الحلقة الدراسية العالمية للاتصالات الراديوية
جنيف، 12-16 ديسمبر 2016
الاتحاد الدولي للاتصالات

المصدر: الوثيقة WRS14/19

الوثيقة WRS16/15-A
1 نوفمبر 2016
الأصل: بالإنكليزية

دائرة الخدمات الفضائية

حدود كثافة تدفق القدرة المكافئة (EPFD)

1 مقدمة

يتناول القرار **(WRC-03) 85** تطبيق المادة **22** من لوائح الراديو لحماية الشبكات المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الإذاعية الساتلية من الأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية.

ويتطلب القرار **(WRC-03) 85** من المكتب أن يفحص ما إذا كانت تخصيصات التردد إلى:

أ) الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية تمتثل لحدود كثافة تدفق القدرة المكافئة المتضمنة في الجداول **22-1A** و**22-1B** و**22-1C** و**22-1D** و**22-1E** و**22-2** و**22-3** الواردة في المادة **22** من لوائح الراديو؛

ب) محطة أرضية كبيرة محددة (تحت شروط معينة) تتطلب التنسيق بموجب الرقم **7A.9** من لوائح الراديو فيما يتعلق بأي أنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض قائمة تستعمل عتبات التنسيق الواردة في التذييل **5** للوائح الراديو؛ أو

ج) الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية تتطلب التنسيق بموجب الرقم **7B.9** من لوائح الراديو فيما يتعلق بأي محطة أرضية كبيرة (تحت شروط معينة) تستعمل عتبات التنسيق الواردة في التذييل **5** للوائح الراديو.

ويستند تطبيق هذه الأحكام إلى التحقق من كثافة تدفق القدرة المكافئة التي تنتجها الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

وتقدم هذه الورقة معلومات أساسية بشأن تطبيق كثافة تدفق القدرة المكافئة مع التركيز على الحالات التنظيمية التي تنطوي على التقاسم بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض وأنظمة الخدمة الثابتة الساتلية/الخدمة الإذاعية الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

2 الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض

الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض (non-GSO أو NGSO) مثالية لتوفير اتصالات في الوقت الفعلي بتغطية عالمية. وتوفر أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض (FSS) عادة خدمات النطاق العريض عالية السرعة، بما في ذلك توصيلية الإنترنت، إلى المنازل والمكاتب في جميع أنحاء العالم بما في ذلك الأماكن التي يتعذر الوصول إليها باستعمال السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض. ويتألف النظام الساتلي النموذجي غير المستقر بالنسبة إلى الأرض من محطة فضائية أو أكثر موضوعة في مدار

أرضي منخفض أو متوسط ومحطات البوابات. وتوصل البوابات بشبكات الأرض، لتوفر لكل مستعمل نفاذاً إلى الشبكات الخاصة أو العامة.

ونظراً للنقص في الترددات المناسبة ومن أجل الاستفادة من البنية التحتية الموجودة، تتقاسم أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض الطيف الترددي مع أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض والخدمة الإذاعية الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض (BSS). ولتحقيق الاستعمال الأمثل للطيف المتاح، يتعين وجود الأحكام التنظيمية، مثل حدود كثافة تدفق القدرة المكافئة الواردة في المادة **22**، لتسهيل التقاسم بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض والخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

وفي الوقت الحالي، يجري تقديم عدد من الأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض إلى المكتب من أجل التنسيق والتبليغ. وتتسم جميع هذه الأنظمة بمعلمات مختلفة بالنسبة لهندسة المدار والكوكبات.

ولدى أغلب الأنظمة عدد كبير من السواتل يتراوح بين العشرات والآلاف. حتى في إطار النظام الساتلي الواحد، يمكن للعديد من السواتل الإرسال بصورة آنية لمنطقة جغرافية بعينها. ويؤدي هذا الوضع إلى الحاجة إلى النظر في حساب التداخل من الشبكة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض على المحطة الأخرى الثابتة الموجودة على الأرض أو على المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض، حيث:

- إنه لا توجد لدينا معلومات مسبقة بشأن موقع المحطات التي تتسبب في التداخل؛
- إنه نتيجةً للحركة المستمرة لمصدر التداخل فيما يتعلق بمحطة استقبال ثابتة، ينبغي مراعاة الخواص الإحصائية للتداخل؛
- إنه قد تقوم العديد من المحطات التي تتسبب في التداخل بالإرسال بصورة آنية ومن ثم يزيد مستوى التداخل الإجمالي.

وأبرزت هذه العوامل ضرورة التوصل إلى معايير ملائمة لقياس التداخل من الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض على الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

3 ما هي كثافة تدفق القدرة المكافئة؟

اعتمد المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 1997 مفهوم كثافة تدفق القدرة المكافئة من أجل تيسير إدخال الأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة في بعض النطاقات Ku وKa المتقاسمة مع الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

واعتمد المؤتمر WRC-97 حدوداً "صارمة" (ينبغي ألا يتم تجاوزها إطلاقاً) على الإرسالات من الأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض وعرّفها بشكل مختلف عن كثافة تدفق القدرة (PFD). ويراعي تعريف المؤتمر WRC-97 لكثافة تدفق القدرة المكافئة تجمع الإرسالات (EPFD) من جميع السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض باتجاه أي محطة أرضية مستقرة بالنسبة إلى الأرض أخذاً في الاعتبار اتجاهية هوائي الساتل المستقر بالنسبة إلى الأرض. وتمكّن هذه الحدود الصارمة أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض بتقاسم الترددات مع الأنظمة المستقرة بالنسبة إلى الأرض وحمايتها بدون الحاجة إلى التنسيق الفردي مع جميع الأنظمة في العالم.

تعرف المادة **22** من لوائح الراديو كثافة تدفق القدرة المكافئة على النحو التالي:

1.5C.22 تعرف كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) بأنها مجموع قيم كثافات تدفق القدرة، عند محطة استقبال تابعة لنظام سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض واقعة على سطح الأرض أو في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض، حسب الحالة، التي تنتجها جميع محطات الإرسال في نظام سواتل غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض، مع مراعاة التمييز خارج المحور لهوائي استقبال مرجعي يُفترض أنه مسدد نحو اتجاهه الاسمي. ويجري حساب كثافة تدفق القدرة المكافئة باستعمال الصيغة التالية:

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

حيث:

N_a: عدد محطات الإرسال في نظام السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، المرئية من محطة الاستقبال التابعة لنظام السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛ والواقعة على سطح الأرض أو في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض، حسب الحالة؛

i: دليل محطة الإرسال المعنية في نظام السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

P_i: القدرة RF عند مدخل هوائي محطة الإرسال المعنية في نظام السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، بالوحدات dBW في عرض النطاق المرجعي؛

θ_i: الزاوية خارج المحور بين خط النظر لمحطة الإرسال المعنية في نظام السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض واتجاه محطة الاستقبال من مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

$G_t(\theta_i)$: كسب هوائي الإرسال (في شكل نسبة) للمحطة المعنية في نظام السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض وفي اتجاه محطة الاستقبال في نظام السواتل المستقرة إلى الأرض؛

d_i: المسافة بالأمتار بين محطة الإرسال المعنية في نظام السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض ومحطة الاستقبال المعنية في نظام السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

φ_i: الزاوية خارج المحور بين خط النظر لهوائي محطة الاستقبال المعنية في نظام السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض واتجاه محطة الإرسال المعنية التي دليلها i من نظام السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

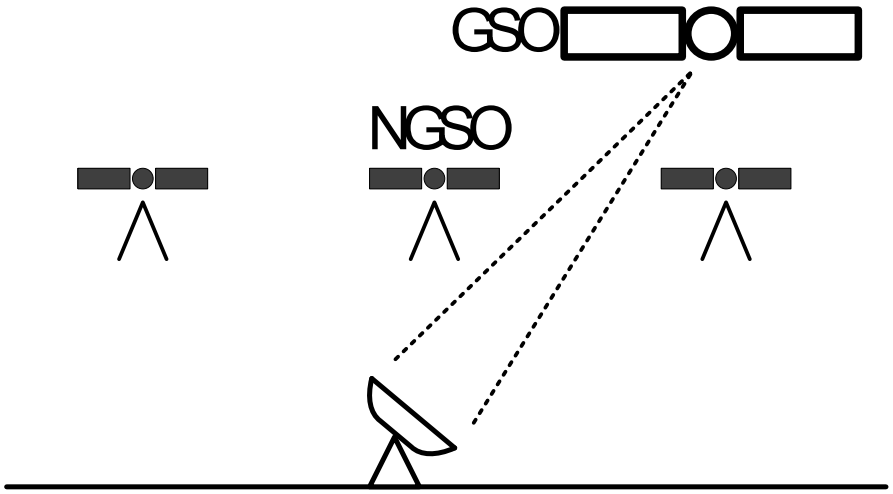
$G_r(\varphi_i)$: كسب (في شكل نسبة) هوائي محطة الاستقبال التابعة لنظام السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض في اتجاه محطة الإرسال المعنية التي دليلها i التابعة لنظام السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

$G_{r,max}$: الكسب الأقصى (في شكل نسبة) لهوائي محطة الاستقبال التابعة لنظام السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

$epfd$: كثافة تدفق القدرة المكافئة المحسوبة بالوحدات $dB(W/m^2)$ في عرض النطاق المرجعي. (WRC-2000)

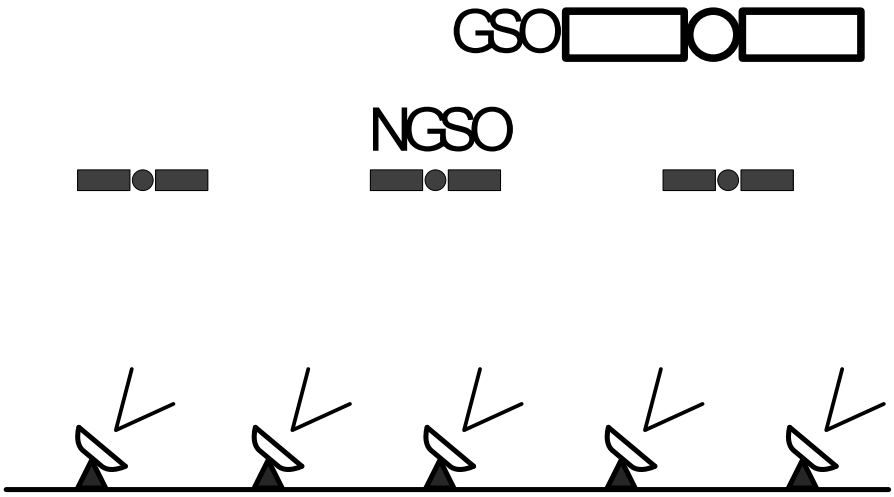
الشكل 1

هندسة حساب كثافة تدفق القدرة المكافئة على الوصلة الهابطة



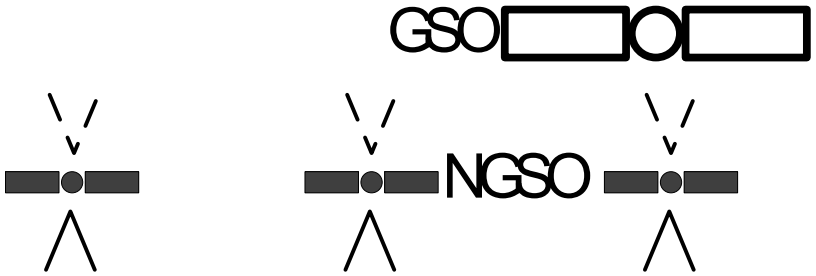
الشكل 2

هندسة حساب كثافة تدفق القدرة المكافئة على الوصلة الصاعدة



الشكل 3

هندسة حساب كثافة تدفق القدرة المكافئة على المسار ما بين السواتل



وكما هو الحال بالنسبة إلى كثافة تدفق القدرة، تُحسب الكثافة EPFD عند هوائي الاستقبال؛ ولكن على عكس الكثافة PFD فهي تأخذ في الاعتبار تسديد الهوائي فيما يتعلق بكل مصدر من مصادر التداخل.

عندما يستقبل هوائي قدرة في عرض نطاقه المرجعي صادرة في نفس الوقت من أجهزة إرسال على مسافات مختلفة وفي اتجاهات مختلفة وعند مستويات مختلفة للكثافة pfd الواردة، تكون الكثافة epfd مكافئة للكثافة pfd التي، لو استُقبلت من مرسل واحد في المجال البعيد للهوائي في اتجاه الكسب الأقصى، لأنتجت نفس القدرة عند دخل جهاز الاستقبال كما لو أنها استقبلت فعلياً من مجموع المرسلات المختلفة.

ويتيح هذا المفهوم معرفة محدودة جداً بمعلمات أنظمة الاستقبال. وفي الواقع، هناك حاجة فقط إلى نموذج الهوائي المرجعي وحجم الهوائي وكسب الهوائي الأقصى المرتبط به لتحديد خصائص التداخل لفئة محددة من أنظمة الاستقبال. وتحتوي المادة **22** على أقنعة حدية لعدد من تشكيلات محطات الاستقبال الأرضية بما في ذلك أحجام الهوائيات المتراوحة بين 30 cm و5 m وحتى 15 m بالنسبة للحالة الخاصة في النطاق 700 3-200 4 MHz.

4 كثافة تدفق القدرة المكافئة (EPFD) في لوائح الراديو

تستخدم الكثافة EPFD حالياً استخداماً واسعاً في لوائح الراديو في الحالات التالية:

1) الحدود الصارمة للكثافة EPFD المطبقة على الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية لحماية الخدمة الإذاعية الساتلية/الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض في المادة **22**

2) حدود عتبات التنسيق EPFD المطبقة على الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض والخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض بموجب الرقمين **7A.9** و**7B.9**

3) حدود الكثافة EPFD للأنظمة في مختلف خدمات الاتصالات الراديوية التي تستخدم مدار السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض لحماية محطات الفلك الراديوي في عدد من النطاقات الترددية. انظر القرارات **(Rev. WRC-15) 739** و**(Rev. (WRC-15) 741** و**(WRC-03) 743**

4) حماية أنظمة خدمة الملاحة الراديوية للطيران من الكثافة EPFD التي تنتجها شبكات وأنظمة الخدمة الساتلية للملاحة الراديوية في النطاق الترددي 164 1-215 1 MHz. انظر القرار **(Rev. WRC-07) 609**.

ومع ذلك، بالنسبة إلى الحالتين الأوليين فقط، يطالب المكتب بفحص ما إذا كانت تخصيصات التردد للنظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض تمتثل للحدود المنصوص عليها في المادة **22**.

ولهذا الغرض، طلب المؤتمر WRC-2000 من المكتب أن يشجع الإدارات على تطوير برمجية التحقق من القدرة EPFD التي سيستخدمها المكتب لإعداد النتائج تطبيقاً للمادة **22** والرقمين **7A.9** و**7B.9**.

5 برمجية التحقق من كثافة تدفق القدرة المكافئة (EPFD)

تستند المنهجية المتعلقة ببرمجية التحقق من الكثافة EPFD إلى التوصية ITU-R S.1503-2. وتقدم هذه التوصية وصفاً تفصيلياً للدخل اللازم لحساب حدود الكثافة epfd وعتبات التنسيق الواردة في المادة **22** والتذييل **5** للوائح الراديو.

وهذه المنهجية معقدة، وبغية زيادة الثقة في أي أداة من أدوات البرمجية، يرى المكتب أنه ستكون هناك حاجة إلى تنفيذين مستقلين على الأقل للتوصية ITU-R S.1503. وبناءً على ذلك، طورت شركتان من شركات تطوير البرمجيات التجارية أدوات الكثافة EPFD للتحقق من الامتثال بموجب المادة **22** أو متطلبات التنسيق بموجب الرقمين **7A.9** و**7B.9**.

وأنجز المكتب أدوات البرمجية طبقاً للتوصية ITU-R S.1503-2.

ويمكن الاطلاع على كامل تفاصيل برمجية التحقق من الكثافة EPDF التي سيستخدمها المكتب في إجرائه عملية الفحص وفقاً للقرار **(WRC-03) 85** في الموقع الإلكتروني: www.itu.int/ITU-R/go/epfd/en.

وترد معظم المعلومات المطلوبة لإجراء فحوصات البرمجية في قاعدة بيانات خدمة الأبحاث الفضائية. ومع ذلك، نظراً للتشكيلات المعقدة للكوكبات المختلفة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، من الصعب محاكاة تشكيلات الحركة بدقة ومعلمات الإرسال الخاصة بالأنظمة.

ولهذا الغرض، تضع التوصية ITU-R S.1503-2 مفهوماً لقناع كثافة تدفق القدرة/القدرة المشعة المكافئة المتناحية التي تنتجها محطات الشبكة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض المسببة للتداخل. وسيراعي القناع جميع سمات الترتيبات المحددة للأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

وقد تتضمن هذه الأقنعة كمية كبيرة جداً من البيانات. وقد أعد المكتب أقنعة للكثافة pfd والقدرة e.i.r.p. بنسق XML لتتمكن الإدارات من تقديم بيانات الأقنعة إلكترونياً واستخدام أداة برمجية الكثافة EPFD للبيانات المقدمة مباشرة.

وتدمج برمجية التحقق من الكثافة EPDF في برمجية GIBC لمكتب الاتصالات الراديوية لإجراء فحوصات سلسة بطريقة شبيهة بالفحوصات الحالية في التذييل **8**/وحدات الكثافة PFD للبرمجية GIBC.

_____