التوصيـــة ITU-R 1465-1

خصائص ومعايير حماية الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي في نطاق الترددات 100 3-3700 MHz

(المسألتان ITU-R 216/8 وITU-R 226/8)

(2007-2000)

مجال التطبيق

تعرض هذه التوصية الخصائص التقنية والتشغيلية ومعايير الحماية للرادارات المقامة على سطح الأرض و/أو ظهر سفن و/أو المحمولة جواً والعاملة في النطاق 100 3-3700 MHz. كما تضم الخصائص الأساسية للمرسلات والمستقبلات والهوائيات إلى جانب معلومات عن نشر هذه الرادارات.

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن خصائص هوائيات الرادار وانتشار الإشارة وكشف الأهداف وعرض النطاق الكبير اللازم التي تتيح للرادارات القيام بوظائفها هي الأمثل في بعض نطاقات الترددات؛

ب) أن الخصائص التقنية للرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي تحددها أهداف النظام وتتغير تغيراً كبيراً حتى داخل النطاق الواحد؛

ج) أن خدمة الملاحة الراديوية هي خدمة في مجال السلامة بالمعنى الذي ينص عليه الرقم 10.4 من لوائح الراديو وأنه لا يجوز التسامح بأي تداخل ضار فيها؛

د) أن جزءاً هاماً من الطيف الموزع لخدمتي التحديد الراديوي للموقع والملاحة الراديوية (ويصل إلى 1 GHz تقريباً) سُحب من هاتين الخدمتين أو تدنّى وضعه منذ المؤتمر الإداري العالمي للراديو لعام 1979 (WARC-79)؛

هـ) أن بعض لجان الدراسات في قطاع الاتصالات الراديوية تبحث إمكانية إدخال أنماط جديدة من الأنظمة (مثل أنظمة النفاذ اللاسلكي الثابت أو الأنظمة الثابتة أو المتنقلة عالية الكثافة) أو الخدمات في النطاقات الواقعة بين 420 MHz و34 GHz التي تستعملها رادارات خدمة الاستدلال الراديوي؛

و) أن الخصائص التقنية والتشغيلية المميزة للأنظمة العاملة في النطاقات الموزعة على خدمة الاستدلال الراديوي ضرورية لتحديد إمكانية إدخال أنماط جديدة من الأنظمة؛

ز) أن هناك حاجة لاعتماد الإجراءات والمنهجيات من أجل دراسة مواءمة الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي مع أنظمة الخدمات الأخرى؛

ح) أن نطاق الترددات 100 3-400 3 MHz موزع على خدمة التحديد الراديوي للموقع على أساس أولي في الأقاليم الثلاثة؛

ط) أن نطاق الترددات 400 3-600 3 MHz موزع على خدمة التحديد الراديوي للموقع على أساس ثانوي في الإقليم 1؛

ي) أن نطاق الترددات 400 3-600 3 MHz موزع على خدمة التحديد الراديوي للموقع على أساس أولي في الإقليمين 2 و3؛

ك) أن الرقم 433.5 من لوائح الراديو ينص على توزيع على أساس أولي على خدمة التحديد الراديوي للموقع في نطاق الترددات 400 3-600 3 MHz،

وإذ تعترف

أ) بأن الرقم 433.5 من لوائح الراديو ينص على أن خدمة التحديد الراديوي للموقع في الإقليمين 2 و3 وفي النطاق 400 3-600 3 MHz، موزعة على أساس أولي. لكن يرجى من الإدارات التي تشغل أنظمة تحديد راديوي في هذا النطاق أن تنهي هذا التشغيل قبل 1985. وستتخذ الإدارات بعد ذلك جميع التدابير الممكنة عملياً من أجل حماية الخدمة الثابتة الساتلية وعدم فرض متطلبات التنسيق على هذه الخدمة،

توصـــي

1 أن تعتبر الخصائص التقنية والتشغيلية لأنظمة التحديد الراديوي للموقع الواردة في الملحق 1 بهذه التوصية مميزة للأنظمة العاملة في نطاق الترددات 100 3-700 3 MHz؛

2 أن تستعمل التوصية ITU-R M.1461 بمثابة خطوط توجيهية لدراسة مواءمة الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي مع أنظمة الخدمات الأخرى؛

3 أن تستعمل نسبة قدرة الإشارة المسببة للتداخل إلى سوية قدرة الضوضاء التي يسببها مستقبل الرادار، *I/N* البالغة −6 dB، كسوية حماية تتطلبها أنظمة التحديد الراديوي للموقع وكسوية حماية صافية عند تواجد عدة مصادر مسببة للتداخل.

الملحق 1

الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات التحديد الراديوي للموقع العاملة في نطاق الترددات 100 3-700 3 MHz

1 مقدمة

يعرض الجدول 1 خصائص رادارات التحديد الراديوي للموقع العاملة في نطاق الترددات 100 3-700 3 MHz. وتتناول الفقرات التالية معالجتها بدقة.

الجدول 1

خصائص أنظمة التحديد الراديوي للموقع العاملة في النطاق 100 3-700 3 MHz

المعلمة	أنظمة مقامة على الأرض		أنظمة على ظهر سفينة		أنظمة محمولة جواً
	أ	ب	أ	ب	أ
الاستعمال	بحث على سطح الأرض وفي الجو	بحث على سطح الأرض	بحث سطح الأرض/جو		بحيث سطح الأرض/جو
التشكيل	Q3N/P0N	P0N	P0N	Q7N	Q7N
مدى التوليف (GHz)	3,7-3,1		3,7-3,5	3,5-3,1	3,7-3,1
قدرة المرسل في الهوائي (kW) (الذروة)	640	1 000	850	4 000	1 000
عرض النبضة (µs)	1 000-160	15-1,0	0,6 ،0,25	51,2-6,4	1,25[1]
معدل تكرار النبضات (kHz)	2-0,020	0,536	1,125	6,0-0,152	2
نسبة الانضغاط	48 000	لا يوجد	لا يوجد	512-64	250
نمط الانضغاط	غير متوفر	لا يوجد	لا يوجد	CPFSK	غير متوفر
دورة التشغيل (%)	32-2	0,8-0,005	0,67 ،0,28	2,0-0,8	5
عرض نطاق المرسل MHz (–3 dB)	300/25	2	16,6 ،4	4	30 <
كسب الهوائي	39	40	32	42	40
نمط الهوائي	مكافئ		مكافئ	PA	SWA
فتحة حزمة الهوائي (V، H) (بالدرجات)	1,72	2,2 ،1,05	csc^2 ،4,4 ،1,75 إلى 30	1,7 ،1,7	6,0 ،1,2
نمط المسح الرأسي	غير متوفر	لا يوجد	لا يوجد	عشوائي	غير متوفر
أقصى مسح رأسي (بالدرجات)	93,5	لا يوجد	لا يوجد	90	60 ±
سرعة المسح الرأسي (درجة/ثا)	15	لا يوجد	لا يوجد		غير متوفر
نمط المسح الأفقي	لا يوجد	دوَّار	دوَّار	عشوائي	دوَّار
أقصى مسح أفقي (بالدرجات)	360		360		360
سرعة المسح الأفقي (درجة/ثا)	15	25,7	24	لا يوجد	36
الاستقطاب	دائري ميامن	رأسي	أفقي	رأسي	غير متوفر
حساسية المرسل (dBm)	غير متوفر	112–	112–	غير متوفر	غير متوفر
معيار *S/N* (dB)	لا يوجد	0	14	غير متوفر	غير متوفر
عامل ضوضاء المستقبل (dB)	3,1	4,0	4,8	5,0	3
عرض النطاق RF للمستقبل (MHz) (–3dB)	غير متوفر	2.0	غير متوفر		غير متوفر
عرض النطاق IF للمستقبل (MHz) (–3dB)	380	0,67	8	10	1
منطقة الخدمة	العالم أجمع	العالم أجمع	العالم أجمع	العالم أجمع	العالم أجمع

(1) الانضغاط على 100 ns.

CPFSK: تشكيل FSK بانضغاط مستمر

PA: صفيف هوائيات مطاور

SWA: صفيف موجات دليلة بشقوق

2 الخصائص التقنية

يستعمل النطاق 100 3-700 3 MHz من قبل الرادارات المزودة بتجهيزات مقامة على الأرض وعلى ظهر السفن وعلى متن الطائرات. وتُستعمل الرادارات المتنقلة على متن السفن والطائرات بشكل خاص بينما تُستعمل الأنظمة الثابتة على الأرض في المناطيد المقيدة المخصصة للمراقبة فوق مناطق برية أو ساحلية في ميادين الاختبار. وتشتمل وظائفها على البحث عن أغراض محمولة جواً على ارتفاع منخفض أو عال، والمراقبة في البحار وتتبع الأجسام المحمولة جواً وتطبيق المعدات على ميادين الاختبار متعددة الأغراض. ويستخدم التشكيل النبضات غير المشكَّلة وتشكيل النبضات بالتشكيل الزاوي. وتتراوح قدرة الذروة النمطية للمرسل بين 500 kW و4 MW. وتستعمل دوارات تشغيل ضعيفة لوظائف الرادار في البحث مع قيم نمطية أقل من 1%. ويتراوح عادة عامل ضوضاء المستقبل بين 3,1 dB و16 dB. ويقدم الجدول 1 الخصائص المميزة لأنظمة الرادار المقامة على الأرض وعلى ظهر السفن والمحمولة جواً العاملة في النطاق 100 3-700 3 MHz.

1.2 الرادارات المقامة على الأرض

1.1.2 عمليات الرادارات المقامة على الأرض

تستعمل عادة الرادارات المقامة على الأرض والعاملة في النطاق 100 3-700 3 MHz لأغراض عمليات الاختبار داخل وخارج ميادين الاختبار. وعدد من هذه الرادارات رادارات متنقلة أي أنها غالباً ما توضع في عربات لنقلها من أجل توفير وظائف بحث وتتبع لعربات محمولة جواً طوال مسارات الطيران الموسعة. أما الرادارات الأخرى التي تقوم أيضاً بوظائف البحث والتتبع فهي مركبة في نقاط ثابتة في ميادين الاختبار.

ويتيح النظام (ب) المقام على الأرض في الجدول 1 الذي يصل منطاده المقيد إلى ارتفاع 4600 m، توفير مراقبة موسعة لميدان اختبار يصل إلى 275 km. ويعمل النظام (أ) المقام على الأرض الوارد في نفس الجدول في النهار بشكل أساسي وعندما تتوفر شروط طيران مؤاتية وأحياناً في الليل بينما تعمل رادارات المناطيد المقيدة على الدوام.

2.1.2 المرسلات

يمكن ضبط المرسلات كما يمكن تشغيلها في أي مكان داخل النطاق 100 3-700 3 MHz. ويستعمل تشكيل النبضات غير المشكلة وتشكيل النبضات بتشكيل زاوي وحيد القناة، ومتعدد القنوات.

3.1.2 المستقبلات

هناك عدد كبير من مستقبلات الرادارات الموجودة في ميادين الاختبار مجهزة بدارات بوابية خاصة تستعمل لأغراض ترابط المعطيات الفيديوية وتغذية المعطيات في الشاشات المختلفة ومطاريف المشغل أو أجهزة التسجيل. ويعاد إرسال المعطيات الفيديوية التي يستقبلها رادار المنطاد المقيد عن طريق الأنظمة الراديوية (الخدمة الثابتة) والسلكية إلى تجهيزات المشغلين على الأرض.

4.1.2 الهوائيات

تصمم الهوائيات من أجل استعمال محدد في ميدان الاختبار ولكنها تعمل بكسب حزمة رئيسية يصل إلى 40 dBi ويتم توجيهها إلكترونياً وهي موجهة عادة نحو السماء في اتجاهات عشوائية، مما يزيد إمكانيات إضاءة الأجسام الفضائية واستقبال الطاقة الصادرة عن هذه الأجسام. وتوجه رادارات المنطاد المقيد هوائياتها باتجاه الأفق وفوقه بعدة درجات.

2.2 رادارات على ظهر السفن

1.2.2 العمليات على ظهر السفن

يصف الجدول 1 نمطين مختلفين لرادارات السفن هما النظامان (أ) و(ب) للسفن ويعملان في النطاق GHz 3,7-3,1. ويستعمل النظام (أ) كنظام أولي للتحكم في الحركة الجوية لأغراض حاملات الطائرات (Carrier air traffic control CATC). والنظام (ب) رادار متعدد الوظائف يستعمل على ظهر سفن الحراسة. وتعمل هذه الرادارات على شواطئ البحار وفي خضمها عادة على مدار 24 ساعة في اليوم؛ ومن غير المستغرب أن تعمل عشر سفن منها بنفس الوقت عندما تقوم بحراسة سفن أخرى. وإضافة إلى أنظمة السفن هناك أنظمة ثابتة على الأرض تستعمل لأغراض التدريب والاختبار. كما أن بعض عمليات الاختبار والصيانة العادية تتطلب استعمالاً طارئاً لهذه الرادارات في منطقة الموانئ وغالباً ترافق السفينة المجهزة بالنظام (أ) دائماً سفينة واحدة على الأقل مزودة بالنظام (ب).

2.2.2 المرسلات

يبث النظام (أ) في النطاق MHz 3 700-3 500 بقدرة ذروة قدرها kW 1 000. ويبث النظام (ب) في النطاق MHz 3 500-3 100 بقدرة ذروة قدرها MW 6,4 ويستعمل تشكيل الطور مع قفزات التردد. والإرسالات ذات تردد خفيف الحركة في عشرة نطاقات طول كل منها MHz 40 مرقمة من 1 إلى 10. وتتابع عروض النبضات المتغيرة عشوائي.

3.2.2 المستقبلات

يرد وصف مستقبلات النظام (أ) في الجدول 1. ولهذه المستقبلات وظائف عادية كأنظمة التحكم بالحركة الجوية من أجل تخفيف جلبة الرادار والأهداف غير المطلوبة والدلالة على الهدف المتحرك وانتقاء المسافة القصيرة/الطويلة وتغذية كاشف التذبذب بشاشة رادار بانورامية بمعطيات فيديوية؛ ومدى توليف المستقبلات هو نفس مدى توليف المرسلات. وتعمل مستقبلات النظام (ب) في النطاق MHz 3 500-3 100. ولا تتوفر خصائص هذه المستقبلات ولكن يفترض أنها مستقبلات حديثة ذات كسب معالجة عال جداً يمكنها من كشف أجسام متعددة ومتنوعة على مسافات بعيدة بالرغم من جلبة الرادار القوية والأحوال الجوية غير المؤاتية.

4.2.2 الهوائيات

يستعمل النظام (أ) هوائياً بعاكس دوَّار ميكانيكي تبلغ فتحة حزمته 1,75° في السمت وتنحصر زاوية ارتفاع حزمته المروحية بين 4,4° و30° مع كسب في الفص الرئيسي قدره dBi 32. ويبلغ ارتفاع الهوائي الاسمي m 46 فوق السوية المتوسطة لسطح البحر. ويستعمل النظام (ب) أربعة هوائيات بمسح وتسديد إلكترونيين موفرة بذلك تغطية تبلغ 360° درجة مع كسب في الفص الرئيسي قدره dBi 42. ويبلغ الارتفاع الاسمي لهوائي الرادار (ب) m 20 فوق متوسط سوية سطح البحر.

3.2 الرادارات المحمولة جواً

تستفيد الرادارات المحمولة جواً العاملة في هذا النطاق من خصائص الطيف على طول الموجة هذا من أجل القيام بعمليات مراقبة الأهداف وتتبعها وعمليات تحكم بالحركة الجوية من مسافات بعيدة. ويقدم الجدول 1 وصفاً للخصائص الطيفية للرادارات المحمولة جواً النمطية العاملة في هذا النطاق. وهذه الرادارات الموضوعة على متن طائرات المراقبة التابعة لعدد من الإدارات متعددة الوظائف وذات مسح إلكتروني ومزودة بهوائي كبير بصفيف ذي شقوق لتوجيه الموجات مثبت في أعلى الطائرة. ويوفر هذا الهوائي كسباً في الفص الرئيسي قدره dBi 40 وكسباً في الفص الجانبي قدره −10 dBi. وتتمكن الطائرة الناقلة لهذه الرادارات من القيام بعمليات في جميع أرجاء العالم. وتتمتع الرادارات المحمولة جواً إضافة إلى وظيفتي المراقبة الجوية والتحكم بالحركة الجوية، بوظيفة المراقبة البحرية. وهي تعمل عادة على ارتفاع m 9 000 خلال مدة تصل إلى 12 ساعة حسب استعداد الطاقم. وتتوفر المراقبة المتواصلة في بعض الحالات على مدار 24 ساعة في اليوم بفضل طائرة التزويد.

3 معايير الحماية

تتأثر الرادارات بمختلف أنواع الإشارات المسببة للتداخل بطرق متباينة تماماً. ويظهر هذا التباين خصوصاً بين آثار الطاقة من نمط الضوضاء المستمرة وآثار النبضات. فتداخل الموجة المستمرة من نمط الضوضاء يؤثر سلباً على حساسية رادارات الاستدلال الراديوي. ويرتبط هذا التأثير على الأرجح بشدة التداخل. وفي أي قطاع سمت يمكن أن يحدث فيه هذا النمط من التداخل، يكفي إضافة الكثافة الطيفية لقدرة هذا التداخل إلى الكثافة الطيفية لقدرة ضوضاء نظام الرادار من أجل الحصول على نتيجة موثوقة نسبياً. وإذا اعتبرنا أن قدرة ضوضاء نظام الرادار دون تداخل هي N وأن قدرة تداخل نمط الضوضاء هي I يمكن الحصول على قدرة الضوضاء الفعلية التي تنتج عن مجرد جمع $N + I$.

وبما أن معايير حماية الرادارات الراسخة تقليدياً في قطاع الاتصالات الراديوية تقوم على العواقب الناتجة من أجل المحافظة على النسبة المرجوة للإشارة إلى الضوضاء في العودة عند وجود التداخل، من الضروري أن تتزايد قدرة العودة المستهدفة طردياً مع زيادة قدرة الضوضاء وتنتقل من N لتصبح $N + I$. ولا يتم ذلك إلا من خلال القبول بأمدية قصوى أقصر للأهداف أو إهمال رصد الأهداف الصغيرة أو تغيير الرادار بحيث تزداد قدرة إرساله أو ناتج ضرب القدرة في الفتحة. (في الرادارات الحديثة أصبحت ضوضاء نظام الاستقبال قريبة من الحد الأدنى والمعالجة شبه المثلى للإشارات أمر شائع).

وتختلف هذه العواقب باختلاف وظيفة الرادار وطبيعة أهدافه. وفي معظم أنظمة الرادارات يقابل مستوى ضوضاء فعلية قدره 1 dB أعلى انحطاط مسموح به للأداء. وفي حالة هدف مستقل ذي مساحة رادار مكافئ (RCS) متوسطة أو وسطية، فإن هذه الزيادة تنقص مدى الكشف بنسبة 6% تقريباً مهما كانت خصائص تراوحات السطح RCS لهذا الهدف. وذلك ناجم عن أن المدى الذي يمكن الحصول عليه في الفضاء الحر يتناسب مع الجذر التربيعي لنسبة قدرة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) التي تنتج من نوع معادلات مدى الرادار الأكثر شيوعاً. وتمثل زيادة قدرها 1 dB لقدرة الضوضاء الفعلية زيادة القدرة بمقدار 1,26 ضعفاً. وإذا لم يتم التعويض عن هذه الزيادة يجب خفض مدى الهدف المستقل في الفضاء الحر بنسبة $1/((1,26)^{1/4})$ أو 1/1,06 مما يعفي خفض مدى بنسبة 6% تقريباً. وفي معادلة المدى، فإن النسبة SNR تتناسب أيضاً مباشرة مع قدرة المرسل ومع ناتج القدرة – الفتحة (في رادار مراقبة) ومع المساحة الفعالة للرادار المستهدف. ولذا يمكن التعويض عن زيادة قدرها 1 dB في قدرة الضوضاء الفعلية عن طريق كشف أهداف غير تلك التي تزيد مساحة راداراتها الفعلية المتوسطة بمقدار 1,26 ضعفاً عن مساحة أصغر هدف يمكن كشفه في حالة انعدام التداخل، أي بزيادة بنسبة 26% لقدرة مرسل الرادار أو لناتج القدرة – الفتحة لهذا الرادار. وجميع هذه الإمكانيات مقبولة نوعاً ما في معظم مهام الرادارات. وتعديل الأنظمة عملية باهظة التكاليف وصعبة التحقيق إن لم تكن مستحيلة، وخاصة فيما يتعلق بالرادارات المتنقلة. أما فيما يتعلق بالأهداف المستقلة، فإن هذه العواقب على نوعية الأداء ممكنة لأي احتمال معين للكشف ونسبة الإنذار الخطأ ولجميع خصائص تراوحات الأهداف.

_____