|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | | **Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR-15) Ginebra, 2-27 de noviembre de 2015** |  | | **UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES** |  | |  |  | | **SESIÓN PLENARIA** | **Addéndum 2 al Documento 4(Add.1)-S** | | **29 de octubre de 2015** | | **Original: inglés** | | **Director de la Oficina de Radiocomunicaciones** | | | informe del DIRECTOR sobre las actividades del sector de Radiocomunicaciones | | | partE 1  Actividades del sector de radiocomunicaciones  en el periodo COMPRENDIDO entre la cmr‑12 y la cmr‑15 | | | Información adicional relativa a la Parte 1 del Informe del Director | | |

# 

# Informe del estado de desarrollo de herramientas informáticas para determinar la conformidad de redes de satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite con los límites de densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) contenidos en el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones de conformidad con la Recomendación UIT‑R S.1503-2

# 1 Introducción

La Sección 2.2.3.5 del Addéndum 1 al Documento CMR15/4 (Parte 1 sobre las Actividades del Sector de Radiocomunicaciones en el periodo comprendido entre la CMR-12 y la CMR-15) contiene información relativa a la aplicación de la Resolución 85 (CMR-03) (Aplicación del Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones para la protección de las redes de sistemas geoestacionarios del servicio fijo por satélite y del servicio de radiodifusión por satélite frente a los sistemas no geoestacionarios del servicio fijo por satélite).

El presente addéndum ofrece información detallada sobre el estado de desarrollo de herramientas informáticas de validación de la dfpe para el análisis de sistemas del servicio fijo por satélite (SFS) no OSG, de conformidad con la Recomendación UIT-R S.1503-2.

# 2 Resumen de los avances realizados

Se han desarrollado dos versiones de motor de la DFPE por sendas empresas que han implementado la Recomendación UIT-R S.1503-2, con características adicionales en esta actualización, tales como la mejora de la geometría del caso más desfavorable y la integración en el entorno informático de la BR, en particular el acceso a la información del Apéndice 4 sobre redes del SFS no OSG y su tratamiento directamente a partir de la base de datos del SIE de la UIT junto con máscaras DFP y PIRE.

Ambas empresas de software están poniendo a prueba una serie de casos que incluyen sistemas de referencia no OSG elaborados y examinados durante la validación informática de la Rec. S.1503-1, así como nuevas pruebas derivadas de sistemas de satélite reales. La realización de pruebas avanza satisfactoriamente dada la adecuada complementariedad entre las herramientas informáticas utilizadas en las pruebas realizadas hasta ahora. La fase actual de las pruebas se basa en seis casos definidos (véase *infra* el Cuadro 1 del §3) que abarca la gama de tipos de constelaciones no OSG recibidos por la Oficina y los medios para definir los emplazamientos de las estaciones terrenas.

Aunque los tiempos de ejecución de algunas de las constelaciones no OSG de mayor tamaño han sido prolongados, el software fue capaz de manejar esos sistemas y funcionar de manera satisfactoria.

La entrega de una versión de prueba del software de validación de la DFPE a la BR/UIT está prevista el 1 de diciembre de 2015 y la versión de producción, el 1 de mayo de 2016.

# 3 Definición del alcance de los trabajos relativos al desarrollo del software de validación de la DFPE

Se han desarrollado dos versiones del motor DFPE en virtud de los contratos originales de 2010 adjudicados a Transfinite Ltd y Agenium, con arreglo a la Recomendación UIT-R S.1503.

Esta Recomendación se actualizó posteriormente en 2013 identificándose en los siguientes documentos los cambios realizados:

• Documento WP 4A / 95-E de 12 de septiembre de 2012

• Documento WP 4A / 229-E de 26 de abril de 2012

• Documento WP 4A / 327-E de 26 de septiembre de 2013

Los principales cambios (excluidos los de redacción y reestructuración) entre las Recomendaciones UIT-R S.1503-1 y S.1503-2 son los siguientes:

Actualizaciones de la lectura de datos

• Parámetros adicionales para la lectura de la base de datos del SIE

• Garantía del proceso de adaptación para la conversión de los campos de la base de datos del SIE en parámetros orbitales

• Garantía de lectura del nuevo formato de las máscaras de la DFP y la PIRE

• Garantía de lectura de emplazamientos específicos de estaciones terrenas (ES) de la base de datos del SIE

Actualizaciones del motor de cálculo

• Introducción de la capacidad de incluir diferentes máscaras PIRE de la ES por latitud

• Introducción de la capacidad de incluir diferentes máscaras PIRE del satélite por latitud

• Introducción de la capacidad de incluir diferentes máscaras DFP/PIRE entre satélites

• Introducción de la capacidad de efectuar cálculos del ancho de banda de la máscara DFP/PIRE

• Introducción de la capacidad de utilizar ES específicas

• Actualización del algoritmo de despliegue de ES en función de la densidad

• Actualización del algoritmo para incluir la selección de satélites no OSG en función de la DFPE (ascendente)

• Establecimiento del modelo de órbita para las redes ecuatoriales no OSG

• Definición de la resolución para el cálculo alfa

• Actualización del cálculo de los pasos

• Mejora del cálculo de la duración del tiempo de ejecución

Geometría del caso más desfavorable (WCG, worst case geometry)

La geometría del caso más desfavorable es el emplazamiento de la estación terrena OSG y del satélite OSG que, según el análisis, generaría los máximos valores de la dfpe procedente de una sola fuente para una entrada determinada.

• Nuevo algoritmo WCGA(descendente)

• Nuevo algoritmo WCGA(ascendente)

• Nuevo algoritmo WCGA(IS)

El cambio más significativo en cuanto a complejidad afecta a la geometría del caso más desfavorable (WCG).

Para abordar estos cambios se realizaron pruebas en dos fases: una interna que incluye la ejecución de pruebas individuales para cada una de las modificaciones implementadas y pruebas externas a realizar entre ambos software de DFPE para garantizar resultados similares tomando como base los siguientes casos:

Cuadro 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo | Forma de la órbita | Ecuatorial | Repetición | Emplazamientos de la ES | Fundamento de la prueba |
| A | Circular | No | Sí | Normal (en función de la densidad) | Skybridge |
| B | Circular | No | No | Normal (en función de la densidad) | Boeing |
| C | Circular | Sí | n/a | Normal (en función de la densidad) | O3b |
| D | Elíptica | No | No | n/a | USCSID |
| E | Elíptica | No | Sí | Normal (en función de la densidad) | (creado) |
| F | Polar de cobertura limitada | No | Sí | Específico (emplazamiento exacto) | CANPOL |

La Oficina ha contratado con Transfinite Ltd y Agenium la actualización del software de validación de la DFPE de conformidad con la Recomendación UIT-R S.1503-2.

# 4 Informe del estado de aplicación de la Recomendación UIT-R S.1503-2

## 4.1 Actualizaciones generales

Se han implementado las siguientes características en el software:

**•** Posibilidad de variación de la máscara DFP/PIRE entre satélites

**•** Posibilidad de variación de la máscara PIRE del satélite y de la estación terrena (ES) en función de la latitud

**•** Utilización de un nuevo algoritmo de despliegue de ES en función de la densidad

**•** Tratamiento de órbitas no OSG ecuatoriales

**•** Tratamiento de órbitas no OSG elípticas

**•** Modificación del cálculo del paso de tiempo y de la duración de los pasos

**•** Nuevos algoritmos WCG

**•** Extracción de la información de la máscara DFP/PIRE de la base de datos del SIE.

Al implementar estos cambios debe prestarse una atención especial a la ejecución del código con la mayor eficacia posible utilizando PC modernos de varios núcleos. Esto resulta crítico teniendo en cuenta la intensidad de la computación del algoritmo WCG y su repercusión en el tiempo de ejecución del software.

Es necesario seguir desarrollando y probando ciertas características:

• Posibilidad del cálculo del ancho de banda de la máscara de DFP/PIRE

• Posibilidad de utilizar ES específicas.

## 4.2 Pruebas internas

Modificaciones del modelo de órbita

Las modificaciones del software se validaron con respecto a una prueba de referencia y resultaron totalmente satisfactorias.

Modificación del cálculo del paso de tiempo y de la duración de cada ejecución

Las modificaciones introducidas en la Rec. UIT-R S.1503-2 han provocado en muchos casos un aumento significativo del número de pasos de tiempo que hay que ejecutar para cada DFPE, y repercute de forma importante en el tiempo necesario para completar cada ejecución.

Actualización de la WCG

Uno de los cambios más importantes del algoritmo de la Rec. UIT-R S.1503 fue el del cálculo de la geometría del caso más desfavorable. El nuevo algoritmo WCG de la versión 2 resulta ser mucho más potente que el de la versión 1 e identifica geometrías alternativas para emplazar el satélite OSG y las estaciones terrenas. Esto da lugar a estadísticas de la dfpe que en ciertos casos alcanzan porcentajes de tiempo más elevados para un determinado nivel de la dfpe y que parecen indicar que el algoritmo revisado funciona eficazmente.

Formato de las máscaras

Se efectuaron pruebas para garantizar que el software pueda funcionar con constelaciones del SFS no OSG que utilicen varias máscaras DFP y otras máscaras que varíen en función de la latitud.

## 4.3 Pruebas externas

Modificaciones del modelo de órbita

Las modificaciones del software se validaron un marco de prueba. Los resultados fueron excelentes y en muchos casos se obtuvo un delta mejor que 1e-5.

Modificación del cálculo del paso de tiempo y de la duración de cada ejecución

Tras la comparación del paso del tiempo y el número de ejecuciones se observó una concordancia perfecta entre ambos módulos de software.

Despliegue de la estación terrena

Se compararon los emplazamientos de las estaciones terrenas de los escenarios ascendentes con los escenarios de prueba correspondientes (obsérvese que el sistema USCSID no genera pasos de ejecución ascendente). El resultado fue perfecto.

Actualización del WCG

Con el fin de terminar las pruebas en un tiempo razonable se utilizó un paso fijo de latitud de 1 grado. Los resultados de las diversas pruebas fueron satisfactorios. Continúan los trabajos para acelerar los cálculos de la WCG.

Hay que completar las pruebas de los tipos E y F (véase el Cuadro 1 infra).

Ejecución de cálculos completos

Se alcanzó el acuerdo de fijar en 0,1 dB el nivel necesario para las pruebas A, B y C. Continúan analizándose la pruebas de D, E y F que deben terminarse para principios de 2016.

## 4.4 Actualización del formato XML para la presentación de datos de la máscara DFP/PIRE

Para describir un sistema no geoestacionario y examinarlo con arreglo al Artículo 22 del RR y el Apéndice 5 se necesitan obligatoriamente tres máscaras, según el Apéndice 4, a saber: una máscara de densidad de flujo de potencia para el enlace descendente (A.14.c), una máscara de potencia isótropa radiada equivalente para el enlace ascendente (A.14.b) y una tercera para el enlace entre satélites (A.14.a).

A raíz de la actualización de la Recomendación UIT-R S.1503-2, la Oficina actualizó el formato XML que se utiliza para la presentación de los datos de las máscaras en XML. La definición detallada de estas máscaras, la descripción de su generación y la metodología de su cálculo se presentan en la Rec. UIT-R S.1503-2.

La descripción del formato XML junto con algunos ejemplos puede consultarse en el siguiente enlace:

<http://www.itu.int/es/ITU-R/space/Pages/XMLmaskDataFile.aspx>

La modificación más importante es la introducción del elemento latitud en las máscaras de la PIRE.

# 5 Asuntos que deben seguir examinándose

## 5.1 Tiempo de cálculo

Para las estaciones terrenas de gran tamaño con diámetros de antena superiores a 5 metros, el tiempo de cálculo puede superar varios días. Dado que el examen en virtud del Artículo 22 debe realizarse para todos los diámetros de antena, el tiempo total de cálculo puede prolongarse hasta una semana.

Si consideramos las recientes notificaciones de sistemas de satélites del SFS no OSG con un gran número de satélites, de hasta varios miles, el tiempo de cálculo podrían aumentar considerablemente.

Actualmente, los desarrolladores de software están estudiando la forma de optimizar los algoritmos para reducir el tiempo de cálculo.

La potencia de procesamiento es otro factor importante que estudia la Oficina, y existe la posibilidad de que se adquieran servidores más potentes o se recurra a la computación en la nube.

Una solución para reducir de forma importante el tiempo de cálculo de la DFPE podría ser llevar a cabo la protección de las estaciones terrenas de gran tamaño con diámetros de antena superiores a 5 metros en la etapa de coordinación de dichas E/S una vez conocidos sus emplazamientos específicos.

## 5.2 Datos de entrada necesarios para la validación de la DFPE

Al examinar las notificaciones de sistemas de satélites del SFS no OSG presentadas por las administraciones, la Oficina determinó que en muchos casos faltaba información del Apéndice 4 para completar el examen de la DFPE.

En el cuadro siguiente se presenta una relación de los elementos que faltan o que se han definido incorrectamente:

Cuadro 2

| Datos del Apéndice 4 | Descripción | Observaciones |
| --- | --- | --- |
| A.4.b.6.a  A.4.b.6.a.1  A.4.b.6.a.2  A.4.b.6.a.3 | Máximo número de satélites no geoestacionarios que transmiten con frecuencias superpuestas a una determinada ubicación:  – principio de la gama de latitudes asociada  – final de la gama de latitudes asociada | Información que podría presentarse en un cuadro separado. Deben contemplarse todas las gamas de latitud (de ‑90 a 90). |
| A.4.b.7.b | Número medio de estaciones terrenas asociadas con frecuencias superpuestas por kilómetro cuadrado dentro de una célula | En el caso de que se notifique, se suele definir como un número entero, lo que normalmente no debe ocurrir.  Véase la sección 5.2.5 de la Rec. UIT-R S.1503-2 sobre orientaciones para la definición. |
| A.4.b.7.c | Distancia promedio, en kilómetros, entre células cofrecuencia | Véase la sección 5.2.5 de la Rec. UIT-R S.1503-2 sobre orientaciones para la definición. |
| A.4.b.7.d.1 | Bandera que indica el tipo de zona: si el ángulo de la zona de exclusión es el ángulo alfa [Y] o el ángulo X [N] | La descripción del Apéndice 4 da a entender que podría haber otro método de establecer la zona de exclusión. Sin embargo, la Rec. UIT-R S.1503-2 no contiene ninguna metodología de implementación de otros métodos. Por consiguiente, se propone la utilización de ángulo alfa/X = 0. |
| A.4.b.7.d.2 | Anchura de la zona de exclusión en grados | Véase A.4.b.7.d.1 |
| A.14.a | Máscaras de P.I.R.E. de la estación espacial no geoestacionaria | Necesario para los haces de transmisión. |
| A.14.b | Máscaras de P.I.R.E de las estaciones terrenas | Necesarias para las estaciones terrenas en los haces de recepción. |
| A.14.c | Máscara de DFP producida por la estación espacial no geoestacionaria | Necesaria para las estaciones terrenas en los haces de recepción. |
| A.14.b.4 | Mínimo ángulo de elevación en el que una estación terrena asociada puede transmitir hacia un satélite no geoestacionario | Necesario para las estaciones terrenas en los haces de recepción. |
| A.14.b.5 | Mínimo ángulo de separación entre el arco de la órbita de satélites geoestacionarios y el eje principal de la estación terrena asociada en el que puede transmitir hacia un satélite no geoestacionario | Necesario para las estaciones terrenas en los haces de recepción. |

Deben especificarse todos los campos. En particular, el ángulo de elevación mínimo y el tamaño de la zona de exclusión son necesarios para el cálculo de la WCG y de la DFPE, siendo cero un valor válido para ambos. Obsérvese que el ángulo de elevación es el ángulo mínimo en el que puede existir comunicación activa entre un satélite y una ES de una constelación de satélites del SFS no OSG. Se calcula en la ES y si tanto el enlace ascendente como el enlace descendente están en bandas para las que se han definido límites de DPFE en el Artículo 22, el ángulo de elevación debe coincidir en el sentido de la DFPE (descendente) y de la DFPE (ascendente).

## 5.3 Documentación

Durante el desarrollo del software de validación de la DFPE, sus autores identificaron otros cambios que podrían ser necesarios para la Recomendación UIT-R S.1503-2. Estos cambios consisten normalmente en aclaraciones o están relacionados con la mejora del rendimiento y la coherencia entre el algoritmo implementado en las herramientas informáticas y el algoritmo descrito en la Rec. UIT‑R S.1503-2.

A continuación se adjuntan las modificaciones mencionadas con carácter informático:



Obsérvese que la actualización de la Recomendación UIT-R BO.1443-3 desde la versión 2 fue de carácter editorial y no repercute en el cálculo de la DFPE.

# 6 Fecha objetivo de entrega del software de validación de la DFPE de conformidad con la Recomendación UIT-R S.1503-2

|  |  |
| --- | --- |
| Descripción | Fecha de terminación/entrega |
| **•** Desarrollo de una nueva versión del software de la DFPE tomando como base la Rec. UIT-R S.1503-2  **•** Entrega de la versión de prueba a la BR | 06.11.2015  01.12.2015 |
| **•** Pruebas internas del software  **•** Pruebas externas del software | 31.11.2015  01.02.2016 |
| **•** Evaluación final del software y documentación de las posibles discrepancias con respecto a la Rec. UIT-R S.1503-2 y entrega de la versión de producción a la BR | 01.04.2016 |
| **•** Distribución del software a las Administraciones | 01.06.2016 |

# 7 Conclusión

La Oficina cree que la información adicional que contiene el presente documento contribuirá a los trabajos de la Conferencia relativos a la Resolución 85 (CMR-03) así como al examen del problema general de la compartición de frecuencia OSG/no OSG.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_