

ITU-R M.1730 التوصية

خصائص ومعايير حماية خدمة التحديد الراديوي للموقع

في نطاق الترددات 17,3-15,7 GHz

(المسألة 226/8 ITU-R)

(2005)

مجال التطبيق

توفر هذه التوصية الخصائص التقنية ومعايير الحماية لأنظمة التحديد الراديوي للموقع العاملة في النطاق 17 300-15 700 MHz الموزع على أساس أولي لخدمة التحديد الراديوي للموقع. وقد تم إعداد هذه التوصية كوثيقة مرجعية هدفها دعم دراسات التقاسم بالاقتران مع التوصية ITU-R M.1641، التي تتناول إجراءات التحليل لتحديد التوافق بين الرادارات العاملة في خدمة التحديد الراديوي للموقع وفي خدمات أخرى.

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن خصائص الهوائي وانتشار الإشارة وكشف الأهداف وعرض النطاق العريض اللازم للرادار من أجل تحقيق وظائفها هي خصائص مثل في بعض نطاقات التردد؛

ب) أن الخصائص التقنية للرادارات العاملة في خدمة التحديد الراديوي للموقع تحدّد وفقاً لمهام النظام وتختلف اختلافاً كبيراً حتى داخل النطاق الواحد؛

ج) أن قطاع الاتصالات الراديوية (ITU-R) يبحث إمكان إدخال أنماط جديدة من الأنظمة أو التطبيقات في النطاقات بين 420 MHz و 34 GHz التي تستخدمها الرادارات في خدمة التحديد الراديوي للموقع؛

د) أن الخصائص التقنية والتشغيلية التمثيلية للرادارات العاملة في خدمة التحديد الراديوي للموقع ضرورية لتحديد جدوى إدخال أنماط جديدة من الأنظمة في نطاقات التردد الموزعة على خدمة التحديد الراديوي للموقع؛

هـ) أن الإجراءات والمنهجيات المتعلقة بتحليل الملاءمة بين الرادارات العاملة في خدمة التحديد الراديوي للموقع والأنظمة القائمة في خدمات أخرى ترد في التوصية ITU-R M.1461؛

و) أن نطاق التردد 17,3-15,7 GHz موزع على خدمة التحديد الراديوي للموقع على أساس أولي،

وإذ تدرك

أ) أن معايير الحماية المطلوبة تتوقف على أنماط محددة من الإشارات المسببة للتداخل؛

ب) أن تطبيق معايير الحماية قد يتطلب النظر في إدراج الطبيعة الإحصائية للمعايير والعناصر الأخرى لمنهجية إجراء دراسات الملاءمة (مثل مسح الهوائي بما في ذلك حركة المرسل وخسارة الانتشار). ويمكن إدراج الاستدلالات الإحصائية التي يجري تطويرها في عمليات التنقيح المقبلة لهذه التوصية وللتوصيات الأخرى ذات الصلة، عند الاقتضاء،

توصي

1 باعتبار الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات خدمة التحديد الراديوي للموقع التي يرد وصفها في الملحق 1 خصائص تمثيلية للرادارات العاملة في نطاق التردد 17,3-15,7 GHz؛

2 باستخدام هذه التوصية مع التوصية ITU-R M.1461 كمبدأ توجيهي عند تحليل المواءمة بين رادارات التحديد الراديوي للموقع والأنظمة المستخدمة في الخدمات الأخرى؛

3 باستعمال معيار قدرة الإشارة المسببة للتداخل بالنسبة إلى سوية قدرة ضوضاء مستقبل الرادار المحددة في التوصية ITU-R M.1461، الذي يبلغ -6 dB I/N ratio، باعتباره سوية الحماية المطلوبة وأن هذه الأخيرة تمثل سوية الحماية الصافية إذا كان ثمة وجود لعدة إشارات مسببة للتداخل.

ملاحظة 1: ينبغي مراجعة هذه التوصية متى تيسرت معلومات أكثر تفصيلاً.

الملحق 1

خصائص ومعايير حماية الرادارات العاملة في خدمة التحديد الراديوي للموقع في نطاق التردد 15,7-17,3 GHz

1 مقدمة

ترد خصائص رادارات التحديد الراديوي للموقع العاملة على الصعيد العالمي في نطاق التردد 15,7-17,3 GHz في الجدول 1 ويرد ذكرها بشيء من التفصيل في الفقرات التالية.

2 الخصائص التقنية

تستعمل أنماط عديدة من الرادارات المختلفة بما في ذلك الرادارات المقامة على الأرض والمنقولة والمحمولة على متن السفن أو المحمولة جواً في نطاق 15,7-17,3 GHz. وتشمل وظائف التحديد الراديوي للموقع التي تؤدي في هذا النطاق إجراء البحوث بمعدات محمولة جواً أو بحوث سطحية ورسم خرائط للأرض وتتبع التضاريس الأرضية والتحديد الراديوي للموقع في البحر والتعرف على الأهداف. ويُفترض في ترددات تشغيل الرادارات أن تكون منتشرة على نحو متجانس على كامل مدى توليف كل رادار. ويحتوي الجدول 1 على الخصائص التقنية لرادارات التحديد الراديوي للموقع الممثلة المستعملة في النطاق 15,7-17,3 GHz.

وتستعمل الرادارات الرئيسية للتحديد الراديوي للموقع العاملة في هذا النطاق أولاً للكشف عن الأشياء المحمولة جواً، بينما يستعمل البعض الآخر منها في رسم خرائط للأرض. وهي ضرورية لقياس ارتفاع الهدف ومداه وسطح الارتكاز، وتكوين خرائط التضاريس الأرضية. وبعض الأهداف المحمولة جواً أو المقامة على الأرض صغيرة، ويوجد البعض منها على مسافة 300 ميل بحري (556 km)، ولذلك ينبغي أن تتسم هذه الرادارات للتحديد الراديوي للموقع بحساسية كبيرة وأن تتيح درجة عالية من القدرة على إخماد جميع أشكال عودة الجلبة، بما في ذلك المتأتية من البحر أو من الأرض أو بسبب هطول الأمطار.

الجدول 1

خصائص رادارات التحديد الراديوي للموقع في النطاق 17,3-15,7 GHz

النظام 5	النظام 4	النظام 3	النظام 2	النظام 1	الخصائص
مراقبة الأرض والتتبع	مراقبة	مراقبة جوية، المساعدة على الهبوط، تتبع أثناء البحث	رادار بحث وتتبع ورسم خرائط للأرض (متعدد الوظائف)	رادار بحث وتتبع ورسم خرائط للأرض (متعدد الوظائف)	الوظيفة
مقام على الأرض قدرة عالية	مقام على الأرض قدرة منخفضة	محمول على متن سفينة قدرة عالية	محمول جوا، قدرة عالية	محمول جوا، قدرة منخفضة	نمط المنصة
16,2-15,7	16,5-16,21	17,3-15,7	17,21-16,29	17,3-16,2	مدى التوليف (GHz)
قفزات التردد	سقسقة FM (chirp) خطية	قفزات التردد	نبضة FM خطية	خطي متغير FM	التشكيل
k 10	2	k 20	700	80	قدرة الذروة للإرسال (W)
36	5,5	0,1	443-120	49؛ 18,2	عرض النبضة (µs)
8	10	7/70	4	20	وقت ارتفاع النبضة وانخفاضها (ns)
20 000	7 102	21 600؛ 4 000	1 600-900	2 041؛ 5 495	معدل تكرار النبضات (pps)
0,00072	0,039	0,00216	غير محدد	0,1	أقصى دورة تشغيل
صمام الموجة المرشحة	ترانزستور	صمام الموجة المرشحة	صمام الموجة المرشحة	صمام الموجة المرشحة	أداة الخرج
حزمة	حزمة	حزمة	مروحة	مروحة/حزمة	نمط مخطط الهوائي
عاكس مزدوج الانحناء مع بوق تغذية	كفاف إهليجي ومكافئ	صفيح مطاورة مستوية	صفيح مطاورة	دليل موجات ذات فتحات	نمط الهوائي
دائري	أفقي	دائري ميامن	عمودي خطي	عمودي خطي	استقطاب الهوائي
43	37,0	43,0	38,0	25,6	كسب الهوائي (dBi)
1,6	1,1	1	2,5	9,7	عرض حزمة الهوائي (درجات)
,25	3,5	1	2,2	6,2	عرض حزمة الهوائي في اتجاه السمات (درجات)
60 rpm، 360 درجة/ثانية	7,8 أو 15,6 درجة/ثانية	1 500 مسح/دقيقة	5 درجات/ثانية	30 درجة/ثانية	معدل المسح الأفقي للهوائي

الجدول 1 (تتمة)

النظام 5	النظام 4	النظام 3	النظام 2	النظام 1	الخصائص
°360 (مستمر)	°180 (ميكانيكي)	°40± (ميكانيكي)	°30± (الكثروني، مخروطي)	°45± إلى °145± (ميكانيكي)	نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، الخ)
لا ينطبق	لا ينطبق	1 500 مسح/دقيقة	5 درجات في الثانية	30 درجة في الثانية	معدل المسح العمودي للهوائي
لا ينطبق	°33,75- / °22,5+ (ميكانيكي)	°10- / °30+ (ميكانيكي)	°0 إلى °90 (الكثروني، مخروطي)	°10- إلى °50- (ميكانيكي)	نمط المسح العمودي للهوائي
°1,6 عند dBi 23	°2,4 عند dBi 15	°1,6 عند dBi 20	°1,7 عند dBi 18	°31 عند dBi 10	سوية الفص الجانبي الأول للهوائي
m 100	سوية الأرض	السارية/سطح السفينة	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الهوائي
50	0,750/500	40/70	26,7 (نطاق عريض)؛ 7,2 (نطاق ضيق)	68/215	عرض نطاقات المستقبل IF -3dB الأول والثاني (MHz)
(290/860)+ 1 K حرارة ضوضاء المستقبل = 860 K حرارة ضوضاء الأرض = 290 3,97	4	غير محدد	2,7	4	عامل ضوضاء المستقبل (dB)
92-	100,4-	80-	97,4-	89-	الإشارة الدنيا قابلة للتمييز (dBm)
غير محدد	0,750	30	غير محدد	640≥	عرض نطاق السقسقة (chirp) (MHz)
540 670	0,608 2,35	37 ؛ 6,8 42 ؛ 20	180 ؛ 600 ؛ 1 200 200 ؛ 620 ؛ 1 220	271 ؛ 622 324 ؛ 725	عرض نطاق الإرسال RF للمرسل :(MHz): dB 3- dB 20-

وإلى حد كبير يرجع نزوع رادارات التحديد الراديوي للموقع التي تستعمل هذا النطاق إلى الاتصاف بالخصائص العامة التالية إلى:

- تنحو نحو امتلاك قدرة ذروة وقدرة متوسطة عالية للمرسل، مع بعض الاستثناءات الملحوظة؛
 - تستعمل، في العادة، مرسلات مضخمي القدرة بواسطة مذبذب رئيسي بدلاً من مذبذب القدرة. وهي عادة ما تكون قابلة للتوليف ويكون البعض الآخر منها سريع التردد، ويستخدم البعض منها تشكيل FM خطي (سقسقة) أو تشكيل بين النبضات مشفر الطور؛
 - يملك بعضها حزمياً رئيسية للهوائي قابلة للتوجيه في السمات والارتفاع على السواء باستعمال التوجيه الإلكتروني للحزم؛
 - تستخدم عادة مقدرات على الاستقبال والمعالجة متعددة الاستعمالات مثل هوائيات استقبال طمس الفصوص الجانبية الفرعية، ومعالجة قطارات نبضات الموجات الحاملة المتسقة لمنع عودة الجلبة بواسطة تقنيات دلالة-الهدف-المتحرك وتقنيات معدل الإنذارات الخاطئة الثابتة، وفي بعض الحالات، الانتقاء التكييفي للترددات العاملة بالاستناد إلى استشعار التداخل في مختلف الترددات.
- يحتوي الجدول 1 على الخصائص التقنية للأنظمة التمثيلية المستعملة في هذه النطاقات. وتكفي هذه المعلومات لإجراء حساب عام لتقييم الملاءمة بين هذه الرادارات والأنظمة الأخرى. وتمتلك بعض رادارات التحديد الراديوي للموقع أو جميعها التي يرد ذكر خصائصها في الجدول 1 الخاصيات أعلاه، وإن كانت لا تبين كافة الصفات التي يمكن أن تظهر في الأنظمة المستقبلية.

1.2 المرسلات

تستعمل الرادارات العاملة في النطاق GHz 17,3-15,7 مجموعة متنوعة من التشكيلات بما فيها النبضات غير المشكولة والنبضات بتشكيل التردد (chirped) والنبضات بتشفير الطور. وتستعمل أدوات خرج الحزمة الخطية والحالة الصلبة في المراحل النهائية للمرسلات. ويتمثل الاتجاه الشائع في أنظمة الرادارات الجديدة في أدوات خرج الحزمة الخطية والحالة الصلبة بسبب متطلبات معالجة إشارة "دوبلر". وعلاوة على ذلك، تمتلك الرادارات التي تستعمل أدوات خرج الحالة الصلبة قدرة خرج منخفضة لذروة المرسل ودورات تشغيل ذات نبضات عالية.

ويتراوح عرض النطاقات النمطية للإرسال RF للمرسل (3 dB) للرادارات العاملة في النطاق GHz 17,3-15,7 بين 60 kHz و 1200 MHz. ويتراوح مدى قدرات ذروة الخرج للمرسل بين 2 W (33,01 dBm) بالنسبة لمرسلات الحالة الصلبة و 20 kW (73,01 dBm) بالنسبة للرادارات عالية القدرة المستعملة لأدوات المجال المتقاطع (الصمامات المفرغة) وأدوات الحزمة الخطية (أنبوبة موجات متنقلة).

1.1.2 قفزات التردد

قفزات التردد هي واحدة من أكثر إجراءات عكس العكس الإلكترونية (ECCMs). وتستخدم أنظمة الرادار المصممة بغرض العمل في بيئات إلكترونية معادية قفزات التردد كواحدة من تقنيات ECCM الخاصة بها. ويقسم هذا النمط من الرادارات نطاق الترددات الموزع عليه إلى قنوات، ثم ينتقي الرادار بصفة عشوائية قناة من بين جميع القنوات المتيسرة للإرسال. ويمكن أن يحدث هذا الشغل العشوائي لإحدى القنوات على أساس موقع كل حزمة حيث ترسل العديد من النبضات على نفس القناة أو على أساس نبضي. وينبغي مراعاة هذا البعد الهام لأنظمة الرادار مع أخذ التأثيرات المحتملة لرادارات قفزات التردد في الاعتبار في دراسات التقاسم.

2.2 أجهزة الاستقبال

تستعمل أنظمة الرادار من الجيل الأخير معالجة الإشارة الرقمية بعد عمليات كشف المدى والسمت ومعالجة دوبلر. وبصفة عامة، تشمل معالجة الإشارة تقنيات تستعمل لتحسين كشف الأهداف المنشودة وإنتاج هذه الأهداف على الشاشة في شكل رموز. وتوفر تقنيات معالجة الإشارات المستخدمة لتعزيز الأهداف المنشودة والتعرف عليها قدرًا من كبت تداخل النبض ذي دورة التشغيل المنخفضة (أقل من 5%) غير المتزامن مع الإشارة المنشودة.

وتستخدم معالجة الإشارة للرادارات من الجيل الأخير نبضات زلزلية أو مشفرة في أطوار لإنتاج كسب معالجة بالنسبة إلى الإشارة المنشودة وقد توفر أيضاً كبتاً للإشارات غير المرغوب فيها.

ويستخدم بعض رادارات الجيل الأخير ضعيفة القدرة أو رادارات الحالة الصلبة معالجة إشارات القنوات المتعددة ذات دورة تشغيل عالية (10%) لتحسين عودة الإشارات المنشودة. وتتوافر لبعض أجهزة استقبال الرادار المقطرة على التعرف على قنوات RF التي لها سويات منخفضة للإشارات غير المرغوب فيها وتأمّر المرسل بالإرسال على هذه القنوات RF.

3.2 الهوائيات

تستعمل الرادارات العاملة في النطاق GHz 17,3-15,7 أنماطاً مختلفة من الهوائيات. وبصفة عامة، تستعمل الهوائيات في هذا النطاق مجموعة متنوعة من القدود ولذلك فهي تم التطبيقات التي يتسم فيها التنقل والوزن الخفيف وأداء المدى الطويل بالأهمية. وتعمل عدة رادارات في النطاق GHz 17,3-15,7 وفقاً لمجموعة متنوعة من الأساليب، بما في ذلك أساليب البحث ورسم الخرائط والملاحة (الرصد الجوي). وتقوم هذه الرادارات في العادة بعمليات مسح على مستوى 360 درجة في المستوي الأفقي. بينما تُعد بعض الرادارات الأخرى في النطاق أكثر تخصصاً وتحصر المسح عند قطاع ثابت. وتستخدم غالبية الرادارات في النطاق GHz 17,3-15,7 مسحاً ميكانيكياً، إلا أن رادارات الجيل الأخير تستعمل صفيح هوائيات ممسوحة إلكترونياً (هوائيات إلكترونية). وتُستعمل الاستقطابات الأفقية والعمودية والدائرية. وتتراوح الارتفاعات النمطية للهوائيات المقامة على الأرض أو المحمولة على ظهر السفن بين 8 m و 100 m فوق سوية السطح، على التوالي.

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 بزحزحة الطور رباعي الحالة (QPSK) وشبه الضوضاء، إلخ). وتؤدي نسبة I/N ذات القيمة 6 dB إلى $(I+N)/N$ ذات 1,26، أو تقريباً 1 dB إلى زيادة في قدرة ضوضاء مستقبل الرادار. وقد يكون من الضروري إعداد المزيد من الدراسات أو قياسات الملاءمة لتقييم التداخل من حيث التأثير التشغيلي على أداء أنظمة الرادار. وتجدر الإشارة إلى أنه يجري حالياً إعداد دراسات عن جدوى استعمال الجوانب الإحصائية والتشغيلية فيما يتعلق بمعايير حماية أنظمة رادار خدمة التحديد الراديوي للموقع. ويمكن أن يكون هذا النهج الإحصائي ذا أهمية خاصة في حالة الإشارات غير المستمرة. وفي حالة أنظمة الرادارات العاملة في النطاق الذي توجد بشأنه توصية ITU-R تتعلق بخصوصيات ومعايير حماية الرادارات، ينبغي الاطلاع على التوصية ذات الصلة للحصول على إرشادات محددة فيما يتعلق بمعايير الحماية.

ومن الصعب جداً حساب أثر التدخلات النبضية كميًا، 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 سويات معينة من التداخل النبضي. ويمكن أن تصاب عدة أشكال مختلفة من الخطأ 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 اللطيف 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 مقارنتها مع معايير حماية I/N الموصى بها) على عدد مصادر التداخل وتوزيعها الفضائي وبنية إشارتها، وتحتاج إلى أن تُقيم في إطار تحليل تجميعي لسيناريو معين. وفي حالة استقبال تداخل صادر عن العديد من اتجاهات السمات، ينبغي للتحليل التجميعي أن يراكم بصفة آنية المساهمات الصادرة عن جميع هذه الاتجاهات، التي يتم استقبالها عبر الحزمة الرئيسية أو الفصوص الجانبية لهوائي الرادار من أجل تقييم فرص الملاءمة.

4 أنظمة التحديد الراديوي للموقع المستقبلية

بصفة عامة، من المرجح أن تكون رادارات التحديد الراديوي للموقع التي قد تصمم في المستقبل لتعمل في النطاق GHz 17,3-15,7 شبيهة بالرادارات القائمة الموصوفة هنا.

ومن المرجح أن يكون لرادارات التحديد الراديوي للموقع في المستقبل على الأقل نفس القدر من مرونة الرادارات التي سبق ذكرها، بما في ذلك إمكانية العمل على نحو مختلف في قطاعات مختلفة من السمات والارتفاع.

ومن المعقول أن نتوقع أن بعض التصميم في المستقبل قد تسعى إلى توفير قدرة على العمل في نطاق عريض يمتد على الأقل إلى حدود النطاقات المستعملة في هذا الصدد.

ومن المرجح أن يكون لرادارات التحديد الراديوي للموقع في المستقبل هوائيات قابلة للتوجيه إلكترونياً. إلا أن التكنولوجيا الحالية تجعل من توجيه الطور بديلاً عملياً وجذاباً عن توجيه التردد، وقد استخدمت عدة رادارات للتحديد الراديوي للموقع أعدت في السنوات الأخيرة لاستعمالها في نطاقات أخرى أسلوب توجيه الطور في كل من السمات والارتفاع. وعلى خلاف الرادارات الموجهة بواسطة الترددات، يمكن لرادارات صيف هوائيات المطاوعة الجديدة أن توجه أي تردد أساسي في نطاق تشغيل الرادار إلى أي سمت وارتفاع اعتباريين في منطقة تغطية الزاوية. ومن بين الفوائد الأخرى هو أن ذلك يمكن أن يسهل الملاءمة الكهرمغناطيسية في كثير من الأحيان.

ويتوقع أن تحوز رادارات التحديد الراديوي للموقع في المستقبل على إمكانيات قدرة متوسطة تكون على الأقل في مثل ارتفاع قدرة الرادارات المذكورة في الفقرات السابقة. إلا أنه من المعقول توقع أن يسعى مصمم الرادارات في المستقبل إلى خفض إرسال الضوضاء عريضة النطاق إلى ما دون إرسال الرادارات الحالية التي تستخدم الصمامات المفرغة أو مضخمات المجال المتقاطع. ويتوقع تحقيق هذا الخفض للضوضاء باستعمال أنظمة مراسلات الحالة الصلبة/الهوائيات. وفي هذه الحالة، قد تكون النبضات المرسله أطول ويكون إرسال دورات التشغيل أعلى بصفة ملحوظة من معظم مراسلات الرادارات الأنبوبية النمط في الماضي.