

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1002*

Técnicas de gestión de la órbita en el servicio fijo por satélite

(1993)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que es necesario gestionar parte de la órbita de los satélites geoestacionarios para lograr una utilización eficaz tanto de la propia órbita como del espectro radioeléctrico;
- b) que conviene desarrollar uno o más conjuntos de parámetros generalizados que podrían ser utilizados para definir adecuadamente las redes del servicio fijo por satélite a fin de facilitar el proceso de gestión de la órbita;
- c) que los parámetros generalizados pueden modelarse de forma precisa mediante uno o más programas de computador para ayudar en el proceso de gestión de la órbita;
- d) que actualmente hay programas de computador que pueden ayudar a la gestión y utilización de la órbita,

recomienda

- 1 que para hacer más fácil la gestión de una parte de la OSG, se utilicen los parámetros generalizados descritos en el Anexo 1;
- 2 que se empleen algoritmos de computador eficaces que optimicen la utilización de la órbita, como los que figuran en el Anexo 2.

ANEXO 1

Parámetros generalizados de una red de satélites para la gestión de la órbita**1 Introducción**

Se han realizado estudios para cuantificar las ventajas de introducir un proceso de optimización para determinar las posiciones orbitales de las redes nuevas a través de ejercicios de aplicación práctica.

Los resultados de los ejercicios indican que, si se hubieran escogido al azar las posiciones de las nuevas redes y se hubieran elegido posiciones no óptimas, se habría desaprovechado una notable ventaja con respecto a la selección realizada a través del proceso de optimización. Además, sobre todo con un gran número de las redes existentes, el proceso de optimización dará lugar a ahorros de tiempo y esfuerzo en la actividad de coordinación entre sistemas.

* La Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2001 de conformidad con la Resolución UIT-R 44 (AR-2000).

Por consiguiente, el proceso de gestión de la órbita consiste en la identificación de un conjunto de parámetros generalizados y en la elaboración de algoritmos de computador y metodología de realización eficaces.

2 Método basado en los parámetros A , B , C y D

2.1 Parámetros de red A , B , C y D

Los parámetros generalizados A , B , C , D especifican la capacidad para producir interferencias (variables A y C) y la sensibilidad a la interferencia (variables B y D) de una red de satélite.

Dado que existen muchas combinaciones de parámetros de funcionamiento (tales como las características de antena y las potencias de los transmisores) que pueden dar lugar a un conjunto semejante de valores paramétricos, este concepto puede aplicarse con independencia de las características de modulación y de la frecuencia específica utilizada.

Los parámetros generalizados seleccionados por la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones sobre la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y la planificación de los servicios espaciales que la utilizan (Ginebra, 1988) (CAMR ORB-88) para el Plan de Adjudicaciones son los parámetros A , B , C , D basados en la densidad de potencia promediada sobre la anchura de banda de la señal. El objetivo de este conjunto de parámetros es generalizar no solamente los parámetros normalizados utilizados sino también el tipo de tráfico supuesto en el Plan de Adjudicaciones. En este sentido, las potencias de entrada requeridas en las antenas de estación terrena y de una estación espacial determinada son los primeros parámetros que se determinan en el proceso de planificación. Dichos parámetros se convierten seguidamente en densidad de potencia (P_1 y P_2 (dB(W/Hz))), dividiendo por la anchura de banda del tipo de señal, que es el factor utilizado para calcular e inscribir los parámetros generalizados A , B , C y D del Plan.

Las ecuaciones que se indican a continuación describen los parámetros generalizados A , B , C y D :

- A : densidad de p.i.r.e. fuera del eje del enlace ascendente promediada sobre la anchura de banda necesaria de la portadora modulada
- B : sensibilidad* fuera del eje del receptor del enlace ascendente a la densidad de p.i.r.e. interferente promediada sobre la anchura de banda necesaria de la portadora modulada
- C : densidad de p.i.r.e. fuera del eje del enlace descendente promediada sobre la anchura de banda necesaria de la portadora modulada
- D : sensibilidad* fuera del eje del receptor del enlace descendente a la densidad de p.i.r.e. interferente promediada sobre la anchura de banda necesaria de la portadora modulada

$$A = p_1 \cdot g_1(\varphi)$$

$$B = \frac{1}{p_1 \cdot g_1 \cdot \Delta g_2(\psi)}$$

$$C = \frac{p_3 \cdot g_3}{\Delta g_3(\psi)}$$

$$D = \frac{g_4(\varphi)}{p_3 \cdot g_3 \cdot g_4}$$

* Obsérvese que aquí el significado es el de susceptibilidad a la interferencia más que la definición técnica exacta de sensibilidad.

donde:

- p_1 : densidad de potencia promediada sobre la anchura de banda necesaria de la portadora modulada aplicada a la antena transmisora de la estación terrena (W/Hz)
- g_1 : ganancia máxima de la antena transmisora de la estación terrena (relación numérica de potencias)
- $g_1(\varphi)$: diagrama de radiación de antena transmisora de la estación terrena (relación numérica de potencias)
- g_2 : ganancia máxima de la antena receptora de la estación espacial
- $g_2(\psi)$: ganancia de la antena receptora de la estación espacial en la dirección de la estación terrena (relación numérica de potencias)
- $\Delta g_2(\psi)$: discriminación de la antena receptora de la estación espacial (relación numérica de potencias) = $g_2 / g_2(\psi)$:
- p_3 : densidad de potencia promediada sobre la anchura de banda necesaria de la portadora modulada aplicada a la antena transmisora de la estación espacial (W/Hz)
- g_3 : ganancia máxima de la antena transmisora de la estación espacial (relación numérica de potencias)
- $g_3(\psi)$: ganancia de la antena transmisora de la estación espacial en la dirección de la estación terrena
- $\Delta g_3(\psi)$: discriminación de la antena transmisora de la estación espacial (relación numérica de potencias) = $g_3 / g_3(\psi)$:
- g_4 : ganancia máxima de la antena receptora de la estación terrena (relación numérica de potencias)
- $g_4(\varphi)$: diagrama de radiación de la antena receptora de la estación terrena (relación numérica de potencias).

La notación '(prima) denota los parámetros de la red interferente.

Así, la ecuación que relaciona la potencia deseada con la no deseada (C/I) está definida por:

$$(C/I)_{den} = \left[\frac{p'_1 g'_1(\varphi) g_2(\psi')}{p_1 g_1 g_2} + \frac{p'_3 g'_3(\psi) g_4(\varphi')}{p_3 g_3 g_4} \right]^{-1}$$

y se reduce simplemente a:

$$(C/I)_{den} = [A' * B + C' * D]^{-1}$$

donde $(C/I)_{den}$ es la relación de protección normalizada por la relación entre las anchuras de banda deseada y no deseada. Esta relación se utilizaría para determinar la matriz de separaciones orbitales de las redes para sintetizar el plan.

Cuando se propone una red, se calculan sus parámetros A , B , C y D utilizando los parámetros del sistema real y el promedio de las densidades de potencia en la anchura de banda de la señal. Estas densidades de potencia se hallarán dividiendo la potencia que entra a la antena por la anchura de banda de la señal real propuesta. Según el Apéndice 30B del Reglamento de Radiocomunicaciones, no será necesaria la coordinación si:

- los valores calculados de A y C son menores o iguales al conjunto de parámetros de referencia pertinente, y

- las asignaciones de frecuencia propuestas se ordenan de forma que el 60% superior de cada banda adjudicada se utiliza para portadoras de alta densidad (es decir, aquéllas en las que la relación entre la densidad espectral de potencia de cresta en la banda de 4 kHz más desfavorable y la densidad espectral de potencia promediada sobre la anchura de banda necesaria de la portadora modulada es mayor de 5 dB), y el 40% inferior para portadoras de baja densidad.

Un ejemplo basado en el examen de algunos sistemas y tipos de tráfico actuales indica que podría utilizarse un gran número de las portadoras actuales sin necesidad de coordinación. El Cuadro 1 da las relaciones C/I necesarias calculadas para las portadoras «MDF-MF regulares» de INTELSAT, basadas en una carga del transpondedor correspondiente a una separación de portadoras de 1,33 veces la anchura de banda ocupada, y en una interferencia aceptable de 800 pW0p. El Cuadro 2 da la relación $(C/I)_{den}$ necesaria, calculada a partir del Cuadro 1 multiplicando las cifras por un factor de b'/b , donde b y b' son las anchuras de banda, respectivamente, de las señales deseada y no deseada.

En el Cuadro 2 puede apreciarse que el criterio de una $(C/I)_{den}$ de 30 dB para establecer las posiciones orbitales de las diversas zonas de servicio, permitiría la coexistencia en diferentes redes de un gran número de combinaciones de señales MDF-MF. Se exceptuarían las señales de índice de modulación más bajo, con relaciones potencia de cresta/potencia media superiores a 5 dB. Esto se demuestra en el Cuadro 3.

En caso de interferencia causada a señales digitales con anchuras de banda superiores a las de la fuente interferente, deben suponerse múltiples portadoras interferentes dentro de la banda de paso de la señal digital deseada. Aplicando el ejemplo anterior, una relación C/I de 30 dB y una I/N del 6% daría una relación C/N de 18 dB, lo que proporcionaría una BER mejor que 1×10^{-7} . Así una $(C/I)_{den}$ de 30 dB muy probablemente sería adecuada para señales digitales.

CUADRO 1

Relación C/I requerida para señales MDF-MF de INTELSAT

Interferencia deseada	12	24	60	60	132	132	132	252	252	432	432	432	792	Índice de modulación	BW (MHz)	C/N (dB)
12	26,6	25,2	24,9	22,7	22,0	20,7	20,1	20,2	18,1	18,5	17,4	16,7	14,1	2,65	1,1	13,4
24	26,5	25,7	25,6	23,9	24,0	22,1	21,6	21,6	19,6	20,0	18,9	18,2	15,7	2,55	2,0	12,7
60	34,3	33,9	33,8	32,5	32,6	30,9	30,4	30,5	28,6	29,0	27,9	27,2	24,7	1,17	2,2	21,1
60	27,9	26,6	26,6	25,7	25,8	24,5	24,1	24,1	22,5	22,8	21,8	21,1	18,7	2,17	4,0	12,7
132	36,2	33,7	33,7	33,4	33,4	32,5	32,2	32,2	30,8	31,1	30,2	29,5	27,1	0,96	4,4	20,7
132	31,8	28,9	28,9	28,0	28,0	27,4	27,1	27,1	25,9	26,2	25,4	24,8	22,5	1,61	6,7	14,4
132	32,2	29,2	29,2	28,1	28,1	27,5	27,2	27,3	26,1	26,4	25,6	25,1	22,9	1,85	7,5	12,7
252	37,8	34,6	34,6	32,4	32,4	32,2	32,1	32,1	31,3	31,5	30,9	30,5	28,4	0,96	8,5	19,4
252	33,7	30,7	30,7	27,9	27,9	27,3	27,2	27,2	26,6	26,7	26,3	25,9	24,1	1,55	12,4	13,6
432	41,5	38,5	38,5	34,6	34,6	33,7	33,8	33,7	33,6	33,7	33,4	33,2	31,7	0,82	13,0	21,2
432	39,3	36,3	36,3	33,0	33,0	31,6	31,4	31,4	31,1	31,2	31,0	30,7	29,4	1,07	15,7	18,2
432	37,8	34,7	34,7	31,7	31,7	30,0	29,6	29,6	29,4	29,5	29,2	29,0	27,7	1,27	18,0	16,1
792	40,6	37,5	37,5	34,5	34,5	32,8	31,4	31,4	30,1	30,1	29,8	29,8	29,2	1,24	32,4	16,5

BW : Anchura de banda

CUADRO 2

Relación $(C/I)_{den}$ requerida para señales MDF-MF de INTELSAT

Interferencia deseada	12	24	60	60	132	132	132	252	252	432	432	432	792	Índice de modulación	BW (MHz)
12	26,6	27,8	27,5	28,3	28,8	28,5	28,4	29,1	28,6	29,2	28,9	28,8	28,8	2,65	1,1
24	23,9	25,7	26,0	26,9	27,4	27,4	27,3	27,9	27,5	28,1	27,8	27,7	27,8	2,55	2
60	31,3	33,5	33,8	35,1	35,6	35,7	35,7	36,4	36,1	36,7	36,4	36,3	36,4	1,17	2,2
60	22,3	23,6	24,0	25,7	26,2	26,7	26,8	27,4	27,4	27,9	27,7	27,6	27,8	2,17	4
132	30,2	30,3	30,7	33,0	33,4	34,3	34,5	35,0	35,3	35,8	35,7	35,6	35,8	0,96	4,4
132	23,9	23,6	24,1	25,8	26,2	27,4	27,6	28,1	28,6	29,1	29,1	29,1	29,3	1,61	6,7
132	23,9	23,5	23,9	25,3	25,8	27,0	27,2	27,8	28,3	28,8	28,8	28,9	29,3	1,85	7,5
252	28,9	28,3	28,7	29,1	29,5	31,2	31,6	32,1	32,9	33,3	33,6	33,8	34,2	0,96	8,5
252	23,2	22,8	23,2	23,0	23,4	24,6	25,0	25,7	26,6	26,9	27,3	27,5	20,3	1,55	12,4
432	30,8	30,4	30,8	29,5	29,9	30,8	31,4	31,9	33,4	33,7	34,2	34,6	35,7	0,82	13
432	27,8	27,4	27,8	27,1	27,5	27,9	28,2	28,7	30,1	30,4	31,0	29,6	30,8	1,07	15,7
432	25,7	25,2	25,6	25,2	25,6	25,7	25,8	26,3	27,8	28,1	28,6	29,0	30,3	1,27	18
792	25,9	25,4	25,8	25,4	25,8	26,0	25,0	25,6	25,9	26,1	26,7	27,2	29,2	1,24	32,4

BW : Anchura de banda

En caso de interferencia MDF-MF causada a señales digitales con anchuras de banda muy inferiores a la fuente interferente, entonces:

$$C/I = C/P_k = (C/P_{av}) (P_{av}/P_k) = (C/I)_{den} (1/k_p)$$

donde k_p es la relación valor de cresta/valor medio de la fuente interferente dentro de la banda ocupada B_o . P_k y P_{av} son respectivamente las densidades media y de cresta de la fuente interferente y vienen dadas por:

- P_k : potencia en la banda más desfavorable de 4 kHz/4 kHz (W/Hz)
- P_{av} : potencia total de portadora/ancho de banda ocupada (B_o) (W/Hz).

CUADRO 3

Relaciones densidad de potencia de cresta/densidad de potencia media para las portadoras MDF-MF de INTELSAT

Número de canales	Anchura de banda ocupada B_o (MHz)	C/P_k (dB/4 kHz)	P_k/P_{av} (dB)
12	1,1	20,0	4,95
24	2,0	22,3	4,69
60	2,2	22,4	5,10
60	4,0	25,3	4,70
132	4,4	24,2	6,21
132	6,75	27,5	4,77
132	7,5	28,0	4,73
252	8,5	27,0	6,26
252	12,4	30,0	4,91
432	13,0	27,6	7,52
432	15,7	30,8	5,15
432	18,0	31,5	5,03
792	32,4	34,1	4,98

$$\frac{P_k}{P_{av}} = \frac{P_k}{C} \frac{C}{P_{av}} = \frac{P_k}{C} \frac{B_o}{4 \text{ kHz}}, \text{ ó}$$

$$\frac{P_k}{P_{av}} = 10 \log (B_o/4000) - 10 \log (C/P_k) \quad (\text{dB})$$

NOTA 1 – Las señales con $P_k/P_{av} \leq 5,0$ son señales utilizables sin coordinación.

En caso de interferencia de televisión en MF, no obstante, incluso con dispersión de energía, es improbable que las portadoras de banda estrecha puedan hallarse en posición cocanal con la portadora de la señal de televisión en MF, ya que aunque exista una dispersión de energía de, por ejemplo, ± 1 MHz, la potencia espectral en la banda de dispersión es muy elevada.

La necesidad de coordinación con las señales de televisión puede evitarse si se especifican de antemano las frecuencias portadoras de televisión. Con una anchura de banda de dispersión de energía de, por ejemplo 2 MHz, las portadoras SCPC y otras portadoras de banda estrecha pueden evitar la banda de dispersión de energía de televisión. El concepto de «microsegmentación» se trata en la Recomendación UIT-R S.742.

2.2 Posibles modificaciones de los parámetros de los sistemas del servicio fijo por satélite incluidos en el Plan de la CAMR ORB-88

Además de lo indicado anteriormente, se necesita más información en relación con el uso de los parámetros generalizados A , B , C , D del Plan del servicio fijo por satélite (SFS) adoptado por la CAMR ORB-88.

Todos los parámetros generalizados son funciones de un ángulo con relación al eje: φ para las estaciones terrenas y ψ para las estaciones espaciales. Los ángulos φ y ψ pueden tomar valores a partir de cero. Los parámetros generalizados B y D se relacionan con la sensibilidad del sistema a la interferencia (cuanto más elevados sean los valores de los parámetros, mayor será la sensibilidad), pero no determinan directamente la potencia radiada admisible de la señal interferente hasta que se indique la relación portadora/interferencia (C/I) admisible. En el Plan del SFS, los valores A , B , C , D se refieren a cada sistema en particular, mientras que el valor $(C/I)_n = 26$ dB adoptado a efectos de planificación se refiere a la interferencia combinada. Así, empleando las ecuaciones del § 2.1, se obtiene:

$$\sum p.i.r.e.ie(\varphi_i) = [B (C/I)_{p \ell \Sigma \uparrow}]^{-1}$$

donde:

$p.i.r.e.ie(\varphi_i)$: potencia isotrópica radiada equivalente de la señal interferente en la dirección del satélite del sistema deseado; se efectúa el sumatorio para todos los sistemas interferentes, con las estaciones terrenas de estos sistemas ubicadas en los puntos de prueba más desfavorables de sus zonas de servicio (es decir, los puntos desde los cuales causan más interferencia)

B : parámetro generalizado en el sistema deseado
 $= B(\psi)$

$(C/I)_{p \ell \Sigma \uparrow}$: relación portadora/interferencia combinada prevista en el Plan, a la entrada de la estación espacial

$$\sum p.i.r.e.is(\varphi_i) = [D (C/I)_{p \ell \Sigma \downarrow}]^{-1}$$

donde:

$p.i.r.e.is(\varphi_i)$: potencia isotrópica radiada equivalente de la señal proveniente de la estación espacial del sistema interferente en la dirección de la estación terrena del sistema deseado, ubicada en el punto de prueba más desfavorable de la zona de servicio del sistema deseado (el punto en que $(C/I)_{p \ell \Sigma \downarrow}$ tiene valor mínimo); se efectúa el sumatorio para todas las estaciones espaciales que causan interferencia al sistema deseado en cuestión

$(C/I)_{p \ell \Sigma \downarrow}$: relación portadora/interferencia combinada prevista en el Plan, a la entrada de la estación terrena.

Cuando se evalúan posibles modificaciones de los parámetros reales del sistema del SFS utilizados para determinar los parámetros generalizados A , B , C , D , se deben tener en cuenta, no sólo las limitaciones impuestas por los parámetros generalizados, sino también la relación mutua entre ellos. Por esta razón, la mayoría de las modificaciones resultan inaceptables. Por ejemplo, la reducción de los parámetros A y C en la zona del lóbulo principal del diagrama de radiación (es decir, reducción de la p.i.r.e.) hace aumentar los valores de B y D , lo que reduce la inmunidad del sistema al ruido.

La condición $A \leq A_{p1}$ debe ser respetada para todas las variaciones de los parámetros reales. Por definición, también se debe respetar la condición $C \leq C_{p1}$; sin embargo, puede suponerse que no habría objeciones a incluir en la lista un sistema que cumpla la condición $C \leq C_{p1}$ para todos los valores de ψ correspondientes a una dirección del haz fuera de los bordes de la zona de servicio del sistema deseado, pero con $C > C_{p1}$ dentro de la zona de servicio. Esto puede ocurrir cuando se utiliza una combinación de haces estrechos en lugar del haz de antena de estación espacial único definido en el Plan. En ciertos casos, puede que esto sólo permita cubrir una parte del territorio de la zona de servicio notificada a efectos del establecimiento del Plan. El aumento de C hace disminuir B . Estos dos factores permiten simplificar las estaciones terrenas del sistema.

Cuando $B > B_{p1}$; $D > D_{p1}$, el sistema está protegido sólo hasta el nivel previsto en el Plan; por tanto, las señales utilizadas en el sistema deben permitir la explotación cuando $(C/I) < (C/I)_{p1}$. Un aumento del valor de uno de estos parámetros puede ser compensado con la reducción del valor del otro, de acuerdo con la siguiente relación:

$$(C/I)_{\Sigma}^{-1} = (C/I)_{\uparrow}^{-1} + (C/I)_{\downarrow}^{-1}$$

Cuando se respeta la condición $A \leq A_{p1}$, se puede reducir la potencia radiada por la estación terrena, p_1 , aumentando en la medida correspondiente la ganancia de la antena de la estación terrena, g_1 , es decir, el tamaño del reflector de la antena. Así, $g_1(\varphi)$ aumentará en la zona del haz principal del diagrama de radiación de la antena de la estación terrena, pero con $g_1(\varphi)$ no variará en la zona de los lóbulos laterales. La interferencia causada a las estaciones espaciales de otros sistemas no se modificará ni disminuirá. El parámetro B no estará afectado; en otras palabras, la inmunidad del sistema al ruido no sufrirá deterioro en el enlace ascendente. Si para la recepción se utiliza la misma antena de la estación terrena, aumentará su ganancia en recepción g_4 y se reducirá el parámetro D en la zona de los lóbulos laterales, pero la inmunidad del sistema al ruido en relación con los satélites interferentes ubicados dentro del haz principal del diagrama de radiación permanecerá inalterada. Si se aplica en un sistema con una zona de servicio relativamente grande, esta modificación de los parámetros p_1 y g_1 , g_4 permitirá que los sistemas sean más uniformes, lo que es generalmente ventajoso desde el punto de vista económico.

El aumento de los parámetros g_1 y g_4 resulta eficaz en los casos en que es necesario reducir la magnitud de B y D fuera del haz principal.

Se puede producir también el mismo efecto reduciendo $g_2(\psi)$ y $g_4(\varphi)$ en la zona de los lóbulos laterales por medio de un diseño más elaborado de la antena. La necesidad de mejorar los valores de B y D puede surgir en la fase de conversión de una atribución en una asignación, debido al hecho que los valores obtenidos de esos parámetros (aun si corresponden a los valores planificados B_{p1} , D_{p1}) son insuficientes para obtener la relación $(C/I)_{\Sigma}$ que requieren los métodos de transmisión de la señal utilizados en el sistema.

Una modificación similar de los parámetros reales p_3 (reducción) y g_3 (incremento, es decir, un aumento de las dimensiones de la antena transmisora de la estación espacial) produce también una reducción de la potencia radiada (C) fuera del haz principal; esta reducción se debe no sólo a la reducción de p_3 sino también a la de $g_3(\psi)$. Sin embargo, dicha modificación está limitada por una reducción de la zona de servicio.

3 Método basado en la utilización de aislamiento

En el Anexo 4 a la Recomendación UIT-R S.740 se describen dos métodos de aislamiento, el aislamiento tradicional y el aislamiento del enlace. El siguiente proceso, que se describe para el aislamiento del enlace, es igualmente aplicable para el método de aislamiento tradicional.

Las posiciones orbitales para la incorporación de satélites se identifican con arreglo al siguiente orden:

Fase 1

Se generan las matrices de aislamiento del enlace disponible para todas las combinaciones posibles de redes incorporadas y para todas las combinaciones posibles de redes existentes e incorporadas. La Fig.1 muestra esquemáticamente un ejemplo de la matriz de aislamiento del enlace correspondiente a la interferencia producida por la red J en la red I. El valor más bajo entre todos los elementos de la matriz implica el valor mínimo de aislamiento del enlace disponible $ALI_{min}(I, J)$, para la interferencia producida desde la red J a la red I. De la misma forma, puede deducirse el aislamiento del enlace mínimo $ALI_{min}(J, I)$, desde la red I a la red J.

Fase 2

El cálculo del aislamiento mínimo disponible entre las redes existentes y proyectadas se efectúa siguiendo el procedimiento mencionado anteriormente, utilizando los emplazamientos preferidos en la órbita que han presentado las administraciones para las nuevas redes.

Fase 3

Se determina una ordenación de las redes incorporadas por medio del modelo evolutivo. En este modelo se determina la mejor ordenación de todas las redes incorporadas dentro de la disposición adoptada por las redes existentes, suponiendo una cierta secuencia de lanzamiento de las redes incorporadas y un determinado criterio de aislamiento del enlace que exceda al aislamiento del enlace necesario de una elevada proporción de combinaciones de portadora.

Fase 4

Para la ordenación de satélites determinada de este modo, se lleva a cabo un ajuste ulterior de las posiciones de los recién incorporados, de tal modo que el aislamiento mínimo disponible en la red más afectada se eleve al máximo sobre la base de la siguiente función objetiva:

$$h(\varphi) = \underset{\varphi}{\text{máx}} \left\{ \underset{I, J}{\text{mín}} [ALI_{min}(I, J)] \right\} \quad (1)$$

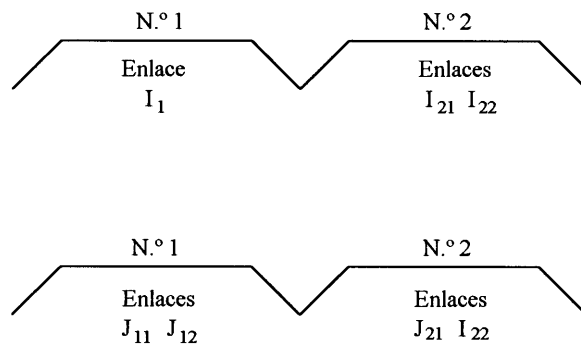
en la cual:

I, J «pertencen a» todas las redes existentes y nuevas.

FIGURA 1a
Matriz de aislamiento del enlace

		Número de transpondedores de la red deseada I	
		N.º 1	N.º 2
Número de transpondedores de la red deseada J	N.º 1	Aislamiento de enlace para $J_{11} \rightarrow I_1$ $J_{11} \rightarrow I_1$	Aislamiento de enlace para $J_{11} \rightarrow I_{21}$ $J_{12} \rightarrow I_{21}$ $J_{11} \rightarrow I_{22}$ $J_{12} \rightarrow I_{22}$
	N.º 2	-	Aislamiento de enlace para $J_{21} \rightarrow I_{21}$ $J_{22} \rightarrow I_{21}$ $J_{21} \rightarrow I_{22}$ $J_{22} \rightarrow I_{22}$

FIGURA 1b
Supuestas conexiones del enlace



4 Método basado en la utilización de $(\Delta T/T)$ normalizada

En este método se utiliza la $(\Delta T/T)$ normalizada disponible para cada tipo de portadora clasificada de acuerdo con el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R S.739. El proceso de optimización se realiza de la siguiente manera:

Fase 1

Se identifican los posibles casos de interferencia.

Fase 2

En el caso de pares de redes colocadas en una configuración de posible interferencia, se comparan los diagramas de radiación de las antenas de satélite y las zonas de servicio con el fin de determinar las ganancias cruzadas (ganancia de una antena de satélite en la dirección de una estación terrena de la otra red) con las estaciones terrenas en los emplazamientos más desfavorables.

Fase 3

Se determinan los aumentos de temperatura de ruido relativa para cada par de redes en una situación de posible interferencia.

Fase 4

Se determinan las separaciones requeridas entre satélites comparando los aumentos de temperatura relativa, calculados en la Fase 3, con los aumentos máximos aceptables definidos en el Cuadro 3 [Anexo 3 del Informe 454 (Anexo al Volumen IV del ex CCIR (Düsseldorf, 1990))] habida cuenta de una disminución $25 \log \phi$ en los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena:

$$\phi_{ij} \text{ requerida} = \bar{\phi}_{ij} \left[\frac{(\Delta T/T)_c}{(\Delta T/T)_n} \right]^{0,4} \quad (2)$$

donde:

$\phi_{ij} \text{ requerida}$: separación requerida entre los dos satélites considerados

$\bar{\phi}_{ij}$: separación utilizada en los cálculos de la Fase 3 (nuevos satélites situados en el punto medio de su arco de servicio)

$(\Delta T/T)_c$: aumento de temperatura relativa calculado en la Fase 3

$(\Delta T/T)_n$: máximo aumento aceptable de temperatura relativa para las portadoras implicadas.

La separación requerida en ese par de satélites es el valor máximo deducido de aplicar la ecuación (2) a todos los pares de portadoras que podrían formar una configuración de interferencia.

Fase 5

Se determinan los emplazamientos en la órbita de los nuevos satélites con objeto de elevar al máximo las relaciones de separación orbital disponible a separación requerida en el seno de la población de satélites. Este proceso de optimización equivale a reducir al mínimo el exceso relativo de interferencia en la red más afectada, y está expresada por la relación entre la $(\Delta T/T)_c$ normalizada disponible al valor requerido $(\Delta T/T)_n$.

Por consiguiente, la función objetiva es:

$$\min \left[\max \left\{ (\Delta T/T)_c / (\Delta T/T)_n \right\} \right] \quad (3)$$

5 Métodos basados en la utilización de la separación orbital característica

El proceso de elección de posiciones orbitales provisionales para nuevas redes de satélites y la realización de pequeñas modificaciones en esas posiciones provisionales puede servir para reducir los problemas de sincronización de las actividades. Cuando la coordinación completa de la red se efectúa durante un periodo de cinco años y la construcción de la estación espacial requiere también una larga duración, el proceso global puede realizarse en tres fases, de la forma siguiente:

Fase 1

Elección provisional inicial de posición orbital.

Subfase 1.1

Se elige un arco dentro del cual puedan coordinarse y explotarse el satélite nuevo o sustitutivo. Este arco debería tener suficiente amplitud para que sea muy probable encontrar una solución, pero no habrá de ser más amplio de lo necesario, ya que la complejidad del problema aumenta a medida que lo hace el número de satélites en el arco considerado.

Subfase 1.2

Se calculan los parámetros generalizados φ_{ij} para cada una de las redes existentes en el arco considerado y en la nueva red. Se calculan también los parámetros φ_{ij} relativos a la interacción entre la red i y la red j (φ_{ij} se define como la separación necesaria entre las redes i y j para proteger la red i de la red j en una magnitud determinada).

Subfase 1.3

Se utiliza la matriz $[\varphi_{ij}]$ de la Subfase 1.2 para hallar una disposición orbital entre las redes implicadas que permita incluir nuevas redes en el arco considerado. Si no puede encontrarse ninguna posición, debe ampliarse dicho arco, y/o hacerse más estrictos los parámetros utilizados para determinar la matriz $[\varphi_{ij}]$; a continuación se repite la Subfase 1.3.

Fase 2

Coordinación detallada de las redes en las posiciones orbitales elegidas en la fase 1: en esta fase se lleva a cabo la coordinación detallada en virtud de lo dispuesto en el Artículo 11 del Reglamento de Radiocomunicaciones. Ello incluye la coordinación del tráfico y la regulación de la introducción del mismo, cuando sea necesario, la imposición de limitaciones en las características y ubicación de la antena de la estación terrena si es preciso, etc.

Fase 3

Esta fase no es necesaria si la fase anterior se ha completado con éxito. No obstante, si no es posible, se repite la fase 1 con los elementos φ_{ij} reducidos para encontrar una disposición orbital con la que pueda completarse adecuadamente la fase 2.

6 Método basado en el principio de la homogeneidad de las redes

Dos redes del SFS que se afectan mutuamente no son homogéneas cuando la primera necesita mayor protección contra la interferencia procedente de la segunda de la que esta última necesita respecto de la primera. Por consiguiente, al coordinar ese tipo de redes, se debe adoptar el mayor valor de separación angular entre satélites, con miras a proteger la primera red, sirviéndose así de forma menos eficiente de la órbita de los satélites geoestacionarios. Las redes homogéneas, por el contrario, necesitan el mismo grado de protección contra la interferencia mutua, y por consiguiente necesitan también los mismos valores de separación angular entre sus satélites, incluso si, como sucede a menudo, los valores admisibles necesarios de la relación portadora/interferencia (C/I) son diferentes.

Evidentemente, conforme a esa definición, las redes homogéneas utilizan de forma más eficaz la órbita de los satélites geoestacionarios.

La modificación de los parámetros técnicos de una de las redes (nueva red) o, en casos excepcionales, de ambas, con miras a homogeneizar las redes del SFS, resulta eficaz para optimizar las posiciones orbitales de los satélites.

Es necesario identificar primero las portadoras concretas de dos redes que limitan los ángulos de separación entre satélites en las dos direcciones. Estas portadoras se utilizan en los siguientes cálculos. Después de efectuar reajustes para igualar los ángulos, es necesario determinar que la interferencia causada a otras portadoras en ambas redes es aceptable.

Considérese el caso de dos redes del SFS que se interfieren mutuamente, una de ellas existente (red 1) y la otra nueva (red 2).

Entonces, la relación interferencia/portadora de la red 1:

$$(I/C) = \frac{p'_1 g'_1(\Phi_{1-2}) g_2(\Psi) \ell_1}{p_1 g_1 g_2 \ell'_1} + \frac{p'_3 g'_3(\Psi') g_4(\Phi_{1-2}) \ell_2}{p_3 g_3 g_4 \ell'_2} \quad (4)$$

Relación interferencia/portadora de la red 2:

$$(I/C)' = \frac{p_1 g_1(\Phi_{2-1}) g'_2(\Psi') \ell'_1}{p'_1 g'_1 g'_2 \ell_1} + \frac{p_3 g_3(\Psi) g'_4(\Phi_{2-1}) \ell'_2}{p'_3 g'_3 g'_4 \ell_2} \quad (5)$$

donde:

- p_1, p'_1 : potencias de transmisión a la entrada de las antenas de la estación terrena
- g_1, g'_1 : ganancias de la antena transmisora de la estación terrena
- g_2, g'_2 : ganancias de las antenas receptoras de la estación espacial en los bordes de sus zonas de servicio
- g_3, g'_3 : ganancias de las antenas transmisoras de la estación espacial en los bordes de sus zonas de servicio
- p_3, p'_3 : potencias de transmisión de la estación espacial a la entrada de las antenas transmisoras
- g_4, g'_4 : ganancias de la antena receptora de la estación terrena
- ℓ_1, ℓ'_1 : pérdidas de la portadora en el enlace Tierra-espacio
- ℓ_2, ℓ'_2 : pérdidas de la portadora en el enlace espacio-Tierra
- Ψ, Ψ' : ángulos entre las direcciones de las estaciones espaciales a las estaciones terrenas de su propia red y a las estaciones terrenas más próximas de la otra red (interferente)
- Φ_{1-2}, Φ_{2-1} : separaciones angulares entre satélites necesarias para obtener valores específicos de las relaciones I/C e $(I/C)'$, respectivamente.

Se supone que se conocen los parámetros de la red 1 y que los mismos no cambian durante el proceso de optimización.

Para optimizar la posición del satélite de la red 2 en la órbita, es preciso que la red 2 sea homogénea respecto de la red 1. Ello se logra estableciendo la condición de homogeneidad de las ecuaciones (4) y (5), esto es,

$$\Phi_{1-2} = \Phi_{2-1} = \Phi \quad (6)$$

y seleccionando para los parámetros de la red 2 unos valores que satisfagan las ecuaciones (4), (5) y (6) para valores específicos de I/C , $(I/C)'$, N/C .

Cuando es necesario tener en cuenta la interferencia mutua entre una red nueva y varias redes existentes, se puede probar varias veces a modificar los parámetros técnicos de la red nueva para hacerla homogénea con cada una de las redes existentes y seleccionar luego los valores de compromiso de esos parámetros.

7 Medios informáticos

Los dos enfoques descritos en los § 3 y 4 pueden utilizarse en casos en que intervenga un gran número de redes y se necesite ejecutar algoritmos iterativos de optimización. Las tareas correspondientes tienen que realizarse con ayuda de medios informáticos.

Se han desarrollado dos programas de computador que pueden ejecutar íntegramente los procesos de optimización descritos en los § 3 y 4. Uno de ellos utiliza el método del aislamiento del enlace y el otro sigue el método de $\Delta T/T$ normalizada.

ANEXO 2

Algoritmos de gestión de la órbita

1 Algoritmos de gestión de la órbita

Se han estado creando instrumentos de computador que podrían servir para el diseño de sistemas, así como para la coordinación y la evaluación de la interferencia, estando ya disponibles algunos de los resultados de esa labor. En este Anexo se facilita información sobre tres programas de esa índole; dos destinados a la gestión de la separación orbital (Programas A y B) y el otro a la optimización de la asignación de frecuencias (Programa C).

2 Programa A (ORBIT-II)

La versión actual del programa correspondiente a la minimización de la separación orbital, denominado ORBIT-II, permite abarcar hasta 200 satélites para determinar una disposición orbital eficaz, así como para optimizar la configuración de los haces (circulares o elípticos) de las antenas de satélites. En el curso de la optimización se tiene en cuenta el efecto de la asignación de frecuencias.

La realización de dicho programa incluye:

- la evaluación de otras posibles ubicaciones orbitales durante la coordinación de carácter bilateral o multilateral;
- la evaluación de los intervalos críticos de frecuencia durante la coordinación de carácter bilateral o multilateral;
- la identificación de los sistemas que influyen en la colocación de nuevos sistemas.

En la CAMR ORB-88 se utilizó el programa ORBIT-II para elaborar los Planes de Adjudicación en las bandas 13/11 GHz y 6/4 GHz para el servicio fijo por satélite, después de haber sido adaptado por la ex IFRB durante el periodo de estudios 1986-1988, para su empleo en un entorno de conferencia, en el computador de la UIT. La base para el Plan de Adjudicaciones adoptado por la CAMR ORB-88 fue sintetizada en el computador de la UIT, haciendo uso del programa ORBIT-II.

Este proceso de síntesis no requería más intervención humana que la de elegir el orden en que se examinaban las inscripciones en el Plan. Sin embargo, dado que:

- el Plan fue elaborado sólo para la banda 6/4 GHz y la evaluación relativa a la banda 13/11 GHz se hizo posteriormente;
- en vista de la naturaleza y magnitud de los requisitos a los que había que dar acomodo en el Plan, y
- las características del algoritmo utilizado en el programa ORBIT-II,

fue necesario elaborar en la Conferencia un Plan aceptable para introducir numerosas modificaciones manuales en el Plan básico sintetizado inicialmente por ORBIT-II. Las secciones de preprocesador y preanálisis del programa ORBIT-II se utilizaron ampliamente en estas mejoras «manuales» del Plan.

Dadas las características del «arco predeterminado» del Plan de Adjudicaciones adoptado por la CAMR ORB-88, es posible que en el futuro haga falta ajustar el Plan para acomodar una asignación conforme con el Plan en alguna posición orbital distinta de la que le corresponda normalmente. Puesto que fue preciso el ajuste manual del Plan básico, con ayuda del programa ORBIT-II, en la síntesis del Plan acordado por la Conferencia, parece razonable suponer que, para acomodar una asignación a una posición nueva dentro de su arco predeterminado o para admitir modificaciones de parámetros técnicos de sistema que sean distintos de los del Plan, sea necesario un ajuste similar del mismo. Sería conveniente por ello:

- comprender cómo se utiliza el programa ORBIT-II en un modo de explotación de síntesis manual para modificar un Plan existente;
- estudiar la manera de hacer ese proceso de planificación manual más eficaz mediante la automatización por computador, si es preciso, o convertirlo en un proceso de automatización parcial;
- examinar la posibilidad, a más largo plazo, de elaborar un algoritmo de síntesis perfeccionado totalmente automático.

Básicamente, el proceso de síntesis del programa ORBIT-II constaba de las siguientes tres etapas:

- generación de una matriz de separaciones orbitales $[\varphi_{ij}]$ que especifica para cada par de satélites y los parámetros técnicos del Plan provisional, la separación entre el satélite i y el satélite j , de tal modo que produzca la necesaria interferencia de una sola fuente, causada por el satélite j en el satélite i ;
- colocación de cada uno de los N satélites del Plan en la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG), uno a uno en una rutina de un solo paso, de tal modo que se satisfagan todos los niveles de interferencia de una sola fuente del Plan, es decir, que cada una de las separaciones reales φ_{ij} sea por lo menos tan grande como los valores (el resultado de este proceso de un solo paso es el ordenamiento de los N satélites en la OSG; la contribución del planificador en este proceso consiste en especificar el orden en que se examinan los N satélites);
- ajuste de la posición de los satélites en la OSG, sin modificar el orden de los N satélites, de tal modo que se maximice la relación portadora/interferencia combinada de los satélites.

El proceso de planificación manual utilizado con ocasión de la CAMR ORB-88 consistió en el estudio de la matriz $[\varphi_{ij}]$ para determinar nuevos ordenamientos de los satélites, es decir, encontrar nuevas soluciones localmente óptimas. Desplazando algunos satélites a posiciones completamente nuevas era posible seleccionar el nuevo ordenamiento de los satélites en la OSG que produjera una relación combinada C/I mínima aún mayor.

Las mejoras iniciales del paquete ORBIT-II podrían facilitar ayudas de computador al planificador para reducir o eliminar las tareas de búsqueda manual que lleva consigo dicho proceso de planificación y acelerar la rutina de análisis del Plan utilizada por el planificador como instrumento de síntesis. Ese paquete «ORBIT-II perfeccionado» podría tener:

- la matriz de separaciones orbitales $[\phi_{ij}]$ de N filas y N columnas, accesible al planificador en un modo de funcionamiento interactivo. El planificador podría preguntar a través de un terminal inteligente, el valor de ϕ_{ij} para un determinado par ij , o pequeñas submatrices $[\phi_{ij}]$ o quizás 10 redes que fueran candidatas a un pequeño arco de interés;
- la posibilidad de analizar un pequeño arco de interés, quizá de 20° a 40° de ancho, en vez del arco completo de 360° . Esto aceleraría el programa enormemente cuando se le utilizara como instrumento de síntesis, porque el tiempo de tratamiento es aproximadamente proporcional al cuadrado del número de inscripciones del Plan que se analizan;
- una rutina para efectuar un análisis exhaustivo de los $n!$ Planes posibles, siendo n un número reducido, de 6 a 8 quizás, que el planificador considera para una determinada posición del arco; y
- una rutina para visualizar gráficamente la zona de servicio de elipse mínima de las administraciones.

Tales rutinas, utilizadas junto con la de análisis de ORBIT-II de la que actualmente se dispone, podrían mejorar la posibilidad de ajuste del Plan por parte de los planificadores.

Téngase en cuenta que algunas de esas rutinas ya están incluidas en el programa ORBIT-II disponible actualmente. Deberían por ello utilizarse de manera eficaz, aumentando así la capacidad del ORBIT-II.

A más largo plazo, puede ser factible y deseable perfeccionar el algoritmo de ordenación del ORBIT-II. Un programa de síntesis como ese, de segunda generación, debería basarse en un profundo conocimiento de los algoritmos empleados por los planificadores de la órbita.

3 Programa B (VAS-H)

El programa VAS-H se ha diseñado para optimizar el posicionamiento orbital de los satélites sometidos a limitaciones específicas relativas a:

- el arco de servicio de los satélites;
- las condiciones que intervienen en la posible explotación conjunta de los sistemas por satélite, determinadas por la separación angular mínima de los satélites en la órbita.

El proceso de optimización consta de las siguientes etapas:

- Determinación de las combinaciones admisibles de las posiciones de satélite en la órbita con la siguiente condición:

$$\alpha_{\text{mín } i} \geq \alpha_{\text{máx } i + 1}$$

donde:

$\alpha_{\text{máx } i + 1}$: límite superior de la variación de posición del satélite $(i + 1)$ -ésimo

$\alpha_{\text{mín } i}$: límite inferior de la variación en la posición del satélite i -ésimo

i : número de orden de la posición del satélite en una combinación determinada.

- Determinación de la matriz de las separaciones angulares necesarias entre satélites que producen un nivel de interferencia determinado entre redes (de acuerdo al criterio seleccionado).
- Cálculo de la ubicación óptima de los satélites en el mínimo arco posible para una determinada combinación de posiciones. Selección del arco mínimo para todas las variantes de posiciones orbitales.

El programa VAS-H aplicado a un PC/AT de IBM resuelve el problema de la optimización en los modos relativos a:

- una variante que supone restricciones en los límites de reubicación de los satélites individuales;
- una variante en la que todos los satélites son libres para desplazarse a lo largo de sus arcos de servicio;
- una redistribución automática de todas las posibles combinaciones de las restricciones en cuanto a la reubicación del satélite.

Este programa permite el análisis operacional de los pequeños arcos orbitales de interés (decenas de grados) así como el posicionamiento optimizado de hasta ocho satélites con restricciones concretas en cuanto a sus límites de posicionamiento y en cuanto a niveles de interferencia entre redes. En el programa, el posicionamiento óptimo de los satélites no queda restringido por su orden de entrada.

El programa VAS-H puede utilizarse para evaluar las características de los sistemas por satélite planificados, y para establecer planes *a priori* para la utilización del recurso órbita/espectro; puede emplearse igualmente en reuniones multilaterales sobre coordinación de sistemas de satélites y en procesos de coordinación bilateral.

El método de optimización descrito anteriormente hace posible minimizar el arco de la OSG que admite N satélites, con limitaciones concretas sobre:

- los límites de la reubicación del satélite en el interior del arco de servicio;
- las condiciones que intervienen en la explotación conjunta de los sistemas de satélite considerados.

Este método puede utilizarse para evaluar las características de los sistemas por satélite planificados, y para recopilar planes *a priori* sobre utilización del recurso órbita/espectro, también puede emplearse en reuniones multilaterales para coordinación de redes de satélites y en procesos de coordinación bilateral.

Al considerar los asuntos relativos a la utilización eficaz de la OSG, puede utilizarse el método propuesto para evaluar la capacidad potencial de la órbita, seleccionar los parámetros óptimos del sistema, etc.

4 Programa C (CAP-N)

Se ha desarrollado un programa, denominado CAP-N con objeto de optimizar el proceso de asignación de frecuencias en la coordinación entre sistemas. Dicho programa permite abarcar hasta ocho redes de satélite para minimizar la interferencia de entrada única más desfavorable entre ellas.

La realización de este programa incluye:

- la temprana determinación de la coordinación de la asignación de frecuencias portadoras para un sistema nuevo;
- la coordinación y optimización de las asignaciones entre múltiples redes respecto de otras redes existentes;
- la optimización de la asignación de portadoras durante la coordinación multilateral.

Si bien está destinado a optimizar la asignación de frecuencias entre satélites, el programa CAP-N puede servir también para optimizar la asignación de frecuencias para redes con reutilización de frecuencias dentro de un mismo sistema.

El empleo conjunto de esos dos programas, el ORBIT-II y el CAP-N, puede facilitar la coordinación bilateral y multilateral y mejorar el aprovechamiento de la OSG. Dada la rápida expansión de sistemas nacionales de satélites en segmentos de la OSG, resulta preciso reexaminar las bases técnicas de la ubicación de los satélites. La separación orbital mínima debería quedar determinada por la interferencia entre sistemas, la cual depende principalmente de la elección de determinados parámetros del sistema, como la potencia de los transmisores, la sensibilidad de los receptores y la directividad de las antenas. También revisten importancia otros factores, como el tipo de modulación, la canalización y el filtrado, así como los niveles de calidad e interferencia admisibles. Teniendo presente dichos factores, se ha elaborado un método para evaluar la posibilidad de reducir la separación entre satélites en el caso de las redes de cobertura común. Los resultados de tal evaluación en el caso de la interferencia, tanto de entrada única como total, han mostrado que es posible cumplir los objetivos del UIT-R en materia de interferencia en el caso de las redes de cobertura común con una separación entre satélites inferior a 4° si se recurre a alguna de las medidas siguientes:

- despliegue de satélites intercalando la utilización de polarizaciones;
 - mejora de las características de lóbulos laterales de la estación terrena;
 - coordinación de frecuencias más detalladas entre satélites adyacentes.
-