

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1143-1*

METODOLOGÍA ESPECÍFICA DEL SISTEMA PARA LA COORDINACIÓN DE ESTACIONES ESPACIALES NO GEOESTACIONARIAS (ESPACIO-TIERRA) QUE OPERAN EN EL SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE CON EL SERVICIO FIJO

(Cuestiones UIT-R 201/8 y UIT-R 118/9)

(1995-1997)

Resumen

Esta Recomendación describe las metodologías y las características del sistema fijo de referencia para aplicar la metodología específica del sistema (SSM – System Specific Methodology), descrita en la Resolución 46 (Rev.CMR-95) de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1995), que permite evaluar de manera detallada la necesidad de coordinar las asignaciones de frecuencia de estaciones espaciales no geoestacionarias (no OSG) (espacio-Tierra) y los sistemas de recepción del servicio fijo. Además, esta Recomendación describe una posible metodología para utilizarla en la coordinación bilateral entre estaciones espaciales transmisoras no OSG del servicio móvil por satélite (SMS) y estaciones del servicio fijo.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en la gama de frecuencias 1-3 GHz hay algunas atribuciones al servicio móvil por satélite (SMS) (espacio-Tierra), compartidas con el servicio fijo a título primario;
- b) que los sistemas del SMS, en órbitas distintas a las de los satélites no geoestacionarios (no OSG), tienen características individuales de sistema unívocas sobre todo en lo que respecta a parámetros orbitales, características de transmisión, altitud y ángulo de elevación;
- c) que la consideración de las características recomendadas en el *considerando* b) pueden ayudar a mejorar la compartición con los servicios fijos cuando se exceden los umbrales establecidos en la Recomendación UIT-R M.1141;
- d) que se dispone de métodos analíticos, criterios de interferencia y características de sistema descriptivos de los sistemas del servicio fijo en las bandas compartidas,

recomienda

- 1** que cuando se rebasen los umbrales establecidos en la Recomendación UIT-R M.1141 se utilice la metodología específica del sistema descrita en el Anexo 1 para la evaluación de la necesidad de coordinación de redes SMS no OSG (espacio-Tierra) con asignaciones del servicio fijo en las bandas de frecuencias 1 492-1 525 MHz, 1 525-1 530 MHz, 2 160-2 170 MHz, 2 170-2 200 MHz, 2 483,5-2 500 MHz y 2 500-2 535 MHz;
- 2** que se utilicen los métodos descritos en el Anexo 3 para evaluar el nivel de interferencia producido sobre enlaces del servicio fijo reales en el caso de actividades de coordinación detallada.

* La revisión de esta Recomendación fue realizada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones, que también se ocuparán conjuntamente de cualquier futura revisión.

Metodología específica del sistema que debe utilizar el programa informático normalizado (SCP – standard computation program) para determinar la necesidad de coordinación entre sistemas del SMS no OSG y el servicio fijo en las bandas atribuidas al SMS (espacio-Tierra)

1 Introducción

Se considera que una administración que tenga redes del servicio fijo terrenales existentes o planificadas puede resultar potencialmente afectada por emisiones procedentes de estaciones espaciales no OSG del SMS si se rebasan los criterios umbral de coordinación pertinentes para los sistemas del servicio fijo analógico y/o del servicio fijo digital indicados en la Recomendación UIT-R M.1141.

Para realizar la evaluación detallada de la necesidad de coordinación de las asignaciones de frecuencia entre estaciones espaciales no OSG del SMS de una constelación (una sola fuente), con asignaciones de frecuencia a estaciones de recepción del servicio fijo de una red del servicio fijo perteneciente a una administración posiblemente afectada, necesita desarrollarse el SCP. El SCP tiene en cuenta las características más específicas del sistema SMS no OSG y las características del servicio fijo de referencia. En todo este Anexo se sobrentiende que la expresión características del servicio fijo significa características de referencia. Los sistemas del servicio fijo de referencia específicos que se deben utilizar, entre los que se mencionan en el Anexo 2, deben corresponder a los tipos de sistemas del servicio fijo reales utilizados por la administración de que se trata.

El SCP requiere como entrada una caracterización del sistema del servicio fijo de referencia así como la del sistema de satélites no OSG del SMS, como se indica en el § 2.

El SCP calcula la interferencia producida por la constelación de satélites no OSG del SMS al sistema del servicio fijo de referencia empleando el método descrito en el § 3, sobre la base de las estadísticas pertinentes de datos anteriores.

Si no se exceden los criterios de interferencia máxima aplicable indicados en el § 4, se considera que no sería necesaria la coordinación (a menos que la administración responsable de los sistemas del servicio fijo indique otra cosa).

2 Requisitos de datos del servicio fijo y del SMS

2.1 Posición de la estación del servicio fijo y determinación del acimut de puntería del servicio fijo más desfavorable

Para cada administración se ejecuta el SCP para una muestra adecuada de latitudes (por ejemplo, cada 5°) que comprenda la gama de latitudes abarcadas por el territorio de esa administración. Para una determinada constelación de satélites no OSG del SMS y para una estación del servicio fijo interferida en una latitud dada, es posible determinar la dirección de puntería del acimut más desfavorable para la estación del servicio fijo en función del máximo potencial de interferencia que puede producir la constelación de satélites no OSG. De esta manera, se ejecuta el SCP para la dirección de puntería acimutal hacia el servicio fijo más desfavorable.

Las fórmulas que han de utilizarse para calcular el acimut más desfavorable aparecen en el § 5 del Apéndice 2 al Anexo 1 de la Recomendación UIT-R S.1257.

2.2 Datos de los sistemas analógicos del servicio fijo

Se supone que existen $M = 13$ estaciones analógicas cofrecuencia en una ruta centrada sobre una latitud dada con una línea directriz que corresponde al acimut más desfavorable para la constelación de satélites no OSG dada. Las rutas se extienden sobre una distancia igual a $D = 600$ km con estaciones separadas exactamente $d = 50$ km entre sí. El ángulo acimutal para cada estación se especifica mediante el ángulo de la línea directriz del acimut más desfavorable dada y el ángulo variable está distribuido uniformemente entre $V = \pm 12,5^\circ$. Se supone que cada estación del servicio fijo utiliza

* El programa informático normalizado debe prepararse con la participación de los expertos de las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones. La metodología que se describe en este Anexo podría necesitar actualizarse para reflejar los resultados del mencionado trabajo.

una antena de gran ganancia apuntada a la siguiente estación, con un ángulo de elevación igual a 0° . La ganancia de la antena de la estación del servicio fijo de punto a punto se ajusta al diagrama de antena que tiene lóbulos laterales promediados, como se define en la Recomendación UIT-R F.1245.

Las características del sistema analógico del servicio fijo de referencia se extraen del Apéndice 2 al Anexo 2 o, si están disponibles, se obtienen de datos del servicio fijo notificados por la administración a la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) y almacenados en la base de datos de la BR.

2.3 Datos de los sistemas digitales del servicio fijo

En contraposición a una ruta completa, solamente es necesario un receptor digital del servicio fijo para el análisis. La estación del servicio fijo se sitúa en una latitud determinada que apunta en la dirección del acimut más desfavorable. Se supone que la estación del servicio fijo utiliza una antena con un ángulo de elevación de 0° . La ganancia de la antena de la estación del servicio fijo tiene un diagrama de antena con lóbulos laterales promediados según se define en la Recomendación UIT-R F.1245.

Las características del sistema digital del servicio fijo de referencia se extraen del Apéndice 1 al Anexo 2 o, si están disponibles, se obtienen de los datos del servicio fijo notificados por la administración a la BR y almacenados en la base de datos de la BR.

2.4 Datos del SMS no OSG

Para caracterizar las redes del SMS no OSG se requiere información completa sobre los siguientes parámetros:

- frecuencia central,
- número de haces puntuales,
- potencia máxima de un satélite,
- características del haz puntual.

En el Apéndice 1 se proporciona una lista pormenorizada de los parámetros.

Se requiere información completa sobre la máxima densidad de p.i.r.e./4 kHz o 1 MHz en cualquier haz activo de cualquier satélite, con una superposición potencial de frecuencia portadora con el receptor supuesto del servicio fijo para todos los puntos de prueba en los instantes en que cualquier satélite resulta visible para el sistema del servicio fijo. Esta información debe reflejar, implícitamente, los planes de reutilización de frecuencias dentro del satélite y entre satélites, así como la carga de tráfico del haz puntual, teniendo en cuenta la distribución geográfica del tráfico esperada en el sistema del SMS.

En general, si en la constelación de satélites no OSG del SMS se emplea un método de acceso múltiple por división, de código/acceso múltiple por distribución de frecuencia (AMDC/AMDF), potencialmente todos los haces de todos los satélites visibles pueden funcionar en la misma frecuencia. Sin embargo, si en la constelación de satélites no OSG del SMS se emplea un método de acceso múltiple por división en tiempo (AMDT)/AMDF o AMDF, únicamente funcionarán en la misma frecuencia un subconjunto de los haces de los satélites visibles.

La Parte 1 del Apéndice 2 proporciona una metodología por defecto/de base para establecer un modelo de la carga del haz puntual del satélite. La Parte 2 del Apéndice 2 ofrece una metodología pormenorizada para crear un modelo de la carga de un haz puntual del satélite de los sistemas AMDC y AMDT cuando se ponen a disposición del sistema del SMS los datos de tráfico necesarios. Como para este sistema es necesario hacer previsiones sobre los datos de tráfico del SMS, normalmente deberá consultarse a las administraciones interesadas para aplicar la metodología de la Parte 2 del Apéndice 2.

Para todos los tipos de sistemas del SMS no OSG (AMDT, AMDF o AMDC), deben considerarse todos los satélites visibles de la constelación a fin de calcular la interferencia global producida a la estación del servicio fijo interferida, pero el tráfico debe distribuirse entre estos satélites.

3 Metodología para el cálculo de la interferencia

El SCP simula la interferencia producida por la(s) constelación(es) de satélites no OSG sobre la red del servicio fijo, del modo siguiente.

3.1 Bucle de cálculo

El programa calcula los vectores posición y velocidad de los satélites del sistema de satélites no OSG y de las estaciones del sistema del servicio fijo en cada instante de tiempo.

En cada muestra temporal, el SCP calcula la potencia interferente total en cada estación del servicio fijo interferida procedente de todos los haces puntuales activos de todos los satélites del SMS visibles y seleccionados adecuadamente. Si la anchura de banda del receptor del servicio fijo no se superpone completamente a la señal del SMS, la potencia interferente se ajusta en función del factor de la anchura de banda. En el caso analógico, la potencia interferente se refiere a 4 kHz.

La potencia interferente global para todos los haces puntuales activos de todos los satélites visibles desde la estación o estaciones del servicio fijo, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S \frac{E_{jk}}{L_{ik}} G^3(\alpha_{ijk}) G^4(\theta_{ik}) \frac{B_w}{B_{ij}} \frac{1}{F_k} \frac{1}{P_{ijk} A} \quad (1)$$

donde:

- I : potencia de la interferencia (W)
- i : 1 a N satélites considerados al calcular la interferencia para la k -ésima estación del servicio fijo
- j : 1 a S haces puntuales activos del satélite visible del SMS seleccionado para el que hay superposición de frecuencias con el receptor de la estación del servicio fijo considerada, teniendo en cuenta la pauta de reutilización de frecuencias del haz puntual del satélite
- k : 1 a M estaciones del servicio fijo en una ruta del servicio fijo
- E_{jk} : valor máximo de la densidad de p.i.r.e. en la anchura de banda de referencia de entrada a la antena, para el haz puntual activo j -ésimo en la dirección de puntería del i -ésimo satélite visible seleccionado (W/anchura de banda de referencia)
- B_{ij} : anchura de banda de referencia de la señal interferente procedente del haz puntual activo j -ésimo del satélite visible i -ésimo seleccionado (kHz)
- $G^3(\alpha_{ijk})$: discriminación de antena del haz puntual activo j -ésimo del satélite visible i -ésimo seleccionado hacia la estación k -ésima del servicio fijo
- α_{ijk} : ángulo entre el vector de puntería del haz activo j -ésimo del satélite visible i -ésimo en la dirección de la estación k -ésima del servicio fijo (grados)
- L_{ik} : pérdida en condiciones de espacio libre en la frecuencia de referencia dada desde el satélite visible i -ésimo seleccionado hasta la estación k -ésima del servicio fijo
- $G^4(\theta_{ik})$: ganancia de la antena de la estación k -ésima del servicio fijo en la dirección del satélite visible i -ésimo seleccionado
- θ_{ik} : ángulo entre el vector de puntería de la antena de la estación k -ésima y el vector distancia entre la estación k -ésima y el satélite visible i -ésimo seleccionado (grados)
- B_w : anchura de banda del receptor de la estación del servicio fijo interferida (4 kHz o 1 MHz)
- A : factor de promediación para tener en cuenta la variación temporal o de potencia de la portadora del SMS (frecuencias portadoras, potencia o tiempo)
- F_k : pérdida en los alimentadores de la estación k -ésima del servicio fijo
- P_{ijk} : factor de mejora de polarización entre el j -ésimo haz «spot» del satélite i -ésimo del SMS y la estación k -ésima del servicio fijo.

Puede aplicarse el factor de promediación A para tener en cuenta las variaciones temporales o de potencia y de la frecuencia dinámica de los niveles de tráfico del SMS en una anchura de banda de referencia determinada (debidas por ejemplo a la utilización de la activación por voz, ciclo de funcionamiento, control de potencia, según se apliquen al sistema no OSG SMS afectado). Se requieren más estudios sobre este punto.

Deberá utilizarse únicamente la mejora de polarización P_{ijk} si el satélite i -ésimo del SMS está dentro de la anchura del haz de 3 dB de la estación k -ésima del servicio fijo y si la estación k -ésima del servicio fijo está dentro de la anchura del haz de 3 dB del haz «spot» j -ésimo del satélite i -ésimo del SMS. P_{ijk} puede calcularse según la fórmula enunciada en la Nota 7 de la Recomendación UIT-R F.1245.

Se puede obtener una mejora del ciclo de simulación excluyendo del cálculo de interferencia los haces para los cuales α_{ijk} es mayor que un ángulo de «exclusión» dado.

3.2 Tamaño y número de etapas en el bucle de cálculo

Por una parte, la duración del programa debe ser lo más breve posible para que el usuario no tenga que esperar mucho tiempo los resultados y, por otra, es necesario disponer de suficientes ejemplos durante intervalos de tiempo oportunos para obtener resultados exactos, teniendo en cuenta toda la interferencia captada por el receptor de la estación del servicio fijo.

3.2.1 Incremento de tiempo

Se utilizan las siguientes fórmulas, cuyos cálculos se describen detalladamente en el Apéndice S4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR). Como la velocidad del satélite es aproximadamente la misma en el Ecuador y en latitudes superiores, el cálculo del incremento del tiempo de simulación Δt se realiza para un satélite situado en el Ecuador, teniendo en cuenta la rotación de la Tierra, la inclinación del satélite y la elevación de la antena de la estación fija. En el cálculo Δt no se emplea el acimut más desfavorable para la degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento (DFC) o el acimut de movimiento horizontal.

$$\omega = \sqrt{(\omega_s \cos I - \omega_e)^2 + (\omega_s \sen I)^2}$$

$$\theta_\varepsilon = \arccos\left(\frac{R}{R+h} \cos \varepsilon\right) - \varepsilon$$

$$\Delta t = \frac{\Phi_{3dB}}{N_{saltos} \omega} \frac{\sen \theta_\varepsilon}{\cos \varepsilon}$$

donde:

- ω : velocidad angular del satélite en coordenadas fijadas en la Tierra (sistema de coordenadas de referencia geocéntrico geosincrónico)
- ω_s : velocidad angular del satélite en coordenadas fijadas en el espacio (sistema de coordenadas de referencia geocéntrico heliosincrónico)
- ω_e : velocidad angular de rotación de la Tierra en el Ecuador
- I : inclinación de la órbita del satélite
- θ_ε : ángulo geocéntrico entre el satélite y la estación del servicio fijo
- R : radio de la Tierra
- h : altitud del satélite
- ε : ángulo de elevación de la antena de la estación del servicio fijo
- Φ_{3dB} : anchura de banda a 3 dB de la estación del servicio fijo
- N_{saltos} : número de saltos en la anchura de haz a 3 dB de la estación fija ($N_{saltos} = 5$)
- Δt : paso de tiempo de simulación.

3.2.2 Velocidad de precesión y tiempo de simulación total

A medida que pasa el tiempo, el punto subsatelital de la órbita circular del satélite SMS describe un trayecto sobre la superficie de la Tierra. Tras cierto número de órbitas completas, este trayecto volverá al mismo, o casi al mismo, punto sobre la superficie de la Tierra. El tiempo transcurrido para que esto suceda es el periodo de repetición del satélite. En algunas constelaciones, este periodo de repetición puede definirse basándose en otro satélite de la constelación que vuelve al mismo punto. En esos casos, el tiempo transcurrido entre los dos sucesos puede considerarse como el periodo de repetición de la constelación.

Algunas constelaciones tienen periodos de repetición cortos de varios días (generalmente menos de una semana), en tanto que otras tienen periodos muy largos, en ciertos casos muchos meses. Estas grandes diferencias exigen un examen especial pues los sistemas del servicio fijo deben satisfacer los requisitos de calidad de funcionamiento en cualquier mes. Se han identificado dos maneras de tratar estas discrepancias.

Para constelaciones con periodos de repetición inferiores a una semana, la solución podría consistir en utilizar el periodo de repetición de la constelación como el tiempo de simulación total y activar el programa para varios valores de la ascensión recta (posición inicial del nodo ascendente del plano orbital número 1) comenzando desde una longitud de 0° y llegando hasta una longitud equivalente a la distancia angular entre dos planos orbitales consecutivos. Ello aseguraría la identificación del caso más desfavorable desde el punto de vista del servicio fijo. Se requiere nuevos estudios para estimar el valor del paso de aumento de longitud, relativo al número de incrementos de tiempo durante el cual el satélite está dentro del haz principal de una estación del servicio fijo (véase el § 3.2.1).

Para constelaciones con periodos de repetición muy largos, el uso de este periodo como el tiempo de simulación total podría dar lugar a un tiempo de ejecución en la unidad central de procesamiento (CPU – central processing unit) excesivamente dilatado. Además, los trayectos sobre la superficie de la Tierra estarían uniformemente distribuidos y la resolución en longitud (distancia longitudinal entre dos trayectos vecinos) sería innecesariamente pequeña. En tales casos, debe emplearse una velocidad de precesión artificial con la que se obtendría una resolución en longitud del mismo orden de magnitud que el paso de incremento de longitud descrito en el caso anterior. La velocidad de precesión artificial produciría un periodo de constelación artificial, significativamente más corto que el periodo real, reduciendo así el tiempo de ejecución en la CPU. Sin embargo, es necesario evaluar los resultados de simulación para varios periodos de un mes dentro del ciclo de repetición a fin de estimar la variabilidad de la DFC mes a mes.

4 Criterios de interferencia aplicables

4.1 Servicio fijo analógico

El SCP calcula las estadísticas de la interferencia sobre la base de la potencia de ruido de la interferencia global acumulada para todas las estaciones y calculada en cada punto de prueba. Las estadísticas de interferencia proporcionan la probabilidad de que la potencia de ruido de interferencia recibido global rebase un umbral de interferencia determinado.

Puede utilizarse, para este fin, el método del Anexo 2 a la Recomendación UIT-R F.1108, basada en parte en la Recomendación UIT-R SF.766 con los siguientes parámetros:

- N_t : potencia de ruido térmico introducida en un canal telefónico de 4 kHz en una estación = 25 pW ponderados somométricamente en un punto de nivel relativo 0 (pW0p)
- T : temperatura de ruido del sistema receptor de la estación (K)
- L_f : pérdida en el alimentador (dB).

A fin de evaluar si debe realizarse o no la coordinación, se compara la distribución de la potencia de interferencia con la plantilla objetivo de interferencia de dos puntos consistente en un objetivo de interferencia a largo plazo y otro a corto plazo definidos en la Recomendación UIT-R SF.357.

4.2 Sistema digital del servicio fijo

En el caso del servicio fijo digital, el SCP calcula la DFC (FDP – fractional degradation in performance) para la estación digital, como se indica en el Anexo 3 a la Recomendación UIT-R F.1108:

$$FDP = \sum_{I_i = \text{mín}}^{\text{máx}} \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (2)$$

donde:

- I_i : potencia de interferencia en la anchura de banda del receptor del servicio fijo, B_w
- f_i : fracción de tiempo en el que la potencia de la interferencia es igual a I_i
- N_T : nivel de potencia de ruido del sistema de recepción de la estación
= $k T B_w$

siendo:

- k : constante de Boltzmann
- T : temperatura de ruido del sistema de recepción de la estación (K)
- B_w : anchura de banda del receptor del servicio fijo (generalmente la DFC se calcula para una anchura de banda de referencia de 1 MHz).

A fin de evaluar si se requerirá o no la coordinación con respecto a los sistemas digitales del servicio fijo, se compara la DFC calculada con el criterio aplicable del 25%.

APÉNDICE 1

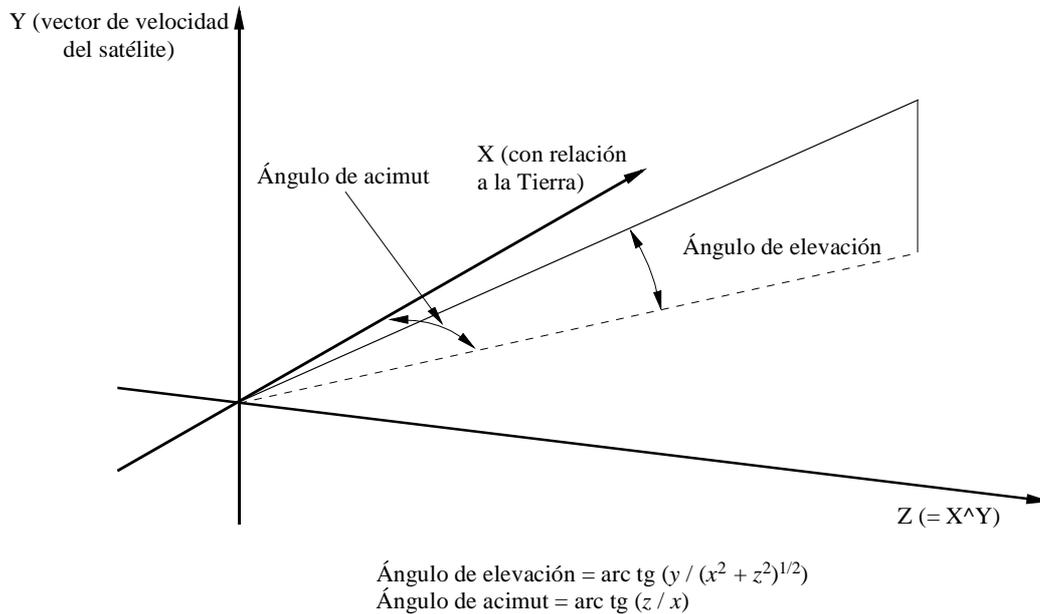
AL ANEXO 1

Lista de parámetros para el SMS

- Parámetros de la órbita:
 - radio de órbita (km),
 - inclinación (grados),
 - número de planos,
 - número de satélites por plano,
 - puesta en fase de satélites entre dos planos consecutivos (grados),
 - longitud del nodo ascendente de un plano en el instante 0,
 - ángulos entre planos (si no se especifica, los planos se encuentran uniformemente distribuidos).
- Para órbitas elípticas:
 - argumento de perigeo,
 - anomalía media,
 - movimiento medio y época.
- Número de haces puntuales
- Potencia máxima de un satélite (W)
- Características del haz puntual:
 - ángulo del acimut (grados) (véase la Fig. 1),
 - ángulo de elevación (grados) (véase la Fig. 1),
 - eje mayor (grados),
 - eje menor (grados),
 - eje mayor con respecto al acimut (grados),
 - ganancia máxima de antena (dBi),
 - diagrama de antena: por ejemplo, caracterizada por un factor de caída parabólico con un límite inferior, cualquiera de los diagramas de antena de satélite aplicables según la segunda reunión de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones sobre la utilización de la órbita de los satélites geostacionarios y la planificación de los servicios espaciales que la utilizan (Ginebra, 1988) (CAMR ORB-88) y la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para la radiodifusión por satélite (Ginebra, 1977) (CAMR RS-77), o como se describe en la Recomendación UIT-R S.672,
 - p.i.r.e. máxima del haz (dBW) en 4 kHz y 1 MHz,
 - anchura de banda máxima del haz (kHz),
 - p.i.r.e. media del haz (dBW) en 4 kHz y 1 MHz,
 - anchura de banda media del haz (kHz),
 - p.i.r.e. mínima del haz (dBW) en 4 kHz y 1 MHz,
 - anchura de banda mínima del haz (kHz),
 - polarización,
 - frecuencia central del haz (MHz).

FIGURA 1

Definición del sistema de coordenadas de referencia y de los ángulos de acimut/elevación de los satélites no OSG



1143-01

APÉNDICE 2

AL ANEXO 1

PARTE 1

Se supone que los haces puntuales de cada satélite tienen superposición de frecuencias con el receptor del servicio fijo y están cargados a un nivel determinado por una variación aleatoria entre los niveles de carga de tráfico máximo y medio.

NOTA 1 – La carga de tráfico media del SMS para cualquier haz puntual se obtiene dividiendo la máxima capacidad de tráfico instantánea del satélite por el número de haces puntuales del satélite.

PARTE 2

Un factor importante en el cálculo del nivel de interferencia causada a los sistemas del servicio fijo por los sistemas del SMS es la p.i.r.e. por haz puntual del satélite. La metodología de SCP, descrita en el Anexo 1, se basa en que la p.i.r.e. de cada haz se selecciona aleatoriamente entre los niveles *máximo* (máx) y *medio*. Podría hacerse una mejor evaluación del nivel de la señal del SMS en el servicio fijo, teniendo en cuenta la carga de tráfico del satélite.

Cuando el nivel de tráfico por haz varía en función de la demanda, la p.i.r.e. por haz puntual vendrá limitada por ciertas restricciones, por ejemplo:

- la carga total que puede cursar un determinado haz puntual;
- la carga total que puede cursar un determinado satélite.

Los modelos de tráfico deben tener en cuenta el hecho de que los niveles de tráfico en un determinado haz puntual pueden ser superiores al promedio, mientras ello no dé lugar a situaciones poco reales, por ejemplo, cuando todos los haces puntuales de todos los satélites funcionan a plena carga.

Para calcular la p.i.r.e. por haz puntual, a la espera de acceso a la tecnología, se utilizan dos métodos basados en los datos de entrada.

Metodología del sistema AMDT

Los datos de entrada se determinan dividiendo el mundo en células de igual tamaño en latitud y en longitud. Cada célula posee parámetros asociados con ella que pueden utilizarse para calcular el nivel de tráfico dentro de esa célula en cualquier momento durante la simulación. Los operadores del SMS proporcionarían estos parámetros basándose en la demanda prevista. Por lo tanto, se puede atribuir el tráfico a los haces puntuales, posiblemente compartidos entre múltiples satélites visibles, teniendo en cuenta el tráfico total permitido por haz y por satélite.

Metodología del sistema AMDC

El nivel de tráfico en cada país se define como alto, medio o bajo. Los operadores del SMS proporcionarían estos parámetros basándose en la demanda prevista. Por lo tanto, el haz puntual que cubre cada país se carga con una p.i.r.e. en base a este nivel de tráfico, teniendo en cuenta el tráfico total permitido por haz y por satélite.

En los puntos siguientes se describen los detalles de los pasos de las dos metodologías.

Paso 1: Metodología de tráfico del sistema AMDT

Los niveles de tráfico se determinan a partir de dos fuentes:

- un fichero de tráfico geográfico, establecido en forma de cuadrícula, que contiene para cada célula (latitud, longitud) un nivel de tráfico de cresta y un «desplazamiento durante las horas cargadas» que es la diferencia entre las horas a las que se produce el tráfico de cresta en la célula y en el siguiente fichero de variación del tráfico diurno;
- un fichero de variación del tráfico diurno, que contiene la variación normalizada del nivel del tráfico a lo largo del tiempo durante un día.

Puesto que la plataforma propuesta para el SCP es un ordenador personal, un tamaño conveniente de fichero de tráfico es 5° de latitud por 5° de longitud.

El nivel de tráfico se calcula de la siguiente forma:

- a) el tiempo de simulación actual y la posición de la estación proporcionan la hora local. Esto da un desplazamiento horario básico que se ha de usar con respecto al fichero de variación del tráfico diurno;
- b) el fichero de tráfico geográfico proporciona el desplazamiento adicional durante las horas cargadas para esta célula en particular;
- c) el desplazamiento horario total (es decir, la suma de los desplazamientos básico y durante las horas cargadas) se utiliza para obtener el porcentaje de tráfico en la célula que se emplea a partir del fichero de variación diurna:
 - Para el fichero de tráfico geográfico las variables se almacenan como:
 - desplazamiento en minutos con respecto a la hora local;
 - número de portadoras activas en la hora más cargada.
 - Para el fichero de variación del tráfico diurno las variables se almacenan como:
 - desplazamiento en minutos a partir del instante 0;
 - porcentaje de hora cargada, en una escala de 0 a 100.

Una vez calculado el porcentaje de tráfico, se multiplica por el número máximo de portadoras en la hora más cargada en el registro de tráfico de esta célula para obtener el número total de portadoras en la célula de tráfico para este paso temporal (el número de portadoras puede multiplicarse por la anchura de banda de la portadora para obtener la anchura de banda necesaria para esta célula de tráfico).

El paso siguiente consiste en distribuir el tráfico de una célula particular a uno o más satélites. Para el sistema LEO-F (órbita baja (de un satélite)) generalmente hay entre 2 y 4 satélites visibles con diferentes ángulos de elevación. Para cada satélite se supone que el tráfico se atribuye al haz con la huella más cercana del centro de la célula de tráfico. Se han realizado los dos algoritmos siguientes:

– *En proporción con la elevación*

En este caso el tráfico se atribuye a satélites según el ángulo de elevación. Por lo tanto, con dos satélites de ángulo de elevación de 30° y 60°, el satélite con la mayor elevación recibiría el doble de tráfico que el satélite con la elevación más baja.

– *En proporción con la elevación, cargando primero el satélite más alto*

Este algoritmo sesga el tráfico a ángulos de elevación altos, basándose en el principio de que el bloqueo depende del ángulo de elevación y de que existe la siguiente relación lineal: probabilidad de no bloqueo \sim ángulo de elevación/90°.

A continuación el tráfico se atribuirá a los satélites visibles, basándose en el principio de seleccionar en primer lugar el satélite de mayor elevación.

Si e es el ángulo de elevación/90°, entonces:

$$\begin{aligned} p_1 &= e_1 && \text{para el satélite 1} \\ p_2 &= (1 - e_1) e_2 && \text{para el satélite 2} \\ p_3 &= (1 - e_1) (1 - e_2) e_3 && \text{para el satélite 3, etc.} \end{aligned}$$

La relación de tráfico total atribuido al satélite n es:

$$T_n = p_n / \sum p_i$$

Si queda algo de tráfico sin atribuir tras la aplicación de uno de los algoritmos descritos anteriormente, se asignará a otros satélites.

Paso 2: Metodología de tráfico del sistema AMDC

Para cada paso de simulación y para cada satélite a la vista de la estación del servicio fijo, la simulación calcula la carga de tráfico en cada haz puntual y luego determina la p.i.r.e.

Existen tres niveles de tráfico: tráfico nulo, tráfico bajo y tráfico alto.

En cada haz puntual el tráfico se determina basándose en un cuadro de tráfico célula a célula y una variación diurna.

Según el nivel de tráfico, el subprograma determina la potencia en cada huella puntual de un satélite (potencia referida a la anchura de banda total del AMDC):

- tráfico nulo $\rightarrow P_{puntual_{mín}}$
- tráfico bajo $\rightarrow P_{puntual_{medio}}$
- tráfico alto $\rightarrow P_{puntual_{máx}}$

Por ejemplo, los valores para el sistema LEO-D serían:

$$P_{puntual_{máx}} = \frac{P_{sat_{máx}}}{4}$$

$$P_{puntual_{medio}} = \frac{P_{sat_{máx}}}{24}$$

$$P_{puntual_{mín}}, \text{ potencia necesaria para la señalización} = 4 \times \frac{P_{puntual_{máx}}}{50} = \frac{P_{sat_{máx}}}{50}$$

Luego la simulación calcula la potencia total transmitida del satélite; si es superior a la potencia máxima transmitida $P_{sat_{máx}}$, la potencia transmitida total se fija al valor $P_{sat_{máx}}$ y la potencia en cada haz puntual se reduce por el mismo factor.

Finalmente, el subprograma calcula la p.i.r.e. dirigida desde cada haz puntual i hacia la estación del servicio fijo:

$$\text{p.i.r.e.}_i(\theta, \varphi) = P_i \cdot G_i(\theta, \varphi)$$

APÉNDICE 3

AL ANEXO 1

Cálculo del incremento de tiempo**Obtención de las fórmulas**

En las siguientes ecuaciones, si no se hace mención de los grados, todos los ángulos se expresan en radianes (rad) y la velocidad en rad/min, salvo otra indicación.

En todos los casos de este Apéndice, el ángulo geocéntrico corresponde a un ángulo del sistema de coordenadas esféricas, cuyo origen es el centro de la Tierra. Cabe observar que si dos puntos situados en la Tierra a nivel del Ecuador tienen una diferencia de longitud de 1° , en ángulo geocéntrico la distancia es de 1° , pero en latitudes superiores la misma diferencia de longitud corresponde a un ángulo geocéntrico inferior; en latitud de 60° ésta sería de $0,5^\circ$.

Un ángulo (por ejemplo, para movimiento o intersección del haz de antena) en la envolvente de la órbita es diferente para un ángulo geocéntrico y para un ángulo visto desde la superficie de la Tierra. La relación entre estos dos ángulos depende de la altitud de la envolvente de la órbita y también de la dirección del movimiento (por ejemplo, si el movimiento es horizontal o vertical (= «hacia»)).

Un sistema de coordenadas geocéntrico puede estar fijo con respecto a la Tierra, y por lo tanto girar con ella, o bien las direcciones del eje pueden estar fijas con respecto al espacio. En el segundo sistema de coordenadas el plano orbital del satélite es casi estacionario; sólo la precesión gira a su alrededor.

Cuando se necesita calcular la velocidad del satélite, visto desde un punto dado sobre la Tierra, se debe tener en cuenta la rotación de la Tierra si se requieren resultados más aproximados. La velocidad de la Tierra que se ha de utilizar es la velocidad real de un punto sobre la superficie de la Tierra, que es un subpunto de un punto (por ejemplo, la intersección del haz de la antena del enlace o el satélite) en la envolvente de la órbita. La velocidad de la Tierra en el Ecuador es como un ángulo geocéntrico aproximadamente de $360^\circ/d$, pero en el polo es de 0° . Por consiguiente, depende de la latitud de la zona:

$$\omega'_e = (\cos L) \cdot \omega_e \quad (3)$$

donde:

ω_e : velocidad de rotación de la Tierra en el Ecuador

L : latitud de la zona.

Puesto que la latitud de la zona depende de la latitud del emplazamiento de observación y del acimut de observación, la velocidad también depende de estos parámetros.

La velocidad del satélite en el sistema de coordenadas fijado en Tierra es la suma vectorial de la velocidad de la Tierra y la velocidad del satélite en el sistema de coordenadas fijado en el espacio. El valor de dicha suma vectorial depende del ángulo α entre el trayecto del satélite y las líneas de latitud. El ángulo es el mismo que la inclinación I si el satélite está sobre el Ecuador, pero es cero en la latitud más elevada del satélite (si no es 90°). El ángulo es:

$$\alpha = \arccos \frac{\cos I}{\cos L} \quad (4)$$

Por lo tanto, la velocidad angular geocéntrica real es:

$$\omega = \sqrt{(\omega_s \cdot \cos \alpha - \omega'_e)^2 + (\omega_s \cdot \sin \alpha)^2} \quad (5)$$

donde:

ω_s : velocidad angular del satélite en el sistema de coordenadas fijado en el espacio.

El ángulo geocéntrico entre el punto de observación y la zona observada en la envolvente de la órbita es:

$$\theta_{\varepsilon} = \arccos \left(\frac{R}{R+h} \cos \varepsilon \right) - \varepsilon \quad (6)$$

donde:

ε : elevación de la zona observada.

Si el satélite se desplaza formando un ángulo geocéntrico de $\Delta\theta$, el movimiento β visto desde el punto de observación, si el satélite se desplaza **horizontalmente**, para ángulos pequeños es:

$$\beta = \frac{\cos \varepsilon}{\sin \theta_{\varepsilon}} \Delta\theta \quad (7)$$

y si el satélite se desplaza **verticalmente**, para ángulos inferiores es:

$$\beta = \frac{-\cos \varepsilon}{\sin \theta_{\varepsilon}} \sqrt{1 - (k \cdot \cos \varepsilon)^2} \Delta\theta \quad (8)$$

$$k = \frac{R}{R+h} \quad (9)$$

Si γ es el ángulo entre el trayecto del satélite y el horizonte, el ángulo β sería:

$$\beta = \frac{\cos \varepsilon}{\sin \theta_{\varepsilon}} \Delta\theta \sqrt{1 - (k \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \gamma)^2} \quad (10)$$

La velocidad del satélite, visto desde el punto de observación, alcanza su máximo valor cuando el satélite se desplaza horizontalmente. Por consiguiente, esta dirección y la ecuación (7) se utilizan para otros cálculos.

Si el ángulo β es el desplazamiento del satélite durante un cálculo de paso de tiempo de cálculo Δt , el ángulo requerido puede calcularse mediante la ecuación:

$$\beta = \frac{\Phi_{3dB}}{N_{saltos}} \quad (11)$$

El ángulo geocéntrico pequeño del movimiento de un satélite durante un paso de tiempo es:

$$\Delta\theta = \Delta t \cdot \omega \quad (12)$$

Al combinar las ecuaciones (7), (10) y (11) se obtiene:

$$\Delta t = \frac{\Phi_{3dB}}{N_{saltos} \omega} \frac{\sin \theta_{\varepsilon}}{\cos \varepsilon} \quad (13)$$

Si la elevación es cero, haciendo $\varepsilon = 0$ en la ecuación (6) y entrando en la ecuación (12) se obtiene:

$$\Delta t = \frac{\theta_{3dB}}{N_{saltos} \omega} \sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+h} \right)^2} \quad (14)$$

- ω : velocidad angular del satélite en el sistema de coordenadas fijado en Tierra (centrado en Tierra centrada, en rotación)
- ω_e : velocidad de rotación de la Tierra en el Ecuador
- ω_s : velocidad angular del satélite en el sistema de coordenadas fijado en el espacio (centrado en Tierra centrada, inercia)
- I : inclinación orbital del satélite
- θ_{ε} : ángulo geocéntrico entre la estación del servicio fijo y el satélite
- R : radio de la Tierra
- h : altitud del satélite
- ε : elevación de la antena del servicio fijo

- Φ_{3dB} : anchura de haz a 3 dB de la estación del servicio fijo
 N_{saltos} : número de saltos en la anchura de haz a 3 dB de la estación del servicio fijo
 Δt : paso de tiempo de la simulación.

ANEXO 2

Características de referencia de sistemas del servicio fijo en la banda 1-3 GHz para su empleo en análisis de compartición con otros servicios

1 Introducción

En los Apéndices que siguen, se proporcionan las características de sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 1-3 GHz que pueden utilizarse para realizar análisis de compartición entre estaciones del servicio fijo y de otros servicios. Se detallan los parámetros típicos y los más sensibles que deberán aplicarse en cada caso.

Apéndice 1 – Características de los sistemas punto a punto digitales

Apéndice 2 – Características de los sistemas de radioenlaces analógicos punto a punto

Apéndice 3 – Características de los sistemas de referencia punto a multipunto.

Debe observarse que, generalmente, los sistemas del servicio fijo digitales son más sensibles a la interferencia que los sistemas analógicos y que, primordialmente, las nuevas instalaciones de sistemas del servicio fijo serán digitales.

Debe observarse, además, que en la Recomendación UIT-R F.758 se proporcionan parámetros para los sistemas de dispersión troposférica, en el Cuadro 6 para la banda 1,7-2,45 GHz y en el Cuadro 7 para la banda 2,45-2,69 GHz.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 2

Características de los sistemas punto a punto digitales

CUADRO 1

Características del sistema punto a punto digital de referencia para los cálculos del SCP

Capacidad	45 Mbit/s
Modulación	MAQ-64
Ganancia de la antena (dB)	33
Potencia de transmisión (dBW)	1
Pérdidas en el alimentador/multiplexor (dB)	2
p.i.r.e. (dBW)	32
Anchura de banda en frecuencia intermedia (FI) del receptor (MHz)	10
Factor de ruido del receptor (dB)	4
Nivel de entrada del receptor para una proporción de bits erróneos (BER) de 1×10^{-3} (dBW)	-106

MAQ: modulación de amplitud en cuadratura.

Diagrama de la antena del servicio fijo

Debe utilizarse la Recomendación UIT-R F.1245.

APÉNDICE 2

AL ANEXO 2

Características de los sistemas de radioenlaces analógicos punto a punto

Los tipos de sistemas analógicos punto a punto que funcionan en la banda 1-3 GHz comprenden telefonía, MF-TV y enlaces ENG. Se ha extraído un conjunto de características de referencia de los Cuadros 5, 6 y 7 de la Recomendación UIT-R F.758, el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R F.759 y de la Recomendación UIT-R SF.358 que trata del circuito ficticio de referencia analógico utilizado habitualmente para los estudios de compartición en el UIT-R.

Características típicas del servicio fijo analógico que funciona en la banda 1-3 GHz

Diagrama de antena: Recomendación UIT-R F.1245

Ganancia de la antena: 33 dBi

p.i.r.e.: 36 dBW

Factor de ruido del receptor (referido a la entrada del receptor): 8 dB

Longitud del vano: 50 km

Número de vanos: 12.

APÉNDICE 3

AL ANEXO 2

Características de los sistemas de referencia punto a multipunto

Características típicas: Véase el Cuadro 2.

Diagrama de la antena: Para el diagrama de la antena omnidireccional y el de la antena de la estación periférica deben utilizarse los diagramas de referencia que se describen en la Recomendación UIT-R F.1336.

NOTA 1 – En la aplicación del SCP no se requiere el uso de los parámetros del sistema del servicio fijo de referencia punto a multipunto para 2 170-2 200 MHz.

CUADRO 2

Características típicas

Parámetro	Estación central	Estación periférica
Tipo de antena	Omni/sectorial	Disco/bocina
Ganancia de la antena (dBi)	10/13	20 analógico 27 digital
Pérdidas en el alimentador/multiplexor (dB)	2	2
p.i.r.e. (máxima) (dBW)		
– Analógico	12	21
– Digital	24	34
Anchura de banda en FI del receptor (MHz)	3,5	3,5
Factor de ruido del receptor (dB)	3,5	3,5

ANEXO 3

Método posible para su utilización en la coordinación bilateral

Si los parámetros del sistema SMS no OSG rebasan el criterio umbral establecido en la Recomendación UIT-R M.1141 o referidos en la presente Recomendación será necesaria la coordinación bilateral detallada entre las administraciones afectadas. En esta etapa podrían utilizarse parámetros del servicio fijo reales. En este Anexo, se describe un método posible que podría emplearse para la coordinación bilateral.

1 Descripción de un método posible

Se evalúa la función de distribución acumulativa (CDF – cumulative distribution function) de la relación $C/(N + I)$ de los sistemas del servicio fijo analógico o digital. En cada receptor del servicio fijo, se estima la potencia de portadora interferente variable con el tiempo procedente del satélite no OSG del SMS utilizando simulación dinámica de la órbita y teniendo en cuenta las características de la antena del satélite no OSG del SMS y el modelado de la carga de tráfico.

Se evalúa la portadora deseada del servicio fijo recibida, variable con el tiempo, en cada estación del servicio fijo empleando las características de transmisión del servicio fijo junto con un modelo del desvanecimiento multitrayecto. Si se considera apropiado por ambas partes podría emplearse la Recomendación UIT-R P.530. En cada etapa del tiempo de simulación, se evalúan las relaciones C/N y C/I por vano y se suman para obtener la relación $C/(N + I)$ de extremo a extremo. Seguidamente, puede compararse la CDF de la relación $C/(N + I)$ directamente con los objetivos de calidad de funcionamiento aplicables al sistema del servicio fijo afectado, a fin de evaluar si la degradación producida por el satélite no OSG del SMS afecta de forma inaceptable la calidad de funcionamiento.

2 Criterios de interferencia

Deberá aplicarse este análisis a los sistemas del servicio fijo analógicos y digitales.

Como criterio de evaluación de la influencia de la interferencia sobre sistemas del servicio fijo analógico se utiliza la Recomendación UIT-R F.393, que se refiere al ruido total admisible en un sistema de relevadores radioeléctricos analógicos.

Las Recomendaciones UIT-R F.695, UIT-R F.696 y UIT-R F.697 especifican los objetivos de calidad de funcionamiento de la red (objetivo de calidad de funcionamiento en cuanto a errores y disponibilidad) para los sistemas digitales existentes de grado alto, medio y local de la red digital de servicios integrados, en función de la BER solicitada para diversos porcentajes de tiempo: el procedimiento para los nuevos sistemas digitales del servicio fijo, basado en las Recomendaciones UIT-R F.1092 y UIT-R F.1189 requiere más estudios.

En el ruido total, N , se debe considerar además la inclusión de un margen para la interferencia dentro del sistema y entre servicios dentro del servicio fijo, así como contribuciones de otros servicios primarios compartidos (no SMS). Las partes interesadas deben determinar el valor de este margen. Cabe señalar que la Recomendación UIT-R F.1094 especifica el valor máximo admisible de la degradación de la calidad de funcionamiento en cuanto a errores y de la disponibilidad en los sistemas digitales del servicio fijo.
