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

الاتحـاد الدولـي للاتصـالات

المصدر: الوثيقة WRS14/21

الوثيقة WRS16/12-A
31 أكتوبر 2016
الأصل: بالإنكليزية

دائرة الخدمات الفضائية

تحليل التوافق بين الشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض

موجز

الغرض من هذه الوثيقة هو تقديم لمحة عامة عن المعايير المختلفة المستخدمة لتقييم مدى توافق الشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض، وتحديد تلك التي يلزم التنسيق معها والتعريف بالطرائق التي يمكن استخدامها لتيسير التنسيق والحصول على سيناريو تشغيلي خال من التداخل. وتتضمن هذه الوثيقة آخر التحديثات من دراسات المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2015 (WRC-15) والدراسات الجارية تمهيداً للمؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2019 (WRC-19).

وتنظر الوثيقة أيضاً في الحالة التي يمكن فيها لإدارة مبلِّغة أن توافي الاتحاد بخصائص شبكتها الساتلية، مع بيان بعض الجوانب التي يمكن أن تؤخذ في الاعتبار عند تنظيم بطاقة التبليغ من أجل الحصول على النتيجة المثلى، فيما يمثِّل السيناريو الفعلي على أدق وجه ممكن.

وفي كل حين، سيجري تناول القضايا من المنظورين النظري والعملي مع إيراد بعض التفاصيل دون صرف الأنظار عن الهدف العام.

1 تحديد متطلبات التنسيق

يبين التذييل **5** من لوائح الراديو المعايير التقنية التي يتعين استخدامها في كل حالة، بما في ذلك:

- الأحكام التنظيمية التي تحدد أشكال التنسيق؛
- سيناريو التقاسم المرتبط بالحالة؛
- النطاق الترددي والإقليم؛
- الخدمات؛
- العتبة/الشرط؛
- طريقة الحساب.

ويعرض الجدولان 5-1 و5-2 والملحق 1 بالتذييل **5** وصفاً تفصيلياً لمختلف الحالات.

وفي حالة التنسيق بين الشبكات المستقرة بالنسبة إلى الأرض بموجب الرقم **7.9** من لوائح الراديو، تسري المعايير التالية:

1.1 قوس التنسيق

ينطوي قوس التنسيق على تحديد شبكات ساتلية ذات ترددات متراكبة تعمل في نفس اتجاه الإرسال ضمن أقواس تبلغ ±6 درجات أو ±7 درجات أو ±8 درجات أو ±12 درجة أو ±16 درجة (حسب النطاق الترددي والخدمة) عن خط الطول المداري الاسمي للشبكة الواردة.

ويستخدم مكتب الاتصالات الراديوية هذه الطريقة لتحديد متطلبات التنسيق للشبكات الساتلية في الخدمتين الثابتة الساتلية والإذاعية الساتلية غير الخاضعتين لخطة، فضلاً عن خدمة الأرصاد الجوية الساتلية وخدمة الأبحاث الفضائية، وما يرتبط بكل منها من تخصيصات ترددية لعمليات الفضاء في النطاقات الترددية المحددة الموصوفة في التذييل **5**.

ويرد موجز لحالات مختلفة في الجدول أدناه:

النطاق الترددي، الإقليم	الخدمات وقوس التنسيق المرعي
1) MHz 4 200-3 400 MHz 5 850-5 725 (الإقليم 1) MHz 6 725-5 850 MHz 7 075-7 025	أي شبكة في **الخدمة الثابتة الساتلية** وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±7°** بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **الخدمة الثابتة الساتلية**
2) GHz 11,2-10,95 GHz 11,7-11,45 GHz 12,2-11,7 (الإقليم 2) GHz 12,5-12,2 (الإقليم 3) GHz 12,75-12,5 (الإقليمان 1 و3) GHz 12,75-12,7 (الإقليم 2) GHz 13,65-13,4 (الإقليم 1) GHz 14,8-13,75	– أي شبكة في **الخدمة الثابتة الساتلية أو في الخدمة الإذاعية الساتلية غير خاضعة لخطة ما**، وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±6°** بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **الخدمة الثابتة الساتلية أو الخدمة الإذاعية الساتلية وغير خاضعة لخطة ما** – في النطاق **GHz 13,65-13,4** أي شبكة في **خدمة الأبحاث الفضائية** أو أي شبكة في الخدمة الثابتة الساتلية، وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي (انظر الرقم **23.1**) والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±6°**بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **الخدمة الثابتة الساتلية أو خدمة الأبحاث الفضائية** – في النطاق **GHz 14,8-14,5** أي شبكة في **خدمة الأبحاث الفضائية** أو **الخدمة الثابتة الساتلية غير خاضعة لخطة ما**، وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي (انظر الرقم **23.1**) والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±6°**بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **خدمة الأبحاث الفضائية** أو **الخدمة الثابتة الساتلية غير خاضعة لخطة ما**
3) GHz 20,2-17,7 (الإقليمان 2 و3) GHz 20,2-17,3 (الإقليم 1) و GHz 30-27,5	أي شبكة في **الخدمة الثابتة الساتلية** وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±8°** بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **الخدمة الثابتة الساتلية**
4) GHz 17,7-17,3 (الإقليمان 1 و2) 5) GHz 17,8-17,7 (يطبَّق الرقم 517.5 في الإقليم 2)	أي شبكة في **الخدمة الثابتة الساتلية** وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±8°** بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **الخدمة الثابتة الإذاعية، أو العكس بالعكس**
6) GHz 18,3-18,0 (الإقليم 2) GHz 18,4-18.1 (الإقليمان 1 و3)	أي شبكة في الخدمة الثابتة الساتلية أو **خدمة الأرصاد الجوية الساتلية** وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±8°** بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **الخدمة الثابتة الساتلية أو خدمة الأرصاد الجوية الساتلية**

النطاق الترددي، الإقليم	الخدمات وقوس التنسيق المرعي
6 مكرراً) GHz 22-21,4 (الإقليمان 1 و3)	أي شبكة في **الخدمة الإذاعية الساتلية** وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±12°** بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **الخدمة الإذاعية الساتلية** (انظر أيضاً القرارين **553** و**554 (WRC-12)**)
7) النطاقات ما فوق GHz 17,3 عدا تلك المعرَّفة في الفقرتين 3) و6)	أي شبكة في **الخدمة الثابتة الساتلية** وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±8°** بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **الخدمة الثابتة الساتلية** (انظر أيضاً القرار **901 (Rev.WRC-07)**)
8) النطاقات ما فوق GHz 17,3 عدا تلك المعرَّفة في الفقرات 4) و5) و6 مكرراً)	أي شبكة في **الخدمة الثابتة الساتلية أو في الخدمة الإذاعية الساتلية غير خاضعة لخطة ما**، وأي من الوظائف المصاحبة في التشغيل الفضائي والتي لها محطة فضائية واقعة ضمن قوس مدارية قدرها **±16°** بالنسبة إلى الموقع المداري الاسمي لشبكة مقترحة في **الخدمة الثابتة الساتلية أو الخدمة الإذاعية الساتلية وغير خاضعة لخطة ما، عدا الخدمة الثابتة الساتلية بالنسبة إلى الخدمة الثابتة الساتلية** (انظر أيضاً القرار **901 (Rev.WRC-07)**)

وعملاً بالقرار **901 (WRC-15)** ونتيجةً لدراسات قطاع الاتصالات الراديوية وقرارات المؤتمرات المقبلة، يمكن التوسع بقيم قوس التنسيق ليشمل المزيد من النطاقات الترددية والخدمات.

2.1 المعيار $\Delta T/T > 6\%$ (التذييل 8 للوائح الراديو)

يستخدم مكتب الاتصالات الراديوية هذه الطريقة لتحديد متطلبات التنسيق في إطار الرقم **7.9** من لوائح الراديو لأي سيناريو آخر لا يطبَّق فيه قوس التنسيق. كما تستعمله الإدارات لتطلب من مكتب الاتصالات الراديوية إدراج أسمائها أو شبكاتها الساتلية في عملية التنسيق بموجب الرقم **41.9** من لوائح الراديو، أو استبعادها منها.

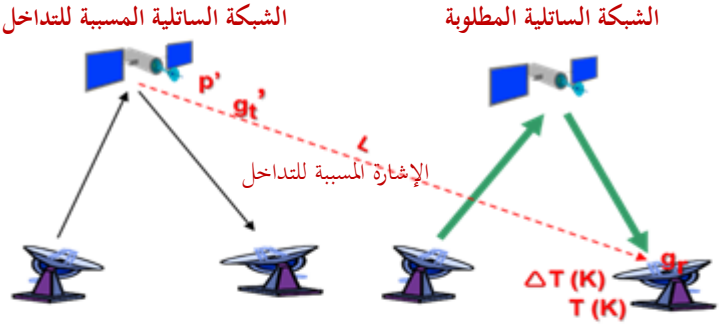
وتحدد هذه الطريقة عتبة قد تحدث تداخلات ضارة إن جرى تجاوزها. ومن ثم، فهي تضمن التوافق بين التخصيصات الترددية ذات الصلة إن لم تُتجاوز.

وهي أساساً تقيس الزيادة في درجة حرارة الضوضاء في جهاز الاستقبال جراء تداخل ما.

ومن الأهمية بمكان التأكيد على الحاجة إلى مزيد من التحليل في حالة المعيار $\Delta T/T > 6\%$ للتأكد من عدم توافق التخصيصات الخاضعة للدراسة. ذلك لأن المعيار $\Delta T/T$ لا يأخذ بعين الاعتبار الإشارة المطلوبة وشكل طيف مصدر التداخل (على سبيل المثال). وثمة طرائق أدق مثل نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (C/I).

وتصف الأشكال التالية المفهوم العام ومختلف السيناريوهات المحتملة والمعادلات الواجب تطبيقها:

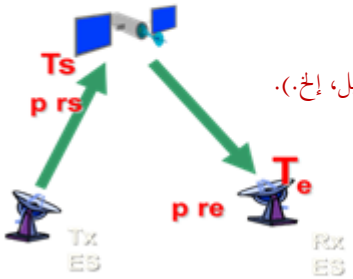
المفهوم العام



يصف التذييل 8 الطريقة والتعاريف

$$\Delta T / T = (p' g_t' g_r) / KLT$$

مستوى كثافة القدرة المسببة للتداخل



كسب الإرسال γ:

- ✓ لا يصح إلا للمرسلات – المستجيبات البسيطة العاملة بتغيير الترددات (مبدأ الأنبوب المعقوف).
- ✓ لا يسري عند وجود معالجة إشارة على متن الساتل (مرسلات – مستجيبات متجددة رقمياً، تغيير التشكيل، إلخ.). تتطلب هذه الحالة معالجة للوصلتين الصاعدة والهابطة، كل على حدة.

$$\gamma = p_{re} / p_{rs}$$

القدرة المستقبلة في المحطة الأرضية
القدرة المستقبلة في الساتل

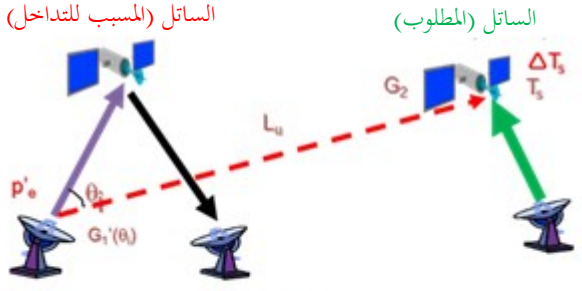
الحرارة المكافئة لضوضاء الوصلة الساتلية:

$$T = Te + \gamma Ts \quad (K)$$

الحالة الأولى للمعيار ΔT/T: الترددات المتراكبة في اتجاه مشترَك

معالجة للوصلتين الصاعدة والهابطة، كل على حدة
(وجود معالجة إشارة على متن الساتل المطلوب)

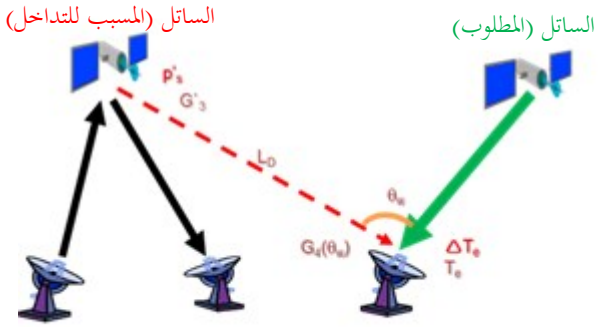
تراكب ترددي في الوصلة الصاعدة فقط



$$\Delta T / T = \Delta T_S / T_S$$

$$\Delta T / T = 10\log(p'e) + G'1(\theta i) - LU + G2 - K - TS \quad (dB)$$

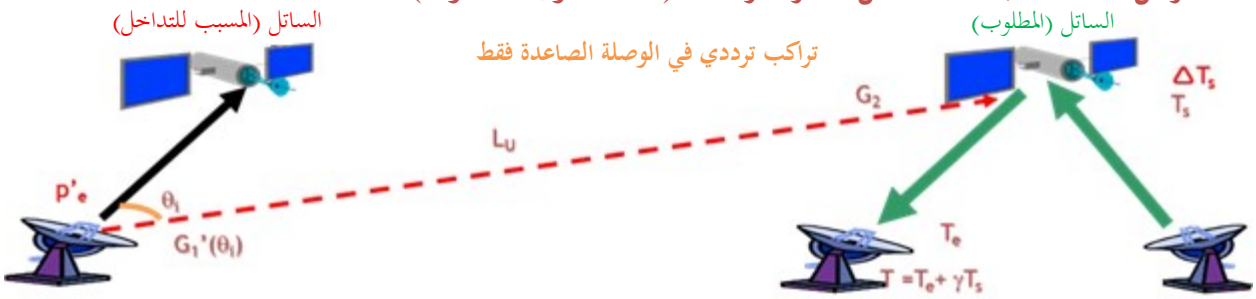
تراكب ترددي في الوصلة الهابطة فقط



$$\Delta T / T = \Delta T_E / T_E$$

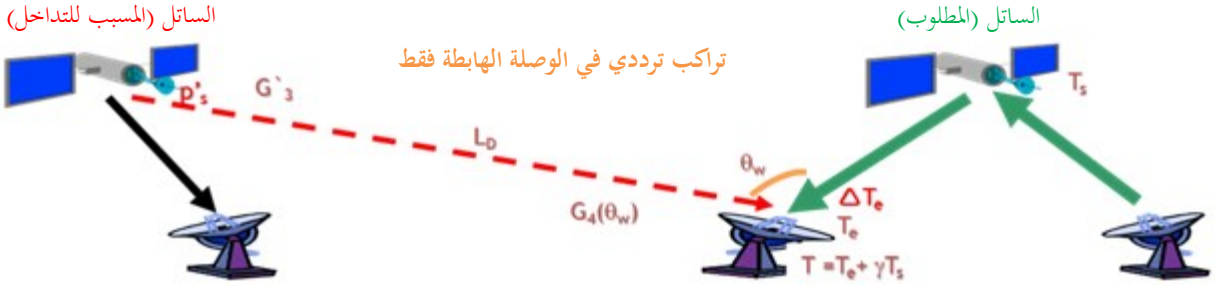
$$\Delta T / T = 10\log(p's) + G'3 - L_D + G_4(\theta_e) - K - T_E \quad (dB)$$

مرسل – مستجيب بسيط يعمل بتغيير الترددات (مبدأ الأنبوب المعقوف)



$$\Delta T / T = \gamma \Delta T_s / T$$

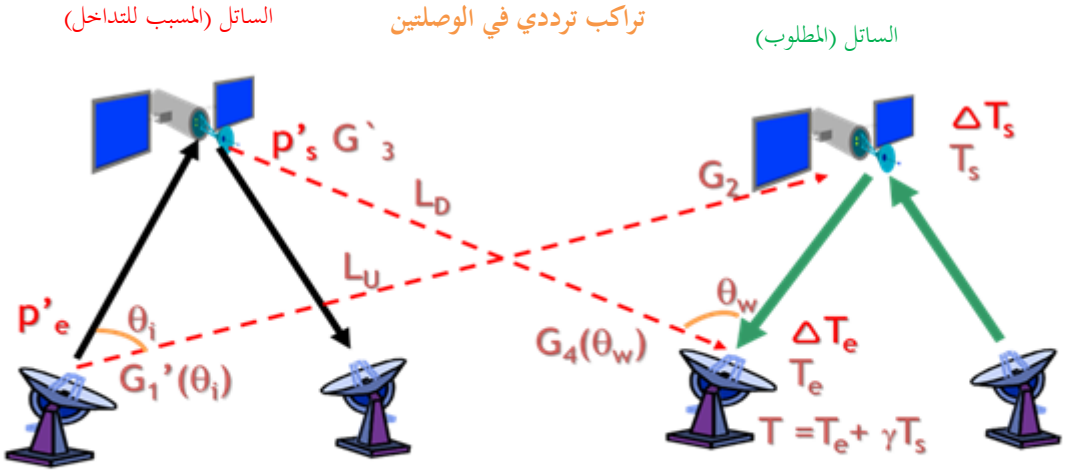
$$\Delta T / T = 10\log\gamma + 10\log(p'_e) + G'_1(\theta_i) - L_U + G2 - K - T\ (dB)$$



$$\Delta T / T = \Delta TE / T$$

$$\Delta T / T = 10\log(p'_s) + G'_3 - L_D + G4(\theta_w) - K - T\ (dB)$$

مرسل – مستجيب بسيط يعمل بتغيير الترددات (مبدأ الأنبوب المعقوف)

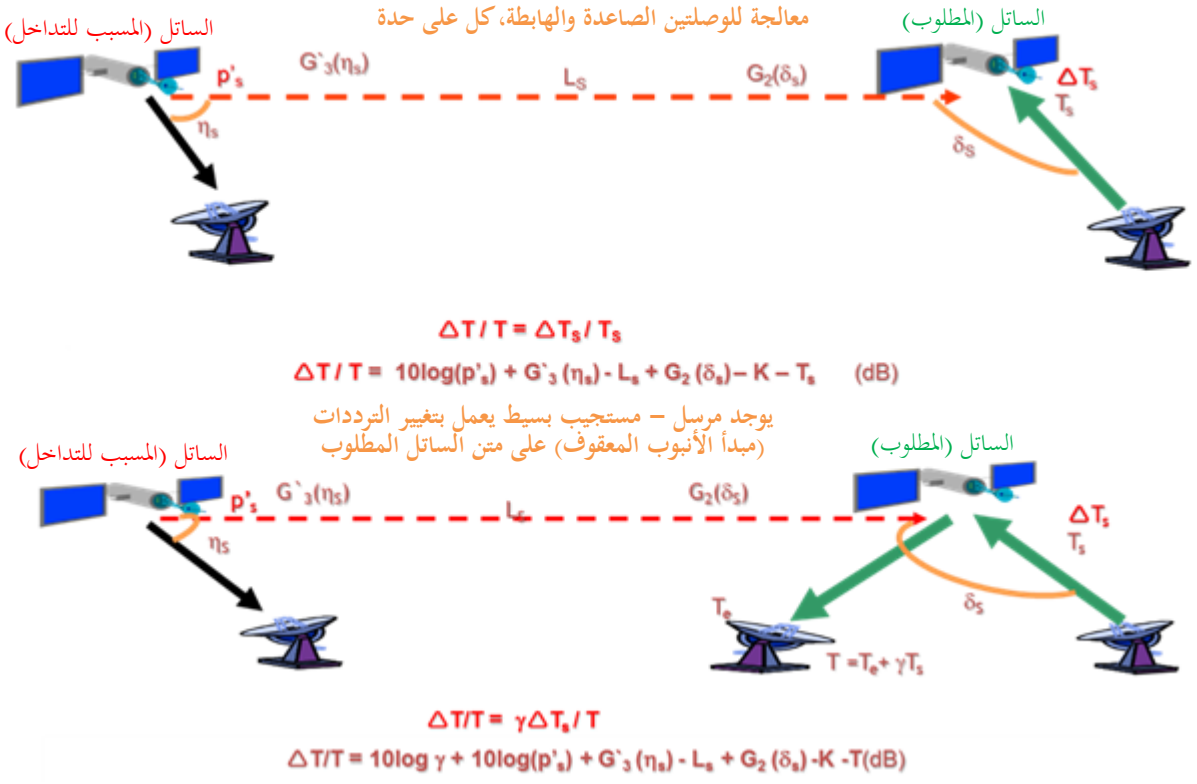


$$\Delta T/T = (\Delta T_e + \gamma \Delta T_s) / T$$

$$\Delta T / T = (p'_s\, g'_3\, g_{4(\theta_w)}) / (k\, l_D\, T) + \gamma\, (p'_e\, g'_{1(\theta_i)}\, g_2) / (k\, l_U\, T)$$

الحالة الثانية للمعيار ΔT/T: الترددات المتراكبة في الاتجاه المعاكس للإرسال (ما بين السواتل):

تراكب الوصلة الهابطة (المسببة للتداخل) مع الوصلة الصاعدة (المطلوبة)



ηs = الاتجاه من الساتل المسبب للتداخل (S') إلى الساتل المطلوب (S)

δs = الاتجاه من الساتل المطلوب (S) إلى الساتل المسبب للتداخل (S')

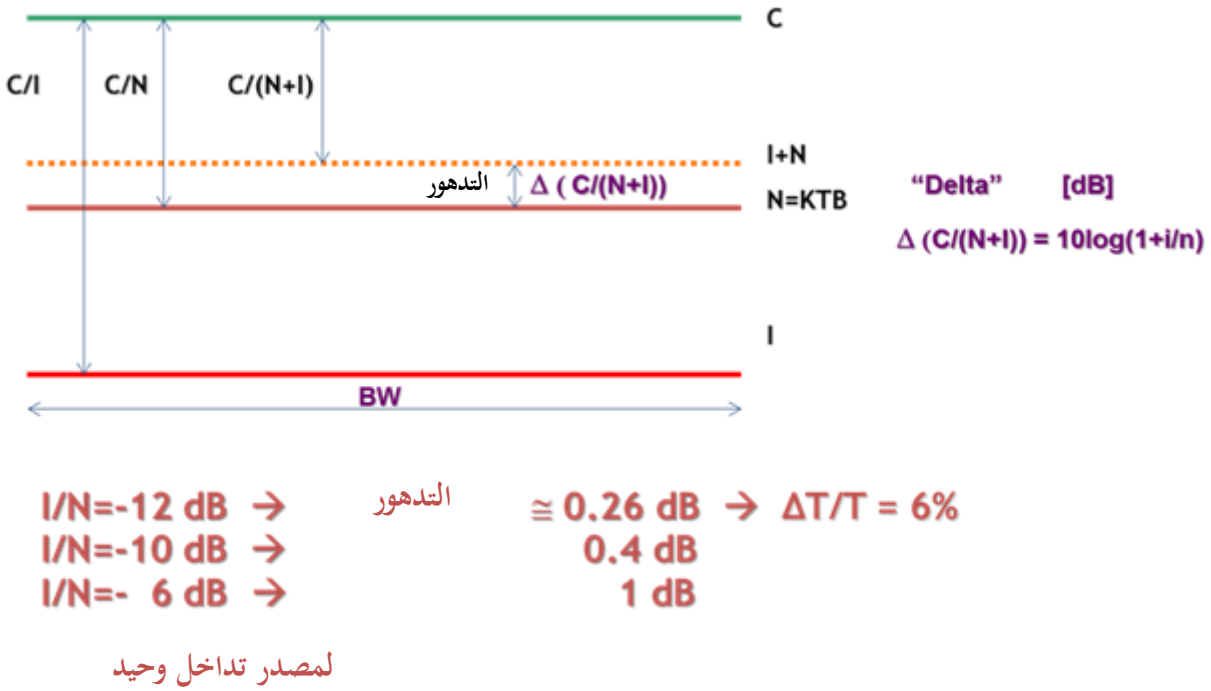
2 معيار نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل

رغم عدم استخدام هذه الطريقة في لوائح الراديو لتحديد متطلبات التنسيق، فإن المكتب يطبقها لدى تفحص التبليغ عن شبكات ساتلية لإجراء دراسة أكثر تفصيلاً لاحتمال حدوث تداخل ضار وفقاً للحكم **32A.11** وبناءً على طلب من الإدارة المبلِّغة. وكثيراً ما يستخدم مشغلو السواتل هذا المعيار خلال اجتماعات التنسيق.

ويستند تفحص مكتب الاتصالات الراديوية إلى منهجية ومعايير حماية تحددها التوصيتان ITU-R S.740 وITU-R S.741-2 والقواعد الإجرائية ذات الصلة للجنة لوائح الراديو أو تلك المنصوص عليها باتفاق مشترك بين الإدارات.

ومن جملة بيانات أخرى، يأخذ التفحص في الحسبان الإشارة المطلوبة (مستوى ونمط تشكيل الموجة الحاملة) والإشارة المسببة للتداخل (المستوى وشكل الطيف) وعرض النطاق الترددي المتراكب، مما يجعله أدق من المعيارين I/N أو ΔT/T البسيطين المذكورين آنفاً، ولا سيما عندما يقتضي تحليل التقاسم بين الشبكات الالتزام بأهداف معينة من حيث الجودة والتيسر.

ويمثل الشكل التالي المستويات النمطية للموجة الحاملة، والتدهور بدلالة قدرة ضوضاء (N) جهاز الاستقبال جراء التداخل:



ودون الخوض في تسلسل التحليل القائم على المعيار C/I الذي يأتي عرضه في وثائق منفصلة، يرد وصف لبعض الخصائص والمزايا، كما ذُكرت في الفقرات أعلاه، لتزويد القارئ ببعض المبادئ التوجيهية.

وبهذه الطريقة، يعبَّر عن المفهوم العام على النحو التالي:

$$C/I = C/N + K$$

حيث:

K = نسبة الحماية (عموماً، ما بين 12,2 و14 dB حسب نمط الموجات الحاملة)

C/N = نتيجة ميزانية الوصلة (مع الأخذ بعين الاعتبار أهداف مثل نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) أو معدل الخطأ في البتات (BER) أو التيسر، وما إلى ذلك)

C/I = الحماية المطلوبة لضمان التوافق بين الشبكات

ويمكن تحسين نتيجة المعادلة المذكورة أعلاه بأخذ عامل ميزة عرض النطاق في الاعتبار، وهو نسبة قدرة الموجة الحاملة المتداخلة المتضمنة في عرض نطاق الإشارة المطلوبة إلى القدرة الكلية للموجة الحاملة المتداخلة.

ومن حيث المبدأ، يمكن إجراء هذا التحليل بافتراض ظروف سماء صافية وبالنظر بعد ذلك في عوامل إضافية مثل خسارة الانتشار (حيث يمكن الاستفادة كثيراً من التوصيتين ITU-R P.676-8 وITU-R SF.766).

كما يمكن أن يؤخذ في الاعتبار خسارة المغذي وخطأ التسديد لتحقيق نتائج أكثر عملية.

وإذا ما أُخذت **مصادر تداخل متعددة** في الاعتبار، أمكن التعبير عنها بدلالة C/I على النحو التالي:

$$c/i_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{c/i_{Adj.Sat}} + \frac{1}{c/i_{Terrest}} + \frac{1}{c/i_{Other}}}$$

3 معيار كثافة تدفق القدرة

ثمة طريقة أخرى لتقييم مدى التوافق بين الشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض تقوم على مقارنة مستوى كثافة تدفق القدرة المنتجة على سطح الأرض أو المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض بحد معيَّن للإطلاق. فإذا تمّ تجاوزه، يكون التنسيق مطلوباً أو، في حالة تطبيق الرقم **32A.11**، يعتبر أن هناك إمكانية للتسبب في تداخل ضار. ويلخص فيما يلي مثال نمطي ذُكر في المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2015:

القرار (WRC-15) 762

تطبيق معايير كثافة تدفق القدرة (pfd) لتقييم إمكانية التداخل الضار بموجب الرقم **32A.11** لشبكات الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الإذاعية الساتلية في نطاقات التردد 6 GHz و14/12/11/10 GHz التي لا تخضع لخطة.

بالنسبة للشبكات الساتلية العاملة في:

- نطاقات التردد 725-850 5 MHz (الإقليم 1) و850-725 6 MHz و025-075 7 MHz (أرض–فضاء) التي لديها زاوية فصل مدارية اسمية في المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض تزيد على 7 درجات، لا يكون لدى تخصيصات الشبكات الساتلية في الخدمة الثابتة الساتلية فيما يتعلق بشبكات الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) الأخرى إمكانية التسبب في تداخل ضار إذا لم تتجاوز كثافة تدفق القدرة، الناتجة في موقع في المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض لشبكة الخدمة الثابتة الساتلية الأخرى في إطار الشروط المفترضة للانتشار في الفضاء الحر، القيمة –204,0 dB (W/m^2 · Hz)؛
- نطاقات التردد 11,2-10,95 GHz و11,7-11,45 GHz و12,2-11,7 GHz (الإقليم 2) و12,5-12,2 GHz (الإقليم 3) و12,7-12,5 GHz (الإقليمان 1 و3) و12,75-12,7 GHz (فضاء–أرض)، لا يكون لدى تخصيصات لشبكة ساتلية في الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) أو الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) لا تخضع لخطة فيما يتعلق بشبكات أخرى للخدمة الثابتة الساتلية أو للخدمة الإذاعية الساتلية التي لديها زاوية فصل مدارية اسمية في المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض تزيد على 6 درجات، إمكانية التسبب في تداخل ضار إذا لم تتجاوز كثافة تدفق القدرة الناتجة في ظل الظروف المفترضة للانتشار في الفضاء الحر، قيم العتبات المبينة أدناه، في أي مكان داخل منطقة الخدمة الخاصة بالتخصيص الذي يحتمل تأثره:

$5,8° < \theta \leq 20,9°$ $\quad pfd = -187,2 + 25\log(\theta/5)$ $\quad$ dB (W/(m² · Hz))

$20,9° < \theta$ $\quad pfd = -171,67$ $\quad$ dB (W/(m² · Hz))

حيث θ هي زاوية الفصل المداري الأدنى في المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض، بالدرجات، بين المحطة الفضائية المرغوبة والمحطة الفضائية المسببة للتداخل مع مراعاة التفاوت المسموح به في الحفاظ على موقع المحطة بالنسبة إلى خطوط الطول.

- نطاق التردد 14,5-13,75 GHz (أرض–فضاء) التي لديها زاوية فصل مدارية اسمية في المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض تزيد على 6 درجات، لا يكون لدى تخصيصات شبكة ساتلية في الخدمة الثابتة الساتلية فيما يتعلق بشبكات الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) الأخرى إمكانية التسبب في تداخل ضار إذا لم تتجاوز كثافة تدفق القدرة، الناتجة في موقع في المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض لشبكة الخدمة الثابتة الساتلية الأخرى في ظل الظروف المفترضة للانتشار في الفضاء الحر، القيمة –208 dB (W/(m^2 · Hz)).

4 مساهمات لجان الدراسات

إن لجنة الدراسات 4 لقطاع الاتصالات الراديوية، ولا سيما فرقة العمل 4A وفرقة العمل 4C، تدرس باستمرار مقترحات جديدة أو تحديثات لمعايير التداخل الحالية وما يرتبط بها من إجراءات تنظيمية.

وفي معرض الإعداد للمؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية عام 2019، وفي إطار البند 7 من جدول الأعمال، يجرى تحليل للنظر في تطبيق قوس التنسيق بقيمة مقدارها [°8] بمثابة عتبة لإطلاق التنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة المتنقلة الساتلية وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية في نطاقي الترددات GHz 30-29,9 (أرض–فضاء)/GHz 20,2-20,1 (فضاء–أرض) في جميع الأقاليم الثلاثة والنطاقين GHz 29,9-29,5 (أرض–فضاء)/GHz 20,1-19,7 (فضاء–أرض) في الإقليم 2. ويمكن الاطلاع على نتائج الدراسات التي قُدمت إلى فرقتي العمل 4A و4C والمناقشات الأولية في الملحق 22 لتقرير رئيس فرقة العمل 4A. ويجرى أيضاً في إطار البند 5.1 من جدول الأعمال تحليل لدراسة استعمال نطاقي الترددات GHz 19,7-17,7 (فضاء–أرض) و GHz 29,5-27,5 (أرض–فضاء) في المحطات الأرضية المتحركة (ESIM) التي تتواصل مع المحطات الفضائية المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية.

ويمكن الاطلاع على خلفية المناقشات، والدراسات التقنية والتشغيلية، والآراء، في هذه المرحلة الأولية من فترة الدراسة في الملحق 18 لتقرير رئيس فرقة العمل 4A.

ويقتضي إحراز تقدم فيما يتعلق بالمقترحات المذكورة أعلاه متابعة عن كثب في الاجتماعات المقبلة، ذات الصلة، حيث إن نتائج المناقشات قد تتطلب إدخال تعديلات على المعايير والإجراءات الحالية التي جاء شرحها في الفقرات السابقة من هذه الوثيقة.

5 طرائق تيسير التنسيق وسيناريوهات التقاسم بين الشبكات المستقرة بالنسبة إلى الأرض

في هذه المرحلة من النص، وبعد عرض طرائق تحديد الشبكات الساتلية التي تتطلب التنسيق، فضلاً عن معايير لتحديد مستوى التداخل لتخفيفه، فإن السؤال المتبقي هو ما يجب القيام به لجعل الشبكات تتوافق مع بعضها البعض.

ومن ثم، تُعرض أدناه بعض الطرائق التي تستخدم عموماً لتحقيق التوافق المطلوب، علّها تعين القارئ؛ علماً بأنها غيض من فيض. وتوفر التوصية ITU-R SM.1132-2 مزيداً من المعلومات بشأن هذا الموضوع.

ومن حيث المبدأ، يتوقف اختيار الطريقة التي ستنفَّذ على المرحلة التي يبلغها مشروع الساتل.

ففي مرحلة مبكرة من تصميم المركبة الفضائية، يمكن تنفيذ التعديلات المحتملة على الجوانب المتصلة بحزم المحطات الفضائية وما يرتبط بها من أكفة كسب الهوائي.

ومن ناحية أخرى، إذا كان الساتل قد صُنّع بالفعل، ستنحصر الخيارات بدرجة أكبر في الشطر الأرضي، وقد تنصبّ الاحتمالات في المحطات الأرضية (على سبيل المثال).

وفيما يلي الطرائق النمطية:

1.5 الفصل الترددي (إما تجزئة النطاق أو خطة لتوزيع القنوات)

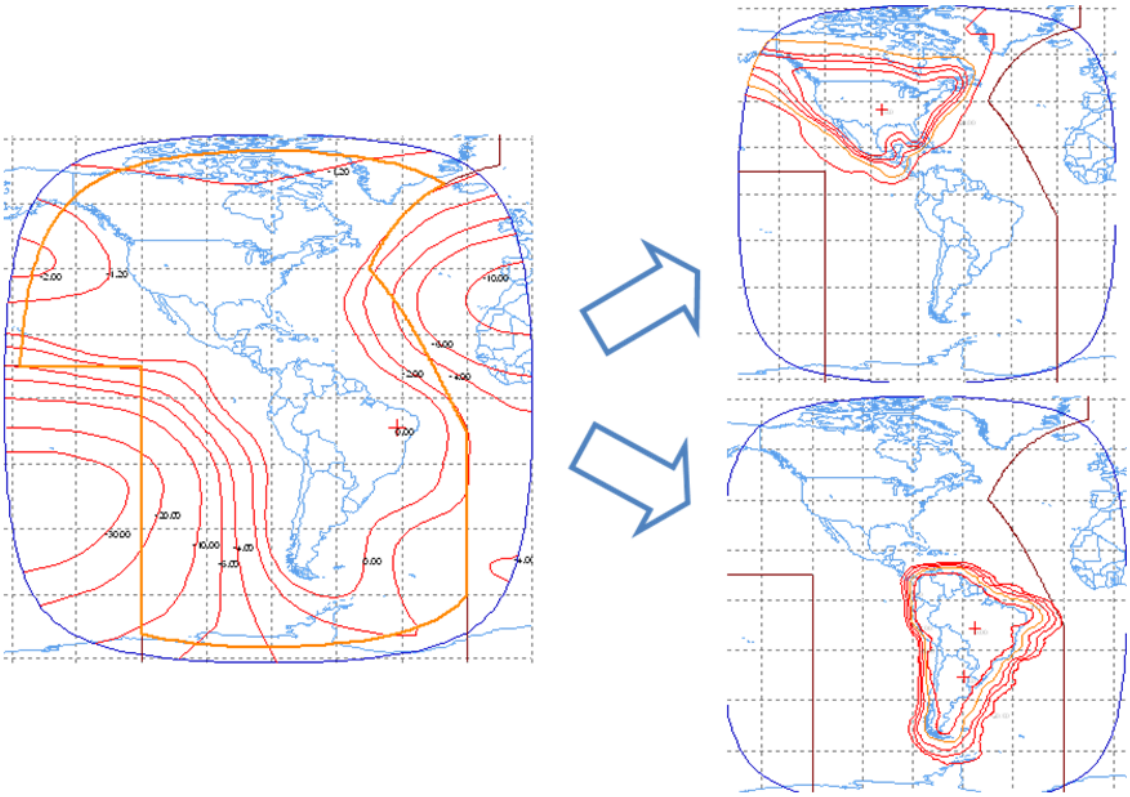
2.5 ميزة الاستقطاب

3.5 تحسين التمييز المكاني لنظام هوائي

- إعادة تصميم أو تحديد ما يرتبط بالحزم الساتلية من أكفة كسب الهوائي والقطع المتدرج ومناطق الخدمة؛
- تعديل أقطار الهوائيات في الشطر الأرضي؛
- تحسين مخطط إشعاع المحطة الأرضية.

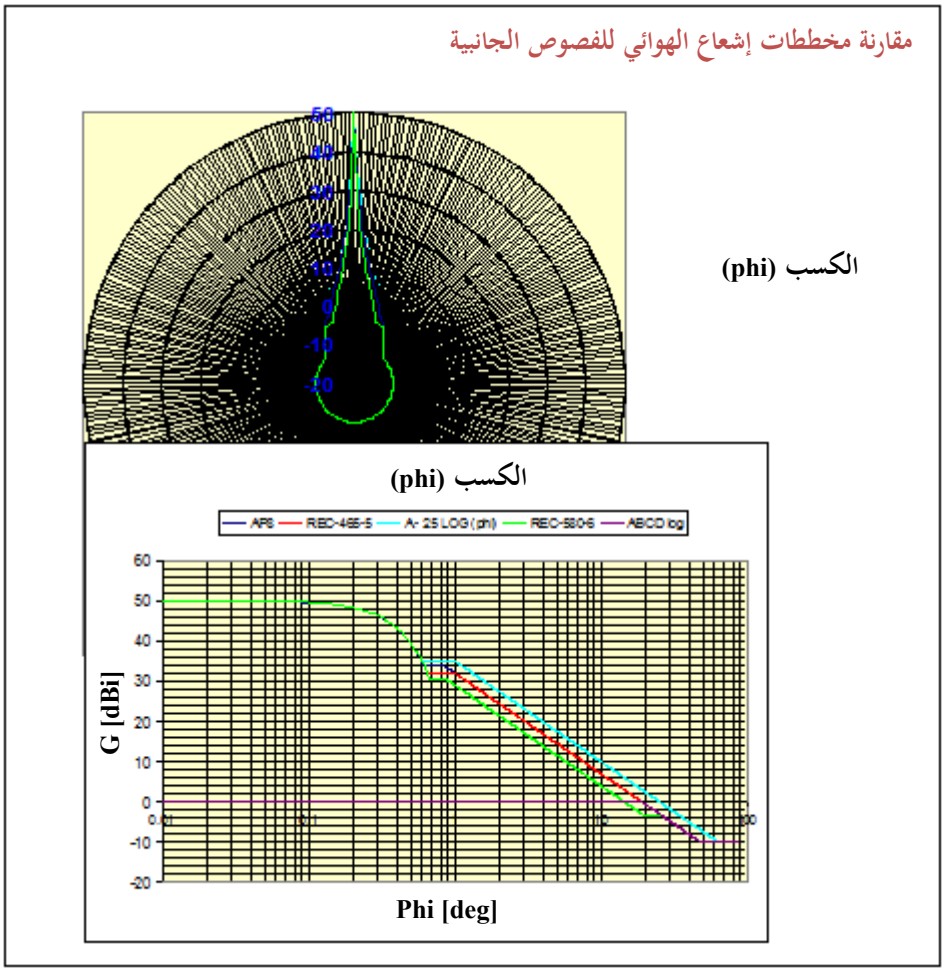
الشطر الفضائي

تبين الصورة التالية كيف يمكن عزل منطقتين مختلفتين أو أكثر باستخدام حزم تركز على مناطق بعينها أو حزم نقطية بدلاً من حزمة تغطي نصف الكرة الأرضية. وفي هذه الحالة، إذا كان التنسيق مع الشبكات الأخرى أكثر صعوبة في منطقة معينة، فإنه لا يؤثر على بقية منطقة الخدمة. وبالإضافة إلى ذلك، فإنه سيتيح إعادة استخدام الترددات وما يخصها من تحسينات في الاستفادة من الموارد الطيفية والمدارية.



الشطر الأرضي

تُظهر الصور التالية التأثير من حيث انخفاض التداخل على السواتل المجاورة، إذا ما عُدِّل مخطط إشعاع الهوائي المرتبط بالمحطات الأرضية:



يبين الرسم البياني التالي كيفية تعديل الفص الرئيسي عند تغيير قُطر الهوائي، حيث يلاحَظ انخفاض في التداخل يقارب 5 dB على ساتل يبعد بزاوية فصل قدرها درجة واحدة مع زيادة قُطر الهوائي من 1,2 إلى 13 متراً.

الفص الرئيسي والفصوص الجانبية القريبة
مخطط إشعاع الهوائي REC-580-6

Ga max [dBi]=	43.2
Gb max [dBi]=	56

الهوائي A

G1 =	23.34
Phi m =	1.50
D/L =	59.40
Phi r =	1.68
Phi b=	47.86
عرض الحزمة =	1.17

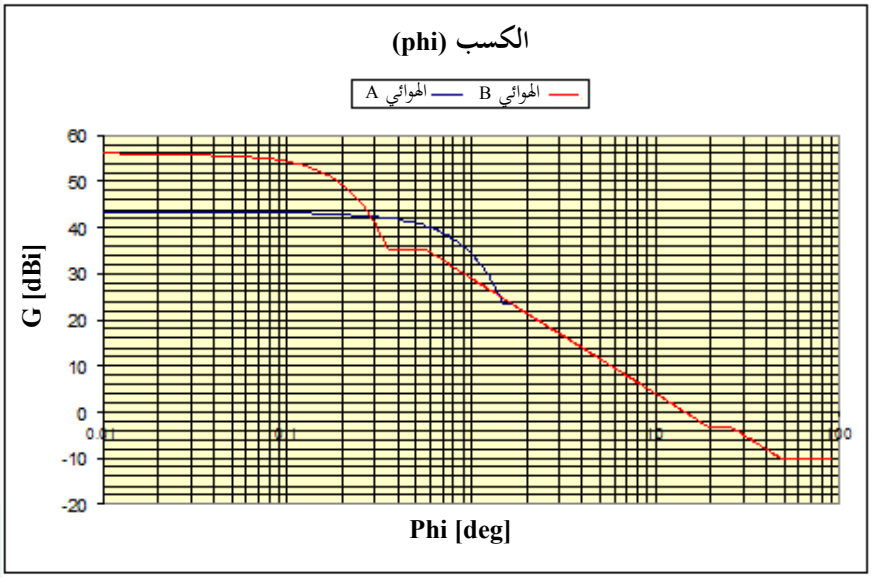
الهوائي B

G1 =	35.21
Phi m =	0.35
D/L =	259.28
Phi r =	0.56
Phi b=	47.86
عرض الحزمة =	0.27

مراجع – تعليقات:

الهوائي A = M1,2 نمطياً

الهوائي B = M13 نمطياً



4.5 تعديل الفصل المداري بين السواتل المتجاورة

يوضح المثال التالي انخفاضاً في التداخل بمقدار 4,8 dB إذا ما فُصل ساتلان عن بعضهما البعض بمقدار درجتين إلى ثلاث درجات:

فعلى افتراض D/λ = 100؛ ومخططات إشعاع هوائي محطة أرضية REC 580-6 / REC 465-5

يبلغ الانخفاض في التداخل:

$$I_f - I_i = 25.\log (\varphi_i / \varphi_f)$$

حيث

φ_f: الفصل النهائي الأدنى بين السواتل

φ_i: الفصل الأولي الأدنى بين السواتل

السيناريو 1

$\Theta_{1n} - \Theta_{2n} = 2^\circ$ ← فصل مداري اسمي

$\Delta_{\Theta 1} = \Delta_{\Theta 2} = \pm 0.1^\circ$ ← حفاظ على موقع المحطة في الاتجاه شرق–غرب

السيناريو 2

$\Theta_{1n} - \Theta_{2n} = 3^\circ$

$\Delta_{\Theta 1} = \Delta_{\Theta 2} = \pm 0.1^\circ$

انخفاض التداخل بالنسبة إلى السيناريو 1

$$I_f - I_i = 25.\log (1.8 / 2.8) = -4.8 \text{ dB}$$

وفي معظم الخدمات الكلاسيكية والنطاقات الترددية الحالية مثل الخدمة الثابتة الساتلية في النطاقين C وKu لا بد من التأكيد على أن تأثير الإزاحة في الموقع المداري لساتل، على الرغم من أنه يبدو كحل جيد في بعض الحالات من الناحية التقنية، سيتسبب في زيادة في التداخل (المقيس بدلالة النسبة $\Delta T/T$) على شبكات ساتلية معينة تتقاسم النطاق الترددي نفسه الواقع في الاتجاه صوب الساتل الأول الذي تجري إزاحته.

ومن وجهة النظر التنظيمية، وطبقاً للقواعد الإجرائية للجنة لوائح الراديو المتصلة بالفقرة 2 من الرقم **27.9**، وبالنظر إلى الوضع الحالي للازدحام الشديد للسواتل في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض في الحالات المذكورة أعلاه، فإن زيادة في التداخل من هذا القبيل ستستدعي متطلبات تنسيق جديدة أو تعديل القائم منها، وهو أمر غير محبذ دائماً وينبغي توخي الحيطة في تقييمه.

5.5 إعادة تنظيم الأنماط المختلفة من الموجات الحاملة

وهي تتكون أساساً من الخطوات التالية:

- تحديد الأنواع المختلفة للموجات الحاملة مثل:
  - التتبع والقياس عن بُعد والتحكم (TT&C)؛
  - التلفزيون التماثلي/التشكيل الترددي FM؛
  - البيانات الرقمية.
- النظر في خصائصها من حيث التنوع بدلالة عرض النطاق والقدرة القصوى وتوزيع الكثافة الطيفية.
- تصنيفها من حيث الترددات مع مراعاة توزيع موجات حاملة مماثلة تستخدمها السواتل المجاورة.
- يمكن الاتفاق أثناء عملية التنسيق على أقنعة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) خارج المحور المرتبطة بنمط الموجات الحاملة والنطاقات الترددية، فضلاً عن القيود أو التسهيلات التشغيلية.

6.5 استخدام تكنولوجيات متطورة في التشكيل/التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) (مثل DVB-S2) وتقنيات تشفير الإشارة ومعالجتها (الطيف الممدود أو النفاذ المتعدد بالتقسيم الشفري (CDMA) وما إلى ذلك).

7.5 إعادة هندسة ميزانية الوصلة، بما في ذلك التشكيل – التصحيح الأمامي للأخطاء ومستويات كثافة القدرة، ومواءمة أهداف الأداء والتيسر لتحمل مستويات أعلى من التداخل.

6 ما هي الطريقة المثلى لتقديم بطاقة تبليغ إلى الاتحاد الدولي للاتصالات؟

1.6 الوضع القائم

في هذه المرحلة، تم تبيان كيفية تحديد متطلبات التنسيق، ومعايير التداخل المتعددة لتقييم التوافق بين الشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض، والطرائق المتاحة يمكن استخدامها لتيسير التنسيق وسيناريوهات التقاسم بين شبكات مستقرة بالنسبة إلى الأرض.

ويرد في المادتين **9** و**11** وصف العملية برمتها المنصوص عليها في لوائح الراديو لبلوغ الهدف الرئيسي المتمثل في تسجيل التخصيصات الترددية في السجل الأساسي الدولي للترددات (MIFR) والحصول على الاعتراف الدولي والحماية والحقوق والالتزامات المرتبطة بهما،

وهي تشمل ثلاث مراحل:

- النشر المسبق للمعلومات؛
- التنسيق؛
- التبليغ.

وقد وضع مكتب الاتصالات الراديوية عدة أدوات برمجية لتنفيذ الإجراءات المذكورة أعلاه، بما في ذلك تقديم بطاقات التبليغ.

ولكل بطاقة تبليغ هيكل معد لتجميع مجموعة كاملة من خصائص التخصيصات الترددية المرتبطة بالشبكة الساتلية المعنية، لتقديم بطاقات من أجل التنسيق أو التبليغ.

ومن هذه الخصائص ما يلي:

- حزمة المحطة الفضائية؛
- منطقة الخدمة؛
- النطاق الترددي؛
- مستويات كثافة القدرة؛
- المحطة الأرضية المرتبطة.

وتنظَّم هذه الخصائص وغيرها في **مجموعات** من التخصيصات الترددية، تستخدمها بعدئذ الإدارات للتنسيق، وأخيراً لتبليغ الاتحاد الدولي للاتصالات بالشبكة الساتلية.

وكل إدارة حرة في اختيار طريقة تنظيم المجموعة الكاملة للتخصيصات الترددية في عدة فئات. بيد أن الهدف من كل تبليغ هو الحصول على نتائج مؤاتية قدر الإمكان من أجل تسجيل التخصيصات المعنية في السجل الأساسي الدولي للترددات. ولذلك، يسعى هذا الفصل لتزويد القارئ ببعض المبادئ التوجيهية من أجل تحسين الكفاءة التي يمكن قياسها كنسبة التخصيصات الترددية المسجلة في السجل إلى مجمل التخصيصات الترددية المبلغ عنها، تبعاً للهيكل المستخدم لتنظيم بطاقة التبليغ.

وإذ تتاح حرية تجميع التخصيصات المزمع تقديمها طي طلبات التنسيق أو التبليغ، لعله من المفيد التأكيد على تقديمها بطريقة تكفل صلتها الوثيقة مع الاستخدام الفعلي للتخصيصات لدى فحصها على مستوى كل فئة منها، لأن ذلك لن يقتصر على ضمان فرص تسجيلها دون الحاجة إلى تطبيق الحكم رقم **41.11**، بل سيساهم أيضاً في زيادة كفاءة استخدام الشبكات الساتلية الأخرى لمورد الطيف والمدار مستقبلاً بفضل تحسين المعلومات المتاحة في السجل الأساسي الدولي للترددات.

ومن ثم، من المهم أيضاً أن يُفهم أنه خلال مرحلة التنسيق تدعو الحاجة إلى مزيد من المرونة من حيث الجمع بين العديد من الخصائص قيد الدراسة والتي لن تحدَد حتى استكمال التنسيق مع الشبكات الأخرى وحالما تُعرف الاحتياجات النهائية التي يتعين على المشروع الساتلي تلبيتها.

ولذلك، يُتوقع أن يكون النهج المتبع في تقديم طلب التنسيق أعم من ذلك المتبع في مجموعة التخصيصات المحددة والدقيقة المقدمة لأغراض التبليغ.

2.6 الجوانب التي يتعين النظر فيها لدى تنظيم بطاقة التبليغ

يمكن أن تؤخذ الخصائص المذكورة في الفقرة 1.5 لإيضاح السبل المثلى الممكنة لتقديم بطاقة تبليغ، على النحو التالي:

أ) حزمة المحطة الفضائية ومنطقة الخدمة الخاصة بها

أثناء التحليل إزاء غيرها من الشبكات الساتلية المجاورة، قد يصادَف أن التشغيل في منطقة ما أكثر جدوى منه في منطقة أخرى. ولذلك، يمكن تقسيم مناطق الخدمة إلى مجموعات مختلفة، أو حتى إلى حزم مختلفة. وبذلك، يُضمن نجاح تسجيل التخصيصات الترددية المرتبطة بمنطقة الخدمة الأكثر ملاءمة، فيما يمكن مواصلة التنسيق بشأن التخصيصات الأخرى أو يمكن تعديلها لاحقاً.

ب) النطاق الترددي

يمكن استخدام المفهوم نفسه لتخطيط الترددات. فيمكن تصنيف ذلك الشطر من النطاق الترددي الذي نُسق بنجاح في فئة مختلفة عن الشطر الآخر الذي لم يكتمل التنسيق بشأنه بعد. وبخلاف ذلك، فإن كامل مجموعة التخصيصات الترددية ستحصل على نتائج غير مؤاتية بسبب مجموعة صغيرة من التخصيصات المدرجة في فئة واحدة مرتبطة بالنطاق الترددي بأكمله.

ج) مستويات كثافة القدرة

يمكن، حسب البث، وجود عدة مستويات لكثافة القدرة تلبي متطلبات الميزانية المطلوبة للوصلة. وقد تنسَّق بعض هذه الموجات الحاملة بنجاح، بينما يظل بعضها الآخر محتاجاً إلى مزيد من التقدم. وفي هذه الحالة أيضاً، يُستحسن تقسيم المجموعة مع الأخذ في الاعتبار تنوع مستويات القدرة.

ولعل المثال النمطي على ذلك يتمثل في فصل الموجات الحاملة للتشغيل الفضائي عن البيانات الرقمية أو الموجات الحاملة التماثلية لإشارات التلفزيون – التشكيل الترددي (TV-FM)، التي قد تختلف فيها مستويات القدرة القصوى في حدود العديد من الوحدات dBW.

د) المحطة الأرضية المصاحبة

فيما يتعلق بالمحطات الأرضية، كما هو مبين في الفقرة 4 أعلاه، فإن قُطر الهوائي سيؤثر في الفص الرئيسي له وفي قدرته على التسبب بالتداخل أو استقبال التداخل على ومن السواتل القريبة. وبالتالي، فإن سيناريو التوافق لمحطة أرضية تستخدم هوائي قطره 9 أمتار سيكون مؤاتياً أكثر من ذلك المرتبط بهوائي قطره 1,2 من الأمتار مثلاً. وتارة أخرى، فإن التصنيف إلى مجموعات مختلفة تبعاً لقُطر الهوائي سيضمن تسجيل التخصيصات وفقاً لذلك دون التأثر بأسوأ حالة في المجموعة نفسها.

_____