbral utilizados para las mediciones radioastronómicas. Cuando se superen estos niveles, se perderán algunos datos radioastronómicos. El porcentaje de esta pérdida se calcula como la suma de dichas pérdidas en todas las células dividida por el número de pruebas. En la Fig. 2. se muestra un ejemplo del porcentaje de pérdida de datos por célula en todo el cielo para una constelación no OSG del SRNS.

FIGURA 2

Distribución de la pérdida de datos en todo el cielo



1583-02