الوثيقة WRS20/13-A
13 أكتوبر 2020
الأصل: بالإنكليزية

دائرة الخدمات الفضائية

حساب اكتمال حدوث تداخل ضار بين الشبكات الفضائية (نسب الموجة الحاملة إلى التداخل)

1 مقدمة

يمكن لإدارة لا تنجح في إكمال التنسيق أن تطلب من المكتب دراسة احتمال حدوث تداخل ضار بموجب حكم الرقم **32A.11**. وفي الحالات التي لا يمكن فيها إكمال التنسيق بنجاح بموجب الرقم **7.9**، يستخدم المكتب طريقة نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (*C/I*)[1] وحيدة القيمة على النحو الموصوف في القسم B3 من الجزء B من القواعد الإجرائية لتقييم احتمال حدوث تداخل ضار.

وفي هذه الطريقة، يجري حساب نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (*C/I*) وفقاً للاعتبارات الهندسية الواردة في التوصية ITU-R S.740 وتستخدم عامل ضبط يراعي حجم قدرة التداخل التي يتعين استخدامها في الحساب. ثم تقارن قيمة *C/I* المعدلة بقيمة *C/I* المطلوبة لتقييم احتمال حدوث تداخل ضار. وتستمد قيمة *C/I* المطلوبة من النسبة المستهدفة للموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*) وقيمة K التي عادة ما تكون 12,2 dB للموجات الحاملة الرقمية (أو 14 dB في بعض الحالات) وهو ما يقابل أقصى تداخل مسموح به ونسبته 6 في المائة (أو4 في المائة) من مجموع قدرة الضوضاء على التوالي.

كما أن الإدارات تستخدم طريقة حساب *C/I* وحيدة القيمة بصورة واسعة لتقييم التداخل في تنسيق الشبكات الساتلية.

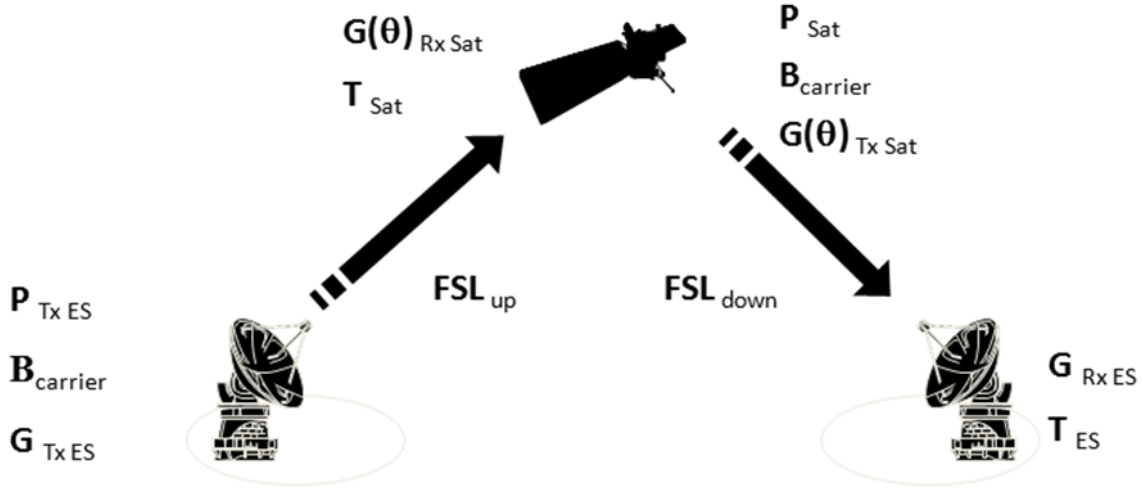
2 نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*)

تقوم موازنة الوصلة بحساب المكاسب والخسائر عند عبور الإشارة من طرف إلى طرف آخر من الوصلة. وتستخدم في تصميم وصلات الاتصال مع مراعاة أهداف الوصلة مثل نوع الخدمات والمنطقة المستهدفة من الخدمة ومعدلات الإرسال وتوافر الوصلة ومتطلبات حجم الهوائي. ولذلك، عندما تقدم بطاقة تبليغ عن ساتل إلى المكتب، تكون البيانات الواردة في بطاقات التبليغ مستمدة من موازنات الوصلات بأهداف مطلوبة للوصلة تلبي النسبة المطلوبة للموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*)، وهي قياس لأداء الوصلة.

[1] اعتمد المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2015 القرار **762** حيث تحل معايير كثافة تدفق القدرة محل طريقة نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (*C/I*) في بعض الحالات على النحو المشار إليه في القرار.

1.2 حساب الموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*)

يوضح الرسم البياني أدناه وصلة نموذجية للاتصالات الساتلية تتألف من وصلة صاعدة ووصلة هابطة والمعلمات المطلوبة لحساب نسبة *C/N*.



الشكل 1 - وصلة الاتصالات الساتلية

تُعرف معادلة نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*) على النحو التالي:

[1] $$(C/N)_{up} = EIRP_{Tx\ ES} - FSL_{up} + (G(\theta)/T)_{RxSat} - B_{carrier} - k \quad (dB)$$

[2] $$(C/N)_{up} = P_{Tx\ ES} + G_{Tx\ ES} - FSL_{up} + G(\theta)_{RxSat} - (T_{Sat} + B_{carrier} + k) \quad (dB)$$

حيث:

[3] $$C_{up} = P_{Tx\ ES} + G_{Tx\ ES} - FSL_{up} + G(\theta)_{RxSat} \quad (dBW)$$

$P_{Tx\ ES}$ = قدرة المحطة الأرضية المرسلة (dBW)

$G_{Tx\ ES}$ = كسب المحطة الأرضية المرسلة (dBi)

FSL_{up} = الخسارة في الفضاء الحر في الوصلة الصاعدة (dB)

$G(\theta)_{Rxsat}$ = كسب السائل المستقبل نحو المحطة الأرضية المرسلة (dBi)

T_{Sat} = درجة حرارة ضوضاء نظام الاستقبال الساتلي (dBK)

$B_{carrier}$ = عرض نطاق الموجة الحاملة (dBHz)

k = ثابت بولتزمان = -228,6 (dBJ/K)

[4] $$(C/N)_{down} = EIRP_{sat} - FSL_{down} + (G/T)_{RxES} - B_{carrier} - k \quad (dBW)$$

[5] $$(C/N)_{down} = P_{Sat} + G(\theta)_{TxSat} - FSL_{down} + G_{RxES} - (T_{ES} + B_{carrier} + k) \quad (dBW)$$

حيث:

$$C_{down} = P_{Sat} + G(\theta)_{TxSat} - FSL_{down} + G_{RxES} \quad [6]$$

P_{Sat} = قدرة الساتل المرسل (dBW)

$G(\theta)_{TxSat}$ = كسب الساتل المرسل نحو المحطة الأرضية المستقبلة (dBi)

FSL_{down} = الخسارة في الفضاء الحر في الوصلة الهابطة (dB) (انظر المعادلة [7])

G_{RxES} = مكسب استقبال المحطة الأرضية (dBi)

T_{ES} = درجة حرارة ضوضاء نظام المحطة الأرضية المستقبلة (dBK)

$B_{carrier}$ = عرض نطاق الموجة الحاملة (dBHz)

k = ثابت بولتزمان = –228,6 (dBJ/K)

2.2 خسارة الإرسال في الفضاء الحر

خسارة الإرسال في الفضاء الحر (FSL) هي خسارة القدرة الناتجة عن انتشار الإشارة في الفضاء، ويمكن أن تستمد على النحو التالي:

$$FSL = 20(\log f + \log d) + 32{,}45 \quad (dB) \quad [7]$$

حيث:

f: التردد (MHz)

d: المسافة (km)

تعطى المسافة d بين محطة أرضية وساتل مستقر بالنسبة إلى الأرض بالمعادلة التالية:

$$d = 42\,644 \sqrt{1 - 0.2954 \cos \psi} \quad \text{km} \quad [8]$$

حيث:

$$\cos \psi = \cos \zeta \times \cos \beta \quad [9]$$

حيث:

ζ: خط عرض المحطة الأرضية

β: الفرق في خط الطول بين الساتل والمحطة الأرضية.

ملاحظة - عندما يكون $\cos \psi < 0{,}151$ يكون الساتل تحت المستوي الأفقي.

تعطى المسافة d_S بين ساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض بالمعادلة التالية (ذات الصلة بحساب خسارة الإرسال في الفضاء الحر لإشارة تنتقل من ساتل مستقر بالنسبة للأرض إلى آخر):

$$d_S = 84\,332 \sin \frac{\theta_g}{2} \quad \text{km} \quad [10]$$

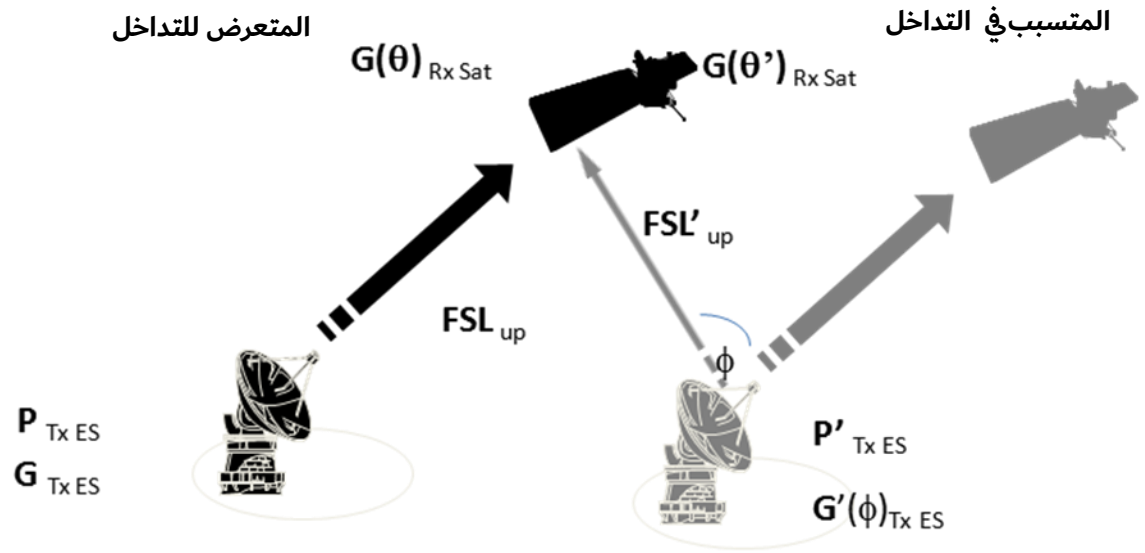
حيث:

θ_g: الفصل الزاوي الذي رأسه مركز الأرض

3 حسابات الموجة الحاملة إلى التداخل

1.3 نسبة *C/I* في الوصلة الصاعدة

يوضح الرسم البياني أدناه سيناريو التداخل في وصلة صاعدة حيث تتسبب محطة أرضية تتصل بساتل ما في تداخل على الساتل المجاور.



الشكل 2 - سيناريو التداخل في الوصلة الصاعدة

تستمد نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (*C/I*) في الوصلة الصاعدة على النحو التالي:

من المعادلة [3]:

$$C_{up} = P_{Tx\ ES} + G_{Tx\ ES} - FSL_{up} + G(\theta)_{RxSat}$$

$$I_{up} = P'_{Tx\ ES} + G'(\phi)_{Tx\ ES} - FSL'_{up} + G(\theta')_{RxSat} \quad [11]$$

حيث:

$P'_{Tx\ ES}$ = قدرة المحطة الأرضية المرسلة المتسببة في التداخل

$G'(\phi)_{Tx\ ES}$ = كسب الفص الجانبي للمحطة الأرضية المرسلة المتسببة في التداخل في اتجاه المحطة الفضائية المتعرضة للتداخل

و:

ϕ = فصل زاوي رأسه المراقب بين الساتل المتعرض للتداخل والساتل المتسبب في التداخل عند المحطة الأرضية المرسلة المتسببة في التداخل

FSL'_{up} = الخسارة في الفضاء الحر للمحطة الأرضية المرسلة المتسببة في التداخل

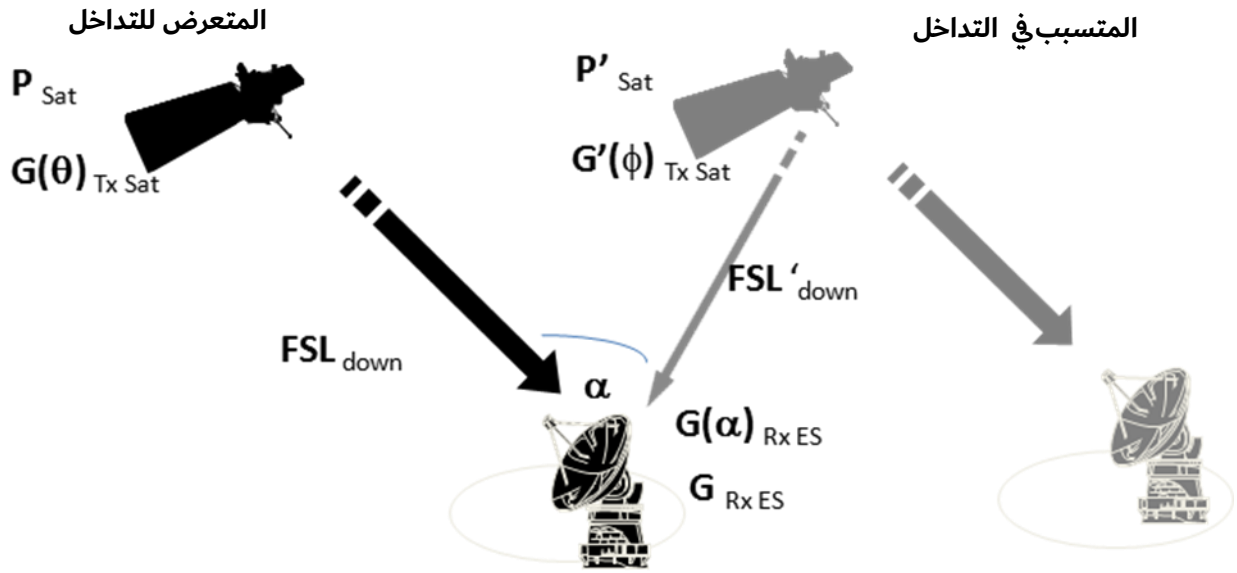
$G(\theta')_{RxSat}$ = كسب الاستقبال للمحطة الفضائية المتعرضة للتداخل في اتجاه المحطة الأرضية المتسببة في التداخل

ولذلك:

$$(C/I)_{up} = (P_{Tx\ ES} + G_{Tx\ ES} - FSL_{up} + G(\theta)_{RxSat}) - (P'_{Tx\ ES} + G'(\phi)_{Tx\ ES} - FSL'_{up} + G(\theta')_{RxSat}) \quad [12]$$

2.3 نسبة *C/I* في الوصلة الهابطة

يوضح الرسم البياني أدناه سيناريو التداخل في وصلة هابطة حيث يتسبب ساتل يتصل بمحطة أرضية في تداخل على المحطة الأرضية المستقبلة للساتل المجاور.



الشكل 3 - سيناريو التداخل في الوصلة الهابطة

تستمد نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (*C/I*) في الوصلة الهابطة على النحو التالي:

من المعادلة [6]:

$$C_{down} = P_{Sat} + G(\theta)_{TxSat} - FSL_{down} + G_{RxES}$$

$$I_{down} = P'_{Sat} + G'(\phi)_{TxSat} - FSL'_{down} + G(\alpha)_{RxES} \quad [13]$$

حيث:

P'_{Sat} = قدرة الساتل المرسل المتسبب في التداخل

$G'(\phi)_{TxSat}$ = كسب هوائي الساتل المرسل المتسبب في التداخل في اتجاه المحطة الأرضية المتعرضة للتداخل

FSL'_{down} = الخسارة في الفضاء الحر للشبكة المرسلة المتسببة للتداخل

$G(\alpha)_{RxES}$ = كسب الفص الجانبي للمحطة الأرضية المتعرضة للتداخل في اتجاه الساتل المتسبب في التداخل

حيث:

α = فصل زاوي رأسه المراقب بين الساتل المتعرض للتداخل والساتل المتسبب في التداخل عند المحطة الأرضية المستقبلة المتعرضة للتداخل.

ولذلك:

$$(C/I)_{down} = (P_{Sat} + G(\theta)_{TxSat} - FSL_{down} + G_{RxES}) - (P'_{Sat} + G'(\phi)_{TxSat} - FSL'_{down} + G(\alpha)_{RxES}) \quad [14]$$

3.3 الفصل الزاوي الذي رأسه المراقب

يشار إلى الفصل الزاوي الذي رأسه بين ساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض بوصفه الفصل الزاوي الذي رأسه المراقب. ويمكن أن يحسب الفصل الزاوي الذي رأسه المراقب θ_t باستخدام المعادلة التالية:

$$\theta_t = \arccos\left(\frac{d_1^2 + d_2^2 - \left(84\,332\,\sin\frac{\theta_g}{2}\right)^2}{2d_1 \cdot d_2}\right) \quad [15]$$

حيث:

d_1 وd_2 = المسافتان (بالكيلومترات) من المحطة الأرضية إلى كل من الساتلين على التوالي، (انظر المعادلة [8])

θ_g = الفصل الزاوي الذي رأسه الأرض بالدرجات بين ساتلين اثنين، مع مراعاة حدود التسامح للمحطات الطولية

4.3 مخططات إشعاع الهوائي

على الرغم من أن إشعاع الفص الجانبي من الهوائيات غير مرغوب فيه، لا يمكن التخلص منه. ويتسم إشعاع الهوائي بفص رئيسي وفصوص جانبية وبعض المناطق العابرة بين الاثنين. وهناك منحنيات مرجعية لعدة أغلفة إشعاع تشكل مخطط إشعاع الهوائي. ويُقدم المخطط المرجعي للتذييل **8** من لوائح الراديو أدناه كمثال:

أ) من أجل قيم $\frac{D}{\lambda}$ أكبر من أو تساوي 100 (تقريباً 48 dB ≤ الكسب الأقصى):

$$G(\varphi) = G_{max} - 2{,}5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\ \varphi\right)^2 \quad \text{for } 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{for } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{for } \varphi_r \leq \varphi < 48°$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{for } 48° \leq \varphi \leq 180°$$

حيث:

D: *قطر الهوائي*
λ: *طول الموجة* } يعبر عنهما بنفس الوحدة

φ: زاوية خارج محور الهوائي

G_1: كسب الفص الجانبي الأول = $2 + 15 \log \frac{D}{\lambda}$

(في حالة عدم معرفة قيمة $\frac{D}{\lambda}$، يمكن تقديرها من المعادلة $20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{max} - 7{,}7$،

حيث G_{max} هي كسب هوائي الفص الرئيسي (dB))

$$\varphi_m = \frac{20\,\lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad \text{بالدرجات}$$

$$\varphi_r = 15{,}85 \left(\frac{D}{\lambda}\right)^{-0{,}6} \quad \text{بالدرجات}$$

ب) من أجل قيم $\frac{D}{\lambda}$ أصغر من 100[4] (تقريباً 48 dB > الكسب الأقصى):

$$G(\varphi) = G_{max} - 2{,}5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\ \varphi\right)^2 \quad \text{for} \quad 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{for} \quad \varphi_m \leq \varphi < 100\,\frac{\lambda}{D}$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{for} \quad 100\,\frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48°$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{for} \quad 48° \leq \varphi \leq 180°$$

يمكن الاطلاع على مخططات إشعاع مرجعية أخرى للهوائيات في المراجع التالية:

- الملحق 3 من التذييل **7** من لوائح الراديو
- التوصية ITU-R S.465-6
- التوصية ITU-R S.580-6
- التوصية ITU-R S.1855-0
- التوصية ITU-R M.694-1
- التوصية ITU-R BO.1213-1
- التوصية ITU-R BO.1295
- التوصية ITU-R BO.1900
- التوصية ITU-R BO.2063-0.

4 عامل الضبط

يمكن الحصول على مقدار قدرة الموجة الحاملة المتسببة في التداخل التي يتعين مراعاتها في الموجة الحاملة المطلوبة عن طريق استخدام نسبة عرض نطاق الموجة الحاملة المطلوبة وعرض نطاق الموجة الحاملة المتسببة في التداخل. وتعرف هذه القيمة باسم عامل الضبط. وحسبما يشير هذا المصطلح، فإن نسبة *C/I* المحسوبة وفقاً للمعادلتين [12] و[14] معدلة باستعمال عامل الضبط لمراعاة مقدار قدرة الموجة الحاملة المسببة للتداخل المطلوبة.

وفي الموجات الحاملة الرقمية المتسببة في تداخل يشبه الضوضاء، إذا كان عرض نطاق الموجة الحاملة المطلوبة أقل من عرض نطاق الموجة الحاملة المتسببة في التداخل، لا يتم مراعاة إلا جزء من قدرة الموجة الحاملة المتسببة في التداخل في حساب *C/I*. وبدلاً من ذلك، إذا كان عرض نطاق الموجة الحاملة المطلوبة أكبر من عرض نطاق الموجة الحاملة المتسببة في التداخل، يتم مراعاة أثر الموجات الحاملة المتداخلة المتعددة التي تؤثر على الموجة الحاملة المطلوبة.

وفي حالة الموجات الحاملة التماثلية المتسببة في تداخل، إذا كان طيف قدرة التداخل غير معروف، يمكن حساب التداخل بأسلوب التقريب واعتبار أن الكثافة الطيفية لقدرة الموجة الحاملة المتسببة في التداخل ثابتة على عرض نطاق الموجة الحاملة المطلوبة. ويمكن حساب عرض النطاق المكافئ (BW_{eqi}) على النحو التالي:

BW_{eqi} = قدرة الذروة الكلية/أقصى كثافة للقدرة

وفي حالة تداخل بدون تقاسم التردد نفسه من موجة حاملة للتلفزيون TV-FM إلى موجة حاملة أخرى للتلفزيون TV-FM، تستخدم أقنعة نسب الحماية المعرفة في الفقرتين 1.5.3 و8.3 من الملحق 5 بالتذييل **30**.

ويمكن إيجاز الطرائق الثلاث لمحاسبة قدرة التداخل في الجدول أدناه:

الجدول 1

حالات عامل الضبط

<table>
<tr><th>التداخل المطلوب</th><th>رقمي</th><th>تماثلي (بخلاف TV/FM)</th><th>أخرى</th><th>TV/FM</th></tr>
<tr><td>رقمي</td><td colspan="4">الطريقة 1: عرض النطاق المطلوب (BW) لضبط معدل تداخل عرض النطاق المتسبب في التداخل</td></tr>
<tr><td rowspan="3">TV/FM</td><td colspan="2" rowspan="3">الطريقة 2:
عرض النطاق المطلوب لضبط معدل تداخل عرض النطاق المكافئ لعرض النطاق المتسبب في التداخل</td><td colspan="2">الطريقة 1: تقاسم التردد</td></tr>
<tr><td colspan="2">الطريقة 3: بدون تقاسم التردد (نسبة حماية نسبية)</td></tr>
<tr><td>تماثلي (بخلاف TV/FM)</td><td colspan="2" rowspan="2">الطريقة 2</td></tr>
<tr><td>أخرى</td></tr>
</table>

5 الحصول على متطلبات *C/I*

يمكن تمثيل معيار حماية التداخل وحيد القيمة (SEI) للموجات الرقمية والتماثلية غير التلفزيونية بقيمة مستهدفة لنسبة *C/N* وتثبيت قيمة k لتساوي 12,2 dB أو 14 dB ويمكن إيجازها على النحو التالي:

نوع الموجة الحاملة المتسببة في التداخل / نوع الموجة الحاملة المطلوبة	رقمي	تماثلي (غير التلفزيون (TV-FM
تماثلي (التلفزيون TV-FM)	(dB) 14 + *C/N*	
رقمي	(dB) 12,2 + *C/N*	
تماثلي (غير التلفزيون TV-FM)	(dB) 12,2 + *C/N*	
أخرى	(dB) 14 + *C/N*	

وفي حالة الموجة الحاملة المتسببة في التداخل من النوع التماثلي أو نوع موجة حاملة أخرى غير الرقمية أو غير التلفزيون TV-FM، يمكن إيجاز معايير الحماية على النحو التالي:

نوع الموجة الحاملة المتسببة في التداخل / نوع الموجة الحاملة المطلوبة	تماثلي (غير التلفزيون TV-FM) أو أخرى
تماثلي (التلفزيون TV-FM)	*C/N* + 14 (dB)
رقمي	إذا كان $BW_w <= BW_{eqi}$ إذاً (dB) (BW_w) log*3,5 + 5,5 + *C/N*
	وإلا إذا كان $BW_w > BW_{eqi}$ إذاً (dB) 12,2 + *C/N*
تماثلي (غير التلفزيون TV-FM)	(dB) (BW_w) log*2 + 11,4
أخرى	(dB) (BW_w) log*2 + 11,4

حيث:

BW_w: عرض النطاق اللازم للموجة الحاملة المطلوبة (MHz)

BW_{eqi}: عرض النطاق المكافئ للموجة الحاملة المتسببة في التداخل (MHz)

C/N: نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (dB)

وتصنف أنواع الموجات الحاملة في القسم B3 من الجزء B من القواعد الإجرائية باستخدام صنف الإرسال (البند 7.C.أ) من الملحق 2 بالتذييل **4**):

- تماثلي (التلفزيون TV-FM):

عندما يكون الحرف الأول من صنف الإرسال (البند 7.C.أ من الملحق 2 بالتذييل **4**) هو "F" والحرف الثالث هو "F" أو "W".

- تماثلي (غير التلفزيون TV-FM):

عندما يكون الحرف الأول من صنف الإرسال هو "F" والحرف الثالث هو "F" أو "W".

- رقمي:

عندما يكون الحرف الأول من صنف الإرسال هو "G".

- غير ذلك:

عندما لا يكون الحرف الأول من صنف الإرسال "F" أو "G".

6 الهامش الإضافي

يعرف الجدول 2 من التوصية ITU-R S.741-2 النسبة "*C*/*N*" على أنها "نسبة (dB) قدرة الموجة الحاملة إلى نسبة الضوضاء الكلية التي تشمل كل الضوضاء الداخلية في النظام والتداخل الصادر عن الأنظمة الأخرى".

وبالتالي، للتطابق مع هذا التعريف، يضاف إلى الهوامش المحسوبة استناداً إلى قيم الضوضاء الداخلية للأنظمة التي وفرتها الإدارات المعنية، هامش إضافي يبلغ 0,46 dB في الحالات التي تشمل البث التلفزيوني التماثلي المطلوب وهامش إضافي يبلغ 1,87 dB في حالات البث المطلوب الأخرى إلا إذا كان هدف النسبة C/N المقدمة يتضمن بالفعل هامشاً لمراعاة التداخل بين الأنظمة. وتتبلور هذه الهوامش في المرفق 2 بالقسم B3 من القواعد الإجرائية.

7 اختيار موقع أسوأ حالة

من أجل الحصول على أسوأ حالة للنسبة *C/I*، يمكن اختيار مواقع المحطات الأرضية على النحو التالي:

الوصلة الصاعدة

تقع المحطة الأرضية المطلوبة عند حافة منطقة الخدمة للحزمة المستقبلة المطلوبة. وتقع المحطة الأرضية المتسببة في التداخل في منطقة خدمة للحزمة المستقبلة المتسببة في التداخل وعند النقطة التي يمكن الحصول فيها على أعلى كسب من الحزمة المستقبلة المطلوبة.

الوصلة الهابطة

تقع المحطة الأرضية المطلوبة عند حافة منطقة الخدمة للحزمة المرسلة المطلوبة وعند النقطة التي يمكن الحصول فيها على أعلى كسب من الحزمة المرسلة المتسببة في التداخل.

8 افتراضات لتبسيط الحسابات

بما أن الفرق بين قيم الزاوي الذي رأسه المراقب والزاوي الذي رأسه مركز الأرض صغير، يمكن الحصول على نتيجة صحيحة إلى حد ما لنسبة *C/I* عن طريق استخدام الزوايا التي رأسها مركز الأرض بدلاً من الزوايا التي رأسها المراقب في الحسابات. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الفرق في الخسارة في الفضاء الحر من الإشارات التي تعبر في مسيرات مختلفة ولكن تتقاسم نفس نطاقات التردد صغير. وبهذه الافتراضات، يمكن تبسيط معادلات نسبة *C/I* الواردة في التوصيتين [12] و[14] على النحو التالي:

من المعادلة [12]:

$$(C/I)_{up} = (P_{Tx\ ES} + G_{Tx\ ES} - FSL_{up} + G(\theta)_{RxSat}) - (P'_{Tx\ ES} + G'(\phi)_{Tx\ ES} - FSL'_{up} + G(\theta')_{RxSat})$$

ويستعاض عن القيمة ϕ بالقيمة ϕ_g وبافتراض أن $FSL'_{up} = FSL_{up}$:

$$(C/I)_{up} = (P_{Tx\ ES} + G_{Tx\ ES} - FSL_{up} + G(\theta)_{RxSat}) - (P'_{Tx\ ES} + G'(\phi_g)_{Tx\ ES} - FSL'_{up} + G(\theta')_{RxSat})$$

$$(C/I)_{up} = (P_{Tx\ ES} + G_{Tx\ ES} + G(\theta)_{RxSat}) - (P'_{Tx\ ES} + G'(\phi_g)_{Tx\ ES} + G(\theta')_{RxSat})$$

حيث:

ϕ_g = فصل الزاوي الذي رأسه مركز الأرض بين الساتل المتسبب في التداخل والساتل المتعرض للتداخل عند المحطة الأرضية المرسلة المتسببة في التداخل

وبالمثل في الوصلة الهابطة، يمكن الحصول على نتيجة صحيحة إلى حد ما لنسبة *C/I* عن طريق استخدام المعادلة التالية:

$$(C/I)_{down} = (P_{Sat} + G(\theta)_{TxSat} + G_{RxES}) - (P'_{Sat} + G'(\phi)_{TxSat} + G(\alpha_g)_{RxES}) \quad [14]$$

حيث:

α_g = فصل الزاوي الذي رأسه مركز الأرض بين الساتل المتسبب في التداخل والساتل المتعرض للتداخل عند المحطة الأرضية المستقبلة المتعرضة للتداخل.