الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R
قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M.1461-2
(2018/01)

إجراءات تحديد احتمالات التداخل بين الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي والأنظمة في الخدمات الأخرى

السلسلة M
الخدمة المتنقلة وخدمة
الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REC/en)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	**الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة**
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2019

© ITU 2019
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R M.1461-2*

إجراءات تحديد احتمالات التداخل بين الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي والأنظمة في الخدمات الأخرى

(المسألة ITU R 226/5)

(2018-2003-2000)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية توجيهات وإجراءات لتحديد احتمالات التداخل بين الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي والأنظمة في الخدمات الأخرى.

مصطلحات أساسية

الرادار، الإجراء، التداخل، معايير الحماية

المختصرات/الأسماء المختصرة

BPSK الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة *(Binary phase shift keying)*

CW موجة مستمرة *(Continuous-wave)*

FDR نبذ معتمد على التردّد *(Frequency dependent rejection)*

LNA مكبر منخفض الضوضاء *(Low noise amplifier)*

OFR نبذ خارج التردد *(Off-frequency rejection)*

OTR نبذ متناغم *(On-tune rejection)*

QPSK الإبراق المتعامد بزحزحة الطور *(Quadrature phase shift keying)*

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن خصائص الهوائي وانتشار الإشارة وكشف الهدف وخصائص عرض النطاق اللازم العريض التي تحتاجها الرادارات لأداء وظائفها تكون هي المثلى في بعض نطاقات التردد؛

ب) أن الخصائص التقنية للرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي تحددها مهمة النظام وتختلف اختلافاً كبيراً حتى داخل نفس النطاق الترددي؛

ج) أن خدمة الملاحة الراديوية تُعتبر خدمة للسلامة كما يحدد الرقم 10.4 من لوائح الراديو (RR) ولا يمكن قبول تعرُّضها للتداخلات الضارة؛

* ينبغي أن تحاط المنظمة البحرية الدولية (IMO) ومنظمة الطيران المدني الدولي (ICAO) واللجنة الدولية الراديوية البحرية (CIRM) والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) علماً بهذه التوصية.

د) أن بعض الأفرقة التقنية التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية تنظر في إمكانية إدخال أنواع جديدة من الأنظمة (مثل أنظمة النفاذ اللاسلكي الثابت والأنظمة المتنقلة والثابتة ذات الكثافة العالية) أو الخدمات في النطاقات الترددية بين 420 MHz و34 GHz التي تستخدمها الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي؛

هـ) أن الخصائص التقنية والتشغيلية التمثيلية للأنظمة العاملة في النطاقات الترددية الموزعة لخدمة الاستدلال الراديوي مطلوبة لتحديد إمكانية إدخال أنواع جديدة من الأنظمة؛

و) أن ثمة حاجة لإجراءات ومنهجيات لتحليل التوافق بين الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي والأنظمة العاملة في الخدمات الأخرى،

توصي

1 باستخدام الإجراءات المذكورة في الملحق 1 كإرشادات لتحديد احتمالات التداخل بين الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي والأنظمة العاملة في الخدمات الأخرى؛

2 باستخدام خصائص الرادار الواردة في توصيات قطاع الاتصالات الراديوية المناسبة للنطاق الترددي قيد الدراسة.

الملحق 1

إجراءات تحديد احتمالات التداخل بين الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي والأنظمة في الخدمات الأخرى

1 مقدمة

جرى إعداد إجراءات التحليل. وبسبب قدرة خرج المرسل العالية (50 kW إلى عدة MW) وكسب الهوائي (30 إلى 45 dBi) للرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي (يشار إليها فيما بعد بمجرد الرادارات)، يتحدد التوافق بين الرادارات والأنظمة في الخدمات الأخرى إلى حد كبير بتحليل آثار الإرسالات من الرادارات على وظائف الاستقبال للخدمات الأخرى. لذلك، يتناول إجراء التحليل هذا بالأساس أساليب تقييم احتمالات التداخل من الرادارات. وبالإضافة إلى ذلك، نوقشت بإيجاز إمكانية إزالة تحسس مستقبلات الرادار بالإرسالات من أنظمة الموجة المستمرة (CW) في الخدمات الأخرى.

وبطبيعة مهام الرادارات، فإن الكثير منها متنقل ولا يمكن تقييده بمناطق تشغيل مقررة. وكذلك تتطلب مهمة الرادارات غالباً رشاقة ترددية والاستفادة من النطاق الموزع بأكمله. ولكن عندما يتوقع أن تعمل الرادارات في مناطق معينة بالقرب من أنظمة أخرى، يمكن تقييم احتمالات التداخل باستخدام الإجراءات الواردة في هذه التوصية.

2 التداخل من الرادارات على أنظمة الخدمات الأخرى

حددت التحقيقات في العديد من حالات التداخل آليتين أساسيتين لاقتران التداخل الكهرمغنطيسي بين أنظمة الرادار عالية القدرة والخدمات الأخرى. وآليتا اقتران التداخلات هاتان هما الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل وإرسالات مرسِل راداري مقترنة عبر نطاق تمرير التردد الوسيط (IF) في المستقبل. ويرد بحث آليتا التداخل أدناه.

1.2 الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل

تتحقق آلية التداخل هذه عندما تتشبع الواجهة الأمامية للمستقبِل (مكبر منخفض الضوضاء (LNA) في بعض الأنظمة) المتأثر بطاقة متأتية من التردد الأساسي (الإرسالات الضرورية) لإشارة غير مطلوبة، مما يؤدي إلى ضغط كسب الإشارة المطلوبة بما يكفي لتردي أداء المستقبِل. وعادة ما ينتج الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل عن عدم كفاية انتقائية الترددات الراديوية (RF) في الواجهة الأمامية للمستقبل المتأثر.

1.1.2 تقييم احتمالات الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل

تتحقق عتبة الدخل التي يحدث عندها الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل تبعاً لمستوى ضغط (تشبع) كسب 1 dB وكسب الواجهة الأمامية للمستقبل أو المكبر منخفض الضوضاء (LNA) وعلى وجه التحديد:

$$T = C - G \tag{1}$$

حيث:

T: عتبة الدخل التي يحدث عندها الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل (dBm)

C: مستوى كسب (تشبع) كسب 1 dB للواجهة الأمامية للمستقبل أو مكبر منخفض الضوضاء (dBm)

G: كسب الواجهة الأمامية للمستقبل أو مكبر منخفض الضوضاء (LNA) عند التردد الأساسي للرادار (dB)

فعلى سبيل المثال، إذا استخدمت المستقبلات مكبرات منخفضة الضوضاء بمكاسب تتراوح بين 50 و 65 dB وبلغ مستوى ضغط 1 dB في خرجها + 10 dBm، يتراوح نطاق قيم T بين − 55 dBm و− 40 dBm حسب كسب المكبر منخفض الضوضاء.

واحتمال حدوث تداخل من الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل سيكون قائماً كلما تحققت:

$$I_T = T - FDR_{RF} \tag{2}$$

حيث:

I_T: ذروة مستوى إشارة الرادار عند خرج الهوائي أو دخل المستقبِل الذي يسبب الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل (dBm)

T: عتبة الدخل التي يحدث عندها الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل (dBm)

FDR_{RF}: النبذ المعتمد على التردد (FDR) للرادار الأساسي من أي انتقائية ترددات راديوية يمكن أن تسبق مكبر الترددات الراديوية في المستقبِل (المكبر منخفض الضوضاء (LNA)) أو يمكن أن تكون متأصلة في مكبر الترددات الراديوية (المكبر منخفض الضوضاء) نفسه.

ويمكن استخدام المعادلة (3) لتحديد ما إذا كان الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل مرجحاً عندما تعمل الرادارات ضمن مسافة معينة من المحطات الأخرى وتُفصل ترددياً بمقادير معينة:

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P \tag{3}$$

حيث:

I: ذروة قدرة نبضات الرادار، عند تردد الرادار الأساسي، في خرج هوائي الاستقبال أو دخل المستقبل (dBm)

PT: ذروة قدرة مرسل الرادار (dBm)

G_T: كسب هوائي الحزمة الرئيسية للرادار (انظر الملاحظة 1) (dBi)

G_R: كسب هوائي المستقبِل في اتجاه محطة الرادار قيد التحليل (dBi)

L_T: خسارة الإدراج في مرسل محطة الرادار (dB) (2 dB مفترضة)

L_R: خسارة الإدراج في المستقبل المتأثر (dB)

L_P: خسارة مسير الانتشار بين هوائيي الإرسال والاستقبال (dB).

عند تحديد خسارة مسير الانتشار، ينبغي استخدام المناسب من نماذج الانتشار والاقتران الممكن غير المباشر مع مراعاة ارتفاعات الهوائي والتضاريس عند الاقتضاء. وإذا تجاوزت ذروة القدرة المحسوبة لنبضات الرادار، عند التردد الأساسي، I، العتبة التي يحدث عندها الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل، I_T، يتعين اتخاذ الخطوات اللازمة لضمان التوافق.

الملاحظة 1 – جرى توثيق حالات التداخل الخاصة بإرسالات مرسل الرادار التي تسبب الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل في الحزمة الرئيسية للرادار. ولذلك، يوصى باستخدام كسب الحزمة الرئيسية للرادار في تقييم أقصى احتمال للتداخل الناجم عن الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل.

2.2 اقتران بث مرسِل الرادار

تتحقق آلية التداخل هذه عندما تقع الطاقة المرسَلة من جهاز إرسال الرادار ضمن نطاق تمرير التردد الوسيط (IF) بالمستقبل. ثم تمر هذه الطاقة عبر سلسلة الاستقبال بتوهين قليل أو معدوم. وعندما تكون مستويات إرسالات الرادار في نطاق تمرير المستقبل عالية بالنسبة لمستوى الإشارة المستويات، يمكن أن يتردى الأداء في المستقبل.

1.2.2 تقييم احتمالات التداخل من بث مرسل الرادار

تتمثل الخطوة الأولى نحو تقييم التوافق في تحديد مستوى الإشارة الذي يبدأ عنده أداء المستقبِل في التردي، I_T.

$$I_T = I/N + N \quad (4)$$

حيث:

I/N: نسبة التداخل إلى الضوضاء عند دخل الكاشف (خرج التردد الوسيط (IF)) والضرورية للحفاظ على معايير أداء مقبولة (dB).

N: سوية الضوضاء الأصلية للمستقبل (dBW)

$$(N = -144 \text{ dBm} + 10 \log B_{IF} \text{ (kHz)} + NF$$

أو

$$N = -168.6 \text{ dBm} + 10 \log B_{IF} \text{ (kHz)} + 10 \log T)$$

حيث

B_{IF}: عرض نطاق التردد الوسيط (IF) في المستقبل (kHz)

NF: معامل ضوضاء المستقبل (dB)

T: حرارة ضوضاء النظام (K).

وكذلك، يمكن حساب مستوى الإشارة الذي يبدأ عنده المستقبل في التردي، I_T، باستخدام المعادلة (5):

$$I_T = C - (C/I) \quad (5)$$

حيث:

C: مستوى إشارة الموجة الحاملة المستوياتة عند خرج الهوائي (دخل المستقبل) (dBm)

C/I: نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل عند دخل الكاشف الأولي (خرج التردد الوسيط (IF)) والضرورية للحفاظ على معايير أداء مقبولة.(dB)

ويمكن استخدام المعادلة (6) لتحديد ما إذا كان يرجح حدوث تداخل من بث مرسل الرادار عندما تشغَّل الرادارات ضمن مسافات معينة من محطات أخرى وتُفصل ترددياً بمقادير معينة.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (6)$$

حيث:

I: ذروة قدرة نبضات الرادار عند المستقبل (dBm)

P_T: ذروة قدرة مرسل الرادار قيد التحليل (dBm)

G_T: كسب هوائي الحزمة الرئيسية للرادار قيد التحليل (انظر الملاحظة 2) (dBi)

G_R: كسب هوائي المستقبِل في اتجاه محطة الرادار قيد التحليل (dB)

L_T: خسارة الإدراج في مرسل محطة الرادار (dB)

L_R: خسارة الإدراج في المستقبل المتأثر (dB)

L_P: خسارة مسير الانتشار بين هوائيي الإرسال والاستقبال (dB)

FDR_{IF}: النبذ المعتمد على التردد الناتج عن منحنى انتقائية التردد الوسيط (IF) في المستقبل على أطياف إرسال مرسل غير مطلوب (dB).

الملاحظة 2 – جرى توثيق حالات التداخل الخاصة بإرسالات مرسل الرادار التي تسبب تردي المستقبِل في اقتران الحزمة الرئيسية الرادارية. ولذلك، يوصى باستخدام كسب الحزمة الرئيسية للرادار في تقييم أقصى احتمال للتداخل الناجم عن إرسالات مرسل الرادار في نطاق تمرير التردد الوسيط (IF) للمستقبل.

ويمكن تحديد قيمة النبذ المعتمد على التردد لاستخدامها في المعادلة (6) من التوصية ITU R R SM.337. ويمكن تقسيم النبذ المعتمد على التردد (FDR) إلى قسمين، نبذ متناغم (OTR) ونبذ خارج التردد (OFR)، والنبذ الإضافي الناتج عن الرادار والمستقبل غير متناغم.

$$FDR_{IF}(\Delta f) = OTR + OFR(\Delta f) \quad (7)$$

وفي الموجة المستمرة (CW) والإشارات النبضية مشفرة الطور، يعطى عامل النبذ المتناغم (OTR) بواسطة:

$$OTR = 0 \qquad \text{for } B_R \geq B_T \quad (8)$$

$$OTR = 20 \log (B_T / B_R) \qquad \text{for } B_R < B_T \quad (9)$$

حيث:

B_R: عرض نطاق dB 3 للمستقبِل (Hz)

B_T: عرض نطاق dB 3 للمرسل (Hz).

وفي الإشارات النبضية المزقزقة، يعطى عامل النبذ المتناغم (OTR) بواسطة:

$$OTR = 0 \qquad \text{for } B_C / (B_R^2\, T) \leq 1 \quad (10)$$

$$OTR = 10 \log (B_C / (B_R^2\, T)) \qquad \text{for } B_C / (B_R^2\, T) > 1 \quad (11)$$

حيث:

T: عرض النبضة المزقزقة (s)

B_C: عرض النطاق المزقزق للمرسل أثناء عرض النبضة، (Hz) T.

يتطلب حساب النبذ خارج التردد (OFR) استجابة التردد الوسيط (IF) وخصائص طيف الإرسال لمرسل الرادار. وقد قدم قطاع الاتصالات الراديوية أساليب لحساب خصائص طيف الإرسال للرادارات ذات الموجة المستمرة النبضية وذات النبضات المزقزقة. وإذا لم تتح معلومات عن خصائص زمن ارتفاع وهبوط مرسل الرادار، ينبغي حساب مغلفات إرسال الرادار بأزمنة ارتفاع وهبوط اسمية قدرها 0,1 µs. وتعتمد مستويات البث الهامشي من مرسلات الرادار على جهاز خرج المرسل. وترد مستويات البث الهامشي ذات الصفة التمثيلية لمختلف أجهزة خرج الرادارات في التوصية ITU-R M.1314. ونظراً لعلو قدرة المرسل وكسب الهوائي في العديد من الرادارات، قد تقتضي الضرورة وجود فواصل ترددية كبيرة ونطاقات حارسة لضمان التوافق.

وعند تحديد خسارة مسير الانتشار، ينبغي استخدام المناسب من نماذج الانتشار والاقتران الممكن غير المباشر مع مراعاة ارتفاعات الهوائي والتضاريس عند الاقتضاء. وإذا تجاوزت ذروة القدرة المحسوبة لنبضات الرادار، عند التردد الأساسي، I، العتبة التي يتردى عندها أداء المستقبِل، I_T، يتعين اتخاذ الخطوات اللازمة لضمان التوافق.

3 التداخل على الرادارات من الأنظمة في الخدمات الأخرى

مقدمة

توجد آليتان رئيسيتان لاقتران التداخل الكهرمغنطيسي بين نظام الرادار وإشارات تسبب التداخل من الخدمات الأخرى. وتنجم الآلية الأولى عن الحمل المفرط للواجهة الأمامية وتولُّد منتجات التشكيل البيني. أما الثانية فتنجم عن الإرسالات المسببة للتداخل داخل نطاق تمرير التردد الوسيط (IF) في المستقبل والمؤدية إلى إزالة التحسس وتردي الأداء، مما يُنتج خرج بيانات رادار ذا جودة منخفضة إجمالاً.

1.3 الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل

1.1.3 تشبُّع الواجهة الأمامية

تتحقق آلية التداخل هذه عندما يتشبع المكبر منخفض الضوضاء (LNA) في الواجهة الأمامية لمستقبل الرادار بطاقة متأتية من إشارة غير مطلوبة، مما يؤدي إلى ضغط كسب الإشارة المطلوبة بما يكفي لتردي أداء المستقبِل. وتتحقق عتبة الدخل التي يحدث عندها الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل تبعاً لمستوى ضغط (تشبع) كسب 1 dB وكسب الواجهة الأمامية للمستقبل. وفي مستقبِل رادار بعرض نطاق للواجهة الأمامية في الترددات الراديوية، B_{RF}، وبقدرة دخل ضغط 1 dB، $P_{1\,dB}$ (dBm)، يجب ألا تتجاوز قدرة التداخل الإجمالية ضمن B_{RF} الداخل إلى مستقبِل الرادار:

$$P_{I,\,RF\,max} = P_{1\,dB} + k_{sat} = C - G + k_{sat} \quad \text{dBm} \quad (12)$$

حيث:

$P_{I,\,RF\,max}$: قدرة التداخل الكلية القصوى المسموح بها ضمن عرض نطاق الترددات الراديوية (dBm)

k_{sat}: هامش التشبع (dB)، الذي يتعين تحديده بشكل فردي لكل رادار ونوع تداخل (k_{sat} ذو قيمة سالبة عموماً)

$P_{1\,dB}$: معرَّفة كنقطة ضغط قدرة 1 dB (dBm)، أي عندما ينخفض كسب سلسلة المستقبل بأكملها بمقدار 1 dB

C: مستوى كسب (تشبع) كسب 1 dB للواجهة الأمامية للمستقبل أو مكبر منخفض الضوضاء (dBm)

G: كسب الواجهة الأمامية للمستقبل عند التردد الأساسي لمصدر التداخل المحتمل (dB).

على سبيل المثال، إذا استخدمت المستقبلات مكبر منخفض الضوضاء (LNA) بكسب قدره 60 dB ولديها مستوى ضغط خرج +10 dBm، تُحسب قيمة $P_{1\,dB}$ كما يلي: 10−60 = −50 dBm

ولا بد من استيفاء المعادلة (12) لتفادي دفع المستقبِل إلى التشبع أو إلى الاقتراب من التشبع، وبالتالي الحفاظ على مدى دينامي كاف لإشارة صدى الرادار ذاتها. وعلاوة على ذلك، يجب أيضاً أن يستوفي كسر قدرة التداخل، الذي يقع في عرض نطاق التردد الوسيط (IF) لمستقبل الرادار، المتطلبات المنصوص عليها في توصيات الاتحاد ذات الصلة.

ويُحتمل حدوث الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل جراء التداخل كلما:

$$I_T > P_{I,\,RF\,max} - FDR_{RF} \tag{13}$$

حيث:

I_T: مستوى إشارة التداخل عند دخل المستقبِل الذي يسبب الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل (dBm)

FDR_{RF}: النبذ المعتمد على التردد لمصدر التداخل من أي انتقائية ترددات راديوية يمكن أن تسبق مكبر الترددات الراديوية في المكبر منخفض الضوضاء (LNA) بالمستقبِل أو يمكن أن تكون متأصلة في مكبر الترددات الراديوية (المكبر منخفض الضوضاء) نفسه.

ويجب ألا تكون قدرة التداخل المستقبَلة، والمجمَّعة عبر عرض نطاق الترددات الراديوية الكامل، أعلى من المستوى الذي يتسبب في قدرة الخرج في عنصر معين في سلسلة المستقبِل التي تصل أولاً إلى التشبع للاحتفاظ بفصل كافٍ تحت نقطة الضغط 1 dB. وذلك للحد من تقلص المدى الدينامي ومنع منتجات التشكيل البيني من المرتبة الثالثة التي تتجاوز نسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) المقبولة في عرض نطاق التردد الوسيط (IF) في المستقبِل.

ويمكن استخدام المعادلة (13) لتحديد مستوى إشارة التداخل عند دخل المرحلة الأولى للمكبر في سلسلة المستقبل عندما تعمل مصادر التداخل ضمن مسافة معينة من المحطات الأخرى وتُفصل ترددياً بمقادير معينة، ولكنها تقع ضمن عرض نطاق الترددات الراديوية للمستقبِل:

$$I = P_T + G_T + G_R - L_t - L_R - L_P \tag{14}$$

حيث:

I: ذروة قدرة إشارة التداخل عند دخل المستقبل (dBm)

P_T: ذروة قدرة مرسل مصدر التداخل (dBm)

G_T: كسب هوائي مصدر التداخل في اتجاه الرادار قيد التحليل (dBi)

G_R: كسب هوائي المستقبِل في اتجاه مصدر التداخل (dBi)

L_T: خسارة الإدراج في المرسل (dB)

L_R: خسارة الإدراج في مستقبل الرادار (dB)

L_P: خسارة مسير الانتشار بين هوائيي الإرسال والاستقبال (dB).

وعند تحديد خسارة مسير الانتشار، ينبغي استخدام المناسب من نماذج الانتشار والاقتران الممكن غير المباشر مع مراعاة ارتفاعات الهوائي والتضاريس عند الاقتضاء (انظر الفقرة 3.3). وإذا تجاوزت ذروة القدرة المحسوبة لمصادر التداخل المجمعة العتبة التي يحدث عندها الحمل المفرط للواجهة الأمامية للمستقبل، I_T، يتعين اتخاذ الخطوات اللازمة لضمان التوافق.

2.1.3 التشكيل البيني

في مستقبِل رادار بعرض نطاق كبير للواجهة الأمامية في الترددات الراديوية، B_{RF}، (كما هو معرَّف في الفقرة 1.1.3) وبعرض نطاق تردد وسيط (IF) أصغر بكثير عادةً، يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار آلية التشكيل البيني من المرتبة الثالثة التي يتجلى تأثيرها في نقل طاقة الإشارة من خارج عرض نطاق التردد الوسيط (ولكن من داخل عرض نطاق الترددات الراديوية) إلى داخل عرض نطاق التردد الوسيط.

ويمكن لأي زوج من الموجات الحاملة على الترددين ("النغمتين") f_1 وf_2 أن ينتج منتجات من المرتبة الثالثة إما من $f_3 = 2*f_1 – f_2$ أو من $f_3 = 2*f_2 – f_1$. وحيثما يقع f_3 داخل عرض نطاق التردد الوسيط، تنشأ قدرة التداخل المتناغم التي يتواصل تضخيمها ومعالجتها بواسطة قسمي التردد الوسيط (IF) والنطاق الأساسي في مستقبِلات الرادار.

وتزداد تأثيرات التشكيل البيني بشكل ملحوظ مع ارتفاع مستوى قدرة نغمة واحدة. وتؤدي الزيادة بمقدار 10 dB في قدرة نغمة واحدة إلى زيادة بمقدار 30 dB في قدرة منتَج التشكيل البيني. والنقطة (النظرية) التي تبدأ فيها قدرة منتج التشكيل البيني من المرتبة الثالثة بتجاوز قدرة النغمة الواحدة المكبرة، تسمى نقطة اعتراض خرج من المرتبة الثالثة ($IP3_{out}$) وفي المكبرات منخفضة الضوضاء على الترددات الراديوية المستخدمة في واجهات الرادار الأمامية، تتراوح $IP3_{out}$ بين 10 و15 dB فوق قدرة خرج ضغط 1 dB، $P_{1\,dB,out}$.

وفي حال وجود إشارات موجات حاملة متعددة، فإن ظاهرة التشكيل البيني، وصولاً إلى المرتبة الخامسة منه، يمكن أن تمثل مصدراً هاماً للتداخلات يتعين النظر فيه.

ويتعين التعامل مع القدرة التداخلية المقابلة للتشكيل البيني من مرتبة ثالثة أو أعلى من الخارج إلى داخل عرض نطاق التردد الوسيط (IF) كالتعامل مع التداخل المتناغم، أي يجب أن يكون مترافقاً مع قدرة التداخل التي تدخل عرض نطاق التردد الوسيط (IF) مباشرة وأن يستوفي المتطلبات المنصوص عليها لنسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) في التوصية المناسبة الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية.

2.3 تردي الحساسية

إن أثر إزالة الحساسية في الرادارات الذي ينجم عن التشكيل الشبيه بالموجة المستمرة أو بالضوضاء والذي تسببه الخدمات الأخرى، مرتبط على نحو متوقَع بشدة هذا التشكيل. وفي أي قطاع سمتي يحدث فيه هذا النمط من التداخل يكفي أن تضاف الكثافة الطيفية لقدرة هذا التداخل إلى الكثافة الطيفية للضوضاء الحرارية في مستقبِل الرادار.

وتتمثل الخطوة الأولى لتقييم التوافق في تحديد مستوى الإشارة التي يبدأ عندها أداء مستقبل الرادار بالتردي، I_T.

$$I_T = I/N + N \tag{15}$$

حيث:

I/N: نسبة التداخل إلى الضوضاء عند دخل الكاشف (خرج التردد الوسيط (IF)) والضرورية للحفاظ على معايير أداء مقبولة (dB).

N: سوية الضوضاء الأصلية للمستقبل (dBW)

$$N = -114 \text{ dBm} + 10 \log B_{IF} \text{ (MHz)} + NF$$

حيث:

B_{IF}: عرض نطاق التردد الوسيط (IF) في المستقبل (MHz)

NF: معامل ضوضاء المستقبل (dB).

ويمكن استخدام المعادلة (15) لتحديد ما إذا كان يمكن للأنظمة في الخدمات الأخرى أن تعمل ضمن مسافات معينة من الرادارات وتُفصل ترددياً بمقادير معينة.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (16)$$

حيث:

I: ذروة قدرة الإشارة غير المطلوبة عند دخل مستقبل الرادار (dBm)

P_T: ذروة قدرة المرسل غير المطلوب قيد التحليل (dBm)

G_T: كسب هوائي النظام غير المطلوب في اتجاه الرادار قيد التحليل (dBi)

G_R: كسب هوائي محطة الرادار في اتجاه النظام قيد التحليل (انظر الملاحظة 3) (dBi)

L_T: خسارة الإدراج في المرسل (dB)

L_R: خسارة الإدراج في مستقبل الرادار (dB)

L_P: خسارة مسير الانتشار بين هوائيي الإرسال والاستقبال (dB)

FDR_{IF}: النبذ المعتمد على التردد الناتج عن منحنى انتقائية التردد الوسيط (IF) في المستقبل على أطياف إرسال مرسل غير مطلوب (dB).

الملاحظة 3 – تمسح غالبية الهوائيات الرادارية للاستدلال الراديوي سمت 360° إلى زوايا ارتفاع كبيرة. بيد أن بعض هوائيات نظام الرادار تمسح في قطاعات أو بشكل عشوائي، ولكن يمكن في العادة توجيه المنصة الرادارية في أي سمت. ويحدث التداخل على أنظمة الرادار عادة عند تسديد الحزمة الرئيسية لهوائي الرادار نحو الإشارة غير المطلوبة. ولذلك، ينبغي عادة استخدام الحزمة الرئيسية للرادار في التحليل. وفي بعض الحالات الخاصة، قد لا يضيء المخطط الرئيسي للرادار المحطة المتفاعلة (عند طمس قطاع على سبيل المثال)، وفي هذه الحالة ينبغي استخدام مستوى الفص الجانبي المناسب للهوائي.

ويمكن تحديد قيمة النبذ المعتمد على التردد (FDR) لاستخدامها في المعادلة (13) من التوصية ITU R R SM.337. ويتطلب حساب النبذ المعتمد على التردد استجابة انتقائية التردد الوسيط (IF) وخصائص طيف الإرسال لمرسل الرادار. وفي حال عدم تقديم استجابة انتقائية التردد الوسيط في مستقبِل الرادار، ينبغي استخدام هبوط قدره 80 dB لكل تدرج عشاري من تردد حافة عرض النطاق 3 dB إلى عتبة انتقائية قدرها 70 dB هي القاع.

3.3 معايير الحماية

في الحالات العامة، تُعد الإشارة الصادرة عن خدمة أخرى تؤدي إلى نسبة *I/N* أقل من –6 dB مقبولة من قبل مستعملي أنظمة الرادار بالنسبة إلى الإشارات الصادرة عن خدمة أخرى ذات دورة تشغيل مرتفعة (مثل الموجة المستمرة (CW)، والإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة (BPSK) والإبراق المتعامد بزحزحة الطور (QPSK) وشبه الضوضاء، إلخ). وتؤدي نسبة *I/N* ذات القيمة – 6 dB إلى *(I+N)/N* ذات 1,26، أو تقريبا 1 dB إلى زيادة في قدرة ضوضاء مستقبِل الرادار. وفي بعض الحالات، قد لا تكون نسبة *I/N* ذات القيمة – 6 dB مناسبة، وقد يكون من الضروري إعداد المزيد من الدراسات أو قياسات التوافق لتقييم التداخل من حيث التأثير التشغيلي على أداء الرادار. وفي حالة أنظمة الرادارات العاملة في النطاق الترددي الذي توجد بشأنه توصية من قطاع الاتصالات الراديوية تتعلق بخصائص ومعايير حماية الرادارات، ينبغي الاطلاع على التوصية[1] ذات الصلة للحصول على إرشادات محددة فيما يتعلق بمعايير الحماية.

[1] تشمل بعض الأمثلة على التوصيات التي تحوي الخصائص التقنية ومعايير الحماية لنطاقات ترددية محددة: ITU-R M.1460 وITU-R M.1462 وITU-R M.1463 وITU-R M.1464 وITU-R M.1465 وITU-R M.1466.

ومن الصعب جداً حساب أثر التدخلات النبضية كمياً، إذ أنه يعتمد إلى حد كبير على تصميم أجهزة الاستقبال ووحدات المعالجة وأسلوب التشغيل. وبصفة خاصة، يؤثر كسب المعالجة التفاضلية بالنسبة إلى عودة الأهداف الصحيحة ذات النبضات المتزامنة ونبضات التداخل (التي تكون غير متزامنة في العادة) تأثيراً كبيراً على مستويات معينة من التداخل النبضي. ويمكن أن تصاب عدة أشكال مختلفة من انحطاط الأداء بإزالة الحساسية هذه. وسيمثل تقييم ذلك موضوعاً لتحليل التفاعلات بين أنماط محددة من الرادارات. وبصفة عامة، من المتوقع أن تساعد عدة سمات لرادارات التحديد الراديوي للموقع على كبت التداخل النبضي ذي دورة التشغيل المنخفضة، لا سيما من مصادر معزولة عددها قليل. وترد تقنيات كبت التداخل النبضي ذي دورة التشغيل المنخفضة في التوصية ITU-R M.1372 المعنونة "استخدام محطات رادارات خدمة التحديد الراديوي للموقع للطيف الراديوي على نحو فعال".

وفي حالة وجود عدة مصادر للتداخل، تظل معايير نسبة الحماية *I/N* الموصى بها على حالها (لأنها تعتمد على نمط مستقبل الرادار وخصائص معالجة للإشارات). وتعتمد السوية الكلية للتداخل التي تصل بالفعل إلى مستقبل الرادار (التي يتعين التحقق منها بمقارنتها مع معايير حماية *I/N* الموصى بها) على عدد مصادر التداخل وتوزيعها المكاني وبنية إشارتها، وتحتاج إلى أن تُقيم في إطار تحليل تجميعي لسيناريو معين. ويمكن أن يكون عامل التجميع كبيراً جداً في حالة بعض أنظمة الاتصالات عالية الكثافة. وفي حالة استقبال تداخل صادر عن العديد من اتجاهات السمت، ينبغي للتحليل التجميعي أن يراكم بصفة آنية المساهمات الصادرة عن جميع هذه الاتجاهات، التي يتم استقبالها عبر الحزمة الرئيسية و/أو الفصوص الجانبية لهوائي الرادار من أجل التوصل إلى معايير نسبة الحماية *I/N* الفعلية.

4 اختيار نموذج الانتشار

عند تحديد خسارة مسير الانتشار، ينبغي استخدام المناسب من نماذج الانتشار والاقتران الممكن غير المباشر مع مراعاة ارتفاعات الهوائي والتضاريس عند الاقتضاء. وفي الحالة العامة، ينبغي ألا يؤخذ في الاعتبار التدريج الذي تتيحه التضاريس أو عوائق من صنع الإنسان. وفي حالات تشارُك محددة حيث تتيسر بيانات دقيقة، يمكن إجراء تحليل تفصيلي للمسير وحساب الخسارة؛ أو عندما تتحدد تجريبياً الخسارة الفعلية للمسير بين الموقع المسبب للتداخل والرادار المتأثر على جميع الترددات التي تسترعي الاهتمام، يمكن قبول ذلك. وإذا تجاوزت ذروة القدرة المحسوبة لمصادر التداخل الإجمالية عند دخل مستقبل الرادار، I، العتبة التي يتردى عندها أداء المستقبِل، I_T، تُتخذ الخطوات الضرورية لضمان تلبية الحاجة إلى التوافق.

وفي حالة الرادارات المستخدمة لأغراض السلامة، مثل مراقبة الحركة الجوية، يجب أن يحتسب نموذج الانتشار لجميع الظواهر المفاقمة التي قد تتسبب، حتى لفترات قصيرة، في تجاوز الحد المقبول.

ونظراً لاحتياجاتها التشغيلية، تتطلب أنظمة الرادار المستخدمة لأغراض سلامة الأرواح، مثل مراقبة المطارات، الحماية من التداخل لفترات الأجل الطويل أو الأجل القصير. وحيثما يمكن أن تنشأ الإشارة المسببة للتداخل دون تحديد الموقع في منطقة ما لمدة قصيرة، يجب التزام جانب الحيطة بوجه خاص.